港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン

（改訂）

令和５年　１０月

国土交通省 港湾局、航空局

目　次

第１章　総論
1.1 目的 1-1
1.2 適用 1-3
1.3 用語の定義 1-10
1.4 基本的な考え方 1-12
1.5 リサイクル材料の利用手順 1-33

第２章　リサイクル材料の用途別の適用技術
2.1 コンクリート用細骨材・粗骨材、混和材 2-1-1
2.2 バーチカルドレーン及びサンドマット材 2-2-1
2.3 サンドコンパクションパイル用材 2-3-1
2.4 深層混合処理固化材 2-4-1
2.5 捨石 2-5-1
2.6 中詰材 2-6-1
2.7 被覆石、根固・消波ブロック 2-7-1
2.8 裏込材 2-8-1
2.9 裏埋材 2-9-1
2.10 盛土材、覆土材、載荷盛土材 2-10-1
2.11 埋立材 2-11-1
2.12 路床盛土材 2-12-1
2.13 路盤材、AS 舗装骨材、AS フィラー材 2-13-1
2.14 藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工海浜等 2-14-1
2.15 その他 2-15-1

第３章　リサイクル材料の利用の考え方（関係法令、品質、加工・改良技術）
3.1 建設発生土 3-1-1
3.2 浚渫土砂 3-2-1
3.3 アスファルト・コンクリート塊 3-3-1
3.4 コンクリート塊 3-4-1
3.5 建設発生木材 3-5-1
3.6 建設汚泥 3-6-1
3.7 高炉スラグ 3-7-1

3.8 製鋼スラグ 3-8-1
3.9 鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）
3-9-1
3.10 鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他） 3-10-1
3.11 フライアッシュ 3-11-1
3.12 クリンカアッシュ 3-12-1
3.13 石炭灰二次製品 3-13-1
3.14 銅スラグ 3-14-1
3.15 フェロニッケルスラグ 3-15-1
3.16 亜鉛スラグ 3-16-1
3.17 貝殻 3-17-1
3.18 エコスラグ 3-18-1
3.19 破砕瓦 3-19-1
3.20 再生石膏粉 3-20-1
3.21 ガラス再生資材 3-21-1
3.22 ガラス発泡リサイクル資材 3-22-1
3.23 ペーパースラッジ 3-23-1
3.24 ペーパースラッジ焼却灰（PS 灰） 3-24-1
3.25 古紙 3-25-1
3.26 砕石微粉末 3-26-1
3.27 粒調 Fe 石灰路盤材 3-27-1
3.28 災害廃棄物 3-28-1

参考文献リスト

【 参 考 資 料 】
リサイクル材料の適用事例

第１章　総論

第１章 総論

1.1 目的 1-1
1.2 適用 1-3
1.3 用語の定義 1-10
1.4 基本的な考え方 1-12
1.5 リサイクル材料の利用手順 1-33

第1章 総論

1.1 目的

本ガイドラインは、建設副産物、及び建設業以外の産業活動から排出される副産物（以下「産業副産物等」という）を港湾整備事業、空港整備事業及び海岸事業（以下「港湾・空港等工事」という）の建設資材として利用する際の技術的取り扱い及び法令面での取り扱いについて示したものであり、港湾・空港等工事におけるリサイクルの促進を図ることを目的とする。

（解説）

主要な資源の大部分を輸入に依存している我が国では、国民経済の発展に伴い各種副産物の発生も極めて大きく、リサイクルの一層の推進が望まれている。

このような状況において、港湾・空港等工事では浚渫土砂やコンクリート塊等の建設副産物が大量に排出されている。更に臨海部では高炉一貫製鉄所や石炭火力発電所等から大量に鉄鋼スラグや石炭灰等の建設資材となりうる産業副産物等が排出されている。

港湾・空港等工事では埋立用材や構造物等の建設資材として山土や砂・石材等の天然資材が大量に消費されていることから、建設副産物や産業副産物等を積極的に活用し、天然資材の消費抑制、環境負荷の低減、建設コストの低減を図ることが望まれている。

法令面においても、平成 12 年に「循環型社会形成推進基本法」をはじめ、「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」（以下、「建設リサイクル法」という）、「資源の有効な利用の促進に関する法律」（以下、「資源有効利用促進法」という）等、6 法律が制定又は改正され、循環型社会の形成を目指した取り組みの強化が図られた。一方、環境保全の観点からは、土壌汚染対策の実施を図り、もって国民の健康を保護するため、平成 14 年に「土壌汚染対策法」が制定されている。

このような状況を踏まえ、港湾局において、建設副産物及び産業副産物等のリサイクル技術を体系的に取りまとめた「港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針（平成 16 年 3 月）」（以下、「旧技術指針」という）及び取り組み方針をとりまとめた「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン（平成 13 年 3 月）」（以下、「旧ガイドライン」という）を策定し、港湾・空港等工事の実務者を中心に活用されてきた。

本ガイドラインは、現段階までに実用化された建設副産物及び産業副産物等のリサイクル技術及び平成 22 年度の土壌汚染対策法の改正等の関係法令等の動向を踏まえ、リサイクル材料を利用する際の基本的な考え方、利用手順、用途別の適用技術、関係法令、品質、加工・改良技術等を体系的に整理し、計画・設計等を担当する実務者が、港湾・空港等工事の計画・設計する際のための資料としてとりまとめたものである。

本ガイドラインに記載されたリサイクルに関する技術は開発途上のものもあり、これらについては技術課題を抽出し利用するために必要となる確認事項を示している。利用に際しては、常に最新の技術情報を入手するように心掛けるとともに、室内試験や現地実証試験等によって得られた知見等を基に設計を行うことも必要である。

また、本ガイドラインに記載されている製品名称はあくまで例示であり、当該リサイクル材料について、掲載している製品のみを推奨するものではない。

なお、本ガイドラインには示していないリサイクルに関する技術開発も、関係機関において積極的に取り組まれていることから、本ガイドラインの内容については、今後のリサイクル技術の開発動向や港湾・空港等工事でのニーズを勘案しつつ、適宜最新情報に更新することとしている。

※本ガイドラインへの最新情報の反映等による変更の有無は、国土交通省港湾局ホームページ（http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr5_000054.html）を確認のこと。

1.2 適用

本ガイドラインは、建設副産物及び産業副産物等を港湾・空港等工事の建設資材として利用する場合に適用する。

本ガイドラインで取り扱うリサイクル材料は、建設副産物と産業副産物等に大別される。ただし、有害物質に汚染された物品等で法的な規制を越えるもの・環境安全上の支障が生じるものについては適用から除外する。

（解説）

(1) 対象とするリサイクル材料

本ガイドラインで取り扱うリサイクル材料は、建設工事に伴い副次的に得られる建設副産物と建設業以外の産業活動から副次的に得られる産業副産物等に分類される。

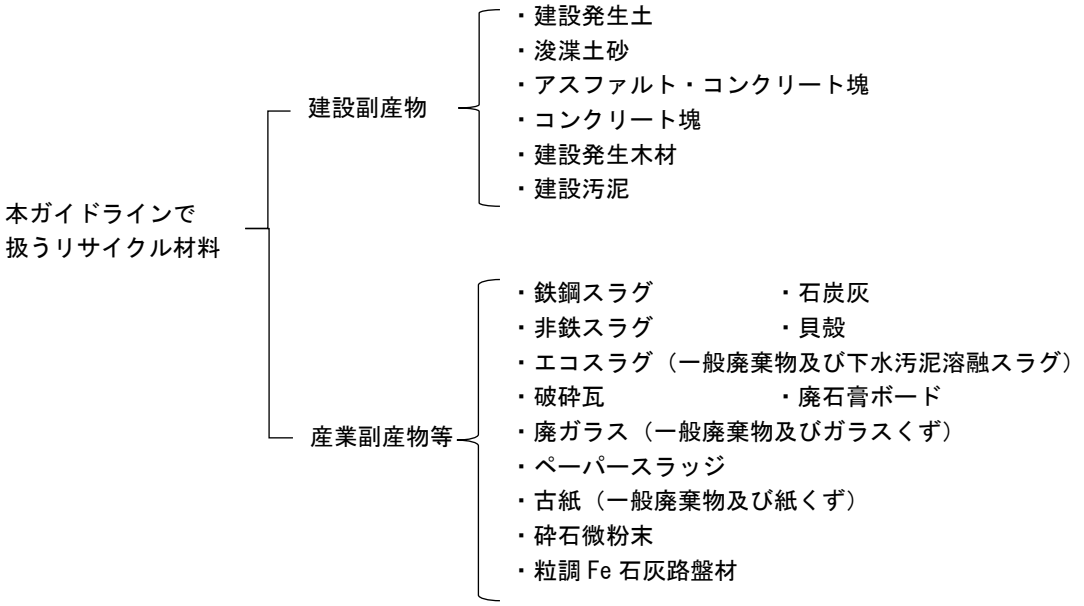


図 1.2.1　本ガイドラインで対象とするリサイクル材料

建設副産物のうち、建設発生土及び浚渫土砂については、一般には有用物として埋立材料、土地造成の材料として用いられるため、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下「廃棄物処理法」という）」でいう廃棄物の対象から除かれている。ただし、関係法規の規定を越える有害物質が含まれている建設発生土及び浚渫土砂については、本ガイドラインの適用外であり、関係法規の定めに従い処理する必要がある。

建設工事に伴って生ずるアスファルト・コンクリート塊、コンクリート塊や建設汚泥等を処分する場合には廃棄物処理法上の廃棄物となるが、所用の品質を有し、有償で売却可能な建設資材として利用する場合は、廃棄物処理法上の廃棄物とならない。

また、「産業副産物等」には、鉄鋼スラグ、石炭灰、非鉄スラグ、貝殻、エコスラグ（下水汚泥溶融スラグ）、破砕瓦、廃石膏ボード、廃ガラス（ガラスくず）、ペーパースラッジ、古紙（紙くず）、砕石微粉末及び粒調 Fe 石灰路盤材等の産業副産物と一般廃棄物であるエコスラグ（一般廃棄物溶融スラグ）、廃ガラス（一般廃棄物）、古紙（一般廃棄物）があり、これらを有償で売却可能な有用物としてコンクリート用材、路盤材、土木材等に用いる場合は、廃棄物処理法上の廃棄物とならない。

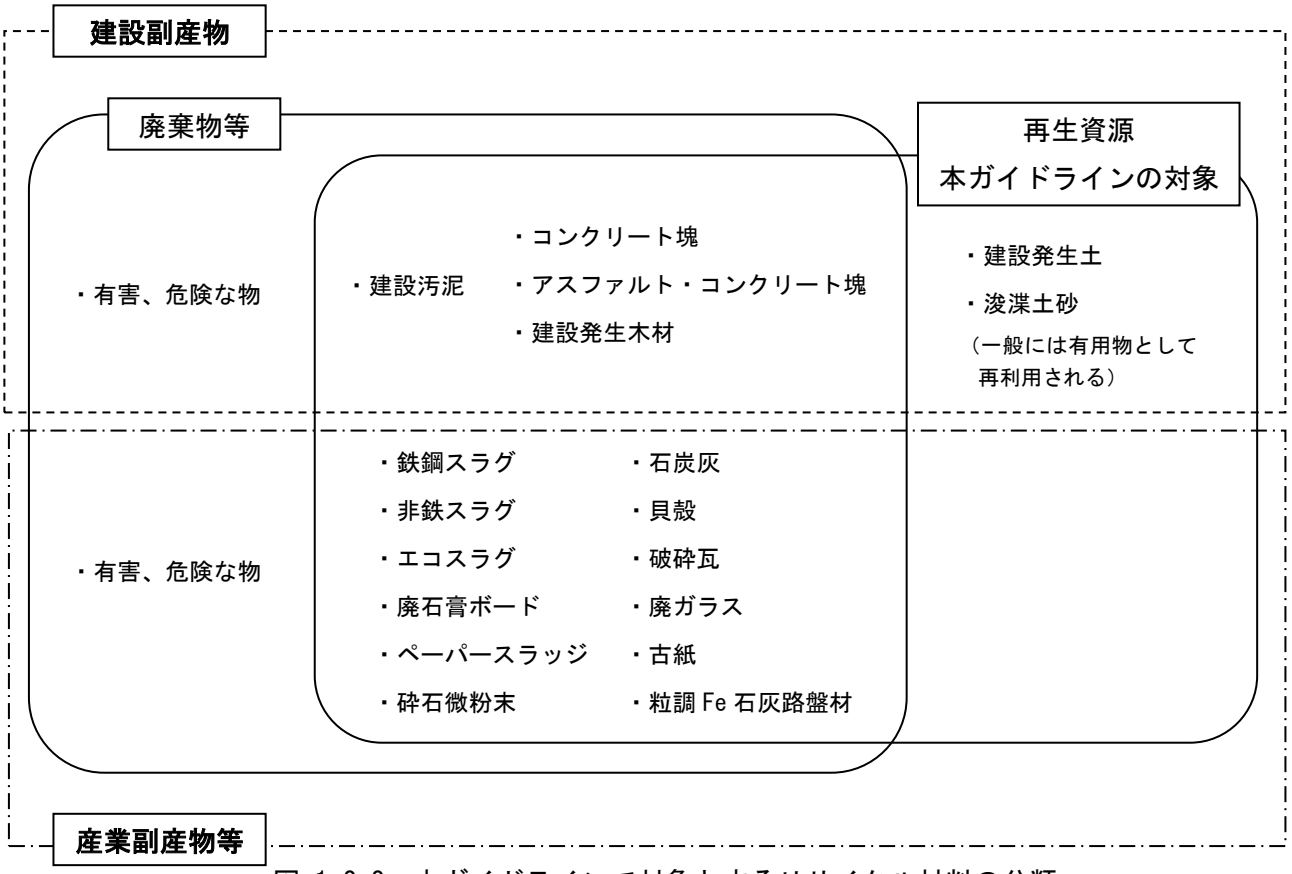
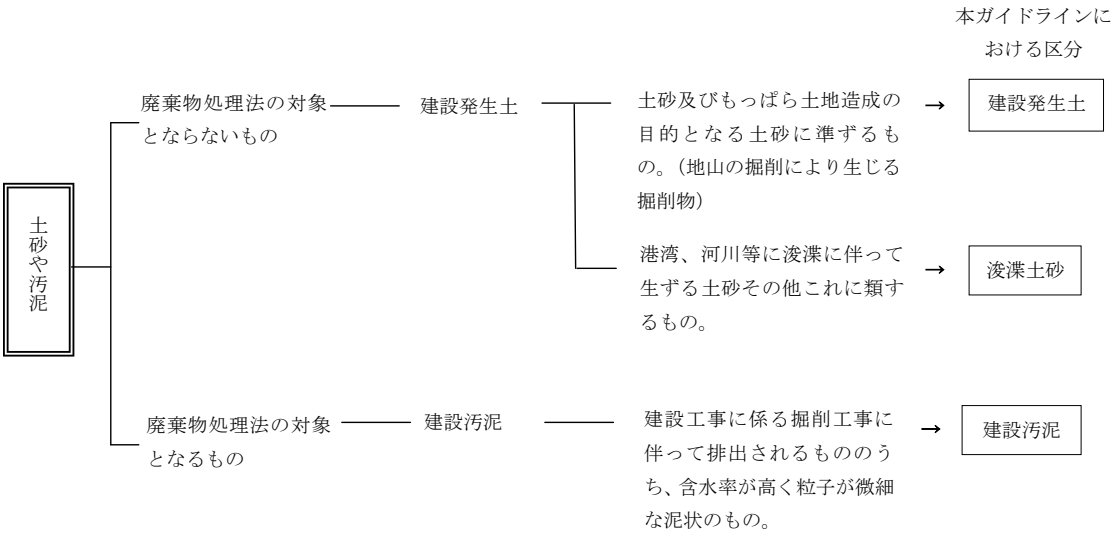


図 1.2.2　本ガイドラインで対象とするリサイクル材料の分類

(参考)港湾・空港等工事から発生する土砂や汚泥の区分について

「建設工事から生ずる廃棄物の適正処理について」（環廃産第 110329004 号、平成 23 年 3 月 30 日）別添の「建設廃棄物処理指針（平成 22 年度版）」等から、建設工事から発生する土砂や汚泥は次のとおり区分されている。本ガイドラインでは、建設発生土と浚渫土砂に区分して扱う。



土砂	汚泥	土砂・汚泥の判断
粒子が直径74ミクロンを超える粒子をおおむね95％以上含む掘削物にあっては、容易に水分を除去できるので、ずり分離等を行って泥状の状態ではなく流動性を呈さなくなったものであって、かつ、生活環境の保全上支障のないもの。	汚泥の状態とは、標準仕様ダンプトラックに山積みができず、また、その上を人が歩けない状態をいい、この状態を土の強度を示す指標でいえば、コーン指数がおおむね200kN／m^2以下又は一軸圧縮強度がおおむね50kN／m^2以下であるのもの。	掘削工事に伴って排出される時点で行う。掘削工事から排出されるとは、水を利用し、地山を掘削する工法においては、発生した掘削物を元の土砂と水に分離する工程まで含める。

(2) 適用する工種・用途

本ガイドラインで対象とする港湾・空港等工事における工種及び用途としては、これまでの活用実績等をもとに、以下のとおりとする。

- コンクリート工（①コンクリート用細骨材、②コンクリート用粗骨材、③混和材）
- 地盤改良工（④バーチカルドレーン及びサンドマット材、⑤サンドコンパクションパイル材
  ⑥深層混合処理固化材）
- 基礎工（⑦捨石）
- 本体工（⑧中詰材）
- 被覆・根固工、消波工（⑨被覆石、根固・消波ブロック）
- 裏込・裏埋工（⑩裏込材、⑪裏埋材）
- 土工（⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材、⑬埋立材）
- 舗装工（⑭路床盛土材、⑮路盤材、⑯As（アスファルト）舗装骨材、As フィラー材）
- その他（⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等、⑱その他）

(3) リサイクル材料の適用性の評価基準・方法

用途別に各リサイクル材料の品質性能及び利用実績の両面から評価する。その後、それらの評価結果の組み合わせに基づいて総合評価を定め、結果を6段階で示す。具体的な評価基準及び評価方法は、**表 1.2.1**、**図 1.2.3** に示すとおりである。

これらの評価は、品質性能及び利用実績の両面からみた各リサイクル材料の利用可能性の目安を示すものであり、評価の高いリサイクル材料であっても、全ての工事に利用できることを保証するものではない。また、「現段階では利用が難しいと考えるもの」又は「用途対象外」とされたリサイクル材料であっても、設置者等の判断による利用を妨げるものではない。

リサイクル材料の適用に際しては、対象とする工種・用途ごとに、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**、**「港湾工事共通仕様書」**及び**「空港工事共通仕様書」**等に準拠し、マニュアル等や既存事例等を参考とし、対象となるリサイクル材料の特徴（重量、水硬性、せん断抵抗角等）や供給量等を踏まえ、経済性等を十分検討する必要がある。

表 1.2.1　リサイクル材料の品質性能及び利用実績の評価基準

【品質性能】

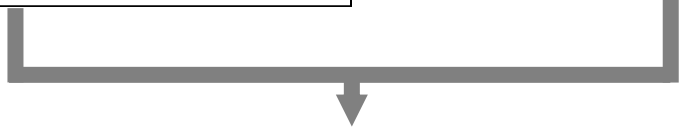
	評価基準	判断の基準の定義
A	既に当該用途を想定した品質基準が設けられている	JIS または、JIS と同等の基準（国等の指針や通達等）が整備されているもの
B	利用マニュアル等が整備されている	次の事項を全て満足するマニュアル等（利用マニュアル、手引き、ガイドライン、ハンドブック等）が整備されているもの（用途として準用可能と見なせるものを含む） ①中立性のある機関により策定されたもの（個別民間企業の自社基準・技術資料は対象としない） ②有識者による技術検討委員会等により取りまとめられたもの ③品質管理に関する記載があるもの（材料に関する調査・試験の実施方法、施工後のモニタリング方法等）
C	標準材料に準ずる性能を有するもの	技術資料等（パンフレット、研究論文（査読付き）、研究所報告、自社基準等）により、標準材料に準ずる性能が確認されるもの（用途として準用可能と見なせるものを含む）
D	用途として利用可能であるが、課題等も挙げられているもの	次のいずれかに該当するもの ①マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられているもの（用途として準用可能と見なせるものを含む） ②査読なしの研究論文等（講演資料等）に限られているもの ③マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられるもの
E	現段階では利用が難しいと考えられるもの	マニュアル等や技術資料等で利用用途に関する検討は行われているが、品質面で利用が難しいと考えられるもの
—	用途対象外	マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことが確認されないもので、利用実績が限定されるもの　等

【利用実績】

	評価基準	判断の基準の定義
a	利用実績が多いもの、または汎用性が高いもの	公共工事（国直轄の本施工に限る）において、利用実績が複数あるもの、又は、既に一般的に普及されているもので利用面で汎用性が高いと考えられるもの
b	利用実績（試験施工含む）はあるが限定されるもの	次のいずれかに該当するもの ①公共工事（国直轄に限る）以外の、公的機関や民間企業の工事で利用実績があるもの ②公共工事（国直轄に限る）の試験施工や実証実験で利用実績があるもの ③公共工事（国直轄に限る）で利用実績はあるが限定されるもの（同一港湾のみ１箇所での利用等限定されるもの、適用条件が限定されるもの　等）
c	利用実績（試験施工含む）はあるが課題があるもの	本施工や試験施工、実証実験等における利用実績はあるが、施工後の品質的な課題等が存在するもの
—	利用実績がないもの	本施工や試験施工、実証実験等における利用実績がないもの

品質評価	
A	既に当該用途を想定した品質基準が設けられている
B	利用マニュアル等が整備されている
C	標準材料に準ずる性能を有するもの
D	用途として利用可能であるが、課題等も挙げられているもの
E	現段階では利用が難しいと考えられるもの
—	用途対象外

実績評価	
a	利用実績が多いもの、または汎用性が高いもの
b	利用実績（試験施工含む）はあるが限定されるもの
c	利用実績（試験施工含む）はあるが課題があるもの
—	利用実績がないもの



総合評価

品質＼実績	a	b	c	—
A	◎	◎	△	△
B	◎	○+	△	△
C	○+	○	△	△
D	△	△	△	△
E	×	×	×	×
—	—	—	—	—

評価	定義
◎	既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+	利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○	標準材料と同等、または利用実績や実証試験等で品質が確認され利用可能性の高いもの
△	利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
×	現段階では利用は難しいと考えるもの
—	用途対象外

図 1.2.3　リサイクル材料の評価方法

表 1.2.2（1）　リサイクル材料の利用技術の状況

対象材料＼工種用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	コンクリート工			地盤改良工			基礎工	本体工	被覆・根固工、消波工
							①ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	②ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	③混和材	④ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	⑤ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	⑥深層混合処理固化材	⑦捨石	⑧中詰材	⑨被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1　建設発生土	–	–	–	△（砂質系）	◎（砂質系）	–	△	◎（砂質系）	–
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2　浚渫土砂	–	–	–	△	△	–	–	◎	–
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		–	–	–	–	△	–	–	–	–
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3　アスファルト・コンクリート塊	×	×	–	–	–	–	–	–	–
	コンクリート塊			04	–	3．4　コンクリート塊	◎（再生骨材）	◎（再生骨材）	–	△	○+	–	△	△	△（被覆・根固工）
	建設発生木材			05	–	3．5　建設発生木材	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	建設汚泥			06	–	3．6　建設汚泥	–	–	–	△	△	–	–	×	–
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7　高炉スラグ	◎（水砕）	◎（徐冷）	–	–	–	–	–	–	–
			高炉スラグ微粉末		2		–	–	◎	–	–	△	–	–	–
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		–	–	–	◎（ｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ）	○+（粘性土であれば高置換）	–	–	△	–
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8　製鋼スラグ	◎	◎	–	–	–	–	–	–	–
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		–	–	–	–	◎（粘性土であれば高置換）	–	–	△（安定化材）	–
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9　鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		–	–	–	–	◎（粘性土であれば高置換）	–	–	–	–
		鉄鋼スラグ二次製品 固化体	鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10　鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	–	–	–	–	–	–	◎	–	◎
			鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		–	–	–	–	–	–	–	–	–
		鉄鋼スラグ二次製品 その他	浚渫土改質材		3		–	–	–	–	–	–	–	–	–
			生物共生材		4		–	–	–	–	–	–	–	–	–
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11　フライアッシュ	◎	–	◎	–	–	○+	–	–	–
			非JIS灰		2		◎	–	△	–	–	○+	–	△	○+
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	–	3．12　クリンカアッシュ	△	–	–	△	○+	–	–	△	–
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13　石炭灰二次産品	–	–	–	–	–	–	–	–	○
			石炭灰造粒物		2		–	–	–	○	○+	–	–	–	–
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	–	3．14　銅スラグ	◎	–	–	–	○+	–	–	◎	○+
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	–	3．15　フェロニッケルスラグ	◎	◎	–	○+	◎	–	–	◎	○+
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	–	3．16　亜鉛スラグ	–	–	–	–	–	–	–	◎	–
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17　貝殻	△（砂混合）	×	–	–	△（砂混合）	–	–	–	–
		ホタテ殻等			2		○+（砂混合）	–	–	○（砂混合）	○（砂混合）	–	–	△（砂混合）	△（砂混合）
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18　エコスラグ	◎	△	–	△	○+	–	△	△	△
	破砕瓦			19	–	3．19　破砕瓦	○	–	–	–	–	–	–	–	–
	廃石膏ボード	再生石膏粉		20	–	3．20　再生石膏粉	–	–	–	–	–	△	–	–	–
	廃ガラス	ガラス再生資材		21	–	3．21　ガラス再生資材	△	–	–	○（再生砂）	○（再生砂）	–	–	–	△
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22　ガラス発泡リサイクル資材	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	–	3．23　ペーパースラッジ	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24　ペーパースラッジ焼却灰	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	古紙			25	–	3．25　古紙	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	砕石微粉末			26	–	3．26　砕石微粉末	△（乾燥状砕石粉）	–	–	–	–	–	–	–	–
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27　粒調Fe石灰路盤材	–	–	–	–	–	–	–	–	–

【総合評価】
◎ ： 既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+ ： 利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○ ： 標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△ ： 利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
× ： 現段階では利用は難しいと考えるもの
— ： 用途対象外

：平成30年4月時点から評価が上がったもの
：平成30年4月時点から新たに追加したもの

令和 5 年 10 月作成

表 1.2.2（2）　リサイクル材料の利用技術の状況

対象材料 ＼ 工種用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	裏込・裏埋工		土工		舗装工			その他	
							⑩裏込材	⑪裏埋材	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	⑬埋立材	⑭路床盛土材	⑮路盤材	⑯As舗装骨材、Asフィラー材	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	⑱その他
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1 建設発生土	◎（砂質系） ○（粘性土系）	◎	◎	◎	◎	–	–	○（浅場・干潟,覆砂,人工砂浜,養浜）	–
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2 浚渫土砂	◎	◎	◎	◎	△	–	–	◎（浅場・干潟,覆砂,人工砂浜）	–
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		◎（改良土）	◎（改良土）	◎（改良土）	◎	◎（改良土）	–	–	◎（浅場・干潟,覆砂）	–
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3 アスファルト・コンクリート塊	–	–	△	–	△	◎	◎（As舗装骨材）	–	–
	コンクリート塊			04	–	3．4 コンクリート塊	△	△	△	–	○+	◎	×	–	–
	建設発生木材			05	–	3．5 建設発生木材	–	–	–	–	–	–	–	–	◎（ﾎﾞｰﾄﾞ材料等）
	建設汚泥			06	–	3．6 建設汚泥	–	–	◎	◎	◎	△	–	–	–
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7 高炉スラグ	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			高炉スラグ微粉末		2		–	–	–	–	–	–	–	–	–
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		◎	◎	◎（盛土材、覆土材）	○+	◎	–	–	○+（浅場・干潟,覆砂）	–
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8 製鋼スラグ	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		△	○+	○+	△	–	◎（未舗装道路）	–	○+（藻場,浅場,覆砂）	–
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9 鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–	–	–	–	–	◎	◎（As舗装骨材）	–	–
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		–	–	–	–	–	–	–	–	–
		鉄鋼スラグ二次製品 固化体	鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10 鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	○+	○+	△	○+	–	–	–	◎（浅場,藻場）	–
			鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		–	–	–	–	–	–	–	○+（藻場）	–
		その他	浚渫土改質材		3		△（改質土）	△（改質土）	△（改質土）	○+（改質土）	–	–	–	○+（藻場,浅場・干潟,覆砂）	–
			生物共生材		4		–	–	–	–	–	–	–	○(藻場)	–
	石炭灰	フライアッシュ	JIS灰	11	1	3．11 フライアッシュ	–	–	–	–	–	–	◎（Asフィラー材）	–	–
			非JIS灰		2		◎	○+	◎	△	○+	○+	–	–	–
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	–	3．12 クリンカアッシュ	○	○	◎	○+	○+	○	–	△（覆砂）	–
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13 石炭灰二次産品	◎	◎	○+	△	◎	◎	–	–	–
			石炭灰造粒物		2		△	○+	◎	△	△	–	–	◎（覆砂）	–
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	–	3．14 銅スラグ	–	–	–	–	–	–	○+（As舗装骨材）	–	–
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	–	3．15 フェロニッケルスラグ	△	○+	○+	○+	◎	◎	○+（As舗装骨材）	○+	–
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	–	3．16 亜鉛スラグ	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17 貝殻	–	–	–	–	–	–	–	○（浅場・干潟,覆砂）	○（水質浄化材料）
		ホタテ殻等			2		△（砂混合）	△（砂混合）	–	–	–	△	○（As舗装骨材、石粉混合）	–	–
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18 エコスラグ	△	△	△	–	◎	◎	◎（As舗装骨材）	–	–
	破砕瓦			19	–	3．19 破砕瓦	○+	○+（路上施工）	○+	○+	○	○	△（As舗装骨材）	△	–
	ボード 廃石膏	再生石膏粉		20	–	3．20 再生石膏粉	–	–	○+（改良土）	○+（改良土）	○+（改良土）	–	△（Asフィラー材）	–	–
	ガラス	ガラス再生資材		21	–	3．21 ガラス再生資材	–	–	△	–	△（再生砂）	○+	○+（As舗装骨材）	△（再生砂）	–
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22 ガラス発泡リサイクル資材	○	–	◎	–	◎	–	–	–	△（水質浄化材）
	スラッジ ペーパー	ペーパスラッジ		23	–	3．23 ペーパースラッジ	–	–	–	–	–	–	–	–	○（充填材）
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24 ペーパースラッジ焼却灰	–	–	◎（改質土）	○+（改質土）	–	–	–	–	–
	古紙			25	–	3．25 古紙	–	–	○+（改良土）	–	–	–	–	–	△（コンクリート型枠）
	砕石微粉末			26	–	3．26 砕石微粉末	–	–	△（脱水ケーキ）	–	○+（脱水ケーキ）	△（脱水ケーキ）	–	△	–
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27 粒調Fe石灰路盤材	–	–	–	–	–	◎	–	–	–

【総合評価】
◎ ： 既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+ ： 利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○ ： 標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△ ： 利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
× ： 現段階では利用は難しいと考えるもの
— ： 用途対象外

：平成30年4月時点から評価が上がったもの
：平成30年4月時点から新たに追加したもの

令和 5 年 10 月作成

1.3 用語の定義

本ガイドラインにおける用語の定義は次のとおりである。

(1) 建設副産物

建設工事等に伴い副次的に得られる物品。

(2) 産業副産物等

建設業以外の産業活動等に伴い副次的に得られる物品。一般廃棄物の溶融スラグを含む。

(3) 廃棄物

建設副産物、産業副産物等のうち、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（昭和 45 年 12 月 25 日法律第 137 号）に規定する廃棄物に該当するもの。

(4) 再生資源

建設副産物、産業副産物等のうち有用なものであって、原材料として利用できるもの又はその可能性があるもの。ただし、放射性物質及びこれに汚染されたものを除く。

(5) 裏込材

護岸・岸壁等の土留め壁体の安定性を図る目的で裏込めに用いる材料

(6) 裏埋材

裏込め背後の埋立に用いる材料。

(7) 盛土材

陸上で土を盛った構造物に用いる材料。

(8) 覆土材

原地盤の上を土で覆うための材料。ただし、サンドマットを除く。

(9) 載荷盛土材

供用後の有害な圧密沈下の発生を防止するために、あらかじめ軟弱地盤の圧密沈下を促進させるために施工する盛土に用いる材料。

(10) 埋立材

港湾等の水面に土砂を投入し、新たに土地を造成するための材料。ただし、裏込材・裏埋材を除く。

(11) 環境安全品質

施工先の環境安全性に配慮するためのリサイクル材料の品質。

(12) 環境安全品質基準

環境安全品質として必要と認められる各化学物質の検査項目について定められた、港湾用途溶出量基準、一般用途溶出量基準及び含有量基準等で示される基準の総称。

(13) 溶出経路

リサイクル材料と接触した水にリサイクル材料中の化学物質が溶出し、土壌、地下水、海水等へ移行する経路。

(14) 直接摂取経路

リサイクル材料の粒子が飛散したり、手に付着したものが口に入るなどして人体へ直接摂取される経路。

(15) 港湾用途

リサイクル材料を用いる用途のうち、海水と接する港湾の施設又はそれに関係する施設へ使用され、再利用が想定されないもの。なお、港湾の施設等へ使用する場合であっても再利用が想定される場合は、一般用途として取り扱わなければならない。

(16) 一般用途

リサイクル材料を用いる用途のうち、港湾用途以外のもの。

(17) 港湾用途溶出量基準

港湾用途における溶出経路に対する環境安全品質基準。溶出量試験によって評価する。

(18) 一般用途溶出量基準

一般用途における溶出経路に対する環境安全品質基準。溶出量試験によって評価する。

(19) 含有量基準

直接摂取経路に対する環境安全品質基準。含有量試験によって評価する。直接摂取経路が想定されない場合は省略できる。

1.4 基本的な考え方

1.4.1 設計の考え方

リサイクル材料を港湾・空港等工事に利用する場合は、港湾・空港等工事の特性とリサイクル材料の品質や特性を踏まえ、「港湾の施設の技術上の基準･同解説」、「港湾工事共通仕様書」、「空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）」「空港土木工事共通仕様書」等を参照し、適切に設計を行うものとする。

（解説）

港湾構造物は、波浪、潮流、潮汐等の作用や海水中の化学成分等による環境作用の影響を受ける等、一般に厳しい自然条件下で使用されることになる。これらの自然条件以外にも、船舶による外力等を受けるため、十分な強度及び耐久性が求められる。

また空港舗装においては、設計荷重が一般の道路舗装に比べ大きく、平坦性やすりへり抵抗性等高い要求性能が求められる。

リサイクル材料を、この様な特性がある港湾・空港等工事に適用するためには、まずその材料の強度、密度、耐久性等が、設計上の要求性能を満たしていることを確認することが必要である。

リサイクル材料には「軽い」「重い」「固まる」等の特性を有するものもあり、これらの特性を設計上の要請に対して十分に活用することにより、天然資材等標準材に比べ付加価値の高い利用が可能な用途もある。

この様に、リサイクル材料を港湾・空港等工事に利用する場合には、港湾・空港等工事の特性を考慮し、リサイクル材料の品質のばらつきや特殊性等を十分に把握して検討する必要がある。

ただし、港湾・空港等工事としての特殊性はあるものの、材料としての要求性質は、ほとんどのものが一般の土木工事のそれと共通しており、特に大きな差異がある訳ではない。以下、リサイクル材料の材料特性の評価及び設計方法の選定について解説する。

(1) 材料特性の評価

① 一般的な項目

リサイクル材料は、一般に品質のばらつきが大きい。リサイクル材料を港湾・空港等工事に利用する場合には、材料の品質のばらつき範囲を確認し、このばらつきを考慮した定数を用いて設計を行うことになる。

リサイクル材料のうち、港湾･空港等工事の特定の用途を対象とした指針、マニュアル等の中には、排出事業所間や事業所内での品質のばらつきを考慮して、設計に必要な特性値や部分係数等を設定しているものもある。

また、指針、マニュアル類が対象とする用途以外にリサイクル材料を利用する場合は、設計条件を十分考慮して、特性値等を設定する必要がある。

指針、マニュアル類が整備されていないものについては、既存の資料を基に特性値等を検討することになるが、利用予定のリサイクル材料の材料特性を実際に確認することが望ましい。

② 材料固有の項目

リサイクル材料の中には、施工時の性質をそのまま保持し続けるものばかりではなく、経時的に性質が変化するものや、天然資材には見られない特殊な性質を持つものもある。

この様に特殊な性質については長期的な品質の変化を含め十分調査した上で、要求性能を満たしていることを確認することが必要である。

(2) 設計方法の選定

リサイクル材料を港湾・空港等工事で利用するに際しての設計は、コンクリート用材や粒状材料のように標準的な材料と同様に行える場合と安定処理土や深層混合処理土のように発現する強度によって、硬化体あるいは土質材料として設計上の取扱方法が違ったものになることもある。よって、リサイクル材料の性状や利用方法に応じた設計方法を選定することが必要である。

① コンクリート用材

コンクリート用材としてリサイクル材料を用いる場合は、コンクリート構造物としての構造計算の方法は標準的な材料を用いた場合と同様であり、リサイクル材料の品質、特性に応じて、コンクリートの発現強度、施工性及び耐久性等を考慮した配合設計が必要となる。

② 粒状材料

リサイクル材料の形状が粒状であり、一般に用いられる天然材料の代替えとして利用する場合には、リサイクル材料の物理・力学特性を把握し各用途で必要な設計定数を定めて、標準的な材料の設計上の取扱方法に従い設計することが可能である。よって、リサイクル材料そのものが粒状材料であるもの、あるいは土質材料等を加工・改良して粒状材料としたものについては、一般に砂や石材等の設計上の取扱方法を準用できる。

これらのリサイクル材料は、前者に鉄鋼スラグや非鉄スラグ、エコスラグ等があり、後者にはコンクリート塊、貝殻、破砕瓦、ガラス再生資材、ガラス発泡リサイクル資材や建設汚泥、石炭灰等を焼成、高度安定化処理し、粒状材料に加工したもの等がある。

ただし、高炉水砕スラグ等は固結し、長期的に粒状材料として扱えない可能性もあることから配慮が必要となる。

③ 安定処理材料

浚渫土砂や建設発生土等は、未改良の状態では埋立用材等として利用される場合が大半である。

これらのリサイクル材料の利用用途を拡大するために、セメントあるいはセメント系の固化材を添加した安定処理が多く用いられており、盛土や覆土等の土質材料に利用されている他、軽量性等の付加価値を付け、天然材料より優れた特性を生かして裏込・裏埋等に利用する技術が開発されている。

なお、裏込に安定処理土を用いる場合は、一般的な粒状材料としての設計方法では設計できないため、**「事前混合処理工法技術マニュアル」**等の別途リサイクル材料を対象とした設計方法に準拠して、設計する。

(3) 室内試験及び実証試験による適用性の検討

リサイクル材料の性能を評価するにあたって、実際に利用を想定している排出事業者の材料を用いて材料試験を実施することにより、精度の高いデータを得ることができる。さらに、材料試験のみならず、実際の利用を想定したモデル試験を実施することによって、その用途に対する適用性を評価することができる。

材料の特性から、リサイクル材料の適用が可能であると判定された材料については、実際の構造物に利用した場合のリサイクル材料の強度、透水性、耐久性等の物性調査、リサイクル材料からの溶出等環境に対する影響調査、さらに実施工における施工性及び安全性の確認をするため、実証試験を必要とする場合もある。特に、重要な構造物に利用する場合には、実証試験を実施し、必要な項目について確認しておくことが望ましい。

幾つかのリサイクル材料については、既に実証試験が実施されており、それらの文献を参考にすることができる。

長期的な物性の変化や材料の耐久性については、コンクリートの耐久性促進試験等によって確認できるものもあるが、一般に促進試験による短期間での確認は難しい。これまでに実施された追跡調査や経年的な調査結果等を参考に十分な検討が必要である。

1.4.2 環境安全の考え方

リサイクル材料を港湾・空港等工事に利用する場合は、関係法令の規定に基づき、環境安全に支障を生じないよう、十分に検討して取り扱うものとする。

（解説）

(1) 法令上の取り扱いについて

我が国における環境対策は、**「環境基本法（平成 5 年 11 月 19 日法律第 91 号、最終改正：令和 3 年 5 月 19 日法律第 36 号）」**により、その基本的方向が定められており、循環型社会の形成を推進する基本的枠組みとして**「循環型社会形成推進基本法（平成 12 年 6 月 2 日法律第 110 号、最終改正：平成 24 年 6 月 27 日法律第 47 号）」**が制定されている。

その中で、港湾・空港等工事でリサイクル材料を利用するにあたり関係する主な法令としては、**表 1.4.1** に示すものが挙げられる。

表 1.4.1　港湾・空港等工事でリサイクル材料を利用するにあたり関係する主な法令

法令名	策定	最終改正
廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃棄物処理法）	昭和 45 年 12 月 25 日 法律第 137 号	令和 4 年 6 月 17 日 法律第 68 号
海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律（海洋汚染防止法）	昭和 45 年 12 月 25 日 法律第 136 号	令和 4 年 6 月 17 日 法律第 68 号
土壌汚染対策法	平成 14 年 5 月 29 日 法律第 53 号	令和 4 年 6 月 17 日 法律第 68 号
資源の有効な利用の促進に関する法律（資源有効利用促進法）	平成 3 年 4 月 26 日 法律第 48 号	令和 4 年 5 月 20 日 法律第 46 号
建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（建設リサイクル法）	平成 12 年 5 月 31 日 法律第 104 号	令和 4 年 6 月 17 日 法律第 68 号
国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律（グリーン購入法）	平成 12 年 5 月 31 日 法律第 100 号	令和 3 年 5 月 19 日 法律第 36 号

廃棄物処理法と海洋汚染防止法は、主に廃棄物をどの様に処分するのかという観点で捉えているのに対して、資源有効利用促進法は廃棄物を再生資源として積極的に利用して廃棄物の発生をいかに抑制するのかという観点で捉えている。また、建設リサイクル法は、建設廃棄物の発生抑制、分別解体及び再資源化等の促進を規定する個別規制法である。グリーン購入法は国や地方公共団体等にリサイクル製品等の調達を推進させるものであり、公共工事における材料等の調達についても対象となっている。なお、リサイクル材料の取り扱いについては、廃棄物処理法及び海洋汚染防止法等における法的規制を受けるか否かを確認する必要があり、該当する規定に従い取り扱う必要がある。

埋立にリサイクル材料を利用する場合には「公有水面埋立法」の適用を受ける。また、施工後に陸上地盤となる場合は、土地の形質変更時等に土壌汚染対策法に基づく調査を実施し、汚染状態が指定基準を超過した場合、除去等の必要が生じる可能性があることに留意する必要がある。

表 1.4.2 に対象となるリサイクル材料の主な関連法規における取扱いについて示す。

以下、廃棄物処理法、海洋汚染防止法及び土壌汚染対策法上の取扱いについて解説する。

表 1.4.2　対象リサイクル材料の発生要因、適用法令

対象物		発生要因、分類等	廃棄物処理法（廃棄物）	海洋汚染防止法	土壌汚染対策法	資源有効利用促進法（指定副産物、特定省資源業種）	建設リサイクル法（特定建設資材）	グリーン購入法（特定調達品目）
建設副産物	建設発生土	建設工事から発生する土砂で、おおむねそのままの状態で土質材料として利用できる。	対象外	政令で定める一定の基準に適合する場合等において、廃棄物を海域（埋立をする場所を含む）に排出することが許容される	陸上工事に利用する場合または施工後に陸地化する場合、適用可能性が生じる	指定副産物に該当（その事業年度における建設工事の施工金額が25億円以上の建設業）	該当しない	該当しない
	浚渫土砂	港湾、河川等の浚渫に伴って生ずる土砂で、粘性系のものは大半が軟弱な泥土に該当する。	対象外				該当しない	該当しない
	アスファルト・コンクリート塊	舗装のはぎ取りあるいは削り取りによって生ずるアスファルトがら。	産業廃棄物（コンクリートくず、がれき類）				特定建設資材に該当	再生加熱アスファルト混合物、再生骨材等
	コンクリート塊	工作物の除去によって生ずるコンクリートの破片。	産業廃棄物（コンクリートくず、がれき類）				特定建設資材に該当	再生骨材等
	建設発生木材	木造家屋解体材、廃木製型枠等	産業廃棄物（木くず）				特定建設資材に該当	パーク堆肥、間伐材、フローリング、再生木質ボード（パーティクルボード、繊維板、木質系ｾﾒﾝﾄ板）、製材等（製材、集成材、合板、単板積層材、直交集成板）
	建設汚泥	シールド工事、場所打ち杭工法等の掘削工事から発生する泥土で自硬性汚泥。	産業廃棄物(汚泥)			該当しない	該当しない	建設汚泥から再生した処理土
産業副産物等	鉄鋼スラグ(高炉スラグ、製鋼スラグ、二次産品)	銑鉄を生成する際に発生する高炉スラグ、銑鉄やスクラップから鋼を製造する際に発生する製鋼スラグ、造粒・固化等した二次産品がある。	産業廃棄物（鉱さい）			特定省資源業種（製鉄業及び製鋼・製鋼圧延業）に該当	該当しない	高炉セメント、高炉スラグ骨材、鉄鋼スラグ混入路盤材、鉄鋼スラグ混入アスファルト混合物、土工用水砕スラグ、地盤改良用製鋼スラグ、電気炉酸化スラグ骨材、鉄鋼スラグブロック
	石炭灰(フライアッシュ、クリンカーアッシュ、二次産品)	火力発電所から発生する石炭灰は、炉底に貯まるクリンカーアッシュ、電気集じん機等で集められるフライアッシュ、フライアッシュを造粒・固化した二次産品がある。	産業廃棄物（クリンカーアッシュは燃え殻、フライアッシュはばいじん）			指定副産物に該当（その事業年度における電力供給量が1億2,000万kW時以上の電気業）	該当しない	フライアッシュセメント、フライアッシュを用いた吹付けコンクリート
	非鉄スラグ(銅スラグ、フェロニッケルスラグ、亜鉛スラグ)	非鉄金属を精錬する際に発生するスラグで、銅スラグやフェロニッケルスラグ、亜鉛スラグがある。	産業廃棄物（鉱さい）			銅スラグが特定省資源業種（銅第一次製錬・精製業）に該当	該当しない	銅スラグを用いたケーソン中詰材、銅スラグ骨材、フェロニッケルスラグを用いたケーソン中詰材、フェロニッケルスラグ骨材
	貝殻(カキ殻、ホタテ殻)	食品加工工場で、カキやホタテをむき身出荷した際に残る貝殻。	産業廃棄物（動植物性残さ）			該当しない	該当しない	該当しない
	エコスラグ(一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ)	都市ゴミ及び下水汚泥を溶融固化したもの。	一般廃棄物 産業廃棄物（汚泥）			該当しない	該当しない	該当しない
	破砕瓦	規格外瓦を破砕・粒度調整したもの。	産業廃棄物（陶磁器くず）			該当しない	該当しない	該当しない
	廃石膏ボード（再生石膏粉）	石膏ボードが廃棄物となったものから剥離紙等を除去して石膏成分のみを破砕して粒度調整したもの。	産業廃棄物（ガラスくず、コンクリートくず及び陶磁器くず）			該当しない	該当しない	該当しない
	廃ガラス（ガラス再生資材、ガラス発泡リサイクル資材）	一般廃棄物として処理されるガラスびんや建物解体時に産業廃棄物として処理されるもので、造粒・破砕処理したガラス再生資材や焼成発泡したガラス発泡リサイクル資材がある。	一般廃棄物 産業廃棄物（ガラスくず）			該当しない	該当しない	該当しない
	ペーパースラッジ（ペーパスラッジ、ペーパースラッジ焼却灰）	再生紙を製造する際に発生する副産物であり、焼却処理を行ったペーパースラッジ焼却灰がある。	産業廃棄物（ペーパスラッジは汚泥、ペーパースラッジ焼却灰は燃え殻、ばいじん）			特定省資源業種（パルプ製造業及び紙製造業）に該当	該当しない	該当しない
	古紙	一度使用された紙あるいは製紙メーカから出荷された後、再利用する目的で回収された紙。	一般廃棄物 産業廃棄物（紙くず）			該当しない	該当しない	該当しない
	砕石微粉末	砕石微粉末は、砕石副産物として発生するものであり、乾式製造過程から発生する砕石粉、湿式製造過程から発生する脱水ケーキがある。	産業廃棄物（汚泥）			該当しない	該当しない	該当しない
	粒調Fe石灰路盤材	粒調Fe石灰路盤材は用土（まさ土など）に再生骨材を混合したものや礫質土にFe石灰で処理したもの。Fe石灰とは、鉄の生産過程で副産される微粉末と消石灰を主原料とする土質安定材。	産業廃棄物（Fe石灰の原料の微粉酸化鉄はばいじん、粒調Fe石灰路盤材はがれき類）			該当しない	該当しない	再生骨材等

※1：下水道法に規定する下水道から除去した汚泥は、産業廃棄物として取り扱う（S46.10.25 課長通知）。
※2：指定副産物とは、資源有効利用促進法第2条13項に基づき政令第7条で定めるものをいう。
※3：特定省資源業種とは、資源有効利用促進法第2条7項に基づき政令第1条で定めるものをいう。
※4：特定建設資材とは、建設リサイクル法第2条第5項に基づき政令第1条で定めるものをいう。
※5：特定調達品目とは、グリーン購入法第6条第2項第2号に規定されるもので、同法に基づく基本方針に定められる（2002年度積極的に調達する対象として指定されているもの）。
※6：海防法における海域等への排出については、浚渫土砂は有害物質を含む割合（水底土砂の判定基準）により排出方法と排出場所が決められ、その他副産物は廃棄物としての排出は原則禁止されている

1) 廃棄物処理法上の取り扱い

廃棄物処理法は、占有者が不要とし、かつ他者に有償で売却できなくなった物を廃棄物とし、その取り扱いについて規定している。廃棄物の定義については**「建設工事から生ずる廃棄物の適正処理について」（環廃産第 110329004 号、平成 23 年 3 月 30 日）**で以下のように定義されている。

『廃棄物とは、占有者が自ら利用し、又は他人に有償で譲渡することができないために不要になったものをいう。ただし、土砂及びもっぱら土地造成の目的となる土砂に準ずるもの、港湾、河川等の浚渫に伴って生ずる土砂その他これに類するものは廃棄物処理法の対象となる廃棄物から除外されている。』

建設発生土、浚渫土砂を除く建設副産物及び産業副産物等は、有償で売却可能なものであれば、廃棄物処理法で規定される廃棄物に該当せず、通常の材料として活用することができる。しかしながら、有償で売却可能でなければ、廃棄物処理法で規定される廃棄物に該当し、廃棄物処理法に基づいて利用する必要がある。

なお、廃棄物該当性の判断については、**通知「行政処分の指針について」（環循規発第 2104141 号、令和 3 年 4 月 14 日）**において以下のとおり示されている。これらは各種判断要素の一般的な基準を示したものであり、物の種類、事案の形態等によってこれらの基準が必ずしもそのまま適用できない場合は、適用可能な基準のみを抽出して用いる、当該物の種類、事案の形態等に即した他の判断要素をも勘案する等して、適切に判断することとされている。

ア 物の性状
　利用用途に要求される品質を満足し、かつ飛散、流出、悪臭の発生等の生活環境の保全上の支障が発生するおそれのないものであること。実際の判断に当たっては、生活環境の保全に係る関連基準（例えば土壌の汚染に係る環境基準等）を満足すること、その性状についてJIS規格等の一般に認められている客観的な基準が存在する場合は、これに適合していること、十分な品質管理がなされていること等の確認が必要であること。
イ 排出の状況
　排出が需要に沿った計画的なものであり、排出前や排出時に適切な保管や品質管理がなされていること。
ウ 通常の取扱い形態
　製品としての市場が形成されており、廃棄物として処理されている事例が通常は認められないこと。
エ 取引価値の有無
　占有者と取引の相手方の間で有償譲渡がなされており、なおかつ客観的に見て当該取引に経済的合理性があること。実際の判断に当たっては、名目を問わず処理料金に相当する金品の受領がないこと、当該譲渡価格が競合する製品や運送費等の諸経費を勘案しても双方にとって営利活動として合理的な額であること、当該有償譲渡の相手方以外の者に対する有償譲渡の実績があること等の確認が必要であること。
オ 占有者の意思
　客観的要素から社会通念上合理的に認定し得る占有者の意思として、適切に利用し若しくは他人に有償譲渡する意思が認められること、又は放置若しくは処分の意思が認められないこと。したがって、単に占有者において自ら利用し、又は他人に有償で譲渡することができるものであると認識しているか否かは廃棄物に該当するか否かを判断する際の決定的な要素となるものではなく、上記アからエまでの各種判断要素の基準に照らし、適切な利用を行おうとする意思があるとは判断されない場合、又は主として廃棄物の脱法的な処理を目的としたものと判断される場合には、占有者の主張する意思の内容によらず、廃棄物に該当するものと判断されること。

2) 海洋汚染防止法上の取り扱い

海洋汚染防止法では廃棄物を「人が不要とした物（油及び有害液体物質等を除く）」と定義し、海洋において、船舶または海洋施設から廃棄物を排出することを原則禁止している。例外的に政令で定める一定の基準に適合する場合等については、船舶または海洋施設から廃棄物を海域（埋立場所等を含む）に排出することを許容することとしている。

このうち、浚渫等に伴って生ずる水底土砂、ばいじん、燃え殻、汚泥等については、**「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律施行令」（昭和 46 年政令第 201 号、最終改正：令和 2 年 9 月 30 日政令 298 号）**において、含有する有害物質の種類等に応じて、埋立場所等への排出方法に関する基準及び排出することができる廃棄物に係る判定基準が規定されている。

3) 土壌汚染対策法上の取り扱い

リサイクル材料を陸上工事に利用する場合または施工後に陸地化する場合において、リサイクル材料を周辺土壌と区別せずに用いる場合、土壌汚染対策法の適用可能性が生じる。

土壌汚染対策法では、「一定規模（3,000m²）以上の土地の形質変更の届出の際に土壌汚染のおそれがあると都道府県知事が認める場合」等に、土壌の汚染状態に係る調査を実施することが規定されている。調査の結果、指定基準を超過した場合は、区域の指定等が実施される。また、区域の指定が実施された場合は、汚染土壌の搬出等に関する規制が実施される。汚染の除去が行われた場合には、区域の指定が解除されることとなる。ただし、**通知「土壌汚染対策法の一部を改正する法律による改正後の土壌汚染対策法の施行について」（環水大土発第 1903015 号、平成 31 年 3 月 1 日改正）**において「非鉄精錬業や鉄鋼業の製錬・製鋼プロセスで副生成物として得られるスラグ等や石炭火力発電に伴い排出される石炭灰等が土木用・道路用資材等として用いられ、かつ、周辺土壌と区別して用いられる場合は、そもそも土壌とはみなされない」とされており、この限りにおいては土壌汚染対策法の調査の命令対象とはならない。

また、一部の自治体では建設発生土等の受入基準について「土壌の汚染に係る環境基準」を採用しているところもあり、これらに係る条例等についても留意する必要がある。

(2) 環境安全品質

建設副産物及び産業副産物等について、廃棄物として海洋投入処分（埋立をする場所を含む）を行う場合は、海洋汚染防止法において有害物質の基準が規定されている。

建設副産物及び産業副産物等を有効利用するため海洋投入（浅場・干潟造成等）する場合については、海洋汚染防止法の適用を受けないが、**「浚渫土砂等の海洋投入及び有効利用に関する技術指針（改訂案）」（平成 25 年 7 月、国土交通省港湾局）**において、次のような規定を設けている。

- 浚渫土砂については、水底土砂に係る判定基準を満たす土砂に限定
- 建設発生土については、廃棄物処理法で規定された建設汚泥に該当せず、海洋汚染防止法における水底土砂に係る判定基準と同様の基準を満たす土砂に限定
- その他リサイクル材料については、一定の品質等を有し、適正に有価物として取り扱われるものに限定

セメント及びセメント系固化材を使用した改良土（建設発生土、浚渫土砂、建設汚泥）については、六価クロムの溶出が懸念されることから、**「セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について（建設省技調発第 48 号、平成 12 年 3 月 24 日）」、「『セメント及びセメント系固化材を使用した改良土の六価クロム溶出試験要領（案）』の一部変更について（国官技第 16 号、国営建第 1 号、平成 13 年 4 月 20 日）」**において、その取り扱いの方法が規定されており、これに準拠する必要がある。

また、環境安全品質については、産業副産物等を対象に、**「コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する研究会総合報告書（平成 24 年 3 月）」**（以下、**「JIS 検討報告書」**という。）において、「循環資材の環境安全品質及び検査方法に関する考え方」（ **表 1.4.3**）が示されている。

表 1.4.3　循環資材の環境安全品質及び検査方法に関する考え方

①最も配慮すべき暴露環境に基づく評価
　環境安全品質の評価は、対象とする循環資材の合理的に想定しうるライフサイクルの中で、環境安全性において最も配慮すべき暴露環境に基づいて行う。
②放出経路に対応した試験項目
　溶出量や含有量等の試験項目は、①の暴露環境における化学物質の放出経路に対応させる。
③利用形態を模擬した試験方法
　個々の試験は、試料調整を含め、①の暴露環境における利用形態を模擬した方法で行う。
④環境基準等を遵守できる環境安全品質基準
　設定項目と基準値は、周辺環境の環境基準や対策基準等を満足できるように設定する。
⑤環境安全品質を保証するための合理的な検査体系
　試料採取から結果判定までの一連の検査は、環境安全品質基準への適合を確認するための「環境安全形式検査」と、環境安全品質を製造ロット単位で速やかに保証するための「環境安全受渡検査」とで構成し、それぞれ信頼できる主体が実施する。

これを受け、コンクリート用スラグ骨材（高炉スラグ骨材、電気炉酸化スラグ骨材、銅スラグ骨材、フェロニッケルスラグ骨材）、道路用鉄鋼スラグ及びエコスラグについては、JIS において環境安全品質及び検査方法が規定されており、当該材料を利用する場合は、JIS に基づく管理を行うこととなる。その他、ガラス発泡リサイクル資材においても JIS に基づく管理が必要とされる。また、製鋼スラグについては**「港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル」（平成 27 年 2 月、（一財）沿岸技術研究センター）**、カルシア改質土については**「港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル」（平成 29 年 2 月、（一財）沿岸技術研究センター）**、石炭灰混合材料については**「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）」（平成 30 年 2 月、（一財）石炭エネルギーセンター）**、**「石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）」（令和 3 年 3 月、土木学会）**、非鉄スラグについては**「港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル」（平成 27 年 9 月、（一財）沿岸技術研究センター）**、再生石膏粉については**「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（令和元年 5 月、国立研究開発法人国立環境研究所）**において、それぞれ環境安全品質及び検査方法が規定されており、各材料を利用する場合は参照することができる。上記以外のリサイクル材料の環境安全品質については、適用先の関係法令（海洋汚染防止法、環境基本法、土壌汚染対策法及び関連する条例等）に基づき、施工場所の環境保全に係る基準を遵守できるよう適切に管理を行う必要がある。

表 1.4.4 及び**表 1.4.5** に材料及び用途ごとの環境安全品質の考え方をとりまとめた。**表 1.4.4** については、JIS 又はマニュアル、ガイドライン等で規定されているものであり、これらに基づき管理を行う。**表 1.4.5** については、JIS 検討報告書の考え方を基に、本ガイドラインでまとめたもので、**表 1.4.5** を参考とする場合は、個別に十分な検討を行う必要があることに留意する。なお、**表 1.4.3** 「④環境基準等を遵守できる環境安全品質基準」のうち、溶出量については、影響を与える周辺環境が表流水または地下水の場合はそれらの環境基準と同等の「一般用途溶出量基準」、海水の場合は海水による希釈等を勘案した「港湾用途溶出量基準」が設定されている。含有量については、土壌汚染対策法の含有量基準と同等の「含有量基準」が設定されている。

その他、有害物質の含有・溶出の他に海域の環境安全上留意する事項として、次の基準がある。これらはリサイクル材料を対象とした基準ではないが、海中や底泥中でリサイクル材料を利用する場合に工事区域の海域の利用特性を考慮して工事中の監視目標値を定め、その目標値を満足できるように配慮が必要である。特に安定処理材料やコンクリート破砕物等の建設副産物及び産業副産物等は総じて pH が高いため計画・設計段階で対策を含め十分な検討が必要である。

- **「水質汚濁に係る環境基準」（水質：pH、ノルマルヘキサン抽出物質等）**
- **「水産用水基準（公益社団法人日本水産資源保護協会）」（水質：SS・着色・油分等、底質：ノルマルヘキサン抽出物質・硫化物等）**

表 1.4.4（1）JIS、マニュアル・ガイドライン等で規定された考え方
（対象材料・用途について準拠可能とみなせるもの）

(1)工種 (2)用途		港湾・空港・海岸工事における粒状材料としての利用（地盤改良材等）		環境修復・創造等の材料	港湾・空港・海岸工事等の土工用材（埋立材等）	
(3)対象材料		製鋼スラグ		カルシア改質土		
(4)出典		港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル		浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合材の海域利用のための技術マニュアル（案）	港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル	
(5)最も配慮すべき曝露環境	最初の用途（主な用途）	海域	陸域	海域	土木構造物（港湾）	
	再利用の想定	無	有	無	無	有
	最も配慮すべき曝露環境	最初の用途の状態	土壌と区別できない用途	最初の用途の状態	最初の用途の状態	土壌と区別できない用途
(6)放出経路に対応した試験項目	放出経路	溶出経路	溶出経路 直接摂取経路	溶出経路 直接摂取経路※4	溶出経路 直接摂取経路※4	溶出経路 直接摂取経路
	試験項目	溶出量試験	溶出量試験 含有量試験	溶出量試験 含有量試験※4	溶出量試験 含有量試験※4	溶出量試験 含有量試験
(7)利用形態を模擬した試験方法	試料※1	製鋼スラグ単味		浚渫土とカルシア改質材の混合物		
	試験方法※2	JIS K0058-1 の 5	平成 15 年環告 18 号 平成 15 年環告 19 号	JIS K0058-1 の 5 または S48 環告 14 号 JIS K0058-2※4	JIS K0058-1 の 5 または S48 環告 14 号 JIS K0058-2※4	平成 15 年 環告 18 号 平成 15 年 環告 19 号
(8)環境基準等を遵守できる環境安全品質基準※3		港湾用途溶出量基準	一般用途溶出量基準 含有量基準	港湾用途溶出量基準または水底土砂に係る判定基準※5 含有量基準※4	港湾用途溶出量基準または水底土砂に係る判定基準※5 含有量基準※4	一般用途溶出量基準 含有量基準
(9)環境安全品質を保証するための合理的な検査体系		検査実施者・頻度等を規定		検査実施者・頻度等を規定		

※1　試料は、最も配慮すべき暴露環境における状態を模擬した試料（利用模擬試料）を調製することを基本とし、リサイクル材料を単味で用いることも可能とされている。

※2　溶出量試験ならびに含有量試験の方法は、最も配慮すべき曝露環境を模擬した方法が適切であり、現状ではそれぞれスラグ類の化学物質試験方法である JIS　K0058-1 の 5（有姿撹拌試験）ならびに JIS　K0058-2 が適当とされている。ただし、土壌と混合利用する場合は、土壌汚染対策法に基づく平成 15 年環境省告示第 18 号及び第 19 号を適用すべきとされている。

※3　溶出量基準については、影響を与える周辺環境が表流水または地下水の場合は「一般用途溶出量基準」、海水の場合は「港湾用途溶出量基準」が設定されている。

※4　人が立入る可能性がある場合のみ

※5　人が立入る可能性がない場合やカルシア改質土の上部に覆砂などを行うことによってカルシア改質土が海底に露出しない場合は、「水底土砂に係る判定基準」による管理でも良い。

表 1.4.4 (2) JIS、マニュアル・ガイドライン等で規定された考え方
(対象材料・用途について準拠可能とみなせるもの)

<table>
<tr><td colspan="2">(1)工種
(2)用途</td><td colspan="3">港湾工事における地中利用(裏込め等)</td><td colspan="3">地盤・土構造物</td></tr>
<tr><td colspan="2">(3)対象材料</td><td colspan="6">石炭灰混合材料</td></tr>
<tr><td colspan="2">(4)出典</td><td colspan="3">石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(統合改訂版)
石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(エージング灰(既成灰)編)</td><td colspan="3">石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針(案)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">(5)最も配慮すべき曝露環境</td><td>最初の用途(主な用途)</td><td colspan="3">港湾施設</td><td>港湾用途</td><td colspan="2">一般用途</td></tr>
<tr><td>再利用の想定</td><td colspan="3">盛土材、裏込材等:再利用の想定なし
仮設盛土、下層路盤材等:再利用の想定あり</td><td>無</td><td colspan="2">有</td></tr>
<tr><td>最も配慮すべき曝露環境</td><td colspan="3">再利用の想定なし:その用途(工事)
再利用の想定あり:その用途(工事)と再利用用途を比較し選定する</td><td colspan="3">用途・工種により設定</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(6)放出経路に対応した試験項目</td><td>放出経路</td><td>溶出経路</td><td colspan="2">溶出経路
直接摂取経路</td><td>溶出経路</td><td colspan="2">溶出経路
直接摂取経路</td></tr>
<tr><td>試験項目</td><td>溶出量試験</td><td colspan="2">溶出量試験
含有量試験</td><td>溶出量試験</td><td colspan="2">溶出量試験
含有量試験</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(7)利用形態を模擬した試験方法</td><td>試料 ※1</td><td colspan="3">利用模擬試料</td><td colspan="3">利用模擬試料</td></tr>
<tr><td>試験方法 ※2</td><td>JIS K0058-1 の 5</td><td>JIS K 0058-1 の 5
JIS K 0058-2</td><td>平成 15 年環告 18 号
平成 15 年環告 19 号</td><td>JIS K0058-1 の 5</td><td>JIS K 0058-1 の 5
JIS K 0058-2</td><td>平成 15 年環告 18 号
平成 15 年環告 19 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">(8)環境基準等を遵守できる環境安全品質基準 ※3</td><td>港湾用途溶出量基準
一般用途溶出量基準</td><td colspan="2">港湾用途溶出量基準
一般用途溶出量基準
含有量基準</td><td>一般用途溶出量基準
港湾用途溶出量基準</td><td colspan="2">一般用途溶出量基準
港湾用途溶出量基準
含有量基準</td></tr>
<tr><td colspan="2">(9)環境安全品質を保証するための合理的な検査体系</td><td colspan="3">検査実施者・頻度等を規定</td><td colspan="3">検査実施者・頻度等を規定</td></tr>
</table>

※1 試料は、最も配慮すべき暴露環境における状態を模擬した試料(利用模擬試料)を調製することを基本とし、リサイクル材料を単味で用いることも可能とされている。

※2 溶出量試験ならびに含有量試験の方法は、最も配慮すべき曝露環境を模擬した方法が適切であり、現状ではそれぞれスラグ類の化学物質試験方法である JIS K0058-1 の 5(有姿撹拌試験)ならびに JIS K0058-2 が適当とされている。ただし、土壌と混合利用する場合は、土壌汚染対策法に基づく平成 15 年環境省告示第 18 号及び第 19 号を適用すべきとされている。

※3 溶出量基準については、影響を与える周辺環境が表流水または地下水の場合は「一般用途溶出量基準」、海水の場合は「港湾用途溶出量基準」が設定されている。

表 1.4.4 (3) JIS、マニュアル・ガイドライン等で規定された考え方
（対象材料・用途について準拠可能とみなせるもの）

<table>
<tr><td colspan="2">(1)工種</td><td colspan="3" rowspan="2">港湾・空港工事における利用</td></tr>
<tr><td colspan="2">(2)用途</td></tr>
<tr><td colspan="2">(3)対象材料</td><td colspan="3">銅スラグ
フェロニッケルスラグ
亜鉛スラグ</td></tr>
<tr><td colspan="2">(4)出典</td><td colspan="3">港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル</td></tr>
<tr><td rowspan="3">(5)最も配慮すべき曝露環境</td><td>最初の用途(主な用途)</td><td colspan="3" rowspan="3">用途・工種により設定</td></tr>
<tr><td>再利用の想定</td></tr>
<tr><td>最も配慮すべき曝露環境</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(6)放出経路に対応した試験項目</td><td>放出経路</td><td>溶出経路</td><td colspan="2">溶出経路
直接摂取経路</td></tr>
<tr><td>試験項目</td><td>溶出量試験</td><td colspan="2">溶出量試験
含有量試験</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(7)利用形態を模擬した試験方法</td><td>試料 ※1</td><td colspan="3">利用模擬試料(用途・工種により設定)
または非鉄スラグ単味</td></tr>
<tr><td>試験方法
※2</td><td>JIS K0058-1 の 5</td><td>JIS K0058-1 の 5
JIS K0058-2</td><td>平成 15 年環告 18 号
平成 15 年環告 19 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">(8)環境基準等を遵守できる環境安全品質基準 ※3</td><td>港湾用途溶出量基準
一般用途溶出量基準</td><td colspan="2">港湾用途溶出量基準
一般用途溶出量基準
含有量基準</td></tr>
<tr><td colspan="2">(9)環境安全品質を保証するための合理的な検査体系</td><td colspan="3">検査実施者・頻度等を規定</td></tr>
</table>

※1 試料は、最も配慮すべき暴露環境における状態を模擬した試料（利用模擬試料）を調製することを基本とし、リサイクル材料を単味で用いることも可能とされている。

※2 溶出量試験ならびに含有量試験の方法は、最も配慮すべき曝露環境を模擬した方法が適切であり、現状ではそれぞれスラグ類の化学物質試験方法である JIS K0058-1 の 5（有姿撹拌試験）ならびに JIS K0058-2 が適当とされている。ただし、土壌と混合利用する場合は、土壌汚染対策法に基づく平成 15 年環境省告示第 18 号及び第 19 号を適用すべきとされている。

※3 溶出量基準については、影響を与える周辺環境が表流水または地下水の場合は「一般用途溶出量基準」、海水の場合は「港湾用途溶出量基準」が設定されている。

表 1.4.4（4）JIS、マニュアル・ガイドライン等で規定された考え方
（対象材料・用途について準拠可能とみなせるもの）

<table>
<tr><td colspan="2">(1)工種</td><td colspan="2" rowspan="2">固化材･改質剤による地盤改良および土の安定処理</td></tr>
<tr><td colspan="2">(2)用途</td></tr>
<tr><td colspan="2">(3)対象材料</td><td colspan="2">再生石膏粉</td></tr>
<tr><td colspan="2">(4)出典</td><td colspan="2">再生石膏粉の有効利用ガイドライン
（第一版）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">(5)最も配慮すべき曝露環境</td><td>最初の用途(主な用途)</td><td>セメント固化体(港湾)</td><td>地盤改良、盛土材、
埋立材、路床材等</td></tr>
<tr><td>再利用の想定</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td>最も配慮すべき曝露環境</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(6)放出経路に対応した試験項目</td><td>放出経路</td><td>溶出経路</td><td>－</td></tr>
<tr><td>試験項目</td><td>溶出量試験</td><td>－</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(7)利用形態を模擬した試験方法</td><td>試料 ※1</td><td colspan="2">固化または改質後の土</td></tr>
<tr><td>試験方法
※2</td><td>JIS K0058-1 の 5</td><td>平成 3 年環告 46</td></tr>
<tr><td colspan="2">(8)環境基準等を遵守できる環境安全品質基準 ※3</td><td>港湾用途溶出量基準</td><td>土壌環境基準</td></tr>
<tr><td colspan="2">(9)環境安全品質を保証するための合理的な検査体系</td><td colspan="2">検査実施者･頻度等を規定</td></tr>
</table>

※1 試料は、最も配慮すべき暴露環境における状態を模擬した試料（利用模擬試料）を調製することを基本とし、リサイクル材料を単味で用いることも可能とされている。

※2 溶出量試験ならびに含有量試験の方法は、最も配慮すべき曝露環境を模擬した方法が適切であり、現状ではそれぞれスラグ類の化学物質試験方法である JIS K0058-1 の 5（有姿撹拌試験）ならびに JIS K0058-2 が適当とされている。ただし、土壌と混合利用する場合は、土壌汚染対策法に基づく平成 15 年環境省告示第 18 号及び第 19 号を適用すべきとされている。

※3 溶出量基準については、影響を与える周辺環境が表流水または地下水の場合は「一般用途溶出量基準」、海水の場合は「港湾用途溶出量基準」が設定されている。

表 1.4.4 (5) JIS、マニュアル・ガイドライン等で規定された考え方
（対象材料・用途について準拠可能とみなせるもの）

(1)工種		コンクリート工		コンクリート工
(2)用途		①ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材、②ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材		①ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材、②ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材
(3)対象材料		高炉スラグ骨材 電気炉酸化スラグ骨材 銅スラグ骨材 フェロニッケルスラグ骨材		コンクリート用溶融スラグ骨材
(4)出典		JIS A 5011-1 JIS A 5011-2 JIS A 5011-3 JIS A 5011-4		JIS A 5031
(5)最も配慮すべき曝露環境	最初の用途(主な用途)	土木構造物(港湾)	建築構造物(陸上)、土木構造物(陸上)、コンクリート二次製品	-
	再利用の想定	無	有(現場内再利用、コンクリート用再生骨材、再生路盤材)	-
	最も配慮すべき曝露環境	最初の用途の状態	再生路盤の状態	-
(6)放出経路に対応した試験項目	放出経路	溶出経路	溶出経路 直接摂取経路	溶出経路 直接摂取経路
	試験項目	溶出量試験	溶出量試験 含有量試験	溶出量試験 含有量試験
(7)利用形態を模擬した試験方法	試料 ※1	成形体または材料単味	成形体を作成後、破砕・粒度調整したもの、または材料単味	利用模擬試料または材料単味
	試験方法 ※2	JIS K0058-1 の 5	JIS K0058-1 の 5 JIS K0058-2	JIS K0058-1 の 5 JIS K0058-2
(8)環境基準等を遵守できる環境安全品質基準 ※3		港湾用途溶出量基準	一般用途溶出量基準 含有量基準	一般用途溶出量基準 含有量基準
(9)環境安全品質を保証するための合理的な検査体系		検査実施者・頻度等を規定		検査実施者・頻度等を規定

※1　試料は、最も配慮すべき暴露環境における状態を模擬した試料（利用模擬試料）を調製することを基本とし、リサイクル材料を単味で用いることも可能とされている。

※2　溶出量試験ならびに含有量試験の方法は、最も配慮すべき曝露環境を模擬した方法が適切であり、現状ではそれぞれスラグ類の化学物質試験方法である JIS　K0058-1 の 5（有姿撹拌試験）ならびに JIS　K0058-2 が適当とされている。ただし、土壌と混合利用する場合は、土壌汚染対策法に基づく平成 15 年環境省告示第 18 号及び第 19 号を適用すべきとされている。

※3　溶出量基準については、影響を与える周辺環境が表流水または地下水の場合は「一般用途溶出量基準」、海水の場合は「港湾用途溶出量基準」が設定されている。

表 1.4.4（6）JIS、マニュアル・ガイドライン等で規定された考え方
（対象材料・用途について準拠可能とみなせるもの）

(1)工種		舗装工		舗装工	舗装工
(2)用途		⑮路盤材	⑯As 舗装骨材	⑮路盤材 （未舗装道路）	⑭路床盛土材、⑮路盤材、⑯As 舗装骨材
(3)対象材料		道路用鉄鋼スラグ		土工用製鋼スラグ砕石	道路用溶融スラグ
(4)出典		JIS A 5015		JSTM H 8001	JIS A 5032
(5)最も配慮すべき曝露環境	最初の用途（主な用途）	路盤	As舗装	未舗装道路	盛土、路盤、As 舗装
	再利用の想定	有（現場内再利用、再生路盤材、発生土残土処分場）	有（現場内再利用、As混合物用再生骨材、再生路盤材）	－	－
	最も配慮すべき曝露環境	再生路盤の状態		－	－
(6)放出経路に対応した試験項目	放出経路	溶出経路 直接摂取経路		溶出経路 直接摂取経路	溶出経路 直接摂取経路
	試験項目	溶出量試験 含有量試験		溶出量試験 含有量試験	溶出量試験 含有量試験
(7)利用形態を模擬した試験方法	試料 ※1	有姿または材料単味	成形体を作成後、破砕・粒度調整したもの、または材料単味	材料単味	利用模擬試料または材料単味
	試験方法 ※2	JIS K0058-1 の 5 JIS K0058-2		平成 15 年環告 18 号 平成 15 年環告 19 号	JIS K0058-1 の 5 JIS K0058-2
(8)環境基準等を遵守できる環境安全品質基準 ※3		一般用途溶出量基準 含有量基準		一般用途溶出量基準 含有量基準	一般用途溶出量基準 含有量基準
(9)環境安全品質を保証するための合理的な検査体系		検査実施者・頻度等を規定		検査実施者・頻度等を規定	検査実施者・頻度等を規定

※1　試料は、最も配慮すべき暴露環境における状態を模擬した試料（利用模擬試料）を調製することを基本とし、リサイクル材料を単味で用いることも可能とされている。

※2　溶出量試験ならびに含有量試験の方法は、最も配慮すべき曝露環境を模擬した方法が適切であり、現状ではそれぞれスラグ類の化学物質試験方法である JIS K0058-1 の 5（有姿撹拌試験）ならびに JIS K0058-2 が適当とされている。ただし、土壌と混合利用する場合は、土壌汚染対策法に基づく平成 15 年環境省告示第 18 号及び第 19 号を適用すべきとされている。

※3　溶出量基準については、影響を与える周辺環境が表流水または地下水の場合は「一般用途溶出量基準」、海水の場合は「港湾用途溶出量基準」が設定されている。

表 1.4.4（7）JIS、マニュアル・ガイドライン等で規定された考え方
（対象材料・用途について準拠可能とみなせるもの）

(1)工種		その他		
(2)用途		⑰藻場、浅場･干潟造成、覆砂材、人工砂浜等		
(3)対象材料		建設発生土	浚渫土砂	産業副産物等
(4)出典		浚渫土砂等の海洋投入及び有効利用に関する技術指針(改訂案)(平成 25 年 7 月、国土交通省港湾局)		
(5)最も配慮すべき曝露環境	最初の用途(主な用途)	－	－	－
	再利用の想定	－	－	－
	最も配慮すべき曝露環境	－	－	－
(6)放出経路に対応した試験項目	放出経路	－	－	－
	試験項目	－	－	－
(7)利用形態を模擬した試験方法	試料 ※1	－	－	－
	試験方法 ※2	－	－	－
(8)環境基準等を遵守できる環境安全品質基準 ※3		水底土砂に係る判定基準	水底土砂に係る判定基準	一定の品質等を有し、適正に有価物として取り扱われるもの
(9)環境安全品質を保証するための合理的な検査体系		信頼のおける機関による確認を規定	－	－

※1　試料は、最も配慮すべき暴露環境における状態を模擬した試料（利用模擬試料）を調製することを基本とし、リサイクル材料を単味で用いることも可能とされている。

※2　溶出量試験ならびに含有量試験の方法は、最も配慮すべき曝露環境を模擬した方法が適切であり、現状ではそれぞれスラグ類の化学物質試験方法である JIS　K0058-1 の 5（有姿撹拌試験）ならびに JIS　K0058-2 が適当とされている。ただし、土壌と混合利用する場合は、土壌汚染対策法に基づく平成 15 年環境省告示第 18 号及び第 19 号を適用すべきとされている。

※3　溶出量基準については、影響を与える周辺環境が表流水または地下水の場合は「一般用途溶出量基準」、海水の場合は「港湾用途溶出量基準」が設定されている。

表 1.4.5（1）その他リサイクル材料の考え方

（JIS 検討報告書※4 をまとめたもので、利用者の判断で参考することができるもの）

●利用に当たっては、以下の点に留意すること。

・*斜体*はスラグ類における考え方をその他リサイクル材料に拡張した考え方である。

・下線部は本ガイドラインで補足した情報である。

(1)工種		コンクリート工		地盤改良工	
(2)用途		①ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材、②ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材、③混和材		④ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材、⑤ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材、⑥深層混合処理固化材	
(3)出典		JIS 検討報告書※4		JIS 検討報告書※4	JIS 検討報告書※4
(4)最も配慮すべき曝露環境	最初の用途(主な用途)	*建築構造物(陸上)* *土木構造物(陸上)* *コンクリート二次製品*	*土木構造物(港湾)*	地盤(陸域)	地盤(海域)
	再利用の想定	有*(現場内再利用、コンクリート用再生骨材、再生路盤材)*	無	無*(浅層改良は希に再利用)*	無
	最も配慮すべき曝露環境	再生路盤の状態	最初の用途の状態	最初の用途の状態	最初の用途の状態
(5)放出経路に対応した試験項目	放出経路	溶出経路 直接摂取経路	溶出経路	溶出経路 直接摂取経路	溶出経路
	試験項目	溶出量試験 含有量試験	溶出量試験	溶出量試験 含有量試験	溶出量試験
(6)利用形態を模擬した試験方法	試料 ※1	*成形体を作成後、破砕・粒度調整したもの、または材料単味*	*成形体または材料単味*	有姿または材料単味	有姿または材料単味
	試験方法 ※2	JIS K0058-1 の 5 JIS K0058-2	JIS K0058-1 の 5	平成 15 年環告 18 号 平成 15 年環告 19 号	JIS K0058-1 の 5
(7)環境基準等を遵守できる環境安全品質基準 ※3		一般用途溶出量基準 含有量基準	港湾用途溶出量基準	一般用途溶出量基準 含有量基準	港湾用途溶出量基準
(8)環境安全品質を保証するための合理的な検査体系		各検査の責任者はリサイクル材料の製造者を基本とし、検査の頻度等を適切に設定			

※1　試料は、最も配慮すべき暴露環境における状態を模擬した試料（利用模擬試料）を調製することを基本とし、リサイクル材料を単味で用いることも可能とされている。

※2　溶出量試験ならびに含有量試験の方法は、最も配慮すべき曝露環境を模擬した方法が適切であり、現状ではそれぞれスラグ類の化学物質試験方法である JIS K0058-1 の 5（有姿撹拌試験）ならびに JIS K0058-2 が適当とされている。ただし、土壌と混合利用する場合は、土壌汚染対策法に基づく平成 15 年環境省告示第 18 号及び第 19 号を適用すべきとされている。

※3　溶出量基準については、影響を与える周辺環境が表流水または地下水の場合は「一般用途溶出量基準」、海水の場合は「港湾用途溶出量基準」が設定されている。

※4　JIS 検討報告書：「コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書」（平成 24 年 3 月、経済産業省）において、建設分野のあらゆる循環資材に共通の環境安全品質及びその検査方法の導入に向けた考え方として提案されたものである。

表 1.4.5（2）その他リサイクル材料の考え方

（JIS 検討報告書※4 をまとめたもので、利用者の判断で参考することができるもの）

●利用に当たっては、以下の点に留意すること。

・*斜体*はスラグ類における考え方をその他リサイクル材料に拡張した考え方である。

・下線部は本ガイドラインで補足した情報である。

(1)工種		基礎工	本体工	被覆・根固工、消波工
(2)用途		⑦捨石	⑧中詰材	⑨被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ
(3)出典		JIS 検討報告書※4	JIS 検討報告書※4	JIS 検討報告書※4
(4)最も配慮すべき曝露環境	最初の用途(主な用途)	土木構造物(港湾)	土木構造物(港湾)	土木構造物(港湾)
	再利用の想定	無	無	無
	最も配慮すべき曝露環境	最初の用途の状態	最初の用途の状態	最初の用途の状態
(5)放出経路に対応した試験項目	放出経路	溶出経路	溶出経路	溶出経路
	試験項目	溶出量試験	溶出量試験	溶出量試験
(6)利用形態を模擬した試験方法	試料 ※1	有姿または材料単味	有姿または材料単味	成型体または材料単味
	試験方法 ※2	JIS K0058-1 の 5	JIS K0058-1 の 5	JIS K0058-1 の 5
(7)環境基準等を遵守できる環境安全品質基準 ※3		港湾用途溶出量基準	港湾用途溶出量基準	港湾用途溶出量基準
(8)環境安全品質を保証するための合理的な検査体系		各検査の責任者はリサイクル材料の製造者を基本とし、検査の頻度等を適切に設定		

※1　試料は、最も配慮すべき暴露環境における状態を模擬した試料（利用模擬試料）を調製することを基本とし、リサイクル材料を単味で用いることも可能とされている。

※2　溶出量試験ならびに含有量試験の方法は、最も配慮すべき曝露環境を模擬した方法が適切であり、現状ではそれぞれスラグ類の化学物質試験方法である JIS K0058-1 の 5（有姿撹拌試験）ならびに JIS K0058-2 が適当とされている。ただし、土壌と混合利用する場合は、土壌汚染対策法に基づく平成 15 年環境省告示第 18 号及び第 19 号を適用すべきとされている。

※3　溶出量基準については、影響を与える周辺環境が表流水または地下水の場合は「一般用途溶出量基準」、海水の場合は「港湾用途溶出量基準」が設定されている。

※4　JIS 検討報告書：「コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書」（平成 24 年 3 月、経済産業省）において、建設分野のあらゆる循環資材に共通の環境安全品質及びその検査方法の導入に向けた考え方として提案されたものである。

表 1.4.5（3）その他リサイクル材料の考え方

（JIS 検討報告書※4 をまとめたもので、利用者の判断で参考することができるもの）

●利用に当たっては、以下の点に留意すること。

・*斜体*はスラグ類における考え方をその他リサイクル材料に拡張した考え方である。

・下線部は本ガイドラインで補足した情報である。

(1)工種		裏込・裏埋工	土工／舗装工	
(2)用途		⑩裏込材、⑪裏埋材	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材、 ⑭路床盛土材	⑬埋立材(陸域)
(3)出典		JIS 検討報告書※4	JIS 検討報告書※4	― (「⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材」を参考に検討)
(4)最も配慮すべき曝露環境	最初の用途(主な用途)	土木構造物(港湾)	地盤(陸域)	地盤(陸域)
	再利用の想定	無	無	無
	最も配慮すべき曝露環境	最初の用途の状態	最初の用途の状態	最初の用途の状態
(5)放出経路に対応した試験項目	放出経路	溶出経路	溶出経路 直接摂取経路	溶出経路 直接摂取経路
	試験項目	溶出量試験	溶出量試験 含有量試験	溶出量試験 含有量試験
(6)利用形態を模擬した試験方法	試料 ※1	有姿または材料単味	有姿または材料単味	有姿または材料単味
	試験方法 ※2	JIS K0058-1 の 5	平成 15 年環告 18 号 平成 15 年環告 19 号	平成 15 年環告 18 号 平成 15 年環告 19 号
(7)環境基準等を遵守できる環境安全品質基準 ※3		港湾用途溶出量基準	一般用途溶出量基準 含有量基準	一般用途溶出量基準 含有量基準
(8)環境安全品質を保証するための合理的な検査体系		各検査の責任者はリサイクル材料の製造者を基本とし、検査の頻度等を適切に設定		各検査の責任者はリサイクル材料の製造者を基本とし、検査の頻度等を適切に設定

※1　試料は、最も配慮すべき暴露環境における状態を模擬した試料（利用模擬試料）を調製することを基本とし、リサイクル材料を単味で用いることも可能とされている。

※2　溶出量試験ならびに含有量試験の方法は、最も配慮すべき曝露環境を模擬した方法が適切であり、現状ではそれぞれスラグ類の化学物質試験方法である JIS K0058-1 の 5（有姿撹拌試験）ならびに JIS K0058-2 が適当とされている。ただし、土壌と混合利用する場合は、土壌汚染対策法に基づく平成 15 年環境省告示第 18 号及び第 19 号を適用すべきとされている。

※3　溶出量基準については、影響を与える周辺環境が表流水または地下水の場合は「一般用途溶出量基準」、海水の場合は「港湾用途溶出量基準」が設定されている。

※4　JIS 検討報告書：「コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書」（平成 24 年 3 月、経済産業省）において、建設分野のあらゆる循環資材に共通の環境安全品質及びその検査方法の導入に向けた考え方として提案されたものである。

表 1.4.5（4）その他リサイクル材料の考え方

（JIS 検討報告書※4 をまとめたもので、利用者の判断で参考することができるもの）

●利用に当たっては、以下の点に留意すること。

・*斜体*はスラグ類における考え方をその他リサイクル材料に拡張した考え方である。
・下線部は本ガイドラインで補足した情報である。

(1)工種		舗装工			その他	
(2)用途		⑮路盤材	⑯As 舗装骨材	⑯As フィラー材	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	⑱その他
(3)出典		JIS 検討報告書※4		— (⑯As 舗装骨材を参考に検討)	JIS 検討報告書※4	—
(4)最も配慮すべき曝露環境	最初の用途(主な用途)	*路盤*	*As 舗装*	As 舗装	土木構造物(港湾)	
	再利用の想定	有 *(現場内再利用、再生路盤材、発生土残土処分場)*	有 *(現場内再利用、As 混合物用再生骨材、再生路盤材)*	有(現場内再利用、As 混合物用再生骨材、再生路盤材)	無	
	最も配慮すべき曝露環境	再生路盤の状態		再生路盤の状態	最初の用途の状態	
(5)放出経路に対応した試験項目	放出経路	溶出経路 直接摂取経路		溶出経路 直接摂取経路	溶出経路 直接摂取経路	
	試験項目	溶出量試験 含有量試験		溶出量試験 含有量試験	溶出量試験 含有量試験	
(6)利用形態を模擬した試験方法	試料 ※1	*有姿または材料単味*	*成形体を作成後、破砕・粒度調整したもの、または材料単味*	成形体を作成後、破砕・粒度調整したもの、または材料単味	有姿または材料単味	
	試験方法 ※2	JIS K0058-1 の 5 JIS K0058-2		JIS K0058-1 の 5 JIS K0058-2	JIS K0058-1 の 5 JIS K0058-2	
(7)環境基準等を遵守できる環境安全品質基準 ※3		一般用途溶出量基準 含有量基準		一般用途溶出量基準 含有量基準	港湾用途溶出量基準 含有量基準	
(8)環境安全品質を保証するための合理的な検査体系		各検査の責任者はリサイクル材料の製造者を基本とし、検査の頻度等を適切に設定		各検査の責任者はリサイクル材料の製造者を基本とし、検査の頻度等を適切に設定	各検査の責任者はリサイクル材料の製造者を基本とし、検査の頻度等を適切に設定	

※1　試料は、最も配慮すべき暴露環境における状態を模擬した試料（利用模擬試料）を調製することを基本とし、リサイクル材料を単味で用いることも可能とされている。

※2　溶出量試験ならびに含有量試験の方法は、最も配慮すべき曝露環境を模擬した方法が適切であり、現状ではそれぞれスラグ類の化学物質試験方法である JIS　K0058-1 の 5（有姿撹拌試験）ならびに JIS　K0058-2 が適当とされている。ただし、土壌と混合利用する場合は、土壌汚染対策法に基づく平成 15 年環境省告示第 18 号及び第 19 号を適用すべきとされている。

※3　溶出量基準については、影響を与える周辺環境が表流水または地下水の場合は「一般用途溶出量基準」、海水の場合は「港湾用途溶出量基準」が設定されている。

※4　JIS 検討報告書：「コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書」（平成 24 年 3 月、経済産業省）において、建設分野のあらゆる循環資材に共通の環境安全品質及びその検査方法の導入に向けた考え方として提案されたものである。

1.4.3　施工に当たっての留意事項

リサイクル材料を利用した施工にあたっては、材料特性に応じて、適切に運搬、貯蔵するとともに、適切な施工管理を行うものとする。

（解説）

リサイクル材料の中には、水硬性を有するものなど天然資源と異なる材料特性を有するものがあるため、施工時の運搬、貯蔵等の方法について留意する。

また、材料特性に応じて、適切な施工管理、検査を行うよう留意する。

1.4.4　維持管理にあたっての留意事項

リサイクル材料を利用した港湾・空港等の構造物については、材料特性を踏まえ、適切に維持管理を行うものとする。

（解説）

リサイクル材料の中には、天然資源と異なり、経時的に性質が変化するものがあることから、維持管理上の配慮事項を維持管理計画等に記載しておくことが望ましい。

また、補修・補強、改良等を行う場合、リサイクル材料が露出し、又は建設副産物として取り扱う必要がある場合もあるため、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

なお、発生した建設副産物をリサイクル材料として再利用する場合は、本ガイドラインの該当箇所を参照し、適切に取り扱う。

1.5 リサイクル材料の利用手順

リサイクル材料を利用する際は、リサイクル材料の特性、対象用途の要求性能、施工条件、経済性等を勘案し、関係法令を遵守の上、十分な検討を行うものとする。

（解説）

リサイクル材料の利用にあたっては、以下のフローを参考にできる。

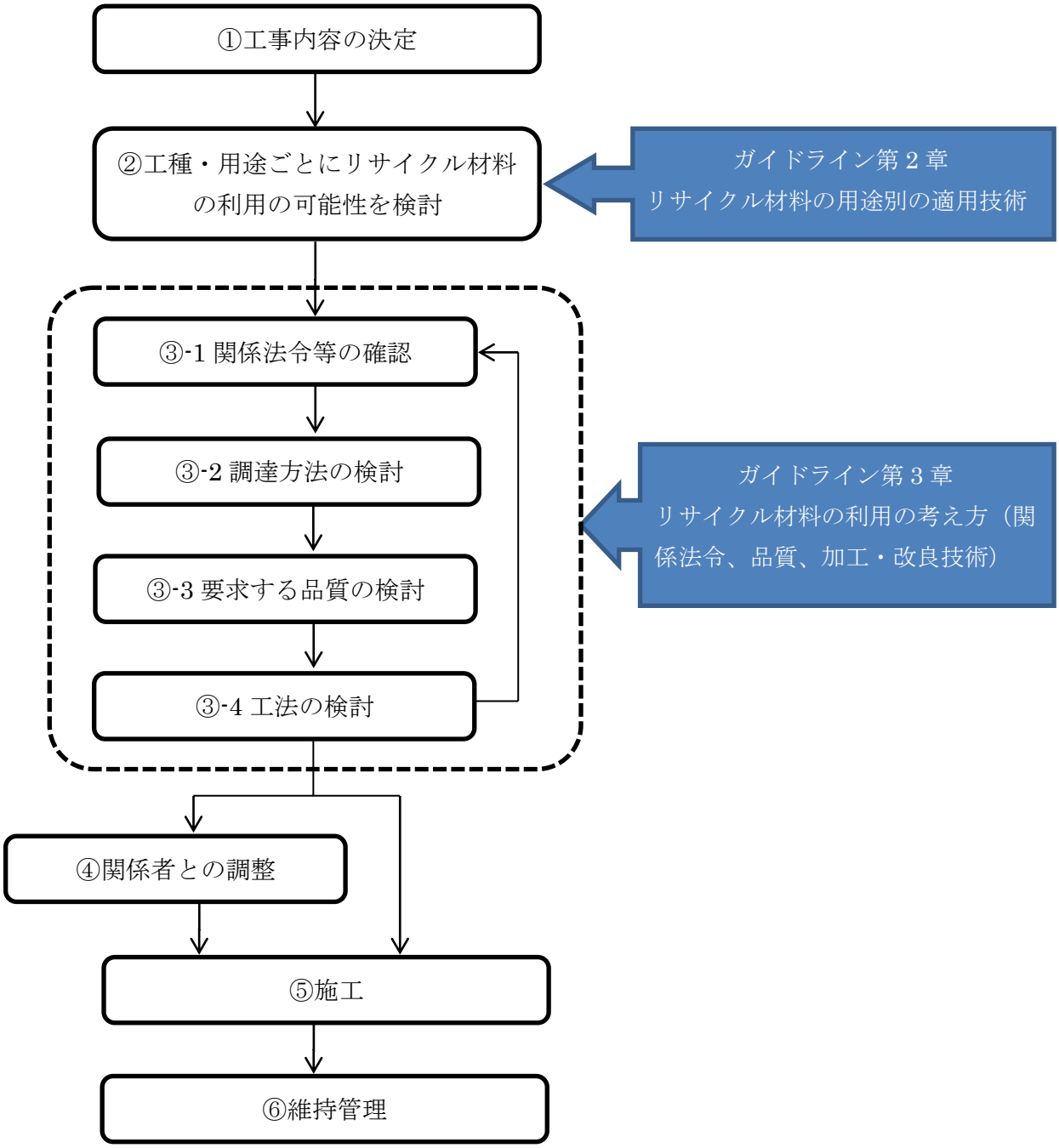


図 1.5.1　リサイクル材料の利用フロー

①工事内容の決定

工事の目的（構造物の種類）を踏まえ、対象工事において実施が予定される工種・用途を確認する。

②工種・用途ごとにリサイクル材料の利用の可能性を検討

対象工事における各工種・用途についてリサイクル材料を利用する工種・用途を選定する。

＜ガイドラインの利用方法＞

1)「リサイクル材料の利用技術の状況表」で該当する用途の各材料の評価を確認し、利用可能性のあるリサイクル材料を確認する。
（本ガイドラインで、◎、○$^{+}$、○と評価した材料については、利用できる可能性が高い。△の材料については十分に適用性について確認する。）

2）ガイドライン第 2 章（リサイクル材料の用途別の適用技術）を参照し、各工種・用途においてリサイクル材料を利用する場合の基本方針について確認する。

③材料の選定

③-1 関係法令等の確認

各材料を当該工事の用途、場所で利用する場合の関係法令等での取り扱いについて、確認する。

＜ガイドラインの利用方法＞

1）ガイドライン第 3 章（リサイクル材料の利用の考え方）を参照し、各材料に係る関係法令等について確認する。

③-2 調達方法の検討

リサイクル材料の調達先、調達方法について、適切な方法を検討する。

＜ガイドラインの利用方法＞

1）ガイドライン第 3 章（リサイクル材料の利用の考え方）における各材料の供給量、調達実績等より、調達の可能性や経済性について確認する。

2）調達の可能性や経済性を踏まえ、調達先、調達方法（陸送、海送等）を検討する。

③-3 要求する品質の検討

各工種・用途について、品質面から対象工事に適したリサイクル材料を選定する。選定にあたっては、関連するマニュアル類、既存事例等を参照するとともに、必要に応じて室内・現地試験等の実施により、材料の安定性、環境安全性を確認する。

＜ガイドラインの利用方法＞

1）ガイドライン第 3 章（リサイクル材料の利用の考え方）を参照し、各材料の特性について確認する。

2）施工規模、内容、場所等の特性を踏まえ、対象工事に利用するリサイクル材料を選定する。

③-4 工法の検討

リサイクル材料を利用した施工について、適切な工法を検討する。

＜ガイドラインの利用方法＞

1）ガイドライン第 3 章（リサイクル材料の利用の考え方）を参照し、対象工事及び利用しようとするリサイクル材料の特性を踏まえ、工法を検討する。

④関係者との調整

リサイクル材料の環境安全性について、適用先の親水利用、水産利用の状況等の特性を踏まえ、必要に応じて関係者（行政機関、漁業者等）との調整を行う。

⑤施工

選定した調達方法及び工法により、施工を行う。

施工に当たっては、各材料や用途で規定されている品質管理の考え方に従い、室内試験やモニタリング調査等により、適宜、要求品質を満足していることや環境安全性が確保されていることを確認する。

⑥維持管理

リサイクル材料の特性を踏まえた、維持管理計画書等を作成し、適切な維持管理を実施する。

第 2 章　リサイクル材料の用途別の適用技術

第 2 章 リサイクル材料の用途別の適用技術

2.1 コンクリート用細骨材・粗骨材、混和材 2-1-1
2.2 バーチカルドレーン及びサンドマット材 2-2-1
2.3 サンドコンパクションパイル材 2-3-1
2.4 深層混合処理固化材 2-4-1
2.5 捨石 2-5-1
2.6 中詰材 2-6-1
2.7 被覆石、根固・消波ブロック 2-7-1
2.8 裏込材 2-8-1
2.9 裏埋材 2-9-1
2.10 盛土材、覆土材、載荷盛土材 2-10-1
2.11 埋立材 2-11-1
2.12 路床盛土材 2-12-1
2.13 路盤材、As 舗装骨材、As フィラー材 2-13-1
2.14 藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工海浜等 2-14-1
2.15 その他 2-15-1

第2章 リサイクル材料の用途別の適用技術

2.1　コンクリート用細骨材・粗骨材、混和材

2.1.1　対象とするリサイクル材料

コンクリート用細骨材・粗骨材、混和材には、表 2.1.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点でコンクリート用細骨材・粗骨材、混和材として利用可能性のある材料は、**表 2.1.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.1.1　コンクリート用細骨材・粗骨材、混和材へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種用途					技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	コンクリート工		
						①ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	②ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	③混和材
建設副産物	建設発生土		01	－	3．1 建設発生土	－	－	－
	浚渫土砂	砂質系	02	1	3．2 浚渫土砂	－	－	－
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）		2		－	－	－
	アスファルト・コンクリート塊		03	－	3．3 アスファルト・コンクリート塊	×	×	－
	コンクリート塊		04	－	3．4 コンクリート塊	◎（再生骨材）	◎（再生骨材）	－
	建設発生木材		05	－	3．5 建設発生木材	－	－	－
	建設汚泥		06	－	3．6 建設汚泥	－	－	－
産業副産物	鉄鋼スラグ 高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7 高炉スラグ	◎（水砕）	◎（徐冷）	－
		高炉スラグ微粉末		2		－	－	◎
		土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		－	－	－
	鉄鋼スラグ 製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8 製鋼スラグ	◎	◎	－
		土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		－	－	－
	鉄鋼スラグ 鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9 鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	－	－	－
		水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		－	－	－
	鉄鋼スラグ 鉄鋼スラグ二次製品 固化体	鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10 鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	－	－	－
		鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		－	－	－
	鉄鋼スラグ 鉄鋼スラグ二次製品 その他	浚渫土改質材		3		－	－	－
		生物共生材		4		－	－	－
	石炭灰 フﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11 フライアッシュ	◎	－	◎
		非JIS灰		2		◎	－	△
	石炭灰 ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	－	3．12 クリンカアッシュ	△	－	－
	石炭灰 二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13 石炭灰二次産品	－	－	－
		石炭灰造粒物		2		－	－	－
	非鉄スラグ 銅ｽﾗｸﾞ		14	－	3．14 銅スラグ	◎	－	－
	非鉄スラグ ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	－	3．15 フェロニッケルスラグ	◎	◎	－
	非鉄スラグ 亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	－	3．16 亜鉛スラグ	－	－	－
	貝殻 カキ殻等		17	1	3．17 貝殻	△（砂混合）	×	－
	貝殻 ホタテ殻等			2		○+（砂混合）	－	－
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）		18	－	3．18 エコスラグ	◎	△	－
	破砕瓦		19	－	3．19 破砕瓦	○	－	－
	廃石膏ボード 再生石膏粉		20	－	3．20 再生石膏粉	－	－	－
	廃ガラス 廃ガラス再生資材		21	－	3．21 ガラス再生資材	△	－	－
	廃ガラス ガラス発泡リサイクル資材		22	－	3．22 ガラス発泡リサイクル資材	－	－	－
	ペーパースラッジ ペーパスラッジ		23	－	3．23 ペーパースラッジ	－	－	－
	ペーパースラッジ ペーパースラッジ焼却灰		24	－	3．24 ペーパースラッジ焼却灰	－	－	－
	古紙		25	－	3．25 古紙	－	－	－
	砕石微粉末		26	－	3．26 砕石微粉末	△（乾燥状砕石粉）	－	－
	粒調Fe石灰路盤材		27	－	3．27 粒調Fe石灰路盤材	－	－	－

【総合評価】
◎ ： 既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+： 利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○ ： 標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△ ： 利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
× ： 現段階では利用は難しいと考えるもの
― ： 用途対象外

2.1.2　リサイクル材料利用の基本方針

コンクリート用細骨材・粗骨材、混和材として用いるリサイクル材料及びリサイクル材料を用いたコンクリートは、「港湾工事共通仕様書」、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、「空港土木工事共通仕様書」等に示す品質を満足することとする。

（解説）

コンクリートの品質及び性能について**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、「空港土木工事共通仕様書」**に規定されている。これらは港湾における海水作用や波浪、気象作用に対する抵抗性及び空港においては航空機等の重交通荷重やすり減り抵抗性等といった特殊性について規定されており、その他の一般的事項については**コンクリート標準示方書（土木学会）**に従うことを原則としている。よってリサイクル材料を用いたコンクリートは、これらを満足する品質及び性能を有する必要がある。

また、コンクリートの材料として用いる骨材（細骨材・粗骨材）及び混和材の品質については、**表 2.1.2** に示す通り、**「港湾工事共通仕様書」、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、「空港土木工事共通仕様書」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。しかし、一部のリサイクル材料は品質のばらつきが大きいことや、これらの規定に適合させるために経済的に割高になる等の制約が生じることもある。これらについては、高い強度・高い耐久性が要求されない構造物等への適用を検討し、当該構造物の要求品質を勘案して、試し練り等においてコンクリートの品質・性能を確認することとする。

表 2.1.2（1）　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（コンクリート用細骨材・粗骨材、混和材）

工種		コンクリート工	
用途		コンクリート用細骨材、コンクリート用粗骨材	混和材
港湾工事	港湾工事共通仕様書 [令和5年3月]	ｺﾝｸﾘｰﾄ用砕石及びｺﾝｸﾘｰﾄ用ｽﾗｸﾞ骨材は、以下の規格に適合しなければならない。 ・JIS A 5005 ｺﾝｸﾘｰﾄ用砕石及び砕砂 ・JIS A 5011 ｺﾝｸﾘｰﾄ用ｽﾗｸﾞ骨材(高炉ｽﾗｸﾞ、ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ、銅ｽﾗｸﾞ、電気炉酸化ｽﾗｸﾞ) ・JIS A 5021 ｺﾝｸﾘｰﾄ用再生骨材H ｾﾒﾝﾄｺﾝｸﾘｰﾄ用骨材について、粒度分布、品質、試験方法を規定。	混和材のフライアッシュ、高炉スラグ微粉末、コンクリート用膨張材は、以下の規格に適合しなければならない。 ・JIS A 6201 ｺﾝｸﾘｰﾄ用ﾌﾗｲｱｯｼｭ ・JIS A 6206 ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ微粉末 ・JIS A 6202 ｺﾝｸﾘｰﾄ用膨張材
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	骨材は、以下の規格を満足する品質のものを用いる。 ・JIS A 5308（ﾚﾃﾞｨｰﾐｸｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ）附属書A 清浄、堅硬、耐久的で適切な粒度を持ち、有機不純物、塩化物等の有害物質量を一定量以上含んでいないものを用いる必要がある。また、ゴミ、泥、薄い石片、細長い石片を含むもの、吸水性の高いもの、膨潤性のあるもの等は不適当である。 JIS を満足しない骨材（サンゴ由来の骨材等）を用いる際は、事前に十分な検討が必要である。	混和材としてのフライアッシュ、高炉スラグ微粉末は、以下の規格に適合したものを用いる。 ・JIS A 6201 ｺﾝｸﾘｰﾄ用ﾌﾗｲｱｯｼｭ ・JIS A 6206 ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ微粉末 前者を用いる場合はフライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）、後者を用いる場合は高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針（案）を参照することができる。上記以外の混和材は、試験、過去の実績等によってその性能を確認する必要がある。

表 2.1.2 (2)　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（コンクリート用細骨材・粗骨材、混和材）

工種		コンクリート工	
用途		コンクリート用細骨材、コンクリート用粗骨材	混和材
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書［令和4年4月］	ｺﾝｸﾘｰﾄ用砕石及びｺﾝｸﾘｰﾄ用ｽﾗｸﾞ粗（細）骨材は、以下の規格に適合するものとする。 ・JIS A 5308（ﾚﾃﾞｨｰﾐｸｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ）附属書A（ﾚﾃﾞｨｰﾐｸｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ用骨材） ・JIS A 5005 ｺﾝｸﾘｰﾄ用砕石及び砕砂 ・JIS A 5011 ｺﾝｸﾘｰﾄ用ｽﾗｸﾞ骨材(高炉ｽﾗｸﾞ、ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ、銅ｽﾗｸﾞ、電気炉酸化ｽﾗｸﾞ) ・JIS A 5021 ｺﾝｸﾘｰﾄ用再生骨材H ｾﾒﾝﾄｺﾝｸﾘｰﾄ用骨材について、粒度、すりへり減量等を規定。	混和材として用いるフライアッシュ、高炉スラグ微粉末、コンクリート用膨張材は、以下の規格に適合するものを標準とする。 ・JIS A 6201 ｺﾝｸﾘｰﾄ用ﾌﾗｲｱｯｼｭ ・JIS A 6206 ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ微粉末 ・JIS A 6202 ｺﾝｸﾘｰﾄ用膨張材
	空港土木施設設計要領及び設計例(構造設計編)［平成31年4月］	空港土木施設に使用するコンクリートの材料は、施設の要求性能を確保するために必要な品質を有するものとする。なお、この条件を満足するものの一例として、日本産業規格に適合するものがある。	
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）［平成31年4月］	特になし	
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・JIS A 5022 再生骨材Mを用いたｺﾝｸﾘｰﾄ ・JIS A 5023 再生骨材Lを用いたｺﾝｸﾘｰﾄ ・JIS A 5031 一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したｺﾝｸﾘｰﾄ用溶融ｽﾗｸﾞ骨材 ・JIS A 5041 コンクリート用砕石粉 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ副産物の再生利用に関する用途別品質基準［国土交通省通知、平成28年3月］ ・高炉ｽﾗｸﾞ骨材ｺﾝｸﾘｰﾄ施工指針［土木学会、平成5年7月］ ・高炉スラグ細骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の設計・製造・施工指針（案）［土木学会、平成31年3月］ ・電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの設計・施工指針(案)［土木学会、平成15年3月］ ・石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）［(一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月］ ・銅ｽﾗｸﾞ細骨材を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの設計施工指針［土木学会、平成28年7月］ ・ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ骨材を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの設計施工指針［土木学会、平成28年7月］ ・港湾・空港工事における非鉄ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ［(一財)沿岸技術研究センター、平成27年9月］ ・港湾構造物へのｼｪﾙｺﾝｸﾘｰﾄ適用ｶﾞｲﾄﾞﾗｲﾝ（案）改訂版［仙台港湾空港技術調査事務所、平成21年3月］ ・建設工事における他産業ﾘｻｲｸﾙ材料利用技術ﾏﾆｭｱﾙ［編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成18年4月］	・高炉ｽﾗｸﾞ微粉末を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの設計・施工指針[土木学会、平成30年9月］ ・ﾌﾗｲｱｯｼｭを用いたｺﾝｸﾘｰﾄの施工指針(案)［土木学会、平成11年4月］ ・混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）［土木学会、平成30年9月］

2.1.3　要求品質及び性能

(1) 骨材（細骨材・粗骨材）

リサイクル材料による骨材には、用途に見合う所要の品質を満足するコンクリートが得られるものを用いることとする。

（解説）

リサイクル材料による骨材は、通常の骨材と同様に清浄、堅硬、耐久性で、適切な粒度を持ち、有機不純物、塩化物等の有害量を含んでいないものを用いる必要がある。また、ゴミ、泥、薄い石片、細長い石片を含むもの、吸水率の高いもの、膨潤性のあるもの等は不適当である。

リサイクル材料による骨材の品質に係る品質規格の規定の状況は、**表 2.1.3** に示すとおりである。コンクリート塊、鉄鋼スラグ（高炉スラグ、電気炉酸化スラグ）、非鉄スラグ（銅スラグ、フェロニッケルスラグ）、エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）、砕石微粉末を利用した骨材の品質については、JIS で規定されており、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることを原則とする。

なお、骨材は粒度により細骨材（10㎜ ふるいを全部通り 5㎜ ふるいを質量で 85%以上通る骨材）と粗骨材（5㎜ ふるいに質量で 85%以上とどまる骨材）に分類され、試験方法等が異なるため留意が必要である。

表 2.1.3　リサイクル材料による骨材の品質に係る品質規格

リサイクル材料の名称	骨材の名称	品質規格の名称	
		細骨材	粗骨材
コンクリート塊	再生骨材 H（高品質）	JIS A 5021「コンクリート用再生骨材 H」	
	再生骨材 M（中品質）	JIS A 5022「再生骨材 M を用いたコンクリート」	
	再生骨材 L（低品質）	JIS A 5023「再生骨材 L を用いたコンクリート」	
高炉スラグ	高炉スラグ骨材	JIS A 5011-1「コンクリート用スラグ骨材-第 1 部：高炉ｽﾗｸﾞ骨材」	
製鋼スラグ	電気炉酸化スラグ骨材	JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材-第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」	
銅スラグ	銅スラグ骨材	JIS A 5011-3「コンクリート用スラグ骨材-第 3 部：銅スラグ骨材」	－
フェロニッケルスラグ	フェロニッケルスラグ骨材	JIS A 5011-2「コンクリート用スラグ骨材-第 2 部：フェロニッケルスラグ骨材」	
エコスラグ	溶融スラグ骨材	JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」	
砕石微粉末	コンクリート用砕石粉	JIS A 5041「コンクリート用砕石粉」	－

(2) 混和材

リサイクル材料による混和材には、用途に見合う所要の品質を満足するコンクリートが得られるものを用いることとする。

（解説）

混和材は、コンクリートの品質を改善することを主な目的として、コンクリートに混合するセメント・水・骨材以外の材料の総称である。

リサイクル材料による混和材の品質に係る品質規格の規定の状況は、**表 2.1.4** に示すとおりである。高炉スラグ微粉末、石炭灰（フライアッシュ）を利用した骨材の品質については、JIS で規定されており、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることを原則とする。ただし、フライアッシュについては、JIS に適合しない材料（非 JIS 灰）についても、コンクリートの圧縮強度及び乾燥収縮ひずみ、フレッシュ性状及び硬化性状が JIS に適合する材料（JIS 灰）を使用したものと同程度の性能を有することを確認された事例[1]があり、コンクリートを利用しようとする用途への利用可能性を十分検討した上で利用することができる。

表 2.1.4　リサイクル材料による混和材の品質に係る品質規格

リサイクル材料の名称	混和材の名称	品質規格の名称
高炉スラグ	高炉スラグ微粉末	JIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」
フライアッシュ	フライアッシュ	JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」

(3) コンクリート

リサイクル材料をコンクリート用細骨材や粗骨材、あるいは混和材として用いたコンクリートは、通常のコンクリートと同様に、品質のばらつきが少なく、作業に適するワーカビリティを有するとともに、硬化後は所要の強度、耐久性、水密性、ひび割れ抵抗性並びに鋼材を保護する性能などを有するものでなければならない。

（解説）

コンクリートは構造物の種類、環境条件、部材断面に応じて、所要の品質及び性能を有する必要がある。

港湾コンクリート構造物のうち海水の作用を受けるコンクリートは、凍結融解作用、海水中の塩類の作用による劣化、水酸化カルシウムの溶脱、鉄筋の腐食による劣化、有害な骨材反応による劣化及び波浪や漂流固化物の作用による劣化等の有害な作用に対する抵抗性を有する必要がある。

また、空港舗装のコンクリートは設計基準曲げ強度が 5.0N/mm^2 と道路舗装用のものより大きいこと、更にすり減り抵抗性を有する必要があることに注意する。

[1] 非 JIS 石炭灰のｺﾝｸﾘｰﾄ用材料としての有効利用に関する研究(日本建築学会九州支部研究報告、平成 14 年 3 月)

2.1.4　適用方法

(1) コンクリート構造物の設計

リサイクル材料を用いたコンクリート構造物の設計は、通常のコンクリート構造物と同様に関係する基準類に基づいて行うことを標準とする。

（解説）

リサイクル材料を港湾・空港等施設のコンクリート用材として用いる場合は、通常のコンクリート構造物と同様に、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**、**「空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）」**等によって設計することを標準とする。また、以下の設計に関する基準が参考にできる。

(a) 道路橋示方書・同解説（日本道路協会）

(b) 舗装の構造に関する技術基準・同解説（日本道路協会）

(c) 鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）（鉄道総合技術研究所編）

(d) 海洋コンクリート構造物設計施工指針（土木学会）

(2) 配合設計

リサイクル材料を用いたコンクリートの配合設計は、通常のコンクリートと同様の方法によることを標準とする。

（解説）

リサイクル材料を用いたコンクリートの配合は、通常のコンクリートと同様に所要の強度、耐久性、水密性、ひび割れ抵抗性、鋼材を保護する性能及び作業性に適するワーカビリティをもつ範囲内で、単位水量をできるだけ少なくするよう定める必要がある。また、通常のコンクリートと同様に所要の品質（一般に強度、水密性、耐久性及びワーカビリティなど）をもつコンクリートが経済的に得られるよう定める必要がある。

2.2　バーチカルドレーン及びサンドマット材

2.2.1　対象とするリサイクル材料

バーチカルドレーン及びサンドマット材には、表 2.2.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点でバーチカルドレーン及びサンドマット材として利用可能性のある材料は、**表 2.2.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.2.1　バーチカルドレーン及びサンドマット材へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種 用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	地盤改良工
							④ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1　建設発生土	△（砂質系）
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2　浚渫土砂	△
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		–
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3　アスファルト・コンクリート塊	–
	コンクリート塊			04	–	3．4　コンクリート塊	△
	建設発生木材			05	–	3．5　建設発生木材	–
	建設汚泥			06	–	3．6　建設汚泥	△
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7　高炉スラグ	–
			高炉スラグ微粉末		2		–
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		◎（ｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ）
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8　製鋼スラグ	–
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		–
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9　鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品	固化体 鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10　鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	–
			固化体 鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		–
			その他 浚渫土改質材		3		–
			その他 生物共生材		4		–
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11　フライアッシュ	–
			非JIS灰		2		–
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	–	3．12　クリンカアッシュ	△
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13　石炭灰二次産品	–
			石炭灰造粒物		2		○
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	–	3．14　銅スラグ	–
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	–	3．15　フェロニッケルスラグ	○+
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	–	3．16　亜鉛スラグ	–
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17　貝殻	–
		ホタテ殻等			2		○（砂混合）
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18　エコスラグ	△
	破砕瓦			19	–	3．19　破砕瓦	–
	ボード 廃石膏	再生石膏粉		20	–	3．20　再生石膏粉	–
	ガラス 廃ガラ	ガラス再生資材		21	–	3．21　ガラス再生資材	○（再生砂）
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22　ガラス発泡リサイクル資材	–
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	–	3．23　ペーパースラッジ	–
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24　ペーパースラッジ焼却灰	–
	古紙			25	–	3．25　古紙	–
	砕石微粉末			26	–	3．26　砕石微粉末	–
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27　粒調Fe石灰路盤材	–

【総合評価】
◎　：　既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+：　利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○　：　標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△　：　利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
×　：　現段階では利用は難しいと考えるもの
—　：　用途対象外

2.2.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料をバーチカルドレーン及びサンドマット材として用いる場合、「港湾工事共通仕様書」、「空港土木工事共通仕様書」等に示す品質を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料をバーチカルドレーン及びサンドマット材として用いる場合、利用場所に応じて**「港湾工事共通仕様書」**または**「空港土木工事共通仕様書」**に示される品質基準を満足するものを利用するとともに、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法に準拠して適切に行う必要がある。バーチカルドレーン及びサンドマット材に利用する材料の品質については、**表 2.2.2** に示す通り、**「港湾工事共通仕様書」**、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**、**「空港土木工事共通仕様書」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。

環境に対する影響としては、ドレーン排水やサンドマット内を通過した雨水等による影響、陸域での施工においては粉じん等を人が直接摂取（摂食及び皮膚接触）することによる健康影響が考えられる。実際に使用する材料の溶出特性を把握した上で、必要であれば排水処理等についても検討し、周辺環境に対して十分に配慮する必要がある。

表 2.2.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（バーチカルドレーン及びサンドマット材）

工種		地盤改良工
用途		バーチカルドレーン及びサンドマット材
港湾工事	港湾工事共通仕様書［令和5年3月］	使用する砂は、透水性の良いものでなければならない。また、粒度分布について規定。シルト含有量は設計図書の定めによる。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	砂杭に用いる砂は透水性が良く、しかも粘土粒子による目詰まりが生じないような粒度の良いもの用いる。
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書［令和4年4月］	使用する砂は、透水性の良いものとし、粒度分布について規定。シルト含有量は特記仕様書の定めによる。 砂の種類、品質、形状寸法は設計図書の定めによる。
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）[平成31年4月	特になし
	空港土木施設舗装設計要領及び設計例（舗装設計編）［平成31年4月］	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・港湾・空港における水砕ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ［（財）沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成19年12月］ ・石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）［(一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月］ ・石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）［土木学会、令和3年3月］ ・港湾・空港工事における非鉄ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ［(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年9月］ ・港湾工事用ｴｺｽﾗｸﾞ利用手引書［(社)日本産業機械工業会、(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成18年10月］ ・リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブG技術資料 2022年4月版[ガラスリソーシング株式会社]

2.2.3　要求品質及び性能

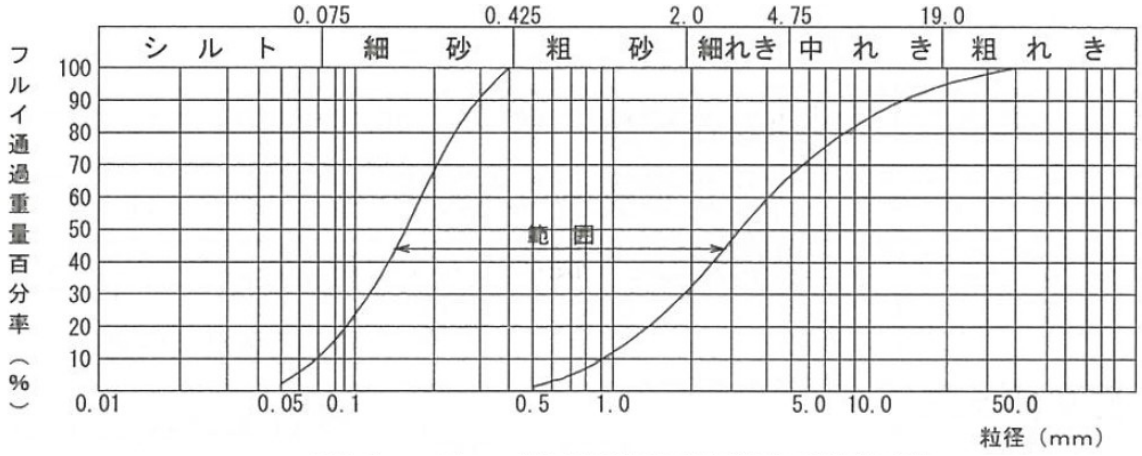
バーチカルドレーン及びサンドマット材には、透水性が良い材料を利用することとする。

（解説）

一般に、バーチカルドレーン及びサンドマットに用いる砂は透水性がよく、粘土粒子による目詰まりが生じないようなものが使用される。

「港湾工事共通仕様書」及び**「空港土木工事共通仕様書」**において、バーチカルドレーン及びサンドマット材として使用する砂または砕石について、**図 2.2.1** のとおり粒径分布を定めるとともに透水性のよいものとするとされている。

一方、リサイクル材料の中には水和反応によって経時的に硬化し透水性が低下していくものもあるため、留意が必要である。



出典）空港土木工事共通仕様書（令和 4 年 4 月）

図 2.2.1　使用砂の粒径加積曲線の例（空港土木工事共通仕様書）

2.2.4　適用方法

リサイクル材料を用いたバーチカルドレーン及びサンドマットの設計は、粒状材料として、材料の持つ透水性、水硬性等の性質をよく把握した上で「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される天然の砂や砂利を対象とした方法に準拠して適切に行うこととする。

（解説）

リサイクル材料を用いたバーチカルドレーン及びサンドマットの設計は、粒状材料としてその性質をよく把握した上で天然の材料との違いに注意しながら**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法によって行う。ただし、リサイクル材料には性質にばらつきがあるものも多く、水硬性等のような天然の砂や砂利にはない性質を持つものもあるので、材料の選定に際しては改良後の土地利用を考慮するとともに、設計においては実際に利用するリサイクル材料の性質をよく把握して、適切な設計定数を用いて設計を行うことが肝要である。

2.3　サンドコンパクションパイル材

2.3.1　対象とするリサイクル材料

サンドコンパクションパイル材には、表 2.3.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点でサンドコンパクションパイル材として利用可能性のある材料は、**表 2.3.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.3.1　サンドコンパクションパイル材へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	地盤改良工
							⑤ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1　建設発生土	◎（砂質系）
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2　浚渫土砂	△
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		△
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3　アスファルト・コンクリート塊	–
	コンクリート塊			04	–	3．4　コンクリート塊	○+
	建設発生木材			05	–	3．5　建設発生木材	–
	建設汚泥			06	–	3．6　建設汚泥	△
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7　高炉スラグ	–
			高炉スラグ微粉末		2		–
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		○+（粘性土であれば高置換）
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8　製鋼スラグ	–
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		◎（粘性土であれば高置換）
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9　鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		◎（粘性土であれば高置換）
		鉄鋼スラグ二次製品 固化体	鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10　鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	–
			鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		–
		その他	浚渫土改質材		3		–
			生物共生材		4		–
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11　フライアッシュ	–
			非JIS灰		2		–
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	–	3．12　クリンカアッシュ	○+
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13　石炭灰二次産品	–
			石炭灰造粒物		2		○+
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	–	3．14　銅スラグ	○+
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	–	3．15　フェロニッケルスラグ	◎
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	–	3．16　亜鉛スラグ	–
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17　貝殻	△（砂混合）
		ホタテ殻等			2		○（砂混合）
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18　エコスラグ	○+
	破砕瓦			19	–	3．19　破砕瓦	–
	廃石膏ボード	再生石膏粉		20	–	3．20　再生石膏粉	–
	廃ガラス	ガラス再生資材		21	–	3．21　ガラス再生資材	○（再生砂）
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22　ガラス発泡リサイクル資材	–
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	–	3．23　ペーパースラッジ	–
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24　ペーパースラッジ焼却灰	–
	古紙			25	–	3．25　古紙	–
	砕石微粉末			26	–	3．26　砕石微粉末	–
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27　粒調Fe石灰路盤材	–

【総合評価】
◎　：　既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+：　利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○　：　標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△　：　利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
×　：　現段階では利用は難しいと考えるもの
—　：　用途対象外

2.3.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料をサンドコンパクションパイル材として用いる場合、要求性能に応じた品質を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料をサンドコンパクションパイル材として用いる場合、砂質土地盤、粘性土地盤によって要求品質及び性能が異なることに留意し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法に準拠して適切に行う必要がある。特に、置換率の低い用途に用いる場合、固化が生じないよう注意が必要である。

サンドコンパクションパイル材に利用する材料の品質については、**表 2.3.2** に示す通り、**「港湾工事共通仕様書」**、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**、**「空港土木工事共通仕様書」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。なお、破砕しやすい材料については、締固め後の粒度分布が規定に適合するよう注意が必要である。

環境に対する影響としては、砂杭からの溶出水による海水や地下水への影響、陸域での施工においては粉じん等を人が直接摂取（摂食及び皮膚接触）することによる健康影響等が考えられる。実際に使用する材料の溶出特性を把握した上で周辺環境に対して十分に配慮する必要がある。

表 2.3.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（サンドコンパクションパイル材）

工種		地盤改良工
用途		サンドコンパクションパイル材
港湾工事	港湾工事共通仕様書［令和5年3月］	使用する砂は、透水性の良いものでなければならない。また、粒度分布について規定。シルト含有量は設計図書の定めによる。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	砂杭の材料としては、透水性が高く、細粒分(75μm未満)の含有量が少なく、粒度分布が良く、締まりやすく、十分な強度が期待でき、かつ、ケーシングからの排出が容易なものが望ましい。
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書［令和4年4月］	砂杭の施工範囲、置換率、締固め度は設計図書の定めによる。
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）[平成31年4月]	特になし
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）[平成31年4月]	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・港湾・空港における水砕ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ［（財）沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成19年12月］ ・港湾・空港・海岸等における製鋼ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[（一財）沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年2月] ・石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）[(一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月] ・石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）[土木学会、令和3年3月] ・港湾・空港工事における非鉄ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年9月] ・港湾工事用ｴｺｽﾗｸﾞ利用手引書[(社)日本産業機械工業会、(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成18年10月] ・リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブG技術資料 2022年4月版[ガラスリソーシング株式会社]

2.3.3　要求品質及び性能

(1) 砂質土地盤を対象とする場合

材料のせん断抵抗角や単位体積重量等の物理・力学的性質についての要請は小さい。

（解説）

砂質土を締固めるためのサンドコンパクションパイル工法では、一般的に置換率が低く、杭自体のせん断強度や重量等の性質は改良地盤にはほとんど影響しない。そのため設計においても材料のせん断抵抗角や単位体積重量等の物理・力学的性質についての要請は小さく、これらの諸性質は通常設計において考慮されない。一方で、粒子破砕する材料は利用に適さない。

(2) 粘性土地盤を対象とする場合

杭自体のせん断強度や重量等の性質が改良地盤の性質に影響する。

（解説）

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」において、サンドコンパクションパイル材は、透水性が高く、細粒分(75μm未満)の含有量が少なく、粒度分布が良く、締まりやすく、十分な強度が期待でき、かつケーシングからの排出が容易なものが望ましいとされている。

粘性土地盤の改良を目的としたサンドコンパクションパイル工法では、通常砂地盤の締固めを目的とした場合よりも置換率が高く、杭自体のせん断強度や重量等の性質が改良地盤の性質に影響する。設計においても、改良地盤を杭と粘性土地盤との複合地盤として扱うため、材料の単位体積重量やせん断抵抗角等の物理・力学的性質が改良地盤の性質に影響する。

具体的には、単位体積重量が大きい方が、安定計算上有利になる場合が多い。また、せん断特性が強い方が、複合地盤の強度が増すため有利であり、材料の締固め性が良い方が強固な杭を形成しやすい。ただし、固化が生じる材料については、沈下量が過剰に減少することや周囲の土の強度が向上しにくいことから注意が必要である。

2.3.4　適用方法

リサイクル材料を用いたサンドコンパクションパイル工法の設計は、粒状材料として材料の特性をよく把握した上で、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される天然の砂や砂利を対象とした方法に準拠して行うこととする。

（解説）

サンドコンパクションパイル工法には、砂質土地盤の締固めを目的とするものと、粘性土地盤を改良するためのものがあり、要求品質が異なるため留意が必要である。また、リサイクル材料の選定に際しては、水硬性等天然材料に無い性質を有するものもあるため、改良後の土地利用計画にも配慮する必要がある。

リサイクル材料を用いたサンドコンパクションパイル工法の設計は、粒状材料として材料の特性をよく把握した上で、天然の材料との違いに注意しながら**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法によって行う。ただし、リサイクル材料には性質にばらつきがあるものも多く、水硬性等の天然の砂や砂利には無い性質を持つものもあるので、設計においては実際に利用するリサイクル材料の性質をよく把握しておき、適切な設計定数を用いる必要がある。

2.4　深層混合処理固化材

2.4.1　対象とするリサイクル材料

深層混合処理固化材には、表 2.4.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点で深層混合処理固化材として利用可能性のある材料は、**表 2.4.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.4.1　深層混合処理固化材へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種 用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	地盤改良工
							⑥深層混合処理固化材
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1　建設発生土	–
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2　浚渫土砂	–
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		–
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3　アスファルト・コンクリート塊	–
	コンクリート塊			04	–	3．4　コンクリート塊	–
	建設発生木材			05	–	3．5　建設発生木材	–
	建設汚泥			06	–	3．6　建設汚泥	–
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用 高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7　高炉スラグ	–
			高炉スラグ微粉末		2		△
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		–
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8　製鋼スラグ	–
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		–
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9　鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品	固化体 鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10　鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	–
			固化体 鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		–
			その他 浚渫土改質材		3		–
			その他 生物共生材		4		–
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11　フライアッシュ	○+
			非JIS灰		2		○+
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	–	3．12　クリンカアッシュ	–
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13　石炭灰二次産品	–
			石炭灰造粒物		2		–
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	–	3．14　銅スラグ	–
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	–	3．15　フェロニッケルスラグ	–
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	–	3．16　亜鉛スラグ	–
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17　貝殻	–
		ホタテ殻等			2		–
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18　エコスラグ	–
	破砕瓦			19	–	3．19　破砕瓦	–
	ボード 廃石膏	再生石膏粉		20	–	3．20　再生石膏粉	△
	ガラス 廃ガラ	ガラス再生資材		21	–	3．21　ガラス再生資材	–
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22　ガラス発泡リサイクル資材	–
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	–	3．23　ペーパースラッジ	–
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24　ペーパースラッジ焼却灰	–
	古紙			25	–	3．25　古紙	–
	砕石微粉末			26	–	3．26　砕石微粉末	–
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27　粒調Fe石灰路盤材	–

【総合評価】
◎　：　既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+：　利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○　：　標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△　：　利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
×　：　現段階では利用は難しいと考えるもの
—　：　用途対象外

2.4.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料を深層混合処理固化材として用いる場合、標準材料と同等程度の強度を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料を深層混合処理固化材として用いる場合、利用場所に応じて**「港湾工事共通仕様書」**または**「空港土木工事共通仕様書」**に示される標準材料と同等の品質を満足するものを利用するとともに、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される方法に準拠して適切に行う必要がある。深層混合処理固化材に利用する材料の品質については、**表 2.4.2** に示す通り、**「港湾工事共通仕様書」**、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**、**「空港土木工事共通仕様書」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。

環境に対する影響としては、材料によっては改良地盤からの溶出水による海水や地下水への影響、陸域での施工においては粉じん等を人が直接摂取（摂食及び皮膚接触）することによる健康影響等が考えられる。実際に使用する材料の溶出特性を把握した上で周辺環境に対して十分に配慮する必要がある。

表 2.4.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（深層混合処理固化材）

工種		地盤改良工
用途		深層混合処理固化材
港湾工事	港湾工事共通仕様書［令和5年3月］	固化材の配合は設計図書の定めによる。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	特になし
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書［令和4年4月］	硬化材添加量は設計図書の定めによる。
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）［平成31年4月］	特になし
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）［平成31年4月］	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・FGC 深層混合処理工法技術ﾏﾆｭｱﾙ-ﾌﾗｲｱｯｼｭを用いた軟弱地盤改良工法-［(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成14年12月］ ・再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）［国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年5月］

2.4.3　要求品質及び性能

設計上必要な強度を満足する材料を用いることとする。

（解説）

深層混合処理に用いる安定処理材は一般にセメントやセメント系固化材が用いられる。これらの標準材料を用いる場合に準じ、設計上必要な強度を満足する材料を用いる必要がある。

「港湾工事共通仕様書」及び**「空港土木工事共通仕様書」**において、工事に利用するセメントについては、以下の規格に適合するものとされている。

- JIS R 5210 「ポルトランドセメント」
- JIS R 5211 「高炉セメント」
- JIS R 5212 「シリカセメント」
- JIS R 5213 「フライアッシュセメント」
- JIS R 5214 「エコセメント」

2.4.4　適用方法

リサイクル材料を用いた深層混合処理工法の設計は、材料及び対象地盤の特性をよく把握した上で「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される方法に準拠して行うこととする。

（解説）

リサイクル材料を用いた深層混合処理工法の設計は、材料及び対象地盤の特性をよく把握した上で、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される方法によって行う。

JIS に適合する高炉セメント、フライアッシュセメント、エコセメントについては、配合試験で所定の設計基準強度を満足すれば用いることができる。また、セメントにフライアッシュと石膏を適当な配合比率で加えて安定材とし、低強度においても改良強度に変動の少ない、経済的な固結工法をねらった FGC-DM 工法が提案されている。

また、深層混合処理工法の適用に当たっては、以下のマニュアル類を参考とすることができる。

- **港湾・空港における深層混合処理工法技術マニュアル（平成 30 年 12 月、（一財）沿岸技術研究センター）**
- **陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル【増補版】（令和 4 年 4 月、（一財）土木研究センター）**
- **FGC 深層混合処理工法技術マニュアル-フライアッシュを用いた軟弱地盤改良工法-（平成 14 年 12 月、（財）沿岸開発技術研究センター）**

2.5　捨石

2.5.1　対象とするリサイクル材料

捨石には、表 2.5.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点で捨石として利用可能性のある材料は、**表 2.5.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.5.1　捨石へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	基礎工
							⑦捨石
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1　建設発生土	△
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2　浚渫土砂	–
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		–
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3　アスファルト・コンクリート塊	–
	コンクリート塊			04	–	3．4　コンクリート塊	△
	建設発生木材			05	–	3．5　建設発生木材	–
	建設汚泥			06	–	3．6　建設汚泥	–
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7　高炉スラグ	–
			高炉スラグ微粉末		2		–
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		–
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8　製鋼スラグ	–
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		–
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9　鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品 固化体	鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10　鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	◎
			鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品 その他	浚渫土改質材		3		–
			生物共生材		4		–
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11　フライアッシュ	–
			非JIS灰		2		–
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	–	3．12　クリンカアッシュ	–
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13　石炭灰二次産品	–
			石炭灰造粒物		2		–
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	–	3．14　銅スラグ	–
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	–	3．15　フェロニッケルスラグ	–
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	–	3．16　亜鉛スラグ	–
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17　貝殻	–
		ホタテ殻等			2		–
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18　エコスラグ	△
	破砕瓦			19	–	3．19　破砕瓦	–
	廃石膏ボード	再生石膏粉		20	–	3．20　再生石膏粉	–
	廃ガラス	ガラス再生資材		21	–	3．21　ガラス再生資材	–
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22　ガラス発泡リサイクル資材	–
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	–	3．23　ペーパースラッジ	–
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24　ペーパースラッジ焼却灰	–
	古紙			25	–	3．25　古紙	–
	砕石微粉末			26	–	3．26　砕石微粉末	–
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27　粒調Fe石灰路盤材	–

【総合評価】
◎　：　既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+：　利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○　：　標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△　：　利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
×　：　現段階では利用は難しいと考えるもの
—　：　用途対象外

2.5.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料を捨石として用いる場合、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、「港湾工事共通仕様書」等に示す品質を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料を捨石として用いる場合、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**、**「港湾工事共通仕様書」**等に示される品質基準を満足するものを利用するとともに、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される方法に準拠して適切に行う必要がある。捨石に利用する材料の品質については、**表 2.5.2** に示す通り、**「港湾工事共通仕様書」**、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**、**「空港土木工事共通仕様書」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。

環境に対する影響としては、材料によっては有害物質の溶出や pH 上昇等の可能性が考えられる。実際に使用する材料について、その特性を把握しておくことが重要である。

表 2.5.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（捨石）

工種		基礎工
用途		捨石
港湾工事	港湾工事共通仕様書 [令和5年3月]	工事に使用する石は、以下の規格に適合しなければならない。 ・JIS A 5006 割ぐり石 (割ぐり石の原石には鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材を含む。ただし、軟石は使用してはならない。) 偏平細長でなく、風化凍壊のおそれのないものでなければならない。 比重及び規格等は設計図書の定めによる。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	基礎捨石に用いる石材は、偏平や細長でなく、堅硬、ち密で耐久性があり、風化や凍結融解のおそれのないものとするべきである。
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書 [令和4年4月]	割ぐり石は、以下の規格に適合するものとする。 ・JIS A 5006 割ぐり石 雑石(粗石)は天然石または破砕石とし、うすっぺらなもの及び細長いものであってはならない。
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）[平成31年4月]	港湾の施設の技術上の基準・同解説を参考とすることができる。
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編） [平成31年4月]	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体技術ﾏﾆｭｱﾙ(改訂版)[(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成20年2月]

2.5.3　要求品質及び性能

構造物の基礎捨石には、寸法の大きさやせん断強さ、長期的な耐久性が要求される。

（解説）

構造物の基礎捨石は、波力の影響に対して安定している必要があるため、寸法の大きさやせん断強さが要求される。また、長期的な耐久性も必要となる。

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」において、基礎捨石に用いる石材については、偏平や細長でなく、堅硬、ち密で、耐久性があり、風化や凍結融解のおそれのないものとするべきとされている。また、使用石材の決定に当たっては、試験を行い、十分に材質を把握した上で、入手の難易、運搬能力、価格等を考慮すべきとされている。

「港湾工事共通仕様書」において、工事に利用する石については、**JIS A 5006「割ぐり石」**に適合するものとされ、JIS に規定する割ぐり石の原石には鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材を含むものとされている。

2.5.4　適用方法

捨石にリサイクル材料を用いる場合の設計は、その特性をよく把握した上で行うこととする。

（解説）

捨石にリサイクル材料を用いる場合の設計は、材料の特性をよく把握した上で、天然の材料との違いに注意しながら行う。リサイクル材料には品質にばらつきがあるものも多く、膨張性や水硬性等のような、天然の石にはない性質を持つものもあるので、設計においては、実際に利用するリサイクル材料の性質をよく把握し、適切な設計定数を用いて設計を行う必要がある。

2.6　中詰材

2.6.1　対象とするリサイクル材料

中詰材には、表 2.6.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点で中詰材として利用可能性のある材料は、**表 2.6.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.6.1　中詰材へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	本体工 ⑧中詰材
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1　建設発生土	◎（砂質系）
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2　浚渫土砂	◎
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		–
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3　アスファルト・コンクリート塊	–
	コンクリート塊			04	–	3．4　コンクリート塊	△
	建設発生木材			05	–	3．5　建設発生木材	–
	建設汚泥			06	–	3．6　建設汚泥	×
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7　高炉スラグ	–
			高炉スラグ微粉末		2		–
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		△
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8　製鋼スラグ	–
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		△（安定化材）
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9　鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品	固化体 鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10　鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	–
			固化体 鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		–
			その他 浚渫土改質材		3		–
			その他 生物共生材		4		–
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11　フライアッシュ	–
			非JIS灰		2		△
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	–	3．12　クリンカアッシュ	△
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13　石炭灰二次産品	–
			石炭灰造粒物		2		–
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	–	3．14　銅スラグ	◎
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	–	3．15　フェロニッケルスラグ	◎
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	–	3．16　亜鉛スラグ	◎
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17　貝殻	–
		ホタテ殻等			2		△（砂混合）
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18　エコスラグ	△
	破砕瓦			19	–	3．19　破砕瓦	–
	廃石膏ボード	再生石膏粉		20	–	3．20　再生石膏粉	–
	廃ガラス	ガラス再生資材		21	–	3．21　ガラス再生資材	–
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22　ガラス発泡リサイクル資材	–
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	–	3．23　ペーパースラッジ	–
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24　ペーパースラッジ焼却灰	–
	古紙			25	–	3．25　古紙	–
	砕石微粉末			26	–	3．26　砕石微粉末	–
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27　粒調Fe石灰路盤材	–

【総合評価】
◎　：　既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+：　利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○　：　標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△　：　利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
×　：　現段階では利用は難しいと考えるもの
—　：　用途対象外

2.6.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料を中詰材として用いる場合、「港湾工事共通仕様書」等に示す品質を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料を中詰材として利用できる構造物としては、ケーソン、セル、二重矢板等がある。リサイクル材料を中詰材に利用する場合は、**「港湾工事共通仕様書」**に示される品質基準を満足するものを利用するとともに、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法に準拠して適切に行う必要がある。中詰材に利用する材料の品質については、**表 2.6.2** に示す通り、**「港湾工事共通仕様書」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。

環境に対する影響としては、材料投入時の余水による影響や、セル及び二重矢板式構造物に用いた場合には矢板の継ぎ目部からの溶出等も考えられる。一方、リサイクル材料の中には溶出水の pH が高いものがある。また、それ以外のものについても、実際に使用する材料について、その溶出特性を把握しておくことが重要である。

表 2.6.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（中詰材）

工種		本体工
用途		中詰材
港湾工事	港湾工事共通仕様書［令和5年3月］	材料の種類、品質及び形状寸法は設計図書の定めによる。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	特になし
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書［令和4年4月］	特になし
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）［平成31年4月］	港湾の施設の技術上の基準・同解説を参考とすることができる。
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）［平成31年4月］	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・港湾・空港工事における非鉄ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年9月]

2.6.3　要求品質及び性能

(1) 共通事項

港湾工事に利用する中詰砂については、「港湾工事共通仕様書」における品質管理基準により品質管理を行うこととする。

（解説）

港湾工事に利用する中詰砂については、**「港湾工事共通仕様書」**において、品質管理基準として、種類、外観、最大粒径、単位体積重量について観察により管理を行うこととされている。

(2) ケーソン中詰材

ケーソンは重力式構造物であるため、重量の大きなリサイクル材料の利用が有利となる場合が多い。

（解説）

ケーソンは重力式構造物であるため、重量の大きなリサイクル材料を用いた方が、経済的な設計断面を得ることができる場合が多い。ただし、重量が大きい分、内部土圧が大きくなることに留意が必要である。

(3) セル、二重矢板式構造物の中詰材

重量及びせん断抵抗角の大きなリサイクル材料の利用が有利となる場合が多い。

（解説）

重量の大きなリサイクル材料を用いた方が、せん断変形に対する安定性や重力式壁体としての安定性が高くなり有利となる場合が多い。ただし、中詰重量が大きい分セルや矢板の張力は大きくなることに留意が必要である。

また、せん断抵抗角の大きな材料を用いた場合にも、せん断変形に対する抵抗モーメントを高めることになり、経済的な設計断面を得ることができる場合が多い。

2.6.4　適用方法

中詰材にリサイクル材料を用いた構造物の設計は、リサイクル材料を粒状材料として、その特性をよく把握した上で、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される天然の砂や砂利を対象とした方法に準拠して行うこととする。

（解説）

中詰材にリサイクル材料を用いた構造物の設計は、材料の特性をよく把握した上で、天然の材料との違いに注意しながら**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法によって行う。ただし、リサイクル材料には品質にばらつきがあるものも多く、膨張性や水硬性等のような、天然の砂や砂利にはない性質を持つものもあるので、設計においては、実際に利用するリサイクル材料の性質をよく把握し、適切な設計定数を用いて設計を行う必要がある。固化する材料の場合には固化がケーソンに悪影響を及ぼさないか注意が必要である。固化に伴い膨張する材料の場合には、特に注意が必要である。

2.7　被覆石、根固・消波ブロック

2.7.1　対象とするリサイクル材料

被覆石、根固・消波ブロックには、表 2.7.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点で被覆石、根固・消波ブロックとして利用可能性のある材料は、**表 2.7.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.7.1　被覆石、根固・消波ブロックへのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	被覆・根固工、消波工
							⑨被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ
建設副産物	建設発生土			01	－	3．1 建設発生土	－
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2 浚渫土砂	－
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		－
	アスファルト・コンクリート塊			03	－	3．3 アスファルト・コンクリート塊	－
	コンクリート塊			04	－	3．4 コンクリート塊	△（被覆・根固工）
	建設発生木材			05	－	3．5 建設発生木材	－
	建設汚泥			06	－	3．6 建設汚泥	－
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7 高炉スラグ	－
			高炉スラグ微粉末		2		－
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		－
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8 製鋼スラグ	－
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		－
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9 鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	－
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		－
		鉄鋼スラグ二次製品 固化体	鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10 鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	◎
			鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		－
		鉄鋼スラグ二次製品 その他	浚渫土改質材		3		－
			生物共生材		4		－
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11 フライアッシュ	－
			非JIS灰		2		○+
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	－	3．12 クリンカアッシュ	－
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13 石炭灰二次産品	○
			石炭灰造粒物		2		－
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	－	3．14 銅スラグ	○+
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	－	3．15 フェロニッケルスラグ	○+
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	－	3．16 亜鉛スラグ	－
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17 貝殻	－
		ホタテ殻等			2		△（砂混合）
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	－	3．18 エコスラグ	△
	破砕瓦			19	－	3．19 破砕瓦	－
	廃石膏ボード	再生石膏粉		20	－	3．20 再生石膏粉	－
	廃ガラス	ガラス再生資材		21	－	3．21 ガラス再生資材	△
		ガラス発泡リサイクル資材		22	－	3．22 ガラス発泡リサイクル資材	－
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	－	3．23 ペーパースラッジ	－
		ペーパースラッジ焼却灰		24	－	3．24 ペーパースラッジ焼却灰	－
	古紙			25	－	3．25 古紙	－
	砕石微粉末			26	－	3．26 砕石微粉末	－
	粒調Fe石灰路盤材			27	－	3．27 粒調Fe石灰路盤材	－

【総合評価】
◎ ： 既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+： 利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○ ： 標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△ ： 利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
× ： 現段階では利用は難しいと考えるもの
― ： 用途対象外

2.7.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料を被覆石、根固・消波ブロックとして用いる場合、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、「港湾工事共通仕様書」等に示す品質を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料を被覆石、根固・消波ブロックとして用いる場合、**「港湾工事共通仕様書」**に示される品質基準を満足するものを利用するとともに、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される方法に準拠して適切に行う必要がある。被覆石、根固・消波ブロックに利用する材料の品質については、**表 2.7.2** に示す通り、**「港湾工事共通仕様書」**、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**、**「空港土木工事共通仕様書」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。

環境に対する影響としては、材料によっては有害物質の溶出や pH 上昇等の可能性が考えられる。実際に使用する材料について、その特性を把握しておくことが重要である。

表 2.7.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（被覆石、根固・消波ブロック）

工種		被覆・根固工、消波工
用途		被覆石、根固・消波ブロック
港湾工事	港湾工事共通仕様書 [令和5年3月]	工事に使用する石は、以下の規格に適合しなければならない。 ・JIS A 5006 割ぐり石 （割ぐり石の原石には鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材を含む。ただし、軟石は使用してはならない。） 偏平細長でなく、風化凍壊のおそれのないものでなければならない。 比重及び規格等は設計図書で定める。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	被覆用材は、激しい気象作用や波に含まれて打ち付けられる砂による摩耗作用を受ける。したがって、これに用いる石材は基礎捨石と同様に堅硬、ち密で耐久性があり、風化凍壊のおそれのないものとするべきである。
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書 [令和4年4月]	割ぐり石は、以下の規格に適合するものとする。 ・JIS A 5006 割ぐり石 雑石(粗石)は天然石または破砕石とし、うすっぺらなもの及び細長いものであってはならない。
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）[平成31年4月]	港湾の施設の技術上の基準・同解説を参考とすることができる。
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編） [平成31年4月]	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体技術ﾏﾆｭｱﾙ(改訂版)[(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成20年2月]

2.7.3　要求品質及び性能

被覆石、根固・消波ブロックは、寸法の大きさやせん断強さ、長期的な耐久性が要求される。

（解説）

構造物の被覆石、根固・消波ブロックは、波力の影響に対して安定している必要があるため、寸法の大きさやせん断強さが要求される。また、長期的な耐久性も必要となる。

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」では、被覆用材に用いる石材について、基礎捨石に用いる石材と同様に、偏平や細長でなく、堅硬、ち密で、耐久性があり、風化や凍結融解のおそれのないものとするべきとされている。また、使用石材の決定に当たっては、試験を行い、十分に材質を把握した上で、入手の難易、運搬能力、価格等を考慮すべきとされている。

「港湾工事共通仕様書」において、工事に利用する石については、**JIS A 5006「割ぐり石」**に適合するものとされ、JIS に規定する割ぐり石の原石には鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材を含むものとされている。

2.7.4　適用方法

被覆石、根固・消波ブロックにリサイクル材料を用いる場合の設計は、その特性をよく把握した上で、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される方法に準拠して行うこととする。

（解説）

リサイクル材料を被覆石、根固・消波ブロックに用いた構造物の設計は、材料の特性をよく把握した上で、天然の材料との違いに注意しながら**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される方法によって行う。ただし、リサイクル材料には品質にばらつきがあるものも多く、膨張性や水硬性等のような、天然の砂にはない性質を持つものもあるので、設計においては、実際に利用するリサイクル材料の性質をよく把握し、適切な設計定数を用いて設計を行う必要がある。

2.8　裏込材

2.8.1　対象とするリサイクル材料

裏込材には、表 2.8.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点で裏込材として利用可能性のある材料は、**表 2.8.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.8.1　裏込材へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	裏込・裏埋工
							⑩裏込材
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1 建設発生土	◎(砂質系) ○(粘性土系)
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2 浚渫土砂	◎
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		◎(改良土)
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3 アスファルト・コンクリート塊	–
	コンクリート塊			04	–	3．4 コンクリート塊	△
	建設発生木材			05	–	3．5 建設発生木材	–
	建設汚泥			06	–	3．6 建設汚泥	–
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	コンクリート用高炉スラグ骨材	07	1	3．7 高炉スラグ	–
			高炉スラグ微粉末		2		–
			土工用水砕スラグ		3		◎
		製鋼スラグ	コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材	08	1	3．8 製鋼スラグ	–
			土工用・地盤改良用製鋼スラグ		2		△
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼スラグ	09	1	3．9 鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–
			水硬性スラグコンパクション材		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品 固化体	鉄鋼スラグ水和固化体	10	1	3．10 鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	○+
			鉄鋼スラグ炭酸固化体		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品 その他	浚渫土改質材		3		△(改質土)
			生物共生材		4		–
	石炭灰	フライアッシュ	JIS灰	11	1	3．11 フライアッシュ	–
			非JIS灰		2		◎
		クリンカアッシュ		12	–	3．12 クリンカアッシュ	○
		二次製品	フライアッシュ固化体	13	1	3．13 石炭灰二次産品	◎
			石炭灰造粒物		2		△
	非鉄スラグ	銅スラグ		14	–	3．14 銅スラグ	–
		フェロニッケルスラグ		15	–	3．15 フェロニッケルスラグ	△
		亜鉛スラグ		16	–	3．16 亜鉛スラグ	–
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17 貝殻	–
		ホタテ殻等			2		△(砂混合)
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18 エコスラグ	△
	破砕瓦			19	–	3．19 破砕瓦	○+
	廃石膏ボード	再生石膏粉		20	–	3．20 再生石膏粉	–
	廃ガラス	ガラス再生資材		21	–	3．21 ガラス再生資材	–
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22 ガラス発泡リサイクル資材	○
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	–	3．23 ペーパースラッジ	–
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24 ペーパースラッジ焼却灰	–
	古紙			25	–	3．25 古紙	–
	砕石微粉末			26	–	3．26 砕石微粉末	–
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27 粒調Fe石灰路盤材	–

【総合評価】
◎ ： 既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+： 利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○ ： 標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△ ： 利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
× ： 現段階では利用は難しいと考えるもの
— ： 用途対象外

2.8.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料を裏込材として用いる場合、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」等に示す品質を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。
また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料を裏込材として利用する場合は、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法に準拠して適切に行う必要がある。裏込材に利用する材料の品質については、**表 2.8.2** に示す通り、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。

環境に対する影響としては、矢板の継ぎ目部等から浸み出した溶出水による海水への影響や、埋立地内への溶出等が考えられる。リサイクル材料には溶出水の pH が高いものがあるので注意する必要がある。また、浚渫土砂やフライアッシュのようにセメント系の改良材を用いて安定処理したものについては、リサイクル材料や改良材の種類、リサイクル材料の状態など様々な条件により異なるが、場合によっては環境基準を超えた六価クロムが溶出することもあるため、注意する必要がある。

表 2.8.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（裏込材）

工種		裏込・裏埋工
用途		裏込材
港湾工事	港湾工事共通仕様書［令和5年3月］	材料の種類、品質及び形状寸法は設計図書の定めによる。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	せん断抵抗角及び単位体積重量等の材料特性を考慮して選定する。一般には割石、切込砂利、玉石、鉄鋼スラグ等が用いられる。鉄鋼スラグは、産出する工場ごとに材質が異なるので、使用に当たっては慎重に調査をしなければならない。
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書［令和4年4月］	特になし
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）［平成31年4月］	港湾の施設の技術上の基準・同解説を参考とすることができる。
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）［平成31年4月］	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・通達「発生土利用基準について」［国官技第112号、国官総第309号、国営計第59号、平成18年8月］ ・建設発生土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ（第4版）［編著：(独)土木研究所、出版：(一財)土木研究センター、平成25年12月］ ・事前混合処理工法技術マニュアル（改訂版）［(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、令和元年12月］ ・港湾・空港における軽量混合処理土工法技術マニュアル（改訂版）［(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成20年7月］ ・管中混合固化処理工法技術マニュアル（改訂版）［(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成20年7月］ ・港湾・空港における水砕ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ［（財）沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成19年12月］ ・転炉系製鋼ｽﾗｸﾞ海域利用の手引き［(社)日本鉄鋼連盟、平成20年9月］ ・ﾌﾗｲｱｯｼｭを護岸の裏込めに利用するための手引書(案)［(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成8年3月］ ・石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）［(一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月］ ・石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）［土木学会、令和3年3月］ ・港湾・空港工事における非鉄ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ［(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年9月］ ・破砕瓦の利活用技術資料[国土交通省中部地方整備局、平成29年3月] ・ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル　第1版[ガラス発泡資材事業協同組合、令和2年11月]

2.8.3　要求品質及び性能

粒状材料の場合、単位体積重量が小さく、せん断抵抗角の大きな材料の利用が有利となる場合が多い。

（解説）

粒状材料を裏込材として利用する場合、単位体積重量は小さい方が安定計算上有利となる。また、せん断抵抗角や粘着力が大きいなど、せん断抵抗が大きいほうが、土圧が軽減され有利となる。

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」において、裏込材は、せん断抵抗角及び単位体積重量等の材料特性を考慮して選定するものとされている。また、一般に裏込材には割石（JIS A 5006 における割ぐり石に相当する性能を有するもの)、切込砂利(選別されていない砂利で、砂と砂利が半々ぐらいに混じっているもの)、玉石、鉄鋼スラグ等が用いられるとされている。

通達「発生土利用基準について」において、土木構造物への裏込めに利用する建設発生土のコーン指数及び土質材料の工学的分類について適用用途標準が規定されており、目安とすることができる。

2.8.4　適用方法

リサイクル材料を用いた裏込めの設計は、材料の特性をよく把握した上で、粒状材料または安定処理土として「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される方法にて行うこととする。

（解説）

鉄鋼スラグ等の粒状材料を用いた裏込めの設計は、天然の材料との違いに注意しながら**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法によって行う。また、利用手引書が刊行されているものについては、手引書内に示されている値を設計値として用いることができる。ただし、これらの材料の性質にはばらつきがあり、水硬性等のような天然の砂や砂利には見られない性質を持つものもあるので、設計においては、実際に使用するリサイクル材料について、事前に試験等を行って、性質をよく把握しておき、適切な設計定数を用いて設計を行うことが望ましい。

一方、浚渫土砂及びフライアッシュは、安定処理した後の利用となり、性状も粒状材料とは全く異なるため、天然の砂や砂利を対象とした標準的な方法では設計できない。これらの材料については、それぞれの設計手法に基づいて設計を行うことになる。浚渫土砂については、(一財) 沿岸技術研究センターから**「事前混合処理工法技術マニュアル（改訂版)」**、**「港湾・空港における軽量混合処理土工法技術マニュアル（改訂版)」**及び**「管中混合固化処理工法技術マニュアル（改訂版)」**が刊行されている。従って、設計に際しては、それぞれについての技術マニュアル等を、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**の補足資料として用いることができる。

2.9　裏埋材

2.9.1　対象とするリサイクル材料

裏埋材には、表 2.9.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点で裏埋材として利用可能性のある材料は、**表 2.9.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.9.1　裏埋材へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	裏込・裏埋工
							⑪裏埋材
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1 建設発生土	◎
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2 浚渫土砂	◎
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		◎（改良土）
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3 アスファルト・コンクリート塊	–
	コンクリート塊			04	–	3．4 コンクリート塊	△
	建設発生木材			05	–	3．5 建設発生木材	–
	建設汚泥			06	–	3．6 建設汚泥	–
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7 高炉スラグ	–
			高炉スラグ微粉末		2		–
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		◎
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8 製鋼スラグ	–
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		○+
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9 鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品 固化体	鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10 鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	○+
			鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品 その他	浚渫土改質材		3		△（改質土）
			生物共生材		4		–
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11 フライアッシュ	–
			非JIS灰		2		○+
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	–	3．12 クリンカアッシュ	○
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13 石炭灰二次産品	◎
			石炭灰造粒物		2		○+
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	–	3．14 銅スラグ	–
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	–	3．15 フェロニッケルスラグ	○+
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	–	3．16 亜鉛スラグ	–
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17 貝殻	–
		ホタテ殻等			2		△（砂混合）
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18 エコスラグ	△
	破砕瓦			19	–	3．19 破砕瓦	○+（陸上施工）
	廃石膏ボード	再生石膏粉		20	–	3．20 再生石膏粉	–
	廃ガラス	ガラス再生資材		21	–	3．21 ガラス再生資材	–
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22 ガラス発泡リサイクル資材	–
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	–	3．23 ペーパースラッジ	–
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24 ペーパースラッジ焼却灰	–
	古紙			25	–	3．25 古紙	–
	砕石微粉末			26	–	3．26 砕石微粉末	–
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27 粒調Fe石灰路盤材	–

【総合評価】
◎ ： 既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+： 利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○ ： 標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△ ： 利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
× ： 現段階では利用は難しいと考えるもの
— ： 用途対象外

2.9.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料を裏埋材として用いる場合、要求性能に応じた品質を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料を裏埋材として利用する場合は、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、要求性能に応じた品質を満足できるよう適切に行う必要がある。裏埋材に利用する材料の品質については、**表 2.9.2** に示す通り、参考となる手引き・マニュアル類が発刊されている。

環境に対する影響としては、矢板の継ぎ目部等から浸み出した溶出水による海水への影響や、埋立地内への溶出等が考えられる。リサイクル材料には溶出水の pH が高いものがあるので注意する必要がある。また、浚渫土砂やフライアッシュのようにセメント系の改良材を用いて安定処理したものについては、リサイクル材料や改良材の種類、リサイクル材料の状態など様々な条件により異なるが、場合によっては環境基準を超えた六価クロムが溶出することもあるため、注意する必要がある。

表 2.9.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（裏埋材）

工種		裏込・裏埋工
用途		裏埋材
港湾工事	港湾工事共通仕様書［令和5年3月］	材料の種類、品質及び形状寸法は設計図書の定めによる。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	特になし
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書［令和4年4月］	特になし
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）[平成31年4月]	港湾の施設の技術上の基準・同解説を参考とすることができる。
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）［平成31年4月］	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・港湾・空港における水砕ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ［（財）沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成19年12月］ ・港湾・空港・海岸等におけるｶﾙｼｱ改質土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[（一財）沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成29年2月] ・石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）［土木学会、令和3年3月］ ・港湾・空港工事における非鉄ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[（一財）沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年9月] ・破砕瓦の利活用技術資料[国土交通省中部地方整備局、平成29年3月]

2.9.3　要求品質及び性能

通達「発生土利用基準について」における適用用途標準を目安とすることができる。

（解説）

通達「発生土利用基準について」において、土木構造物への裏込めに利用する建設発生土のコーン指数及び土質材料の工学的分類について適用用途標準が規定されており、目安とすることができる。

2.9.4　適用方法

リサイクル材料を用いた裏埋めの設計は、材料の特性をよく把握した上で行うこととする。

（解説）

リサイクル材料を裏埋めに利用する場合は、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、要求性能に応じた品質を満足できるよう設計を行う必要がある。

2.10　盛土材、覆土材、載荷盛土材

2.10.1　対象とするリサイクル材料

盛土材、覆土材、載荷盛土材には、表 2.10.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点で盛土材、覆土材、載荷盛土材として利用可能性のある材料は、**表 2.10.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.10.1　盛土材、覆土材、載荷盛土材へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料＼工種用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	土工 ⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材
建設副産物	建設発生土			01	－	3．1　建設発生土	◎
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2　浚渫土砂	◎
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		◎（改良土）
	アスファルト・コンクリート塊			03	－	3．3　アスファルト・コンクリート塊	△
	コンクリート塊			04	－	3．4　コンクリート塊	△
	建設発生木材			05	－	3．5　建設発生木材	－
	建設汚泥			06	－	3．6　建設汚泥	◎
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7　高炉スラグ	－
			高炉スラグ微粉末		2		－
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		◎（盛土材、覆土材）
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8　製鋼スラグ	－
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		○+
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9　鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	－
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		－
		鉄鋼スラグ二次製品 固化体	鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10　鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	△
			鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		－
		その他	浚渫土改質材		3		△（改質土）
			生物共生材		4		－
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11　フライアッシュ	－
			非JIS灰		2		◎
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	－	3．12　クリンカアッシュ	◎
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13　石炭灰二次産品	○+
			石炭灰造粒物		2		◎
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	－	3．14　銅スラグ	－
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	－	3．15　フェロニッケルスラグ	○+
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	－	3．16　亜鉛スラグ	－
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17　貝殻	－
		ホタテ殻等			2		－
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	－	3．18　エコスラグ	△
	破砕瓦			19	－	3．19　破砕瓦	○+
	廃石膏ボード	再生石膏粉		20	－	3．20　再生石膏粉	○+（改良土）
	廃ガラス	ガラス再生資材		21	－	3．21　ガラス再生資材	△
		ガラス発泡リサイクル資材		22	－	3．22　ガラス発泡リサイクル資材	◎
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	－	3．23　ペーパースラッジ	－
		ペーパースラッジ焼却灰		24	－	3．24　ペーパースラッジ焼却灰	◎（改質土）
	古紙			25	－	3．25　古紙	○+（改良土）
	砕石微粉末			26	－	3．26　砕石微粉末	△（脱水ケーキ）
	粒調Fe石灰路盤材			27	－	3．27　粒調Fe石灰路盤材	－

【総合評価】
◎　：　既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+：　利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○　：　標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△　：　利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
×　：　現段階では利用は難しいと考えるもの
―　：　用途対象外

2.10.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料を盛土材、覆土材、載荷盛土材として用いる場合、用途毎の要求性能に応じた品質を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料を盛土材、覆土材、載荷盛土材に利用する場合は、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、各用途での要求品質を満足することを確認して利用する必要がある。盛土材、覆土材、載荷盛土材に利用する材料の品質については、**表 2.10.2** に示す通り、**「空港土木工事共通仕様書」**、**「空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。

環境に対する影響としては、リサイクル材料の粒子間を通過した雨水排水による影響、粉じん等を人が直接摂取（摂食及び皮膚接触）することによる健康影響等が考えられる。本節で扱うリサイクル材料の中には、溶出水が高い pH を示すものがある。また、フライアッシュを用いて地盤を安定処理した場合、処理土の溶出挙動は種々な因子によって複雑に変化する。さらに、安定処理にセメント等を用いた場合には、リサイクル材料や改良材の種類、リサイクル材料の状態など様々な条件により異なるが、場合によっては環境基準を超えた六価クロムが溶出することもあるため、注意する必要がある。

表 2.10.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（盛土材、覆土材、載荷盛土材）

工種		土工
用途		盛土材、覆土材、載荷盛土材
港湾工事	港湾工事共通仕様書［令和5年3月］	材料の種類、品質及び形状寸法は設計図書の定めによる。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	特になし
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書［令和4年4月］	空港土工における流用土以外の盛土材について、粒径、塑性指数(PI)、修正CBRを規定。流用盛土材の品質は設計図書の定めによる。 載荷盛土材の種類、品質及び形状寸法は設計図書の定めによる。
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）［平成31年4月］	切土による発生材料または土取場からの搬入材料を盛土材として利用する場合は、盛土材料としての材質を十分調査し、適用性を検討する必要がある。 良質な盛土材料とは、敷均し、締固めの施工が容易で、締固め後のせん断強度が大きく、圧縮性が少なく、雨水などの浸食に対して強いとともに、吸水による膨張性の低い材料である。
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）［平成31年4月］	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・通達「発生土利用基準について」[国官技第112号、国官総第309号、国営計第59号、平成18年8月] ・建設発生土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ（第4版）[編著：(独)土木研究所、出版：(一財)土木研究センター、平成25年12月] ・発生土利用促進のための改良工法マニュアル[(財)土木研究センター、平成9年12月] ・セメント系固化材による地盤改良マニュアル(第5版)[(一社)セメント協会、令和3年10月] ・通達「建設汚泥処理土利用技術基準について」[国官技第50号、国官総第137号、国営計第41号、平成18年6月] ・建設汚泥再生利用ﾏﾆｭｱﾙ[編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成20年12月] ・事前混合処理工法技術マニュアル（改訂版）[(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、令和元年12月] ・港湾・空港における軽量混合処理土工法技術マニュアル（改訂版）[(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成20年7月] ・管中混合固化処理工法技術マニュアル（改訂版）[(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成20年7月] ・港湾・空港における水砕ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ［（財）沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成19年12月] ・港湾・空港・海岸等における製鋼ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年2月] ・転炉系製鋼ｽﾗｸﾞ海域利用の手引き[(社)日本鉄鋼連盟、平成20年9月] ・ﾌﾗｲｱｯｼｭを軟弱地盤の表層処理に利用するための手引書(案)[(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成7年3月] ・石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）[(一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月] ・石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）[土木学会、令和3年3月] ・港湾・空港工事における非鉄ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年9月] ・破砕瓦の利活用技術資料[国土交通省中部地方整備局、平成29年3月] ・再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）[国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年5月] ・ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル第1版[ガラス発泡資材事業協同組合、令和2年11月] ・無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版ーPS 灰系改質材編ー）[（公社）地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、令和3年3月] ・建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第2001号「HC複合路床材料」[（一財）土木研究センター、令和2年4月] ・Bon Terrain 工法技術資料[（株）森環境技術研究所]

2.10.3　要求品質及び性能

通達「発生土利用基準について」における適用用途標準を目安とすることができる。
空港土工の盛土材については「空港土木工事共通仕様書」に規定された品質を満足することとする。

（解説）

通達「発生土利用基準について」において、道路用盛土、河川築堤、土地造成、空港盛土等に利用する建設発生土のコーン指数及び土質材料の工学的分類について適用用途標準が規定されており、目安とすることができる。

空港土工における流用土以外の盛土材については、**「空港土木工事共通仕様書」**において粒径、塑性指数(PI)、修正 CBR が規定されているため、これらを満足する必要がある。その他用途への利用に当たっては、各用途に要求される品質を満足する必要がある。

2.10.4　適用方法

リサイクル材料を用いた盛土、覆土、載荷盛土の設計は、材料の特性をよく把握した上で、跡地利用や施工性についても考慮し、関連マニュアル、指針等に準拠して行うこととする。

（解説）

盛土、覆土及び載荷盛土の設計を行うに際しては、跡地利用計画や施工時のトラフィカビリティの確保、盛土時の安定等を考慮して、適切に行う必要がある。設計方法は**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**や、その他関連基準によることとする。

リサイクル材料の利用にあたっては、現在までに様々な検討がなされてきており、その成果がマニュアル、指針等で示されている。**表 2.10.3** に各材料の主なマニュアル、指針等を示す。

表 2.10.3　各材料の主なマニュアル、指針等

ﾘｻｲｸﾙ材料	名　称	刊行者
建設発生土	建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）	（一財）土木研究センター
	発生土利用促進のための改良工法マニュアル	（財）土木研究センター
	セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第 5 版）	（一社）セメント協会
	事前混合処理工法技術マニュアル（改訂版）	（一財）沿岸技術研究センター
浚渫土砂	管中混合固化処理工法技術マニュアル（改訂版）	（財）沿岸技術研究センター
	事前混合処理工法技術マニュアル（改訂版）	（一財）沿岸技術研究センター
	港湾･空港における軽量混合処理土工法技術マニュアル（改訂版）	（財）沿岸技術研究センター
建設汚泥	建設汚泥再生利用マニュアル	（独）土木研究所
フライアッシュ	フライアッシュを軟弱地盤の表層処理に利用するための手引き書（案）	（財）沿岸開発技術研究センター
高炉水砕スラグ	港湾・空港における水砕スラグ利用技術マニュアル	（財）沿岸技術研究センター
製鋼スラグ	港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル	（一財）沿岸技術研究センター
再生石膏粉	再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）	国立研究開発法人国立環境研究所
ペーパースラッジ焼却灰	無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）	（公社）地盤工学会

2.11　埋立材

2.11.1　対象とするリサイクル材料

埋立材には、表 2.11.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点で埋立材として利用可能性のある材料は、**表 2.11.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.11.1　埋立材へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種 用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	土工
							⑬埋立材
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1 建設発生土	◎
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2 浚渫土砂	◎
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		◎
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3 アスファルト・コンクリート塊	–
	コンクリート塊			04	–	3．4 コンクリート塊	–
	建設発生木材			05	–	3．5 建設発生木材	–
	建設汚泥			06	–	3．6 建設汚泥	◎
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用 高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7 高炉スラグ	–
			高炉スラグ微粉末		2		–
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		○+
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8 製鋼スラグ	–
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		△
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9 鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品 固化体	鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10 鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	○+
			鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品 その他	浚渫土改質材		3		○+（改質土）
			生物共生材		4		–
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11 フライアッシュ	–
			非JIS灰		2		△
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	–	3．12 クリンカアッシュ	○+
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13 石炭灰二次産品	△
			石炭灰造粒物		2		△
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	–	3．14 銅スラグ	–
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	–	3．15 フェロニッケルスラグ	○+
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	–	3．16 亜鉛スラグ	–
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17 貝殻	–
		ホタテ殻等			2		–
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18 エコスラグ	–
	破砕瓦			19	–	3．19 破砕瓦	○+
	廃石膏ボード	再生石膏粉		20	–	3．20 再生石膏粉	○+（改良土）
	廃ガラス	ガラス再生資材		21	–	3．21 ガラス再生資材	–
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22 ガラス発泡リサイクル資材	–
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	–	3．23 ペーパースラッジ	–
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24 ペーパースラッジ焼却灰	○+（改質土）
	古紙			25	–	3．25 古紙	–
	砕石微粉末			26	–	3．26 砕石微粉末	–
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27 粒調Fe石灰路盤材	–

【総合評価】
◎ ： 既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+： 利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○ ： 標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△ ： 利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
× ： 現段階では利用は難しいと考えるもの
— ： 用途対象外

2.11.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料を埋立材として用いる場合、要求性能に応じた品質を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料を埋立材に利用する場合は、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、要求品質を満足することを確認して利用する必要がある。埋立材に利用する材料の品質については、**表 2.11.2** に示す通り、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**、**「空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。

環境に対する影響としては、矢板の継ぎ目部等から浸み出した溶出水による海水への影響や埋立地内への溶出、粉じん等を人が直接摂取（摂食及び皮膚接触）することによる健康影響等が考えられる。リサイクル材料には溶出水の pH が高いものがあるので注意する必要がある。また、浚渫土砂やフライアッシュのようにセメント系の改良材を用いて安定処理したものについては、リサイクル材料や改良材の種類、リサイクル材料の状態など様々な条件により異なるが、場合によっては環境基準を超えた六価クロムが溶出することもあるため、注意する必要がある。

表 2.11.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（埋立材）

工種		土工
用途		埋立材
港湾工事	港湾工事共通仕様書［令和5年3月］	材料の種類、品質及び形状寸法は設計図書の定めによる。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	埋立材料は、石材、土砂、海砂、浚渫土砂を含む再生資源材料などがあげられる。廃棄物を埋立材として処分する場合、廃棄物の処理に関する主な法令として、廃棄物の処理及び清掃に関する法律と海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律があり、その規定等に従わなければならない。
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書［令和4年4月］	特になし
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）[平成31年4月]	埋立材料は、埋立後安定した地盤となり、所要の強度を有する必要があるため、使用する埋立材の材質を事前に十分調査し、適用性を検討する必要がある。
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）［平成31年4月］	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・通達「発生土利用基準について」[国官技第112号、国官総第309号、国営計第59号、平成18年8月] ・建設発生土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ（第4版）[編著：(独)土木研究所、出版：(一財)土木研究センター、平成25年12月] ・通達「建設汚泥処理土利用技術基準について」[国官技第50号、国官総第137号、国営計第41号、平成18年6月] ・建設汚泥再生利用ﾏﾆｭｱﾙ[編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成20年12月] ・港湾・空港における水砕ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ［(財) 沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成19年12月] ・港湾・空港・海岸等におけるｶﾙｼｱ改質土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成29年2月] ・石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）[(一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月] ・石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）[土木学会、令和3年3月] ・港湾・空港工事における非鉄ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年9月] ・破砕瓦の利活用技術資料[国土交通省中部地方整備局、平成29年3月] ・再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）[国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年5月] ・無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）[（公社）地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、令和3年3月]

2.11.3　要求品質及び性能

通達「発生土利用基準について」における適用用途標準を目安とすることができる。

（解説）

水面から土砂を投入して埋立を行い、土地を造成する行為を水面埋立という。埋立後の地盤改良が可能であるため、基本的には利用する材料に強度は要求されない。

通達「発生土利用基準について」において、水面埋立に利用する建設発生土のコーン指数及び土質材料の工学的分類について適用用途標準が規定されており、目安とすることができる。

2.11.4　適用方法

リサイクル材料を用いた埋立の設計は、材料の特性をよく把握した上で、跡地利用や施工性についても考慮し、関連マニュアル、指針等に準拠して行うこととする。

（解説）

埋立の設計を行うに際しては、跡地利用計画や施工時のトラフィカビリティの確保等を考慮して、適切に行う必要がある。設計方法は**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**や、その他関連基準によることとする。

水中に土砂を投入する場合、水中での締固めは不可能であるため、盛土が水面上に出た後で地盤対策を行うことになる。水中部分については圧密促進工法を採用するか、セメント系や石灰系等の改良材による安定処理を行う等の対策が必要となる場合もある。造成終了後の利用目的が明確な場合、その用途に応じて沈下の許容量を明確にすることで埋立に用いる材料が決定される。

2.12　路床盛土材

2.12.1　対象とするリサイクル材料

路床盛土材には、表 2.12.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点で路床盛土材として利用可能性のある材料は、**表 2.12.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.12.1　路床盛土材へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種 用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	舗装工
							⑭路床盛土材
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1　建設発生土	◎
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2　浚渫土砂	△
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		◎（改良土）
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3　アスファルト・コンクリート塊	△
	コンクリート塊			04	–	3．4　コンクリート塊	○+
	建設発生木材			05	–	3．5　建設発生木材	–
	建設汚泥			06	–	3．6　建設汚泥	◎
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用 高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7　高炉スラグ	–
			高炉スラグ微粉末		2		–
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		◎
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8　製鋼スラグ	–
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		–
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9　鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品	固化体 鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10　鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	–
			固化体 鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		–
			その他 浚渫土改質材		3		–
			その他 生物共生材		4		–
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11　フライアッシュ	–
			非JIS灰		2		○+
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	–	3．12　クリンカアッシュ	○+
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13　石炭灰二次産品	◎
			石炭灰造粒物		2		△
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	–	3．14　銅スラグ	–
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	–	3．15　フェロニッケルスラグ	◎
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	–	3．16　亜鉛スラグ	–
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17　貝殻	–
		ホタテ殻等			2		–
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18　エコスラグ	◎
	破砕瓦			19	–	3．19　破砕瓦	○
	廃石膏ボード	再生石膏粉		20	–	3．20　再生石膏粉	○+（改良土）
	廃ガラス	ガラス再生資材		21	–	3．21　ガラス再生資材	△（再生砂）
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22　ガラス発泡リサイクル資材	◎
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	–	3．23　ペーパースラッジ	–
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24　ペーパースラッジ焼却灰	–
	古紙			25	–	3．25　古紙	–
	砕石微粉末			26	–	3．26　砕石微粉末	○+（脱水ケーキ）
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27　粒調Fe石灰路盤材	–

【総合評価】
◎　：　既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+：　利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○　：　標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△　：　利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
×　：　現段階では利用は難しいと考えるもの
―　：　用途対象外

2.12.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料を路床盛土材として用いる場合、要求性能に応じた品質を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料を路床盛土材として利用する場合は、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、各用途での要求品質を満足することを確認して利用する必要がある。路床盛土材に利用する材料の品質については、**表 2.12.2** に示す通り、**「空港土木工事共通仕様書」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。

環境に対する影響としては、リサイクル材料の粒子間を通過した雨水排水による影響、粉じん等を人が直接摂取（摂食及び皮膚接触）することによる健康影響等が考えられる。本節で扱うリサイクル材料の中には、溶出水が高い pH を示すものがある。また、フライアッシュを用いて地盤を安定処理した場合、処理土の溶出挙動は種々な因子によって複雑に変化する。さらに、安定処理にセメント等を用いた場合には、リサイクル材料や改良材の種類、リサイクル材料の状態など様々な条件により異なるが、場合によっては環境基準を超えた六価クロムが溶出することもあるため、注意する必要がある。

表 2.12.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（路床盛土材）

工種		舗装工
用途		路床盛土材
港湾工事	港湾工事共通仕様書［令和5年3月］	材料の種類、品質及び形状寸法は設計図書の定めによる。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	特になし
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書［令和4年4月］	空港土工における流用土以外の盛土材について、粒径、塑性指数(PI)、修正CBRを規定。
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）［平成31年4月］	舗装の構造に関する技術基準・同解説を参考とすることができる。
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）［平成31年4月］	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・通達「発生土利用基準について」［国官技第112号、国官総第309号、国営計第59号、平成18年8月］ ・建設発生土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ（第4版）［編著：(独)土木研究所、出版：(一財)土木研究センター、平成25年12月］ ・通達「建設汚泥処理土利用技術基準について」［国官技第50号、国官総第137号、国営計第41号、平成18年6月］ ・建設汚泥再生利用ﾏﾆｭｱﾙ[編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成20年12月］ ・港湾・空港における水砕ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成19年12月］ ・ﾌﾗｲｱｯｼｭを路盤・路床に利用するための手引書(案)[(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成7年3月］ ・石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）[(一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月］ ・石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）［土木学会、令和3年3月］ ・港湾・空港工事における非鉄ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年9月］ ・道路用溶融ｽﾗｸﾞ品質管理及び設計施工ﾏﾆｭｱﾙ（改訂版）[(一社)日本産業機械工業会　ｴｺｽﾗｸﾞ利用普及委員会、平成29年3月］ ・再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）［国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年5月］ ・リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブG技術資料 2022年4月版[ガラスリソーシング株式会社] ・ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル　第1版[ガラス発泡資材事業協同組合、令和2年11月］ ・建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第2001号「HC複合路床材料」[（一財）土木研究センター、令和2年4月］

2.12.3　要求品質及び性能

通達「発生土利用基準について」における適用用途標準を目安とすることができる。

（解説）

路床の主な役割は、その上部の舗装と一体となって交通荷重を支持することであり、そのために路床に使用する材料は十分な強度と支持力を持ち、変形量が少なく、また、水が浸透しても膨潤や強度低下を起こしにくいことが必要である。

通達「発生土利用基準について」において、道路用盛土（路床）に利用する建設発生土のコーン指数及び土質材料の工学的分類について適用用途標準が規定されており、目安とすることができる。

2.12.4　適用方法

リサイクル材料を用いた路床盛土の設計は、材料の特性をよく把握した上で、跡地利用計画や施工性についても考慮し、関連マニュアル、指針等に準拠して行うこととする。

（解説）

路床盛土の設計を行うに際しては、跡地利用計画や施工時のトラフィカビリティの確保、盛土時の安定等を考慮して、適切に行う必要がある。設計方法は**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**や、その他関連基準によることとする。

2.13　路盤材、アスファルト舗装骨材、アスファルトフィラー材

2.13.1　対象とするリサイクル材料

路盤材、アスファルト舗装骨材、アスファルトフィラー材には、表 2.13.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点で路盤材、アスファルト舗装骨材、アスファルトフィラー材として利用可能性のある材料は、**表 2.13.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.13.1　路盤材、アスファルト舗装骨材、アスファルトフィラー材へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料＼工種用途					技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	舗装工	
						⑮路盤材	⑯As舗装骨材、Asフィラー材
建設副産物	建設発生土		01	－	3．1　建設発生土	－	－
	浚渫土砂	砂質系	02	1	3．2　浚渫土砂	－	－
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）		2		－	－
	アスファルト・コンクリート塊		03	－	3．3　アスファルト・コンクリート塊	◎	◎（As舗装骨材）
	コンクリート塊		04	－	3．4　コンクリート塊	◎	×
	建設発生木材		05	－	3．5　建設発生木材	－	－
	建設汚泥		06	－	3．6　建設汚泥	△	－
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ：ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7　高炉スラグ	－	－
		高炉スラグ：高炉スラグ微粉末		2		－	－
		高炉スラグ：土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		－	－
		製鋼スラグ：ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8　製鋼スラグ	－	－
		製鋼スラグ：土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		◎（未舗装道路）	－
		鉄鋼スラグ混合製品：道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9　鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	◎	◎（As舗装骨材）
		鉄鋼スラグ混合製品：水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		－	－
		鉄鋼スラグ二次製品：固化体：鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10　鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	－	－
		鉄鋼スラグ二次製品：固化体：鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		－	－
		鉄鋼スラグ二次製品：その他：浚渫土改質材		3		－	－
		鉄鋼スラグ二次製品：その他：生物共生材		4		－	－
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ：JIS灰	11	1	3．11　フライアッシュ	－	◎（Asフィラー材）
		ﾌﾗｲｱｯｼｭ：非JIS灰		2		○+	－
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ	12	－	3．12　クリンカアッシュ	○	－
		製品二次：ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13　石炭灰二次産品	◎	－
		製品二次：石炭灰造粒物		2		－	－
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ	14	－	3．14　銅スラグ	－	○+（As舗装骨材）
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ	15	－	3．15　フェロニッケルスラグ	◎	○+（As舗装骨材）
		亜鉛ｽﾗｸﾞ	16	－	3．16　亜鉛スラグ	－	－
	貝殻	カキ殻等	17	1	3．17　貝殻	－	－
		ホタテ殻等		2		△	○（As舗装骨材、石粉混合）
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）		18	－	3．18　エコスラグ	◎	◎（As舗装骨材）
	破砕瓦		19	－	3．19　破砕瓦	○	△（As舗装骨材）
	廃石膏ボード	再生石膏粉	20	－	3．20　再生石膏粉	－	△（Asフィラー材）
	廃ガラス	ガラス再生資材	21	－	3．21　ガラス再生資材	○+	○+（As舗装骨材）
		ガラス発泡リサイクル資材	22	－	3．22　ガラス発泡リサイクル資材	－	－
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ	23	－	3．23　ペーパースラッジ	－	－
		ペーパースラッジ焼却灰	24	－	3．24　ペーパースラッジ焼却灰	－	－
	古紙		25	－	3．25　古紙	－	－
	砕石微粉末		26	－	3．26　砕石微粉末	△（脱水ケーキ）	－
	粒調Fe石灰路盤材		27	－	3．27　粒調Fe石灰路盤材	◎	－

【総合評価】
◎　：　既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+：　利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○　：　標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△　：　利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
×　：　現段階では利用は難しいと考えるもの
―　：　用途対象外

2.13.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料を路盤材、アスファルト舗装骨材、アスファルトフィラー材として用いる場合、「舗装再生便覧」、JIS 等に示す品質を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料を路盤材、アスファルト舗装骨材、アスファルトフィラー材として利用する場合は、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、**「舗装再生便覧」**、JIS 等に示す要求品質を満足することを確認して利用する必要がある。路盤材、アスファルト舗装骨材、アスファルトフィラー材に利用する材料の品質については、**表 2.13.2**、**表 2.13.3** に示す通り、**「港湾工事共通仕様書」**、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**、**「空港土木工事共通仕様書」**、**「空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）」**、**「空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。

環境に対する影響としては、リサイクル材料の粒子間を通過した雨水排水による影響、粉じん等を人が直接摂取（摂食及び皮膚接触）することによる健康影響等が考えられる。本節で扱うリサイクル材料の中には、溶出水が高い pH を示すものがある。また、有害物質の溶出等についても関連する基準類を満足することを確認する必要がある。

表 2.13.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（路盤材）

工種		舗装工
用途		路盤材
港湾工事	港湾工事共通仕様書 [令和5年3月]	下層・上層路盤材の種類及び品質は設計図書で定める。最大粒径は設計図書に定めのない場合、下層路盤材は50㎜以下、上層路盤材は40㎜以下とすることができる。 砕石及び切込砕石は、JIS A 5001 道路用砕石に適合しなければならない。 鉄鋼スラグはJIS A 5015 道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞに適合しなければならない。 上層路盤材の粒度調整路盤材の粒度分布について規定。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	路盤材料は、所要の支持力が得られるものであって、締固めの容易さ及び耐久性を考慮して選定する。通常、粒状材料（砕石、鉄鋼スラグ、切込砂利、山砂利、切込砕石、砕石ダスト、砂等）、セメント安定処理材、瀝青安定処理材等が用いられる。
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書 [令和4年4月]	下層路盤に使用する材料は、砕石、砂利、砂、鉄鋼スラグ、その他監督職員の承諾を得た材料又はそれらの混合物で、粘土塊、有機物、ごみ等の有害物を含んでいてはならない。再生路盤材に関する品質及び使用方法は「舗装再生便覧」による。最大粒径は設計図書に定めのない場合は50㎜。また、塑性指数(PI)、修正CBRを規定。 上層路盤（粒度調整路盤）に使用する材料は、堅固で耐久的な砕石等に、砂、その他の適当な材料を混合したもの又は鉄鋼スラグとし、規定の品質及び粒度をもち、粘土塊、有機物、ごみ、その他の有害物を含んでいてはならない。 再生クラッシャーラン、クラッシャーラン鉄鋼スラグ、粒土調整鉄鋼スラグ等について、塑性指数(PI)、修正CBR等を規定。
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）[平成31年4月]	舗装の構造に関する技術基準・同解説を参考とすることができる。
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編） [平成31年4月]	路盤材料としては、一般に粒状材、セメント安定処理材、石灰安定処理材、アスファルト安定処理材、鉄鋼スラグを用いることとしている。
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・舗装再生便覧[(社)日本道路協会、平成22年版] ・ｺﾝｸﾘｰﾄ副産物の再生利用に関する用途別品質基準[国土交通省通知、平成28年3月] ・通達「建設汚泥処理土利用技術基準について」[国官技第50号、国官総第137号、国営計第41号、平成18年6月] ・建設汚泥再生利用ﾏﾆｭｱﾙ[編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成20年12月] ・転炉系製鋼ｽﾗｸﾞ海域利用の手引き[(社)日本鉄鋼連盟、平成20年9月] ・JSTMH8001「土工用製鋼ｽﾗｸﾞ砕石」[(一財)建材試験ｾﾝﾀｰ、平成28年3月改正] ・ﾌﾗｲｱｯｼｭを路盤・路床に利用するための手引書(案)[(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成7年3月] ・石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）[(一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月] ・石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）[土木学会、令和3年3月] ・港湾・空港工事における非鉄ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年9月] ・JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融ｽﾗｸﾞ」[平成28年10月改正] ・道路用溶融ｽﾗｸﾞ品質管理及び設計施工ﾏﾆｭｱﾙ（改訂版）[（一社）日本産業機械工業会、平成29年3月] ・建設工事における他産業ﾘｻｲｸﾙ材料利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成18年4月] ・岩石資源及び副産物を利用した新規事業・リサイクル促進のための市場及び事業環境調査[中国経済産業局、平成19年3月] ・土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編[国土交通省九州地方整備局、令和5年4月]

表 2.13.3　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類
（アスファルト舗装骨材、アスファルトフィラー材）

工種		舗装工
用途		Ａｓ舗装骨材、Ａｓフィラー材
港湾工事	港湾工事共通仕様書 [令和5年3月]	工事に使用する骨材の種類及び最大粒径は設計図書の定めによる。 骨材の粒度分布について規定。 粗骨材及び細骨材は、十分な硬度及び耐久性を有し、ごみ、泥、有機物等の有害物を含んではならない。 スクリーニングスは、「JIS A 5001 道路用砕石」に適合しなければならない。 フィラーは、石灰岩、火成岩等を粉砕したもので、十分乾燥し、固まりもなく 200℃に熱しても変質しないものでなければならない。また、粒度分布、水分、比重について規定。
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	舗装用材料については、特殊な作用を受ける区域を除き、一般に舗装設計施工指針、舗装設計便覧、舗装施工便覧に準じることができる。ここでいう、「特殊な作用を受ける区域」とは、例えばエプロンである。
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書 [令和4年4月]	粗骨材は、原則として「JIS A 5001 道路用砕石」に適合しなければならない。また、砕石の粒度、品質等について規定。 細骨材は、天然砂、スクリーニングス又は砕砂とし、品質について規定。また、スクリーニングスの粒度について規定。 フィラーは、石灰岩やその他岩石を粉砕した石粉、消石灰、セメント、回収ダスト及びフライアッシュなどを用いる。また、粒度等について規定。
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）[平成31年4月]	付帯施設（空港の場周道路、保安道路、構内道路、駐車場）： 舗装の構造に関する技術基準・同解説を参考とすることができる。
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編） [平成31年4月]	基本施設等： アスファルト混合物は、加熱混合方式アスファルト・コンクリートを用いるものとし、アスファルト混合物の種類は、求められる性能に応じて適切に選定する。 再生アスファルト混合物については、基本施設では、基層と上・下層路盤に適用することができるが、基本施設の基層においては、再生材混合率の上限は40%を標準とする（十分な検討をした上でこれ以上の再生混合率によることも可能である）。特に再生材を基本施設の基層に使用する場合は、新材の基層に関するマーシャル試験に対する基準値を満足することに加え、水浸ホールトラッキング試験による剥離面積率が 5%以下であるアスファルト混合物を使用することを標準とする。
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・舗装再生便覧[(社)日本道路協会、平成22年版] ・舗装施工便覧[(社)日本道路協会、平成18年] ・JIS A 5015「道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ」[平成30年12月改正] ・港湾・空港工事における非鉄ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年9月] ・JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融ｽﾗｸﾞ」[平成28年10月改正] ・道路用溶融ｽﾗｸﾞ品質管理及び設計施工ﾏﾆｭｱﾙ（改訂版）[（一社）日本産業機械工業会、平成29年3月] ・再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）[国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年5月] ・建設工事における他産業リサイクル材料利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成18年4月]

2.13.3　要求品質及び性能

(1) 路盤材

下層路盤及び上層路盤に利用する再生路盤材の品質についてそれぞれ「舗装再生便覧」に規定されている。

鉄鋼スラグ、エコスラグを利用した路盤材の品質については、JIS で規定されており、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることを原則とする。

（解説）

再生路盤材は、アスファルト・コンクリート発生材、セメントコンクリート発生材、路盤発生材などから製造された再生骨材を単独または相互に組み合わせ、必要に応じてこれに新規骨材や安定材を加えて所要の品質が得られるように調整したものである。**「舗装再生便覧」**に規定された下層路盤に用いる再生路盤材の品質を**表 2.13.4** に、上層路盤に用いる再生路盤材の品質を**表 2.13.5** に示す。品質規定の詳細については**「舗装再生便覧」**を参照されたい。

表 2.13.4　下層路盤材に用いる再生路盤材の品質規格

項目 / 適用	材料	修正 CBR(%)	一軸圧縮強さ (MPa)	PI
舗装計画交通量（台/日・方向），T＜100，信頼度 50%の舗装〔注 1〕	再生クラッシャラン	10 以上　[20 以上]	－	9 以下
アスファルト舗装	再生クラッシャラン	20 以上　[30 以上]	－	6 以下
	再生セメント安定処理路盤材料	－	材令 7 日，0.98 以上	－
	再生石灰安定処理路盤材料	－	材令 10 日，0.7 以上	－
セメントコンクリート舗装	再生クラッシャラン	20 以上　[30 以上]	－	6 以下
	再生セメント安定処理路盤材料	－	材令 7 日，0.98 以上	－
	再生石灰安定処理路盤材料	－	材令10日，0.5 以上	－

〔注 1〕舗装計画交通量（台/方向・日）T＜100，信頼性 50%の舗装は，交通量が少ない道路であり，舗装設計施工指針に示す N_3 交通以下の道路に相当する。

〔注 2〕アスファルトコンクリート再生骨材を含む再生クラッシャランを用いる場合で，上層路盤および基層・表層の合計厚が次に示す数値よりも小さい場合には修正 CBR の基準値に[　]内の数値を適用する。

北海道地方 ……20cm
東北地方　 ……30cm
その他の地域 ….40cm

なお，40℃で修正 CBR 試験を行う場合は通常の値を満足すればよい。

〔注 3〕下層路盤に用いる再生路盤材料の修正 CBR の規格値は，下記の理由により決めたものである。

1）アスファルトコンクリート再生骨材を含む再生路盤材料は，20℃から 40℃へ温度が上昇すると，その配合率の程度にもよるが修正 CBR は 10 程度低下する。

2）過去の路盤温度測定データから推定すると，〔注 2〕で示した数値より下層路盤面の位置が浅い場合は，下層路盤の温度が 40℃を超える可能性がある。

〔注 4〕アスファルトコンクリート再生骨材をセメント，石灰などによって安定処理する場合においても，室内データでは温度の影響が認められるが，長期にわたって硬化が進むこと，過多のセメントや石灰の添加は路盤の収縮ひび割れの原因となることなどを考慮して一軸圧縮強さの割増しは行わないこととする。

〔注 5〕セメントコンクリート再生骨材に対するすり減り減量 50%の値は路盤材料の施工時の細粒化を防ぐために設けた値であり，これに適合しない場合はセメント，石灰などによる安定処理路盤材料などの素材として利用するとよい。なお，セメントコンクリート再生骨材以外については，ロサンゼルス試験機による粗骨材のすり減り減量試験を行う必要はない。

〔注 6〕再生クラッシャランの素材として路盤再生骨材もしくは路盤発生材を用いる場合のみ PI の規定を適用する。

〔注 7〕現在生産されている再生路盤材料の PI は，基準を満足するものがほとんどであるが，路盤発生材への路床土の混入などにより品質の劣るものをチェックするために PI の規格を設けてある。

〔注 8〕セメントコンクリート舗装に再生クラッシャランを用いる場合，試験施工などにより路盤の支持力が確認できるときや過去の例で経験的に耐久性が確認されているときは，425μm ふるい通過分の PI を 10 以下としてもよい。また，この場合で 425μm ふるい通過量が 10%以下の材料では PI が 15 のものまで用いることができる。

出典）舗装再生便覧（平成 22 年版）((社) 日本道路協会)

表 2.13.5　上層路盤材に用いる再生路盤材の品質規格

適用＼項目	材　料	修正 CBR %	一軸圧縮強さ MPa	マーシャル安定度 kN	その他の品質
舗装計画交通量（台/日・方向），T＜100，信頼度 50%の舗装〔注 1〕	再生粒度調整砕石	60 以上 [70 以上]	－	－	PI 4 以下 安定性損失率20%以下
	再生加熱アスファルト安定処理路盤材料	－	－	3.43 以上	フロー値 10～40(1/100cm) 空隙率 3～12%
	再生セメント安定処理路盤材料	－	材令 7 日，2.5 以上	－	－
	再生石灰安定処理路盤材料	－	材令 10 日，0.7 以上	－	－
アスファルト舗装	再生粒度調整砕石	80 以上 [90 以上]	－	－	PI 4 以下 安定性損失率 20%以下
	再生加熱アスファルト安定処理路盤材料	－	－	3.43 以上	フロー値 10～40(1/100cm) 空隙率 3～12%
	再生セメント安定処理路盤材料	－	材令 7 日，2.9 以上	－	－
	再生石灰安定処理路盤材料	－	材令 10 日，0.98 以上	－	－
	再生セメント・瀝青安定処理路盤材料	－	1.5～2.9MPa	－	一次変位量 5～30(1/100cm) 残留強度率 65%以上
セメントコンクリート舗装	再生粒度調整砕石	80 以上 [90 以上]	－	－	PI 4 以下 安定性損失率 20%以下
	再生加熱アスファルト安定処理路盤材料	－	－	3.43 以上	フロー値 10～40 (1/100cm) 空隙率 3～12%
	再生セメント安定処理路盤材料	－	材令 7 日，2.0 以上	－	－
	再生石灰安定処理路盤材料	－	材令 10 日，0.98 以上	－	－
	再生セメント・瀝青安定処理路盤材料	－	1.5～2.9MPa	－	一次変位量 5～30(1/100cm) 残留強度率 65%以上

〔注 1〕舗装計画交通量（台/方向・日）T＜100，信頼性 50%の舗装は，交通量が少ない道路であり，舗装設計施工指針に示す N_3 交通以下の道路に相当する。

〔注 2〕アスファルトコンクリート再生骨材を含む再生粒度調整砕石は，修正 CBR の基準値に[　]内の数値を適用する。ただし，40℃で修正 CBR 試験を行う場合は通常の値を満足すればよい。

〔注 3〕再生粒度調整砕石の素材として路盤再生骨材もしくは再生路盤材料を用いる場合のみ PI の規定を適用する。

〔注 4〕セメントコンクリート舗装に再生粒度調整砕石を用いた場合は，**表－2.4.4** の規格を満足するものを用いることが望ましいが，それ以外の材料であっても試験施工などにより路盤の支持力が確認されている場合は，425μm ふるい通過分の PI を 6 以下としてもよい。また，この場合で 425μm ふるい通過量が 10%以下の材料では PI が 10 のものまで用いることができる。

出典）舗装再生便覧（平成 22 年版）（(社) 日本道路協会）

鉄鋼スラグ、エコスラグを利用した路盤材の品質については、以下の JIS で規定されている。

・鉄鋼スラグ：**JIS A 5015「道路用鉄鋼スラグ」**

・エコスラグ：**JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」**

(2) 加熱アスファルト混合物（アスファルト舗装骨材、アスファルトフィラー材）

再生加熱アスファルト混合物の品質について「舗装再生便覧」に規定されている。

製鋼スラグ、エコスラグを利用したアスファルト舗装骨材の品質については、JIS で規定されており、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることを原則とする。

（解説）

再生加熱アスファルト混合物は、アスファルト・コンクリート再生骨材に所要の品質が得られるよう必要に応じて再生用添加剤、新アスファルト及び新規骨材を加えて加熱混合したものである。**「舗装再生便覧」**では、再生加熱アスファルト混合物は**表 2.13.6** に示す基準値を満足するものとし、その粒度及びアスファルト量は**表 2.13.7** を満足するものとされている。品質規定の詳細については**「舗装再生便覧」**を参照されたい。

表 2.13.6　再生加熱アスファルト混合物のマーシャル安定度試験に対する基準値

混合物の種類		① 再生粗粒度アスファルト混合物 (20)	② 再生密粒度アスファルト混合物 (20)	② (13)	③ 再生細粒度アスファルト混合物 (13)	④ 再生密粒度ギャップアスファルト混合物 (13)	⑤ 再生密粒度アスファルト混合物 (20F)	⑤ (13F)	⑥ 再生細粒度ギャップアスファルト混合物 (13F)	⑦ 再生細粒度アスファルト混合物 (13F)	⑧ 再生密粒度ギャップアスファルト混合物 (13F)	⑨ 再生開粒度アスファルト混合物 (13)
突固め回数（両面）	T≧1,000	75					50					75
	T＜1,000	50										50
空隙率 %		3～7	3～6			3～7	3～5			2～5	3～5	－
飽和度 %		65～85	70～85			65～85	75～85			75～90	75～85	－
安定度 kN		4.90 以上	4.90 (7.35)以上		4.90 以上					3.43 以上	4.90 以上	3.43 以上
フロー値 1/100cm		20～40								20～80	20～40	

〔注１〕（　）内は，舗装計画交通量 T≧1,000 で突固め回数が両面 75 回の場合とする。

〔注２〕積雪寒冷地域の場合など，1,000≦舗装計画交通量 T≦3,000 であっても流動によるわだち掘れのおそれが少ないところでは突固め回数を 50 回とする。

〔注３〕積雪寒冷地域の舗装の表層に適用する場合には，再生加熱アスファルト混合物の耐摩耗性などを十分調査して使用することが望ましい。

〔注４〕水の影響を受けやすいと思われる再生加熱アスファルト混合物またはそのような箇所に舗設される再生加熱アスファルト混合物の場合は,次式で求めた残留安定度が 75%以上であることが望ましい。

残留安定度（%）＝（60℃，48 時間水浸後の安定度／安定度）×100

また，必要に応じて消石灰，セメントまたははく離防止剤を使用するなどの対策を行うことが望ましい。

出典）舗装再生便覧（平成 22 年版）((社) 日本道路協会)

表 2.13.7　再生加熱アスファルト混合物の種類と粒度範囲

混合物の種類		①再生粗粒度アスファルト混合物	②再生密粒度アスファルト混合物		③再生細粒度アスファルト混合物	④再生密粒度ギャップアスファルト混合物	⑤再生密粒度アスファルト混合物		⑥再生細粒度ギャップアスファルト混合物	⑦再生細粒度アスファルト混合物	⑧再生密粒度ギャップアスファルト混合物	⑨再生開粒度アスファルト混合物
		(20)	(20)	(13)	(13)	(13)	(20F)	(13F)	(13F)	(13F)	(13F)	(13)
仕上がり厚 cm		4～6	4～6	3～5	3～5	3～5	4～6	3～5	3～5	3～4	3～5	3～4
最大粒径 mm		20	20	13	13	13	20	13	13	13	13	13
通過質量百分率 %	26.5mm	100	100				100					
	19.0mm	95～100	95～100	100	100	100	95～100	100	100	100	100	100
	13.2mm	70～90	75～90	95～100	95～100	95～100	75～95	95～100	95～100	95～100	95～100	95～100
	4.75mm	35～55	45～65	55～70	65～80	35～55	52～72		60～80	75～90	45～65	23～45
	2.36mm	20～35	35～50		50～65	30～45	40～60		45～65	65～80	30～45	15～30
	600μm	11～23	18～30		25～40	20～40	25～45		40～60	40～65	25～40	8～20
	300μm	5～16	10～21		12～27	15～30	16～33		20～45	20～45	20～40	4～15
	150μm	4～12	6～16		8～20	5～15	8～21		10～25	15～30	10～25	4～10
	75μm	2～7	4～8		4～10	4～10	6～11		8～13	8～15	8～12	2～7
再生アスファルト量 %		4.5～6	5～7		6～8	4.5～6.5	6～8		6～8	7.5～9.5	5.5～7.5	3.5～5.5

出典）舗装再生便覧（平成 22 年版）((社）日本道路協会）

製鋼スラグ、エコスラグを利用したアスファルト舗装骨材の品質については、以下の JIS で規定されている。

・製鋼スラグ：JIS A 5015「道路用鉄鋼スラグ」

・エコスラグ：JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」

2.13.4　適用方法

リサイクル材料を用いた舗装の構造設計は、関連する基準、指針等に示されている方法によって行うこととする。

（解説）

「港湾の施設の技術上の基準･同解説」では、舗装についての詳細は、**「セメントコンクリート舗装要綱」**、**「アスファルト舗装要綱」**及び**「コンクリート標準示方書（舗装編）」**に基づいて設計するものとしている。一方、空港の施設に関しては、**「空港土木施設設計基準」**及び**「空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）」**等に基づいた設計となる。従って、リサイクル材料を舗装用材として利用した場合も、これらに基づいた設計方法をとることになる。

参考となる要綱・指針類としては次のものがあるので、必要に応じて参照されたい。

「コンクリート副産物の再生利用に関する用途別品質基準」
（平成 28 年 3 月）国土交通省（通知）　国官技 379 号
「舗装再生便覧」（平成 22 年 12 月）日本道路協会
「舗装の構造に関する技術基準･同解説」（平成 13 年 9 月）日本道路協会
「舗装施工便覧」（平成 18 年 12 月）日本道路協会
「舗装設計施工指針」（平成 18 年 2 月）日本道路協会
「道路維持修繕要綱」（昭和 53 年 7 月）日本道路協会
「舗装調査・試験法便覧」（平成 31 年 3 月）日本道路協会
「アスファルト舗装工事共通仕様書および解説」（平成 4 年 12 月）日本道路協会
「道路土工―盛土工指針」（平成 22 年 5 月）日本道路協会
「道路土工要綱」（平成 21 年 7 月）日本道路協会
「陸上空港の施設の設置基準・同解説」（平成 31 年 3 月）港湾空港総合技術センター
「空港土木工事共通仕様書」（令和 4 年 4 月）港湾空港総合技術センター
「空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）」（平成 31 年 4 月）港湾空港総合技術センター
「空港土木施設施工要領」（平成 21 年 4 月）港湾空港総合技術センター
「鉄鋼スラグ路盤設計施工指針」（平成 27 年 9 月）土木研究センター
「製鋼スラグを用いたアスファルト舗装設計施工指針」（昭和 57 年 7 月）鐵鋼スラグ協会
「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（平成 18 年 4 月）編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社　等

道路舗装に関しては、再生資材を対象として**「舗装再生便覧」**に各種品質が示されており、これは**「舗装の構造に関する技術基準･同解説」**、**「舗装設計施工指針」**、**「舗装施工便覧」**に準じたものである。
一方、港湾・空港舗装では、設計荷重が大きいという点が道路舗装と大きく異なる。また、空港舗装では平坦性やすべり抵抗性などに厳しい条件が要求されている。このため、港湾・空港施設の一部では道路舗装より厳しい条件が設定されている。

2.14　藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工海浜等

2.14.1　対象とするリサイクル材料

藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工海浜等には、表 2.14.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点で藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工海浜等として利用可能性のある材料は、**表 2.14.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.14.1　藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工海浜等へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	その他 ⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1　建設発生土	○（浅場・干潟,覆砂,人工砂浜,養浜）
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2　浚渫土砂	◎（浅場・干潟,覆砂,人工砂浜）
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		◎（浅場・干潟,覆砂）
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3　アスファルト・コンクリート塊	–
	コンクリート塊			04	–	3．4　コンクリート塊	–
	建設発生木材			05	–	3．5　建設発生木材	–
	建設汚泥			06	–	3．6　建設汚泥	–
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7　高炉スラグ	–
			高炉スラグ微粉末		2		–
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		○+（浅場・干潟,覆砂）
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8　製鋼スラグ	–
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		○+（藻場,浅場,覆砂）
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9　鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品 固化体	鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10　鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	◎（浅場,藻場）
			鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		○+（藻場）
		その他	浚渫土改質材		3		○+（藻場,浅場・干潟,覆砂）
			生物共生材		4		○（藻場）
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11　フライアッシュ	–
			非JIS灰		2		–
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	–	3．12　クリンカアッシュ	△（覆砂）
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13　石炭灰二次産品	–
			石炭灰造粒物		2		◎（覆砂）
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	–	3．14　銅スラグ	–
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	–	3．15　フェロニッケルスラグ	○+
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	–	3．16　亜鉛スラグ	–
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17　貝殻	○（浅場・干潟,覆砂）
		ホタテ殻等			2		–
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18　エコスラグ	–
	破砕瓦			19	–	3．19　破砕瓦	△
	廃石膏ボード	再生石膏粉		20	–	3．20　再生石膏粉	–
	廃ガラス	ガラス再生資材		21	–	3．21　ガラス再生資材	△（再生砂）
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22　ガラス発泡リサイクル資材	–
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	–	3．23　ペーパースラッジ	–
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24　ペーパースラッジ焼却灰	–
	古紙			25	–	3．25　古紙	–
	砕石微粉末			26	–	3．26　砕石微粉末	△
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27　粒調Fe石灰路盤材	–

【総合評価】
◎　：　既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+：　利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○　：　標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△　：　利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
×　：　現段階では利用は難しいと考えるもの
—　：　用途対象外

2.14.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料を藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工海浜等に用いる場合、用途毎の要求性能に応じた品質を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料を藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工海浜等に利用する場合は、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、各用途での要求品質を満足することを確認して利用する必要がある。藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工海浜等に利用する材料の品質については、**表 2.14.2** に示す通り、**「港湾工事共通仕様書」**、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**、**「空港土木工事共通仕様書」**等において規定されているため、これらの規定に適合するリサイクル材料を用いることが原則となる。

環境に対する影響としては、材料によっては溶出水による海水への影響や近傍に生息する生物への影響、人が立ち入る場合は人が直接摂取（摂食及び皮膚接触）することによる健康影響等が考えられる。本節で扱うリサイクル材料の中には、溶出水が高い pH を示すものがある。また、浚渫土砂やフライアッシュのようにセメント系の改良材を用いて安定処理したものについては、リサイクル材料や改良材の種類、リサイクル材料の状態など様々な条件により異なるが、場合によっては環境基準を超えた六価クロムが溶出することもあるため、注意する必要がある。

表 2.14.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工海浜等）

工種		その他
用途		藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等
港湾工事	港湾工事共通仕様書［令和5年3月］	特になし
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	海浜の性能照査にあたっては、海岸保全施設の技術上の基準・同解説若しくは面的な海岸防護方式の計画・設計マニュアルを参考にすることができる。 底質粒径は海浜の安定や断面勾配のみならず、海浜利用者の満足度や生物の生息分布や環境浄化機能、透水性（保水性）にも影響を与えている。底質の粒度組成は、それらを考慮して適切に定める。
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書［令和4年4月］	特になし
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）［平成31年4月］	特になし
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）［平成31年4月］	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・浚渫土砂の海洋投入及び有効利用に関する技術指針[国土交通省港湾局、平成25年7月(改訂案)] ・港湾・空港における水砕ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ［（財）沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成19年12月］ ・転炉系製鋼ｽﾗｸﾞ海域利用の手引き[(社)日本鉄鋼連盟、平成20年9月] ・同上別冊：転炉系製鋼ｽﾗｸﾞと浚渫土との混合改良工法技術資料[(社)日本鉄鋼連盟、平成20年9月] ・鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体技術ﾏﾆｭｱﾙ(改訂版)[(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成20年2月] ・鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体利用ﾏﾆｭｱﾙ-藻場・ｻﾝｺﾞ礁の再生に向けて-[(財)港湾空間高度化環境研究ｾﾝﾀｰ　藻場着生基盤技術研究会委員会、平成16年3月] ・港湾・空港・海岸等におけるｶﾙｼｱ改質土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成29年2月] ・浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合材の海域利用のための技術ﾏﾆｭｱﾙ(案)[鉄鋼スラグ等の実海域適用に関する研究会、平成29年3月] ・石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き[広島港湾空港技術調査事務所、平成25年3月] ・石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）[土木学会、令和3年3月] ・港湾・空港工事における非鉄ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ[(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年9月] ・PIANC (2006): Biological Assessment Guidance for Dredged Material, PIANC EnviCom, Report of WG8, 56p. ・PIANC (2009): Dredged material as a resource, options and constraints, PIANC EnviCom, Report of WG14, 54p. ・ガラス瓶等破砕材の環境修復材料としての活用に向けたタイドプール実証試験研究に関する委託業務報告書[（一社）大阪湾環境再生研究・国際人材育成コンソーシアム・コア、実証試験研究委託者：藤野興業株式会社、令和3年3月] ・環境省　令和4年度環境技術実証事業　資源循環技術領域　実証報告書　実証番号140-2201[実証機関：株式会社MAcS、実証対象技術名：人工珪砂製造技術・人工珪砂、実証申請者：株式会社あさひ]

2.14.3　要求品質及び性能

「浚渫土砂等の海洋投入及び有効利用に関する技術指針」における有効利用の考え方、及び各材料のマニュアル・ガイドライン類に準拠することとする。

（解説）

「浚渫土砂等の海洋投入及び有効利用に関する技術指針（改訂版）」（平成 25 年 7 月、国土交通省港湾局）において、干潟・浅場造成材、覆砂材等として、浚渫土砂、建設発生土、及び産業副産物等を有効利用する際の考え方が示されており、これらの考え方に準拠する必要がある。

また、適用しようとする用途への利用について記載されたマニュアル・ガイドライン類がある場合は、これらに従う必要がある。

2.14.4　適用方法

リサイクル材料を用いた藻場、浅場・干潟、覆砂、人工海浜等の設計は、材料の特性をよく把握した上で「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される方法にて行うこととする。

（解説）

リサイクル材料を用いた藻場、浅場・干潟、覆砂、人工海浜等の設計は、材料の特性をよく把握した上で、天然の材料との違いに注意しながら、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される海浜の設計方法によって行う。また、**「海の自然再生ハンドブック」**を参考にすることができる。

リサイクル材料には品質にばらつきがあるものも多く、膨張性や水硬性等のような、天然の材料にはない性質を持つものもあるので、設計においては、実際に利用するリサイクル材料の性質をよく把握し、適切な設計定数を用いて設計を行う必要がある。

2.15　その他

2.15.1　対象とするリサイクル材料

その他の用途には、表 2.15.1 に示すリサイクル材料の利用可能性がある。各材料の利用の検討に当たっては、第 3 章の該当材料に係る記載を参照のこと。

（解説）

現時点でその他の用途に利用可能性のある材料は、**表 2.15.1** に示す◎～△評価の材料である。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

◎、○$^{+}$、○、△評価の材料を利用する場合は、**第 3 章**の該当材料に係る記載を参照し、具体的な適用条件等について検討を行うこととする。△評価の材料については、利用可能性はあるが今後の検討を要する材料であるため、利用に当たっては十分検討を行うこととする。

表 2.15.1　その他の用途へのリサイクル材料の利用可能性

対象材料 ＼ 工種 用途						技術情報の記載箇所（本ガイドライン第3章）	その他
							⑱その他
建設副産物	建設発生土			01	–	3．1　建設発生土	–
	浚渫土砂	砂質系		02	1	3．2　浚渫土砂	–
		粘性土系（浚渫土改質材による改良土を含む）			2		–
	アスファルト・コンクリート塊			03	–	3．3　アスファルト・コンクリート塊	–
	コンクリート塊			04	–	3．4　コンクリート塊	–
	建設発生木材			05	–	3．5　建設発生木材	◎（ﾎﾞｰﾄﾞ材料等）
	建設汚泥			06	–	3．6　建設汚泥	–
産業副産物	鉄鋼スラグ	高炉スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用高炉ｽﾗｸﾞ骨材	07	1	3．7　高炉スラグ	–
			高炉スラグ微粉末		2		–
			土工用水砕ｽﾗｸﾞ		3		–
		製鋼スラグ	ｺﾝｸﾘｰﾄ用電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材	08	1	3．8　製鋼スラグ	–
			土工用・地盤改良用製鋼ｽﾗｸﾞ		2		–
		鉄鋼スラグ混合製品	道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ	09	1	3．9　鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）	–
			水硬性ｽﾗｸﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ材		2		–
		鉄鋼スラグ二次製品	固化体 鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体	10	1	3．10　鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）	–
			固化体 鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体		2		–
			その他 浚渫土改質材		3		–
			その他 生物共生材		4		–
	石炭灰	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS灰	11	1	3．11　フライアッシュ	–
			非JIS灰		2		–
		ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ		12	–	3．12　クリンカアッシュ	–
		二次製品	ﾌﾗｲｱｯｼｭ固化体	13	1	3．13　石炭灰二次産品	–
			石炭灰造粒物		2		–
	非鉄スラグ	銅ｽﾗｸﾞ		14	–	3．14　銅スラグ	–
		ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ		15	–	3．15　フェロニッケルスラグ	–
		亜鉛ｽﾗｸﾞ		16	–	3．16　亜鉛スラグ	–
	貝殻	カキ殻等		17	1	3．17　貝殻	○（水質浄化材料）
		ホタテ殻等			2		–
	エコスラグ（一般廃棄物及び下水汚泥溶融スラグ）			18	–	3．18　エコスラグ	–
	破砕瓦			19	–	3．19　破砕瓦	–
	ボード 廃石膏	再生石膏粉		20	–	3．20　再生石膏粉	–
	廃ガラス	ガラス再生資材		21	–	3．21　ガラス再生資材	–
		ガラス発泡リサイクル資材		22	–	3．22　ガラス発泡リサイクル資材	△（水質浄化材）
	ペーパースラッジ	ペーパスラッジ		23	–	3．23　ペーパースラッジ	○（充填材）
		ペーパースラッジ焼却灰		24	–	3．24　ペーパースラッジ焼却灰	–
	古紙			25	–	3．25　古紙	△（コンクリート型枠）
	砕石微粉末			26	–	3．26　砕石微粉末	–
	粒調Fe石灰路盤材			27	–	3．27　粒調Fe石灰路盤材	–

【総合評価】
◎　：　既に当該用途を想定した品質基準が設けられている等、利用が可能
○+：　利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル等が整備されているもの
○　：　標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△　：　利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
×　：　現段階では利用は難しいと考えるもの
—　：　用途対象外

2.15.2　リサイクル材料利用の基本方針

リサイクル材料を 2.1～2.14 以外の用途に用いる場合、用途毎の要求品質及び性能を満足することを確認し、リサイクル材料の性質を良く把握した上で適切に利用することとする。

また、利用に際しては、周辺環境に十分配慮することとする。

（解説）

リサイクル材料を各用途に利用する場合は、リサイクル材料の性質を良く把握した上で、利用しようとする用途での要求品質及び性能を満足することを確認して利用する必要がある。その他の用途に利用する材料の品質については、**表 2.15.2** に示す通り、参考となる手引き・マニュアル類が発刊されている。

環境に対する影響については、利用用途や適用先の周辺環境の特性を十分考慮し、関連する基準類を満足することを確認する必要がある。

表 2.15.2　港湾・空港等工事で使用する材料の基準類（その他）

工種		その他
用途		その他
港湾工事	港湾工事共通仕様書［令和5年3月］	特になし
	港湾の施設の技術上の基準・同解説[平成30年5月]	特になし
空港土木工事	空港土木工事共通仕様書［令和4年4月］	特になし
	空港土木施設設計要領及び設計例（構造設計編）［平成31年4月］	特になし
	空港土木施設設計要領及び設計例（舗装設計編）［平成31年4月］	特になし
その他、リサイクル材料利用のために提案された規格・基準及び手引書等		・建設発生木材ﾘｻｲｸﾙの手引き(案)［編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 17年12月］ ・建設工事における他産業ﾘｻｲｸﾙ材料利用技術ﾏﾆｭｱﾙ［編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成18年4月］ ・廃棄牡蠣殻の環境浄化への活性化研究［岩手県環境保健研究センター年報、第4号、岩手県環境保健研究センター、平成16年度］ ・パルフォースモルタル工法説明資料［パルフォースモルタル工法協会］

2.15.3　要求品質及び性能

利用しようとする用途に関連するマニュアル・ガイドライン類、研究成果等を基に要求品質及び性能について十分確認することとする。

（解説）

利用しようとする用途への利用について記載されたマニュアル・ガイドライン類がある場合は、これらに従い、要求品質及び性能を確認する必要がある。マニュアル・ガイドライン類がない場合は、類似用途のマニュアル・ガイドライン類、研究成果等を参考とし、要求品質及び性能について十分確認する必要がある。

2.15.4　適用方法

設計は、材料の特性をよく把握した上で適切に行うこととする。

（解説）

リサイクル材料をその他の用途に用いる場合の設計は、材料の特性をよく把握した上で、天然の材料との違いに注意しながら行う。リサイクル材料には品質にばらつきがあるものも多く、膨張性や水硬性等のような、天然の材料にはない性質を持つものもあるので、設計においては、実際に利用するリサイクル材料の性質をよく把握し、適切な設計定数を用いて設計を行う必要がある。

第 3 章　リサイクル材料の利用の考え方（関係法令、品質、加工・改良技術）

第 3 章 リサイクル材料の利用の考え方（関係法令、品質、加工・改良技術）
3.1 建設発生土 3-1-1
3.2 浚渫土砂 3-2-1
3.3 アスファルト・コンクリート塊 3-3-1
3.4 コンクリート塊 3-4-1
3.5 建設発生木材 3-5-1
3.6 建設汚泥 3-6-1
3.7 高炉スラグ 3-7-1
3.8 製鋼スラグ 3-8-1
3.9 鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材） 3-9-1
3.10 鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他） 3-10-1
3.11 フライアッシュ 3-11-1
3.12 クリンカアッシュ 3-12-1
3.13 石炭灰二次製品 3-13-1
3.14 銅スラグ 3-14-1
3.15 フェロニッケルスラグ 3-15-1
3.16 亜鉛スラグ 3-16-1
3.17 貝殻 3-17-1
3.18 エコスラグ 3-18-1
3.19 破砕瓦 3-19-1
3.20 再生石膏粉 3-20-1
3.21 ガラス再生資材 3-21-1
3.22 ガラス発泡リサイクル資材 3-22-1
3.23 ペーパースラッジ 3-23-1
3.24 ペーパースラッジ焼却灰（PS 灰） 3-24-1
3.25 古紙 3-25-1
3.26 砕石微粉末 3-26-1
3.27 粒調 Fe 石灰路盤材 3-27-1
3.28 災害廃棄物 3-28-1

第3章 リサイクル材料の利用の考え方（関係法令、品質、加工・改良技術）

3.1 建設発生土

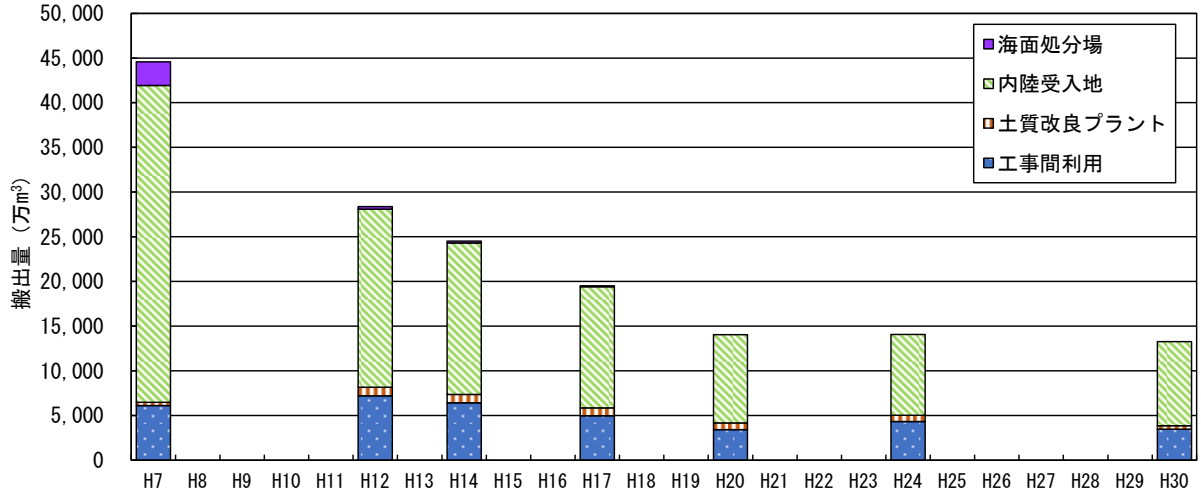
3.1.1 搬出・利用の状況

建設発生土は、有用な土木資材として港湾・空港等工事に利用されている。

（解説）

建設発生土は、建設工事から搬出される土砂であり、(1)土砂及び専ら土地造成の目的となる土砂に準ずるもの、(2)港湾、河川等の浚渫に伴って生ずる土砂（浚渫土砂）、その他これに類するものがある。（本ガイドラインでは、浚渫土砂については建設発生土と区別し、**「3.2 浚渫土砂」**に記載している）

建設発生土の搬出量の推移は**図 3.1.1** に示すとおりであり、平成 30 年度には、年間約 1 億 3 千万 m^3 の建設発生土が搬出されており、うち、内陸受入地への搬出は 71%（9,396 万 m^3）、工事間利用は 26%（3,484 万 m^3）、土質改良プラントへの搬出は 3%（383 万 m^3）であった。



出典）平成 30 年度建設副産物実態調査結果参考資料（国土交通省）より作成

図 3.1.1　搬出量の推移（建設発生土）

3.1.2 品質

建設発生土は、土質性状に応じて、適切な方法で利用する。
利用に際しては、コンクリート塊等の異物混入を防止するとともに、セメント系改良材により安定処理を行う場合には、溶出水の pH や有害物質の溶出に留意することとする。

（解説）

(1) 物理・力学的性質

1) 土質区分 [1)]

建設発生土の発生側及び利用側の品質に関する認識を統一する目的で、**「建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）」（平成 25 年 12 月、編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター）**において、**表 3.1.1** に示す土質区分が定められている。また、土質区分判定のための調査・試験方法を**表 3.1.2** に示す。

発生土の土質区分は、原則として、**コーン指数と土質材料の工学的分類体系（（公社）地盤工学会）**を指標とし、土質改良を行った場合には、改良後の性状で判定する。

一般に港湾・空港等工事の盛土や陸上部の埋立用材として、同表の第 1～3 種建設発生土に相当する発生土が用いられ、水面埋立には第 4 種発生土以下のものを用いることもあるが、埋立後の地盤の挙動や性状並びに予定される地盤改良等の施工や土地利用等を勘案して、適用土質を検討して用いることが重要である。

表 3.1.1　土質区分基準

区分（国土交通省令）*1)	細区分*2), 3), 4)	コーン指数 qc*5) kN/m²	土質材料の工学的分類*6), 7)		備考*6)	
			大分類	中分類 土質 {記号}	含水比（地山） w_n（%）	掘削方法
第1種建設発生土（砂、礫及びこれらに準ずるもの）	第1種	—	礫質土	礫 {G} 砂礫 {GS}	—	*排水に考慮するが、降水、浸出地下水等により含水比が増加すると予想される場合は、1ランク下の区分とする。 *水中掘削等による場合は、2ランク下の区分とする。
			砂質土	砂 {S} 礫質砂 {SG}		
	第1種改良土*8)		人工材料	改良土 {I}	—	
第2種建設発生土（砂質土、礫質土及びこれらに準ずるもの）	第2a種	800以上	礫質土	細粒分まじり礫 {GF}	—	
	第2b種		砂質土	細粒分まじり砂 {SF}	—	
	第2種改良土		人工材料	改良土 {I}	—	
第3種建設発生土（通常の施工性が確保される粘性土及びこれに準ずるもの）	第3a種	400以上	砂質土	細粒分まじり砂 {SF}	—	
	第3b種		粘性土	シルト {M}、粘土 {C}	40% 程度以下	
			火山灰質粘性土	火山灰質粘性土 {V}	—	
	第3種改良土		人工材料	改良土 {I}	—	
第4種建設発生土（粘性土及びこれに準ずるもの（第3種建設発生土を除く））	第4a種	200以上	砂質土	細粒分まじり砂 {SF}	—	
	第4b種		粘性土	シルト {M}、粘土 {C}	40～80% 程度	
			火山灰質粘性土	火山灰質粘性土 {V}	—	
			有機質土	有機質土 {O}	40～80% 程度	
	第4種改良土		人工材料	改良土 {I}	—	
泥土*1), *9)	泥土a	200未満	砂質土	細粒分まじり砂 {SF}	—	
	泥土b		粘性土	シルト {M}、粘土 {C}	80% 程度以上	
			火山灰質粘性土	火山灰質粘性土 {V}	—	
			有機質土	有機質土 {O}	80% 程度以上	
	泥土c		高有機質土	高有機質土 {Pt}	—	

＊1）国土交通省令（建設業に属する事業を行う者の再生資源の利用に関する判断の基準となるべき事項を定める省令　平成 13 年 3 月 29 日　国交令 59、　建設業に属する事業を行う者の指定副産物に係る再生資源の利用の促進に関する判断の基準となるべき事項を定める省令　平成 13 年 3 月 29 日　国交令 60）においては区分として第 1 種～第 4 種建設発生土が規定されている。
＊2）この土質区分基準は工学的判断に基づく基準であり、発生土が産業廃棄物であるか否かを決めるものではない。
＊3）表中の第 1 種～第 4 種改良土は、土（泥土を含む）にセメントや石灰を混合し化学的安定処理したものである。例えば第 3 種改良土は、第 4 種建設発生土または泥土を安定処理し、コーン指数 400 kN/m² 以上の性状に改良したものである。
＊4）含水比低下、粒度調整などの物理的な処理や高分子系や無機材料による水分の土中への固定を主目的とした改良材による土質改良を行った場合は、改良土に分類されないため、処理後の性状に応じて改良土以外の細区分に分類する。
＊5）所定の方法でモールドに締め固めた試料に対し、コーンペネトロメーターで測定したコーン指数（**表 3－4 参照**）。
＊6）計画段階（掘削前）において発生土の区分を行う必要があり、コーン指数を求めるために必要な試料を得られない場合には、土質材料の工学的分類体系（㈳地盤工学会）と備考欄の含水比（地山）、掘削方法から概略の区分を選定し、掘削後所定の方法でコーン指数を測定して区分を決定する。
＊7）土質材料の工学的分類体系における最大粒径は 75 mm と定められているが、それ以上の粒径を含むものについても本基準を参照して区分し、適切に利用する。
＊8）砂及び礫と同等の品質が確保できているもの。
＊9）・港湾、河川等のしゅんせつに伴って生ずる土砂その他これに類するものは廃棄物処理法の対象となる廃棄物ではない。（廃棄物の処理及び清掃に関する法律の施行について　昭和 46 年 10 月 16 日　環整 43　厚生省通知）
・地山の掘削により生じる掘削物は土砂であり、土砂は廃棄物処理法の対象外である。（建設工事等から生ずる廃棄物の適正処理について　平成 13 年 6 月 1 日　環廃産 276　環境省通知）
・建設汚泥に該当するものについては、廃棄物処理法に定められた手続きにより利用が可能となり、その場合**「建設汚泥処理土利用技術基準」（国官技第 50 号、国官総第 137 号、国営計第 41 号、平成 18 年 6 月 12 日）**を適用するものとする。

出典）建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）（平成 25 年 12 月、編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター）

表 3.1.2　土質区分判定のための調査試験方法

判定指標*1)	試験方法	規格番号・基準番号
コーン指数*2)	締固めた土のコーン指数試験方法	JIS A 1228
土質材料の工学的分類	地盤材料の工学的分類方法	JGS 0051
自然含水比	土の含水比試験方法	JIS A 1203
土の粒度	土の粒度試験方法	JIS A 1204
液性限界・塑性限界	土の液性限界・塑性限界試験方法	JIS A 1205

＊1）　改良土の場合は、コーン指数のみを測定する。
＊2）　1層ごとの突固め回数は 25 回とする。(**表３－４**参照)

表３－４　コーン指数の測定方法

＊「締固めた土のコーン指数試験方法（JIS A 1228：2009）」（(社) 地盤工学会編「地盤材料試験の方法と解説　第一回改訂版」pp. 386-329）をもとに作成

供試体の作製	試料	4.75 mm ふるいを通過したもの。 ただし、改良土の場合は 9.5 mm ふるいを通過させたものとする。
	モールド	内径　100 ± 0.4 mm 容量　1,000 ± 12 cm^3
	ランマー	質量　2.5 ± 0.01 kg
	突固め	3 層に分けて突き固める。各層ごとに 30 ± 0. 15 cm の高さから 25 回突き固める。
測定	コーンペネトロメーター	底面の断面積 3.24 cm^2、先端角度 30 度のもの。
	貫入速度	1 cm/s
	方法	モールドをつけたまま、鉛直にコーンの先端を供試体上端部から 5 cm、7.5 cm、10 cm 貫入した時の貫入抵抗力を求める。
計算	貫入抵抗力	貫入量 5 cm、7.5 cm、10 cm に対する貫入抵抗力を平均して、平均貫入抵抗力を求める。
	コーン指数（q_c）	平均貫入抵抗力をコーン先端の底面積 3.24 cm^2 で除する。

注）ただし、ランマーによる突固めが困難な場合は、泥土と判断する。

出典）建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）（平成 25 年 12 月、編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター)

【参考文献】

1）通達「発生土利用基準について」（国官技第 112 号、国官総第 309 号、国営計第 59 号）、平成 18 年 8 月

(2) 化学的性質

1)　pH

改良材を添加した建設発生土（改良土）については、**「建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）」（平成 25 年 12 月、編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター）**において、「セメント系及び石灰系の固化材による改良土については pH が高くなる場合があり、初期には pH の高い溶出液が発生することもある」とされている。また、産業副産物を改良材として利用する場合、pH が高い材料もある。したがって、改良材を添加する場合は、適用先の基準類を満足できるよう留意することとする。

2) 有害物質の溶出量・含有量

建設発生土の有害物質の溶出量・含有量は、建設発生土の発生箇所の条件に依存するため、利用しようとする建設発生土の有害物質の溶出量・含有量について、適切な方法で確認を行うことが必要である。**「浚渫土砂等の海洋投入及び有効利用に関する技術指針（改訂案）」（平成 25 年 7 月、国土交通省港湾局）**において、有効利用する建設発生土については、「海洋汚染防止法における水底土砂基準と同様の基準を満たす土砂に限定する。それについて、信頼のおける機関により的確に確認をされたものに限定する」としている。

また、改良材を添加した建設発生土（改良土）については、**「建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）」（平成 25 年 12 月、編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター）**より、「セメントおよびセメント系の固化材と土との組合せによっては、環境基準を超えた六価クロムが溶出する場合があるが、土やセメントの種類、土の状態など様々な条件が要因になる」と考えられる。セメント系改良材等による安定処理を行う場合には六価クロムの溶出に留意する必要がある。なお、近年、港湾工事においては改良材として六価クロムの溶出が少ない高炉セメントＢ種がよく利用されている。

3.1.3 加工・改良技術

低品位な建設発生土については、安定処理、脱水処理または施工上の工夫を行うことにより、利用用途を拡大することができる。

（解説）

要求される品質に達しない低品位な建設発生土を安定処理、脱水処理や施工上の工夫を行う場合は、建設発生土の土質性状や対象用途の要求品質、地盤条件、施工条件、経済性等を勘案して適切な方法を選定することが重要である。

土質改良や施工上の工夫による効果（付加機能）には以下に示すもの等がある。

①安定処理

建設発生土にセメント系や石灰系の改良材等を混合し、土の性状を化学的に改良することを「安定処理」といい、安定処理された土を「改良土」という。

掘削前の適用工法として、原地盤で原位置安定処理をした後に掘削を行う「改良材混合掘削」、掘削した発生土への適用工法として、定置式の混合プラントを用いる「プラント安定処理」、利用時における適用工法として、建設発生土に水、軽量化材（気泡、発泡ビーズ）、固化材などを混合する「軽量混合処理（ＳＧＭ軽量土）」等がある[1)]。

処理前は泥状、スラリー状（流動状態）である高含水な発生土でも安定処理を行えば、反応後は強度と耐変形性が生じる。なお、土中に用いたセメント改良土については、劣化速度が遅いことが知られている[2)]。

改良材の種類や添加量は、土の含水量や有機物含有量等に影響される。同質の土に関する資料があれば、ある程度の想定が可能であるが、一般的には室内試験によって決定される。

②脱水処理

脱水処理は、高含水比の建設発生土から水を絞り出す、あるいは乾燥させることによって含水比を低減し土の力学的性質を高める技術である。

掘削した発生土への適用工法として、自然重力による脱水を図る「水切り」、天日にさらして乾燥を待つ「天日乾燥」、加圧式または遠心力式等の脱水機を用いる「強制脱水」、利用時における適用工法として、含水比の高い砂質土や粘性土と粗粒分の多い砂やジオテキスタイルをサンドイッチ状に盛りたてて圧密脱水を図る「サンドイッチ工法」、透水性の袋に泥土を充填して土の分散や流れ出しを防止しながら脱水を促進し、袋の張力を利用して土工材料として有効利用する「袋詰脱水処理工法」等がある[1)]。

③機能付加・補強

利用時における適用工法として、盛土体に補強材（ジオテキスタイル等）を配置することにより、斜面の安定性増加、支持力の増加等、土塊の安定性を向上させる「補強土工法」、土または安定処理土に繊維を混合してじん性（ねばり強さ）、強度増進、浸食防止効果の向上を図った「繊維混合土工法」等がある[1)]。

【参考文献】

1) 編著(独)土木研究所、出版（一財）土木研究センター：建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）、平成 25 年 12 月

2) 北詰昌樹、菊池喜昭：固化処理土の長期耐久性、月刊基礎工、Vol.39、No.5、pp.55-59、平成 23 年

3.1.4 適用用途

(1) 概要

建設発生土をリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、必要に応じて土質改良を行う等、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、建設発生土を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.1.3** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○+」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.1.3(1)　建設発生土の適用用途

	用　途	総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	△ (砂質系)	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・2)敷砂、改良杭材に関する砂の品質管理基準(外観、種類、品質及び粒度、ｼﾙﾄ以下の細粒分含有率)を規定。	－	●利用実績なし	1) 2)
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	◎ (砂質系)	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・2)改良杭材に関する砂の品質管理基準(外観、種類、品質及び粒度、ｼﾙﾄ以下の細粒分含有率)を規定。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁築造工事（国交省） ・現場実証実験（その他機関）	1) 2)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・防波堤基礎工事（国交省） ・ケーソン仮置き場整備工事（国交省）	
⑧	中詰材	◎ (砂質系)	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・2)中詰砂に関する砂の品質管理基準(外観、種類、最大粒径、単位体積重量)を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・防波堤ブロック製作工事等（国交省） ・物揚場改良工事（国交省） ・岸壁築造工事（国交省）	1) 2)
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)通達「発生土利用基準について」(国官技第112号、国官総第309号、国営計第59号、平成18年8月)
2)港湾工事共通仕様書(国土交通省港湾局、令和5年3月)
3)建設発生土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ（第4版）(編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター、平成25年12月)
4)事前混合処理工法技術ﾏﾆｭｱﾙ(改訂版)((一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、令和元年12月)
5)「回転式破砕混合工法 技術・積算資料」（回転式破砕混合工法研究会、令和元年6月版)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.1.3(2)　建設発生土の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
⑩	裏込材	◎ (砂質系)	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・土木構造物の裏込めへの適用を規定。建設発生土をそのままで使用あるいは適切な土質改良により使用が可能であり、3)では第1種及び第2種に分類される条件の発生土が望ましい。 ・4)砂質系の土砂を改良し、新規の埋立地盤や既設岸壁の補強、係船岸や護岸の裏込め、ｾﾙ等の中詰め、床堀後の置換及び埋め戻しなどへ適用が可能。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁改良工事（国交省） ・港湾改修（耐震岸壁）工事（管理者） ・護岸建設及びその他工事（管理者）	1) 3) 4)
		○ (粘性土系)	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・5)建設発生土（粘性土）における、土木構造物の裏込土としての用途について記載 ・配合設計、品質管理を規定	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・漁港用地造成工事（国交省）	5)
⑪	裏埋材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・2)裏埋材に関する土の品質管理基準(種類・品質)を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・避難港整備事業（国交省） ・国際物流ターミナル整備事業（国交省） ・道路整備事業（国交省）	1) 2)
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・道路用盛土、河川築堤、土地造成などへの適用を規定。 ・2)盛土材に関する土の品質管理基準(種類・品質)を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・エプロン等整備（国交省） ・道路盛土工事（国交省）	1) 2) 3)
⑬	埋立材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・水面埋立への適用を規定。(泥土については土質改良を規定。また、水面上へ土砂等が出た後については、利用目的別の留意点（地盤改良、締固め等）を別途考慮するものとするとされている。) ・3)土質改良工法について記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・滑走路延長事業（国交省） ・外港建設工事（国交省） ・防波堤その他工事（国交省） ・岸壁本体工事（国交省）　等	1) 3)
⑭	路床盛土材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・道路用盛土(路床)への適用が規定。 ・材料規定(強度)・施工管理基準(施工含水比・締固め度など)を満足する良質な盛土材料の使用を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・エプロン等整備（国交省） ・道路整備事業（国交省） ・飛行場用地造成工事（国交省）	1) 3)
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	○ (浅場・干潟,覆砂,人工砂浜,養浜)	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・1)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・干潟等の整備に関する既往知見(施工事例・ﾊﾝﾄﾞﾌﾞｯｸ等)において、標準材料として砂や浚渫土砂等を利用。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・海岸高潮対策工事・海岸環境整備工事（管理者） ・浅場造成工事（国交省）	1) 3)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・補強材（国交省）	

出典)
1)通達「発生土利用基準について」(国官技第112号、国官総第309号、国営計第59号、平成18年8月)
2)港湾工事共通仕様書(国土交通省港湾局、令和5年3月)
3)建設発生土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ（第4版）(編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター、平成25年12月)
4)事前混合処理工法技術ﾏﾆｭｱﾙ(改訂版)((一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、令和元年12月)
5)「回転式破砕混合工法 技術・積算資料」（回転式破砕混合工法研究会、令和元年6月版)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) サンドコンパクションパイル材

建設発生土をサンドコンパクションパイル材として用いる場合、利用場所に応じて**「港湾工事共通仕様書」**または**「空港土木工事共通仕様書」**に示される品質基準を満足する砂質系の材料を利用する。**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される方法に準拠して適切に行うこととする。

適用箇所が砂質土地盤であるか、粘性土地盤であるかによって要求品質及び性能が異なることに留意が必要である。

(3) 中詰材

建設発生土を中詰材として利用できる構造物としては、ケーソン、セル、二重矢板等がある。リサイクル材料を中詰材に利用する場合は、**「港湾工事共通仕様書」**に示される港湾工事品質管理基準を満足するものを利用するとともに、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される方法に準拠して適切に行うこととする。

ケーソン中詰材に利用する場合、重量の大きな材料が有利となる場合が多い。また、セル、二重矢板式構造物の中詰材に利用する場合は、重量及びせん断抵抗角の大きな材料が有利となる場合が多い。

(4) 裏込材

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」において、裏込材は、せん断抵抗角及び単位体積重量等の材料特性を考慮して選定するものとされている。また、一般に裏込材には割石（JIS A 5006 における割ぐり石に相当する性能を有するもの）、切込砂利(選別されていない砂利で、砂と砂利が半々ぐらいに混じっているもの)、玉石、鉄鋼スラグ等が用いられるとされている。

また、**通達「発生土利用基準について」**において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、土木構造物の裏込めへ適用する場合の土質区分の標準（適用用途標準）が示されており、目安とすることができる。

建設発生土を裏込材として用いる場合、これらの品質に係る基準類を参考とし、必要に応じて土質改良を行い、個々の工事において定まる要求性能を満たす材料を用いることとする。

土質改良工法については、**「事前混合処理工法技術マニュアル（改訂版）」（（一財）沿岸技術研究センター、令和元年**）が発行されており、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**の補足資料として参考にすることができる。なお、これらの安定処理工法では、原料となる建設発生土の物性に応じて固化後の強度を設定するための配合設計を行う必要があるため、利用に際しては、原料土及び処理土の基本的特性を把握しておくことが肝要である。

(5) 裏埋材

通達「発生土利用基準について」において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、土木構造物の裏込めへ適用する場合の土質区分の標準（適用用途標準）が示されており、目安とすることができる。

建設発生土を裏埋材として用いる場合、これらの品質に係る基準類を参考とし、必要に応じて土質改良を行い、個々の工事において定まる要求性能を満たす材料を用いることとする。

(6) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

通達「発生土利用基準について」において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、道路用盛土、河川築堤、土地造成などへ適用する場合の土質区分の標準（適用用途標準）が示されている。また、空港土工における流用土以外の盛土材については、**「空港土木工事共通仕様書」**において粒径、塑性指数(PI)、修正 CBR が規定されている。

建設発生土を盛土材、覆土材、載荷盛土材として用いる場合、これらの適用用途標準を参考とし、必要に応じて土質改良を行い、個々の工事において定まる要求性能を満たす材料を用いることとする。

(7) 埋立材

通達「発生土利用基準について」において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、水面埋立へ適用する場合の土質区分の標準（適用用途標準）が示されている。これらの適用用途標準を目安とし、必要に応じて土質改良を行い、個々の工事において定まる要求性能を満たす材料を用いることとする。

(8) 路床盛土材

通達「発生土利用基準について」において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、道路用盛土（路床）へ適用する場合の土質区分の標準（適用用途標準）が示されており、目安とすることができる。また、空港土工における流用土以外の盛土材については、**「空港土木工事共通仕様書」**において粒径、塑性指数(PI)、修正 CBR が規定されている。

建設発生土を路床盛土材として用いる場合、これらの適用用途標準を目安とし、必要に応じて土質改良を行い、個々の工事において定まる要求性能を満たす材料を用いることとする。

(9) 浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜、養浜

建設発生土は浅場・干潟造成工事への利用実績があり、浅場・干潟造成材としての利用は可能と考えられる。ただし、利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、建設発生土や浚渫土砂の利用実績等を参照し、利用可能性について十分検討することが望ましい。設計にあたっては、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される海浜の設計方法によって行うこととする。また、**「海の自然再生ハンドブック」**及び巻末に示す参考文献 8)～10)を参考にすることができる。

「浚渫土砂等の海洋投入及び有効利用に関する技術指針（改訂案）」（平成 25 年 7 月、国土交通省港湾局）において、有効利用する建設発生土については、「海洋汚染防止法における水底土砂基準と同様の基準を満たす土砂に限定する。それについて、信頼のおける機関により的確に確認をされたものに限定することとする」とされている。

(10) 今後の検討を要する用途

1) バーチカルドレーン及びサンドマット材

一般に、バーチカルドレーン及びサンドマットに用いる砂は透水性がよく、粘土粒子による目詰まりが生じないようなものが使用される。利用実績はないため、砂質系の建設発生土について、バーチカルドレーン及びサンドマット材として適切であることを確認した上で利用することとする。

2) 捨石

構造物の基礎捨石には、寸法の大きさやせん断強さ、長期的な耐久性が要求されるため、安定処理土を用いる場合には、適用性について十分検討することが必要である。

3.1.5 関連法令

建設発生土は、一般的には廃棄物処理法における廃棄物に該当しない。
関係法規の規定を超える有害物質が含まれている建設発生土については、本ガイドラインの適用外である。

（解説）

廃棄物処理法においては「土砂及びもっぱら土地造成の目的となる土砂に準ずるもの」については廃棄物から除外されている。建設発生土を改良することなくそのままの状態で利用する場合、ならびに品質が管理された改良材により改良して利用する場合、廃棄物が混入したもの（廃棄物混じり土）及び有害物質に汚染されたもの（汚染土）を除き、廃棄物処理法上の廃棄物に該当しない。

建設発生土に他の廃棄物が混入した廃棄物混じり土は、物理的に利用が困難になるだけでなく、廃棄物ではない建設発生土と廃棄物が分離されない状態で存在する場合、廃棄物処理法上その全体が廃棄物と判断されることがあるため留意が必要である。**「建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）」**では、建設発生土にコンクリート塊やアスファルト・コンクリート塊等のガラが混入した「ガラ混じり土」について、「ガラの最大粒径 30 ㎝以下かつ混入率（重量比）30%以下のものについては、土質工学的に礫混じり土と同様に扱える」ものの、「ガラ混じり土は土砂としてではなく全体を産業廃棄物として判断される可能性が高いため、**『建設工事で遭遇する廃棄物混じり土対応マニュアル』**を参考とし、都道府県等の環境部局等に相談して有効利用することが望ましい」とされている。

関係法規の規定を越える有害物質が含まれている建設発生土（汚染土）については、本ガイドラインの適用外であり、関係法規の定めに従い処理する必要がある。一般に汚染に係る判定基準としては、「水底土砂の判定基準（総理府令第 6 号）」があり、一部の自治体では、「土壌の汚染に係わる環境基準（環境庁告示第 26 号別表）」を適用している。その他、陸上工事に利用する場合または施工後に陸地化する場合に関連する基準として、土壌汚染対策法に係る基準（土壌溶出量基準、土壌含有量基準）がある。

なお、改良土を海域において利用する場合には、海域に改良土から高 pH の溶出水が流出する恐れや濁りが生じる恐れがあるため、工事区域の海域の利用特性を考慮して工事中の監視目標値を定め、その目標値を満足できるように配慮が必要である。pH については「水質汚濁に係る環境基準（環境基本法）」、濁り（SS）については「水産用水基準（公益社団法人日本水産資源保護協会）」でそれぞれ基準が定められており、監視目標値を設定する際に参照することができる。また、セメント及びセメント系の固化材で安定処理した改良土は、**通達「『セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について』とその運用について」（平成 12 年 3 月 24 日付け、平成 13 年 4 月 20 日一部変更、建設省（現国土交通省））**に基づき、六価クロムの溶出に関して調査を実施する必要がある。

法令上の取り扱いの詳細については、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.1.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

建設発生土を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.2 浚渫土砂

3.2.1 搬出・利用の状況

港湾関係工事における航路、泊地等の浚渫工事に伴い発生する浚渫土砂は、埠頭用地や産業用地の土地造成（主に埋立造成）等に利用されている。

（解説）

浚渫土砂は、港湾、河川等の浚渫に伴って生ずる土砂であり、従来から埋立の材料として利用されているが、浚渫時に造成中の埋立地がない場合は港湾地域内の廃棄物処分場に埋立処分されている。

浚渫土砂の搬出量の推移は**図 3.2.1** に示すとおりであり、平成 25 年度には、年間約 1,600 万 m^3 の浚渫土砂が搬出されており、うち、港湾埋立等への搬出は 59%（約 940 万 m^3）、養浜・覆砂等は 25%（約 390 万 m^3）、海洋投入処分は 5%（約 70 万 m^3）等であった。

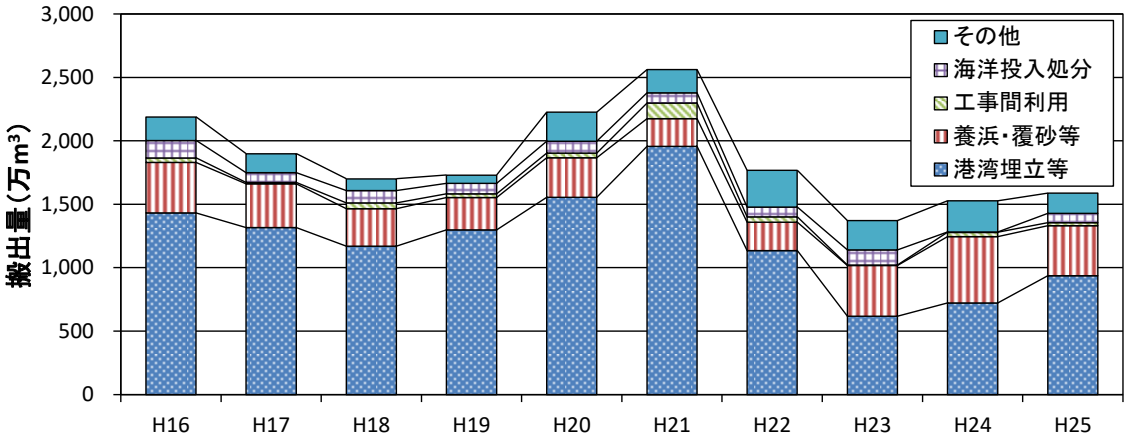


図 3.2.1　搬出量の推移（浚渫土砂）

3.2.2 品質

浚渫土砂はその粒度組成により砂質土系、粘性土系に分類され、利用用途も大きく異なる。
改良材を添加した浚渫土砂（改良土）については、pH や有害物質の溶出に留意することとする。

（解説）

(1) 物理・力学的性質

1) 土質

浚渫土砂はその粒度組成により砂質土、粘性土及びこれらの中間土的なものに大別され、その性状によって利用用途も大きく異なる。良質な砂質土は海砂として各用途に標準的な材料として使われているが、粘性土や中間土的なものは含水比が高く軟弱なものが多く、改良して利用される場合が多い。

(2) 化学的性質

1) pH

改良材を添加した浚渫土砂（改良土）については、**「建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）」（平成 25 年 12 月、編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター）**において、「セメント系及び石灰系の固化材による改良土については pH が高くなる場合があり、初期には pH の高い溶出液が発生することもある。」とされている。また、産業副産物を改良材として利用する場合、pH が高い材料もある。したがって、改良材を添加する場合は、適用先の基準類を満足できるよう留意することとする。また、海域に適用する場合は、適用先の海域の濁り、pH について適切に管理することとする。

2) 有害物質の溶出量・含有量

浚渫土砂の有害物質の溶出量・含有量は、浚渫土砂の発生箇所の条件に依存するため、利用しようとする浚渫土砂の有害物質の溶出量・含有量について、適切な方法で確認を行うことが必要である。

浚渫土砂を単味で利用する場合は、**「浚渫土砂等の海洋投入及び有効利用に関する技術指針（改訂案）」（平成 25 年 7 月、国土交通省港湾局）**において、「有効利用する浚渫土砂については、既に実施しているとおり、海洋汚染防止法における水底土砂基準を満たす土砂に限定する」としている。

また、改良材を添加した浚渫土砂（改良土）については、**「建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）」（平成 25 年 12 月、編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター）**より、「セメントおよびセメント系の固化材と土との組合せによっては、環境基準を超えた六価クロムが溶出する場合があるが、土やセメントの種類、土の状態など様々な条件が要因になる」と考えられる。セメント系改良材等による安定処理を行う場合には六価クロムの溶出に留意する必要がある。なお、近年、港湾工事においては改良材として六価クロムの溶出が少ない高炉セメントＢ種がよく利用されている。

3) 有機物、栄養塩類

有機汚濁や富栄養化のみられる海域の浚渫土砂については、有機物（COD、強熱減量など）や栄養塩類（窒素、リンなど）を多く含むことがある。

3.2.3 加工・改良技術

粘性土系の浚渫土砂については、安定処理、脱水処理または分級処理を行うことにより、利用用途を拡大することができる。

（解説）

軟質な粘性土系の浚渫土砂の改良技術は**図 3.2.2** に示すとおり、1）安定処理技術、2）脱水処理技術、3）分級処理技術に大別され、これらはさらに細分化される。なお、ここで検討する処理技術は事前（埋立前）に適用する技術と事後（埋立後）に適用する技術に分けて考えることができる。

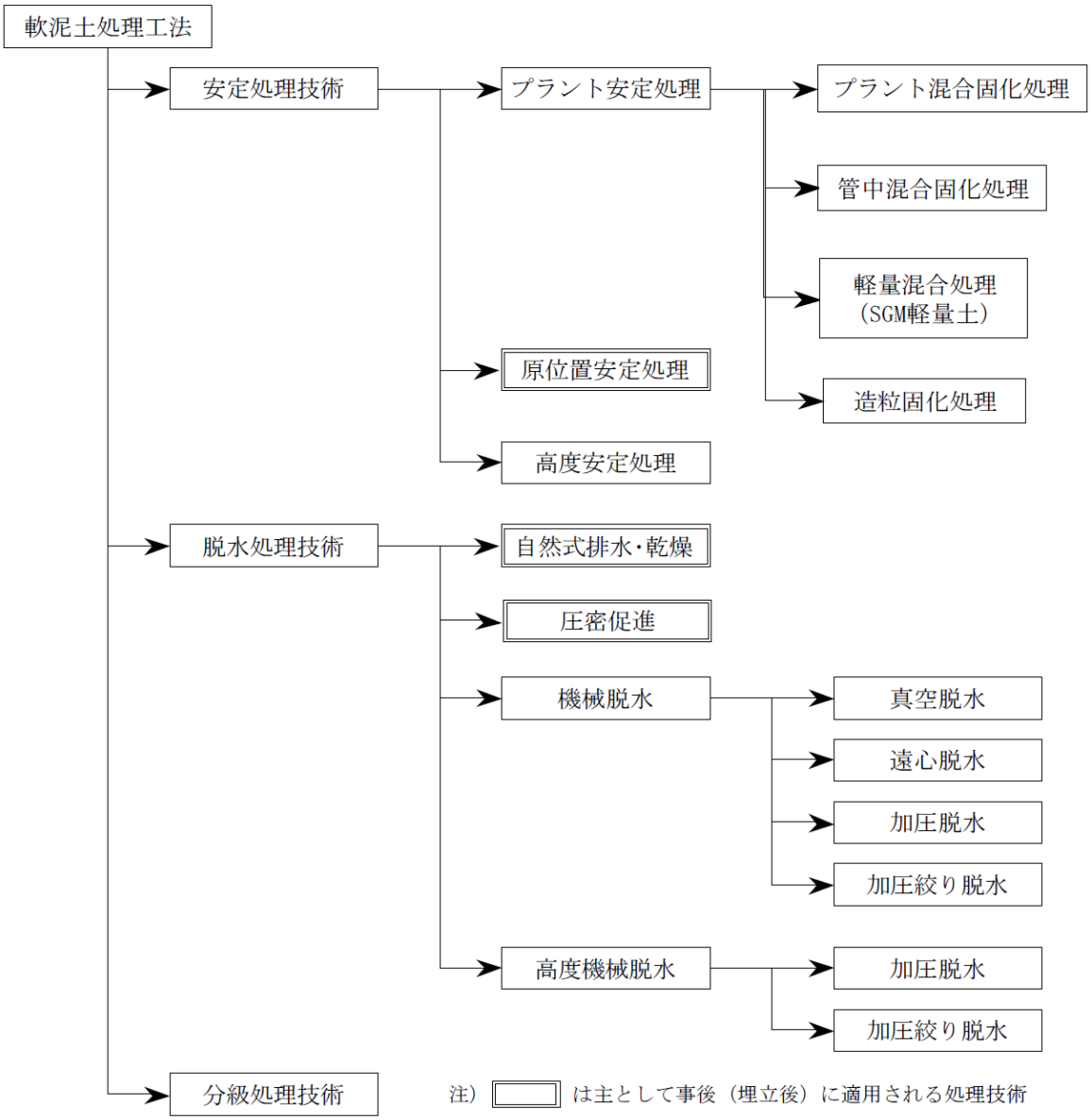


図 3.2.2　浚渫土砂（粘性土系）改良技術の分類

各処理技術・処理工法の概要を以下に示す。

①安定処理

浚渫土砂にセメント系や石灰系の改良材等を混合し、土の性状を化学的に改良することを「安定処理」といい、安定処理された土を「改良土」という。処理前は泥状、スラリー状（流動状態）である高含水な浚渫土砂でも安定処理を行えば、反応後は強度と耐変形性が生じる。なお、土中に用いたセメント改良土については、劣化速度が遅いことが知られている[1)]。

改良材の種類や添加量は、土の含水量や有機物含有量等に影響される。同質の土に関する資料があれば、ある程度の想定が可能であるが、一般的には室内試験によって決定される。

浚渫土改質材としては、セメント、石灰等のほか、製鋼スラグ等のリサイクル材料等も用いられる。なお、製鋼スラグによる改質については、**「3.10　製鋼スラグ二次製品（固化体・その他）」**の**「3.10.2 品質　(3)浚渫土改質材」**を参照されたい。

安定処理技術は、プラント処理設備等を用いて行うプラント安定処理、埋立地または仮置き場に投入された軟弱な浚渫土の表層にセメントや石灰等の改良材を添加混合する原位置安定処理、及び安定処理を行うに際してプレスやオートクレイブ養生等の補助手段を併用して高強度の固化物を製造する高度安定処理に大別される。

プラント安定処理の分類と概要は、以下のとおりである。

- プラント混合固化処理：専用のプラント船または陸上に設置したプラントで混合固化を行う技術
- 管中混合固化処理：グラブ浚渫船等で浚渫した土砂を空気圧送船にて揚土する際に固化材を添加し、圧送管で発生するプラグ流による乱流効果を利用して浚渫土砂と固化材を撹拌混合する技術
- 軽量混合処理（SGM 軽量土）：軽量地盤の造成を図るため、液性限界以上に加水してスラリー化させた浚渫土砂や建設発生土を原料土とし、これに固化材と軽量化材（気泡あるいは発泡ビーズ）を添加・混合する技術
- 造粒固化処理：浚渫土砂等の泥土に水溶性ポリマーとセメント等の固化材を添加し、造粒ミキサで数分間の混合攪拌を行うことにより粒状に改良する技術

各改良技術の詳細については、以下のマニュアル類を参照されたい。また、巻末に示す参考文献 35)～160)を参考とすることができる。

【プラント混合固化処理】

- 事前混合処理工法技術マニュアル（改訂版）（令和元年 12 月、（一財）沿岸技術研究センター)

【管中混合固化処理】

- 管中混合固化処理工法技術マニュアル（改訂版）（平成 20 年 7 月、（財）沿岸技術研究センター)

【軽量混合処理】

・港湾・空港における軽量混合処理土工法技術マニュアル（改訂版）（平成 20 年 7 月、（財）沿岸技術研究センター）

【深層混合処理】

・港湾・空港における深層混合処理工法技術マニュアル（改訂版）（平成 30 年 12 月、（一財）沿岸技術研究センター）

・陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル【増補版】（令和 4 年 4 月、（一財）土木研究センター）

・FGC 深層混合処理工法技術マニュアル-フライアッシュを用いた軟弱地盤改良工法-（平成 14 年 12 月、（財）沿岸開発技術研究センター）

②脱水処理

脱水処理技術は、高含水比の浚渫土砂から水を絞り出す、あるいは乾燥させることによって含水比を低減し土の力学的性質を高める技術であり、重力などを利用した自然式排水･乾燥、地盤を盛土載荷等により脱水する圧密促進、機械力を利用した機械式脱水処理に大別される。自然式排水・乾燥と圧密促進は主として事後（埋立後）処理技術に、機械式脱水処理は事前（埋立前）処理技術に位置付けられる。

各処理技術の概要は**表 3.2.1** に示すとおりである。

表 3.2.1　脱水処理技術の概要

分類	自然式排水･乾燥	圧密促進	機械式脱水処理	
工法等	水切り、天日乾燥、底面脱水、トレンチ工法等	先行載荷圧密、加圧圧密、地下水位低下等	機械脱水（加圧脱水、真空脱水、遠心脱水）	高度機械脱水（高圧型ドラムプレス、高圧型フィルタープレス、高圧型薄層フィルタープレス）
適用時期	主として事後（埋立後）処理		事前（埋立前）処理	
技術概要	強制乾燥や自重圧密による含水比低下を促す	粘性土地盤中の圧密を促進することにより、水分を脱水する	プラント内の機械を用いて脱水する。ほとんどの機種で高分子凝集剤等の添加剤を用いる。	
適用土質	・水切り：礫、砂礫、砂等の粗土 ・天日乾燥：砂質土、粘性土も可能（攪拌がないと効果が低い）	―	・加圧脱水系 フィルタープレス工法：75μm 以下（砂分は事前に除去する必要がある） ベルトプレス工法： 5mm 以下程度 ・真空脱水系：5mm 以下程度 ・遠心脱水系：5mm 以下程度	・高圧型ドラムプレス：砂分の分離除去は不要（粒径 5mm 以下）、原泥の含水比が 100%程度以上では、加水処理が不要。 ・高圧型フィルタープレス、高圧型薄層フィルタープレス：砂分は事前に除去（粒径 75μm 以下）、原泥の含水比が 200%程度以下の場合では、加水処理が必要。
改良土の品質	トラフィカビリティを得られるコーン指数が目標	―	第 4 種改良土（コーン指数 200kN/m^2）程度	第 3 種改良土（コーン指数 400kN/m^2）として利用可能
留意事項	・工期的に十分な余裕が必要である。 ・広いヤードを確保する必要がある。 ・脱水時あるいは乾燥時の飛散に留意する。	―	・凝集剤の選定にあたっては生活環境に影響が生じないよう安全性の確認を行う等の配慮が必要である。 ・無機系の凝集剤（PAC、硫酸バンド等）の使用では分離水が酸性になり、中和処理が必要になる場合がある。	・処理後の脱水ケーキの中にはブルドーザ等の転圧では十分に砕けない場合があり、事前の解砕機による解きほぐしやタンピングローラによる砕きながらの転圧が可能な施工法を選定する必要がある。 ・施工後乾燥等により含水比が低下するとクラックが発生する恐れがあるので、過度の乾燥を避けるような対策（覆土等）にも考慮する必要がある。

③分級処理

分級処理技術は、砂質土系と粘性土系が混合している浚渫土砂を、ふるい分け等によって粗粒度と細粒度の土性に分級させる技術である。沈殿ピット等を利用し、沈降分離を促す自然的方式とふるい分け、遠心分離、濾過等の機械を利用し強制的に分級させる機械的方式に分類される。

分級処理技術の概要は**表 3.2.2** に示すとおりである。

表 3.2.2　分級処理技術の概要

分類	自然的方式	機械的方式
適用時期	事前（埋立前）処理	
技術概要	沈殿ピット等を利用し、沈降分離を促す。 大量の土砂に適し比較的簡易な設備で施工可能。	ふるい分け、遠心分離、濾過等の機械を利用し強制的に分級させる。 自然的方式に比べ狭い作業ヤードで施工可能。
適用土質	砂分を含む浚渫土砂	
改良土の品質	砂質土相当のものを得ることが可能。 分離可能な粒子の径は 0.02mm～0.3mm 以上。	
留意事項	広い作業ヤードが必要である。	施工機械の機種によっては 2 次処理が必要であったり、施工能力が限られるため複数の機械が必要となる場合がある。

【参考文献】

1）北詰昌樹、菊池喜昭：固化処理土の長期耐久性、月刊基礎工、Vol.39、No.5、pp.55-59、平成 23 年

3.2.4 適用用途

(1) 概要

浚渫土砂をリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、必要に応じて土質改良を行う等、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、浚渫土砂（砂質系、粘性土系）を各用途に利用する場合の評価を行った結果をそれぞれ**表 3.2.3**、**表 3.2.4** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.2.3 (1)　浚渫土砂（砂質系）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	△	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・2)敷砂、改良杭材に関する砂の品質管理基準(外観、種類、品質及び粒度、ｼﾙﾄ以下の細粒分含有率)を規定。	－	●利用実績なし	1) 2)
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	△	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・2)改良杭材に関する砂の品質管理基準(外観、種類、品質及び粒度、ｼﾙﾄ以下の細粒分含有率)を規定。	－	●利用実績なし	1) 2)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・2)中詰砂に関する砂の品質管理基準(種類、外観、最大粒径、単位体積重量)を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁・防波堤工事（国交省） ・防波堤築造工事（国交省）	1) 2)
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・土木構造物の裏込めへの適用が規定され、第1種及び第2種に分類される条件の発生土が望ましい。 ・4)砂質系の土砂を改良し、新規の埋立地盤や既設岸壁の補強、係船岸や護岸の裏込め、ｾﾙ等の中詰め、床堀後の置換及び埋め戻しなどへ適用が可能。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁工事（国交省） ・漁港工事（国交省）	1) 3) 4)
⑪	裏埋材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・2)裏埋材に関する土の品質管理基準(種類、品質)を規定、特記仕様書において管理方法及び品質規格を定めることとされている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁工事（国交省） ・国際物流ターミナル整備事業（国交省）	1) 2)

出典）

1)通達「発生土利用基準について」(国官技第112号、国官総第309号、国営計第59号、平成18年8月)
2)港湾工事共通仕様書(国土交通省港湾局、令和5年3月)
3)建設発生土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ（第4版）（編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター、平成25年12月）
4)事前混合処理工法技術ﾏﾆｭｱﾙ(改訂版)((一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、令和元年12月)
5)浚渫土砂の海洋投入及び有効利用に関する技術指針(国土交通省港湾局、平成25年7月(改訂案))
6)平成25年度　浚渫土の物理特性等による製鋼スラグ混合土の性状に関する調査研究報告書（港湾空港技術研究所、平成26年3月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.2.3 (2)　浚渫土砂（砂質系）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・盛土材用途として、道路用盛土、河川築堤、土地造成などへの適用を規定。 ・2)盛土材に関する土の品質管理基準(種類・品質)を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・防波堤工事（国交省） ・航路浚渫工事（国交省） ・空港浚渫埋立工事（国交省）	1) 2) 3)
⑬	埋立材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・水面埋立への適用を規定。(水面上へ土砂等が出た後については、利用目的別の留意点（地盤改良、締固め等）を別途考慮するものとするとされている。) ・3)土質改良工法について記載。砂質土を用いる場合は、液状化の検討が必要とされている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・土砂処分場事業（国交省） ・港湾岸壁床掘工事（国交省） ・港湾泊地浚渫工事等（国交省）	1) 3)
⑭	路床盛土材	△	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・道路用盛土(路床)への適用を規定し、留意事項及び用途ごとの要求品質に示された材料規定(強度)・施工管理基準を満足する良質な盛土材料を使用することを記載。	－	●利用実績なし	1) 3)
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	◎ (浅場・干潟,覆砂,人工砂浜)	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・藻場、浅場・干潟、覆砂材等の用途への適用について、利用を想定したﾏﾆｭｱﾙ等は整備されていない。 ・干潟等の整備に関する既存の知見によると、標準材料として砂や浚渫土砂等が利用されている。 ・5)浚渫土砂の海洋投入にあたっての品質基準等を規定。 ・6)浚渫土と製鋼スラグの混合土について、固化が期待できる砂分含有率の限界値について調査研究が実施されている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・海域環境整備事業（国交省） ・航路開発保全航路整備事業（国交省） ・海岸保全施設整備事業（国交省）	1) 3) 5) 6)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)通達「発生土利用基準について」(国官技第112号、国官総第309号、国営計第59号、平成18年8月)
2)港湾工事共通仕様書(国土交通省港湾局、令和5年3月)
3)建設発生土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ（第4版）(編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター、平成25年12月)
4)事前混合処理工法技術ﾏﾆｭｱﾙ(改訂版)((一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、令和元年12月)
5)浚渫土砂の海洋投入及び有効利用に関する技術指針(国土交通省港湾局、平成25年7月(改訂案))
6)平成25年度　浚渫土の物理特性等による製鋼スラグ混合土の性状に関する調査研究報告書（港湾空港技術研究所、平成26年3月)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.2.4(1)　浚渫土砂（粘性土系）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾟｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・土砂処分場脱水処理土製作工事（国交省）	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁建設工事（国土交通省） ・防波堤築造工事（国土交通省）	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外 【主な内容】 ・1)浚渫土砂を活用した高強度構造体の技術開発が行われており、小型モールドレベルによる基礎検討の結果、大型構造体の開発が可能となったが、実用段階までには至っていない状況である。	－	●利用実績なし	1)
⑩	裏込材	◎ （改良土）	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・土木構造物の裏込めへの適用が規定され、第1種及び第2種に分類される条件の発生土が望ましい。 ・4)5)粘性土を処理し、埋立材や護岸・岸壁の裏込材、裏埋材、盛土の用途として適用することが可能。 ・処理土に関する調査・試験や設計、施工における品質管理などの方法を記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁工事（国交省） ・岸壁改良工事（管理者）	2) 3) 4) 5)
⑪	裏埋材	◎ （改良土）	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・3)土木構造物の裏込めへの適用を規定、第1種及び第2種に分類される条件の発生土が望ましい。 ・4)5)粘性土を処理し、埋立材や護岸・岸壁の裏込材、裏埋材、盛土の用途として適用することが可能。 ・処理土に関する調査・試験や設計、施工における品質管理などの方法を記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁改良工事（国交省） ・岸壁床掘工事（国交省）	2) 3) 4) 5)
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	◎ （改良土）	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・盛土材用途として、道路用盛土、河川築堤、土地造成などへの適用を規定。 ・6)盛土材に関する土の品質管理基準(種類・品質)を規定。 ・5)粘性土を処理し、新設岸壁、護岸背後の裏込、埋立や盛土の用途として適用することが可能。 ・処理土に関する調査・試験や設計、施工における品質管理などの方法を記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁改良工事（管理者） ・港湾環境整備（埋立護岸）工事（管理者） ・土砂処分場事業（国交省） ・築堤造成工事（国交省） ・泊地浚渫工事（国交省）	2) 3) 5) 6)

出典）

1)浚渫土砂を活用した高強度構造体の開発（国土交通省　九州地方整備局）
1)通達「発生土利用基準について」（国官技第112号、国官総第309号、国営計第59号、平成18年8月）
3)建設発生土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ（第4版）（編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター、平成25年12月）
4)管中混合固化処理工法技術ﾏﾆｭｱﾙ(改訂版)((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成20年7月)
5)港湾・空港における軽量混合処理土工法技術ﾏﾆｭｱﾙ(改訂版)((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成20年7月)
6)港湾工事共通仕様書(国土交通省港湾局、令和5年3月)
7)浚渫土砂の海洋投入及び有効利用に関する技術指針(国土交通省港湾局、平成25年7月(改訂案))

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.2.4(2)　浚渫土砂（粘性土系）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
⑬	埋立材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・水面埋立への適用を規定。(泥土については土質改良を規定。また、水面上へ土砂等が出た後については、利用目的別の留意点（地盤改良、締固め等）を別途考慮するものとするとされている。) ・3)土質改良工法について記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・土砂処分場事業（国交省） ・港湾岸壁床掘工事（国交省） ・港湾泊地浚渫工事等（国交省） ・滑走路建設工事（国交省）	2) 3)
⑭	路床盛土材	◎ (改良土)	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・道路用盛土(路床)への適用を規定し、留意事項及び用途ごとの要求品質に示された材料規定(強度)・施工管理基準を満足する良質な盛土材料を使用することを記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁主部建設工事（国交省）	2) 3)
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	◎ (浅場・干潟,覆砂)	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)3)土質区分基準を設定し、区分の判定指標(ｺｰﾝ指数、含水比など)ごとに調査試験方法(JISなど)を規定。 ・藻場、浅場・干潟、覆砂材等の用途への適用について、利用を想定したﾏﾆｭｱﾙ等は整備されていない。 ・干潟等の整備に関する既存の知見によると、標準材料として砂や浚渫土砂等が利用されている ・7)浚渫土砂の海洋投入にあたっての品質基準等を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・航路泊地浚渫工事（国交省） ・環境改善試験（国交省）	2) 3) 7)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)浚渫土砂を活用した高強度構造体の開発（国土交通省　九州地方整備局）
1)通達「発生土利用基準について」(国官技第112号、国官総第309号、国営計第59号、平成18年8月)
3)建設発生土利用技術ﾏﾆｭｱﾙ（第4版）（編著：(独)土木研究所、出版：（一財）土木研究センター、平成25年12月）
4)管中混合固化処理工法技術ﾏﾆｭｱﾙ(改訂版)((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成20年7月)
5)港湾・空港における軽量混合処理土工法技術ﾏﾆｭｱﾙ(改訂版)((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成20年7月)
6)港湾工事共通仕様書(国土交通省港湾局、令和5年3月)
7)浚渫土砂の海洋投入及び有効利用に関する技術指針(国土交通省港湾局、平成25年7月(改訂案))

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) 中詰材

1) 砂質系浚渫土砂

浚渫土砂を中詰材として利用できる構造物としては、ケーソン、セル、二重矢板等がある。リサイクル材料を中詰材に利用する場合は、**「港湾工事共通仕様書」**に示される品質基準を満足するものを利用するとともに、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法に準拠して適切に行う必要がある。

ケーソン中詰材に利用する場合、重量の大きな材料が有利となる場合が多い。また、セル、二重矢板式構造物の中詰材に利用する場合は、重量及びせん断抵抗角の大きな材料が有利となる場合が多い。

(3) 裏込材

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」において、裏込材は、せん断抵抗角及び単位体積重量等の材料特性を考慮して選定するものとされている。また、一般に裏込材には割石（JIS A 5006 における割ぐり石に相当する性能を有するもの）、切込砂利（選別されていない砂利で、砂と砂利が半々ぐらいに混じっているもの）、玉石、鉄鋼スラグ等が用いられるとされている。なお、固化する材料については、利用方法によって土圧を大きく低減することができる。また、**通達「発生土利用基準について」**において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、土木構造物の裏込めへ適用する場合の土質区分の標準（適用用途標準）が示されており、目安とすることができる。浚渫土砂を裏込材として用いる場合、これらの品質に係る基準類を参考とし、必要に応じて土質改良を行い、個々の工事において定まる要求性能を満たす材料を用いることとする。

なお、浚渫土を原料とする脱水固化材について令和 3 年 9 月に**「（一財）沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 21002 号」**にて、審査・評価されており、参考とすることができる。

脱水固化石材について、以下の性能が確認されている。

- 人工石材の個体の一軸圧縮強さが、JIS A 5003**「石材」**に定める準硬石の圧縮強さの規格値を満足する
- 人工石材のすりへり減量が、砕石のすりへり減量の規格値を満足する
- 人工石材のスレーキング率が、ドレーン材のスレーキング率の規格値を満足する
- 人工石材の個体の形状が、JIS A 5006**「割ぐり石」**に定める厚さ／幅、長さ／幅の規格値を満足する

土質改良工法については、**「港湾・空港における軽量混合処理土工法技術マニュアル（改訂版）」**、**「管中混合固化処理工法技術マニュアル（改訂版）」（（財）沿岸技術研究センター、平成 20 年）**、**「事前混合処理工法技術マニュアル（改訂版）」（（一財）沿岸技術研究センター、令和元年）**が発行されており、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**の補足資料として参考にすることができる。なお、これらの安定処理工法では、原料となる浚渫土砂の物性に応じて固化後の強度を設定するための配合設計を行う必要があるため、利用に際しては、原料土及び処理土の基本的特性を把握しておくことが肝要である。

(4) 裏埋材

通達「発生土利用基準について」において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、土木構造物の裏込めへ適用する場合の土質区分の標準（適用用途標準）が示されており、目安とすることができる。

浚渫土砂を裏埋材として用いる場合、これらの品質に係る基準類を参考とし、必要に応じて土質改良を行い、個々の工事において定まる要求性能を満たす材料を用いることとする。

砂質系浚渫土砂を利用する場合、静的には安定であるが地震動による作用に対して極めて液状化しやすい地盤が造成されるため、何らかの液状化対策が必要となる。

粘性土系浚渫土砂を安定処理して利用する場合、処理土としての性質のみならず、原料土としての浚渫土砂の性質もその配合設計や固結後の特性評価の指標となるため、よく把握しておくことが重要である。

(5) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

通達「発生土利用基準について」において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、道路用盛土、河川築堤、土地造成などへ適用する場合の土質区分の標準（適用用途標準）が示されており、目安とすることができる。また、空港土工における流用土以外の盛土材については、**「空港土木工事共通仕様書」**において粒径、塑性指数(PI)、修正 CBR が規定されている。

浚渫土砂を盛土材、覆土材、載荷盛土材として用いる場合、これらの適用用途標準を参考とし、必要に応じて土質改良を行い、個々の工事において定まる要求性能を満たす材料を用いることとする。

利用方法としては、その性状と利用用途に応じて、「利用側で性状を改良して利用する」、「プラントやストックヤードを経由して利用する」などがある。泥土に相当する浚渫土砂の利用に際しては、土質改良を前提として、改良土の用途、改良土の品質、改良工法等の検討を原則とする。

(6) 埋立材

通達「発生土利用基準について」において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、水面埋立へ適用する場合の土質区分の標準（適用用途標準）が示されている。これらの適用用途標準を目安とし、必要に応じて土質改良を行い、個々の工事において定まる要求性能を満たす材料を用いることとする。

砂質系浚渫土砂を利用する場合、静的には安定であるが地震動による作用に対して極めて液状化しやすい地盤が造成されるため、何らかの液状化対策が必要となる。

粘性土系浚渫土砂を利用する場合、埋立後に地盤改良を行う場合と、埋立前に安定処理して利用する場合がある。安定処理して利用する場合、処理土としての性質のみならず、原料土としての浚渫土砂の性質もその配合設計や固結後の特性評価の指標となるため、よく把握しておくことが重要である。

(7) 路床盛土材

1) 粘性土系浚渫土砂（改良土）

通達「発生土利用基準について」において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、道路用盛土（路床）へ適用する場合の土質区分の標準（適用用途標準）が示されている。これらの適用用途標準を目安とし、必要に応じて土質改良を行い、個々の工事において定まる要求性能を満たす材料を用いることとする。

【既存工事における検討事項】

・要求性能を満たしていることを確認するため、物理試験・力学試験を実施した。（岸壁築造工事）

・浚渫土の材質によっては、セメント系固化処理を実施する。（道路盛土工事）

・浚渫個所において、海洋汚染防止法に基づく水底土砂基準に関する分析試験を実施した。（作業基地築造工事）

(8) 浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜

浚渫土砂を活用した浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等への利用は広く実施されている。

設計にあたっては、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される海浜の設計方法によって行うこととする。また、**「海の自然再生ハンドブック」**及び巻末に示す参考文献 161)～179)を参考とすることができる。

「浚渫土砂等の海洋投入及び有効利用に関する技術指針（改訂案）」（平成 25 年 7 月、国土交通省港湾局）において、「有効利用する浚渫土砂については、既に実施しているとおり、海洋汚染防止法における水底土砂基準を満たす土砂に限定する」とされている。

【既存工事における検討事項】

・関係者との調整において、使用材料と工事計画の説明を行った。また、魚礁としての環境改善効果を調査するため、藻場調査、魚介類調査等を実施した。（航路浚渫工事）

(9) 今後の検討を要する用途

1) バーチカルドレーン及びサンドマット材

① 砂質系浚渫土砂

一般に、バーチカルドレーン及びサンドマットに用いる砂は透水性がよく、粘土粒子による目詰まりが生じないようなものが使用される。利用実績はないため、バーチカルドレーン及びサンドマット材として適切であることを確認した上で利用することとする。

2) サンドコンパクションパイル材

砂質系浚渫土砂については利用実績がなく、粘性土浚渫土砂についても利用実績が限定されるため、サンドコンパクションパイル材として適切であることを確認した上で利用することとする。なお、適用箇所が砂質土地盤であるか、粘性土地盤であるかによって要求品質及び性能が異なることに留意が必要である。

3) 路床盛土材

① 砂質系浚渫土砂

通達「発生土利用基準について」において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、道路用盛土（路床）へ適用する場合の土質区分の標準（適用用途標準）が示されている。これらの適用用途標準を目安とし、必要に応じて土質改良を行い、個々の工事において定まる要求性能を満たす材料を用いることとする。

3.2.5 関連法令

浚渫土砂は、一般的には廃棄物処理法における廃棄物に該当しない。陸上工事に利用する場合や施工後に陸地化する場合は、土壌汚染対策法が適用される可能性があるため留意する必要がある。
関係法規の規定を超える有害物質が含まれている浚渫土砂については、本ガイドラインの適用外である。

（解説）

廃棄物処理法においては「港湾、河川等の浚渫に伴って生ずる土砂その他これに類するもの」については廃棄物から除外されている。浚渫土砂を改良することなくそのままの状態で利用する場合、ならびに品質が管理された改良材により改良して利用する場合、廃棄物が混入したもの（廃棄物混じり土）及び有害物質に汚染されたもの（汚染土）を除き、廃棄物処理法上の廃棄物に該当しない。ただし、浚渫土砂を陸上工事に利用する場合または施工後に陸地化する場合、土壌汚染対策法が適用される可能性が生じるため、留意する必要がある。

浚渫土砂に他の廃棄物が混入した廃棄物混じり土は、物理的に利用が困難になるだけでなく、廃棄物ではない浚渫土砂と廃棄物が分離されない状態で存在する場合、廃棄物処理法上その全体が廃棄物と判断されることがあるため、留意が必要である。

関係法規の規定を超える有害物質が含まれている浚渫土砂（汚染土）については、本ガイドラインの適用外であり、関係法規の定めに従い処理する必要がある。一般に汚染に係る判定基準としては、「水底土砂の判定基準（総理府令第 6 号）」があり、一部の自治体では、「土壌の汚染に係わる環境基準（環境庁告示第 26 号別表）」を適用している。その他、陸上工事に利用する場合または施工後に陸地化する場合に関連する基準として、土壌汚染対策法に係る基準（土壌溶出量基準、土壌含有量基準）がある。

なお、改良土を海域において利用する場合には、海域に改良土から高 pH の溶出水が流出する恐れや濁りが生じる恐れがあるため、工事区域の海域の利用特性を考慮して工事中の監視目標値を定め、その目標値を満足できるように配慮が必要である。pH については「水質汚濁に係る環境基準」、濁り（SS）については「水産用水基準（公益社団法人日本水産資源保護協会）」でそれぞれ基準が定められており、監視目標値を設定する際に参照することができる。また、セメント及びセメント系の固化材で安定処理した改良土は、**通達「『セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について』とその運用について」（平成 12 年 3 月 24 日付け、平成 13 年 4 月 20 日一部変更、建設省（現国土交通省））**に基づき、六価クロムの溶出に関して調査を実施する必要がある。

法令上の取り扱いの詳細については、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.2.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

浚渫土砂を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

浚渫土砂は基本的に土工材料としての利用となるため、再利用または廃棄を行う場合は建設発生土として検討を行うこととなる。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.3 アスファルト・コンクリート塊

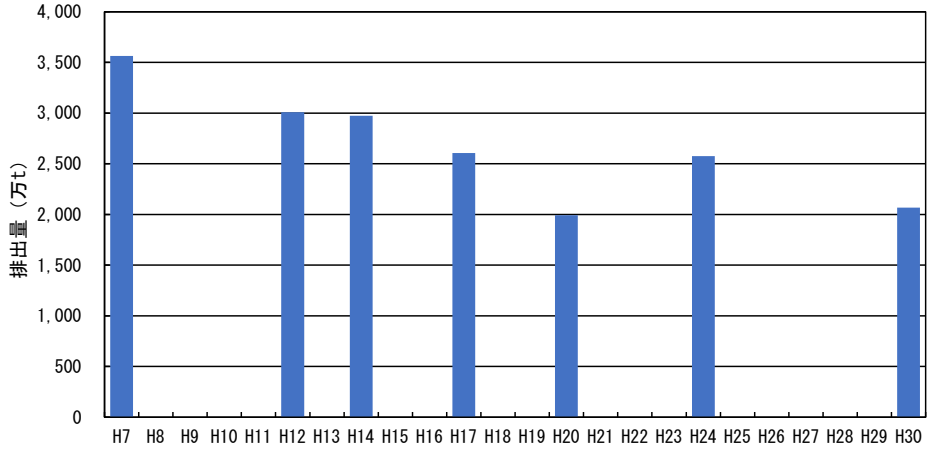
3.3.1 搬出・利用の状況

アスファルト・コンクリート塊は、再生クラッシャラン、再生粒度調整砕石及び再生加熱アスファルト混合物等として再資源化されている。

（解説）

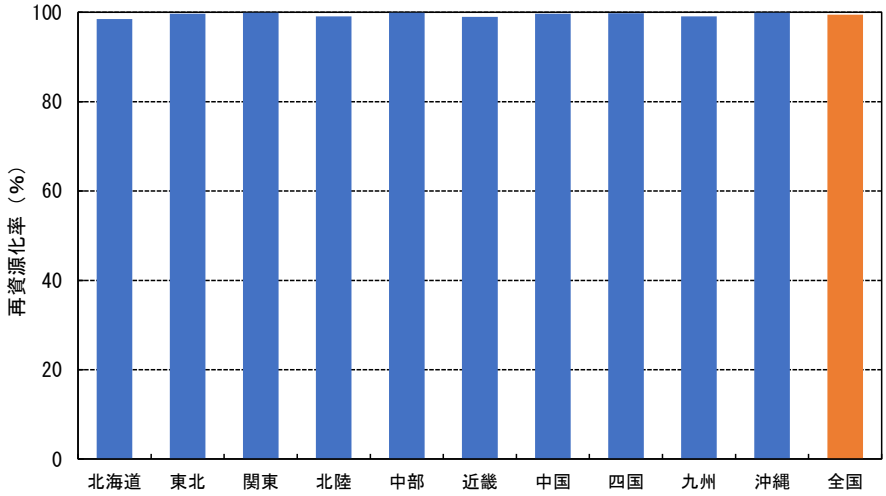
アスファルト・コンクリート塊は、舗装の剥ぎ取りあるいは削り取りによって生じるアスファルトがらである。アスファルト・コンクリート塊の再利用については、道路分野で 1970 年代から本格的な技術開発が進められて再利用技術の標準化が図られており、再資源化された再生クラッシャラン、再生粒度調整砕石及び再生加熱アスファルト混合物等の市場が形成され、一般に流通するまでに至っている。

アスファルト・コンクリート塊の排出量の推移は**図 3.3.1**、平成 30 年度の地域別再資源化率は**図 3.3.2** に示すとおりである。平成 30 年度には年間 2,068 万 t のアスファルト・コンクリート塊が排出されており、全国における再資源化率は 99.5%であった。



出典）平成 30 年度建設副産物実態調査結果参考資料（国土交通省）より作成

図 3.3.1　排出量の推移（アスファルト・コンクリート塊）



再資源化率＝（再使用量＋再生利用量）／排出量
出典）平成 30 年度建設副産物実態調査結果参考資料（国土交通省）より作成

図 3.3.2　地域別再資源化率（平成 30 年度、アスファルト・コンクリート塊）

3.3.2 品質

アスファルト・コンクリート塊を再利用する場合は、コンクリート塊、掘削された路盤材料を主とする他の材料とともに破砕・粒度調整を行い、再生クラッシャラン、再生粒度調整砕石として路盤に利用する場合と、破砕後再加熱してアスファルトを熔解し、再びアスファルト混合物として、表層・基層に利用する場合とに大別される。

（解説）

以下に、再資源化施設で製造される各材料の品質の概要を示す。

(1) 再生路盤材

アスファルト・コンクリート塊の路盤材への利用に関しては、「舗装の構造に関する技術基準」を適用した品質等が**「舗装再生便覧；日本道路協会」**に示されており、同便覧を参考にすることができる。**表 3.3.1** に再生路盤材（再生クラッシャランと再生粒度調整砕石）の品質規定を示し、**表 3.3.2** に再生路盤材の望ましい粒度範囲を示す。

表 3.3.1(1)　再生路盤材の品質規定（下層路盤）

項目 / 適用	材料	修正 CBR(%)	一軸圧縮強さ (MPa)	PI
舗装計画交通量（台/日・方向），T＜100，信頼度 50%の舗装〔注１〕	再生クラッシャラン	10 以上　［20 以上］	－	9 以下
アスファルト舗装	再生クラッシャラン	20 以上　［30 以上］	－	6 以下
	再生セメント安定処理路盤材料	－	材令 7 日，0.98 以上	－
	再生石灰安定処理路盤材料	－	材令 10 日，0.7 以上	－
セメントコンクリート舗装	再生クラッシャラン	20 以上　［30 以上］	－	6 以下
	再生セメント安定処理路盤材料	－	材令 7 日，0.98 以上	－
	再生石灰安定処理路盤材料	－	材令10日，0.5 以上	－

〔注１〕舗装計画交通量（台/方向・日）T＜100，信頼性 50%の舗装は，交通量が少ない道路であり，舗装設計施工指針に示す N_3 交通以下の道路に相当する。

〔注２〕アスファルトコンクリート再生骨材を含む再生クラッシャランを用いる場合で，上層路盤および基層・表層の合計厚が次に示す数値よりも小さい場合には修正 CBR の基準値に［　］内の数値を適用する。

北海道地方 ……20cm
東北地方　 ……30cm
その他の地域 ….40cm

なお，40℃で修正 CBR 試験を行う場合は通常の値を満足すればよい。

〔注３〕下層路盤に用いる再生路盤材料の修正 CBR の規格値は，下記の理由により決めたものである。

1）アスファルトコンクリート再生骨材を含む再生路盤材料は，20℃から 40℃へ温度が上昇すると，その配合率の程度にもよるが修正 CBR は 10 程度低下する。

2）過去の路盤温度測定データから推定すると，〔注２〕で示した数値より下層路盤面の位置が浅い場合は，下層路盤の温度が 40℃を超える可能性がある。

〔注４〕アスファルトコンクリート再生骨材をセメント，石灰などによって安定処理する場合においても，室内データでは温度の影響が認められるが，長期にわたって硬化が進むこと，過多のセメントや石灰の添加は路盤の収縮ひび割れの原因となることなどを考慮して一軸圧縮強さの割増しは行わないこととする。

〔注５〕セメントコンクリート再生骨材に対するすり減り減量 50%の値は路盤材料の施工時の細粒化を防ぐために設けた値であり，これに適合しない場合はセメント，石灰などによる安定処理路盤材料などの素材として利用するとよい。なお，セメントコンクリート再生骨材以外については，ロサンゼルス試験機による粗骨材のすり減り減量試験を行う必要はない。

〔注６〕再生クラッシャランの素材として路盤再生骨材もしくは路盤発生材を用いる場合のみ PI の規定を適用する。

〔注７〕現在生産されている再生路盤材料の PI は，基準を満足するものがほとんどであるが，路盤発生材への路床土の混入などにより品質の劣るものをチェックするために PI の規格を設けてある。

〔注８〕セメントコンクリート舗装に再生クラッシャランを用いる場合，試験施工などにより路盤の支持力が確認できるときや過去の例で経験的に耐久性が確認されているときは，425μm ふるい通過分の PI を 10 以下としてもよい。また，この場合で 425μm ふるい通過量が 10%以下の材料では PI が 15 のものまで用いることができる。

出典）舗装再生便覧（平成 22 年版）（（社）日本道路協会）

表 3.3.1(2)　再生路盤材の品質規定（上層路盤）

適用＼項目	材　料	修正 CBR %	一軸圧縮強さ MPa	マーシャル安定度 kN	その他の品質
舗装計画交通量（台/日・方向），T＜100，信頼度 50%の舗装〔注１〕	再生粒度調整砕石	60 以上 [70 以上]	－	－	PI 4 以下 安定性損失率20%以下
	再生加熱アスファルト安定処理路盤材料	－	－	3.43 以上	フロー値 10～40(1/100cm) 空隙率 3～12%
	再生セメント安定処理路盤材料	－	材令 7 日，2.5 以上	－	－
	再生石灰安定処理路盤材料	－	材令 10 日，0.7 以上	－	－
アスファルト舗装	再生粒度調整砕石	80 以上 [90 以上]	－	－	PI 4 以下 安定性損失率 20%以下
	再生加熱アスファルト安定処理路盤材料	－	－	3.43 以上	フロー値 10～40(1/100cm) 空隙率 3～12%
	再生セメント安定処理路盤材料	－	材令 7 日，2.9 以上	－	－
	再生石灰安定処理路盤材料	－	材令 10 日，0.98 以上	－	－
	再生セメント・瀝青安定処理路盤材料	－	1.5～2.9MPa	－	一次変位量 5～30(1/100cm) 残留強度率 65%以上
セメントコンクリート舗装	再生粒度調整砕石	80 以上 [90 以上]	－	－	PI 4 以下 安定性損失率 20%以下
	再生加熱アスファルト安定処理路盤材料	－	－	3.43 以上	フロー値 10～40 (1/100cm) 空隙率 3～12%
	再生セメント安定処理路盤材料	－	材令 7 日，2.0 以上	－	－
	再生石灰安定処理路盤材料	－	材令 10 日，0.98 以上	－	－
	再生セメント・瀝青安定処理路盤材料	－	1.5～2.9MPa	－	一次変位量 5～30(1/100cm) 残留強度率 65%以上

〔注１〕舗装計画交通量（台／方向・日）T＜100、信頼性 50%の舗装は、交通量が少ない道路であり、舗装設計施工指針に示す N_3 交通以下の道路に相当する。

〔注２〕アスファルト・コンクリート再生骨材を含む再生粒度調整砕石は、修正 CBR の基準値に［ ］内の数値を適用する。ただし、40℃で修正 CBR 試験を行う場合は通常の値を満足すればよい。

〔注３〕再生粒度調整砕石の素材として路盤再生骨材もしくは再生路盤材料を用いる場合のみ PI の規定を適用する。

〔注４〕セメントコンクリート舗装に再生粒度調整砕石を用いた場合は、上表の規格を満足するものを用いることが望ましいが、それ以外の材料であっても試験施工などにより路盤の支持力が確認されている場合は、425μｍふるい通過分の PI を 6 以下としてもよい。また、この場合で 425μｍふるい通過量が 10%以下の材料では PI が 10 のものまで用いることができる。

出典）舗装再生便覧（平成 22 年版）（（社）日本道路協会）

表 3.3.2(1)　再生路盤材の望ましい粒度範囲（下層路盤）

ふるい目の開き ＼ 粒度範囲(呼び名)		40～0 (RC-40)	30～0 (RC-30)	20～0 (RC-20)
通過質量百分率 %	53.0 mm	100		
	37.5 mm	95～100	100	
	31.5 mm	—	95～100	
	26.5 mm	—	—	100
	19.0 mm	50～80	55～85	95～100
	13.2 mm	—	—	60～90
	4.75 mm	15～40	15～45	20～50
	2.36 mm	5～25	5～30	10～35
〔注〕再生骨材の粒度は，モルタルなどを含んだ破砕されたままの見かけの骨材粒度を使用する。				

出典）舗装再生便覧（平成 22 年版）（（社）日本道路協会）

表 3.3.2(2)　再生路盤材の望ましい粒度範囲（上層路盤）

ふるい目の開き ＼ 粒度範囲(呼び名)		40～0 (RM-40)	30～0 (RM-30)	25～0 (RM-25)
通過質量百分率 %	53.0 mm	100		
	37.5 mm	95～100	100	
	31.5 mm	—	95～100	100
	26.5 mm	—	—	95～100
	19.0 mm	60～90	60～90	—
	13.2 mm	—	—	55～85
	4.75 mm	30～65	30～65	30～65
	2.36 mm	20～50	20～50	20～50
	425 μm	10～30	10～30	10～30
	75 μm	2～10	2～10	2～10
〔注〕再生骨材の粒度は，モルタルなどを含んだ破砕されたままの見かけの骨材粒度を使用する。				

出典）舗装再生便覧（平成 22 年版）（（社）日本道路協会）

(2) 再生加熱アスファルト混合物

道路舗装を対象とした再生加熱アスファルト混合物に関しては、「舗装の構造に関する技術基準」を適用した品質等が**「舗装再生便覧；日本道路協会」**に示されており、同便覧を参考にすることができる。再生加熱アスファルト混合物等に用いるアスファルト・コンクリート再生骨材の品質を**表 3.3.3** に示す。再生加熱アスファルト混合物の基準値を**表 3.3.4** に、その粒度範囲を**表 3.3.5** に示す。

表 3.3.3　アスファルト・コンクリート再生骨材の品質

旧アスファルトの含有量		%	3.8 以上
旧アスファルトの性状	針入度	1/10mm	20 以上
	圧裂係数	MPa/mm	1.70 以下
骨材の微粒分量		%	5 以下

〔注１〕アスファルトコンクリート再生骨材中に含まれるアスファルトを旧アスファルト，新たに用いる舗装用石油アスファルトを新アスファルトと称する。

〔注２〕アスファルトコンクリート再生骨材は，通常 20～13mm，13～5mm，5～0mm の 3 種類の粒度や 20～13mm，13～0mm の 2 種類の粒度にふるい分けられているが，**表－2.3.1** に示される規格は，13～0mm の粒度区分のものに適用する。

〔注３〕アスファルトコンクリート再生骨材の 13mm 以下が 2 種類にふるい分けられている場合には，再生骨材の製造時における各粒度区分の比率に応じて合成した試料で試験するか，別々に試験して合成比率に応じて計算により 13～0mm 相当分を求めてもよい。また，13～0mm あるいは 13～5mm，5～0mm 以外でふるい分けられている場合には，ふるい分け前の全試料から 13～0mm をふるい取ってこれを対象に試験を行う。

〔注４〕アスファルトコンクリート再生骨材の旧アスファルト含有量および 75μm を通過する量は，アスファルトコンクリート再生骨材の乾燥質量に対する百分率で表す。

〔注５〕骨材の微粒分量は「JIS A 1103:2003　骨材の微粒分量試験方法」により求める。

〔注６〕アスファルト混合物層の切削材は，その品質が**表－2.3.1** に適合するものであれば再生加熱アスファルト混合物に利用できる。ただし，切削材は粒度がばらつきやすいので他のアスファルトコンクリート発生材と調整して使用することが望ましい。

〔注７〕旧アスファルトの性状は，針入度または圧裂係数のどちらかが基準を満足すればよい。

出典）舗装再生便覧（平成 22 年版）（（社）日本道路協会）

表 3.3.4　再生加熱アスファルト混合物のマーシャル安定度試験に対する基準値

混合物の種類		① 再生粗粒度アスファルト混合物 (20)	② 再生密粒度アスファルト混合物 (20)	② (13)	③ 再生細粒度アスファルト混合物 (13)	④ 再生密粒度ギャップアスファルト混合物 (13)	⑤ 再生密粒度アスファルト混合物 (20F)	⑤ (13F)	⑥ 再生細粒度ギャップアスファルト混合物 (13F)	⑦ 再生細粒度アスファルト混合物 (13F)	⑧ 再生密粒度ギャップアスファルト混合物 (13F)	⑨ 再生開粒度アスファルト混合物 (13)
突固め回数(両面)	T≧1,000	75					50					75
	T＜1,000	50										50
空隙率　%		3～7	3～6			3～7	3～5			2～5	3～5	－
飽和度　%		65～85	70～85			65～85	75～85			75～90	75～85	－
安定度　kN		4.90 以上	4.90 (7.35)以上		4.90 以上					3.43 以上	4.90 以上	3.43 以上
フロー値 1/100cm		20～40								20～80	20～40	

〔注１〕（　）内は，舗装計画交通量 T≧1,000 で突固め回数が両面 75 回の場合とする。

〔注２〕積雪寒冷地域の場合など，1,000≦舗装計画交通量 T≦3,000 であっても流動によるわだち掘れのおそれが少ないところでは突固め回数を 50 回とする。

〔注３〕積雪寒冷地域の舗装の表層に適用する場合には，再生加熱アスファルト混合物の耐摩耗性などを十分調査して使用することが望ましい。

〔注４〕水の影響を受けやすいと思われる再生加熱アスファルト混合物またはそのような箇所に舗設される再生加熱アスファルト混合物の場合は,次式で求めた残留安定度が 75%以上であることが望ましい。

残留安定度（%）＝（60℃，48 時間水浸後の安定度／安定度）×100

また，必要に応じて消石灰，セメントまたははく離防止剤を使用するなどの対策を行うことが望ましい。

出典）舗装再生便覧（平成 22 年版）（（社）日本道路協会）

表 3.3.5　再生加熱アスファルト混合物の種類と粒度範囲

混合物の種類		①再生粗粒度アスファルト混合物	②再生密粒度アスファルト混合物		③再生細粒度アスファルト混合物	④再生密粒度ギャップアスファルト混合物	⑤再生密粒度アスファルト混合物		⑥再生細粒度ギャップアスファルト混合物	⑦再生細粒度アスファルト混合物	⑧再生密粒度ギャップアスファルト混合物	⑨再生開粒度アスファルト混合物
		(20)	(20)	(13)	(13)	(13)	(20F)	(13F)	(13F)	(13F)	(13F)	(13)
仕上がり厚 cm		4～6	4～6	3～5	3～5	3～5	4～6	3～5	3～5	3～4	3～5	3～4
最大粒径 mm		20	20	13	13	13	20	13	13	13	13	13
通過質量百分率 %	26.5mm	100	100				100					
	19.0mm	95~100	95~100	100	100	100	95~100	100	100	100	100	100
	13.2mm	70～90	75～90	95~100	95~100	95~100	75～95	95~100	95～100	95~100	95~100	95~100
	4.75mm	35～55	45～65	55～70	65～80	35～55	52～72		60～80	75～90	45～65	23～45
	2.36mm	20～35	35～50		50～65	30～45	40～60		45～65	65～80	30～45	15～30
	600μm	11～23	18～30		25～40	20～40	25～45		40～60	40～65	25～40	8～20
	300μm	5～16	10～21		12～27	15～30	16～33		20～45	20～45	20～40	4～15
	150μm	4～12	6～16		8～20	5～15	8～21		10～25	15～30	10～25	4～10
	75μm	2～7	4～8		4～10	4～10	6～11		8～13	8～15	8～12	2～7
再生アスファルト量 %		4.5～6	5～7		6～8	4.5～6.5	6～8		6～8	7.5～9.5	5.5～7.5	3.5～5.5

出典）舗装再生便覧（平成 22 年版）（（社）日本道路協会）

3.3.3 加工・改良技術

現場内で破砕、粒度調整等を行い、道路用材等として利用する場合においても、**「3.3.2 品質」**で示した、再資源化施設で製造される再生資材の品質と同等の品質を満足することにより利用することができる。

3.3.4 適用用途

(1) 概要

アスファルト・コンクリート塊をリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、アスファルト・コンクリート塊を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.3.6** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.3.6　アスファルト・コンクリート塊の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	×	E	●現段階では利用が難しいと考えられる。 【主な内容】 ・1)品質基準について、ｺﾝｸﾘｰﾄの品質に悪影響を及ぼす不純物を含んでいてはならない。 ・不純物量の内容としては次に示すものであり、それぞれの含有量の上限値に適合するものでなければならない。 [不純物：ﾀｲﾙ、れんが、陶磁器類、ｱｽﾌｧﾙﾄｺﾝｸﾘｰﾄ塊、ｶﾞﾗｽ片、石こう及び石膏ﾎﾞｰﾄﾞ片、その他無機系ﾎﾞｰﾄﾞ片、ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ片、木片、竹片、布きれ、紙くず、ｱｽﾌｧﾙﾄ塊、ｱﾙﾐﾆｳﾑ・亜鉛以外の金属片]	－	●利用実績なし	1)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	×	E		－		
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-3-11)	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・滑走路舗装工事（国交省）	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-3-11)	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)路盤材料へ適用するｱｽﾌｧﾙﾄｺﾝｸﾘｰﾄ再生骨材の品質や施工管理を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・誘導路改良工事（国交省） ・滑走路外周護岸・遮水舗装等（国交省） ・道路構築工事（国交省） ・道路改良工事（国交省） ・防波堤付帯施設改良工事（国交省） ・物揚場築造工事（国交省） ・土砂処分場護岸築造工事（国交省）	2)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	◎ (As舗装骨材)	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)再生加熱ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物等に用いるｱｽﾌｧﾙﾄｺﾝｸﾘｰﾄ再生骨材の品質や施工管理を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・滑走路、エプロン改良、用地造成等工事（国交省） ・誘導路拡幅、改良、護岸工事（国交省） ・道路排水及び舗装工事（他多数）（国交省） ・護岸（改良）築造工事（他多数）（国交省） ・岸壁築造工事（国交省） ・航路泊地浚渫工事（国交省）	2)
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)JISA5021「ｺﾝｸﾘｰﾄ用再生骨材H」（平成30年5月改正）
2)舗装再生便覧((社)日本道路協会、平成22年版)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) 路盤材

「舗装再生便覧」において、路盤材へ適用するアスファルト・コンクリート再生骨材の品質や施工管理が規定されている。アスファルト・コンクリート塊を路盤材に用いる場合は、アスファルト・コンクリート再生骨材を利用することとし、これらの関連する基準類に示される方法によって、要求性能を満足するように設計を行う必要がある。

品質規定の詳細については**「舗装再生便覧」**を参照のこと。

(3) アスファルト舗装骨材

「舗装再生便覧」は、舗装設計施工指針に記述された計画、設計、及び施工技術のうち、舗装の再生利用に関する事項を取りまとめたもので、一般的な舗装再生の施工に必要となる、材料、配合設計、施工機械、施工法に係る具体的な内容を網羅しており、アスファルト・コンクリート再生骨材の品質や施工管理が規定されている。アスファルト・コンクリート塊をアスファルト舗装骨材に用いる場合は、これらの関連する基準類に示される方法によって、要求性能を満足するように設計を行う必要がある。

このほか、**「舗装の構造に関する技術基準･同解説」**、**「舗装設計施工指針」**、**「舗装施工便覧」**、**「道路維持修繕要綱」**、**「アスファルト混合所便覧」**、**「アスファルト舗装工事共通仕様書および解説」**等を必要に応じて参照されたい。

品質規定の詳細については**「舗装再生便覧」**を参照のこと。

(4) 今後の検討を要する用途

1) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

盛土材としての利用実績はあるが、適用技術に係る情報が十分集積されていないことから、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

2) 路床盛土材

用途としての利用可能性はあるが、適用技術に係る情報が十分集積されていないことから、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

3.3.5 関連法令

アスファルト・コンクリート塊は、「廃棄物処理法」に規定する産業廃棄物に該当する。また、「建設リサイクル法」における特定建設資材が廃棄物となったものであり、再資源化等に努めるべきである。

（解説）

工事現場で発生するアスファルト・コンクリート塊は、「建設リサイクル法」における特定建設資材が廃棄物となったものであり、対象建設工事（建設リサイクル法に基づき定められる一定規模以上の工事）においては再資源化等を行うことが必要である。また、対象建設工事以外の土木工事であっても、再資源化等に努めるべきである。なお、「廃棄物処理法」に規定する産業廃棄物に該当することから、当該工事における現場内利用及び工事間利用にあたっては注意する必要がある。

これらの当該工事における現場内利用及び工事間利用について疑義が生じた場合は、「廃棄物処理法」の行政指導を行っている都道府県または市町村の廃棄物担当部局、または、「海洋汚染防止法」の行政指導を行っている海上保安部に確認を取る必要がある。

建設リサイクル法
第十六条（再資源化等実施義務）

対象建設工事受注者は、分別解体等に伴って生じた特定建設資材廃棄物について、再資源化をしなければならない。ただし、特定建設資材廃棄物でその再資源化について一定の施設を必要とするもののうち政令で定めるもの（以下この条において「指定建設資材廃棄物」という。）に該当する特定建設資材廃棄物については、主務省令で定める距離に関する基準の範囲内に当該指定建設資材廃棄物の再資源化をするための施設が存しない場所で工事を施工する場合その他地理的条件、交通事情その他の事情により再資源化をすることには相当程度に経済性の面での制約があるものとして主務省令で定める場合には、再資源化に代えて縮減をすれば足りる。

建設リサイクル法基本方針
三 特定建設資材廃棄物の再資源化等に関する目標の設定その他特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進のための方策に関する事項
1.特定建設資材廃棄物の再資源化等に関する目標の設定に関する事項（抜粋）

資源化施設の立地状況が地域によって異なることを勘案しつつ、すべての関係者が再生資源の十分な利用及び廃棄物の減量をできるだけ速やかに、かつ、着実に実施することが重要であることから、今後十年を目途に特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進に重点的に取り組むこととし、平成二十二年度における再資源化等率（工事現場から排出された特定建設資材廃棄物の重量に対する再資源化等されたものの重量の百分率をいう。）は、アスファルト・コンクリート塊（アスファルト・コンクリートが廃棄物となったものをいう。以下同じ。）について95%とする。

特に、国の直轄事業においては、再資源化等を先導する観点から、平成十七年度までに最終処分する量をゼロにすることを目指すこととする。

2.特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進のための方策に関する事項
（2）特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進のための具体的方策等
③アスファルト・コンクリート塊

アスファルト・コンクリート塊については、破砕、選別、混合物除去、粒度調整等を行うことにより、再生加熱アスファルト安定処理混合物及び表層基層用再生加熱アスファルト混合物（以下「再生加熱アスファルト混合物」という。）として、道路等の舗装の上層路盤材、基層用材料または表層用材料に利用することを促進する。また、再生骨材として、道路等の舗装の路盤材、建築物等の埋め戻し材または基礎材等に利用することを促進する。

加えて、アスファルト・コンクリート塊に係る再資源化施設については、新たな施設整備と併せて既存施設の効率的な稼動を推進するための措置を講ずるよう努める必要がある。

なお、近年、道路等の舗装の表層用材料として、ガラス、ゴム、樹脂等が混入した加熱アスファルト混合物を用いる場合もあるが、再資源化の可能性が実証されていない材料または再資源化が困難な材料があることから、その再資源化のための技術開発等を行う必要がある。

3.3.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

アスファルト・コンクリート塊を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

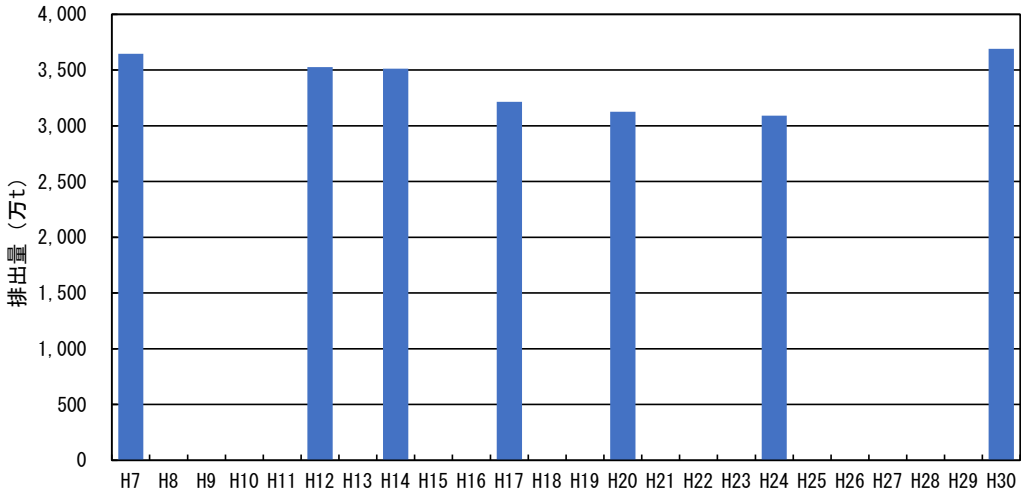
3.4 コンクリート塊

3.4.1 搬出・利用の状況

コンクリート塊は、有用な再生資材として港湾・空港等工事に利用されている。

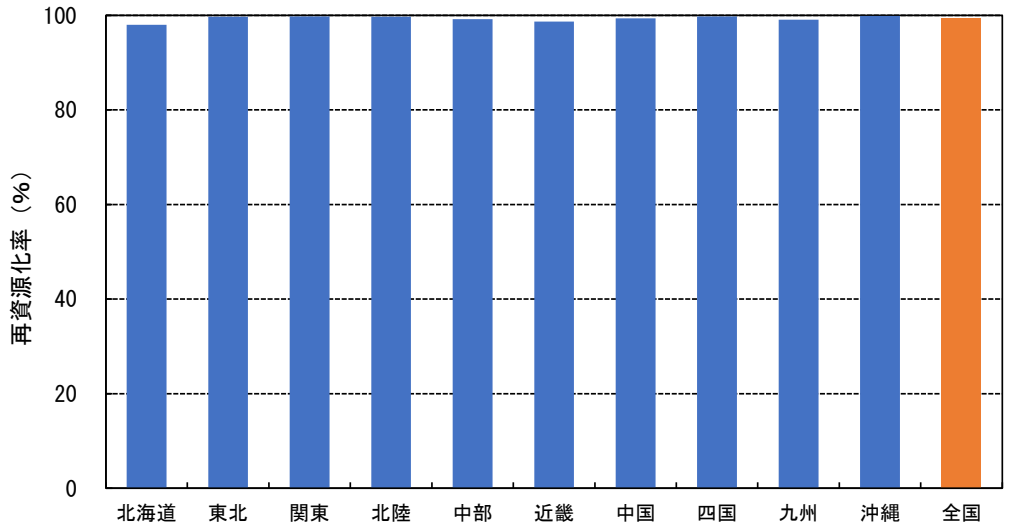
（解説）

コンクリート塊は、工作物の除去に伴って生じるコンクリートの破片である。コンクリート塊の排出量の推移は**図 3.4.1**、平成 30 年度の地域別再資源化率は**図 3.4.2** に示すとおりである。平成 30 年度には年間 3,690 万 t のコンクリート塊が排出されており、全国における再資源化率は 99.3%であった。



出典）平成 30 年度建設副産物実態調査結果参考資料（国土交通省）より作成

図 3.4.1　排出量の推移（コンクリート塊）



再資源化率＝（再使用量＋再生利用量）／排出量
出典）平成 30 年度建設副産物実態調査結果参考資料（国土交通省）より作成

図 3.4.2　地域別再資源化率（平成 30 年度、コンクリート塊）

3.4.2 品質

コンクリート塊は、破砕・粒度調整等の加工を施すことにより、天然材料と同様に取り扱える。
コンクリート塊を破砕して用いる場合は、溶出水の pH に留意することとする。

（解説）

コンクリート塊は、工作物の除去に伴って生じるコンクリートの破片であり、再生利用を行う場合の品質は、天然石・砕石に比べ若干比重が軽いことや強度が低い点を考慮すれば、利用用途に見合う破砕・粒度調整等の加工を施すことにより、天然材料と同様に取り扱える。

一方、港湾・空港等工事で発生するコンクリート塊を、現場内で処理し、道路用材以外の裏込や地盤改良材等の砂・石材として利用するために、コンクリート破砕物の基本的な諸物性の研究が進められ、空港舗装への適用についても検討されている。

(1) コンクリート塊全般

コンクリート塊を利用する場合の環境上配慮すべき事項として、溶出水の高 pH が挙げられる。

溶出水の pH は、コンクリート塊の細粒分含有率によって影響を受けるため、利用に際してはコンクリート塊の粒度等を確認しておく必要がある。

なお、コンクリート塊を自然状態で放置しておくだけでも、中性化が進行し、溶出水の pH は低下するため、コンクリート塊を破砕した後に放置期間を置く等の対策も必要である。

(2) コンクリート用再生骨材

コンクリート用再生骨材の品質については、**表 3.4.1** に示すとおり、品質ごとに JIS で規定されている。コンクリート用再生骨材は原コンクリートのモルタルが付着しているため、その度合いにより、吸水率や安定性が大きくなる傾向にあり、骨材の品質によってコンクリートの性状に影響する。

表 3.4.1　リサイクル材料による骨材の品質に係る品質規格

骨材の名称	品質規格の名称	
	細骨材	粗骨材
再生骨材 H（高品質）	JISA5021「コンクリート用再生骨材 H」	
再生骨材 M（中品質）	JISA5022「再生骨材 M を用いたコンクリート」	
再生骨材 L（低品質）	JISA5023「再生骨材 L を用いたコンクリート」	

3.4.3 加工・改良技術

現場内で破砕、粒度調整等を行い、コンクリート骨材や路盤材等として利用する場合においても、「3.4.2 品質」で示した、再資源化施設で製造される再生資材の品質と同等の品質を満足することにより利用することができる。

（解説）

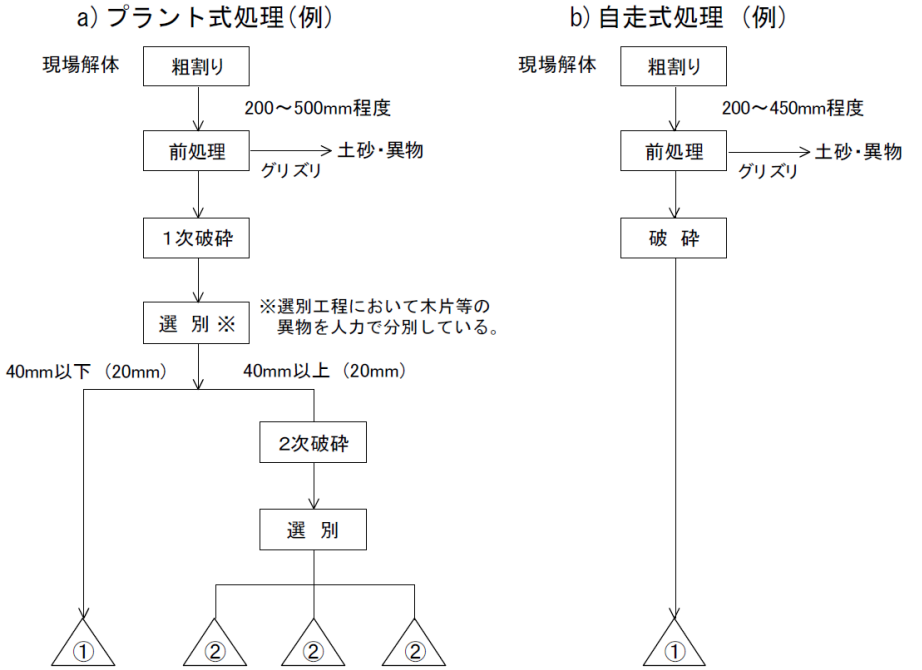
コンクリート塊の現場での一般的な処理フローを**図 3.4.3** に示す。現場での処理方法には、仮設プラントを設置して処理する方法と自走式のクラッシャーで処理する方法がある。

コンクリート塊を破砕するにあたっては、コンクリート解体現場で破砕装置の供給最大寸法（200㎜～450㎜ 程度）以下に粗割する必要がある。

破砕は、コンクリート骨材や路盤材等の適当な粒度分布を必要とする用途では、1 次破砕と 2 次破砕の 2 段階で行われることが多く、１次破砕はジョークラッシャーなどの粗粉砕用破砕機で粉砕した後、目視選別による木片等の異物を選別し、40㎜ 以下と以上の粒径（用途によっては 20㎜）に選別する。40㎜ 以上のコンクリート塊は 2 次破砕（インパクトクラッシャー；衝撃破砕）によって 40㎜ 以下の破砕物に加工される。

この 1 次破砕後の破砕物と 2 次破砕物後の破砕物では品質が違うものとして取り扱われることが多い。これは、1 次破砕物には目視選別で除去できない細かな異物が多く含まれているためであり、コンクリート骨材等の高品位の用途では後者の破砕物を利用することになる。

破砕回数が多くなると、骨材の周りに付着しているモルタル分が除去されるため、高品位の破砕物を製造することができるが、モルタル微粒分が多く発生し、その利用方法を検討する必要がある。



①クラッシャーの処理の設定等により、100-0mm～20-0mm 程度の破砕物となる。
現場解体で異物が混入している場合、破砕物にも異物が混入する。
②振動ふるいの目を調整することにより利用用途にあった粒径の破砕物となる。
(例)　・　40-0mm または 20-0mm
・　40-5mm、5-0mm または 40-10mm、10-0mm
・　20-13mm、13-5mm、5-0mm　等

出典）建設副産物･再資源の取扱いに関するｶﾞｲﾄﾞﾌﾞｯｸ（運輸省第四港湾建設局（現国土交通省九州地方整備局）ﾘｻｲｸﾙﾜｰｷﾝｸﾞｸﾞﾙｰﾌﾟ）

図 3.4.3　コンクリート塊の破砕処理（例）

3.4.4 適用用途

(1) 概要

JIS が規定されているコンクリート塊をリサイクル材として利用する場合は、当該 JIS に適合したものを利用するものとする。
JIS が規定されていないコンクリート塊をリサイクル材として利用する場合は、用途において必要となる要求性能を満たす材料を利用するものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、コンクリート塊を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.4.2** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.4.2(1)　コンクリート塊の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	◎ (再生骨材)	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)2)3)ｺﾝｸﾘｰﾄ塊のｺﾝｸﾘｰﾄ用再生骨材への利用に関して、適用範囲や品質、配合、材料、製造・試験・検査方法等の品質基準を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・ふ頭岸壁外（災害復旧）工事（国交省） ・係留施設築造工事（国交省）	1) 2) 3)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	◎ (再生骨材)	A		a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・漁港建設工事（国交省） ・ふ頭地区道路工事（国交省） ・堤防（改良）本体工事（国交省）	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-4-8) 【主な内容】 ・5)ｺﾝｸﾘｰﾄ骨材、路盤材、捨石、裏込材、中詰材、埋立材、置換工、敷砂、ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びSCPへの用途を記載。 ・ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝへの適用については、利用可能性はあるが用途が限定されるもの、または今後の実証試験等の検討が必要とするものとされている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁(耐震）地盤改良工事（国交省）	5)
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	○+	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・5)ｺﾝｸﾘｰﾄ骨材、路盤材、石材(捨石、裏込材、中詰材、埋立材)、置換工、敷砂、ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びSCPへの用途を記載。 ・SCPへの適用については、液状化対策として材料試験、現場試験、試験施工が行われており、材料試験に係る設計定数(単位体積重量、内部摩擦角、透水係数)にﾊﾞﾗﾂｷはあるものの、改良効果や施工性について標準材料と同等の効果等が得られている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・ふ頭岸壁外（災害復旧）工事（国交省） ・物揚場建設その他工事（国交省）	5)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-4-9) 【主な内容】 ・5)ｺﾝｸﾘｰﾄ骨材、路盤材、石材(捨石、裏込材、中詰材、埋立材)、置換工、敷砂、ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びSCPへの用途を記載。 ・捨石への適用については、利用可能性はあるが用途が限定されるもの、または今後の実証試験等の検討を必要とするものとされている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁保安設備工事（国交省） ・検潮所基礎工事（国交省） ・港湾施設設置工事（国交省） ・岸壁改良工事（国交省）	5)
⑧	中詰材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-4-9) 【主な内容】 ・5)ｺﾝｸﾘｰﾄ骨材、路盤材、石材(捨石、裏込材、中詰材、埋立材)、置換工、敷砂、ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びSCPへの用途を記載。 ・中詰材への適用については、利用可能性はあるが用途が限定されるもの、または今後の実証試験等の検討を必要とするものとされている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・防波堤建設工事（国交省） ・防波堤（災害復旧）築造工事（国交省）等	5)

出典）

1)JISA5021「ｺﾝｸﾘｰﾄ用再生骨材H」（平成30年5月改正）
2)JISA5022「再生骨材Mを用いたｺﾝｸﾘｰﾄ」（平成30年5月改正）
3)JISA5023「再生骨材Lを用いたｺﾝｸﾘｰﾄ」（平成30年5月改正）
4)ｺﾝｸﾘｰﾄ副産物の再生利用に関する用途別品質基準(国土交通省通知、平成28年3月）
5)平成8年度ﾘｻｲｸﾙ材の利用法のとりまとめ((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成9年3月）
6)舗装再生便覧((社)日本道路協会、平成22年度版）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.4.2(2)　コンクリート塊の適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	△ (被覆・根固工)	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-4-9) 【主な内容】 ・5)ｺﾝｸﾘｰﾄ骨材、路盤材、石材(捨石、裏込材、中詰材、埋立材)、置換工、敷砂、ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びSCPへの用途を記載。 ・石材への適用については、利用可能性はあるが用途が限定されるもの、または今後の実証試験等の検討を必要とするものとされている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・防波堤（沖）築造工事（国交省） ・防波堤築造工事（災害復旧）（国交省）	5)
⑩	裏込材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-4-10) 【主な内容】 ・5)ｺﾝｸﾘｰﾄ骨材、路盤材、石材(捨石、裏込材、中詰材、埋立材)、置換工、敷砂、ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びSCPへの用途を記載。 ・裏込材への適用については、利用可能性はあるが用途が限定されるもの、または今後の実証試験等の検討を必要とするものとされている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁改良工事（国交省） ・臨港道路用地造成工事（国交省） ・臨港道路擁壁工事(国交省) ・堤防（改良）本体工事（国交省）	5)
⑪	裏埋材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・国際物流ターミナル整備事業（国交省） ・港湾建設工事（国交省）	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・護岸（改良）築造工事（国交省） ・海岸保全施設整備事業（浸食）（国交省）等	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	○+	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで確認され利用可能性が高い。	a	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・国際物流ターミナル整備事業（国交省） ・防護矢板工事（国交省） ・土砂処分場管理用施設整備工事（国交省）	
⑮	路盤材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・4)「舗装再生便覧」に規定されている品質基準をｺﾝｸﾘｰﾄ副産物の路盤材への使用にあたっての品質基準としている。 ・6)路盤材料へ適用するｺﾝｸﾘｰﾄ再生骨材の品質(すり減り減量)や施工管理を規定。 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ副産物の破砕物も舗装要綱のｸﾗｯｼｬﾗﾝまたは粒度調整砕石の規格を満たせば使用できる。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・空港整備事業（国交省） ・空港誘導路改良工事、護岸工事岸壁改良工事（国交省） ・道路排水及び舗装工事（国交省） ・橋梁（改良）耐震補強工事（国交省） ・護岸（改良）築造工事（国交省） ・海岸保全施設整備事業（国交省） ・航路泊地浚渫工事（国交省）	4) 6)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	×	E	●現段階では利用が難しいと考えられる。 【主な内容】 ・6)ｾﾒﾝﾄｺﾝｸﾘｰﾄ発生材を表・基層用材料(再生密粒度ｱｽﾌｧﾙﾄｺﾝｸﾘｰﾄ、再生ﾎﾟｰﾗｽｱｽﾌｧﾙﾄ混合物)への利用は、適用が困難とされている。	－	●利用実績なし	6)
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・ブロック製作場所の不陸整正（国交省） ・防波堤本体及び根固め工事のケーソン函体（国交省）	

出典）

1)JISA5021「ｺﾝｸﾘｰﾄ用再生骨材H」（平成30年5月改正）

2)JISA5022「再生骨材Mを用いたｺﾝｸﾘｰﾄ」（平成30年5月改正）

3)JISA5023「再生骨材Lを用いたｺﾝｸﾘｰﾄ」（平成30年5月改正）

4)ｺﾝｸﾘｰﾄ副産物の再生利用に関する用途別品質基準(国土交通省通知、平成28年3月）

5)平成8年度ﾘｻｲｸﾙ材の利用法のとりまとめ((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成9年3月）

6)舗装再生便覧((社)日本道路協会、平成22年度版）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) コンクリート用細骨材・粗骨材

コンクリート塊を破砕・粒度調整等を行うことによりコンクリート用の再生骨材を製造する技術が進められており、有効利用の促進を一つの目的として、平成 17～19 年にかけて、以下のとおり、コンクリート用再生骨材の規格が JIS 化されている。

・再生骨材 H（高品質）：JIS A 5021
・再生骨材 M（中品質）：JIS A 5022
・再生骨材 L（低品質）：JIS A 5023

利用用途の要求性能に応じて、適切な品質の再生骨材を利用する必要がある。

再生骨材は原コンクリートのモルタルが付着しているため、その度合いにより、吸水率や安定性が大きくなる傾向にあり、骨材の品質によってコンクリートの性状に影響する。

【既存工事における検討事項】

・コンクリート再生骨材の室内試験一式を実施して、規格の適合を確認した。（漁港建設工事）

(3) サンドコンパクションパイル材

コンクリート塊は、粒状材料として、砂地盤の締固め及び粘性土地盤の改良のいずれの目的にも利用が考えられる。

一般に、砂質土地盤の締固めを目的としたサンドコンパクションパイル工法では、せん断強度や単位体積重量等の材料特性に関する要請は小さい。この用途へのコンクリート塊の利用については、平成 8 年に神戸港六甲アイランドにおいて試験施工が実施されており、砂と同等の締固め効果及び施工性が確認されている[1)]。

一方、粘性土地盤の改良を目的としたサンドコンパクションパイル工法では、材料の強度定数や重量等が設計に大きな影響を及ぼす。それに対してコンクリート塊は骨材とモルタルからなり、粒子内の強度が不均一であるため強度の評価が難しい。また、粒度調整の程度によって影響を受けるため、品質にばらつきが大きい[2)]。従って、粘性土地盤の改良のためのサンドコンパクションパイル工法にコンクリート塊を利用する場合は、利用するコンクリート塊のせん断特性、単位体積重量等をよく把握して適切に利用する必要がある。

溶出水は高 pH を示すので、溶出特性をよく把握したうえで、利用に際しては周辺環境に十分配慮する必要がある。

【既存工事における検討事項】

・材料搬入時に、ふるい分け試験成績表等により品質確認を行った。（エプロン地盤改良工事）

【参考文献】

1) (財)沿岸開発技術研究センター：平成 8 年度リサイクル材の利用法のとりまとめ、平成 9 年 3
2) 水上純一、菊池喜昭、吉野博之：リサイクル材料としてのコンクリート塊の諸特性、港湾技研資料 No.906、平成 10 年 6 月

(4) 路床盛土材

コンクリート塊を路床盛土材に利用するための参考となる資料等は整備されていない。この用途にコンクリート塊の利用を検討する場合は、利用実績の確認、試験施工、実証試験の実施等により、要求性能を満足できることを十分検討する必要がある。

溶出水は高 pH を示すので、溶出特性をよく把握したうえで、利用に際しては周辺環境に十分配慮する必要がある。

【既存工事における検討事項】

・すり減り試験、密度試験等により仕様規格を満たしているか確認した。（港湾建設工事）

(5) 路盤材

コンクリート塊を路盤材として利用するにあたっては、基準類に示される品質を満足する必要がある。基準類としては、**「コンクリート副産物の再生利用に関する用途別品質基準」（国土交通省通知、平成 28 年 3 月）**において、コンクリート塊を下層路盤材ならびに上層路盤材として利用する場合の品質基準として、**「舗装再生便覧」（日本道路協会）**に規定された品質基準が示されている。

また、港湾のエプロンや空港の基本施設への適用に際しては、道路舗装における要求品質の基準値より上位の値が設定されている場合があるので適用用途の要求品質を満たすよう注意する必要がある。

「舗装再生便覧」（日本道路協会）は、舗装設計施工指針に記述された計画、設計、及び施工技術のうち、舗装の再生利用に関する事項を取りまとめたもので、一般的な舗装再生の施工に必要となる、材料、配合設計、施工機械、施工法に係る具体的な内容を網羅しており、利用検討に当たって参照されたい。このほか、**「舗装の構造に関する技術基準･同解説」**、**「舗装設計施工指針」**、**「舗装施工便覧」**、**「道路維持修繕要綱」**、**「アスファルト混合所便覧」**、**「アスファルト舗装工事共通仕様書および解説」**等を必要に応じて参照されたい。

溶出水は高 pH を示すので、溶出特性をよく把握したうえで、利用に際しては周辺環境に十分配慮する必要がある。

(6) 今後の検討を要する用途

1) バーチカルドレーン及びサンドマット材

コンクリート塊は、材料特性等の技術的検討を行うことで、粒状材料としてバーチカルドレーン及びサンドマットへの利用が考えられる。利用する場合には、コンクリート塊の強度特性が問題になることは少なく、むしろ透水性がドレーン効果に影響することから、適用性は、個々のコンクリート塊粒子の物性よりも破砕時の粒度分布によるところが大きい。

この用途にコンクリート塊の利用を検討する場合は、粒度分布、透水性、溶出特性等の性質をよく把握する必要がある。また、溶出水は高 pH を示すので、溶出特性をよく把握したうえで、利用に際しては周辺環境に十分配慮する必要がある。

2) 捨石

構造物の基礎捨石等は、波力の影響に対して安定している必要があるため、比較的寸法の大きな石材が材料として用いられる。コンクリート塊は、根固め石として利用された実績はあるものの、構造物の基礎捨石のように、せん断強さが要求される用途への適用技術開発はあまり進んでいない。粗割りによる強度低下、長期的な耐久性の低下等の確認等、今後の技術的検討が必要である。

この用途にコンクリート塊の利用を検討する場合は、利用実績の確認、試験施工、実証試験の実施等により、要求性能を満足できることを十分検討する必要がある。また、溶出水は高 pH を示すので、溶出特性をよく把握したうえで、利用に際しては周辺環境に十分配慮する必要がある。

3) 中詰材

コンクリート塊は、粒状材料として中詰材への利用が考えられる。コンクリート塊の粒子は、粒子内の強度が均一に近い天然の石材とは違い、骨材とモルタルという物性の異なる２種類のものから構成されている。そのため、コンクリート塊を破砕・粒度調整する際、その度合いによってモルタル分の付着量が違い、結果として破砕時の粒度によって品質に差が生じる。従って、中詰材にコンクリート塊の利用を検討する場合は、実際に使用するコンクリートについて、その粒度調整の程度等を把握した上で、単位体積重量、せん断特性、溶出特性等の性質を確認する必要がある。また、溶出水は高 pH を示すので、溶出特性をよく把握したうえで、利用に際しては周辺環境に十分配慮する必要がある。

【既存工事における検討事項】

- コンクリート塊の比重試験結果が仕様を満たしていることを確認した。（防波堤築造工事）
- コンクリート塊の単位体積重量が仕様を満足しないため、購入砂との混合比を設定した。（防波堤建設工事、ケーソン撤去外工事）
- コンクリート塊中詰め投入時の汚濁・粉塵については、バケット位置に配慮した施工を行った。（岸壁築造等工事）

4) 被覆・根固工

被覆石、根固石は、波力の影響に対して安定している必要があるため、比較的寸法の大きな石材が材料として用いられる。

コンクリート塊は、被覆石及び根固石としての利用実績はあるものの、せん断強さが要求される用途への適用技術開発はあまり進んでいない。粗割りによる強度低下、長期的な耐久性の低下等の確認等、今後の技術的検討が必要である。

この用途にコンクリート塊の利用を検討する場合は、利用実績の確認、試験施工、実証試験の実施等により、要求性能を満足できることを十分検討する必要がある。また、溶出水は高 pH を示すので、溶出特性をよく把握したうえで、利用に際しては周辺環境に十分配慮する必要がある。

【既存工事における検討事項】

- コンクリート塊を根固石として流用する場合、使用可能な形状が得られることを確認した。（防波堤築造工事）

5) 裏込材

コンクリート塊は、粒状材料として、裏込材への利用が考えられる。コンクリート塊の粒子は、粒子内の強度が均一に近い天然の石材とは違い、骨材とモルタルという物性の異なる２種類のものから構成されている。そのため、コンクリート塊を破砕・粒度調整する際、その度合いによってモルタルの付着分が違い、結果として破砕時の粒度によって品質に差が生じる。従って、裏込材にコンクリート塊の利用を検討する場合は、実際に使用するコンクリートについて、その粒度調整の程度等を把握した上で、単位体積重量、せん断特性、溶出特性等の性質を確認する必要がある。また、溶出水は高 pH を示すので、溶出特性をよく把握したうえで、利用に際しては周辺環境に十分配慮する必要がある。

6) 裏埋材

コンクリート塊を裏埋材として利用する場合のマニュアル類は整備されていないが、裏込材への利用可能性があることから、裏込材の要求品質を目安とすることにより、裏埋材への利用も可能と考えられる。裏埋材として利用する場合は、個々の工事において定まる要求性能を満たすことを十分確認した上で利用する必要がある。また、溶出水は高 pH を示すので、溶出特性をよく把握したうえで、利用に際しては周辺環境に十分配慮する必要がある。

【既存工事における検討事項】

・単位体積重量、粒度分布等を確認して使用した。（護岸付帯工事、岸壁整備工事）

7) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

コンクリート塊を盛土材、覆土材、載荷盛土材に利用するための参考となる資料等は整備されていない。

この用途にコンクリート塊の利用を検討する場合は、利用実績の確認、試験施工、実証試験の実施等により、要求性能を満足できることを十分検討する必要がある。

溶出水は高 pH を示すので、溶出特性をよく把握したうえで、利用に際しては周辺環境に十分配慮する必要がある。

3.4.5 関連法令

工事現場で発生するコンクリート塊は、「建設リサイクル法」における特定建設資材が廃棄物となったものであり、対象建設工事（建設リサイクル法に基づき定められる一定規模以上の工事）においては再資源化等を行うことが必要である。また、対象建設工事以外の土木工事であっても、再資源化等に努めるべきである。なお、「廃棄物処理法」に規定する産業廃棄物に該当することから、当該工事における現場内利用及び工事間利用にあたっては注意する必要がある。

これらの当該工事における現場内利用及び工事間利用について疑義が生じた場合は、「廃棄物処理法」の行政指導を行っている都道府県または市町村の廃棄物担当部局、または、「海洋汚染防止法」の行政指導を行っている海上保安部に確認を取る必要がある。

建設リサイクル法
第十六条（再資源化等実施義務）
　対象建設工事受注者は、分別解体等に伴って生じた特定建設資材廃棄物について、再資源化をしなければならない。ただし、特定建設資材廃棄物でその再資源化について一定の施設を必要とするもののうち政令で定めるもの（以下この条において「指定建設資材廃棄物」という。）に該当する特定建設資材廃棄物については、主務省令で定める距離に関する基準の範囲内に当該指定建設資材廃棄物の再資源化をするための施設が存しない場所で工事を施工する場合その他地理的条件、交通事情その他の事情により再資源化をすることには相当程度に経済性の面での制約があるものとして主務省令で定める場合には、再資源化に代えて縮減をすれば足りる。

建設リサイクル法基本方針
三 特定建設資材廃棄物の再資源化等に関する目標の設定その他特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進のための方策に関する事項
1.特定建設資材廃棄物の再資源化等に関する目標の設定に関する事項（抜粋）
　資源化施設の立地状況が地域によって異なることを勘案しつつ、すべての関係者が再生資源の十分な利用及び廃棄物の減量をできるだけ速やかに、かつ、着実に実施することが重要であることから、今後十年を目途に特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進に重点的に取り組むこととし、平成二十二年度における再資源化等率（工事現場から排出された特定建設資材廃棄物の重量に対する再資源化等されたものの重量の百分率をいう。）は、コンクリート塊（コンクリートが廃棄物となったもの並びにコンクリート及び鉄から成る建設資材に含まれるコンクリートが廃棄物となったものをいう。以下同じ。）について 95%とする。　特に、国の直轄事業においては、再資源化等を先導する観点から、平成十七年度までに最終処分する量をゼロにすることを目指すこととする。

2.特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進のための方策に関する事項
（2）特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進のための具体的方策等
①コンクリート塊
　コンクリート塊については、破砕、選別、混合物除去、粒度調整等を行うことにより、再生クラッシャーラン、再生コンクリート砂、再生粒度調整砕石等（以下「再生骨材等」という。）として、道路、港湾、空港、駐車場及び建築物等の敷地内の舗装（以下「道路等の舗装」という。）の路盤材、建築物等の埋め戻し材または基礎材、コンクリート用骨材等に利用することを促進する。
　また、コンクリート塊の再資源化施設については、新たな施設整備と併せて既存施設の効率的な稼動を推進するための措置を講ずるよう努める必要がある。
　なお、現状においては、コンクリート塊をコンクリート用骨材として再資源化する費用は、コンクリート用骨材以外のものとして再資源化する費用に比較して高いことから、その費用の低減のための技術の開発等を行う必要がある。

3.4.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

コンクリート塊を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.5 建設発生木材

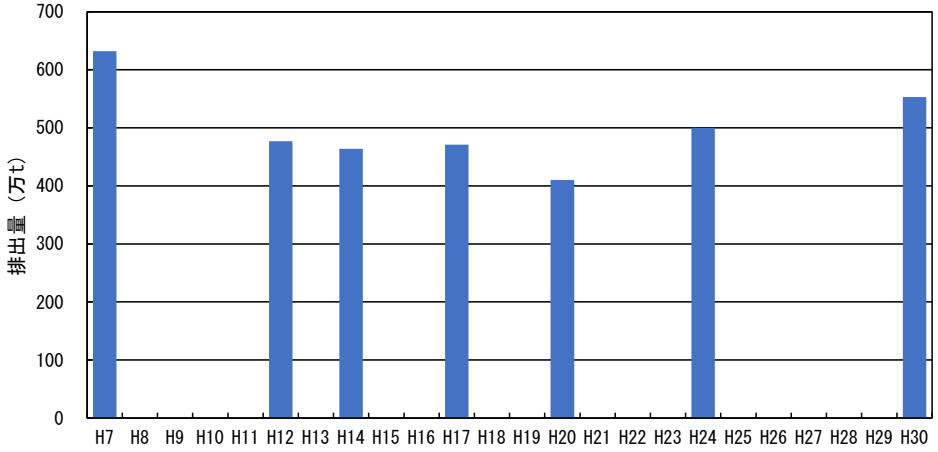
3.5.1 搬出・利用の状況

建設発生木材は、排出量の 9 割以上が再資源化・縮減されている。

（解説）

建設発生木材は、木造建築物の解体等によって発生する木材である。

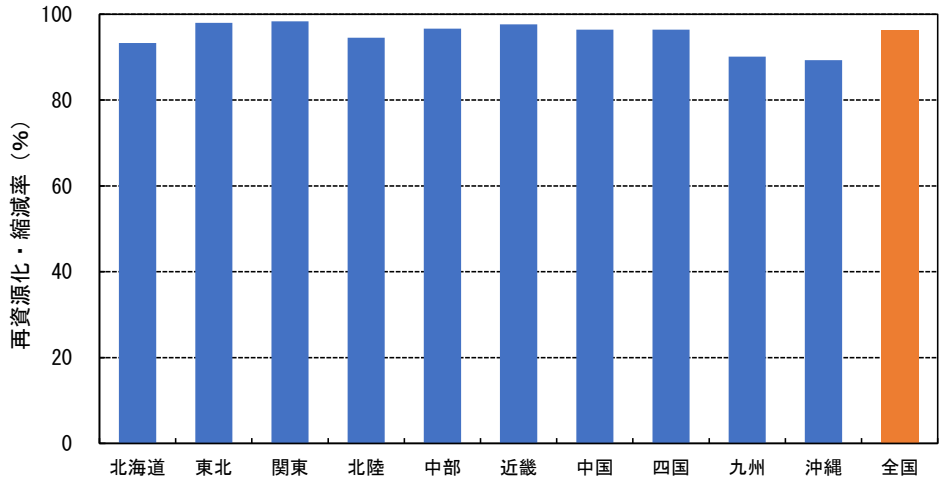
建設発生木材の排出量の推移は**図 3.5.1**、平成 30 年度の地域別再資源化率は**図 3.5.2** に示すとおりである。平成 30 年度には、年間 553 万 t が排出されており、全国における再資源化・縮減（脱水等による減量化）率は、96.2%であった。



出典）平成 30 年度建設副産物実態調査結果参考資料（国土交通省）より作成

図 3.5.1　排出量の推移（建設発生木材）

【再資源化・縮減率】



再資源化・縮減率＝（再使用量＋再生利用量＋熱回収量＋縮減量(焼却による減量化量)）／排出量

出典）平成 30 年度建設副産物実態調査結果参考資料（国土交通省）より作成

図 3.5.2　地域別再資源化・縮減率（平成 30 年度、建設発生木材）

3.5.2 品質

建設発生木材は、強度性能、耐久性、環境性等の面から特色を持つ材料である。

（解説）

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」において、木材は、他の建設材料と比較して以下のような特色があり、港湾の施設に木材を利用する際にはこれらの性質に配慮する必要があるとされている。

①強度性能

質量当たりの強度が大きい。繊維直交方向の強度に比べて、繊維方向の強度が大きい。引張り強度が圧縮強度よりも大きく、曲げ破壊は圧縮側の座屈から始まる。せん断強さが小さい。含水率による強度、寸法、比重等の変化が無視できない。持続荷重によるクリープ変形が大きい。

②耐久性

生物（菌類、昆虫類、海虫類など）、気象因子（紫外線、降雨、温度など）等によって、変色、表面汚染、形態変化、強度低下等の劣化を生じる。木材の使用環境と含水状態により、主な劣化要因は大きく異なる。

③環境性

木は太陽エネルギーを利用し大気中の二酸化炭素を固定して生育するので、生産に伴う二酸化炭素排出の少ない材料である。間伐材の利用は人工林の保全に資する。天然林材の使用は森林破壊を招くおそれ等があるので留意するべきである。

④その他

可燃性がある。適度に不規則な木目模様や色の濃淡により景観性にすぐれる。香りが心身に良い影響を与える。適度な弾力性があり転倒した場合のけがが少ない。熱伝導率が小さいので触れたときに暖かみがある。摩擦係数が適度に大きく、静摩擦係数と動摩擦係数の差がほとんどないので歩きやすく感じられる。

3.5.3 加工・改良技術

現場内で破砕等を行い再利用する場合においても、再資源化施設で製造される再生資材の品質と同等の品質を満足することにより利用することができる。

3.5.4 適用用途

(1) 概要

建設発生木材をリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、建設発生木材を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.5.1** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○⁺」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.5.1　建設発生木材の適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	◎ (ﾎﾞｰﾄﾞ材料等)	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)建設発生木材の品質区分と適用用途、ﾘｻｲｸﾙの方法、施工方法、施工事例等について記載。 ・2)木くずについての利用用途、適用範囲、試験評価方法(品質基準等)を記載。 ・利用用途としては、ﾎﾞｰﾄﾞ材のほか、現場内利用としてﾏﾙﾁﾝｸﾞ材、生育基盤材、堆肥化、炭化、丸太材などへの利用が考えられる。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・建設発生木材を再生木質ボード型枠として活用 ・解体発生木材を新築構造物に再利用 ・伐採材をチップ化し、緑化基盤材として活用 ・伐採材をチップ化・堆肥化して法面吹付資材として活用	1) 2)

出典）

1)建設発生木材ﾘｻｲｸﾙの手引き(案)(土木研究所、平成17年12月)

2)建設工事における他産業ﾘｻｲｸﾙ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ(土木研究所、平成18年4月)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) ボード材料等

港湾・空港工事への建設発生木材の利用用途については、ボード材のほか、現場内利用としてマルチング材、生育基盤材、堆肥化、炭化、丸太材などが考えられる。

「建設発生木材リサイクルの手引き(案)」(編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成17年12月)、「建設工事における他産業リサイクル利用技術マニュアル」(編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成18年4月)等の関連マニュアル類を参考とし、要求性能に応じた材料を利用する必要がある。

利用用途に見合う品質が確保されたものについて、調達の可能性、経済性等を勘案して利用する必要がある。

3.5.5 関連法令

建設発生木材は、「廃棄物処理法」に規定する産業廃棄物に該当する。また、「建設リサイクル法」における特定建設資材が廃棄物となったものであり、再資源化等に努めるべきである。

(解説)

工事現場で発生する建設発生木材は、「建設リサイクル法」における特定建設資材が廃棄物となったものであり、対象建設工事（建設リサイクル法に基づき定められる一定規模以上の工事）においては再資源化等を行うことが必要である。また、対象建設工事以外の土木工事であっても、再資源化等に努めるべきである。なお、「廃棄物処理法」に規定する産業廃棄物に該当することから、当該工事における現場内利用及び工事間利用にあたっては注意する必要がある。

これらの当該工事における現場内利用及び工事間利用について疑義が生じた場合は、「廃棄物処理法」の行政指導を行っている都道府県または市町村の廃棄物担当部局、または、「海洋汚染防止法」の行政指導を行っている海上保安部に確認を取る必要がある。

建設リサイクル法
第十六条（再資源化等実施義務）

対象建設工事受注者は、分別解体等に伴って生じた特定建設資材廃棄物について、再資源化をしなければならない。ただし、特定建設資材廃棄物でその再資源化について一定の施設を必要とするもののうち政令で定めるもの（以下この条において「指定建設資材廃棄物」という。）に該当する特定建設資材廃棄物については、主務省令で定める距離に関する基準の範囲内に当該指定建設資材廃棄物の再資源化をするための施設が存しない場所で工事を施工する場合その他地理的条件、交通事情その他の事情により再資源化をすることには相当程度に経済性の面での制約があるものとして主務省令で定める場合には、再資源化に代えて縮減をすれば足りる。

建設リサイクル法基本方針
三 特定建設資材廃棄物の再資源化等に関する目標の設定その他特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進のための方策に関する事項
1.特定建設資材廃棄物の再資源化等に関する目標の設定に関する事項（抜粋）

資源化施設の立地状況が地域によって異なることを勘案しつつ、すべての関係者が再生資源の十分な利用及び廃棄物の減量をできるだけ速やかに、かつ、着実に実施することが重要であることから、今後十年を目途に特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進に重点的に取り組むこととし、平成二十二年度における再資源化等率（工事現場から排出された特定建設資材廃棄物の重量に対する再資源化等されたものの重量の百分率をいう。）は、建設発生木材（木材が廃棄物となったものをいう。以下同じ。）について95%とする。特に、国の直轄事業においては、再資源化等を先導する観点から、平成十七年度までに最終処分する量をゼロにすることを目指すこととする。

2.特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進のための方策に関する事項
（2）特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進のための具体的方策等
②建設発生木材

建設発生木材については、チップ化し、木質ボード、堆肥等の原材料として利用することを促進する。これらの利用が技術的な困難性、環境への負荷の程度等の観点から適切でない場合には燃料として利用することを促進する。

なお、建設発生木材の再資源化を更に促進するためには、再生木質ボード（建設発生木材を破砕したものを用いて製造した木質ボードをいう。以下同じ。）、再生木質マルチング材（雑草防止材及び植物の生育を保護・促進する材料等として建設発生木材を再資源化したものをいう。以下同じ。）等について、更なる技術開発及び用途開発を行う必要がある。具体的には、住宅構造用建材、コンクリート型枠等として利用することのできる高性能・高機能の再生木質ボードの製造技術の開発、再生木質マルチング材の利用を促進するための用途開発、燃料用チップの発電燃料としての利用等新たな利用を促進するための技術開発等を行う必要がある。

また、このような技術開発等の動向を踏まえつつ、建設発生木材については、建設発生木材の再資源化施設等の必要な施設の整備について必要な措置を講ずるよう努める必要がある。

3.5.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

建設発生木材を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

建設発生木材は基本的に木材としての利用となるため、再利用または廃棄を行う場合は、再び建設発生木材として検討を行うこととなる。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.6 建設汚泥

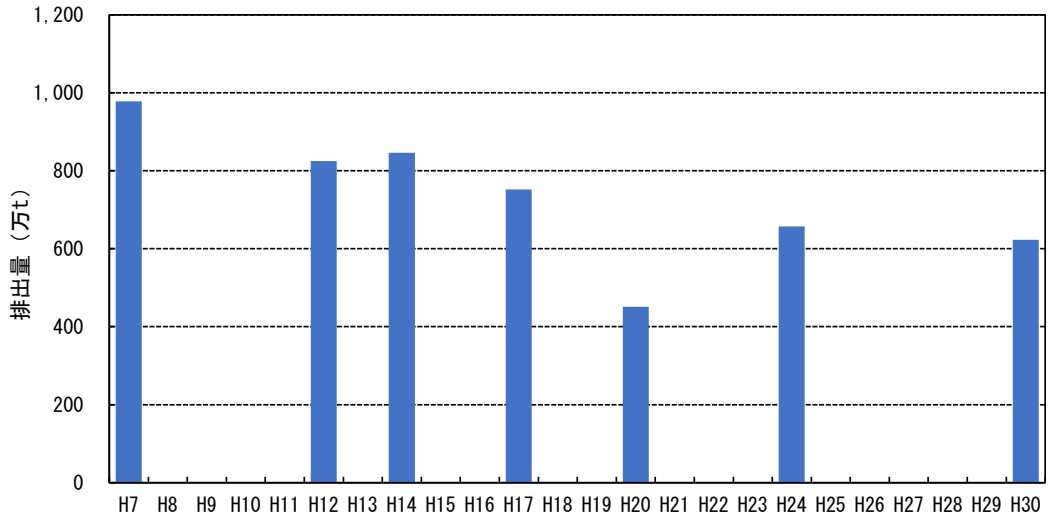
3.6.1 搬出・利用の状況

建設汚泥は、排出量の 8 割以上が再資源化・縮減されている。

（解説）

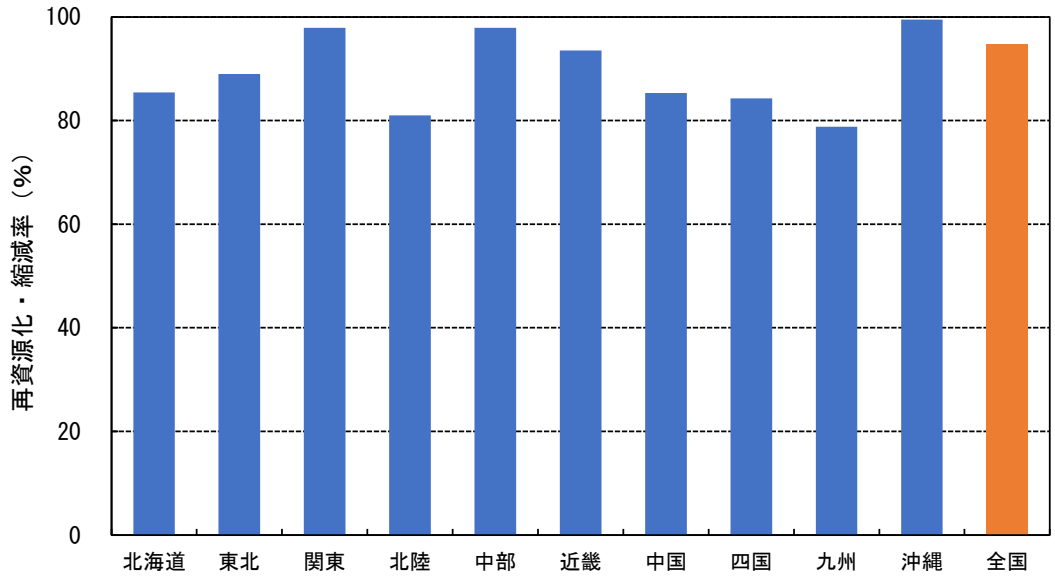
建設汚泥は、泥水式シールド工法、連続地中壁工法、場所打杭工法等、地下掘削面の崩壊防止または掘削土の流動化排土のために泥水を用いる工法などから生じる泥土である。

建設汚泥の排出量の推移は**図 3.6.1**、平成 30 年度の地域別再資源化・縮減（脱水等による減量化）率は**図 3.6.2** に示すとおりである。平成 30 年度には年間 623 万ｔの建設汚泥が排出されており、全国における再資源化・縮減率は 94.6%であった。



出典）平成 30 年度建設副産物実態調査結果参考資料（国土交通省）より作成

図 3.6.1　排出量の推移（建設汚泥）



再資源化・縮減率＝（再使用量＋再生利用量＋縮減量(脱水等による減量化量)）／排出量
出典）平成 30 年度建設副産物実態調査結果参考資料（国土交通省）より作成

図 3.6.2　地域別再資源化・縮減率（平成 30 年度、建設汚泥）

3.6.2 品質

建設汚泥の性状は、工法により自硬性汚泥と非自硬性汚泥に分類できる。

（解説）

(1) 物理・力学的性質

建設汚泥は「浚渫以外の建設工事等に係わる掘削工事に伴って排出されるもののうち、標準ダンプトラックに山積みができず、またその上を人が歩けない状態のもの（コーン指数がおおむね 200kN/m^2 以下または一軸圧縮強さがおおむね 50kN/m^2 以下）」と定義され、土質区分上では泥土に相当する。

建設汚泥の性状は、工法により自硬性汚泥と非自硬性汚泥に分類できる。それぞれの性状及び主な発生工法は**表 3.6.1** に示すとおりである。

表 3.6.1　建設汚泥の性状

分　類		性　状	主な発生工法
非自硬性汚泥	泥水状汚泥	含水比が高く、泥水状（余剰泥水・安定液）	・泥水式シールド工法 ・連続地中壁工法 ・アースドリル工法
	泥土状汚泥	含水量が少ない 機械的脱水が難しい	・泥土圧シールド工法 ・アースドリル工法
自硬性汚泥		放置すれば固結する（セメント等を多量に含む）	・高圧噴射撹拌工法 ・ソイルセメント壁工法

(2) 化学的性質

1) pH

セメント系及び石灰系の改良材を添加した建設汚泥（改良土）については、pH が高くなる場合がある。また、産業副産物を改良材として利用する場合、pH が高い材料もある。したがって、改良材を添加する場合は、適用先の基準類を満足できるよう留意することとする。

2) 有害物質の溶出量・含有量

建設汚泥には、処理の過程で添加材等（作泥材、凝集剤、脱水助剤等）が用いられる場合がある。一般に安全性が確認されたものが使用されているが、利用に当たっては発生工事において使用された添加材等の安全性に関する資料を入手し、使用状況が適正であることを確認することが望ましい。

また、セメント系改良材等による安定処理を行う場合、固化材と土の組み合わせによっては六価クロムが環境基準を超えて溶出する場合があるため、留意する必要がある。

3.6.3 加工・改良技術

建設汚泥の改良に当たっては、「建設汚泥再生利用マニュアル」を参照することができる。

（解説）

建設汚泥は、**「建設汚泥再生利用マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 20 年 12 月）**で**表 3.6.2** に示す改良技術が示されている。

脱水や乾燥処理を行う場合、コーン指数が 200～400kN/m^2 程度（建設汚泥処理土利用技術基準における第４種処理土程度）までの強度を得ることができる。

安定処理を行う場合、建設汚泥は、セメント等の安定処理材の添加により任意の強度を得ることができるので、利用用途に見合った配合をして用いることができる。また、土中に用いたセメント改良土については、劣化速度が遅いことが知られている[1)]。

高度安定処理や焼成処理を行う場合は、処理後は粒状、礫状を呈し（建設汚泥処理土利用技術基準における第１種処理土程度）、破砕して砂や砕石の代替として利用することが可能である。

なお、建設汚泥の改良に際し、改良時に添加される凝集剤やセメント及びセメント系固化材等によって環境保全上の問題が生じる場合があり、凝集剤の品質確認及びセメント、セメント系固化材による六価クロムの溶出について配慮が必要である。

表 3.6.2　建設汚泥の主な改良技術と品質

処理技術		概　　要	処理後の品質
製品化処理技術※1	焼成処理	・建設汚泥を利用目的に応じて成形したものを、1,000℃程度の温度で焼成固結する処理技術。	・粒状、礫状を呈する。
	高度安定処理	・安定処理にプレス技術等を併用し強度の高い固化物を製造する処理技術。セメント等の固化材の添加量の増加によっても可能である。固化物を解砕することにより礫・砂状となる。	・粒状、礫状を呈する。
	スラリー化安定処理	・土砂に泥水（または水）とセメント等の固化材を混練して流動性を有する処理土（流動化処理土等）を製造する処理技術。まだ固まらないコンクリートのようにポンプやアジテータ車等から流し込んで施工する。泥水として建設汚泥の利用が可能である。スラリー化安定処理には、流動化処理土、気泡混合土等がある。	・スラリー状→固化 ・一軸圧縮強さで 100～500kN/m^2 程度。（固化材の添加量によってはさらに高強度も可能）
土質材料としての処理技術※2	高度脱水処理	・脱水処理土がそのまま土質材料として利用できる脱水処理技術をいう。適用可能な脱水機として、打込み圧が 1.5MPa 以上のフィルタープレスや真空圧を併用しセメント等の固化材を凝集剤として使用できるフィルタープレス等が開発されている。	・脱水ケーキ ・コーン指数で 400kN/m^2 以上。
	脱水処理	・含水比の高い建設汚泥から水を絞り出す技術。機械力を利用した機械式脱水処理と、重力などを利用した自然式脱水処理に大別される。通常、減量化や安定処理などの前処理に用いられるが、土質や利用用途によっては、脱水処理土が直接利用できる場合もある。袋詰脱水処理工法は自然式脱水処理工法に分類される。	・脱水ケーキ ・コーン指数で 200kN/m^{2}程度まで。（土質によっては 200kN/m^{2}以上）
	安定処理等	・建設汚泥にセメントや石灰等の固化材により化学的に土質を改良する安定処理と無機系や高分子系の改良材により主に吸水作用による強度発現を期待する土質改良がある。両者とも施工性を改善すると同時に、強度の発現・増加を図る方法。固化材や改良材の添加量によって強度の制御が可能である。	・コーン指数で 200kN/m^{2}以上から礫・砂状を呈するものまで。
	乾燥処理	・建設汚泥から水を蒸発させることにより含水比を低下させ、強度を高める技術。天日乾燥などの自然式乾燥や、熱風などによる機械式乾燥がある。	・乾燥の程度によっては固結状態まで可能であるが、通常はコーン指数 200kN/m^2 程度まで。
	粒度調整	・細粒分の多い建設汚泥に粒度構成の異なる砂等を混合して粒度分布を変え、含水比を低下させることにより締固め特性を改善する方法。混合の方法としては、ミキサー等によるプラント混合と油圧ショベル等を利用した現場混合がある。	・砂状を呈する。 ・不適正処分とならぬよう、適用用途に見合った改良を行うこと。

注）廃棄物処理法上では乾燥も脱水に位置づけられている。

※1　建設汚泥に高い付加価値をつけ、一般利用者（建設工事も含まれる）を対象に販売できる製品を製造するための処理技術

※2　建設汚泥を盛土や埋め戻しなどの用途に適合する土質材料にまで有用性を高め利用するための処理技術

出典）建設汚泥再生利用マニュアル（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 20 年 12 月）

【参考文献】

1）北詰昌樹、菊池喜昭：固化処理土の長期耐久性、月刊基礎工、Vol.39、No.5、pp.55-59、平成 23 年

3.6.4 適用用途

(1) 概要

建設汚泥をリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、必要に応じて土質改良を行う等、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、建設汚泥を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.6.3** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.6.3　建設汚泥の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-6-7)	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁築造工事（サンドドレーン）（国交省）	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-6-7)	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	×	E	●現段階では利用が難しいと考えられるもの。 【主な内容】 ・1)港湾工事おけるﾘｻｲｸﾙ材の利用可能性として、中詰材への利用は不可能と考えられると判定されている。	－	●利用実績なし	1)
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)土質材料として利用する場合の品質区分とその指標(ｺｰﾝ指数)と調査試験方法を規定。 ・盛土材用途として、道路用盛土、河川築堤、土地造成などへの適用を規定。 ・建設汚泥処理土をそのままで使用あるいは適切な土質改良により使用が可能とされている。 ・3)盛土として利用する際の調査・設計、施工、施工管理(品質管理)、品質確認に係る留意事項等が定められている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁築造工事（国交省）	2) 3)
⑬	埋立材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)土質材料として利用する場合の品質区分とその指標(ｺｰﾝ指数)と調査試験方法を規定。 ・水面埋立への適用を規定。(泥土については土質改良を規定。また、水面上へ土砂等が出た後については、利用目的別の留意点（地盤改良、締固め等）を別途考慮するものとされている。) ・3)主な利用用途として水面埋立を記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・貯木場埋立造成事業（管理者）	2) 3)
⑭	路床盛土材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)土質材料として利用する場合の品質区分とその指標(ｺｰﾝ指数)と調査試験方法を規定。 ・盛土材用途として、道路用盛土(路床)への適用を規定。 ・建設汚泥処理土をそのままで使用あるいは適切な土質改良により使用が可能とされている。 ・3)盛土として利用する際の調査・設計、施工、施工管理(品質管理)、品質確認に係る留意事項等が定められている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁築造工事（国交省）	2) 3)
⑮	路盤材	△	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)土質材料として利用する場合の品質区分とその指標(ｺｰﾝ指数)と調査試験方法を規定。 ・3)建設汚泥を高度安定処理などの処理を行い、砕石状に加工したものなどが路盤材として利用可能とされている。 ・路盤材の利用用途(上層路盤材、下層路盤材)ごとの要求品質規格が定められている。	－	●利用実績なし	2) 3)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)ﾘｻｲｸﾙ材料の港湾工事への活用に関する検討(港湾技研資料、平成8年3月)
2)通達「建設汚泥処理土利用技術基準について」(国官技第50号、国官総第137号、国営計第41号、平成18年6月)
3)建設汚泥再生利用ﾏﾆｭｱﾙ(土木研究所、平成20年12月)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

建設汚泥を盛土、覆土、載荷盛土に利用する場合においては、その性状と利用用途に応じて、「発生側や利用側で性状を改良して利用する」、「プラントやストックヤードを経由して利用する」などの利用方法がある。有効利用にあたっては、改良処理を前提として、処理土の用途、処理土の品質、改良処理工法等について検討する必要がある。

通達「建設汚泥処理土利用基準について」において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、盛土材に関する用途として、道路用盛土、河川築堤、土地造成等への適用に当たっての土質区分の標準（適用用途標準）が規定されており、目安とすることができる。建設汚泥は、適切な土質改良（含水比低下、粒度調整、機能付加・補強、安定処理等）を行えば使用可能とされている。

また、**「港湾工事共通仕様書」**では、盛土材の「港湾工事品質管理基準」が示されているため、港湾工事に利用する場合、品質管理方法について準拠する必要がある。

(3) 埋立材

通達「建設汚泥処理土利用基準について」において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、水面埋立への適用に当たっての土質区分の標準（適用用途標準）が規定されており、目安とすることができる。建設汚泥は、適切な土質改良（含水比低下、粒度調整、機能付加・補強、安定処理等）を行えば使用可能とされている。

建設汚泥を安定処理して利用する場合、処理土としての性質のみならず、原料土としての建設汚泥の性質もその配合設計や固結後の特性評価の指標となるため、よく把握しておくことが重要である。

(4) 路床盛土材

通達「建設汚泥処理土利用基準について」において、**表 3.1.1** に示した土質区分に基づき、道路用盛土（路床）への適用に当たっての土質区分の標準（適用用途標準）が規定されており、目安とすることができる。

(5) 今後の検討を要する用途

1) バーチカルドレーン及びサンドマット材

砂質系で標準材料と同等以上の品質の材料について利用可能であることから、建設汚泥についても土質改良による利用可能性があるものの、今後の検討を要する。したがって、利用を検討する場合には、利用可能性について十分検討する必要がある。

一般に、バーチカルドレーン及びサンドマットに用いる砂は透水性がよく、粘土粒子による目詰まりが生じないようなものが使用されるため、使用する建設汚泥の粒度及び透水性に留意が必要である。

2) サンドコンパクションパイル材

砂質系で標準材料と同等以上の品質の材料について利用可能であることから、建設汚泥についても土質改良による利用可能性があるものの、今後の検討を要する。したがって、利用を検討する場合には、利用可能性について十分検討する必要がある。

適用箇所が砂質土地盤であるか、粘性土地盤であるかによって要求品質及び性能が異なることに留意が必要である。

3) 路盤材

「建設汚泥再生利用マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 20 年 12 月）において、セメントや石灰を混合し、高強度の固化物を製造する処理技術である高度安定処理を行った建設汚泥について、路盤材へ利用可能とされている。路盤材へ利用する場合は、**「舗装再生便覧」**に規定されている要求品質規格を満たす材料を用いることとする。

3.6.5 関連法令

建設汚泥は、「廃棄物処理法」に規定する産業廃棄物に該当する。

（解説）

建設汚泥は「廃棄物処理法」に規定する産業廃棄物に該当することから、当該工事における現場内利用及び工事間利用にあたっては注意する必要がある。

これらの当該工事における現場内利用及び工事間利用について疑義が生じた場合は、「廃棄物処理法」の行政指導を行っている都道府県または市町村の廃棄物担当部局、または、「海洋汚染防止法」の行政指導を行っている海上保安部に確認を取る必要がある。

建設リサイクル法基本方針
三 特定建設資材廃棄物の再資源化等に関する目標の設定その他特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進のための方策に関する事項
2.特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進のための方策に関する事項
(2) 特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進のための具体的方策等
④その他
特定建設資材以外の建設資材についても、それが廃棄物となった場合に再資源化等が可能なものについてはできる限り分別解体等を実施し、その再資源化等を実施することが望ましい。また、その再資源化等についての経済性の面における制約が小さくなるよう、分別解体等の実施、技術開発の推進、収集運搬方法の検討、効率的な収集運搬の実施、必要な施設の整備等について関係者による積極的な取組が行われることが必要である。

改良土を海域において利用する場合には、海域に改良土から高 pH の溶出水が流出する恐れや濁りが生じる恐れがあるため、工事区域の海域の利用特性を考慮して工事中の監視目標値を定め、その目標値を満足できるように配慮が必要である。pH については「水質汚濁に係る環境基準（環境基本法）」、濁り（SS）については「水産用水基準（公益社団法人日本水産資源保護協会）」でそれぞれ基準が定められており、監視目標値を設定する際に参照することができる。

また、セメント及びセメント系の固化材で安定処理した改良土は、**通達「『セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について』とその運用について」（平成 12 年 3 月 24 日付け、平成 13 年 4 月 20 日一部変更、建設省（現国土交通省））**に基づき、六価クロムの溶出に関して調査を実施する必要がある。

3.6.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

建設汚泥を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.7 高炉スラグ

3.7.1 製造・供給

高炉スラグは、冷却方法の違いにより、高炉徐冷スラグ、高炉水砕スラグに分類される。また、用途に応じコンクリート用細骨材、コンクリート用粗骨材、高炉スラグ微粉末、土工用水砕スラグ、道路用鉄鋼スラグが製品として製造されている。

（解説）

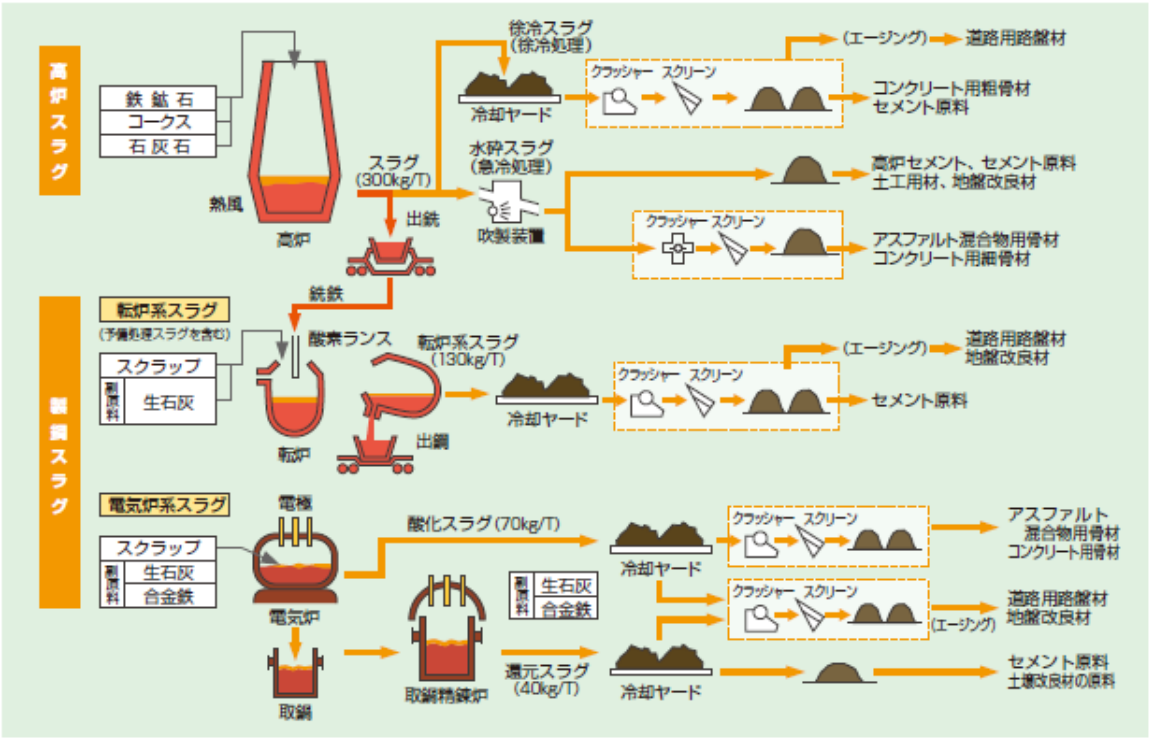
(1) 製造方法

1） 高炉スラグの生成

高炉スラグは銑鉄製造工程で発生する。高炉内に鉄鉱石、コークス、石灰石などの原料を装入し熱風を送ると、鉄鉱石は還元されて、溶銑及び溶融スラグとなっていずれも炉底に溜まる。これを比重差（溶銑：7、溶融スラグ：2.6～2.7）によって分離、回収したものが高炉スラグであり、溶銑1ｔに対し約 300 kgのスラグが発生する。

高炉スラグは、冷却方法によって、高炉徐冷スラグ、高炉水砕スラグの 2 種類に分類される。

製造フローを**図 3.7.1** に、組成例を**表 3.7.1** に示す。



(注) 銑鉄・高炉スラグが生産される高炉では、廃プラスチック等のリサイクル資源が副原料として有効利用されている。

出典）環境資材 鉄鋼スラグ（鐵鋼スラグ協会）

図 3.7.1　鉄鋼スラグ製品の製造フロー

表 3.7.1　鉄鋼スラグの組成例

鉄鋼スラグの組成例

（単位：%）

種類／成分	高炉スラグ	転炉系スラグ	電気炉系スラグ		安山岩	普通セメント
			酸化スラグ	還元スラグ		
CaO	41.7	45.8	22.8	55.1	5.8	64.2
SiO_2	33.8	11.0	12.1	18.8	59.6	22.0
T-Fe	0.4	17.4	29.5	0.3	3.1	3.0
MgO	7.4	6.5	4.8	7.3	2.8	1.5
Al_2O_3	13.4	1.9	6.8	16.5	17.3	5.5
S	0.8	0.06	0.2	0.4	—	2.0
P_2O_5	<0.1	1.7	0.3	0.1	—	—
MnO	0.3	5.3	7.9	1.0	0.2	—

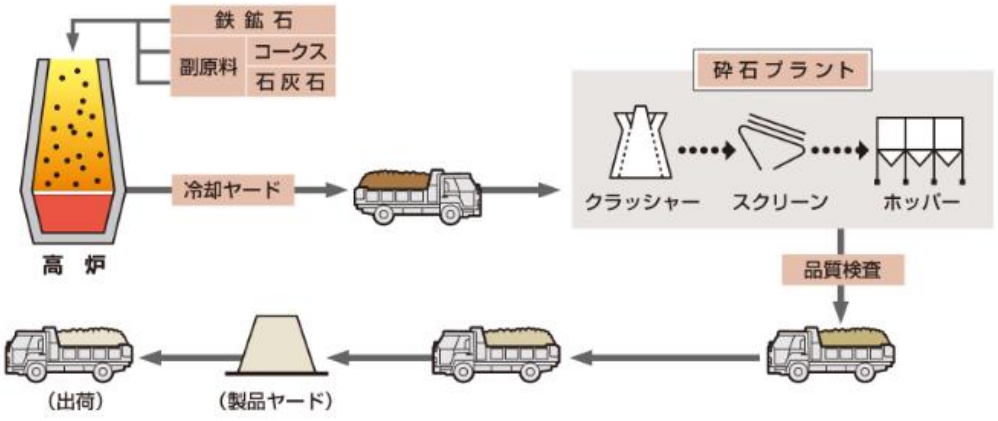
出典）環境資材 鉄鋼スラグ（鐵鋼スラグ協会）

2) 高炉スラグ製品の製造

① 高炉徐冷スラグ

高炉で生成された溶融スラグをドライピットあるいは畑と呼ばれる冷却ヤードに流し込み、自然放冷と適度の散水によって冷却すると、結晶質の岩石状のスラグとなる。

これを、破砕・ふるい分けをすることによって、コンクリート用や路盤用等の製品として利用される。**図 3.7.2** に高炉徐冷スラグの製造工程例を示す。

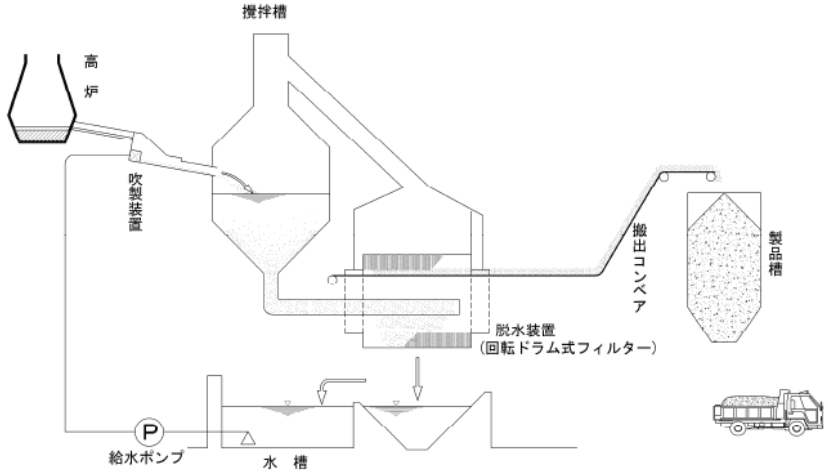


出典）環境資材 鉄鋼スラグ（鐵鋼スラグ協会）

図 3.7.2　高炉徐冷スラグの製造工程

② 高炉水砕スラグ

高炉水砕スラグの製造は、通常、**図 3.7.3** に示すように溶融スラグの流下時点で吹製装置から高圧水を噴射させると、スラグが急冷され砂状になる。水と混ざってスラリー化した高炉水砕スラグをポンプで脱水槽に送り、固液分離を行い、分離されたスラグが搬出される。



出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財）沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

図 3.7.3 高炉水砕スラグの製造工程

③ 高炉スラグ微粉末

高炉スラグ微粉末は、**図 3.7.4** に示すように高炉水砕スラグを竪型ローラーミルまたはボールミルによる粉砕により製造される。**図 3.7.4** に示す工程で製造された高炉水砕スラグは約 10%の水分を含んでおり、高炉スラグ微粉末をボールミルで製造する場合は、粉砕機の前工程で乾燥工程が必要となる。一方、竪型ローラーミルは熱風発生機が組み合わされており、乾燥と粉砕は同時に行われる。

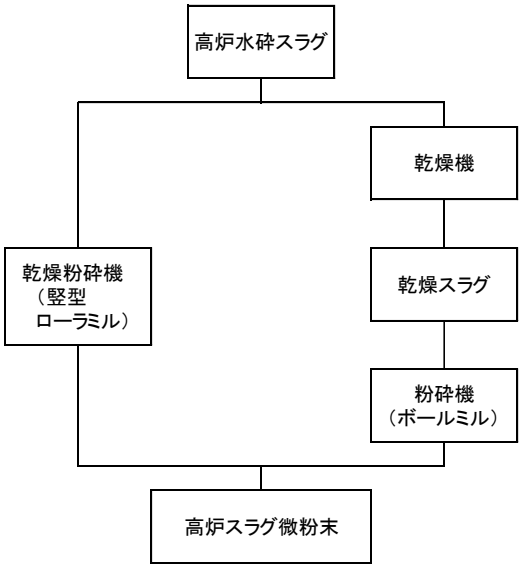


図 3.7.4 高炉スラグ微粉末の製造工程

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

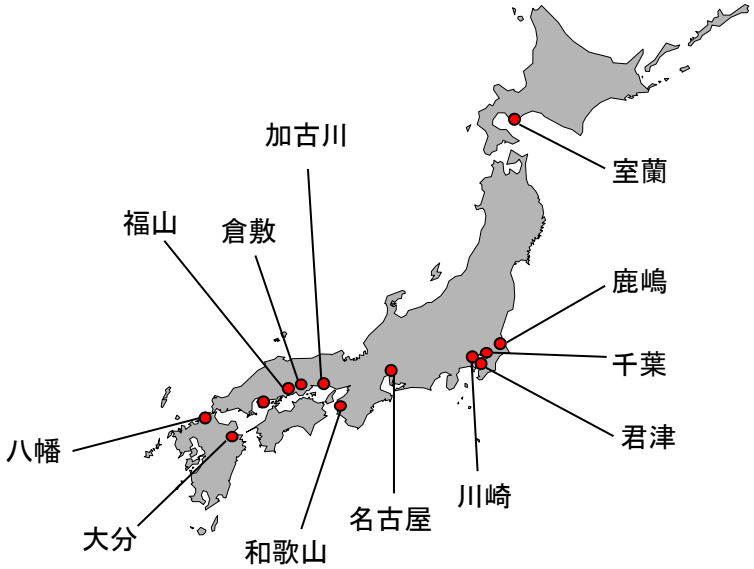
陸上輸送：製造所（製鉄所）周辺

海上輸送：全国

海上輸送＋陸上輸送：全国の港周辺

2) 製造所（製鉄所）の立地場所

① 土工用水砕スラグ



出典）港湾工事推奨用リサイクル製品便覧（令和 3 年度版）（リサイクルポート推進協議会）より作成

図 3.7.5　土工用水砕スラグ製造所（製鉄所）の立地場所

② コンクリート用細骨材

出典）港湾工事推奨用リサイクル製品便覧（令和 3 年度版）（リサイクルポート推進協議会）より作成

図 3.7.6　コンクリート用細骨材製造所（製鉄所）の立地場所

③ コンクリート用粗骨材

出典）港湾工事推奨用リサイクル製品便覧（令和 3 年度版）（リサイクルポート推進協議会）より作成

図 3.7.7　コンクリート用粗骨材製造所（製鉄所）の立地場所

④ 高炉スラグ微粉末

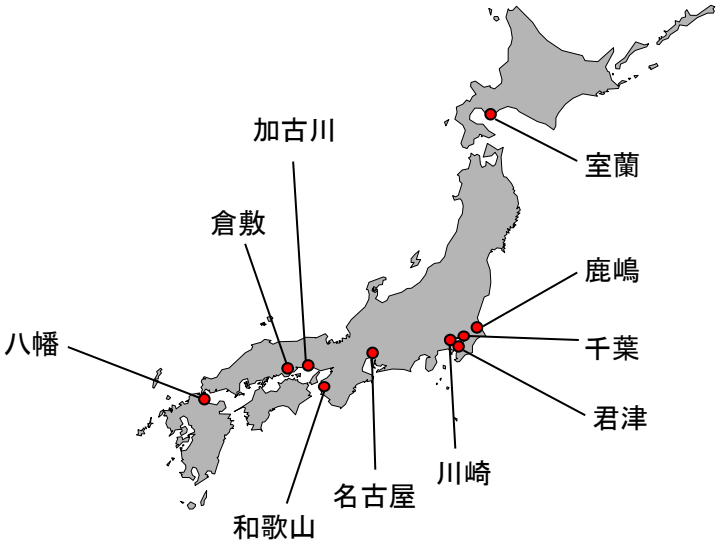


図 3.7.8　高炉スラグ微粉末工場の立地場所

3) 生産量

①土工用水砕スラグ：0.2～12 千 m^3/月（平成 29～令和元年度出荷実績）

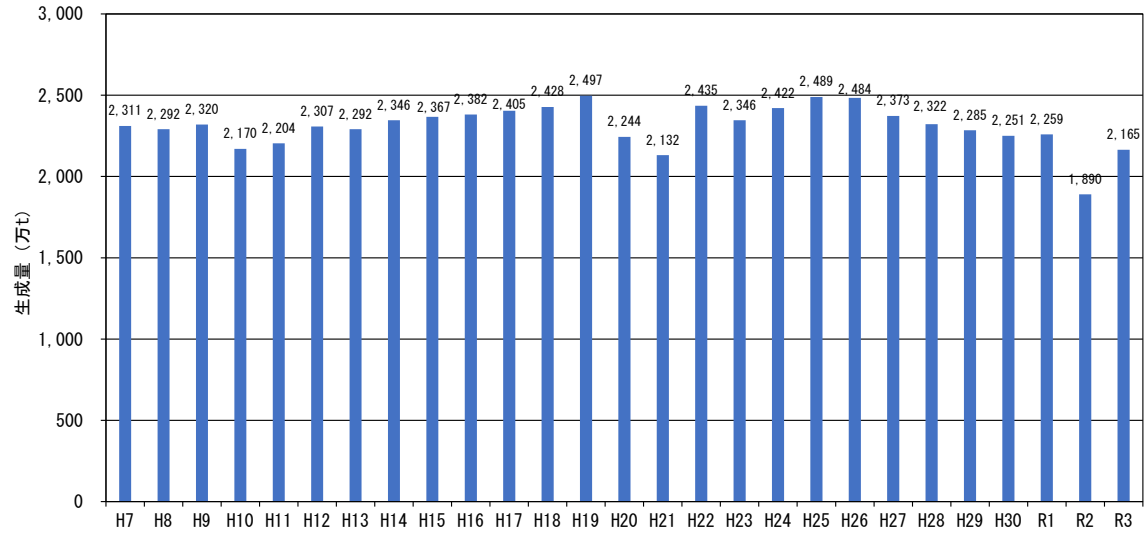
②コンクリート用細骨材：1,081 千 t /月（令和 2 年度出荷実績）

③コンクリート用粗骨材：115 千 t /月（令和 2 年度出荷実績）

④高炉スラグ微粉末：3,787 千 t/月（令和 2 年度出荷実績）

※生産量：乾重量または湿重量ベース（事業所が用途毎に選択）

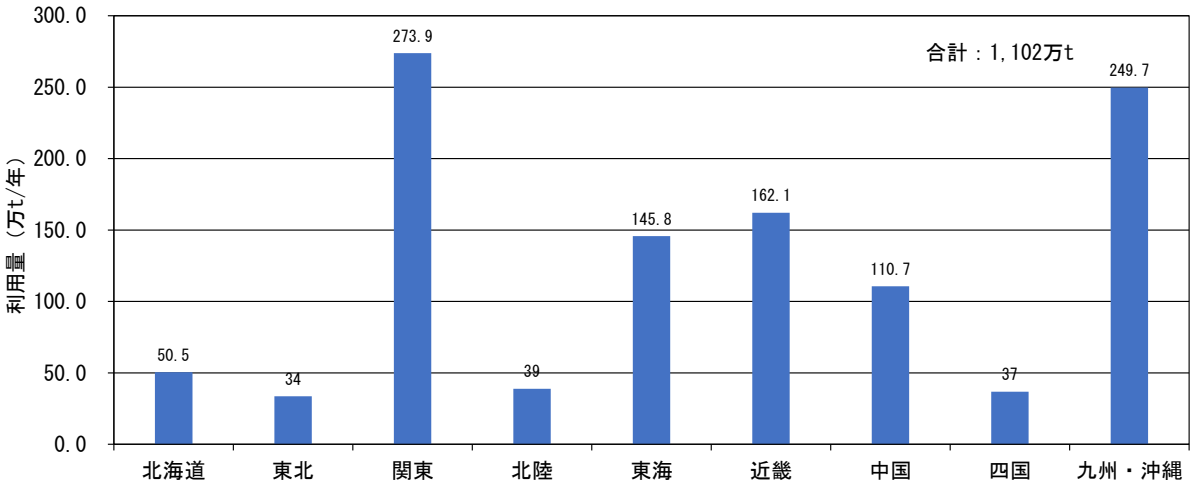
4) 生産量の推移



出典）鉄鋼スラグ統計年報（2021 年度版）（令和 4 年 7 月、鐵鋼スラグ協会）より作成

※生成量：乾重量ベース。土工用水砕スラグ、コンクリート用細・粗骨材、高炉スラグ微粉末以外の用途を含む。

図 3.7.9　生成量の推移（高炉スラグ）

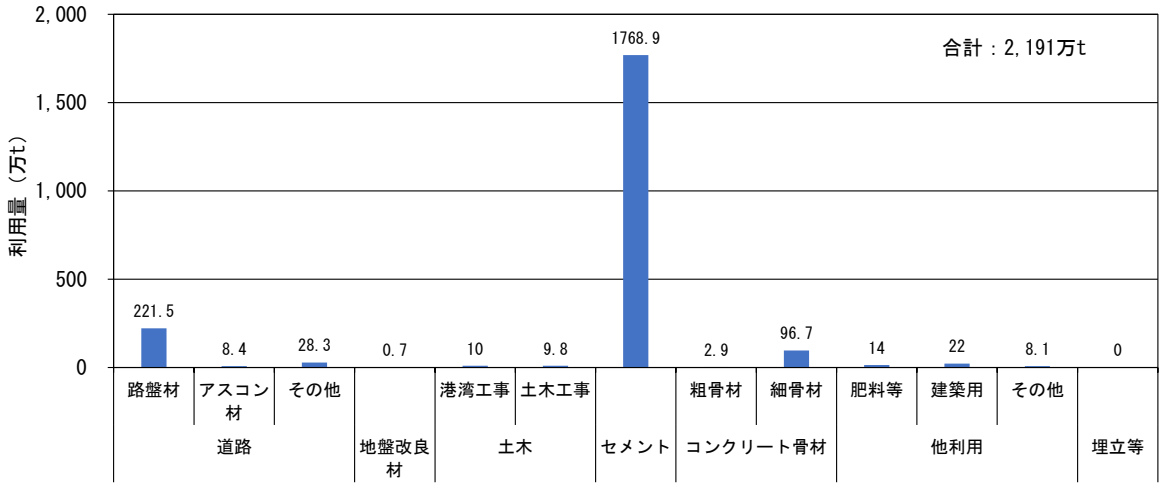


出典）鉄鋼スラグ統計年報（2021 年度版）（令和 4 年 7 月、鐵鋼スラグ協会）より作成

※生成量：乾重量ベース。土工用水砕スラグ、コンクリート用細・粗骨材、高炉スラグ微粉末以外の用途を含む。

図 3.7.10　地域別利用量（令和 2 年度実績、高炉スラグ）

5) 用途別使用量



出典）鉄鋼スラグ統計年報（2021 年度版）（令和 4 年 7 月、鐵鋼スラグ協会）より作成

図 3.7.11　用途別利用量（令和 3 年度実績、高炉スラグ）

3.7.2 品質

コンクリート用スラグ骨材（高炉スラグ粗骨材、高炉スラグ細骨材）、高炉スラグ微粉末は、JIS が規定されている。
土工用水砕スラグは、「港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（平成 19 年 2 月、沿岸技術研究センター）に品質が記載されている。

（解説）

(1) コンクリート用スラグ骨材

コンクリート用高炉スラグ骨材には、高炉スラグ粗骨材と高炉スラグ細骨材がある。前者が溶融状態の高炉スラグを徐冷することにより製造される高炉徐冷スラグを、後者は溶融状態の高炉スラグを急冷することにより製造される高炉水砕スラグを原料としている。

両者ともコンクリートに有害となる塩化物、ごみ、どろ、粘土塊、有機不純物を含んでおらず、化学的に安定しアルカリシリカ反応を生ずる恐れのない骨材である。

1) 物理・力学的性質

高炉水砕スラグは溶融状態の高炉スラグを高圧の水で急冷して製造されるため、ガラス質の砂状であり、形状も凹凸が大きく角張った形状をしている。このため、高炉スラグ細骨材は、高炉水砕スラグを原料として軽破砕により粒形を整え、更に粒度調整などの加工を施し製造される。

高炉スラグ粗骨材は高炉徐冷スラグを破砕して粒度を調整し製造される。

外観は、表面は粗面、気孔があり、角張っている。粒子密度は天然砕石よりもやや小さく（絶乾密度：2.2～2.6g/cm^3）、空隙を多く含み吸水率はやや高い。高炉徐冷スラグは、化学成分については事業所間で大きな違いはないが、溶融状態のスラグを冷却ヤードなどに放流する際の層厚や散水などによる冷却方法が異なるため、事業所間で密度や吸水率などの物理特性はやや異なる。

コンクリート用高炉スラグ骨材 JIS A 5011-1 では、高炉スラグ粗骨材・細骨材の種類・品質を次のように規定している。

①粒度による区分

高炉スラグ粗骨材は粒度により、**表 3.7.2** に示す 6 種類に区分される。これらのうち一般的に流通しているのは、高炉スラグ粗骨材 2005 である。

表 3.7.2　粒度による区分

区分	粒の大きさの範囲 mm	記号
高炉スラグ粗骨材 4005	40～ 5	BFG40-5
高炉スラグ粗骨材 4020	40～20	BFG40-20
高炉スラグ粗骨材 2505	25～ 5	BFG25-5
高炉スラグ粗骨材 2005	20～ 5	BFG20-5
高炉スラグ粗骨材 2015	20～15	BFG20-15
高炉スラグ粗骨材 1505	15～ 5	BFG15-5

出典）JIS A 5011-1「コンクリート用スラグ骨材－第 1 部：高炉スラグ骨材」

高炉スラグ細骨材は粒度により、**表 3.7.3** に示す 4 種類に区分される。

表 3.7.3　粒度による区分

区分	粒の大きさの範囲 mm	記号
5 mm高炉スラグ細骨材	5 以下	BFS5
2.5mm高炉スラグ細骨材	2.5以下	BFS2.5
1.2mm高炉スラグ細骨材	1.2以下	BFS1.2
5~0.3mm高炉スラグ細骨材	5～0.3	BFS5-0.3

出典）JIS A 5011-1「コンクリート用スラグ骨材－第 1 部：高炉スラグ骨材」

② 化学成分及び物理的性質

高炉スラグ粗骨材の化学成分及び物理的性質の規格を**表 3.7.4** に示す。

表 3.7.4　化学成分及び物理的性質の規格

項目		高炉スラグ粗骨材	
		L	N
化学成分	酸化カルシウム（CaO として） %	45.0 以下	
	全硫黄（S として） %	2.0 以下	
	三酸化硫黄（SO_3として） %	0.5 以下	
	全鉄（FeO として） %	3.0 以下	
絶乾密度	g/cm^3	2.2 以上	2.4 以上
吸水率	%	6.0 以下	4.0 以下
単位容積質量	kg/L	1.25 以上	1.35 以上

出典）JIS A 5011-1「コンクリート用スラグ骨材－第 1 部：高炉スラグ骨材」

高炉スラグ細骨材の化学成分及び物理的性質の規格を**表 3.7.5** に示す。

表 3.7.5　化学成分及び物理的性質の規格

項目		高炉スラグ細骨材
化学成分	酸化カルシウム（CaO として） %	45.0 以下
	全硫黄（S として） %	2.0 以下
	三酸化硫黄（SO_3 として） %	0.5 以下
	全鉄（FeO として） %	3.0 以下
絶乾密度	g/cm^3	2.5 以上
吸水率	%	3.0 以下
単位容積質量	kg/L	1.45 以上

出典）JIS A 5011-1「コンクリート用スラグ骨材－第 1 部：高炉スラグ骨材」

③ 粒度

高炉スラグ粗骨材の粒度を**表 3.7.6** に示す。

表 3.7.6　高炉スラグ粗骨材の粒度

単位　%

区分	ふるいを通るものの質量分率						
	ふるいの呼び寸法 a)　mm						
	50	40	25	20	15	10	5
高炉スラグ粗骨材 4005	100	95~100	－	35~ 70	－	10~30	0~ 5
高炉スラグ粗骨材 4020	100	90~100	20~ 55	0~ 15	－	0~ 5	－
高炉スラグ粗骨材 2505	－	100	95~100	－	30~ 70	－	0~10
高炉スラグ粗骨材 2005	－	－	100	90~100	－	20~55	0~10
高炉スラグ粗骨材 2015	－	－	100	90~100	－	0~10	0~ 5
高炉スラグ粗骨材 1505	－	－	－	100	90~100	40~70	0~15

注 a)　ふるいの呼び寸法は，それぞれ **JIS Z 8801-1** に規定するふるいの公称目開き 53 mm，37.5 mm，26.5 mm，19 mm，16 mm，9.5 mm 及び 4.75 mm である。

出典）JIS A 5011-1「コンクリート用スラグ骨材－第 1 部：高炉スラグ骨材」

また、粗粒率[1]と微粒分量については、次のように規定されている。

粗粒率　：製造業者と購入者が協議によって定めた粗粒率に対して±0.30 の範囲のものでなければならない。

微粒分量：1)微粒分量は、2)に定める許容差の範囲内でばらつきが生じても 5.0%を超えないように、製造業者と購入者が協議によって定める。

2)微粒分量の許容差は、1)で定めた協議値に対して±1.0%とする。

[1]粗粒率：80 mm，40 mm，20 mm，10 mm，5 mm，2.5 mm，1.2 mm，0.6 mm，0.3 mm，及び 0.15 mm の網ふるいの一組を用いて、ふるい分けを行った場合，各ふるいを通らない全部の試料の百分率の和を 100 で除した値であり、無次元で表される

高炉スラグ細骨材の粒度を**表 3.7.7** に示す。

表 3.7.7　高炉スラグ細骨材の粒度

単位　%

区分	ふるいを通るものの質量分率						
	ふるいの呼び寸法 a)　mm						
	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
5 mm 高炉スラグ細骨材	100	90~100	80~100	50~ 90	25~65	10~35	2~15
2.5 mm 高炉スラグ細骨材	100	95~100	85~100	60~ 95	30~70	10~45	2~20
1.2 mm 高炉スラグ細骨材	－	100	95~100	80~100	35~80	15~50	2~20
5~0.3 mm 高炉スラグ細骨材	100	95~100	65~100	10~ 70	0~40	0~15	0~10
注 a)　ふるいの呼び寸法は，それぞれ **JIS Z 8801-1** に規定するふるいの公称目開き 9.5 mm，4.75 mm，2.36 mm，1.18 mm，600 μm，300 μm 及び 150 μm である。							

出典）JIS A 5011-1「コンクリート用スラグ骨材－第 1 部：高炉スラグ骨材」

また粗粒率と微粒分量については、次のように規定されている。

粗粒率　：製造業者と購入者が協議によって定めた粗粒率に対して、±0.20 の範囲のものでなければならない。

微粒分量：1)微粒分量は、2)に定める許容差の範囲内でばらつきが生じても 7.0%を超えないように、製造業者と購入者が協議によって定める。

2)微粒分量の許容差は、1)で定めた協議値に対して±2.0%とする。

④ 高気温時における貯蔵の安定性

高炉スラグ細骨材の原料である高炉水砕スラグには水硬性があり、高気温時に貯蔵中に固結する場合がある。このため、高気温時の貯蔵による安定性は、受渡当事者間の協定によって確認すると定められている。最近では、優れた固結防止剤が開発され、貯蔵中の固結トラブルは軽減されている。

2) 化学的性質

①環境安全品質基準

JIS A 5011-1 では、高炉スラグ骨材の環境安全品質基準として、骨材を用いるコンクリート構造物などの用途に応じて、次の 2 種類の基準を規定している。これら環境安全品質に係る分析試験の結果は、製造事業者が発行する試験成績表により確認することができる。

環境安全品質基準（一般用途）を**表 3.7.8** に示す。基準値には土壌汚染対策法の溶出量基準（土壌環境基準と同じ）、含有量基準と同じ数値が適用されている。

表 3.7.8　環境安全品質基準（一般用途）

項目	溶出量 mg/L	含有量 a) mg/kg
カドミウム	0.01　以下	150　以下
鉛	0.01　以下	150　以下
六価クロム	0.05　以下	250　以下
ひ素	0.01　以下	150　以下
水銀	0.0005 以下	15　以下
セレン	0.01　以下	150　以下
ふっ素	0.8　以下	4000 以下
ほう素	1　以下	4000 以下
注 a)　ここでいう含有量とは，同語が一般的に意味する“全含有量”とは異なることに注意を要する。		

出典）JIS A 5011-1「コンクリート用スラグ骨材－第１部：高炉スラグ骨材」

※カドミウム：土壌の汚染に係る環境基準（溶出量基準）が 0.003mg/L 以下に見直され、令和 3 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

六価クロム：令和 3 年 10 月より地下水の水質汚濁に係る環境基準が 0.02mg/L 以下に見直され、令和 4 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

環境安全品質基準（港湾用途）を**表 3.7.9** に示す。なお、港湾用途に使用される場合であっても再利用を予定する場合は、一般用途として取り扱うこととされている。

表 3.7.9　環境安全品質基準（港湾用途）

項目	溶出量 mg/L
カドミウム	0.03　以下
鉛	0.03　以下
六価クロム	0.15　以下
ひ素	0.03　以下
水銀	0.0015 以下
セレン	0.03　以下
ふっ素	15　以下
ほう素	20　以下

出典）JIS A 5011-1「コンクリート用スラグ骨材－第１部：高炉スラグ骨材」

※カドミウム：土壌の汚染に係る環境基準（溶出量基準）が 0.003mg/L 以下に見直され、令和 3 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

六価クロム：令和 3 年 10 月より地下水の水質汚濁に係る環境基準が 0.02mg/L 以下に見直され、令和 4 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

表 3.7.10 に国内各社の高炉スラグ細骨材の化学物質の溶出量及び含有量の測定実績を示す。すべての項目が一般用途に適用される基準を満足しており、有害物質による環境への影響はないものと考えて良い。

表 3.7.10　高炉スラグ細骨材の化学物質の溶出量及び含有量

（平成 25 年 3 月～平成 26 年 2 月の鐵鋼スラグ協会会員会社試験結果）

項目	溶出量（mg/L）			含有量（mg/kg）		
	基準値（一般用途）	試験結果の例		基準値（一般用途）	試験結果の例	
		試料数	範囲 a)		試料数	範囲 a)
カドミウム	0.01 以下	24	＜0.001	150 以下	23	＜15
鉛	0.01 以下	49	＜0.005	150 以下	48	＜15
六価クロム	0.05 以下	49	＜0.02	250 以下	48	＜25
ひ素	0.01 以下	24	＜0.005	150 以下	23	＜15
水銀	0.0005 以下	24	＜0.0005	15 以下	23	＜1
セレン	0.01 以下	488	～0.002	150 以下	487	＜15
ふっ素	0.8 以下	488	～0.8	4,000 以下	487	～1,400
ほう素	1 以下	488	＜0.2	4,000 以下	487	＜400

注 a) ＜は不検出（定量限界未満）、～は不検出のものがあることを示す。溶出量の分析方法は **JIS K 0058-1** に、含有量の分析方法は、**JIS K 0058-2** による。

(2) 高炉スラグ微粉末

高炉スラグ微粉末は、前項の高炉水砕スラグを、乾燥及び粉砕して製造される。従来、わが国では、高炉スラグ微粉末は、高炉セメントの混合材に用いられてきたが、アメリカ・カナダ・イギリス・南アフリカ・台湾・韓国・シンガポール等では、コンクリート工場でコンクリート用混和材としての利用が多い。

わが国においても高炉スラグ微粉末の使用については、土木学会では、昭和 61 年に**土木学会基準「コンクリート用高炉スラグ微粉末規格（案）」**を制定し、昭和 63 年には**「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針（案）」**を定め、JIS A 5308（**レディーミクストコンクリート**）、学協会・官公庁等の仕様書に混和材料として規定されている。

高炉スラグ微粉末の品質は、JIS A 6206（**コンクリート用高炉スラグ微粉末**）に規定されている。**表 3.7.11** に品質規格値を示す。

表 3.7.11　コンクリート用高炉スラグ微粉末の品質

種類 / 品質		品質規格			
		高炉スラグ微粉末 3000	高炉スラグ微粉末 4000	高炉スラグ微粉末 6000	高炉スラグ微粉末 8000
密度　g/cm^3		2.80 以上	2.80 以上	2.80 以上	2.80 以上
比表面積　cm^2/g		2,750 以上 3,500 未満	3,500 以上 5,000 未満	5,000 以上 7,000 未満	7,000 以上 10,000 未満
活性度指数 %	材齢 7 日	－	55 以上	75 以上	95 以上
	材齢 28 日	60 以上	75 以上	95 以上	105 以上
	材齢 91 日	80 以上	95 以上	－	－
フロー値比		95 以上	95 以上	90 以上	85 以上
酸化マグネシウム　%		10.0 以下	10.0 以下	10.0 以下	10.0 以下
三酸化硫黄　%		4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下
強熱減量　%		3.0 以下	3.0 以下	3.0 以下	3.0 以下
塩化物イオン　%		0.02 以下	0.02 以下	0.02 以下	0.02 以下

出典）JIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」

注 1)　塩基度：1.60 以上　塩基度は原料の高炉水砕スラグの化学成分から算出する。

塩基度＝（$CaO+MgO+Al_2O_3$）／ SiO_2

2)　活性度指数の高炉スラグ微粉末置換率は 50%である。

(3) 土工用水砕スラグ

表 3.7.12 に土工用水砕スラグの品質特性を示す。水砕スラグは、水硬性など一部の性質を除けば一般の砂と同じ性状であるため、港湾や空港の工事に使用する場合、運搬、貯蔵、投入、敷均し、締固めなどにおいて、天然砂と同様に取扱える。ただし、水砕スラグは針状のものも含まれているため、取扱い時には手袋・防護メガネなどの着用が好ましい。

表 3.7.12　土工用水砕スラグの性質と品質特性 [1),2)]

項目				品質の範囲	特性値/標準値
物理的性質	粒度分布			4.75 ㎜以下 細粒分(0.075㎜ 以下)1～2%程度	
	土粒子密度(g/cm^3)			2.6～2.9	2.81
	単位体積重量 (kN/m^3)	乾燥状態		9～14	－
		湿潤状態		－	14.5
		飽和状態	裏込め、埋立て等	16～19	17.5
			ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ		18.5
力学的性質	締固め特性			含水比にほとんど影響されない	
	透水性 (cm/s)	未固結の場合		1×10^{0}～1×10^{-2}	
		固結の場合	裏込め、埋立て等	1×10^{-2}～1×10^{-3}	
			ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ	1×10^{-6}～1×10^{-7}	
	沈下特性			経時的沈下は無視できる	
	せん断特性	未固結の場合 ϕ_0(°)	裏込め、埋立て等	37～38	38
				（埋立深さ 20m 以下想定）	
			ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ	38 以上	35
		固結の場合 ϕ_0(°)	裏込め、埋立て等	未固結の場合（37～38）＋5 程度	
			ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ	45 以上	35
		固結の場合の粘着力 c_d(kN/m^2)		25 以上	原則未考慮
	液状化特性			固結した場合は液状化しない	
環境安全品質	溶出水の pH			アルカリ性を呈するが、水砕ｽﾗｸﾞ投入時における周辺海域の pH 上昇はほとんどない	
	有害物質の溶出			水底土砂判定基準値以下	

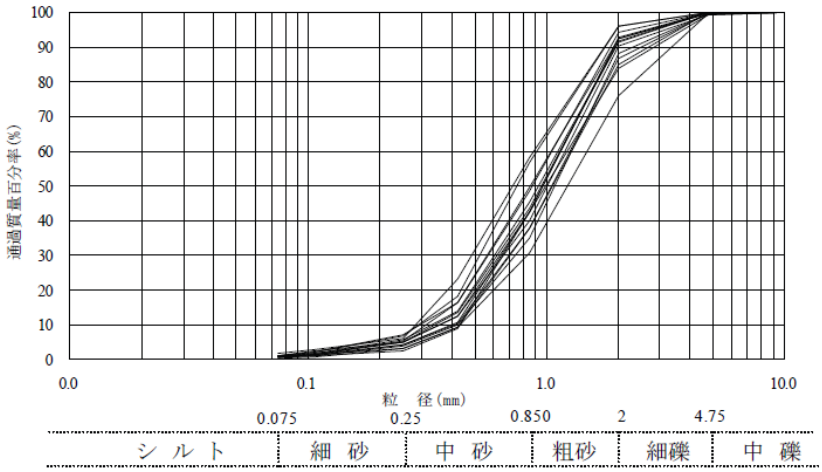
出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

1) 物理・力学的性質

①粒度

水砕スラグの粒度は、**図 3.7.12** の範囲内にある。

水砕スラグの標準的な粒径は 4.75mm 以下であり、細粒分(0.075mm 以下)は 1～2%程度である。また、均等係数 Uc は概ね 2～4 であり、“分級された砂”または“分級された礫まじり砂”に分類される。



出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

図 3.7.12　土工用水砕スラグの粒度範囲

② 土粒子密度

水砕スラグの土粒子密度は 2.6～2.9g/cm^3 である。

水砕スラグの土粒子密度は、製鉄所における溶銑温度の変化などにより、平成元年度当時と比べてやや増加している。全国の 14 製鉄所で製造された水砕スラグについて、**JIS A 1202:2009「土粒子の密度試験方法」**によって土粒子密度を測定した結果、最小値は 2.63g/cm^3、最大値は 2.82g/cm^3、平均値は 2.73g/cm^3 であった。

また、現地で採取した水砕スラグでは最小値は 2.65g/cm^3、最大値は 2.88g/cm^3、平均値は 2.81g/cm^3 であった。水砕スラグの土粒子密度のばらつきは、主に製造条件(溶融スラグ温度、水温及び水圧等)に起因しているため、同じ製鉄所内で製造された水砕スラグでのばらつきはこれよりも小さく、最大値と最小値の差は 0.1g/cm^3 以内であった。

表 3.7.13　土工用水砕スラグの土粒子密度

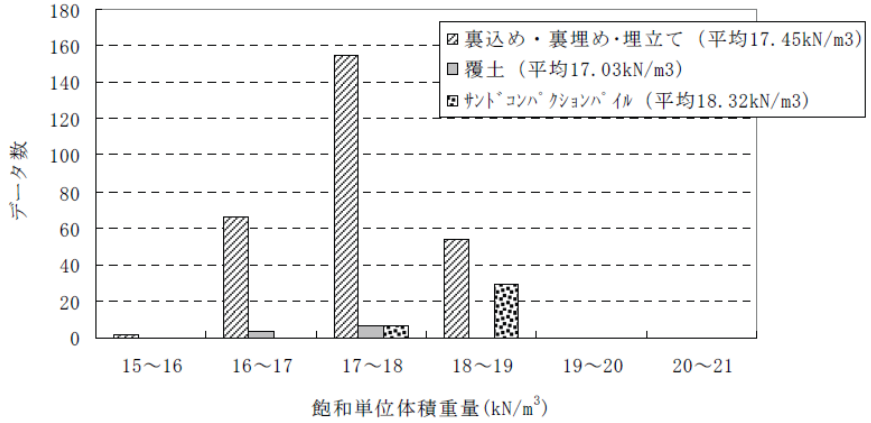
試料の採取場所		製鉄所	現地
土粒子密度 (g/cm^3)	最小値	2.63	2.65
	最大値	2.82	2.88
	平均値	2.73	2.81

出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

③ 単位体積重量

裏込め、裏埋め、埋立て、覆土などに使用された水砕スラグの単位体積重量は、乾燥状態で 9～14kN/m^3 であり、飽和状態で 16～19kN/m^3 である。

図 3.7.13 に実施工現場より採取した水砕スラグの飽和単位体積重量を示す。裏込め、埋立てと覆土とでは単位体積重量は同程度であるが、サンドコンパクションパイルに使用した場合は少し単位体積重量が大きくなることが確認されている。



出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

図 3.7.13　土工用水砕スラグの飽和単位体積重量のヒストグラム(用途別)

④ 水硬性

水砕スラグは水硬性を有し、時間の経過に伴い水和反応が進み固結する。その固結速度及び固結強度は、粒子の細粒化やアルカリ刺激剤の添加などにより変化させることが可能である。[1)-5)]

・ガラス構造の化学的性質

水砕スラグは多量の水によって急冷されることで、結晶を生成する時間的余裕がないまま固化するためガラス構造となる。結晶体では原子が規則正しく配列しているが、ガラス構造では不規則な網目構造となり、結晶状態のような対照性及び周期性を有していない。そのため、ガラス構造は反応性が高く、水和反応によって経時的に固結する性質を有する。水砕スラグはセメントよりも固結強度(一軸圧縮強さ、粘着力)や固結速度が緩やかであるが、粒子の細粒化やアルカリ刺激剤の添加などにより固結の促進及び固結強度の増加が可能である。

・固結のメカニズム [1)]

水砕スラグの固結は,以下の段階で進行する。

Ⅰ.水と反応して、Ca、S_iO_2、Al などがイオンとして間隙水中に溶出し、OH^-(水酸基イオン)が生成する。

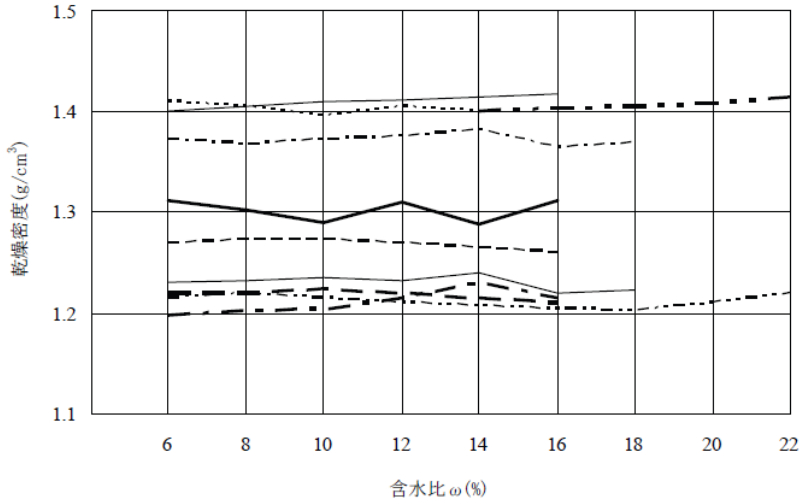
Ⅱ.間隙水中のイオン濃度が上昇して水和物の飽和濃度に達し C-S-H(珪酸カルシウム水和物)や C-A-H(カルシウムーアルミネート水和物)などの水和物が粒子表面に析出する。

Ⅲ.粒子表面に析出した水和物が、粒子の接触点で粒子同士を結合して固結する。

⑤ 締固め特性

水砕スラグの締固め度は、締固め時の含水比にほとんど影響されないことが確認されている。

図 3.7.14 は、全国の 10 製鉄所で製造された水砕スラグについて、**JIS A 1210「突固めによる上の締固め試験」**（ランマー質量 2.5kg、モールド内径 10cm、突固め回数 3、1 層当りの突固め回数 25/層、試料の準備及び使用方法:湿潤法及び非繰返し法）によって求められた含水比と乾燥密度との関係を示している。水砕スラグの違いによって乾燥密度には幅があるが、いずれの水砕スラグも最適含水比を見いだすことは困難であり、乾燥密度は含水比の影響を受けずほぼ一定値を示している。



出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

図 3.7.14　水砕スラグの突固めによる締固め試験結果

⑥ せん断強度特性

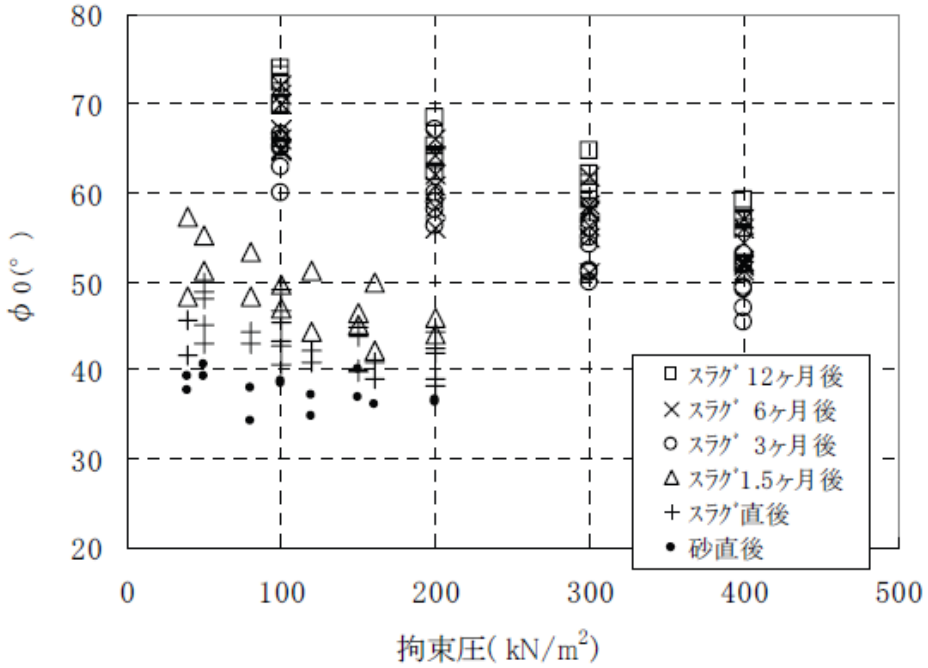
水砕スラグのせん断強度は、締固め状況と養生期間にて異なることが確認されている。

水砕スラグは、セメント改良上のように数日間で固結するわけではないが、長期間経過すると水和して固結する。固結に至るまでの期間にはばらつきがあるが、通常は施工後 2～3 年以上経過すると全体的に固結する。

また、サンドコンパクションパイルに適用された水砕スラグは、施工時に強く締固めるため固結し易く、非常に強固なものになる。**図 3.7.15** に博多港での測定結果を示すが、せん断抵抗角 ϕ_0 は打設直後では 200kN/m^2 の拘束圧の条件で 38° であるが、経時的に増加し打設 3 ヶ月後以降では拘束圧が 100kN/m^2 の条件で 60° 、400kN/m^2 の拘束圧の条件でも 45° 以上を示している。なお、ここでのせん断抵抗角 ϕ_0 は、最大強度時の ϕ_0 を求めたものであり、残留強度時のせん断抵抗角 ϕ_{d0res} とは異なることに注意する必要がある。

しかし、固結強度についての調査結果は少なく、また、沈下制御の観点からは固結の効果を無視することは安全側の仮定であるので、サンドコンパクションパイルに用いられた水砕スラグに関しては、現時点では従来通り ϕ 材として扱うものとしている。ただし、この場合沈下量が予測より小さくなることも考えられるので注意が必要である。[6)7)]

各用途のせん断抵抗角 ϕ、粘着力 c は**表 3.7.12** に示す。



出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

図 3.7.15　サンドコンパクションパイルに用いた水砕スラグの ϕ_0 の経時変化

⑦ 透水性

水砕スラグの透水係数は、概ね**表 3.7.14** の範囲である。

水砕スラグは細粒分が少ないため未固結状態では高い透水性を有するが、固結に伴い透水性は低下する傾向があるため、未固結状態と固結状態とで透水係数は区別されている。

特にサンドコンパクションパイルに適用された水砕スラグの場合、裏込め等に用いた場合よりも固結に伴う透水性の低下が大きく、博多港で行われた試験施工結果によると、打設直後には 10^{-2}～10^{-3}cm/s であった透水係数が、打設 6 ヶ月後には 10^{-6}～10^{-7}cm/s にまで低下していた。

表 3.7.14　水砕スラグの透水係数

固結状態＼用途	裏込め，埋立て等	サンドコンパクションパイル
未固結	1×10^{0}～1×10^{-2} cm/s 注)	
固結	1×10^{-2}～1×10^{-3} cm/s	1×10^{-6}～1×10^{-7} cm/s

注)未固結状態でも固結途中のものは 10^{-3}cm/s のオーダーに低下する場合がある

出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

2) 化学的性質

①pH

水砕スラグの溶出水はアルカリ性を呈するが、アルカリ成分の初期溶出速度が小さいことと、海水成分による中和作用、緩衝作用及び海水による希釈効果により pH が低下するため、水砕スラグ投入時における周辺海域の pH の上昇はほとんどない。

水砕スラグの固結特性あるいは長期の固結に伴うせん断強度特性、透水性に関する研究調査事例を巻末の参考文献 17)～42)に示す。

② 環境安全品質

浚渫土砂については、海洋汚染防止法において、港湾・空港等の埋立工事に利用する場合の有害物質の基準として水底土砂判定基準が規定されている。この基準による水砕スラグの溶出試験結果を**表 3.7.15** に示すが、溶出量はすべて基準値以下または定量限界以下である。

なお、利用の際には、実際に利用する材料が利用先に適用される基準を満足することを確認する必要がある。環境安全性の確保の考え方については、**「1.4.2 環境安全の考え方」**を参照のこと。

表 3.7.15　水砕スラグの溶出試験結果(海洋汚染防止法 水底土砂判定基準)

試験項目	単位	計量値	判定基準	定量限界	備考
アルキル水銀化合物	mg/l	不検出	検出されないこと	0.0005	
水銀又はその化合物	mg/l	不検出	0.005 以下	0.0005	・検定方法 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行令第 5 条第 1 項に規定する埋立場所等に排出しようとする廃棄物に含まれる金属等の検定方法(昭 48 環告 14)による.
カドミウム又はその化合物	mg/l	不検出	0.1 以下	0.001	
鉛又はその化合物	mg/l	不検出	0.1 以下	0.005	
有機りん又はその化合物	mg/l	不検出	1 以下	0.1	
六価クロム化合物	mg/l	不検出	0.5 以下	0.4	
砒素又はその化合物	mg/l	不検出	0.1 以下	0.005	
シアン化合物	mg/l	不検出	1 以下	0.1	
PCB	mg/l	不検出	0.003 以下	0.0005	
銅又はその化合物	mg/l	不検出	3 以下	0.005	・判定基準 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行令第 5 条第 1 項に規定する埋立場所等に排出しようとする金属などを含む廃棄物に係る判定基準を定める総理府令(昭 48 総令 6)による
亜鉛又はその化合物	mg/l	不検出	5 以下	0.01	
ふっ化物	mg/l	0.26	15 以下	0.1	
トリクロロエチレン	mg/l	不検出	0.3 以下	0.002	
テトラクロロエチレン	mg/l	不検出	0.1 以下	0.0005	
ベリリウム又はその化合物	mg/l	不検出	2.5 以下	0.01	
クロム又はその化合物	mg/l	不検出	2 以下	0.04	
ニッケル又はその化合物	mg/l	不検出	1.2 以下	0.01	
バナジウム又はその化合物	mg/l	不検出	1.5 以下	0.1	・不検出とは，定量限界を下回ること
有機塩素化合物	mg/kg	不検出	40 以下	4	
ジクロロメタン	mg/l	不検出	0.2 以下	0.002	
四塩化炭素	mg/l	不検出	0.02 以下	0.0002	
1.2-ジクロロエタン	mg/l	不検出	0.04 以下	0.0004	
1.1 ジクロロエチレン	mg/l	不検出	0.2 以下	0.002	
シス-1.2-ジクロロエチレン	mg/l	不検出	0.4 以下	0.004	
1.1.1 トリクロロエタン	mg/l	不検出	3 以下	0.0005	
1.1.2 トリクロロエタン	mg/l	不検出	0.06 以下	0.0006	
1.3-ジクロロプロペン	mg/l	不検出	0.02 以下	0.0002	
チウラム	mg/l	不検出	0.06 以下	0.0005	
シマジン	mg/l	不検出	0.03 以下	0.0003	
チオベンカルブ	mg/l	不検出	0.2 以下	0.001	
ベンゼン	mg/l	不検出	0.1 以下	0.001	
セレン又はその化合物	mg/l	不検出	0.1 以下	0.002	
ダイオキシン類	pg-TEQ/l	0.001	10 以下	―	

出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

【参考文献】

1) 大門正樹、宋宗澤、西田明生、山口修、金昌殷：高炉水砕スラグの水和反応の液相分析による検討、石膏と石灰、No.176、pp.3-8、昭和 57 年
2) 青木茂樹、岡昭仁、荒井康夫：高炉水砕スラグの水和におよぼす刺激剤の作用、石膏と石灰，No.181、pp.22-28、昭和 57 年
3) 徳光直樹、石井誠人：高炉スラグ微粉末の水和反応、秋田高専研究紀要、No.35、pp.71-75、平成 12 年
4) 徳光直樹、嘉成明子、仲山智佳子：高炉スラグ微粉末の水和反応速度に及ぼす混合剤の影響、秋田高専紀要、No.36、pp.44-48、平成 13 年
5) 篠崎晴彦、松田博、坂井悦郎、小野幸一郎、鈴木操、中川雅夫：高炉水砕スラグの硬化特性と地盤改良工法への適用、土木学会論文集 C、Vol.62、No.4、pp.858-869、平成 18 年
6) (社)地盤工学会：高炉水砕スラグ地盤工学的利用促進に関する調査研究委員会報告書、pp.61-96、平成 22 年
7) 水野健太、土田孝：高炉水砕スラグを用いた低置換率 SCP 改良地盤の強度・変形特性、地盤工学ジャーナル、Vol.3、No.3、pp.187-202、平成 20 年

3.7.3 適用用途

(1) 概要

JIS が規定されている高炉スラグをリサイクル材として利用する場合は、当該 JIS に適合したものを利用するものとする。
JIS が規定されていない高炉スラグをリサイクル材として利用する場合は、用途において必要となる要求性能を満たす材料を利用するものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、高炉スラグ（コンクリート用高炉スラグ骨材、高炉スラグ微粉末、土工用水砕スラグ）を各用途に利用する場合の評価を行った結果をそれぞれ**表 3.7.16～表 3.7.18** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.7.16　高炉スラグ（コンクリート用高炉スラグ骨材）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	◎ （水砕）	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)ｺﾝｸﾘｰﾄ用骨材として使用する高炉ｽﾗｸﾞの適用範囲や品質、試験方法、検査方法、表示、報告等の品質基準を規定。 ・2)高炉ｽﾗｸﾞをｺﾝｸﾘｰﾄ用骨材として使用する際の施工指針を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・道路橋梁下部工事（国交省） ・防波堤本体工事（国交省） ・護岸（改良）築造工事（国交省） ・その他、一般的な骨材として大量に利用されている。	1) 2)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	◎ （徐冷）	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)ｺﾝｸﾘｰﾄ用骨材として使用する高炉ｽﾗｸﾞの適用範囲や品質、試験方法、検査方法、表示、報告等の品質基準を規定。 ・2)高炉ｽﾗｸﾞをｺﾝｸﾘｰﾄ用骨材として使用する際の施工指針を規定。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・消波ブロックケーソン上部工その他（国交省）	1) 2)
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)JISA5011-1「ｺﾝｸﾘｰﾄ用ｽﾗｸﾞ骨材-第1部：高炉ｽﾗｸﾞ骨材」（平成30年1月改正）
2)高炉ｽﾗｸﾞ骨材ｺﾝｸﾘｰﾄ施工指針（土木学会、平成5年7月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.7.17　高炉スラグ（高炉スラグ微粉末）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)コンクリート又はモルタルに混和材料として用いる高炉水砕スラグ微粉末の適用範囲や品質、試験方法、検査方法、表示、報告等の品質基準を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・防波堤被覆工事（国交省） ・その他、セメント用、コンクリート用として一般的に利用されている	1)
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁（耐震）地盤改良工事（国交省）	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・潜堤試験工事　（国交省）	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)JISA6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」（平成25年3月改正）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.7.18　高炉スラグ（土工用水砕スラグ）の適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	◎ （ｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)土工用水砕ｽﾗｸﾞについての物理的・力学的特性、動的特性、設計法、施工（品質管理など）に関する事項を記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・地盤改良工事（国交省、管理者）	1)
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	○+ （粘性土であれば高置換）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)土工用水砕ｽﾗｸﾞについての物理的・力学的特性、動的特性、設計法、施工（品質管理など）に関する事項を記載。水硬性を有する材料は高置換のSCPにのみ適用が可能であるため、当該材料は高置換のSCPに適用が可能。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・油槽所建設工事（その他機関） ・軽油タンク新設地盤改良工事（その他機関） ・学校移転工事（その他機関）	1)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・土砂処分場内護岸築造工事（国交省） ・ケーソン中詰（国交省） ・防波堤築造工事（国交省）	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)土工用水砕ｽﾗｸﾞについての物理的・力学的特性、動的特性、設計法、施工（品質管理など）に関する事項を記載。 ・利用用途として護岸岸壁などの裏込めなどが挙げられている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁工事（国交省） ・裏込工事（国交省、管理者、その他）	1)
⑪	裏埋材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)土工用水砕ｽﾗｸﾞについての物理的・力学的特性、動的特性、設計法、施工（品質管理など）に関する事項を記載。 ・利用用途として裏埋めなどが挙げられている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁工事（国交省） ・国際ターミナル整備事業（国交省） ・岸壁耐震等工事（国交省）	1)
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	◎ （盛土材、覆土材）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)土工用水砕ｽﾗｸﾞについての物理的・力学的特性、動的特性、設計法、施工（品質管理など）に関する事項を記載。 ・利用用途として軟弱地盤の覆土、軽量盛土などが挙げられている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・土工工事（国交省） ・海岸高潮対策工事（管理者） ・空港用地土工工事（国交省） ・臨港道路護岸工事（国交省）	1)
⑬	埋立材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)土工用水砕ｽﾗｸﾞについての物理的・力学的特性、動的特性、設計法、施工（品質管理など）に関する事項を記載。 ・利用用途として埋立てなどが挙げられている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・海上埋立工事（管理者） ・埋立工事（国交省、管理者）	1)
⑭	路床盛土材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)土工用水砕ｽﾗｸﾞについての物理的・力学的特性、動的特性、設計法、施工（品質管理など）に関する事項を記載。 ・利用用途として軽量盛土などが挙げられている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・舗装工事（管理者） ・空港エプロン舗装工事（国交省） ・岸壁耐震等工事（国交省）	1)
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・臨港道路取付部改良工事（国交省）	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	○+ （藻場、浅場、覆砂）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)土工用水砕ｽﾗｸﾞについての物理的・力学的特性、動的特性、設計法、施工（品質管理など）に関する事項を記載。 ・港湾工事へ適用した事例として、水砕ｽﾗｸﾞを用いた浅場や干潟造成試験や、覆砂への適用について記述。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・干潟造成試験（国交省）	1)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・増殖礁整備工事（管理者）	

出典）

1)港湾・空港における水砕ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ（(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成19年12月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) コンクリート用細骨材

高炉水砕スラグをコンクリート用細骨材として用いる場合は、JIS A 5011-1 に適合したものを利用する。その他、**「高炉スラグ骨材コンクリート施工指針」（土木学会）**、**「高炉スラグ細骨材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説」（日本建築学会）**で高炉スラグ細骨材を用いるコンクリート構造物の施工についての標準が示されている。

高炉スラグ細骨材は、コンクリート用細骨材としてこれを単独で用いることもできるが、実際の使用では、山砂などの粒度調整や海砂の塩化物含有量の低減などを目的に、これらの天然産の普通細骨材に高炉スラグ細骨材を混合（以下「高炉スラグ混合細骨材」）して使用されている場合が多い。また、普通細骨材と混合して使用することにより、高炉スラグ細骨材を単独で用いる場合に生じる単位水量の増大や、ブリーディング量の増加を避けることができる。

高炉スラグ混合細骨材における高炉スラグ細骨材の混合率は、普通細骨材の粒度分布または塩化物含有量によって変化するが、20～60%の範囲で混合するのが一般的である。

高炉スラグ細骨材の混合率がこの範囲内にある高炉スラグ混合細骨材を使用したコンクリートは、普通骨材を使用したコンクリートとほぼ同等の性質を有していると見なすことができる。高炉スラグ細骨材の混合率が 60%を超える場合は、あらかじめ試験を行って、所要の品質を有するコンクリートが得られることを確かめる必要がある。

高炉スラグ細骨材は、ガラス質で潜在水硬性を有するので、気温が高い時期の貯蔵中に粒子間の固結を生じて塊状になる場合がある。現在は固結防止性能の高い薬剤が開発され、この固結によるトラブルは軽減されている。

高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの特長としては次が挙げられる。

・高炉スラグ細骨材自体がセメントのアルカリ刺激により水和反応を生じる性質を持っており、長期にわたり水和反応が継続するため、コンクリートの強度も長期にわたって増加する。

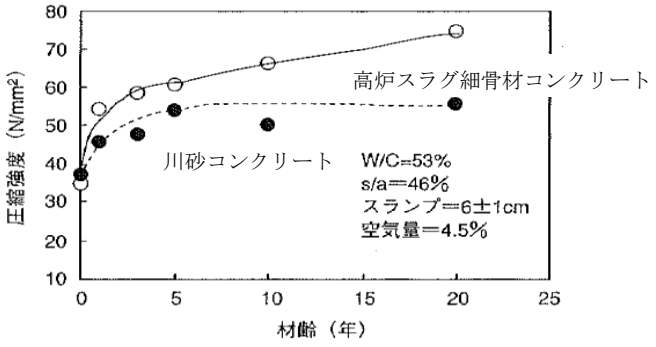
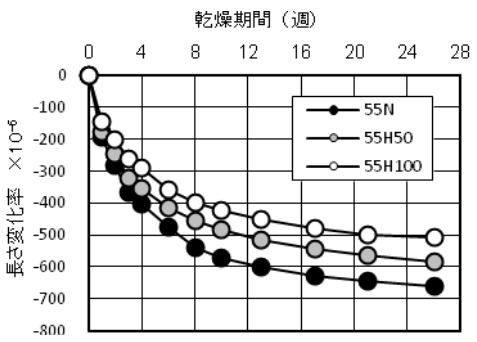
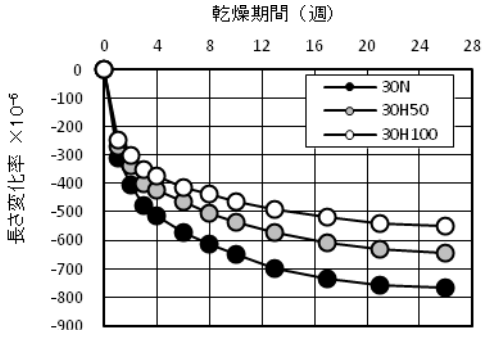


図 3.7.16　圧縮強度の経時変化

・高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートでは、高炉スラグ細骨材の混合率が大きいほど乾燥収縮率が小さくなり、コンクリートの乾燥収縮ひび割れ発生の低減に効果がある。



W/C=55%の場合



W/C=30%の場合

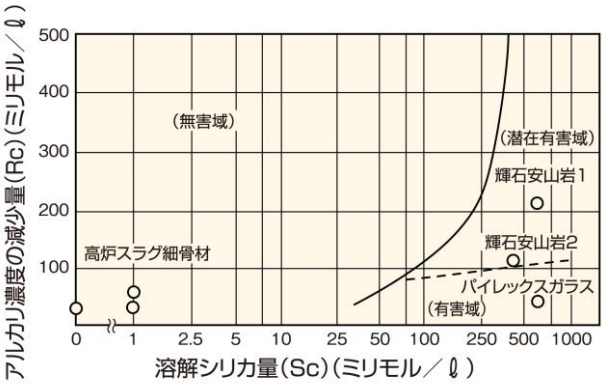
※凡例の説明

・冒頭の 2 桁の数字は W/C(%)を示す。（55%または 30%）
・続く記号は骨材の種類を示す。（N：陸砂、H：高炉スラグ微粉末）
・末尾の 3 桁の数字は高炉スラグ微粉末の混合率(%)を示す。（50%または 100%）

出典）高炉スラグ細骨材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針（（一社）日本建築学会、平成 25 年 2 月）

図 3.7.17 高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮試験結果の一例

・高炉スラグ細骨材は化学的に安定な骨材であり、試験によってアルカリシリカ反応性を確認することなく“無害”な骨材とみなして取り扱うことができる。



出典）鐵鋼スラグ協会実験データ

図 3.7.18 アルカリシリカ反応の有害判定区分

一方で、高炉スラグ細骨材はガラス質であることから、天然砂や砕砂に比べて保水性が低く、混合率を増加させるとブリーディングが増える傾向にある。これを考慮し、細骨材中の高炉スラグ細骨材の混合率は 20～60%とすることが望ましい。高炉スラグ細骨材の混合率が 50%程度までであれば、スランプ及び圧縮強度は一般のコンクリートとほぼ同様である。

また、「高炉スラグ細骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の設計・製造・施工指針（案）」（土木学会）で高炉スラグ細骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の設計、製造、施工についての標準が示されている。

同指針では、プレキャスト製品に用いる標準仕様の BFS（高炉スラグ細骨材）コンクリートの目標値について、**表 3.7.19** の養生方法と**表 3.7.20** の配合条件を満足し製造されるものについては、**表 3.7.21** に示すとおりの目標値としている。

表 3.7.19　標準仕様における養生

蒸気養生の前置き時間	最高温度	蒸気養生後の養生方法	湿潤（水中）養生期間
2 時間以上	40℃以下	水中（湿潤）養生	7 日以上

出典）高炉スラグ細骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の設計・製造・施工指針（案）（土木学会、平成 31 年 3 月）

表 3.7.20　標準仕様における配合

空気量	単位水量	水結合材比	GGBS 混合率	BFS 混合率	化学混和剤※
4.5±1.5%	160kg/m^3 以下	35%以下	20%以上	100%	増粘剤一液型高性能 AE 減水剤

※増粘剤一液型高性能減水剤と AE 剤の併用および（高性能）AE 減水剤と増粘剤の併用も可
GGBS：高炉スラグ微粉末、BFS ：高炉スラグ細骨材

出典）高炉スラグ細骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の設計・製造・施工指針（案）（土木学会、平成 31 年 3 月）

表 3.7.21　標準仕様の BFS コンクリートの目標値

乾燥収縮ひずみ	見掛けの拡散係数	中性化速度係数	耐久性指数	スケーリング量
400×10^{-6}	0.2cm^2/年	0.1mm/$\sqrt{}$年	95	100g/m^2

出典）高炉スラグ細骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の設計・製造・施工指針（案）（土木学会、平成 31 年 3 月）

参考として、全国 6 工場のプレキャスト製品工場で用いられている高炉スラグ細骨材の品質を**表 3.7.22** に示す。

表 3.7.22　プレキャスト製品工場で用いられている BFS の品質（全国 6 工場）

工場名		G 工場	Y 工場	K 工場	T 工場	D 工場	L 工場
BFS メーカー		N 製造所	N 製造所	K 製造所	N 製造所	J 製造所	J 製造所
粒度による区分		BFS5	BFS5	BFS2.5	BFS5-0.3	BFS5	BFS1.2
粗粒率		2.72	2.85	2.31	3.18	2.56	2.18
表乾密度（g/cm^3）		2.79	2.80	2.71	2.72	2.74	2.77
絶乾密度（g/cm^3）		2.75	2.76	2.69	2.67	2.72	2.76
吸水率（%）		1.36	1.38	0.71	2.01	0.64	0.41
単位容積質量（kg/L）		1.78	1.79	1.53	1.52	1.53	1.62
微粒分量（%）		3.6	2.2	2.9	0.5	2.8	4.1
化学成分（%）	酸化カルシウム	44.0	44.8	42.8	42.7	42.8	43.9
	全硫黄	0.8	0.8	0.6	1.0	0.88	0.65
	三酸化硫黄	0.1 未満	0.1 未満	0.01	0.1	0.01 未満	0.03
	全鉄	0.39	0.28	0.8	0.3	0.47	0.28
粒度調整した BFS 試料による質量残存率 R_7（%）	平均値	74.0	72.4	29.7	66.8	47.9	55.0
	標準偏差	1.8	1.9	5.3	3.3	2.8	2.6
粒度調整前の BFS 試料による質量残存率 R_7（%）	平均値	10.6	21.4	41.3	7.0	11.9	84.3
	標準偏差	3.7	8.5	4.0	5.3	1.7	6.5
硫酸による侵食深さ y_s（mm）	平均値	2.4	2.7	2.2	2.6	2.3	2.9
	標準偏差	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
硫酸侵食速度（mm/(年・%)）		3.1	3.5	2.8	3.4	3.0	3.8

出典）高炉スラグ細骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の設計・製造・施工指針（案）（土木学会、平成 31 年 3 月）

瀬戸内海での港湾工事で施工されたプレキャスト RC 床版を用いたジャケット式桟橋の施工例を以下に示す。

桟橋は、海上部に位置する過酷な塩害環境となるため、プレキャスト床板には BFS コンクリートが用いられた。

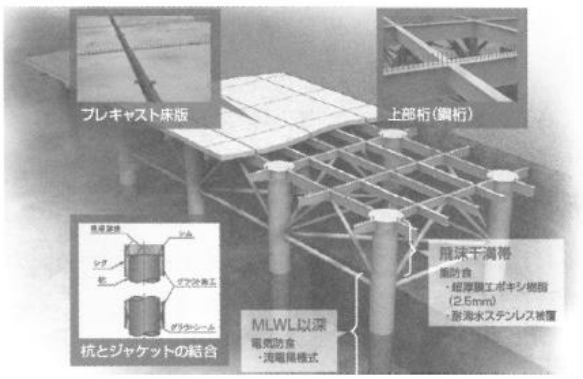


図 3　ジャケット式桟橋の概要

写真 1　ジャケット

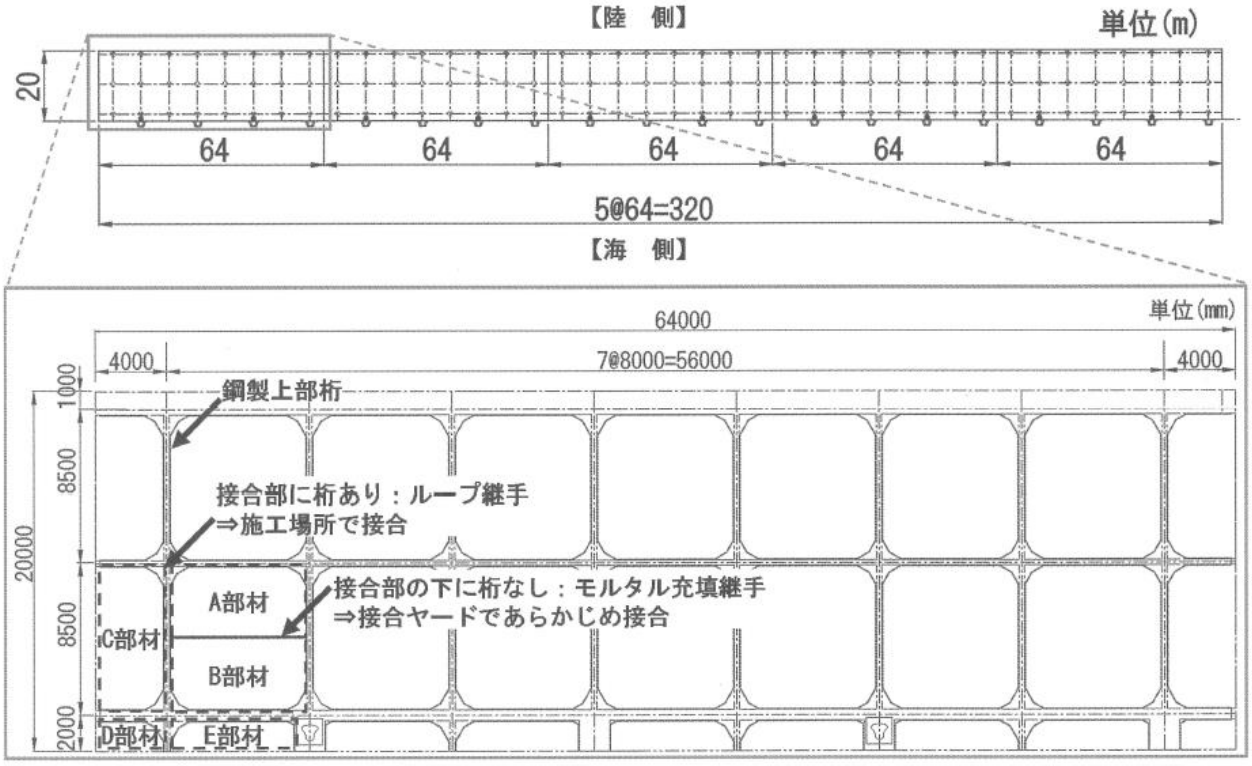


図 4　桟橋上部工の全体図，ジャケットの平面図およびプレキャスト RC 床版の部材割付図［出典：中国地方整備局宇野港湾事務所］

出典）高炉スラグ細骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の設計・製造・施工指針（案）（土木学会、平成 31 年 3 月）

図 3.7.19　BFS コンクリートを用いたプレキャスト RC 床板の施工例

(3) コンクリート用粗骨材

高炉徐冷スラグをコンクリート用の粗骨材として用いる場合は、JIS A 5011-1 に適合したもの利用する。その他、**「高炉スラグ骨材コンクリート施工指針」（土木学会）**で高炉スラグを用いるコンクリート構造物の施工についての標準が示されている。

ここでは、高炉徐冷スラグ粗骨材の基本的な品質とこれを用いたコンクリートの特記すべき事項を示し、詳細な事項については、同施工指針等を参考にされたい。

高炉スラグ粗骨材について、JIS A 5011-1**「コンクリート用スラグ骨材－第 1 部：高炉スラグ骨材」**では、**表 3.7.23** に示すように、絶乾密度、吸水率及び単位容積質量の大きさによりＬ及びＮに区分している。区分 N の高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートは、強度発現が良好で耐久的なコンクリートをつくることができる。区分Ｌの高炉スラグ粗骨材は、耐久性を考慮する必要が無い場合や、設計基準強度が 21N/mm^2 未満のコンクリートに使用することができる。高炉スラグ粗骨材を使用する場合は、所要のコンクリートが得られる区分のものが確保できるか確認することが大切である。

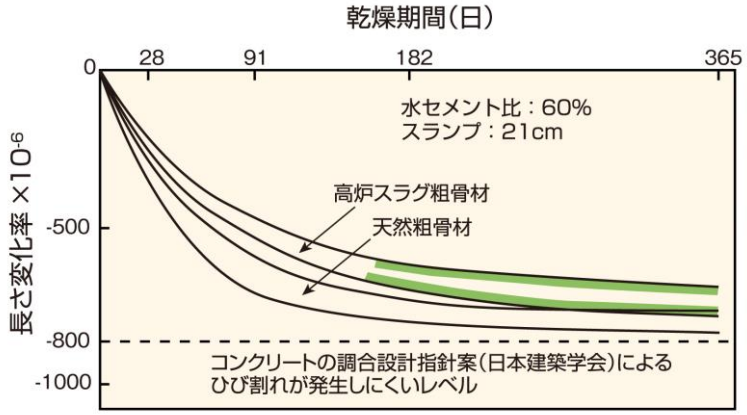
表 3.7.23　高炉スラグ粗骨材の区分

区分	絶乾密度 g/cm^3	吸水率 %	単位容積質量 kg/L
L	2.2以上	6.0以下	1.25以上
N	2.4以上	4.0以下	1.35以上

出典）JISA5011-1「コンクリート用スラグ骨材－第１部：高炉スラグ骨材」

高炉スラグ粗骨材を使用したコンクリートの特長としては次が挙げられる。

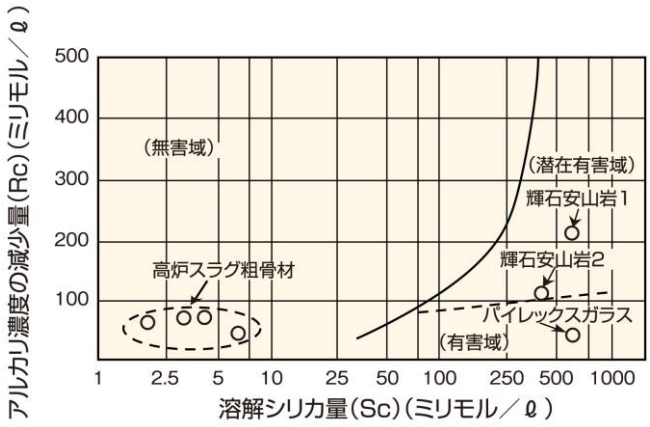
・高炉スラグ粗骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮は、砕石等の普通粗骨材を使用したものと比較して低減される。



出典）高炉スラグ砕石コンクリート施工指針案・同解説（日本建築学会、昭和 53 年 2 月）

図 3.7.20 コンクリートの乾燥収縮

・高炉スラグ粗骨材は溶解シリカ量が少なく、それ自体はアルカリシリカ反応を起こさない。



出典）鐵鋼スラグ協会実験データ

図 3.7.21 アルカリシリカ反応の有害判定区分

一方で、高炉スラグ粗骨材は通常の砂利や砕石に比べて吸水率が大きい。したがって、高炉スラグ粗骨材を乾燥した状態で使用すると、コンクリートの練混ぜ、運搬あるいは打設中に高炉スラグ粗骨材が吸水することによって、コンクリートの品質が変化することも考えられるので、プレウェッティングによって吸水させておくことが重要である。

このため、貯蔵設備には排水設備の他、スプリンクラーなどの散水設備を設けることが望ましい。

(4) 混和材

高炉スラグ微粉末をコンクリート用混和材に用いる場合は、JIS A 6206 に適合したものを利用する。その他、**「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針」（土木学会）**にコンクリート構造物の施工についての標準が示されている。

ここでは、高炉スラグ微粉末の基本的な品質とこれを用いたコンクリートの特記すべき事項を示し、詳細な事項については、同施工指針等を参考にされたい。

高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートは、使用する高炉スラグ微粉末の種類と置換率に応じて、練混ぜ性状、フレッシュコンクリートの性状、水和・発熱性状、強度発現特性などが異なり、使用方法によって多様な性能を発揮することができる。JIS A 6206**「コンクリート用高炉スラグ微粉末」**では、**表** 3.7.11 に示すように、比表面積により 4 種類の種別がある。種別毎の主な用途を**表** 3.7.24 に、また使用実績例を**表** 3.7.25 に示す。

次項で述べるように、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは塩化物イオンや酸素の浸透に対する抵抗性に優れる。**表** 3.7.25 に示す使用実績は、この長所を生かした海洋構造物が多い。表記のとおり、港湾・空港分野における高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートの施工実績としては、中部国際空港がある[1)]。

表 3.7.24　コンクリート用高炉スラグ微粉末の主な用途

種　　別	主な用途
高炉スラグ微粉末 3000	低発熱用混和材
高炉スラグ微粉末 4000	最も多く使用される汎用品
高炉スラグ微粉末 6000	高強度・高流動性用混和材・耐酸性
高炉スラグ微粉末 8000	高強度用混和材・耐酸性、グラウト用混和材

表 3.7.25　高炉スラグ微粉末の使用実績例

構造物／製品	高炉スラグ微粉末の種類	セメント種類	スラグ置換率	使用実績
RCセグメント	4000	普通セメント	50%	東京湾横断道路 江戸川外郭放水路 首都高速中央環状新宿線 東京電力東京湾海底ガス管・他
ダム堤体	4000	中庸熱セメント	55%	関西電力長谷ダム
普　　通 コンクリート	4000	普通セメント	40%	中部国際空港（エプロン舗装・ 建築基礎・連絡橋・他）
高　流　動 コンクリート	6000	普通セメント	70%	神戸港沈埋函
PCコンクリート 橋 梁 桁　等	6000	早強セメント	50%	国土交通省、NEXCO、他 約250橋梁
各　　種 コンクリート 製　　品	4000 6000	普通セメント 早強セメント	20～ 50%	ボックスカルバート、アーチカル バート、L型擁壁、コンクリート矢 板、パイル・ポール、ILB、空洞ブ ロック、C･C･BOX、道路用製品、 各種側溝、ます類・他

高炉スラグ微粉末を使用することによる主な利点は次のとおりである。

①水和熱による温度上昇の抑制

②アルカリシリカ反応の抑制

③硫酸塩や海水に対する化学抵抗性の向上

④塩化物イオンや酸素の浸透に対する抵抗性に優れているため、海洋雰囲気等の条件下における鉄筋を保護する性能の向上等の効果が期待される。

⑤二酸化炭素負荷の低減が図れる。

以上の“①～④”は、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートの物性上の利点である。一方、“⑤”は、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートが温室効果ガス低減となる環境上の利点である。

高炉スラグ微粉末製造時に発生する CO_2 量は約 27kg/t で、ポルトランドセメントの約 760kg/t に比べ著しく小さい[2)]。

高炉スラグ微粉末の適用に当たって留意することは、初期養生を十分に行うことと、使用する目的に応じて高炉スラグ微粉末の種類とその置換率を選定することである。

高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは、ポルトランドセメント単味の場合に比べて湿潤養生期間を長くとる必要があり、これが十分でないと、高炉スラグ微粉末の使用により期待される効果が得られない。必要とされる湿潤養生日数の目安が**「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針」（土木学会）**に示されている。また、**コンクリート標準示方書**には、高炉セメント B 種を使用する場合の施工の基本事項が示されている。これらの基本事項をコンクリート施工現場で遵守する取組が山口県で行われており、その結果、初期欠陥の少ないコンクリート構造物が建設されているという成果をあげていることが報告されているので、参照されたい。[3)4)5)]

高炉スラグ微粉末の種類と置換率の選定については、**「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針」（土木学会）**に使用目的に応じた高炉スラグ微粉末の種類と望ましい置換率の範囲が示されおり、過去の実績と併せてコンクリート配合設計の参考とし、試験練りによって適切に定められたい。

混和材を大量に使用したコンクリートを用いた構造物の設計・施工については、**「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」（土木学会）**にコンクリート特性、製造及び施工の標準が示されている。

一般的に用いられているセメントよりも混和材の置換率を高めたコンクリートの配合例を**表 3.7.26**、CO_2排出量の一例を**表 3.7.27** に示す[6) 7)]。

表 3.7.26　混和材を大量に使用したコンクリートの配合例

配合名	W/B (%)	単位量 (kg/m³)										
		W	粉体：P								S	G
			結合材：B							L		
			N	H	BS	FA	SF	A	E	C		
C-1	55.0	165	300								810	1018
C-2	40.5	165		102	183	122					747	940
C-3	42.1	165		98	176	98	20				754	948
C-4	43.4	165		95	171	95		19			761	957
C-5	42.5	165		39	330		19				764	960
E-1	55.0	165	300								810	1018
E-2	39.2	155			333				30	32	37	736	930
E-3	39.2	155		17	333				30	15	37	717	961
E-4	40.8	155		17	333				30		37	725	972

※配合シリーズ C：ポルトランドセメントの 75%あるいは 90%を 2～3 種の混和材で置換したコンクリート
　配合シリーズ E：ポルトランドセメントの 70～90%を高炉スラグ微粉末で置換したコンクリート
※W：水、N：普通ポルトランドセメント、H：早強ポルトランドセメント、BS：高炉スラグ微粉末、FA：フライアッシュ、SF：シリカフューム、A：無水せっこう、E：膨張材、C：消石灰、L：石灰石微粉末、S：細骨材、G：粗骨材

出典）「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」（土木学会、平成 30 年 9 月）より作成

表 3.7.27　混和材を大量に使用したコンクリートの CO_2 排出量の低減効果の例

配合シリーズC			配合シリーズE		
配合名	CO_2 排出量 ($kg\text{-}CO_2/m^3$)	CO_2 排出量の削減率(%)	配合名	CO_2 排出量 ($kg\text{-}CO_2/m^3$)	CO_2 排出量の削減率(%)
C-1	235	基準	E-1	235	基準
C-2	91	▲61	E-2	66	▲72
C-3	44	▲81	E-3	64	▲73
C-4	87	▲63	E-4	51	▲78
C-5	85	▲64			

※配合シリーズC：ポルトランドセメントの 75%あるいは 90%を 2～3 種の混和材で置換したコンクリート
　配合シリーズE：ポルトランドセメントの 70～90%を高炉スラグ微粉末で置換したコンクリート
※配合条件は**表 3.7.26** に示すとおり

出典）「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」（土木学会、平成 30 年 9 月）

【参考文献】

1）小林郁美：佳境を迎えた中部国際空港の建設、セメント・コンクリート、No.681、pp.10-17、平成 15 年 11 月

2）土木学会：コンクリートライブラリー125、「コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案）」、平成 11 年 11 月

3）土木学会：コンクリート技術シリーズ 89、「混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会（333 委員会）No.2、平成 22 年 5 月

4）田村隆弘：コンクリートのひび割れ制御　コンクリート構造物のひび割れ制御から品質確保へ、コンクリートテクノ、Vol.31、No.4、平成 24 年 4 月

5）稲津貴和子、田村隆弘、澤村修司：山口県のコンクリート工事に関するデータベースを用いたひび割れ幅に関する統計的評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、No.1、平成 23 年

6）土木学会：コンクリートライブラリー152、「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」、平成 30 年 9 月

7）国立研究開発法人 土木研究所：「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（Ⅰ～Ⅶ）」、平成 28 年 1 月～平成 29 年 2 月

(5) バーチカルドレーン材及びサンドマット材

水砕スラグは、粒状材料としてバーチカルドレーン及びサンドマットへの利用ができる。姫路港で採用されたサンドマットの一例を**図 3.7.21** に示す。[1)2)]

サンドマットの場合、水砕スラグは天然砂に比べ軽量のため、載荷重の軽減が期待できる。

一方で、天然の材料には見られない潜在水硬性を有し、アルカリ刺激のもとで経時的に固結する材料であるため、固結した状態が構造物に対して危険側になるような場合については、個々の条件を判断し十分な検討を行うことが必要である。特に、固結に伴う透水性の低下[3)]や、応力集中の影響には十分配慮する必要がある。また、ドレーン排水がアルカリ性を示すため、周辺環境への影響が懸念される場合には排水処理等も考慮する必要がある。

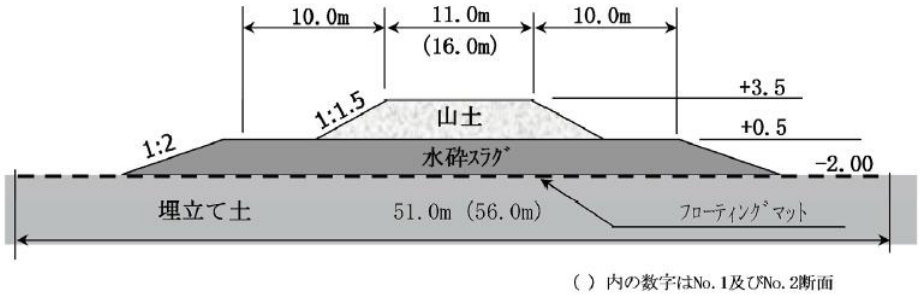
また、水砕スラグを土工事用材料に適用するに当たっては、以下の留意事項が挙げられる。

①水硬性

水砕スラグを使用した地盤で掘削、杭や矢板の打設、バーチカルドレーンやサンドコンパクションパイルの打設などを行う場合、水砕スラグの固結に伴い掘削や杭打設の作業能率が低下することがある。したがって、このような場合には事前調査によって水砕スラグの固結状況を確認し、必要に応じて補助工法などの対策を施すことが望ましい。

②保管

大規模工事などで水砕スラグを一度に大量に搬入し野外で長期間保管しておくと使用前に固結する可能性があるため、現場での使用計画を踏まえ適切な量を順次搬入して使用することが望ましい。



出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（(財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）及び文献 2)

図 3.7.22　姫路港須賀地区埋立地内サンドマット工

【参考文献】

1) 杉本貴之、水谷崇亮、菊池喜昭：高炉水砕スラグのドレーン材としての適用性の検討のための基礎的実験、第 7 回地盤工学会関東支部発表会発表講演集、pp. 154-156、平成 22 年
2) 山本利繁、福原大輔、山崎友二、北森一郎、南部光広：埋立地における水砕スラグの地盤特性、第 18 回土質工学研究発表会、D-10、pp. 1585-1588、昭和 58 年
3) 篠崎晴彦、松田博、宮本孝行：高炉水砕スラグおよび水砕スラグ・山砂混合材のサンドドレーン材の経時変化、土木学会第 57 回年次学術講演会概要集、 III-039、pp. 77-78、 平成 14 年

(6) サンドコンパクションパイル材

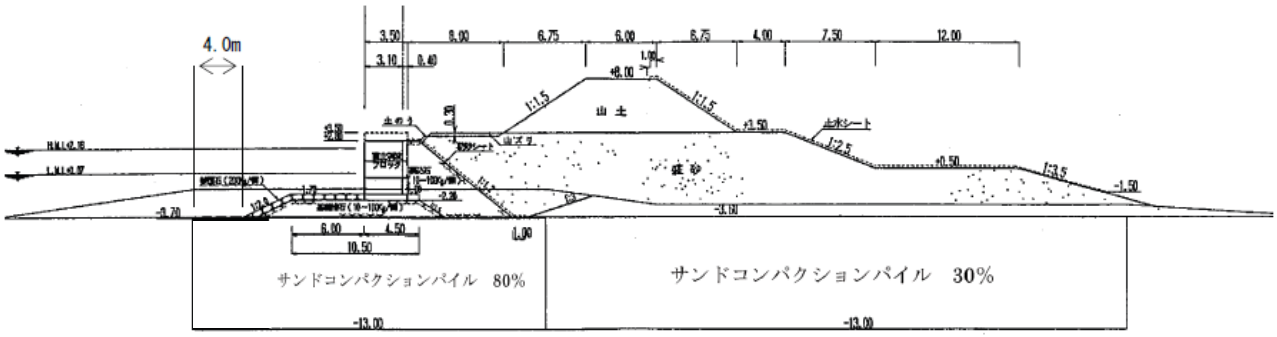
1) 軟弱粘性土地盤改良用

原則として高置換率（置換率 70%以上）に用いるものとして、天然砂を用いたサンドコンパクションパイルと同様の方法で設計することができる。

博多港で採用されたサンドコンパクションの一例を**図 3.7.22** に示す。博多港では、高置換（a_s=80%）および低置換（a_s=30%）が採用されている。[1)2)]

2) 軟弱砂質土地盤液状化対策用

天然砂を用いたサンドコンパクションパイルと同等の締固め効果が確認されており、天然砂と同様の方法で設計することができる。水砕スラグの水硬性による改良地盤のせん断強さの増加が期待できる。[3)]



出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

図 3.7.23 博多港サンドコンパクション工事

【参考文献】

1) (財)沿岸技術研究センター：港湾・空港における水砕スラグ利用技術マニュアル、平成 19 年

2) 篠崎晴彦、松田博、坂井悦郎、小野幸一郎、鈴木操、中川雅夫：高炉水砕スラグの硬化特性と地盤改良工法への適用、土木学会論文集 C、Vol.62、No.4、pp.858-869、平成 18 年

3) 久我昂、三代賢、河本敬之、奥村博昭、長谷川元信、永瀬敏郎、竹田重三：地盤改良材としての鉄鋼スラグの利用、 製鉄研究、第 302 号、pp.36-63、昭和 55 年

(7) 裏込材、裏埋材

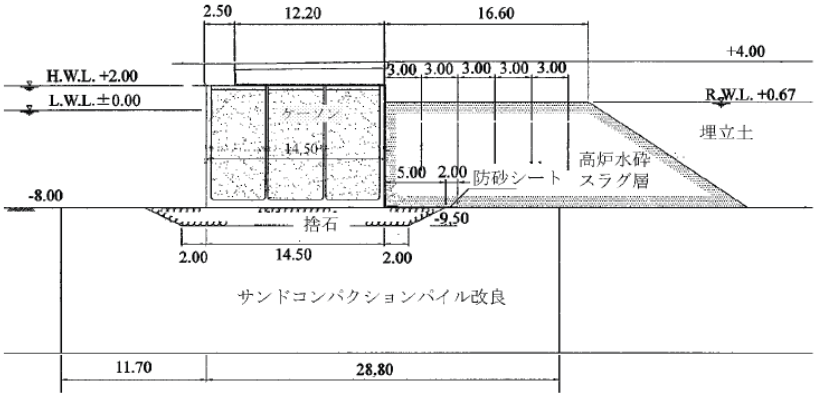
土工用水砕スラグを裏込材、裏埋材に用いる場合の設計は、天然砂と同様の方法を用いることができる。横須賀で採用された裏込材の一例を**図 3.7.23** に、木更津港で採用された裏埋材の一例を**図 3.7.24** に示す。

水砕スラグは水硬性を有しているため、完全に固結した水砕スラグは液状化しない。[1)]これまでの事例によると、水砕スラグは間隙水の移流の大きな箇所を除いて施工 1 年後には全体的に固結している事例が多い。固結に至るまでの期間を短くするには固結促進処理を行う必要がある。[2)~10)]

また、水砕スラグは天然砂に比べ軽量のため、土圧の軽減が期待できる。[11)~14)]

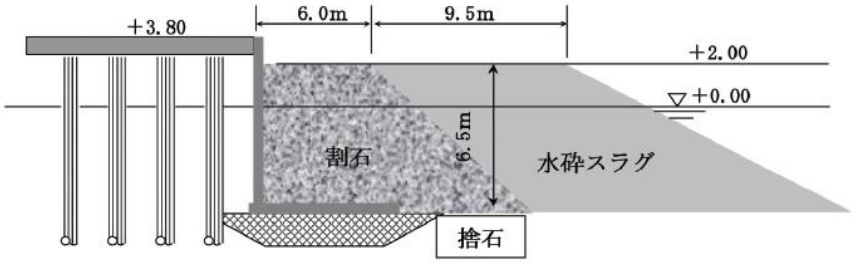
一方で、水砕スラグは工場製品であるため、同じ工場で製造された水砕スラグの性質のばらつきは小さいが、異なる工場で製造された水砕スラグ間には、性質にばらつきが見られる。特に重要な構造物への利用においては、事前に試験等を行って必要な材料特性等を確認することが望ましい。

また、アルカリ水の溶出が懸念される場合は、過去の対策例を参考にして対応策を検討する必要がある。



出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

図 3.7.24　横須賀久里浜岸壁裏込工



出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

図 3.7.25　木更津港Ｉ期工事（L 型ブロック式護岸の裏埋め）

【参考文献】

1)　篠崎晴彦、松田博、白元珍：高炉水砕スラグの硬化に伴う繰り返しせん断強度特性の変化、土木学会論文集 C、Vol.64、No.1、pp.175-180、平成 20 年

2)　菊池喜昭、岡祥司、水谷崇亮：高炉水砕スラグ硬化促進工法の現場適用性の検討、港湾空港技術研究所報告、Vol.49、No.2、pp.21-46、平成 22 年

3)　菊池喜昭、水谷崇亮、岡祥司：港湾工事における高炉水砕スラグの実用的硬化促進工法の提案、第 9 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、pp.339-344、平成 23 年

4)　Kikuchi, Y. and Mizutani, T. : Application of a method to accelerate granulated blast furnace slag solidification, Proc. of 18th Intl. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp. 3231-3234, 2013.

5) Kikuchi, Y., Mizutani, T., Oka, S., and Nakashima, K. : A method for accelerating the solidification of granulated blast furnace slag, Proc. of 2nd Intl. Conf. on Transportation Geotechnics, pp. 322-325, 2012.
6) Kikuchi, Y., Nakashima, K., and Mizutani, T. : Acceleration of solidification of granulated blast furnace slag, Proc. of 13th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 1, Part 1, pp. 431-434, 2007.
7) 菊池喜昭、岡祥司、水谷崇亮：裏込めに用いる高炉水砕スラグの硬化促進工法の現場適用性、第45回地盤工学研究発表会発表講演集、pp.475-476、平成22年
8) 岡祥司、菊池喜昭、水谷崇亮、日高健寿、西村大司、日置幸司、木全啓介：高炉スラグ微粉末を混合した高炉水砕スラグの硬化に及ぼす水流と淡水化の影響、第64回土木学会年次学術講演会講演概要集、論文番号III-235、平成21年
9) 岡祥司、菊池喜昭、水谷崇亮：地盤間隙水の塩分濃度の変化が高炉スラグ微粉末を混合した高炉水砕スラグの硬化に及ぼす影響、第 6 回地盤工学会関東支部発表会発表講演集、pp.169-173、平成21年
10) 中島研司、菊池喜昭、水谷崇亮、村田智佳：高炉水枠スラグ微粉末を添加した高炉水枠スラグの硬化現象、第40回地盤工学研究発表会発表講演集、pp. 579-580、平成17年
11) 河野伊一郎、遠藤隆、二町宣洋、昆野功：水砕スラグ地盤の土圧実験、第 40 回昭和 63 年度土木学会中国四国支部研究発表会、pp.296-297、昭和63年
12) 松永康男、竹内大輔、戸川准一、昆野功、山中量一：岸壁裏埋材に利用された軽量地盤材料としての高炉水砕スラグの特性、第 52 回土木学会年次学術講演会講演概要集、III-B327, pp. 654-655、平成9年
13) 宮島正吾、安達明宏、濱本晃一、戸川准一、遠山俊一、山中量一：岸壁裏埋材に利用された軽量地盤材料としての高炉水砕スラグの特性(第2報)、第53回土木学会年次学術講演会講演概要集、III-A112, pp. 222-223、平成10年
14) 白元珍、松田 博、篠崎晴彦、橋口大輔、近藤政彦、小島 磨：未硬化高炉水砕スラグの静的および地震時土圧、土木学会第60回年次学術講演会、3-071、pp.141-142、平成17年

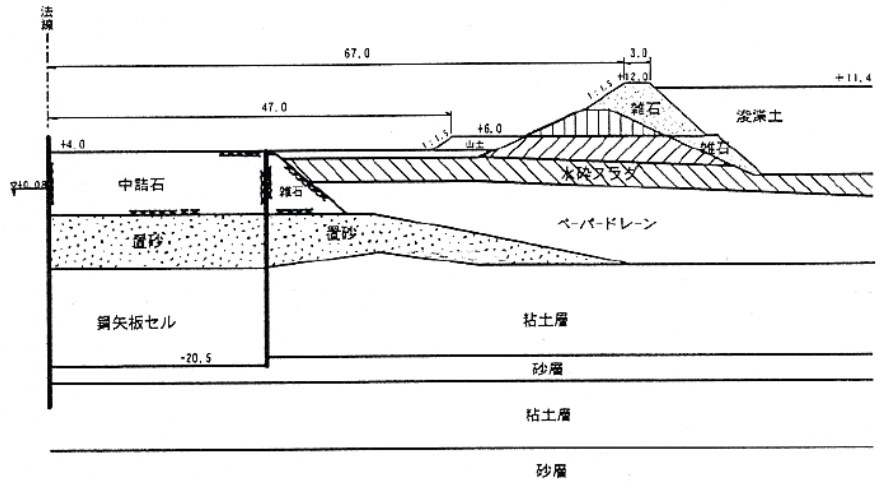
(8) 盛土材、覆土材、埋立材

土工用水砕スラグを盛土材、覆土材、埋立材に用いる場合の設計は、天然砂と同様の方法を用いることができる。苅田港で採用された盛土材の一例を**図 3.7.25** に、神戸港で採用された路床材の一例を**図 3.7.26** に示す。

水砕スラグは水硬性を有しているため、完全に固結した水砕スラグは液状化しない。また、水砕スラグは天然砂に比べ軽量のため、載荷重の軽減が期待できる。[1)-3)]

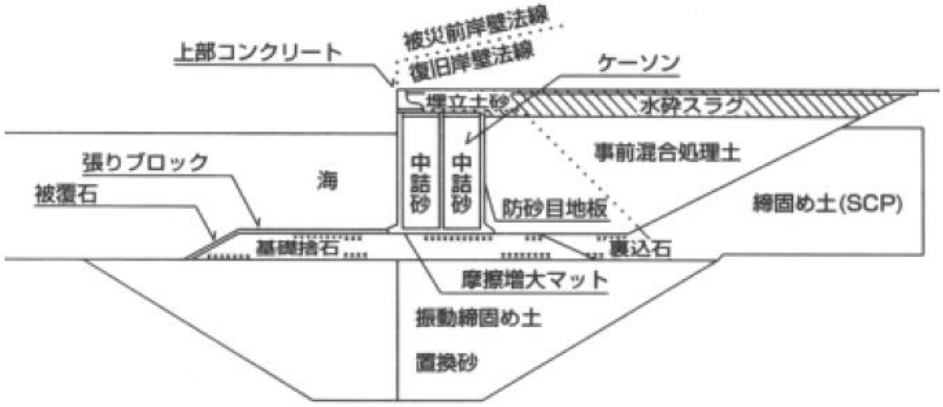
一方で、水砕スラグは工場製品であるため、同じ工場で製造された水砕スラグの性質のばらつきは小さいが、異なる工場で製造された水砕スラグ間には、性質にばらつきが見られる。特に重要な構造物への利用においては、事前に試験等を行って必要な材料特性等を確認することが望ましい。

また、アルカリ水の溶出が懸念される場合は、過去の対策例を参考にして対応策を検討する必要がある。



出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

図 3.7.26　苅田港埋立地盛土



出典）港湾・空港等における水砕スラグ利用技術マニュアル（（財)沿岸技術研究センター、平成 19 年 12 月）

図 3.7.27　神戸港六甲アイランド RF-3 岸壁裏込工（岸壁後背地の路床材）

【参考文献】

1）松永康男、竹内大輔、戸川准一、昆野功、山中量一：岸壁裏埋材に利用された軽量地盤材料としての高炉水砕スラグの特性、第 52 回土木学会年次学術講演会講演概要集、III-B327, pp. 654-655、平成 9 年

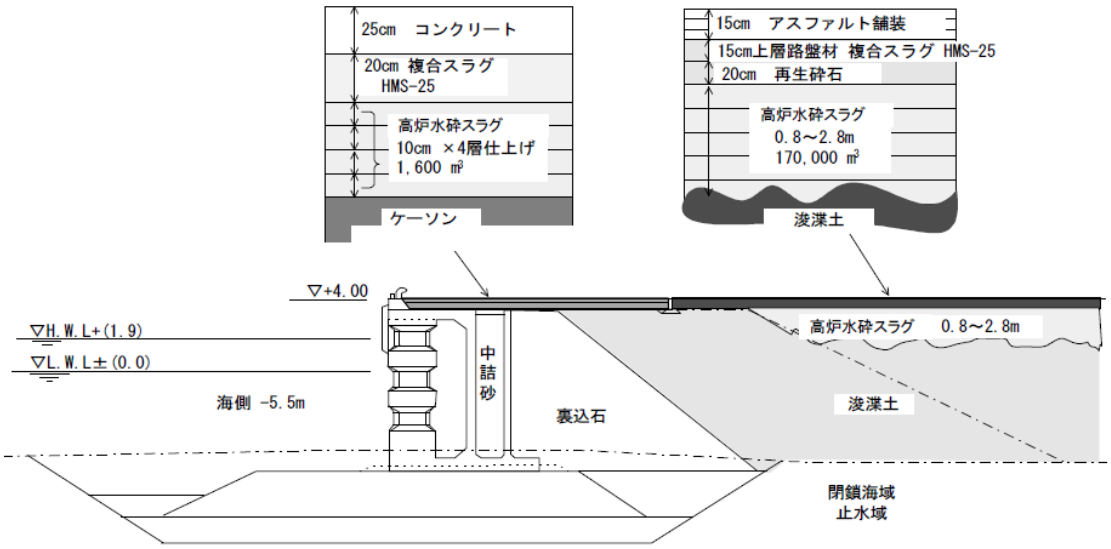
2）宮島正吾、安達明宏、濱本晃一、戸川准一、遠山俊一、山中量一：岸壁裏埋材に利用された軽量地盤材料としての高炉水砕スラグの特性(第 2 報)、第 53 回土木学会年次学術講演会講演概要集、III-A112, pp. 222-223、平成 10 年

3）例えば、松田博、石蔵良平、和田正博、来山尚義、白元珍、谷信幸：軽量盛土財として用いた高炉水砕スラグの特性の経年変化、地盤工学会ジャーナル、Vol.7、No.1、pp.339-349、平成 24 年

(9) 路床盛土材

土工用水砕スラグは路床盛土材に利用することができる。

例えば、**図 3.7.27** に示すように、浚渫土で埋め立てた軟弱地盤の覆土を高炉水砕スラグを用いて行い、水硬性の利用により、短期に強固な路床を造成した例がある。



出典）港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針　参考資料(港湾・空港等リサイクル推進協議会、平成 16 年 3 月)

図 3.7.28　和歌山下津港（南港）路床盛土材

(10) 浅場・干潟造成、覆砂材

土工用水砕スラグを浅場・干潟造成、覆砂材に利用する場合は、水砕スラグが固結することに留意し使用する必要がある。固結した場合、貝類等が生息できない場合があるため、天然砂にて覆土することが望ましい。

水質については、水砕スラグの設置初期のごく一時期において砂層内の pH、硫化物イオン濃度が若干高くなる傾向があったが、それ以降は天然材と同程度であった試験結果がある。

【既存工事における検討事項】

・物理・力学試験（圧縮強度、比重、吸水率、膨張）及び水質（pH）について、室内試験により確認を行った。（浅場潜堤築造工事）

(11) 今後の検討を要する用途

1) 深層混合処理固化材

高炉スラグ微粉末は、六価クロム低減や環境負荷低減を目的に、深層混合処理固化材への利用が検討されているが、高炉スラグ微粉末を深層混合処理固化材に利用する場合は、工法や地盤に適した材料・配合の選定が必要となる。

2) 中詰材

土工用水砕スラグを中詰材に利用する場合は、天然砂より軽く、また長期的に固結する特徴を有していることに留意し利用する必要がある。

【既存工事における検討事項】

・湿潤時の単位体積重量が規定以上であることを確認した。（防波堤築造工事、岸壁築造工事）

3.7.4 関連法令

廃棄物処理法や海洋汚染防止法等の法的な規制を受ける場合があるので留意する。

（解説）

高炉スラグは産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2 環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.7.5 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

高炉スラグを材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

なお、高炉スラグ骨材については、JIS A 5011-1**「コンクリート用スラグ骨材－第 1 部：高炉スラグ骨材」**において、再利用・廃棄を含めライフサイクルの合理的に想定しうる範囲において、高炉スラグ骨材から影響を受ける土壌、地下水、海水などの環境媒体が、各々の環境基準などを満足できるように、高炉スラグ骨材が確保すべき品質（環境安全品質）を満足するための検査の実施が規定されている。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.8 製鋼スラグ

3.8.1 製造・供給

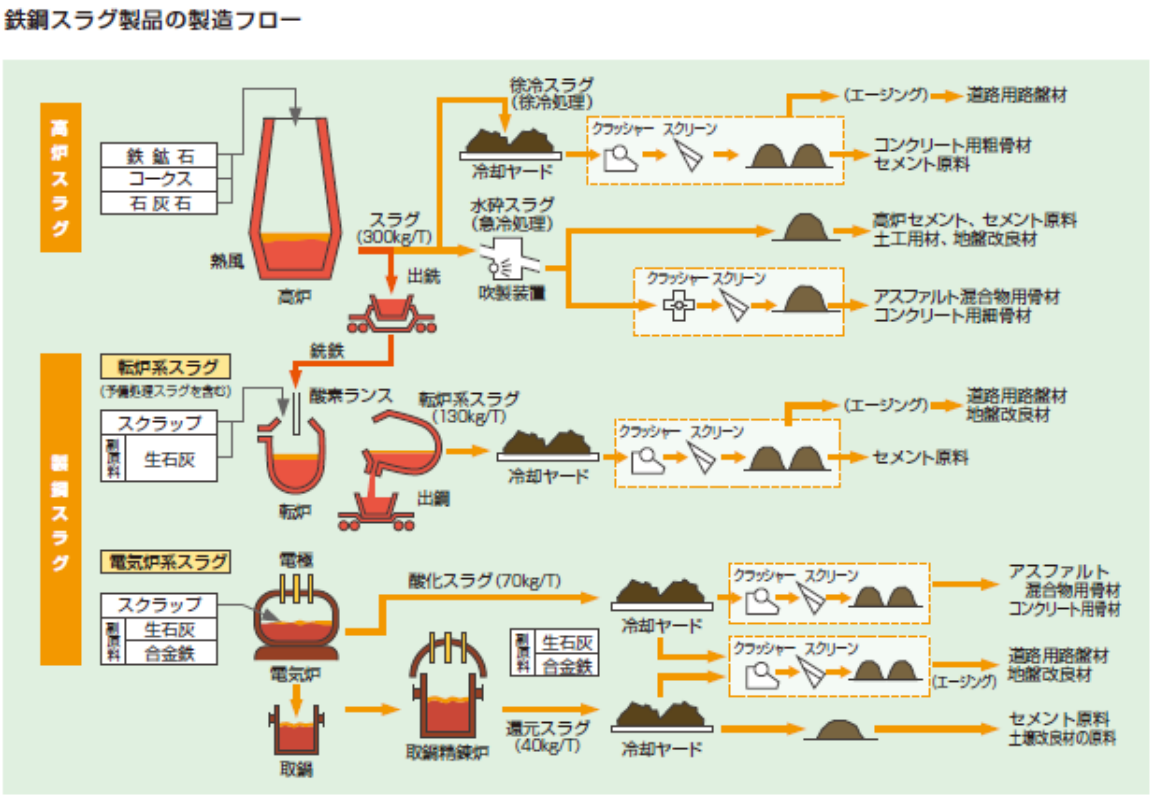
製鋼スラグは、製鋼方法（炉）の種類により、転炉系スラグと電気炉系スラグに分類される。また、用途に応じ、コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材、土工用・地盤改良用製鋼スラグが製品として製造されている。

（解説）

(1) 製造方法

1) 製鋼スラグの生成

製鋼スラグは製鋼工程において発生し、その製鋼方法（炉）の種類により、転炉系スラグと電気炉系スラグに分類される。製造フローを**図 3.8.1** に、組成例を**表 3.8.1** に示す。



（注）鉄鉄・高炉スラグが生産される高炉では、廃プラスチック等のリサイクル資源が副原料として有効利用されている。

図 3.8.1　鉄鋼スラグの製造フロー

表 3.8.1　製鋼スラグの組成例

鉄鋼スラグの組成例

（単位：%）

種類 / 成分	高炉スラグ	転炉系スラグ	電気炉系スラグ		安山岩	普通セメント
			酸化スラグ	還元スラグ		
CaO	41.7	45.8	22.8	55.1	5.8	64.2
SiO_2	33.8	11.0	12.1	18.8	59.6	22.0
T-Fe	0.4	17.4	29.5	0.3	3.1	3.0
MgO	7.4	6.5	4.8	7.3	2.8	1.5
Al_2O_3	13.4	1.9	6.8	16.5	17.3	5.5
S	0.8	0.06	0.2	0.4	—	2.0
P_2O_5	＜0.1	1.7	0.3	0.1	—	—
MnO	0.3	5.3	7.9	1.0	0.2	—

① 転炉系スラグ

転炉系スラグは、主原料の銑鉄などを転炉などで鋼にする際に生成するスラグであり、転炉スラグ、予備処理スラグなどがある。

転炉スラグは、主原料の溶銑、鉄スクラップ及び副原料の生石灰（CaO）などを転炉に装入し、高圧の酸素を吹き込み、激しい酸化反応によって溶銑中のけい素（Si）、りん（P）、鉄（Fe）の一部などが酸化され、生石灰（CaO）と結合した酸化物である。溶鋼と溶融スラグは比重差によって分離され、転炉から排出される。転炉スラグが通常の天然砕石より重く硬質なのは、精錬過程で鉄（Fe）の一部が酸化されスラグ中で化学的に結合しているためである。

予備処理スラグは、転炉精錬を効率的に行なうために転炉または別容器内の溶銑に生石灰（CaO）などを投入し、けい素（Si）、りん（P）、硫黄（S）などを除去する予備処理工程で生成する生石灰（CaO）と結合した酸化物である。

② 電気炉系スラグ

電気炉系スラグは、主原料の鉄スクラップなどを電気炉などで鋼にする際に生成するスラグであり、酸化スラグと還元スラグとがある。酸化スラグは、装入原料（鉄スクラップなど）をアーク熱を熱源として溶融し、溶鋼中に酸素を吹き込み、鋼として不要な成分を酸化し、副原料として装入した生石灰（CaO）と結合して生成する。その際酸化スラグは、鉄（Fe）の一部が酸化されてスラグ中に入るために通常の天然砕石より重く、かつ、硬質になる。還元スラグは、酸化スラグの排出後に生石灰（CaO）などを投入し、酸化物などの不要な成分と結合させる還元精錬によって生成する。その際発生する還元スラグには、塊状のものと粉状のものがある。

2) 製鋼スラグ製品の製造

① 冷却・固化工程

1,500℃以上の溶融状態にある製鋼スラグは、一般にスラグ運搬車で冷却ヤードに運搬され、空冷あるいは散水との組み合わせによって冷却・固化される。

② 粉砕・ふるい分け工程

冷却ヤードで冷却・固化された製鋼スラグは、ブルドーザなどで掘り起こされ、破砕・粉砕工程を経て所定の粒度に整粒される。また、製鋼スラグに含まれる金属鉄のうち、破砕・ふるい分け工程で分離したものは、磁選機により除去される。

図 3.8.2 に転炉スラグの破砕・ふるい分け工程例を示す。

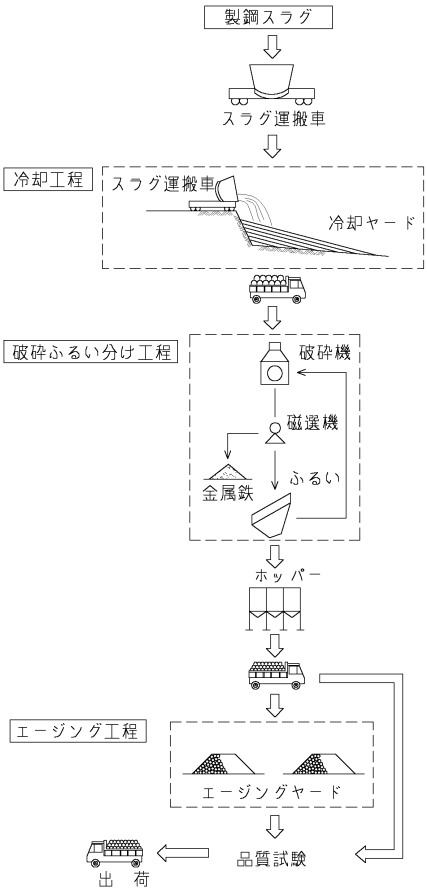


図 3.8.2　転炉スラグの破砕・ふるい分け工程例

③ エージング工程

製鋼スラグには膨張性があり、利用前に安定化する必要があることから、エージングと呼ばれる処理を行う。エージング処理には、屋外で数か月間養生をする大気エージング方式、高温蒸気を用いて短期間に安定化させる蒸気エージング方式、上記に加え耐圧容器を用いて高温・高圧状態でより短期間で安定化する加圧蒸気エージング方式があり、生成する製鋼スラグの特性や、使用される用途の要求性能に応じて使い分けられている。

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

陸上輸送：製鉄所・製造所周辺

海上輸送：制限なし

海上輸送＋陸上輸送：全国の港周辺

2) 事業所の立地場所

① コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材

出典）港湾工事推奨用リサイクル製品便覧（令和 3 年度版）（リサイクルポート推進協議会）より作成

図 3.8.3　コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材製造所（JIS 認定工場）の立地場所

② 土工用・地盤改良用製鋼スラグ

高炉スラグ・転炉スラグ製造事業所、電気炉スラグ製造事業所が全国にある

※本図では高炉スラグ・転炉スラグ製造事業所のみを示す

出典）鉄鋼スラグ統計年報（2021 年度版）（鐵鋼スラグ協会）より作成

図 3.8.4　土工用・地盤改良用製鋼スラグ製造所（高炉スラグ・転炉スラグ製造事業所）の立地場所

3) 生産量

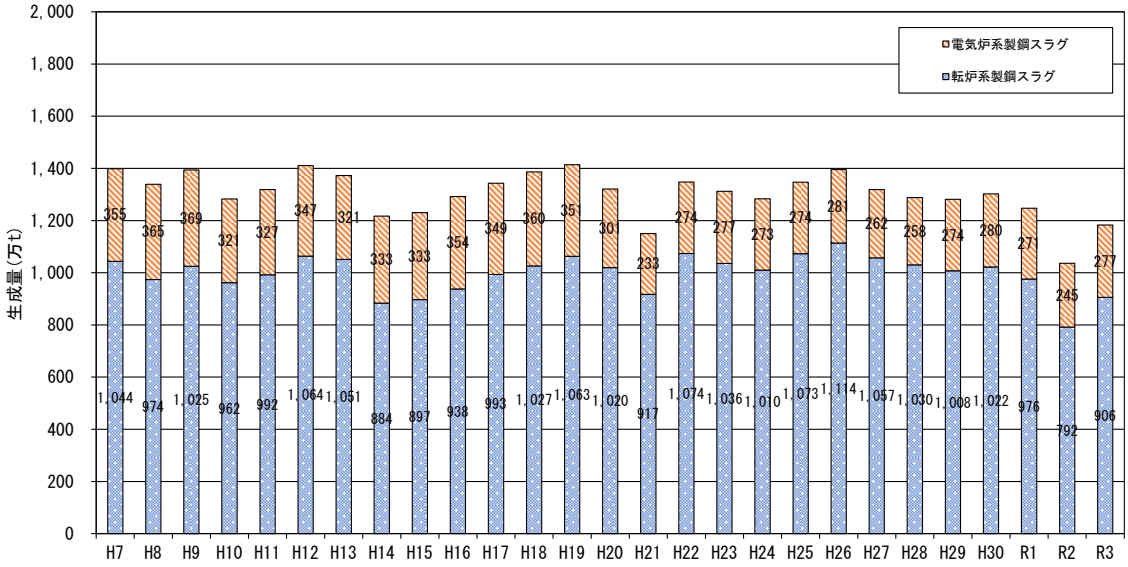
①コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材：8,500t/月

②地盤改良用製鋼スラグ：1～22 千 m^3/月（平成 29～令和元年度出荷実績）

③土工用製鋼スラグ：25～115 千 m^3/月（平成 29～令和元年度出荷実績）

※生産量：乾重量または湿重量ベース（事業所が用途毎に選択）

4) 生産量の推移

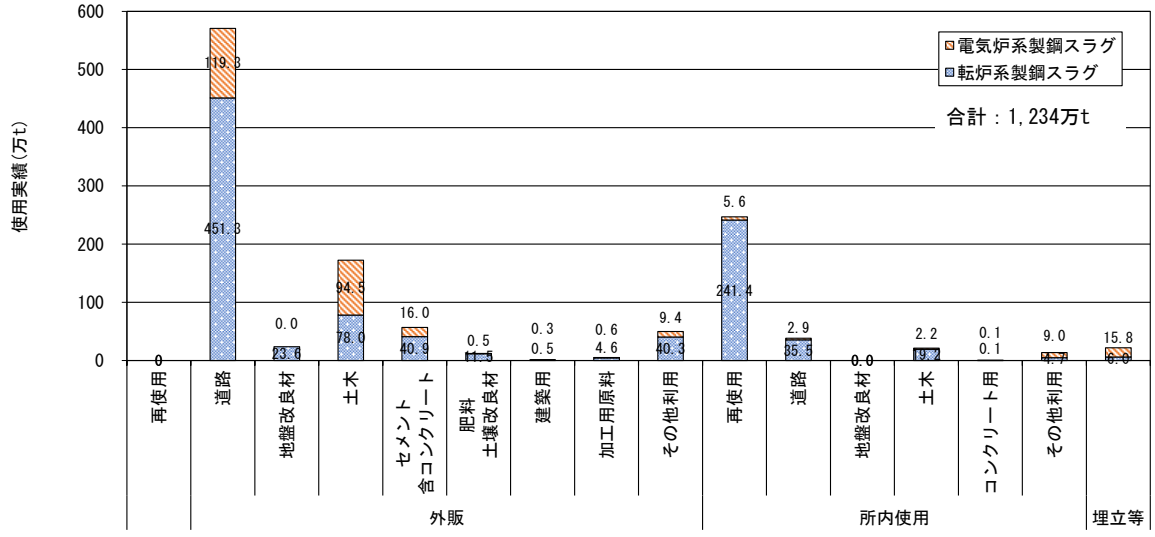


出典）鉄鋼スラグ統計年報（2021 年度版）（令和 4 年 7 月、鐵鋼スラグ協会）より作成

※生成量：乾重量ベース。電気炉酸化スラグ骨材、地盤改良用製鋼スラグ、土工用製鋼スラグ以外の用途を含む。

図 3.8.5 生成量の推移（製鋼スラグ）

5) 用途別使用量



出典）鉄鋼スラグ統計年報（2021 年度版）（令和 4 年 7 月、鐵鋼スラグ協会）より作成

図 3.8.6 用途別使用量（令和 3 年度実績、製鋼スラグ）

3.8.2 品質

コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材は、JIS が規定されている。
土工用製鋼スラグ及び地盤改良用製鋼スラグは、「港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル（平成 27 年 2 月、沿岸技術研究センター）に品質が記載されている。

（解説）

(1) コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材

コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材には、電気炉酸化スラグ粗骨材と電気炉酸化スラグ細骨材がある。

コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材は、電気炉スラグのうち酸化スラグのみを取り出し、破砕・分級して製造される。溶融した酸化スラグを水や空気で急冷した細骨材も作られている。電気炉酸化スラグは膨張性がなく、物理的・化学的に安定しているため、コンクリート用骨材として適している。

表 3.8.2　電気炉酸化スラグ骨材の種類

種類	記号	摘要
電気炉酸化スラグ粗骨材	EFG	電気炉で溶鋼と同時に生成する溶融した酸化スラグを徐冷し、鉄分を除去[a)]して粒度調整したもの
電気炉酸化スラグ細骨材	EFS	電気炉で溶鋼と同時に生成する溶融した酸化スラグを徐冷、または水や空気などによって急冷し、鉄分を除去[a)]して粒度調整したもの
注 a) 徐冷したスラグから製造する粗骨材及び細骨材は、最終破砕工程の後、搬送用ベルトコンベアー面で、磁場強さ 600 ガウス以上によって、金属鉄粒を含むスラグを除去する。		

出典）JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」

電気炉酸化スラグ骨材は、以下のような特性がある。

- 密度が高く、すり減り抵抗性が大きい。
- コンクリートに有害となる粘土、有機物を含んでいない。
- 溶融シリカ量が少ないため、アルカリシリカ反応性は認められない。
- 製造工程で海水を用いないため、塩化物量(NaCl)として 0.001～0.002%と極めて微量である。
- 粗骨材・細骨材のいずれも供給できる。

1) 物理・力学的性質

コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材 JIS A 5011-4 では、電気炉酸化スラグ粗骨材・細骨材の種類・品質を次のように規定している。

① 粒度による区分

電気炉酸化スラグ粗骨材は粒度により、**表 3.8.3** に示す 4 種類に区分される。

表 3.8.3　粒度による区分

区分	粒の大きさの範囲 mm	記号
電気炉酸化スラグ粗骨材　4020	40～20	EFG40-20
電気炉酸化スラグ粗骨材　2005	20～ 5	EFG20-05
電気炉酸化スラグ粗骨材　2015	20～15	EFG20-15
電気炉酸化スラグ粗骨材　1505	15～ 5	EFG15-05

出典）JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」

電気炉酸化スラグ細骨材は粒度により、**表 3.8.4** に示す 4 種類に区分される。

表 3.8.4　粒度による区分

区分	粒の大きさの範囲 mm	記号
5 mm 電気炉酸化スラグ細骨材	5 以下	EFS5
2.5 mm 電気炉酸化スラグ細骨材	2.5 以下	EFS2.5
1.2 mm 電気炉酸化スラグ細骨材	1.2 以下	EFS1.2
5～0.3 mm 電気炉酸化スラグ細骨材	5～0.3	EFS5-0.3

出典）JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」

② 化学成分及び物理的性質

電気炉酸化スラグ粗骨材の化学成分及び物理的性質の規格を**表 3.8.5**、**表 3.8.6** に示す。

表 3.8.5　絶乾密度による区分

区分	絶乾密度 g/cm^3
N	3.1 以上 4.0 未満
H	4.0 以上 4.5 未満

*絶乾密度試験は JIS A 1110 による。

出典）JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」

表 3.8.6　化学成分及び物理的性質の規格

項目		電気炉酸化スラグ 粗骨材	
		N	H
化学成分	酸化カルシウム（CaO として）%	40.0 以下	
	酸化マグネシウム（MgO）　%	10.0 以下	
	全鉄（FeO として）　%	50.0 以下	
	塩基度（CaO/SiO_2 として）	2.0 以下	
絶乾密度　g/cm^3		3.1 以上 4.0 未満	4.0 以上 4.5 未満
吸水率　%		2.0 以下	
単位容積質量　kg/L		1.6 以上	2.0 以上

出典）JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」

電気炉酸化スラグ細骨材の化学成分及び物理的性質の規格を**表 3.8.7**、**表 3.8.8** に示す。

表 3.8.7　絶乾密度による区分

区分	絶乾密度 g/cm^3
N	3.1 以上 4.0 未満
H	4.0 以上 4.5 未満

*絶乾密度試験は JIS A 1110 による。

出典）JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」

表 3.8.8　化学成分及び物理的性質の規格

項目		電気炉酸化スラグ細骨材	
		N	H
化学成分	酸化カルシウム（CaO として）%	40.0 以下	
	酸化マグネシウム（MgO）　%	10.0 以下	
	全鉄（FeO として）　%	50.0 以下	
	塩基度（CaO／SiO$_2$ として）	2.0 以下	
絶乾密度　g/cm^3		3.1 以上 4.0 未満	4.0 以上 4.5 未満
吸水率　%		2.0 以下	
単位容積質量　kg/L		1.8 以上	2.2 以上

出典）JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」

③ 粒度

電気炉酸化スラグ粗骨材の粒度を**表 3.8.9** に示す。

表 3.8.9　電気炉酸化スラグ粗骨材の粒度

単位：%

区分	ふるいを通るものの質量分率						
	ふるいの呼び寸法 a) mm						
	50	40	25	20	15	10	5
電気炉酸化スラグ粗骨材　4020	100	90～100	20～55	0～15	－	0～5	－
電気炉酸化スラグ粗骨材　2005	－	－	100	90～100	－	20～55	0～10
電気炉酸化スラグ粗骨材　2015	－	－	100	90～100	－	0～10	0～5
電気炉酸化スラグ粗骨材　1505	－	－	－	100	90～100	40～70	0～15

注 a) ふるいの呼び寸法は、それぞれ **JIS Z 8801-1** に規定するふるいの公称目開き 53 mm、37.5 mm、26.5 mm、19 mm、16 mm、9.5 mm 及び 4.75 mm である。

出典）JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」

また、粗粒率[2]と微粒分量については、次のように規定されている。

・粗粒率：製造業者と購入者が協議によって定めた粗粒率に対して±0.30 の範囲である必要がある。

・微粒分量：1）微粒分量は 2）に定める許容差の範囲内でばらつきが生じても 5.0%を超えないように、製造業者と購入者が協議によって定める。

2）微粒分量の許容差は、1）で定めた協議値に対して±1.0%とする。

電気炉酸化スラグ細骨材の粒度を**表 3.8.10** に示す。

表 3.8.10　電気炉酸化スラグ細骨材の粒度

単位：%

区分	ふるいを通るものの質量分率						
	ふるいの呼び寸法[a)] mm						
	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
5 mm 電気炉酸化スラグ細骨材	100	90～100	80～100	50～90	25～65	10～35	2～15
2.5 mm 電気炉酸化スラグ細骨材	100	95～100	85～100	60～95	30～70	10～45	5～20
1.2 mm 電気炉酸化スラグ細骨材	－	100	95～100	80～100	35～80	15～50	10～30
5～0.3 mm 電気炉酸化スラグ細骨材	100	95～100	45～100	10～70	0～40	0～15	0～10
注 a) ふるいの呼び寸法は、それぞれ **JIS Z 8801-1** に規定するふるいの公称目開き 9.5 mm、4.75 mm、2.36 mm、1.18 mm、600 μm、300 μm 及び 150 μm である。							

出典）JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」

また粗粒率と微粒分量については、次のように規定されている。

・粗粒率：電気炉酸化スラグ細骨材の粗粒率は、製造業者と購入者が協議によって定めた粗粒率に対して±0.20 の範囲である必要がある。

・微粒分量：1）微粒分量は 2）に定める許容差の範囲内でばらつきが生じても 7.0%を超えないように、製造業者と購入者が協議によって定める。

2）微粒分量の許容差は、1）で定めた協議値に対して±2.0%とする。

＊微粒分量の試験は、JISA1103 に従う

2） 化学的性質

①環境安全品質規準

JIS A 5011-4 では、電気炉酸化スラグ骨材の環境安全品質規準として、骨材を用いるコンクリート構造物などの用途に応じて、次の 2 種類の規準を規定している。これら環境安全品質に係る分析試験の結果は、製造事業者が発行する試験成績表により確認することができる。

環境安全品質基準（一般用途）を**表 3.8.11** に示す。基準値には土壌汚染対策法の溶出量基準（土壌環境基準と同じ）、含有量基準と同じ数値が適用されている。

[2]粗粒率：80 mm，40 mm，20 mm，10 mm，5 mm，2.5 mm，1.2 mm，0.6 mm，0.3 mm，及び 0.15 mm の網ふるいの一組を用いて、ふるい分けを行った場合，各ふるいを通らない全部の試料の百分率の和を 100 で除した値であり、無次元で表される

表 3.8.11　環境安全品質基準（一般用途）

項目	溶出量 mg/L	含有量 a) mg/kg
カドミウム	0.01　以下	150　以下
鉛	0.01　以下	150　以下
六価クロム	0.05　以下	250　以下
ひ素	0.01　以下	150　以下
水銀	0.0005 以下	15　以下
セレン	0.01　以下	150　以下
ふっ素	0.8　以下	4000 以下
ほう素	1　以下	4000 以下
注 a)　ここでいう含有量とは，同語が一般的に意味する“全含有量”とは異なることに注意を要する。		

出典）JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」

※カドミウム：土壌の汚染に係る環境基準（溶出量基準）が 0.003mg/L 以下に見直され、令和 3 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

六価クロム：令和 3 年 10 月より地下水の水質汚濁に係る環境基準が 0.02mg/L 以下に見直され、令和 4 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

環境安全品質基準（港湾用途）を**表 3.8.12** に示す。なお、港湾用途に使用される場合であっても再利用を予定する場合は、一般用途として取り扱うこととされている。

表 3.8.12　環境安全品質基準（港湾用途）

項目	溶出量 mg/L
カドミウム	0.03　以下
鉛	0.03　以下
六価クロム	0.15　以下
ひ素	0.03　以下
水銀	0.0015 以下
セレン	0.03　以下
ふっ素	15　以下
ほう素	20　以下

出典）JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」

※カドミウム：土壌の汚染に係る環境基準（溶出量基準）が 0.003mg/L 以下に見直され、令和 3 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

六価クロム：令和 3 年 10 月より地下水の水質汚濁に係る環境基準が 0.02mg/L 以下に見直され、令和 4 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

表 3.8.13 及び**表 3.8.14** に電気炉酸化スラグ骨材の化学物質の溶出量及び含有量の測定実績を示す。すべての項目が一般用途に適用される基準を満足しており、有害物質による環境への影響はないものと考えて良い。

表 3.8.13　コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材の化学物質の溶出量（平成 20 年）

No.	溶出量（mg/L）							
	ｶﾄﾞﾐｳﾑ	鉛	六価ｸﾛﾑ	ひ素	水銀	ｾﾚﾝ	ふっ素	ほう素
基準値	≦0.01	≦0.01	≦0.05	≦0.01	≦0.0005	≦0.01	≦0.8	≦1
1	＜0.001	＜0.005	＜0.02	＜0.001	＜0.0005	＜0.001	＜0.1	＜0.1
2	＜0.001	＜0.005	＜0.02	＜0.001	＜0.0005	＜0.001	＜0.1	＜0.1
3	＜0.001	＜0.005	＜0.02	＜0.001	＜0.0005	＜0.001	＜0.1	＜0.1
4	＜0.001	＜0.005	＜0.02	＜0.001	＜0.0005	＜0.001	＜0.1	＜0.1
5	＜0.001	＜0.005	＜0.02	＜0.001	＜0.0005	＜0.001	＜0.1	0.1
6	＜0.001	＜0.005	＜0.02	＜0.001	＜0.0005	＜0.001	0.2	＜0.1
7	＜0.001	＜0.005	＜0.01	＜0.005	＜0.0005	＜0.002	＜0.1	＜0.1
8	＜0.001	＜0.005	＜0.01	＜0.005	＜0.0005	＜0.002	＜0.1	＜0.1
9	＜0.001	＜0.005	＜0.01	＜0.005	＜0.0005	＜0.002	＜0.1	＜0.1
10	＜0.001	＜0.005	＜0.01	＜0.005	＜0.0005	＜0.002	＜0.1	＜0.1
11	＜0.001	＜0.005	＜0.01	＜0.005	＜0.0005	＜0.002	＜0.1	0.2
12	＜0.001	＜0.005	＜0.01	＜0.005	＜0.0005	＜0.002	0.2	＜0.1
13	＜0.001	＜0.005	＜0.01	＜0.005	＜0.0005	＜0.002	＜0.1	＜0.1

注記　No.1～6 までと 7～12 までは分析機関が異なるので、一部の元素の定量下限が異なっている。
分析方法：JIS K 0058-1 の 5（利用有姿）

表 3.8.14　コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材の化学物質の含有量（平成 20 年）

No.	含有量(mg/kg)							
	ｶﾄﾞﾐｳﾑ	鉛	六価ｸﾛﾑ	ひ素	水銀	ｾﾚﾝ	ふっ素	ほう素
基準値	≦150	≦150	≦250	≦150	≦15	≦150	≦4,000	≦4,000
1	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	160	＜400
2	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	220	＜400
3	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	220	＜400
4	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	110	＜400
5	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	290	＜400
6	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	850	＜400
7	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	100	＜400
8	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	180	＜400
9	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	170	＜400
10	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	98	＜400
11	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	180	＜400
12	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	440	＜400
13	＜10	＜10	＜20	＜10	＜1	＜10	510	＜400

注記　分析方法：JIS K 0058-2

(2) 土工用・地盤改良用製鋼スラグ

1) 物理・力学的性質

①粒度

製鋼スラグの粒度は、概ね**表 3.8.15** に示す範囲である。

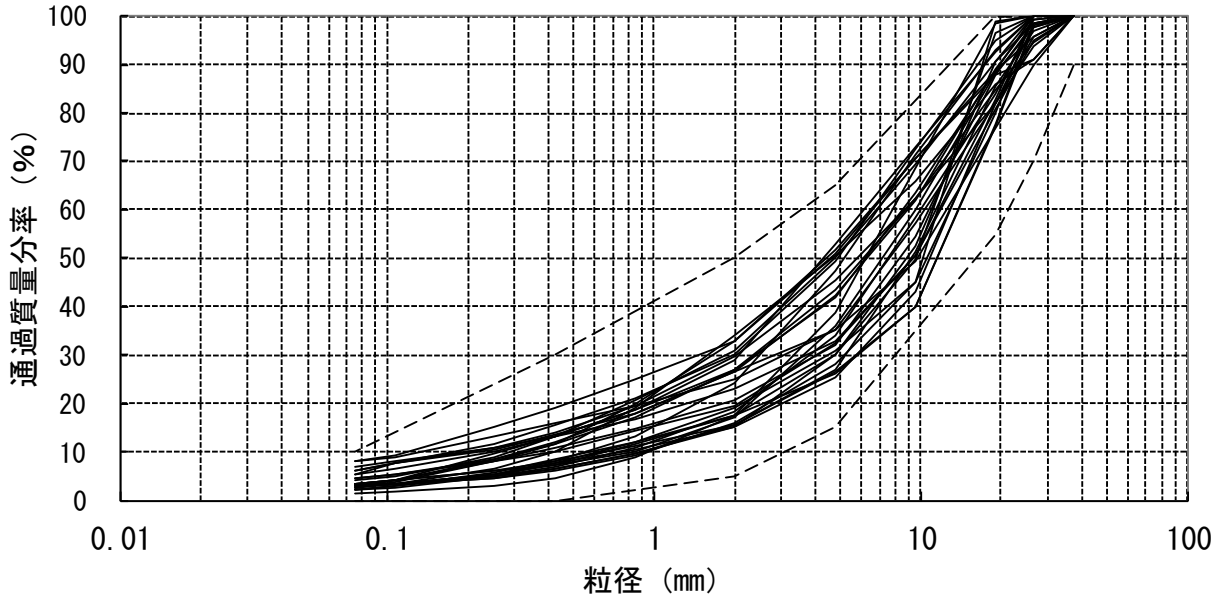
表 3.8.15　製鋼スラグの粒度

粒径(mm)	37.5	26.5	19.0	4.75	2.00	0.425	0.075
通過質量分率(%)	90～100	70～100	55～100	15～65	5～50	0～30	0～10

図 3.8.7 に全国 15 製造所の製鋼スラグの粒度の範囲を示す。

粒度試験結果では、均等係数 Uc は概ね 10.3～44.4、曲率係数 Uc’は 1.3～4.8、細粒分含有率（粒径 0.075mm 未満）は 10%以下の範囲にあり、粒度分布は良い。

このように、製鋼スラグは粒度分布が良く、締固めしやすい材料であるため、サンドコンパクションパイルや盛土等に適した材料である。



出典）港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 2 月）

図 3.8.7　製鋼スラグの粒度の範囲

② 土粒子密度

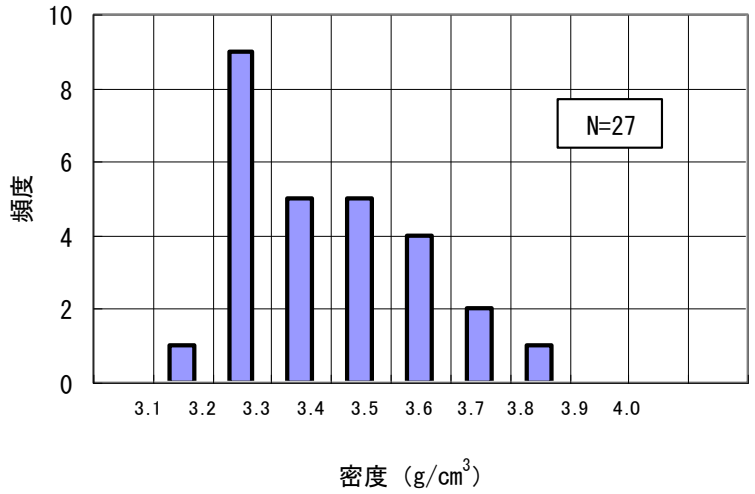
全国 15 製造所の製鋼スラグの、**JIS A 1202 「土粒子の密度試験方法」**（粒径 9.5mm 以上のものは **JIS A 1110「粗骨材の密度及び吸水率試験方法」**）による試験結果を**表 3.8.16** 及び**図 3.8.8** に示す。製鋼スラグ粒子の密度は製造所や製造ロット等によって差があるが、概ねここで示した範囲の値を示している。

表 3.8.16　製鋼スラグ粒子の密度

粒径	密度(g/cm³)				試験方法
	最大値	最小値	平均	標準偏差	
9.5mm 以上	3.604	3.098	3.289	0.152	JIS A 1110
9.5mm 未満	3.831	3.261	3.473	0.143	JIS A 1202
有姿（合成）	3.716	3.184	3.395	0.136	－

有姿（合成）：粒径9.5mm以上及び9.5mm未満の加重平均　（平成11年鐵鋼スラグ協会調査）

出典）港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 2 月）



（平成11年鐵鋼スラグ協会調査）

出典）港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 2 月）

図 3.8.8　製鋼スラグ粒子の密度[有姿（合成）]

③ 単位体積重量

製鋼スラグのような粒状材料では、締固めの程度によって密度が異なる。例えばサンドコンパクションパイルに用いる場合では、極めて密な状態となり密度は大きくなる。

「港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル」では、製鋼スラグの単位体積重量は、状態により異なり、概ね**表 3.8.17** の範囲としている。

表 3.8.17　製鋼スラグの単位体積重量

		単位容積質量試験	最小密度・最大密度試験	
			ゆるい状態	密な状態
単位体積重量 (kN/m³)	湿潤 （含水比 5%）	19～26	19～24	22～28

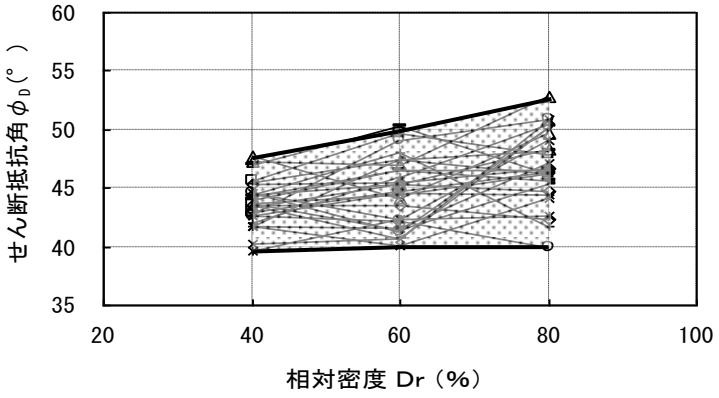
④ 水硬性

製鋼スラグは、化学成分がセメントと類似しており、エージングの有無にかかわらず水硬性があるが、その発現は一様ではない。

⑤ せん断強度特性

製鋼スラグ粒子は稜角に富むものが多く、粒度分布が良いため、大きなせん断抵抗角が得られる。**「港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル」**では、せん断抵抗角 ϕ_D は 40° 以上としている。

図 3.8.9 は、全国の 15 製造所で生成した製鋼スラグ(最大粒径 40mm)の、土の圧密排水（CD）三軸圧縮試験結果である。一般の粒状材料と同様に、相対密度が小さいとせん断抵抗角 ϕ_D は小さくなる傾向を示しているが、最小値でもほぼ ϕ_D＝40°（ϕ_D：三軸圧縮試験結果（CD）によるせん断抵抗角）を示している。



出典）港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 2 月）

図 3.8.9　相対密度とせん断抵抗角の関係

⑥ 膨張性

製鋼スラグは、遊離石灰を数パーセント含むため、水と反応し膨張する性質がある。

精錬時に加えられた石灰の一部が、未反応のままで製鋼スラグ中に存在する。この石灰は遊離石灰(Free-CaO)と呼ばれ、下記の化学式で示される水和反応により膨張し、安定化する。

CaO（遊離石灰）＋H_2O → $Ca(OH)_2$（消石灰）

製鋼スラグの膨張量は、遊離石灰の量、大きさ、存在状態によって異なるが、一般に遊離石灰量が多いものほど大きくなる。

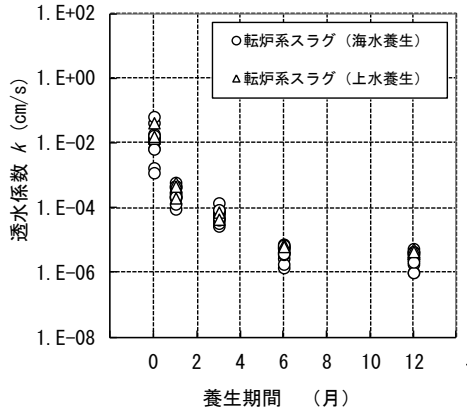
生成直後の製鋼スラグは遊離石灰を数パーセント含むが、屋外で養生すると雨水等により水和反応が生じて CaO（遊離石灰）が $Ca(OH)_2$（消石灰）に変化して安定するため、その後の膨張量は減少する。このように水との反応により膨張を安定化させることをエージングといい、屋外で数ヶ月養生する方法を大気エージング、高温蒸気を用いて短期間に安定化させる方法を蒸気エージングという。上記に加え、耐圧容器を用いて高温、高圧状態で水和させ、より短期間で水和を完了させる方法（加圧蒸気エージング）も実施されている。

⑦ 透水性

製鋼スラグの透水係数は経時的に低下する傾向がある。

透水係数 k の室内試験結果例を**図 3.8.10** に示す。締固めた製鋼スラグの間隙中の水が交換できる状態で、水槽（海水及び上水）で養生（水槽内の海水及び上水は、1 カ月毎に交換）し、透水係数 k を測定した。当初 $k=10^{-1}$～10^{-3}cm/s であったものが、6 ヶ月の水中養生後に $k=10^{-5}$～10^{-6}cm/s にまで低下している。

その後、サンドコンパクションパイルの状況を再現するために実施された締固め製鋼スラグの間隙中の海水交換を制限した実験でも、当初 $k=10^{-1}$～10^{-2}cm/s であったものが、6 ヶ月(180 日)で 10^{-2}～10^{-3}cm/s、10 ヶ月(300 日)で 10^{-4} cm/s 付近まで低下した結果が示されている。海水交換を制限した場合、10 ヶ月(300 日)程度までは、透水係数が 10^{-4} cm/s 以上で、圧密促進に必要な透水性は確保できるものと考えられる [1)]。



出典）港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 2 月）

図 3.8.10 製鋼スラグの透水係数の変化（海水養生及び上水養生）

【参考文献】

1) (一財)沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル、平成 27 年 2 月

2) 化学的性質

①pH

製鋼スラグの溶出水の pH は、通常高い値を示すが、海域で利用した場合には、海水成分による緩衝作用及び希釈等により、周辺海域の pH の上昇はほとんどない。

製鋼スラグの溶出水は、消石灰（$Ca(OH)_2$）により、エージングの有無にかかわらず破砕コンクリート塊と同程度のアルカリ性を示す。製鋼スラグを海域で利用する場合には、海水に含まれるマグネシウムイオン、炭酸水素イオン等の緩衝作用により、溶出水の pH 上昇が抑制される [1)]。また、大量の海水によっても希釈されるため、溶出水による周辺環境への影響はほとんどない。

一方、陸上における pH の挙動については、含有する石灰の影響で降雨等による水と反応すると溶出水の pH が高くなり、アルカリ性を示す。そのため、周辺に影響を与えないよう注意する必要がある。なお、消石灰による pH の高い水は、炭酸ガスにより容易に中和され、また周辺の土壌中を 30cm 程度通過することで土に吸着され、周辺に影響を与えることはほとんどないとされている[2)]。

② 環境安全品質

各用途の製鋼スラグの試験方法と環境安全品質基準を**表 3.8.18、表 3.8.19** に示す。

製鋼スラグの環境安全品質については、**「コンクリート用骨材または道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書」**の第 2 章「循環資材に共通の基本的考え方」、第 4 章「建設分野のあらゆる循環資材に共通の環境安全品質及びその検査方法の導入にむけて」の考え方に基づき設定している。

環境安全品質基準設定項目については、第 2 章「循環資材に共通の基本的考え方」に従い、製鋼スラグは、製造工程において、1,300℃～1,600℃の高温で溶融されることから、VOC や農薬・PCB 等は本来混入されることがないが万が一混入されたとしてもスラグの製造工程で熱分解し、重金属等のうちのシアンは分解・揮発してガス側に移行するため基準設定項目としないこととし、重金属等のうちのカドミウム、鉛、六価クロム、ひ素、水銀、セレン、ふっ素、ほう素の 8 項目を設定している。なお、平成 25 年 3 月に改訂された JIS A 5015：2013**「道路用鉄鋼スラグ」**の環境安全品質基準においても、同じ考え方が採用されている。

環境安全品質基準値については、**「コンクリート用骨材または道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書」**の第 4 章「建設分野のあらゆる循環資材に共通の環境安全品質及びその検査方法の導入にむけて」に従い、製鋼スラグが使用される周辺環境に応じて用途毎に溶出量基準・含有量基準を設定している。

表 3.8.18　製鋼スラグの環境安全品質基準と試験方法

用途	場所	試験項目	試験方法	環境安全品質基準
サンドコンパクションパイル工	海域	溶出	JISK0058-1※2	港湾用途溶出量基準
	陸域※1	溶出	環境省告示第18号	一般用途溶出量基準
		含有	環境省告示第19号	含有量基準
置換工 覆土工	海域	溶出	JISK0058-1※2	港湾用途溶出量基準
	陸域	溶出	環境省告示第18号	一般用途溶出量基準
載荷盛土工		含有	環境省告示第19号	含有量基準

※1：杭頭部のドレーン部が、基礎工事等により掘削される可能性があることを想定
※2：JIS K 0058-1 5.利用有姿による試験

表 3.8.19　環境安全品質基準

項目	港湾用途溶出量基準 (mg/L)	一般用途溶出量基準 (mg/L)	含有量基準 (mg/kg)
カドミウム	0.009以下	0.003以下	150以下
鉛	0.03以下	0.01以下	150以下
六価クロム	0.15以下	0.05以下	250以下
ひ素	0.03以下	0.01以下	150以下
水銀	0.0015以下	0.0005以下	15以下
セレン	0.03以下	0.01以下	150以下
ふっ素	15以下	0.8以下	4000以下
ほう素	20以下	1以下	4000以下

出典）港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 2 月）

3) 海洋生物への影響

製鋼スラグが海洋生物に与える影響については、これまでに様々な安全性確認試験が行われているが、海洋生物に与える影響は見られていない。

【参考文献】

1) (一財)沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル、平成 27 年 1 月

2) 編著(独)土木研究所、出版(一財)土木研究センター：建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）、平成 25 年

3.8.3 適用用途

(1) 概要

JIS が規定されている製鋼スラグをリサイクル材として利用する場合は、当該 JIS に適合したものを利用するものとする。
JIS が規定されていない製鋼スラグをリサイクル材として利用する場合は、用途において必要となる要求性能を満たす材料を利用するものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、製鋼スラグ（コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材、土工用・地盤改良用製鋼スラグ）を各用途に利用する場合の評価を行った結果をそれぞれ**表 3.8.20**、**表 3.8.21** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○+」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.8.20　製鋼スラグ（コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材）の適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)ｺﾝｸﾘｰﾄ用骨材として用いるための適用範囲や品質、試験方法、検査方法、表示、報告等について、品質基準を規定。 ・2)ｺﾝｸﾘｰﾄ用骨材として使用する際の施工指針が記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・消波ﾌﾞﾛｯｸ製作（管理者） ・杭及びフーチング工事（その他機関） ・道路躯体浮上り防止（その他機関）	1) 2)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	◎	A		a		
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾟｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)JISA5011-4「ｺﾝｸﾘｰﾄ用ｽﾗｸﾞ骨材-第4部：電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材」（平成30年1月改正）
2)電気炉酸化ｽﾗｸﾞ骨材を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの設計・施工指針（案）（土木学会、平成15年3月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.8.21　製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）の適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	◎ （粘性土であれば高置換）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)物理的特性、力学的特性、化学的特性、設計施工指針、満たすべき品質及び性能などに関する事項を記載。砂質土地盤の締固めを目的とするものと粘性土地盤を改良するためのもののいずれにも製鋼スラグを用いて良いとされている。また、粘性土地盤を対象とする場合、原則として高置換率に用いるものとされている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁築造工事（国交省） ・岸壁改築工事（国交省） ・地盤改良工事（国交省） ・ふ頭耐震工事（管理者）	1)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	△ （安定化材）	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-8-27) 【主な内容】 ・2)転炉系製鋼ｽﾗｸﾞの化学的・物理的特性、用途、満たすべき品質、性能、ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ調査などに関する事項を記載。適用用途として、ｹｰｿﾝ中詰材の用途への適用を記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁ケーソン製作その他工事（国交省） ・岸壁建設工事（国交省） ・防波堤建設工事（国交省）	2)
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	△	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)転炉系製鋼ｽﾗｸﾞの化学的・物理的特性、用途、満たすべき品質・性能、ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ調査などに関する事項を記載。 ・適用用途として、岸壁裏込め材の用途への適用を記載。	－	●利用実績なし	2)
⑪	裏埋材	○＋	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・裏込材の利用マニュアル及び実績を基に、利用検討が可能と考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・航路整備事業（国交省）	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	○＋	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)物理的特性、力学的特性、化学的特性、設計施工指針、満たすべき品質及び性能などに関する事項を記載。天然の砂や砂利と同様の粒状材料として、置換工、覆土工、載荷盛土工に用いることができるとされている。 ・2)転炉系製鋼ｽﾗｸﾞの化学的・物理的特性、用途、満たすべき品質・性能、ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ調査などに関する事項を記載。 ・適用用途として、盛土材の用途への適用を記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・航路整備事業（国交省） ・ふ頭整備工事（管理者、その他機関） ・空港整備事業（その他機関）	1) 2)
⑬	埋立材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・埋立工事（管理者）	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	◎ （未舗装道路）	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)転炉系製鋼ｽﾗｸﾞの化学的・物理的特性、用途、満たすべき品質・性能、ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ調査などに関する事項を記載。製鋼ｽﾗｸﾞの適用用途として、路盤材の用途への適用を記載。 ・3)未舗装道路及び整地に用いるための適用範囲や品質、試験方法、検査方法、表示、報告等について、品質基準を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・滑走路建設工事（国交省） ・岸壁築造等工事（国交省）	2) 3)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	○＋ （浅場・干潟,覆砂）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)4)実証試験等において、藻場造成材、浅場造成（嵩上げ）材、覆砂材などへの適用を記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・築堤嵩上工事等（国交省） ・藻場造成実証実験（その他機関）	2) 4)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)港湾・空港・海岸等における製鋼ｽﾗｸﾞ利用技術ﾏﾆｭｱﾙ（(一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成27年2月）

2)転炉系製鋼ｽﾗｸﾞ海域利用の手引き（(社)日本鉄鋼連盟、平成20年9月）

3)JSTMH8001「土工用製鋼ｽﾗｸﾞ砕石」(一財)建材試験ｾﾝﾀｰ、平成28年3月）

4)製鋼ｽﾗｸﾞを用いた藻場造成・水質改善技術（JFEｽﾁｰﾙ(株)、JFEﾐﾈﾗﾙ(株)：環境省ETV事業、平成21年5月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) コンクリート用細骨材・粗骨材

電気炉スラグは、コンクリート用の骨材として JIS 化され、**「電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針（案）（土木学会）」**、**「電気炉酸化スラグ細骨材を用いるコンクリートの設計・施工指針（案）（日本建築学会）」**で電気炉酸化スラグ骨材を用いるコンクリート構造物の施工についての標準が示されている。

電気炉酸化スラグは、溶融酸化工程で生成される酸化スラグを徐冷あるいは急冷したものである。破砕工程や、磁力選別により鉄分を除去し、粒度調整したものが電気炉酸化スラグ骨材である。電気炉酸化スラグは、安定な鉱物組成からなり、含有シリカ分は少なく、組織の崩壊を発生させる恐れのある化学成分の含有は微量である。これを骨材として用いたコンクリートは、有害な化学反応やひび割れの発生はなく、コンクリート用骨材として利用することができる。

電気炉酸化スラグをコンクリート用骨材として使用する研究は、鐵鋼スラグ協会において平成 8 年から開始され、規格化が審議され、平成 15 年に **JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」**が制定された。製造工場の工程と管理状態が検査され、「JIS マーク表示認定工場」として認定された工場で製造されたものだけが、コンクリート用骨材として使用できる。

電気炉酸化スラグ骨材は副産資源の有効利用や環境負荷の低減の観点から、コンクリート用骨材として積極的な利用が望まれる。また、粒度分布が適当でない砂などの粒度調整用骨材として、天然骨材を補完する骨材資源として利用することができる。また、電気炉酸化スラグ骨材の製造工程で海水を使用しておらず塩化物含有量は極めて少ないので、塩化物量や粒度が基準から単独で使用できない海砂や山砂、砕砂などに、電気炉酸化スラグ細骨材を適当な割合で混合使用することにより、細骨材の品質を改善することができる。

粗骨材に砂利や砕石を用い、砂や砕砂の容積の 30%程度までの範囲で電気炉酸化スラグ細骨材を混合使用したコンクリートの単位容積質量の増加は、100kg/m^3 以下であり、ブリーディングや凝結性状などフレッシュコンクリートの品質や硬化コンクリートの品質も、通常のコンクリートと大差ないものとなる。したがって、この範囲の混合率では一般土木構造物に特別の配慮を必要とせずに普通コンクリートとして用いることができる。

電気炉酸化スラグ骨材の密度が大きいことを活かして、重量コンクリートを製造することができる。重量コンクリートの製造例を**表 3.8.22** に示す。

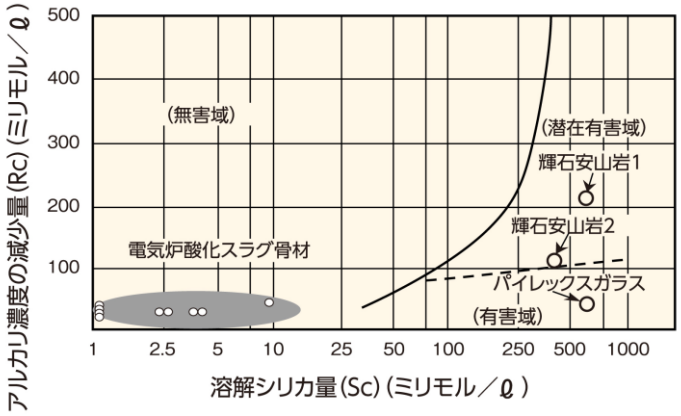
粗骨材または細骨材の全量に電気炉酸化スラグ骨材を用いた場合、コンクリートの重量は約 2,650kg/m^3 になる。このコンクリートは普通コンクリートに比較して単位容積質量が 15%程大きいため、消波ブロック・重力式擁壁・地下水の浮力対策等重量を要するコンクリートに使用することにより経済的効果が期待できる。

表 3.8.22　重量コンクリートの製造例

	スラグ骨材混合率		スランプ (cm)	W／C (%)	単位容積質量 (kg/m³)	圧縮強度 (28 日) (N/mm²)
	細骨材 (%)	粗骨材 (%)				
重量コンクリートⅠ	0	100	8	54.5	2650	30
重量コンクリートⅡ	42	0	8	47.0	2500	40
重量コンクリートⅢ	100	100	8	40.4	3000	45

コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材をコンクリート用細骨材・粗骨材に利用する場合、以下の利点がある。

①電気炉酸化スラグ骨材は、溶融シリカ量が少なく、それ自体はアルカリシリカ反応を起こさない。

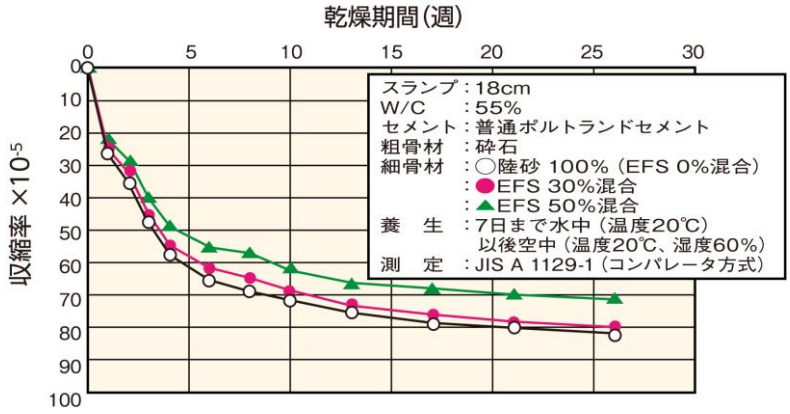


出典）電気炉酸化スラグ利用研究準備委員会　実験データ

図 3.8.11　アルカリ骨材反応の有害判定区分

②乾燥収縮は、天然砂を使用したものと比較して同等か、もしくはやや小さい傾向にある。

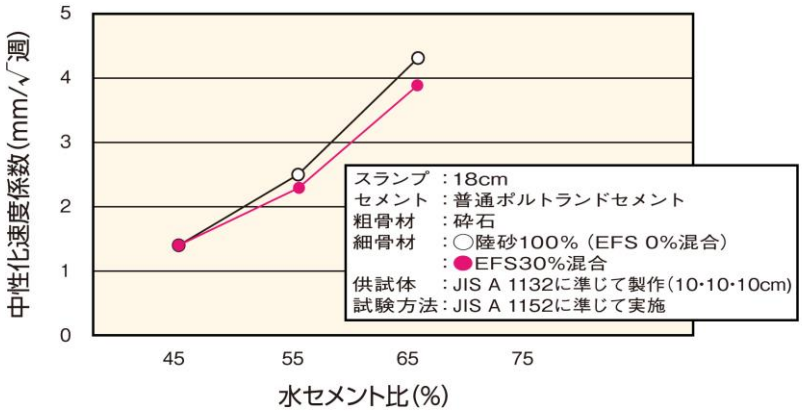
普通粗骨材を用いたコンクリートで、電気炉酸化スラグ細骨材混合率を変化させたときの乾燥収縮試験結果を**図 3.8.12** に示す。混合率を大きくするほど、乾燥による長さ変化率が小さくなる傾向が認められる。電気炉酸化スラグ骨材の使用量を大きくするほど乾燥収縮量の減少傾向が現れるのは電気炉酸化スラグ骨材のヤング係数が大きいことによる収縮の拘束効果によるものと考えられる。



出典）電気炉酸化スラグ骨材を用いた建築用コンクリートに関する委託調査研究報告書（（一社）日本建築学会）

図 3.8.12　乾燥収縮試験結果の例

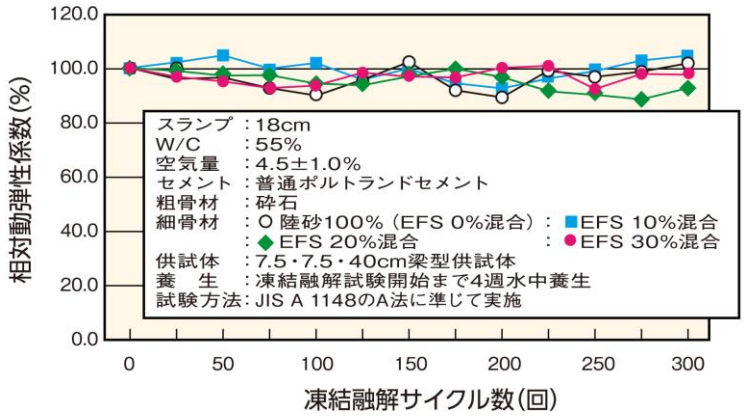
③普通ポルトランドセメントと天然砂を使用したコンクリートの促進中性化試験結果をグラフに示す。天然砂 100%のものと比較して電気炉酸化スラグ細骨材を 30%混合したものは、中性化速度係数がほぼ同じ値を示している。



出典）電気炉酸化スラグ骨材を用いた建築用コンクリートに関する委託調査研究報告書（（一社）日本建築学会）

図 3.8.13　促進中性化試験結果の例

④電気炉酸化スラグ細骨材が 30%の範囲では、凍結融解 300 サイクルでも相対動弾性係数が 90%以上を示しており、良質の砂を用いた場合とほぼ同等とみなすことができる。



出典）電気炉酸化スラグ骨材を用いた建築用コンクリートに関する委託調査研究報告書（（一社）日本建築学会）

図 3.8.14　凍結融解サイクル回数と相対動弾性係数の測定例

電気炉酸化スラグ骨材の密度の大きいことを活かして重量コンクリートを製造する場合、次のような留意が必要である。

・粗骨材の全量に電気炉酸化スラグ骨材を使用する場合は、標準的な AE 減水剤を用いて通常のコンクリートと大差なく製造することができる。

・細骨材に電気炉酸化スラグ細骨材を使用しその混合率が例えば 40%と大きい場合は減水率の大きい AE 減水剤が必要になる。

・粗骨材・細骨材の全量に電気炉酸化スラグ骨材を使用する場合、単位容積質量を 3,000kg/m^3 のコンクリートの製造が可能になるが、単位水量やブリーディングの増加が生じ、ワーカビリティが低下するため、微粒分の増加や特殊な減水剤の使用等、適切な対策が必要である。

(3) サンドコンパクションパイル材

製鋼スラグのサンドコンパクションパイル材への利用については、平成 27 年に（一財）沿岸技術研究センターから**「港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル」**が発行されており、各基準類の補足資料として参考にすることができる。

製鋼スラグは、粒状材料として砂地盤の締固め及び粘性土地盤の改良どちらの目的にも利用することができる。粒度分布が良く、締固めしやすい材料であり、砂よりせん断抵抗角と単位体積重量が大きいため、地盤改良の施工量を低減することができる。ただし、製鋼スラグには水硬性及び膨張性といった、天然の砂や砂利にはない特性を持つ材料であるため、これらについての長期的な変化を確認する必要がある。経時的に硬化すると透水係数が低下するため、粘性土地盤の改良を目的として利用する場合には、原則として高置換率改良での利用となる。

製鋼スラグの膨張性については、エージング処理等により抑えることが可能である。エージング以外の膨張量抑制方法としては、事例は少ないが、粒度調整（細粒分を除くなど）や、ゆる詰め状態にするなどの方法が取られた事例がある[1)]。

また、製鋼スラグの性状は、製造所間で差が見られるため、実際に使用するスラグの性質を把握しておくことが肝要である。特に重要な構造物に使用する場合には、事前に試験等を行い実際に使用する製鋼スラグについて必要な数値を確認しておくことが望ましい。

陸上施工、海上施工いずれの場合にも天然砂と同等の施工性を有することが確認されているが、製鋼スラグは重いことから、バケット、ベルトコンベア等の搬送設備の能力には注意する必要がある。

サンドコンパクションパイルを陸上重機にて施工する場合、海上重機に比べてケーシングが細く詰まり易い[3)]ので、事前に粒度試験を行い、細粒分含有率を確認することが望ましい。

サンドコンパクションパイルの造成に伴う周辺影響(地中変位、振動、騒音)と、近年多用される振動・騒音を抑えた静的締固め杭工法の施工性については、類似材料で実施された試験施工結果[2)]より、天然砂を用いた場合と同等であると推定できる。

粘性土地盤をサンドコンパクションパイル工法にて改良した場合の試設計例を示す。製鋼スラグを利用することにより、天然砂を利用した場合と比較して、改良幅が 4.0m 縮めることができる。

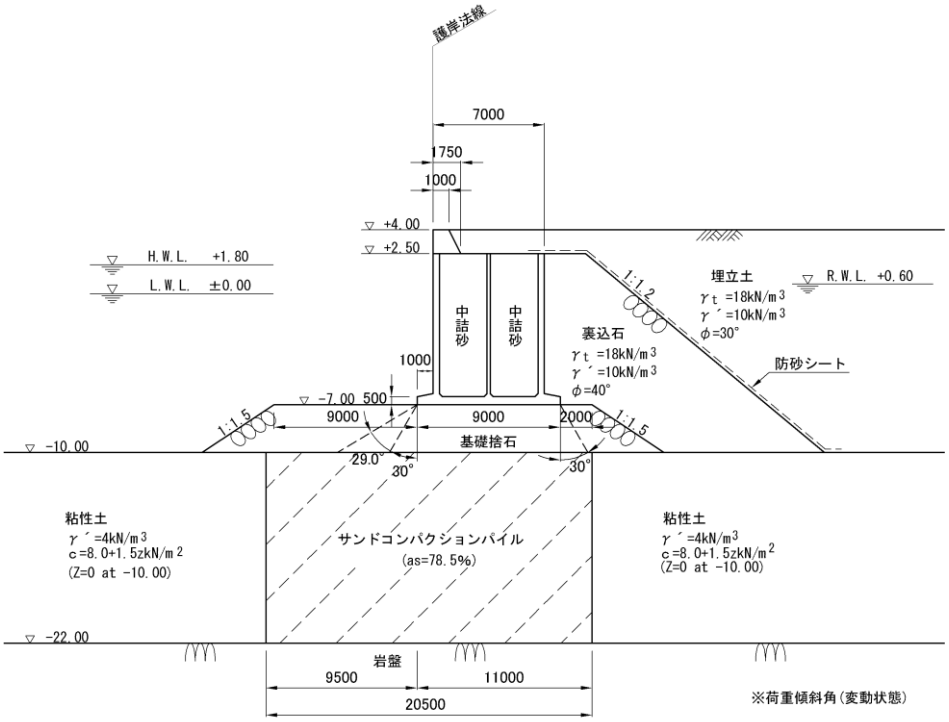


図 3.8.15　係船岸断面図

表 3.8.23　使用材料による必要改良幅の違い(改良率 78.5%,応力分担比=1)

項　　目 ＼ SCP 材料			天然砂 γ_t=18kN/m³ γ'=10kN/m³	製鋼スラグ γ_t=23kN/m³ γ'=16kN/m³
			ϕ=35°	ϕ=40°
偏心傾斜荷重に対する検討 (ﾋﾞｼｮｯﾌﾟ法)	SCP 部の評価		ϕ=45° の一様な砂地盤	ϕ=45° の一様な砂地盤
	耐力作用比	永続状態	1.378	1.375
		L1 地震変動状態	1.030	1.005
円弧すべりの検討 (修正ﾌｪﾚﾆｳｽ法)	SCP 部の評価		SCP と粘性土の複合地盤	SCP と粘性土の複合地盤
	計算に用いる ϕ 及び n		ϕ=35° n=1	ϕ=40° n=1
	耐力作用比	永続状態	1.005	1.127
必要改良幅　(m)			24.5	20.5

【参考文献】

1) (一財)沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル、平成 27 年 2 月

2) (一財)沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン、令和 3 年 3 月更新

3) 土質工学会：軟弱地盤対策工法、pp.121、1988

(4) 裏埋材

土工用・地盤改良用製鋼スラグを裏埋材に利用する場合は、天然材より単位体積重量が大きく、土圧が増加するため、安定計算上留意する必要がある。

また、水硬性も有しているため、硬化前と硬化後の地震時の挙動について検討する必要がある。

製鋼スラグの溶出水は、一般に pH が高いため、環境への影響を留意する必要がある。

(5) 盛土材、覆土材、載荷盛土材、路盤材（未舗装道路）

製鋼スラグの利用については、平成 27 年に（一財）沿岸技術研究センターから**「港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル」**が発行されているため、同マニュアルを各基準類の補足資料として参考にすることができる。

製鋼スラグの性状は、製造所間で差が見られるため、実際に使用するスラグの性質を把握しておくことが肝要である。そのために、必要であれば事前に試験等を行うことが望ましい。また、製鋼スラグの溶出水は、一般に pH が高いことから雨水等の排水に際して場合によっては中和処理等が必要となる。

製鋼スラグは、粒状材料として砂や砂利と同様に扱うことができ、天然の砂と比較して単位体積重量、せん断抵抗角が大きいという優れた特性がある。また、載荷盛土に利用した場合、その重さと締め固め特性を活用することによって、効果的な圧密促進が期待でき、盛土工事数量を低減させることができる。載荷盛土としては、横浜港南本牧埠頭で高炉徐冷スラグと混合に利用した実績もある。

一方で、載荷盛土材として利用する場合、その重量、施工時の斜面の安定が問題となるので、製鋼スラグの単位体積重量、せん断特性等について十分理解する必要がある。また、製鋼スラグの溶出水は高 pH となるため、利用に際しては周辺環境に十分配慮する必要がある。

路盤材への適用については、**「JSTM H 8001：土工用製鋼スラグ砕石」（（一財）建材試験センター）**において、仮設道路を含む未舗装道路に使用する際の品質、試験方法、検査等について規定されている。**「3.9.1　道路用鉄鋼スラグ」**についても併せて参照されたい。

(6) 藻場・浅場造成材、覆砂材

製鋼スラグの藻場・浅場造成材、覆砂材としての利用については、平成 20 年に（社）日本鉄鋼連盟から**「転炉系製鋼スラグ　海域利用の手引き」**が発行されているため、参考にすることができる。

製鋼スラグは、粒度分布がよく、せん断抵抗角が大きいなどの物理特性や、富栄養化物質の吸着による底質浄化作用を有することから、経済性や環境面から天然土砂を利用するよりもメリットが生じる場合がある。

しかし、一般に、水と接触することで高 pH 水を溶出することが多いことから、その利用にあたっては、周辺の環境に悪影響を与えることのないように十分留意することが必要である。使用環境を見極めた上で、アルカリ溶出を低減するための加工や工事施工における工夫、周辺地盤によるアルカリ吸着能の活用等の対策を講じることが必要となる。

藻場造成材は、海藻の付着基盤として海藻藻場の生育を促すことを目的として使用される。製鋼スラグは、一般的に藻類の生育に必要な二価鉄（FeO）を多く含み、藻場造成材に利用することにより、藻類の生育を促進できる場合がある[1)]。

浅場造成材は、海底の水深を浅くする土台を造成して、干潟や浅場を作ることを目的に使用される。製鋼スラグは、一般的にせん断抵抗角が大きい[2)]ことから、嵩上げ材としての十分な地形安定性が期待できる。

覆砂材は、富栄養化等により汚濁した底質表層を覆うことにより、底質からの栄養塩や硫化水素の溶出を抑制し、生物の生息環境を改善することを目的として使用するものである。製鋼スラグは底質間隙水中のリンや硫化物の濃度を減少させる性質を有していることから、富栄養化海域の底質に利用することにより、底質からの水質汚濁を抑制することが期待できる[1)]。

一方で、製鋼スラグは、水と接触することで高 pH 水を溶出することから、周辺海水に影響を与えるような pH 上昇や白濁等が生じないように対策を講じる必要がある。製鋼スラグを物理的、化学的に加工し安定化処理を行うことにより、高 pH 水の溶出性を低下させることができる。安定化処理の方法としては、以下のような事例がある。

a)粒度調整による方法

粒度を調整して、製鋼スラグの細粒分を取り除くことで pH の上昇を抑えることができる。海水との接触面積が小さくなり海水中での石灰の溶解が少なくなり、同時に海水中の OH^-の増加も少なくなるためである。

b)炭酸化による方法

製鋼スラグをミキサにより攪拌しながら、CO_2 ガスを吸収させることにより、高 pH 溶出の原因となる f-CaO を安定的な $CaCO_3$（炭酸カルシウム）に変化させることができる。炭酸固化体と異なり、処理後も粒状体である。

【参考文献】

1)（一財)沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル、平成 27 年 1 月
2)（社)日本鉄鋼連盟：転炉系製鋼スラグ海域利用の手引き、平成 20 年 9 月

(7) 今後の検討を要する用途

1) 中詰材（安定化材料）

製鋼スラグは、粒状材料として、ケーソン、セル、二重矢板式構造物などの中詰材としても利用が考えられる。これらの用途に利用した場合、単位体積重量が大きいため安定計算上有利となる場合が多い。ただし、製鋼スラグには水と反応して膨張する性質があるため、スラグの膨張が外壁等に影響を与えないよう注意する必要がある。

製鋼スラグを中詰材として利用した場合、膨張による内部土圧の増加によって、構造物に二次応力が働く可能性がある。四日市港での鋼板セル中詰材としての実証試験では、影響は観察されなかったが、数十年といった期間での影響までは保証されていない。従って、今後は、製鋼スラグの持つ膨張性及び水硬性について、長期的な影響を把握することが重要である。

【既存工事における検討事項】

・浚渫土とスラグを混合して、単位体積重量を調整して中詰材とする場合、単位体積重量試験で確認した。（ケーソン製作その他工事）

2) 裏込材

製鋼スラグは、粒状材料として砂や砂利と同様に扱うことができ、天然の砂と比較して単位体積重量、せん断抵抗角が大きいという優れた特性がある。その特性を利用して、裏込材へ適用が可能である。一方で、その重量、施工時の斜面の安定が問題となるので、製鋼スラグの単位体積重量、せん断特性等について十分理解する必要がある。また、製鋼スラグの溶出水は高 pH となるため、利用に際しては周辺環境に十分配慮する必要がある。

3) 埋立材

土工用・地盤改良用製鋼スラグを埋立材に利用する場合は、天然材より単位体積重量が大きい点を留意する必要がある。また、製鋼スラグの溶出水は、一般に pH が高いため、環境への影響を留意する必要がある。

3.8.4 関連法令

製鋼スラグは産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2 環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.8.5 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

製鋼スラグを材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

なお、コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材については、**JIS A 5011-4「コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材」**において、再利用・廃棄を含めライフサイクルの合理的に想定しうる範囲において、電気炉酸化スラグ骨材から影響を受ける土壌、地下水、海水などの環境媒体が、各々の環境基準などを満足できるように、電気炉酸化スラグ骨材が確保すべき品質（環境安全品質）を満足するための検査の実施が規定されている。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.9 鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ・水硬性スラグコンパクション材）

3.9.1 製造・供給

道路用鉄鋼スラグは、高炉スラグ及び製鋼スラグを素材とし、これらの単独または組み合わせて製造されている。
水硬性スラグコンパクション材は、軟弱粘性土地盤改良用の固結タイプと、軟弱砂質土地盤液状化対策用の摩擦タイプが製造されている。

（解説）

(1) 製造方法

1) 道路用鉄鋼スラグ

冷却した高炉徐冷スラグや製鋼スラグは、ブルドーザで掘り起し、破砕プラントへ運搬する。破砕プラントでは、所定の粒度に破砕すると同時に磁力による金属鉄除去を行う。

破砕した鉄鋼スラグはヤードに運び、高炉徐冷スラグは黄色水防止のため、製鋼スラグは f-CaO による膨張防止のためにエージングを行う。製鋼スラグの大気エージングの場合、転炉系スラグは 6 ヶ月以上、電気炉系スラグは 3 ヶ月以上のエージングを行う。現在、製鋼スラグのエージング期間を短縮するために、蒸気や加圧蒸気を使用する促進させエージング期間を短時間で行う方法が一般的である。

エージングにより安定化した高炉徐冷スラグや製鋼スラグ単味で、必要に応じて高炉徐冷スラグ、転炉系スラグ、高炉水砕スラグを所定の割合で混合したり、粒度調整を行い路盤用鉄鋼スラグとなる。電気炉スラグの場合は、一般に電気炉スラグ単味で鉄鋼スラグ路盤材が製造されている。製造法の例を**図 3.9.1** に示す。

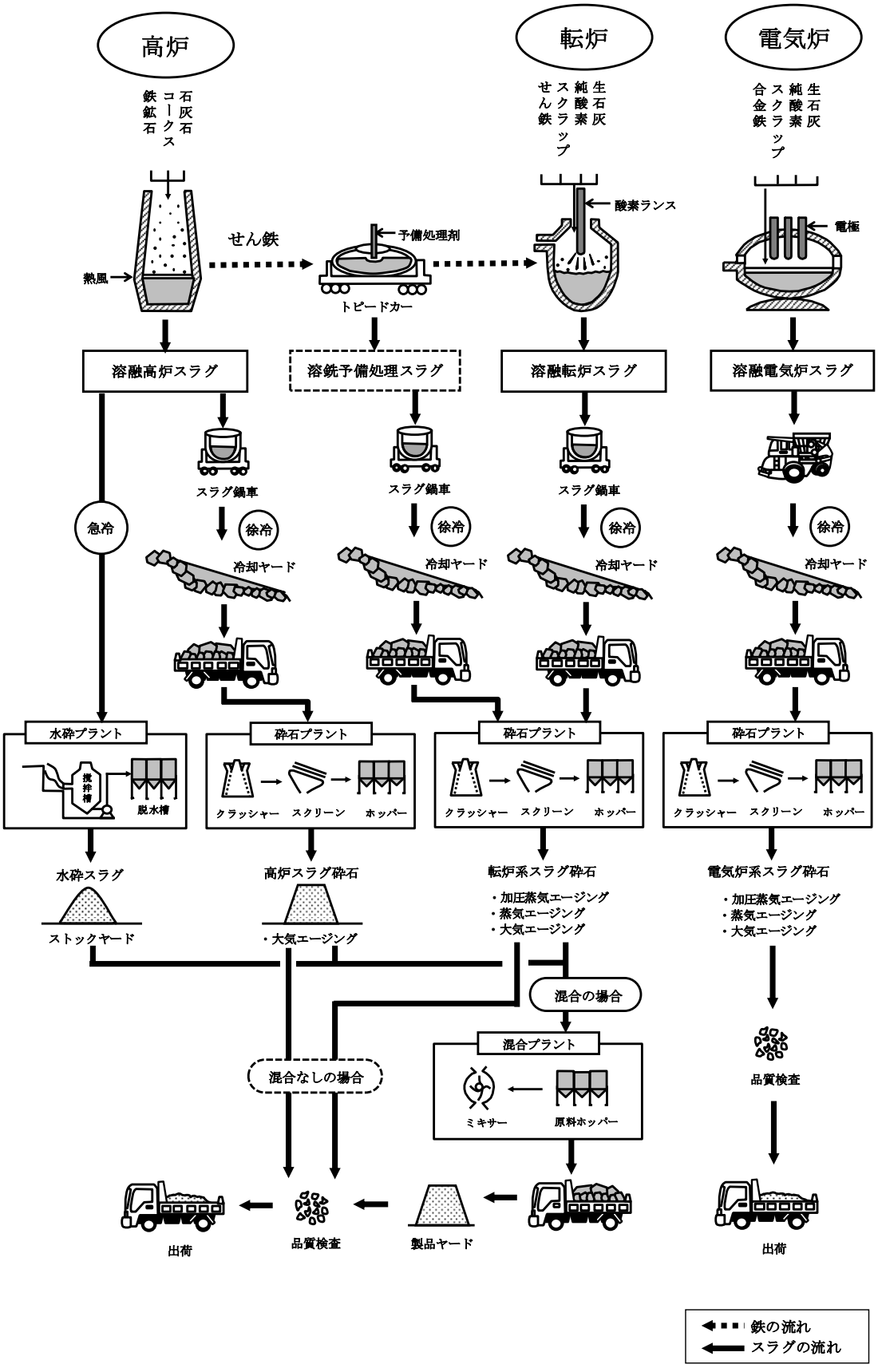


図 3.9.1　鉄鋼スラグ路盤材製造の例

2) **水硬性スラグコンパクション材**

水硬性スラグコンパクション材は、平成 22 年に**「港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサイドコンパクションパイル工法中詰材料エコガイアストン（令和 3 年 3 月更新、（一財）沿岸技術研究センター）」**にて審査・評価されており、実績もある材料である。

① 固結タイプ（軟弱粘性土地盤改良用）

製鋼スラグに、高炉徐冷スラグまたは水砕スラグを質量混合比で 15%～50%の範囲で混合して製造される材料で、一軸圧縮強さ（材令 28 日）60kN/m^{2}以上の固結性能を有する材料である。

固結に伴う粘着力成分の効果によりせん断抵抗の向上が期待できるため、設計用せん断抵抗角 42° 以上（粘着力成分を加味した見掛けのせん断抵抗角）とすることができる。

② 摩擦タイプ（軟弱砂質土地盤液状化対策用）

製鋼スラグ単味または、製鋼スラグに高炉徐冷スラグもしくは水砕スラグを質量混合比で 50%以下の範囲で混合して製造される材料で、せん断抵抗角 35° 以上の材料である。

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

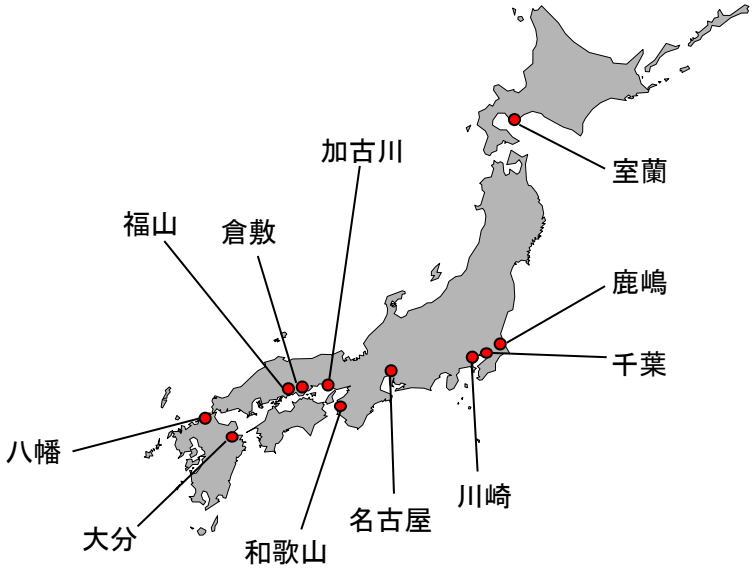
陸上輸送：製造所（製鉄所）周辺

海上輸送：全国

海上輸送＋陸上輸送：全国の港周辺

2) 製造所（製鉄所）の立地場所

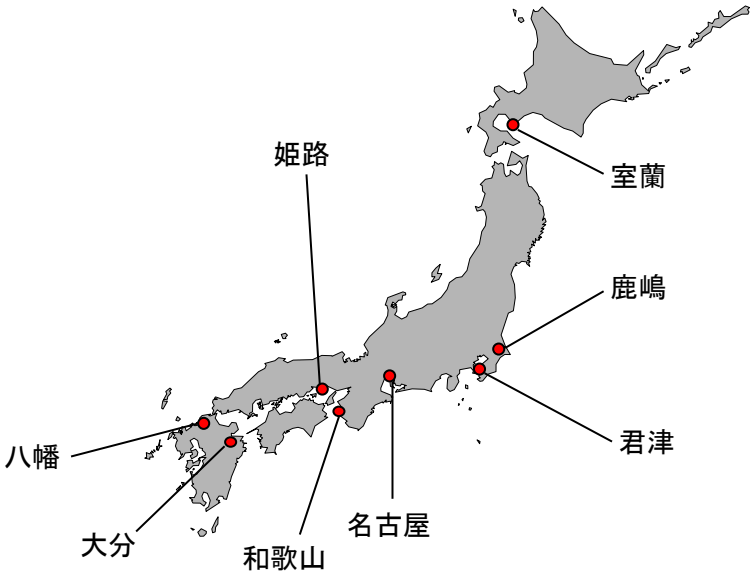
① 道路用鉄鋼スラグ



出典）港湾工事推奨用リサイクル製品便覧（令和 3 年度版）（リサイクルポート推進協議会）より作成

図 3.9.2 道路用鉄鋼スラグ製造所（製鉄所）の立地場所

② 水硬性スラグコンパクション材



出典）港湾工事推奨用リサイクル製品便覧（令和 3 年度版）（リサイクルポート推進協議会）より作成

図 3.9.3 水硬性スラグコンパクション材製造所（製鉄所）の立地場所

3) 生産量

①道路用鉄鋼スラグ：24 万～29 万 m^3/月（平成 28～令和 2 年度の出荷実績ベース）

②水硬性スラグコンパクション材：8～25 千 m^3/月（平成 28～30 年度の出荷実績ベース）

3.9.2 品質

道路用鉄鋼スラグは、JIS が規定されている。
水硬性スラグコンパクション材は、港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサイドコンパクションパイル工法中詰材料エコガイアストン（令和 3 年 3 月更新、（一財）沿岸技術研究センター）にて品質が規定されている。

（解説）

(1) 道路用鉄鋼スラグ

1) 鉄鋼スラグ路盤材に使用される材料

道路用鉄鋼スラグは、道路の路盤材に使用され、JIS A 5015 に規格が定められており、これに適合するものを使用する。

2) JIS A 5015 で規定されている規格

① 種類及び呼び名

道路用鉄鋼スラグの種類、呼び名、及び用途を**表 3.9.1** に示す。

表 3.9.1　種類と呼び名

種類	呼び名	用途（参考）
水硬性粒度調整鉄鋼スラグ	HMS－25	上層路盤材
粒度調整鉄鋼スラグ	MS－25	上層路盤材
クラッシャラン鉄鋼スラグ	CS－40	下層路盤材
	CS－30	
	CS－20	
単粒度製鋼スラグ	SS－20	加熱アスファルト混合物用
	SS－13	
	SS－5	
クラッシャラン製鋼スラグ	CSS－30	瀝青安定処理（加熱混合）用

出典）JIS A 5015「道路用鉄鋼スラグ」

② HMS、MS、CS の品質規格

表 3.9.2 に物理・化学的性質の規格を、**表 3.9.3** に粒度の規格を示す。徐冷スラグから黄濁水が発生しないことを確認するための黄色判定や、製鋼スラグの膨張安定性を判定する水浸膨張比が規格に織り込まれている。

表 3.9.2　HMS、MS、CS の物理・化学的性質

項目	呼び名					備考
	HMS－25	MS－25	CS－40	CS－30	CS－20	
呈色判定	呈色なし					高炉徐冷スラグを用いた道路用鉄鋼スラグに適用する。
水浸膨張比　　%	1.0 以下					製鋼スラグを用いた道路用鉄鋼スラグに適用する。
単位容積質量　　kg/L	1.50 以上		－	－	－	
一軸圧縮強さ　　MPa	1.2 以上	－	－	－	－	
修正 CBR　　%	80 以上	80 以上	30 以上	30 以上	30 以上	舗装設計施工指針付表－8.1.38

注：修正ＣＢＲは、受渡当事者間の協議によって品質を規定することができる。

出典）JIS A 5015「道路用鉄鋼スラグ」

表 3.9.3　HMS、MS、CS の粒度

呼び名	粒度範囲 mm	ふるいを通るものの質量分率　(%) **JIS Z 8801-1** に規定する金属製網ふるいの公称目開き									
		53 mm	37.5 mm	31.5 mm	26.5 mm	19 mm	13.2 mm	4.75 mm	2.36 mm	425 μm	75 μm
HMS－25	25～0	－	－	100	95～100	－	60～80	35～60	25～45	10～25	3～10
MS－25	25～0	－	－	100	95～100	－	55～85	30～65	20～50	10～30	2～10
CS－40	40～0	100	95～100	－	－	50～80	－	15～40	5～25	－	－
CS－30	30～0	－	100	95～100	－	55～85	－	15～45	5～30	－	－
CS－20	20～0	－	－	－	100	95～100	60～90	20～50	10～35	－	－

出典）JIS A 5015「道路用鉄鋼スラグ」

③ SS、CSS の品質規格

表 3.9.4 に物理・化学的性質の規格を、**表 3.9.5** に粒度の規格を示す。

表 3.9.4　SS、CSS の物理・化学的性質

項目	呼び名				
	SS－20	SS－13	SS－5	CSS-30	CSS-20
水浸膨張比　　%	2.0　以下			2.0 以下	
表乾密度　　g/cm^3	2.45 以上			－	
吸水率　　%	3.0　以下			－	
すりへり減量　%	30 以下			50 以下	

出典）JIS A 5015「道路用鉄鋼スラグ」

表 3.9.5　SS、CSS の粒度

呼び名	ふるいを通るものの質量分率							
	JIS Z 8801-1 に規定する金属製網ふるいの公称目開き							
	37.5 mm	31.5 mm	26.5 mm	19 mm	13.2 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
SS－20	－	－	100	85～100	0～15	－	－	－
SS－13	－	－	－	100	85～100	0～15	－	－
SS－5	－	－	－	－	100	85～100	0～25	0～5
CSS－30	100	95～100	－	55～85	－	15～45	5～30	－
CSS－20	－	－	100	95～100	60～90	20～50	10～35	－

出典）JIS A 5015「道路用鉄鋼スラグ」

3) 環境安全品質

平成 25 年、**JIS A 5015** に道路用鉄鋼スラグの環境安全品質基準が規定された。

表 3.9.6 に環境安全品質基準を、**表 3.9.7** に調査結果を示すが、全数基準値以下である。

製造業者は、購入者から要求があった場合には、試験成績表を提出する必要があると定められている。

表 3.9.6　環境安全品質基準

項目	溶出量（mg/L）	含有量 a)（mg/kg）
カドミウム	0.01以下	150以下
鉛	0.01以下	150以下
六価クロム	0.05以下	250以下
ひ素	0.01以下	150以下
水銀	0.000 5以下	15以下
セレン	0.01以下	150以下
ふっ素	0.8以下	4 000以下
ほう素	1以下	4 000以下
注 a)　ここでいう含有量とは、同語が一般的に意味する“全含有量”とは異なることに注意を要する。		

出典）JIS A 5015「道路用鉄鋼スラグ」

※カドミウム：土壌の汚染に係る環境基準（溶出量基準）が 0.003mg/L 以下に見直され、令和 3 年 4 月に施行されため、留意が必要である。

六価クロム：令和 3 年 10 月より地下水の水質汚濁に係る環境基準が 0.02mg/L 以下に見直され、令和 4 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

表 3.9.7　道路用鉄鋼スラグの環境安全品質調査結果

化学物質	溶出量試験	含有量試験
カドミウム	全数基準値以下（234/234）	全数基準値以下（234/234）
鉛	全数基準値以下（376/376）	全数基準値以下（330/330）
六価クロム	全数基準値以下（357/357）	全数基準値以下（311/311）
ひ素	全数基準値以下（234/234）	全数基準値以下（234/234）
水銀	全数基準値以下（234/234）	全数基準値以下（200/200）
セレン	全数基準値以下（376/376）	全数基準値以下（330/330）
ふっ素	全数基準値以下（382/382）	全数基準値以下（330/330）
ほう素	全数基準値以下（382/382）	全数基準値以下（330/330）
注記　（　）内は、基準値以下の試験体数/試験体全数		

(2) 水硬性スラグコンパクション材

表 3.9.8 に水硬性スラグコンパクション材の品質特性を示す。

表 3.9.8　水硬性スラグコンパクション材の性質と品質特性

項目		品質の範囲
物理的性質	粒度範囲	40 ㎜以下
	土粒子密度(g/cm^3)	3.2～3.55
	湿潤単位体積重量(kN/m^3)	22～26
力学的性質	固結ﾀｲﾌﾟ：見掛けのせん断抵抗角 42°以上 摩擦ﾀｲﾌﾟ：せん断抵抗角 35°以上	
膨張	80℃水浸膨張比	1.5%以下
呈色	呈色判定試験	合格
環境安全品質	土工用・地盤改良用製鋼スラグと同じ（3. 8 参照）	

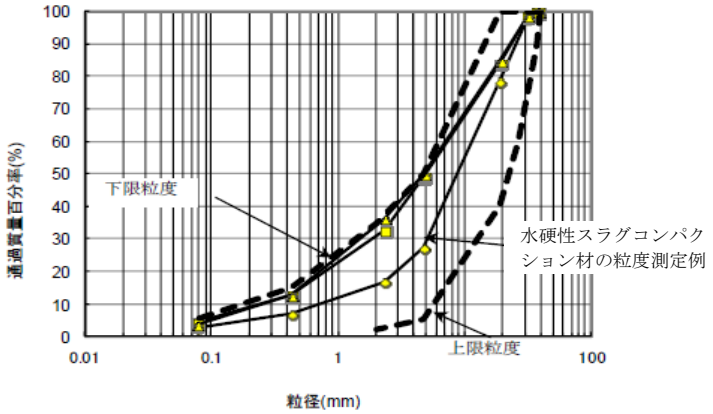
出典）港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン（令和 3 年 3 月更新、(一財)沿岸技術研究センター）

以下に、品質の概要について記述する。

1)　物理・力学的性質

①　粒度

水硬性スラグコンパクション材の粒度は、**図 3.9.4** の範囲内にある。



出典）港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン（令和 3 年 3 月更新、(一財)沿岸技術研究センター）

図 3.9.4　水硬性スラグコンパクション材の粒度範囲と測定例

② 土粒子密度

固結タイプの土粒子密度は、3.2～3.55g/cm^3 である。なお、固結タイプの土粒子密度は、製造所が限定できる場合には、成績表により値を決めることができる。

摩擦タイプについては、3.2～3.65g/cm^3 である。

③ 単位体積重量

水硬性スラグコンパクション材の単位体積重量は、土粒子密度の場合と同様に製造所が限定できる場合には、成績表により値を決めることができる。なお、固結タイプについては、24.0±2.0kN/m^3 を標準としている。

④ せん断強度特性

固結タイプのせん断強度は摩擦成分(φ)と粘着力成分(c)の両方を併せ持つ c - φ 材としての特性を有する。なお、円弧すべり計算により安定性を評価する場合に用いるせん断強度定数は、粘着力 c の効果を考慮したみかけのせん断抵抗角φを用いることができ、φ=42° を標準としている。

⑤ 動的せん断強度特性

固結タイプの動的せん断強度特性を調べるために実施した土の繰返し非排水三軸試験結果より、従来の砂よりも高い動的せん断強度を有することが確認されている。

また、繰返しせん断に伴い、過剰間隙水圧が発生しゆるやかに上昇するが、液状化破壊しないことが確認されている。

⑥ 静的変形特性

固結タイプの変形特性を調べるために陸上打設した実杭の頭部で実施した平板載荷試験結果より、従来の砂杭よりも大きな剛性を有することが確認されている。

表 3.9.9 に示す試験結果より、固結タイプの沈下量は固結特性により砂杭に比べ約半分となり、剛性は地盤反力係数 K_{VE}、弾性係数 E ともに約 2 倍になることが確認されている。

表 3.9.9　平板載荷試験結果（実杭の杭頭で実施）

	試験最大載荷圧力 (kN/m^2)	沈下量 (mm)	K_{VE} (MN/m^3)	E (MN/m^2)
砂杭	990.8	5.68	176.6	38.1
水硬性スラグコンパクション杭 (固結タイプ)	990.8	2.53	388.6	83.8

出典）港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン（令和 3 年 3 月更新、(一財)沿岸技術研究センター）

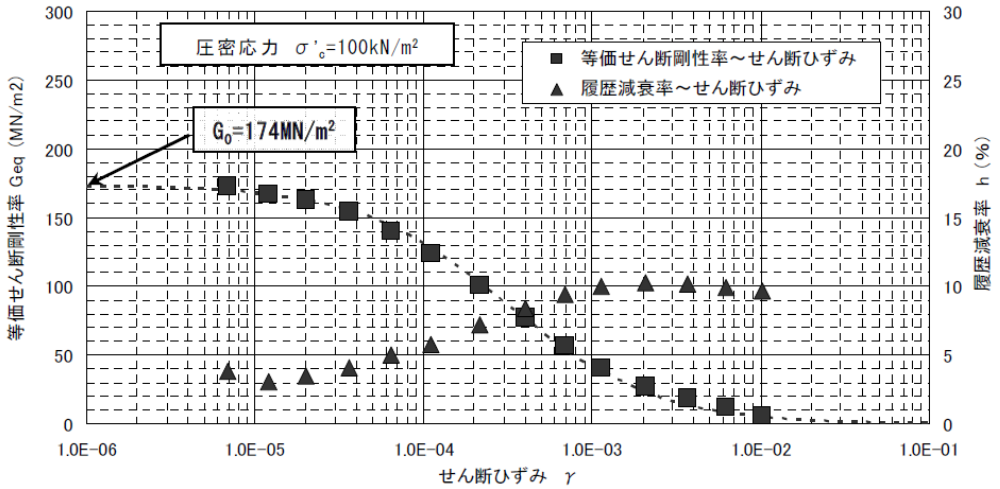
⑦ せん断剛性

固結タイプの変形特性を求めるために実施した、繰返し三軸試験による等価せん断剛性率 G_{eq} 及び履歴減衰率 h とせん断ひずみ振幅の関係を**図 3.9.5** に示す。

一方、D_r=80％と相対密度が比較的大きい砂の等価せん断剛性率の試験結果例を**図 3.9.6** に示す。

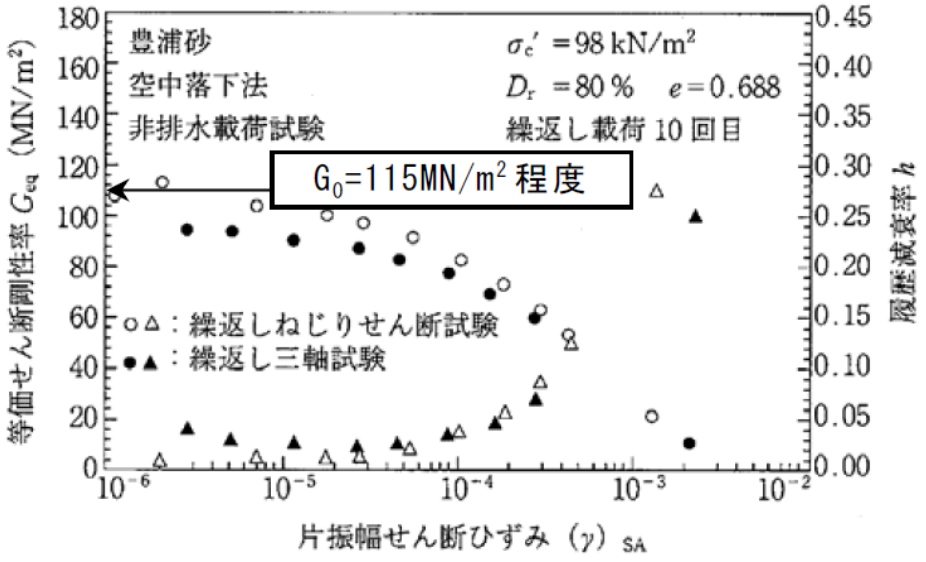
両者を比較して、固結タイプの初期せん断剛性率としては G_0=174MN/m^2 の値が得られており、砂の G_0=115MN/m^2 に対し大きな値を有することが確認されている。

図 3.9.7 は固結タイプの一軸圧縮強さと初期せん断剛性率 G_0 の関係を示したものである。これより一軸圧縮強さと初期せん断剛性率とは相関関係が認められている。



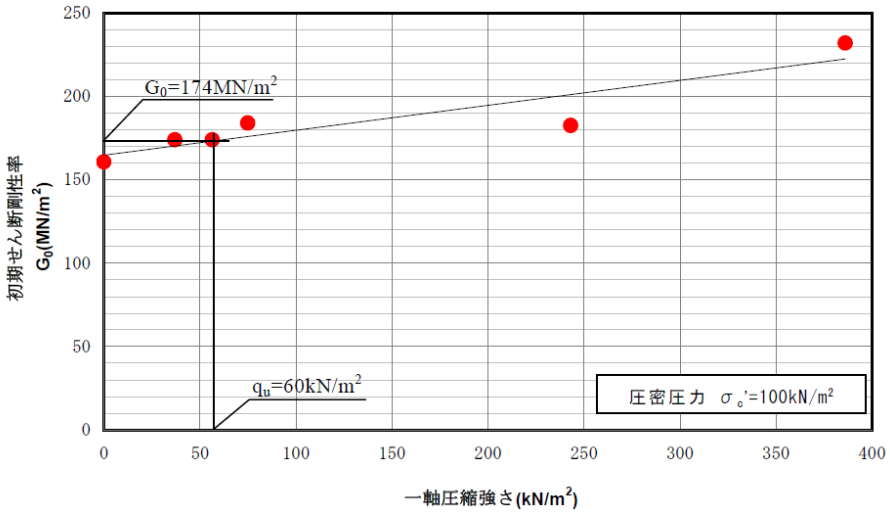
出典）港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン（令和 3 年 3 月更新、(一財)沿岸技術研究センター）

図 3.9.5　等価せん断剛性率 Geq とせん断ひずみ振幅の関係



出典）JGS 0543 土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法

図 3.9.6　砂の繰返し三軸試験及び繰返しねじりせん断試験結果の例



出典）港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン（令和 3 年 3 月更新、(一財)沿岸技術研究センター）

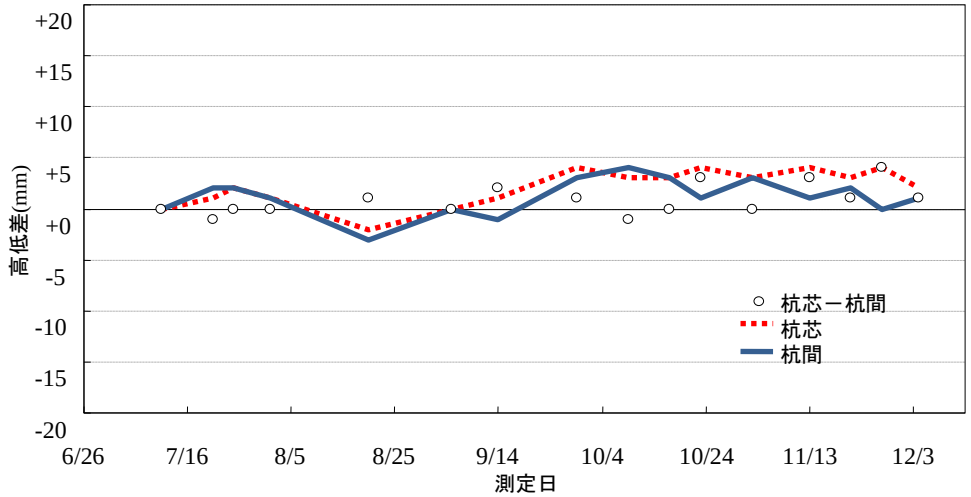
図 3.9.7　固結タイプの一軸圧縮強さと初期せん断剛性率の関係

⑧ 透水性

固結タイプは、水硬性の発現により経時的に透水性が低下するため、長期的な杭の透水性によるドレーン効果を期待する改良仕様には適用しないことが望ましい。

⑨ 膨張

水硬性スラグコンパクション材は膨張するが、水硬性スラグコンパクション材は 80℃水浸膨張比（**道路用鉄鋼スラグ：JIS A 5015**）1.5%以下で規定されている。また、陸上打設した実杭の頭部でレベル変化を測定した結果（**図 3.9.8**）より、測定値は測定誤差範囲であり膨張影響は無いことが確認されている。



出典）港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン（令和 3 年 3 月更新、(一財)沿岸技術研究センター）

図 3.9.8　実杭の杭頭変位測定結果

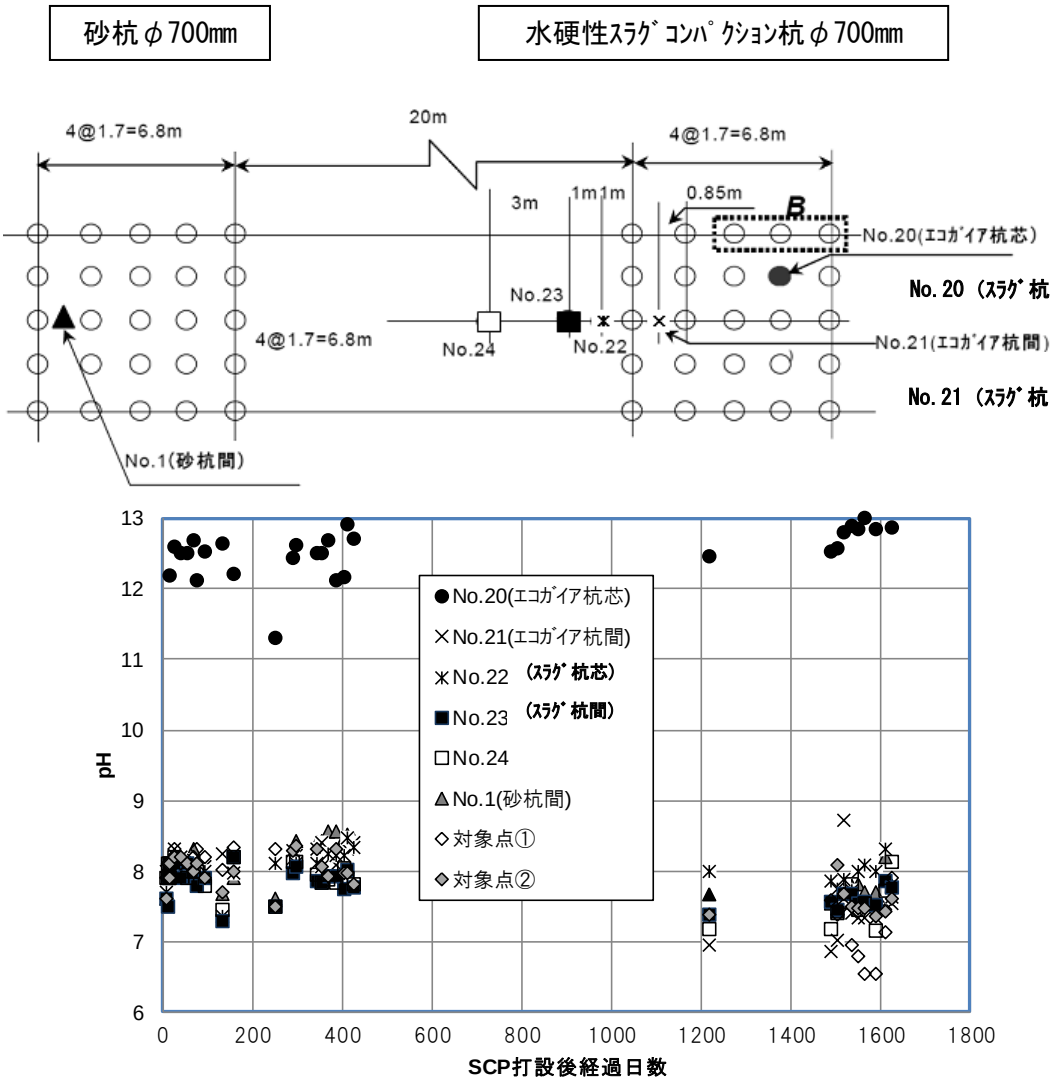
2) 化学的性質

① pH

水硬性スラグコンパクション材にて打設されたコンパクションからの溶出水は、破砕コンクリートやセメント安定処理土と同様にアルカリ性を示すが、海域及び陸域で利用する場合のいずれにおいても、周辺への影響はほとんどないことが確認されている。

海域では、海水による緩衝作用と希釈等により、pH の上昇がほとんどないことが pH 測定結果及び施工実績より確認されている。

また陸域では、土壌のアルカリ吸着作用により、pH 上昇は施工杭近傍のみに限定されることが試験杭での pH 測定結果（**図 3.9.9**）にて確認されており、また、実施工でも東京都品川地区にて実施した pH 測定にて同様の結果が得られている。[1)]



出典）港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン（令和 3 年 3 月更新(一財)、沿岸技術研究センター）

図 3.9.9　陸上試験杭での pH 測定結果（平面配置図、pH 経時変化）

② 環境安全品質

水硬性スラグコンパクション材は、全て基準値以下であることが確認されている。

表 3.9.10　海洋汚染防止法水底上砂基準による溶出試験結果(環境庁告示第 14 号)

試験項目	単位	計量値	判定基準	定量限界	備考
アルキル水銀化合物	mg/L	不検出	検出されないこと	0.005	・検定方法 海洋汚染・海上災害の防止に関する法律施行令第 5 条第 1 項に規定する埋立場所等に排出しようとする廃棄物に含まれる金属等の検定方法（昭 48 環告 14）による。 ・判定基準 海洋汚染・海上災害の防止に関する法律施行令第 5 条第 1 項に規定する埋立場所等に排出しようとする金属などを含む廃棄物に係わる判定基準を定める総理府令（昭 48 総令 6）による。 ・不検出とは定量限界を下回ること。
水銀又はその化合物	mg/L	不検出	0.005 以下	0.0005	
カドミウム又はその化合物	mg/L	不検出	0.1 以下	0.01	
鉛又はその化合物	mg/L	不検出	0.1 以下	0.01	
有機りん又はその化合物	mg/L	不検出	1 以下	0.1	
六価クロム化合物	mg/L	不検出	0.5 以下	0.005	
砒素又はその化合物	mg/L	不検出	0.1 以下	0.01	
シアン化合物	mg/L	不検出	1 以下	0.1	
ＰＣＢ	mg/L	不検出	0.003 以下	0.0005	
銅又はその化合物	mg/L	不検出	3 以下	0.05	
亜鉛又はその化合物	mg/L	不検出	5 以下	0.05	
ふっ化物	mg/L	2.2	15 以下	0.1	
トリクロロエチレン	mg/L	不検出	0.3 以下	0.001	
テトラクロロエチレン	mg/L	不検出	0.1 以下	0.001	
ベリリウム又はその化合物	mg/L	不検出	2.5 以下	0.01	
クロム又はその化合物	mg/L	不検出	2 以下	0.03	
ニッケル又はその化合物	mg/L	不検出	1.2 以下	0.05	
バナジウム又はその化合物	mg/L	不検出	1.5 以下	0.05	
有機塩素化合物	mg/kg	不検出	40 以下	2.5	
ジクロロメタン	mg/L	不検出	0.2 以下	0.001	
四塩化炭素	mg/L	不検出	0.02 以下	0.0002	
1.2-ジクロロエタン	mg/L	不検出	0.04 以下	0.0004	
1.1 ジクロロエチレン	mg/L	不検出	0.2 以下	0.001	
シス-1.2-ジクロロエチレン	mg/L	不検出	0.4 以下	0.001	
1.1.1 トリクロロエタン	mg/L	不検出	3 以下	0.001	
1.1.2 トリクロロエタン	mg/L	不検出	0.06 以下	0.0006	
1.3-ジクロロプロペン	mg/L	不検出	0.02 以下	0.0002	
チウラム	mg/L	不検出	0.06 以下	0.0006	
シマジン	mg/L	不検出	0.03 以下	0.0003	
チオベンカルブ	mg/L	不検出	0.2 以下	0.002	
ベンゼン	mg/L	不検出	0.1 以下	0.01	
セレン又はその化合物	mg/L	不検出	0.1 以下	0.002	
ダイオキシン類	pg-TEQ/g	0.009	10 以下	－	

出典）港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン（令和 3 年 3 月更新、(一財)沿岸技術研究センター）

表 3.9.11　土壌環境基準による溶出/土壌汚染対策法含有量試験結果

土壌環境基準による溶出試験結果

試験項目	単位	計量値	判定基準	定量限界	備考
カドミウム及びその化合物	mg/L	不検出	0.01 以下	0.005	・環境基本法第16条第1項による土壌の汚染に係る環境上の条件　土壌の汚染に係る環境基準について（平3環告46）による。 ・不検出とは定量限界を下回ること。
六価クロム化合物	mg/L	不検出	0.05 以下	0.005	
シアン化合物	mg/L	不検出	1 以下	0.1	
アルキル水銀	mg/L	不検出	検出されないこと	0.0005	
水銀及びその化合物	mg/L	不検出	0.0005 以下	0.0005	
セレン及びその化合物	mg/L	不検出	0.01 以下	0.01	
鉛及びその化合物	mg/L	不検出	0.01 以下	0.005	
砒素及びその化合物	mg/L	不検出	0.01 以下	0.005	
ふっ素及びその化合物	mg/L	0.26～0.48	0.8 以下	0.1	
ほう素及びその化合物	mg/L	0.11	1 以下	0.002	

土壌環境基準による含有量試験結果

試験項目	単位	計量値	判定基準	定量限界	備考
カドミウム及びその化合物	mg/kg	不検出	150 以下	0.005	・環境基本法第16条第1項による土壌の汚染に係る環境上の条件　土壌の汚染に係る環境基準について（平3環告19）による。 ・不検出とは定量限界を下回ること。
六価クロム化合物	mg/kg	不検出	250 以下	0.005	
シアン化合物	mg/kg	不検出	50 以下	0.1	
アルキル水銀	mg/kg	不検出	15 以下	0.0005	
水銀及びその化合物	mg/kg	不検出	150 以下	0.0005	
セレン及びその化合物	mg/kg	不検出	150 以下	0.1	
鉛及びその化合物	mg/kg	不検出	150 以下	0.005	
砒素及びその化合物	mg/kg	不検出	150 以下	0.005	
ふっ素及びその化合物	mg/kg	1200～1400	4000 以下	0.1	
ほう素及びその化合物	mg/kg	87～92	4000 以下	0.002	

出典）港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン（令和 3 年 3 月更新、(一財)沿岸技術研究センター）

【参考文献】

1）(一財)沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン、令和 3 年 3 月更新

3.9.3 適用用途

(1) 概要

JIS が規定されている用途に道路用鉄鋼スラグを利用する場合は、当該 JIS に適合したものを利用するものとする。JIS が規定されていない用途に道路用鉄鋼スラグを利用する場合は、用途において必要となる要求性能を満たす材料を利用するものとする。

水硬性スラグコンパクション材を利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ及び水硬性スラグコンパクション材）を各用途に利用する場合の評価を行った結果を、それぞれ**表 3.9.12**、**表 3.9.13** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.9.12　鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・防波堤築造工事（国交省） ・岸壁建設その他工事（国交省）	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁等改良工事（国交省）	
⑮	路盤材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)道路の路盤に使用する鉄鋼ｽﾗｸﾞ（高炉徐冷ｽﾗｸﾞ）に関して、適用範囲や品質、試験方法、検査、表示、報告等の品質基準を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁築造工事（国交省） ・ケーソンヤード補修工事（国交省） ・緑地用造成工事（国交省） ・エプロン等改良工事（国交省）	1)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	◎ （As舗装骨材）	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)加熱ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物に使用する鉄鋼ｽﾗｸﾞに関して、適用範囲や品質、試験方法等の品質基準を規定。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。（リサイクルポート推進協議会集計実績）	1)
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)JISA5015「道路用鉄鋼ｽﾗｸﾞ」（平成30年12月改正）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.9.13　鉄鋼スラグ混合製品（水硬性スラグコンパクション材）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	◎ （粘性土であれば高置換）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)砂地盤の締固め効果は従来の砂杭の場合と同等であること、周辺環境への影響は従来の砂材と同等であること及び施工後の膨脹による地中変動は殆どないことなど評価要件を満足するものであることを確認。当該材料は水硬性を有するため、高置換のSCPにのみ適用が可能。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・液状化対策工事（国交省） ・岸壁改良整備工事（管理者） ・漁港整備工事（管理者）	1)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁（耐震改良）等改良工事（国交省） ・岸壁舗装補修工事（国交省） ・地盤改良工事（国交省）	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第100001号鉄鋼ｽﾗｸﾞを原料として固結制御可能なｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ工法中詰材料　ｴｺｶﾞｲｱｽﾄﾝ((一財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成22年12月内容変更、令和3年3月更新）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) サンドコンパクションパイル材

サンドコンパクションパイル材には水硬性スラグコンパクション材を利用することができ、軟弱粘性土地盤改良用の固結タイプ及び軟弱砂質土地盤液状化対策用の摩擦タイプに分類される。

杭間粘土の設計上の考え方や、複合地盤の沈下量の考え方については、**港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル（平成 27 年 2 月：一般財団法人　沿岸技術研究センター）**を参照できる。

1) 固結タイプ（軟弱粘性土地盤改良用）

固結タイプは、原則として高置換率（置換率 70%以上）に用いる。

水硬性スラグコンパクション材は、天然砂よりせん断抵抗角が大きい（35°⇒42°以上）ため、地盤改良の施工量を低減することができる。また、水硬性スラグコンパクション材は天然砂より動的な剛性が大きいため、地震時の残留変形抑制効果が期待できる。尚、常時の安定計算法は、天然砂を用いたサンドコンパクションパイルと同様の方法で設計することが可能である。具体的な安定計算法ならびに地震時の変形照査法については巻末に示す参考文献 3)に示されており、これらの根拠となる基礎データは、巻末に示す文献 6)～16)に示されている。

図 3.9.10 に水硬性スラグコンパクション材の固結タイプを使用した場合の地盤改良の施工量低減イメージ図を示す。水硬性スラグコンパクション材を使用することで、天然砂を用いたサンドコンパクションパイルに比べ改良幅を 2～4 割低減することができる。

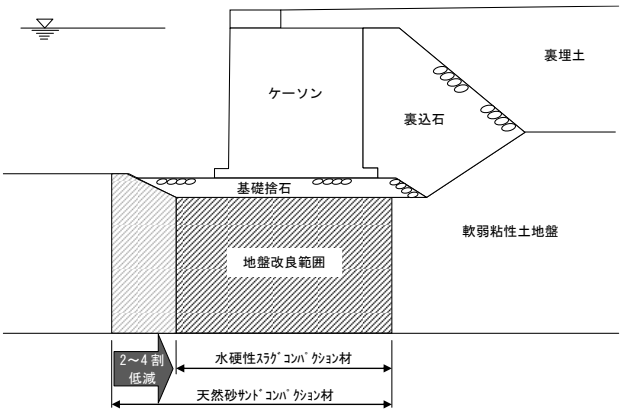


図 3.9.10　地盤改良の施工量低減イメージ図

2) 摩擦タイプ（軟弱砂質土地盤液状化対策用）

摩擦タイプは、天然砂を用いたサンドコンパクションパイルと同等の締固め効果が確認されており、天然砂と同様の方法で設計することができる。[1)]

陸域にて使用する場合は、土壌のアルカリ吸着作用により、pH 上昇は施工杭近傍のみに限定されることが pH 測定（**図 3.9.9**）にて確認されており、多くの施工実績の中でも問題が生じていないが、地下水の流速が早い現場では、影響範囲が大きくなる可能性があるため、実地盤のアルカリ吸着能を考慮した適切なモデルにより長期的な影響範囲を把握するとともに、モニタリング等による確認を行うことが望ましい。

【参考文献】

1)（一財)沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン、令和 3 年 3 月更新

(3) 路盤材

下層路盤や上層路盤に使用される材料（路盤用鉄鋼スラグ）は、**JIS A 5015 道路用鉄鋼スラグ**として規格に定められているので、これに適合するものを使用することができる。

路盤用鉄鋼スラグは、経済的でしかも力学的につり合いのとれた形にするために、下層路盤と上層路盤に分けられる。道路用鉄鋼スラグには、下層路盤にクラッシャラン鉄鋼スラグ(CS)、上層路盤に粒度調整鉄鋼スラグ（MS）、水硬性粒度調整鉄鋼スラグ（HMS）がある。

下層路盤や上層路盤を設計、施工等を行う場合、**「鉄鋼スラグ路盤設計施工指針」**等に示される方法と手順に準じて行う。これらの指針に記述していない一般事項については**「舗装設計施工指針」**、**「舗装施工便覧」**等の最新版を参照する。

路盤用鉄鋼スラグを適用する場合は、次の利点があげられる。

①スラグの水硬性について

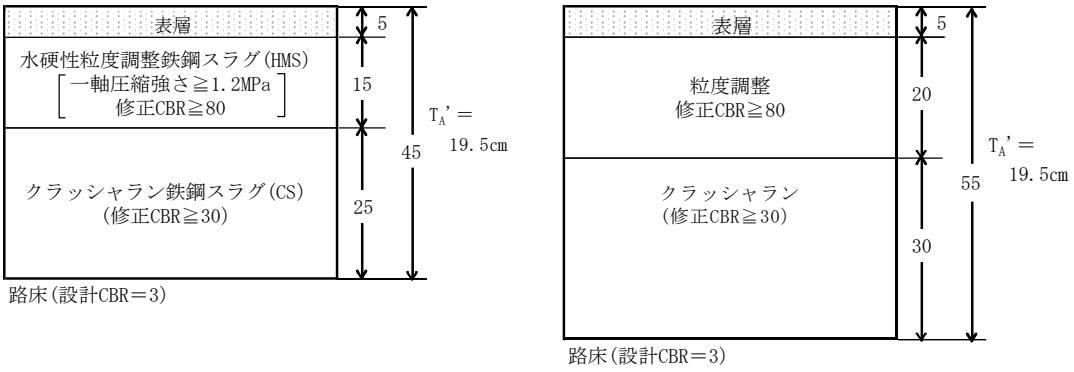
路盤用鉄鋼スラグの水硬性は、スラグが水と接触すると微量の石灰やシリカが溶け出し、スラグ表面に緻密な水和生成物を形成し、さらにアルカリ性の雰囲気のもとでは、水和物を形成し、これがスラグの粒子をつなぐ結合材となって、凝結硬化することによって起きる性質である。鉄鋼スラグを用いた路盤はこの性質があるため、施工後長期間に亘って路盤の支持力が増大する。

②水硬性を生かしたスラグ路盤材の経済性

代表的なスラグ路盤材である水硬性粒度調整スラグ（HMS-25）の等値換算係数は 0.55 と、粒度調整砕石の 0.35 に比べて高く評価されており、少ない材料で施工できる。

さらに、施工後も長期にわたって水硬性を発現するため、耐久性にも優れ、メンテナンスコストが低減する。

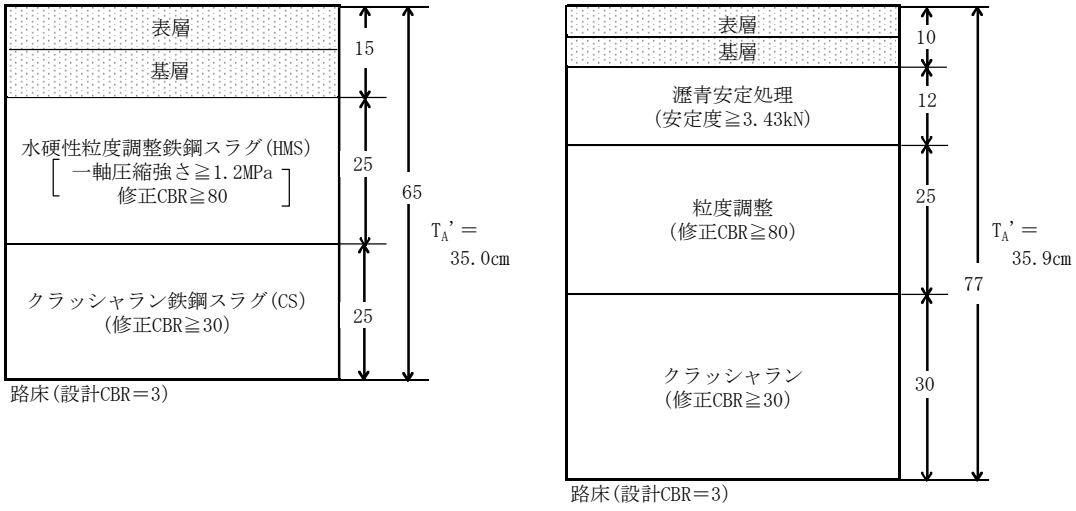
交通量区分N_4、信頼度 90%、設計期間 10 年の例（目標とするT_A 19cm）



出典）鉄鋼スラグ道路用材への利用（鐵鋼スラグ協会）

図 3.9.11　HMS で施工した時の舗装厚削減の例(1)

交通量区分N_6、信頼度 90%、設計期間 10 年の例（目標とするT_A 35cm）



出典）鉄鋼スラグ道路用材への利用（鐵鋼スラグ協会）

図 3.9.12　HMS で施工した時の舗装厚削減の例(2)

③その他の特性

・締め固め性状が良好で、施工直後の交通開放が可能
・含水比に対する鋭敏性がいので、作業中雨が降り出した場合にも、締め固め作業の続行が可能
・成分や粒度分布等、品質が均一な工業製品
・砕石等の路盤と同様な施工方法

また、適用に際して以下の点に留意する必要がある。

①使用にあたっては、あらかじめ品質を確認しておくことが重要である。

・高炉徐冷スラグを用いた路盤用鉄鋼スラグは、呈色判定試験を行い無色であることを確認する。

・製鋼スラグを用いた路盤用鉄鋼スラグには水浸膨張試験を行ない、JIS A 5015 の規格値以下であることを確認する。

・道路の出荷から、道路の施工時及び利用時だけでなく、その利用が終了し解体後の再利用または最終処分場を含めたライフサイクルにおいて環境安全品質を保証する環境安全品質基準を満足するかを確認する。

②路盤用鉄鋼スラグは、雨水や地下水が透過すると、カルシウム分によって透過水がアルカリ性を示すことがある。アルカリ性を有した透過水は、道路周辺の地下水、河川、及び農地などの水質や土壌に影響を与えることが懸念されるが、わが国のほとんどの土壌は酸性土壌であり、これらのアルカリ成分を吸着、中和する能力を有しているので、通常の場合は、問題となることは少ない。しかし、道路に近接して、農地、飲料用井戸、養魚池など特に水質が重視されるような施設がある場合は、その区間に十分な排水設備を設けるなど適切な処置を講じ、アルカリ性透過水に起因する問題が生じないようにする必要がある。

(4) アスファルト舗装骨材（加熱アスファルト混合物及び瀝青安定処理）

加熱アスファルト混合物に用いる製鋼スラグ（加熱アスファルト混合物用鉄鋼スラグ）は、**JIS A 5015 道路用鉄鋼スラグ**として規格に定められているので、これに適合するものを使用することができる。

加熱アスファルト混合物に用いる鉄鋼スラグには製鋼スラグが使用され、単粒度製鋼スラグ（SS-20、SS-13、SS-5）や瀝青安定処理用にクラッシャラン製鋼スラグ（CSS-30、CSS-20）がある。

製鋼スラグを用いた加熱アスファルト混合物で設計、施工等を行う場合、**「製鋼スラグを用いたアスファルト舗装設計施工指針」**に示される方法と手順に準じて行う。これら指針に記述していない一般事項については**「舗装設計施工指針」**、**「舗装施工便覧」**等の最新版に従うものとする。

加熱アスファルト混合物用鉄鋼スラグを適用する場合は、天然骨材に比べて、硬質かつ耐摩耗性に優れている利点がある。

使用にあたっては、道路の出荷から、道路の施工時及び利用時だけでなく、その利用が終了し解体後の再利用または最終処分場を含めたライフサイクルにおいて、環境安全品質を保証する環境安全品質基準を満足するかをあらかじめ確認することが重要である。

3.9.4 関連法令

道路用鉄鋼スラグ及び水硬性スラグコンパクション材は産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.9.5 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

道路用鉄鋼スラグ及び水硬性スラグコンパクション材を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

なお、道路用鉄鋼スラグについては、**JIS A 5015「道路用鉄鋼スラグ」**において、再利用・廃棄を含めライフサイクルの合理的に想定しうる範囲において、道路用鉄鋼スラグから影響を受ける土壌、地下水、海水などの環境媒体が、各々の環境基準などを満足できるように、道路用鉄鋼スラグが確保すべき品質（環境安全品質）を満足するための検査の実施が規定されている。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.10 鉄鋼スラグ二次製品（固化体・その他）

3.10.1 製造・供給

鉄鋼スラグ水和固化体は、製鋼スラグ、高炉スラグ微粉末等を混練、固化し製造される。
鉄鋼スラグ炭酸固化体は、粒状の製鋼スラグに強制的に二酸化炭素を吹込み、スラグ中の酸化カルシウムと反応させて炭酸カルシウムを生成させることにより製造される。
浚渫土改質材として、転炉にて鋼を製造する工程で生成する転炉系製鋼スラグを成分管理と粒度調整した材料が製造されている。
生物共生材として、「藻場造成用鉄分供給ユニット」が製造されている。

（解説）

(1) 製造方法

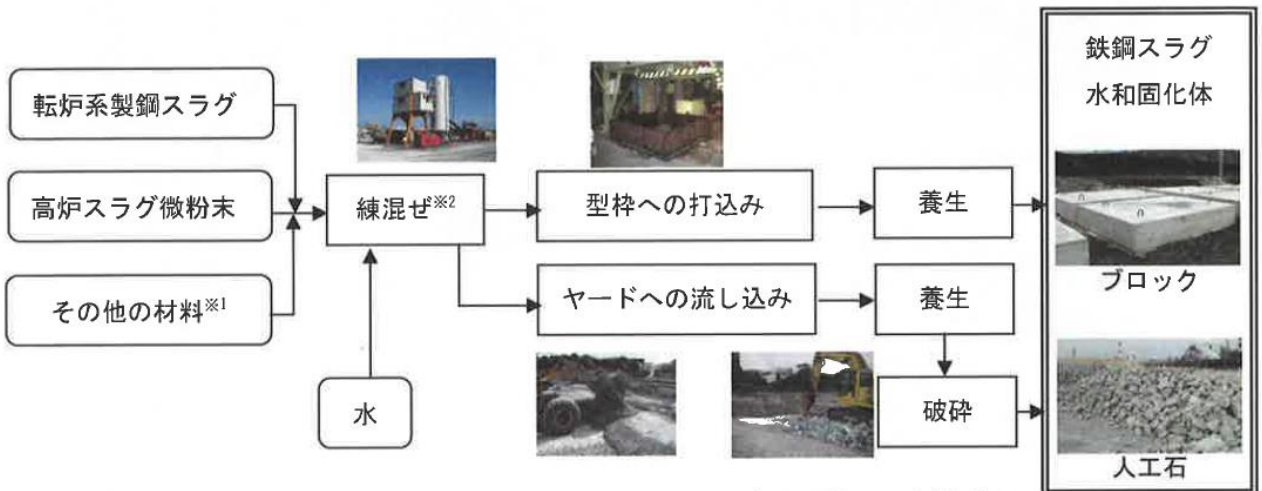
1) 鉄鋼スラグ水和固化体

鉄鋼スラグ水和固化体は、製鋼スラグ、高炉スラグ微粉末及び水を必須材料とし、これらを練混ぜ、水和反応により固化（硬化）させたものである。必要に応じて、アルカリ刺激材（消石灰、各種セメント等）、フライアッシュ（微粉炭燃焼ボイラで発生する微粉灰）、細骨材相当の高炉水砕スラグ等を構成材料に加える。

鉄鋼スラグ水和固化体の製造方法を図 3.10.1 に示す。

鉄鋼スラグ水和固化体は、副産物を材料として利用し、コンクリートと同等な強度を得ることができる。

鉄鋼スラグ水和固化体の型枠への打込みまたはヤードへの流し込み後に、養生を経て、ブロック状としたり、コンクリート破砕機などにより粗破砕して製造する。これらを鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材という。破砕方法によって、粒径 300㎜ 程度以下に調整した砂礫状の石材と粒径 100～1,000㎜ 程度に調整した割ぐり石状の石材の製造が可能である。



※1 必要に応じて、アルカリ刺激材、フライアッシュ、高炉水砕スラグ（細骨材）、混和剤を使用

※2 生コンクリート製造設備使用

図 3.10.1 鉄鋼スラグ水和固化体の製造方法

2) 鉄鋼スラグ炭酸固化体

鉄鋼スラグ炭酸固化体は、粒状の製鋼スラグに強制的に二酸化炭素を吹込み、スラグ中の酸化カルシウムと反応させて炭酸カルシウムを生成させることにより製造される。スラグ粒子同士がこの炭酸カルシウムでネットワーク状に強固に結合して固化体を形成し、ブロック表面が炭酸カルシウムとなる。また、二酸化炭素が通じた開気孔が固化体の中に残るため、多孔質となる。

図 3.10.2 に鉄鋼スラグ炭酸固化体の製造装置を示す。気密性のある型枠の中に適量の水分を加えた原料の製鋼スラグを充填し、内部まで CO_2 が均一に拡散するように圧力を調整しながら成形体を作る。型枠の下部より CO_2 を含んだガスを吹込み、成形体全体を炭酸固化させる。その後、型枠を外して固化体を取出し、鉄鋼スラグ炭酸固化体が完成する。

製鋼スラグ中の CaO は二酸化炭素（CO_2）と反応して、化学的に安定な炭酸カルシウム（$CaCO_3$）を生成する。反応式は、$CaO+CO_2 \rightarrow CaCO_3$ である。コンクリートは、セメントの水和反応で固化するが、鉄鋼スラグ水和固化体の固化は炭酸化反応である。

鉄鋼スラグ炭酸固化体の製造時の原料である製鋼スラグは、型枠への自己充填が困難であるため、自己充填の必要性が少ない直方体形が製造上有利であり、品質も安定する。このため、鉄鋼スラグ炭酸固化体の形状は、直方体形のブロックまたはプレートを標準とする。

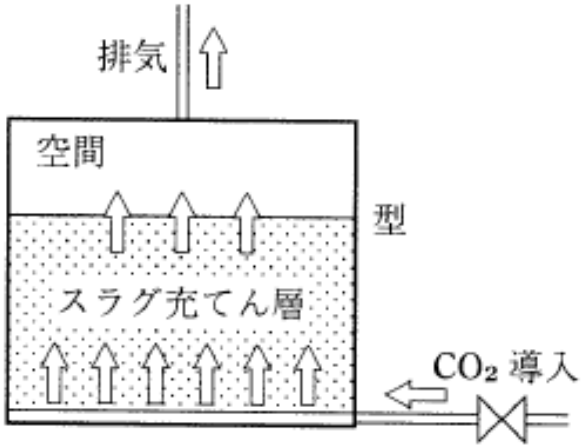


図 3.10.2　鉄鋼スラグ炭酸固化体製造概念図

3) 浚渫土改質材

浚渫土改質材の一つとして、転炉系製鋼スラグを成分管理と粒度調整した「カルシア改質材」が製造されている。カルシア改質材の製造方法については、その原料である転炉系製鋼スラグの製造方法を記した **3.8 製鋼スラグ 3.8.1 製造・供給**を参照のこと。ただし、カルシア改質材では硬化特性を利用するためにエージング処理は行われていない。また、粒度は、**図 3.10.4** のように調整されている。

4) 生物共生材

藻場造成用鉄分供給ユニットの各工程は、以下のとおりである。

①炭酸化処理工程

スラグヤードから転炉系製鋼スラグを運び炭酸化安定処理を施し、アルカリを低減させる。

②配合工程

炭酸化安定処理を施した転炉系製鋼スラグと、人工腐植土を容積比で転炉系製鋼スラグ 50%以上、人工腐植土 40%以上で混ぜ合わせる。

製造工程の詳細は**図 3.10.3** に示すとおりである。

図 3.10.3　藻場造成用鉄分供給ユニットの製造工程

(2)　供給・利用の状況

1) 鉄鋼スラグ水和固化体、鉄鋼スラグ炭酸固化体

陸上輸送：製造所（製鉄所）周辺

海上輸送：制限なし

海上輸送＋陸上輸送：全国の港周辺

2) 浚渫土改質材

浚渫土改質材の一つであるカルシア改質材の供給地域については、その原料である転炉系製鋼スラグの供給・利用の状況を記した **3.8 製鋼スラグ 3.8.1 製造・供給**を参照のこと。

3.10.2 品質

鉄鋼スラグ水和固化体は、破砕し、準硬石相当の天然石材（砂岩ずり及び割ぐり石）及びセメントコンクリートの代替材として適用される。
鉄鋼スラグ炭酸固化体は、単位体積重量、圧縮強度ともに標準的なコンクリートと同等である。
浚渫土改質材の一つであるカルシア改質材の品質は、改質土を使用する用途に応じて、化学成分等、粒度、環境安全品質について適切に設定される。
生物共生材（藻場造成用鉄分供給ユニット）は、配合、溶出安全性、pH、鉄分溶出性の 4 項目の品質確認を行うことを規定している。また、生物安全性及び食品安全性についても確認がなされている。

（解説）

(1) 鉄鋼スラグ水和固化体

1) 適用範囲

鉄鋼スラグ水和固化体を破砕して製造した鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材は、準硬石相当の天然石材（砂岩ずり及び割ぐり石）及びセメントコンクリートの代替材として適用される。適用範囲を**表 3.10.1** に示す。

表 3.10.1　鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材の適用範囲

人工石材の種類	砂礫状	割ぐり石状			ブロック状
粒径の範囲	300mm 程度以下	100～1,000mm 程度			適宜
用途	非液状化埋立材 (中仕切堤含む)	裏込石及び 傾斜護岸材	藻場材	被覆石*1	消波ブロック
適用条件	砂岩ずり代替	準硬石相当の割ぐり石代替	―	主として内湾の波浪が小さいところに使用する割ぐり石代替	セメントコンクリート代替

*1：必要に応じて耐凍結融解性を確認

鉄鋼スラグ水和固化体には、以下の有用性がある。

- 鉄鋼副産物を用いて製造されるため、天然資源の保護につながる。
- 破砕方法を変えることにより種々の形状や粒度を有する石材製造が可能なため、幅広い利用が期待できる。

鉄鋼スラグ水和固化体の硬化メカニズムは、製鋼スラグに含まれている Ca^{2+}が溶出し、高炉スラグ微粉末やフライアッシュに含まれている非晶質層の Si、Al などの元素との水和反応により、水和ゲルを生じて硬化するものであり、この反応を促進するために、消石灰などのアルカリ刺激材を添加する。

2) 材料の品質

鉄鋼スラグ水和固化体を構成する材料は、**表 3.10.2** に示す品質を満足する。

表 3.10.2　鉄鋼スラグ水和固化体に用いる材料の品質

	材料名	品質基準
必須材料	製鋼スラグ	人工石材として必要な膨張安定性を満足すること。
	高炉スラグ微粉末	JIS A 6206 に適合したものを標準とする。
	水	上水道水、JSCE-B101 または JIS A 5308 付属書 9 に適合したものを標準とする。
必要に応じて使用する材料	高炉水砕スラグ（細骨材相当品）	JIS A 6206 の原材料に用いるもの、または JIS A 5011-1 に適合したものを標準とする。
	フェロマンガンスラグ	付属資料 D-8 に適合したものを標準とする※
	フライアッシュ	JIS A 6201 に適合したもの、または相当品を標準とする。
	アルカリ刺激材	「鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル改訂版、4.2.6 アルカリ刺激材」による。（消石灰系：$Ca(OH)_2$ または CaO を含んだ品質の確かめられたもの、セメント系：JIS R 5210、JIS R 5211 に適合したものを標準とする）
	混和剤	JIS A 6204 に適合した減水剤等を標準とする。

※付属資料 D-8 は依頼者提出資料（別冊）D 参考資料、D-8 鉄鋼スラグ水和固化体用フェロマンガンスラグを示す。

出典）港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書第 22002 号　鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材（令和 4 年 9 月部分変更、（一財）沿岸技術研究センター）

3) 人工石材の品質範囲

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石の品質は、**表 3.10.3** に示す品質範囲で提供される。

表 3.10.3　鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材の品質の範囲

品質項目	指標			品質の範囲
物理的性質	粒度	D_{10}(mm)	フロンティアストーン	2.0 以上
		均等係数 $Uc=(D_{60}/D_{10})$	フロンティアストーン	5～45
			フロンティアロック	1.3～3
		粒径・質量範囲	フロンティアストーン	0～300mm
			フロンティアロック	5～2,000kg/個※1 (寸法の目安 100～1000mm)
	絶乾密度(g/cm³)　　JIS A 1110			2.1～2.9
	吸水率(%)　　JIS A 1110			20 以下
	母材の圧縮強度(N/mm²) JIS A 1108 28 日強度（標準養生円柱供試体）			9.8 以上
力学的性質	せん断抵抗角 ϕ_0 (JGS0525 D300×H600)		フロンティアストーン	30° 以上（拘束圧 100kPa 以上 400kPa 未満） 40° 以上（拘束圧 100kPa 未満）
			フロンティアロック	35° 以上（拘束圧 100kPa 未満）
	2 次圧縮係数(%)		フロンティアストーン	準硬石の天然石材と同等以下
	スレーキング率(%)		フロンティアストーン	準硬石の天然石材と同等以下
環境適合性	pH(JGS0211 海水溶媒)			9.0 以下
	生物付着性（付着藻類・ベントスの種類数・付着質量）		フロンティアロック	天然石材と同等
	有害物質の溶出・含有			港湾用途溶出量基準又は一般用途溶出量基準および含有量基準の基準値以下※2
膨張	膨張 JIS A 5015 （水中落下法）		フロンティアストーン	膨張しないこと (JIS A 5015 80℃水浸膨張試験 10 日で 0.2%以下)
	鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル付属書 2		フロンティアロック	有害なひび割れなし

※1 フロンティアロックの製造寸法については、別途製鉄所に確認要

※2 鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材の環境安全品質基準の考え方及び基準値は、「コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書」の第 2 章、第 4 章の考え方に基づく。

出典）港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書第 22002 号　鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材（令和 4 年 9 月部分変更、（一財）沿岸技術研究センター）

4) pH

鉄鋼スラグ水和固化体は、製鋼スラグが高炉スラグ微粉末ペーストに覆われるとともに、高 pH 溶出の原因となる f-CaO が高炉スラグ微粉末より溶出される SiO_2（シリカ）や Al_2O_3（アルミナ）成分と反応し、C-S-H 水和物や C-A-H 水和物を生成して固化する過程で消費されるため、pH 溶出が低減される。

(2) 鉄鋼スラグ炭酸固化体

1) 基本物性

鉄鋼スラグ炭酸固化体の基本物性を**表 3.10.4** に示す。単位体積重量、圧縮強度ともに標準的なコンクリートと同等である。

表 3.10.4　鉄鋼スラグ炭酸固化体とコンクリートの基本物性例

項目	鉄鋼スラグ炭酸固化体	コンクリート
気中単位体積重量(g/cm^3)	2.0～2.4*	2.3
水中単位体積重量(g/cm^3)	1.4～1.7	1.3
連続気孔率(%)	25～42	-
平均気孔径(mm)	0.05～0.5	-
比表面積(m^2/g)	4.5 程度	-
圧縮強度(N/mm^2)	10～19	18～24 以上

＊連続気孔に水がない状態

2) 強度特性

鉄鋼スラグ炭酸固化体の圧縮強度は、一般的なポーラスコンクリートと同等である。また、圧縮強度、引張強度、曲げ強度の関係は、（引張強度）／（圧縮強度）は約 1/12、（曲げ強度）／（圧縮強度）は約 1/8 と標準的なコンクリートとほぼ同等である。

3) 耐久性

鉄鋼スラグ炭酸固化体は、コンクリートブロックと同様な耐久性を有する。実海域における沈設試験調査（6 年程度経過）において、膨張による亀裂発生や脆化現象などの材料的な劣化は見られない。

4) 溶出

鉄鋼スラグ炭酸固化体から重金属などの有害物質は溶出しない。また、海水へのアルカリ影響はない。

(3) 浚渫土改質材

ここでは、改質材としてカルシア改質材について述べる。

1) カルシア改質材の品質

① 物理・力学的性質

a. 粒度

カルシア改質材の粒度範囲を**図 3.10.4** に示す。

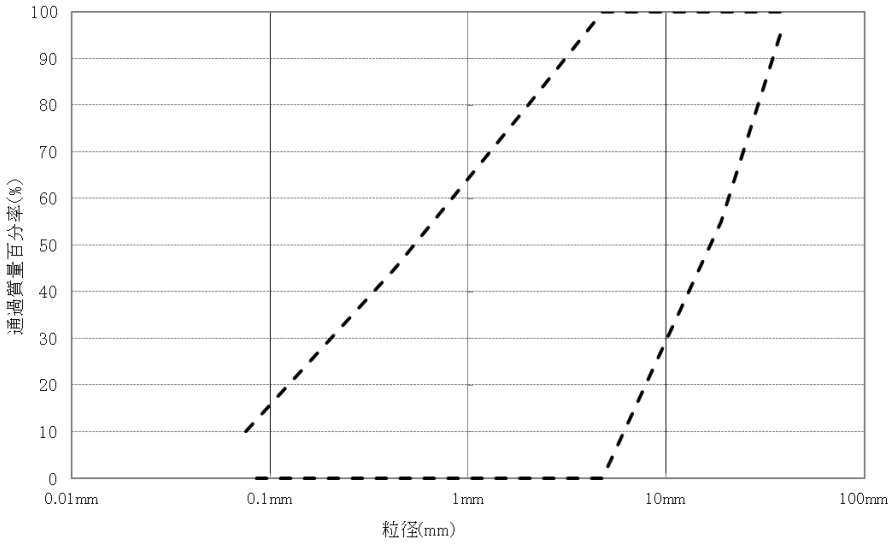


図 3.10.4　カルシア改質材の粒度範囲

土構造物としての強度を要求される用途にカルシア改質材による改質土を適用する場合には、過去の適用事例で所要の強度を満たしたカルシア改質材の粒度分布の範囲である**表 3.10.5** の **JIS A 5015「道路用鉄鋼スラグ」**の粒度範囲を満たすこととする。

なお、製造所によって、製造可能な最大粒径が異なるため、事前に確認が必要である。

表 3.10.5　カルシア改質材の標準的な粒度範囲

粒径 mm	37.5	56.5	19.0	4.75	2.00	0.425	0.075
通過質量百分率 (%)	95～100	70～100	55～100	0～100	0～80	0～45	0～10

b. 密度

高炉メーカー4 社よりサンプリングしたカルシア改質材の粒子密度は、製造所や製造ロットにより異なるが、鉄分を多く含むため天然砂（約 2.6g/cm^3）よりも大きく概ね 2.9～3.4 g/cm^3 の範囲である。製造所によって、これらの物性値には違いがあるため、使用に当たっては事前に製造所に確認しておくのがよい。

② 化学的性質

a. 化学成分

カルシア改質材の主成分は、石灰(CaO)、二酸化珪素（SiO_2）、酸化鉄（Fe_2O_3）であり、化学成分がセメントと類似しておりアルカリ性を呈する。

固化材または安定材としての役割は、カルシア改質材に含まれるカルシウム分、特に遊離石灰（f-CaO）が果たしていると考えられるため、強度を期待する用途にカルシア改質材による改質土を適用する場合には、これらの含有量に留意する必要がある。

カルシア改質材に含まれる遊離石灰（f-CaO）と改質土の一軸圧縮強さの関係に関する知見として、以下が得られている。

- 遊離石灰（f-CaO）量が１％以下では、強度発現がほとんどみられない。
- カルシア改質材による改質土の強度発現は、浚渫土の土質特性の影響を大きく受けるが、少なくとも q_u=20kN/m^2 程度（≒q_c=200kN/m^2：建設発生土の強度指標である第 4 種処理土相当）を確保するためには、遊離石灰（f-CaO）量が１％以上必要と考えられる。

カルシア改質材の原材料である転炉系製鋼スラグにおいて、硫化物含有量（T-S）の規定値は設定していない。

b. 環境安全品質

「港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル」では、カルシア改質材の環境安全品質基準として、カルシア改質土の使用環境（人の立入りの可能性、再利用の可能性）に応じて、有害物質の溶出量及び含有量の基準を規定している。これら環境安全品質に係る分析試験の結果は、製造事業者が発行する試験成績書により確認することができる。

2) カルシア改質土の品質

① 物理・力学的性質

a. せん断強度（浚渫土の強度増進効果）

カルシア改質土の強度は、カルシア改質材の混合量、時間経過、含水量等に応じて変化する。カルシア改質土の一軸圧縮強さの一般値は、q_{u28}＝50～400(kN/m^2)であり、他の工法により製造された混合土（軽量混合処理土、管中混合固化処理土）と同程度である。また、一軸圧縮強さは時間の経過とともに増加する傾向がある。

一般的には、カルシア改質材の容積混合率は 10～40%であり、この混合範囲においては、基本的に粘性土地盤（ｃ材）として取り扱うことができる。

図 3.10.5、図 3.10.6 に大阪湾にて採取された浚渫土にカルシア改質材を混合して作製したカルシア改質土の強度発現特性を示す。

図 3.10.5 は、採取した浚渫土（液性限界 W_L=105%）に加水調整を行い、浚渫土の含水比 W/W_L=1.6、1.8、2.0 に対して、カルシア改質材 30%を混合したカルシア改質土の養生日数と一軸圧縮強さの関係を示したものである。その結果、養生日数の経過とともに一軸圧縮強さが増加すること、浚渫土の含水比が高くなると、一軸圧縮強さは低下傾向を示すことがわかる。

図 3.10.6 は、カルシア改質材の混合割合とカルシア改質土の一軸圧縮強さの関係を示したものである（養生 28 日、**図 3.10.5**）とは異なる改質材の試験結果）。その結果、改質材の混合割合が多いほど、改良土の一軸圧縮強さが増加することがわかる。

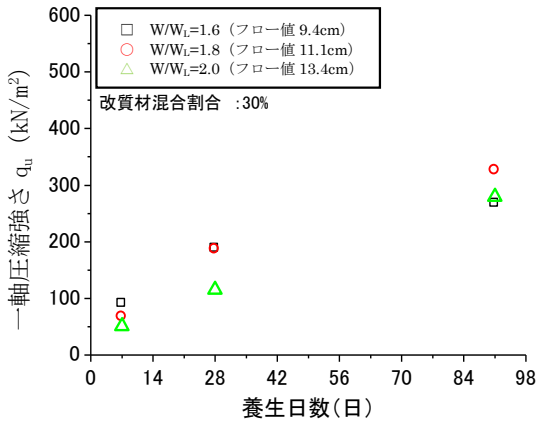


図 3.10.5　養生日数とカルシア改質土の一軸圧縮強さの関係の例

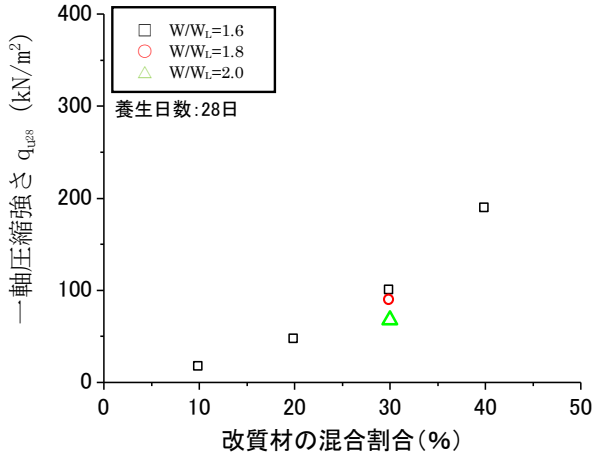


図 3.10.6　カルシア改質材の混合割合とカルシア改質土の一軸圧縮強さの関係の例

b. 単位体積重量

カルシア改質土の単位体積重量は、浚渫土の含水比、カルシア改質材の容積混合率等、配合によって変化する。カルシア改質土の単位体積重量の実測値は、**図 3.10.7** に示すとおりである。浚渫土の単位体積重量に対し、カルシア改質材の粒子密度が概ね 25～34kN/m³ と大きいことから、カルシア改質材の混合率が大きいほど単位体積重量は大きくなる。単位体積重量は、カルシア改質材の容積混合率 10%の場合 14～18（中央値 16）kN/m³、30%の場合 17～21（中央値 19）kN/m³ の範囲にある。

カルシア改質材 4 サンプルの平均表乾密度（31.9kN/m³）と浚渫土 7 サンプルの平均湿潤密度（13.7kN/m³）を用いて計算したカルシア改質材による改質土の単位体積重量の推定値を、**図 3.10.7** に合わせて示した。

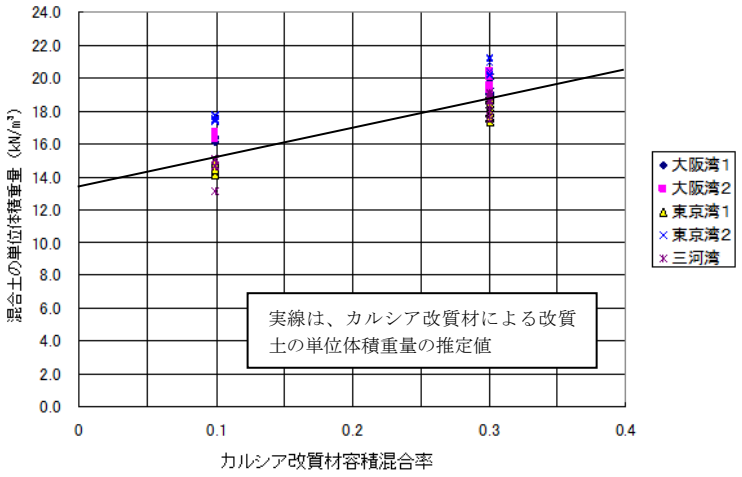
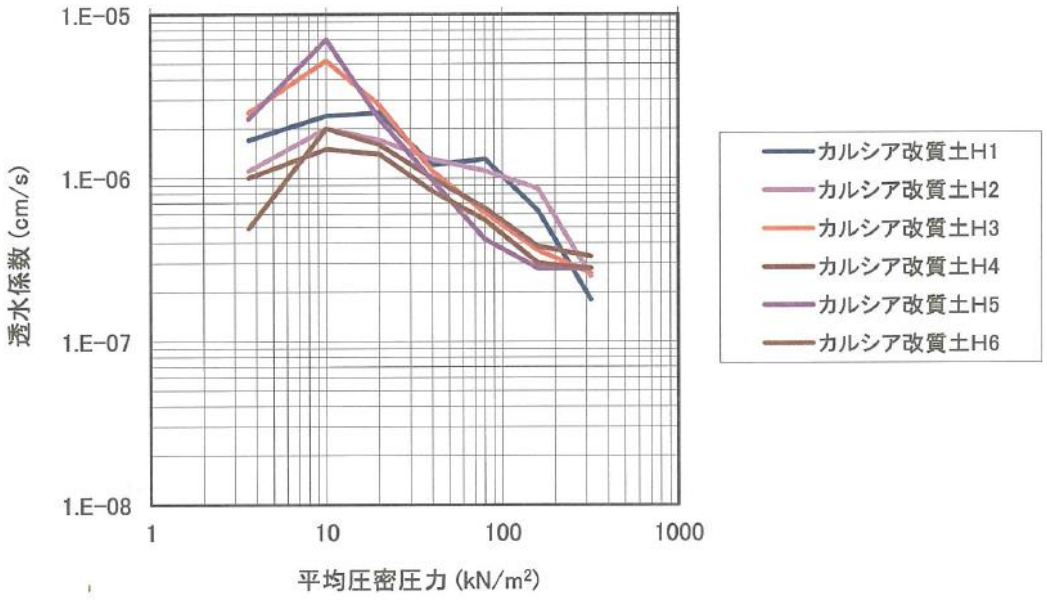


図 3.10.7　カルシア改質土の単位体積重量の例

c. 透水係数

同じ港湾区域で採取された 6 種類の浚渫土を用いた圧密試験より得られたカルシア改質土の透水係数の例を**図 3.10.8** に示す。カルシア改質土の透水係数は、10^{-7}～10^{-6}cm/s にあり、粘土～シルトの透水係数と同程度である。

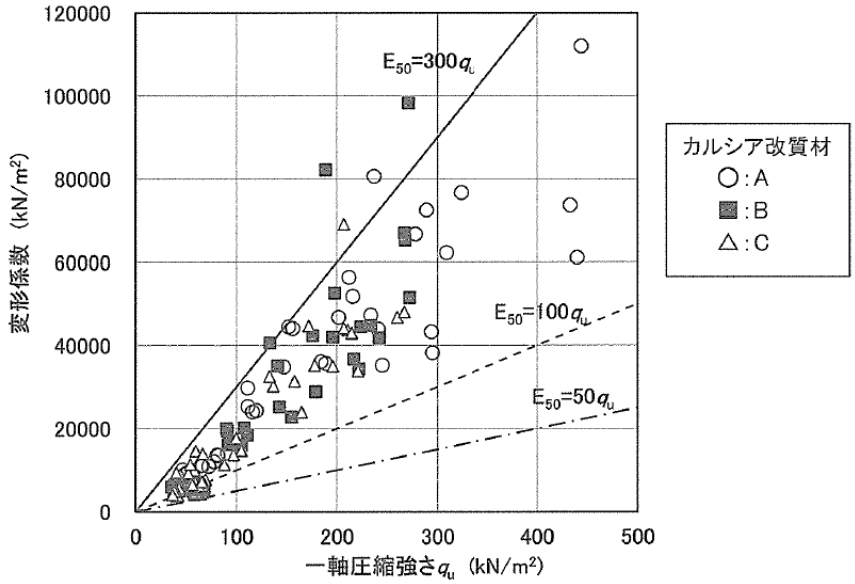


出典）港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 29 年 2 月）

図 3.10.8　カルシア改質土の透水係数の例

d. 変形係数

カルシア改質土の一軸圧縮強さと変形係数 E_{50} の関係の例は、**図 3.10.9** に示すとおりである。同図より、概ね E_{50}=(100～300) q_u の関係がみられ、他の工法により製造された混合土（軽量混合処理土、管中混合固化処理土）と同程度であることがわかる。

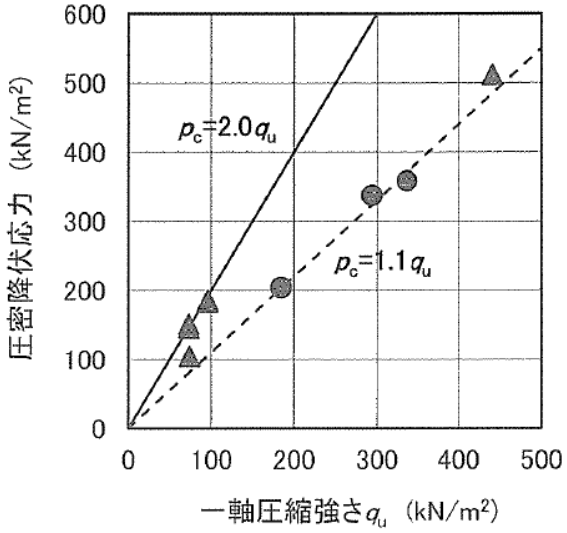


出典）港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 29 年 2 月）

図 3.10.9　カルシア改質土の一軸圧縮強さと変形係数の関係の例

e. 圧密降伏応力

カルシア改質土の一軸圧縮強さと圧密降伏応力の関係の例は、**図 3.10.10** に示すとおりである。同図より、p_c=(1.1～2.0) q_u の関係がみられ、他の工法により製造された混合土（軽量混合処理土、管中混合固化処理土）と同程度であることがわかる。

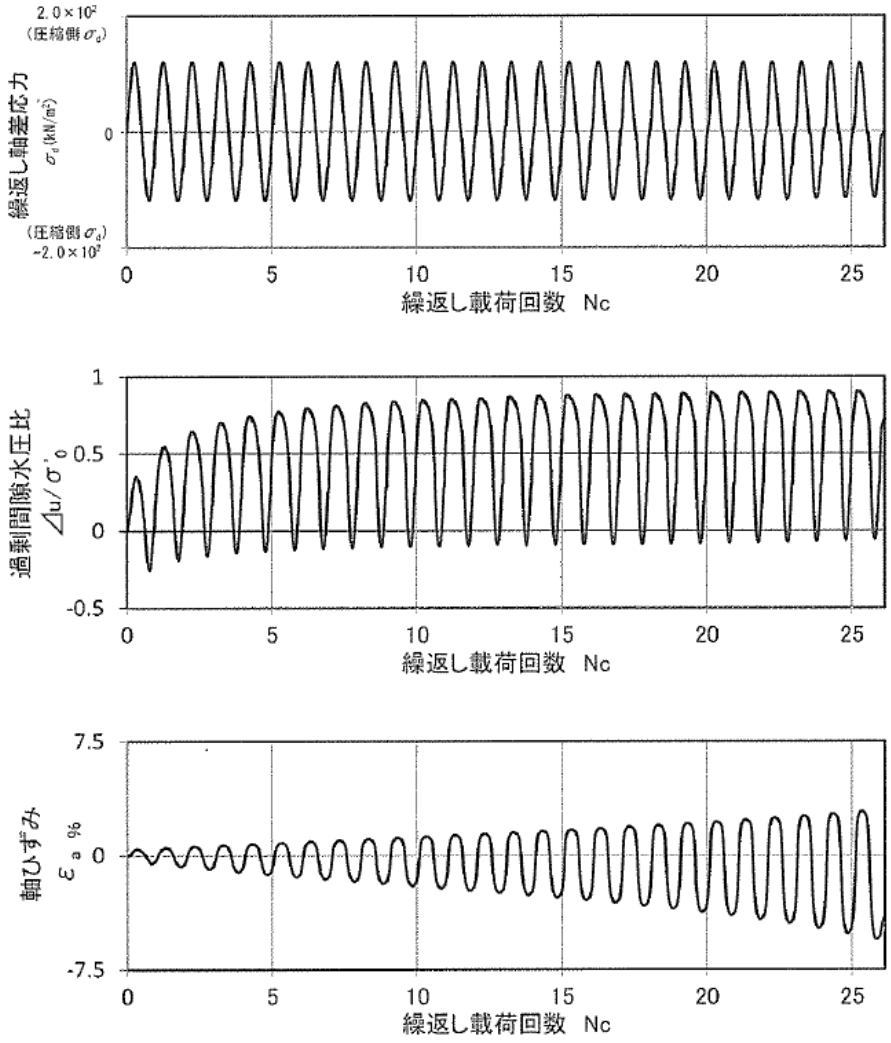


出典）港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 29 年 2 月）

図 3.10.10　カルシア改質土の一軸圧縮強さと圧密降伏応力の関係の例

f. 液状化特性

カルシア改質材の容積混合率 25%、一軸圧縮強さ 40kN/m² のカルシア改質土の繰返し三軸試験の結果は、**図 3.10.11** に示すとおりである。カルシア改質土は、液状化しない薬液注入による安定処理土と同様の動的挙動を示していることから、カルシア改質土は液状化しない材料とみなすことができる。



出典）港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 29 年 2 月）

図 3.10.11　カルシア改質土の繰返し三軸試験結果の例

g. 水浸膨張性

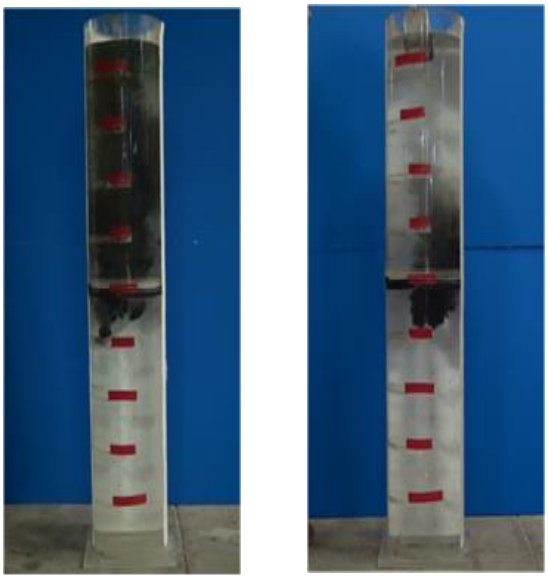
カルシア改質材は、水と反応して体積膨張する性質を有している。一方、カルシア改質土は、カルシア改質材単味と比較して、膨張量が大きく抑制される。

一般的なｃ材（カルシア改質材の容積混合率 30%以内）として利用する場合は、膨張性しない材料とみなすことができる。ただし、カルシア改質土が膨張することを特にさけなければいけない場合やカルシア改質材の混合率を 30%超とする場合は、カルシア改質土に膨張が生じないことを確認することが望ましい。

h. 濁りの抑制効果

軟弱な浚渫土はカルシア改質材を混合した直後に、カルシア改質材による吸水作用により強度（粘性）が増大する。これより、改良土は、混合直後の水中投入時においても、濁り発生が生じにくい。

図 3.10.12 に、カルシア改質土の水中落下時の汚濁抑制効果の確認試験結果を示す。実験は、内径 170mm、深さ 1m の円筒型水槽に海水を満たし、その水面上から、混合直後のカルシア改質土と浚渫土（比較材）をそれぞれ約 100cm^3 投入し、落下過程での濁りの発生状況を観察することにより行った。これより、カルシア改質土の汚濁抑制効果が確認できる。なお、本実験では、使用したカルシア改質土と浚渫土の投入時の流動性は、ほぼ同じシリンダーフロー値 13～14cm に調整した。



(a)浚渫土　　(b)カルシア改質土

出典）港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 29 年 2 月）

図 3.10.12　カルシア改質土の水中落下時の汚濁抑制効果の確認試験

また、実海域での底開バージ投入実験において、浚渫土と比べた濁り発生量原単位が 3 割程度まで抑制されることが確認されている。

施工後の濁り発生の抑制効果については、造波が可能な海域環境シミュレータを用いた実験で、浚渫土単味に比べて濁りが抑制されることが確認されている。

② 化学的性質

a. pH

カルシア改質材を単独で海に投入した場合には、成分であるカルシウムの含有率によっては海水の pH を上昇させ、さらには海水中のマグネシウムと水酸基が反応して生成した水酸化マグネシウムが析出し、白濁を生じさせる場合がある。これに対して、カルシア改質土では、カルシア改質材単味に比べて pH が低減されること、白濁発生が抑制されることが確認されている。

カルシア改質土の pH、白濁試験結果の例を**表 3.10.6** に示す。いずれのカルシア改質土においても、水質汚濁防止法の排水基準である pH9.0 を下回っていた。

表 3.10.6　pH・白濁試験結果

		カルシア改質土a	カルシア改質土b	カルシア改質土c	カルシア改質土d
pH測定値	30分後	8.3	8.3	8.3	8.3
	1時間後	8.3	8.3	8.3	8.3
	2時間後	8.2	8.2	8.3	8.3
	3時間後	8.2	8.2	8.2	8.2
	最　大	8.3	8.3	8.3	8.3
白濁の確認		なし	なし	なし	なし

※人工海水のpHの初期値は8.3に調整した。

出典）港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成29年2月）

b. 環境安全品質

「港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル」では、カルシア改質土の使用環境（人の立入りの可能性、再利用の想定等）に応じて、「水底土砂に係る判定基準」、「土壌汚染対策法溶出量基準」、「土壌汚染対策法含有量基準」のうち、使用環境で求められる基準を環境への安全性に対する照査基準として規定している。**表 3.10.7** は、カルシア改質土の溶出試験結果の例である。試験に用いたいずれのカルシア改質土についても、海洋汚染防止法の水底土砂に係る判定基準を下回る。また、浚渫土とカルシア改質材を混合することで溶出量が増大することも特に見られない。

表 3.10.7　改質土における有害物質溶出試験結果

測定の対象及び単位		測定結果				基準値
		改質土A	改質土B	改質土C	改質土D	
アルキル水銀化合物	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	未検出
水銀またはその化合物	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.005
カドミウムまたはその化合物	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.1
鉛またはその化合物	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1
有機りん化合物	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<1
六価クロム化合物	mg/L	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.5
ひ素またはその化合物	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.1
シアン化合物	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<1
PCB(ﾎﾟﾘ塩化ﾋﾞﾌｪﾆﾙ)	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.003
有機塩素化合物	mg/kg	<4	<4	<4	<4	<40
銅またはその化合物	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<3
亜鉛またはその化合物	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<5
ふつ化物	mg/L	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<15
トリクロロエチレン	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.3
テトラクロロエチレン	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.1
ﾍﾞﾘﾘｳﾑまたはその化合物	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<2.5
クロムまたはその化合物	mg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<2
ニッケルまたはその化合物	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<1.2
ﾊﾞﾅｼﾞｳﾑまたはその化合物	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<1.5
ジクロロメタン	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.2
四塩化炭素	mg/L	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.02
1,2-ジクロロエタン	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.04
1,1-ジクロロエチレン	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.2
ｼｽ-1,2-ｼﾞｸﾛﾛｴﾁﾚﾝ	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.4
1,1,1-ﾄﾘｸﾛﾛｴﾀﾝ	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<3
1,1,2-ﾄﾘｸﾛﾛｴﾀﾝ	mg/L	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.06
1,3-ｼﾞｸﾛﾛﾌﾟﾛﾍﾟﾝ	mg/L	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.02
チウラム	mg/L	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.06
シマジン	mg/L	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.03
チオベンカルブ	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.2
ベンセン	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.1
セレンまたはその化合物	mg/L	<0.002	0.003	<0.002	<0.002	<0.1
ダイオキシン類	pg-TEQ/L	0.0017	0.0020	0.0017	0.0071	<10

※改質土A,B,C,Dは、大阪湾にて採取した浚渫土に、高炉メーカー各社のカルシア改質材を混合したものである。

c. 生物安全性

カルシア改質土を用いた海産生物の急性毒性試験について、魚類（ヒラメ、マダイ）、甲殻類（ヨシエビ、クルマエビ）、貝類（クロアワビ）を対象として、主として**「魚介類水質環境基準検討調査総合報告書〔海産生物毒性試験指針〕」（水産庁、平成 12 年 3 月）**及び**「海産生物毒性試験指針」（水産庁、平成 22 年 3 月）**に準拠して実施されている。この結果、いずれの生物種についても毒性は認められなかった。

また、海産生物の生体内への有害物質の蓄積量を把握するための蓄積性試験について、魚類（ヒラメ）、甲殻類（ヨシエビ）、貝類（クロアワビ）を対象として実施されている。この結果、いずれの生物種についても有害物質の特異的な蓄積は認められなかった。

表 3.10.8　生物試験結果の例

【急性毒性試験】

生物分類	生物種	試験時間	試験結果	出典
①魚類	ヒラメ	96 時間	試験終了後にも死亡はみられない	1)
	マダイ	96 時間	試験終了後にも死亡はみられない	2)
②甲殻類	ヨシエビ	96 時間	試験終了後にも死亡はみられない	1)
	クルマエビ	96 時間	試験終了後にも死亡はみられない	2)
③貝類	クロアワビ	96 時間	試験終了後にも死亡はみられない	1)
	クロアワビ	96 時間	試験終了後にも死亡はみられない	2)
④藻類	スサビノリ※	16 日間以上	試験区と対照区で生長及び金属元素組成に差は認められない	3)
⑤その他	魚類、貝類、ヒトデ等※	28 日間	試験区と対照区で全ての魚介類に死亡はみられず、差は認められない	3)

【蓄積性試験】

生物分類	生物種	試験時間	試験結果	出典
①魚類	ヒラメ	60 日間	特異的な蓄積は認められない	1)
	ヒラメ※	4 か月	代謝蓄積の影響は非常に小さいと考えられる	3)
②甲殻類	ヨシエビ	60 日間	特異的な蓄積は認められない	1)
③貝類	クロアワビ	60 日間	特異的な蓄積は認められない	1)
	タカニシ※	不明	特異的な蓄積は認められない	3)
	アワビ※	10 週間	鉄がアワビに取り込まれる可能性が考えられる その他の金属は特異的な蓄積は認められない	3)
	マガキ※	不明	特異的な蓄積は認められない	3)
④藻類	―	―	（既存結果なし）	
⑤その他	キタムラサキウニ※	不明	特異的な蓄積は認められない	3)

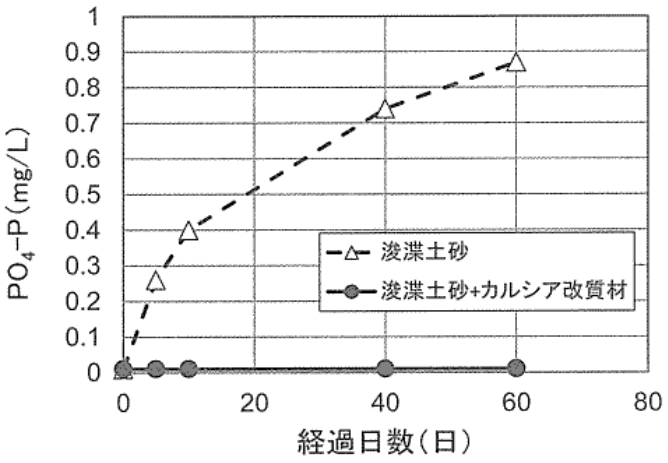
※ 転炉系製鋼スラグ単味での試験事例

出典　1)中国地方整備局による生物試験結果
　　2)カルシア改質土研究会資料
　　3)転炉系製鋼スラグ　海域利用の手引き（平成 20 年 9 月、社団法人　日本鉄鋼連盟）

d. 栄養塩等（リン、硫化物）の溶出抑制効果

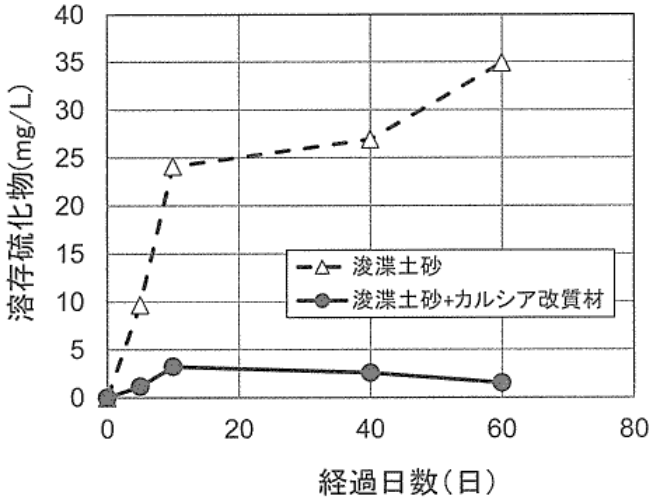
カルシア改質材には、鋼の製造過程において不要な成分であるリンや硫化物を除去するために投入した石灰が鉱物化せず、一部未反応の状態（遊離石灰）で存在している。この遊離石灰や固化作用により、浚渫土に含有されたリンや溶存硫化物等の富栄養化物質の溶出が抑制され、赤潮や青潮のもとになる富栄養化底質を改質・浄化する効果が期待できる。[1)]

このリンや溶存硫化物の溶出抑制試験結果を**図 3.10.13** 及び**図 3.10.14** に示す。実験は、浚渫土にカルシア改質材を容積混合率 50%で製造したカルシア改質土 100g をガラス瓶(容量１Ｌ)に入れた後に、人工海水 0.9Ｌを入れて溶出実験用の試料とした。同様に浚渫土のみのケースも行なった。これらの溶出実験用の試料は、密閉、光遮断、室温下の条件で放置した。その後、所定の日数でそれぞれの上澄み液を採水し、リン酸態リンと溶存態硫化物を測定した。これらの試験結果より、カルシア改質材を混合したことによる硫化物やリンの溶出抑制効果が確認できる。



出典）港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 29 年 2 月）

図 3.10.13 リン酸態リンの溶出抑制試験結果



出典）港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 29 年 2 月）

図 3.10.14 溶存硫化物の溶出抑制試験結果

【参考文献】

1）鉄鋼スラグ等の実海域適用に関する研究会：浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合材の海域利用のための技術マニュアル(案)、平成 29 年 3 月

2）（一財）沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル、平成 29 年 2 月

(4) 生物共生材

1) 物理・力学的性質

①配合

全国各地での使用事例で得られた溶存鉄濃度計測結果より、転炉系製鋼スラグと人工腐植土の配合比は、転炉系製鋼スラグが 50%以上、人工腐植土が 40%以上とされている。

②単位容積質量

上記の配合における単位容積質量は、概ね 2.1t/m^3 程度である。

2) 化学的性質

①pH

生物共生材の pH（海水溶媒、固液比 1:10）は、原料として用いる転炉系製鋼スラグの pH を炭酸化安定処理によって抑制していることから、水質汚濁防止法の排水基準で規定されている海域における水素イオン濃度である pH9.0 以下であり、海域への設置時にも海水の白濁が生じない。

②鉄分溶出性

藻場造成効果である鉄分溶出について溶出ポテンシャルを確保するため、これまでの全国各地の実験において実績のある製品の計測結果より、全重量に対して 0.3%以上の可溶性鉄分の含有があることが品質として定められている。

3) その他の性質

①環境安全性

海域へ設置されるものであり、かつ、原料となる転炉系製鋼スラグは高温で処理をされるという観点から、海洋汚染防止法における水底土砂基準のうち、カドミウム、鉛、六価クロム、ひ素、水銀、セレン、ふっ素の 7 項目に対して安全性の確認が行われている。

原料として使用する転炉系製鋼スラグは、JIS A 5032 で規定される「道路用溶融スラグ」以上の高温で処理されることから、有機物やダイオキシン類は「道路用溶融スラグ」と同様に分解され、成分中に含有することはない。「道路用溶融スラグ」は「溶融固化物」とも呼ばれ、1,200℃以上の高温条件において焼却灰が過熱・溶融され、冷却固化したもので、有機物は熱分解、ガス化、燃焼し、無機物がスラグ化したものである。したがって、転炉系製鋼スラグの重金属の溶出については、「道路用溶融スラグ」と同様にカドミウム、鉛、六価クロム、ひ素、水銀、セレン、ふっ素、ホウ素の 8 種類を確認すればよいこととなる。このうち、海水中に豊富に存在するホウ素は「水底土砂に係る判定基準」では規定されないことから、ホウ素を除く 7 項目について安全性を確認することとしている。

溶出試験結果の例を、**表 3.10.9** に示す。

表 3.10.9　溶出試験結果の例

分析対象	単位	計量値結果	定量下限値	基準値
水銀またはその化合物	mg/L	不検出	0.0005	0.005
カドミウムまたはその化合物	mg/L	不検出	0.001	0.1
鉛またはその化合物	mg/L	不検出	0.005	0.1
六価クロム化合物	mg/L	不検出	0.02	0.5
ひ素またはその化合物	mg/L	不検出	0.005	0.1
ふっ化物	mg/L	0.4	0.1	15
セレンまたはその化合物	mg/L	不検出	0.002	0.1

②生物安全性及び食品安全性

以下に、生物安全性に関する試験結果の例（急性毒性試験結果の例）、及び食品安全性に関する試験結果の例を示す。

「魚介類水質環境基準検討調査総合報告書　〔海産生物毒性試験指針〕　水産庁　平成 12 年 3 月」に準拠し実施した。

試験原液は、**JIS K 0058-1 スラグ類の化学物質試験方法－第 1 部：溶出試験方法**に準じ、試験溶媒は濾過海水を使用し、試料と溶媒の重量体積比 1：10 とした。試験区は 1 試験区あたり 10 個体（クルマエビは 20 個体）の供試体を入れたものを試験原液濃度 0%区、25%区、50%区、75%区、100%区の 5 つ設置し、24 時間毎に試験液を入れ替えた。試験開始後は 1 時間後、3 時間後、6 時間後、24 時間後、48 時間後、72 時間後、96 時間後に累積斃死数と累積斃死率及び試験個体の観察を行った。試験結果を**表 3.10.10** に示す。

表 3.10.10　生物安全性に関する試験結果の例

a）マダイの各試験時間における累積斃死数と累積斃死率

試験水濃度（%）	開始時	1 時間後	3 時間後	6 時間後	24 時間後	48 時間後	72 時間後	96 時間後
0（対照区）	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)
25	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)
50	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	1/10(　10)
75	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)
100	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)

注）1. 左側の分母は供試体個数、分子は累積斃死数、右側の（）内には累積斃死率（%）を各々示した。

2. 50%区における 96 時間後の斃死個体は両眼球欠損、腹部下面損傷のため個体間の闘争によると判断した。

b）クロアワビの各試験時間における累積斃死数と累積斃死率

試験水濃度（%）	開始時	1 時間後	3 時間後	6 時間後	24 時間後	48 時間後	72 時間後	96 時間後
0（対照区）	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)
25	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)
50	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)
75	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)
100	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)

注）左側の分母は供試体個数、分子は累積斃死数、右側の（）内には累積斃死率（%）を各々示した。

c）クルマエビの各試験時間における累積斃死数と累積斃死率

試験水濃度（%）	開始時	1 時間後	3 時間後	6 時間後	24 時間後	48 時間後	72 時間後	96 時間後
0（対照区）	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)
25	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)
50	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)
75	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)
100	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)	0/10(　0)

注）左側の分母は供試体個数、分子は累積斃死数、右側の（）内には累積斃死率（%）を各々示した

d）ノリ芽の各試験時間における枚数

試験水濃度（%）	ノリ芽枚数			
	24 時間後	48 時間後	72 時間後	96 時間後
0 対照区	753	407	504	796
25	588	297	415	756
50	682	432	511	588
100	560	926	625	771

注）1. 表中のノリ芽枚数は試験糸 10cm あたりの値を示す。

2. 付着ノリ芽枚数のばらつきは、観察に供した試験糸をその後の観察に用いず毎回別の試験糸を観察したためであり、試験物質の影響によるものではない。

藻場造成用鉄分供給ユニット(6t)を設置した海域（北海道増毛町）に生息している海藻・生物に対して、食品としての安全性に問題が無いかを確認した事例を**表 3.10.11** に示す。

表 3.10.11　食品安全性に関する試験結果の例

分析値 / 分析項目	コンブ		ウニ		公的基準
	実験海域	対照海域	実験海域	対照海域	
鉄	31.9	163	5.2	9.6	―
ひ素（有機）	15	17	3.6	3.9	―
鉛	0.06	0.09	<0.05	<0.05	0.3mg/kg コーディックス委員会の基準値
カドミウム	0.04	0.06	<0.01	0.04	1.0mg/kg コーディックス委員会の基準値
総水銀	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.4ppm（うち、メチル水銀＜0.3ppm のこと） 旧厚生省の「魚介類の水銀の暫定規制値」
セレン（μg/100g）	<5	<5	19	14	―
総クロム	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	―

3.10.3 加工・改良技術

(1) 軟弱な浚渫土にカルシア改質材を混合し物理的、化学的性状を改質することによりカルシア改質土が製造される。

(2) カルシア改質土は、連続式ミキサー混合、管中混合、バックホウ混合等の現在実用化されている工法を用いて製造することができる。

（解説）

(1)について

軟弱な浚渫土の改良は、カルシア改質材を混合することにより行われ、改良により形状安定性及び安全性が向上した浚渫土は、「環境省環境技術実証事業（ETV）」にて、環境負荷に配慮した干潟・浅場造成に適用可能な材料であると評価されている。

カルシア改質土の製造方法を**図 3.10.16** に、改良土を構成する主な材料とその役割を**表 3.10.12** に示す。

図 3.10.15　カルシア改質土のイメージ

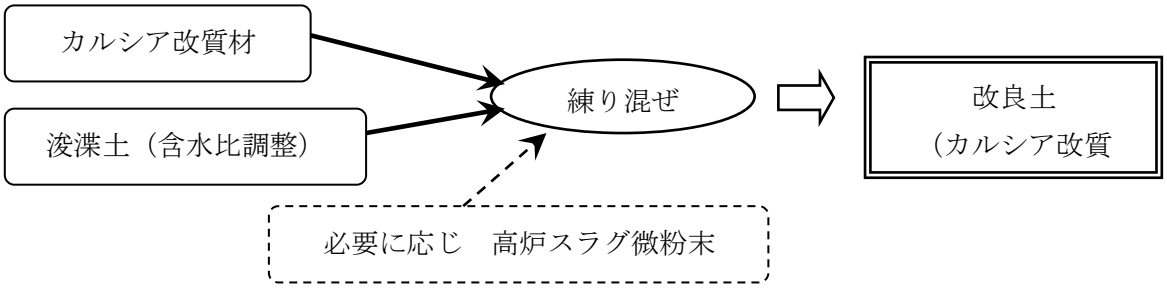


図 3.10.16　カルシア改質土の製造方法

表 3.10.12　主な材料の役割

材料の種類	作用　／　役割
カルシア改質材	浚渫土のシリカ分とカルシア改質材からの遊離石灰（f-CaO）が水和固化して、カルシウムシリケート系水和物（C-S-H）やカルシウムアルミネート系水和物（AFm）が形成されて固化する。
浚渫土	
高炉スラグ微粉末	強度増進材として必要に応じて使用する。

なお、改良土の強度特性は、使用する材料や混合率、フロー値、材齢などにより大きく異なる。そのためカルシア改質土を用いて施工を行う場合は、必ず配合試験を実施して強度特性を把握する必要がある。

(2)について

カルシア改質土は、浚渫土とカルシア改質材の混合材料であり、混合プロセスにより製造される。

混合工法の選定にあたっては、施工規模や投入水深などの地理的条件、要求品質の他、浚渫土の状態（解泥や加水の必要性）や受入サイクルに対応する施工能力により、コストを考慮した最適な工法を選定する必要がある。

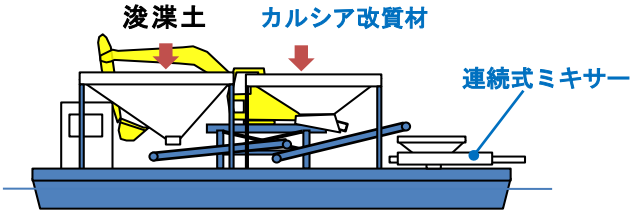
最も重要なことは、施工対象ごとに設定される要求品質を満足する改質土を製造することが可能な工法を選択することである。各工法の特徴と適用範囲を以下に示す。

a)連続式ミキサー混合工法

連続式ミキサー混合工法とは、作業台船上で連続式ミキサーにて、浚渫土とカルシア改質材を混合する工法である。

専用船でなく台船上にプラントを艤装することができるため、各設備を調整することで小規模から大規模まで施工を行うことができる。

適用場所については、埋立や埋め戻しなどの他、潜堤や護岸の裏込めなど要求品質が高い場所においても適用することができる。



出典）港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 29 年 2 月）

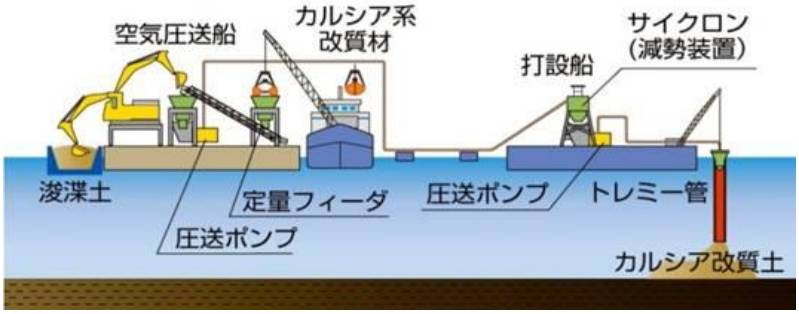
図 3.10.17　連続式ミキサー工法

b) 管中混合工法

管中混合工法は、空気圧送管内で発生するプラグ流による乱流効果を利用して、浚渫土とカルシア改質材を、圧送中に混合する工法である。

空気圧送船を用いることで、大規模施工に適した方法である。なお、浚渫土の含水比が低い場合には管の閉塞が生じるため、必要に応じて浚渫土の含水比調整を行う。カルシア改質材はベルトコンベアなどでの添加となり、空気圧送船にカルシア改質材供給用のベルコンを別途艤装するか、リクレーマ船や艤装台船などを使用する。

適用場所については、埋立や埋め戻しなどの他、潜堤や護岸の裏込めなど要求品質が高い場所においても適用することができる。



一般的なセメントを用いた管中混合工法では、セメントを固化材供給船からスラリー添加を行えるが、カルシア改質材の場合は、別途ベルトコンベアなどでの添加となり、リクレーマ船の使用や艤装台船などが必要となる。

出典）港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 29 年 2 月）

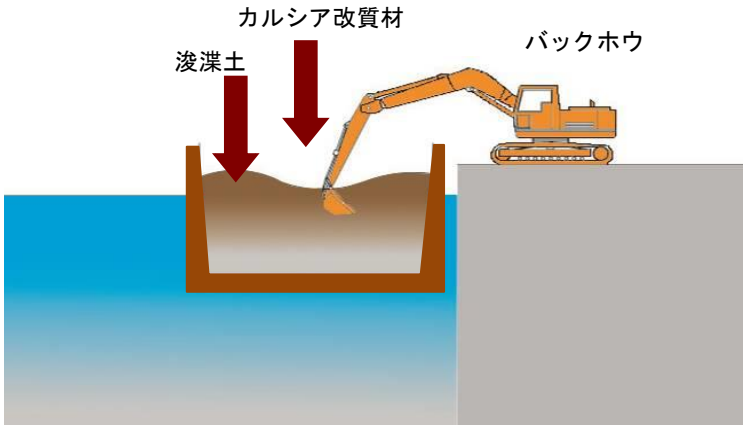
図 3.10.18　管中混合工法

c)バックホウ混合工法

バックホウ混合工法は、土運船内の浚渫土にカルシア改質材を投入して、バックホウにより混合する工法である。

土運船内における混合は、岸壁からバックホウにより行う場合と、バックホウを艤装した台船の舷側に着けて行う場合があるが、バックホウのバケットが泥倉底面まで届くように、施工条件や施工コストに配慮したバックホウを選定する。また、バックホウの規格によっては、撹拌用アタッチメントの装着により、混合精度を上げることができる。

適用場所については、深掘れ箇所埋め戻しや浅場・干潟、潜堤築造などに適用することができる。



出典）港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成29年2月）

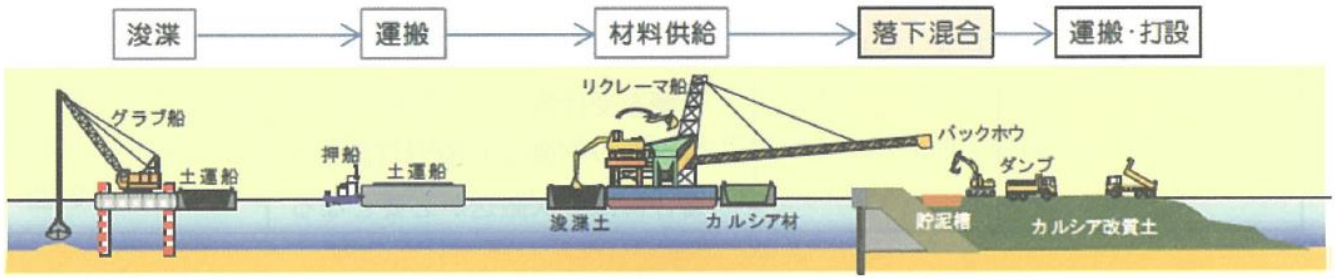
図 3.10.19　バックホウ混合工法

d)落下混合工法

落下混合工法は、リクレーマ船のベルトコンベアの乗継ぎやスプレッダからの落下時の衝撃により、浚渫土とカルシア改質材を混合する工法である。

落下時の衝撃で混合するため、混合精度は、浚渫土の性状（硬軟など）に応じて落下高さや落下場所の工夫（斜板設置など）で調整する。落下混合工法では護岸の裏埋め部などに直接に落下させて法肩流下で打設する方法や、護岸背面部に落下させてダンプなどで運搬・打設する方法がある。

適用場所については、埋立や埋め戻しなどの大規模施工に適用することができる。



出典）港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成29年2月）

図 3.10.20　落下混合工法

3.10.4 適用用途

(1) 概要

鉄鋼スラグ水和固化体、鉄鋼スラグ炭酸固化体、浚渫土改質材及び生物共生材を利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体、鉄鋼スラグ炭酸固化体、浚渫土改質材及び生物共生材）を各用途に利用する場合の評価を行った結果を、それぞれ**表 3.10.13～表 3.10.16** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.10.13　鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体に要求される性能の照査や、材料と配合、製造、検査、維持管理などに関する事項を記載。 ・利用用途として、異形ﾌﾞﾛｯｸ、根固方塊、捨ﾌﾞﾛｯｸ、上部工などの無筋ｺﾝｸﾘｰﾄ代替材および捨石などの石材代替材が挙げられている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・泊地等潜堤築造等工事（国交省） ・航路護岸他付帯等工事（試験施工）（国交省） ・航路付帯工事（国交省） ・基礎工事（管理者、国交省）	1)
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体に要求される性能の照査や、材料と配合、製造、検査、維持管理などに関する事項を記載。 ・利用用途として、異形ﾌﾞﾛｯｸ、根固方塊、捨ﾌﾞﾛｯｸ、上部工などの無筋ｺﾝｸﾘｰﾄ代替材および捨石などの石材代替材が挙げられている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・航路護岸他付帯等工事（国交省） ・護岸工事（管理者） ・根固工事（その他機関） ・被覆工事（国交省、その他機関） ・消波工事（その他機関）	1)
⑩	裏込材	○＋	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)100～1,000mm程度（割ぐり石状）の鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材について、準硬石相当の割ぐり石の代替として裏込石及び傾斜護岸材への使用が記載されている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・護岸工事（管理者）	2)
⑪	裏埋材	○＋	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・裏込材の利用マニュアル及び実績を基に、利用検討が可能と考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・護岸工事（国交省）	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	△	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)天然石と同等の品質を有し、非液状化材料であること、海域で使用する場合において、周辺環境のpHへの影響がない、藻場・緩傾斜護岸に適用する場合において、天然石材と同等の生物付着性を有することを確認。準硬石相当の天然石材の代替材として盛土材（中仕切り堤含む）への適用が可能。	－	●利用実績なし	2)
⑬	埋立材	○＋	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)300mm程度以下（砂礫状）の鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材について、砂岩ずりの代替として非液状化埋立材（中仕切堤含む）への使用が記載されている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・滑走路建設工事（国交省）	2)
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	◎ （浅場，藻場）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体に要求される性能の照査や、材料と配合、製造、検査、維持管理などに関する事項を記載。 ・海洋環境下における生物付着性に関する調査・評価を記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・藻場ブロック工事（国交省、管理者） ・空港の浅場造成工事（国交省） ・浅場潜堤築造工事（国交省） ・藻場造成工事（管理者）	1)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)鉄鋼ｽﾗｸﾞ水和固化体技術ﾏﾆｭｱﾙ(改訂版)((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成20年2月)
2)港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第07001号鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材（(一財)沿岸技術研究センター、平成19年1月、平成29年11月更新）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.10.14　鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ炭酸固化体）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	○＋ （藻場）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体の材料、水理特性、施工上の取り扱いについて記載。 ・海藻、ｻﾝｺﾞ着生基盤としての鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体の特性について、他の材料比較や生物着生機能に係わる特性が解説されている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・藻場造成（管理者、その他機関） ・サンゴ造成（その他機関）	1)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)鉄鋼ｽﾗｸﾞ炭酸固化体利用ﾏﾆｭｱﾙ-藻場・ｻﾝｺﾞ礁の再生に向けて-((財)港湾空間高度化環境研究センター 藻場着生基盤技術研究会委員会、2004年3月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.10.15　鉄鋼スラグ二次製品（浚渫土改質材）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・泊地浚渫工事試験施工（国交省）	
⑩	裏込材	△ （改質土）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・2)港湾・空港工事等における土工用材（埋立材等）として活用可能とされ、材料の品質、土質特性、試験、性能照査、環境への安全性に対する照査、配合設計・配合試験、施工等について記載。 ・5)岸壁裏込材への適用の可能性が示されている。	－	●利用実績なし	2) 5)
⑪	裏埋材	△ （改質土）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)適用用途として腹付け裏埋材が挙げられ、材料の品質、土質特性、試験、性能照査、環境への安全性に対する照査、配合設計・配合試験、施工等について記載。	－	●利用実績なし	2)
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	△ （改質土）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・2)港湾・空港工事等における土工用材（埋立材等）として活用可能とされ、材料の品質、土質特性、試験、性能照査、環境への安全性に対する照査、配合設計・配合試験、施工等について記載。 ・5)盛土材への適用の可能性が示されている。	－	●利用実績なし	2) 5)
⑬	埋立材	○＋ （改質土）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)適用用途として埋立材が挙げられ、材料の品質、土質特性、試験、性能照査、環境への安全性に対する照査、配合設計・配合試験、施工等について記載。 ・3)管中混合工法による海面埋立工事を実施し、セメント固化処理土同様の手法で配合設計が可能であること、静的コーン貫入試験や表面波探査により造成地盤全体が目標強度を達成していること等が確認された。【査読有り】	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・ふ頭航路泊地浚渫工事（国交省） ・埋立工事（国交省、その他機関）	2) 3)
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	○＋ （藻場,浅場・干潟,覆砂）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)適用用途として浅場・干潟基盤材、土留め潜堤材、腹付材、覆砂材、窪地埋戻し材が挙げられ、品質管理と要求性能、試験施工・本施工、留意事項等について記載。 ・2)適用用途として浅場・干潟基盤材、土留め潜堤材、底質改善用覆砂材、浚渫窪地埋戻し材が挙げられ、材料の品質、土質特性、試験、性能照査、環境への安全性に対する照査、配合設計・配合試験、施工等について記載。 ・4)製鋼ｽﾗｸﾞと改質土の混合材を用いた藻場造成・水質改善技術に係る実証実験が行われている。 ・5)6)藻場造成材、浅場造成(蒿上げ)材、覆砂材などへの適用が記載し、混合材に要求される性能とその照査方法を規定。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・海洋環境整備事業（国交省） ・藻場造成（その他機関） ・浅場造成（その他機関）	1) 2) 4) 5) 6)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合材の海域利用のための技術マニュアル(案)（鉄鋼スラグ等の実海域適用に関する研究会、平成29年3月）
2)港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成29年2月）
3)カルシア改質土の管中混合工法による海面埋立（土木学会論文集B3,Vol.69,No.2,p.Ⅰ_952-Ⅰ_957,2013）
4)製鋼ｽﾗｸﾞを用いた藻場造成・水質改善技術(JFEｽﾁｰﾙ(株)、JFEﾐﾈﾗﾙ(株)：環境省ETV事業(平成21年5月)）
5)転炉系製鋼ｽﾗｸﾞ海域利用の手引き((社)日本鉄鋼連盟、平成20年9月）
6)同上別冊：転炉系製鋼ｽﾗｸﾞと浚渫土との混合改良工法技術資料((社)日本鉄鋼連盟、平成20年9月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.10.16　鉄鋼スラグ二次製品（生物共生材）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	○ （藻場）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・1)製造方法、使用方法、規格（配合、溶出安全性、ｐＨ、鉄分溶出性）及び検査方法等について記載。 ・2)磯焼け対策（栄養塩の供給）の事例として、効果（海藻の現存量の推移、海水中の溶存酸鉄の濃度の推移等）について記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・海洋環境整備事業（国交省） ・防波堤整備事業（国交省） ・藻場造成工事（国交省）	1) 2)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)漁場造成・再生用資器材の技術審査・評価報告書　第22001号（ビバリーユニット）（平成22年7月、（社）全国水産技術者協会）
2)改訂　磯焼け対策ガイドライン（平成27年3月、水産庁）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) 捨石、被覆石・根固・消波ブロック、裏込材、埋立材（鉄鋼スラグ水和固化体）

鉄鋼スラグ水和固化体を破砕して製造した鉄鋼スラグ水和固化体製人工石は、港湾・空港用埋立材として粒径を 300㎜ 程度以下に調整した砂礫状のものや、捨石・被覆石・根固・消波ブロック、裏込材への利用として粒径を 100㎜～1,000㎜ 以上とした割ぐり石状またはブロック状のものがある。

捨石、被覆石、裏込材、埋立材は、準硬石相当の天然石材代替材として利用できる。また、根固・消波ブロックは、セメントコンクリート代替材として利用できる。

適用に当たっては、以下の利点がある。

- 準硬石相当の天然石材と同等の品質を有する。また、品質管理された工業製品のため、品質のばらつきが少ない。使用目的に応じて、大きさを任意に変えることもできる。
- 高い密度を有するため、波浪安定性に優れる。
- 10%通過粒径が大きいことで透水性が大きく、非液状化材料である。
- 周辺海域の pH への影響がない。
- 施工性に関しては、従来の石材、コンクリートブロックと同等であり、製造後の運搬や保管等も従来材と同等に扱うことができる。

利用に当たっては、利用者は、供給側と協議の上、使用目的に応じて必要な品質管理を行うこととする。また供給量について、事前に確認することとする。

(3) 裏埋材（鉄鋼スラグ水和固化体）

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石を裏埋材に使用する場合は、天然材の代替として利用することができる。ただし、加工費用がかかるため、一般的には製鋼スラグ単味で利用するほうが有利である。

(4) 埋立材（浚渫土改質材）

「港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル」において、カルシア改質土の適用用途として、埋立材が挙げられている。

カルシア改質土を埋立材に使用した場合の特長を以下に示す。

- 浚渫土のみの場合に比べて強度発現が早く圧密沈下も小さくなるため、ドレーン工や載荷盛土工が不要で埋立工期の短縮が可能である。
- 特に早期に強度発現が必要となる護岸背面の裏埋部や非液状化層に部分的に適用することが効果的である。

詳細な事項については、**「港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル」**を参照することができる。また、巻末に示す参考文献 19)～25)を参考とすることができる。

(5) 藻場、浅場・干潟造成、覆砂材

1) 鉄鋼スラグ水和固化体

鉄鋼スラグ水和固化体を破砕して製造した鉄鋼スラグ水和固化体製人工石の藻場、浅場への適用は、**「鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル」**を参考とすることができる。

「鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル」では、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石を海洋環境下に暴露した際の付着生物は、質量、種類ともにコンクリートよりも多いとしている。また、試料表面の海水 pH は、鉄鋼スラグ水和固化体では暴露初期から対照区の海水と同じであるが、コンクリートでは暴露初期に高い結果が得られている。

付着生物が多い理由として、鉄鋼スラグ水和固化体は、主な材料である製鋼スラグ中に生物の生育に必須の元素である Fe、Si などを含むこと、また、アルカリ成分の溶出が小さいために生物育成を阻害しないことが挙げられる。よって、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石は、藻場、浅場造成に優れた材料といえる。

適用に当たっては、以下の利点がある。

・炭酸カルシウムで被覆され、さらに多孔質であるため、生物付着性に優れる。
・施工性に関しては、従来の石材、コンクリートブロックと同等であり、製造後の運搬や保管等も従来材と同等に扱うことができる。

鉄鋼スラグ水和固化体の藻場、浅場への活用の優位性は示されているが、海域環境により実績と異なる可能性もあるため、長期的なモニタリング等で状況を把握することが望ましい。

2) 鉄鋼スラグ炭酸固化体

鉄鋼スラグ炭酸固化体の藻場造成への利用は、**「鉄鋼スラグ炭酸固化体　利用マニュアル」**を参考とすることができる。

「鉄鋼スラグ炭酸固化体　利用マニュアル」では、鉄鋼スラグ炭酸固化体の生物着生効果がコンクリートや天然岩礁に比べてどのような特性を持つかを検証するため、実海域での評価試験を実施している。これによれば、鉄鋼スラグ炭酸固化体はコンクリートと比較して同等以上の海藻・サンゴ着生が認められている。

鉄鋼スラグ炭酸固化体は、ブロック表面だけでなく、気孔内部まで海中で安定な炭酸カルシウムに被覆されている。この炭酸カルシウムは、貝殻やサンゴと同じ成分であるため、生物親和性が高い。さらに多孔質であるため、生物の付着に好ましい特性を有している。

適用に当たっての利点としては、以下が挙げられる。

・炭酸カルシウムで被覆され、さらに多孔質であるため、生物付着性に優れる。
・施工性に関しては、従来の石材、コンクリートブロックと同等であり、製造後の運搬や保管等も従来材と同等に扱うことができる。

鉄鋼スラグ炭酸固化体の藻場活用への優位性は示されているが、海域環境により実績と異なる可能性もあるため、長期的なモニタリング等で状況を把握することが望ましい。

3) 浚渫土改質材

「港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル」において、カルシア改質土の適用用途として、浅場・干潟基盤材、土留め潜堤材、覆砂材及び深掘れ箇所埋め戻し材が挙げられている。

カルシア改質土をこれらの用途に使用した場合の特長及び留意点を以下に示す。詳細な事項については、**「港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル」**を参照することができる。

【浅場・干潟基盤材】

・経時的に硬化するため、波浪や沈下に対して安定なマウンド基盤の構築が可能である。

・打設時に法勾配を保持させることが可能なため、海中で傾斜地盤の造成が可能である（勾配は配合により異なる）。

【土留め潜堤材】

・配合と施工法によっては、カルシア改質土を土留め潜堤として活用することが可能であり、その場合は吸出し防止工の省略や地盤沈下の低減が可能である（波あたりの強い場所では、補助工として被覆石などが必要となる場合がある）。

【覆砂材】

・カルシア改質土は、富栄養化した底質を封じ込める目的の覆砂代替材としての活用が可能である。

・ただし、硬化するため海底生物がカルシア改質土内に潜ることはできないので生物生息場とする場合は、天然砂での覆砂の検討が必要である。

【深掘れ箇所埋め戻し材】

・青潮の発生箇所となっているような窪地の埋め戻し材として最適である（硫化物溶出抑制効果あり）。

・既に深掘れ箇所内へ浚渫土単独で埋め戻しを実施している場所においても、覆砂材と同様に表層の蓋材（埋めた浚渫土の封じ込め材）としてカルシア改質土を活用可能である。

【既存工事における検討事項】

・浚渫土とスラグを管中混合処理により混合投入する場合は、物理試験、有害物質等の試験の実施により材料の確認を行うとともに、環境改善効果のモニタリングとして、水質調査、底生生物調査を実施した。（環境改善試験工事）

4) 生物共生材

藻場造成用鉄分供給ユニットは、汽水域、海水域における使用を前提に開発されたものである。使用方法は海水中で散逸せず、かつ海水へ鉄分が的確に供給されるように、透水性を有する袋または容器に藻場造成用鉄分供給ユニットを入れ、海に沈設あるいは埋設する。

具体的には原料を混合したものをヤシ繊維製の袋に入れ、海域との通水が有る汀線部地盤に埋設する方法や、藻場造成用鉄分供給ユニットを透水性の袋に入れて拡散を防止した上で、波浪に対する安定性を考慮して開口部を有する鋼製箱に充填して海水中に沈設する方法等がある。

また、使用する場合には、藻場造成用鉄分供給ユニットの周辺に海藻の着生基質となる岩礁やコンクリートブロックまたは鉄鋼スラグ水和固化体製ブロック・人工石が存在することが必須であり、その際には基質と藻場造成用鉄分供給ユニットの距離をできるだけ近くする必要がある。

藻場造成用鉄分供給ユニットの特性について、現在得られている知見を示す。なお、詳細な事項については**「漁場造成・再生用資器材の技術審査・評価報告書 第 22001 号　鉄分供給ユニット」**を参考とすることができる。

① 期待される効果

藻場造成用鉄分供給ユニットは、従来森林の落ち葉等が発酵してできた腐植土中の腐植酸（フルボ酸、フミン酸等）が、土中の鉄分と結びついて腐植酸鉄（二価鉄イオン）となり、河川を通じて海へ供給されるという自然のサイクルを人工的に再現すること目的としている。

鉄分の含有量が豊富で、かつ持続的、安定的に鉄分を供給することができる転炉系製鋼スラグと、自然の草木を原料とし、安定的な腐植酸含有量を持つ人工腐植土を混合することで、転炉系製鋼スラグ中の鉄分を、人工腐植土中の腐植酸（フルボ酸、フミン酸）がキレート化して人工的に腐植酸鉄を作り出し、それを海域に設置することにより、安定的に溶存鉄を海中に供給することが可能となる。

② 腐植酸鉄供給能力について

藻場造成用鉄分供給ユニットからの腐植酸鉄溶出能力は、室内実験により明らかになっている。

実験は、転炉系製鋼スラグ、人工腐植土、または転炉系製鋼スラグと人工腐植土の混合品から人工海水に溶出した鉄分濃度の測定を行ったものである。鉄分溶出量の累積曲線を**図 3.10.21** に示す。転炉系製鋼スラグのみでは溶出液量比 100 程度までの初期の鉄分溶出量が少なく、溶出液量比 300 で 38mg-Fe/kg に留まった。人工腐植土のみでは初期より鉄分溶出が生じ、溶出液量比 300 で転炉系製鋼スラグのみの場合の 2 倍以上に相当する 82mg-Fe/kg の鉄分溶出が観察された。これに対し、転炉系製鋼スラグと人工腐植土を混合した藻場造成用鉄分供給ユニットの場合は初期の鉄分溶出も人工腐植土単独なみに高く、溶出液量比 150 で 130mg-Fe/kg となり、混合により鉄分溶出が高まる結果が得られた。

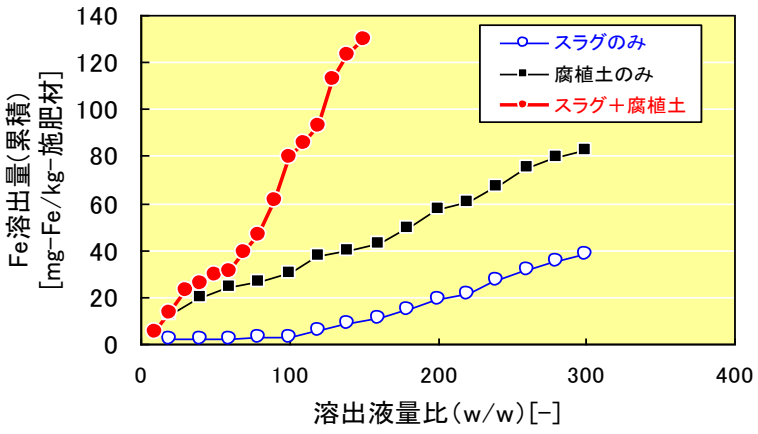


図 3.10.21　各材料の二価鉄溶出特性

③ コンブ藻場の復元効果について（実海域試験による確認）

藻場造成用鉄分供給ユニットにより、磯焼けした北海道日本海側の海域におけるコンブ藻場の復元が確認されている。

平成 16 年 10 月に、北海道増毛町舎熊海域の汀線部に藻場造成用鉄分供給ユニットを埋設した実験区Ａ、転炉系製鋼スラグのみを埋設した実験区Ｂ、及び対照区が設置された。実験区設置から 8 ヵ月後の平成 17 年 6 月には、対照区の約 220 倍にのぼるコンブ生育が確認された。また、1 本あたりの湿重量も対照区の 7.5 倍となっていた。更に翌年の平成 18 年 6 月になると**図 3.10.22** のような海藻着生分布となり、**図 3.10.23** にあるように単位面積当たりのコンブの湿重量も 1 年目と比較して実験区 A で 30 倍以上となり、その影響は対照区にも及んだ。

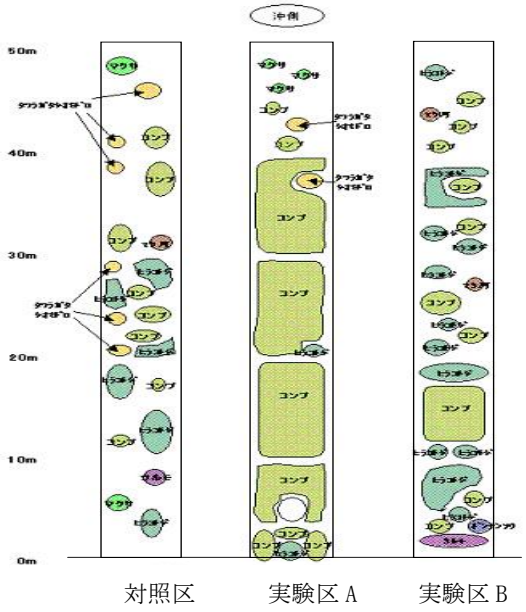


図 3.10.22　1 年 8 ヶ月経過後の各実験区の海藻着生状況

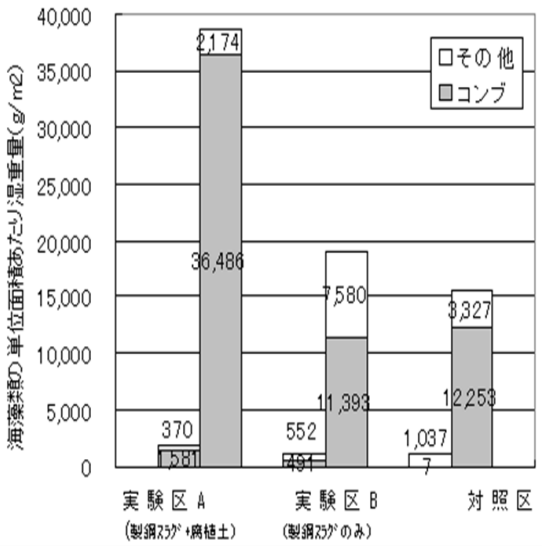


図 3.10.23　コドラート調査結果

(6) 今後の検討を要する用途

1) 裏込材（浚渫土改質材）

「転炉系製鋼スラグ　海域利用の手引き」において、岸壁裏込材等への適用の可能性が示されている。

岸壁の裏込材として製鋼スラグを適用する場合には、スラグの膨張による悪影響が生じることのないように、対策を講じる必要があるが、浚渫土と混合してカルシア改質土として使用することにより、製鋼スラグの膨張が圧密特性を有する浚渫土により吸収されて緩和することがわかっている。一般的なｃ材（カルシア改質材の容積混合率 30%以内）として利用する場合は、膨張しない材料とみなすことができる。ただし、性状の確認できていない転炉系製鋼スラグをカルシア改質材に適用する場合や、カルシア改質材の混合率を 30%超とする場合は、カルシア改質土に膨張が生じないことを確認することが望ましい。

2) 裏埋材（浚渫土改質材）

「港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル」において、カルシア改質土の適用用途として、腹付け裏埋材が挙げられている。特に、早期に強度発現が必要となる護岸背面への適用が効果的であり、適用により吸出し防止工の省略が可能となる。また、中仕切り堤の腹付材についても、適用用途として挙げられている。

3) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

① 鉄鋼スラグ水和固化体

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石は、天然材の代替として利用することができる。重量も配合に応じて製造することができるため、載荷盛土材など用途に対応した材料を準備することができる。

【既存工事における検討事項】

- 室内試験により、基本材料である岩ズリの受入基準及び海洋汚染防止法の水底土砂判定基準を満足することを確認した。（滑走路建設外工事）
- 製造先毎でリサイクル材料の品質が異なるため、材料搬入前の品質検査と施工中の品質管理により基準値を満足することを確認した。（滑走路建設外工事）

② 浚渫土改質材

「転炉系製鋼スラグ　海域利用の手引き」において、盛土材等への適用の可能性が示されている。カルシア改質土を適用した箇所に構造物等を施工する場合は、カルシア改質土の長期強度に留意する必要がある。

また、**「港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル」**において、カルシア改質土の適用用途として、堤防上部材（仮設道路材）が挙げられている。

3.10.5 関連法令

鉄鋼スラグ水和固化体、鉄鋼スラグ炭酸固化体、浚渫土改質材及び生物共生材は産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.10.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

鉄鋼スラグ水和固化体、鉄鋼スラグ炭酸固化体、浚渫土改質材及び生物共生材を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.11 フライアッシュ

3.11.1 製造・供給

フライアッシュは、石炭の燃焼によって得られるが、石炭の種類やボイラでの燃焼状態等によって JIS フライアッシュ（以下、JIS 灰という）と JIS 外フライアッシュ（以下、非 JIS 灰という）が製造される。

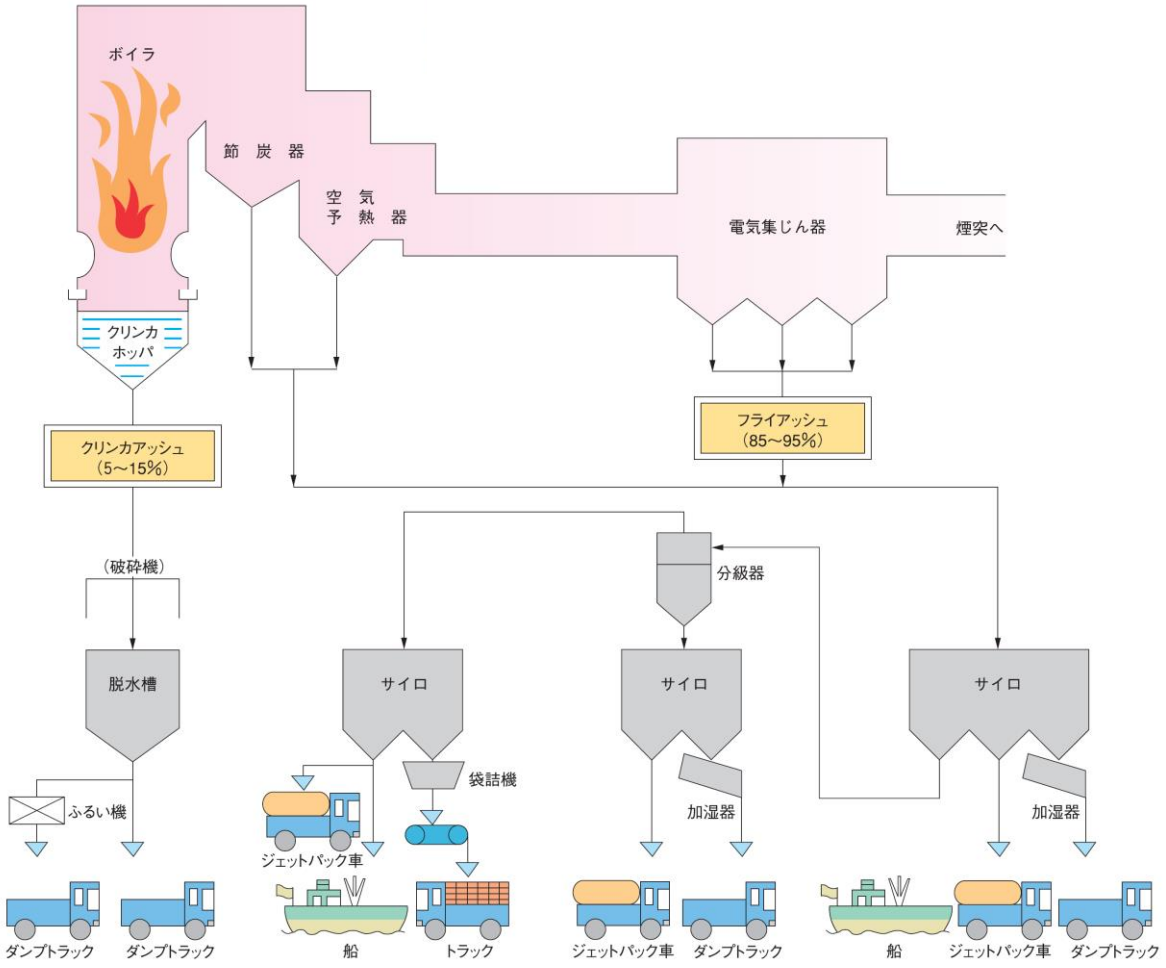
（解説）

(1) 製造方法

石炭火力発電所では、微粉砕した石炭を微粉炭燃焼ボイラ内で燃焼させ、そのエネルギーを電気に変えているが、この燃焼により溶融状態になった灰の粒子は、高温の燃焼ガス中を浮遊し、ボイラ出口で温度が低下することにともない、球形微細粒子となって電気集じん器に捕集される。これを一般にフライアッシュと呼ぶ。

このフライアッシュは、サイロに乾燥状態で貯蔵され、用途に応じて更に調合または分級器で粒度調整等を行い、製品別サイロに貯蔵される。

製造フローを図 3.11.1 に示す。



出典）日本フライアッシュ協会 HP より作成

図 3.11.1　フライアッシュ製造フロー

(2) 供給・利用の状況

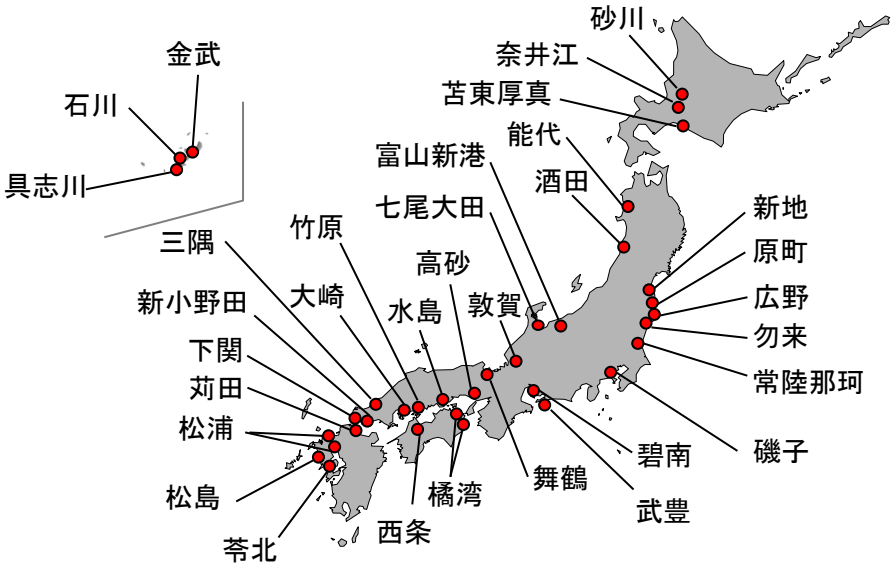
1) 供給地域

① コンクリート用フライアッシュ

陸上輸送：全国の石炭火力発電所及び中継サイロ周辺

海上輸送：制限なし

2) 石炭火力発電所の立地場所



出典）日本フライアッシュ協会 HP より作成

図 3.11.2　石炭火力発電所の立地場所（日本フライアッシュ協会関係）

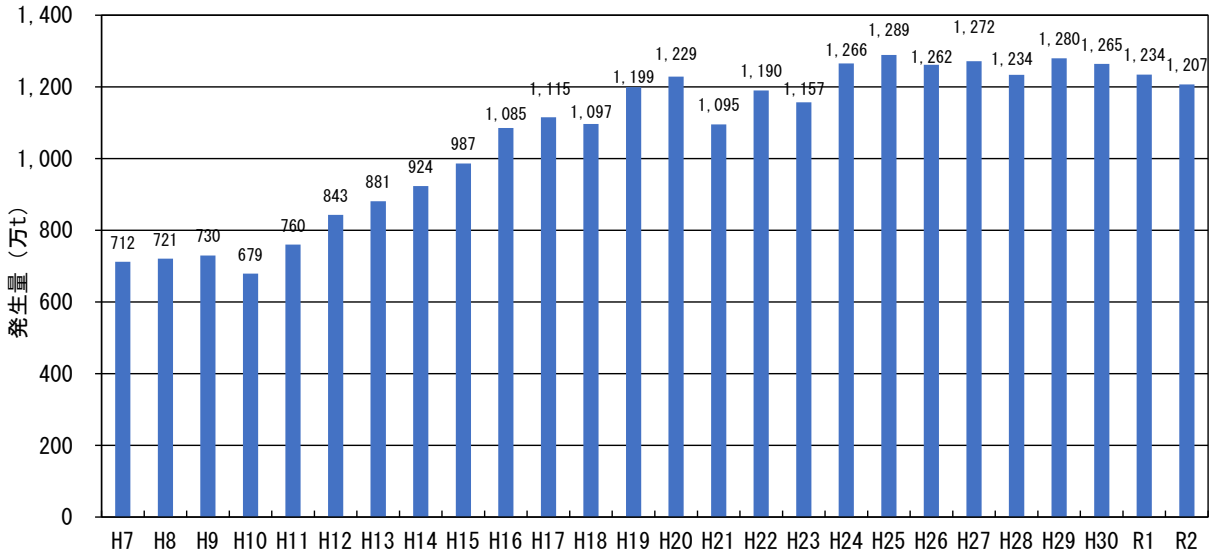
3) 生産量

① JIS 灰:約 30 万ｔ/年（Ⅰ種～Ⅳ種合計）（令和 2 年度利用実績）

② 非 JIS 灰:約 770 万ｔ/年　（令和 2 年度利用実績）

（セメント原料用：約 520 万ｔ/年、各種用途用：約 250 万ｔ/年）

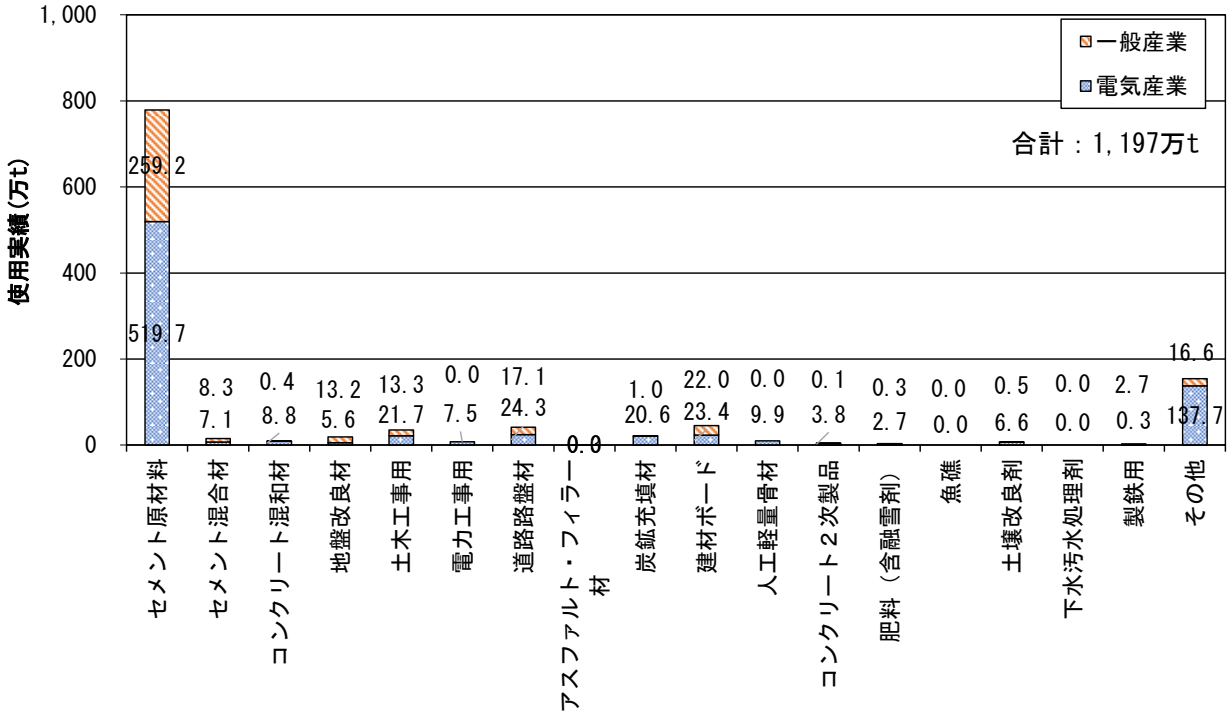
4) 発生量の推移



出典）石炭灰全国実態調査報告書（令和２年度実績）（令和４年３月、（一財）石炭フロンティア機構）より作成

図 3.11.3 発生量の推移（石炭灰）

5) 用途別使用量



出典）石炭灰全国実態調査報告書（令和２年度実績）（令和４年３月、（一財）石炭フロンティア機構）より作成

図 3.11.4 用途別使用量（令和２年度実績 石炭灰）

3.11.2 品質

JIS 灰については、JIS A 6201 に基づき、品質管理を実施し、品質保持されている。非 JIS 灰については、JIS に基づく品質管理は実施されておらず、材料毎に性状が異なる。

（解説）

(1) JIS 灰

JIS 灰は、利用目的に応じ、**表 3.11.1** に示すとおり、フライアッシュⅠ種からⅣ種に等級化されている。その品質区分は**表 3.11.3** に示すとおり、**JIS A 6201** に規定されている。

フライアッシュは球形の微細粒子である。その大部分は灰白色であるが、未燃炭素が増えるにしたがって黒味を帯び、鉄分が多いと赤味を帯びる傾向がある。また、石炭火力発電所の設備によって燃焼状態が異なることや、石炭の種類によってフライアッシュの品質が変化するが、分級器やブレンディングサイロ等を活用することで品質の安定化を図っており、一般には受渡当事者間によって確認された品質範囲内で製造される。

JIS 灰は、発電所毎にフライアッシュ品質に対応して、**JIS A 6201** に基づき、一定の性能となるよう品質管理を実施し品質保持されている。

表 3.11.1　コンクリート用フライアッシュ(JIS A 6201)の用途・性能等

種　別	用　途　・　性　能　等
フライアッシュⅠ種	混入することにより、特にコンクリートの高強度、流動性付与、アルカリシリカ反応抑制に効果があるもの。 また、初期強度発現性も無混入の場合と遜色ないもの。
フライアッシュⅡ種	標準的なフライアッシュで、混入することにより、特にコンクリートの水和発熱抑制、長期強度の改善効果があるもの。また、コンクリートへの流動性付与、アルカリシリカ反応抑制について、無混入の場合と比較して十分に効果が発揮されるもの。
フライアッシュⅢ種	混入することにより、特にコンクリートの水和発熱抑制、アルカリシリカ反応抑制、長期強度の改善に、Ⅱ種と同等の効果があるもの。ただし、練混ぜ時に、コンクリートの流動性、空気連行性に関して配慮が必要。
フライアッシュⅣ種	水和発熱抑制に対しⅡ種と同等の効果があり、アルカリシリカ反応抑制も期待できるもの。強度発現の点で低強度コンクリート、工場製品等に使用可能なもので、鉄筋コンクリート用の普通コンクリートに適用する場合には、事前に強度の発現を確認して使用するもの。

コンクリート混和材として広く利用されているのは、Ⅱ種の規定を満足するフライアッシュである。Ⅱ種品を製造する全国 16 発電所の平成 23 年度から 25 年度における各品質項目の 3 ヵ年平均値は以下のような範囲にあった。

表 3.11.2　ＪＩＳフライアッシュ（Ⅱ種）の品質状況

項目		発電所間の品質平均値の範囲
二酸化けい素含有量　%		56～65
湿分　%		0.05～0.19
強熱減量　%		1.3～3.9
密度　g/cm^3		2.17～2.38
粉末度	45μmふるい残分　%	1～14
	比表面積　cm^2/g	3,400～5,000
フロー値比　%		101～113
活性度指数	材齢 28 日　%	83～95
	材齢 91 日　%	96～107

出典）日本フライアッシュ協会調査データより

表 3.11.3　コンクリート用フライアッシュ(JIS A 6201：2015)

項目			フライアッシュ I種	フライアッシュ II種	フライアッシュ III種	フライアッシュ IV種
二酸化けい素含有量 a)　%			45.0 以上			
湿分　%			1.0 以下			
強熱減量 b)　%			3.0 以下	5.0 以下	8.0 以下	5.0 以下
密度　g/cm^3			1.95 以上			
粉末度 c)	網ふるい方法（45 μm ふるい残分）　%		10 以下	40 以下	40 以下	70 以下
	ブレーン方法（比表面積）　cm^2/g		5 000 以上	2 500 以上	2 500 以上	1 500 以上
フロー値比　%			105 以上	95 以上	85 以上	75 以上
活性度指数　%		材齢 28 日	90 以上	80 以上	80 以上	60 以上
		材齢 91 日	100 以上	90 以上	90 以上	70 以上

注 a) 二酸化けい素含有量は，溶解質量分析方法又は蛍光 X 線分析方法による。

b) 強熱減量に代えて，未燃炭素含有率の測定を **JIS M 8819** 又は **JIS R 1603** に規定する方法で行い，その結果に対し，強熱減量の規定値を適用してもよい。

c) 粉末度は，網ふるい方法又はブレーン方法による。ただし，網ふるい方法による場合は，ブレーン方法による比表面積の試験結果を参考値として併記する。

出典）JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」

1) 物理・力学的性質

① 密度

フライアッシュの密度は、前述の測定例では概ね 2.2～2.4 (g/cm³)の範囲である。**JIS A 6201** では 1.95(g/cm³)以上と規定されている。また、細かい粒子ほど密度が大きくなる傾向がある。

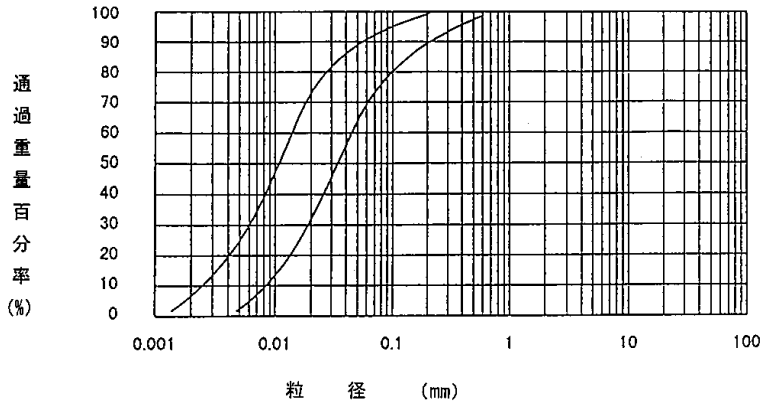
② 粉末度

JIS 灰は主にコンクリート混和材として利用されるが、粉末度は製品強度を支配する一つの重要な指標となる。**JIS A 6201** では、45μm ふるい残分（網ふるい方法）と比表面積（ブレーン法）が規定されている。

③ 粒度

フライアッシュは微細粒子であるが、一般的な JIS 灰の粒度分布は細粒分（0.075mm）以下の粒経が 5～9 割を占める。

粒度試験結果の例を、**図 3.11.5** に示す。



出典）石炭灰ハンドブック　平成 27 年度版（日本フライアッシュ協会、平成 27 年 11 月）

図 3.11.5　フライアッシュ粒度分布例

④ フロー値比

フロー値比はフライアッシュの流動性付与効果を示す指標で、基準モルタル（※1）のフロー値に対する試験モルタル（※2）のフロー値の割合によって得られる。

フロー値比は粉末度と強熱減量の影響を強く受けるとされ、強熱減量が小さく粉末度が高いほどフロー値比が大きくなる傾向にあり、**JIS A 6201** では種類毎に規定されている。

（※1）基準モルタル　**JIS A 6201** において、普通ポルトランドセメントを用いて作成したモルタルのこと。モルタルの配合は（普通ポルトランドセメント 450g＋標準砂 1,350g＋水 225ml）である。

（※2）試験モルタル　**JIS A 6201** において、試験モルタルで用いる普通ポルトランドセメント重量の 25%をフライアッシュに置換して作成したモルタルのこと。基準モルタルと対比することでフライアッシュ品質の指標となる。モルタルの配合は（普通ポルトランドセメント 337.5g＋フライアッシュ 112.5g＋標準砂 1,350g＋水 225ml）である。

⑤ 活性度指数

活性度指数はフライアッシュのポゾラン反応を評価する指標として JIS A 6201 に規定されており、基準モルタルの圧縮強度に対する試験モルタルの圧縮強度の割合によって得られる。

活性度指数は粉末度の影響を強く受けるとされ、粉末度が高いほど活性度指数が大きくなる傾向にあり、JIS A 6201 では種類毎に、材齢 28 日、91 日において規定されている。

2) 化学的性質

① 化学組成

表 3.11.4 にフライアッシュの化学成分分析結果の一例を示す。

フライアッシュの化学組成は一般に、二酸化けい素（SiO_2）と酸化アルミニウム（Al_2O_3）が主成分である。その他は、酸化鉄（Fe_2O_3）、酸化マグネシウム（MgO）、酸化カルシウム（CaO）等の酸化物が含まれる。

JIS A 6201 では二酸化けい素が 45.0%以上と規定されている。また、湿分も規定されており、フライアッシュはそれ自体が水分ゼロの乾燥状態であるが、機械的に付着する水分について 1.0%以下とされている。

表 3.11.4　フライアッシュの化学組成例（%）

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO
フライアッシュ	40～75	15～35	2～20	1～3	1～10

出典）石炭灰ハンドブック　令和 3 年度版（日本フライアッシュ協会）

② ポゾラン反応

フライアッシュは人工ポゾランの代表的なもので、コンクリート用混和材として、防水性付与、化学抵抗性の増大、水和熱の低減、長期強度の向上などに寄与している。

ポゾランとは、天然または人工のけい酸質の微粉末混和材のことで、シリカ質あるいはシリカ（SiO_2）とアルミナ（Al_2O_3）を主成分とし、一般にフライアッシュ自体は水で練っても硬化する性質はない。しかし、水の存在下でセメントの水和の際に生成する水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$）と常温で反応して不溶性の物質を生成し、徐々に硬化する性質を示す。これをポゾラン反応というが、高炉水砕スラグの性質である潜在水硬性とは似て非なるものである。

なお、ポゾラン反応は、次のように表される。

$Ca(OH)_2+[SiO_2,\ Al_2O_3]$ →
- $nCa(OH)\cdot SiO_2\cdot mH_2O$（けい酸カルシウム水和物）
- $3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 6H_2O$（アルミン酸カルシウム水和物）
- $3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 3CaSO_4\cdot 32H_2O$（エトリンガイト）

③ 強熱減量

フライアッシュは微粉炭の燃焼灰であるため、未燃炭素を含有した粒子である。強熱減量はこの未燃炭素量の比率を示す指標として JIS A 6201 に規定されている。一般に、フライアッシュを用いたフレッシュコンクリートにおいて、所要の空気量を得るための化学混和剤（AE 剤や高性能 AE 減水剤など）量は、フライアッシュの強熱減量が大きいほど多くなる傾向が示されている。

また、化学混和剤の調整の目安を与える指標として、メチレンブルー吸着量が知られている。

※セメント JIS（JIS R 5201）規格の強熱減量は、セメントの風化の程度を示す指標として規定されているが、上記のとおり、フライアッシュの強熱減量とは意味合いが異なる。

④ pH

フライアッシュの pH は一般に高く、環境庁告示の方法で得た検液の pH は 10～12 であるが、発電所によっては一部に中性から酸性の場合もある。

⑤ 微量成分の溶出

フライアッシュ中の微量成分含有量及び溶出濃度の測定例を表 3.11.5、表 3.11.6 に示す。フライアッシュに含まれる微量成分含有量は、ほう素、鉛、ひ素及びセレンが比較的多い。また、溶出濃度はほう素、六価クロム、ヒ素及びセレンが比較的高い値となり、一方で六価クロムは普通ポルトランドセメントに比べて低い溶出濃度となっている。

表 3.11.5　フライアッシュ中の微量成分含有量（単位:mg/kg）

成分	範囲	平均値（対象試料数）
ほう素（B）	23～1330	428.3 (36 試料)
六価クロム（Cr^{6+}）	0.05 以下～83	2.21 (63 試料)
ひ素（As）	0.01 以下～91	15.0 (99 試料)
セレン（Se）	0.5 以下～54	8.13 (97 試料)
カドミウム（Cd）	0.03 以下～8.86	1.41 (84 試料)
水銀（Hg）	0.001 以下～1.46	0.17 (84 試料)
鉛（Pb）	2.78～210	53.1 (75 試料)
クロム（Cr）	28～160	78.5 (38 試料)

[注] 定量下限未満は定量下限値を測定値として平均値を算出した（文献 [17] 除く）.

※文献 17 は細田信道：微粉炭燃焼灰の基礎特性の分類とその評価，石炭灰有効利用シンポジウム講演集，㈶石炭利用総合センター・㈶エネルギー総合工学研究所，1998 年

出典）コンクリートライブラリー132 号 循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術、p. 17（土木学会編）

表 3.11.6　フライアッシュの環告 46 号法溶出濃度（単位:mg/l）

成分	範囲	平均値（対象試料数）
ほう素（B）	0.2～25	14.6 (12 試料)
六価クロム（Cr^{6+}）	0.01 以下～0.29	0.054 (95 試料)
ひ素（As）	0.005 以下～0.17	0.023 (95 試料)
セレン（Se）	0.005 以下～0.51	0.037 (51 試料)
カドミウム（Cd）	0.001 以下～0.01	0.002 (91 試料)
水銀（Hg）	0.001 以下	0.001 (95 試料)
鉛（Pb）	0.001 以下～0.28	0.017 (95 試料)

[注] 定量下限未満は定量下限値を測定値として平均値を算出した（文献 [17] を除く）.

※文献 17 は細田信道：微粉炭燃焼灰の基礎特性の分類とその評価，石炭灰有効利用シンポジウム講演集，㈶石炭利用総合センター・㈶エネルギー総合工学研究所，1998 年

出典）コンクリートライブラリー132 号 循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術、p. 17（土木学会編）

(2) 非 JIS 灰

石炭火力発電所は発電することが目的であることから、石炭灰の品質を考慮した燃焼は一般的に行なわれず、燃焼効率や環境保全、設備保全を重点とした燃焼となる。

フライアッシュの品質は、石炭銘柄の選択や混合方法、微粉炭の粒度管理、ボイラでの燃焼管理等によって大きく変化する。非 JIS 灰については、JIS に基づく品質管理は行われていない。

3.11.3 加工・改良技術

フライアッシュの加工・改良技術として、以下のものが挙げられる。

- FA サンド

  細骨材とフライアッシュを事前に混合したコンクリート用材料で、通常の細骨材と同様の要領でコンクリート製造設備に供給、貯蔵、計量することができ、通常の細骨材と同様の取り扱いでコンクリートを製造できる。

- CfFA（Carbon-free Fly Ash　高品質フライアッシュ）

  フライアッシュ原粉を再焼成し、強熱減量を 1%以下に低減した後、粉砕分級したフライアッシュである。これによりコンクリートの空気量を安定的に確保しやすくなるとされている。

- FA スラリー（フライアッシュスラリー）

  コンクリート製造時に、フライアッシュ粒子の分散性をより高めるため、事前にフライアッシュと一部の練り混ぜ水と混合するものである。これを具体化する技術として、安定化処理石炭灰スラリー（CCAS）技術が開発されている。CCAS は、浮遊選鉱によりフライアッシュの未燃分を除去し、強熱減量値を低下させるとともにスラリー化を実現する技術である。

3.11.4 適用用途

(1) 概要

JIS が規定されているフライアッシュをリサイクル材として利用する場合は、当該 JIS に適合したものを利用するものとする。
JIS が規定されていないフライアッシュをリサイクル材として利用する場合は、用途において必要となる要求性能を満たす材料を利用するものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、フライアッシュ（JIS 灰、非 JIS 灰）を各用途に利用する場合の評価を行った結果をそれぞれ**表 3.11.7**、**表 3.11.8** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.11.7　フライアッシュ（JIS 灰）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)2)四国地区においてフライアッシュをコンクリート細骨材の一部（細骨材補充混和材として容積置換率10～15%を推奨）として使用されており、土木学会四国支部において現場で用いる場合の標準となる「フライアッシュを細骨材補充混和材として用いたコンクリートの施工指針（案）」が作成されている。 ・3)「九州地区における土木コンクリート構造物設計･施工指針（案）」において、JIS A 6201のⅠ種からⅣ種のいずれかに適合するフライアッシュを用い、細骨材置換率の上限を20%とし、コンクリートに要求される性能を満足するように試験によって定めなければならないとされている。 ・8)細骨材の一部に石炭灰原粉を代替利用する新素材コンクリートの二次製品（消波ブロック、方塊、被覆ブロック等）への適用について記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・道路工事（国交省） ・トンネル工事（国交省）	1) 2) 3) 8)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・4)混和材料として用いるﾌﾗｲｱｯｼｭについて、適用範囲や品質、原材料、試験方法、検査、表示、報告等の品質基準を規定。 ・5)混和材として使用する際の施工指針(案)として、材料特性、品質、製造、打込み、養生、品質管理、施工等に関して記載。 ・6)分級フライアッシュを混和材として転圧コンクリートに用いることにより、35cmの版厚が一層により施工可能となる。【査読無し】	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・道路橋梁下部工事(国交省) ・荷場施設工事（管理者） ・護岸補強工事（管理者） ・廃棄物処分場建設工事（管理者） ・防波堤築造工事（国交省） ・トンネル工事（国交省）	4) 5) 6)
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・7)安定材であるｾﾒﾝﾄに、新たにﾌﾗｲｱｯｼｭと石こうを適当な配合比率で加えることによる固結工法と改良土の物理的・力学的性質、設計、施工、環境影響等について記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・地盤改良工事（管理者）	7)
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・汚水管充填工事（管理者） ・排水路閉塞工事（管理者）	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	◎ （Asフィラー材）	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)利用用途としてﾌｨﾗｰ材が記載されており、ﾌｨﾗｰ材として最も多く使用されている石灰石粉と品質はほぼ同等とされている。 ・9)ﾌｨﾗｰ材としてフライアッシュの利用が認められている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・発電所構内道路付替工事（実施機関不明）	1) 9)
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)石炭灰ハンドブック　平成27年度版（日本フライアッシュ協会、平成27年11月）
2)フライアッシュを細骨材補充混和材として用いたコンクリートの施工指針（案）（土木学会四国支部、平成15年度）
3)九州地区における土木コンクリート構造物設計･施工指針（案）（国土交通省九州地方整備局、令和元年9月）
4)JISA6201「ｺﾝｸﾘｰﾄ用ﾌﾗｲｱｯｼｭ」(平成27年3月改正)
5)ﾌﾗｲｱｯｼｭを用いたｺﾝｸﾘｰﾄの施工指針(案)(土木学会、平成11年4月)
6)転圧ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装の性能向上に及ぼす分級ﾌﾗｲｱｯｼｭの混入効果(港湾技術研究所報告、平成6年12月)
7)FGC深層混合処理工法技術ﾏﾆｭｱﾙ-ﾌﾗｲｱｯｼｭを用いた軟弱地盤改良工法-((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成14年12月)
8)石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）((一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月)
9)舗装施工便覧（日本道路協会、平成18年)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.11.8（1）　フライアッシュ（非 JIS 灰）の適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)ﾌﾗｲｱｯｼｭ粗粉（ﾌﾗｲｱｯｼｭ原粉を一度だけ分級し、粒度の粗い方のﾌﾗｲｱｯｼｭ）を細骨材として使用することで通常のｺﾝｸﾘｰﾄと同等以上のﾌﾚｯｼｭ性状、硬化性状、および耐久性を得ることができ、低品位なﾌﾗｲｱｯｼｭであってもｺﾝｸﾘｰﾄ細骨材として大量使用することができる可能性が見出されたとされている。【査読有り】 ・4)細骨材の一部に石炭灰原粉を代替利用する新素材コンクリートの二次製品（消波ブロック、方塊、被覆ブロック等）への適用について記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・トンネル工事（国交省）	1) 4)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・査読なしの研究論文等（講演資料等）に限られている。 【主な内容】 ・2)JIS外の石炭灰がｺﾝｸﾘｰﾄ用混和材料並びに高流動ｺﾝｸﾘｰﾄ用粉体材料として適用可能かどうかの検討。 ・ｺﾝｸﾘｰﾄの圧縮強度及び乾燥収縮ひずみ、ﾌﾚｯｼｭ性状及び硬化性状はJIS灰を使用したものと同程度の性能を有することが確認。【査読無し】	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・火力発電所防波堤工事（その他機関）	2)
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・埋立工事（その他機関）	
⑥	深層混合処理固化材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・3)安定材であるｾﾒﾝﾄに、新たにﾌﾗｲｱｯｼｭと石こうを適当な配合比率で加えることによる固結工法と改良土の物理的・力学的性質、設計、施工、環境影響等について記載。 ・4)CDM-FGC材を用いた深層混合処理杭の改良体は、低強度の山留め改良躯体が構築可能。土留め壁・底盤・低強度基礎地盤改良の目的で適用されるﾒﾘｯﾄがある。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・ふ頭再整備工事（管理者） ・発電所増設工事、基礎工事（その他機関）	3) 4)
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・防波堤本体工事（国交省） ・二重鋼矢板式岸壁工事（その他機関）	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	○+	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・5)根固・消波ブロックへの適用について記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・防波堤根固工事（国交省） ・護岸工事（その他機関） ・漁港改修工事等（管理者） ・大型ブロック製作工事（その他機関）	5)
⑩	裏込材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)9)石炭灰混合材料（破砕材、造粒材、スラリー）の裏込め材料への適用について記載。 ・構造物の背面に裏込め材料として適用する石炭灰混合材料は軽量な固化体となるため、一般土砂による埋立工法に比べ埋立地盤の沈下抑制に寄与するﾒﾘｯﾄがある。 ・6)ﾌﾗｲｱｯｼｭとｾﾒﾝﾄの混合材料を構造物の裏込めに利用する際の設計、配合、施工、調査・設計・施工について記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・岸壁建設工事（国交省） ・発電所系列増設工事（その他機関）	4) 6) 9)

出典）
1)各種ﾘｻｲｸﾙ材料のｺﾝｸﾘｰﾄへの有効活用に関する研究（ｺﾝｸﾘｰﾄ工学年次論文集、平成21年）
2)非JIS石炭灰のｺﾝｸﾘｰﾄ用材料としての有効利用に関する研究(日本建築学会九州支部研究報告、平成14年3月）
3)FGC深層混合処理工法技術ﾏﾆｭｱﾙ-ﾌﾗｲｱｯｼｭを用いた軟弱地盤改良工法-((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成14年12月）
4)石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）((一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月）
5)FSｺﾝｸﾘｰﾄ利用手引書（（株）沿岸環境開発資源利用センター、平成10年11月）
6)ﾌﾗｲｱｯｼｭを護岸の裏込めに利用するための手引書(案)((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成8年3月）
7)ﾌﾗｲｱｯｼｭを軟弱地盤の表層処理に利用するための手引書(案)((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成7年3月）
8)ﾌﾗｲｱｯｼｭを路盤・路床に利用するための手引書(案)((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成7年3月）
9)石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）（土木学会、令和3年3月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.11.8（2）　フライアッシュ（非 JIS 灰）の適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
⑪	裏埋材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・9)石炭灰混合材料（粒状材、塑性材、スラリー材）の裏埋材への適用について記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁建設、改良工事（国交省）	9)
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)石炭灰混合材料（破砕材、造粒材、塑性材）の盛土材料への適用について記載。 ・盛土・築堤に適用する材料として石炭灰混合材料（塑性材）は、盛土・築堤の支持地盤にかかる荷重を軽減することで沈下量が低減し、盛土・築堤断面を経済的に設計することができる。また、構造物に近接する盛土工事も通常土砂を適用した場合に比べ、変位量を軽減することができる。 ・7)ﾌﾗｲｱｯｼｭを軟弱地盤の表層処理に利用する際の設計、配合、施工、調査・設計・施工について記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・浚渫土砂処分場建設工事（国交省） ・港湾緑化工事（管理者）	4) 7) 9)
⑬	埋立材	△	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)石炭灰混合材料（破砕材、造粒材）の埋立材料への適用について記載。 ・構造物の背面に適用する埋立材料として石炭灰混合材料は、軽量な固化体であるため、一般土砂による埋立工法に比べ埋立地盤の沈下抑制に寄与するとともに、構造物に対し背面土圧を軽減する。	－	●利用実績なし	4) 9)
⑭	路床盛土材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)石炭灰が硬化する性状を利用し、それを締め固めて使用することにより下層路盤材、路床材あるいは盛土材といった土工材料としての強度・支持力を確保する技術を記載。 ・8)路盤・路床に利用する際の設計、配合、施工、調査・設計・施工について記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・空港拡張工事（国交省） ・ターミナル埋立工事（その他機関）	4) 8) 9)
⑮	路盤材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)石炭灰が硬化する性状を利用し、それを締め固めて使用することにより下層路盤材、路床材あるいは盛土材といった土工材料としての強度・支持力を確保する技術を記載。 ・8)ﾌﾗｲｱｯｼｭを路盤・路床に利用する際の設計、配合、施工、調査・設計・施工について記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・ﾀｰﾐﾅﾙ埋立工事（その他機関）	4) 8) 9)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)各種ﾘｻｲｸﾙ材料のｺﾝｸﾘｰﾄへの有効活用に関する研究（ｺﾝｸﾘｰﾄ工学年次論文集、平成21年）
2)非JIS石炭灰のｺﾝｸﾘｰﾄ用材料としての有効利用に関する研究(日本建築学会九州支部研究報告、平成14年3月）
3)FGC深層混合処理工法技術ﾏﾆｭｱﾙｰﾌﾗｲｱｯｼｭを用いた軟弱地盤改良工法-((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成14年12月）
4)石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）((一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月）
5)FSｺﾝｸﾘｰﾄ利用手引書（（株）沿岸環境開発資源利用センター、平成10年11月）
6)ﾌﾗｲｱｯｼｭを護岸の裏込めに利用するための手引書(案)((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成8年3月）
7)ﾌﾗｲｱｯｼｭを軟弱地盤の表層処理に利用するための手引書(案)((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成7年3月）
8)ﾌﾗｲｱｯｼｭを路盤・路床に利用するための手引書(案)((財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ、平成7年3月）
9)石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）（土木学会、令和3年3月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) コンクリート用細骨材

フライアッシュは粉末状の非常に細かい粒子で構成されるため、細骨材と同様に取り扱うことは困難である。しかし、砕砂などの細骨材の一部をフライアッシュで置換することによりワーカビリティの改善に効果があることが確認されている。

土木学会「コンクリート標準示方書」や**「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）」**では、細骨材置換利用については記述されていないが、国土交通省九州地方整備局の**「九州地区における土木コンクリート構造物設計･施工指針（案）」**では、「JIS A 6201 のⅠ種からⅣ種のいずれかに適合するフライアッシュを用い、細骨材置換率の上限を 20%とし、コンクリートに要求される性能を満足するように試験によって定める必要がある。」と規定している。また、土木学会四国支部の**「フライアッシュを細骨材補充混和材として用いたコンクリートの施工指針(案)」**では、JIS A 6201 のⅡ種またはⅣ種のいずれかに適合するフライアッシュを用いることとし、容積置換率については 10～15%を推奨している。さらに、(一財)石炭エネルギーセンターの**「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）」**では、細骨材の一部に石炭灰原粉を代替利用する「新素材コンクリート」が消波ブロック、方塊、被覆ブロック等の二次製品に適用されており、適切な配合調整により、施工性やコンクリートの品質の向上が期待できるとされている。

利用実績については、JIS 灰については道路工事、トンネルへの吹付コンクリート材料等、非JIS 灰についてはトンネルへの吹付コンクリート材料等がある。

この利用方法では、結合材はセメントのみと考えるので、強度は水セメント比で管理することとなる。

適用に当たっての利点としては、以下が挙げられる。

- セメントの一部をフライアッシュに置換する場合と同様に、コンクリートの流動性改善に効果的で単位水量の低減につながる。
- セメント置換せず、細骨材置換のみ行う場合、初期から長期にわたりコンクリートの強度が置換をしないコンクリートに対して同等以上を期待できる。

適用に当たっての留意事項としては、以下が挙げられる。

- 置換率が高すぎるとセメントと合わせた粉体量が多くなり粘性が高くなるため、ポンプ圧送性など施工性が低下する恐れがあるので、この点を考慮の上置換率を選定する必要がある。
- フライアッシュ中の未燃炭素の影響で AE 剤が吸着され AE 剤の使用量が増加する場合がある。
- 細骨材置換のみを行う場合、通常、価格は細骨材よりフライアッシュの方が高いため、材料コストは上昇する。

(3) 混和材

フライアッシュは、コンクリート用の混和材として JIS A 6201 に規定されている。また、**「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）」（土木学会）**にてフライアッシュを混和材として用いるコンクリート施工についての一般の標準が示されているので参考とできる。なお、この指針に示されていない事項は、**土木学会コンクリート標準示方書**による。

フライアッシュをコンクリートに用いる場合は、その使用目的が十分に達成されるよう考慮して、Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種、及びⅣ種の中からその種類を選定し、結合材中に占めるフライアッシュの質量の割合が 10～30%（Ⅰ種では 40%まで）の範囲内で、適切な値を定める。なお、非 JIS 灰を用いる場合は、品質のばらつきが大きいことを考慮し、必要となる要求性能を満たす材料を利用するものとする。

フライアッシュの種類及び置換率の選定にあたっては、フライアッシュの特性を十分に理解して、使用するコンクリートの要求性能に応じたフライアッシュの種類及び置換率を定めることが重要である。フライアッシュの種類によってコンクリートの流動性、強度発現性、水和熱による温度上昇等に及ぼす影響が異なるので、要求性能に応じたフライアッシュの種類を決定する。また、置換率の決定にあたっては、フライアッシュの種類により、フライアッシュの使用効果を十分に発揮させるための置換率の範囲が異なるので、適切な置換率を試験や実験により確認することが大切である。

フライアッシュは、コンクリートまたはモルタルに混合することで、「流動性の改善及び単位水量の減少」、「水和熱の減少」、「長期強度の増進」、「乾燥収縮の減少」、「水密性及び耐久性の向上」、「アルカリ骨材反応の抑制」などの効果を持つことが、多くの調査や研究によって明らかにされ、従来からコンクリートの混和材及びフライアッシュセメントの混合材として幅広く利用されている。

フライアッシュ利用時は、セメント置換が基本となることから、セメントのみの単価に比べて安価となる。一方で、新たな貯蔵サイロ等の設備が必要になることや、フライアッシュ製造拠点から距離が遠くなることによりコスト増となる場合があるが、フライアッシュ製造拠点に近い場合や、距離が遠い場合でもフライアッシュ使用量が多い工事等ではコストメリットが生じる。

【既存工事における検討事項】

・過去の工事及び室内配合試験により、所定の強度を確認した。（ターミナル整備事業）

また、混和材を大量に使用したコンクリートを用いた構造物の設計・施工については、**「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」（土木学会）**にコンクリート特性、製造及び施工の標準が示されている[1)]。

上記の設計・施工指針（案）については、平成 23 年 6 月から平成 28 年 3 月にかけて、国立環境研究開発法人土木研究所を中心に各事業者とともに実施された**「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する研究報告書（Ⅰ～Ⅶ）」**における結果を踏まえたものであり、フライアッシュコンクリートの基本性状については、**「共同研究報告書（Ⅶ）」**より参照できる[2)]。

【参考文献】

1）土木学会：コンクリートライブラリー152、「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」、平成 30 年 6 月

2）国立研究開発法人 土木研究所：「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（Ⅰ～Ⅶ）」、平成 28 年 1 月～平成 29 年 2 月

(4) 深層混合処理固化材

深層混合処理工法とは、フライアッシュ、石膏、セメントの 3 種材料の混合スラリーを用いた地盤改良工法で、通常のセメント系地盤改良工法では不可能な低強度の地盤改良が可能である。

適用に当たっての利点としては、以下が挙げられる。

・安定材としてハイボリュームのフライアッシュをセメントに加えることにより、同一のセメント添加量でも地盤と混合する総スラリー量を増やすことができ、低強度から高強度まで広範囲の強度の地盤改良が可能である。低強度の均一改良地盤の造成が可能になると、山留鋼矢板等を直接改良地盤に打設する事が可能となり、仮設工事等を補助工法を併用せずに経済的に施工できる。

・目標強度がコンクリートに比べてはるかに低く、混合する土の物性がばらつきをもっていることを考慮すると、コンクリート混和材として使用するフライアッシュの品質と比べて、種類やばらつきに影響されずに広範囲な品質のフライアッシュが使用可能となり有利な配合管理ができる。

適用に当たっての留意事項としては、以下が挙げられる。

・石膏を用いた場合はエトリンガイト（$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$）を生成する。このエリトンガイトは混合後極めて早期に生成されるため、初期強度も高くなるが、多量なエトリンガイトの生成は体積膨張により強度を低下させるので、注意を要する。

(5) 被覆石、根固・消波ブロック

被覆石、根固・消波ブロックには、非 JIS 灰を用いることができる。

適用に当たっての利点としては、以下が挙げられる。

・フライアッシュのポゾラン反応により、緻密な構造体となり、長期強度の増進及び耐摩耗性に効果があり、ライフサイクルコストの低減が期待できる。

適用に当たっての留意事項としては、以下が挙げられる。

・フライアッシュの混和量が多い場合は、粘性が高まるため、表面仕上げが多少し難いことから配合設計で考慮する必要がある。

・非 JIS 灰を用いることから、JIS 灰に比べ、品質の変動が考えられるため、品質変動を考慮した配合設計が望まれる。

・基本的には、セメントと混合した場合は、重金属等の溶出は防止されるが、一定のロット毎での重金属溶出管理を行う事が必要である。

(6) 裏込材

裏込材には、非 JIS 灰を用いることができる。

フライアッシュ、セメント、水を混合・スラリー化し、裏込材等に用いる場合、流動性などのフレッシュ性状や強度特性などに関して必要な品質が得られることを事前に確認の上、配合を決定する。

天然土砂などに比較して軽量であり、流動性が高いことなどが特徴であるが、コンクリートと同様に用途ごとの要求品質を満足できることを事前の試験により確認しておく必要がある。

適用に当たっての利点としては、以下が挙げられる。

・土砂等に比較して軽量でさらに固化するため構造物に対する土圧（常時）の低減が図れる。

・流動性に優れ、ポンプ打設が容易である。

・材料分離抵抗性に優れ水中打設が可能である。

・材齢 3 日のコーン貫入抵抗値 1,200kN/m^2 以上が可能であり、早期にダンプ走行も可能なトラフィカビリティを確保できる。

適用に当たっての留意事項としては、以下が挙げられる。

・環境安全性については、炭種や配合の影響を受けるので事前の確認を要する。

・品質のばらつきがスラリー性状に及ぼす影響度合いを事前確認しておくことが望ましい。

適用に当たっては、巻末に示す参考文献 22)～23)を参考とすることができる。

なお、スラリー化利用の他、一部の固化体破砕の裏込材としての利用実績がある。

(7) 裏埋材

裏埋材には、非 JIS 灰を用いることができる。

基本的に裏込材と同様の利用区分と考えられるので、前項のスラリーのような形態、または後述するフライアッシュ固化体破砕材の形態で利用される。前者ではポンプ打設、後者ではガット船やダンプトラックによる投入となる。

軽量であることから構造物に対する土圧（常時）の軽減、軟弱地盤の沈下抑制などが期待できる。一方、複数ある製造技術ごとに環境安全性の確認がなされているが、利用時には安全性を確認することが必要である。

(8) 盛土材、覆土材、載荷盛土材（フライアッシュを用いた気泡混合軽量土）

盛土材、覆土材、載荷盛土材には、非 JIS 灰を用いることができる。

フライアッシュを用いた気泡混合軽量土（以下、FA 気泡混合軽量土という）は、暫定配合を元に軽量性、強度、流動性などの要求品質を満足するように配合を選定する。

気泡混合軽量土に関しては、**「FCB 工法設計・施工要領」（東日本・中日本・西日本高速道路㈱）**（以下、**FCB 要領**）が参考となる。標準的な材料である、砂、セメント、起泡剤、水の中で砂をフライアッシュに置き換え、セメント量を減じることにより、配合によるがコストを低減した上で、軽量かつ流動性に優れた気泡混合軽量土を製造できる。

FCB 要領に記載の暫定配合表に準じて暫定配合が準備されているが、物件ごとに試験練で要求品質を満足する配合を選定する必要がある。

適用に当たっての利点としては、以下が挙げられる。

・セメントを減量できる。

・粒子形状が球形の石炭灰を用いることで、流動性が向上しポンプ圧送を容易にする。

適用に当たっての留意事項としては、以下が挙げられる。

・FA 気泡混合軽量土の場合、プラントには FA 用サイロが必要となることなどから、配合によっては通常の気泡混合軽量土に比較してコスト低減にならないケースもある。

・通常の気泡混合軽量土同様、水浸下での施工や降雨などによる消泡の恐れがある場合、品質低下を招くので注意を要する。

(9) 路床盛土材

路床盛土材には、非 JIS 灰を用いることができる。

路床に関しては、現状のままで路床とできない場合、現地盤上に盛土して築造する方法、現状路床土とセメントなどの安定材を混合して路床を築造する方法、さらに現状路床土を除去し良質材料に置換える方法が採られる。

安定処理工法には、セメントにフライアッシュを混合した安定材が使用されることがある。また盛土や置換え工法の良質土として後述するフライアッシュ固化体破砕材や石炭灰造粒物が用いられることもある。

天然の材料と同様に扱うことが可能であり、軽量であることから、作業性が高いこと、地盤沈下抑制などの利点がある。

(10) 路盤材

路盤材には、非 JIS 灰を用いることができる。

道路路盤は下層路盤と上層路盤に区分されるが、フライアッシュを用いた混合材、固化体破砕材などが適用されるのは主として下層路盤である。

複数ある材料技術ごとに目安の品質が確認されているが、個別の事案ごとに発注者の要求品質を満足することを事前に確認する必要がある。

路床盛土材利用と同様、軽量であることから、路床・路体への荷重が軽減されるとともに作業性の向上が期待できる。

(11) アスファルトフィラー材

アスファルトフィラー材は、アスファルト混合物の空隙を充填し、アスファルト混合物の安定性や耐久性を向上させる目的で使用される。アスファルトフィラー材には一般に石灰石粉が広く用いられているが、フライアッシュもアスファルトフィラー材として認められており、舗装工事で用いる転圧敷均し法により施工することが可能である。アスファルトフィラー材には、JIS 灰を用いることを標準とする。

適用に当たっての利点としては、以下が挙げられる。

・一般的に使用されている石灰石粉とフライアッシュの品質を比較しても同等の性能である。

・フライアッシュのフィラー材としての使用については、**「舗装施工便覧」**（日本道路協会）では一定の規格に適合すればその使用が認められている。

(12) 今後の検討を要する用途

1) 中詰材

フライアッシュにセメントなどを添加し、水と混合してスラリー化し、構造物に利用するもので、河川築堤基礎の止水壁、道路盛土基礎の杭、防波堤ケーソン中詰などが実用化されている。非 JIS 灰を用いることができる。

適用に当たっての利点としては、以下が挙げられる。

・フライアッシュを用いる事で流動性が向上し、作業性の向上が図れる。
・水中部での使用の場合は、充填性に優れている。
・セメントとフライアッシュ及び水の配合量で強度等の固化条件の選択が可能である。
・近隣に火力発電所がある場合は、コスト的に安価な資材として活用可能である。

適用に当たっての留意事項としては、以下が挙げられる。

・非 JIS 灰を用いるため、JIS 灰に比べ、品質の変動が考えられるため、品質変動を考慮した配合設計が望まれる。
・基本的には、セメントと混合した場合は、重金属等の溶出は防止されるが、一定のロット毎での重金属溶出管理を行う事が必要である。

2) 埋立材

後述するフライアッシュ固化体破砕材を埋立てに用いる場合、非 JIS 灰を用いることができ、また、天然材料と同様の方法を用いることができる。

適用の利点としては、以下が挙げられる。

・粒度範囲は 5～40㎜ で液状化しない。
・水中部においても使用可能で、地盤沈下の抑制につながる。

適用に当たっての留意事項としては、以下が挙げられる。

・非 JIS 灰を用いるため、品質の変動・ばらつきが大きい。

3.11.5 関連法令

フライアッシュは産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.11.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

フライアッシュを材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.12 クリンカアッシュ

3.12.1 製造・供給

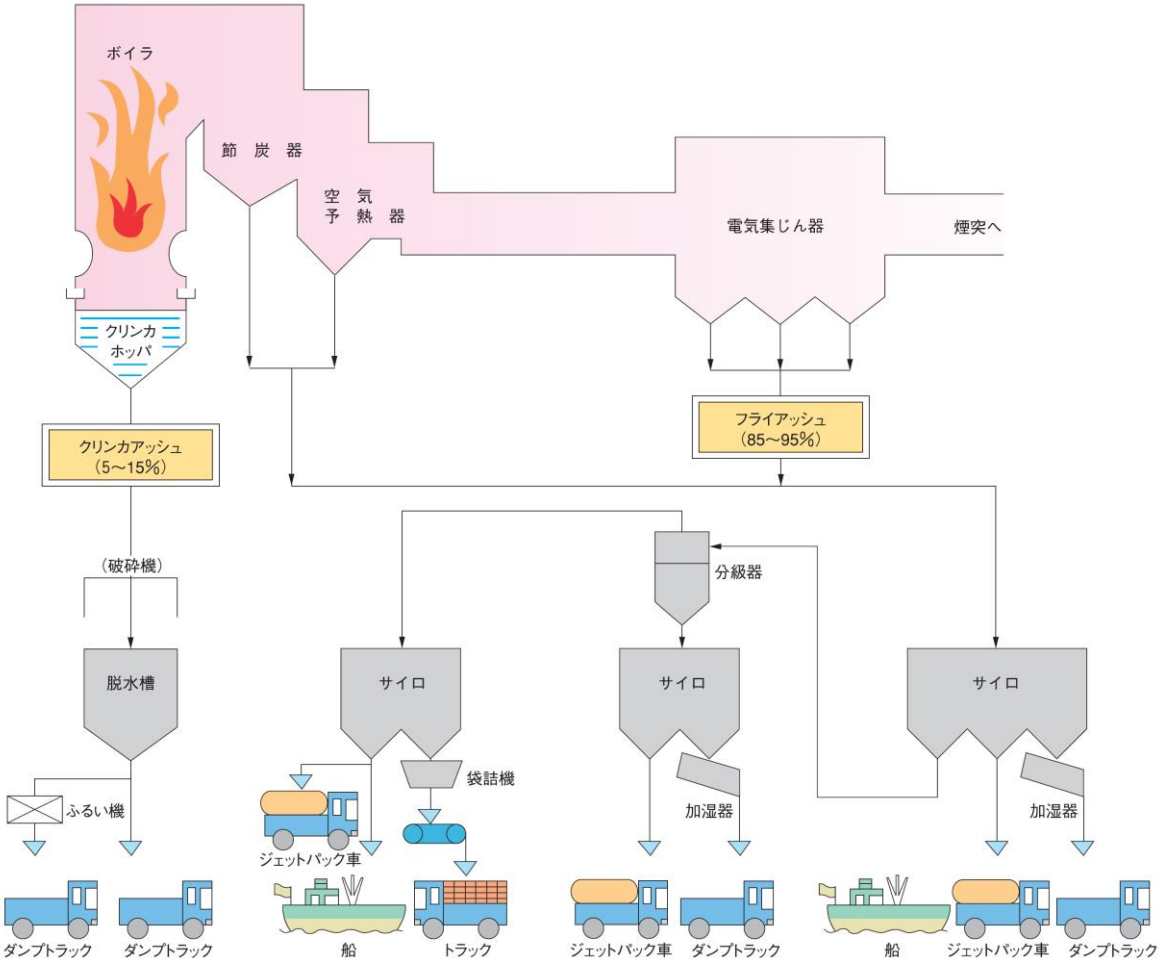
クリンカアッシュは、ボイラ底部の水槽に落下した塊状石炭灰を、破砕機で破砕し、粒度を調整して製造される。

（解説）

(1) 製造方法

石炭火力発電所で石炭を微粉炭ボイラで燃焼させ、その燃焼により発生した石炭灰がボイラ炉内で溶融し、炉壁に付着したものが水張りした炉底に落下し急冷される。この塊をクラッシャーで粉砕し、粒度を調整して製造されるものをクリンカアッシュと呼ぶ。このクリンカアッシュは、その後水で貯槽に圧送され、脱水してクリンカヤードに貯蔵される。

製造フローを図 3.12.1 に示す。



出典）日本フライアッシュ協会 HP より作成

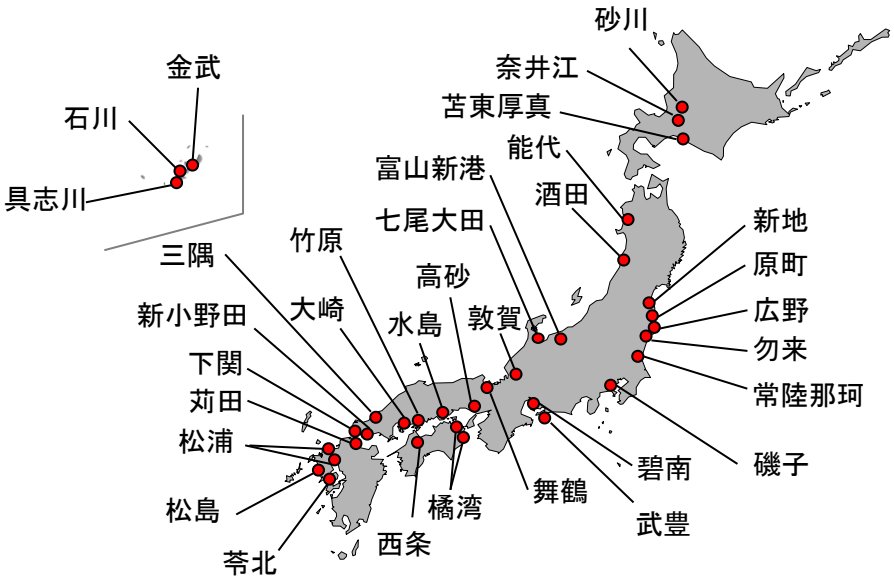
図 3.12.1　クリンカアッシュ製造フロー

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

石炭火力発電所周辺

2) 石炭火力発電所の立地場所



出典）日本フライアッシュ協会 HP より作成

図 3.12.2 石炭火力発電所の立地場所（日本フライアッシュ協会関係）

3) 生産量

クリンカアッシュ：約 79 万 t /年（令和 3 年度利用実績）

3.12.2 品質

クリンカアッシュの主成分は、フライアッシュと同様、一般土壌と同じで大半は二酸化けい素と酸化アルミニウムであり、外見上も砂と類似している。また、大きな比表面積を持つ。

（解説）

(1) 物理的特性

1) 浸水膨張率

クリンカアッシュの粒度は粗粒砂(FM＝3.5～4.0)程度で、含水量は普通の砂に比べて高く、比重は 2.1～2.3 と普通の砂より小さい。浸水膨張率（浸水状態で水分の吸収により粒径の膨張する比率）は、0.012～0.036%で鐵鋼スラグ協会規格 3.0%より極めて小さい。

2) 透水性

クリンカアッシュの透水係数は砂と同程度であり、真砂土に比べると大きく、しかも真砂土では締め固めた場合に透水係数が 10 分の 1 以下になるのに対して、クリンカアッシュの場合にはほとんど変化しない。

表 3.12.1 クリンカの透水係数試験例

乾燥密度 g/cm^3	透水係数 cm/s
1.23	3.2×10^{-2}
1.20	3.4×10^{-2}
1.14	3.2×10^{-2}

出典）石炭灰ハンドブック　平成 27 年度版（日本フライアッシュ協会、平成 27 年 11 月）

3) 比表面積

クリンカアッシュを電子顕微鏡で観察すると、その表面に多数の細孔があり、真砂土の比表面積 $0.94m^2/g$ に比べてクリンカアッシュの比表面積は 4～5 倍程度大きい。

表 3.12.2 クリンカアッシュの比表面積と細孔容積試験例

土壌の種類	粒子径 mm	比表面積 m^2/g	細孔容積 cc/g
クリンカアッシュ	1	3.76	0.158
	2～3	4.54	0.148
花崗岩	－	0.21	－
真砂土	－	0.94	－

出典）石炭灰ハンドブック　平成 27 年度版（日本フライアッシュ協会、平成 27 年 11 月）

4) 水分保有特性

クリンカアッシュは一般土壌と比べて易効水(土壌中の水分うち植物に効率良く利用できる水分)の水分保有率が高く、耕地の土壌として適しているといえる。

表 3.12.3　クリンカと一般土壌の易効水含水量試験例

	クリンカ（密詰め）	クリンカ（粗詰め）	真砂土	粗砂
易効水含水量(%)	9.4	5.8	4.0	2.0～3.0

出典）石炭灰ハンドブック　平成 27 年度版（日本フライアッシュ協会、平成 27 年 11 月）

5) 締固め特性

クリンカアッシュは、砂とは対照的に最適含水比が高く、最大乾燥密度が低くて空隙率の高い締固め特性を持っている。このため、踏圧に対する抵抗性が強くなり固い土壌になりにくい。

表 3.12.4　クリンカの締固め試験例

	搬入含水比（%）	最適含水比（%）	最大乾燥密度（g/cm^3）
クリンカA	16.2	28.2	1.29
クリンカB	17.4	27.2	1.29
クリンカC	18.5	30.4	1.21

出典）石炭灰ハンドブック　平成 27 年度版（日本フライアッシュ協会、平成 27 年 11 月）

3.12.3 適用用途

(1) 概要

クリンカアッシュをリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、クリンカアッシュを各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.12.5** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^+$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.12.5(1)　クリンカアッシュの適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-12-9) 【主な内容】 ・1)細骨材にｸﾘﾝｶｱｯｼｭを使用した場合の中性化速度は海砂を使用した場合と同程度であり、流動性や強度は若干低下するが、ﾌﾗｲｱｯｼｭの併用及び微粉末の除去で改善が可能。【査読無し】 ・2)ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ75μm以下の微粉分は、ﾌﾛｰ値及び圧縮強度に若干の影響を及ぼすものの僅少。 ・ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ量の増大によってﾌﾛｰ値は低下するが、圧縮強度は若干の低下傾向を示す程度。 【査読無し】 ・3)ｸﾘﾝｶｱｯｼｭを細骨材の一部代替として用いた場合、軽量ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ等では代替率50%までは強度に影響は見られない等の試験結果が得られているが、今後さらに細骨材代替利用の試験データを蓄積し、各種の骨材への利用拡大が望まれるとされている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・防潮堤工事（その他機関）	1) 2) 3)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・査読なしの研究論文等（講演資料等）に限られている。 【主な内容】 ・4)ｸﾘﾝｶｱｯｼｭは透水性能が砂と同等であり、改良効果として沈下収束傾向は砂材と同等で沈下量も砂材と同程度であることが確認。 【査読無し】	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・地盤改良工事（管理者） ・土地造成工事（管理者） ・埠頭整備工事（管理者） ・港湾整備事業（管理者） ・火力発電所建設工事（その他機関）	4)
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・5)石炭灰埋立地盤の液状化対策として建設残土や石炭灰を中詰めに利用したｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ工法(CP工法)の適用を考え、施工性および改良効果の確認を目的として試験工事が実施。 ・石炭灰埋立地盤の液状化対策としてSCP工法の適用が可能。 ・中詰め材料に砂を用いた場合と同等の改良効果があることを確認。【査読無し】 ・9)ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ単体のｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ用材への適用について記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・火力発電所建設工事（その他機関） ・火力発電所ＬＮＧタンク基礎工事（その他機関） ・発電所設備更新工事（その他機関） ・発電所取水口工事（その他機関）	5) 9)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-12-11)	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	○	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・6)軽量で、静的せん断応力、ｺｰﾝ指数、CBR,透水係数が大きいことから、盛土材、橋台・補強土壁の裏込め材、路盤材、ﾄﾞﾚｰﾝ材としての利用が図られている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・港湾整備事業（管理者） ・飛行場滑走路移設事業（管理者） ・発電所取水口周辺護岸修繕工事（その他機関） ・護岸修繕工事（管理者）	6)

出典）

1)石炭灰を骨材及び混和材として使用したｺﾝｸﾘｰﾄに関する研究(ｸﾘﾝｶｱｯｼｭを細骨材として使用したｺﾝｸﾘｰﾄの諸性状)(日本建築学会大会学術講演梗概集、平成11年9月)
2)ｸﾘﾝｶｱｯｼｭを細骨材として用いたｺﾝｸﾘｰﾄの基礎的性状(日本建築学会九州支部研究報告、平成11年3月)
3)石炭灰ハンドブック　平成27年度版（日本フライアッシュ協会、平成27年11月）
4)ｻﾝﾄﾞﾄﾞﾚｰﾝ工法へのｸﾘﾝｶｱｯｼｭの適用(土木学会第60回年次学術講演会、平成17年9月)
5)石炭灰を中詰め材料に利用したｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ工法の試験工事(土木学会第54回年次学術講演会、平成11年9月)
6)ｸﾘﾝｶｱｯｼｭの材料特性と適用性の検討(地盤工学ｼﾞｬｰﾅﾙ、平成19年)
7)石炭灰(ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ)の道路盛土材への利用技術の開発について～国土交通省東北地方整備局が本格活用の方針～(東北電力資料)
(http://www.tohoku-epco.co.jp/whats/news/2003/30729a.htm、平成15年7月)
8)平成25年度　浚渫土砂の有効活用による海域環境改善方策検討調査報告書
9)石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）((一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.12.5 (2)　クリンカアッシュの適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
⑪	裏埋材	○	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・裏込材の技術資料、利用実績等を基に、利用検討が可能と考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・埋立護岸築造工事（管理者）	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・6)軽量で、静的せん断応力、ｺｰﾝ指数、CBR,透水係数が大きいことから軽量盛土材料、基礎材料、排水材料、路盤材料などに適用することが可能。 ・軟弱地盤上の盛土材料に適用した場合の検討を行った結果、ｸﾘﾝｶｱｯｼｭの有効性を確認。 ・7)ｸﾘﾝｶｱｯｼｭと不良土を混合し、道路の盛土材として利用することを目的に、道路盛土材としての利用可能な基準を満たすか確認した結果、ｸﾘﾝｶｱｯｼｭの混合割合が高いほど短期間で土質が改良され、道路の盛土材として利用可能となる結果が得られた。 ・9)ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ単体または高含水土との混合物の盛土材への適用について記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・土工工事（国交省、管理者） ・避雷器設置工事（その他機関）	6) 7) 9)
⑬	埋立材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・9)ｸﾘﾝｶｱｯｼｭと高含水土の混合物の埋立材への適用について記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・埋立工事（管理者、その他機関） ・造成工事（管理者） ・滑走路移設工事（管理者、その他機関） ・発電所灰捨場関係工事（その他機関）	9)
⑭	路床盛土材	○+	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・3)路床材の遮断層材及び凍上抑制層材として、砂の代替にｸﾘﾝｶｱｯｼｭの適用が認められている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・バイパス改良工事（国交省） ・空港道路新設（国交省） ・駐車場整備工事（管理者） ・道路拡幅工事（改良舗装工事）（管理者）	3)
⑮	路盤材	○	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・ｸﾘﾝｶｱｯｼｭの建設資材としての技術開発は道路用としてのものが確立されており、下層路盤材料として舗装設計施工指針、舗装施工便覧に規定。 ・3)下層路盤材料に「砂」の利用を認めており、ｸﾘﾝｶｱｯｼｭも同等の位置づけ。 ・ｸﾘﾝｶｱｯｼｭを下層路盤材料として使用する場合には、修正CBRについて規定の品質を満足することの確認が必要。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・舗装工事（国交省、管理者） ・管理用道路（管理者） ・火力発電所舗装工（その他機関）	3)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	△ （覆砂）	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・査読なしの研究論文等（講演資料等）に限られている。 【主な内容】 ・8)室内実験の結果、浚渫土砂（北九州港）との混合土について、リンの溶出抑制効果が認められ、アサリの潜砂行動への影響なしとされている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・実証実験（国交省等）	8)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)石炭灰を骨材及び混和材として使用したｺﾝｸﾘｰﾄに関する研究(ｸﾘﾝｶｱｯｼｭを細骨材として使用したｺﾝｸﾘｰﾄの諸性状)(日本建築学会大会学術講演梗概集、平成11年9月)
2)ｸﾘﾝｶｱｯｼｭを細骨材として用いたｺﾝｸﾘｰﾄの基礎的性状(日本建築学会九州支部研究報告、平成11年3月)
3)石炭灰ハンドブック　平成27年度版（日本フライアッシュ協会、平成27年11月）
4)ｻﾝﾄﾞﾄﾞﾚｰﾝ工法へのｸﾘﾝｶｱｯｼｭの適用(土木学会第60回年次学術講演会、平成17年9月)
5)石炭灰を中詰め材料に利用したｺﾝﾊﾞｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ工法の試験工事(土木学会第54回年次学術講演会、平成11年9月)
6)ｸﾘﾝｶｱｯｼｭの材料特性と適用性の検討(地盤工学ｼﾞｬｰﾅﾙ、平成19年)
7)石炭灰(ｸﾘﾝｶｱｯｼｭ)の道路盛土材への利用技術の開発について～国土交通省東北地方整備局が本格活用の方針～(東北電力資料)
(http://www.tohoku-epco.co.jp/whats/news/2003/30729a.htm、平成15年7月)
8)平成25年度　浚渫土砂の有効活用による海域環境改善方策検討調査報告書
9)石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）((一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) サンドコンパクションパイル材

クリンカアッシュをサンドコンパクションパイル材に用いる場合は、砂杭と同様の設計方法を用いることができる。(一財)石炭エネルギーセンターの**「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）」**において、クリンカアッシュ単味の用途として、サンドコンパクションパイル材が示されており、参照することができる。

破砕しやすい特性を持つため、留意が必要である。また、クリンカアッシュは角張った形状のものも含まれているため、取扱い時には手袋・防護メガネなどの着用が好ましい。

(3) 裏込材、裏埋材、盛土材、覆土材、路床盛土材

クリンカアッシュを裏込材、裏埋材、盛土材、覆土材、路床盛土材に用いる場合の設計は、天然砂と同様の方法を用いることができる。(一財)石炭エネルギーセンターの**「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）」**によると、クリンカアッシュは、軽量で高いせん断強度と透水性を有しており、単独で盛土材としても多数活用されている。また、クリンカアッシュによる改質土の用途として盛土材が示されており、高含水土とおよそ５対５の割合で混合することで、高い土質改良効果を発揮するとされている。

クリンカアッシュは天然砂に比べ軽量で透水性がよいことから、載荷重・土圧（常時）の軽減が期待できる。

一方で、クリンカアッシュは発電所内で製造される製品であるため、同じ発電所内で製造されたクリンカアッシュの性質のばらつきは小さいが、発電所が異なる場合はクリンカアッシュ間に品質のばらつきが見られることがある。特に重要な構造物への利用においては、事前に試験等を行って必要な材料特性等を確認することが望ましい。

また、アルカリ水の溶出が懸念される場合は、溶出水の対策を検討する必要がある。

(4) 埋立材

クリンカアッシュを埋立材に用いる場合は、天然砂と同様の設計方法を用いることができる。

クリンカアッシュは天然砂に比べ軽量のため、載荷重の軽減が期待できる。(一財)石炭エネルギーセンターの**「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）」**では、クリンカアッシュによる改質土の用途として埋立材が示されており、高含水土とおよそ５対５の割合で混合することで、高い土質改良効果を発揮するとされている。

一方で、クリンカアッシュは発電所内で製造される製品であるため、同じ発電所内で製造されたクリンカアッシュの性質のばらつきは小さいが、発電所が異なる場合はクリンカアッシュ間に品質のばらつきが見られることがある。特に重要な構造物への利用においては、事前に試験等を行って必要な材料特性等を確認することが望ましい。

また、アルカリ水の溶出が懸念される場合は、溶出水の中和等の対策を検討する必要がある。

(5) 路盤材（下層路盤材）

舗装施工便覧は、下層路盤材料に「砂」の利用を認めており、クリンカアッシュも同等の位置付けとなっている。

クリンカアッシュを下層路盤材料として使用する場合には**表 3.12.6** に示す品質を満足していることを確認する。

表 3.12.6　路盤材料の品質規格

材料名	修正ＣＢＲ（%）
粒度調整砕石	80以上
クラッシャラン	20以上

出典）石炭灰ハンドブック　平成 27 年度版（日本フライアッシュ協会、平成 27 年 11 月）

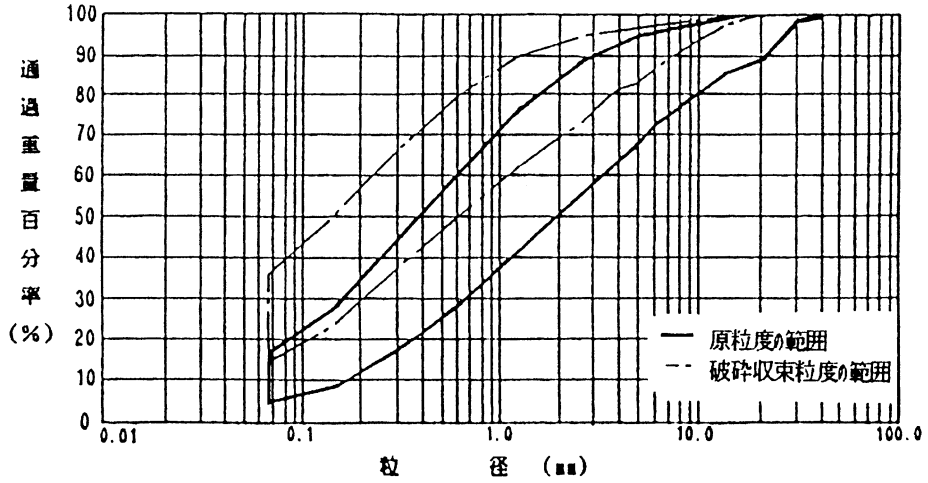
1)　材料特性

クリンカアッシュの粒度は粗粒砂程度であり、原粒度と路盤として載荷後の破砕収束粒度（転圧後粒度を意味する）の関係を**表 3.12.7**、**図 3.12.3** に示す。

表 3.12.7　原粒度と破砕収束粒度

産地＼項目 ふるい目(mm)		粒度（%）										
		40	30	20	13	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074
No.1 発電所	原粒度	100	99.0	89.4	85.0	68.8	58.9	43.5	30.1	22.3	15.9	10.6
	破砕収束粒度			100	99.2	85.3	74.6	65.6	54.3	41.4	30.2	22.1
No.2 発電所	原粒度			100	97.4	75.1	67.1	57.4	44.1	23.3	13.5	7.0
	破砕収束粒度			100	98.8	82.5	76.3	70.4	61.2	46.5	31.8	20.2
No.3 発電所	原粒度			100	99.3	94.9	89.0	76.0	60.5	44.6	27.9	15.9
	破砕収束粒度			100	99.4	96.8	94.6	89.5	79.6	66.5	51.0	35.2
No.4 発電所	原粒度		100	96.5	94.4	84.7	78.0	65.2	50.2	35.0	18.7	8.2
	破砕収束粒度			100	97.6	89.2	83.5	77.0	68.6	57.0	41.5	24.3
No.5 発電所	原粒度	100	99.7	96.2	92.5	67.2	54.6	39.9	27.5	17.2	8.5	4.0
	破砕収束粒度			100	97.3	84.6	72.9	61.0	49.3	37.0	23.8	13.9

出典）石炭灰ハンドブック　平成 27 年度版（日本フライアッシュ協会、平成 27 年 11 月）



出典）石炭灰ハンドブック　平成 27 年度版（日本フライアッシュ協会、平成 27 年 11 月）

図 3.12.3　クリンカアッシュの原粒度と破砕収束粒度の関係

原粒度と破砕収束粒度とは、かなり変化するが修正 CBR の値はほとんど変わらない。最適含水比は細粒化により５～10%減少し、密度はわずかに増大する。

比重は 2.1～2.3 であり普通の砂より軽い。

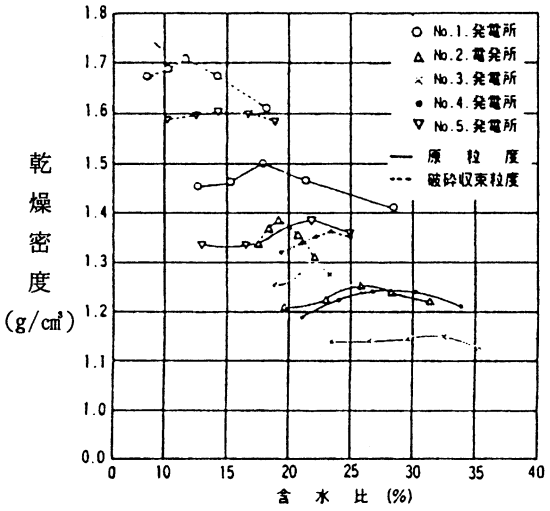
クリンカアッシュの浸水膨張率は 0.012～0.036%で、鐵鋼スラグ協会規格 3.0%に較べて極めて小さく膨張性の少ない材料である。

2) 土質力学的性状

土質力学的性状のうち最適含水比は 18%～32%であり、最大乾燥密度は 1.15～1.50g/cm^3 で全般的に小さい。

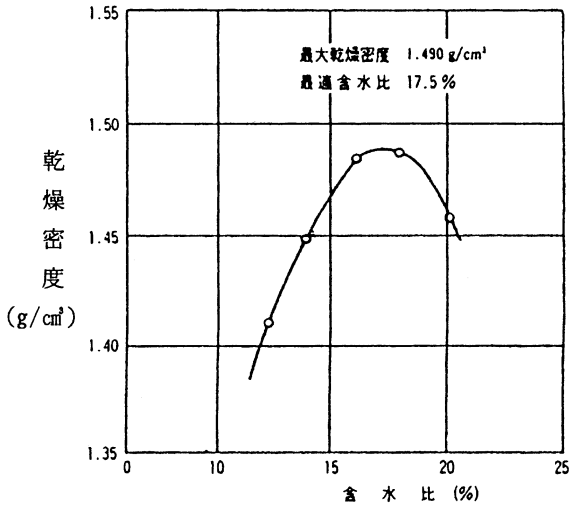
修正 CBR 値は 39～89 であり、普通の砂より大きい値を示している。これは粒度が粗粒砂程度であり、形状が砕石状であるためとみられている。

クリンカアッシュの突固め曲線の例を**図 3.12.4** に示す。



出典）石炭灰ハンドブック　平成 27 年度版（日本フライアッシュ協会、平成 27 年 11 月）

図 3.12.4(1)　クリンカアッシュの突固め曲線例(1)



出典）石炭灰ハンドブック　平成 27 年度版（日本フライアッシュ協会、平成 27 年 11 月）

図 3.12.4(2)　クリンカアッシュの突固め曲線例(2)

(6) 今後の検討を要する用途

1) コンクリート用細骨材

山砂などの粒度調整や海砂の塩化物含有量の低減などを目的に、これらの天然産の普通細骨材にクリンカアッシュ細骨材を混合して使用されている場合が多い。

クリンカアッシュ細骨材を使用したコンクリートの特長としては次が挙げられる。

・クリンカアッシュ細骨材自体がセメントのアルカリ刺激により水和反応を生じる性質を持っており、長期にわたり水和反応が継続するため、コンクリートの強度も長期にわたって増加する。

・クリンカアッシュ細骨材を用いたコンクリートでは、クリンカアッシュ細骨材の混合率が大きいほど乾燥収縮率が小さくなり、コンクリートの乾燥収縮ひび割れ発生の低減に効果がある。

クリンカアッシュを細骨材の一部代替として用いた場合、軽量コンクリートブロック等では代替率50%までは強度に影響は見られない等の試験結果が得られているが、今後さらに細骨材代替利用の試験データを蓄積し、各種の骨材への利用拡大が望まれるとされている[1)]。

【参考文献】

1) 日本フライアッシュ協会：石炭灰ハンドブック（平成 27 年度版）

2) バーチカルドレーン及びサンドマット材

クリンカアッシュは、粒状材料としてバーチカルドレーン及びサンドマットへの利用ができる。

サンドマットの場合、クリンカアッシュは天然砂に比べ軽量のため、載荷重の軽減が期待できる。

また、ドレーン排水がアルカリ性を示すため、周辺環境への影響が懸念される場合には排水処理等も考慮する必要がある。

3) 中詰材

クリンカアッシュを二重鋼管矢板や二重鋼矢板の中詰材に用いる場合は、天然砂と同様の設計方法を用いることができる。

クリンカアッシュは天然砂に比べ軽量であり、産地により異なるものの概ね（一般の土質が有する）30 度以上のせん断抵抗角を有する。

用途としての利用可能性はあるが、適用技術に係る情報が十分集積されていないことから、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

4) 覆砂材

クリンカアッシュを覆砂材に用いる場合は、天然砂と同様の設計方法を用いることができる。

クリンカアッシュは天然砂に比べ軽量のため、載荷重の軽減が期待できる。

一方で、クリンカアッシュは発電所内で製造される製品であるため、同じ発電所内で製造されたクリンカアッシュの性質のばらつきは小さいが、発電所が異なる場合はクリンカアッシュ間に品質のばらつきが見られることがある。特に重要な構造物への利用においては、事前に試験等を行って必要な材料特性等を確認することが望ましい。

また、アルカリ水の溶出が懸念される場合は、溶出水の中和等の対策を検討する必要がある。

3.12.4 関連法令

クリンカアッシュは産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.12.5 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

クリンカアッシュを材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.13 石炭灰二次製品

3.13.1 製造・供給

フライアッシュ固化体は、改良盛土材等として製造されている。また、砕石の代替材料としてフライアッシュ固化体破砕材が開発されており、主に道路用の砕石として製造されている。
石炭灰造粒物は、石炭火力発電所で発生するフライアッシュにセメント等を添加して粒状・固化したものである。
原料の石炭灰には、石炭火力発電所で発生する新生灰のほか、事業者所有の貯炭場等で湿潤化されたエージング灰も利用される。

（解説）

(1) 製造方法

1) フライアッシュ固化体

① フライアッシュ固化体（改良盛土材）

フライアッシュ固化体（改良盛土材）は、石炭灰（原粉）・高炉セメント・水・石膏を専用プラント（ミキサー）で混練りし、ダンプトラックで現場まで運搬、層状に敷き均し、天端面から面的に加振することにより、層状練混物を一気に流体化させ締め固める工法である。

項　　目	仕　　様
敷地面積	8,500m^2
ミキサー形式	2.5m^3、2 軸強制練りタイプ
製造能力	60m^3／hr
フライアッシュサイロ	200t×3 基
セメントサイロ	50t×1 基
石膏ヤード	約 25t
水槽	攪拌水槽、工業用水槽、海水槽

図 3.13.1　プラント全景と設備仕様

図 3.13.2　施工（締固め）状況

② フライアッシュ固化体破砕材

フライアッシュ固化体破砕材は、石炭火力発電所から発生した石炭灰にセメント（普通または高炉セメント）と水を添加混合・固化後に破砕・粒度調整した人工砕石である。岸壁の裏込め材料として再度粒度調整を行った製品も製造されている。

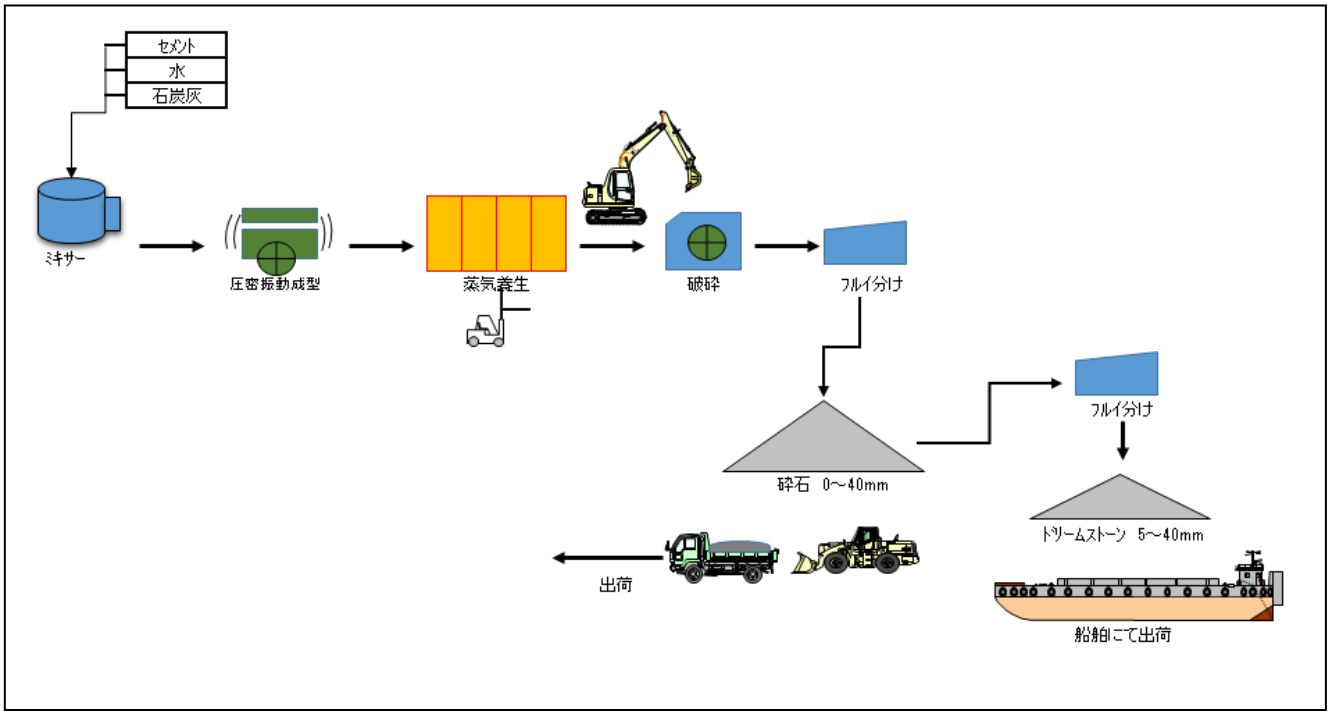


図 3.13.3　プラントの製造フロー（例）

フィールド試験場所（構内、レベル測定）

施工状況

図 3.13.4　施工状況

2)　石炭灰造粒物

石炭灰造粒物は、転動造粒方式により製造される。基本配合として、石炭灰に対し、セメント 10～15%、水量 20～25%を添加している。

粒径は出荷時に分級・選別により粒度調整するが、製品規格の標準は 40 ㎜以下のものである。

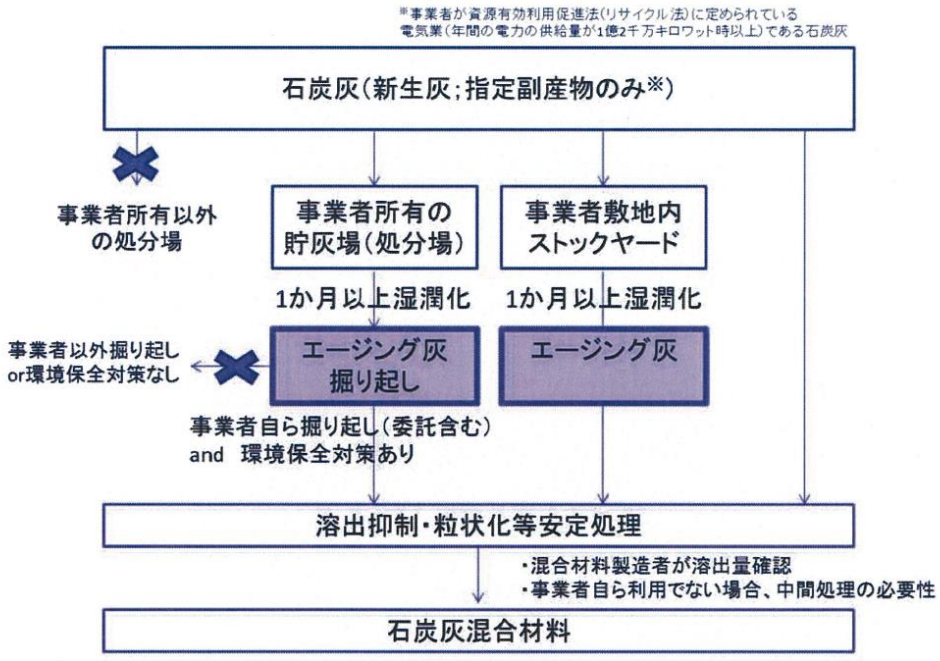
図 3.13.5　石炭灰造粒物仮置場

(2) エージング灰について

火力発電所から副成された新生灰のうち、湿潤化させ、おおむね１ヶ月以上置かれた石炭灰を「エージング灰」と呼び、新生灰と同様、石炭灰混合材料（固化体、造粒物等）として利用することができる。

エージング灰は、事業所所有の貯炭場（処分場）または事業所敷地内のストックヤードにおいて、湿潤状態で静置される。品質が安定しており、かつ大量の資材を短期間に必要とするスポット需要に対応できる等の特徴を持つ。

エージング灰を用いた混合材料の利用にあたっては、**「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（エージング灰（既成灰）編）」（（一財）石炭エネルギーセンター）**を参照することができる。



出典）石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（エージング灰（既成灰）編）（一財）石炭エネルギーセンター）

図 3.13.6　エージング灰の利用イメージ

(3) 供給・利用の状況

1) 供給地域

① フライアッシュ固化体（改良盛土材）（製品名：アッシュクリート Type Ⅱ）

陸上輸送：熊本県天草市、苓北町周辺
運搬時間 1 時間程度の範囲内が目安

海上輸送：実績なし

② フライアッシュ固化体破砕材

陸上輸送：山形県酒田市、鶴岡市他周辺町村（製品名：FRC 砕石、ドリームストーン）
秋田県能代市、能代市他周辺町村（製品名：FRC 砕石、ドリームストーン）
苫小牧周辺及び札幌市などの工場周辺 100km 圏内（製品名：フライクリーン）
相馬市周辺（製品名：リグラッシュ）

海上輸送：福島県小名浜港、青森県大湊への運搬実績あり（製品名：ドリームストーン）
実績なし（製品名：フライクリーン）

③ 石炭灰造粒物

陸上輸送：石炭灰造粒物製造所（発電所）周辺

海上輸送：実績なし

2) 事業所の立地場所

石炭灰二次製品の製造所（代表例）の立地場所を**図 3.13.7** に示す。

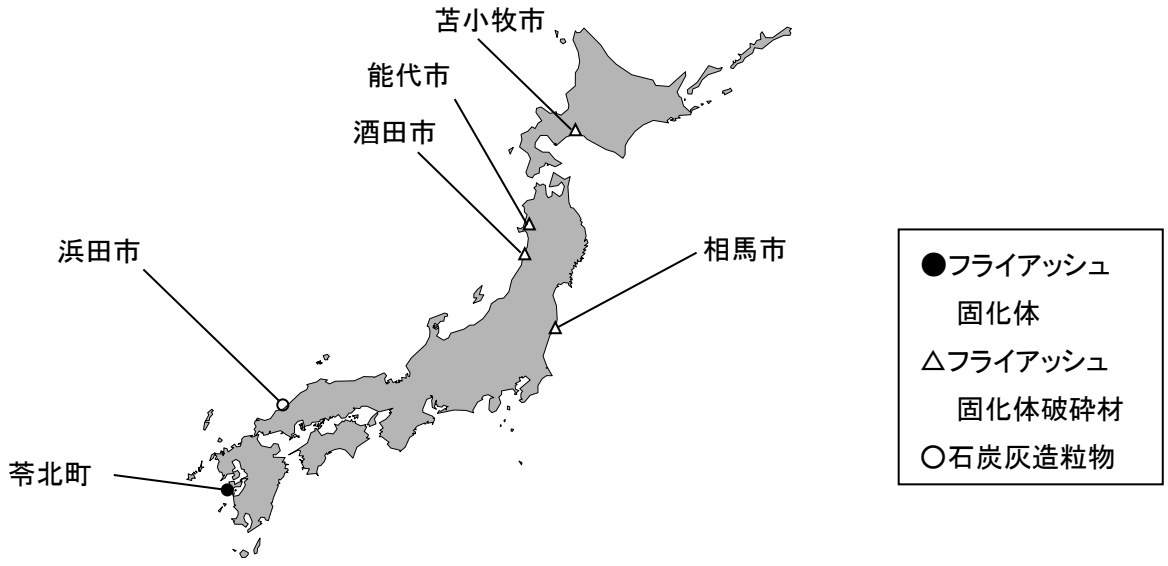


図 3.13.7　石炭灰二次製品の製造所（代表例）の立地場所

3) 製造量

①**フライアッシュ固化体**：約 78,000m³／年（製品名：アッシュクリート TypeⅡ）（平成 25 年度実績）

②**フライアッシュ固化体破砕材**

約 6.2 万ｔ／年（製品名：FRC 砕石、ドリームストーン）（製造能力）

※年度別製造量は**表 3.13.1** のとおり

約 10 万ｔ／年（製品名：フライクリーン）（石炭灰処理量の平成 25 年度実績）

③**石炭灰造粒物**：6 万 m³／年、200m³／日（製品名：Ｈｉビーズ製造能力）

表 3.13.1　フライアッシュ固化体破砕材の製造量（製品名：FRC 砕石、ドリームストーン）

年度別	製造量(t)	出荷量(m³)		合計出荷量(m³)
		FRC 砕石 (0～40mm)	ﾄﾞﾘｰﾑｽﾄｰﾝ (5～40mm)	
令和元年度	60,238	77,929	622	78,551
令和 2 年度	57,948	51,096	42	51,138
令和 3 年度	54,529	40,572	38	40,610
令和 4 年度	40,010	38,954	4,566	43,520
合　　計	212,725	208,551	5,268	213,819

※令和 4 年度は 11 月末現在の数量

4) 用途別使用量

①**フライアッシュ固化体破砕材**：**表 3.13.2** のとおり

②**石炭灰造粒物**：**表 3.13.3** のとおり

表 3.13.2　フライアッシュ固化体破砕材の用途別使用量（製品名：FRC 砕石、ドリームストーン）

材料名	用　　途	使用数量(m³)	全出荷量に対する割合(%)	摘　　要
FRC 砕石	路盤材	153,390	71.7%	
	盛土	10,368	4.8%	
	裏込め・裏埋材	44,793	20.9%	
ﾄﾞﾘｰﾑｽﾄｰﾝ	盛土	4,618	2.2%	
	裏込め・裏埋材	650	0.3%	
合　　計		213,819	100.0%	

※令和元年～令和 4 年度 11 月末現在までの数量

表 3.13.3　石炭灰造粒物の用途別使用量（製品名：Ｈｉビーズ）

地盤改良材

No	発注機関	施工時期	施工場所	概略数量 (単位:m³)	備考
1	国土交通省中国地方整備局	平成 14 年	小野田港	7,000	SCP
2	山陽小野田市	平成 15 年	刈屋漁港	11,000	SCP
3	広島県	平成 14～15 年	大竹地区	76,000	SD, SM
4	山口県	平成 16～18 年	徳山下松港	81,000	SM
5	国土交通省中国地方整備局	平成 17～18 年	元安川	3,000	SM
6	中国四国防衛局	平成 19～20 年	岩国基地	43,000	SCP(液状化対策)
7	中国四国防衛局	平成 20～21 年	岩国基地	60,000	SD
8	国土交通省中国地方整備局	平成 23 年	尾道市	700	SCP（低置換）

SCP：ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材，SD：ｻﾝﾄﾞﾄﾞﾚｰﾝ材，SM：ｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材

環境修復材

No	発注機関	施工時期	施工場所	概略数量 (単位:m³)	備考
1	国土交通省中国地方整備局 (出雲河川事務所)	平成 17 年～継続	中海 (島根県・鳥取県)	210,000	環境修復
2	山口県	平成 18～20 年	埴生沖，小野田沖	37,000	水産事業
3	島根県	平成 22～23 年	安来港	14,000	環境修復
4	国土交通省中国地方整備局 (広島港湾事務所)	平成 22 年	広島湾(海田)	9,400	環境修復
5	国土交通省中国地方整備局 (太田川河川事務所)	平成 20 年	広島市内(一級河川)	100	河川浄化
6	広島大学・国土交通省中国地方整備局・広島県・福山市・中国電力ｸﾞﾙｰﾌﾟ　共同研究	平成 23 年	福山港	5,500	環境修復
7	広島県	平成 23 年～継続	京橋川(広島市内)	2,700	環境修復
8	広島高速道路公社	平成 23 年	本川(広島市内)	590	環境修復
9	国土交通省中国地方整備局 (太田川河川事務所)	平成 22～24 年	天満川(広島市内)	435	環境修復
10	松江市	平成 25 年	松江城　堀川	実証試験	水質浄化
11	広島県	平成 26 年	福山港	10,000	環境修復
12	熊本県	平成 26 年	熊本県百貫港	1,200	水産資源回復

3.13.2 品質

フライアッシュ固化体は、路盤材、コンクリート再生骨材等の品質規格に基づき製造されている。
石炭灰造粒物の外観は砂粒状であり、粒子密度は天然砂よりもやや小さくばらつきがある。

（解説）

(1) フライアッシュ固化体

1) 物理・力学的性質

○単位体積重量：約 1.7t/m^3

○透水係数：10^{-7}～10^{-8}cm/s

○配合によるが、N 値 5 程度から 28 日強度で 5N/mm^2 以上の強度レベルも可能である。

2) 化学的性質

表 3.13.4　配合例

単位：kg/m^3

石 炭 灰	セメント	石　　膏	水
1,250	10～100	25	350

(2) フライアッシュ固化体破砕材

1) 物理・力学的性質

① 製品名：FRC 砕石

○粒度範囲:0～40mm　○最大乾燥密度:1.144g/cm^3　○最適含水比:43.0%

○修正 CBR: 90.2%　○単位体積重量:13.1ｋN/m^3(標準締固め時)　○設計 CBR: 85.3%

○透水係数:1.4×10^{-2}cm/s

○一軸圧縮強さ：20～22N/mm^2（材齢 28 日）

② 製品名：FRC 砕石ドリームストーン

○粒度範囲:5～40mm　○最大乾燥密度:1.066g/cm^3　○最適含水比:37.5%

○修正 CBR:63.3%　○単位体積重量:11.9ｋN/m^3(標準締固め時)　○設計 CBR:56.9%

○透水係数:5.5×10^{-0} cm/s

○一軸圧縮強さ：20～22N/mm^2（材齢 28 日）

表 3.13.5　粒度の基準

骨材のふるい分け試験　JIS A 1102

粒径(mm)	所要範囲(%)※1	試験結果(%)※2
53	100	100.0
37.5	95 ～ 100	96.1
19	50 ～ 80	74.3
4.75	15 ～ 40	31.9
2.36	5 ～ 25	17.9

※1　国土交通省東北地方整備局土木工事共通仕様書　第2編材料編　第2章2－2－3アスファルト舗装用骨材　1.砕石･再生砕石及び鉄鋼スラグの粒度

※2　令和4年度の骨材試験結果

表 3.13.6　フライアッシュ固化体破砕材の再生砕石としての品質規格

試　験　名　称	試験方法	規格値※1	試験結果※2	摘　　要
骨材のスリヘリ減量試験	舗装調査・試験法便覧 A005	50%以下	32.9%	試料は A003 に従ってふるいわけ試験を行う
土の液性・塑性限界試験	舗装調査・試験法便覧 F005	6 以下	NP	0.42mm フルイ通過分の PI　測定
修正 CBR 試験	舗装調査・試験法便覧 E001	30%以上	90.2%	

※1　国土交通省東北地方整備局土木工事共通仕様書 第3編土木工事共通編 第2章一般施工 8.下層路盤材の材料規格

※2　令和4年度の骨材試験結果

③ 製品名：フライクリーン

北海道開発局及び北海道におけるコンクリート再生骨材の品質規格に基づき製造されている。

○粒度：40～0 ㎜、○粗粒率：6.20、○密度：1.82kg/L、○吸水率：23.43%、

○最適含水比：22.7%、○最大乾燥密度：1.287g/cm^3、

○修正 CBR：128.3%、（参考）○凍上率：9.1%

2) 化学的性質

① 製品名：FRC 砕石

溶出試験の結果例を**表 3.13.7** に示す。安全環境基準は規定されていないが、道路の路盤材としての利用が多いことから環境省告示第 46 号を基準値としている。また、生活環境保全に関する環境基準として、環境省告示第 59 号付表 6 ふっ素及びほう素についても試験対象としている。いずれの項目についても基準値を下回っている。

表 3.13.7　フライアッシュ固化体破砕材の溶出試験結果例

FRC 砕石　溶出試験結果　（令和 4 年 9 月のデータ）

番号	分析の対象	単位	基準値	試験値	定量下限値	分析方法
1	ｶﾄﾞﾐｳﾑまたは化合物	mg／L	0.01 以下	0.003 未満	0.003	JIS K 0102-55.2
2	鉛または化合物	mg／L	0.01 以下	0.005 未満	0.005	JIS K 0102-54.2
3	六価クロム化合物	mg／L	0.05 以下	0.01 未満	0.01	JIS K 0102-65.2,1
4	砒素または化合物	mg／L	0.01 以下	0.005 未満	0.005	JIS K 0102-61.2
5	水銀またはその化合物	mg／L	0.0005 以下	0.0005 未満	0.0005	S46 環告第 59 号付表 2
6	セレンまたは化合物	mg／L	0.01 以下	0.005 未満	0.005	JIS K 0125-67.2
7	ふっ素含有量	mg／L	0.8 以下	0.16	0.08	JIS K 0125-34.4
8	ほう素	mg／L	1 以下	0.1 未満	0.1	JIS K 0102-47.4

② 製品名：フライクリーン

北海道開発局及び北海道におけるコンクリート再生骨材の品質規格に基づき製造されている。

表 3.13.8　配合

単位：kg/m^3

石炭灰	セメント	水
600～650	150～162	150～200

(3) 石炭灰造粒物

石炭灰造粒物の外観は、砂粒状であり、粒子密度は天然砂よりもやや小さくばらつきがある(2.1～2.6g/cm^3)。これはセメント・水を添加し造粒することにより空隙を多く含むためであり、吸水率はやや高い。

表 3.13.9　石炭灰造粒物の品質規格

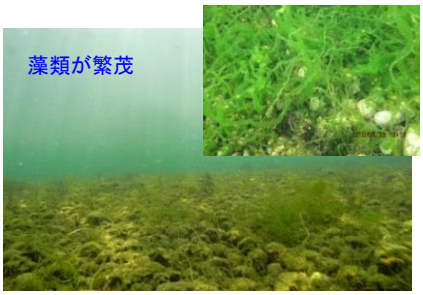
品質項目	単位	試験方法	規格値	備　考
土粒子の密度	g/cm^3	JIS-A-1202	2.1～2.4	沖積粘土2.5～2.75，砂質土2.6～2.8，水砕ｽﾗｸﾞ2.6～2.9
乾燥密度	g/cm^3	JIS-A-1225	0.8～1.1	沖積粘土0.5～1.4，砂質土1.2～1.8，水砕ｽﾗｸﾞ0.8～1.1
湿潤密度	g/cm^3	JIS-A-1225	1.0～1.4	沖積粘土1.2～1.6，砂質土1.6～2.0，水砕ｽﾗｸﾞ0.9～1.3
含水比	%	JIS-A-1203	15～35	
粒度(ふるい)	%	JIS-A-1204	粒径加積曲線参照	
透水試験	m/s	JIS-A-1218	1.04×10^{-2}m/s(0Ec)	
(40mm以下製品対象)			4.99×10^{-7}m/s(6Ec)	
最適含水比	%	JIS-A-1210	40～50（5mm以下）	
			20～30（40mm以下）	
吸水率	%	JIS-A-1110	15～25	水砕ｽﾗｸﾞ0.5～3.0
		JIS-A-1109		
三軸圧縮強度(内部摩擦角)	度	JGS 0524	35以上(0Ec)	礫質土35°，砂質土30°，水砕ｽﾗｸﾞ35°
(40mm以下製品対象)			45以上(6Ec)	
圧潰強度	MPa	JIS-Z-8841	1.2以上	
重金属の溶出試験	－	海洋汚染基準	基準値以下	陸上利用の場合は「土壌の汚染に係る環境基準」を満足すること
		(昭和48.2.17 総令6)		

注)湿潤密度，乾燥密度は最大乾燥密度(最適含水比)の90%密度に突き固めた値である。

環境修復材料としては、以下の特徴により、海域での好気条件が創造しやすく、特に閉鎖性環境で問題となっている貧酸素に対し、高い改善効果が得られる。結果的に底生生物相の改善に繋がっている。

・砂よりも軽く、ヘドロ上への覆砂においても、減り込み量が少ない。
・粒そのものは、容積の 40%の微細な空隙を保有している。
・高い硫化水素吸着能力を有する。
・覆砂を施した石炭灰造粒物表面は光の届く範囲で、短期間に珪藻被膜される。
・覆砂間隙中に浮泥が堆積しても弱アルカリ環境下を維持しているため、嫌気状態になりにくく、ヘドロ化しない。
・底質から溶出する富栄養化物質（N,P）の吸着・抑制効果がある。

石炭灰造粒物外観



石炭灰造粒物覆砂後

図 3.13.8　石炭灰造粒物の外観、使用例

1) 物理・力学的性質

① 単位体積重量

湿潤単位体積重量は 1.0g/cm^3～1.4g/cm^3 であり、天然砂よりも軽い。

② 粒度

粒度は出荷時に分級・選別を行い調整して出荷しており、概ね 0～40㎜ に調整している。

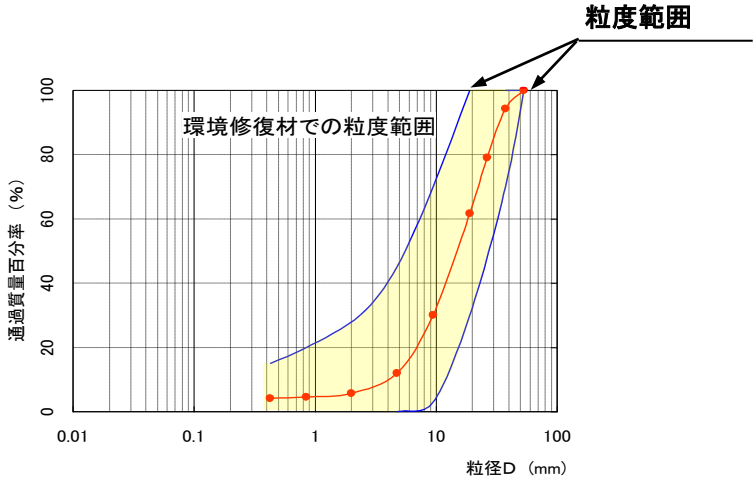


図 3.13.9　石炭灰造粒物の粒径加積曲線

③ 透水性

透水性は、砂と同等の性能が得られる。

④ せん断抵抗角

せん断抵抗角（φ）は、45°以上と天然材料に比べ大きな値であり、海砂と同様な改良効果であることを確認している。

2) 化学的性質

① 微量成分の溶出

利用用途（陸上、海域）に応じて、「土壌の汚染に係る環境基準」、「海洋汚染基準」を満足することを確認している。

② 環境安全品質

石炭灰造粒物は石炭灰を製品加工したものであることから、納入に際しては使用場所の所轄環境行政（保健所等）と事前に報告・協議を行い、商品として取扱う事の妥当性を確認することとしている。

(4) エージング灰を用いた石炭灰混合材料

石炭灰混合材料の原料にエージング灰を用いた場合、新生灰を用いた場合と比較して、製造された石炭灰混合材料は以下の特徴を持つことが報告されている。

・乾燥密度は 0.9～1.1g/cm^{3}程度で、新生灰を用いた石炭灰混合材料よりもやや軽い。
・28 日養生後の一軸圧縮強さは、セメント添加率が低い（2～5%）と新生灰よりも低くなる傾向がみられるが、15～18%ではほぼ同等。
・新生灰よりも低いセメント添加率で土壌環境基準に適合させることができる。

(5) 補足事項

フライアッシュ固化体、フライアッシュ固化体破砕材及び石炭灰造粒物の代表例についての状況は、上述のとおりであるが、実用化している他の二次製品、混合材料等も含めて、基本物性の概要を**表 3.13.10** に示す。

表 3.13.10(1)　石炭灰二次製品及びその他混合材料の基本物性一覧

混合材料種　別	破砕材			
技術の種　類	頑丈土破砕材	アッシュロバン	Jーアッシュ	フライ・クリーン
主原料	石炭灰＋セメント＋水 ＋スラグ，石膏	石炭灰＋セメント ＋二水石膏＋水	石炭灰＋砕石 ＋セメント＋水	石炭灰+セメント＋水
物　性	○粒度　細粒分混じりの土質材料 ○土粒子密度 2.3～2.4 g/cm^3 ○最大乾燥密度 1.25g/cm^{3}以下 ○強熱減量　10%以下 ○透水係数 1x10^{-4}～10^{-5} cm/s	○最大粒径　40mm ○最大乾燥密度 1.20～1.50g/cm^3 ○単位容積重量 （Wet）1.25±0.15g/cm^3 （Dry）1.05±0.1g/cm^3 ○最適含水比　20～30%	○最大粒径 必要に応じて ○湿潤密度 1.603～1.635g/cm^3 ○最大乾燥密度 1.192～1.198g/cm^3 ○最適含水比 33.9～36.8% ○透水係数 1x10^{-5}～10^{-7} cm/s	○粗粒率　6.18 ○密度　1.82g/cm^3 ○吸水率　23.12% ○最適含水比　23.1% ○最大乾燥密度　1.277g/cm^3
強度特性	○圧縮強さ（材齢28日） 300～800kN/m^2 ○せん断抵抗角 30°　以上 ○修正CBR 40%以上 ○液状化抵抗比 Rℓ_{20}≒0.3	○圧縮強さ（材齢28日） 1,800kN/m^{2}以上	○内部摩擦角 31.1～34.5° ○90%修正CBR 31.7% ○粘着力 30.6～76.5kN/m^2 ○コーン指数 14,989～18,357kN/m^2	○修正CBR　134.5% （参考） ・凍上率　13.2% （判定：合格）
施工性	○圧縮性 透水性があり埋立てと同時に沈下が収束する ○トラフィカビリティー 陸上部のコーン貫入抵抗は1,200kN/m^{2}以上 ○粉　塵 粉塵の発生は少ない	○通常の下層路盤材と施工性は同程度	○通常の施工手順および建設機械で施工が可能 ○テールアルメ工法背面埋戻し材にも利用可能	下層路盤材，凍上抑制材，基礎砂利
用途	盛土材，埋立材ほか	盛土材，埋立材	盛土材，埋立材	下層路盤材，凍上抑制材，基礎砂利
その他	○開発者 沖縄電力㈱， 日本国土開発㈱ ○出典 港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書 第06003号 石炭灰を有効利用した埋立て材料「頑丈土破砕材」，財団法人 沿岸技術研究センター，2006.11 ほか	○開発者 中部電力㈱ ○出典 建設技術審査証明報告書 土木系材料技術（技審証　第0902号）石炭灰を用いた下層路盤材「アッシュロバン」，（財）土木研究センター，1997.7 ○出荷時に破砕材に結合材（石炭灰・セメント・石膏）と水を添加したものが「アッシュロバン」。 ※現在は製造中止	○開発者 常磐共同火力㈱， 日本国土開発㈱ ○出典 震災復興資材としてのJ-アッシュの活用、2013年石炭灰有効利用シンポジウム講演集、（一財）石炭エネルギーセンター、2013.11	○開発者 越智建設㈱， 北海道電力㈱

（注）表中の値は、各々の記載資料より転載した。

出典）石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）（（一財）石炭エネルギーセンター、平成 30 年 2 月）

表 3.13.10 (2)　石炭灰二次製品及びその他混合材料の基本物性一覧

混合材料種別	破　砕　材			
技術の種類	FRC砕石	ORクリート	アッシュクリートTypeS	SCP工法用砂代替材
主原料	石炭灰＋セメント＋水	石炭灰＋セメント＋水＋添加材（＋細骨材）	石炭灰＋セメント＋水＋添加材	石炭灰＋セメント＋水
物　性	○細粒分　2.1% 粒度分布は再生砕石の粒度基準値を満足 ○単位体積重量 （標準締固時）1.337g/cm^3 ○最大乾燥密度 1.166g/cm^3 ○透水係数　3.7×10^{-2}cm/s ○最適含水比　41.1%	○単位容積質量 1.10g/cm^{3}以上 ○最適含水比　25～35%	○粒度分布は200mm以下を標準とし調整可能 ○単位容積質量 1.274g/cm^3 ○最適含水比　27～37%	○粒径　5～20mm ○透水係数　1x10^{-3}cm/s以上
強度特性	○内部摩擦角　41°　以上 ○修正CRR　83.7% ○一軸圧縮強度(σ28日) 18N／mm^{2}以上 ○スリヘリ減量　32.4% (参 考) ・液状化抵抗 FL値　2.32＞1.0 （判定：液状化しない） ・凍上速度0.1mm/h未満 （判定：凍上性低い）	○一軸圧縮強度 15N/mm^{2}以上 ○修正CBR 70%以上	○内部摩擦角　40.2° ○95%修正CBR 74～125% ○せん断強さ 64.3kN/m^2	○内部摩擦角　35°　以上
施工性	○通常の施工手順、建設機械で施工が可能。 ○軽量であるため、路床・路体への荷重が軽減されるほか構造物に作用する土圧荷重が軽減される等、軽量盛土材としても利用される。 ○一般的な再生砕石に比較して運搬の効率化が図られる。		○通常の施工手順および建設機械で施工が可能	○在来のSCP工法と同様な方法で施工できる。
用途	下層路盤材、盛土材(路体・路床)、裏込め、裏埋め、埋立材、各種構造物の基礎材料	盛土材，埋立材	盛土材，埋立材	地盤改良材（SCP）
その他	○開発者 酒田FRC有限責任事業組合 ○出典 NETIS　TH-110021-VE 特許H28 第5471036号	○開発者 日本国土開発， JCOAL， 新和商事 ○出典	○開発者 相馬共同火力発電㈱， ㈱安藤・間 ○出典 石炭灰高リサイクル破砕材の適用について、土木学会第71回年次学術講演会概要集 VI-698，2016.9	○開発者 中部電力㈱ ○出典 港湾関連民間技術の確認審査・評価　評価証説明資料　技術名：「SCP工法の砂代替材として粒状化した石炭灰を活用するリサイクル技術」第01001号　(財)沿岸開発技術研究センター　2001.3 ※現在は製造中止

（注）表中の値は、各々の記載資料より転載した。

出典）石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）（（一財）石炭エネルギーセンター、平成 30 年 2 月）

表 3.13.10(3)　石炭灰二次製品及びその他混合材料の基本物性一覧

混合材料種別	造粒材		塑性材	
技術の種類	Hiビーズ	灰テックビーズ	アッシュクリートTypeⅡ	ソマッシュ
主原料	石炭灰＋セメント＋ベントナイト＋水	石炭灰＋セメント＋水	石炭灰＋セメント＋石膏＋水	石炭灰＋セメント＋助剤＋水
物性	○形状　ほぼ球状 ○自然含水比　11.6% ○粒の湿潤密度 1.747g/cm^3 ○吸水率　16.4% ○スレーキング率　0.21% ○平均粒径　7.5mm ○透水係数 1.34x10^{-3}cm/s(6Ec)	○粒度　礫質土 ○細粒分含有率　15%未満 ○粒子の乾燥密度 1.3～1.6g/cm^3 ○透水係数 1x10^{-2}～10^{-4}cm/s程度	○外観　振動締固めで造成する固化地盤 ○単位容積重量 1.6～1.8g/cm^3 ○透水係数 1x10^{-7}～10^{-8}cm/s	○湿潤密度　1.6～1.9g/cm^3 ○最適含水比　20～25% ○透水係数 1x10^{-8}cm/s以下
強度特性	○内部摩擦角　47.6°（6Ec） （参考）粒子強度 ・圧潰強度 （7日）1.069MN/m^2 （28日）1.606MN/m^2	○圧縮強さ（材齢90日） 1000kN/m^{2}程度以下 ○せん断抵抗角 35°程度以上 ○粘着力　50kN/m^{2}以上 ○修正CBR　20%以上 ・コーン指数 （材齢90日）（参考） 15,000kN/m^{2}程度以下	○圧縮強度（材齢28日） 5,000kN/m^{2}以上 ○静弾性係数 4～6×10^{3}N/mm^{2}程度 ○現場CBR　200%程度	○圧縮強度（材齢28日） 4,000～8,000kN/m^2
施工性	○SCP（高置換）材として十分適用可能な材料である。 ○SCP材として使用する場合の設計値と管理値を提案している。	○通常の土質材料と同様の施工性を有する。	○プラントで練り混ぜた材料を、専用機器により現地で振動締固めを行う。	○最適含水比になるように自走式土質改良機やプラントで混合した後、ブルドーザで敷き均し、コンバインドローラ等で締固める。
用途	海底覆砂材， 地盤改良材（SCP）ほか	盛土材，埋立材	盛土材，埋立材	盛土材，埋立材
その他	○開発者 中国電力㈱ ○出典 Hiビーズによる環境改善効果について，土木学会第58回年次学術講演会概要集（Ⅶ-314），2003.9	○開発者 四国電力㈱ ○出典 建設技術審査証明報告書 土木系材料・製品・技術（建技審証　第0414号）石炭灰を利用した粒状地盤材料「灰テックビーズ」，（財）土木研究センター，2014.11更新	○開発者　㈱安藤・間 ○建材試験センター　環境主張建設資材の適合証明書（第CCG0003-4(2)号）省資源型1級、環境保全型1級 ○出典 石炭灰リサイクル建設資材の盛土造成工事への有効利用、地盤工学会九州支部，地盤環境および防災における地域資源の活用に関するシンポジウム発表論文集、2010.1	○開発者 ㈱大林組， 相馬環境サービス㈱ ○出典 石炭灰を活用した復興工事への取組みー石炭灰を活用した防潮堤盛土実証試験ー，土木施工，Vol.54，No.9，2013

（注）表中の値は、各々の記載資料より転載した。

出典）石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）（（一財）石炭エネルギーセンター、平成 30 年 2 月）

表 3.13.10(4)　石炭灰二次製品及びその他混合材料の基本物性一覧

混合材料 種　別	塑性材	ス ラ リ ー 材		クリンカアッシュ
技術の 種　類	ポゾテック	Fスラリー	浚渫土，セメント系改良土 （種類：砂質土・シルト系）	クリンカアッシュ単体
主原料	石炭灰+亜硫酸石膏(石膏) +消石灰+水	石炭灰＋セメント＋水	浚渫土＋石炭灰 ＋セメント＋海水	クリンカアッシュ
物　性	○ポゾラン反応による 強度発現 ○締め固めた固化体は 土砂に比較して軽量 低い透水性 ○乾燥密度 1.2～1.4 t/m^3 ○透水係数 10^{-5}～10^{-7} cm/s ○最大粒径 4.8mm	○フロー値 160～240mm ○単位容積重量 1.6～1.9g/cm^3	○事前処理（振動フルイ）により障害物除去と最大粒径50mm以下 ○フライアッシュの配合比で密度変動 ○単位容積重量 1.6～2.0g/cm^3 ○最適含水比　20～30% ○透水係数 $1x10^{-3}$～10^{-5}cm/s	○礫分を10～70%程度、砂分を30～70%程度含み、礫質土あるいは砂質土に分類される ○湿潤単位容積質量 1.4g/cm^3程度 ○最適含水比 15～60% ○透水係数 $8.8x10^{-3}$～7.2×10^{-1}cm/s
強度特性	○一軸圧縮強度(4週間経過後) 980～5,000kN/m^2程度 (参考) （10日）　770 kN/m^2 （28日）　5,060 kN/m^2	○圧縮強度（材齢28日） 300～1,000kN/m^2以上	○一軸圧縮強さ（材齢28日） 300～1,000kN/m^2以上	○内部摩擦角　35° 以上 ○CBR　20%以上 ○コーン指数 1,200kN/m^2以上
施工性	○土砂と比較して軽量な為、地盤沈下が抑えられる。 ○在来工法と同じ重機で施行可能。 ○運搬・施工時の発塵僅少	○フライアッシュを利用することで、ベアリング効果により流動性が高く、自己充填性を有する。 ○セルフレベリングするので、仕上げ施工が不用	○浚渫土砂にフライアッシュとセメントを混合したスラリーを水中打設して改良土地盤を構築 ○適正な含水調整で水中不分離性能を発揮させ、埋戻しや裏込め撒きだし施工で汚濁低減が可能となる。	○軽量で、高いせん断強度と透水性を有しており、構造物の合理的な設計に寄与できる。
用途	盛土材、埋立材	裏込め材，充填材	盛土材，埋立材	盛土材，埋立材
その他	○開発者 日本コークス工業㈱ ○出　典 建設技術審査証明報告書 土木系材料・製品・技術、道路保全技術(建技審証　第0427号)石炭灰(混焼含む)を利用した路盤・路床・盛土材『ポゾテック』（財)土木研究センター 2015.3更新	○開発者 北海道電力㈱ ○出典 現地混合型フライアッシュスラリーの諸特性について、土木学会第66回年次学術講演会講演梗概集、pp.1175-1176、2011.9 ※2016年度をもって製造・販売を終了	○開発者 国土交通省北海道開発局，北海道電力株式会社，東洋建設株式会社 ○出典 石炭灰を利用した水中土工材の水中不分離性と力学特性，電力土木№295，2001.9	○開発者 中国電力㈱ ○出典 クリンカアッシュの有効利用状況について、2013年石炭灰有効利用シンポジウム講演集、(一財)石炭エネルギーセンター、2013.11

（注）表中の値は、各々の記載資料より転載した。

出典）石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）（（一財）石炭エネルギーセンター、平成 30 年 2 月）

表 3.13.10(5)　石炭灰二次製品及びその他混合材料の基本物性一覧

混合材料 種　別	クリンカアッシュ	新素材コンクリート
技術の 種　類	クリンカアッシュ混合物 （クリンカ混合土）	ネオ・アッシュクリート
主原料	第4種建設発生土，泥土 ＋クリンカアッシュ	セメント＋水（海水） ＋石炭灰＋金属スラグ骨材
物　性	建設発生土とクリンカアッシュの混合比5：5の場合 ○所定強度（qc＝400kN/m^2）を確保。 ○単位容積質量 1.60g/cm^3 ○含水比　40%程度 ○透水係数 9×10^{-6}cm/s	○フレッシュ性状　0～8cm程度で調整可能 ○密度　2.3～2.6t／m^3 ○水質汚濁に係わる環境基準をクリア
強度特性	○内部摩擦角　13° ○CBR　1.1～1.7% ○コーン指数 550～610kN/m^2	○圧縮強度　コンクリートと同等で調整も可能
施工性	○適正な含水調整で水中不分離性能を発揮させ、埋戻しや裏込め撒きだし施工で汚濁低減が可能となる。	○ダンプトラックかトラックミキサで運搬 ○型枠，内部バイブレータで締固め
用途	盛土材，埋立材	盛土材，埋立材
その他	○開発者 国土交通省東北地方整備局、東北電力㈱ ○出典 道路盛土における石炭灰と建設発生土利用ガイドライン（案）（クリンカアッシュ編）、国土交通省東北地方整備局、2003.3	○開発者 中国電力、山口大学、安藤・間、テトラ ○出典 石炭灰を活用したネオ・アッシュクリートによる消波ブロックの製造、セメント・コンクリートNo.667，2002.9

（注）表中の値は、各々の記載資料より転載した。

出典）石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）（（一財）石炭エネルギーセンター、平成 30 年 2 月）

3.13.3 適用用途

(1) 概要

フライアッシュ固化体及び石炭灰造粒物を利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、石炭灰二次製品（フライアッシュ固化体及び石炭灰造粒物）を各用途に利用する場合の評価を行った結果をそれぞれ**表 3.13.11**、**表 3.13.12** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.13.11　石炭灰二次製品（フライアッシュ固化体）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁築造工事（国交省）	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	○	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・1)FSG 固化体は、石炭灰および石膏に鉄鋼業からの高炉ｽﾗｸﾞ微粉末を加水して練り混ぜることで圧縮強度が40～60N/mm^2 のｺﾝｸﾘｰﾄ並の強度を発現する固化体であり、FSG 固化体はﾌﾞﾛｯｸに用いられている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・防波堤根固工事,被覆工事（国交省）	1)
⑩	裏込材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)3)5)石炭灰混合材料（破砕材）の裏込め材料への適用について記載。 ・構造物の背面に裏込め材料として適用する石炭灰混合材料は軽量な固化体となるため、一般土砂による埋立工法に比べ埋立地盤の沈下抑制に寄与するﾒﾘｯﾄがある。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・ふ頭岸壁外（災害復旧）工事（国交省） ・ふ頭護岸（災害復旧）築造工事（国交省） ・護岸整備土木その他工事（その他機関）	2) 3) 5)
⑪	裏埋材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・5)石炭灰混合材料（粒状材）の裏埋材への適用について記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・ふ頭岸壁外（災害復旧）工事（国交省） ・護岸整備土木その他工事（その他機関）	5)
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	○$^+$	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)3)5)石炭灰混合材料（破砕材）の盛土材料への適用について記載。 ・4)路床、路体(盛土)、土地造成などに適用した場合、軽量で強度が大きいことから、盛土時の沈下量減少や盛土の安定性が高く、基礎地盤改良の低減が図れるとされている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・道路事業（管理者）	2) 3) 4) 5)
⑬	埋立材	△	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)5)石炭灰混合材料（破砕材）の埋立材料への適用について記載。 ・構造物の背面に適用する埋立材料として石炭灰混合材料は、軽量な固化体であるため、一般土砂による埋立工法に比べ埋立地盤の沈下抑制に寄与するとともに、構造物に対し背面土圧を軽減する。	－	●利用実績なし	2) 5)
⑭	路床盛土材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)3)5)石炭灰混合材料（破砕材）の道路路床盛土材料への適用について記載。 ・4)路床、路体(盛土)、土地造成などに適用した場合、軽量で強度が大きいことから、盛土時の沈下量減少や盛土の安定性が高く、基礎地盤改良の低減が図れるとされている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・臨港連絡橋道路（国交省） ・道路改良舗装工事（国交省） ・県道改良工事（管理者）	2) 3) 4) 5)
⑮	路盤材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・2)石炭灰混合材料（破砕材）の下層路盤への適用について記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・道路改良舗装工事（国交省） ・船着場舗装修理（管理者）	2)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)石炭灰有効利用技術について-循環型社会を目指して-　報告書((社)土木学会、平成15年9月)
2)石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）((一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月)
3)建設技術審査証明報告書　石炭灰を利用した人工地盤材料「頑丈土破砕材」（財団法人土木研究センター、平成23年2月内容変更)
4)「頑丈土破砕材(石炭灰を利用した人工地盤材料)」建設技術審査証明((財)土木研究ｾﾝﾀｰ、平成21年)
5)石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）（土木学会、令和3年3月)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.13.12(1)　石炭灰二次製品（石炭灰造粒物）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	○	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・1)海砂の代替材としてｻﾝﾄﾞﾄﾞﾚｰﾝの中詰め砂材としての利用を記載。 ・2)大型土槽を用いた目詰まり試験から、石炭灰造粒物はﾄﾞﾚｰﾝ材として十分に適用可能であることを確認。【査読無し】 ・3)ｻﾝﾄﾞﾄﾞﾚｰﾝ工法について、設計・施工ともに天然の材料と同様の粒状材料として扱うことができるとされている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・地盤改良工事（国交省、管理者）	1) 2) 3)
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)海砂と同等の締固め効果及び施工性が期待。 ・3)ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ工法について、設計・施工ともに天然の材料と同様の粒状材料として扱うことができるとされている。 ・4)護岸工事等へ十分採用できること、SCP専用船を使用した施工性は海砂と同等以上であることを確認。【査読無し】 ・7)11)石炭灰混合材料（造粒材）のｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ用材への適用について記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・泊地等潜堤築造等工事（国交省） ・地盤改良工事（国交省、管理者）	1) 3) 4) 7) 11)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	△	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・5)一般の砂質土および礫質土と同等の強度特性・透水係数・締固め特性を有しており、軽量で、ｽﾚｰｷﾝｸﾞによる影響は小さいことを確認。 ・裏込め材など、通常の砂質土、礫質土系の地盤材料と同等の設計・施工を行うことが可能。 ・6)裏込めや埋戻しに利用した場合、通常の砂質土や礫質土と同等の強度特性を有し、軽量であることから土圧を低減できる利点がある。 ・7)11)石炭灰混合材料（造粒材）の裏込め材料への適用について記載。 ・構造物の背面に裏込め材料として適用する石炭灰混合材料は軽量となるため、一般土砂による埋立工法に比べ埋立地盤の沈下抑制に寄与するﾒﾘｯﾄがある。	－	●利用実績なし	5) 6) 7) 11)
⑪	裏埋材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・11)石炭灰混合材料（粒状材）の裏埋材への適用について記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・護岸（災害復旧）築造工事（国交省）	11)

出典）

1)石炭灰有効利用技術について-循環型社会を目指して-　報告書((社)土木学会、平成15年9月)
2)石炭灰造粒物のＳＤ材料への適用性評価のための目詰まり試験(土木学会第57回年次学術講演会、平成14年9月)
3)港湾工事推奨用ﾘｻｲｸﾙ製品便覧(令和3年度版)(ﾘｻｲｸﾙﾎﾟｰﾄ推進協議会、令和4年4月)
4)石炭灰造粒物の海上SCP打設試験における改良特性(その1,2,3)(土木学会第56回年次学術講演会、平成13年10月)
5)ﾌﾗｲｱｯｼｭを主原料とした粒状材料の開発とその特性(地盤工学ジャーナル、平成19年)
6)「灰ﾃｯｸﾋﾞｰｽﾞ(石炭灰を利用した粒状地盤材料)」建設技術審査証明((財)土木研究ｾﾝﾀｰ、平成21年)
7)石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）((一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月)
8)造粒化した石炭灰の地盤材料への適用性(土木学会第56回年次学術講演会、平成13年10月)
9)「石炭灰造粒物(Hi ﾋﾞｰｽﾞ)による海域環境の改善技術」(環境省、平成22年度環境技術実証事業)
10)石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き(広島港湾空港技術調査事務所、平成25年3月)
11)石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）（土木学会、令和3年3月)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.13.12(2)　石炭灰二次製品（石炭灰造粒物）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・5)一般の砂質土および礫質土と同等の強度特性・透水係数・締固め特性を有しており、軽量であり、ｽﾚｰｷﾝｸﾞによる影響は小さいことを確認。盛土材など、通常の砂質土、礫質土系の地盤材料と同等の設計・施工を行うことが可能。 ・6)盛土に利用した場合、軽量であることから基礎地盤への影響(特に沈下)が少なくなる利点がある。 ・7)11)石炭灰混合材料（造粒材）の盛土材料への適用について記載。 ・8)盛土材料および凍上抑制層材料として使用できる材料。【査読無し】	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・高潮堤防工事（国交省） ・ふ頭部擁壁工事（国交省） ・港湾整備工事（管理者）	5) 6) 7) 8) 11)
⑬	埋立材	△	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・7)11)石炭灰混合材料（造粒材）の埋立材料への適用について記載。 ・構造物の背面に適用する埋立材料として石炭灰混合材料は、軽量な固化体であるため、一般土砂による埋立工法に比べ埋立地盤の沈下抑制に寄与するとともに、構造物に対し背面土圧を軽減する。	－	●利用実績なし	7) 11)
⑭	路床盛土材	△	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・6)土地造成、路床・路体などの適用について、通常の土質材料と同等に利用することができる。	－	●利用実績なし	6)
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	◎ （覆砂）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・3)砂の代替材として覆砂材へ用いることができるとされている。 ・9)石炭灰造粒物を水質・底質改善材として、従来材料(天然砂)にある物理的効果に加えて化学的な効果を期待できる技術として、海底覆土、覆砂の実証実験が行われ、硫化物ｲｵﾝの溶出抑制効果等を確認。 ・10)底質改善材として海底に散布する際の事前調査、施工計画、モニタリング等の手引きが整備されている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・覆砂工事（国交省、管理者） ・海域環境創造事業（管理者） ・窪地環境修復事業（その他機関）	3) 9) 10)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)石炭灰有効利用技術について-循環型社会を目指して-　報告書((社)土木学会、平成15年9月)
2)石炭灰造粒物のＳＤ材料への適用性評価のための目詰まり試験(土木学会第57回年次学術講演会、平成14年9月)
3)港湾工事推奨用ﾘｻｲｸﾙ製品便覧(令和3年度版)(ﾘｻｲｸﾙﾎﾟｰﾄ推進協議会、令和4年4月)
4)石炭灰造粒物の海上SCP打設試験における改良特性(その1,2,3)(土木学会第56回年次学術講演会、平成13年10月)
5)ﾌﾗｲｱｯｼｭを主原料とした粒状材料の開発とその特性(地盤工学ジャーナル、平成19年)
6)「灰ﾃｯｸﾋﾞｰｽﾞ(石炭灰を利用した粒状地盤材料)」建設技術審査証明((財)土木研究ｾﾝﾀｰ、平成21年)
7)石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）((一財)石炭ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ、平成30年2月)
8)造粒化した石炭灰の地盤材料への適用性(土木学会第56回年次学術講演会、平成13年10月)
9)「石炭灰造粒物(Hi ﾋﾞｰｽﾞ)による海域環境の改善技術」(環境省、平成22年度環境技術実証事業)
10)石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き(広島港湾空港技術調査事務所、平成25年3月)
11)石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）（土木学会、令和3年3月)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) バーチカルドレーン及びサンドマット材、サンドコンパクションパイル材（石炭灰造粒物）

石炭灰造粒物は、サンドコンパクションパイル工法、サンドドレーン工法において、設計・施工ともに天然の材料と同様の粒状材料として扱うことができる。(一財)石炭エネルギーセンターの**「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版））」、「石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）」（土木学会、令和 3 年 3 月）**において、石炭灰造粒物の用途としてサンドコンパクションパイル材が示されている。

なお、サンドドレーン材等のように排水機能を要求される場合には、細粒分含有率を 15%未満に抑えておく必要がある。

図 3.13.10　SCP 施工状況

(3) 被覆石、根固・消波ブロック（フライアッシュ固化体・固化体破砕材）

港湾エリアで利用されるブロックについては、既述のフライアッシュ固化体・固化体破砕材と異なり、通常のコンクリートと同様の硬化体である。

材料構成の異なる複数の製造方法の取り組みがなされ、いずれもフライアッシュの特徴を活かした耐久性の高いブロック製造を可能としている。代表的な方法として、セメントを減らし、普通骨材に代えて鉄鋼スラグ骨材を用いる方法や、骨材を使用せず、セメントとフライアッシュのみ使用する場合などがある。

(4) 裏込材（フライアッシュ固化体・固化体破砕材）、裏埋材

フライアッシュ固化体を裏込材に利用する場合、締め固め後は時間の経過とともに徐々に強固かつ安定な路盤・地盤へと変化する。そのため、層内の液状化や地盤沈下などによる変状の懸念もない。

フライアッシュ固化体破砕材を裏込材、裏埋材に利用する場合、設計・施工は天然材料（割石、切込砂利、玉石）と同様の方法を用いることができる。粒度範囲は 5～40㎜ で液状化しない(**港湾の施設の技術上の基準・同解説**:液状化の可能性のある粒度範囲参照)。また、水中部においても施工可能で天然材料に比較して軽量である。

石炭灰造粒物は 10N/㎟ 程度の供試体強度（石炭灰造粒物円柱テストピースの強度試験）、1.6 N/㎟ 程度の圧潰強度（粒子強度）を有し、護岸・岸壁背面等の裏埋材として、設計・施工とも天然の材料と同様に扱うことができる。通常の天然材料に比べ単位体積重量が軽いことから、護岸・岸壁背後等の土圧（常時）軽減策として、活用できる。

(5) 盛土材、覆土材、載荷盛土材（フライアッシュ固化体（固化体破砕材）・石炭灰造粒物）

石炭灰造粒物を盛土材、覆土材、載荷盛土材として、設計・施工とも天然の材料と同様に扱うことができる。

石炭灰造粒物は、盛土材、覆土材の適用では、通常の天然材料に比べ単位体積重量が小さいことから、基礎地盤への影響（沈下）が少なくなり、荷重低減策として活用できる。

石炭灰造粒物は、載荷盛土材の適用では、通常の天然材料に比べて単位体積重量が小さいことから、載荷荷重が小さくなるため、盛土が高くなる・載荷期間が長くなる等留意が必要である。

フライアッシュ固化体を盛土材、覆土材として利用する場合、締め固め後は時間の経過とともに徐々に強固かつ安定な路盤・地盤へと変化する。そのため、層内の液状化や地盤沈下などによる変状の懸念もない。一方、強度によっては、再掘削に大きな労力を要することから、その可能性のある盛土材、覆土材については、強度面を考慮した十分な検討が必要である。

フライアッシュ固化体破砕材を盛土材として利用する場合、天然材料及び建設発生土と同様の方法を用いることができる。下層路盤材料としての品質規格を満足しており、盛土材として利用はできるが、覆土材としての利用実績はない。フライアッシュ固化体を載荷盛土材として利用する場合、強度によっては、再掘削に大きな労力を要することから、強度面を考慮した十分な検討が必要である。なお、フライアッシュ固化体破砕材は軽量なため、載荷盛土材としては適さない。

(6) 路床盛土材（フライアッシュ固化体・固化体破砕材）

フライアッシュ固化体を路床盛土材として利用する場合、締め固め後は時間の経過とともに徐々に強固かつ安定な路盤・地盤へと変化する。そのため、層内の液状化や地盤沈下などによる変状の懸念もない。

フライアッシュ固化体破砕材は、道路用の下層路盤材としての品質規格を満足しており、十分な強度を持つ材料である。また、天然砂と比較すると液状化しにくく施工性がよく、締め固め密度も大きい。

(7) 路盤材（フライアッシュ固化体・固化体破砕材）

フライアッシュ固化体を路盤材として利用する場合、締め固め後は時間の経過とともに徐々に強固かつ安定な路盤・地盤へと変化する。そのため、層内の液状化や地盤沈下などによる変状の懸念もない。

フライアッシュ固化体破砕材は、専用プラントで製造されているため、品質にばらつきが少なく安定した材料であり、下層路盤材としての品質をすべて満足している。

(8) 覆砂材（石炭灰造粒物）

環境修復材として、ヘドロ化した底泥に散布・挿入・混合することで、生物が生息しやすい環境に改善することができ、水質・底質環境改善を目的とした工事に適用できる。

石炭灰造粒物による栄養塩、硫化物イオンの溶出抑制効果を考慮し、覆砂箇所の底質環境に応じ覆砂厚（設計厚）の設定ができる。また、石炭灰造粒物層の好気的な環境保全効果により造粒物表層への新生堆積物はヘドロ化しないことから、環境改善効果が継続され、生物相の回復が維持される。さらに、従来の砂と比較し 2 割程度軽量であり、機能維持の追加施工をする場合においても、減り込み量が少なくすむ。

なお、覆砂後に良好な浸透場を形成するため、石炭灰造粒物の細粒分は極力減らしておく必要がある。

図 3.13.11　覆砂工事施工状況

【既存工事における検討事項】

・施工時において、石炭灰造粒物の散布によって海底泥の巻き上がりや材料分離が生じ、濁度が一時的に上昇することが懸念されたため、散布口付近に汚濁防止膜を設置し、濁度監視を行った。（護岸安定化等工事）

・環境改善効果把握のための底質調査において、石炭灰造粒物は砂礫質を呈すため、必要となる被覆層内のコアを不攪乱状態で採取することが困難であることから、試験施工前に不攪乱試料採取のためのアクリルコアを設置した。（護岸安定化等工事）

・環境改善効果把握のための水質調査において、水質は移流等で変動が激しく瞬間値での評価が困難であることから、海底に連続観測機器を設置し、水質の連続観測を行った。（護岸安定化等工事）

(9) 今後の検討を要する用途

1) 裏込材（石炭灰造粒物）

裏込材へ通常の土工材料と同様に利用することができるが、利用実績はない。石炭灰造粒物は海上運搬での供給が想定されている。

2) 埋立材

フライアッシュ固化体破砕材を埋立材として利用する場合、天然材料と同様の方法を用いることができる。下層路盤材料としての品質規格を満足しており、通常の埋立材と同様に利用できるが利用実績はない。

石炭灰造粒物を埋立材として利用する場合、埋立材へ通常の土工材料と同様に利用することができるが、利用実績はない。

3) 路床盛土材（石炭灰造粒物）

土地造成、路床・路体などへ通常の土工材料と同等に利用することができるが、利用実績はない。石炭灰造粒物は海上運搬での供給であり、陸上（山間部など岸壁から離れた場所）で使用する場合はコスト面から標準材料に劣る。

3.13.4 関連法令

フライアッシュ固化体及び石炭灰造粒物は産業副産物であるフライアッシュを使用しているので、法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.13.5 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

フライアッシュ固化体及び石炭灰造粒物を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

なお、フライアッシュ固化体は、再利用時（掘削時）には、強度によっては破砕・小割が必要である。フライアッシュ固化体破砕材は、バックホウなどの重機による再掘削が可能であり、容易に小礫化・砂状化できることから再利用しやすい。フライアッシュ固化体及び石炭灰造粒物は、再利用時（掘削時）には微小粒子の発生があるので、環境安全性について留意が必要である。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.14 銅スラグ

3.14.1 製造・供給

銅スラグは、銅製錬において銅精鉱を溶錬炉で処理する際に副生する溶融したスラグを水砕により固化、粒状化させたものである。

（解説）

(1) 製造方法

銅スラグの製造工程を**図 3.14.1** に示す。溶錬炉内に銅精鉱などの銅原料と珪石などの副原料を酸素富化空気とともに炉内に装入すると、銅精鉱は酸化されて銅を主成分とする溶融状態のマットと、鉄（FeO）、シリカ（SiO_2）を主成分とする溶融状態のスラグとなる。これを比重差によって分離し、上層にある溶融状態のスラグを水砕により固化、粒状化させ、その後用途に合わせ、破砕・粒度調整を経て製造されたものが銅スラグである。

溶錬炉の型式は連続製銅炉、反射炉、自溶炉とあるが、溶錬炉で生成する溶融スラグに大きな違いはなく、溶融スラグの処理設備も国内 5 製錬所間に大きな違いはないため、銅スラグの品質に差異はない。

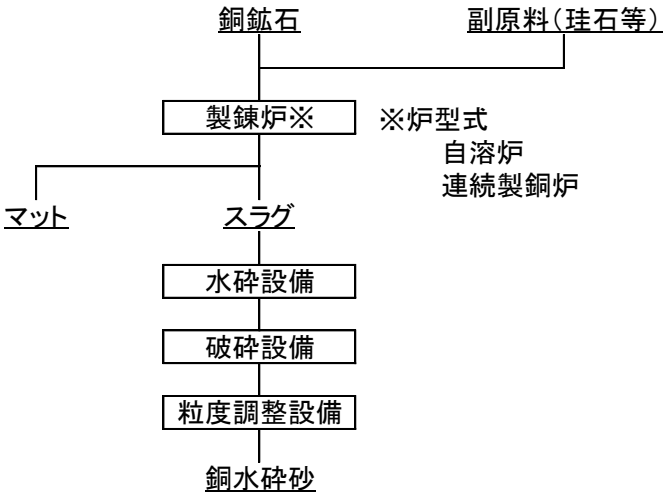


図 3.14.1　銅スラグの製造工程

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

東北、関東、中部、近畿、中国、四国、九州

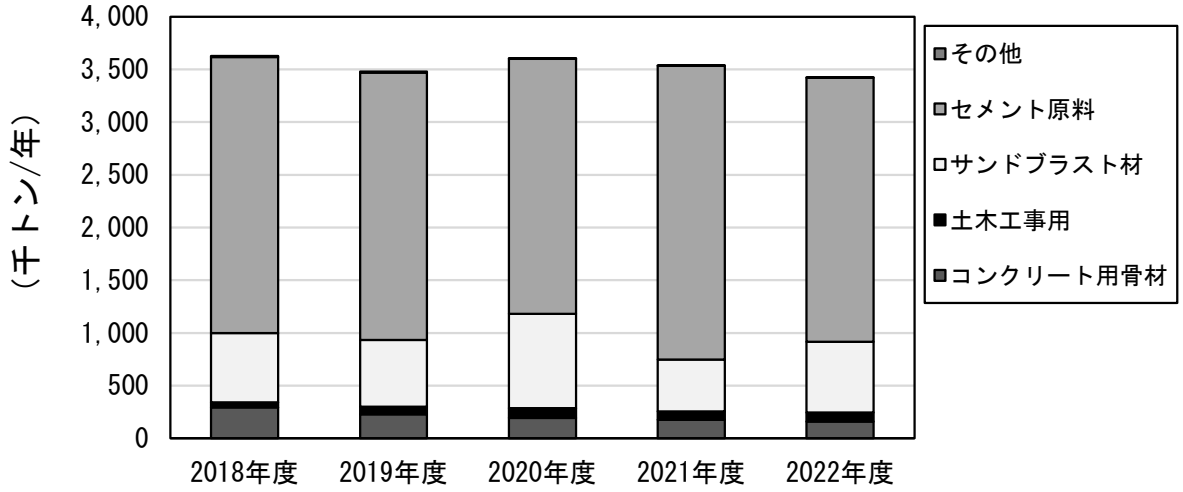
2) 事業所の立地場所

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）より作成

図 3.14.2　銅スラグ製造所（銅製錬所）の立地場所

3) 生産量

銅スラグ：約 290,000t/月（2018 年～2022 年平均、販売実績ベース）



出典）日本鉱業協会提供資料より作成

図 3.14.3　銅スラグの販売実績の推移

3.14.2 品質

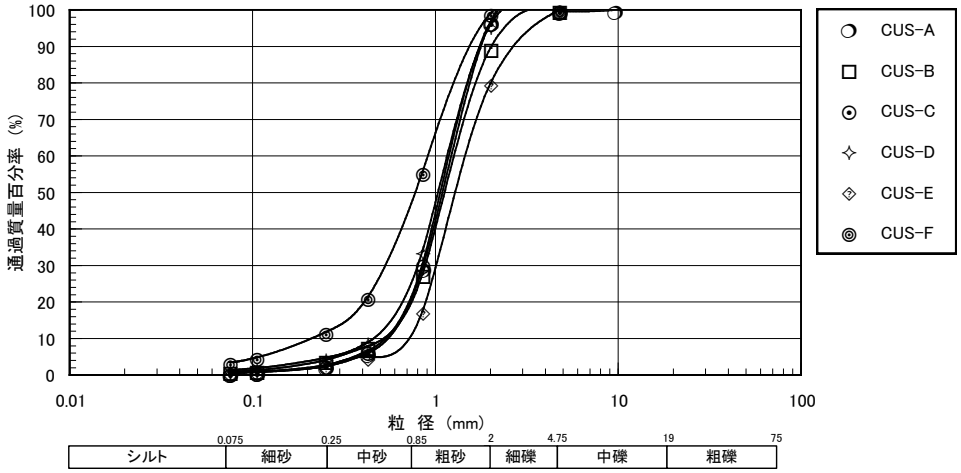
(1) 物理的性質

1) 銅スラグ（水砕品)は単粒度の砂状であり、粒径 0.1mm 以下の細粒をほとんど含まない。
2) 銅スラグの土粒子密度は 3.5～3.6g/cm³ であり、一般的な砂（2.7g/cm³)に比べ大きい。
3) 銅スラグを水中投入した際の堆積後の飽和単位体積重量は、概ね水砕品は 23.5kN/m³ であり、加工品は 25.0kN/m³ である。
4) 銅スラグの膨張・収縮性は認められない。
5) 銅スラグの水硬性は認められない。

（解説）

1) 粒度

国内 5 製錬所の銅スラグの粒度分布の一例を**図 3.14.4** に示す。CUS-A～CUS-E は、水砕処理した後、粒度調整を施していないもので、以後“水砕品”と呼ぶ。CUS-F は、水砕処理した後、粒度調整を施したもので、以後“加工品”と呼ぶ。水砕品（CUS-A～CUS-E）は、製錬所によるばらつきが非常に小さい。



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成27年9月）

図 3.14.4　国内 5 製錬所の銅スラグの粒度分布の一例

代表的な粒径と均等係数の一例を**表 3.14.1** に示す。水砕品（CUS-A～CUS-E）は、均等係数が 2.0～2.4 と単粒度である。加工品（CUS-F）の均等係数は、水砕品（CUS-A～CUS-E）より高く 4 以上となっている。

表 3.14.1　国内 5 製錬所の銅スラグの粒径と均等係数の一例

名称	スラグ種	60%粒径 D_{60}(mm)	平均粒径 D_{50}(mm)	10%粒径 D_{10}(mm)	均等係数 U_C
CUS-A	水砕品 CUS5-0.3	1.21	1.13	0.56	2.16
CUS-B		1.26	1.11	0.54	2.33
CUS-C		1.18	1.10	0.56	2.09
CUS-D		1.15	1.07	0.48	2.40
CUS-E		1.53	1.33	0.75	2.04
CUS-F	加工品 CUS2.5	0.91	0.79	0.21	4.36

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

2) 土粒子密度

国内 5 製錬所の銅スラグの土粒子密度、最大・最小密度試験の一例を表 3.14.2 に示す。銅スラグの土粒子密度は 3.5～3.6g/cm^3 であり、一般的な砂（2.7g/cm^3)に比べ 30%程度大きい。また銅スラグの最小乾燥密度は 1.6～1.9g/ cm^3 であり、最大乾燥密度は 1.9～2.5g/ cm^3 である。

表 3.14.2　銅スラグの土粒子密度、最大・最小密度試験の一例

名称	スラグ種	土粒子密度 (g/cm^3)	最少乾燥密度 (ρ_{dmin}) (g/cm^3)	最大乾燥密度 (ρ_{dmax}) (g/cm^3)
CUS-A	水砕品 CUS5-0.3	3.551	1.68	2.04
CUS-B		3.606	1.74	2.16
CUS-C		3.641	1.77	2.15
CUS-D		3.548	1.72	2.16
CUS-E		3.539	1.62	1.94
CUS-F	加工品 CUS2.5	3.626	1.91	2.46

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

3) 単位体積重量

ケーソン等の本体工への中詰材の投入を模擬した銅スラグを用いた水中落下実験を実施し、相対密度は 40～87%であり、その時の飽和単位体積重量γsat の試算を行ったところ、飽和単位体積重量γsat の範囲は、水砕品（CUS- A～E）で 22.6～24.1kN/m^3（平均 23.5kN/m^3）、加工品（CUS- F）で 24.6～25.0kN/m^3（平均 24.8kN/m^3）であった。なお、試算に必要な物性値は表 3.14.2 の値を用いた（水の密度は海水密度 1.03g/cm^3 とした）。

なお、現在、中詰材の飽和単位体積重量の品質管理方法としては、水を張った容器に中詰材を投入し、その際の単位体積重量を測定する方法（軽装法と一般的に呼ばれる）で行われている場合が多い。

4) 膨張性

銅スラグは、鉄（FeO）とシリカ（SiO_2）を主成分とする高温で溶融状態のスラグが水砕により急冷凝固されたものであり、ガラス質から構成されている。そのため、膨張の原因となりやすい CaO や MgO が単独で存在しないので膨張性が認められない。

5) 水硬性

膨張性がない理由と同様に、銅スラグは CaO や MgO が単独で存在しないので、水和反応が起こらず水硬性が認められない。

(2) 力学的性質

1)銅スラグの透水係数は Dr60%の状態で 1×10^{-4} cm/s 以上であり、突き固めにより透水係数は 3 割程度低下する。突き固めによる粒子破砕の程度は低い。
2)水砕品のせん断抵抗角 ϕ_d は 34° 程度である。一方、加工品のせん断抵抗角 ϕ_d は 38° 程度である。

（解説）

1) 透水性

国内 5 製錬所の銅スラグの透水試験結果の一例を**表 3.14.3** に示す。透水係数は、水砕品（CUS-A～CUS-E）が 2～3×10^{-3}cm/s 程度であり、加工品（CUS-F）が 1～2×10^{-4}cm/s 程度である。

表 3.14.3 国内 5 製錬所の銅スラグの透水試験結果の一例

名称	スラグ種	透水係数 k(cm/s)	10%粒径 D_{10}(mm)	試験時の ρ_d(g/cm^3) (Dr60%)
CUS-A	水砕品 CUS5-0.3	3.65×10^{-3}	0.56	1.88
CUS-B		3.49×10^{-3}	0.54	1.97
CUS-C		3.70×10^{-3}	0.56	1.98
CUS-D		2.02×10^{-3}	0.48	1.96
CUS-E		3.31×10^{-3}	0.75	1.80
CUS-F	加工品 CUS2.5	1.62×10^{-4}	0.21	2.21

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

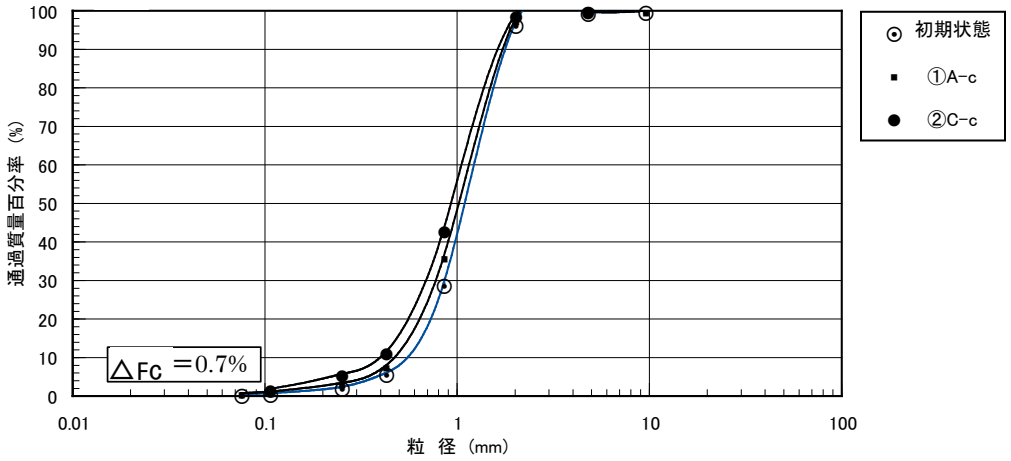
突固めた銅スラグの透水試験結果及び突固め透水試験前後の粒度変化の一例を**表 3.14.4**及び**図 3.14.5**に示す。突き固めた銅スラグの透水係数は、1～2×10^{-3}cm/s程度であり、突き固めにより透水係数は3割程度低下する。突き固め前後の粒度分布から、破砕の程度は低いことが分かる。

表 3.14.4 突固めた銅スラグ（CUS-A)の透水試験結果の一例

名称	透水係数（cm/s）		透水係数の低下率(%)
	A-c 法	C-c 法	
CUS-A	1.57×10^{-3}	1.06×10^{-3}	32.5%

＊透水係数の低下率=(*KAc-KCc*)/*KAc**100

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.14.5 突固め透水試験前後の粒度変化（CUS-A)

2) せん断抵抗角

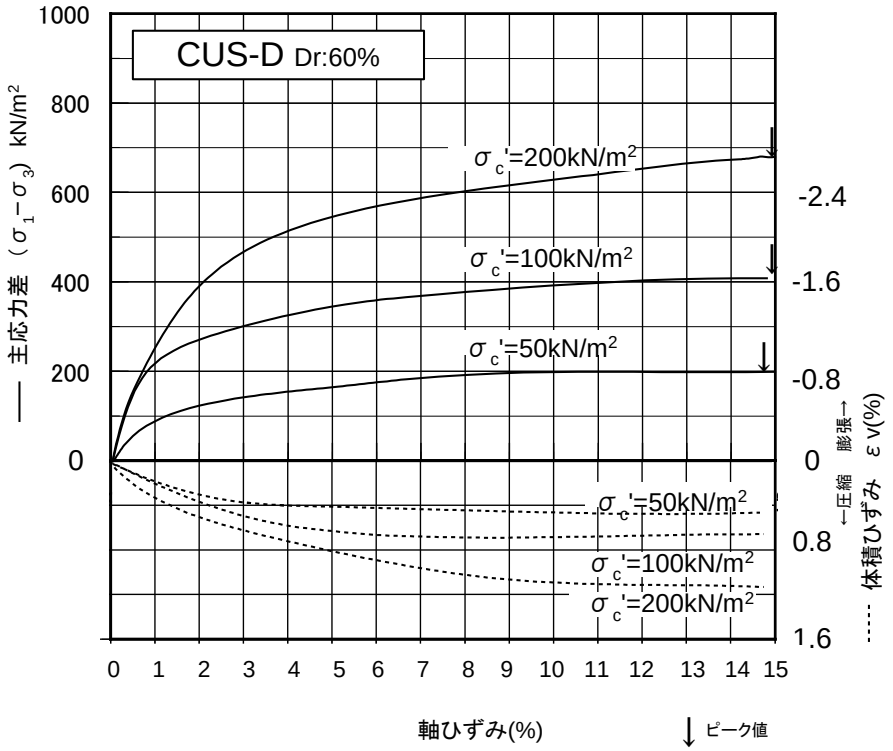
国内 5 製錬所の銅スラグの三軸圧縮試験（CD 法)のせん断抵抗角 ϕ_d の一例を**表 3.14.5** に示す。試験結果では、水砕品のせん断抵抗角 ϕ_d は 33° ～35° 程度（平均 34.2°）であった。一方、加工品（CUS-F)のせん断抵抗角 ϕ_d は 37.7° であった。

表 3.14.5　銅スラグの三軸圧縮試験（CD 法)のせん断抵抗角 ϕ_d の一例

名称	スラグ種	*Dr*=40% ϕ_d（°）	*Dr*=60% ϕ_d（°）	*Dr*=80% ϕ_d（°）
CUS-A	水砕品 CUS5-0.3	33.3	34.9	35.3
CUS-B			34.0	
CUS-C			34.3	
CUS-D			35.2	
CUS-E			32.6	
CUS-F	加工品 CUS2.5		37.7	

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

銅スラグ（水砕品)の応力-ひずみの関係を**図 3.14.6** に示す。ピークの主応力差の発生位置が明確でなく、軸ひずみ 15%のときに生じていること、せん断中の体積ひずみがすべて圧縮側であることの 2 点が特徴的である。



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.14.6　銅スラグの三軸圧縮試験（CD 法)の応力ひずみの関係

(3) 化学的性質

銅スラグは鉄（FeO）、シリカ（SiO_2）を主成分とし、その他に石灰（CaO）、アルミナ（Al_2O_3）などを含有している。

（解説）

1) 化学成分

銅スラグの成分の範囲を**表 3.14.6** に示す。また、国内 5 製錬所の銅スラグ成分の平成 22 年度実績値の一例を**表 3.14.7** に示す。銅溶錬炉に装入する銅精鉱及び珪石の混合割合は、製錬条件の維持のため事前の調合により非常に安定していることから、副生する銅スラグの成分値も、ばらつきがなく安定している。

表 3.14.6　銅スラグの成分の範囲

化学成分	範囲
FeO	41～54%
SiO_2	29～37%
CaO	1～8%
Al_2O_3	2～6%

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

表 3.14.7　国内 5 製錬所の銅スラグ成分の平成 22 年度実績値の一例

製造所区分	測定値	JIS A 5011-3(コンクリート用スラグ骨材-銅スラグ骨材)規定成分				
		JIS 規定化学成分（%）				塩化物量 (mg/L)
		酸化ｶﾙｼｳﾑ (CaO)	全硫黄 (S)	三硫化硫黄 (SO_3)	全鉄 (FeO)	(NaCl)
製造所 A（直島製錬所）	平均値	6.40	0.47	0.14	48.9	0.002
	最大	6.75	0.56	0.25	49.7	0.002
	最小	5.80	0.40	0.10	48.2	0.002
	標準偏差	0.86	0.04	0.04	0.57	0.000
製造所 B（小名浜製錬所）	平均値	4.93	0.56	-	44.27	0.006
	最大	5.89	0.66	-	47.5	0.013
	最小	3.98	0.50	-	41.8	0.002
	標準偏差	0.46	0.05	-	1.82	0.003
製造所 C（佐賀関製錬所）	平均値	2.4	0.55	0.11	49.2	＜0.001
	最大	3.16	0.67	0.23	51.7	＜0.001
	最小	1.45	0.46	0.04	47.4	＜0.001
	標準偏差	0.55	0.066	0.054	1.11	-
製造所 D（玉野製錬所）	平均値	3.30	0.44	0.053	48.9	0.005
	最大	4.00	0.56	0.09	52.1	0.014
	最小	2.90	0.38	0.03	46.6	0.005
	標準偏差	0.31	0.053	0.017	1.3	0.004
製造所 E（東予工場）	平均値	1.54	0.28	0.003	49.1	0.001
	最大	2.16	0.47	0.16	51.1	0.004
	最小	0.88	0.05	0.003	47.1	＜0.001
	標準偏差	0.34	0.10	0.02	0.84	0.001
JIS A 5011-3　規格値		≦12.0	≦2.0	≦0.5	≦70.0	≦0.03

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

銅スラグは、顕微鏡観察、X線回折及び示差熱分析の結果から、その大部分がガラス質と判定されている。鉄分は、珪酸塩鉱物（主に $2FeO \cdot SiO_2$ ファイアライト）が主であり、ほかに磁鉄鉱（Fe_3O_4）及びヘマタイト（Fe_2O_3）が微小な粒子として少量存在している。硫黄分は、輝銅鉱（Cu_2S）様の鉱物やはん銅鉱（Cu_5FeS_4）様の鉱物として存在するが、その量は少ない。これらの鉄分及び硫黄分をはじめとする諸成分のほとんどがスラグのガラス中に安定した状態で存在しており、外部への溶出やセメントペーストとの反応はこれまで認められていない。また、銅スラグの塩基度（CaO/SiO_2）は鉄鋼スラグに比べて著しく低いため、鉄鋼スラグのような水硬性はない。

2) pH

溶出液の pH に関する、銅スラグのシリアルバッチ試験結果の一例を**表 3.14.8** に示す。

pH の値は弱アルカリ性を示し、試験を繰り返したことによる pH の変化は認められなかった。

表 3.14.8　銅スラグの海水でのシリアルバッチ試験結果の一例

製造所区分	B		C		E		E	
出荷有姿	CUS5-0.3		CUS2.5		CUS2.5		CUS1.2	
溶媒：海水	pH	EC(mS/m)	pH	EC(mS/m)	pH	EC(mS/m)	pH	EC(mS/m)
1 回目	8.1	4,880	8.2	4,960	8.1	4,790	8.1	4,940
2 回目	8.1	4,780	8.2	4,820	8.2	4,790	8.1	4,840
3 回目	7.9	4,710	8.0	4,770	8.0	4,850	8.0	4,730
4 回目	8.0	4,800	8.1	4,830	8.0	4,890	8.0	4,770
5 回目	8.0	4,850	8.1	4,850	8.1	4,940	8.1	4,900
6 回目	8.0	4,920	8.1	5,000	8.0	4,940	8.1	5,060

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

銅スラグの pH については、岩国港で実施された地盤改良（サンドコンパクションパイル工法）試験施工において、周辺海域の調査を行っている。その結果は**表 3.14.9** に示すとおりであり、一般海水の pH と同等の値を示している。

表 3.14.9　地盤改良現地調査結果

測定 No	pH		
	最小	最大	平均
No.1	7.9	8.2	7.9
No.2	7.7	8.2	8.0
No.3	8.0	8.1	8.1
No.4	8.1	8.3	8.2
N0.5	8.0	8.3	8.2

出典）国土交通省中国地方整備局宇部港湾工事事務所における試験施工データ

3) 環境安全品質

① 溶出量

銅スラグに関して、環境安全品質基準に設定された化学物質について、JIS K 0058-1 による溶出量試験を行った結果の一例を**表 3.14.10** に示す。全ての項目について、基準値未満または定量限界未満であった。

表 3.14.10　銅スラグの溶出量試験結果の一例

単位：mg/L

製造所区分	A	B	C	D	E	基準値	基準値
骨材種類	CUS5-0.3	CUS5-0.3	CUS5-0.3	CUS5-0.3	CUS5-0.3	(一般用途)	(港湾用途)
カドミウム	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	≦0.003	≦0.009
鉛	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	≦0.01	≦0.03
六価クロム	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	≦0.05	≦0.15
ひ素	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	≦0.01	≦0.03
水銀	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	≦0.0005	≦0.0015
セレン	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	≦0.01	≦0.03
ほう素	＜0.1	＜0.1	＜0.1	＜0.1	＜0.1	≦1.0	≦20
ふっ素	＜0.1	＜0.1	＜0.1	＜0.1	＜0.1	≦0.8	≦15

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

銅スラグを構成する主成分は、酸化鉄、酸化珪素、酸化カルシウム、酸化アルミニウムであるが、原料である銅精鉱に由来する重金属類(鉛、カドミウム、ヒ素など)を微量に含有する。一方、有機化合物の含有は皆無である。

なお、銅スラグの使用に際しては有害物質の溶出について、使用を予定している事業所に詳細を確認し、必要に応じて試験を行うことが推奨される。

② 含有量

銅スラグの含有量試験結果の一例を**表 3.14.11** に示す。六価クロム、水銀、ほう素、ふっ素は定量限界未満であった。一方、ひ素と鉛は、一般用途における基準値より高くなっていた。

以上のことから、一般用途として使用する場合は、他材料との混合利用が前提となる。一方、含有量に関する基準が適用されない港湾用途においてはそのまま使用することができる。ただし、含有量に関する基準値の 10 倍未満であることを確認されたものを使用する。

表 3.14.11　銅スラグの含有量試験結果の一例

単位　mg/kg

製造所区分	A	B	C	D	E	基準値
骨材種類	CUS5-0.3	CUS5-0.3	CUS5-0.3	CUS5-0.3	CUS5-0.3	(一般用)
カドミウム	34	＜15	＜15	＜15	＜15	≦150
鉛	630	940	230	200	440	≦150
六価クロム	＜25	＜25	＜25	＜25	＜25	≦250
ひ素	270	50	390	250	230	≦150
水銀	＜1	＜1	＜1	＜1	＜1	≦15
セレン	＜15	＜15	＜15	＜15	＜15	≦150
ほう素	＜400	＜400	＜400	＜400	＜400	≦4,000
ふっ素	＜400	＜400	＜400	＜400	＜400	≦4,000

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

③ 留意事項

銅スラグの原料である銅精鉱は、年々、主成分である銅の品位が低下し、一方で、重金属類などの不純物の品位が上昇傾向にある。

従って、銅スラグの使用にあたり、有害物質の溶出による周辺環境への影響を、銅スラグの製造者に適宜確認し、工事施工場所周辺への環境影響を確実に抑えることが必要である。

3.14.3 適用用途

(1) 概要

JIS が規定されている銅スラグをリサイクル材として利用する場合は、当該 JIS に適合したものを利用するものとする。
JIS が規定されていない銅スラグをリサイクル材として利用する場合は、用途において必要となる要求性能を満たす材料を利用するものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、銅スラグを各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.14.12** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.14.12　銅スラグの適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)ｺﾝｸﾘｰﾄ用骨材(細骨材)として用いるための適用範囲や品質、試験方法、検査方法、表示、報告等について、品質基準を規定。 ・2)ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材として使用する際の設計施工指針として、品質、環境安全性、性能照査、材料の設計値、配合設計、製造、施工、品質管理および検査などについて記載。 ・6)JIS A 5011-3に適合した銅スラグ骨材について、消波ブロック等の無筋コンクリートだけでなく、構造用の鉄筋コンクリートにも適用し、特に、非鉄スラグの密度が大きい特徴を生かしたケーソン本体等の構造用の重量コンクリートにも適用することができるとされている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・道路擁壁部本体築造工事（国交省） ・防波堤消波ﾌﾞﾛｯｸ製作据付工事（国交省） ・防波堤被覆,根固,根固外工事（国交省） ・護岸被覆及び根固工事（国交省）	1) 2) 6)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁等築造工事（国交省） ・埋立護岸工事（管理者）	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・6)銅スラグの地盤改良工への適用が挙げられ、銅スラグの物理的特性値等を踏まえた適用性が評価されている。 ・3)4)5)に示す研究等適用事例に基づき、標準材料と同等または利用実績や実証実験などで確認され、利用可能性は高い。【査読無し】	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・地盤改良工事（国交省） ・岸壁築造工事（国交省）	3) 4) 5) 6)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・6)銅スラグの本体工中詰材への適用が挙げられ、銅スラグの物理的特性値等を踏まえた適用性が評価されている。 ・現行指針においては、研究等適用事例に基づき、標準材料と同等または利用実績や実証実験などで確認され、利用可能性は高い。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・国際物流ﾀｰﾐﾅﾙ整備事業（国交省） ・岸壁築造工事（国交省） ・防波堤築造工事（国交省）	6)
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・6)JIS A 5011-3に適合した銅スラグ骨材について、消波ブロック等の無筋コンクリートに適用するとされている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・護岸整備工事（管理者） ・消波ブロック工事（その他機関）	6)
⑩	裏込材	―	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	―	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	―	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・埋立築堤工事（その他機関） ・空港土木工事（その他機関）	
⑬	埋立材	―	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	―	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・道路沈埋トンネル工事（国交省）	
⑮	路盤材	―	－	●用途対象外	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・ふ頭岸壁外（災害復旧）工事（国交省） ・舗装工事（その他機関）	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	○+ (As舗装骨材)	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・6)表・基層用加熱アスファルト混合物用として、天然砂との混合物（舗装用銅スラグスクリーニングス）について、マニュアルに粒度等が規定されている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・舗装試験（その他機関） ・エコ工法推進モデル事業（管理者）	6)
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	―	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)JISA5011-3「ｺﾝｸﾘｰﾄ用ｽﾗｸﾞ骨材-第３部：銅ｽﾗｸﾞ骨材」（平成28年4月改正）
2)銅ｽﾗｸﾞ細骨材を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの設計施工指針(土木学会、平成28年7月)
3)銅ｽﾗｸﾞ(CUS)の基本物性試験報告書：三菱ﾏﾃﾘｱﾙ(株)
4)銅水砕ｽﾗｸﾞを用いたSCP改良地盤の支持力について(第30回地盤工学発表会,平成7年)
5)銅水砕ｽﾗｸﾞを用いたSCP工法の試験施工(土木学会論文集、No574,1997,9)
6)港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル((一財)沿岸技術研究センター、平成27年9月)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) コンクリート用細骨材

銅スラグ細骨材は、コンクリート用の細骨材としてJIS化され、**土木学会「銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの設計施工指針（以下、設計施工指針）」**に銅スラグ細骨材を用いるコンクリートの設計及び施工についての標準が示されている。また、重量コンクリート用細骨材として、平成26年3月には新技術情報提供システム（NETIS）に登録されている（登録番号：SKK-130002-A)。

銅スラグ細骨材の密度は、一般の天然産骨材に比べて大きいが、砂や砕砂の30%程度を銅スラグ細骨材で置換する場合、コンクリートの性状や品質は通常のコンクリートと大差ない。一方、銅スラグ細骨材の密度が大きいことを利用した単位容積質量の大きいコンクリートは、港湾構造物では有利になる場合が多い。しかし、微粒分の少ない銅スラグ細骨材を使用したコンクリートの場合、ブリーディング量が増加する傾向にあり、コンクリートのワーカビリティや耐久性の観点から、これを抑制する必要がある。

設計に当たっては、**土木学会「コンクリート標準示方書」**、**「設計施工指針」**が参考になる。また、銅スラグ細骨材及び銅スラグ細骨材を使用したコンクリートの品質、工法等について参考とできる文献を巻末の参考文献1)～13)に示す。

(3) サンドコンパクションパイル材

銅スラグをサンドコンパクションパイル工法に適用する際には、必要な性能が得られるかを設計時に検討する必要がある。この際、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**の、**施設編　第 2 章 5.地盤改良工法　5.9　サンドコンパクションパイル工法（砂質土地盤を対象とする場合）** 及び **5.10　サンドコンパクションパイル工法（粘性土地盤を対象とする場合）**を参照することができる。

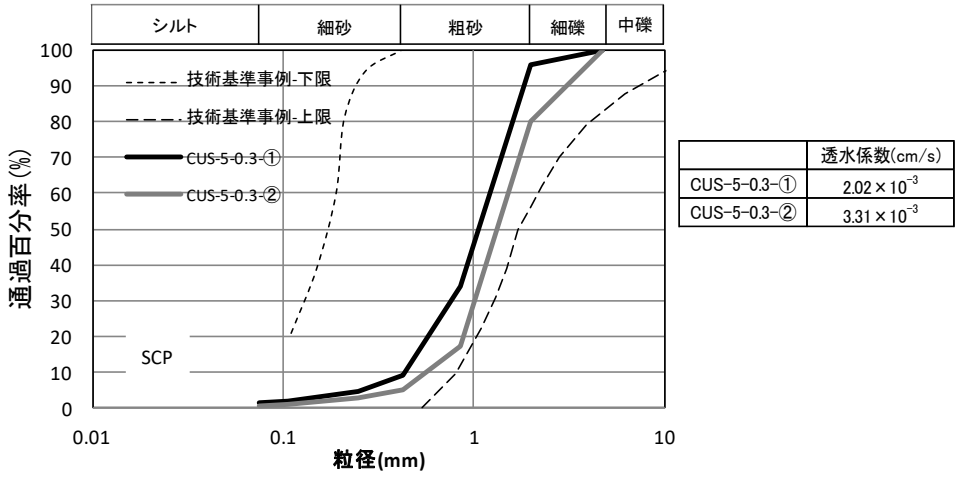
銅スラグは天然の砂と同程度のせん断強度を有することが確認されている。また、透水性は、いずれも 1×10^{-3}cm/s 程度であり、潜在水硬性がないことから固結による透水係数の低下も生じにくい。

以下、実施工で得られた結果を中心に、材料の特性値について述べる。

a)粒度

図 3.14.7 に SCP 材として用いられた粒度分布の既往事例（**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**）との比較を示す。銅スラグは、比較的均等な粒径分布を有するものがほとんどである。この特徴を踏まえて検討を行う必要がある。

沖積粘性土地盤における試験施工において、SCP 後で杭部 2 ヶ所の深度から採取した試料の粒度分布を調査し、施工前との比較を行っている。施工前に比べ、施工後のいずれの深度においても若干の細粒化が見られた。ただし、この際の改良効果について N 値を調べたところ、十分な改良効果が得られている。



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.14.7　SCP 材に用いられた粒度分布の既往事例との比較

b)透水性

銅スラグの透水係数は、粒度によって異なる。**図 3.14.7** 中に透水係数の値を示しているが、いずれも 10^{-3}cm/s 程度であり、透水性が良いと判断される値であった。また、銅スラグには水硬性がないため透水性が経時的に低下することもない。

c)せん断強度

銅スラグは、粒子形状が角張っているため高いせん断抵抗角が得られる。沖積粘性土地盤における試験施工の結果では、銅スラグは天然の砂と同程度のせん断抵抗角が得られ、粒子破砕が生じた試料を用いた試験でもせん断特性が大きく変化することはないとされている。また、水硬性を持たないため、せん断特性についての経時的な変化もない。

水砕品で ϕ_d＝34° 程度（Dr=60%の場合）、加工品で ϕ_d＝38° 程度（Dr=60%の場合）の値を有しており、SCP 材として用いるには十分な値を有していると考えられる。

地盤改良工の環境安全品質の評価の際には、溶出経路を考慮した上で検査方法（試験項目、環境、安全品質基準)を設定する必要がある。

(4) 中詰材

1) 共通事項

銅スラグの中詰材としての適用については、既に多数の利用実績がある。銅スラグを中詰材に用いる構造物の設計は、材料の特性をよく把握した上で、天然の材料との違いに注意しながら**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法によって行う。必要な性能が得られているかを照査する際には、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**の、**施設編 第 2 章　2.2 ケーソン　第 5 章　2.7 二重矢板式係船岸　2.9 根入れを有するセル式係船岸、2.10 置きセル式係船岸**　などを参照することができる。

銅スラグには、天然の砂に比べ単位体積重量が大きく、せん断抵抗角は同程度という特徴がある。また、水硬性のような特有の性質もないため、中詰材としてその特性を有効に活用するならば、天然の砂を用いた場合よりも経済的な設計をすることが期待できる。

以下、材料の特性値について述べる。

a)土粒子密度及び単位体積重量

銅スラグ粒子は密度が大きいため、天然の砂よりも大きな単位体積重量を示す。水砕品で、概ね23.5 kN/m^3 の値を有している。なお、粒度分布の影響も大きく受ける。粒度が良いと、単位体積重量が大きくなる。このため、加工品では概ね25.0 kN/m^3 となる。

利用に際しては、実際に使用する銅スラグの性質をよく把握して適切な値を設定する必要がある。

b)せん断強度

水砕品でϕ_d＝34° 程度（Dr=60%の場合）、加工品でϕ_d＝38° 程度（Dr=60%の場合）を有しており、本体工中詰材として用いるには十分な値を有していると考えられる。

本体工中詰材の環境安全品質の評価の際には、試験項目は溶出量、環境安全品質基準は港湾用途としてよい。

2) ケーソン中詰材として利用する場合の設計

ケーソンは重力式構造物であるため、中詰材には銅スラグのように重量の大きな材料を用いた方が、設計上有利になる場合が多い。銅スラグを既設の防波堤に使用することで、作用する水平波力への耐力となる鉛直荷重の増加が可能となり、新設の防波堤に使用すれば、ケーソン本体の堤体幅を小さくすることが可能となるケースもある。ただし、重量が大きい分、内部土圧も大きくなる。この内部土圧の計算は、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に準じて行う。

3) セル及び二重矢板式構造物の中詰材として利用する場合の設計

銅スラグをセル及び二重矢板式構造物の中詰材として利用する場合には、重量の大きな材料を用いると、せん断変形に対する安定性と重力式壁体としての安定性が高くなり有利となる場合が多い。但し、中詰重量が大きい分セルや矢板の張力は大きくなる。

また、せん断抵抗角の大きな材料を用いた場合にも、せん断変形に対する抵抗モーメントを高めることになり、経済的な設計を得ることができる場合が多い。

内部土圧の計算は、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に準じて行う。

(5) 根固・消波ブロック

銅スラグをコンクリート用細骨材として利用する場合、根固・消波ブロックに利用することができる。なお、銅スラグを利用した被覆石の製造は行われていない。

(6) アスファルト舗装骨材

舗装用銅スラグは、表・基層のアスファルト混合物やコンクリートの骨材として使用される。コンクリート舗装は、**「舗装設計施工指針」「舗装設計便覧」「舗装施工便覧」「銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの設計施工指針」「港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル」**等を参考にするとよい。

舗装用銅スラグの密度は、一般の天然砂や砕石の値（約2.7g/cm^3）に比べて1.3倍程度大きい。このことから、アスファルト混合物の配合設計では容積配合を行うものとし、施工では締固め時の基準密度などに十分留意する必要がある。

銅スラグは、単味では環境安全基準を満たさない場合があるので、銅スラグ単味での使用を規制している。しかし、通常の天然砂と混合すれば十分に基準を満たすことができる。この場合、**表3.14.13**に示すように表層・基層の加熱アスファルト混合物、及び上層路盤の加熱アスファルト安定処理材の銅スラグスクリーニングスとして使用する。

表 3.14.13　舗装用銅スラグスクリーニングスの主な用途

種類	呼び名	主な用途
銅スラグ スクリーニングス	FC-2.5	表層・基層用加熱アスファルト混合物

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

3.14.4 関連法令

銅スラグは産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.14.5 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

銅スラグを材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

銅スラグ骨材をコンクリート、アスファルト混合材用の骨材に使用する場合、利用模擬試料で環境安全性を評価している。再利用に際しても同様の対応が必要である。廃棄する場合は、環境安全性を評価しての対応が必要である。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.15 フェロニッケルスラグ

3.15.1 製造・供給

フェロニッケルスラグは、フェロニッケル製錬の際にロータリーキルンまたは電気炉で発生する半溶融あるいは溶融したスラグを冷却し、破砕・粒度調整を行ったものであり、現在は、3 製造所で製造されている。

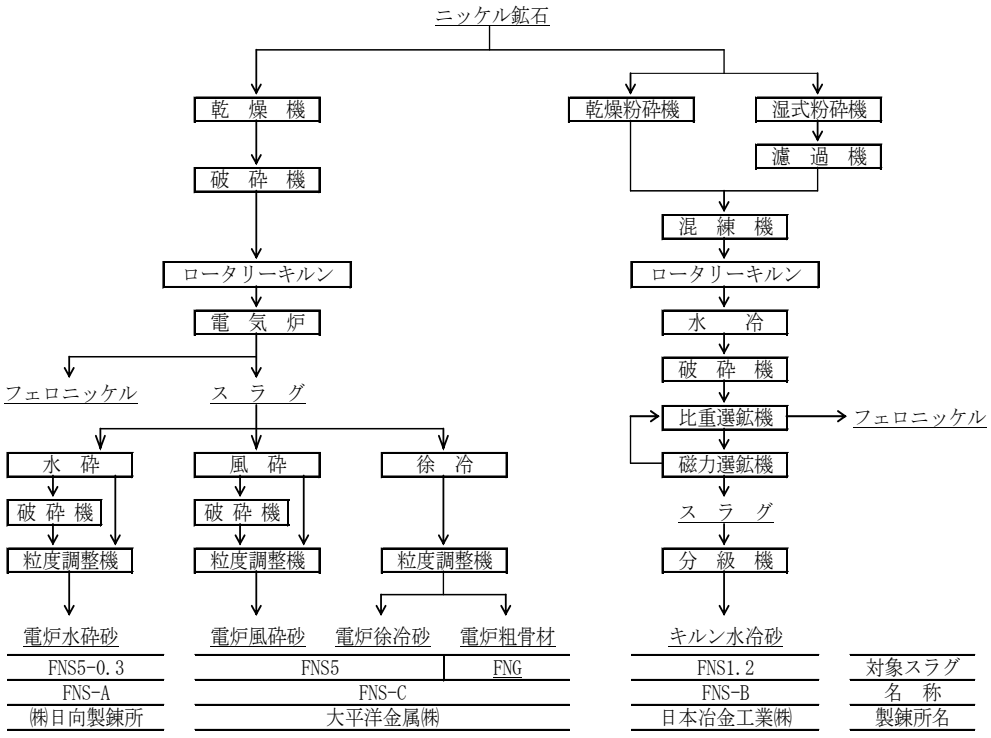
（解説）

(1) 製造方法

フェロニッケルスラグの製造工程を**図 3.15.1**に示す。フェロニッケルスラグは、フェロニッケル製錬法の違いにより、半溶融あるいは溶融状態のスラグを主に3種類の冷却法により冷却することから、スラグ形状は異なり、また、破砕法も各製造所にて異なることから、フェロニッケルスラグの性質にはそれぞれの特徴がある。

ロータリーキルンからは、半溶融のスラグを水で急冷したロータリーキルン水砕スラグが製造されている。ロータリーキルンで半溶融状態のスラグを水で急冷した後に破砕し、それらの破砕物からフェロニッケルを選別・回収した後のフェロニッケルスラグを沈降分級により粒度調整して製品化される。

電気炉からは、溶融したスラグを加圧空気による急冷、スラグピットにおける徐冷及び水冷の3種類の冷却工程によりフェロニッケルスラグが製造されている。電気炉で溶融状態のスラグを加圧空気で急冷したスラグは丸みを帯びた球状、スラグピットで徐冷したスラグは塊状、水砕したスラグは粒状を呈しており、破砕及び粒度調整して製品化される。



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.15.1 フェロニッケルスラグ製造工程

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

東北、関東、中部、近畿、中国、四国、九州

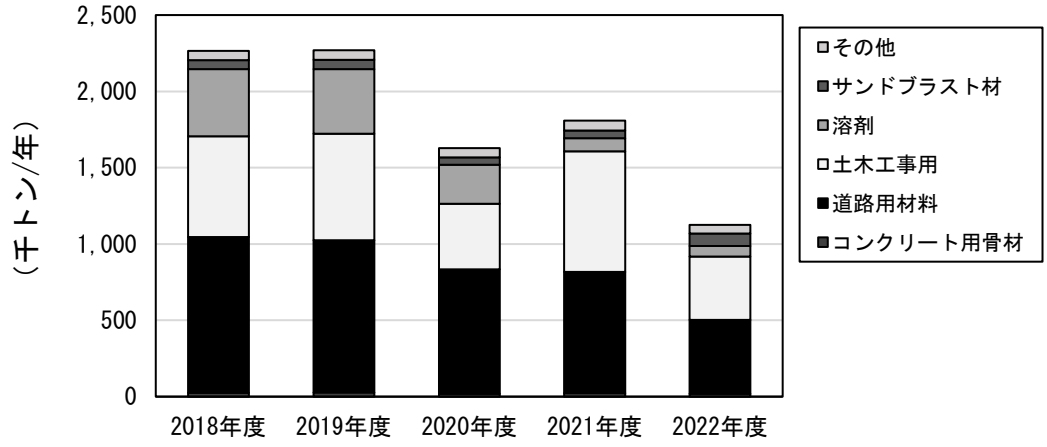
2) 事業所の立地場所

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）より作成

図 3.15.2　フェロニッケルスラグ製造所（フェロニッケル製錬所）の立地場所

3) 生産量

フェロニッケルスラグ：約 150,000t/月（2018 年～2022 年平均、販売実績ベース）



出典）日本鉱業協会提供資料より作成

図 3.15.3　フェロニッケルスラグの販売実績の推移

3.15.2 品質

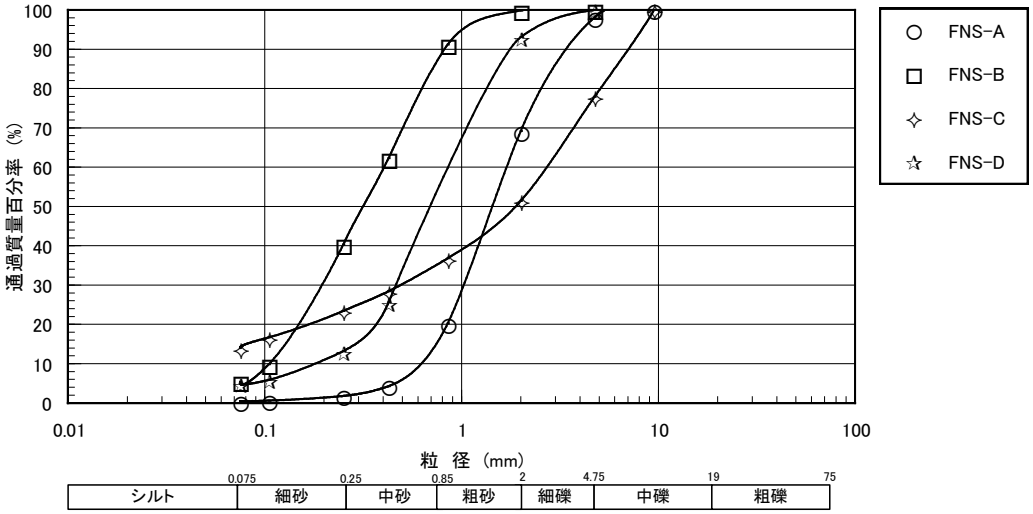
(1) 物理的性質

1) 粒度は、水砕スラグ及び風砕スラグは 5mm 以下で比較的単粒度であるが、破砕した徐冷スラグの粒度範囲は 10mm から 0.1mm まで広い傾向にある。
2) 土粒子密度は 3.0～3.2g/cm^3 であり、一般的な砂（2.7g/cm^3）に比べ大きい。
3) フェロニッケルスラグを水中投入した際の堆積後の飽和単位体積重量は、概ね水砕品で 20.5kN/m^3、加工品で 23.5kN/m^3 である。

（解説）

1) 粒度

フェロニッケルスラグの代表的な粒度試験の一例を**図 3.15.4** に示す。粒度は、製造所あるいは冷却法及び破砕法により異なる。FNS-A（水砕スラグ）、FNS-B（水冷スラグ）及び FNS-C（風砕スラグ）は 5mm 以下で比較的単粒度であるが、破砕した FNS-C（徐冷スラグ）の粒度範囲は 10mm から 0.1mm まで広い傾向にある。



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.15.4　フェロニッケルスラグの粒度試験例

代表的な粒径と均等係数の一例を**表 3.15.1** に示す。

表 3.15.1　フェロニッケルスラグの粒径と均等係数の一例

名称	対象スラグ	60%粒径 D_{60}(mm)	平均粒径 D_{50}(mm)	10%粒径 D_{10}(mm)	均等係数 U_C
FNS-A	FNS5-0.3	1.69	1.39	0.64	2.64
FNS-B	FNS1.2	0.40	0.33	0.11	3.64
FNS-C	風砕 FNS5	0.92	0.77	0.20	4.60
	徐冷 FNS5	2.77	1.94	0.042＊	66 以上

＊推定値

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

2) 土粒子密度

フェロニッケルスラグの土粒子密度、最大・最小密度試験（測定例）を**表 3.15.2** に示す。フェロニッケルスラグの土粒子密度は 3.0～3.2g/cm^3 であり、一般的な砂（2.7g/cm^3）に比べ 14%程度大きい。またフェロニッケルスラグの最小乾燥密度は水砕品で 1.41～1.49g/cm^3、加工品で 1.73g/cm^3 であり、最大乾燥密度は水砕品で 1.71～1.91g/cm^3、加工品で 2.32g/cm^3 である。

表 3.15.2　フェロニッケルスラグの土粒子密度、最大・最小密度試験結果の一例

名称	対象スラグ	土粒子密度 (g/cm^3)	最小密度 (ρ_{dmin}) (g/cm^3)	最大密度 (ρ_{dmax}) (g/cm^3)	Dr60%乾燥密度 (ρ_d) (g/cm^3)
FNS-A	FNS5-0.3	2.984	1.41	1.71	1.58
FNS-B	FNS1.2	3.107	1.49	1.91	1.72
FNS-C	風砕 FNS5	3.128	1.66	2.05	1.87
	徐冷 FNS5	3.193	1.73	2.32	2.04

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

3) 飽和単位体積重量

ケーソン等の本体工への中詰材の投入を模擬したフェロニッケルスラグを用いた水中落下実験を実施し、相対密度は水砕品で 49～56%、加工品で 53～68%であることが確認されている。この範囲における飽和単位体積重量 γ_{sat} の試算の結果、水砕品で 20.2～21.0kN/m^3（平均 20.6kN/m^3）程度、加工品で 23.1～23.8kN/m^3（平均 23.4kN/m^3）程度となった。

なお、現在、中詰材の飽和単位体積重量の品質管理方法としては、水を張った容器に中詰材を投入し、その際の単位体積重量を測定する方法（軽装法と一般的に呼ばれる）で行われている場合が多い。

(2) 力学的性質

1) 透水係数は、Dr60%の状態で 2×10^{-5}～5×10^{-3}cm/s 程度である。
2) 水砕品のせん断抵抗角 ϕ_d は 32° 程度である。一方、加工品のせん断抵抗角 ϕ_d は 37° 程度である。
3) フェロニッケルスラグの締固め特性は、フェロニッケルスラグの種類（冷却法及び粒度）により異なる特性を示す。
4) フェロニッケルスラグの膨張・収縮性は認められていない。
5) フェロニッケルスラグの水硬性は認められていない。

（解説）

1) 透水性

フェロニッケルスラグの透水試験結果（例）を**表 3.15.3** に示す。透水係数は、Dr60％の状態で 2×10^{-5}～5×10^{-3}cm/s であった。この透水係数の差異は粒度分布の範囲及び細粒分量（0.075mm 以下）の影響による。

表 3.15.3　フェロニッケルスラグの透水試験結果の一例

名称	対象スラグ	透水係数 k(cm/s)	10%粒径 D_{10}(mm)	試験時の ρ_d(g/cm³) (Dr60%)
FNS-A	FNS5-0.3	5.08×10^{-3}	0.64	1.58
FNS-B	FNS1.2	1.62×10^{-4}	0.11	1.77
FNS-C	風砕 FNS5	2.19×10^{-4}	0.20	1.87
	徐冷 FNS5	2.04×10^{-5}	0.042*	2.04

＊推定値

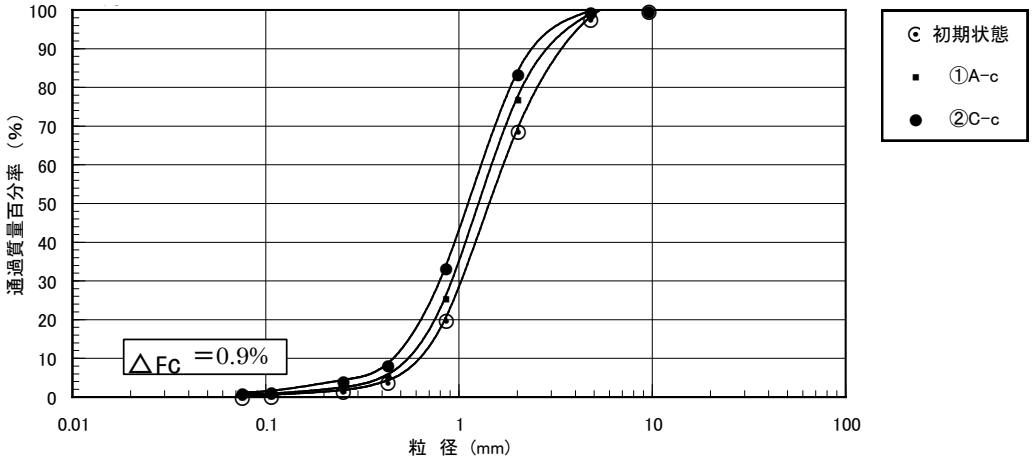
出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

突固めたフェロニッケルスラグの透水試験結果、突固め透水試験前後の粒度変化を**表 3.15.4**、**図 3.15.5** に示す。突き固めたフェロニッケルスラグの透水係数は、FNS-A（水砕スラグ）が 1～2×10^{-3}cm/s、FNS-C（風砕スラグ）が 2～6×10^{-5}cm/s であり、突き固めにより透水係数は 4～6 割程度低下する。突き固め前後の粒度分布から、破砕の程度は低いことが分かる。

表 3.15.4　突固めたフェロニッケルスラグの透水試験結果の一例

名称	対象スラグ	透水係数(cm/s)		透水係数の低下率(%)
		A-c 法	C-c 法	
FNS-A	FNS5-0.3	1.46×10^{-3}	8.68×10^{-4}	40.5
FNS-C	風砕 FNS5	5.83×10^{-5}	2.16×10^{-5}	63.0

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.15.5　FNS-A（水砕スラグ）の突固め透水試験前後の粒度変化

2) せん断抵抗角

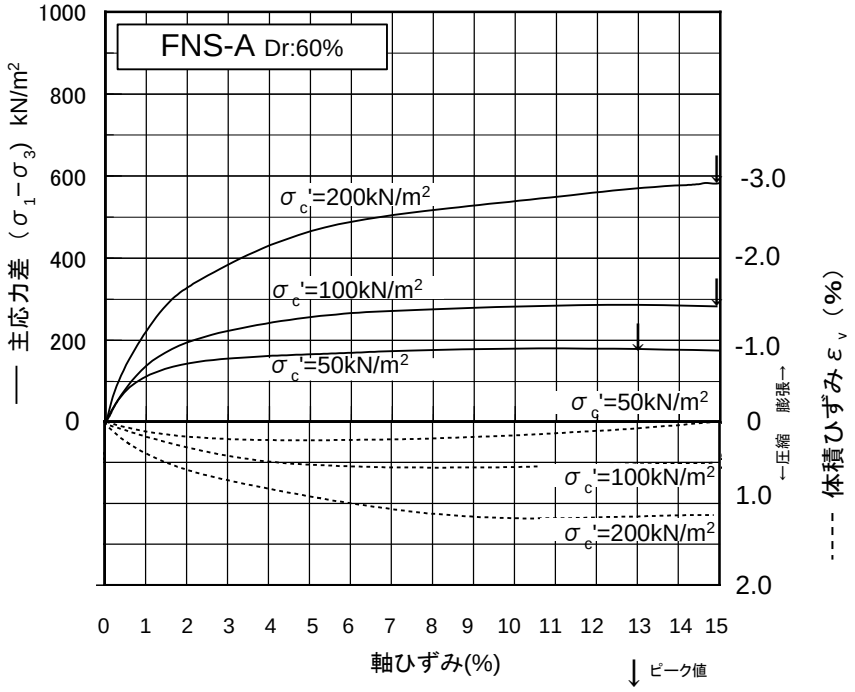
フェロニッケルスラグの三軸圧縮試験（CD 法）のせん断抵抗角 ϕ_d（例）を**表 3.15.5** に示す。試験結果では、水砕処理後、粒度調製加工を施していない FNS-A（水砕スラグ）のせん断抵抗角 ϕ_d は 30～33° 程度（Dr=60%で 32.2°）であった。一方、水冷、風砕あるいは徐冷処理後、粒度調製加工を施した FNS-B（水冷スラグ）、FNS-C（風砕・徐冷スラグ）のせん断抵抗角 ϕ_d は 37° ～39° 程度（Dr=60%で平均 37.8°）であった。

表 3.15.5　フェロニッケルスラグの三軸圧縮試験（CD 法)のせん断抵抗角ϕ_dの一例

名称	対象スラグ	Dr=40% ϕ_d（°）	Dr=60% ϕ_d（°）	Dr=80% ϕ_d（°）
FNS-A	FNS5-0.3	30.4	32.2	32.5
FNS-B	FNS1.2	—	36.9	—
FNS-C	風砕 FNS5	—	38.5	39.0
	徐冷 FNS5	—	38.0	—

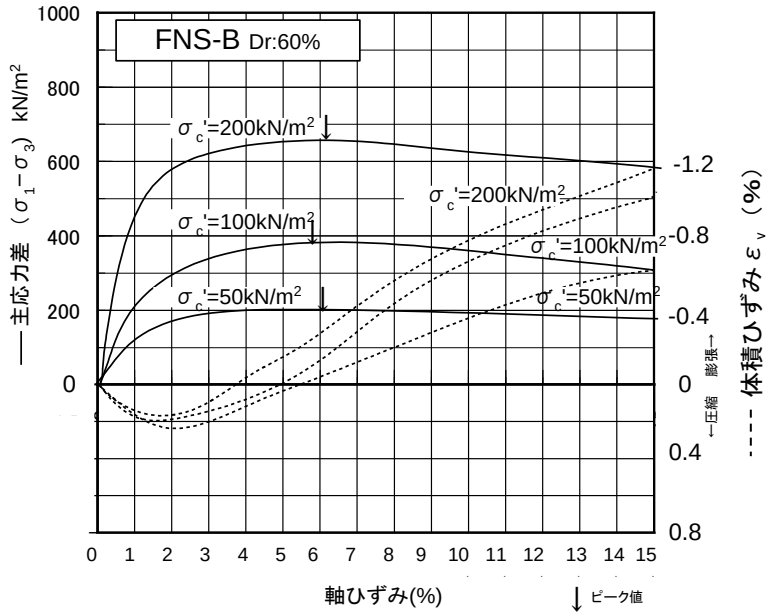
出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

水砕処理後、粒度調製加工を施していない FNS-A（水砕スラグ）の応力ひずみの関係を**図 3.15.6** に示す。ピークの主応力差の発生位置が明確でなく、軸ひずみ 15%のときに生じていること、せん断中の体積ひずみが全て圧縮側であることの 2 点が特徴的である。次に水冷処理後、粒度調製加工を施した FNS-B（水冷スラグ）の応力ひずみの関係を**図 3.15.7** に示す。主応力差のピーク値が明確であり、せん断中に正のダイレイタンシーが生じ、体積ひずみが膨張側に移行している。



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.15.6　FNS-A（水砕スラグ)の三軸圧縮試験（CD 法)の応力ひずみの関係



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

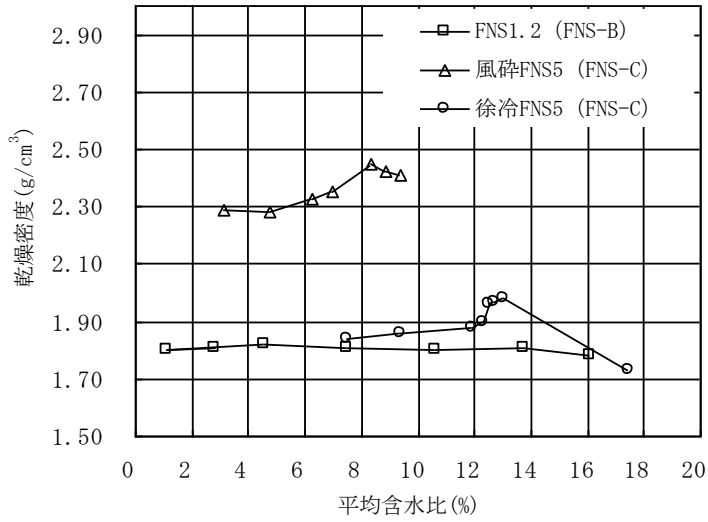
図 3.15.7　FNS-B（水冷スラグ）の三軸圧縮試験（CD 法）の応力ひずみの関係

3) 締固め特性

フェロニッケルスラグの突固めによる土の締固め試験例及び修正 CBR 試験例を**図 3.15.8、図 3.15.9、図 3.15.10** に示す。

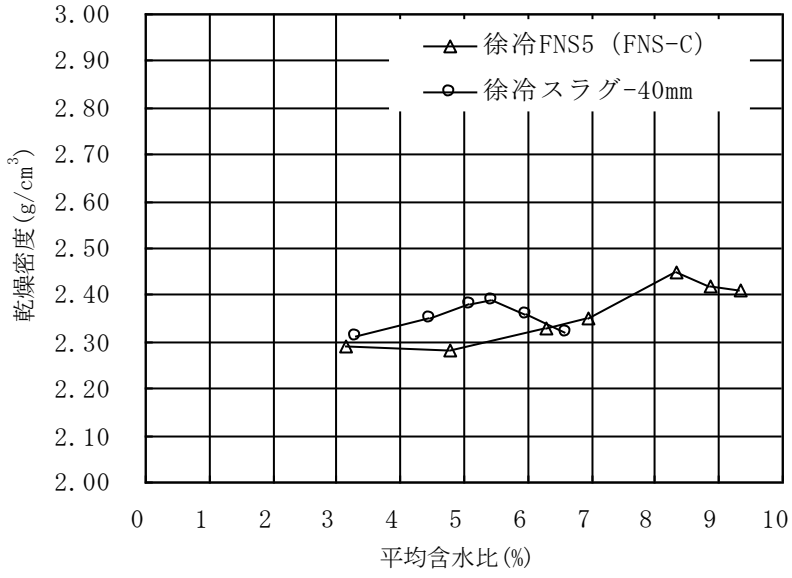
FNS-B（水冷スラグ）の締固め度（A-c）は、含水比の影響をほとんど受けないが、FNS-C（徐冷スラグ）の締固め度（E-c）及び FNS-C（風砕スラグ）の締固め度（A-b）は、含水比の影響を受け、最適含水比も粒度により異なる。

試験例に述べた修正 CBR 試験値は比較的高い値を示しており、盛土関連への用途が広くとれる。また、FNS-B（水砕スラグ）の修正 CBR 値は 33.8%であった。



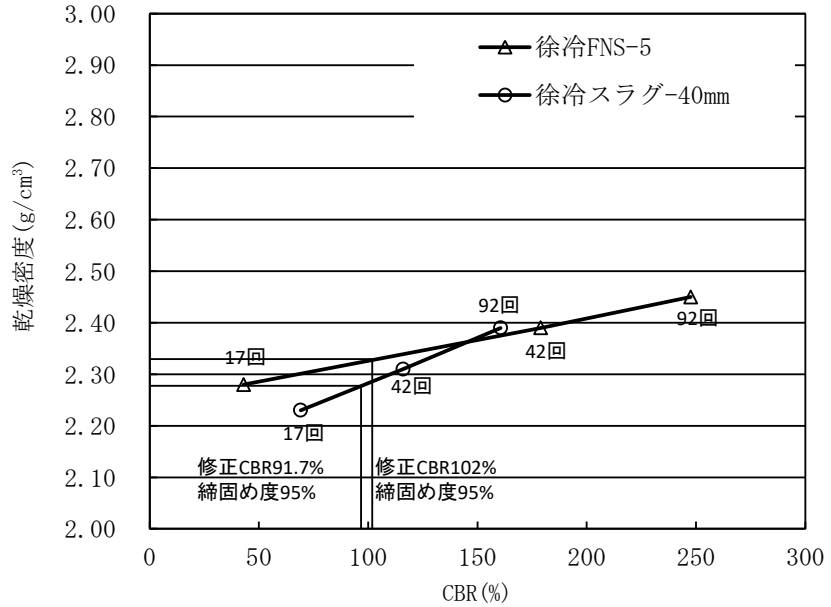
出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.15.8　フェロニッケルスラグの突固めによる土の締固め試験例



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.15.9　フェロニッケルスラグの突固めによる土の締固め試験例



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.15.10　修正 CBR 試験例

4) 膨張性

膨張性がないことは、フェロニッケルスラグがエンスタタイト($MgSiO_3$)やフォルステライト($2MgSiO_4$)などの鉱物やガラス質から構成されており、膨張の原因となりやすい CaO や MgO が単独で存在しないためと考えられる。

5) 水硬性

膨張性がない理由と同様に、フェロニッケルスラグは CaO 及び MgO が単独で存在しないため、水和反応が起こらず水硬性が認められない。

(3) 化学的性質

フェロニッケルスラグの主な成分は、珪砂(SiO_2)、マグネシア(MgO)が主成分で、鉄(FeO)、酸化カルシウム(CaO)を少量含む。

（解説）

1) 化学成分

フェロニッケルスラグは、ニッケル鉱石(酸化鉱)を原料として、フェロニッケル製錬時に副産物として製造されるものである。フェロニッケルスラグの成分分析例をスラグ品種毎に示すが、各スラグの成分は似通っている。その他、Cr化合物及びAl_2O_3を含有している。

なお、徐冷及び急冷のいずれの場合も主な鉱物組成は安定した結晶構造である。

表 3.15.6　国内３製錬所のフェロニッケルスラグ化学成分の平成 22 年実績値の一例

単位：%

名称	対象スラグ	測定値	CaO	MgO	S	FeO	M.Fe	SiO_2	Ni
FNS-A	FNS5-0.3	平均値	0.57	32.8	0.03	7.08	0.17	53.0	0.06
		最大	0.79	33.5	0.04	8.45	0.23	53.6	0.07
		最小	0.43	31.4	0.02	6.62	0.14	52.6	0.05
		標準偏差	0.11	0.64	0.00	0.50	0.03	0.26	0.01
FNS-B	FNS1.2	平均値	4.41	28.3	0.06	6.29	0.83	55.2	0.25
		最大	5.23	29.1	0.07	8.40	0.99	56.8	0.34
		最小	3.44	27.6	0.05	5.41	0.63	54.5	0.22
		標準偏差	0.68	0.44	0.00	0.91	0.11	0.61	0.03
FNS-C	風砕 FNS5 徐冷 FNS5	平均値	2.18	34.0	0.04	6.70	0.24	52.5	0.05
		最大	2.59	35.1	0.05	7.65	0.34	53.6	0.06
		最小	1.89	33.1	0.03	5.67	0.17	51.9	0.04
		標準偏差	0.24	0.46	0.01	0.54	0.05	0.48	0.01
JIS A 5011-2 規格値			≦15.0	≦40.0	≦0.5	≦13.0	≦1.0	－	－

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

2) 環境安全品質

① 溶出量

フェロニッケルスラグに関して、環境安全品質基準に設定された化学物質について、JIS K 0058-1 による溶出量試験を行った結果の一例を**表 3.15.7** に示す。すべて一般用途及び港湾用途の基準値未満または定量限界未満であった。

表 3.15.7　フェロニッケルスラグの溶出量試験結果一例

単位：mg/L

名称	FNS-A	FNS-B	FNS-C		基準値（一般用途）	基準値（港湾用途）
対象スラグ	FNS-5-0.3	FNS-1.2	風砕 FNS-5	徐冷 FNS-5		
カドミウム	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	≦0.003	≦0.009
鉛	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	≦0.01	≦0.03
六価クロム	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	≦0.05	≦0.15
ひ素	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	≦0.01	≦0.03
水銀	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	≦0.0005	≦0.0015
セレン	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	≦0.01	≦0.03
ほう素	＜0.1	＜0.1	＜0.1	＜0.1	≦1.0	≦20
ふっ素	＜0.1	＜0.1	＜0.1	0.3	≦0.8	≦15

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

② 含有量

フェロニッケルスラグに関して、環境安全品質基準に設定された化学物質について、JIS K 0058-2 に基づく含有量試験値の一例を**表 3.15.8** に示す。すべて基準値未満、定量限界未満であった。

表 3.15.8　フェロニッケルスラグの含有量試験結果の一例

単位：mg/kg

名称	FNS-A	FNS-B	FNS-C		基準値（一般用途）
対象スラグ	FNS5-0.3	FNS1.2	風砕 FNS5	徐冷 FNS5	
カドミウム	＜15	＜15	＜15	＜15	≦150
鉛	＜15	＜15	＜15	＜15	≦150
六価クロム	＜25	＜25	＜25	＜25	≦250
ひ素	＜15	＜15	＜15	＜15	≦150
水銀	＜1	＜1	＜1	＜1	≦15
セレン	＜15	＜15	＜15	＜15	≦150
ほう素	＜400	＜400	＜400	＜400	≦4,000
ふっ素	＜400	＜400	＜400	＜400	≦4,000

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

③ 海洋生物への影響

フェロニッケルスラグ細骨材の細骨材混合率を変化させたコンクリート試料を宮崎県延岡湾赤水町漁港、京都府宮津湾内の護岸に固定して付着生物の着床を観察した結果、海洋生物への影響は認められないことが確認された。

京都府宮津湾内での海洋曝露試験結果について以下に示す。試験は、フェロニッケルスラグ（FNS-B）を骨材に用いてコンクリート付着板を作成し、海水中に浸漬させ、付着生物（動物・植物）の着床状況の比較から、海洋生物への影響程度を確認した。

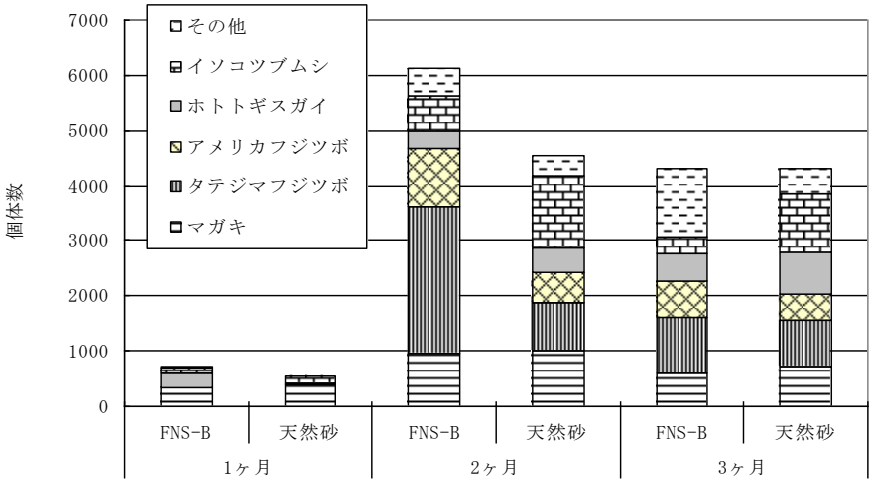
表 3.15.9 に付着板の配合比を示す。

表 3.15.9　付着板の配合比

	FNS-B	天然砂
川砂	42	84
FNS-B	42	0
普通セメント	16	16

付着板の寸法：縦 34 ㎝×幅 21 ㎝×厚み 5 ㎝
表面積：表面（粗面）714 ㎝^{2}、裏面（滑面）714 ㎝^{2}、側面（4 面）550 ㎝^{2}　合計 1,978 ㎝^{2}
出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.15.11 に 1 ヶ月毎の付着生物の個体数の推移を示す。



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.15.11　1 ヶ月毎の付着生物の個体数の推移

3.15.3 加工・改良技術

(1) 概要

工事事業者がフェロニッケルスラグを加工・改良（他の材料との混合を含む）し、使用する場合、その用途において必要な品質を満足するように行い、加工・改良後の材料は、必要な品質が満足されていることを試験等により確認する必要がある。また、加工・改良において、フェロニッケルスラグと他材料を混合する場合、他材料は、環境安全品質における一般用途あるいは港湾用途の環境安全品質基準を満足する必要がある。

(2) 加工・改良方法

工事事業者がフェロニッケルスラグを加工・改良する場合、使用用途における規格あるいは基準等に従い、定められた品質規格あるいは品質基準等を満足するように行う。

3.15.4 適用用途

(1) 概要

JIS が規定されているフェロニッケルスラグをリサイクル材として利用する場合は、当該 JIS に適合したものを利用するものとする。
JIS が規定されていないフェロニッケルスラグをリサイクル材として利用する場合は、用途において必要となる要求性能を満たす材料を利用するものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、フェロニッケルスラグを各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.15.10** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.15.10(1)　フェロニッケルスラグの適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)ｺﾝｸﾘｰﾄ用骨材(細骨材)として用いるための適用範囲や品質、試験方法、検査方法、表示、報告等について、品質基準を規定。 ・2)ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材として使用する際の設計施工指針として、品質、環境安全性、性能照査、材料の設計値、配合設計、製造、施工、品質管理および検査などについて記載。 ・3)高強度ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材としての適用性が検討され、実験結果より高強度ｺﾝｸﾘｰﾄ用の細骨材として十分使用が可能である。【査読無し】 ・4)JIS A 5011-2に適合するフェロニッケルスラグ骨材について、消波ブロック等の無筋コンクリートだけでなく、構造用の鉄筋コンクリートにも適用し、特に、非鉄スラグの密度が大きい特徴を生かしたケーソン本体等の構造用の重量コンクリートにも適用することができるとされている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・防波堤消波工事（国交省） ・防波堤外築造工事（国交省） ・消波堤工事（管理者） ・港湾災害復旧事業（管理者）	1) 2) 3) 4)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)ｺﾝｸﾘｰﾄ用骨材(粗骨材)として用いるための適用範囲や品質、試験方法、検査方法、表示、報告等について、品質基準を規定。 ・2)ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材として使用する際の設計施工指針として、品質、環境安全性、性能照査、材料の設計値、配合設計、製造、施工、品質管理および検査などについて記載。 ・4)当該用途への利用を想定した技術マニュアルが整備されている。 ・5)力学的特性は石灰岩砕石および砕砂を用いたコンクリートと同等以上であることが示されている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・防油堤嵩上げ工事（その他機関）	1) 2) 4) 5)
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)サンドドレーン材、サンドマット材への利用を想定した技術マニュアルが整備されている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・地盤改良工事（管理者） ・基礎工事（その他機関） ・道路改良工事（その他機関）	4)
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)フェロニッケルスラグの地盤改良工への適用が挙げられ、フェロニッケルスラグの物理的特性値等を踏まえた適用性が評価されている。 ・6)FNS砂と比較対象としてSCP工法による軟弱地盤改良の現地試験を実施し、杭芯、杭間の地盤強度及び杭芯の内部摩擦角を調査し、SCP材としてのFNSの適用性について検討した。FNS砂を使用した場合においても施工性が良好であることを確認、更には軟弱地盤の改良効果も確認。【査読無し】	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・地盤改良工事（その他機関） ・航空支援施設棟新築工事（その他機関） ・LNGターミナル輸入基地建設工事（その他機関） ・河川築堤工事（国交省） ・飛行場排水機場新設等工事（防衛省）	4) 6)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)フェロニッケルスラグの本体工中詰材への適用が挙げ、フェロニッケルスラグの物理的特性値等を踏まえた適用性が評価されている。 ・現行指針においては、研究等適用事例に基づき、標準材料と同等または利用実績や実証実験などで確認され利用可能性の高いものと評価。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・国際物流ﾀｰﾐﾅﾙ整備事業（国交省） ・防波堤築造工事（国交省） 等	4)
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)JIS A 5011-2に適合するフェロニッケルスラグ骨材について、消波ブロック等の無筋コンクリートに適用するとされている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・防波堤工事（国交省） ・防波堤(改良)消波工事（国交省） ・消波ブロック工（国交省）	4)

出典）

1)JISA5011-2「ｺﾝｸﾘｰﾄ用ｽﾗｸﾞ骨材-第２部：ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ骨材」（平成28年4月改正）
2)ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ骨材を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの設計施工指針(土木学会、平成28年7月)
3)ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ細骨材の高強度ｺﾝｸﾘｰﾄへの適用性に関する基礎的検討(日本建設学会大会学術講演便覧集、平成9年9月)
4)港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル((一財)沿岸技術研究センター、平成27年9月)
5)ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞを粗骨材として用いたコンクリートの基礎的性質（コンクリート工学論文集　第21巻第3号　2010年9月）
6)電気炉産ﾌｪﾛﾆｯｹﾙ水砕ｽﾗｸﾞ砂を用いたSCP現地試験(第39回地盤工学研究発表会、平成16年7月)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.15.10(2)　フェロニッケルスラグの適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
⑩	裏込材	△	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)当該用途への利用を想定した技術マニュアルが整備されている。	－	●利用実績なし	4)
⑪	裏埋材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)当該用途への利用を想定した技術マニュアルが整備されている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・ふ頭盛土工事（管理者） ・駐車場整備（管理者）	4)
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)当該用途への利用を想定した技術マニュアルが整備されている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・造成工事（管理者、その他機関）	4)
⑬	埋立材	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)当該用途への利用を想定した技術マニュアルが整備されている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・埋立造成工事（管理者） ・ふ頭埋立造成工事（国交省）	4)
⑭	路床盛土材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)構築路床に利用するクラッシャランフェロニッケルスラグの粒度等がマニュアルに規定されている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・国道、バイパス、道路工事（国交省） ・道路、トンネル改良・舗装等工事（国交省）	4)
⑮	路盤材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)フェロニッケルスラグの舗装工への適用が挙げられ、粒度調整フェロニッケルスラグ及びクラッシャランフェロニッケルスラグとして、粒度や品質規格、品質管理等が記載されている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・道路工事（国交省、管理者） ・舗装工事（国交省）	4)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	○+ (As舗装骨材)	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)フェロニッケルスラグの舗装工への適用が挙げられ、単粒度フェロニッケルスラグ及びフェロニッケルスラグスクリーニングスとして、粒度や品質規格、品質管理等が記載されている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・道路舗装工事（管理者） ・舗装試験施工（その他機関）	4)
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	○+	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)覆砂材・人工砂浜等への利用を想定した技術マニュアルが整備されている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・環境復元材としての検証事業（その他機関）	4)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)JISA5011-2「ｺﾝｸﾘｰﾄ用ｽﾗｸﾞ骨材-第２部：ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ骨材」（平成28年4月改正）

2)ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ骨材を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの設計施工指針（土木学会、平成28年7月）

3)ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ細骨材の高強度ｺﾝｸﾘｰﾄへの適用性に関する基礎的検討（日本建設学会大会学術講演便覧集、平成9年9月）

4)港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（(一財)沿岸技術研究センター、平成27年9月）

5)ﾌｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞを粗骨材として用いたコンクリートの基礎的性質（コンクリート工学論文集　第21巻第3号　2010年9月）

6)電気炉産ﾌｪﾛﾆｯｹﾙ水砕ｽﾗｸﾞ砂を用いたSCP現地試験（第39回地盤工学研究発表会、平成16年7月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) コンクリート用細骨材

フェロニッケルスラグ細骨材は、コンクリート用の細骨材としてJIS化され、**土木学会「フェロニッケルスラグ骨材を用いたコンクリートの設計施工指針」**にフェロニッケルスラグ細骨材を用いるコンクリートの設計及び施工についての標準が示されている。

フェロニッケルスラグ細骨材の物理・化学的性質におけるJISの値（**JIS A 5011-2**）を**表 3.15.11** に示す。

表 3.15.11　フェロニッケルスラグ細骨材の物理・化学的性質（JIS A 5011-2）

項目			規定値
化学成分	酸化カルシウム（CaO として）	%	15.0 以下
	酸化マグネシウム（MgO として）	%	40.0 以下
	全硫黄（S として）	%	0.5 以下
	全鉄（FeO として）	%	13.0 以下
	金属鉄（Fe として）	%	1.0 以下
絶乾密度		g/cm^3	2.7 以下
吸水率		%	3.0 以下
単位容積質量		kg/ℓ	1.50 以上

出典）JIS A 5011-2「コンクリート用スラグ骨材－第 2 部：フェロニッケルスラグ骨材」

粗粒率[3]は、製造業者と購入者が協議によって定めた値と比べ、±0.20以上変化しないようにする必要がある。

コンクリートの品質上、フェロニッケルスラグ細骨材の粒度範囲を調整することが望ましい場合、異種骨材を混合することができる。その場合、砂から供給される0.15㎜以下の微粒分は10%以下、砕砂等から供給される0.15㎜以下の微粒分は15%以下である必要がある。なお、微粒分量は購入者の了解を条件に0.15㎜以下を15%まで認めることができる。

また、フェロニッケルスラグ細骨材は、**JIS A 1146 骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）**で区分評価する。

適用に当たっての利点は、以下が挙げられる。

- フェロニッケルスラグ細骨材の密度は、約 2.9～3.0g/cm^3 であり、天然の細骨材より重いことから、港湾用途における消波ブロック等の重量コンクリートの細骨材に適している。
- フェロニッケルスラグ細骨材についての **JIS A 5011-2** と **JIS A 5308 附属書 A** と比較すると、塩化物量の規定が削除されている。フェロニッケルスラグの場合、冷却水として海水を使用しないため、塩化物が混入されることはない。そのため、塩化物量が規定より若干高い天然の細骨材を使用する場合、フェロニッケルスラグ細骨材を塩化物量に関する希釈材として使用することもできる。
- フェロニッケルスラグ細骨材の環境安全品質の評価は、一般用途における環境安全品質基準にて行い、溶出量及び含有量において、ほぼ、定量未満の結果であり、一般用途における環境安全品質基準を十分に満足している。

[3]粗粒率：80 mm，40 mm，20 mm，10 mm，5 mm，2.5 mm，1.2 mm，0.6 mm，0.3 mm，及び 0.15 mm の網ふるいの一組を用いて、ふるい分けを行った場合，各ふるいを通らない全部の試料の百分率の和を 100 で除した値であり、無次元で表される

フェロニッケルスラグ細骨材は、組成や製造時の冷却条件等によって顕著なアルカリシリカ反応性を示すものがあるが、B区分と評価された細骨材でも、細骨材の混合率の制限及び高炉セメントB種を使用することでアルカリシリカ反応抑制対策を実施することができることが確認されている。なお、アルカリシリカ反応抑制対策を行う場合、その効果を試験等で確認することが必要となる。

(3) コンクリート用粗骨材

フェロニッケルスラグ粗骨材は、コンクリート用の粗骨材としてJIS化され、土木学会「フェロニッケルスラグ骨材を用いたコンクリートの設計施工指針」にフェロニッケルスラグ粗骨材を用いるコンクリートの設計及び施工についての標準が示されている。

フェロニッケルスラグ粗骨材の物理・化学的性質におけるJISの値（JIS A 5011-2）を**表 3.15.12** に示す。

表 3.15.12　フェロニッケルスラグ粗骨材の物理・化学的性質（JIS A 5011-2）

項目			規定値
化学成分	酸化カルシウム（CaO として）	%	15.0 以下
	酸化マグネシウム（MgO として）	%	40.0 以下
	全硫黄（S として）	%	0.5 以下
	全鉄（FeO として）	%	13.0 以下
	金属鉄（Fe として）	%	1.0 以下
絶乾密度		g/cm^3	2.7 以下
吸水率		%	3.0 以下
単位容積質量		kg/ℓ	1.50 以上

出典）JIS A 5011-2「コンクリート用スラグ骨材－第２部：フェロニッケルスラグ骨材」

粗粒率は、製造業者と購入者が協議によって定めた値と比べ、±0.30以上変化しないようにする必要がある。

コンクリートの品質上、フェロニッケルスラグ粗骨材の粒度範囲を調整することが望ましい場合、異種骨材を混合することができるが、フェロニッケルスラグ粗骨材と混合する異種骨材は、**JIS A 5308 附属書 A** に準じて、混合前の各骨材の品質が、粒度と塩化物量を除いて、絶乾密度、吸水率等のそれぞれの規定に適合する必要がある。特に、アルカリシリカ反応性による区分については、混合前の骨材でアルカリシリカ反応性試験によって、その反応性を確認する必要がある。

適用に当たっての利点は、以下が挙げられる。

- フェロニッケルスラグ粗骨材の密度は、約 $3.0g/cm^3$ であり、天然の粗骨材より重いことから、港湾用途における消波ブロック等の重量コンクリートの粗骨材に適している。
- フェロニッケルスラグ粗骨材の環境安全品質の評価は、一般用途における環境安全品質基準にて行い、溶出量及び含有量において、ほぼ、定量未満の結果であり、一般用途における環境安全品質基準を十分に満足している。

フェロニッケルスラグ粗骨材は、組成や製造時の冷却条件等によって顕著なアルカリシリカ反応性を示すものがあるが、B区分と評価された細骨材でも、高炉セメントB種を使用することでアルカリシリカ反応抑制対策を実施することができることが確認されている。なお、アルカリシリカ反応抑制対策を行う場合、その効果を試験等で確認することが必要となる。

(4) バーチカルドレーン及びサンドマット材

サンドドレーン工法を適用する場合、必要な性能が得られているかを照査する際、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**の**施設編　第 2 章　5. 地盤改良工法　5.4　バーチカルドレーン工法**を参照することができる。

ドレーンパイル及びサンドマットの特徴については、所要の排水機能を有することが要求される。ドレーンパイルに用いられる砂は透水性が良く、しかも粘土粒子による目詰まりが生じないような粒度の良いものとすべきである。

設計においては実際に利用するフェロニッケルスラグの性質をよく把握して、適切な設計定数を用いて設計を行うことが肝要である。

サンドドレーンに求められる性能は「透水性が良いこと」「目詰まりが生じないように粒度が良いこと」である。粒度分布と透水係数の関係については、粒度分布に関して、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**にサンドドレーンの実施工に用いられた多数の粒度分布が示されている。

フェロニッケルスラグは製造工程、製造後の加工の仕方の違いによって、粒度分布や透水係数が異なるため、適用の際には事前にどのような性質の材料が決定しておくことが必要である。なお、フェロニッケルスラグには水硬性がないため透水性が経時的に低下することはない。

地盤改良工（サンドドレーン材）の環境安全品質の評価の際には、溶出経路を考慮した上で検査方法（試験項目、環境安全品質基準）を設定する必要がある。これは、ドレーン排水を通過した雨水等による影響が考えられるためである。サンドドレーンへの適用を検討する際には、実際に使用する材料の溶出特性を把握した上で、周辺環境に対して十分に配慮する必要がある。

(5) サンドコンパクションパイル材

フェロニッケルスラグをサンドコンパクションパイルに適用する際には、必要な性能が得られるかを設計時に検討する必要がある。この際、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**の、**施設編 第 2 章　5.地盤改良工法　5.9　サンドコンパクションパイル工法（砂質土地盤を対象とする場合）**及び　**5.10 サンドコンパクションパイル工法（粘性土地盤を対象とする場合）**を参照することができる。

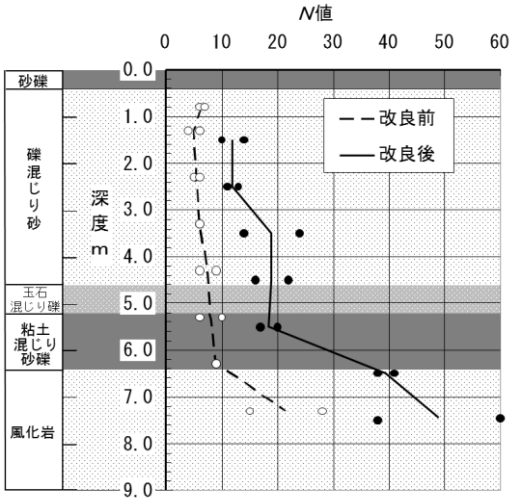
フェロニッケルスラグをサンドコンパクションパイルに使用する場合の設計に用いる特性値については、既往の調査結果等に基づいて適切に設定する必要がある。以下に、既往の調査結果例を示す。

a) 事例①：液状化が懸念される埋立地での事例 [1)]

対象地盤の構成は、地上から埋立土（分布：表層～深度 4.6m、土質：礫混じり砂、N 値：5～9、細粒分含有率 15～34%)、沖積砂・礫質土（分布：深度 4.6～6.4m、土質：玉石及び粘土混じりの砂礫、N 値：5～10、細粒分含有率：11～42%)、岩盤（分布：深度 6.4m 以深、土質：風化岩、N 値：31～60 以上)からなる。

本工事の地盤改良は、低振動・低騒音の静的 SCP 工法で、フェロニッケルスラグ杭は、1.8m の正方配置、杭径 700mm で、改良率は 11.9%となる。SCP 打設 1 サイクルあたりの時間は、一般的に使用される改良材と比較しても同程度かそれよりも短時間であった。施工中はバケットホッパー内で砂の付着が確認されたが、ケーシングパイプからの砂の排出は良好であった。

改良前後の杭間の N 値を**図 3.15.12** に示す。N 値は、表層下 2.5m までは改良前 7 程度に対し、改良後 10～14 程度となり、表層部においても改良効果が得られた。また、深度方向に対して増加していることが分かり、深度 5m 前後の玉石・粘土混じり砂礫層でも改良前 6～10 程度に対し、改良後は 16～41 まで N 値の増加が確認された。



出典）フェロニッケルスラグを用いた静的締固め工法による液状化対策工事の改良効果、第 43 回地盤工学会研究発表会論文集、pp.553-554、平成 20 年

図 3.15.12　地盤構成と改良前後の杭間 N 値

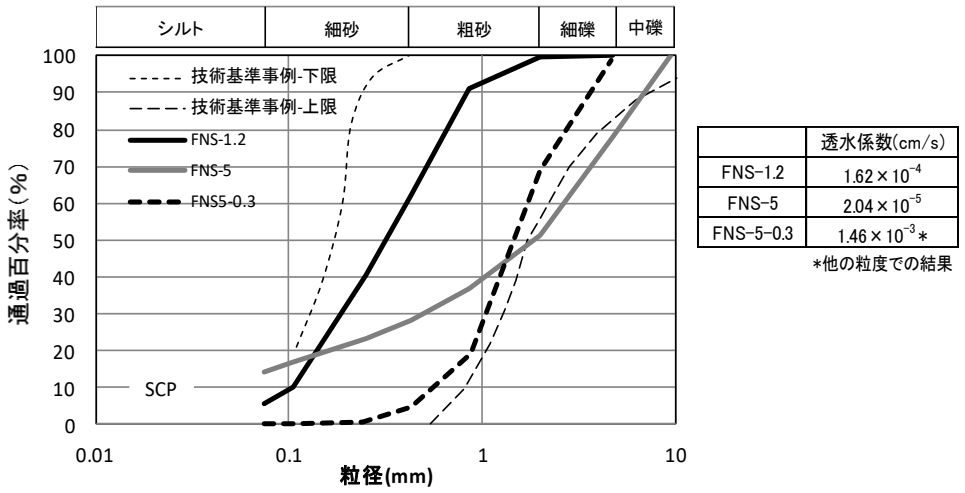
b) 事例②：河川築堤工事前の地盤改良工事

対象地は、東日本地震で被災した河川護岸の復旧工事に伴う SCP 工法による地盤改良工である。施工に使用する SCP 材は、フェロニッケルスラグ（風砕)単味と、フェロニッケルスラグ（徐冷)と天然砂を 2：1 の割合で混合した砂とされた。SCP 杭径：700mm、ピッチ：1.5m で改良率は 17%となる。目標液状化安全率（FL)は 1.1 以上、対象地周辺に貴重なトンボの生息地があるため、環境影響の少ない材料が求められた。施工後の杭間 N 値の増加が確認でき、液状化安全率以上となっており、改良効果が確認できた。また、環境影響に対しては、使用したフェロニッケルスラグの土壌溶出量・含有量試験の結果、土壌汚染対策法で定める土壌溶出量基準、含有量基準を満足する結果であったことから、環境影響も極めて少ないものとなった。

以下に、実施工で得られた結果を中心に述べる。

a)粒度

フェロニッケルスラグは、製造方法の違いにより粒度分布が異なる。**図 3.15.13** に SCP 材に用いられた粒度分布の既往事例（**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**）との比較を示す。比較的均等な粒径分布を有するもの（FNS-B、FNS-A)と、不均等な粒径分布を有し、かつ細粒分を比較的多く含むもの(FNS-C)がある。この特徴を踏まえて検討を行う必要がある。



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.15.13　SCP 材に用いられた粒度分布の既往事例との比較

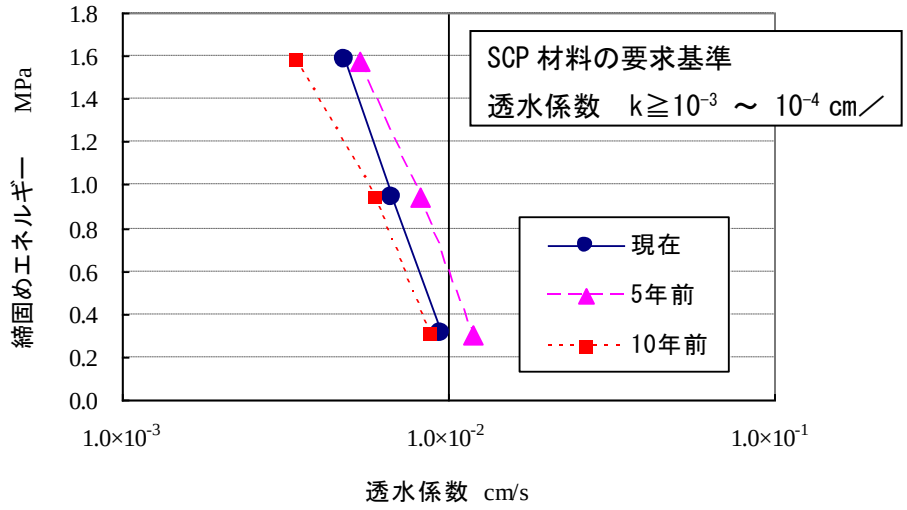
b)透水性

フェロニッケルスラグの透水係数は、粒度によって異なる。また、フェロニッケルスラグには水硬性がないため透水性が経時的に低下することもない。

製造後 5 年、10 年を経過した FNS-B を用いて、突固めエネルギーを変化させたときの透水試験の結果 [2)]を**図 3.15.14** に示す。エネルギーの増加とともに透水係数は減少する傾向にあるが、何れも 10^{-2}～10^{-3}cm/s の範囲の値であった。かつ経年による変化も見られなかった。

c)せん断強度

表 3.15.13 に 2 深度において不撹乱試料を採取し、三軸 CD 試験を実施した結果を示す。深度方向に相対密度の増加が確認され、せん断抵抗角 ϕ_d も 37～39° 程度と高い値を示している。



出典）SCP 材料としてのフェロニッケルスラグの経年変化、第 35 回地盤工学会研究発表会論文集、pp. 753-754、平成 12 年

図 3.15.14 フェロニッケルスラグの経年変化

表 3.15.13 2 深度における砂杭の特性

深度	1.8m	3.4m
相対密度	74%	94%
せん断抵抗角	37.3°	39.2°

出典）フェロニッケルスラグを用いた静的締固め工法による液状化対策工事の改良効果、第 43 回地盤工学会研究発表会論文集、pp. 553-554、平成 20 年

地盤改良工の環境安全品質の評価の際には、溶出経路を考慮した上で検査方法（試験項目、環境安全品質基準)を設定する必要がある。

【参考文献】

1) 安田智弘、田中国弘、阪下勝啓、冨永清太：フェロニッケルスラグを用いた静的締固め工法による液状化対策工事の改良効果、第 43 回地盤工学会研究発表会論文集、pp. 553-554、平成 20 年
2) 能登屋雅之、中澤重一、尾浪正晴、山口直也：SCP 材料としてのフェロニッケルスラグの経年変化、第 35 回地盤工学会研究発表会論文集、pp. 753-754、平成 20 年

(6) 中詰材

1) 共通事項

本体工に中詰材が用いられる構造物には、ケーソン、鋼板セルなどがある。これらの対象構造物全体として、所要の性能を確保する必要がある。必要な性能が得られているかを照査する際に、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**の、**施設編　第 2 章　2.2 ケーソン、第 5 章　2.7 二重矢板式係船岸　2.9 根入れを有するセル式係船、2.10 置きセル式係船岸**などを参照することができる。

フェロニッケルスラグは、密度が大きく、膨張や水硬性等の性質の変化が無いことから中詰材として適しており、これまでにケーソン中詰材として多数の実績がある。

フェロニッケルスラグを中詰材に用いる構造物の設計は、材料の特性をよく把握した上で、天然の材料との違いに注意しながら**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法によって行う。

以下、材料の特性値について述べる。

a) 土粒子密度及び単位体積重量

フェロニッケルスラグ粒子は密度が大きいため、天然砂よりも大きな単位体積重量を示す。飽和単位体積重量 γ_{sat} は水砕品で 21.0kN/m^3 程度、加工品で 21.0～23.8kN/m^3 程度の値が得られている。なお、粒度分布の影響も大きく受ける。粒度が良い FNS-5 の方が、密に詰まるため、単位体積重量が大きくなる。

利用に際しては、実際に使用するフェロニッケルスラグの性質をよく把握して適切な値を設定する必要がある。

b) せん断強度

せん断強度は、フェロニッケルスラグ水砕品で ϕ_d＝32° 程度 (Dr=60%の場合)、加工品で ϕ_d＝37° 程度 (Dr=60%の場合)の値を有している。本体工中詰材として用いるには十分な値を有していると考えられる。

本体工中詰材の環境安全品質の評価の際には、試験項目は溶出量、環境安全品質基準は港湾用途としてよい。

2) ケーソン中詰材として利用する場合の設計

フェロニッケルスラグをケーソン中詰材として利用する場合、既設の防波堤に使用することで、作用する水平波力への耐力となる鉛直荷重の増加が可能となり、新設の防波堤に使用すれば、ケーソン本体の堤体幅を小さくすることが可能となるケースもある。ただし、重量が大きい分、内部土圧も大きくなる。この内部土圧の計算は、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に準じて行う。

3) セル及び二重矢板式構造物の中詰材として利用する場合の設計

フェロニッケルスラグをセル及び二重矢板式構造物の中詰材として利用する場合には、重量の大きな材料を用いた方が、せん断変形に対する安定性が重力式壁体としての安定性が高くなり有利となる場合が多い。但し、中詰重量が大きい分、セルや矢板の張力は大きくなる。

また、せん断抵抗角の大きな材料を用いた場合にも、せん断変形に対する抵抗モーメントを高めることになり、経済的な設計を得ることができる場合が多い。

内部土圧の計算は、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に準じて行う。

(7) 根固・消波ブロック

フェロニッケルスラグをコンクリート用細骨材・粗骨材として利用する場合、根固・消波ブロックに利用することができる。なお、フェロニッケルスラグを利用した被覆石の製造は行われていない。

(8) 裏埋材

要求される事項は、裏込材と同様である。

裏埋材の再利用は想定されず、溶出経路は海水または地下水の２種類が想定される。また、フェロニッケルスラグ単味または他材料と混合して利用される。上記に基づき、環境安全形式検査は次による。

- 試験項目及び試験方法：非鉄スラグ試料または他材料と混合したものを試料とし、JIS K 0058-1 の 5.による溶出試験を実施する。
- 環境安全品質基準：溶出経路に基づき港湾用途溶出量基準または一般用途溶出量基準の何れかを適用する。

(9) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

フェロニッケルスラグは、密度が大きく、膨張や水硬性等の性質の変化が無いという特徴を有する。フェロニッケルスラグを盛土・覆土に用いる構造物の設計は、材料の特性をよく把握した上で、天然の材料との違いに注意しながら**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法によって行う。

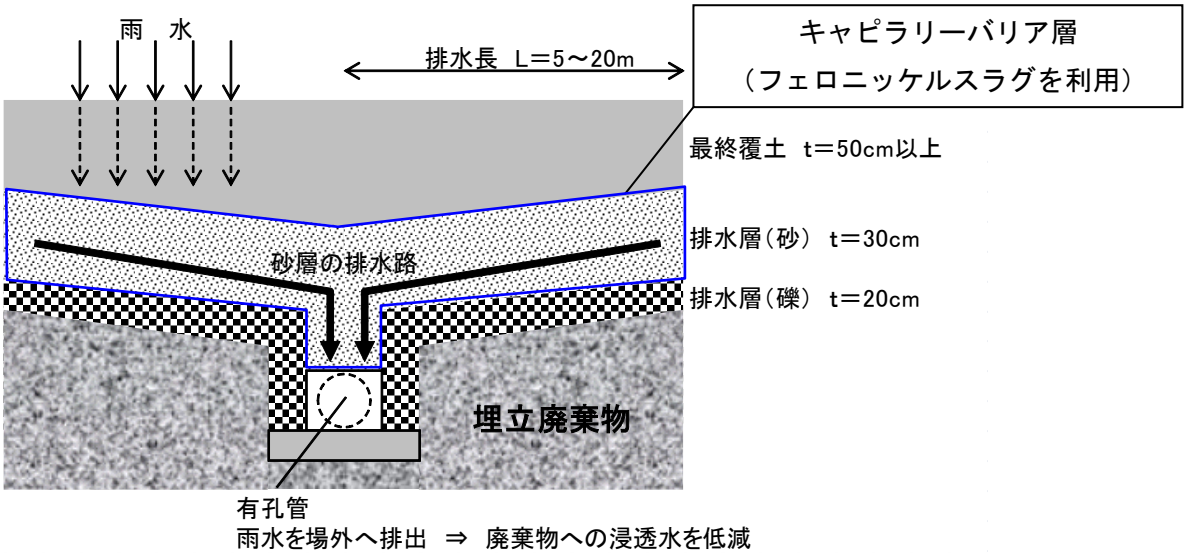
以下参考として、フェロニッケルスラグが覆土として利用された事例を示す。

・雨水浸透抑制型覆土（キャピラリーバリア）としての利用事例

主に廃棄物の埋立地内に浸透した水が汚染水となり周辺環境を汚染させる懸念がある。この問題を防止するためには汚染水の排出量を低減させることが必要である。そのための一つの工法に雨水浸透抑制型覆土（キャピラリーバリア）と呼ばれる多層覆土構造がある。**図 3.15.15**に模式図を示す。多層覆土とは上層に砂層と下層に礫層の多層を形成し、砂層の境界面に生じる毛管現象により保水されながら流下して集中排水される特徴を持つ。

多層覆土上表面に形成されるキャピラリーバリア層と呼ばれる微粒層に求められる性質は、細粒層に対し透水性能が良好であり、かつ保水能力が良好である性質を持つ砂であり、経年変化による過圧密による間隙詰まりの少ない砂である。

フェロニッケルスラグ（水砕スラグ）において、粒度分布が通過質量百分率で粒径0.15㎜を10～30％、粒径0.3㎜を25～60％、粒径0.6㎜を60～90％、粒径1.2㎜を85～100％に粒度調整されたものがキャピラリーバリア層として利用されている。



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.15.15　雨水浸透抑制型覆土（キャピラリーバリア）の多層覆土構造図

利用に際しては、実際に使用するフェロニッケルスラグの性質をよく把握して適切な値を設定する必要がある。以下に、盛土・覆土に主に求められる特徴を簡単に述べる。

a) 土粒子密度及び単位体積重量

フェロニッケルスラグ粒子は密度が大きいため、天然の砂よりも大きな単位体積重量を示す。飽和単位体積重量 γ_{sat} は概ね水砕品で 20.5kN/m^3 程度、加工品で 23.5kN/m^3 程度の値を有している。なお、粒度分布の影響も大きく受ける。粒度が良い FNS-5 の方が、密に詰まるため、単位体積重量が大きくなる。

b) せん断強度

せん断強度は、フェロニッケルスラグ水砕品で ϕ_d＝32° 程度（Dr=60%の場合）、加工品で ϕ_d＝37° 程度（Dr=60%の場合）の値を有している。裏込材として用いるには十分な値を有していると考えられる。

盛土・覆土の環境安全品質の評価の際には、試験項目は溶出量及び含有量、環境安全品質基準は一般用途とする。ただし、盛土が覆土等で十分に覆われる場合は、溶出経路に基づき港湾用途溶出量基準または一般用途溶出量基準のいずれかを適用する。

(10)　埋立材

埋立材が用いられる構造物には、重力式係船岸、矢板式係船岸などがある。これらの対象構造物全体として、所要の性能を確保する必要がある。必要な性能が得られているかを照査する際に、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**の、**施設編　第 5 章　2.2 重力式係船岸、2.3 矢板式係船岸**などを参照することができる。

フェロニッケルスラグは、密度が大きく、膨張や水硬性等の性質の変化が無いという特徴を有する。フェロニッケルスラグを裏埋工・埋立材に用いる構造物の設計は、材料の特性をよく把握した上で、天然の材料との違いに注意しながら**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法によって行う。

以下、材料の特性値について述べる。

a)土粒子密度及び単位体積重量

フェロニッケルスラグ粒子は密度が大きいため、天然の砂よりも大きな単位体積重量を示す。飽和単位体積重量γ_{sat}は概ね水砕品で 20.5kN/m^{3}程度、加工品で 23.5kN/m^{3}程度の値を有している。なお、粒度分布の影響も大きく受ける。粒度が良い FNS-5 の方が、密に詰まるため、単位体積重量が大きくなる。

b)せん断強度

フェロニッケルスラグの種類では、水砕品でϕ_d＝32° 程度（Dr=60%の場合)、加工品でϕ_d＝37° 程度（Dr=60%の場合)の値を有している。埋立材として用いるには十分な値を有していると考えられる。

c)環境安全品質

埋立材の環境安全品質の評価の際には、試験項目は溶出量及び含有量、環境安全品質基準は一般用途とする。

i)長期間供用された埋立材における環境安全品質

以下に参考として、フェロニッケルスラグを使用した埋立地における、環境安全品質に関する調査結果を紹介する。調査を行った埋立地は、フェロニッケルスラグを約 57,000m^{3}使用し、施工後約 16 年経過した場所で、現在、公園として運用されている場所を調査地とした。調査は深さ約 5m のボーリングにより、フェロニッケルの埋立土を採取し、長期間経過した後の環境安全品質（溶出量及び含有量)に関する分析を行った。また、ボーリング孔から地下水を採取し、土壌からの溶出量を調査した。埋立土のスラグ 2 試料について、溶出量・含有量試験を行った。土壌分析結果の一覧を**表 3.15.14** に示す。両試料とも、分析対象項目については定量下限値未満であり、土壌汚染対策法で定める土壌溶出量基準、含有量基準を満足する結果であった。

表 3.15.14　土壌分析結果一覧

項目		検体名称		定量下限値	基準＊	単位
		深度 1.30m	深度 3.00m			
土壌溶出量	カドミウム	0.001 未満	0.001 未満	0.001	0.003 以下	mg/L
	鉛	0.005 未満	0.005 未満	0.005	0.01 以下	mg/L
	六価クロム	0.02 未満	0.02 未満	0.02	0.05 以下	mg/L
	ひ素	0.002 未満	0.002 未満	0.002	0.01 以下	mg/L
	総水銀	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005	0.0005 以下	mg/L
	セレン	0.002 未満	0.002 未満	0.002	0.01 以下	mg/L
	ふっ素	0.1 未満	0.1 未満	0.1	0.8 以下	mg/L
	ほう素	0.1 未満	0.1 未満	0.1	1 以下	mg/L
土壌含有量	カドミウム	5 未満	5 未満	5	150 以下	mg/kg
	鉛	5 未満	5 未満	5	150 以下	mg/kg
	六価クロム	5 未満	5 未満	5	250 以下	mg/kg
	ひ素	5 未満	5 未満	5	150 以下	mg/kg
	総水銀	0.02 未満	0.02 未満	0.02	15 以下	mg/kg
	セレン	5 未満	5 未満	5	150 以下	mg/kg
	ふっ素	100 未満	100 未満	100	4000 以下	mg/kg
	ほう素	5 未満	5 未満	5	4000 以下	mg/kg

＊基準：土壌溶出量基準、土壌含有量基準

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

ⅱ）フェロニッケルスラグを使用した埋立地における地下水の水質

ボーリング孔から採取した地下水の水質を分析した。なお、比較対象として対象地前面の海域より海水を採取し分析した。地下水分析は地下水環境基準に該当する 8 項目（カドミウム、鉛、六価クロム、ひ素、総水銀、セレン、ふっ素、ほう素)について行った。計量の方法は、環境省告示第 17 号（平成 15 年)である。

水質分析結果の一覧を**表 3.15.15** に示す。分析結果の特徴は以下のとおりであり、特段の問題がないことが確認された。

・地下水、海水ともにふっ素とほう素が定量された。

・地下水で定量されたふっ素とほう素は、地下水基準を満足するものであった。

・海水のふっ素は地下水と同程度であるが、ほう素は地下水の 8～9 倍であった。これは、海水の一般的な値はふっ素 1.3mg/L、ほう素 4.5mg/L 程度であり、海水起因（汽水域）と考えられる。

表 3.15.15　水質分析結果一覧

分析項目	検体名称		定量下限値	基準＊	単位
	埋立地 地下水	海水			
カドミウム	0.001 未満	0.001 未満	0.001	0.003 以下	mg/L
鉛	0.005 未満	0.005 未満	0.005	0.01 以下	mg/L
六価クロム	0.02 未満	0.02 未満	0.02	0.05 以下	mg/L
ひ素	0.002 未満	0.002 未満	0.002	0.01 以下	mg/L
総水銀	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005	0.0005 以下	mg/L
セレン	0.002 未満	0.002 未満	0.002	0.01 以下	mg/L
ふっ素	0.4	0.5	0.1	0.8 以下	mg/L
ほう素	0.3	2.6	0.1	1 以下	mg/L

＊基準：地下水基準

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

(11) 路床盛土材

路床盛土は、それより上部に施工される路盤や表・基層の施工基盤となることから、所定の荷重支持力と均一で平坦な表面が求められる。路床盛土材としてのフェロニッケルスラグは、クラッシャランフェロニッケルスラグが用いられ、粒度は主に 5mm 以下であり、その要求性能は、道路用砕石の通常のクラッシャランに準ずる。

フェロニッケルスラグ路床盛土材は、密度が大きく、膨張や水硬性等の性質の変化が無く、路床盛土材として加工されることにより、締固め性がよいという特性を有する。フェロニッケルスラグはCaO及びMgOが単独で存在しないことから、水和反応が起こらず水硬性が認められない。フェロニッケルスラグ路床盛土材の修正CBR試験値は、締固め度95%において、90%程度と高い値を示す。また、フェロニッケルスラグの凍上試験において、凍上様式1（**道路土工排水工指針**）において、凍上率0%となっている。

また、フェロニッケルスラグの路床材用途における環境安全品質の評価は、一般用途における環境安全品質基準にて行い、溶出量及び含有量において、ほぼ、定量未満の結果であり、一般用途における環境安全品質基準を十分に満足している。

フェロニッケルスラグ路床盛土材は、締固め性がよいという特性を有しているが、天然の砕石と同様の管理が必要である。なお、最大乾燥密度における最適含水比は、7～9%程度である。

(12) 路盤材

路盤材用フェロニッケルスラグの種類と粒度は、**表 3.15.16**及び

表 3.15.17に示すとおりである。これらの品質は、**JIS A 5001**及び**「舗装設計施工指針」**の規定に準じている。

表 3.15.16　路盤材用フェロニッケルスラグの種類と主な用途

種　　類	呼び名	主な用途
クラッシャラン フェロニッケルスラグ	CN40	下層路盤用
	CN20	

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

表 3.15.17　路盤材用フェロニッケルスラグの粒度

種類	呼び名	粒度範囲 (mm)	ふるいを通すものの質量百分率%									
			JIS Z 8801-1 に規定する金属製鋼ふるいの公称目開き									
			53 mm	37.5 mm	31.5 mm	26.5 mm	19 mm	13.2 mm	4.75 mm	2.36 mm	425 μm	75 μm
ｸﾗｯｼｬﾗﾝ フｪﾛﾆｯｹﾙｽﾗｸﾞ	CN40	40～0	100	95～100	—	—	50～80	—	15～40	5～25	—	—
	CN20	20～0	—	—	—	100	95～100	60～90	20～50	10～35	—	—

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

フェロニッケルスラグ路盤材は、密度が大きく、膨張や水硬性等の性質の変化が無く、路盤材として加工されることにより、締固め性がよいという特性を有する。フェロニッケルスラグはCaO及びMgOが単独で存在しないことから、水和反応が起こらず水硬性が認められない。フェロニッケルスラグ路盤材の修正CBR試験値は、締固め度95%において、100%程度と高い値を示す。また、フェロニッケルスラグの最大水浸膨張比は、0.05%程度であり、低い値を示す（参考：**土木工事共通仕様書（案）（国土交通省）**　上層路盤の品質規格　水浸膨張比1.5%以下）。

また、フェロニッケルスラグの路盤材用途における環境安全品質の評価は、一般用途における環境安全品質基準にて行い、溶出量及び含有量において、ほぼ、定量未満の結果であり、一般用途における環境安全品質基準を十分に満足している。

フェロニッケルスラグ路盤材は、締固め性がよいという特性を有しているが、天然の砕石と同様の管理が必要である。なお、最大乾燥密度における最適含水比は、5%程度である。

(13)　アスファルト舗装骨材

舗装用フェロニッケルスラグ（表・基層）の種類と粒度は、**表 3.15.18** 及び**表 3.15.19** に示すとおりである。

表 3.15.18　舗装用フェロニッケルスラグの種類と主な用途（表・基層）

種　　類	呼び名	主な用途
単粒度フェロニッケルスラグ	SN5	表・基層用加熱アスファルト混合物用
フェロニッケルスラグスクリーニングス	FN2.5	

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

表 3.15.19　舗装用フェロニッケルスラグの粒度（表・基層）

種類	呼び名	ふるいを通すものの質量百分率%						
		JIS Z 8801-1 に規定する金属製鋼ふるいの公称目開き						
		26.5mm	19mm	13.2mm	4.75mm	2.36mm	1.18mm	75μm
単粒度フェロニッケルスラグ	SN5	—	—	100	85～100	0～25	0～5	—
フェロニッケルスラグスクリーニングス	FN2.5	—	—	—	100	85～100	—	0～20 (0～10)

（ ）内は、望ましい粒度範囲

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

表 3.15.20　舗装用フェロニッケルスラグの品質規格（表・基層）

項目	単粒度フェロニッケルスラグ	フェロニッケルスラグスクリーニングス
表乾密度(g/cm^3)	2.45 以上	2.45 以上
吸水率(%)	3.0 以上	3.0 以下
すり減り減量(%)（表層・基層）	30 以下[注 1)]	―

注 1)：表層、基層用砕石のすり減り試験は、粒径 13.2～4.75mm のものについて実施する。
出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

フェロニッケルスラグをアスファルト舗装骨材に適切に用いた場合、わだち掘れ抵抗性が向上する効果、及びひび割れ率が低減する効果が得られ、通常配合の舗装と比較して舗装の長寿命化が図れる事例がある。ただし、これまで実績の無い配合等で使用する場合には、室内試験等によりその効果（わだち掘れ抵抗性等）を事前に確認することが必要である。

(14)　藻場、浅場・干潟造成材、覆砂材、人工砂浜等

フェロニッケルスラグを覆砂材・人工砂浜等に用いる構造物の設計は、材料の特性をよく把握した上で、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**及び**「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」**に示される方法によって行うこととする。また、**「海の自然再生ハンドブック」**を参考とすることができる。

フェロニッケルスラグを覆砂材に利用する場合、天然砂による覆砂と同様に、在来地盤を覆砂することにより、底生生物が増加することが期待される。また、フェロニッケルスラグから溶出する鉄が、生物に有害な硫化水素と反応することで、硫化水素を不活性化し、通常の覆砂よりも底生生物の生息環境の改善効果が高くなることが期待される。さらに、鉄がリンと反応・不活性化することで、通常の覆砂よりも栄養塩の抑制効果が高くなることが期待される。

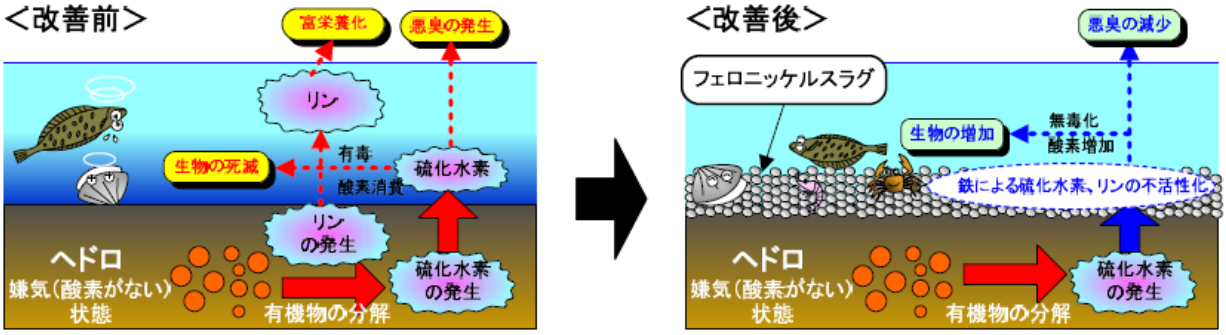


図 3.15.16　フェロニッケルスラグの深場の覆砂材としての活用により期待される効果

(15) 今後の検討を要する用途

1) 裏込材

フェロニッケルスラグを裏込材に用いる構造物の設計は、材料の特性をよく把握した上で、天然の材料との違いに注意しながら**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法によって行う。

また、フェロニッケルスラグには、細粒分も含まれており、通常の天然の砂や砂利の場合と同様に、ケーソンの隙間からの流出を防止する対策が求められる。

裏込工が用いられる構造物には、重力式係船岸、矢板式係船岸などがある。これらの対象構造物全体として、所要の性能を確保する必要がある。必要な性能が得られているかを照査する際に、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**の、**施設編　第 5 章　2.2 重力式係船岸、2.3 矢板式係船岸**などを参照することができる。

裏込工に主に求められる特徴のみを簡単に述べる。利用に際しては、実際に使用するフェロニッケルスラグの性質をよく把握して適切な値を設定する必要がある。

a) 土粒子密度及び単位体積重量

フェロニッケルスラグ粒子は密度が大きいため、天然の砂よりも大きな単位体積重量を示す。概ね水砕品で 20.5kN/m^3 程度、加工品で 23.5kN/m^3 程度の値を有している。なお、粒度分布の影響も大きく受ける。粒度が良い FNS-C の方が、密に詰まるため、単位体積重量が大きくなる。

b) せん断強度

フェロニッケルスラグの種類では、水砕品で ϕ_d＝32° 程度（Dr=60%の場合）、加工品で ϕ_d＝37° 程度（Dr=60%の場合）の値を有している。裏込材として用いるには十分な値を有していると考えられる。

裏込工の再利用は想定されず、溶出経路は海水または地下水の 2 種類が想定される。また、フェロニッケルスラグ単味または他材料と混合して利用される。上記に基づき、環境安全形式検査は次による。

- 試験項目及び試験方法：非鉄スラグ試料または他材料と混合したものを試料とし、JIS K 0058-1 の 5. による溶出試験を実施する。
- 環境安全品質基準：溶出経路に基づき港湾用途溶出量基準または一般用途溶出量基準の何れかを適用する。

3.15.5 関連法令

フェロニッケルスラグは産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.15.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

フェロニッケルスラグを材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.16 亜鉛スラグ

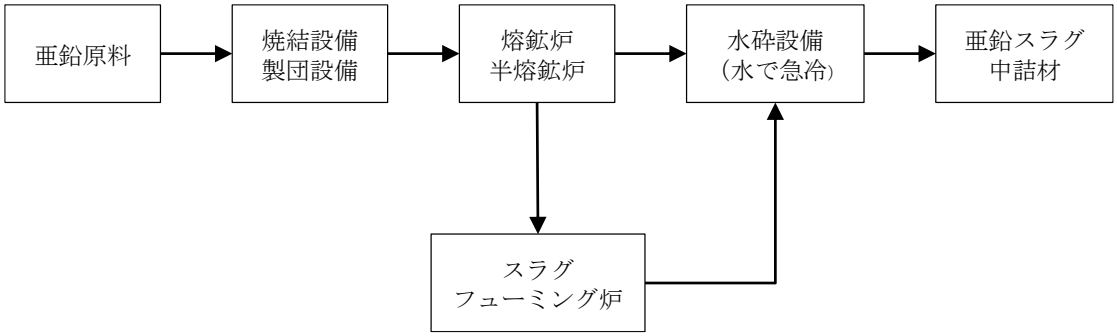
3.16.1 製造・供給

亜鉛スラグは、亜鉛を製錬する過程の中で原料中の鉄分と硅石分が結合した溶融スラグを、高圧水により冷却し、砂状に水砕したものである。性状はガラス質で、黒色を呈している。

（解説）

(1) 製造方法

亜鉛スラグは、乾式の亜鉛製錬設備である亜鉛熔鉱炉（ISP炉）、亜鉛半熔鉱炉（MF炉）によって亜鉛原料から亜鉛もしくは粗酸化亜鉛を製造する際に生成された溶融スラグを、水急冷により水砕産物とする方法で生産されている[1)2)]。工場によっては熔鉱炉、半熔鉱炉から産出した溶融スラグをスラグフューミング炉へ導入し、還元剤をスラグ中に吹き込むことによってスラグ中の亜鉛などの金属成分を揮発・回収して、スラグの品質を改善している[3)4)]。



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.16.1　亜鉛スラグの生成過程

国内では亜鉛熔鉱炉（ISP炉）と亜鉛半熔鉱炉（MF炉）が亜鉛スラグを産出している。**表 3.16.1**に国内の２工場を示す。

表 3.16.1　乾式亜鉛製錬所

	炉の種類	製造所	亜鉛スラグ生産量
1	熔鉱炉（ISP 炉） ＋ スラグフューミング炉	八戸製錬㈱八戸製錬所 青森県八戸市大字河原木	85 千トン/年
2	半熔鉱炉 （MF 炉）	三池製錬㈱熔錬工場 福岡県大牟田市新開町	75 千トン/年

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

【参考文献】

1) 吾妻伸一：八戸製錬所における亜鉛・鉛製錬、Journal of MMIJ Vol.123 (No.12)、pp.661-665、平成 19 年

2) 野田眞治：ＭＦ炉増処理に向けた諸改善、Journal of MMIJ Vol.123(No.12)、pp.730-733、平成 19 年

3) T.Sekiguti and S.Azuma：Slag fuming at Hachinohe Smelter、The Metallurgical Society of CIM、pp.299-311、平成 10 年

4) 榎本　潮：八戸製錬所のスラグ処理改善について、Autumn Symposium of MMIJ/D5-4、pp.311-313、2003

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

東北、九州

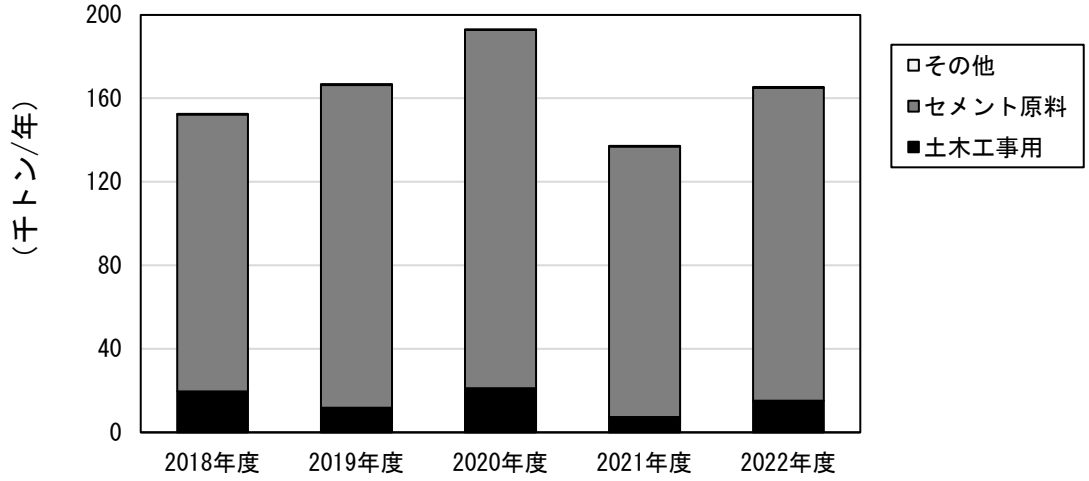
2) 事業所の立地場所

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）より作成

図 3.16.2　亜鉛スラグ製造所（亜鉛製錬所）の立地場所

3) 生産量

亜鉛スラグ：約 13,600t/月（2018 年～2022 年平均、販売実績ベース）



出典）日本鉱業協会提供資料より作成

図 3.16.3　亜鉛スラグの販売実績の推移

3.16.2 品質

(1) 物理的性質

1) 亜鉛スラグの粒径はほぼ 5mm 以下の砂状であり、粒径 0.1mm 以下の細粒をほとんど含まない。
2) 亜鉛スラグの土粒子密度は 3.6g/cm³ 程度であり、一般的な砂（2.7g/cm³）に比べ大きい。
3) 亜鉛スラグを水中投入した際の堆積後の飽和単位体積重量は、概ね 23.5kN/m³ である。

（解説）

1) 粒度

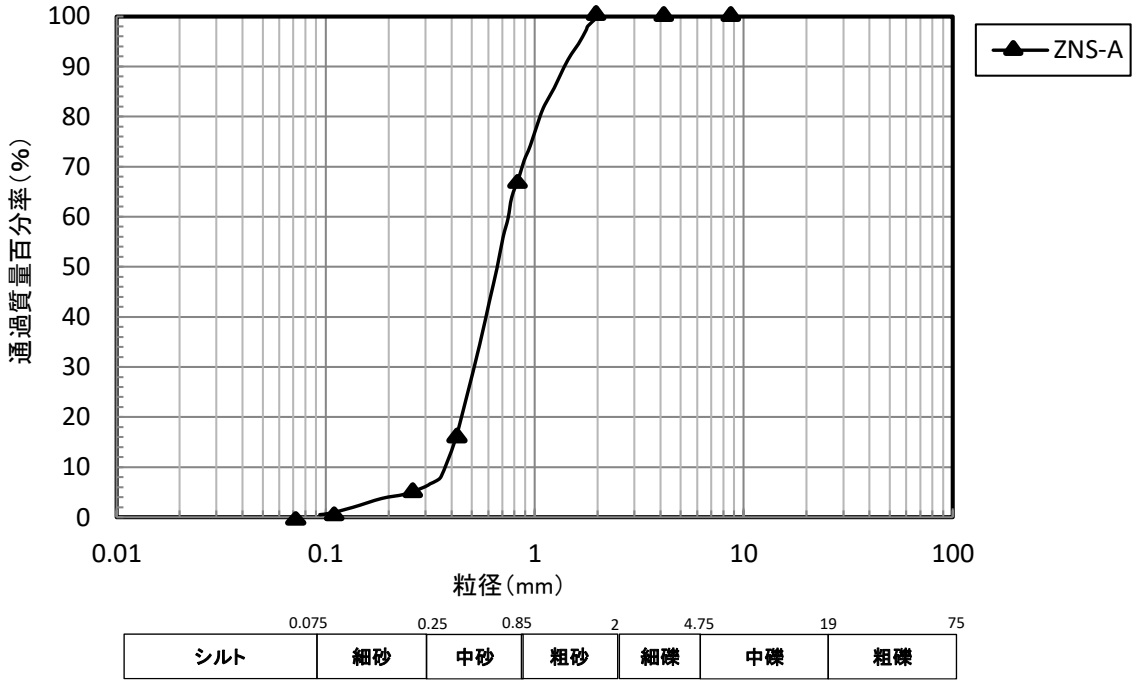
亜鉛スラグの粒度分布（測定例）を**図 3.16.4**に示す。

亜鉛スラグの代表的な粒径と均等係数の一例を**表 3.16.2**に示す。均等係数が2と単粒度である。

表 3.16.2　亜鉛スラグの粒径と均等係数の一例

名称	60%粒径 D_{60}(mm)	平均粒径 D_{50}(mm)	10%粒径 D_{10}(mm)	均等係数 U_C
ZNS-A	0.77	0.68	0.38	2.08

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.16.4　亜鉛スラグの粒度分布（測定例）

2) 土粒子密度

亜鉛スラグの土粒子密度、最大・最小密度試験の一例を**表 3.16.3**に示す。

亜鉛スラグの土粒子密度は3.6g/cm³程度であり、一般的な砂（2.7g/cm³）に比べ重い。

表 3.16.3　亜鉛スラグの土粒子密度、最大・最小密度試験の一例

名称	対象スラグ	土粒子密度 (g/cm^3)	最少乾燥密度 (ρ_{dmin}) (g/cm^3)	最大乾燥密度 (ρ_{dmax}) (g/cm^3)
ZNS-A	FNS-5-0.3	3.622	1.77	2.18

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

3) 飽和単位体積重量

ケーソン等の本体工への中詰材の投入を模擬した亜鉛スラグを用いた水中落下実験を実施し、相対密度は 48～71%であることが確認されている。この範囲における飽和単位体積重量 γ_{sat}の試算の結果、23.1～23.9kN/m^3（平均23.5kN/m^3）程度となった。

なお、試算に必要な物性値は**表 3.16.3**の値を用いた（水の密度は海水密度1.03g/cm^3とした）。

なお、現在、中詰材の飽和単位体積重量の品質管理方法としては、水を張った容器に中詰材を投入し、その際の単位体積重量を測定する方法（軽装法と一般的に呼ばれる）で行われている場合が多い。

(2) 力学的性質

1) 亜鉛スラグの透水係数は相対密度 D_r が 60%の状態で 1×10^{-3}cm/s 程度である。突き固めにより透水係数は 4 割程度低下する。
2) 突き固めによる破砕の程度は低い。
3) 亜鉛スラグのせん断抵抗角 ϕ_d は、32° 程度である。

（解説）

1) 透水性

亜鉛スラグの透水試験結果の一例を**表 3.16.4**に示す。透水係数はDr60%の状態で1×10^{-3} cm/s程度である。

表 3.16.4　亜鉛スラグの透水試験結果の一例

名称	透水係数 k(cm/s)	10%粒径 D_{10}(mm)	試験時の ρ_d(g/cm^3) (Dr60%)
ZNS-A	1.09×10^{-3}	0.38	1.99

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

突固めた亜鉛スラグの透水試験結果を**表 3.16.5**に示す。突き固めた亜鉛スラグの透水係数は、8×10^{-4}cm/s程度であり、突き固めにより透水係数は4割程度低下する。

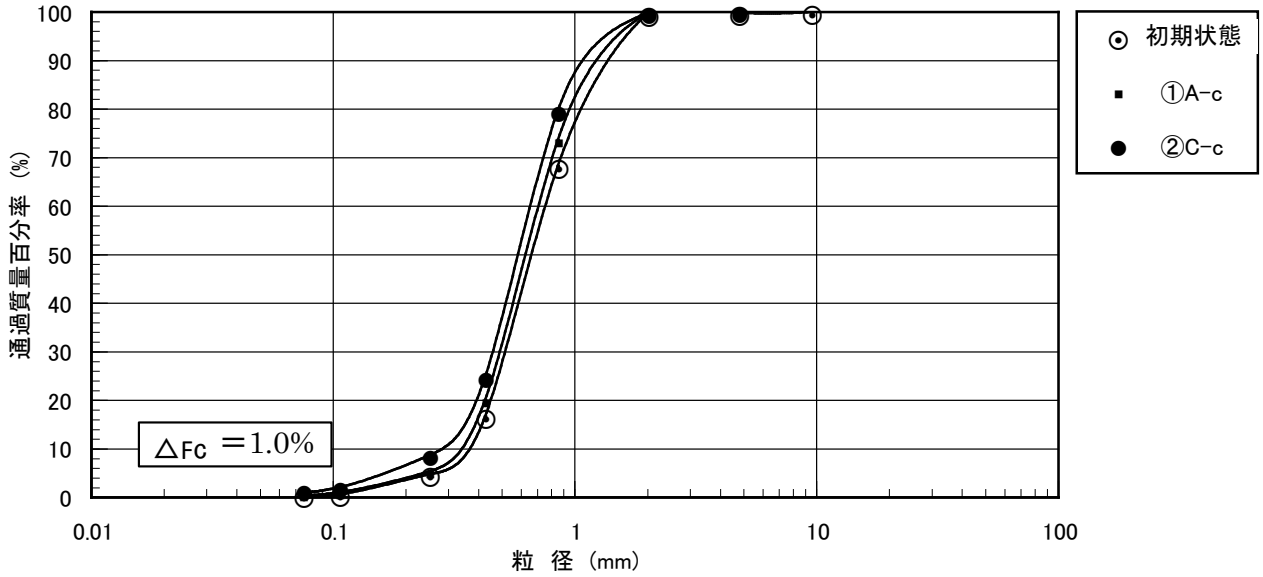
表 3.16.5　突固めた亜鉛スラグの透水試験結果の一例

名称	k(cm/s) A-c 法	k(cm/s) C-c 法	透水係数の低下率 (%)
ZNS-A	8.40×10^{-4}	4.85×10^{-4}	42.3%

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

2) 突き固めによる破砕

突固め透水試験前後の粒度変化を**図 3.16.5**に示す。突き固め前後の粒度分布から、破砕の程度は低いことが分かる。



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.16.5 突固め透水試験前後の粒度変化（ZNS-A）

3) せん断抵抗角

亜鉛スラグの三軸圧縮試験（CD 法）のせん断抵抗角 ϕ_d の一例を**表 3.16.6** に示す。

亜鉛スラグのせん断抵抗角 ϕ_d は 32° ～33° 程度（Dr=60%で 32.3°）である。

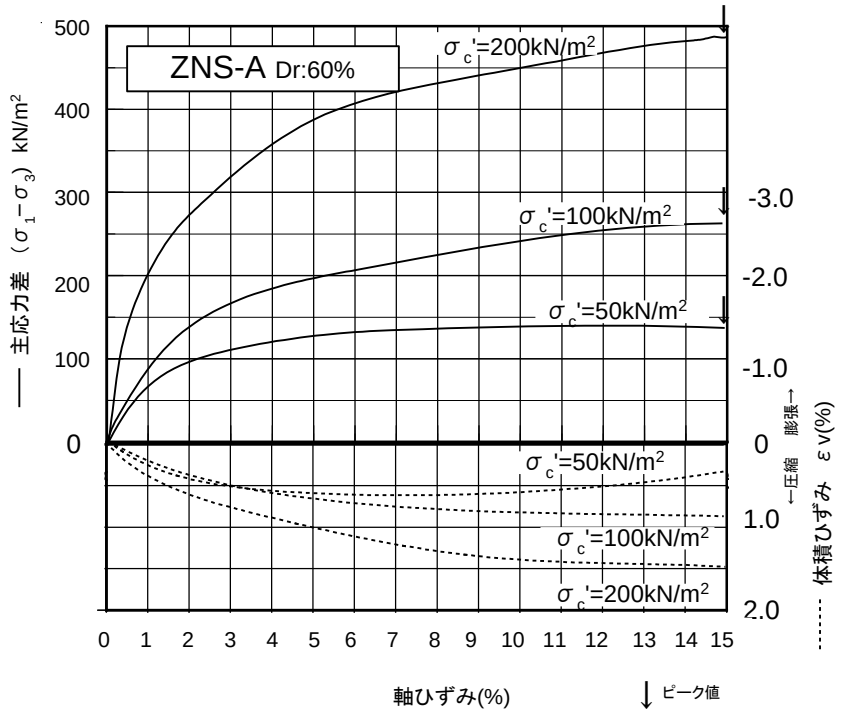
表 3.16.6 亜鉛スラグの三軸圧縮試験（CD 法）のせん断抵抗角 ϕ_d の一例

	スラグ種	Dr=40%	Dr=60%	Dr=80%
		ϕ_d（°）	ϕ_d（°）	ϕ_d（°）
ZNS-A	水砕品	32.0	32.3	33.4

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

亜鉛スラグの応力ひずみの関係を**図 3.16.6** に示す。

ピークの主応力差の発生位置が明確でなく、軸ひずみ 15%のときに生じていること、せん断中の体積ひずみがすべて圧縮側であることが特徴的である。



出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

図 3.16.6　亜鉛スラグの三軸圧縮試験（CD 法)の応力ひずみの関係

(3) 化学的性質

亜鉛スラグは、酸化鉄（FeO)、珪酸（SiO_2)、酸化カルシウム（CaO)、酸化アルミニウム（Al_2O_3)が主成分をなしている。

（解説）

1) 化学成分

亜鉛スラグの化学成分の一例を**表 3.16.7**に示す。

表 3.16.7　亜鉛スラグの化学成分分析の一例

化学成分	FeO	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Zn	Cu
分析値（%)	31.30	7.20	21.30	10.20	17.90	2.10	3.40	0.75

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

2) 環境安全品質

① 溶出量

亜鉛スラグに関して、環境安全品質基準に設定された化学物質について、JIS K 0058-1による溶出量試験を行った結果の一例を**表 3.16.8**に示す。全て港湾用途の基準値未満であった。

表 3.16.8　亜鉛スラグの溶出量試験結果の一例

分析対象	カドミウム	鉛	六価クロム	ひ素	水銀	セレン	ふっ素	ほう素
溶出量(mg/L)	＜0.001	＜0.005	＜0.01	0.02	＜0.0005	＜0.005	0.20	＜0.1
環境安全品質基準(港湾用途)(mg/L)	≦0.009	≦0.03	≦0.15	≦0.03	≦0.0015	≦0.03	≦15	≦20

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

② 含有量

亜鉛スラグに関して、環境安全品質基準に設定された化学物質について、JIS K 0058-2に基づく含有量試験値の一例を**表 3.16.9**に示す。カドミウム、六価クロム、水銀、ほう素、ふっ素は定量限界未満であった。一方、ひ素と鉛は、一般用途における基準値より高くなっていた。

以上のことから、一般用途として使用する場合は、他材料との混合利用が前提となる。一方、含有量に関する基準が適用されない港湾用途においてはそのまま使用することができる。ただし、含有量に関する基準値の10倍未満であることを確認する必要がある。

表 3.16.9　亜鉛スラグの含有量試験結果の一例

分析対象	カドミウム	鉛	六価クロム	ひ素	水銀	セレン	ほう素	ふっ素
含有量(mg/kg)	＜1	150	＜1	550	＜0.1	＜1	840	360
基準値(mg/kg)	≦150	≦150	≦250	≦150	≦15	≦150	≦4000	≦4000

出典）港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター、平成 27 年 9 月）

3.16.3 適用用途

(1) 概要

亜鉛スラグをリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、亜鉛スラグを各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.16.10** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○⁺」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.16.10　亜鉛スラグの適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)亜鉛スラグの本体工中詰材への適用が挙げられ、亜鉛スラグの物理的特性値等を踏まえた適用性が評価されている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・防波堤整備事業（国交省） ・漁港整備工事（管理者）	1)
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル((一財)沿岸技術研究センター、平成27年9月)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) 中詰材

1) 共通事項

本体工に中詰材が用いられる構造物には、ケーソン、鋼板セルなどがある。これらの対象構造物全体として、所要の性能を確保する必要がある。必要な性能が得られているかを照査する際に、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**の**施設編　第 2 章　2.2 ケーソン、第 5 章　2.7 二重矢板式係船岸、2.9 根入れを有するセル式係船岸、2.10 置きセル式係船岸**などを参照することができる。

亜鉛スラグには、天然の砂に比べ単位体積重量が大きく、せん断抵抗角は同程度という特徴がある。また、水硬性のような特有の性質もないため、中詰材としてその特性を有効に活用するならば、天然の砂を用いた場合よりも経済的な設計をすることが期待できる。

上述のように、亜鉛スラグは中詰材として適しており、ケーソン中詰材として、既に多数の利用実績がある。

亜鉛スラグを中詰材に用いる構造物の設計は、材料の特性をよく把握した上で、天然の材料との違いに注意しながら**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示される天然の砂や砂利を対象とした方法によって行う。

以下、材料の特性値について述べる。

a) 土粒子密度及び単位体積重量

亜鉛スラグ粒子は密度が大きいため、天然の砂よりも大きな単位体積重量を示す。概ね水砕品で 23.5kN/m^3 程度の値を有している。

利用に際しては、実際に使用する亜鉛スラグの性質をよく把握して適切な値を設定する必要がある。

b) せん断強度

ϕ_d＝32° 程度（Dr=60%の場合）の値を有している。本体工中詰材として用いるには十分な値を有していると考えられる。

本体工中詰材の環境安全品質の評価の際には、試験項目は溶出量、環境安全品質基準は港湾用途としてよい。

2) ケーソン中詰材として利用する場合の設計

亜鉛スラグをケーソン中詰材として利用する場合、既設の防波堤に使用することで、作用する水平波力への耐力となる鉛直荷重の増加が可能となり、新設の防波堤に使用すれば、ケーソン本体の堤体幅を小さくすることが可能となるケースもある。ただし、重量が大きい分、内部土圧も大きくなる。この内部土圧の計算は、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に準じて行う。

亜鉛スラグをケーソン中詰材として利用する場合、これらのことを踏まえて、実際に使用する材料の性質をよく把握し、適切に使用する必要がある。

3) セル及び二重矢板式構造物の中詰材として利用する場合の設計

亜鉛スラグをセル及び二重矢板式構造物の中詰材として利用する場合には、重量の大きな材料を用いた方が、せん断変形に対する安定性が重力式壁体としての安定性が高くなり有利となる場合が多い。但し、中詰重量が大きい分セルや矢板の張力は大きくなる。

また、せん断抵抗角の大きな材料を用いた場合にも、せん断変形に対する抵抗モーメントを高めることになり、経済的な設計を得ることができる場合が多い。

内部土圧の計算は、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に準じて行う。

亜鉛スラグをケーソン中詰材として利用する場合、これらのことを踏まえて、実際に使用する材料の性質をよく把握し、適切に使用する必要がある。

3.16.4 関係法令

亜鉛スラグは産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.16.5 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

亜鉛スラグを材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

亜鉛スラグは、ひ素と鉛の含有量が土壌基準より高い値となっている。そのため、用途は港湾用途に限定される。通常再利用は想定されないが、もし再利用する場合は港湾用途に限定される。また、廃棄する場合は廃棄物処理法に対応した処理が必要である。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.17 貝殻

3.17.1 製造・供給

貝殻（カキ殻、ホタテ殻）は、主に破砕後、建設資材として供給されている。

（解説）

(1) 製造方法

1） カキ殻

カキ殻は、カキ養殖により発生したカキ殻を主に破砕した後、建設資材として利用されている。水質浄化材料としては、カキ殻をそのままの状態で活用することも可能である。

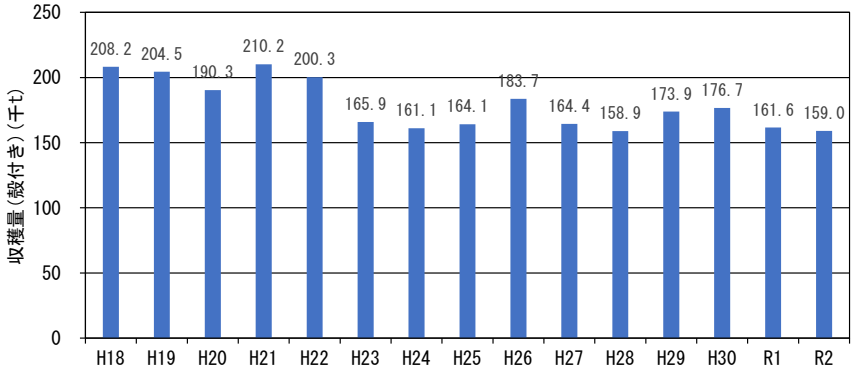
2） ホタテ殻

ホタテ殻については、ホタテの加工過程において原貝の洗浄、及びボイル加工処理を施した後に脱殻した貝殻を原材料とし、コンクリート用細骨材の標準粒度を満足する状態に破砕したものを「シェルサンド」として製造されている。

(2) 供給・利用の状況

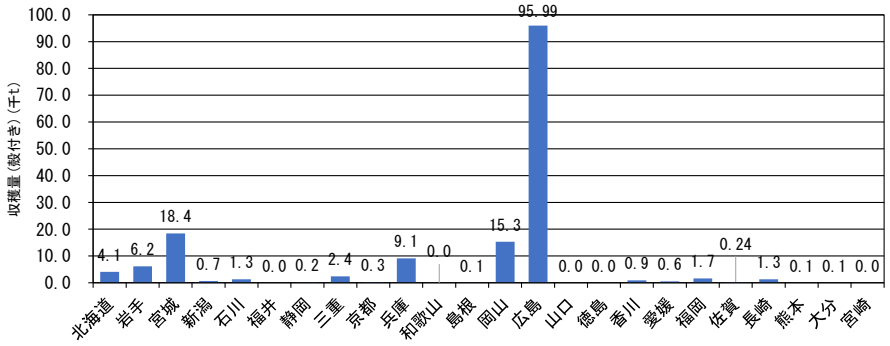
1） カキ殻

カキ殻は、広島県等のカキ収穫量の多い地域で大量に発生することになる。従来は飼料・肥料への活用が主な処分法であったが、近年は建設資材としての有効利用も図られている。



出典）令和 2 年漁業･養殖業生産統計

図 3.17.1　カキ収穫量の推移



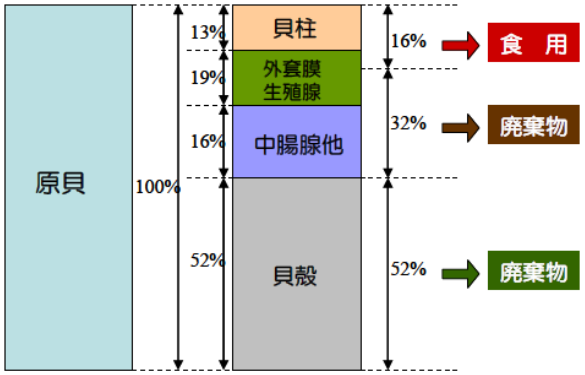
注）収穫量がゼロまたは秘匿値である都道府県を除く。
出典）令和 2 年漁業･養殖業生産統計

図 3.17.2　都道府県別カキ収穫量（令和 2 年）

2) ホタテ殻

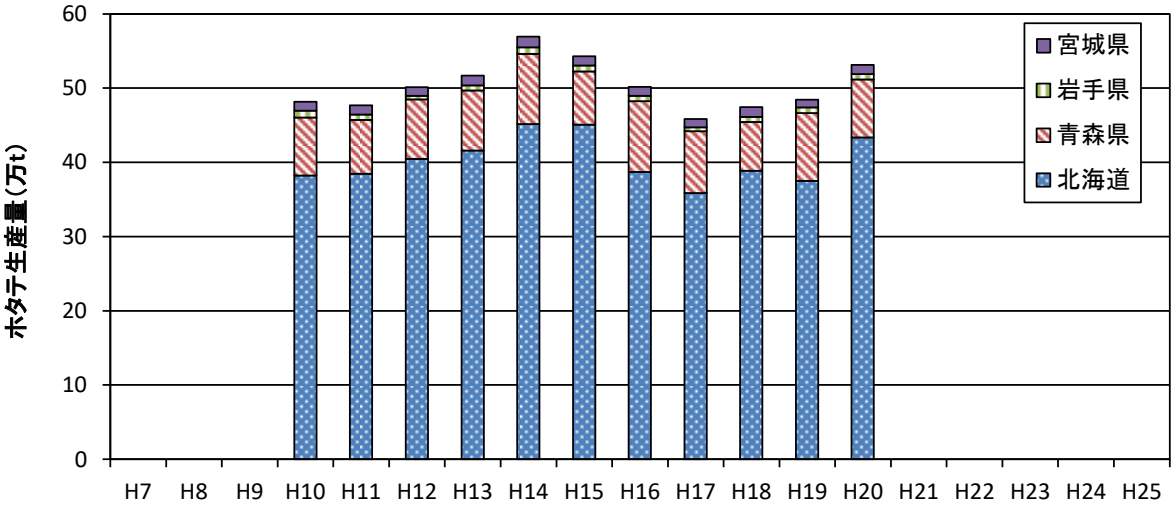
ホタテ貝の平成 20 年度における全国の生産量は約 53 万 t であり、その生産地域のほとんどは北海道沿岸と青森県陸奥湾に限られている。

ホタテ重量の約 50%が貝殻と考えられることから、ホタテ貝殻の年間生産量は約 27 万 t と推測される。



出典）港湾構造物へのシェルコンクリート適用ガイドライン（案）改訂版（平成 21 年 3 月、国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所）

図 3.17.3　ホタテの構成区分（数字は重量比）



出典）平成 10～17 年度：港湾構造物へのシェルコンクリート適用ガイドライン（案）改訂版（平成 21 年 3 月、国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所）
平成 18～20 年度：平成 21 年度　青森港シェルコンクリート消波ブロック製作基礎調査報告書（平成 22 年 3 月、日本国土開発株式会社）

図 3.17.4　ホタテ生産量の推移

3.17.2 品質

粉砕した貝殻（カキ殻、ホタテ殻）の品質について、室内試験等で把握されている。

（解説）

(1) カキ殻

1) 物理・力学的性質

カキ殻、カキ殻と砂の混合材、及び砂の室内土質試験結果の例を**表 3.17.1** 及び**図 3.17.5** に示す。これらの結果より、カキ殻の特徴として以下のものが挙げられる。

- せん断抵抗角は砂と同程度かそれより大きい。
- 比重及び粒子密度は砂より小さい。
- 透水性は一般的な砂に比べて大きい。
- CBR は一般的な砂と同程度である。
- 破砕されたカキ殻の粒度分布は、砂と同じ分布型である。

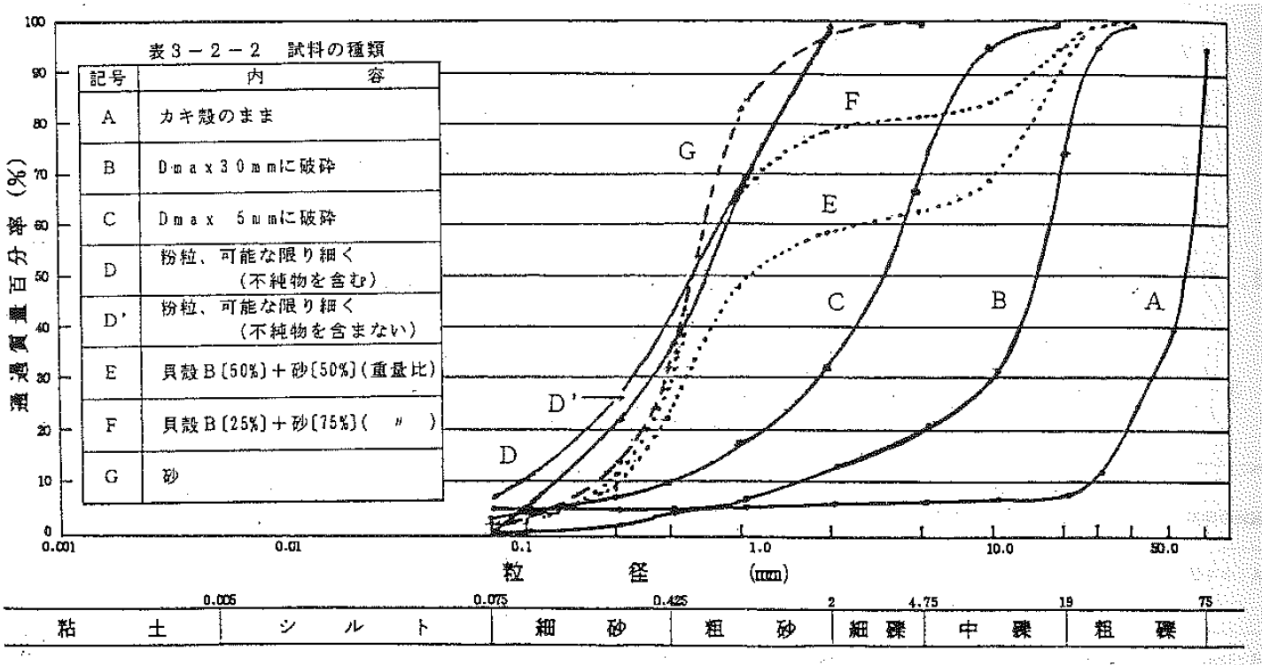
表 3.17.1　カキ殻の室内試験結果（例）

試験の種類 / 試料の種類	含水比 含水比 %	比重 土粒子の密度 g/cm³				最大密度及び最小密度 乾燥密度 g/cm³		粒度分析試験 50%粒径 mm	改良型1面セン断 内部摩擦角（度）
A：カキ殻のまま	33.9				1.737	0.251	0.182	59	27～36
B：Dmax 30mmに破砕	27.6	粗粒 1.976	中 2.032	細粒 2.600	2.174	0.617	0.447	13	25～55
C：Dmax 5mmに破砕	45.7				2.609	0.730	0.546	3.1	42～57
D：粉粒、可能な限り細かく（不純物を含む）	12.0				2.629	－	－	0.49	－
D′：粉粒、可能な限り細かく（不純物を含まない）	26.8				2.662	－	－	0.57	－
E：貝殻B〔50%〕+砂〔50%〕（重量比）	19.0				2.420	1.092	0.889	0.95	38～56
F：貝殻B〔25%〕+砂〔75%〕（重量比）	15.8				2.543	1.364	1.078	0.59	35～55
G：砂	12.4				2.666	1.606	1.278	0.50	38～62(44)

試験の種類 / 試料の種類	圧縮 指数	透水 透水係数 cm/s	修正CBR 締固め 最適含水比 %	修正CBR 締固め 最大乾燥密度 g/cm³	修正CBR 締固め度 90% 修正CBR %	修正CBR 締固め度 95% 修正CBR %
B：Dmax 30mmに破砕	0.770	3.18×10^{0}	34.5	1.130	14.8	16.5
C：Dmax 5mmに破砕	0.460	8.07×10^{1}	30.5	1.307	16.2	20.8

注）Dmax は、最大粒径を表す。

出典）西塚登：SCP 工法におけるカキ殻の活用について、第 11 回港湾技術報告会報告概要集、（財）沿岸開発技術研究センター、平成 6 年



注）Dmax は、最大粒径を表す。

出典）西塚登：SCP 工法におけるカキ殻の活用について、第 11 回港湾技術報告会報告概要集、（財）沿岸開発技術研究センター、平成 6 年

図 3.17.5　カキ殻の粒度分布（例）

2)　化学的性質

カキ殻は炭酸カルシウムを主成分とし、数%の有機物等を含む[1)]。

(2) ホタテ殻

1) 物理・力学的性質

サンドドレーン材として、ホタテ殻を 75mm 以下に粉砕し、ホタテ殻混合材の特性を比較したものを**表 3.17.2** に示す。この結果より、ホタテ殻の特徴として以下のものが挙げられる。

・密度は砂と同程度である。

・乾燥密度及び単位容積質量は砂より小さい。

・粒子が大きいため、透水性は砂より大きい。

表 3.17.2　ホタテ殻の室内試験結果（例）

	試料番号 （深　さ）		購入砂 ﾎﾀﾃ殻:砂 0 : 100	混合材料① ﾎﾀﾃ殻:砂 30 : 70	混合材料② ﾎﾀﾃ殻:砂 50 : 50	混合材料③ ﾎﾀﾃ殻:砂 70 : 30	ホタテ殻 ﾎﾀﾃ殻:砂 100 : 0
一　般	湿潤密度　ρ_t　g/cm^3						
	乾燥密度　ρ_d　g/cm^3						
	土粒子の密度　ρ_s g/cm^3		2.672	2.676	2.680	2.684	2.709
	自然含水比　W_n　%		8.6	6.6	5.4	4.4	2.6
	間　隙　比　e						
	飽　和　度　Sr　%						
粒　度	礫　分 2～75mm　%		39	50	61	66	92.6
	砂　分 75μm～2mm　%		53	44	34	29	7.2
	シルト分 5～75μm　%		4	6	5	5	0.2
	粘土分 5μm未満　%		4				
	均等係数　U_C		15.2	17.5	18.3	25.4	3.4
	曲率係数　U_C'		2.1	1.9	1.9	1.9	1.4
	最大粒径　mm		9.5	26.5	26.5	37.5	37.5
分　類	分類名		粘性土混じり礫質砂	粘性土まじり砂質礫	粘性土まじり砂質礫	粒径幅の広い砂質礫	分級された砂まじり礫
	分類記号		(SG-Cs)	(GS-Cs)	(GS-Cs)	(GWS)	(GP-S)
最大最小	最大乾燥密度　g/cm^3		1.457	1.398	1.451	1.412	1.291
	最小乾燥密度　g/cm^3		1.164	1.086	1.153	1.130	0.987
透　水	試験方法		定水位法	定水位法	定水位法	定水位法	定水位法
	透水係数 k cm/s	Dr=40%	2.18×10^{-1}	2.67×10^{-1}	1.74×10^{-1}	2.60×10^{-1}	
		Dr=60%	1.02×10^{-1}	2.53×10^{-1}	1.10×10^{-1}	1.82×10^{-1}	
		Dr=80%	9.76×10^{-2}	1.40×10^{-1}	7.73×10^{-2}	1.73×10^{-1}	
単位容積質量試験	湿潤単位容積質量　kg/L		1.25	1.20	1.14	1.06	0.90
	含　水　比　%		8.3	6.3	5.3	4.1	2.8
	乾燥単位容積質量　kg/L		1.15	1.13	1.08	1.02	0.88

2) 化学的性質

① 主成分

ホタテ殻の主成分は炭酸カルシウムである。なお、炭酸カルシウムは結晶構造の違いによりカルサイト、アラゴナイト、及びバテライトに分類されるが、破砕されたホタテ殻は、コンクリート用石灰石微粉末の主成分と同じく、カルサイトである。

② 有機不純物及び塩化物量

ホタテの加工過程において、原貝の洗浄、及びボイル加工処理を経ていないホタテ貝殻を用いる場合は、有機不純物及び塩化物量について要求性能を満足することを確認する必要がある。

3.17.3 加工・改良技術

ホタテ殻をシェルコンクリートとして利用するための加工・改良技術については、「港湾構造物へのシェルコンクリート適用ガイドライン（案）改訂版」を参照することができる。

（解説）

「港湾構造物へのシェルコンクリート適用ガイドライン（案）改訂版」（平成 21 年 3 月、仙台港湾空港技術調査事務所）において、コンクリート用細骨材の標準粒度を満足する状態に破砕したホタテ殻（シェルサンド）を細骨材の一部に置換して製造するコンクリート（シェルコンクリート）について、製造方法、耐久性、港湾構造物での適用性等が示されているので、参照されたい。

3.17.4 適用用途

(1) 概要

貝殻をリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、貝殻（カキ殻、ホタテ殻）を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.17.3、表 3.17.4** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.17.3　貝殻（カキ殻）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	△ （砂混合）	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-17-12) 【主な内容】 ・1)各種骨材実験等を実施し、ﾎﾀﾃ貝殻およびｶｷ貝殻のｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材としての適性について検討。ｶｷ貝殻置換率15～45％では、粒度分布、密度、吸水率ともに基準を満たした。 ・2)細骨材の利用として多量に用いることによって粗骨材と同様にｺﾝｸﾘｰﾄ強度が低下する恐れがあることを指摘。	－	●利用実績なし	1) 2)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	×	E	●現段階では利用が難しいと考えられるもの。 【主な内容】 ・2)牡蠣殻を粗骨材として用いたﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄ(0y-PoC)の圧縮強度は砕石ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄよりも低く、透水性は牡蠣殻骨材の異方性の影響がみられ、植生基盤への適用は可能。 ・粗骨材として用いるには牡蠣殻全体の強度が砕石と比較して小さすぎるため、ｺﾝｸﾘｰﾄ強度低下の恐れが懸念。	－	●利用実績なし	2)
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾟｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	△ （砂混合）	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・査読なしの研究論文等（講演資料等）に限られている。 ・3)4)5)に示す引用文献の精度に不確実性がある。【査読無し】	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・防波堤基礎(改良)工事（国交省）	3) 4) 5)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	○ （浅場・干潟,覆砂）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・6)ｶｷ殻が持つ様々な機能や有効性に着目し、優れた底質改良材として実用化することを目的とした研究の成果として、底質改良材としての効果などが立証されたことや、ｶｷ殻堆積個所においてｺﾞｶｲ類の生息密度が周辺海域に比べて格段に高いことなどが明らかにされている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・護岸改良工事（国交省）	6)
⑱	その他	○ （水質浄化材料）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・7)環境浄化への利用を目的とした研究開発が行われている。 ・8)横浜港内日本丸ﾄﾞｯｸの赤潮が発生しない原因として、大量のｶｷによる水質浄化が起因している。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・水質浄化実験（管理者）	7) 8)

出典）

1)他産業ﾘｻｲｸﾙ材料の利用技術に関する研究(土木研究所、平成18年3月)
2)牡蠣殻を骨材として利用したﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄの植栽能力に関する研究(科学研究費補助金研究成果報告書、平成21年6月)
3)ｶｷ殻混り砂の工学的特性について：橋立他第28回土質工学研究発表会,1992
4)ｶｷ殻混り砂の特性とｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙへの適用：第29回土質工学研究発表会,1994
5)SCP工法におけるｶｷ殻の活用について：西塚　第11回港湾技術報告会報告概要集,1994
6)水産系副産物(貝殻)の漁場造成事業への活用(水産工学、平成20年)
7)廃棄牡蠣殻の環境浄化への活性化研究(岩手県環境保健研究ｾﾝﾀｰ年報　第4号　平成16年度(2004))
8)日本丸ﾄﾞｯｸにおけるｶｷによる水質浄化(横浜市環境科学研究所報 第32 号 2008)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.17.4　貝殻（ホタテ殻）の適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	○+ (砂混合)	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)2)細粉砕したﾎﾀﾃ貝殻を山砂と混合して細骨材としたｺﾝｸﾘｰﾄについて、その基本的性質や適用性等の検討が行われ、適度な粒度に調整すること、ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材として適用可能な粒度分布を得ること、普通ｺﾝｸﾘｰﾄと遜色のない強度を得られることを確認。 ・2)ホタテ貝殻を細骨材の一部に置換したコンクリートを港湾構造物へ適用する際のガイドライン（案）が整備されている。なお、置換率の増加に伴いコンクリートのワーカビリティが低下することが報告されており、施工性を重視して置換率の上限率は50%に規定されている。 ・3)使用済みホタテ貝殻粉砕物（マッシェルパウダー）の基本特性、防波堤の胸壁コンクリートの適用性について検討。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・ｹｰｿﾝ根固ﾌﾞﾛｯｸ製作（国交省） ・防波堤・胸壁コンクリート製作（国交省）	1) 2) 3)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	○ (砂混合)	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで確認され利用可能性の高いものと評価。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・地盤改良工法検討調査（国交省）	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	○ (砂混合)	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで確認され利用可能性の高いものと評価。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ工法検討調査（国交省）	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	△ (砂混合)	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・漁港建設工事（国交省）	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	△ (砂混合)	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・4)5)6)ホタテ貝殻を細骨材として利用したシェルコンクリートを消波ブロックに適用する場合の適用性、施工時の留意点等について記載されている。また実証試験により、適用性に問題が無いことが確認されている。	－	●利用実績なし	4) 5) 6)
⑩	裏込材	△ (砂混合)	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・7)破砕したﾎﾀﾃ貝殻を混合した砂について、内部摩擦角を中心に検討した結果、ﾎﾀﾃ貝殻を混合した砂を裏込材へ適用できることを確認。	－	●利用実績なし	7)
⑪	裏埋材	△ (砂混合)	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・裏込材の技術資料、利用実績等を基に、利用検討が可能と考えられる。	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・港湾建設工事（国交省）	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	○ (As舗装骨材、石粉混合)	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・8)ﾎﾀﾃ入りｱｽﾌｧﾙﾄ混合物は、ﾏｰｼｬﾙ試験やﾎｲｰﾙ試験などの全ての規格を満足することができ、耐流動性、すりへり抵抗性、凍結融解に対する耐久性を有することを確認。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・道路試験施工（国交省）	8)
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)ﾎﾀﾃ貝殻のｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材への活用(仙台港湾空港技術調査事務所、平成18年)
2)港湾構造物へのｼｪﾙｺﾝｸﾘｰﾄ適用ｶﾞｲﾄﾞﾗｲﾝ（案）改訂版（平成21年3月、仙台港湾空港技術調査事務所）
3)細骨材にホタテ貝殻を活用したコンクリートの海洋構造物への適用性について（第59回北海道開発技術研究発表会、平成28年2月）
4)平成21年度　青森港シェルコンクリート消波ブロック製作基礎調査報告書（日本国土開発株式会社）
5)平成22年度　青森港シェルコンクリート消波ブロック活用分析調査報告書（日本国土開発株式会社）
6)平成21年度補正（実施設計調査費）青森港沖館地区環境配慮型港内反射波対策実証実験報告書（国土交通省東北地方整備局青森港湾事務所）
7)水産系副産物(貝殻)の裏込材への有効利用に関する基礎的研究-ﾎﾀﾃ貝殻を混合した砂の内部摩擦角-(海洋開発論文集、平成16年6月)
8)ﾎﾀﾃ貝殻粉末のｱｽﾌｧﾙﾄ舗装材としての適用性(北海道開発土木研究所月報、No598　2003年3月)

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) コンクリート用細骨材

1) ホタテ殻

細骨材のホタテ殻への置換率の増加に伴いコンクリートのワーカビリティが低下することが報告されており、**「港湾構造物へのシェルコンクリート適用ガイドライン（案）改訂版」**では、置換率の上限率は 50%に規定されている。したがって、砂を混合して利用し、利用するコンクリートの性能に応じて、適切に置換率を設定する必要がある。

また、ホタテ殻を港湾構造物に利用する場合は、**「港湾構造物へのシェルコンクリート適用ガイドライン（案）改訂版」**に、ホタテ殻を利用したコンクリートの製造方法、耐久性、港湾構造物での適用性等についての記載があるため、参考とされたい。

港湾構造物以外へのホタテ殻の利用については、利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、関連論文や利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【既存工事における検討事項】

・室内試験により、ホタテ貝殻（シェルサンド）及びシェルコンクリートの物理・力学的性質を確認した。（技術開発実証工事）

(3) バーチカルドレーン及びサンドマット材

1) ホタテ殻

ホタテ殻のサンドドレーン材への適用検討については、ホタテ殻を最大粒径 75㎜ 以下に破砕した材料をホタテ殻と砂の混合比を 3：7 の割合（重量比）で混合し、一連の室内試験を経て試験施工が実施されている。この結果、主に以下の結果が得られている[1)2)]。

・ホタテ貝殻の破砕においては、生産性と最大粒径の管理が課題となり、これらの克服のためコンクリート破砕機及び振動ふるいを使用する破砕方法とした。

・室内試験結果から、透水性などの特性は、砂及び砂と破砕したホタテ貝殻の混合材料では同程度であった。

・粒径加積曲線の適用範囲を満足するホタテ貝殻と砂の混合率は 3：7（重量比）となった。

・沈下傾向等の改良効果の比較確認までは至っていないが、打設後の調査ボーリング結果では、施工時の振動による材料の粒子破壊（細粒化）も認められず、透水性においても室内試験と顕著な差はない。

これらの結果を参考とし、バーチカルドレーン及びサンドマット材としての利用可能性について検討するとともに、利用する場合には要求性能を満たすことを確認する必要がある。

利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【参考文献】

1）西塚登：ホタテ貝殻を農業資材として利用するための調査について、農業土木北海道、第 23 号、平成 12 年

2）西塚登：港湾における廃棄物埋立地の地盤環境に関する研究の動向、港湾技術振興会（講演会講演概要）、平成 12 年

(4) サンドコンパクションパイル材

1） ホタテ殻

ホタテ殻のサンドコンパクションパイル材への適用検討については、ホタテ殻を最大粒径 75mm 以下に破砕した材料をホタテ殻と砂の混合比を 1：2 の割合（体積比）で混合し、一連の室内試験を経て試験施工が実施されている。この結果、主に以下の結果が得られている[1)2)]。

・破砕したホタテ貝殻は、砂とブレンドすることにより粒度分布の範囲を満足する結果となり砂と同等な評価が得られた。

・改良効果については、杭間・杭芯での調査結果により設計目標Ｎ値を満足し、かつ本施工での事後調査結果と比較し、ほぼ同等の改良効果が得られていることが確認でき、SCP 中詰材料としての適用が可能である。

・ケーシング内におけるブレンド材の体積変化率 Rv’は砂に比べ約 10%程度大きくなり、砂を使用した場合と同等の効果を得るためには、砂の使用量に対し 10%程度の割増しを考える必要がある。

これらの結果を参考とし、サンドコンパクションパイル材としての利用可能性について検討するとともに、利用する場合には要求性能を満たすことを確認する必要がある。

利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【既存工事における検討事項】

・室内試験及び試験施工により、物理的性質（粒子密度、粒度分布、最大最小密度、含水比）・力学的性質（透水、一面せん断、締固め、修正 CBR、N 値）について確認した。（防波堤基礎工事）

【参考文献】

1）西塚登：ホタテ貝殻を農業資材として利用するための調査について、農業土木北海道、第 23 号、平成 12 年

2）西塚登：港湾における廃棄物埋立地の地盤環境に関する研究の動向、港湾技術振興会（講演会講演概要）、平成 12 年

(5) アスファルト舗装骨材

1） ホタテ殻

ホタテ殻を混合したアスファルト混合物は、マーシャル試験やホイール試験などの全ての規格を満足することができ、耐流動性、すりへり抵抗性、凍結融解に対する耐久性を有することを確認されたとする研究成果がある[1)]。また、道路試験施工への利用実績がある。

これらの研究成果及び利用実績を基に、アスファルト舗装骨材としての利用可能性について検討するとともに、利用する場合には要求性能を満たすことを確認する必要がある。

利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、研究成果、利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【参考文献】

1) ホタテ貝殻粉末のアスファルト舗装材としての適用性、北海道開発土木研究所月報、No.598、平成 15 年 3 月

(6) 浅場・干潟造成、覆砂材

1) カキ殻

カキ殻を底質改良材として実用化することを目的とした研究の成果として、底質改良材としての効果などが立証されるとともに、ゴカイ類の生息密度が周辺海域に比べて格段に高いことなどが明らかにされている[1)]。また、護岸改良工事への利用実績がある。

これらの研究成果や利用実績を基に、浅場・干潟造成材、覆砂材等としての利用可能性について検討するとともに、利用する場合には要求性能を満たすことを確認する必要がある。

利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【既存工事における検討事項】

・カキ殻を人工漁礁構造物として利用する場合、環境改善効果把握のためのモニタリングとして、水質、底質、底生生物、付着生物、プランクトン、卵・稚仔及び魚介類調査を実施した。（護岸改良工事）

【参考文献】

1) 鳥井正也：水産系副産物(貝殻)の漁場造成事業への活用、水産工学、平成 20 年

(7) その他（水質浄化材）

1) カキ殻

カキ殻を水質浄化材としての利用を目的とした研究開発が行われている[1)]。また、水質浄化実験の実施実績がある。

これらの研究成果や利用実績を基に、水質浄化材としての利用可能性について検討するとともに、利用する場合には要求性能を満たすことを確認する必要がある。

水質浄化材として利用する場合、港湾施設への新たな機能付加を期待することができる利点がある。一方で、利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【参考文献】

1）岩手県環境保健研究センター：廃棄牡蠣殻の環境浄化への活性化研究、岩手県環境保健研究センター年報、第 4 号、平成 16 年度

(8) 今後の検討を要する用途

1） コンクリート用細骨材

① カキ殻

細骨材として多量に用いた場合、コンクリート強度が低下する恐れがあることが指摘されている[1)]。骨材実験の結果、カキ殻置換率 15～45%において、粒度分布、密度、吸水率が基準を満たした事例がある[2)]。したがって、カキ殻をコンクリート用細骨材に用いる場合は、砂を混合して利用し、利用するコンクリートの性能に応じて、適切に置換率を設定する必要がある。

利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、関連論文や利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【参考文献】

1）牡蠣殻を骨材として利用したポーラスコンクリートの植栽能力に関する研究、科学研究費補助金研究成果報告書、平成 21 年 6 月

2)(独)土木研究所：他産業リサイクル材料の利用技術に関する研究、平成 18 年 3 月

2） サンドコンパクションパイル材

① カキ殻

工学的特性等に関する研究が実施されている状況である[1)2)3)]。

利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【参考文献】

1）橋立洋一、福田定吉、奥村樹郎、小林正直：カキ殻混り砂の工学的特性について、第 28 回土質工学研究会発表会、平成 4 年

2）橋立洋一、福田定吉、奥村樹郎、小林正直：カキ殻混り砂の特性とサンドコンパクションパイルへの適用、第 29 回土質工学研究会発表会、平成 6 年

3）西塚登：SCP 工法におけるカキ殻の活用について、第 11 回港湾技術報告会報告概要集、平成 6 年

3） 中詰材

① ホタテ殻

漁港建設工事における実績があるが、利用に当たってのマニュアル類は整備されていない状況である。したがって、利用実績、研究成果等を参考とし、中詰材としての利用可能性について検討す

るとともに、利用する場合には、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【既存工事における検討事項】

・湿潤飽和単位容積質量試験を行った結果、設計上の規格値(18.1kN/m³)を満たしていなかったため、混合する中詰砂の見直しを行った。（漁港建設工事）

・縮小モデルによる室内試験沈下結果では、初期沈下はホタテ貝殻が砂の沈下を大きく上回り、時間経過とともに沈下量が同様となる結果であった。初期沈下対策として 50mm 程度の余盛が必要と判断された。（漁港建設工事）

・関係自治体より、陸上に堆積した場合の景観や臭いについて懸念があったが、海上輸送し、そのまま海上投入することにより対応した。（漁港建設工事）

4) 被覆石、根固・消波ブロック

① ホタテ殻

ホタテ殻を細骨材として利用したシェルコンクリートの消波ブロックへの適用については、適用性や施工時の留意点等について検討するとともに、実証試験の実施により、適用性に問題がないことを確認された実績[1)2)3)]がある。これらの利用実績を参考とし、被覆石、根固・消波ブロックとしての利用可能性について検討するとともに、利用する場合には、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【参考文献】

1)日本国土開発株式会社：平成 21 年度青森港シェルコンクリート消波ブロック製作基礎調査報告書
2)日本国土開発株式会社：平成 22 年度青森港シェルコンクリート消波ブロック活用分析調査報告書
3)国土交通省東北地方整備局青森港湾事務所：平成 21 年度補正（実施設計調査費）青森港沖館地区環境配慮型港内反射波対策実証実験報告書

5) 裏込材

① ホタテ殻

破砕したホタテ貝殻を混合した砂について、せん断抵抗角を中心に検討した結果、裏込材へ適用できることが確認された研究成果[1)]がある。

これらの情報を参考とし、裏込材としての利用可能性について検討するとともに、利用する場合には、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【参考文献】

1)水産系副産物(貝殻)の裏込材への有効利用に関する基礎的研究-ホタテ貝殻を混合した砂の内部摩擦角-、海洋開発論文集、平成 16 年 6 月

6) 裏埋材

① ホタテ殻

利用実績はみられないものの、裏込材へ適用できることが確認された研究成果 [1)] があることから、要求性能の面から、裏埋材としての利用も可能と考えられる。

これらの情報を参考とし、裏埋材としての利用可能性について検討するとともに、利用する場合には、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【参考文献】

1)水産系副産物(貝殻)の裏込材への有効利用に関する基礎的研究-ホタテ貝殻を混合した砂の内部摩擦角-、海洋開発論文集、平成 16 年 6 月

7) 路盤材

① ホタテ殻

港湾建設工事において、ホタテ殻を路盤材に利用した実績がある。これらの利用実績等を基に、路盤材としての利用可能性について検討するとともに、利用する場合には、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【既存工事における検討事項】

・室内試験により物理・力学的性質（粒度、含水比、最大乾燥密度、修正 CBR）が要求性能を満足していることを確認した。（防波堤外一連工事）

・材料に粉末状のものが混在しており、また若干の異臭を放っていたため、運搬中の飛散防止及び異臭対策としてシート等で確実に覆うこととした。（防波堤外一連工事）

3.17.5 関連法令

貝殻（カキ殻、ホタテ殻）は産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.17.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

貝殻（カキ殻、ホタテ殻）を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.18 エコスラグ

3.18.1 製造・供給

エコスラグは、主に一般廃棄物（都市ごみ）、下水汚泥またはそれらの焼却灰を約 1,200℃以上の高温条件下で有機物を燃焼させるとともに、無機物を溶融した後に冷却してガラス質または結晶質の固化物となった溶融スラグをいう。（一部、産業廃棄物を含むものもある。）

（解説）

(1) 製造方法

1) 溶融方式

エコスラグを製造する溶融炉の方式は**表 3.18.1** に示すように、一般廃棄物である都市ごみを溶融する炉と、下水汚泥を溶融する炉に分類できる。

さらに一般廃棄物の溶融炉は、都市ごみを焼却した焼却灰を溶融する灰溶融炉と、都市ごみを直接ガス化し溶融するガス化溶融炉に区分できる。

灰溶融炉には、溶融熱源として電気を使用する電気式と、気体、液体燃料を使用する燃料燃焼式とに分類される。電気式には、交流アーク式溶融炉、交流電気抵抗式溶融炉、プラズマ式溶融炉などがある。燃料燃焼式には、回転式表面溶融炉や放射式表面溶融炉などがある。

ガス化溶融方式には、一体方式のシャフト炉式ガス化溶融炉と、分離方式のキルン式ガス化溶融炉、流動床式ガス化溶融炉がある。

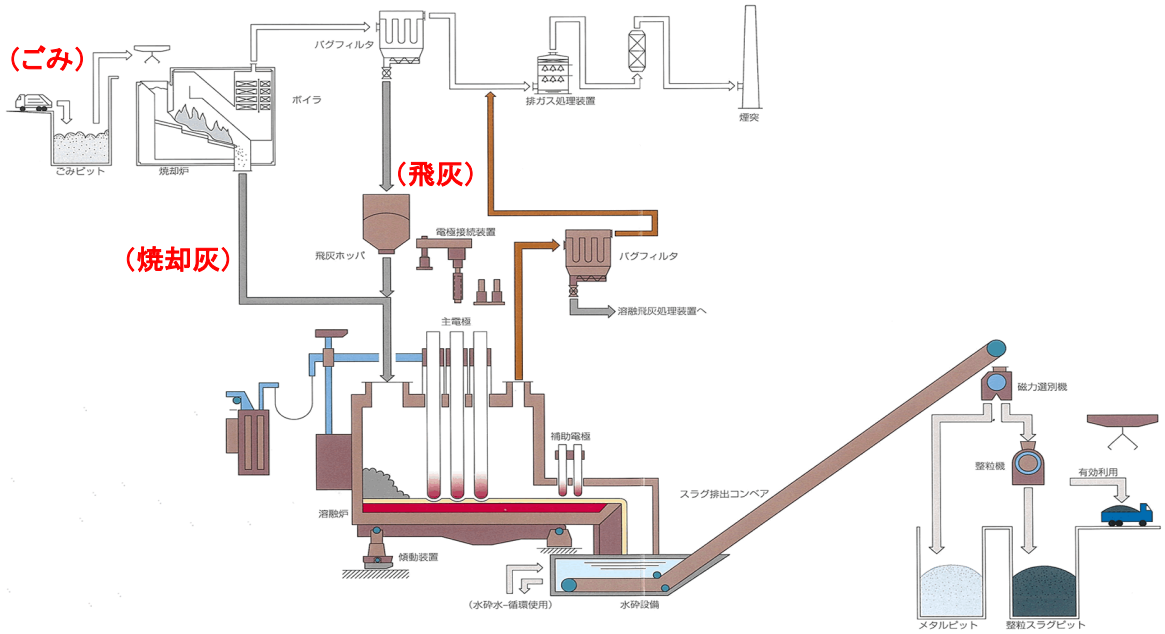
下水汚泥溶融炉は、下水汚泥を焼却した焼却灰を溶融する灰溶融炉と、下水汚泥を直接溶融する汚泥溶融炉に分類される。

表 3.18.1　溶融方式の分類

処理対象	炉形式	中分類	分類
一般廃棄物	灰溶融炉（焼却残さ溶融炉）	電気式	交流アーク式溶融炉
			交流電気抵抗式溶融炉
			直流電気抵抗式溶融炉
			プラズマ式溶融炉
			誘導式溶融炉
		燃料燃焼式	回転式表面溶融炉
			反射式表面溶融炉
			放射式表面溶融炉
			旋回流式溶融炉
			ロータリーキルン式溶融炉
			コークスベッド式溶融炉
			酸素バーナ火炎式溶融炉
	ガス化溶融炉	一体方式	シャフト炉式ガス化溶融炉
		分離方式	キルン式ガス化溶融炉
			流動床式ガス化溶融炉
	ガス化改質炉	一体方式	シャフト炉式ガス化改質炉
		分離方式	キルン式ガス化改質炉
			流動床式ガス化改質炉
下水汚泥	灰溶融炉		交流アーク式溶融炉
			回転式表面溶融炉
			旋回流式溶融炉
			酸素バーナ火炎式溶融炉
	汚泥溶融炉		交流アーク式溶融炉
			回転式表面溶融炉
			旋回流式溶融炉
			コークスベッド式溶融炉

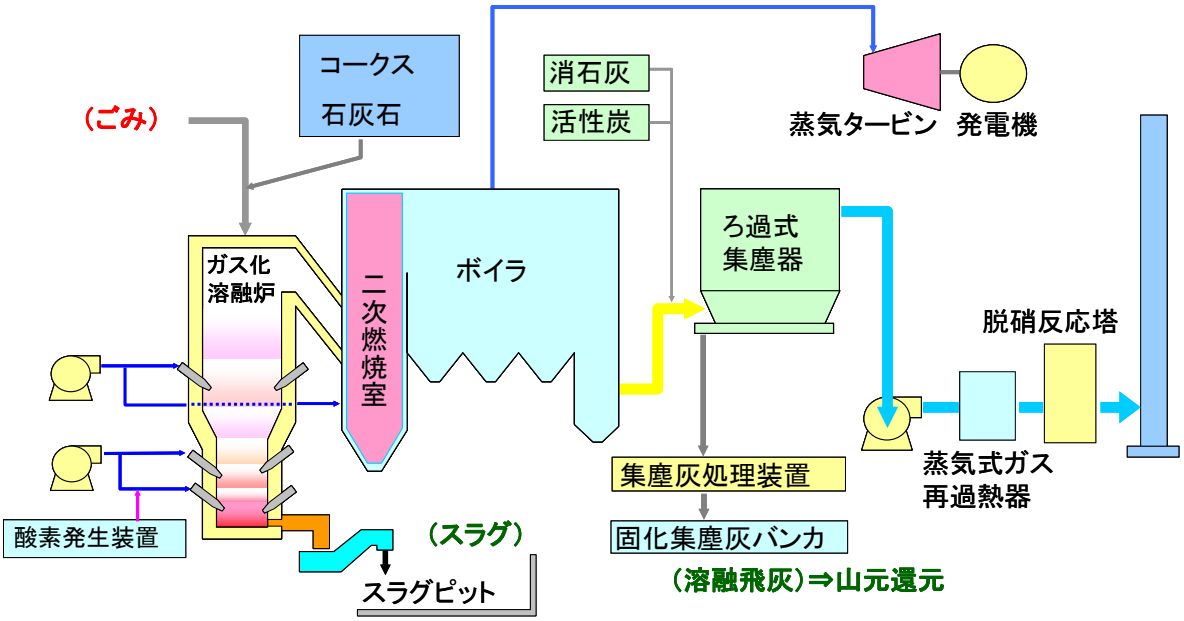
出典）道路用溶融スラグ品質管理及び設計施工マニュアル（改訂版）（（一社）日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会）

灰溶融炉の例として、交流電気抵抗式の処理フローを図 3.18.1 に示す。
ガス化溶融炉の例として、シャフト炉式の処理フローを図 3.18.2 に示す。



出典）（一社）日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会資料

図 3.18.1　焼却炉＋灰溶融炉のフロー例（交流電気抵抗式）



出典）（一社）日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会資料

図 3.18.2　ガス化溶融炉のフロー例（シャフト炉式）

2) スラグの冷却方式

エコスラグは、冷却の方式により水砕スラグと徐冷スラグに分類される。徐冷スラグには空冷スラグも含む。

水砕スラグは、溶融物を冷却水槽に直接落下させて急冷したガラス質のスラグであり、粒度は 2.5㎜ 以下の細かい粒子状のものとなる。なかには、噴射水により急冷固化、冷却水槽に落下させて製造する方式もある。

冷却水に有害物質が濃縮されエコスラグ表面へ付着すると、エコスラグの有害物質溶出量及び含有量を増加させる可能性があるため、冷却水の水質管理に留意する必要がある。

徐冷スラグは、溶融物を搬送コンベヤもしくはモールドに受け、空気中で放冷または徐冷設備を経由して冷却するもので、ガラス質または結晶質のスラグである。

徐冷スラグは、空冷や徐冷設備が必要となり、これら設備の保守・点検が必要となる。

図 3.18.3 に水砕スラグ、**図 3.18.4** に徐冷スラグの写真を示す。

出典）道路用溶融スラグ品質管理及び設計施工マニュアル（改訂版）（（一社）日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会）

図 3.18.3　水砕スラグ

徐冷スラグ（単粒度）

徐冷スラグ（路盤材）

図 3.18.4　徐冷スラグ

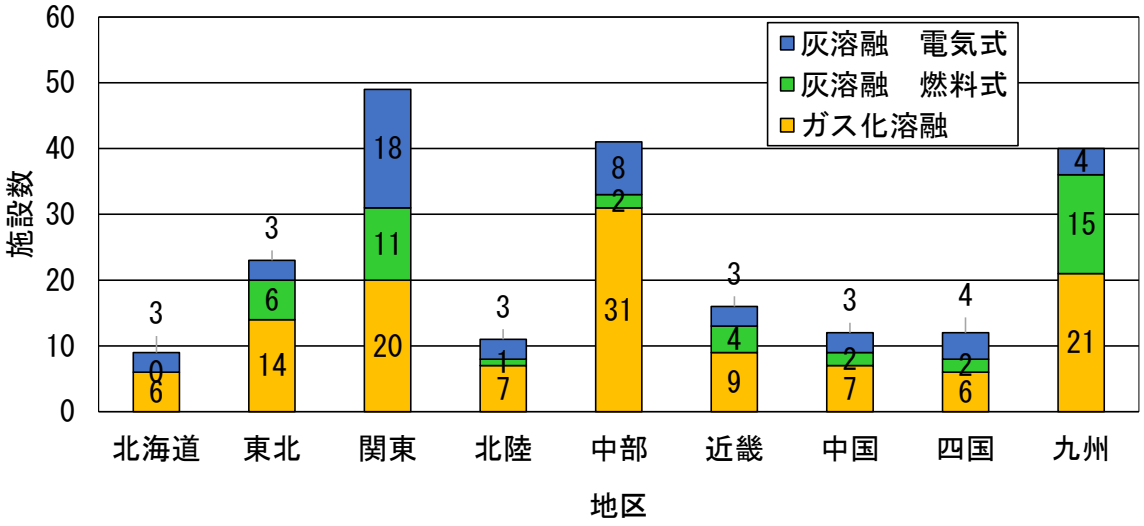
(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

令和 2 年度は一般廃棄物（都市ごみ）の溶融施設は全国で 213 施設、下水汚泥の溶融施設は全国で 14 施設であり、合計 227 施設が稼働していた。

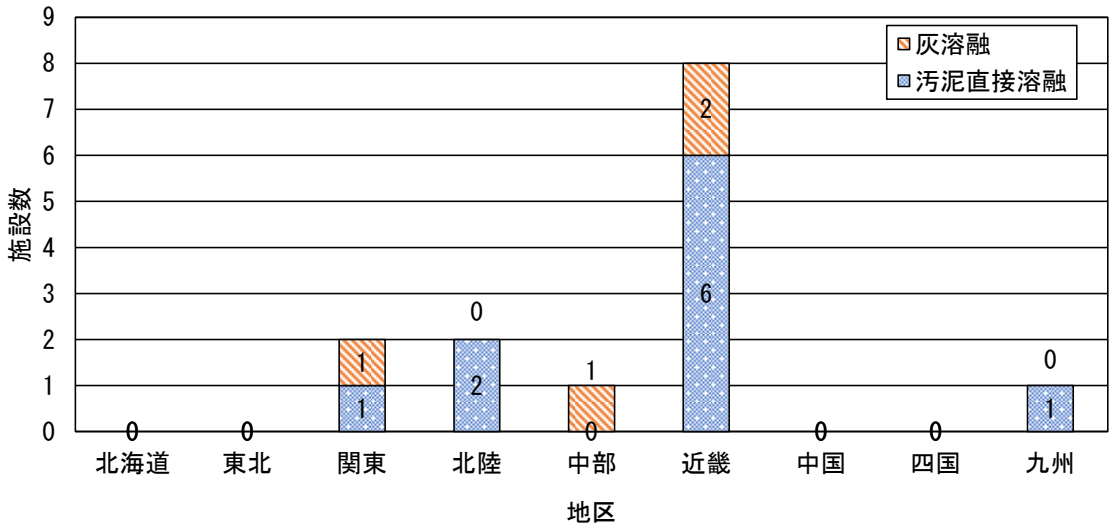
一般廃棄物（都市ごみ）溶融施設の地区別の分布を**図 3.18.5** に示す。

下水汚泥溶融施設の地区別の分布を**図 3.18.6** に示す。



出典）エコスラグ有効利用の現状とデータ集（2021 年度版）（令和 4 年 5 月、（一社）日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会）

図 3.18.5　一般廃棄物溶融施設の地区別分布状況（令和 2 年度）



出典）エコスラグ有効利用の現状とデータ集（2021 年度版）（令和 4 年 5 月、（一社）日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会）

図 3.18.6　下水汚泥溶融施設の地区別分布状況（令和 2 年度）

2) 生産量

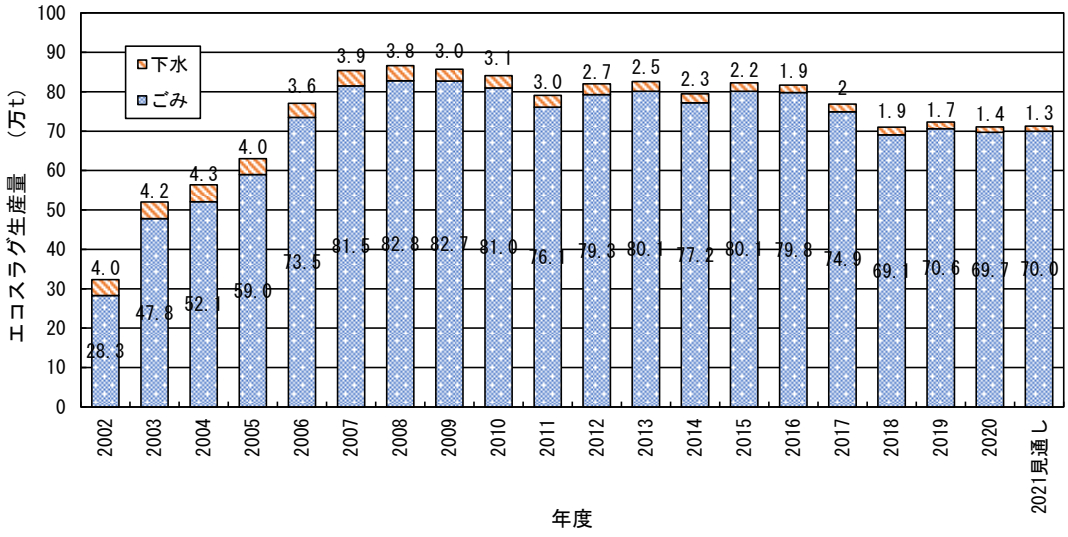
令和 2 年度は全国で、一般廃棄物のエコスラグは 69.7 万 t、下水汚泥スラグは 1.4 万 t で、合計 71.1 万 t のエコスラグが生産された。

エコスラグの生産量は溶融施設・地域により差異がある。また、エコスラグの受渡は溶融施設内で行われる場合が多い。エコスラグを利用する際は、利用可能量や受渡方法について、予め確認する必要がある。

3) 生成量の推移

エコスラグの生産量の推移を**図 3.18.7** に示す。

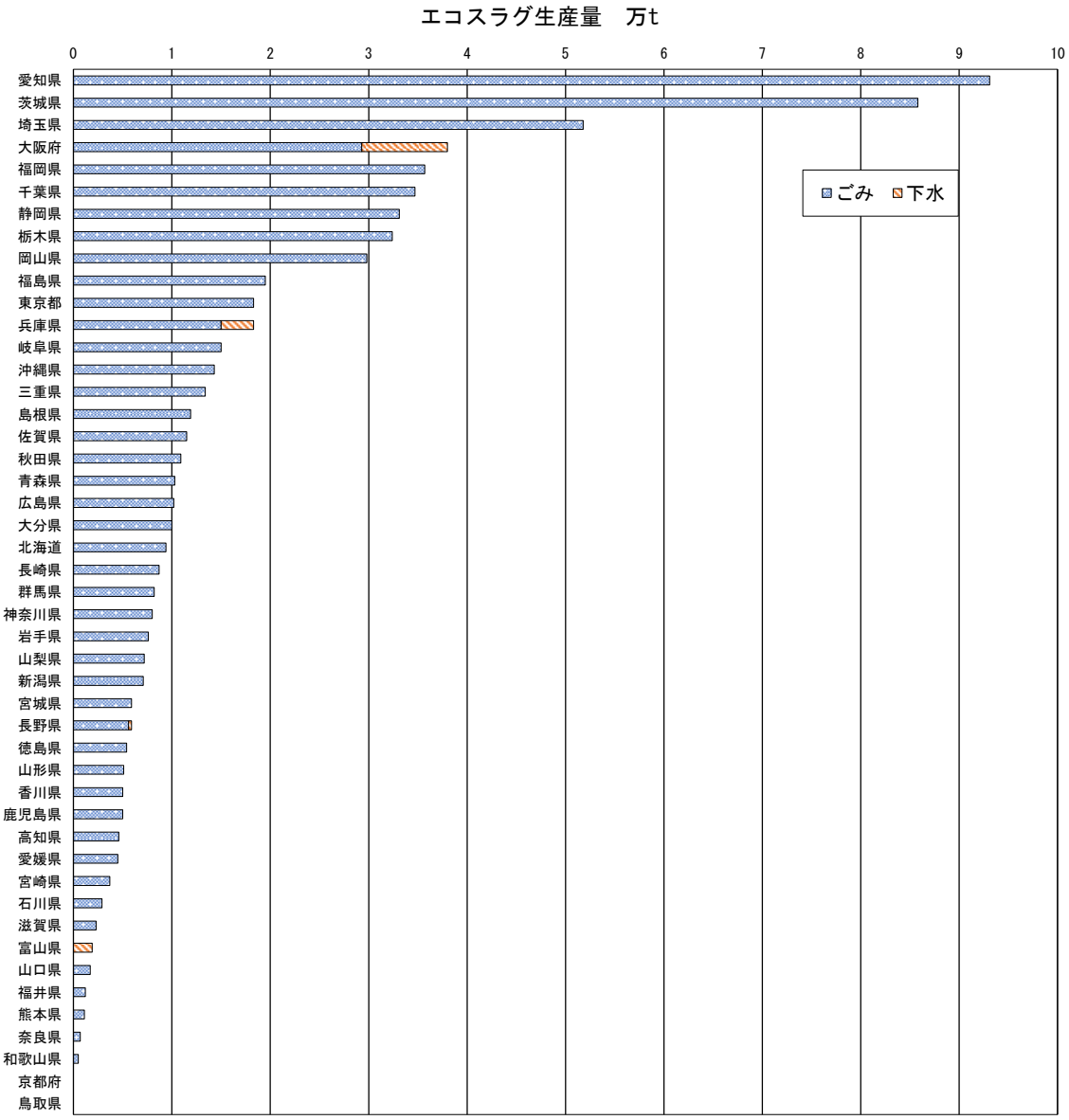
近年は、年間 70 万 t 前後で推移している。



出典）エコスラグ有効利用の現状とデータ集（2021 年度版）（令和 4 年 5 月、（一社）日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会）

図 3.18.7　エコスラグ生産量の推移

図 3.18.8 に都道府県別のエコスラグ生産量（令和 2 年度）を示す。年間 1 万 t 以上になっている都道府県は、1 位の愛知県をはじめとして 20 都府県であった。



出典）エコスラグ有効利用の現状とデータ集（2021 年度版）（令和 4 年 5 月、（一社）日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会）

図 3.18.8　都道府県別のエコスラグ生産量（令和 2 年度）

4) 用途別利用量

エコスラグの用途別の利用量を**表 3.18.2** に示す。

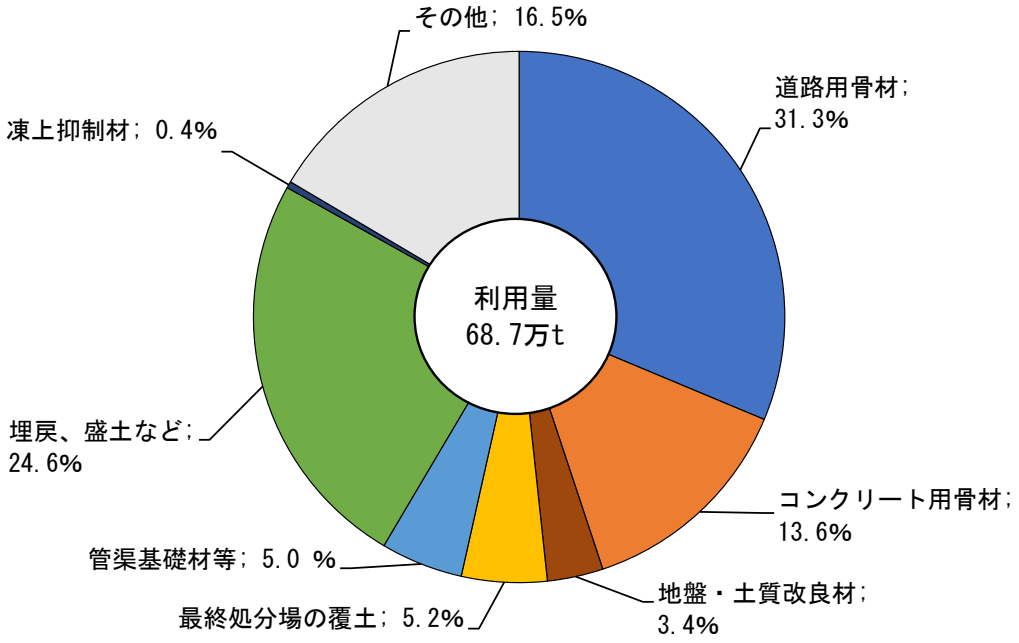
令和 2（2020）年度は、全国で 71.1 万 t 生産されたエコスラグの内、約 90%にあたる 63.6 万 t のエコスラグが有効利用された。

表 3.18.2　エコスラグの用途別利用量

摘要 / 品目	2017 年度		2018 年度		2019 年度		2020 年度	
	利用量万 t	比率%	利用量万 t	比率%	利用量万 t	比率%	利用量万 t	比率%
道路用骨材	22.37	32.5	23.06	36.5	23.00	35.5	19.91	31.3
コンクリート用骨材	10.24	14.9	9.52	15.1	9.56	14.8	8.66	13.6
地盤・土質改良材	7.21	10.5	2.49	3.9	3.15	4.9	2.19	3.4
最終処分場の覆土	3.57	5.2	3.44	5.4	3.38	5.2	3.29	5.2
管渠基礎材	4.52	6.6	4.45	7.0	4.56	7.0	3.17	5.0
埋戻、盛土など	12.24	17.8	11.04	17.5	13.31	20.5	15.65	24.6
凍上抑制材	0.38	0.6	0.28	0.4	0.28	0.4	0.26	0.4
その他	8.21	11.9	8.96	14.2	7.54	11.6	10.48	16.5
合計	68.74	100	63.24	100	64.78	100	63.61	100

出典）エコスラグ有効利用の現状とデータ集（2021 年度版）（令和 4 年 5 月、（一社）日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会）

図 3.18.9 に令和 2（2020）年度に有効利用された 63.6 万 t のエコスラグの利用用途を示す。31.3%が道路用骨材として利用されており、13.6%がコンクリート用骨材として利用された。その他には、地盤・土質改良材として 3.4%、埋戻、盛土に 24.6%利用された。

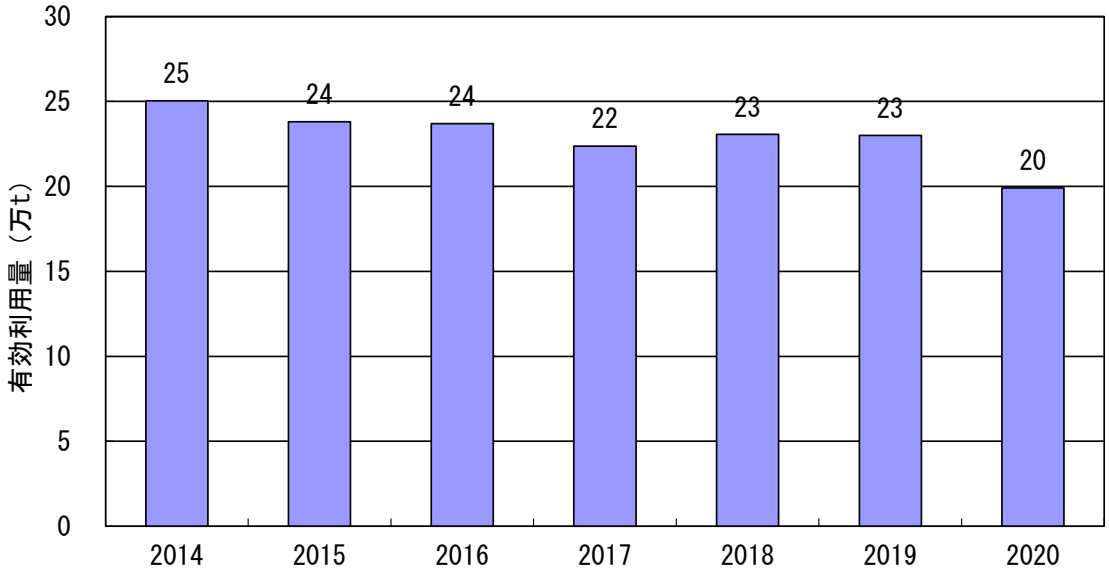


出典）エコスラグ有効利用の現状とデータ集（2021 年度版）（令和 4 年 5 月、（一社）日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会）

図 3.18.9　エコスラグの利用用途（令和 2 年度）

道路用骨材としての利用量の推移を**図 3.18.10** に示す。

令和 2（2020）年度は、約 20 万 t のエコスラグが道路用骨材として利用された。

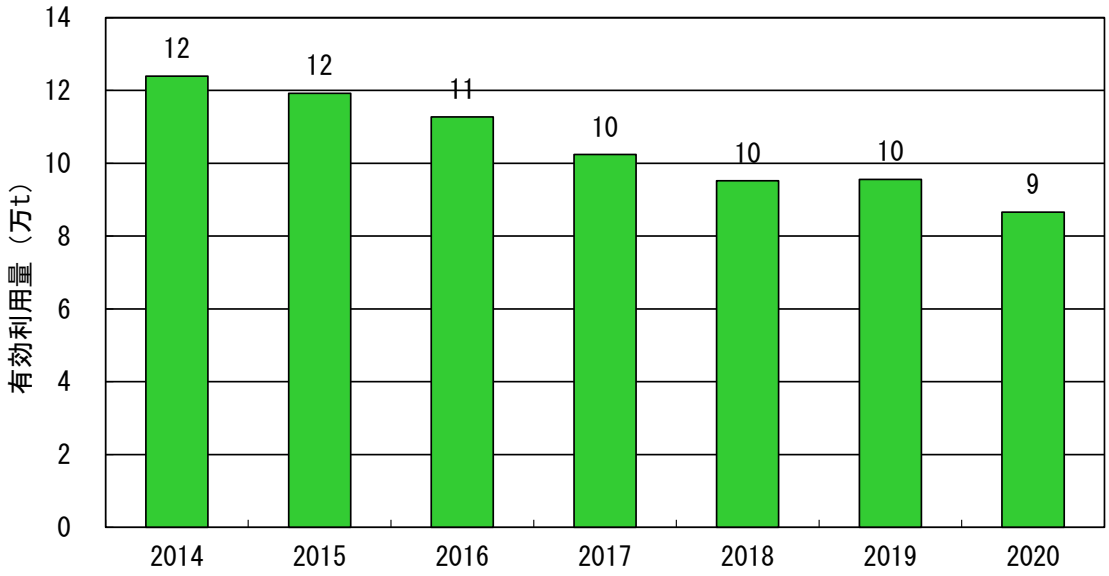


出典）エコスラグ有効利用の現状とデータ集（（一社）日本産業機械工業会　エコスラグ利用普及委員会）より作成

図 3.18.10　エコスラグの道路用骨材としての利用量の推移

コンクリート用骨材としての利用量の推移を**図 3.18.11** に示す。

令和 2（2020）年度は、約 9 万 t のエコスラグがコンクリート用骨材として利用された。



出典）エコスラグ有効利用の現状とデータ集（（一社）日本産業機械工業会　エコスラグ利用普及委員会）より作成

図 3.18.11　エコスラグのコンクリート用骨材としての利用量の推移

3.18.2 品質

エコスラグの品質については、各種試験結果を参考とすることができる。

（解説）

(1) 物理・力学的性質

1) 全般

東京二十三区清掃一部事務組合では、複数の溶融施設が稼働している。各清掃工場の溶融スラグの材料試験結果を、東京二十三区清掃一部事務組合公式ホームページで公表している。

エコスラグの物理性状の一例として、**表 3.18.3** に東京二十三区清掃一部事務組合の溶融スラグの物理性状を示す。

表 3.18.3　エコスラグの物理性状の一例

清掃工場		絶乾密度	表乾密度	吸水率	安定性	粒形判定実績率	微粒分量（洗い試験損失率）
		g/cm3	g/cm3	%	%	%	%
足立		2.79	2.80	0.29	1.0	54.8	1.2
板橋		2.898	2.918	0.694	1.73	63.2	2.8
葛飾		2.89	2.90	0.21	0.3	55.2	4.0
世田谷（ガス化）		2.98	2.99	0.12	0.1	56.3	2.5
世田谷		2.85	2.86	0.16	2.1	56.2	2.8
品川		2.95	2.96	0.07	0.2	56.5	1.5
多摩川		3.07	3.07	0.04	0.6	57.3	2.7
JIS A 5031	コンクリート用（MS5、MS2.5）	2.5 以上	—	3.0 以下	10 以下	53 以上	7.0 以下
JIS A 5032	道路用（FM-2.5）	—	2.45 以上	3.0 以下	—	—	—
東京都建設局 土木材料仕様書 ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物用溶融ｽﾗｸﾞ		—	2.45 以上	3.0 以下	—	—	—

出典）東京二十三区清掃一部事務組合公式ホームページ

徐冷スラグを加工した石材(割ぐり石)の物性試験結果を、**表 3.18.4** に示す。同表には参考までに、天然材の割ぐり石の基準(JIS A 5006)を併記した。徐冷スラグの割ぐり石と天然材のそれとを比較すると、見掛比重はやや大きく、吸水率は小さいなどの特徴がある。また、JIS A 5006 の品質基準では、その圧縮強さによって硬石・準硬石・軟石に区分されるが、徐冷スラグの割ぐり石は硬石に区分される品質を有している。

表 3.18.4　徐冷スラグ(石材）の物性試験結果

種　別	割ぐり石(徐冷スラグ)		(参考基準) 割ぐり石(天然材) JIS A 5006
	200～150mm	150～50mm	
うすっぺら	0.90、0.87、0.61	0.76、0.88、0.86	厚さが幅の 1/2 以下を除く
細長	1.32、1.50、1.35	1.05、1.17、1.43	長さが幅の 3 倍以上を除く
見掛比重 (g/cm^3)	2.77		約 2.7～2.5（参考値）
吸水率（%）	0.07		5 未満は硬石と判定(参考値)
圧縮強さ (N/cm^2)	11,101		4903.3 以上で硬石と判定

2) 外観

コンクリート用細骨材やアスファルト舗装骨材に利用されるエコスラグは、水砕スラグが利用される。**図 3.18.3** に水砕スラグの写真を示す。

捨石、中詰材、被覆石、根固・消波ブロック等に利用されるエコスラグは、徐冷スラグが利用される。**図 3.18.12** に徐冷スラグ（石材）の写真を示す。

図 3.18.12　徐冷スラグ(石材)の写真

3) 粒度

エコスラグの粒度は、原料（都市ごみまたは下水汚泥）による違いはないが、冷却方式（水砕または徐冷）と破砕工程の有無により異なる。

エコスラグの粒度分布の一例として、**表 3.18.5** に東京二十三区清掃一部事務組合の溶融スラグの粒度を示す。

表 3.18.5　エコスラグの粒度分布の一例

清掃工場		ふるい分け試験通過質量百分率%							
		9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	0.075 mm
足立		100	99	93	51	19	6	2	1
板橋		100.0	100.0	99.7	83.0	39.7	15.1	6.4	3.0
葛飾		100	100	100	87	45	20	8	3
世田谷(ガス化)		100	100	94	63	34	15	9	2
世田谷		100	100	98	75	41	20	9	3
品川		100.0	99.9	98.7	67.9	32.7	17.2	8.2	5.4
多摩川		100	100	100	82	40	17	7	3
JIS A 5031	MS5	100	90～100	80～100	50～90	25～65	10～35	2～15	—
	MS2.5	100	95～100	85～100	60～95	30～70	10～45	5～20	—
JIS A 5032	FM-2.5	—	100	85～100	—	—	—	—	0～10
東京都建設局土木材料仕様書	ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物用溶融ｽﾗｸﾞ	—	100	85～100	—	—	—	—	0～10
	砂(しゃ断層用)	—	100	70～100	—	—	—	—	0～4
	砂(敷砂)	—	100	60～100	—	—	—	—	0～8
	砂(埋戻し用)	—	100	50～100	—	—	—	—	0～10

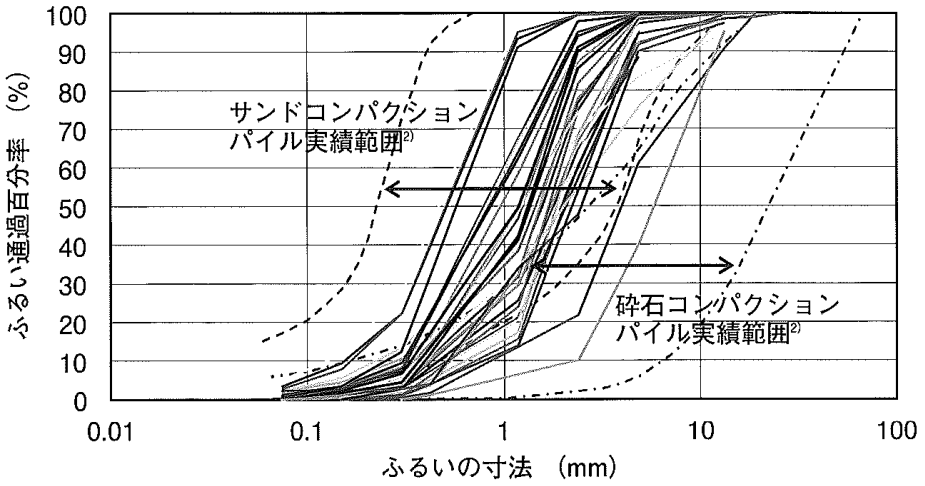
出典）東京二十三区清掃一部事務組合公式ホームページ

都市ごみまたは下水汚泥を原料とする水砕スラグについて、破砕の有無による粒度分布測定結果を**図 3.18.13**～**図 3.18.15** 及び**表 3.18.6** に示す。

水砕スラグは、破砕の有無に関らず、原料（都市ごみまたは下水汚泥）の違いによる粒度分布に大きな差異は無い。破砕なしの場合（**図 3.18.13**、**図 3.18.14**）でも粒度分布は比較的均一で、粒径 D_{50} は 9 割以上の試料で 0.7～2.5㎜ の範囲にある。破砕ありの場合は（**図 3.18.15**）、破砕なしの場合に比べ粒度は若干細かくなるとともに分布は均一化され、粒径 D_{50} は 9 割以上の試料で 0.5～1.0㎜ の範囲となる。

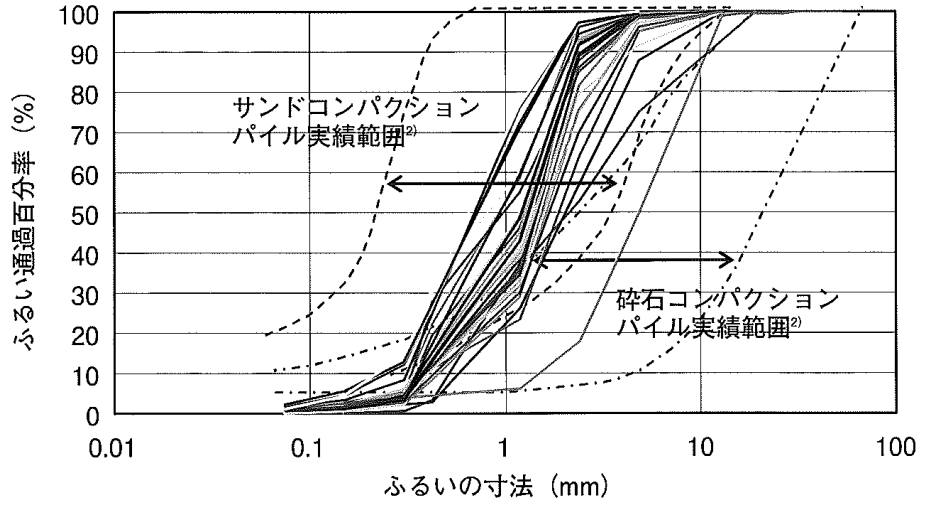
水砕スラグは、**図 3.18.13**～**図 3.18.15** に示したように破砕の有無によらずに、サンドコンパクションパイルに用いられた天然砂の粒度分布の実績範囲内にほぼ収まる。また、0.075㎜ 以下の細粒分は破砕なしでは 2～5%以下であり、バーチカルドレーン工法のように透水性を重視する土木材料としては、細粒分が少ない点で優れた材料といえる。

徐冷スラグの粒度は、冷却条件により大きく異なるため、一般的な粒度分布を示すことはできない。粒度分布の大部分が 10㎜ を超える場合もあれば、比較的水砕スラグに近い粒度分布の場合もあるが、一般に徐冷スラグは水砕スラグより粗い粒度分布をもつ。そのため、徐冷スラグをサンドコンパクション工法の砂代替材料として用いる場合には、破砕による粒度調整が必要である。



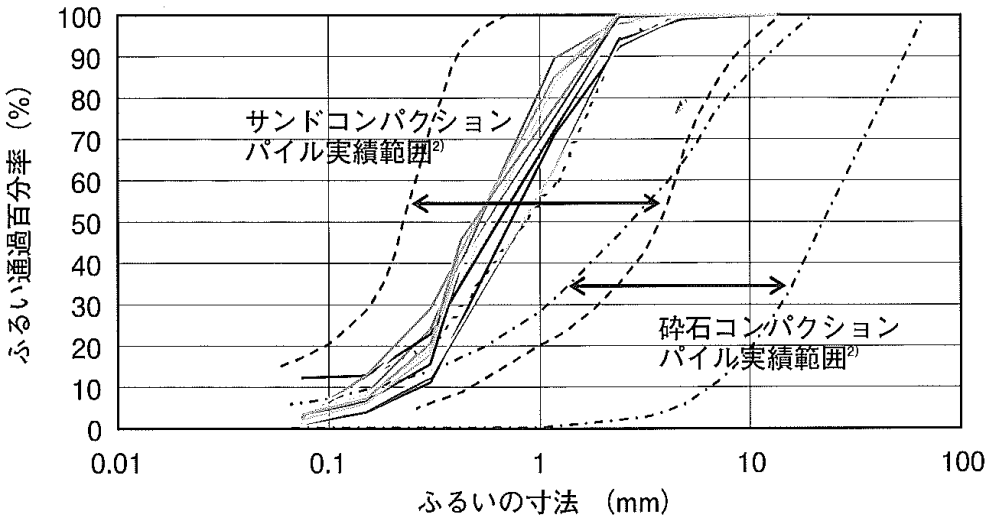
出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

図 3.18.13　エコスラグの粒度分布（都市ごみ、水砕スラグ、破砕なし）



出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

図 3.18.14　エコスラグの粒度分布（下水汚泥、水砕スラグ、破砕なし）



出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

図 3.18.15　エコスラグの粒度分布（都市ごみ・下水汚泥、水砕スラグ、破砕あり）

表 3.18.6　エコスラグの粒度分布（水砕スラグ）

通過質量百分率（%）

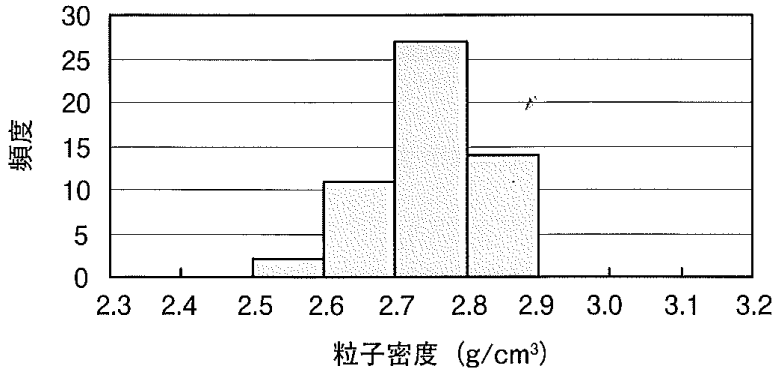
粒径（mm）	37.5	26.5	19	4.75	2.36	0.425	0.075
全データ	100	100～99.6	100～97.7	100～40.0	100～10.0	45.3～1.0	12.0～0.0
都市ごみ 破砕なし	100	100	100～97.7	100～40.0	99.7～10.0	27.2～1.0	4.8～0.0
下水汚泥 破砕なし	100	100～99.6	100～99.5	100～50.0	98.5～18.0	31.6～3.0	2.4～0.0
都市ごみ・下水汚泥 破砕あり	100	100	100	100～99.6	100～92.0	45.3～39.1	12.0～1.0

出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

4) 密度

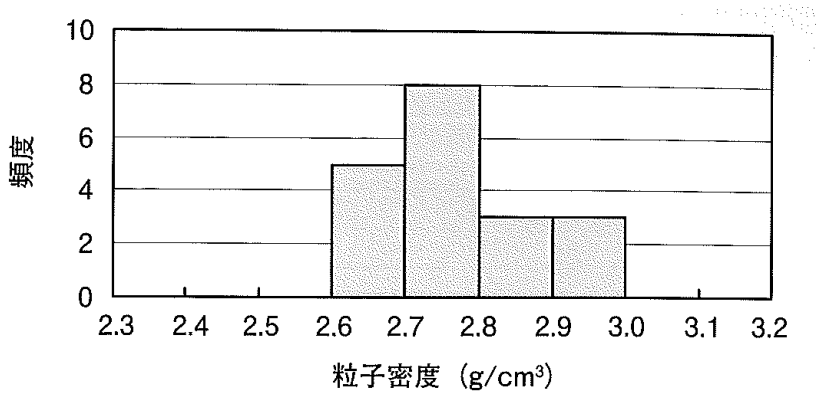
エコスラグの粒子密度試験結果を**図 3.18.16～図 3.18.19** 及び**表 3.18.7** に示す。なお、頻度とは施設数を表している。

エコスラグの粒子密度は平均 2.74 g/cm^3 で、全体の約 9 割が 2.60～2.90 g/cm^3 の範囲にあり、天然砂と同程度である。都市ごみスラグの場合は施設数も多く、2.75～2.77 g/cm^3 を中心とした正規分布となっている。一方、下水汚泥スラグの場合は施設数が少ないこともあって分布はばらついているが、粒子密度の平均値は都市ごみスラグとほぼ同じ 2.65～2.71 g/cm^3 である。同一材料で冷却方式（水砕または徐冷）の違いによる粒子密度の平均値などに大きな差はない。



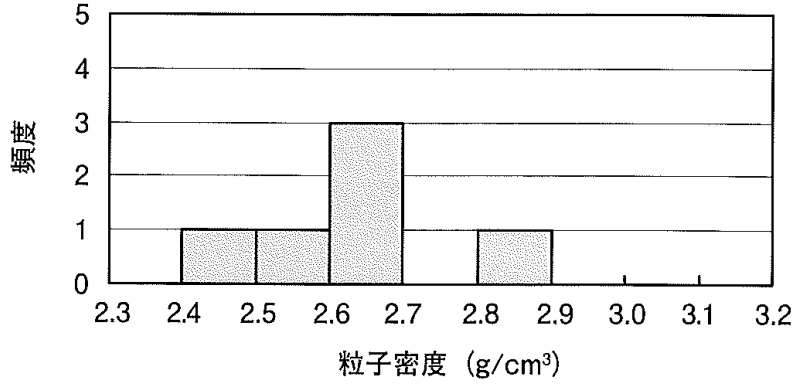
出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

図 3.18.16　エコスラグの粒子密度試験結果（都市ごみ、水砕スラグ）



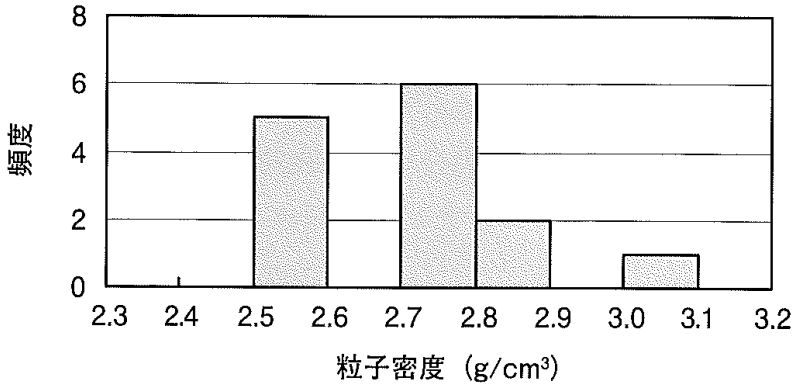
出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

図 3.18.17　エコスラグの粒子密度試験結果（都市ごみ、徐冷スラグ）



出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

図 3.18.18　エコスラグの粒子密度試験結果（下水汚泥、水砕スラグ）



出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

図 3.18.19　エコスラグの粒子密度試験結果（下水汚泥、徐冷スラグ）

表 3.18.7　エコスラグの粒子密度試験結果

（単位:g/cm³）

	都市ごみ		下水汚泥		全体
	水砕スラグ	徐冷スラグ	水砕スラグ	徐冷スラグ	
サンプル数	54	19	6	14	93
範　囲	2.56～2.90	2.66～2.97	2.45～2.88	2.50～3.07	2.45～3.07
平　均	2.75	2.77	2.65	2.71	2.74
標準偏差	0.08	0.10	0.14	0.17	0.11

出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

5)　単位体積重量

エコスラグと他の材料との単位体積重量を**表 3.18.8** に示す。

乾燥状態でのエコスラグの単位体積重量は JIS A 1104 に従い測定したもので、試料を比較的密に詰めたときの値を表している。実測データから平均値は 16.8 kN/m³ となり、天然砂と同等の乾燥重量をもっている。このときの飽和湿潤単位体積重量を**表 3.18.9** 及び**表 3.18.10** のデータを用いて試算すると、おおむね 20.5 kN/m³ の値となり、天然の砂または砂利と同等の値となる。

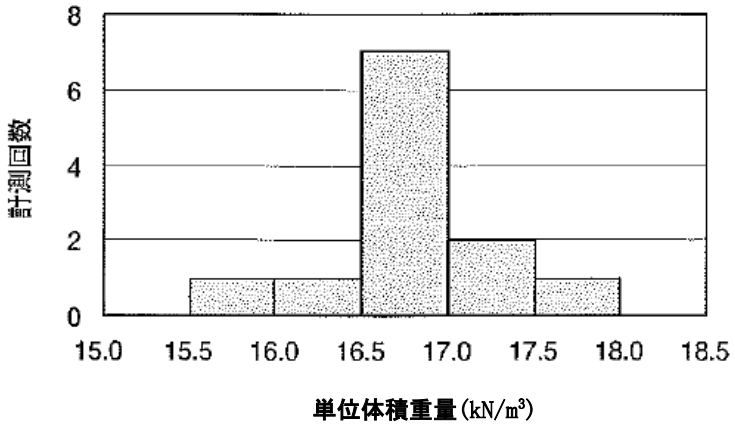
表 3.18.8　エコスラグと他の材料との単位体積重量の比較

（単位:kN/m^3）

エコスラグ		天然の砂・砂利		製鋼スラグ
乾　燥	飽　和	乾　燥	飽　和	湿　潤 （含水比5%換算）
16.8	20.5	16.0	20.0	21.0～23.0

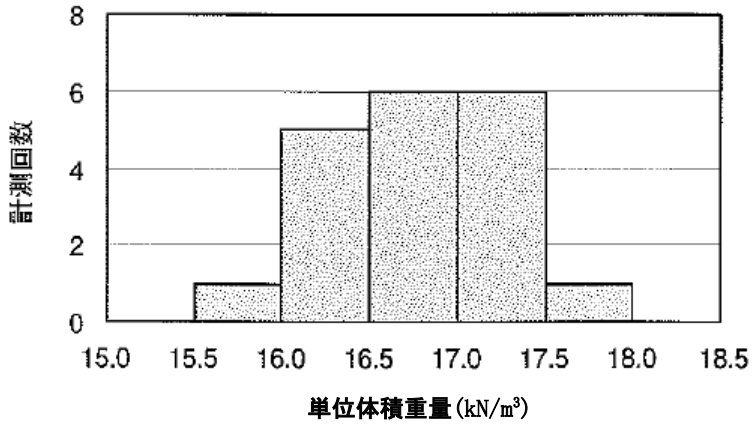
出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

エコスラグの単位体積重量実測データとして、2ヶ所の施設で製造される都市ごみスラグについて、毎月の単位体積重量を測定した結果を**図 3.18.20**、**図 3.18.21** 及び**表 3.18.9** に示す。単位体積重量は **JIS A 1104** に従い測定したもので、試料を比較的密に詰めたときの値を表している。なお、単位体積重量は表乾状態（吸水率 1%以下の水分を含む）での値である。単位体積重量の平均は 16.8 kN/m^3 で、9 割以上が平均値±1.0 kN/m^3 の範囲内にある。



出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

図 3.18.20　エコスラグの単位体積重量（A 処理場：都市ごみ、水砕スラグ）



出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

図 3.18.21　エコスラグの単位体積重量（B 処理場：都市ごみ、水砕スラグ）

表 3.18.9　エコスラグ（都市ごみ、水砕スラグ）の単位体積重量

（単位:kN/m³）

	A処理場	B処理場	両処理場
範　　囲	15.6～17.6	15.9～17.6	15.6～17.6
平　　均	16.7	16.8	16.8
標準偏差	0.48	0.45	0.45

出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

単位体積重量は測定時の試料の積み方により変わるが、最大乾燥密度と最小乾燥密度から求めた重量の間の値となる。エコスラグの最大乾燥密度と最小乾燥密度の測定値を**表 3.18.10** に示すが、これによればエコスラグの乾燥密度は 1.23～1.86 g/cm³（12.1～18.2 kN/m³）の範囲にある。なお、この値は、都市ごみスラグを **JIS A 1224「砂の最小密度・最大密度試験方法」**に基づき、測定したものである。

表 3.18.10　エコスラグ（都市ごみ、水砕スラグ）の最大乾燥密度、最小乾燥密度

（単位:g/cm³）

	例1	例2	例3	例4
最大乾燥密度	1.740	1.591	1.856	1.812
最小乾燥密度	1.382	1.232	1.392	1.381

出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

6) 透水性

エコスラグの透水性は天然砂と同等と考えられる。

都市ごみ水砕スラグを対象とした室内試験では、透水係数は**表 3.18.11** に示すように 10^{-3}～10^{0}cm/s の範囲にある。これは天然の細砂・中砂と同等である。また、締固めによる破砕試験を実施した試料も透水係数は、10^{-2}cm/s のオーダーであった。間隙比が増加すると、**図 3.18.22** に示すように天然砂と同様に透水係数が大きくなる傾向を示す。また、エコスラグの透水係数の室内試験結果と天然砂を対象として求められた 20%通過粒径 D_{20} による Creger の推計値と比較すると、**表 3.18.12** に示すように両者はよく一致している。

下水汚泥スラグについては試験例がないが、水砕スラグの場合では、その粒径分布が同等であることから都市ごみスラグと同等と考えられる。透水係数が重要な施工の場合は、透水試験を実施するものとする。

表 3.18.11 透水係数（都市ごみ、水砕スラグ）

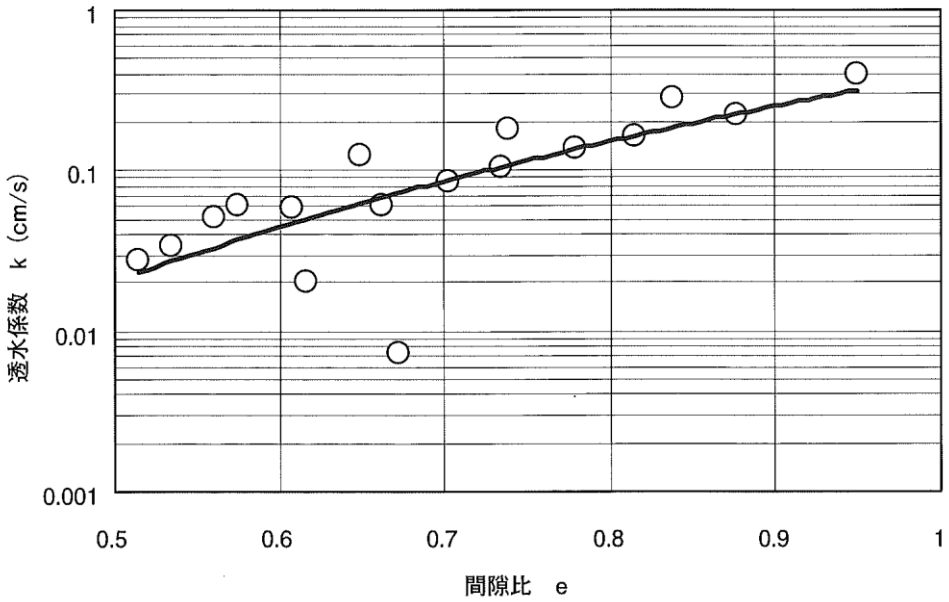
項　　目	試料1	試料2	試料3	試料4	試料5	試料6
乾燥密度 ρ_d(g/cm^3)	1.52	1.55	1.59	1.62	1.48	1.57
間隙比 e	0.814	0.779	0.734	0.702	0.949	0.838
透水係数 k(cm/s)	1.64×10^{-1}	1.37×10^{-1}	1.05×10^{-1}	8.66×10^{-2}	3.97×10^{-1}	2.83×10^{-1}

項　　目	試料7	試料8	試料9*	試料10	試料11	試料12
乾燥密度 ρ_d(g/cm^3)	1.66	1.75	—	1.50	1.70	1.74
間隙比 e	0.738	0.649	—	0.877	0.662	0.608
透水係数 k(cm/s)	1.84×10^{-1}	1.23×10^{-1}	2.47×10^{-2}	2.20×10^{-1}	5.99×10^{-2}	5.76×10^{-2}

項　　目	試料13	試料14	試料15	試料16
乾燥密度 ρ_d(g/cm^3)	1.79	1.81	1.84	1.86
間隙比 e	0.574	0.560	0.535	0.515
透水係数 k(cm/s)	5.96×10^{-2}	5.02×10^{-2}	3.41×10^{-2}	2.79×10^{-2}

*締固めによる破砕試験後

出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）



出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

図 3.18.22　間隙比と透水係数の関係

表 3.18.12　透水係数の試験結果と推計値（都市ごみ、水砕スラグ）

項目 ＼ 試料		試料17	試料18
乾燥密度ρ_d(g/cm^3)		1.75	1.73
間隙比 e		0.672	0.616
透水係数 k(cm/s)		7.16×10^{-3}	2.03×10^{-2}
透水係数k(cm/s)	D_{20}(mm)	0.203	0.332
	Creager推計値	8.9×10^{-3}	2.7×10^{-2}

出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

7) 水硬性

一般に、エコスラグは水硬性がないものとしてよい。しかし、塩基度が高いスラグを用いる場合は、試験を行って水硬性の有無を確認するものとする。

エコスラグの長期的水浸状況下での水硬性の有無を確認するため、6ヶ月の長期安定性試験を実施した。試験に用いたエコスラグは破砕なしで、細粒分1%未満の試料とした。透水試験と強度試験より評価した結果、この試験条件の材料に対しては水硬性を無視できることが分かった。

試験に使用したエコスラグの化学成分、透水係数、強度試験の結果を次に示す。

化学成分より、試験に用いたエコスラグの塩基度は0.4～0.6である。

表 3.18.13　水硬性試験に用いたエコスラグの化学成分

成分 ＼ 試料	エコスラグA	エコスラグB
	都市ごみスラグ	下水汚泥スラグ
CaO（wt%）	25	9
SiO_2（wt%）	41	22
Al_2O_3（wt%）	15	18
塩基度（CaO/SiO_2比）	0.61	0.41

出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

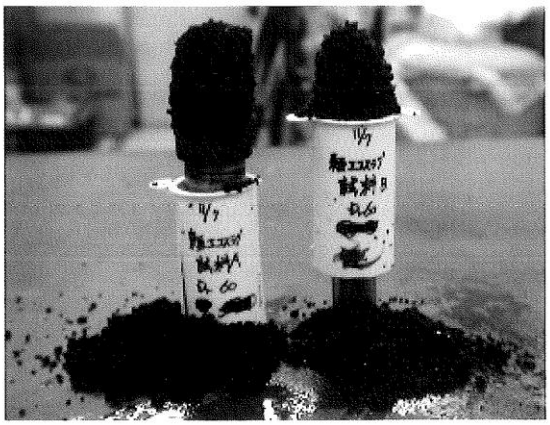
透水試験の結果、6ヶ月の海水浸せき後、透水係数の低下は認められなかった。

表 3.18.14　透水試験結果

項目 ＼ 試料		エコスラグA	エコスラグB
透水係数k（cm/s）	浸水前	2.3×10^{-1}	3.4×10^{-1}
	浸水後	2.5×10^{-1}	3.4×10^{-1}

出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

強度試験の結果、6ヶ月の海水浸せき後、型枠を脱枠した際、型枠内のスラグは粒状体を保持し、固化が認められなかった。



出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

図 3.18.23　6ヶ月養生後の写真

8) 静的せん断特性

エコスラグのせん断抵抗角は35°～45°であり、粘着力は無視できる。

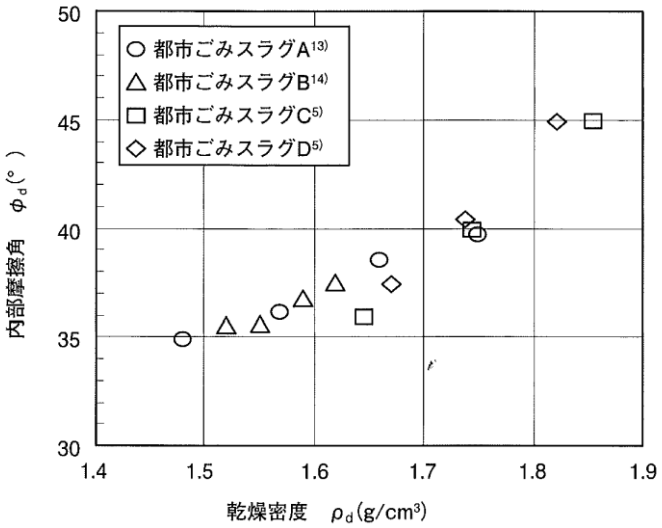
表 3.18.15 及び**図 3.18.24** は、スラグの乾燥密度ρ_dと三軸圧縮試験によるせん断抵抗角ϕ_dの関係を表したものである。ここに示すように、エコスラグのせん断抵抗角ϕ_dは密度の増加に伴い大きくなる砂と同様の特性を備え、その値は35°～45°の値を示している。また、粘着力は10～45kN/m^{2}程度が確認されているが、無視できる。

サンドコンパクションパイル工法により地盤改良された地盤強度は、打設された砂杭のせん断抵抗角の値を用いて評価する。比較的密に詰めたエコスラグの乾燥状態の単位体積重量は16.8kN/m^{3}であるから、これを密度換算すると1.7g/cm^{3}となり、この状態におけるせん断抵抗角ϕ_dは**図 3.18.24** より、ほぼ38°となる。

表 3.18.15　三軸圧縮試験結果一覧

都市ごみスラグA	ρ_d(g/cm^3)	1.48	1.57	1.66	1.75
	C_d(kN/m^2)	11	11	13	24
	ϕ_d(°)	34.9	36.1	38.5	39.7
都市ごみスラグB	ρ_d(g/cm^3)	1.52	1.55	1.59	1.62
	C_d(kN/m^2)	31	33	34	35
	ϕ_d(°)	35.5	35.6	36.8	37.5
都市ごみスラグC	ρ_d(g/cm^3)	1.646	1.744	1.855	
	C_d(kN/m^2)	12.8	23.6	24.1	
	ϕ_d(°)	35.9	39.9	44.9	
都市ごみスラグD	ρ_d(g/cm^3)	1.67	1.738	1.822	
	C_d(kN/m^2)	19	22.9	46.7	
	ϕ_d(°)	37.4	40.4	44.9	

出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）



出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

図 3.18.24　乾燥密度とせん断抵抗角

(2) 化学的性質

1) 化学組成

表 3.18.16 にエコスラグの化学組成の分析結果の一例を示す。

エコスラグは一般に、SiO_2、CaO、Al_2O_3 の 3 成分を主成分とする酸化物である。

表 3.18.16　エコスラグの化学組成

化学成分	単　位	エコスラグ[1)]	製鋼スラグ[2)]	高炉スラグ[3)]	山　土[2)]	安山岩[2)]
SiO_2	wt%	21.6 ～ 57.3	10.5 ～ 21.0	33.8	59.6	59.6
CaO	wt%	8.9 ～ 43.3	34.4 ～ 54.7	41.7	0.4	5.8
Al_2O_3	wt%	8.8 ～ 39.5	1.6 ～ 8.7	13.4	22	17.3
MgO	wt%	0.2 ～ 6.5	2.9 ～ 8.7	7.4	0.8	2.8
Fe_2O_3	wt%	0.3 ～ 12.6	7.6 ～ 22.4*	0.4*	–	3.1**
Na_2O	wt%	0.2 ～ 10.0	–	–	–	–
K_2O	wt%	0.3 ～ 2.8	–	–	–	–

注記）*全鉄量として，** FeO として

出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

2) 有害物質の溶出量

エコスラグの環境安全性の一例として、**表 3.18.17** に東京二十三区清掃一部事務組合の溶融スラグの溶出量試験結果を示す。表中の基準値は、東京二十三区清掃一部事務組合が溶融スラグの利用促進等に関する方針で示している基準値である。

表 3.18.17　エコスラグの溶出量試験結果（一例）

分析項目	カドミウム（Cd）	鉛（Pb）	六価クロム（Cr^{6+}）	砒素（As）	総水銀（Hg）	セレン（Se）	ふっ素（F）	ほう素（B）
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
足立	<0.001	<0.005	<0.02	<0.001	<0.0005	<0.002	<0.1	<0.1
板橋	<0.001	<0.005	<0.02	<0.001	<0.0005	<0.002	<0.1	<0.1
葛飾	<0.001	<0.005	<0.02	<0.001	<0.0005	<0.002	<0.1	<0.1
世田谷（ガス化）	<0.001	<0.005	<0.02	<0.001	<0.0005	<0.002	<0.1	<0.1
世田谷	<0.001	<0.005	<0.02	<0.001	<0.0005	<0.002	<0.1	<0.1
品川	<0.001	<0.005	<0.02	<0.001	<0.0005	<0.002	<0.1	<0.1
多摩川	<0.001	<0.005	<0.02	<0.001	<0.0005	<0.002	0.12	<0.1
基準値	0.01 以下	0.01 以下	0.05 以下	0.01 以下	0.0005 以下	0.01 以下	0.8 以下	1.0 以下
定量下限値	0.001	0.005	0.02	0.001	0.0005	0.002	0.1	0.1

出典）東京二十三区清掃一部事務組合公式ホームページ

3)　有害物質の含有量

エコスラグの環境安全性の一例として、**表 3.18.18** に東京二十三区清掃一部事務組合の溶融スラグの含有量試験結果を示す。表中の基準値は、東京二十三区清掃一部事務組合が溶融スラグの利用促進等に関する方針で示している基準値である。

表 3.18.18　エコスラグの含有量試験結果（一例）

分析項目	カドミウム（Cd）	鉛（Pb）	六価クロム（Cr^{6+}）	砒素（As）	総水銀（Hg）	セレン（Se）	ふっ素（F）	ほう素（B）
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
足立	<0.3	21	<2	0.83	<0.02	<0.5	110	95
板橋	<0.3	55	<2	<0.5	<0.02	<0.5	94	120
葛飾	<0.3	5.9	<2	<0.5	<0.02	<0.5	110	28
世田谷（ガス化）	<0.3	6.7	<2	<0.5	<0.02	<0.5	27	68
世田谷	<0.3	7.1	<2	<0.5	<0.02	<0.5	180	120
品川	<0.3	24	<2	<0.5	<0.02	<0.5	160	210
多摩川	<0.3	9.8	<2	0.97	<0.02	<0.5	84	100
基準値	150 以下	150 以下	250 以下	150 以下	15 以下	150 以下	4,000 以下	4,000 以下
定量下限値	0.3	3	2	0.5	0.02	0.5	5	10

出典）東京二十三区清掃一部事務組合公式ホームページ

4）環境安全性の適合

エコスラグの環境安全性の適合については、（一社）日本産業機械工業会エコスラグ利用普及委員会が 2010 年度に実施したアンケート調査をもとに解析を行い、第 35 回全国都市清掃研究・事例発表会で明石らが発表している。

全国 178 施設から溶出量と含有量の測定結果の回答があり、溶出量と含有量ともに JIS A 5032 の基準を超過の事例は、Pb のみであった。**表 3.18.19** に環境安全性と適合率を示す。

表 3.18.19　エコスラグの環境安全性と適合率

溶出量試験結果								
分析項目	Cd	Pb	Cr^{6+}	As	T-Hg	Se	F	B
データ総数	2052	2061	2053	2052	2034	2052	2015	2021
超過データ数	0	13	0	0	0	0	0	0
適合率(%)	100	99.4	100	100	100	100	100	100
含有量試験結果								
分析項目	Cd	Pb	Cr^{6+}	As	T-Hg	Se	F	B
データ総数	1843	1920	1840	1843	1839	1840	1914	1916
超過データ数	0	18	0	0	0	0	0	0
適合率(%)	100	99.1	100	100	100	100	100	100

出典）明石、坪井：溶融スラグの安全品質データの解析結果　第 35 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集 188-190、2014.1

Pb の溶出量の基準値超過は、178 施設 2061 データのうち 7 施設 13 データで、適合率は 99.4%であった。Pb の含有量の基準値超過は、178 施設 1920 データのうち 5 施設 18 データで、適合率は 99.1%であった。溶出量と含有量の両方が基準値超過した施設は無かった。

基準値を超過した施設でのエコスラグの管理状況を**表 3.18.20** に示す。

表 3.18.20　基準値超過施設でのエコスラグ管理状況

調査対象施設(178施設)のスラグ総生産量合計		76.1	万t/年	100	%
超過施設(12施設)のスラグ生産量合計		3.12	万t/年	4.1	%
全量最終処分又は最終処分覆土(9施設)		2.9	万t/年	3.8	%
部分利用施設(3施設)	最終処分	0.0386	万t/年	0.05	%
	試験利用	0.0091	万t/年	0.01	%
	ストック	0.1743	万t/年	0.23	%

出典）明石、坪井：溶融スラグの安全品質データの解析結果　第 35 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集 188-190、2014.1

超過した 12 施設で合計 3.12 万 t /年を生産しており、この内の 9 施設 2.9 万 t/年は、全量を最終処分または最終処分場覆土利用としている。残り 3 施設の 0.22 万 t/年の内 386t/年は最終処分され、基準値合格の 1834t/年が有効利用（試験利用 91t/年、ストック 1743t/年）されている。

環境安全性の検査結果に基づいた適切な品質管理が行われている事が確認された。

5) pH

エコスラグを海水へ浸せきしたときの溶出液は、中性または弱アルカリ性を示し、エコスラグ利用による周辺海域への pH 上昇はほとんどない。

エコスラグを純水に浸せきした場合、エコスラグから溶け出した微量のアルカリ成分によって、溶出液の pH は中性または弱アルカリ性を示す。

一方、海水の pH はもともと 8 近辺であるため、エコスラグを海水に浸せきしても海水成分による緩衝作用により、**表 3.18.21** に示すとおり海水の pH は 9 以下を保った。また、海水の pH 上昇現象は、施工後の短期的で、かつ、使用箇所の近傍だけに限られると推測されるため、周辺海域の pH の上昇はほとんどない。

表 3.18.21　人工海水を溶媒としたエコスラグの溶出試験結果

試料	溶媒	重量体積比	pH
スラグA	人工海水	1	8.8(21.0℃)
		0.2	8.7(21.0℃)
		0.1	8.7(21.0℃)
スラグB	人工海水	1	8.6(21.0℃)
		0.2	8.2(21.0℃)
		0.1	8.1(21.0℃)

(注1)溶出試験の検液作成:環境庁告示第46号に準拠した。
人工海水溶出試験前pH値:7.8
(注2)重量体積比＝スラグ(g)／溶媒(ml)

出典）港湾工事用エコスラグ利用手引書（（社）日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター）

3.18.3 加工・改良技術

エコスラグを道路用骨材に利用する場合、表層・基層用アスファルト混合物の配合設計は、**「舗装施工便覧」**及び**「舗装再生便覧」**に示される方法と手順に準じる。

(1) 配合設計は、原則としてマーシャル安定度試験で行い、その手順は、**「舗装施工便覧」6-3-2 配合設計の手順**及び**「舗装再生便覧」2-4-3 再生加熱アスファルト混合物の配合設計の方法**に従って行う。

(2) エコスラグを細骨材として利用する場合、混入量が増加するとマーシャル安定度、動的安定度、及びはく離抵抗性が低下する傾向があることから、エコスラグの混入率は全骨材質量に対して安全をみて全骨材質量の 10%以下としている例が多い。

ただし、エコスラグを粗骨材として利用する場合は、これまでの実績確認または試験調査をして利用する必要がある。

3.18.4 適用用途

(1) 概要

JIS が規定されているエコスラグをリサイクル材として利用する場合は、当該 JIS に適合したものを利用するものとする。
JIS が規定されていないエコスラグをリサイクル材として利用する場合は、用途において必要となる要求性能を満たす材料を利用するものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、エコスラグを各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.18.22** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.18.22 (1)　エコスラグの適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)一般廃棄物、下水汚泥の焼却灰を溶融固化したｺﾝｸﾘｰﾄ用溶融ｽﾗｸﾞ骨材への利用に関して、品質、試験方法、検査、表示、報告、ｺﾝｸﾘｰﾄへの適用範囲などを規定。 ・2)ｺﾝｸﾘｰﾄ用材として利用する場合の適用範囲、評価試験方法などを規定。 ・3)ごみ溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートの品質、コンクリート部材の設計に関する一般事項等を記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。（リサイクルポート推進協議会集計実績）	1) 2) 3)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	△	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・1)一般廃棄物、下水汚泥の焼却灰を溶融固化したｺﾝｸﾘｰﾄ用溶融ｽﾗｸﾞ骨材への利用に関して、品質、試験方法、検査、表示、報告、ｺﾝｸﾘｰﾄへの適用範囲などを規定。 ・2)ｺﾝｸﾘｰﾄ用材として利用する場合の適用範囲、評価試験方法などを規定。	－	●利用実績なし	1) 2)
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	△	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)ｴｺｽﾗｸﾞのﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ工法の設計施工の方針を記載。 ・基本方針としてｴｺｽﾗｸﾞを天然砂と同等の粒状材料として取り扱うこととされており、物理的性質、力学的性質、化学的性質について規定。 ・手引書で取り扱うｴｺｽﾗｸﾞは、製造過程で適切な品質管理及び保管がなされ、JISA5031又はJISA5032で規定される有害物質の溶出量及び含有量の基準を満足したものであることを	－	●利用実績なし	4)
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	○＋	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・4)ｴｺｽﾗｸﾞのｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ工法の設計施工の方針を記載。 ・基本方針としてｴｺｽﾗｸﾞを天然砂と同等の粒状材料として取り扱うこととされており、物理的性質、力学的性質、化学的性質について規定。 ・手引書で取り扱うｴｺｽﾗｸﾞは、製造過程で適切な品質管理及び保管がなされ、JISA5031又はJISA5032で規定される有害物質の溶出量及び含有量の基準を満足したものであることを	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・地盤改良工事（管理者、その他）	4)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・河川災害復旧工事（管理者） ・水路環境整備工事（管理者）	
⑧	中詰材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-18-40)	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・護岸補修工事（管理者）	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・河川改良工事及び橋梁改築工事（管理者）	
⑩	裏込材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・災害復旧工事（管理者）	

出典）

1)JISA5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したｺﾝｸﾘｰﾄ用溶融ｽﾗｸﾞ骨材」（平成28年10月改正）
2)建設工事における他産業ﾘｻｲｸﾙ材料利用技術ﾏﾆｭｱﾙ(土木研究所、平成18年4月)
3)ごみ溶融スラグの構造用コンクリートへの活用－設計・施工試案－（平成25年6月、公益社団法人日本コンクリート工学会中国支部）
4)港湾工事用ｴｺｽﾗｸﾞ利用手引書(平成18年、(社)日本産業機械工業会、(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ)
5)JISA5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融ｽﾗｸﾞ」（平成28年10月）
6)道路用溶融スラグ品質管理及び設計施工マニュアル（改訂版）（平成29年3月、(一社)日本産業機械工業会　エコスラグ利用普及委員会）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

表 3.18.22 (2)　エコスラグの適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
⑪	裏埋材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・災害復旧工事（管理者）	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。(p.3-18-39)	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・5)一般の道路用材料としての加熱ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物用骨材、路盤材及び盛土材などとして用いる溶融ｽﾗｸﾞについて品質、試験方法、検査、表示、報告などを規定。 ・6)溶融スラグを用いた構築路床の施工について記載。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・道路改良工事（管理者）	5) 6)
⑮	路盤材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)舗装の路盤材料として利用する場合の適用範囲、評価試験方法などについて規定。 ・5)一般の道路用材料としてのｱｽﾌｧﾙﾄ混合物用骨材、路盤材及び盛土材などとして用いる溶融ｽﾗｸﾞについて品質、試験方法、検査、表示、報告などを規定。 ・6)溶融スラグを用いた上層・下層路盤の施工について記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・国道維持補修工事（国交省） ・舗装工事（国交省）	2) 5) 6)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	◎ (As舗装骨材)	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 【主な内容】 ・2)ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装の表層および基層用骨材として利用する場合の適用範囲、評価試験方法などについて規定。 ・5)一般の道路用材料としてのｱｽﾌｧﾙﾄ混合物用骨材、路盤材及び盛土材などとして用いる溶融ｽﾗｸﾞについて品質、試験方法、検査、表示、報告などを規定。 ・6)溶融スラグを用いた表層・基層の施工について記載。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・一般国道修繕工事（国交省） ・舗装工事（国交省）	2) 5) 6)
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)JISA5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したｺﾝｸﾘｰﾄ用溶融ｽﾗｸﾞ骨材」（平成28年10月改正）

2)建設工事における他産業ﾘｻｲｸﾙ材料利用技術ﾏﾆｭｱﾙ(土木研究所、平成18年4月)

3)ごみ溶融スラグの構造用コンクリートへの活用－設計・施工試案－（平成25年6月、公益社団法人日本コンクリート工学会中国支部）

4)港湾工事用ｴｺｽﾗｸﾞ利用手引書(平成18年、(社)日本産業機械工業会、(財)沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ)

5)JISA5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融ｽﾗｸﾞ」（平成28年10月）

6)道路用溶融スラグ品質管理及び設計施工マニュアル（改訂版）（平成29年3月、(一社)日本産業機械工業会　エコスラグ利用普及委員会）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) コンクリート用細骨材

エコスラグをコンクリート用細骨材に利用する場合は、**JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」**に適合したエコスラグを利用し、用途に見合う所要の品質を満足するコンクリートである必要がある。細骨材の粒度による区分は**表 3.18.23** に示すように区分されており、物理的性質については、**表 3.18.24** に適合する必要がある。粒度は**表 3.18.25** に適合し、粗粒率[4]は購入契約時に定められた粗粒率と比べ、±0.20 以上変化しないようにする必要がある。

表 3.18.23　溶融スラグ細骨材の粒度による区分

区分	粒の大きさの範囲(mm)	記号
5mm溶融スラグ細骨材	5以下	MS5
2.5mm溶融スラグ細骨材	2.5以下	MS2.5
1.2mm溶融スラグ細骨材	1.2以下	MS1.2
5-0.3mm溶融スラグ細骨材	5～0.3	MS5-0.3

出典）JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」

表 3.18.24　溶融スラグ細骨材の物理的性質

試験項目	溶融スラグ細骨材
絶乾密度　g/cm^3	2.5 以上
吸水率　%	3.0 以下
安定性　%	10 以下
粒径判定実績率　%	53 以上
微粒分量　%	7.0 以下※

※コンクリートの表面がすりへり作用を受けるものは、5.0%以下とする。

出典）JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」

表 3.18.25　溶融スラグ細骨材の粒度

区分	ふるいの呼び寸法※						
	ふるいを通るものの質量百分率(%)						
	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
5mm溶融スラグ細骨材	100	90～100	80～100	50～90	25～65	10～35	2～15
2.5mm溶融スラグ細骨材	100	95～100	85～100	60～95	30～70	10～45	5～20
1.2mm溶融スラグ細骨材	－	100	95～100	80～100	35～80	15～50	10～30
5-0.3mm溶融スラグ細骨材	100	95～100	45～100	10～70	0～40	0～15	0～10

※ふるいの呼び寸法は、それぞれJIS Z 8801-1に規定するふるいの公称目開き9.5mm、4.75mm、2.36mm、1.18mm、600μm、300μm及び150μmである。

出典）JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」

[4]粗粒率：80 mm，40 mm，20 mm，10 mm，5 mm，2.5 mm，1.2 mm，0.6 mm，0.3 mm，及び0.15 mm の網ふるいの一組を用いて、ふるい分けを行った場合，各ふるいを通らない全部の試料の百分率の和を 100 で除した値であり、無次元で表される。

JIS A 5031 では、化学成分として、酸化カルシウム（CaO として）45.0%以下、全硫黄（S として）2.0%以下、三酸化硫黄（SO_3 として）0.5%以下、金属鉄（Fe として）1.0%以下と規定されている。塩化物量は NaCl として 0.04%以下でなければならないとされている。

また、JIS A 5031 では有害物質の溶出量基準（**表 3.18.26**）及び含有量基準（**表 3.18.27**）が規定されている。

表 3.18.26　エコスラグの溶出量基準

項目	溶出量
カドミウム	0.01 mg/L 以下
鉛	0.01 mg/L 以下
六価クロム	0.05 mg/L 以下
ひ素	0.01 mg/L 以下
総水銀	0.000 5 mg/L 以下
セレン	0.01 mg/L 以下
ふっ素	0.8 mg/L 以下
ほう素	1.0 mg/L 以下

出典）JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」
JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」
※カドミウム：土壌の汚染に係る環境基準（溶出量基準）が 0.003mg/L 以下に見直され、令和 3 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。
六価クロム：令和 3 年 10 月より地下水の水質汚濁に係る環境基準が 0.02mg/L 以下に見直され、令和 4 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

表 3.18.27　エコスラグの含有量基準

項目	含有量基準
カドミウム	150 mg/kg 以下
鉛	150 mg/kg 以下
六価クロム	250 mg/kg 以下
ひ素	150 mg/kg 以下
総水銀	15 mg/kg 以下
セレン	150 mg/kg 以下
ふっ素	4 000 mg/kg 以下
ほう素	4 000 mg/kg 以下

出典）JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」
JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」
※カドミウム：土壌の汚染に係る環境基準（溶出量基準）が 0.003mg/L 以下に見直され、令和 3 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。
六価クロム：令和 3 年 10 月より地下水の水質汚濁に係る環境基準が 0.02mg/L 以下に見直され、令和 4 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

(3) サンドコンパクションパイル材

エコスラグのサンドコンパクションパイル工法への利用については、平成 18 年に**「港湾工事用エコスラグ利用手引書」**が発行されており、各基準類の補足資料として参考にすることができる。

1) 設計の基本方針

a. エコスラグの物理的性質、力学的性質は天然砂と同等とみなすことができ、エコスラグを天然砂と同様の粒状材料として、砂質土地盤の締固め及び粘性土地盤の改良を目的とするサンドコンパクションパイル工法に用いることができる。

b. サンドコンパクションパイルの設計に関連する、エコスラグの粒度、密度、単位体積重量及びせん断抵抗角は、以下の値を標準としてよい。この標準値は生産量が最も多い都市ごみ水砕スラグを対象としており、それ以外のエコスラグを使用する場合は、個別に必要な試験をするか、**「港湾工事用エコスラグ利用手引書」**を参考にして適切な値を用いることが必要である。

- 粒度：D_{50}＝0.5～2.5mm
- 粒子密度：ρ_s＝2.74g/cm^3
- 単位体積重量
  - 乾燥状態：γ_d＝16.8kN/m^3
  - 飽和状態：γ_{sat}＝20.5kN/m^3
- 透水係数：k ＝10^{-3}～10^{0}cm/s
- せん断抵抗角：ϕ_d＝38°
- 粘着力、水硬性は無視する。

c. ここに記述する以外の設計上の詳細な項目については、砂と同等とみなし、**「港湾の施設の技術上の基準」**に従って設計するものとする。

2) 砂質土地盤を対象とする場合の設計

砂質土地盤を対象としたサンドコンパクションパイル工法の設計では、対象地盤の特性及び施工方法の特徴を十分に検討し、既往の施工実績または試験施工の結果も考慮して適切に行うものとする。

サンドコンパクションパイル工法による砂質土地盤の締固め程度は、多くの要因に支配されるため、締固め効果の予測を理論的な計算だけで行うことは困難であり、施工実績に基づくデータ解析が必要である。また、試験施工を実施し、施工精度を向上させる配慮も必要である。

3) 粘性土地盤を対象とする場合の設計

エコスラグの物理的・力学的性質は天然砂と同等である。したがって、粘性土地盤を対象とするサンドコンパクションパイル工法にエコスラグを使用する場合、水硬性は無視するものとし、天然砂と同様の扱いをする。

改良地盤のせん断強度は、エコスラグを粒状材料として適切に設定するものとする。

4) 施工

a. 材料の貯蔵、運搬

施工現場におけるエコスラグの貯蔵及び運搬は、一般に天然砂と同様に行ってよい。ただし、野積みしたエコスラグに降雨がかかる場合は、溶出水の pH 増加の可能性を考慮し、必要に応じて対策を講じるものとする。

b. 杭の造成

エコスラグを用いたサンドコンパクションパイルの造成は、天然砂を用いた場合と同様に行ってよい。

5) 環境安全品質

エコスラグをサンドコンパクションパイル工法に利用する場合、JIS A 5031、JIS A 5032 で規定されている有害物質の溶出量か、**「建設分野の規格への環境側面の導入に関する指針」**の**付属書 I「コンクリート用スラグに環境安全品質及びその検査方法を導入するための指針」**に示されている環境安全品質基準（港湾用途に限る）（**表 3.18.35**）の溶出量を満足する必要がある。また、JIS A 5031、JIS A 5032 で規定されている有害物質の含有量を満足する必要がある。

エコスラグのサンドコンパクションパイル工法への利用にあたっては、環境安全性、品質、経済性、供給量等の条件を満たす必要がある。

(4) 路床盛土材

エコスラグを路床盛土材に利用する場合は、JIS A 5032**「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」**に適合したエコスラグを利用する必要がある。JIS A 5032 では、溶融スラグ細骨材及びクラッシャラン溶融スラグの用途として路床が挙げられている。溶融スラグ細骨材の粒度を**表 3.18.28** に示す。

表 3.18.28　溶融スラグ細骨材及びクラッシャラン溶融スラグの粒度

種類	呼び名	ふるいを通るものの質量分率　%						
		JIS Z 8801-1 に規定する金属製網ふるいの公称目開き						
		26.5mm	19mm	13.2mm	4.75mm	2.36mm	1.18mm	75μm
溶融スラグ細骨材	FM-2.5	−	−	−	100	85～100	−	0～10
クラッシャラン溶融スラグ	CM-5	−	−	100	85～100	−	−	0～10

出典）JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」

エコスラグを路床盛土材として利用する場合、JIS A 5032 で有害物質の溶出量基準（**表 3.18.26**）及び含有量基準（**表 3.18.27**）が規定されている。

品質管理及び設計・施工に当たっては、**「道路用溶融スラグ品質管理及び設計施工マニュアル（改訂版）」（（一社）日本産業機械工業会　エコスラグ利用普及委員会）**を参照することができる。

(5) 路盤材

エコスラグを路盤材に利用する場合は、**JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」**に適合したエコスラグを利用する必要がある。

粒度調整溶融スラグ及びクラッシャラン溶融スラグの粒度を**表 3.18.29** に示す。

表 3.18.29　粒度調整溶融スラグ及びクラッシャラン溶融スラグの粒度

種類	呼び名	ふるいを通るものの質量分率　%									
		JIS Z 8801-1 に規定する金属製網ふるいの公称目開き									
		53mm	37.5mm	31.5mm	26.5mm	19mm	13.2mm	4.75mm	2.36mm	425μm	75μm
粒度調整溶融スラグ	MM-40	100	95～100	－	－	60～90	－	30～65	20～50	10～30	2～10
	MM-30	－	100	95～100	－	60～90	－	30～65	20～50	10～30	2～10
	MM-25	－	－	100	95～100	－	55～85	30～65	20～50	10～30	2～10
クラッシャラン溶融スラグ	CM-40	100	95～100	－	－	50～80	－	15～40	5～25	－	－
	CM-30	－	100	95～100	－	55～85	－	15～45	5～30	－	－
	CM-20	－	－	－	100	95～100	60～90	20～50	10～35	－	－
	CM-5	－	－	－	－	－	100	85～100	－	－	0～10

※粒度調整溶融スラグは上層路盤用、クラッシャラン溶融スラグは下層路盤用等にそれぞれ利用する。
出典）JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」

粒度調整溶融スラグのすりへり減量は、50%以下である必要がある。

粒度調整溶融スラグ及びクラッシャラン溶融スラグの修正 CBR は、受渡当事者間の協議によって定めるものとする。

水砕スラグの中で針状物を含むものや、ガラス片のように鋭い稜角に富むガラス質の徐冷スラグなどは、運搬や施工などの作業における安全性の確保、扁平や亀裂の残存防止、締固め難さなどの施工性の改善に配慮する必要がある。適切な破砕機（磨砕機）等によって粒度の調整を行うことはスラグの針状物の除去や角取りに有効であることから、できるだけ破砕（磨砕）処理したスラグを用いた方が良い。

エコスラグを路盤材として利用する場合、**JIS A 5032** で有害物質の溶出量基準（**表 3.18.26**）及び含有量基準（**表 3.18.27**）が規定されている。

エコスラグの路盤材への利用にあたっては、環境安全性、品質、経済性、供給量等の条件を満たす必要がある。

また、当然のことながら舗装に要求される性能を満足するために必要な品質を有していることが不可欠である。さらに、この場合の環境安全性、品質は舗装材として再利用する際のことにも留意する必要がある。

品質管理及び設計・施工に当たっては、**「道路用溶融スラグ品質管理及び設計施工マニュアル（改訂版）」（（一社）日本産業機械工業会　エコスラグ利用普及委員会）**を参照することができる。

(6) アスファルト舗装骨材

エコスラグをアスファルト舗装骨材に利用する場合は、**JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」**に適合したエコスラグを利用する必要がある。

単粒度溶融スラグ及び溶融スラグ細骨材の粒度を**表 3.18.30 に**示す。

表 3.18.30　単粒度溶融スラグ及び溶融スラグ細骨材の粒度

種類	呼び名	ふるいを通るものの質量百分率(%)						
		JIS Z 8801-1に規定する金属製網ふるいの公称目開き						
		26.5mm	19mm	13.2mm	4.75mm	2.36mm	1.18mm	75μm
単粒度溶融スラグ（徐冷スラグ）	SM-20	100	85～100	0～15	－	－	－	－
	SM-13	－	100	85～100	0～15	－	－	－
	SM-5	－	－	100	85～100	0～25	0～5	－
溶融スラグ細骨材（水砕スラグ、徐冷スラグ）	FM-2.5	－	－	－	100	85～100	－	0～10

※単粒度溶融スラグ及び溶融スラグ細骨材は加熱アスファルト混合物等に利用する。
出典）JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」

単粒度溶融スラグ及び溶融スラグ細骨材の表乾密度は、2.45g/cm^3 以上で、ばらつきが少ない必要がある。吸水率は、3.0%以下である必要がある。また、単粒度溶融スラグのすりへり減量は、30%以下である必要がある。

エコスラグのアスファルト舗装骨材への利用にあたっては、環境安全性、品質、経済性、供給量等の条件を満たす必要がある。

また、当然のことながら舗装に要求される性能を満足するために必要な品質を有していることが不可欠である。さらに、この場合の環境安全性、品質は舗装材としての再利用する際のことにも留意する必要がある。

品質管理及び設計・施工に当たっては、**「道路用溶融スラグ品質管理及び設計施工マニュアル（改訂版）」（（一社）日本産業機械工業会　エコスラグ利用普及委員会）**を参照することができる。

(7) 今後の検討を要する用途

1) コンクリート用粗骨材

コンクリート用粗骨材には徐冷スラグが利用されるが、徐冷スラグの生産量は少ないため、利用に当たって必要量が確保可能であることを確認する必要がある。

エコスラグをコンクリート用粗骨材に利用する場合は、**JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」**に適合したエコスラグを利用し、用途に見合う所要の品質を満足するコンクリートを得る必要がある。

粗骨材の粒度による区分は**表 3.18.31** に示すように区分されており、物理的性質については、**表 3.18.32** に適合する必要がある。粒度は**表 3.18.33** に適合し、粗粒率[5]は購入契約時に定められた粗粒率と比べ、±0.30 以上変化しないようにする必要がある。

[5]粗粒率：80 mm，40 mm，20 mm，10 mm，5 mm，2.5 mm，1.2 mm，0.6 mm，0.3 mm，及び 0.15 mm の網ふるいの一組を用いて、ふるい分けを行った場合，各ふるいを通らない全部の試料の百分率の和を 100 で除した値であり、無次元で表される。

表 3.18.31　溶融スラグ粗骨材の粒度による区分

区分	粒の大きさの範囲(mm)	記号
溶融スラグ粗骨材2005	20～5	MG20－05
溶融スラグ粗骨材2015	20～15	MG20－15
溶融スラグ粗骨材1505	15～5	MG15－05

出典）JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」

表 3.18.32　溶融スラグ粗骨材の物理的性質

試験項目	溶融スラグ粗骨材
絶乾密度　g/cm^3	2.5 以上
吸水率　%	3.0 以下
安定性　%	12 以下
粒径判定実績率　%	55 以上
微粒分量　%	1.0 以下

出典）JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」

表 3.18.33　溶融スラグ粗骨材の粒度

区分	ふるいの呼び寸法※					
	ふるいを通るものの質量百分率(%)					
	25	20	15	10	5	2.5
溶融スラグ粗骨材2005	100	90～100	－	20～55	0～10	0～5
溶融スラグ粗骨材2015	100	90～100	－	0～10	0～5	－
溶融スラグ粗骨材1505	－	100	90～100	40～70	0～15	0～5

※ふるいの呼び寸法は、それぞれJIS Z 8801-1に規定するふるいの公称目開き26.5mm、19mm、16mm、9.5 4.75mm及び2.36mmである。

出典）JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」

JIS A 5031 では、化学成分として、酸化カルシウム（CaO として）45.0%以下、全硫黄（S として）2.0%以下、三酸化硫黄（SO_3 として）0.5%以下、金属鉄（Fe として）1.0%以下と規定されている。塩化物量は NaCl として 0.04%以下でなければならないとされている。

また、JIS A 5031 では有害物質の溶出量基準（表 3.18.34）及び含有量基準（表 3.18.35）が規定されている。

表 3.18.34　エコスラグの溶出量基準

項目	溶出量
カドミウム	0.01 mg/L 以下
鉛	0.01 mg/L 以下
六価クロム	0.05 mg/L 以下
ひ素	0.01 mg/L 以下
総水銀	0.000 5 mg/L 以下
セレン	0.01 mg/L 以下
ふっ素	0.8 mg/L 以下
ほう素	1.0 mg/L 以下

出典）JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」
JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」
※カドミウム：土壌の汚染に係る環境基準（溶出量基準）が 0.003mg/L 以下に見直され、令和 3 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。
六価クロム：令和 3 年 10 月より地下水の水質汚濁に係る環境基準が 0.02mg/L 以下に見直され、令和 4 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

表 3.18.35　エコスラグの含有量基準

項目	含有量基準
カドミウム	150 mg/kg 以下
鉛	150 mg/kg 以下
六価クロム	250 mg/kg 以下
ひ素	150 mg/kg 以下
総水銀	15 mg/kg 以下
セレン	150 mg/kg 以下
ふっ素	4 000 mg/kg 以下
ほう素	4 000 mg/kg 以下

出典）JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」
JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」
※カドミウム：土壌の汚染に係る環境基準（溶出量基準）が 0.003mg/L 以下に見直され、令和 3 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。
六価クロム：令和 3 年 10 月より地下水の水質汚濁に係る環境基準が 0.02mg/L 以下に見直され、令和 4 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

2) バーチカルドレーン及びサンドマット材

エコスラグのバーチカルドレーン工法への利用については、平成 18 年に**「港湾工事用エコスラグ利用手引書」**が発行されており、各基準類の補足資料として参考にすることができる。

①設計の基本方針

エコスラグを用いたバーチカルドレーン工法の設計においては、エコスラグを天然砂と同等の粒状材料として扱うものとする。

ここでは、エコスラグの利用対象を、地盤中に建て込むドレーンパイルの材料とする。ここに記述する以外の設計上の詳細な項目については、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に従って設計するものとする。

②ドレーンパイルの設計

ドレーンパイルに要求される機能は、排水性（透水性）であり、設計では、エコスラグを天然砂と同等の粒状材料として扱ってよい。

エコスラグの透水係数は、$k = 10^{-3} \sim 10^{0}$cm/s の値をとる。

③施工

施工現場におけるエコスラグの貯蔵、運搬または杭の造成については、サンドコンパクション工法の施工で述べたように、天然材料と同様に行うことができる。

エコスラグのバーチカルドレーン工法への利用にあたっては、環境安全性、品質、経済性、供給量等の条件を満たす必要がある。

④環境安全品質

エコスラグをバーチカルドレーン工法に利用する場合、JIS A 5031、JIS A 5032 で規定されている有害物質の溶出量か、**「建設分野の規格への環境側面の導入に関する指針」**の**付属書Ⅰ「コンクリート用スラグに環境安全品質及びその検査方法を導入するための指針」**に示されている環境安全品質基準（港湾用途に限る）（**表 3.18.36**）の溶出量を満足する必要がある。また、JIS A 5031、JIS A 5032 で規定されている有害物質の含有量を満足する必要がある。

表 3.18.36　環境安全品質基準（港湾用途に限る）

項目	溶出量（mg/L）[5)]
カドミウム	0.03 以下
鉛	0.03 以下
六価クロム	0.15 以下
ひ素	0.03 以下
水銀	0.0015 以下
セレン	0.03 以下
ふっ素	15 以下
ほう素	20 以下
注[5)]　港湾用途の材料が備えるべき環境安全品質に関する科学的知見が十分ではないため，当面の間，この規定としている。	

出典）「建設分野の規格への環境側面の導入に関する指針」の付属書Ⅰ「コンクリート用スラグに環境安全品質及びその検査方法を導入するための指針」

※カドミウム：土壌の汚染に係る環境基準（溶出量基準）が 0.003mg/L 以下に見直され、令和 3 年 4 月に施行されため、留意が必要である。

六価クロム：令和 3 年 10 月より地下水の水質汚濁に係る環境基準が 0.02mg/L 以下に見直され、令和 4 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

3) 捨石、被覆石、根固・消波ブロック

エコスラグを捨石、被覆石、根固・消波ブロックに利用する場合は、徐冷スラグを使用することになる。徐冷スラグの物理的性質、力学的性質は、天然の割ぐり石（石材）と同等とみなすことができる。よって設計、施工にあたっては、天然材と同様に行うことができる。

徐冷スラグを捨石、被覆石、根固・消波ブロックに利用する場合、JIS A 5031、JIS A 5032 で規定されている有害物質の溶出量か、**「建設分野の規格への環境側面の導入に関する指針」**の**付属書Ⅰ「コンクリート用スラグに環境安全品質及びその検査方法を導入するための指針」**に示されている環境安全品質基準（港湾用途に限る）（**表 3.18.36**）の溶出量を満足する必要がある。また、JIS A 5031、JIS A 5032 で規定されている有害物質の含有量を満足する必要がある。

4) 中詰材

エコスラグの物理的・力学的性質は天然材と同等である。したがって、エコスラグを中詰材として利用する場合の設計、施工にあたっては、エコスラグを天然材と同等の材料として扱うものとする。

徐冷スラグを中詰材に利用する場合、JIS A 5031、JIS A 5032 で規定されている有害物質の溶出量か、**「建設分野の規格への環境側面の導入に関する指針」**の**付属書Ⅰ「コンクリート用スラグに環境安全品質及びその検査方法を導入するための指針」**に示されている環境安全品質基準（港湾用途に限る）（**表 3.18.36**）の溶出量を満足する必要がある。また、JIS A 5031、JIS A 5032 で規定されている有害物質の含有量を満足する必要がある。

用途としての利用可能性はあるが、適用技術に係る情報が十分集積されていないことから、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

5) 裏込材、裏埋材、盛土材、覆土材、載荷盛土材

エコスラグの物理的・力学的性質は天然材と同等である。したがって、エコスラグを裏込材、裏埋材、盛土材、覆土材、載荷盛土材として利用する場合の設計、施工にあたっては、エコスラグを天然材と同等の材料として扱うものとする。

用途としての利用可能性はあるが、適用技術に係る情報が十分集積されていないことから、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

3.18.5 関連法令

エコスラグは、原料が一般廃棄物や下水汚泥であるため「廃棄物処理法」に規定する一般廃棄物、産業廃棄物に該当することがあることから、利用にあたっては注意する必要がある。

ただし**「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について」（平成 10 年 3 月 26 日付け生衛発第 508 号厚生省生活衛生局水道環境部長通知）**で、「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用に関する指針」中の溶融固化物に関る目標基準に適合するものにつき、市町村が自ら発注した公共建設工事において利用する場合は、当該利用は廃棄物の処分にあたらないとしている。

さらに平成 18（2006）年 7 月に **JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」**及び **JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」**が制定されたことを受け、**「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について（通知）」（平成 19 年 9 月 28 日付け環廃対発第 070928001 号環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部長通知）**で、「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用に関する指針」中の溶融固化物に関する目標基準を **JIS A 5031、5032** に適合していることと見直し、市町村が自ら発注した公共建設工事において利用する場合は、当該利用は廃棄物の処分にあたらないとした。

また、**JIS A 5031、5032** の有害物質の溶出量と含有量基準に適合し、有価物として販売している場合は、廃棄物に該当しないと考えられる。

利用について疑義が生じた場合は、「廃棄物処理法」の行政指導を行っている都道府県または市町村の廃棄物担当部局、または「海洋汚染防止法」の行政指導を行っている海上保安部に確認を取る必要がある。

3.18.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

エコスラグを材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

再生アスファルト混合物の配合において、追加する新規骨材に含むエコスラグの配合量を全骨材質量の 10%以下に抑えることにより、繰り返し再生を行っても、再生混合物中の溶融スラグ配合量が 10%以下となるように配慮する方法もある。

表 3.18.37 に再生利用時のスラグ配合率での増加抑制方法を示す。

ケース 1 では、混合物全体に対してスラグ配合率一定量を加えていくと、スラグの量は蓄積されるが、ケース 2 のとおり、新規骨材のみに対してスラグ配合率一定量を加えていくと、スラグの量は蓄積されない。

表 3.18.37　再生利用時のスラグ配合率での増加抑制方法

再生回数	内訳		ケース 1	ケース 2
－	新規合材（100%）	一般材料	90	90
		スラグ	10	10
1回目	再生骨材（40%）	再生骨材中の骨材，アスファルト	36	36
		再生骨材中のスラグ	4	4
	新規骨材（60%）	新規骨材，アスファルト	50	54
		スラグ	10	6
	再生混合物	再生混合物中の一般材料	86	90
		スラグ	14	10
2回目	再生骨材（40%）	再生骨材中の骨材，アスファルト	34.4	36
		再生骨材中のスラグ	5.6	4
	新規骨材（60%）	新規骨材，アスファルト	50	54
		スラグ	10	6
	再生混合物	再生混合物中の一般材料	84.4	90
		スラグ	15.6	10
3回目	再生骨材（40%）	再生骨材中の骨材，アスファルト	33.8	36
		再生骨材中のスラグ	6.2	4
	新規骨材（60%）	新規骨材，アスファルト	50	54
		スラグ	10	6
	再生混合物	再生混合物中の一般材料	83.8	90
		スラグ	16.2	10

出典）道路用溶融スラグ品質管理及び設計施工マニュアル（改訂版）（（一社）日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会）

3.19 破砕瓦

3.19.1 製造・供給

破砕瓦は、規格外瓦を破砕、粒度調整した後、建設資材として供給されている。

（解説）

(1) 製造方法

破砕瓦は、瓦工場より発生した規格外瓦を破砕し、利用用途に応じた粒度に調整を行ったものである。瓦工場より発生した規格外瓦は、仮置き後、プラントにおいて破砕・粒度調整し、粒径ごとに保管・出荷される。

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

愛知県、島根県、福井県等で供給実績がある。

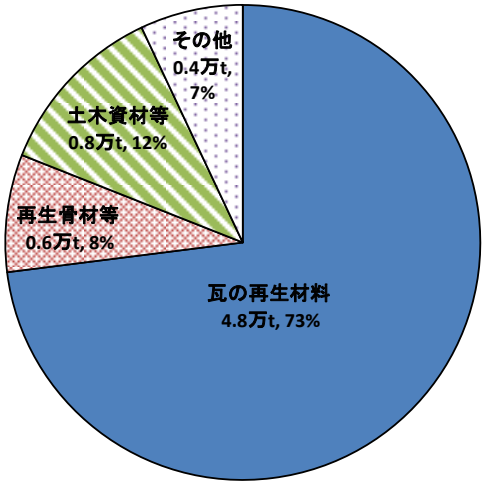
破砕瓦の産出地域（愛知県（三州瓦）、島根県（石州瓦））

2) 製造場所

図 3.19.1　製造場所（破砕瓦）

3) 生産量

平成 21 年度の愛知県陶器瓦工業組合におけるリサイクル資材（**図 3.19.2**：再生骨材 6,000t、土木資材等 8,000t）としての販売量は約 14,000t であり、破砕瓦の原料となる規格外瓦は各瓦製造メーカーによって組合に持ち込まれ工場で破砕されている。また、石州瓦工業組合(島根県)における平成 25～26 年の破砕瓦の販売量（≒発生量）は**表 3.19.1** に示すとおりであり、概ね年間 10,000t であった。



出典）シャモット製品カタログ（愛知県陶器瓦工業組合）

図 3.19.2　用途別販売量（平成 21 年度実績、愛知県陶器瓦工業組合）

表 3.19.1　石州瓦工業組合加盟生産者の破砕瓦発生量（≒販売量）

生産者名・工場名		破砕瓦発生量
A 社		H26 年／約 643t
B 社		H26 年／約 2,259t
C 社		H25 年／約 3,712t
D 社	a 工場	H26 年 8 月より
	b 工場	H25 年／2,792t
	c 工場	H26 年／2,895t
E 社		H26 年／20t
F 社		H26 年／1,218t
統計年度が揃っていないため、年間の発生量は不明。 概ね、年間約 10,000t の破砕瓦が発生。		

出典）粉砕規格外瓦を骨材として使用する構造用コンクリートの製造と供給に関する調査研究（平成 27 年 3 月、一般財団法人　建材試験センター）

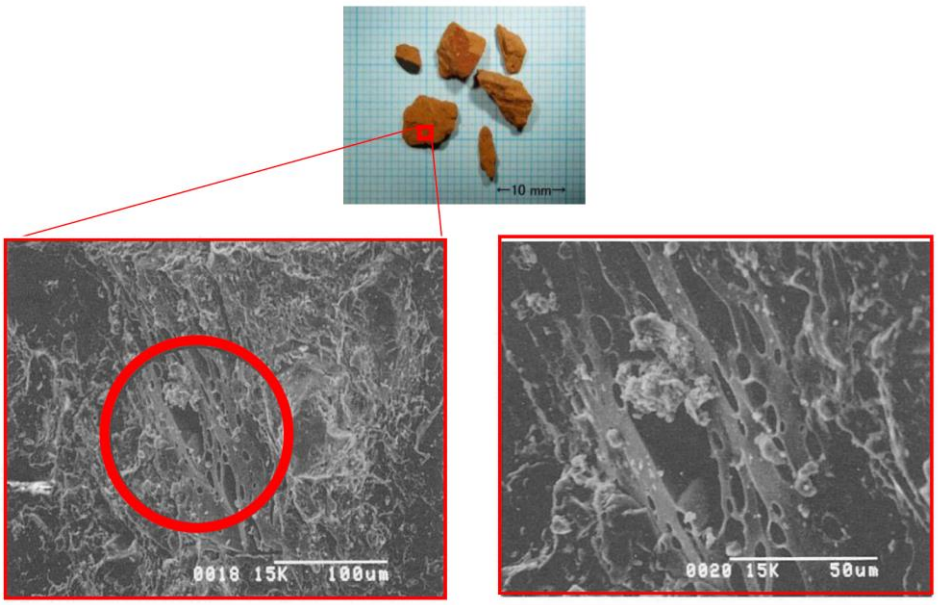
3.19.2 品質

破砕瓦は、多孔質の構造を持つ材料であり、用途に応じ粒度調整して利用される。

（解説）

(1) 物理・力学的性質 [1)2)]

破砕瓦は、不規則な空隙を有した層状の構造となっている。このような多孔質の構造により、吸水性や保水性を高める効果があるとされている。



出典）瓦の生産過程で発生する規格外瓦の有効利用に関する調査研究報告書（平成 21 年 2 月、愛知県陶器瓦工業組合）

図 3.19.3 破砕瓦の構造（電子顕微鏡による写真）

港湾工事等への利活用を踏まえた技術資料として、**「破砕瓦の利活用技術資料」（平成 29 年 3 月、国土交通省中部地方整備局）**がとりまとめられており、当資料では、粒径 0-20㎜ の材料を対象としている。

港湾工事等への利活用の観点から整理した破砕瓦の材料特性は**表 3.19.2** に示すとおりである。また、破砕瓦（粒径 0-20㎜）の材料特性（参考値）は、**表 3.19.3** に示すとおりである。

表 3.19.2　港湾工事を想定した破砕瓦の主な材料特性

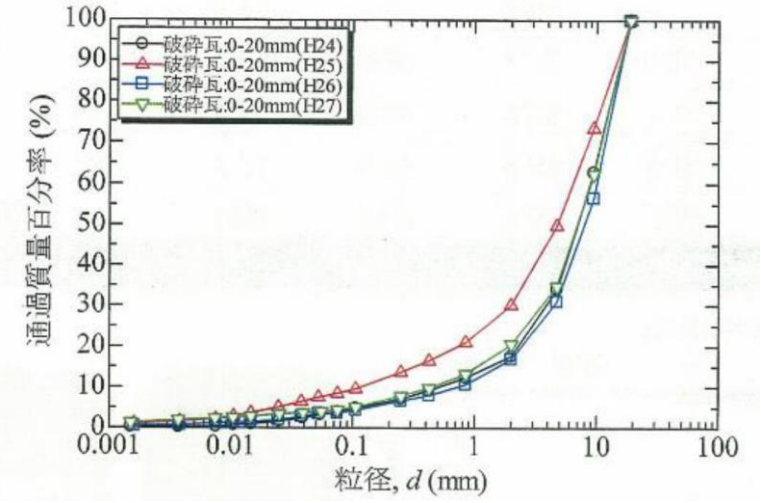
項目	内容
土圧特性	・他の一般的な材料よりも軽量で、内部摩擦角が大きいため土圧低減材料として有効。
沈下特性	・締固めが可能な気中施工の場合は沈下しないものと考えられる。 ・水中施工時の緩詰めの状態を想定した場合は、振動等の作用によって体積収縮による沈下が生じる可能性がある。
液状化特性	・気中で締め固めた場合の液状化強度比 R_{L20} は 0.58 と大きいが、水中投入時のゆるく堆積した状態を想定した場合、粒度の観点からは「液状化の可能性がある」層が堆積する。
その他	・海域の濁り 　環境への影響は無いが、水中捲き出し時には海域の濁りが発生するため、必要に応じて対応が必要。 ・材料分離性 　水中投入時には分級が発生し、材料分離する。 ・轍掘れの有無 　他の材料と比較して、車両通行による表層部分の轍掘れの影響は少ない。 ・粒子破砕の有無 　車両通行等による繰返し荷重が作用した場合でも、「粒子破砕はしない」ものと考えられる。 ・荷重作用時の応力伝達 　標準的な材料と比較すると水平土圧は比較的小さい。一方、鉛直土圧は他の材料と比較して荷重分散角が小さいために、やや大きくなる可能性がある。

出典）破砕瓦の利活用技術資料（平成 29 年 3 月、国土交通省中部地方整備局）より作成

表 3.19.3　破砕瓦（粒径 0-20mm）の材料特性（参考値）

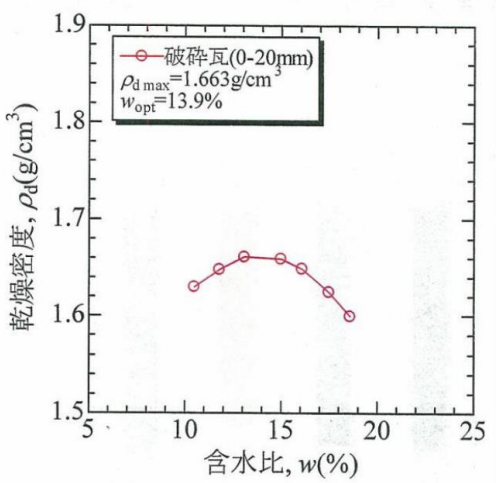
項目		内容
物理特性	粒度分布	礫質土と同様の粒度分布を示し、粒度分布の観点からは液状化の可能性は低い。 ＜H27 の粒度試験結果＞ ・最大粒径：19mm、・60%粒径(D_{60})：9.03mm、・50%粒径(D_{50})：7.22mm、 ・30%粒径(D_{30})：3.84mm、・10%粒径(D_{10})：0.45mm、・均等係数(U_C)：20.22、・曲率係数(U_C')：3.7
	土粒子密度 ρ_s(g/cm^3)	ρ_s=2.579(g/cm^3)程度
	最小・最大間隙比 e_{min}、e_{max}	e_{min}=0.611 程度、e_{max}=1.049 程度
	液性限界・塑性限界	非塑性(NP)
	すり減り減量(%)	28%程度
	スレーキング率(%)	0.1%程度(破砕瓦(10-30mm)の値) ※必要に応じて、破砕瓦(0-20mm)のスレーキング率を今後評価する必要がある。
	乾燥密度 ρ_d(g/cm^3)	室内試験：ρ_d=1.444(g/cm^3)程度、現場試験(締固め)：ρ_d=1.635(g/cm^3)程度
	湿潤密度 ρ_t(g/cm^3)	室内試験：ρ_t=1.495(g/cm^3)程度、現場試験(締固め)：ρ_t=1.700(g/cm^3)程度
力学特性	締固め特性	最大乾燥密度：ρ_{dmax}=1.663(g/cm^3)程度、最適含水比 w_{opt}=13.9%程度
	透水係数 k(m/s)	k=9.15×10^{-5}(m/s)程度
	せん断強度定数	内部摩擦角 ϕ=44.6(°)程度、粘着力 c=55(kN/m^2)程度 ※礫質土の性状であることから、設計では粘着力は考慮しないことが多い。
	設計 CBR	設計 CBR=72.98%程度 ※H24～H27 の 4 カ年データの平均値
	安息角	気中安息角＝41(°)程度、水中安息角＝35(°)程度
動的特性	液状化特性	軸ひずみ両振幅 DA=5%時における液状化強度比 R_{L20}=0.580 程度
	沈下特性	・気中部：締固めを実施できるため沈下の影響は少ない。また、繰返し車両通行による轍掘れの影響も少ない。 ・水中部：水中投入による緩詰め状態では、振動等の作用により沈下が生じる可能性がある。

出典）破砕瓦の利活用技術資料（平成 29 年 3 月、国土交通省中部地方整備局）より作成



注）愛知県陶器瓦工業組合にて実施された H24～H27 の粒度試験結果を示したものである。
出典）平成 27 年度破砕瓦の港湾工事等への適用性検討委員会（第 1 回（案））（平成 28 年、前田健一、森河由紀弘）

図 3.19.4　破砕瓦（粒径 0-20mm）の粒径分布



出典）平成 27 年度破砕瓦の港湾工事等への適用性検討委員会（第 1 回（案））（平成 28 年、前田健一、森河由紀弘）

図 3.19.5　破砕瓦（粒径 0-20mm）の締固め特性

愛知県瓦工業組合が粒度調整して出荷している 0-10㎜、10-30㎜、0-30㎜ の破砕瓦を分析した結果において、以下の物理・力学的性質が確認されている。

表 3.19.4　破砕瓦の物理・力学的性質

区分	破砕瓦 0-10㎜	破砕瓦 10-30㎜	破砕瓦 0-30㎜
物理的性質	・初期の含水比は 3.4%と小さく、土粒子密度は一般的な無機質土と同程度である。 ・粘土・シルト分が少なく、砂質礫に相当する。 ・塑性指数(PI)は非塑性(non-plastic) である。	・すり減り減量は 35 以下と道路用砕石の基準値（JIS A 5001）を満足しており、対摩耗性に優れた材料である。 ・密度が小さい特性を活かした軽量コンクリート等への利用が考えられる（ただし、コンクリート用材料として使用するためには、破砕瓦の JIS 化が必要）。	・すり減り減量は 35 以下と道路用砕石の基準値（JIS A 5001）を満足しており、対摩耗性に優れた材料である。 ・粒度は、道路用砕石(JIS A 5001)の C-30 の規格を満足している。
力学的性質	・透水性は 10^{-3}cm/s オーダーであり、圧縮しにくい材料である。 ・強度特性は、設計及び 95%修正 CBR が 100%を越え、せん断抵抗角は 39° である。 ・必要とされる性能によるが、土質材料として利用が可能であり、土粒子密度が小さい特性を活かした軽量盛土への流用などが考えられる。	・95%修正 CBR は 63.5%である。 ・舗装調査・試験法便覧では、修正 CBR の概略値は、砕石では 70%以上、砂利・切込み砂利では、20～60%と言われており、破砕瓦 10-30㎜ では同程度の結果となった。	・95%修正 CBR は 67.3%であり、一般道路や高速道路における下層路盤の材料規定（修正 CBR：30％以上）を満足することから、下層路盤材として利用が可能である。

出典）瓦の生産過程で発生する規格外瓦の有効利用に関する調査研究報告書（平成 21 年 2 月、愛知県陶器瓦工業組合）

【参考文献】

1）愛知県陶器瓦工業組合：瓦の生産過程で発生する規格外瓦の有効利用に関する調査研究報告書、平成 21 年 2 月

2）国土交通省中部地方整備局:破砕瓦の利活用技術資料、平成 29 年 3 月

(2) 化学的性質[1)2)]

1) 強熱減量

愛知県瓦工業組合が粒度調整した 0-10㎜、10-30㎜、0-30㎜ の破砕瓦を分析した結果において、いずれの試料についても 0.1%未満となっている。

2) 有害物質の溶出量・含有量

愛知県瓦工業組合が 0-10㎜ で粒度調整した破砕瓦を分析した結果において、土壌の汚染に係る環境基準（46 号溶出試験）及び農用地基準に係る調査結果は、全ての項目において環境上の条件を満足している。また、農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準の調査結果は、管理基準以下である。

愛知県瓦工業組合が細粒分を除去し 1-2㎜ で粒度調整した破砕瓦を分析した結果において、「産業廃棄物の海洋投入処分に係る判定基準」に係る調査結果は、全ての項目において判定基準を満たしている。また、「水底土砂に係る判定基準」と「産業廃棄物の海洋投入処分に係る判定基準」を比べると、後者の基準の方が厳しくなっており、破砕瓦はその厳しい基準を満足しているため、「水底土砂に係る判定基準」も満たすこととなる。以上のことから、破砕瓦は陸上及び海上で利用する際の環境安全性を十分確保することが可能な材料である。なお、利用の際には、実際に利用する材料が利用先に適用される基準を満足することを確認する必要がある。環境安全性の確保の考え方については、**「1.4.2 環境安全の考え方」**を参照のこと。

表 3.19.5　土壌の汚染に係る環境基準（46 号溶出試験）及び農用地基準の調査結果

分析項目	単位	調査結果	環境基準（環境上の条件）
カドミウム	mg/L	0.001 未満	検液 1 L につき 0.01mg 以下であること。
全シアン	mg/L	検出されず	検液中に検出されないこと。
有機燐	mg/L	検出されず	検液中に検出されないこと。
鉛	mg/L	0.005 未満	検液 1 L につき 0.01mg 以下であること。
六価クロム	mg/L	0.01 未満	検液 1 L につき 0.05mg 以下であること。
砒素	mg/L	0.005 未満	検液 1 L につき 0.01mg 以下であること。
総水銀	mg/L	0.0005 未満	検液 1 L につき 0.0005mg 以下であること。
アルキル水銀	mg/L	検出されず	検液中に検出されないこと。
ポリ塩化ビフェニル	mg/L	検出されず	検液中に検出されないこと。
ジクロロメタン	mg/L	0.002 未満	検液 1 L につき 0.02mg 以下であること。
四塩化炭素	mg/L	0.0002 未満	検液 1 L につき 0.002mg 以下であること。
1,2－ジクロロエタン	mg/L	0.0004 未満	検液 1 L につき 0.004mg 以下であること。
1,1－ジクロロエチレン	mg/L	0.002 未満	検液 1 L につき 0.02mg 以下であること。
シス－1,2－ジクロロエチレン	mg/L	0.004 未満	検液 1 L につき 0.04mg 以下であること。
1,1,1－トリクロロエタン	mg/L	0.001 未満	検液 1 L につき 1 mg 以下であること。
1,1,2－トリクロロエタン	mg/L	0.0006 未満	検液 1 L につき 0.006mg 以下であること。
トリクロロエチレン	mg/L	0.002 未満	検液 1 L につき 0.03mg 以下であること。
テトラクロロエチレン	mg/L	0.0005 未満	検液 1 L につき 0.01mg 以下であること。
1,3－ジクロロプロペン	mg/L	0.0002 未満	検液 1 L につき 0.002mg 以下であること。
チウラム	mg/L	0.0006 未満	検液 1 L につき 0.006mg 以下であること。
シマジン	mg/L	0.0003 未満	検液 1 L につき 0.003mg 以下であること。
チオベンカルブ	mg/L	0.002 未満	検液 1 L につき 0.02mg 以下であること。
ベンゼン	mg/L	0.001 未満	検液 1 L につき 0.01mg 以下であること。
セレン	mg/L	0.002 未満	検液 1 L につき 0.01mg 以下であること。
ふっ素	mg/L	0.11	検液 1 L につき 0.8mg 以下であること。
ほう素	mg/L	0.02 未満	検液 1 L につき 1 mg 以下であること。
砒素	mg/kg	0.4 未満	土壌 1kg につき 15mg 未満であること。
銅	mg/kg	1.8	土壌 1kg につき 125mg 未満であること。

注）「検出されず」とは、定められた方法により分析した場合において、その結果が当該方法の定量下限値（全シアン：0.1mg/L、有機燐：0.1mg/L、アルキル水銀：0.0005mg/L、PCB:0.0005mg/L）を下回ることをいう。

出典）瓦の生産過程で発生する規格外瓦の有効利用に関する調査研究報告書（平成 21 年 2 月、愛知県陶器瓦工業組合）

表 3.19.6　重金属等の蓄積防止に係る管理基準の調査結果

分析項目	単位	調査結果	管理基準
亜鉛	mg/kg	49	120

出典）瓦の生産過程で発生する規格外瓦の有効利用に関する調査研究報告書（平成 21 年 2 月、愛知県陶器瓦工業組合）

表 3.19.7　「土壌汚染対策法」に基づく含有量基準の調査結果

（平成 15 年 3 月 6 日環境省告示第 19 号）

分析項目	単位	調査結果	指定基準
カドミウム及びその化合物	mg/kg	5 未満	150mg/kg 以下
シアン化合物	mg/kg	1 未満	50 mg/kg 以下(遊離シアンとして)
鉛及びその化合物	mg/kg	5 未満	150mg/kg 以下
六価クロム化合物	mg/kg	2 未満	250mg/kg 以下
砒素及びその化合物	mg/kg	0.5 未満	150mg/kg 以下
水銀及びその化合物	mg/kg	0.05 未満	15mg/kg 以下
セレン及びその化合物	mg/kg	0.5 未満	150mg/kg 以下
ふっ素及びその化合物	mg/kg	10 未満	4000mg/kg 以下
ほう素及びその化合物	mg/kg	5 未満	4000mg/kg 以下

出典）瓦の生産過程で発生する規格外瓦の有効利用に関する調査研究報告書（平成 21 年 2 月、愛知県陶器瓦工業組合）

表 3.19.8　産業廃棄物の海洋投入処分に係る判定基準の調査結果

分析項目	単位	調査結果	判定基準
アルキル水銀化合物	mg/L	検出されず	検出されないこと
水銀又はその化合物	mg/L	0.0005 未満	0.0005 以下
カドミウム又はその化合物	mg/L	0.005 未満	0.01 以下
鉛又はその化合物	mg/L	0.01 未満	0.01 以下
有機燐化合物	mg/L	検出されず	検出されないこと
六価クロム化合物	mg/L	0.04 未満	0.05 以下
砒素又はその化合物	mg/L	0.005 未満	0.01 以下
シアン化合物	mg/L	検出されず	検出されないこと
PCB	mg/L	検出されず	検出されないこと
トリクロロエチレン	mg/L	0.002 未満	0.03 以下
テトラクロロエチレン	mg/L	0.001 未満	0.01 以下
ジクロロメタン	mg/L	0.002 未満	0.02 以下
四塩化炭素	mg/L	0.001 未満	0.002 以下
1，2－ジクロロエタン	mg/L	0.001 未満	0.004 以下
1，1－ジクロロエチレン	mg/L	0.002 未満	0.02 以下
シス－1，2－ジクロロエチレン	mg/L	0.004 未満	0.04 以下
1，1，1－トリクロロエタン	mg/L	0.001 未満	1 以下
1，1，2－トリクロロエタン	mg/L	0.001 未満	0.006 以下
1，3－ジクロロプロペン	mg/L	0.001 未満	0.002 以下
チウラム	mg/L	0.006 未満	0.006 以下
シマジン	mg/L	0.003 未満	0.003 以下
チオベンカルブ	mg/L	0.02 未満	0.02 以下
ベンゼン	mg/L	0.001 未満	0.01 以下
セレン又はその化合物	mg/L	0.005 未満	0.01 以下
有機塩素化合物	mg/L	0.8 未満	1 以下
銅又はその化合物	mg/L	0.01 未満	0.14 以下
亜鉛又はその化合物	mg/L	0.01	0.8 以下
フッ化物	mg/L	0.2	3 以下
ベリリウム又はその化合物	mg/L	0.02 未満	0.25 以下
クロム又はその化合物	mg/L	0.02 未満	0.2 以下
ニッケル又はその化合物	mg/L	0.03 未満	0.12 以下
バナジウム又はその化合物	mg/L	0.10	0.15 以下
フェノール類	mg/L	0.025 未満	0.2 以下
ほう素及びその化合物	mg/L	0.02 未満	基準なし

注）「検出されず」とは、定められた方法により分析した場合において、その結果が当該方法の定量下限値（アルキル水銀化合物：0.0005mg/L、有機燐化合物：0.1mg/L、シアン化合物：0.1mg/L、PCB:0.0005mg/L）を下回ることをいう。

出典）瓦の生産過程で発生する規格外瓦の有効利用に関する調査研究報告書（平成 21 年 2 月、愛知県陶器瓦工業組合）

【参考文献】

1）愛知県陶器瓦工業組合：瓦の生産過程で発生する規格外瓦の有効利用に関する調査研究報告書、平成 21 年 2 月

2）国土交通省中部地方整備局:破砕瓦の利活用技術資料、平成 29 年 3 月

3.19.3 加工・改良技術

破砕瓦は、通常、製造工場において利用用途に応じた粒度に調整、出荷される。施工時の加工・改良としては、水中投入時の濁り発生対策として、水洗いによる細粒分の除去及び粒度調整による細粒分の除去、水中投入時の分級の発生対策として、粒度調整による細粒分の除去等が挙げられる。

現場において粒度調整等の処理を行う場合は、試験施工等により、要求品質及び性能を満足できることを十分確認することとする。

3.19.4 適用用途

(1) 概要

破砕瓦をリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、破砕瓦を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.19.9** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.19.9　破砕瓦の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	○	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・2)瓦廃材を細骨材の一部と置換したコンクリートを対象に実験を行った結果、所定のフレッシュ性状の確保は混和剤の調整で可能であり、置換率が大きくなると弾性係数が若干低下する傾向を有するが、同一水セメント比における圧縮強度は天然骨材を使用した場合と同等もしくは事若干強度が増すことが明らかとなったとされている。【査読有り】	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・道路改築・改良工事（国交省、管理者） ・区画整理事業（管理者） ・学校給食センター造成工事（管理者）	2)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾟｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	○$^{+}$	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)港湾工事等への利活用を踏まえ、材料特性、環境影響、適用用途、施工方法、施工時の留意点、標準材料との比較、活用事例等について記載。 ・5)愛知県リサイクル資材評価制度「あいくる」にて認定されており、粒径、内部摩擦角について規格が定められている。 ・6)室内模型試験より構造物の裏込材として用いた場合の水平土圧低減効果について、検討が行われている	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・港湾工事（実証実験）（国交省）	1) 5) 6)
⑪	裏埋材	○$^{+}$ （陸上施工）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)港湾工事等への利活用を踏まえ、材料特性、環境影響、適用用途、施工方法、施工時の留意点、標準材料との比較、活用事例等について記載。 ・5)愛知県リサイクル資材評価制度「あいくる」にて認定されており、粒径、内部摩擦角について規格が定められている。 ・6)室内模型試験より構造物の裏込め部背後の裏埋め材として用いた場合の支持力について、検討が行われている	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・港湾環境整備（護岸）工事（管理者） ・港湾工事（実証実験）（国交省）	1) 5) 6)
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	○$^{+}$	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)港湾工事等への利活用を踏まえ、材料特性、環境影響、適用用途、施工方法、施工時の留意点、標準材料との比較、活用事例等について記載。 ・3)粒度調整した破砕瓦(0～10mm)の力学特性試験の結果より、必要とされる性能によるが、土質材料として利用が可能であり、密度が小さい特性を活かした軽量盛土への流用などが考えられるとされている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・港湾工事（実証実験）（国交省）	1) 3)
⑬	埋立材	○$^{+}$	B	●利用マニュアル等が整備されている。 【主な内容】 ・1)港湾工事等への利活用を踏まえ、材料特性、環境影響、適用用途、施工方法、施工時の留意点、標準材料との比較、活用事例等について記載。 ・5)愛知県リサイクル資材評価制度「あいくる」にて認定されており、粒径、内部摩擦角について規格が定められている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・港湾工事（実証実験）（国交省）	1) 5)
⑭	路床盛土材	○	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・4)5)愛知県リサイクル資材評価制度「あいくる」にて認定されており、粒径、設計ＣＢＲについて規格が定められている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・道路改良工事（管理者） ・導管設置工事（その他機関）	4) 5)
⑮	路盤材	○	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・3)粒度調整した破砕瓦(0～30mm)の力学特性試験の結果、95%修正CBRが一般道路や高速道路における下層路盤の材料規定を満足することから、下層路盤材として利用が可能とされている。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・道路舗装工事（国交省、管理者） ・岸壁本体工事（国交省） ・道路改良工事（管理者） ・駐車場等工事（管理者）	3)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	△ （As舗装骨材）	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・路面舗装工事（管理者） ・緑地整備工事（その他機関）	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等や技術資料等で、用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事において利用実績があり、かつ利用面で汎用性が高いと考えられる。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・干潟・浅場造成工事（管理者）	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)破砕瓦の利活用技術資料（平成29年3月、国土交通省中部地方整備局）
2)瓦廃材を細骨材として用いたコンクリートの物性（平成17年、コンクリート工学年次論文集）
3)瓦廃材を細骨材として用いたコンクリートの物性（平成18年、コンクリート工学年次論文集）
4)瓦廃材を細骨材として用いたコンクリートの物性（平成19年、コンクリート工学年次論文集）
5)愛知県リサイクル資材評価制度 あいくる材認定資材一覧（愛知県、令和4年12月28日時点）
6)森河由紀弘、佐藤智範、前田健一,篠田裕重：摩擦性や軽量性が高い破砕瓦の裏込め材や裏埋め材などとしての適用性に関する検討,土木学会論文集,Vol.79,No.5,2023

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) コンクリート用細骨材

破砕瓦をコンクリート用細骨材として用いる場合の物性についての研究論文として、上原らによる**「瓦廃材を細骨材として用いたコンクリートの物性」**[1]**（平成 17 年、コンクリート工学年次論文集）**等がある。この研究では、コンクリート細骨材の一部を三州瓦廃材と置換したコンクリートを対象に実験を行い、その物性の把握が試みられている。実験の結果、所定のフレッシュ性状の確保は混和材の調整で可能であり、置換率が大きくなると弾性係数が若干低下する傾向を有するが、同一セメント比における圧縮強度は天然骨材を使用した場合と同等もしくは若干強度が増すことが明らかとなったとされている。

利用実績としては、道路改築・改良工事、区画整理事業、学校給食センター造成工事等がある。

これらの品質に係る研究成果や利用実績を基に、製作したコンクリートの利用用途への利用可能性について検討するとともに、利用する場合には要求性能を満たすことを確認する必要がある。

利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、関連論文や利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【参考文献】

1) 上原匠、梅原秀哲、友竹博一、篠田泰宏：瓦廃材を細骨材として用いたコンクリートの物性、コンクリート工学年次論文集、Vol.27、No.1、2005

(3) 裏込材

破砕瓦の利用については、平成 29 年 3 月に国土交通省中部地方整備局から**「破砕瓦の利活用技術資料」**[1]が発行されており、同技術資料を参考にすることができる。

同技術資料において、裏込材として利用する場合の特性として、以下が挙げられている。

- 土圧低減材料として有効である
- 既往検討で「内部摩擦角＞安息角」となり、標準材料に準ずると考えられる
- 気中部では締固め施工が可能であり、沈下は生じないと考えられる
- L1 地震については、液状化は生じないと考えられる

一方、留意事項として、以下が挙げられている。

- 土粒子の密度が小さく細粒分の沈降が遅いため、濁りが発生する
- 水中投入部については、沈下が生じる
- 必要に応じて水中部の分級時における液状化強度の変化について確認しておく必要がある

その他、破砕瓦を構造物の裏込材として用いた場合の水平土圧低減効果について、室内模型試験より検討が行われている[2]。

利用に際しては、利用実績等を参照し、必要に応じて室内実験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【参考文献】

1) 国土交通省中部地方整備局:破砕瓦の利活用技術資料、平成 29 年 3 月
2) 森河由紀弘、佐藤智範、前田健一、篠田裕重：摩擦性や軽量性が高い破砕瓦の裏込め材や裏埋め材などとしての適用性に関する検討、土木学会論文集、Vol.79、No.5、2023

(4) 裏埋材、埋立材

破砕瓦の利用については、平成 29 年 3 月に国土交通省中部地方整備局から**「破砕瓦の利活用技術資料」**[1)]が発行されているため、同技術資料を参考にすることができる。

同技術資料において、裏埋材として利用する場合の特性として、以下が挙げられている。

・土圧低減材料として有効である。
・既往検討で「内部摩擦角＞安息角」となり、標準材料に準ずると考えられる。
・気中部では締固め施工が可能であり、沈下は生じないと考えられる。
・L1 地震については、液状化は生じないと考えられる。

一方、留意事項として、以下が挙げられている。

・水中投入部については、沈下が生じる。
・必要に応じて水中部の分級時における液状化強度の変化について確認しておく必要がある。

その他、破砕瓦を構造物の裏込部背後の裏埋材として用いた場合の支持力について、室内模型試験より検討が行われている。[2)]

利用に際しては、利用実績等を参照し、必要に応じて室内実験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

利用実績としては、港湾環境整備（護岸）工事への利用実績がある。

【参考文献】

1) 国土交通省中部地方整備局:破砕瓦の利活用技術資料、平成 29 年 3 月
2) 森河由紀弘、佐藤智範、前田健一、篠田裕重：摩擦性や軽量性が高い破砕瓦の裏込め材や裏埋め材などとしての適用性に関する検討、土木学会論文集、Vol.79、No.5、2023

港湾・空港等の整備で使用する裏込材、裏埋材、埋立材として、愛知県リサイクル資材評価制度「あいくる材」(令和 4 年 8 月)に認定されており、粒径及び内部摩擦角について規格が定められている。

表 3.19.10　愛知県リサイクル資材評価制度（あいくる）認定状況（令和 4 年 12 月末現在）

資材名	三州瓦シャモット
評価基準の区分	破砕瓦材
再生資源	規格外瓦及び陶器類
寸法・規格	粒径：0～20㎜　内部摩擦角 35° 以上
用途	港湾・空港等の整備で使用する裏込材、裏埋材、埋立材
工場の住所及び名称	高浜市田戸町一丁目 1 番地 1 愛知県陶器瓦工業組合　シャモット工場

(5) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

破砕瓦の利用については、平成 29 年 3 月に国土交通省中部地方整備局から**「破砕瓦の利活用技術資料」**[1)]が発行されており、同技術資料を参考にすることができる。

同技術資料において、盛土材、覆土材、載荷盛土材として利用する場合の特性として、以下が挙げられている。

・土圧低減材料として有効である
・既往検討で「内部摩擦角＞安息角」となり、標準材料に準ずると考えられる
・気中部では締固め施工が可能であり、沈下は生じないと考えられる
・締固め管理が容易である

利用に際しては、利用実績等を参照し、必要に応じて室内実験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【参考文献】

1) 国土交通省中部地方整備局:破砕瓦の利活用技術資料、平成 29 年 3 月

(6) 路床盛土材

愛知県では、工事でリサイクル資材を採用するための評価制度「あいくる材」の再生路床材として、平成 19 年 8 月に認定されており、粒径及び設計 CBR について規格が定められている。また、道路改良工事への利用実績がある。

これらの品質に係る試験結果等を基に、路床盛土材としての利用可能性について検討し、個々の工事において定まる要求性能を満たすことを十分確認した上で利用する必要がある。

利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

表 3.19.11　愛知県リサイクル資材評価制度（あいくる）認定状況（令和 4 年 12 月末現在）

資材名	三州瓦シャモット
評価基準の区分	再生路床材
再生資源	規格外瓦
寸法・規格	粒径：0～20㎜　設計 CBR20%以上
用途	道路の路床材に使用（但し盛土型の路床を除く。）
工場の住所及び名称	高浜市田戸町一丁目 1 番地 1 愛知県陶器瓦工業組合　シャモット工場

(7) 路盤材

0～30㎜ に粒度調整した破砕瓦について、愛知県陶器瓦工業組合の力学的性質試験結果によると「95%修正 CBR は 67.3%であり、一般道路や高速道路における下層路盤の材料規定（修正 CBR：30%以上）を満足することから、下層路盤材として利用が可能である。」とされている。

利用実績としては、道路舗装工事、道路改良工事、駐車場工事等がある。

これらの品質に係る試験結果等を基に、路盤材としての利用可能性について検討し、個々の工事において定まる要求性能を満たすことを十分確認した上で利用する必要がある。

利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

(8) 今後の検討を要する用途

1) アスファルト舗装骨材

路面舗装工事への利用実績があり、アスファルト舗装骨材、路面の着色剤としての利用は可能と考えられる。

利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

2) 藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等

浅場・干潟造成工事への利用実績があり、浅場・干潟造成材としての利用は可能と考えられる。

類似用途における検討事例を踏まえると、利用の際の留意事項として以下が挙げられる。

・土粒子の密度が小さく細粒分の沈降が遅いため、濁りが発生する。

・水中投入部については、沈下が生じる。

利用に当たってのマニュアル類は整備されていないことから、利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

3.19.5 関連法令

破砕瓦は産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2 環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.19.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

破砕瓦を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.20 再生石膏粉

3.20.1 製造・供給

再生石膏粉とは、新築工事や解体工事現場等で排出された廃石膏ボードを石膏粉とボード用原紙に破砕・分離するなどの中間処理を経て製造された石膏粉のことである。

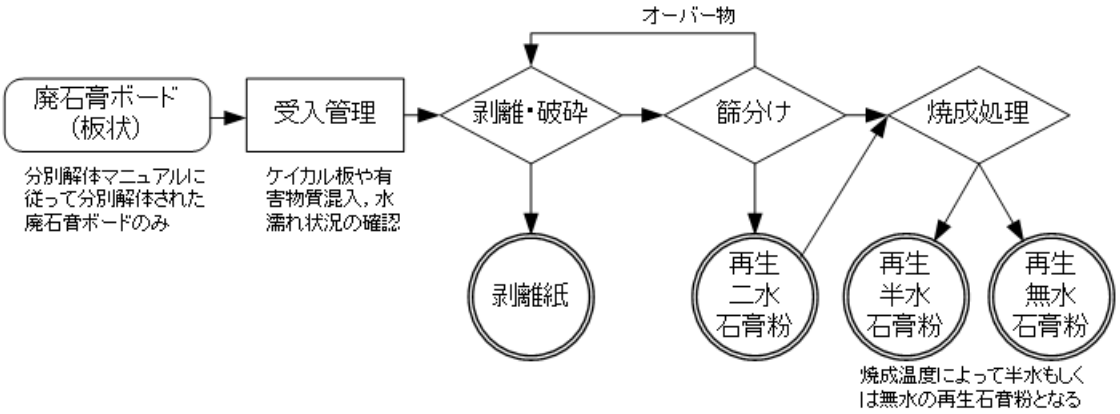
（解説）

(1) 製造方法

「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）では、再生石膏粉は廃石膏ボードから中間処理を経て製造された石膏粉と定義されている。

再生石膏粉には再生二水石膏粉（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）、再生半水石膏粉（$CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$）、再生無水石膏粉（$CaSO_4$）の 3 種類がある。

廃石膏ボードから金属片や木片などの異物を除去し、ボード用原紙を分離して破砕した石膏粉は、ふるい分け後既定の粒度に調整され再生二水石膏粉となる。また、焼成処理をして再生半水石膏粉や再生無水石膏粉に再資源化し、固化材等に利用されている。



出典）「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）

図 3.20.1　再生石膏粉の基本的な製造方法

再生石膏粉を利用したリサイクル材料として、「Zeus シリーズ」が製造されている。

Zeus シリーズは、廃石膏ボードを原材料とし乾燥処理により製造した再生半水石膏粉を使用した石膏系固化材である。

・Zeus100：再生半水石膏粉を 100%使用した改質剤
・Zeus50 ：再生半水石膏粉（50%）＋高炉セメント（50%）を配合した半水石膏セメント複合系固化材
・Zeus40 ：再生半水石膏粉（40%）＋高炉セメント（60%）を配合した半水石膏セメント複合系固化材

出典）Zeus シリーズ（株式会社ニッソク神戸工場 HP、https://kobe-sekkou.com/zeus-series/）

図 3.20.2　Zeus シリーズ（左図：Zeus100、右図：Zeus50）

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

① 再生石膏粉

・再生二水石膏粉（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）：全国どこでも入手可能
・再生半水石膏粉（$CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$）：供給地域は限られているが全国で流通
・再生無水石膏粉（$CaSO_4$）：供給地域は限られているが全国で流通

② 石膏系固化材（製品名：Zeus シリーズ）

・供給地域：全国供給可能
・供給方法：陸上輸送のみ

2) 製造所の立地場所

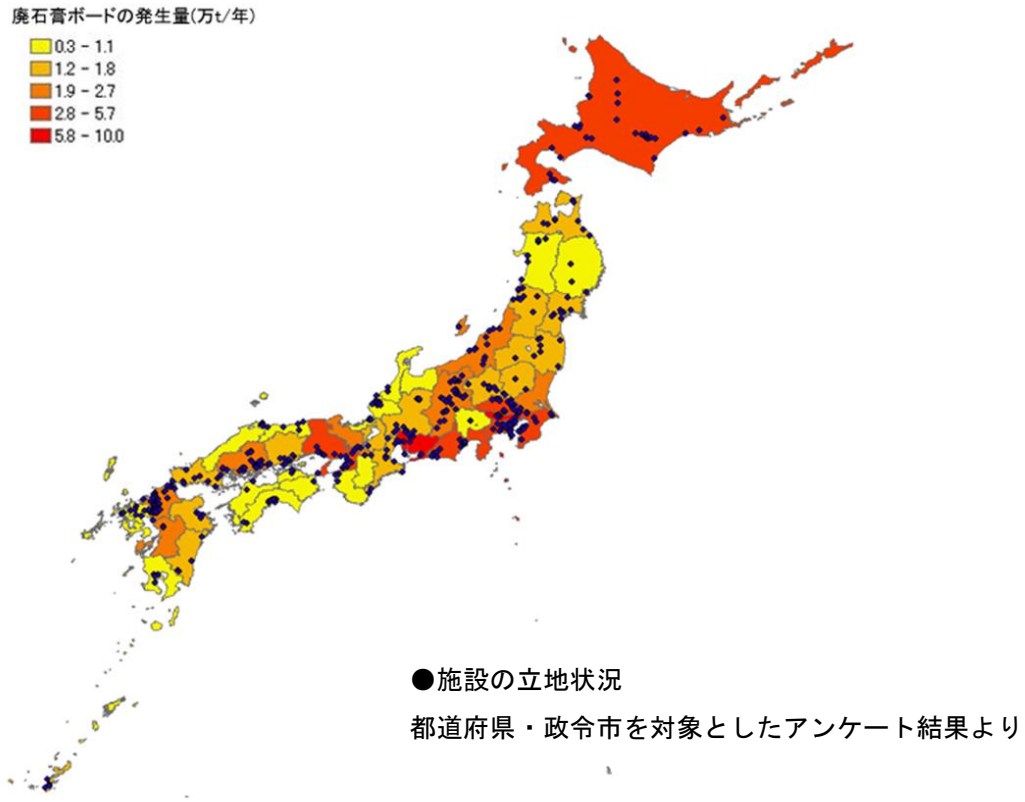
① 廃石膏ボード処理施設

廃石膏ボードをリサイクルしている事業所及び廃石膏ボードの処理を行う施設の立地状況は以下のとおりである。

表 3.20.1 廃石膏ボードをリサイクルしている事業所数（平成 28 年）

北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄
9	34	65	29	47	18	24	11	27	2

出典）（一社）泥土リサイクル協会提供資料より作成



出典）環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部産業廃棄物課（2011）平成 22 年度廃石膏ボードの再資源化促進に係る実態調査報告書（平成 23 年 3 月）

図 3.20.3 廃石膏ボードの処理を行う施設の立地状況

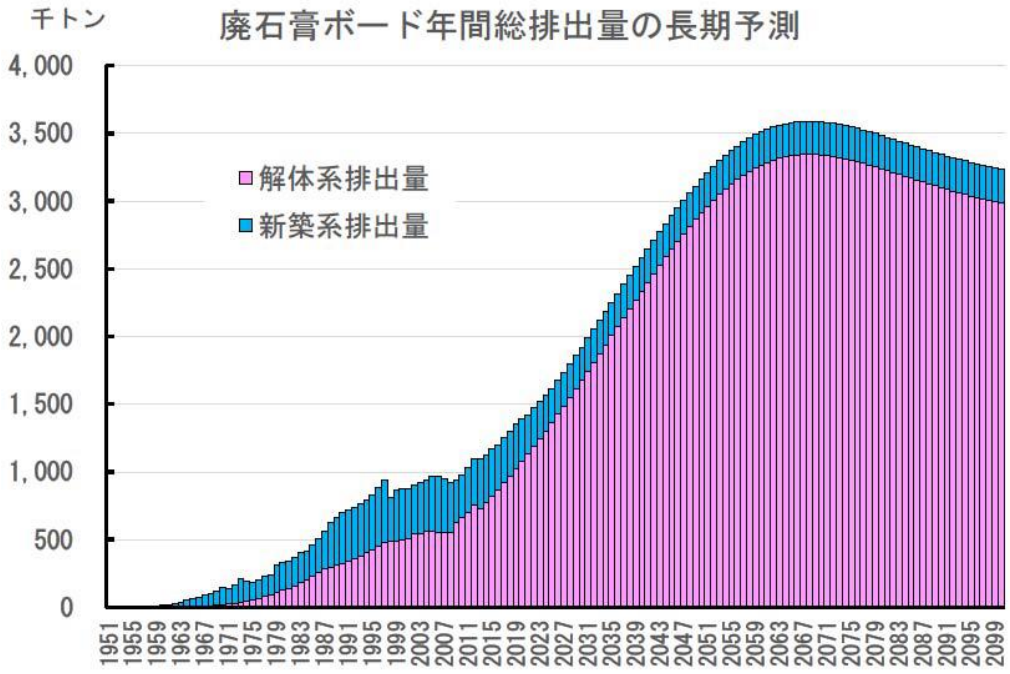
② 石膏系固化材（製品名：Zeus シリーズ）

・兵庫県神戸市

3) 生産量・利用量

① 廃石膏ボード

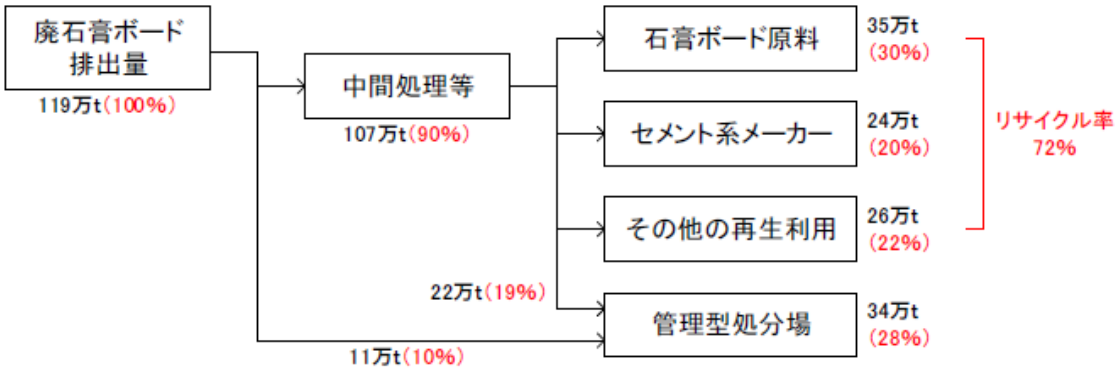
石膏ボードは年間 400 万トン以上が生産使用されており、解体時に発生する廃石膏ボードの排出量は今後、増加することが予想される。



出典）「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）

図 3.20.4　廃石膏ボード年間総排出量の長期予測

平成 28 年度の廃石膏ボードの排出量は 119 万トンであり、リサイクル率は 72%であった。



出典）「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）

図 3.20.5　廃石膏ボード全量のマテリアルフロー（平成 28 年度）

3.20.2 品質

再生石膏粉の品質については、「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）において、品質管理項目が記載されており、物性については粒度試験結果等を参考にできる。

また、「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）において、再生石膏粉を固化材・改質剤として使用した改質土の環境安全性についての検査方法等が示されている。

（解説）

固化材等の製品の材料として製造される「再生石膏粉（二水、半水、無水）」については、出荷先への品質保証に関するものとして**「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）**において、品質管理項目が記載されている。

表 3.20.2　品質管理項目

区分	品質管理項目	検査の目的
自主検査	夾雑物の混入状況	・解体系の廃石膏ボードには，針・鋲などの金属，剥離紙，木片，モルタル，ロックウール等の夾雑物が混入する可能性がある．
	水分量（自由水量）	・再生石膏粉の基本的な特性の把握と保管状況の管理のために検査する．
	水分量（化合水量）	・再生石膏粉の基本的な特性を把握するために検査する．なお，化合水量を測定することで製品の原材料として掲げる石膏種（二水，半水，無水）の概略的な含有量を把握することも可能である．
	最大粒径	・再生石膏粉の基本的な特性として，製造工程（中間処理）で行われる「破砕」及び「篩分け」設備の性能管理のために検査する．
	水素イオン指数（pH）	・再生石膏粉の基本的な特性を把握するために検査する． ・通常時から pH 値の変化により、夾雑物の混入等の品質の変化を把握することができる．
定期検査	夾雑物の定量	・解体系の廃石膏ボードには，針・鋲などの金属，剥離紙，木片，モルタル，ロックウール等の夾雑物が混入する可能性がある． ・定期管理では，室内実験により，繊維分（主に紙分）と不溶解残渣の含有量を検査する．
	石膏の種類	・焼却処理によって製造される「再生半水石膏」及び「再生無水石膏」については，石膏の形態を把握して石膏の種類（半水，無水）を保証する必要がある．
	水素イオン指数（pH）	・再生石膏粉の基本的な特性を把握するために検査する． ・通常時から pH 値の変化により、夾雑物の混入等の品質の変化を把握することができる．
	重金属等（全含有量）	・再生石膏粉の有害物質に対する品質を把握するために重金属等 8 項目※1)の全含有量※2)を検査する．

※1)重金属等 8 項目：カドミウム，鉛，六価クロム，砒素，総水銀，セレン，ふっ素，ほう素

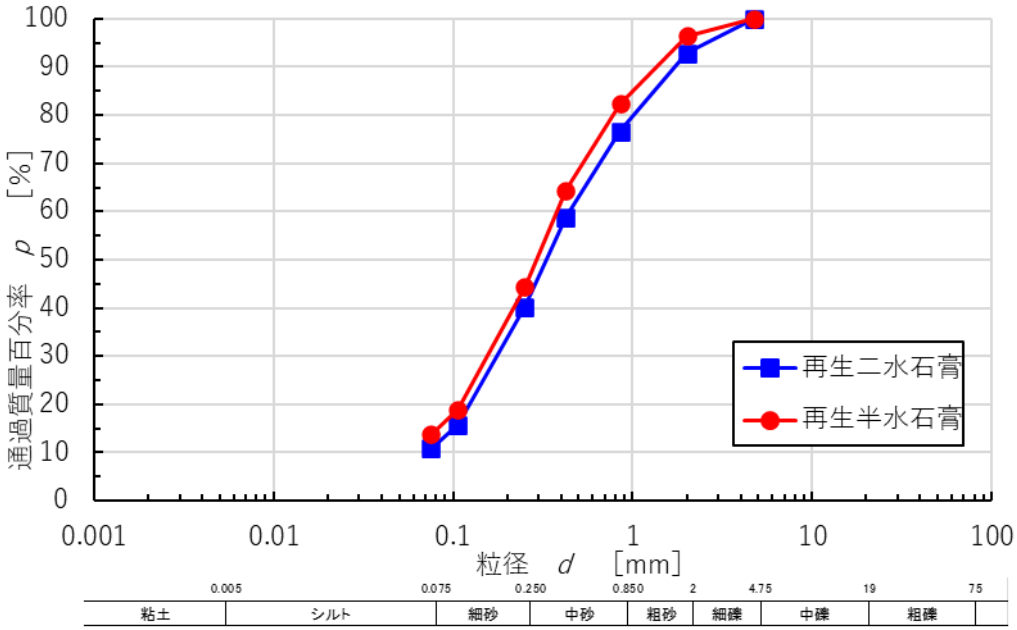
※2)ここでいう含有量は，土壌汚染対策法の土壌含有量ではなく，全含有量（底質調査方法）である

出典）「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）

(1) 物理・力学的性質

1) 粒度分布

再生二水石膏及び再生半水石膏の粒度分布の一例を**図 3.20.6** に示す。



※JIS A 1204 に基づく、4.75 ㎜通過試料の粒度試験結果（ふるい分けのみ）

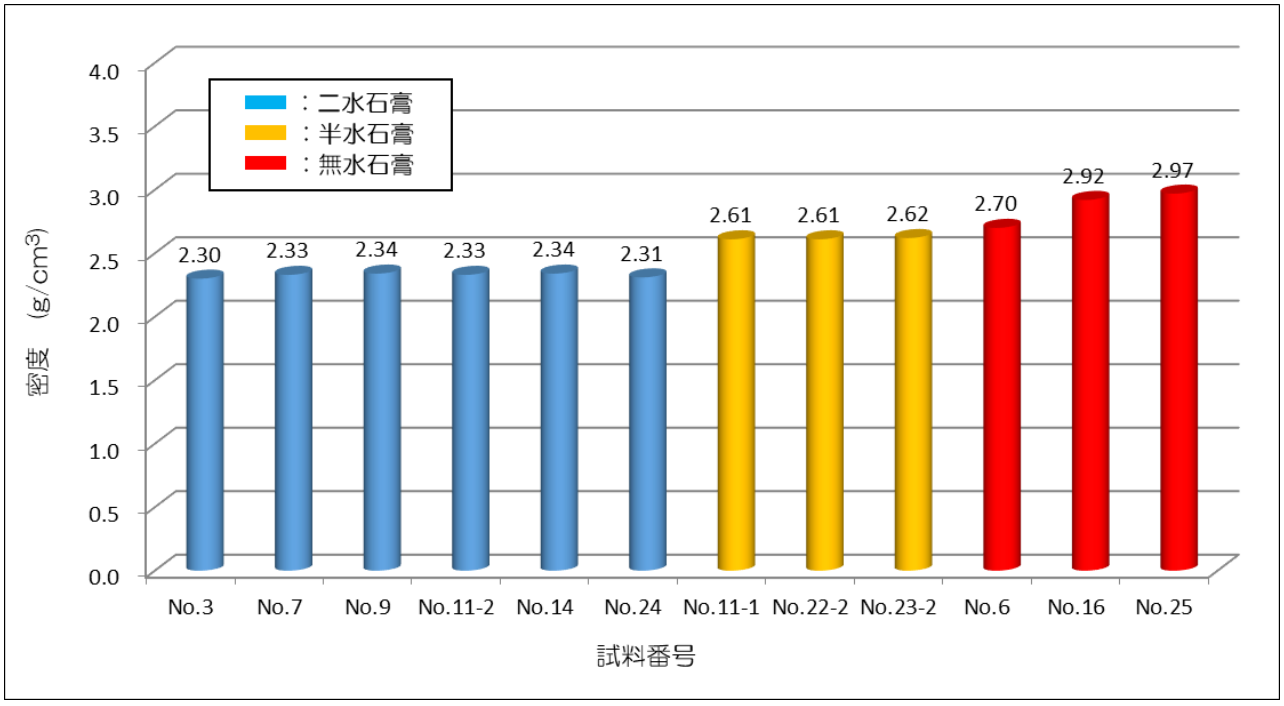
出典）（一社）泥土リサイクル協会提供資料より作成

図 3.20.6　再生二水石膏及び再生半水石膏の粒度分布の一例

2) 密度

再生二水石膏、再生半水石膏及び無水石膏の密度の一例を**図 3.20.7** に示す。

二水石膏		半水石膏		無水石膏	
範　囲	平均値	範　囲	平均値	範　囲	平均値
2.30～2.34g/cm^3	2.33g/cm^3	2.61～2.62g/cm^3	2.61g/cm^3	2.70～2.97g/cm^3	2.86g/cm^3



出典）（一社）泥土リサイクル協会提供資料より作成

図 3.20.7　再生二水石膏、再生半水石膏及び無水石膏の密度の一例

(2) 化学的性質

1) 化学成分

① 石膏系固化材（製品名：Zeus シリーズ）

石膏系固化材（製品名：Zeus シリーズ）の成分表を**表 3.20.3** に示す。

表 3.20.3　Zeus シリーズの成分表

製品	成分	CaO	SO_3	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	その他※
Zeus100	割合（%）	43.3	50.9	1.2	—	—	—	4.6
Zeus50		50.9	43.3	12.2	4.6	1.9	1.1	3.7
Zeus40		57.7	20.3	13.3	5.0	2.0	1.2	0.5

※その他は 1%以下の成分である

出典）Zeus シリーズ（株式会社ニッソク神戸工場 HP、https://kobe-sekkou.com/zeus-series/）

2) 環境安全性

再生石膏粉を用いた固化材・改質剤を建設発生土の利用や建設汚泥の再生利用に用いる場合は、固化又は改質後の土を対象として、**表 3.20.5** 及び**表 3.20.6** に示す環境安全性（重金属等、硫化水素ガスの発生）に関する測定結果が、利用用途の要求事項に適合していることの確認が必要とされている。

表 3.20.4　環境安全品質検査方法（重金属等）の概要

利用形態		工種・用途	試験対象試料	試験方法	測定項目	養生期間
固化材	主材	地盤改良	混合土	H3 環告 46 号	水銀、鉛、カドミウム、六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素	混合後 7～28 日程度
		盛土材、覆土材、埋立材	混合土			
		路床、路盤材	混合土			
	助剤	地盤改良	混合土			
		盛土材、覆土材、埋立材	混合土			
		路床、路盤材	混合土			
		ソイルセメント	混合土			
		流動化処理土	混合土			
		セメント固化体	混合土	JIS K 0058-1	水銀、鉛、カドミウム、六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素	
改質剤（主材・助剤共通）		廃棄物混じり土等の土と廃棄物の分別・分級	分別土[注)]	H3 環告 46 号	水銀、鉛、カドミウム、六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素	混合直後
		処分場以外への運搬時の前処理	改質土			
		処分場への運搬時の前処理	改質土	S48 環告 13 号	水銀、鉛、カドミウム、六価クロム、ヒ素、セレン	

注）廃棄物等を除去した後の分別土をいう

出典）「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）

表 3.20.5　環境安全品質基準（重金属等）

項目	一般用途溶出量基準[注1)] (mg/L)	港湾用途溶出量基準[注2)] (mg/L)	管理型処分場受入基準[注3)] (mg/L)
水銀（化合物を含む）	0.0005 以下	0.0015 以下	0.005 以下
鉛（化合物を含む）	0.01 以下	0.03 以下	0.3 以下
カドミウム（化合物を含む）	0.01 以下	0.03 以下	0.09 以下
六価クロム（化合物を含む）	0.05 以下	0.15 以下	1.5 以下
砒素（化合物を含む）	0.01 以下	0.03 以下	0.3 以下
セレン（化合物を含む）	0.01 以下	0.03 以下	0.3 以下
ふっ素（化合物を含む）	0.8 以下	15 以下	-
ほう素（化合物を含む）	1 以下	20 以下	-
試験方法	H3 環告 46 号	JIS K 0058-1	S48 環告 13 号
参考とした基準等	土壌環境基準	建設分野の規格への環境側面の導入に関する指針 附属書Ⅰ	金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準

注 1）再利用が想定されない港湾施設の構造物を構成するセメント固化体、ならびに処分場運搬時の前処理としての改質は対象としない
注 2）再利用が想定されない港湾施設の構造物を構成するセメント固化体のみを対象とする
注 3）管理型処分場受け入れ時の前処理としての改質の場合のみを対象とする
出典）「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）

※カドミウム：土壌の汚染に係る環境基準（溶出量基準）が 0.003mg/L 以下に見直され、令和 3 年 4 月に施行されため、留意が必要である。
六価クロム：令和 3 年 10 月より地下水の水質汚濁に係る環境基準が 0.02mg/L 以下に見直され、令和 4 年 4 月に施行されたため、留意が必要である。

表 3.20.6　硫化水素ガス発生ポテンシャル試験実施の判断

		試験実施の判断
懸濁液 pH が 9.5 以上		不要
懸濁液 pH が 9.5 未満	改質土を植生基盤として 50cm 以浅に用いる場合	不要
	上記以外の場合	必要

出典）「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）

① 石膏系固化材（製品名：Zeus シリーズ）

石膏系固化材（製品名：Zeus シリーズ）に関する情報として、環境安全品質について重金属等の含有量試験を実施し、計測結果は基準値を下回ることが確認されている。重金属等の含有量試験結果を**表 3.20.7** に示す。

なお、本製品の品質管理は「再生石膏粉の有効利用ガイドライン(第一版)」に準拠している。

表 3.20.7　Zeus シリーズの重金属等の含有量試験結果

分析項目		単位	計測結果	計測下限値	参考(基準値)	分析方法
水素イオン指数(pH)		－	7.6	－	－	－
含有量試験	総水銀	mg/kg	0.12	0.02	15 以下	底質調査方法Ⅱ-5.14.1.1 硝酸-過マンガン酸カリウム還流分解法
	カドミウム	mg/kg	3	1	150 以下	底質調査方法Ⅱ-5.1.3 ICP 質量分析法
	鉛	mg/kg	13	0.5	150 以下	底質調査方法Ⅱ-5.2.3 ICP 質量分析法
	ヒ素	mg/kg	12	1	150 以下	底質調査方法Ⅱ-5.9.3 ICP 質量分析法
	六価クロム	mg/kg	1 未満	1	250 以下	底質調査方法Ⅱ-5.12.3 ジフェニルカルバジド吸光光度法
	シアン化合物	mg/kg	2 未満	－	50 以下	底質調査方法Ⅱ-4.11.1 4-ピリジンカルボン酸-ピラゾロン吸光光度法
	ふっ素化合物	mg/kg	800	20	4,000 以下	底質調査方法Ⅱ-4.12.1.1 ランタン-アリザリンコンプレキソン吸光光度法
	ほう素	mg/kg	27	1	4,000 以下	底質調査方法Ⅱ-5.13.2 ICP 質量分析法
	セレン	mg/kg	2	1	150 以下	底質調査方法Ⅱ-5.10.2 ICP 質量分析法

※参考(基準値)は、土壌汚染対策法の含有量基準値。「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」では未設定。固化または改質後の土に対しては H3 環告 46 号、管理型処分場運搬時の前処理としての改質の場合は S48 環告 13 号を摘要。

出典）Zeus シリーズ（株式会社ニッソク神戸工場 HP、https://kobe-sekkou.com/zeus-series/）

3.20.3 加工・改良技術

再生石膏粉を用いた改良技術については、「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）を参照できる。

（解説）

「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）では、再生石膏粉を用いた固化材・改質剤の地盤利用において、従来のセメント等の固化材を用いる地盤固化改良・土質安定処理と基本的に同様な施工方法が適用でき、その施工管理・出来形管理等も従来技術と同様であるとされている。

従って、施工の基本的な考え方は施工対象に応じて施設別に定められた指針・基準類に基づくこと、施工管理の詳細は各種工法マニュアル等を参照することとしている。

なお、再生石膏粉を建設発生土や浚渫土砂等の泥土に添加することで、以下のとおりハンドリング性の向上が期待できる。

・泥土に再生石膏粉を添加することで solid 分が増加するため含水比が低下し、ハンドリング性が向上する

・泥土に再生半水石膏粉を添加すると、半水石膏粉 1,000g に対して 186g の土中水を化合水として取り込むため、含水比が低下してハンドリング性が向上する

再生石膏粉を単味（又は、主材）として建設汚泥の改良等に用いた場合、地下水位や潮汐の変化により改良部が地下水面以深となるような状況、又は、長期的に降雨に暴露される環境下では、再泥化する可能性があり、留意する必要がある。

再生石膏粉の固化材・改質剤としての利用用途を**表 3.20.8** に示す。

表 3.20.8　再生石膏粉の利用用途の詳細

利用形態		工種・用途	使用時姿	想定 pH	石膏の機能	利点	欠点
固化材	主材	地盤改良	粉体	中性域（5.8≦pH≦8.6）	・無水石膏や半水石膏の水和物である二水石膏の結晶が生成することで所定の力学性能を発現する	・pH が中性域（原土が中性域である場合） ・重金属等の溶出挙動に与える影響が小さい（事前試験により要確認）	・セメントや石灰等に比べて力学性能向上は小さい ・粉じん発生の可能性がある ・結晶生成により膨張の可能性がある ・石膏の溶解により長期的な力学性能低下の可能性がある
		盛土材、覆土材、埋立材					
		路床、路盤材					
	助剤	地盤改良	粉体／スラリー	アルカリ性	・エトリンガイト等のセメント結晶鉱物の生成促進により力学性能が向上する	・力学性能向上や速硬性がある ・ロームや粘土の改質効果が高い ・重金属等の溶出挙動に与える影響が小さい（事前試験により要確認）	・粉体利用時は粉じん発生の可能性がある ・結晶生成により膨張の可能性がある
		盛土材、覆土材、埋立材					
		路床、路盤材					
		ソイルセメント					
		流動化処理土					
		セメント固化体					
改質剤	主材	廃棄物等の分別・分級	粉体	中性域	・無水石膏や半水石膏の水和反応による吸水作用	・pH が中性域（原土が中性域である場合）	・粉じん発生の可能性がある ・固化により分別、分級が困難になる可能性がある ・固化により機械への付着性が増加する可能性がある
		運搬時の前処理（ハンドリング性向上）					
	助剤	廃棄物等の分別・分級	粉体	アルカリ性	・無水石膏や半水石膏の水和反応による吸水作用と、エトリンガイト等セメント結晶鉱物生成による力学性能の向上と自由水の減少	・pH を大きく変動させず、物理的吸水作用（含水比低下）により主材性能を補助する作用がある	・固化により分別、分級が困難になる可能性がある ・固化により機械への付着性が増加する可能性がある
		運搬時の前処理（ハンドリング性向上）					

出典）「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）

出典）「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）

図 3.20.8　再生石膏粉を原料として用いた固化材・改質剤の利用事例

参考として再生石膏粉を利用したリサイクル材料に関する情報を次に示す。

(1) 石膏系固化材（製品名：Zeus シリーズ）

① Zeus100（再生半水石膏粉 100%）

特徴

・周囲の水分を急速に吸収することで高含水の土砂等の処理時間を短縮できる

・高含水土砂等の搬出能力の向上が期待できる

・再生製品を利用することで環境負荷低減を図ることができる

② Zeus50、Zeus40（再生半水石膏粉：高炉セメント＝50：50、40：60）

特徴

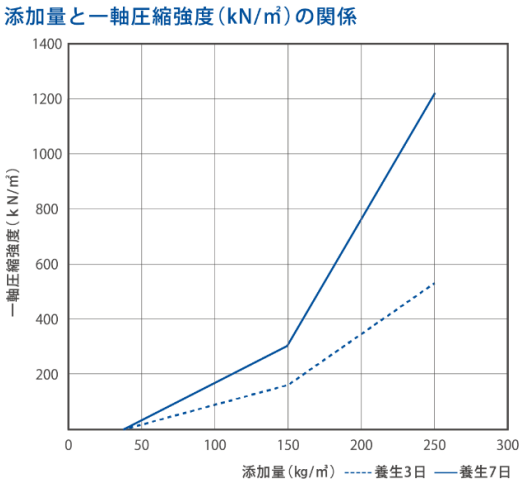
・再生半水石膏粉の特徴である反応の速さにより短時間での運搬が可能(コーン指数 qc=200kN/㎡以上)

・高炉セメント仕様における六価クロム溶出量の低減(六価クロム対応型と同等)

・軟弱土や浚渫土(底泥、有機質含有土)に対応し高強度の硬化反応が可能

ため池底泥の配合試験結果（一軸圧縮強度）例を**図 3.20.9** に示す。土質は**表 3.20.9** に示すように細粒分（75μm 未満）が 85%以上の粘性土、強熱減量（有機質）8.3%であった（固化材は Zeus50）。

また、Zeus50、Zeus40 のフッ素化合物及び六価クロム化合物溶出試験結果を**表 3.20.10** に示す。



出典）Zeus シリーズ（株式会社ニッソク神戸工場 HP、https://kobe-sekkou.com/zeus-series/）

図 3.20.9　固化材の添加量と圧縮強度の関係

表 3.20.9　対象土砂の物性値例

名称	仕様	数値	摘要
土の粒度分布	礫分(%)	0.4	2～75mm
	砂分(%)	12.8	0.075～2mm
	細粒分(%)	86.8	0.075mm未満
湿潤密度	g/cm³	1.466	
自然含水比	%	95.1	
強熱減量	%	8.3	

出典）Zeus シリーズ（株式会社ニッソク神戸工場 HP、https://kobe-sekkou.com/zeus-series/）

表 3.20.10　Zeus50、Zeus40 のフッ素化合物及び六価クロム化合物溶出試験結果

試料名	項目	溶出量(mg/l)	基準値(mg/l)	判定
Zeus 50 Zeus 40 (添加量250kg/m³)	フッ素及びその化合物	0.22	0.8以下	○
	六価クロム化合物	0.02未満	0.05以下	○

出典）Zeus シリーズ（株式会社ニッソク神戸工場 HP、https://kobe-sekkou.com/zeus-series/）

3.20.4 適用用途

(1) 概要

再生石膏粉をリサイクル材として利用する場合は、「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）において要求される品質管理項目・基準類に従い、利用するものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、再生石膏粉を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.20.11** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○⁺」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.20.11　再生石膏粉の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	△	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・1)2)利用用途として、深層混合処理固化材が挙げられ、適用範囲、品質管理項目、検査方法、配合試験、施工等について記載されている	－	●利用実績なし	1) 2)
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	○+ (改良土)	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・2)ガイドラインで固化材を用いた改良土の利用用途として挙げられている	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・漁港施設機能強化工事（管理者） ・開発計画工事（その他）	2)
⑬	埋立材	○+ (改良土)	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・2)ガイドラインで固化材を用いた改良土の利用用途として挙げられている	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・港浚渫工事（管理者）	2)
⑭	路床盛土材	○+ (改良土)	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・2)ガイドラインで固化材を用いた改良土の利用用途として挙げられている	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・道路改良工事（管理者）	2)
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	△ (Asフィラー材)	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・2)利用用途として、Asフィラー材が挙げられ、適用範囲、品質管理項目、検査方法、配合試験、施工等について記載されている	－	●利用実績なし	2)
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)リサイクル材料を多量に使用した地盤改良材の強度特性に基づくセメント系固化材混入比率による増進率に関する実験的研究
（土木学会年次学術講演会講演概要集第69巻(2014年)）

2)再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年5月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」において、再生石膏粉を固化材として用いた改良土の適用用途として盛土材が示されている。

盛土材として用いる現地発生土が低品質な場合、再生石膏粉を固化材として混合する安定処理により、施工性を改善するとともに盛土の強度増加を図ることができる。

(3) 埋立材

「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」において、再生石膏粉を固化材として用いた改良土の適用用途として埋立材が示されている。

(4) 路床盛土材

「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」において、再生石膏粉を固化材として用いた改良土の適用用途として路床盛土材が示されている。

道路土工では、基礎地盤や路床・路盤の改良、高含水比粘性土地盤のトラフィカビリティー確保のための改良に利用できる。

(5) 今後の検討を要する用途

1) 深層混合処理固化材、As フィラー材

深層混合処理固化材、As フィラー材としての適用については、**「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」**を参考とすることができる。

深層混合処理工法においては、固化材を地中に供給し、原位置の軟弱土と攪拌混合することによって、改良体を造成することができる。

As フィラー材については、石粉の代替品として再生石膏粉をアスファルト混合物に添加することで、アスファルト混合物の見掛け粘度を高め、骨材として混合物の隙間を充填することができる。

3.20.5 関係法令

関連する法令及び指針については、「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」（国立研究開発法人国立環境研究所、令和元年 5 月）を参考とする。

（解説）

廃石膏ボードは産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、「1.4.2 環境安全の考え方」を参照のこと。

なお、**「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」**では、ガイドライン策定並びに適用に際して関連する法令が示されている。

再生石膏粉を用いたリサイクル材料を利用する場合は、上記ガイドラインに記載されている法令・基準・条例等を参照して、必要な事項について確認する必要がある。

3.20.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

再生石膏粉を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

なお、再生石膏粉単味での利用は想定されないため、土壌や泥土等と混合する主材または助剤として利用される。そのため、改修・撤去等により生じた当該材料をリサイクルまたは廃棄する場合には、母材の性状に準拠した対応が必要となる。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.21 ガラス再生資材

3.21.1 製造・供給

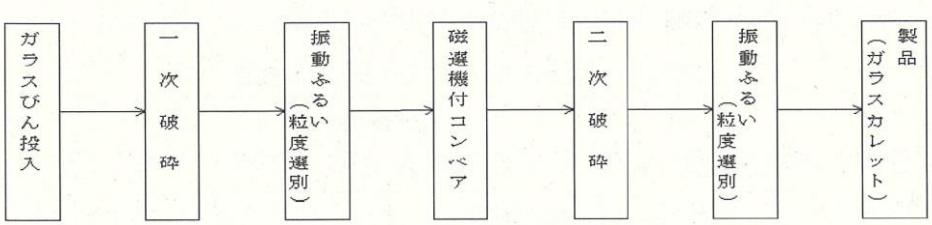
ガラス再生資材は、ガラス瓶等を分別して細かく砕き粒度選別したものであり、骨材として利用されている。また、砂状に破砕・造粒したガラス再生砂として、リサイクル製品が製造されている。

（解説）

(1) 製造方法

「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 18 年 4 月）では、ガラスカレットはガラス瓶等を分別して細かく砕き粒度選別したものと定義されている。

但し、ガラスカレットは、廃ガラス（ガラスびん・ガラスくず等）を単純に破砕しただけのものを示す場合があるため、ここでは、破砕・粒度選別、加工処理等を行ったリサイクル材料「ガラス再生資材」と呼ぶこととする。



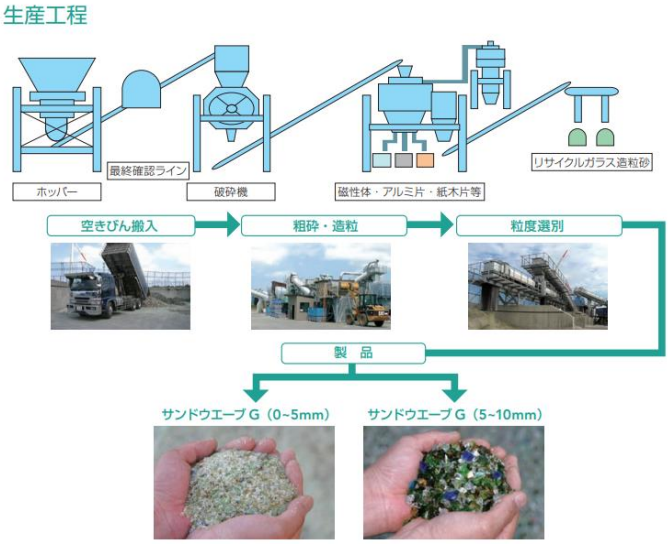
出典）「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 18 年 4 月）

図 3.21.1　ガラス再生資材の製造フロー

ここで、ガラス再生資材のうち、砂状に破砕・造粒したものを「ガラス再生砂」と定義する。

ガラス再生砂を用いた自然砂の代替材料（土木資材）として、「サンドウエーブ G」、「クリスタルストーン・サンド」といったリサイクル製品が製造されている。

ガラス再生砂の製造方法の一例を**図 3.21.2** に示す。



出典）リサイクルガラス造粒砂協会パンフレット

図 3.21.2　ガラス再生砂（製品名：サンドウエーブ G）の製造フロー

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

① ガラス再生砂（製品名：サンドウエーブ G）

陸上輸送：製造工場近郊（片道約 50km 以内）

海上輸送：一部の製造会社で実績あり

2) 製造所の立地場所

① ガラス再生砂（製品名：サンドウエーブ G）

千葉県銚子市、山口県下関市、愛知県知多郡東浦町、秋田県湯沢市

② ガラス再生砂（製品名：クリスタルストーン・サンド）

岩手県奥州市、茨城県常総市、北海道旭川市、大阪府南河内郡（千早赤阪村、河南町）

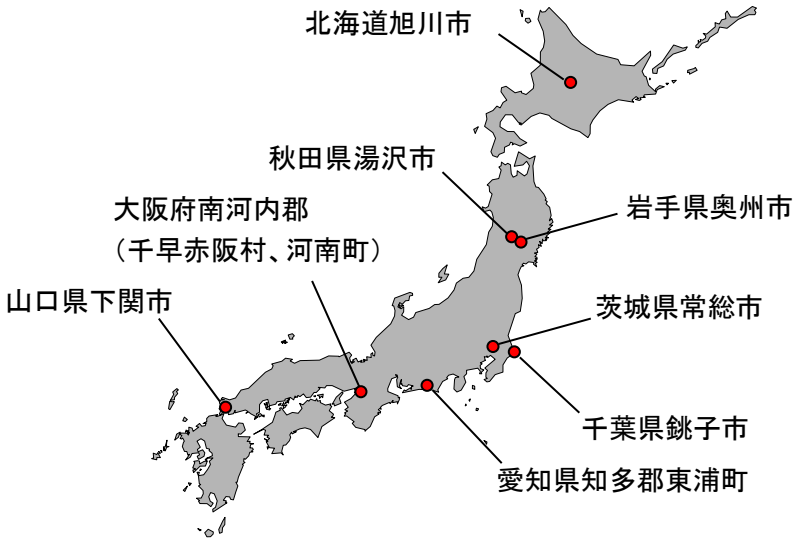


図 3.21.3　ガラス再生砂の製造所の立地状況

3) 生産量・利用量

① ガラス再生砂（製品名：サンドウエーブ G）

・ガラス搬入量：約 98,300t/年（一般廃棄物：83,000t、産業廃棄物：15,300t）

※令和 3 年度実績：製造会社 4 社の合計

・供給可能量　：約 52,000m^3/年（令和 3 年度実績：製造会社 1 社の一例）

約 400～500m^3/日（製造会社１社当たり）

② ガラス再生砂（製品名：クリスタルストーン・サンド）

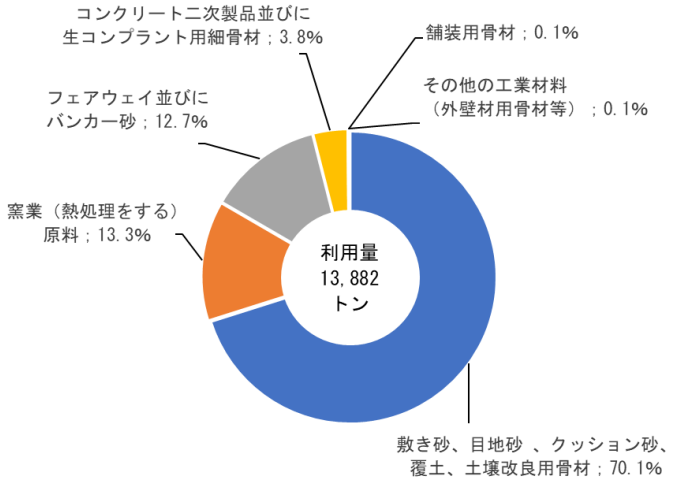
・ガラス搬入量：12,747t/年（一般廃棄物：8,460t、産業廃棄物：4,287t）

※令和 3 年度実績：製造会社 1 社の一例

・利用量　　：13,882t/年

※令和 3 年度実績：製造会社 1 社の一例

・用途別利用量



出典）藤野興業株式会社提供資料より作成

図 3.21.4　クリスタルストーン・サンドの用途別利用量

（製造会社 1 社の一例、令和 3 年度実績）

3.21.2 品質

ガラス再生資材の品質については、「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 18 年 4 月）、「廃棄物のコンクリート材料への再資源化研究委員会報告書」（(社)日本コンクリート工学協会、2003 年 6 月）より確認できる。

また、ガラス再生砂のリサイクル製品における品質については、技術資料、試験結果から確認できる。

（解説）

(1) 物理・力学的性質

ガラス再生資材の代表的な物性値を**表 3.21.1** に示す。

表 3.21.1　ガラス再生資材の代表的な物性値

項目	特性値
密度	2.45～2.55（g/cm^3）程度
吸水率	0～0.3%程度
粒度	砕石 5 号，6 号，7 号の粒径が多い
すりへり量	40～50%程度
安定性	0.2%程度

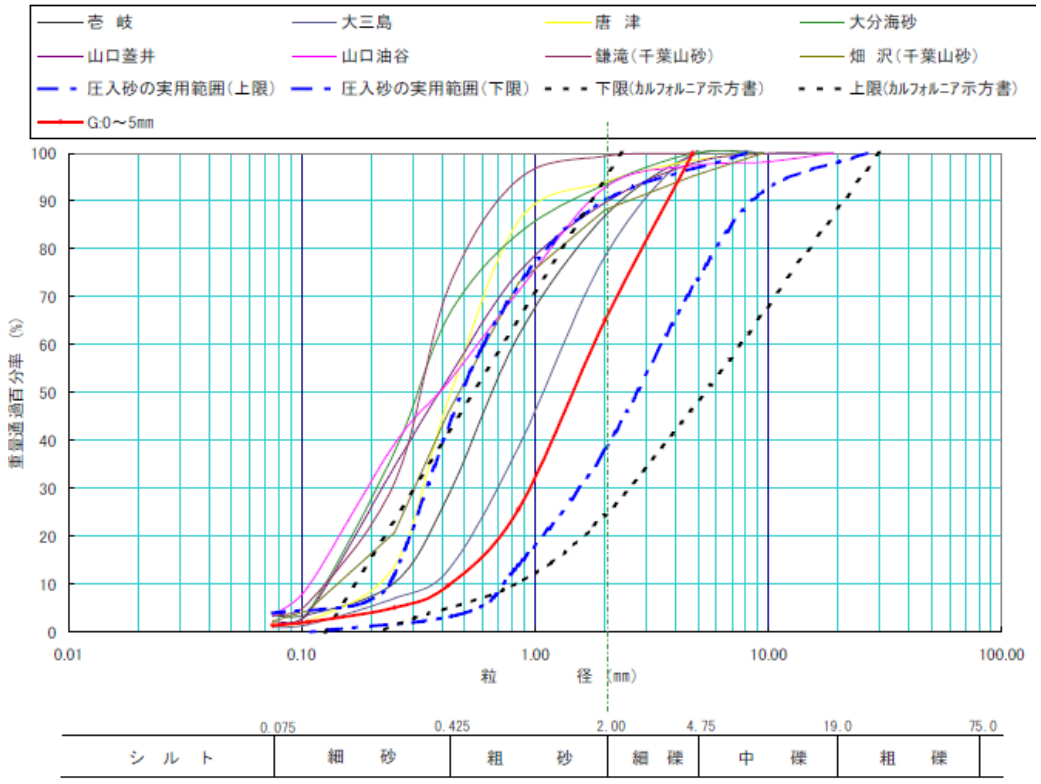
出典）「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 18 年 4 月）

1） ガラス再生砂（製品名：サンドウエーブ G）

サンドウエーブ G は、透水性が良く、**「港湾の施設の技術上の基準・同解説」**に示されている砂層の「透水係数の概略値」と同等の透水係数を有しており、サンドコンパクションパイル材やバーチカルドレーン材として適用できる。

① 粒度分布

「サンドウエーブ G」（0～5mm）は、「砂柱の使用限界（カルフォルニア州示方書）」及び「圧入砂の実用範囲」の両方に適合した粒度分布を持つ。



出典）「リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブ G 技術資料 2022 年 4 月版（ガラスリソーシング株式会社）

図 3.21.5 「サンドウエーブ G」（0～5mm）の粒度分布

② 力学特性

「サンドウエーブ G」（0～5mm）の三軸圧縮試験の結果を**表 3.21.2** に示す。

表 3.21.2 「サンドウエーブ G」（0～5mm）の三軸圧縮試験結果

試験方法・項目	結果
三軸圧縮試験実施乾燥密度	1.499g/cm^3
三軸圧縮試験実施間げき比	0.674
せん断抵抗角 φcd	38.6 度
粘着力　Ccd	0kN/m^2
備考　最大乾燥密度(締固め試験)	1.660g/cm^3(A-c 法)
三軸圧縮試験実施密度締固め度	90%

出典）「リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブ G 技術資料 2022 年 4 月版（ガラスリソーシング株式会社）

③ 透水性

サンドウエーブ G の透水試験結果を**表 3.21.3** に示す。

表 3.21.3　透水試験結果

試験対象土	A	B
透水係数 k(cm/s)	1.300×10^{-2}	9.000×10^{-3}
供試体乾燥密度	1.500g/cm^3	1.376g/cm^3
供試体間げき比	0.673	―
供試体密度設定方法	密度設定試験 －定値 締固め度 ＝90%	締固め方法 自然含水比 モールド内径：15cm ランマー：2.5kg 突固め層数：1 層 1 層当たり突固め回数：10 回

※試料 A：サンドウエーブ G[粒径（0～5mm）]、試料 B：サンドウエーブ G[粒径（0～2mm）]

参考）千葉県で産出される砂の透水係数は馬登:3.858×10^{-3} 市宿:1.120×10^{-2}以下

出典）「リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブ G 技術資料 2022 年 4 月版（ガラスリソーシング株式会社）

④ 山砂との比較

密度、最大乾燥密度、修正 CBR については、山砂と同等の性質を持つ。

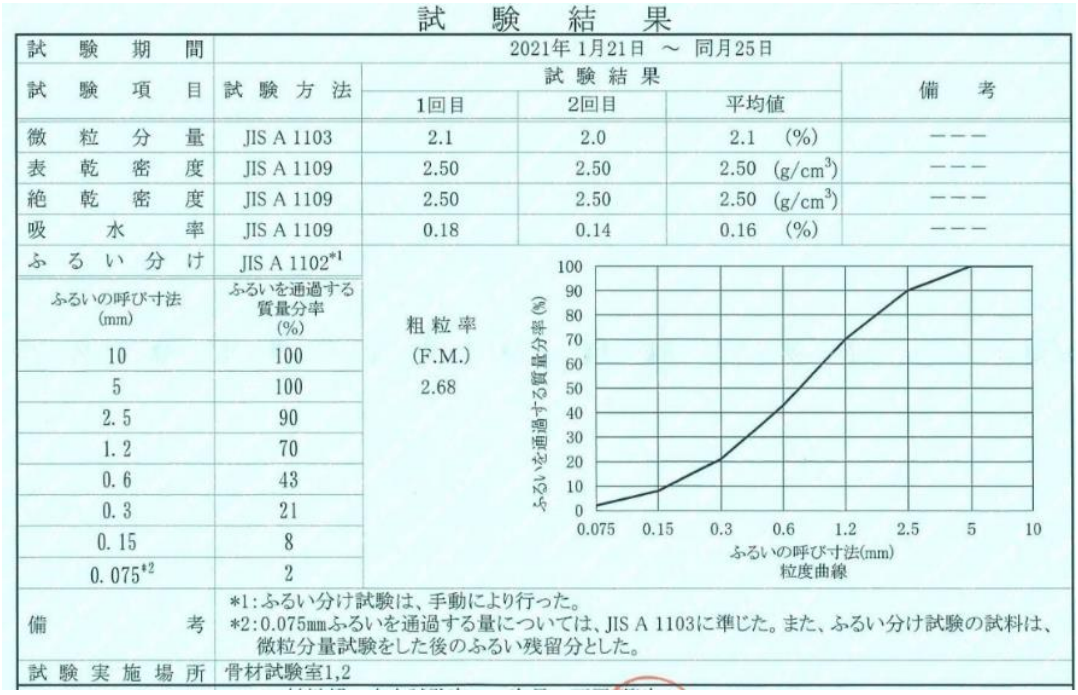
表 3.21.4　サンドウエーブ G と山砂の比較

特性	サンドウェーブ G	山砂
密度　(g/cm^3)	2.501	2.679
含水比　(%)	1.9	14.7
粒度　(2mm パス比率%)	60	98
最大乾燥密度　(g/cm^3)	1.660	1.739
最適含水比　(%)	2.6	16.8
透水係数　(cm/s)	1.3×10^{-2}	10^{-2}～10^{-3}
吸水膨張比　(%)	0.0013	0.038
修正 CBR　($\rho_{dmax}\times0.95$)	17.7	16.3

出典）「リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブ G 技術資料 2022 年 4 月版（ガラスリソーシング株式会社）

2) ガラス再生砂（製品名：クリスタルストーン・サンド）

クリスタルストーン・サンドの骨材の品質試験結果（微粒分量、密度、吸水率、ふるい分け）を**図 3.21.6** に示す。



試　験　結　果

試験期間	2021年 1月21日 ～ 同月25日				
試験項目	試験方法	試験結果 1回目	試験結果 2回目	試験結果 平均値	備考
微粒分量	JIS A 1103	2.1	2.0	2.1 (%)	― ― ―
表乾密度	JIS A 1109	2.50	2.50	2.50 (g/cm^3)	― ― ―
絶乾密度	JIS A 1109	2.50	2.50	2.50 (g/cm^3)	― ― ―
吸水率	JIS A 1109	0.18	0.14	0.16 (%)	― ― ―
ふるい分け	JIS A 1102*1				

ふるいの呼び寸法 (mm)	ふるいを通過する質量分率 (%)
10	100
5	100
2.5	90
1.2	70
0.6	43
0.3	21
0.15	8
0.075*2	2

粗粒率 (F.M.) 2.68

備考	*1:ふるい分け試験は、手動により行った。 *2:0.075mmふるいを通過する量については、JIS A 1103に準じた。また、ふるい分け試験の試料は、微粒分量試験をした後のふるい残留分とした。
試験実施場所	骨材試験室1,2

出典）「クリスタルストーン・サンドの骨材の試験結果報告書」（藤野興業株式会社）

図 3.21.6　クリスタルストーン・サンドの骨材の品質試験結果
（微粒分量、密度、吸水率、ふるい分け）（製造会社 1 社の一例）

(2) 化学的性質

1) 化学組成

ガラス再生資材の原料となる廃ガラスはケイ素（シリコン）を多く含むため、ガラス再生資材を骨材等に用いる場合にはアルカリシリカ反応の発生に注意する必要がある。

廃ガラスの一般的な化学組成を**表 3.21.5** に示す。

表 3.21.5　廃ガラスの化学組成

	化学成分（%）										
廃ガラス	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO
	70～75	2～3	0～1	10～13	0～1	0～1	12～16	1～2	0～0.1	0～0.1	0～0.1

出典）「廃棄物のコンクリート材料への再資源化研究委員会報告書」（（社）日本コンクリート工学協会、2003 年 6 月）

2) 有害物質の溶出量・含有量

廃ガラスからの重金属の溶出量試験結果は**表 3.21.6** に示すとおりであり、土壌汚染に係る環境基準値を下回っている。

表 3.21.6　廃ガラスからの重金属の溶出量試験結果

計量物質	単位	計量値	土壌環境基準
水銀	mg/L	<0.0005	≦0.0005
カドミウム	mg/L	<0.001	≦0.01
鉛	mg/L	<0.005	≦0.01
ひ素	mg/L	<0.001	≦0.01
六価クロム	mg/L	<0.01	≦0.05
セレン	mg/L	<0.002	≦0.01

出典）「廃棄物のコンクリート材料への再資源化研究委員会報告書」（（社）日本コンクリート工学協会、2003 年 6 月）

リサイクル製品における有害物質の溶出量・含有量は、製造事業者による溶出量試験、含有量試験の結果より確認でき、溶出量は土壌汚染に係る環境基準の基準値を、含有量は土壌汚染対策法の基準値を下回る結果が得られている。

表 3.21.7　クリスタルストーン・サンドの溶出量試験、含有量試験結果（製造会社 1 社の一例）

	分析項目	単位	分析結果	報告基準	基準	分析方法
溶出量試験	クロロエチレン(塩化ビニルモノマー)	mg/L	0.0002未満	0.0002	0.002以下	H9環告第10号付表(第2) ヘッドスペースGC-MS法
	四塩化炭素	mg/L	0.0002未満	0.0002	0.002以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	1,2-ジクロロエタン	mg/L	0.0004未満	0.0004	0.004以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	1,1-ジクロロエチレン	mg/L	0.002未満	0.002	0.1以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	1,2-ジクロロエチレン(シス体+トランス体)	mg/L	0.004未満	0.004	0.04以下	計算による
	シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	0.004未満	0.004	0.04以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	トランス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	0.004未満	0.004	0.04以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	1,3-ジクロロプロペン(シス体+トランス体)	mg/L	0.0002未満	0.0002	0.002以下	計算による
	シス-1,3-ジクロロプロペン	mg/L	0.0002未満	0.0002	0.002以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	トランス-1,3-ジクロロプロペン	mg/L	0.0002未満	0.0002	0.002以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	ジクロロメタン	mg/L	0.002未満	0.002	0.02以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	テトラクロロエチレン	mg/L	0.001未満	0.001	0.01以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	1,1,1-トリクロロエタン	mg/L	0.1未満	0.1	1以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	1,1,2-トリクロロエタン	mg/L	0.0006未満	0.0006	0.006以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	トリクロロエチレン	mg/L	0.001未満	0.001	0.01以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	ベンゼン	mg/L	0.001未満	0.001	0.01以下	JIS K 0125 5.2.1 ヘッドスペースGC-MS法
	カドミウム及びその化合物	mg/L	0.0003未満	0.0003	0.003以下	JIS K 0102 55.4 ICP質量分析法
	六価クロム化合物	mg/L	0.02未満	0.02	0.05以下	JIS K 0102 65.2.1 ジフェニルカルバジド吸光高度法
	シアン化合物	mg/L	検出されず	0.1	検出されないこと	S46環告第59号付表1 流れ分析法
	水銀及びその化合物	mg/L	0.0005未満	0.0005	0.0005以下	S46環告第59号付表2 原子核吸光法
	アルキル水銀化合物	mg/L	検出されず	0.0005	検出されないこと	S46環告第59号付表3 GC法
	セレン及びその化合物	mg/L	0.002未満	0.002	0.01以下	JIS K 0102 67.4 ICP質量分析法
	鉛及びその化合物	mg/L	0.005未満	0.005	0.01以下	JIS K 0102 54.4 ICP質量分析法
	砒素及びその化合物	mg/L	0.005未満	0.005	0.01以下	JIS K 0102 61.4 ICP質量分析法
	ふっ素及びその化合物	mg/L	0.16	0.08	0.8以下	JIS K 0102 34.4 流れ分析法(JIS K 0170-6 6.3.3)
	ほう素及びその化合物	mg/L	0.02未満	0.02	1以下	JIS K 0102 47.4 ICP質量分析法
	シマジン	mg/L	0.0003未満	0.0003	0.003以下	S46環告第59号付表5(第1) 固相抽出GC-MS法
	チオベンカルブ	mg/L	0.002未満	0.002	0.02以下	S46環告第59号付表6(第1) 固相抽出GC-MS法
	チウラム	mg/L	0.0006未満	0.0006	0.006以下	S46環告第59号付表5 固相抽出 HPLC法
	ポリ塩化ビフェニル	mg/L	検出されず	0.0005	検出されないこと	S46環告第59号付表4 GC法
	有機りん化合物	mg/L	検出されず	0.1	検出されないこと	S49環告第64号付表1 GC法
含有量試験	カドミウム及びその化合物	mg/kg	1未満	1	45以下	JIS K 0102 55.4 ICP質量分析法
	六価クロム化合物	mg/kg	1未満	1	250以下	JIS K 0102 55.2.1 ジフェニルカルバジド吸光光度法
	シアン化合物	mg/kg	2未満	2	50以下	JIS K 0102 38.3 4 ピリジンカルボン酸-ピラゾロン吸光光度法
	水銀及びその化合物	mg/kg	0.02未満	0.02	15以下	S46環告第59号付表2 原子吸光法
	セレン及びその化合物	mg/kg	1未満	1	150以下	JIS K 0102 67.4 ICP質量分析法
	鉛及びその化合物	mg/kg	1未満	1	150以下	JIS K 0102 54.4 ICP質量分析法
	砒素及びその化合物	mg/kg	1未満	1	150以下	JIS K 0102 61.4 ICP質量分析法
	ふっ素及びその化合物	mg/kg	20未満	20	4,000以下	JIS K 0102 34.4 流れ分析法(JIS K 0170-6 6.3.3)
	ほう素及びその化合物	mg/kg	1未満	1	4,000以下	JIS K 0102 47.4 ICP質量分析法

出典）「クリスタルストーン・サンドの溶出量試験、含有量試験結果報告書」（藤野興業株式会社）

3.21.3 適用用途

(1) 概要

ガラス再生資材をリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、ガラス再生資材を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.21.8** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.21.8　ガラス再生資材の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	△	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・1)ガラス再生資材を用いる場合の配合例、コンクリート特性等を記載	－	●利用実績なし	1)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	○ （再生砂）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・2)製造方法、材料特性（粒度分布、力学特性、溶出・含有試験結果）及び実施工での検証結果について記載【自社基準】	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・D滑走路建設工事（国交省）	2)
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	○ （再生砂）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・2)製造方法、材料特性（粒度分布、力学特性、溶出・含有試験結果）及び実施工での検証結果について記載【自社基準】	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・埋立工事（地盤改良工）（管理者）	2)
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・マニュアル等で用途の検討が行われたことは確認できないが、公共工事で利用実績がある（防波堤根固工事）。	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・防波堤根固工事（国交省）	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・3)研究報告書で用途として挙げられているが、劣化の可能性等の課題が挙げられている	－	●利用実績なし	3)
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	△ （再生砂）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・2)製造方法、材料特性（粒度分布、力学特性、溶出・含有試験結果）及び実施工での検証結果について記載【自社基準】	－	●利用実績なし	2)
⑮	路盤材	○$^{+}$	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・4)ガラス再生資材を用いた路盤材の品質基準、設計方法等について記載	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・道路改良工事（管理者） ・道路駐車帯地盤工事（その他）	4)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	○$^{+}$ （As舗装骨材）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・4)ガラス再生資材を用いたアスファルト混合物の品質基準、設計方法等について記載	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・道路舗装工事（国交省）	4)
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	△ （再生砂）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・2)製造方法、材料特性（粒度分布、力学特性、溶出・含有試験結果）及び実施工での検証結果について記載【自社基準】 ・5)環境修復材料(海砂代替材料)としての利用について、実証試験の実施により水質・生物への影響を検討している ・6)環境修復材料(海砂代替材料)としての利用について、環境省ETV実証事業より水質・生物への影響が第三者委員会によって実証されている	c	●利用実績はあるが、課題がある。 【主な工事】 ・実証試験（タイドプール）（その他） ・実証試験（人工干潟）（その他）	2) 5) 6)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1)廃棄物のコンクリート材料への再資源化研究委員会報告書（（社）日本コンクリート工学協会、2003年6月）

2)リサイクルガラス造粒砂「サンドウエーブG」技術資料 2020年4月版（ガラスリソーシング株式会社）（ガラスリソーシング株式会社提供資料）

3)廃ガラスカレットの気泡混合軽量土への適用性について（第14回地盤改良シンポジウム論文集，pp.311-314，2020）

4)建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成18年4月）

5)ガラス瓶等破砕材の環境修復材料としての活用に向けたタイドプール実証試験研究に関する業務委託 報告書（(一社)大阪湾環境再生研究・国際人材育成 コンソーシアム・コア、実証試験研究委託者：藤野興業株式会社）

6)令和4年度環境省ETV事業 140-2201 人工珪砂製造技術・人工珪砂（実証機関：株式会社MAcS、実証申請者：株式会社あさひ）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

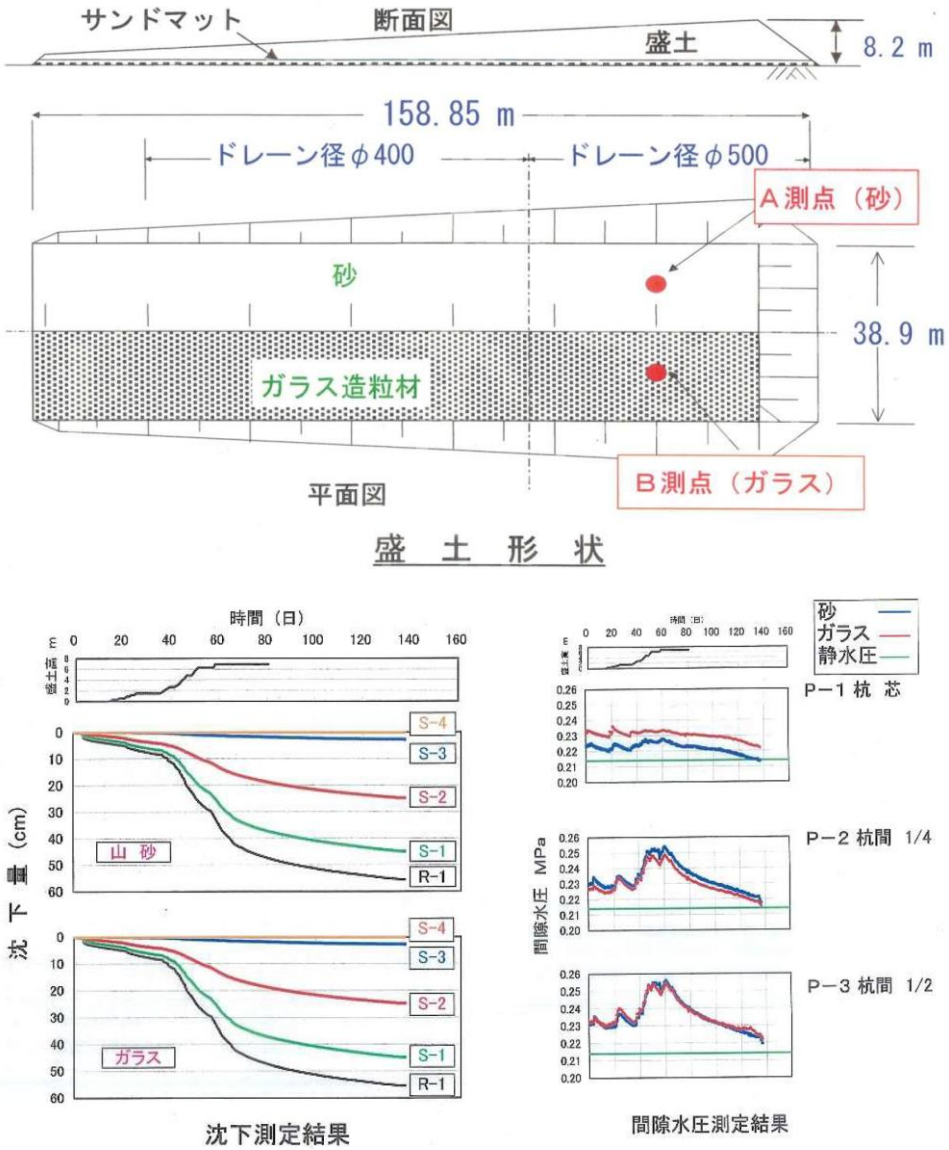
(2) バーチカルドレーン及びサンドマット材（ガラス再生砂）

ガラス再生砂のバーチカルドレーン及びサンドマット材としての利用については、**「リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブ G 技術資料 2022 年 4 月版」**等の技術資料を参考にすることができる。

ガラス再生砂は、透水性が高いことからバーチカルドレーン及びサンドマット材として道路分野では多くの実績があり、港湾・空港分野においても、滑走路建設工事（国土交通省東京空港整備事務所）で利用された実績がある。

【既存工事における検討事項】

・沈下量は、砂とほとんど相違がみられず、間隙水圧についても、砂と同程度の結果が得られている。（「放射 34 号線」建設現場）



出典）「リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブ G 技術資料 2022 年 4 月版」（ガラスリソーシング株式会社）

図 3.21.7 施工事例（東京都江東区有明地先「放射 34 号線」建設現場）

(3) サンドコンパクションパイル材（ガラス再生砂）

ガラス再生砂のサンドコンパクションパイル材としての利用については、**「リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブ G 技術資料 2022 年 4 月版」**等の技術資料を参考にすることができる。

技術資料において、低振動・低騒音 SCP 工法（KS-EGG）にて杭径 700mm の SCP を試験的に造成し、標準貫入試験を実施した結果を確認できる。

【仕様】　現地盤：埋立地盤（砂）（打設前の N 値を次図に記載）
砂杭材料：サンドウエーブ G（0～5mm）
砂杭形状：杭径 700mm、杭長 5.85m

【結果】　「サンドウエーブ G」の使用により、地盤の改善が確認されている。
N 値は深度の増加とともに増加する傾向にあるが、最低で 12 回、最大で 19 回の値を得た（**図 3.21.8** ガラス砂 N 値 1）。

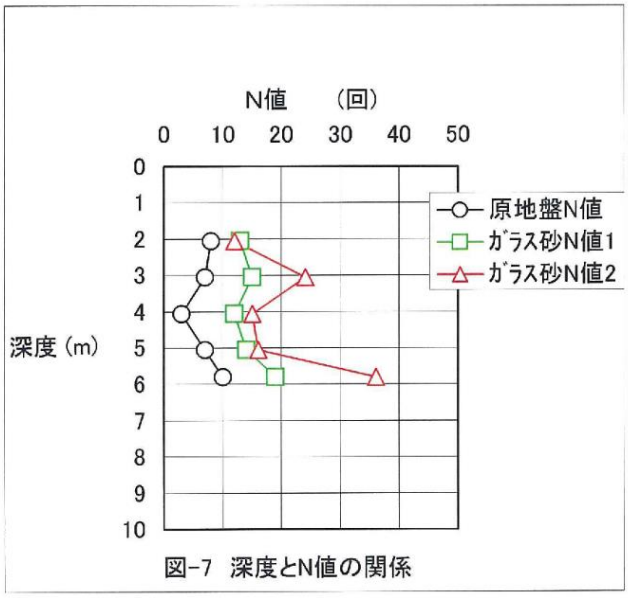
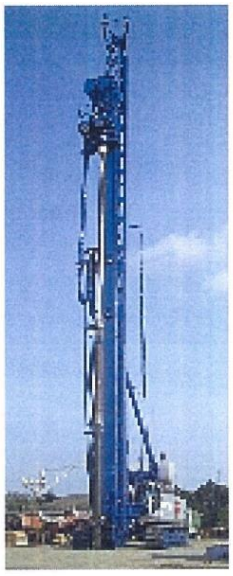
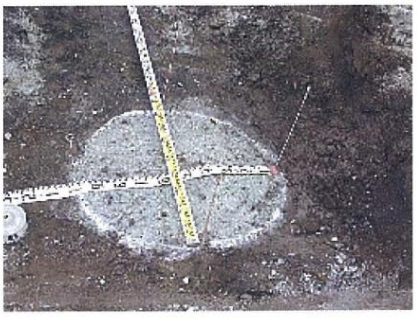


図-7　深度とN値の関係


【低振動・低騒音 SCP 打設機：KS－EGG】

注）ガラス砂 N 値1は、KS-EGG 工法試験機にて打設した結果
ガラス砂 N 値2は、KS-EGG 工法専用機にて打設した結果


【SCP 出来形】

【チェックボーリングサンプル】

（リサイクルガラス造粒材(砂)-陸上 SCP･SD 用砂の適用性ー報告書　2001 年 5 月より抜粋）

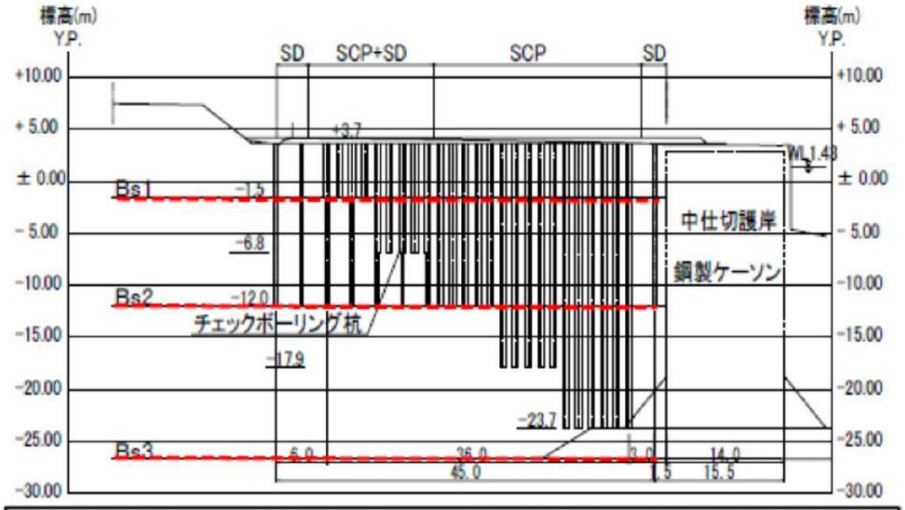
出典）「リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブ G 技術資料 2022 年 4 月版（ガラスリソーシング株式会社）

図 3.21.8　標準貫入試験結果

【既存工事における検討事項】

・山砂以上に透水性が高く、SCP 部でもドレーン効果として必要な透水性を確保できる。

・安定性からみて必要な地盤強度が得られている。（埋立工事）



【 図－1 施工断面図 】

(表1)山砂との特性比較

各特性値	土粒子の密度	自然含水比	内部摩擦角	透水係数	均等係数
ガラス造粒砂	2.504 (g/cm3)	4.8 (%)	40±3° 1)	10^{-2} (cm/s) 1)	6.86
山 砂	2.713 (g/cm3)	7.9 (%)	35° 以上 2)	10^{-2} (cm/s) 2)	2.23
各特性値	細粒分	砂分	礫分	最大粒径	曲率係数
ガラス造粒砂	3.5 (%)	60.5 (%)	36 (%)	4.75 (mm)	1.48
山 砂	4.4 (%)	95.6 (%)	0 (%)	2.00 (mm)	1.18

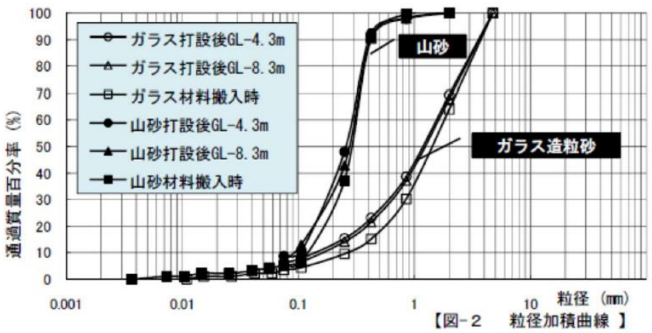
(表2)SCP 打設後の結果

SWG→

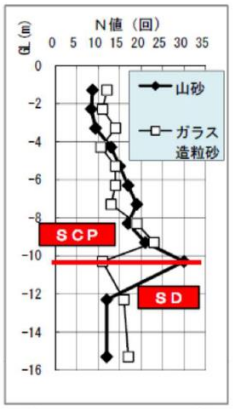
粒 度		細粒分 (%)	砂分 (%)	礫分 (%)	現場透水試験結果 (cm/s)	
搬 入 時		3.5	60.5	36.0		
打設後	最大	6.3	63.0	32.2	GL-5.00m	4.27×10^{-3}
	最小	5.1	62.7	30.7	GL-10.00m	1.07×10^{-3}

山砂→

粒 度		細粒分	砂分	礫分	現場透水試験結果 (cm/s)	
搬 入 時		4.4 (%)	95.6 (%)	0 (%)		
打設後	最大	8.7 (%)	92.7 (%)	0 (%)	GL-5.00m	8.69×10^{-4}
	最小	7.3 (%)	91.3 (%)	0 (%)	GL-10.00m	9.12×10^{-4}



【図-2 粒径加積曲線 】



【図-3 標準貫入試験結果】

出典）「リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブ G 技術資料 2022 年 4 月版（ガラスリソーシング株式会社）

図 3.21.9 施工事例（南本牧埋立工事（E 街区地盤改良工）現場）

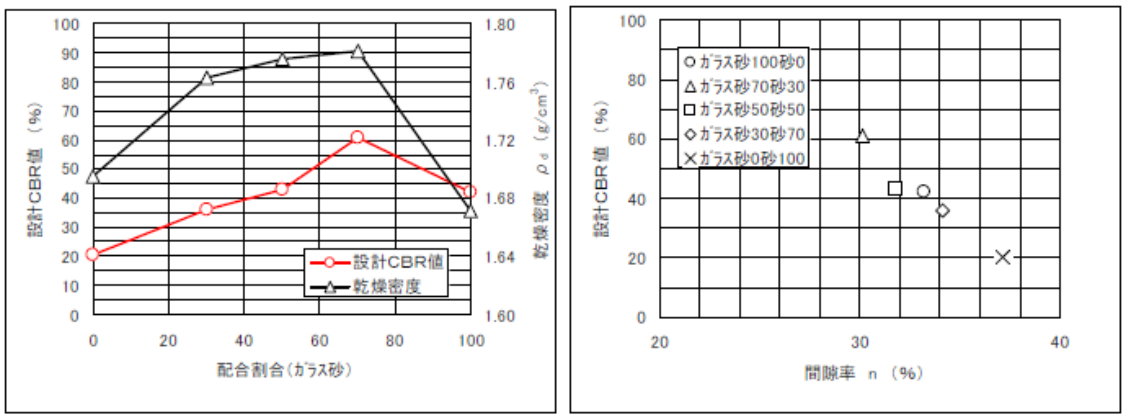
(4) 路床盛土材（ガラス再生砂）

ガラス再生砂の路床盛土材としての利用については、**「リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブ G 技術資料 2022 年 4 月版」**等の技術資料を参考にすることができる。

一般的な山砂とほぼ同等の性質を有しており、透水性が良く、かつ締固め特性として、明確なピークが現れないため施工管理が容易で安定した品質が確保できるという特徴を有している。

ガラス再生砂と山砂の設計 CBR の測定結果、間隙率と設計 CBR の関係を**図 3.21.10** に示す。試験結果より、山砂単体で設計 CBR 値は 20.4%、サンドウエーブ G 単体では 42.2%、混合割合が 7（サンドウエーブ G）：3（山砂）の状態で最大値 60.8%が得られている。

また、修正 CBR については、試験結果より条件の厳しい高速道路の路床に適用可能とされる 5～10%以上を満たすことが確認されている。（締固め度 90%：修正 CBR=12.7%、締固め度 95%：修正 CBR=17.7%）



出典）「リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブ G 技術資料 2022 年 4 月版（ガラスリソーシング株式会社）

図 3.21.10　ガラス再生砂混合における設計 CBR、間隙率と設計 CBR の関係

(5) 路盤材

ガラス再生資材の路盤材としての利用については、**「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」**[1] を参考にすることができる。

①品質基準

ガラス再生資材を用いた路盤材料の品質基準は、適用する道路舗装の種類に応じて**「舗装設計施工指針」**、**「舗装施工便覧」**等の品質規格を準用する。[1]

②設計

ガラス再生資材を用いた路盤の設計は、**「舗装設計施工指針」**に示される方法と手順に準ずる。[1]

③施工

ガラス再生資材を用いた路盤の施工は、路盤工法に応じ**「舗装設計施工指針」**等に示される方法と手順に準ずる。[1]

以下に、試験施工時（**表 3.21.9** 参照）の調査結果で得られた結果を示す。

・下層路盤材料へのガラス再生資材の混入率は、施工性・支持力等から判断して約 15%が適当である。

・ガラス再生資材をセメント処理した材料は、施工性（特に転圧時）にやや難があるが、支持力は確保できる
・ガラス再生資材を遮断層に用いた場合、舗装の支持力が従来工法（CBR20%）に比べやや劣る
・ガラス再生資材を埋戻し材に用いる場合、必要な施工性・支持力を得ることができる

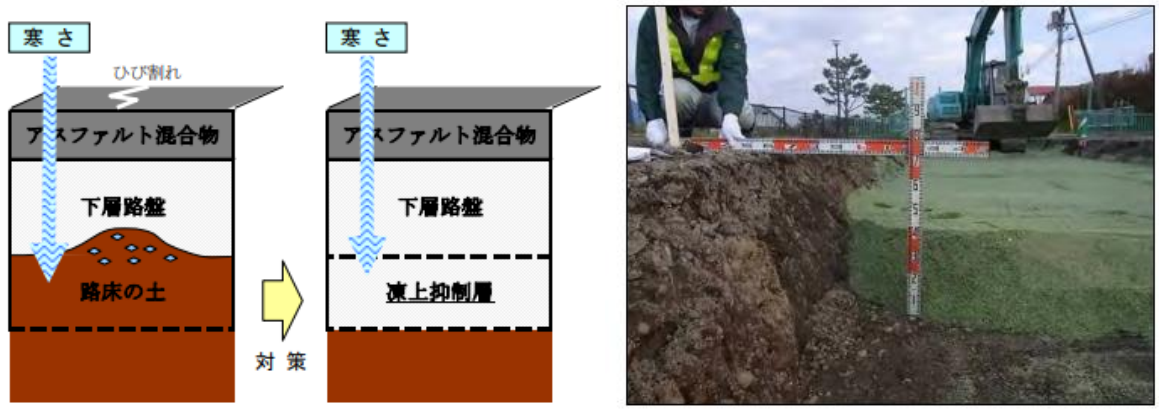
表 3.21.9　ガラス再生資材を使用した路盤の試験施工

（cm）

表・基層	10
上層路盤	15
下層路盤（砕石にガラス再生資材を混合）	15
路床	

出典）「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 18 年 4 月）及び「ガラスカレットの路盤材料および埋戻し材への適用」（第 23 回日本道路会議一般論文集、平成 11 年 10 月）を基に港湾局作成

また、北海道のような積雪寒冷地の道路では、凍上による舗装の被害が発生するため、その対策として路床土の一部を凍上しにくい材料で置換する置換工法がとられており、「凍上抑制層材料」としてガラス再生資材が適用されている。[2,3,4)]



出典）「ガラスカレットの凍上抑制層材料への適用性について」（寒地土木研究所月報，No.715，2012 年 12 月）

図 3.21.11　積雪寒冷地における舗装の凍上対策及びガラス再生資材の施工状況

ガラス再生資材の路盤材（凍上抑制層材料）としての特徴は以下のとおりである。
①凍結融解による支持力低下が少なく、凍結融解による耐久性が高い
②溶出量試験や含有量試験により、環境安全性が確認されている
③転圧作業などの品質管理においては、作業性が良く、少ない転圧で施工可能
④凍結深度は、通常の切込み砕石より浅く、断熱効果がある
⑤融解期の支持力は高く、後年においても路面状況は安定維持できる

表 3.21.10　ガラス再生資材の路盤材（凍上抑制層材料）としての特長

試験名		単位	ガラスカレット (0～5mm)	切込み砕石 (0～80mm)
骨材の微粒分量試験		%	0.7	14.3
骨材の密度 吸水率試験	表乾密度	g/m^3	2.49	2.56
	絶乾密度	g/m^3	2.49	2.50
	絶乾密度	%	0.19	2.33
ロサンゼルス試験器による粗骨材のすり減り試験		%	26.0	21.6
硝酸ナトリウムによる骨材の安定性試験		%	1.6	4.7
突固めによる土の締固め試験	最大乾燥密度 ρ_{dmax}	g/m^3	1.64	2.043
	最適含水比 w_{opt}	%	3.2	7.8
CBR試験		%	27.2	153.6
凍結融解後のCBR試験		%	22.8	89.5
CBR保存率		%	82	58.3
土の凍上試験 NEXCO試験方法	凍上率	%	0.3	0.8
	凍結様式	－	コンクリート状凍結	コンクリート状凍結
	凍上性の判定	－	非凍上性	非凍上性

●溶出基準

項目	溶出基準(mg/L)	測定値(mg/L)	判定
カドミウム及びその化合物	0.01以下	0.001未満	○
六価クロム化合物	0.05以下	0.002未満	○
シアン化合物	検出されないこと	不検出	○
水銀及びその化合物	0.0005以下	0.0001未満	○
アルキル水銀	検出されないこと	不検出	○
セレン及びその化合物	0.01以下	0.001未満	○
鉛及びその化合物	0.01以下	0.003未満	○
硫黄及びその化合物	0.01以下	0.001未満	○
フッ素及びその化合物	0.8以下	0.1未満	○
ホウ素及びその化合物	1以下	0.1未満	○

●含有量基準

項目	含有量基準(mg/L)	測定値(mg/L)	判定
カドミウム及びその化合物	150以下	10未満	○
六価クロム化合物	250以下	10未満	○
シアン化合物	50以下	5未満	○
水銀及びその化合物	15以下	1未満	○
セレン及びその化合物	150以下	10未満	○
鉛及びその化合物	150以下	10未満	○
硫黄及びその化合物	150以下	10未満	○
フッ素及びその化合物	4000以下	40未満	○
ホウ素及びその化合物	4000以下	40未満	○

※国立研究開発法人 寒地土木研究所及びコンスA・M・G株式会社の共同研究の結果より
出典）「ガラスカレット[商品名：クリスタル]」（コンス・A・M・G株式会社 パンフレット）

【参考文献】

1）「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成18年4月）

2）「ガラスカレットの凍上抑制層材料への適用性について」（寒地土木研究所月報，No.715，2012年12月）

3）「積雪寒冷地におけるガラスカレットの凍上抑制層への適用性に関する研究」（寒地土木研究所月報，No.781，2018年6月）

4）「平成22年度 リサイクル産業創出事業（ガラスカレットを利用した凍上抑制層材料の利用促進事業） 報告書」（コンス・A・M・G株式会社、平成23年3月）

(6) As舗装骨材

ガラス再生資材の As 舗装骨材としての利用については、**「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」**[1)] を参考にすることができる。

ガラス再生資材をアスファルト混合物の骨材として使用する場合の設計、施工に関する事項は以下のとおりである。

①品質基準

ガラス再生資材を用いたアスファルト混合物の品質基準は、適用する道路舗装の種類に応じて**「舗装設計施工指針」**、**「舗装施工便覧」**等の品質規格を準用する。

品質基準に定められた各品質項目の試験方法は、**「舗装試験法便覧」**に示されるそれぞれの方法による。[1)]

②環境安全性

ガラスは、環境安全面での有害性が少ない資材であるが、不純物が混ざっていたりする場合には有害物質の溶出が懸念される。そのため、よく洗浄されたガラス再生資材を使用する必要がある。[1)]

③利用技術

代表的なガラス再生資材入りアスファルト混合物の性状例を**表 3.21.11** に示す。

ガラス再生資材の混入率が大きくなるほど、剥離抵抗性（残留安定度）は小さくなる。したがって、ガラス再生資材の混入率は 10%程度が上限である。これ以上の混入率では、アスファルト混合物特性の所要基準値を満足できない場合がある。[1)]

表 3.21.11　ガラス使用混合物の配合及び性状例

配合種別			標準	A-1	A-2	B-1	B-2
骨材配合比率(%)	砕石 6 号		37.5	32.5	27.5	37.5	37.5
	砕石 7 号		20.0	15.0	10.0	20.0	20.0
	粗砂		32.0	32.0	32.0	20.0	10.0
	細砂		5.0	5.0	5.0	6.5	6.5
	石粉		5.5	5.5	5.5	6.0	6.0
	カレット 13.2～4.75 ㎜		－	5.0	10.0	－	－
	カレット 4.75～2.36 ㎜		－	5.0	10.0	－	－
	カレット 2.36㎜ 以下		－	－	－	10.0	20.0
最適 As 量(%)			6.4	6.4	6.3	6.1	5.9
マーシャル密度（g/cm^3）			2.338	2.342	2.322	2.344	2.341
空隙率（%）			4.5	3.7	4.1	4.1	3.9
飽和度（%）			76.2	79.6	77.5	77.0	77.3
安定度（kN）			11.5	12.1	10.3	10.9	9.4
フロー値（1/100cm）			30	30	27	29	26
残留安定度（%）			95.8	94.4	86.0	94.2	89.5
動的安定度（回/mm）			490	320	－	320	－
すべり抵抗値（BPN）		研磨前	63	70	57	58	60
		研磨後	57	53	53	51	51
反射率（%）		研磨前	5.19	4.83	5.11	5.33	4.99
		研磨後	4.98	4.89	5.12	4.92	4.67

出典）「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 18 年 4 月）

供用後のガラス再生資材入りアスファルト舗装について、追跡調査を行った例を**表 3.21.12** に示す。

路面観察では、供用２年以降にガラス骨材の若干の飛散が認められるが、路面の性状は一般舗装（密粒）と大差ない。[1)]

表 3.21.12　供用後の路面性状例

項目		ガラスカレット入り舗装		密粒度アスファルト混合物(13)	
		建設時	4年後	建設時	4年後
縦断形状σ（mm）		1.8	1.97	－	－
横断形状　（mm）		1～2	2～4	－	－
すべり抵抗値（BPN）		58.4	60.7	62.0	64.0
動摩擦係数（μ）	20km/h	0.56	0.67	0.60	0.68
	40km/h	0.51	0.62	0.54	0.64
	60km/h	0.47	0.60	0.50	0.62

出典）「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成18年4月）

アスファルトプラントにおけるガラス再生資材の投入方法には、「間接加熱方式」と「直接加熱方式」がある。その概要を**表 3.21.13** に示す。

ガラス再生資材を使用した混合物は、ロードローラによる転圧作業時に、混合物中のカレットが粉砕され細粒化する懸念がある。さらに、供用後の路面では走行車両によってガラス再生資材が飛散することにも注意する必要がある。[1)]

表 3.21.13　ガラス再生資材の投入方法

種別	間接加熱方法	直接加熱方法
投入方法	カレットを常温のままミキサに計量投入し、高温材との熱交換により加温乾燥させ混合物とする。	一般の骨材と一緒にドライヤを通して加熱乾燥させて振動ふるいで分級したものを計量混合する。
利点	1)一般の混合物とカレット使用混合物との製造切り替えが容易に行える。 2)カレット投入量の管理を確実に行える。 3)再生骨材の投入装置を利用できる。 4)再生骨材投入装置を用いることにより、都市型に多いサイロ式骨材貯蔵のプラントでも対応できる	1)ドライヤを通して加熱乾燥するため多少含水比が高くても支障ない。また、多量の投入にも対応できる。 2)振動ふるいにより分級されるので粒径の大きなガラス片はオーバーサイズとして除去される。 3)コールドホッパ式骨材供給設備であればこれを利用できる。
欠点	1)カレットの含水比が高い場合や多量の投入には無理がある。 2)カレットをミキサに直接投入するため、粒径の大きいガラス片が混入していた場合そのまま混合物に入ってしまう。	1)一般混合物とカレット使用混合物との製造切り替えを行う場合、ストックされた加熱骨材を完全に抜取らなければならず、効率が悪い。 2)カレット使用混合物の製造開始時は、投入量がばらつく可能性があり、これを防ぐためには安定するまで加熱骨材を抜取ればよいが、この骨材は一般用に使えない。

出典）「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成18年4月）

【参考文献】

1）「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成18年4月）

(7) 今後の検討を要する用途

1) コンクリート用細骨材

ガラス再生資材を細骨材として用いる場合のコンクリートについては、**「廃棄物のコンクリート材料への再資源化研究委員会報告書」**[1] で整理されており、プレキャスト無筋コンクリート製品用ガラス細骨材のガイドライン試案が作成されている。

ガラス再生資材を細骨材として用いる場合のガラス再生資材以外の材料は、特殊な場合を除き、通常のコンクリートに用いられる材料が用いられている。

①セメント：多くは普通ポルトランドセメントが用いられているがアルカリ骨材反応の抑制を目的として混合セメントの使用もみられる。

②骨材　　：一般的な骨材が使用されており、ガラス再生資材と特殊骨材などを併用した実績はあまりみられない。

③混和材　：アルカリシリカ反応抑制のための混和材の使用はいくつかの事例があり、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、ゼオライトなどが用いられている。

④混和剤　：目的とする配合に応じて、各種の混和剤が使用されている。

ガラス再生資材を細骨材の一部として使用したコンクリートは、置換率の増加に伴って、ワーカビリティーの改善や空気量の増加など特異な傾向を示すことが明らかにされている。ガラス再生資材を細骨材の一部として使用したコンクリートの配合例を**表 3.21.14** に示す。

表 3.21.14　ガラス再生資材を細骨材の一部として使用したコンクリートの配合例

シリーズ	置換率 (%)	W/C (%)	単位量(kg/m³)						スランプ (cm)	空気量 (%)
			水	セメント	砂	カレット	砕石	AE 助剤		
Ⅰ	0	60	169	282	736	0	1,084	0.025	7.5	4.5
	5		169	282	697	37	1,084	0.025	9.0	5.0
	15		169	282	622	110	1,084	0.025	10.5	5.6
	30		159	265	518	226	1,108	0	6.0	4.2
	50		154	257	365	380	1,118	0	7.0	5.8
Ⅱ	0	58	209	360	769	0	884	0.005	18.5	3.9
	15		203	350	658	117	894	0.005	19.5	5.4
	30		190	328	518	226	977	0	16.0	6.6
	50		190	328	363	377	977	0	17.5	6.7

※シリーズⅠ：土木用コンクリート、シリーズⅡ：建築用コンクリート

出典）「廃棄物のコンクリート材料への再資源化研究委員会報告書」（（社）日本コンクリート工学協会、2003 年 6 月）

ガラス再生資材を細・粗骨材の双方として利用したコンクリートの強度試験の結果より、ガラス再生資材の置換率の増加に伴い圧縮強度が低下し、特に 50%以上の混入率で強度低下が著しいことが分かっている。一方、ガラス再生資材を置換率 50%以下で細骨材として利用した場合には、大きな強度変化はみられていない。

ガラス再生資材を用いたフレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの特性については、**表 3.21.15** のとおりである。

表 3.21.15　ガラス再生資材を用いたフレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの特性

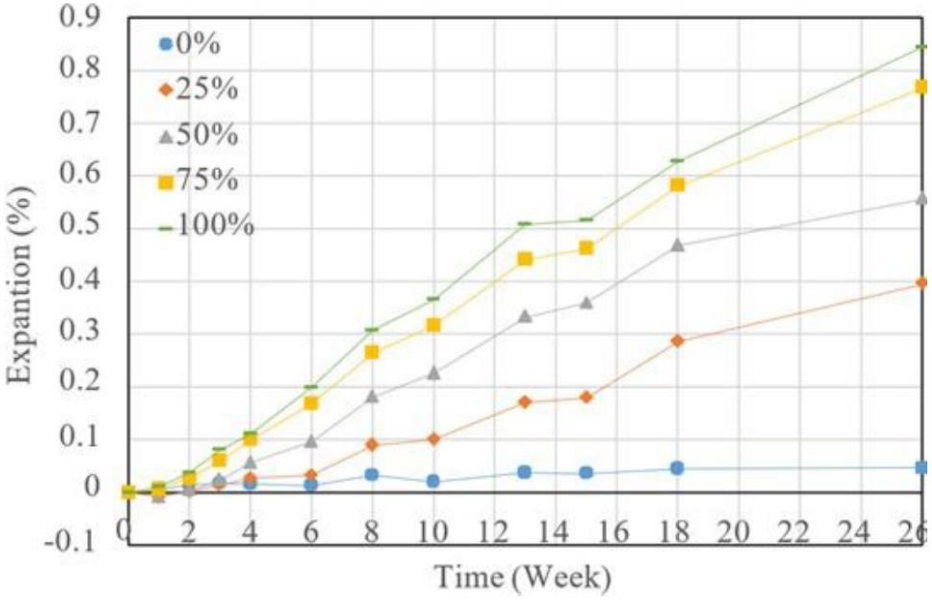
種類	項目	特性
フレッシュコンクリート	粘性	低下傾向あり
	ブリーディング	増加傾向あり
	空気量	増加傾向あり
硬化コンクリート	圧縮強度	置換率の増加に伴って低下する
	引張・曲げ強度	圧縮強度と同様な傾向を示す
	凍結融解抵抗性	置換率の増加に伴って低下し、スケーリングを受けやすい

出典）「廃棄物のコンクリート材料への再資源化研究委員会報告書」（（社）日本コンクリート工学協会、2003 年 6 月）

また、**図 3.21.12** に示すように、ガラス再生資材を大きな粒子サイズをもつ砂（約 0.150 ㎜から 4.75 ㎜）として、セメントの細骨材に使用する場合、使用率が高くなるにつれて大きな膨張を引き起こすことがわかっている。[2)]

細骨材としてガラス再生資材を 100%使用すると膨張は最大となり、ガラス量を減少させると膨張も小さくなる。

以上のように材料中のガラス相が ASR を起こし、コンクリートが膨張する可能性があるため、使用の際には注意が必要である。



※セメント中の細骨材としてのクリスタルストーン・サンドの使用率（0～100%）

出典）「再生ガラス細骨材における粒子サイズの違いによる ASR とポゾラン活性の挙動解明」（芝浦工業大学、試験研究委託者：藤野興業株式会社）

図 3.21.12　ガラス再生資材の ASR 膨張（クリスタルストーン・サンドでの試験結果）

【参考文献】

1）佐藤重悦，加賀谷誠：細骨材のコンクリート用細骨材へのリサイクル利用に関する実験的研究，廃棄物のコンクリート材料への再資源化に関するシンポジウム論文集，pp. 79-84，2002

2）「再生ガラス細骨材における粒子サイズの違いによる ASR とポゾラン活性の挙動解明」（芝浦工業大学、試験研究委託者：藤野興業株式会社）

2) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

ガラス再生資材の FCB（気泡混合軽量土）としての利用については、粗粒率 FM:1.7～2.6 程度以下であれば、FCB のフロー値や一軸圧縮強さの基準値を満足し、適用可能であることが確認されている。[1)]

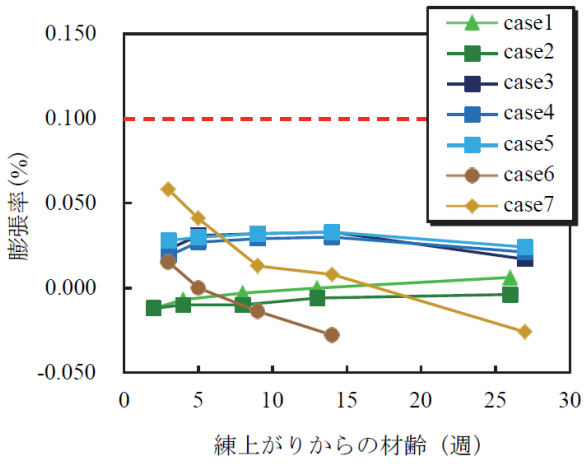
また、ガラス再生資材を用いた FCB のアルカリシリカ反応試験の結果、練上りからの材齢が 26 週における供試体の平均膨張率は 0.100%未満であり、無害であると判定されている。[2)]

表 3.21.16　ASR 試験に用いた供試体の配合仕様と実施条件

case		1	2	3	4	5	6	7
種類		モルタル		FCB(エアモルタル)				
試料(砂，廃ガラスカレット)※1		廃ガラスカレット					自然砂	
		GC-c	GC-f				西宮砂	西島砕砂
セメント		高炉セメントB種						
配合	仕様	モルタル		K1-10	K3-10	K5-10	K3-10	
	水+NaOH水溶液※2(ml)	300±1		—	—	—	—	
	セメント(g)	600±1		—	—	—	—	
	表乾試料(g)	1350±1		—	—	—	—	
	セメント C (kg/m^3)	—		278	199	153	199	
	砂(廃ガラスカレット) S (kg/m^3)	—		278	597	765	597	
	混練水 m_1 (kg/m^3)	—		236	226	237	226	
	起泡剤 m_2 (kg/m^3)	—		0.95	0.81	0.70	0.81	
	希釈水 m_3 (kg/m^3)	—		21.85	18.63	16.10	18.63	
	空気量 A (%)	—		54.5	46.5	41.5	46.5	
	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	—		0.82	1.04	1.17	1.04	
脱型		24h±2hで実施		練上がり後7日で実施				
測定		練上がりから材齢2週，4週，8週，13週，26週で測定		脱型から材齢2週，4週，8週，13週，26週で測定				

※1 各試料は粒度区分分けせずに使用した．
※2 NaOH水溶液の量は，セメントの全アルカリがNa2Oeqで1.2%とした．

出典）「廃ガラスカレットを用いた FCB の ASR 試験について」（第 56 回地盤工学研究発表会，12-3-5-08，2021）



※case1～7 までの配合条件は表 3.21.16 に示すとおり
※判定基準として、練上りからの材齢が 26 週における供試体の平均膨張率が 0.100%未満の場合は無害としている
出典）「廃ガラスカレットを用いた FCB の ASR 試験について」（第 56 回地盤工学研究発表会，12-3-5-08，2021）

図 3.21.13　ASR 試験結果

【参考文献】

1）廃ガラスカレットの気泡混合軽量土への適用性について（第 14 回地盤改良シンポジウム論文集, pp. 311-314, 2020）

2）廃ガラスカレットを用いた FCB の ASR 試験について（第 56 回地盤工学研究発表会, 12-3-5-08, 2021）

3） 被覆石、根固・消波ブロック

防波堤根固工事での実績があり、ガラス再生資材を根固め用コンクリートブロックの細骨材として利用することは可能と考えられる。

利用にあたってのマニュアル類は整備されていないことから、利用実績等を参照し、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求水準を満たすことを確認することが望ましい。

【既存工事における検討事項】

・コンクリートブロックの細骨材としての使用に際し、環境に対する安全性（水質汚濁に係る環境基準）の試験の結果、全ての項目において環境基準以下であり安全であることを確認した。

・ガラス再生資材を細骨材として使用するに当たって、事前に試験練りを実施しコンクリートの強度を確認した。（防波堤根固工事）

4） 藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等（ガラス再生砂）

ガラス再生砂の干潟造成材、覆砂材としての利用について、実証試験の実施により、以下のことを確認しているとされている。[1,2)]

【実証試験での検討事項】

・試験区と対照区の間に種数と湿重量に大きな差がなく、天然砂を用いた対照区と同程度の幅広い分類群にまたがる多様な底生生物が確認された。（北浜緑地護岸（人工干潟）：宮城県塩竈市）[1)]

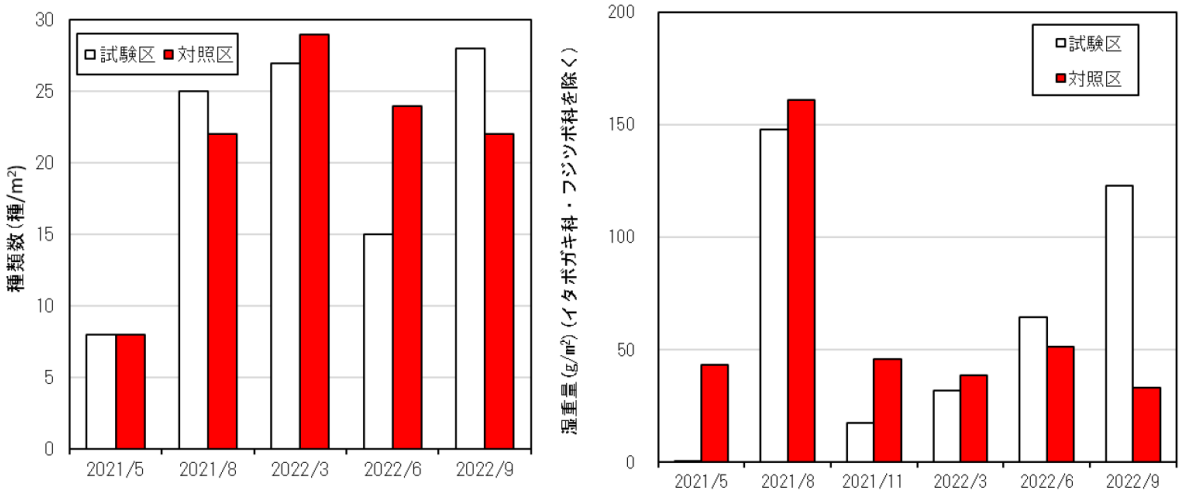
・基礎生産力の指標とした溶存酸素濃度の増加量は、試験区と対照区に大きな差がなく、付着生物についても分析試験とベントフロー調査により、試験区と対照区に大きな差がなく、多種多様な微細藻類の生息を確認できた。（北浜緑地護岸（人工干潟）：宮城県塩竈市）[1)]

・試験区からの越流水で pH、全亜鉛について環境基準を上回るものがあったが、水底土砂判定基準値、土壌汚染環境基準値を上回るものはなかった。また、水質調査結果より、水質への影響については、砂と差がないことが確認された。（堺浜（タイドプール）：大阪府堺市）[2)]

名称(所在地)	宮城県塩竈市　北浜緑地護岸（人工干潟）
管理者	宮城県

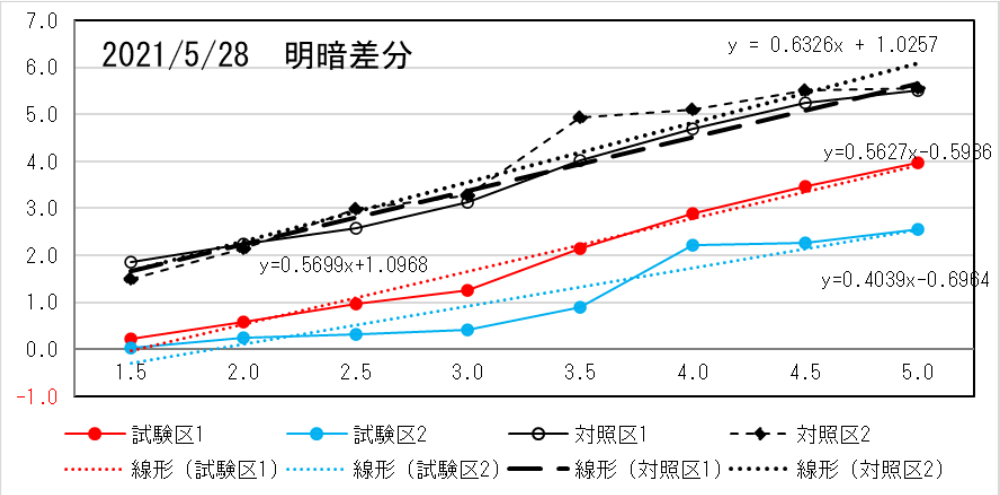
出典）「環境省　令和 4 年度環境技術実証事業　資源循環技術領域　実証報告書　実証番号 140-2201」（実証機関：株式会社 MAcS、実証対象技術名：人工珪砂製造技術・人工珪砂、実証申請者：株式会社あさひ）

図 3.21.14　試験実施場所 [1)]



出典）「環境省　令和 4 年度環境技術実証事業　資源循環技術領域　実証報告書　実証番号 140-2201」（実証機関：株式会社 MAcS、実証対象技術名：人工珪砂製造技術・人工珪砂、実証申請者：株式会社あさひ）

図 3.21.15　左図：底生生物の種類数　右図：イタボガキ科・フジツボ科を除く底生生物湿重量 [1)]



出典）「環境省　令和 4 年度環境技術実証事業　資源循環技術領域　実証報告書　実証番号 140-2201」（実証機関：株式会社 MAcS、実証対象技術名：人工珪砂製造技術・人工珪砂、実証申請者：株式会社あさひ）

図 3.21.16　**溶存酸素濃度初期値を 0 とした場合の基礎生産力推移(2021 年 5 月調査)**[1)]

これらの実証試験結果を参考とし、環境修復材（覆砂材）としての利用可能性について検討するとともに、利用する場合には必要に応じて水質調査の実施等により、環境安全性を確認することが望ましい。

【参考文献】

1) 「環境省　令和 4 年度環境技術実証事　資源循環技術領域　実証報告書　実証番号 140-2201」（実証機関：株式会社 MAcS、実証対象技術名：人工珪砂製造技術・人工珪砂、実証申請者：株式会社あさひ）

2) （（一社）大阪湾環境再生研究・国際人材育成コンソーシアム・コア、実証試験研究委託者：藤野興業株式会社：ガラス瓶等破砕材の環境修復材料としての活用に向けたタイドプール実証試験研究に関する委託業務 報告書、令和 3 年 3 月

3.21.4 関係法令

廃ガラスは産業副産物（ガラスくず）に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.21.5 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

ガラス再生資材を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

なお、ガラス再生砂の取り扱いについては、以下のとおり産業廃棄物（ガラスくず）の取り扱いとは異なる場合がある。

- ガラス再生砂の再利用・廃棄にあたっては、建設リサイクル法に則り適切な処理を行うことを基本とする。掘削の方法や場所、周辺の土砂の状況や混入率により掘削土の性能が異なるため、材料試験を行い、使用できる場所に利用するのが望ましい。
- ガラス再生砂の混合土砂は、「ガラスが混入している土砂＝廃棄物」でなく、再利用に必要な土質性能を維持しており、利用後に即廃棄とはならない材料であるため、建設副産物として利用可能なものとされている。

3.22 ガラス発泡リサイクル資材

3.22.1 製造・供給

ガラス発泡リサイクル資材は、ガラス瓶など廃ガラスを粉砕・焼成発泡させることで製造される多孔質で軽量なリサイクル材料である。

（解説）

(1) 製造方法

ガラス発泡リサイクル資材は、ガラス瓶など廃ガラスを粉砕・焼成発泡させることで製造される多孔質で軽量なリサイクル材料であり、**JIS Z 7313 ガラス発泡リサイクル資材**として規格化されている。

このうち、ガラス発泡資材事業協同組合ではガラス発泡リサイクル資材「スーパーソル」を製造している。

スーパーソルは、ガラス瓶から製造した軽量資材であり、ガラス瓶を粉砕して添加物を加え混合し、混合物を焼成炉内で加熱することにより製造される。

スーパーソルの製造方法を**図 3.22.1** に示す。

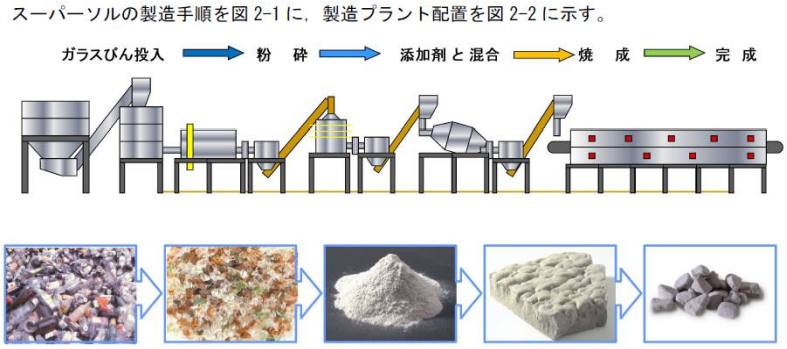


図 2-1　スーパーソルの製造手順

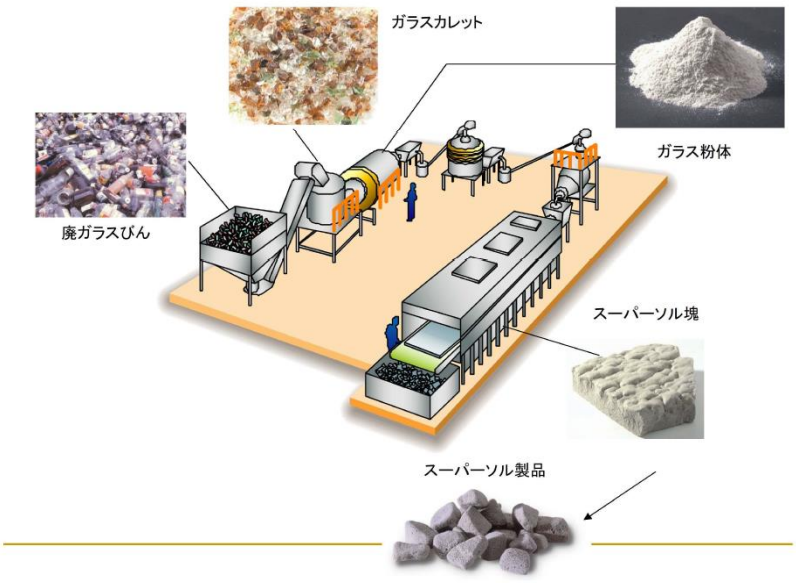


図 2-2　製造プラント配置図

出典）「ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル　第 1 版」
（ガラス発泡資材事業協同組合、2020 年 11 月）

図 3.22.1　スーパーソルの製造方法

(2) 供給・利用状況

1) 供給地域

① ガラス発泡リサイクル資材（製品名：スーパーソル）

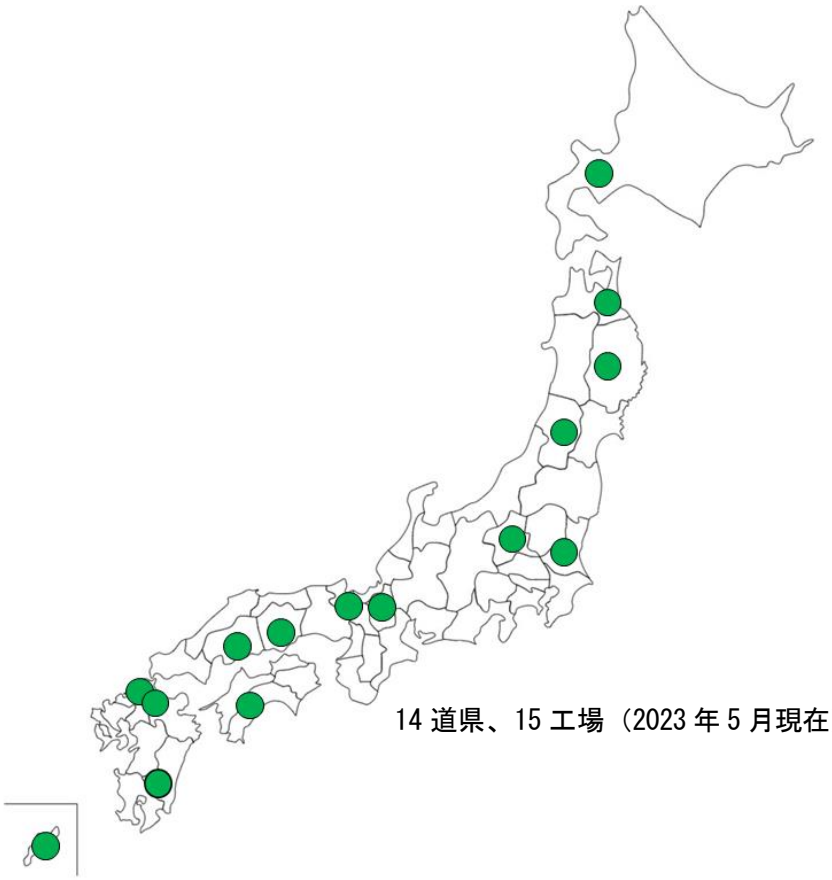
陸上輸送：製造所周辺

海上輸送：船舶の運航状況との条件が合致すれば、全国に供給可能

2) 製造所の立地場所

① ガラス発泡リサイクル資材（製品名：スーパーソル）

スーパーソルの製造工場は、14 道府県に 15 工場が立地している（2023 年 5 月現在）。



出典）「ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル　第 1 版」
（ガラス発泡資材事業協同組合、2020 年 11 月）

図 3.22.2　スーパーソルの製造工場の立地状況

3) 生産量・利用量

① ガラス発泡リサイクル資材（製品名：スーパーソル）

年間：90,000m^3（15 工場合計）

3.22.2 品質

ガラス発泡リサイクル資材は、JIS が規定されている。利用用途に応じて 1 種・2 種の品質性能が規定されている。

（解説）

(1) 物理・力学的性質

1) JIS Z 7313 ガラス発泡リサイクル資材

「JIS Z 7313 ガラス発泡リサイクル資材」において、物理的性質（粒度、絶乾密度、吸水率、せん断抵抗角、スレーキング指数）について、1 種・2 種の規定が定められている。

1 種：主に地盤材料として使用するガラス発泡リサイクル資材

2 種：主に造園・緑化材料として使用するガラス発泡リサイクル資材

ガラス発泡リサイクル資材の物理的性質を**表 3.22.1** に示す。

表 3.22.1　物理的性質

項目		種類								
		1 種					2 種			
粒度	試料の最大粒径(mm)	75	53	26.5	9.5	0.0075	26.5	19	9.5	0.0075
	通過質量分率(%)	100	75～100	5～40	0～10	0～2	100	30～100	0.5～50	0～1
絶乾密度		0.35mg/m³～0.50mg/m³					0.25mg/m³～0.50mg/m³			
吸水率		20%未満					20%以上			
せん断抵抗角		30° 以上					―			
スレーキング指数		0 又は 1					0 又は 1			
注）物理的性質は、力学的性質を含むものとする										

出典）JIS Z 7313「ガラス発泡リサイクル資材」

2) ガラス発泡リサイクル資材（製品名：スーパーソル）

スーパーソルは JIS に適合した製品（**JIS Z 7313 ガラス発泡リサイクル資材**）である。

粒径 2～75mm の不定形な礫状の人工軽石であり、絶乾密度、吸水率等の違いから L1～L4 の規格に分類される。

スーパーソルの標準規格を**表 3.22.2** に示す。

表 3.22.2　スーパーソルの標準規格

規格	絶乾密度	吸水率	特長	用途
L1【2種】	0.25~0.5 mg/㎥	20%以上	連続気泡 高い保水力 超軽量資材	造園・緑化：軽量土壌・土壌改良材 園芸：土の改良材・鉢底石 農業：土壌改良材・暗渠排水材
L2【1種】	0.35~0.5 mg/㎥	20%未満	独立気泡 高強度・低吸水 超軽量資材	土木：軽量盛土材・擁壁裏込材 軽量混合土・橋台背面盛土 緑化・農業：土壌改良材・排水材 畜産：水質浄化資材
L3	0.5~1.0 mg/㎥	10%以下	独立気泡 ほとんど閉気孔 軽量資材	園芸：ハイドロカルチャー資材 水槽：ろ過資材 災害：応急道路段差修正材
L4	1.0~1.6 mg/㎥	5%以下	独立気泡 水より重い	土木：耐震岸壁背面の裏込め資材 水辺の盛土資材 養殖：ろ過資材 畜産：水質浄化資材

※L1 は JIS Z 7313 で規定する 2 種、L2 は JIS Z 7313 で規定する 1 種に適合している

出典）「スーパーソルの仕様・成分表」（ガラス発泡資材事業協同組合 HP、http://www.supersol.jp/supersol）

土木資材として適用されるスーパーソル L2、L4 の設計定数を**表 3.22.3** に示す。

表 3.22.3　スーパーソル L2、L4 の設計定数

規格		規格	
スーパーソル L2		スーパーソル L4	
単位体積重量	4.0kN/m^3	単位体積重量	11kN/m^3
せん断抵抗角（φ）（内部摩擦角）	JIS A 1210 の B 法による最大乾燥密度 90%以上で締め固めた場合　40°	水中有効重量	2.5kN/m^3
		内部摩擦角	42°
粘着力（c）	0kN/m^2	透水係数	1.2cm/sec

出典）「軽量盛土材カタログ、リーフレット 水辺の軽量盛土 L4」（ガラス発泡資材事業協同組合）より作成

(2) 化学的性質

「JIS Z 7313 ガラス発泡リサイクル資材」において、環境安全品質の基準が設けられている。試験方法については、**JIS K 0058-1 第 1 部：溶出量試験方法、JIS K 0058-2 第 2 部：含有量試験方法**に基づき試験を行う。

表 3.22.4　環境安全品質項目

項目	溶出量 mg/L	含有量[注)] mg/kg
カドミウム	0.01 以下	150 以下
鉛	0.01 以下	150 以下
六価クロム	0.05 以下	250 以下
ひ素	0.01 以下	150 以下
水銀	0.0005 以下	15 以下
セレン	0.01 以下	150 以下
ふっ素	0.8 以下	4,000 以下
ほう素	1 以下	4,000 以下
注）ここでいう含有量とは、同語が一般的に意味する“全含有量”とは異なることに注意する		

出典）JIS Z 7313「ガラス発泡リサイクル資材」

※1 カドミウムについては、平成 23 年 10 月より地下水の水質汚濁に係る環境基準が 0.003mg/L 以下に改正されたため、留意が必要である。

※2 令和 3 年 10 月より公共用水域の水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準及び地下水の水質汚濁に係る環境基準の六価クロムの基準値が 0.02mg/L 以下に改正されたため、留意が必要である。

3.22.3 適用用途

(1) 概要

ガラス発泡リサイクル資材を用いる場合は、JIS 及び関係するマニュアル等に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、ガラス発泡リサイクル資材を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.22.5** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○⁺」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.22.5　ガラス発泡リサイクル資材の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	○	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・2) 当該用途を想定した設計・施工マニュアルが整備されている【自社基準】	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・岸壁改良工事（管理者） ・岸壁災害復旧工事（管理者） ・護岸工事（管理者）	2)
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 ・1)JIS Z 7313の1種に該当し、物理的性質、環境安全品質、試験方法が定められている ・2) 当該用途を想定した設計・施工マニュアルが整備されている【自社基準】	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・道路整備工事（国交省） ・道路改良工事（国交省）	1) 2)
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	◎	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 ・1)JIS Z 7313の1種に該当し、物理的性質、環境安全品質、試験方法が定められている ・2) 当該用途を想定した設計・施工マニュアルが整備されている【自社基準】	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・橋梁上部工事（国交省） ・道路改良工事（国交省）	1) 2)
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	△ （水質浄化材）	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・3) 浄化資材として、浄化効果・生物への影響等について今後の検討を要する	－	●利用実績はあるが、情報の詳細が不明。 【主な工事】 ・伊勢えび生簀の濾過槽	3)

出典）

1)JISZ7313 ガラス発泡リサイクル資材（令和元年7月）

2)ガラス発泡リサイクル資材 JISZ7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル　第1版.2020年11月（ガラス発泡資材事業協同組合）（ガラス発泡資材事業協同組合提供資料）

3)浄化資材カタログ（ガラス発泡資材事業協同組合HP、　http://supersol.jp/wordpress/wp-content/uploads/2020/06/a780775ba1cbab981a896ad80d4fa2ae.pdf）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

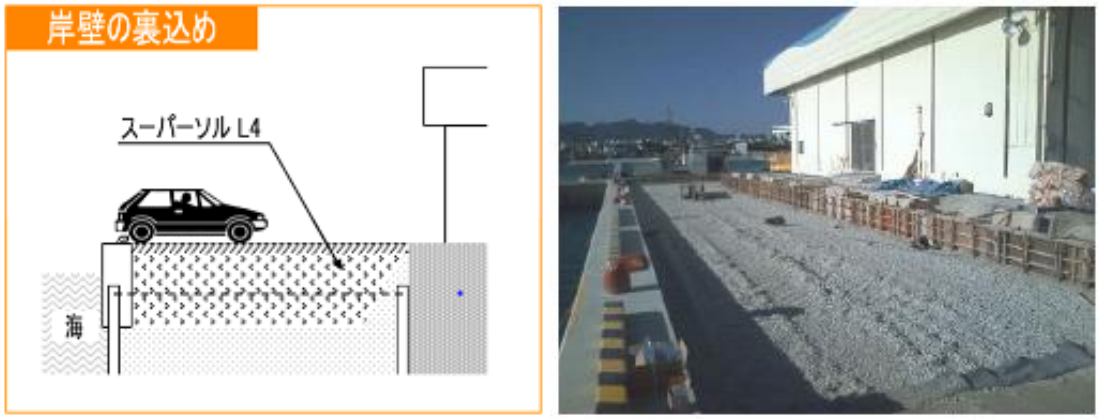
(2) 裏込材

ガラス発泡リサイクル資材を裏込材として利用する場合は、スーパーソル L2（単位体積重量:4kN/m³）が適用され、**「ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル　第 1 版」**を参照できる。

軟弱地盤や不安定地盤上の擁壁（補強土壁）裏込材として、スーパーソル L2（単位体積重量：4kN/m³）が適用される。効果としては、基礎地盤のすべり破壊に対する安全率や支持力に対する安全率が大きく増加して、基礎地盤の改良なしで擁壁を構築できるなどのメリットが生じる。

港湾・空港分野においては岸壁の裏込材として、単位体積重量の大きいスーパーソル L4（単位体積重量：11kN/m³）が適用される。また、軽量盛土材（スーパーソル L2）についても、砕石等と混合することで、岸壁の裏込材に利用できる。

岸壁改良工事、護岸工事での利用実績があり、特に沖縄県では岸壁改良工事で多くの利用実績がある。



出典）「施工事例：岸壁の裏込材に L4 を使用した事例」（ガラス発泡資材事業協同組合 HP、http://www.supersol.jp/archives/718）

図 3.22.3　施工事例（名護漁港-4.5m 岸壁改良工事）

(3) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

ガラス発泡リサイクル資材を盛土材として利用する場合は、スーパーソル L2（単位体積重量:4kN/m³）が適用され、**「ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル　第 1 版」**を参照できる。

盛土材として、スーパーソル L2（単位体積重量：4kN/m³）が適用される。効果としては通常の盛土材に比較して沈下量が大きく減少（通常の盛土材の 1/5 程度）する。また、基礎地盤のすべり破壊に対する安全率は大きく増加（通常の盛土材の 5 倍程度）する。その結果、基礎地盤の改良なしで盛土を構築することができるなどのメリットが生じる。

スーパーソルを軽量盛土材として使用する場合、スーパーソルのみで施工せず、スーパーソル L2 を砕石等と混合して単位体積重量を 4kN/m³ 以上とすることができる。

スーパーソル L2 を軽量盛土材として使用する場合、盛土材の性質を土質試験により十分把握することが重要である。

盛土材としての土質試験方法を**表 3.22.6** に示す。

表 3.22.6　盛土材の土質試験

項目	土質試験項目	試験法	備考
物理的性質の試験	土粒子の密度試験	JIS A 1202	盛土材の分類及び強度の推定
	含水比試験	JIS A 1203	
	粒度試験	JIS A 1204	
	液性限界・塑性限界試験	JIS A 1205	
力学的性能の試験	突固めによる締固め試験	JIS A 1210	施工管理用資料
	三軸圧縮試験	地盤工学会基準	設計定数の測定
耐久性試験	岩石のスレーキング試験	JGS 2124	ぜい弱岩に対して

出典）「ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル　第1版」（ガラス発泡資材事業協同組合、2020年11月）

スーパーソル自体の土性を把握するためには、JIS Z 7313 で規定されている試験（粒度、絶乾密度及び吸水率、せん断抵抗角、スレーキング指数）を行う。スーパーソルの土質試験項目及び試験法を**表 3.22.7** に示す。

表 3.22.7　スーパーソルの土質試験

土質試験項目	試験法	備考
突固めによる締固め試験	JIS A 1210 B-b 法	現場締固め管理値（最大乾燥密度 ρ_{dmax}，最適含水比 w_{opt}）
骨材の単位容積質量	JIS A 1104	ほぐした状態の質量
含水比試験	JIS A 1203	現場での使用状態で試験

出典）「ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル　第1版」（ガラス発泡資材事業協同組合、2020年11月）

(4) 路床盛土材

ガラス発泡リサイクル資材を路床盛土材として利用する場合は、**「ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル　第1版」**を参照できる。

スーパーソルの締固め管理基準値は**表 3.22.8** のとおり設定されている。

表 3.22.8　スーパーソルの締固め管理基準値

使用箇所	盛土1層の仕切り厚さ	締固め度	管理試験頻度
路体	30cm 以下	JIS A 1210 の B-b 法による最大乾燥密度の 90%以上	1000m³ につき1回以上
路床	20cm 以下	JIS A 1210 の B-b 法による最大乾燥密度の 95%以上	500m³ につき1回以上
補強土壁	25cm 以下		

出典）「ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル　第1版」（ガラス発泡資材事業協同組合、2020年11月）

スーパーソルの粒径は現場搬入時には最大 75mm であるが、締固めにより細粒化し最大粒径は 37.5mm 以下となる。したがって、**表 3.22.9** に示す試験法により品質規定方式による締固め管理を行う。

表 3.22.9　締固め管理のために実施する試験

試験名	具体的試験法	備考
土の締固め試験(JIS A 1210)	B-b 法	許容最大粒径 37.5mm
現場密度試験	砂置換法による土の密度試験 (JIS A 1214)	許容最大粒径 53mm 試験孔の深さは 10～15cm 程度

注）現場密度試験では，スーパーソル間の空隙が多いため，砂が試験孔より流出する恐れがある。そこで水置換法と同じように，試験孔の上にビニールシートを敷設して試験を行う。

出典）「ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル 設計・施工マニュアル　第 1 版」（ガラス発泡資材事業協同組合、2020 年 11 月）

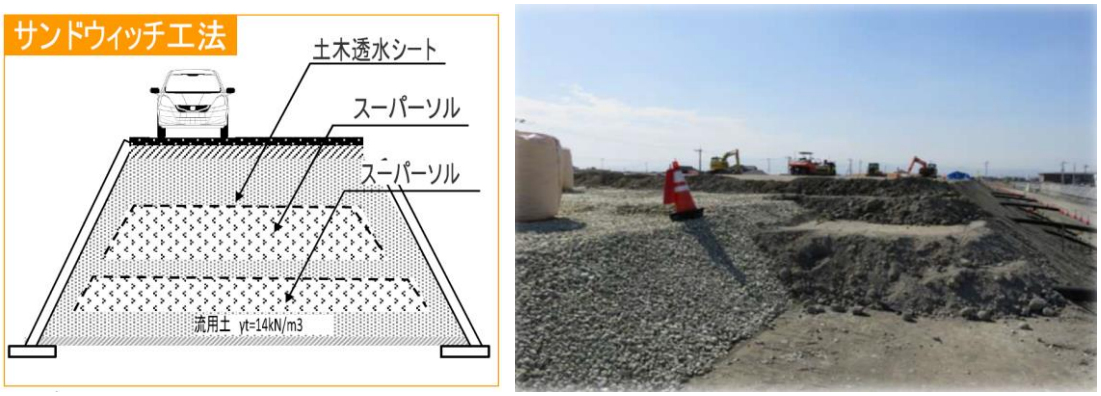
締固め時の注意事項は以下のとおりである。

①過転圧の防止

スーパーソルの締固めにあたっては，締固め不足による不適切な施工を防ぐことや，過度な締固めにより細粒化が進むことによる重量の増加を防ぐ必要がある。特に軽量盛土材であるスーパーソルは，適正な重量を確保するためには過転圧にならないように気を付ける必要がある。

②転圧機械の選定

スーパーソルの転圧機械には，1t 振動ローラ（有振動）もしくは 4t 振動ローラ（無振動）が使用される場合が多い。路体ではこれらの転圧機械で 4～6 回程度転圧するのが一応の目安となるが，施工前に試験施工を行い，締固め管理基準値を満足する転圧回数を決定する必要がある。



出典）「スーパーソル適用事例：混合軽量土・サンドウィッチ式の事例」（ガラス発泡資材事業協同組合提供資料）

図 3.22.4　施工事例（有明海沿岸道路 国道 444 号整備工事）

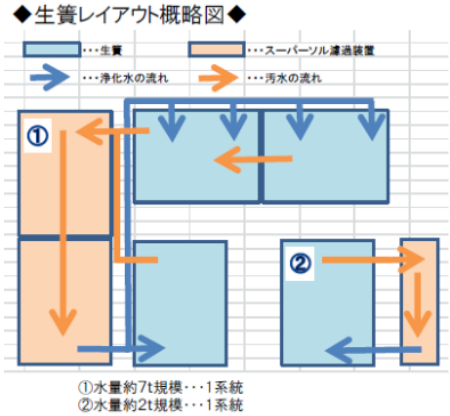
(5) 今後の検討を要する用途

1) その他（水質浄化）

表面に微細な気泡が無数にあるため、有用微生物の棲みかとしての機能を有しており、水質浄化材としての利用が考えられる。

蓄養施設の浄化槽の水質浄化材としての利用実績はあるものの、浄化効果・生物への影響等の情報は不明である。

▲浄化槽の様子



出典）「浄化資材カタログ」（ガラス発泡資材事業協同組合 HP、
https://www.supersol.jp/wordpress/wp-content/themes/Matsuya%20wp_v02/images/catalog/catalog4.pdf）

図 3.22.5　施工事例（生簀の海水ろ過）

3.22.4 関係法令

廃ガラスは産業副産物（ガラスくず）に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.22.5 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

ガラス発泡リサイクル資材を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

なお、掘削した使用後のガラス発泡リサイクル資材を、残土として処分可能であるかについて調査した結果、地盤材料の工学的分類では細粒分まじり礫（GF）に分類され、これは第 2 種建設発生土に該当する。建設発生土の法令上の取り扱いについては、**「3.1　建設発生土」**を参照のこと。

また、再利用・廃棄を検討する際には、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.23 ペーパースラッジ

3.23.1 製造・供給

ペーパースラッジは、古紙などから再生紙を製造する際、紙にならず排水中に流出した短繊維や無機物を濃縮し、脱水したものである。ペーパースラッジを繊維質気泡モルタル用混和材として加工した製品が製造されている。

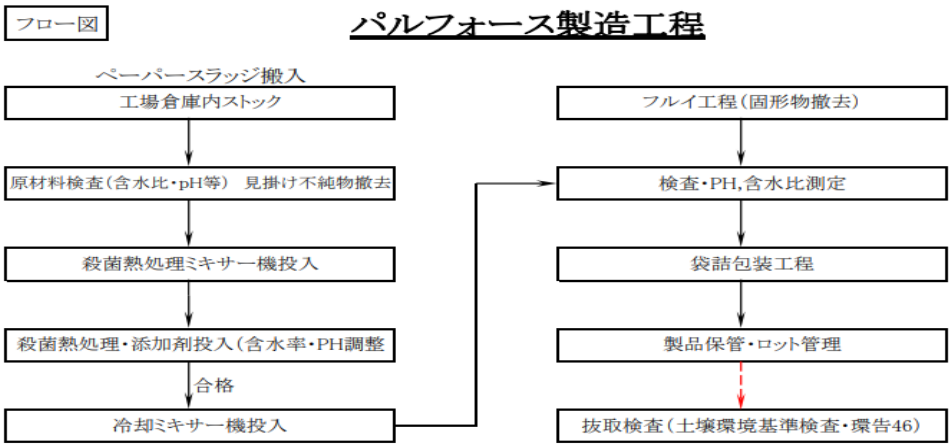
（解説）

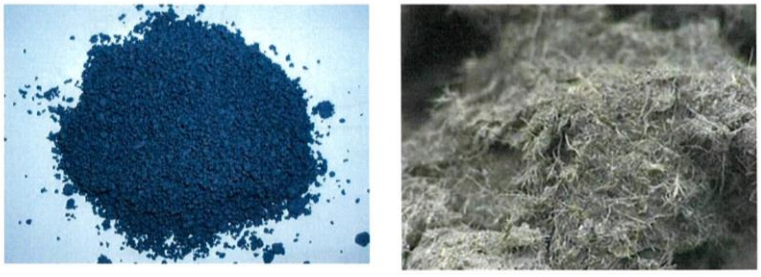
(1) 製造方法

ペーパースラッジは古紙などから再生紙を製造する際、紙にならず排水中に流出した短繊維や無機物を濃縮し、脱水したものである。

このうち、パルフォース共同企業体では、製紙工場から排出される副産物（ペーパースラッジ）を原料（原材料 98%）とした繊維質気泡モルタル用混和材「パルフォース」を製造している。

パルフォースの製造工程を図 3.23.1 に示す。





パルフォース　　拡大写真

出典）パルフォースモルタル工法協会提供資料より作成

図 3.23.1　パルフォースの製造工程

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

① 繊維質気泡モルタル用混和材（製品名：パルフォース）

全国：陸上輸送、海上輸送、航空輸送が可能

2) 製造所の立地場所

① 繊維質気泡モルタル用混和材（製品名：パルフォース）

パルフォース共同企業体 製造工場（山形県新庄市）

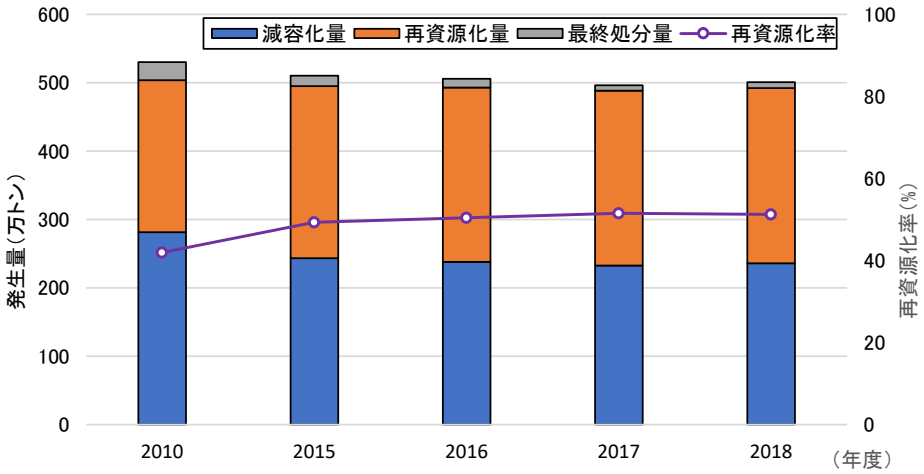
3) 生産量・利用量

① ペーパースラッジ

製紙業界から発生する産業廃棄物及び再資源化率の推移を**図 3.23.2** に、製紙業界から発生する産業廃棄物の内訳及び再資源化量の内訳を**図 3.23.3** に示す。

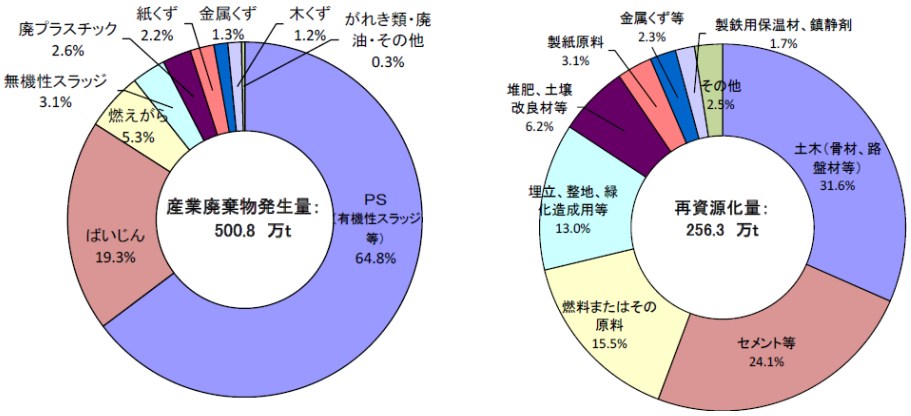
製紙業界から年間 500 万トンの廃棄物が発生しており、発生する産業廃棄物のうち、ペーパースラッジの割合は 64.8%を占めていた（平成 30 年度）。

製紙業界から発生する産業廃棄物の再資源化率は 50%程度となっており、土木材料（骨材、路盤材等）やセメント等に使用されていた（平成 30 年度）。



出典）日本製紙連合会 HP、2019 年度「環境行動計画（廃棄物対策）」フォローアップ調査結果（2018 年度実績）より作成

図 3.23.2　製紙業界の産業廃棄物発生量（36 社 103 工場・事業所対象）



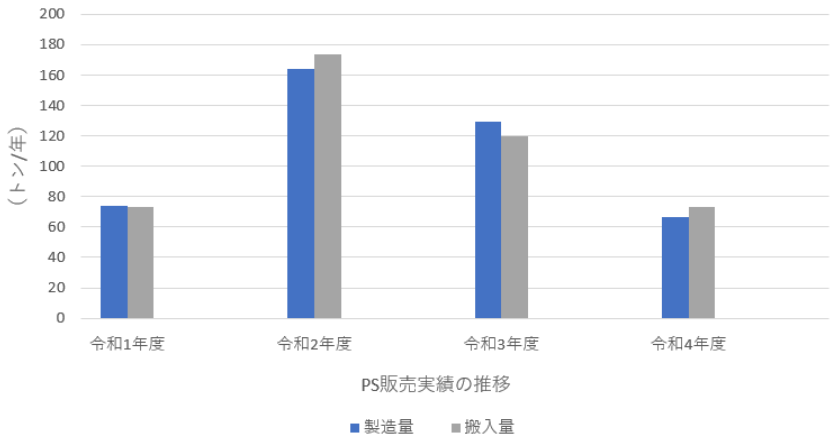
出典）日本製紙連合会 HP、2019 年度「環境行動計画（廃棄物対策）」フォローアップ調査結果（2018 年度実績）より作成

図 3.23.3　製紙業界からの産業廃棄物発生量と再資源化量の内訳（平成 30 年度実績）

② 繊維質気泡モルタル用混和材（製品名：パルフォース）

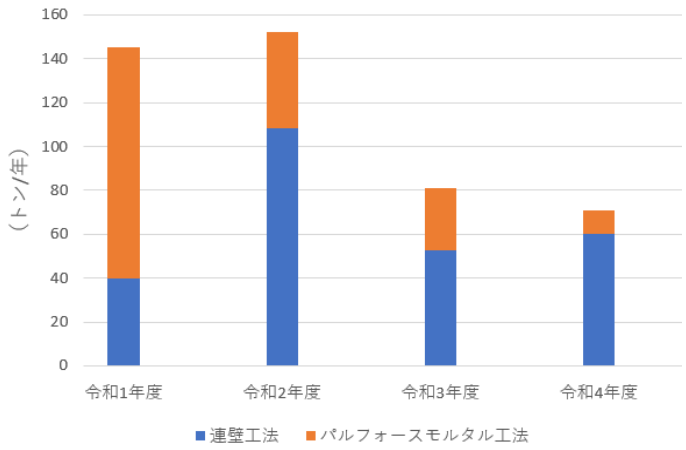
生産量：約 110.0 t /年（令和 1～4 年平均）

利用量：約 113.0 t /年（令和 1～4 年平均）



出典）パルフォースモルタル工法協会提供資料

図 3.23.4　ペーパースラッジ搬入量とパルフォース製造量



出典）パルフォースモルタル工法協会提供資料

図 3.23.5　パルフォース利用量

3.23.2 品質

ペーパースラッジの品質については、北海道立工業試験場報告結果等で確認できる。
繊維質気泡モルタル用混和材の環境安全性については、製造事業者で実施されている溶出試験報告結果より確認できる。

（解説）

(1) 物理・力学的性質

ペーパースラッジは水分を多く含んでおり、繊維質と無機填料の絡み合った緻密な構造を有している。また、ペーパースラッジを乾燥・炭化させたペーパースラッジ炭化物については、化学組成はペーパースラッジと概ね一致し、無数の空隙を有する構造をしている[1)]。

【参考文献】

1）「古紙スラッジのリサイクル」（北海道立工業試験場報告 No.298）　（地独）北海道立総合研究機構提供

(2) 化学的性質

1)　化学組成

ペーパースラッジの組成及び化学組成を**図 3.23.6** に示す。

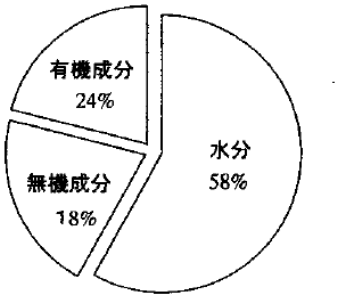


図2　ペーパースラッジ（PS）の組成

表1　ペーパースラッジ（PS）の化学組成

成分名	分析結果(wt.%)
強熱減量	56
SiO_2	15.6
CaO	11.3
Al_2O_3	8.4
Fe_2O_3	5.2
MgO	2.3
その他	1.2

出典）「古紙スラッジのリサイクル」（北海道立工業試験場報告 No.298）　（地独）北海道立総合研究機構提供

図 3.23.6　ペーパースラッジの組成及び化学組成

2) pH

ペーパースラッジ炭化物の pH と炭化温度の関係を**図 3.23.7** に示す。

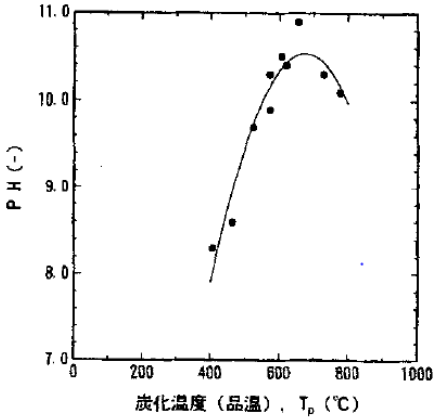


図11　pHと炭化温度の関係

出典）「古紙スラッジのリサイクル」（北海道立工業試験場報告 No.298）　（地独）北海道立総合研究機構提供

図 3.23.7　ペーパースラッジ炭化物の pH と炭化温度の関係

3) 環境安全品質

① ペーパースラッジ

「産業廃棄物に含まれる金属等の検出方法（環境庁告示 87 号）」に基づく、ペーパースラッジの重金属溶出試験結果を**表 3.23.1** に、ペーパースラッジ炭化物の重金属含有量を**表 3.23.2** に示す。なお、基準値の欄には**「肥料取締法に基づく基準値」**を示している。

ペーパースラッジの重金属溶出試験結果及びペーパースラッジ炭化物の重金属含有量はともに肥料の基準値を下回る結果が得られている。

表 3.23.1　ペーパースラッジ（PS）の重金属溶出試験結果

項目	PS mg/L	基準値 mg/L
カドミウム	＜0.005	＜0.3
鉛	＜0.005	＜0.3
砒素	＜0.005	＜0.3
六価クロム	＜0.04	＜1.5
シアン	＜0.01	＜1
有機リン	＜0.1	＜1
水銀	＜0.0005	＜0.005
アルキル水銀	＜0.0005	ND
PCB	＜0.0005	＜0.003

出典）「古紙スラッジのリサイクル」（北海道立工業試験場報告 No.298）　（地独）北海道立総合研究機構提供より作成

表 3.23.2　ペーパースラッジ（PS）炭化物の重金属含有量

項目	PS ppm	PS 炭化物 ppm	基準値 ppm
カドミウム	1.27	0.71	＜5
鉛	19	27	－
砒素	4.9	3.9	＜50
水銀	0.02	0.001	＜2

出典）「古紙スラッジのリサイクル」（北海道立工業試験場報告 No.298）　（地独）北海道立総合研究機構提供より作成

② 繊維質気泡モルタル用混和材（製品名：パルフォース）

繊維質気泡モルタル用混和材（製品名：パルフォース）については、**「土壌の汚染に係る環境基準について（平成 3 年環境庁告示第 46 号）」**の溶出量試験により基準値以下であることが確認されている。

表 3.23.3　パルフォースの溶出量試験報告結果

土壌環境基準（環告46）　　**溶出試験報告書**

試料名称	パルフォース（PS加工品）

分析の対象	基準値 (mg/L)	H30 2018	H31/R1 2019	R2 2020	R3 2021	R4 2022
1 カドミウム	0.003以下	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満
2 全シアン	検出されないこと	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満
3 有機リン	検出されないこと	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満
4 鉛	0.01以下	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満
5 六価クロム	0.05以下	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.02未満	0.02未満
6 砒素	0.01以下	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満
7 総水銀	0.0005以下	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
8 アルキル水銀	検出されないこと	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
9 PCB	検出されないこと	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
10 ジクロロメタン	0.02以下	0.007	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
11 四塩化炭素	0.002以下	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満
12 クロロエチレン	0.002以下	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満
13 1,2-ジクロロエタン	0.004以下	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満
14 1,1-ジクロロエチレン	0.1以下	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
15 1,2-ジクロロエチレン	0.04以下	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満
16 1,1,1-トリクロロエタン	1以下	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
17 1,1,2-トリクロロエタン	0.006以下	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満
18 トリクロロエチレン	0.01以下	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
19 テトラクロロエチレン	0.01以下	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
20 1,3-ジクロロプロペン	0.002以下	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満
21 チウラム	0.006以下	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満
22 シマジン	0.003以下	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満
23 チオベンカルブ	0.02以下	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
24 ベンゼン	0.01以下	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満
25 セレン	0.01以下	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
26 ふっ素	0.8以下	0.14	0.09	0.23	0.13	0.19
27 ほう素	1以下	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満
28 1,4-ジオキサン	0.05以下	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満

注 1）結果の未満表示の数値は定量下限値を示す
注 2）基準値の「検出されないこと」とは、法令で定められた方法により測定した場合において、その結果が当該方法の定量限界を下回ることをいう

出典）溶出量試験報告書「パルフォース（PS 加工品）」（パルフォースモルタル工法協会提供資料）

3.23.3 適用用途

(1) 概要

ペーパースラッジをリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、ペーパースラッジを各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.23.4** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○⁺」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.23.4　ペーパースラッジの適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	○ （充填材）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・1)当該用途を想定した設計・施工マニュアルが整備されている【自社基準】 ・2) 新技術情報提供システム（NETIS）の技術情報より、標準材料と同等以上の材料と判断できる	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・河道整備工事（国交省） ・道路改良工事（管理者） ・トンネル空洞充填対策工事（その他）	1) 2)

出典）
1)パルフォースモルタル工法説明資料 （パルフォースモルタル工法協会）
2) 新技術情報提供システム（NETIS）（TH-040015-A）パルフォースモルタル工法

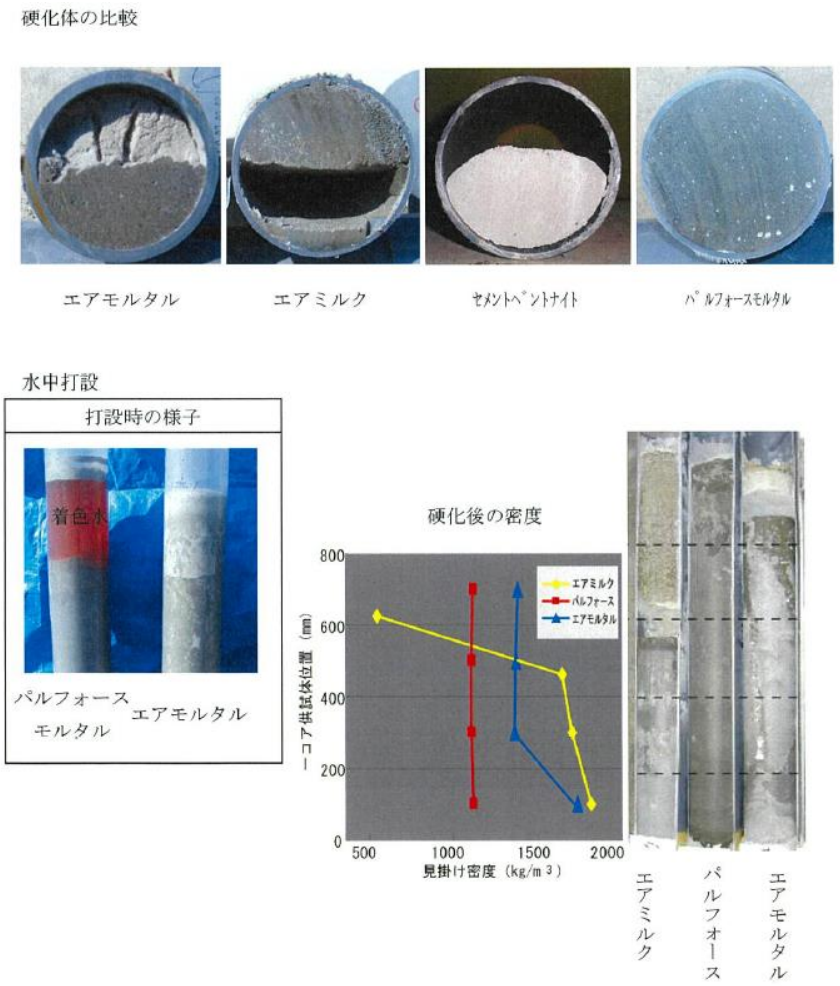
注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) その他（充填材）

ペーパースラッジを繊維質気泡モルタル用混和材として、充填材に利用する場合は、**「パルフォースモルタル工法技術資料」（パルフォースモルタル工法協会）**を参照できる。

パルフォースモルタルの特徴は以下のとおりである。

- 硬化後乾燥密度（0.85g/cm^3）が水より軽い
- 硬化後の分離抵抗性に優れる（水がある場所にも打設可能）
- 硬化前・硬化後の体積変化が少ない
- 繊維の補強効果により耐久性が向上



出典）パルフォースモルタル工法説明資料　（パルフォースモルタル工法協会）

図 3.23.8　パルフォースモルタルの性状

パルフォースモルタルの標準の配合条件を**表 3.23.5** に、標準配合における品質特性を**表 3.23.6** に示す。

表 3.23.5　パルフォースモルタルの配合条件

（1m³当り）

配合	パルフォース	セメント	水	セルボール	パルフォーム	空気量	湿潤密度	フロー値	圧縮強度
	kg	kg	kg	kg	kg	%	g/cm³	mm	N/mm²
配合①	80.0	540	380	2.1	1.1	36.6	1.02	200±20	1.0以上
配合②	60.0	560	367	2.2	1.1	38.4	1.01	220±20	1.0以上
配合③	40.0	580	360	2.3	1.1	40.0	1.00	230±20	1.0以上
配合④	40.0	400	259	3.2	—	55.0	0.73	200±20	0.5以上

出典）パルフォースモルタル工法技術資料　（パルフォースモルタル工法協会）

表 3.23.6　各配合の標準特性

試験項目	単位	品質特性				規　格
		配合 ①	配合 ②	配合 ③	配合 ④	
湿潤密度(生比重)	g/cm³	1.0～1.1	1.0～1.1	1.0～1.1	0.7～0.8	JIS A 116
フロー値	mm	180～220	200～240	210～250	180～220	JHS A 313
ブリーデング	%	1未満	1未満	1未満	1未満	JSCE－522
乾燥密度	g/cm³	0.9～1.0	0.9～1.0	0.9～1.0	0.6～0.7	材令28日
圧縮試験	N/cm²	1.0～4.0	1.0～4.0	1.0～4.0	0.5～1.5	JIS A 1108（材令28日）
乾湿繰り返し試験	サイクル	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	建設省土研法(10サイクル)
凍結融解試験	サイクル	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	JHS21512サイクル）

出典）パルフォースモルタル工法技術資料　（パルフォースモルタル工法協会）

配合①（分離抵抗性重視配合）

最も分離抵抗性が高く、水中打設に適している。また、可塑状に近い性能を示すため限定注入を求められる箇所へ適応できる。

配合②（万能型配合）

分離抵抗性、水に対する抵抗性、軽量性の物性バランスの良い配合である。

配合③（流動性配合）

フロー値が大きく自己流動性が高いので、自重による打設や長距離の充填打設に適している。また、若干の水に対する抵抗力はあるが、水中打設は困難である。

配合④（軽量性重視配合）

軽量性に優れていて、浮力低減などを必要とするパイプインパイプの中込材などに適している。但し湿潤密度（生比重）が 1.0g/cm³ 以下となるので、水に対する分離抵抗力は劣る。

空隙充填材にパルフォースモルタルを使用した空隙充填工法（パルフォースモルタル工法）は、以下のような施工用途で使用されている。

①残置管の内空充填

上下水道管、ガス・電力・通信管、排水溝などの撤去不可能な残置構造物を充填閉塞できる。パルフォースモルタルで充填を行うと、優れた分離抵抗性により悪条件でも水を押し出し完全な充填閉塞が可能である。

②パイプルーフ管の内空充填

トンネル工事において、規定の土被りが確保できない場合や地山条件が悪い場合など、掘削時の補助工法としてパイプルーフ工法を併用する。

パイプルーフ工法とは、パイプ(鋼管)を本体構造物の外周に沿って等間隔にアーチ状または柱列状に水平に打設し、ルーフや壁を作り、地上及び地下埋設物などの防護を目的とする補助工法であり、パルフォースモルタルを使用すれば地山の地下水等がある場合でも水を押し出し確実な充填が可能である。

③パイプインパイプ工法の中込充填

既設、新設管の内部に強化プラスチック管などの内管を設置するパイプインパイプ工法では、外管と内管の隙間を充填する必要がある。この充填材としては、内管に浮力を与えない軽量性と均一に充填するための流動性が必要であり、パルフォースモルタルを使用すれば、軽量であるために浮力が小さく、また流動性が優れているため、確実な充填が可能である。

④水路補修工法の裏込充填

既設水路や排水溝などの内面に FRP 板等を貼り付け、既存の流量を確保しながら既設構造物を改修する工法がある。既設構造物と FRP 板の隙間を充填する必要があるが、この充填は流水があることが多いうえに隙間が狭く施工条件が悪い。パルフォースモルタルはこのような悪条件でも施工可能である。

⑤トンネル覆工の裏込充填及び構造物、床下充填

トンネル覆工背面の地山は、地下水により侵食され空隙が発生する。この空隙への充填は地下水が滞留しており、また無数に広がる地山亀裂への浸透も考えられる。

パルフォースモルタルを使用することにより、水による希釈が少なく、充填不要な亀裂への目詰効果により限定注入が可能である。

3.23.4 関係法令

ペーパースラッジは産業副産物（汚泥）に該当する。また、ペーパースラッジを空隙充填材として適用するに当たって、コンクリート圧送作業終了後に発生する残コンは、廃棄物処理法で定める「コンクリートくず」に該当する。

産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.23.5 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

ペーパースラッジを材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.24 ペーパースラッジ焼却灰（PS 灰）

3.24.1 製造・供給

ペーパースラッジ焼却灰（PS 灰）は、製紙工場から発生するペーパースラッジ（PS）を焼却した際に発生する焼却灰であり、PS 灰系改質材としてリサイクル製品が製造されている。

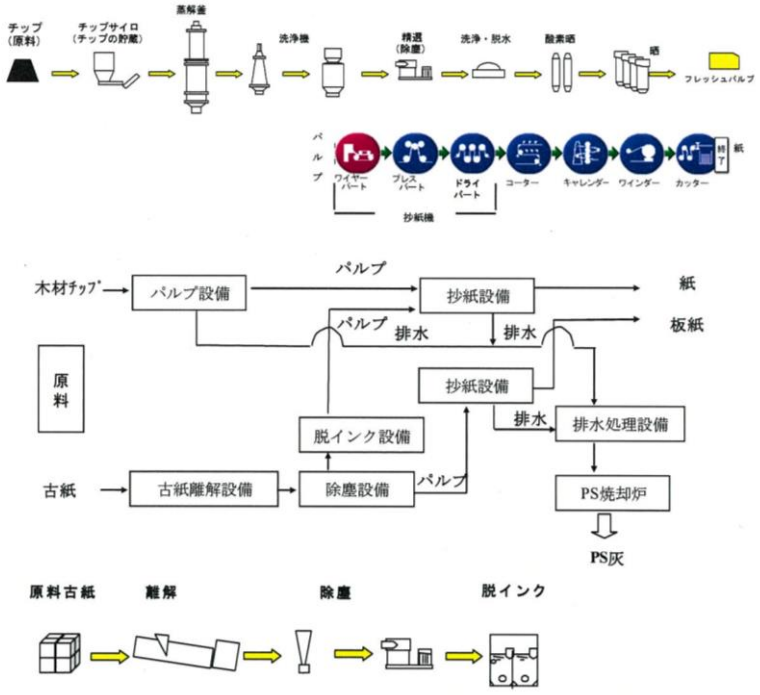
（解説）

(1) 製造方法

PS 灰は製紙工場から発生する PS を焼却した際に発生する焼却灰のことである。

このうち、PS 灰を利用したリサイクル材料として、「FT マッドキラー」、「ワトル」といったリサイクル製品が製造されている。

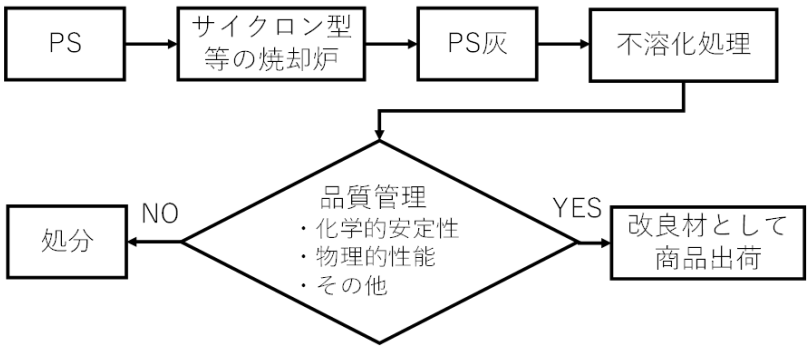
PS 灰の発生フローを**図 3.24.1** に、PS 灰の処理フローを**図 3.24.2** に示す。



※日本製紙連合会資料より作成

出典）平成 20 年度 ペーパースラッジ灰利用浚渫泥土リサイクル技術に関する調査報告書（（財）エンジニアリング振興協会、平成 21 年 3 月）

図 3.24.1　PS 灰の発生フロー



出典）株式会社フジタ提供資料より作成

図 3.24.2　PS 灰の処理フロー

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

① PS 灰系改質材（製品名：FT マッドキラー）

供給場所：フレコンまたはバラで全国へ供給可能

供給方法：トラックでの陸上輸送が主体である

② PS 灰系改質材（製品名：ワトル）

供給場所：フレコンで全国へ供給可能。バラで関東圏へ供給可能

供給方法：トラックでの陸上輸送が主体である

2) 製造所の立地場所

① PS 灰系改質材（製品名：FT マッドキラー）

製造場所：静岡県内を中心に製造している

② PS 灰系改質材（製品名：ワトル）

製造場所：千葉県、愛媛県

3) 生産量・利用量

① PS 灰系改質材（製品名：FT マッドキラー）

年間、1～2 万トンが有効利用され、令和 5 年 3 月末時点で合計約 28 万トンが利用されている。

② PS 灰系改質材（製品名：ワトル）

年間、約 3.5 万トンが有効利用され、令和 5 年 3 月末時点で合計約 23 万トンが利用されている。

3.24.2 品質

PS 灰は無機多孔質で高い吸水性を有する材料であり、PS 灰系改質材としての品質性能等について「無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」（公益社団法人地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、2021 年 3 月 31 日）より確認できる。

（解説）

PS 灰は製造工場によって、紙原料・焼却炉の形式が異なるため物理特性や強度変形物性が異なってくるが、同一場所（工場）から発生する灰については、他の焼却灰と比較して安定的な品質のものが排出される傾向にある。

(1) PS 灰の品質

1) 物理・力学的性質

① 粒子密度

PS 灰系改質材の母材となる PS 灰の粒子密度を**表 3.24.1** に示す。

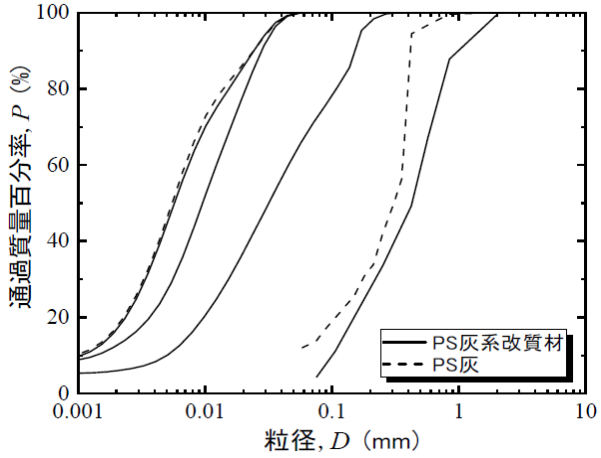
表 3.24.1　PS 灰の粒子密度

項目	PS 灰 A		PS 灰 B		PS 灰 C		PS 灰 D	
焼却炉	サイクロン炉		ストーカー炉		流動床炉			
分類	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
粒子密度 (g/cm^3)	2.59～2.63	2.61	2.29～2.56	2.42	2.64～2.74	2.67	2.65～2.74	2.66

出典）「無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」（（公社）地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、2021 年 3 月 31 日）

② 粒度

PS 灰及び PS 灰系改質材の粒度の例を**図 3.24.3** に示す。



出典）「無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」（（公社）地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、2021 年 3 月 31 日）

図 3.24.3　PS 灰及び PS 灰系改質材の粒度の例

2) 化学的性質

PS 灰は処理方法によっては有害な成分が多く含まれる場合があり、焼却方法の選定や化学的成分による選別が重要とされている[1)]。

PS 灰の代表的な焼却炉型式として、サイクロン炉、ストーカー炉、流動床炉が挙げられる[2)]。

① 成分含有率、pH

日本全国の製紙工場から採取した 88 種類の PS 灰について、その成分含有率を蛍光 X 線分析法で求めた結果を**表 3.24.2** に示す。

表 3.24.2　PS 灰（88 種類）の成分含有率

項目	成分含有率(%)		
	全 PS 灰(範囲)	平均値	標準偏差 σ
Al_2O_3	9.00～54.2	25.0	11.8
SiO_2	9.10～57.1	31.7	11.0
CaO	2.30～60.3	22.7	17.0
MgO	0.800～11.8	4.40	3.45
Fe_2O_3	0.800～3.30	1.80	0.875

出典）「無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」（（公社）地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、2021 年 3 月 31 日）

PS 灰の pH を土懸濁液の pH 試験方法（JGS 0211）に準拠して求めた結果を**表 3.24.3** に示す。

表 3.24.3　PS 灰（88 種類）の pH

項目	全 PS 灰(範囲)	平均値	標準偏差 σ
pH	7.20～13.2	11.3	1.28

出典）「無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」（（公社）地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、2021 年 3 月 31 日）

【参考文献】

1）平成 20 年度 ペーパースラッジ灰利用浚渫泥土リサイクル技術に関する調査報告書（（財）エンジニアリング振興協会、平成 21 年 3 月）

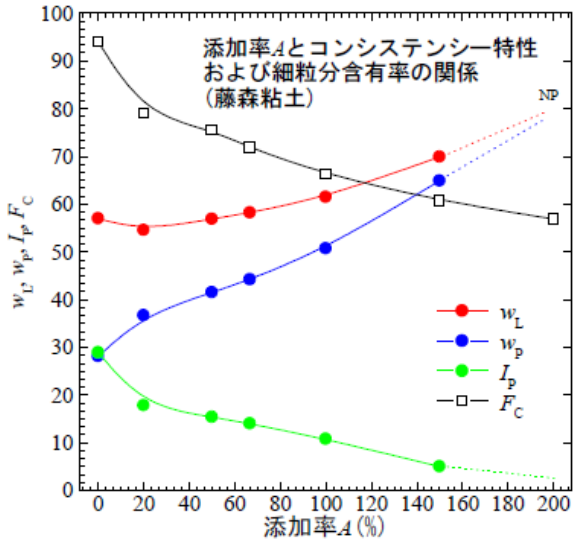
2）望月美登志：焼却方法が異なる各種 PS 灰の吸水性評価と泥土改質への適用性，土木学会論文集 C（地圏工学），Vol.75，No.2，pp.155-166，2019.

(2) PS 灰系改質土の品質

1） 物理・力学的性質

① コンシステンシー特性

藤森粘土（液性限界 wL；57.0%，塑性限界 wP；28.1%，塑性指数 IP；28.9）に比較的粗粒の PS 灰系改質材を添加した場合の改質土のコンシステンシー特性（wL，wP，IP）と細粒分含有率 Fc の変化を**図 3.24.4** に示す。



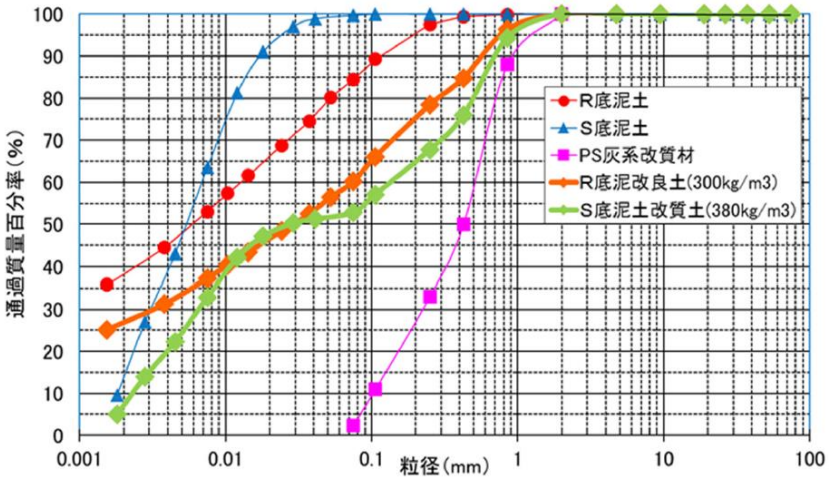
出典）無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」（（公社）地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、2021 年 3 月 31 日）

図 3.24.4　粗粒状の PS 灰系改質材により改質した粘土のコンシステンシー特性

② 粒度特性

PS 灰系改質材の場合、改質土の粒度は原土と改質材の合成粒度として示すことができる。

原土（浚渫泥土）と PS 灰系改質材の粒度及びその混合土（改質土）の合成粒度の例を**図 3.24.5** に示す。



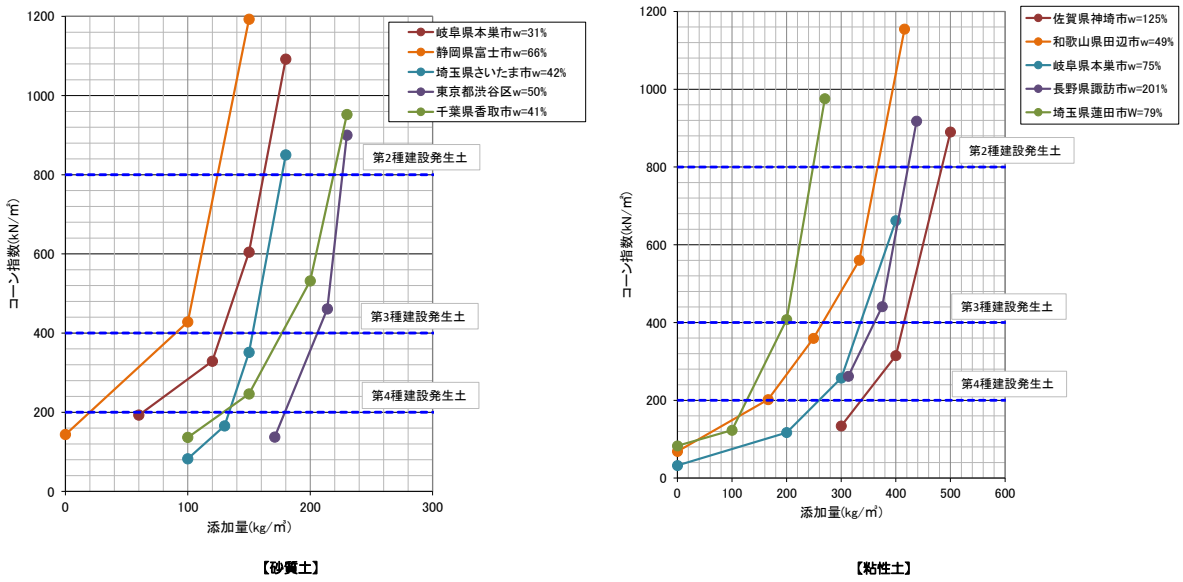
出典）「無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」（（公社）地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、2021 年 3 月 31 日）

図 3.24.5　原土（底泥土）、PS 灰系改質材、改質土の粒度の例

③ 力学特性

a. コーン指数

全国各地のさまざまな土に対して、1 種類の PS 灰系改質材で実施した配合試験の結果の一例を**図 3.24.6** に示す

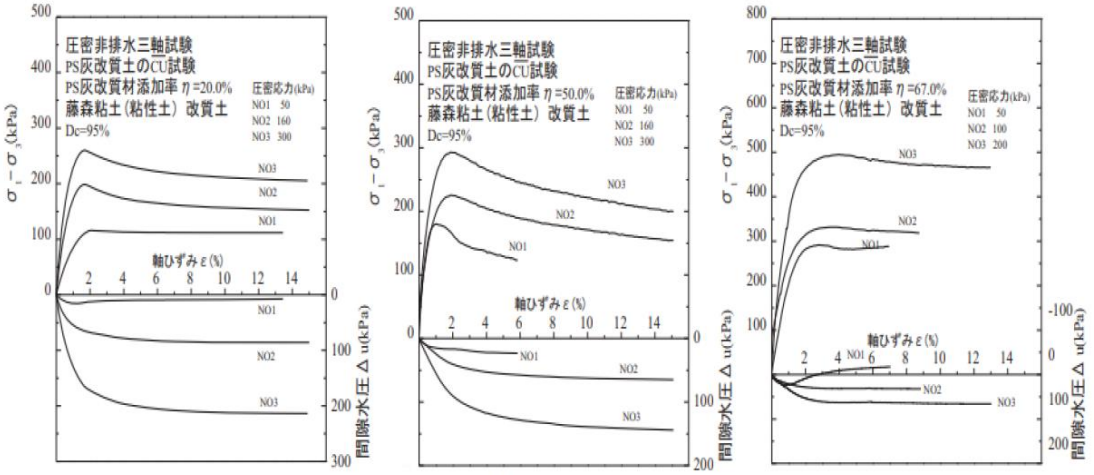


出典）株式会社フジタ提供資料

図 3.24.6　PS 灰系改質材による各種地盤材料の改質効果の例

b. 三軸圧縮強度

PS 灰系改質土の場合、同じ密度管理手法で締固めた原土よりも非排水せん断における過剰間隙水圧の発生が抑制され、粘り強い強度特性を示す。



(a) A=20%　　(b) A=50%　　(c) A=67%

※A：PS 系改質材の添加率

出典）「無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」（（公社）地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、2021 年 3 月 31 日）

図 3.24.7　PS 灰系改質材により改質した藤森粘土の三軸$\overline{CU}$試験結果

2) 化学的性質

① 生態系毒性試験

「平成 20 年度 ペーパースラッジ灰利用浚渫泥土リサイクル技術に関する調査報告書」において、生物系毒性試験の試験結果がとりまとめられている。

生態系毒性試験については、OECD が定めたテストガイドラインに準拠して甲殻類「ミジンコ急性毒性試験及び繁殖試験」と魚類「ヒメダカ急性毒性試験」について実施されている。

a. ミジンコ急性毒性試験及び繁殖試験

【試験方法】

・ミジンコ急性遊泳阻害試験（OECD テストガイドライン 202 又は化審法テストガイドラインに準拠）

・ミジンコ繁殖試験（OECD テストガイドラン 211 に準拠）

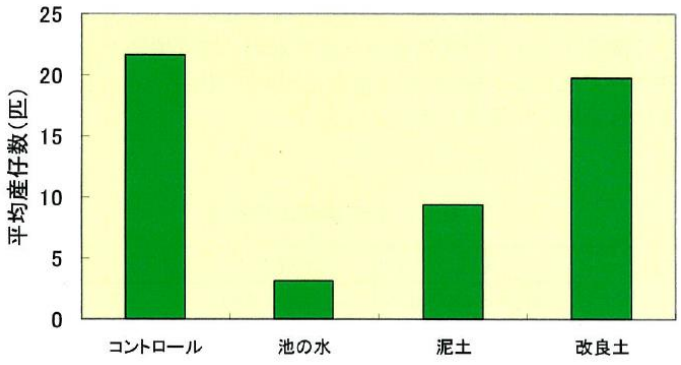
【試験結果】

ミジンコによる繁殖試験の結果より、未改良泥土の状態では、繁殖阻害率が 60%になるところを改良することによってほぼ対照と同等の繁殖率まで改善できる。

表 3.24.4　試験結果一覧表

サンプル / 確認項目	急性毒性	平均産仔数	標準偏差	親子体死亡率（%）	繁殖阻害率（%）
①コントロール（対照）	なし	21.67	1.31	0	--------
②池の水のみ	なし	3.00	0.41	60	86.15
③泥土＋池の水	なし	9.40	1.64	0	56.62
④改良泥土＋池の水	なし	19.80	1.66	0	8.62

出典）平成 20 年度 ペーパースラッジ灰利用浚渫泥土リサイクル技術に関する調査報告書
（（財）エンジニアリング振興協会、平成 21 年 3 月）



出典）平成 20 年度 ペーパースラッジ灰利用浚渫泥土リサイクル技術に関する調査報告書
（（財）エンジニアリング振興協会、平成 21 年 3 月）

図 3.24.8　ミジンコの繁殖試験結果

b. ヒメダカ急性毒性試験

【試験方法】

・魚類急性毒性試験（OECD テストガイドライン 203 又は化審法テストガイドラインに準拠）

・測定項目は各試験区のヒメダカの挙動を観測し、24 及び 48、72、96 時間の死亡数を記録

・試験開始時間及び終了時の各区の試験水の pH、DO（溶存酸素濃度）を測定

【試験結果】

急性毒性試験結果より 96 時間後のヒメダカの死亡率は 0%であり、魚類急性毒性はないと考えられる。

表 3.24.5　死亡率と pH 及び DO

試験区	開始時			24時間			48時間		
	魚数	pH	DO(mg/L)	生存	pH	DO(mg/L)	生存	pH	DO(mg/L)
底泥土	10	7.6	6.87	10	7.4	5.52	10	7.1	5.24
					7.4	7.48		7.4	7.18
改良土	10	7.6	7.14	10	7.4	5.39	10	7.2	5.57
					7.4	7.19		7.4	6.89

試験区	72時間			96時間		
	生存	pH	DO(mg/L)	生存	pH	DO(mg/L)
底泥土	10	7.3	5.61	10	7.2	5.67
		7.3	7.32			
改良土	10	7.4	5.48	10	7.3	5.6
		7.5	7.2			

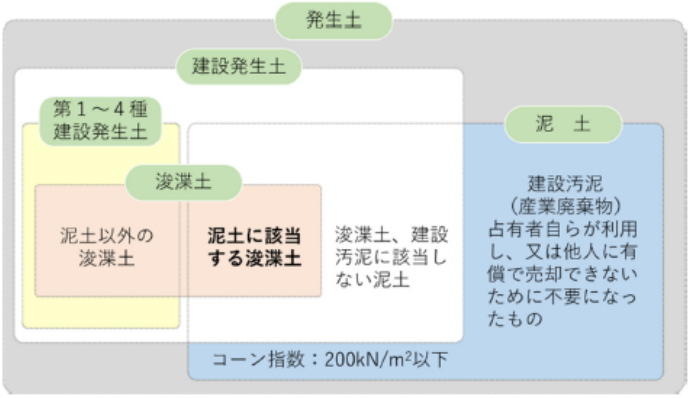
出典）平成 20 年度 ペーパースラッジ灰利用浚渫泥土リサイクル技術に関する調査報告書
（（財）エンジニアリング振興協会、平成 21 年 3 月）

3.24.3 加工・改良技術

PS 灰を使用した改質技術については、「無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」（公益社団法人地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、2021 年 3 月 31 日）を参照できる。
PS 灰系改質材の場合、PS 灰粒子の多孔質性による物理的吸水を主に利用することにより、浚渫泥土等を瞬時に改質して盛土材や埋立材等として使用できる。

（解説）

PS 灰系改質材の場合、改質材粒子が多孔質であるため、改質材を泥土に添加すると泥土中の自由水分を改質材粒子の内部に拘束水として取り込む。すなわち、瞬時に物理的に吸水することで泥土中の余剰水分が減少し、締固めが可能な改質土となる。さらに、高含水比で乾燥質量の小さい対象泥土に PS 灰系改質材の中でも粒径の大きい細砂径の改質材を使用すると**図 3.24.9** に示すとおり盛土材として利用できない高含水浚渫泥土の粒度を調整できる。



※（一社）泥土リサイクル協会資料より作成

出典）「無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」（（公社）地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、2021 年 3 月 31 日）

図 3.24.9　PS 灰系改質材の対象土砂

この適用技術において、配合直後における吸水性能が低い改質材を使用すると（長期的な吸水性能には優れていても）、改質材の添加量が多くなり、費用が著しく増大したりあるいは改質土量が増大したりするので留意する必要がある。

PS 灰系改質材を用いる場合、改質土の品質の評価を「締固めた土のコーン指数試験」で行うことを基本としている。ただし、コーン指数以外の品質評価が適用される土構造物もあり、PS 灰系改質土の品質評価として、以下の 3 項目に着目することがある。

① コーン指数による品質評価
② 締固めによる品質評価
③ 強度定数などによる品質評価

また、改良技術については、製造事業者によるパンフレットや技術資料等の情報を参考にできる。改良技術の一例を次に示す。

(1) PS 灰系改質材（製品名：FT マッドキラー）

FT マッドキラーの特性を**表 3.24.6** に示す。

表 3.24.6　FT マッドキラーの特性

真比重（g/cm³）	かさ比重（g/cm³）	最大容水量（ml）
2.4	0.7	112

注）上記の値は、FT マッドキラーの代表値であり、保証値ではない。また、最大容水量とは、土壌の最大容水量試験を参考に、FT マッドキラーで実施し、同材料 100g が保持できる水分の最大量である。
出典）FT マッドキラー工法 パンフレット（株式会社フジタ）

FT マッドキラーの特徴は以下のとおりである。

・材料は無機多孔質で、吸水効果を主体とする物理的な改良
・養生時間なしに、瞬時に改良
・粘性土、砂質土、腐植土、改良土等すべての土質に対応可能
・セメント系、石灰系固化材と比べて処理土の pH が低く、周辺環境への影響が少ない
・処理土はくり返し利用できる
・処理土に対して、追添加が可能で強度増加が図れる
・ＦＴマッドキラーは、**「土壌の汚染に係る環境基準について(平 3 環告 46、令 2 環告 44 最終改正)」**及び**「ダイオキシン類による土壌の汚染に係る環境基準(平 11 環告 68、令 4 環告 89 最終改正)」**を満たす

表 3.24.7 FT マッドキラーと一般的な泥土改質材の比較

項目	FTマッドキラー	石灰系	セメント系	高分子系	石膏系
改良原理	**吸収作用による物理的改良。**	消化吸水反応、硬化反応により固化する化学的改良。	水和反応、ポゾラン反応等により固化する化学的改良。	水分吸着、固定化、土表面の被覆による物理的改良。	水和反応により固化する化学的改良。
改良効果	**瞬時改良が可能で、FTマッドキラーが行き渡らない部分も吸水作用により改良効果が期待できる。**	養生期間が必要で、材料が行き渡らない部分も吸水作用による改良効果が期待できる。	養生期間が必要で、材料が行き渡らない部分は固まらないため、改良効果にむらが生じることが懸念される。	瞬時改良が可能だが、添加量が少ないため十分な混合が必要である。	瞬時改良が可能で、土中の水分を取り込み固化する。
適用可能な土質	**粘性土、砂質土、腐食土、および改良土等にも適用可能である。**	主に粘性土に適しており、有機質土の場合は、適用可能な専用の材料を選択する必要がある。	主に砂質土に適しており、粘性土、有機質土の場合は、適用可能な専門の材料を選択する必要がある。	粘性土、シルト質土の泥土に適している。土の含水比が高い場合には、注意が必要である。	粘性土、砂質土ともに適用可能であるが、有機質土の場合は注意が必要である。
適用可能な含水比	**高含水比の土であっても適切に添加することにより、改良効果が期待できる。**	高含水比の土であっても適切な材料と添加量を設定することで、改良効果が期待できる。ただし、高い発熱温度には注意を要する。	高含水比の土であっても適切な材料と添加量を設定することで十分硬化し、改良効果が期待できる。	砂質土の場合は含水比50%前後、粘性土の場合は120%前後までしか改良効果が期待できない。	高含水比の土であっても適切な材料と添加量を設定することで、改良効果が期待できる。ただし、効果が現れない場合は、他の固化材との併用を検討する。
環境影響	**標準的な使用範囲では中性からアルカリ域で改良ができ、周辺環境への影響が少ない。**	改良土のpHは強アルカリで、改良時は発熱に注意を要する。	改良土のpHは強アルカリで、六価クロムの溶出に注意を要する。	中性域で毒性がなく長期間放置しても問題がない。	中性域で危険ではないが、原料石膏の選定と改良土の硫化物の影響について注意が必要である。
施工性	**瞬時に改良できるため、養生期間が必要ない。**	養生期間が必要である。500kg以上の貯蔵・取扱いは消防署等への届出が必要である。	養生期間が必要である。	養生期間は必要ないが、処理土として強度増が必要な場合は、別途、固化材等を追加する。	短期の養生期間で利用が可能である。
再利用	**物理的な改良であるため、再利用しても強度に変化はない。**	固結した改良土をほぐすと強度低下が懸念され、十分な締固めが必要となる。	固結した改良土をほぐすと極端な強度低下が懸念され、注意が必要である。	物理的な改良であるため、再利用しても強度に変化はない。	固結した改良土をほぐすと極端な強度低下が懸念され、注意が必要である。

出典）FT マッドキラー工法 パンフレット（株式会社フジタ）より作成

(2) PS 灰系改質材（製品名：ワトル）

ワトルの特徴は以下のとおりである。

・即時改質とその後のほぐし造粒による良質土化

・従来の施工管理による築堤材や盛土材としての利用が可能

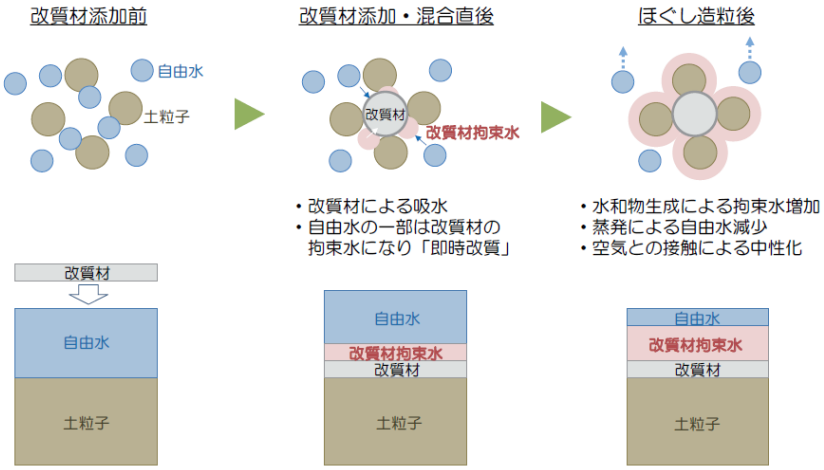
・ほぐし造粒による改質土の中性化促進、及び重金属等の溶出抑制

ワトルの適用範囲を以下に示す。

・河川・湖沼・港湾の浚渫土を再利用する工事

・シールドトンネル等から排出される泥土を改質する工事 等

改質材として、ワトルを用いることで、軟弱な建設発生土を良質土に改質して利用することが可能である。



出典）第 23 回国土技術開発賞優秀賞「吸水性泥土改質材と改質土の活用技術」
（（一財）国土技術研究センター、https://www.jice.or.jp/review/awards/23rd）

図 3.24.10　吸水性泥土改質材添加による改質イメージ

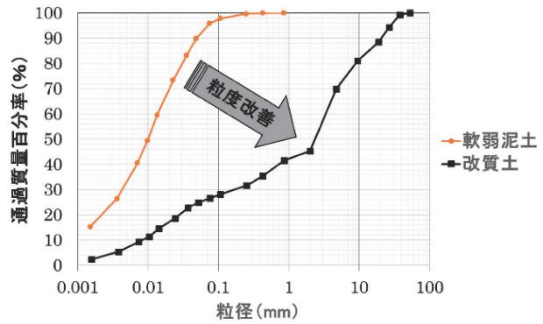
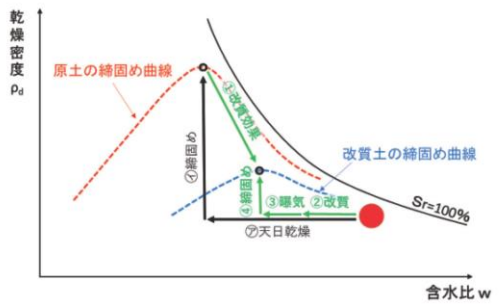


図 3.24.11　ほぐし造粒土の粒度改善特性



出典）第 23 回国土技術開発賞優秀賞「吸水性泥土改質材と改質土の活用技術」
（（一財）国土技術研究センター、https://www.jice.or.jp/review/awards/23rd）

図 3.24.12　改質土の締固め特性

3.24.4 適用用途

(1) 概要

PS 灰をリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、PS 灰を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.24.8** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○⁺」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.24.8　ペーパースラッジ焼却灰（PS 灰）の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	◎ （改質土）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・1）公的機関によって技術に関する手引き（暫定版）が作成されている ・2)3)4)材料についての品質性能について、報告書、パンフレットによってとりまとめられている	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・地区改良工事（国交省） ・トンネル工事（国交省） ・砂防堰堤工事（国交省）	1) 2) 3) 4)
⑬	埋立材	○+ （改質土）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・1）公的機関によって技術に関する手引き（暫定版）が作成されている ・2)3)4)材料についての品質性能について、報告書、パンフレットによってとりまとめられている	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・港湾埋立工事（管理者）	1) 2) 3) 4)
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)「無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」
（（公社）地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会、2021年3月31日）
2)平成20年度 ペーパースラッジ灰利用浚渫泥土リサイクル技術に関する調査報告書（（財）エンジニアリング振興協会、平成21年3月）
3)FTマッドキラー工法 パンフレット（株式会社フジタ）
4)第23回国土技術開発賞優秀賞「吸水性泥土改質材と改質土の活用技術」（（一財）国土技術研究センター、https://www.jice.or.jp/review/awards/23rd）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

「無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」において、PS 灰系改質材を用いた改質土の適用用途として盛土材が示されている。

高含水比の軟弱土を瞬時に改質し、路体盛土、仮設ヤードの築造等の盛土材として利用されている。

【既存工事における検討事項】

・トンネル坑口前の路体箇所に軟弱土が厚く堆積していたため、土質改良が必要であった。軟弱土に PS 灰系改質材を混合することで、瞬時に目標強度（qc＝500kN/m^2）を確保することができ、路体盛土として適用された。（トンネル工事）

①対象土

②PS 灰系改質材による改良状況

③改質土の撒き出し状況

④改質土の転圧状況

⑤改質土の転圧完了

出典）株式会社フジタ提供資料

図 3.24.13　PS 灰系改質材による改質技術の適用例（盛土材：トンネル工事）

(3) 埋立材

「無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）」において、PS 灰系改質材を用いた改質土の適用用途として埋立材が示されている。

3.24.5 関係法令

PS 灰は産業副産物（燃えがら・ばいじん）に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.24.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

PS 灰を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.25 古紙

3.25.1 製造・供給

古紙は、一度使用された紙あるいは製紙メーカーから出荷された後、再生利用する目的で回収された紙である。

（解説）

(1) 製造方法

「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 18 年 4 月）では、古紙とは一度使用された紙あるいは製紙メーカーから出荷された後、再生利用する目的で回収された紙と定義されており、未使用の紙でも不要となって印刷、製本工場等から回収されれば古紙に含まれる。

また、（公財）古紙再生促進センターが「古紙標準品質規格」を制定しており、新聞、段ボール、雑誌、雑がみ、オフィスペーパーに対して、禁忌品（製紙材料とは無縁の異物等）の混入、水分の許容水準等の規格を定めている。

表 3.25.1　古紙の統計分類と主要銘柄

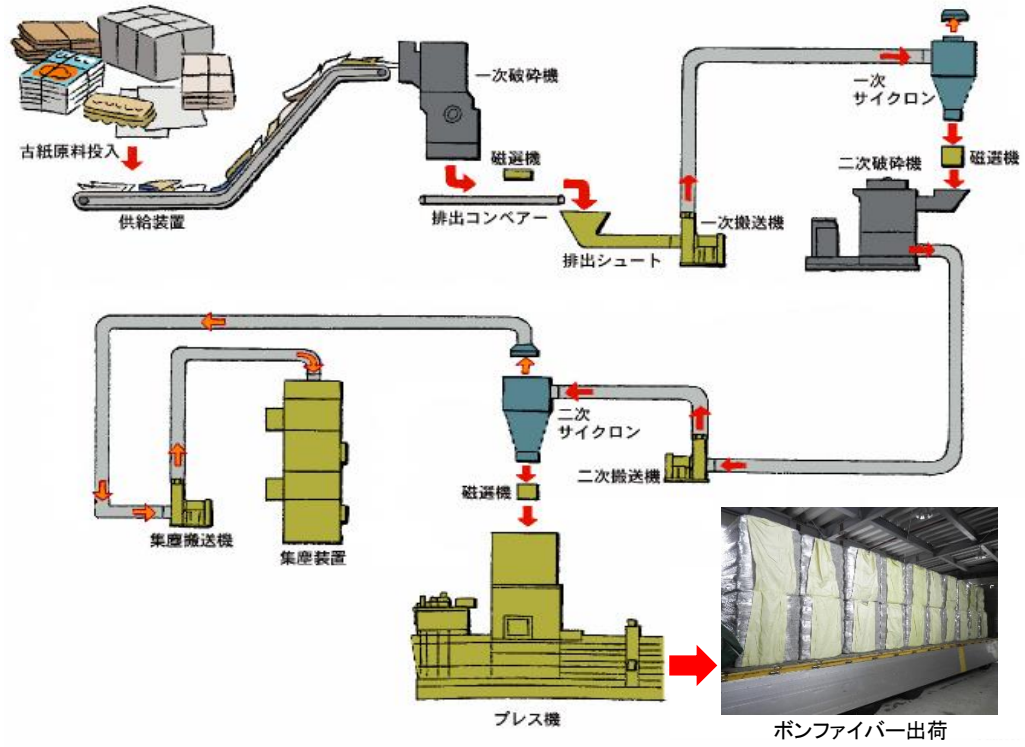
統計分類	No.	主要銘柄	内容
上白カード	1	上白	製本・印刷工場、断裁所等より発生する印刷のない白色上質紙の裁落及び損紙
	2	クリーム上白	製本・印刷工場、断裁所等より発生する印刷のないクリーム色上質紙の裁落及び損紙
	3	罫白	製本・印刷工場、断裁所等より発生する白色又はクリーム色上質紙の青罫・トンボのある裁落及び損紙
特白・中白	4	特白	製本・印刷工場、断裁所等より発生する印刷のない中質紙の裁落及び損紙
白マニラ	5	中白	製本・印刷工場、断裁所等より発生する印刷のない更紙の裁落及び損紙
模造色上(アート古紙を含む)	6	模造	墨印刷のある上質紙
	7	色上	色刷りのある上質紙でアート紙を含む
	8	ケント	製本・印刷工場等より発生する一部色刷りのある上質及びアート紙の裁落
	9	白アート	製本・印刷工場等より発生する印刷のないアート紙の裁落及び損紙
	10	チラシ	色刷りのある中質系コート紙等
	11	飲料用パック	家庭等より発生する飲料用紙パック並びに紙パックの印刷・加工段階で発生する裁落及び損紙（アルミ付き紙パックを除く）
	12	オフィスペーパー	オフィスより発生する紙及び紙製品で、主として製本していないバラの墨印刷・色刷りのある印刷物、使用済みのコピー用紙を含んでいるもの
切符中更反古	13	特上切	製本・印刷工場等より発生する色刷りのある中質紙の裁落
	14	別上切(マンガサイラク)	製本・印刷工場等より発生する色刷りのある更紙の裁落
	15	中質反古	製本・印刷工場等より発生する印刷・色刷りのある中質紙、更紙の損紙
新聞	16	新聞	家庭、会社及び官公庁等より発生する新聞（折込チラシを含む）及び残紙
雑誌	17	雑誌	家庭、会社及び官公庁等より発生する雑誌、書籍及び返本・残本（印刷冊子を含む）、取扱説明書、小冊子（パンフレット、カタログ、案内書などの本の形をしたもの）を加えた「綴じられたもの」
茶模造紙(洋段を含む)	18	切茶・無地茶	製袋工場等より発生する印刷・色刷りのない製袋及び封筒のクラフト紙の裁落（切茶）及び損紙（無地茶）
	19	雑袋	米麦袋等のクラフト紙の空袋
	20	クラフト段ボール	クラフト段ボールの裁落及び改修されたクラフト段ボール箱（主に輸入品）、板紙マルチパック等
段ボール	21	段ボール	事業所、家庭、市中等より発生する段ボール
	22	新段ボール	製函工場より発生する段ボールの裁落及び損紙
台紙地券ボール込新	23	ワンプ	紙・板紙の包装紙
	24	上台紙(地券)	紙器工場等より発生する白板紙、チップボール等の裁落及び打抜き
	25	台紙(ボール)	事業所等より発生する使用済み紙箱
	26	雑がみ	家庭より発生する紙・板紙及びその製品で、新聞・雑誌・段ボール・飲料用パック以外の区分で回収されたもの

出典）古紙の統計分類と主要銘柄（（公財）古紙再生促進センター）

古紙を利用した繊維質系泥土改良材である「ボンファイバー」がリサイクル製品として製造されている。

「ボンファイバー（農業農村整備民間技術情報データベース登録番号:0245）」は古紙類を原料とした繊維質系泥土改良材であり、河川、港湾の浚渫土砂、建設汚泥等の高含水泥土の改質に使用される。

ボンファイバーの製造工程を**図 3.25.1** に示す。



出典）株式会社森環境技術研究所提供資料

図 3.25.1　ボンファイバーの製造工程

(2) 供給・利用の状況

1)　供給地域

①　繊維質系泥土改良材（製品名：ボンファイバー）

陸上輸送：沖縄を除く全国

ボンファイバー荷姿の寸法：90cm×90cm×90cm

重量：250kg/個

運搬：10～15t 車（平ボディ）にて 40 個積み

2)　製造所の立地場所

①　繊維質系泥土改良材（製品名：ボンファイバー）

製造工場：北海道北広島市、栃木県小山市、埼玉県朝霞市

3) 生産量・利用量

① 古紙

「令和 3 年度製紙向け以外の古紙利用製品に関する実態調査報告書」（（公財）古紙再生促進センター、令和 4 年 4 月）によると、令和 3 年における製紙以外の再利用のうち、汚水・汚泥脱水助材、覆土代替材としての利用は 1,810ｔ（0.2%）であった。

表 3.25.2　製紙向け以外の新規用途製品の種類別生産把握量の推移

単位：トン、%

区分			2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
製品種名	ボード[注1]	生産量	20,398	18,618	15,846	15,304	13,618	20,878	20,968	21,545	17,526	16,399
		構成比	2.5	2.1	1.7	1.6	1.4	1.9	1.9	1.9	1.6	1.4
	敷料	生産量	4,160	4,030	4,312	4,240	3,640	3,650	3,090	2,724	2,474	2,460
		構成比	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
	セルロースファイバー	生産量	11,765	12,538	12,803	12,790	11,587	10,675	11,042	13,127	13,444	14,073
		構成比	1.4	1.4	1.3	1.4	1.2	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2
	パルプモールド	生産量	38,090	37,127	37,407	37,010	35,577	36,281	35,377	36,419	34,835	35,164
		構成比	4.60	4.10	3.90	4.00	3.60	3.30	3.20	3.30	3.10	3.00
	固形燃料(RPF)	生産量	697,877	768,969	827,842	799,510	870,259	969,047	972,249	977,693	997,616	1,028,510
		構成比	84.0	85.2	86.3	86.1	87.5	88.2	88.1	87.9	89.00	89.00
	汚水・汚泥脱水助材、覆土代替材	生産量	7,190	4,360	4,740	4,820	3,500	1,760	1,830	1,610	1,740	1,810
		構成比	0.9	0.5	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
	建材用フィラー	生産量	46,000	47,700	44,900	43,600	44,100	44,000	46,700	46,260	41,124	44,747
		構成比	5.5	5.3	4.7	4.7	4.4	4.0	4.2	4.2	3.7	3.9
	その他[注2]	生産量	5,548	9,198	10,999	11,564	12,371	12,666	12,159	12,296	12,372	12,466
		構成比	0.7	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
製品生産量計（トン）			831,028	902,540	958,849	928,838	994,652	1,098,957	1,103,415	1,111,674	1,121,131	1,155,629
古紙使用量計（トン）			298,732	287,638	283,929	274,715	292,908	278,428	288,798	259,229	257,846	249,833
古紙使用割合（%）			35.9	31.9	29.6	29.6	29.4	25.3	26.2	23.3	23.00	21.6
古紙利用割合（%）[注3]			1.10	1.06	1.05	1.04	1.12	1.07	1.14	1.04	1.16	1.10

注1：ボードは、古紙ボード、熱圧成形材と内外装用壁材を対象とした
注2：その他は、緩衝材、建築資材、種子吹付養生材、吸油・吸液材、ノベルティグッズを対象とした
注3：古紙利用割合＝新規用途製品の古紙使用量÷国内紙・板紙消費量

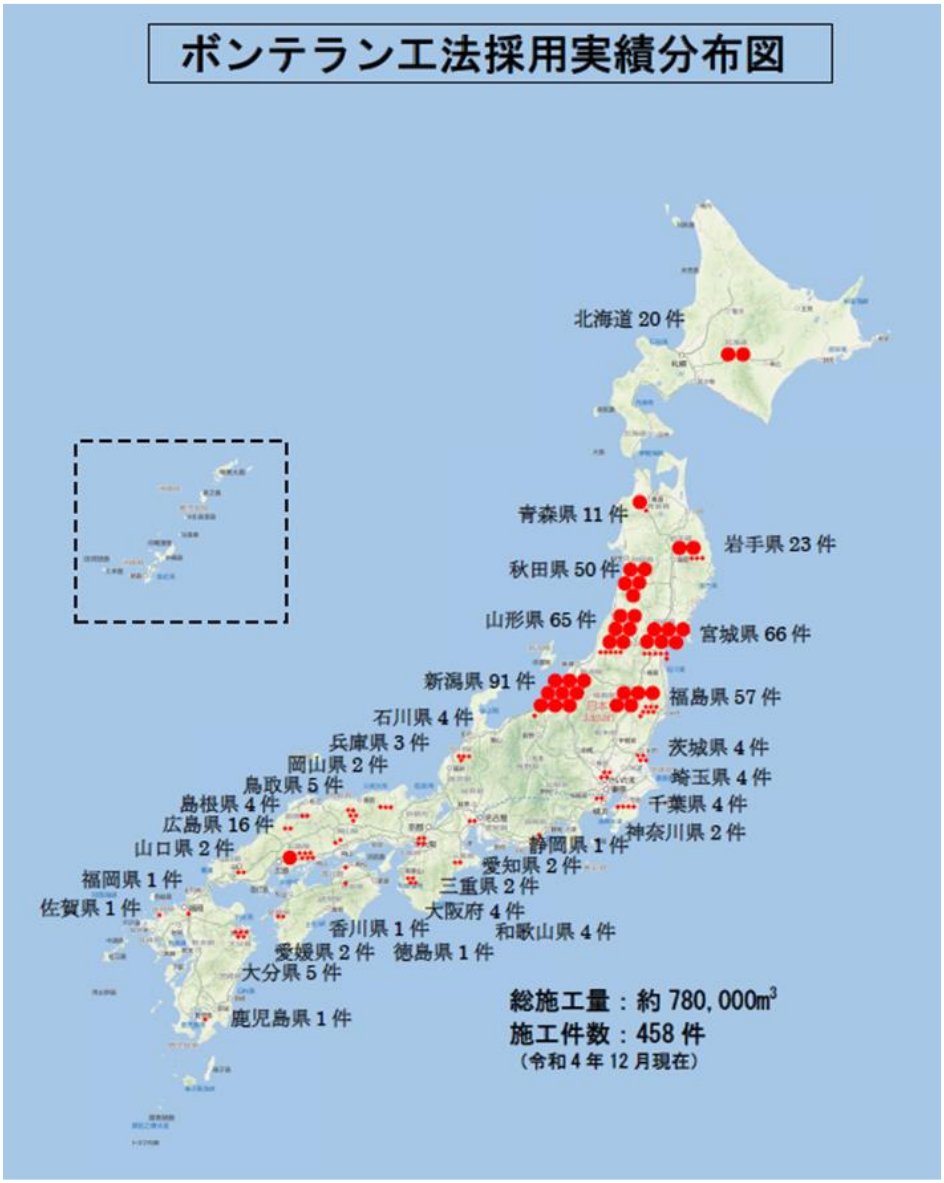
出典）「令和 3 年度製紙向け以外の古紙利用製品に関する実態調査報告書」
（（公財）古紙再生促進センター、令和 4 年 4 月）

② 繊維質系泥土改良材（製品名：ボンファイバー）

ボンファイバーを利用した地盤改良工法（ボンテラン工法）の採用実績は次のとおりである。

総施工量：約 780,000m^3

施工件数：458 件　　（令和 4 年 12 月現在）



出典）ボンテラン工法採用実績（株式会社森環境技術研究所）

図 3.25.2　ボンテラン工法採用実績（株式会社森環境技術研究所）

3.25.2 品質

古紙の基本性状については、「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 18 年 4 月）を参照できる。
繊維質系泥土改良材（ボンファイバー）は、自社基準として水分、pH、吸水量について規格値が設定されており、環境安全性については溶出試験結果より確認することができる。

（解説）

(1) 物理・力学的性質

1) 古紙

古紙の解繊方法には、湿式と乾式があるが、機械的に解繊する乾式方法で古紙から回収した繊維の基本性状は**表 3.25.3** に示すとおりであり、比重や平均繊維幅は一般的に使用されている植物繊維とほぼ同程度となっている。

表 3.25.3　古紙の基本性状

項目	単位	古紙	植物繊維
密度	g/cm^3	1.55	1.52
最長繊維長	μm	600	5,000
平均繊維長	μm	300	1,100
平均繊維幅	μm	45	45

出典）「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 18 年 4 月）

2)　繊維質系泥土改良材（製品名：ボンファイバー）

ボンファイバーの品質規格については、リサイクル製品のパンフレットから確認できる。

表 3.25.4　ボンファイバー品質規格（自社基準）

項目	規格値	確認頻度
水分	10%以下	年 1 回
pH	6.0～8.0	
吸水量	3.5cc/g 以上	
土壌環境基準（環告 46 号） 溶出試験 28 項目	全基準値 満足すること	年 1 回

出典）繊維質系泥土改良材 ボンファイバー（株式会社森環境技術研究所）

ボンファイバーに要求される品質は大きく吸水性とパルプ繊維の 2 つに区分される。

①吸水性

高含水比の泥土に含まれる水分を吸水することで見かけの含水比を低下させ、即時運搬性に貢献する。

ボンファイバーは吸水性向上を目的として古紙の種別を選定し、ちぎるように裁断面を毛羽立たせる特殊加工をしているため、ほぐれ易い形状となっている。

②パルプ繊維

繊維質物質が絡み合い、応力が繊維を解して分散されることで粘り強い性質を発揮する。さらに、乾湿繰返し、凍結融解を受ける場所においても繊維が引っ張りに耐えるため、乾燥収縮に対しクラックの発生や崩壊を起こさず、高い耐久性を有する。

(2) 化学的性質

1)　繊維質系泥土改良材（製品名：ボンファイバー）

ボンファイバーの溶出量試験結果について**表 3.25.5** に示す。

表 3.25.5　ボンファイバーの溶出量試験結果

番号	計量の項目	単位	計量の結果	基準値	定量下限値	計量の方法
1	カドミウム	mg/L	0.0003未満	0.003以下	0.0003	JIS K 0102 55.4(2019)
2	全シアン	mg/L	0.1未満	検出されないこと	0.1	S46環告第59号付表1(R5改正)
3	有機リン	mg/L	0.1未満	検出されないこと	0.1	S49環告第64号付表1(R2改正)
4	鉛	mg/L	0.001未満	0.01以下	0.001	JIS K 0102 54.4(2019)
5	六価クロム	mg/L	0.005未満	0.05以下	0.005	JIS K 0102 65.2.5(2019)
6	ひ素	mg/L	0.001未満	0.01以下	0.001	JIS K 0102 61.4(2019)
7	総水銀	mg/L	0.0005未満	0.0005以下	0.0005	S46環告第59号付表2(R5改正)
8	アルキル水銀	mg/L	0.0005未満	検出されないこと	0.0005	S46環告第59号付表3(R5改正)
9	PCB	mg/L	0.0005未満	検出されないこと	0.0005	S46環告第59号付表4(R5改正)
10	ジクロロメタン	mg/L	0.002未満	0.02以下	0.002	JIS K 0125 5.2(2016)
11	四塩化炭素	mg/L	0.0002未満	0.002以下	0.0002	JIS K 0125 5.2(2016)
12	クロロエチレン	mg/L	0.0002未満	0.002以下	0.0002	H9環告第10号付表第2(R3改定)
13	1,2-ジクロロエタン	mg/L	0.0004未満	0.004以下	0.0004	JIS K 0125 5.2(2016)
14	1,1-ジクロロエチレン	mg/L	0.01未満	0.1以下	0.01	JIS K 0125 5.2(2016)
15	1,2-ジクロロエチレン	mg/L	0.004未満	0.04以下	0.004	JIS K 0125 5.2(2016)
16	1,1,1-トリクロロエタン	mg/L	0.1未満	1以下	0.1	JIS K 0125 5.2(2016)
17	1,1,2-トリクロロエタン	mg/L	0.0006未満	0.006以下	0.0006	JIS K 0125 5.2(2016)
18	トリクロロエチレン	mg/L	0.001未満	0.01以下	0.001	JIS K 0125 5.2(2016)
19	テトラクロロエチレン	mg/L	0.001未満	0.01以下	0.001	JIS K 0125 5.2(2016)
20	1,3-ジクロロプロペン	mg/L	0.0002未満	0.002以下	0.0002	JIS K 0125 5.2(2016)
21	チウラム	mg/L	0.0006未満	0.006以下	0.0006	S46環告第59号付表5(R5改正)
22	シマジン	mg/L	0.0003未満	0.003以下	0.0003	S46環告第59号付表6.1(R5改正)
23	チオベンカルブ	mg/L	0.002未満	0.02以下	0.002	S46環告第59号付表6.1(R5改正)
24	ベンゼン	mg/L	0.001未満	0.01以下	0.001	JIS K 0125 5.2(2016)
25	セレン	mg/L	0.001未満	0.01以下	0.001	JIS K 0102 67.4(2016)
26	ふっ素	mg/L	0.08未満	0.8以下	0.08	JIS K 0102 34.4(2016)
27	ほう素	mg/L	0.1未満	1以下	0.1	JIS K 0102 47.4(2016)
28	1,4-ジオキサン	mg/L	0.005未満	0.05以下	0.005	S46環告第59号付表8(R5改正)

※溶出量の基準値は、土壌汚染に係る環境基準の基準値を示す
出典）株式会社森環境技術研究所提供資料

3.25.3 加工・改良技術

泥土リサイクル技術「ボンテラン工法技術資料」（株式会社森環境技術研究所）において、古紙（ボンファイバー）を用いた泥土（建設汚泥、浚渫土砂、軟弱土、ため池泥土）の改良方法がとりまとめられており、品質性能・施工方法を確認することができる。

（解説）

(1) 繊維質系泥土改良材「ボンファイバー」による地盤改良工法「ボンテラン工法」

ボンテラン工法は、ため池既設堤体掘削土と底泥土を原材料として堤体の改修・補強を目的に、ため池近辺からの土質材料採取を不要とした自己完結型工法である。

また、ボンテラン改良工法によって改良されたものは「ボンテラン改良土」と呼ばれ、極めて高い蒸発速度を有しており、且つクラックの発生抑制・耐久性・耐浸食性及び耐震性を有していることから、高機能地盤材料としてため池改修のための人工築堤土として利用されている。

1) ボンテラン工法による改良土の品質区分と適用用途

ボンテラン改良土を土質材料として利用する場合の品質区分はコーン指数を指標として、**表 3.25.6** に示すとおりとなっている。

表 3.25.6　建設汚泥処理土の土質材料としての品質区分と品質基準値

基準値 / 区分	コーン指数※1,2 q_c(kN/m^2)	備考
第 1 種処理土	－	固結強度が高く礫、砂状を呈するもの
第 2 種処理土	800 以上	
第 3 種処理土	400 以上	
第 4 種処理土	200 以上	

※1：所定の方法でモールドに締め固めた試料に対し、コーンペネトロメーターで測定したコーン指数（**表 3.25.7** 参照）
※2：スラリー化安定処理土の指標は、7 日後の一軸圧縮強さとする。

出典）建設汚泥再生利用マニュアル（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 20 年 12 月）

表 3.25.7　建設汚泥処理土のコーン指数（q_c）の試験方法

供試体の作成	試料	処理土を一旦ときほぐし 9.5mm ふるいを通過させたもの※1
	モールド	内径 100±0.4mm　容量 1,000±12cm^3
	ランマー	質量 2.5±0.01kg
	突き固め	3 層に分けて突き固める。各層ごとに 30±0.15cm の高さから 25 回突き固める
測定	コーンペネトロメーター	底面の断面積 3.24cm^2　先端角度 30 度のもの
	貫入速度	約 1cm/s
	方法	モールドをつけたまま、鉛直にコーンの先端を供試体上端部から 5cm、7.5cm、10cm 貫入した時の貫入抵抗力を求める。
計算	貫入抵抗力	貫入量 5cm、7.5cm、10cm に対する貫入抵抗力を平均して、平均貫入抵抗力を求める。
	コーン指数（q_c）	平均貫入抵抗力をコーン先端の底面積 3.24cm^2 で除する。

※1：JIS A 1228 の土質試験方法と異なるので注意

出典）建設汚泥再生利用マニュアル（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 20 年 12 月）

ボンテラン改良土の利用用途は品質区分に基づき、**表 3.25.8** に示す適用用途を目安とする。

なお、適用用途標準はあくまで目安であり、実際の施工に当たっては個々の利用用途によって詳細に規定されている品質及び施工管理に関する基準に従い利用する必要がある。

表 3.25.8　ボンテラン改良土の適用用途標準

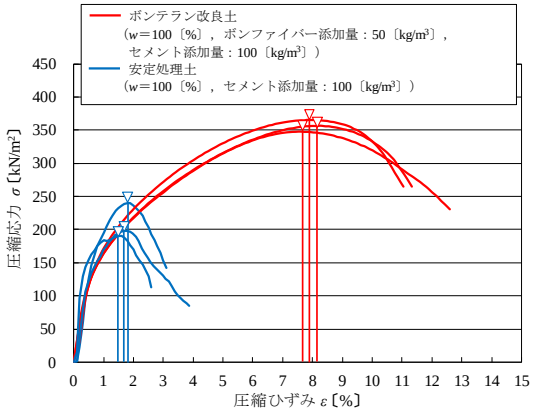
区分＼適用用途		工作物の埋戻し		建築物の埋戻し*1		土木構造物の裏込め		道路用盛土				河川築堤				土地造成				鉄道盛土		空港盛土		水面埋立て*2	
								路床		路体		高規格堤防		一般堤防		宅地造成		公園・緑地造成							
		評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項
第1種処理土（焼成処理・高度安定処理）		◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意 礫混入率注意 透水性注意 表層利用注意	○		◎	最大粒径注意 礫混入率注意 表層利用注意	◎	表層利用注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意			◎	淡水域利用注意
第2種処理土	処理土	◎	細粒分含有率注意	◎		◎	細粒分 含有率注意	◎		◎		◎	粒度分布注意	◎	粒度分布注意	◎		◎		◎		◎				◎	粒度分布注意
	改良土	◎		◎	表層利用注意	◎		◎		◎		◎	表層利用注意	◎	表層利用注意	◎	表層利用注意	◎	表層利用注意	◎		◎				◎	淡水域利用注意
第3種処理土	処理土	○		◎	施工機械の選定注意	○		○		◎	施工機械の選定注意	◎	施工機械の選定注意 粒度分布注意	◎	施工機械の選定注意	◎	施工機械の選定注意	◎	施工機械の選定注意	○		◎	施工機械の選定注意	◎			
	改良土	○		◎	施工機械の選定注意 表層利用注意	○		○		◎	施工機械の選定注意	◎	施工機械の選定注意 表層利用注意	◎	施工機械の選定注意 表層利用注意	◎	施工機械の選定注意 表層利用注意	○		◎	施工機械の選定注意	◎	淡水域利用注意			◎	淡水域利用注意
第4種処理土	処理土	△		○		△		△		○		○		○		○		△		○		◎			
	改良土	△		○		△		△		○		○		○		○		△		○		◎	淡水域利用注意		

本表に例示のない適用用途に建設汚泥処理土を使用する場合は、本表に例示された適用用途の中で類似するものを準用する。
＊1　建築物の埋戻し：一定の強度が必要な埋戻しの場合は、工作物の埋戻しを準用する。
＊2　水面埋立て　：水面上～土砂等が出た後については、利用目的別の留意点（地盤改良、締固め等）を別途考慮するものとする。
注：処理土：建設汚泥を処理したもの。　改良土：処理土のうち、安定処理を行ったもの。
凡例：［評価］
◎：そのままで利用が可能なもの。留意事項に使用時の注意を示した。
○：適切な処理方法（含水比低下、粒度調整、機能付加、安定処理等）を行えば使用可能なもの。
△：評価が○のものと比較して、土質改良にコストおよび時間が必要なもの。
土質改良の定義
　含水比低下：水切り、天日乾燥等を用いて含水比の低下を図ることにより利用可能となるもの。
　粒度調整：利用場所や目的によっては細粒分あるいは粗粒分の付加やふるい選別を行うことで利用可能となるもの。
　機能付加：固化材、水や軽量材・補助工法等を混合や敷設することにより処理土に流動性、軽量性・耐久性などの付加価値をつけることにより利用可能となるもの。
　安定処理等：セメントや石灰による化学的安定処理や高分子系や無機材料による土中水分の固定を主目的とした改良材による土質改良を行うことにより利用可能となるもの。
留意事項
　最大粒径注意：利用用途先の材料の最大粒径、または1層の仕上がり厚さが規定されているもの。
　細粒分含有率注意：利用用途先の材料の細粒分含有率の範囲が規定されているもの。
　礫混入率注意：利用用途先の礫混入率が規定されているもの。
　粒度分布注意：液状化や土粒子の流出などの点で問題があり、利用場所や目的によっては粒度分布に注意を要するもの。また利用用途により粒度分布の範囲の規定があるもの。
　透水性注意：透水性が高いため、難透水性が要求される部位への利用は適さないもの。
　表層利用注意：表面への露出などで植生や築造等に影響を及ぼすおそれのあるもの。
　施工機械の選定注意：過転圧などの点で問題があるため、締固め等の施工機械の接地圧に注意を要するもの。
　淡水域利用注意：淡水域に利用する場合、水域のpHが上昇する可能性があり、注意を要するもの。

出典）建設汚泥再生利用マニュアル（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 20 年 12 月）より作成

2) 強度特性

ボンテラン改良土及び安定処理土の一軸圧縮試験における圧縮応力と破壊ひずみの関係を**図 3.25.3** に示す。安定処理土の破壊ひずみが 2%以下であるのに対し、ボンテラン改良土の破壊ひずみが 8%程度と非常に大きいことが確認されている。このことは、ボンテラン改良土は安定処理土と比較して、破壊に至るまでのひずみ量が大きく、残留強度が大きい粘り強い性質であることを示している。[1)]



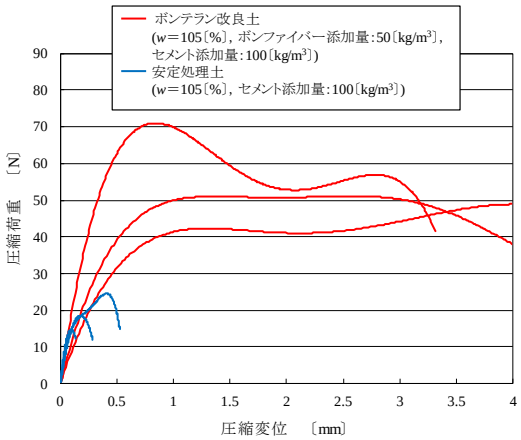
出典）高橋　弘，森　雅人：故紙を混ぜて建設汚泥をリサイクルー繊維質固化処理土の強度特性と施工事例ー，建設の機械化，No.651，pp.28-33，2004．5．より作成

図 3.25.3　一軸圧縮試験における圧縮応力と圧縮ひずみの関係

3) 引張強度

ボンテラン改良土及び安定処理土の圧裂引張試験における圧縮荷重と圧縮変位の関係を**図 3.25.4** に示す。ボンテラン改良土は安定処理土の 3～5 倍、圧縮荷重が大きいことがわかる。

このことは、安定処理土は明確な破壊面が見られ、固く脆い材質であることを示しているのに対し、ボンテラン改良土は大きな変形に耐えて、破壊後もある程度の荷重に耐える粘り強い性質であることを示している。[2)]



出典）森　雅人：繊維質物質を用いた高含水比泥土の新しい再資源化工法に関する研究，東北大学，学位論文，第 2 章，pp43-48 より作成

図 3.25.4　圧裂引張試験における圧縮荷重と圧縮変位の関係

4) 液状化抵抗率

液状化抵抗率（F_L）が 1.0 以下の場合に液状化するものとみなされる。砂質土と砂質土に繊維質系泥土改良材（ボンファイバー）を混合して改良したボンテラン改良土の液状化抵抗率を検討するため、「繰返し非排水三軸試験」を実施した結果を**表 3.25.9** に示す。砂質土は F_L＝0.52 であるのに対し、ボンテラン改良土は F_L＝4.25 であり砂質土の約 8 倍の液状化抵抗率(F_L)が確認されている。

表 3.25.9　砂質土とボンテラン改良土の液状化抵抗率

	砂質土	ボンテラン改良土
地表面加速度 α_{max} [cm/s²]	200	200
液状化抵抗率 F_L	0.52	4.25
液状化判定	×	○
$\frac{F_L(\text{ボンテラン})}{F_L(\text{砂質土})}$	$\frac{4.25}{0.52}$ ＝ 8.17倍	

地層条件：GL-4mの場合，Z1=2.0，Z2=2.0[m]

出典）砂質土と砂質土を改良したボンテラン改良土の液状化抵抗率 F_L の算定（株式会社森環境技術研究所提供資料）

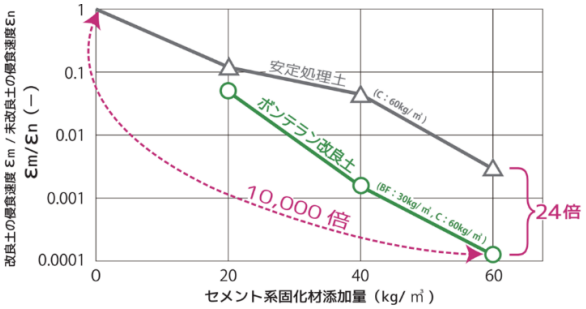
5) 長期安定性

繊維質系泥土改良材（ボンファイバー）の主材料は新聞古紙であり、その主成分がセルロースであるため、改良土内の pH が 7.0 付近では微生物の働きにより分解してしまうが、pH9.5 以上の高アルカリ環境では分解しないことが確認されている[3)]。

長期的な安定性を検証するために、人工降雨試験と酸性雨模擬試験が実施されており、施工時にセメントや石灰等のアルカリ性固化材を均一に混合し、十分に転圧・養生をすることで、長期間分解されないことが確認されている。[3)]

6) 耐侵食性

水中噴流試験装置を用いた実験で、ボンテラン改良土は砂質土に対しては約 10,000 倍、安定処理土に対しては約 24 倍という極めて高い耐侵食性を有していることが確認されている。[4)]



※安定処理土：泥土にセメント系固化材を加え、混合したもの
※ボンテラン改良土：泥土に繊維質系泥土改良材（ボンファイバー）及びセメント系固化材を加え、混合したもの
出典）高橋弘，熊谷翔太，里見知昭：津波堆積物を用いて作成した放射能汚染土覆土材の耐侵食性に関する研究，実験力学，Vol.13，No.4，pp.339-345，2013．12．より作成

図 3.25.5　安定処理土とボンテラン改良土の侵食速度の比較

【参考文献】

1）高橋　弘，森　雅人：故紙を混ぜて建設汚泥をリサイクルー繊維質固化処理土の強度特性と施工事例ー，建設の機械化，No.651，pp.28-33，2004．5.

2）森　雅人：繊維質物質を用いた高含水比泥土の新しい再資源化工法に関する研究，東北大学，学位論文，第2章，pp43-48

3）金濱弘和，廃石膏ボードを利用した新しい土質改良工法に関する研究，東北大学大学院環境科学研究科環境科学専攻高橋（弘）研究室，修士論文，2009．3.

4）高橋弘，熊谷翔太，里見知昭：津波堆積物を用いて作成した放射能汚染土覆土材の耐侵食性に関する研究，実験力学，Vol.13，No.4，pp.339-345，2013．12.

3.25.4 適用用途

(1) 概要

古紙をリサイクル材として利用する場合は、関係する基準類に準拠し、用途において定まる要求性能を満たす材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、古紙を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.25.10** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○+」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.25.10　古紙の適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	○+ （改良土）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・1)2)古紙を用いた泥土改質材・改良土の技術資料【自社基準】が整備されており、標準材料に準ずる性能を確認できる。技術資料で、改良土の利用用途として挙げられている。	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・擁壁設置工事（国交省） ・トンネル工事（国交省） ・空港維持管理工事（管理者） ・港湾内浚渫工事（管理者）	1) 2)
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	△ （コンクリート型枠）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・3)古紙を用いたコンクリート用型枠の管理規格値及びコンクリート型枠の評価項目、試験・調査方法を記載。	－	●利用実績なし	3)

出典）
1)ボンテラン工法技術資料（株式会社森環境技術研究所）
2)ボンテラン工法施工事例集（株式会社森環境技術研究所）
3)「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（土木研究所、平成18年4月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) 盛土材、覆土材、載荷盛土材

古紙を用いた繊維質系泥土改良材及び改良土の利用については、**「ボンテラン工法技術資料」（株式会社森環境技術研究所）**等を参照できる。

現地発生土に繊維質系泥土改良材とセメント及びセメント系固化材を添加・混合する際は、繊維質系泥土改良材と固化材の色むらがなくなるまでよく撹拌することが必要である。

繊維質系泥土改良材及び固化材の添加量は、事前に室内試験を実施することで決定する。繊維質系泥土改良材の添加量は**表 3.25.11** に示すとおり、泥土の含水比、含水率により設定されている。目標強度（一軸圧縮試験、コーン指数試験）と六価クロム溶出試験を満足し、さらに経済的な配合を選定する。

生成される改良土は、固化材と繊維が複雑に絡み合う土粒子間結合力、すなわち圧裂引張り試験による引張り強さによりクラックが発生せず、乾湿繰返し及び凍結融解を受けても劣化しない極めて高い耐久性が確認されている。

表 3.25.11　泥土の含水比、含水率ごとの繊維質系泥土改良材（ボンファイバー）添加量

泥土の含水比 w〔%〕	泥土の含水率 μ〔%〕	ボンファイバー添加量〔kg/m^3〕
50	33.0	25
100	50.0	50
200	66.7	70
300	75.0	80
400	80.0	85
500	83.3	90

出典）森　雅人，高橋　弘，他 5 名：古紙破砕物と高分子系改良剤を用いた新しい高含水比泥土リサイクル工法の提案と繊維質固化処理土の強度特性，資源・素材学会誌「資源と素材」，Vol.119，No.4-5，pp.155-160，2003. より作成

出典）「ボンテラン工法　施工事例」（株式会社森環境技術研究所提供資料）

図 3.25.6　漁港浚渫の施工事例

(3) 今後の検討を要する用途

1) その他（コンクリート型枠）

「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」において、古紙を原材料として製造されるパネルをコンクリート用型枠（古紙利用コンクリート型枠）として用いる場合の管理規格値が**表 3.25.12** のとおり示されている。

なお、利用実績が十分ではなく型枠の転用可能回数などが明らかになっていないため、力学特性、耐久性の他、そり、表面の平滑度等について、事前に確認することが必要である。

表 3.25.12　古紙利用再生コンクリート型枠の管理規格値

項目	単位	規格値	試験方法
曲げ特性 載荷点下のたわみ量	mm	5.0 以下	・JIS A 8652 金属製型枠パネル ・供試体形状：長さ 1800×幅 900×高さ 72 （板厚 12＋さん木 60）mm ・載荷方法：2 点支持 2 点載荷、支間長 900mm、 3 等分載荷、荷重 10kN/m
吸水率	%	5.0 以下	JIS A 5905 繊維版
吸水厚さ膨張率	%	1.0 以下	JIS A 5905 繊維版
湿潤時曲げ強さ 1)	N/mm^2	13.0 以下	JIS A 5905 繊維版に準拠
耐アルカリ性	－	軽微な変色のみ 2)	JAS コンクリート用型枠用合板の日本農林水産規格

1)侵漬時間は、20℃の水中に 3 時間

2)軽微な変色のみであり、膨れ、はがれ、著しいつやの変化はない

出典）「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（編著：(独)土木研究所、出版：(株)大成出版社、平成 18 年 4 月）

3.25.5 関係法令

古紙は、一般的には廃棄物処理法における廃棄物に該当しない。
繊維質系泥土改良材としての利用において、セメント及びセメント系の固化物と併用する場合には、六価クロムの溶出に関して調査を実施する必要がある。

（解説）

古紙とは、通常、製紙原料として回収されたものを指し、**「再生資源の利用の促進に関する法律（平成 3 年 10 月 25 日施行）」運用通達（3 生局第 343 号平成 3 年 12 月 24 日通達）**で、次のように定義されている。

「古紙」とは、紙、紙製品、書籍等その全部又は一部が紙である物品であって、一度使用され、又は使用されずに収集されたもの又は廃棄されたもののうち、有用なものであって、紙の原材料として利用することができるもの（収集された後に輸入されたものも含む。）又はその可能性があるものをいう。

ただし、紙製造業に属する事業を行う者（以下「紙製造事業者」という。）の工場又は事業場（以下「工場等」という。）における製紙工程で生じるもの及び紙製造事業者の工場等において加工等を行う場合（当該紙製造事業者が、製品を出荷する前に委託により、他の事業者に加工を行わせる場合を含む。）に生じるものであって、商品として出荷されずに当該紙製造事業者により紙の原材料として利用されるものは、古紙としては取り扱わない。

繊維質系泥土改良材を用いた改良工法においては、セメント及びセメント系の固化材が併用される。セメント及びセメント系の固化材で安定処理した改良土は、**通達「『セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について』とその運用について」（平成 12 年 3 月 24 日付け、平成 13 年 4 月 20 日一部変更、建設省（現国土交通省））**に基づき、六価クロムの溶出に関して調査を実施する必要がある。

法令上の取り扱いの詳細については、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.25.6 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

繊維質系泥土改良材を材料として用いた改良土を含む箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

3.26 砕石微粉末

3.26.1 製造・供給

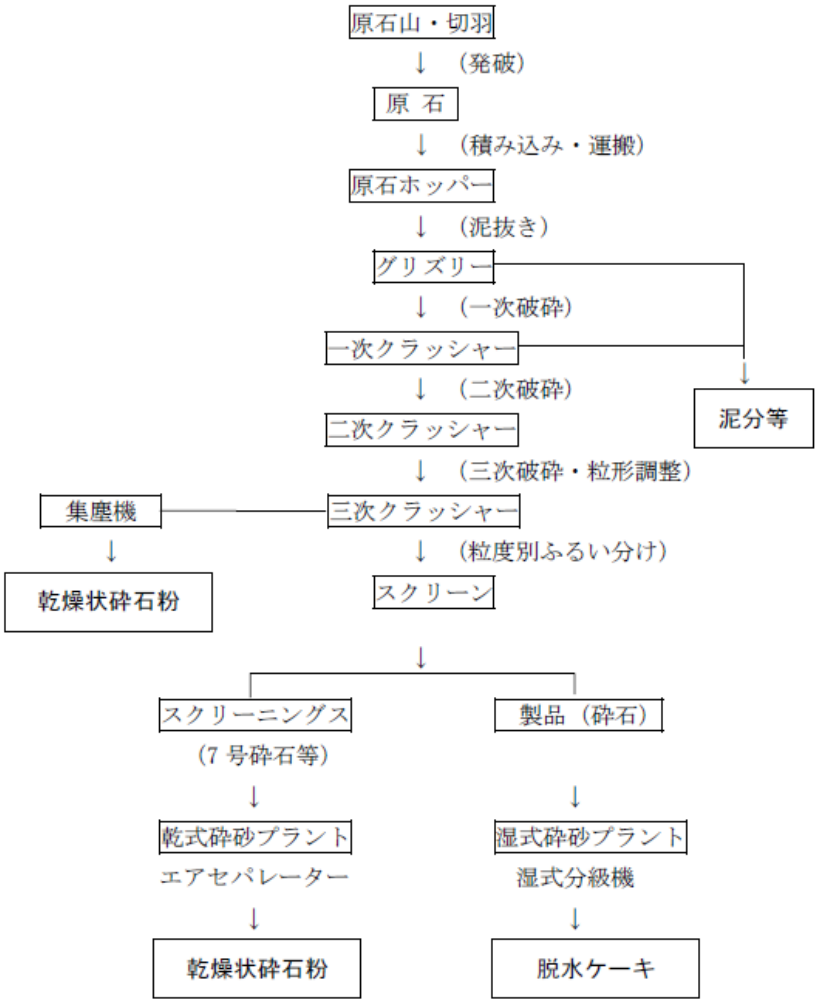
砕石微粉末は、砕石副産物として発生するものであり、乾式製造過程から発生する乾燥状砕石粉、湿式製造過程から発生する脱水ケーキがある。
このうち、脱水ケーキを粒状地盤材料として加工したリサイクル製品が製造されている。

（解説）

(1) 製造方法

砕石・砕砂の乾式製造過程において、集塵機で捕集される集塵粉及びエアセパレーターで分級される微粒紛を乾燥状砕石粉、単粒度砕石や砕砂を湿式で製造する際に分級工程から発生する微粒紛を脱水ケーキと呼ぶ。

砕石微粉末の生産工程を図 3.26.1 に示す。



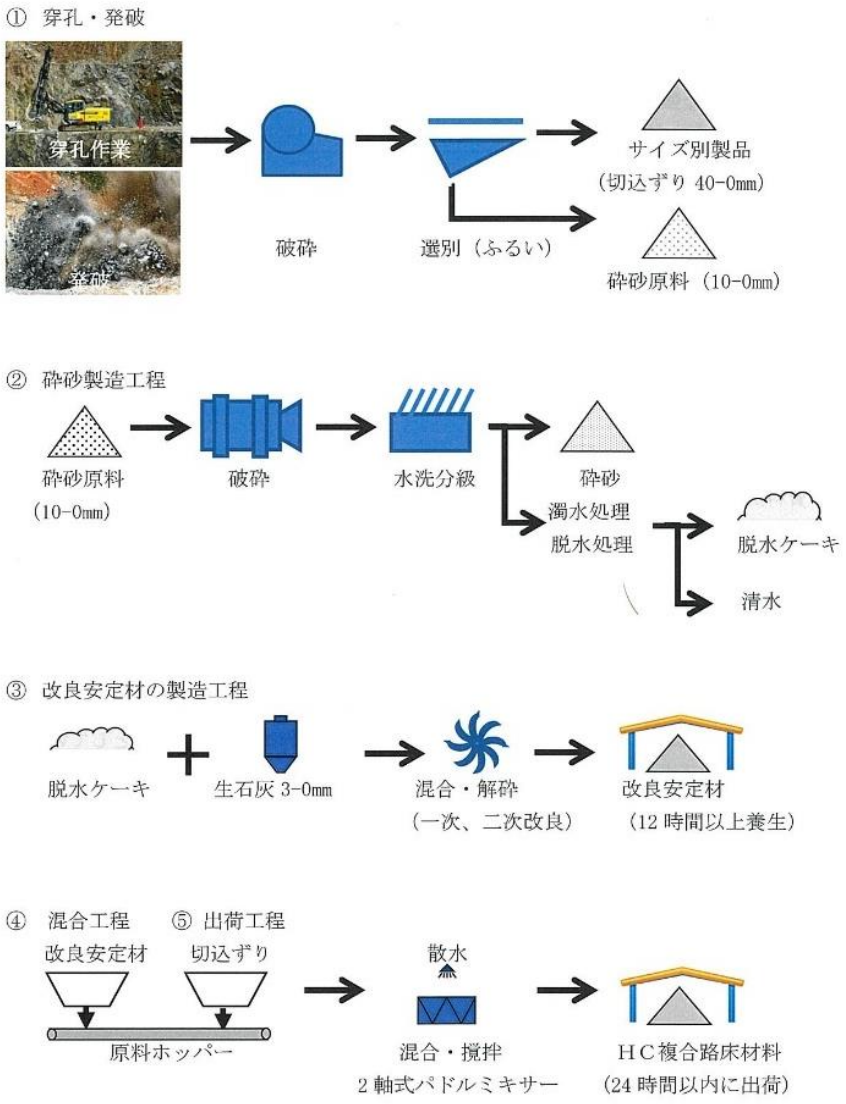
出典）「岩石資源及び副産物を利用した新規事業・リサイクル促進のための市場及び事業環境調査」（中国経済産業局、平成 19 年 3 月）

図 3.26.1　砕石微粉末の生産工程（一例）

このうち、脱水ケーキを利用した粒状地盤材料「HC 複合路床材料」がリサイクル製品として製造されている。

HC 複合路床材料は、砕石製造過程で発生する砕石微粉末の脱水ケーキに生石灰を添加した混合材料（以下、改良安定材と呼ぶ）と、岩石を採掘する際に発生する礫質土（以下、切込ずりと呼ぶ）を 40-0mm でふるったものを、改良安定材：切込ずり＝約 20：80 の重量比で投入し、混合・製造した粒状地盤材料である。（新技術情報提供システム（NETIS）登録番号：QS-040018）。

HC 複合路床材料の製造工程を**図 3.26.2** に示す。



出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

図 3.26.2　HC 複合路床材料の製造工程

(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

① 粒状地盤材料（製品名：HC 複合路床材料）

供給可能地域：福岡県（一部）、佐賀県、大分県（一部）、長崎県（一部）

供給方法：陸上輸送

2) 製造所の立地場所

① 粒状地盤材料（製品名：HC 複合路床材料）

福岡県朝倉市、佐賀県武雄市

3) 生産量・利用量

平成 15 年度の岩手県における主要砕石事業者の生産量のうち、副産物の発生量及び利用状況を**表 3.26.1** に示す。

表 3.26.1　岩手県の主要砕石事業者の副産物の発生量及び利用状況（平成 15 年度）

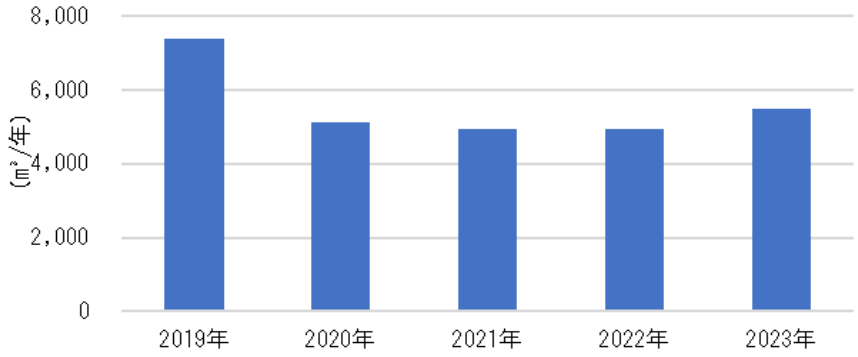
（単位 t、%）

	砕石生産量 (A)	副産物発生量(B)		B/A	製造方法	副産物利用状況
		脱水ケーキ	砕石粉			
A	171,000	14,400	－	8.4	湿式ﾌﾟﾚｽ	堆積場放置
B	110,000	－	5,000	4.5	乾式	ｸﾗｼｬｰﾗﾝに混合
C	69,100	－	15,176	22.0	乾式	ｸﾗｼｬｰﾗﾝに混合
D	820,000	－	40,000	4.9	－	ｸﾗｼｬｰﾗﾝに混合
E	447,000	27,000	－	6.0	湿式ﾌﾟﾚｽ	生石灰と混合、現場埋め戻し
F	369,000	3,000	－	0.8	湿式ﾌﾟﾚｽ	土質改良材
G	1,048,000	－	11,600	1.1	－	ｸﾗｼｬｰﾗﾝに混合
H	235,000	6,300	－	2.7	湿式ﾌﾟﾚｽ	現場埋め戻し
I	220,000	－	9,000	4.1	－	ｸﾗｼｬｰﾗﾝに混合
J	177,000	11,000	－	6.2	湿式ﾌﾟﾚｽ	現場埋め戻し
合計	4,288,000		142,476	3.3	－	

出典）「岩石資源及び副産物を利用した新規事業・リサイクル促進のための市場及び事業環境調査」（中国経済産業局、平成 19 年 3 月）

① 粒状地盤材料（製品名：HC 複合路床材料）

HC 複合路床材料の販売実績を図 3.26.3 に示す。



出典）才田砕石工業株式会社提供資料より作成

図 3.26.3　HC 複合路床材料の販売実績

3.26.2 品質

砕石微粉末の物理特性、環境有害物質の測定結果は、「岩石資源及び副産物を利用した新規事業・リサイクル促進のための市場及び事業環境調査」（中国経済産業局、平成 19 年 3 月）より確認できる。

また、砕石微粉末（乾燥状砕石粉）をコンクリート用細骨材として利用する場合は、JIS が規定されており、砕石微粉末（脱水ケーキ）を利用した粒状地盤材料「HC 複合路床材料」については、「建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」」（（一財）土木研究センター）において品質が規定されている。

（解説）

(1) 物理・力学的性質

1) 砕石微粉末

砕石微粉末の物理特性を表 3.26.2 に示す。

表 3.26.2　砕石微粉末の物理特性

母岩	砂岩	安山岩	粘板岩	凝灰岩	チャート	かんらん岩	玄武岩
土粒子の密度 ρs(g/m³)	2.61～2.79	2.64～2.87	2.67～2.81	2.73～2.79	2.70	2.69	2.73
含水比(%)	16.5～30.6	25.6～35.2	20.6～33.1	26.0～28.1	25.4	21.3	26.6
粒度組成　砂分(%)	4.7～18.0	1.9～12.1	4.0～7.5	1.0～6.0	16.0	43.3	7.0
シルト分(%)	52.0～84.2	51.3～68.0	52.0～76.1	57.0	36.0	56.7	66.0
粘土分(%)	4.4～41.0	46.8～23.0	19.9～40.5	37.0～42.0	48.0		38.0
液性限界　WL(%)	31.5～40.3	32.8～43.5	26.0～36.8	34.9～35.2	31.1	24.2	36.4
塑性限界　WP(%)	21.5～24.0	22.7～25.7	18.4～21.0	20.8～22.4	17.9	15.2	25.1
塑性指数　PI(%)	7.5～18.8	10.1～17.8	18.4～25.0	12.8～14.1	13.2	9.0	11.3

出典）「岩石資源及び副産物を利用した新規事業・リサイクル促進のための市場及び事業環境調査」（中国経済産業局、平成 19 年 3 月）

2) コンクリート用砕石粉

JIS A 5041「コンクリート用砕石粉」では、工場で岩石を破砕して乾式で砕石及び砕砂を製造する際に同時に発生する石粉を原料として製造されるコンクリート用砕石粉について、品質規格を**表 3.26.3** のように規定している。

表 3.26.3　コンクリート用砕石粉の品質

項目		規定値
湿分	%	1.0 以下
密度	g/cm^3	2.5 以上
フロー値比	%	90 以上
活性度指数（材齢 28 日）	%	60 以上
150μm ふるい残分	%	5 以下

出典）JIS A 5041「コンクリート用砕石粉」

3) 粒状地盤材料（製品名：HC 複合路床材料）

HC 複合路床材料は**「建設技術審査証明報告書 第 2001 号「HC 複合路床材料」」**にて品質が規定されている。

改良安定材及び HC 複合路床材料の標準配合を**表 3.26.4、表 3.26.5** に示す。

表 3.26.4　改良安定材の使用材料と標準配合

材料名	改良安定材	
	砕石微粉末	生石灰
サイズ	―	3-0mm
配合比（乾燥重量比）	95%	5%

出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

表 3.26.5　HC 複合路床材料の使用材料と標準配合

材料名	改良安定材	切込ずり	確認頻度
サイズ	20-0mm	40-0mm	―
配合比（乾燥重量比）	20%	80%	―
含水比	15±5%	―	ロット単位、かつ 500m^3 毎

出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

HC 複合路床材料の品質規格を**表 3.26.6** に示す。また、切込ずりに使用する砕石基準を**表 3.26.7** に、HC 複合路床材料、切込ずり及び改良安定材の粒度範囲を**図 3.26.4** に示す。

表 3.26.6　HC 複合路床材料の規格

確認項目	基準	試験方法	確認頻度
強度特性	設計 CBR100%以上	JIS A 1211(E-b)	ロット単位、かつ 500m^3 毎
粒度特性	**図 3.26.4** の赤線の範囲内	JIS A 1204 注 1)	ロット単位、かつ 500m^3 毎
含水比	最適含水比注 2) ±2%	JIS A 1203	ロット単位、かつ 500m^3 毎

注 1)JIS A 1204「土の粒度試験」に準じて「ふるい分け試験」を行うが、試料調整は粒子のすりつぶしは行わず、手のひらで軽くほぐす程度とする。

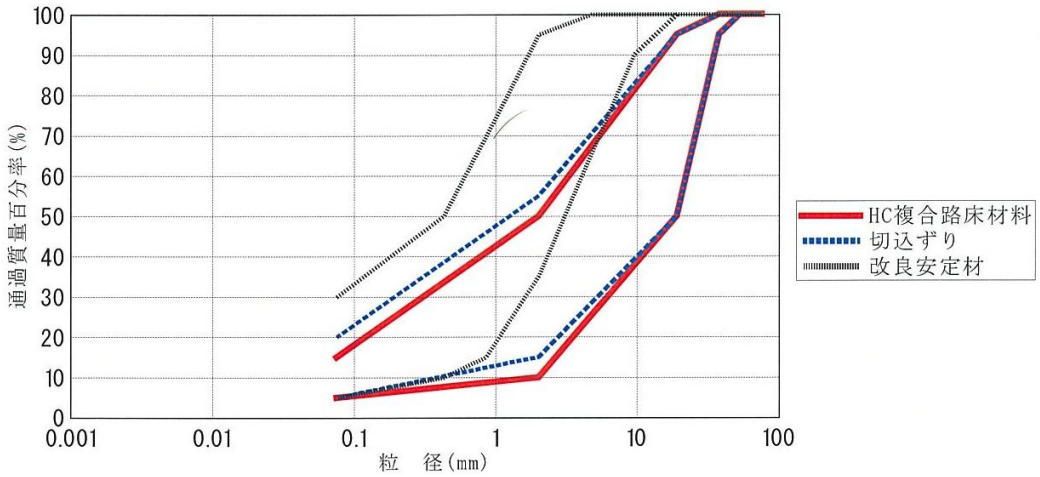
注 2)最適含水比の確認頻度は、1 回／年、5,000m^3 毎もしくは岩種、岩級区分が変わった場合に行う。

出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

表 3.26.7　切込ずりに使用する砕石基準

項目	切込ずり 基準値	参考（道路用砕石）		確認頻度
絶乾密度 g/cm³	2.50 以上	JIS A5001 参考	2.45 以上	1 回／年 （公的試験場）
吸水率%	3.0 以下	JIS A5001 参考	3.0 以下	
すり減り減量%	20 以下	JIS A5001 参考(表層・基層)	30 以下	
損失率%	10 以下	JIS A5001 参考(表層・基層)	12 以下	
岩石のスレーキング試験(JGS 2124)	区分 0 （ゼロ）	—	—	原石変更時

出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）



出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

図 3.26.4　HC 複合路床材料、切込ずり及び改良安定材の粒度範囲

(2) 化学的性質

1)　砕石微粉末

砕石微粉末の環境有害物質の測定結果を**表 3.26.8** に示す。

表 3.26.8　砕石微粉末の環境有害物質測定結果

産地 岩種 項目	環境基準 (mg/L)	香川県 計測限界 (mg/L)	香川県 砂岩 (mg/L)	山梨県 計測限界 (mg/L)	山梨県 安山岩 (mg/L)	山梨県 凝灰岩 (mg/L)	滋賀県 計測限界 (mg/L)	滋賀県 硬質砂岩 (mg/L)	東京都 計測限界 (mg/L)	東京都 硬質砂岩 (mg/L)
カドニウム	0.01以下	0.005	0.005未満	0.005	0.005未満	0.005未満	0.001	0.001未満	0.001	0.001未満
全シアン	検出ナシ	0.1	0.1未満	0.1	0.1未満	0.1未満	0.01	0.01未満	0.01	0.01未満
有機リン	検出ナシ	0.1	－	0.02	0.02未満	0.02未満	0.1	0.1未満	0.01	0.01未満
鉛	0.01以下	0.01	0.01未満	0.01	0.01未満	0.01未満	0.01	0.01未満	0.001	0.001未満
6価クロム	0.05以下	0.02	0.02未満	0.02	0.02未満	0.02未満	0.01	0.01未満	0.005	0.005未満
砒素(農用地)	0.01以下	0.01	0.01未満	0.01	0.01未満	0.01未満	0.001	0.001未満	0.001	0.002
総水銀	0.0005以下	0.0005	0.0005未満	0.0005	0.0005未満	0.0005未満	0.0005	0.0005未満	0.0005	0.0005未満
アルキル水銀	検出ナシ	－	－	0.0005	0.0005未満	0.0005未満	0.0005	0.0005未満	0.0005	0.0005未満
PCB	検出ナシ	－	－	0.001	0.001未満	0.001未満	0.0005	0.0005未満	0.0005	0.0005未満
ジクロロメタン	0.02以下	－	－	0.001	0.001未満	0.001未満	0.002	0.002未満	0.002	0.002未満
四塩化炭素	0.002以下	－	－	0.001	0.001未満	0.001未満	0.0005	0.0005未満	0.0002	0.002未満
1,2-ジクロロエタン	0.004以下	－	－	0.001	0.001未満	0.001未満	0.001	0.001未満	0.0004	0.0004未満
1,1-ジクロロエチレン	0.02以下	－	－	0.001	0.001未満	0.001未満	0.002	0.002未満	0.002	0.002未満
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04以下	－	－	0.001	0.001未満	0.001未満	0.004	0.004未満	0.004	0.004未満
1,1,1-トリクロロエタン	1以下	－	－	0.0005	0.0005未満	0.0005未満	0.002	0.002未満	0.001	0.001未満
1,1,2-トリクロロエタン	0.006以下	－	－	0.001	0.001未満	0.001未満	0.001	0.001未満	0.0006	0.0006未満
トリクロロエチレン	0.03以下	－	－	0.001	0.001未満	0.001未満	0.002	0.002未満	0.003	0.003未満
テトラクロロエチレン	0.01以下	－	－	0.0005	0.0005未満	0.0005未満	0.0005	0.0005未満	0.001	0.001未満
1,3-ジクロロプロペン	0.002以下	－	－	0.001	0.001未満	0.001未満	0.001	0.001未満	0.0002	0.0002未満
チウラム	0.006以下	－	－	0.006	0.006未満	0.006未満	0.0005	0.0005未満	0.0006	0.0006未満
シマジン	0.003以下	－	－	0.003	0.003未満	0.003未満	0.0005	0.0005未満	0.0003	0.0003未満
チオベンカルブ	0.02以下	－	－	0.003	0.003未満	0.003未満	0.002	0.002未満	0.001	0.001未満
ベンゼン	0.01以下	－	－	0.001	0.001未満	0.001未満	0.001	0.001未満	0.001	0.001未満
セレン	0.01以下	－	－	0.01	0.01未満	0.01未満	0.002	0.002未満	0.001	0.001未満
フッ素	0.8以下	－	－	0.2	0.2未満	0.2未満	－	－	0.08	0.14
ホウ素	1以下	－	－	0.01	0.01未満	0.02	－	－	0.1	0.1未満

出典）「岩石資源及び副産物を利用した新規事業・リサイクル促進のための市場及び事業環境調査」（中国経済産業局、平成 19 年 3 月）

2)　粒状地盤材料（製品名：HC 複合路床材料）

原石（切込ずり）及び HC 複合路床材料において、溶出量試験、土壌含有量試験を実施した結果、溶出量は土壌汚染に係る環境基準の基準値を、土壌含有量は土壌汚染対策法の基準値を下回る結果が得られている。

環境安全性を確認するために実施された試験項目及び頻度を**表 3.26.9**、溶出量試験結果を**表 3.26.10**、土壌含有量試験結果を**表 3.26.11** に示す。

表 3.26.9　環境安全に関する試験項目と頻度

	確認項目	試験方法	確認頻度
原石 （切込ずり）	溶出量試験	平成 3 年環境庁告示第 46 号に準ずる測定方法	1 回/年 かつ 5,000m^3 毎
	土壌含有量試験	平成 15 年環境省告示第 19 号に準ずる測定方法	
HC 複合路床材料	溶出量試験	平成 3 年環境庁告示第 46 号に準ずる測定方法	1 回/年 かつ 5,000m^3 毎
	土壌含有量試験	平成 15 年環境省告示第 19 号に準ずる測定方法	

出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

表 3.26.10　HC 複合路床材料の溶出量試験結果

対象項目	計測結果	定量下限値	土壌の汚染に係る環境基準
カドミウム	不検出	0.001mg/L	0.01mg/L以下
シアン	不検出	0.1mg/L	検出されないこと
有機燐	不検出	0.1mg/L	検出されないこと
鉛	不検出	0.001mg/L	0.01mg/L以下
六価クロム	不検出	0.01mg/L	0.05mg/L以下
砒素	不検出	0.001mg/L	0.01mg/L以下
総水銀	不検出	0.0005mg/L	0.0005mg/L以下
アルキル水銀	不検出	0.0005mg/L	検出されないこと
ポリ塩化ビフェニル	不検出	0.0005mg/L	検出されないこと
ジクロロメタン	不検出	0.002mg/L	0.02mg/L以下
四塩化炭素	不検出	0.0002mg/L	0.002mg/L以下
1,2－ジクロロエタン	不検出	0.0004mg/L	0.004mg/L以下
1,1－ジクロロエチレン	不検出	0.002mg/L	0.1mg/L以下
1,2－ジクロロエチレン	不検出	0.004mg/L	0.04mg/L以下
クロロエチレン	不検出	0.0002mg/L	0.002mg/L以下
1,1,1－トリクロロエタン	不検出	0.1mg/L	1mg/L以下
1,1,2－トリクロロエタン	不検出	0.0006mg/L	0.006mg/L以下
トリクロロエチレン	不検出	0.003mg/L	0.03mg/L以下
テトラクロロエチレン	不検出	0.001mg/L	0.01mg/L以下
1,3－ジクロロプロペン	不検出	0.0002mg/L	0.002mg/L以下
チウラム	不検出	0.0006mg/L	0.006mg/L以下
シマジン	不検出	0.0003mg/L	0.003mg/L以下
チオベンカルブ	不検出	0.002mg/L	0.02mg/L以下
ベンゼン	不検出	0.001mg/L	0.01mg/L以下
セレン	不検出	0.001mg/L	0.01mg/L以下
ふっ素	不検出	0.08mg/L	0.8mg/L以下
ほう素	不検出	0.2mg/L	1mg/L以下
1,4－ジオキサン	不検出	0.005mg/L	0.05mg/L以下

出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

表 3.26.11　HC 複合路床材料の土壌含有量試験結果

O社（HC複合路床材料）：2019年7月29日実施

対象項目	計測結果	定量下限値	土壌含有量基準
カドミウム	不検出	15mg/kg	150mg/kg以下
六価クロム	不検出	25mg/kg	250mg/kg以下
シアン	不検出	5mg/kg	50mg/kg以下
総水銀	不検出	1.5mg/kg	15mg/kg以下
セレン	不検出	15mg/kg	150mg/kg以下
鉛	不検出	15mg/kg	150mg/kg以下
砒素	不検出	15mg/kg	150mg/kg以下
ふっ素	不検出	400mg/kg	4000mg/kg以下
ほう素	不検出	400mg/kg	4000mg/kg以下

出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

3.26.3 適用用途

(1) 概要

砕石微粉末を利用する場合は、JIS に適合したもの、建設技術審査証明報告書で規定されている品質を満足する材料を用いるものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、砕石微粉末を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.26.12** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.26.12　砕石微粉末の適用用途

用途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	△ （乾燥状砕石粉）	A	●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。 ・1)JIS A 5041において、品質規格が定められている ・2)乾燥状砕石粉をコンクリート用細骨材として用いた場合の配合条件・強度発現、フレッシュ性状、耐久性、メチレンブルー吸着量の影響などについて、試験結果に基づき検討が行われている	－	●利用実績なし	1) 2)
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	△ （脱水ケーキ）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・3)報告書において、安定化処理装置による改良後、盛土材としての利用についての記載がある	－	●利用実績なし	3)
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	○$^{+}$ （脱水ケーキ）	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・3)4)建設技術審査証明報告書により、材料の品質性能・施工方法について確認することができる	b	●利用実績はあるが、限定される。 【主な工事】 ・交差点改良工事（国交省） ・自歩道設置工事（管理者）	3) 4)
⑮	路盤材	△ （脱水ケーキ）	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 ・3)報告書において、水硬性路盤材として、利用用途についての記載がある	－	●利用実績なし	3)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	△	D	●用途として利用可能であるが、課題等も挙げられている。 ・3)報告書において、海底修復資材としての利用の検討が行われているが生物への影響等について、今後検討を要する	－	●利用実績なし	3)
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）

1) JIS A 5041「コンクリート用砕石粉」
2) 砕石粉を使用した砕石・砕砂コンクリートの性状（コンクリート工学，Vol.46,No.11,2008.11）
3)「岩石資源及び副産物を利用した新規事業・リサイクル促進のための市場及び事業環境調査」（中国経済産業局、平成19年3月）
4) 建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第2001号「HC複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020年4月）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) 路床盛土材

砕石微粉末（脱水ケーキ）を粒状地盤材料として路床盛土材に利用する場合、**「建設技術審査証明報告書 第 2001 号「HC 複合路床材料」」**より物理特性、締固め・強度特性、耐久性、施工性等を参照できる。

1) 物理特性

粒度試験により、路床材料に適した締固めやすい砂～礫の粒度組成を有していることが確認されている。

表 3.26.13　HC 複合路床材料の粒度組成

	細粒分 (%)	砂分 (%)	礫分 (%)	平均粒径 (mm)	均等係数 Uc	曲率係数 Uc'
範囲	5.2～12.9	11.1～36.2	55.4～84.2	2.8～12.0	23～207	0.8～5.6
平均	8.9	27.2	63.9	5.4	95.7	2.4

出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

2) 締固め・強度特性

締固め試験、室内 CBR 試験、現場密度試験及び FWD 試験より、十分な締固めが可能な路床材料であり、設計 CBR100%以上を確保できる性能を有していることが確認されている。

表 3.26.14　HC 複合路床材料の締固め試験結果

	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)	最適含水比 w_{opt} (%)
0社　①	2.079	7.9
0社　②	2.131	8.8
0社　③	2.124	9.6
0社　④	2.040	9.3
0社　⑤	2.138	8.2
0社　⑥	2.137	8.4
0社　⑦	1.983	11.4
0社平均	2.090	9.1
S社　①	1.934	10.3
S社　②	2.071	8.6
S社　③	1.977	11.0
S社　④	2.104	9.4
S社　⑤	2.036	9.7
S社　⑥	2.204	5.7
S社　⑦	2.188	6.6
S社平均	2.073	8.8
まさ土	1.970	9.5

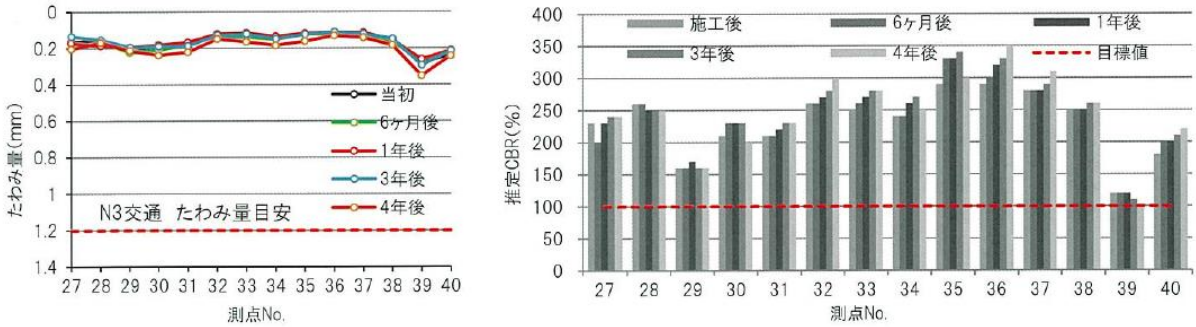
出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

3) 耐久性

乾湿繰返し試験、岩石のスレーキング試験、路面性状調査、FWD 試験及び再掘削土の粒度試験により、長期にわたり性状に変化が少なく、交通荷重の繰返し載荷による累積圧縮沈下も少ない性能を有していることが確認されている。

施工後 4 年を経過した舗装では、路面のたわみ量は許容値以下に収まり、推定 CBR も 100%以上を維持し、十分な強度特性を有することがわかっている。

施工後 10 年を経過した舗装の路面性状を、MCI（維持管理指数：Maintenance Control Index）で評価した結果、何れも「補修の必要なし」の判定となり路面性状は健全であった。



出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）概要書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

図 3.26.5　HC 複合路床材料のたわみ層及び推定 CBR

4) 施工性

作業性試験、粉じん量調査及び再掘削性試験より、一般的な建設機械で施工が可能であり、発生粉じん量が少なく、長時間経過後も過度に固化しない性能を有していることが確認されている。

路床材料として一般的な「まさ土」に代わり「HC 複合路床材料」を適用した場合、設計舗装断面（多層弾性理論）の路床厚さは大きく低減し、併せて掘削量、材料運搬量等を抑えることができる。

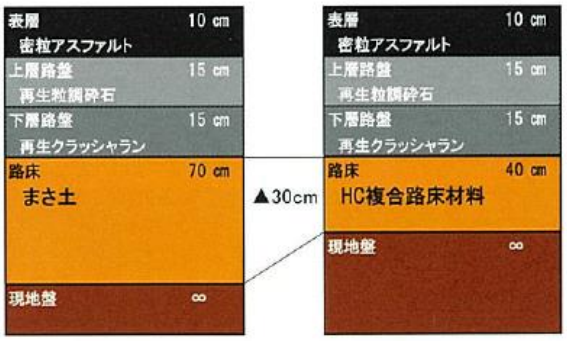


表-1　設計条件

設計期間	10 年
計画交通量	N5
信頼度	90%
設計 CBR	0.5%
目標 CBR	8%

出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）概要書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

図 3.26.6　舗装断面の検討例

出典）建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第 2001 号「HC 複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020 年 4 月）

図 3.26.7　HC 複合路床材料の施工状況

また、砕石微粉末（脱水ケーキ）の利用技術の開発や利用促進を目的として、砕石微粉末利用研究会が設立されており、同研究会では、HC 複合路床材料の路床材料、路盤材料、防草材料、刃金土としての性能の評価に関する調査研究や利用マニュアルの作成を行っている。[1)]

【参考文献】

1）砕石微粉末利用研究会：HC 複合路床材料 配合設計・品質管理マニュアル ver.2（平成 28 年 2 月）

(3) 今後の検討を要する用途

1) コンクリート用細骨材

砕石微粉末（乾燥状砕石粉）をコンクリート用細骨材として利用する場合は、**JIS A 5041「コンクリート用砕石粉」**で規定されている品質を満足する必要がある。

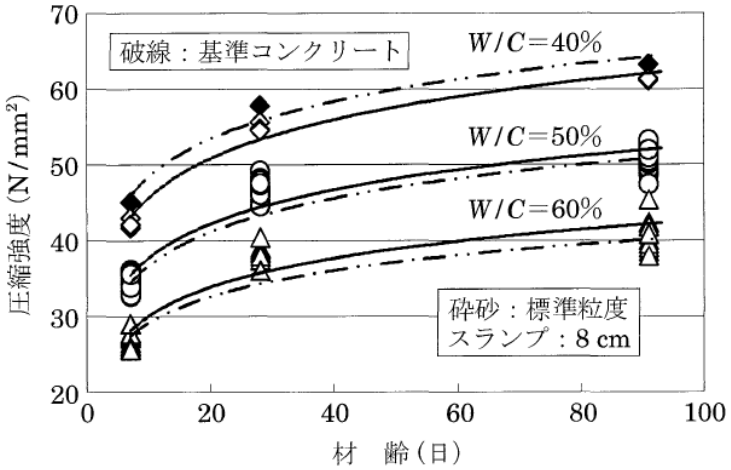
砕石微粉末（乾燥状砕石粉）を砕砂の一部に使用したコンクリートを対象に、①配（調）合条件、強度発現性、②フレッシュ性状、③耐久性、④砕石微粉末（乾燥状砕石粉）のメチレンブルー吸着量の影響について、試験結果に基づき検討がなされている。[1)]

①配（調）合条件、強度発現性

単位水量、細骨材率、AE 助剤の添加量等の調整は必要であるが、水セメント比（W/C）が 40%の場合は砕石粉の使用率が 5%まで、W/C が 50%及び 60%の場合は砕石粉の使用率が 15%まで、所定のスランプ及び空気量を得ることができる。

W/C によって強度発現性は異なり、W/C が 40%の場合は、砕石粉を使用したコンクリートの圧縮強度は基準コンクリートを下回る結果となったが、W/C が 50%及び 60%の場合は、基準コンクリートを下回る場合もあるが概ね同等以上の圧縮強度であった。

材齢と圧縮強度の関係の一例を**図 3.26.8** に示す。



※基準コンクリート：砕石粉未使用コンクリート

出典）真野孝次，辻幸和，友澤史紀，深松孝：砕石粉を使用した砕石・砕砂コンクリートの性状，コンクリート工学，Vol.46，No.11，2008.11

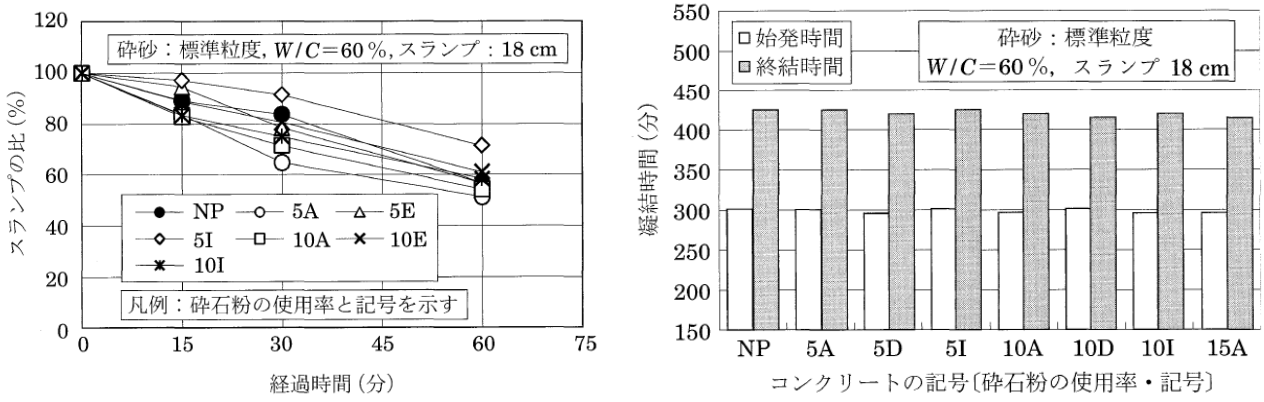
図 3.26.8　材齢と圧縮強度の関係の一例

②フレッシュ性状

砕石粉を使用したコンクリートのスランプの経時変化量は、基準コンクリート(NP)と同程度またはやや大きくなる傾向が認められた。なお、この傾向はスランプフロー及び空気量についても同様であった。

凝結時間については、砕石粉の種類及び使用率にかかわらず、始発時間、終結時間ともに基準コンクリートと比較してほとんど変化は認められなかった。

スランプの比の経時変化及び凝結試験結果の一例を**図 3.26.9** に示す。



※NP：基準コンクリート（砕石粉未使用コンクリート）

A～I：原石の種類、75μm残分の値から区分された砕石粉の種類を示す

出典）真野孝次，辻幸和，友澤史紀，深松孝：砕石粉を使用した砕石・砕砂コンクリートの性状，コンクリート工学，Vol.46，No.11，2008.11

図 3.26.9　左図：スランプの比の経時変化の一例　右図：凝結試験結果の一例

③耐久性

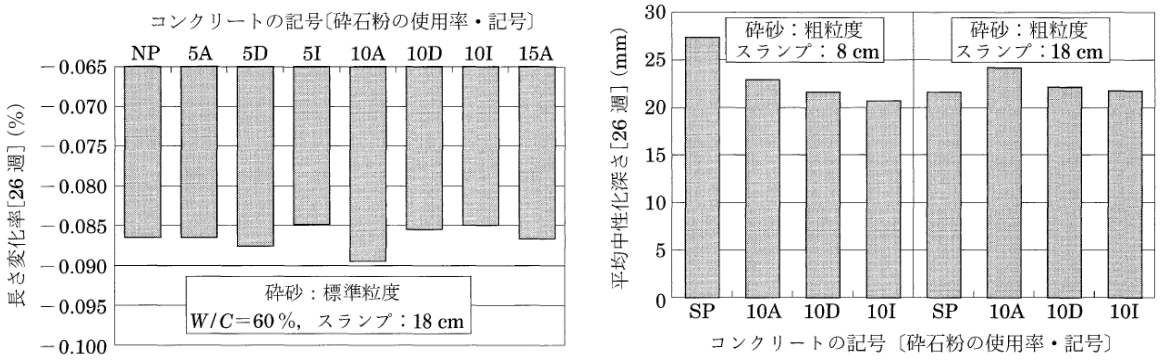
長さ変化（乾燥収縮）については、砕石粉の使用に伴って長さ変化率が増大する場合もあるが、全般的には基準コンクリートと同程度である。

凍結融解の繰り返しが 300 サイクル時の相対動弾性係数及び質量減少率は、砕石粉の種類や使用率に関わらず基準コンクリートと同程度であった。

促進中性化期間 6 か月における平均中性化深さは、砕石粉の種類及び使用率に関わらず、基準コンクリートと同程度であった。

砕石粉の使用に伴い、透水性は概ね低下する傾向がみられたが、砕石粉の使用及び使用率の増加に伴い、拡散係数が低下する場合と増大する場合も確認された。

乾燥期間 26 週における長さ変化率及び促進中性化試験結果の一例を**図 3.26.10** に示す。

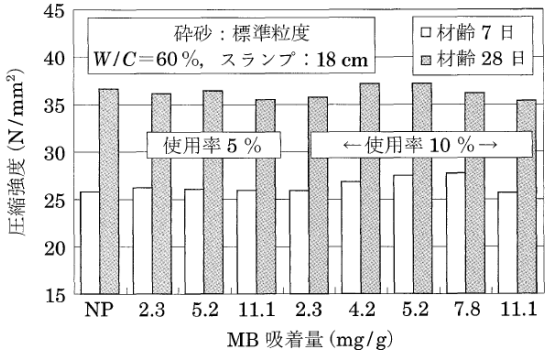


※NP：基準コンクリート（砕石粉未使用コンクリート）、SP：粗粒度の砕砂を使用した基準コンクリート
A～I：原石の種類、75μm 残分の値から区分された砕石粉の種類を示す
出典）真野孝次，辻幸和，友澤史紀,深松孝：砕石粉を使用した砕石・砕砂コンクリートの性状，コンクリート工学，Vol.46,No.11,2008.11

図 3.26.10　左図：乾燥期間 26 週における長さ変化率の一例 右図：促進中性化試験結果の一例（W/C=60%）

④砕石微粉末（乾燥状砕石粉）のメチレンブルー吸着量の影響メチレンブルー（MB）吸着量が圧縮強度に及ぼす影響は認められず、コンクリートの圧縮強度はいずれの条件でも基準コンクリートと同程度であった。

MB 吸着量と圧縮強度の関係を**図 3.26.11** に示す。



※NP：基準コンクリート（砕石粉未使用コンクリート）
A～I：原石の種類、75μm 残分の値から区分された砕石粉の種類を示す
出典）真野孝次，辻幸和，友澤史紀,深松孝：砕石粉を使用した砕石・砕砂コンクリートの性状，コンクリート工学，Vol.46,No.11,2008.11

図 3.26.11　MB 吸着量と圧縮強度の関係

【参考文献】

1）真野孝次，辻幸和，友澤史紀,深松孝：砕石粉を使用した砕石・砕砂コンクリートの性状，コンクリート工学，Vo1.46,No.11,2008.11

2） 盛土材、覆土材、載荷盛土材

砕石微粉末（脱水ケーキ）はリサイクル機で安定化処理を行うことで、盛土材として利用できる。**「岩石資源及び副産物を利用した新規事業・リサイクル促進のための市場及び事業環境調査」**によると、リサイクル機で安定化処理を行った砕石微粉末（脱水ケーキ）は第 2 種処理土で基準とされているコーン指数 800kN/m^2 を十分にクリアし、処理土の適用用途標準に示されている用途には、ほとんど適用可能という結果が出ている。

3） 路盤材

砕石微粉末（脱水ケーキ）について、平成 9～11 年度に「砕石微粉末の資源化研究委員会」、「砕石スラッジ資源化委員会」が有効利用に関する調査を行っている。強度や長期安定性に優れた水硬性複合路盤材（脱水ケーキを生石灰等で安定処理し、クラッシャランに混合して造られる複合路盤材）が開発されており、材料規格・製造マニュアル・配合設計方法がとりまとめられている。

水硬性複合路盤材は従来の路盤材（クラッシャラン、再生クラッシャラン）と比較して、同等以上の施工性、強度及び長期安定性に優れた特徴を有するとされている。

表 3.26.15　水硬性複合路盤材の概要

	内容
原料	砕石微粉末（脱水ケーキ）　体積比25%、重量比20%
製品特長	・単粒度砕石や砕砂を湿式で製造する際に副産物として発生する砕石微粉末（脱水ケーキ）を生石灰等で安定処理したもの（安定処理砕石微粉末）をクラッシャランまたは再生クラッシャランに混合することにより品質の安定を図った路盤材（HCC又はHCRC)。 ・今後、粒度、粒形等のより高品質な砕石や砕砂の需要増に伴い、発生量の増加が予測され、廃棄物化されかねない砕石微粉末（脱水ケーキ）を有効利用した新たなリサイクル理念に基づいて開発。 ・安定処理砕石微粉末をクラッシャランまたは再生クラッシャランに混合することにより従来の路盤材（クラッシャラン、再生クラッシャラン）と比較して、同等以上の施工性、強度及び長期安定性に優れた特性を有する。 ・舗装道路の下層路盤材として適用。
環境基準	環境庁告示第46号：土壌の汚染に係る環境基準
公的評価	・グリーン購入法特定調達品目　砕石微粉末混入路盤材（水硬性複合路盤材）としてロングリストに掲載。 ・NETISにKT-990484（水硬性複合路盤材）として登録。
販売条件	HCC及びHCRCともに持ち込み価格で建設物価の路盤材（クラッシャラン、再生クラッシャラン）の単価の範囲内
主な施工事例	国土交通省 一般道路17号線（埼玉県蕨市錦町）、一般国道20号線（山梨県東山梨郡大和町）、一般国道52号線（山梨県中巨摩群櫛形町）等

出典）「岩石資源及び副産物を利用した新規事業・リサイクル促進のための市場及び事業環境調査」（中国経済産業局、平成 19 年 3 月）

4) 藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等

砕石微粉末の利用用途として、覆砂材の代替材料について検討が行われているが、浚渫土、石炭灰と比較して、海生生物の生息環境への影響に関するデータがない等、今後の検討を要する。

3.26.4 関係法令

砕石微粉末は産業副産物等に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2 環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.26.5 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

砕石微粉末を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、発生する材料の種類に応じて、本ガイドラインの該当箇所を参照し、検討を行う。

また、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.27 粒調 Fe 石灰路盤材

3.27.1 製造・供給

粒調 Fe 石灰路盤材は、砂礫土や用土（まさ土など）に骨材、Fe 石灰を混合し製造される路盤材である。

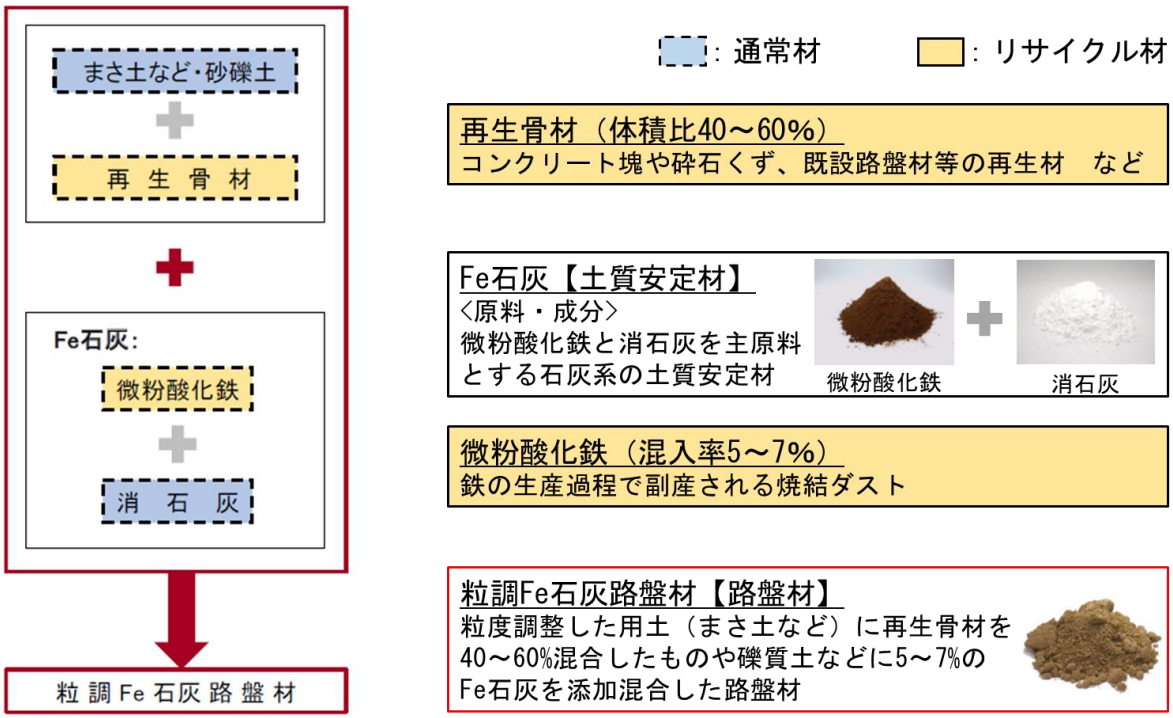
（解説）

(1) 製造方法

「土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編」（国土交通省九州地方整備局、令和 5 年 4 月）では、粒調 Fe 石灰路盤材は、用土（まさ土など）に再生骨材を 40%～60%混合したものや礫質土などに、5～7%の Fe 石灰（消石灰と微粉酸化鉄の混合物）で処理した路盤材と定義されており、粒調 Fe 石灰路盤材を用いた路盤工法を粒調 Fe 石灰処理工法と称している。

ここで、Fe 石灰とは、鉄の生産過程で副産される微粉酸化鉄と消石灰を主原料とする石灰系の土質安定材である。

なお、自然土に Fe 石灰を添加混合した処理土を Fe 石灰処理土と称し、Fe 石灰処理土を地盤上に敷設転圧し安定処理層を構築する工法を Fe 石灰工法と称している。



出典）株式会社エフイ石灰技術研究所 HP の情報より作成

図 3.27.1　粒調 Fe 石灰路盤材の製造方法

(2) 供給・利用の状況

1)　供給地域

供給可能地域：九州地方

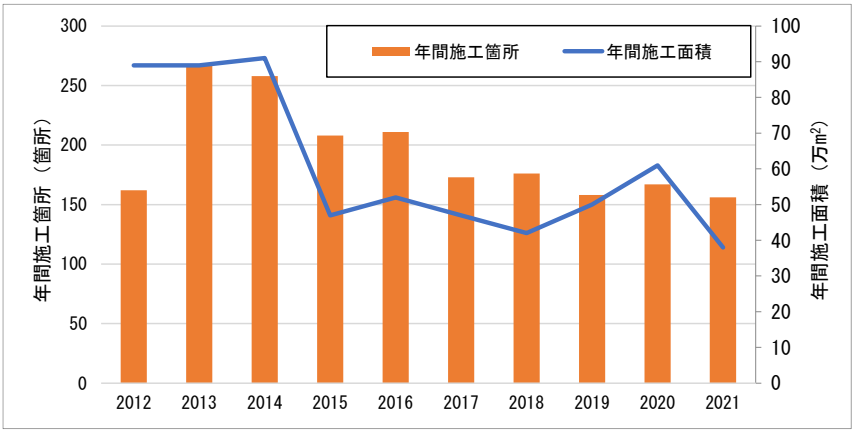
日当り製造量（プラント 1 基当り）：500m^3

2) 製造所の立地場所

粒調 Fe 石灰路盤材の製造プラント（中間混合業者）は九州地方 7 県に 42 箇所ある。

3) 生産量・利用量

年間施工箇所：156 箇所、年間施工面積：38 万 m^2（2021 年実績）



出典）株式会社エフイ石灰技術研究所提供資料より作成

図 3.27.2　粒調 Fe 石灰処理工法の年間施工箇所及び施工面積

3.27.2 品質

粒調 Fe 石灰路盤材は、「土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編」（国土交通省九州地方整備局、令和 5 年 4 月）において、品質規格が定められている。
環境安全性については、製造事業者で実施されている含有量試験結果、溶出量試験結果より確認できる。

（解説）

(1) 物理・力学的性質

粒調 Fe 石灰路盤材は、**「土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編」（国土交通省九州地方整備局、令和 5 年 4 月）**において、品質規格が定められている。

1) 粒度範囲

本材料は、室内 CBR 試験、粒度試験などによって管理される。室内 CBR 試験では水浸養生 4 日において CBR 値 100%～120%以上を満足するものとし、粒度範囲は以下を標準とする。

表 3.27.1　粒調 Fe 石灰路盤材の粒度範囲

ふるい目	通過質量百分率(%)
53.0mm	100
37.5mm	95～100
19.0mm	50～100
2.36mm	20～60
0.075mm	2～20
許容最大粒径(mm)	40

出典）「土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編」（国土交通省九州地方整備局、令和 5 年 4 月）

(2) 化学的性質

1) 成分含有量

Fe 石灰は微粉酸化鉄と消石灰を主原料とする石灰系の土質安定材であり、その成分含有量は、酸化鉄 17%以上、消石灰 72%以上となっている。

2) 環境安全性

Fe 石灰（土質安定材）の含有量試験を**表 3.27.2** に、溶出量試験の結果を**表 3.27.3** に示す

表 3.27.2 Fe 石灰（土質安定材）の含有量試験結果

計量の対象	単位	計量の結果	基準値	計量の方法
カドミウム及びその化合物	mg/kg	2	150以下	JIS K 0102 55.4
六価クロム化合物	mg/kg	1 未満	250以下	JIS K 0102 65.2.1
シアン化合物	mg/kg	1 未満	50以下	JIS K 0102 38.3
水銀及びその化合物	mg/kg	0.02	15以下	昭和46年 環告59号 付表2
セレン及びその化合物	mg/kg	1 未満	150以下	JIS K 0102 67.4
鉛及びその化合物	mg/kg	3	150以下	JIS K 0102 54.4
砒素及びその化合物	mg/kg	2	150以下	JIS K 0102 61.4
ふっ素及びその化合物	mg/kg	60	4000以下	JIS K 0102 34.1
ほう素及びその化合物	mg/kg	10 未満	4000以下	JIS K 0102 47.3
－以下余白－				

備　考
・結果欄の未満表示の数値は定量下限値を示す
・含有量試験の検液の作成方法：平成15年 環告第19号 付表
・検液の計量方法は計量の方法欄に記載
・基準値は土壌汚染対策法施行規則 平成14年12月26日による
・シアン化合物の基準値は遊離シアンとして50mg/kg以下

出典）Fe 石灰（土質安定材）の含有量試験結果（株式会社エフイ石灰技術研究所）

表 3.27.3　Fe 石灰（土質安定材）の溶出量試験結果

計　量　の　対　象	単　位	計量の結果	基準値	計　量　の　方　法
カドミウム及びその化合物	mg/L	0.0003　未満	0.003以下	JIS K 0102 55.4:(2019)
六価クロム化合物	mg/L	0.02　未満	0.05以下	JIS K 0102 65.2.5:(2019)
シアン化合物	mg/L	0.1　未満	検出されないこと	JIS K 0102 38.1.2 :(2019)及び 38.3:(2019)
水銀及びその化合物	mg/L	0.0005　未満	0.0005以下	昭和46年 環告59号 付表2
アルキル水銀	mg/L	0.0005　未満	検出されないこと	昭和46年 環告59号 付表3 及び昭和49年 環告64号 付表3
セレン及びその化合物	mg/L	0.003	0.01以下	JIS K 0102 67.4 : (2019)
鉛及びその化合物	mg/L	0.003	0.01以下	JIS K 0102 54.4 : (2019)
砒素及びその化合物	mg/L	0.001　未満	0.01以下	JIS K 0102 61.4 : (2019)
ふっ素及びその化合物	mg/L	0.2　未満	0.8以下	JIS K 0102 34.1 : (2019)
ほう素及びその化合物	mg/L	0.10	1以下	JIS K 0102 47.3 : (2019)
シマジン	mg/L	0.0003　未満	0.003以下	昭和46年 環告59号 付表6 第1
チウラム	mg/L	0.0006　未満	0.006以下	昭和46年 環告59号 付表5
チオベンカルブ	mg/L	0.002　未満	0.02以下	昭和46年 環告59号 付表6 第1
ポリ塩化ビフェニル(PCB)	mg/L	0.0005　未満	検出されないこと	昭和46年 環告59号 付表4
有機りん化合物	mg/L	0.1　未満	検出されないこと	昭和49年 環告64号 付表1
－ 以 下 余 白 －				

備　考
- 結果欄の未満表示の数値は定量下限値を示す
- 溶出試験の検液の作成方法：平成15年 環告第18号に基づき、平成3年 環告第46号 付表により作成
- 検液の計量方法は計量の方法欄に記載、結果は検液についての値である
- 基準値は土壌汚染対策法施行規則 平成14年12月26日 による
- 基準値の「検出されないこと」とは、法令で定められた方法により測定した場合において、その結果が当該方法の定量限界を下回ることをいう

出典）Fe 石灰（土質安定材）の溶出量試験結果（株式会社エフイ石灰技術研究所）

3.27.3 適用用途

(1) 概要

粒調 Fe 石灰路盤材を用いた施工方法については「土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編」（国土交通省九州地方整備局、令和 5 年 4 月）に従うものとする。

（解説）

品質性能及び利用実績の両面から、粒調 Fe 石灰路盤材を各用途に利用する場合の評価を行った結果を**表 3.27.4** に示す。なお、利用に当たっての条件（用途、材料特性、加工・改良の必要性等）がある場合、評価の下に括弧書きで示している。

次項以降で、評価が「◎」「○$^{+}$」「○」の用途について、適用方針、適用の利点及び留意事項等について記述する。

評価が「△」の用途は、利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず今後の検討を要するものであり、「今後の検討を要する用途」として現状での技術的知見と今後の課題等について記述する。

表 3.27.4　粒調 Fe 石灰路盤材の適用用途

用　途		総合評価	評価の根拠				出典
			品質性能		利用実績		
①	ｺﾝｸﾘｰﾄ用細骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
②	ｺﾝｸﾘｰﾄ用粗骨材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
③	混和材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
④	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑤	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑥	深層混合処理固化材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑦	捨石	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑧	中詰材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑨	被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑩	裏込材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑪	裏埋材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑫	盛土材、覆土材、載荷盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑬	埋立材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑭	路床盛土材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑮	路盤材	◎	B	●利用マニュアル等が整備されている。 ・1)国の定める「土木工事設計要領」において、品質規格、適用範囲等が定められている ・2)県の定める「土木工事施工管理の手引き」において、品質管理、単位体積重量試験の規格値等が定められている ・3)粒調Fe石灰路盤材を用いたFe石灰工法の設計要領【自社基準】が整備されている	a	●利用実績が多い、または汎用性が高い。 【主な工事】 ・道路改築工事（国交省） ・道路舗装工事（国交省） ・空港連絡道路（その他）	1) 2) 3)
⑯	As舗装骨材、Asﾌｨﾗｰ材	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑰	藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	
⑱	その他	－	－	●用途対象外	－	●利用実績なし	

出典）
1)土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編（国土交通省九州地方整備局、令和5年4月）
2)土木工事施工管理の手引き（福岡県 県土整備部、令和4年10月）
3)Fe石灰工法設計要領（株式会社エフイ石灰技術研究所）

注）表中の【主な内容】は、品質性能について出典資料に記載されている主な内容をとりまとめたものである。

(2) 路盤材

「土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編」（国土交通省九州地方整備局、令和 5 年 4 月）で定めるアスファルト舗装の構造設計に関わる規定事項は以下のとおりである。

1) 適用範囲

粒調 Fe 石灰路盤材は、道路高さが制限され舗装厚を薄くする必要がある箇所や、地下水の影響などにより路盤部以下の支持力低下が予想される箇所などで、設計 CBR3 以上の良質路床上や Fe 石灰工法により構築された拘束層上に粒調 Fe 石灰路盤材による路盤工を施工する場合に適用する。

2) 舗装設計

表 3.27.5　アスファルト舗装における各層の標準厚

使用する位置	工法・材料	各層の標準厚（cm）
表・基層	表層用混合物	4～5
	基層用混合物	5～15
上層路盤	瀝青安定処理	8～10
	粒調Fe石灰路盤材	10～30
	粒度調整砕石	10～30
下層路盤	クラッシャラン	15～60

※一層仕上がり厚さから目安を示す。

出典）「土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編」（国土交通省九州地方整備局、令和 5 年 4 月）

表 3.27.6　舗装各層に用いる材料・工法の等値換算係数

使用する層	材料・工法	品質規格	等値換算係数 a
表層 基層	加熱アスファルト 混合物	ストレートアスファルト ポリマー改質アスファルト ポーラスアスファルト	1.00
上層路盤	瀝青安定処理	加熱混合：安定度 3.43kN 以上	0.80
	粒調 Fe 石灰路盤材	CBR 100 以上（中央混合）	0.55
	粒度調整砕石	修正 CBR 80 以上	0.35
下層路盤	クラッシャラン	修正 CBR 30 以上	0.25

※再生材を使用する場合も上記の数値を適用する。

出典）「土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編」（国土交通省九州地方整備局、令和 5 年 4 月）

表 3.27.7　舗装断面の一例(交通区分 N6、信頼度 90%、設計 CBR8、設計期間 20 年の例)

材料		等値換算係数	設計例		
			①	②	③
表・基層	加熱アスファルト混合物	1.00	15	10	10
上層路盤	瀝青安定処理(加熱混合)	0.80		8	10
	粒調Fe石灰路盤材	0.55			20
	粒度調整砕石	0.35	15	15	
下層路盤	クラッシャラン	0.25	35	30	
T_A'　cm			29.00	29.15	29.00
合計厚さ　cm			65	63	40

出典）「土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編」（国土交通省九州地方整備局、令和 5 年 4 月）

3) 留意事項

・粒調 Fe 石灰路盤材の１層の最小厚さは 10cm で最大厚さは 20cm とする。
・粒調 Fe 石灰路盤材の等値換算係数は、路上混合の場合 0.45、中央混合の場合 0.55 とする。
・粒調 Fe 石灰路盤材を使用する舗装構成を新規路床構築と併用して採用する場合は、Fe 石灰による路床構築を標準とする。
・粒調 Fe 石灰路盤材面での交通開放は原則として禁止し、保護層を兼ねた瀝青安定処理や粒調砕石をその上に舗設して交通開放を行うことを条件とする。

また、粒調 Fe 石灰路盤材の利用にあたっては、品質管理機関の定める**「Fe 石灰工法設計要領」**等の情報を参考にできる。

路盤材として用いる粒調 Fe 石灰路盤材の品質管理については、**表 3.27.8** に基づき行うものする。

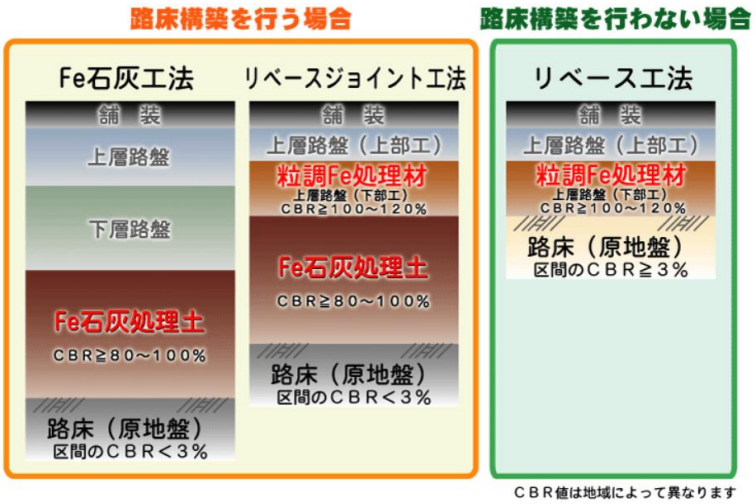
表 3.27.8　粒調 Fe 石灰路盤材の品質管理項目

施工面積(m^2)	5,000未満	5,000～10,000	10,000～15,000	15,000以上
1)配合設計CBR	1回／工事	1回／工事	2回／工事	3回／工事
	用土変化がない場合は、施工面積に関わらず、1回/工事とする。			
2)処理土のCBR 内訳 突固め直後	1,000m^2	1,500m^2	1,500m^2	2,000m^2
2)処理土のCBR 内訳 水浸 4日	1,000m^2	1,500m^2	1,500m^2	2,000m^2
2)処理土のCBR 内訳 水浸 7日	1,000m^2	1,500m^2	1,500m^2	2,000m^2
2)処理土のCBR 内訳 水浸14日	1,000m^2	1,500m^2	1,500m^2	2,000m^2
	に1回	に1回	に1回	に1回
3)現場密度の測定	1,000m^2に1回（但し、1工事に3回以上）			

出典）「令和 4 年度版 Fe 石灰工法設計要領」（株式会社エフイ石灰技術研究所）

リベースジョイント工法とは、粒調 Fe 石灰路盤材を路盤に用い、Fe 石灰処理土を拘束層に用いた場合のサンドイッチ舗装工法断面の総称である（新技術情報提供システム（NETIS）登録番号：QS-030004-VG）。

なお、リベース工法とは拘束層を用いずに粒調 Fe 石灰路盤材を路盤に適用する場合である。



※図中の粒調 Fe 処理材は、本節で定義する粒調 Fe 石灰路盤材のことを指す。

出典）「リベースジョイント®工法（リベース工法）の断面例」（株式会社エフイ石灰技術研究所 HP、(http://www.felime.jp/contents/dokoni/douro/ribesu.html#ryuchofe)

図 3.27.3　リベースジョイント工法、リベース工法の断面例

道路分野では、九州地方を中心に道路の整備・維持管理を行う国道事務所で多くの利用実績がある。一例として、新北九州空港の連絡道路における事例を以下に示す。

なお、海水の影響を直接受けるような箇所での利用実績はない。

※図中の粒調 Fe 処理材は、本節で定義する粒調 Fe 石灰路盤材のことを指す。

出典）Fe 石灰工法　施工実績資料（株式会社エフイ石灰技術研究所）

図 3.27.4　適用事例（新北九州空港連絡道路）

3.27.4 関係法令

粒調 Fe 石灰路盤材は産業副産物（がれき類）に該当する。産業副産物等の法令上の取り扱いについては、**「1.4.2　環境安全の考え方」**を参照のこと。

3.27.5 施工後の再利用・廃棄の考え方

施工後に再利用・廃棄を行う場合、発生する材料の種類に応じて検討を行うものとする。

（解説）

粒調 Fe 石灰路盤材を材料として用いた箇所の改修・撤去等により生じた建設副産物を再びリサイクル材料として利用または廃棄する場合は、**「建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）」**に示す区分に準ずるものとする。建設発生土の利用については、**「3.1　建設発生土」**を参照のこと。

なお、再利用・廃棄を検討する際に、使用したリサイクル材料の種類、品質及び量等の情報が重要となるため、これらの情報を維持管理計画等に記載しておくことを標準とする。

3.28 災害廃棄物

災害廃棄物の利用を検討する際は、「災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン」（平成 26 年 9 月、（公社）地盤工学会）を参照し、災害廃棄物の品質や関連する法令・指針等について確認するとともに、利用用途、施工方法、モニタリング方法等について適切に設定するものとする。

（解説）

災害廃棄物の処理から得られた復興資材（災害廃棄物や津波堆積物の混合物を分離・選別して得られた「分別土砂」や、コンクリートがらを破砕・選別して得られた「コンクリート再生砕石」等）の活用に際し、関連法令・指針、品質評価、用途と活用方法、モニタリング等について示された**「災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン」**が平成 26 年 9 月に（公社）地盤工学会より発行されている。

上記ガイドラインでは、復興資材の有効活用の範囲を「公共工事および公共工事に準ずる工事」と規定し、品質管理については、標準材料や類似リサイクル材料に準じた方法を規定している。

なお、一定濃度以上の放射性物質を含む資材に関しては、放射線被ばくの防止の観点を踏まえつつ、放射性物質の濃度レベルや用途・利用環境等を考慮した適切な管理を行うこととされている。また、その他留意すべき事項として、分別土砂には除去しきれない木くず等の有機物が含まれているものがあり、構造物等への有機物の長期的な影響は不明であることから、有機物量によっては利用用途や地盤改良の適用等を考慮することとされている。

災害廃棄物の利用を検討する際は、上記ガイドラインを参照し、災害廃棄物の品質や関連する法令・指針等について確認し、利用用途、施工方法、モニタリング方法等について十分検討を行う必要がある。

参考文献リスト

材料		参考文献
建設発生土	1	通達「発生土利用基準について」（国官技第112号、国官総第309号、国営計第59号）、平成18年8月（https://www.mlit.go.jp/tec/kankyou/hasseido/060810kijyun.pdf）
	2	港湾工事共通仕様書：国土交通省港湾局、令和5年3月（https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001600582.pdf）
	3	国土交通省港湾局：浚渫土砂の海洋投入及び有効利用に関する技術指針(改訂案)、平成25年7月（https://www.mlit.go.jp/common/001008776.pdf）
	4	(一財)沿岸技術研究センター：事前混合処理工法技術マニュアル(改訂版)、令和元年12月
	5	回転式破砕混合工法研究会：回転式破砕混合工法 技術・積算資料、令和元年6月版
	6	編著(独)土木研究所、出版(一財)土木研究センター：建設発生土利用技術マニュアル（第4版）、平成25年12月
	7	監修：国土交通省港湾局、著：海の自然再生ワーキング・グループ、企画：（財）港湾空間高度化環境研究センター：海の自然再生ハンドブックーその計画・技術・実践ー、平成15年11月
	8	水谷崇亮：リサイクル材料を活用した埋め立て、土木技術、Vol.70、No.2、pp.26-30、平成27年
	9	国土交通省関東地方整備局 千葉港湾事務所：5. 工事内容、平成25年度東京湾浅場造成工事　工事概要書、平成25年6月
	10	蒲原聡：2 海域での干潟・浅場造成試験－ダム堆積砂を利用した干潟・浅場造成、干潟・浅場の保全・造成を考えるセミナー、平成25年
	11	中央環境審議会水環境部会：藻場の造成など漁場の改善　河川土砂等を用いた浅場の造成、瀬戸内海環境保全小委員会（第3回）、兵庫県施策発表会、pp14、平成25年
	12	北詰昌樹、菊池喜昭：固化処理土の長期耐久性、月刊基礎工、Vol.39、No.5、pp.55-59、平成23年
浚渫土砂	1	通達「発生土利用基準について」（国官技第341号、国官総第669号）、平成18年8月（https://www.mlit.go.jp/tec/kankyou/hasseido/060810kijyun.pdf）
	2	港湾工事共通仕様書：国土交通省港湾局、令和5年3月（https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001600582.pdf）
	3	国土交通省港湾局：浚渫土砂の海洋投入及び有効利用に関する技術指針(改訂案)、平成25年7月（https://www.mlit.go.jp/common/001008776.pdf）
	4	港湾空港技術研究所：平成25年度　浚渫土の物理特性等による製鋼スラグ混合土の性状に関する調査研究報告書、平成26年3月
	5	編著(独)土木研究所、出版(一財)土木研究センター：建設発生土利用技術マニュアル（第4版）、平成25年12月
	6	(一財)沿岸技術研究センター：事前混合処理工法技術マニュアル(改訂版)、令和元年12月
	7	（財）沿岸技術研究センター：管中混合固化処理工法技術マニュアル（改訂版）、平成20年7月
	8	（財）沿岸技術研究センター：港湾・空港における軽量混合処理土工法技術マニュアル（改訂版）、平成20年7月
	9	(一財)沿岸技術研究センター：港湾・空港における深層混合処理工法技術マニュアル（改訂版）、平成30年12月
	10	(一財)土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル【増補版】、令和4年4月
	11	（財）沿岸開発技術研究センター：FGC深層混合処理工法技術マニュアル-フライアッシュを用いた軟弱地盤改良工法-、平成14年12月
	12	港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書第21002号　浚渫土を原料とするリサイクル実用化技術（脱水固化石材）（令和3年9月、（一財）沿岸技術研究センター）
	13	監修：国土交通省港湾局、著：海の自然再生ワーキング・グループ、企画：（財）港湾空間高度化環境研究センター：海の自然再生ハンドブックーその計画・技術・実践ー、平成15年11月
	14	Nakamura, Y: Restoration activities of tidal flats in Japan, Proc. 2nd International Conference on Estuaries and Coast (ICEC2006), Vol.1, pp.60-67, 2006.
	15	Naito, R. and Y, Nakamura: Formulation and application of the guideline for countermeasures against dioxins in Japan, Proc. 8th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, pp.947-958, 2007.
	16	Naito, R., T. Urase, and Y. Nakamura: Estimation of leachability from the content of dioxins in sediment, Proc. 5th International Conference on Remediation of Contaminated Sediments, Abstract Volume, C5, 2009.
	17	Naito, R., and Y. Nakamura: Strategies for the beneficial use of dredged material in Japan, “Integrated Coastal Zone Management”, Chapter 18, ed. by E. Moksness, E. Dahl, and J. Stottrup, Wiley-Blackwell Publ., pp.237-250, 2009.
	18	Nakamura, Y: Tidal flat restoration as beneficial use of dredged material, Proc. of 8th International Symposium on Ecohydraulics 2010, pp.1604-1611, 2010.
	19	内藤了二・中村由行・今村均・佐藤昌宏：浚渫窪地の修復に関する施工上の影響と研究開発課題の抽出、海洋開発論文集、第 22巻、pp.649-654、平成18年
	20	内藤了二・中村由行・浦瀬太郎・金子尚弘：港湾域の底泥中化学物質濃度と底生生物叢の関係、環境工学研究論文集、Vol.44、 pp.7-16、平成19年
	21	山崎智弘・中村由行・加賀山亨・益永茂樹：トリブチルスズ化合物の港湾堆積物への吸着特性，水環境学会誌、Vol.30、pp.449-455、平成19年
	22	内藤了二・中村由行・浦瀬太郎・奥村浩幸：名古屋港の港湾堆積物に含まれる PAH類の環境動態、水環境学会誌、Vol.31、pp.549-557、平成20年
	23	内藤了二・井上徹教・中村由行・浦瀬太郎・久野賢二：三河湾窪地の埋め戻し土砂投入時における濁りの拡散特性と密度成層の効果、海岸工学論文集、Vol.55、pp.1251-1255、平成20年
	24	中村由行：全国の浚渫窪地の現況と三河湾における埋め戻し修復、水産工学、Vol.46、No.3、pp.229-233、平成22年
	25	内藤了二：港湾域における堆積物中の有害化学物質管理、港湾空港技術研究所資料、No.1219、平成22年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/no1219.pdf）
	26	Nakamura, Y: Scope of the 4th Workshop: construction of tidal flats and its monitoring activities in Japan, Proc. 3rd and 4th Japan-Korea Joint Workshop on Tidal Flats, pp.13-16, 2005.
	27	Kimura, K. and Y. Nakamura: Biological monitoring at Kasai constructed beach in Tokyo Bay, Proc. 3rd and 4th Japan-Korea Joint Workshop on Tidal Flats, pp.41-44, 2005.
	28	Nakamura, Y: Environmental restoration activities in Japan as the beneficial use of dredged material, Proc. 2nd International Workshop on Management and Function Restoration Technologies for Estuaries and Coastal Seas, pp.61-76, 2007.
	29	Nakamura, Y: Beneficial use of dredged material: Japanese activities, Proc. 4th Joint meeting of UJNR/CEST panel (in printing), 2007.
	30	Nakamura, Y: Filling depressions with dredged material: A new approach of coastal water restoration, Proceedings of 2008 International Workshop on Management and Function Restoration Technologies for Estuaries and Coastal Seas, pp.69-79, 2008.
	31	中村由行：沿岸海域の環境修復の成果と課題、安全工学、第 45巻、pp.432-438、平成18年
	32	中村由行：干潟創造（持続可能な沿岸域自然再生に向けて）、混相流、第 20巻、pp.216-226、平成18年
	33	中村由行：沿岸域における環境復元技術、基礎工、第 34巻、pp.27-30、平成18年
	34	中村由行：我が国における浚渫窪地の現状と修復、海洋理工学会誌、 No.12、pp.43-50、平成18年
	35	中村由行：海の再生の目標像と目標達成のための技術、海洋調査協会報、 97号，pp.8-15、平成21年
	36	大谷順、椋木俊文、菊池喜昭：X線CT法を用いた気泡混合処理土の物性評価、土木学会論文集、No.652/III-51、pp.269-278、平成12年
	37	大谷順、椋木俊文、永留健、菊池喜昭：X線CTスキャナを用いた一軸圧縮下における気泡混合処理土の破壊現象解明、応用力学論文集、Vol.3、pp.57-64、平成12年

材料	参考文献	
浚渫土砂	38	J. Otani, T. Mukunoki, Y. Kikuchi：Visualization for engineering property of in-situ light weight soils with air foam, Soils and Foundations, Vol.42, No.3, pp.93-106, 2002
	39	大谷順、椋木俊文、永留健、菊池喜昭、佐藤孝夫：X線CT法を用いた気泡混合処理土の浸透・乾燥現象の解明、土木学会論文集、No.701、III-58、pp.293-302、平成14年
	40	菊池喜昭、永留健、福本裕哉、東島芳郎：覆土環境下での気泡混合処理土の吸水特性評価、材料、第57巻、第1号、pp.56-59、材料学会、平成20年
	41	Y. Kikuchi, T. Nagatome, T. Mizutani, H. Yoshino：THE EFFECT OF AIR FOAM INCLUSION ON THE PERMEABILITY AND ABSORPTION PROPERTIES OF LIGHT WEIGHT SOIL, Soils and Foundations, Vol.51,No.1, pp.151-166, 2011
	42	菊池喜昭、永留健、野口孝俊：異なる地下水位で養生された気泡混合処理土の長期安定性、第43回地盤工学研究発表会、平成20年7月
	43	菊池喜昭、永留健、佐藤宇紘、野口孝俊：養生水の違いによる気泡混合処理土の吸水特性、Geo-Kanto、地盤工学会、平成20年11月
	44	橋本 大路、永留 健、菊池 喜昭、大谷 順：セメント量の違いによる気泡混合処理土の吸水特性評価、第43回地盤工学研究発表会、平成20年7月
	45	菊池喜昭、永留健、野口孝俊：異なる環境で養生された気泡混合処理土の長期耐久性、第44回地盤工学研究発表会、平成21年8月
	46	菊池喜昭、永留健、御手洗義夫、大谷順：気泡混合処理土地盤の長期安定性に関する検討、第46回地盤工学研究発表会、pp.669-670、平成23年7月
	47	J.Otani, T. Mukunoki, Y. Kikuchi：Evaluation of engineering property on light-weight soil with air foam, Proc. 11th Asian Reg. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp.57-60, 1999
	48	Y. Kikuchi, H. Yoshino：Permeability of light weight soil made of dredged slurry mixed with air foam, Proc. Int. Sym. on Coastal Geotechnical Engineering in Practice, pp.635-640, 2000
	49	T. Mukunoki, J. Otani, T. Nagatome, Y. Kikuchi：Evaluation of engineering properties of in-situ light weight soil with air foam using X-ray CT scanner, Proc. Int. Sym. on Coastal Geotechnical Engineering in Practice, pp.681-686, 2000
	50	椋木俊文、大谷順、菊池喜昭、永留健：異なる気泡剤を用いた気泡混合処理土の工学的特性調査、 軽量地盤材料の開発と適用に関するシンポジウム、 pp.193-198、平成14年
	51	J. Otani, Y. Kikuchi, T. Mukunoki, N. Yamagata：Evaluation of hydraulic property of light weight soil with air foams, Proc. Int. Workshop on Lightweight Geo-Materials, IW-LGM 2002, pp.159-164, 2002
	52	大谷順、菊池喜昭、山縣延文、鶴谷広一：養生過程を考慮した気泡混合処理土における進行性破壊現象の解明、 粘土地盤における最新の研究と実際－微視的構造の観察から超軟弱埋立て地盤の対策技術まで－発表論文集、 pp.263-268、平成14年
	53	J. Otani, Y. Kikuchi：Evaluation of hydraulic property of mixed soil with air foam using X-ray CT method, Proc. 2nd Asian Conf. on Unsaturated Soils, pp.71-74, 2003
	54	Y. Kikuchi, J. Otani, K. Tokunaga, T. Mukunoki：Characterization of permeability on light weight soil with air foam using X-ray CT scanner, Proc. Int. Workshop on Geotechnical X-ray CT, GeoX 2003, pp.119-124, 2004
	55	Y. Kikuchi, J. Otani, T. Mukunoki, H. Yoshino, T. Nagatome：Permeability of lightweight treated soil mixed with air foam, Proc. of 16ICSMGE, pp.1721-1727, 国際地盤工学会, 2005
	56	菊池喜昭、永留健、福本裕哉、東島義郎：覆土環境下における気泡混合処理土の吸水特性、第7回地盤改良シンポジウム論文集、pp.95-100、平成18年
	57	Y. Kikuchi：Investigation of Engineering Properties of Man-made Composite Geo-materials with Micro-focus X-ray CT, Proc. Int. Sym. on Advances in X-ray Tomography for Geomaterials, pp.53-78, 2006
	58	Y. Kikuchi, T. Nagatome, J. Otani：Visualization of permeability phenomena in lightweight treated soil mixed with air foam using micro-focus X-ray CT scanner, Geocongress2006 (CD-ROM), ASCE Geo-Institute, 2006
	59	Y. Kikuchi, T. Nagatome：CHARACTERIZATION OF ABSORPTION ON LIGHTWEIGHT SOIL WITH AIR FOAM UNDER WET SAND CONDITION, Proc. of the IS on Geotechnical engineering ground improvement and geosynthetics for human security and environmental preservation, pp.621-635, 2007
	60	Y. Kikuchi, T. Nagatome：CHANGE OF PERMEABILITY AND ABSORPTION PROPERTIES OF LIGHT WEIGHT SOIL BY THE RATIO OF AIR FOAM, Proc. of the IS on Geotechnical engineering ground improvement and geosynthetics for human security and environmental preservation, pp.607-619, 2007
	61	菊池喜昭、永留健：気泡混合処理土の透水特性に気泡が及ぼす影響について、 第7回地盤環境シンポジウム、 pp.303-306、平成19年
	62	菊池喜昭、永留健：異なる配合で作製された気泡混合処理土の吸水特性、 第8回地盤改良シンポジウム、 日本材料学会、pp.277-282 、平成20年
	63	Y. Kikuchi, T. Nagatome：Absorption property of light weight soil with air foam under wet sand condition, Proc. of IS on Deep Mixing & Admixture Stabilization, pp.409-414, 2009
	64	永留健、御手洗義夫、菊池喜昭、大谷順、橋本大路：異なる配合で作製された気泡混合処理土の透水特性、第8回地盤環境シンポジウム、地盤工学会、pp.155-160、平成21年
	65	Y. Kikuchi, T. Nagatome：Durability of cement treated clay with air foam used in water front structures, Proc. of Geo-Shanghai 2010, ASCE, pp.1-30, 2010
	66	Y. Kikuchi：Reuse of by-products as geo-materials in port construction in Japan, Proc. of 9th International Conference on Geosynthetics, ICG, pp.1261-1264, 2010
	67	菊池喜昭、永留健：打設後60 ヶ月経過した気泡混合処理土模型地盤の長期安定性、 第9回地盤改良シンポジウム、 pp.39-44、平成22年
	68	Y. Kikuchi, T. Nagatome, T. Noguchi：Durability of Lightweight Soil with Air Foam, 14th Asian Regional Conference on SMGE, (CD-ROM), 2011
	69	渡邉雅哉：管中混合固化処理土の施工、基礎工、第39巻、6号、pp.48-51、平成23年
	70	大和屋隆司：軽量混合処理土(気泡混合固化処理土)の大量急速施工、基礎工、第39巻、6号、pp.79-82、平成23年
	71	北詰昌樹、菊池喜昭：固化処理土の長期耐久性、基礎工、第39巻、5号、pp.55-59、平成23年
	72	Y. Kikuchi, T. Nagatome, Y. Mitarai, J. Otani：Failure properties of cement treated clay with added tire chips using X-ray CT scanner, Proc. Int. Sym. on Recent developments of geotechnical engineering in soft ground, pp.105-112, 日本・中国地盤工学会共催, 2005
	73	菊池喜昭、永留健、大谷順、御手洗義夫：X線CT法によるゴムチップ混合固化処理土の工学的特性評価、 第6回環境地盤工学シンポジウム、pp.343-350、地盤工学会、平成17年
	74	御手洗義夫、安原一哉、菊池喜昭、Ashoke K Karmokar：古タイヤゴムチップの地盤材料としての有効利用と環境影響について、 第6回環境地盤工学シンポジウム、pp.351-358、地盤工学会、平成17年
	75	T. Nagatome, Y. Kikuchi, Y. Mitarai, J. Otani：Engineering properties of cement treated clay with tire chips, Proc. Int. Sym. on Advances in X-ray Tomography for Geomaterials, pp.373-380, 2006
	76	Y. Mitarai ,K. Yasuhara, Y. Kikuchi , Ashoke K. Karmokar：Application of the cement treated clay with added tire chips to the sealing materials of coastal waste disposal site, 5th ICEG Environmental Geotechnics, pp.757-764, 2006
	77	Y. Kikuchi, T. Nagatome, Y. Mitarai, J. Otani：Engineering property evaluation of cement treated soil with tire chips using X-ray CT Scanner, 5th ICEG Environmental Geotechnics,pp.1423-1430, 2006

材料	参考文献	
浚渫土砂	78	御手洗義夫、中村佑、大谷順、安原一哉、菊池喜昭、Ashoke K Karmokar：古タイヤゴムチップ混合による固化処理土の高靭性化機構，第7回環境地盤工学シンポジウム，pp.317-324，地盤工学会，平成19年
	79	T. Nagatome, Y. Mitarai, Y. Kikuchi, J. Otani, M. Nakamura：Characterization of engineering properties of cement treated clay by mixed with tire chips, Proc. of IW on Scrap tire derived Geomaterials, pp.239-244, 2008
	80	Y. Kikuchi, T. Nagatome, Y. Mitarai：Change of engineering properties of cement treated clay by mixed with tire chips, Proc. of IW on Scrap tire derived Geomaterials, pp.139-148, 2008
	81	Y. Kikuchi, T. Sato, T. Nagatome, Y. Mitarai, Y. Morikawa：CHANGE OF FAILURE MECHANISM OF CEMENT TREATED CLAY BY ADDING TIRE CHIPS , Proceeding of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics, pp.374-379, 2008
	82	Y. Kikuchi, T. Nagatome, Y. Mitarai：Failure mechanism and permeability change under shear deformation of cement treated clay with tire chips, Proc. of the first American Geosynthetics conference and exhibition, pp. 290-298, 2008
	83	菊池喜昭、永留健、御手洗義男：ゴムチップ混合固化処理土のせん断時の破壊メカニズム、 港湾空港技術研究所資料、第45巻、第2号、平成18年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol045-no02-04.pdf）
	84	渡部要一、土田　孝、引屋敷英人、古野武秀：浚渫泥土を利用した貧配合セメント処理土の力学特性および材料特性、港湾技術研究所報告、Vol.40、No.2、pp.3-22、平成13年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol040-no02-01.pdf）
	85	Hidenori Takahashi, Masaki Kitazume, Takatoshi Noguchi, Noriyoshi Suzuki: Seismic resistant effect of cement-treated soil for quay wall, Journal of Ground Improvement, Vol. 164, Issue 3, pp.151-160, 2011.
	86	高橋英紀、森川嘉之、野口孝俊、竹花和浩：固化過程下におけるセメント固化処理土からの土圧特性、地盤工学シンポジウム論文集、Vol.57、pp.25-32、平成24年
	87	高橋英紀、市川栄徳：固化処理土を裏埋めに用いた矢板式岸壁を対象とした遠心力場での振動模型実験、第8回地盤改良シンポジウム論文集、 pp.251-254、平成20年
	88	Chan, C.-M., Kikuchi, Y., and Mizutani, T.：Solidification of dredged marine clay under varied mix conditions: A laboratory study, Proc. of 2nd Intl. Conf. on Transportation Geotechnics, pp. 510-515, 2012.
	89	Yoshiyuki Morikawa, Hidenori Takahashi, Masaki Kitazume, Takatoshi Noguchi, Noriyoshi Suzuki: Seismic resistant effect of cement-treated soil behind quay wall, International Symposium on Recent and Future Technologies in Coastal Development, 2010.
	90	Hidenori Takahashi, Masaki Kitazume, Eitoku Ichikawa, Kenji Maruyama: Dynamic shaking model tests of sheet pile quay wall backfilled with cement-treated soil, Proc. of International Symposium on Deep Mixing and Admixture Stabilization, pp.483-488, 2009.
	91	(財)沿岸技術研究センター：管中混合固化処理工法技術マニュアル(改訂版)、平成20年７月
	92	北詰昌樹、早野公敏：管中混合固化処理地盤の強度変動と要因分析、港湾空港技術研究所報告、Vol.44、No.2、pp.57-81、平成17年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol044-no02-04.pdf）
	93	佐藤恒夫：海上空港用地造成への管中混合固化処理工法の適用に関する研究、港湾空港技術研究所資料、No.1076、pp.1-81、平成16年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/no1076.pdf）
	94	北詰昌樹、早野公敏、佐藤恒夫、上用敏弘：大規模施工された管中混合固化処理地盤の強度のばらつきとその要因、土木学会論文集、No.771/III-68、pp.199-214、平成16年
	95	佐藤恒夫：中部国際空港埋立用地造成への管中混合固化処理工法の適用、土木学会論文集，No.749/VI-61、pp.33-47、平成15年
	96	上薗晃、竹澤一彦、塚田正一、高橋邦夫：管中混合による浚渫土砂固化処理工法の長距離圧送実験、土木学会論文集、No.651/VI-47、pp.37-45、 平成12年
	97	上薗晃、塚田正一：管中混合固化処理工法を用いた浚渫土砂の長距離圧送実験、建設の機械化、Vol.592、pp.3-7、平成11年
	98	Hayano, K. and Kitazume, M.：Strength variance within cement treated soils induced by newly developed pneumatic flow mixing method, ASCE Geo-Frontiers 2005, pp.1-11, 2005
	99	Sato, T., Kitazume, M. and Suganuma, F.：Application of the pneumatic flow mixing method, International Navigation Association Bulletin No.116, pp.45-50, 2004.
	100	M. Kitazume, T. Satoh：Development of pneumatic flow mixing method and its application to Central Japan International Airport Construction. Journal of ground improvement, Vol.7, No.3, pp.139-148, 2003.
	101	佐藤恒夫、川上泰司、北詰昌樹、森好生、沼尻義春：中部国際空港用地造成への管中混合固化処理工法の適用、粘土地盤における最新の研究と実際シンポジウム、pp.241-246、平成14年
	102	Kitazume, M. and Hayano, K.：Strength property and variance of cement treated ground by pneumatic flow mixing method, Proc. of the 6th International Conference on Ground Improvement Techniques, pp.377-384, 2005.
	103	Kitazume, M.：Construction of a man-made island for Central Japan International Airport by the pneumatic flow mixing method, Proc. of the 5th International Conference on Ground Improvement Techniques, pp.169-176, 2004.
	104	Kitazume, M. and Satoh, T.：Development of pneumatic flow mixing method and its application to Central Japan International Airport Construction, Proc. of the 4th International Conference on Ground Improvement Techniques, pp.75-88, 2002.
	105	Satoh, T. and Kitazume, M.：Sea relclamation with dredged soft soil for Central Japan International Airport, Proc. of the International Symposium on Soft Ground Engineering in Coastal Areas, pp.311-318, 2002.
	106	Kitazume, M., Yoshino, N., Shinsha, H., Horii, R. and Fujio, Y.：Field test on pneumatic flow mixing method for sea reclamation, Proc. of the International Symposium on Coastal Geotechnical Engineering in Practice, Vol.1, pp.647-652, 2000.
	107	北詰昌樹、早野公敏、佐藤恒夫：管中混合固化処理土による中部国際空港地盤の造成、第4回空港技術報告会、平成15年
	108	北詰昌樹、菅沼史典：浚渫土を用いた管中混合固化処理土の中部国際空港への適用、第3回空港技術報告会、平成14年
	109	森川嘉之、横江哲、鬼頭順三：打設後10年間を経過した管中混合固化処理工法による改良土の強度について、土木学会第67回年次学術講演会、III-226、平成24年
	110	新舎博、北詰昌樹、渡邊雅哉、藤尾良也：管中混合固化処理土の工学的性質（その１）現場強度のばらつきと強度比、第42回地盤工学研究発表会、pp.603-604、平成19年.
	111	竹内基幸、北詰昌樹、堀井良介、渋谷貴志：管中混合固化処理土の工学的性質（その２）処理土の体積土量変化、第42回地盤工学研究発表会，pp.605-606，平成19年
	112	足立吉宏、北詰昌樹、池上成洋、大久保泰宏：管中混合固化処理土の工学的性質（その３）処理土のフロー値と圧送元圧、第42回地盤工学研究発表会、pp.607-608、平成19年
	113	藤村貢、北詰昌樹、原輝夫、藤尾良也：管中混合固化処理土の工学的性質（その４）処理土の打設直後の法勾配、第42回地盤工学研究発表会、pp.609-610、平成19年.
	114	小川元、北詰昌樹、西村晋、高羽泰久：管中混合固化処理土の工学的性質（その５）コーン貫入抵抗の評価、第42回地盤工学研究発表会、pp.611-612、平成19年
	115	高羽泰久、北詰昌樹、釜土則幸、堀井良介：管中混合固化処理土の工学的性質（その６）攪乱した処理土の強度特性、第42回地盤工学研究発表会、pp.613-614、平成19年
	116	北詰昌樹、上用敏弘、溝口誠：管中混合固化処理工法による改良地盤の約4年経過後の強度について、土木学会第61回年次学術講演会、pp.305-306、平成18年

材料	参考文献	
浚渫土砂	117	大久保泰宏、北詰昌樹、新舎博、鴨居正和：管中混合固化処理工法による超軟弱地盤上への固化版施工（その１：試験工事）、第40回地盤工学研究発表会、pp.769-770、平成17年
	118	鴨居正和、北詰昌樹、新舎博、大久保泰宏：管中混合固化処理工法による超軟弱地盤上への固化版施工（その２：本工事）、第40回地盤工学研究発表会、pp.771-772、平成17年
	119	大久保康宏、北詰昌樹、和田浩三、池上成洋：管中混合固化処理土の強度特性、第37回地盤工学研究発表会、pp.883-884、平成14年
	120	新舎博、北詰昌樹、和田浩三、池畑伸一：管中混合固化処理土の適用土質と施工能力、第37回地盤工学研究発表会、pp.885-886、平成14年
	121	中條主也、北詰昌樹、和田浩三、原輝夫：管中混合固化処理土の圧送特性、第37回地盤工学研究発表会、pp.889-890、平成14年
	122	藤尾良也、北詰昌樹、和田浩三、小田秀人：管中混合固化処理工法による処理土の体積土量変化、第37回地盤工学研究発表会、pp.891-892、平成14年
	123	木俣陽一、北詰昌樹、和田浩三、川田忠彦：管中混合固化処理土の流動特性と出来形勾配、第37回地盤工学研究発表会、pp.893-894，平成14年
	124	北詰昌樹、和田耕造、高羽泰久、奥村雄二：管中混合固化処理土の品質の継時変化、第37回地盤工学研究発表会、平成14年
	125	(財)沿岸技術研究センター：港湾・空港における軽量混合処理土工法技術マニュアル(改訂版)、平成20年7月
	126	Tsuchida T, Egashira, K (ed.):The lightweight treated soil method. AA Balkema, CRC Press, 2004.
	127	渡部要一、田中政典、佐々真志：沿岸域に用いた気泡混合処理土の長期安定性確認調査、港湾空港技術研究所報告、Vol.48、No.2、pp.145-159、平成21年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol048-no02-07.pdf）
	128	菊池喜昭、永留健、水谷崇亮：気泡量の違いによる気泡混合処理土の透水・吸水特性の変化、港湾空港技術研究所報告、Vol.45、No.2、pp.29-49、平成18年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol045-no02-02.pdf）
	129	土田　孝、佐藤孝夫、洪　振舜、箕作幸治、酒井浩二：水深10mの海域における軽量混合処理土の打設実験と考察、港湾空港技術研究所資料、No.1007、平成13年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/no1007.pdf）
	130	土田　孝、菊池喜昭、福原哲夫、輪湖建雄、山村和弘：分割法による土圧算定法とその軽量混合処理土工法への適用、港湾技研資料、No. 924、平成11年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/no0924.pdf）
	131	土田 孝：沿岸域における軽量混合処理土工法の研究開発と適用事例、港湾技術研究所講演会講演集、pp.1-43、平成10年
	132	渡部要一、三枝弘幸、植田智幸、椎名貴彦、白石保律、村上智英：気泡混合処理土の劣化特性と抑制対策、地盤工学ジャーナル、Vol.2、No.4、pp.311-318、平成19年
	133	渡部要一、三枝弘幸、植田智幸、土田　孝、御手洗義夫、新舎　博：沿岸域工事に用いた気泡混合処理土の長期安定性、土木学会論文集C、Vol.63、No.1、pp.237-248、平成19年
	134	土田　孝、菊池喜昭、山村和弘、船田邦雄、輪湖建雄：分割法による地震時土圧算定法と軽量混合処理土への適用、地盤工学論文報告集、Vol.41、No.3、pp.95-105、平成13年
	135	輪湖建雄、土田　孝、松永康男、濱本晃一、岸田隆夫、深沢　健：軽量混合処理土工法の港湾施設への適用、土木学会論文集、No.602／VI-40、pp.35-52、平成10年
	136	Watabe, Y., Noguchi, T. and Mitarai, Y.: Use of cement-treated lightweight soils made from dredged clay, Journal of ASTM International, Paper ID: JAI104219, 2012.
	137	Watabe, Y., Tanaka, M., Saegusa, H., Shinsha, H. and Tsuchida, T.: Long-term properties of airfoam-treated lightweight soil made from dredged clay, Journal of ASTM International, Paper ID: JAI102134, 2009.
	138	Tsuchida, T., Tang, Y.-X. and Watabe, Y.: Mechanical properties of lightweight treated soil cured in water pressure, Soils and Foundations, Vol.47, No.4, pp.731-748, 2007.
	139	Watabe, Y., Itou, Y., Kang, M.-S. and Tsuchida, T.: One-dimensional compression of air-foam treated lightweight geo-material in microscopic point of view, Soils and Foundations, Vol.44, No.6, pp.53-67, 2004.
	140	渡部要一：SGM軽量土工法における最近の取組み、土木技術、Vol.61、No.10、pp.53-58、平成18年
	141	渡部要一：港湾における軽量混合処理土工法-SGM軽量土工法、基礎工、Vol.32、No.12、pp.19-22、平成16年
	142	渡部要一：SGM軽量土工法、土木技術、Vol. 59、No. 8、pp.93-99、平成16年
	143	渡部要一，菊池喜昭，新舎　博：海水暴露環境に放置・養生したSGM軽量土の長期材料特性、第59回地盤工学シンポジウム論文集、pp. 675-680、平成26年
	144	渡部要一：気泡混合処理土の一次元圧縮特性に関する微視的観察からの評価、平成15年度港湾空港技術講演会講演集、pp.109-126、平成15年
	145	渡部要一、土田　孝、山縣延文、今村眞一郎、加藤繁幸：軽量混合処理土を用いた護岸構造物の地震時安定性、第11回日本地震工学シンポジウム論文集、pp.999-1002、平成14年
	146	渡部要一、土田　孝、佐藤孝夫、今村眞一郎、加藤繁幸：裏込めに軽量混合処理土を用いたケーソン式岸壁の地震時安定性について、第26回地震工学研究発表会、土木学会、pp.821-824、平成13年
	147	土田　孝、渡部要一、佐藤孝夫、今村眞一郎、山村和弘：分割法による地震時土圧の算定法とその適用性について、第26回地震工学研究発表会、土木学会、pp.733-736、平成13年
	148	Watabe, Y., Saegusa, H., Shinsha, H. and Tsuchida, T.: Ten year follow-up study of airfoam-treated lightweight soil, Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Ground Improvement, Vol.164, Issue 3, pp.189-200, 2011.
	149	Watabe, Y., Saegusa, H., Shinsha, H. and Tsuchida, T.: 10-Year Follow-up Study of Air-Foam Treated Lightweight Soil Placed in Coastal Areas, Proceedings of the International Symposium on Deep Mixing & Admixture Stabilization, Okinawa, pp.653-658, 2009.
	150	Watabe, Y., Itou, Y., Kang, M.-S. and Tsuchida, T.: Microscopic evaluation of 1-D compression for air-form treated lightweight geo-material, Proceedings of the A. W. Skempton Memorial Conference, pp.1183-1192, 2004.
	151	土田　孝、渡部要一、岸　真裕、御手洗義夫：打設後54ヶ月経過した気泡混合処理土フィールド実験地盤の密度・強度特性、土木学会第64回年次学術講演会講演概要集、III、pp.983-984、平成21年
	152	川口貴之、田中政典、渡部要一、澁谷　啓、蒲生夏希：気泡混合処理土のせん断弾性波速度に及ぼす亀裂の影響、第43回地盤工学研究発表会講演集、pp.811-812、平成20年
	153	渡部要一、菊池喜昭、渡邊雅哉、新舎　博：暴露環境における気泡混合処理土の力学特性(その4)-水中での劣化と沈下量(1年経過)-、第42回地盤工学研究発表会講演集、pp.695-696、平成19年
	154	渡部要一、新舎　博、渡邊雅哉、椎名貴彦：SGM軽量土工法-水中での劣化と沈下量-、土木学会第61回年次学術講演会講演集、III、pp.317-318、平成18年
	155	渡部要一、吉田貴昭、白井　朗：気泡混合処理土に適したベントナイトの特性調査、土木学会第61回年次学術講演会講演集、V、pp.725-726、平成18年
	156	植田智幸、渡部要一、三枝弘幸、田中洋輔：気泡混合処理土の乾燥沈下抑制対策について、第41回地盤工学研究発表会講演集、pp.801-802、平成18年
	157	東島義郎、土田　孝、渡部要一、菊池喜昭、直井秀市、山村和弘、新舎 博、堺谷常廣：神戸ポートアイランドに用いたSGMの物理特性に関する長期安定性の検討、第41回地盤工学研究発表会講演集、pp.811-812、平成18年
	158	渡部要一、菊池喜昭、三枝弘幸、植田智幸、東島義郎、岸田隆夫、吉田貴昭：港湾に用いられた気泡混合処理土の力学特性に関する10年間の追跡調査、第41回地盤工学研究発表会講演集、pp.813-814、平成18年
	159	菊池喜昭,渡部要一、永留　健、東島義郎、直井秀市、御手洗義夫：神戸ポートアイランドの気泡混合処理土の長期安定性-X線CTスキャナによる内部構造の観察-、第41回地盤工学研究発表会講演集、pp.815-816、平成18年

材料	参考文献	
浚渫土砂	160	渡部要一、吉田貴昭、藤尾良也：ベントナイトを用いた砂質土系気泡混合処理土の配合設計、第41回地盤工学研究発表会講演集、pp.819-820、平成18年
	161	渡部要一、吉田貴昭、森 研造：異なる粘土・起泡剤を用いた気泡混合処理土の特性調査、第41回地盤工学研究発表会講演集、pp.817-818、平成18年
	162	渡部要一、菊池喜昭、坂之井秀輝、岸田隆夫、田中洋輔：覆土した気泡混合処理土地盤の養生環境について、第41回地盤工学研究発表会講演集、pp.807-808、平成18年
	163	渡部要一、新舎　博、塩田耕司、渡邊雅哉：暴露環境における気泡混合処理土の強度特性(その1)-乾湿繰り返しによる影響-、第41回地盤工学研究発表会講演集、pp.803-804、平成18年
	164	菊池喜昭、渡部要一、山村和弘、岸田隆夫、田口博文：覆土環境下における気泡混合処理土の長期的な密度・強度特性、第41回地盤工学研究発表会講演集、pp.809-810、平成18年
	165	渡部要一、土田　孝、新舎　博、御手洗義夫：現場施工における気泡混合処理土の強度分布特性、土木学会第60回年次学術講演会講演集、III、pp.577-578、平成17年
	166	渡部要一、菊池喜昭、山村和弘、大久保泰宏：気泡混合処理土への許容応力度設計法の適用、土木学会第60回年次学術講演会講演集、III、pp.575-576、平成17年
	167	田中　徹、田中洋輔、御手洗義夫、渡部要一、菊池喜昭、山村和弘：小型コーン貫入試験による覆土環境下の気泡混合軽量土地盤の強度分布-SGM暴露実験-、土木学会第60回年次学術講演会講演集、III、pp.571-572、平成17年
	168	田中洋輔、御手洗義夫、渡部要一、菊池喜昭、山村和弘：一面せん断試験で得られた覆土環境下の気泡混合処理土地盤の強度分布-SGM暴露実験-、土木学会第60回年次学術講演会講演集、III、pp.565-566、平成17年
	169	今村眞一郎、山村和弘、岸　真裕、坂之井秀輝、渡部要一：軽量混合処理土を裏込めに用いた根入れの浅い控え組杭式矢板岸壁の耐震性、土木学会第60回年次学術講演会講演集、III、pp.257-258、平成17年
	170	岸　真裕、山村和弘、今村眞一郎、直井秀市、渡部要一：軽量混合処理土を用いた矢板式護岸の遠心模型実験に関するシミュレーション、土木学会第60回年次学術講演会講演集、III、pp.255-256、平成17年
	171	椎名貴彦、渡部要一、白石保律、村上智英：気泡混合処理土の劣化特性に及ぼす養生環境の影響、第40回地盤工学研究発表会講演集、pp.827-828、平成17年
	172	菊池喜昭、渡部要一、新舎　博、谷口利久、渡邊雅哉：気泡混合処理土の強度特性に与える養生温度の影響、第40回地盤工学研究発表会講演集、pp.821-822、平成17年
	173	渡部要一、渡邊雅哉、椎名貴彦、大久保泰宏：気泡混合処理土の透水性と微視的構造、第40回地盤工学研究発表会講演集、pp.831-832、平成17年
	174	田中洋輔、御手洗義夫、田中　徹、渡部要一、菊池喜昭、山村和弘：気泡混合軽量土に対する針形状の異なる針貫入試験、第40回地盤工学研究発表会講演集、pp.823-824、平成17年
	175	加藤繁幸、今村眞一郎、三木隆之、合川聖二郎、渡部要一：軽量混合処理土を用いたケーソン式護岸の遠心模型実験に関するシミュレーション、第39回地盤工学研究発表会講演集、pp.295-296、平成16年
	176	今村眞一郎、山村和弘、加藤繁幸、小竹　望、渡部要一：軽量混合処理土を用いた控え矢板式護岸の耐震性に関する遠心模型振動実験、第39回地盤工学研究発表会講演集、pp.1635-1636、平成16年
	177	渡部要一、合川聖二郎、新舎　博、谷口利久：気泡混合処理土の適用土質と設計配合(その2)-細粒土系の配合-、第39回地盤工学研究発表会講演集、pp.751-752、平成16年
	178	渡部要一、伊藤康成：気泡混合処理土の一次元圧縮に対する微視的視点からの評価、第38回地盤工学研究発表会講演集、pp.823-824、平成15年
	179	伊藤康成、渡部要一：気泡混合処理土の一次元圧縮に伴う内部構造変化の観察、第38回地盤工学研究発表会講演集、pp.821-822、平成15年
	180	渡部要一、土田　孝、山縣延文、渡邊陽二郎、今村眞一郎：軽量混合処理土の改良断面形状がケーソン式護岸の地震時安定性に与える影響、土木学会第57回年次学術講演会概要集、III、pp.1095-1096、平成14年
	181	渡部要一、伊藤康成、御手洗義夫：気泡混合処理土のポンプ打設による密度変化について、土木学会第57回年次学術講演会概要集、III、pp.215-216、平成14年
	182	渡部要一、土田　孝、山縣延文、加藤繁幸、今村眞一郎：軽量混合処理土を用いた矢板式護岸の地震時安定性について、第37回地盤工学研究発表会講演集、pp.1785-1786、平成14年
	183	渡部要一、土田　孝、山縣延文、今村眞一郎、加藤繁幸：軽量混合処理土を用いたケーソン式護岸の液状化時の安定性について、第37回地盤工学研究発表会講演集、pp.1787-1788、平成14年
	184	渡部要一、土田　孝、今村眞一郎、佐藤孝夫、箕作幸治：軽量混合処理土を裏込めに用いた護岸の滑動に対する地震時安定性について、土木学会第56回年次学術講演会概要集、III、pp.248-249、平成13年
	185	佐藤孝夫、渡部要一、今村眞一郎、土田　孝、箕作幸治、新舎　博：ケーソン式護岸背面に作用する軽量混合処理土地盤の地震時土圧、第36回地盤工学研究発表会講演集、pp.2053-2054、平成13年
	186	佐藤孝夫、渡部要一、今村眞一郎、土田　孝、箕作幸治、山村和弘：軽量混合処理土を用いたケーソン式岸壁背面地盤の地震時破壊メカニズム、第36回地盤工学研究発表会講演集、pp.2055-2056、平成13年
	187	水谷崇亮：リサイクル材料を活用した埋め立て、土木技術、Vol.70、No.2、pp.26-30、平成27年
	188	森川嘉之,桑原拓馬,早野公敏,高橋英紀：造粒固化土を利用した人工海浜の波浪作用時の挙動に関する遠心模型実験、土木学会論文集B3、Vol. 67、No. 2、pp.I_411-I_416、平成23年
	189	高橋英紀、森川嘉之、早野公敏、大草陽太郎：造粒固化処理土を裏埋めに用いた重力式岸壁の振動特性、地盤工学ジャーナル、Vol. 6、No. 2、pp.169-179、平成23年
	190	高橋英紀、大草陽太郎、早野公敏、森川嘉之：造粒固化土を埋立材に用いた岸壁の振動模型実験、地盤工学ジャーナル、Vol. 5、No. 2、pp.231-240、平成22年
	191	高橋英紀、森川嘉之、市川栄徳、早野公敏、大草陽太郎：貧配合セメント造粒固化土の圧縮特性および支持力特性に関する模型実験、土木学会論文集C、Vol. 66、No. 2、pp.236-249、平成22年
	192	Kimitoshi Hayano, Yoshiyuki Morikawa, Hirofumi Fukawa, Kazuhiro Takehana, SeiyaTanaka: Centrifuge model tests and finite element analyses on seismic behavior of quay walls backfilled with cement-treated granular soils, International Journal of GEOMATE, Vol.4, No.1, pp.442-449, 2013.
	193	P.H. Dong, Kimitoshi Hayano, Hidenori Takahashi, Yoshiyuki Morikawa: Mechanical characteristics of lean-mixed cement-treated granular soil, Journal of Ground improvement, Vol. 165, Issue 3, pp.131-146, 2012.
	194	P.H. Dong, Kimitoshi Hayano Yoshiyuki Morikawa, Hidenori Takahashi: Engineering properties of Cement-Treated Granulate Soil for geotechnical application, Journal of ASTM International, Vol. 9,Issue 2, Paper ID: JAI103733, 2012.2.
	195	府川裕史、森川嘉之、早野公敏、竹花和浩、田中誠也：造粒固化処理土により部分改良した岸壁の遠心模型実験および数値解析、第10回地盤改良シンポジウム論文集、pp.173-180、平成24年
	196	高橋英紀、森川嘉之、早野公敏、大草陽太郎：岸壁背後に用いた造粒固化土からの地震時土圧に関する遠心模型実験、第55回地盤工学シンポジウム、pp.519-526、平成22年
	197	高橋英紀、小川　慧、早野公敏、森川嘉之、二宮裕介：造粒固化土を利用した人工海浜の波浪安定性に関する遠心模型実験、海洋開発論文集、第26巻、pp.687-692、平成22年
	198	高橋英紀、大草陽太郎、早野公敏、森川嘉之：遠心力場における造粒固化土の岸壁背後地盤への適用性の検討、地盤工学シンポジウム論文集、Vol.54、pp.519-526、平成21年
	199	高橋英紀、大草陽太郎、早野公敏、森川嘉之：粘土から創生したセメント造粒砂の粒度分布測定方法と一次元圧縮特性に関する検討、第8回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、pp.147-150、平成21年
	200	高橋英紀、市川栄徳、大草陽太郎、早野公敏、森川嘉之：貧配合セメント造粒砂の圧縮特性に関する一検討、海洋開発論文集、第25巻、pp.215-220、平成21年

材料	参考文献	
浚渫土砂	201	高橋英紀、市川栄徳、北詰昌樹、西村大司、長谷川雅弘：造粒固化処理土を裏埋めに用いた矢板式岸壁の動的遠心模型実験、第8回地盤改良シンポジウム論文集、pp.255-260、平成20年
	202	Yoshiyuki Morikawa, Hidenori Taklahashi, Kimitoshi Hayano: Centrifuge model tests on dynamic behavior of quay wall backfilled with granulated cement treated soil, Geo-Congress 2014 Technical Papers:Geo-Characterization and Modeling for Sustainability,pp.3551-3560, 2014.
	203	Yoshiyuki Morikawa, Hidenori Takahashi, Kimitoshi Hayano, Yotaro Okusa: Dynamic centrifuge model tests on quay wall backfilled with granular treated soil, Proc. of 2nd International conference on transportation geotechnics, pp.346-352, 2012.
	204	Yoshiyuki Morikawa, Hidenori Takahashi, Kimitoshi Hayano, Yotaro Okusa: Dynamic centrifuge test on granular treated soil used as quay-wall backfill, Proc. of 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp.1476-1481, 2011.
	205	Yoshiyuki Morikawa, Hidenori Takahashi, Kimitoshi Hayano, Yotaro Okusa: Centrifuge model tests on dynamic earth pressure acting on quay wall backfilled with granular treated soil, Proc. of 8th International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp.279-284, 2011.
	206	P.H. Dong, Kimitoshi Hayano, Hidenori Takahashi, Yoshiyuki Morikawa: Effects of mixture design on the mechanical properties of cement-treated granulate soil, Proc. of 6th Int. Congress on Environmental Geotechnics, pp.594-599, 2010.
	207	P.H. Dong, Kimitoshi Hayano, Hidenori Takahashi, Yoshiyuki Morikawa: Applicability of Granular Cement Treated Soil for Subgrade Material, Proc. of 11th International Conferenceon Asphalt Pavements, pp.1103-1111, 2010.
	208	P.H. Dong, Kimitoshi Hayano, Yotaro okusa, Hidenori Takahashi, Yoshiyuki Morikawa: Mechanical characteristics of lean-mixed granular cement treated soil from consolidated drained triaxial tests, Proc. of International Symposium on Geotechnical Engineering, Ground Improvement and Geosynthetics for Sustainable Mitigation and Adaptation to Climate Change including Global Warming, pp.319-330, 2009.
	209	P.H. Dong, Kimitoshi Hayano, Yotaro okusa, Hidenori Takahashi, Yoshiyuki Morikawa: Mechanical properties of granular cement treated soil from consolidated drained triaxial tests, Proc. of 11th International Summer Symposium, pp.125-128, 2009.
	210	塩田昌弘、長谷川雅弘、老平武弘、小川徹記、松永洋明、澤田隆志、森下倫明：港湾整備から発生する土砂の環境改善への活用、水産工学、Vol.46、No.2、pp.175-179、平成21年
	211	国土交通省港湾局、環境省自然環境局：3.2.2 三河湾における干潟・浅場等再生事例、干潟ネットワークの再生に向けて、平成16年
	212	西村大司、岡島正彦、加藤秀紀、風間崇宏：浚渫砂を用いた干潟造成による環境改善効果について、海洋開発論文集、Vol.18、pp.25-30、平成14年
	213	運輸省港湾局：事例K-2　大阪南港野鳥園、自然と生物にやさしい海域環境創造事例集、pp215-222、平成11年
	214	大阪府：堺2区人工干潟、大阪府ホームページ、http://www.pref.osaka.lg.jp/kowan/jigyo/sakai2ku-higata.html、平成27年4月
	215	大石富彦、間所義孝、吉田敦：環境　大阪湾における人工干潟の造成（しゅんせつ土の有効利用）、電力土木、No.314、pp.82-86、平成16年11月
	216	運輸省港湾局：事例A-1　広島港五日市地区人工干潟、自然と生物にさしい海域環境創造事例集、pp.1-9、平成11年
	217	環境省 水・大気環境局：瀬戸内海の環境改善施策の技術リスト、https://www.env.go.jp/water/heisa/heisa_net/setouchiNet/seto/kankyojoho/saisei/table_higata.htm、平成27年6月参照
	218	春日井康夫、久本忠則、中山康二、松本英雄：広島県尾道糸崎港における干潟再生事業、海洋開発論文集、Vol.19、pp.107-112、平成15年
	219	篠崎孝、羽原浩史、山本裕規、明瀬一行、竹口はや人、吉武理恵、土田孝：造成干潟における機能発揮要因に関する研究、海洋工学論文集、第53巻、pp.1026-1030、平成18年
	220	浅井正、米原吉彦、吉川茂樹、相原昌志、大島巌、岡田光正：アサリ干潟の成立要件とその順応的管理手法の構築について―大島地区干潟を例に―、海洋開発論文集、Vol.22、pp.217-222、平成18年
	221	片倉徳男、藤原靖：港湾・空港施設における基礎工の新技術　浚渫ヘドロを有効利用した人工干潟再生工法の施工事例、基礎工、Vol.34、No.7、pp.36-38、平成18年
	222	楠田哲也、大嶋雄治、滝川清、本城凡夫、山口敦子、秋元和實、荒木宏之、五十嵐学ほか：5.1.7　なぎさ線の再生、蘇る有明海―再生への道程―、pp.300-306、平成24年
	223	運輸省港湾局：事例A-3　中城湾港新港地区人工干潟、自然と生物にさしい海域環境創造事例集、pp17-22、平成10年
	224	長谷川清治：東京湾における覆砂効果のモニタリング評価について、Hedoro、No.104、pp.18-22、平成21年1月
	225	運輸省港湾局：事例A-4　羽田沖浅場造成事業、自然と生物にさしい海域環境創造事例集、平成21年
	226	中部地方整備局：3.2 深堀跡の現状把握　表3.2 全国の深堀跡地における修復事例、第2回伊勢湾再生海域検討会　三河湾部会　検討資料、p.11、15、平成21年
	227	中部地方整備局：大塚地区深堀跡修復について、第7回伊勢湾再生海域検討会　三河湾部会、資料4、平成23年
	228	酒井浩二、渡辺裕二、伊藤鉄志、首藤啓、神尾光一郎:博多湾の窪地埋戻しにおける環境対策を考慮した施工の効率化の検討、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol.69、No.2、pp.1371-1375、平成25年
	229	渡部要一、土田　孝、山田耕一、鵜飼亮行：海面処分場の特徴と変形追随性遮水材の開発、土と基礎、Vol.51、No.8、pp.32-33、平成15年
アスファルト・コンクリート塊	1	JIS A 5021「コンクリート用再生骨材H」
	2	(社)日本道路協会：舗装再生便覧（平成22年版）
	3	(社)日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準･同解説、平成13年9月
	4	(社)日本道路協会：舗装設計施工指針（平成18年版）、平成18年2月
	5	(社)日本道路協会：舗装施工便覧（平成18年版）、平成18年2月
	6	(社)日本道路協会：道路維持修繕要綱、昭和53年7月
	7	(社)日本道路協会：アスファルト混合所便覧（平成8年版）、平成8年10月
	8	(社)日本道路協会：アスファルト舗装工事共通仕様書および解説、平成4年12月

材料	参考文献	
コンクリート塊	1	JIS A 5021「コンクリート用再生骨材H」
	2	JIS A 5022「再生骨材Mを用いたコンクリート」
	3	JIS A 5023「再生骨材Lを用いたコンクリート」
	4	国土交通省通知「コンクリート副産物の再生利用に関する用途別品質基準」、平成28年3月（https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/d11pdf/recyclehou/manual/H28concretefukusanbutsu_saiseiriyou.pdf）
	5	運輸省第四港湾建設局（現国土交通省九州地方整備局）リサイクルワーキンググループ：建設副産物･再資源の取扱いに関するガイドブック
	6	(社)日本道路協会：舗装再生便覧（平成22年版）
	7	土木学会：再生骨材を用いたコンクリートの設計・施工に関して、電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針（案）、コンクリートライブラリー120、平成17年
	8	(財)沿岸開発技術研究センター：平成8年度リサイクル材の利用法のとりまとめ、平成9年3月
	9	水上純一、菊池喜昭、吉野博之：リサイクル材料としてのコンクリート塊の諸特性、港湾技研資料No.906、平成10年6月（https://www.pari.go.jp/search-pdf/no0906.pdf）
	10	水上純一、菊池喜昭、吉野博之：コンクリート塊の海上工事における再利用、 第2回環境地盤工学シンポジウム、 pp. 155-158 、平成9年
	11	田中順、福手勤、濱田秀則、堂園昭人：再生骨材を使用したコンクリートの材料特性に関する研究、港湾空港技術研究所報告、Vol.36、No.3、平成9年9月（https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol036-no03-02.pdf）
	12	伊藤正憲、 福手勤、 田中順、 山路徹：海洋環境下における再生コンクリートの適用性に関する研究、港湾技術研究所報告、Vol.37、No.4、平成10年12月（https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol037-no04-06.pdf）
	13	早川健司、 山路徹、 濱田秀則：海洋環境下における再生コンクリートの耐久性に関する研究 、港湾技術研究所報告、Vol.39、No.2、平成12年6月（https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol039-no02-06.pdf）
建設発生木材	1	編著(独)土木研究所、出版(株)大成出版社：建設発生木材リサイクルの手引き(案)、平成17年12月
	2	編著(独)土木研究所、出版(株)大成出版社：建設工事における他産業リサイクル利用技術マニュアル、平成18年4月
建設汚泥	1	通達「建設汚泥処理土利用技術基準について」（国官技第50号、国官総第137号、国営計第41号）、平成18年6月（https://www.mlit.go.jp/tec/kankyou/hasseido/pdf/odeisyorikijyun.pdf）
	2	建設大臣官房技術調査室監修：建設汚泥リサイクル指針、平成11年11月
	3	編著(独)土木研究所、出版(株)大成出版社：建設汚泥再生利用マニュアル、平成20年12月
	4	(独)港湾空港技術研究所：リサイクル材料の港湾工事への活用に関する検討(港湾技研資料)、平成8年3月（https://www.pari.go.jp/search-pdf/no0824.pdf）
高炉スラグ	1	JIS A 5011「コンクリート用スラグ骨材－第１部：高炉スラグ骨材」
	2	JIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」
	3	土木学会：コンクリート技術シリーズ 89、「混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会（333委員会）No.2、平成22年5月
	4	土木学会：コンクリートライブラリー76、高炉スラグ骨材コンクリート施工指針、平成5年7月
	5	土木学会：コンクリートライブラリー125、「コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案）」、平成11年11月
	6	土木学会：コンクリートライブラリー151、「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針」、平成30年9月
	7	土木学会：コンクリートライブラリー152、「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」、平成30年9月
	8	土木学会：コンクリートライブラリー155、高炉スラグ細骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の設計・製造・施工指針（案）、平成31年3月
	9	国立研究開発法人 土木研究所：「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（Ⅰ～Ⅶ）」、平成28年1月～平成29年2月
	10	日本建築学会：高炉スラグ細骨材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説、平成25年2月
	11	鐵鋼スラグ協会：リーフレット「コンクリート用高炉スラグ細骨材」、「コンクリート用高炉スラグ粗骨材」、平成25年
	12	(財)沿岸技術研究センター：港湾・空港における水砕スラグ利用技術マニュアル、平成19年
	13	大門正樹、宋宗澤、西田明生、山口修、金昌殷：高炉水砕スラグの水和反応の液相分析による検討、石膏と石灰、No.176、pp.3-8、昭和57年
	14	青木茂樹、岡昭仁、荒井康夫：高炉水砕スラグの水和におよぼす刺激剤の作用、石膏と石灰，No.181、pp.22-28、昭和57年
	15	徳光直樹、石井誠人：高炉スラグ微粉末の水和反応、秋田高専研究紀要、No.35、pp.71-75、平成12年
	16	徳光直樹、嘉成明子、仲山智佳子：高炉スラグ微粉末の水和反応速度に及ぼす混合剤の影響、秋田高専紀要、No.36、pp.44-48、平成13年
	17	篠崎晴彦、松田博、坂井悦郎、小野幸一郎、鈴木操、中川雅夫：高炉水砕スラグの硬化特性と地盤改良工法への適用、土木学会論文集C、Vol.62、No.4、pp.858-869、平成18年
	18	西勝、佐藤康文、南部光広：水砕スラグ地盤の土質特性、第36回土木学会年次学術講演会，III-355、pp.708-709、昭和56年
	19	西勝、佐藤康文、南部光広：埋立地盤造成材料としての高炉水砕スラグ強度特性、土と基礎、30-12，No.1343、pp.41-48、昭和57年
	20	佐藤康文、衣斐隆志、福田勇治：地盤改良材としての高炉水砕スラグの土質工学的性質とその経時変化について、土木学会第37回年次学術講演会、III-302、pp.601-602、昭和57年
	21	西勝、佐藤康文、中村憲正、山田史郎、南部光広：鉄鋼スラグ地盤の諸特性観察結果、第16回土質工学研究発表会、D-10、No.199、pp.793-796、昭和56年
	22	西勝、中村憲正、佐藤康文、山田史郎、南部光広：鉄鋼スラグ地盤の諸特性観察結果(その2)、第17回土質工学研究発表会、D-10，No.663、pp.2649-2652、昭和57年
	23	西勝、中村憲正、佐藤康文、山崎友二、南部光広：鉄鋼スラグ地盤の諸特性観察結果(その3)、第18回土質工学研究発表会、D-10、No.613、pp.1589-1592、昭和58年
	24	富田武満、田辺和康：高炉水砕スラグの水硬性に関する研究、第17回土質工学研究発表会、K-6，No.659、pp.2633-2636、昭和57年
	25	河野伊一郎、二町宣洋、遠藤隆、井ノ口哲生：水砕スラグの硬化特性に関する研究、土木学会第36回中国四国支部研究発表会、III-22、pp.199-200、昭和59年
	26	原田久光、佐藤康文、山田史郎、中村憲正：高炉水砕スラグの土工用材としての特性、神戸製鋼技報、Vol.32、No.4、pp.42-46、昭和57年
	27	菊池喜昭、高橋邦夫：水砕スラグの力学特性の経年変化、港湾技術資料、No.915、平成10年9月（https://www.pari.go.jp/search-pdf/no0915.pdf）
	28	高橋邦夫、菊池喜昭、尾島啓介、篠崎晴彦、星秀明：高炉水砕スラグの固結に及ぼす要因について(その1:各種要因の影響)、土木学会第57回年次学術講演会　III-031、pp.61-62、平成14年
	29	菊池喜昭、中島研司、木村淳治、水谷崇亮：港湾工事に用いる高炉水砕スラグの硬化特性、港湾空港技術研究所報告、Vol.45、No.2、pp.105-133、平成18年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol045-no02-05.pdf）
	30	菊池喜昭、木村淳治、水谷崇亮、永留健：高炉水砕スラグの固結に及ぼすpH，Ca2+の影響と固結水砕スラグの設計強度設定手法の検討、港湾空港技術研究所資料 No.1088、平成16年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/no1088.pdf）

材料	参考文献	
高炉スラグ	31	菊池喜昭、中島研司、木村淳治、水谷崇亮：高炉水砕スラグの硬化促進方法と硬化強度評価方法の検討、土木学会論文集C(地圏工学)、Vol.67、No.1、pp.145-159、平成23年
	32	菊池喜昭、水谷崇亮、木村淳治、永留健：高炉水砕スラグの硬化に及ぼすpH,Ca2+の影響、土木学会論文集、No.799、pp.195-200、平成17年
	33	菊池喜昭、中島研司、水谷崇亮：高炉水砕スラグの硬化促進と硬化後の強度評価方法、第7回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、pp.287-294、平成19年
	34	菊池喜昭、下司弘之：高炉水砕スラグの港湾構造物裏込め材への適用、基礎工、Vol.32、No.7.pp. pp.58-61、平成16年
	35	菊池喜昭，池上正春，山崎浩之；港湾構造物の裏込めに用いた高炉水砕スラグの経時変化に関する調査、土木学会論文集、No. 799/III-72、pp.171-182、平成17年
	36	松田博、来山尚義、是石倫明、片山章徳、中野恭夫：潜在水硬性を有する高炉水砕スラグの強度特性に関する研究、第36回地盤工学研究発表会、pp.647-648、平成13年
	37	松田博、来山尚義、安藤義樹、中野恭夫：水砕スラグの地盤工学的有効利用に関する基礎的研究、地盤工学会中国支部論文報告集「地盤と建設」、Vol.16、No.1、平成9年
	38	松田博、来山尚義、安藤義樹、中野恭夫：海水浸透が高炉水砕スラグの潜在水硬性に及ぼす影響，地盤工学研究発表会、D-06、pp.649-650、平成13年
	39	松田博、来山尚義、高宮晃一、村上剛敏、中野恭夫：高炉水砕スラグの地盤改良材としての適用性に関する基礎的研究、土木学会論文集、No.764/III-67、pp.85-99、平成16年
	40	神戸震災復興関連論文(六甲アイランドフェリーバース裏込め)
	41	吉田信之、亀川恵子、中村恵子：水砕スラグの微視的観察と一軸圧縮強度の経時変化、神戸大学都市安全研究センター研究報告、第6号、pp.159-165、平成14年
	42	山田紘、千賀平造：水砕スラグ埋め立て地盤の土質特性、第57回土木学会年次学術講演会、III-032、pp.63-64、平成14年
	43	(社)地盤工学会：高炉水砕スラグ地盤工学的利用促進に関する調査研究委員会報告書、pp.61-96、平成22年
	44	水野健太、土田孝：高炉水砕スラグを用いた低置換率SCP改良地盤の強度・変形特性、地盤工学ジャーナル、Vol.3、No.3、pp.187-202、平成20年
	45	菊池喜昭：港湾工事で用いられた水砕スラグの特性の経年変化、 土木学会論文集、No.736/III-63、 pp.287-303、平成15年
	46	菊池喜昭、中島研司、木村淳治、水谷崇亮：高炉水砕スラグの硬化促進方法と硬化強度評価方法の検討、 土木学会論文集C（地圏工学）、 Vol. 67、 No. 1、 pp.145-159、平成23年
	47	菊池 喜昭、内山明日香、佐藤 宇紘、規矩 大義：添加物の違いによる高炉水砕スラグの硬化特性の変化、第43回地盤工学研究発表会、平成20年7月
	48	内山 明日香、及川 綾子、菊池 喜昭、佐藤 宇紘、規矩 大義：高炉スラグ微粉末を混合した高炉水砕スラグの硬化に及ぼす混合方法と水流の影響、第43回地盤工学研究発表会、平成20年7月
	49	野崎郁郎、田口 博文、永留 健、菊池 喜昭、篠崎 晴彦：水砕スラグ微粉末の配置方法の違いによる高炉水砕スラグの硬化特性、第43回地盤工学研究発表会、平成20年7月
	50	菊池喜昭：港湾工事で用いられた水砕スラグの力学特性、 軽量地盤材料の開発と適用に関するシンポジウム、 pp.265-270、平成12年
	51	Y. Kikuchi, M. Ikegami, H. Yamazaki：Field investigation on the property change of granulated blast furnace slag used for backfilling of quay wall, Proc. Int. Sym. on Engineering Practice and Performance of Soft Deposits, pp.263-268, 2004
	52	菊池喜昭、中島研司、木村淳治、水谷崇亮：高炉水砕スラグの硬化促進方法と硬化後の強度特性の評価手法について、 人工材料の利用技術に関するシンポジウム発表論文集、pp.149-154、地盤工学会九州支部、平成17年
	53	Y. Kikuchi, K. Nakashima, T. Mizutani：ACCELERATION OF SOLIDIFICATION OF GRANULATED BLAST FURNACE SLAG , Proc. of 13th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering , 2007
	54	菊池喜昭、内山明日香、 佐藤宇紘、規矩大義、 西村大司：港湾工事における高炉水砕スラグの硬化促進工法、第8回地盤環境シンポジウム、 地盤工学会、pp.311-318、平成21年
	55	小林郁美：佳境を迎えた中部国際空港の建設（--SF工法による53万m^2の空港舗装）、セメント・コンクリート、No.681、pp.10-17、平成15年11月
	56	田村隆弘：コンクリートのひび割れ制御 コンクリート構造物のひび割れ制御から品質確保へ、Vol.31、コンクリートテクノ、Vol.31、No.4、平成24年4月
	57	稲津貴和子、田村隆弘、澤村修司：山口県のコンクリート工事に関するデータベースを用いたひび割れ幅に関する統計的評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、No.1、平成23年
	58	杉本貴之、水谷崇亮、菊池喜昭：高炉水砕スラグのドレーン材としての適用性の検討のための基礎的実験、第7回地盤工学会関東支部発表会発表講演集、pp.154-156、平成22年
	59	山本利繁、福原大輔、山崎友二、北森一郎、南部光広：埋立地における水砕スラグの地盤特性、第18回土質工学研究発表会、D-10、pp.1585-1588、昭和58年
	60	篠崎晴彦、松田博、宮本孝行:高炉水砕スラグおよび水砕スラグ・山砂混合材のサンドドレーン材の経時変化、土木学会第57回年次学術講演会概要集、 III-039、pp.77-78、 平成14年
	61	久我昂、三代賢、河本敬之、奥村博昭、長谷川元信、永瀬敏郎、竹田重三:地盤改良材としての鉄鋼スラグの利用、 製鉄研究、第302号、pp.36-63、昭和55年
	62	篠崎晴彦、松田博、白元珍：高炉水砕スラグの硬化に伴う繰り返しせん断強度特性の変化、土木学会論文集C、Vol.64、No.1、pp.175-180、平成20年
	63	菊池喜昭、岡祥司、水谷崇亮：高炉水砕スラグ硬化促進工法の現場適用性の検討、港湾空港技術研究所報告、Vol.49、No.2、pp.21-46、平成22年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol049-no02-02.pdf）
	64	菊池喜昭、水谷崇亮、岡祥司：港湾工事における高炉水砕スラグの実用的硬化促進工法の提案、第9回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、pp.339-344、平成23年
	65	Kikuchi, Y. and Mizutani, T.：Application of a method to accelerate granulated blast furnace slag solidification, Proc. of 18th Intl. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp. 3231-3234, 2013.
	66	Kikuchi, Y., Mizutani, T., Oka, S., and Nakashima, K.：A method for accelerating the solidification of granulated blast furnace slag, Proc. of 2nd Intl. Conf. on Transportation Geotechnics, pp. 322-325, 2012.
	67	Kikuchi, Y., Nakashima, K., and Mizutani, T.：Acceleration of solidification of granulated blast furnace slag, Proc. of 13th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 1, Part 1, pp. 431-434, 2007.
	68	菊池喜昭、岡祥司、水谷崇亮：裏込めに用いる高炉水砕スラグの硬化促進工法の現場適用性、第45回地盤工学研究発表会発表講演集、pp.475-476、平成22年
	69	岡祥司、菊池喜昭、水谷崇亮、日高健寿、西村大司、日置幸司、木全啓介：高炉スラグ微粉末を混合した高炉水砕スラグの硬化に及ぼす水流と淡水化の影響、第64回土木学会年次学術講演会講演概要集、論文番号III-235、平成21年
	70	岡祥司、菊池喜昭、水谷崇亮：地盤間隙水の塩分濃度の変化が高炉スラグ微粉末を混合した高炉水砕スラグの硬化に及ぼす影響、第6回地盤工学会関東支部発表会発表講演集、pp.169-173、平成21年

材料	参考文献	
高炉スラグ	71	中島研司、菊池喜昭、水谷崇亮、村田智佳：高炉水枠スラグ微粉末を添加した高炉水枠スラグの硬化現象、第40回地盤工学研究発表会発表講演集、pp. 579-580、平成17年
	72	河野伊一郎、遠藤隆、二町宣洋、昆野功：水砕スラグ地盤の土圧実験、第40回昭和63年度土木学会中国四国支部研究発表会、pp.296-297、昭和63年
	73	松永康男、竹内大輔、戸川准一、昆野功、山中量一：岸壁裏埋材に利用された軽量地盤材料としての高炉水砕スラグの特性、第52回土木学会年次学術講演会講演概要集、III-B327, pp. 654-655、平成9年
	74	宮島正吾、安達明宏、濱本晃一、戸川准一、遠山俊一、山中量一：岸壁裏埋材に利用された軽量地盤材料としての高炉水砕スラグの特性(第2報)、第53回土木学会年次学術講演会講演概要集、III-A112, pp. 222-223、平成10年
	75	白元珍、松田 博、篠崎晴彦、橋口大輔、近藤政彦、小島 磨：未硬化高炉水砕スラグの静的および地震時土圧、土木学会第60回年次学術講演会、3-071、pp.141-142、平成17年
	76	松田博、石蔵良平、和田正博、来山尚義、白元珍、谷信幸：軽量盛土財として用いた高炉水砕スラグの特性の経年変化、地盤工学会ジャーナル、Vol.7、No.1、pp.339-349、平成24年
	77	水谷崇亮：リサイクル材料を活用した埋め立て、土木技術、Vol.70、No.2、pp.26-30、平成27年
	78	塩田昌弘、長谷川雅弘、老平武弘、小川徹記、松永洋明、澤田隆志、森下倫明：港湾整備から発生する土砂の環境改善への活用、水産工学、Vol.46、No.2、pp.175-179、平成21年
製鋼スラグ	1	JIS A 5011「コンクリート用スラグ骨材-第4部：電気炉酸化スラグ骨材」
	2	(一財)建材試験センター：JSTMH8001「土工用製鋼スラグ砕石」、平成28年3月 (https://www.jtccm.or.jp/Portals/0/resources/library/choken/JSTM/JSTM_H_8001/index.html?pNo=4)
	3	経済産業省産業技術環境局：コンクリート用骨材または道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書、平成24年3月 (https://www.slg.jp/pdf/sougouhoukokusyoH24.pdf)
	4	土木学会：コンクリートライブラリー110、電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針（案）、平成15年3月
	5	(一財)沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル、平成27年2月
	6	(一財)沿岸技術研究センター:港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル、平成29年2月
	7	(一財)沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第10001号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン、令和3年3月更新
	8	編著(独)土木研究所、出版(一財)土木研究センター：建設発生土利用技術マニュアル（第4版）、平成25年12月
	9	土質工学会：軟弱地盤対策工法、pp.121、1988
	10	(社)日本鉄鋼連盟：転炉系製鋼スラグ海域利用の手引き、平成20年9月
	11	JFEスチール(株)、JFEミネラル(株)：製鋼スラグを用いた藻場造成・水質改善技術（環境省ETV事業） (https://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/list/h21/02_h_3_2[1].pdf)
	12	田村拓也、大塚悟、水谷崇亮、平井壮：鉄鋼スラグの透水性能とX線CT装置で観察された微視的構造との対応関係について、第47回地盤工学研究発表会発表講演集、pp.499-500、平成24年
	13	水谷崇亮：リサイクル材料を活用した埋め立て、土木技術、Vol.70、No.2、pp.26-30、平成27年
鉄鋼スラグ混合製品	1	JIS A 5015「道路用鉄鋼スラグ」
	2	(一財)沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル、平成27年2月
	3	(一財)沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第10001号　鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料　エコガイアストン、令和3年3月更新
	4	(一財)土木研究センター：鉄鋼スラグ路盤設計施工指針、平成27年3月
	5	鐵鋼スラグ協会、製鋼スラグ共同研究委員会：製鋼スラグを用いたアスファルト舗装設計施工指針、昭和57年7月
	6	高橋英紀、森川嘉之、篠崎晴彦、木下洋樹、丸山憲治：固結特性を有する鉄鋼スラグを用いたSCP 改良地盤の埋立載荷荷重に対する安定性、地盤工学ジャーナル、Vol. 6、No. 1、pp.81-95、平成23年
	7	高橋英紀、森川嘉之：固結特性を有する粒状材を用いたSCP 改良地盤の安定性に関する実験的検討、港湾空港技術研究所報告、第49巻、第2号、pp.3-19、平成22年 (https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol049-no02-01.pdf)
	8	木下洋樹、一井康二、森川嘉之、高橋英紀、篠崎晴彦、高橋裕徳：鉄鋼スラグを用いたSCP改良による重力式ケーソン構造物の基礎地盤の地震時変形特性とその評価、地盤工学ジャーナル、Vol.7、No.1、pp.323-337、平成24年
	9	木下洋樹、一井康二、土田孝、森川嘉之、高橋英紀、篠崎晴彦、丸山憲治、高橋裕徳：固結特性を有する鉄鋼スラグを用いたSCP改良地盤の地震時変形挙動の評価、広島大学大学院工学研究科研究報告、Vol.59、No.1、pp.1-9、平成22年
	10	高橋英紀, 森川嘉之, 篠崎晴彦, 新川直利, 丸山憲治：固結特性を有する鉄鋼スラグを用いたSCP改良地盤の遠心模型実験、第45回地盤工学会地盤工学研究発表会
	11	Hidenori Takahashi, Yoshiyuki Morikawa, Haruhiko Shinozaki, Hiroki Kinoshita, Kenji Maruyama: Ground improvement method by reusing solidified iron-and-steel slag, Geo-Characterization and Modeling for Sustainability, pp.3713-3720, 2014.
	12	Hidenori Takahashi, Yoshiyuki Morikawa, Haruhiko Shinozaki, Hiroki Kinoshita, KenjiMaruyama: Deformation behaviour of ground improved by SCP method using solidified iron-and-steel slag, Proc. of 18th Southeast Asian Geotechnical Conference, pp.135-140, 2013.
	13	篠崎晴彦、森川嘉之、高橋秀紀、木下洋樹、丸山憲治;固結特性を有する鉄鋼スラグを用いたSCP改良地盤の地震時変形挙動(その1:遠心模型実験),地盤工学研究発表会、E-08、No.763、pp.1529-1530、平成23年
	14	木下洋樹,森川嘉之,高橋秀紀,一井康二,篠崎晴彦;固結特性を有する鉄鋼スラグを用いたSCP改良地盤の地震時変形挙動(その2:再現解析による検証)、地盤工学研究発表会、E-08、No.762、pp.1527-1528、平成23年
	15	篠崎晴彦：エコガイアストン、CDIT、Vol.35、pp.20-21、平成23年
	16	篠崎晴彦, 土田孝, 一井康二, 森川嘉之, 高橋英紀, 大林淳, 木下洋樹, 平嶋裕, 小林茂雄：遠心模型実験による水硬性スラグコンパクションパイル工法の設計法及びレベル2地震動における変形抑制効果の検証, 新日鐵住金技報、No.399、pp.73-78、平成26年
鉄鋼スラグ二次製品	1	(財)沿岸技術研究センター：鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル(改訂版)、平成20年2月
	2	港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書第22002号　鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材（令和4年9月部分変更、（一財）沿岸技術研究センター)
	3	(財)港湾空間高度化環境研究センター　藻場着生基盤技術研究会委員会：鉄鋼スラグ炭酸固化体利用マニュアル-藻場・サンゴ礁の再生に向けて-、平成16年3月
	4	鉄鋼スラグ等の実海域適用に関する研究会：浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合材の海域利用のための技術マニュアル(案)、平成29年3月 (https://www.pa.cgr.mlit.go.jp/minato-seibi/pdf/manual_main.pdf)
	5	(一財)沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル、平成29年2月
	6	(社)日本鉄鋼連盟：転炉系製鋼スラグ海域利用の手引き、平成20年9月
	7	(社)日本鉄鋼連盟：同上別冊　転炉系製鋼スラグと浚渫土との混合改良工法技術資料、平成20年9月
	8	水産庁：改訂 磯焼け対策ガイドライン、平成27年3月
	9	JFEスチール(株)、JFEミネラル(株)：製鋼スラグを用いた藻場造成・水質改善技術（環境省ETV事業） (https://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/list/h21/02_h_3_2[1].pdf)
	10	山越陽介、赤司有三、中川雅夫、菅野浩樹、田中裕一、辻匠、今村正、渋谷貴志：カルシア改質土の管中混合工法による海面埋立、土木学会論文集B3、Vol.69、No.2、pp.Ⅰ_952-Ⅰ_957、平成25年
	11	(社)全国水産技術者協会：漁場造成・再生用資器材の技術審査・評価報告書　第22001号（ビバリーユニット）、平成22年7月

材料		参考文献
鉄鋼スラグ二次製品	12	堤直人：鉄鋼スラグの環境修復技術　海域環境改善用資材としての鉄鋼スラグ製品について、環境浄化技術、Vol.12、No.6、pp.63-69、平成25年11月
	13	（財）港湾空間高度化環境研究センター：閉鎖性海域における水環境改善技術実証試験結果報告書、平成21年度環境技術実証事業、pp.170、平成21年（https://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/list/h21/02_h_4%5B1%5D.pdf）
	14	塩田昌弘、長谷川雅弘、老平武弘、小川徹記、松永洋明、澤田隆志、森下倫明：港湾整備から発生する土砂の環境改善への活用、水産工学、Vol.46、No.2、pp.175-179、平成21年
	15	永留健、御手洗義夫、赤司有三、中川雅夫：沿岸海域におけるカルシア改質土の適用例、地盤工学学会誌Vol.60、No.2、pp.38-41、1(4)、平成24年
	16	片倉徳男、藤原靖：港湾・空港施設における基礎工の新技術　浚渫ヘドロを有効利用した人工干潟再生工法の施工事例、基礎工、Vol.34、No.7、pp.36-38、平成18年
	17	宮田康人、佐藤義夫、清水悟、小山田久美：製鋼スラグによる海域の底質改善、JFE技報、No.19、pp.1-5、平成20年
	18	宇田川悦郎、松永久宏：鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材「フロンティアロック」、JFE技報、No.19、pp.1-5、平成20年
	19	平井壮、水谷崇亮、菊池喜昭、川端雄一郎：製鋼スラグ混合土の配合・混合条件がその力学特性に与える影響について、港湾空港技術研究所報告、Vol.51、No.3、pp.77-106、平成24年（https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol051-no03-02.pdf）
	20	平井壮、水谷崇亮、菊池喜昭、中島普、井口薫：製鋼スラグ混合土の混合条件が強度に与える影響、第9回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、pp.103-110、平成23年
	21	Hirai, S., Mizutani, T., Kikuchi, Y., Nakashima, S., and Iguchi, K.：Study on effect of mixing condition on strength of mixture of dredged soil and steel slag, Proc. of 2nd Intl. Conf. on Transportation Geotechnics, pp. 302-308, 2012.
	22	平井壮、川端雄一郎、水谷崇亮、菊池喜昭：製鋼スラグ混合土の固化進行過程の検討と固化部のEPMA分析、第48回地盤工学研究発表会発表講演集、論文番号337、平成25年
	23	平井壮、水谷崇亮、菊池喜昭、中島晋、井口薫：製鋼スラグ混合土の混合条件とその強度特性について、第46回地盤工学研究発表会発表講演集、論文番号245、平成23年
	24	菊池喜昭、水谷崇亮、平井壮、中島晋、井口薫：浚渫土と製鋼スラグの混合物の固化反応に影響する要因について、第46回地盤工学研究発表会発表講演集、論文番号244、平成23年
	25	平井壮、水谷崇亮、菊池喜昭：製鋼スラグ混合土の混合条件が一軸圧縮強さに及ぼす影響、第7回地盤工学会関東支部発表会発表講演集、pp.76-77、平成22年
フライアッシュ	1	JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」
	2	日本フライアッシュ協会：石炭灰ハンドブック（平成27年度版）、平成27年11月
	3	(一財)石炭エネルギーセンター：石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）、平成30年2月（https://www.jcoal.or.jp/ashdb/upload/togokaitei_sekitanbai_R2.pdf）
	4	土木学会：コンクリートライブラリー94、「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）」、平成11年4月
	5	土木学会：コンクリートライブラリー132、「循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術」、平成21年12月
	6	土木学会：コンクリートライブラリー152、「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」、平成30年9月
	7	土木学会：コンクリートライブラリー159、「石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）」、令和3年3月
	8	土木学会四国支部：フライアッシュを細骨材補充混和材として用いたコンクリートの施工指針（案）、平成15年度
	9	国立研究開発法人 土木研究所：「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（Ⅰ～Ⅶ）」、平成28年1月～平成29年2月
	10	(財)沿岸技術研究センター：フライアッシュを護岸の裏込めに利用するための手引書(案)、平成8年3月
	11	(財)沿岸技術研究センター：フライアッシュを護岸の裏込めに利用するための手引書(案)、平成7年3月
	12	(財)沿岸技術研究センター：フライアッシュを路盤・路床に利用するための手引書(案)、平成7年3月
	13	(財)沿岸開発技術研究センター：FGC深層混合処理工法技術マニュアル-フライアッシュを用いた軟弱地盤改良工法-、平成14年12月
	14	(株)沿岸環境開発資源利用センター：ＦＳコンクリート利用手引書、平成10年11月
	15	(社)日本道路協会：舗装施工便覧（平成18年）
	16	東日本・中日本・西日本高速道路株式会社：ＦＣＢ工法設計・施工要領、平成19年1月
	17	国土交通省九州地方整備局：九州地区における土木コンクリート構造物設計･施工指針（案）、令和元年9月
	18	馬越 唯好、濱崎 修非：非JIS灰を細骨材の一部に代替したコンクリートの性質、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.20、No.2、pp.133-138、平成10年6月
	19	福手勤、三浦幸治、寺野宣成、石井光裕：転圧コンクリート舗装の性能向上に及ぼす分級フライアッシュの混入効果、港湾技術研究所報告、Vol.33、No.4、平成6年12月（https://www.pari.go.jp/search-pdf/vol033-no04-03.pdf）
	20	大塚貴裕、三ツ股嗣朗、劉嘉銘、佐藤嘉昭、清原千鶴、大谷俊浩、永松静也：非JIS石炭灰のコンクリート用材料としての有効利用に関する研究、日本建築学会九州支部研究報告、平成14年3月
	21	荘司喜博、高橋邦夫、浅井正、角野隆：セメント添加した石炭灰の岸壁裏込め材への利用、土木学会論文集、No.637、pp.137-148、平成11年
	22	木村淳治、菊池喜昭、永留健、水谷崇亮：固化処理石炭灰と固化処理粘性土のせん断時の力学特性の違い、第39回地盤工学研究発表会発表講演集、pp.801-802、平成16年
	23	水上純一、菊池喜昭、小椋卓実：水浸養生した固化処理石炭灰の工学的性質、第3回環境地盤工学シンポジウム、地盤工学会、pp.107-110、平成11年
	24	藤井嵩大：碧南火力発電所における石炭灰コンパクションパイル工法による埋立工事の施工、土木学会中部支部研究発表会、2015年3月
クリンカアッシュ	1	日本フライアッシュ協会：石炭灰ハンドブック（平成27年度版）、平成27年11月
	2	(一財)石炭エネルギーセンター：石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）、平成30年2月（https://www.jcoal.or.jp/ashdb/upload/togokaitei_sekitanbai_R2.pdf）
	3	土黒貴史、松藤泰典、小山智幸、中武幹男：石炭灰を骨材及び混和材として使用したコンクリートに関する研究(クリンカアッシュを細骨材として使用したコンクリートの諸性状)、日本建築学会大会学術講演梗概集、平成11年9月
	4	中武幹男、松藤泰典、小山智幸：クリンカアッシュを細骨材として用いたコンクリートの基礎的性状、日本建築学会九州支部研究報告、平成11年3月
	5	奥田康三、栗田益生、伊藤隆光、石黒忠史、酒井政人：サンドドレーン工法へのクリンカアッシュの適用、土木学会第60回年次学術講演会、平成17年9月
	6	滝栄治、中島英雄、鈴木栄治、肥後道憲、仁田尾洋、石炭灰を中詰め材料に利用したコンパクションパイル工法の試験工事、土木学会第54回年次学術講演会、平成11年9月
	7	若槻好孝、田中等、内田裕二、入江功四郎、兵動正幸、吉本憲正：クリンカアッシュの材料特性と適用性の検討、地盤工学ジャーナル、Vol.2、No.4、平成19年
	8	東北電力：石炭灰(クリンカアッシュ)の道路盛土材への利用技術の開発について～国土交通省東北地方整備局が本格活用の方針～（東北電力資料）、http://www.tohoku-epco.co.jp/whats/news/2003/30729a.htm、平成15年7月
	9	平成25年度　浚渫土砂の有効活用による海域環境改善方策検討調査報告書

材料	参考文献	
石炭灰 二次製品	1	(一財)石炭エネルギーセンター：石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（統合改訂版）、平成30年2月 （https://www.jcoal.or.jp/ashdb/upload/togokaitei_sekitanbai_R2.pdf）
	2	土木学会：石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）、令和3年3月
	3	(一財)石炭エネルギーセンター：石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（エージング灰（既成灰）編）、平成28年3月 （https://www.jcoal.or.jp/ashdb/upload/aging-ash_H28_r2.pdf）
	4	日本フライアッシュ協会：石炭灰ハンドブック（平成27年度版）、平成27年11月
	5	(社)土木学会：石炭灰有効利用技術について-循環型社会を目指して-　報告書、平成15年9月
	6	(財)土木研究センター：建設技術審査証明報告書　石炭灰を利用した人工地盤材料「頑丈土破砕材」、平成23年2月内容変更
	7	(財)土木研究センター：建設技術審査証明報告書　石炭灰を利用した粒状地盤材料「灰テックビーズ」、平成21年
	8	(財)沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第06003号　石炭灰を有効利用した埋立て材料　頑丈土破砕材、平成24年6月内容変更、令和4年3月更新
	9	(財)沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第01001号　SCP工法の砂代替材として粒状化した石炭灰を活用するリサイクル技術、平成13年3月
	10	国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所：石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き、平成25年3月 （https://www.pa.cgr.mlit.go.jp/gicyo//tecinfo/img/manual/sekkai.pdf）
	11	国土交通省東北地方整備局：土木工事共通仕様書
	12	(社)日本道路協会：道路土工軟弱地盤対策施工指針
	13	土木施工管理技術研究会：土木用語集
	14	リサイクルポート推進協議会：港湾工事推奨用リサイクル製品便覧(令和3年度版)、令和4年4月
	15	環境省：石炭灰造粒物(Hiビーズ)による海域環境の改善技術、平成22年度環境技術実証事業 （https://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/list/h22/090-1001b.pdf）
	16	斉藤栄一、福留和人、井手元高行、岡部俊男：石炭灰混練物の流体化現象を利用した固化地盤築造技術の開発、コンクリート工学、vol.42、No7、p.32～37、平成16年
	17	寺本宏樹、村田基治、瀧田英生、三本竹徹也、斉藤直、池田陵志：石炭灰造粒物のSD材料への適用性評価のための目詰まり試験、土木学会第57回年次学術講演会、平成14年9月
	18	内田裕二、樋野和俊、斉藤直、車田佳範：石炭灰造粒物の海上SCP打設試験における改良特性(その1,2,3)、土木学会第56回年次学術講演会、平成13年10月
	19	岩原廣彦、佐々木勝教、山中稔、長谷川修一、増田拓朗、森邦夫：フライアッシュを主原料とした粒状材料の開発とその特性、地盤工学ジャーナル、Vol.3、No.1、pp.25-35、平成19年
	20	佐藤厚子、西川純一、山澤文雄、仲里豊彦：造粒化した石炭灰の地盤材料への適用性、土木学会第56回年次学術講演会、平成13年10月
	21	福間晴美、日比野忠史、山本民次、斉藤直：石炭灰造粒物覆砂による環境修復効果、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol.B2-65、No.1、平成21年
	22	木戸健一郎、相崎守弘：浚渫窪地における覆砂材投入による懸濁物質の挙動及び覆砂効果の検証実験、中海シンポジウム、平成21年
	23	木戸健一郎、斉藤直ら：中海浚渫窪地における石炭灰造粒物による覆砂効果の検討、水環境学会、平成22年
	24	福間晴美、入江功四郎、武部真実、神庭治司、藤井勲、汽水域における石炭灰造粒物の環境改善効果、土木学会第62回年次学術講演会、平成19年
	25	小枝豪志、日比野忠史：石炭灰造粒物を用いた底質環境の改善技術、土木学会第65回年次学術講演会、平成22年9月
	26	樋野和俊、柳楽俊之、福間晴美、斉藤直：石炭灰造粒物の環境改善効果に係る基礎的性状、土木学会第65回年次学術講演会、平成22年9月
	27	浅岡聡、山本民次、山本杏子：石炭灰造粒物を用いた沿岸底質環境改善開発のための基礎的研究、水環境学会、Vol.31、No.8、pp.455-462、平成20年
	28	浅野聡、山本民次、早川慎二郎、吉岡一郎、田中等：石炭灰造粒物による沿岸海域有機質泥からの硫化物イオンの吸着、水環境学会、Vol.31、N0.8、平成20年
	29	浅岡聡、山本民次：石炭灰造粒物による有機質泥の改善、用水と廃水51、平成21年
	30	西田芳浩、川内清光、山本祐規、首藤啓、日比野忠史：広島湾における効率的な底質改善技術の効果の検証、海洋開発論文集、Vol.25、pp.407-412、平成21年
	31	藤原哲宏、日比野忠史、阿部真己：ヘドロが堆積する内湾での人工覆砂材による底質改善効果、海洋開発論文集、Vol.25、pp.389-394、平成21年
	32	氏原睦子、大西慶和、中本勝、日比野忠史、斉藤直：市民が発想する魅力ある「水の都 ひろしま」を実現するために、土木学会第66回年次学術講演会、平成23年
	33	田辺弘雄、岩本幸生、清水直樹、三戸勇吾、出路康夫、吉岡一郎、斉藤直、日比野忠史：ヘドロ化した内湾でのスカム発生機構の解明と石炭灰造粒物を用いた底泥浄化法の設計、土木学会、平成23年
	34	上野耕平、日比野忠史、斉藤直、吉岡一郎：石炭灰造粒物の組成とヘドロ浄化機能、土木学会、平成23年
	35	福間晴美、樋野和俊：フライアッシュを主材としたリサイクル品からのケイ酸イオン溶出特性、土木学会第66回年次学術講演会、平成23年
	36	斉藤直、山本民次、日比野忠史、桑原智之、花岡研一：底生生物に対する石炭灰造粒物によるリサイクル材の安全性評価、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol.67、No.2、平成23年
	37	樋野和俊、宮國幸介、斉藤直、上嶋英機：石炭灰造粒物による海域環境の改善技術、日本水環境学会シンポジウム、平成23年
	38	水谷崇亮：リサイクル材料を活用した埋め立て、土木技術、Vol.70、No.2、pp.26-30、平成27年
	39	斉藤栄一、岡部俊男、長　稔：石炭灰混練物の流体化現象を利用した固化地盤築造技術の開発、コンクリート工学、Vol.42、No.７、pp.32-37、平成16年
	40	尾脇宣宏、長　稔、斉藤栄一、島岡隆行：石炭灰リサイクル材料による大規模盛土の実証工事、第28回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、平成19年2月
	41	長　稔、坂本守、井出元高行、斉藤栄一：石炭灰リサイクル建設資材の盛土造成工事への有効利用、地盤工学会九州支部発表論文

材料	参考文献	
銅スラグ	1	JIS A 5011「コンクリート用スラグ骨材-第３部：銅スラグ骨材」
	2	土木学会：コンクリートライブラリー147、「銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの設計施工指針」、平成28年7月
	3	(一財)沿岸技術研究センター：港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル、平成27年9月
	4	五味信治、南川公：スラグ骨材を用いた高比重コンクリートの研究（その1）、土木学会第59回年次学術講演会、第5部、pp.401-402、平成16年
	5	国土交通省東北地方整備局小名浜港湾事務所：平成19年共同技術開発「銅スラグ細骨材の鉄筋コンクリートへの利用について」
	6	森田浩史、審良善和、竹中寛、福手勤、宮根正和、町田直哉：リサイクル材料を用いた水中不分離性重量コンクリートの基本性状、土木学会年次学術講演会、Vol.68、No.5、pp.631-632、平成25年
	7	森晴夫、鳥畑孝志、松本伸郎、本田友之：銅スラグ細骨材を大量に混入したコンクリートの鉄筋コンクリートへの適用性に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.1、pp.1843-1848、平成21年
	8	川端雄一郎、岩波光保、加藤絵万、審良善和：銅スラグ細骨材を大量混合したコンクリートの施工性と品質変化に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.32、No.1、pp.1541-1546、平成22年
	9	高橋真、浅井孝多郎、森晴夫、本田友之：銅スラグを用いたコンクリートに関する技術開発、若築建設土木技術年報、第13巻、pp.19-28、平成16年
	10	日本コンクリート工学協会：作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断研究委員会報告書、pp.232、平成20年
	11	五味信治、南川公：スラグ骨材を用いた高密度コンクリートの研究（その５）、土木学会第63回年次学術講演会、第5部、pp.407-408、平成20年
	12	秋山哲治、森晴夫、山路徹、与那嶺一秀：海上大気中での長期暴露試験による銅スラグ細骨材を大量混入したコンクリートの耐久性評価、土木学会第68回年次学術講演会、平成25年9月
	13	黒岩義仁、橋本親典、長谷川豊：銅スラグ細骨材を用いた重量コンクリートの圧送性に関する実験的検討、 コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.1、平成26年
	14	秋山哲治、森晴夫、本田友之、小澤良一：ポンプ圧送性に配慮した貧配合としての高比重コンクリートの配合選定と実施工、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、平成25年
	15	銅水砕スラグを用いたSCP改良地盤の支持力について、第30回地盤工学発表会、平成7年
	16	銅水砕スラグを用いたSCP工法の試験施工、土木学会論文集、No.574、平成9年9月
	17	三菱マテリアル(株)：銅スラグ(CUS)の基本物性試験報告書
フェロニッケルスラグ	1	JIS A 5011「コンクリート用スラグ骨材-第２部：フェロニッケルスラグ骨材」
	2	土木学会：コンクリートライブラリー146、「フェロニッケルスラグ骨材を用いたコンクリートの設計施工指針」、平成28年7月
	3	(一財)沿岸技術研究センター：港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル、平成27年9月
	4	フェロニッケルスラグ細骨材の高強度コンクリートへの適用性に関する基礎的検討、日本建設学会大会学術講演便覧集、平成9年9月
	5	フェロニッケルスラグを粗骨材として用いたコンクリートの基礎的性質、コンクリート工学論文集、第21巻、第3号、平成22年9月
	6	安田智弘、田中国弘、阪下勝啓、冨永清太：フェロニッケルスラグを用いた静的締固め工法による液状化対策工事の改良効果、第43回地盤工学会研究発表会論文集、pp.553-554、平成20年
	7	能登屋雅之、中澤重一、尾浪正晴、山口直也：SCP材料としてのフェロニッケルスラグの経年変化、第35回地盤工学会研究発表会論文集、pp.753-754、平成20年
	8	電気炉産フェロニッケル水砕スラグ砂を用いたSCP現地試験、第39回地盤工学研究発表会、平成16年7月
	9	ニッケルスラグのケーソン中詰材としての適用性について(大平洋金属(株)技術資料)
	10	水砕スラグの地盤工学的有効利用に関する基礎的研究、地盤と建設、平成10年
	11	監修：国土交通省港湾局、著：海の自然再生ワーキング・グループ、企画：（財）港湾空間高度化環境研究センター：海の自然再生ハンドブックーその計画・技術・実践ー、平成15年11月
亜鉛スラグ	1	(一財)沿岸技術研究センター：港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル、平成27年9月
	2	吾妻伸一：八戸製錬所における亜鉛・鉛製錬、Journal of MMIJ Vol.123 (No.12)、pp.661-665、平成19年
	3	野田眞治：ＭＦ炉増処理に向けた諸改善、Journal of MMIJ Vol.123(No.12)、pp.730-733、平成19年
	4	T.Sekiguti and S.Azuma：Slag fuming at Hachinohe Smelter、The Metallurgical Society of CIM、pp.299-311、平成10年
	5	榎本　潮：八戸製錬所のスラグ処理改善について、Autumn Symposium of MMIJ/D5-4、pp.311-313、2003
貝殻	1	橋立洋一、福田定吉、奥村樹郎、小林正直：カキ殻混り砂の工学的特性について、第28回土質工学研究会発表会、平成4年
	2	橋立洋一、福田定吉、奥村樹郎、小林正直：カキ殻混り砂の特性とサンドコンパクションパイルへの適用、第29回土質工学研究会発表会、平成6年
	3	西塚登：SCP工法におけるカキ殻の活用について、第11回港湾技術報告会報告概要集、平成6年
	4	山内匡、横田季彦、清宮理：ホタテ貝殻を細骨材として用いたコンクリートの実用化に向けた研究、土木学会論文集 E2、Vol.68、No.4、pp.300-315、平成24年
	5	西塚登：ホタテ貝殻を農業資材として利用するための調査について、農業土木北海道、第23号、平成12年
	6	西塚登：港湾における廃棄物埋立地の地盤環境に関する研究の動向、港湾技術振興会（講演会講演概要）、平成12年
	7	ホタテ貝殻粉末のアスファルト舗装材としての適用性、北海道開発土木研究所月報、No.598、平成15年3月
	8	鳥井正也：水産系副産物(貝殻)の漁場造成事業への活用、水産工学、平成20年
	9	岩手県環境保健研究センター：廃棄牡蠣殻の環境浄化への活性化研究、岩手県環境保健研究センター年報、第4号、平成16年度
	10	牡蠣殻を骨材として利用したポーラスコンクリートの植栽能力に関する研究、科学研究費補助金研究成果報告書、平成21年6月
	11	(独)土木研究所：他産業リサイクル材料の利用技術に関する研究、平成18年3月
	12	日本国土開発（株）：平成21年度青森港シェルコンクリート消波ブロック製作基礎調査報告書
	13	日本国土開発（株）：平成22年度青森港シェルコンクリート消波ブロック活用分析調査報告書
	14	国土交通省東北地方整備局青森港湾事務所：平成21年度補正（実施設計調査費）青森港沖館地区環境配慮型港内反射波対策実証実験報告書
	15	水産系副産物(貝殻)の裏込材への有効利用に関する基礎的研究-ホタテ貝殻を混合した砂の内部摩擦角-、海洋開発論文集、平成16年6月
	16	国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所：港湾構造物へのシェルコンクリート適用ガイドライン（案）改訂版、平成21年3月 (https://www.pa.thr.mlit.go.jp/sendaigicho/070/020/020/H21.3shllconG.pdf)
	17	横浜市環境科学研究所：日本丸ドックにおけるカキによる水質浄化、横浜市環境科学研究所報、第32号、平成20年
	18	亀尾実愛、三上雅徳、茂庭孝司：平成27年度細骨材にホタテ貝殻を活用したコンクリートの海洋構造物への適用性について-漁村地域での循環型社会形成を目指して-、第59回北海道開発技術研究発表会、平成28年2月

材料	参考文献	
エコスラグ	1	JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥またはそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」
	2	JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥またはそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」
	3	編著(独)土木研究所、出版(株)大成出版社：建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル、平成18年4月
	4	(社)日本産業機械工業会、（財）沿岸技術研究センター：港湾工事用エコスラグ利用手引書
	5	(社)日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及センター：道路用溶融スラグ品質管理及び設計施工マニュアル（改訂版）、平成29年3月
	6	(一社)日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会：エコスラグ有効利用の現状とデータ集、令和4年5月（2021年度版）
	7	東京二十三区清掃一部事務組合：溶融スラグの利用促進等に関する方針 (http://tsuideni-walking.private.coocan.jp/riyousokushin.pdf)
	8	明石、坪井：溶融スラグの安全品質データの解析結果　第35回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、pp.188-190、2014.1
	9	「建設分野の規格への環境側面の導入に関する指針」の付属書Ⅰ「コンクリート用スラグに環境安全品質及びその検査方法を導入するための指針」（https://www.slg.jp/pdf/huzokuA2.pdf）
	10	経済産業省：「コンクリート用骨材または道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書」（https://www.slg.jp/pdf/sougouhoukokusyoH24.pdf）
	11	「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について」（生衛発第508号厚生省生活衛生局水道環境部長通知）、平成10年3月26日（https://www.env.go.jp/hourei/11/000022.html）
	12	「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について（通知）」（環廃対発第070928001号環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部長通知）、平成19年9月28日（https://www.env.go.jp/hourei/add/k008.pdf）
	13	(公社)日本コンクリート工学会中国支部：ごみ溶融スラグの構造用コンクリートへの活用－設計・施工試案－、平成25年6月
	14	坪井晴人、西川進、勝井秀博、菊池喜昭、福手勉：エコスラグの地盤改良材への利用について、第8回地盤環境シンポジウム、 地盤工学会、pp.303-310、平成21年
破砕瓦	1	国土交通省中部地方整備局：破砕瓦の利活用技術資料、平成29年3月 （https://www.pa.cbr.mlit.go.jp/file/topics/0331_hasai-siryo-honpen.pdf）
	2	愛知県陶器瓦工業組合：瓦の生産過程で発生する規格外瓦の有効利用に関する調査研究報告書、平成21年2月
	3	愛知県：愛知県リサイクル資材評価制度 あいくる材認定資材一覧、令和4年12月28日時点
	4	上原匠、梅原秀哲、友竹博一、篠田泰宏：瓦廃材を細骨材として用いたコンクリートの物性、コンクリート工学年次論文集、Vol.27、No.1、2005
	5	飛田浩孝、上原匠、梅原秀哲、友竹博一、篠田泰宏：瓦廃材を細骨材として用いたコンクリートの物性に関する基礎的研究、土木学会第60回年次学術講演会、平成17年9月
	6	加藤昴樹、Mohammed Seddik MEDDAH、佐藤良一：廃瓦を用いた超高強度コンクリートにおける若材齢時変形と応力について、土木学会第63回年次学術講演会、平成20年9月
	7	温品達也、清木祥平、中川信矢、佐藤良一：廃瓦粗骨材によるフライアッシュ混入コンクリートの内部養生効果、土木学会第63回年次学術講演会、平成20年9月
	8	森河由紀弘、佐藤智範、前田健一、篠田裕重：摩擦性や軽量性が高い破砕瓦の裏込め材や裏埋め材などとしての適用性に関する検討、土木学会論文集、Vol.79、No.5、2023
再生石膏粉	1	国立研究開発法人国立環境研究所：再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）、令和元年5月 （https://www-cycle.nies.go.jp/jp/report/recycled_gypsum_powder_guidelines.pdf）
	2	環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部産業廃棄物課：平成22年度廃石膏ボードの再資源化促進に係る実態調査報告書、平成23年3月（https://www.env.go.jp/recycle/report/h25-05.pdf）
	3	田中美里、太田篤史、橋本親典、石丸啓輔：リサイクル材料を多量に使用した地盤改良材の強度特性に基づくセメント系固化材混入比率による増進率に関する実験的研究、土木学会年次学術講演会講演概要集第69巻、平成26年
	4	（株）ニッソク神戸工場：Zeusシリーズ(https://kobe-sekkou.com/zeus-series/)
ガラス再生資材	1	編著(独)土木研究所、出版(株)大成出版社：建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル、平成18年4月
	2	（社）日本コンクリート工学協会：廃棄物のコンクリート材料への再資源化研究委員会報告書、平成15年6月
	3	ガラスリソーシング（株）：リサイクルガラス造粒砂 サンドウエーブG技術資料2022年4月版
	4	コンス・A・M・G（株）：平成22年度 リサイクル産業創出事業（ガラスカレットを利用した凍上抑制層材料の利用促進事業） 報告書、平成23年3月
	5	三田村宏二、熊谷政行、阿部隆二：ガラスカレットの凍上抑制層材料への適用性について、寒地土木研究所月報、No.715、平成24年12月
	6	安倍 隆二、上野 千草、木村 孝司：積雪寒冷地におけるガラスカレットの凍上抑制層への適用性に関する研究、寒地土木研究所月報、No.781、 平成30年6月
	7	佐藤重悦、加賀谷誠：細骨材のコンクリート用細骨材へのリサイクル利用に関する実験的研究、廃棄物のコンクリート材料への再資源化に関するシンポジューム論文集、pp.79-8、 平成14年
	8	芝浦工業大学、試験研究委託者：藤野興業（株）：再生ガラス細骨材における粒子サイズの違いによるASRとポゾラン活性の挙動解明
	9	谷内建吾、小川恒郎、岡本郁也、吉原正博、日置和昭、山本剛一：廃ガラスカレットの気泡混合軽量土への適用性について、第14回地盤改良シンポジウム論文集、pp.311-314、令和2年12月
	10	谷内建吾、日置和昭、小川恒郎、岡本郁也、吉原正博、山本剛一：廃ガラスカレットを用いたFCBのASR試験について、第56回地盤工学会研究発表会、12-3-5-08、令和3年
	11	実証機関：（株）MAcS、実証対象技術名：人工珪砂製造技術・人工珪砂、実証申請者：（株）あさひ：環境省 令和4年度環境技術実証事業 資源循環技術領域 実証報告書 実証番号140-2201 （https://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/list/r04/140-2201b.pdf）
	12	（一社）大阪湾環境再生研究・国際人材育成コンソーシアム・コア、実証試験研究委託者：藤野興業株式会社：ガラス瓶等破砕材の環境修復材としての活用に向けたタイドプール実証試験研究に関する業務委託　報告書、令和3年3月
	13	村上晴通、藤村貢、古川恵太：リサイクルガラス造粒砂と浚渫土を混合した土砂の生物生息基盤としての適応性に関する基礎実験、土木学会年次学術講演会講演概要集第63巻、平成20年9月
	14	リサイクルガラス造粒砂協会パンフレット（http://rggs-a.com/sandwave-g_ver2.pdf）
	15	コンス・A・M・G（株）：ガラスカレット[商品名：クリスタル]、コンス・A・M・G（株） パンフレット
	16	藤野興業（株）：クリスタルストーン・サンドの骨材の試験結果報告書
	17	藤野興業（株）：クリスタルストーン・サンドの溶出量試験、含有量試験結果報告書
ガラス発泡リサイクル資材	1	JIS Z 7313「ガラス発泡リサイクル資材」
	2	ガラス発泡資材事業協同組合：ガラス発泡リサイクル資材 JIS Z 7313 軽量盛土材・スーパーソル設計・施工マニュアル第1版、令和2年11月
	3	ガラス発泡資材事業協同組合：スーパーソルの仕様・成分表（http://www.supersol.jp/supersol）
	4	ガラス発泡資材事業協同組合：軽量盛土材カタログ（https://www.supersol.jp/wordpress/wp-content/themes/Matsuya%20wp_v02/images/catalog/catalog1.pdf）
	5	ガラス発泡資材事業協同組合：浄化資材カタログ（http://supersol.jp/wordpress/wp-content/uploads/2020/06/a780775ba1cbab981a896ad80d4fa2ae.pdf）
	6	ガラス発泡資材事業協同組合：リーフレット 水辺の軽量盛土L4
	7	ガラス発泡資材事業協同組合：施工事例：岸壁の裏込材にL4を使用した事例（http://www.supersol.jp/archives/718）
	8	ガラス発泡資材事業協同組合：スーパーソル適用事例：混合軽量土・サンドウィッチ式の事例

材料	参考文献	
ペーパースラッジ	1	新技術情報提供システム（NETIS） TH-040015-A：パルフォースモルタル工法
	2	日本製紙連合会：2019年度「環境行動計画（廃棄物対策）」フォローアップ調査結果（2018年度実績）（https://www.jpa.gr.jp/file/followup/20191021033318-1.pdf）
	3	内山智幸、蓑嶋裕典、松嶋景一郎、尾谷賢、鈴木善人、野田良巳：古紙スラッジのリサイクル、北海道立工業試験場報告No.298、pp.125-132、平成11年［（地独）北海道立総合研究機構提供］
	4	パルフォースモルタル工法協会：パルフォースモルタル工法技術資料
	5	パルフォースモルタル工法協会：溶出量試験報告書「パルフォース（PS加工品）」
ペーパースラッジ焼却灰（PS灰）	1	（公社）地盤工学会関東支部 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術の利活用に関する研究委員会：無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き（暫定版－PS 灰系改質材編－）、令和3年3月31日（https://jibankantou.jp/group/pdf/absorbwaterhandbook20210726.pdf）
	2	（財）エンジニアリング振興協会：平成20年度 ペーパースラッジ灰利用浚渫泥土リサイクル技術に関する調査報告書、平成21年3月
	3	望月美登志：焼却方法が異なる各種PS灰の吸水性評価と泥土改質への適用性，土木学会論文集C（地圏工学）、Vol.75、No.2、pp.155-166、令和元年
	4	（株）フジタ：FTマッドキラー工法 パンフレット
	5	（一財）国土技術研究センター：第23回国土技術開発賞優秀賞「吸水性泥土改質材と改質土の活用技術」（https://www.jice.or.jp/review/awards/23rd）
古紙	1	編著(独)土木研究所、出版(株)大成出版社：建設汚泥再生マニュアル、平成20年12月
	2	編著(独)土木研究所、出版(株)大成出版社：建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル、平成18年4月
	3	再生資源の利用の促進に関する法律、平成3年10月25日施行、運用通達（3生局第343号平成3年12月24日通達）
	4	建設省（現国土交通省）：通達『セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について』とその運用について、平成12年3月24日付け、平成13年4月20日一部変更
	5	（公財）古紙再生促進センター：古紙の統計分類と主要銘柄（http://www.prpc.or.jp/wp-content/uploads/category_brand.pdf）
	6	（公財）古紙再生促進センター：令和3年度製紙向け以外の古紙利用製品に関する実態調査報告書、令和4年4月（http://www.prpc.or.jp/wp-content/uploads/koshi-sinkiriyou2022.4.pdf）
	7	高橋弘、森雅人：故紙を混ぜて建設汚泥をリサイクルー繊維質固化処理土の強度特性と施工事例ー、建設の機械化、No.651、pp.28-33、平成16年5月
	8	森雅人：繊維質物質を用いた高含水比泥土の新しい再資源化工法に関する研究、東北大学、学位論文、第2章、pp43-48
	9	金濱弘和：廃石膏ボードを利用した新しい土質改良工法に関する研究、東北大学大学院環境科学研究科環境科学専攻高橋（弘）研究室、修士論文、平成21年3月
	10	高橋弘、熊谷翔太、里見知昭：津波堆積物を用いて作成した放射能汚染土覆土材の耐侵食性に関する研究、実験力学、Vol.13、No.4、pp.339-345、平成25年12月
	11	森 雅人、高橋 弘、逢坂 昭治、堀井 清之、片岡 勲、石井 知征、小谷 謙二：故紙破砕物と高分子系改良剤を用いた新しい高含水比泥土リサイクル工法の提案と織推質固化処理土の強度特性、資源・素材学会誌（資源と素材）、Vol.119、No.4-5、pp.155-160、平成15年
	12	（株）森環境技術研究所：砂質土と砂質土を改良したボンテラン改良土の液状化抵抗率FLの算定
	13	（株）森環境技術研究所：ボンテラン工法採用実績
	14	（株）森環境技術研究所：繊維質系泥土改良材 ボンファイバー
	15	（株）森環境技術研究所：ボンテラン工法技術資料
	16	（株）森環境技術研究所：ボンテラン工法　施工事例
砕石微粉末	1	JIS A 5041「コンクリート用砕石粉」
	2	中国経済産業局：岩石資源及び副産物を利用した新規事業・リサイクル促進のための市場及び事業環境調査、平成19年3月
	3	建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）報告書 建技審証第2001号「HC複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020年4月）
	4	建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）概要書 建技審証第2001号「HC複合路床材料」（（一財）土木研究センター、2020年4月）
	5	砕石微粉末利用研究会：HC複合路床材料 配合設計・品質管理マニュアルver.2、平成28年2月
	6	辻幸和、清水昭之、真野孝次、飛坂基夫：砕石粉を用いたコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状、コンクリート工学、Vol.42、No.8、平成16年8月
	7	真野孝次、辻幸和、友澤史紀、深松孝：砕石粉を使用した砕石・砕砂コンクリートの性状、コンクリート工学、Vol.46、No.11、平成20年11月
	8	辻幸和、真野孝次、友澤史紀、山本和成：コンクリート用砕石粉の品質の実態に関する調査研究、コンクリート工学、Vol.48、No.3、平成22年3月
	9	辻幸和、真野孝次、友澤史紀、山本和成：モルタルによるコンクリート用砕石粉の品質評価に関する研究、コンクリート用工学、Vol.48、No.4、平成22年4月
	10	麓隆行：コンクリートの性状に影響を及ぼす砕石粉の物理的性質、コンクリート工学、Vol.51、No.6、平成25年6月
粒調Fe石灰路盤材	1	国土交通省九州地方整備局：土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編、令和5年4月（http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/s_top/h22doboku/douro/3-02dourosekkei.pdf）
	2	福岡県県土整備部：土木工事施工管理の手引き、令和4年10月（https://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/665072_61555288_misc.pdf）
	3	（株）エフイ石灰技術研究所：令和4年度版 Fe石灰工法設計要領（http://www.felime.jp/files/pavement-hand-book-2022.pdf）
	4	（株）エフイ石灰技術研究所：Fe石灰工法　施工実績資料（http://www.felime.jp/files/fe-lime-construction-method-performance.pdf）
	5	（株）エフイ石灰技術研究所：リベースジョイント®工法（リベース工法）の断面例（http://www.felime.jp/contents/dokoni/douro/index.html）
	6	（株）エフイ石灰技術研究所：Fe石灰（土質安定材）の溶出量、含有量試験結果
災害廃棄物	1	(公社)地盤工学会：災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン、平成26年10月（https://www.jiban.or.jp/?page_id=428）

【参考資料】

目次

◆リサイクル材料の適用事例（材料毎）
◆リサイクル材料の適用事例（用途毎）

適用事例（参 1～92）

◆リサイクル材料の適用事例（材料毎）

No.	事例	リサイクル材料	用途	件名	実施機関	ページ
No.1	事例1	1.建設発生土	⑦捨石	敦賀港(鞠山北地区)防波堤基礎工事(その2)	北陸地方整備局 敦賀港湾事務所	参－1
No.2	事例2		⑧中詰材	茨城港常陸那珂港区中央ふ頭地区岸壁(-12m)(耐震)築造工事	関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所	参－2
No.3	事例3	1.建設発生土（砂質系）	⑩裏込材	千葉港千葉中央地区岸壁(-12m)付属施設改良工事(その2)	関東地方整備局 千葉港湾事務所	参－3
No.4	事例4		⑩裏込材	苫小牧港西港区岸壁南(-10m)B部外地盤改良その他工事	北海道開発局 苫小牧港湾事務所	参－4
No.5	事例5	1.建設発生土（粘性土系）	⑩裏込材	平成14年度羅臼漁港用地造成工事(その２)	北海道開発局 根室港湾事務所	参－5
No.6	事例6	1.建設発生土	⑪裏埋材	沓形港外防波堤災害復旧その他工事	北海道開発局 稚内港湾事務所	参－6
No.7	事例7		⑪裏埋材	羽幌港－5.0m耐震岸壁その他工事	北海道開発局 留萌港湾事務所	参－7
No.8	事例8		⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	浜田港福井地区臨港道路用地造成その他工事	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参－8
No.9	事例9		⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	那覇空港滑走路増設5･6工区埋立工事　他	沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所	参－9
No.10	事例10		⑬埋立材	徳島飛行場滑走路延長事業	四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所	参－10
No.11	事例11		⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜、養浜	東京湾浅場造成工事 他	関東地方整備局 千葉港湾事務所	参－11
No.12	事例12	2.浚渫土砂（粘性土系）	⑧中詰材	南防波堤築造工事	関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所	参－12
No.13	事例13		⑤ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	新門司沖土砂処分場脱水処理土製作工事	九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所	参－13
No.14	事例14		⑪裏埋材	東予港中央地区岸壁(-7.5m)築造工事	四国地方整備局 松山港湾・空港整備事務所	参－14
No.15	事例15	2.浚渫土砂	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	中城湾港土砂処分場ニ護岸外2件築造工事	沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所	参－15
No.16	事例16	2.浚渫土砂（砂質系）	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	鳥取港千代地区防波堤(第1)(西)築造工事	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参－16
No.17	事例17	3.アスファルト・コンクリート塊	⑭路盤材	新潟空港滑走路改良工事	北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所	参－17
No.18	事例18		⑯As舗装骨材、Asフィラー材	中城湾港（新港地区）岸壁（－13.0m）改良工事	沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所	参－18
No.19	事例19	4.コンクリート塊	⑦捨石	敦賀港検潮所基礎工事	北陸地方整備局 敦賀港湾事務所	参－19
No.20	事例20		⑧中詰材	相馬港本港地区防波堤(沖)(災害復旧)築造工事	東北地方整備局 小名浜港湾事務所	参－20
No.21	事例21		⑨被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	平成20年度鹿児島港（中央港区）防波堤（沖）築造工事	九州地方整備局 鹿児島港湾・空港整備事務所	参－21
No.22	事例22		⑩裏込材	浜田港福井地区臨港道路用地造成その他工事	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参－22
No.23	事例23		⑮路盤材	中城湾港（新港地区）岸壁（－13.0m）改良工事	沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所	参－23
No.24	事例24	6.建設汚泥	④ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ及びｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ材	境港外港中野地区岸壁(-12m)築造工事(その3)	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参－24
No.25	事例25		⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	境港外港中野地区岸壁(-12m)築造工事	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参－25
No.26	事例26		⑭路床盛土材	平成21年度(国債)新潟港(東港地区)岸壁（-12m）（西)(１号)築造工事(その２)	北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所	参－26
No.27	事例27	7.高炉スラグ（微粉末）	③混和材	平成25年度衣浦港中央ふ頭西地区岸壁(-12m)改良工事	中部地方整備局 三河港湾事務所	参－27
No.28	事例28	7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）	④サンドマット	姫路港須賀地区埋立地内サンドマット工		参－28
No.29	事例29		⑤サンドコンパクションパイル材	博多港サンドコンパクションパイル工事		参－29
No.30	事例30		⑧中詰材	鹿島港外港地区南防波堤築造工事(その2)	関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所	参－30
No.31	事例31		⑩裏込材	水島港水島玉島地区臨港道路(玉島側)擁壁工事	中国地方整備局 宇野港湾事務所	参－31
No.32	事例32		⑫盛土材	苅田港埋立地盛土工		参－32
No.33	事例33		⑬埋立材	新日本製鉄室蘭製鉄所内埋立試験工事	民間	参－33

No.	事例	リサイクル材料	用途	件名	実施機関	ページ
No.34	事例34	7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）	⑬埋立材	石川県七尾港埋立工事	石川県　七尾港湾事務所	参 - 34
No.35	事例35		⑭路床盛土材	港湾埠頭用埋立地の覆土材への高炉水砕スラグの適用	和歌山県　土木部	参 - 35
No.36	事例36		⑰干潟	三河湾での水砕スラグの干潟造成試験	中部地方整備局	参 - 36
No.37	事例37	8.製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）	⑤サンドコンパクションパイル材	製鋼スラグの港湾工事用材料としての適用技術の研究（製鋼スラグを用いた海上ＳＣＰ試験施工）	広島県、(財)沿岸開発技術研究センター、鐵鋼スラグ協会	参 - 37
No.38	事例38		⑧中詰材	四日市港霞ヶ浦北埠頭南仮護岸鋼板セル挙動調査	運輸省第五港湾建設局、(財)沿岸開発技術研究センター	参 - 38
No.39	事例39		⑪裏埋材	福山港本港路地区航路整備事業	中国地方整備局 広島港湾・空港整備事務所	参 - 39
No.40	事例40		⑫載荷盛土材	横浜市南本牧埋立載荷盛土工事（載荷盛土への高炉徐冷・製鋼スラグ混合材の適用）	横浜市港湾局 南本牧建設事務所	参 - 40
No.41	事例41		⑮路盤材	東京国際空港Ｄ滑走路建設外工事	関東地方整備局 東京空港整備事務所	参 - 41
No.42	事例42		⑰覆砂材	福山内港底質改善実証試験工事	民間	参 - 42
No.43	事例43	9.鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ）	⑧中詰材	苫小牧港中央北-12m 岸壁建設その他工事	北海道開発局 苫小牧港湾事務所	参 - 43
No.44	事例44	9.鉄鋼スラグ混合製品（水硬性スラグコンパクション材）	⑤サンドコンパクションパイル材	阿翁浦地区広域漁港整備工事	長崎県　県北振興局	参 - 44
No.45	事例45	10.鉄鋼スラグ二次製品(固化体)	⑦捨石	尾道糸崎港機織地区泊地(-12m)等潜堤築造等工事	中国地方整備局 広島港湾・空港整備事務所	参 - 45
No.46	事例46	10.鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体）	⑨被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	製鋼スラグを利用した港湾土木資材の実証実験（被覆ブロック及び根固め石）	港湾技術研究所、川崎製鉄株式会社	参 - 46
No.47	事例47		⑪裏埋材	徳島小松島港　沖洲(外)地区岸壁(-8.5m)(耐震)築造工事(その2)	四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所	参 - 47
No.48	事例48		⑬埋立材	羽田国際空港Ｄ滑走路建設工事	関東地方整備局 東京空港整備事務所	参 - 48
No.49	事例49		⑰浅場、藻場	東京湾・若洲海浜公園浅場整備	東京都港湾局 東京港管理事務所	参 - 49
No.50	事例50	10.鉄鋼スラグ二次製品(浚渫土改質材)	⑨被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	函館港若松地区－１０m泊地浚渫工事	北海道開発局 函館港湾事務所	参 - 50
No.51	事例51		⑬埋立材	東海元浜埠頭北公有水面埋立工事	民間	参 - 51
No.52	事例52		⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	環境省 環境事業実証事業における浅場・干潟造成	民間	参 - 52
No.53	事例53	10. 鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ炭酸固化体、鉄鋼スラグ水和固化体）、8.製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）	⑰藻場	「山下公園前海域における水質浄化能力の回復に向けた生物生息環境の改善手法」に関する共同研究	横浜市、民間	参 - 53
No.54	事例54	10. 鉄鋼スラグ二次製品(生物共生材)	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	北海道増毛町における藻場造成実験	民間	参 - 54
No.55	事例55	11.フライアッシュ（非 JIS 灰）	③混和材	原町火力発電所北防波堤ブロック設置工事	民間	参 - 55
No.56	事例56		⑧中詰材	常陸那珂港東防波堤本体工事	関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所	参 - 56
No.57	事例57		⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	本部港緑化工事	沖縄県　北部土木事務所	参 - 57
No.58	事例58	13.石炭灰二次製品（フライアッシュ固化体）	⑩裏込材	酒田港外港地区岸壁(-14m)護岸築造工事	東北地方整備局 酒田港湾事務所	参 - 58
No.59	事例59		⑭路床盛土材	小名浜東港連絡橋（臨港道路）陸上側道路（ﾃｰﾙｱﾙﾒ工法）	東北地方整備局 小名浜港湾事務所	参 - 59
No.60	事例60		⑮路盤材	東港区中央埠頭ヤード内東側通路造成工事（フェリーターミナル関連）	苫小牧港管理組合	参 - 60
No.61	事例61	13.石炭灰二次製品（石炭灰造粒物）	⑰覆砂材	広島港海岸中央東地区護岸安定化等工事	中国地方整備局 広島港湾・空港整備事務所	参 - 61

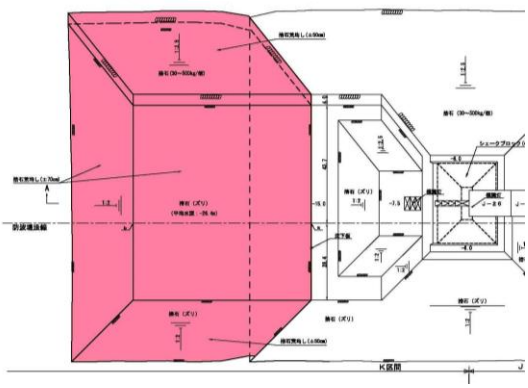
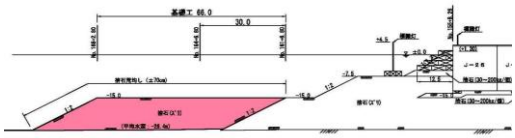
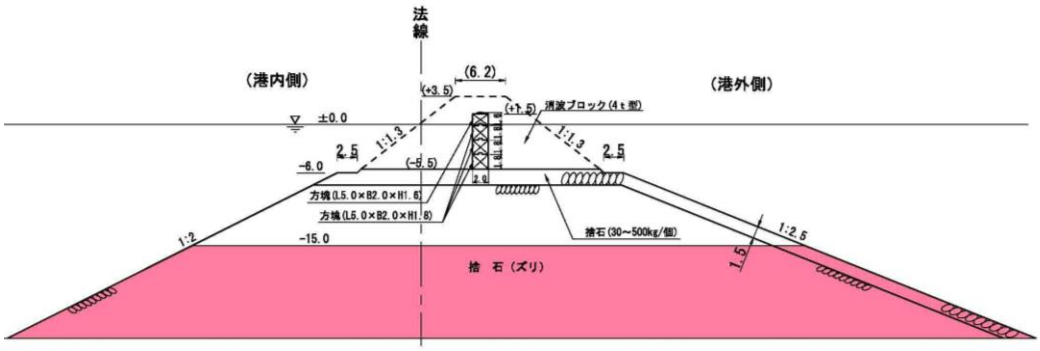
No.	事例	リサイクル材料	用途	件名	実施機関	ページ
No.62	事例 62	14.銅スラグ	①コンクリート用細骨材	相馬港本港地区防波堤(沖)(改良)消波工事	東北地方整備局 小名浜港湾事務所	参 - 62
No.63	事例 63		⑧中詰材	境港外港地区防波堤(2)築造工事	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参 - 63
No.64	事例 64	15.フェロニッケルスラグ	①コンクリート用細骨材	八戸港外港地区防波堤(中央)消波工事	東北地方整備局 八戸港湾・空港整備事務所	参 - 64
No.65	事例 65		⑧中詰材	鳥取港千代地区防波堤(第1)(西)築造工事	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参 - 65
No.66	事例 66	15.フェロニッケルスラグ	⑨被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	登別漁港東防波堤工事	北海道開発局 室蘭港湾事務所	参 - 66
No.67	事例 67		⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	新旭不燃性ごみ処分場再生整備工事	高島市	参 - 67
No.68	事例 68		⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	糠塚ショッピングセンター造成工事	民間	参 - 68
No.69	事例 69		⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	十和田市若葉球技場人工芝新設工事	十和田市	参 - 69
No.70	事例 70		⑬埋立材	宮津市文殊地区ユーティリティパーク造成工事	宮津市	参 - 70
No.71	事例 71		⑬埋立材	阿蘇シーサイドパーク造成工事	京都府岩滝町（旧町名）	参 - 71
No.72	事例 72		⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	フェロニッケルスラグの環境復元材としての有用性検証調査	日本鉱業協会	参 - 72
No.73	事例 73	16.亜鉛スラグ	⑧中詰材	八戸港外港地区防波堤(第二中央)築造工事	東北地方整備局 八戸港湾・空港整備事務所	参 - 73
No.74	事例 74	17.貝殻（ホタテ殻）	⑧中詰材	砂原漁港建設工事	北海道開発局 函館港湾事務所	参 - 74
No.75	事例 75		⑮路盤材	宗谷港建設工事	北海道開発局 稚内港湾事務所	参 - 75
No.76	事例 76	17.貝殻（カキ殻）	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	平成 21 年度新潟港（西港地区）信濃川左岸護岸改良工事	北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所	参 - 76
No.77	事例 77	18.エコスラグ	⑦捨石	平成 25 年度砂押川外河川災害復旧工事(その 3)	宮城県	参 - 77
No.78	事例 78		⑨被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ	河川改良工事　準用河川　郷東川	愛知県安城市	参 - 78
No.79	事例 79		⑩裏込材、⑪裏埋材	現年災害復旧工事（24 年災第 7 号）	愛知県	参 - 79
No.80	事例 80	19.破砕瓦	⑭路床盛土材、⑮路盤材	東邦ガス（株）・南部幹線 主要導管設置工事（径 600 ㎜導管）	民間	参 - 80
No.81	事例 81		⑯As 舗装骨材、As フィラー材	碧南市・名鉄線廃線跡地整備工事	碧南市	参 - 81
No.82	事例 82	20.再生石膏粉	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	川西市石道地区開発計画	民間	参 - 82
No.83	事例 83	21.ガラス再生資材（再生砂）	④バーチカルドレーン及びサンドマット材	放射 34 号線軟弱地盤改良工事	関東地方整備局 川崎国道事務所	参 - 83
No.84	事例 84		④バーチカルドレーン及びサンドマット材、⑤サンドコンパクションパイル材	南本牧埋立工事（E 街区地盤改良工）	横浜市港湾局	参 - 84
No.85	事例 85	21.ガラス再生資材	⑮路盤材（凍上抑制層材料）	旭川市（瑞穂）市道改良工事	旭川市	参 - 85
No.86	事例 86	22.ガラス発泡リサイクル資材	⑩裏込材	名護漁港-4.5m 岸壁改良工事	名護市	参 - 86
No.87	事例 87		⑭路床盛土材	国道 9 号線　駟馳山バイパス岩美 IC 第 2 改良工事	中国地方整備局 鳥取河川国道事務所	参 - 87
No.88	事例 88	23.ペーパースラッジ	⑱その他（充填材）	阿武隈川下流鳩原地区河道整備工事	東北地方整備局 仙台河川国道事務所	参 - 88
No.89	事例 89	24.ペーパースラッジ焼却灰	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	国道 115 号　円渕トンネル工事	東北地方整備局 磐城国道事務所	参 - 89
No.90	事例 90	25.古紙	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	平成 25 年度　石巻漁港西港港内浚渫工事	宮城県　東部地方振興事務所（水産漁港部）	参 - 90
No.91	事例 91	26.砕石微粉末（脱水ケーキ）	⑭路床盛土材	久光・西小田線自歩道設置工事(3 工区)	福岡県　朝倉県土整備事務所	参 - 91
No.92	事例 92	27.粒調 Fe 石灰路盤材	⑮路盤材	九州中央自動車道(山都中島西 IC～矢部 IC 間)舗装工事	九州地方整備局 熊本河川国道事務所	参 - 92

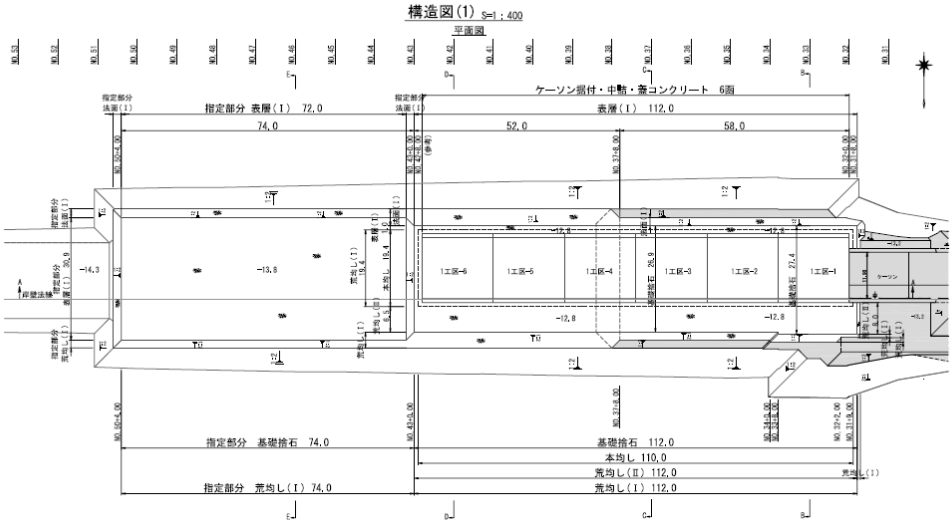
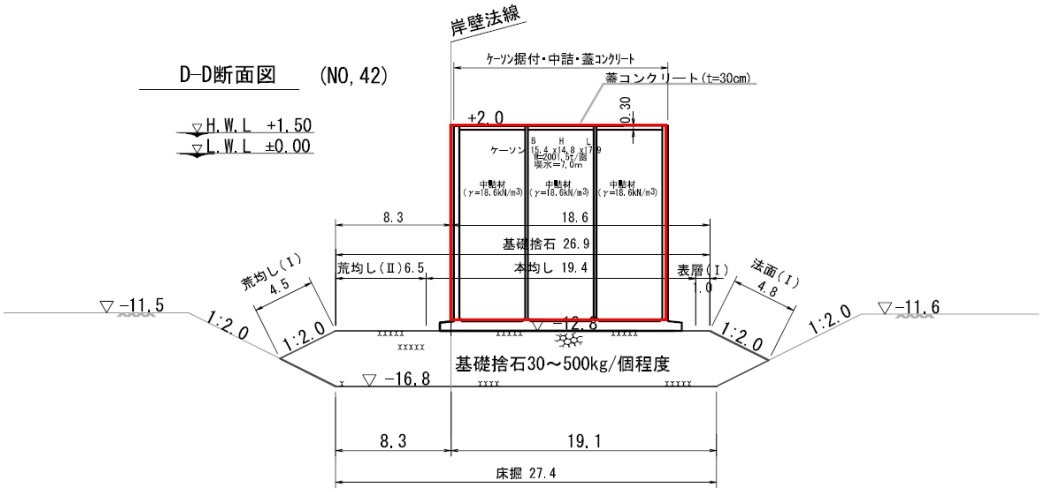
◆リサイクル材料の適用事例（用途毎）

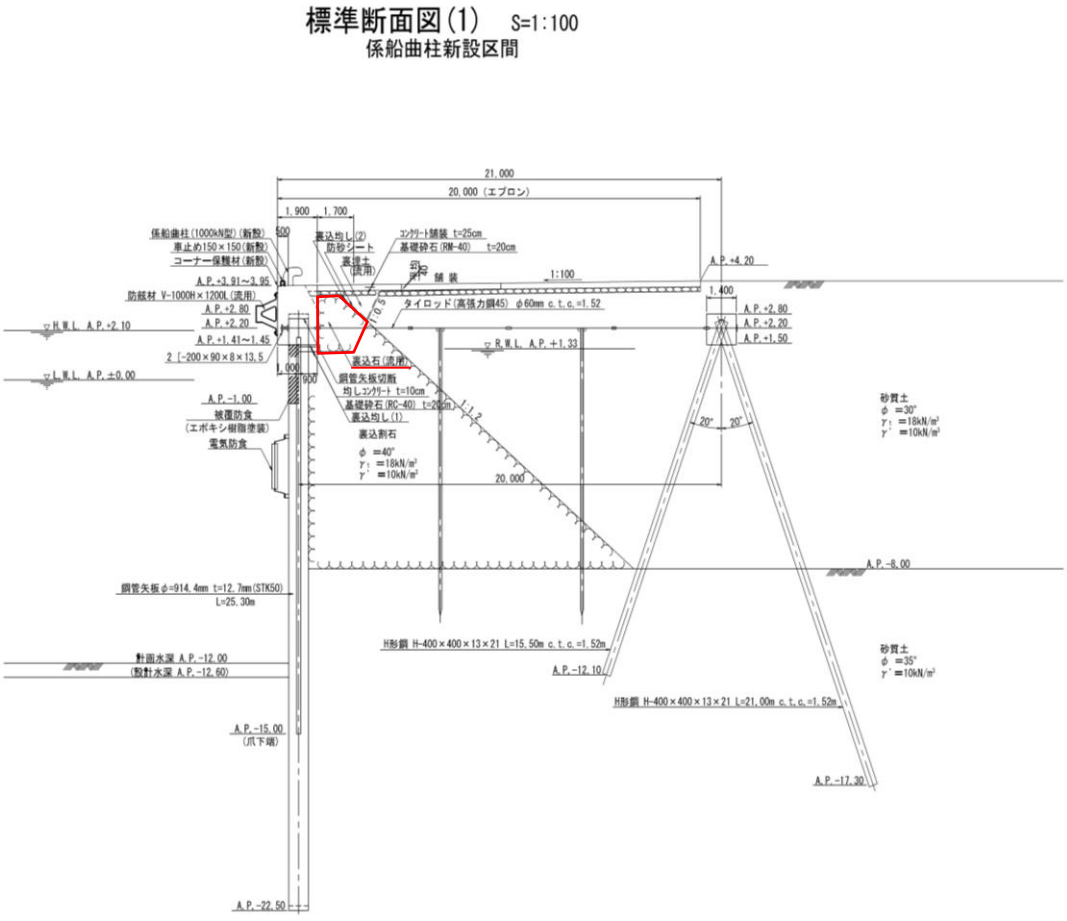
No.	事例	用途	リサイクル材料	件名	実施機関	ページ
No.1	事例62	①コンクリート用細骨材	14.銅スラグ	相馬港本港地区防波堤(沖)(改良)消波工事	東北地方整備局 小名浜港湾事務所	参－62
No.2	事例64		15.フェロニッケルスラグ	八戸港外港地区防波堤(中央)消波工事	東北地方整備局 八戸港湾・空港整備事務所	参－64
No.3	事例27	③混和材	7.高炉スラグ（微粉末）	平成25年度衣浦港中央ふ頭西地区岸壁(-12m)改良工事	中部地方整備局 三河港湾事務所	参－27
No.4	事例55		11.フライアッシュ（非JIS灰）	原町火力発電所北防波堤ブロック設置工事	民間	参－55
No.5	事例24	④バーチカルドレーン及びサンドマット材	6.建設汚泥	境港外港中野地区岸壁(-12m)築造工事(その3)	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参－24
No.6	事例28		7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）	姫路港須賀地区埋立地内サンドマット工		参－28
No.7	事例83		21.ガラス再生資材（再生砂）	放射34号線軟弱地盤改良工事	関東地方整備局 川崎国道事務所	参－83
No.8	事例84	④バーチカルドレーン及びサンドマット材、⑤サンドコンパクションパイル材	21.ガラス再生資材（再生砂）	南本牧埋立工事（E 街区地盤改良工）	横浜市港湾局	参－84
No.9	事例13	⑤ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材	2.浚渫土砂（粘性土系）	新門司沖土砂処分場脱水処理土製作工事	九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所	参－13
No.10	事例29		7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）	博多港サンドコンパクションパイル工事		参－29
No.11	事例37		8.製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）	製鋼スラグの港湾工事用材料としての適用技術の研究（製鋼スラグを用いた海上ＳＣＰ試験施工）	広島県、(財)沿岸開発技術研究センター、鐵鋼スラグ協会	参－37
No.12	事例44		9.鉄鋼スラグ混合製品（水硬性スラグコンパクション材）	阿翁浦地区広域漁港整備工事	長崎県　県北振興局	参－44
No.13	事例1	⑦捨石	1.建設発生土	敦賀港(鞠山北地区)防波堤基礎工事(その2)	北陸地方整備局 敦賀港湾事務所	参－1
No.14	事例19		4.コンクリート塊	敦賀港検潮所基礎工事	北陸地方整備局 敦賀港湾事務所	参－19
No.15	事例45		10.鉄鋼スラグ二次製品(固化体)	尾道糸崎港機織地区泊地(-12m)等潜堤築造等工事	中国地方整備局 広島港湾・空港整備事務所	参－45
No.16	事例77		18.エコスラグ	平成25年度砂押川外河川災害復旧工事(その3)	宮城県	参－77
No.17	事例2	⑧中詰材	1.建設発生土	茨城港常陸那珂港区中央ふ頭地区岸壁(-12m)(耐震)築造工事	関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所	参－2
No.18	事例12		2.浚渫土砂（粘性土系）	南防波堤築造工事	関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所	参－12
No.19	事例20		4.コンクリート塊	相馬港本港地区防波堤(沖)(災害復旧)築造工事	東北地方整備局 小名浜港湾事務所	参－20
No.20	事例30		7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）	鹿島港外港地区南防波堤築造工事(その2)	関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所	参－30
No.21	事例38		8.製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）	四日市港霞ヶ浦北埠頭南仮護岸鋼板セル挙動調査	運輸省第五港湾建設局、(財)沿岸開発技術研究センター	参－38
No.22	事例43		9.鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ）	苫小牧港中央北-12m 岸壁建設その他工事	北海道開発局 苫小牧港湾事務所	参－43
No.23	事例56		11.フライアッシュ（非JIS灰）	常陸那珂港東防波堤本体工事	関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所	参－56
No.24	事例63		14.銅スラグ	境港外港地区防波堤(2)築造工事	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参－63
No.25	事例65		15.フェロニッケルスラグ	鳥取港千代地区防波堤（第1)(西)築造工事	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参－65
No.26	事例73		16.亜鉛スラグ	八戸港外港地区防波堤(第二中央)築造工事	東北地方整備局 八戸港湾・空港整備事務所	参－73
No.27	事例74		17.貝殻（ホタテ殻）	砂原漁港建設工事	北海道開発局 函館港湾事務所	参－74
No.28	事例21	⑨被覆石、根固・消波ブロック	4.コンクリート塊	平成20年度鹿児島港（中央港区）防波堤（沖）築造工事	九州地方整備局 鹿児島港湾・空港整備事務所	参－21
No.29	事例46		10.鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体）	製鋼スラグを利用した港湾土木資材の実証実験（被覆ブロック及び根固め石）	港湾技術研究所、川崎製鉄株式会社	参－46
No.30	事例50		10.鉄鋼スラグ二次製品(浚渫土改質材)	函館港若松地区－１０m泊地浚渫工事	北海道開発局 函館港湾事務所	参－50

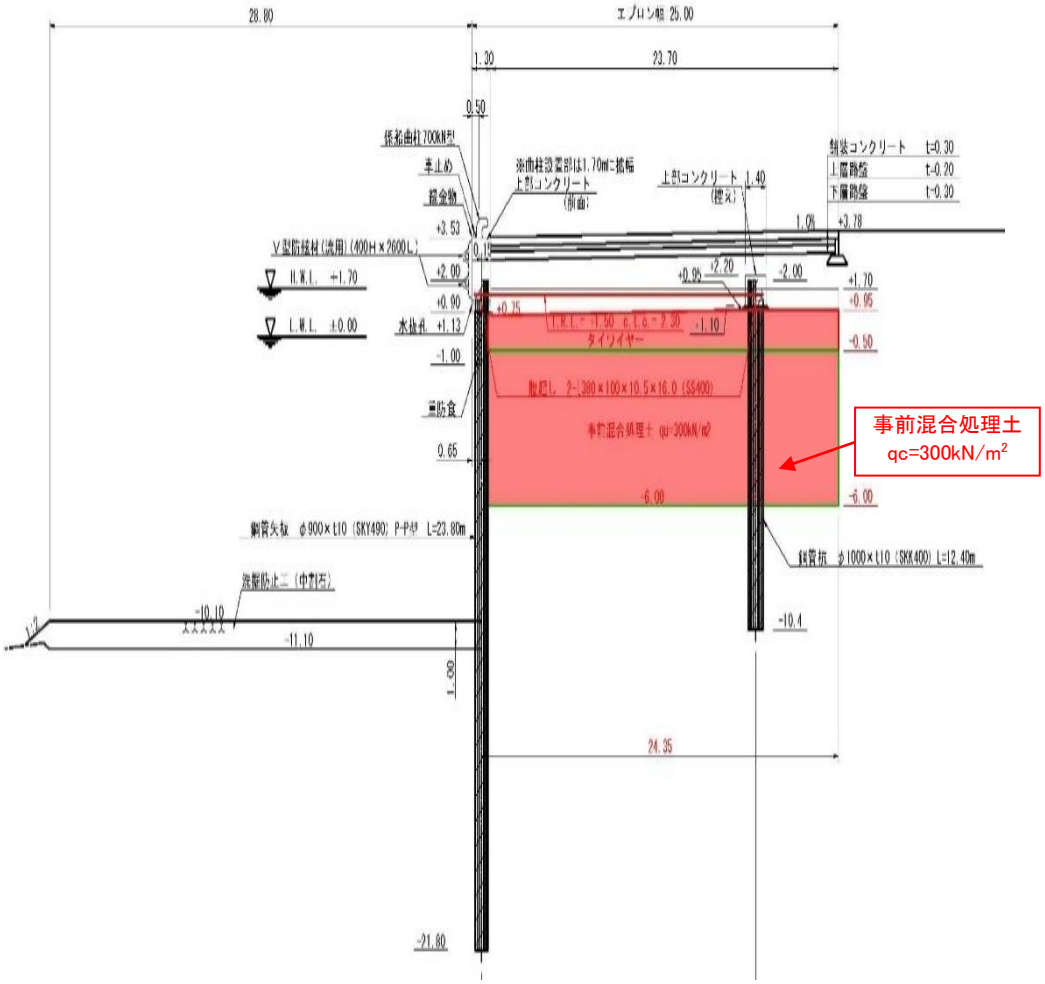
No.	事例	用途	用途リサイクル材料	件名	実施機関	ページ
No.31	事例 66	⑨被覆石、根固・消波ブロック	15.フェロニッケルスラグ	登別漁港東防波堤工事	北海道開発局 室蘭港湾事務所	参 - 66
No.32	事例 78		18.エコスラグ	河川改良工事　準用河川　郷東川	愛知県安城市	参 - 78
No.33	事例 3	⑩裏込材	1.建設発生土（砂質系）	千葉港千葉中央地区岸壁(-12m)付属施設改良工事(その 2)	関東地方整備局 千葉港湾事務所	参 - 3
No.34	事例 4		1.建設発生土（砂質系）	苫小牧港西港区岸壁南(-10m)B 部外地盤改良その他工事	北海道開発局 苫小牧港湾事務所	参 - 4
No.35	事例 5		1.建設発生土（粘性土系）	平成 14 年度羅臼漁港用地造成工事(その２)	北海道開発局 根室港湾事務所	参 - 5
No.36	事例 22		4.コンクリート塊	浜田港福井地区臨港道路用地造成その他工事	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参 - 22
No.37	事例 31	⑩裏込材	7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）	水島港水島玉島地区臨港道路(玉島側)擁壁工事	中国地方整備局 宇野港湾事務所	参 - 31
No.38	事例 58		13.石炭灰二次製品(フライアッシュ固化体)	酒田港外港地区岸壁(-14m)護岸築造工事	東北地方整備局 酒田港湾事務所	参 - 58
No.39	事例 86		22.ガラス発泡リサイクル資材	名護漁港-4.5m 岸壁改良工事	名護市	参 - 86
No.40	事例 79	⑩裏込材、⑪裏埋材	18.エコスラグ	現年災害復旧工事（24 年災第 7 号）	愛知県	参 - 79
No.41	事例 6	⑪裏埋材	1.建設発生土	沓形港外防波堤災害復旧その他工事	北海道開発局 稚内港湾事務所	参 - 6
No.42	事例 7		1.建設発生土	羽幌港－5.0m 耐震岸壁その他工事	北海道開発局 留萌港湾事務所	参 - 7
No.43	事例 14		2.浚渫土砂（粘性土系）	東予港中央地区岸壁(-7.5m)築造工事	四国地方整備局 松山港湾・空港整備事務所	参 - 14
No.44	事例 39		8.製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）	福山港本港路地区航路整備事業	中国地方整備局 広島港湾・空港整備事務所	参 - 39
No.45	事例 47		10.鉄鋼スラグ二次	徳島小松島港　沖洲(外)地区岸壁(-8.5m)(耐震)築造工事(その 2)	四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所	参 - 47
No.46	事例 8	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	1.建設発生土	浜田港福井地区臨港道路用地造成その他工事	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参 - 8
No.47	事例 9		1.建設発生土	那覇空港滑走路増設 5･6 工区埋立工事　他	沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務	参 - 9
No.48	事例 15		2.浚渫土砂	中城湾港土砂処分場ニ護岸外 2 件築造工事	沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所	参 - 15
No.49	事例 25		6.建設汚泥	境港外港中野地区岸壁(-12m)築造工事	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参 - 25
No.50	事例 57		11.フライアッシュ（非 JIS 灰）	本部港緑化工事	沖縄県　北部土木事務所	参 - 57
No.51	事例 67		15.フェロニッケルスラグ	新旭不燃性ごみ処分場再生整備工事	高島市	参 - 67
No.52	事例 68		15.フェロニッケルスラグ	糠塚ショッピングセンター造成工事	民間	参 - 68
No.53	事例 69		15.フェロニッケルスラグ	十和田市若葉球技場人工芝新設工事	十和田市	参 - 69
No.54	事例 82		20.再生石膏粉	川西市石道地区開発計画	民間	参 - 82
No.55	事例 89		24.ペーパースラッジ焼却灰	国道 115 号　円渕トンネル工事	東北地方整備局 磐城国道事務所	参 - 89
No.56	事例 90		25.古紙	平成 25 年度　石巻漁港西港港内浚渫工事	宮城県　東部地方振興事務所（水産漁港部）	参 - 90
No.57	事例 32	⑫盛土材	7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）	苅田港埋立地盛土工		参 - 32
No.58	事例 40	⑫載荷盛土材	8.製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）	横浜市南本牧埋立載荷盛土工事（載荷盛土への高炉徐冷・製鋼スラグ混合材の適用）	横浜市港湾局 南本牧建設事務所	参 - 40
No.59	事例 10	⑬埋立材	1.建設発生土	徳島飛行場滑走路延長事業	四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所	参 - 10
No.60	事例 33		7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）	新日本製鉄室蘭製鉄所内埋立試験工事	民間	参 - 33
No.61	事例 34		7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）	石川県七尾港埋立工事	石川県　七尾港湾事務所	参 - 34
No.62	事例 48		10.鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体）	羽田国際空港 D 滑走路建設工事	関東地方整備局 東京空港整備事務所	参 - 48
No.63	事例 51		10.鉄鋼スラグ二次製品(浚渫土改質材)	東海元浜埠頭北公有水面埋立工事	民間	参 - 51

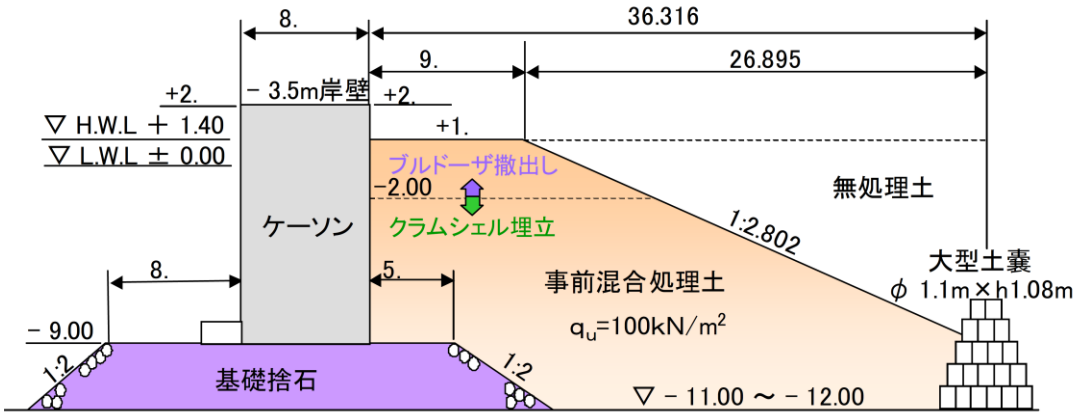
No.	事例	用途	リサイクル材料	件名	実施機関	ページ
No.64	事例 70	⑬埋立材	15.フェロニッケルスラグ	宮津市文殊地区ユーティリティパーク造成工事	宮津市	参 - 70
No.65	事例 71		15.フェロニッケルスラグ	阿蘇シーサイドパーク造成工事	京都府岩滝町（旧町名）	参 - 71
No.66	事例 17	⑭路床盛土材	3.アスファルト・コンクリート塊	新潟空港滑走路改良工事	北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所	参 - 17
No.67	事例 26		6.建設汚泥	平成 21 年度(国債)新潟港(東港地区)岸壁（-12m）（西）(１号)築造工事(その２)	北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所	参 - 26
No.68	事例 35		7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）	港湾埠頭用埋立地の覆土材への高炉水砕スラグの適用	和歌山県　土木部	参 - 35
No.69	事例 59		13.石炭灰二次製品(フライアッシュ固化体)	小名浜東港連絡橋（臨港道路）陸上側道路（ﾃｰﾙｱﾙﾒ工法）	東北地方整備局 小名浜港湾事務所	参 - 59
No.70	事例 87		22.ガラス発泡リサイクル資材	国道 9 号線　駟馳山バイパス岩美 IC 第２改良工事	中国地方整備局 鳥取河川国道事務所	参 - 87
No.71	事例 80	⑭路床盛土材、⑮路盤材	19.破砕瓦	東邦ガス（株）・南部幹線 主要導管設置工事（径 600 ㎜導管）	民間	参 - 80
No.72	事例 23	⑮路盤材	4.コンクリート塊	中城湾港（新港地区）岸壁（－13.0m）改良工事	沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所	参 - 23
No.73	事例 41		8.製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）	東京国際空港Ｄ滑走路建設外工事	関東地方整備局 東京空港整備事務所	参 - 41
No.74	事例 60		13.石炭灰二次製品(フライアッシュ固化体)	東港区中央埠頭ヤード内東側通路造成工事（フェリーターミナル関連）	苫小牧港管理組合	参 - 60
No.75	事例 75		17.貝殻（ホタテ殻）	宗谷港建設工事	北海道開発局 稚内港湾事務所	参 - 75
No.76	事例 91		26.砕石微粉末（脱水ケーキ）	久光・西小田線自歩道設置工事(3 工区)	福岡県　朝倉県土整備事務所	参 - 91
No.77	事例 92		27.粒調 Fe 石灰路盤材	九州中央自動車道(山都中島西 IC～矢部 IC 間)舗装工事	九州地方整備局 熊本河川国道事務所	参 - 92
No.78	事例 85	⑮路盤材（凍上抑制層材料）	21.ガラス再生資材	旭川市（瑞穂）市道改良工事	旭川市	参 - 85
No.79	事例 18	⑯As 舗装骨材、As フィラー材	3.アスファルト・コンクリート塊	中城湾港（新港地区）岸壁（－13.0m）改良工事	沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所	参 - 18
No.80	事例 81		19.破砕瓦	碧南市・名鉄線廃線跡地整備工事	碧南市	参 - 81
No.81	事例 11	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜、養浜	1.建設発生土	東京湾浅場造成工事 他	関東地方整備局 千葉港湾事務所	参 - 11
No.82	事例 16	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	2.浚渫土砂（砂質系）	鳥取港千代地区防波堤（第1)(西)築造工事	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所	参 - 16
No.83	事例 52		10. 鉄鋼スラグ二次製品(浚渫土改質材)	環境省 環境事業実証事業における浅場・干潟造成	民間	参 - 52
No.84	事例 54		10. 鉄鋼スラグ二次製品(生物共生材)	北海道増毛町における藻場造成実験	民間	参 - 54
No.85	事例 72		15.フェロニッケルスラグ	フェロニッケルスラグの環境復元材としての有用性検証調査	日本鉱業協会	参 - 72
No.86	事例 76		17.貝殻（カキ殻）	平成 21 年度新潟港（西港地区）信濃川左岸護岸改良工事	北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所	参 - 76
No.87	事例 42	⑰覆砂材	8.製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）	福山内港底質改善実証試験工事	民間	参 - 42
No.88	事例 61		13.石炭灰二次製品(石炭灰造粒物)	広島港海岸中央東地区護岸安定化等工事	中国地方整備局 広島港湾・空港整備事務所	参 - 61
No.89	事例 49	⑰浅場、藻場	10.鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体）	東京湾・若洲海浜公園浅場整備	東京都港湾局 東京港管理事務所	参 - 49
No.90	事例 53	⑰藻場	10. 鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ炭酸固化体、鉄鋼スラグ水和固化体）、8.製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）	「山下公園前海域における水質浄化能力の回復に向けた生物生息環境の改善手法」に関する共同研究	横浜市、民間	参 - 53
No.91	事例 36	⑰干潟	7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）	三河湾での水砕スラグの干潟造成試験	中部地方整備局	参 - 36
No.92	事例 88	⑱その他（充填材）	23.ペーパースラッジ	阿武隈川下流鳩原地区河道整備工事	東北地方整備局 仙台河川国道事務所	参 - 88

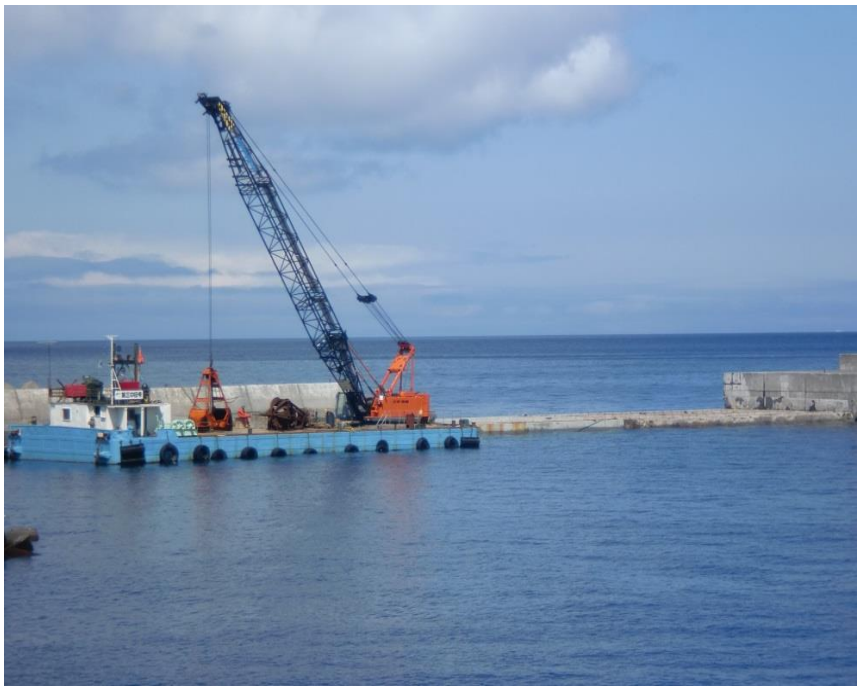
事例 1	
件　名	敦賀港(鞠山北地区)防波堤基礎工事(その 2)
実施機関	北陸地方整備局　敦賀港湾事務所
実施場所	敦賀市鞠山地先
実施時期	平成 23～24 年度
リサイクル材料	1.建設発生土
適用用途	⑦捨石
実施数量	5,650㎥
概要（目的・内容）	周辺地区で発生する建設発生土（トンネル工事ズリ石：福井県道路改良事業）を有効活用するため、防波堤基礎マウンドの基礎石として適用した工事である。 平　面　図  縦断面図  標準断面図 
適用結果	選別したズリ石のみ基礎石へ使用したため、問題なし。
課題	受入側の条件を満たすため、ズリ石の性状確認及び選別を発生側で行う必要があった。
その他	

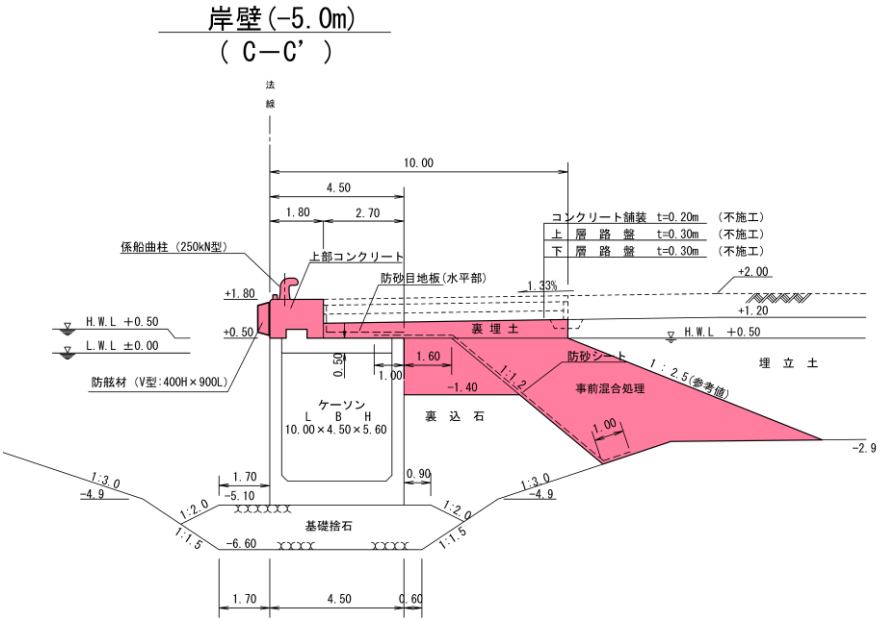
事例 2	
件　名	茨城港常陸那珂港区中央ふ頭地区岸壁(-12m)(耐震)築造工事
実施機関	関東地方整備局　鹿島港湾・空港整備事務所
実施場所	茨城港常陸那港区中央ふ頭地区
実施時期	平成 25 年度
リサイクル材料	1.建設発生土
適用用途	⑧中詰材
実施数量	45,690m^3(内訳：その 1 工事(19,296m^3)、その 2 工事(16,926m^3)、その 3 工事(9,468m^3))
概要（目的・内容）	茨城港常陸那珂港区中央ふ頭地区にある茨城県の建設発生土について、協議の結果、無償提供で、ケーソンの中詰材として使用した。 この建設発生土は茨城県の土地造成工事や道路改良工事にて発生したもので、業者の品質等の試験の結果、当該事業への適用は問題ないと判断されたため、当該工事へ使用することを決定した。 構造図【平面】  構造図【断面】 
適用結果	中央ふ頭地区の全てのケーソン中詰材として使用し、現在経過観察中。今現在目立った問題はなし。（平成 25 年度末時点）
課題	いろいろな工事から発生した建設発生土なので、採取場所により品質のばらつきが予見された。
その他	

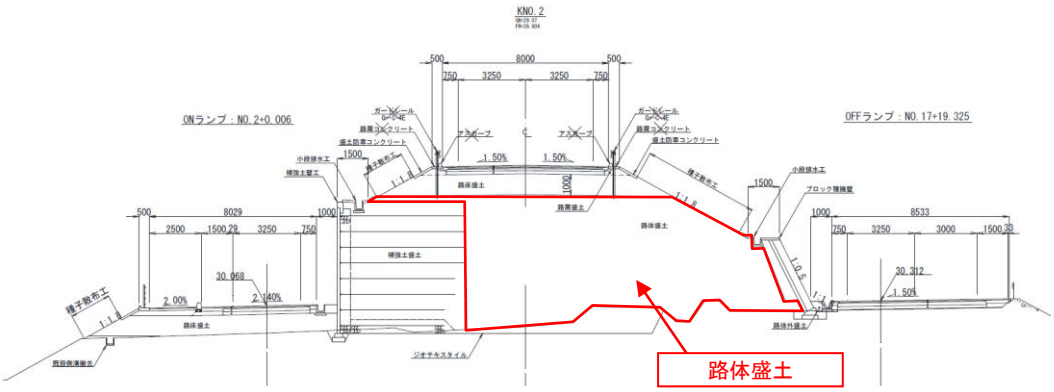
事例 3	
件　名	千葉港千葉中央地区岸壁(-12m)付属施設改良工事(その 2)
実施機関	関東地方整備局　千葉港湾事務所
実施場所	千葉市中央区中央港
実施時期	平成 28 年度
リサイクル材料	1.建設発生土（砂質系）
適用用途	⑩裏込材
実施数量	123m^3
概要（目的・内容）	千葉港千葉中央地区岸壁（-12m）の土工、撤去工、裏込･裏埋工､上部工、付属工、舗装工及び仮設工を施工するもの。裏込工施工にあたり、同工事で発生する土工による発生材を使用した。 同種の施工事例や、業者の品質等の試験の結果、当該事業への適用は問題ないと判断されたため、当該補修工事へ適用することを決定した。 
適用結果	特になし。
課題	特になし。
その他	

事例 4	
件　名	苫小牧港西港区岸壁南(-10m)B 部外地盤改良その他工事
実施機関	北海道開発局　苫小牧港湾事務所
実施場所	苫小牧港西港区岸壁南-10m
実施時期	令和元年度
リサイクル材料	1.建設発生土（砂質系）
適用用途	⑩裏込材
実施数量	16,821m^3
概要（目的・内容）	苦小牧港東港区では北海道最大規模の発電設備を有する火力発電所が稼働しており、年間４０～５０万ｔの石炭灰が発生している。 本工事では、岸壁の液状化対策として当現場から発生した土砂と石炭灰を有効活用するため、水中部の事前混合処理工法における改良土のセメント代替材（粉体増量材）、及び水中不分離材として適用した工事である。 西港区では過去にも建設発生土と石炭灰を利用した事前混合処理工法の実績があり、当該事業への適用は問題ないと判断されたため決定した。 
適用結果	問題なし。
課題	特になし。
その他	

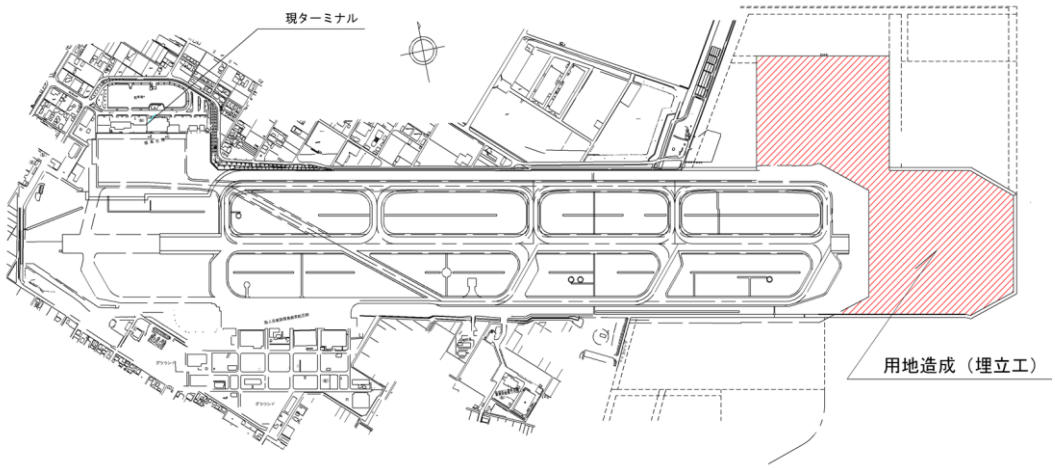
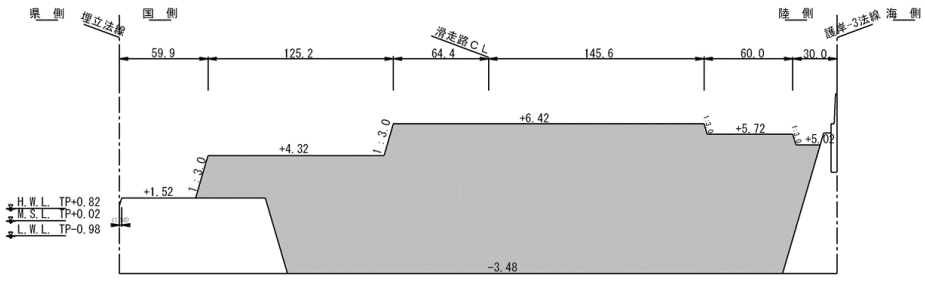
事例 5	
件　名	平成 14 年度羅臼漁港用地造成工事(その２)
実施機関	北海道開発局　根室港湾事務所
実施場所	北海道目梨郡羅臼町共栄町地先
実施時期	平成 14 年度
リサイクル材料	1. 建設発生土（粘性土系）
適用用途	⑩裏込材
実施数量	92,000m^3
概要（目的・内容）	既設の防波堤を岸壁として利用するため、岸壁背面土圧低減と液状化防止の目的で事前混合処理工法を採用した。 埋立て材料は関連工事で発生したスレーキング性の泥岩を細粒化して使用した。 細粒化に当たっては、①回転式破砕混合工法、②インパクトクラッシャ＋自走式土質改良機の２つの混合方式を適用した。  回転式破砕混合工法 インパクトクラッシャ＋自走式土質改良機
適用結果	良好である。
課題	－
その他	混合方式の特性に応じて一次処理（破砕、分級等）が必要である。

事例 6	
件　名	沓形港外防波堤災害復旧その他工事
実施機関	北海道開発局　稚内港湾事務所
実施場所	沓形港
実施時期	平成 25 年度
リサイクル材料	1.建設発生土
適用用途	⑪裏埋材
実施数量	38㎥
概要（目的・内容）	土工掘削により発生した土砂について、試験したところ流用材として有効利用できることが判明したため、裏埋材及び路盤材として適用した工事である。 
適用結果	特に問題なし。
課題	既に品質基準が設けられている等、利用が可能で問題ない。
その他	

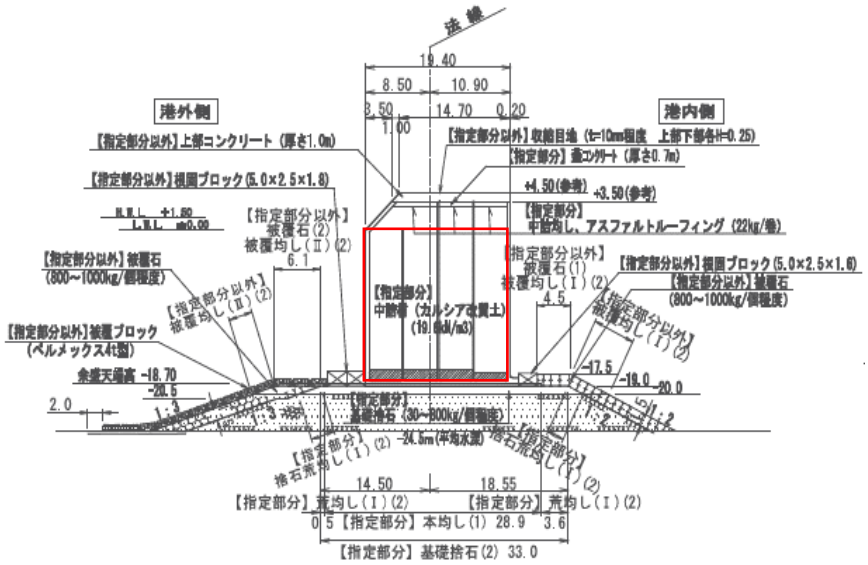
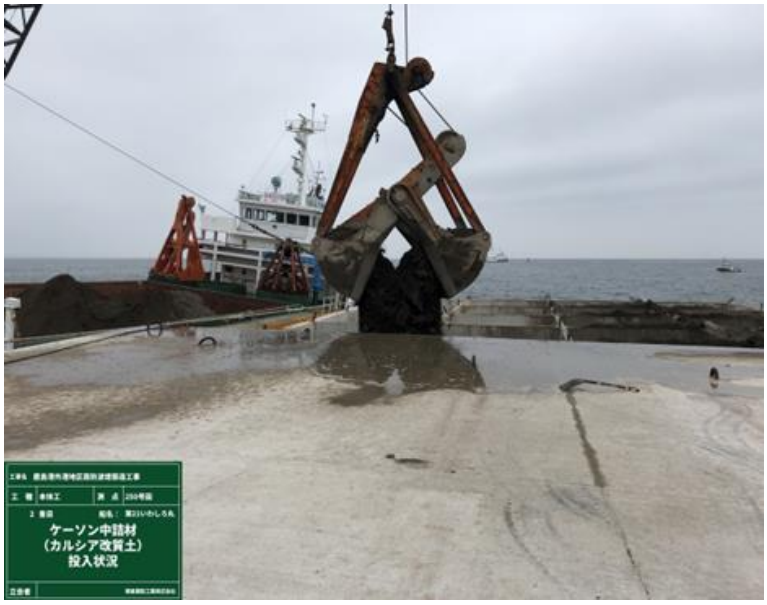
事例 7	
件　名	羽幌港－5.0m 耐震岸壁その他工事
実施機関	北海道開発局　留萌港湾事務所
実施場所	北海道苫前郡羽幌町港町一丁目地先
実施時期	平成 23 年度
リサイクル材料	1.建設発生土
適用用途	⑪裏埋材
実施数量	2,438m^3
概要（目的・内容）	既設の岸壁を耐震化するもので、液状化対策、土圧軽減のため、裏埋材を事前混合処理工法で築造した。 母材は近傍に仮置きされた細粒分率 51%～60%の土砂を利用するため、混合方式に回転式破砕混合工法を採用した。  回転式破砕混合工法
適用結果	細粒分率 50%～60%の粘性土を利用し、所定の強度を満足した。
課題	－
その他	砂質土に対して日当り施工量が低下するため混合方式の選定に留意する。

事例 8	
件　名	浜田港福井地区臨港道路用地造成その他工事
実施機関	中国地方整備局　境港湾・空港整備事務所
実施場所	浜田港福井地区
実施時期	平成 25～26 年度
リサイクル材料	1. 建設発生土
適用用途	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材
実施数量	約 2,500m^3
概要（目的・内容）	臨港道路整備において、他事業にて発生した建設発生土を路体盛土、路床盛土として適用した工事である。本工事施工時期と同時期に近隣地区から建設発生土の搬出予定が確認され、盛土材への適用は問題ないと判断されたため、本工事へ適用することを決定した。 標準断面図  路体盛土施工状況
適用結果	良質な建設発生土を流用しているため購入材での施工と変わらない。
課題	特になし。
その他	

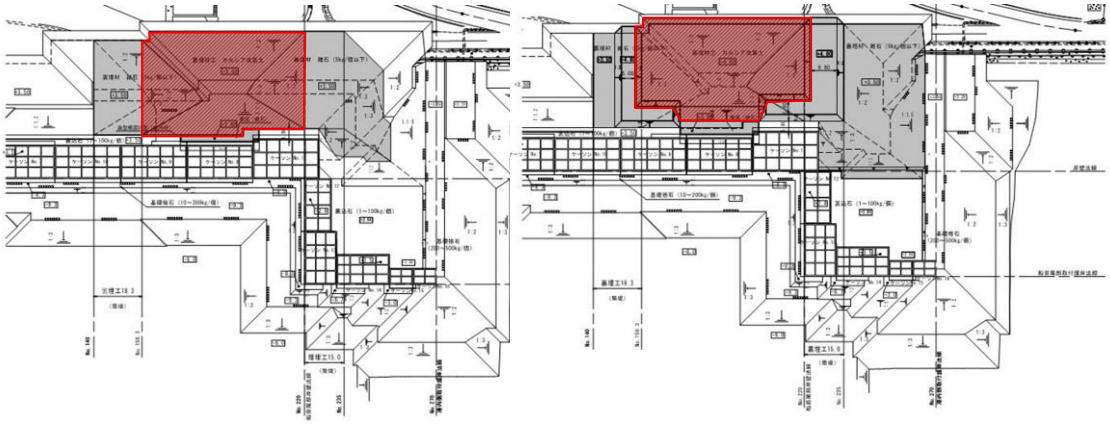
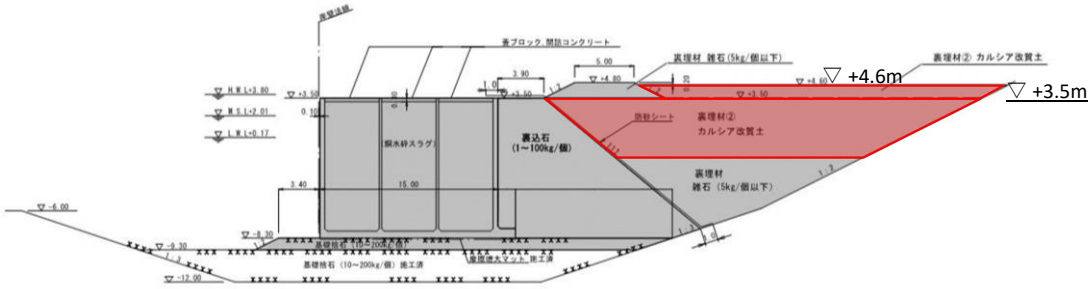
事例 9	
件　名	那覇空港滑走路増設 5･6 工区埋立工事　他
実施機関	沖縄総合事務局　那覇港湾・空港整備事務所
実施場所	沖縄県那覇空港地先
実施時期	平成 30 年度
リサイクル材料	1.建設発生土
適用用途	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材
実施数量	61,000m^3（他工事含合計数量　約 766,700m^3）
概要（目的・内容）	滑走路の増設工事に利用予定の島尻泥岩はスレーキング性泥岩で、そのまま利用すると沈下が発生する恐れがあり、その対策が課題であった。そこで、回転式破砕混合工法によって泥岩を破砕するとともに海砂等と混合して沈下の抑制を図った。 島尻泥岩 砂 回転式破砕混合工法 改質改良土
適用結果	良好である。
課題	－
その他	－

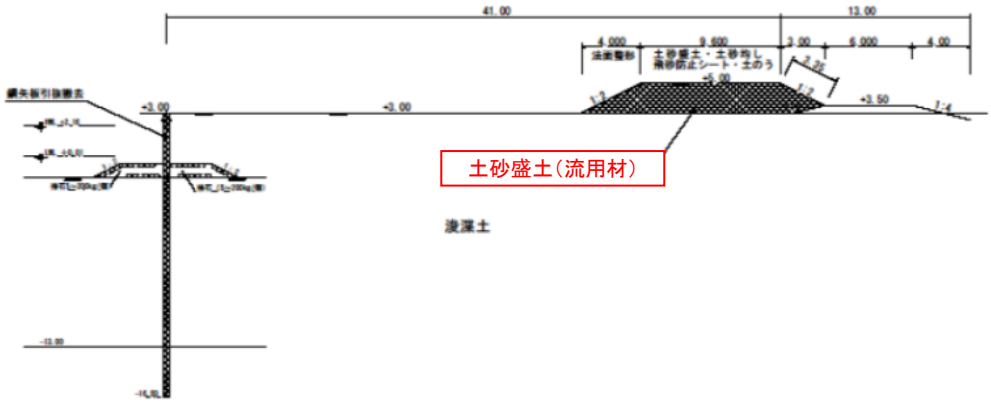
事例 10	
件　名	徳島飛行場滑走路延長事業
実施機関	四国地方整備局　小松島港湾・空港整備事務所
実施場所	徳島空港
実施時期	平成 17～21 年度
リサイクル材料	1.建設発生土
適用用途	⑬埋立材
実施数量	170,000㎥（揚土量）
概要（目的・内容）	首都圏発生残土を海上輸送により運搬し、揚土・仮置きの後埋立て材・盛土材として利用した。 平　面　図  断　面　図  ・・・平成17年度施工箇所 （高さはT.P表示）
適用結果	特に問題なし。
課題	残土受入の申し込みの時期が前年度であり、申し込むと変更が難しいため、需給時期の調整が難しい。
その他	

事例 11	
件　名	東京湾浅場造成工事 他
実施機関	関東地方整備局　千葉港湾事務所
実施場所	千葉県富津市新富地先
実施時期	令和元年度
リサイクル材料	1.建設発生土
適用用途	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜、養浜
実施数量	15,550m^3（他工事含合計数量　約 1,711,800m^3）
概要（目的・内容）	東京外かく環状道路の千葉県区域で大量の掘削土が発生しており、東京湾浅場造成事業は県漁協などが青潮対策として、埋め戻しの早期着手を望んでいた。 本工事は東京外環道路工事の発生土を利用し東京湾の浅場造成を行ったものである。 地盤材料は泥岩であり、購入砂とともに破砕混合することで、漁業への影響が少ないよう細粒化するとともに、環境に影響を与えないよう、添加材を用いることなく所定の細粒分含有率に改質した。 泥岩 砂 回転式破砕混合工法 改質改良土 土砂混合状況 土砂投入状況
適用結果	良好である。
課題	建設発生土を 40㎜ 以下にふるい分け及び破砕する必要がある。
その他	

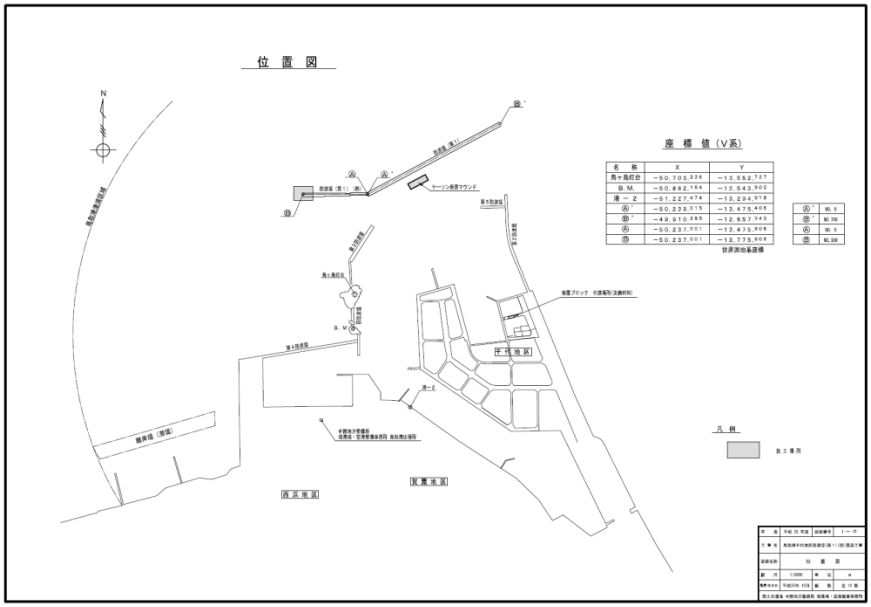
事例 12	
件　名	南防波堤築造工事
実施機関	関東地方整備局　鹿島港湾・空港整備事務所
実施場所	茨城県鹿嶋市
実施時期	平成 30～令和 2 年度
リサイクル材料	2.浚渫土砂（粘性土系）
適用用途	⑧中詰材
実施数量	28,935m^3
概要（目的・内容）	防波堤のケーソン築造において、中詰材としてカルシア改質土を用いたものである。  
適用結果	養浜に不適な粘土質土砂と鉄鉱石から鋼を製造する過程で生成されるカルシア改質材を混合し、カルシア改質土として使用することにより、リサイクルすることできかつコスト縮減につながった。
課題	中詰の天端均し作業が困難なため、天端付近は別材料を使用する結果となった。
その他	

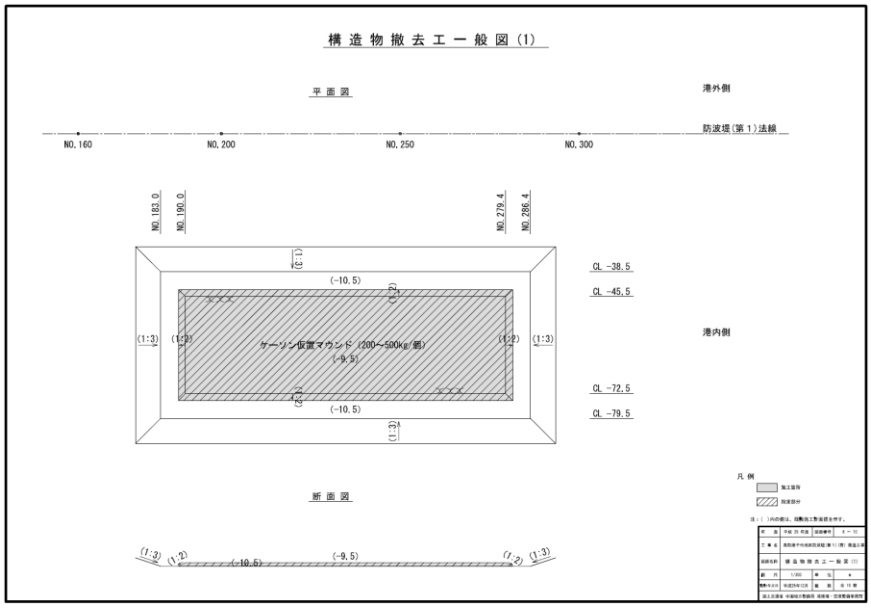
事例 13	
件　名	新門司沖土砂処分場脱水処理土製作工事
実施機関	九州地方整備局　北九州港湾・空港整備事務所
実施場所	北九州市小倉南区空港北町
実施時期	平成 25～26 年度
リサイクル材料	2.浚渫土砂（粘性土系）
適用用途	⑤ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材、⑩裏込材、⑫盛土材
実施数量	脱水処理土数量約 1,200m^3（各約 400m^{3}①ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ材②盛土用材③裏込材）
概要（目的・内容）	処分場の延命化のため、処分場内の浚渫土砂をセメントと混合、高圧脱水処理することで脱水処理土を製作し、その材料の適合性の実証試験工事である。 走行試験の状況 （路床材・インターロッキング材としての適合性検討） ボーリングの状況 （サンドコンパクションパイル材としての適合性検討） 暴露試験の状況 （裏込め材としての適合性検討）
適用結果	今後調査予定（平成 26 年度末時点）
課題	今後調査予定（平成 26 年度末時点）
その他	浚渫土砂を用いて築造した道路の沈下・荷重伝搬特性、土木学会　第 40 回海洋開発シンポジウム 脱水固化処理して作製した浚渫土砂ブロックの材料特性、地盤工学会　第 50 回地盤工学研究発表会

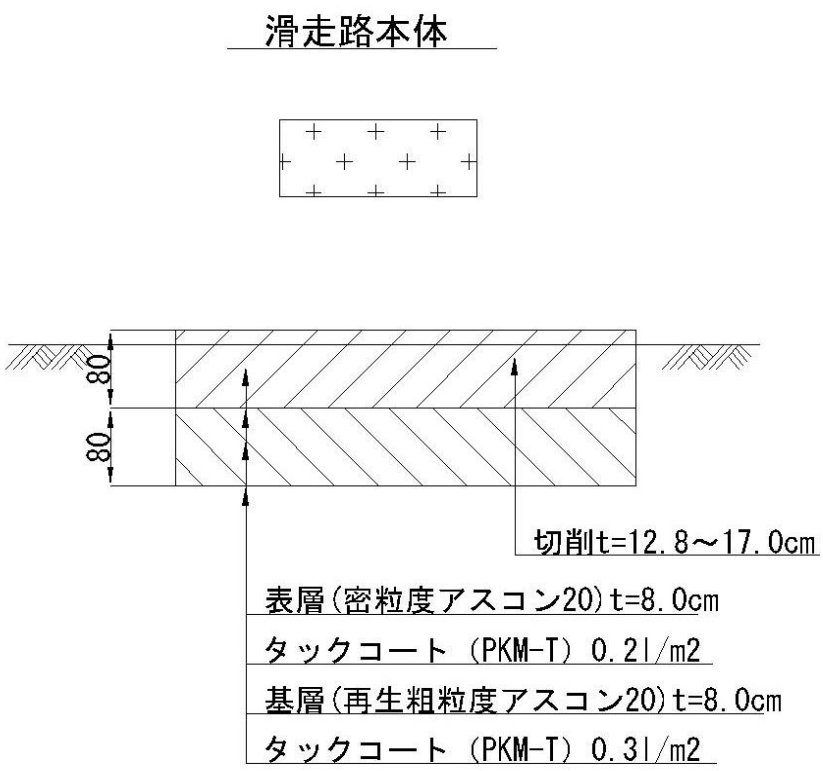
事例 14	
件　名	東予港中央地区岸壁(-7.5m)築造工事
実施機関	四国地方整備局　松山港湾・空港整備事務所
実施場所	西条市今在家地先
実施時期	平成 28～29 年度
リサイクル材料	2.浚渫土砂（粘性土系）
適用用途	⑪裏埋材
実施数量	11,992m^3
概要（目的・内容）	同地区内で発生する浚渫土砂（東予港中央地区航路(-7.5m)等浚渫工事）を有効活用するため、浚渫土砂（粘性土系）とカルシア改質材を混合し、岸壁（耐震強化岸壁）の裏埋材として適用した工事である。 平　面　図 （カルシア改質土 +3.5m まで盛土）　（カルシア改質土 +4.6m まで盛土）  標準断面図 
適用結果	特に問題なし。
課題	特になし。
その他	「港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル（平成 29 年 2 月）」を参照して、「カルシア改質土の品質管理計画書」を作成し、施工時の品質管理を行った。

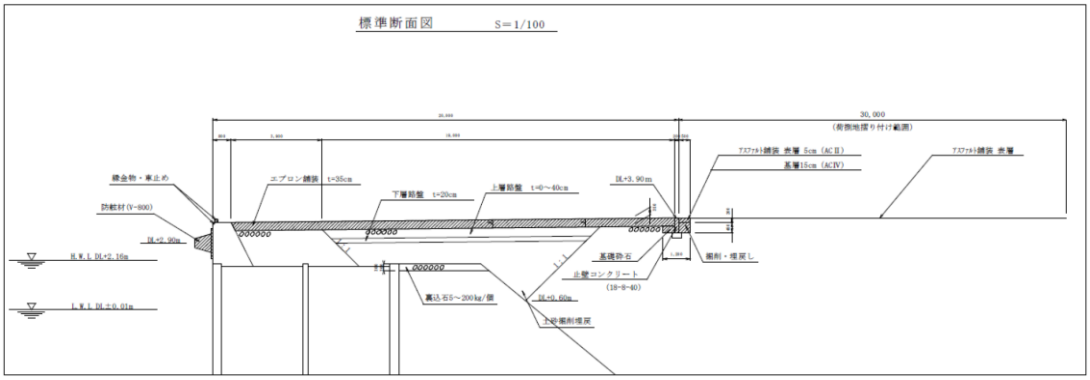
事例 15	
件　名	中城湾港土砂処分場ニ護岸外 2 件築造工事
実施機関	沖縄総合事務局　那覇港湾・空港整備事務所
実施場所	中城湾港泡瀬地区
実施時期	平成 25 年度
リサイクル材料	2.浚渫土砂
適用用途	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材
実施数量	2,607m^3
概要（目的・内容）	中城湾港土砂処分場（築堤工事）において、浚渫で発生した土砂を有効利用するため、盛土材として適用した工事である。中城湾港の同種の施工事例や品質等の試験の結果を踏まえ、当該工事への適用は問題ないと判断されたため、当該工事への適用する事を決定した。 C護岸標準断面図  浚渫土砂運搬施工状況 浚渫土砂施工状況
適用結果	良好である。
課題	特になし。
その他	

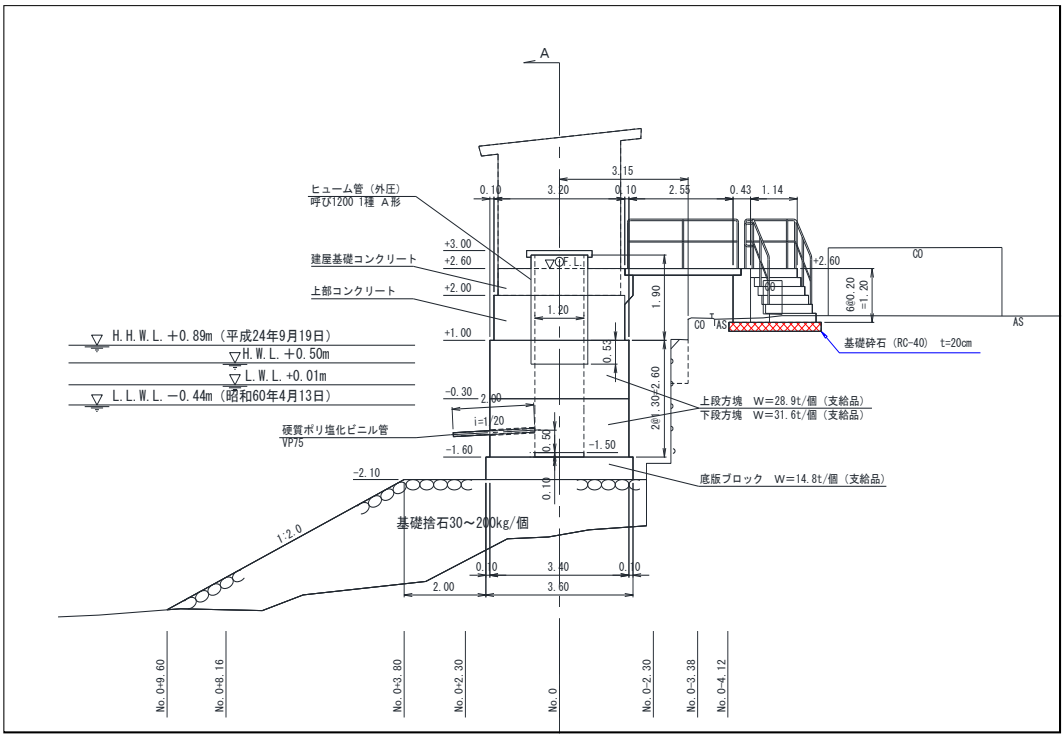
事例 16	
件　名	鳥取港千代地区防波堤(第 1)(西)築造工事
実施機関	中国地方整備局　境港湾・空港整備事務所
実施場所	鳥取港千代地区
実施時期	平成 25～26 年度
リサイクル材料	2.浚渫土砂（砂質系）
適用用途	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等
実施数量	堆積土砂：約 5,000m^3
概要（目的・内容）	防波堤築造工事において、当該事業で撤去するケーソン仮置マウンドの基礎捨石、支障となる堆積土砂を有効利用するため、それぞれ、基礎捨石、海浜沖土砂として適用した工事である。 基礎捨石は同一規格であること、堆積土砂は県が海浜沖土砂として利用する土砂と同一性状であること、基礎捨石と堆積土砂が容易に分離することから使用を決定した。
適用結果	特に支障は生じてはいない。
課題	特になし。
その他	



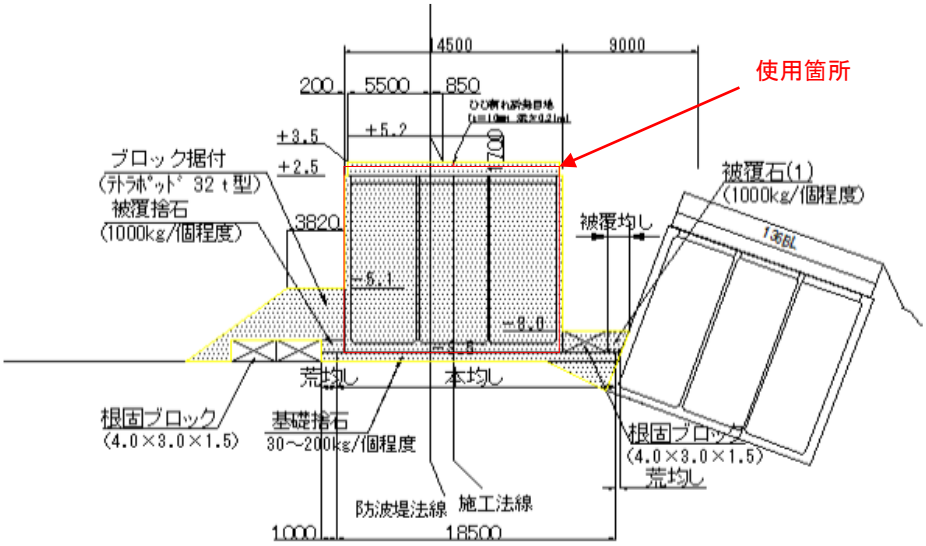


事例 17	
件　名	新潟空港滑走路改良工事
実施機関	北陸地方整備局　新潟港湾・空港整備事務所
実施場所	新潟空港
実施時期	平成 24 年度
リサイクル材料	3.アスファルト・コンクリート塊
適用用途	⑭路盤材
実施数量	2,016m^3（アスファルト・コンクリート塊、浚渫土砂(砂質系)の総量）
概要（目的・内容）	新潟空港滑走路改良工事にける、基層の舗装に再生材を利用した工事である。 共通仕様書上、滑走路基層の舗装において、再生材利用の記載があり、過去の実績より問題ないと判断し、本工事で適用した。 
適用結果	本工事にて適用するにあたり、共通仕様書等で定められて規格を遵守しており、再生材を用いることにより性能上の支障が生じていないと認識している。
課題	共通仕様書の改訂により、再生材の利用にあたり、水浸ホイールトラッキング試験による剥離面積率を5%以下にする規定が加わった。この剥離面積率を基準値内に抑えることが困難であったが、改質材を加えることで、性能を満足できた。
その他	

事例 18	
件　名	中城湾港（新港地区）岸壁（－13.0m）改良工事
実施機関	沖縄総合事務局　那覇港湾・空港整備事務所
実施場所	中城湾港新港地区
実施時期	平成 25 年度
リサイクル材料	3.アスファルト・コンクリート塊
適用用途	⑯As 舗装骨材、As フィラー材
実施数量	201m^3
概要（目的・内容）	As 舗装工において、再生密粒度アスコン 20mm を使用した工事である。アスファルト混合物事前審査制度による審査及び試験練り等により骨材の品質を確認し、当該事業への適用に問題ないと判断されたため、当該工事へ適用することを決定した。  上図:アスファルト舗装施工状況
適用結果	施工後約半年経過した現在も、問題ないことが確認されている。
課題	特になし。
その他	

事例 19	
件　名	敦賀港検潮所基礎工事
実施機関	北陸地方整備局　敦賀港湾事務所
実施場所	敦賀市川崎町
実施時期	平成 27 年度
リサイクル材料	4.ｺﾝｸﾘｰﾄ塊
適用用途	⑦捨石
実施数量	1.0m^3
概要（目的・内容）	検潮所基礎工事において、階段の基礎に砕石（RC-40）を利用した。 階段を現場打ちで施工する際の基礎材とすることで沈み込みを防止。 
適用結果	一般的な材料と比較し調達費用を抑えることができた。
課題	特になし。
その他	

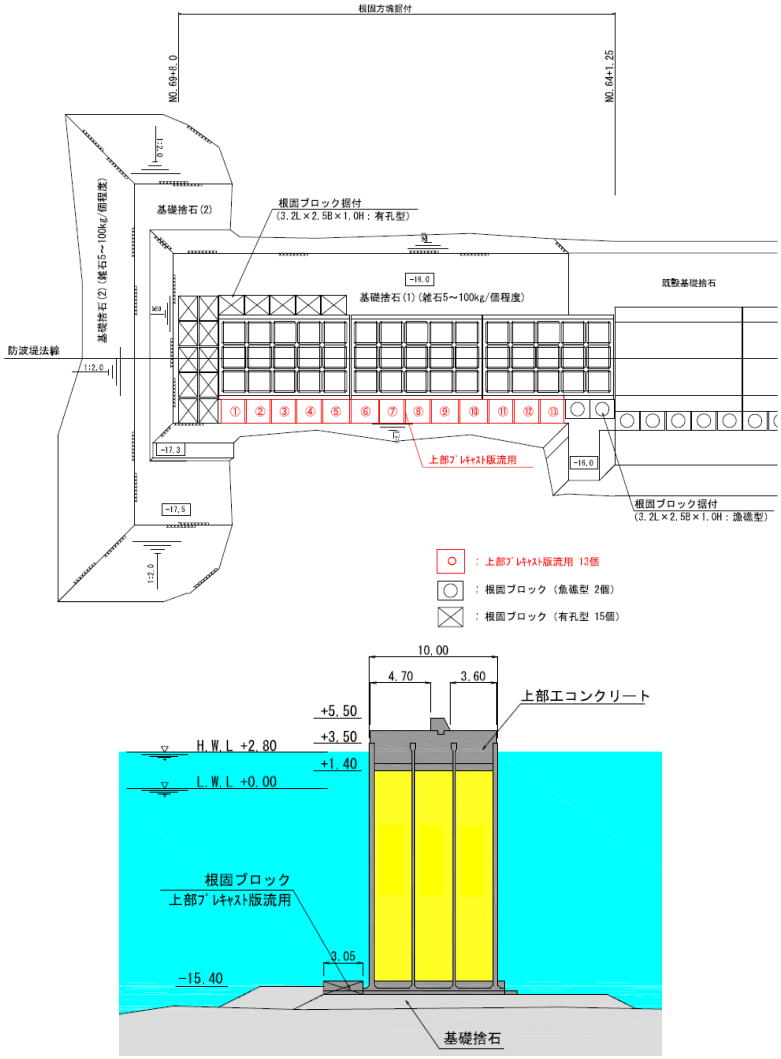
事例 20	
件　名	相馬港本港地区防波堤(沖)(災害復旧)築造工事
実施機関	東北地方整備局　小名浜港湾事務所
実施場所	福島県相馬市相馬港港内
実施時期	平成 25 年度
リサイクル材料	4.ｺﾝｸﾘｰﾄ塊
適用用途	⑧中詰材
実施数量	築造工事：総量約 44,000m^3、築造工事（その 2）：総量約 33,000m^3 （それぞれコンクリート塊、銅スラグの総量）
概要（目的・内容）	被災したケーソンの撤去より発生するコンクリート塊、切込砕石及び銅スラグを有効利用するため、据付けたケーソンの中詰材として再利用を図った。
適用結果	コンクリート塊の中詰材への転用については、砕石等と比較して塊が大きいため均し作業の効率が悪いが、実施は可能。なお、比重管理は、施工前に事前調査を必須とし、所定の比重を確認・管理を行った。
課題	コンクリート塊の形状のばらつきによる中詰材としての比重管理。
その他	

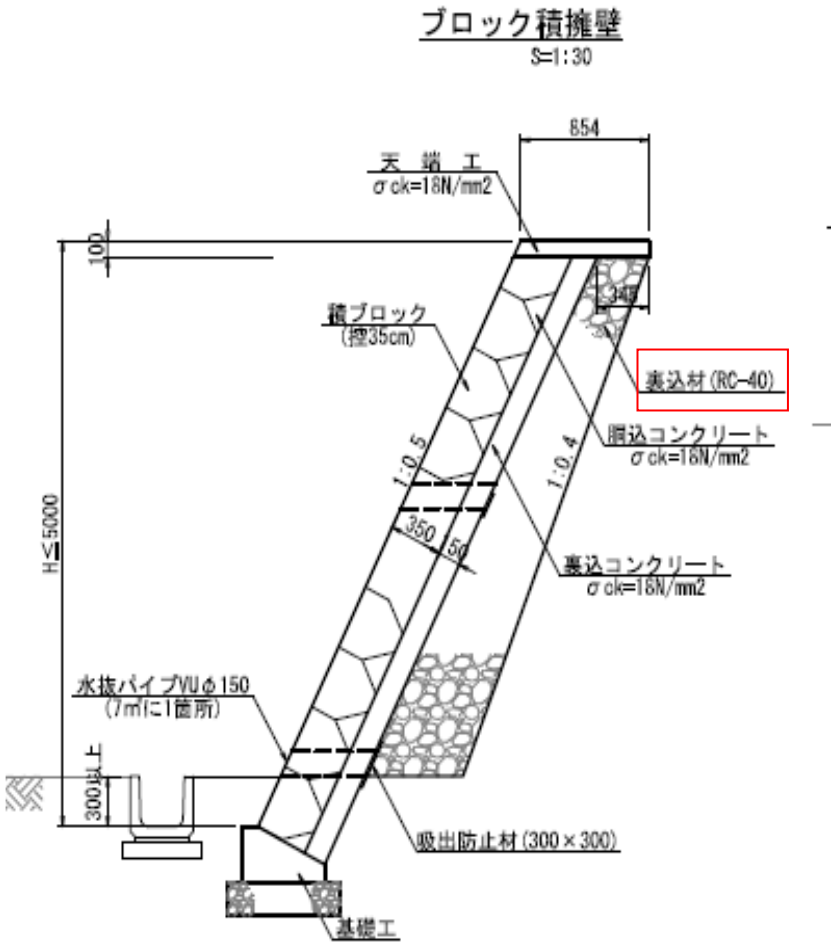


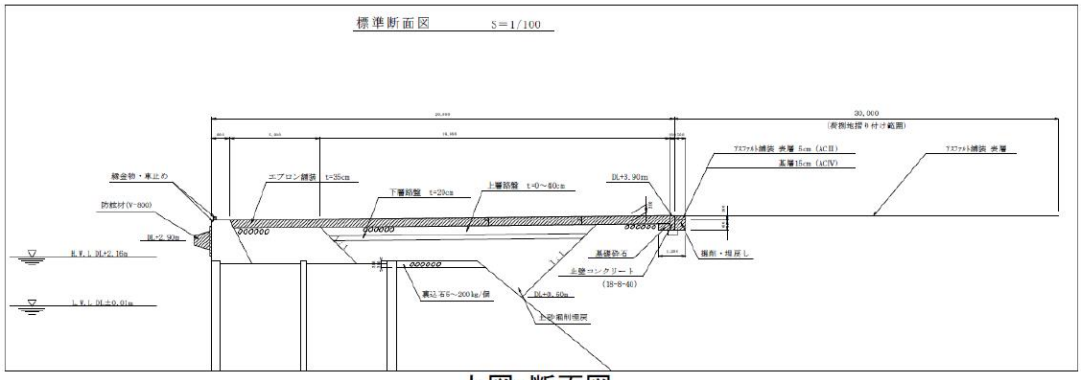
断面図

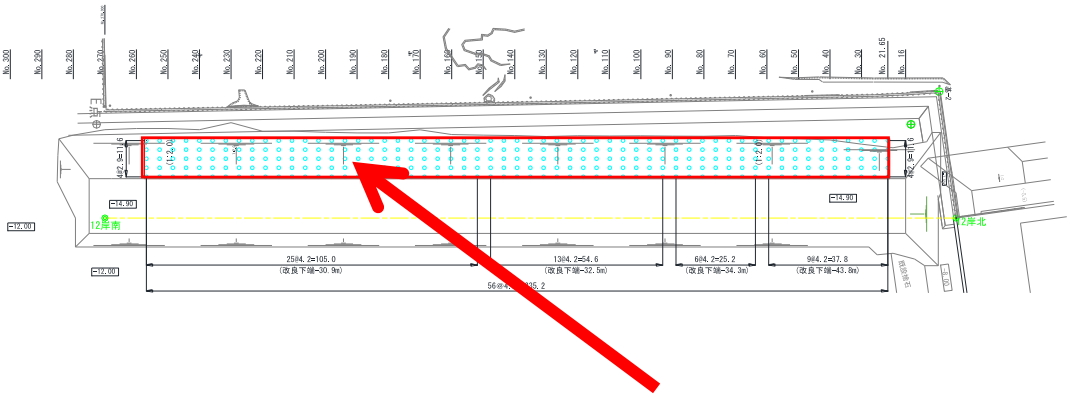
切込砕石　均し状況

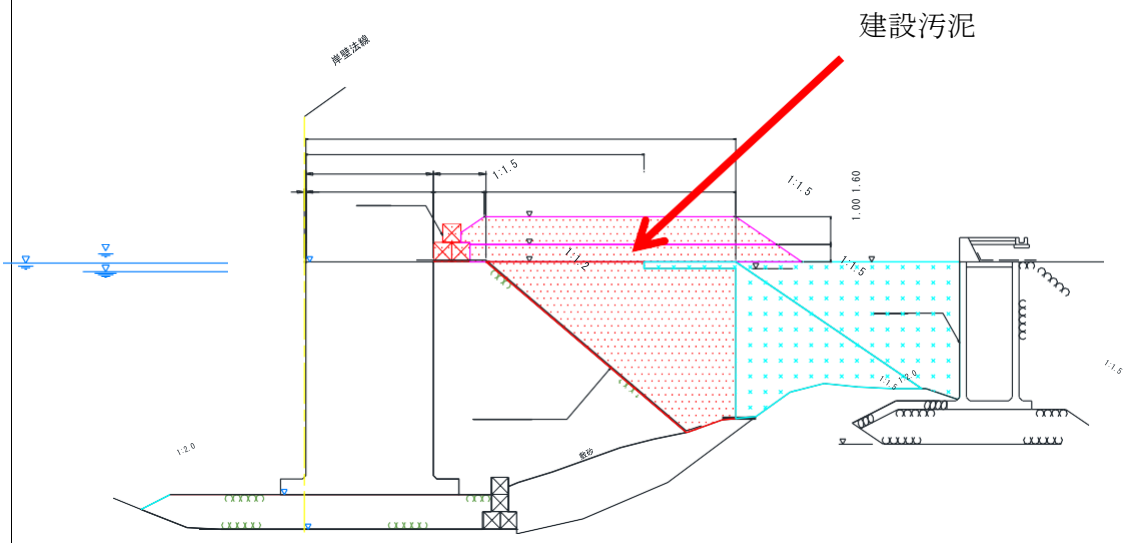
コンクリート塊　均し状況

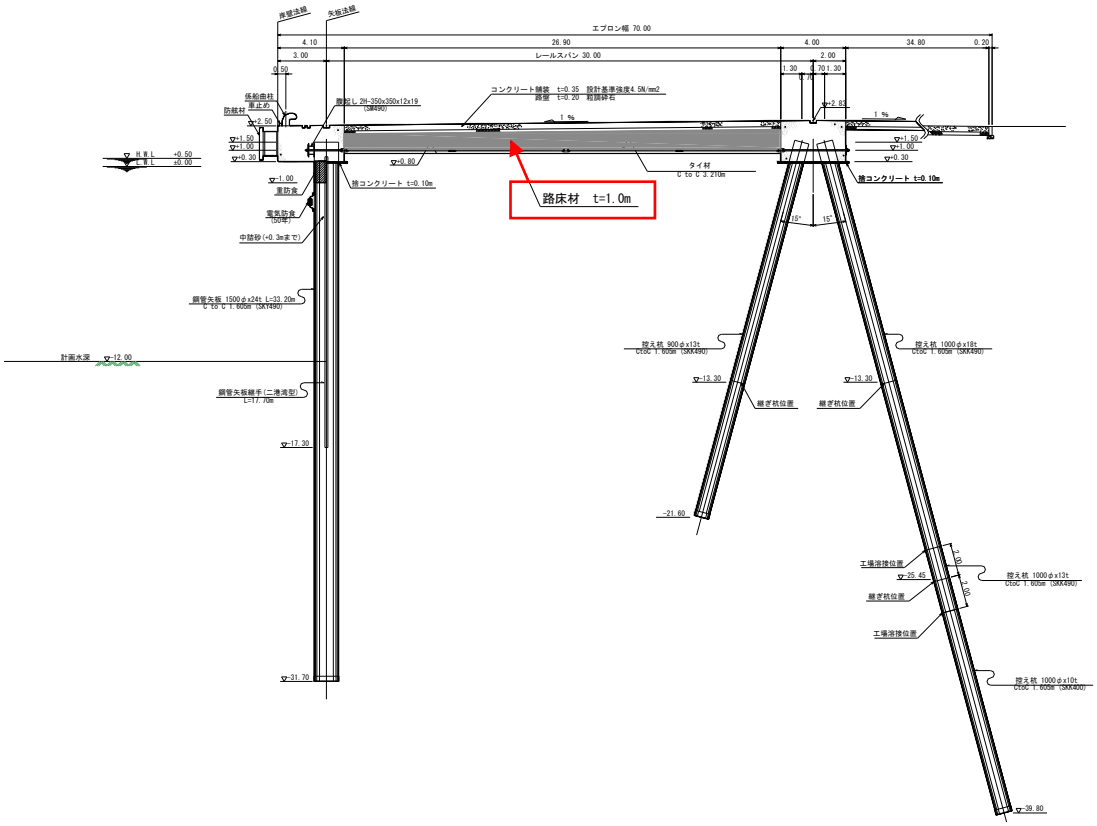
事例 21	
件　名	平成 20 年度鹿児島港（中央港区）防波堤（沖）築造工事
実施機関	九州地方整備局　鹿児島港湾・空港整備事務所
実施場所	鹿児島港中央港区
実施時期	平成 20 年度
リサイクル材料	4.ｺﾝｸﾘｰﾄ塊
適用用途	⑨被覆石、根固・消波ブロック
実施数量	根固方塊 13 個（22.36t／個～25.79t／個）
概要（目的・内容）	ケーソン打ち継ぎヤードとして使用されていた構造物の撤去に当たり、不要となる蓋コンクリート（プレキャスト版）を防波堤（沖）の根固材としてそのまま再利用したものである（一部欠損部分を補修）。 【蓋コンクリートの寸法】 ・3.050×3.15　23.12t/枚　×6 枚 ・3.050×3.05　22.36t/枚　×3 枚 ・3.050×3.525　25.79t/枚　×4 枚 
適用結果	吊筋の腐食については、吊筋箱抜部がモルタル充填により密閉されていたため錆びも少なく特に問題は無かった。撤去時に生じたコンクリートのカケについては補修で対応した。
課題	コンクリートの劣化及び吊り筋の腐食等が心配された。
その他	

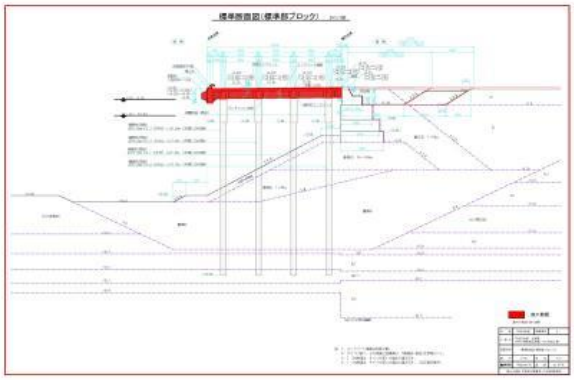
事例 22	
件　名	浜田港福井地区臨海道路用地造成その他工事
実施機関	中国地方整備局　境港湾・空港整備事務所
実施場所	浜田港福井地区
実施時期	平成 25～26 年度
リサイクル材料	4.ｺﾝｸﾘｰﾄ塊
適用用途	⑩裏込材
実施数量	750m^3(RC-40)（路盤材を含む）
概要（目的・内容）	裏込材に RC-40 を使用した。 
適用結果	特に問題なし。
課題	特になし。
その他	

事例 23	
件　名	中城湾港（新港地区）岸壁（－13.0m）改良工事
実施機関	沖縄総合事務局　那覇港湾・空港整備事務所
実施場所	中城湾港新港地区
実施時期	平成 25 年度
リサイクル材料	4.ｺﾝｸﾘｰﾄ塊
適用用途	⑮路盤材
実施数量	542m^3
概要（目的・内容）	Co 舗装工において、当該事業で使用する路盤材に、再生クラッシャーランを骨材として適用した工事である。骨材の品質等の試験の結果、当該事業への適用に問題ないと判断されたため、当該工事へ適用することを決定した。  上図：断面図 上右左図：路盤施工状況
適用結果	施工後約半年経過した現在も、問題ないことが確認されている。
課題	特になし。
その他	

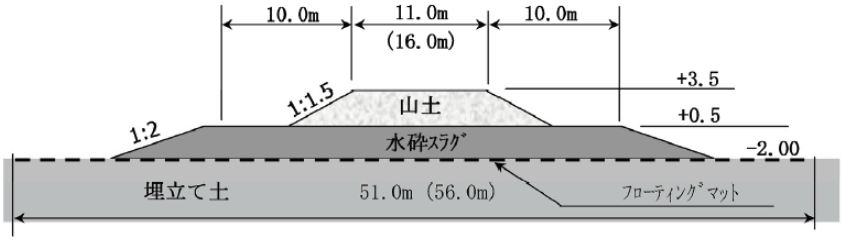
事例 24	
件　名	境港外港中野地区岸壁(-12m)築造工事(その 3)
実施機関	中国地方整備局　境港湾・空港整備事務所
実施場所	境港市中野町地先
実施時期	平成 25～26 年度
リサイクル材料	6. 建設汚泥
適用用途	④バーチカルドレーン及びサンドマット材
実施数量	9,910m^3
概要（目的・内容）	建設汚泥をサンドドレーンに使用した。  建設汚泥使用（サンドドレーン）
適用結果	特に問題なし。
課題	特になし。
その他	

事例 25	
件　名	境港外港中野地区岸壁(-12m)築造工事
実施機関	中国地方整備局　境港湾・空港整備事務所
実施場所	境港昭和町地先
実施時期	平成 27 年度
リサイクル材料	6.建設汚泥
適用用途	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材
実施数量	1,995m^3
概要（目的・内容）	建設汚泥を載荷盛土に使用した。 
適用結果	特に問題なし。
課題	特になし。
その他	

事例 26	
件　名	平成 21 年度(国債)新潟港(東港地区)岸壁（-12m）（西)(１号)築造工事(その２)
実施機関	北陸地方整備局　新潟港湾・空港整備事務所
実施場所	新潟市北区横土居地内
実施時期	平成 21～22 年度
リサイクル材料	6.建設汚泥
適用用途	⑭路床盛土材
実施数量	2,600m^3
概要（目的・内容）	既設構造部(30m)の耐震工法として、セメント固化改良工法が採用され、施工に伴って発生する排泥の有効利用とコスト縮減のため路床材に再利用した事例である。当該工事における排泥処分費が高価であることから、同一工事で実施するコンクリート舗装(岸壁エプロン部)の路床材に再利用することとし、品質(六価クロム・平板載荷試験)を確認した結果、適用可能と判断した。 
適用結果	適切な管理(排水・曝気)を行うことによって、路床材として標準的な品質(K30≧100N/cm^3)を満足することができた。 当該工事区域は、現在供用中であるが、特に問題は発生していない。
課題	路床材としての品質(強度)を満足できるかが課題であった。
その他	

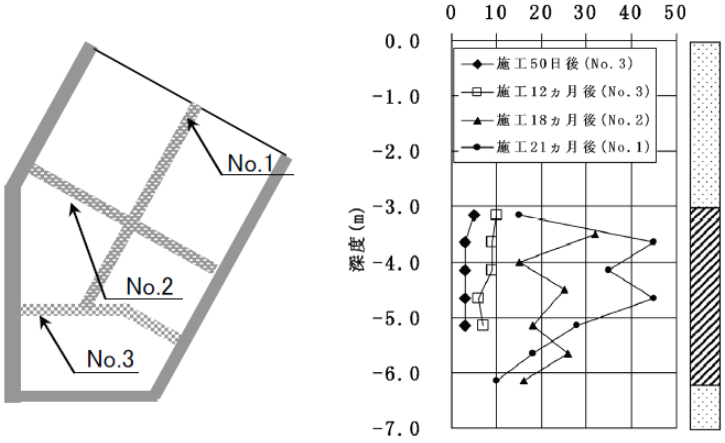
事例 27	
件　名	平成 25 年度衣浦港中央ふ頭西地区岸壁(-12m)改良工事
実施機関	中部地方整備局　三河港湾事務所
実施場所	衣浦港中央ふ頭西地区岸壁(-12m)
実施時期	平成 25 年度
リサイクル材料	7.高炉スラグ（高炉スラグ微粉末）
適用用途	③混和材
実施数量	853m^3
概要（目的・内容）	建設廃棄物の発生抑制、再利用の促進及び適正処理を計画的かつ効率的に行うため、高炉スラグを含むコンクリートを使用した。 
適用結果	特に問題なし。
課題	特になし。
その他	

事例 28	
件　名	姫路港須賀地区埋立地内サンドマット工
実施機関	
実施場所	兵庫県姫路港
実施時期	昭和 55～56 年度
リサイクル材料	7. 高炉スラグ（土工用水砕スラグ）
適用用途	④サンドマット
実施数量	145,700m^3
概要（目的・内容）	サンドマットに軽量な高炉水砕スラグを有効利用した。
適用結果	良好である。 水砕スラグは時間とともに固結。せん断抵抗角 φ は 35° 以上あることを確認。
課題	特になし。
その他	山本利繁、福原大輔、山崎友二、北森一郎、南部光広：埋立地における水砕スラグの地盤特性、第 18 回土質工学研究発表会、No. 612、pp. 1585-1588、昭和 58 年



( ) 内の数字はNo. 1及びNo. 2断面

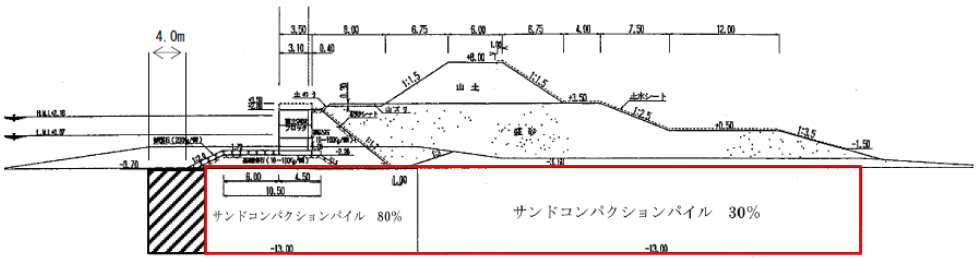
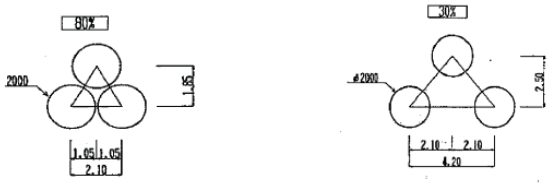
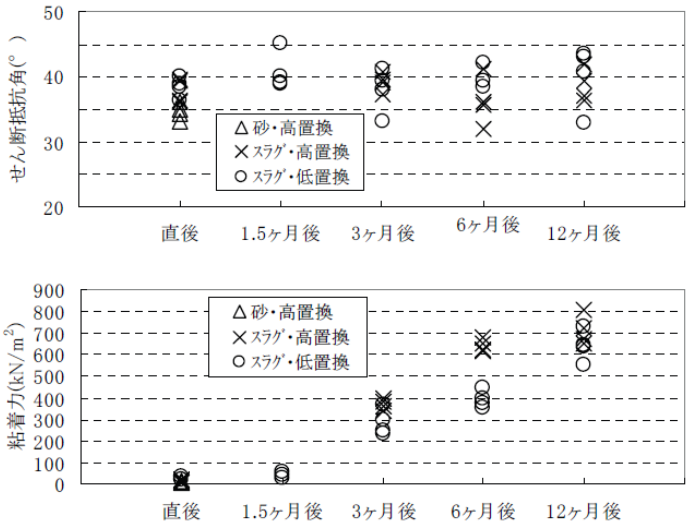
参考図- 3.1.1　中仕切り護岸断面図



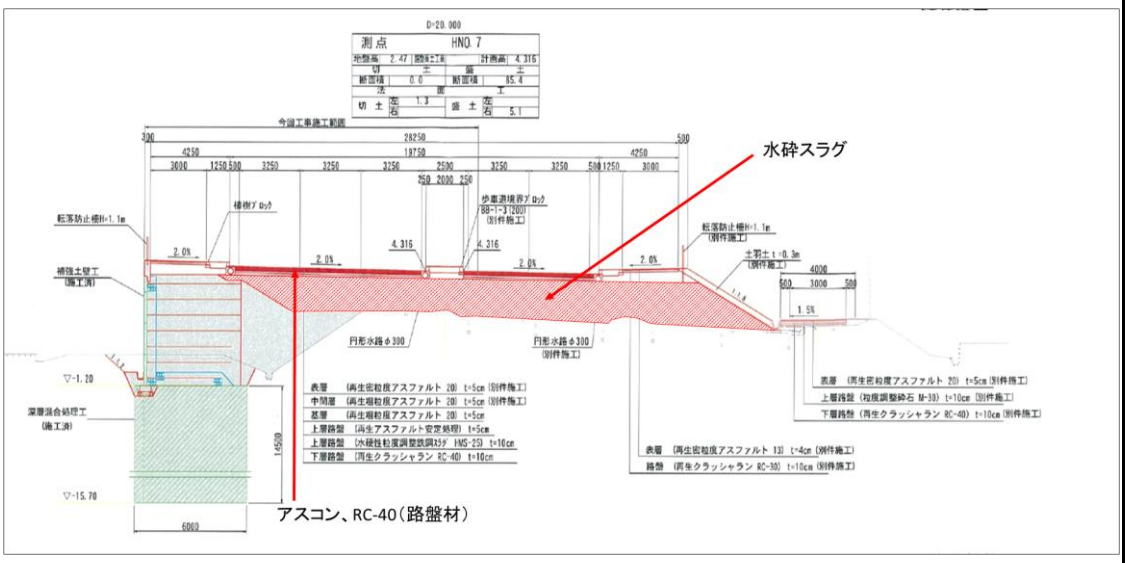
参考図- 3.1.2　N 値の経時変化

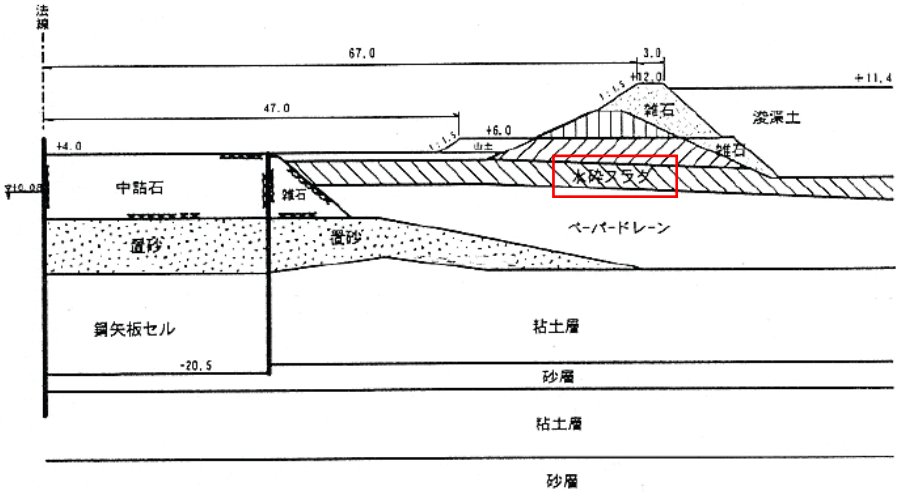
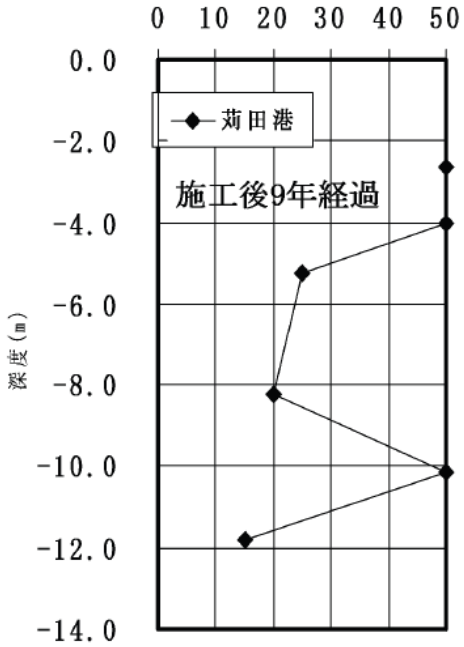
参考表- 3.1.1　せん断強度の経時変化

施工後経過期間	せん断強度	
	ϕ_d (°　)	c_d (kN/m^2)
50 日	37.0	9.8
	37.0	34.3
6 ヶ月	36.8	24.5
1 年	36.8	34.3

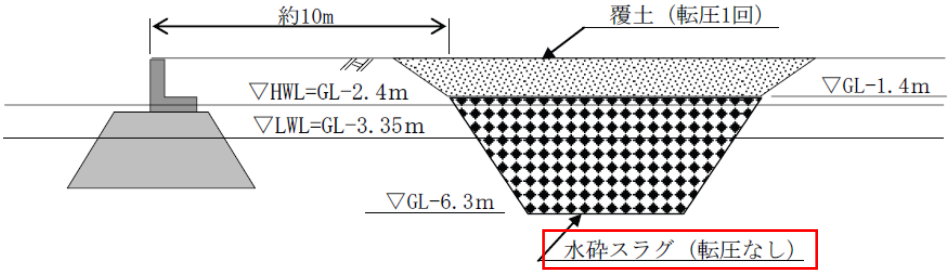
事例 29	
件　名	博多港サンドコンパクションパイル工事
実施機関	
実施場所	福岡県博多港
実施時期	平成 12 年度
リサイクル材料	7. 高炉スラグ（土工用水砕スラグ）
適用用途	⑤サンドコンパクションパイル材
実施数量	3,500m^3
概要（目的・内容）	サンドコンパクションパイルに高炉水砕スラグを有効利用した。  参考図- 3.12.1　試験施工箇所断面図  参考図- 3.12.2　杭配置（高置換部，低置換部）  参考図- 3.12.3　改良杭のせん断抵抗角および粘着力の経時変化
適用結果	良好である。 水砕スラグは時間とともに固結。せん断抵抗角 φ は 35° 以上あることを確認。
課題	特になし。
その他	篠崎晴彦、松田博、坂井悦郎、小野幸一郎、鈴木操、中川雅夫：高炉水砕スラグの硬化特性と地盤改良工法への適用、土木学会論文集 C、Vol.62、No.4、pp.858-869、平成 18 年

事例 30	
件　名	鹿島港外港地区南防波堤築造工事(その 2)
実施機関	関東地方整備局　鹿島港湾・空港整備事務所
実施場所	鹿島港外港地区南防波堤
実施時期	平成 28～29 年度
リサイクル材料	7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）
適用用途	⑧中詰材
実施数量	16,814m^3
概要（目的・内容）	防波堤のケーソン築造において、中詰材として高炉スラグを用いたものである。
適用結果	精錬する製鋼段階で発生する副産物で有り、これをリサイクルすることができた。
課題	納入されたスラグが規定の湿潤密度を満たしている必要がある。
その他	

事例 31	
件　名	水島港水島玉島地区臨港道路(玉島側)擁壁工事
実施機関	中国地方整備局　宇野港湾事務所
実施場所	倉敷市玉島乙島地内
実施時期	平成 26～27 年度
リサイクル材料	7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）
適用用途	⑩裏込材
実施数量	4,213m^3
概要（目的・内容）	土工用水砕スラグを基礎材として使用した。 
適用結果	特に問題なし。
課題	特になし。
その他	

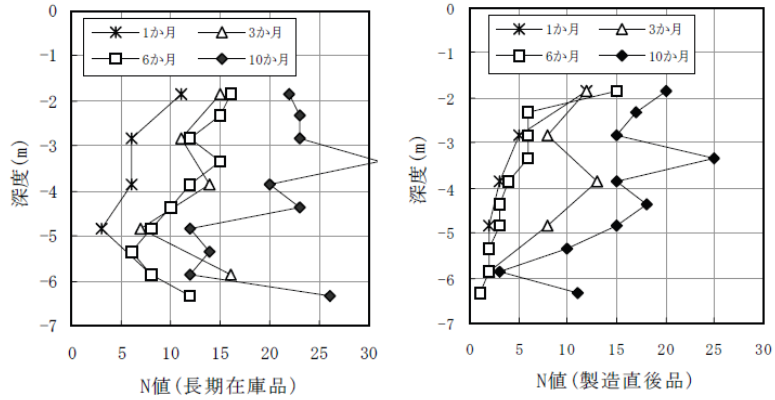
事例 32	
件　名	苅田港埋立地盛土工
実施機関	
実施場所	福岡県苅田港
実施時期	昭和 60～61 年度
リサイクル材料	7.高炉スラグ（土工用水砕スラグ）
適用用途	⑫盛土材
実施数量	360,000m^3
概要（目的・内容）	鉱矢板セル式護岸背後埋立地の盛土に軽量な高炉水砕スラグを有効利用した。  参考図- 3.3.1　護岸断面図  参考図- 3.3.2　施工 9 年後のＮ値
適用結果	良好である。 水砕スラグは固結し、施工後 9 年経過時点にて N 値は 20 以上。
課題	特になし。
その他	菊池喜昭、高橋邦夫：水砕スラグの力学特性の経年変化、港湾技研資料、No.915、pp.1-26、平成 10 年

事例 33	
件　名	新日本製鐵室蘭製鉄所内埋立試験工事
実施機関	民間
実施場所	北海道室蘭市
実施時期	平成 15 年度
リサイクル材料	7. 高炉スラグ（土工用水砕スラグ）
適用用途	⑬埋立材
実施数量	
概要（目的・内容）	L 型ブロック式護岸背後地の埋立に軽量な高炉水砕スラグの試験施工をした。

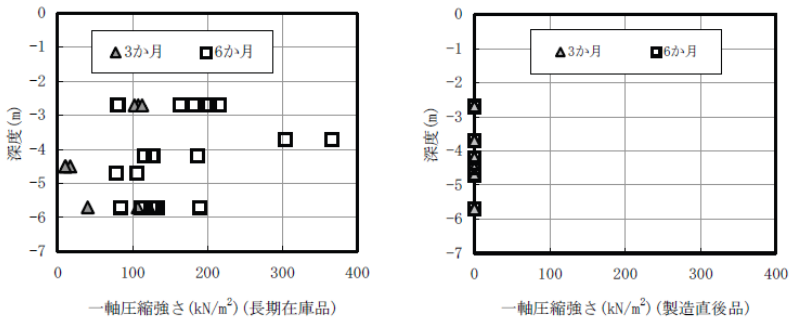


参考図- 3.11.1　試験施工箇所断面図

長期在庫品の方が，固結による強度増加が早い．

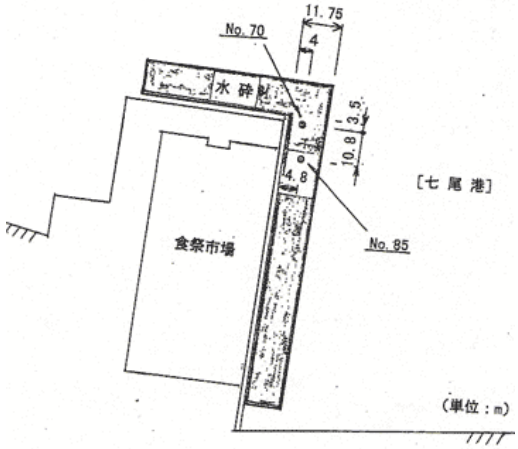
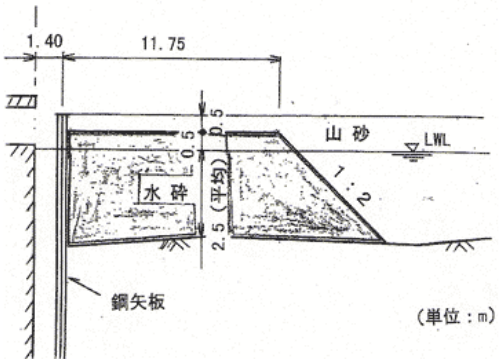
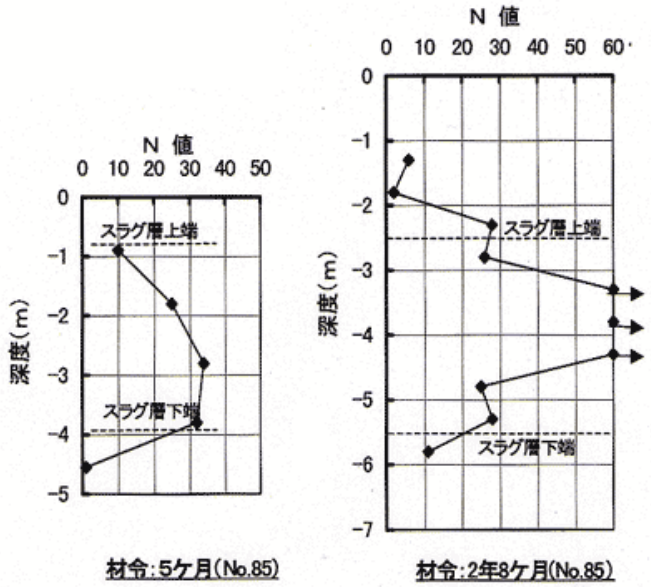


参考図- 3.11.2　N値の経時変化

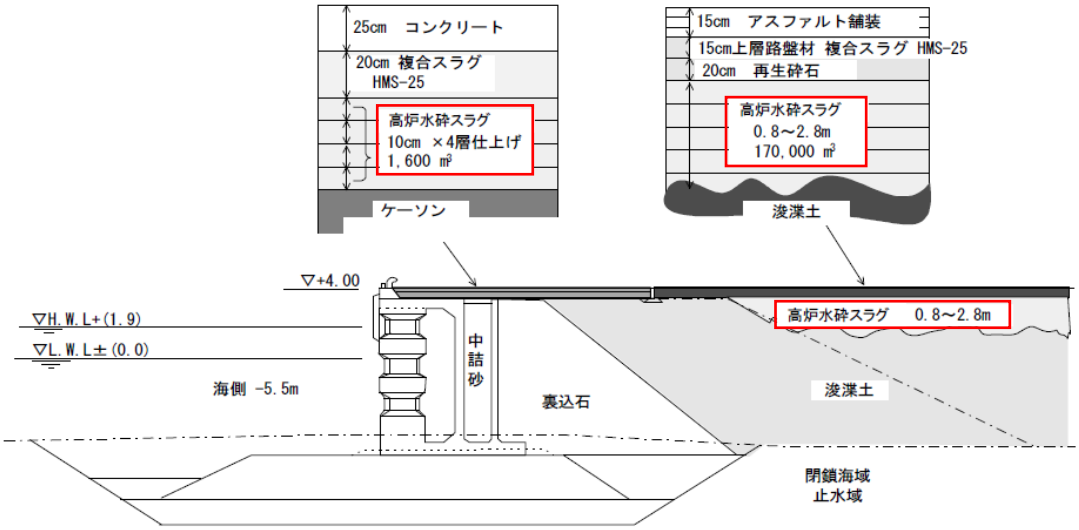


参考図- 3.11.3　一軸圧縮強さ

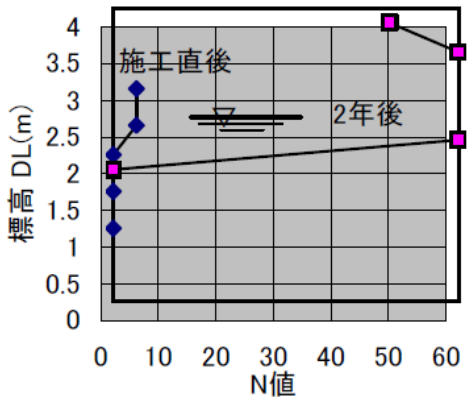
適用結果	良好である。 水砕スラグは時間とともに固結することを確認。
課題	特になし。
その他	菊池喜昭、箕作幸治、小野幸一郎、鈴木操、藤井郁男：高炉水砕スラグ埋立地盤の地盤特性の経時変化（その１．固結の経時変化特性）、3-074、pp. 147-148、平成 17 年

事例 34	
件　名	石川県七尾港埋立工事
実施機関	石川県　七尾港湾事務所
実施場所	石川県七尾港
実施時期	平成 6 年度
リサイクル材料	7. 高炉スラグ（土工用水砕スラグ）
適用用途	⑬埋立材
実施数量	5,000m^3
概要（目的・内容）	製鉄所にて発生する副産物（高炉水砕スラグ）を有効利用した。 【平面図】  【断面図】  【地盤の標準貫入試験結果】 
適用結果	良好である。
課題	特になし。
その他	山田紘、千賀平造：水砕スラグ埋め立て地盤の土質特性、第 57 回土木学会年次学術講演会、III-032、pp.63-64、平成 14 年

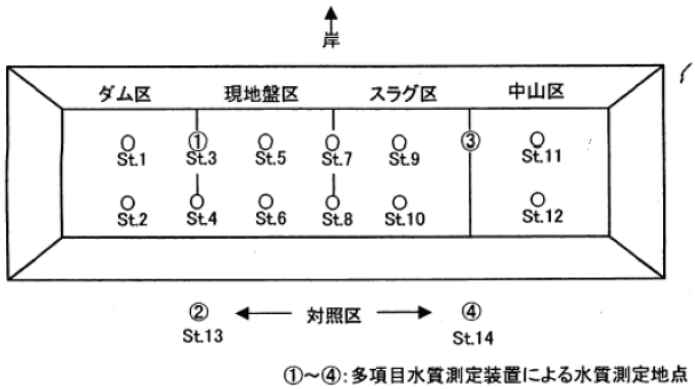
事例 35	
件　名	港湾埠頭用埋立地の覆土材への高炉水砕スラグの適用
実施機関	和歌山県　土木部
実施場所	和歌山県下津港
実施時期	平成 10～12 年度
リサイクル材料	7. 高炉スラグ（土工用水砕スラグ）
適用用途	⑭路床盛土材
実施数量	171,600m^3
概要（目的・内容）	浚渫土で埋め立てた軟弱地盤の覆土を高炉水砕スラグを用いて行い、水硬性の利用により、短期に強固な路床を造成した。 埋立土の層厚が最大約 5m あり、天然砂による覆土ではめり込み及び盛り上がりの恐れがあった。また、セメント系改良材ではコスト高になるため、軽量且つ、せん断抵抗角が大きく、水硬性のある高炉水砕スラグが採用された。
適用結果	良好である。 水砕スラグは時間とともに固結。N 値、CBR ともに高くなった。
課題	特になし。
その他	



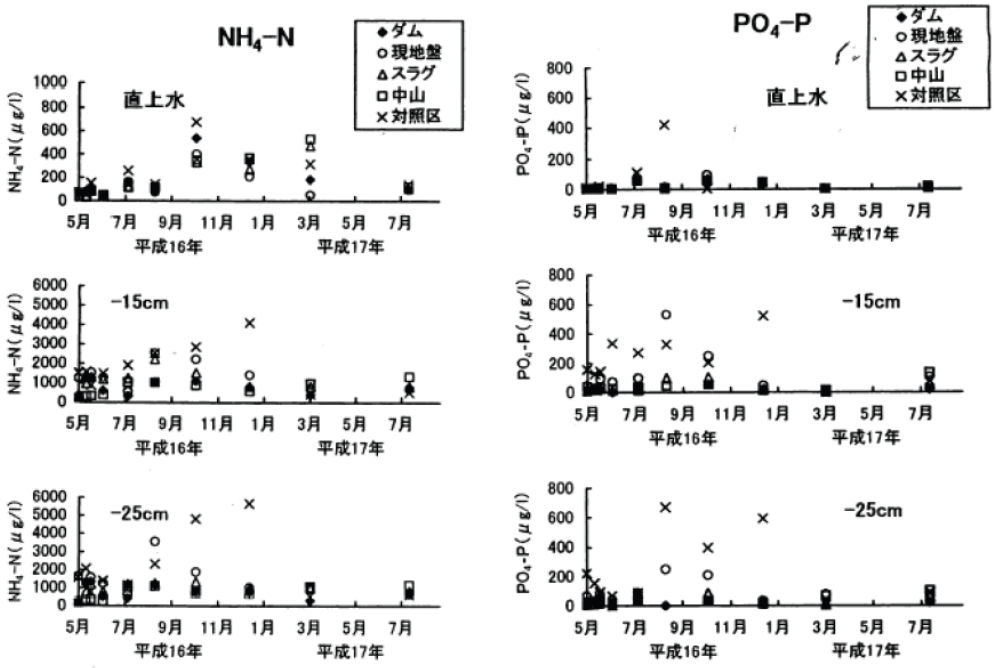
	施工1ヶ月後	6ヶ月後
現場CBR値(%)	40.1	159.3



事例 36	
件　名	三河湾での水砕スラグの干潟造成試験
実施機関	中部地方整備局
実施場所	三河湾
実施時期	平成 16～17 年度
リサイクル材料	7. 高炉スラグ（土工用水砕スラグ）
適用用途	⑰干潟
実施数量	約 900㎥
概要（目的・内容）	三河湾にて高炉水砕スラグの干潟造成試験をした。

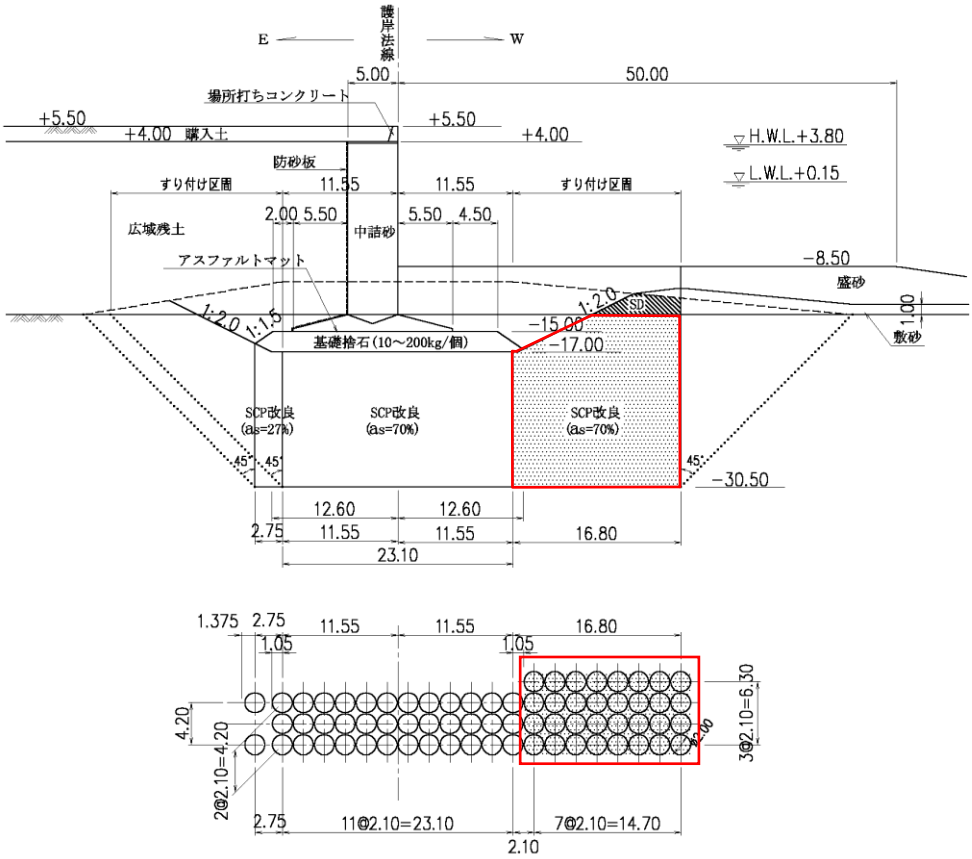


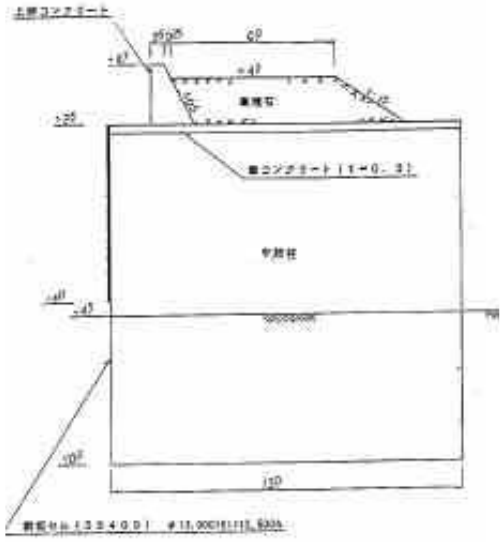
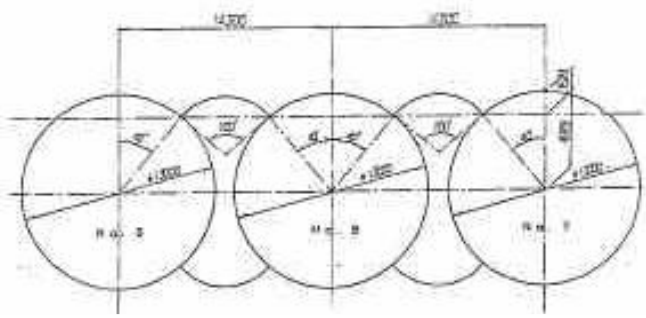
参考図- 1.10.1　各干潟材の配置[4]

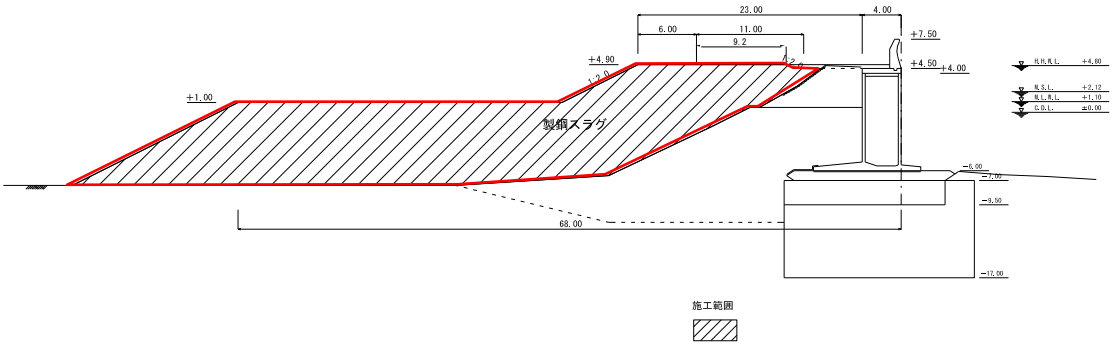


参考図- 1.10.2　各試験区直上および干潟内の代表的水質指標の経時変化（その1）[4]

適用結果	良好である。 水砕スラグ試験区と対象区（ダム堆積砂、現地海底砂、浚渫砂）を比較した結果、水質、底生生物ともに、同程度であることが確認された。
課題	水質、底生生物への影響。
その他	平成 16 年度　干潟造成材適正調査報告書 平成 17 年度　干潟造成材適正調査

事例 37	
件　名	製鋼スラグの港湾工事用材料としての適用技術の研究（製鋼スラグを用いた海上ＳＣＰ試験施工）
実施機関	広島県、(財)沿岸開発技術研究センター、鐵鋼スラグ協会
実施場所	広島港出島地区
実施時期	平成 9～10 年度
リサイクル材料	8. 製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）
適用用途	⑤サンドコンパクションパイル材
実施数量	692,000m^3
概要（目的・内容）	埋立地仮護岸下部に打設する、粘性土の改良を目的としたサンドコンパクションパイル工法に製鋼スラグを用い、従来の材料を用いた場合と比較することによってその適用性を検討。  試験杭配置図（製鋼スラグ）
適用結果	海上施工による粘性土地盤のＳＣＰ改良に製鋼スラグを用いた場合、砂と同等以上の改良効果があり、また環境に対してもほとんど影響を及ぼさない事が確認された。さらに施工性の点でも問題なく、製鋼スラグが海上ＳＣＰ工事においても砂と同等以上に有効なものであることが実証された。
課題	特になし。
その他	（一財）沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル、平成 27 年 1 月

事例 38	
件　名	四日市港霞ヶ浦北埠頭南仮護岸鋼板セル挙動調査
実施機関	運輸省第五港湾建設局、(財)沿岸開発技術研究センター
実施場所	四日市港霞ヶ浦北埠頭
実施時期	平成 7 年 6 月～平成 9 年 3 月
リサイクル材料	8.製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）
適用用途	⑧中詰材
実施数量	根入れ式鋼板セルで砂・砕石・製鋼スラグを中詰材　各 1 函（φ=13.0m,L=12.3m,根入れ長=5.3m ）
概要（目的・内容）	根入れ式鋼板セルにおいて中詰材に砂・砕石・製鋼スラグを用いた試験函の挙動および環境調査結果の比較・検討を行い、製鋼スラグの中詰材としての適用性の評価を行うと共に、根入れ式鋼板セルの設計・施工に関して新たな知見を加えた。  
適用結果	製鋼スラグの鋼板セル中詰材としての利用には特に問題はない。また、単位体積重量の大きさを利用すると、安定計算上有利になる場合が多く、より経済的な護岸が構築できるものと考えられる。
課題	製鋼スラグの膨張特性。
その他	

事例 39	
件　名	福山港本港路地区航路整備事業
実施機関	中国地方整備局　広島港湾・空港整備事務所
実施場所	福山港本港路地区
実施時期	平成 18～19 年度
リサイクル材料	8.製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）
適用用途	⑪裏埋材、⑫盛土材
実施数量	250,000m^3
概要（目的・内容）	福山港本港路地区航路整備事業において、浚渫土揚土場所整備を行うため盛土材及び裏埋材として適用したものである。当該事業への適用にあたり、製鋼スラグの生産場所であり、当整備事業におけるコスト縮減が図られることから適用された。 
適用結果	コスト縮減が実施でき、施工後 3 年経過した現在、処分場築堤部の異常はみられない。
課題	特になし。
その他	

事例 40	
件　名	横浜市南本牧埋立載荷盛土工事（載荷盛土への高炉徐冷・製鋼スラグ混合材の適用）
実施機関	横浜市港湾局　南本牧建設事務所
実施場所	横浜市南本牧埋立地
実施時期	平成 9 年 9 月～平成 9 年 12 月
リサイクル材料	8. 製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）
適用用途	⑫載荷盛土材
実施数量	440,000m^3
概要（目的・内容）	埋立地の載荷盛土材料に、単位体積重量が大きく締め固め特性の良好な鉄鋼スラグを利用することによって、盛土工事数量を低減させた。さらに、地盤沈下後は下層路盤材として活用することにより、材料の有効活用を図った。
適用結果	順調に工事は完了し、供用された。
課題	特になし。
その他	

表-1　使用した路盤材の種類

種類	高炉スラグ	製鋼スラグ
	CS-40	CS－40
鉄鋼スラグ路盤材	50%	50%

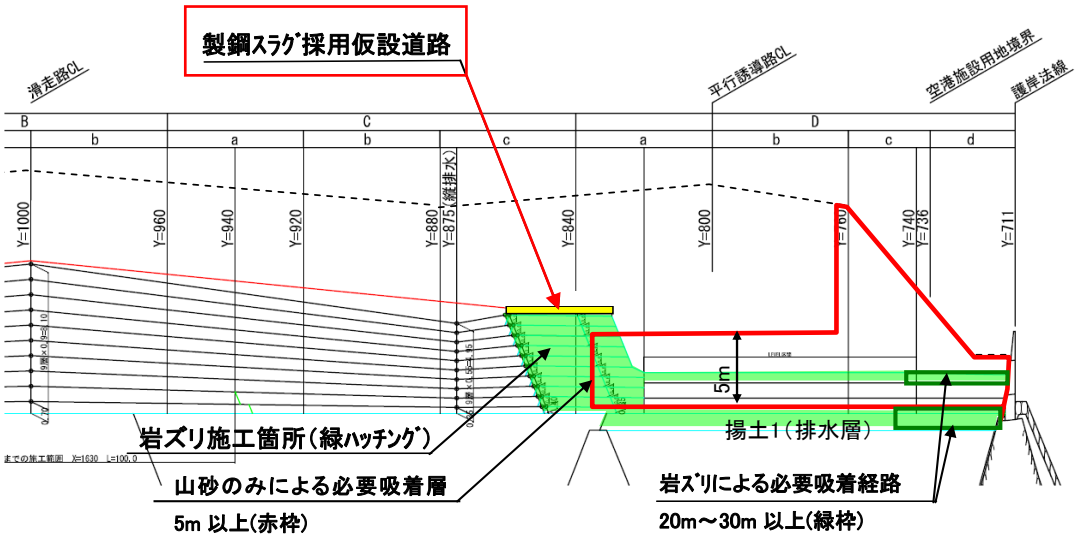
混合率は重量百分率

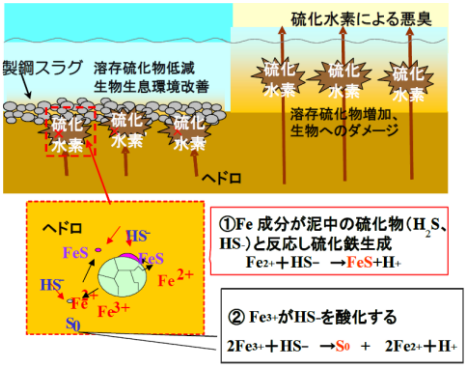
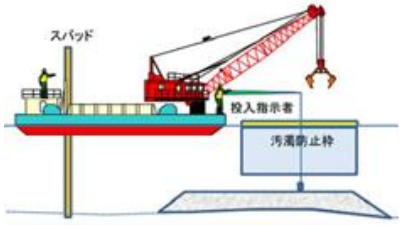
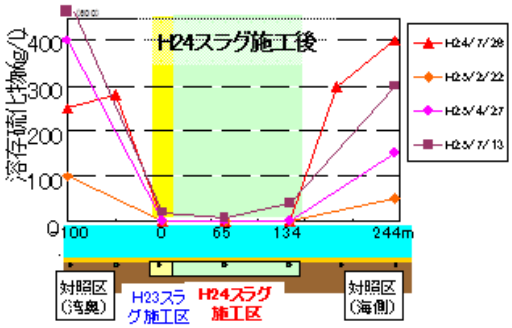
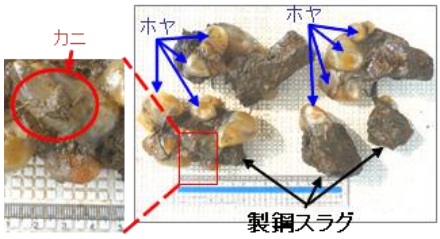
表-2　載荷盛土材の品質規定

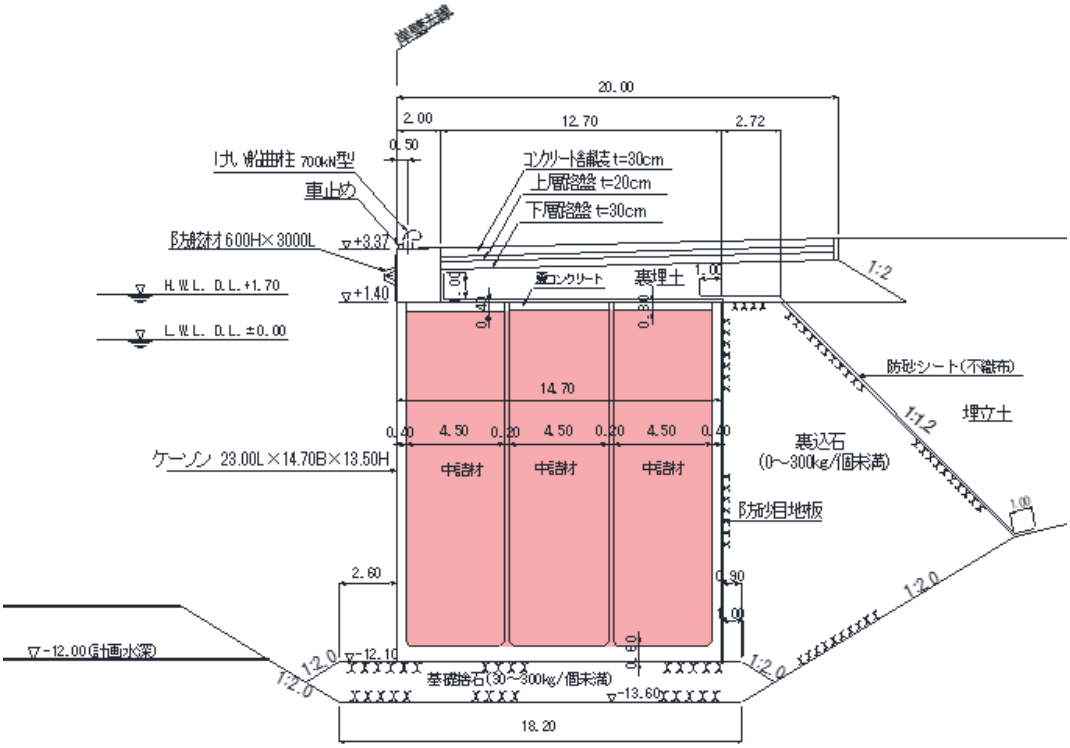
管理項目	試験方法	規格
湿潤単位容積重量	JIA A 1104	2.0kg/l以上

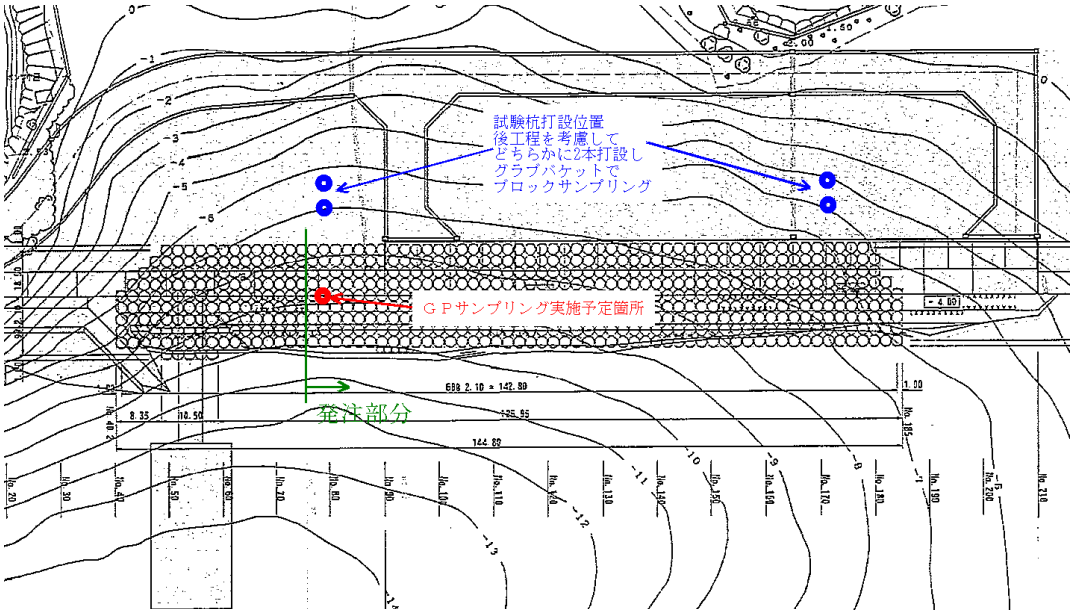
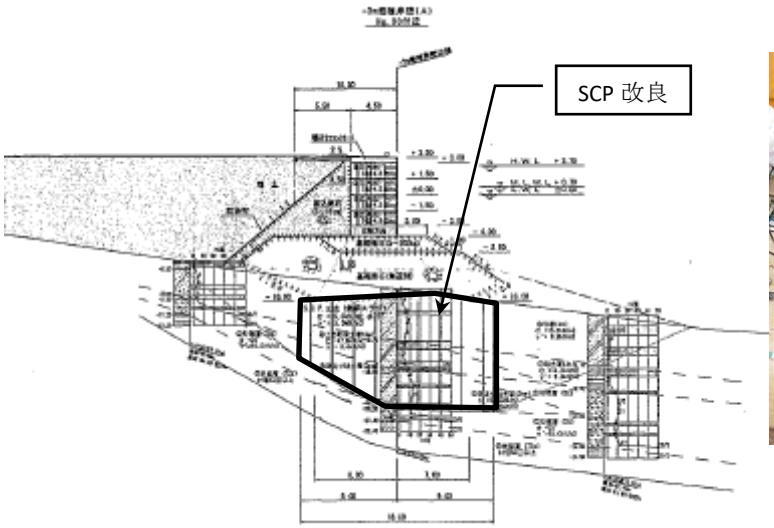
表-3　路盤材の品質規定

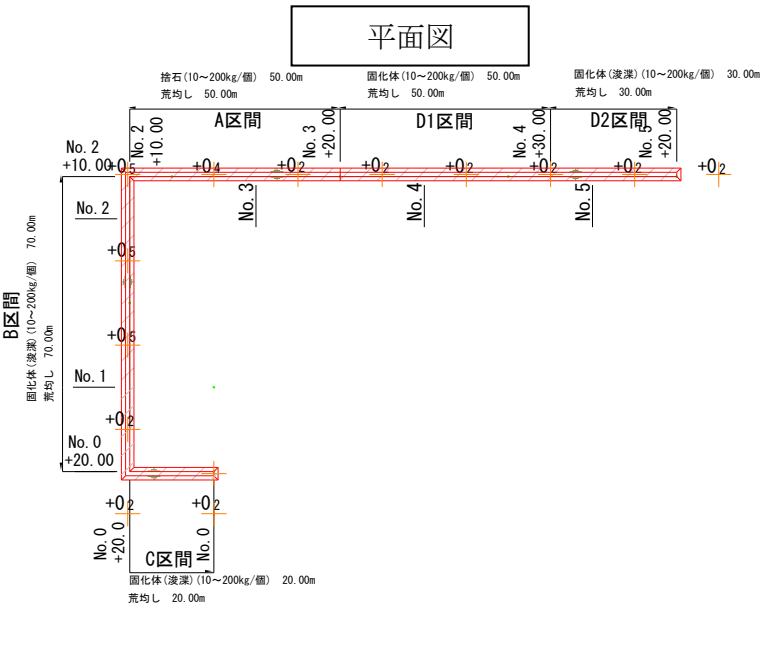
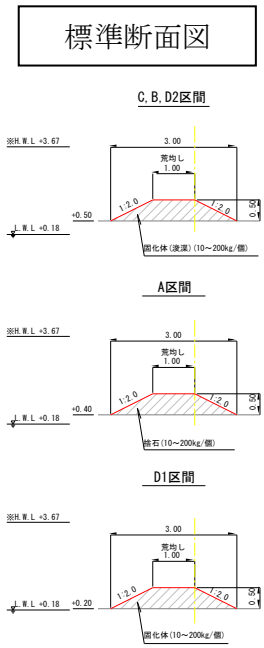
修正CBR	舗装試験法便覧	30以上
粒度	JIA A 5015	CS-40粒度
水浸膨張比	JIS A 5015	1.5%以下
呈色判定	JIS A 5015	呈色なし

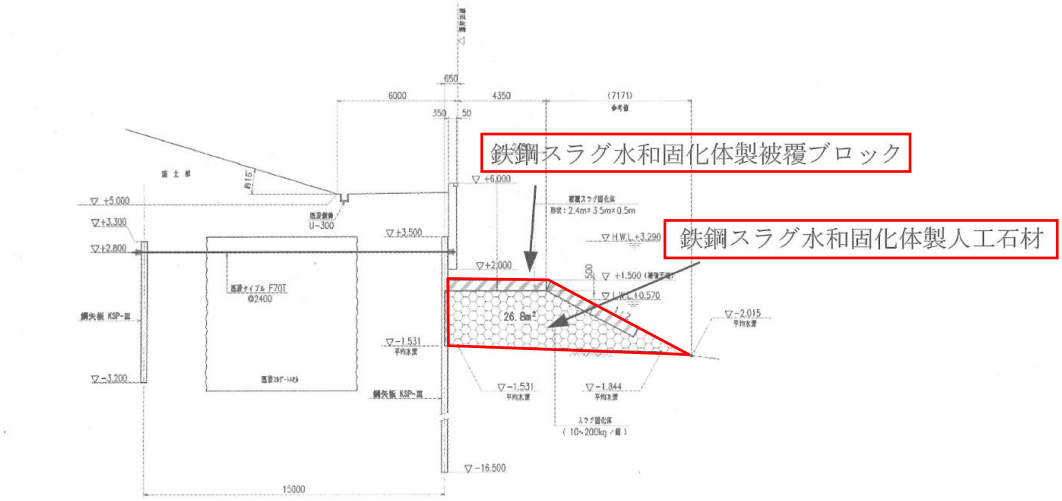
事例 41	
件　名	東京国際空港D滑走路建設外工事
実施機関	関東地方整備局　東京空港整備事務所
実施場所	D滑走路
実施時期	平成 21 年 9 月～11 月
リサイクル材料	8. 製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）
適用用途	⑮路盤材
実施数量	42,000m^3
概要（目的・内容）	土工用製鋼スラグは、溶銑、スクラップ等を精錬し鋼を製造する際に出る溶融スラグを徐々に冷却し粒状化したものである。本工事では、重ダンプの走行に対する仮設道路の耐久性の向上を目的として、仮設道路材の一部に製鋼スラグを採用した。浸透水へのアルカリ分の流出が懸念されたが、埋立材（山砂、岩ズリ等）によるアルカリ分の吸着性に着目し、十分な浸透経路を確保できるエリアで使用することで問題ないと判断されたため、採用にいたった。 
適用結果	工事区域周辺で水質調査を定期的に実施してきたが、pH の管理基準値の逸脱は観られなかった。
課題	通常材と比較すると雨水排水の pH が高くなることが懸念された。
その他	（一財）沿岸技術研究センター：鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアルー製鋼スラグの有効利用技術－（改訂版）、平成 20 年 2 月 （一財）沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 07001 号

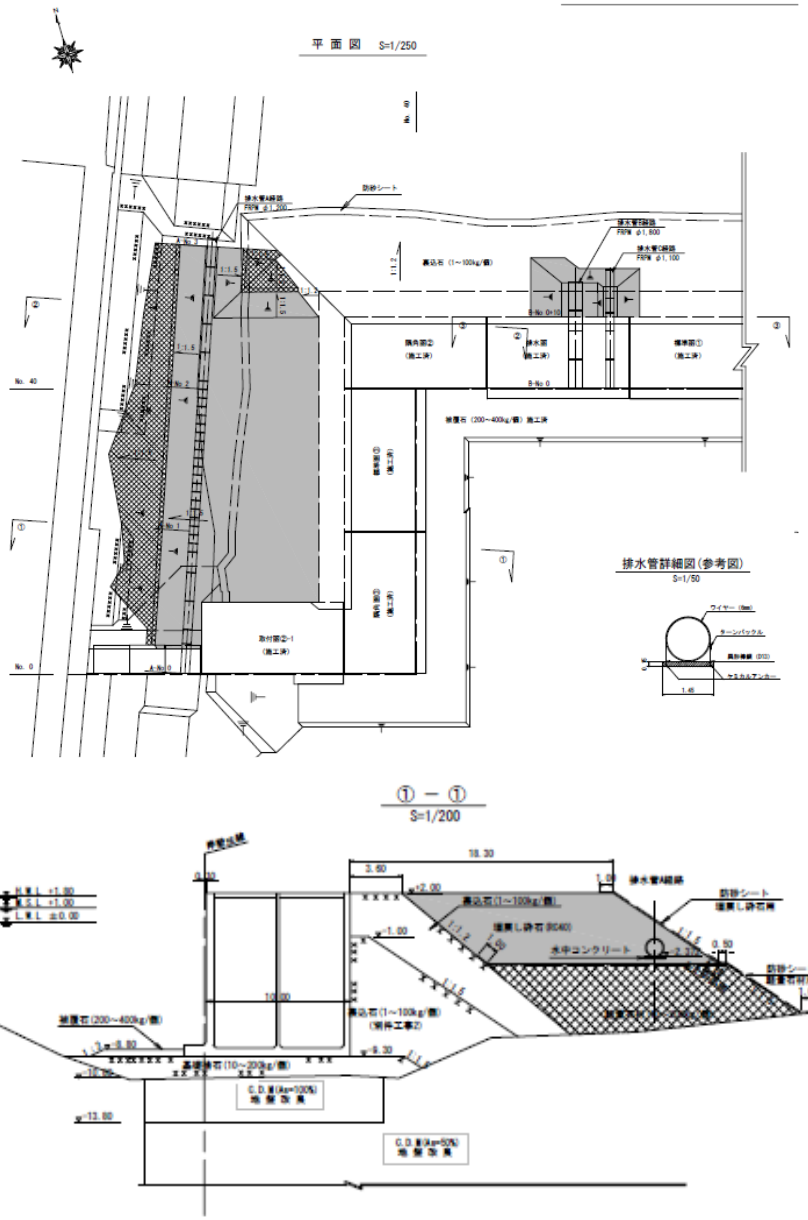
事例 42	
件　名	福山内港底質改善実証試験工事
実施機関	民間
実施場所	広島県福山市
実施時期	平成 23 年 8 月
リサイクル材料	8. 製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）
適用用途	⑰覆砂材
実施数量	2,800m^3
概要（目的・内容）	①豊富に含有している鉄分により、悪臭原因物質の硫化水素発生抑制や酸化還元電位向上などの底質改善効果、および②生物付着基盤としての機能（生物生息環境創造）を有する。 粒度調整製鋼スラグの外観  底質改善技術の概要（模式図）  施工イメージ 施工風景  底質改善効果（底質間隙水の溶存硫化物濃度）  付着していたホヤとカニ（平成 25 年 2 月）
適用結果	粒度調整製鋼スラグを施工した海底部の硫化物イオンは、施工していないエリアに比べて大幅に低減できた。冬季にホヤ、スピオなどの底生生物やカニなどの甲殻類の生息が観察された。
課題	特になし。
その他	宮田康人：鉄鋼スラグを活用した底質改善技術～実海域における硫化水素抑制の実証試験～、HEDORO、No. 123、pp. 46-50、平成 27 年 5 月

事例 43	
件　名	苫小牧港中央北-12m 岸壁建設その他工事
実施機関	北海道開発局　苫小牧港湾事務所
実施場所	苫小牧港西港区
実施時期	令和 2 年度
リサイクル材料	9.鉄鋼スラグ混合製品（道路用鉄鋼スラグ）
適用用途	⑧中詰材
実施数量	5,957m^3
概要（目的・内容）	本工事では、鉄鋼スラグと仮置きしている浚渫土を混合し、ケーソンの重量を確保するための中詰材として利用した工事である。 室内試験により、所要の単位体積重量が確保出来たことから当該工事への適用が問題ないと判断されたため、使用を決定した。 また、鉄鋼スラグは水と反応し膨張する性質があり、外壁等に影響を及ぼす可能性があるが、本工事では、道路用鉄鋼スラグの基準に準拠し、膨張率が 1%以下の材料を使用したため問題はないと判断された。（膨張性については、室内試験等によりその影響について検討する必要がある） 鉄鋼スラグを中詰材に使用し、中詰材の単位体積重量 20kN/m^3 を確保することで、断面を小さくできコスト縮減となる。 
適用結果	問題なし。
課題	特になし。
その他	

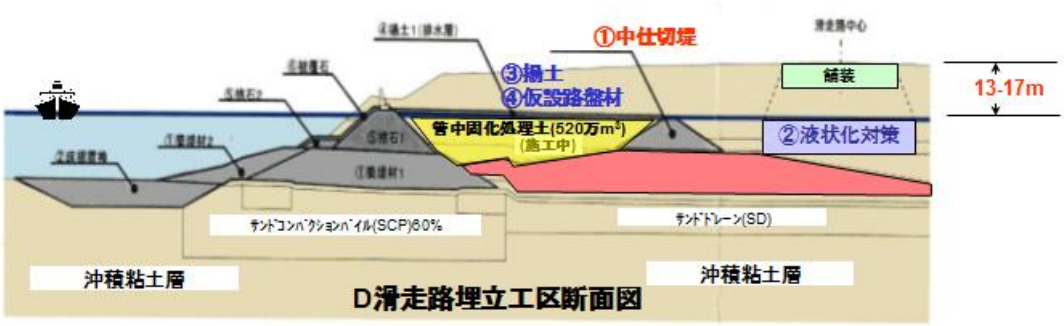
事例 44	
件　名	阿翁浦地区広域漁港整備工事
実施機関	長崎県　県北振興局
実施場所	長崎県阿翁浦地区
実施時期	平成 21 年度
リサイクル材料	9.鉄鋼スラグ混合製品（水硬性スラグコンパクション材）
適用用途	⑤サンドコンパクションパイル材
実施数量	34,200t
概要（目的・内容）	サンドコンパクション材料に、水硬性スラグコンパクション材を有効適用した。   GP サンプリング写真
適用結果	施工は良好である。 施工後サンプリングして、φ42°以上を確認した。
課題	特になし。 本材料適用一号物件であったため、特性値φ42°ではなくφ35°（天然砂同等）で設計。
その他	（一財）沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書　第 10001 号、pp.C20-C21、平成 22 年

事例 45	
件　名	尾道糸崎港機織地区泊地(-12m)等潜堤築造等工事
実施機関	中国地方整備局　広島港湾・空港整備事務所
実施場所	福山港水呑地区
実施時期	平成 22 年度
リサイクル材料	10.鉄鋼スラグ二次製品(固化体)
適用用途	⑦捨石
実施数量	170m^3
概要（目的・内容）	浚渫土を港湾工事用の石材代替材として有効利用するため、人工石材製造技術の適用性について検証を行う。 検証にあたり、鉄鋼メーカから製鋼スラグの提供及び人工石材の製造提供、また地元漁業組合の了承が得られたことにより実証試験を行う。  
適用結果	現在施工中（平成 22 年度末時点）（施工後モニタリング調査を実施）
課題	試験場所の確保。
その他	

事例 46	
件　名	製鋼スラグを利用した港湾土木資材の実証実験（被覆ブロック及び根固め石）
実施機関	港湾技術研究所、民間
実施場所	川崎製鉄（株）水島製鉄所、千葉製鉄所
実施時期	平成 12 年 7 月～平成 13 年 9 月
リサイクル材料	10.鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体）
適用用途	⑨被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ
実施数量	被覆ブロック 7,800t、護岸根固め石 140,000t
概要（目的・内容）	鉄鋼スラグ水和固化体の被覆ブロック、護岸根固め石としての適用性を検討。 【製造・施工】 人工石材　川崎製鉄㈱ 水島製鉄所護岸工事において護岸補強用捨石 10~200kg/個を計 10 万 m^3 川崎製鉄㈱ 千葉製鉄所発電施設建設工事において取水管被覆石 200~600kg を計 600m^3 被覆ブロック　川崎製鉄㈱ 水島製鉄所護岸工事において 7,600 トン(776 個)  水島製鉄所護岸補強工事施工方法
適用結果	被覆石および護岸根固め石等の海洋ブロックとして天然石と同等に有効なものであることが実証された。
課題	特になし。
その他	（一財）沿岸技術研究センター：鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアルー製鋼スラグの有効利用技術ー（改訂版）、平成 20 年 2 月

事例 47	
件　名	徳島小松島港　沖洲(外)地区岸壁(-8.5m)(耐震)築造工事(その 2)
実施機関	四国地方整備局　小松島港湾・空港整備事務所
実施場所	徳島県徳島市東沖洲（二）地先
実施時期	平成 25 年 11 月
リサイクル材料	10.鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体）
適用用途	⑪裏埋材
実施数量	3,682m^3
概要（目的・内容）	軽量石材（水和固化体）（規格：10～200kg/個、圧縮強度：JIS A 5006（準硬石）に規定された圧縮強度を満足すること、絶乾密度：2.1g/cm^{3}以下、人工海水浸漬時の pH：9.0 以下） 
適用結果	軽量石材（水和固化体）（規格：10～200kg/個、圧縮強度：JIS A 5006（準硬石）に規定された圧縮強度を満足すること、絶乾密度：2.1g/cm^{3}以下、人工海水浸漬時の pH：9.0 以下）
課題	特になし。
その他	

事例 48	
件　名	羽田国際空港 D 滑走路建設工事
実施機関	関東地方整備局　東京空港整備事務所
実施場所	羽田 D 滑走路中仕切堤、滑走路下、滑走路揚土･埋土材
実施時期	平成 20 年 5 月～12 月
リサイクル材料	10.鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体）
適用用途	⑬埋立材
実施数量	600,000m^3
概要（目的・内容）	・安定的な材料調達による円滑な工事進捗 ・品質のばらつきが少なく埋立品質が安定化 ・沈下が少なく耐久的な埋立地盤造成に寄与
適用結果	良好である。
課題	特になし。
その他	港湾関連民間技術の確認審査・評価　第 07001 号　鉄鋼スラグ水和固化体製人工石



① 中仕切り堤

バージ運搬

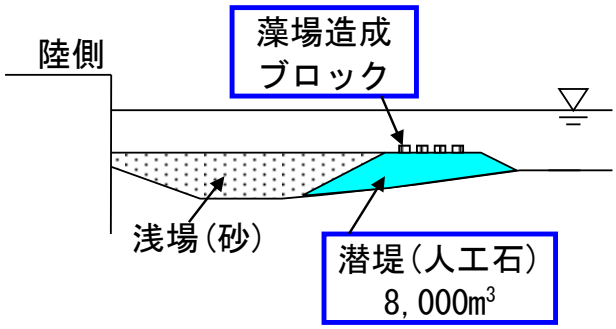
水中投入

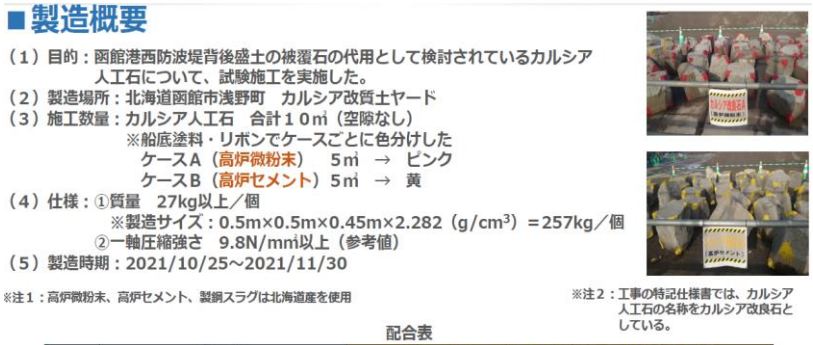
② 揚土・仮設路盤

揚土

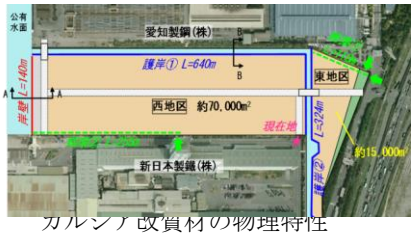
敷き均し

転圧

事例 49	
件　名	東京湾･若洲海浜公園浅場整備
実施機関	東京都港湾局　東京港管理事務所
実施場所	江東区若洲
実施時期	平成 23 年 11 月
リサイクル材料	10. 鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体）
適用用途	⑰浅場、藻場
実施数量	11,000㎥
概要（目的・内容）	直立護岸前面に浅場造成 
適用結果	良好である。
課題	特になし。
その他	港湾関連民間技術の確認審査・評価　第 07001 号　鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材

事例 50	
件　名	函館港若松地区－１0m泊地浚渫工事
実施機関	北海道開発局　函館港湾事務所
実施場所	函館港西防波堤
実施時期	令和 3 年度
リサイクル材料	10. 鉄鋼スラグ二次製品(浚渫土改質材)
適用用途	⑨被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ
実施数量	10㎥
概要（目的・内容）	函館港西防波堤背後盛土の被覆石の代用として検討されているカルシア人工石について、試験施工を実施。 ①製造概要  ■製造概要 （1）目的：函館港西防波堤背後盛土の被覆石の代用として検討されているカルシア人工石について、試験施工を実施した。 （2）製造場所：北海道函館市浅野町　カルシア改質土ヤード （3）施工数量：カルシア人工石　合計１０㎥（空隙なし） ※船底塗料・リボンでケースごとに色分けした ケースA（高炉微粉末）　5㎥　→　ピンク ケースB（高炉セメント）5㎥　→　黄 （4）仕様：①質量　27kg以上／個 ※製造サイズ：0.5m×0.5m×0.45m×2.282（g/cm³）＝257kg／個 ②一軸圧縮強さ　9.8N/mm㎡以上（参考値） （5）製造時期：2021/10/25～2021/11/30 ※注１：高炉微粉末、高炉セメント、製鋼スラグは北海道産を使用 ※注２：工事の特記仕様書では、カルシア人工石の名称をカルシア改良石としている。 配合表 ケース / 配合条件：浚渫土混合率(vol%)、浚渫土含水比(%)、強度指数※、製鋼スラグ製鉄所 / 配合 {上段：単位量kg/㎥　下段：単位容量ℓ/㎥}：調泥浚渫土（全量、土分、水(W)）、粉体（高炉スラグ微粉末(BP)、高炉セメント(BB)）、製鋼スラグ、合計 2.618 / 1.03 / 2.91 / 3.05 / 3.38 A / 50 / 150 / 1.00 / 室蘭：680 / 272 / 408 / 408 / 0 / 1,216 / 2,304 500 / 104 / 396 / 140 / 0 / 360 / 1,000 B / 50 / 150 / 1.50 / 室蘭：680 / 272 / 408 / 0 / 395 / 1,252 / 2,327 500 / 104 / 396 / 0 / 130 / 370 / 1,000 ②投入状況 ■投入状況　③施工状況写真　※投入は他社施工 試験的に被覆層の一部として投入 L.W.L. ±0.00 西防波堤 被覆層 カルシア改質土(計画) -3.0 潜堤(計画) カルシア改質土 潜堤 -14.6 ①カルシア人工石積込状況 2022.0303 ③鉄鋼スラグ水和固化体（※浚渫土が混合されていない人工石） ⑤水中状況（ケースA） 2022.06.27 ⑦水中状況（ケースB） 2022.06.27 ←アオサ ②カルシア人工石積込完了 ④投入状況 ⑥水中状況（ケースB） ⑧水中状況（水和固化体）
適用結果	西防波堤に投入後現在経過観察中（令和 3 年度）。
課題	σ 28 において高炉セメントを用いたカルシア人工石は目標強度(9. 8N/mm²)を達成したが、高炉微粉末を使用したカルシア人工石は目標値まで大きく届かなかった。（σ 100 で目標強度達成）
その他	

事例 51	
件　名	東海元浜埠頭北公有水面埋立工事
実施機関	民間
実施場所	愛知県東海市
実施時期	平成 24～25 年度
リサイクル材料	10. 鉄鋼スラグ二次製品(浚渫土改質材)
適用用途	⑬埋立材
実施数量	510,000m^3
概要（目的・内容）	1．目的 埋立地盤造成 2．内容 (1) 配合：カルシア改質材は容積率 25%で混合 (2) 材料：浚渫土：名古屋港浚渫土 改質材：カルシア改質材



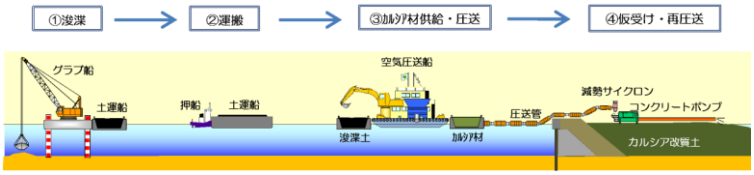
浚渫土の物理特性

土粒子密度 g/cm^3	含水比 %	液性限界 %	塑性限界 %	粒度組成(%) 礫	砂	シルト	粘土
2.644	171.3	109.8	38.5	0.14	13.8	70.2	15.9
2.648	73.3	58.5	31.9	12.4	53.6	20	14
2.654	63	58.9	25.9	5.1	52.2	35.4	7.4

カルシア改質材の物理特性

表乾密度 g/cm^3	吸水率 %	粒度組成(%) 礫	砂	シルト･粘土
3.04	5.2	74.9	22.9	2.2

(3) 施工方法
混合プロセス　：管中混合工法
投入プロセス　：ポンプ圧送工法
施工能率　　：3,500m^3/hr



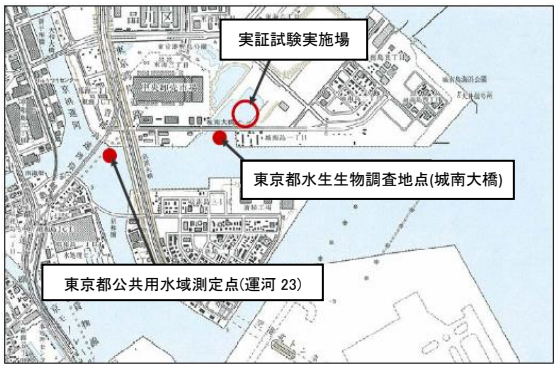
浚渫土への改質材供給

圧送船ホッパーへの投入

圧送配管（φ800mm）

適用結果	・改質により、軟弱浚渫土を使用した埋立にも関わらず早期の土地利用が可能となった ・埋立地盤全体が目標強度を達成していることをコーン貫入試験や表面波探査で確認 ・周辺海域への pH 上昇影響なし ・重金属溶出に関する環境基準を満足
課題	特になし。
その他	山越ら：カルシア改質土の管中混合による海面埋立、土木学会論文集 B3、Vol.69、No.2、p.I_952-I_957、平成 25 年 山越ら：管中混合によるカルシア改質土の海面埋立、第 48 回地盤工学研究発表会、pp.665-666、平成 25 年 カルシア改質土研究会：カルシア改質土 設計・施工マニュアル、平成 25 年 6 月

事例 52	
件　名	環境省 環境事業実証事業における浅場・干潟造成
実施機関	民間
実施場所	東京都城南島
実施時期	平成 20 年度
リサイクル材料	10. 鉄鋼スラグ二次製品(浚渫土改質材)
適用用途	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等
実施数量	910m^3
概要（目的・内容）	1．目的 浅場・干潟造成（生物生育環境の改善） 2．内容 (1) 配合： カルシア改質材は容積率 30%で混合 (2) 材料： 浚渫土：東京湾浚渫土 改質材：カルシア改質材



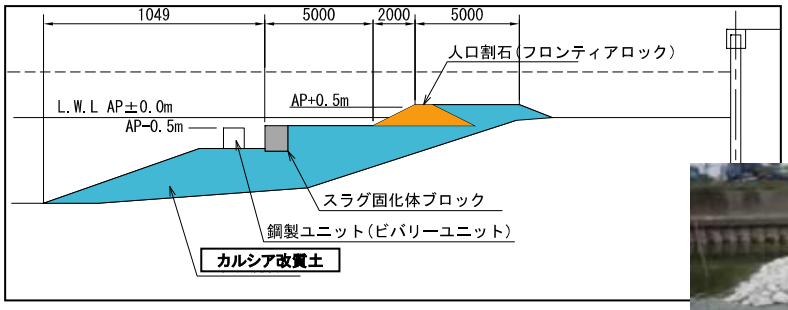
浚渫土の物理特性

土粒子密度 (g/cm^3)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	強熱減量 (%)	pH	粒度組成 (%)			
					礫	砂	シルト	粘土
2.695	66.0	30.3	7.0	8.1	2.0	35	44	19

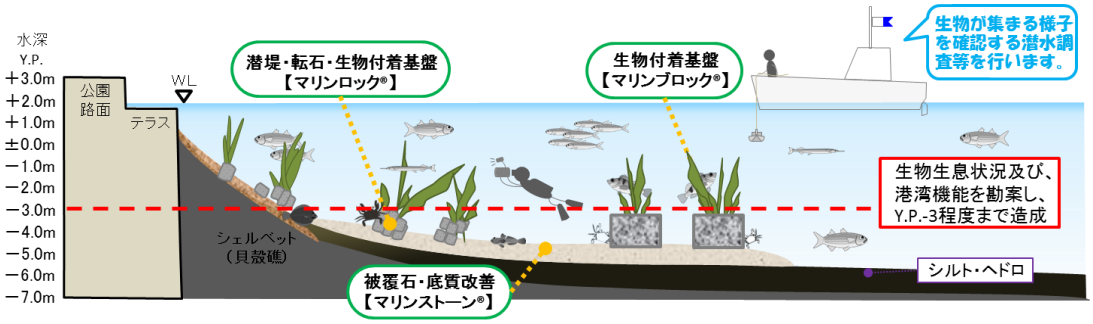
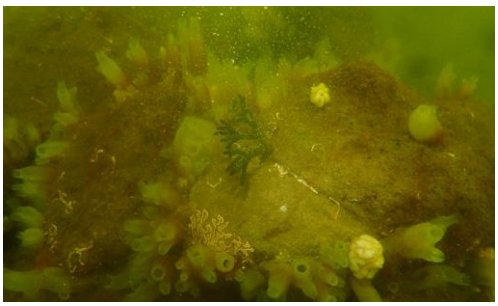
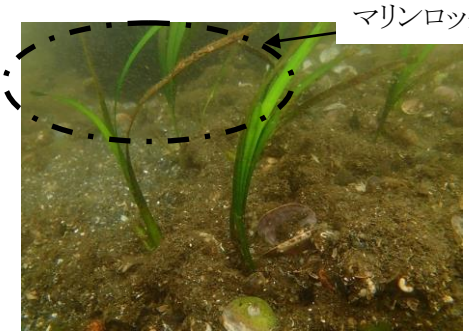
カルシア改質材の物理特性

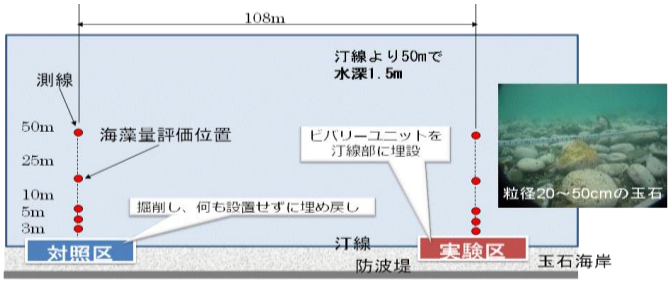
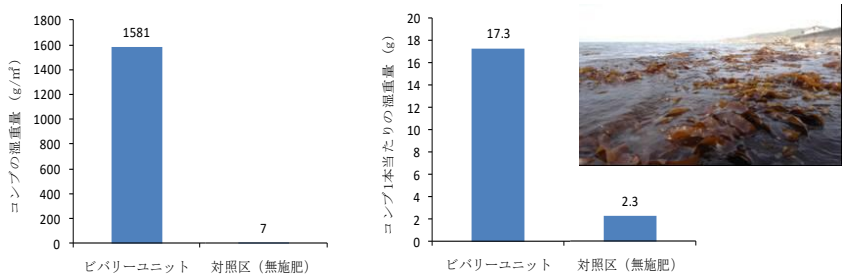
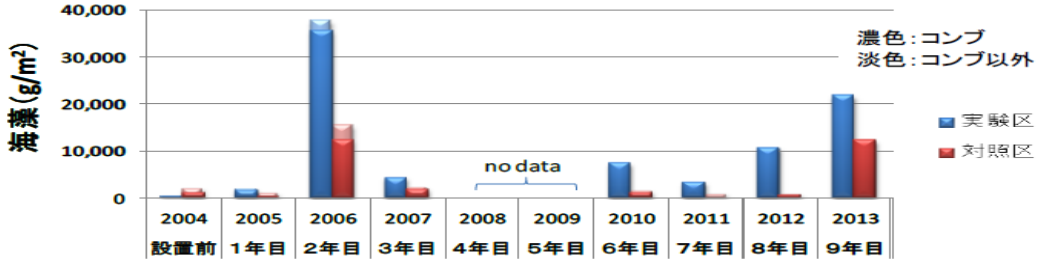
土粒子密度 (g/cm^3)	最大乾燥密度 ρ_{dmax}(g/cm^3)	最小乾燥密度 ρ_{dmin}(g/cm^3)	pH	粒度組成 (%)		
				礫	砂	シルト、粘土
3.292	1.694	1.315	12.6	75.0	22.0	3.0

(3) 施工方法
混合プロセス　：バックホウ混合工法
投入プロセス　：グラブ投入工法

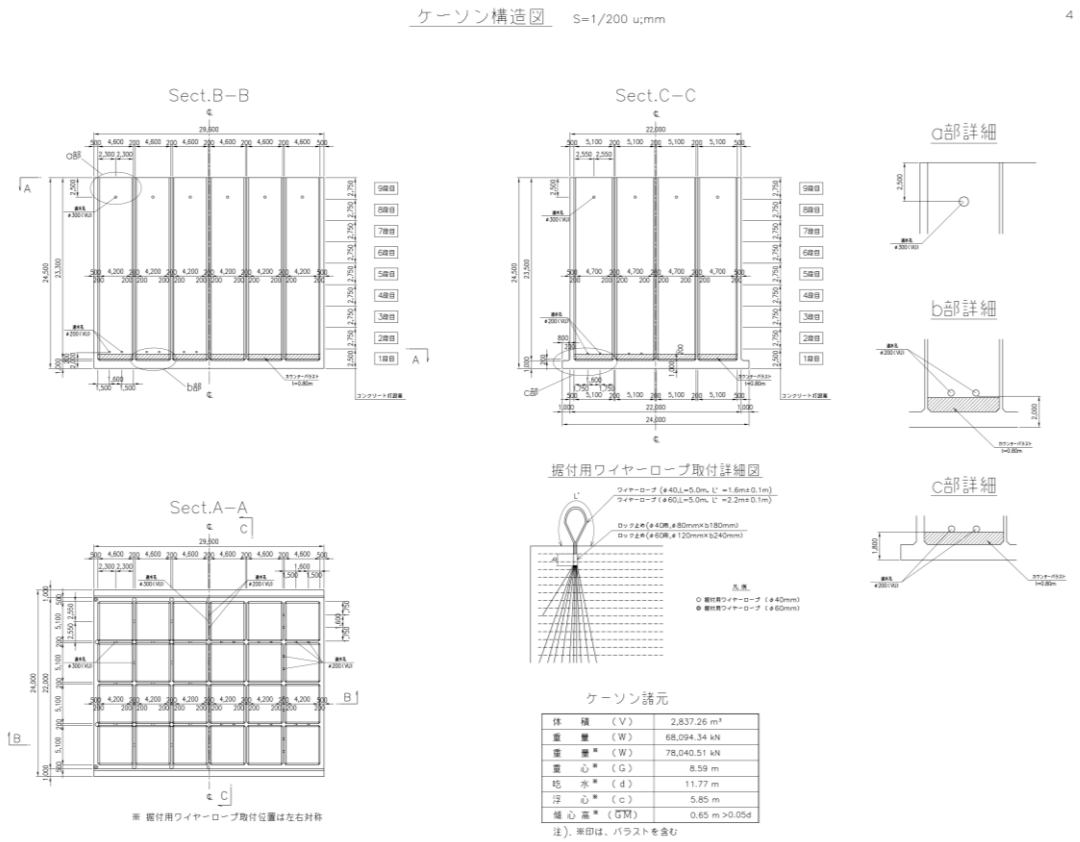


適用結果	・強度増進効果を確認 ・重金属溶出に関する環境基準を満足 ・硫化物イオンの溶出抑制機能を確認 （環境負荷に配慮した干潟・浅場造成材として適用可能な技術であることを確認）
課題	特になし。
その他	財団法人 港湾空間高度化環境研究センター：平成 21 年度環境技術実証事業　閉鎖性海域における水環境改善技術 実証試験結果報告書、平成 22 年 3 月 カルシア改質土研究会：カルシア改質土 設計・施工マニュアル、平成 25 年 6 月

事例 53	
件　名	「山下公園前海域における水質浄化能力の回復に向けた生物生息環境の改善手法」に関する共同研究
実施機関	横浜市、民間
実施場所	横浜市
実施時期	平成 25 年 10 月
リサイクル材料	10.鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ炭酸固化体、鉄鋼スラグ水和固化体）、8.製鋼スラグ（土工用・地盤改良用製鋼スラグ）
適用用途	⑰藻場
実施数量	10 t
概要（目的・内容）	鉄鋼スラグ炭酸固化体、鉄鋼スラグ水和固化体は海藻、貝などの生物付着基盤となる。製鋼スラグは底質改善材としての機能に加え、鉄鋼スラグ水和固化体と共にカニやナマコや底魚などの住みかや隠れ家となる。  マリンロック®に付着するヒトデと海藻 （2014年2月・シェルベット部）  マリンブロック®に付着するホヤと海藻 （2014年5月・シルト・ヘドロ部） マリンロック®に付着する貝やイソギンチャク （2014年8月・・シェルベット部）  マリンロック®近辺で自生するアマモなど （2014年8月・・シェルベット部）
適用結果	当海域で自生のアマモ（海草）をはじめとする生物種数の増加を確認。鉄鋼スラグ製品が生物付着基盤として有効に機能していることを証明。
課題	特になし。
その他	平成 25 年度　横浜市環境創造局業務研究改善事例発表会

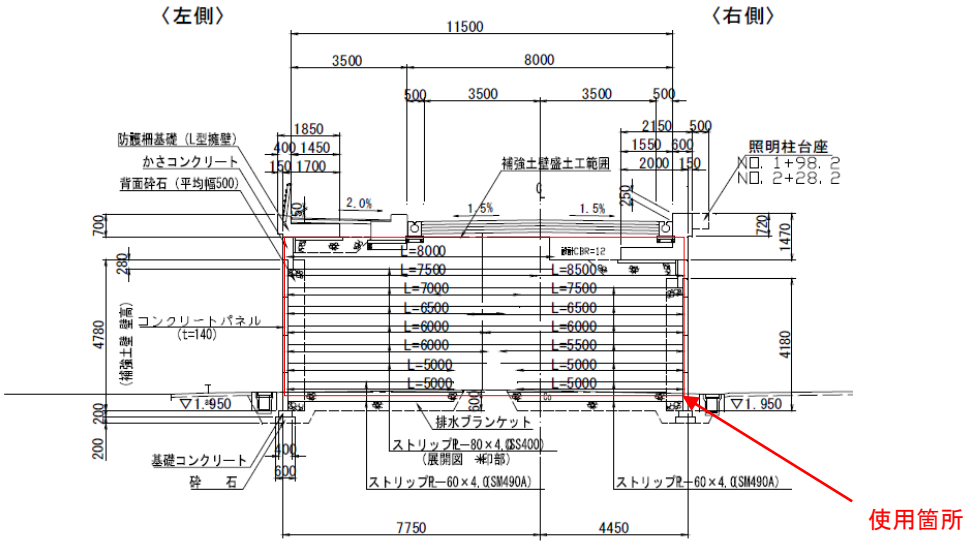
事例 54	
件　名	北海道増毛町における藻場造成実験
実施機関	民間
実施場所	北海道増毛町舎熊海岸
実施時期	平成 16～26 年度
リサイクル材料	10. 鉄鋼スラグ二次製品(生物共生材)
適用用途	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等
実施数量	6t
概要（目的・内容）	1．目的 磯焼け海域における藻場造成効果の調査 2．内容 実験区には生物共生材として藻場造成用鉄分供給ユニットを埋設し、対照区は掘削をしたものの埋設物は設置せずに埋め戻しを行った。 実験区の概要を下図に示す。  実験区、対照区の全面には側線を設け、汀線から 3,5,10,25,50m の 5 地点に 1m 四方の枠を当て、枠内の海藻の湿重量を測定した。
適用結果	平成 17 年 6 月の調査結果を下図に示す。藻場造成用鉄分供給ユニットを設置した実験区は、対照区と比べて 220 倍の湿重量のホソメコンブが確認された（下図 左)。また、コンブ一本当たりの湿重量についても、実験区は対照区の約 8 倍となった（下図 右)。  下図は、藻場造成用鉄分供給ユニットの設置後 10 年間に亘る海藻湿重量の調査を行った結果である。年次により増減はあるものの、対照区に比べて実験区の海藻量は多い傾向が持続した。 
課題	特になし。
その他	木曽英滋ら：「海域施肥時のコンブ等の生育に関する実海域実験-転炉系製鋼スラグ等を用いた藻場造成技術開発（１）-」、第 20 回海洋工学シンポジウム、東京、平成 20 年 水産庁：改訂 磯焼け対策ガイドライン、平成 27 年 3 月 加藤ら：転炉系製鋼スラグ資材を用いた海域藻場造成技術の開発、新日鉄住金技報、399、pp. 79-84、平成 26 年

事例 55	
件　名	原町火力発電所北防波堤ブロック設置工事
実施機関	民間
実施場所	福島県南相馬市
実施時期	平成 17～22 年度
リサイクル材料	11. フライアッシュ（非 JIS 灰）
適用用途	③混和材
実施数量	約 11,000 t
概要（目的・内容）	火力発電所防波堤における波消ブロック設置に伴い，施工コスト縮減，長期強度促進を目的とし，混和材として JIS 外のフライアッシュを用いた FA コンクリートを使用した。（生コン工場で混合）
適用結果	セメントの置換率は約 60%で，施工性は良好で強度発現も問題なかった。
課題	特になし。
その他	循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術－利用拡大に向けた設計施工指針試案－、コンクリートライブラリー132 号、土木学会、pp. 348-349、平成 21 年

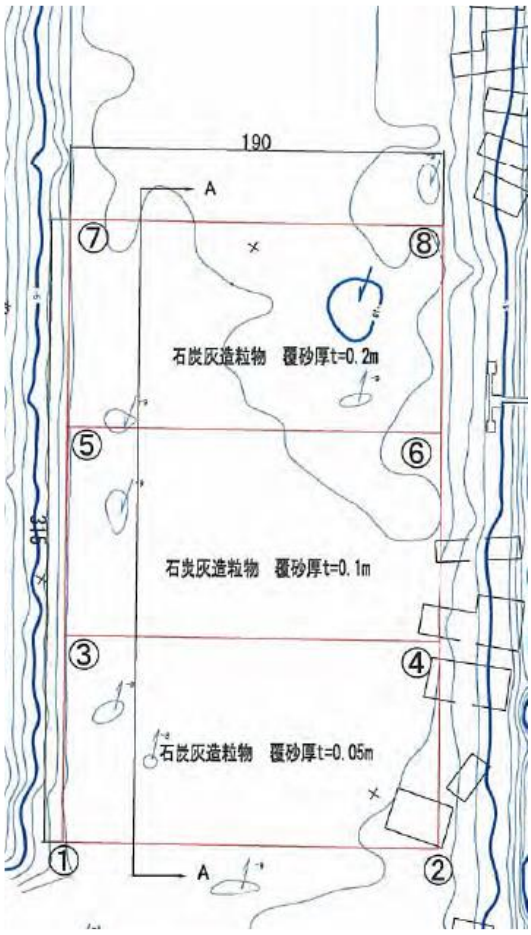
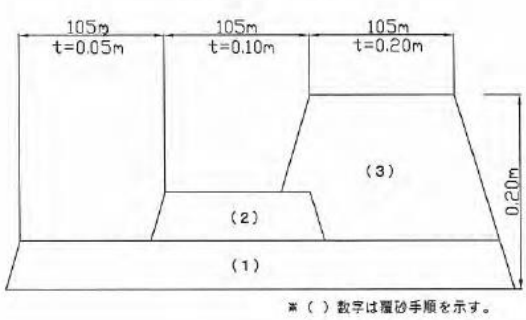
事例 56	
件　名	常陸那珂港東防波堤本体工事
実施機関	関東地方整備局　鹿島港湾・空港整備事務所
実施場所	常陸那珂港ｹｰｿﾝﾔｰﾄﾞ内
実施時期	平成 16 年度
リサイクル材料	11. フライアッシュ（非 JIS 灰）
適用用途	⑧中詰材
実施数量	880m^3
概要（目的・内容）	FS ｺﾝｸﾘｰﾄはﾘｻｲｸﾙ推進の取り組みとして、平成 7 年度から、横浜調査設計事務所と(株)沿岸環境開発センターとで調査研究が進められてきた材料である。 鹿島港及び常陸那珂港区では平成 10 年に発刊された FS ｺﾝｸﾘｰﾄ利用手引書を基に、ﾘｻｲｸﾙ促進の観点から FS ｺﾝｸﾘｰﾄを当該工事へ適用することとした。 ※FS コンクリート使用部分（t=0.80m カウンターバラスト） 
適用結果	施工後 7 年経過した現在、他のｺﾝｸﾘｰﾄ構造物と比較して、特に不具合等は確認されていない。
課題	まだ新しい材料のため、長期にわたる品質確保が懸念された。
その他	（株）沿岸環境開発資源利用センター：ＦＳコンクリート利用手引書、平成 10 年 11 月

事例 57	
件　名	本部港緑化工事
実施機関	沖縄県　北部土木事務所
実施場所	沖縄県本部町
実施時期	平成 23～24 年度
リサイクル材料	11. フライアッシュ（非 JIS 灰）
適用用途	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材
実施数量	約 310 t
概要（目的・内容）	港湾における緑地の盛土材として頑丈土破砕材を使用した。
適用結果	施工中、施工後も特に問題なし。
課題	特になし。
その他	（財）土木研究センター：石炭灰を利用した人工地盤材料「頑丈土破砕材」、建設技術審査証明報告書、平成 17 年 12 月 （財）沿岸技術研究センター：石炭灰を有効利用した埋立材料「頑丈土破砕材」、港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書、平成 18 年 11 月

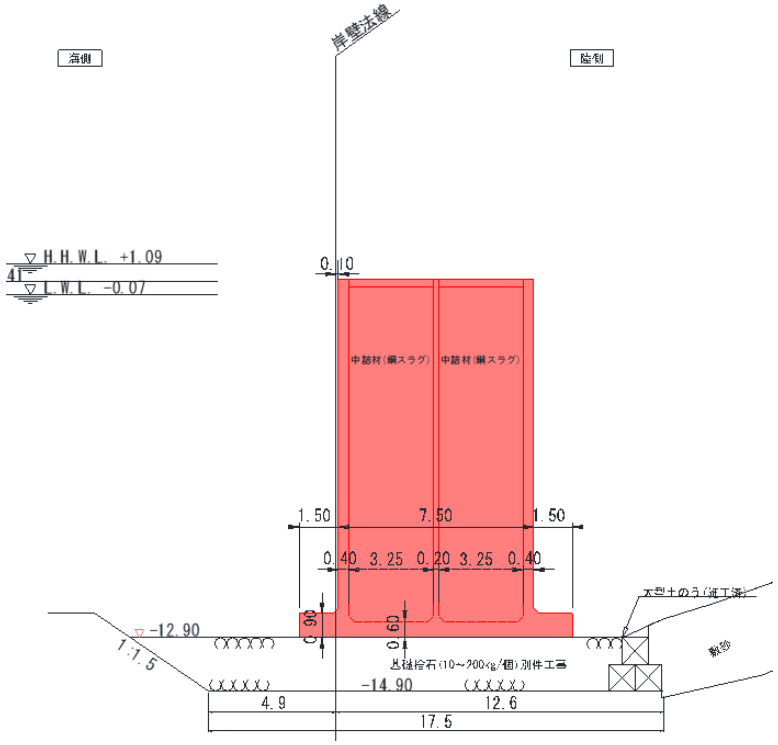
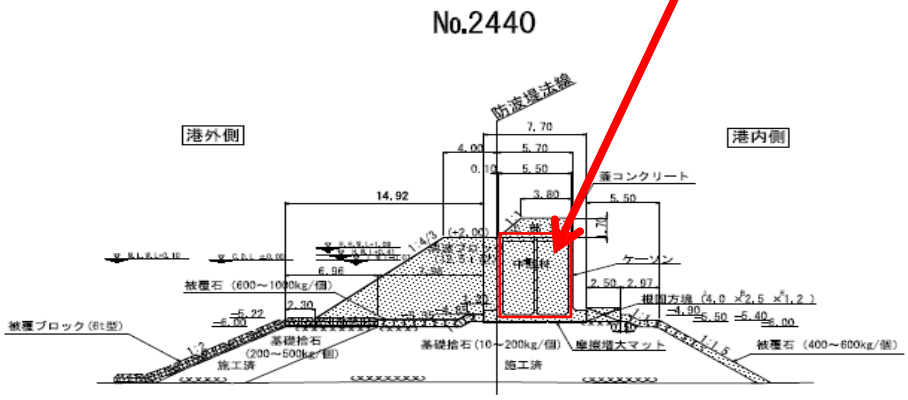
事例 58	
件　名	酒田港外港地区岸壁(-14m)護岸築造工事
実施機関	東北地方整備局　酒田港湾事務所
実施場所	酒田港外港地区
実施時期	平成 28～29 年度
リサイクル材料	13.石炭灰二次製品(フライアッシュ固化体)
適用用途	⑩裏込材
実施数量	5,517m^3
概要（目的・内容）	構造物への土圧軽減を図るため、裏込材に石炭灰を原料としたフライアッシュ固化体を使用した工事である。 酒田港湾 表2 裏込め投入 裏込め均し
適用結果	特に問題なし。
課題	特になし。
その他	

事例 59	
件　名	小名浜東港連絡橋（臨港道路）陸上側道路（ﾃｰﾙｱﾙﾒ工法）
実施機関	東北地方整備局　小名浜港湾事務所
実施場所	福島県いわき市小名浜
実施時期	平成 23 年度
リサイクル材料	13. 石炭灰二次製品(フライアッシュ固化体)
適用用途	⑭路床盛土材
実施数量	3,000m^3
概要（目的・内容）	震災による土質系材料不足もあり、高いせん断抵抗角Φ（35° 以上）、高 pH（10～12）、高いコーン指数（締固め後は 10,000kN/m²以上）、比較的軽い（最大乾燥密度 1.1～1.3g/cm³）という特徴がテールアルメ工法中詰め材に合致し、採用が決まった。路体材、路床材として使用した。  断面図 施工状況
適用結果	良質な土質材料と同様に良好な施工ができた。現在もそのまま使用されており、安全性・耐久性の向上に寄与している。
課題	特になし。
その他	柳葉正八：震災復興資材としてのＪ－アッシュの活用、（一財）石炭エネルギーセンター、2013 年石炭灰有効利用シンポジウム、平成 25 年 11 月

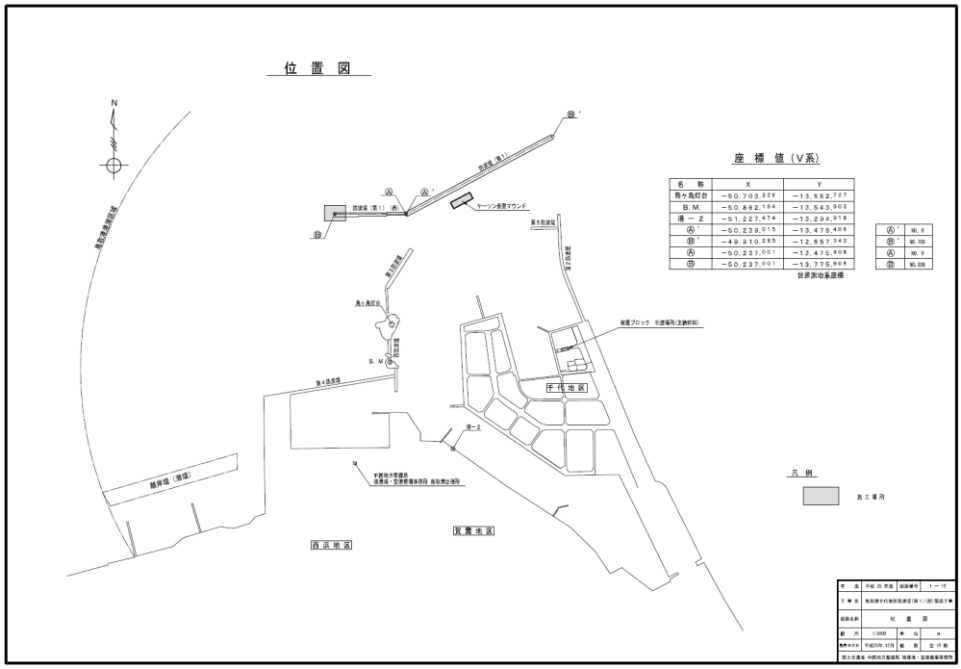
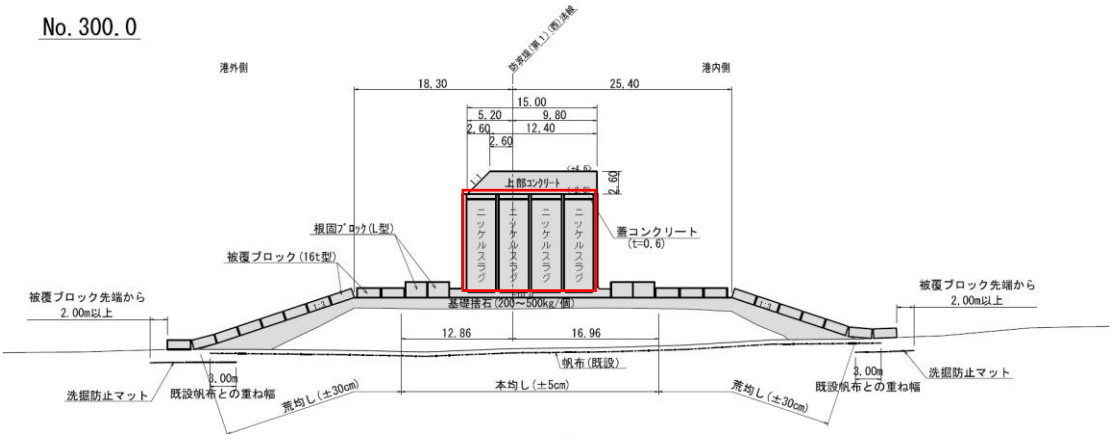
事例 60	
件　名	東港区中央埠頭ヤード内東側通路造成工事（フェリーターミナル関連）
実施機関	苫小牧港管理組合
実施場所	苫小牧港
実施時期	平成 24 年 6 月～12 月
リサイクル材料	13.石炭灰二次製品(フライアッシュ固化体)
適用用途	⑮路盤材
実施数量	混和材使用量：約 2,800m^3、石炭灰使用量：約 2,940 トン
概要（目的・内容）	貨物コンテナ関係のヤード及び大型車両等の駐車に利用するため、粒状材（造粒材）を下層路盤材として使用。 【主要材料特性値】 ・最適含水比：22.7% ・単位容積質量（舗装調査・試験法便覧 A023）：1.12kg/L ・固化体の一軸圧縮強度：18N/mm^{2}以上（JIS A 1108 材齢 3 日） ・吸水量：23.42% ・修正 CBR：128.3% 【施工状況】
適用結果	
課題	
その他	石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針（案）（土木学会、令和 3 年 3 月） 新技術情報提供システム（NETIS）登録番号：（旧）HK-100018-A 北海道認定リサイクル製品 https://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/jss/ntop.html （閲覧日：令和 5 年 9 月 7 日）

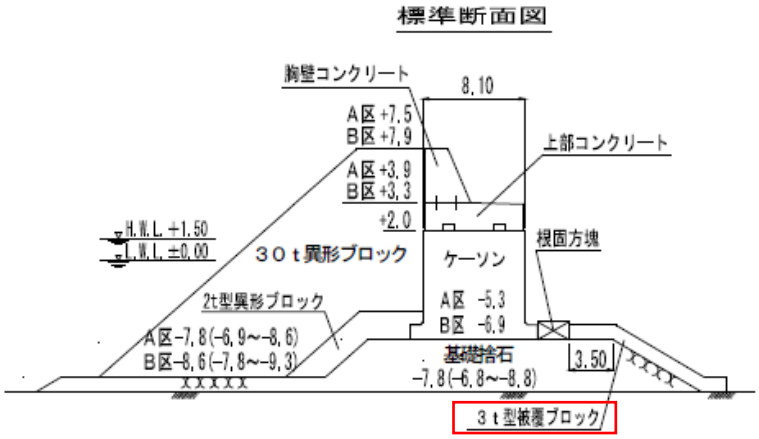
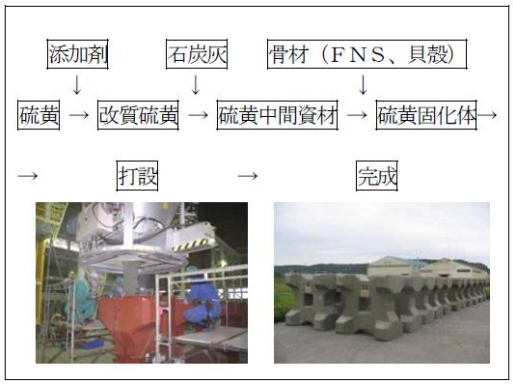
事例 61	
件　名	広島港海岸中央東地区護岸安定化等工事
実施機関	中国地方整備局　広島港湾・空港整備事務所
実施場所	広島県広島港海岸中央地区
実施時期	平成 21 年度
リサイクル材料	13. 石炭灰二次製品(石炭灰造粒物)
適用用途	⑰覆砂材
実施数量	8,680m^3
概要（目的・内容）	本手法は、底泥の上に石炭灰造粒物を薄く被覆することで、①底泥表面の酸素消費を抑制、②材料の吸着効果により栄養塩溶出を抑制、③被覆材の空隙に有機物をトラップし再ヘドロ化を抑制、④底泥表面を圧密することにより浮泥の巻き上げを抑えて、貧酸素を改善する。といった様な効果が期待できる手法である。また、海域環境改善効果に加え、被覆する石炭灰造粒物により底泥の圧密が促進され、護岸が安定することも期待されている。 広島湾奥部において、この海域環境改善手法の効果を実証し、汎用的（他の海域での適用可能）な手法として確立することを目標として実証試験を行ったものである。 平面図  標準断面図（A-A） 
適用結果	上記結果に基づき、「石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き（平成 25 年 3 月、国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所）」を作成。
課題	薄層巻き出し工法による施工が前提である。
その他	西田芳浩、川内清光、山本裕規、首藤　啓、日比野忠史：広島湾における効率的な底質改善技術の効果の検証、海洋開発論文集、第 25 巻、pp. 407-412、平成 21 年 6 月

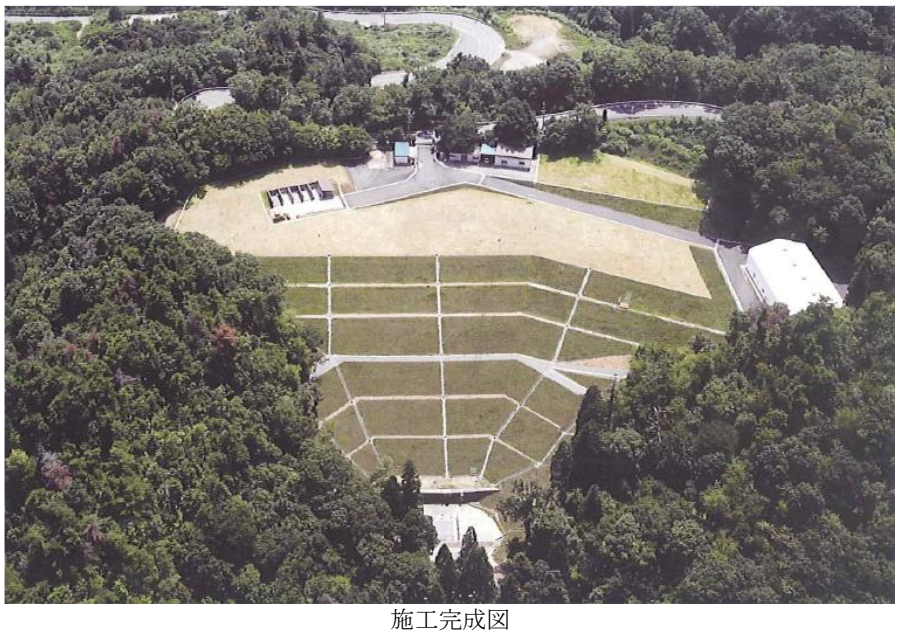
事例 62	
件　名	相馬港本港地区防波堤(沖)(改良)消波工事
実施機関	東北地方整備局　小名浜港湾事務所
実施場所	相馬港本港地区
実施時期	令和 3 年度
リサイクル材料	14.銅スラグ
適用用途	①コンクリート用細骨材
実施数量	3,220m^3
概要（目的・内容）	高比重ブロック製作のため、コンクリート細骨材に銅スラグを使用した工事である。
適用結果	細骨材に砂を使用した場合よりもブロックの単位体積重量が大きいため、防波堤断面の縮小が可能となり、コスト縮減に繋がった。
課題	特になし。
その他	

事例 63	
件　名	境港外港地区防波堤(2)築造工事
実施機関	中国地方整備局　境港湾・空港整備事務所
実施場所	境港竹内地区地先
実施時期	平成 27 年度
リサイクル材料	14.銅スラグ
適用用途	⑧中詰材
実施数量	847.0m^3
概要（目的・内容）	銅スラグを中詰材として使用した。  銅スラグ（中詰材） 
適用結果	特に問題なし。
課題	特になし。
その他	

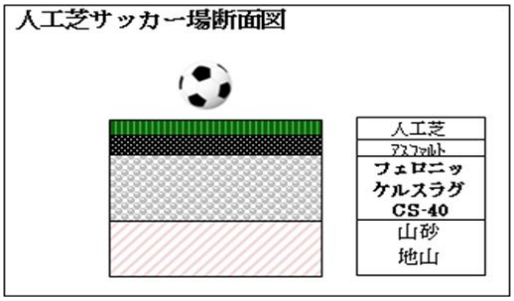
事例 64	
件　名	八戸港外港地区防波堤(中央)消波工事
実施機関	東北地方整備局　八戸港湾・空港整備事務所
実施場所	八戸港外港地区
実施時期	平成 29 年度
リサイクル材料	15.フェロニッケルスラグ
適用用途	①コンクリート用細骨材
実施数量	1,330㎥
概要（目的・内容）	設計上必要な消波ブロックの規格が大型となったことで施工性の低下が懸念された。現状の施工性（ブロック規格）を保つため、高比重のコンクリート用細骨材として、地元産フェロニッケルスラグを使用することでブロックの規格アップを抑えた。フェロニッケル数量については配合報告書の配合率で割り戻して記載。※2022 年 10 月現在、大平洋金属(株)のコンクリート用のフェロニッケルスラグは製造を中止している。 (細骨材にフェロニッケルスラグを 100%使用) 表4
適用結果	ブリーディング水の除去に労力を要した。 平成 5 年度より使用。現在において一般骨材使用のブロックと相違なし。 打設直後の出来映え、並びに耐久性と共に普通コンクリートとの大差は見られない。
課題	普通コンクリート骨材と比較しブリーディング水が増加した。
その他	

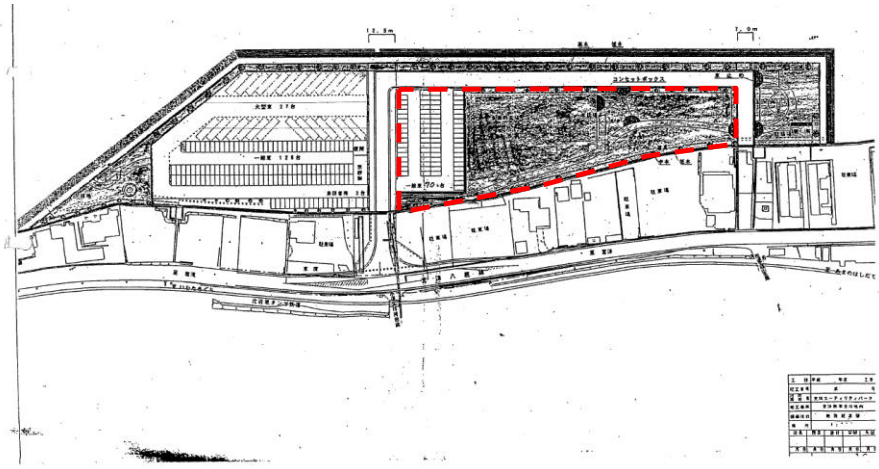
事例 65	
件　名	鳥取港千代地区防波堤(第 1)(西)築造工事
実施機関	中国地方整備局　境港湾・空港整備事務所
実施場所	鳥取港千代地区
実施時期	平成 24～25 年度
リサイクル材料	15. フェロニッケルスラグ
適用用途	⑧中詰材
実施数量	約 3,400m^3
概要（目的・内容）	通常の砂より単位体積重量が大きいため、ケーソンの堤体幅を短くすることが可能であり、コスト縮減に寄与するため、設計段階の検討から適用している。 同種工種の施工事例もあり、業者の品質等の試験の結果、当該事業への適用は問題ないと判断されている。  断　面　図 
適用結果	特に支障は生じてはいない。
課題	特になし。
その他	（一財）沿岸技術研究センター：港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（案）、平成 24 年 3 月

事例 66	
件　名	登別漁港東防波堤工事
実施機関	北海道開発局　室蘭港湾事務所
実施場所	登別漁港東防波堤
実施時期	平成 19 年度
リサイクル材料	15. フェロニッケルスラグ
適用用途	⑨被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ
実施数量	フェロニッケルスラグ（FNS）系硫黄固形ブロック　42 個 貝殻系個化体ブロック　42 個
概要（目的・内容）	胆振管内から発生する副産物（硫黄、石炭灰、フェロニッケルスラグ等）と登別漁港で廃棄物として発生するホッキ貝殻等を有効活用し、改質硫黄固化体で製作した被覆ブロックを設置した。 改質硫黄は、硫黄に添加物を加えて作ったもので、骨材を改質硫黄で固めた素材は、高強度で遮水性に優れ、かつ耐酸性が高く、藻類の早期着生という特徴も過去の実験結果から得られていることから、当該施工箇所にて試験的に施工を行い、環境共生型の構造物としての機能・検証を行ったもの。  設置箇所断面図 （3t 型被覆ブロックに有効活用）  硫黄固化体の製造方法
適用結果	FNS 系硫黄固化体及び貝殻系固化体ブロックとコンクリートブロックの藻場育成状況は同等であった。
課題	FNS 系硫黄固化体及び貝殻系固化体ブロックは、製作価格がコンクリートブロックより高価である。改質硫黄によるブロック製作は、特定の工場による製作となるため、使用箇所までの運搬費が発生する。
その他	熊谷直哉、田村宣義、佐藤朱美：産業系副産物を骨材に用いた硫黄固化体の藻類着生効果に関する現地実験、国土交通省北海道開発局第 52 回（平成 20 年度）北海道開発技術研究発表会 濱田秀則、堀井秀之、審良善和：数種類の骨材を用いた硫黄固化体の材料物性，港湾空港技術研究所資料 NO. 1129、平成 18 年

事例 67	
件　名	新旭不燃性ごみ処分場再生整備工事
実施機関	高島市
実施場所	滋賀県高島市
実施時期	平成 20 年 11 月～平成 24 年 3 月
リサイクル材料	15.フェロニッケルスラグ
適用用途	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材
実施数量	1,400㎥
概要（目的・内容）	最終処分場の覆土工における遮水層用材に使用された。覆土工は上層から表層の砂層、細砂層、礫層から構成される。降雨により表層の砂層を降下した浸透水は、細砂層と礫層の境界面が毛細力によって遮水層となり、地下への浸透水が低減できる。この細砂遮水層に適する材料は、適度な透水性があり、覆土施工しやすく、経時変化による水硬性が無い材料である。  施工完成図
適用結果	良好である。
課題	特になし。
その他	

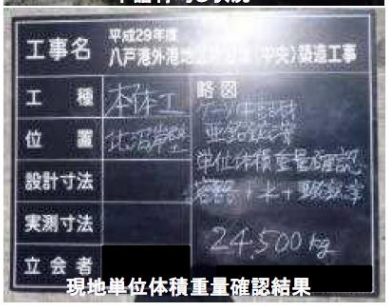
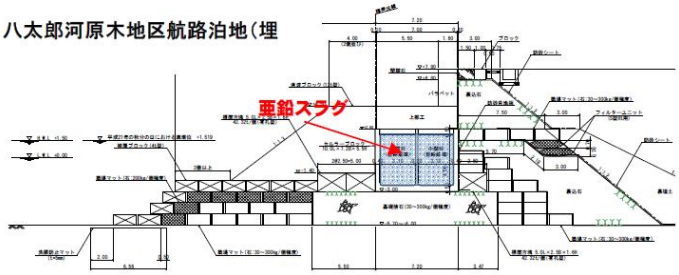
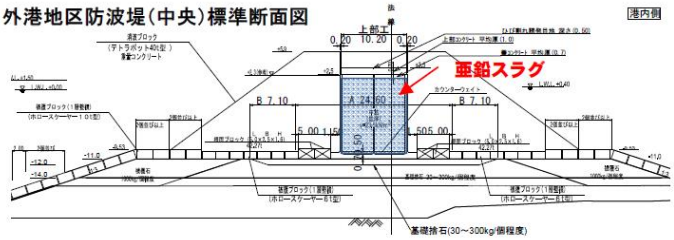
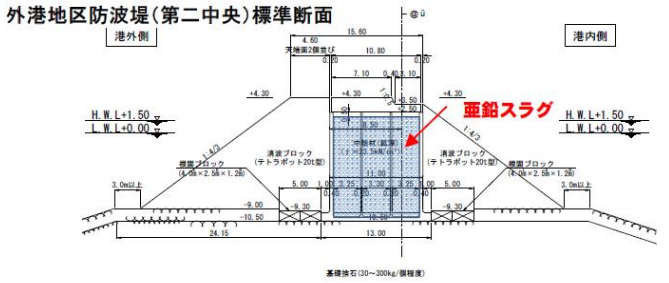
事例 68	
件　名	糠塚ショッピングセンター造成工事
実施機関	民間
実施場所	青森県八戸市
実施時期	平成 26 年度
リサイクル材料	15.フェロニッケルスラグ
適用用途	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材
実施数量	13,500m^3
概要（目的・内容）	市内の自動車教習所の跡地利用として、地盤の改良と造成に使用。 生産拠点が近隣に所在している事から使用した。
適用結果	施工から、1 年が経過したが舗装面は安定している。 除雪用重機が走行・作業をしても不陸等はおきていない。
課題	特になし。
その他	

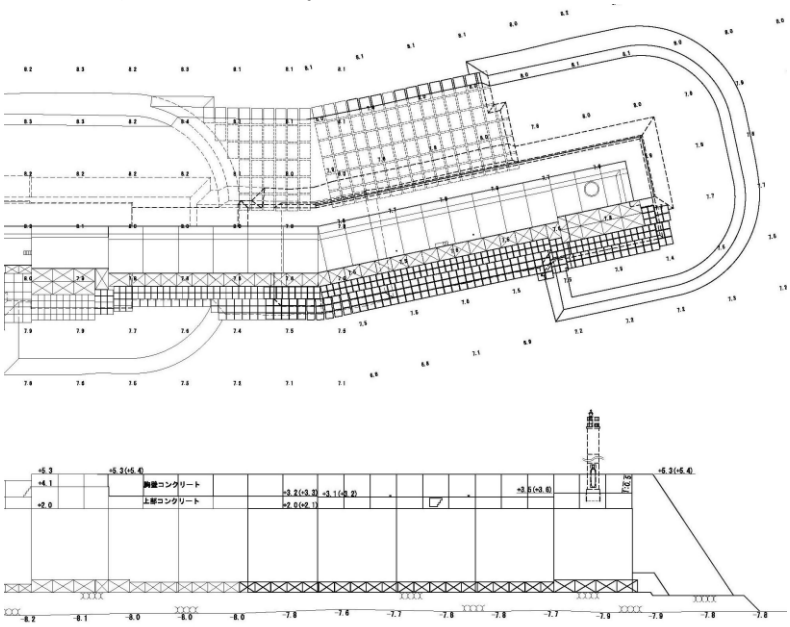
事例 69	
件　名	十和田市若葉球技場人工芝新設工事
実施機関	十和田市
実施場所	青森県十和田市
実施時期	―
リサイクル材料	15.フェロニッケルスラグ
適用用途	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材
実施数量	数量 2,500m^3
概要（目的・内容）	フェロニッケルスラグは締固めが良く、締固め後は水が浸透しにくくなり含水率も小さい為、冬期間に特に気温が低くなる地域では、路盤の凍上抑制効果が期待される。これらの締固め性及び凍上性状から、人工芝球技場の地盤材料として採用された。なお、凍上性状については、5mm 以下試料で「道路土工　排水溝指針」を基に実施した凍上試験の結果、凍上率 0%、凍上様式１（コンクリート状凍結（氷粒散在を含む））であり、合格判定を得ている。 また、フェロニッケルスラグは雨水等による固化や膨張等の継時変化を起こさない特性を持つ。  グラウンドの構造 施工状況
適用結果	人工芝球技場として、市民に広く活用されている。
課題	特になし。
その他	

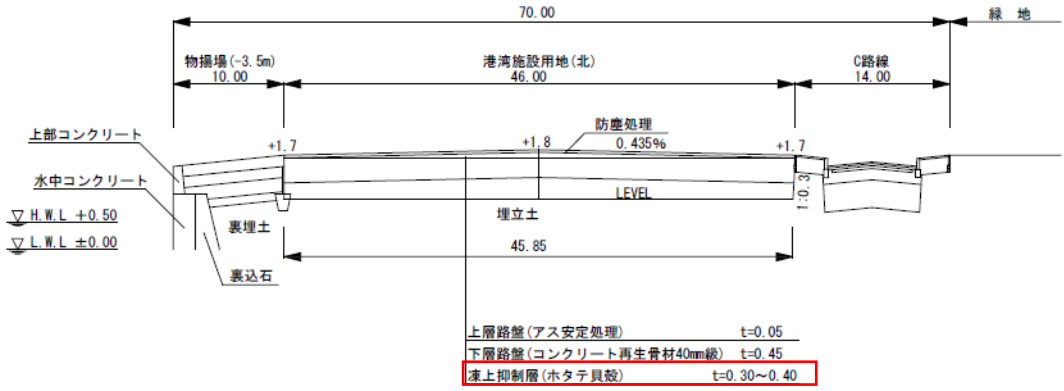
事例 70	
件　名	宮津市文殊地区ユーティリティパーク造成工事
実施機関	宮津市
実施場所	京都府宮津市
実施時期	平成 7～9 年度
リサイクル材料	15. フェロニッケルスラグ
適用用途	⑬埋立材
実施数量	58,500m^3
概要（目的・内容）	沿岸部の埋立造成において、水硬性が無く、透水性が良い材料であり、また、生産拠点が近隣に所在していることから、埋立材として利用した。  造成完成予定図 施工完成図
適用結果	埋立造成後、16 年経過した場所でボーリングにより埋立土及び地下水を採取し、長期間海水に浸した状態での経時変化及び溶出量、含有量、地下水の水質を調査した結果、フェロニッケルスラグの粒径の変化、硬化等の経時変化は確認されず、有害物質は検出下限以下であり、環境安全性を満足していた。
課題	特になし。
その他	

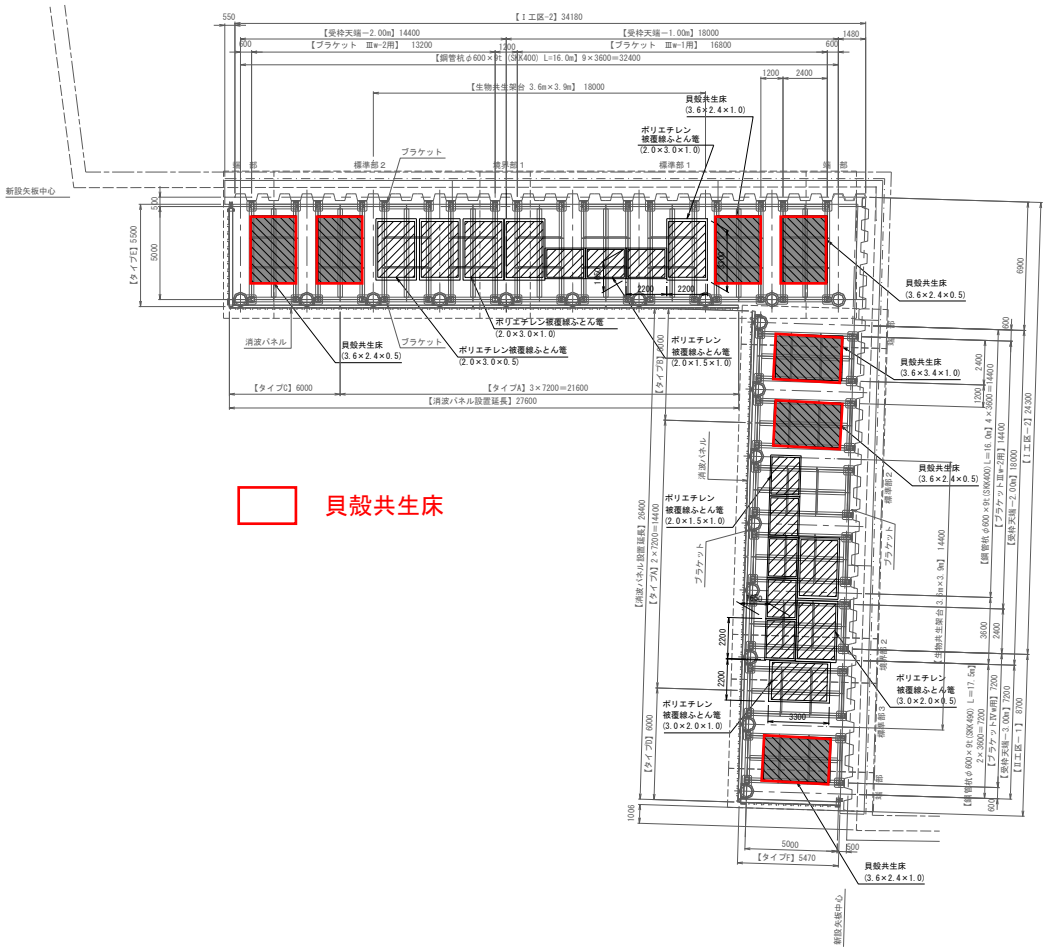
事例 71	
件　名	阿蘇シーサイドパーク造成工事
実施機関	京都府岩滝町（旧町名）
実施場所	京都府与謝野町
実施時期	平成 2 年度
リサイクル材料	15. フェロニッケルスラグ
適用用途	⑬埋立材
実施数量	50,000m^3
概要（目的・内容）	空港用地の造成のため、国際線地区に仮置きしていた建設副産物を有効利用した。また、ダンプトラック運搬時の CO_2 排出による環境負荷を考慮した。 沿岸部埋立事業において、適度な締固め性、透水性を有し、環境安全性の良好なフェロニッケルスラグを使用し、埋立造成を行った。尚、工事では海上運搬で現場まで運び、クレーンで敷きならす造成方法とした。 造成地 現状
適用結果	良好である。
課題	特になし。
その他	

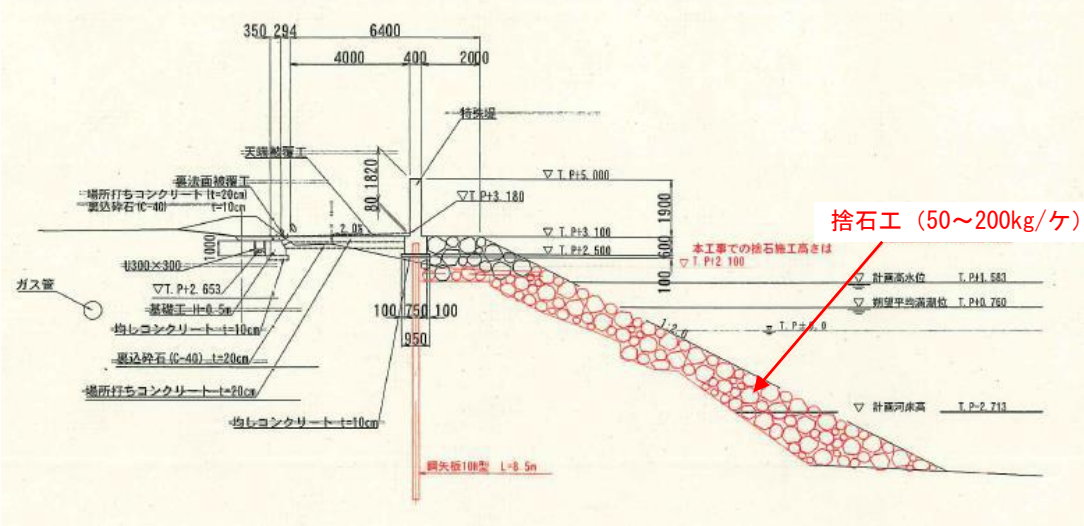
事例 72	
件　名	フェロニッケルスラグの環境復元材としての有用性検証調査
実施機関	日本鉱業協会
実施場所	神奈川県横浜港
実施時期	平成 26 年 6 月
リサイクル材料	15.フェロニッケルスラグ
適用用途	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等
実施数量	0.3㎥
概要（目的・内容）	実証試験の実施にあたり、フェロニッケルスラグを「藻場の造成材としての活用」、「深場の覆砂材としての活用」について検証を実施した。
適用結果	フェロニッケルスラグを使用したブロックは、通常のブロックよりも生物が着生しやすい傾向がある。
課題	特になし。
その他	

事例 73	
件　名	八戸港外港地区防波堤(第二中央)築造工事
実施機関	東北地方整備局　八戸港湾・空港整備事務所
実施場所	八戸港外港地区
実施時期	平成 29 年度
リサイクル材料	16. 亜鉛スラグ
適用用途	⑧中詰材
実施数量	9,678m^3
概要（目的・内容）	地元精錬所で大量に発生していた亜鉛製錬時の副産物である亜鉛スラグを、資源のリサイクルに資することを目的に、それまでの天然砂に替え、ケーソン中詰材に適用した工事である。亜鉛スラグへの見直しは、平成５年度から開始している。 八戸港湾 表1 中詰材投入状況 中詰材均し状況  現地単位体積重量確認結果   
適用結果	特に問題なし。
課題	特になし。
その他	

事例 74	
件　名	砂原漁港建設工事
実施機関	北海道開発局　函館港湾事務所
実施場所	砂原漁港
実施時期	平成 16～19 年度
リサイクル材料	17. 貝殻（ホタテ殻）
適用用途	⑧中詰材
実施数量	ホタテ貝殻 700㎥（平成 16、18、19）
概要（目的・内容）	森町にはホタテ貝殻等を堆肥化する水産系副産物再資源化施設があるが、砂原地区のホタテ貝殻まで処理する能力は無く、森町としても今後の対応に苦慮している状況であることから、ホタテ貝殻を有効活用するため、波除堤及び北外防波堤の本体工であるケーソンの中詰材の一部として適用した工事である。砂原漁港は、水産系副産物活用推進モデル事業として、平成 15 年に計画承認（水産庁）されていることから本漁港において施工することとなった。  北外防波堤　平面縦断図 中詰材混合状況
適用結果	ホタテ貝殻を添加することにより購入土量を低減しつつも十分な堤体重量を確保することが出来た。施行後の状況としては特に問題はない。
課題	ホタテ貝殻混入率を増加させると単重にばらつきが生じたが、試験施工により必要とする単重を確保することが出来た。
その他	中村友哉、松原正人、上杉智：砂原漁港　ホタテ貝殻を使用したケーソン中詰材の施工について、国土交通省北海道開発局第 51 回（平成 19 年度）北海道開発技術研究発表会

事例 75	
件　名	宗谷港建設工事
実施機関	北海道開発局　稚内港湾事務所
実施場所	宗谷港
実施時期	平成 15 年度
リサイクル材料	17. 貝殻（ホタテ殻）
適用用途	⑮路盤材
実施数量	ホタテ貝殻　2,100 t (2,100m^3)
概要（目的・内容）	宗谷管内の 4 漁港（宗谷、猿払、浜頓別、枝幸）より排出される、ホタテ貝殻は年間約 59,000t であるが、このうち有効利用されているのは約 18,000t で全体の約 30%にとどまっている。 排出されるホタテ貝殻を土木資材（凍上抑制層）に利用することにより、地域の課題とされているホタテ貝殻の処理や建設コスト縮減の可能性が有り、環境に配慮した地域づくりが期待できる。  港湾施設用地　標準断面図 ホタテ貝殻　敷均し状況
適用結果	施工完了後から 4 ヶ月経過後で著しい沈下、隆起は見られなかった。最大の高低差でも 2mm。現在も、沈下や隆起といったものは見られない。
課題	・防塵処理等の簡易舗装的な施設への汎用性はあると思われるが、エプロン舗装、道路等の構造物として重要性の高いものへの利用は沈下、隆起等が発生した場合、重大な障害となりえるので慎重な判断が必要。 ・搬入時に若干の異臭を伴うため市街地での利用については日搬入量を抑える等の対応が必要。 ・含水比が高い場合、路床の地盤支持力不足がある場所では転圧を確実に行えないため締固め密度が確保できない場合がある。 ・粉末状になっているものもあるので運搬に際しては飛散防止対策が必要。
その他	長谷川恵一、八柳敦：ホタテ貝殻の有効活用について－凍上抑制層への利用－、国土交通省北海道開発局第 48 回（平成 16 年度）北海道開発技術研究発表会

事例 76	
件　名	平成 21 年度新潟港（西港地区）信濃川左岸護岸改良工事
実施機関	北陸地方整備局　新潟港湾・空港整備事務所
実施場所	新潟市中央区入船町４丁目
実施時期	平成 21 年度
リサイクル材料	17. 貝殻（カキ殻）
適用用途	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等
実施数量	2 t
概要（目的・内容）	佐渡島でカキの養殖に伴い大量に発生しているカキ殻を有効利用し、人工漁礁構造物として使用した。利用あたっては有識者を含めた技術検討会議を開催し、多孔質で凹凸のある形状が水生生物の棲息に適しているとの結論より決定した。 
適用結果	現在、モニタリング調査を行っている。
課題	カキ殻設置の水深について検討会で確認した。
その他	田村孝夫、鈴木智憲：生物共生型護岸における水域環境及び生物生息環境に関する調査結果について、平成 25 年 星野政一、波多野雅也：生物共生型護岸の調査結果と今後の対応について、平成 24 年 星野政一、渡辺義：生物共生型護岸モニタリング報告、平成 23 年

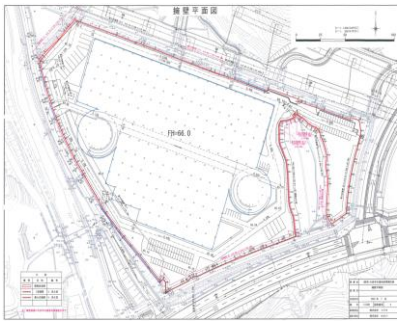
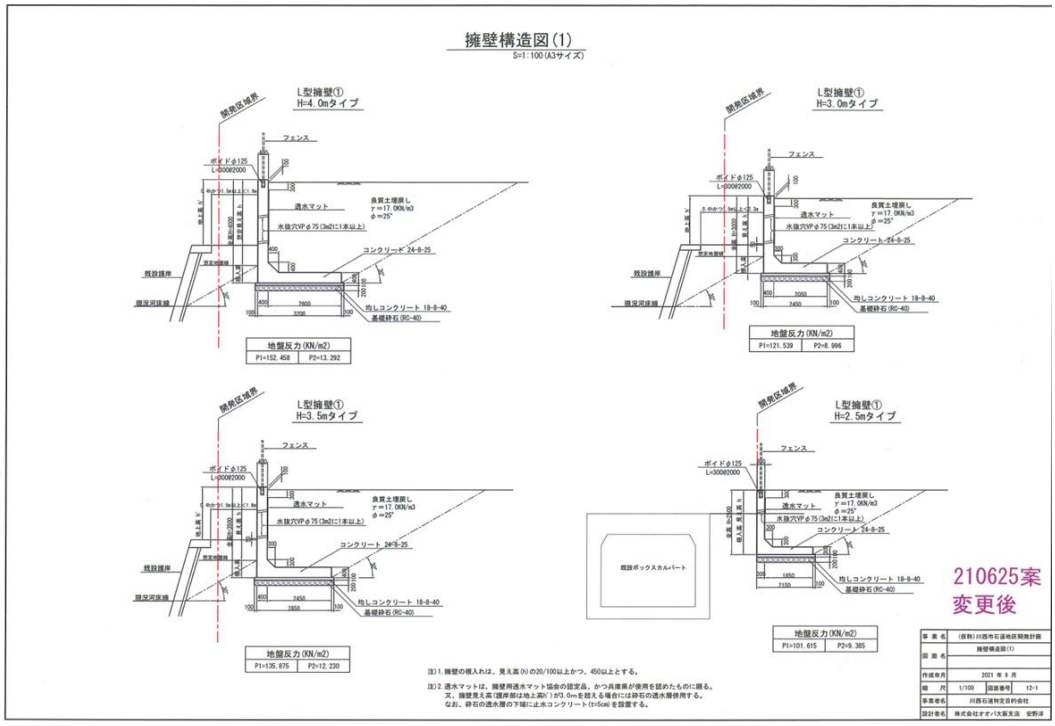
事例 77	
件　名	平成 25 年度砂押川外河川災害復旧工事(その 3)
実施機関	宮城県
実施場所	宮城県多賀城市
実施時期	平成 26 年 3 月
リサイクル材料	18. エコスラグ
適用用途	⑦捨石
実施数量	概算 1,250m^3
概要（目的・内容）	東日本大震災の災害復旧工事で、天然材料の代替材料（資材）として使用した。規格は 50～200kg 相当で、護岸基礎工の捨石として使用されている。 
適用結果	良好である。
課題	近隣の漁場などを考慮し、水底土砂に係る分析試験を実施し、安全性を確認した。
その他	震災がれきと産業副産物のアロケーション最適化コンソーシアム～未利用資源有効利用の産学連携拠点の形成～（略称：がれき処理コンソーシアム）適用事例集、pp. 95-96、平成26年6月

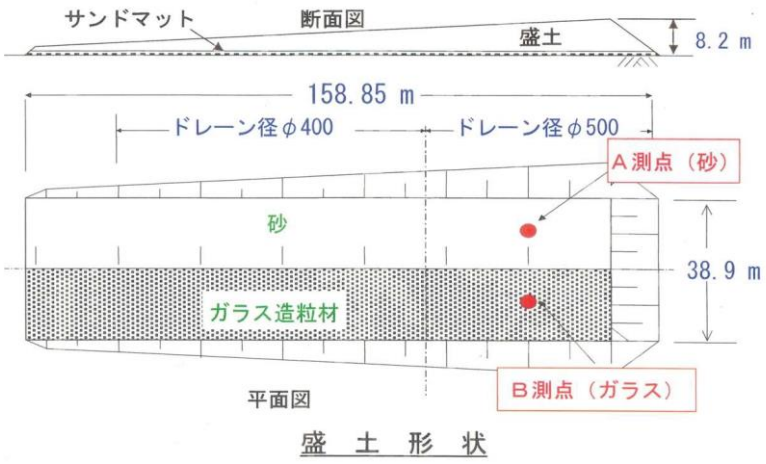
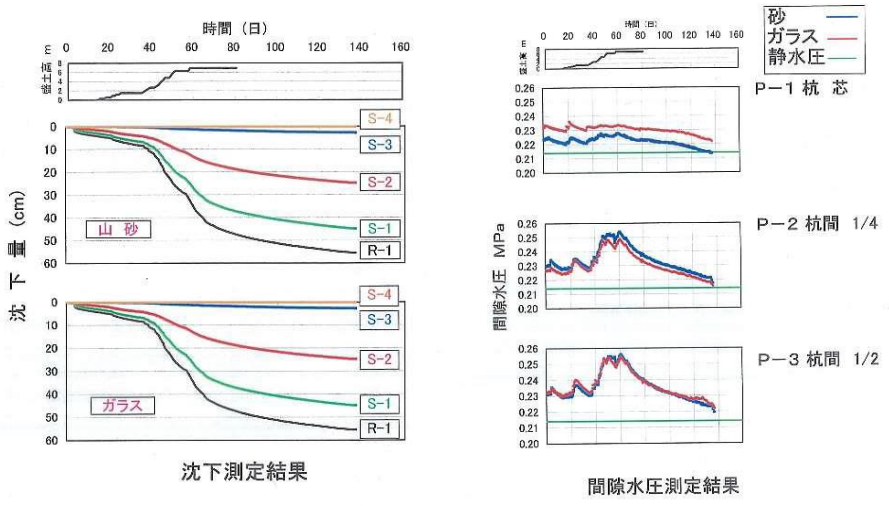
事例 78	
件　名	河川改良工事　準用河川　郷東川
実施機関	愛知県安城市
実施場所	愛知県安城市
実施時期	平成 16 年 11 月
リサイクル材料	18.エコスラグ
適用用途	⑨被覆石、根固・消波ﾌﾞﾛｯｸ
実施数量	複数年度に亘り工事を実施。概算合計 2,200 t 使用。
概要（目的・内容）	生態系の保全のために多自然型工法を採用。同時に、環境保全型資材を活用するために使用した。
適用結果	植生も回復し、魚類、鳥類等も多数生息している。
課題	植生の回復や生態系への影響。
その他	松岡庄五、大河内宝：ごみ焼却灰を再資源化してできる溶融スラグについて、環境浄化技術、Vol.9、No.7、pp.39-43、平成22年7月

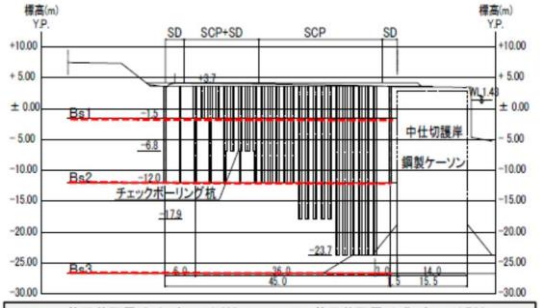
事例 79	
件　名	現年災害復旧工事（24 年災第 7 号）
実施機関	愛知県
実施場所	名古屋市
実施時期	平成 25 年 3 月
リサイクル材料	18.エコスラグ
適用用途	⑩裏込材、⑪裏埋材
実施数量	80 t
概要（目的・内容）	環境保全型資材を活用するため。
適用結果	良好である。
課題	特になし。
その他	愛知県リサイクル資材評価制度　認定資材 愛知県　土木工事標準仕様書

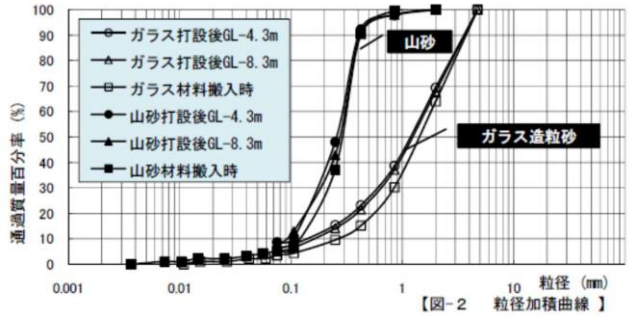
事例 80	
件　名	東邦ガス（株）・南部幹線 主要導管設置工事（径 600 ㎜導管）
実施機関	民間
実施場所	高浜市内
実施時期	令和 4 年 1 月～10 月
リサイクル材料	19.破砕瓦
適用用途	⑭路床盛土材、⑮路盤材
実施数量	路床材　0.20㎜×約 1,731 トン
概要（目的・内容）	破砕瓦を路床材（路床盛土材、路盤材）として用いた工事である。 施　工
適用結果	良好である。 一般的な土木資材に比べ軽量で支持力があり、また扱いやすい。
課題	特に問題なし。
その他	新技術情報提供システム（NETIS）：CBK-190002-A「三州瓦シャモット」

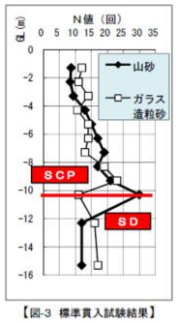
事例 81	
件　名	碧南市・名鉄線廃線跡地整備工事
実施機関	碧南市
実施場所	愛知県碧南市内（名鉄線　碧南駅）
実施時期	平成 28 年 3 月～平成 30 年 2 月
リサイクル材料	19.破砕瓦
適用用途	⑯As 舗装骨材、As フィラー材
実施数量	As 舗装骨材 0-20mm×約 1,266 トン
概要（目的・内容）	破砕瓦を As 舗装骨材として用いた工事である。 施工中 施工後 ※通常は遊歩道だが、災害時には大型消防車など緊急車両が走行できるよう設計されている。
適用結果	良好である。 アスファルトのカラー塗装と違い、退色がない。通常のアスファルトよりヒートアイランド抑制効果があり、また保水性があるため、打ち水効果が期待できる。
課題	特に問題なし。
その他	あいち産業科学技術総合センター・三河窯業試験場：碧南市・名鉄線廃線跡地整備工事舗装表面温度の測定結果、平成28年9月

事例 82	
件　名	川西市石道地区開発計画
実施機関	民間
実施場所	兵庫県川西市石道地内
実施時期	令和 3 年 5 月～令和 4 年 5 月
リサイクル材料	20. 再生石膏粉
適用用途	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材
実施数量	約 1,000 t
概要（目的・内容）	使用した対象箇所は有機質土でありセメント改良材の効果が薄い田畑の土を場外へ搬出せずにその場で改良することで運搬コストの削減と運搬時にトラックから排出される CO_2 の削減を図った工事である。擁壁捨てコン下部 1mから 1.5mを改良した。 擁壁平面図  航空写真 擁壁断面図 
適用結果	添加撹拌後、平板載荷試験にて試験済み。十分な地盤強度を確保できた。現在目立った箇所等はなし。
課題	十分な強度を保持できるがデメリットとして材令が長く強度が出すぎるため、対象土に対する添加量に注意する必要がある。
その他	

事例 83	
件　名	放射 34 号線軟弱地盤改良工事
実施機関	関東地方整備局　川崎国道事務所
実施場所	東京都江東区有明
実施時期	平成 14 年 6 月～7 月
リサイクル材料	21. ガラス再生資材（再生砂）
適用用途	④バーチカルドレーン及びサンドマット材
実施数量	2,316 m^3
概要（目的・内容）	2002 年 6 月、国土交通省発注の東京都江東区有明地先の「放射 34 号線」建設現場で、中詰材料を半数は山砂、残りの半数をガラス再生砂で施工することとなり、サンドドレーンの中詰材料としての適応性を検証した。なお、ガラス再生砂の環境安全性については、事前に溶出試験を行い、環境基準以下であることを確認している。  盛　土　形　状 
適用結果	沈下量は砂とほとんど相違が見られず、地表面での最後の測定値の差はわずか 2mm だった。また、間隙水圧についても、大きな差は見られず砂と同程度の結果が見られた。
課題	特になし。
その他	リサイクルガラス造粒砂「サイドウエーブ G」技術資料 2022 年 4 月版（ガラスリソーシング株式会社） 第 38 回地盤工学研究会投稿論文 平成 15 年度発表講演集 No. 347

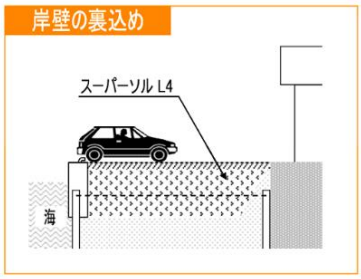
<table>
<tr><th colspan="2">事例 84</th></tr>
<tr><td>件　名</td><td>南本牧埋立工事（E 街区地盤改良工）</td></tr>
<tr><td>実施機関</td><td>横浜市港湾局</td></tr>
<tr><td>実施場所</td><td>神奈川県横浜市</td></tr>
<tr><td>実施時期</td><td>平成 20 年 3 月～5 月</td></tr>
<tr><td>リサイクル材料</td><td>21. ガラス再生資材（再生砂）</td></tr>
<tr><td>適用用途</td><td>④バーチカルドレーン及びサンドマット材、⑤サンドコンパクションパイル材</td></tr>
<tr><td>実施数量</td><td>5,774 m^3</td></tr>
<tr><td>概要（目的・内容）</td><td>サンドコンパクションパイル材及びサンドドレーン材として利用され、サンドコンパクションパイルについては半数を山砂、残りの半数をガラス再生砂で施工し、サンドコンパクションパイル材としての適応性が検証された。
 

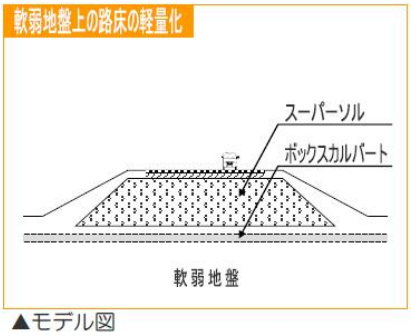
ＳＤ格子状配置 3.0mﾋﾟｯﾁ φ400mm ，ＳＣＰ格子状配置 1.5mﾋﾟｯﾁ φ700mm
【 図－1　施工断面図 】
（表１）山砂との特性比較
<table>
<tr><td>各特性値</td><td>土粒子の密度</td><td>自然含水比</td><td>内部摩擦角</td><td>透水係数</td><td>均等係数</td></tr>
<tr><td>ガラス造粒砂</td><td>2.504 (g/cm3)</td><td>4.8 (%)</td><td>40±3° 1)</td><td>10^{-2} (cm/s) 1)</td><td>6.86</td></tr>
<tr><td>山　砂</td><td>2.713 (g/cm3)</td><td>7.9 (%)</td><td>35° 以上 2)</td><td>10^{-2} (cm/s) 2)</td><td>2.23</td></tr>
<tr><td>各特性値</td><td>細粒分</td><td>砂分</td><td>礫分</td><td>最大粒径</td><td>曲率係数</td></tr>
<tr><td>ガラス造粒砂</td><td>3.5 (%)</td><td>60.5 (%)</td><td>36 (%)</td><td>4.75 (mm)</td><td>1.48</td></tr>
<tr><td>山　砂</td><td>4.4 (%)</td><td>95.6 (%)</td><td>0 (%)</td><td>2.00 (mm)</td><td>1.18</td></tr>
</table>
（表２）SCP 打設後の結果
SWG→
<table>
<tr><td>粒　度</td><td></td><td>細粒分 (%)</td><td>砂分 (%)</td><td>礫分 (%)</td><td colspan="2">現場透水試験結果 (cm/s)</td></tr>
<tr><td>搬 入 時</td><td></td><td>3.5</td><td>60.5</td><td>36.0</td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">打設後</td><td>最大</td><td>6.3</td><td>63.0</td><td>32.2</td></tr>
<tr><td>最小</td><td>5.1</td><td>62.7</td><td>30.7</td><td>GL-5.00m</td><td>4.27×10^{-3}</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>GL-10.00m</td><td>1.07×10^{-3}</td></tr>
</table>
山砂→
<table>
<tr><td>粒　度</td><td></td><td>細粒分</td><td>砂分</td><td>礫分</td><td colspan="2">現場透水試験結果 (cm/s)</td></tr>
<tr><td>搬 入 時</td><td></td><td>4.4 (%)</td><td>95.6 (%)</td><td>0 (%)</td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">打設後</td><td>最大</td><td>8.7 (%)</td><td>92.7 (%)</td><td>0 (%)</td></tr>
<tr><td>最小</td><td>7.3 (%)</td><td>91.3 (%)</td><td>0 (%)</td><td>GL-5.00m</td><td>8.69×10^{-4}</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>GL-10.00m</td><td>9.12×10^{-4}</td></tr>
</table>


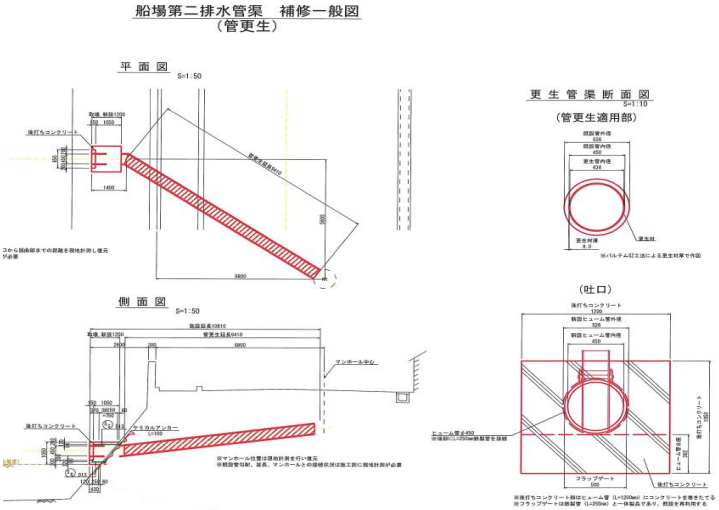
【図-2　粒径加積曲線 】


【図-3 標準貫入試験結果】</td></tr>
<tr><td>適用結果</td><td>ガラス再生砂は山砂以上に透水性が高く、ＳＣＰ部でもドレーン効果として必要な透水性を確保でき、また、安定対策として必要な地盤強度も得られた。</td></tr>
<tr><td>課題</td><td>特になし。</td></tr>
<tr><td>その他</td><td>リサイクルガラス造粒砂「サイドウエーブ G」技術資料 2022 年 4 月版（ガラスリソーシング株式会社）
第 44 回地盤工学研究会投稿論文 平成 18 年度発表講演集 No. 193</td></tr>
</table>

事例 85	
件　名	旭川市（瑞穂）市道改良工事
実施機関	旭川市
実施場所	旭川市瑞穂
実施時期	令和２年
リサイクル材料	21. ガラス再生資材
適用用途	⑮路盤材（凍上抑制層材料）
実施数量	531ｔ
概要（目的・内容）	市道改良工事において、路盤材（凍上抑制層材料）として、ガラス再生資材を使用した。 ▲①掘削・粗整地 ▼②転圧・整地 ▲③ガラスカレット搬入 ※整地完了
適用結果	旭川２１世紀の森への連絡道路として、路盤沈下も見られず、正常に機能している。
課題	特になし。
その他	

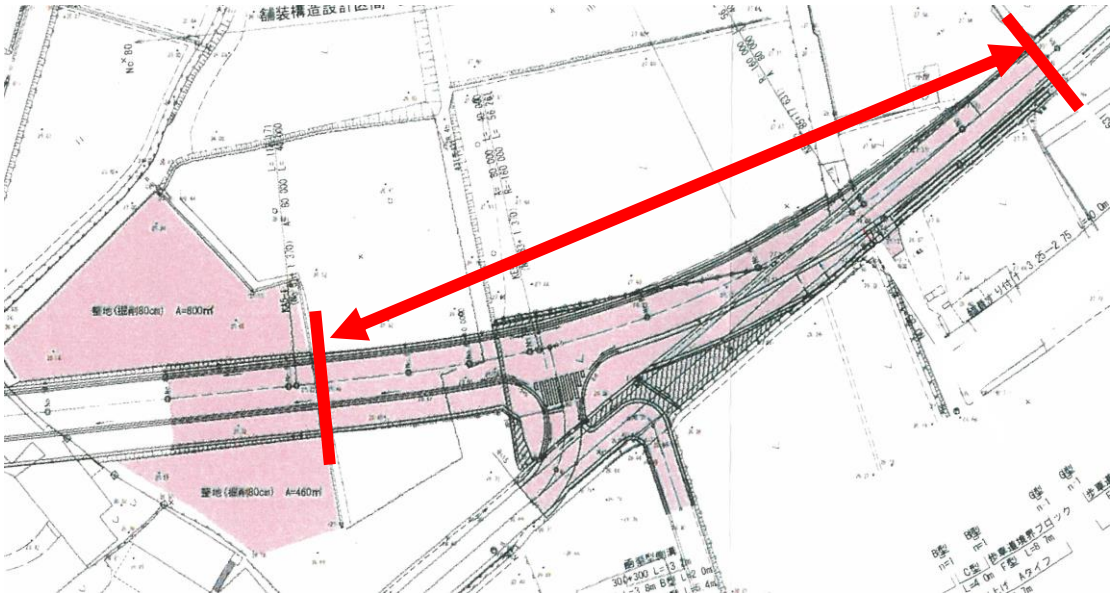
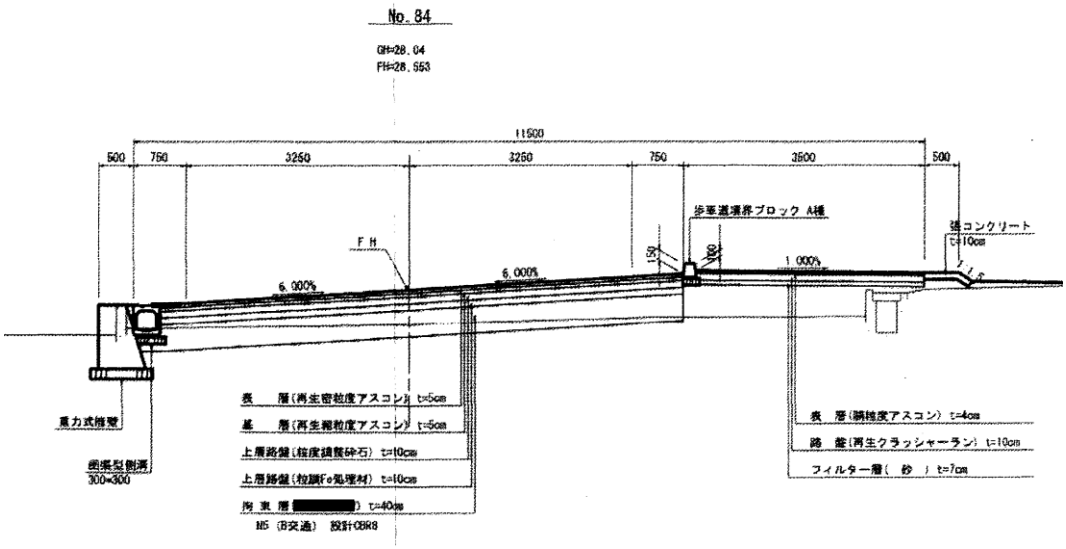
事例 86	
件　名	名護漁港-4.5m岸壁改良工事
実施機関	名護市
実施場所	沖縄県名護市
実施時期	平成 20 年
リサイクル材料	22.ガラス発泡リサイクル資材
適用用途	⑩裏込材
実施数量	537m^3
概要（目的・内容）	護岸工事で、砂利や砕石より軽いが水に沈む比重 1.1 のガラス発泡リサイクル資材を採用。 当初は他の水に沈む軽量盛土材が設計折込されていたが、スレーキング率や破砕特性から判断し、ガラス発泡リサイクル資材が締固めやすく、材料が変化しにくいことで採用された。 [使用材料] ガラス発泡リサイクル資材（スーパーソル L4） ・単位体積重量（締固め時）11kN/m^3 ・内部摩擦角 42° ・水中有効重量 2.5kN/m^3 ・耐久性（スレーキング率）0.06 ・破砕特性 15.2% ▲スーパーソル投入 ▲施工現場  ▲モデル図 ▲スーパーソル敷設完了 ▲転圧 ▲施工完了
適用結果	良好である。
課題	ガラス発泡リサイクル資材（スーパーソル L4）は受注生産品のため、大量に使用することが困難。
その他	

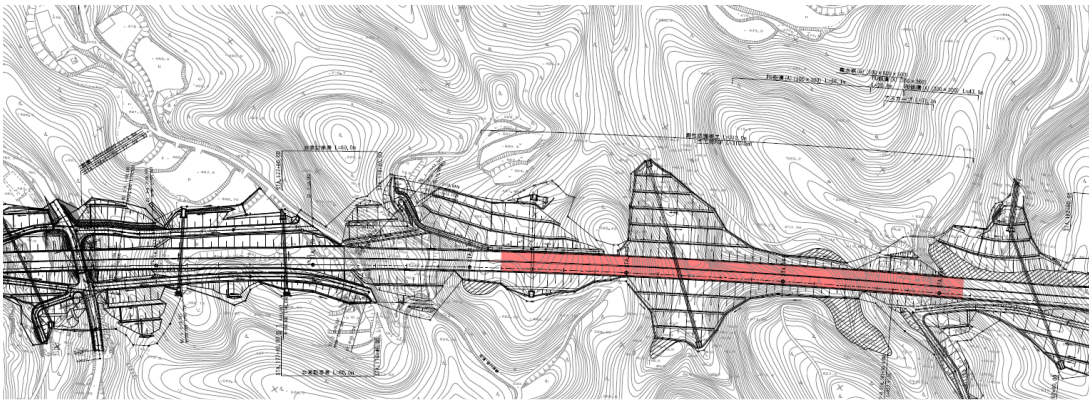
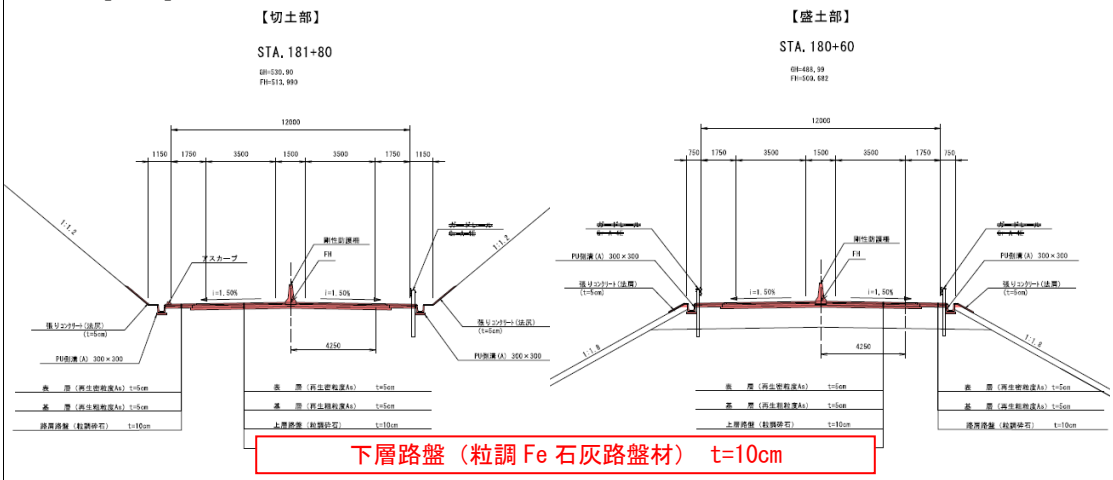
事例 87	
件　名	国道 9 号線　駟馳山バイパス岩美 IC 第 2 改良工事
実施機関	中国地方整備局　鳥取河川国道事務所
実施場所	国道 9 号線　駟馳山バイパス岩美 IC
実施時期	平成 25 年
リサイクル材料	22.ガラス発泡リサイクル資材
適用用途	⑭路床盛土材
実施数量	6,350m^3
概要（目的・内容）	新設道路整備に伴う盛土工事である。 軟弱地盤対策として、ボックスカルバートの保護及び不同沈下対策のため、盛土の軽量化が必要となり、ガラス発泡リサイクル資材が使用された。 ●幅：約 15～27m、延長：約 47m、盛土高：約 6m、橋台裏込め。 [使用材料] ガラス発泡リサイクル資材（スーパーソル L2） ・単位体積重量（締固め時）4kN/m^3 ・内部摩擦角 40° ・耐久性（スレーキング率）0 又は 1 ▲施工前  ▲モデル図 ▲投入 ▲下層路盤 ▲土木シート敷設 ▲完成
適用結果	良好である。
課題	特になし。
その他	

事例 88	
件　名	阿武隈川下流鳩原地区河道整備工事
実施機関	東北地方整備局　仙台河川国道事務所
実施場所	宮城県伊具郡丸森町船場地先　地内
実施時期	令和 2 年度
リサイクル材料	23.ペーパースラッジ
適用用途	⑱その他（充填材）
実施数量	既設函体内閉塞工事 φ450/BOX0.4×0.4×0.6　L=9.60m 1sp　V=1.670m^3
概要（目的・内容）	車道直下に埋設された旧配水用 BOX 及び排水管の充填工事  船場第二排水管渠　補修一般図 （管更生） 平面図 S=1:50 更生管渠断面図 S=1:10 （管更生適用部） 側面図 S=1:50 （吐口） モルタル製造注入プラント モルタル充填状況 モルタルリーク状況
適用結果	行止まりの充填なので、エアー抜き配管をエアー溜りが出来ないように配置し完全充填が出来た。
課題	特になし。
その他	

事例 89	
件　名	国道 115 号　円渕トンネル工事
実施機関	東北地方整備局　磐城国道事務所
実施場所	福島県相馬市山上字円渕　地内
実施時期	平成 26 年度
リサイクル材料	24.ペーパースラッジ焼却灰
適用用途	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材
実施数量	1,465t
概要（目的・内容）	トンネル坑口前の路体箇所に軟弱土が厚く堆積しており、土質改良が必要であったため、PS 灰系改質材が適用された。 現場は狭隘のため、仮置きヤード無しに瞬時改良することができた。 ①改良対象土 含水比 w=48～58% コーン指数 qc=36～150kN/m² ②FT マッドキラーによる改良状況 軟弱土に FT マッドキラーを混合することで、瞬時に目標強度 qc=500kN/m² を確保 ③改良土の撒き出し状況 改良後、直ぐに撒き出し ④改良土の転圧状況 振動ローラ 12ton、転圧厚さ 30cm、4 回/層 ⑤改良土の転圧完了 締固め度　Dc≧90%
適用結果	混合直後に強度が発現し、目標強度を確保することで締固めが可能となり、工期短縮が図れた。
課題	特になし。
その他	

事例 90	
件　名	平成 25 年度　石巻漁港西港港内浚渫工事
実施機関	宮城県　東部地方振興事務所（水産漁港部）
実施場所	宮城県石巻市
実施時期	平成 25 年 11 月～平成 25 年 12 月
リサイクル材料	25. 古紙
適用用途	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材
実施数量	5,000m^3
概要（目的・内容）	東日本大震災により発生した津波堆積物は、石巻漁港内の航路を塞ぎ、港内の浚渫は喫緊の課題となった。繊維質系泥土改良材を用いた改良工法は、腐敗臭を伴う硫化水素抑制対策と即時運搬性が高いため採用となった。 1.港湾内浚渫状況 2.泥土ピットへの投入状況 3.泥土改良材の投入撹拌状況 4.改良直後の改良土状況 5.改良土の積込状況 6.改良土の仮置き(敷均し・締固め)状況
適用結果	改良土は、腐敗臭が無くなり、硫化水素発生防止対策として有効であることが実証された。さらに、改良翌日には 21t 級 BH による締固めが可能となり、災害復旧等の迅速な対応が求められる現場においての有効性が確認された。
課題	特になし。
その他	高橋弘，森雅人：木くずを含む津波堆積物の再資源化，がれき処理コンソーシアム・適用事例集，pp89-94，2014.

事例 91	
件　名	久光・西小田線自歩道設置工事(3 工区)
実施機関	福岡県　朝倉県土整備事務所
実施場所	福岡県朝倉市筑前町上高場
実施時期	平成 31 年 2 月 21 日～令和元年 10 月
リサイクル材料	26.砕石微粉末（脱水ケーキ）
適用用途	⑭路床盛土材
実施数量	719.6m^3
概要（目的・内容）	砕石微粉末（脱水ケーキ）を利用した「HC 複合路床材料」を路床材料に使用した。 平　面　図  断　面　図 
適用結果	問題なし。
課題	特になし。
その他	

事例 92	
件　名	九州中央自動車道(山都中島西 IC～矢部 IC 間)舗装工事
実施機関	九州地方整備局 熊本河川国道事務所
実施場所	熊本県上益城郡山都町 地内
実施時期	令和 4 年度
リサイクル材料	27. 粒調 Fe 石灰路盤材
適用用途	⑮路盤材
実施数量	27,800m^2（内訳：1 工事（3,500m^2）2 工事（6,340m^2）3 工事（2,440m^2）
概要（目的・内容）	九州中央自動車道(山都中島西 IC～矢部 IC 間)舗装工事において、路盤材として使用した。 構造図【平面】  構造図【断面】 
適用結果	九州中央自動車道の盛土部、切土部において設計 CBR12 以上の良質路床上に路盤材として使用し、現在経過観察中。令和 5 年度開通予定。今現在目立った問題なし。
課題	粒調 Fe 石灰路盤材に混入している再生骨材（セメントコンクリート再生骨材や砕石屑、既設路盤材等の再生材）は、複数の製造販売施設より入手している。そのため、分別方法に違いがあるため、細かな不純物（木片等）の混入が予見された。
その他	