

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。

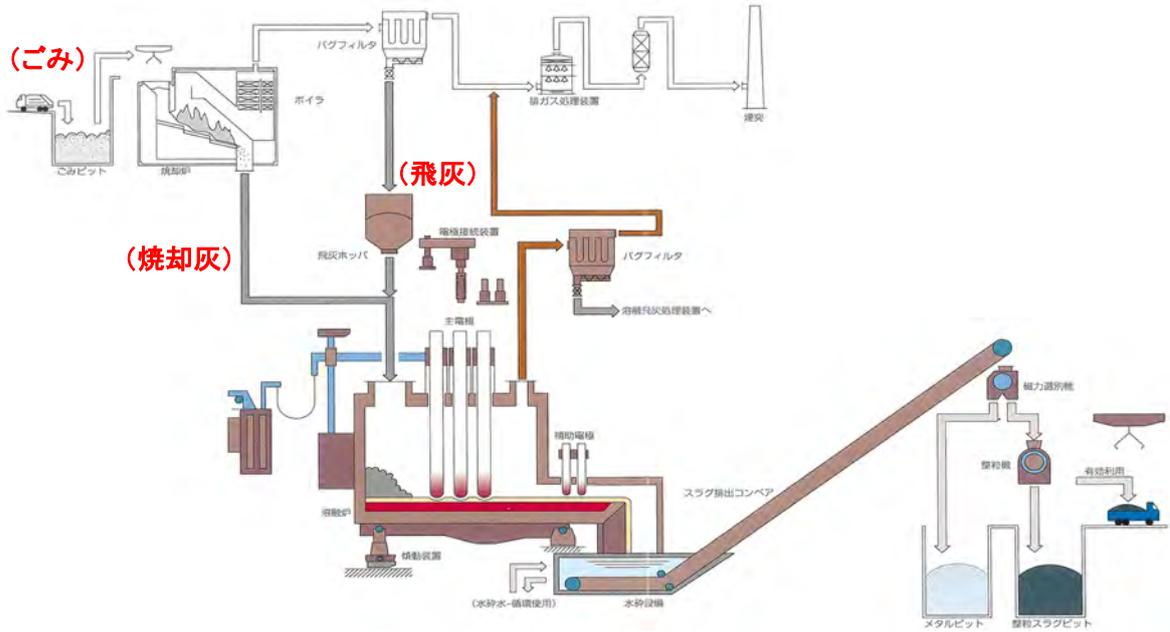
下水汚泥溶融炉は、下水汚泥を焼却した焼却灰を溶融する灰溶融炉と、下水汚泥を直接溶融する汚泥溶融炉に分類される。

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
	ガス化溶融炉	一体方式	シャフト炉式ガス化溶融炉
			キルン式ガス化溶融炉
		分離方式	流動床式ガス化溶融炉
			シャフト炉式ガス化改質炉
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	

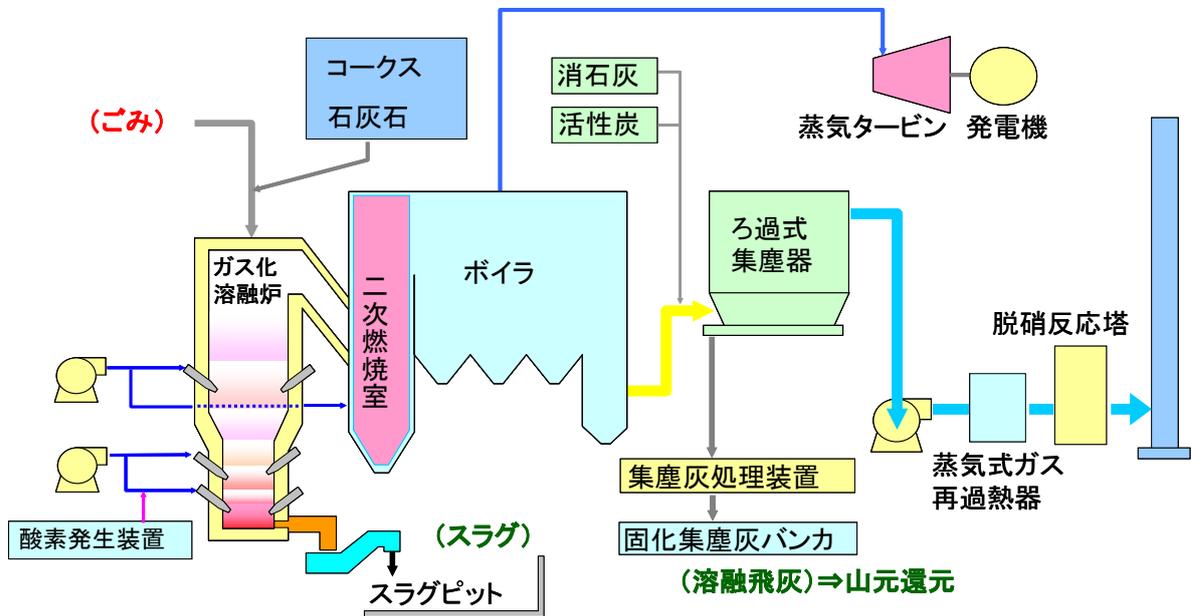
出典) 道路用溶融スラグ品質管理及び設計施工マニュアル (改訂版) ((一社) 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会)

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2.5mm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

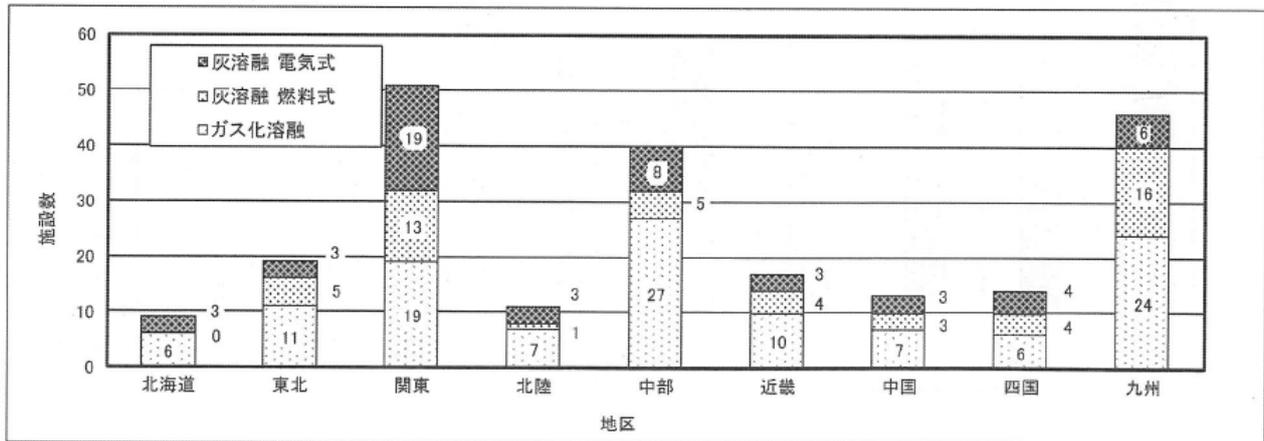
(2) 供給・利用の状況

1) 供給地域

平成 27 年度は一般廃棄物（都市ごみ）の溶融施設は全国で 220 施設、下水汚泥の溶融施設は全国で 17 施設であり、合計 237 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。

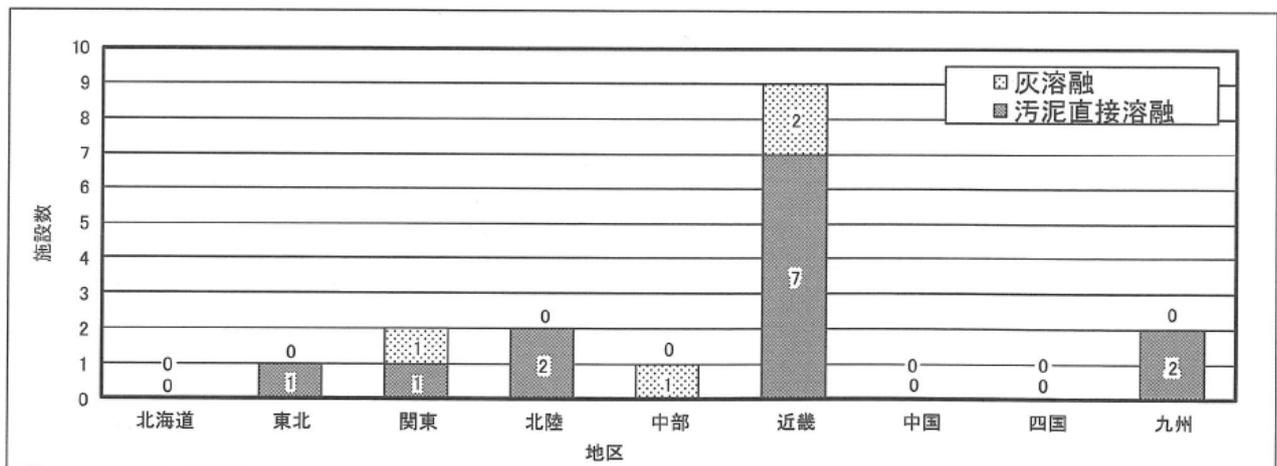
下水汚泥溶融施設の地区別の分布を図 3.18.6 に示す。



(エコスラグ利用普及委員会)

出典) エコスラグ有効利用の現状とデータ集 (2016 年度版) ((一社) 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会)

図 3.18.5 一般廃棄物溶融施設の地区別分布状況 (平成 27 年度)



(エコスラグ利用普及委員会)

出典) エコスラグ有効利用の現状とデータ集 (2016 年度版) ((一社) 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会)

図 3.18.6 下水汚泥溶融施設の地区別分布状況 (平成 27 年度)

2) 生産量

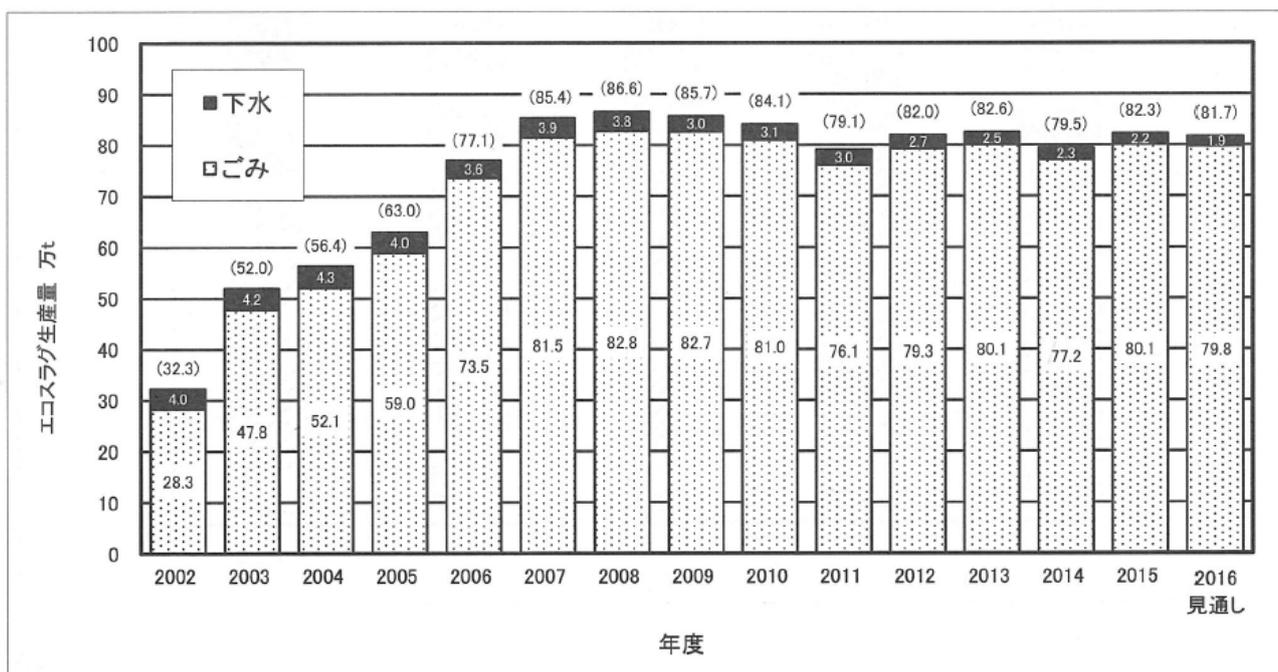
平成 27 年度は全国で、一般廃棄物のエコスラグは 80.1 万 t、下水汚泥スラグは 2.2 万 t で、合計 82.3 万 t のエコスラグが生産された。

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 80 万 t 代を推移している。



(エコスラグ利用普及委員会)

出典) エコスラグ有効利用の現状とデータ集 (2016 年度版) ((一社) 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会)

図 3.18.7 エコスラグ生産量の推移

図 3.18.8 に都道府県別の人口 (1,000 人) 当たりのエコスラグ生産量 (平成 27 年度) を示す。人口当たりでも大きな生産量を示す都道府県のうち、香川・茨城・島根・岡山・栃木の各県には、それぞれの県内に大型処理施設を持つことも影響している。

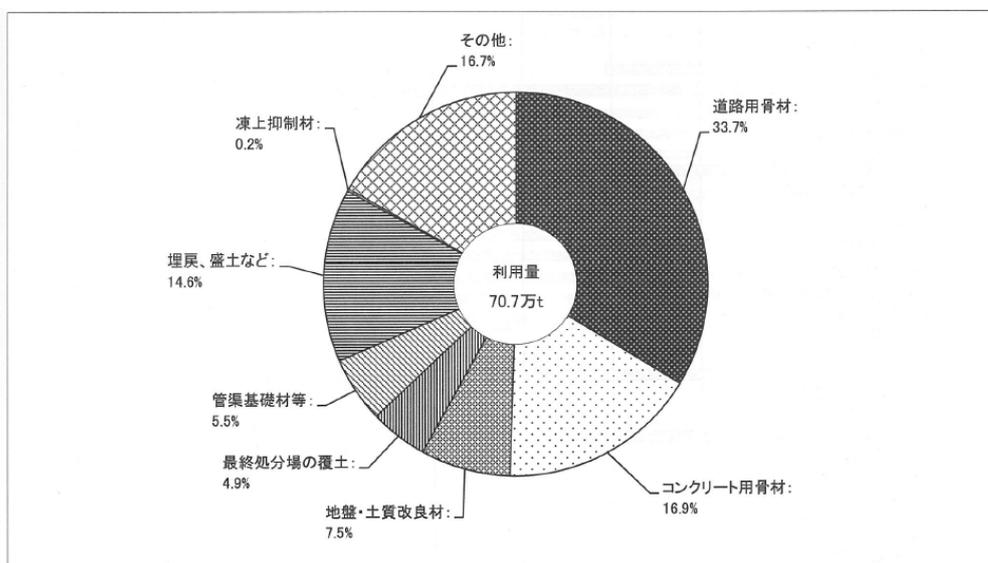
表 3.18.2 エコスラグの用途別利用量

品目	2012年度		2013年度		2014年度		2015年度	
	利用量 t	比率%						
道路用骨材	258,000	37.2	269,900	38.9	250,300	36.8	238,100	33.7
コンクリート用骨材	117,400	16.9	127,700	18.4	123,900	18.2	119,200	16.9
地盤・土質改良材	85,400	12.3	68,900	9.9	51,000	7.5	53,200	7.5
最終処分場の覆土	57,100	8.2	45,500	6.6	35,000	5.1	34,500	4.9
管渠基礎材	36,000	5.2	24,500	3.5	36,100	5.3	39,200	5.5
埋戻、盛土など	82,800	11.9	65,100	9.4	87,800	12.9	103,100	14.6
凍上抑制材	5,300	0.8	4,600	0.7	2,200	0.3	1,400	0.2
その他	51,600	7.4	87,000	12.6	94,300	13.9	118,400	16.7
合計	693,600	100	693,200	100	680,600	100	707,100	100

(エコスラグ利用普及委員会)

出典) エコスラグ有効利用の現状とデータ集 (2016 年度版) ((一社) 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会)

図 3.18.9 に平成 27 (2015) 年度に有効利用された 70.7 万 t のエコスラグの利用用途を示す。34%が道路用骨材として利用されており、17%がコンクリート用骨材として利用されている。その他には、地盤・土質改良材として 8%、埋戻、盛土に 15%利用された。



(エコスラグ利用普及委員会)

出典) エコスラグ有効利用の現状とデータ集 (2016 年度版) ((一社) 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会)

図 3.18.9 エコスラグの利用用途 (平成 27 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。

平成 24 (2012) 年度は、約 26 万 t のエコスラグが道路用骨材として、利用されている。

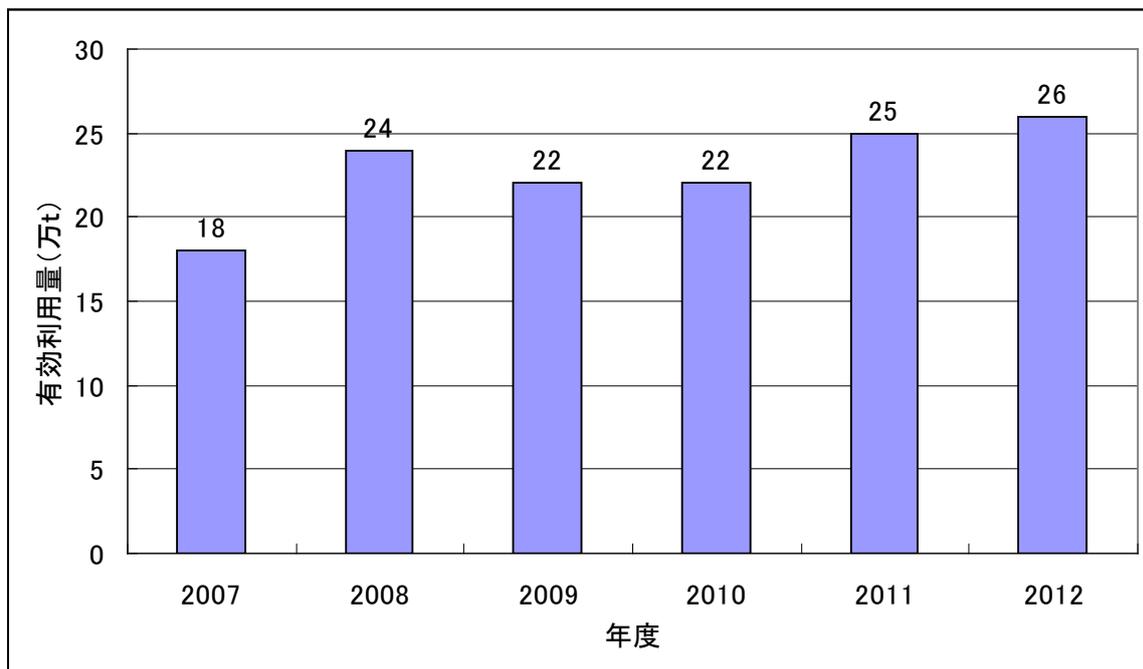


図 3.18.10 エコスラグの道路用骨材としての利用量の推移

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。

平成 24 (2012) 年度は、約 12 万 t のエコスラグがコンクリート用骨材として、利用されている。

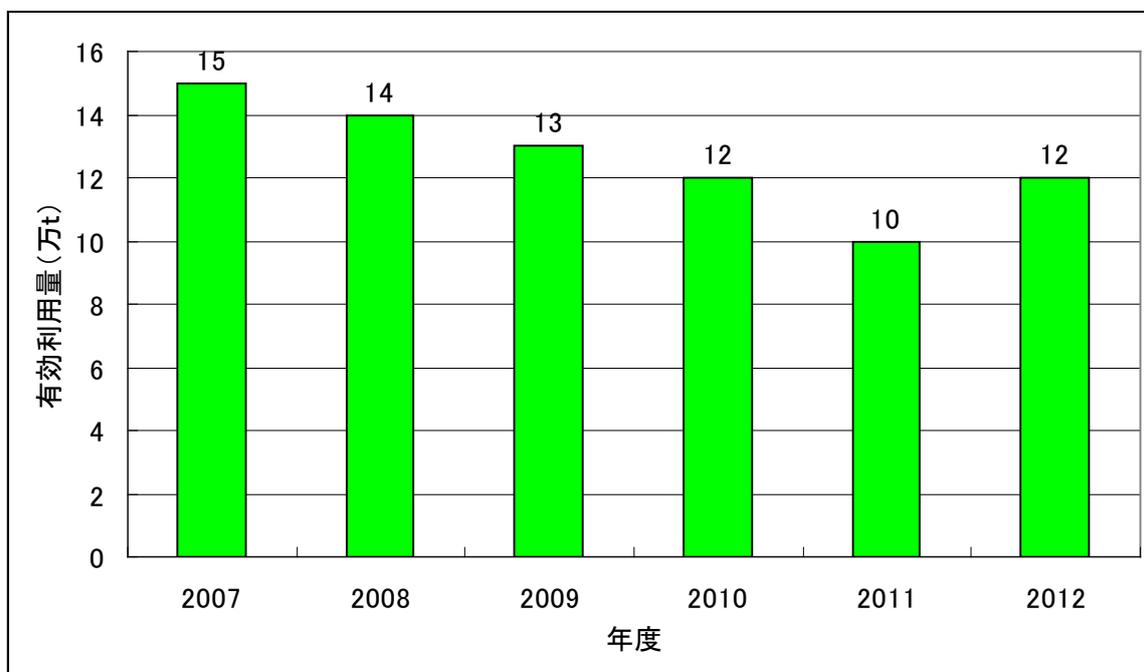


図 3.18.11 エコスラグの道路用骨材としての利用実績

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/cm ³	g/cm ³	%	%	%	%
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グ		—	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)と破碎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熔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 溶融スラグ	—	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

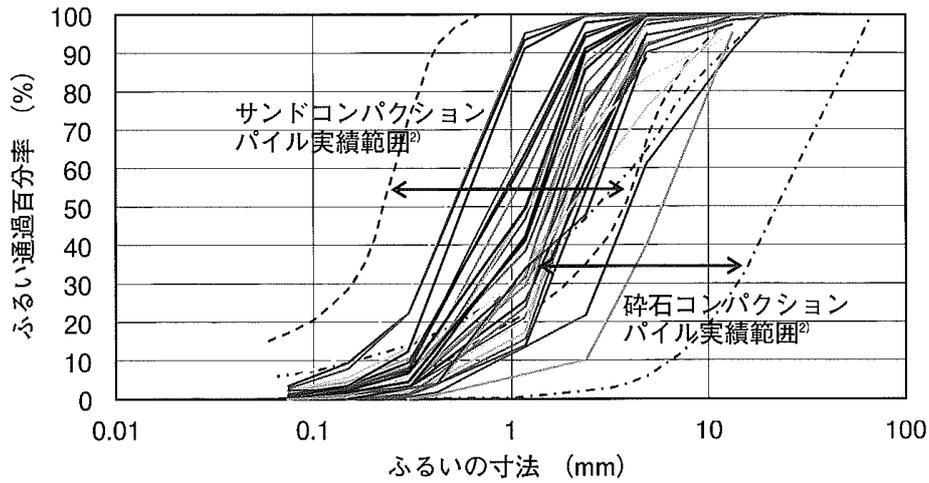
出典) 東京二十三区清掃一部事務組合公式ホームページ

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、破碎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。

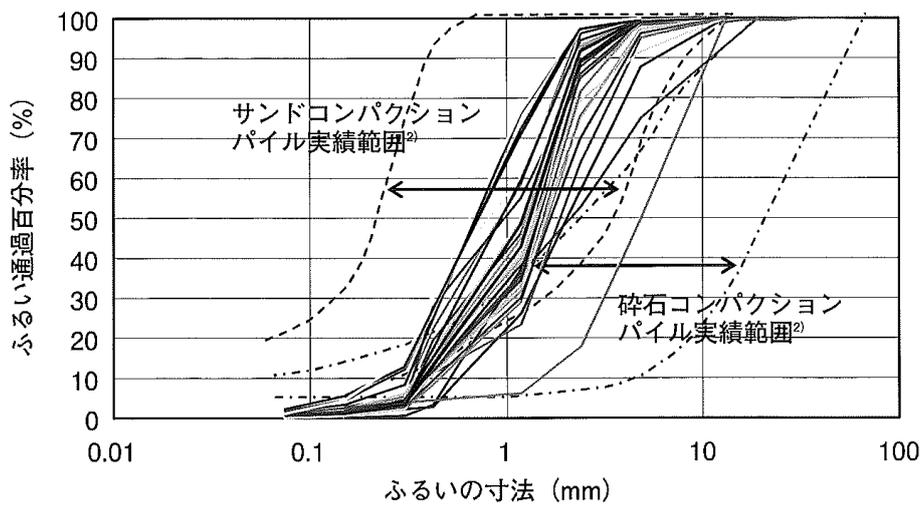
水砕スラグは、破碎の有無に関らず、原料（都市ごみまたは下水汚泥）の違いによる粒度分布に大きな差異は無い。破碎なしの場合（図 3.18.13、図 3.18.14）でも粒度分布は比較的均一で、粒径 D_{50} は 9 割以上の試料で 0.7~2.5mm の範囲にある。破碎ありの場合は（図 3.18.15）、破碎なしの場合に比べ粒度は若干細かくなるとともに分布は均一化され、粒径 D_{50} は 9 割以上の試料で 0.5~1.0mm の範囲となる。

水砕スラグは、図 3.18.13~図 3.18.15 に示したように破碎の有無によらずに、サンドコンパクションパイプ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、0.075mm 以下の細粒分は破碎なしでは 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。

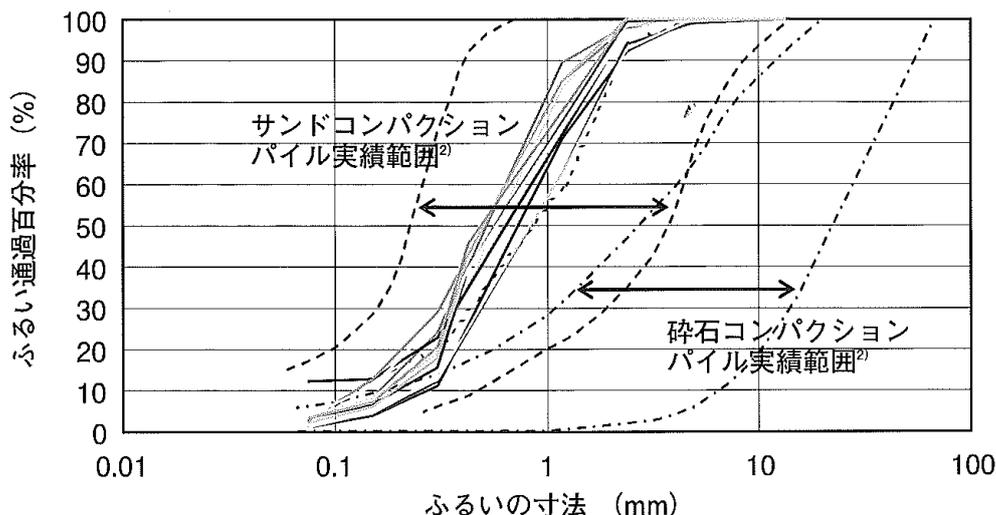
徐冷スラグの粒度は、冷却条件により大きく異なるため、一般的な粒度分布を示すことはできない。粒度分布の大部分が 10mm を超える場合もあれば、比較的水砕スラグに近い粒度分布の場合もあるが、一般に徐冷スラグは水砕スラグより粗い粒度分布をもつ。そのため、徐冷スラグをサンドコンパクション工法の砂代替材料として用いる場合には、破碎による粒度調整が必要である。



出典) 港湾工事中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、破碎なし)



出典) 港湾工事中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、破碎なし)



出典) 港湾工事前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、破碎あり)

表 3.18.6 エコスラグの粒度分布 (水砕スラグ)

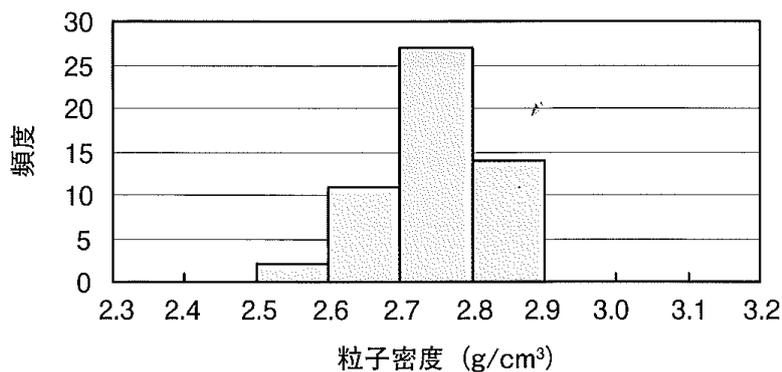
粒径 (mm)	通過質量百分率 (%)						
	37.5	26.5	19	4.75	2.36	0.425	0.075
全データ	100	100~99.6	100~97.7	100~40.0	100~10.0	45.3~1.0	12.0~0.0
都市ごみ 破碎なし	100	100	100~97.7	100~40.0	99.7~10.0	27.2~1.0	4.8~0.0
下水汚泥 破碎なし	100	100~99.6	100~99.5	100~50.0	98.5~18.0	31.6~3.0	2.4~0.0
都市ごみ・下水汚泥 破碎あり	100	100	100	100~99.6	100~92.0	45.3~39.1	12.0~1.0

出典) 港湾工事前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

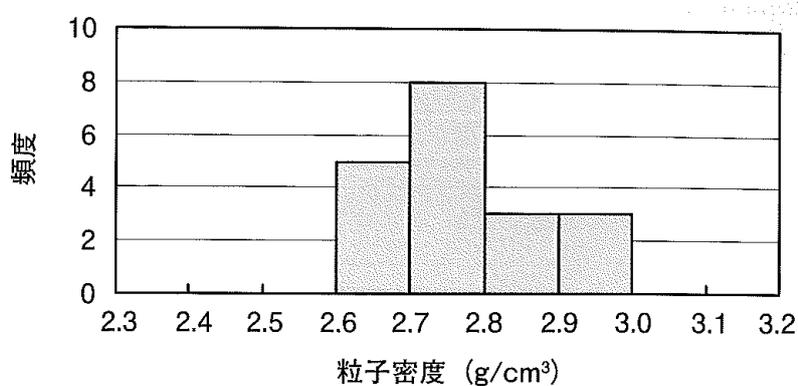
エコスラグの粒子密度試験結果を図 3.18.16~図 3.18.19 及び表 3.18.7 に示す。なお、頻度とは施設数を表している。

エコスラグの粒子密度は平均 2.74 g/cm³ で、全体の約 9 割が 2.60~2.90 g/cm³ 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/cm³ 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はいるが、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/cm³ 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。



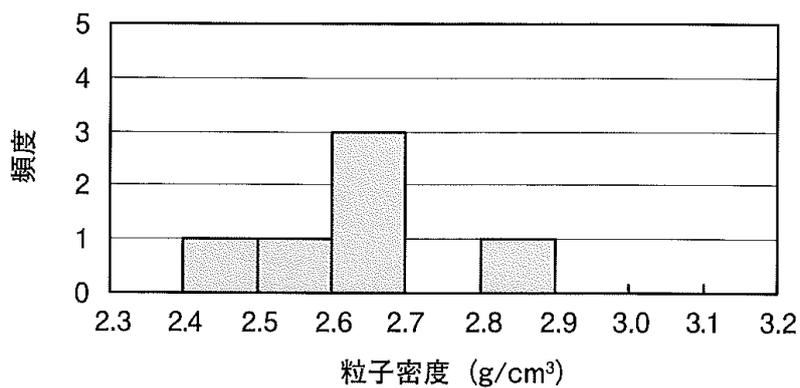
出典) 港湾工事事用エコスラグ利用手引書 ((社) 日本産業機械工業会、 (財) 沿岸技術研究センター)

図 3.18.16 エコスラグの粒子密度試験結果 (都市ごみ、水碎スラグ)



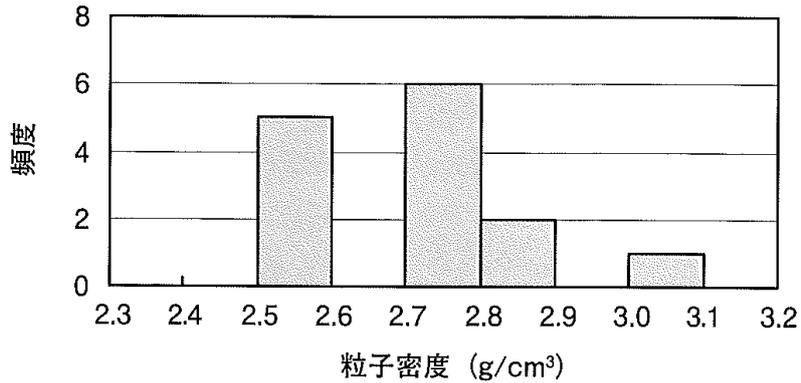
出典) 港湾工事事用エコスラグ利用手引書 ((社) 日本産業機械工業会、 (財) 沿岸技術研究センター)

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、水碎スラグ)



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。

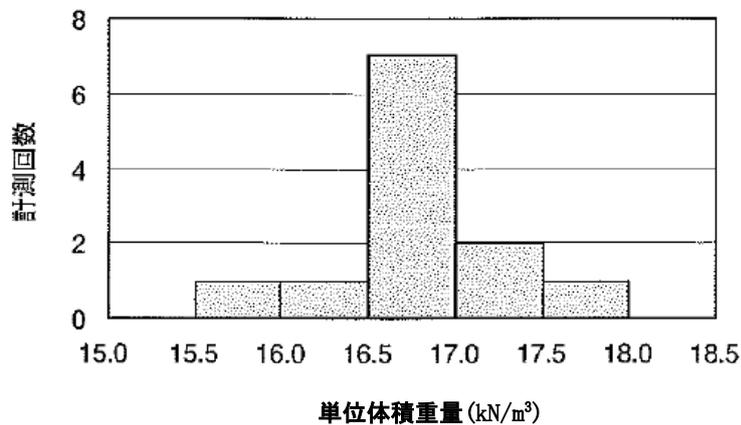
表 3.18.8 エコスラグと他の材料との単位体積重量の比較

(単位: kN/m³)

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

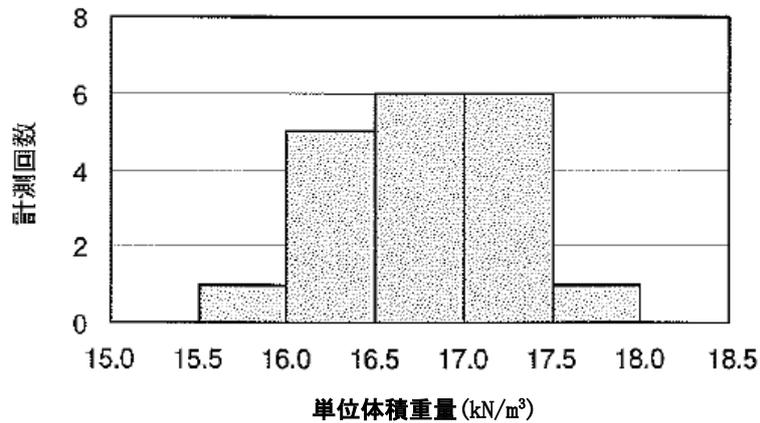
出典) 港湾工事用エコスラグ利用手引書 ((社) 日本産業機械工業会、 (財) 沿岸技術研究センター)

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/m³ で、9 割以上が平均値 ±1.0 kN/m³ 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) 港湾工事中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) 港湾工事中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) 港湾工事中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 $10^{-3} \sim 10^0 \text{cm/s}$ の範囲にある。これは天然の細砂・中砂と同等である。また、締固めによる破碎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）

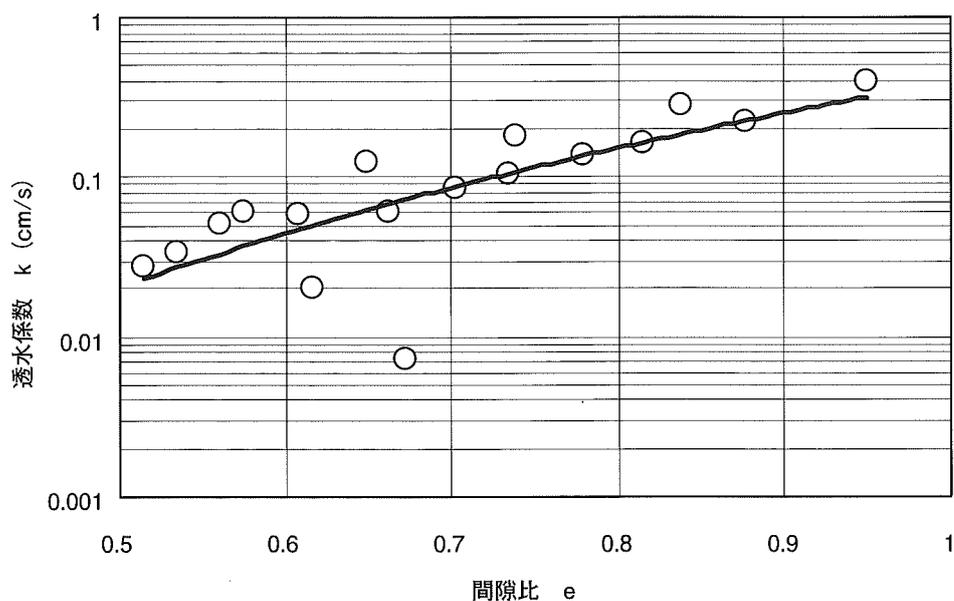
項目	試料1	試料2	試料3	試料4	試料5	試料6
乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	1.52	1.55	1.59	1.62	1.48	1.57
間隙比 e	0.814	0.779	0.734	0.702	0.949	0.838
透水係数 $k(\text{cm/s})$	1.64×10^{-1}	1.37×10^{-1}	1.05×10^{-1}	8.66×10^{-2}	3.97×10^{-1}	2.83×10^{-1}

項目	試料7	試料8	試料9*	試料10	試料11	試料12
乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	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 $k(\text{cm/s})$	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 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	1.79	1.81	1.84	1.86
間隙比 e	0.574	0.560	0.535	0.515
透水係数 $k(\text{cm/s})$	5.96×10^{-2}	5.02×10^{-2}	3.41×10^{-2}	2.79×10^{-2}

*締固めによる破碎試験後

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) 港湾工事中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) 港湾工事中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碎なしで、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 ₂ O ₃ (wt%)		15	18
塩基度 (CaO/SiO ₂ 比)		0.61	0.41

出典) 港湾工事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)

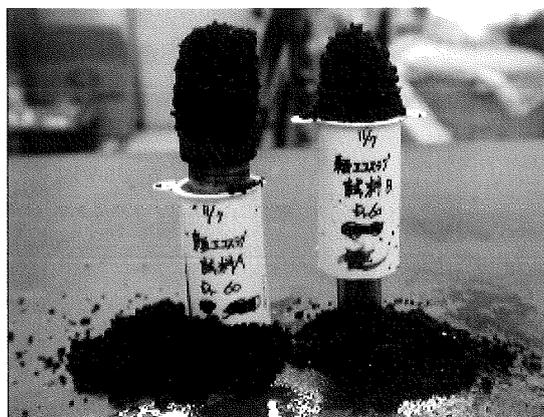
透水試験の結果、6ヶ月の海水浸せき後、透水係数の低下は認められなかった。

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
浸水後	2.5×10^{-1}		3.4×10^{-1}

出典) 港湾工事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화가認められなかった。



出典) 港湾工事中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 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$ であり、粘着力は無視できる。

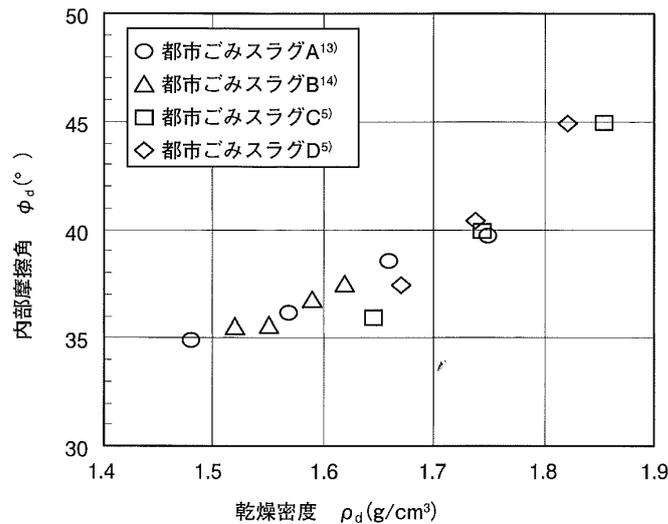
表 3. 18. 15 及び図 3. 18. 24 は、スラグの乾燥密度 ρ_d と三軸圧縮試験によるせん断抵抗角 ϕ_d の関係を表したものである。ここに示すように、エコスラグのせん断抵抗角 ϕ_d は密度の増加に伴い大きくなる砂と同様の特性を備え、その値は $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$ の値を示している。また、粘着力は $10 \sim 45 \text{ kN/m}^2$ 程度が確認されているが、無視できる。

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 16.8 kN/m^3 であるから、これを密度換算すると 1.7 g/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	$\rho_d(\text{g/cm}^3)$	1.48	1.57	1.66	1.75
	$C_d(\text{kN/m}^2)$	11	11	13	24
	$\phi_d(^{\circ})$	34.9	36.1	38.5	39.7
都市ごみスラグB	$\rho_d(\text{g/cm}^3)$	1.52	1.55	1.59	1.62
	$C_d(\text{kN/m}^2)$	31	33	34	35
	$\phi_d(^{\circ})$	35.5	35.6	36.8	37.5
都市ごみスラグC	$\rho_d(\text{g/cm}^3)$	1.646	1.744	1.855	
	$C_d(\text{kN/m}^2)$	12.8	23.6	24.1	
	$\phi_d(^{\circ})$	35.9	39.9	44.9	
都市ごみスラグD	$\rho_d(\text{g/cm}^3)$	1.67	1.738	1.822	
	$C_d(\text{kN/m}^2)$	19	22.9	46.7	
	$\phi_d(^{\circ})$	37.4	40.4	44.9	

出典) 港湾工事中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、SiO₂、CaO、Al₂O₃ 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 ₂ O 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 ₂ O ₃	wt%	0.3 ~ 12.6	7.6 ~ 22.4*	0.4*	—	3.1**
Na ₂ O	wt%	0.2 ~ 10.0	—	—	—	—
K ₂ O	wt%	0.3 ~ 2.8	—	—	—	—

注記) *全鉄量として, ** FeO として

出典) 港湾工事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熔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熔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°C)
		0.2	8.7(21.0°C)
		0.1	8.7(21.0°C)
スラグB	人工海水	1	8.6(21.0°C)
		0.2	8.2(21.0°C)
		0.1	8.1(21.0°C)

(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規格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規格に適合したものを利用するものとする。

JIS規格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	<p>●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。</p> <p>【主な内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1)一般廃棄物、下水汚泥の焼却灰を熔融固化したコンクリート用溶融スラグ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。 	<p>●利用実績はあるが、限定される。(リサイクルポータル推進協議会集計実績)</p>	1) 2) 3)
② コンクリート用粗骨材	△	A	<p>●既に当該用途を想定した品質基準が設けられている。</p> <p>【主な内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1)一般廃棄物、下水汚泥の焼却灰を熔融固化したコンクリート用溶融スラグ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 パーチャルトレーン及びサンドマット材	△	B	<p>●利用マニュアル案等が整備されている。</p> <p>【主な内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・4)エコスラグのパーチャルト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グ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グは、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 サンドコンパクションパイル材	○+	B	<p>●利用マニュアル案等が整備されている。</p> <p>【主な内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・4)エコスラグのサンドコンパクションパ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グ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グは、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 	●利用実績はあるが、限定される。	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	<p>●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> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 	●利用実績はあるが、限定される。	
⑧ 中詰材	△	D	<p>●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> <ul style="list-style-type: none"> ・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) 	●利用実績なし	
⑨ 被覆石、根固・消波ブロック	△	D	<p>●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> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 	●利用実績はあるが、限定される。	
⑩ 裏込材	△	D	<p>●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> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 	●利用実績はあるが、限定される。	

出典)

- 1) JISA5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を熔融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」(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グ利用手引書(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熔融固化した道路用溶融スラグ」(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取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グについて品質、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。	- ●利用実績なし	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グについて品質、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ファイバー材	◎ (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グについて品質、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 藪場、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グ骨材」(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グ利用手引書(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グ」(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取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 (SO₃ 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
ヒ素	0.01 mg/L 以下
総水銀	0.0005 mg/L 以下
セレン	0.01 mg/L 以下
フッ素	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」

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
ヒ素	150 mg/kg 以下
総水銀	15 mg/kg 以下
セレン	150 mg/kg 以下
フッ素	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」

(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「港湾工事中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、「**港湾工事中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： $D_{50}=0.5\sim 2.5\text{mm}$
 - ・粒子密度： $\rho_s=2.74\text{g/cm}^3$
 - ・単位体積重量
 - 乾燥状態： $\gamma_d=16.8\text{kN/m}^3$
 - 飽和状態： $\gamma_{\text{sat}}=20.5\text{kN/m}^3$
 - ・透水係数： $k=10^{-3}\sim 10^0\text{cm/s}$
 - ・せん断抵抗角： $\phi_d=38^\circ$
 - ・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ュラン溶融スラグの粒度を表 3.18.28 に示す。

表 3.18.28 粒度調整溶融スラグ及びクラッシュ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	425 μ m	75 μ m
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
クラッシュラン溶融スラグ	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、クラッシュ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ュ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、できるだけ破碎（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・施工にあたっては、「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) 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 3.18.29 に示す。

表 3.18.29 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	75 μ m
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/cm³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・施工にあたっては、「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) 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 3.18.30 に示すように区分されており、物理的性質については、表 3.18.31 に適合する必要がある。粒度は表 3.18.32 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。

表 3.18.30 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 3.18.31 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 3.18.32 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」

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。

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 (SO₃ 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 3.18.33) 及び含有量基準 (表 3.18.34) が規定されている。

表 3.18.33 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	0.0005 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熔融固化したコンクリート用熔融スラグ骨材」
JIS A 5032 「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を熔融固化した道路用熔融スラグ」

表 3.18.34 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熔融固化したコンクリート用熔融スラグ骨材」
JIS A 5032 「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を熔融固化した道路用熔融スラグ」

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

ドレーンパイِل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、 $k = 10^{-3} \sim 10^0 \text{cm/s}$ 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 3.18.35）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。

表 3.18.35 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。

※カドミウムについては、平成 23 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が 0.003mg/L 以下に改正されたため、留意が必要である。

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」

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 3.18.35）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。

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 3.18.35）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。

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。

6) 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ュ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 3.18.36 に示す。

表 3.18.36 溶融スラグ細骨材及びクラッシュ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	75 μ m
溶融スラグ細骨材	FM-2.5	-	-	-	100	85~100	-	0~10
クラッシュラン 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。

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す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 破碎瓦

3.19.1 製造・供給

破碎瓦は、規格外瓦を破碎、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

破碎瓦は、瓦工場より発生した規格外瓦を破碎し、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碎・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。破碎瓦の産出地域（愛知県（三州瓦）、島根県（石州瓦））近傍が輸送コストの面で有利となる。

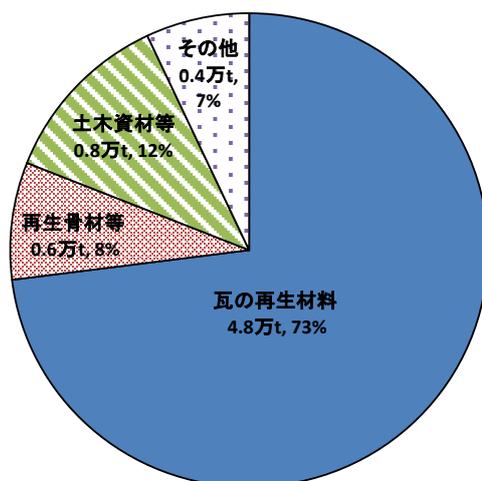
2) 製造場所



図 3.19.1 製造場所（破碎瓦）

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、破碎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碎されている。また、石州瓦工業組合（島根県）における破碎瓦の販売量（≒発生量）は概ね年間 10,000t であり、表 3.19.1 に示す。



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碎瓦発生量 (≒販売量)

生産者名・工場名		破碎瓦発生量
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 の破碎瓦が発生。		

出典) 粉碎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)

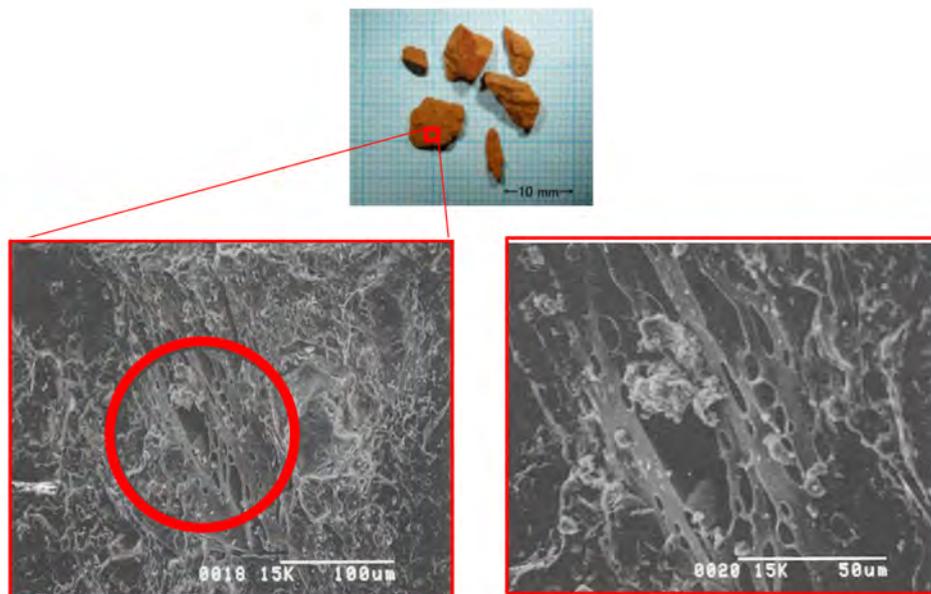
3.19.2 品質

破碎瓦は、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⁾

破碎瓦は、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 破碎瓦の構造 (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、「**破碎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 0-20mm 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碎瓦の材料特性は表 3.19.2 に示すとおりである。また、破碎瓦 (粒径 0-20mm) 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碎瓦の主な材料特性

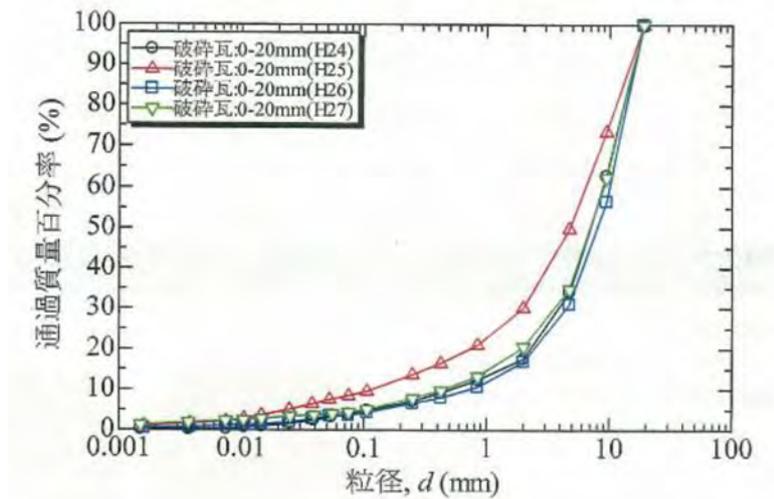
項目	内容
土圧特性	<ul style="list-style-type: none"> ・他の一般的な材料よりも軽量で、内部摩擦角が大きいため土圧低減材料として有効。
沈下特性	<ul style="list-style-type: none"> ・締固めが可能な気中施工の場合は沈下しないものと考えられる。 ・水中施工時の緩詰めの状態を想定した場合は、振動等の作用によって体積収縮による沈下が生じる可能性がある。
液状化特性	<ul style="list-style-type: none"> ・気中で締め固めた場合の液状化強度比 R_{L20} は 0.58 と大きいですが、水中投入時のゆるく堆積した状態を想定した場合、粒度の観点からは「液状化の可能性はある」層が堆積する。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・輾掘れの有無 他の材料と比較して、車両通行による表層部分の輾掘れの影響は少ない。 ・粒子破碎の有無 車両通行等による繰返し荷重が作用した場合でも、「粒子破碎はしない」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) 破碎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 破碎瓦（粒径 0-20mm）の材料特性（参考値）

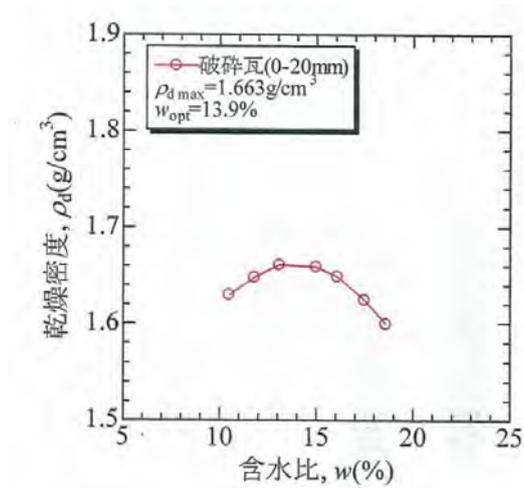
項目	内容	
物理特性	粒度分布	礫質土と同様の粒度分布を示し、粒度分布の観点からは液状化の可能性は低い。 <H27 の粒度試験結果> ・最大粒径:19mm、・60%粒径(D60):9.03mm、・50%粒径(D50):7.22mm、 ・30%粒径(D30):3.84mm、・10%粒径(D10):0.45mm、・均等係数(U _c):20.22、・曲率係数(U _c ') :3.7
	土粒子密度 ρ _s (g/cm ³)	ρ _s =2.579(g/cm ³)程度
	最小・最大間隙比 e _{min} 、e _{max}	e _{min} =0.611 程度、e _{max} =1.049 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(破碎瓦(10-30mm)の値) ※必要に応じて、破碎瓦(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輻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) 破碎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 年度破碎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 破碎瓦 (粒径 0-20mm) の粒径分布



出典) 平成 27 年度破碎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 破碎瓦 (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 0-10mm、10-30mm、0-30mm の破碎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 破碎瓦の物理・力学的性質

区分	破碎瓦 0-10mm	破碎瓦 10-30mm	破碎瓦 0-30mm
物理的性質	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・すり減り減量は 35 以下と道路用碎石の基準値(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、破碎瓦の JIS 化が必要)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・すり減り減量は 35 以下と道路用碎石の基準値(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、道路用碎石(JIS A 5001)の C-30 の規格を満足している。
力学的性質	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・95%修正 CBR は 63.5% である。 ・舗装試験法便覧では、修正 CBR の概略値は、碎石では 70%以上、砂利・切込み砂利では、20~60%と言われている。破碎瓦 10-30mm では同程度の結果となった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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: 破碎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 0-10mm、10-30mm、0-30mm の破碎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 0-10mm で粒度調整した破碎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 1-2mm で粒度調整した破碎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、破碎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、破碎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 1L 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 1L 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 1L につき 0.05mg 以下であること。
砒素	mg/L	0.005 未満	検液 1L につき 0.01mg 以下であること。
総水銀	mg/L	0.0005 未満	検液 1L 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 1L 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 1L 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 1L 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 1L 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 1L 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 1L 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 1L 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 1L 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 1L 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 1L につき 0.002mg 以下であること。
チウラム	mg/L	0.0006 未満	検液 1L につき 0.006mg 以下であること。
シマジン	mg/L	0.0003 未満	検液 1L 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 1L につき 0.02mg 以下であること。
ベンゼン	mg/L	0.001 未満	検液 1L につき 0.01mg 以下であること。
セレン	mg/L	0.002 未満	検液 1L につき 0.01mg 以下であること。
ふっ素	mg/L	0.11	検液 1L につき 0.8mg 以下であること。
ほう素	mg/L	0.02 未満	検液 1L 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 「土壤汚染対策法」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：破碎瓦の利活用技術資料、平成 29 年 3 月

3.19.3 加工・改良技術

破碎瓦は、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

破碎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、破碎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 破碎瓦の適用用途

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】	●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 パーチクル・レン及びサンド・マット材	-	-	●用途対象外	-	●利用実績なし	
⑤ サンド・コンパクションパイル材	-	-	●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・消波ブロック	-	-	●用途対象外	-	●利用実績なし	
⑩ 裏込材	△	B	●利用マニュアル案等が整備されている。用途対象外 【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。	-	●利用実績なし	1)
⑪ 裏埋材	○ ⁺ (陸上施工)	B	●利用マニュアル案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。	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）	1)
⑫ 盛土材、覆土材、載荷盛土材	△	B	●利用マニュアル案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)粒度調整した破碎瓦(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。	-	●利用実績なし	1) 3)
⑬ 埋立柱	△	B	●利用マニュアル案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。	-	●利用実績なし	1)
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)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）	4)
⑮ 路盤材	○	C	●標準材料に準ずる性能を有する。 【主な内容】 ・3)粒度調整した破碎瓦(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） ・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ファイバー材	△ (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）	
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) 破碎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）

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取りまとめたものである。

(2) コンクリート用細骨材

破碎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) 裏埋材

破碎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「破碎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。
- 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：破碎瓦の利活用技術資料、平成29年3月

(4) 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 3.19.10 愛知県リサイクル資材評価制度（あいくる）認定状況（平成26年12月末現在）

資材名	三州セラミック路床材
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：0～20mm 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

(5) 路盤材

0～30mm に粒度調整した破碎瓦について、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。

(5) 今後の検討を要する用途

1) 裏込材

破碎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「破碎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。

- ・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。

ただし、裏込材としての利用実績はみられないことから、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) 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、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。

ただし、盛土材、覆土材、載荷盛土材としての利用実績はみられないことから、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) 埋立柱

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、埋立柱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。

ただし、埋立柱としての利用実績はみられないことから、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) 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。

5) 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

破碎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)

破碎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 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碎・選別して得られた「コンクリート再生砕石」等）の活用の際、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から踏まえつつ、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。