

2.2 浚渫土砂

浚渫土砂を利用するには、利用する浚渫土砂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、「手を加えずそのままの性状で利用する」「高度安定処理して粒状材料として利用する」「地盤材料として利用後に圧密を促進する」「脱水、安定処理して地盤材料として利用する」「要求品質に分級して利用する」等、適切な方法を選定しなければならない。

なお、分級や安定処理して利用するには、添加する凝集材やセメント及びセメント系固化材等によって溶出水のpHや六価クロム等有害物質の溶出に留意すること。

(解説)

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）に利用されてきている。

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、粘性土や中間的なものは含水比が高く軟弱なものが多い。軟弱な浚渫土砂を埋立用材として利用する場合、埋立後の土地利用に差し支えない物性と力学的特性を確保する必要があることから、埋立前に予め安定処理、脱水処理等の改良を行う方法と埋立後に地盤改良等により所要の地盤強度等を確保する等の方法がある。

また、浚渫土砂を砂や碎石の代替えとして粒状に加工する技術、処分場の負荷低減等を目的として浚渫土砂を分級や脱水等により減量化する技術等も開発されている。

これらの方法を適用するには、対象となる浚渫土砂の性状や現場の施工条件、工期、工費などを考慮する必要がある。本章では、「手を加えずそのままの性状で利用する」(例えば砂質土主体の浚渫土砂)以外の軟質な粘性土系の浚渫土砂を対象に、主に安定処理や脱水処理等、事前(埋立前)あるいは事後(埋立後)に浚渫土砂を改良する場合の技術について述べる。なお、浚渫砂質土(分級後得られた砂質土を含め)を埋立用材として利用する場合の処理技術として事前混合処理工法や埋立後の液化化防止地盤改良工法がある。

(1) 改良工法と改良品質

軟質な粘性土系の浚渫土砂(以下、軟泥土)の改良技術には図2.2.1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、さらに図に示すように細分化される。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。

各処理技術・処理工法の概要を以下に示す。

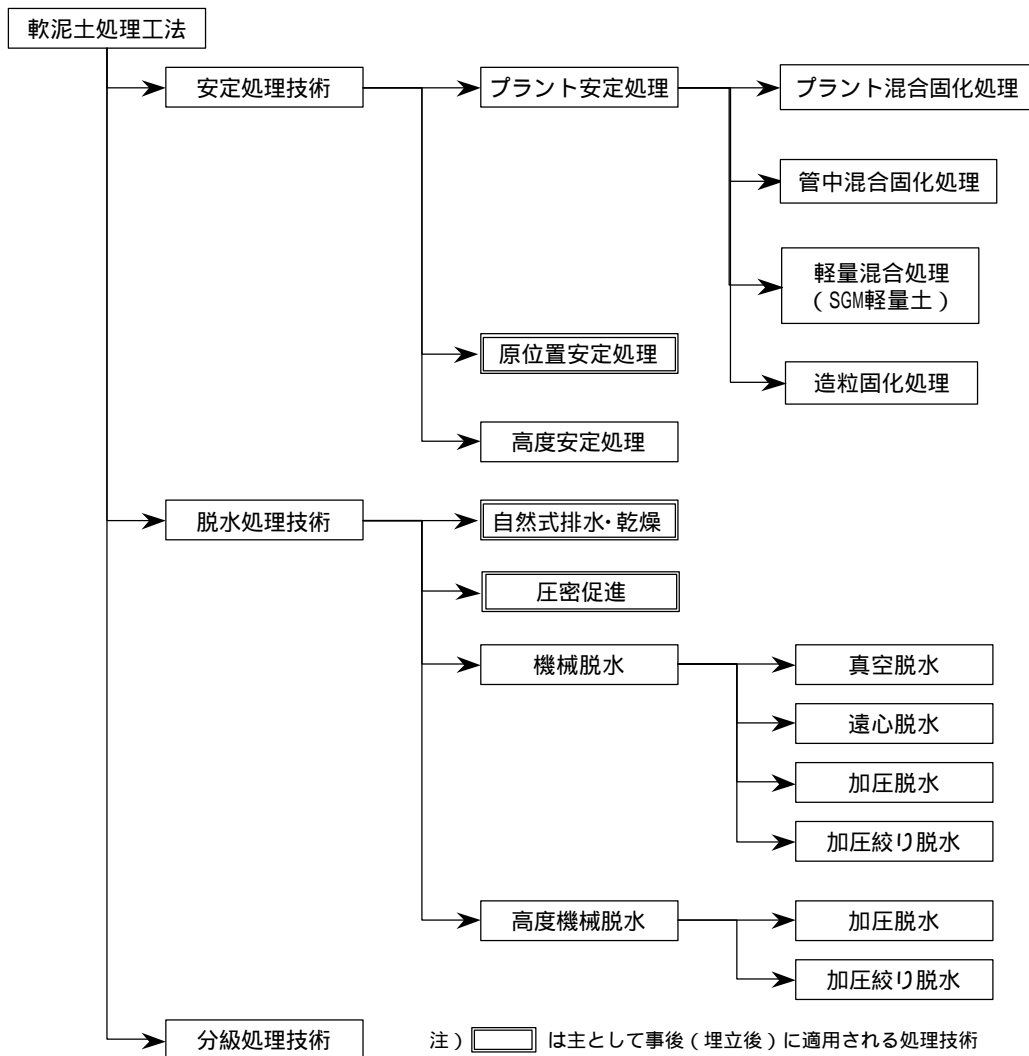


図 2.2.1 浚渫土砂（軟泥土）改良技術の分類

1) 安定処理技術

プラント安定処理

浚渫土（軟泥土）を埋立地に投入する前にセメントや石灰等の固化材を添加し、任意の強度を持った改良浚渫土を作る化学的処理方法である。当該処理技術は、専用のプラント船または陸上に設置したプラント処理設備を用いて行うプラント混合固化処理技術があり、また浚渫土を管路による空気圧送途中で固化材を添加して混合処理する管中混合固化処理技術（広義のプラント安定処理とした）がある。さらに気泡等の軽量材を添加した軽量混合処理土技術および造粒化を積極的に求めた造粒固化処理技術がある。

A. プラント混合固化処理

プラント混合固化処理は陸上設置型と船舶型がある。これらプラント混合固化処理に

使用するミキサーは、泥状を呈する泥土に効力を発揮する機種や固体状の泥土や軟弱土に対して効力を発揮する機種などがある。

表2.2.1にプラント混合固化処理工法の一例を示す。

a) 適用土質

原則としてほとんどの土質に適用可能であるが、含有成分（有機物、腐植土等）によっては特殊な固化材を必要とする場合もある。

b) 改良土の品質

改良土の要求品質を確保できるような固化材の種類・添加量を配合試験により確認することで、所要の品質の改良土が得られる。

改良土品質の評価指標としては、コーン指数(JGS T 716)、一軸圧縮強さ(JIS A 1216)、CBR (JIS A 1211) 等による。

c) 留意事項

- ・ 固化材の添加量によって強度の制御が可能なので、配合試験により適切な配合を選定し、施工にあたっては、混練・養生を適正に行い、必要な品質管理を実施する。
- ・ プラント混合方式では一定の範囲内では混練時間を長くすると、固化材が均一に混ざり改良土の強度が大きくなるが、混練時間を長くとり過ぎると改良土の組織が破壊され、逆に強度が低下する場合もあるので注意が必要である。
- ・ セメント系固化材を用いた場合には高 pH となることがある。
- ・ 改良土からの六価クロムの溶出が土壤環境基準を上回らないことを配合試験時、施工後（火山灰質粘性土を改良する場合）に確認する必要がある（1.4(3) 参照）。

表 2.2.1 プラント混合固化処理工法の一例

	二軸バドルミキサ連続方式	垂直攪拌方式	スクリュ混合方式
プラント概要図	<p>ワーカビリティ調整装置 固化材供給装置 混合装置 圧送装置 打取台船 水中打取機</p>	<p>サイロ 改良材供給装置 泥土処理装置V型 改良土</p>	<p>サイロ 改良材供給装置 泥土処理装置S型</p>
工法特徴	<ul style="list-style-type: none"> 高精度の連続処理 水中打取遠隔制御が可能 ワーカビリティの調整による広範な土質性に対応 処理能力：50m³/h～220m³/h 集中管理方式 	<ul style="list-style-type: none"> 高精度の連続処理 改良材は空気搬送 確実な施工管理 処理能力：25m³/h～100m³/h 	<ul style="list-style-type: none"> 高精度の連続処理 改良材は空気搬送 確実な施工管理 処理能力：50m³/h～100m³/h
ミキシング方法	二軸バドル方式	垂直攪拌方式	傾斜型スクリュ方式
改良材種類	セメント系、石灰系改良材	セメント系、石灰系改良材	セメント系、石灰系改良材
添加形態	粉体、スラリー	粉体	粉体
第3種建設発生土	○		
第4種建設発生土	○		○
泥土	○	○	○

一般に粘性土系の浚渫土砂は泥土に相当する

(凡例) ○：適する、△：やや適する

出展：廃棄物の地盤材料としての利用に関する研究委員会報告書、(社)地盤工学会]

B. 管中混合固化処理

管中混合固化処理は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砂と固化材を攪拌混合する技術である。

管中混合固化処理工法の海上での一般的な施工状況を図2.2.2に示す。

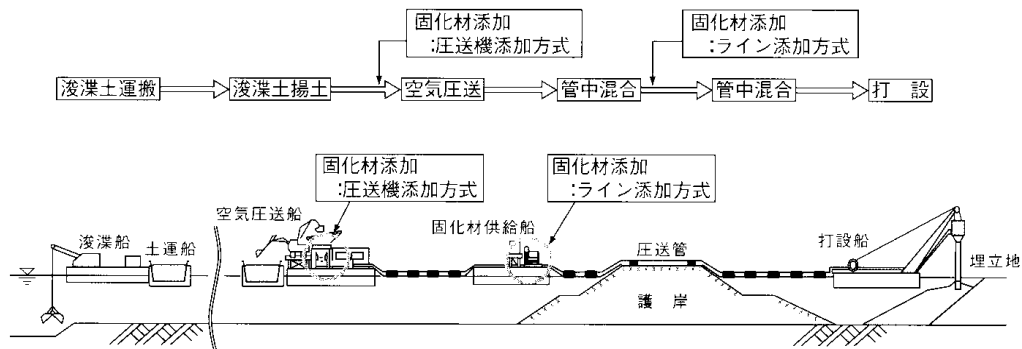


図2.2.2 管中混合固化処理工法の一般的な施工状況

図2.2.3にプラグ流の乱流効果による混練状況を示す。圧送中の粘性土プラグの内部では、管壁との摩擦によってプラグの形が常に変化しており、またプラグの崩壊や再形成が断続的に生じている。このプラグの形状変化の結果として、粘性土と固化材の混練効果を得ることができる。管内に固化材を添加すると、一定の圧送距離が確保できれば圧送中に粘性土と固化材との十分な混練効果を得ることができる。

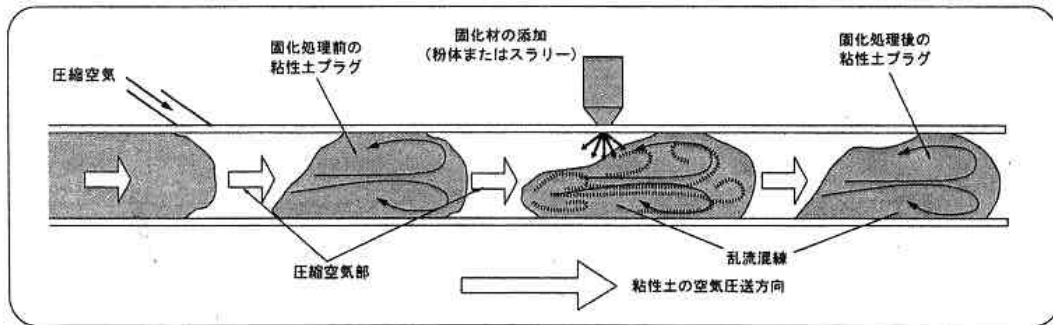


図2.2.3 空気圧送による混練状況

本工法の特徴として、以下の点が挙げられる。

- ・ 固化材を添加するので任意の強度の材料を短期間で供給することができる。
- ・ 既存の大型空気圧送船が使用できるので、大量急速施工が可能である。
- ・ 大容量の浚渫土砂を対象とした場合、既存の固化処理工法に比較して、コストダウンが図れる。

現在開発されている管中混合固化処理工法は、固化材の添加方式によって、固化材を圧縮空気の注入前に添加する「圧送機添加方式」と圧縮空気注入後に添加する「ライン添加方式」に分類される。管中混合固化処理の既存工法を表2.2.2に示す。

表2.2.2 既存の管中混合固化処理工法

固化材添加方式	工法名
圧送機添加方式 固化材を圧縮空気の注入前に添加する方式、通常は圧送船のホッパ部、圧送タンク内、あるいは圧送管内に添加する。	バランスマキシング工法
	ローターウインドミキシング工法
	タック&プラグ混合処理工法
	スネークミキシング工法
	均等処理土圧送工法
	トルネドミキシング工法
ライン添加方式 固化材を圧縮空気の注入後に添加する方式。通常は固化材を圧送管内に直接添加する。	K-DPM工法
	Pipe-Mixing工法
	プラグミキシング工法
	LMP工法
	ドラムミキシング工法
	W-管混合工法
	MILD工法

a) 適用土質

原則として液性限界以上の高含水比の粘性土系浚渫土を対象としているが、低含水比であっても、加水・解泥を行うことにより対応可能である。

b) 改良土の品質

改良土の要求品質を確保できるような固化材の種類・添加量を配合試験により確認することで、所要の品質の改良土が得られる。

改良土品質の評価指標としては、コーン指数(JGS T 716)、一軸圧縮強さ(JIS A 1216)、CBR(JIS A 1211)等による。

c) 留意事項

- ・ 固化材の添加量によって強度の制御が可能なので、配合試験により適切な配合を選定し、施工にあたっては固化材供給管理・養生を適正に行い、必要な品質管理を実施する。
- ・ 空気圧送の際に生じるプラグ流を定常的に発生させるために、原泥の含水比を液性限界以上に保つことが望ましい。
- ・ 浚渫土の性状及び施工能力に大きく関与するが、処理土は浚渫土に対し1～4割程度の体積変化(増加)が生じる。埋立地の容量が問題になる場合には事前の詳細な検討が必要である。
- ・ セメント系固化材を用いた場合には高pHとなることがある。

- ・ 改良土からの六価クロムの溶出が土壤環境基準を上回らないことを配合試験時、施工後（火山灰質粘性土を改良する場合）に確認する必要がある。（1.4(3) 参照）

C. 軽量混合処理（SGM軽量土）

軽量混合処理土（Super Geo Material: SGM軽量土）は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（プラント混合が主）して、一般的な品質として密度 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ （気中使用）～ $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ （水中使用）、一軸圧縮強度 $100\text{kN}/\text{m}^2 \sim 500\text{kN}/\text{m}^2$ 程度となる処理土を埋立や護岸等の裏埋めに用いて、軽量地盤の造成を図る技術である。

SGM軽量土工法の一般的な施工フローを図2.2.4に、SGM軽量土の利用用途例を図2.2.5に示す。

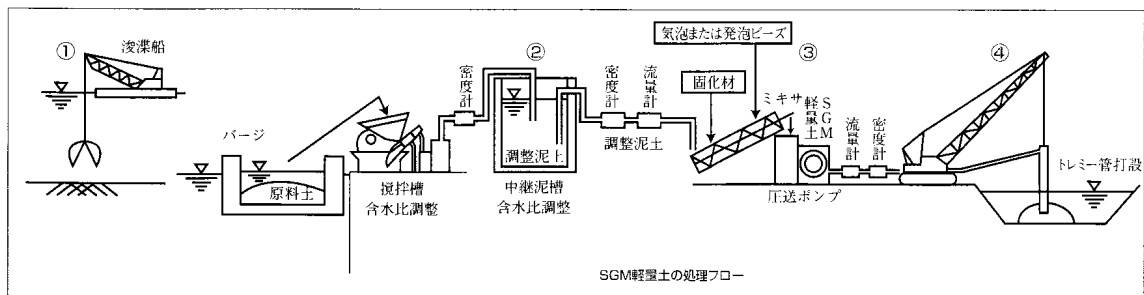


図2.2.4 SGM軽量土工法の一般的な施工フロー

SGM軽量土の施工は以下の4工程で構成される。

- ）浚渫・運搬：原料土として利用する浚渫土砂を採取し、工事場所まで運搬する。
- ）解泥：原料土に海水を加えて攪拌することによって解きほぐし、所定の含水比（ $1.5 \sim 3.0W_L$ ）・密度に調整して貯泥する。その後、混練ミキサーへ送泥する。
- ）混練：ミキサーを用いて軽量化材（気泡または発泡ビーズ）と固化材を加えて混練する。
- ）圧送・打設：ポンプ圧送とトレミー管を用いて打設する。

SGM軽量土工法の特徴として、以下の点が挙げられる。

- ・ 軽量化材の混合量の設定によって適切な密度に調整できるので、地盤の圧密沈下量の低減に有効である。
- ・ 固化材の添加量の設定によって適切な強度に調整できるので、軽量化と相まって土圧の低減が図れ、裏込めに使用した場合、構造物の断面寸法を小さくできる。
- ・ 含水比の調整によって、適度な流動性に調整できる。

- ・ ポンプ圧送により、気中・水中に自由な形状で打設できる（締固めを必要としない）。

a) 適用土質

原則として粘性土系浚渫土砂を対象としているが、砂質土系のもので微粒分を別途添加することで施工可能である。

b) 改良土の品質

改良土の要求品質を確保できるような固化材・軽量化材の種類・添加量を配合試験により確認することで、所要の品質の改良土が得られる。

改良土品質の強度的な評価指標としては、一軸圧縮強さ（JIS A 1216）を主として使用している。

c) 留意事項

- ・ 固化材・軽量化材の添加量によって強度・密度の制御が可能なので、配合試験により適切な配合を選定し、施工にあたっては各材料の供給管理・養生を適正に行い、必要な品質管理を実施する。
- ・ 水面付近で気中打設する際には、水面が上昇した場合に浮力でSGM軽量土が浮き上がってくることもあるので、製造時の品質（密度）のばらつきも考慮した上で密度を設定する必要がある。
- ・ セメント系固化材を用いた場合には高 pH となることがある。
- ・ 改良土からの六価クロムの溶出が土壤環境基準を上回らないことを配合試験時、施工後（火山灰質粘性土を改良する場合）に確認する必要がある（1.4(3) 参照）。

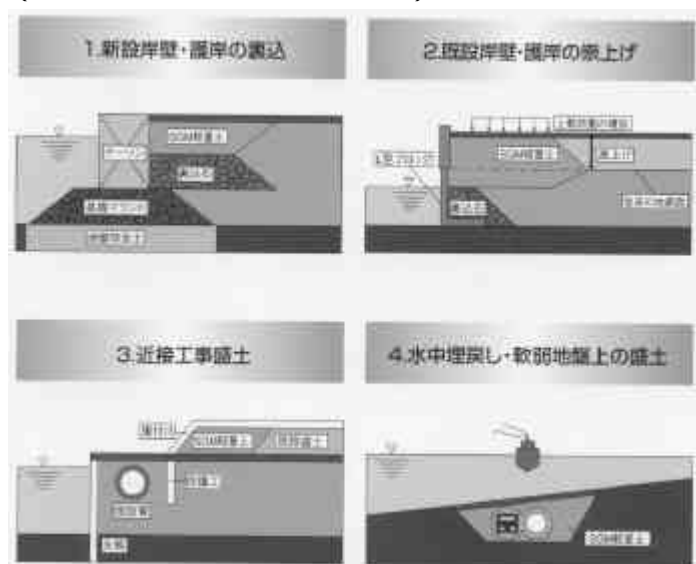


図2.2.5 SGM軽量土の利用用途例

D. 造粒固化処理

造粒固化処理とは、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である。水溶性ポリマーは、吸水力と土粒子の凝集力を併せ持つため、泥土中の水分を吸水しながら土粒子及び固化材を凝集して粒状に改良する材料である。改良土は数日～数週間の養生により強固な粒となり、砂の代替材として盛土材や路床・路盤材などの建設資材として利用可能である。

造粒ミキサは、連続式の二軸パドル混練方式や、バッチ式のスクルー型混練方式、パン型混練方式などがある。現在50m³/hの能力のものが主に用いられている。

本工法の特徴として、以下の点が挙げられる。

- ・ 泥土を造粒固化し、砂の代替材として利用できる。
- ・ 改良直後に運搬が可能である。
- ・ 改良土による地盤は、杭打ちや掘削が容易である。

a) 適用土質

シルト、粘性土を対象とする。砂分が多い場合にはポリマーによる造粒が困難であるため、事前に砂分の多くを除去する。

b) 改良土の品質

- ・ 改良土のD50が1～10mmの礫状、砂状となる。
- ・ 改良土による地盤は、砂と同程度の強度と透水性を有する。

c) 留意事項

- ・ 改良直後の造粒物は軟弱であるため、転圧作業などは数日～数週間の養生後に行わなければならない。
- ・ セメント系固化材を用いた場合は高pHとなることがある。
- ・ 改良土からの六価クロムの溶出が土壌環境基準を上回らないことを配合試験時、施工後（火山灰質粘性土を改良する場合）に確認する必要がある（1.4(3) 参照）。

原位置安定処理

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し、施工性を改善すると同時に強度の発現・増加を図る化学的処理方法であり、事後（埋立後）の軟泥土処理技術の一種である。改良深度が最大で4.0m程度であり、軟弱な地盤に対するトラフィカビリティ確保に用いるケースが多い。改良深度が大きい場合、層別に順次改良する必要がある。原位置安定処理工法の概要を表2.2.3、表2.2.4に

示す。

a) 適用土質

原則としてほとんどの土質に適用可能であるが、含有成分（有機物、腐植土等）によっては特殊な固化材を必要とする場合もある。

b) 改良土の品質

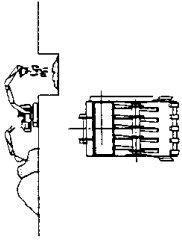
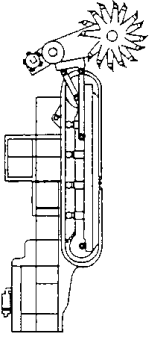
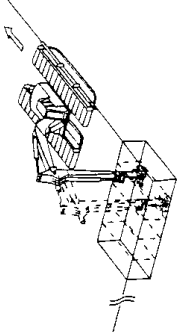
改良土の要求品質を確保できるような固化材の種類・添加量を配合試験により確認することで、所要の品質の改良土が得られる。

改良土品質の評価指標としては、コーン指数（JGS T 716）、一軸圧縮強さ（JIS A 1216）、CBR（JIS A 1211）等による。

c) 留意事項

- ・ 固化材の添加量によって強度の制御が可能なので、配合試験により適切な配合を選定し、施工にあたっては、混練・養生を適正に行い、必要な品質管理を実施する。
- ・ 改良土からの六価クロムの溶出が土壤環境基準を上回らないことを配合試験時、施工後（火山灰質粘性土を改良する場合）に確認する必要がある（1.4(3) 参照）。

表 2.2.3 原位置安定処理工法の概要 (1)

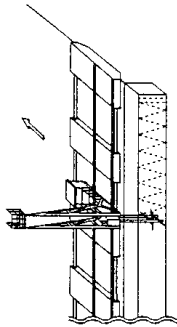
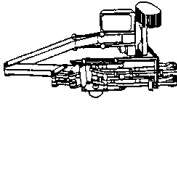
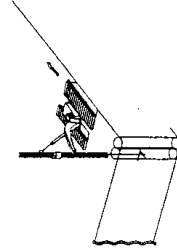
	ロータリー内蔵型バケット方式	スタビライザ方式	ロータリー方式
概要図			
施工量	<p>施工：バケット内巡回</p> <p>改良深度＝最大 3.0m</p> <p>時間当たりの施工量＝25～50m³/h</p>	<p>施工：本体の走行</p> <p>改良深度＝最大 1.0m</p> <p>時間当たりの施工量＝70～120m³/h</p>	<p>施工：アームの巡回、昇降</p> <p>改良深度＝最大 2.0m</p> <p>改良深度＝最大 4.0m(改良型)</p> <p>時間当たりの施工量＝20～30m³/h</p>
工法特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ベースマシンのバックホウ ・定量混合 ・アームの届く範囲は施工可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・$q_c \geq 300\text{N/m}^2$ (3kgf/cm²) ・$q_u \geq 5\text{KN/m}^2$ (0.05kgf/cm²) (泥土履帯式) 	<ul style="list-style-type: none"> ・施工対象は中小規模 ・超軟弱地盤の泥面上、冠水上の施工が可能 ・改良率 100% ・垂直定速貫入自動コントロール (改造型) ・ベースは泥上車、バックホウ
改良材	種類	セメント系改良材、石灰系改良材	セメント系改良材、石灰系改良材
	添加形態	粉体	粉体、スラリー
対象土	添加方式	地表面散布	地表面散布(粉体)
	第2種建設発生土	○	○
	第3種建設発生土	○	○
	第4種建設発生土	○	○
泥土	○	△	△

一般に粘性土系の浚渫土砂は泥土に相当する

(凡例) ○：適する、△：やや適する

[出展：廃棄物の地盤材料としての利用に関する研究委員会報告書、(社)地盤工学会]

表 2.2.4 原位置安定処理工法の概要 (2)

	横行式連続施工方式	トレンチャー方式	垂直 (自走) 方式
概要図			
施工量	改良深度 = 最大 3.0m 改良幅 = 40.0m 時間当たりの施工量 = 50 ~ 55m³/h	改良深度 = 最大 3.0m 時間当たりの施工量 = 20 ~ 50m³/h	改良深度 = 最大 3.0m 時間当たりの施工量 = 25 ~ 30m³/h
工法特徴	大規模施工対象 ・超軟弱地盤の泥面上、冠水上の施工が可能 ・ワイヤ、ウィンチで移動	粉体連続供給方式 ・垂直連続攪拌混合 ・改良材は空気搬送 ・ $q_c \geq 600 \text{ kN/m}^2$ (6kgf/cm ²) ・トレンチャー混合	施工対象は中小規模 ・超軟弱地盤の泥面上、冠水上の施工が可能 ・円柱状の安定処埋体 ・ベースは泥上車
改良材	種類 セメント系改良材 添加形態 スラリー 添加方式 地中吐出	セメント系改良材、石灰系改良材 粉体 地中吐出	セメント系改良材 スラリー 地中吐出
対象土	第2種 建設発生土 第3種 建設発生土 第4種 建設発生土 粘土 ○	△ ○ △	○

一般に粘性土系の浚渫土砂は泥土に相当する

(凡例) ○ : 適する, △ : やや適する

[出展 : 廃棄物の地盤材料としての利用に関する研究委員会報告書、(社)地盤工学会]

高度安定処理

高度安定処理とは、浚渫土砂等の軟泥土をセメントや石灰等の固化材により性状を化学的に改良する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技術である。固化物を解砕することにより礫・砂状となる。高強度を得るために様々な開発がなされており、例えば国土交通省九州地方整備局（前運輸省第四港湾建設局）で開発された、浚渫土砂に固化材（セメント）を添加して脱水し、再圧縮することでブロック状に加工する技術等がある。

高度安定処理技術の概要及び事例を以下に示す。本技術は、原則として専門プラント工場にて行われるが、最近では必要設備を搭載したプラント船が稼働し始めており、コスト等の条件によっては検討対象となる。

- ・ 浚渫土砂に対して脱水等の前処理を行い、固化材と高分子系の添加剤を加えて混合した後、高圧プレスで板状に成形後破碎し、養生して固化物を製造する。固化物の物理性状例を表 2.2.5 に示す。
- ・ 泥水に固化材を混合した後、4MPa の高圧フィルタープレスで脱水して養生した固化物を破碎して粒状物を製造する。固化材の使用量により強度が変化し、圧縮強さは数百～2万 kN/m² 程度である。なお、前運輸省第四港湾建設局での試験例では、高炉セメントの使用（乾燥土重量に対して 20% 添加）の場合、脱水ケーキの圧縮強さ（材齢 28 日）として 13000kN/m² が得られている。

表 2.2.5 高度安定処理による固化物の物理性状例

項目	測定値
表乾比重	1.9～2.0
最大粒径	約50mm
吸水率	26.7%
膨張比	+0.12%
修正 C B R	94%
圧縮強さ	11,000kN/m ²

[出典：建設汚泥リサイクル指針、(財)先端建設技術センター]

a) 適用土質

シルト、粘性土を対象とする。砂分が多い場合には機械脱水に支障があるため事前に除去する。