



技 術 資 料  
(第六版)

泥 土 处 理 研 究 会

## ま え が き

建設工事から発生する掘削残土・河川や湖沼に堆積した底泥や軟弱地盤の処理・処分が、環境保全上大きな問題となっていることから、建設省においては昭和56年度の総合プロジェクト「建設事業への廃棄物の利用技術の開発」のテーマの中に泥土の処理や利用技術の開発が取り上げられています。このような背景のもとに、民間企業数社が昭和61年から財団法人土木研究センターに委託し、軟弱な泥土を連続的に、かつ、効率的に混合処理を行う建設発生土の利用技術として開発されたのが「MUDIX工法」です。

MUDIX工法は、処理対象土が円筒状の混合室を通過する途中で、セメント系固化材や石灰などの改良材と連続的に混合攪拌されるといった原理に基づくものです。MUDIX工法には縦型のミキサーを使用する「MUDIX-V」、傾斜型ミキサーを使用する「MUDIX-S」および管路ミキサーを使用する「MUDIX-K」があり、共に高精度の連続処理が可能です。いずれも混合攪拌性能が優れていることや、超軟弱な泥土の処理から低含水比粘性土の土性改質までと広範囲の発生土に適用でき、汚染土の不溶化処理ができるなど多くの特長があることから、その施工実績も着実に増加しております。

平成10年3月に「再生資源の利用の促進に関する法律（リサイクル法）」が施行され、また、平成12年には廃棄物等のリサイクル・適正処理に抜本的に対処するための法体系整備が行なわれ、「循環型社会形成推進基本法」が制定されるとともに廃棄物処理法および資源有効利用促進法が改正されました。この中で、建設工事に係わるものとして「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）」が制定されており、発生土や汚泥を資源化し有効活用するための処理工法としてもMUDIX工法には期待が寄せられています。

泥土処理研究会ではスラリー化安定処理工法や気泡混合軽量土工法、カルシア工法等への応用技術として研究開発を進めるなど、リサイクル・リユース・リデュースの推進に積極的に取り組んでまいりました。

また、可搬式プラントの幅広いニーズに対応できるように第2種建設発生土の混合が可能な特殊2軸パドル混合方式の「MUDIX-T」をメニューに加え、多品種の材料の混合や種々の用途に土木材料として改良土を提供出来るように幅広い展開をおこなっています。今後とも工事経験、施工実績のもとに、さらに研鑽を加えて、より良き技術となるように努力いたしますので、関係各位のご指導を賜りますようお願い申し上げます。

令和6年2月

泥土処理研究会

# 目 次

1. MUDIX工法の概要	1
1. 1 概要	1
1. 2 MUDIX工法とは	1
1. 3 工法の原理	2
1. 4 工法の特長	4
1. 5 システム構成	5
1. 6 MUDIX工法の適用	6
2. 調査及び試験	7
2. 1 泥土の性質	7
2. 2 泥土の調査及び試験	11
3. 配合設計	15
3. 1 安定処理の目的及び設計強度	15
3. 2 設計強度と添加量	20
4. 改良土の工学的特性	29
4. 1 改良材の特徴	29
4. 2 泥土の安定処理のしくみ	31
4. 3 改良土の特性	34
5. 施工	48
5. 1 施工フロー	48
5. 2 施工機械	48
5. 3 施工機械の組合せ	55
5. 4 施工手順	56
5. 5 施工能力の算定	62
5. 6 施工管理	63
5. 7 周辺環境への影響	65
参考文献	68

## 1. MUD I X工法の概要

### 1. 1 概要

河川・ダム・湖沼・港湾の堆積底質土をはじめ、浚渫等から発生する泥土は、一般に高含水比であるばかりでなく有機質を含んでいることが多く、その処理・処分が大きな問題になっている。この対策の一つとして、泥土をセメントおよびセメント系固化材や石灰などを用いて安定処理し、埋立地や築堤材、造成地の盛土材などに利用する方策がとられてきている。

泥土の安定処理については、(旧)建設省の総合技術開発プロジェクトにおいても「泥土混合処理装置の開発」として取り上げられ、その後財団法人土木研究センターが民間企業の委託を受けて研究を進め、高能率な泥土混合処理システム(以下、「MUD I X工法」と記す)を開発した。MUD I X工法は、従来のプラント処理方式のほとんどがバッチ計量であるのに対して、改良材および処理対象土を流量制御方式により連続計量するものであり、高能率化を図っているところに大きな特長がある。

### 1. 2 MUD I X工法とは

建設工事に伴って発生する泥土の処理・処分について、従来では、

- ①そのまま埋立地に投棄する。
- ②天日乾燥した後に埋立地や造成地に処分する。
- ③脱水処理後に処分する。
- ④セメントおよびセメント系固化材や石灰などにより固化処理した後に利用する。

といった方法がとられてきている。①、②を適用する場合には、埋立地や天日乾燥するための用地を確保することや、泥土が比較的容易に脱水圧密することなどの条件を満たす必要があるのに比べ、③、④の方法は積極的に処理しようとするものであり、広い用地を必要としないことや、土性が改良され盛土や埋戻し材などに利用できるといった利点がある。MUD I X工法は、改良材による安定処理後の土性が盛土や埋戻し材として利用できることに着目し、従来よりも高能率で簡易な構造の混合処理装置を開発することを目標に計画され、以下の特徴を有する装置の開発を基本としている。

- ①処理土及び改良材の供給を連続的に行う連続混合方式とする。
- ②処理能力は最大 100m<sup>3</sup>/h の規模とする。
- ③改良材の空気輸送による粉体状供給方式とする。
- ④改良材の添加量および混合攪拌の度合いを任意に可変調整できるものとする。
- ⑤改良材の供給量および泥土処理量の計測記録が可能なものとする。
- ⑥改良材の供給機は圧力タンク等を必要とせず、サイロから直取りが可能なものとする。

近年、連続混合方式をベースに改良材の供給について、スラリー供給方式、多品種添加方式等を加え多様化を図っている。

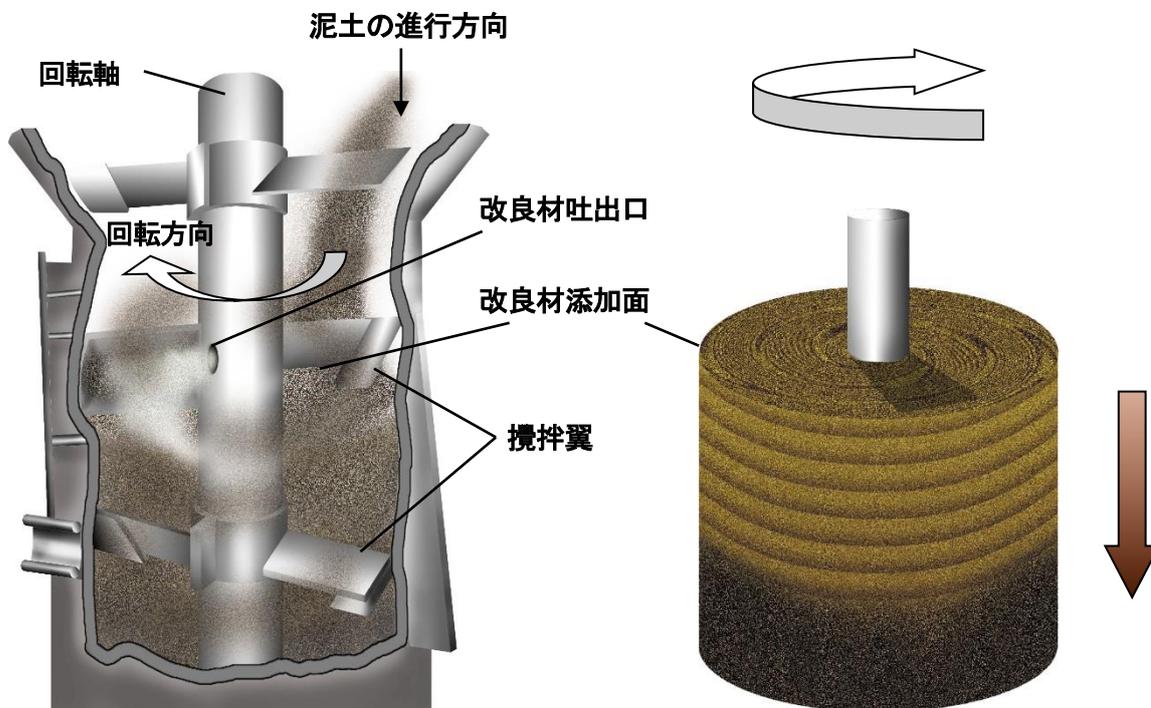
### 1. 3 工法の原理

MUD I X工法は、軟弱な泥土を連続的に、かつ効率的に混合処理を行う技術として開発されたものである。

本工法は、処理対象の泥土が円筒状の混合室の中を流下する途中で、セメント系固化材や石灰などの改良材と混合攪拌され、下部排出口から定量排出されるといった原理に基づくものである。この場合、泥土と改良材との混合量の割合はローター形の排出装置の回転速度の調整と、ロードセルによって計測される改良材のホッパー内の減少量を調整することによって、任意に設定することができることに特徴がある。すなわち、所定の円形断面を持つ混合室を流下する泥土の速度と、その断面に連続的に供給される粉体状の改良材の量の何れかを調整することによって、所要の混合割合の改良土が得られるようになっている。

#### (1) 混合攪拌の原理

MUD I X工法における改良材の添加方法を図-1.1 に示す。改良材は攪拌翼背部の回転軸から空気圧送で改良材を吐出散布しており、攪拌軸および攪拌翼の回転とともに円形面状に散布・拡散される。さらに、泥土が連続的に供給され、これらの面が連続的に続くことになる。また、多段に配置された攪拌翼が散布・拡散された改良材と泥土を高速攪拌しており、改良材の拡散効果と攪拌翼による攪拌の相乗効果により高精度の混合が可能となる。



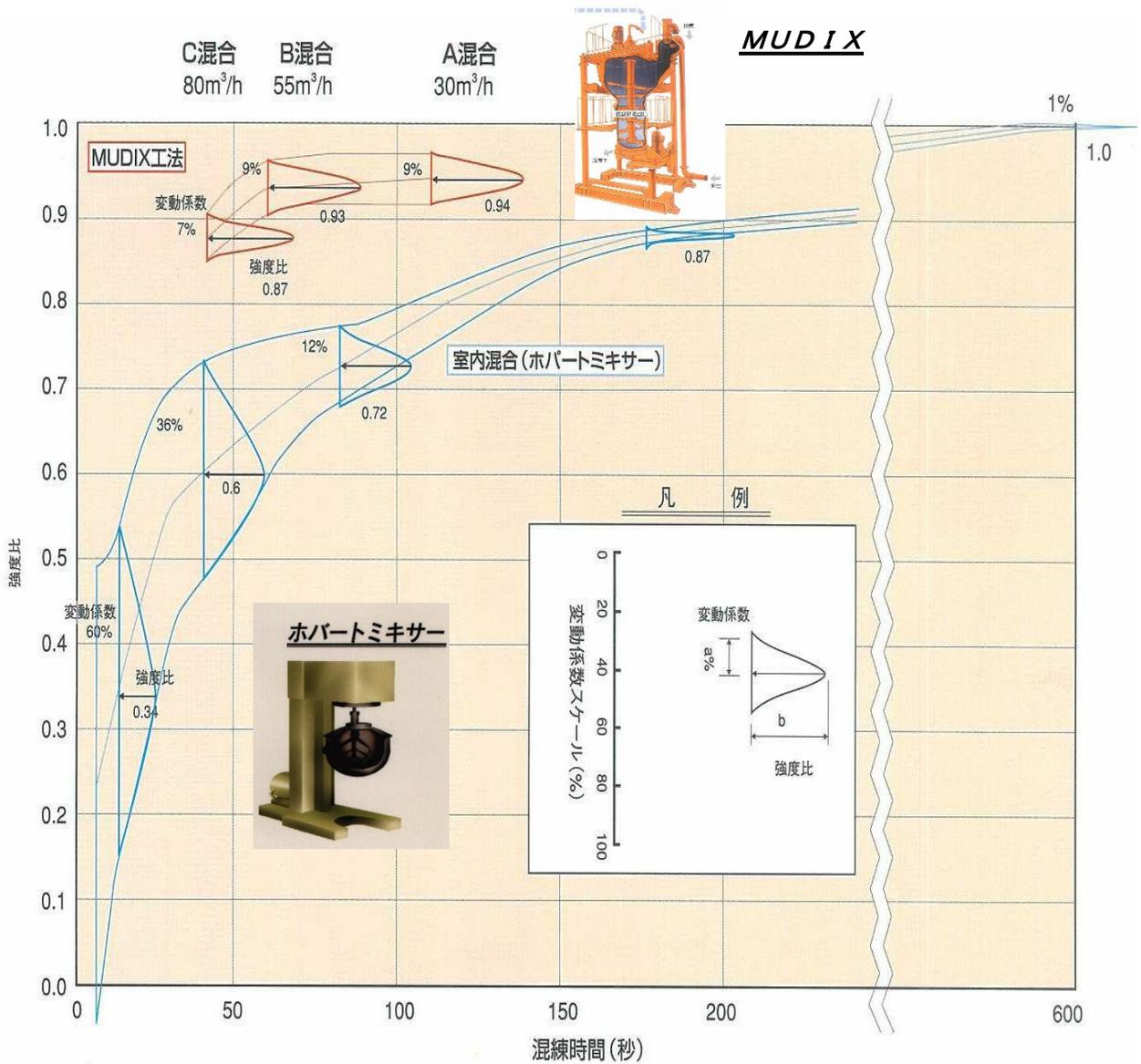
(a) ミキシング概要

(b) 土と改良材の混合イメージ

図-1.1 攪拌混合モデル

(2) 混合性

図-1.2 に室内配合強度と現場強度 (MUDIX工法) による混合性の比較例を示す。本工法は、発現強度比 (現場強度/室内配合強度) や変動係数値からも攪拌混合精度の高いことがわかる。



室内配合試験で10分間混練した場合の強度を1.0とした場合の強度比と変動係数

図-1.2 室内混合とMUDIX工法による現場混合の混合性の比較例

- ①MUDIX工法は変動係数が小さい。
- ②MUDIX工法は強度比が大きい。

## 1. 4 工法の特長

以下にMUD I X工法の特長を述べる。

- ①連続処理方式を採用しており処理能力が大きい（最大 100m<sup>3</sup>/h）
- ②集中管理方式により、泥土の性状に応じて改良材添加量、処理スピードが自由に変更され  
確実な施工管理ができる。
- ③粉粒体材料を使用するため、改良材添加量が少なく強度発現が早い。
- ④複数の攪拌翼と共回り防止翼の相乗効果により攪拌効果が向上する。
- ⑤クローズドシステム採用により粉塵の発生がない。
- ⑥浚渫から固化の一連処理においても余水の発生がない。
- ⑦騒音振動が少ない。
- ⑧泥土の性状に応じた各種改良材が使用できる。
- ⑨可搬式であるため陸上の自由な場所にプラントの設置ができる。また、河川・湖沼・港湾  
の水面においても台船上にプラントの設置が可能である。

## 1. 5 システム構成

MUDIX工法の装置・設備については第5章で詳細に述べるが、本節ではシステムの概要を示す。

本工法は、連続処理方式である。混合処理装置本体に縦型のミキサーを使用した「MUDIX-V」と傾斜型ミキサーを使用した「MUDIX-S」、路型ミキサー使用する「MUDIX-K」、2軸パドル混合方式の「MUDIX-T」があり、改良材を供給する改良材供給装置と自動制御を行なう運転管理装置から構成されている。システムの概要を図-1.3に示す。

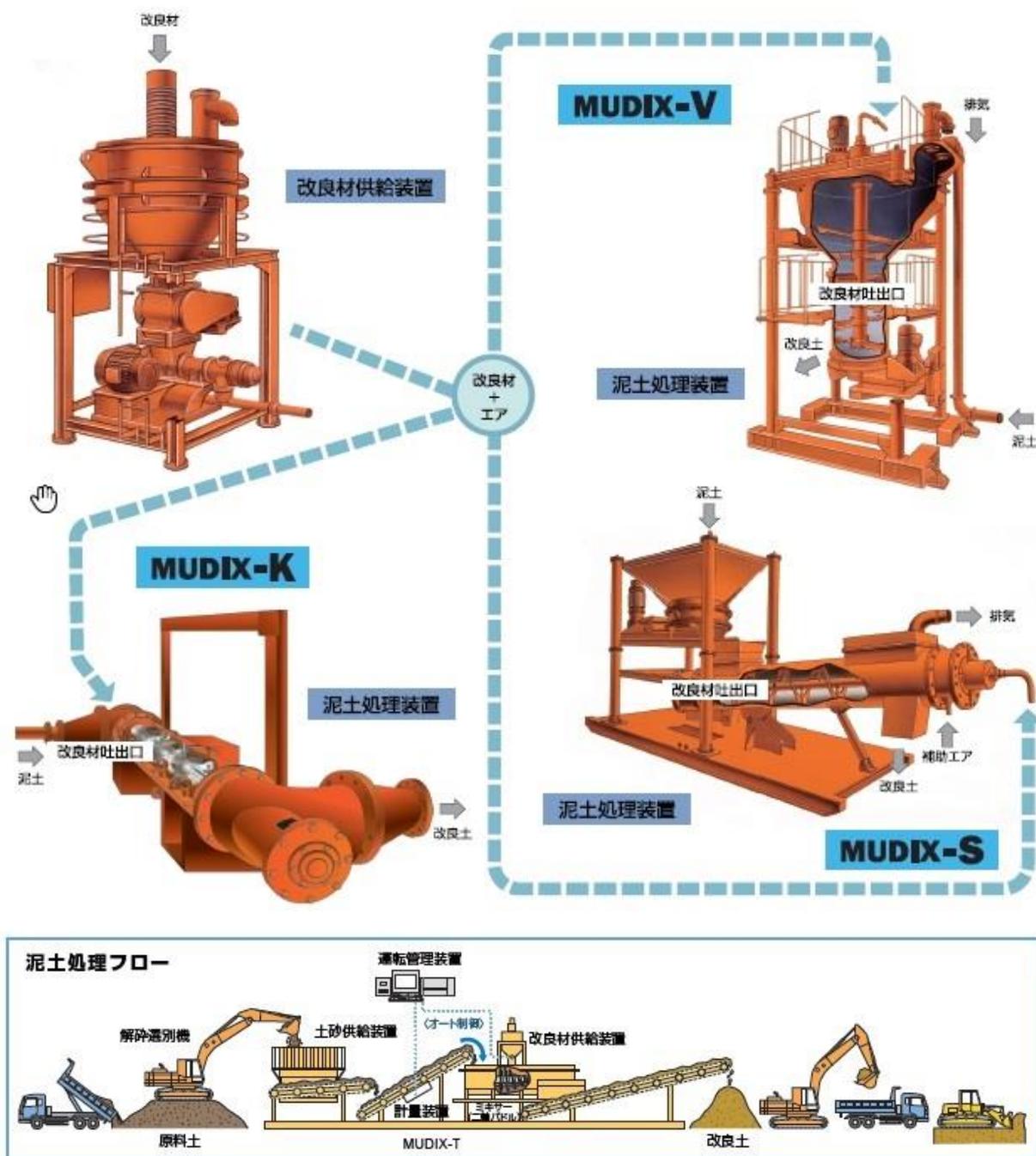


図-1.3 システムの概要例

## 1. 6 MUD I X工法の適用

MUD I X工法では河川・湖沼・港湾から浚渫された泥土や第2種～第4種建設発生土を対象として安定処理や不溶化処理を行い、要求性能に見合った改良が行なわれる。改良土の適用については第2章および第3章で詳述するが、ここでは適用事例について概要を図-1.4に示す。

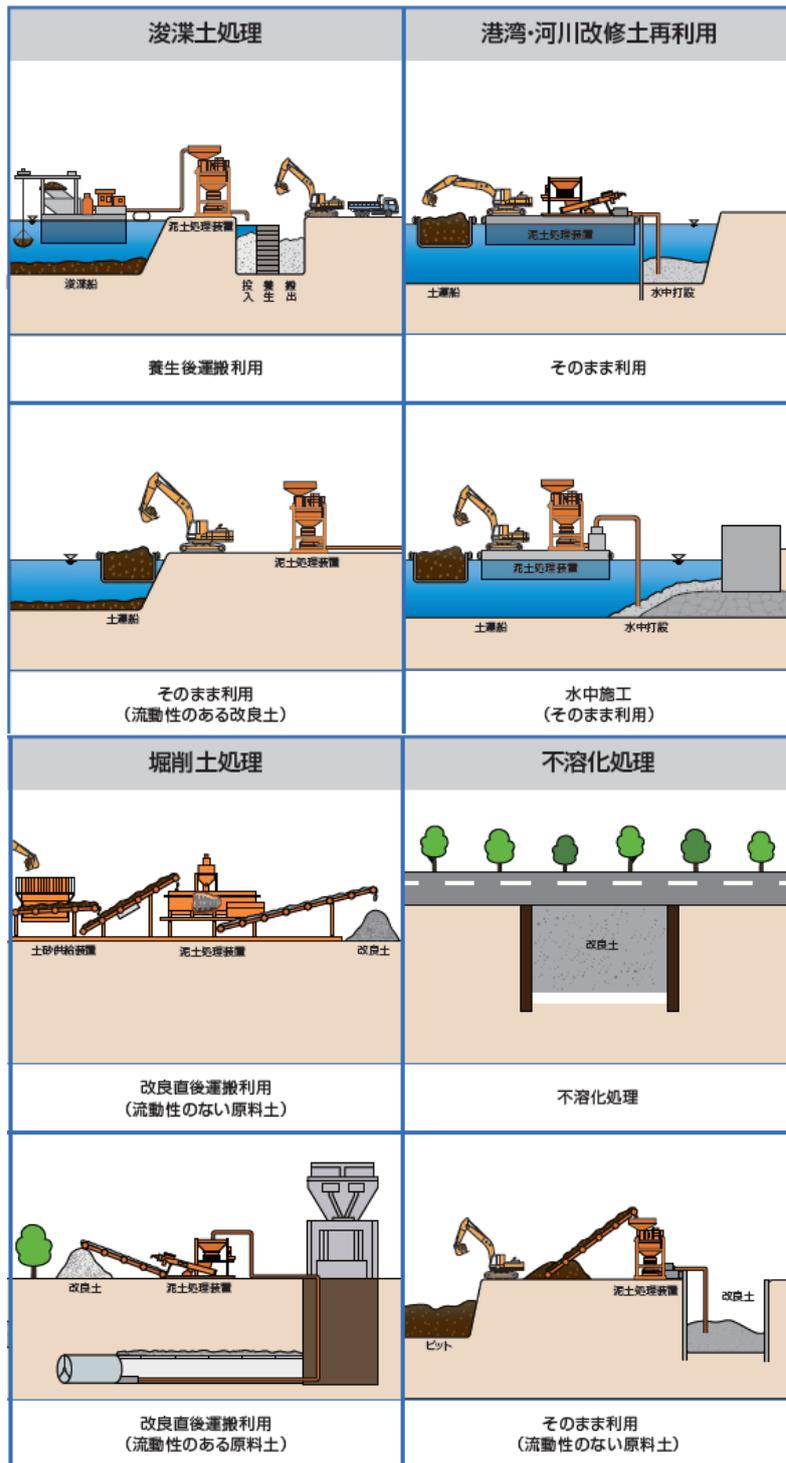


図-1.4 適用事例

## 2. 調査及び試験

MUD I X工法は、広範囲の発生土に適用される。本章では、このうち、泥土を対象とした調査および試験について述べる。

なお、建設発生土についてもこれらに準じる。

### 2. 1 泥土の性質

泥土および建設汚泥について、「建設発生土利用技術マニュアル 第4版」((独)土木研究所)では、以下のように定義している。

土質区分基準における泥土とは、発生土のうちコーン指数が $200\text{kN/m}^2$ 未満の掘削物および泥水をいう。

また、建設汚泥とは廃棄物処理法に規定される産業廃棄物の汚泥として取り扱われるものであり、性状は泥土と概ね一致する。標準仕様ダンプトラックに山積みできず、その上を人が歩けないような流動性を呈する状態のものである。(コーン指数がおおむね $200\text{kN/m}^2$ 以下または一軸圧縮強さがおおむね $50\text{kN/m}^2$ 以下)

なお、建設汚泥に該当しない泥土には、①泥土に該当する浚渫土、②泥水などを使用しない地山掘削から発生した泥土、③そのままの状態では他者に売却するもの(余剰泥水の再利用、スラリー化安定処理の調整泥水等)等がある。

発生土における泥土、建設汚泥の位置付けを図-2.1に示す。

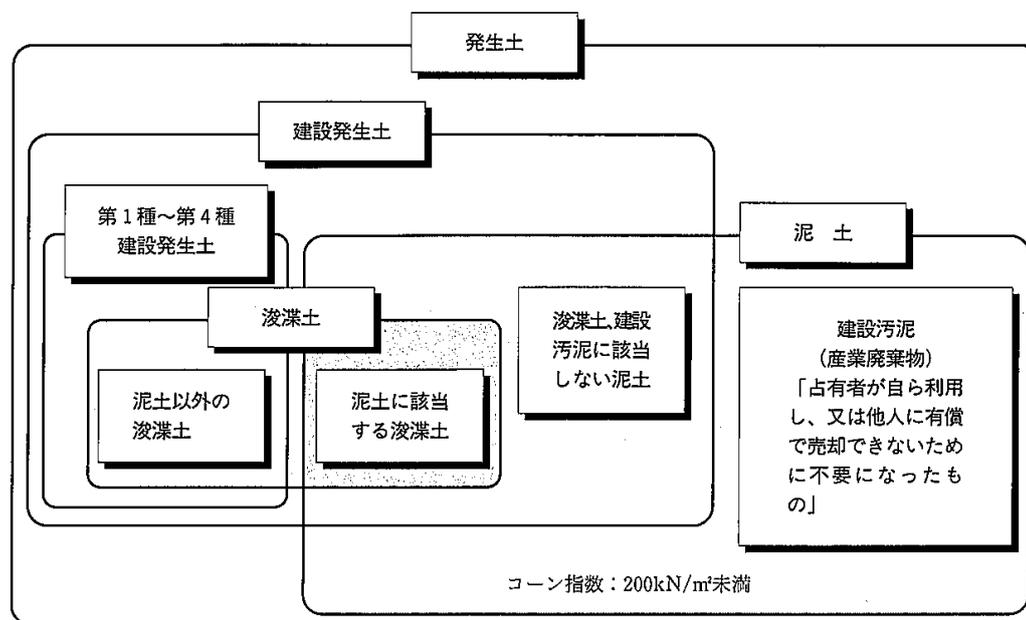


図-2.1 発生土における泥土、建設汚泥の位置付け

「建設発生土利用技術マニュアル 第4版」((独)土木研究所)によると、表-2.1に示す土質区分基準は、発生時点での土の区分のほか、土質改良により土の性状を改良した場合の区分にも使用することができる。

表-2.1 土質区分基準<sup>2)</sup>

区分 (国土交通省令) <sup>*1)</sup>	細区分 <sup>*2)</sup> <sup>*3)</sup> <sup>*4)</sup>	コーン 指数 <sup>*5)</sup> qc kN/m <sup>2</sup>	土質材料の工学的分類 <sup>*6)</sup> <sup>*7)</sup>		備考 <sup>*8)</sup>	
			大分類	中分類 土質 {記号}	含水比 (地山) Wn (%)	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 <sup>*8)</sup>		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}	—	
	第4種改良土		有機質土	有機質土 {O}	40~80%程度	
(泥土) <sup>*1)</sup> <sup>*9)</sup>	泥土a	200 未満	人工材料	改良土 {I}	—	
	泥土b		砂質土	細粒分まじり砂 {SF}	—	
			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1~4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定めるものではない。
- \*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種発生土または泥土を安定処理し、コーン指数400kN/m<sup>2</sup>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には、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rometerで測定したコーン指数
- \*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（(社)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発生土の区分を決定する。
- \*7) 土質材料の工学的分類体系における最大粒径75mm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・河川のしゅんせつに伴って生じ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。（建設工事等から生じ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。

以上のように泥土とは、コーン指数が  $q_c=200\text{kN/m}^2$  未満の土砂および浚渫土または建設汚泥ということになる。建設汚泥は廃棄物処理法の汚泥に該当する。  
さらに、産業廃棄物の汚泥も含め、成因別に泥土を分けると次のようになる。

①地山掘削泥土

地山の掘削により生じる掘削物で泥状を呈するもの。

②海域底質土の浚渫土

閉鎖型海域や河口に堆積した底質を浚渫したもので粘土鉱物が主体である。産廃、生活污水等の蓄積により嫌気性発酵の著しいものもある。

③淡水域底質土の浚渫土

河川・湖沼・ダム等の底質を浚渫したものである。生活雑排水の流入によりリン酸塩の混入が指摘されるものもある。有機物の分解により悪臭の発生が激しいものが多い。腐植土も含まれる。

④工場などの事業所より発生する汚泥（産業廃棄物）

金属工場、皮革、食品工場等に排出される汚泥でメッキスラッジ等がある。

⑤上下水処理汚泥

上水処理汚泥は初沈泥、濾過槽排土等で主体は粘土であるが藻類の腐敗物を含み悪臭がある。

下水処理汚泥は、活性汚泥法による濃縮汚泥の凝集・脱水工程を経て排出される脱水スラッジが主体で、大部分繊維質からなる有機物汚泥である。悪臭が著しい。

⑥建設汚泥

各種基礎工事やシールド工事で発生する泥土である。

ベントナイト汚水、注入材やミルク等と原位置土との混合物で、含水比が高い。

以上より、その性質はいずれも高含水比で軟弱である。また、有機物の含有量が多いものや、悪臭の発生が激しいものもある。

また、土壌には自然由来で特定有害物質により汚染されている土壌も存在する。その土壌汚染の状況を適時適切に把握すること及び土壌汚染による人の健康被害を防止することを目的とし、「土壌汚染対策法」（平成14年法律第53号）「土壌汚染対策法の一部改正する法律による改正後の土壌汚染対策法の施工について」（平成22年3月5日）が施行されています。表-2.2に特定有害物質の種類と土壌の汚染状態に関する基準及び地下水基準を示す。

表-2.2 土壤汚染対策法に係る基準

特定有害物質の種類	地下水基準 (mg/L)	汚染状態に関する基準 <sup>注2)</sup>		土壤溶出量基準 <sup>注3)</sup> (mg/L)	
		土壤溶出量基準 <sup>注4)</sup> (mg/L)	土壤含有量基準 <sup>注5)</sup> (mg/kg)		
第1種特定有害物質 (揮発性有機化合物)	四塩化炭素	0.002以下	0.002以下	—	0.002以下
	1,2-ジクロロエタン	0.004以下	0.004以下	—	0.004以下
	1,1-ジクロロエチレン	0.02以下	0.02以下	—	0.1以下
	1,2-ジクロロエチレン	0.04以下	0.04以下	—	0.04以下
	1,3-ジクロロプロペン	0.002以下	0.002以下	—	0.002以下
	ジクロロメタン	0.02以下	0.02以下	—	0.02以下
	トリクロロエチレン	0.03以下	0.03以下	—	0.01以下
	1,1,1-トリクロロエタン	1以下	1以下	—	1以下
	1,1,2-トリクロロエタン	0.006以下	0.006以下	—	0.006以下
	テトラクロロエチレン	0.01以下	0.01以下	—	0.03以下
	ベンゼン	0.01以下	0.01以下	—	0.01以下
第2種特定有害物質 (重金属等)	カドミウム及びその化合物	0.01以下	0.01以下	150以下	0.01以下
	六価クロム化合物	0.05以下	0.05以下	250以下	0.05以下
	シアン化合物	不検出	不検出	遊離シアン 50以下	検出されないこと
	水銀及びその化合物	水銀0.0005以下、かつアルキル水銀は不検出	水銀0.0005以下、かつアルキル水銀は不検出	水銀15以下	水銀0.0005以下、かつアルキル水銀が検出されないこと
	セレン及びその化合物	0.01以下	0.01以下	150以下	0.01以下
	鉛及びその化合物	0.01以下	0.01以下	150以下	0.01以下
	砒素及びその化合物	0.01以下	0.01以下	150以下	0.01以下
	ふっ素及びその化合物	0.8以下	0.8以下	4000以下	0.8以下
ほう素及びその化合物	1以下	1以下	4000以下	1以下	
第3種特定有害物質 (農薬・PCB)	ポリ塩化ビフェニル(PCB)	不検出	不検出	—	0.003以下
	チウラム	0.006以下	0.006以下	—	0.006以下
	シマジン	0.003以下	0.003以下	—	0.003以下
	チオベンカルブ	0.02以下	0.02以下	—	0.02以下
	有機りん化合物	不検出	不検出	—	検出されないこと

注1) 地下水基準：汚染範囲の確定のための調査の判定基準及び地下水汚染の判定基準（土壤汚染対策法施行規則）

注2) 汚染状態に関する基準：都道府県知事が「要措置区域等」として指定する際の基準

土壤溶出量基準：地下水経由の観点からの基準であり、現在の土壤環境基準と同じ数値

土壤含有量基準：直接摂取の観点からの基準。第2種特定有害物質に限り定められている

注3) 第2溶出量基準：汚染除去等の措置に係る基準、土壤溶出量基準の10～30倍に相当

注4) 環境省告示第18号（平成15年3月6日）により測定したもの

注5) 環境省告示第19号（平成15年3月6日）により測定したもの

## 2. 2 泥土の調査及び試験

泥土または汚泥の安定処理を実施するに当たっては、事前調査を実施し、その結果に基づいて配合試験を行う必要がある。

事前調査では、泥土の性質を把握するための土質試験や、改良効果を確認するための室内配合試験や現地調査等を行う。また、施工に際しては他に施工中、施工後の調査も必要であり、そのフローを図-2.2に示す。

- ①事前調査（事前に設計条件を設定するための調査）
- ②施工中の調査（施工中の品質の確認や環境への影響を監視するための調査）
- ③施工後の調査（施工後の品質や出来高を確認するための調査）

ここでは、主に①事前調査について述べる。②施工中、③施工後の調査は5.4 施工管理のところで述べる。

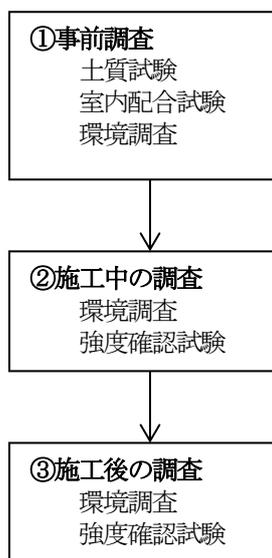


図-2.2 調査のフロー

### (1) 事前調査

#### 1) 土質試験

土質試験の目的は、発生土の土質性状（物理的性質や化学的性質）を把握して、配合試験の基礎資料とすることである。事前調査のフローを図-2.3に示す。

#### ①試料土の採取

試料土はできる限り施工時の状態で採取する。対象箇所の土質が異なる場合には、別々の試料として採取する。採取した試料土は、ビニール袋に入れて含水比が変化しないようにして、試験開始まで採取時の状態で冷暗所に保存する。

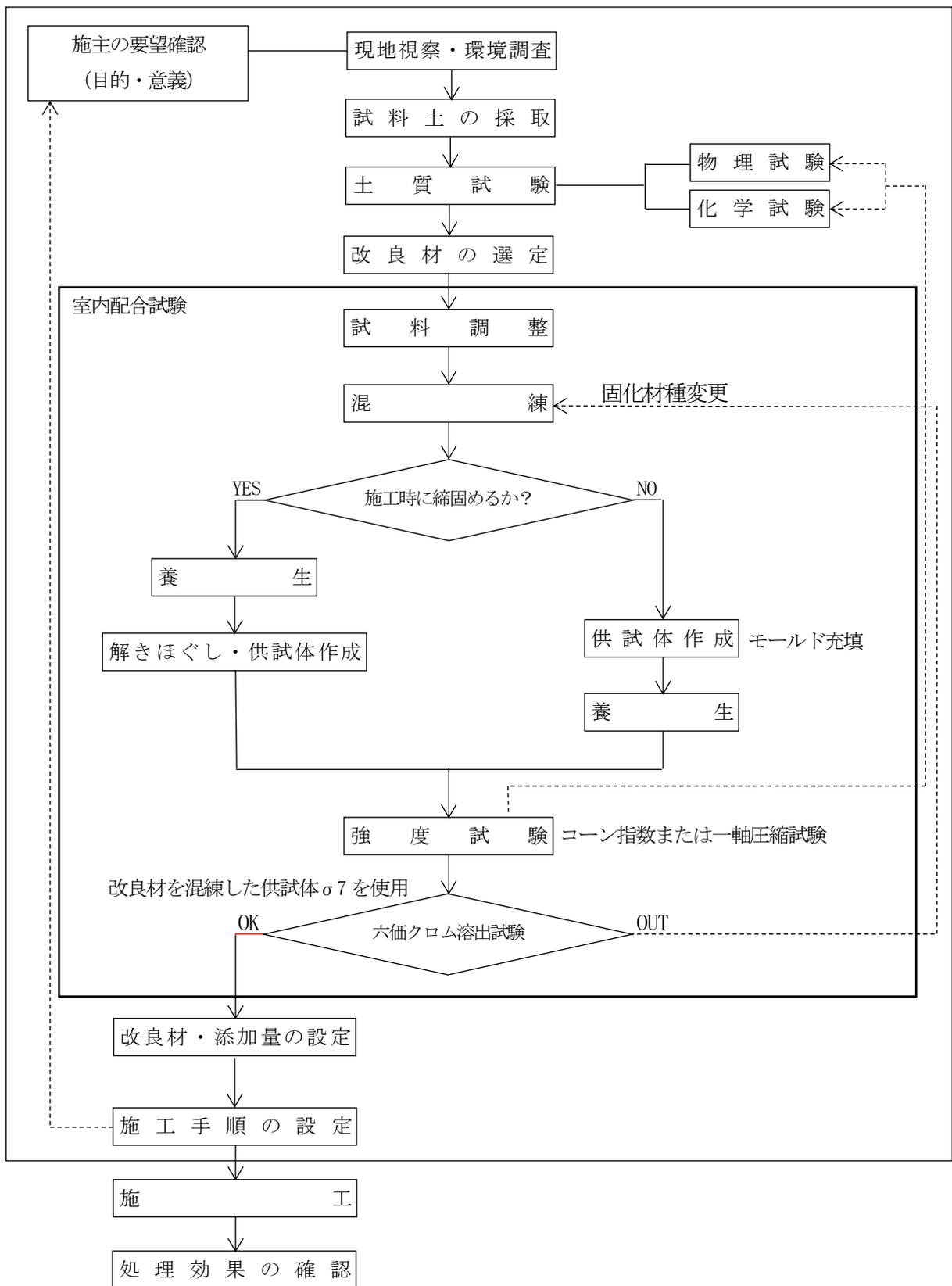


図-2.3 事前調査フロー

## ②泥土の物理試験

泥土の物理的性質を把握するため、次の項目について試験を実施する。

- ・ 自然含水比  $W_n \%$
- ・ 土の湿潤密度  $\gamma_t$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
- ・ 液性限界  $W_L \%$
- ・ 塑性限界  $W_p \%$
- ・ 土粒子の密度  $G_s$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
- ・ 粒度分布

## ③泥土の化学試験

泥土には、セメントの水和反応を阻害する有機物が混入していることがある。このように有機物含有量が多い場合は、改良材に高有機質土用を採用する判断の基礎資料とすることができる。

硫化水素等の悪臭の発生が考えられる場合には、硫化物の含有量を調べることも必要な場合もある。

- ・ 有機物含有量（測定方法：強熱減量試験、有機炭素含有量試験）
- ・ 硫化物イオウ含有量

## (2) 室内配合試験

安定処理効果に影響を与える要因は、対象土の土性（含水比、pH、有機物含有量、粒度組成など）、使用改良材の種類と添加量及び混合の程度などがある。

室内配合試験の目的は、所要設計強度を発現するための改良材の種類と添加量を決定することにある。

泥土はコンクリートの素材である砂・砂利のように品質が一定でなく、地層、堆積場所の違いや掘削、浚渫方法の違いによっても土性が変化する。従って、対象土の土性の変化を想定し、土性の区分が可能かどうか等の現場品質管理方法を考慮して事前の室内配合試験を計画することが望ましい。

### ①配合条件及び試験方法

利用用途や施工方法等を考慮して、配合条件、供試体作製、養生、強度試験方法を設定する。表-2.3 に室内配合試験仕様例を示す。

表-2.3 室内配合試験仕様例

施工方法		施工時に締固めをしない場合	施工時に締固めを行なう場合	選定に当り考慮する条件
配合条件	強度試験	コーン指数または一軸圧縮試験		利用用途
	対象土質	土質毎（必要に応じて含水比を変化）		
	改良材種類	セメント系、石灰系、高分子系		改良材の特徴
	添加量	3水準を標準とする		
供試体の作製	試料調整	9.5mmふるいを通させたもの	9.5mmふるいを通させたもの	施工方法
	モールド	内径 50mm×高さ 100mm	内径 10cm±0.4mm 容量 1,000±12cm <sup>3</sup>	強度試験
	ランマー	気泡が残らぬように充填	2.5kg±0.01kg	
	突固め		3層×25回	
養生	温度	20℃±3℃		利用用途
	養生条件	密 封	セメント系：空气中3日 水 浸4日 石灰系：空气中6日 水 浸4日	
	日数	7日、28日を標準（必要に応じて1, 3, 7, 10日）		施工方法
備考	JGS 0821-2009 に準拠	JGS 0811-2009 に準拠		

注) 突固めて供試体を作製する場合、ランマーがモールド底部まで達しないようにする。この場合は、その層の突固めを中止して、次の層の突固めを行なう。また、突固め回数を報告する。

## ②改良土の六価クロム溶出量の確認

セメント及びセメント系固化材を使用した改良土は「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）」（国土交通省，平成13年4月）に基づき、六価クロムの溶出量が土壤環境基準（旧環境庁，平成3年8月）0.05mg/L以下に適合していることを確認する。

溶出量が基準値を超えている場合には、改良材の選定を変更し再度試験を行う。

### 3. 配合設計

一般に取り扱いの難しい高含水比粘性土や底質土および汚泥などの低品質な土であっても適切な土質改良を施すことで有効利用が可能となる。

表-3.1に「発生土利用基準について」（平成18年8月10日付国官技第112号）による発生土の土質区分と適用用途標準の目安について示す。MUD I X工法の主な適用対象である泥土および建設発生土（第3～4種相当）については安定処理を施すことで道路盛土、河川堤防、土地造成、埋戻し、裏込めさらに水面埋立などに有効利用がはかれるものとされる。

現行の基準などをもとに用途ごとの標準的な要求品質を整理したものを表-3.2に示したが、具体的な詳細設計に当たっては利用側の諸基準に基づいた検討が必要となる。

#### 3. 1 安定処理の目的および設計強度

高含水比粘性土や底質土および汚泥のような低品質な土の安定処理は、以下のような目的で行われる。

- ①低品質な土を受け入れ先や処分地まで運搬する際の飛散や散逸を防止する。
- ②受け入れ先や処分地に搬入された低品質な土を敷き均すに当たり、施工機械の走行性を確保できる強度を確保する。
- ③土中に含まれる有害物質の溶出を防止すると共に悪臭の発生を軽減する。
- ④盛土材、埋戻し材、裏込め材および止水材などとして再利用を図れる性状まで低品質な土を改良する。

また、設計強度は、おおむね以下の範囲で設定されることが多い。

- ①一軸圧縮強さ  $q_u=50\sim 500\text{ kN/m}^2$
- ②コーン指数  $q_c=200\sim 800\text{ kN/m}^2$

表-3.1に適用用途標準に示す。表-3.2に最も上位の現行の基準等をもとに、用途ごとの要求品質の例として道路用盛土と河川堤防を示す。ここに示した要求事項は参考扱いとし、実際の適用にあたっては、利用側で定められている諸基準等に従うものとする。

表-3.1 (1) 適用用途標準<sup>2)</sup>

適用用途		工作物の埋戻し		建築物の埋戻し <sup>※1</sup>		土木構造物の裏込め		道路用盛土			
		評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	路床		路体	
区分											
第1種建設発生土 (砂、礫及びこれらに準ずるもの)	第1種	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意
	第1種改良土	◎	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
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	◎	最大粒径注意 細粒分含有率注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意 細粒分含有率注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意
	第2b種	◎	細粒分含有率注意	◎		◎	細粒分含有率注意	◎		◎	
	第2種改良土	◎		◎	表層利用注意	◎		◎		◎	
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らに準ずるもの)	第3a種	○		◎	施工機械の選定注意	○		○		◎	施工機械の選定注意
	第3b種	○		◎	施工機械の選定注意	○		○		◎	施工機械の選定注意
	第3種改良土	○		◎	表層利用注意 施工機械の選定注意	○		○		◎	施工機械の選定注意
第4種建設発生土 (粘性土及びこれらに準ずるもの)	第4a種	○		○		○		○		○	
	第4b種	△		○		△		△		○	
	第4種改良土	△		○		△		△		○	
泥土	泥土 a	△		○		△		△		○	
	泥土 b	△		△		△		△		△	
	泥土 c	×		×		×		×		△	

【評価】

- ◎：そのまま使用が可能なもの。留意事項に使用時の注意事項を示した。
- ：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）を行えば使用可能なもの。
- △：評価が○のものと比較して、土質改良にコスト及び時間がより必要なもの。
- ×：良質土との混合などを行わない限り土質改良を行っても使用が不適なもの。

土質改良の定義

- 含水比低下：水切り、天日乾燥、水位低下掘削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：補強、固化材、水や軽量材等を混合することにより発生土に流動性、軽量性などの付加価値をつけることや、補強材等による発生土の補強を行う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：利用用途先の材料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。
- 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恐れのあるもの。
- 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。

【備考】

- 本表に例示のない適用用途に発生土を使用する場合には、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、工作物の埋戻しを準用する。
- ※2 水面埋立て：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。

表-3.1 (2) 適用用途標準<sup>2)</sup>

適用用途 区分		河川築堤				土地造成			
		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
第1種 建設発生土  (砂、礫及びこれらに準ずるもの)	第1種	◎	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
	第1種改良土	◎	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
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	◎	最大粒径注意 礫混入率注意 粒度分布注意 透水性注意 表層利用注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意 透水性注意	◎	最大粒径注意 礫混入率注意 表層利用注意	◎	表層利用注意
	第2b種	◎	粒度分布注意	◎	粒度分布注意	◎		◎	
	第2種改良土	◎	表層利用注意	◎	表層利用注意	◎	表層利用注意	◎	表層利用注意
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らに準ずるもの)	第3a種	◎	粒度分布注意 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
	第3b種	◎	粒度分布注意 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
	第3種改良土	◎	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	◎	表層利用注意 施工機械の選定注意
第4種 建設発生土  (粘性土及びこれらに準ずるもの)	第4a種	○		○		○		○	
	第4b種	○		○		○		○	
	第4種改良土	○		○		○		○	
泥 土	泥土 a	○		○		○		○	
	泥土 b	△		△		△		△	
	泥土 c	×		×		×		△	

表-3.1 (3) 適用用途標準<sup>2)</sup>

適用用途 区分		鉄道盛土		空港盛土		水面埋立 <sup>*2</sup>	
		評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項
第 1 種 建設発生土  〔砂、礫及びこれらに準 ずるもの〕	第 1 種	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	粒度分布注意 淡水域利用注意
	第 1 種 改良土	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	淡水域利用注意
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	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	
	第2b種	◎		◎		◎	粒度分布注意
	第 2 種 改良土	◎		◎		◎	淡水域利用注意
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 らに準ずるもの〕	第3a種	○		◎	施工機械の 選定注意	◎	粒度分布注意
	第3b種	○		◎	施工機械の 選定注意	◎	
	第 3 種 改良土	○		◎	施工機械の 選定注意	◎	淡水域利用注意
第 4 種 建設発生土  〔粘性土及びこれらに 準ずるもの〕	第4a種	○		○		◎	粒度分布注意
	第4b種	△		○		◎	
	第 4 種 改良土	△		○		◎	淡水域利用注意
泥 土	泥土 a	△		○		○	
	泥土 b	△		△		○	
	泥土 c	×		×		△	

表3-2 用途ごとの要求品質の例 (参考)<sup>2)</sup>

用途		道路用盛土		河川堤防	
		路床	路体	高規格堤防	一般堤防
用途ごとの要求品質	標準等	社団法人日本道路協会：「道路土工一盛土工指針」，平成22年4月	社団法人日本道路協会：「道路土工一盛土工指針」，平成22年4月	財団法人リバーフロント整備センター（現公益財団法人リバーフロント研究所）：「高規格堤防盛土設計・施工マニュアル」，平成12年3月	財団法人国土技術研究センター：「河川土工マニュアル」，平成21年4月
	材料規定	最大粒径 100 mm 以下	300 mm 以下	100 mm 以下	(150 mm 以下)
	粒度	—	—	φ 37.5 mm 以上の混入率 40%以下	( $F_c=15\sim 50\%$ )
	コンシステンシー	—	—	—	—
強度	舗装の構造設計で想定している CBR以上	—	—	—	—
施工含水比	最適含水比付近	縮固め度管理の場合： $D_c \geq 90\%$ が得られる含水比 空気間隙率，飽和度管理の場合： 自然含水比またはトライカ ピリテーターが確保できる含水比	最適含水比より湿潤側で，既定の縮固め度が得られる範囲	最適含水比より湿潤側で，既定の縮固め度が得られる範囲	最適含水比より湿潤側で，既定の縮固め度が得られる範囲
縮固め度	RI計器： 縮固め度平均値 $D_c \geq 90\%$ 砂置換法： 縮固め度最低値 $D_c \geq 95\%$ (A, B 法) もしくは $D_c \geq 90\%$ (C, D, E法) (1回3点以上の試験を行った場合の最低値に対するもの)	RI計器： 縮固め度平均値 $D_c \geq 90\%$ 砂置換法： 縮固め度最低値 $D_c \geq 90\%$ (A, B 法) (1回3点以上の試験を行った場合の最低値に対するもの)	RI計器： 縮固め度平均値 $D_c \geq 90\%$ 砂置換法： 縮固め度最低値 $D_c \geq 85\%$	RI計器： 縮固め度平均値 $D_c \geq 92\%$ ※ 砂置換法： 縮固め度最低値 $D_c \geq 90\%$ (A, B 法) (ただし1回の試験につき3孔で測定し，3孔の平均値で判定を行う※)	RI計器： 縮固め度平均値 $D_c \geq 92\%$ ※ 砂置換法： 縮固め度最低値 $D_c \geq 90\%$ (A, B 法) (ただし1回の試験につき3孔で測定し，3孔の平均値で判定を行う※)
空気間隙率または飽和度	粘性土： $2\% \leq I_p \leq 8\%$	粘性土： $2\% \leq I_p \leq 10\%$ $85\% \leq S_r \leq 95\%$	砂質土 ( $25\% \leq F_c < 50\%$ )： $I_p \leq 15\%$ 粘性土 ( $F_c \geq 50\%$ )： $2\% \leq I_p \leq 10\%$ $85\% \leq S_r \leq 95\%$	砂質土 ( $25\% \leq F_c < 50\%$ )： $I_p \leq 15\%$ 粘性土 ( $F_c \geq 50\%$ )： $2\% \leq I_p \leq 10\%$ $85\% \leq S_r \leq 95\%$	砂質土 ( $25\% \leq F_c < 50\%$ )： $I_p \leq 15\%$ 粘性土 ( $F_c \geq 50\%$ )： $2\% \leq I_p \leq 10\%$ $85\% \leq S_r \leq 95\%$
1層の仕上り厚さ	20 cm 以下	30 cm 以下	30 cm 以下	30 cm 以下	30 cm 以下
その他	—	—	$q_c \geq 400 \text{ kN/m}^2$	—	—
備考					※平成25年度土木工事共通仕様書「品質管理基準及び規格値」より

### 3. 2 設計強度と添加量

#### (1) 一軸圧縮強さ

安定処理された改良土は、最終利用先に至るまでの経路、期間、利用目的に応じて安定処理時に必要となる改良強度の考え方が異なる。

代表的な施工パターンは以下のとおりである。

- ①直接、利用先に排出または打設する場合
- ②短期養生後、利用先に掘削運搬し締固めする場合
- ③所定強度発現後、利用先に掘削運搬し締固めする場合

①のように処理直後に用途側で締固めを行わないで使用される場合は安定処理時の現場強度と所要設計強度が等しい。

②、③のように一時仮置きされたり、一定期間養生されてから搬出時に施工機械で砕かれ、利用先で転圧されるような場合には、現場強度が低下する。

この強度の低下度合いは、土質、改良方法、改良材添加量、温度条件、処理後の経過時間、転圧方法などにより大きく左右されるので利用に当たっては十分な配慮が必要である。

上記の施工パターンにおいて、所要設計強度（最終利用先における必要現場強度）より室内試験の目標強度を算出するには次式を標準とする<sup>3)</sup>。

- ① : 施工時に締固めを行わない場合

$$q_{up}=q_{uf}=\alpha_1 \cdot q_{ul}$$

- ②、③ : 施工時に締固めを行う場合

$$q_{up}=q_{uf_1}=\alpha_2 \cdot q_{uf_2}=\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot q_{ul}$$

ここに、 $q_{up}$  : 所要設計強度（最終利用先における必要現場強度）

$q_{uf}$  : 現場強度（安定処理時の現場目標強度）

$q_{ul}$  : 室内強度

$q_{uf_1}$  : 掘削後の現場強度

$q_{uf_2}$  : 改良土掘削前の現場強度（= $q_{uf}$ ）

$\alpha_1$  : 現場室内強度比

MUD I X工法においては一般には0.7～0.8であるが、土質、温度条件および固化材添加量によって変化することもある。特に浚渫土のように安定処理時に異なる土質、土性に対する区分ができない場合には施工時にこれらの関係を確認する。

$\alpha_2$  : 掘削強度低下比

改良土においては一般的には1/3～1/5であるが、改良土の掘削時期や利用先の敷均し転圧方法によって変化することもあるので、施工時にこれらの関係を確認する。また、事前調査における室内配合試験で確認する場合もある。

図-3.1に示す室内配合試験結果グラフ(例)から、各施工パターンにおける設計添加量を求める手順を各々、次ページ以降に示す。

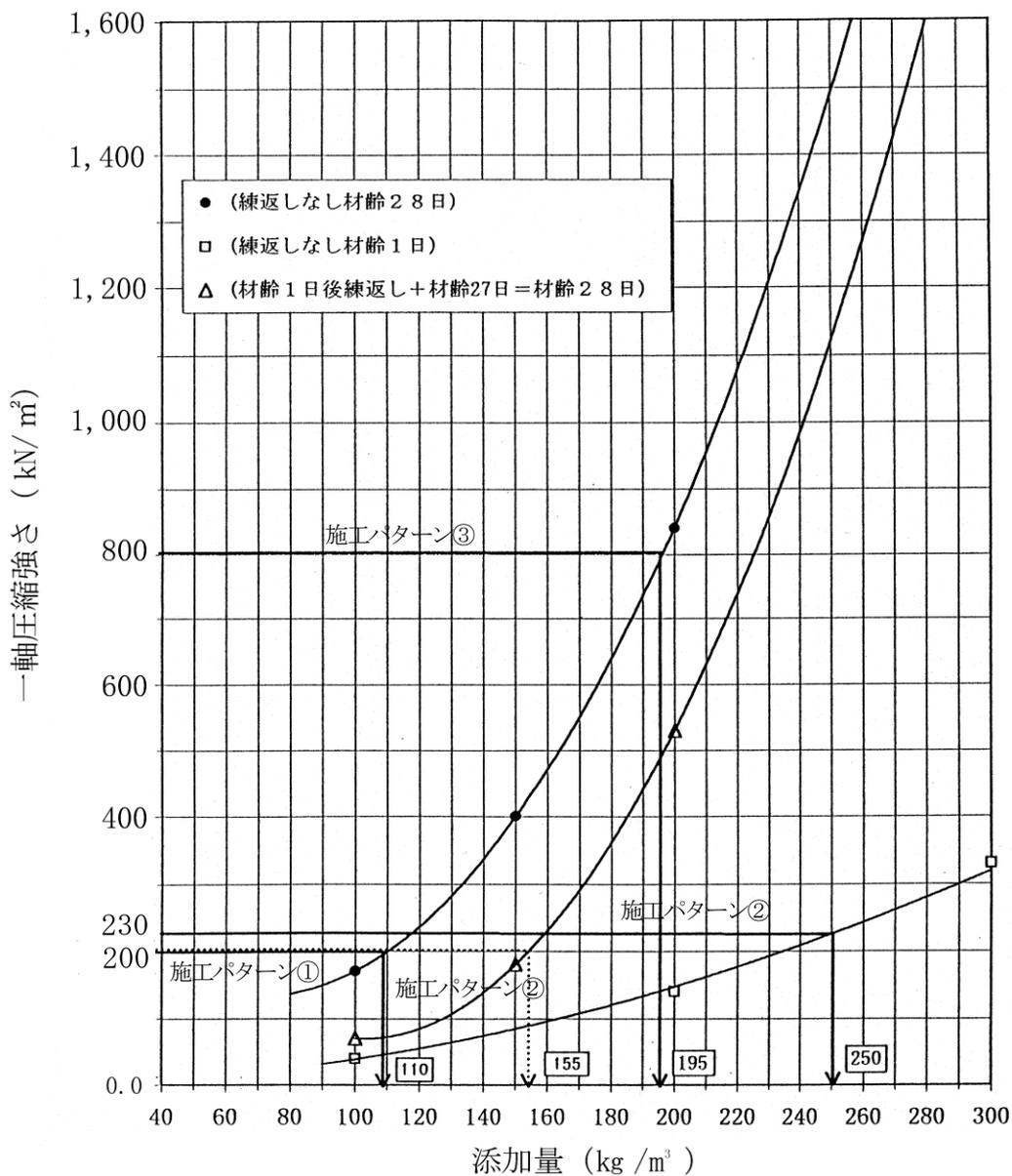
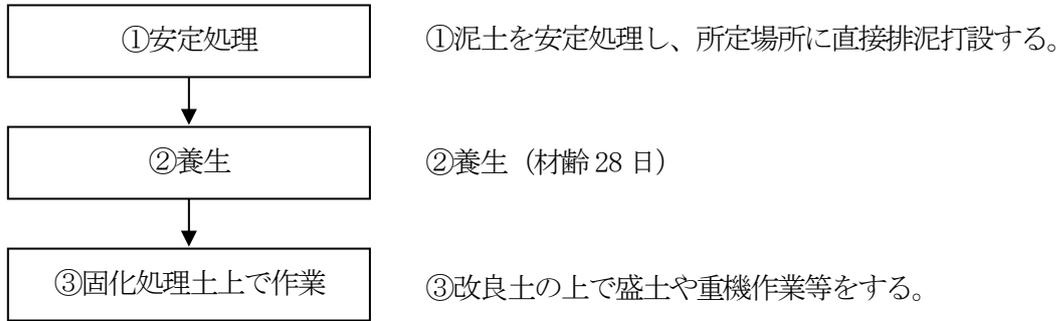


図-3.1 配合試験結果グラフ例

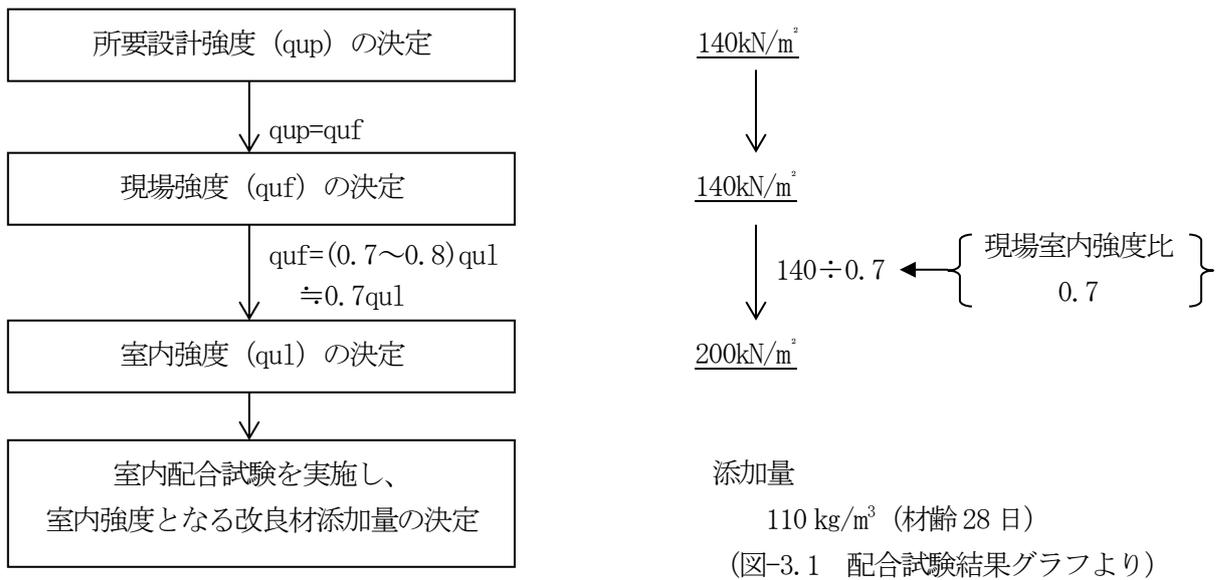
(1) 施工パターン①の場合の添加量設定フローと現場強度の変化

(施工時に締固めを行なわない：直接、利用先に排出または打設する場合)

[処理フロー]



[目標強度および添加量設定フロー]



[材令と現場強度の変化]

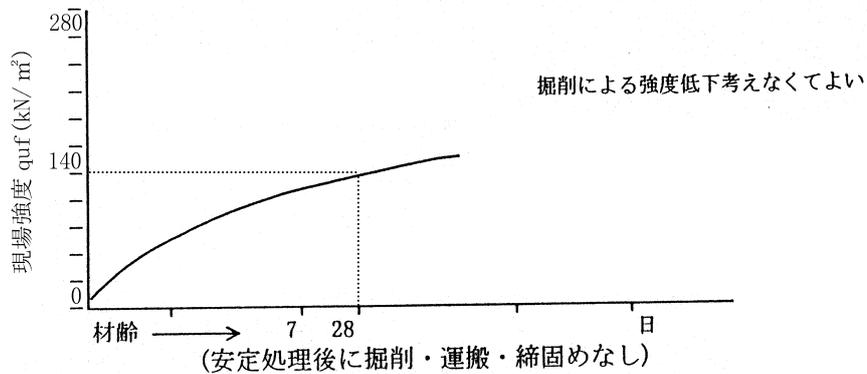
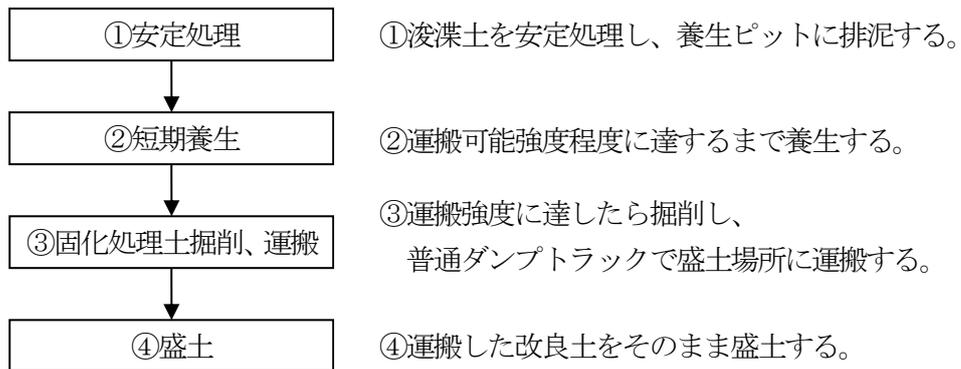


図-3.2 材令と現場強度の変化

(2) 施工パターン②の場合の添加量設定フローと現場強度の変化

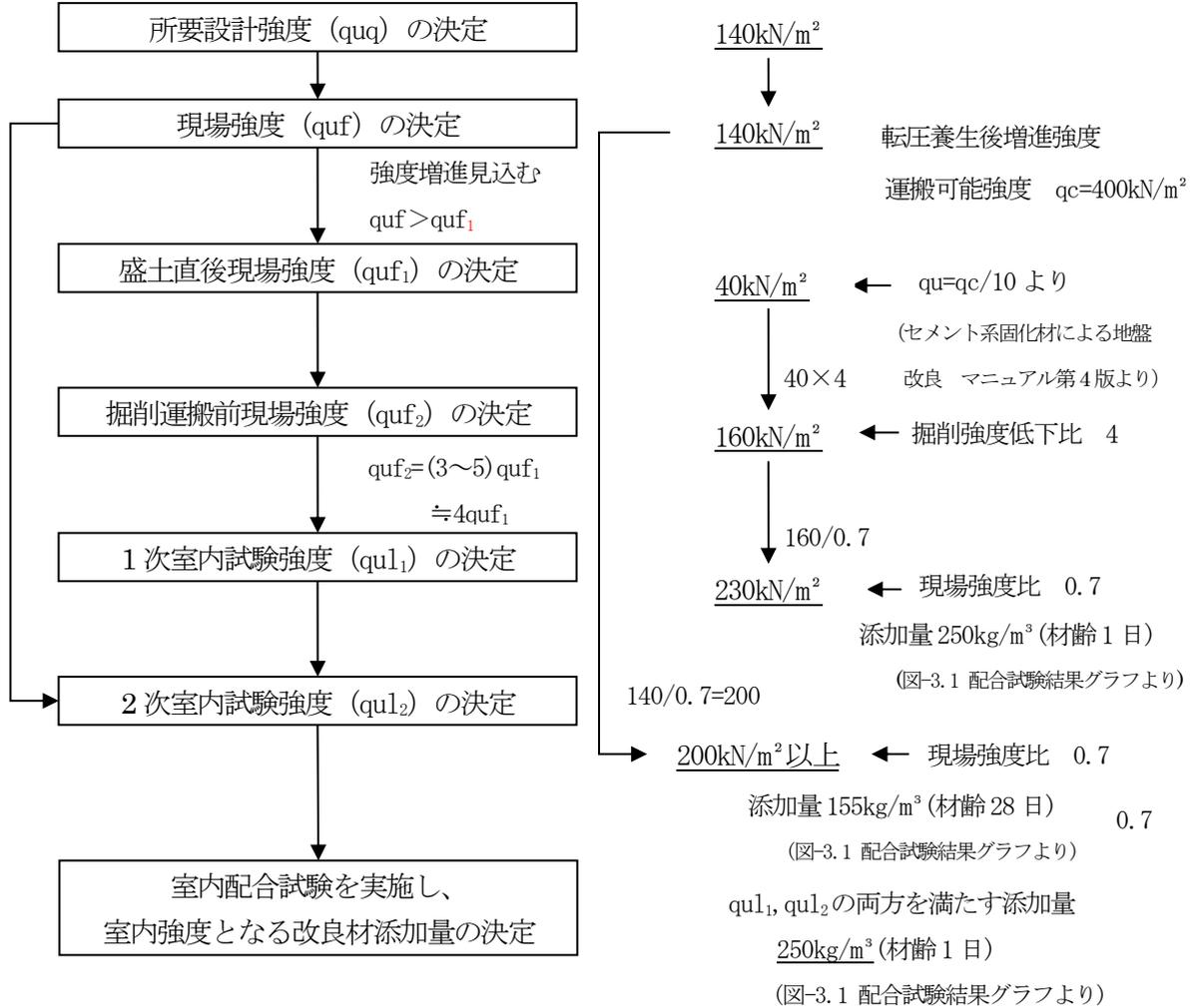
(施工時に締固めを行なう：短期養生後、利用先に掘削運搬し締固めする場合)

[処理フロー]



[目標強度および添加量設定フロー]

短期養生後、運搬可能強度程度に達したら締固めるような場合、締固め後の強度増進が見込める。



短期養生後、運搬可能強度程度に達したら締固めるような場合、締固め後も強度増進が見込める。

[材齢と現場強度の変化]

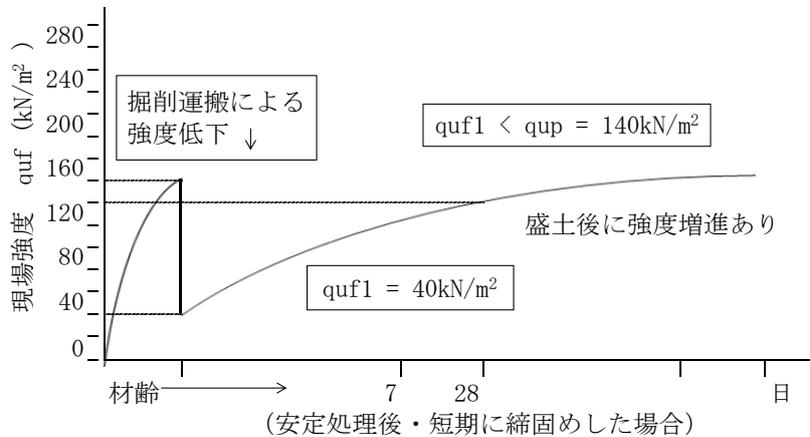
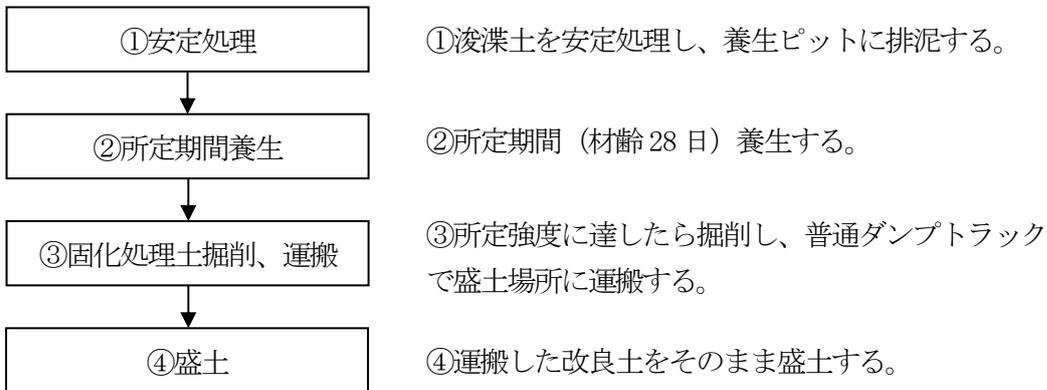


図-3.2 材令と現場強度の変化

(3) 施工パターン③の場合の添加量設定フローと現場強度の変化

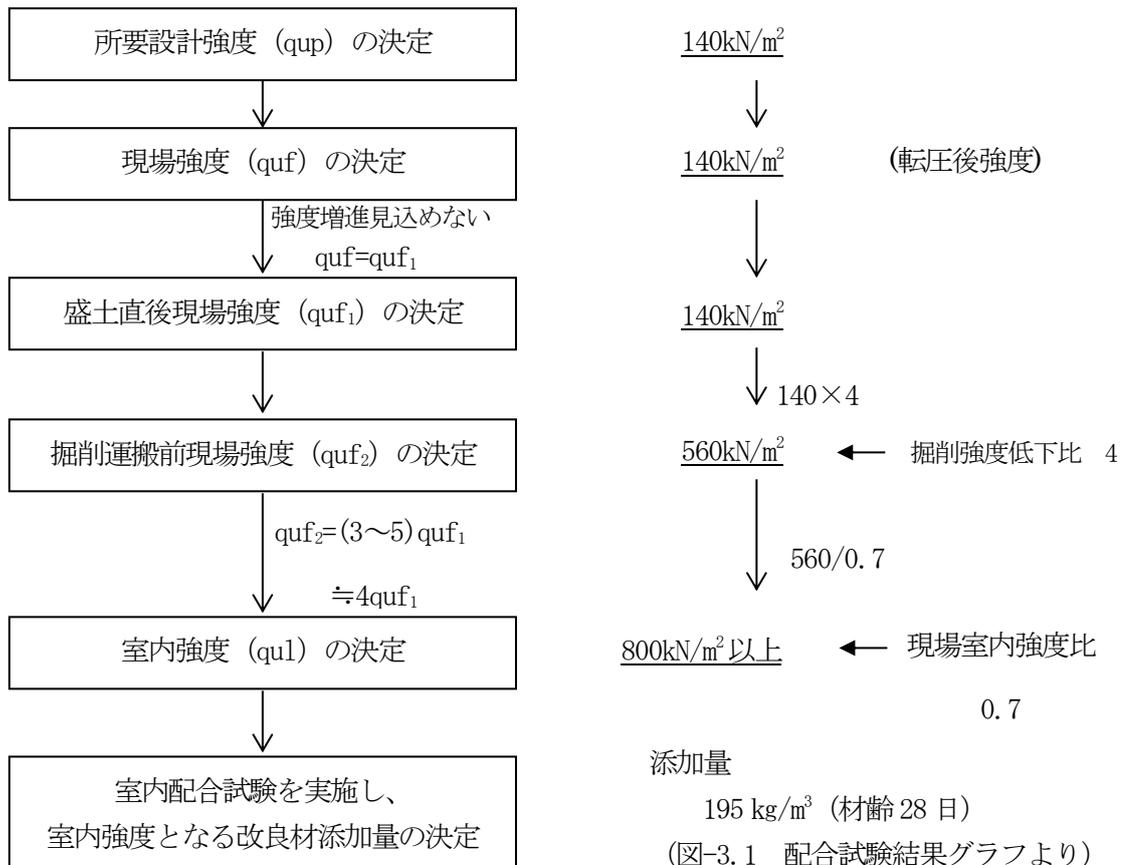
(施工時に締固めを行なう：所要強度発現後、利用先に掘削運搬し締固めする場合)

[処理フロー]



[目標強度および添加量設定フロー]

養生後、所要強度に達した後に締固めるような場合、締固め後は強度増加を見込めない。



[材齢と現場強度の変化]

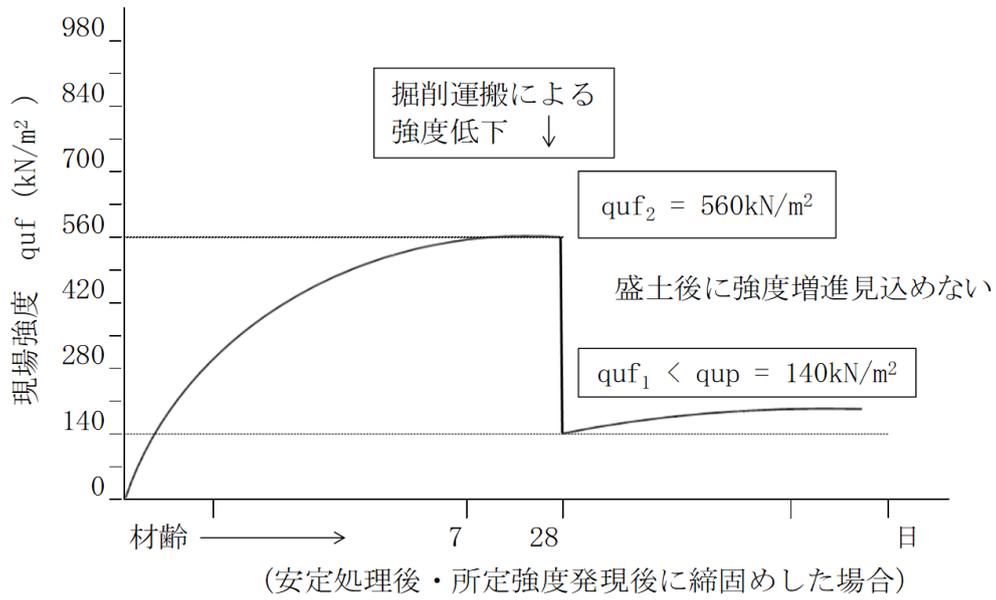


図-3.3 材令と現場強度の変化

(2) コーン指数

対象原土の区分判断（建設発生土や泥土）、土質改良後の適用用途先（用途毎の要求品質）を判断する場合、建設発生土利用技術マニュアル第4版によると、その基準となるものはコーン指数によって区分化される。コーン貫入試験は、大別すると締固めた土のコーン指数試験と軟弱地盤において簡便に土層構成やトラフィカビリティを確認するポータブルコーン貫入試験がある。

ここでは、建設発生土利用技術マニュアルで規定化された締固め土のコーン指数試験について整理する。

コーン指数の測定方法は表 3-3 による。

表 3-3 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 1228:2000) (社) 地盤工学会編「地盤材料試験の方法と解説 第一回改定版」 pp.386-329」をもとに作成

供試体の作製	試料	4.75mm ふるいを通過したもの。 ただし、改良土の場合は 9.5mm ふるいを通過させたものとする。
	モールド	内径 100±0.4mm 容量 1,000±12 cm <sup>3</sup>
	ランマー	質量 2.5±0.01kg
	突固め	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 3.24 cm <sup>2</sup> 、先端角度 30 度のもの。
	貫入速度	1cm/s
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 (qc)	平均貫入抵抗力をコーン先端の断面積 3.24 cm <sup>2</sup> 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。

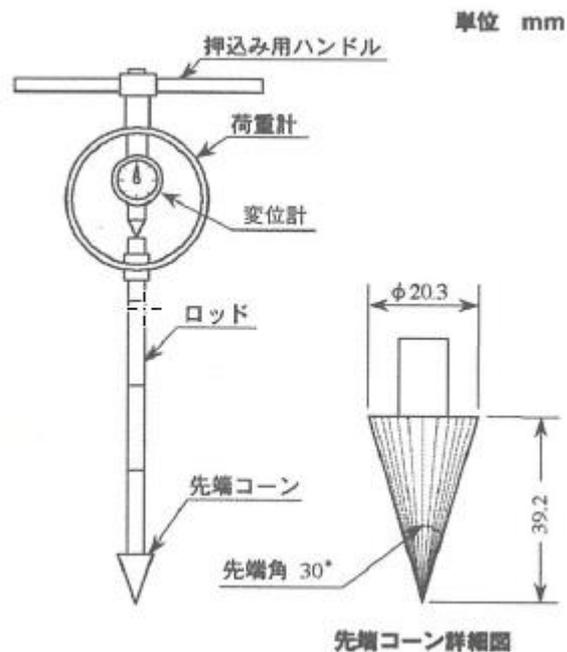


図 3.4 コーンペネロータの例

前項の一軸圧縮強さは、原土に固化材を混練し所定養生後に試験を実施する不攪乱試料となる。よって配合計画時の施工パターンによっては、強度発現後に掘削運搬する際に強度劣化を考慮する留意点が発生する。これに対しコーン指数試験では、試験法がランマー等で締固めて試験を実施するので攪乱試料となる。このため、掘削運搬する際に強度劣化について考慮する必要は生じないが、養生条件について留意点が必要となる。

以下、施工条件による代表的な養生条件の留意点を示す。

- ① 土質改良直後に再利用し所定材令で要求強度が必要な場合
  - ② 土質改良後にいったん仮置きし、その後に掘削運搬し再利用される場合
- 
- ① の施工手順を考慮した改良土の養生条件は、原土と固化材を混練り後にモールドへ詰め所定材令にてコーン指数試験を実施する。
  - ② の施工手順を考慮した改良土の養生条件は、原土と固化材を混練り後に改良土をビニール等へ入れ、仮置き期間後（養生）にコーン指数を実施する。

## 4. 改良土の工学的特性

### 4. 1 改良材の特徴

泥土の安定処理に用いられる改良材の種類は、①セメントおよびセメント系固化材、②石灰および石灰系固化材、③高分子系改質剤、に大別される。分類を図-4.1 に、改良材の選定の目安を表-4.2 に示す。

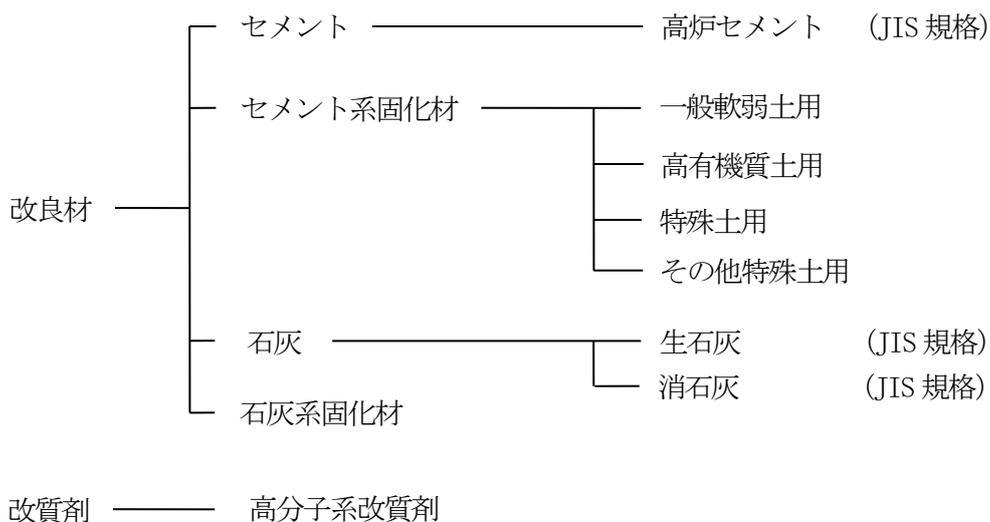


図-4.1 改良材の種類<sup>4)</sup>を加筆

表-4.1 改良材の選定の目安<sup>7)</sup>を加筆

改良材の区分		改良材				改質剤
		セメント系 固化材	高炉 セメント	石灰系 固化材	生石灰	高分子系 改質剤
土質分類・ 性質	砂質土	○	○	△	△	○
	シルト	◎	○	◎	◎	○
	粘性土	◎	○	◎	◎	○
	火山灰質粘性土	◎	△	◎	◎	○
	有機質土	◎	○	○	○	△
	高有機質土	◎	△	△	△	×
	含水比が液性限界以上	○	△	△	△	△
材 料	取扱い安さ・危険性	○	○	○	○	○
	価格	中位	中位	中位	中位	高い
混 合	スラリー状で使用可	○	○	×	×	×
	粉体状での粘性土との混合性	△	△	○	○	△
処 理 効 果	混合直後の改良効果	△	△	○	◎	◎
	初期強度	○	△	○	△	◎
	長期強度	○	○	○	○	×

(凡例) ◎最適、○適、△やや適、×不適

### ①セメントおよびセメント系固化材の特徴

泥土の安定処理に用いられる「セメント」は、日本工業規格（JIS）に定められた規格品である「高炉セメント」がある。

また、高含水比の泥土やセメントの水和を阻害する有機物を多く含む泥土などを安定処理する場合に、より少ない添加量で経済的に固化処理することを目的に、セメントを主成分としてその他の有効な成分を添加・調整した各種の「セメント系固化材」がある。

### ②石灰および石灰系固化材の特徴

泥土の安定処理に用いられる「石灰」は日本工業規格（JIS）に定められた規格品である「生石灰」「消石灰」がある。

生石灰は石灰石を焼成して製造される。消石灰は生石灰を水分と反応させて製造される。

また、石灰単体では効きにくい土質に対して効果があり、高い強度が確保できるように、石灰を主成分としてその他の有効な成分を添加・調整した各種の「石灰系固化材」がある。

### ③高分子系改質剤の特徴

泥土の改質に用いられる「高分子系改質剤」は、水溶性高分子ポリマーを主成分としている。同ポリマーとしては、ポリアクリル系などの合成ポリマー、天然多糖類系やアルギン酸ソーダなどの天然ポリマーなどが用いられている。

また、強度を増加させるために、セメントおよびセメント系固化材、石灰や石灰系固化材と併用される場合がある。

## 4. 2 泥土の安定処理のしくみ

### (1) セメント系固化材、石灰を用いた安定処理のしくみ

セメント系固化材、石灰を用いた安定処理のしくみは図-4.2に示すとおり、①物性の改良、②エトリンガイトの生成、③セメントの水和による硬化、④ポゾラン反応による硬化、に大別される（石灰は①、④のみ）。

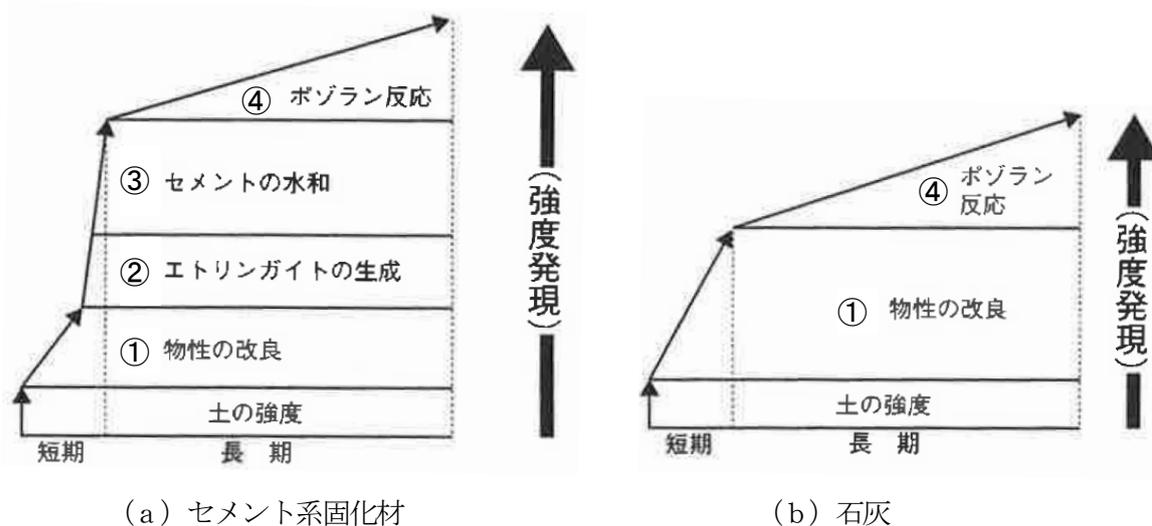


図-4.2 改良材の強度発現モデル<sup>13)</sup>

### ①物性の改良

粘土鉱物はその粒子の表面が負に帯電しており、粒子同士が反発した状態で存在している。石灰は水と出会うことで水和反応が進行し水酸化カルシウム ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) を生成する。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ はCaイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ) とOHイオン ( $\text{OH}^-$ ) に電離し、正のイオンであるCaイオンは粘土粒子表面の負の帯電を中和し、反発力を抑えることで粘土粒子を凝集・団粒化させる。粘土粒子は凝集・団粒化すると塑性指数が小さくなるとともに、粒子間距離が近くなるので、セメント系固化材では、エトリンガイト等の水和生成物による骨格の形成がより強固になり強度発現が助長される。

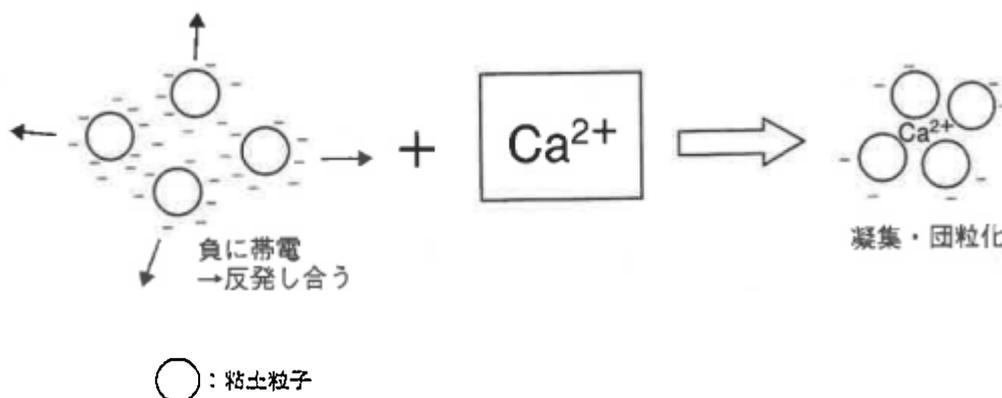


図-4.3 粘土粒子の凝集・団粒化モデル<sup>13)</sup>

また、生石灰はその水和反応において、1kgにつき 320g の水分を吸収し、 $117 \times 10^4 \text{ j}$  の熱を発生し、蒸発を促進することで土の含水比を低下させる。

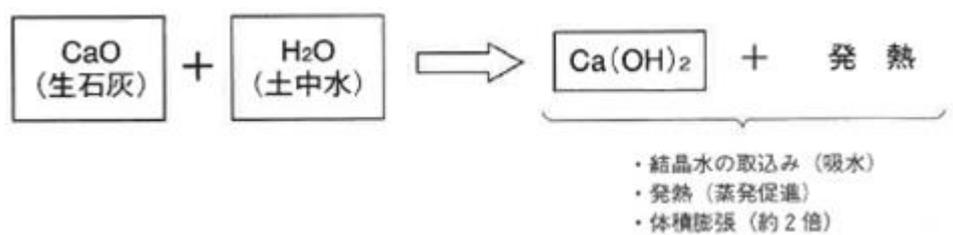


図-4.4 生石灰の水和反応モデル<sup>13)</sup>

### ②エトリンタイトの生成

セメント系固化材は、土と混合し水と接触することで水和反応が進行し、速やかにエトリンタイト ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ) を生成する。エトリンタイトは、多量の水を結晶水として取り込み土の含水比を低下させるとともに、その針状結晶が粘土粒子を架橋し強固な骨格を形成する。また、エトリンタイトの生成反応は、セメントの強度発現を阻害する有機物の存在下でも有効に働くので、有機質土の固化にも効果的である。

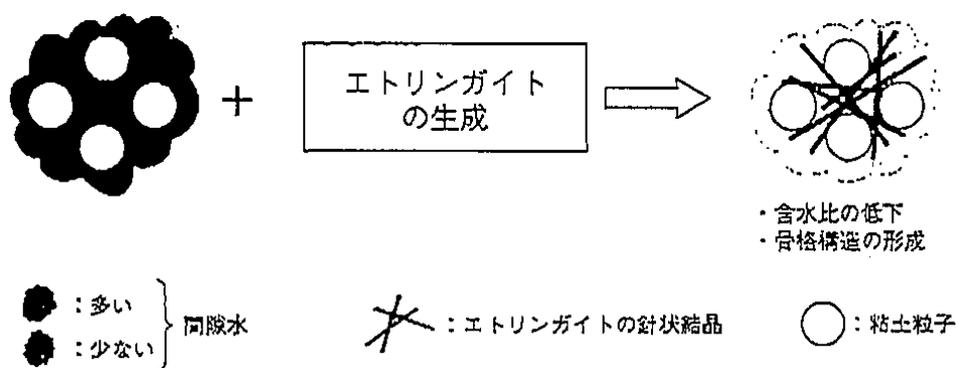


図-4.5 エトリンタイトの生成反応モデル<sup>13)</sup>

### ③セメント系固化材の水和による硬化

セメント系固化材はカルシウムシリケートからなる鉱物 ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) を含んでいる。これら鉱物は水和反応によってカルシウムシリケート水和物を生成し、エトリンタイトの架橋を補強することで、さらに強度発現を増進させる。

#### ④ポゾラン反応による硬化

生成した水酸化カルシウムは土中の雰囲気をアルカリ性とし、図-4.6に示す粘土粒子表面のシリカ (SiO<sub>2</sub>) やアルミナ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 等の可溶成分を溶解する。

これら溶解した反応性の高い成分は、Ca イオンと反応することでカルシウムシリケート水和物やカルシウムアルミネート水和物を生成して、粘土粒子を固化・硬化する。この反応は「ポゾラン反応」と呼ばれ、長期にわたって進行する。

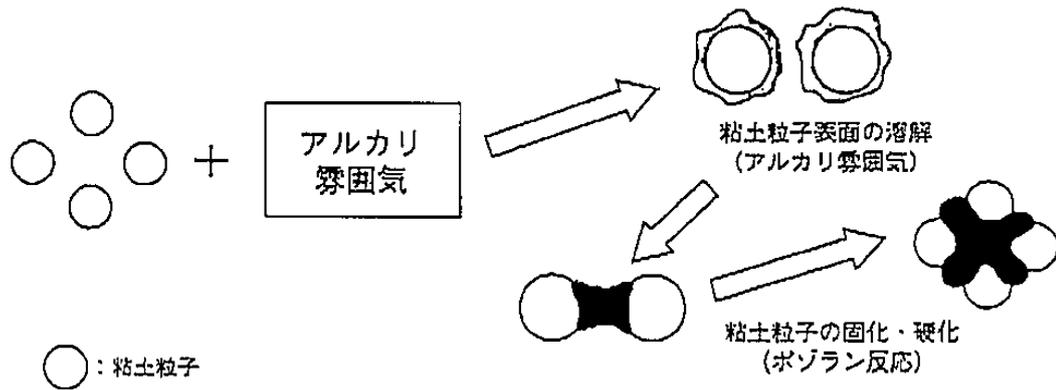


図-4.6 ポゾラン反応のモデル<sup>13)</sup>

#### (2) 高分子系改質剤を用いた安定処理のしくみ

泥土に高分子改質剤を混合すると、少量で泥土中の大量の自由水を吸収し自らは溶解して粘着性の高いゲル状物質を生成し、土粒子が団粒化して、物性の改善が図られる。生成したゲル状物質は、ほぼ中性を示す。なお、セメント系固化材および石灰を併用した場合には、その添加量に見合った(1)に示す効果が期待できる。

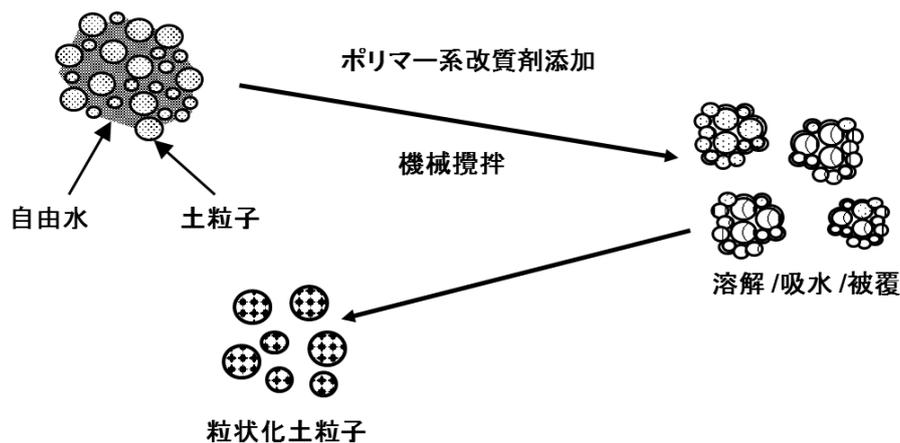


図-4.7 高分子系改質剤の改質のメカニズム

### 4. 3 改良土の特性

#### (1) セメント系固化材を用いた改良土の特徴

##### 1) 改良土の湿潤密度と体積

土の湿潤密度は、底質土、有機質土などで  $1.0\text{g/cm}^3$  程度から、良質の砂質土で  $2.0\text{g/cm}^3$  程度まで広い幅で分布している。一方、セメント系固化材の密度は  $3.0\sim 3.1\text{g/cm}^3$  程度であり、土粒子の密度と比較すると大きい。したがって、セメント系固化材を粉体で添加した改良土の湿潤密度は、改良前と比較すると若干増加する。

例えば、空隙がすべて水で満たされた飽和土を安定処理した場合、固化材  $100\sim 200\text{kg/m}^3$  添加の範囲において、粉体添加では湿潤密度は  $1.07\sim 1.13$  倍で体積は  $1.03\sim 1.06$  倍となる。

##### 2) 改良土の強度

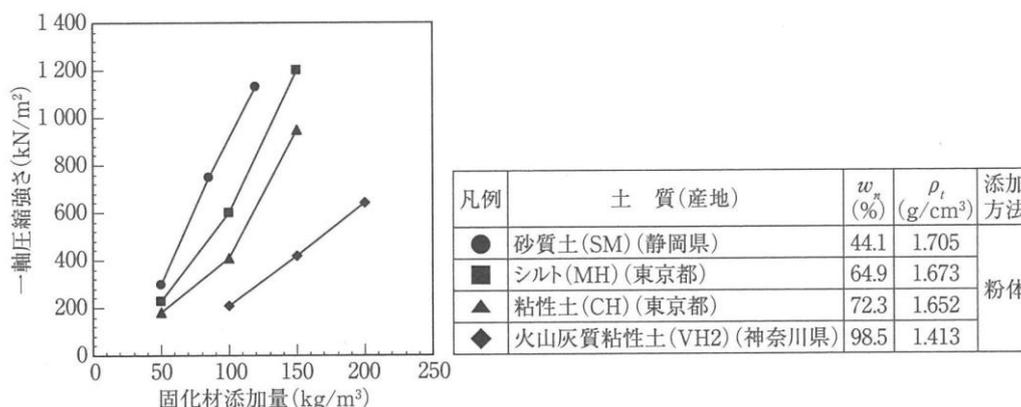
泥土を安定処理した改良土の力学的評価として、一軸圧縮強さで評価することが多い。また、改良土の用途によってはCBRやコーン指数で評価を行う。

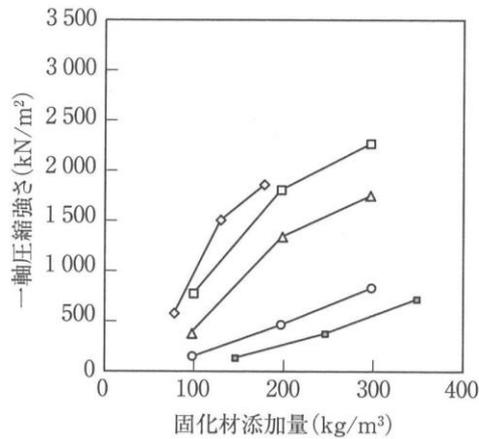
改良土の強度発現に及ぼす主な要因は、①対象土の土質、②改良材の種類と添加量、③養生条件、などがある。

#### ① 対象土の土質による影響

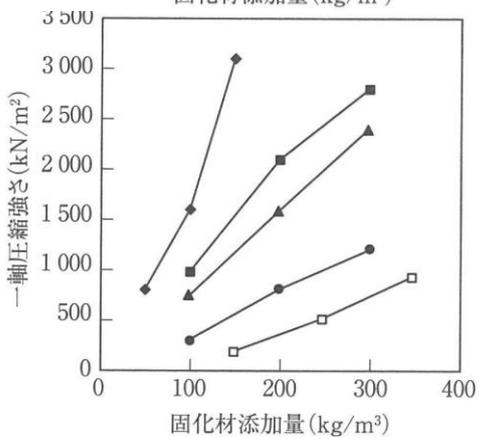
改良土の強度は対象土の土質に大きく影響される。これは土粒子の粒度、含水比、有機物含有量などがセメント系固化材の水和反応や、固化構造に大きな影響を及ぼすことによる。

土質の違いによる改良効果例を図-4.8に示す。改良効果は、砂質土>シルト>粘性土>火山灰質粘性土>有機質土、の順で低下していく傾向にある。





凡例	土質(産地)	$w_n$ (%)	$\rho_t$ (g/cm³)
◇	砂質土(SM)(千葉県)	29.2	1.783
□	シルト(MH)(愛知県)	59.4	1.693
△	粘性土(CH)(埼玉県)	76.5	1.634
○	火山灰質粘性土(VH2)(東京都)	115.0	1.402
■	有機質土(OH)(千葉県)	212.7	1.224



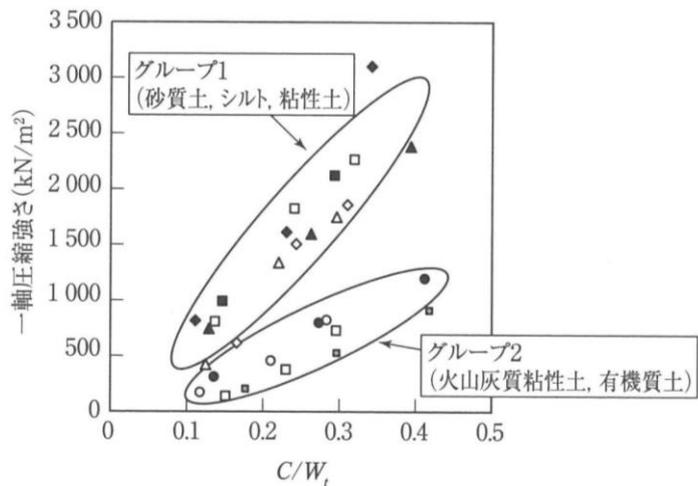
凡例	土質(産地)	$w_n$ (%)	$\rho_t$ (g/cm³)
◆	砂質土(SM)(千葉県)	32.8	1.776
■	シルト(MH)(静岡県)	68.5	1.663
▲	粘性土(CH)(神奈川県)	89.2	1.611
●	火山灰質粘性土(VH2)(埼玉県)	94.7	1.487
□	有機質土(OH)(埼玉県)	230.7	1.194

図-4.8 土質の違いによる改良効果例<sup>7)</sup>

一般に、自然状態では、粒度の細かい粘性土等、有機物含有量の多い有機質土は含水比が高い。この他、スラリーで添加した場合、粉体添加に比較して、実質的に改良対象土の含水比が高い状態と見なすことが出来る。土中の水分と固化材スラリーに含まれる水の総和を  $W_t$  とし、固化材量  $C$  との比  $C/W_t$  で整理し、一軸圧縮強さとの関係を図-4.9 に示す。

$C/W_t$  と改良強度は比例関係にあり、 $C/W_t$  が大きいほど改良強度は高くなる。同種の土質の場合、粉体添加とスラリー添加の改良強度は、 $C/W_t$  で整理すると概ね近い値となり、 $C/W_t$  が改良強度に大きな影響を及ぼすことがわかる。

図-4.9  $C/W_t$  の違いによる改良効果例<sup>7)</sup>



改良材の強度発現に及ぼす有機物としては、フミン酸、ビチューメン、フルボ酸などの有機物質があげられる。これらが土壌に含まれると、高炉セメントを使用した場合、改良効果が大幅に低下することがある。図-4.10 に腐植物含有量、ビチューメン、フルボ酸が固化強度に及ぼす影響を試験した結果を示す。

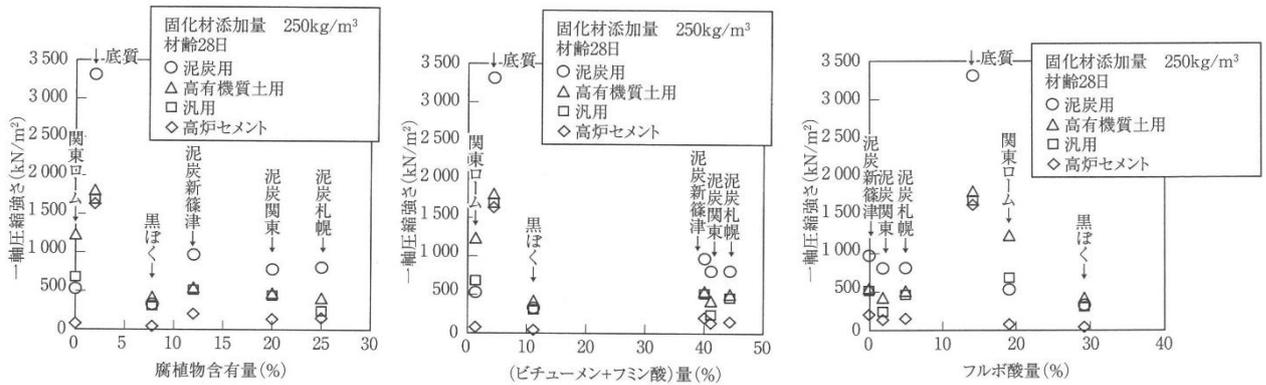
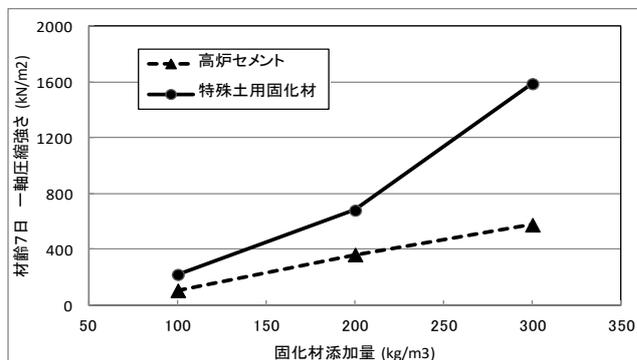


図-4.10 有機物を混合した土の改良効果例<sup>7)</sup>

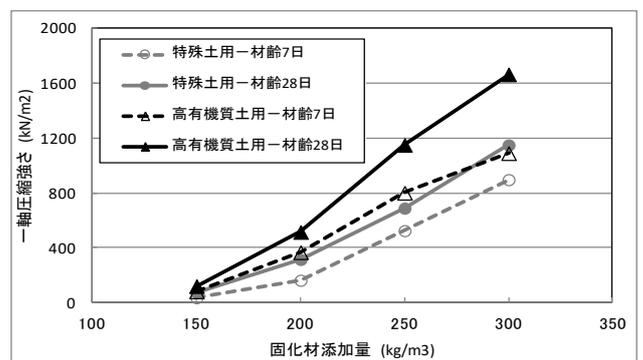
## ②改良材の種類と添加量

改良土は、一般に固化材添加量が多いほど一軸圧縮強さやコーン指数が大きくなる。底質土に対する固化材を添加した場合の強度発現を図-4.11 に示す。

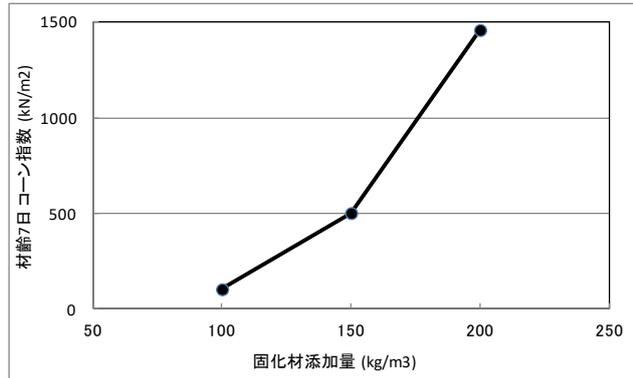
図に示した土質のような場合には、固化材添加量を一定にした場合、高炉セメントよりセメント系固化材（特殊土用）の方が強度は大きくなる。目標強さを一定にしたときは、セメント系固化材（特殊土用）の方が添加量は少なくなり、経済的な改良が可能となる場合が多い。



(a) 改良材種類と強度発現の関係例  
(底質  $w=153\%$ ,  $\rho t=1.303\text{g/cm}^3$ )



(b) セメント系固化材種類と強度発現の関係例  
(底質  $w=147\%$ ,  $\rho t=1.314\text{g/cm}^3$ )



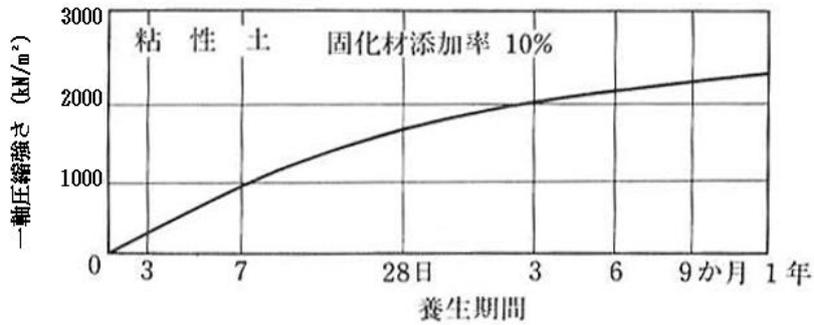
c) 特殊土用固化材のコーン指数発現例  
(底質  $w=92.5\%$ ,  $\rho_t=1.242\text{g/cm}^3$ )

図-4.11 改良材の種類と添加量の違いによる改良効果例

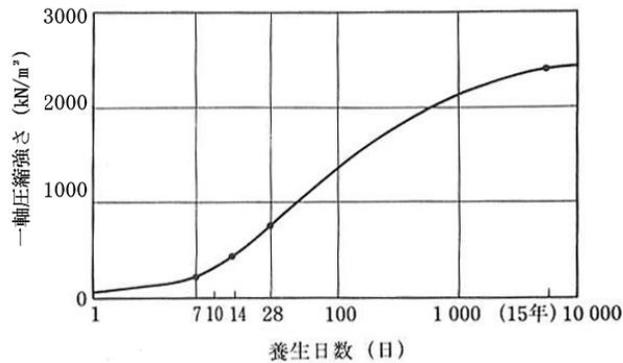
② 養生条件

改良土の強度は養生条件に大きく影響される。これは養生日数、養生温度などが改良材の水和反応や、固化構造に大きな影響を及ぼすことによる。

養生日数による改良効果例を図-4.12 に示す。セメント系固化材による改良土の強さはその安定処理のしくみから原理的には長期養生日数においても安定した強さが保たれる。



(a) 火山灰質粘性土を改良した場合



(b) 軟弱な浚渫土を改良した場合

図-4.12 改良土の長期強度例<sup>6)</sup>

養生温度による改良効果例を表-4.2に示す。セメント系固化材の反応機構は、気温が高いとき活発となり、気温が低くなるに従って緩慢になる。早期養生日数においてその影響が大きい傾向がある。また、コンクリートと同様に、まだ固まらない改良土が0℃以下となると凍結して強度発現が期待できない場合がある。寒中施工の場合、覆土などにより水和熱を拡散させないような工夫が必要となる。

表-4.2 養生温度による改良効果例<sup>6)</sup>

固化材 添加率 (%)	強さ比					
	5/20℃			35/20℃		
	3日	7日	28日	3日	7日	28日
5	0.65	0.84	0.84	—	—	—
7	0.82	0.85	0.94	—	—	—
10	0.85	0.95	1.02	1.00	1.17	1.02

注) セメント系固化材による改良土の養生温度と一軸圧縮強さ

### ③ 解きほぐしの影響

建設発生土や浚渫土を改良し一定期間養生した後に、掘削・解きほぐしを行い、転圧・締固めし、盛土等に再利用することがある。その際、解きほぐし・締固めた改良土の強度は低くなることが知られている。解きほぐしを行う材齢が締固めた後の強度性状に及ぼす影響を室内試験により確認した例を図-4.13に示す。

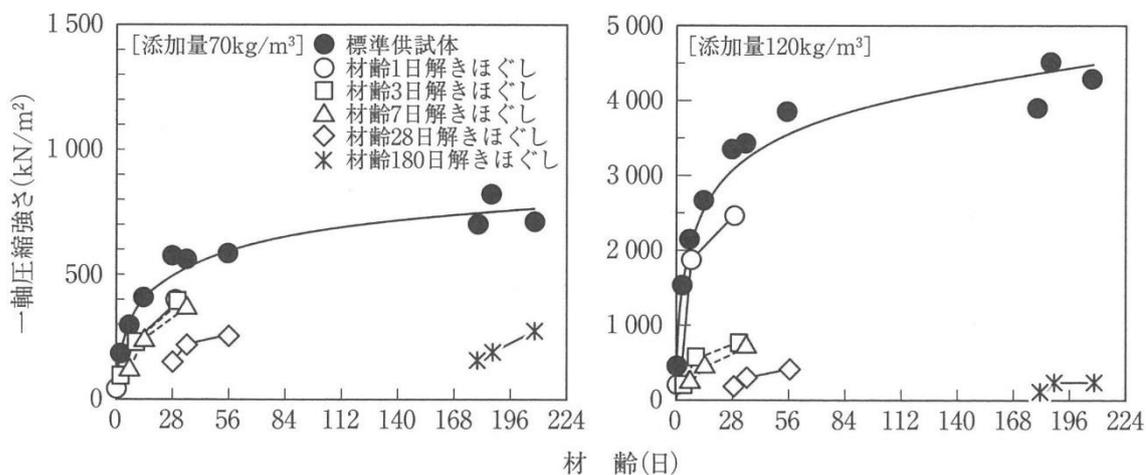


図-4.13 材齢と一軸圧縮強さとの関係<sup>7)</sup>

(2) 石灰および石灰系固化材を用いた改良土の特性

1) 改良土の含水比と湿潤密度

生石灰による反応機構の第一は脱水効果であり、添加した生石灰重量に対し、32%相当の水分を土中から吸水して消石灰を生成し、45%相当の水が消化吸水時の発熱に伴う蒸発効果で脱水される。

改良土の締固め特性を図-4.14に示す。

生石灰を添加した場合、改良前と比較すると、最大乾燥密度は大きくなり、最適含水比は小さくなる。

(図中、湿潤過程：乾燥法による締固め試験、

乾燥工程、湿潤法による締固め試験、

JIS A 1210)

対象土：黒ボク、改良材：生石灰

2) 改良土の強度

①対象土の土質による影響

含水比の違いによる改良効果例を図-4.15に示す。これによると、一軸圧縮強さは、含水比が液性限界 ( $w_L$ ) 付近あるいはそれ以下で最大値をとり、含水比が高いほど改良効果は低下していく傾向にある。

土中の有機物は、石灰安定処理の強度発現に有害な影響を及ぼす。その要因は腐植酸といわれる黒褐色の分解した有機物である。有機物の影響を図-4.16に示す。有機物が2~4%含まれると強度の発現が大きく阻害される。

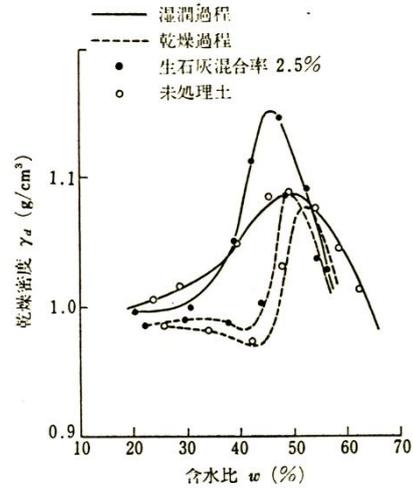


図-4.14 改良土の締固め特性<sup>8)</sup>

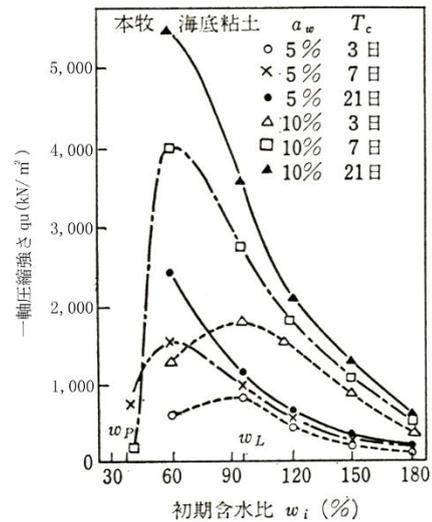
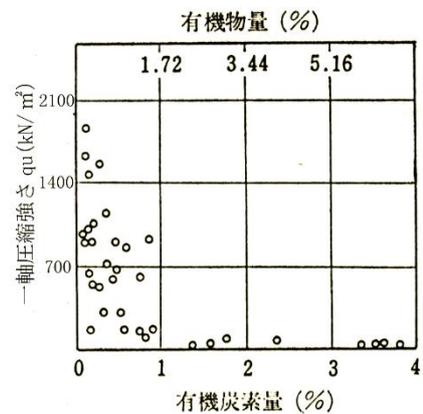


図-4.15 含水比の違いによる改良効果例<sup>9)</sup>



有機炭素含有量の影響  
(Thomson, 1966)

図-4.16 有機物の影響<sup>10)</sup>

## ②養生条件

養生材齢による改良効果例を図-4.17 に示す。石灰による改良土の強さはその反応機構から原理的には長期養生日数においても安定した強さが保たれる。

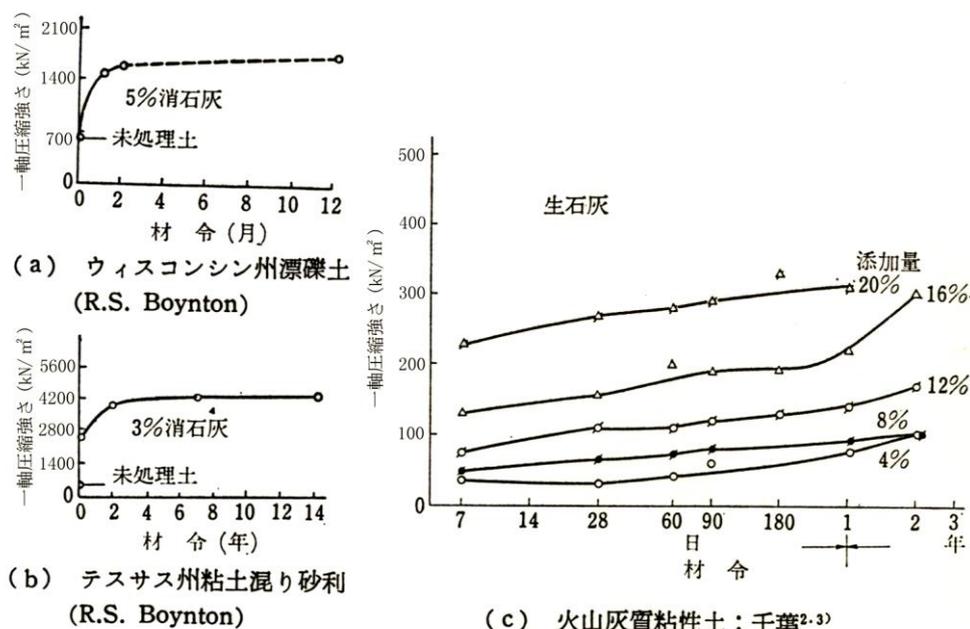


図-4.17 養生材齢による改良効果例<sup>10)</sup>

養生温度による改良効果例を図-4.18 に示す。石灰の反応機構は、養生温度が高いとき活発となり、養生温度が低くなるに従って緩慢になる。改良土が凍結した場合、凍結後の養生を充分に行えば回復して行く。

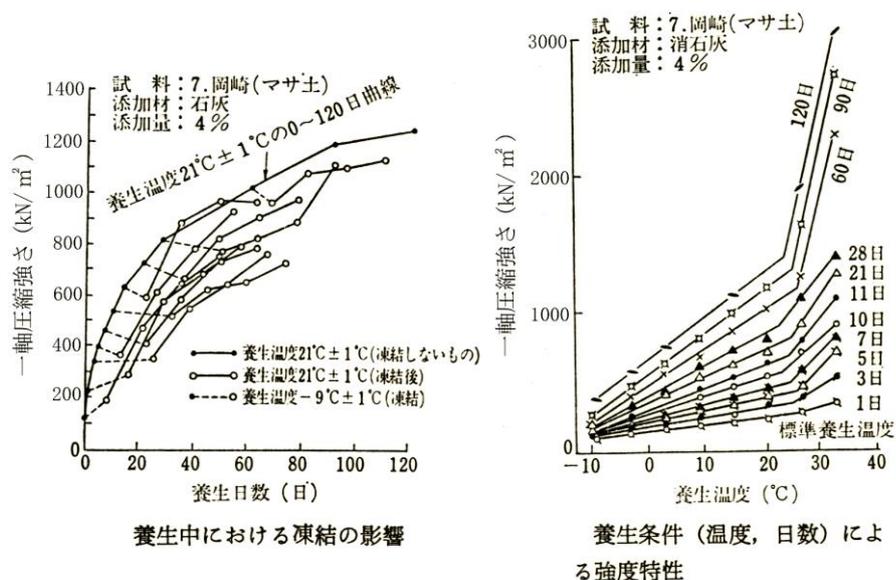


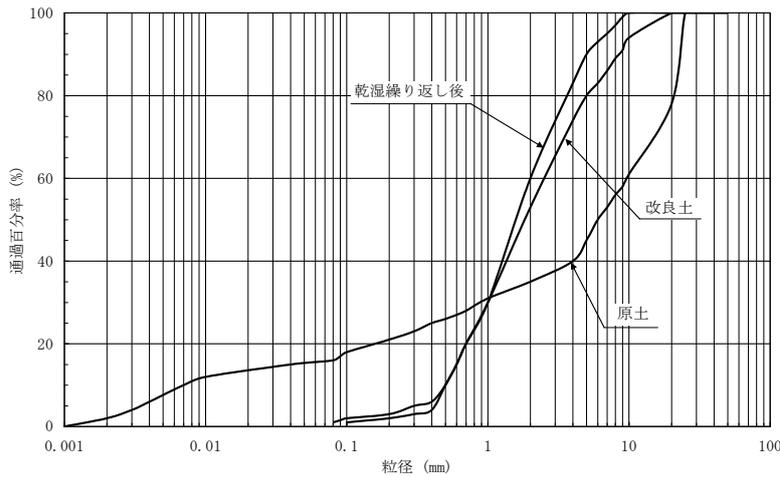
図-4.18 養生温度による改良効果例<sup>11)</sup>

### (3) 高分子系改質剤を用いた改良土の特性

#### 1) 改質土の粒度組成

土の粒度は、細粒分が少ないほど通気性がよく、天日乾燥しやすい。

高分子系改質剤を用いた改良土は、対象土の細粒分を団粒化することにより、見かけの粒度組成を変えて、通気性がよく透水性がよい状態に改質される。また、この団粒化は乾湿繰返しによって再泥化することはない。改質前後の粒度組成の変化例を図-4.19 に示す。



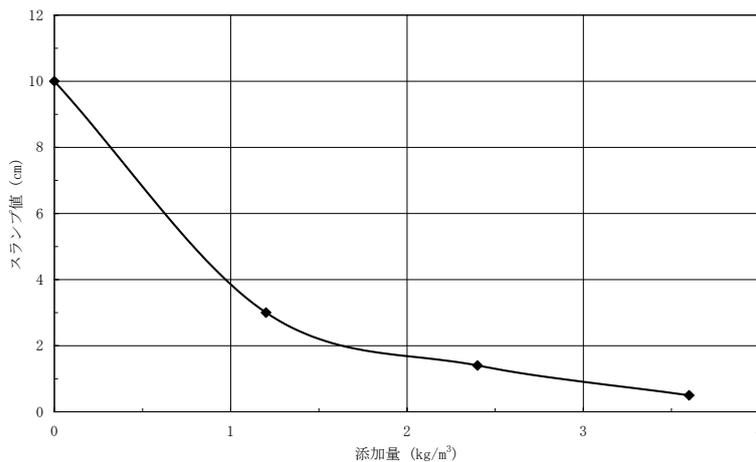
対象土の含水比 80%  
高分子系改質剤 1.0kg/m<sup>3</sup> 添加  
乾湿繰返しは 24 時間水浸、24 時間乾燥を数回繰返し

図-4.19 改質前後の粒度組成の変化

#### 2) 改質土の強度

高分子系改質剤を用いた改質は混合直後よりその効果があることが、最大の特長である。

##### ①混合直後の改質効果



対象土の含水比 139.9%  
対象土の土質：泥土

図-4.20 混合直後の改質効果例

## ②改質処理試験

提供浚渫土は、容器に表示された以下の2点である。

A「水分(多)」

B「水分(少)」

表-4.3に土質性状を示す。

粒度の測定結果から、「水分(少)」方は砂礫分が多いため、余水が容易に分離する土砂である。

表-4.3 提供土の土質性状

項目	単位	A「水分(多)」	B「水分(少)」
含水比	%	50.3	34.0
湿潤密度	g/cm <sup>3</sup>	1.710	1.879
pH		7.7	7.5
粒度組成	礫分	%	0.5
	砂分	%	58.2
	シルト分	%	30.5
	粘土分	%	10.8



写真-4.1 A「水分(多)」



写真-4.2 B「水分(少)」

改質試験の手順を以下に示す。

1. ソイルミキサーに浚渫土を1L取り分ける。
2. 高分子改質剤を所定量添加し、1分間混合する。
3. 処理土をテーブルフロー試験のコーンに満遍なく充填する。
4. コーンを引き抜き後、テーブルを50回落下させ処理土のフロー値を測定する。
5. フロー値が150 mm以下であれば、運搬可能と判断する。

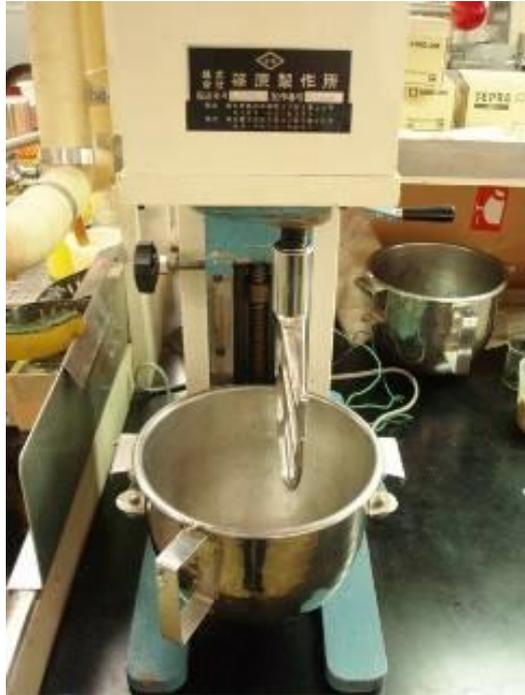


写真-4.3 ソイルミキサー



写真-4.4 テーブルフロー試験器

\* テーブルフロー試験 (JIS R 5201 準拠)

落下回数 50 回のテーブルフロー試験により、そのフロー値が 150mm 以下であれば、運搬性に問題がないことを実験で示されている。<sup>12)</sup>

③結果

③-1 改質状況

表-4.4 に浚渫土の改質状況を示す。

写真で示すように高分子改質剤で処理することで何れの浚渫土も団粒化し、ハンドリングの良い状態となる。

表-4.4 改質状況

項目	A「水分(多)」	B「水分(少)」
高分子改質剤 1.0kg/m <sup>3</sup> 添加		
高分子改質剤 1.5kg/m <sup>3</sup> 添加		

③-2 運搬性

A「水分(多)」

表-4.5に振動試験(テーブルフロー)による運搬性の判定結果を示す。

表-4.5 振動試験による運搬性の判定

項目	振動前	振動後
浚渫土 (原土)		
フロー値	105 mm	169 mm
判定		運搬不可
高分子改質剤 1.0kg/m <sup>3</sup> 添加		
フロー値	102 mm	116 mm
判定		運搬可能
高分子改質剤 1.5kg/m <sup>3</sup> 添加		
フロー値	100 mm	104 mm
判定		運搬可能

B「水分（少）」

表-4.6に振動試験（テーブルフロー）による運搬性の判定結果を示す。

表-4.6 振動試験による運搬性の判定

項目	振動前	振動後
浚渫土 (原土)		
フロー値	107 mm	234 mm
判定		運搬不可
高分子改質剤 1.0 kg/m <sup>3</sup> 添加		
フロー値	101 mm	119 mm
判定		運搬可能
高分子改質剤 1.5kg/m <sup>3</sup> 添加		
フロー値	100 mm	115 mm
判定		運搬可能

高分子改質剤による改質処理試験の結果、本試験土性においては、高分子改質剤を添加することで軟弱性が改善し、即時運搬が可能と判断された。

### ③天日乾燥との比較

天日乾燥との比較例を図-4.21 に示す。

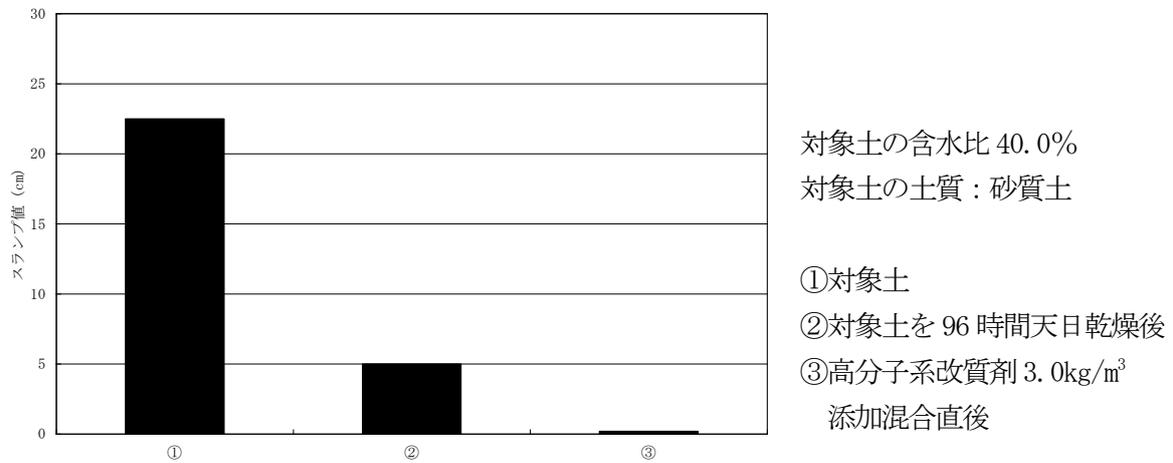


図-4.21 天日乾燥との比較例

### ④改質剤の種類と添加量

泥土を安定処理する場合、混合直後の改質効果とその後の強度増進を期待して、高分子系改質剤とセメント系固化材や石灰系固化材を併用することがある。高分子系改質剤とセメント系固化材との併用例を図-4.22 に示す。

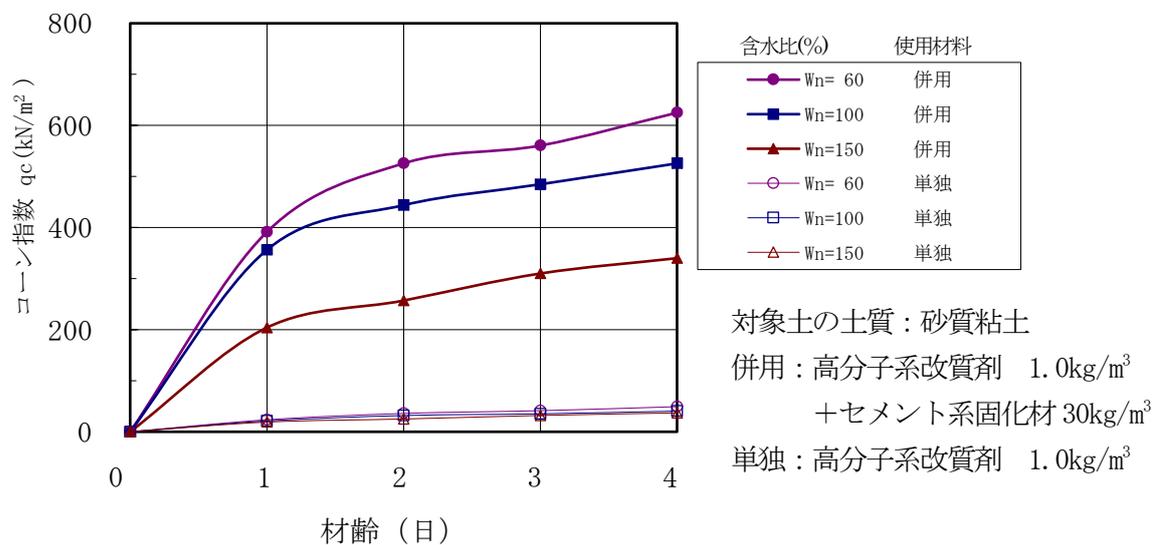


図-4.22 高分子系改質剤とセメント系固化材の併用効果

## 5. 施工

### 5. 1 標準施工フロー

MUD I X工法の標準的な施工フローを図-5.1に示す。

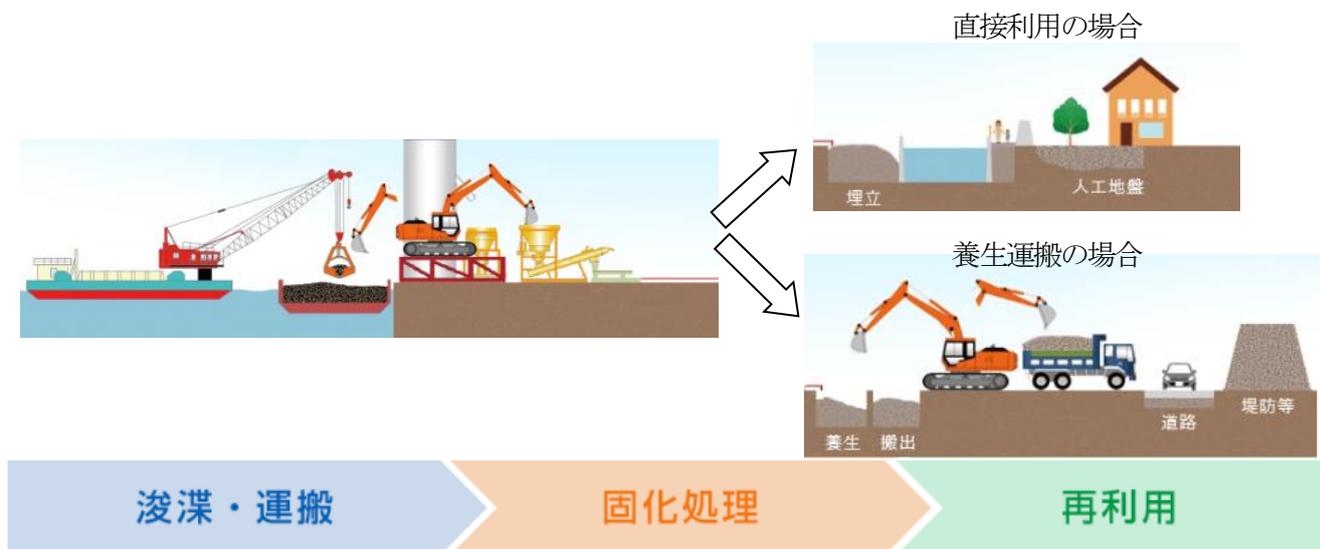


図-5.1 標準施工フロー図

### 5. 2 施工機械

施工機械設備は、図-5.2のように、改良材供給装置と泥土処理装置、運転管理装置に大分される。改良材供給装置は、粉粒体の改良材を安定して連続供給するための装置である。泥土処理装置は、改良材と泥土の混合攪拌を行うもので、「MUD I X-V」、「MUD I X-S」、管路内混合方式を用いた「MUD I X-K」、2軸パドル混合方式の「MUD I X-T」がある。運転管理装置にて各機器を制御・計測する。

これらの施工機械設備の概要を表-5.1に示す。

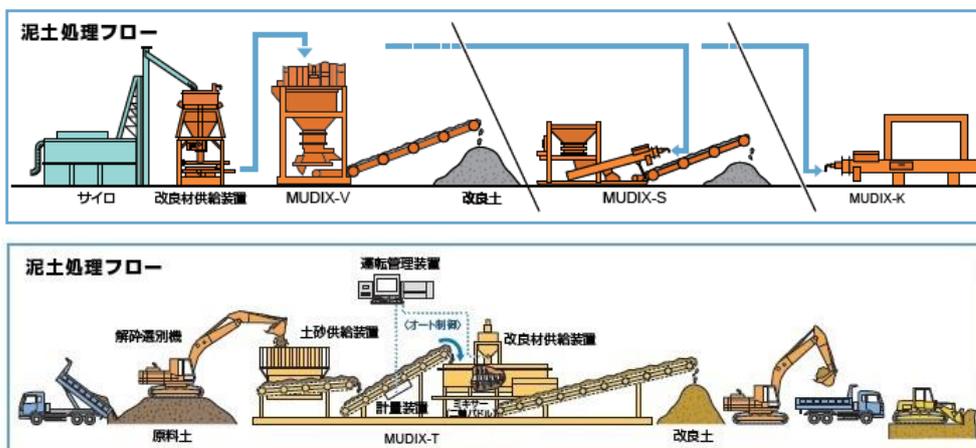


図-5.2 泥土処理フロー図

表-5.1 施工機械設備の概要

区分	項目	概要および特徴
改良材供給装置	① 改良材供給機	・粉粒状の改良材を連続安定供給する。
	② 改良材サイロ	・セメントや生石灰など改良材をタンクローリー車から直接サイロに受け取る。 ・半日あるいは1日分程度の改良材を一時貯蔵する。
	③ 空気圧縮機 (ドライタイプ)	・改良材を連続安定供給するための圧縮空気を供給する。
泥土処理装置	① 泥土処理機	・MUD I X-V (縦型ミキサー) ・MUD I X-S (傾斜型ミキサー) ・MUD I X-K (管路ミキサー) ・MUD I X-T (2軸ミキサー)
運転管理装置	① 運転管理室	・各種の制御や計測の信号を運転管理室に集中し、十分な施工管理を行う。
共通機械	① 発動発電機	・改良材供給装置, 泥土処理装置, 運転管理装置等の電源を供給する。
付属機器	① 受泥槽 ② 選別装置 ③ 土砂供給装置 ④ ベルトコンベア ⑤ 送泥(排泥)ポンプ ⑥ バックホウ ⑦ 加水装置 ⑧ 計量装置	・泥土の供給方式や処理土の排出方法などで組み合わせが変わります。

#### (1) 改良材供給機

「改良材供給機」は、粉体系の改良材供給量を計測し、ロータリーフィーダーとスクリーフィーダーにより切出された改良材を「泥土処理装置」に定量供給する機械である。(T型の供給機はスクリーフィーダーのみ)

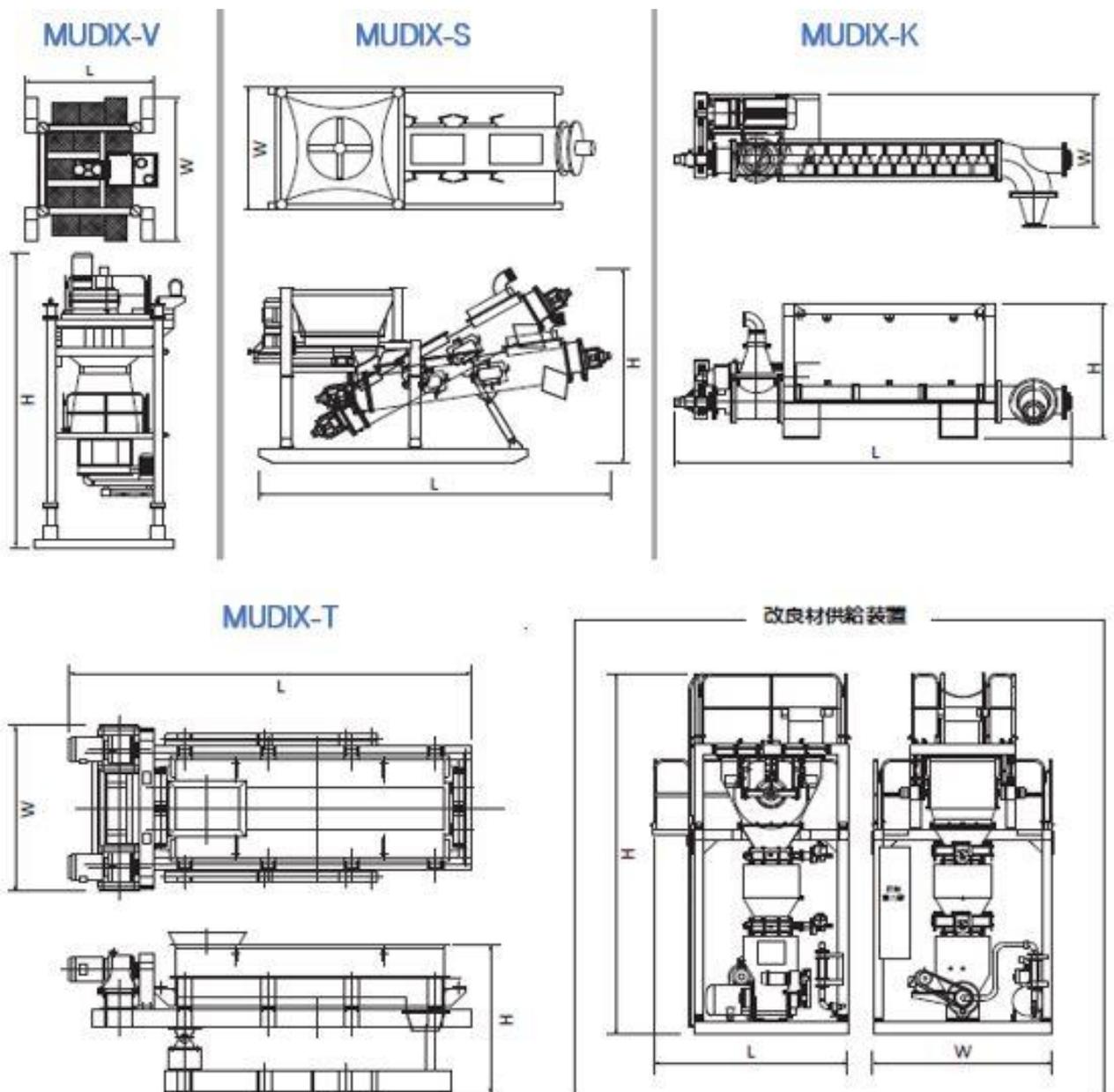
主たる「改良材供給機」の外形図及び仕様を図-5.3 に示す。

#### (2) 泥土処理機

「泥土処理機」は、泥土処理装置内への泥土供給量を計測し、「改良材供給装置」から定量供給された粉体系の改良材と均一に混合攪拌する機械である。

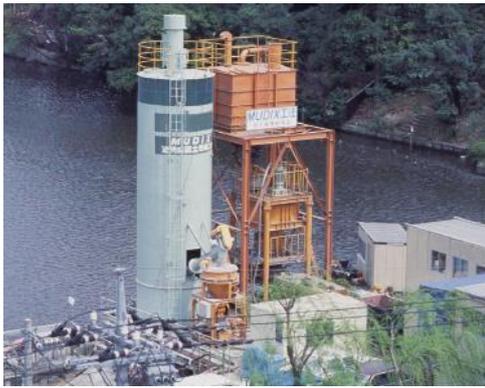
「泥土処理機」には、縦型ミキサーを基本としたV型、傾斜型ミキサーを基本としたS型および管路型ミキサーを基本としたK型があり、V型は攪拌翼と共回り防止翼により、S型、K型は混合攪拌スクリーにより、T型は2軸パドル混合により、泥土と改良材の均一な混合攪拌が行える。

それぞれの外形図及び仕様を図-5.3 に示す。



型式		MUDIX-V	MUDIX-S	MUDIX-T(1)	MUDIX-T(2)	MUDIX-K
泥土処理装置	L	3,300	6,500	5,500	6,275	4,700
	W	3,300	2,220	3,350	2,680	1,480
	H	6,500	3,700	2,262	2,600	1,650
改良材供給装置	L	2,410	2,410	2,000	2,000	2,410
	W	2,200	2,200	2,000	2,000	2,200
	H	4,600	4,600	4,500	4,850	4,600
運転管理室	L	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600
	W	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800
	H	2,380	2,380	2,380	2,380	2,380

図-5.3 「改良材供給機」 & 「泥土処理機」の外形図及び仕様



(a) MUD I X-V



(b) MUD I X-S



(c) MUD I X-K



▲ 解碎選別装置



(d) MUD I X-T

写真-5.1 MUD I X-V・MUD I X-S・MUD I X-K・MUD I X-T

(3) 運転管理室

「運転管理室」は、「泥土処理装置」と「改良材供給装置」からのデータを基に、プラント全体の運転状態管理及び、施工状況の記録を行うものであり、機械の構成を表-5.2に示す。

また、「運転管理室」の写真を写真-5.2に示す。

表-5.2 運転管理室の構成

装置名称	制御される機器	
運転管理装置	泥土処理装置	泥土処理機、泥土計量ローター、ベルトコンベア、集塵機、水中ポンプ
	改良材供給装置	スクリーフィーダー、ロータリーフィーダー、パイプレータエアレーション、改良材開閉シリンダー、制御機器用エアシリンダー、ロードセル、レベル計
	運転管理室	中央演算装置 (パソコン)

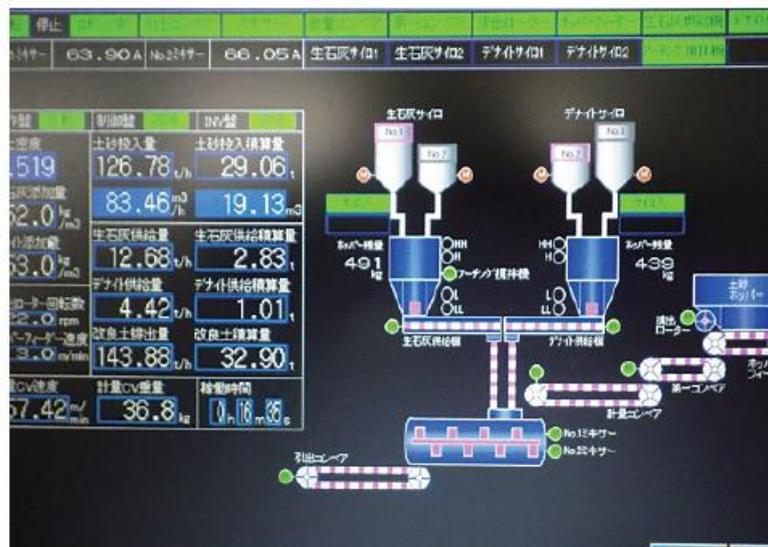


写真-5.2 運転管理室 (例)

運転制御に関するシステムフローチャートを図-5.4に示す。

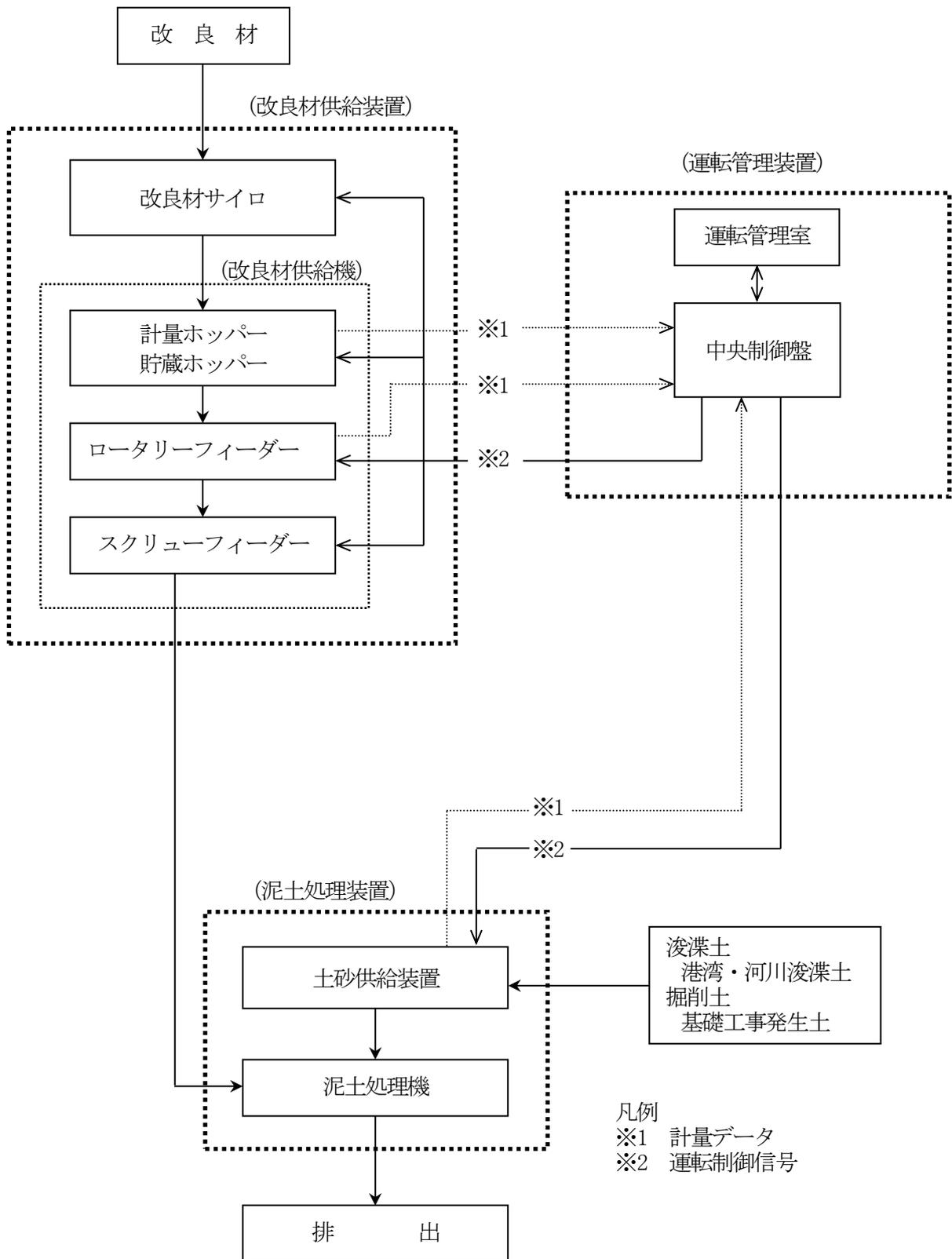


図-5.4 運転制御に関するシステムフローチャート

### 5. 3 施工機械の組合せ

施工機械の組合せは、下記の掘削方法、運搬方法、揚土方法、投入方法、混合方法、排出養生方法を検討対象の条件に見合うケースを抽出する。施工機械の組合せは、代表的な施工方法として、陸上にプラントを設置するケースの2方法、台船上にプラントを設置するケースを図-5.5に示す。

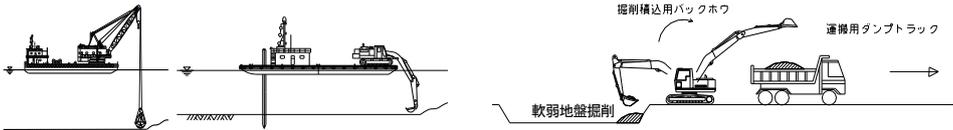
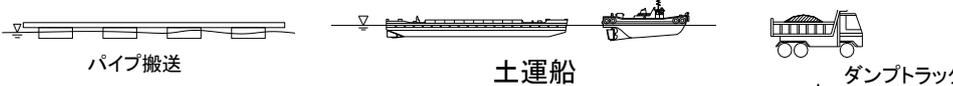
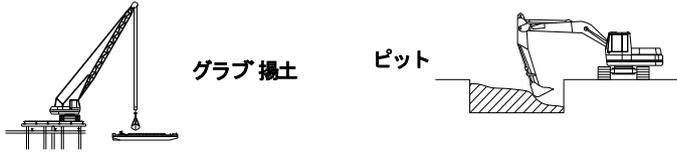
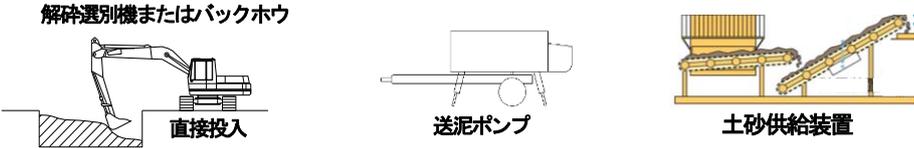
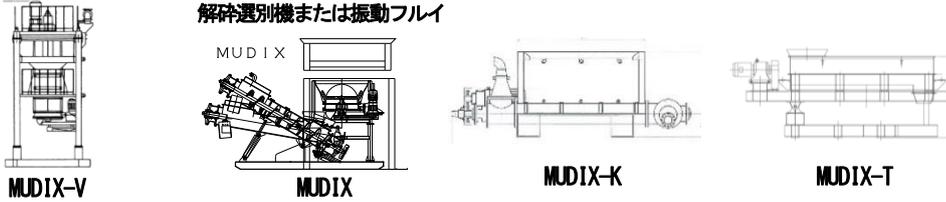
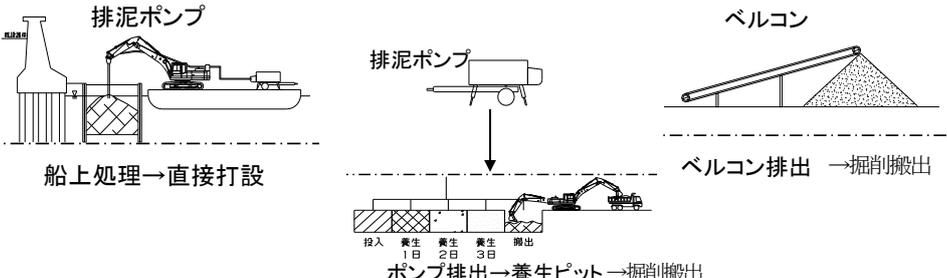
工 程	施工方法
掘削方法	 <p>Grab・バックホウ浚渫      地山掘削</p>
運搬方法	 <p>パイプ搬送      土運船      ダンプトラック</p>
揚土方法	 <p>Grab 揚土      ピット      バックホウ</p>
貯泥方法	<p>ピット貯泥</p>
投入方法	 <p>解砕選別機またはバックホウ      送泥ポンプ      土砂供給装置</p> <p>直接投入</p>
混合方法	 <p>解砕選別機または振動フルイ</p> <p>MUDIX-V      MUDIX      MUDIX-K      MUDIX-T</p>
排出養生方法	 <p>排泥ポンプ      ベルコン</p> <p>船上処理→直接打設      排泥ポンプ      ベルコン排出 →掘削搬出</p> <p>ポンプ排出→養生ピット→掘削搬出</p> <p>投入    養生1日    養生2日    養生3日    搬出</p>

図-5.5 代表的な施工方法

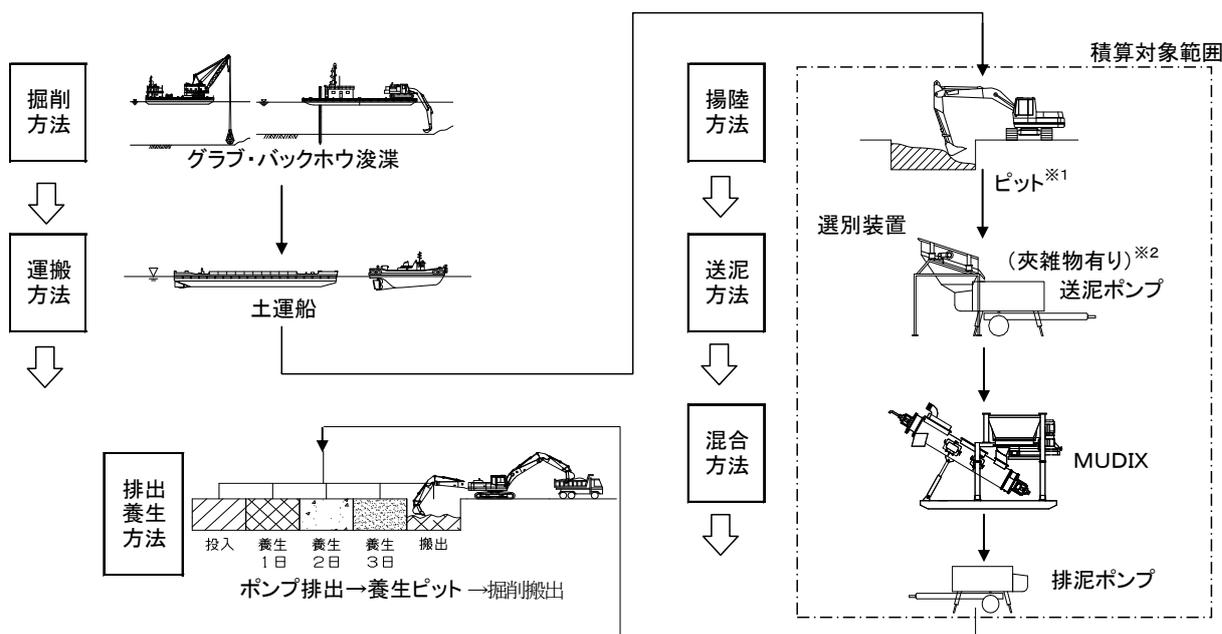
## 5. 4 施工手順

本装置を用いた泥土の処理ケースの施工手順を以下に示す。

### (1) 陸上方法

高濃度浚渫船や空気圧送船で浚渫・長距離圧送の後、陸上に設置した混合処理プラントで泥土を処理するケースの施工フローを図-5.6 に示す。

#### (MUDIX-V、MUDIX-S、MUDIX-K)



#### (MUDIX-T)

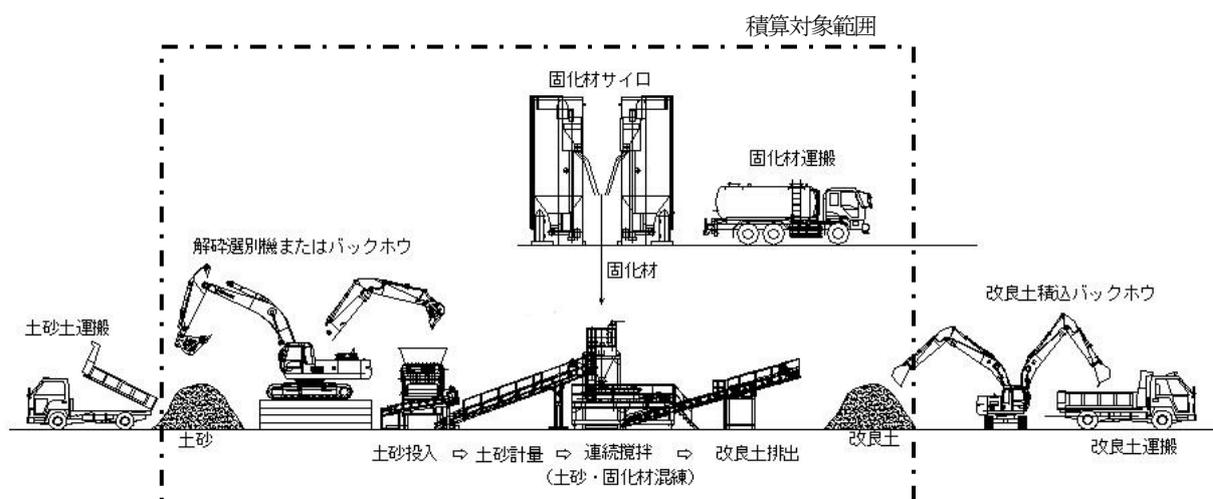


図-5.6 陸上方式 施工フロー図

(2) 船上方法

高濃度浚渫船や空気圧送船で浚渫・長距離圧送の後、台船上に設置した混合処理プラントで泥土を処理するケースの施工フローを図-5.7 に示す。

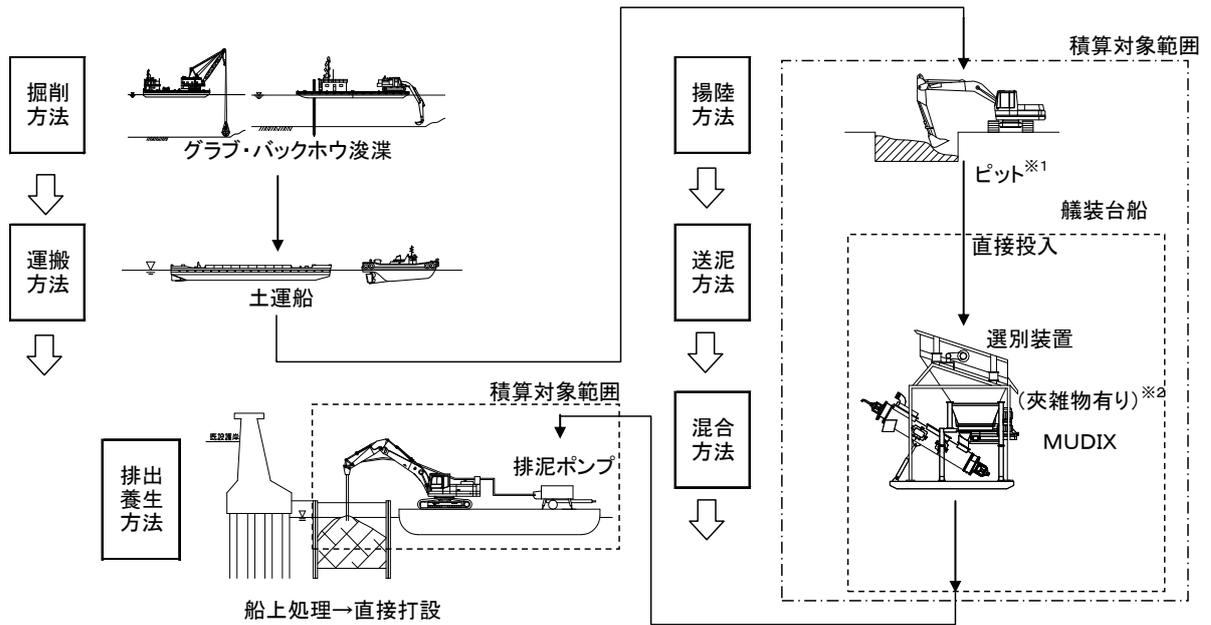


図-5.7 船上方式 施工フロー図

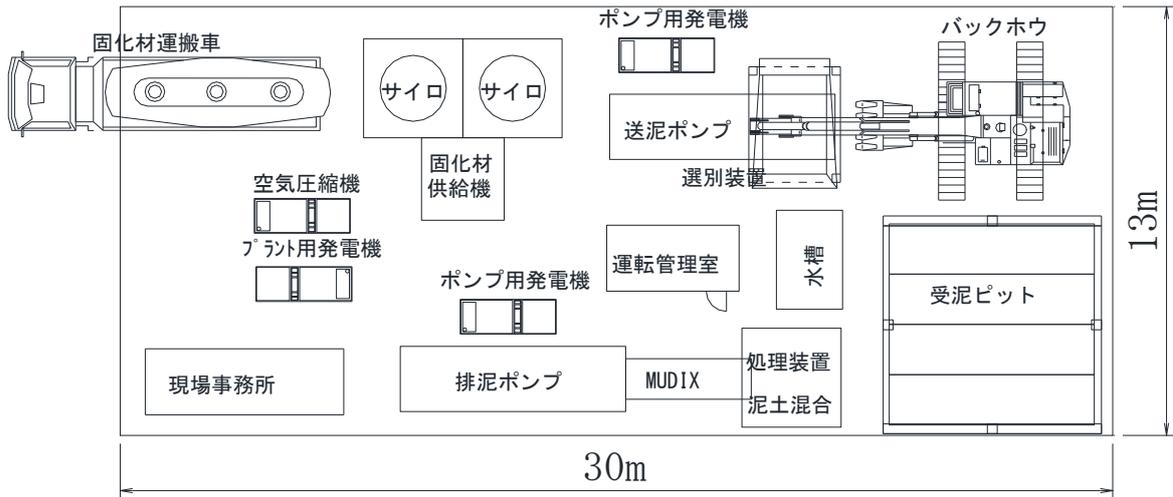
(3) 主要機械の配置

主要機械の配置例を示す。

【例その1】

陸上に設置するプラントの配置例を図-5.8に示す。

(MUDIX-S)



(MUDIX-T)

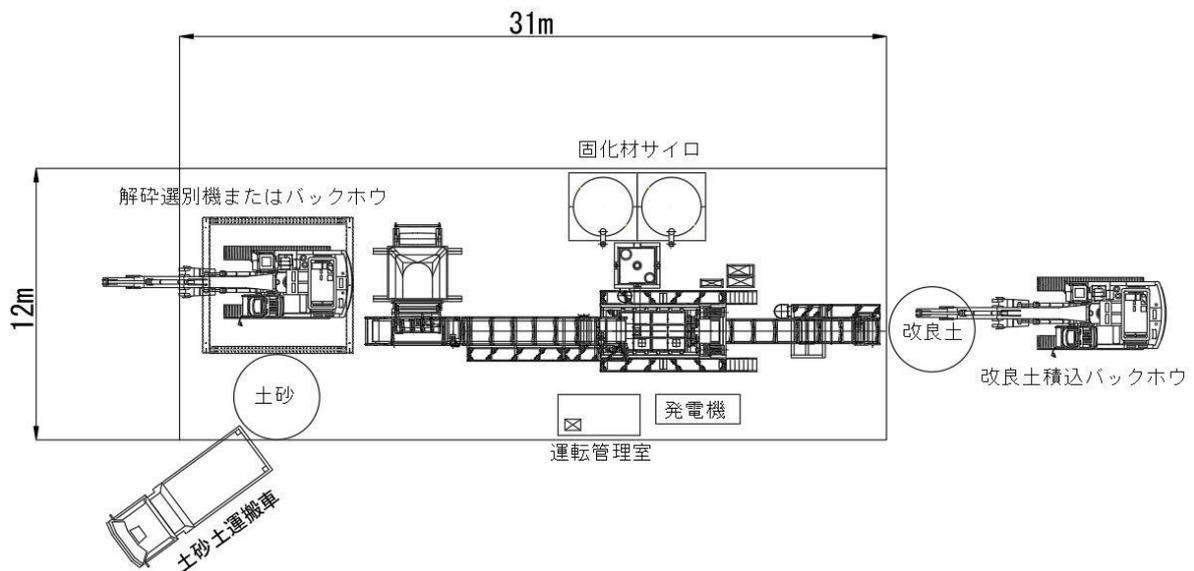


図-5.8 陸上に設置する主要機械の配置例

機械足場の地耐力不足が想定される場合、仮設足場としての鉄板板を必要とします。受泥ピットは、現場状況に応じた大きさのものが必要となる。

【例その2】

台船施工時 (MUD I X-S-50)

台船上に設置するプラントの配置例を図-5.9 に示す。

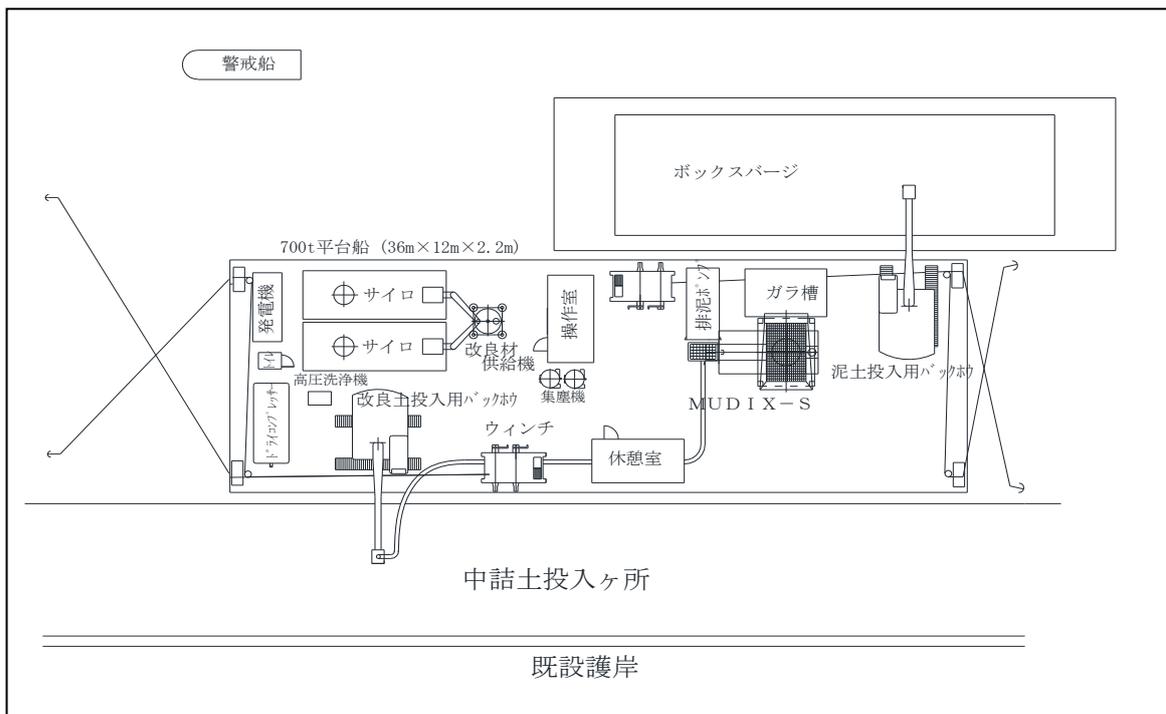
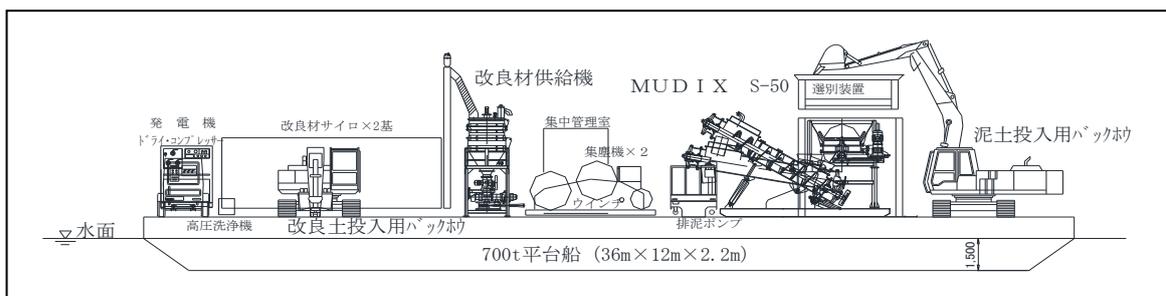


図-5.9 台船上に設置する主要機械の配置例 (MUD I X-S-50)

【例その3】

台船施工時 (MUDIX-S-100)

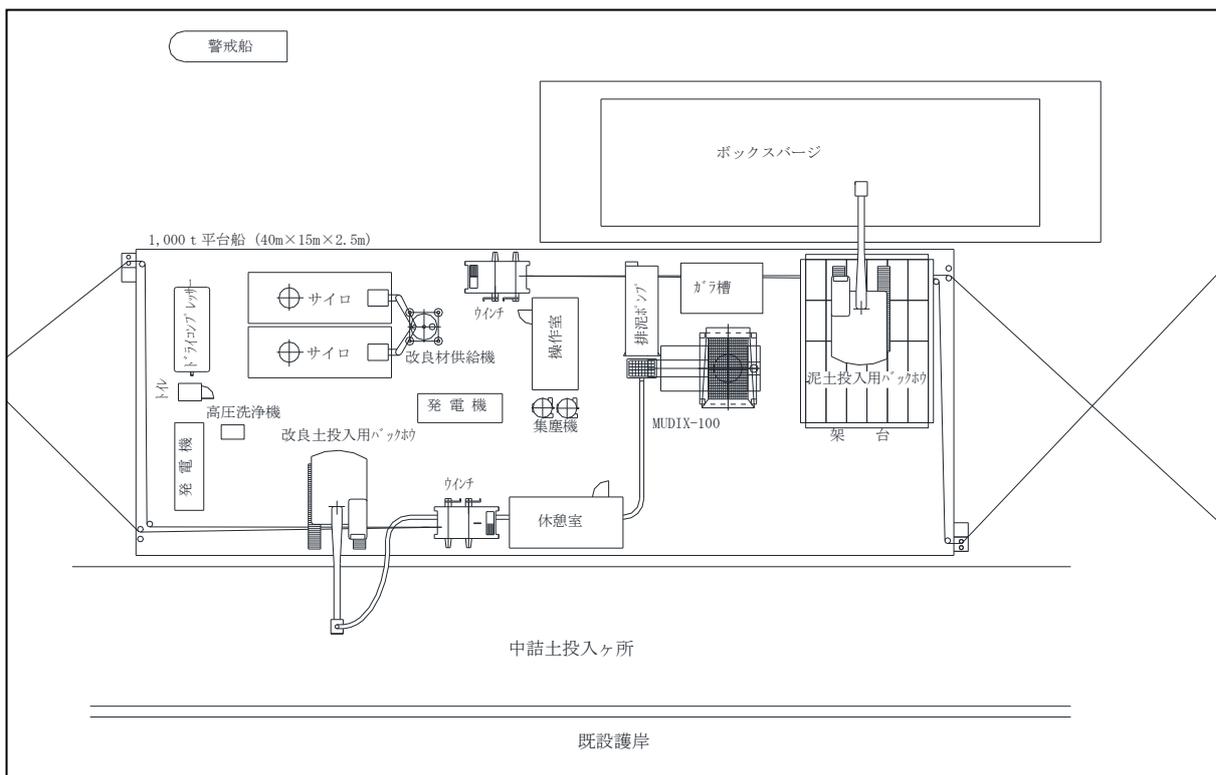
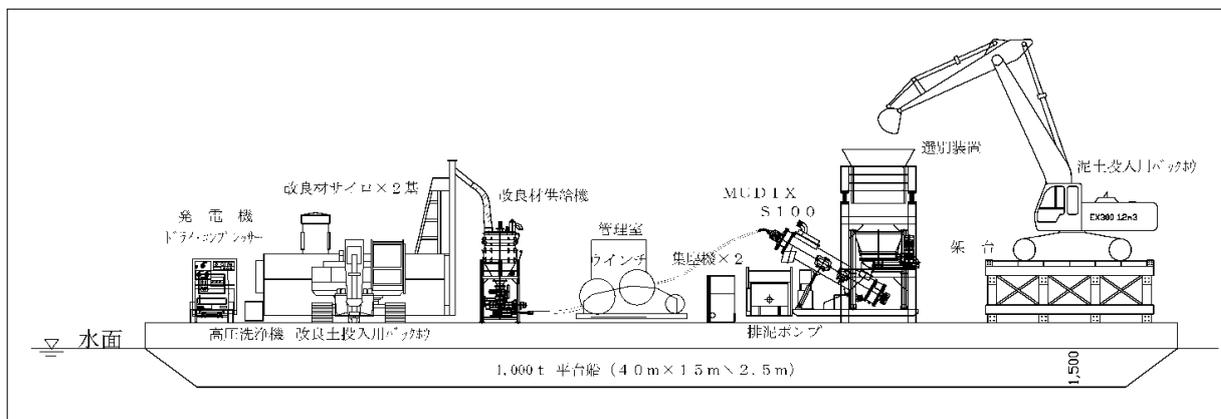
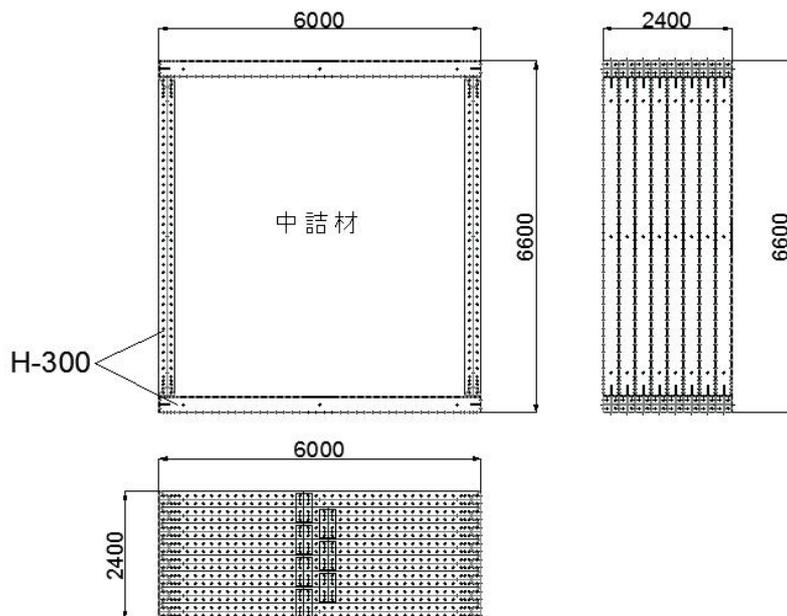


図-5.10 台船施工時の主要機械の配置例 (MUDIX-S-100)

【例その4】

選別貯泥ホッパへ泥土投入時に用いるバックホウ構台（MUD I X-S型）の例を図-5.11 に示す。

(中詰材を用いる場合)



(覆工板を用いる場合)

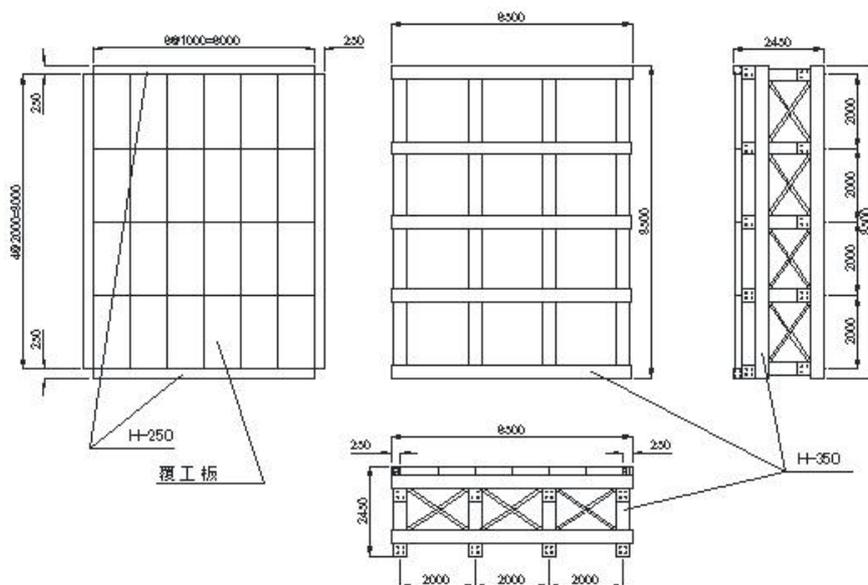


図-5.11 選別貯泥ホッパへ泥土投入時に用いるバックホウ構台例

## 5. 5 施工能力の算定

1日当たりの処理能力は、次式で算定する。

$$Q = q \times E1 \times E2 \times T$$

Q : 1日当たり処理土量 (m<sup>3</sup>/日)

q : 時間処理能力 (表5-5-1)

E1 : 土質区分 (表5-5-2)

E2 : 夾雑物の有無 0.9 (有) 1.0 (無)

T : 1日当たり作業時間 6.2 (h) \*日ごとの作業が改良作業のみの場合  
4.2 (h) \*日ごとの後工程に整正・転圧を含む場合

(但し、土砂の供給側の問題、時間的制約がある場合は作業時間を調整)

表5-5-1 標準時間当たり処理能力

処理機	処理能力	計量方法
MUD I X-50	50 (m <sup>3</sup> /h)	流量
MUD I X-100	100 (m <sup>3</sup> /h)	流量
MUD I X-T	200 (t/h)	重量

※ MUD I X-Tの処理能力はm<sup>3</sup>/hに換算します。

例) 湿潤密度  $\gamma_t$ : 1.6 t/m<sup>3</sup>の時

$$200(t/h) / 1.6(t/m^3) = 125 (m^3/h)$$

表5-5-2 土質区分における係数

	陸上作業	船上作業
高含水比粘性土	0.5	0.3
粘性土	0.8	0.3
シルト	0.9	0.4
砂質土	1.0	0.5

例として、MUD I X-100による陸所作業、粘性土、夾雑物有、後工程に整正・転圧無しの場合

$$Q = 100 \times 0.8 \times 0.9 \times 6.2 = 446 m^3 / 日$$

ただし、機種選定にあたっては、浚渫および掘削側の供給量を基本とし、供給量50m<sup>3</sup>/h以下の場合にはMUD I X-50型を、供給量が100m<sup>3</sup>/h以下の場合にはMUD I X-100型を、流動性の無い土性の場合にはMUD I X-Tを使用する。なお、供給量が100m<sup>3</sup>/h以上の場合には、これらの機種組合せにより対応が可能となる。

## 5. 6 施工管理

「はじめに」および「2. 2 泥土の調査および試験」の頁で述べたように、調査には、①事前調査、②施工中の調査、③施工後の調査がある。ここでは、②施工中の調査、③施工後の調査について述べる。

### (1) 施工中の調査

#### 1) 環境調査

施工中の環境対策として、必要に応じて、水質、悪臭、騒音、振動などについて調査を行い、必要な対応策を施す。

#### 2) MUD I X工法の施工管理

MUD I X工法を施工するにあたって以下の点に留意する。

##### ①現場品質管理

現場品質管理試験は、改良土の利用目的に応じて異なり、各々の目的にあった管理手法を用いるものとする。

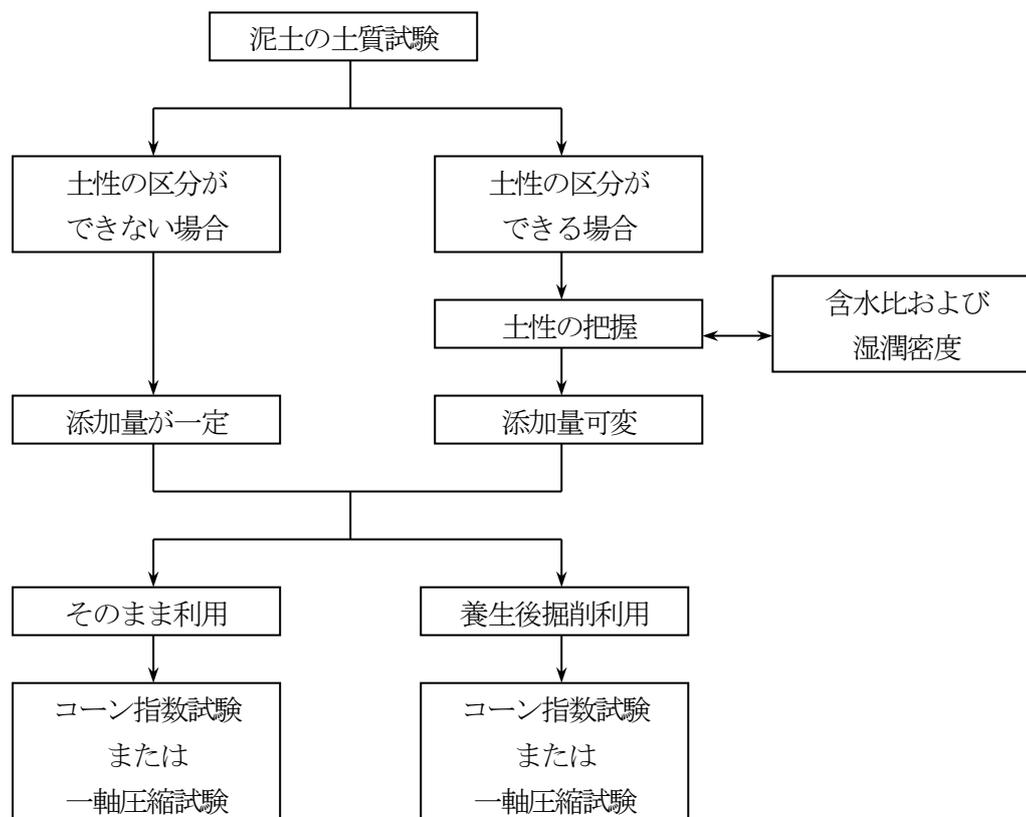


図-5.12 品質管理試験フローチャート

②泥土土量管理

掘削土量（地山）管理するために、掘削前後の深度を計測する。

③泥土土性管理

土性管理（ $\rho_t$ 及びW%の計測）を行い、添加量を調整する。

④MUD I X運転管理

④-1 投入土量及び排泥土量管理

運転管理装置により行う。

④-2 改良材管理

運転管理装置及び納入伝票により行う。

⑤安定処理後土量管理

運転管理装置により、安定処理後の土量を把握する。

(2) 施工後の調査

1) 環境調査

必要に応じて、利用先改良土の pH 等の調査を行う。

2) 施工後の強度確認調査

施工中の現場品質管理に準じて、コーン指数試験又は一軸圧縮試験を行う。

## 5. 7 周辺環境への影響

### (1) 水質への影響

低品質な土の安定処理にはセメントや石灰などの改良材が使用されることが多いため、改良土は混合直後から pH は 11~12 程度のアルカリ性を示す。これらの改良土を有効利用するにあたり用途によってはローム質土による覆土や側溝の設置など周辺環境への影響を配慮する必要がある。

周辺環境への影響については、アルカリ性を示す改良土が周辺地盤や地下水にどのような影響を与えるかを室内モデル実験や現場施工実験により確認した事例が報告されている。図-5.13 は、改良土による盛土実験の例であり、盛土および周辺地盤の pH を観測したものである。観測結果より改良土自体の pH は、長期的にアルカリ性を示すが、周辺地盤や未処理土浸透水には影響を及ぼさないとされている。

図-5.14 と表-5.3 は、霞ヶ浦底泥浚渫土の改良土の盛土実験において改良土の pH、周辺地盤の pH および周辺浸透水の pH を観測したものである。観測結果より改良土自体の pH は 11 程度と高い値を示すが、周辺地盤の pH および地下水の pH は 6~8 程度で、前述の実験結果と同様にほとんど周辺環境への影響がみられないとの結果を得ている。

したがって改良土は特に周辺環境に悪影響を与えることはなく、良質土と同様に土木材料として十分活用できるといえる。ただし、改良土の透水性は粘性土なみのオーダーを示し排水性に劣るため、排水障害を起こさないよう地形、地質および周辺の地下水流などの水理条件を配慮のうえ適用することが肝要である。

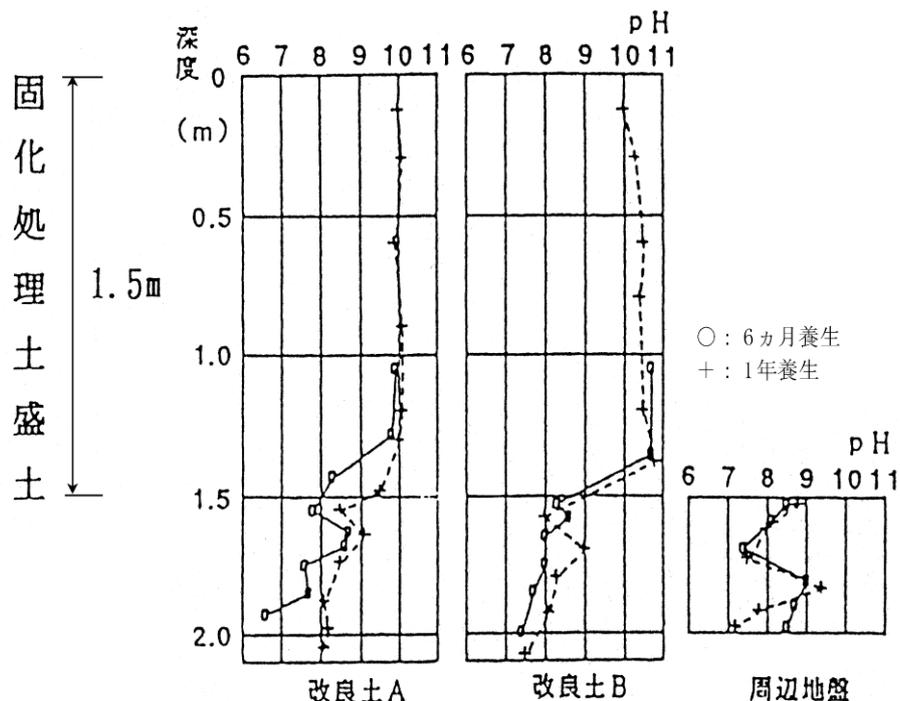


図-5.13 盛土および周辺地盤の pH<sup>4)</sup>

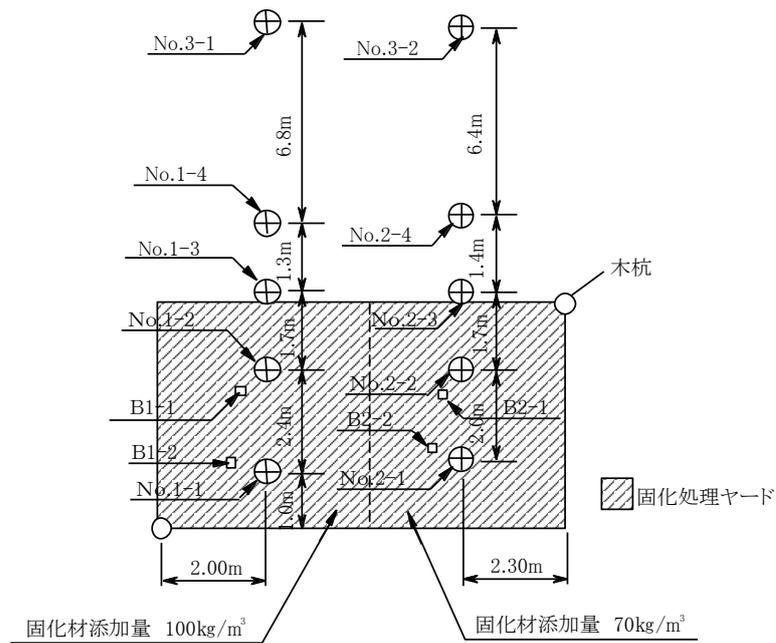


図-5.14 調査地点位置 (平面図) <sup>5)</sup>

表-5.3 固化処理ヤードおよび周辺地盤の pH 試験、室内透水試験結果 <sup>5)</sup>

固化材添加量		70 kg/m <sup>3</sup>		100 kg/m <sup>3</sup>	
測定項目		測定箇所 (深さ)	測定値	測定箇所 (深さ)	測定値
土の pH 測定	処理ヤード直下	2-1 (1.5m)	7.7	1-1 (1.8m)	7.3
		2-2 (1.7m)	9.4 <sup>※1</sup>	1-2 (1.5m)	9.0 <sup>※1</sup>
	処理ヤード周辺	2-3 (1.3m)	7.3	1-3 (1.4m)	7.1
		2-4 (1.4m)	7.2	1-4 (1.4m)	7.3
		3-2 (1.4m)	8.8	3-1 (1.4m)	7.2
	処理ヤード内	2-2 (1.0m)	11.3	1-2 (1.0m)	11.1
地下水の pH 測定	処理ヤード直下	2-1	6.8	1-1	6.9
		2-2	8.7 <sup>※1</sup>	1-2	6.9
	処理ヤード周辺	2-3	6.9	1-3	6.7
		2-4	6.8	1-4	6.7
		3-2	6.7	3-1	6.7
室内透水試験 (cm/s)	B2-1 (0.3m)	4.56×10 <sup>-3</sup>	B1-1 (0.3m)	2.00×10 <sup>-4</sup>	
	B2-2 (0.6m)	5.68×10 <sup>-3</sup>	B1-2 (0.3m)	5.56×10 <sup>-4</sup>	

(参考：固化処理ヤードの地表水の pH:9.5)

※1：固化処理ヤード直下の砂層が硬く、掘削が十分にできなかったため固化処理土が混入した。

## (2) 大気への影響

MUD I X工法は、クローズドシステムを採用したプラント工法であり、大気を直接汚染することがないため、大気汚染はないと考えて良い。

## (3) 悪臭対策

低品質な土にはアンモニアや硫化水素などが含まれる場合があり、安定処理を施すと土の pH の多少により臭気が発生することがある。

臭気対策としては、以下のような方法が知られており、現場条件、適用性、費用対効果などを配慮の上選定される。

- ①化学的方法（中和・酸化剤による臭気物質の無臭化）
- ②物理的方法（被覆による核散防止）
- ③マスキング（消臭剤・芳香剤による悪臭の分解・低減）
- ④生物化学的方法（微生物による臭気物質の分解）

セメント系固化材で安定処理されたヘドロの掘削工事で、アンモニアの臭気対策に塩化第一鉄水溶液を散布した事例がある。

## (4) 振動・騒音対策

MUD I X工法は、振動・騒音の少ない環境にやさしいシステムであり、専用機は、振動基準値（建設作業振動規制基準）、騒音基準値（騒音規制法）をいずれもクリアできる装備からなる。

土の投入、運搬には一般的な汎用機が使用されることから、市街地での工事では必要に応じて振動低減対策や、低騒音型機械の使用を検討する。

## 【 参考文献 】

- 1) 建設汚泥リサイクル指針, 財団法人先端建設技術センター, 1999
- 2) 建設発生土利用技術マニュアル第4版, 独立行政法人土木研究所, 2013  
「建設発生土利用基準;平成18年8月10日改正」平成18年8月10日に国土交通省所管事業を対象に通達を發出
- 3) 建設発生土利用促進のための改良工法マニュアル, 財団法人土木研究センター, 1997
- 4) 技術資料第127号「材料施工資料(第7号)土質安定材(固化材)」, 日本道路公団試験研究所, 1997
- 5) セメント系固化材による地盤改良マニュアル第二版, 社団法人セメント協会, 1994
- 6) セメント系固化材による地盤改良マニュアル第三版, 社団法人セメント協会, 2003
- 7) セメント系固化材による地盤改良マニュアル第四版, 社団法人セメント協会, 2012
- 8) 土と基礎 Vol. 25 No. 1 「黒ボクの安定処理に関する実験報告」, 久保田敬一他, 1977
- 9) 港湾技術研究所報告. 第16巻第1号「石灰安定処理土の基本的特性に関する研究(第1報)」, 寺師昌明他, 1977
- 10) 土質安定処理工法委員会編「石灰による路床路盤の安定処理工法」理工評論出版(株), 日本石灰協会, 1985
- 11) セメント、石灰による路床安定処理の計画、設計および施工に関する研究報告, 高速道路調査会, 1978
- 12) 京都大学環境衛生工学研究所第9回シンポジウム講演論文集, 1998
- 13) 太平洋セメント(株)ジオセット技術マニュアル