

令和4年度 福岡県ため池管理保全センター 研修会(第2回設計工事編)

- 1章 ボーリング調査と土質試験
- 2章 地盤改良の施工と管理

新日本グラウト工業株式会社
市坪天士・碓井敏彦

1

1章 ボーリング調査と土質試験

2

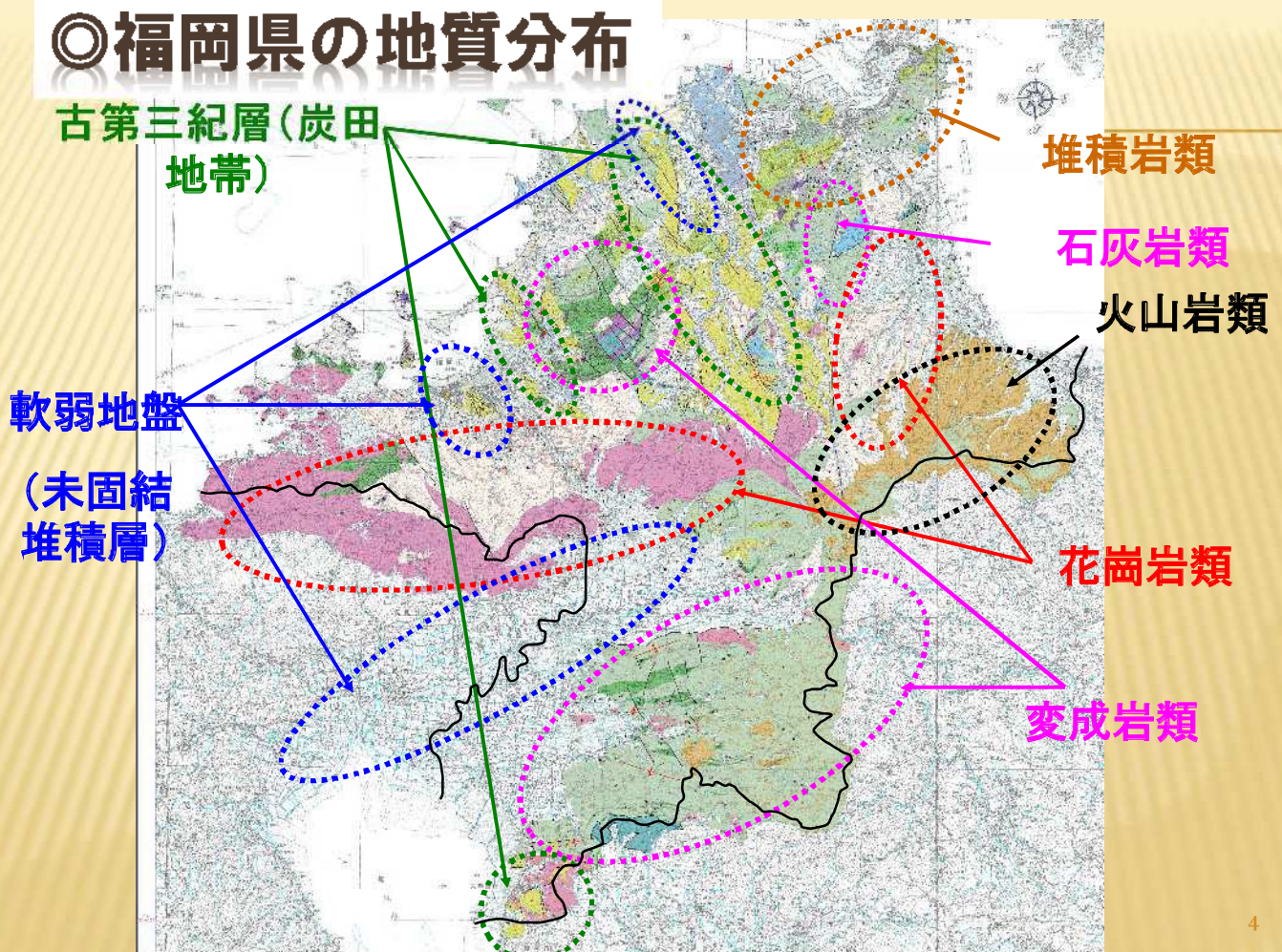
はじめに

福岡の地形地質は？

◎福岡県の地形の地形



◎福岡県の地質分布



岩石・土の分類

表 1-1 岩石の分類

	大グループ	小グループ		
岩石	火成岩	深成岩	半深成岩	火山岩・火砕岩*
	堆積岩	碎屑性堆積岩	生物的堆積岩	化学的堆積岩
	変成岩	広域変成岩	接触変成岩	大洋底変成岩

*火山岩は、狭義には溶岩に由来するものをさし、広義には火砕岩も含む。

旺文社「地学 I B」

5

堆積岩のなかま

レキ



レキ岩



砂



砂岩



6

粘土



泥岩



植物



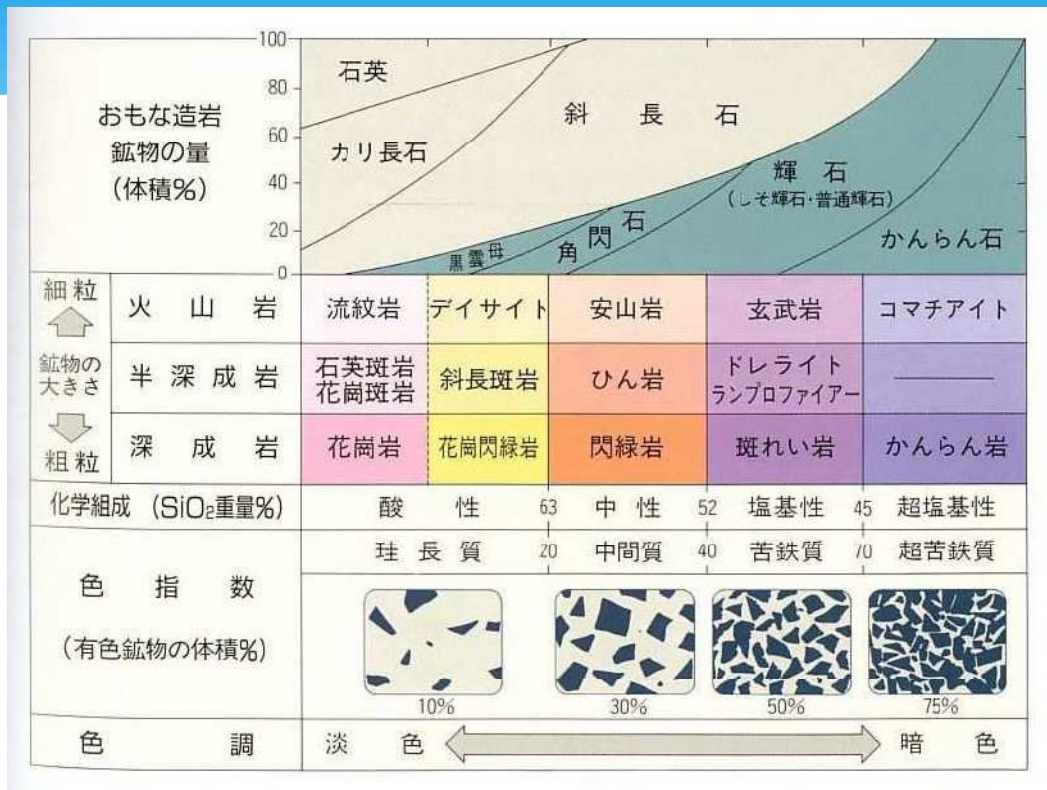
泥炭



石炭



火成岩の分類





花崗岩

火成岩のなかま

玄武岩

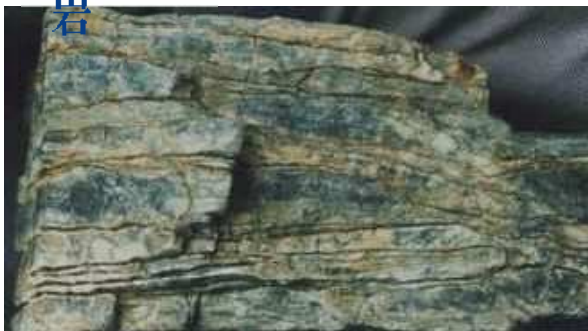


ひん岩

ホルンフェルス



珪質片岩



変成岩のなかま

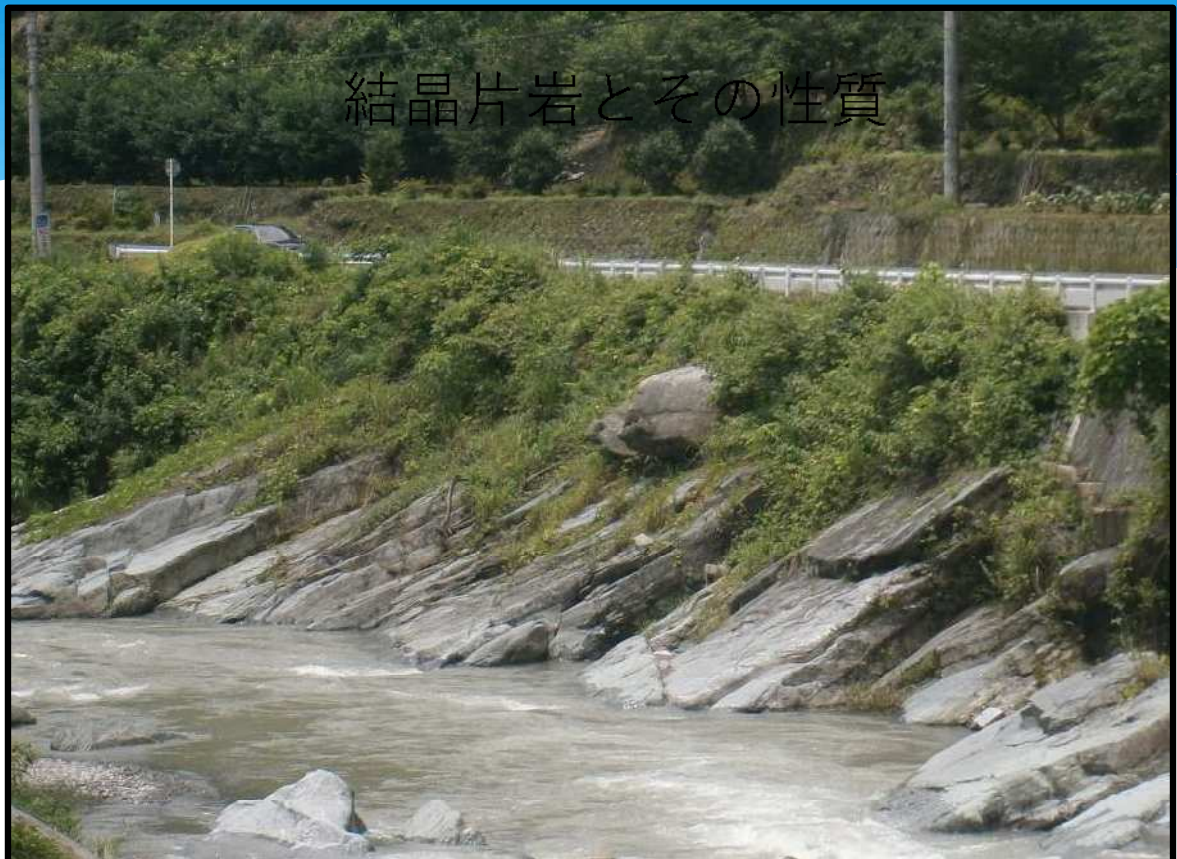
泥質片磨岩



①結晶片岩地帯



11



12

②白亜紀花崗岩類



新鮮部。やや亀裂顕在化しているが、塊状・堅硬な岩盤(志賀島)

変質脈が形成された亀裂面からの崩壊

(上: 志賀島、下: 玄界島)



13

花崗岩はこんな見かけです・・・



強風化層(マサ)(志賀島)



ボーリングコアで採取される風化花崗岩(鞍手町新延)



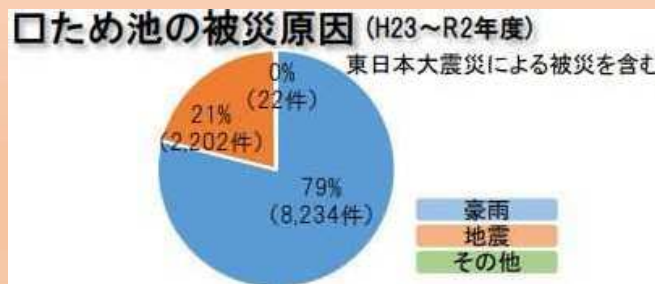
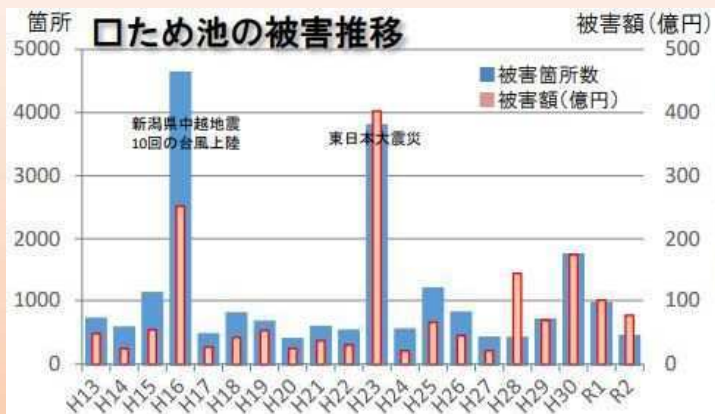
切土後放置した法面。あっという間にガリー状に浸食、崩壊が進む

14

ため池の調査

1. 既存ため池調査の必要性

朝倉 山の神池平成29年7月九州北部豪雨



農林水産省 農村振興局 整備部 防災課 令和3年7月

2. ため池の地質調査の目的

2.1 ボーリングおよび原位置試験

①ため池の整備（更新・劣化状況評価）調査

②ため池の耐震性能照査の調査（レベル1）

③ため池の耐震性能照査の調査（レベル2）

コアの採取
(堤体及び地盤の地質調査)

透水試験
(堤体及び地盤の透水性調査)

標準貫入試験
(堤体の強度、地盤の支持力調査)

PS 検層・密度検層及び孔径検層
(堤体基礎地盤の弾性定数調査)

参考文献：P11



参考文献：農林水産省農村振興局整備部監修「土地改良事業設計指針『ため池整備』」

※以降、参考文献と表記した場合は上記の文献の引用です。

2.2 室内土質試験

①ため池の整備(更新・劣化状況評価)調査

材料ならびに現地盤の適性評価

②ため池の耐震性能照査調査 (レベル1)

③ため池の耐震性能照査調査 (レベル2)

土粒子の密度試験
 粒度試験 (沈降を含む)
 含水比試験

液性限界試験 塑性限界試験

湿潤密度試験 物理試験 ↑

三軸圧縮試験 力学試験 ↓

突き固めによる土の締固め試験

透水試験

繰り返し三軸圧縮試験

参考文献：P14



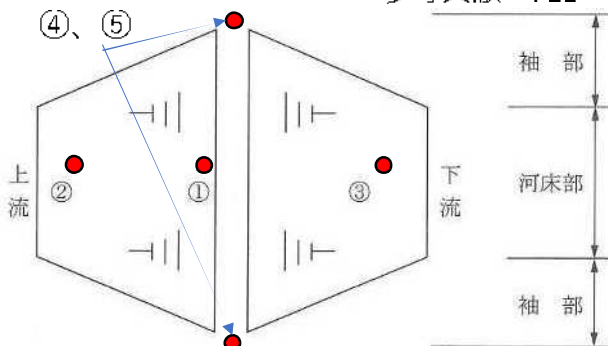
3. 各種現地調査

3.1 ボーリング

ため池の構造とボーリング地点

ボーリングの位置、本数は最大断面の中央および上下流1箇所ずつの計3箇所を標準とする。

参考文献：P11



参考文献：P12

5m又は堤高相当の
 いずれか小さい方

透水層の厚さ	設計法	略図	摘要
薄い	遮水性ゾーン		遮水効果完全。ただし、透水層の厚さが現地盤上の堤高の1/3以内程度が目安。
中	シートパイル		遮水効果不完全。玉石混じり層には不適。微砂、シルト層には有効。
	グラウト		岩盤透水層に有効。 参考文献 ・土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」技術書〔フィルダム編〕 ・「グラウチング技術指針・同解説」
厚い	ブランケット		パイピング防止に有効。コスト安。
	全面舗装		極めてコスト高。漏水量が極小に制限されるとき以外は採用しない。

参考文献：P43

後々の対策工を踏まえるとトレンチ部にあたる箇所の透水性、強度は比較的重要。

19

某ため池 洪水吐き（構造物）からの漏水？

電気探査(比抵抗映像法)

電気探査は地表に設置した電極から強制的に大地に電流を流し、その結果得られる電位分布を地表に展開した電極で測定し、地下の比抵抗構造を探索する物理探査手法である。

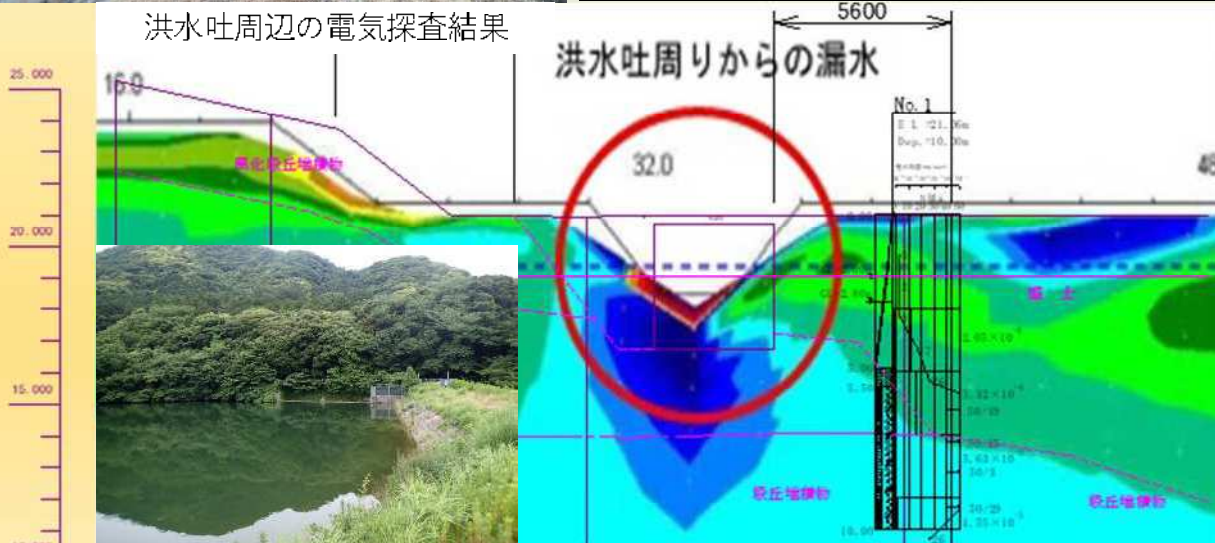
地盤物性と比抵抗の関係

小	電気比抵抗	大
(粘土)	(シルト)-粒度-(砂)	(砂礫)
大	飽和度	小
大	体積含水率(孔隙率×飽和度)	小
小	地層水比抵抗	大



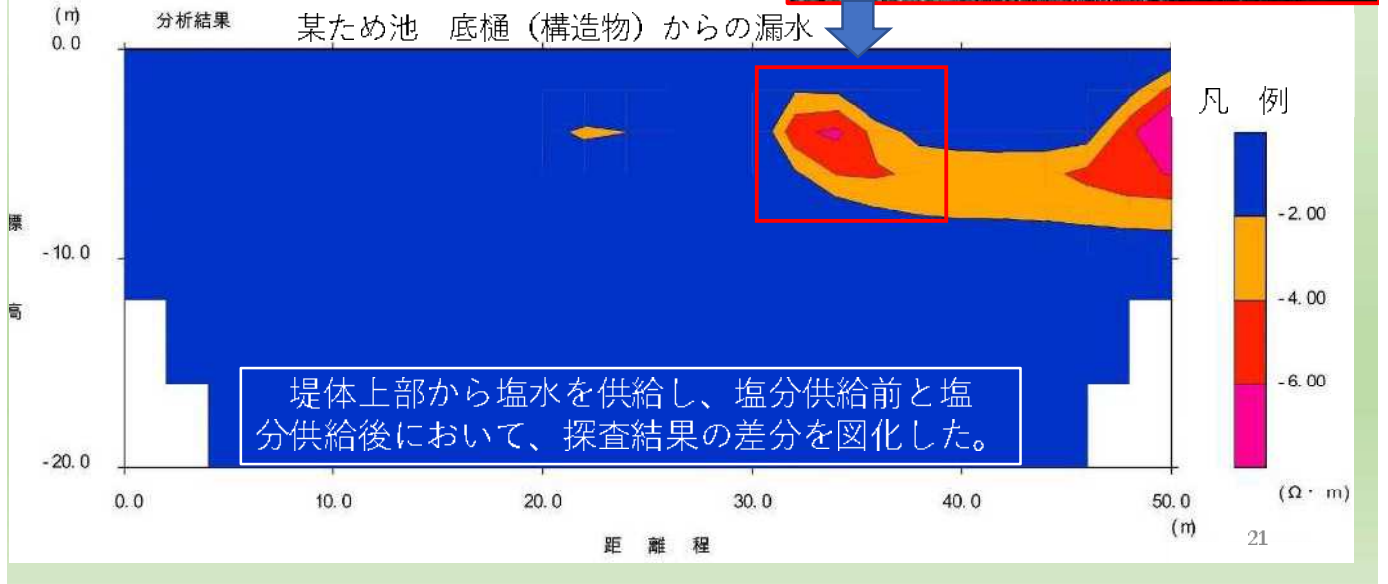
洪水吐周辺の電気探査結果

洪水吐周りからの漏水



20

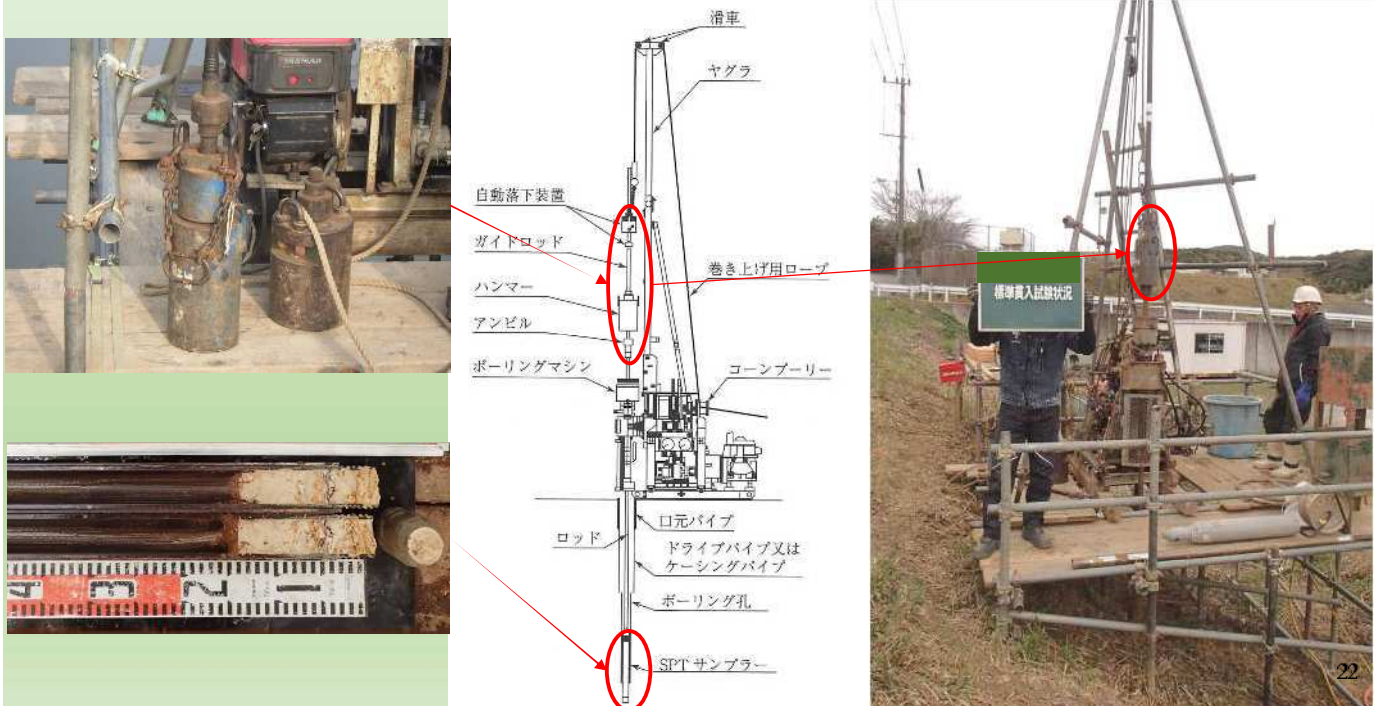
漏水は、底樋や洪水吐きなどの構造物の周辺や地山との境界などからが多く、詳細設計では兩岸の地山に近い盛土部での地質調査が必要。



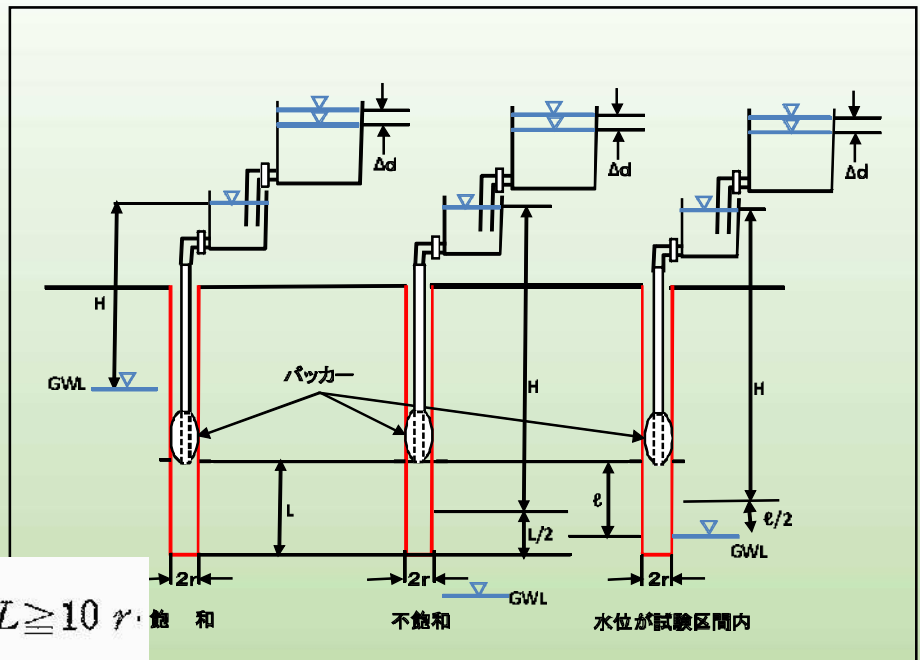
3.2 原位置試験

標準貫入試験

本試験はロッド上端にノッキングヘッドをつけ、それを重量63.5kg (±0.5kg) の鋼製ハンマーで76cm (±1.0cm) の高さより落下させてヘッドを打撃し、ロッドを介して先端のサンプラーを地中に打ち込むものである。砂質土であれば締まり具合 (相対密度) を粘性土であればコンシステンシー (相対稠度) を把握し、物性値算定に用いる。



現場透水試験



$$k = \frac{Q}{2\pi LH} \log_e \frac{L}{r} \quad ; \quad L \geq 10 r$$

k = 透水係数

Q = ボーリング孔への定流量

L = 試験箇所孔長 (cm) ^(cm³/sec)

H = 水頭差 (cm)

r = 試験孔の半径 (cm)

\log_e = 自然対数

透水試験は、パッカー法により、掘進するごとに連続して行う。ただし、孔壁が自立しないような場合は、ケーシング法が良好な結果が得られることがある。

試験長は2mを標準とする。 参考文献：P12

23

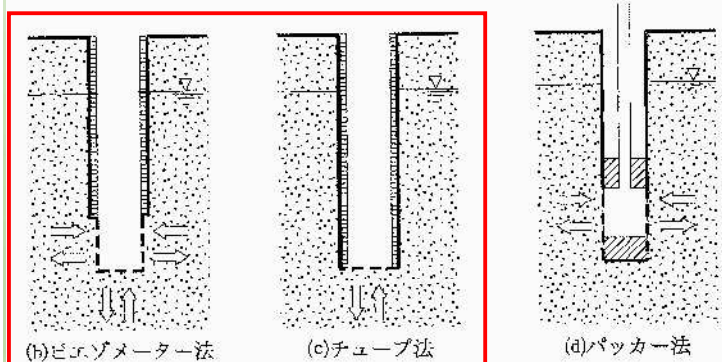
ため池の水位を復元する意味合いで定水位（静水圧）による透水試験を行う。

また、参考文献にも示される米国内務省開拓局の透水試験の仕様においても、注水法による定水位の試験方法（パッカー法）が示されている。

パッカー法

このパッカー法による試験は、地下水面上・下いずれでも行うことができる。この方法は通常パッカーを用いる基礎岩盤の圧力試験に適用されるが、上部パッカーをケーシングのわずかに内側に設置した場合には未固結材料にも使用することができる。パッカーをケーシングの内側に設置する場合には、測定に際して漏水を防ぐためにケーシングと孔壁の間の環状の空隙を完全にふさがねばならない。

米国内務省開拓局編（社団法人日本大ダム会議訳者）「アースマニュアル」1977年7月 P469-470



試験孔仕様による試験法の分類

公益社団法人地盤工学会編「地盤調査の方法と解説 - 二分冊の1 -」H26.03 P521

盛土の透水係数目標値

遮水性材料（刃金土） $1 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ より小さいもの。ただし、その達成が困難な場合には、現場にて $5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ を最大値として緩和することができる。

参考文献：P18

基礎地盤の透水係数目標値

堤体基礎地盤の透水係数は $k \leq 1 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ が望ましい。

参考文献：P42

24

基礎地盤の支持力の目標値

堤体基礎地盤は機械施工が可能な支持力を必要とし、目安としては、ポータブルコーン貫入試験で得られるコーン貫入抵抗 q_c が 500kN/m^2 程度である。

参考文献：P42

$$q_c = 5q_u$$

ここに q_u :一軸圧縮強度 (kN/m^2)

q_c と q_u の関係から、 $q_c = 500 \Rightarrow q_u = 100$ となる。

さらに、下表から、対象が粘性土であれば、N値 > 8程度で条件を満足することができる。

N値	コンシステンシー	q_u
		(KN/m^2)
2以下	非常に軟らかい	24.5以下
2~4	軟らかい	24.5~49.1
4~8	中位の	49.1~98.1
8~15	硬い	98.1~196.2
15~30	非常に硬い	196.2~392.4
30以上	固結した	392.4以上

公益社団法人地盤工学会編「地質調査の方法と解説」二分冊の一P308

ただし、レベル2の動的解析を行う際にはS波速度 $300 \sim 400\text{m/s}$ 相当の深度を確認する必要がある。

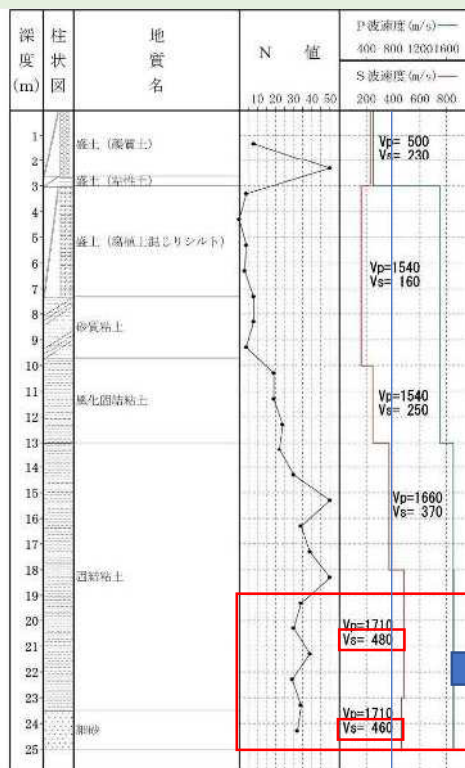
ここで、参考文献P139にある下式をもとにS波速度をN値換算すると、

$$\text{粘性土 } V_s = 100 \times N^{1/3} \geq 300 \Rightarrow N \geq 27$$

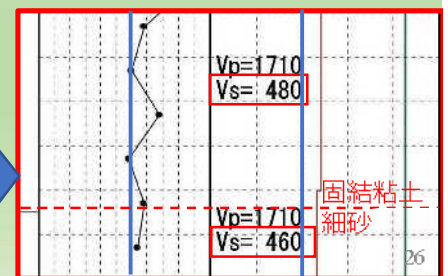
$$\text{砂質土 } V_s = 80 \times N^{1/3} \geq 300 \Rightarrow N \geq 53$$

参考文献：P125

県内某所のPS検層の結果



以上のことから、レベル2の動的解析を踏まえて調査を行う場合は、粘性土で $N \geq 27$ 、砂質土で $N \geq 53$ 程度の地盤を確認する必要がある。



4 室内土質試験から設計への反映

を踏まえた必要な土質試験

液状化判定対象層の判定

参考文献：P135

4.1 液状化判定（対象層の選定）

土粒子の密度試験

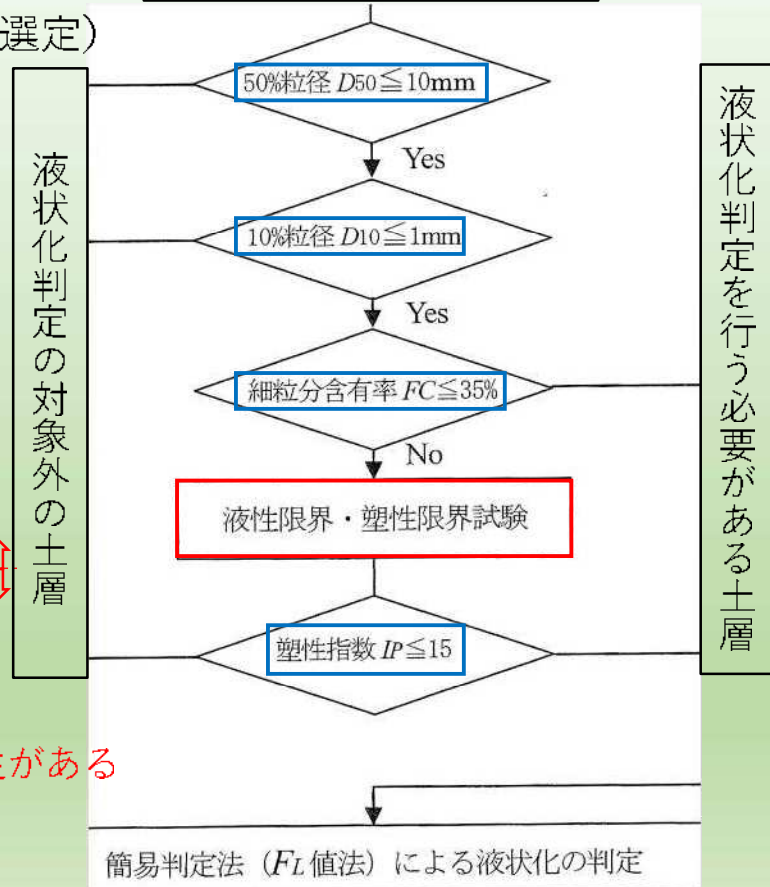
粒度試験（沈降を含む）

含水比試験

液性限界試験 塑性限界試験

湿潤密度試験 物理試験

三軸圧縮試験 力学試験



粘性土地盤でも液状化の可能性はある

簡易判定法 (FL値法) による液状化の判定

4.1 液状化判定（対象層の選定）

粒度試験においては、10%粒径では沈降試験による分析範囲にあたる。そのため、細粒分が多い、ため池の盛土などを対象とする場合、篩試験だけでは液状化判定は無理。必ず沈降試験が必要。さらに沈降試験を行うためには土粒子の密度が必要。

	粒 径 mm		通過質量百分率%		粒 径 mm		通過質量百分率%		粗 礫 分 %	-	-
	ふる	75		75		中 礫 分 %	2.0	1.9			
53			53		細 礫 分 %	18.6	20.2				
37.5			37.5		粗 砂 分 %	13.5	17.0				
26.5			26.5		中 砂 分 %	15.7	18.6				
19			19		細 砂 分 %	13.4	13.9				
い	9.5	100.0	9.5	100.0	シ ル ト 分 %	19.6	16.2				
	4.75	98.0	4.75	98.1	粘 土 分 %	17.2	12.2				
分	2	79.4	2	77.9	2mmふるい通過質量百分率 %	79.4	77.9				
	0.850	65.9	0.850	60.9	425μmふるい通過質量百分率 %	56.8	50.1				
	0.425	56.8	0.425	50.1	75μmふるい通過質量百分率 %	36.8	28.4				
	0.250	50.2	0.250	42.3	最 大 粒 径 mm	9.5	9.5				
沈	0.106	39.2	0.106	31.0	60 % 粒 径 D_{60} mm	0.5449	0.8058				
	0.075	36.8	0.075	28.4	50 % 粒 径 D_{50} mm	0.2466	0.4224				
	0.0548	35.6	0.0555	27.3	30 % 粒 径 D_{30} mm	0.0239	0.0955				
	0.0391	33.4	0.0396	25.4	10 % 粒 径 D_{10} mm	0.0011	0.0028				
	0.0251	30.4	0.0255	22.3	均 等 係 数 U_c	495.4	287.8				
	0.0148	26.0	0.0150	18.6	曲 率 係 数 U_c'	0.95	4.04				
	0.0106	23.0	0.0107	16.7	土 粒 子 の 密 度 ρ_s g/cm ³	2.629	2.622				
	0.0076	20.1	0.0076	14.9	使用した分散剤	ヘキサメタリン酸ナトリウム	ヘキサメタリン酸ナトリウム				
	0.0038	15.6	0.0039	11.1	溶液濃度, 溶液添加量						
	0.0016	11.1	0.0016	8.1	20 % 粒 径 D_{20} mm	0.0075	0.0186				
				透 水 係 数	n/s	1.08×10^{-8}	3.37×10^{-7}				

4.2 安定検討（試験方法の選定）

土粒子の密度試験

参考文献：P15

粒度試験（沈降を含む）

含水比試験

液性限界試験 塑性限界試験

湿潤密度試験 物理試験

三軸圧縮試験 力学試験

試験法と安定解析の適用^{注)}

安定解析のケース	試験法	計算斜面
完成直後	非圧密・非排水(UU)試験 圧密・非排水(CU)試験、又は 圧密・排水(CD)試験	上下流側
常時満水位	圧密・非排水(CU)試験、又は 圧密・排水(CD)試験	〃
設計洪水位	圧密・非排水(CU)試験、又は 圧密・排水(CD)試験	〃
水位急降下	圧密・非排水(CU)試験、又は 圧密・排水(CD)試験	上流側

注) 試験法の適用については、「表-3.3.8 三軸圧縮試験法と応力表示」参照。

参考文献：P56

表-3.3.8 三軸圧縮試験法と応力表示

	粘性土	砂質土
有効応力表示の c', ϕ'	・圧密非排水試験 (CU) 間隙水圧を測定する。	・圧密排水試験 (CD)
全応力表示の c, ϕ	・非圧密非排水試験 (UU) 乱さない試料を対象。	・圧密排水試験 (CD)

29

$\bar{c}U$ 三軸試験の目的は、 $\bar{c}U$ 三軸試験の目的に加えて、間隙水圧を測定することによって試験中の有効応力の変化を把握し、有効応力解析に必要な強度定数 (c', ϕ') を得るための情報を求めることを目的とする。砂質土でも飽和している時は急激な载荷を受けると、体積変化を起こすのに必要な時間が許されないため、間隙水圧が発生する。そのような場合には砂質土についても $\bar{c}U$ 三軸試験が必要となることがある。

CD試験の目的は、地盤が载荷重によって圧密されて強度を増した後に、地盤内に過剰間隙水圧が生じない条件でせん断される場合の、地盤の圧縮強さおよび変形特性を求めることである。試験はこのような現場条件に合わせて、供試体を等方応力状態の下で圧密排水させた後、排水条件で供試体に過剰間隙水圧が生じない一定のひずみ速度で軸方向に圧縮を行う。この時の土の圧縮強さおよび応力-ひずみ関係を求める。試験中に供試体に過剰間隙水圧が生じないため、背圧を差し引くと有効応力と全応力が一致する。

表-7.3.3 等方三軸試験4基準の目的と適用範囲

基準	目的	条件	適用土質 (準用される場合)
UU三軸	圧縮強度特性 変形特性	透水性の小さな地盤において排水が生じない急速载荷される場合	飽和した粘性土 (飽和度の高い土)
CU三軸	圧縮強度特性 変形特性	载荷重によって圧密され強度が増した後に生じないように急速载荷される場合	飽和した粘性土 (飽和した粗粒土)
CU三軸	圧縮強度特性 変形特性 有効応力解析のための情報	载荷重によって圧密され強度が増した後に生じないように急速载荷される場合	飽和した粘性土 (飽和した粗粒土)
CD三軸	圧縮強度特性 変形特性	载荷重によって圧密され強度が増した後に過剰間隙水圧が生じないように载荷される場合	飽和した土 (最大の粒径が20mm程度を超える飽和していない粗粒土)

30

4.3 物性値の推定

良質な不攪乱試料が採取できない場合にあっては、現況堤体及び基礎地盤の設計強度定数 (C、 ϕ) は、N値から、表-3.3.9、図-3.3.16、図-3.3.17を用いて求めてもよいものとする。ただし、砂質土の粘着力 (C) については、できる限り試験を行い、適切な評価を行うことに努める。

表-3.3.9

		粘性土	砂質土
現況堤体	c	図-3.3.17から算定する。	c=0
	ϕ	$\phi=0$	図-3.3.16から算定する。
基礎地盤	c	図-3.3.17から算定する。	c=0
	ϕ	$\phi=0$	図-3.3.16から算定する。

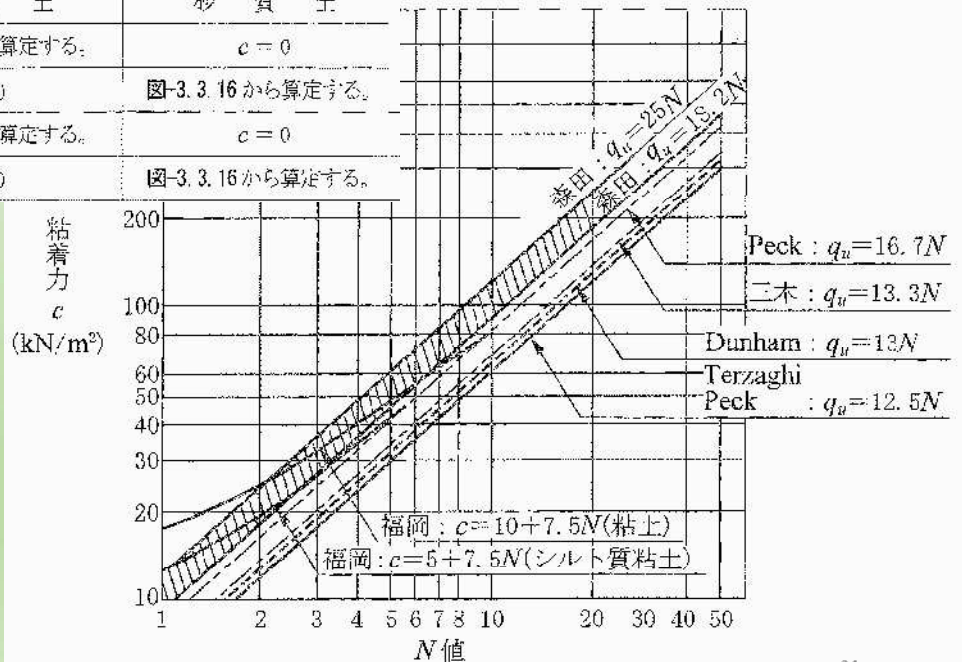


図-3.3.17 粘性土のN値と粘着力cとの関係

31

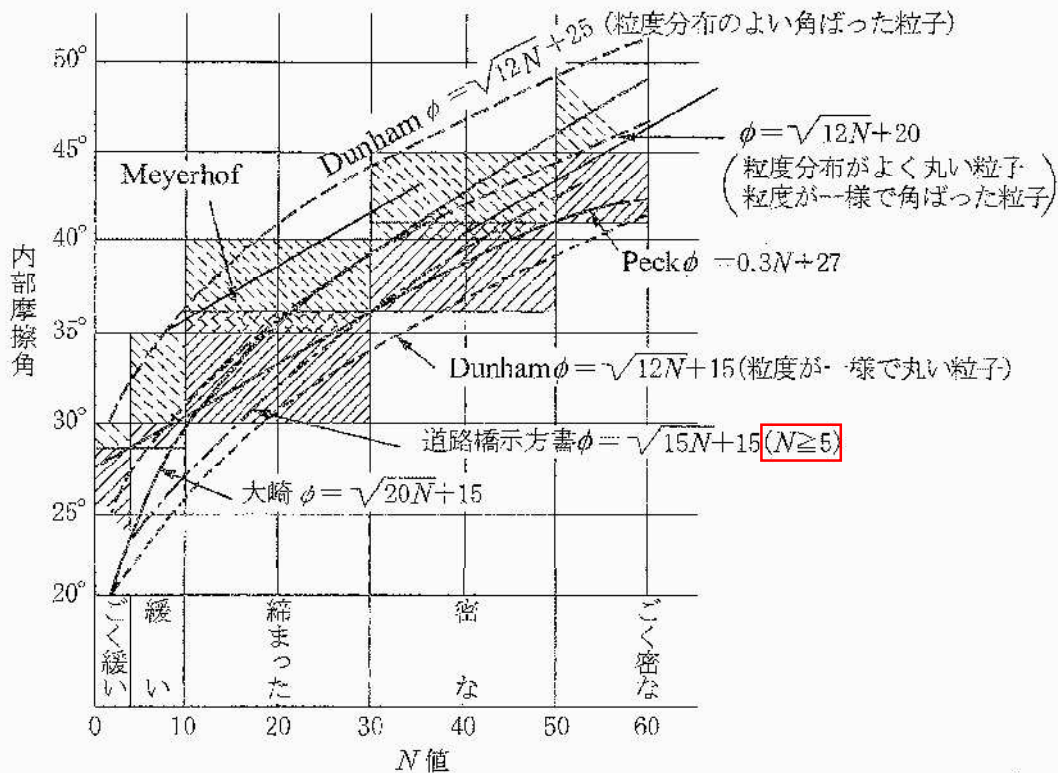


図-3.3.16 砂質土のN値と内部摩擦角 ϕ の関係

N値による物性値の推測も可能である。ただし、安定結果において、現実に即した値となるように調整が必要な場合もある（現況で変状していないにも関わらず安定検討の結果が安全率 $F_s < 1$ を示す場合）。

4.4 盛土材の適性

未固結地盤の工学的利用度一覧表

グループの代表名称	分類記号	重要な工学的性質			築造材料としての施工性	各使用目的に対する適正順位 (No.1が最適なものとする)				
		締め固めたときの透水性	締め固めて飽和させたときのせん断強度	締め固めて飽和させたときの圧縮性		転圧式アースダム			基礎地盤	
						均一型	コア	さや土	浸透性が重要	浸透性は重要ではない
粒度の良い、れきならびにれき・砂混合物、細粒分僅少または欠如	GW	高	優	ほとんどない	優	-	-	1	-	1
粒度のわるい、れきならびにれき・砂混合物、細粒分僅少または欠如	GP	きわめて高	良	ほとんどない	良	-	-	2	-	3
シルト質れきおよび粒度(分布)がわるいれき・砂・シルト混合物	GM	半透水ないし不透水	良	ほとんどない	良	2	4	-	1	4
粘性質れきおよび粒度(分布)がわるいれき・砂・粘土混合物	GC	不透水	良ないし可	きわめて低い	良	1	1	-	2	6
粒度の良い、砂ならびにれき質砂、細粒分僅少または欠如	SW	高	優	ほとんどない	優	-	-	れき質であれば3	-	2
粒度のわるい、砂ならびにれき質砂、細粒分僅少または欠如	SP	高	良	きわめて低い	可	-	-	れき質であれば4	-	5
シルト質砂、粒度(分布)がわるい砂・シルト混合物	SM	半透水ないし不透水	良	低い	可	4	5	-	3	7
粘土質砂および粒度(分布)がわるい砂・粘土混合物	SC	不透水	良ないし可	低い	良	3	2	-	4	8
無機質シルトおよび微砂、岩屑、キヤ塑性のあるシルト質あるいは粘土質の細砂	ML	半透水ないし不透水	可	やや高い	可	6	6	-	6	9
低いし中塑性の無機質粘土、れき質粘土、砂質粘土シルト質粘土、粘りけの少ない粘土	CL	不透水	可	やや高い	良ないし可	5	3	-	5	10

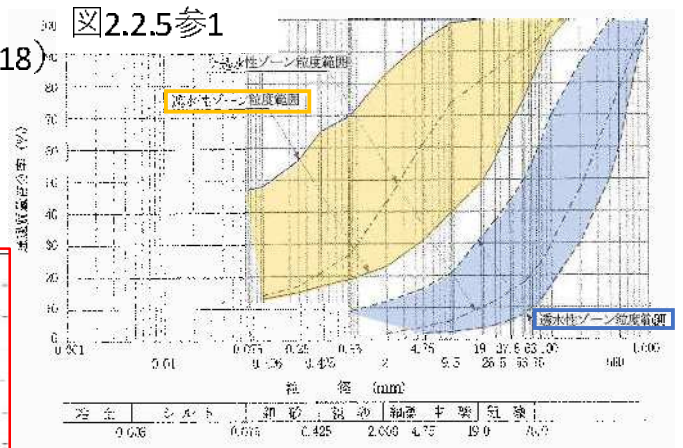
上記表は、各土工構造物に対する相対的な順位を示した。この中で、さや土、コア土、均一型いずれも、礫を中心としながらも、砂や粘土が混じった土が有効。

米国内務省開拓局編 (社団法人日本大ダム会議訳者) 「アースマニユアル」 1977年7月 P18-19 33

盛土材としての適性について (参考文献P18)

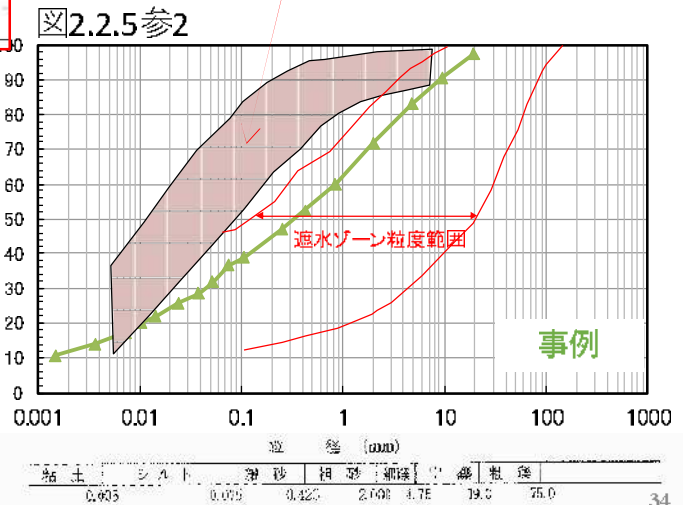
(1) 盛土全般

- ① 粒度特性からみた材料の適性判定。(参考文献 P19 図2.2.5参1、図2.2.5参2)



土質試験結果		粒度	
事例 (刃金土)		石分 (7.5mm以上) %	
		礫分 ⁰ (2~7.5mm) %	28.2
		砂分 ⁰ (0.075~2mm) %	35.0
		シルト分 ⁰ (0.005~0.075mm) %	21.6
		粘土分 ⁰ (0.005mm未満) %	15.2
		最大粒径 mm	26.5
		均等係数 U _v	850.00

クラックが発生しやすい粒度分布



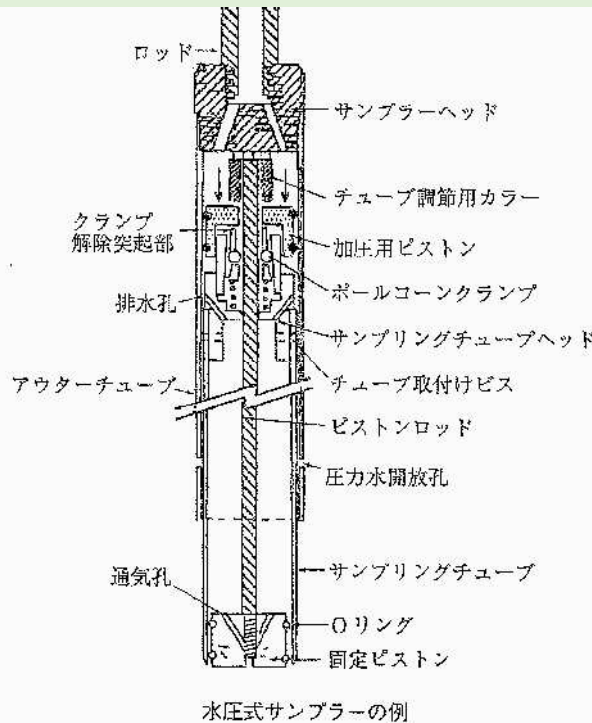
粒度特性 (遮水ゾーン)
 最大粒径 100~150mm
 礫率 10~70%
 細粒分含有率 15~45%
 遮水性確保の観点
 細粒分含有率 10~15%以上
 粘土分 5%以上

材料名	刃金土
分類	砂質シルト
試験方法	A-7
試験結果	1.7級
試験結果	12.6
試験結果	15.2
試験結果	21.6
試験結果	26.5
試験結果	850.00
試験結果	15.2
試験結果	21.6
試験結果	26.5
試験結果	850.00
試験結果	15.2
試験結果	21.6
試験結果	26.5
試験結果	850.00
試験結果	15.2
試験結果	21.6
試験結果	26.5
試験結果	850.00

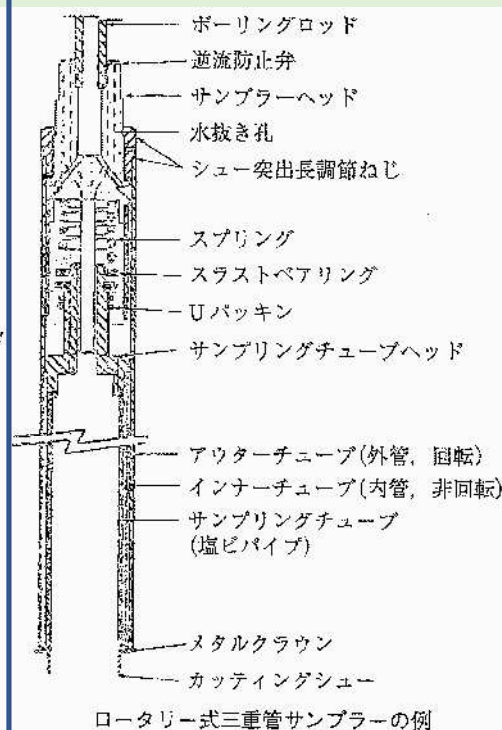
4.5 試料の採取

盛土は、本来、礫を多く含むものであればシンウォールによる試料の採取は難しい。トリプルによるサンプリングが採取率としては高い。

固定式ピストン式シンウォールサンプラー
採取の適性地盤：N値0～4程度の軟らかい粘性土。



ロータリー式三重管（トリプル）サンプラー
採取の適性地盤：N値4以上の粘性土から砂質土、軟岩まで適用範囲は広い。



一般社団法人
全国地質調査業協会
連合会編
「改訂第3版 地質
調査要領」
2015年9月P427、
P428

37

5 終わりに

5.1 透水試験の歩掛

ため池の調査において、透水試験はため池の健全性を評価するうえで非常に重要である。この透水試験の方法について、下記に示すように主に6つの手法がある。その中で、ため池にて行う透水試験の方法はこのうちパッカー法にあたる。一般社団法人 全国地質調査業協会連合会ではこれらに対応する歩掛が公表されている。

透水試験の試験法一覧

名称			地下水状態	土質状態	摘要
区分	保孔の方法	透水区間の設定			
非 定 常 法	オーガー法 (保孔無し)		自由水	砂質土 ケーシング無しで孔壁は自立	試験深度も地下水位 も比較的浅い場合
	ケーシング法(1)	ピエゾメータ法	自由水	砂質土 ケーシング無しで孔壁は崩壊	〃
		チューブ法			
	ケーシング法(2)	ピエゾメータ法	被圧水	砂質土 明確な不透水層が存在する	地下水位が深い場合
チューブ法					
ケーシング法(3)	ピエゾメータ法 チューブ法	被圧水	砂質土 多層系地盤の場合	〃	
定 常 法	パッカー法		被圧水 自由水	砂質土 保孔は主にパッカーを用いる	〃
	揚水法		被圧水 自由水	砂質土 保孔は主にケーシングを用いる	〃

一般社団法人 全国地質調査業協会連合会

「全国標準積算資料『土質調査・地質調査』」2022年9月P IV-87

38

透水試験法ごとの歩掛

種別	細別	単位	歩掛数量						摘要	
			①	②	③	④	⑤	⑥		
直接人件費	地質調査技師	人	1.0	1.5	2.0	2.3	2.0	2.0	①オーガー法 ②ケーシング法(1) ③一重管式ケーシング法(2) ④二重管式ケーシング法(3) ⑤パッカー法 ⑥揚水法	
	主任地質調査員	〃	0.6	1.0	1.5	1.8	1.5	1.5		
	地質調査員	〃	1.2	2.0	3.0	3.6	3.0	3.0		
材料費	パイプ損料A	組		0.02						80A 5m使用 ネジ加工付
	〃 B	〃			0.02	0.02	0.02	0.02		80A 15m使用 〃
	〃 C	〃				0.02				50A 15m使用 〃
	消耗品	式		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	上記材料費計*20%	
動力費	軽油	ℓ	0.8	2.0	2.8	6.6	2.8	2.8	軽油費*20%	
	油脂	式	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
機械等損料	透水試験器	戸	0.6	1.0	1.5	1.8	1.5	1.5	φ45mm 100m型	
	小口径ポンプ	〃						1.5		
	流量計	〃						1.5		
	ボーリングマシン一式	〃	0.6	1.0	1.5	1.8	1.5	1.5		

一般社団法人 全国地質調査業協会連合会
「全国標準積算資料『土質調査・地質調査』」2022年9月P IV-88

39

5.2 たため池の漏水対策

たため池の劣化により、経年的に発生した堤体内のミズミチ、構造物と地山の接触部、地山と盛土の境界部および透水性の高い基礎地盤などが漏水経路となることがある。

その漏水対策としては、以前はセメントミルク、セメントベントナイトなどを使用した注入がなされてきた。しかし、これらの材料を用いた注入では、岩盤内の亀裂を対象としたダムグラウトとは異なり①注入材の粒径が大きく、微細な粒子間の間隙に注入材が充填されず十分な遮水効果が得ることが難しいケースや、②注入材の硬化時間が長く、広範囲に注入材が逸走し、下流側の田畑などに注入材がリークするケースも散見されていた。

このようなトラブルを防ぐために注入材料には次の点が求められる。

- ① 様々な粒子間に入り込むための粒径の細やかさ（マイクロメントなど）
- ② 注入範囲を限定し周囲への影響を最小限度にとどめるため、ゲルタイムを有する（硬化時間を調整できる）

岩水グラウト工などゲルタイムを有し、かつ、固化材粒径が細やかな注入材料による対策の実績が増えている。また、岩水グラウト工はホモゲル強度がセメントミルクに比べて軟らかいことから、盛土や未固結地盤との追従性も高い。



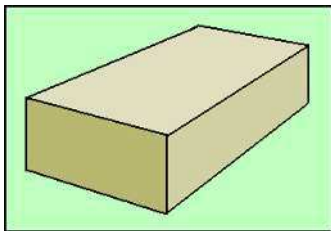
2章 地盤改良の施工と管理

41

1.地盤改良工の種類

ため池工事では「こちらが多い

矩形改良体(ブロック状)



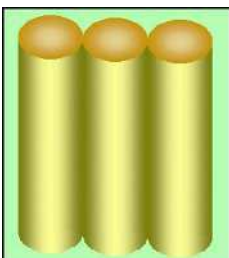
表層安定処理工法

深度2m程度以内
地下水下は不可
粉体攪拌が一般的

中層混合処理工法

深度13m程度以内
地下水下でも可能
スラリー攪拌が一般的

柱状改良体(コラム状)



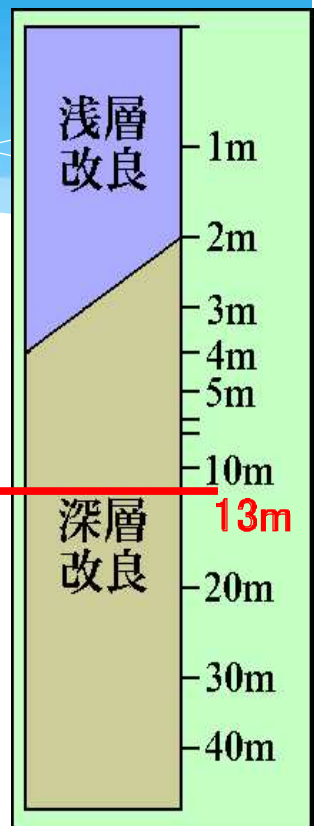
深層混合処理工法

スラリー攪拌が一般的

高圧噴射攪拌工

スラリー攪拌が一般的

中層改良



42

表層安定処理工法の例

バックホウ混合

スケルトンバケットにミキシング装置が装着されたものが多い



スタビライザ

フードで覆われたシャンク式やローター式が用いられる



自走式土質改良機

コマツ リテラ
日立 GR2000 など



中層混合処理工法の例

昨今、採用されるケースが増えてきている

トレンチャ式混合：パワーブレンダー工法など



活用実績多数
固化材を噴射しながら、トレンチャ式攪拌機にて混合する。

ロータリー式混合：WILL工法など



砂礫地盤・高N値の地盤
に対応
空打ち施工に対応
泥ハネ飛散が少ない

深層混合処理工法の例

スラリー攪拌工



中圧噴射機械攪拌工



45

地盤改良工の適用

地盤改良工の主な目的

搬入路・重機足場のトラフカビリティ向上

底樋など構造物の支持力増強

池敷内泥土の盛土材利用

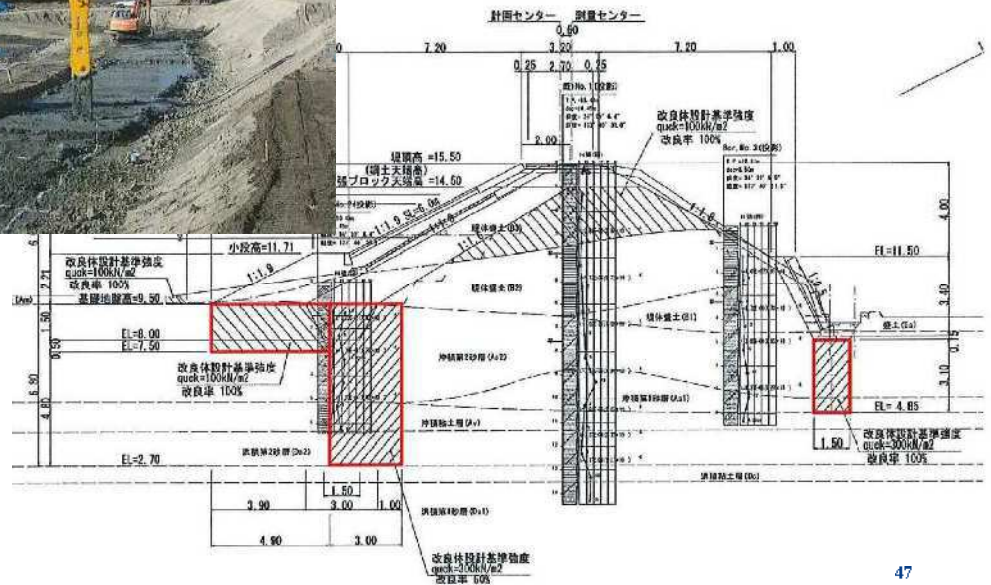
止水補助

耐震対策

特に近年、耐震対策として上下流の法尻部に地盤改良を施すケースが増加。改良深度が2m以上となるケースも少なくないため、中層混合処理工法の採用が増えている。

46

耐震対策事例



47

2. 固化材の種類

◆ 普通ポルトランドセメント

以前は多く使用されていた。強度発現は一般的に高い。やや六価クロムが溶出しやすい。低価格。

◆ 高炉セメントB種

強度発現はやや低い。六価クロムは普通ポルトランドに比較し、溶出しにくい傾向。

◆ 一般軟弱土用セメント系固化材

地盤改良に多く用いられてきた。安定的に強度発現が認められることが多い。

◆ 特殊土用セメント系固化材

特殊土＝六価クロムが溶出しやすい土(有機質土・腐植土・火山灰質粘土など)

六価クロムの溶出を抑制する効果があり、現在は多くのメーカーが汎用型としており、使用頻度が増えている。

45

* 高有機質土用セメント系固化材

汎用固化材では固化しにくい腐植土や有機質土、高含水比の泥土などの強度発現を図った固化材

* 発塵抑制型セメント系固化材

粉体攪拌系の改良を用いる場合、テフロン加工など特殊な加工を施すことで発塵及び飛散を抑制したもの。

価格が高いため、スラリー攪拌系の改良との経済比較されることが多い。

* 生石灰、消石灰

スラリー攪拌系改良ではほとんど使用されない。トラフカビリティ増強など比較低強度の際に用いられることがある。最近では活用頻度が減少傾向。

* その他

石灰系固化材、セメント石灰複合系固化材、フライアッシュ系固化材など

49

3.室内配合試験

① 現地条件の再現性

対象土の粒度特性 地下水の有無 土の含水比
土のpH値 使用水のpH値が結果に影響

② 六価クロムの溶出試験

③ 設計基準強度(q_{uck})と室内配合試験時の一軸圧縮強度(q_{ul})の比

50

① 現地条件の再現性

【適性な改良対象土の採取】

腐植土・高有機質土・火山灰質粘土・高含水比泥土などは一般的に強度が発現しにくい。

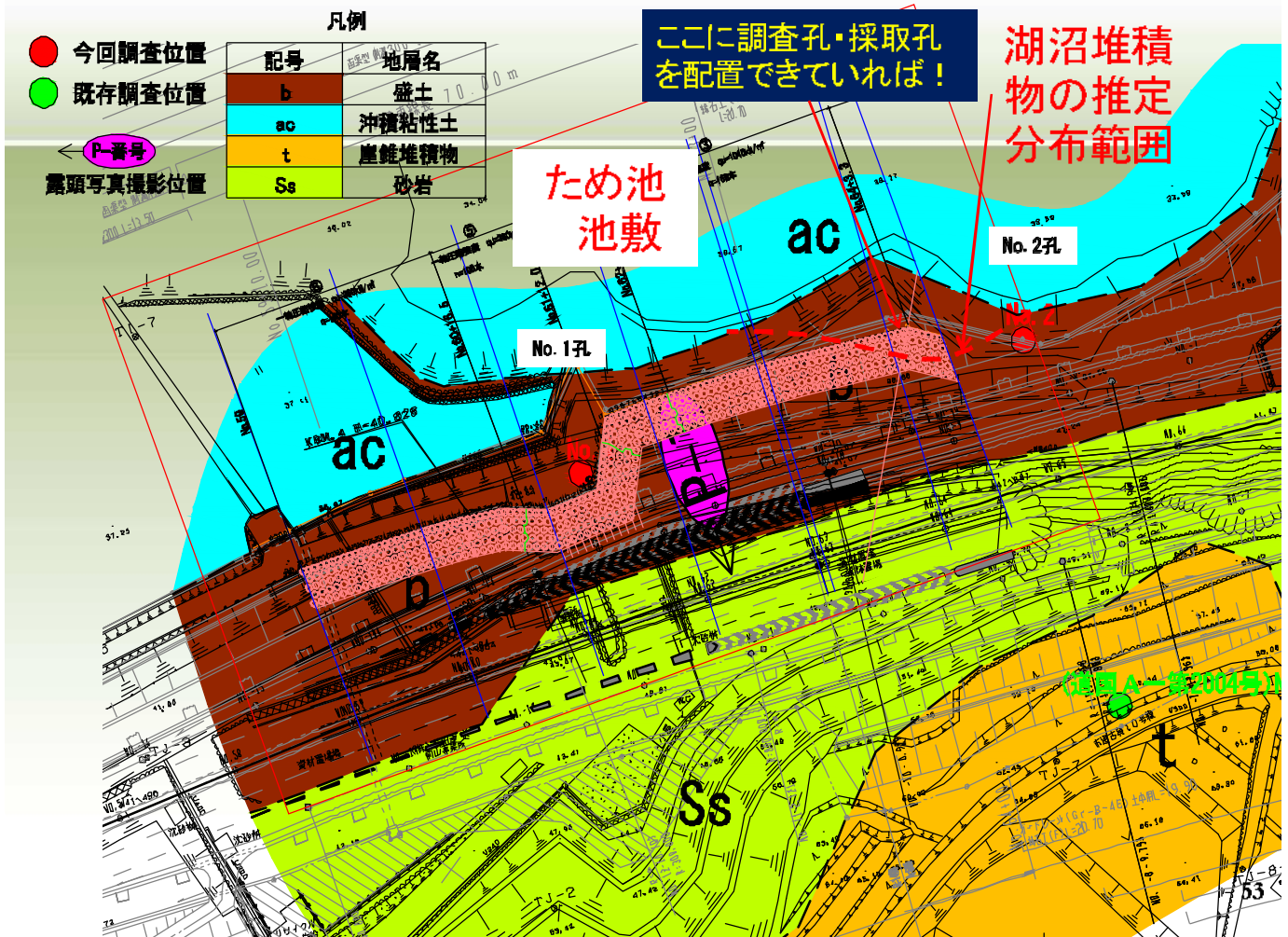
旧河床部、池敷堆積物などが盛土などに隠れていないかを**地質調査データ・航空写真・現地踏査**などで十分に把握してから、採取位置を決定する。複数箇所を採取し、採用試料を決定するもよし。

【試験時の混練り水について】

スラリー攪拌系改良の場合は、混練り水のpH値により強度発現が異なることから、水道水以外を使用する場合には、**実際に取水する混練り水**を配合試験時にも用いる。

配合試験に関連する改良強度不足事例





- 旧ため池の池敷内に盛土がなされており、湖沼堆積物が目視できなかった。
- 調査ボーリングにおいて腐植土を確認できなかった。
- 改良範囲に調査ボーリングが実施されていなかった。
- 室内配合試験試料採取時においても腐植土の分布を予測できなかった。
- 腐植土や有機質土はフミン酸やフルボ酸などを含み水和硬化反応に有害なものが多い。



旧地形を推測して、資料採取位置を決定すべきであった。

② 六価クロム溶出試験

【事前試験】

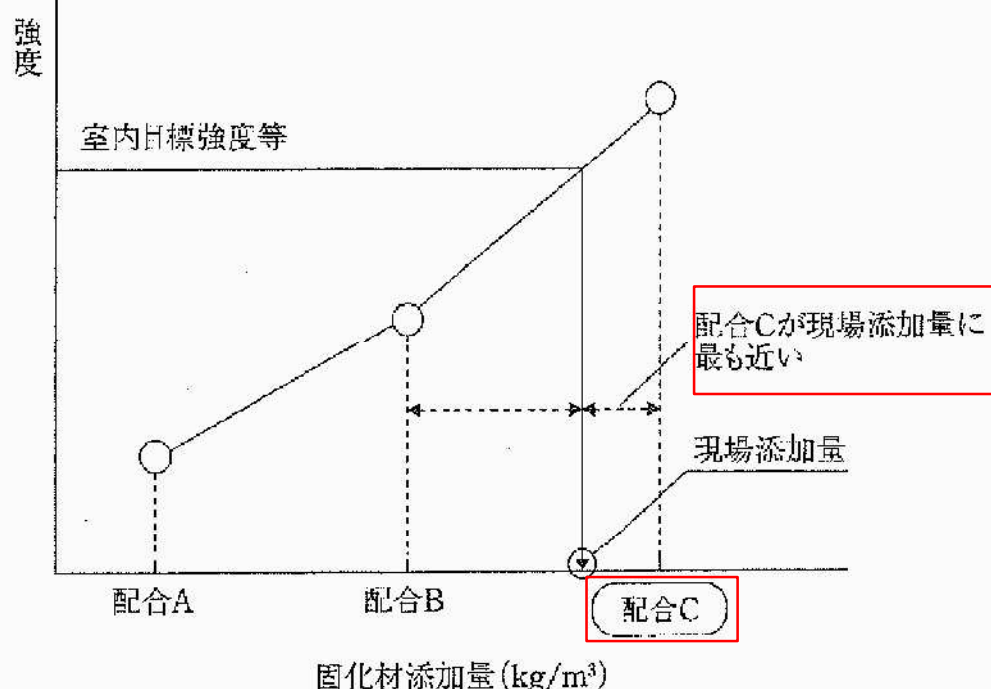
室内配合試験で材令7日における一軸圧縮試験を実施後、推定添加量を算出し、その添加量に最も近い供試体を用いて実施する。

【事後試験】

火山灰質粘性土を除いては、事前試験の溶出量が土壤環境基準(0.05mg/L)を超えなかった場合は、実施しなくても良い。

深層混合処理工法の場合、改良土量が5,000m³程度以上または改良本数が500本以上の工事の場合、事後試験で溶出量が最も多かった箇所についてタンクリーチング試験を実施する。

55



六価クロム溶出試験用の供試体選定イメージ

56

③ 設計基準強度(q_{uck})と室内配合試験時の一軸圧縮強度(q_{ul})の比

【表層安定処理工法】

現場/室内比を概ね2倍程度としているケースが多い。

【中層混合処理工法】

現場/室内比を概ね2～3倍程度としているケースが多い。

【深層混合処理工法】

現場/室内比を概ね3倍程度以上としているケースが多い。

近隣の施工実績、土質、改良深度、改良体形状、工法、目標強度の大小、確認試験の頻度などを総合的に判断して決定する必要がある。

57

4. 施工管理について

表層安定処理工の出来形管理規準

2-5 [本表]出来形管理基準及び規格値

単位：mm

節	条	枝番	工 種	測 定 項 目	規 格 値	規 定 基 準	測 定 箇 所	摘 要
7	2		路床安定処理工	基準高▽	±50	延長40m毎に1ヶ所の割で測定。 基準高は、道路中心線及び端部で測定。 厚さは中心線及び端部で測定。 「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」による管理の場合は、全体改良範囲図を用いて、施工厚さ t 、天端幅 w 、天端延長 L を確認(実測は不要)。		3-2-7-2
				施工厚さ t	-50			
				幅 w	-100			
				延長 L	-200			

固化材使用量管理事例(表層安定処理工)



区割



配置・散布



散布



使用量確認

59

施工状況管理事例(表層安定処理工)



区割り

粉体攪拌の場合、固化材量(フレコンサイズ)に合わせた区割り面積にするケースが多い



掘削



固化材
散布
状況



攪拌
混合



転圧
状況

60

中層混合処理工法の出来形管理規準 固結工 中層混合処理工法

基準高▽	設計値以上	1,000m ³ ~4,000m ³ につき1ヶ所、または施工延長40m（測点間隔25mの場合は50m）につき1ヶ所。		3-2-7-9
施工厚さt	設計値以上	1,000m ³ 以下、又は施工延長40m（50m）以下のものは1施工箇所につき2ヶ所。		
幅w	設計値以上	施工厚さは施工時の改良深度確認を出来形とする。		
延長L	設計値以上	「3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）」による管理の場合は、全体改良範囲図を用いて、施工厚さt、幅w、延長Lを確認（実測は不要）。		

R4.3 国土交通省土木工事施工管理基準及び規格値(案) 抜粋

61

キャリブレーション状況事例(中層混合処理工法)



62

施工状況管理事例(中層混合処理工法)



区割り



区割り

スラリー系中層混合の場合、固化材荷姿を考慮する必要がないため、各工法の攪拌翼形状や改良範囲形状および硬化時間等を基に区割りする。



流量確認



流量確認

63

施工状況管理事例(中層混合処理工法)



深度確認



深度確認



回転数確認



回転数確認

64

施工状況管理事例(中層混合処理工法)

施工
状況



施工状況
プラント



日常管理
比重測定



品質管理
供試体作成



65

出来形確認事例(中層混合処理工法)

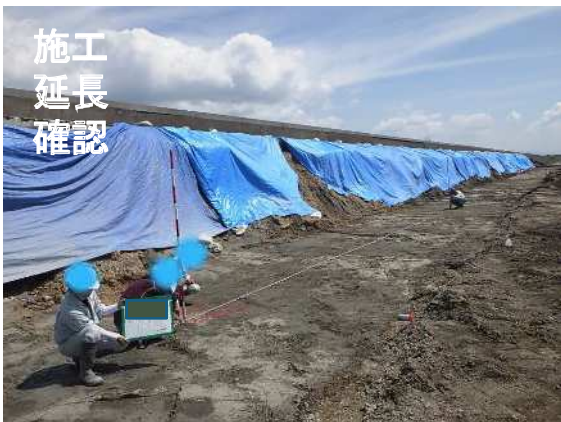
基準高
確認



施工幅
確認



施工
延長
確認



施工
延長
確認



66

深層混合処理工の出来形管理規準

固結工 スラリー攪拌工

単位：mm

測定項目	規格値	測定基準	測定箇所	摘要
基準高▽	-50	100本に1ヶ所。 100本以下は2ヶ所測定。 1ヶ所に4本測定。		3-2-7-9
位置・間隔w	D/4以内			
杭径D	設計値以上			
深度L	設計値以上	全本数 $L = \ell_1 - \ell_2$ ℓ_1 は改良体先端深度 ℓ_2 は改良体天端深度		

R4.3 国土交通省土木工事施工管理基準及び規格値(案) 抜粋

67

段階確認実施要領例

※「必須」は現場又は机上のいずれかにより必ず確認するもの(◎は係長以上の確認を原則とする)、「任意」は確認しない場合を可とするもの。

工種	細別	確認時期	確認項目	必須	任意
準備工	丁張(土工、構築物等)	設置完了時	位置、方向、BM高さ	○	
	伐採工	伐採完了時	本数、範囲	○	
	根柢破碎工	完了時	数量、状況		△
指定仮設工		施工完了時	使用材料の規格、延長、高さ、幅、長さ、深さ、間隔	◎	
道路土工	掘削工	土(岩)質の変化時	土(岩)質、変化位置		△
	路床盛土工	盛土完了時	ブルドーザ	○	
改良工(路床等)	路床安定処理工	施工完了時	施工幅、施工厚、ブルドーザ	○	
	路床置換工	施工完了時	施工幅、施工厚、ブルドーザ	○	
舗装工	下層路盤工	施工完了時	施工幅、施工厚、ブルドーザ		△

改良工(路床等)	路床安定処理工	施工完了時	施工幅、施工厚、ブルドーザ	○	
	路床置換工	施工完了時	施工幅、施工厚、ブルドーザ	○	

工種	細別	確認時期	確認項目	確認
浚渫工・床留工		土(岩)質の変化時	土(岩)質、変化位置	
地盤改良工	灰堀・置換・敷砂・載荷工	完了時	使用材料・設計図書との対比	
	サンドドレーン ペーパードレーン サンドコンパクションバイ ル ロードコンパクション 深層混合処理	施工完了時	使用材料の規格・打込長・基準高・ 施工位置	○

R3.4 福岡県農林水産部 段階確認実施要領抜粋

68

品質管理基準例

地盤改良工	固結工	土の一軸圧縮試験	<p>深層混合・中層混合の場合、改良体500本未満については3本、500本以上については、250本増える毎に1本を追加した供試体の試験（$\sigma 28$強度）。1本の改良体について、上、中、下それぞれ1回、計3回とする。</p> <p>浅層混合改良の場合、1000m³未満は1工事に1回、1000m³以上、5000m³未満は1工事に3回、5000m³以上は1000m³毎に1回とする。（$\sigma 28$強度）</p>	試験1回当たりの供試体は3本とする
-------	-----	----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

中層混合処理を全面改良で実施の場合は下記

採取した試料のフェノールフタレイン反応試験による均質性の目視確認	1000m ³ ~4000m ³ につき1回の割合で行う。試料採取器またはボーリングコアで採取された改良体上、中、下において連続されて改良されていることをフェノールフタレイン反応試験により均質性を目視確認する。現場の条件、規模等により上記によりがたい場合は監督員の指示による。	<p>1. 実施頻度は、監督員との協議による。</p> <p>2. ボーリング等により供試体を採取する。</p>	
<p>①各供試体の試験結果は改良地盤設計強度の85%以上。</p> <p>②1回の試験結果は改良地盤設計強度以上。なお、1回の試験とは3個の供試体の試験値の平均値で表したものの</p>	1000m ³ ~4000m ³ につき1回の割合で行う。試料は改良体について上、中、下それぞれ1供試体で1回とする。現場の条件、規模等により上記によりがたい場合は監督員の指示による。	実施頻度は、監督員との協議による。	

R4.10 福岡県県土整備部 土木工事施工管理の手引き抜粋

69

3次元計測技術を用いた出来形管理事例 (ICT施工)

従来の施工管理項目に加えてGNSS受信機の計測データを一元管理可能となった。



GNSS装着状況(左:基地局,右:受信機)

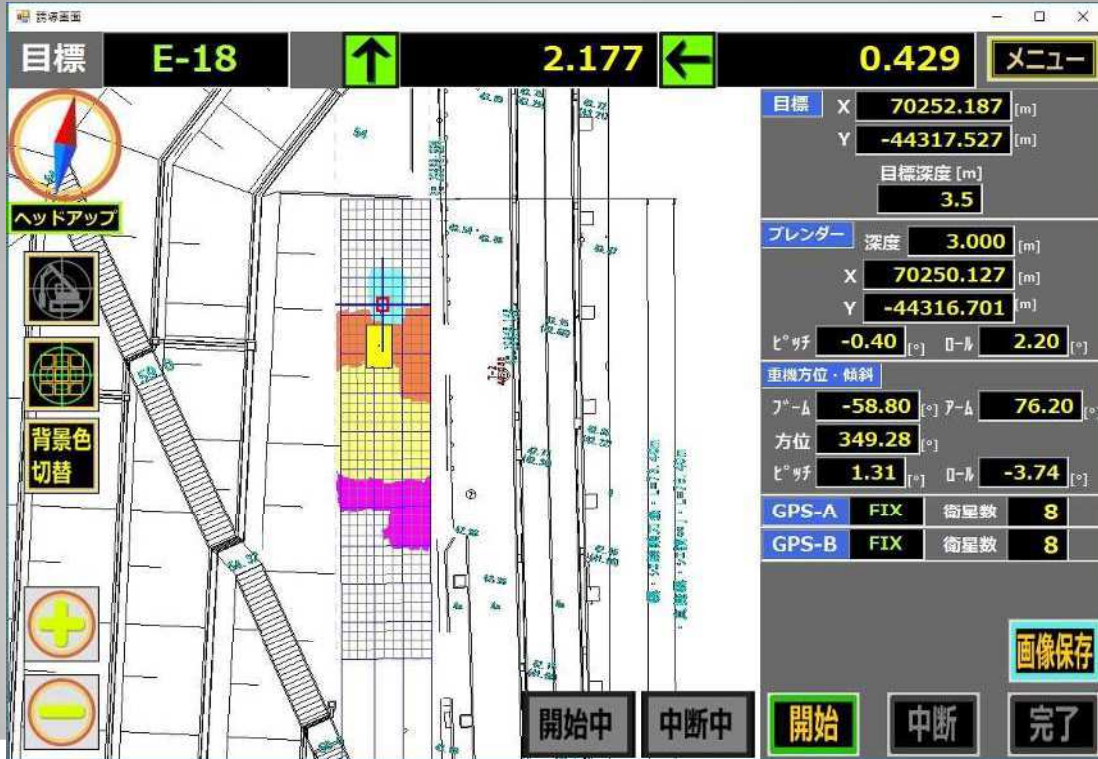
管理装置操作状況

写真: WILL-i工法の事例

(ICT対応型スラリー揺動攪拌工、NETIS:QS-210018-A)

70

ICT対応管理装置の表示画面例



71

ICT対応管理装置の表示画面例

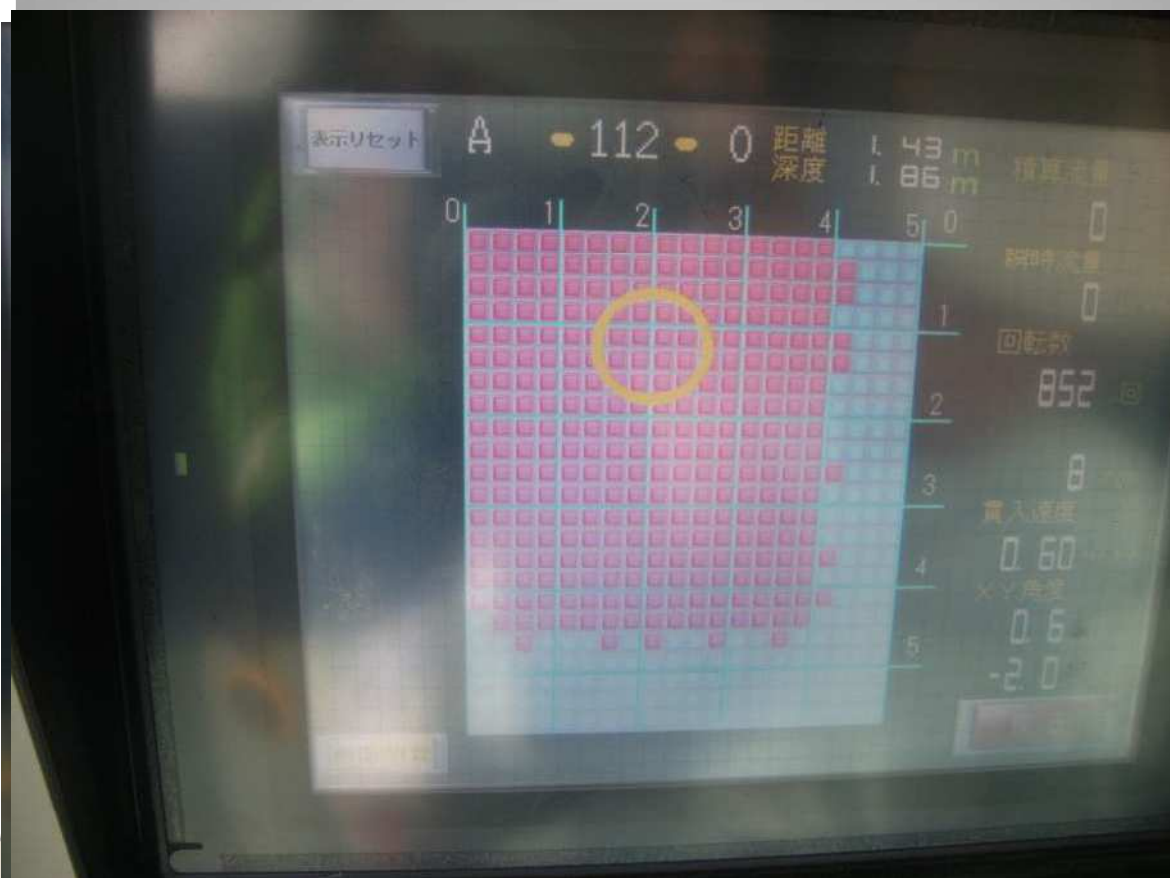


72

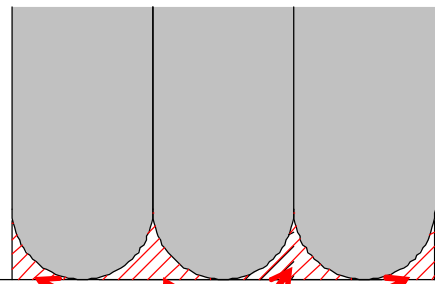


管理装置表示例

立会試験状況 5 : ナビゲーションの確認



改良体底部の確認事例

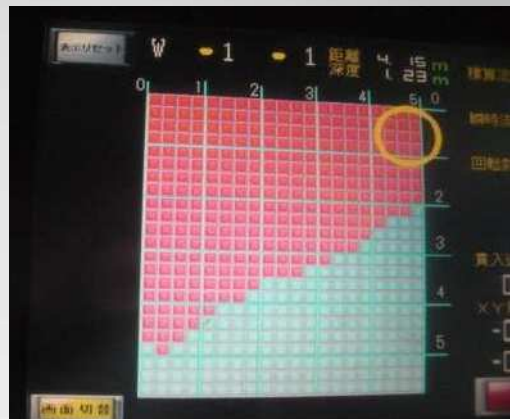
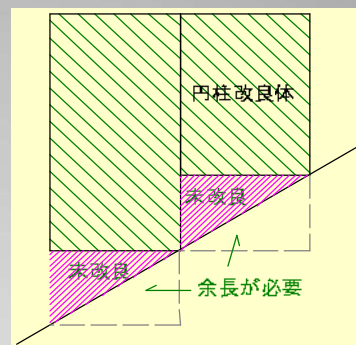
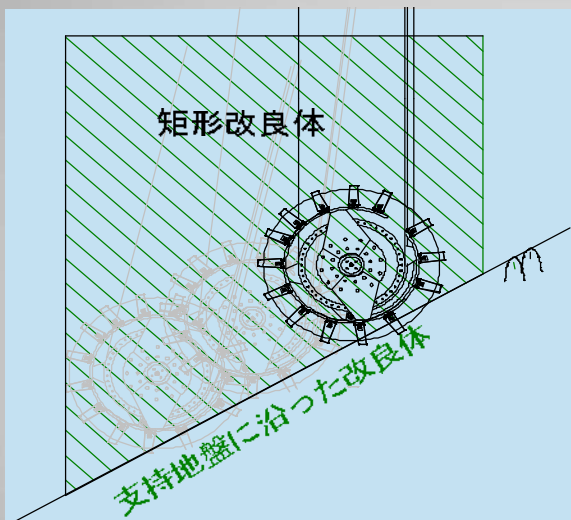


ココをなくす



支持層への着底管理事例

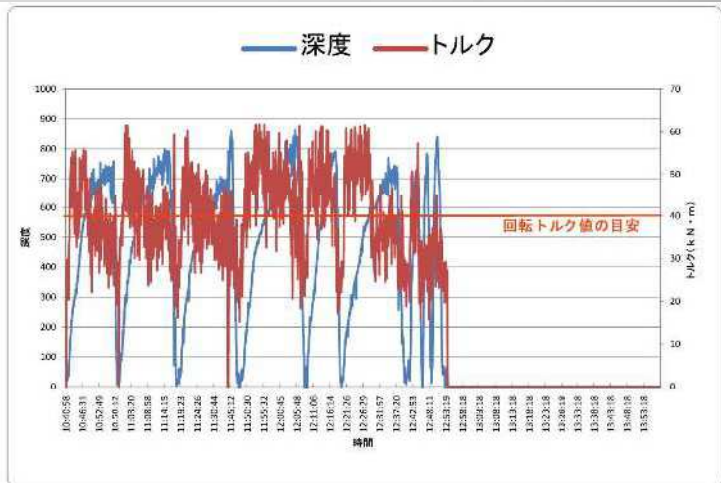
高い掘削能力・頑強な攪拌翼・縦回転で
傾斜支持地盤に沿った形で良質な改良体
を造成します



着底管理の事例



貫入速度・瞬時回転数・回転トルク値が表示されるため、施工初期段階に貫入状況確認試験を実施し、地質調査データと照合することが重要です

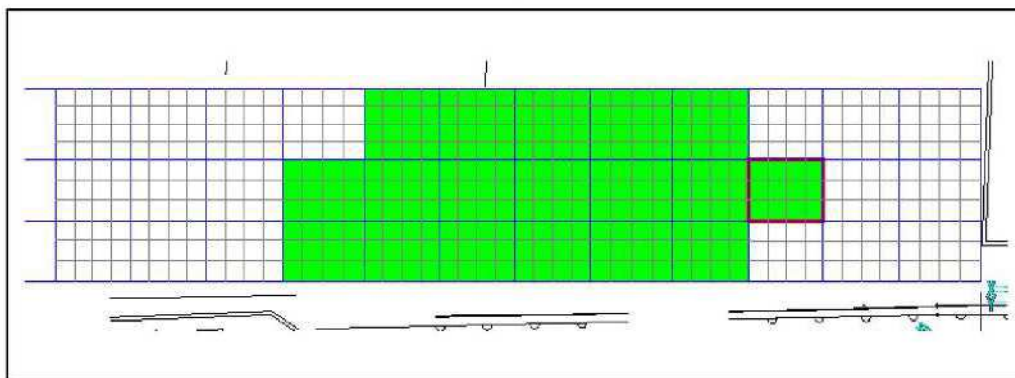


回転トルク値と貫入深度のチャート事例

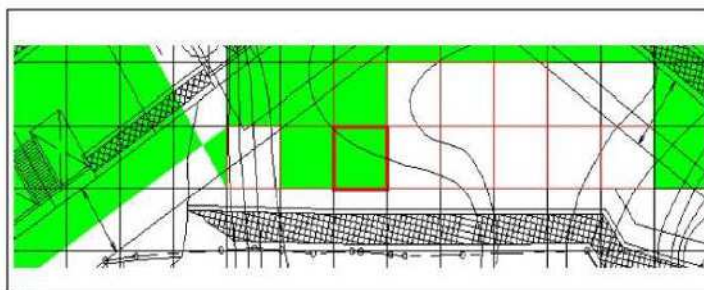
77

ICT対応管理装置の出力帳票事例

工事件名	座標							改良長	施工日			
孔番								積算流量	2018/10/24			
E-18	X1	70252.722	X2	70253.286	X3	70249.358	X4	70248.793	GL	0.00	積算回転数	1545
	Y1	-44318.19	Y2	-44315.244	Y3	-44314.49	Y4	-44317.437	~	3.00	積算流量	8114



施工図

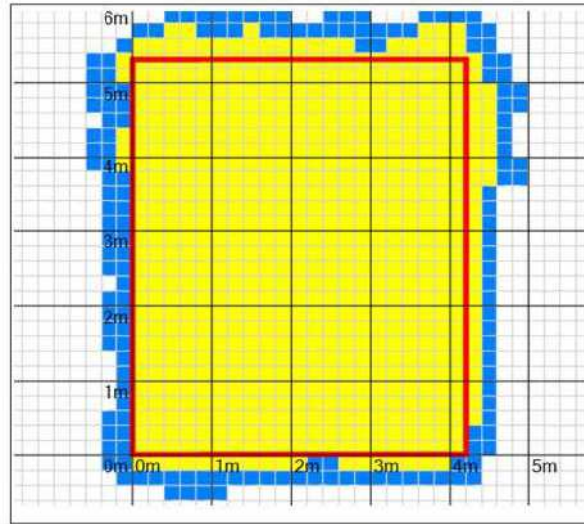


■ 施工済み
■ 施工対象

78

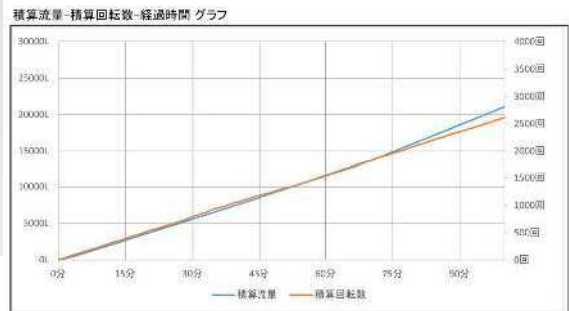
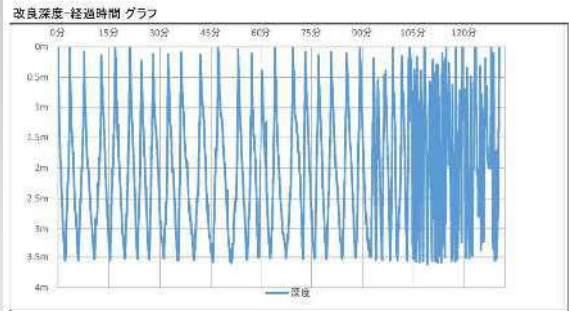
ICT対応管理装置の出力帳票事例

施工管理図						
工事件名	○▲□工事					
受注会社名	株式会社○○○					
工期	自 2019年1月1日	至 2020年2月10日	ICT地盤改良機械名	WILL工法		
施工箇所(区画割)	30-A					
施行日	2020年01月14日	施工開始時刻	14:28:00	施工終了時刻	16:40:00	
区画割サイズ	幅(m)	4.0	奥行き(m)	5.0	深さ(m)	3.0
改良土量(m ³)	60		改良厚(設計値)(m)	3		
攪拌装置寸法	幅(m)	1.1	攪拌羽根径(m)	0.7		
攪拌時間(分)	131	注入量(L)	56936	回転数(回)	6656	



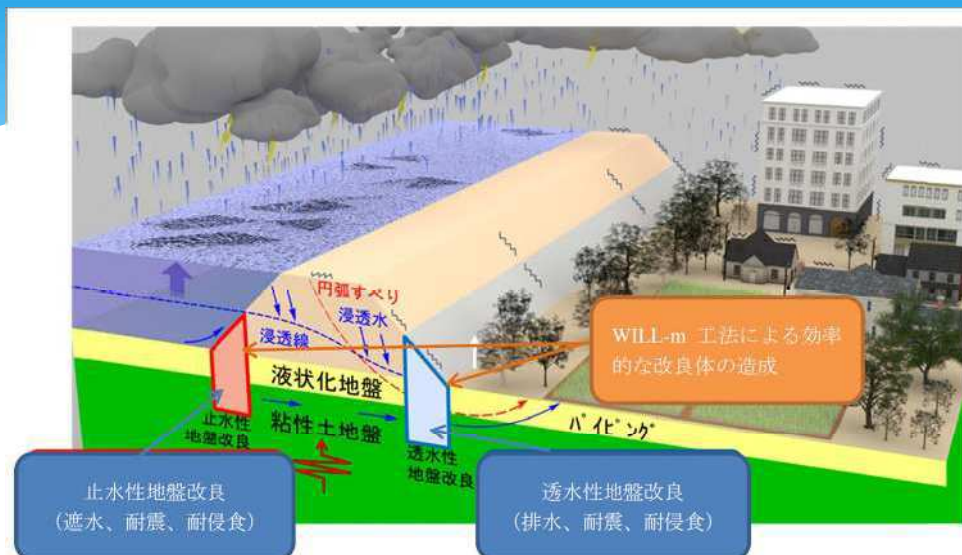
■ : 改良済み ■ : 改良中

施工データグラフ					
工事件名	○▲□工事				
受注会社名	株式会社○○○				
工期	自 2019年1月1日	至 2020年2月10日	ICT地盤改良機械名	WILL工法	
施工箇所(区画割)	30-A				
施行日	2020年01月14日	施工開始時刻	14:28:00	施工終了時刻	16:40:00
攪拌時間(分)	131	注入量(L)	28466	回転数(回)	3428



79

6.おわりに



止水性 地盤改良
(遮水、耐震、耐侵食)

透水性 地盤改良
(排水、耐震、耐侵食)

CASE3 (対策4.0m)



弊社では止水性改良と透水性改良を組み合わせた耐震対策を産官学共同研究中です

ご清聴ありがとうございました