

第 1 回 浦安市市街地液状化対策事業施工技術検討調査委員会

舞浜三丁目旧河道地盤改良検討書

平成 29 年 7 月 10 日

目 次

第1章 試験施工	1
1.1 施工機械概要	
1.2 高圧噴射攪拌工の試験施工概要	
1.3 地質調査概要	
1.4 試験施工その1	
1.5 試験施工その2	
1.6 試験施工その3	
第2章 埋設物調査・品質確認調査	11
2.1 改良体掘り出し及び埋設物調査結果	
2.2 コアボーリング調査概要	
2.3 ボーリング調査結果	
2.4 改良品質への影響要因	
第3章 施工法の検討	26
3.1 高圧噴射攪拌工の施工法改善	
3.2 品質確保に係わる施工管理	

第 4 章 再試験施工計画	31
----------------------------	-----------

4.1 再試験施工概要

4.2 工程計画

第1章 試験施工

1.1 施工機械概要

舞浜三丁目地区市街地液状化対策工事に用いる工法は以下の通りである。

①道路部：機械攪拌工法、高圧噴射攪拌工法、小型高圧噴射攪拌工法

②宅地部：小型および超小型高圧噴射攪拌工法

地盤改良対象範囲は宅地前面の道路部と、住宅のある宅地部に分かれる。道路部は、幅員が6mと比較的余裕のある施工スペースが確保可能なため、施工実績が豊富でかつコスト的に有利な機械攪拌工法によって計画する。一方、宅地部においては隣棟間隔が2mと狭く、境界部の塀や植栽などの障害物も多いことから、設置の際に必要となる用地幅が狭い、小型高圧噴射攪拌工法（効率性重視）および超小型高圧噴射攪拌工法（設置性重視）を採用することとしている。現在、その1工事において機械攪拌工法は終了しており、高圧噴射攪拌工においては試験施工まで行ったが、ドレーン材及び想定外の高粘性土の存在による施工課題解消のために再試験施工を行う予定である。

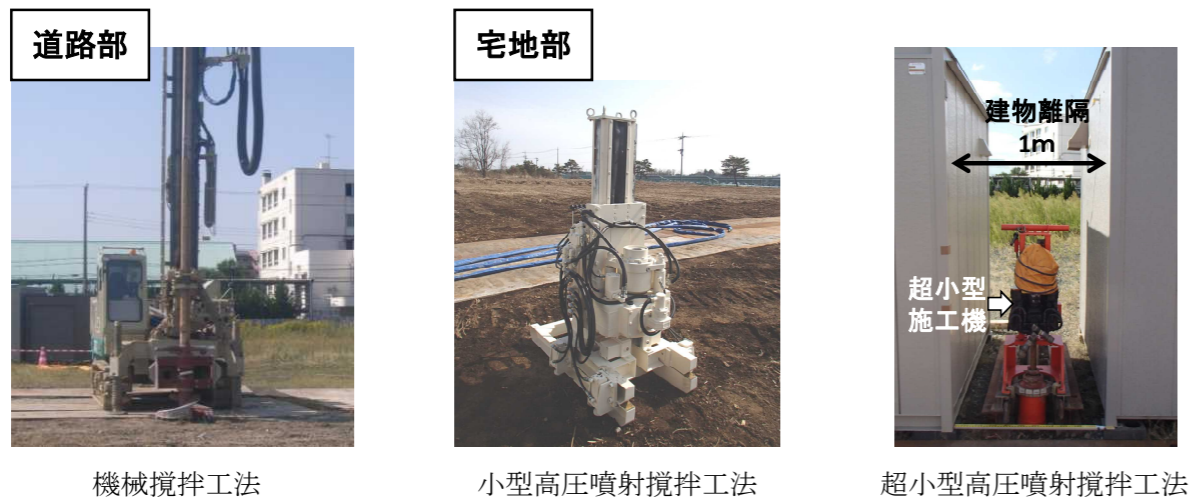


写真 1-1 施工機械の外観 (例)



写真 1-2 各工法による地盤改良体外観 (例)

高圧噴射攪拌工法の標準的な施工手順を図 1-1 に示す。

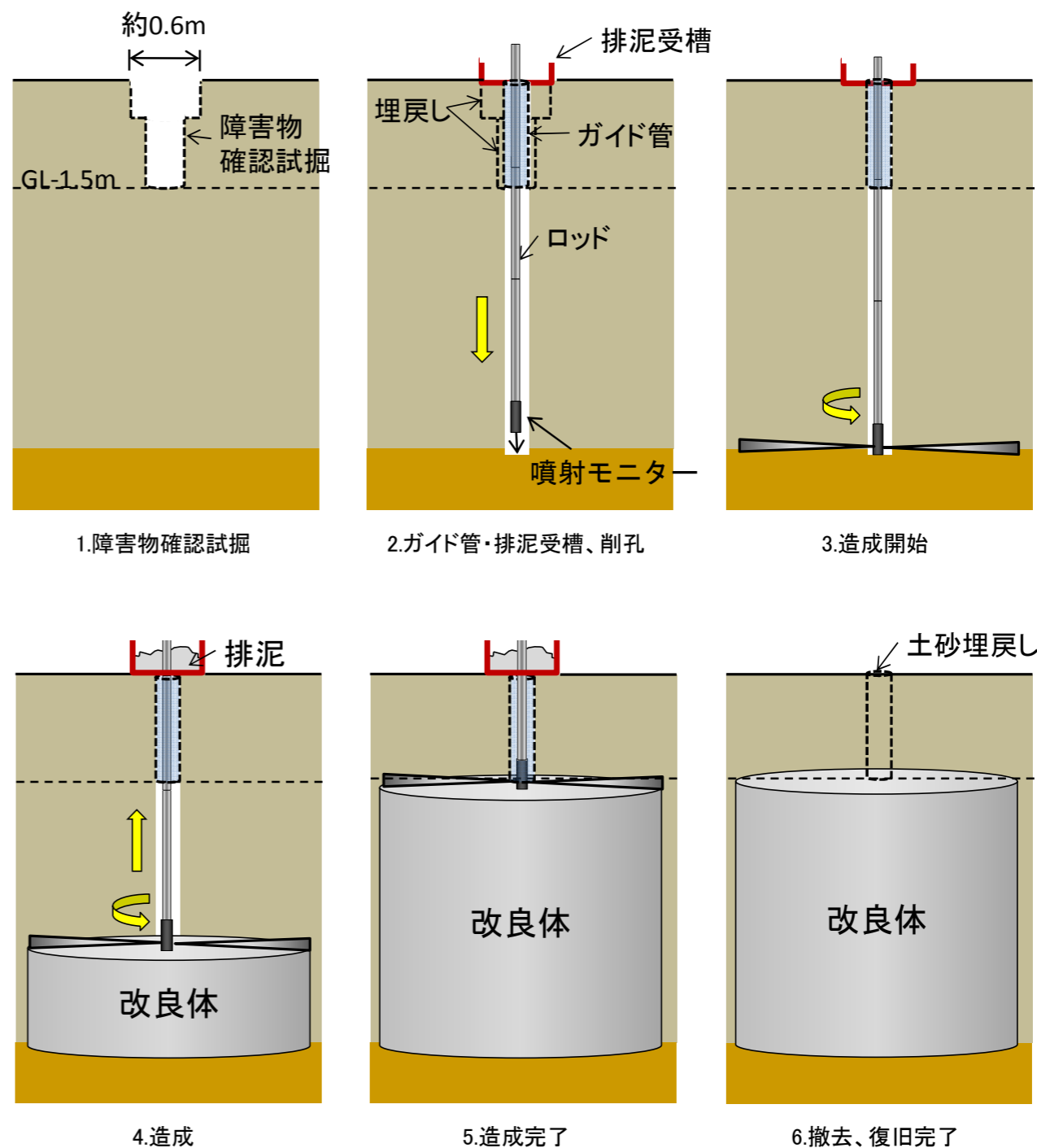


図 1-1 高圧噴射攪拌工法の施工手順

1.2 高圧噴射攪拌工の試験施工概要

本施工に先立ち、高圧噴射攪拌工に関する試験施工は3回（Miny マルチ工法2回、エコタイト工法1回）行われた。試験施工箇所位置図を図1-2に、高圧噴射攪拌工法の試験施工は、本杭の1本目とし、舞浜三丁目自治会集会所駐車場において行った。追加試験施工は、本施工近傍のマイアミクラブ駐車場で行った。試験施工では、円形φ1.5m、楕円形3.6m×1.2mの改良体を造成した。試験施工の概要を表1-1に示す。

施工場所：舞浜三丁目18・20・21・23番地先

- 1) その1 試験施工場所：自治会集会所（Miny マルチ工法用）
- 2) その2 試験施工場所：マイアミクラブ駐車場（Miny マルチ工法用）
- 3) その3 試験施工場所：マイアミクラブ駐車場（エコタイト工法用）

試験施工日：平成29年1月16日（その1）

平成29年1月31日、2月1日、2月2日（その2）

平成29年2月16日、2月17日（その3）

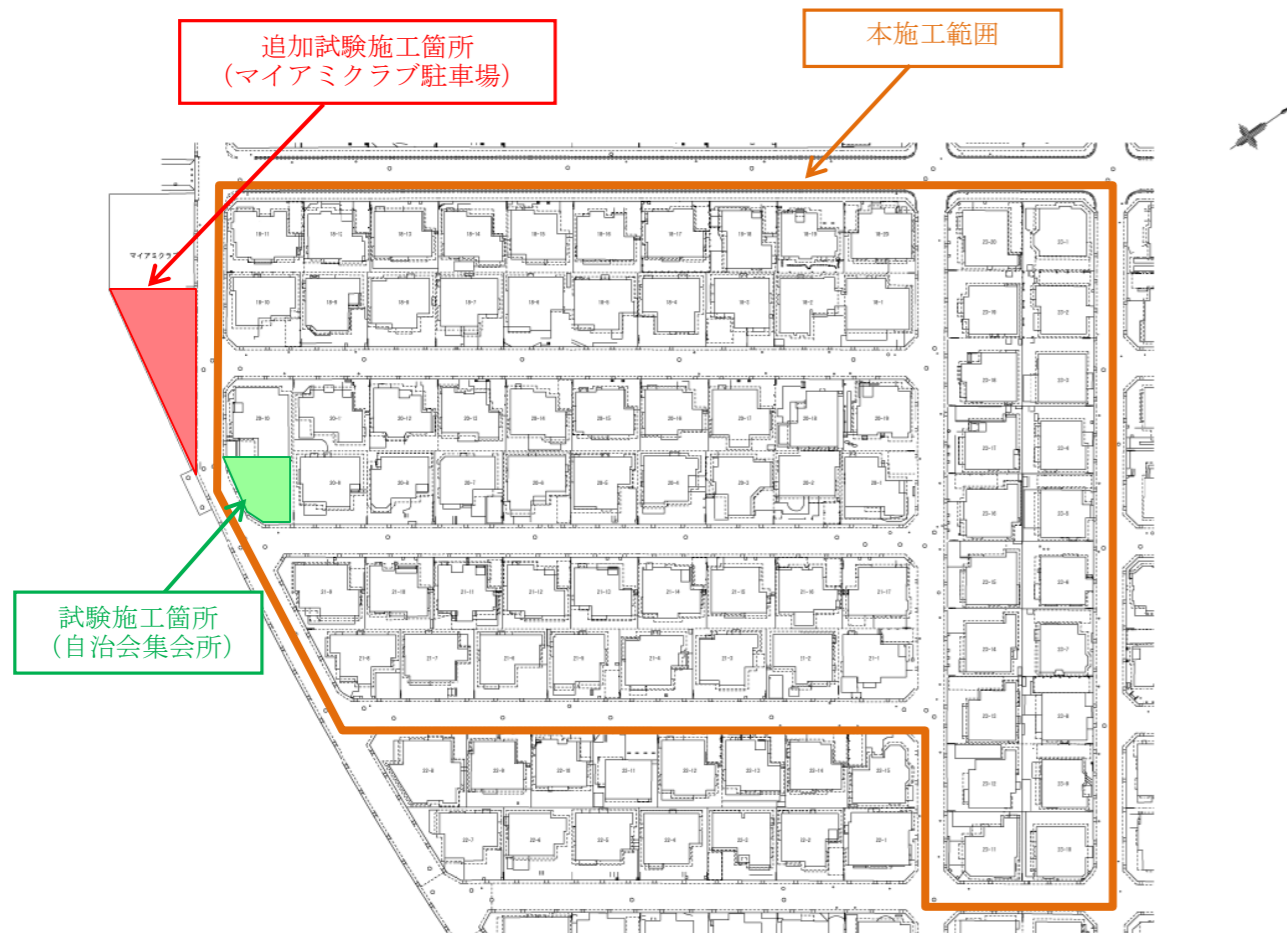


図1-2 試験施工箇所位置図

表1-1 試験施工の概要

工法	試験施工 No.	施工箇所	施工日	形状	施工中に確認された異物	備考 (施工手順、確認事象等)
Miny マルチ	その1	自治会集会所	1/16	円	固結層	通常の手順 ^{※1} (排泥の排出不良確認)
			1/16	楕円	固結層	
	その2	マイアミクラブ	1/31	円	未確認	通常の手順 ^{※1} +事前削孔 +プレジェット ^{※2}
			1/31		未確認	
			2/1	楕円	ドレーン材	
			2/2		排泥に繊維が混入	
エコタイト	その3	マイアミクラブ	2/16	円	ドレーン材	通常の手順 ^{※1} +事前削孔 +プレジェット ^{※2} +添加剤
			2/17	楕円	排泥に繊維が混入	

※1：通常の手順において、排泥の排出不良確認を行う。

※2：造成前にあらかじめ地山を排土する方法で、排泥が高粘性で排出が困難な場合は、清水でジェットを行う。

1.3 地質調査概要

本工事の敷地内では、既存調査として、「市街地液状化対策事業に伴う地質調査」が実施されている。このうち、試験施工箇所に近いボーリングは、ボーリング調査地点 (MH3-35c) である。

「市街地液状化対策事業に伴う地質調査」のボーリング調査結果によれば、地表面から深度 0.45~1.8m 程度まで Bs 層 (盛土層)、深度 11~14m 付近まで Fs 層、Fc 層、Fcm 層 (浚渫土砂による埋土層) が分布し、その下位には、沖積層の上部砂質土 (As2、Asc 層) が深度 16m~17m 付近までほぼ水平に堆積している。土質試験結果や液状化被害再現性の検討等に基づき分析を行った結果、Fs 層は液状化層であると判断されている。試験施工の範囲は、非液状化層 (粘性土層) である Fc 層が表層近くまで分布しており、その下に薄い Fs 層、さらにその下に Fcm 層が分布していると推定されていた。

発注機関：浦安市

調査機関：応用地質株式会社

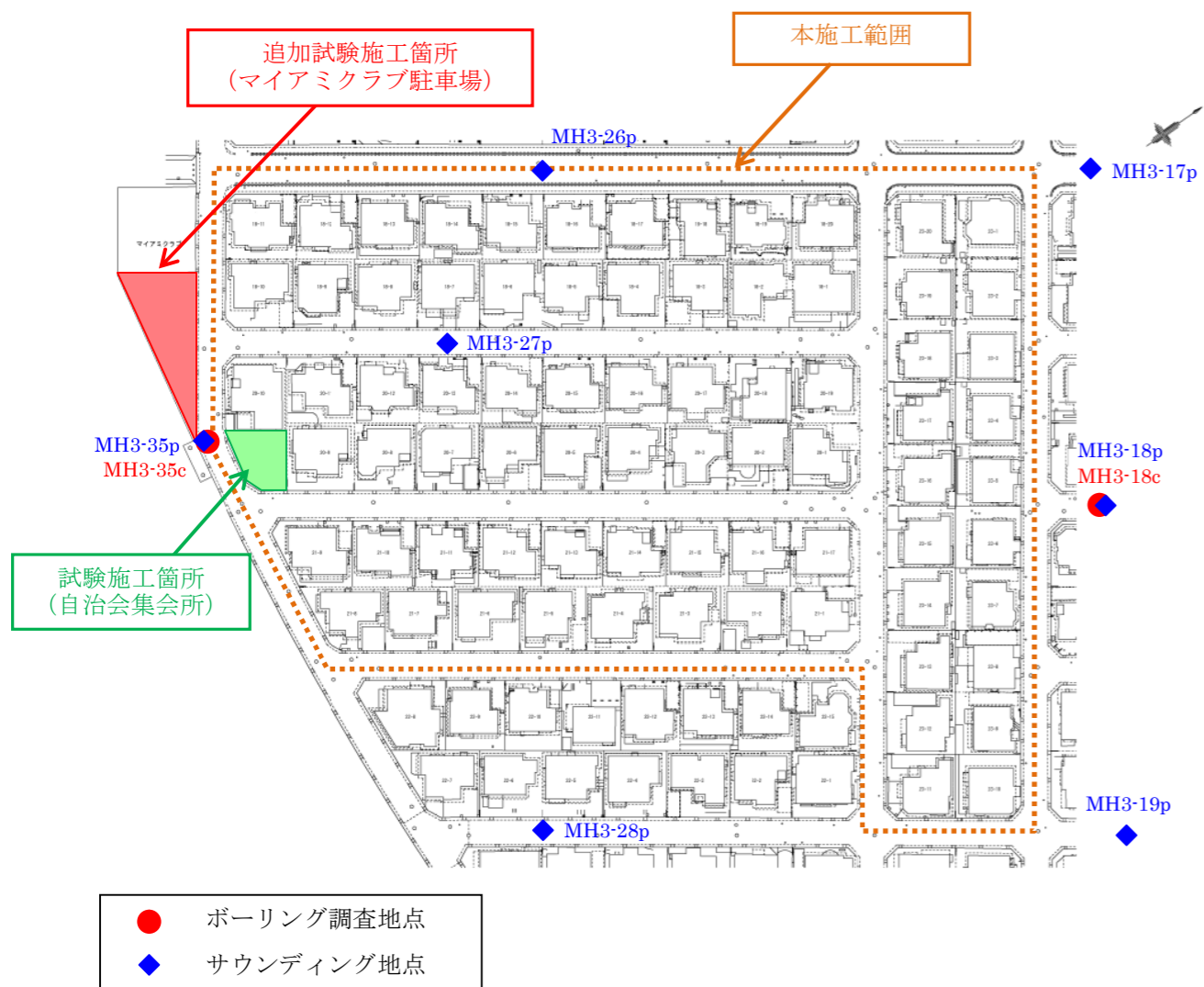


図 1-3 地質調査地点位置図

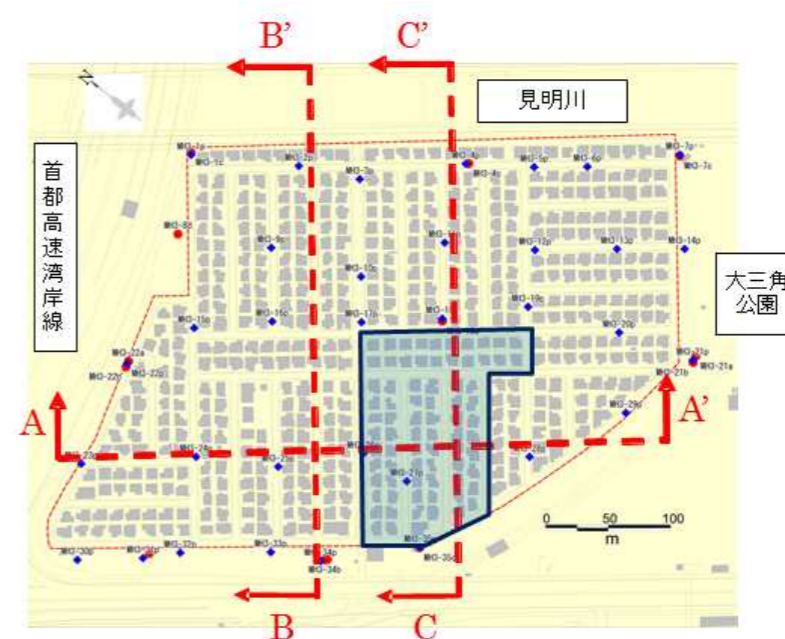


図 1-4 地質断面位置図

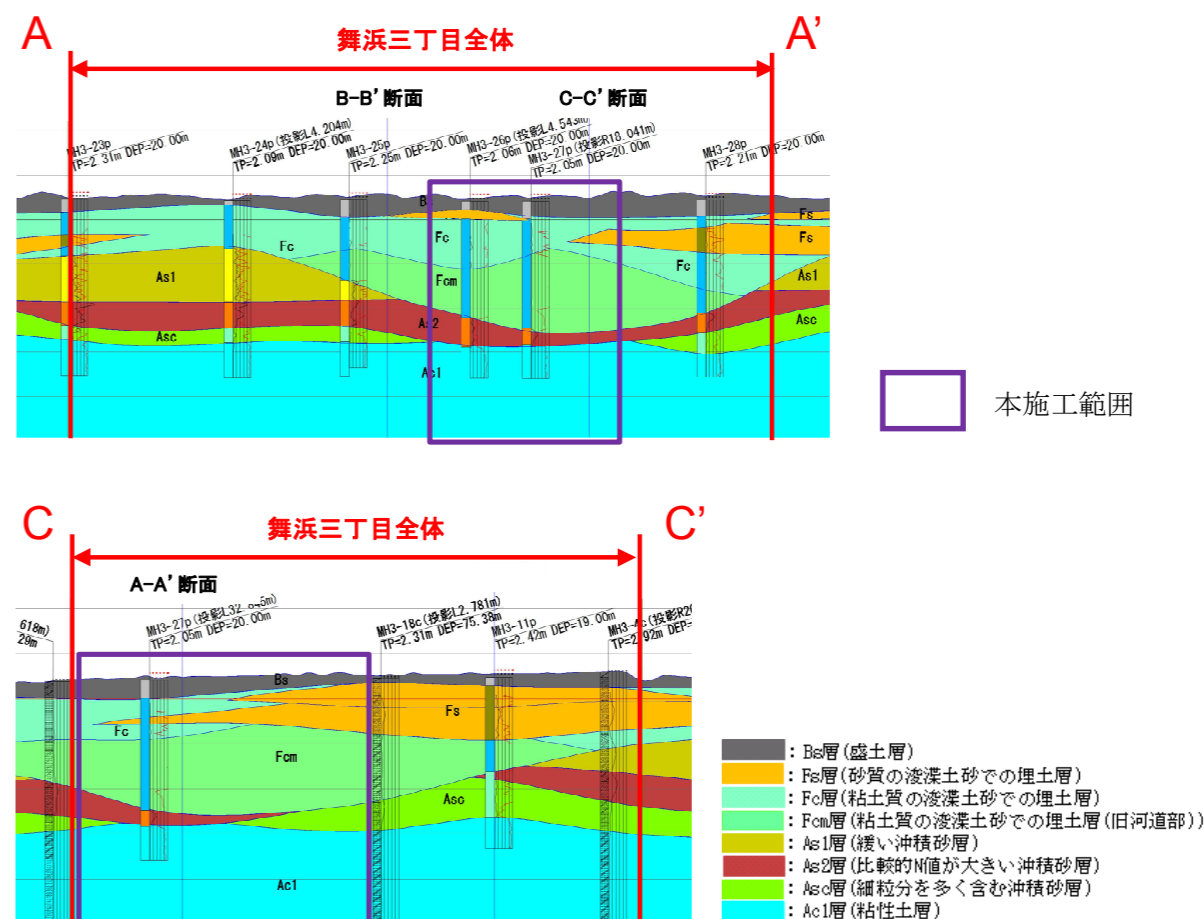


図 1-5 地質断面図

ボーリング柱状図

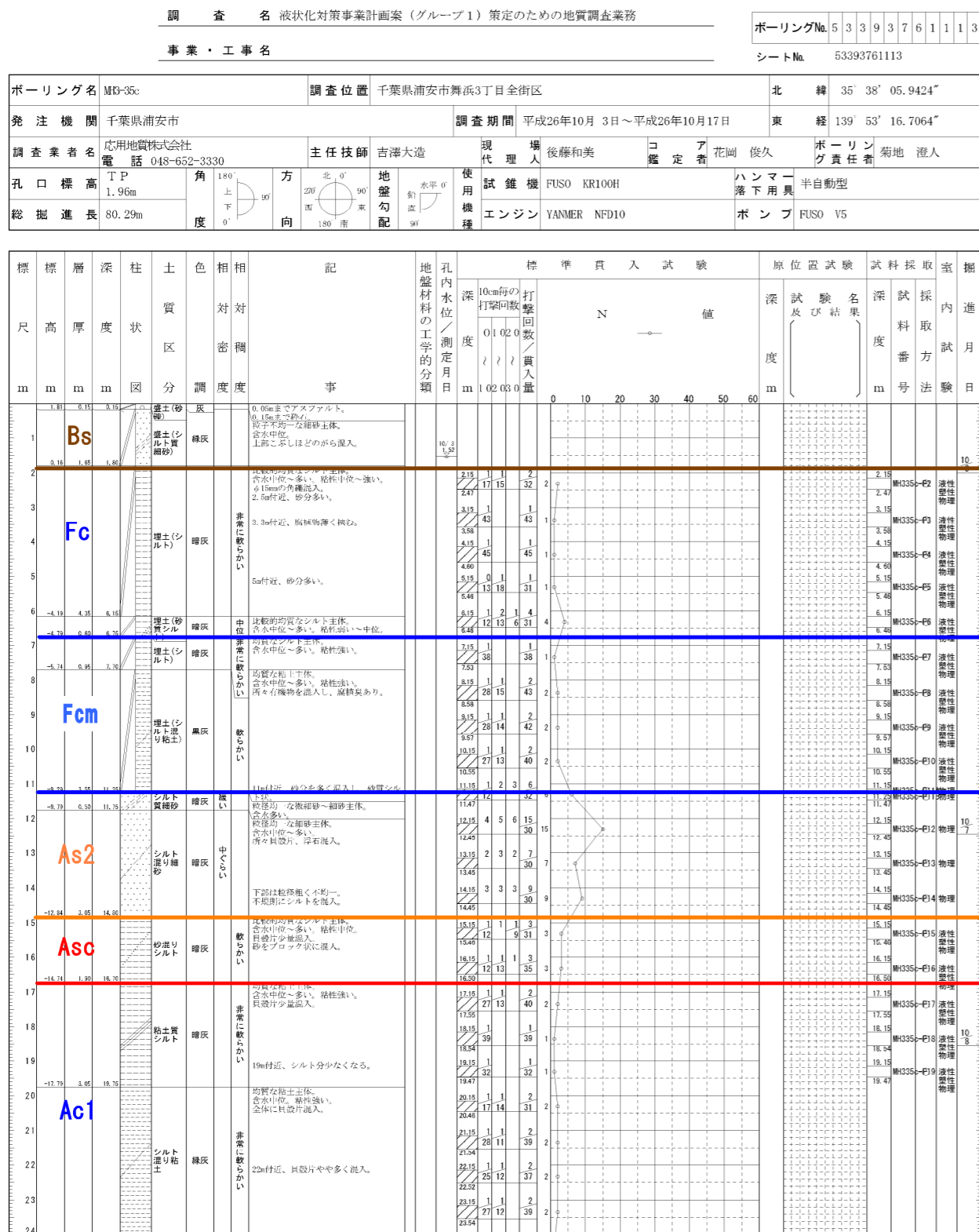


図 1-6 試験施工箇所近傍の柱状図 (MH3-35c)

土質試験結果一覧表 (基礎地盤)

調査件名 液状化対策事業計画案(グループ1) 策定のための地質調査業務

整理年月日 2014年12月5日

整理担当者 川原 孝洋

試料番号 (深さ)	MH35c-P2 (2.15~2.47m)	MH35c-P3 (3.15~3.58m)	MH35c-P4 (4.15~4.60m)	MH35c-P5 (5.15~5.46m)	MH35c-P6 (6.15~6.46m)	MH35c-P7 (7.15~7.53m)
湿潤密度 ρ_w g/cm ³						
乾燥密度 ρ_s g/cm ³						
土粒子の密度 ρ_p g/cm ³	2.676	2.680	2.691	2.693	2.688	2.679
自然含水比 w_n %	52.9	59.2	49.6	53.2	34.5	65.9
空隙比 e						
飽和度 S_r %						
石分 (75mm以上) %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
礫分 ¹⁾ (2~75mm) %	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %	13.5	6.5	18.9	10.3	35.1	3.5
シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %	31.9	52.9	41.5	45.4	45.6	36.0
粘土分 ¹⁾ (0.005未満) %	54.4	40.6	39.6	44.3	19.3	60.5
最大粒径 mm	4.75	0.425	0.850	0.425	0.850	0.250
均等係数 U_c	---	---	---	---	---	---
20% 粒径 D_{20} mm	---	---	---	---	0.00569	---
液性限界 w_L %	62.6	60.4	49.2	58.5	41.5	73.4
塑性限界 w_p %	29.6	28.4	27.2	28.4	25.6	32.6
塑性指数 I_p	33.0	32.0	22.0	30.1	15.9	40.8
地盤材料の分類名	砂まじり粘土(高液性限界)	砂まじり粘土(高液性限界)	砂質粘土(低液性限界)	砂まじり粘土(高液性限界)	砂質粘土(低液性限界)	粘土(高液性限界)
分類記号	(CH-S)	(CH-S)	(CLS)	(CH-S)	(CLS)	(CH)
試験方法						
圧縮指数 C_c						
圧密降伏応力 p_c kN/m ²						
一軸圧縮強さ q_u kN/m ²						
せん断有効応力 c' kN/m ²						
摩擦角 ϕ' °						

特記事項 1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

図 1-7(a) 試験施工箇所近傍の土質試験結果 (MH3-35c)

土質試験結果一覧表 (基礎地盤)						
調査件名		液状化対策事業計画案 (グループ1) 策定のための地質調査業務			整理年月日	2014年12月5日
		整理担当者			川原 孝洋	
試料番号 (深さ)	MH35c-P8 (8.15~8.58m)	MH35c-P9 (9.15~9.57m)	MH35c-P10 (10.15~10.55m)	MH35c-P11A (11.15~11.25m)	MH35c-P11B (11.25~11.47m)	MH35c-P12 (12.15~12.45m)
一般	湿潤密度 ρ_w g/cm ³					
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³					
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.666	2.678	2.681	2.692	2.690
	自然含水比 w_n %	73.5	73.8	79.5	39.2	32.6
度	間隙比 e					
	飽和度 S_r %					
粒	石分 (75mm以上) %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %	6.5	3.5	2.5	38.1	67.9
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %	33.2	30.8	27.7	44.2	25.0
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %	60.3	65.7	69.8	17.7	7.1
	最大粒径 mm	0.850	0.250	0.250	0.250	0.250
	均等係数 U_c	—	—	—	—	13.3
コンシステンス特性	20% 粒径 D_{20} mm	—	—	—	0.00665	0.0335
	液性限界 w_L %	87.2	94.2	106.6	45.6	
	塑性限界 w_p %	37.2	38.0	41.3	25.3	
分	塑性指数 I_p	50.0	56.2	65.3	20.3	
	地盤材料の分類名	砂まじり粘土 (高液性限界)	粘土 (高液性限界)	粘土 (高液性限界)	砂質粘土 (低液性限界)	細粒分質砂
類	分類記号	(CH-S)	(CH)	(CH)	(CLS)	(SF)
	試験方法					
圧	圧縮指数 C_c					
	圧密降伏応力 p_c kN/m ²					
密	一軸圧縮強さ q_u kN/m ²					
	試験条件					
せん断	全応力 c kN/m ²					
	有効応力 c' kN/m ²					
特記事項						
1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。 [1kN/m ² ≒ 0.102kgf/cm ²]						

図 1-7 (b) 試験施工箇所近傍の土質試験結果 (MH3-35c)

1.4 試験施工その1

(1) 概要

高圧噴射攪拌工法の出来形を確実に確保するために、本施工に先立ち、舞浜三丁目自治会集会所駐車場において本杭1本目による試験施工を行った。

- 試験施工実施日 : 平成29年1月16日 (月)
- 適用工法 : Miny マルチ工法
- 造形成状および本数 : 円形1本、楕円形1本

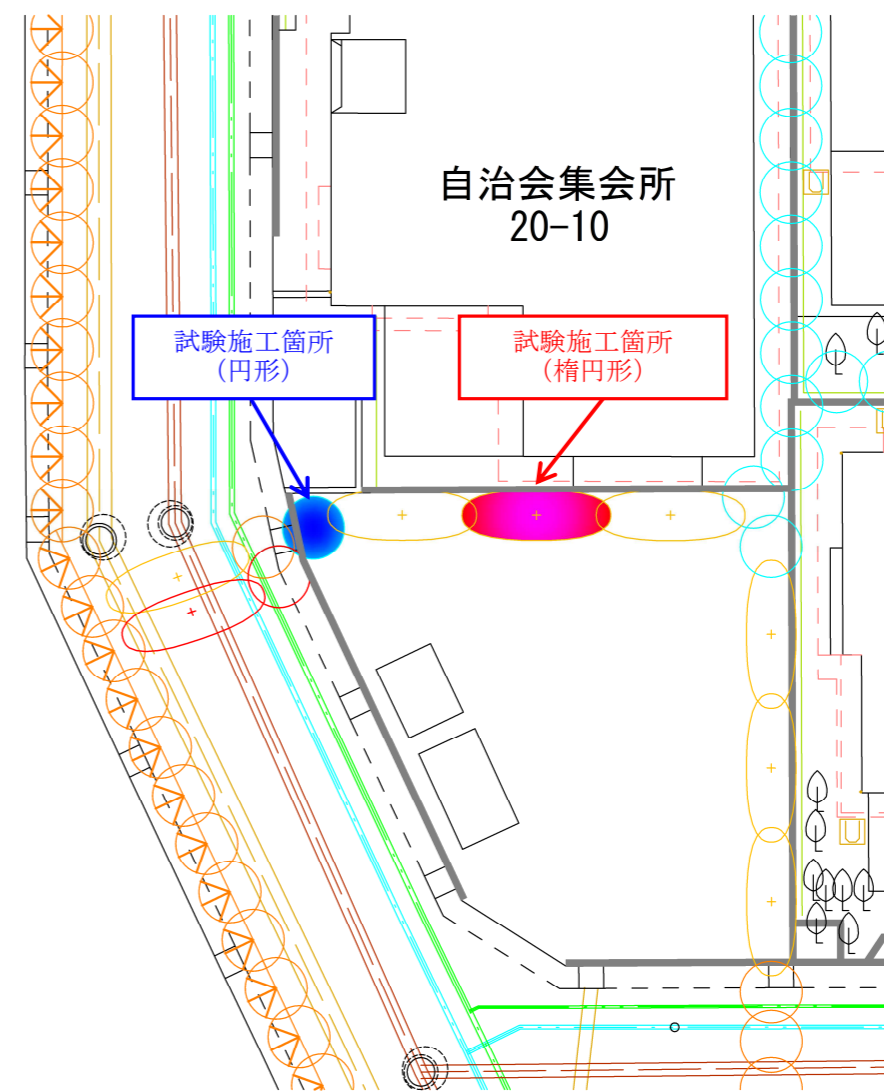


図 1-8 試験施工位置図

改良土質は以下の通りである。試験施工箇所付近の柱状図を図1-9に示す。

改良対象：Fc層、Fcm層（埋土、砂質シルト、シルト、シルト混り粘土）

改良上端：GL-1.5m (TP+0.5m)

改良下端：GL-10.0m (TP-8.0m)

地下水位：GL-1.5m 付近

ボーリング柱状図

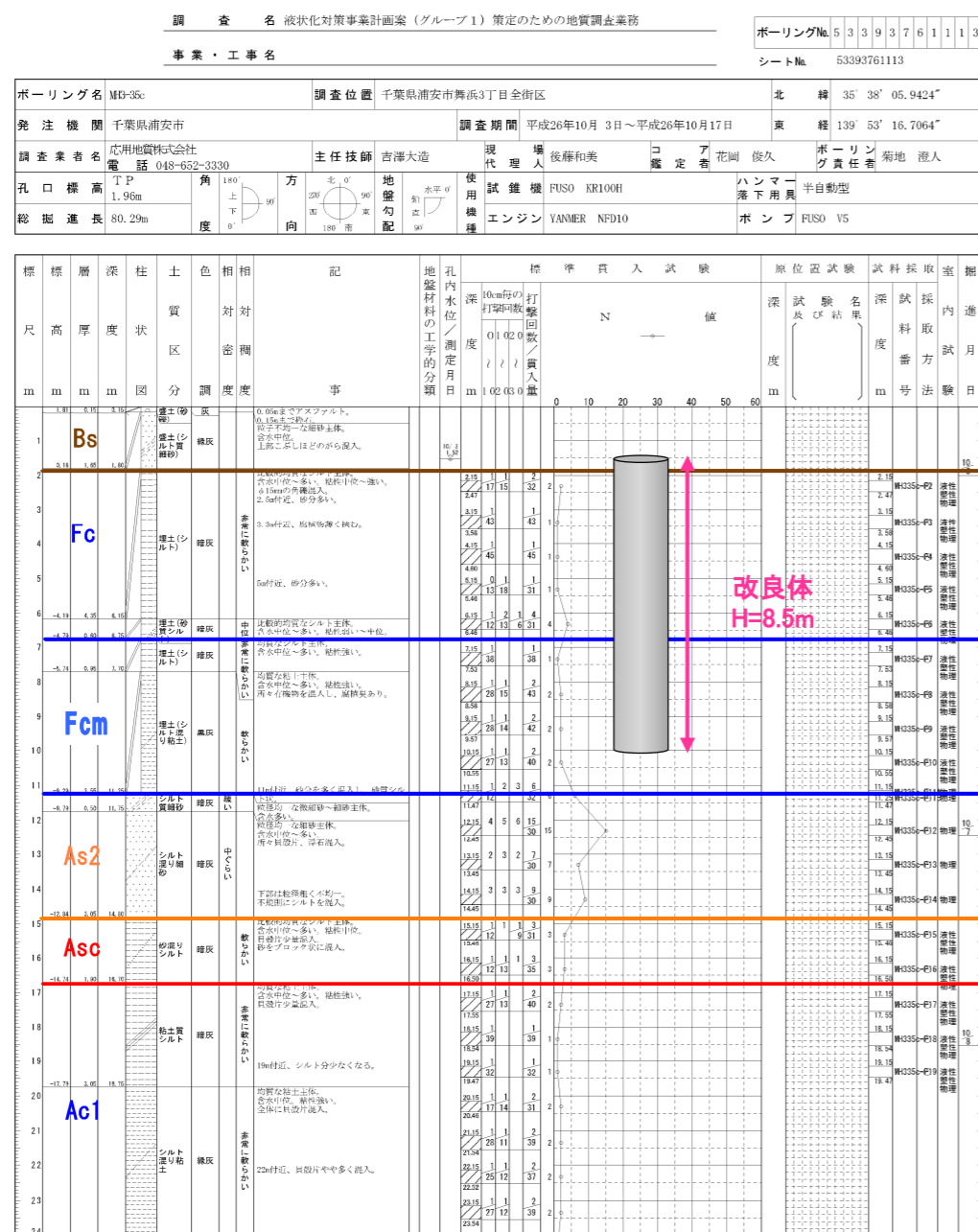


図1-9 試験施工箇所付近柱状図

(2) 実施施工手順

試験施工において実施した施工手順は以下の通り。

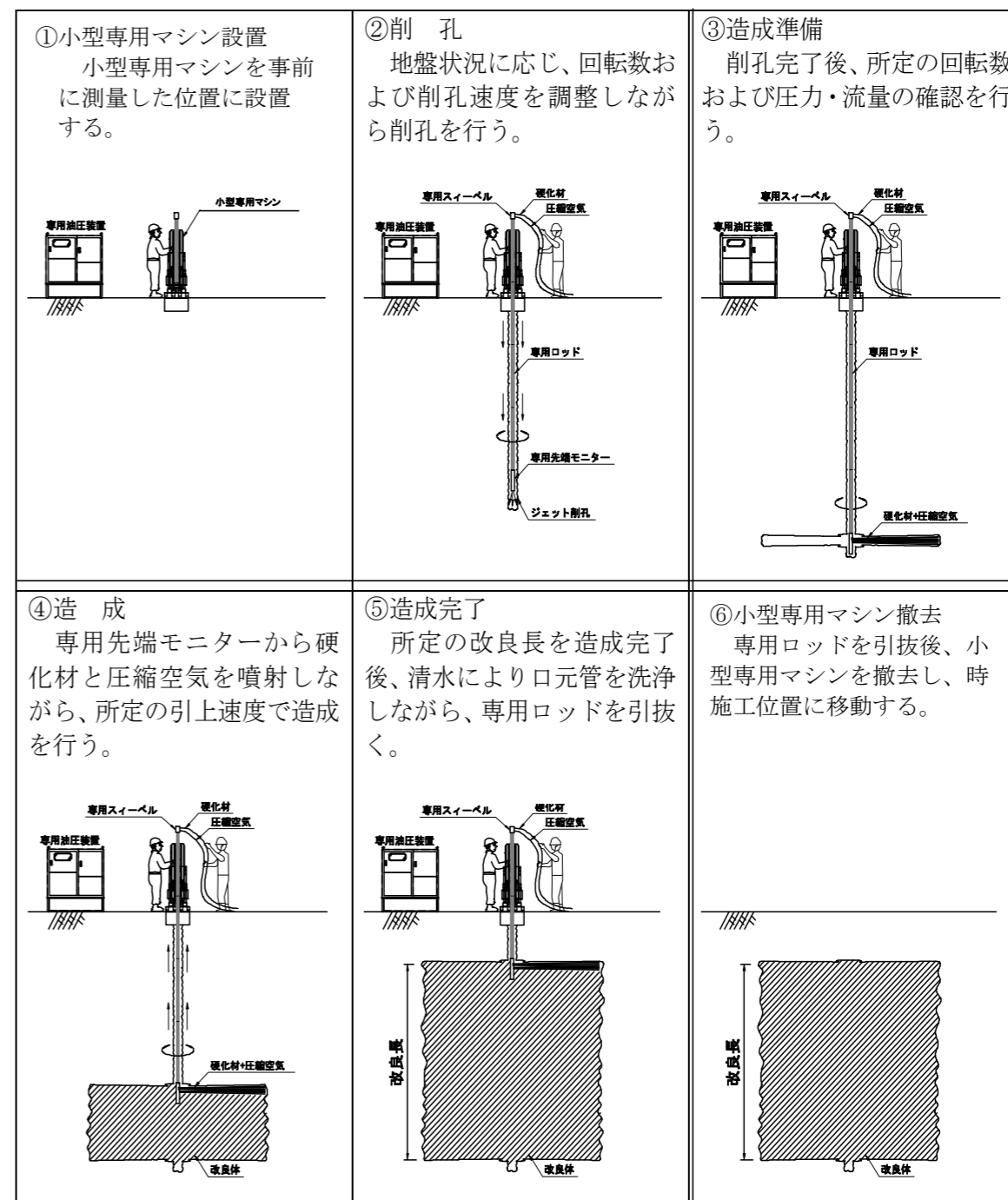


図1-10 試験施工実施フロー図

(3) 施工状況

①円形改良体

改良体造成中、GL-2.5m 付近でガイド管（φ200mm、L=1.2m）を通じて石灰で改良された様な固結物が確認された（ガイド管設置時には、管下端付近の地盤が非常に硬かった）。また、施工中に排泥の排出不良が確認された。これは、ガイド管の下端から 50cm 程度の固結層が存在したことによって、削孔時の排泥誘導孔が噴射モニター径程度（φ68mm）しか確保できなかったことによる。これより、造成時に排出される排泥がガイド管下端の固結層で遮られ、排泥の排出不良が生じたと推測される。



写真 1-3 円形改良体の施工状況

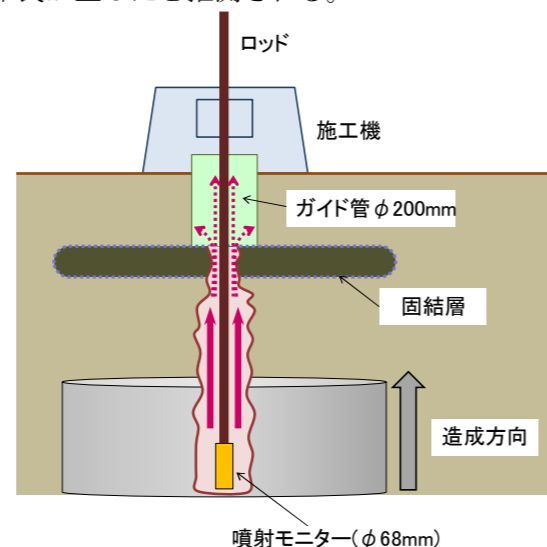


図 1-11 施工概要図

②楕円形改良体

改良体造成開始から円形改良体よりも排泥はスムーズに排出されていたが、噴射流量は円形施工時の約 2 倍（円形 Q=1000/min、楕円形 Q=1900/min）であり、相応に排泥も多くなるはずだがそれと比べると、排泥が少なくやはり排泥の排出不良が懸念された。



写真 1-4 楕円形改良体の施工状況

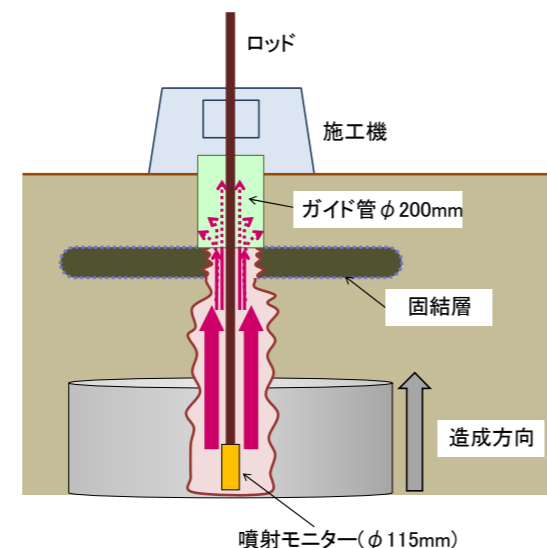


図 1-12 施工概要図

1.5 試験施工その2

自治会集会場駐車場での試験施工その1を踏まえ、舞浜三丁目マイアミクラブ駐車場において試験施工その2を行った。

(1) 概要

高圧噴射攪拌工法において、排泥の排出不良の改善を目的とした試験施工を実施した。追加試験施工では、排泥の排出状況を常に監視しながら施工を行い、排出不良の兆候が見えた時点でプレジェット（造成前の高圧水の横噴射）等の処置を行い、排泥口の閉塞を防止した。

- ・ 施工日 : 平成 29 年 1 月 31 日 (火) ~ 2 月 2 日 (木)
- ・ 対象工法 : Miny マルチ工法
- ・ 造成形状 : 円形 2 本、楕円形 2 本
- ・ 追加施工手順 : 試験施工その 1 を踏まえて、施工手順の追加を行った
 - 1) ケーシング削孔 : 造成時に埋設物等（固結層）を撤去する
 - 2) プレジェット工法を併用 : 排泥の排出をスムーズにして、閉塞を改善する

試験施工箇所の平面図を図 1-13 に示す。このうち、Miny マルチ工法に関する試験施工では、No.1~No.4 の改良体を対象にした。

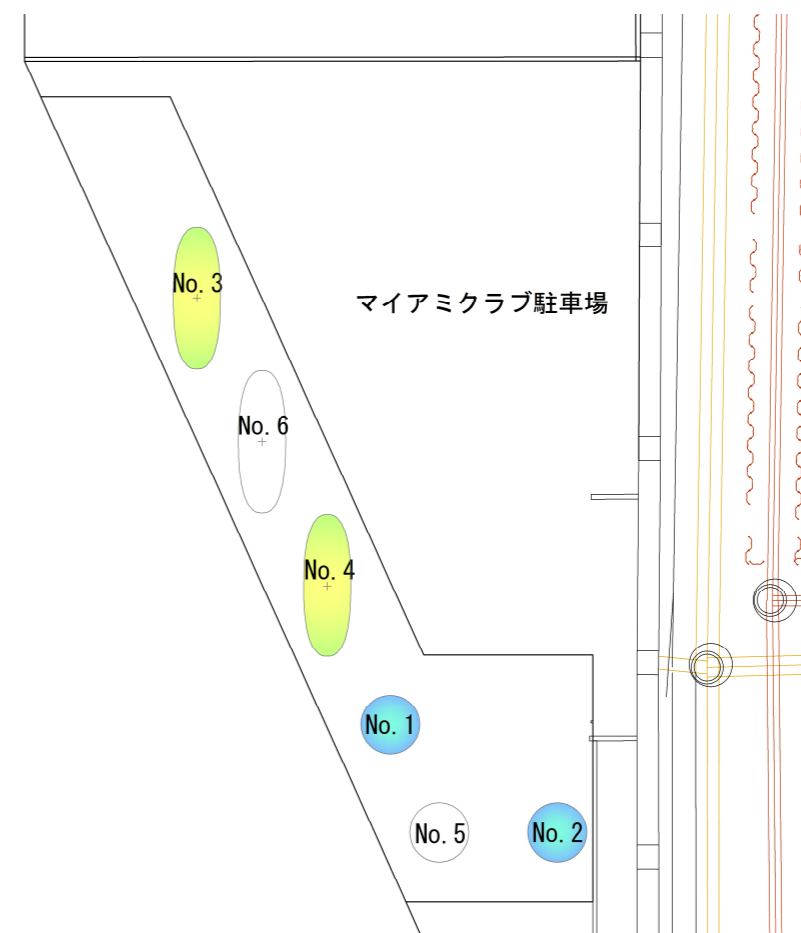


図 1-13 試験施工箇所平面図

(2) 施工状況

施工概要図を図1-14に示す。プレジェットを併用して孔内閉塞を改善して、排泥の流れを改善した。



写真 1-5 改良体の施工状況

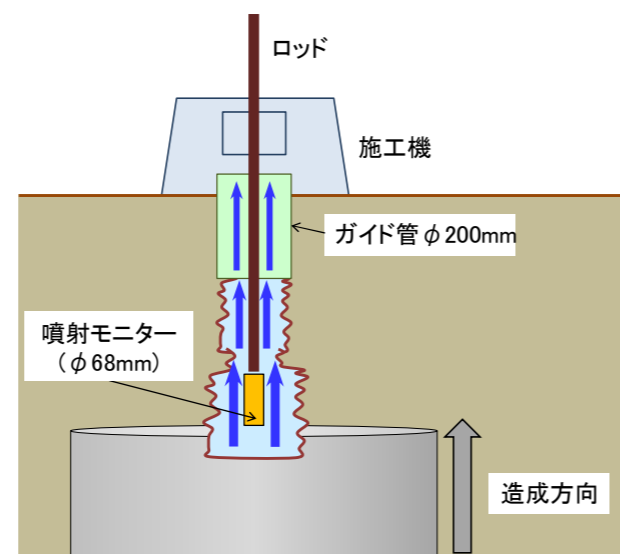


図 1-14 施工概要図

①削孔時の埋設物処置

初回の試験施工の結果を踏まえ、固結層を撤去するため、φ140mm ケーシングを先端に取り付け、削孔を実施した。

②施工中の埋設物確認

i) 円形 (No. 1)

削孔から造成にかけて、地中埋設物は確認されなかった。

ii) 楕円形

・No. 3

削孔完了後、ロッドを引き上げた際、ドレーン材長さ約 4m が巻き付いていることが確認された。また、造成完了後、ロッドを撤去する際にも、ドレーン材長さ約 6m が巻き付いていた。



写真 1-6 ケーシング削孔の取り付け

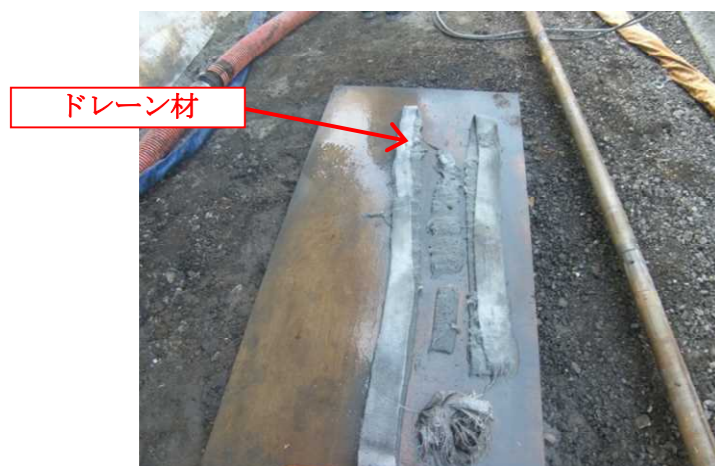


写真 1-7 埋設物の外観

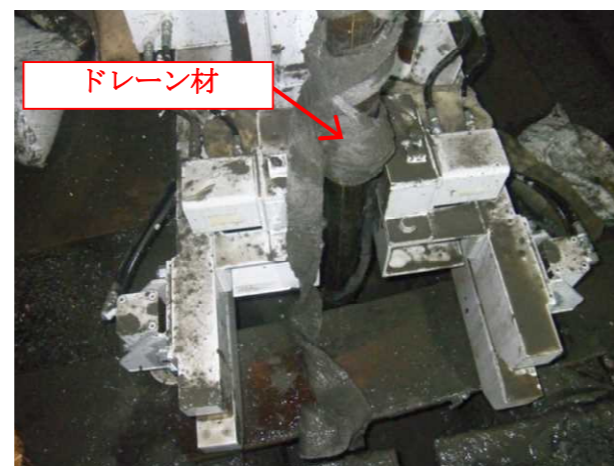


写真 1-8 埋設物巻き付き状況

・No. 4

削孔完了後、ロッドを引き上げた際、ドレーン材等の埋設物は確認されなかった。改良体造成中にドレーン材長さ約 20cm が排泥に混入していた。

1.6 試験施工その3

(1) 概要

試験施工その2と同様、エコタイト工法により舞浜三丁目マイアミクラブ駐車場において試験施工を行った。なお、エコタイト工法としては、初回の試験施工となる。エコタイト工法に関する試験施工では、図1-13のうち、No.5とNo.6の改良体を対象にした。

- ・施工日 : 平成29年2月16日(木)、2月17日(金)
- ・対象工法 : エコタイト工法
- ・造成形状 : 円形1本、楕円形1本
- ・追加施工手順 : 試験施工その1、その2を踏まえて、通常の施工手順に新たに手順を加えた

- 1) 事前削孔 : 地中埋設物等の有無を確認(φ150mmのコアチューブを先端に取り付け)
- 2) プレジェット工法を併用 : 排泥の排出をスムーズにして、閉塞を改善する
- 3) ロッド引抜 : 使用ロッド、先端モニターを全数引抜き、ドレーン材の有無を確認する

(2) 施工状況

①円形 (No.5)

i) 事前削孔時の埋設物確認

類似の工法によって既に行われた試験施工の結果を踏まえ、排泥孔を確保するため、φ150mm コアチューブを先端に取り付け、GL-4mまで清水削孔を実施した。その結果、事前削孔時に埋設物は確認されなかった。



写真 1-9 コアチューブ外観



写真 1-10 コアチューブ断面



写真 1-11 コアチューブ取り付け



写真 1-12 事前削孔状況

ii) 施工中の埋設物確認

削孔完了後、使用ロッド、先端モニターを引抜き、ドレーン材の付着や巻付きの有無を確認した。その結果、ドレーン材が噴射モニター上部に巻き付いた状態で発見された。撤去後に造成を再開、削孔中にドレーン材が発見されたことから、造成中2mごとにロッドを引き上げ、ドレーン材の確認を行ったが、造成中には確認されなかった。また、造成完了時、ロッド、先端モニターを引き上げたところ、ドレーン材は確認されなかった。



写真 1-13 ドレーン材の巻き付き状況



写真 1-14 ドレーン材の外観

②楕円形 (No.6)

i) 事前削孔時の埋設物確認

排泥孔を確保するため、φ150mm コアチューブを先端に取り付け、GL-4mまで清水削孔を実施した。その結果、事前削孔時に埋設物は確認されなかった。

ii) 施工中の埋設物確認

削孔完了後、使用ロッド、先端モニターを引抜き、ドレーン材の付着や巻付きの有無を確認した。その結果、ロッド引抜き時にドレーン材は確認されなかった。削孔時にドレーン材が発見されなかったことから、造成中にはロッドの引き上げを行わず、施工を行った。その後、造成完了時に、ロッド、先端モニターを引き上げたところ、ドレーン材は確認されなかった。ただし、スライム受タンク内の排泥の観察により、造成中に繊維のようなものが排泥内に混入していることが確認された。



写真 1-15 スライム受タンク内観察状況



写真 1-16 排泥性状・混入物確認

<補足>

昭和 50 年代に滞筋に堆積した粘土層の圧密沈下促進を目的とする化学繊維のドレーン材で、舞浜三丁目の広い範囲に細かく打設されていることが調査により判明した。なお、事前の地質調査の時点では、ドレーン材の存在は確認されていなかった。

◇ドレーン材の概要

- ・打設目的 → 粘土層の圧密沈下促進
- ・対策工法 → タフネルドレーン工法（素材：不織布）
- ・打設間隔 → 1.2m～1.5m程度
- ・打設深さ → GL-13m～GL-15mより GL-1.5m程度まで

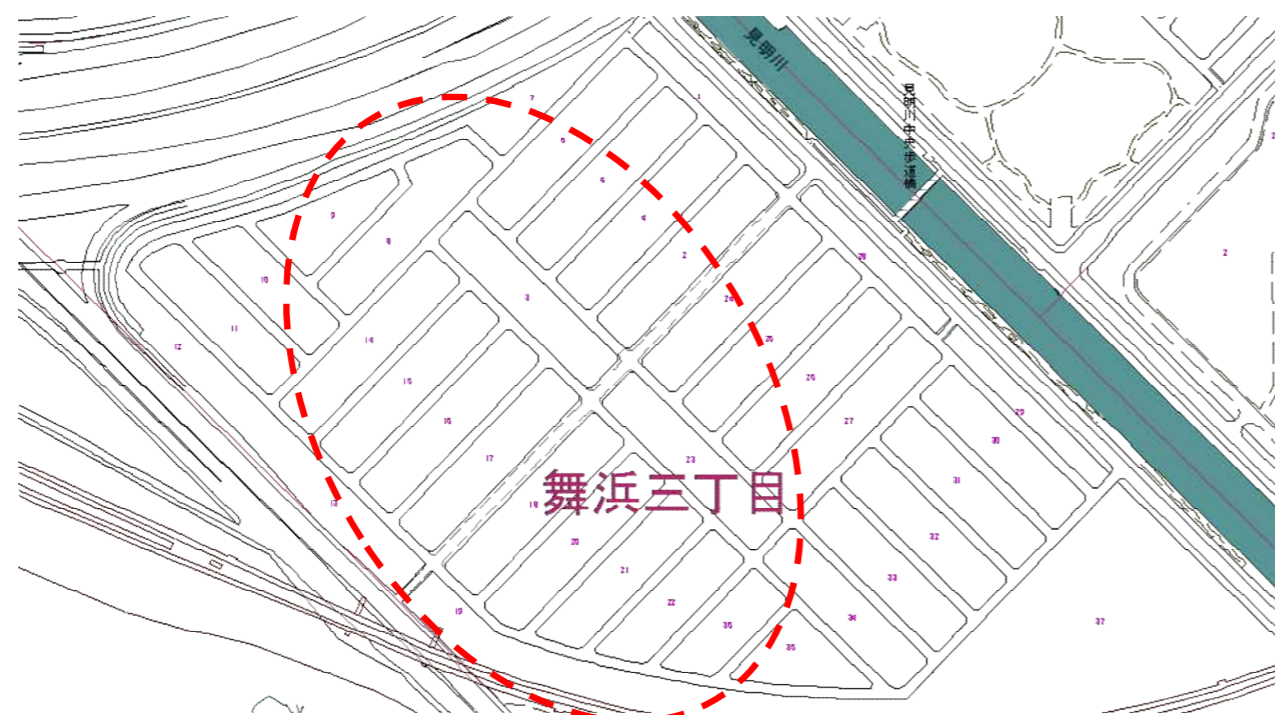


図 1-15 滞筋の範囲

第2章 埋設物調査・品質確認調査

試験施工その2、その3で発見されたドレーン材による改良体の品質への影響が懸念されたことから埋設物確認調査、品質確認調査を実施した。調査内容は図2-1に示すとおりである。

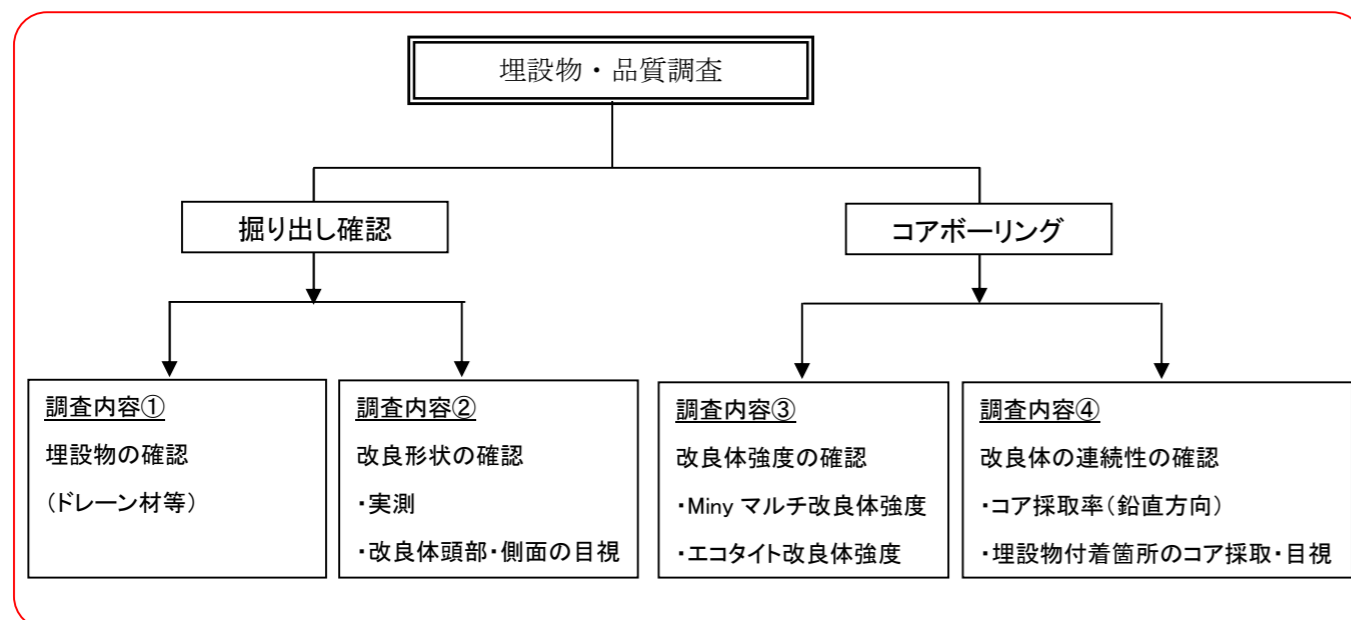


図2-1 調査フロー

2.1 改良体掘り出し及び埋設物調査結果

本調査では、改良体造成箇所の周辺を掘り出して、これまでの試験施工において確認された埋設物の位置（平面方向・深度方向）を把握することにした。また、改良体を露出させて、改良径の測定、改良体頭部・側面の目視確認を行い、造成後の改良形状を把握した。掘り出し範囲（断面図）を図2-2に、掘り出し範囲（平面図）を図2-3に示す。ここで、改良体No.2は、No.1と同じ改良仕様であり、道路際に近いため安全性を考慮して、改良体を露出させないことから、調査対象外とした。

<調査内容>

①埋設物の確認

掘り出しによる埋設物確認は、約50cmごとに順次掘り下げた。改良体周囲も含め、これまでの試験施工において確認された地中埋設物（ドレーン材等）の位置（平面方向・深度方向）を把握した。

②改良形状の確認

改良径の実測は、GL-2.0m程度の深さまで掘り出した改良体に対して、形状寸法（杭芯からの距離）を計測した。また、改良体の頭部及び側面の状況を目視により確認した。

表2-1 確認事項及び確認方法

確認項目	確認方法	内容	備考	
改良径	光ファイバー・熱電対	地中温度が3℃以上上昇	改良体造成時に確認	造成時実施済
	実測	計画径以上	掘り出しによる検尺	調査対象
	目視	出来形の形状、欠損の状況	掘り出しによる目視確認	調査対象

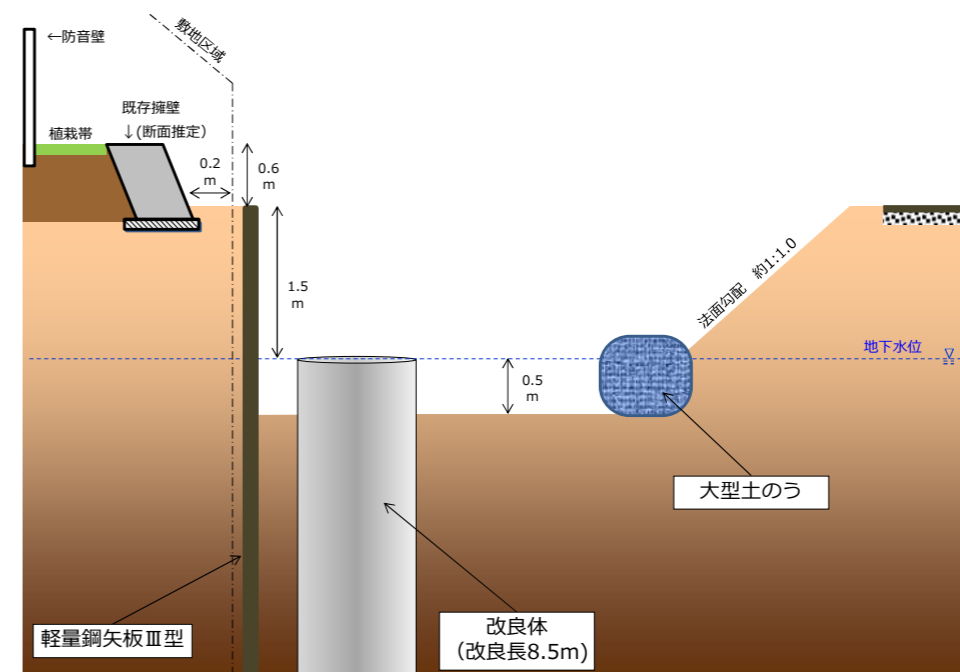


図2-2 掘り出し範囲（断面図）

(1) 埋設物

掘り出しによって確認された埋設物位置を図2-3に示す。調査の結果、掘り出し範囲の全域によって地中埋設物が確認された。確認された埋設物の大半はドレーン材で、GL-0.6m～1.5m付近でおよそ40箇所において確認されたが、深度や間隔について明確な規則性はなかった。鉛直方向のドレーン材が多いが、水平方向に確認された箇所もあった。なお、掘り起こした範囲（平面・深度）においては、石灰改良あるいはセメント改良された様な形跡は確認されなかった。

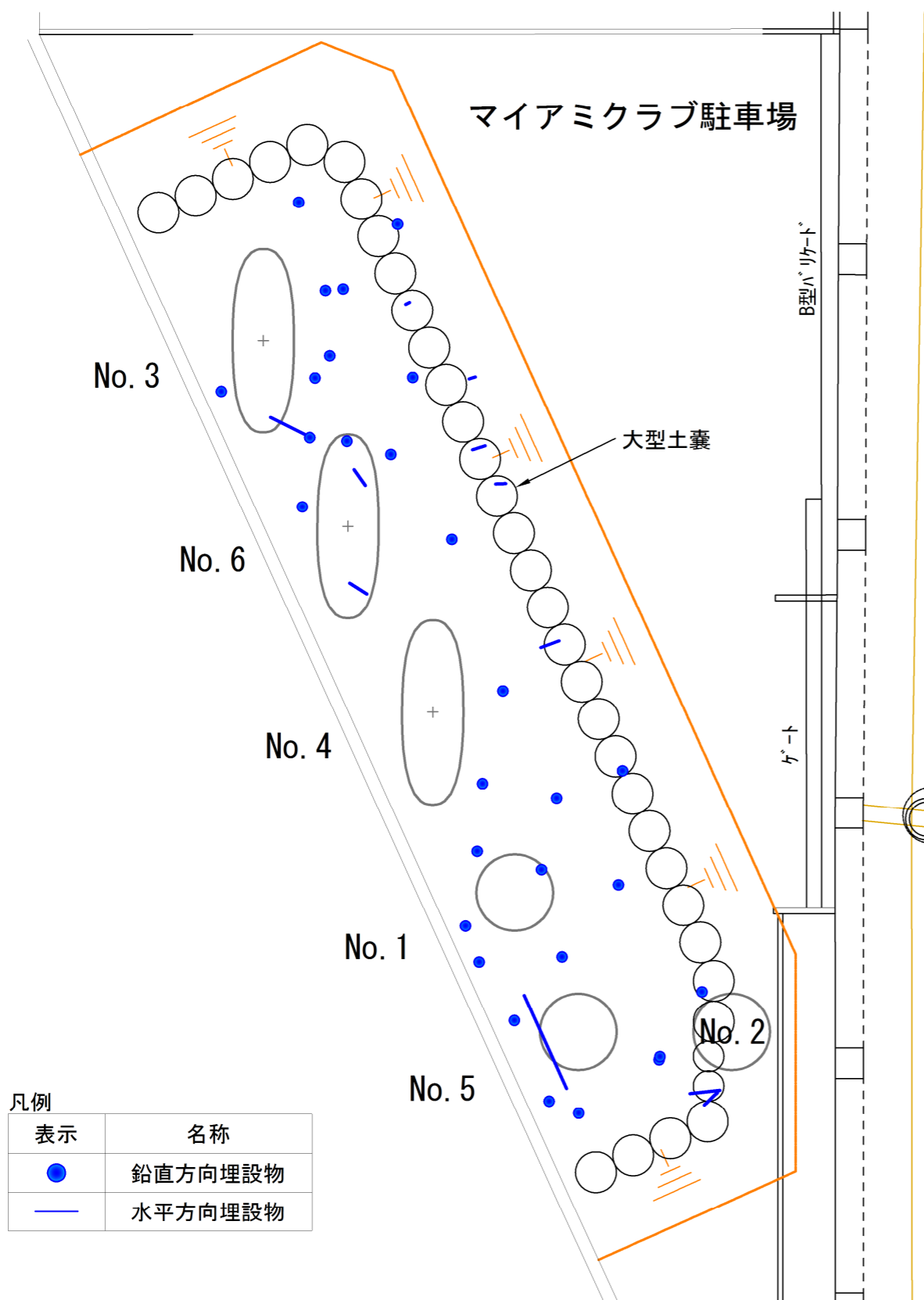


図 2-3 埋設物位置図 (平面図)

掘り出しによって確認された埋設物の主な状況を写真 2-1～写真 2-6 に示す。ドレーン材の主な形状を写真 2-7 および写真 2-8 に示す。



写真 2-1 ドレーン材 (鉛直方向)



写真 2-2 ドレーン材 (水平方向)



写真 2-3 ドレーン、シート (水平方向)

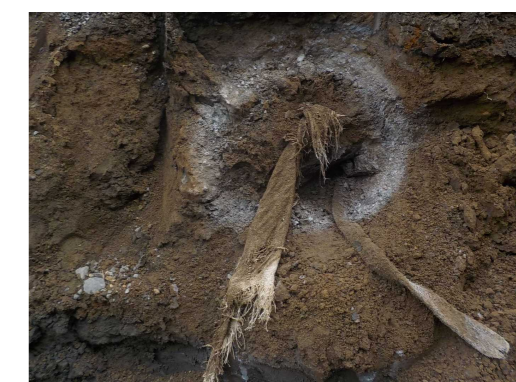


写真 2-4 ドレーン、シート (水平方向)



写真 2-5 布



写真 2-6 衣服



写真 2-7 ドレーン形状 (幅)



写真 2-8 ドレーン形状 (厚み)

(2) 改良体出来形

改良体掘り出し状況（頭部外観）を写真2-9～写真2-13に示す。改良体頭部を目視確認したところ埋設物の混入が確認された。楕円形改良体（No. 3、No. 4、No. 6）は、円形改良体に比べて改良形状が不安定になっていた。



写真2-9 改良体掘り出し状況 (No. 1)



写真2-10 改良体掘り出し状況 (No. 3)



写真2-11 改良体掘り出し状況 (No. 4)



写真2-12 改良体掘り出し状況 (No. 5)



写真2-13 改良体掘り出し状況 (No. 6)

改良体形状（寸法）を表2-2に、改良体形状（面積）を表2-3に示す。

表2-2 改良体形状（寸法）

杭 No.	工法	形状	面積		
			設計断面積 (m ²)	実測面積 (m ²)	実測/設計 (%)
No.1	Miny マルチ	円形	1.77	1.86	105
No.3		楕円形	3.63	10.86	299
No.4				7.84	216
No.5	エコタイト	円形	1.77	2.99	169
No.6		楕円形	3.63	4.76	131

表2-3 改良体形状（面積）

杭 No.	寸法					
	設計長:長辺 (mm)	設計長:短辺 (mm)	実測長:長辺 (mm)	実測長:短辺 (mm)	実測/設計:長辺 (%)	実測/設計:短辺 (%)
No.1	1,500	1,500	1,520	1,480	101	99
No.3	3,600	1,200	4,740	2,900	132	242
No.4			4,750	2,460	132	205
No.5	1,500	1,500	1,950	1,780	130	119
No.6	3,600	1,200	3,740	2,060	104	172

※No.3 と No.4 の短辺方向（既存擁壁側）の寸法は境界位置までとする（測定不可）。

①全改良体について

改良体は、防音壁・石積擁壁側（鋼矢板側）に、はらみ出している傾向が見られた。防音壁・石積擁壁基礎下の埋戻し材あるいは地盤構成によって、何らかの影響を受けている可能性がある。

②円形改良体について

- ・概ね想定が出来形となっていた。
- ・部分的に埋設物を巻き込んで造成されていた。

③楕円形（Miny マルチ工法）

- ・計画造成径に対し、大きく造成されていた。
- ・長辺寸法：+1.1m、短辺寸法：+1.2m（鋼矢板側測定不可）、実測面積：2～3倍
- ・ドレーン材の影響を受け、水平方向へ改良体が逸走していた。（最大約1.8m）

④楕円形（エコタイト工法）

- ・計画造成径に対し、やや小さく造成されている範囲もあるが、探針すると下部は固化されていた。
- ・長辺寸法：+13cm、短辺寸法：+85cm、実測面積：1.3倍
- ・ドレーン材の影響を受け、水平方向へ改良体が逸走、一部では改良不良になっていた。

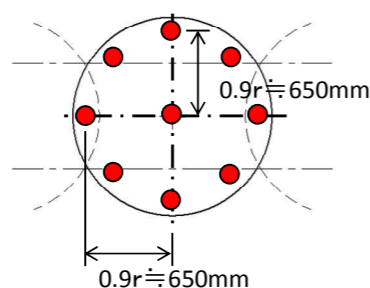
2.2 コアボーリング調査概要

改良体の出来形及び埋設物に対する影響を確認する為、図2-4に示す調査位置（●地点）で全長コアボーリング(φ86mm)を行い、深度・平面方向での改良状況などを調査した。調査位置は、改良体のラップや有効壁厚を考慮して、改良径 $0.9r \cdot 0.8r$ 、有効壁厚 0.85m 付近を重点的に調べた。

品質の確認は、各改良対象層（Fc、Fcm を含む粘性土）において 25 個以上のコアを採取し（複数ボーリングによるコアの合計）、一軸圧縮試験を行い、所定の強度を満足しているか確認した。

なお、埋設物が確認された場合、図に示すコア採取位置を変更し、埋設物付着箇所の近傍でコアボーリングを行っている。

(円形タイプ)



(楕円形タイプ)

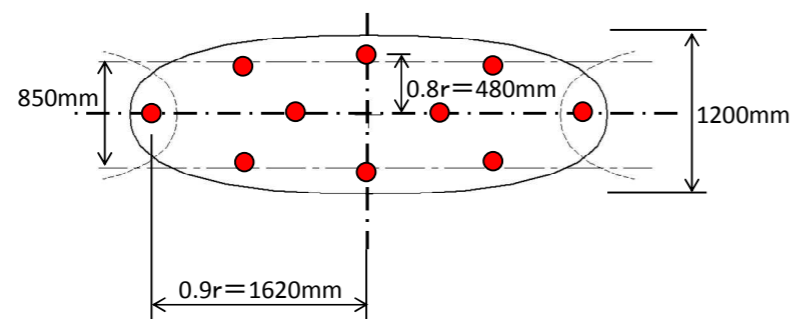
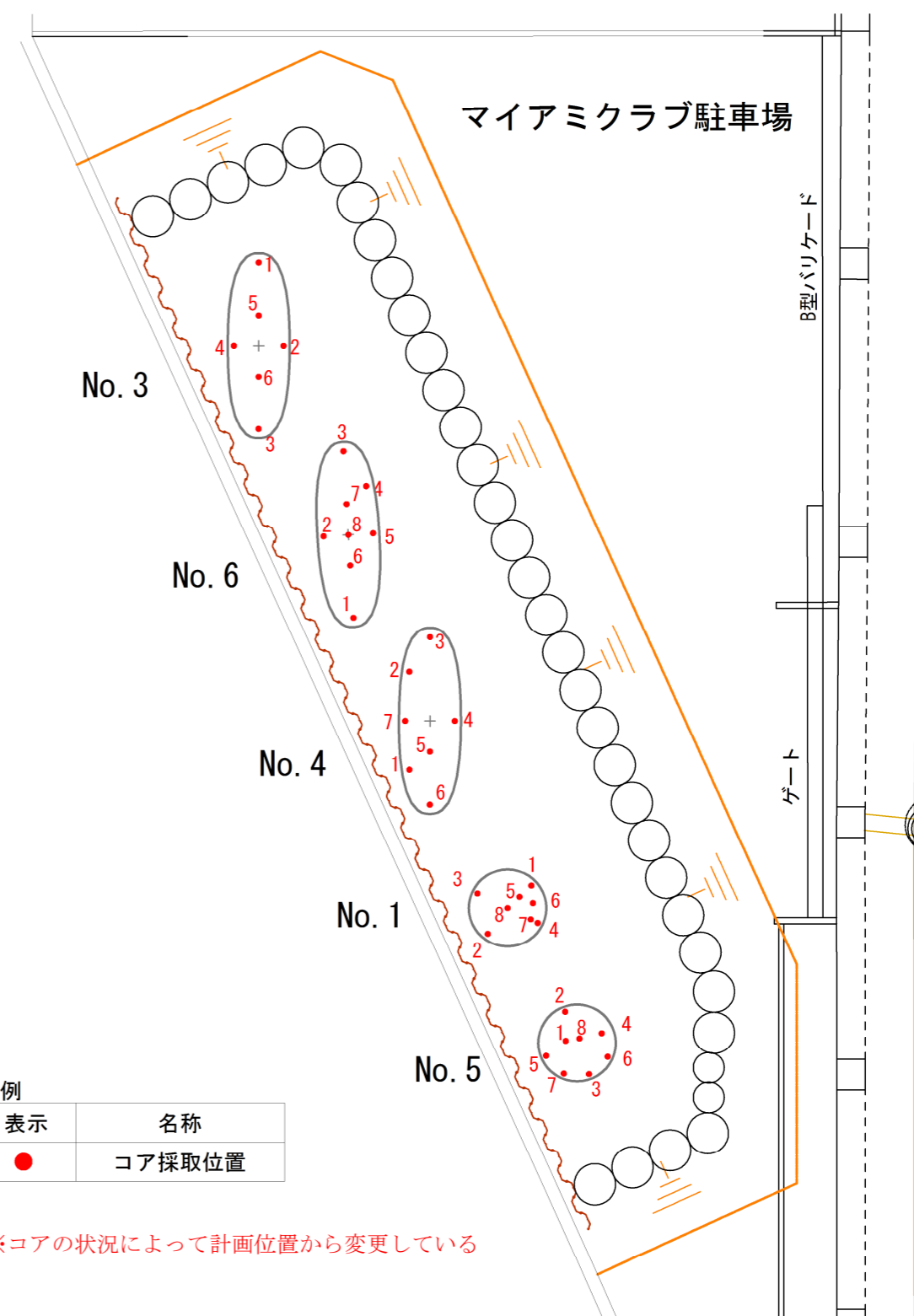


図2-4 コア採取位置（計画時の標準的な位置）



写真2-14 コアボーリング状況



凡例

表示	名称
●	コア採取位置

※コアの状況によって計画位置から変更している

図2-5 コアボーリング位置図（実施）

表 2-4 調査数量 (コアボーリング)

工法	杭No.	形状	仕様	コア径 φ (mm)	採取長さ L (m)	箇所数 (本)	コア全長 (m)	一軸圧縮試験 供試体数(個)
Miny マルチ	No.1	円形	設計径: φ 1,500mm 造成長さL=8.5m、設計強度 $F_c=1.5\text{N/mm}^2$	86	8.5	8	68	72
	No.3	楕円形	設計径: 3,600 × 1,200mm 造成長さL=8.5m、設計強度 $F_c=1.5\text{N/mm}^2$	86	8.5	6	51	55
	No.4	楕円形	設計径: 3,600 × 1,200mm 造成長さL=8.5m、設計強度 $F_c=1.5\text{N/mm}^2$	86	8.5	7	59.5	58
エコタイト	No.5	円形	設計径: φ 1,500mm 造成長さL=8.5m、設計強度 $F_c=1.5\text{N/mm}^2$	86	8.5	8	68	52
	No.6	楕円形	設計径: 3,600 × 1,200mm 造成長さL=8.5m、設計強度 $F_c=1.5\text{N/mm}^2$	86	8.5	9	76.5	69
計				—	42.5	38	323	306

<調査内容>

確認事項及び確認方法を表 2-5 に示す。

表 2-5 確認事項及び確認方法

確認項目	確認方法	内容	備考
改良体の強度	一軸圧縮試験	改良体強度が設計基準強度以上※ $F_c \leq XL$	参考図書: 陸上工事における深層混合 処理工法設計・施工マニュアル改訂版 (財団法人土木研究センター)
改良体の連続性	目視	埋設物混入状況、未固化の状況を目視確認 品質管理は特記仕様に基づき行う	コアの観察

※設計基準強度: $F_c=1,500\text{kN/m}^2$ 、合格判定強度: $XL=1,500\text{kN/m}^2$ 以上(材令 28 日以上)

①改良体の強度 (一軸圧縮試験)

全長コアボーリングにより採取したコアのうち、上層、中層、下層それぞれ 1 回、計 3 回の試験を行った。1 回の試験は 3 個の供試体の平均値で表す。

②改良体の連続性及び埋設物混入状況

先端まで改良されていることを確認するため、全長コアボーリングを行い、改良体天端から改良下端まで採取した。サンプラーの掘進長に対し採取されたコアの固化部分(コア長のうち未固化部分は除く)の割合を 1m 毎に確認して、鉛直コアの観察を行った。コアに埋設物が発見された場合は、その深度と位置を記録するとともに、埋設物による連続性を確認した。

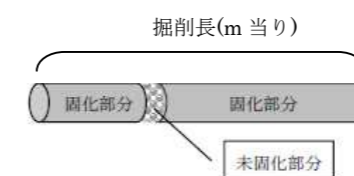


図 2-6 改良体の連続性の概念図

2.3 ボーリング調査結果

2.3.1 改良体の強度

(1) 円形断面改良体

円形断面改良体の各ボーリングコアに対する強度試験結果をコア番号別に深度毎に整理したものでMinyマルチ工法によるNo.1改良体について図2-7、エコタイト工法によるNo.5改良体について図2-9に示す。図には各地層ごとの平均強度を赤点線で示すとともに設計基準強度 1,500kN/m²を青点線で示している。また、それぞれの改良体の強度の深度分布を中心距離に対して再整理したものをNo.1改良体について図2-8、No.5改良体について図2-10に示す。

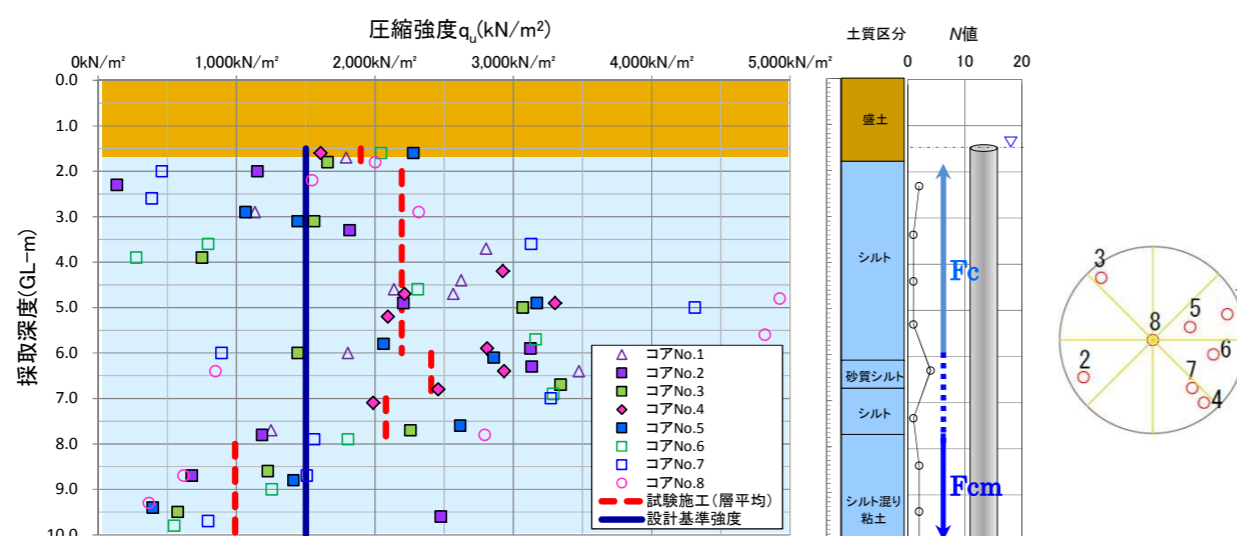


図2-7 強度試験結果の深度分布 (円形 No. 1) : Miny マルチ工法

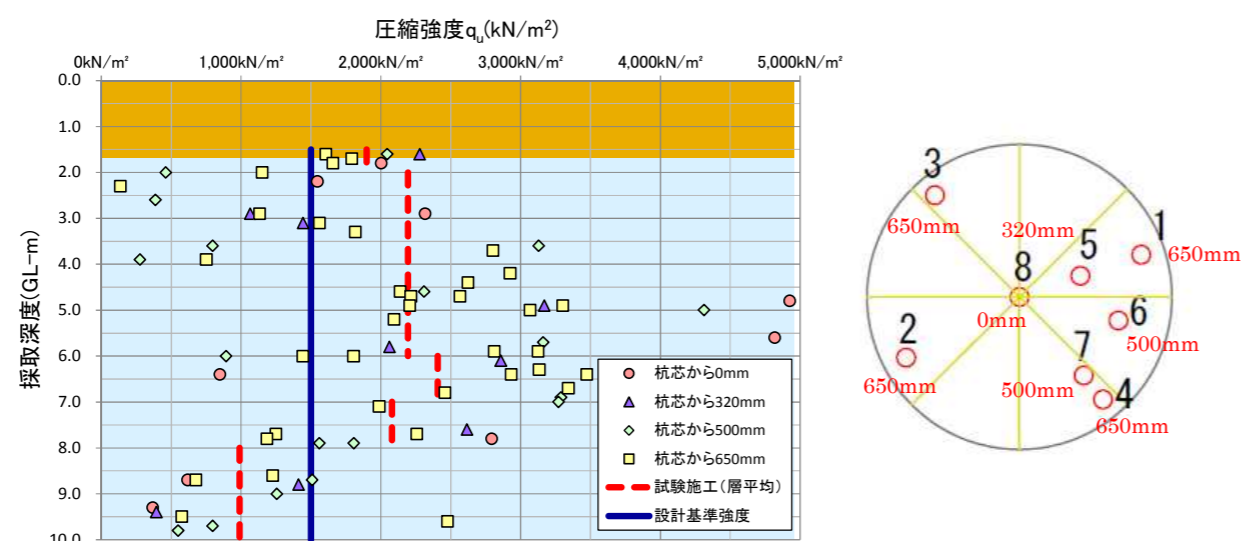


図2-8 圧縮強度と供試体採取位置の関係 (円形 No. 1) : Miny マルチ工法

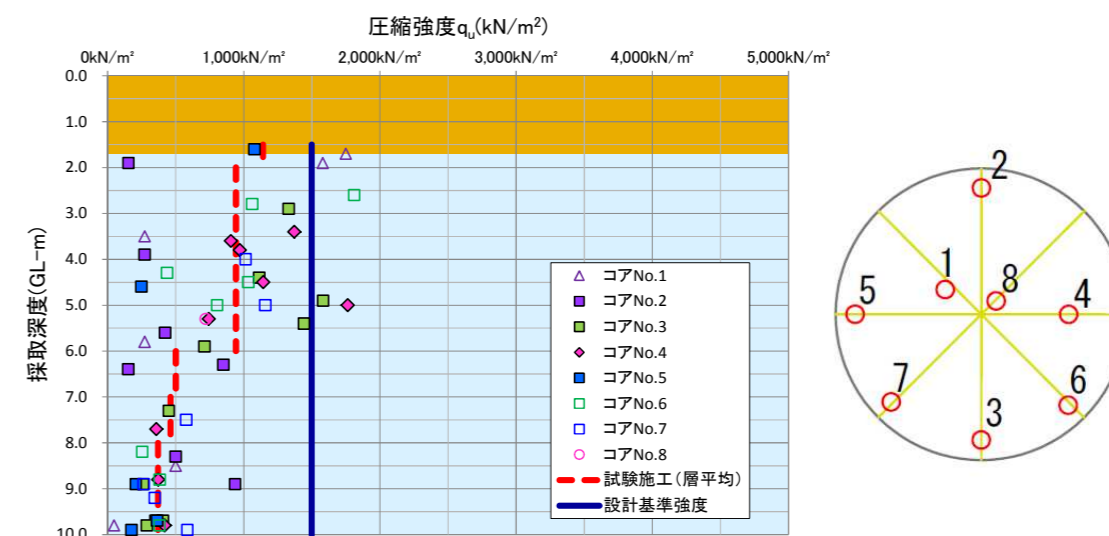


図2-9 強度試験結果の深度分布 (円形 No. 5) : エコタイト工法

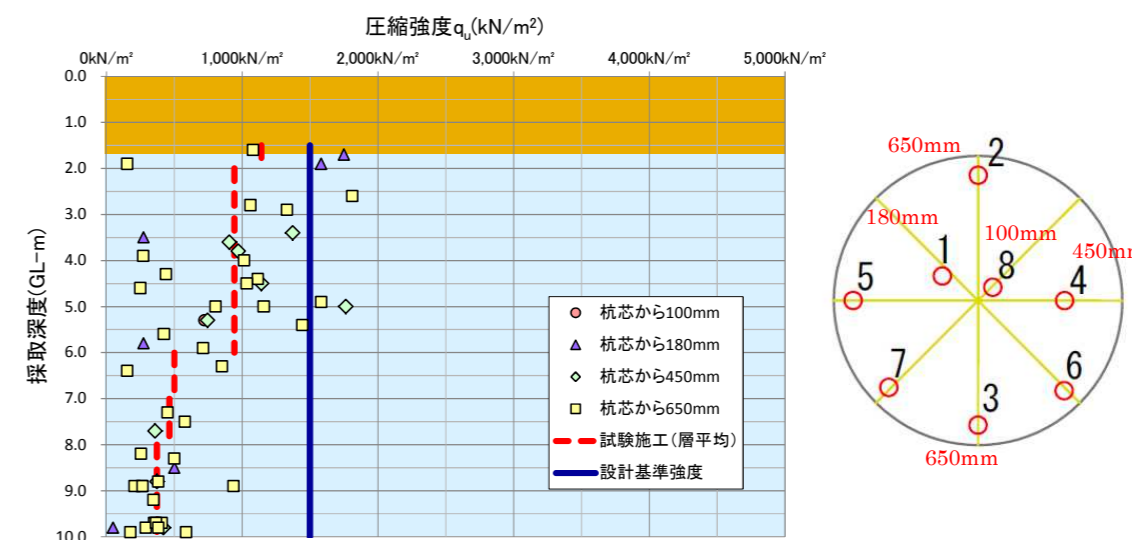


図2-10 圧縮強度と供試体採取位置の関係 (円形 No. 5) : エコタイト工法

これらの強度分布より以下のことがわかる。

- ①No.1改良体においては下部 GL-8m 以深の粘性土 F_{cm} 層において平均強度が設計基準強度を下回っており、これより上層の F_c 層では平均強度は設計基準強度を上回っている。ただし、F_c 層の GL-4.0m 以浅においては強度が低く、これ以深では強度が高い。
- ②No.5改良体においては、各層の平均強度はいずれも設計基準強度を下回っている。GL-8m以下の F_{cm} 層における強度は、これより上層の F_c 層の平均強度より低い。
- ③No.1改良体と No.5改良体の強度を比較すると、No.5改良体の強度が各層とも No.1改良体の約 50%と低強度であることがわかる。また、どちらの改良体も GL-8m以深の F_{cm} 層の強度は GL-6m以浅の F_c 層の強度の約 50%程度と低い。一方、強度のばらつきは No.1改良体の方が No.5改良体よりも大きい。
- ④中心からの距離に対しては、No.1改良体と No.5改良体ともに全体的にはばらつきの違いは無いが GL-8m 以下の F_{cm} 層では、中心から離れた位置での強度ばらつきがやや大きくなる傾向がみられる。

(2) 楕円断面改良体

楕円断面改良体の各ボーリングコアに対する強度試験結果をコア番号別に深度毎に円形断面と同様に整理したもので Miny マルチ工法による No.3、No.4 改良体について図 2-11、図 2-12 に、エコタイト工法による No.6 改良体について図 2-13 に示す。これらの強度分布より下記のことがわかる。

- ① No.3 改良体においては全ての土層において平均強度が設計基準強度 1,500kN/m² を満足している。円形断面と異なり、GL-6m 以浅の Fc 層の平均強度の方が GL-8m 以深の Fcm 層の平均強度よりも若干高い値を示している。また、GL-6m～GL-8m までの層の平均強度がそれ以外の層の 1.5 倍程度高い。
- ② No.4 改良体においては、円形断面と同様 GL-6m 以浅の Fc 層よりも GL-8m 以深の Fcm 層の強度が低く、上部の Fc 層の平均強度はほぼ設計基準強度であり下部の Fcm 層は Fc 層の 50%程度と設計基準強度を満足していない。
- ③ No.6 改良体においても、円形断面と同様 GL-6m 以浅の Fc 層よりも GL-8m 以深の Fcm 層の強度が低く、上部の Fc 層の平均強度は設計基準強度よりも大きく約 2,000kN/m² であり下部の Fcm 層は Fc 層の 60%程度の約 1,200kN/m² と設計基準強度を満足していない。
- ④ 楕円断面改良体は、全てにおいて、Fc から Fcm の遷移領域にある GL-6m～8m での平均強度が Fc 層や Fcm 層の平均強度を上回っている。

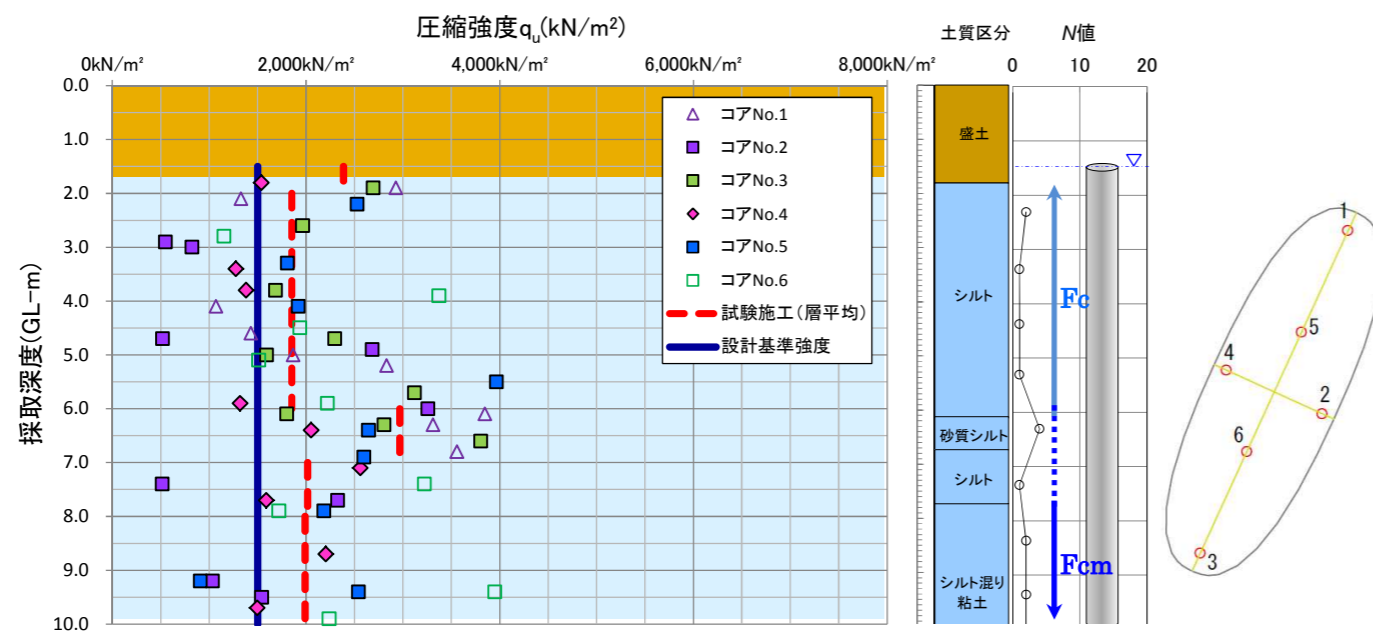


図 2-11 強度試験結果の深度分布 (楕円形 No. 3) : Miny マルチ工法

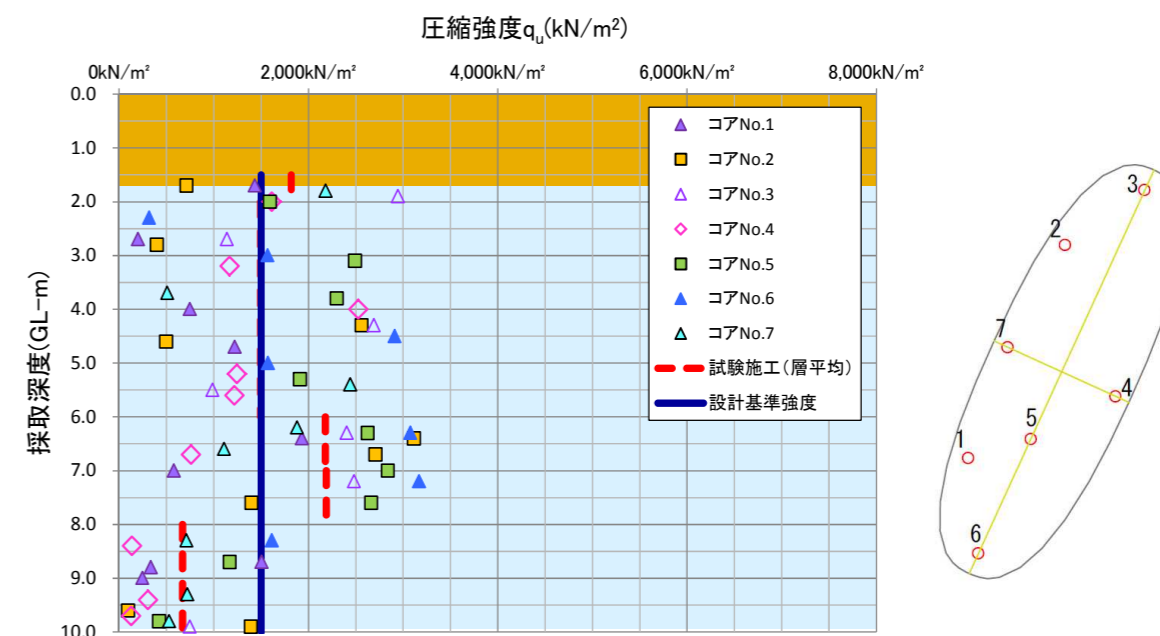


図 2-12 強度試験結果の深度分布 (楕円形 No. 4) : Miny マルチ工法

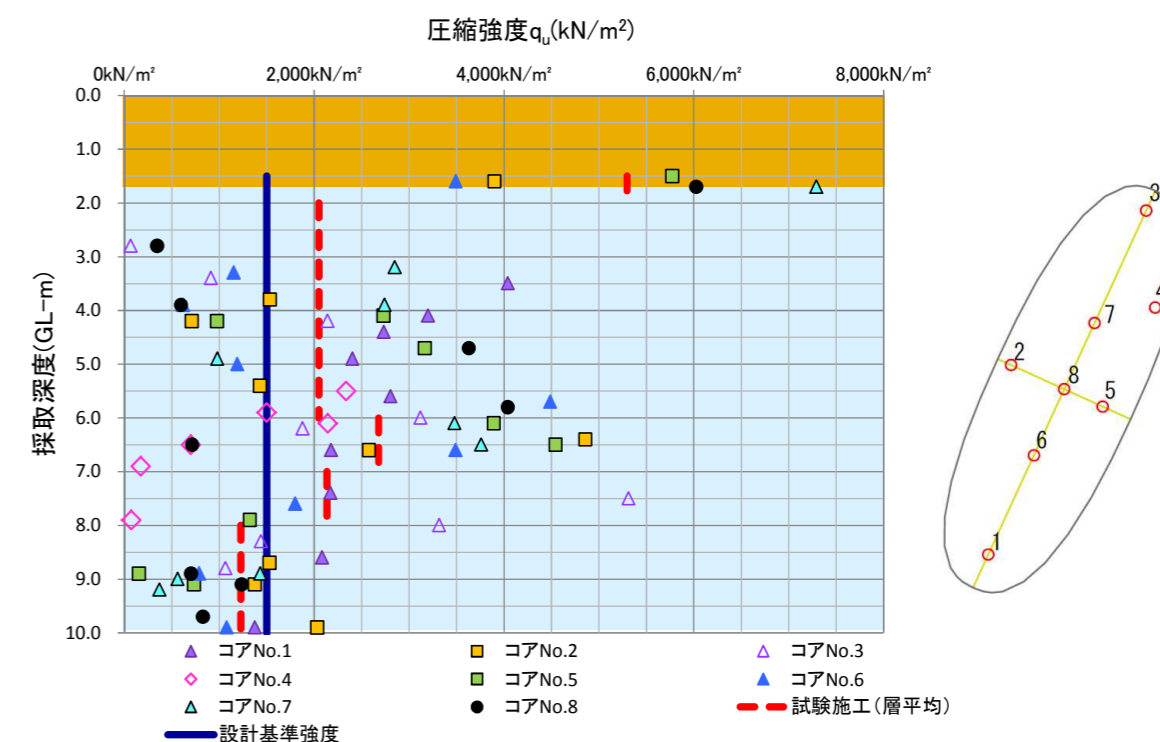


図 2-13 強度試験結果の深度分布 (楕円形 No. 6) : エコタイト工法

2.3.2 改良体の連続性

(1) 円形断面改良体

円形断面改良体の各ボーリングコアに対するコア採取率^{※1}をコア番号別に深度毎に整理したものでMinyマルチ工法によるNo.1改良体について図2-14、エコタイト工法によるNo.5改良体について図2-15に示す。これらの図より下記のことがわかる。

- ①No.1改良体においてはGL-7m以浅のFc層においてはコア採取率の平均が85%を超えているが、これ以深の遷移層からFcm層にかけてはコア採取率平均値が低下し75%以下となっている。また、GL-8m以下のFcm層においては、採取率が90%以上のコアと採取率0%のコアが存在し採取率の平均値が低下している。
- ②No.5改良体においては全体的にNo.1改良体に比べてGL-7m以浅のFc層及び遷移層のコア採取率平均値が低く70%以下となっており、特にGL-6m～GL-7mの遷移層の平均値が45%と低くなっている。GL-8m以下のFcm層ではコア採取率の平均値は82%程度とNo.1改良体より大きくなっている。また、各コアのばらつきはNo.1改良体よりも全般に大きくなっているが、No.1改良体のFcm層のように0%のものも存在しない。

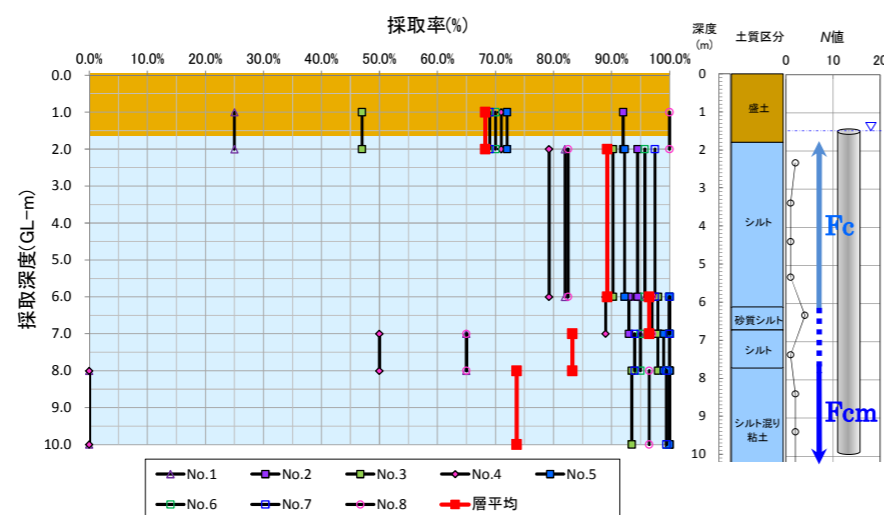


図2-14 採取率と深度分布 (円形 No. 1) : Miny マルチ工法

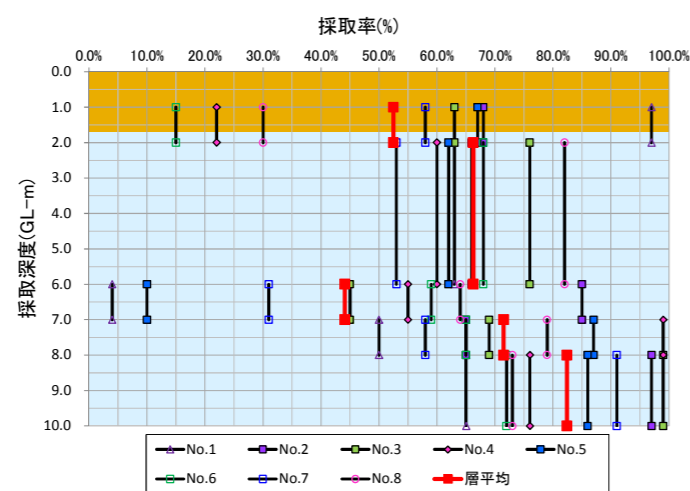


図2-15 コア採取率と深度分布 (円形 No. 5) : エコタイト工法

(2) 楕円断面改良体

楕円断面改良体の各ボーリングコアに対するコア採取率をコア番号別に深度毎に整理したものでMinyマルチ工法によるNo.3改良体について図2-16、No.4改良体について図2-17、エコタイト工法によるNo.6改良体について図2-18に示す。これらの図より下記のことがわかる。

- ① No.3、No.4、No.6の全ての改良体においてコア採取率の平均値はGL-7m以浅のFc層よりもそれ以深のFcm層および遷移層の方が高い。また、Fc層ではいずれも平均採取率85%以上と比較的高いコア採取率となっている。
- ② コア採取率のばらつきはGL-8m以深のFcm層では他の層よりも大きい傾向があり、特にNo.3改良体では採取率0%のコアと100%のコアが存在している。

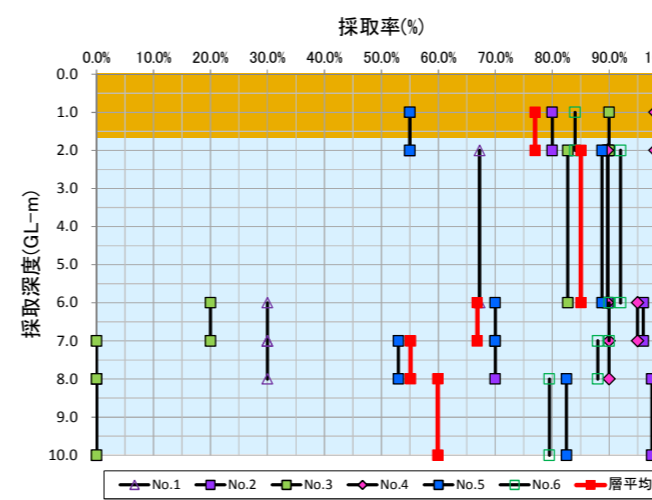


図2-16 採取率と深度分布 (楕円形 No. 3)

: Miny マルチ工法

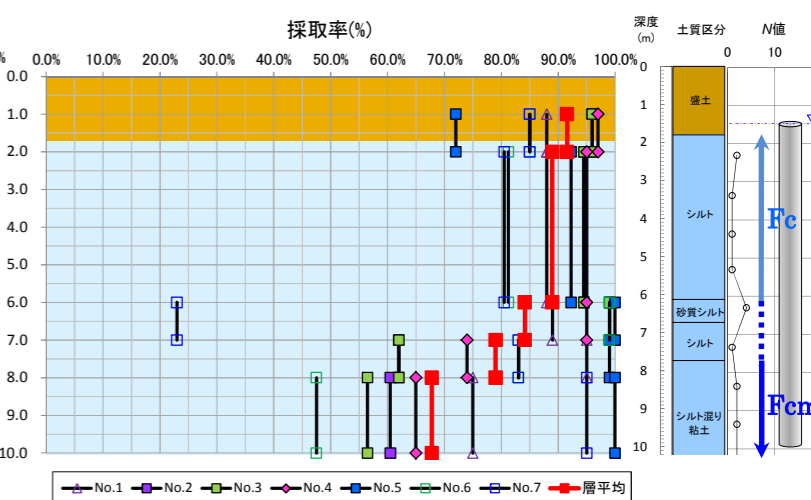


図2-17 採取率と深度分布 (楕円形 No. 4)

: Miny マルチ工法

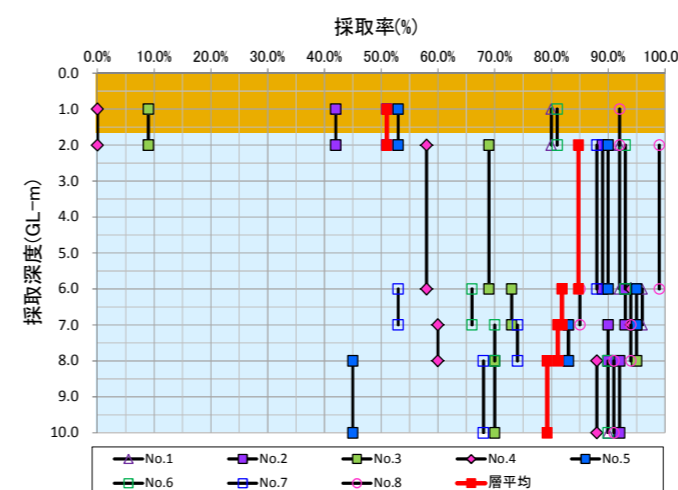


図2-18 採取率と深度分布 (楕円形 No. 6)

: エコタイト工法

※1) 図2-14～図2-18中の採取率の定義
 コア採取率(%)=(採取長-未固化長)/掘進長

2.4 改良品質への影響要因

2.4.1 ドレーン材による影響

(1) 噴流の阻害

改良体の強度は、円形断面の No. 5 において全層で各層の平均強度が設計基準強度以下となっている。また、この改良体のコア採取率も全体的に低く、ばらつきも大きい。円形 (No.5) では、施工中に、埋設物が噴射モニターに巻き付いていたことが確認されている (写真 1-13)。また、施工後の掘り出し調査によって、改良体内部にドレーン材が混入していることが確認されている。また、円形 (No. 5) から採取したコア No. 5-4 については、GL-2.5m 付近でドレーン材が混入していることが確認された。コア内のドレーン材の状況を写真 2-15 に示す。このコアを目視確認したところ、ドレーン材の混入箇所の周囲で、切削、混合が適切に行われず土塊の混入が多量になる状況が確認された。また、コアを割裂して、内部の改良状況 (写真 2-16) を確認したところ、固化されずに不均質な状態になっていた。これらの状況から、ドレーン材自身が噴流の障害物となり、地盤の切削及び攪拌が通常通り実施されなかった可能性が考えられる。一方、楕円形改良体 No. 3 から採取したコア No. 3-6 においては、コア中にドレーン材が混入していた (写真 2-17) が、連続性、強度ともに比較的良かったことから、健全な改良体にドレーン材が混入しても影響は改良体全体に及ばず局所的であり品質への影響は小さいと考えられる。

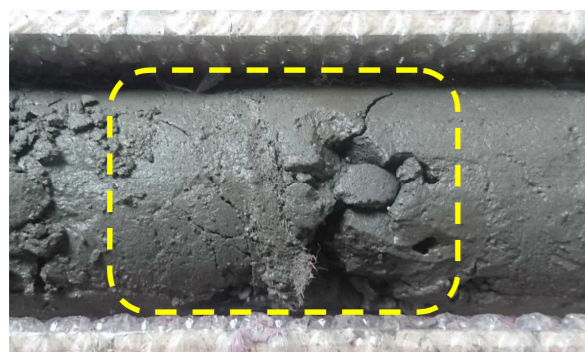


写真 2-15 コア内のドレーン材の状況 (円形 No. 5)



写真 2-16 コア内部の固化状況 (円形 No. 5)

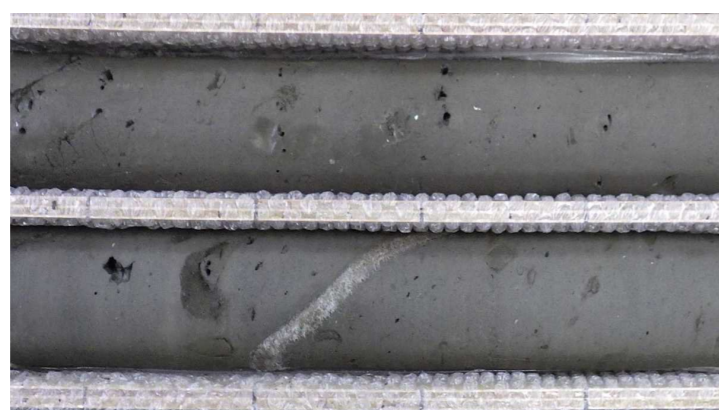


写真 2-17 コアの外觀写真 (楕円形 No. 3 中層)

円形改良体 (No. 5) の施工では、掘り出し後の改良体天端に埋設物の存在が確認されており、中心に対して埋設物側とその反対側で強度の差異を比較した結果を図 2-19 と図 2-20 に示す。埋設物コア No. 1 および No. 2、これらのコア採取位置に近い No. 5 および No. 8 の方向 (図 2-19 凡例の黄色の領域) については、各土層の平均に対して、全体的に強度が低くなる傾向がある。反対方向に位置するコア No. 3、No. 4、No. 6、No. 7 の方向 (図 2-20 凡例の緑色の領域) については、全体的に強度が高い、あるいは同等の傾向であった。この結果より、No. 5 改良体では噴射モニターにドレーン材が巻き付いた影響に加えて改良体中の埋設物があることにより、噴射圧や流速の低下あるいは攪拌流速の低下などの噴流阻害がドレーンのある方向で大きかった可能性が考えられる。

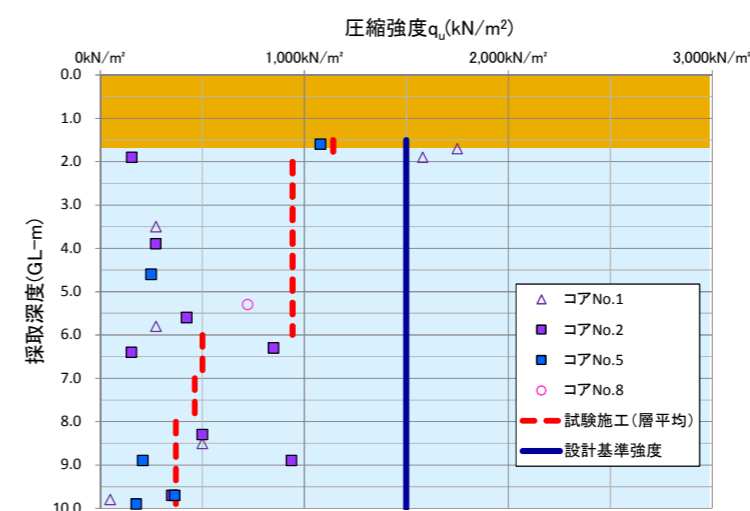


図 2-19 強度試験結果の深度分布 (コア No. 1、2、5、8)

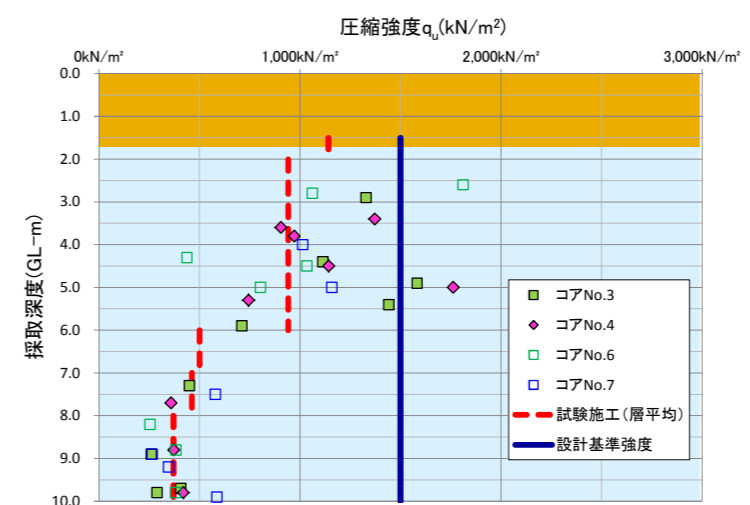


図 2-20 強度試験結果の深度分布 (コア No. 3、4、6、7)

(2) 改良体頭部の出来形

掘り起こした後の改良体頭部の状況からは、計画改良範囲内にあった埋設物（ドレーン材）によって、極端な改良径不足になるような状況は確認されなかった。ただし、多くの改良体で、頭部で部分的に突起した形状が確認され、表層で水平に折れ曲がったドレーンに向かってセメントスラリーが逸走した表層のみの現象と考えられる（写真2-18）。改良体の周囲にはドレーン材が多く確認されており表層付近で水平に折れ曲がったものも多く発見された（写真2-19）。



写真2-18 セメントスラリーの逸走状況



写真2-19 改良体と埋設物（円形 No. 1）

表2-6 改良体周辺埋設物と改良形状の関係（円形 No. 5）

測定方向	杭芯-埋設物離隔 [mm]	埋設物離隔/計画改良径 (r)	実測/計画 (r)
測点0→5	1,700	2.3	1.1
測点0→6	1,450	1.9	1.1
測点0→8	1,350	1.8	1.4
測点0→7	1,200	1.6	1.4

※計画改良径は半径750mm(r)とする

2.4.2 土質による影響

1.3で述べたように、本工事の敷地内は、旧河道部のいわゆる滞筋にあるため上部の埋め土層の粘性土Fc層の下に、旧河道の埋め立て堆積層Fcm層がありこれらの粘性土の中間に埋め土層の砂層Fs層が存在している。試験施工を実施したのは、図1-5におけるC-C'断面のC側に近い部分でありFc層とFcm層が接近しており、中間にごく薄いFs層がある場所とFs層の無い場所であることが推定される。当初の土質試験結果からはFc層もFcm層も土質性状が大きく異なることは無くFcm層の方が若干塑性指数が高く自然含水比が高いと推定されていた。ただし、試験施工箇所での調査結果がないため、試験施工改良体の近傍で地盤の追加ボーリング調査を実施した。図2-21に調査位置を示す。また、図2-22に図2-21の楕円断面改良体付近No.4の位置で実施した標準貫入試験結果を示す。GL-2m~6mはN値0~2の非常に軟らかいシルト層でFc層と考えられ、GL-6m~7mに薄い砂層Fs層があり、その下のGL-7m~9mがN値1の非常に軟らかいシルト層でFc層とFcm層の遷移領域と考えられるGL-9m以深はN=2の軟らかいシルト層でありFcm層と考えられる。図2-21の円形断面改良体付近No.3および楕円断面改良体付近No.3のGL-3m~5mのFc層GL-8m~10mのFcm層（遷移層含む）の土質試験結果を表2-7に示す。この結果から、Fc層およびFcm層ともに図1-7の事前調査結果に比べて液性限界が高く、高塑性であることがわかる。また、粘着力CはFc層で約30kN/m²、Fcm層で約50kN/m²とFcm層の粘着力が高いことがわかる。図2-22よりFcm層ではN=2程度と推定されるが、たとえば大崎の式では $C=qu/2=(40+5N)/2=25\text{kN/m}^2$ と推定されるのに対し三軸試験結果では2倍程度の粘着力となっている。

(1) 土塊（ダマ）の影響

2.3.1で述べたように改良体の強度は、楕円断面のNo.3改良体を除いてGL-8m以下のFcm層の平均強度がGL-6m以浅のFc層の平均強度の約50%程度と低くなっている。これは、Fcm層において土塊（ダマ）の混入が多いことなどによると考えられ、地盤の粘着力が大きいことで切削、攪拌が不十分となったためであるとされる。土塊（ダマ）は、Fcm層の切削、攪拌不足で発生し全層にわたって拡散していると考えられる。

(2) 排泥への影響

Fcm層の粘着力が高いことで、排泥の粘性も高くなりやすく排泥の閉塞を誘発し噴発の原因になった可能性がある。

(3) 有機物等の影響

改良対象土が高有機質土の場合は、含まれている無機質分が極めて少ないことから、強熱減量がほとんど有機物含有量と考えられる。逆に、高有機質土以外の場合は、強熱減量は有機物および結合水や結晶水の含有量を示すことになる。また、一般に土中の腐植酸（フミン酸）などの酸性物質はセメントの水和反応を阻害するとされていることから、酸性領域であると各種の水和反応が阻害され、改良効果に影響を及ぼすと言われている。

改良対象土（試験施工箇所）とした試料土の基本物性値を把握するために化学試験を行った。具体的には、強熱減量試験（JIS A 1226、JGS 0221）、および土懸濁液のpH試験（JGS 0211）を実施した。なお、各試験は、試験施工エリアのうち改良体付近の原地盤（2箇所）の土壌と、採取した改良体コア（未改良部）に対

して行った。ここでは、試験施工エリアのうち原地盤で採取した土壌に対する試験結果を表2-8に示す。強熱減量試験の結果及びpH値は、後述する事前配合試験の土壌と比較して差はなかった。これより、土壌中の有機物に起因して強度低下を招いたとは考えにくい。

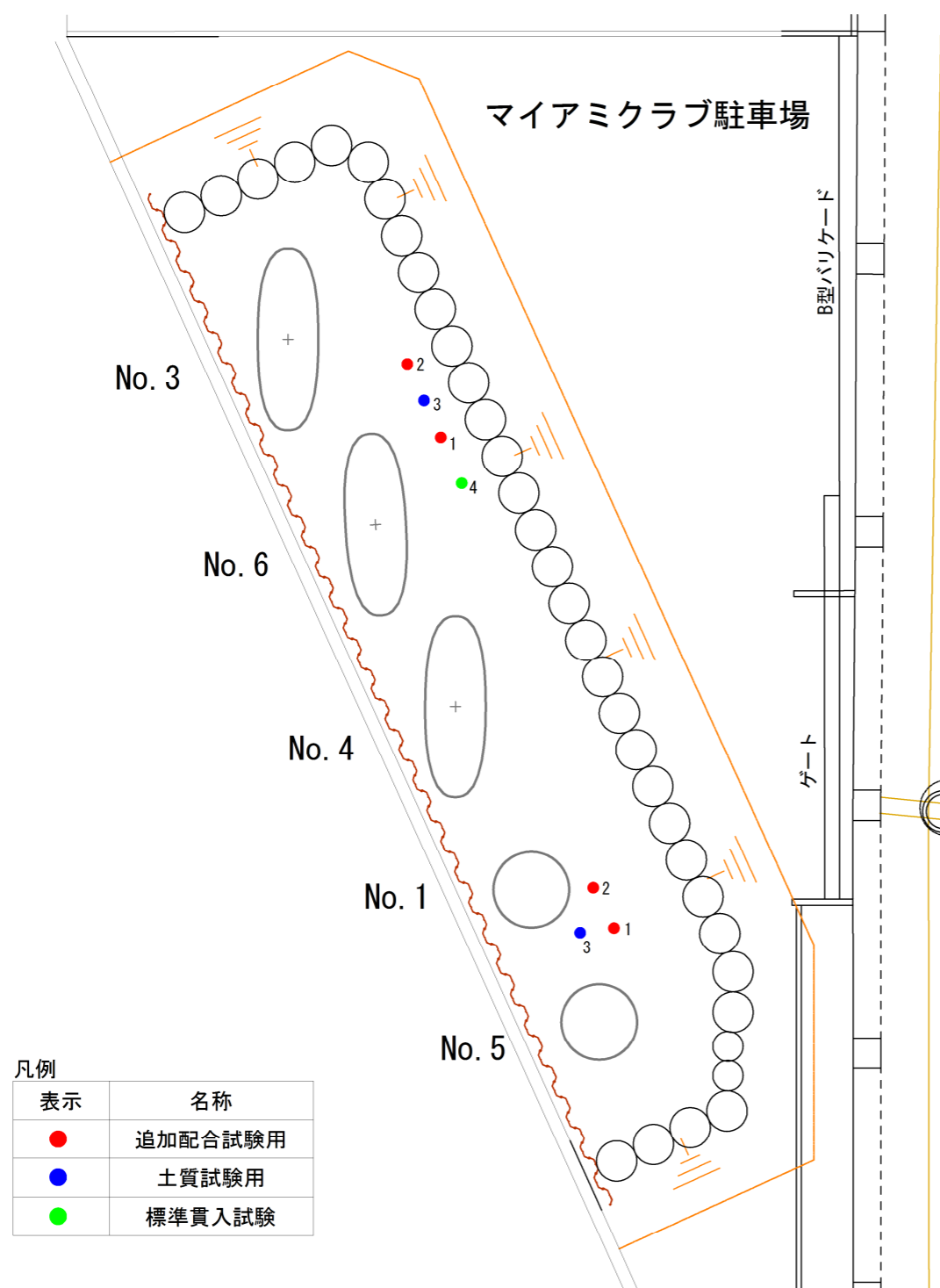


図2-21 調査位置

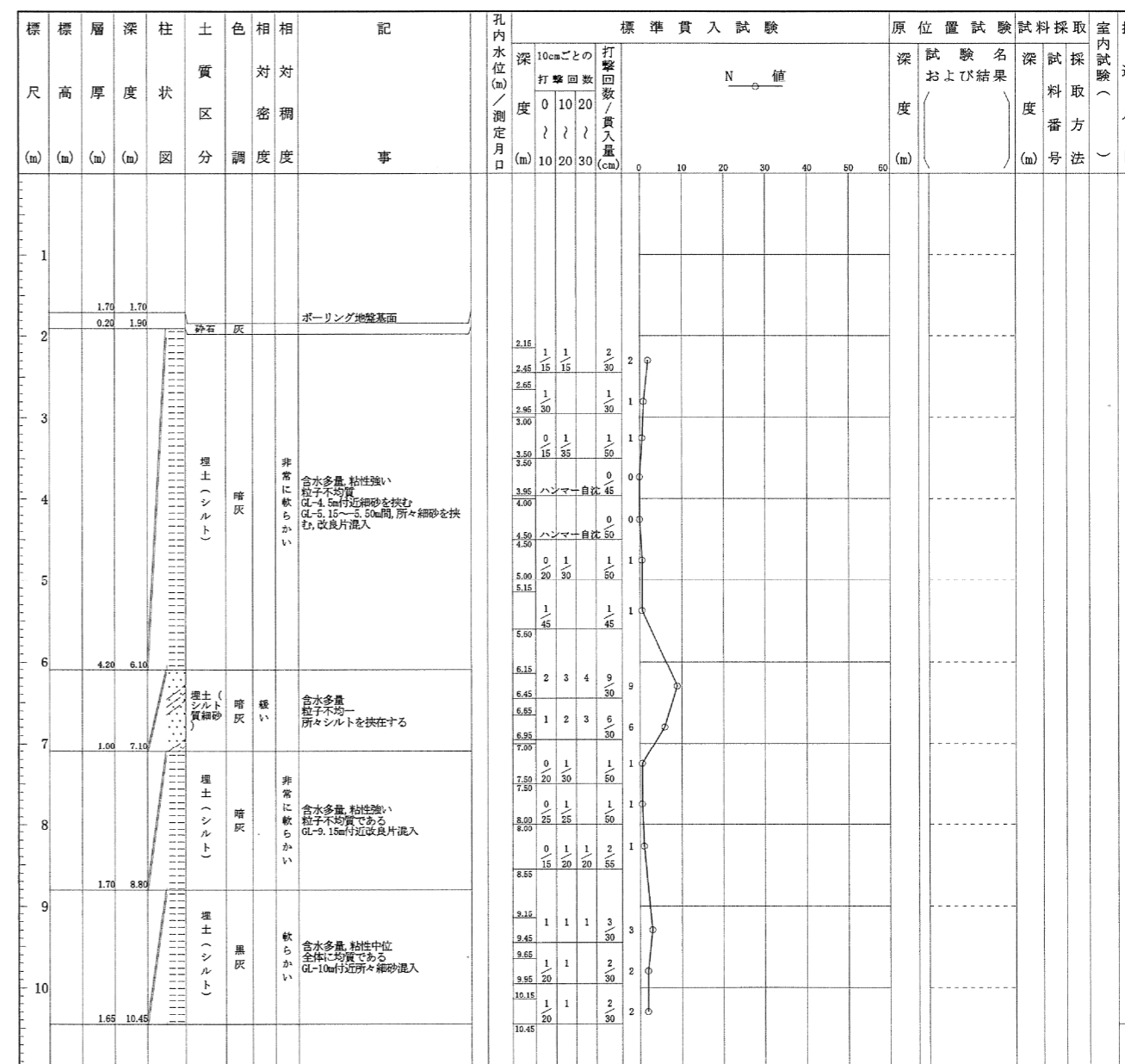


図2-22 調査ボーリング柱状図

表 2-7 土質試験結果一覧

地点名		円形側		楕円形側	
		3.00 ~ 5.00	8.00 ~ 10.00	4.00 ~ 5.30	8.00 ~ 10.00
一般	湿度密度 ρ_t g/cm ³	1.669	1.613	1.722	1.604
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.078	0.996	1.168	0.975
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.624	2.627	2.637	2.606
	自然含水比 W_n %	55.3	62.0	48.4	64.5
	間隙比 e	1.450	1.638	1.283	1.674
	飽和度 S_r %	100.2	99.4	99.6	100.4
	深度GL-(m)				
粒度	礫分(2~75mm) %	0.0	0.0	0.0	0.9
	砂分(0.075~2mm) %	7.6	10.5	7.2	5.5
	シルト分(0.005~0.075mm) %	72.5	81.7	53.2	59.2
	粘土分(0.005mm未満) %	19.9	7.8	39.6	34.4
	細粒分含有率 F_c %	92.4	89.5	92.8	93.6
	最大粒径 mm	2.00	2.00	2.00	4.75
	均等係数 U_c	---	6.49	---	---
	曲率係数 U_c'	---	1.14	---	---
	50%粒径 D_{50} mm	0.0282	0.0400	0.00793	0.00920
	コンシステンシー特性	液性限界 W_L %	88.1	82.7	83.4
塑性限界 W_P %		41.1	40.2	32.2	39.0
塑性指数 I_P		47.0	42.5	51.2	49.5
コンシステンシー指数 I_C		0.698	0.487	0.684	0.485
分類	地盤材料の分類名	砂まじりシルト (高液性限界)	砂まじりシルト (高液性限界)	砂まじり粘土 (高液性限界)	砂まじりシルト (高液性限界)
	分類記号	(MH-S)	(MH-S)	(CH-S)	(MH-S)
圧密	試験方法	段階載荷	段階載荷	段階載荷	段階載荷
	圧縮指数 C_c	0.744	0.870	0.452	0.638
	圧密降伏応力 p_c kN/m ²	97	146	112	155
せん断	試験条件	UU三軸	UU三軸	UU三軸	UU三軸
	粘着力 c kN/m ²	33.0	52.0	31.0	49.0
	せん断抵抗角 ϕ 度	0.0	0.0	0.0	0.0
pH値	pH値	8.6	8.0	8.8	8.4
	強熱減量 %	6.3	6.4	5.7	8.7

表 2-8 試験結果

採取箇所		採取深度	pH値	強熱減量 (%)
本施工 (舞浜三丁目その1)		Fs層	8.7	4.0
		Fc層	8.4	7.2
試験施工 (マイアミクラブ駐車場)	円形側	GL-3.0m~5.0m	8.6	6.3
		GL-8.0m~10.0m	8.0	6.4
	楕円形側	GL-4.0m~5.3m	8.8	5.7
		GL-8.0m~10.0m	8.4	8.7

(4) 配合への影響

配合計画時には配合対象土の基本物性値を把握するために土質試験を実施している。その際、図 2-23 に示す4地点で採取して、採取コアの観察状況ならびに2015年度浦安市市街地液状化対策検討委員会において報告された土質調査結果(例えば図 1-7)をもとに、土質試料としてFs、Fc等の各層ごとに試料調整を行った。

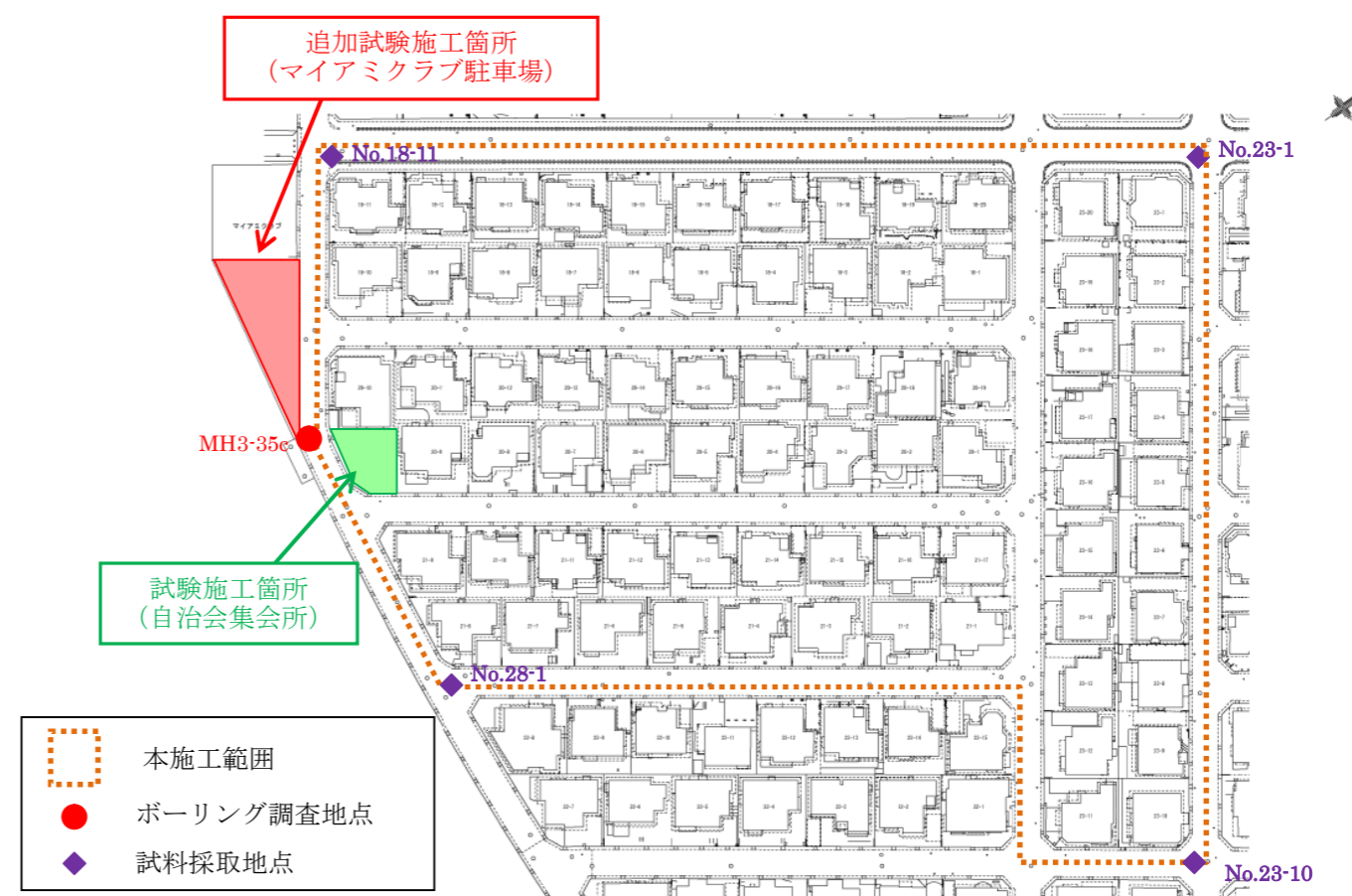


図 2-23 試料採取位置

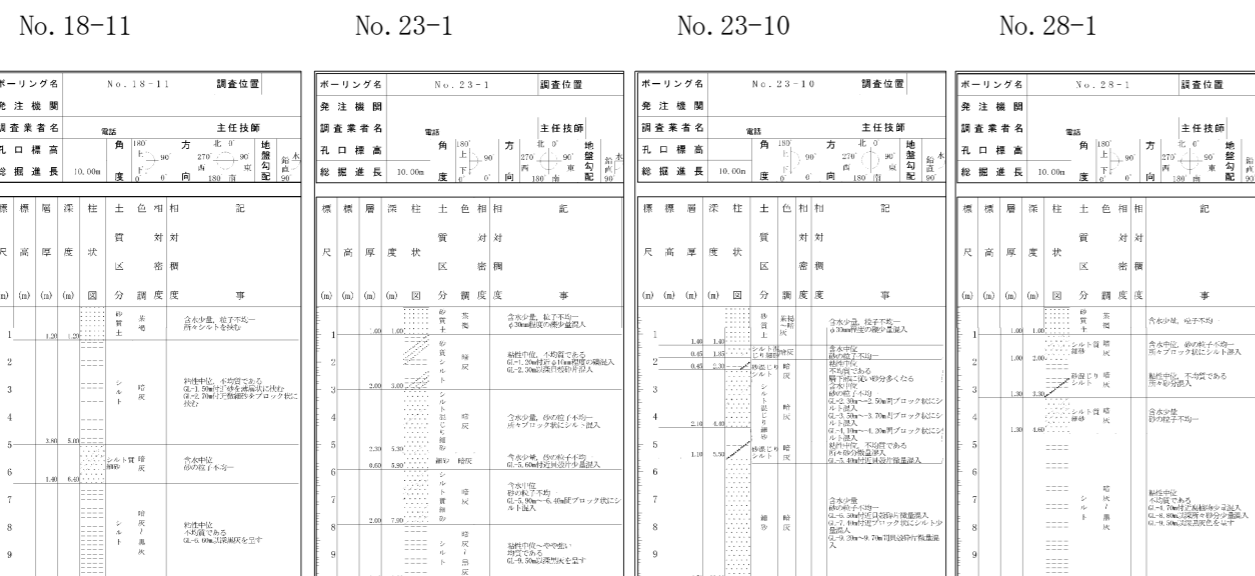


図 2-24 試料採取位置と土質コア観察結果

配合計画時に実施した土質試験項目は、以下のとおりである。

- ①粒子密度試験、②含水比試験、③湿潤密度試験、④粒度試験、⑤液性、塑性限界試験

配合対象土の土質試験結果一覧を表 2-9 に示す。今回対象土層となる浚渫土 (Fs 層、Fc 層) は、成層堆積が確認されている自然地盤ではないが、「沖積粘土」の一般値とほぼ同じ値を示しており、この時点では各試験項目において特に問題となる結果は見受けられなかった。

一方、試験施工後に改良体付近の土質を用いて実施した前述の表 2-7 の調査結果においては Fc 層、Fc_m 層において表 2-9 で想定していた液性限界よりも高い値を示しておりコンシステンシー指数 I_c がかなり大きくなり、攪拌不足や配合不適合となった可能性が考えられる。

新たに試験施工箇所にて採取した土壌で実施した配合試験の結果によると、GL-2m~7m の土壌及び GL-7m~10m の土壌のそれぞれにおいて事前配合試験の結果と異なることが確認された。単位固化材量 C/V における事前配合試験結果との比較の一例を図 2-25 に示す。この結果より事前配合試験と比較して試験施工箇所の土壌は単位固化材量を増加させても強度が増加しにくい傾向が見られる。

表 2-9 土質試験結果一覧

土層記号		Fs	Fc
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.806	1.602
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.307	0.970
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.685	2.634
	自然含水比 W_n %	38.2	65.1
	間隙比 e	1.055	1.716
	飽和度 S_r %	97.3	99.9
粒度	礫分 (2~75mm) %	0.2	0.0
	砂分 (0.075~2mm) %	40.1	5.4
	シルト分 (0.005~0.075mm) %	40.3	46.9
	粘土分 (0.005mm未満) %	19.4	47.7
	細粒分含有率 F_c %	59.7	94.6
	最大粒径 mm	4.75	2.00
	均等係数 U_c	---	---
	曲率係数 U_c'	---	---
50%粒径 D_{50} mm	0.0497	0.00564	
コンシステンシー特性	液性限界 W_L %	39.1	70.8
	塑性限界 W_P %	27.2	35.7
	塑性指数 I_P	11.9	35.1
	コンシステンシー指数 I_C	0.076	0.162
分類	地盤材料の分類名	砂質シルト (低液性限界)	砂まじりシルト (高液性限界)
	分類記号	(MLS)	(MH-S)
	pH値	8.7	8.4
	強熱減量 %	4.0	7.2

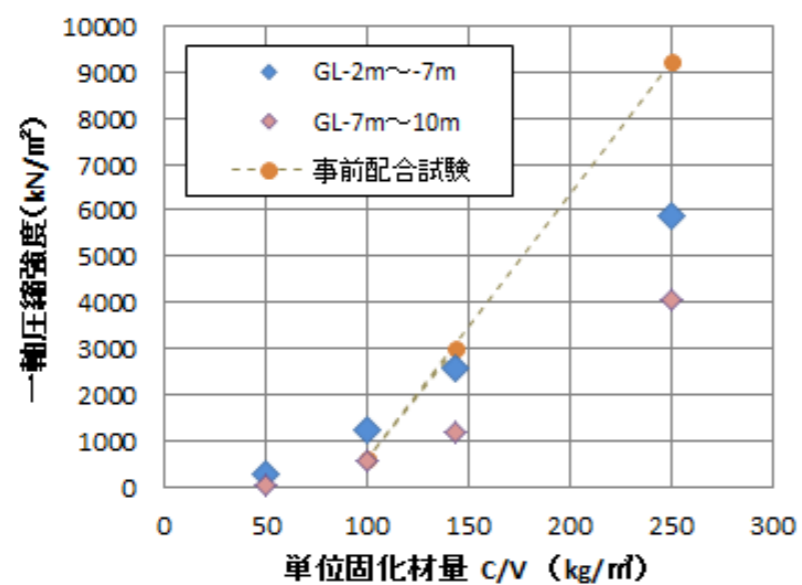
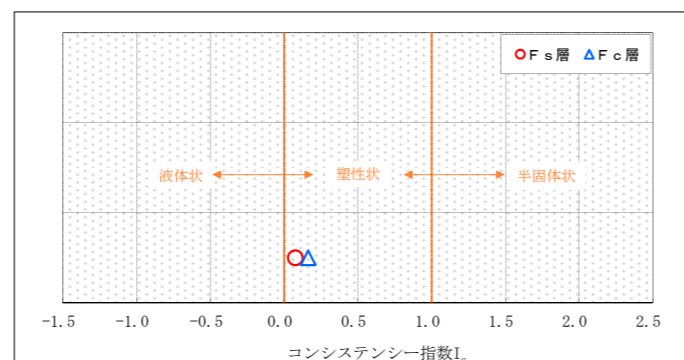


図 2-25 事前配合試験との比較

<参考>

高圧噴射攪拌工法の攪拌特性に影響する指標としてコンシステンシー特性が考えられる。試験の結果、当該対象土層のコンシステンシー指数 I_c は、Fs 層、Fc 層共に $I_c=0$ 付近に位置し、今回の施工では、Fs 層が厚く堆積しているものの、高圧噴射攪拌工法の噴射エネルギーにより、容易に攪拌可能であると判断された。



参考図 各土層におけるコンシステンシー指数 I_c

2.4.3 影響要因抽出と施工仕様との関係

品質不良の発生要因としては、「ドレーンによる要因」、「土質による要因」と施工仕様の不適合が考えられる。これらの要因を表2-10に整理した。

また、この表から推定される品質不良発生のシナリオとして下記の5項目が抽出される。

- ① ドレーンのモニター巻き付きによる噴射孔の噴射阻害による切削・攪拌不良、排泥不良
- ② ドレーンの抵抗による噴流阻害による切削・攪拌不良、排泥不良
- ③ 粘着力の高い粘性土（高粘性土）による切削・攪拌不良、排泥不良
- ④ 切削・攪拌不良によって発生した土塊（ダマ）の排泥不良
- ⑤ 粘着力の高い粘性土やプレジェットに対する配合不良

表2-10 品質に影響を与える要因と施工仕様との関係

施工条件	切削・攪拌		排泥					配合			
	圧力	流量	流量	回転数	エア量	プレジェット	添加剤	ガイド管	固化材料	水量	添加剤
ドレーンのモニター巻き付きによる噴射阻害	モニター噴射孔の圧力阻害により切削能力、攪拌能力の大幅な低下 ◎	モニター噴射孔の流速阻害により切削攪拌能力の大幅な低下 ◎	モニター噴射孔の流量阻害により排泥に必要な流速が大幅に不足 ◎			モニター噴射孔のプレジェット阻害により排泥経路を確保できない ○					
ドレーンの抵抗による噴流阻害	圧力阻害によりドレーン裏面の切削能力、攪拌能力の低下 ◎	流速阻害によるドレーン裏面への攪拌能力、切削能力の低下 ◎	流速阻害により排泥に必要な流速が不足 ◎	ドレーンによる回転方向流速阻害により同一回転数に対する渦流阻害による排泥阻害 ○		プレジェット阻害により排泥経路を確保できない △					
粘着力が高い粘性土	高粘性の粘土に対しエネルギー不足による切削・攪拌不十分で土塊(ダマ)の発生 ◎	高粘性の粘土に対しエネルギー不足による切削・攪拌不十分で土塊(ダマ)の発生 ◎	土塊(ダマ)を排出するには噴射流量が不足していた ◎		ドレーンなどによるリーク懸念からエア量不足により土塊(ダマ)の排泥能力の不足 ○		添加剤により排泥粘性が低下し土塊(ダマ)排泥能力が低下 ○	土塊(ダマ)を排泥するには径が不足 ◎	想定外の高粘性土のため配合の相違が生じた ◎		添加剤との相性が悪く強度低下を招いた △
プレジェットによる加水影響									プレジェットによる含水比増加により固化材量が不足した ◎	プレジェットにより単位水量が過大となった ○	

凡例

◎不良要因となった可能性が高い組合せ

○ // やや高い組合せ

△ // ある組合せ

× // ない組合せ

第3章 施工法の検討

3.1 高圧噴射攪拌工の施工法改善

(1) 不良要因に対する施工法の改善策

表 3-1 に、前述した5項目の品質不良発生シナリオに対する改善策を示す。これらの改善策に対して、各工法への適性および地盤変位や噴発などの回避を十分考慮して選定した再試験施工における具体的仕様については第4章で述べる。

表 3-1 不良要因に対する改善策

大項目	不良シナリオ 具体策	ドレーンのモニター 巻き付きによる 噴射阻害	ドレーンの抵抗に よる噴流阻害	高粘性土による切 削攪拌不良による 土塊(ダマ)発生	土塊(ダマ)の排泥 不良	高粘性土やプレ ジェットに対する 配合不良
エネルギー向上	流量増加		○	○	○	
	引上げ速度低下			○	○	
	噴射圧増加		○	○	○	
切削能力向上	引上げステップ高縮小			○		
	複数回施工			○	○	
排泥能力向上	プレジェットの工夫 ・切削力向上 ・濃度のコントロール				○	
	流量増加		○	○	○	
	回転数増加		○			
	エア量増加				○ (隆起等に注意)	
	ガイド管径拡大				○ (埋設干渉注意)	
	添加剤の工夫				○	
攪拌能力向上	流量増加		○			
	回転数増加		○			
	噴射圧増加					
ロッド周辺の ドレーン撤去	・巻き取りやすいロッド先端形状採用 ・ロッド引上げ時確認撤去	○				
配合設計見直し	固化材量				○	○
	添加材				○	○

(2) ドレーン材の撤去方法の検討

改良体中心近傍については、試験施工においても削孔時や造成時に先端のビットやロッド、モニター等にドレーンが巻きついて確認されており、削孔ビットを通常より大きくするなどの工夫によって削孔時の巻き付きや、プレジェット実施後などにおいてロッドを引き抜くことで巻きついたドレーンを撤去するなどにより、モニターへの巻き付きを防止できると考えられる。

(3) 高粘性土に対応した施工仕様

①高粘性土切削能力向上

試験施工は、これまでに実施した原位置実験などの結果を元に立案している。しかし、試験施工箇所において事後に実施した土質試験結果によると、実際の土壌は、粘着力（下部で $c=52\text{kN/m}^2$ ）が高い粘土の存在が確認された。このように粘着力の高い粘性土に対して改良体の品質を確保するには、切削攪拌能力を向上させた施工仕様を設定する必要がある。具体的には、

- ・噴射圧力を上げる
- ・単位固化材噴射量を上げる
- ・造成時の引上速度を遅くする

などの見直しが必要となる。

試験施工の施工仕様では切削・攪拌エネルギーの不足によって、以下の状況が発生したと考えられる。

- 固化材スラリーの噴射流量及びエアの噴射流量が少なく、土塊等を攪拌排出する能力が比較的弱かった。
- 土壌を攪拌する力が十分でなかった為、固化材スラリーと土壌が、均一に混ざらずに排出されてしまった。

これらを踏まえた各工法の再試験施工の施工仕様（案）は4章に示す。

②複数回施工による改善

造成に関して2度施工を行うことで、土塊の排出量の上昇などが見込める。表3-2に1度施工と2度施工の違いを示す。

表3-2 施工回数の違い

施工回数※	砂質及び軟弱な粘性土の場合	粘着力の高い粘性土
1度施工	攪拌しやすい土壌の為、1度施工で十分に攪拌される	改良体内に土塊が残りやすい
2度施工	通常は利用されない	<ul style="list-style-type: none"> ・集積した土塊の排出促進 ・再攪拌によって改良体内のバラツキを抑える ・土塊を再度攪拌するため、排出機会が多くなる ・1回目の噴射で改良体内の比重が増加するため、2回目の噴射では土塊の排出能力が比較的向上する

※施工回数は、造成に関する施工を示す。

1度施工と2度施工の効果の比較を図3-1および図3-2に示す。2度施工を行った実績では、平均強度やばらつきが改善が確認されている※1)。

これらを踏まえた再試験施工の施工仕様（案）は4章に示す。

<参考> 1度施工と2度施工の改良効果の比較※1)

・対象地盤：砂質土 N 値 30 以上

表3-3 施工仕様の比較

項目	1度施工	2度施工	
		1回目噴射	2回目噴射
造成径	$\phi 2.0\text{m}$	$\phi 2.0\text{m}$	
造成回数	1回	2回	
噴射流量	180 L/min	180 L/min	180 L/min
引上時間	13 min/m	8 min/m	5 min/m
圧力	36 MPa	36 MPa	36 MPa
W/C	100 %	110 %	110 %
単位固化材量 C/V	257 kg/m ³	-	257 kg/m ³

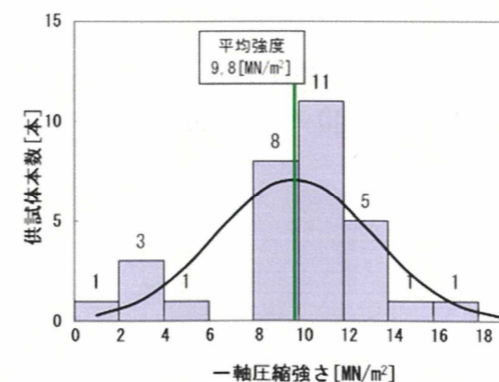


図3-1 1度施工の強度分布

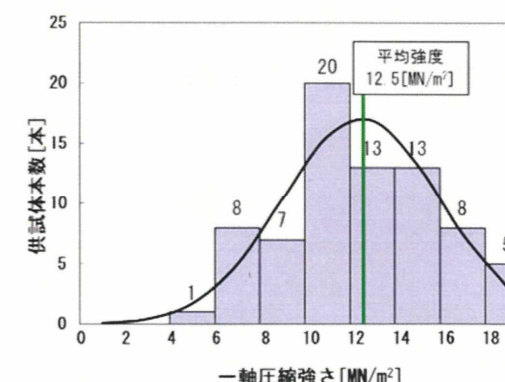


図3-2 2度施工の強度分布

※1) ジェットクリート工法による施工実績の例

③引上げステップ長の縮小

Step高さを小さく変更し、硬化材切削時の土塊のサイズを小さくすることで出来形不足を解消する（主にMinyマルチ工法を対象とする）。

(4) 土塊の排出

ジェットで切削した土塊が改良範囲内に詰まると改良品質の低下につながる。土塊排出のイメージを図3-3に、土塊を減少させるために必要な項目とその対策方法を表3-4に示す。

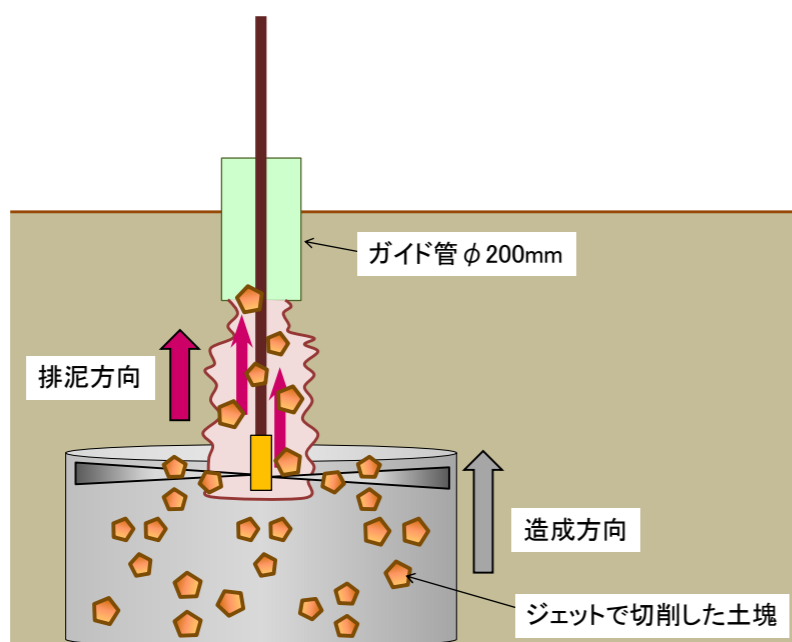


図3-3 土塊排出の概念図

表3-4 土塊を減少させる為の対策方法(例)

土塊を減少させる為に必要な項目	対策方法
土塊を排出させるエネルギーの向上	<ul style="list-style-type: none"> ・噴射流量の増加 ・エア一量の増加
土塊径を小さくし排泥の比重上昇及び粘性の適正値を確保	<ul style="list-style-type: none"> ・噴射流量、圧力、時間を増加 ・固化材配合(W/C)を濃くする ・室内配合試験による適正量設定
集積した土塊の排出を促進	<ul style="list-style-type: none"> ・2度施工の実施
口元管での土塊の集積、閉塞の防止	<ul style="list-style-type: none"> ・口元管の拡径

(5) 配合設計

①粘性土に対応した配合計画(エコタイト工法を対象)

円形付近の土壌を採取して行った配合試験の結果では、事前の配合試験結果と異なる結果が確認された。事前配合試験結果より、単位固化材量 $C/V=144$ (kg/m^3) に設定していたが、室内配合強度 $3,000$ (kN/m^2) に対して単位固化材量の見直しが必要になる。具体的には、GL-2m~7mの土壌で、図3-4より単位固化材量 $C/V=154$ (kg/m^3) 以上必要になると考える。また、GL-7m~10mの土壌で、図3-5より単位固化材量 $C/V=211$ (kg/m^3) 以上必要になると考える。

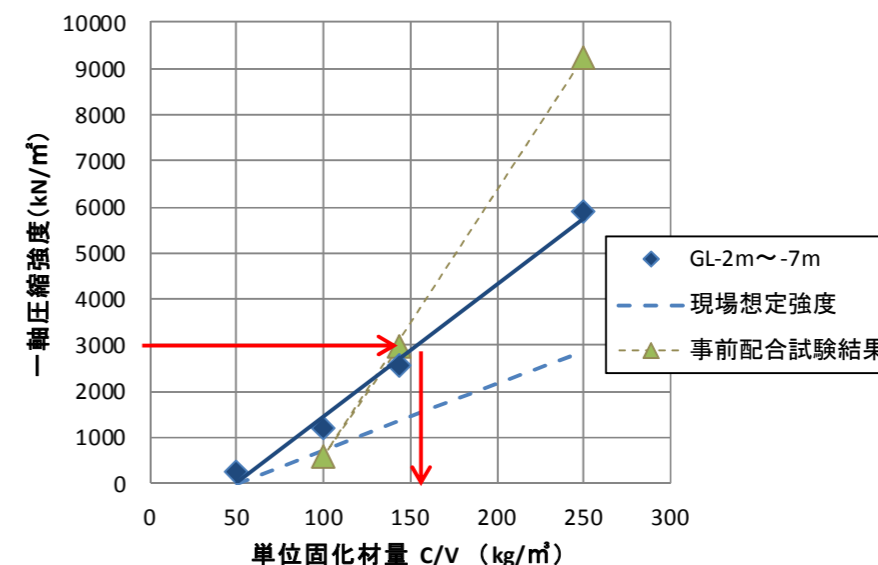


図3-4 Fc層対象土壌(GL-2m~7m): C/V

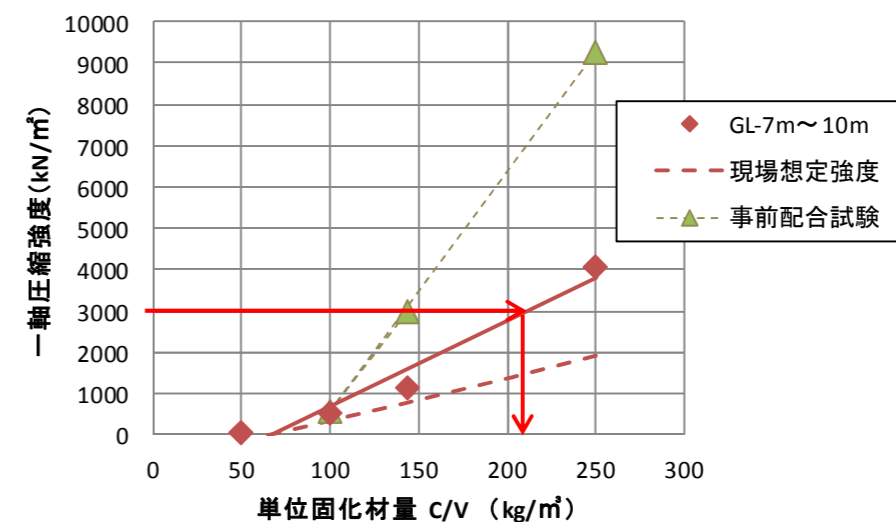


図3-5 Fcm層対象土壌(GL-7m~10m): C/V

3.2 品質確保に係わる施工管理

(1) 地盤変状へのリスク対応

地盤改良工事にあたっては、施工箇所周辺地盤等の計測計画に基づき、地盤の変位(水平・鉛直)を直接計測し、家屋に影響が出ないよう細心の注意を払いながら施工を進める。計測計画では、試験施工による変位の実績や小規模建築物基礎設計指針に記された「許容沈下量の参考値」などを参考に、適切な計測頻度や管理基準値等を設定している。

今回の地盤条件をうけ、試験施工で定める高圧噴射攪拌工法の噴射仕様(以下「対策仕様」)は、現計画よりも高エネルギー噴射条件(高圧力、高流量)へ移行させることが想定され、地盤変状に対するリスクの発生が懸念される。したがって、施工による地盤変状リスクを低下させることを目的とした、以下の方策について検討する。

①宅地内施工(高圧噴射攪拌工)の計測管理値(案)

住宅基礎に直接的な変位を発生させないために、改良体の中心から1m程度離れた地表面位置に変位計測用のポイント(計測杭など)を設置し、その位置での水平・鉛直方向の変位を計測管理することで、家屋への影響を防止する。

具体的には上記地盤上の計測ポイントにおける許容変位は、学会参考値や本工法による変位の実績値ならびに現実的な計測精度などを考慮し±15mm(建築学会基準による許容沈下量の参考値25mm~30mmの約1/2の値)と定義するものとする(2次管理値とする)。また、その70%を1次管理値とし、施工管理上、出来る限り1次管理値以下に変位を抑えられるよう注意深く施工を行う。施工を継続していくうえで、変位が1次管理値(±10mm)ならびに2次管理値(±15mm)に達した場合は、次項に示す別途対応策を実施することとし、計測位置での変位を許容値以下に抑えるように施工するものとする。

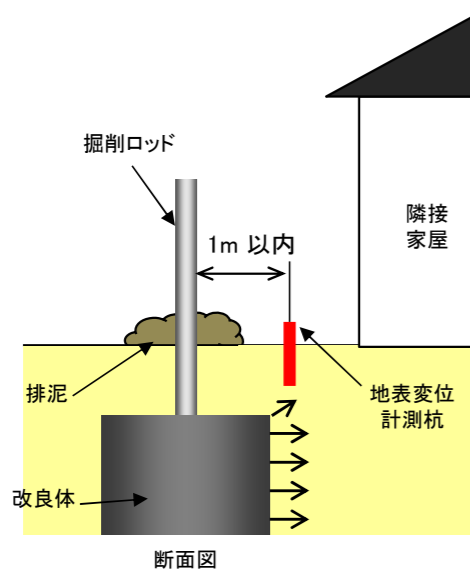


図3-6 家屋基礎に対する観測施工

表3-5 計測管理値(案)

	1次管理値	2次管理値
管理値	10mm	15mm

表3-6 計測位置・頻度(案)

計測箇所	計測頻度	備考
施工部に面しかつ住宅基礎に近接した地表面	施工前 施工後 翌日	3箇所/面
施工上の不具合発生時	発生時	随時

表3-7 管理基準値と対策の例(案)

段階	状況	対応策
1	実測値 ≤ 10mm	安全性に問題なく工事を続行する。
2	10mm < 実測値 ≤ 15mm	管理値である2次管理値以内に実測値が入っているので、この段階では問題ないが、念のため工事を1時間程度中断し、原因の追究、対策の検討を行うとともに、施工再開時に再度実測値の確認を行い、施工継続の可否を判断する。 ・計測頻度を増やす ・変位の原因となる要因の推定・除去 ・施工手順の配慮 など
3	15mm ≤ 実測値	工事を一時中断、浦安市に報告・協議のうえ対応策を再検討、対策工の実施後に工事を再開する。 ・打設時間間隔や打設位置の再検討 ・建屋など構造物の直接計測 など

②施工手順による方策

現計画による高圧噴射攪拌の施工手順は、改良体下端深度から改良体上端深度まで、掘削ロッドを上方に引き上げながら一気に施工するが、その場合、改良体上部の未改良地盤の厚さが1.5mであるため、高噴射エネルギーが想定される対策仕様を採用した場合、地表面への影響が心配される。

したがって、地表面への影響を極力小さくすることを目的に、例えば変位計測管理値が1次管理値になった時点で1時間程度施工を中断し、下部改良体と上部改良体の2段階に分けて施工を行う。

なお、施工後にドレーンがモニターに巻き付いて発見された場合、すみやかに再度造成を実施する。

【対策案】上部改良範囲 後行造成方式(例えば、GL-4.5mで1次管理値となった場合)

- 今回の試験施工により決定した施工手順を基本とし、変位抑制のために、改良体天端より3m下がった地点(GL-4.5m付近)にて、施工を一旦中断する(1時間程度)。(STEP1)
- GL-4.5m付近を天端とする下部改良体が落ち着いた時点で、施工を再開し、所定の深度(GL-1.5m)まで、施工を行う。(STEP2)
- なお、STEP1、STEP2において、施工中、前項で定める1次管理値(10mm)を超える変位が発生した場合は、所定の施工STEPの途中であっても、即刻施工を中断し、事後の対策について、関係者と協議する。

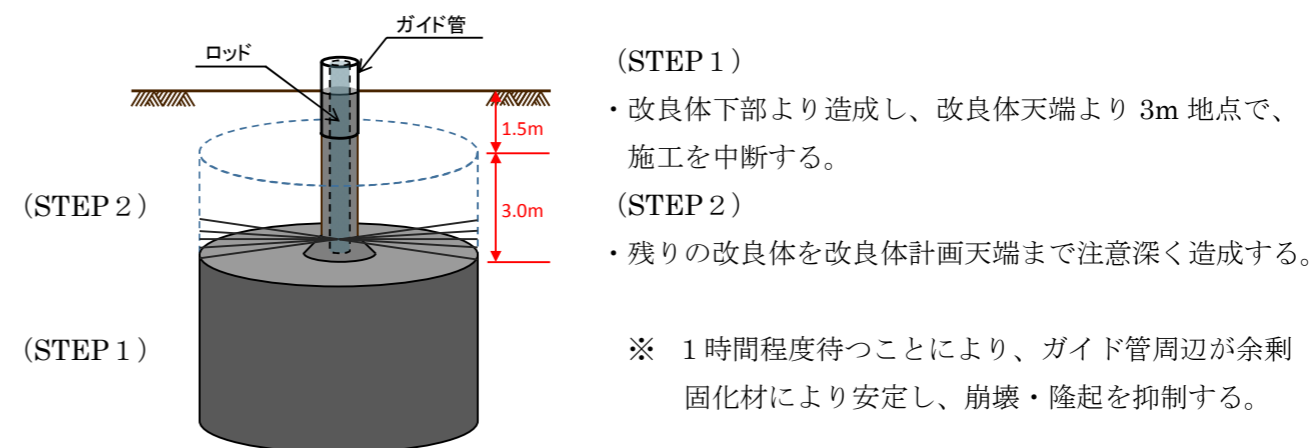


図3-7 上部改良範囲 後行造成方式

(2) 試験施工中の品質確認について

試験施工では、配合計画によって定めたセメント添加量および施工計画により設定した施工仕様で、所定の品質（強度・出来形）が得られるかどうかを確認する。

予め定めた施工プロセスの再現性を確認することで、施工品質を確保するものとし、所定の管理項目を確認しながら施工を進める。

特に今回は、地盤条件に起因した高圧噴射の攪拌状態の良否が、施工品質に大きく影響すると考えられる。従って、試験施工では、改良体の攪拌状態の判断の目安として、通常の施工管理項目に加え、造成後の改良体品質が反映されると想定される排泥の状況等に関し、特に注意して管理する。

① 排泥状況による管理方法

改良体施工時の排泥の性質をもとに必要な管理項目を抜き出して管理するものとし、その管理値については、施工仕様や土質条件及び配合試験結果を踏まえて決定する。

i) 採取時期・方法

ある造成深度、造成回数時に排泥を採取し、測定・分析を行う。

ii) 測定項目

セメントスラリーは、造成時に流量、比重等を管理している。造成に伴う排泥は、以下の項目なども測定することで、排泥不良が発生しないように管理する。

- ・排泥の連続性（排出時間間隔の測定）
- ・比重

具体的な管理方法は、試験施工結果を元に、今後検討していくこととする。

② 管理項目による施工管理方法

改良体施工時には、施工プロセスを確認する為、日常の施工管理として、所定の管理項目について記録する。

記録項目としては、主に以下の項目などがあげられる。

- ・噴射量
- ・噴射圧力
- ・エア流量
- ・噴射深度

(3) 機械攪拌、高圧噴射攪拌接合部の健全性確保

事前に浦安市内で試験施工を実施しており、各施工法による改良体のラップ接合部において強度確認を行っている。試験結果から、高圧噴射攪拌同士のラップは施工間隔4日を空けても一体性が確保できている。また、施工計画上重要となる機械攪拌と高圧噴射攪拌のラップ部について、施工間隔が6日、さらには25日空いても、改良体の一体性に問題がないことが確認されていることから、これ以上施工間隔が開いたとしても、改良体各々の出来形が整っていれば、所定の施工間隔でのラップ接合部分の強度は十分確保されると考える。

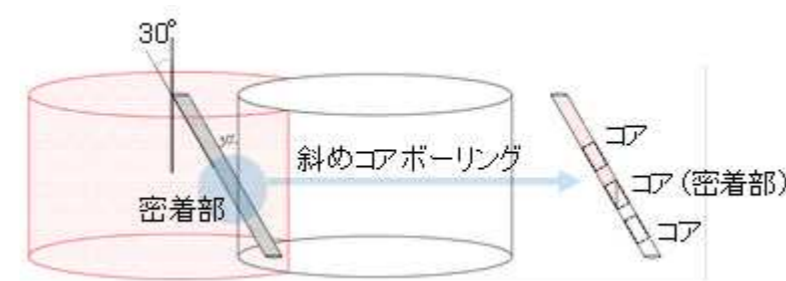


図 3-8 ラップ接合部に対する斜めコアボーリング採取概要

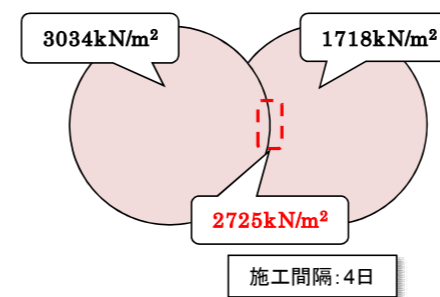
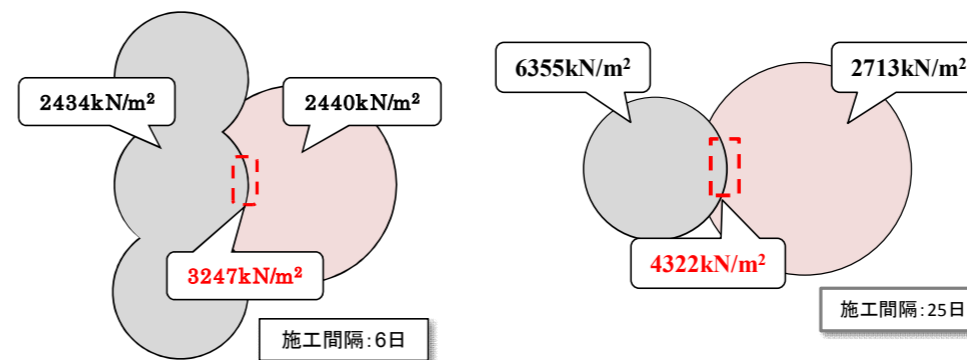


図 3-9 高圧噴射攪拌同士のラップ部強度



(a) 施工間隔 6 日

(b) 施工間隔 25 日

図 3-10 機械攪拌-高圧噴射攪拌のラップ部強度



図 3-11 施工間隔 25 日のコア破壊状況

第4章 再試験施工計画

高圧噴射攪拌工の試験施工中に発見された地中埋設物について、その範囲が本工事にも該当することが判明している。事後調査を行った結果、施工課題解消のためには再試験施工が必要となった。そこで、新たな施工手順による再試験施工と品質確認を実施する。高圧噴射攪拌工法に対する試験施工は、本施工近傍のマイアミクラブ駐車場で行う。試験施工では、表3-1に示す改善策に対応した幾つかの仕様を設定し、円形φ1.5m、楕円3.6m×1.2mの改良体を造成した上で品質確認調査を実施し、対策仕様を決定していく。

4.1 再試験施工概要

(1) 概要

掘削・埋戻しによって一度乱されている範囲において施工を行うと、地表に変状が生じやすくなるため、なるべく乱されていない範囲に杭配置を行う。そのため、試験で造成可能な本数は基本的に円形6本、楕円形3本とし、変位計測用には、乱されていない範囲に配置された杭を対象とする。なお、円形と楕円形は予備を設け、施工時に埋設物が確認されるなど十分な造成が行えなかった場合の予備に充てる。改良杭配置図を図4-1に示す。

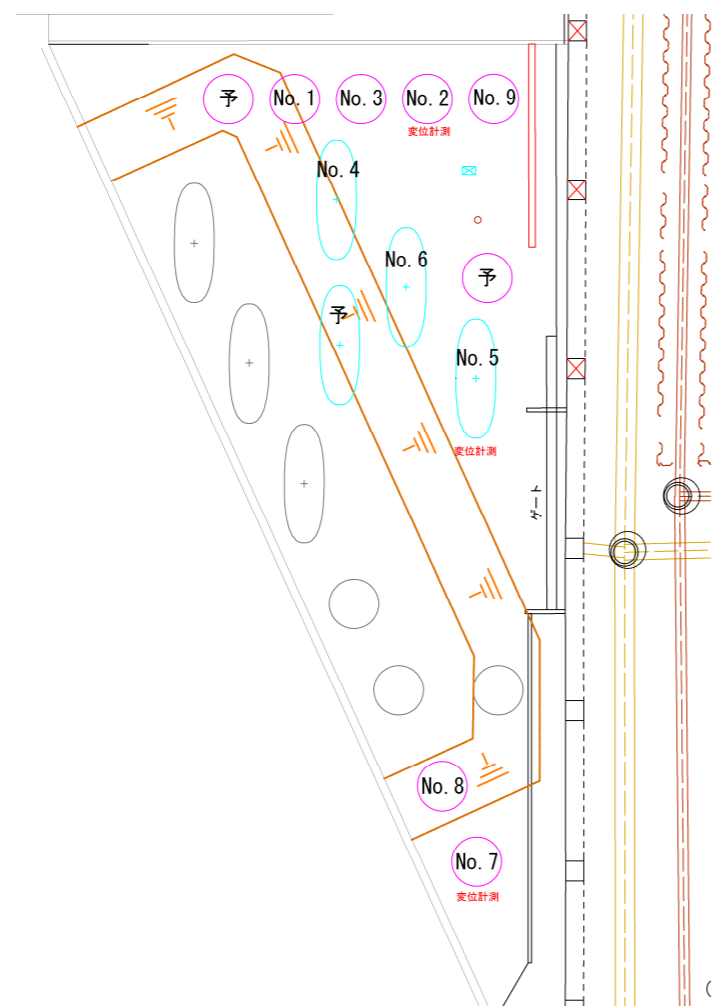


図4-1 改良杭配置図(案)

改良体仕様を表4-1に示す。

表4-1 改良体仕様

項目		仕様	本数	施工箇所
工法	形状			
Miny マルチ	円形	設計径: φ1,500mm、造成長さL=8.5m 設計強度 $F_c=1.5N/mm^2$	3本	No.7、No.8、No.9
エコタイト	円形	設計径: φ1,500mm、造成長さL=8.5m 設計強度 $F_c=1.5N/mm^2$	3本	No.1、No.2、No.3
	楕円形	設計径: 3,600×1,200mm、造成長さL=8.5m 設計強度 $F_c=1.5N/mm^2$	3本	No.4、No.5、No.6

試験施工を含む、調査フローを図4-2に示す。

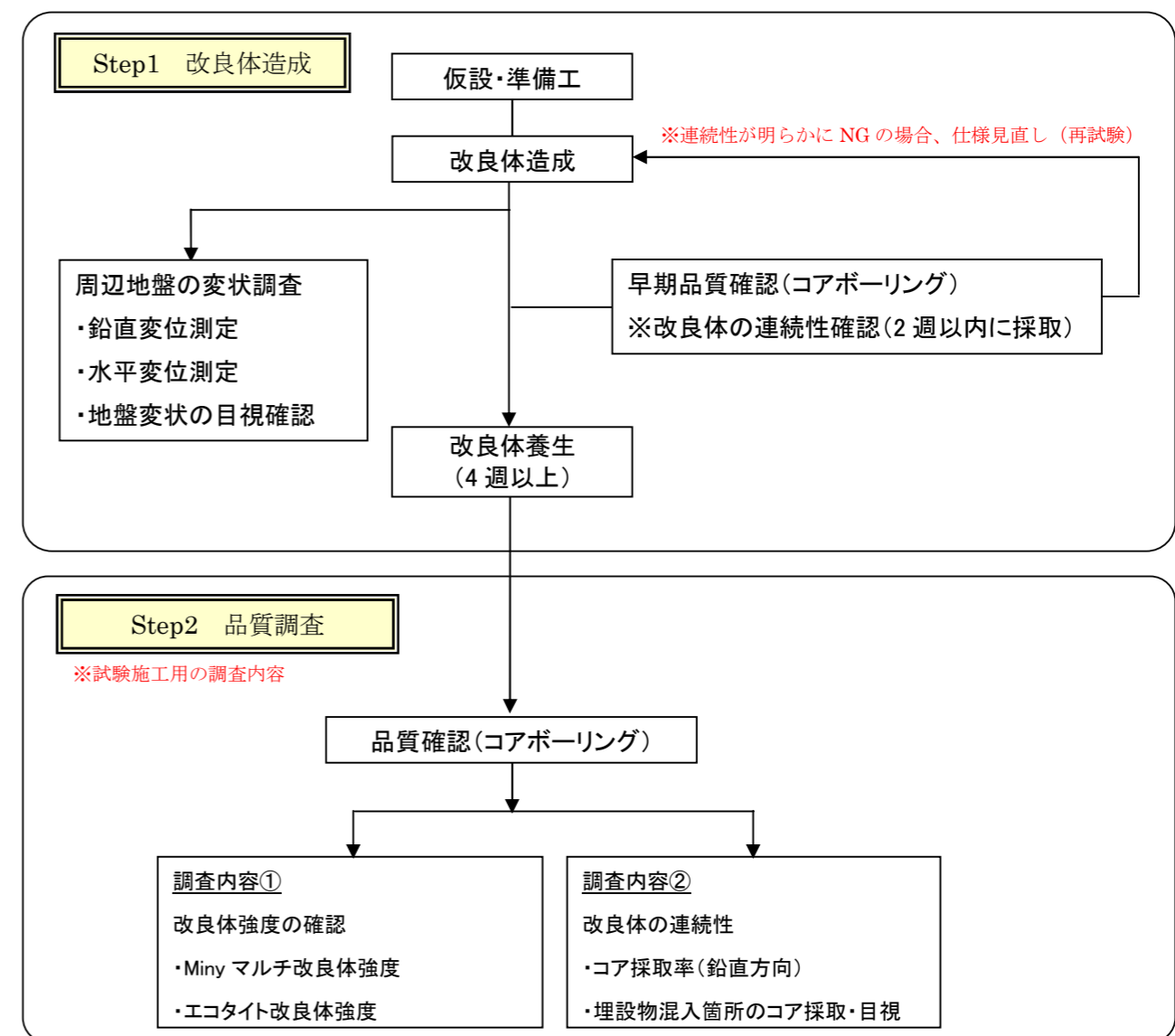


図4-2 調査フロー

(2) 対策仕様

①Miny マルチ工法対策仕様

再試験施工用の対策仕様(案)を表4-2に示す。再試験施工では円形3本の施工を予定している。

表4-2 再試験施工用の対策仕様(案)

項目	円形(φ1,500)				
	現計画	試験施工	再試験施工案		
			A	B	C
削孔径	90mm	142mm	142mm	142mm	142mm
ブジェクト	噴射量	無	100L/min	100L/min	100L/min
	引上時間	無	3min/m	2min/m	2min/m
ドレーン材の確認	無	有	有	有	有
ブジェクト2回目	無	適宜	適宜	適宜	適宜
造成	噴射量	100L/min	100L/min	100L/min	100L/min
	引上時間(1回目)	5min/m	5min/m	5min/m	10min/m
	引上時間(2回目)	無	無	5min/m	10min/m
	回転数	8rpm	8rpm	8rpm	8rpm
	圧力	35MPa	35MPa	35MPa	35MPa
	エア一量	1~3m ³ /min	1~3m ³ /min	2m ³ /min以上	2m ³ /min以上
	造成回数	1回	1回	2回	2回
配合等	配合	99%	99%	99%	99%
	添加剤	有	有	有(変更)	有(変更)
	単位固化材量の割合	1.0	1.0	1.0	1.0

※step 高さは、造成時の土塊サイズを小さくするため、全てのケースで2.5cm/step→1.25cm/stepに変更する。

②エコタイト工法対策仕様

再試験施工用の対策仕様(案)を表4-3に示す。再試験施工では円形3本、楕円形3本の施工を予定している。

表4-3 再試験施工用の対策仕様(案)

項目	円形(φ1,500)					楕円形(1,200×3,600)				
	現計画	試験施工	再試験施工案			現計画	試験施工	再試験施工案		
			A	B	C			A	B	C
削孔径	90mm	90mm	142mm	142mm	142mm	90mm	90mm	142mm	142mm	142mm
ブジェクト	噴射量	無	100L/min	100L/min	140L/min	無	180L/min	180L/min	180L/min	180L/min
	引上時間	無	3min/m	2min/m	2min/m	無	4.2min/m	4.2min/m	4.2min/m	4.2min/m
ドレーン材の確認	無	有	有	有	有	無	有	有	有	有
ブジェクト2回目	無	適宜	適宜	適宜	適宜	無	適宜	適宜	適宜	適宜
造成	噴射量	100L/min	100L/min	100L/min	140L/min	180L/min	180L/min	180L/min	180L/min	180L/min
	引上時間(1回目)	5min/m	5min/m	5min/m	4min/m	8.5min/m	8.5min/m	8.5min/m	8.5min/m	8.5min/m
	引上時間(2回目)	無	無	4min/m	2min/m	4min/m	無	無	4.3min/m	8.5min/m
	回転数	8rpm	8rpm	20rpm以上	20rpm以上	20rpm以上	4.7rpm	4.7rpm	4.7rpm	4.7rpm
	圧力	21MPa	21MPa	28MPa	28MPa	28MPa	28MPa	28MPa	28MPa	28MPa
	エア一量	1~3.3m ³ /min	1~3.3m ³ /min	2m ³ /min以上	2m ³ /min以上	2m ³ /min以上	1~3.3m ³ /min	1~3.3m ³ /min	2m ³ /min以上	2m ³ /min以上
	造成回数	1回	1回	2回	2回	2回	1回	1回	2回	2回
配合等	配合	99%	99%	89%	89%	89%	99%	99%	89%	89%
	添加剤	無	有	有	有	有	無	有	有	有
	単位固化材量の割合	1.0	1.0	1.8	1.7	2.1	1.0	1.0	1.4	1.7

※粘性土に対して土塊をスムーズに排出させるために、円形と楕円形の両方において、ガイド管径を大きくする。

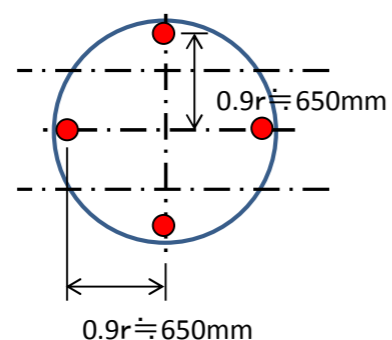
(3) コアボーリングによる調査

改良径の確認及び埋設物に対する影響調査の為に、図4-3に示す調査位置（●地点）で全長コアボーリング（φ86mm）を行い、深度・平面方向での欠損状況などを調査する。なお、調査位置は、前回の試験施工との比較を行い、かつ改良体のラップや有効壁厚を考慮した改良径 $0.9r \cdot 0.8r$ 、有効壁厚0.85m付近で設定する。

品質の確認は、全長コアボーリングにより採取したコアのうち、上層、中層、下層それぞれ1回、計3回の一軸圧縮試験を行い、所定の強度を満足していることを確認する。なお、1回の試験は3個の供試体の平均値で表す。

なお、コア採取の状況によっては、採取本数や採取位置を適宜変更するものとする。

(タイプ1)：円形



(タイプ2)：楕円形

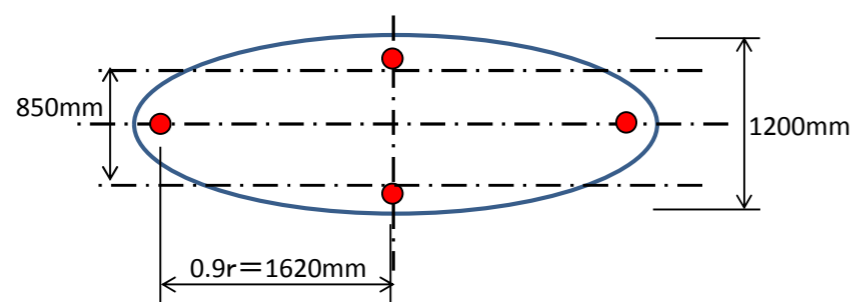


図4-3 コア採取位置（標準案）

表4-4 確認事項及び確認方法

確認項目	確認方法	内容	備考
改良体の強度	一軸圧縮試験	改良体強度が設計基準強度以上※ $F_c \leq XL$	参考図書：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版（財団法人土木研究センター）
改良体の連続性	目視	埋設物混入状況、欠損（未固化）の状況を目視確認 品質管理は特記仕様に基づき行う	コアの観察

※設計基準強度： $F_c = 1,500 \text{ kN/m}^2$ 、合格判定強度： $XL = 1,500 \text{ kN/m}^2$ 以上（材令28日以上）

