

東海第二発電所 設計及び工事計画に係る説明資料  
(防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更)  
【補足説明資料】

2025年11月21日  
日本原子力発電株式会社

本資料中の  は、商業秘密又は防護上の観点で公開できません。

---

## 4. 審査会合コメント⑮回答

## 4. 審査会合コメント⑮回答      コメント回答

### 【1360回審査会合コメント⑮】

No	コメント
⑮	<p>● 地盤改良工事について、改良品質に対する不確かさが安全側に設計へ反映されていることがわかるように説明すること。</p> <p>例1) 改良品質の不確かさが、安全側に設計へ反映されているか説明すること。</p> <p>例2) 地盤改良（薬液注入）は構造物の直下や深い深度に施工するため、施工実績を示すとともに、その施工性が設計に影響を及ぼさないことを説明すること。</p> <p>例3) 地盤改良（薬液注入）について、薬剤の種類、注入方法、改良対象の地質を示すとともに、その適用性を示して、設計上の想定に影響を及ぼさないことを説明すること。</p>

### 回答概要

No	回答概要
⑮	<p>地盤改良（薬液注入、セメント系）の改良品質に対する不確かさの要因を抽出し、各要因に対する工事計画における対応を示すとともに、設計の要求品質を確保する施工の実現性について説明する。なお、概要は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地盤改良（薬液注入、セメント系）の改良品質に対する不確かさの要因を整理した。</li> <li>・地盤改良（薬液注入）の改良対象の薬液・工法が当該地点の地質に対して適用できることを確認した。また、地盤改良（薬液注入）の計画（配合設計及び施工計画（試験施工含む））から施工・品質管理について、整理した不確かさの要因の影響に対する対策方針を確認した。</li> <li>・地盤改良（薬液注入）の試験施工等の施工実績から、今回の計画が施工可能であることを確認した。</li> <li>・地盤改良（セメント系）の改良品質に対する不確かさの要因の影響に対する対策方針を確認した。</li> </ul> <p>以上のことから、地盤改良（薬液注入、セメント系）の改良品質に対する不確かさの影響が設計の想定に影響を及ぼさないことを確認した。</p>

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (1) 地盤改良の改良品質の不確かさの要因

防潮堤（鋼製防護壁）で計画している地盤改良（薬液注入，セメント系）について，改良品質の不確かさの要因を整理する。

#### 地盤改良の適用性及び改良品質の不確かさの要因の確認事項

区分		地盤改良（薬液注入）	地盤改良（セメント系）	
工 法		浸透注入工法	掘削・置換工法	（既施工）高圧噴射攪拌工法
工法概要		対象地盤（砂・砂礫地盤）に薬液を浸透注入し，地盤を改質する。	改良範囲を掘削し，流動化処理土（セメント系地盤改良体）にて置き換える。	ボーリング孔より高圧で地盤改良材を噴射し，地盤を切削・攪拌し地盤を改良する。
要求品質		設計から得られた地震時の最大せん断応力比に対し，改良地盤の液状化強度比が上回ること	設計で用いた強度及び剛性以上	設計で用いた強度及び剛性以上
改良品質の不確かさの要因	改良材	非該当（工場生産された薬液であり，品質は安定）	非該当（工場生産されたセメントであり品質は安定）	非該当（工場生産されたセメント系改良材であり品質は安定）
	地盤改良体の耐久性	非該当（耐久性のある特殊シリカ系薬液を使用）	非該当（セメントによる固化であり安定的）	非該当（セメントによる固化であり安定的）
	地盤条件	地盤の不均一性（粒度分布，透水性等のばらつき）	非該当（掘削により計画範囲の地盤は撤去されるため地盤の不均一性の影響を受けない）	地盤の不均一性（土質，締り度）
	施工条件	施工条件（注入圧力，注入速度の妥当性）	非該当（掘削・置換工法であり特筆する制約はない）	非該当（改良深度は護岸の矢板深度以浅のため改良材の逸走はない）
	地下水による施工環境への影響	被圧水位および急な地下水位の勾配	非該当（掘削により計画範囲の地下水はなくなるため地下水の影響を受けない）	非該当（改良材を高圧で噴射する工法であり地下水の影響を受けない）
	改良範囲	大深度改良範囲の施工性，改良精度（改良範囲確保） 構造物の直下に対する施工性	非該当（掘削により改良範囲を直接確認可能）	非該当（改良深度は工法の適用範囲内であり深度による影響を受けない）
	配合設計	液状化強度比と一軸圧縮強度の関係 一軸圧縮強度と薬液濃度の関係 シリカ含有量増分量と液状化強度比の関係	セメントの配合量と一軸圧縮強度の関係	非該当（土質に応じた改良強度・改良材が設定されている）

これらの地盤改良の適用性及び改良品質の不確かさの要因に対し，地盤改良の改良品質を確保するための工事計画（工法の適用性，配合設計・施工設計（試験施工含む））～品質管理（事後調査による改良効果の確認）について整理し，改良品質に対する不確かさが安全側に設計へ反映されていることを確認する。

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### （2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 1. 地盤改良（薬液注入）

通常的地盤改良（薬液注入）で使用される薬液分類を下表に示す。

薬液の分類<sup>1)</sup>

<div><div>懸濁型</div><div>溶液型</div></div>	セメント系等		本設工事, 仮設工事	
	水ガラス系	アルカリ系	仮設工事	
		シリカゾル系	非アルカリシリカゾル	本設工事
			活性シリカ	
			超微粒子シリカ	
特殊シリカ系				

①仮設工事：掘削等の施工時の補助工法とし、湧水や地盤の崩壊等のトラブル防止のための地盤改良

②本設工事：耐久性薬液を使用し、所定の品質を満たす永続性のある土構造物を構築する地盤改良

液状化対策の地盤改良（薬液注入）は、事前混合処理工法と浸透注入工法があり、主な特徴を下表に示す。防潮堤（鋼製防護壁）の地盤改良（薬液注入）は、浸透注入工法を適用する。当工法は、敷地内の施設において周辺地盤の液状化対策として採用され、施工実績がある。

液状化対策原理による地盤改良（薬液注入）工法の分類

工法名	概要	備考
事前混合処理工法 <sup>2)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>懸濁型のセメント系薬液を使用。</li> <li>土粒子間の接触点をセメント等の固化材により固結する。</li> <li>土粒子間の間隙水は残留する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤の過剰間隙水圧の発生や伝播が起こる。</li> <li>想定以上の地震時には、未改良土より脆性が高く、液状化が発生する。</li> </ul>
浸透注入工法 <sup>3)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶液型（シリカゾル系、特殊シリカ系）薬液を使用。</li> <li>土粒子間の間隙の水を薬液に置換え。</li> <li>薬液のゲル状の固化に伴う付着により土粒子を固結する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>改良地盤では過剰間隙水圧が発生し難く、改良範囲外地盤からの過剰間隙水圧の伝播がない。</li> <li>想定以上の地震時でも、液状化は発生しない。</li> </ul>

注記：1)浸透固化処理工法技術マニュアル，（財）沿岸開発技術研究センター，p.3，平成15年3月

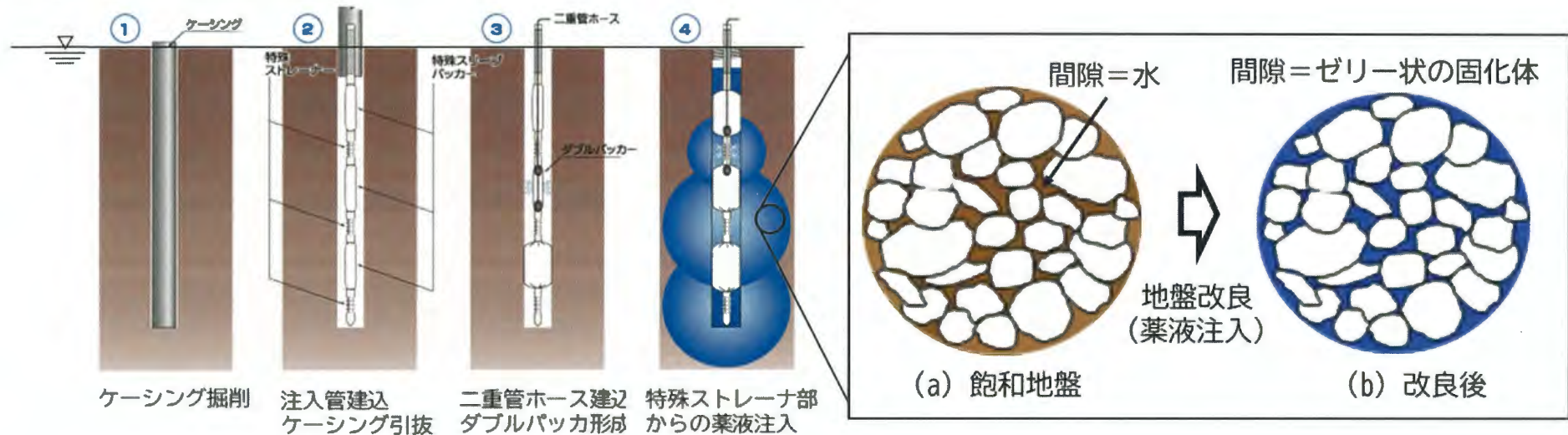
2)善功企，山崎浩之，佐藤泰：事前混合処理工法による処理土の強度・変形特性，港湾技術研究所報告，Vol.29，No.2，pp.85-117，6.1990

3)山崎浩之，前田健一，高橋邦夫，善功企，林健太郎：溶液注入固化材による液状化対策工法の開発，港湾技研資料，No.005，pp.3-29，6.1998

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### （2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 1. 地盤改良（薬液注入）



地盤改良（薬液注入）施工概念図（浸透注入工法）

#### ➤ 注入薬液

薬液は、工場生産され品質が安定しており、本設工事に適用され、長期耐久性<sup>1)</sup>および液状化対策<sup>2)</sup>として実績が確認されている特殊シリカ系薬液を使用する。また、当薬液は敷地内施設において周辺地盤の液状化対策として使用した実績がある。

溶液型シリカ系グラウトの耐久性の総合評価<sup>3)</sup>

注入材	ゲル化原理	シリカの溶脱	体積変化	強度	止水性	環境性	耐久性	総合
アルカリ系	部分中和	大	大	低下あり	低下あり	△	×	×
シリカゾル系	中和・ゾル化	ほとんどない	大	低下あり	低下あり	△	△	○
活性シリカコロイド系・ 活性複合シリカ系	脱アルカリ・ コロイド化	ほとんどない	小	低下なし	低下なし	◎	◎	◎

注記：1) 米倉亮三，島田俊介：長期耐久性地盤注入工法の最近の動向，基礎工，地盤注入開発機構，Vol43，No.10，pp.1-9，2015.10.

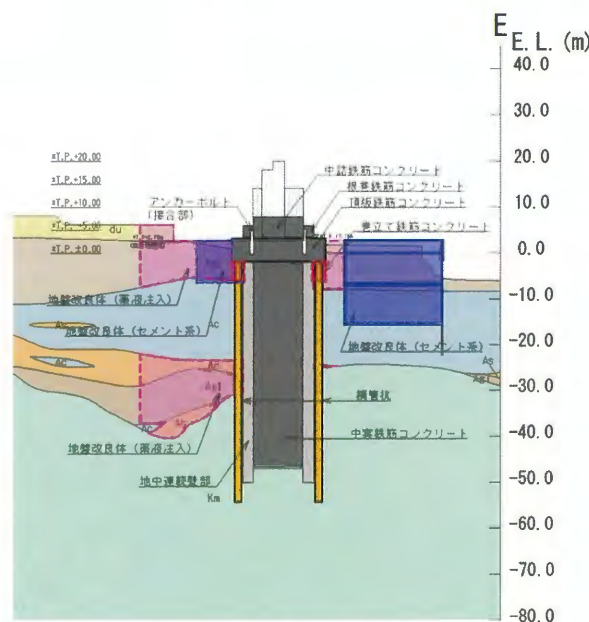
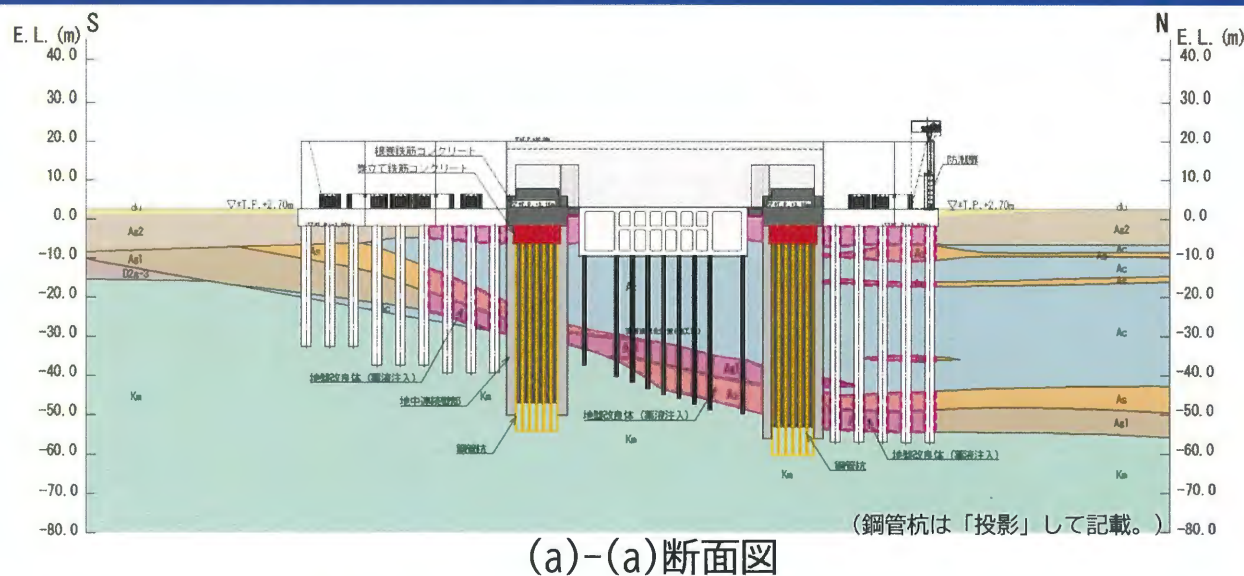
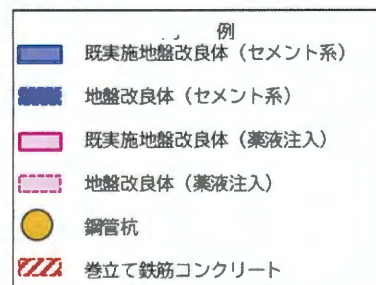
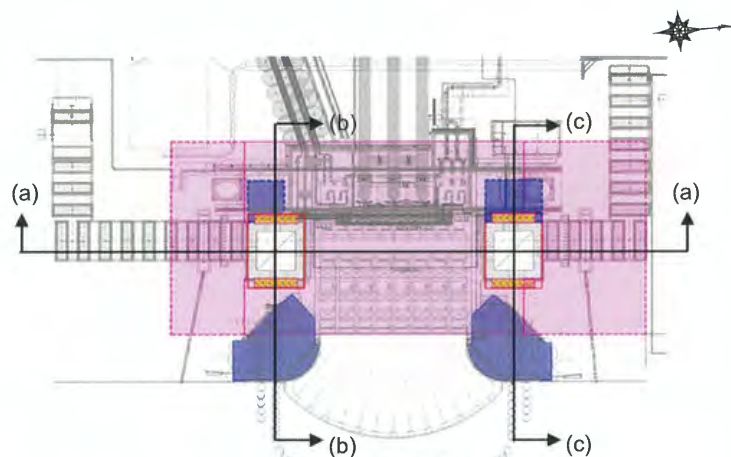
2) 岡田和成，木下圭介，藤井雄一：超多点注入工法（結束細管多点注入工法）= 構造物近傍・直下の浸透注入工法による地盤改良=，基礎工，地盤注入開発機構，Vol43，No.10，pp.22-24，2015.10

3) 恒久グラウト注入工法技術マニュアル，地盤注入開発機構，2019年9月

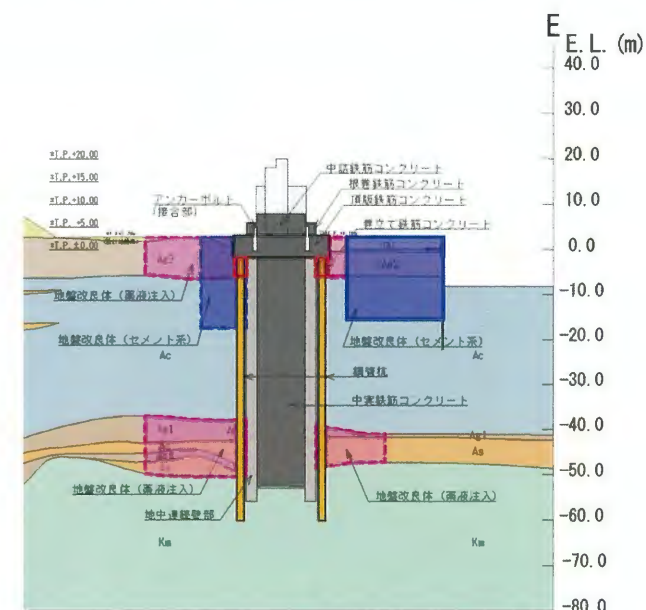
#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 2. 地盤改良（薬液注入，セメント系）範囲



(b)-(b)断面図



(c)-(c)断面図

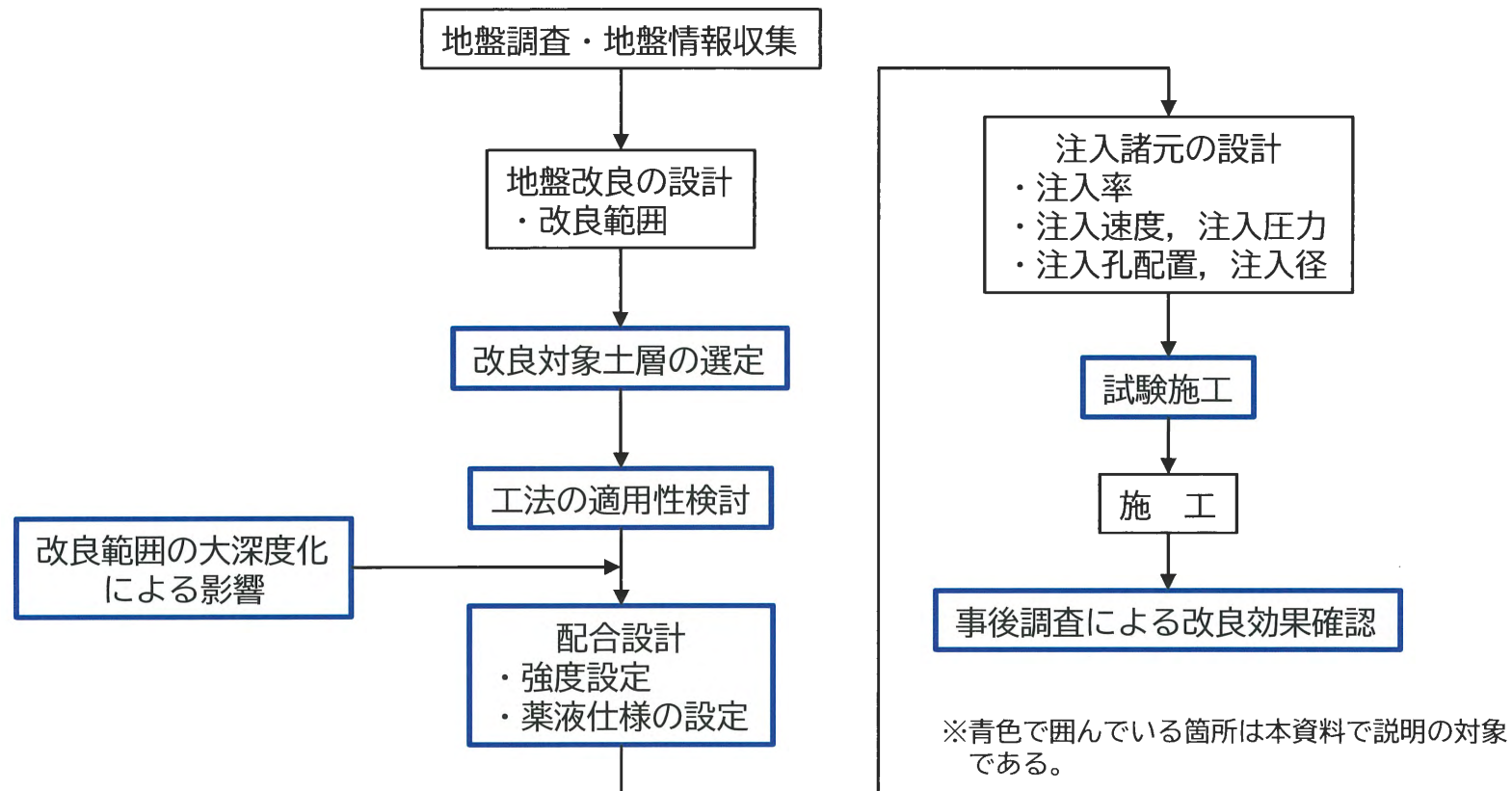
地盤改良（セメント系，薬液注入）範囲

## （2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

### 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

液状化対策の浸透注入工法の設計は、下図の設計フローに従い行う。

次頁以降に、設計フローの各項目のうち、改良対象土層の選定、工法の適用性、配合設計、試験施工の検討結果について示す。また、同一工法で地盤改良（薬液注入）を実施した既施工箇所および試験施工での事後調査による改良効果確認について示す。



地盤改良（薬液注入）設計フロー

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

##### (1) 地盤改良（薬液注入）対象土層の抽出

地盤改良（薬液注入）は、液状化対策として地下水以深の飽和している砂・礫質土を対象とする。

既工認（補足－340－1【地盤の支持性能について】）では、道路橋示方書（道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，平成24年3月）で対象としている土層を基本とし，さらに，道路橋示方書では検討対象外としている更新世および現地盤面から－20m以深の土層も抽出対象としている。

##### 【道路橋示方書の液状化検討対象土層】

- ①地下水位が現地盤面から－10m以内であり，かつ現地盤面から－20m以内の飽和土層
- ②細粒分含有率FCが35%以下，またはFCが35%超えても塑性指数 $I_p$ が15以下の土層
- ③平均粒径 $D_{50}$ が10mm以下で，かつ10%粒径 $D_{10}$ が1mm以下である土層

上記の既工認での液状化検討対象層抽出方針に基づき，液状化対策の地盤改良（薬液注入）は，Ag2層，As層，Ag1層を対象とする。

防潮堤（鋼製防護壁）周辺地盤の地盤改良（薬液注入）対象土層抽出結果

地質記号	層相	液状化検討対象土層	地盤改良（薬液注入） 対象土層	備考
Ag2	礫	○	○	G. L. -20m以浅に分布。
Ac	粘土	対象外	対象外	対象外。
As	砂	○	○	G. L. -20m以深に分布する範囲についても検討対象とする。
Ag1	礫	○	○	G. L. -20m以深に分布する範囲についても検討対象とする。

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

##### (2) 工法の適用条件

**浸透注入工法**の適用性は、均質な改良体が形成できる薬液の浸透注入について地盤条件（細粒分含有率，透水性），施工条件（注入圧力，注入速度）から施工性検討を実施するものである。

**浸透注入工法**において留意すべき条件を以下に示す。

##### 【地盤条件】

##### ①細粒分含有率FC

・適用限界は $FC \leq 40\%$ の地盤を対象とする。

（ただし， $FC > 25\%$ の土層においては，試験施工を実施して注入径，注入速度を設定する）

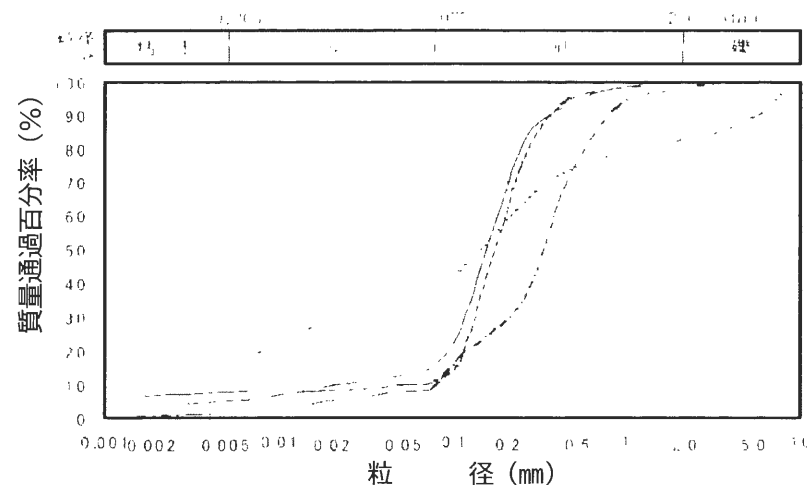
##### ②粘性土が互層状に分布する地盤

##### ③貝殻混じり地盤

・貝殻に含まれているカルシウム成分によりゲルタイムに影響を与える。

##### ④薬液の逸走が懸念される礫混じり，または礫地盤

##### ⑤薬液の逸走や拡散が懸念される地下水の流れが速い地盤



浸透注入工法施工実績における代表的な粒度分布例

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### （2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

##### （2）工法の適用条件

地盤条件については、下図に示す改良範囲周辺においての調査孔のデータを整理するとともに、粒度試験の結果より下記の森田<sup>1)</sup>提案式を適用した地盤の透水係数より検討を実施する。

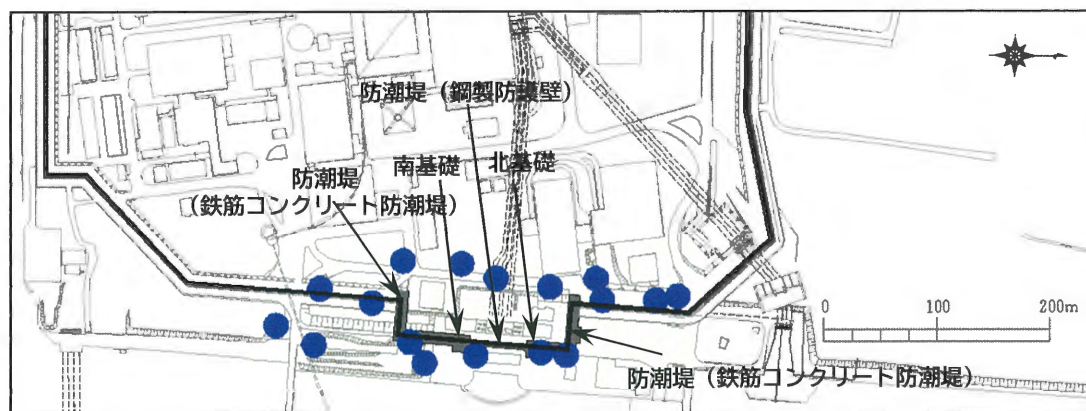
$$\kappa = 0.014 \times D_{30}^{1.2} \times U_c^{-1} \times A^{-2}$$

ここで、 $\kappa$ は透水係数（m/sec）， $D_{30}$ は試料30%通過粒径（mm）， $U_c$ は均等係数， $A$ はN値から下表により設定した締まり度ランク（テルツァッギーとパックの区分を適用）である。

##### 【施工条件】

注入圧力，注入速度は，地盤の限界注入速度試験，または施工実績（細粒分含有率と注入速度の関係）より求めても良いとしている<sup>2)</sup>。  
防潮堤（鋼製防護壁）の地盤改良（薬液注入）においては，既施工箇所より深い土層も対象としているために，限界注入速度試験を実施し，注入圧力および注入速度を設定することとする。

次頁以降に，前述した地盤条件および施工条件の留意点を踏まえた浸透注入工法の適用性について示す。



● 防潮堤（鋼製防護壁）周辺地盤調査孔

#### 防潮堤（鋼製防護壁）周辺地盤調査孔

締まり度ランク<sup>3)</sup>

N値	締まり度	ランク値
0～4	非常に緩い	1
4～10	緩い	2
10～30	中位	3
30～50	密	4
50以上	非常に密	5

注記：1) 森田悠紀雄，坪田邦治，西垣誠，小松満：粒度分布と間隙率を考慮した土の透水係数の推定方法，土と基礎，地盤工学会，53-7，pp.5～7，2005

2) 浸透固化処理工法技術マニュアル，財沿岸開発技術研究センター，p.41，平成15年3月

3) 地盤調査法，社団法人地盤工学会，p.201

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### （2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

## 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

### （2）工法の適用条件

#### ➤ 地盤改良（薬液注入）の概要及び改良対象土層に対する適用性

地盤改良の改良品質に対する不確かさの要因のうち、地盤改良（薬液注入：浸透注入工法）の適用性に係る項目について、地盤改良（薬液注入：浸透注入工法）の適用が問題ないことを確認する。

#### 地盤改良（薬液注入：浸透注入工法）の適用性に関する確認結果

不確かさの要因	詳細	地盤改良（薬液注入：浸透注入工法）の適用性確認結果
地盤，施工条件	地盤の不均一性（粒度分布）	4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針にて整理・検討
	地盤の不均一性（細粒分含有率）	【問題なし】 各土層の粒度分布を確認した結果，改良対象土層は，概ね浸透注入工法の適用範囲である細粒分含有率であることを確認
	地盤の不均一性（透水性のばらつき）	4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針にて整理・検討
	施工条件（注入圧力，注入速度の妥当性）	【問題なし】 限界注入速度試験により各地盤の特性を把握し，浸透注入が可能な注入速度であることを確認
地下水による施工環境への影響	被圧水位および急な地下水位の勾配	【問題なし】 サイト内の地下水位分布を確認し，被圧水位および急な地下水位の勾配がないことを確認
改良範囲	構造物の直下に対する施工性	【問題なし】 構造物の直下への施工法（注入孔配置）を図化し，計画範囲の改良が可能であることを確認
	大深度改良範囲の改良（施工性）	【問題なし】 計画と同じ大深度の地盤に対し試験施工を実施し，計画どおり施工可能であることを確認
	大深度改良範囲の改良精度（改良範囲確保）	4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針にて整理・検討
配合設計	液状化強度比と一軸圧縮強度の関係他	4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針にて整理・検討

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

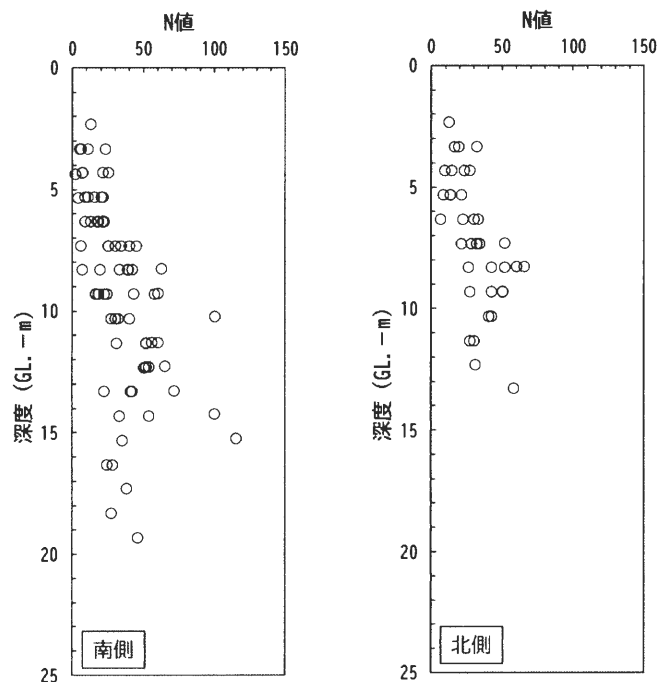
### （2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

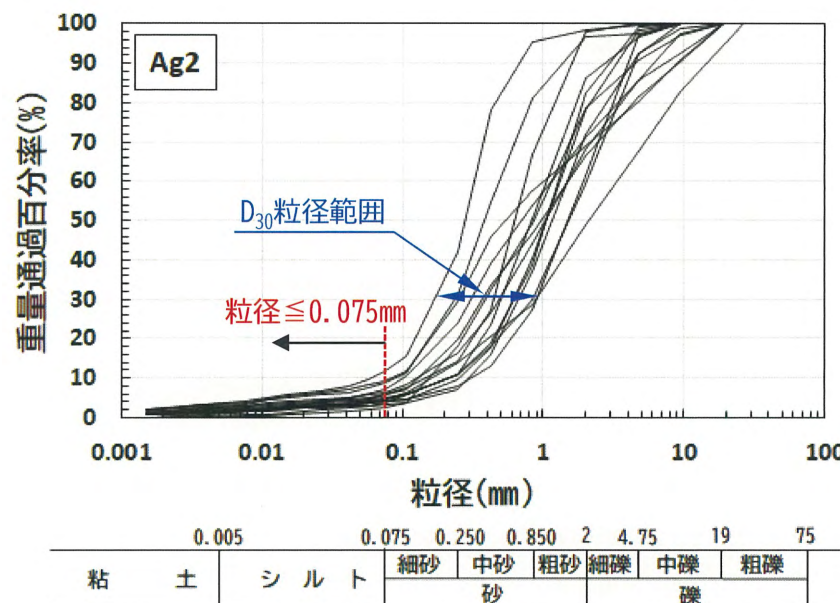
##### （3）工法の適用性検討結果（地盤調査）

防潮堤（鋼製防護壁）周辺地盤の調査孔のデータを整理した。各土層の結果を以下に示す。

【Ag2層】



防潮堤（鋼製防護壁）近傍調査孔のN値（Ag2層）



粒度試験結果（Ag2層）

- ・ Ag2層は、南側において分布深度が深くなるものの、同じ深度でのN値は概ね同等と評価できる。
- ・ 粒度試験の結果、細粒分（粒径 $\leq 0.075\text{mm}$ ）含有率FCは、全調査孔で10%程度以下である。
- ・ 均等係数（ $U_c = D_{60}/D_{10}$ 、 $D_{60}$ は試料の60%通過粒径、 $D_{10}$ は試料の10%通過粒径）は2.3～21.1（粒度の配合は均一～比較的良好）である。
- ・ 均等係数 $U_c$ が小さい範囲では砂分（粒径 $\leq 2\text{mm}$ ）が卓越となっている。
- ・ 地盤の透水性に影響する $D_{30}$ 粒径は、 $0.2\text{mm} \sim 1\text{mm}$ であり、推定透水係数は $2.4 \times 10^{-3} \sim 5.9 \times 10^{-2} \text{ (cm/sec)}$  が得られた。

- ・ N値、粒度分布、細粒分含有率FC等により分布範囲による土性の変化は小さく、均一な土層と判断した。
- ・ 改良範囲及びその周辺の調査孔の細粒分含有率FCは、10%程度以下であり、浸透注入工法が適用可能と判断した。

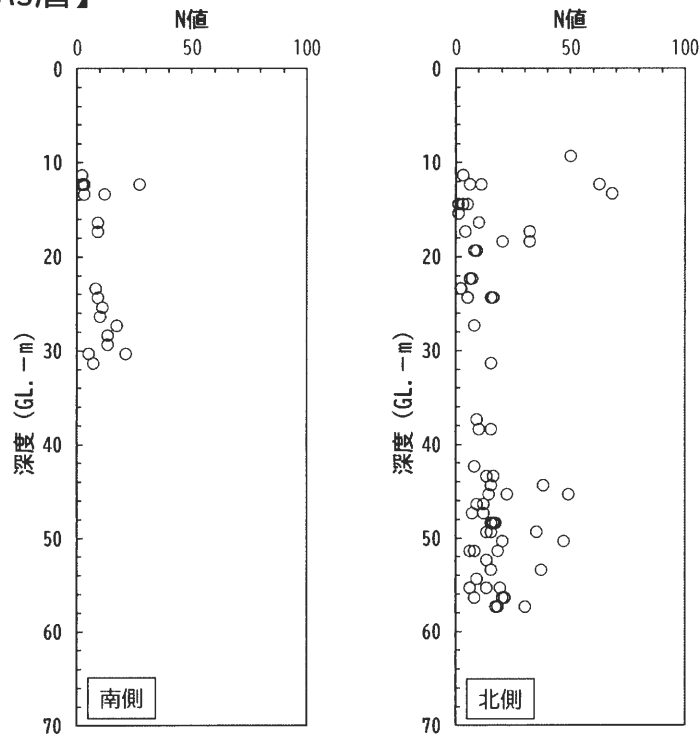
#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

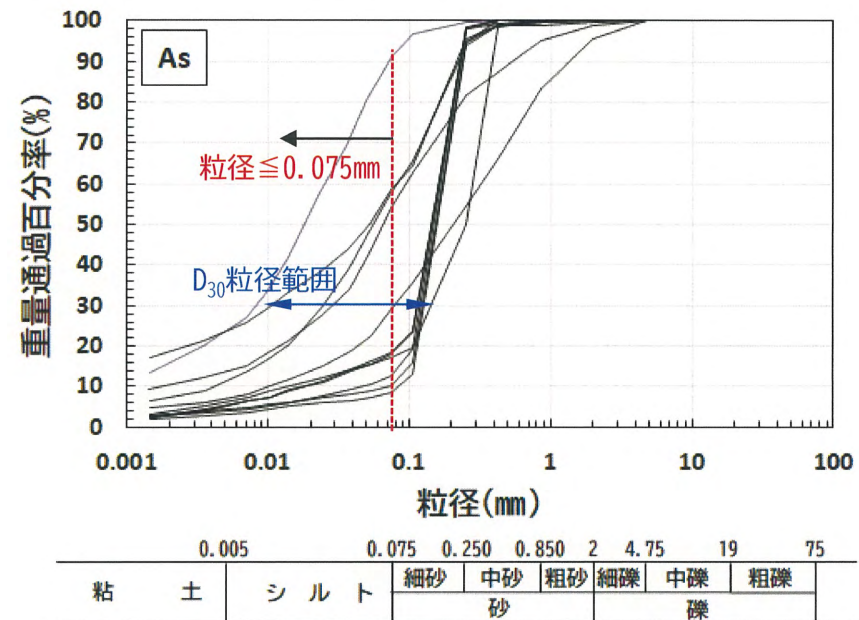
#### 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

#### (3) 工法の適用性検討結果（地盤調査）

##### 【As層】



防潮堤（鋼製防護壁）近傍調査孔のN値（As層）



粒度試験結果（As層）

- ・ 北側のAs層の分布深度が深くなるものの、同じ深度でのN値は概ね同等と評価できる。
- ・ 粒度試験の結果、細粒分（粒径 $\leq 0.075\text{mm}$ ）含有率FCは調査孔により40%以上の箇所があり、ばらつきが大きい。
- ・ 均等係数 ( $U_c = D_{60}/D_{10}$ ,  $D_{60}$ は試料の60%通過粒径,  $D_{10}$ は試料の10%通過粒径) は、2~40（粒度の配合は、均一~比較的良い）である。
- ・ 地盤の透水性に影響する $D_{30}$ 粒径は $0.0082 \sim 0.18\text{mm}$ であり、推定透水係数は $9 \times 10^{-5} \sim 1.2 \times 10^{-2} \text{ (cm/sec)}$  のばらつきが大きい値が得られた。

・ N値、粒度分布、細粒分含有率FC等により、粒度分布、細粒分含有率は分布範囲により変化する不均一な土層と判断した。  
・ 改良範囲及びその周辺の調査孔の細粒分含有率FCは、40%以上の箇所があるものの、概ね浸透注入工法が適用可能と判断した。

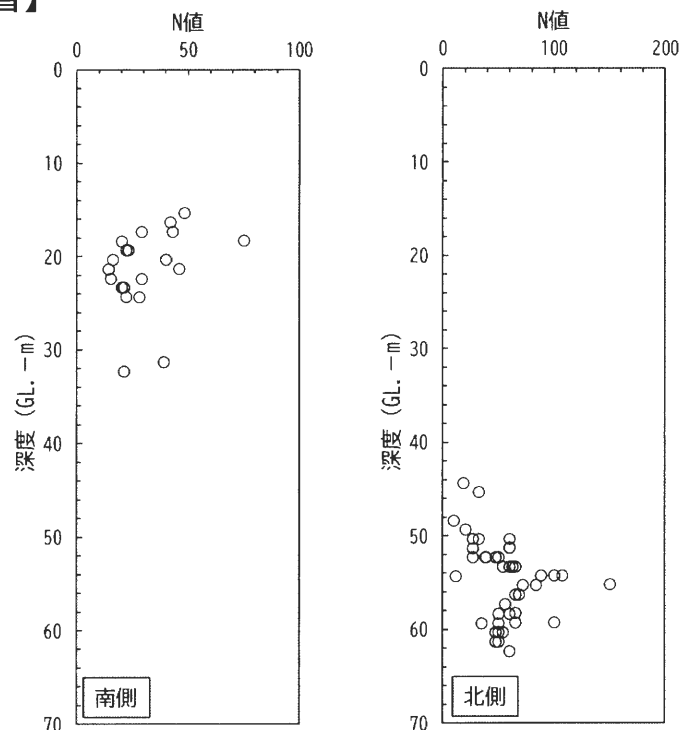
#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### （2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

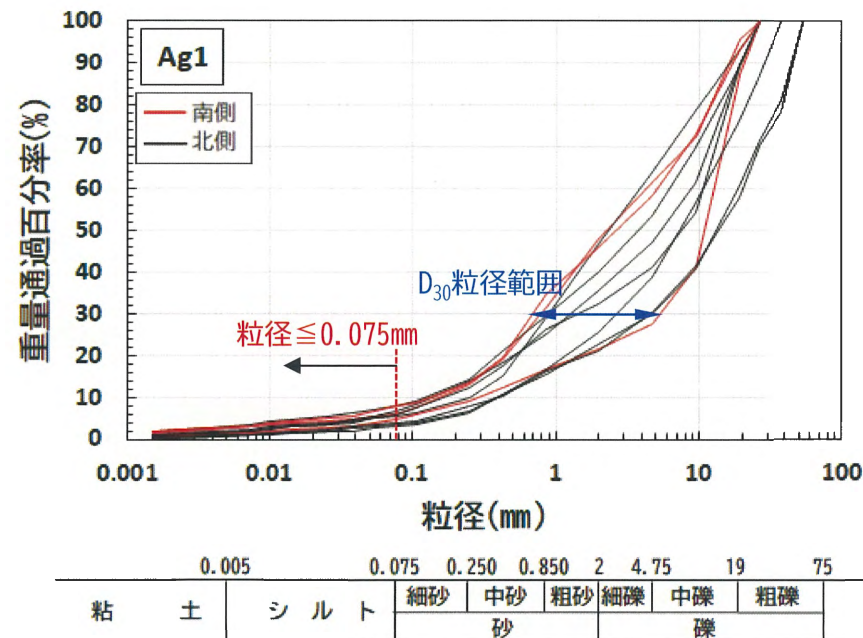
#### 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

##### （3）工法の適用性検討結果（地盤調査）

##### 【Ag1層】



防潮堤（鋼製防護壁）近傍調査孔のN値（Ag1層）



粒度試験結果（Ag1層）

- ・ Ag1層の分布深度は南側と北側で異なり、N値は土被り圧が大きくなる北側が大きくなっている。
- ・ 粒度試験の結果、北側と南側の粒度分布の差はなく、細粒分（粒径 $\leq 0.075\text{mm}$ ）含有率FCは10%以下である。
- ・ 均等係数（ $U_c = D_{60}/D_{10}$ ）は、おおむね15～65であり、幅広い粒径を有する土質である。
- ・ 地盤の透水性に影響する粒径 $D_{30}$ は $0.7\text{mm} \sim 5.4\text{mm}$ の範囲であり、推定透水係数は南側で $1.5 \times 10^{-2} \sim 2.3 \times 10^{-3} \text{ (cm/sec)}$ ，北側で $7.6 \times 10^{-3} \sim 8.9 \times 10^{-4} \text{ (cm/sec)}$ であり、同じ施工範囲での透水性の変化は小さい。

・ N値、粒度分布、細粒分含有率FC等により、南側と北側の分布深度は異なるものの、均一な土層と判断した。

・ 改良範囲及びその周辺の調査孔の細粒分含有率FCは、10%以下であり、浸透注入工法が適用可能と判断した。

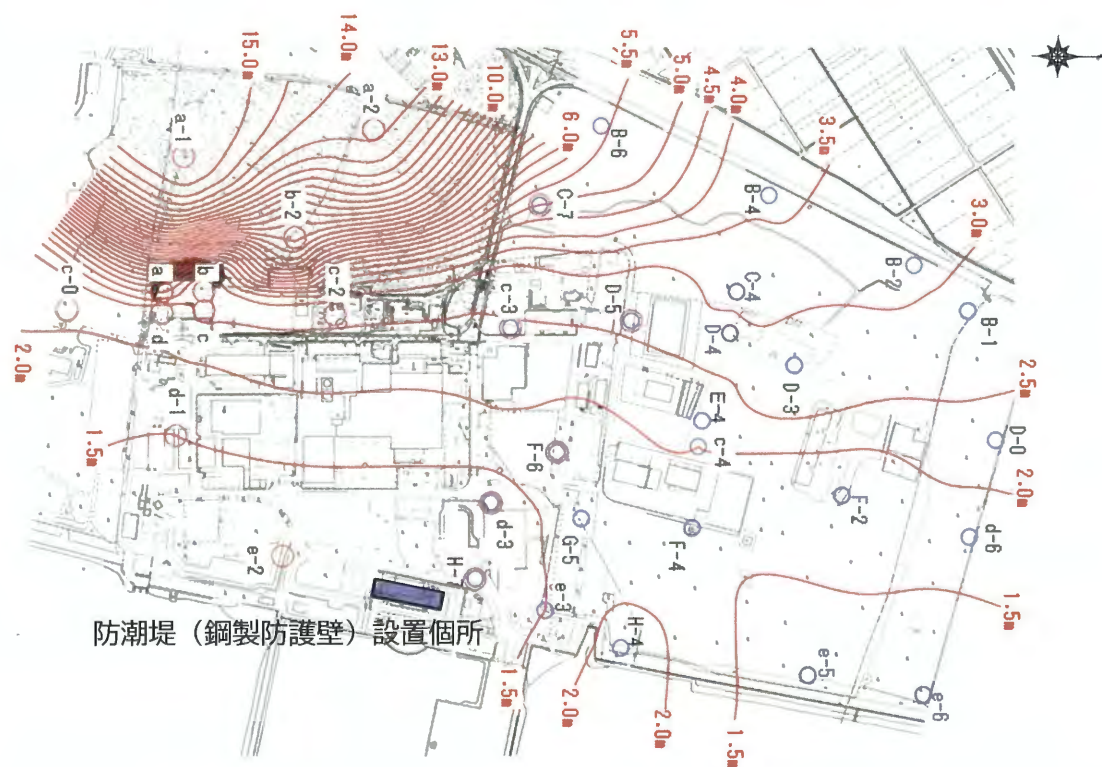
#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

##### (4) 工法の適用性検討結果（地下水）

敷地の地下水位観測に基づき、観測最高水位（平成29年6月）コンター図を以下に示す。防潮堤（鋼製防護壁）設置個所の範囲での地下水は、海水面と周辺地下水位T.P.+1.5mの等高線との間の流れであり、陸部から海への緩やかな流れになっている。また、Ac層（粘性土）下部に分布するAg1, As層においては、地下水位の計測データから被圧水位は確認されていない。



観測最高地下水位コンター図

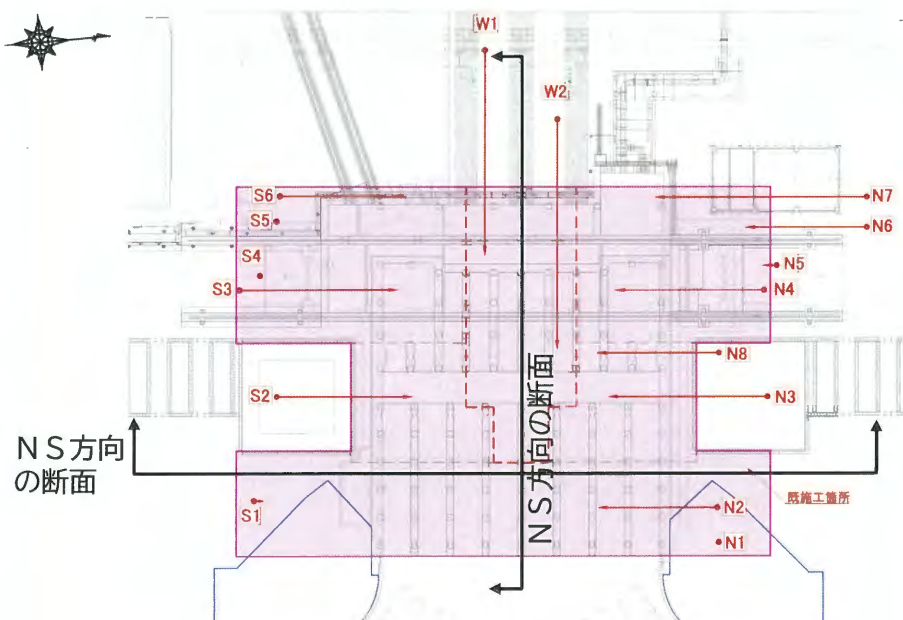
- ・ 以上から、薬液注入を阻害、または薬液が逸走するような急な水位勾配および被圧水位はないことから地盤改良の品質に影響を与えることはなく、**浸透注入工法が適用できると判断した。**

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

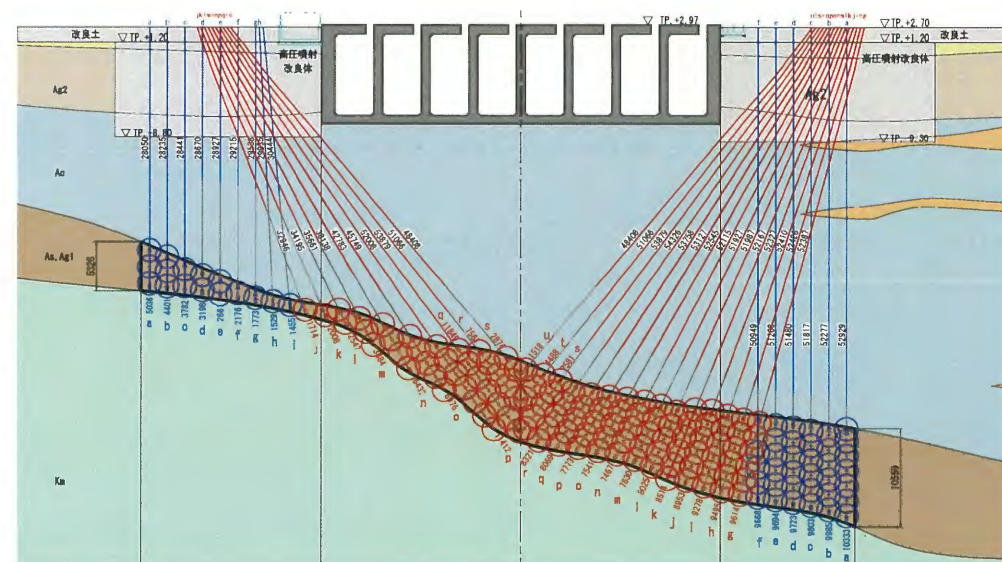
#### 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

(5) 構造物直下に対する施工性  
既施工部の施工実績を以下に示す。

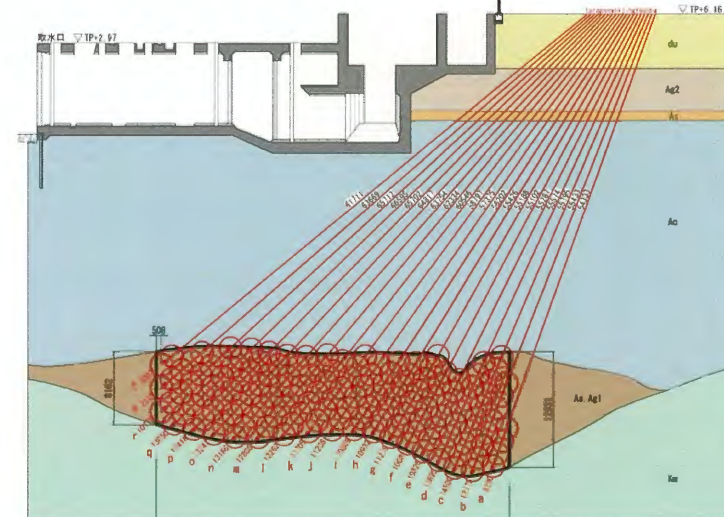


改良範囲及び断面位置図

青線：鉛直ボーリング  
赤線：斜めボーリング



NS方向の断面



EW方向の断面

地盤改良（薬液注入）の配置

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

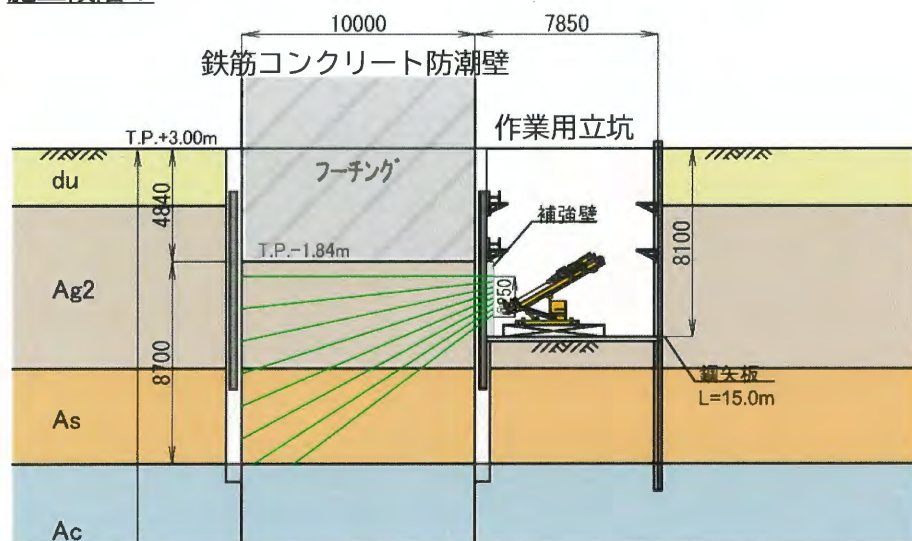
### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

##### (5) 構造物直下に対する施工性

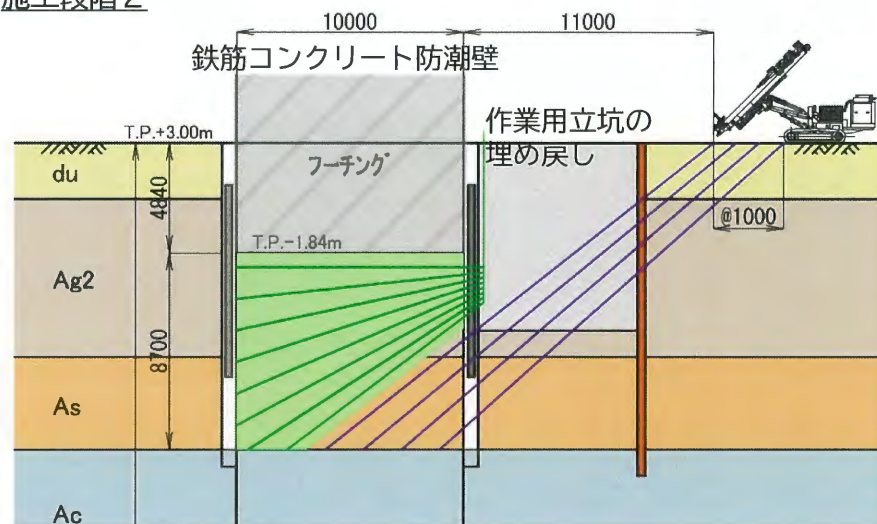
追加範囲の構造物の直下への施工法（注入孔配置）を図化し、計画範囲の改良が可能であることを確認した。

施工段階1



改良範囲の側方に作業用立坑を設置し、立坑内より水平・斜め方向に地盤改良を実施

施工段階2



施工段階1完了後、作業用立坑を埋戻し当該箇所を通過するように斜め方向に地盤改良を実施

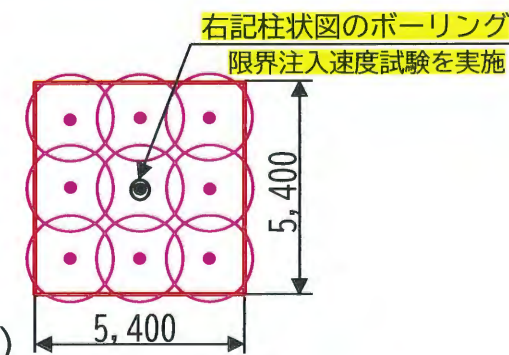
構造物直下の地盤改良の施工方法の例

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

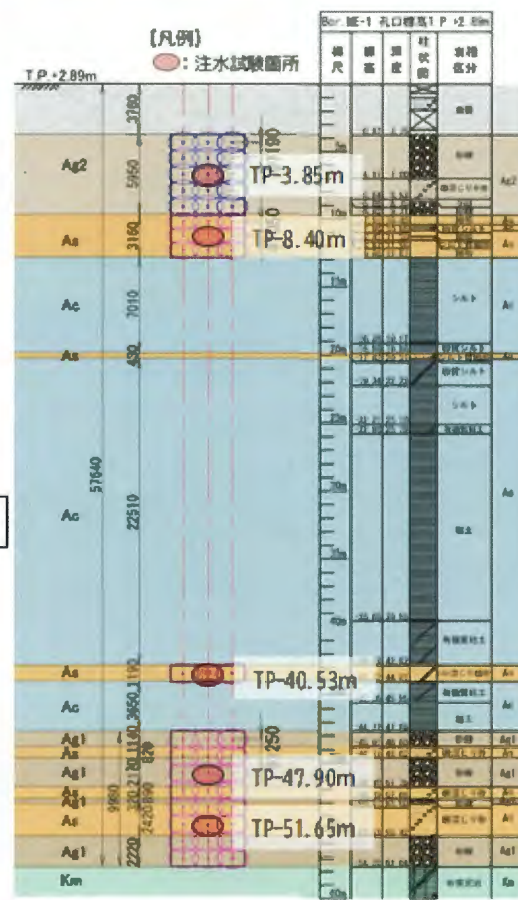
### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

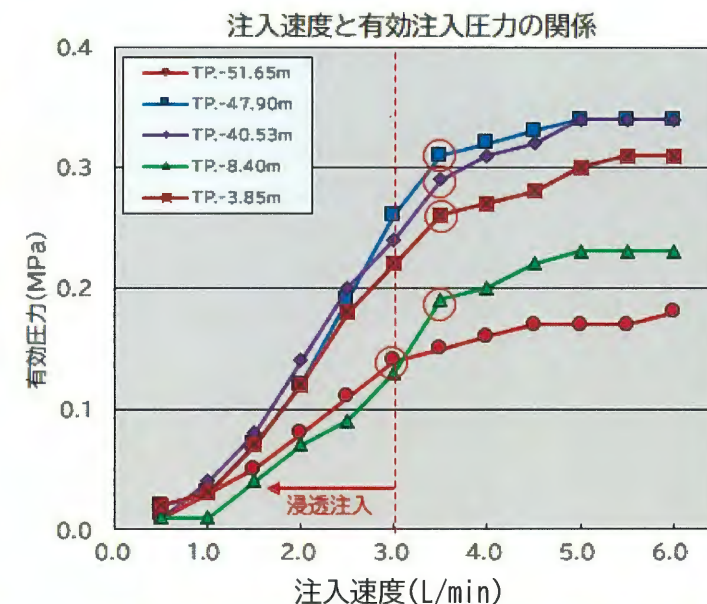
#### (6) 高静水圧・高拘束圧下での施工（限界注入速度試験）



試験施工実施個所位置



限界注入速度試験箇所の地盤状況



原地盤での限界注入速度試験結果

- ・ 既施工箇所より深い改良対象土層の限界注入速度試験で得られた、均一な改良体が形成できる浸透注入の注入圧力、注入速度の施工条件を施工に反映し、改良品質の不確かさの要因に対する対応方策とした。

## (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

### 3. 地盤改良（薬液注入）の設計

#### ➤ まとめ

##### 1) 改良対象土層

礫質土Ag2層，Ag1層，砂質土As層であり，G. L. -20m以深に分布する各土層も改良対象とした。

##### 2) 地盤の不均一性（細粒分含有量FC）による施工性

改良範囲及び周辺の調査孔のAg2層，As層，Ag1層の細粒分含有量FCは，概ね浸透注入工法の適用限界となる40%以下である。

##### 3) 地下水（水位勾配と被圧水位）による施工性

薬液注入を阻害，または薬液が逸走するような急な水位勾配および被圧水位はない。

##### 4) 構造物の直下に対する施工性

構造物の直下への施工法（注入孔配置）を図化し，計画範囲の改良が可能であることを確認した。

##### 5) 高静水圧・高拘束圧下での施工性

計画最大深度の地盤に対し，限界注入速度試験を実施し，均一な改良体が形成できる浸透注入が可能であることを確認した。

以上より，防潮堤（鋼製防護壁）の改良範囲での浸透注入工法は適用可能であることを確認した。

4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

(2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

地盤改良の改良品質に対する不確かさの要因に対し、施工計画段階（配合試験・施工設計）及び施工段階で改良地盤における要求品質を確保するための対策・方策を実施することで、改良品質に対する不確かさが設計の想定に影響を及ぼさないことを確認する。

改良品質に対する不確かさの要因及び要求品質を確保するための対策方針

不確かさの要因	詳細	地盤改良（薬液注入：浸透注入工法）の適用性確認結果
地盤，施工条件	地盤の不均一性（粒度分布）	（配合設計） 配合試験に用いる試料は，設置変更許可及び既工認時の各土層の液状化強度試験実施箇所の粒度分布（液状化しやすい粒度分布）に合わせた粒度調整試料を採用
	地盤の不均一性（細粒分含有率）	適用性にて確認済
	地盤の不均一性（透水性のばらつき）	（施工設計） 薬液注入速度は限界注入速度試験結果の最小値である3.0ℓ/minを採用
	施工条件（注入圧力，注入速度の妥当性）	適用性にて確認済
地下水による施工環境への影響	被圧水位および急な地下水位の勾配	適用性にて確認済
改良範囲	構造物の直下に対する施工性	適用性にて確認済
	大深度改良範囲の改良（施工性）	適用性にて確認済
	大深度改良範囲の改良精度（改良範囲確保）	（施工設計） 注入管の設置精度（ボーリングの削孔精度）の実績に基づき，地盤改良の配孔は改良範囲外縁部に施工誤差を考慮した配置を採用
配合設計	液状化強度比と一軸圧縮強度の関係 一軸圧縮強度と薬液の濃度の関係 シリカ含有量増分量と液状化強度比の関係	（配合設計） 薬液の濃度を変えた供試体による一軸圧縮試験，液状化試験，シリカ含有量増分量の相関においては，品質目標である液状化強度比は試験結果のばらつきを考慮した平均-1σの液状化強度比との関係を採用

4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

(2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

(1) 配合設計

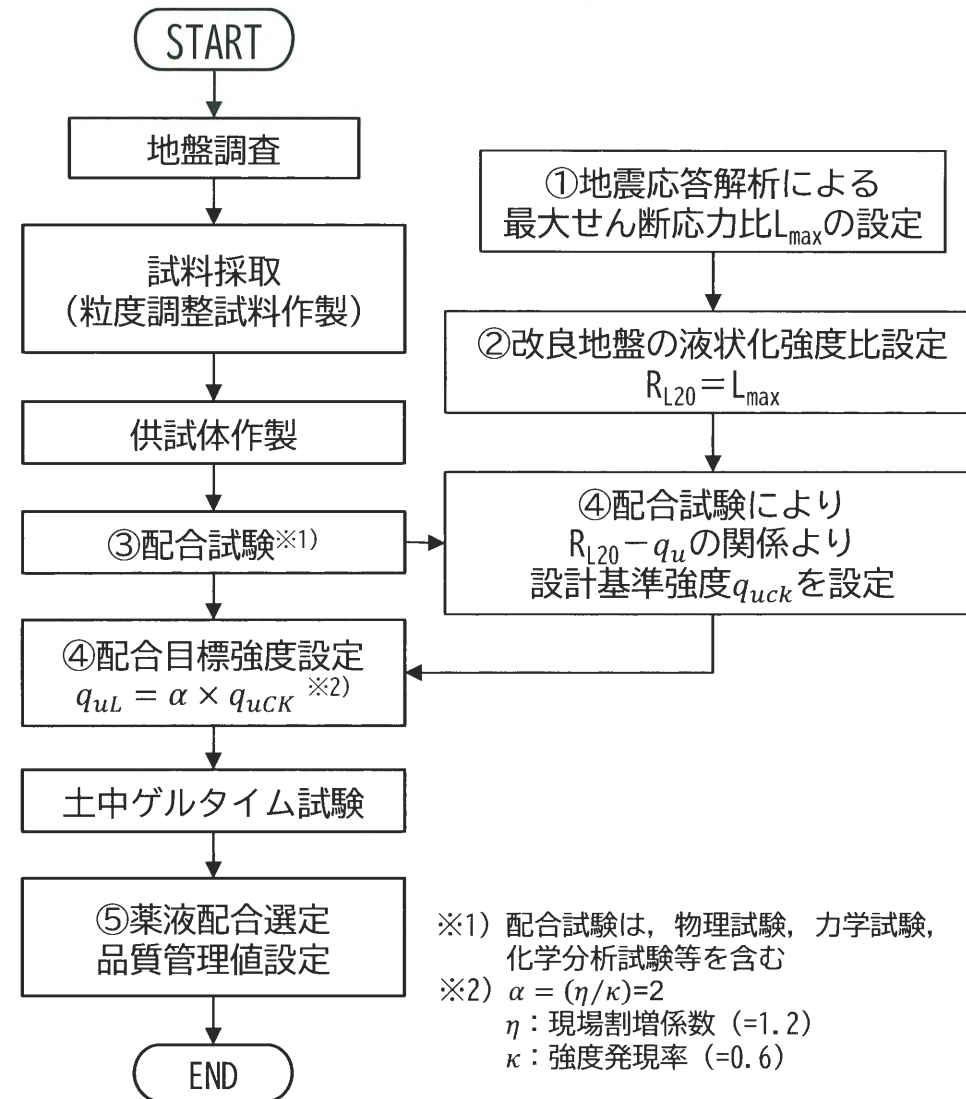
配合設計フローおよび改良地盤に必要とする強度および薬液配合設定について示す。

- ①液状化検討対象地盤を非液状化地盤とした2次元有効応力解析（解析コードF L I P）を実施し，各層の最大せん断応力比 $L_{max}(= \tau/\sigma'_{m0})$ を求める。
- ②液状化安全率（ $R_{L20}/L_{max}$ ）を1とし改良後の地盤の液状化強度比を設定する。
- ③配合試験による液状化強度比と一軸圧縮強度，薬液濃度と一軸圧縮強度との関係をまとめる。
- ④最大せん断応力比 $L_{max}$ に相当する一軸圧縮強度（設計基準強度 $q_{uck}$ ）及び配合目標強度( $q_{uL}$ )を設定する。

$$q_{uL} = \eta \cdot q_{uck} / \kappa = 2 \cdot q_{uck}$$

$\eta$ ：現場割増係数（=1.2）， $\kappa$ ：強度発現率（=0.6）

- ⑤配合試験結果から配合目標強度を包含する試験の最小薬液濃度ケースを注入薬液濃度とする。



配合設計フロー<sup>1)</sup>

注記：1) 浸透固化処理工法技術マニュアル，財沿岸開発技術研究センター，p. 45，平成15年3月 より引用・加筆

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

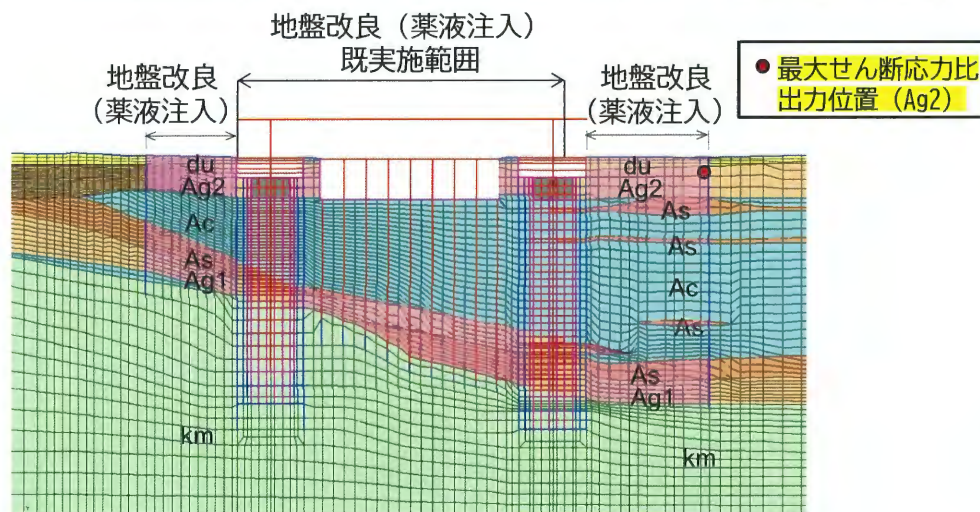
### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

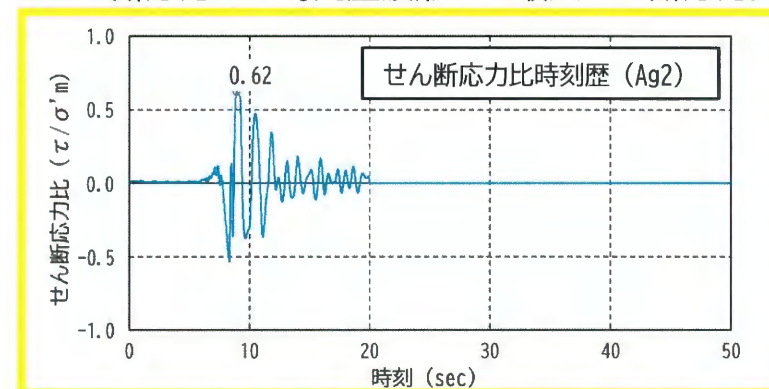
##### (1) 配合設計

##### (1.1) 最大せん断応力比 ( $L_{max}$ )の算定

①改良後の地盤においての地震応答解析を実施し、各土層内に発生するせん断応力比の時刻歴波形から最大せん断応力比を抽出する。



2次元FLIP解析モデル



地盤のせん断応力時刻歴データから発生する最大せん断応力比 $L_{max}$ 算出。

$$L_{max} = \tau / \sigma'_{m0} \quad , \quad \sigma'_{m0} = (\sigma'_v + 2\sigma'_h) / 3$$

$\sigma'_{m0}$  : t=0における初期平均有効主応力

$\sigma'_v, \sigma'_h$  : 各時刻歴での鉛直, 水平成分の有効主応力

②液状化安全率 $F_L$ を1とし、改良後の地盤の液状化強度比 $R_{L20}$ を設定する。

$$F_L = (C_w \times R_{L20}) / L_{max} = 1 \quad (C_w \div 1)$$

$$R_{L20} = L_{max}$$

2次元FLIP解析による地盤内の最大せん断応力比

層区分	最大せん断応力比 $L_{max}$
Ag2	0.62
As	0.65
Ag1	0.58

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

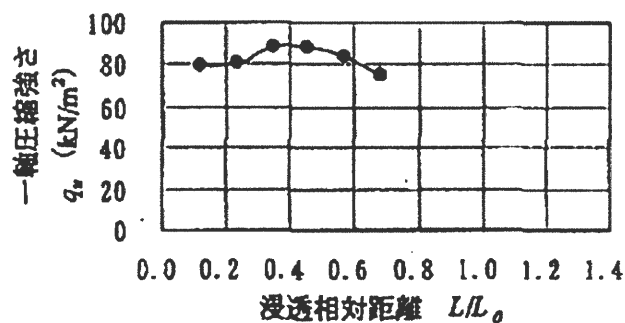
##### (1) 配合設計

##### (1.2) 設計基準強度および配合目標強度

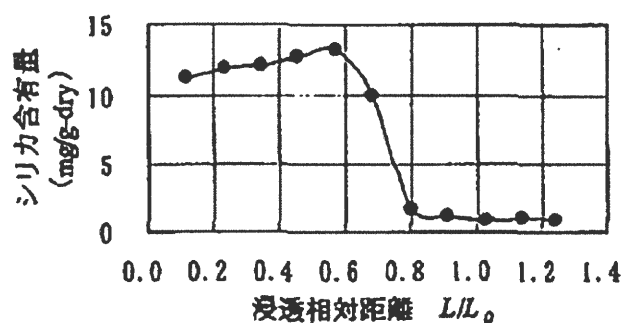
浸透注入工法では、一軸圧縮強度 $q_u$ と液状化強度比 $R_{L20}$ は薬液濃度とともに増加し、一軸圧縮強度 $q_u$ と液状化強度比 $R_{L20}$ の間にも有為な関係があることから、配合試験結果から液状化強度比（最大せん断応力比）に相当する一軸圧縮強度を改良後の地盤に必要とする強度として設計基準強度としている。

原地盤での地盤改良（薬液注入）においては、山崎ら<sup>1)</sup>は一次元注入試験装置を用いて浸透距離と一軸圧縮強度 $q_u$ 、シリカ含有量、強度発現率について検討を行い、地下水による希釈の影響を考慮しての強度（配合目標強度）を定める必要があるとしている。また、配合目標強度は、設計基準強度に対して浸透注入時の強度発現率を0.6とし、安全率を考慮した改良強度としている（下記の算定式のとおりの）。ここで、 $q_{uL}$ は配合目標強度、 $q_{uck}$ は設計基準強度、 $\kappa$ は強度発現率（0.6）、 $\eta$ は現場割増係数（1.2）である。

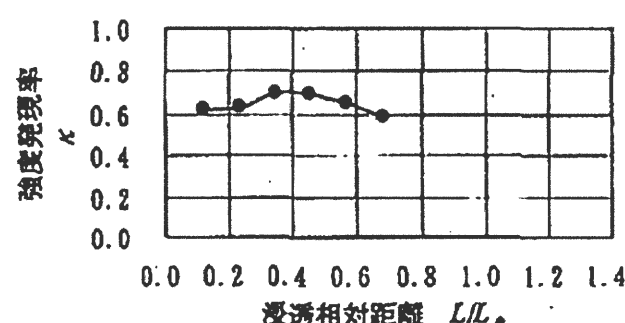
$$q_{uL} = (q_{uck} / \kappa) \times \eta = 2 \times q_{uck}$$



(a)  $L/L_0$ と一軸圧縮強さの関係



(b)  $L/L_0$ とシリカ含有量の関係



(c)  $L/L_0$ と強度発現率の関係

一次元浸透注入試験結果<sup>1)</sup>

注記：1)山崎浩之，善功企，河村健輔：溶液型薬液注入工法の液状化対策への適用，港湾空港技術研究所報告，第41巻，第2号，pp.119～151，2002.6.

4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

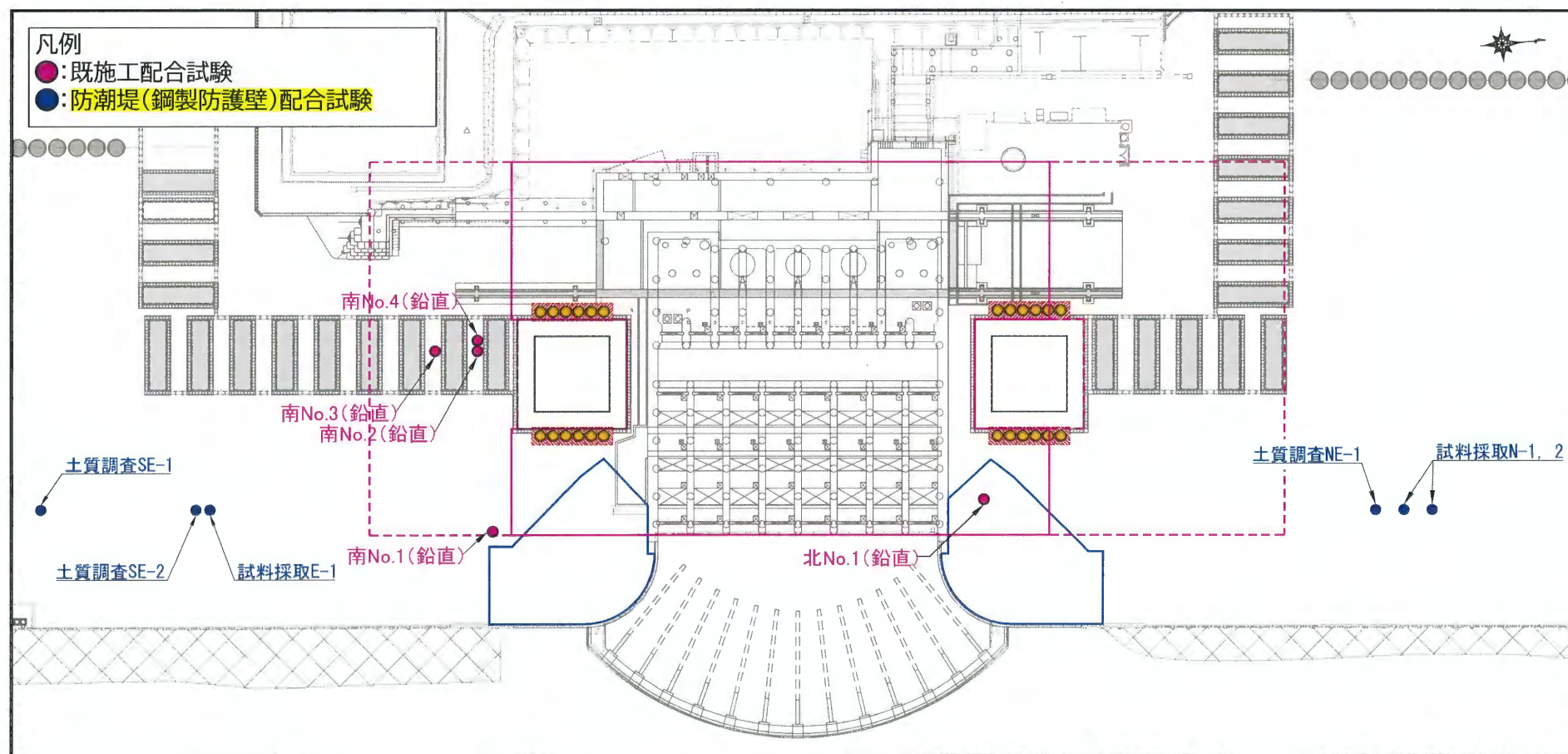
(2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

(1) 配合設計

(1.3) 配合試験用の試料採取

既施工配合試験及び防潮堤（鋼製防護壁）の配合試験において試料採取した位置を以下に示す。



配合試験用の試料採取箇所

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

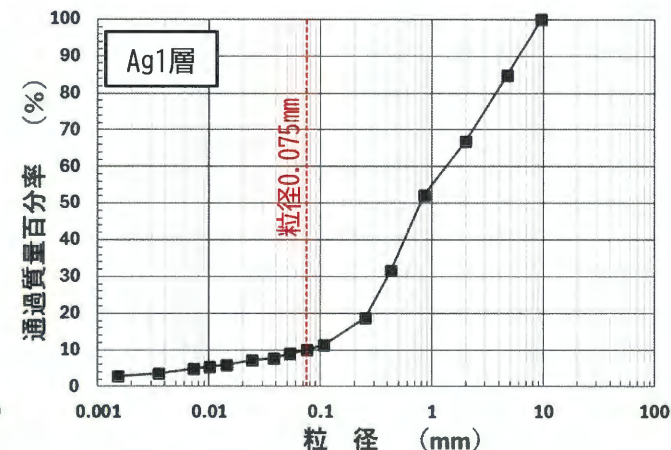
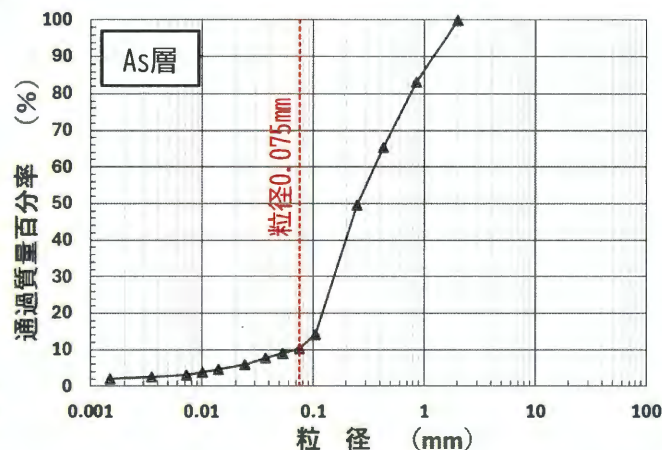
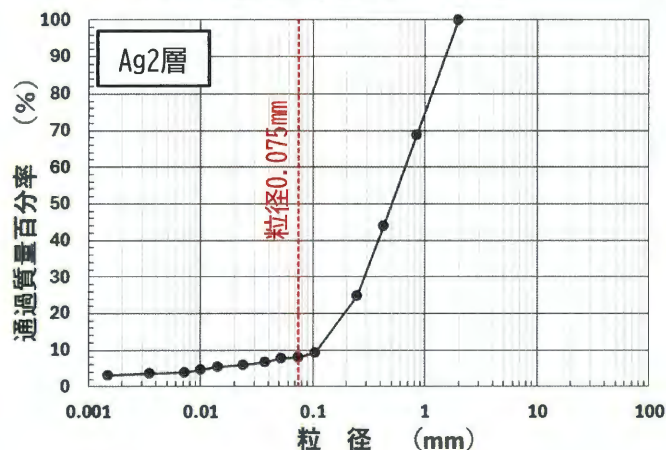
### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

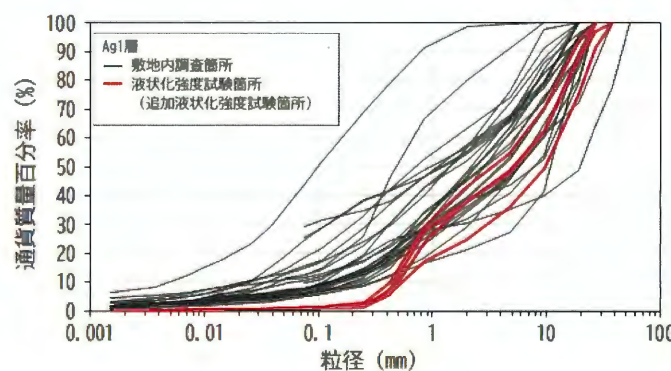
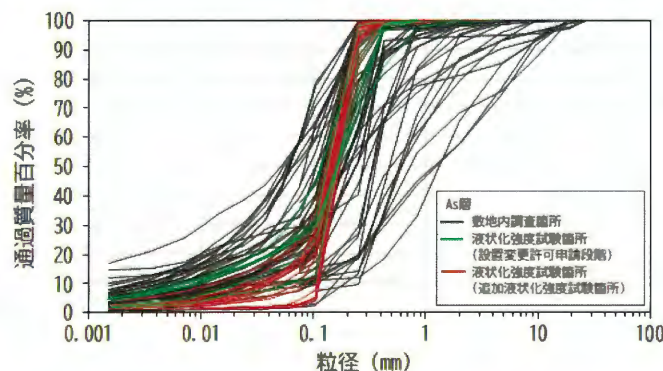
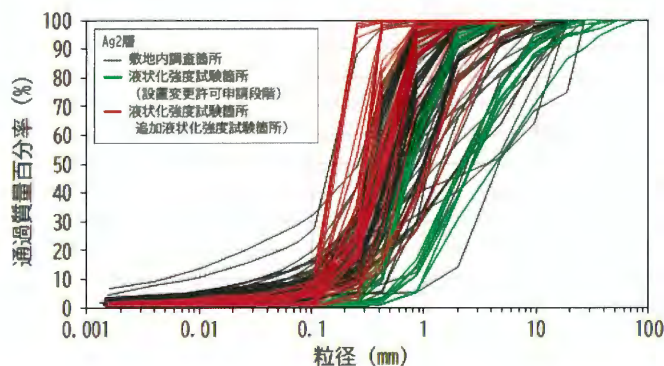
##### (1) 配合設計

##### (1.3) 配合試験用の試料採取

配合試験は、設置変更許可および既工認時の各土層の液状化強度試験実施箇所の粒度分布（液状化しやすい）に合わせた粒度調整試料を用いている。



配合試験試料の粒度調整後の粒度試験結果



敷地内Ag2層，As層，Ag1層の粒度試験結果

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

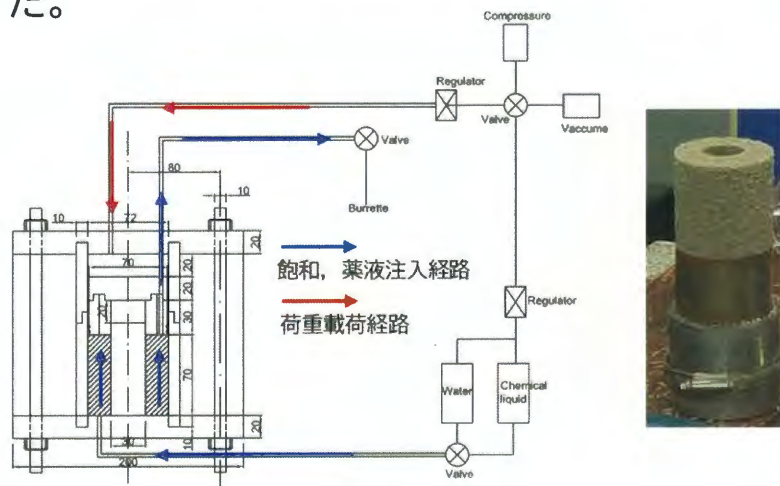
#### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

##### (1) 配合設計

##### (1.4) 室内物理・力学試験

地盤改良（薬液注入）の配合設計において改良地盤の地震時のせん断特性を把握するために、液状化対策対象とする各層（Ag2層，As層，Ag1層）に対して中空繰返しねじりせん断試験及び繰返し三軸試験を実施した。供試体の作成は、炉乾燥した試料を空气中落下法で目標相対密度になるようにモールド内に締固めた後、脱気した水を供試体下部から上部方向に通水させる飽和過程，原地盤の土被り圧の载荷の順に行った。その後，飽和過程と同様，薬液を供試体下部から上部の方に浸透させ，薬液注入を実施した。作成した供試体のモールドは28日間一定の水温で水中養生した後，脱型して試験を実施した。

配合設計においては，土の物理試験（土粒子の密度，粒度，含水比等），一軸圧縮強度試験，中空繰返しねじりせん断試験（Ag2層，As層），繰返し三軸試験（Ag1層）を実施した。また，力学試験後は供試体から採取した試料を用いてシリカ含有量試験を実施した。各試験は，地盤工学会の基準<sup>1)</sup>および浸透固化工法技術マニュアル<sup>2)</sup>を適用した。



中空繰返しねじりせん断試験用供試体  
作成装置及び供試体成型状況



中空繰返しねじり  
せん断試験状況



繰返し非排水三軸試験状況

注記：1) 地盤材料試験の方法と解説，公益社団法人地盤工学会

2) 浸透固化工法技術マニュアル，財沿岸開発技術研究センター，平成15年3月

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

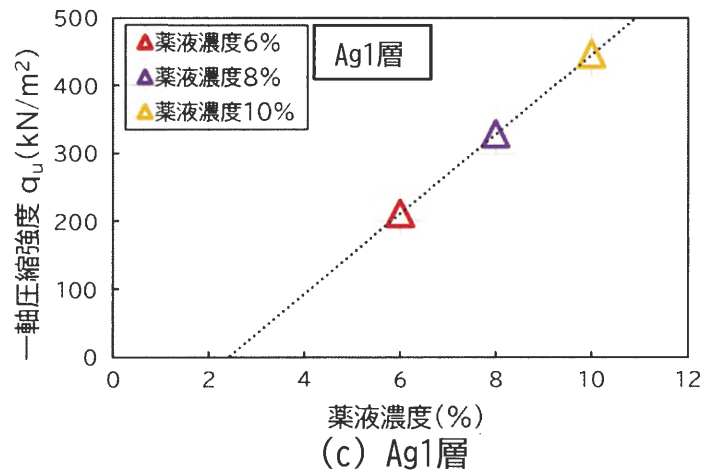
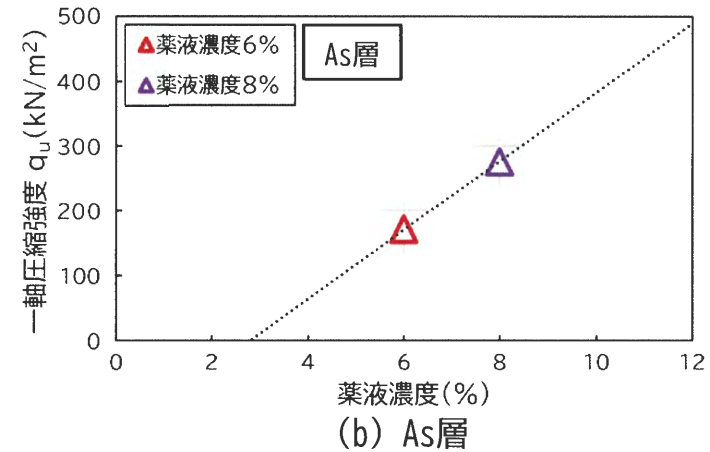
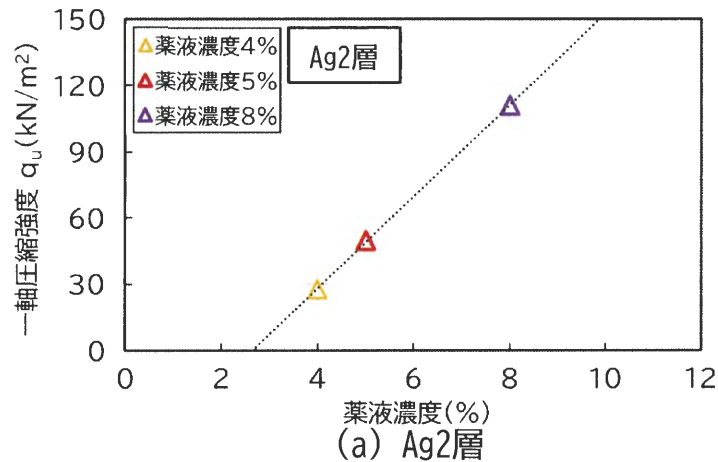
### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

##### (1) 配合設計

##### (1.5) 一軸圧縮強度試験結果

各土層で実施した一軸圧縮試験結果を示す。



薬液濃度と一軸圧縮強度関係

各土層は、薬液の濃度の増加とともに一軸圧縮強度が増加し、両者の間には良い線形比例関係が認められる。

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

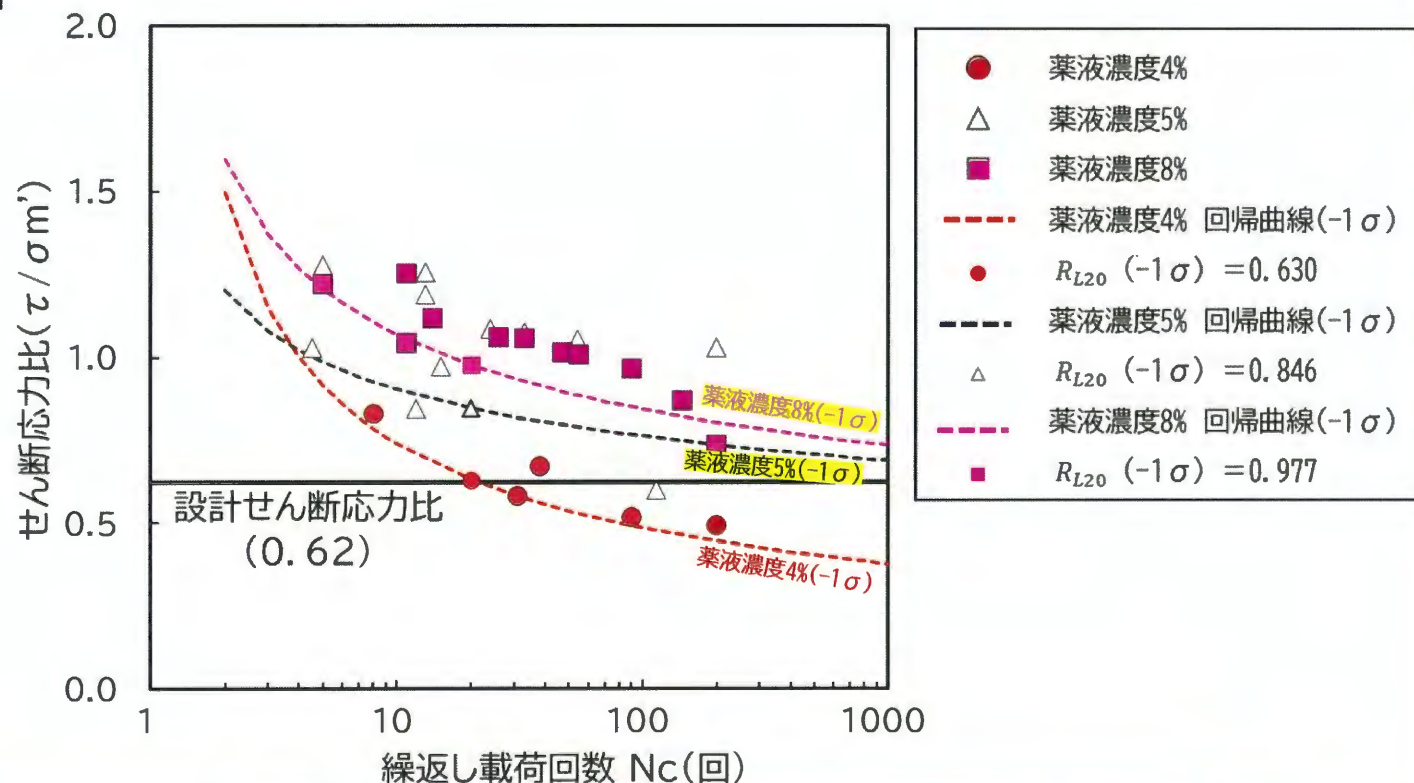
#### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

##### (1) 配合設計

##### (1.6) 液状化強度試験結果

各土層で実施した液状化強度試験結果を示す。

【Ag2層】



Ag2層の液状化強度試験（中空繰返しねじりせん断試験）結果

- ・ 薬液を注入した供試体の液状化強度試験結果は、概ね薬液濃度の順に大きくなっている。
- ・ ばらつきを考慮（平均-1 $\sigma$ ）した液状化強度比 $R_{L20(-1\sigma)}$ は、薬液濃度の増加とともに大きくなることを確認した。

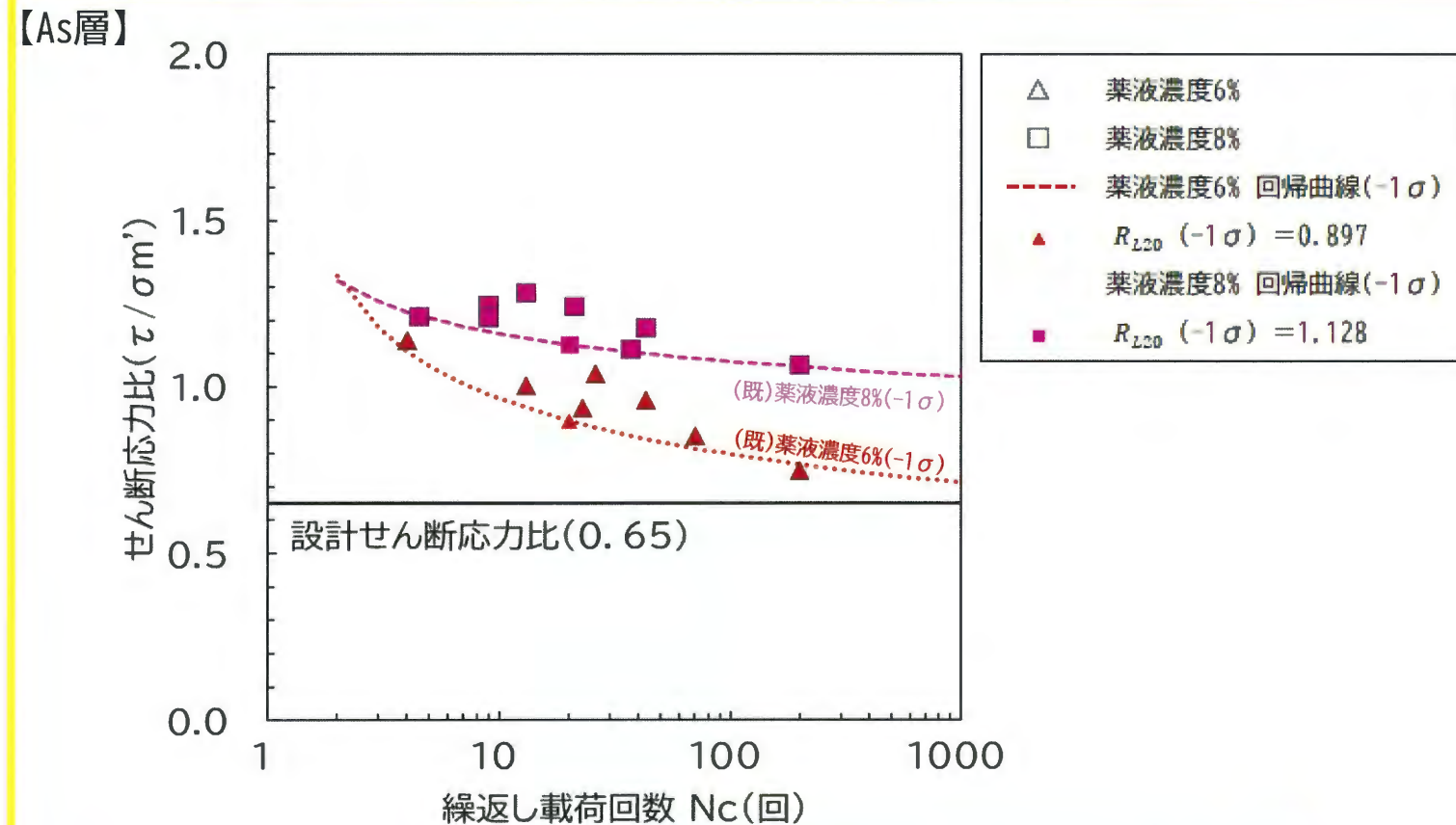
#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

##### (1) 配合設計

##### (1.6) 液状化強度試験結果



As層の液状化強度試験（中空繰返しねじりせん断試験）結果

- ・ 薬液を注入した供試体の液状化強度試験結果は、概ね薬液濃度の順に大きくなっている。
- ・ ばらつきを考慮（平均 $-1\sigma$ ）した液状化強度比  $R_{L20(-1\sigma)}$  は、薬液濃度の増加とともに大きくなることを確認した。

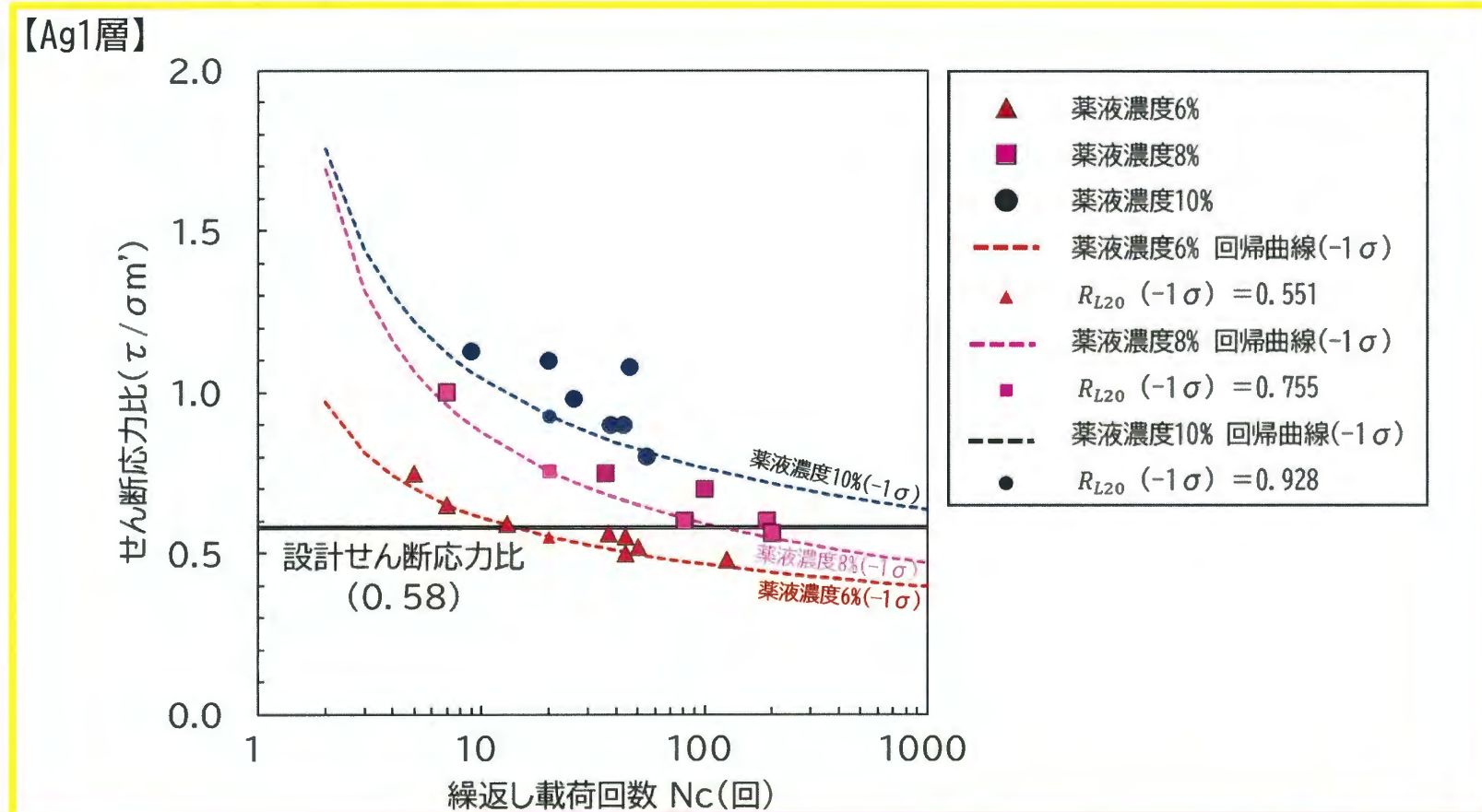
#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

##### (1) 配合設計

##### (1.6) 液状化強度試験結果



Ag1層の液状化強度試験（繰返し非排水三軸試験）結果

- ・ 薬液を注入した供試体液状化強度試験結果は、薬液濃度の順に大きくなっている。
- ・ ばらつきを考慮（平均-1 $\sigma$ ）した液状化強度比 $R_{L20(-1\sigma)}$ は、薬液濃度の増加とともに大きくなることを確認した。

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

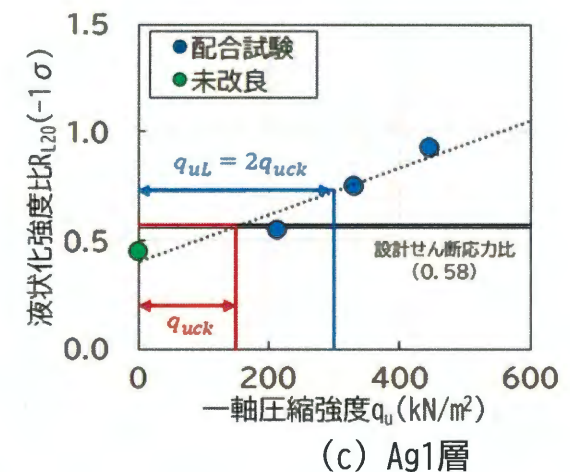
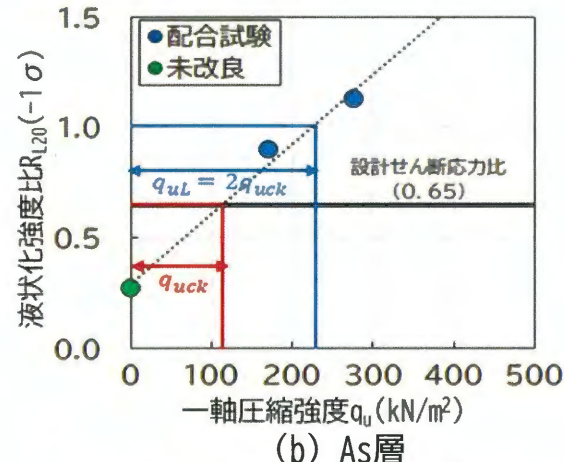
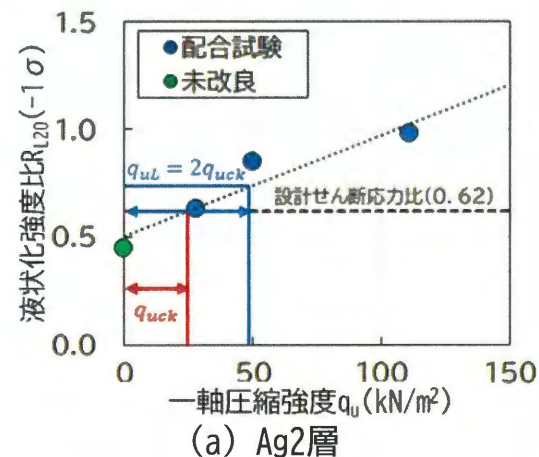
### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

##### (1) 配合設計

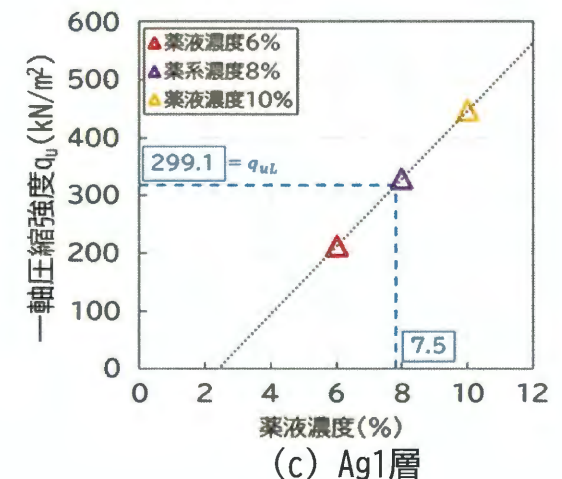
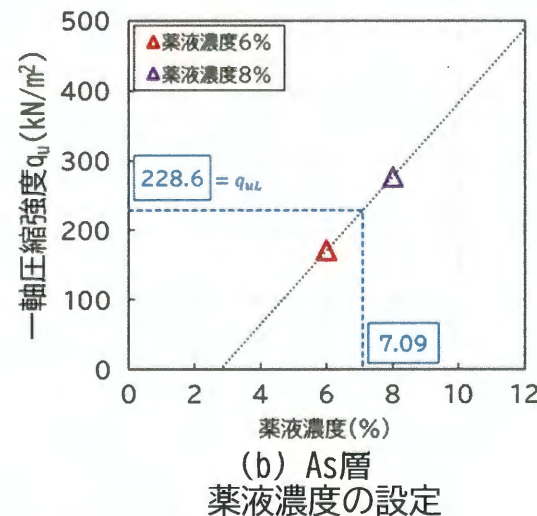
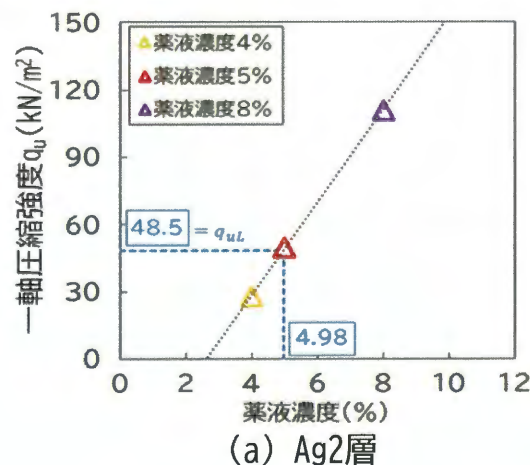
##### (1.7) 薬液濃度の選定

①設計基準強度 ( $q_{uck}$ )，配合目標強度 ( $q_{ul}$ ) の設定



各土層の設計基準強度と配合目標強度

②薬液濃度の設定



薬液濃度の設定

各土層の最大せん断応力比より必要な配合目標強度に対応する注入薬液仕様は、Ag2層で5%、As層およびAg1層で8%となった。

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

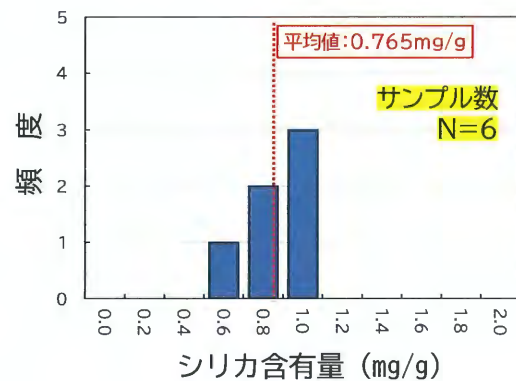
#### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

##### (1) 配合設計

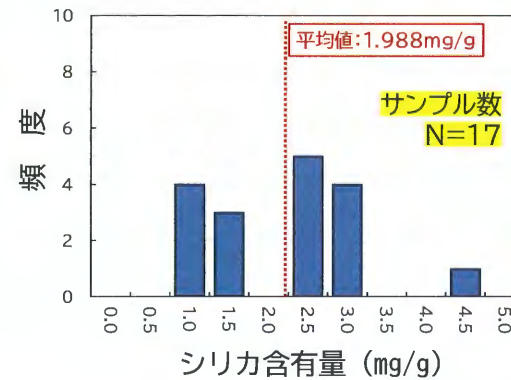
##### (1.8) シリカ含有量による評価

改良後の改良体が所定の品質を確保していることを確認するために、液状化強度比とシリカ含有量増分量の関係からシリカ含有量増分量を管理値設定する。改良体のシリカ含有量増分量は、以下のように算定する。

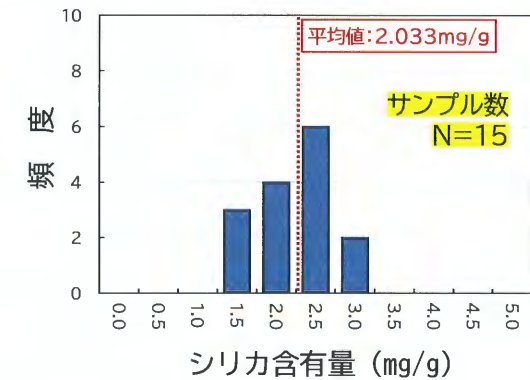
シリカ含有量増分量 ( $\Delta W_{SiO_2}$ ) = 改良後の地盤のシリカ含有量 ( $W_{impSiO_2}$ ) - 原地盤のシリカ含有量 ( $W_{0SiO_2}$ )



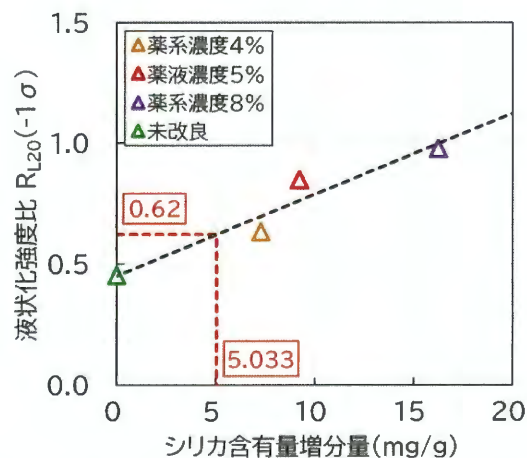
(a) Ag2層



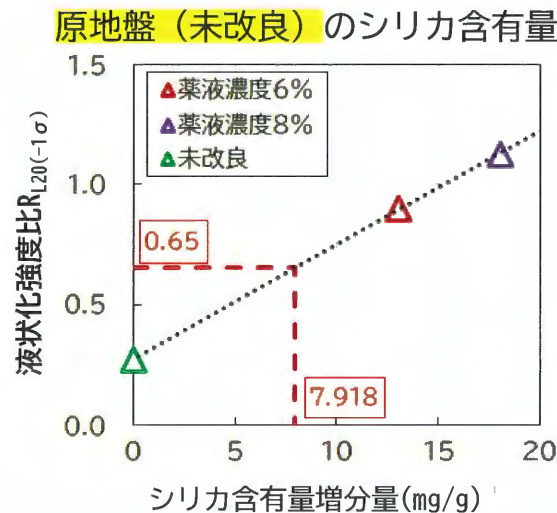
(b) As層



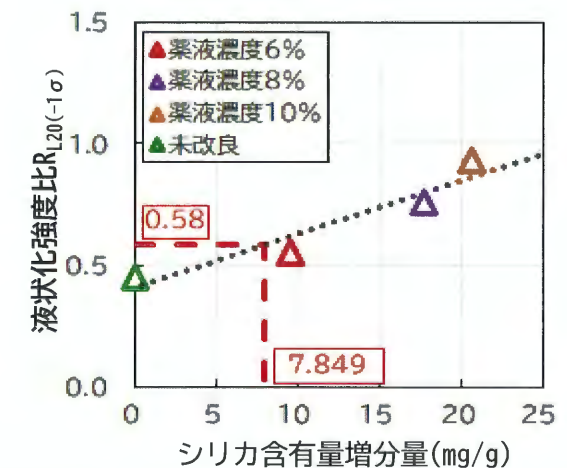
(c) Ag1層



(a) Ag2層



(b) As層



(c) Ag1層

4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

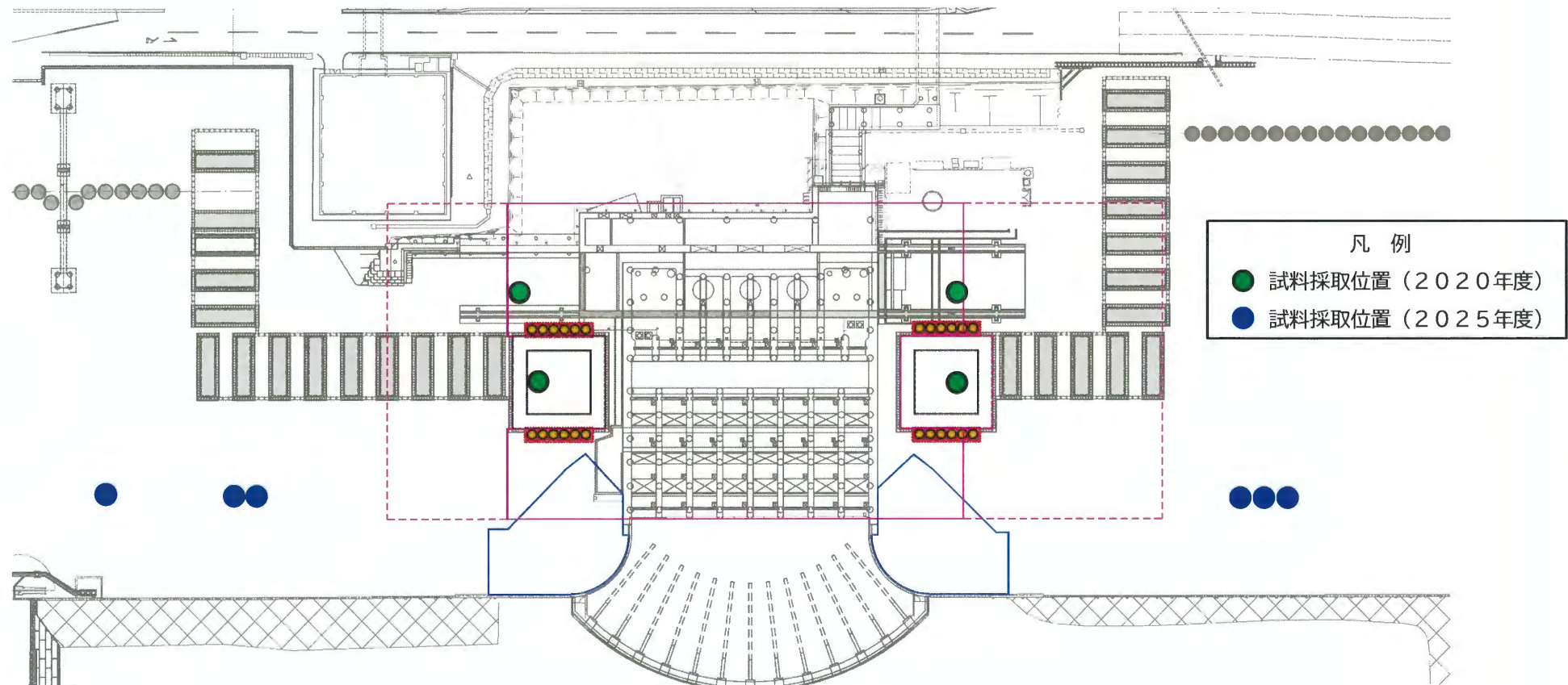
(2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

(1) 配合設計

(1.8) シリカ含有量による評価

原地盤（未改良）のシリカ含有量の試料採取箇所位置を下図に示す。



原地盤（未改良）のシリカ含有量の試料採取箇所位置図

## (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### (2) 施工設計

##### (2.1) 大深度改良範囲の改良精度（改良範囲の確保）

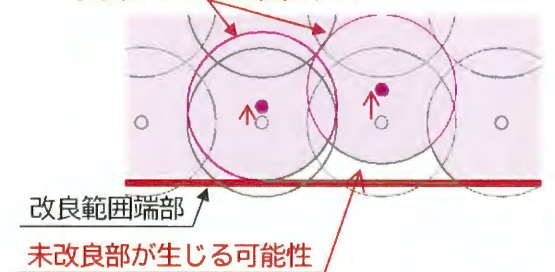
防潮堤（鋼製防護壁）における液状化対策の地盤改良（薬液注入）は、従来の適用深度G. L. -20m以浅より深く、最大でG. L. -60mに達しているため、注入孔曲がりによる改良出来形の確保、高水圧、高拘束圧下での施工性について検討を行った。

#### 1) 注入孔曲がり

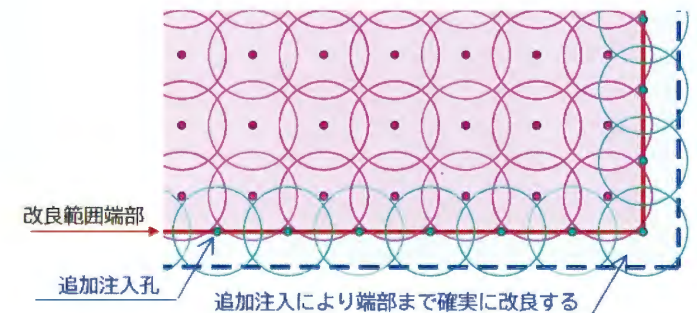
##### ①改良範囲端部にて未改良部が生じる可能性

注入孔削孔における孔曲がりの影響として改良範囲端部に未改良部が発生する可能性がある。

孔曲がりによる位置ずれ



改良範囲端部付近の孔曲がりによる未改良範囲発生状況



改良端部の追加注入孔配置の考え方

- ・ 改良範囲端部において、注入孔削孔時の孔曲がりの影響を考慮して設定した改良範囲を施工に反映し、改良範囲の不確かさの要因に対する対応方策とした。
- ・ また、薬液注入の位置・角度および削孔長などについては施工時に確認する。

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

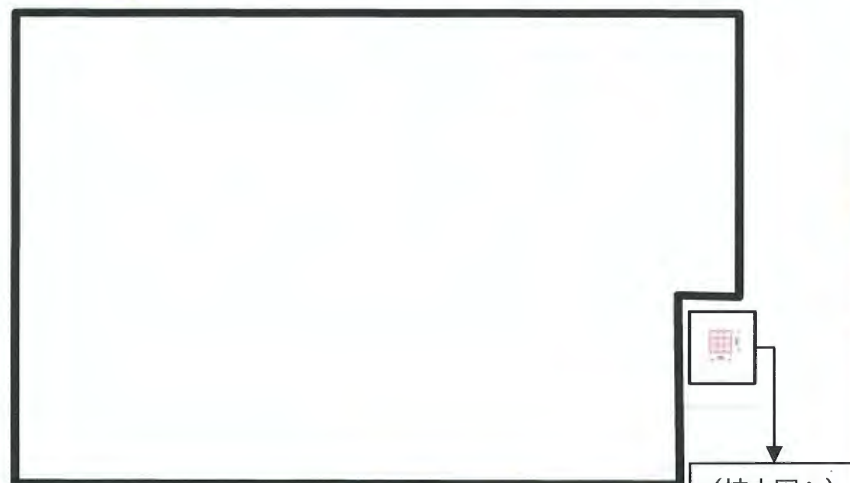
### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

##### (2) 施工設計

##### (2.2) 地盤の透水性の不均一性（限界注入速度試験）

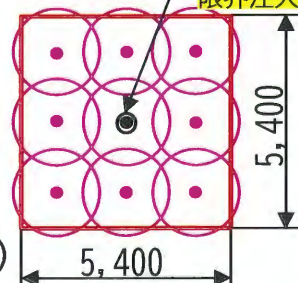
地盤調査結果を踏まえ、Ag2層、As層、Ag1層の限界注入速度試験を実施した。その結果を以下に示す。



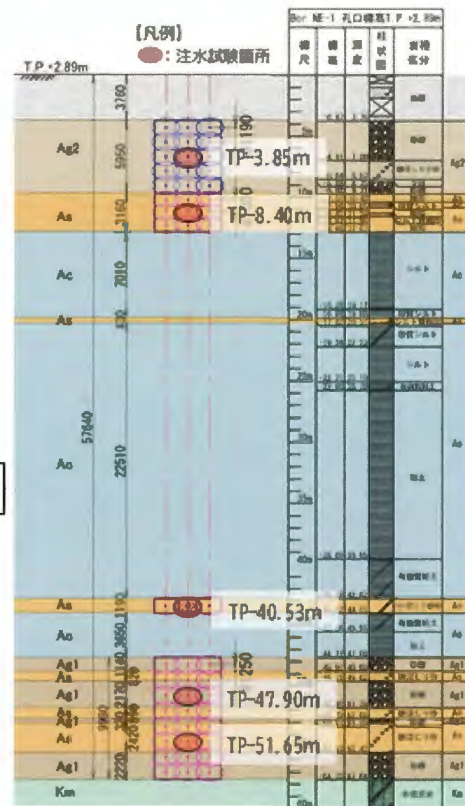
右記柱状図のボーリング  
限界注入速度試験を実施

(拡大図へ)

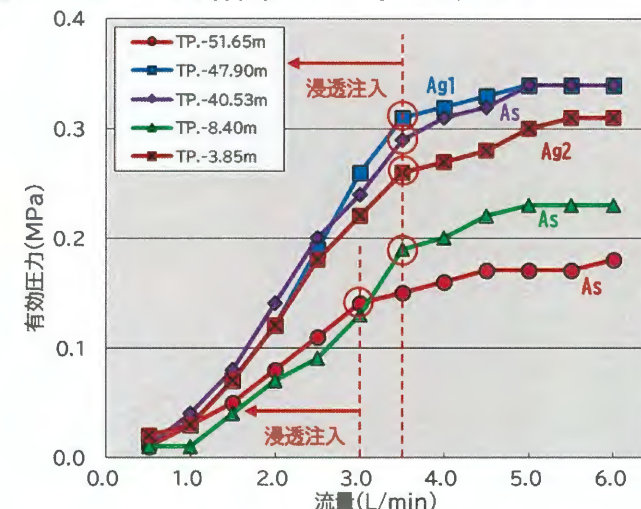
(拡大図)



限界注入速度試験実施場所



限界注入速度試験実施個所の地盤状況



原地盤限界注入速度試験結果（試験施工）

- ・ As層は、細粒分含有量FC等により土性が変動するために、限界注入速度試験はシルト質砂～礫混じり砂までの広い土質において限界注入速度試験を実施した。
- ・ 限界注入速度試験の結果、3.0～3.5 (L/min) の注入速度で浸透注入が可能であることを確認した。

- ・ Ag2層、Ag1層は、均一な地盤と評価され、代表的な土質の砂礫で試験を実施した。
- ・ As層は、調査位置により土性が変化する不均一な土層であり、シルト質砂～礫混じり砂まで広い土質を対象にして試験を実施した。
- ・ 施工においては、限界注入速度試験結果の最小速度である3.0(L/min)を注入速度とする。

以上の結果を施工に反映し、地盤の不均一性、施工条件による改良品質の不確かさの要因に対する対応方策とする。

## (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

### 4. 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### ➤ まとめ

##### 1) 地盤の不均一性（粒度分布，透水性のばらつき）

配合試験に用いる試料は，設置変更許可及び既工認時の液状化強度試験実施個所の粒度分布（液状化しやすい粒度分布）に調整したものである。

限界注入速度試験は，各土層の代表的な土質区間で実施し，最小注入速度3.0ℓ/minを採用する。

##### 2) 改良地盤の液状化強度比の設定

改良後の地盤での動的解析から各土層に作用する最大せん断応力比を抽出し，改良後の地盤に必要な液状化強度比として設定した。

##### 3) 配合試験における液状化強度比の設定

原地盤の液状化強度試験箇所（液状化しやすい）の粒度分布に調整した試料を用いるとともに，配合試験の液状化強度比は，試験のばらつきを考慮し（平均-1 $\sigma$ ）に低減した液状化強度比 $R_{L20(-1\sigma)}$ とした。

##### 4) 薬液の濃度の設定

配合試験により，液状化強度比と一軸圧縮強度，一軸圧縮強度と薬液の濃度，シリカ含有量と薬液の濃度の関係が有為であることを確認した上で，保守的な薬液の濃度を設定した。

##### 5) 注入孔削孔時の孔曲がりに対しては改良範囲端部において孔曲がりの影響を考慮した改良範囲を設定することとで設計改良範囲を確保することにより改良品質に与える影響はない。

以上より，改良品質の不確かさへ及ぼす影響はない。

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### （2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

## 5. 事後調査

### （1）品質管理

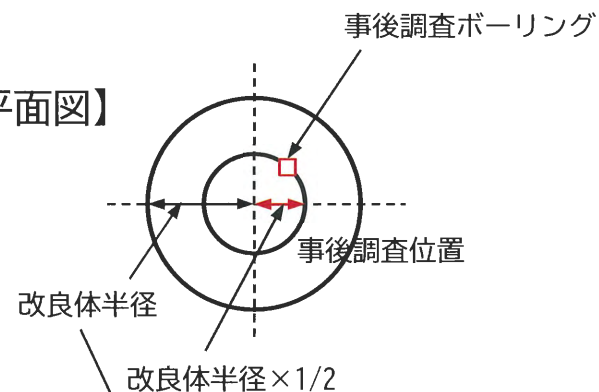
浸透注入工法における品質管理は、改良体が所定の品質を満足していることを確認することである。

改良体の品質は、改良施工後の地盤において調査ボーリングにより乱れが少ない試料を採取し、一軸圧縮強度で評価することを標準としている。しかし、防潮堤（鋼製防護壁）周辺地盤の改良範囲においては、G. L. -60mの大深度地盤を対象としており、試料採取時の土被り圧の解放、サンプラーとの摩擦による乱れの影響は大きく、また礫を多く含有するAg2層、Ag1層や細粒分を多く含有するAs層の土質特性を考慮すると一軸圧縮強度では正確な評価が困難となることが予想される。

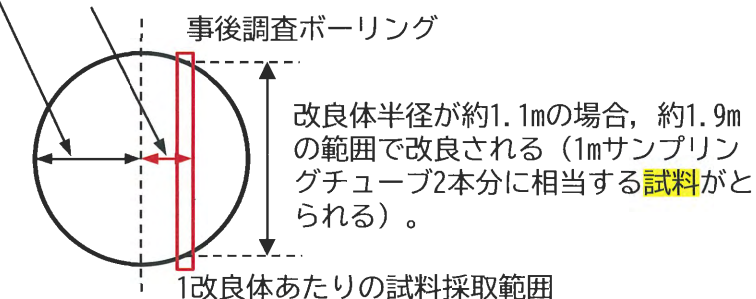
本改良設計においては、試料採取時の乱れの要因に影響されない改良体のシリカ含有量増量を管理値として設定する。

調査数量は、実績のある基準<sup>1)</sup>に基づき、改良対象土層5,000m<sup>3</sup>未満は調査ボーリング3本、5,000m<sup>3</sup>以上は2,500m<sup>3</sup>増えることに1本追加することとする。

【改良体平面図】



【改良体断面図】



事後ボーリング調査実施例<sup>1)</sup>

注記：1) 浸透効果処理工法技術マニュアル，（財）沿岸開発技術研究センター，p. 45，平成15年3月

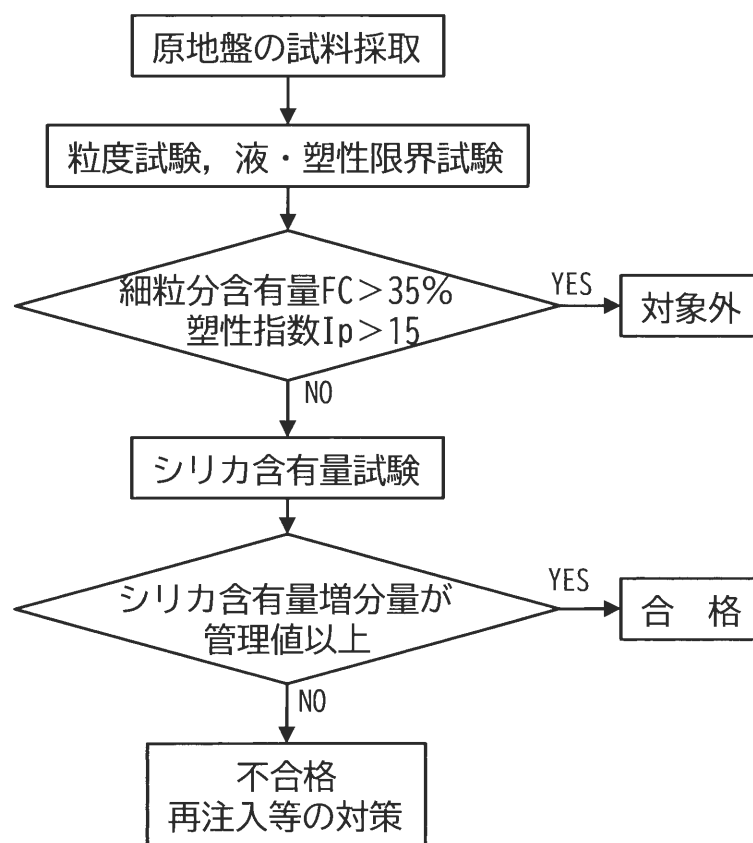
4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

（2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

5. 事後調査

（2）評価フロー

防潮堤（鋼製防護壁）の地盤改良（薬液注入）の品質確認フローを以下に示す。地盤改良（薬液注入）の既施工箇所では、**当品質確認フローを適用している。**



品質確認（事後調査）フロー

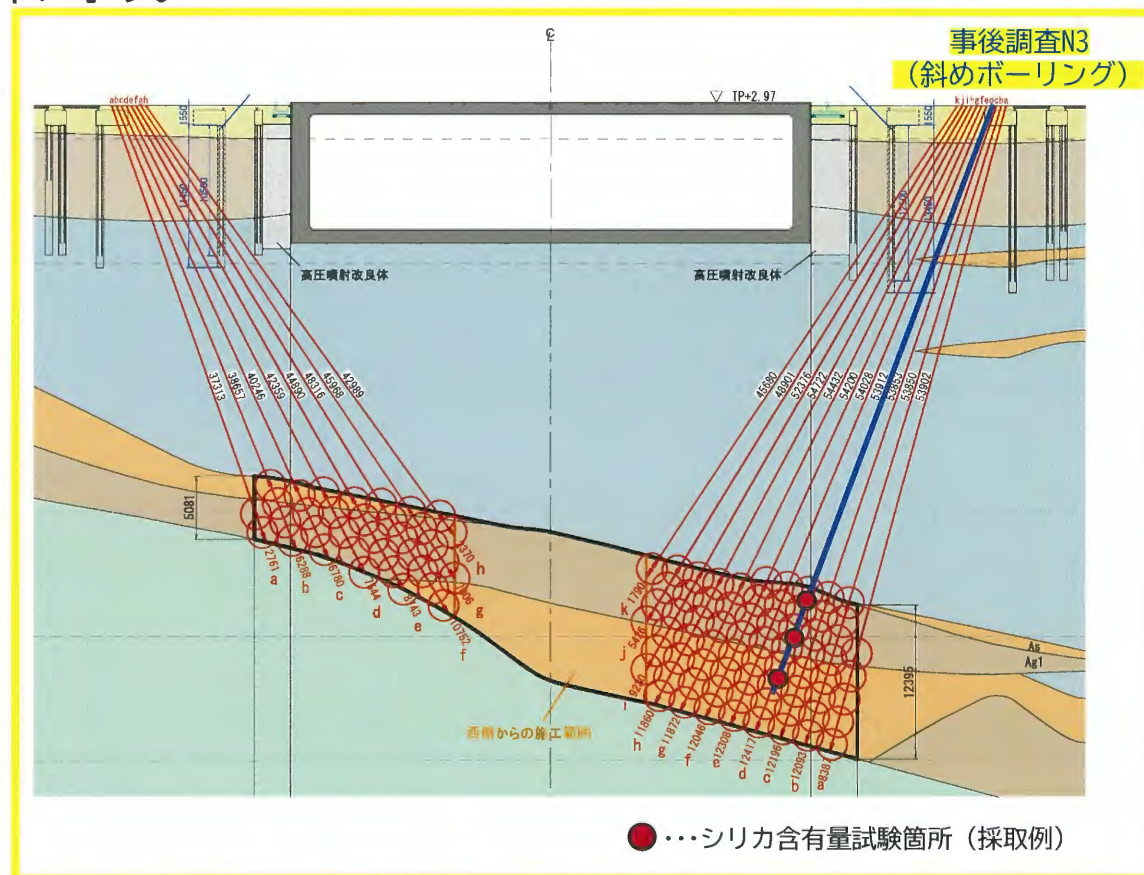
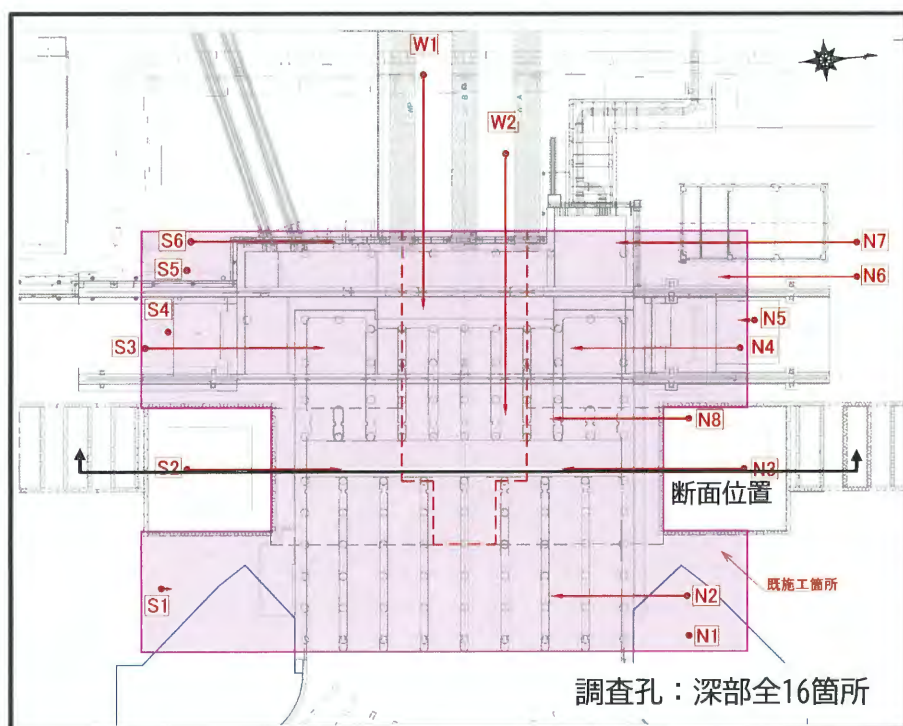
#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 5. 事後調査

##### (3) 既施工箇所における事後調査実施箇所

地盤改良（薬液注入）の既施工箇所において、浸透注入工法で定められた調査数量の事後調査の調査ボーリングを実施した。事後調査ボーリング実施箇所を以下に示す。



事後調査のサンプリング位置（既施工箇所）

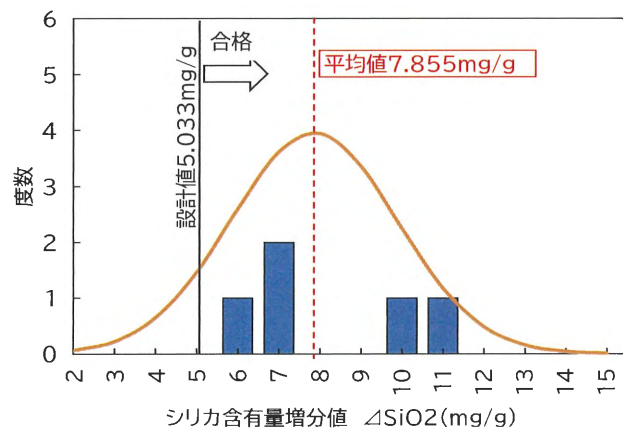
#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

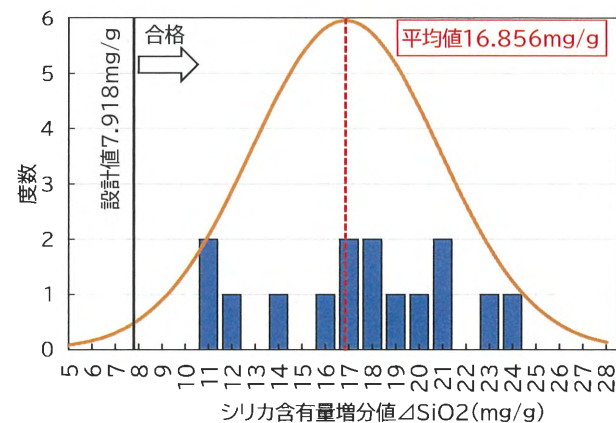
#### 5. 事後調査

##### (4) 既施工箇所における事後調査結果

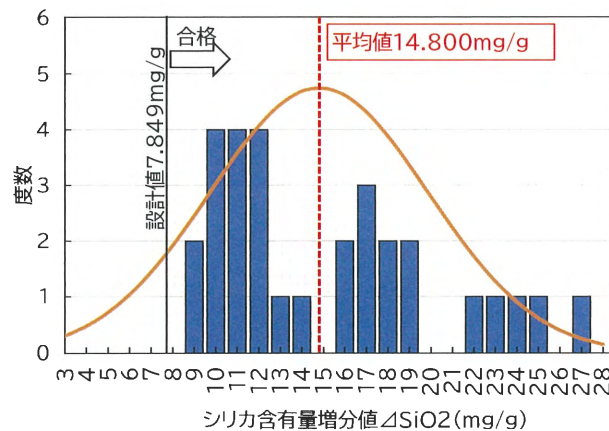
既施工箇所のシリカ含有量増分量は、防潮堤（鋼製防護壁）で設定する設計管理値を満足する結果が得られた。これにより、大深度での高水圧・高拘束圧下においても、要求品質は満足できることを確認した。



a) Ag2層



b) As層



c) Ag1層

既施工箇所のシリカ含有量増分値測定結果

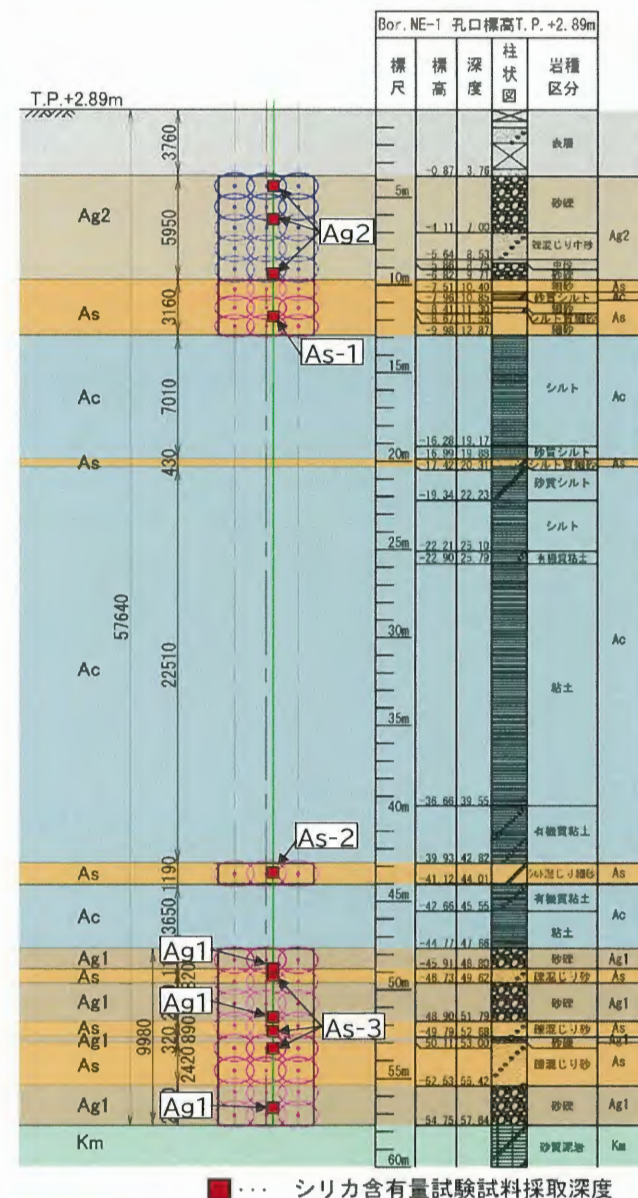
## (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

### (5) 試験施工での事後調査結果

試験結果より、シリカ含有量増加量は全層の試料で設計値を上回ることを確認した。また、Ac層内に介在する薄いAs層への限定的な改良や、深度G. L.-20m以深の高水圧・高拘束圧下に分布するAs, Ag1層でも適切な改良効果が得られた。

## シリカ含有量増分量評価結果

施工位置	確認場所	試料名	シリカ(SiO <sub>2</sub> )含有量 (mg/g)			可否	
			平均値	改良前	増加分	管理値	判定
試験施工	Ag2	Ag2層 TP. -1.41m~-1.51m	22.000	0.765	21.235	≧ 5.033	合格
試験施工	Ag2	Ag2層 TP. -3.31m~-3.41m	11.667	0.765	10.902	≧ 5.033	合格
試験施工	Ag2	Ag2層 TP. -6.41m~-6.51m	13.000	0.765	12.235	≧ 5.033	合格
試験施工	As-1	As層-1 TP. -8.86m~-8.96m	26.667	1.988	24.679	≧ 7.918	合格
試験施工	As-2	As層-2 TP. -40.41m~-40.51m	13.667	1.988	11.679	≧ 7.918	合格
試験施工	As-3	As層-3 TP. -46.26m~-46.36m	29.667	1.988	27.679	≧ 7.918	合格
試験施工	As-3	As層-3 TP. -49.41m~-49.51m	14.000	1.988	12.012	≧ 7.918	合格
試験施工	As-3	As層-3 TP. -50.36m~-50.46m	33.333	1.988	31.345	≧ 7.918	合格
試験施工	Ag1	Ag1層 TP. -45.86m~-45.96m	39.333	2.033	37.300	≧ 7.849	合格
試験施工	Ag1	Ag1層 TP. -48.61m~-48.71m	12.667	2.033	10.634	≧ 7.849	合格
試験施工	Ag1	Ag1層 TP. -53.71m~-53.81m	42.667	2.033	40.634	≧ 7.849	合格



### 事後調査のサンプリング位置（試験施工）

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

---

#### 5. 事後調査

##### ➤ まとめ

- 1) 施工後の品質確認は、試料採取時の乱れの影響を受けない、シリカ含有量増分量とする。
- 2) 既施工箇所<sup>※</sup>の事後調査では、シリカ含有量増分量は防潮堤（鋼製防護壁）の設計値を満足することを確認した。
- 3) 既施工箇所より深い地盤に対して実施した試験施工での事後調査においても、シリカ含有量増分量は防潮堤（鋼製防護壁）の管理値を満足している。なお、高水圧、高拘束圧下でも適切な改良効果が得られていることを確認した。

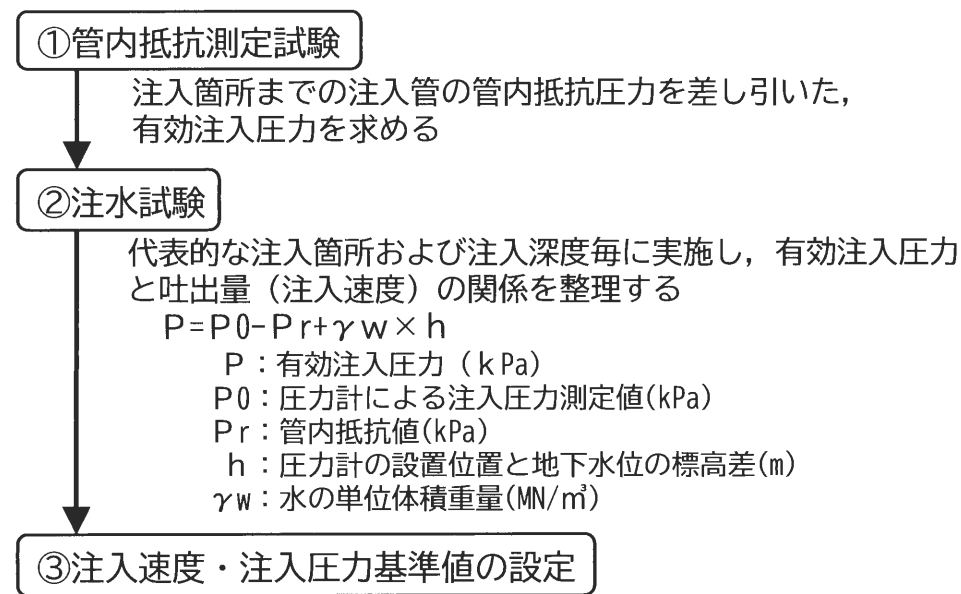
#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### （2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針【参考資料①：限界注入速度試験】

#### ➤ 限界注入速度試験

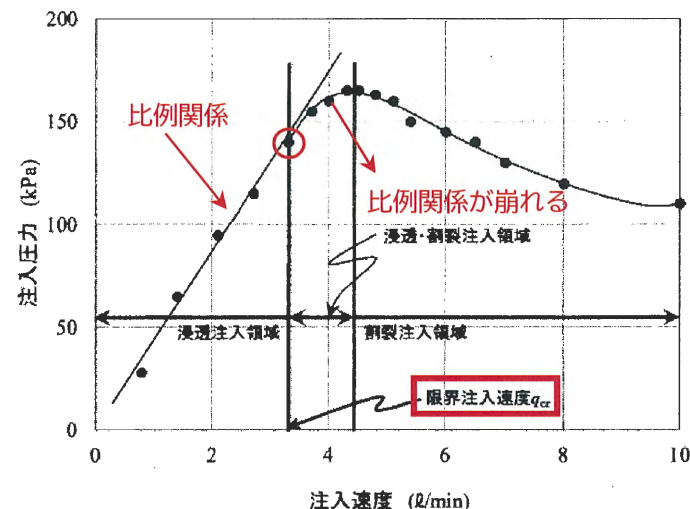
注入速度と注入圧力の関係を下図に示す。注入速度が遅い状態では、注入速度と注入圧力は比例関係であり、この際の注入形態は浸透注入となり、均質な改良体が形成される。注入速度がある速度より大きくなると、注入速度と注入圧力の比例関係は保てず、割裂浸透の注入形態となり、均質な改良体は形成されにくい。この注入速度と注入圧力の関係に影響を及ぼす要因としては、細粒分含有率、密度、土被り圧、地盤の透水性などがある。

このため、注入対象地盤の細粒分含有率、密度、土被り圧、地盤の透水性などについて評価を実施し、限界注入速度試験より注入速度と注入圧力の関係を把握した上で、適切な注入速度、注入圧力を設定する。



浸透領域における最大吐出量を注入限界速度とし、この時の吐出量と注入圧力を、注入速度および注入圧力基準値とする

限界注入速度試験フロー※1



現場注水試験例（注入速度と注入圧力の関係）※2

※1 超多点注入工法技術マニュアル，地盤注入開発機構，平成24年2月

※2 恒久グラウト注入工法技術マニュアル，地盤注入開発機構，2019年9月

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

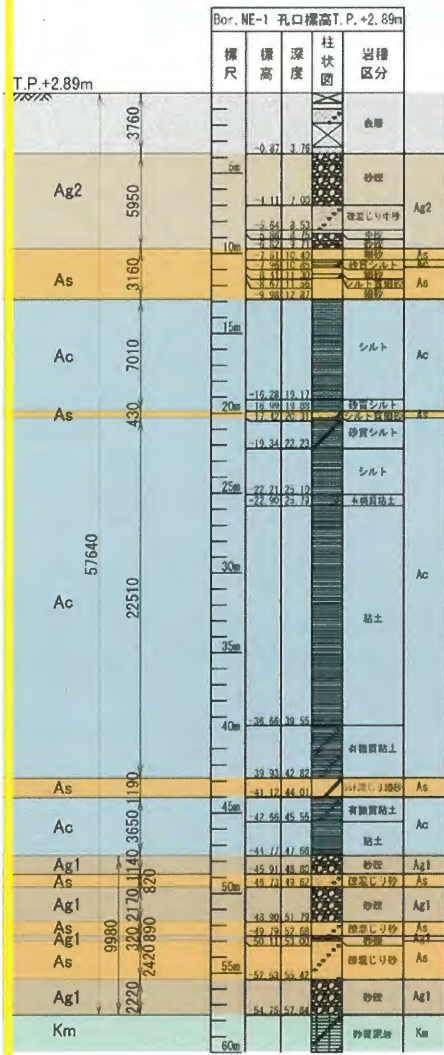
### （2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針【参考資料①：限界注入速度試験】

#### ➤ 限界注入速度試験

##### ◆ 限界注入速度試験箇所の設定

試験施工箇所のコアボーリングより採取したコアを観察し、簡易的な土質特性（以下、「土性」という。）の評価を実施した。その結果を以下に示す。

土性の評価結果は既施工箇所とほぼ同等であるが、改良深度が既施工箇所より深くなることから限界注入速度試験を実施し、注入速度と注入圧を確認することとした。



項目		層区分	Ag2層	As層			Ag1層
				①(浅部)	③(深部)	⑤(深部)	
分布深度 (T.P.m)	上端		-0.87	-6.82	-39.93	-48.90	-46.73
	下端		-6.82	-9.98	-41.12	-52.53	-48.90
土質			砂礫 礫混じり砂	砂	シルト混じり砂	礫混じり砂	砂礫
細粒分観察結果			細粒分 少ない	細粒分 少ない	細粒分 多い	細粒分 少ない	細粒分 少ない
N値※1)			33	7	16	21	50回 以上
締まり度			密	緩い	中位	中位	非常に密
透水性※2)			中位	中位	低い	中位	中位
評価結果			<ul style="list-style-type: none"> <li>既施工箇所と土性が同等であることを確認した。</li> <li>既施工箇所より改良深度が深くなるため、限界注入速度試験を実施し、注入速度と注入圧力を確認する。</li> </ul>				

注記：1)試験箇所近傍調査孔を適用

2)地盤材料試験の方法と解説（二分冊の1），地盤工学会

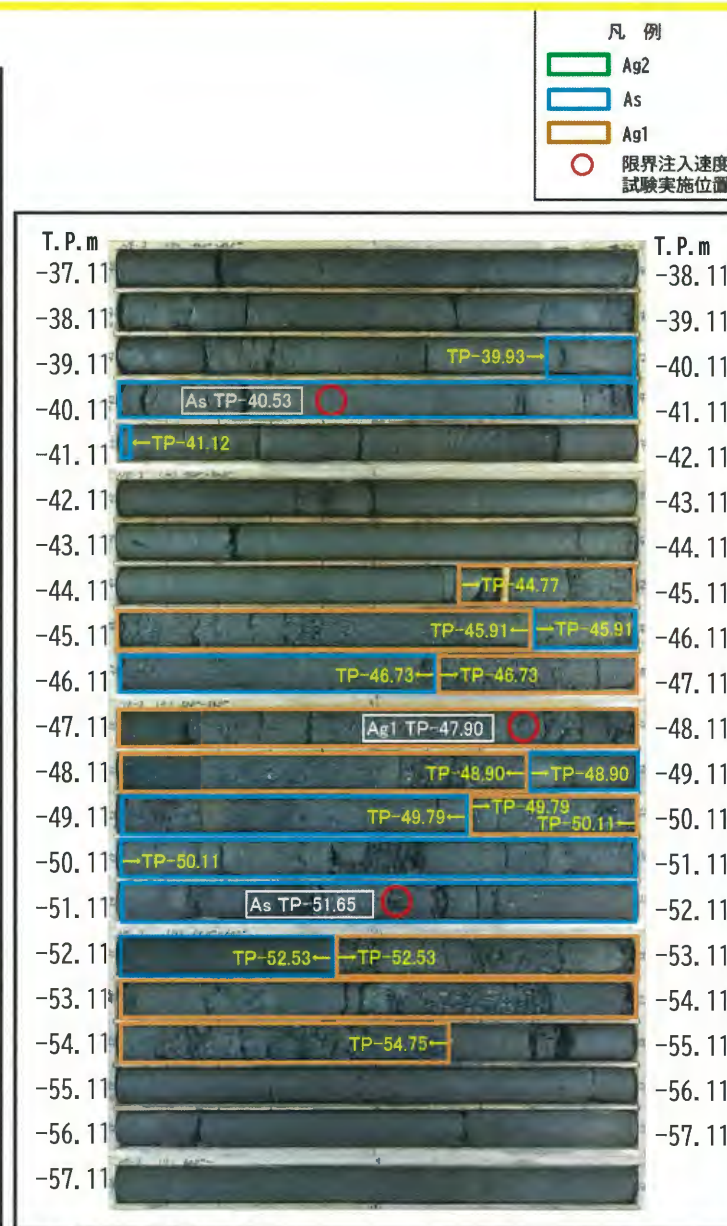
4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

(2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針【参考資料①：限界注入速度試験】

➤ 限界注入速度試験



限界注入速度試験実施位置の土質状況



#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### （2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針【参考資料②：注入孔曲がり計測結果】

#### ➤ 注入孔曲がり計測結果

既施工箇所での注入孔の削孔は、構造物下部の注入範囲においては斜め削孔を、その他施工範囲では鉛直削孔を実施している。以下に注入孔の孔曲がり計測結果を示す。

孔曲がり計測結果（施工済み 斜め削孔）

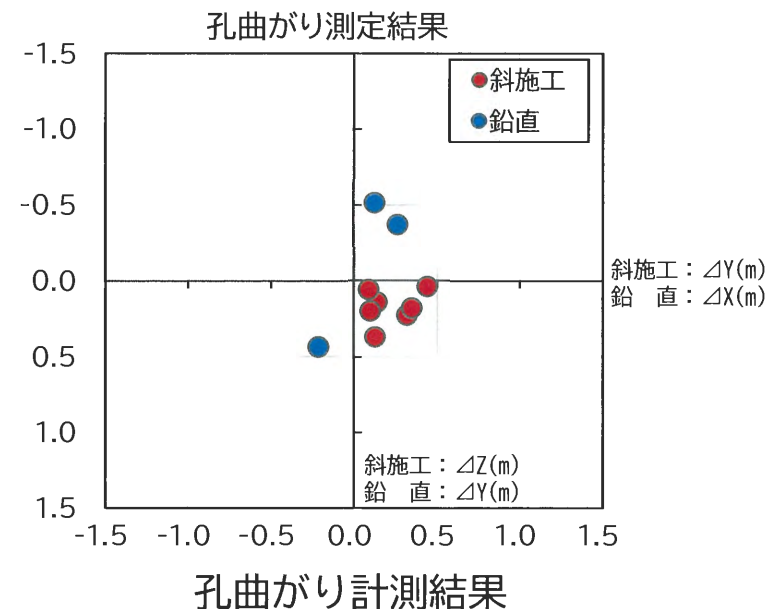
孔番号	削孔角度 [°]	削孔長 [m]	偏心量[m]				削孔精度
			$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	偏心量	
A-1 m	57.1	64.90	0.316	0.130	0.371	0.501	1/103
A-1 p	41.1	53.58	0.288	0.320	0.228	0.487	1/111
C-1 q	36.4	53.88	0.193	0.140	0.144	0.278	1/195
C-1 s	40.1	48.41	0.280	0.350	0.183	0.482	1/102
F-1 g	33.4	49.95	0.101	0.090	0.063	0.149	1/338
B-2 j	30.6	55.31	0.230	0.100	0.201	0.317	1/150
WN-3-j	30.5	58.18	0.060	0.442	0.043	0.448	1/131

・ 偏心量は計画削孔ラインと実削孔到達点との直線距離で算出

孔曲がり計測結果（試験施工 鉛直削孔）

孔番号	削孔角度 [°]	削孔長 [m]	偏心量[m]				削孔精度
			$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	偏心量	
No. 4	鉛直	57.64	0.127	-0.513	-	0.528	1/108
No. 6	鉛直	57.64	0.265	-0.370	-	0.455	1/125
No. 9	鉛直	57.64	-0.213	0.440	-	0.489	1/115

・ 偏心量は計画削孔ラインと実削孔到達点との直線距離で算出



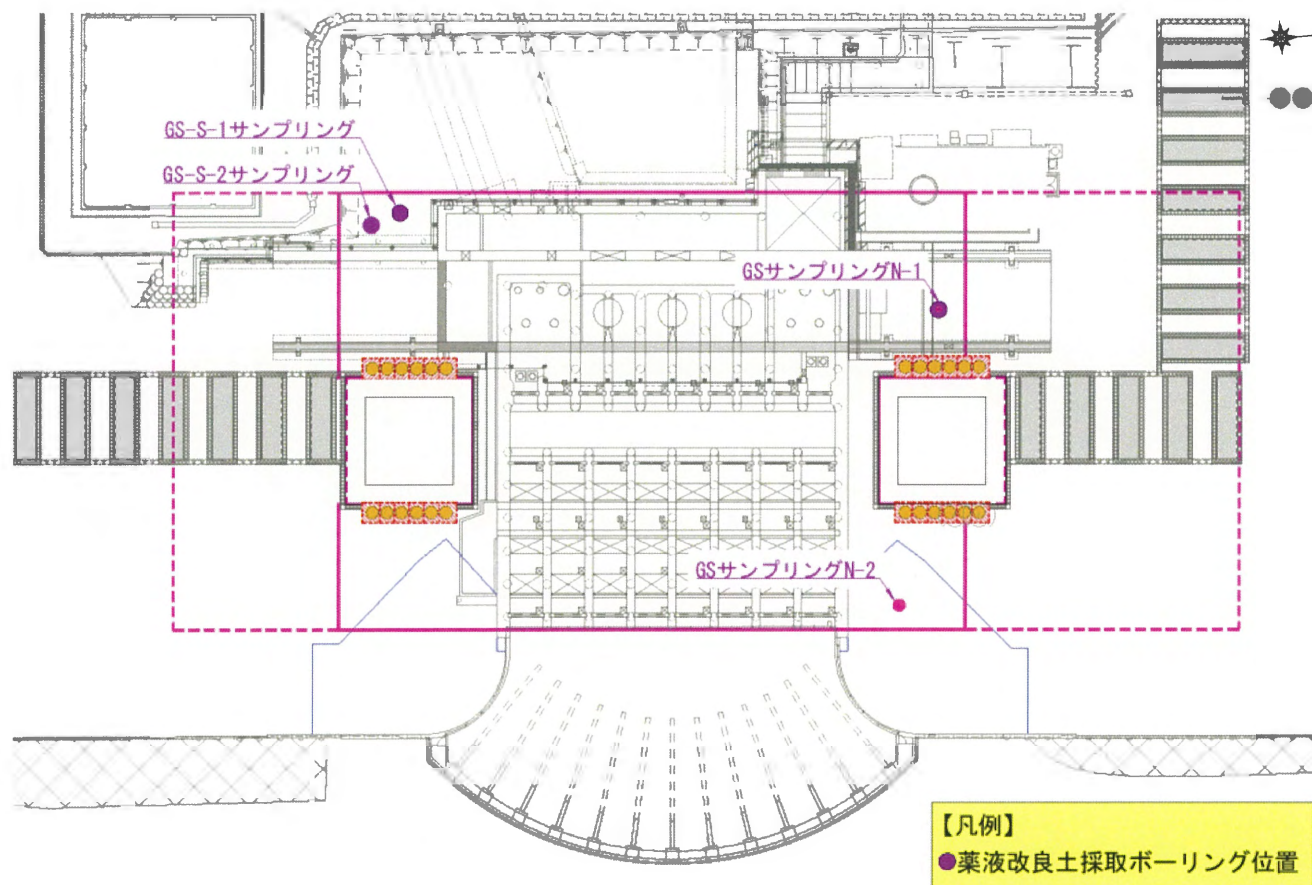
#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### （2）地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針【参考資料③：改良後の液状化強度試験】

#### ➤ 改良後の液状化強度試験

##### （1）既施工箇所での液状化強度試験用の試料採取箇所

既施工箇所において、改良地盤の液状化強度比の評価も実施した。試料の採取は、砂・礫質土の乱れの影響が小さいとされるGSサンプリングで実施した。



現地改良土不攪乱試料採取位置

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

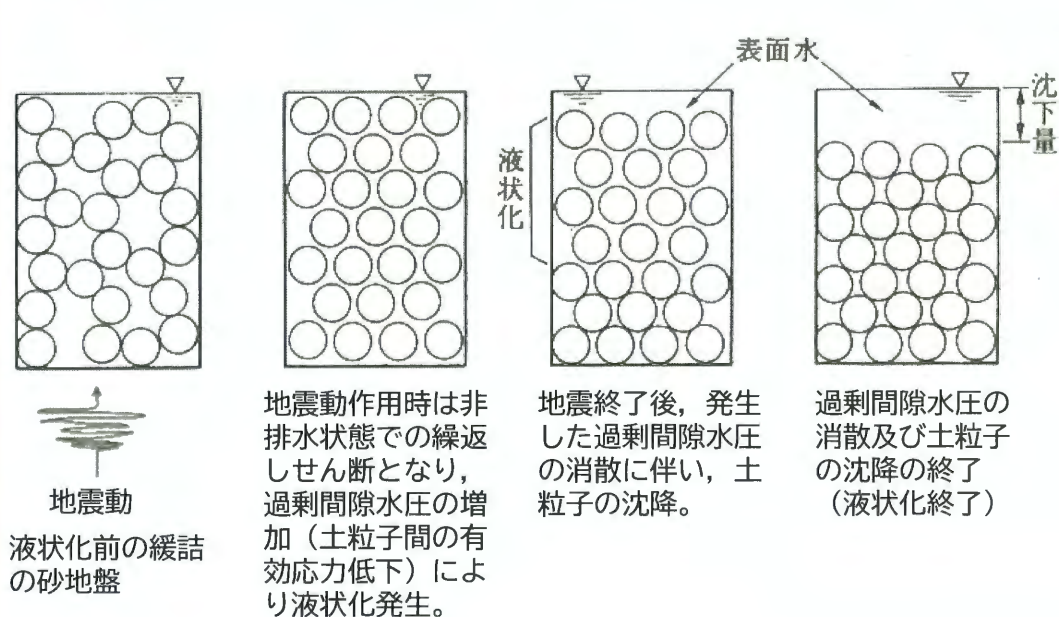
### (2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針【参考資料③：改良土の液状化強度試験】

#### ◆土の液状化と液状化強度試験

地下水以深の飽和した砂・礫質土地盤は、地震動のような繰返し荷重が作用すると非排水状態での繰返しせん断となり、緩詰の砂・礫質土地盤ではせん断変形に伴う土粒子の移動により間隙の水圧が上昇し、土粒子は水中に浮いた状態となりせん断強度が失われ、液体と似た挙動を示すこととなり、この現象を液状化という。

地盤の液状化強度の試験法は、供試体に一定の拘束圧を加えた状態で軸差応力 $\sigma_d$ を圧縮・引張方向に載荷を行う繰返し非排水三軸試験、拘束圧の制御が可能で供試体上部に一定のトルク $T$ （せん断力）を回転方向を正負で載荷を行う中空繰返しねじりせん断試験が代表的なものである。繰返し非排水三軸試験は軸ひずみ $\varepsilon_a$ が5%、中空繰返しねじりせん断試験はせん断ひずみ $\varepsilon_s$ が7.5%に達した際の過剰間隙水圧比が0.95以上に達することを液状化<sup>2)</sup>としており、 $\varepsilon_s = (1 + \nu)\varepsilon_a$ の関係から非排水条件でのポアソン比 $\nu = 0.5$ として $\varepsilon_a$ が5%と $\varepsilon_s$ が7.5%は同一状態を示す。

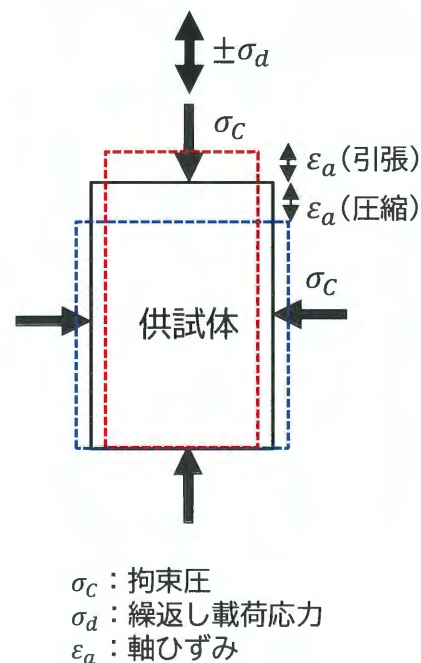
土粒子の粒径が比較的小さいAg2層、As層は中空繰返しねじりせん断試験、土粒子の粒径が大きいAg1層は繰返し非排水三軸試験を適用した。



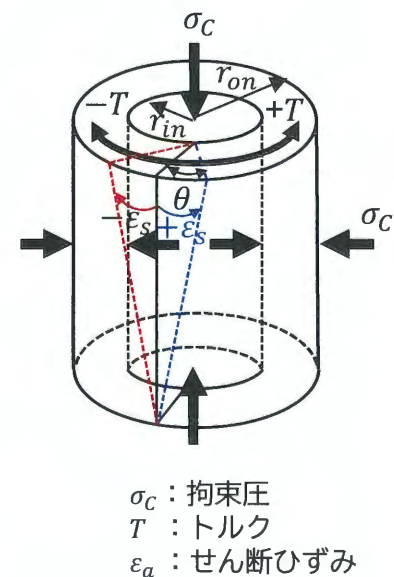
地盤の液状化の概念※1)

注記：1) 吉見吉昭：砂地盤の液状化，技報堂出版株式会社，1991年，5月

2) 地盤材料試験の方法と解説（一二分冊の2一），公益社団法人地盤工学会



繰返し非排水三軸試験

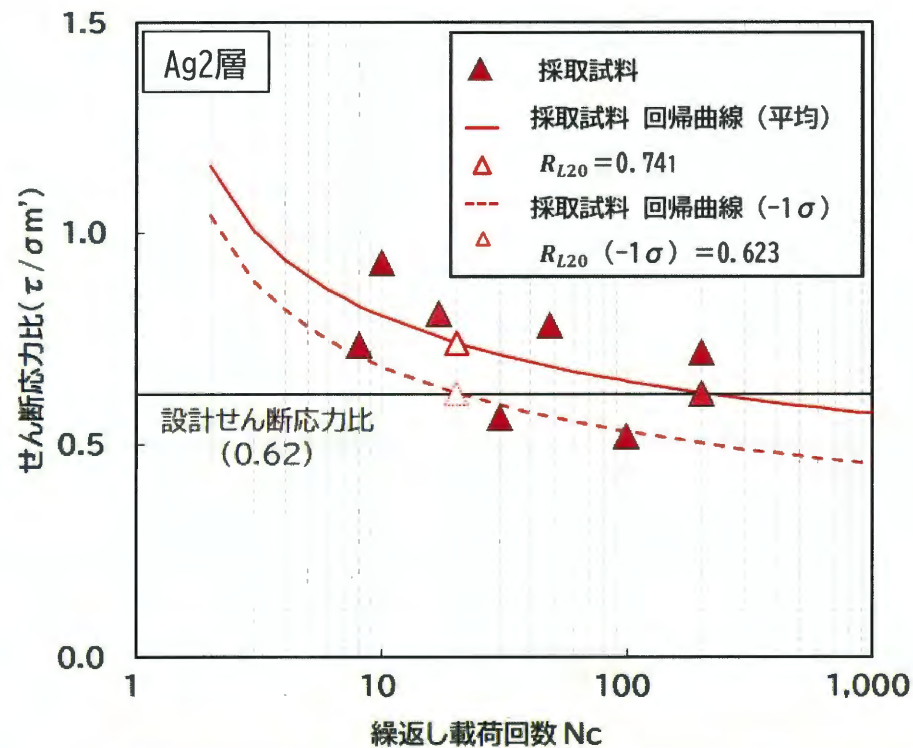


中空繰返しねじりせん断試験

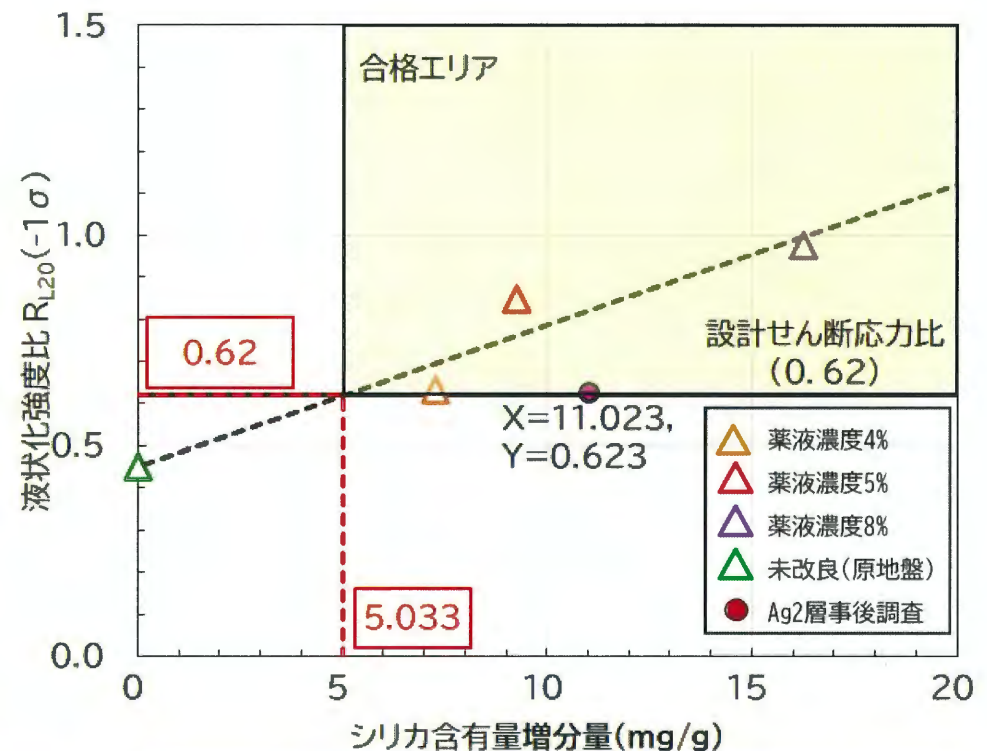
4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

(2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針【参考資料③：改良土の液状化強度試験】

◆ 地盤改良（薬液注入）後のサンプリング試料の液状化強度試験結果



液状化強度試験（中空繰返しねじりせん断試験）結果



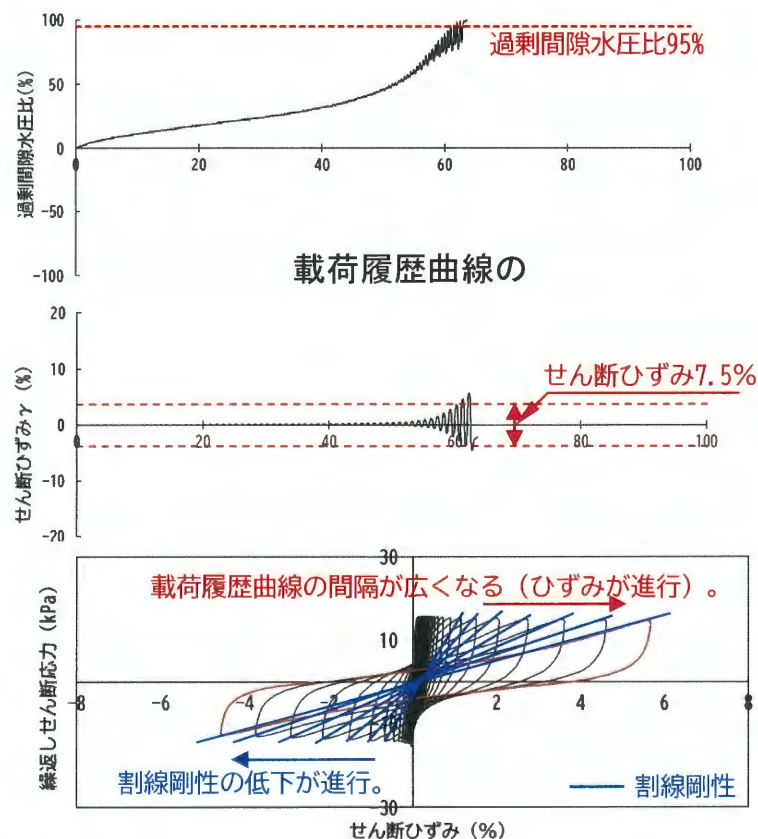
シリカ含有量増分量と液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$ 判定結果

- ・ 既施工箇所において、GSサンプリングにより採取した試料を用いて液状化強度試験（中空繰返しねじりせん断試験）を実施した。
- ・ 液状化強度試験試料の平均シリカ含有量増分量は、シリカ含有量増分量の設計値5.033mg/gを上回る（11.0mg/g）ものの、液状化強度試験による $R_{L20}(-1\sigma)=0.623$ は設計せん断応力比0.62とほぼ同様な値となった。
- ・ 改良土のシリカ含有量増分量（11.0mg/g）に相当する液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$ より小さく、試料採取時の乱れの影響による強度低下が考えられる。
- ・ 次頁に、液状化強度試験による過剰間隙水圧比、せん断ひずみ及びひずみと応力の関係の時刻歴を示すが、未改良土とは異なる挙動をするとともに液状化に至らないことを確認した。

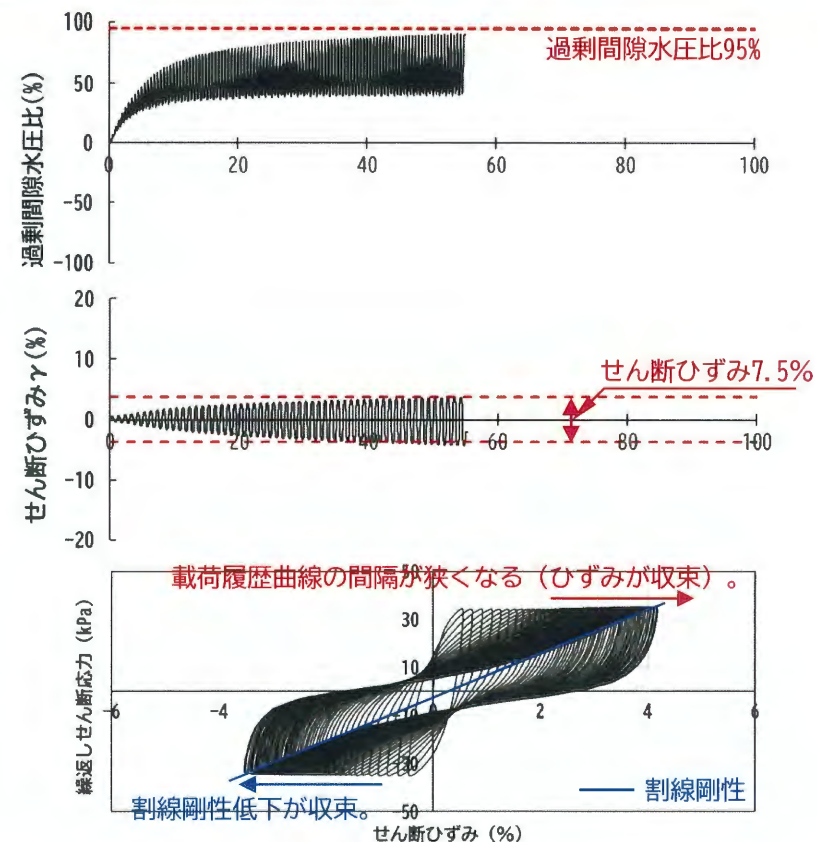
4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

(2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針【参考資料③：改良土の液状化強度試験】

◆ 未改良土と改良土の液状化強度試験による繰返しせん断特性



(a)未改良土 (Ag2層,  $(\tau/\sigma'_m)=0.472$ )



(b)改良土 (Ag2層,  $(\tau/\sigma'_m)=0.782$  , 薬液濃度5%)

項目	未改良土	改良土
過剰間隙水圧比	繰返し載荷とともに徐々に蓄積され漸増するが、ある繰返し回数（50回）付近で急激に増加し、過剰間隙水圧比95%に達する。	繰返し載荷初期は大きい過剰間隙水圧が発生するが、載荷初期以降の増加量は小さくなり、過剰間隙水圧比は95%には達しない。
せん断ひずみ	ある繰返し回数（50回）以上で急増し、過剰間隙水圧比95%に達したほぼ同じ時点でせん断ひずみ7.5%に達し、液状化に至る。	繰返し載荷初期はせん断ひずみが漸増し、過剰間隙水圧の増加が小さくなる同じ時点以降の増分は小さくなり、せん断ひずみ7.5%に達する。
せん断応力とひずみ関係	一定の繰返し回数（50回）以上でひずみの振幅が大きくなり、最終的には過剰間隙水圧の増加により剛性を失った扁平な形状の載荷履歴曲線を示す。	繰返し載荷初期のせん断ひずみの振幅は未改良土より大きい、載荷履歴曲線は載荷回数とともに徐々にひずみの振幅は収束し、ほぼ同じ形状を維持している。

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (3) 地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 1. 概要

**防潮堤（鋼製防護壁）**基礎の西側を掘削・置換工法により地盤改良（セメント系）する計画である。先に整理した本地盤改良の改良品質の不確かさの要因である「配合設計（セメントの配合量と一軸圧縮強度の関係）」について、設計への影響の有無を確認する。

#### 2. 工事概要

改良計画範囲を掘削し、当該箇所をプラントにて製造した流動化処理土により埋め戻す（置き換える）。

#### 3. 流動化処理土の要求性能

現地打設した流動化処理土が設計の一軸圧縮強度を満足すること  
設計の一軸圧縮強度  $q_{ud} = 1.5 \text{ N/mm}^2$

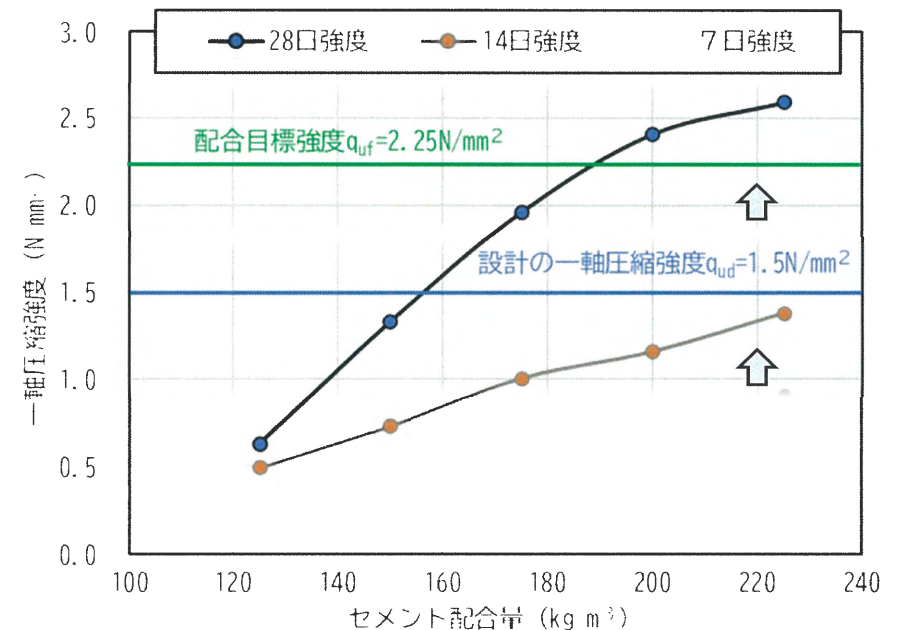
#### 4. 配合設計（セメントの配合量と一軸圧縮強度の関係）

セメントの配合量を変化させた試験練りを実施し、設計の一軸圧縮強度に対する配合目標強度を設定した。本工事で使用する流動化処理土は購入砂を材料として製造する方針としており、母材のばらつきは小さいと判断し、 $q_{uf} = 1.5q_{ud} = 2.25 \text{ N/mm}^2$ とした。

配合試験結果（セメント配合量と一軸圧縮強度の関係）

セメント配合量	購入砂	ベントナイト	水	一軸圧縮強度
125	1142.7	10.0	523.8	0.627 N/mm <sup>2</sup>
150	1119.2	10.0	524.5	1.327 N/mm <sup>2</sup>
175	1095.7	10.0	525.1	1.959 N/mm <sup>2</sup>
200	1072.3	10.0	525.7	2.407 N/mm <sup>2</sup>
225	1048.8	10.0	526.4	2.589 N/mm <sup>2</sup>

注：単位記載のない数値の単位はkg/m<sup>3</sup>



配合試験結果（セメント配合量と一軸圧縮強度の関係）  
（養生期間による強度増加）

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### (3) 地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）の改良品質の不確かさへの対策方針

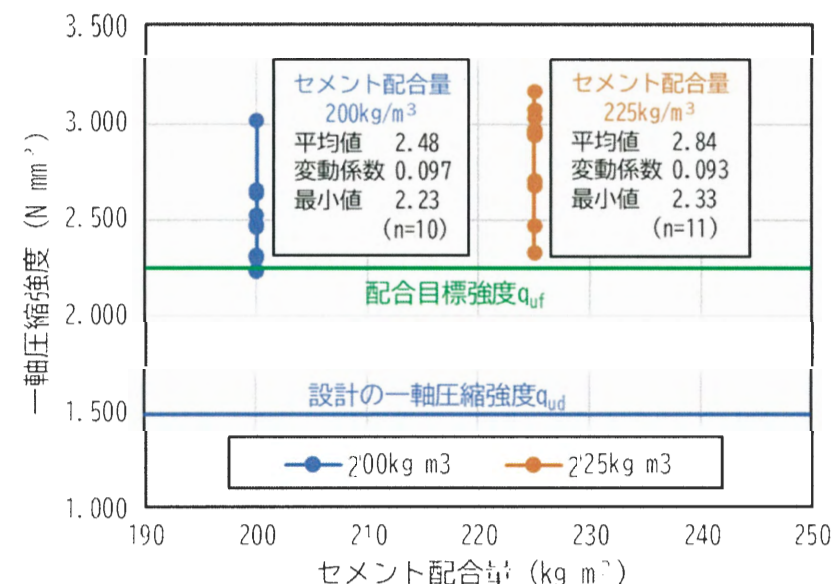
#### 5. 強度のばらつきを考慮した配合の決定

前頁の配合試験結果より、配合目標強度を満足する配合は、セメントの配合量 $200\text{kg/m}^3$ 及び $225\text{kg/m}^3$ であった。この配合2ケースについて、追加の一軸圧縮強度試験を実施し、強度のばらつきを確認した。

この確認の結果、最小値及び平均 $-1\sigma$ が配合目標強度を満足する「セメント配合量 $225\text{kg/m}^3$ 」を採用することで、改良地盤の品質を十分確保することが可能である。

一軸圧縮試験結果（ばらつき評価）

セメント配合量	$200\text{kg/m}^3$	$225\text{kg/m}^3$
平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	2.48	2.84
最小値 (N/mm <sup>2</sup> )	2.23	2.33
変動係数	0.097	0.093
平均 $-1\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.16	2.32
(参考)試験数	10	11



#### 6. 地盤改良（セメント系）の品質管理

プラントによる流動化処理土の製造は上記5.の配合によるものとし、流動化処理土の品質管理は、他工事において適用実績のある「流動化処理土利用技術マニュアル《平成19年/第2版》（独立行政法人土木研究所/流動化処理工法総合監理 編）」に従い以下の項目を実施する。

なお、改良範囲については、掘削完了時（置換開始前）及び置換完了時に測量にて確認する。

流動化処理土の品質管理基準

項目	確認項目	頻度	確認方法
材料	一軸圧縮強度	製造日ごとに1回	一軸圧縮強度 $q_u$ を求め、 $q_u$ の平均値 $\geq$ 設計の一軸圧縮強度以上であることを確認する。

#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### （4）地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 1. 概要

防潮堤（鋼製防護壁）の東側において高圧噴射攪拌工法により地盤改良（セメント系）を実施している。先に整理した本地盤改良の改良品質の不確かさの要因である「地盤の不均一性（土質，締り度）」について，設計への影響の有無を確認する。

#### 2. 工事概要

ボーリング孔より高圧で地盤改良材を噴射し，地盤を切削・攪拌し地盤を改良する。

#### 3. 地盤改良体の要求性能

地盤改良体が設計の一軸圧縮強度を満足すること

設計の一軸圧縮強度 砂・礫質土層  $q_{ud}=3.0\text{N/mm}^2$   
粘性土層  $q_{ud}=1.0\text{N/mm}^2$

#### 4. 改良品質の不確かさへの対策方針

改良品質の不確かさの要因及び要求品質を確保するための対策方針を下表に示す。

不確かさの要因	詳細	要求品質を確保するための対策方針
地盤の不均一性	地盤の不均一性（土質，締り度）の影響による改良径のばらつき	改良配置についてはラップ配置を採用する。また，事後調査ボーリングを行い，計画範囲が改良できていることを確認した。
	地盤の不均一性（土質，締り度）の影響による一軸圧縮強度のばらつき	各土層に対応した改良材を採用することで，地盤改良体が計画の一軸圧縮強度を満足することを確認した。

改良品質の不確かさへの対策方針及び施工箇所の調査結果を次頁に示す。

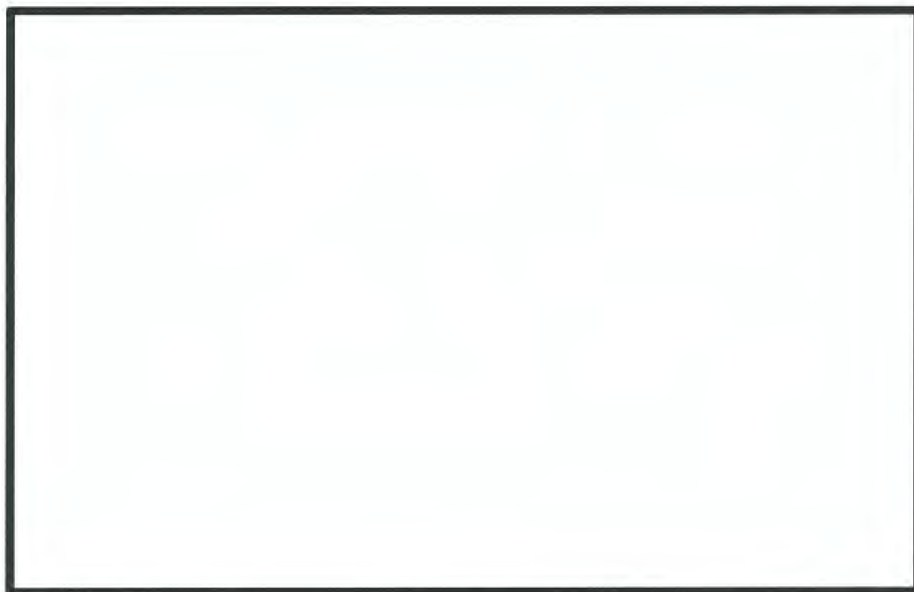
#### 4. 審査会合コメント⑮回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

### （4）地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の改良品質の不確かさへの対策方針

#### 【要求品質を確保するための対策方針及び施工結果】

地盤改良のボーリング孔の配置として地盤改良円を重ねるように配置（ラップ配置）することで、改良径のばらつきの対策とする。

なお、施工箇所にて改良品質等の確認のために実施した一軸圧縮強度試験及び弾性波速度を確認した結果、地盤改良体の一軸圧縮強度 $q_u$ 及びせん断波速度 $V_s$ の試験結果が、改良品質を満足していることを確認している。



一軸圧縮強度及びせん断波速度の調査結果