

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)

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⑯回答

4. 審査会合コメント⑯回答

コメント回答

【1360回審査会合コメント⑯】

No	コメント
⑯	<ul style="list-style-type: none"> ● 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>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
⑯	<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"> ・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。 ・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。 ・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。 ・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。 <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⑯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）
	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）
	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）
	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）
	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は受けない）
	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）
	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

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⑯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

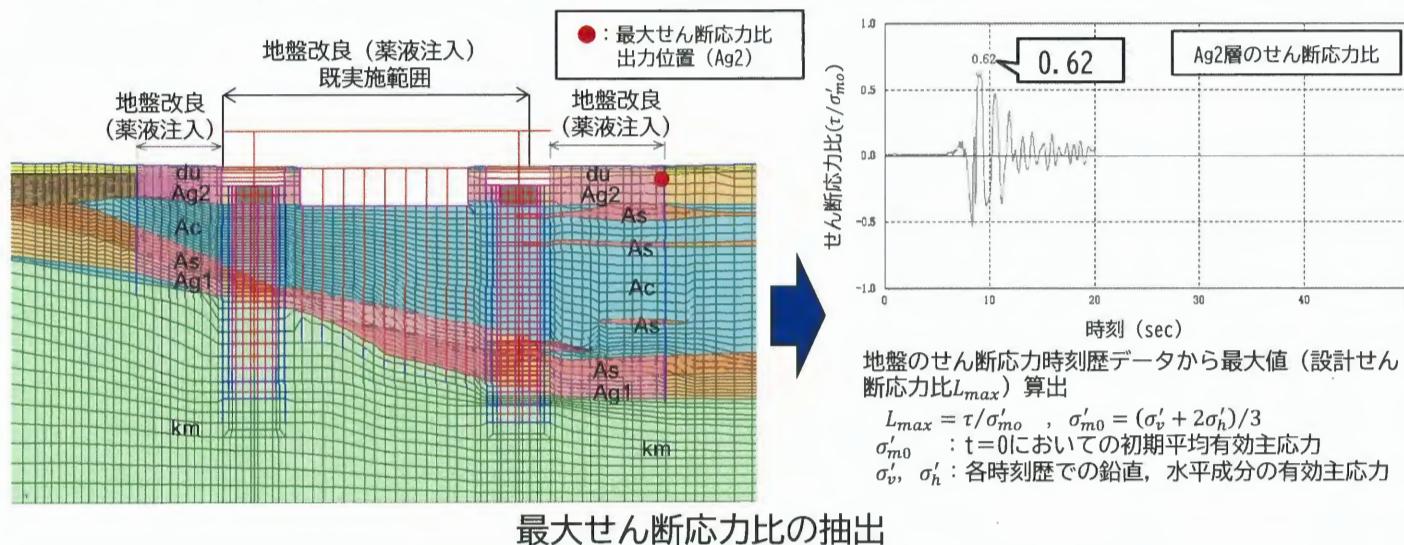
1) 地盤改良（薬液注入）の工事設計の流れ及び地盤改良の要求品質

地盤改良（薬液注入）の設計～施工の流れを右図に示す。

改良範囲は、構造設計で「砂・礫質土層のうち液状化しないと想定した範囲」とする。また、各土層に対する要求品質は、設計から得られた最大せん断応力比に対し、改良地盤の液状化強度比がこれを上回ることとする。

【要求品質：液状化強度比】

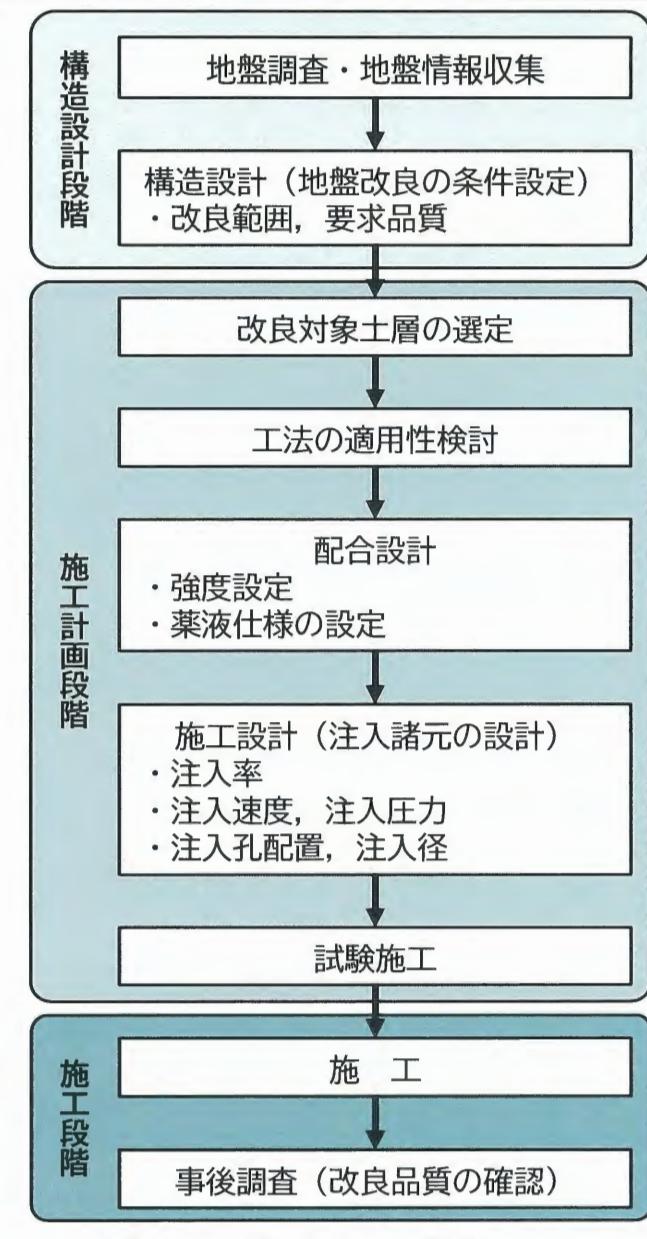
改良後を模した地盤に対し地震応答解析を実施し、各土層内に発生するせん断応力比の時刻歴から最大値（設計せん断応力比 L_{max} ）を抽出する。



上記の最大せん断応力比の抽出結果から、各土層の地盤改良の要求品質（液状化強度比：設工認で示す条件）を右表のとおり整理する。

地盤改良（薬液注入）の要求品質

層区分	設計せん断応力比 L_{max}	要求品質(液状化強度比)
Ag2	0.62	左記(0.62)値以上
As	0.65	左記(0.65)値以上
Ag1	0.58	左記(0.58)値以上



4. 審査会合コメント⑯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）の概要及び改良対象土層に対する適用性

【地盤改良（薬液注入）の概要】

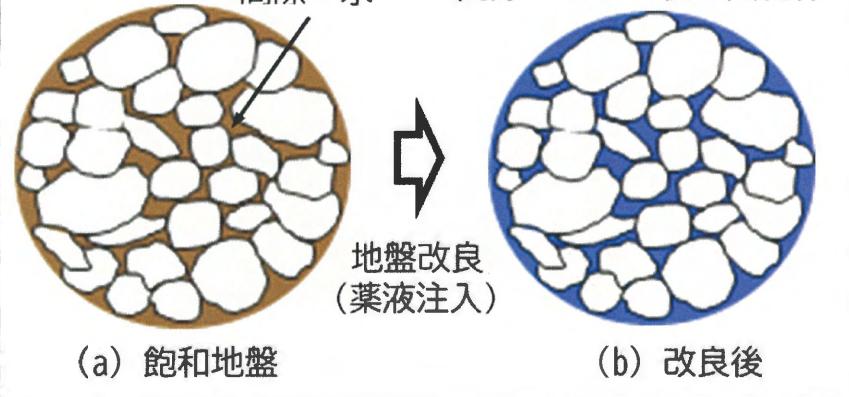
地盤改良（薬液注入）の詳細仕様を下表のとおり整理した。また、地盤改良（薬液注入）の概念図を下図に示す。

地盤改良（薬液注入）の詳細仕様

項目	詳細
工法	浸透注入工法（浸透固化処理工法）
注入方式	結束細管多点注入方式
注入薬液	活性シリカコロイド系薬液
適用地盤	砂質地盤及び砂礫地盤 ($FC \leq 40\%$)

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*および液状化対策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、本薬液は取水構造物周辺地盤の液状化対策として使用した実績がある。

間隙 = 水 間隙 = ゼリー状の固化体



地盤改良（薬液注入）の概念図（浸透注入工法）

【改良対象土層の選定】

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。

既工認と同様に道路橋示方書（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する。

【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%超えて塑性指数Ipが15以下の土層
- ③平均粒径D50が10mm以下で、かつ10%粒径D10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。

改良対象土層の選定結果

層区分	層相	改良対象土層	細粒分含有率FC	備考
Ag2	礫	対象	10%程度以下	G. L. -20m以浅に分布
Ac	粘土	対象外	-	対象外
As	砂	対象	一部は40%を超える	G. L. -20m以深にも分布
Ag1	礫	対象	10%以下	G. L. -20m以深にも分布

4. 審査会合コメント⑯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した。

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

項目	浸透注入工法の適用性を確認する項目	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

次頁以降に適用性確認結果の概要を示す。

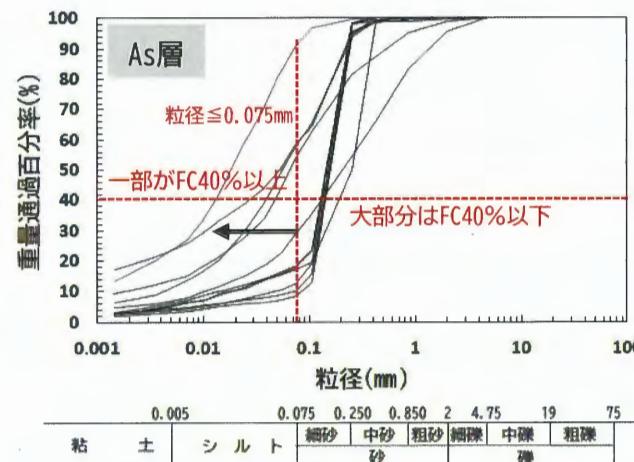
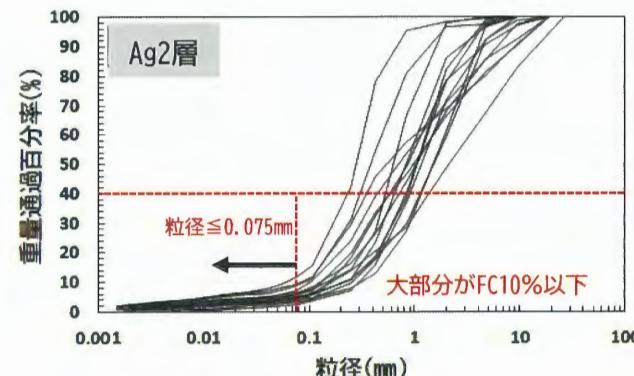
4. 審査会合コメント⑯回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

(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）の概要及び改良対象土層に対する適用性

①地盤改良（薬液注入）の対象土層

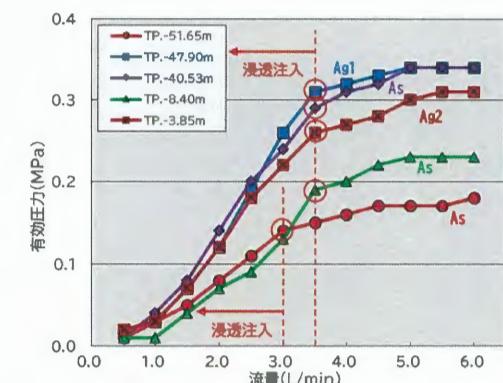
地盤改良の計画範囲で地盤改良の対象となる土層はAg2層、As層、Ag1層である。地盤改良（薬液注入）の適用性の観点から粒度分布（細粒分含有率（FC））を確認し、各土層とも浸透注入工法の適用可能な $FC \leq 40\%$ となっている（As層の一部にFCが40%以上の箇所あり）ことを確認した。



粒度試験結果

②施工条件の適用性確認

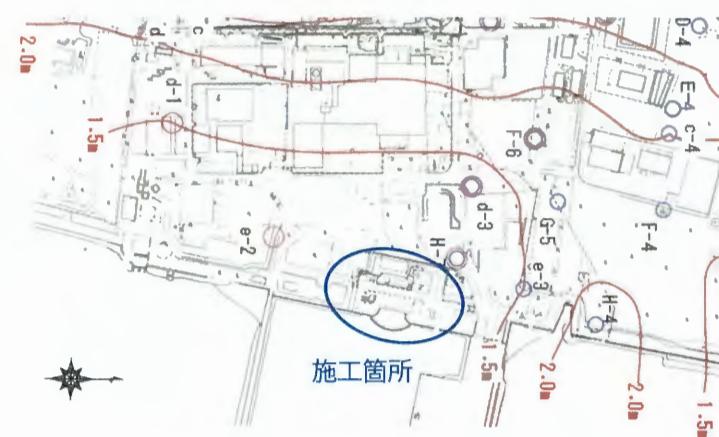
改良対象土層に対し限界注入速度試験を実施し、その結果、限界注入速度は $3.0 \sim 3.5\text{L/min}$ であり、注入速度をこの値以下にすることで浸透注入が可能であることを確認した。



限界注入速度試験結果

③被圧水位および急な地下水位の勾配

地下水位分布を確認した結果、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及び被圧水位はないことから地盤改良（薬液注入：浸透注入工法）が適用可能である。



4. 審査会合コメント⑯回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

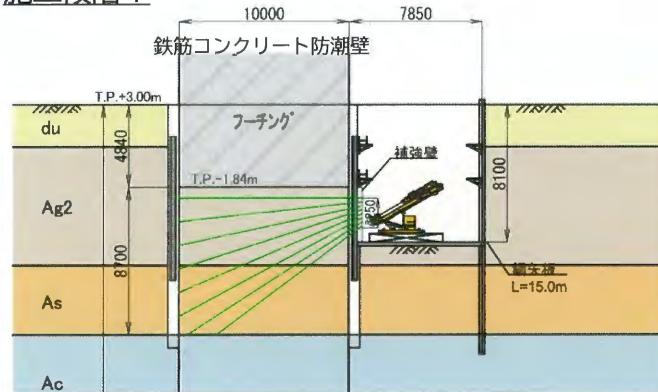
(2) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

3) 地盤改良（薬液注入）の概要及び改良対象土層に対する適用性

④構造物の直下に対する施工性

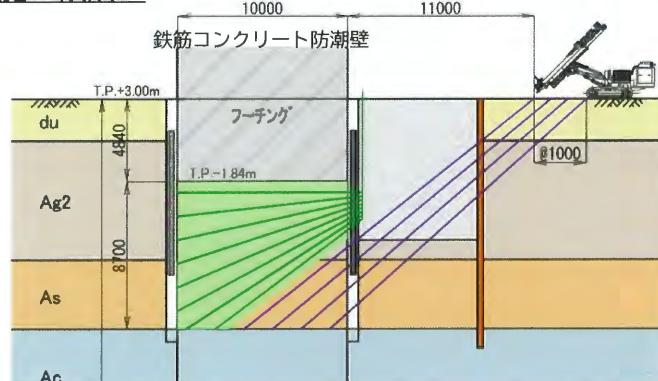
構造物の直下への施工法（注入孔配置）を図化し、計画範囲の改良が可能であることを確認した。

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

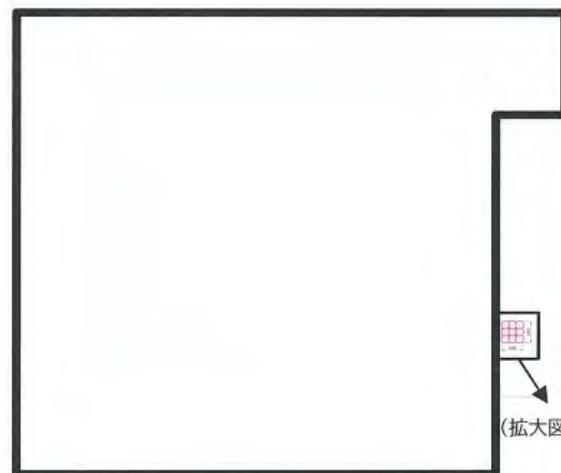


施工段階1完了後、作業用立坑を埋戻し当該箇所を通過するよう斜め方向に地盤改良を実施

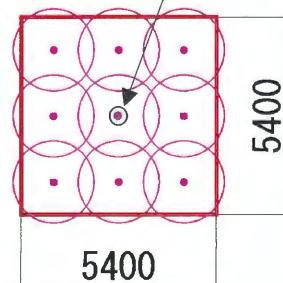
構造物直下の地盤改良の施工方法の例

⑤大深度改良範囲の改良（施工性）

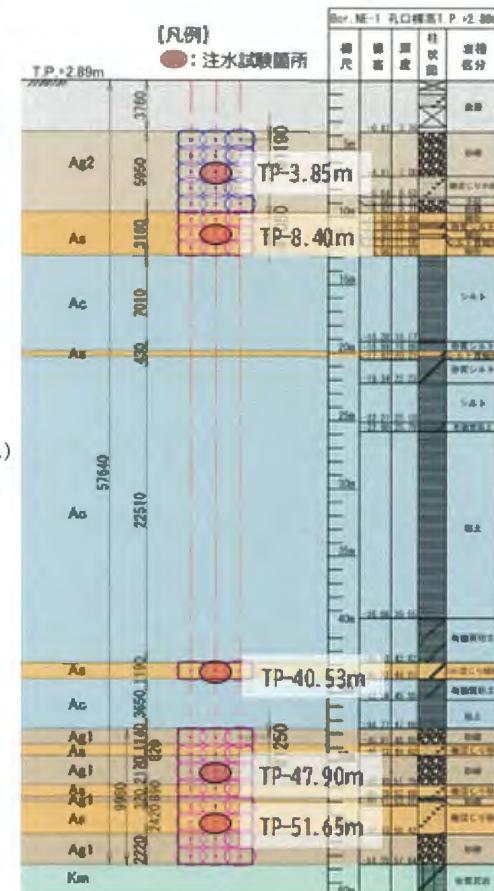
計画改良範囲の北側のエリアにて、計画と同じ大深度の地盤に対し試験施工を実施し、計画どおり（要求品質に相当するシリカ含有量増分量（後述）の改良）の施工が可能であることを確認した。



右記柱状図のボーリング



(拡大図)



試験施工実施箇所の地盤状況

4. 審査会合コメント⑯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した。

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

項目	改良品質に対する不確かさの要因	要求品質を確保するための対策方針
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の液状化強度比を代表値との関係を採用

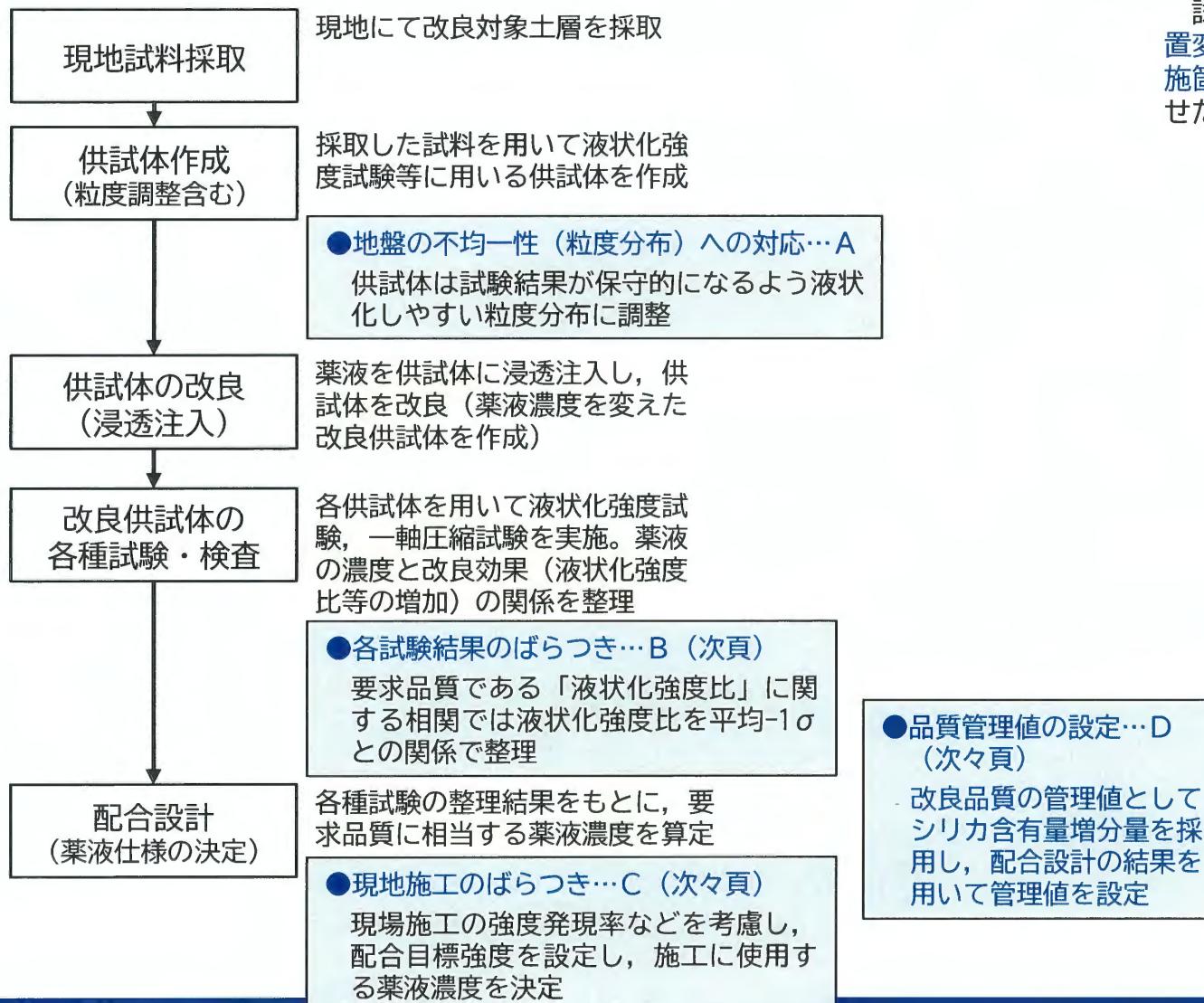
4. 審査会合コメント⑯回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

(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

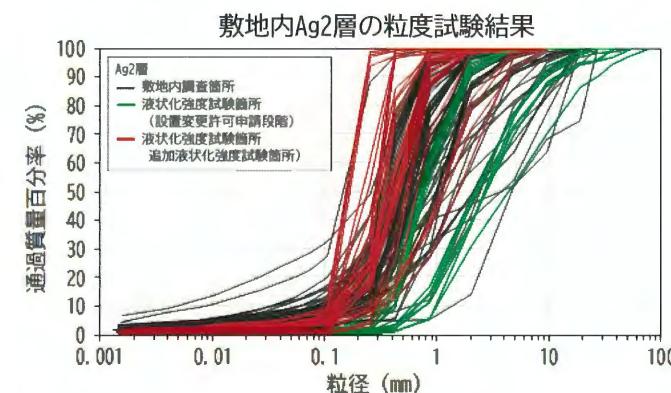
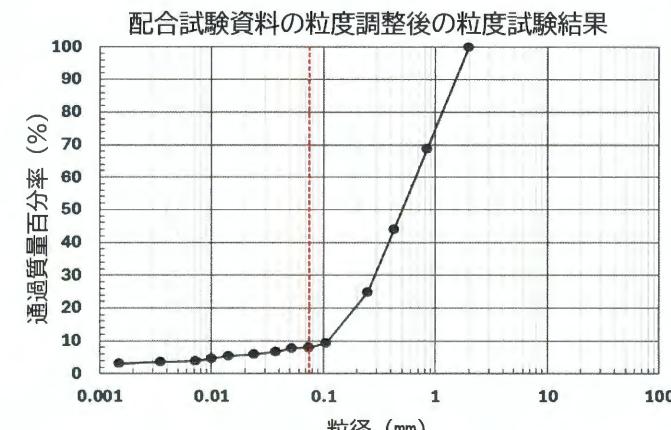
①配合設計

配合設計の流れを下図に示す。



A. 地盤の不均一性（粒度分布）への対策

試験に用いる試料は試験結果が保守的になるよう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した。



粒度分布 (Ag2層)

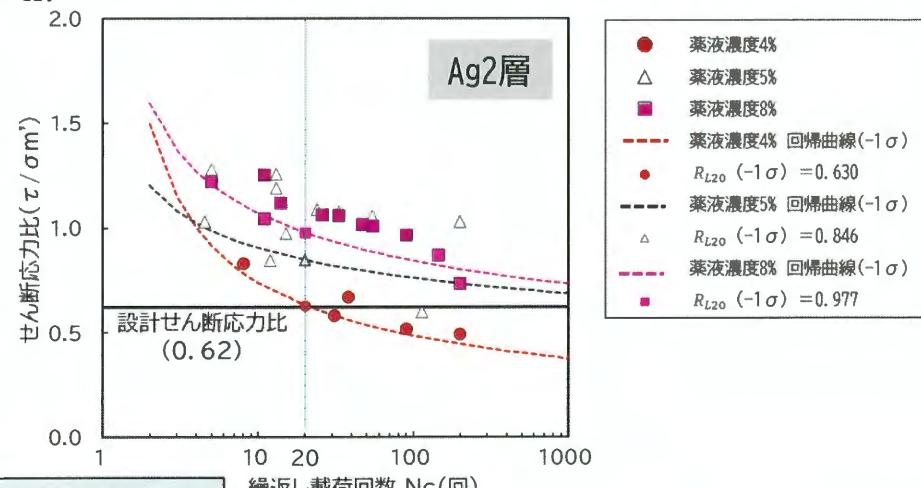
4. 審査会合コメント⑯回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

(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

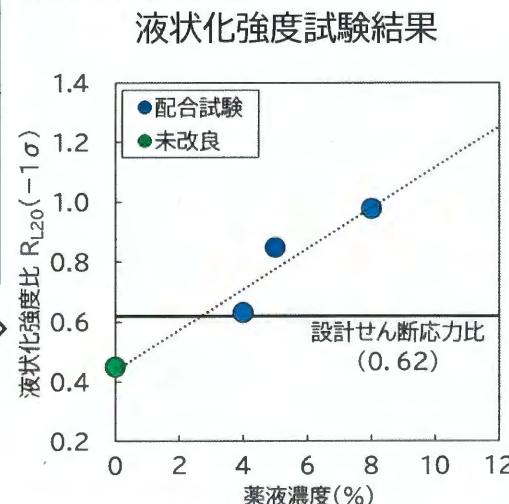
4) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

B. 試験結果のばらつきへの対策

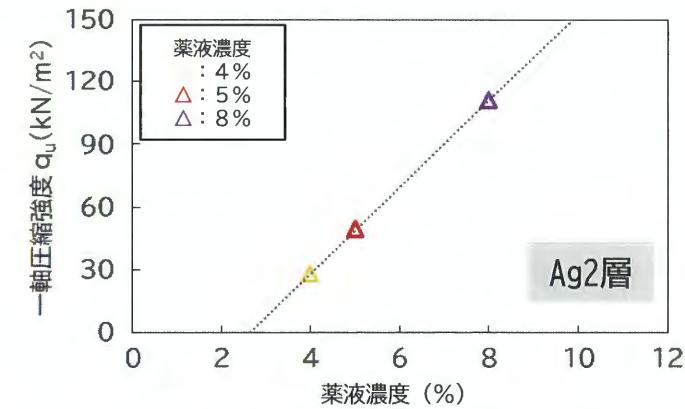
試験結果のばらつきに対しては要求品質である「液状化強度比(R_{L20})」の試験結果として「平均-1 σ 」の値を採用した。



上記の液状化強度試験の結果について要求品質である「液状化強度比(R_{L20})」は「平均-1 σ 」の値を採用。この液状化強度比について薬液濃度との関係を整理（未改良（原地盤）の薬液濃度は0とする）

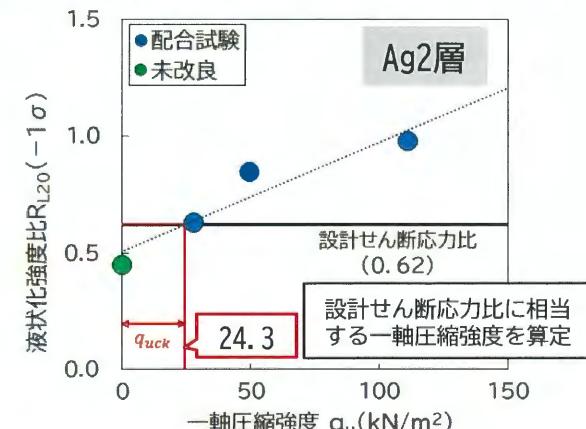


薬液濃度と液状化強度比の関係



薬液濃度と一軸圧縮強度の関係

薬液濃度を基準に液状化強度比（左図）と一軸圧縮強度（上図）の関係を整理



一軸圧縮強度と液状化強度比の関係

注：配合試験 改良供試体の各種試験・検査結果

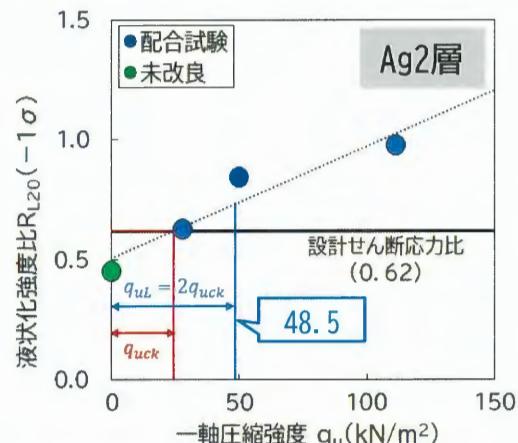
4. 審査会合コメント⑯回答（地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針）

(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

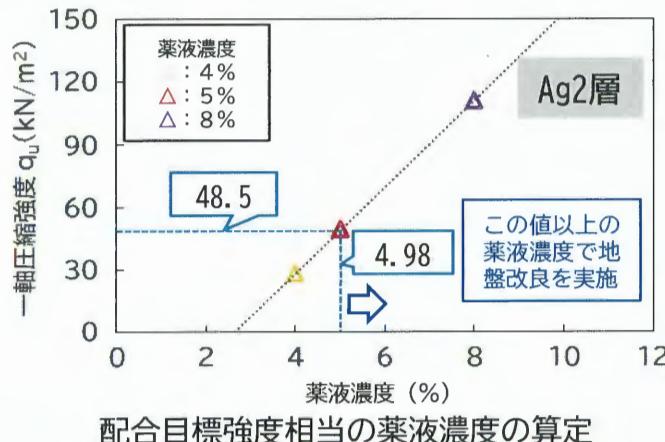
4) 地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針

C. 現地施工のばらつき

現場施工での強度発現率などを考慮し、前頁の設計せん断応力比に相当する一軸圧縮強度を割増し、この一軸圧縮強度（配合目標強度）に相当する薬液濃度を算定する。



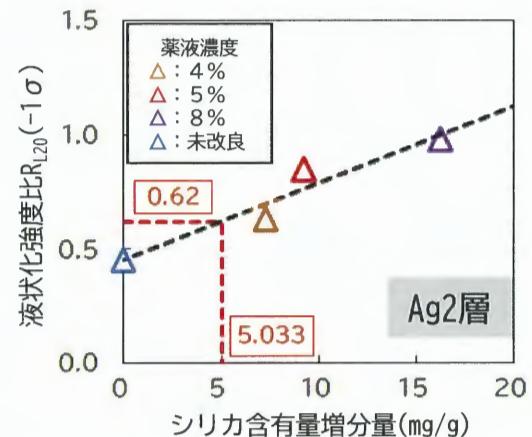
一軸圧縮強度と液状化強度比の関係



配合目標強度相当の薬液濃度の算定

D. 品質管理値の設定

試料採取の不確かさを軽減するため、試料採取の影響を受けないシリカ含有量増分量を改良品質の管理値として採用し、液状化強度比とシリカ含有量増分量の関係から管理値（使用前事業者検査にて示す項目）を設定する。



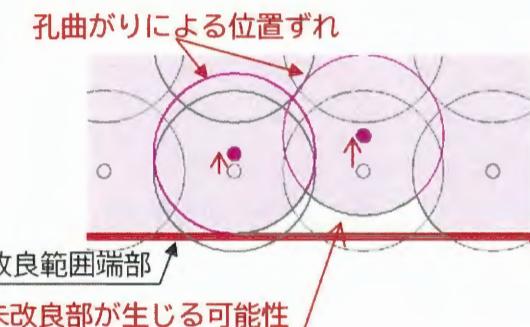
液状化強度比とシリカ含有量増分量の関係

改良品質の管理値

層区分	改良品質の管理値 (シリカ含有量増分量)
Ag2層	5.033 mg/g以上
As層	7.918 mg/g以上
Ag1層	7.849 mg/g以上

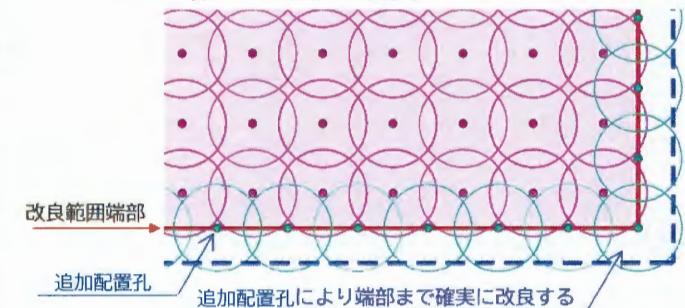
②施工設計

大深度の地盤の改良のため注入管の設置精度（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端部に施工誤差を考慮した配置を採用する。



改良範囲端部付近の施工誤差による未改良範囲の発生状況（イメージ）

施工誤差分を考慮しても改良範囲を確保できる配置を計画



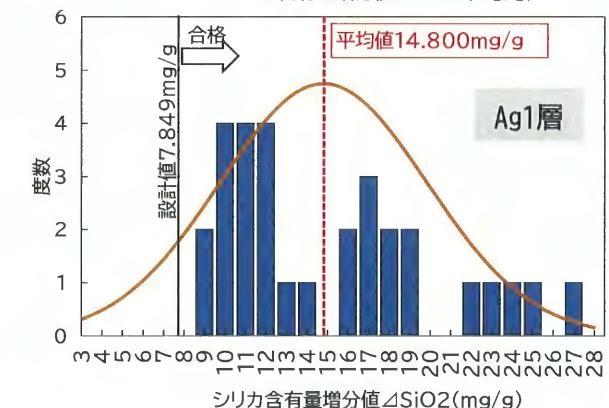
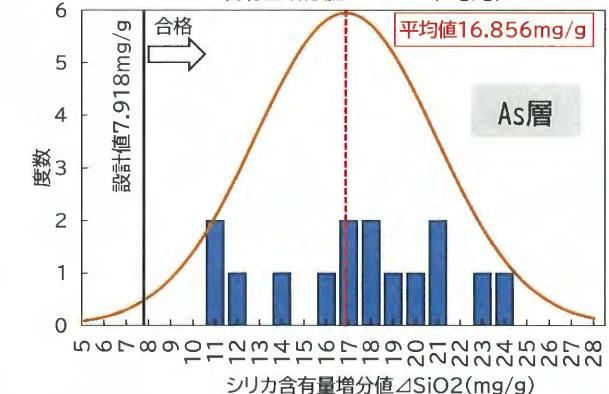
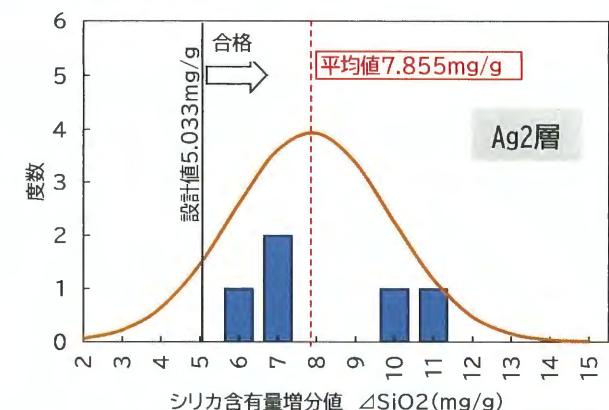
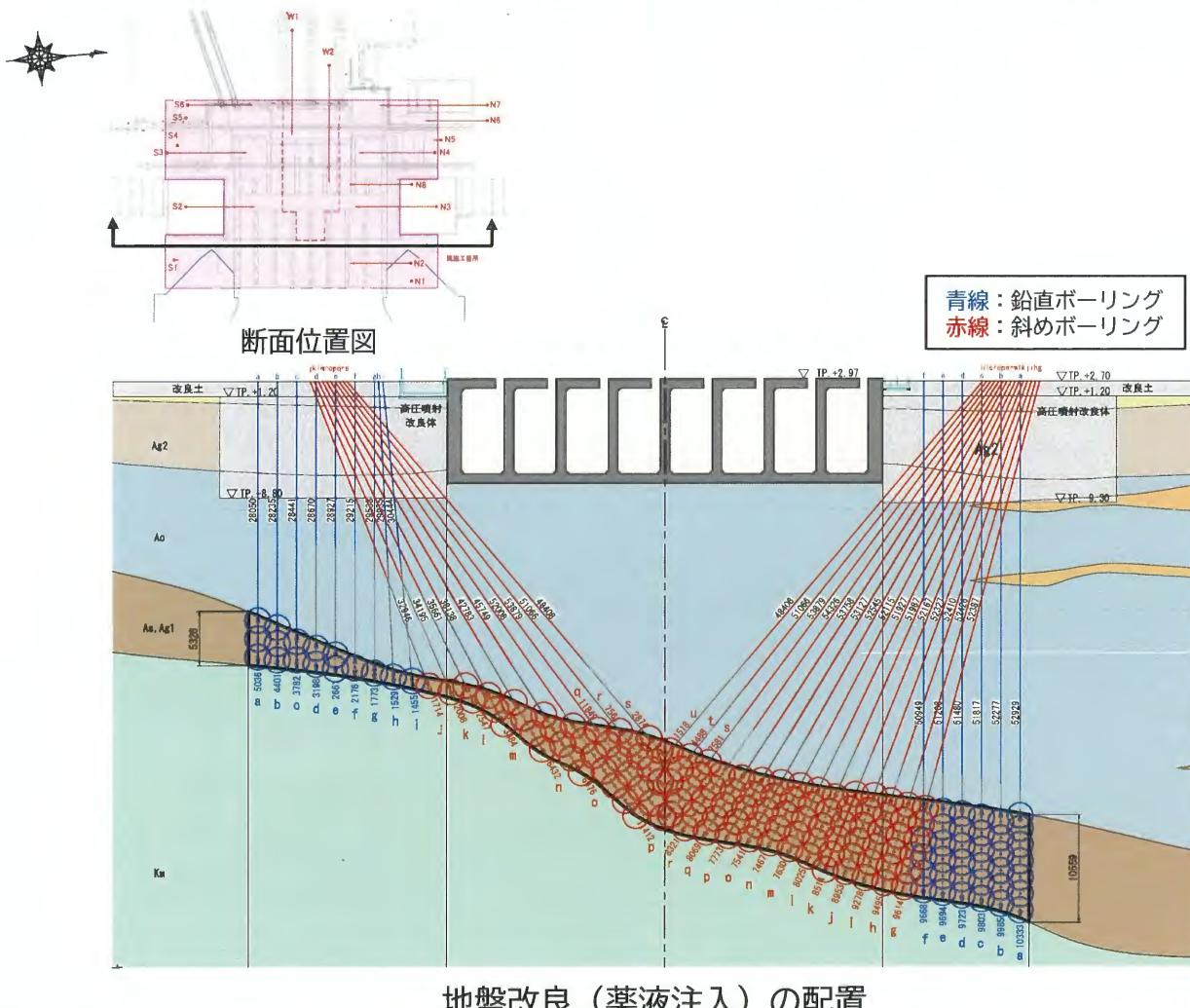
改良範囲端部の追加配置の考え方

4. 審査会合コメント⑯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】地盤改良（薬液注入）の施工実績

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。



既施工箇所のシリカ含有量増分値測定結果

4. 審査会合コメント⑯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

地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）の改良品質に対する不確かさの要因に対し、改良地盤における要求品質を確保するための対策・方策を実施し、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。

1) 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）。

2) 流動化処理土の要求品質

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 $q_{ud} = 1.5 \text{ N/mm}^2$

3) 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

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。

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

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
配合設計	セメントの配合量と一軸圧縮強度の関係（強度のばらつき）	置換に使用する流動化処理土の強度（一軸圧縮強度）が改良強度のばらつきを考慮しても設計の一軸圧縮強度を上回るよう配合を設計する。

4) 要求品質を確保するための対策方針（配合設計）

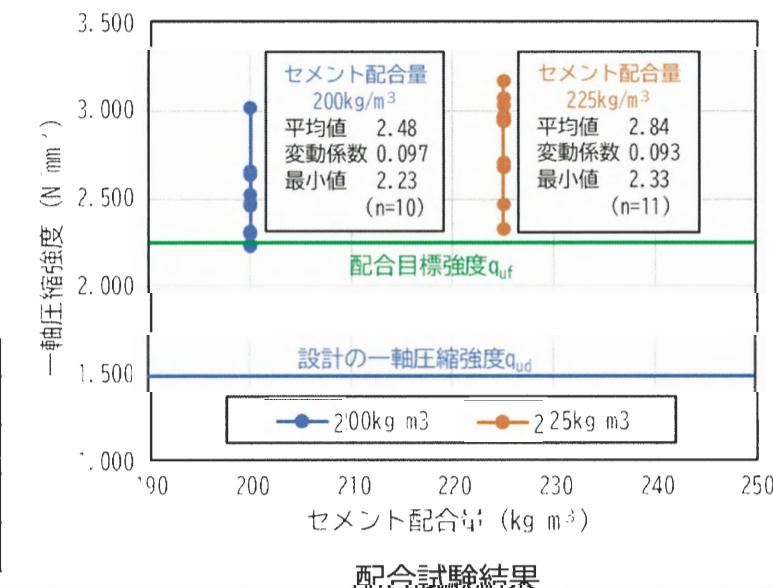
セメントの配合量を変化させた試験練りを実施し、設計の一軸圧縮強度 q_{ud} に対する配合目標強度 q_{uf} を設定した。本工事で使用する流動化処理土は購入砂を母材として製造する方針としており、母材のばらつきは小さいと判断した。

$$q_{uf} = 1.5q_{ud} = 2.25 \text{ N/mm}^2$$

試験結果の最小値や強度のばらつきを考慮し、配合目標強度を満足した配合を採用することで、改良品質の不確かさを考慮しても、改良地盤が要求品質を十分確保することが可能であることを確認した。

一軸圧縮試験結果（ばらつき評価）

セメント配合量	200kg/m ³	(採用)225kg/m ³
平均値 (N/mm ²)	2.48	2.84
最小値 (N/mm ²)	2.23	2.33
変動係数	0.097	0.093
平均-1σ (N/mm ²)	2.16	2.32
(参考)試験数	10	11



4. 審査会合コメント⑯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

地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の改良品質に対する不確かさの要因に対し、改良地盤における要求品質を確保するための対策・方策を実施し、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。

1) 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。

2) 地盤改良体の要求品質

地盤改良体が設計の一軸圧縮強度を満足すること

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

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

3) 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

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。

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

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。

4) 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なるように配置（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さ 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。