

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)

2026年4月23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。

目 次

1. 概要	
(1) 構造変更に至った経緯	4
(2) 審査の流れ	6
(3) 審査会合コメント	7
2. 周辺施設・設備への影響評価（審査会合コメント⑧回答）	
(1) 影響検討の基本方針	11
(2) 影響評価	12
3. 施工計画及び品質管理方法	
(1) 施工計画	39
(2) 地盤改良の品質管理方法（審査会合コメント⑨，⑰及び⑱回答）	58
4. 総括	82
5. 今後の予定	83

1. 概要

- (1) 構造変更に至った経緯
- (2) 審査の流れ
- (3) 審査会合コメント

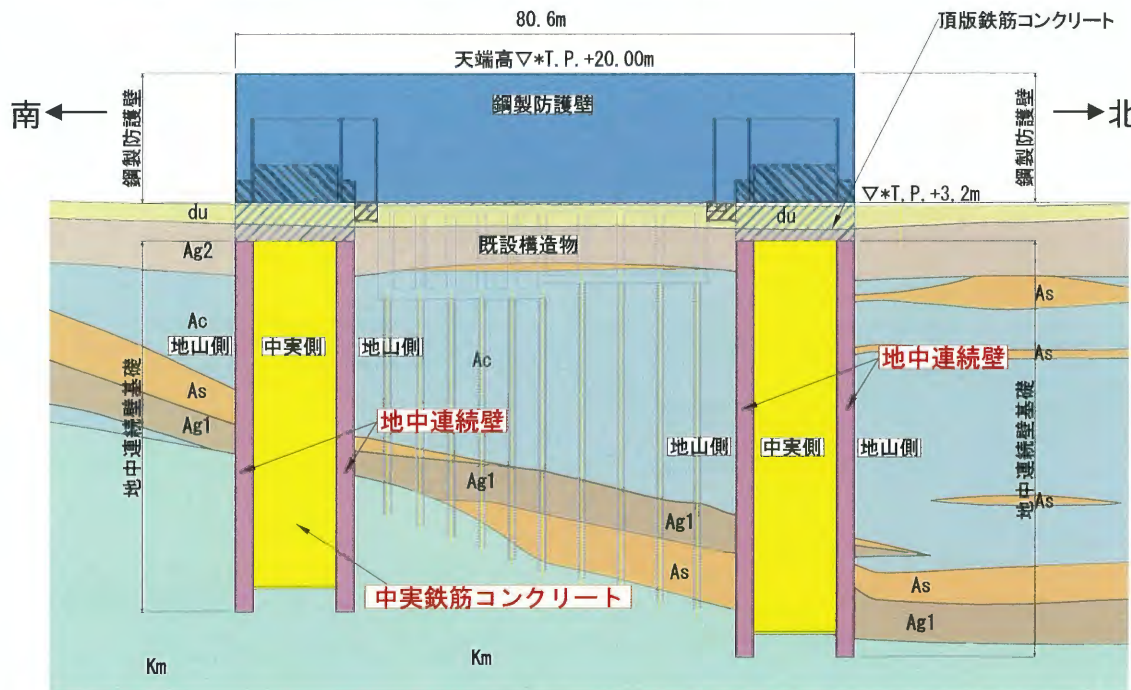
1. 概要

(1) 構造変更に至った経緯

- 東海第二発電所の防潮堤のうち防潮堤（鋼製防護壁）は、敷地の東側の東海港に面した位置に設置する。既工認では、既設構造物の南北に2つの地中連続壁基礎を岩盤に設置し、その上部に既設構造物を跨ぐように鋼製防護壁を設置する計画としていた。
- その施工は、地中連続壁を地中に構築した後、同地中連続壁を土留めとして中実部を掘削し、中実鉄筋コンクリートを地中連続壁と一体化させながら構築する計画としていた。
- 地中連続壁の不具合事象は、地中連続壁の施工中及び中実側の掘削中において確認したものである。



東海第二発電所 防潮堤設置計画図



防潮堤（鋼製防護壁，既工認）

【確認した不具合事象】

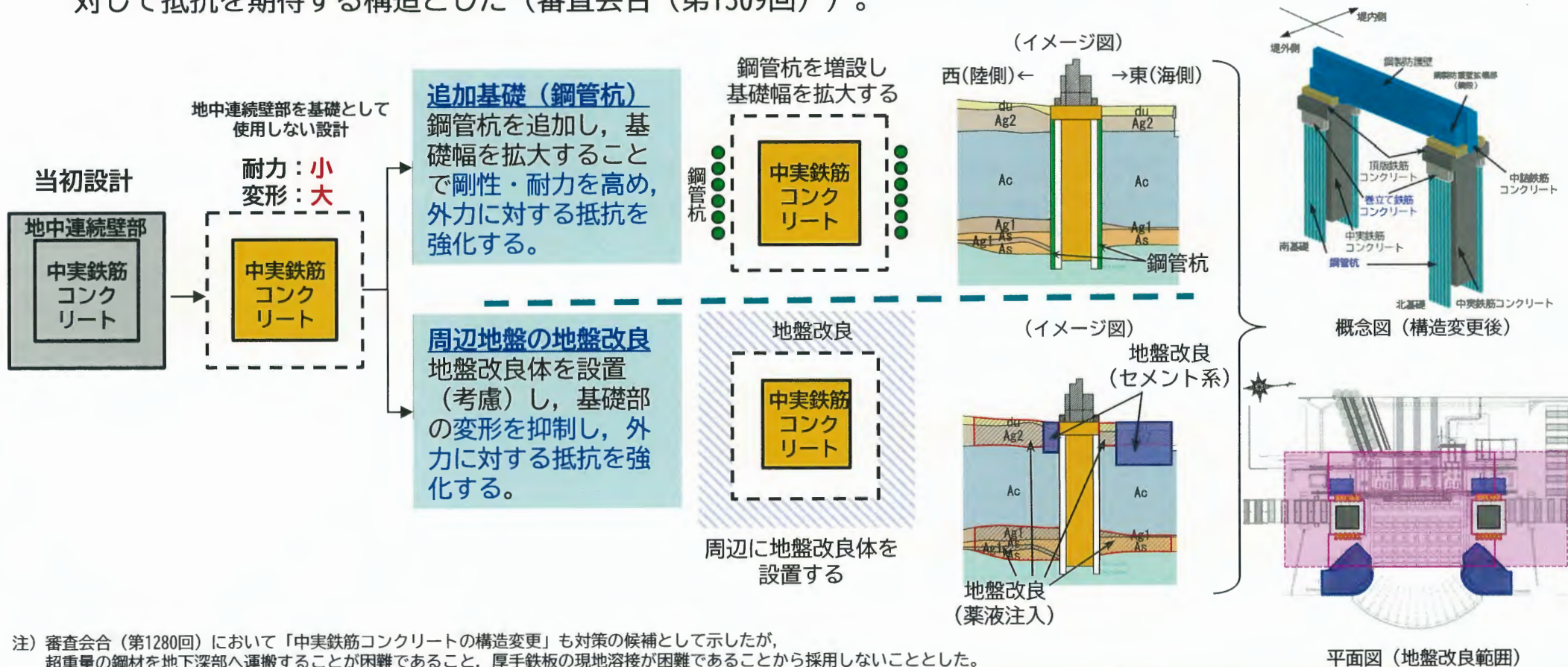
※鉄筋の変形，脱落，欠損

- ・ 中実側の掘削を実施したところ、地中連続壁の中実側の壁面の一部において、**コンクリート未充填及び鉄筋の変形等※**を確認した。また、その後の調査で地中連続壁の地山側においてもコンクリート未充填を確認した。
- ・ 地中連続壁の施工中、北基礎の地中連続壁の南西側角部において、**鉄筋かごが計画深度まで建込みできない事象（高止まり事象）**が発生した。

1. 概要

(1) 構造変更に至った経緯

- 防潮堤（鋼製防護壁）の基礎は、地中連続壁部と中実鉄筋コンクリートを一体化して構築する計画であったが、先行して設置した地中連続壁部にコンクリートの未充填や鉄筋の変形等の不具合を確認した。当該不具合の状況について調査を実施したが、その全容を把握することができなかったことから、不具合が生じた地中連続壁部については、残置するものの基礎として使用しない設計に変更した（審査会合（第1259回，第1280回））。
- 地中連続壁部を基礎として使用しない設計とすることにより、防潮堤基礎の剛性・耐力が確保できないため、その対策として「追加基礎（鋼管杭）」及び「周辺地盤の地盤改良」を取り入れた構造に変更し、支配的な津波荷重に対して抵抗を期待する構造とした（審査会合（第1309回））。



注) 審査会合（第1280回）において「中実鉄筋コンクリートの構造変更」も対策の候補として示したが、超重量の鋼材を地下深部へ運搬することが困難であること、厚手鉄板の現地溶接が困難であることから採用しないこととした。

(2) 審査の流れ

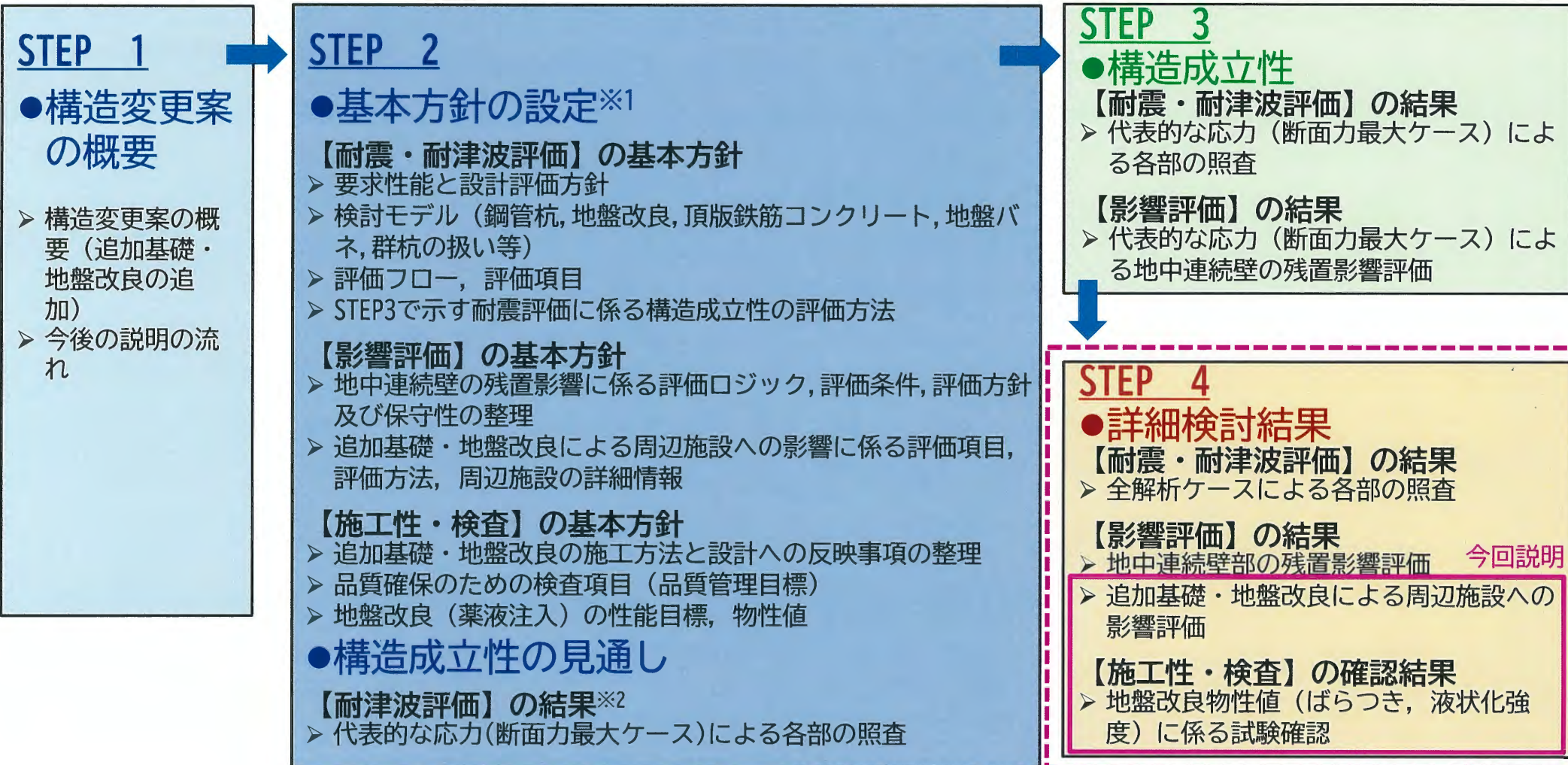
審査会合（第1376回）資料を一部変更

STEP 3の審査会合においては、代表的な応力を用いた防潮堤（鋼製防護壁）の構造成立性について説明した。今回はSTEP 4で説明する内容のうち「追加基礎・地盤改良による周辺施設への影響評価」及び「施工性・検査の確認結果」を説明するとともに、これまで審査会合で受領したコメントについても当該説明の中で回答する。

審査会合（第1309回）

審査会合（第1329回）

審査会合（第1360回及び第1376回）



※1 STEP2で設定した基本方針に基づき構造成立性の確認（STEP2,3）, 詳細検討（STEP4）を実施する。

※2 構造変更する基礎に対して, 最も厳しい荷重条件である耐津波時（重畳時）を代表ケースとして見通しを確認する。

1. 概要

(3) 審査会合コメント (1/2)

これまでの審査会合におけるコメントを以下に示す。

審査会合コメント整理表 (1/2)

審査会合	コメント	回答
第1240回	① ● 基準適合性を判断するために必要な調査項目を網羅的に整理し不具合事象の全容を示すこと。 ● 調査結果を踏まえた既工認との相違点を網羅的に整理して説明すること。	回答済
	② ● 既工認に立ち返り，設計や工事等の各方面から課題を網羅的に整理した上で対応方法を示すこと。	回答済
	③ ● 不確かさを考慮して設計すること（局部的に応力集中が起こる可能性も否定できない）。	回答済
	④ ● 既工認と同様に，設計条件及び評価項目のすべてに対して説明する等検討すること。	回答済
第1259回	⑤ ● 現状の調査結果からは不具合の全容を確認したことにはならないため，作り直しも含めて対応方針を整理して示すこと。	回答済
第1280回	⑥ ● 鋼製防護壁全体としての構造と施工方法に成立性が見込まれる形で検討すること。	回答済
	⑦ ● 地中連続壁を残置する影響については，想定される様々な角度から十分に検討すること。	回答済
	⑧ ● 地盤改良，新規基礎追加等については，周辺施設に与える影響を網羅的に検討すること。また，実現性のある工事計画を綿密に立案すること。	今回回答 ・基本方針は第1329回説明済 ・工事計画は第1360回・第1376回説明済 ・地盤改良等の周辺施設への影響結果はSTEP4で説明
	⑨ ● 地盤改良を新たに実施する場合には改良土全体が所定の強度を有していることを確認するための品質管理方法について，設工認で示す内容，使用前事業者検査で示す内容を整理すること。	今回回答 ・基本方針は第1329回説明済 ・地盤改良（薬液注入）試験施工の結果は第1360回説明済 ・地盤改良（薬液注入）配合試験の結果（設計含む）をSTEP4で説明
第1309回	⑩ ● 構造変更案について具体的な評価の説明に当たっては，実現可能性・基準適合性を的確に審査できるレベルに達した資料を整えて説明すること。また，特徴や弱点を踏まえて課題を網羅的に抽出してロジックを含めて資料化すること。	回答済
	⑪ ● 説明スケジュールを明確にすること。	回答済
	⑫ ● 施工性について，施工管理が可能である旨も含めて具体的に説明すること。	回答済

1. 概要

(3) 審査会合コメント (2/2)

審査会合コメント整理表 (2/2)

審査会合	コメント	回答
第1360回	⑬ ● 高強度鉄筋SD685の適用性について、コンクリート標準示方書等に基づいて適用範囲であるとしているが、その根拠（実験論文等）や「実験等により検討することが望ましい。」との記載に対する対応要否について説明すること。また、高強度鉄筋はヤング係数が変わらずその強度が高くなることから降伏点の弾性ひずみが大きくなるため、その影響についても説明するとともに、これらの設計への影響について、網羅的に整理して説明すること。	回答済 (第1376回)
	⑭ ● 設計上のポイントとなる地盤バネについては、地盤バネの設定が適切であると判断するために必要なエビデンスを詳細に説明すること。	回答済 (第1376回)
	⑮ ● 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。 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。 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。 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。	回答済 (第1376回)
	⑯ ● 地盤改良以外の工事について、設計上の想定に影響を及ぼす可能性があるものを抽出し、安全側の設計となっていることを説明すること。 例1) 中実鉄筋コンクリートにおけるD51-17.5段の太径鉄筋による高密度の配筋については施工実績が少なく施工難易度が高いと考えられるので、工事計画を実現するための対策を示すとともに不具合を繰り返さない取り組みを説明し、設計への影響がないことを説明すること。 例2) 中実鉄筋コンクリートの機械式継ぎ手の範囲には水平鉄筋が配置されないため、配置しないことによる影響が安全側に設計へ反映されていることを説明すること。 例3) 鋼管杭の岩盤への根入れ箇所について、先行置換材であるセメントベントナイトの強度と岩盤強度の大小関係を比較し、鋼管杭の地盤バネが安全側に設定されていることを示すこと。また、セメントベントナイトの耐用年数等、設計の想定に影響を及ぼす可能性がある工事の計画を網羅的に抽出し、それが安全側に設計へ反映されていることを説明すること。	回答済 (第1376回)
第1376回	⑰ ● 改良品質の不確かさの要因の整理について、不確かさの要因の抽出に至る検討プロセスを詳細に示し、不確かさの要因が網羅的に抽出されていることを示すこと。	今回回答
	⑱ ● 地盤改良薬液注入の品質管理について、材料試験の規格、供試体の作成方法、管理値の設定における標本数の妥当性など、材料試験や品質検査の方法について、詳細に説明すること。	今回回答

2. 周辺施設・設備への影響評価

- (1) 影響検討の基本方針（審査会合コメント⑧回答）
- (2) 影響評価（審査会合コメント⑧回答）
 - ① 影響評価対象（施設・設備）の選定
 - ② 影響評価断面の選定
 - ③ 地震動・地盤ケースの選定
 - ④ 影響評価の実施内容
 - ⑤ 影響評価の結果

審査会合コメント⑧と回答概要

審査会合	コメント	回答
第1280回 ⑧	● 地盤改良，新規基礎追加等については，周辺施設に与える影響を網羅的に検討すること。 また，実現性のある工事計画を綿密に立案すること。	今回回答

回答概要

No	回答概要
⑧	<p>防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更に伴い，追加基礎（鋼管杭）と周辺地盤の地盤改良を取り入れることとした。このうち，追加基礎（鋼管杭）については，設置範囲が限定的であり，周辺地盤に対し剛性が小さい等の理由から周辺施設に与える影響はないと判断し，広範囲に実施される地盤改良について，周辺施設に与える影響を網羅的に検討した。</p> <p>検討にあたっては，周辺施設との位置関係から影響評価の対象となる施設・設備を選定の上，耐震性への影響を確認した。施設・設備の評価結果は以下のとおり。</p> <p>また，工事計画の実現性，管理方法については，本資料の「3. 施工計画及び品質管理方法」で説明する。</p> <p>【施設】</p> <p>各施設において，追加地盤改良体を反映したモデルにより算出した照査値等を既工認時の結果と比較したところ，増減はあるものの，大きな差異が見られなかった。また，上記の照査値等を用いて算出した比率を既工認時の最大照査値に乗じることで，追加地盤改良体による影響評価を実施したところ許容限界を満足することから，構造変更に伴う地盤改良体とその周辺施設の耐震評価に影響を与えないことを確認した。</p> <p>【設備】</p> <p>各設備が設置されている断面において，追加地盤改良体を反映したモデルにより算出した最大応答加速度及び床応答曲線を既工認時の結果と比較したところ，増減はあるものの，既工認時の耐震評価に適用している設備評価用最大応答加速度及び床応答曲線に対して下回っていることから，構造変更に伴う地盤改良体とその周辺設備の耐震評価に影響を与えないことを確認した。</p>

2. 周辺施設・設備への影響評価

(1) 影響検討の基本方針

防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更に伴い周辺地盤に地盤改良を実施する計画であり、本地盤改良体の改良範囲は、防潮堤（鋼製防護壁）の近傍に位置する複数の施設・設備の周辺地盤に及んでいる。

周辺地盤の地盤改良により、施設・設備への地震時加速度や変位等が変化すると考えられる。また、既設の鋼管杭等の地中構造物に対し地盤改良体と原地盤の剛性差が与える影響等がある。そのため、地盤改良による施設・設備の耐震評価への影響について確認する。

影響評価検討に係る概要

① 影響評価対象（施設・設備）の選定

- ・追加地盤改良範囲と周辺施設・設備との位置関係を整理し、影響評価の対象となる施設・設備を選定する。

② 影響評価断面の選定

- ・影響評価の対象とする施設・設備について、地盤改良体（既実施地盤改良体を含む）の影響を評価する断面を選定する。

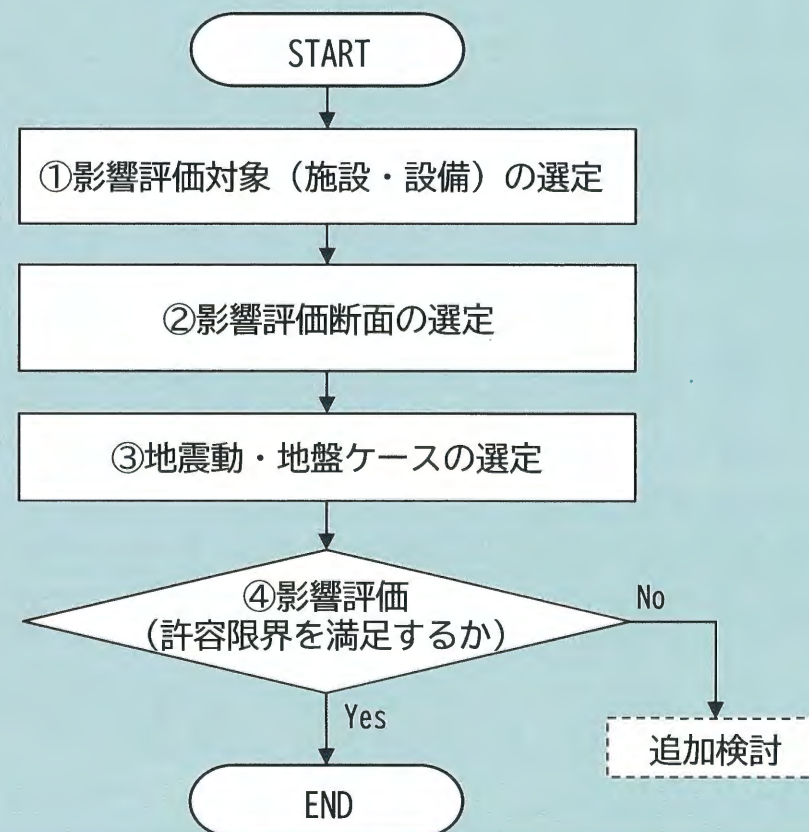
③ 地震動・地盤ケースの選定

- ・既工認で用いた地震動と地盤ケースの組合せに対して、地盤改良体の種類を考慮した上で、評価に用いる地震動・地盤ケースを選定する。

④ 影響評価

- ・地盤改良を反映した解析モデルを用いて、既工認時と同じ解析手法で地震応答解析を行い、影響を評価する。
- ・許容限界を満足しない場合には追加検討を行い、設計変更が必要になる場合には、以降の評価は本影響評価の範疇外となる。

評価の流れ

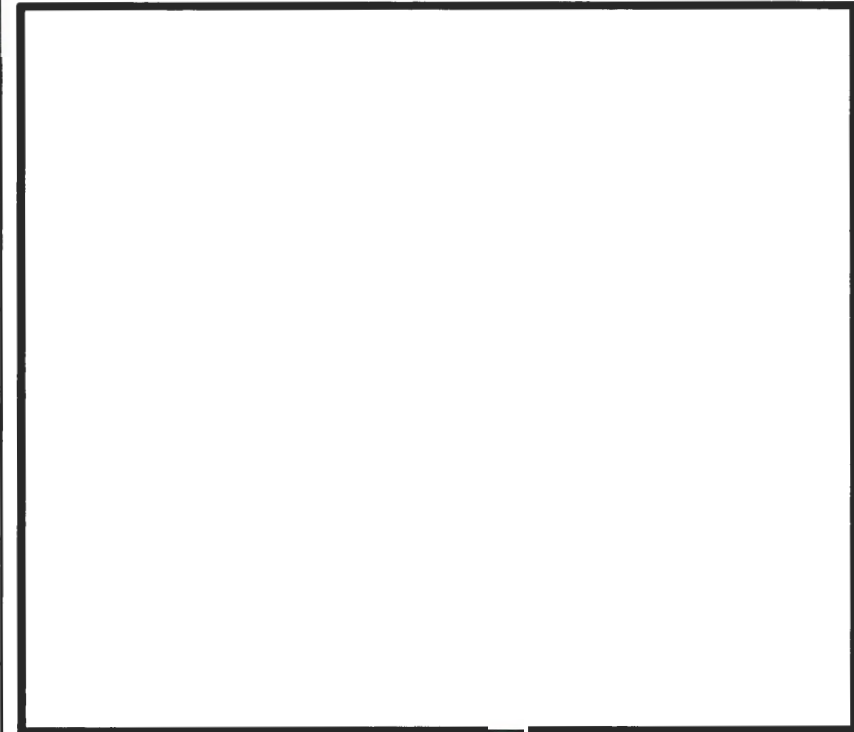


2. 周辺施設・設備への影響評価







(2) 影響評価 ①影響評価対象（施設・設備）の選定

地盤改良範囲と周辺の耐震上重要な施設・設備との位置関係を整理し、影響評価の対象となる施設・設備を選定する。選定した施設・設備は、以下のとおりである。

No.	影響評価対象となる「施設」	影響評価対象となる「設備」
1	【DB：Cクラス（ S_s *1）】 【SA：重要SA設備*2】 ・ 取水構造物	【DB：Sクラス】 【SA：重要SA設備*2】 ・ 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ、ストレーナ及び配管 ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ、ストレーナ及び配管 ・ 残留熱除去系海水系ポンプ、ストレーナ及び配管
		【DB：Sクラス】 ・ 取水ピット空気抜き配管逆止弁 ・ 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁 ・ 取水路点検用開口部浸水防止蓋 ・ 潮位計 ・ 取水ピット水位計
2	【DB：Sクラス】 ・ 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）	【DB：Sクラス】 ・ 防潮扉
	【DB：Cクラス（ S_s *1）】 ・ 出口側集水枡	【DB：Sクラス】 ・ 構内排水路逆流防止設備
3	【DB：Cクラス（ S_s *1）】 ・ 屋外二重管	【DB：Sクラス】 【SA：重要SA設備*2】 ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系配管 ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水配管 ・ 残留熱除去系海水系配管
4	【DB：Sクラス】 ・ 貯留堰	—
	【DB：Cクラス（ S_s *1）】 ・ 貯留堰取付護岸 ・ 土留鋼管矢板	—



凡 例

	既実施地盤改良体 (セメント改良)		既実施地盤改良体 (薬液注入)
	追加地盤改良体 (セメント改良)		追加地盤改良体 (薬液注入)
	鋼管杭 (φ1500)		巻立て鉄筋コンクリート

※1：屋外重要土木構造物，Sクラスの間接支持構造物等で基準地震動 S_s での機能維持が必要な設計基準対象施設

※2：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備が設置される基準地震動 S_s での機能維持が必要な重大事故等対処施設

2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ②影響評価断面の選定 (1/4)

影響評価の対象となる施設・設備について、既工認時における耐震評価断面のうち、地盤改良の影響を受ける評価断面を選定する。選定結果を以下に示す。

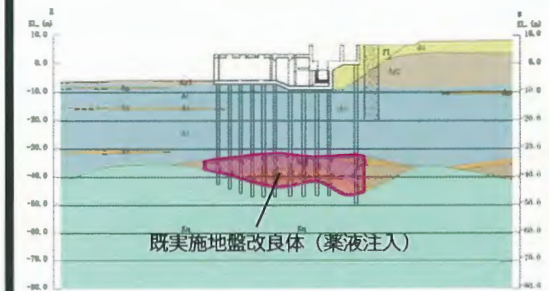
- 【凡例】
- 既実施地盤改良体（セメント改良）
 - 追加地盤改良体（セメント改良）
 - 既実施地盤改良体（薬液注入）
 - 追加地盤改良体（薬液注入）

1) 取水構造物

評価断面※1	選定結果	評価断面の選定理由
①-①断面（取水ピット_NS断面）	○	地盤改良体が評価断面に追加となるため、影響評価の対象とする。
④-④断面（取水路_NS断面）	○	地盤改良体が評価断面に追加となるため、影響評価の対象とする。
⑥-⑥断面（EW断面）	—	評価断面に追加の地盤改良体がないため、影響評価の対象としない。

※1 取水構造物は、既工認時において、内空寸法や荷重条件等の観点により評価対象断面を選定している。追加地盤改良体を考慮しても、その選定条件に影響がないため、既工認時と同様、①-①断面、④-④断面、⑥-⑥断面を評価対象断面とする。

※2 斜線部の地盤改良体については、既工認時の耐震評価で反映済み（その他の地盤改良体は未反映）



(断面図 (①-①断面) ※2)

(断面図 (④-④断面) ※2)

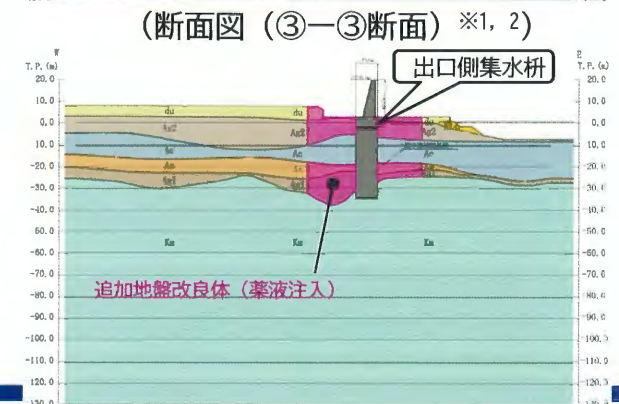
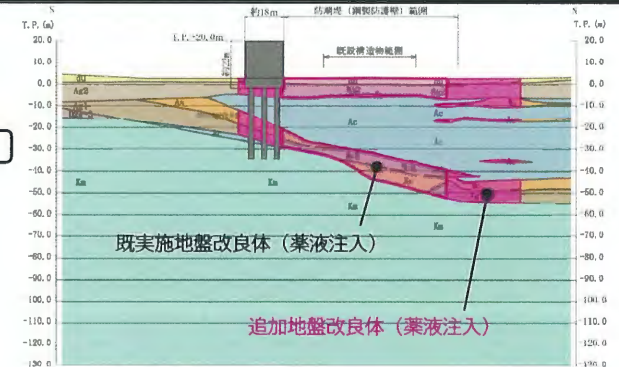
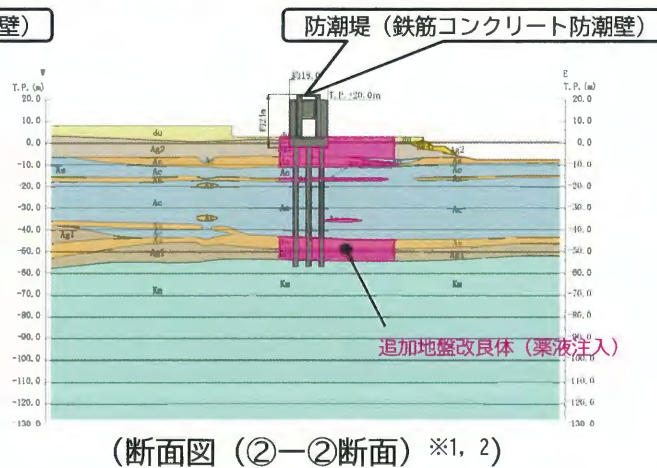
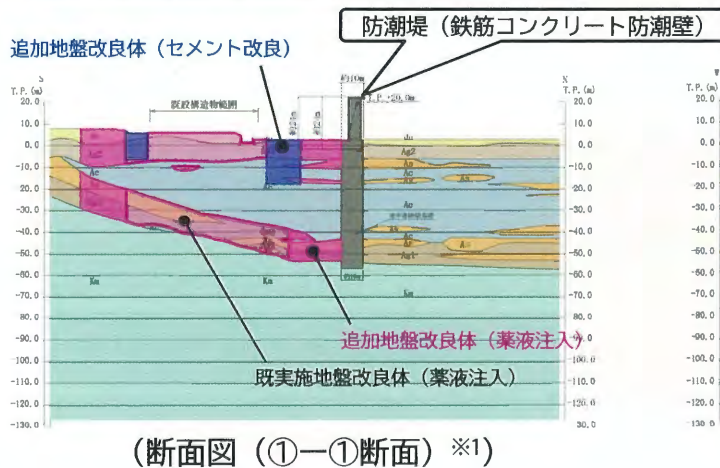
(断面図 (⑥-⑥断面) ※2)

(2) 影響評価 ②影響評価断面の選定 (2/4)

【凡例】
 : 既実施地盤改良体 (セメント改良)
 : 追加地盤改良体 (セメント改良)
 : 既実施地盤改良体 (薬液注入)
 : 追加地盤改良体 (薬液注入)

2) 防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁), 出口側集水枡

評価断面	選定結果	評価断面の選定理由
①-①断面 (汀線方向)	○	地盤改良体が評価断面に追加となるため、影響評価の対象とする。
②-②断面 (汀線直交方向)	○	地盤改良体が評価断面に追加となるため、影響評価の対象とする。
③-③断面 (汀線方向)	○	地盤改良体が評価断面に追加となるため、影響評価の対象とする。
④-④断面 (汀線直交方向)	○	地盤改良体が評価断面に追加となるため、影響評価の対象とする。



※1 全ての地盤改良体は既工認時の耐震評価で未反映
 ※2 ②-②断面及び③-③断面については、設計における保守的な配慮として、防潮堤の隣接区画はモデル化していない。

2. 周辺施設・設備への影響評価

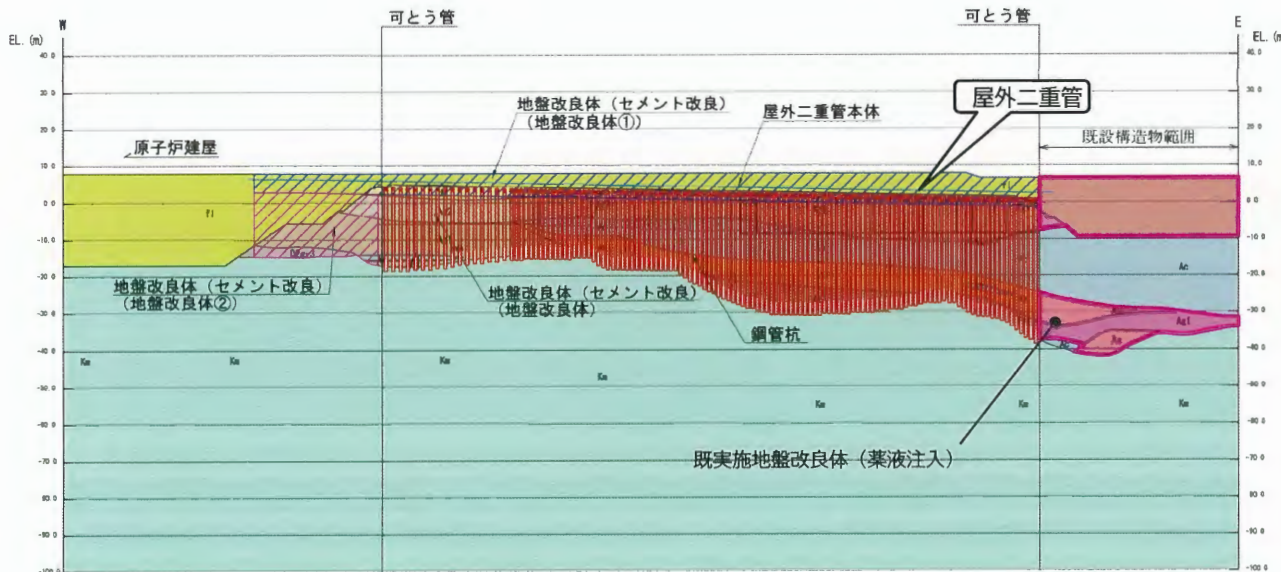
(2) 影響評価 ②影響評価断面の選定 (3/4)

3) 屋外二重管

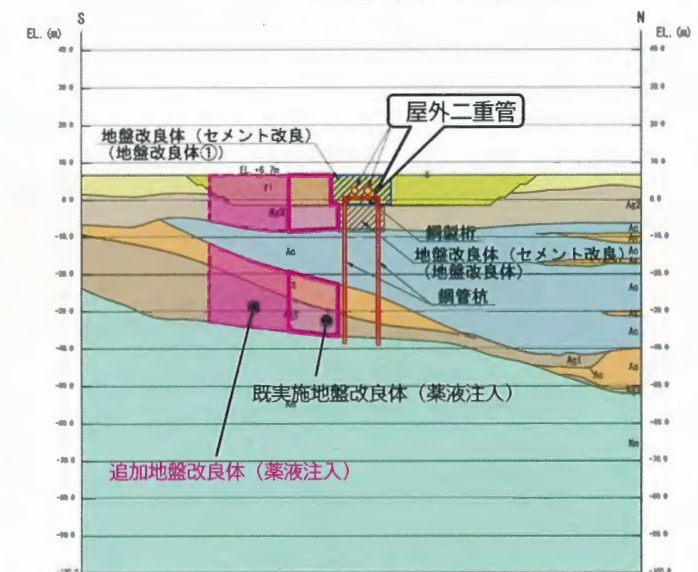
評価断面	選定結果	評価断面の選定理由
A-A断面 (管軸方向)	—	評価断面に追加の地盤改良体がないため、影響評価の対象とならない。
B-B断面 (管軸直交方向)	○	地盤改良体が評価断面に追加となるため、影響評価の対象とする。



- 【凡例】
- : 既実施地盤改良体 (セメント改良)
 - : 追加地盤改良体 (セメント改良)
 - : 既実施地盤改良体 (薬液注入)
 - : 追加地盤改良体 (薬液注入)



(断面図 (A-A断面) ※)



(断面図 (B-B断面) ※)

※ 斜線部の地盤改良体については、既工認時の耐震評価で反映済み (その他の地盤改良体は未反映)

2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ②影響評価断面の選定 (4/4)

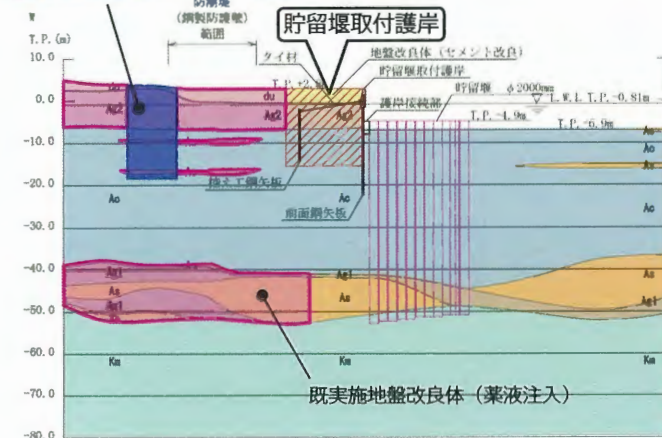
4) 貯留堰, 貯留堰取付護岸, 土留鋼管矢板

評価断面	選定結果	評価断面の選定理由
EW-1断面 (汀線直交方向)	○	地盤改良体が評価断面に追加となるため, 影響評価の対象とする。
EW-2断面 (汀線直交方向)	○	評価断面には追加の地盤改良体は含まれていない。しかし, 断面の北方向において薬液注入による地盤改良範囲が拡大し, 地盤状況に変化が生じている。このため, 追加地盤改良体が既実施地盤改良体と連続する地盤状況を踏まえ, 既工認時では考慮していない既実施地盤改良体を解析モデルに反映し, 影響評価の対象とする。
NS-1断面 (汀線方向)	—	評価断面に追加の地盤改良体が無いいため, 影響評価の対象とならない。

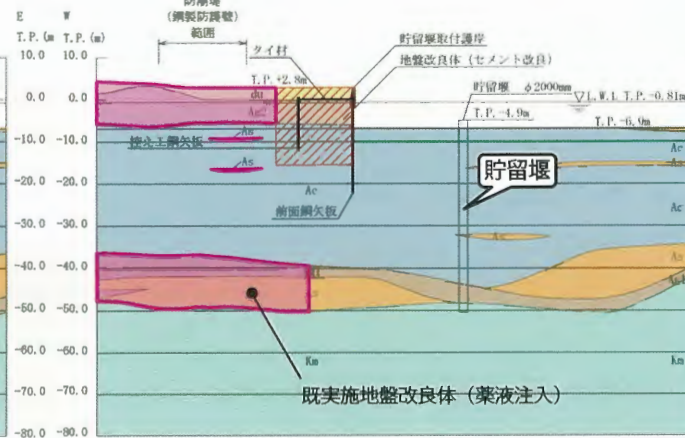


- 【凡例】
- : 既実施地盤改良体 (セメント改良)
 - : 追加地盤改良体 (セメント改良)
 - : 既実施地盤改良体 (薬液注入)
 - : 追加地盤改良体 (薬液注入)

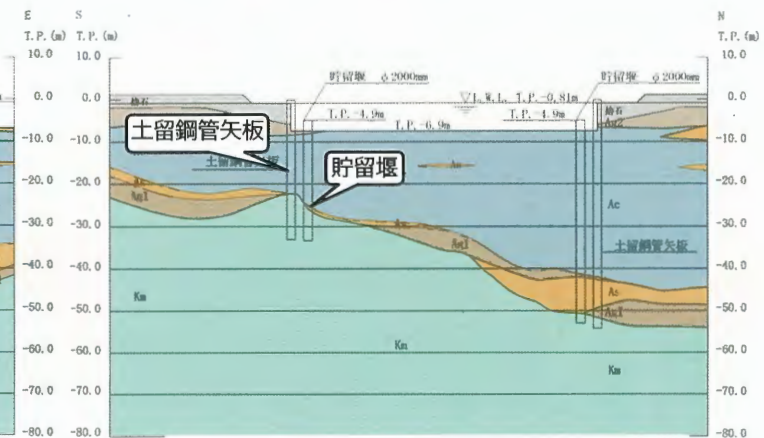
追加地盤改良体 (セメント改良)



(断面図 (EW-1断面) ※)



(断面図 (EW-2断面) ※)



(断面図 (NS-1断面))

※ 斜線部の地盤改良体については, 既工認時の耐震評価で反映済み (その他の地盤改良体は未反映)

(2) 影響評価 ③地震動・地盤ケースの選定 (施設)

I. 施設評価における地震動・地盤ケース

既工認時に用いた地震動と地盤ケースの組合せに対して、地盤改良の種類を考慮した上で、解析モデルに用いる地震動・地盤ケースを設定する。

【施設側の評価条件】

➤ 地震動の選定

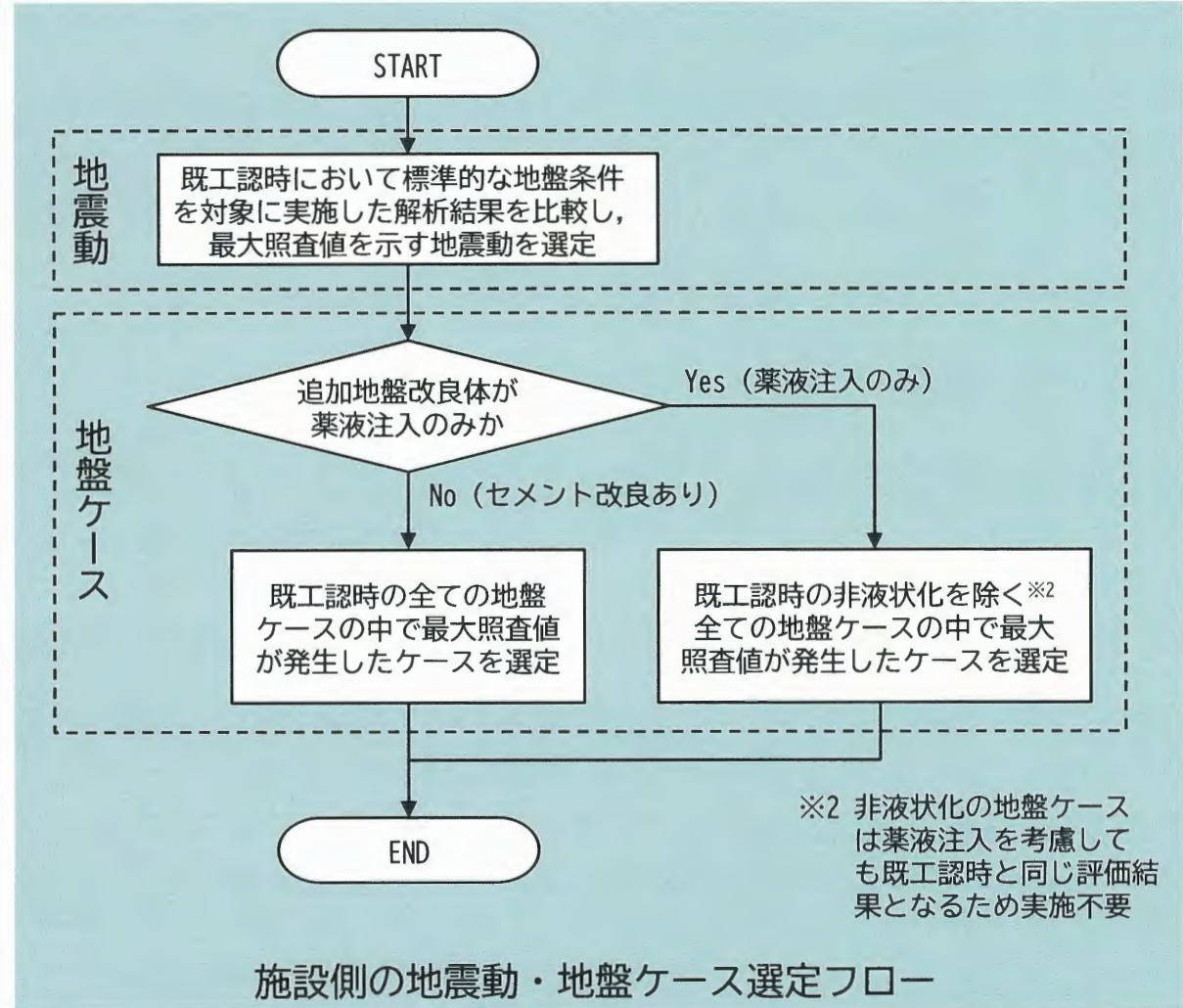
既工認時の耐震評価では、全ての基準地震動を用いて標準的な地盤条件※1を対象とした地震応答解析を実施している。これらの解析により得られた施設各部材の照査値等を整理・比較し、最大の照査値等を示す地震動を選定する。

※1 原地盤に対して最も標準的な地盤物性を有し、地震の応答特性を把握しやすい条件

➤ 地盤ケースの選定

既工認時の耐震評価では、地盤剛性と液状化強度特性のばらつきを考慮した複数の地盤ケースが設定されている。この中で、先に選定した地震動に対して最大照査値を示した地盤ケースを選定する。

なお、地盤ケースの選定では、追加地盤改良体の種類（薬液注入、セメント改良）を考慮する。



(2) 影響評価 ③地震動・地盤ケースの選定 (設備)

II. 設備評価における地震動・地盤ケース

既工認時に用いた地震動と地盤ケースの組合せに対して、地盤改良の種類を考慮した上で、解析モデルに用いる地震動・地盤ケースを設定する。

【設備側の評価条件】

➤ 地震動の選定

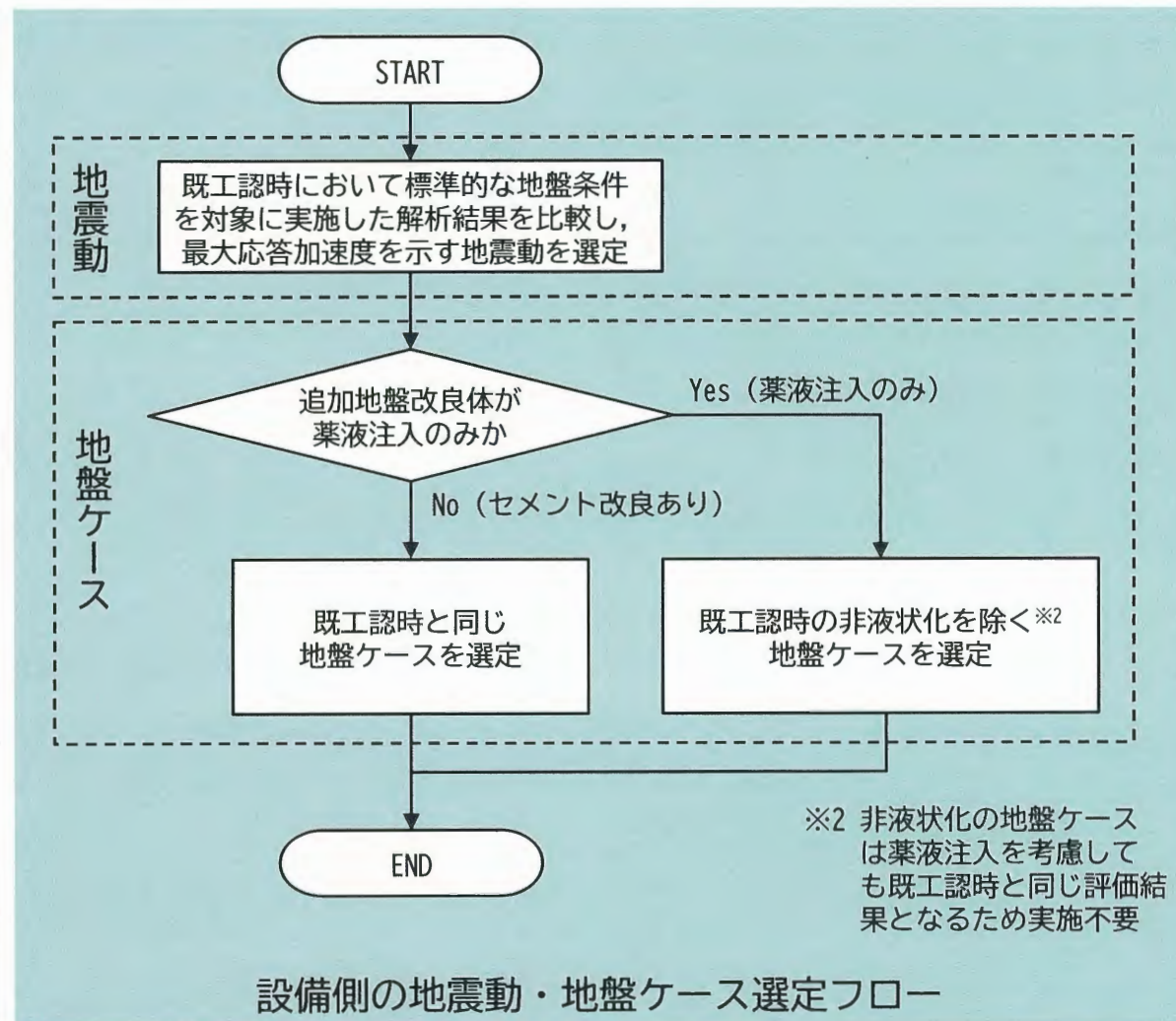
既工認時の耐震評価では、全ての基準地震動を用いて標準的な地盤条件※1を対象とした地震応答解析を実施している。これらの解析により得られた設備評価に用いる応答加速度が最も大きい地震動を選定する。

※1 原地盤に対して最も標準的な地盤物性を有し、地震の応答特性を把握しやすい条件

➤ 地盤ケースの選定

既工認時の耐震評価では、地盤剛性と液状化強度特性のばらつきを考慮した複数の地盤ケースが設定されている。この中で、先に選定した地震動に対して既工認時と同じ地盤ケースを選定する。

なお、地盤ケースの選定では、追加地盤改良体の種類（薬液注入、セメント改良）を考慮する。



(2) 影響評価 ④影響評価の実施内容

影響評価は、地盤改良を反映した解析モデルを用いて、既工認時と同じ地震応答解析手法により実施する。具体的には、以下に示すとおり地盤改良による「影響程度の確認」を実施し、必要に応じて「最大照査値等の確認」を行う。

➤ 影響程度の確認

- ・ 既工認時の2次元有効応力解析モデルに対して、影響評価の対象となる施設・設備に近接する既実施及び追加地盤改良体を反映する。
- ・ 上記解析モデル（影響検討モデル）により算定される応答※や照査値について、既工認時の結果に対する比率を算出する。

※施設においては接地圧，変位量，局所安全係数，震度
設備においては最大応答加速度，床応答曲線

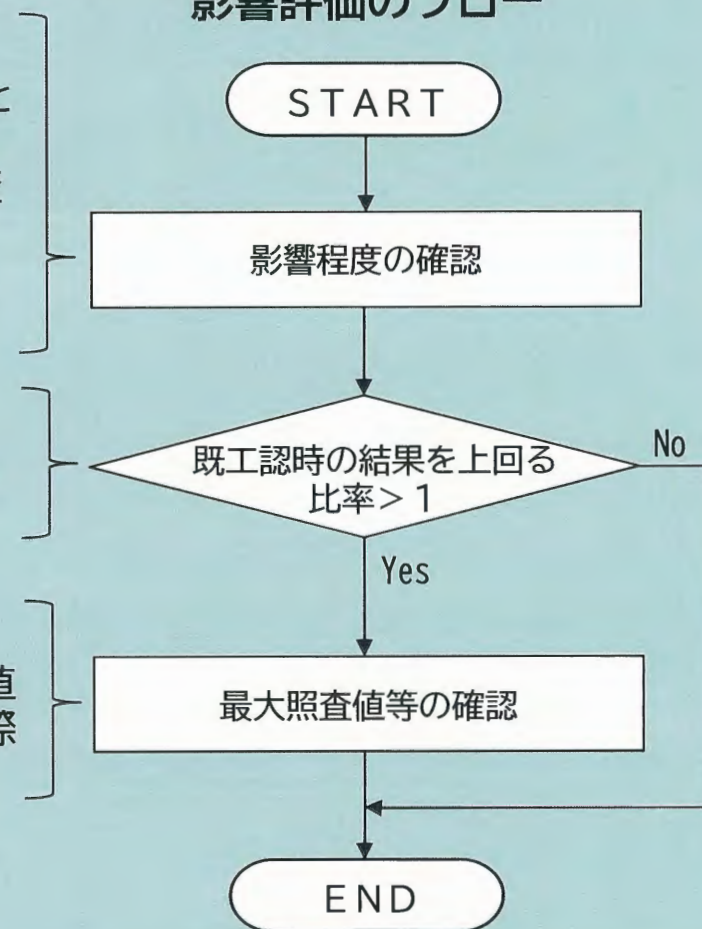
最大照査値等の確認の要否判定

- ・ 比率が1を上回る場合は、最大照査値等の確認が必要と判断する。
- ・ 比率が1以下の場合、影響評価終了とする。

➤ 最大照査値等の確認

- ・ 算定した各部材の照査値等の比率の最大値を既工認時の最大照査値等（接地圧や変位量等を含む）に乗じて、地盤改良体を考慮した際の最大照査値等を算定し、許容限界を満足することを確認する。

影響評価のフロー



2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ④影響評価の実施内容（比率を用いて算定する照査値の保守性）

- 地盤改良体の有無にかかわらず，既工認時に用いた地震動と地盤の組合せが，定性的には厳しい施設の耐震評価条件となると想定される（地震動の最大加速度・継続時間・位相，地盤の剛性低下が要因）。このため，影響評価においては，既工認で最も厳しい評価結果が得られた地震動と地盤の組合せ（下左表）を用いた。
- ただし，既工認時の地震動と地盤の組合せには地盤改良体の効果が含まれたものではないことから，より保守的な評価とするため，既工認時の最大照査値に，最も厳しくなる評価位置以外の比率も含め最大となる比率を乗じて，影響評価としての最大照査値を算定した（下右表）。

取水構造物（取水ピット）鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価（P21参照）

既工認での地震動及び地盤ケースの選定

地震動	地盤ケース	せん断力照査					
		①	②	③	④	⑤	⑥
S _s -D1	H+, V+	0.348					
	H+, V-	0.360					
	H-, V+	0.378					
	H-, V-	0.383	0.379	0.374	0.433	0.401	0.405
S _s -11		0.277					
S _s -12		0.361					
S _s -13		0.342					
S _s -14		0.290					
S _s -21		0.340					
S _s -22		0.326					
S _s -31	H+, V+	0.296					
	H-, V+	0.328					

照査値の算定結果

影響検討ケース	評価位置	照査値		比率
		既工認	今回	
④S _s -D1 (H-, V-)	突出部	0.433	0.472	1.090
	側壁	0.407	0.398	0.978
	隔壁	0.348	0.311	0.894
	左張出	0.319	0.293	0.918
	頂版1	0.376	0.378	1.005
	頂版2	0.291	0.258	0.887
	底版1	0.399	0.447	1.120
	底版2	0.235	0.212	0.902

保守性確保のため，評価位置に依らず，最大照査値（表中の0.433）と最大比率（表中の1.120）を乗じて，地盤改良による影響評価としての最大照査値（0.485=0.433×1.120）としている。

地盤ケース①について全S_sの照査値を計算する。最大照査値（0.383）を示したS_s-D1（H-, V-）について，全地盤ケースの照査値を計算し，最大照査値（0.433）となる地盤ケース④が選定される。

結果として，照査値が比較的大きい評価項目では，比率の増分は10%程度であり，地盤改良による影響は小さいことを確認した（次頁以降参照）。

(2) 影響評価 ⑤影響評価の結果(施設) (1/7)

I. 取水構造物

断面	評価項目	地盤ケース と地震動 の組合せ ^{※1}	比率 a	既工認時 の最大値 b	影響評価 の最大値 (=a×b) ^{※2}	判定
取水構造物 (取水路) ①-①断面	鉄筋コンクリートの曲げ軸力に対する評価	④S s-D1 (H+, V+)	0.922	0.119 (照査値)	—	OK
	鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価	④S s-D1 (H+, V+)	1.067	0.695 (照査値)	0.742	OK
	鋼管杭の曲げ軸力に対する評価	④S s-31 (H+, V+)	0.854	0.219 (照査値)	—	OK
	鋼管杭のせん断力に対する評価	④S s-31 (H+, V+)	0.827	0.480 (照査値)	—	OK
	基礎地盤の支持性能に対する評価	④S s-D1 (H+, V+)	0.974	740 kN/m ² ^{※3} (接地圧)	—	OK
取水構造物 (取水ピット) ④-④断面	鉄筋コンクリートの曲げ軸力に対する評価	④S s-D1 (H-, V-)	1.200	0.133 (照査値)	0.160	OK
	鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価	④S s-D1 (H-, V-)	1.120	0.433 (照査値)	0.485	OK
	鋼管杭の曲げ軸力に対する評価	④S s-31 (H+, V+)	0.861	0.228 (照査値)	—	OK
	鋼管杭のせん断力に対する評価	④S s-31 (H+, V+)	0.849	0.457 (照査値)	—	OK
	基礎地盤の支持性能に対する評価	④S s-D1 (H-, V-)	1.048	768 kN/m ² ^{※3} (接地圧)	805 kN/m ² ^{※3}	OK

※1 頭文字の丸数字は地盤ケースを示す。(参考2【スライドp.36,37】参照,以降,全ての表も同様)

※2 本表に記載する最大値の表示桁は既工認の耐震計算書における表示桁を踏襲して設定する。(以降,全ての表も同様)

※3 許容限界は6581kN/m²(極限支持力度)である。

2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ⑤影響評価の結果(施設) (2/7)

II. 防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁), 出口側集水柵(1/3)

断面	評価項目	地盤ケースと地震動の組合せ	比率 a	既工認時の 最大値 b	影響評価 の最大値 (=a×b)	判定
防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁) ①-①断面	鉄筋コンクリート防潮壁の曲げ軸力(圧縮)に対する評価	③S s-31 (H+, V+)	1.035 ^{※1}	0.18 (照査値)	0.19	OK
	鉄筋コンクリート防潮壁の曲げ軸力(引張)に対する評価	③S s-31 (H+, V+)		0.56 (照査値)	0.58	OK
	鉄筋コンクリート防潮壁のせん断力に対する評価	③S s-31 (H+, V+)		0.24 (照査値)	0.25	OK
	フーチング(片持ち梁)の曲げ軸力(圧縮)に対する評価	③S s-31 (H+, V+)	1.016 ^{※2}	0.06 (照査値)	0.07	OK
	フーチング(片持ち梁)の曲げ軸力(引張)に対する評価	③S s-31 (H+, V+)		0.13 (照査値)	0.14	OK
	フーチング(片持ち梁)のせん断力に対する評価	③S s-31 (H+, V+)		0.11 (照査値)	0.12	OK
	フーチング(単純梁)の曲げ軸力(圧縮)に対する評価	③S s-31 (H+, V+)		0.02 (照査値)	0.03	OK
	フーチング(単純梁)の曲げ軸力(引張)に対する評価	③S s-31 (H+, V+)		0.03 (照査値)	0.04	OK
	フーチング(単純梁)のせん断力に対する評価	③S s-31 (H+, V+)		0.05 (照査値)	0.06	OK
	構造物の変形に対する評価	③S s-31 (H+, V+)		1.020	1.89 m ^{※3} (変位量)	1.93 m ^{※3}

※1 当該部材は、既工認では地震応答解析により算出した水平震度による地震荷重を入力した耐震評価を実施している。今回は追加の地盤改良体を反映した地震応答解析により算出した水平震度の既工認との比率1.035を、全ての照査項目に対し統一的に適用している。

※2 当該部材は、既工認では地震応答解析により算出した鉛直震度による地震荷重を入力した耐震評価を実施している。今回は追加の地盤改良体を反映した地震応答解析により算出した鉛直震度の既工認との比率1.016を、全ての照査項目に対し統一的に適用している。

※3 構造物の変形に対する評価として、モデル化した鉄筋コンクリート防潮壁の1ブロックに生じる単独の変位量を保守的に2倍した変位量を示す。許容限界は2.0m(止水ジョイントの許容変位量)である。

2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ⑤影響評価の結果(施設) (3/7)

II. 防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁), 出口側集水柵(2/3)

断面	評価項目	地盤ケースと地震動の組合せ	比率 a	既工認時の 最大値 b	影響評価 の最大値 (=a×b)	判定
防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁) ①-①断面	地中連続壁基礎の曲げ軸力(圧縮)に対する評価	③Ss-31 (H+, V+)	1.00	0.66 (照査値)	—	OK
	地中連続壁基礎の曲げ軸力(引張)に対する評価	③Ss-31 (H+, V+)	0.98	0.51 (照査値)	—	OK
	地中連続壁基礎のせん断力に対する評価	③Ss-31 (H+, V+)	1.03	0.56 (照査値)	0.58	OK
	基礎地盤の支持性能に対する評価	③Ss-31 (H+, V+)	0.98	3474 kN/m ² ※1 (接地圧)	—	OK
防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁) ②-②断面	地中連続壁基礎の曲げ軸力(圧縮)に対する評価	③Ss-31 (H+, V+)	1.06	0.82 (照査値)	0.87	OK
	地中連続壁基礎の曲げ軸力(引張)に対する評価	③Ss-31 (H+, V+)	1.02	0.76 (照査値)	0.78	OK
	地中連続壁基礎のせん断力に対する評価	③Ss-31 (H+, V+)	1.06	0.59 (照査値)	0.63	OK
	基礎地盤の支持性能に対する評価	③Ss-31 (H+, V+)	1.27	2182 kN/m ² ※1 (接地圧)	2772 kN/m ² ※1	OK
③-③断面	設備評価用断面であることから, 施設評価対象外。					—

※1 許容限界は6201kN/m²(極限支持力度)である。

2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ⑤影響評価の結果(施設) (4/7)

II. 防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁), 出口側集水枡(3/3)

断面	評価項目	地盤ケースと地震動の組合せ	比率 a	既工認時の 最大値 b	影響評価 の最大値 (=a×b)	判定
出口側集水枡 ④-④断面	躯体の曲げ軸力(水平鉄筋)に対する評価	④S s-D1 (H-, V+)	1.000 ^{※1}	0.10 (照査値)	—	OK
	躯体の曲げ軸力(鉛直鉄筋)に対する評価	④S s-D1 (H-, V+)		0.02 (照査値)	—	OK
	躯体のせん断力(水平鉄筋)に対する評価	④S s-D1 (H-, V+)		0.49 (照査値)	—	OK
	躯体のせん断力(鉛直鉄筋)に対する評価	④S s-D1 (H-, V+)		0.06 (照査値)	—	OK

※1 当該部材は、既工認では地震応答解析により設定した水平震度及び鉛直震度による地震荷重を入力した耐震評価を実施している。

今回は追加の地盤改良体を反映した地震応答解析により算出した設計震度の既工認との比率が、水平震度では0.899、鉛直震度では1.000となったことから、本影響評価においては照査値の増分を想定しうる最大値として評価するため、より大きな比率である1.000を全部材に対し統一的に適用している。

2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ⑤影響評価の結果(施設) (5/7)

Ⅲ. 屋外二重管

断面	評価項目	地盤ケースと地震動の組合せ	比率 a	既工認時の最大値 b	影響評価の最大値 (=a×b)	判定
屋外二重管 B-B断面	鋼製桁及び鋼管杭の曲げ軸力に対する評価	④S s-1 2	1.00	0.71 (照査値)	—	OK
	鋼製桁及び鋼管杭のせん断力に対する評価	④S s-1 2	1.50	0.21 (照査値)	0.32	OK
	地盤改良体①の圧縮応力に対する評価	④S s-1 2	0.99	5.57 ^{※1} (局所安全係数)	—	OK
	地盤改良体①のせん断応力に対する評価	④S s-1 2	0.95	4.01 ^{※1} (局所安全係数)	—	OK
	屋外二重管下の地盤改良体①の支持性能に対する評価	④S s-1 2	0.90	223 kN/m ² ^{※2} (接地圧)	—	OK
	基礎地盤の支持性能に対する評価	④S s-1 2	1.14	1833 kN/m ² ^{※3} (接地圧)	2090 kN/m ²	OK
	管体(管軸方向)の合成応力に対する評価	④S s-1 2	0.43	1.4% ^{※4} (地盤ひずみ)	—	OK
	管体(管周方向)曲げ応力に対する評価	①S s-3 1 (H+, V+)	0.72	0.03 (照査値)	—	OK
	管体(管周方向)せん断応力に対する評価	①S s-3 1 (H+, V+)	1.00	0.008 (照査値)	—	OK
屋外二重管 A-A断面	評価断面に追加の地盤改良体がないため、その影響を受けない。					—

※1 局所安全係数(単位:無次元)の最小値を示し、局所安全係数1.0を上回ることを確認する。

※2 許容限界は1775kN/m²(極限支持力度)である。

※3 許容限界は5810kN/m²(極限支持力度)である。

※4 管体(管軸方向)の合成応力に対する評価については、評価の入力条件となる地盤ひずみを示す。

2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ⑤影響評価の結果(施設) (6/7)

IV. 貯留堰, 貯留堰取付護岸, 土留鋼管矢板

断面	評価項目	地盤ケースと地震動の組合せ	比率 a	既工認時の最大値 b	影響評価の最大値 (=a×b)	判定
貯留堰 EW-2断面	貯留堰鋼管矢板の曲げ軸力に対する評価	④S s-D1 (H+, V+)	0.89	0.77 (照査値)	—	OK
	貯留堰鋼管矢板のせん断力に対する評価	④S s-D1 (H+, V+)	0.92	0.23 (照査値)	—	OK
	基礎地盤の支持性能に対する評価	④S s-D1 (H+, V+)	1.14	965 kN/m ² ※1 (接地圧)	1101 kN/m ² ※1	OK
貯留堰取付護岸 (止水ゴム含) EW-1断面	前面鋼矢板の曲げモーメントに対する評価	③S s-D1 (H-, V-)	1.04	0.64 (照査値)	0.67	OK
	タイ材の引張力に対する評価	③S s-D1 (H-, V-)	1.03	0.44 (照査値)	0.46	OK
	構造物の変形性に対する評価 (貯留堰鋼管矢板及び前面鋼矢板の接触に対する評価)	③S s-D1 (H-, V-)	1.04	25.9 cm ^{※2} (変位置)	27.0 cm ^{※2}	OK
	構造物の変形性に対する評価 (止水ゴム)	③S s-D1 (H-, V-)	1.05	71.0 cm ^{※3} (変位置)	74.6 cm ^{※3}	OK
土留鋼管矢板 NS-1断面	評価断面に追加の地盤改良体がないため、その影響を受けない。					—

※1 許容限界は4863kN/m²(極限支持力度)である。

※2 許容限界は52.0cm(貯留堰鋼管矢板と前面鋼矢板の離隔)である。

※3 許容限界は105.0cm(止水ゴムの許容変位置)である。

V. 施設評価における影響検討結果（まとめ）

防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更に伴い、追加基礎（鋼管杭）と周辺地盤の地盤改良を取り入れることとした。これに伴う施設の地震時加速度や変位等の変化及び既設の鋼管杭等地中構造物に対し地盤改良体と原地盤の剛性差が与える影響等を評価するため、既実施及び追加の地盤改良体を既工認モデルに反映した地震応答解析を実施した。

各施設において、追加地盤改良体を反映したモデルにより算出した照査値等を既工認時の結果と比較したところ、増減はあるものの、大きな差異が見られなかった。また、上記の照査値等を用いて算出した比率を既工認時の最大照査値に乗じることで、追加地盤改良体による影響評価を実施したところ許容限界を満足することから、構造変更に伴う地盤改良体はその周辺施設の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

なお、比率には1を超える（既工認時の照査値を影響検討結果が上回る）箇所がある。比率が1を超える理由は、以下のように考えられる。

- 地盤改良体を反映することで、地震時における地盤の剛性低下が抑制され、構造物の地震時加速度に変化が生じ慣性力が増加した。
- 地盤改良体を反映することで、地中部材の変形特性に変化が生じ、部材の最大照査値や最大照査値発生箇所が変動した。
- 地盤改良体が構造物の片側に広く配置されることで、地震時の応答に偏りが生じた結果、接地圧が増加した。

2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ⑤影響評価の結果(設備) (1/7)

I. 取水構造物(①-①断面)

取水構造物の①-①断面に設置する設備(浸水防止蓋, 潮位計)に対する影響評価結果を以下に示す。

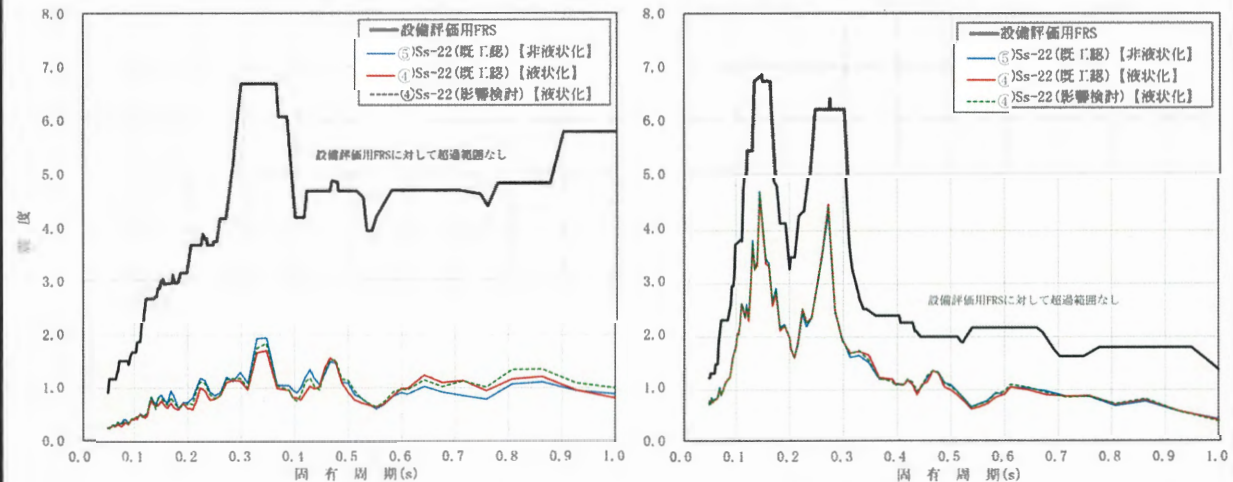
最大応答加速度(ZPA)比較

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)				比率 (I/II)
			⑤Ss-22 (既工認) 【非液化化】	④Ss-22 (既工認) 【液化化】	(I) ④Ss-22 (影響検討) 【液化化】	(II) 設備評価用 (既工認)	
取水構造物 (①-①断面) (NS方向の1)	2.810	水平	0.26	0.24	0.24	0.86	0.28
		鉛直	0.55	0.53	0.56	0.79	0.71
	1.118	水平	0.24	0.23	0.23	0.85	0.28
		鉛直	0.55	0.53	0.56	0.79	0.71
	0.218	水平	0.29	0.30	0.28	1.01	0.28
		鉛直	0.49	0.48	0.48	0.71	0.68
	-3.253	水平	0.31	0.31	0.30	1.02	0.30
		鉛直	0.49	0.48	0.48	0.71	0.68
	-3.357	水平	0.23	0.21	0.23	0.81	0.29
		鉛直	0.55	0.53	0.56	0.79	0.71
	-4.848	水平	0.24	0.20	0.23	0.80	0.29
		鉛直	0.55	0.53	0.56	0.79	0.71
-6.540	水平	0.25	0.21	0.25	0.83	0.31	
	鉛直	0.54	0.53	0.55	0.78	0.71	

【比較結果】

影響検討モデルによるZPAは、既工認時のZPAと比べると若干増減するものの、既工認時の耐震評価に適用した設備評価用ZPAに対して十分余裕があることを確認した。

床応答曲線(FRS)比較(代表:最上部)



水平方向 EL.2.810m h=2.0%

鉛直方向 EL.2.810m h=2.0%

【比較結果】

水平方向：影響検討モデルによるFRS(緑破線)は、既工認時のFRS(赤, 青実線)と比べると若干増減するものの、設備評価用FRS(黒実線)に対して十分な余裕があることを確認した。

鉛直方向：影響検討モデルによるFRS(緑破線)と既工認時のFRS(赤, 青実線)と比べると若干増減するものの、設備評価用FRS(黒実線)に対して十分な余裕があることを確認した。

2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ⑤影響評価の結果(設備) (2/7)

II. 取水構造物(④-④断面) (1/2)

取水構造物の④-④断面に設置する設備(ポンプ, ストレーナ, 配管, 逆止弁及び水位計)に対する最大応答加速度(ZPA)の影響評価結果を以下に示す。

最大応答加速度(ZPA)比較

○地盤ケース④

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)			比率 (I/II)
			④Ss-21 (既工認)	(I) ④Ss-21 (影響検討)	(II) 設備評価用 (既工認)	
取水構造物 (④-④断面) (NS方向その2)	0.30	水平	0.20	0.21	0.91	0.24
		鉛直	0.56	0.58	0.86	0.68
	-6.49	水平	0.21	0.22	0.95	0.24
		鉛直	0.48	0.47	0.70	0.68
	-7.40	水平	0.18	0.19	0.78	0.25
		鉛直	0.46	0.49	0.67	0.74
	-7.46	水平	0.19	0.21	0.91	0.24
		鉛直	0.48	0.47	0.70	0.68

○地盤ケース⑤

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)			比率 (I/II)
			⑤Ss-21 (既工認)	(I) ⑤Ss-21 (影響検討)	(II) 設備評価用 (既工認)	
取水構造物 (④-④断面) (NS方向その2)	0.30	水平	0.20	0.21	0.91	0.24
		鉛直	0.57	0.58	0.86	0.68
	-6.49	水平	0.22	0.22	0.95	0.24
		鉛直	0.47	0.47	0.70	0.68
	-7.40	水平	0.20	0.19	0.78	0.25
		鉛直	0.48	0.50	0.67	0.75
	-7.46	水平	0.21	0.21	0.91	0.24
		鉛直	0.47	0.47	0.70	0.68

○地盤ケース⑥

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)			比率 (I/II)
			⑥Ss-21 (既工認)	(I) ⑥Ss-21 (影響検討)	(II) 設備評価用 (既工認)	
取水構造物 (④-④断面) (NS方向その2)	0.30	水平	0.21	0.21	0.91	0.24
		鉛直	0.58	0.59	0.86	0.69
	-6.49	水平	0.23	0.23	0.95	0.25
		鉛直	0.48	0.48	0.70	0.69
	-7.40	水平	0.21	0.20	0.78	0.26
		鉛直	0.48	0.51	0.67	0.77
	-7.46	水平	0.22	0.22	0.91	0.25
		鉛直	0.48	0.48	0.70	0.69

○地盤ケース⑤*

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)			比率 (I/II)
			⑤Ss-D1 (H+, V+) (既工認)	(I) ⑤Ss-D1 (H+, V+) (影響検討)	(II) 設備評価用 (既工認)	
取水構造物 (④-④断面) (NS方向その2)	0.30	水平	0.25	0.24	0.91	0.27
		鉛直	0.52	0.53	0.86	0.62
	-6.49	水平	0.26	0.25	0.95	0.27
		鉛直	0.45	0.46	0.70	0.66
	-7.40	水平	0.22	0.22	0.78	0.29
		鉛直	0.45	0.45	0.67	0.68
	-7.46	水平	0.25	0.24	0.91	0.27
		鉛直	0.45	0.46	0.70	0.66

【比較結果】

※ 全ての周期帯で比較的大きい加速度を示すSs-D1 (H+, V+) で追加地盤改良体(セメント改良)による応答の確認を実施。

影響検討モデルによるZPAは、既工認時のZPAと比べると若干増減するものの、設備評価用ZPAに対して十分余裕があることを確認した。

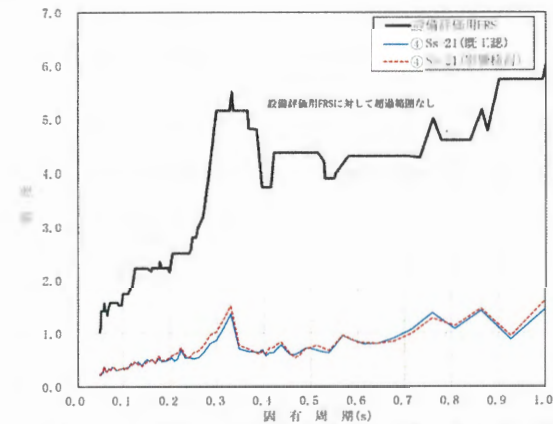
2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ⑤影響評価の結果(設備) (3/7)

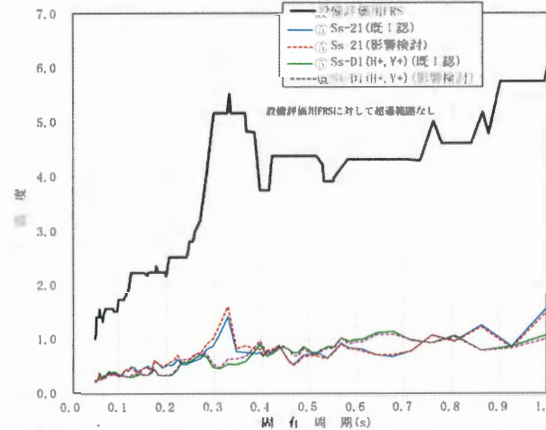
II. 取水構造物(④-④断面) (2/2)

取水構造物の④-④断面に設置する設備(ポンプ, ストレーナ, 配管, 逆止弁及び水位計)に対する床応答曲線(FRS)の影響評価結果を以下に示す。

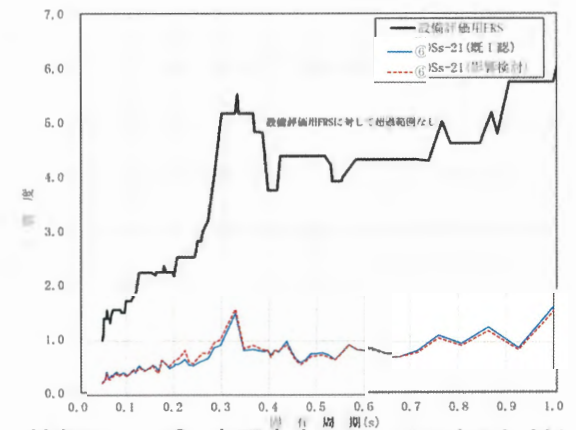
床応答曲線(FRS)比較(代表: 最上部)



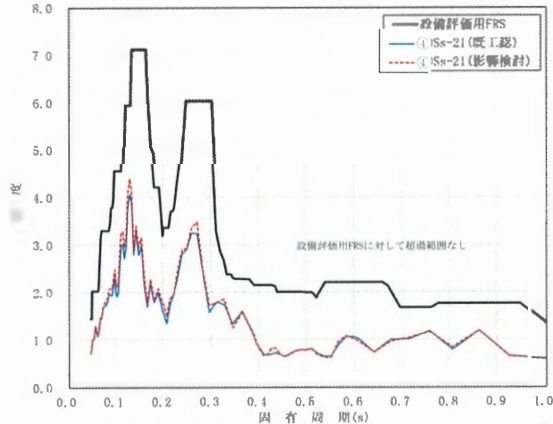
地盤ケース④ 水平方向 EL. 0.30m h=2.0%



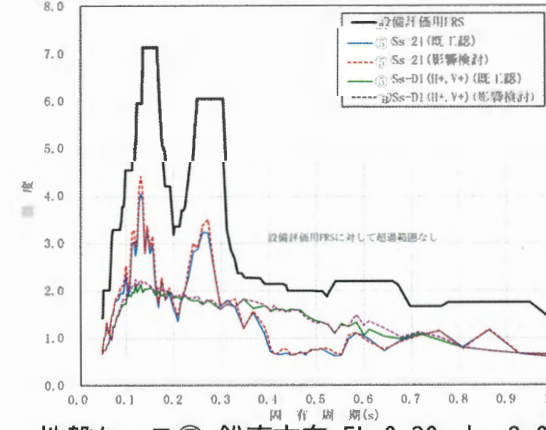
地盤ケース⑤ 水平方向 EL. 0.30m h=2.0%



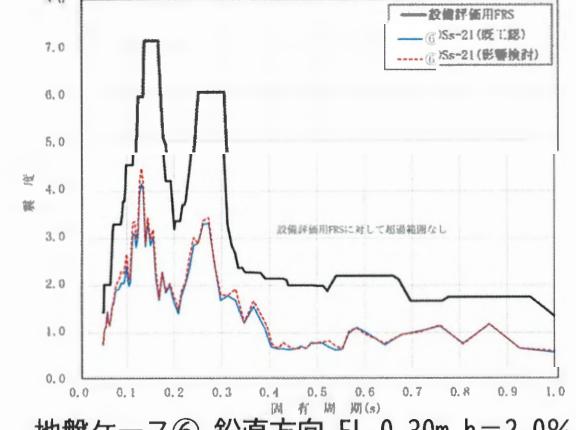
地盤ケース⑥ 水平方向 EL. 0.30m h=2.0%



地盤ケース④ 鉛直方向 EL. 0.30m h=2.0%



地盤ケース⑤ 鉛直方向 EL. 0.30m h=2.0%



地盤ケース⑥ 鉛直方向 EL. 0.30m h=2.0%

【比較結果】

影響検討モデルによるFRS(赤, 紫破線)と既工認時のFRS(青, 緑実線)と比べると若干増減するものの, 設備評価用FRS(黒実線)に対して十分な余裕があることを確認した。

2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ⑤影響評価の結果(設備) (4/7)

Ⅲ. 防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁) (①-①断面及び②-②断面)

防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)の①-①断面及び②-②断面に設置する設備(防潮扉)に対する影響評価結果を以下に示す。なお、防潮扉は剛構造であるため最大応答加速度のみで評価している。

最大応答加速度(ZPA)比較

○①-①断面 地盤ケース④

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)			比率 (I/II)
			④Ss-31 (H+, V+) (既工認)	(I) ④Ss-31 (H+, V+) (影響検討)	(II) 設備評価用 (既工認)	
防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁) (①-①断面)	23.550	水平	1.04	1.03	1.04	0.99
		鉛直	0.13	0.13	0.37	0.36
	22.500	水平	1.04	1.03	1.04	0.99
		鉛直	0.13	0.13	0.37	0.36
	11.350	水平	0.64	0.62	0.65	0.96
		鉛直	0.13	0.13	0.37	0.36
	2.700	水平	0.39	0.37	0.65	0.57
		鉛直	0.13	0.13	0.37	0.36

○①-①断面 地盤ケース⑤

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)			比率 (I/II)
			⑤Ss-31 (H+, V+) (既工認)	(I) ⑤Ss-31 (H+, V+) (影響検討)	(II) 設備評価用 (既工認)	
防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁) (①-①断面)	23.550	水平	1.02	1.02	1.04	0.98
		鉛直	0.13	0.13	0.37	0.36
	22.500	水平	1.02	1.02	1.04	0.98
		鉛直	0.13	0.13	0.37	0.36
	11.350	水平	0.61	0.61	0.65	0.94
		鉛直	0.13	0.13	0.37	0.36
	2.700	水平	0.37	0.36	0.65	0.56
		鉛直	0.13	0.13	0.37	0.36

○①-①断面 地盤ケース⑥

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)			比率 (I/II)
			⑥Ss-31 (H+, V+) (既工認)	(I) ⑥Ss-31 (H+, V+) (影響検討)	(II) 設備評価用 (既工認)	
防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁) (①-①断面)	23.550	水平	1.01	1.00	1.04	0.97
		鉛直	0.14	0.14	0.37	0.38
	22.500	水平	1.01	1.00	1.04	0.97
		鉛直	0.14	0.14	0.37	0.38
	11.350	水平	0.59	0.59	0.65	0.91
		鉛直	0.13	0.14	0.37	0.38
	2.700	水平	0.36	0.36	0.65	0.56
		鉛直	0.13	0.13	0.37	0.36

○①-①断面 地盤ケース⑤※

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)			比率 (I/II)
			⑤Ss-D1 (H+, V+) (既工認)	(I) ⑤Ss-D1 (H+, V+) (影響検討)	(II) 設備評価用 (既工認)	
防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁) (①-①断面)	23.550	水平	1.00	0.98	1.04	0.95
		鉛直	0.33	0.33	0.37	0.90
	22.500	水平	1.00	0.98	1.04	0.95
		鉛直	0.33	0.33	0.37	0.90
	11.350	水平	0.65	0.64	0.65	0.99
		鉛直	0.33	0.33	0.37	0.90
	2.700	水平	0.41	0.40	0.65	0.62
		鉛直	0.33	0.33	0.37	0.90

○②-②断面 地盤ケース④

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)				比率 (I/II)
			⑤Ss-31 (H-, V+) (既工認) [非液状化]	④Ss-31 (H-, V+) (既工認) [液状化]	(I) ④Ss-31 (H-, V+) (影響検討) [液状化]	(II) 設備評価用 (既工認)	
防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁) (②-②断面)	23.550	水平	0.32	0.28	0.34	1.04	0.33
		鉛直	0.11	0.11	0.11	0.37	0.30
	22.500	水平	0.32	0.28	0.34	1.04	0.33
		鉛直	0.11	0.11	0.11	0.37	0.30
	11.350	水平	0.31	0.28	0.33	0.65	0.51
		鉛直	0.11	0.11	0.11	0.37	0.30
	2.700	水平	0.30	0.27	0.32	0.65	0.50
		鉛直	0.11	0.11	0.11	0.37	0.30

※ 全ての周期帯で比較的大きい加速度を示すSs-D1 (H+, V+) で追加地盤改良体(セメント改良)による応答の確認を実施。

【比較結果】

影響検討モデルによるZPAは、既工認時のZPAと比べると若干増減するものの、既工認時の耐震評価に適用した設備評価用ZPA以下であることを確認した。

2. 周辺施設・設備への影響評価

(2) 影響評価 ⑤影響評価の結果(設備) (5/7)

IV. 防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁) (③-③断面及び④-④断面)

防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)の③-③断面及び④-④断面に設置する設備(構内排水路逆流防止設備)の影響評価結果を以下に示す。

最大応答加速度(ZPA)比較

○③-③断面 地盤ケース④

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)				比率 (I/II)
			⑤Ss-21 (既工認) 【非液化化】	④Ss-21 (既工認) 【液化化】	(I) ④Ss-21 (影響検討) 【液化化】	(II) 設備評価用 (既工認)	
防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁) (③-③断面)	1.800	水平	0.35	0.29	0.32	0.72	0.40
		鉛直	0.30	0.31	0.29	0.76	0.39

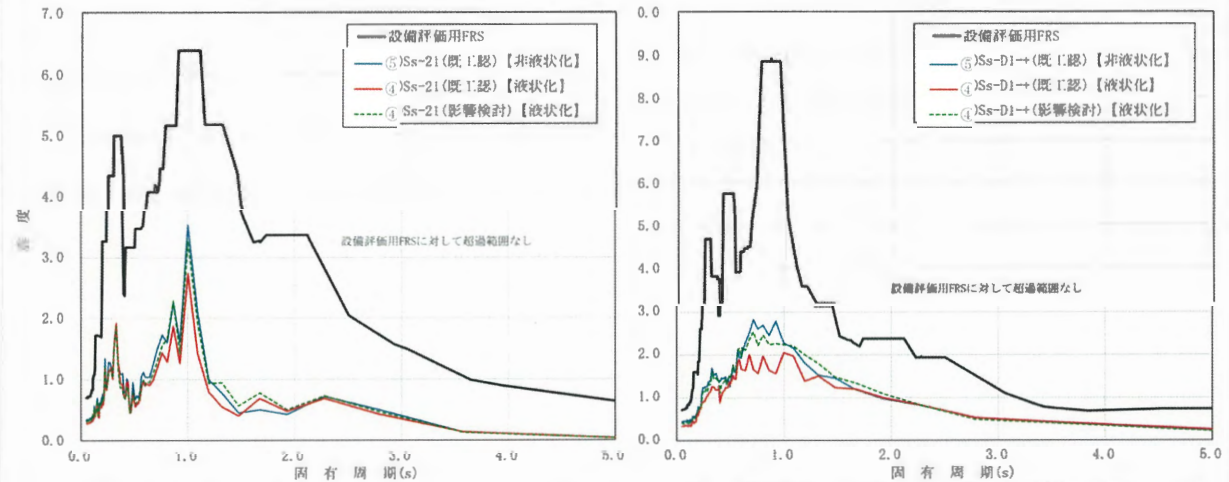
○④-④断面 地盤ケース④

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)				比率 (I/II)
			⑤Ss-D1 (H-, V+) (既工認) 【非液化化】	④Ss-D1 (H-, V+) (既工認) 【液化化】	(I) ④Ss-D1 (H-, V+) (影響検討) 【液化化】	(II) 設備評価用 (既工認)	
防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁) (④-④断面)	1.800	水平	0.46	0.34	0.41	0.72	0.57
		鉛直	0.45	0.43	0.45	0.76	0.60

【比較結果】

影響検討モデルによるZPAは、既工認時のZPAと比べると若干増減するものの、既工認時の耐震評価に適用した設備評価用ZPAに対して十分余裕があることを確認した。

床応答曲線(FRS)比較



③-③断面 水平方向 EL.1.800m h=1.0%

④-④断面 水平方向 EL.1.800m h=1.0%

※鉛直方向FRSを用いて耐震評価をした設備はないため、水平方向のみ記載。

【比較結果】

影響検討モデルによるFRS(緑破線)は、既工認時のFRS(赤,青実線)と比べると若干増減するものの、設備評価用FRS(黒実線)に対して十分な余裕があることを確認した。

(2) 影響評価 ⑤影響評価の結果 (設備) (6/7)

V. 屋外二重管 (B-B断面)

屋外二重管のB-B断面に設置する設備 (配管) に対する影響評価結果を以下に示す。

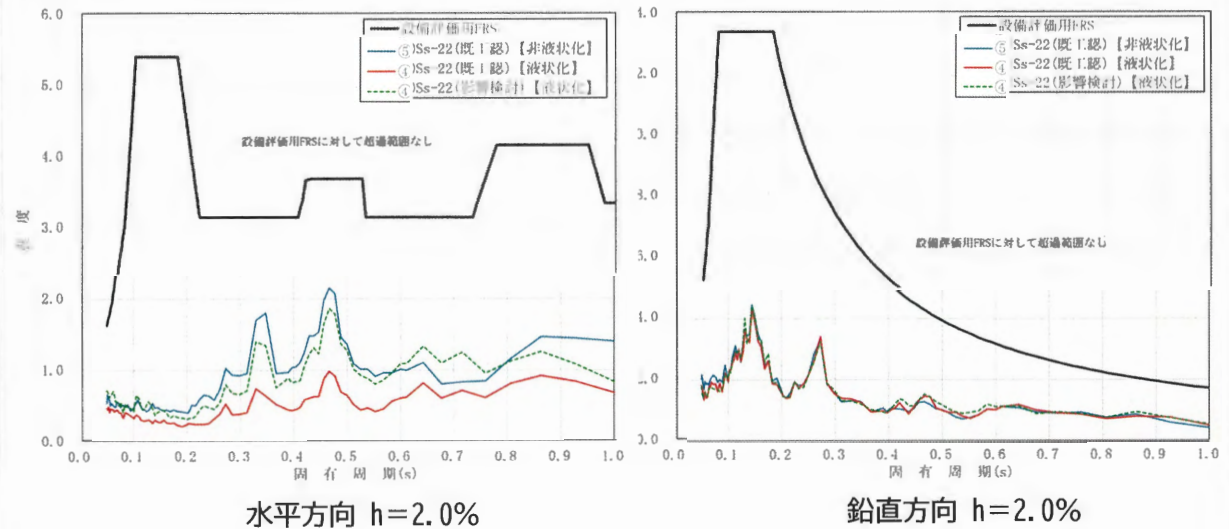
最大応答加速度 (ZPA) 比較

評価断面	EL.(m)	方向	最大応答加速度 ($\times 9.8m/s^2$)				比率 (I/II)
			⑤ Ss-22 (既工認) 【非液化化】	④ Ss-22 (既工認) 【液化化】	(I) ④ Ss-22 (影響検討) 【液化化】	(II) 設備評価用 (既工認)	
屋外二重管 (B-B断面) (杭基礎部1)	(φ1800mm) 3.375 2.475 1.575	水平	0.49	0.39	0.50	0.67	0.75
		鉛直	1.44	1.30	1.09	1.44	0.76
	(φ2000mm) 3.475 2.475 1.475	水平	0.51	0.37	0.42	0.80	0.53
		鉛直	1.39	1.02	1.11	1.49	0.75

【比較結果】

影響検討モデルによるZPAは、既工認時のZPAと比べると若干増減するものの、既工認時の耐震評価に適用した設備評価用ZPAに対して十分余裕があることを確認した。

床応答曲線 (FRS) 比較



【比較結果】

影響検討モデルによるFRS (緑破線) は、既工認時のFRS (赤, 青実線) と比べると若干増減するものの、設備評価用FRS (黒実線) に対して十分な余裕があることを確認した。

VI. 設備評価における影響検討結果（まとめ）

各設備が設置されている断面において，追加地盤改良体を反映したモデルにより算出した最大応答加速度及び床応答曲線を既工認時の結果と比較したところ，増減はあるものの，既工認時の耐震評価に適用している設備評価用最大応答加速度及び床応答曲線に対して下回っていることから，構造変更に伴う地盤改良体とその周辺設備の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

【参考1】耐津波評価（強度評価）に係る影響検討の要否について

➤ 施設の影響検討について

津波防護施設の津波に対する強度評価のうち、津波時には追加地盤改良体による設計条件（津波荷重（津波波圧及び漂流物による衝突荷重）、地盤バネ等）の変更はない。

余震との重畳時には、余震の影響を考慮しても追加地盤改良体が剛性低下しないため、基礎の側方抵抗力が向上し、重畳時の荷重に対する施設の耐津波裕度が向上する（右図参照）。

また、余震荷重の算定に用いる1次元地盤応答解析においては、周辺地盤が改良されることで“非液状化”の条件となる。本条件は既工認時において考慮済の設計条件であり、これによる強度評価は実施済である。

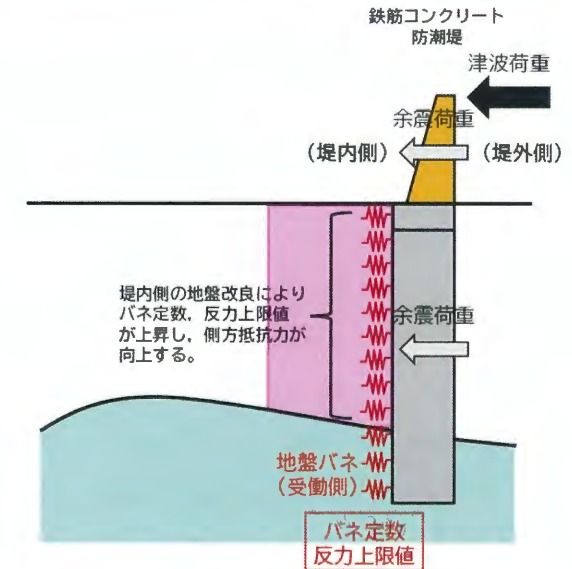
以上より、施設の強度評価に対する影響検討は不要であると判断する。

➤ 設備の影響検討について

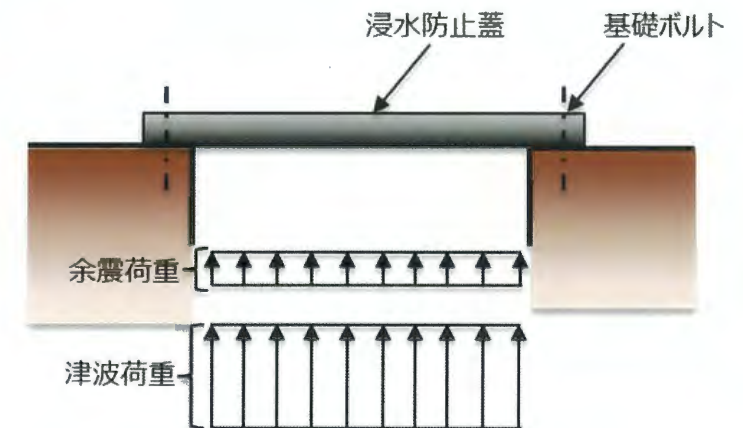
浸水防止設備及び津波監視設備の津波に対する強度評価においては、右図に示すとおり津波荷重と余震荷重を主たる荷重として考慮しており、津波荷重が支配的である。

地盤改良体の追加による各設備の設置位置の変更がないため、津波荷重条件（津波荷重水位、津波の流速等）は変わらない。「耐震評価に対する影響検討」で示したとおり、追加地盤改良体を反映したモデルで算定した基準地震動 $S_s - D1$ の最大応答加速度は、既工認時とほぼ同様であった。そのため、余震荷重に用いる弾性設計用地震動 $S_d - D1$ も既工認時とほぼ同様である。

以上より、設備の津波に対する強度評価の影響検討は既工認時の結果と同様と考えられるため、不要であると判断する。



追加地盤改良体による側方抵抗力の向上イメージ



設備における強度評価イメージ

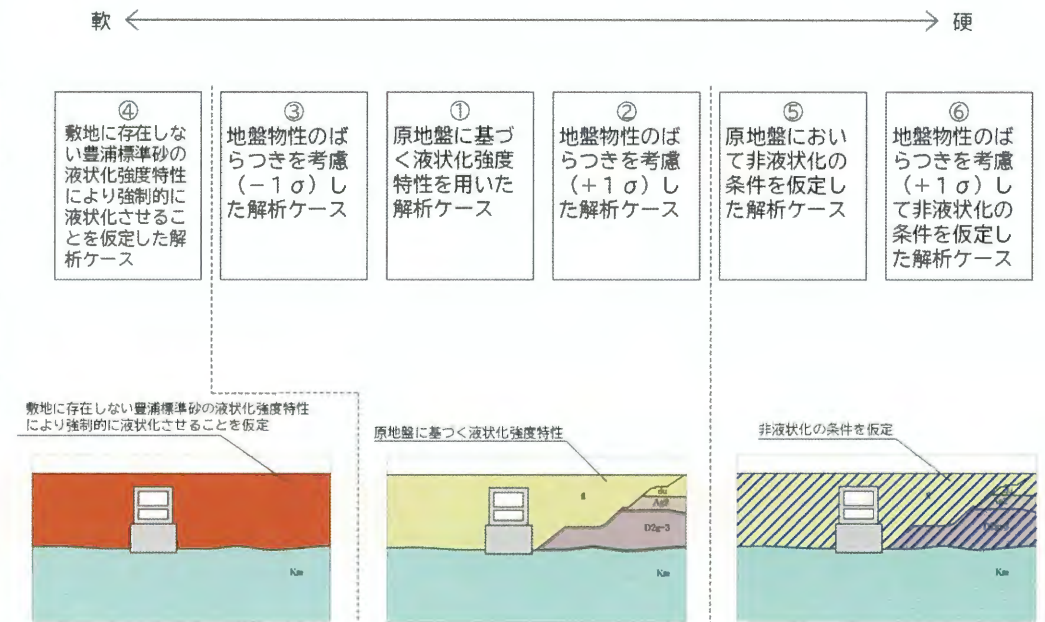
【参考2】地盤ケース・地震動の概要（1 / 2）

本影響検討において選定対象とする地盤ケース・地震動を以下に示す。これらは既工認時の設計条件である。

【地盤ケース】

耐震評価で考慮する地盤ケース一覧表

地盤ケース		地盤剛性の設定	液状化強度特性の設定
①	原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース (施設評価の基本ケース)	原地盤のせん断波速度	原地盤に基づく液状化強度特性(-1σ)
②	地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(+1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性(-1σ)
③	地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性(-1σ)
④	地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	敷地に存在しない豊浦標準砂のせん断波速度	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性
⑤	原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース (設備評価の基本ケース)	原地盤のせん断波速度	液状化パラメータを非適用
⑥	地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(+1σ)	液状化パラメータを非適用



耐震評価で考慮する地盤ケースの概念図

【参考2】地盤ケース・地震動の概要（2/2）

【地震動】

基準地震動 S_S 一覧表

基準地震動	備考
S_S-D1	応答スペクトル手法による基準地震動
S_S-11	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の同時活動（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点1）
S_S-12	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の同時活動（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点2）
S_S-13	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の同時活動（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点3）
S_S-14	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の同時活動（断層傾斜角の不確かさ，破壊開始点2）
S_S-21	2011年東北地方太平洋沖型地震（短周期レベルの不確かさ）
S_S-22	2011年東北地方太平洋沖型地震（SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳）
S_S-31	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

※ 基準地震動 S_S のうち、特定の方向性を有しない地震動（ S_S-D1 及び S_S-31 ）については、位相を反転させた場合の影響も確認する。

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画

- ①基本方針
- ②不具合事象の要因・原因
- ③施工方法の選定
- ④リスクを想定した対策の実施
- ⑤施工品質の確認
- ⑥まとめ

(2) 地盤改良の品質管理方法（審査会合コメント⑨，⑰及び⑱回答）

- ①審査会合コメント⑰回答
- ②審査会合コメント⑱回答
- ③審査会合コメント⑨回答

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ①基本方針

- 第1329回及び第1376回審査会合で、防潮堤（鋼製防護壁）の工事の基本方針，工事計画の実現性及び設計が安全側になっていることを説明した。
- 今回は品質が確保されていることを確認する具体的方法を説明する。

基本方針：不具合事象を踏まえて以下の通り策定（第1329回審査会合説明を再編集）

1) 施工方法の選定・確認

適用性，施工実績を踏まえ，不具合事象を回避できる施工方法を選定する。
全施工ステップについて，同様の不具合が発生しないことを確認する。

2) リスクを想定した対策の実施

各施工ステップにおけるリスクを網羅的に洗い出し，対策を施すことでその他全ての不具合の発生を防止する。
必要に応じ試験施工を実施し，計画通りの工事が確実にできることを確認する。

3) 施工品質の確認

施工ステップごとに工事が計画通り行われていることを直接確認できるように，品質を確認（検査）する項目・確認時期，確認方法を整理し，適用する。不具合を施工中及び施工後に速やかに検知・是正できる措置を講じる。



不具合事象の原因の要点（次頁参照）

- ・各施工ステップにおいてリスク想定が不十分であり，不具合の発生を予期できなかった
- ・工事が計画通り行われていることを直接確認せず，代替措置を講じなかった

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ②不具合事象の要因・原因

➤ 防潮堤（鋼製防護壁）の地中連続壁で発生した不具合事象の要因・原因は以下の通り。

不具合事象	要因	原因
コンクリート未充填	粘性土層（Ac層）のはらみ出し及び崩落	<ul style="list-style-type: none"> ・施工により溝壁（掘削面）付近の地盤（粘性土）が緩み、溝壁の安定性が確保されなかった。（施工の波及的影響（リスク）検討が不十分） ・溝壁は泥水の中で、その状態を目視等により直接確認できなかった。 ・目視に代わる有効な代替措置を講じなかった。
	崩落土砂の押上げ	<ul style="list-style-type: none"> ・溝壁が崩落し、底部に堆積した土砂が、その後のコンクリート打設により上方へ押し上げられた。
	崩落土砂等の残置	<ul style="list-style-type: none"> ・設置済みの鉄筋が干渉し、溝壁から崩落した土砂を除去するための機材が接近できず、全量の除去には至らなかった。
	SMW※による閉塞	<ul style="list-style-type: none"> ・溝壁下部の崩落に伴い、その上方にあるSMWの支持地盤が緩み、SMWがコンクリート打設範囲まではみ出した。
	未改良地山の崩落	<ul style="list-style-type: none"> ・溝壁崩落対策として地盤改良を行った結果、コンクリート打設による圧力が未改良地山に集中した。（施工の波及的影響（リスク）検討が不十分）
鉄筋の変形等	ハンマーグラブの接触	<ul style="list-style-type: none"> ・崩落土砂等の回収のためハンマーグラブを水中に沈降させた際、揺動により鉄筋かごと接触した。（施工計画の検討、リスク想定が不十分）
	鉄筋かご同士の接触	<ul style="list-style-type: none"> ・次の鉄筋かごを建て込んだ際にハンマーグラブとの接触で変形した設置済の鉄筋かごに接触した。 ・鉄筋かごの設置作業は不透明な安定液中で実施するため、設置済の鉄筋かごが変形していたことを目視等により直接確認できなかった。 ・目視に代わる有効な代替措置を講じなかった。

※Soil Mixing Wall:

土にセメントスラリーを原位置で混合攪拌し地中に造成した壁体。浅部の崩落防止のために施工されていた。

不具合事象の原因の要点

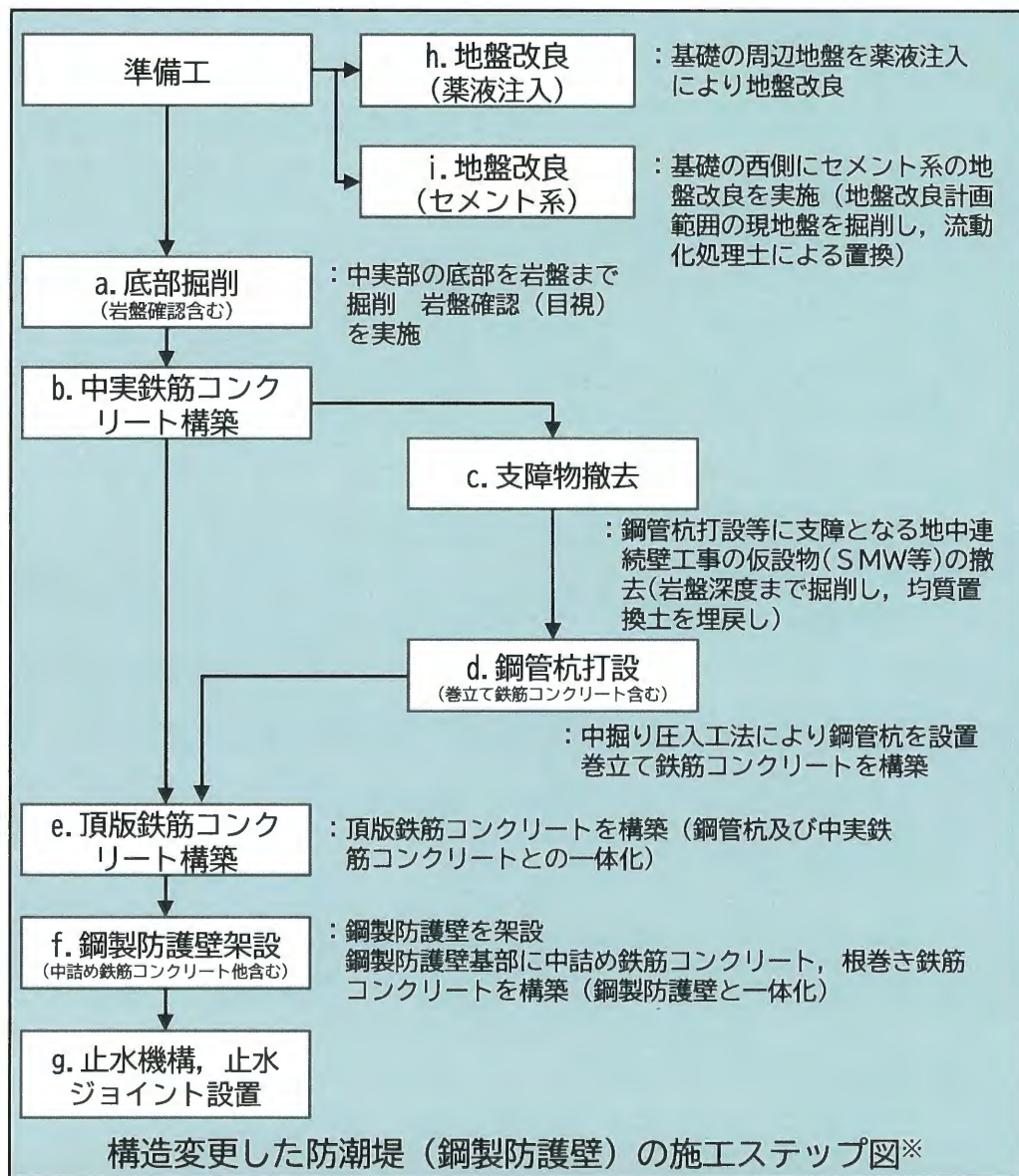
- ・各施工ステップにおいてリスク想定が不十分であり、不具合の発生を予期できなかった
- ・工事が計画通り行われていることを直接確認せず、代替措置を講じなかった

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ③施工方法の選定・確認

- 不具合事象の原因である「各施工ステップにおいてリスク想定が不十分であり、不具合の発生を予期できなかった」ことを踏まえ、施工計画の詳細を確認した。
- 構造変更した防潮堤（鋼製防護壁）の施工について、施工ステップ図（右図）を作成し、施工の流れや手順を確認した。
- なお、構造変更により新たに必要となった施工ステップについては、当発電所での施工実績・適用性に基づき、施工方法を選定（下表）した。

施工ステップ	選定した施工方法	施工実績・適用性
鋼管杭打設	中掘り圧入工法	同等の杭径・掘削深度での施工実績あり（防潮堤工事）
地盤改良（セメント系）	掘削・置換工法（流動化処理土）	同等の掘削規模・要求品質の施工実績あり（耐震補強工事）
地盤改良（薬液注入）	浸透注入工法（結束細管多点注入方式）	同種地盤，類似深度の施工実績あり（既実施部）



※工事の流れの基本を示した図であり，工事の細部で施工ステップ図と異なる順序で施工を実施する可能性がある。

(1) 施工計画 ③施工方法の選定・確認

注記：青字は対策等の例として後述するもの

- ▶全施工ステップについて、不具合事象の原因と関連する可能性のある施工ステップを抽出した。これらについて、同様の不具合事象発生の可能性を検討した。
- ▶下表に示す通り、今回採用する施工方法では**不具合事象は再発しない**ことを確認した。

不具合事象	該当する施工ステップ	不具合事象が再発しないことの確認結果
地盤のはらみ出し (下記2つの不具合事象に共通する重大な要因のため抽出)	i. 地盤改良 (セメント系)	・掘削・置換時は、鋼矢板・SMW及び切梁の構造体で土留めしており、はらみ出し・崩落は発生しない。
コンクリート未充填	b. 中実鉄筋コンクリート構築 d. 鋼管杭打設・巻立て鉄筋コンクリート構築 e. 頂版鉄筋コンクリート構築 f. 鋼製防護壁架設 (中詰め鉄筋コンクリート構築, 根巻きコンクリート構築)	・堅固な型枠 (中実鉄筋コンクリートは地中連続壁, 中詰め鉄筋コンクリートは鋼製防護壁) を用いてコンクリートを打設する。 ・コンクリートの打設前に、型枠内の土砂等異物の有無を目視で検知でき、撤去可能。 ・コンクリートの充填状況は打設作業中に目視で確認可能。
	d. 鋼管杭打設	・鋼管杭内に残った土砂はコンクリート打設前にバケツ掻き取り等の孔底処理※1により除去する。 ・土砂が残置していないことをレッド測量※2により確認(P47対策④)する。 ・コンクリートの打ち上がり高さはレッド測量により確認する。
鉄筋の変形等	b. 中実鉄筋コンクリート構築 d. 鋼管杭打設・巻立て鉄筋コンクリート構築 e. 頂版鉄筋コンクリート構築 f. 鋼製防護壁架設 (中詰め鉄筋コンクリート構築, 根巻きコンクリート構築)	・鉄筋は設置場所にて目視可能な状況で組み立てるため、鉄筋同士の交錯は発生しない。 ・現場状況が目視で把握できる作業であり、鉄筋の変形等は検知でき、仮に変形しても再施工は可能である。

※1：中掘り圧入工法などの杭施工で、掘削孔の底部に溜まったスライム（泥土・切削粉などの堆積物）を除去する作業
 ※2：水深を正確に測るための測深用目盛り付きロープを用いた測深

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ④リスクを想定した対策の実施

注記：青字は対策等の例として後述するもの

- さらに、各施工ステップにおけるその他のリスクを網羅的に洗い出し、その対策を施すことで施工の実現性を確保する。
- 下表に示す通り、施工中に想定されるリスクに対して、必要な対策を講じることが可能であることを確認した。

施工ステップ	施工中に想定されるリスク	対策
a. 底部掘削	<ul style="list-style-type: none"> ・ 底部より湧水が発生し、基礎底面が整備できない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 止水工及び湧水処理により床付け処理の作業が可能であることを確認した。
b. 中実鉄筋コンクリート構築	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太径鉄筋の高密度な配筋を多重に構築するため、鉄筋の組立精度が確保できず、鉄筋を計画通り組み立てられない。 ・ 太径鉄筋による高密度な配筋のためコンクリートの流動性が阻害され、コンクリートの未充填部が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 組立工程において鉄筋が計画した精度内に位置することを確認する手順を設定した。 ・ 実規模のモックアップによる鉄筋組立試験(P45)を実施し、必要な組立精度が確保可能であることを確認した。 ・ 高流動コンクリートを採用する。 ・ 実規模の組立鉄筋モックアップを用いたコンクリート充填試験(P46)を実施し、コンクリートが狭隙部まで充填されていることを確認した。
c. 支障物撤去	<ul style="list-style-type: none"> ・ 支障物が想定より硬く、計画深さまで撤去できない。 ・ 支障物を撤去するための掘削用ケーシングが周辺地盤との摩擦で固着する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 支障物撤去は再施工が可能である。 ・ 掘削用ケーシングより外径が若干太い掘削具（フリクションカッター）を取り付けることで、大きな摩擦の発生を防止する。
d. 鋼管杭打設	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鋼管杭が摩擦により周辺地盤と固着する。 ・ 地盤の不均一性の影響で鉛直に打設できず、隣接する鋼管杭と接触する。 ・ 鋼管杭内部にボイリング現象※が発生し、鋼管杭周りの土が流動化することにより、鉛直精度が確保できない。 ・ 鋼管杭周辺のスタッドと巻立て鉄筋コンクリートの鉄筋が干渉し、計画通り組み立てられない。 ・ 鋼管杭打設の施工荷重（重機荷重）が鋼管杭の鉛直精度に影響を与え、設計深さまで打設できない。 ・ 鋼管杭の溶接不良が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鋼管杭にフリクションカッターを取付ける(P47対策②)。 ・ 堆積層まで均質置換土に置換(P47対策③)する。 ・ 杭鉛直精度管理システムで精度(P47対策①)を確保する。 ・ 地下水位と合わせるよう鋼管杭内に水を張り、ボイリング(P47対策⑥)を防止する。 ・ 3次元CADによる鉄筋干渉の確認(P47対策⑤)により、鉄筋組立が可能であることを確認した。 ・ 杭鉛直精度管理システムで精度を確保する。 ・ 規格基準に準拠した溶接条件・熱管理条件により溶接し、非破壊検査を実施する。

※：掘削や地下水位の高い地盤で、下からの湧水圧が大きくなり、砂や土粒子が湧き上がるように動き、地盤が流動化してしまう現象

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ④リスクを想定した対策の実施

注記：青字は対策等の例として後述するもの

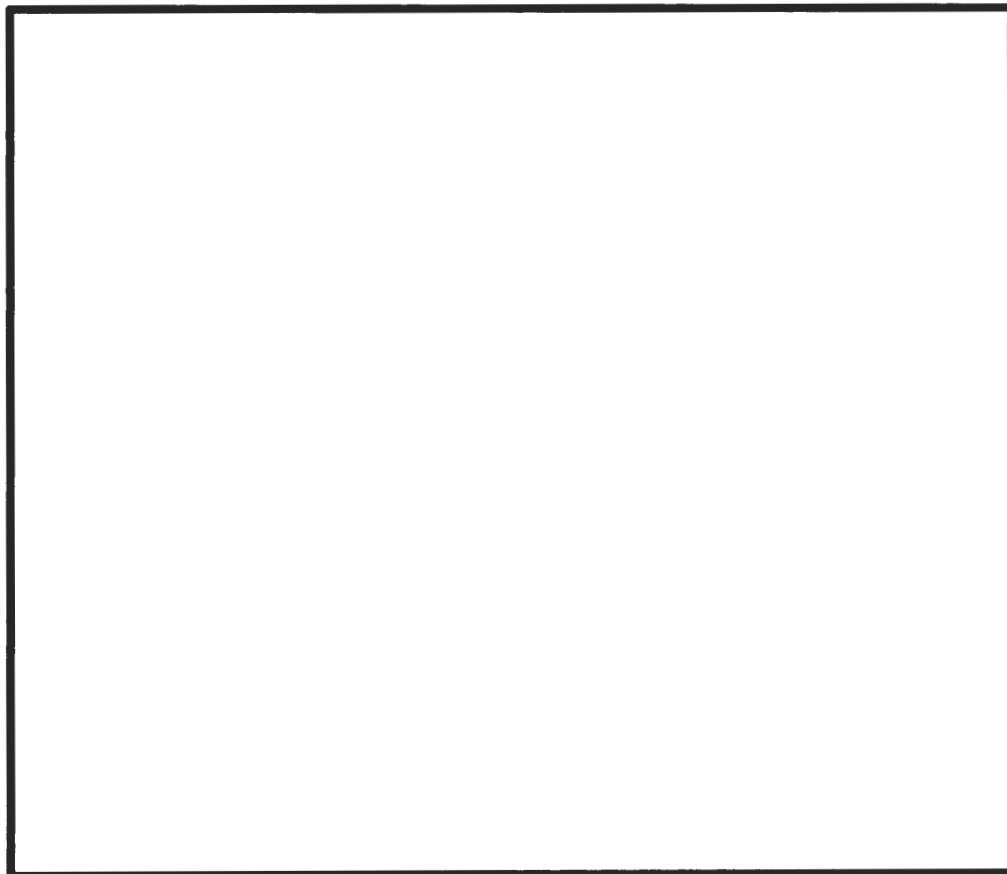
施工ステップ	施工中に想定されるリスク	対策
e. 頂版鉄筋コンクリート構築	<ul style="list-style-type: none"> 上下の構造と接続する鉛直鉄筋，下部構造の定着鉄筋及び頂版鉄筋コンクリートの鉄筋はいずれも太径鉄筋であり，これらを高密度に配筋するため，相互に干渉し，計画通り組み立てられない。 太径鉄筋による高密度な配筋のためコンクリートの流動性が阻害され，コンクリートの未充填部が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元CADによる鉄筋干渉の確認(P48)により，鉄筋組立が可能であることを確認した。 組立工程において鉄筋が計画した精度内に位置することを確認する手順を設定した。 高流動コンクリートを採用する。 配筋が中実鉄筋コンクリートより粗であるため，コンクリート充填試験結果が適用可能。
f. 鋼製防護壁架設	<ul style="list-style-type: none"> 高強度鋼材（SBHS700）を溶接するため，溶接品質が確保できない。 	<ul style="list-style-type: none"> 当該材料に対する溶接施工試験を実施し，品質を確保できる溶接条件を整備した。
g. 止水機構，止水ジョイント設置	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製防護壁の設置精度が悪く，止水機構，止水ジョイントが計画通り設置できない。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製防護壁は自重によるたわみを想定し，設置高さを管理する等により設置精度が確保されていることを確認する。
h. 地盤改良（薬液注入）	<ul style="list-style-type: none"> 施工深度が50mを超えるため，施工機械が対応せず（圧力不足等），改良品質が確保できない。 施工深度が50mを超えるため，ボーリングの孔曲がりの影響が大きく薬液注入位置が計画位置からずれる。 地中での施工であり，施工結果を直接，把握しにくい。 	<ul style="list-style-type: none"> 計画地点近傍で本工事での最大深度（深さ50m超）の地盤改良試験施工を実施(P49)し，所定の改良品質を達成できることを確認した。 ボーリングの削孔誤差を考慮し，注入範囲を広めに計画する。 土木事業でのリスクマネジメント手法を活用し，幅広くリスク対策を講じる（「(2)地盤改良の品質管理方法」で説明）。 品質確認を規格基準以上に強化・拡充する（「(2)地盤改良の品質管理方法」で説明）。
i. 地盤改良（セメント系）	<ul style="list-style-type: none"> 土留めの止水性が不足し，地下水が土留め壁面より出水し，施工が困難になる。 底面の粘性土層の強度が荷重に対し不足し，掘削底面がヒービング現象※により不安定化する。 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削深度が深い北基礎は剛性及び止水性の高いSMWを土留めに採用する。 掘削前に高圧噴射攪拌工法によるセメント固化を実施し，底面下方の地盤の強度を高める。

※掘削作業中に土留め背面の土の重量や地表面荷重等によって掘削底面が押し上げられる現象

（1）施工計画 ④リスクを想定した対策の実施（具体例）

I. b. 中実鉄筋コンクリート構築に係る鉄筋組立試験

- 設計の構造図に基づき、施工の成立性を確認するため右図に示す配筋の組立試験を行った。組立は実施工と同じ、1施工分の高さ3.3mを施工した。
- 組立は現地の施工環境を模擬するため、周囲を板で囲うことで地中連続壁内空（10.7m×10.7m）を再現し、この内空の中のみで作業した。



モックアップ試験体（組立完了状態）

【結果】設計・計画通りの組立位置を実現可能（必要な組立精度が確保可能）であり、設計への影響はないことを確認した。



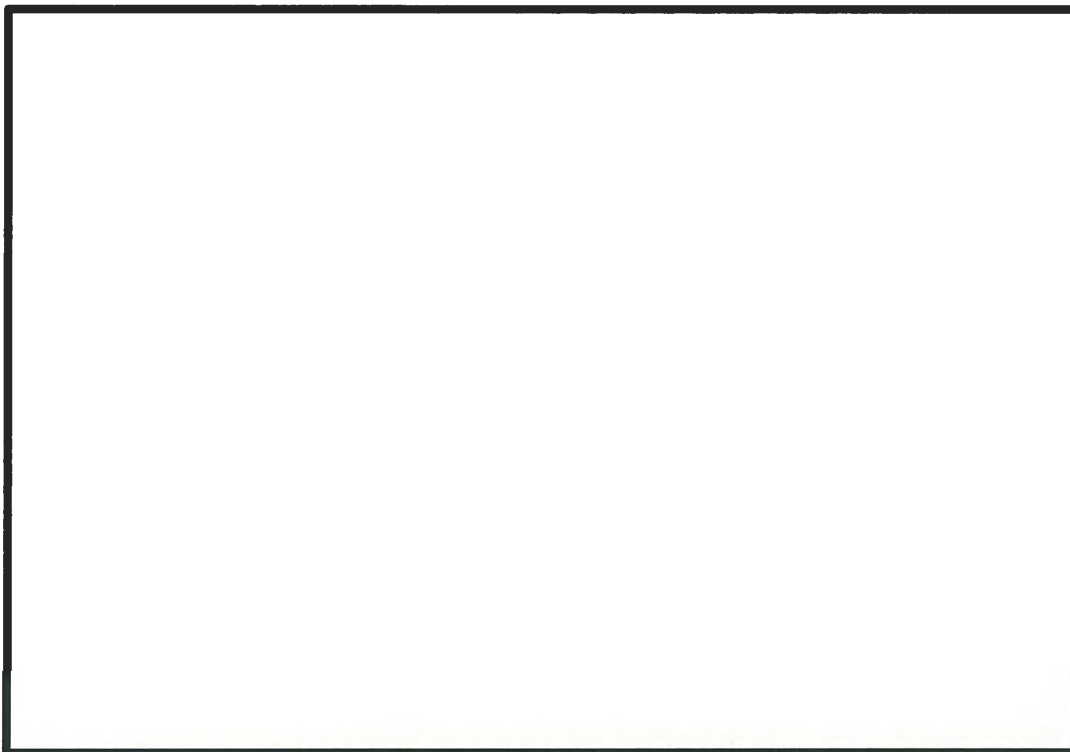
モックアップ試験配筋図（南基礎）

（1）施工計画 ④リスクを想定した対策の実施（具体例）

II. b. 中実鉄筋コンクリート構築に係るコンクリート充填試験

試験体の配筋図は下図の通り。

- 計画の1/4、高さ約1m分の実配筋を組み立て、実施工に使用予定の高流動コンクリート（自己充填性：ランク1：スランプフロー700mm）を高さ約1m打設し、コンクリートの流動状況、流動距離を確認した。
- 実施工を想定し、コンクリートの打設は1層高さ30cmとして3層約1m分行い、流動状況を確認した。試験体硬化後、切断してコンクリートの充填を確認した。
- 打設孔の位置検討のため、打設孔での高さが30cmとなる時点での水平方向の流動範囲（流動距離）を確認した。



モックアップ試験体 観察箇所



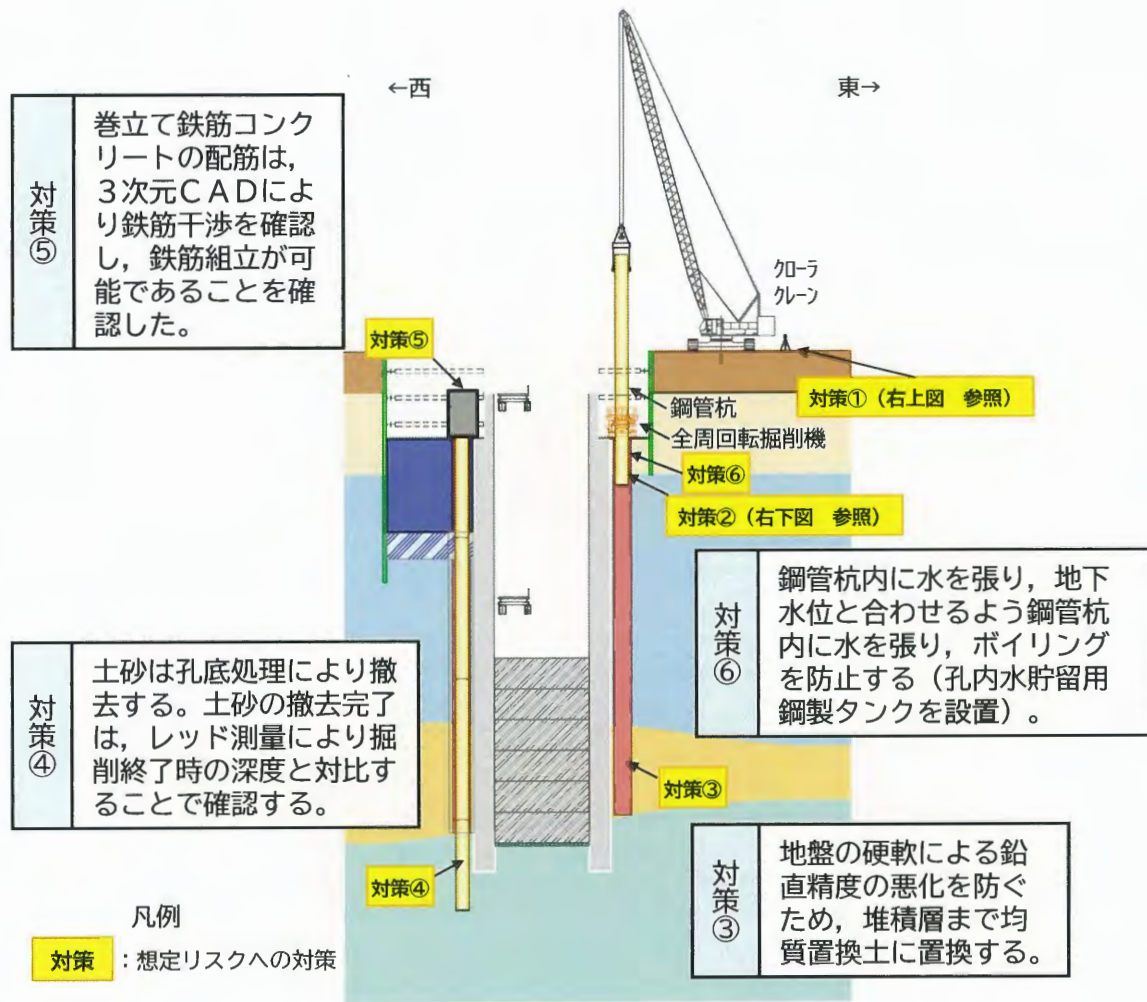
試験体の切断観察結果

【結果】太径鉄筋の高密度な配筋に対してもコンクリートの充填性に問題はなく、設計への影響はないことを確認した。

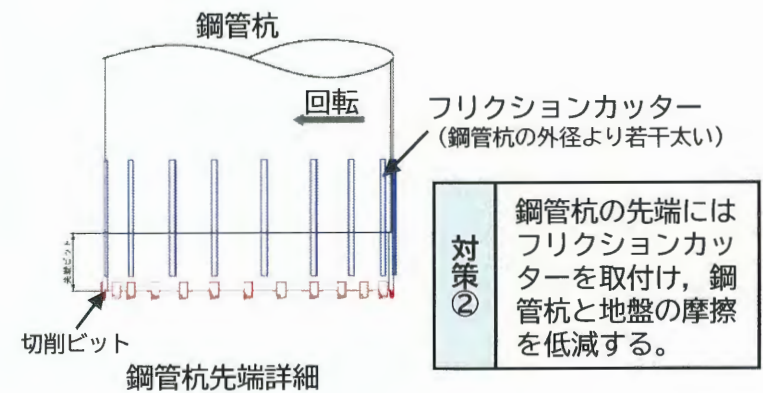
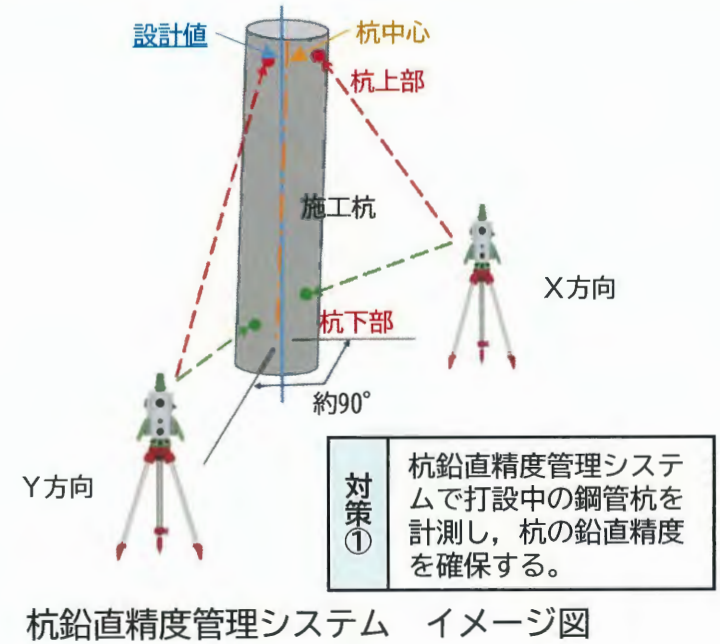
3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ④リスクを想定した対策の実施 (具体例)

Ⅲ. d. 鋼管杭打設時に係る想定リスク及びその対策



鋼管杭打設時における想定リスクとその対策の概要



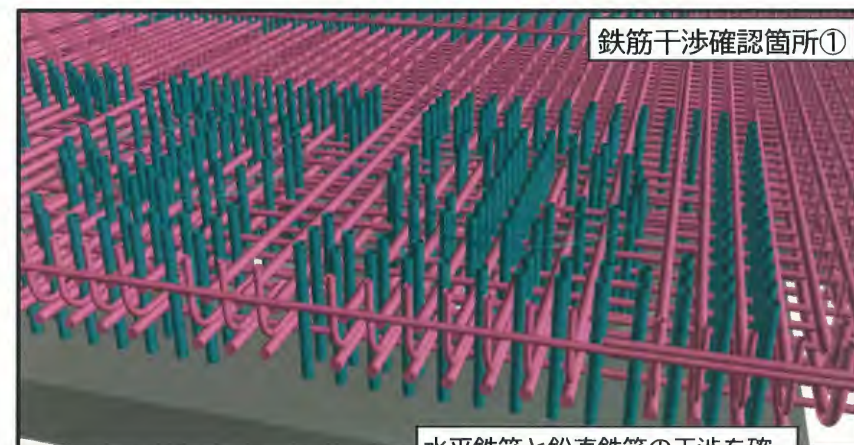
3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ④リスクを想定した対策の実施（具体例）

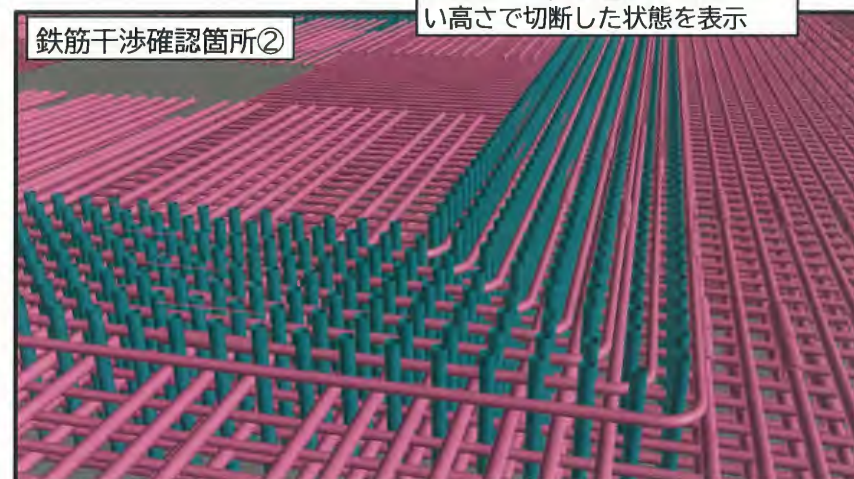
IV. e. 頂版鉄筋コンクリート構築における太径鉄筋の高密度な配筋の干渉の有無の確認



頂版鉄筋コンクリート配筋図（鉛直断面図より抜粋）



水平鉄筋と鉛直鉄筋の干渉を確認するため、鉛直鉄筋を見やすい高さで切断した状態を表示



3次元CADによる干渉確認

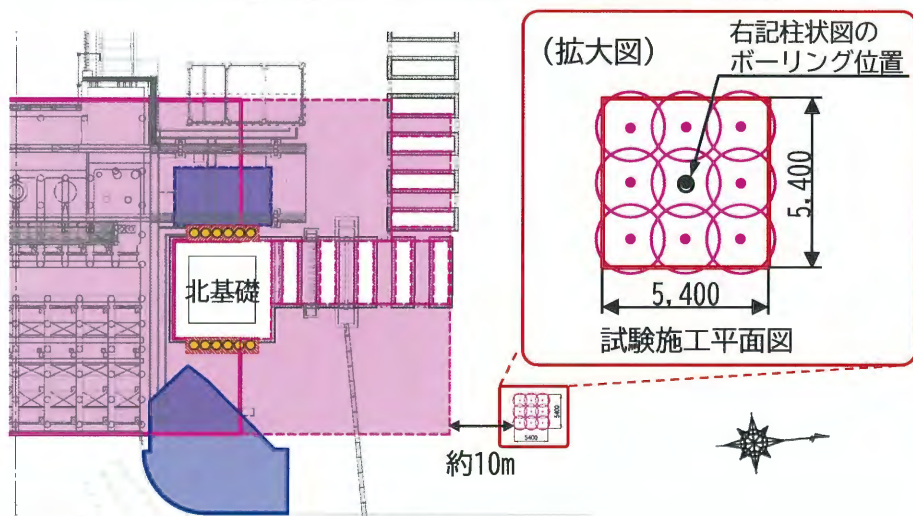
【結果】3次元CADにより、鉄筋同士の干渉がないことを確認した。

3. 施工計画及び品質管理方法

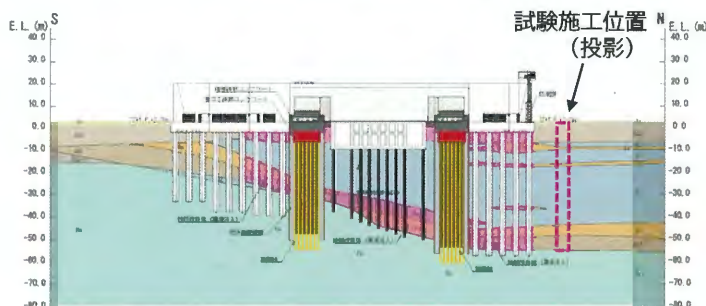
(1) 施工計画 ④リスクを想定した対策の実施 (具体例)

V. h. 地盤改良 (薬液注入) の試験施工

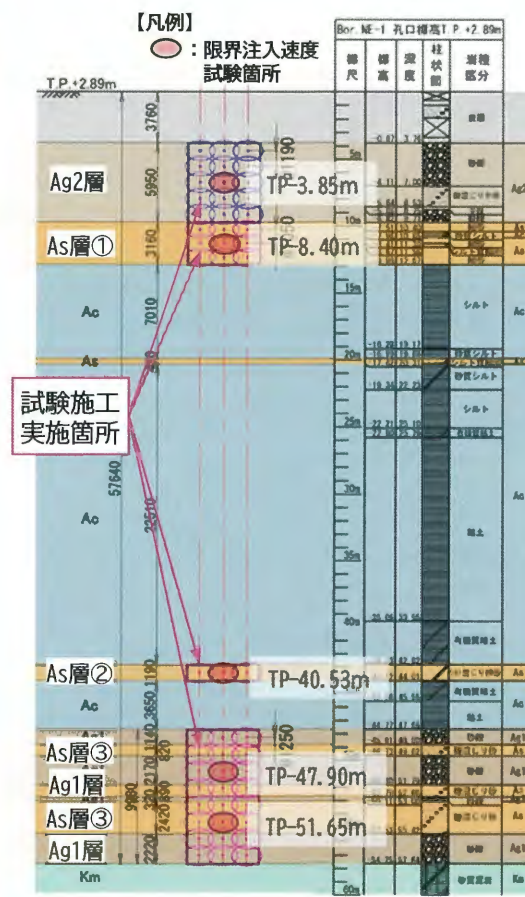
地盤改良 (薬液注入) の実施では、既実施の薬液注入深度より深い位置への注入が必要となる。このため、試験施工においては、実施工と同等の地質分布を有する候補地点の中から、実施工範囲の近傍地点 (離隔距離約10m) を代表として選定し、大深度まで施工を実施した。



試験施工実施位置図



地質断面図 (防潮堤 (鋼製防護壁) 堤軸位置)



試験施工実施箇所の地盤状況

採取場所	採取深度	シリカ含有量増分量 (mg/g)	合否	
			管理基準値	判定
Ag2層	T.P. -1.41m ~-1.51m	21.2	≧ 5.1	合格
Ag2層	T.P. -3.31m ~-3.41m	10.8	≧ 5.1	合格
Ag2層	T.P. -6.41m ~-6.51m	12.2	≧ 5.1	合格
As層①	T.P. -8.86m ~-8.96m	24.6	≧ 8.0	合格
As層②	T.P. -40.41m ~-40.51m	11.6	≧ 8.0	合格
Ag1層	T.P. -45.86m ~-45.96m	37.3	≧ 7.3	合格
As層③	T.P. -46.26m ~-46.36m	27.6	≧ 8.0	合格
Ag1層	T.P. -48.61m ~-48.71m	10.6	≧ 7.3	合格
As層③	T.P. -49.41m ~-49.51m	12.0	≧ 8.0	合格
As層③	T.P. -50.36m ~-50.46m	31.3	≧ 8.0	合格
Ag1層	T.P. -53.71m ~-53.81m	40.6	≧ 7.3	合格

試験施工の事後調査結果

【結果】 計画と同じ大深度 (深さ50m超) の地盤改良において、シリカ含有量増分量が管理基準値を満足しており、計画通りの施工が可能であること及び所定の改良品質を達成できることを確認した。

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ⑤施工品質の確認

I. 基本方針

- 不具合事象の原因である「工事が計画通り行われていることを直接確認せず、代替措置を講じなかった」ことを踏まえ、以下の観点から施工品質の確認方法を検討し、整理した。

【観点1】 「計画通り施工が行われていること」を確実にする。

【観点2】 「不具合を速やかに検知し、是正できること」を確実にする。

- この観点から、確認すべき項目、方法、時期を明確化して整理した。

明確化した事項

確認項目 各工程で、工事の品質（設計要求への適合）が確保されていることを確認すべき全ての項目

以下の優先順位で確認方法を選定する。

- 確認方法**
- ① 品質の確認方法は現地で目視、寸法測定するなど直接確認できる方法を採用する。
（例：鉄筋の組立状況、構造物の外観、鋼管杭の位置）
 - ② 目視、寸法測定などの直接確認が適用できないものについては他の定量的な方法を採用する。
（例：溶接部の非破壊検査、鋼管杭の傾斜量）
 - ③ 当該箇所より採取した試料による確認（例：地盤改良試料の成分分析）
 - ④ 供試体を用いた試験で確認（例：作成した供試体の破壊試験（コンクリート、グラウトの圧縮強度））
 - ⑤ 他に定量的な確認方法を採用できない場合であって、メーカーの記録が取得可能なものについては、当該メーカー記録に基づき仕様を確認する。（例：ミルシート、配合計画書）

- 確認時期**
- ・ 作業完了後速やかに品質を確認する。
 - ・ コンクリート及びグラウト材の強度確認は規格基準に定められた時期に実施する。

- 上記に加え、工事の信頼性向上として定点カメラ等を活用した工事管理の高度化（見える化）を採用する

次ページ以降で、主要な施工ステップ（中実鉄筋コンクリート構築、鋼管杭打設、地盤改良（薬液注入））を例に整理結果を説明する。

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ⑤施工品質の確認

II. 各施工ステップの確認 (b. 中実鉄筋コンクリート構築)

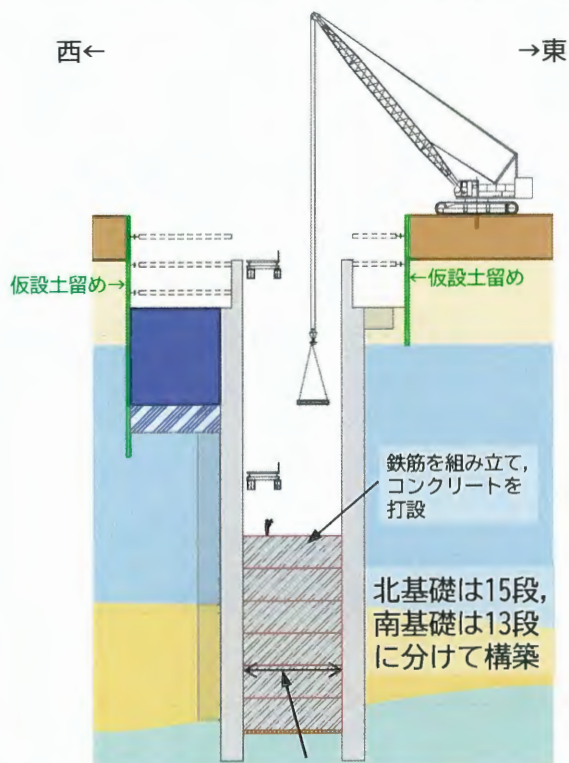
(1) 施工方法の概要

- 約3mを1段として、鉄筋コンクリートを多段に分けて岩盤より構築（北基礎15段，南基礎13段）
- 鉄筋コンクリート工事に先立ち，コンクリートの型枠の役目となる地中連続壁について壁面凹凸の整形を実施

(2) 工事が計画通り行われていることの確認の方法

- 工事の品質を確認する項目，方法，時期を下表の通り整理した。
- 中実鉄筋コンクリート構築に係る品質確認は，I. 基本方針に示した確認の優先順位に従い実施する。また，これらの確認結果は品質に係る記録として保管する。

工程	確認項目	確認方法		時期
壁面整形工 ・はつり ・吹付け	吹付前の壁面の状態	壁面に空洞がないことを目視により確認	目視	はつり後
	吹付材の強度	吹付け前に作製した供試体を用い，強度発現後に圧縮強度試験により確認	供試体を用いた試験	吹付後
	吹付後の外観	ひび割れ・突起，材料分離など有意なものがないこと	目視	吹付後
	吹付後の形状	内空寸法を計測し，設計値と照合（中鉄筋コンクリート構造部の寸法計測）	計測	吹付後
鉄筋組立工	鉄筋の材料・寸法	現物と図面・ミルシートの照合	目視，計測，記録	組立前
	機械式継手の材料・寸法	現物と図面・ミルシートの照合	目視，計測，記録	組立前
	機械式継手の施工	鉄筋挿入長さ，グラウト充填等の状態確認	目視	施工中
	機械式継手グラウト材の圧縮強度	グラウト材製造時に作製した供試体を用い，強度発現後に圧縮強度試験により確認	供試体を用いた試験	施工後
	鉄筋の組立	鉄筋の組立状態と計画図の照合	目視，計測	組立後
コンクリート打設工	配合計画書等	配合計画書，材料試験結果の確認	図書・記録	施工前
	生コンクリートの性状	生コンクリート受入時にスランプフロー試験等（温度他）を実施し，計画値と照合	計測	施工中
	コンクリートの圧縮強度	生コンクリート受入時に作製した供試体を用い，強度発現後に圧縮強度試験により確認	供試体を用いた試験	施工後
	コンクリートの打込み及び締固め	目視によりクラック，沈降がないことを確認	目視	施工後



地中連続壁部の内空は中実鉄筋コンクリートの外形となることから，中実鉄筋コンクリートの施工前に地中連続壁内空側壁面の凹凸を整形（平滑化）し，内空寸法を確保する。

中実鉄筋コンクリート構築 施工イメージ

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ⑤施工品質の確認

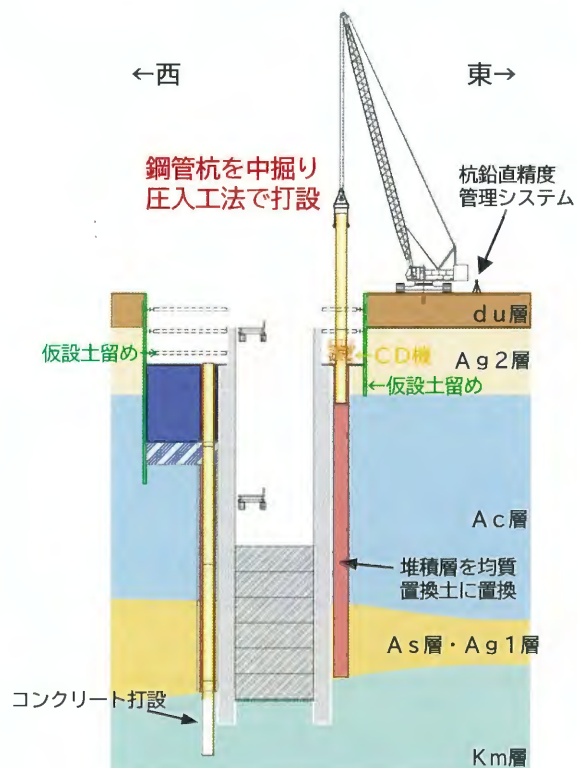
II. 各施工ステップの確認 (d. 鋼管杭打設 (1/2))

(1) 施工方法の概要 (鋼管杭打設工)

- 鋼管杭は発電所で実績のある中掘り圧入工法で打設
- 分割された鋼管杭を各々溶接しながら計画深度まで圧入
- 中掘りした鋼管杭の先端にコンクリートを打設

(2) 工事が計画通り行われていることの確認の方法

- 工事の品質を確認する項目、方法、時期を下表の通り整理した。
- 鋼管杭打設のうち鋼管杭打設工に係る品質確認は、I. 基本方針に示した確認の優先順位に従い実施する。また、これらの確認結果は品質に係る記録として保管する。



鋼管杭打設 施工イメージ図

工程	確認項目	確認方法		時期
鋼管杭打設工	鋼管杭の材料・寸法	現物と図面・ミルシートの照合	目視, 計測, 記録	施工前
	現場溶接の材料	現物と品質証明書の照合	目視, 記録	施工前
	杭芯位置	杭芯位置を測量し、図面と照合	測量	施工前
	鋼管杭の傾斜	杭の傾斜を傾斜計等で計測	計測	施工中
	鋼管杭溶接	溶接条件(入熱量等)を目視により確認	目視	施工中
	鋼管杭溶接	外観形状確認, 非破壊検査による確認	目視, 検査	施工後
	鋼管杭打設	基準高, 偏芯量, 傾斜量の計測	測量	施工後
	孔底処理	レッド測量による確認	測量	施工後
コンクリート打設工	配合計画書等	配合計画書, 材料試験結果の確認	図書・記録	施工前
	生コンクリートの性状	生コンクリート受入時にスランプ試験等(温度他)を実施し, 計画値と照合	計測	施工中
	コンクリートの圧縮強度	生コンクリート受入時に作製した供試体を用い, 強度発現後に圧縮強度試験により確認	供試体を用いた試験	施工後
	コンクリートの長さ	寸法を計測し, 設計値と照合	計測	施工後

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ⑤施工品質の確認

II. 各施工ステップの確認 (d. 鋼管杭打設 (2/2))

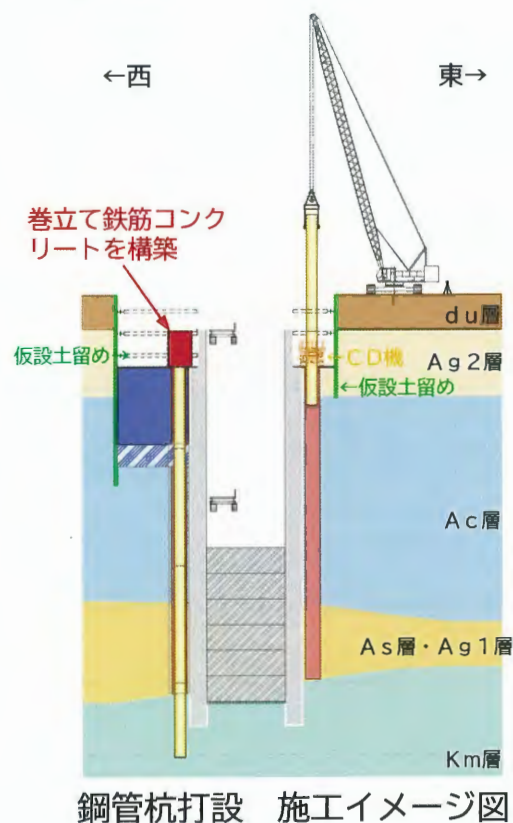
(1) 施工方法の概要

(巻立て鉄筋コンクリート)

- 鋼管杭打設後、上杭を溶接
- 上杭の周囲に巻立て鉄筋コンクリートを構築

(2) 工事が計画通り行われていることの確認の方法

- 工事の品質を確認する項目、方法、時期を下表の通り整理した。
- 鋼管杭打設のうち巻立て鉄筋コンクリートに係る品質確認は、I.基本方針に示した確認の優先順位に従い実施する。また、これらの確認結果は品質に係る記録として保管する。



工程	確認項目	確認方法		時期
鉄筋組立工	鉄筋の材料・寸法	現物と図面・ミルシートの照合	目視, 計測, 記録	組立前
	機械式継手の材料・寸法	現物と図面・ミルシートの照合	目視, 計測, 記録	組立前
	機械式継手の施工	鉄筋挿入長さ, グラウト充填等の状態確認	目視	施工中
	機械式継手グラウト材の圧縮強度	グラウト材製造時に作製した供試体を用い, 強度発現後に圧縮強度試験により確認	供試体を用いた試験	施工後
	鉄筋の組立	鉄筋の組立状態と計画図の照合	目視, 計測	組立後
コンクリート打設工	配合計画書等	配合計画書, 材料試験結果の確認	図書・記録	施工前
	型枠工	コンクリート打設前に型枠位置を測量し, 図面と照合	測量	施工中
	生コンクリートの性状	生コンクリート受入時にスランプフロー試験等(温度他)を実施し, 計画値と照合	計測	施工中
	コンクリートの圧縮強度	生コンクリート受入時に作製した供試体を用い, 強度発現後に圧縮強度試験により確認	供試体を用いた試験	施工後
	構造物の寸法	寸法を計測し, 設計値と照合	計測	施工後
	コンクリートの打込み及び締固め	目視によりクラック, 沈降がないことを確認	目視	施工後

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ⑤施工品質の確認

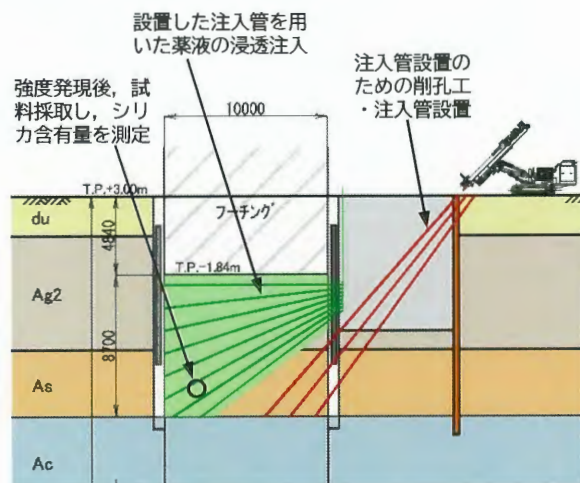
II. 各施工ステップの確認 (h. 地盤改良 (薬液注入))

(1) 施工方法の概要

- 改良対象土層までボーリングにより注入管を設置し、注入管から地盤に薬液を浸透注入
- 注入後、改良範囲からボーリングで試料を採取し、改良品質を確認

(2) 工事が計画通り行われていることの確認の方法

- 工事の品質を確認する項目、方法、時期を下表の通り整理した。
- 地盤改良 (薬液注入) に係る品質確認は、I. 基本方針に示した確認の優先順位に従い実施する。また、これらの確認結果は品質に係る記録として保管する。



地盤改良 (薬液注入) 施工イメージ
(既設構造物 (フォーチング) 直下の施工方法)

工程	確認項目	確認方法		時期
削孔工 (ボーリング)	削孔位置, 削孔角度	測量, 計測により確認	測量, 計測	削孔前
	削孔長	ケーシング検尺により確認	計測	削孔後
	注入管の仕様	注入管のノズル数, 間隔, 全長を目視, 計測により確認	目視, 計測	挿入前
	注入管の位置	注入管の位置を計測	計測	挿入後
	グラウト材の材料	分析報告書による確認	記録	充填前
	グラウト材の比重	比重測定により確認	計測	充填前
注入工	グラウトの充填	充填されている状態を目視にて確認	目視	充填後
	薬液の材料	試験成績表等の確認及び比重測定との照合	記録, 計測	注入前
	流量計の校正	実測値と計測値の誤差により確認	計測	注入前
	注入薬液の品質	pH測定により確認	計測	注入前
	注入速度・注入圧力	流量計 (モニタ) により確認	目視	注入中
事後調査 ・ボーリング (試料採取) ・試料分析	注入量	流量計 (積算流量, モニタ), タンク容量の目視により確認	目視	注入後
	ボーリング位置, 角度	測量, 計測により確認	測量, 計測	削孔前
	ボーリング深度	ケーシング検尺により確認	計測	削孔後
	シリカ含有量増分量	現地で採取した試料をシリカ含有量測定 (ICP発光分光分析) により確認	試料	採取後

なお、事後調査は規格基準に準拠して実施するが、地盤改良の不確かさを考慮して確認頻度を規格基準より拡充する。

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ⑤施工品質の確認

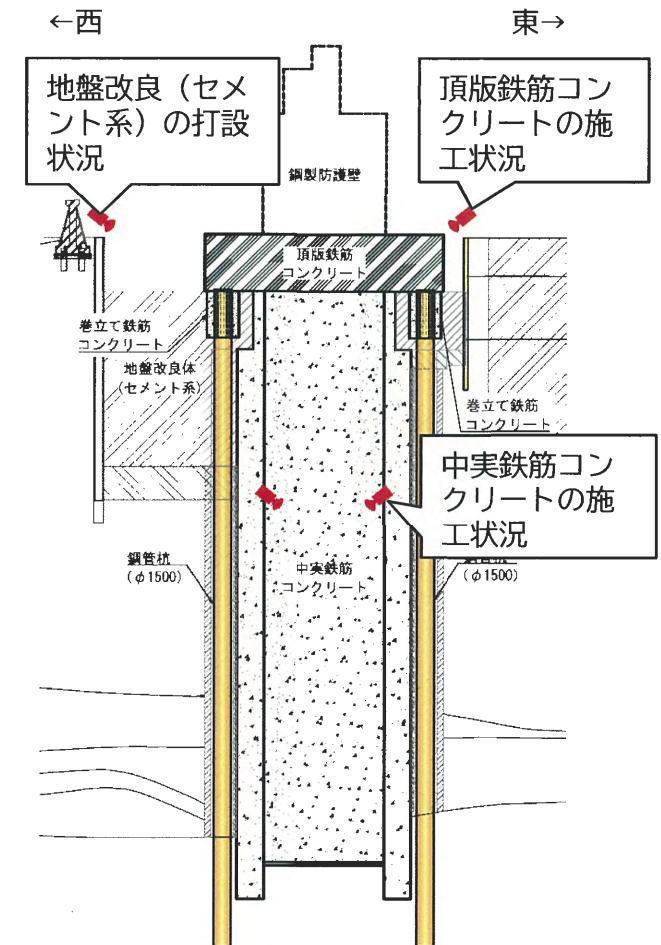
Ⅲ. カメラを活用した工事管理の高度化の採用

▶ 前頁までの工事管理に加え、工事の信頼性向上としてカメラを活用した工事管理の高度化（見える化）を採用する。

【カメラを活用することによる効果】

- ✓ 現場作業責任者の作業管理手段を増やし、管理を効率化するとともに、作業品質の向上を図る。
- ✓ 高所や人が入れない場所でも安全に状況確認ができる。
- ✓ 作業に直接関与しないウォークダウン者が現場に入域せずに状況を把握できるため、施工エリアで働く要員が作業に集中でき、作業品質の向上に寄与する。
- ✓ 従来の品質記録（写真等）の補完及び万が一の不具合の際の原因究明にも有用

手法	撮影方法及び撮影例
定点カメラ	作業状況を近傍より俯瞰して撮影 (例) <ul style="list-style-type: none"> • 中実鉄筋コンクリートの施工状況を上方から撮影 • 頂版鉄筋コンクリートの施工状況を上方から撮影 • 地盤改良（セメント系）の打設状況を上方から撮影
移動式カメラ (ハンディ等)	作業状況等を近接して撮影 (例) <ul style="list-style-type: none"> • コンクリートの打設状況（充填の状況） • 地盤改良（セメント系）の打設前の湧水の発生状況



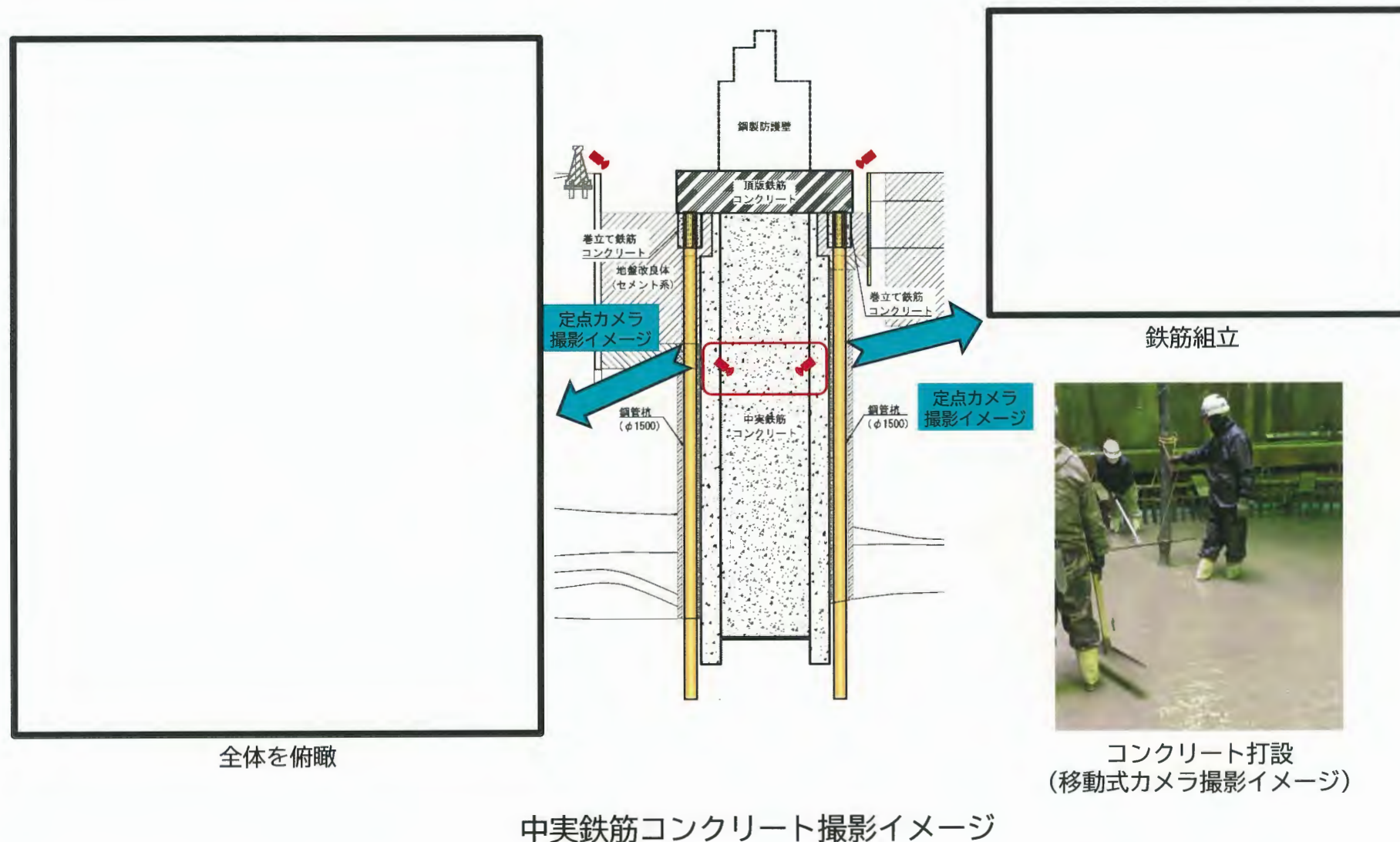
定点カメラのモニターは施工会社の現場事務所等に設置し施工中は常時モニタリングできるようにする。

定点撮影の例（俯瞰的に把握）

3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ⑤施工品質の確認

➤ 工事管理におけるカメラの活用イメージを以下に示す。



(1) 施工計画 ⑥まとめ

- ▶全施工ステップについて、不具合事象の原因を踏まえて、同様の不具合が発生する可能性を検討した。その結果、今回採用する施工方法では不具合事象が再発しないことを確認した。
- ▶各施工ステップにおいて網羅的に洗い出したリスクに対して、試験施工・モックアップ試験を含む対策を実施することとした。
- ▶各施工ステップごとに、工事が計画通りに実施されていることを確認する方法と時期を整理し、現地での目視や寸法測定、その他の定量的な方法を用いることで、工程の進捗に応じた品質確認が可能であることを確認した。
- ▶また、工事の信頼性向上としてカメラを活用した工事管理の高度化（見える化）を採用する。

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法（審査会合コメント⑨、⑰及び⑱回答）

審査会合	コメント		回答
第1280回	⑨	● 地盤改良を新たに実施する場合には改良土全体が所定の強度を有していることを確認するための品質管理方法について、設工認で示す内容、使用前事業者検査で示す内容を整理すること。	今回回答
第1376回	⑰	● 改良品質の不確かさの要因の整理について、不確かさの要因の抽出に至る検討プロセスを詳細に示し、不確かさの要因が網羅的に抽出されていることを示すこと。	今回回答
	⑱	● 地盤改良薬液注入の品質管理について、材料試験の規格、供試体の作成方法、管理値の設定における標本数の妥当性など、材料試験や品質検査の方法について、詳細に説明すること。	今回回答

回答概要

No	回答概要
⑰	「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」（国土交通省，（国研）土木研究所）に示される不確実性によるリスク要因に基づき、地盤改良における改良品質の不確かさに関わるリスク事象を網羅的に洗い出した。洗い出したリスク事象について、本工事のうち、地盤改良（薬液注入）への影響を確認し対策の要否を検討した。対策が必要と判断したリスク事象について具体的な対策を立案した。
⑱	地盤改良（薬液注入）の品質管理について「浸透固化処理工法技術マニュアル 平成22年6月」に基づき実施した材料試験（供試体の作製含む）や品質検査の方法を規格基準とともに整理した。具体的には、同マニュアルに示される配合試験や品質管理で用いる材料試験は、地盤工学会基準JGS（供試体の作製（三軸試験の供試体作製・設置方法）、液状化強度試験（繰返し三軸圧縮試験，繰返し中空ねじりせん断試験））及びJIS（土の一軸圧縮試験，シリカ含有量試験（ICP発光分光分析※））に従って実施する。 管理値の設定における標本数について、強度試験は規格基準以上の標本数を採取しており標本数は妥当であると判断した。シリカ含有量増分量の検体は、JGSの基準に従い相対密度を合わせた供試体を試験室にて改良していることから、シリカ含有量増分量の結果のばらつきは小さい。マニュアルには標準標本数は定められていないが、信頼性を高めるため一軸圧縮試験（3標本）、液状化強度試験（4標本以上）の規格基準の標準を超える標本数で評価した。
⑨	地盤改良の品質管理の方法について、設工認で示す内容及び使用前事業者検査で示す内容を以下の通り整理した。 ・設工認段階で説明する内容である地盤改良の設計上の取扱い及び性能目標（要求品質，管理基準値等，設計に用いた強度）を明確にした。 ・使用前事業者検査の実施内容（適用する基準類，検査項目・時期及び頻度・方法，管理基準値等）を明確にした。

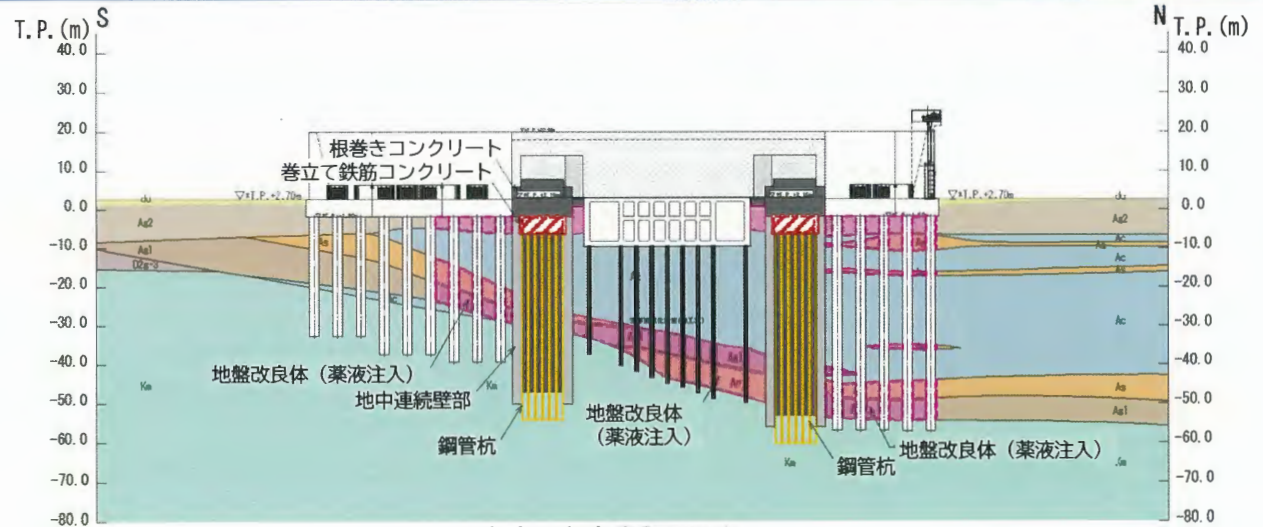
※本法は、試料中のケイ酸をICP発光分光分析法により波長251.612 nmの発光強度を測定し、ケイ酸濃度を求める方法である。

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 《地盤改良の計画》

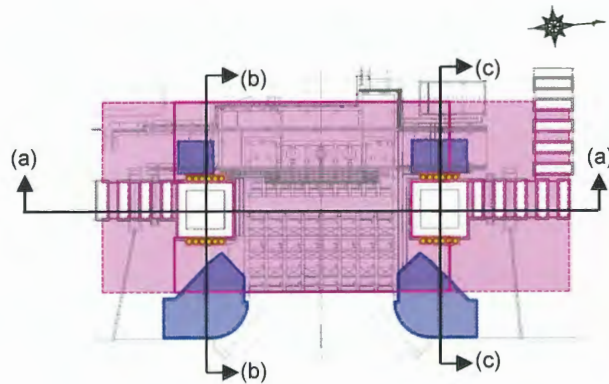
➤ 地盤改良の概要

- 防潮堤（鋼製防護壁）周囲に、地震による地盤の液状化を防止するため、地盤改良（薬液注入）を実施する。
- 防潮堤（鋼製防護壁）西側に、津波波力に対する基礎の変形を抑制するため、地盤改良（セメント系）を実施する。
- 地盤改良の範囲は各図の通り。

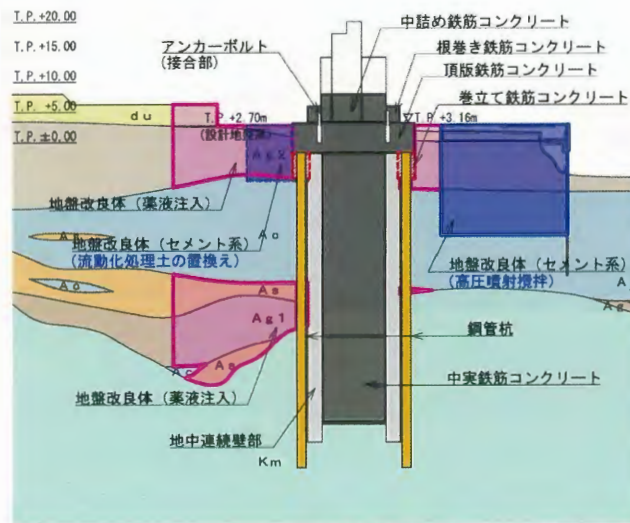
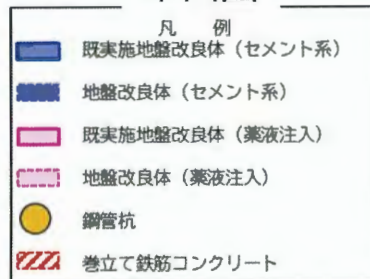


(a)-(a)断面図

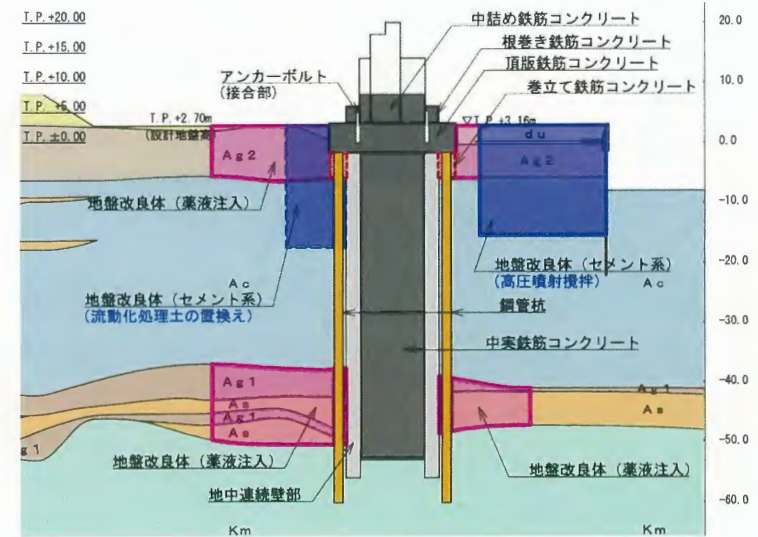
（鋼管杭は「投影」して記載）



平面図



(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

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ①審査会合コメント⑱回答

審査会合		コメント
第1376回	⑱	● 改良品質の不確かさの要因の整理について、不確かさの要因の抽出に至る検討プロセスを詳細に示し、不確かさの要因が網羅的に抽出されていることを示すこと。

- 地質や地盤は複雑で不均質なものであり、また地下は直接確認することが難しいことから、地質や地盤の情報には不確実性がある。このような地質・地盤の不確実性は、土木事業において安全性や効率性に関するリスク要因になっている。
- 地盤改良は、このような地質・地盤を人為的な方法で改良するものであることから、地質・地盤リスクを適切に評価して最適な対応をとるといふ地質・地盤リスクマネジメントが有効である。そこで「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」※に示される不確実性によるリスク要因に基づき、地盤改良における改良品質の不確かさに関わるリスク事象を網羅的に洗い出す。
- さらに、洗い出したリスク事象について、本工事への影響を確認し対策の要否を検討する。対策が必要と判断したりリスク事象については、詳細に検討し、対策を立案する。（本資料では地盤改良（薬液注入）について説明する）

「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」における不確実性によるリスク要因

不確実性によるリスク要因	
【自然的要因】 (地質・地盤・地下水等の要因：素因)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自然地盤の材質・構造・物性等の不確実性に起因するもの ・ 人工地盤の材質・構造・物性等の不確実性に起因するもの ・ 地質・地盤災害の発生の不確実性に起因するもの ・ 地盤や地下水等による環境影響の発生の不確実性に起因するもの ・ 地下水・地中ガス等の存在や挙動の不確実性に起因するもの等
【人為的要因】 (関係者やその対応の要因：誘因)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地盤に対する設計・施工の不確実性に起因するもの ・ 施設や基礎の管理の不確実性に起因するもの ・ 地質・地盤情報の伝達・対応等の不確実性に起因するもの

※：土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン，国土交通省大臣官房技術調査課，国立研究開発法人土木研究所，土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会，令和2年3月

(2) 地盤改良の品質管理方法 ①審査会合コメント⑱回答《地盤改良（薬液注入）》

①改良品質の不確かさに関わるリスク事象の抽出

- 地盤改良を対象とした「改良品質の不確かさ」の要因を抽出するため、「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」に示される「不確実性によるリスク要因」をもとに、地盤改良（薬液注入）に係る文献やマニュアルなど※を参考に、改良品質の不確かさに関わるリスク事象を洗い出した。

地盤改良（薬液注入）における改良品質の不確かさに関わるリスク事象（自然的要因）

不確実性によるリスク要因		改良品質の不確かさに関わるリスク事象
自然的要因	自然地盤の材質・構造・物性等の不確実性に起因するもの	<ul style="list-style-type: none"> ・（地質①）対象地盤の透水性の不均一性により改良品質にばらつきが生じる。 ・（構造①）計画範囲の地質構造に局所的な分布の偏りが存在し、対象地盤の分布を見落とし、未改良範囲が残る。 ・（物性①）対象地盤の細粒分含有率や粒度分布が不均一であり、必要な強度（液状化強度特性）が得られない。 ・（物性②）対象地盤内において強度発現に影響を及ぼす物質（例えば腐食物）の含有により、薬液による改良効果が得られない。
	人工地盤の材質・構造・物性等の不確実性に起因するもの	（上記に含まれる）
	地質・地盤災害の発生の不確実性に起因するもの	地質・地盤災害の発生（安全上のリスク要因）の抽出であり、地盤の改良品質の不確かさの要因抽出とは目的・視点が異なる。
	地盤や地下水等による環境影響の発生の不確実性に起因するもの	<ul style="list-style-type: none"> ・（環境①）凍結により薬液が劣化し、強度が低下する。 ・（環境②）対象地盤の温度の変化により地盤改良体の強度に影響を及ぼす。
	地下水・地中ガス等の存在や挙動の不確実性に起因するもの等	<ul style="list-style-type: none"> ・（地下水①）地下水の水質（pH、塩分等）が地盤改良体の強度に影響を及ぼす。 ・（地下水②）地下水のない不飽和状態では薬液が十分に浸透せず強度が確保できない。

※：薬液注入工法の理論・設計・施工，地盤工学会，2009年7月 ほか

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ①審査会合コメント⑱回答《地盤改良（薬液注入）》

①改良品質の不確かさに関わるリスク事象の抽出

地盤改良（薬液注入）における改良品質の不確かさに関わるリスク事象（人為的要因）

不確か性によるリスク要因		改良品質の不確かさに関わるリスク事象
人為的要因	地盤に対する設計・施工の不確か性に起因するもの	<ul style="list-style-type: none"> ・ (設計①) 薬液濃度, シリカ含有量増分量と各種力学試験結果の相関に不確かさがあり, 改良効果が適切に評価できない。 ・ (設計②) 室内配合試験で設定した強度が現場で再現できない。 ・ (設計③) 設計パラメータの不確か性が強度に影響を与える。 ・ (設計④) 配合試験において試験データにばらつきがあり, 改良効果が適切に評価できない。 ・ (材料①) 注入薬液の固結体の劣化により長期的に強度が低下する。 ・ (材料②) 薬液の品質のばらつきにより, 必要な強度が得られない。 ・ (施工①) ボーリングの孔曲がりの影響が大きく薬液注入位置が計画位置からずれる。 ・ (施工②) 注入順序が適切でなく, 先行して施工した改良体が邪魔になり, 未改良部が残る。 ・ (施工③) 試料採取時の試料の乱れなどにより改良効果が適切に評価できない。 ・ (施工④) 長期間施工状態を放置することで施工状況が変わり, 当初計画通りの施工ができない。
	施設や基礎の管理の不確か性に起因するもの	事前調査と情報整理により, 改良範囲及びその周辺において施設や基礎の管理を起因として, 地盤改良（薬液注入）の施工・品質に影響を及ぼす施設や基礎はないことを確認した。
	地質・地盤情報の伝達・対応等の不確か性に起因するもの	<ul style="list-style-type: none"> ・ (情報①) 対象地盤の分布を見落とし, 未改良範囲が残る。

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ①審査会合コメント⑱回答《地盤改良（薬液注入）》

②現場条件等を踏まえたリスク事象の確認

➤ 前項で抽出した「改良品質の不確かさに関わるリスク事象」について、本工事の現場条件等を踏まえた上で確認した。また、対策の要否を検討した。

改良品質の不確かさに関わるリスク事象に対する確認結果（1/4）

改良品質に関わるリスク事象	リスク事象の確認結果
<p>(地質①) 対象地盤の透水性の不均一性により改良品質にばらつきが生じる。</p>	<p>[対策要] 透水係数の不均一性を踏まえた設計を行う必要があるため、詳細検討を実施する。</p>
<p>(構造①) 計画範囲の地質構造に局所的な分布の偏りが存在し、対象地盤の分布を見落とし、未改良範囲が残る。</p>	<p>計画地点は基礎岩盤が北に向けて深くなる場所であるが、現地の地質調査データ（30m間隔相当の詳細なボーリング調査データ）の取得状況から改良対象地盤の分布は十分把握できていることを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601では、原子炉建屋予定地の場合、ボーリングのグリッド間隔は建屋予定地内における地質構造、岩石分布及び岩質を把握するために40～50mが一般に相当であるとされており、その間隔より短く設定している。
<p>(物性①) 対象地盤の細粒分含有率や粒度分布が不均一であり、必要な強度（液状化強度特性）が得られない。</p>	<p>配合設計に用いる粒度分布の代表値について、下記の点により液状化強度及び薬液の改良効果が保守的に評価されることを確認した（代表性はP80、保守性はP81参照）。</p> <p>配合試験の試料の特徴は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> 試験試料の細粒分含有率は概ね10%以下と少なく、細粒分による液状化強度の増加効果はほとんどない。 試験試料の粒径加積曲線は、敷地内の液状化しやすい箇所と同様に、港湾基準の「特に液状化の可能性あり」の範囲に位置する。 また、粒径加積曲線の傾きが緩やかであり、間隙が密実となり、薬液が浸透しにくい粒度分布である。
<p>(物性②) 対象地盤内において強度発現に影響を及ぼす物質（例えば腐食物）の含有により、薬液による改良効果が得られない。</p>	<p>薬液注入に影響を与える可能性のある地盤内物質（腐食物、塩類、極端なpH、カルシウム類）について、下記の通り本工事の現場条件では問題ないことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 腐食物（有機質）に含まれる酸はゲルタイム遅延や強度低下を生じさせるリスクを有するが、周辺のボーリング調査では対象土層に腐食物はほぼ含まれないことからこれらは発生しない。 塩類（塩化物、硫酸塩）は反応速度を速めて急結する、長期的な耐久性の低下を生じさせるリスクを有するが、使用する薬液は参考文献※で「海水地盤では特に使用上問題ない」ことを確認した。 極端な酸性・アルカリ性は反応速度への影響を生じさせるリスクを有するが、改良範囲近傍の観測井戸でpHを計測し、水質はほぼ中性（6.8～7.4）であることを確認しており、問題はない。 カルシウム類はゲルタイムを早める、強度低下などを生じさせるリスクを有するが、当該施工地点のカルシウム類は改良品質への影響はないことを過去の試験施工・配合試験で確認している。

※：米倉亮三，島田俊介，大野康年：恒久グラウト・本設注入工法－薬液注入の耐久性と耐震補強の設計施工－，山海堂，34-35p, 2007

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ①審査会合コメント⑰回答《地盤改良（薬液注入）》

②現場条件等を踏まえたリスク事象の確認

改良品質の不確かさに関わるリスク事象に対する確認結果 (2/4)

改良品質に関わるリスク事象	リスク事象の確認結果
(環境①) 凍結により薬液が劣化し、強度が低下する。	発電所より北方の小名浜の凍結深度は19cm ^{※1} であり、本地点で凍結したとしても地表面程度である。薬液を注入する地盤は地表付近でない（地表から約3m以深）ため凍結しない。
(環境②) 対象地盤の温度の変化により地盤改良体の強度に影響を及ぼす。	計画範囲は海に近接しており、茨城県北部の海水面の水温は14～26℃の常温の範囲内であり、また地中、特に海水近傍では温度変化が小さいことから、温度変化に起因する地盤改良体の品質への影響はない。
(地下水①) 地下水の水質（pH、塩分等）が地盤改良体の強度に影響を及ぼす。	対象範囲近傍の観測井戸の地下水はpH=6.8～7.4のほぼ中性の値を示しており、改良品質に影響を及ぼすことはない。塩分に関しては海水下の地盤でも使用上問題ない薬液を用いるため改良品質に影響を及ぼさない ^{※2} 。
(地下水②) 地下水のない不飽和状態では薬液が十分に浸透せず強度が確保できない。	【対策要】 地下水位以浅は地下水の有無の影響を受けない適切な工法による計画が必要であるため、詳細検討を実施する。
(設計①) 薬液濃度、シリカ含有量増分量と各種力学試験結果の相関に不確かさがあり、改良効果が適切に評価できない。	薬液注入工法のマニュアル ^{※3} に薬液濃度やシリカ含有量増分量（ICP発光分光分析）と各種力学試験結果の相関（シリカ含有量増分量の増加に伴い一軸圧縮強度（室内／現場強度比（2倍）を見込む）や液状化強度比（-1σ）が増加する傾向）が明確に示されている。
(設計②) 室内配合試験で設定した強度が現場で再現できない。	【対策要】 室内配合試験と現場の施工の違いを考慮した設計を行う必要があるため、詳細検討を実施する。

※1：福島県ホームページ（<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/41065b/toketusindo.html>）

※2：米倉亮三、島田俊介、大野康年：恒久グラウト・本設注入工法－薬液注入の耐久性と耐震補強の設計施工－，山海堂，34-35p,2007

※3：浸透固化処理工法技術マニュアル 平成22年6月，財団法人 沿岸開発技術センター

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ①審査会合コメント⑰回答《地盤改良（薬液注入）》

②現場条件等を踏まえたリスク事象の確認

改良品質の不確かさに関わるリスク事象に対する確認結果 (3/4)

改良品質に関わるリスク事象	リスク事象の確認結果
(設計③) 設計パラメータの不確かさが液状化強度に影響を与える。	設計パラメータのうち液状化強度への影響が支配的なものは薬液濃度であるが、薬液は品質管理体制が整った工場の生産品であり、各メーカーから提出される分析報告書や試験成績表より品質が確認可能。
(設計④) 配合試験において試験データにばらつきがあり、改良効果が適切に評価できない。	【対策要】 地盤改良体の品質を設計目標値を満足させるよう配合試験データのばらつきを踏まえた配合設計とする必要があるため、詳細検討を実施する。
(材料①) 注入薬液の固結体の経年劣化により長期的に強度が低下する。	今回使用する薬液は、既往論文※に記載の通り、1999年に今回使用する薬液注入工法及び薬液を組み合わせた大規模野外実験を行い、その後の経年調査（最新は2023年で24年経過）にて一軸圧縮強さの持続性が確認されており、地盤改良としての有効性を確認している。
(材料②) 薬液の品質のばらつきにより、必要な強度が得られない。	薬液は品質管理体制が整った工場の生産品であり、各メーカーから提出される分析報告書や試験成績表より品質が確認可能。
(施工①) ボーリングの孔曲がりの影響が大きく薬液注入位置が計画位置からずれる。	【対策要】 ボーリングの孔曲がりの程度を確認し、対策を施す必要があるため、詳細検討を実施する。
(施工②) 注入順序が適切でなく、先行して施工した改良体が邪魔になり、未改良部が残る。	【対策要】 先行して実施した改良が後段の施工の障害とならないよう適切な注入順序・配孔の計画が必要であるため、詳細検討を実施する。
(施工③) 試料採取時の試料の乱れなどにより改良効果が適切に評価できない。	【対策要】 薬液注入の改良効果の評価における試料採取の影響を検討する必要があるため、詳細検討を実施する。

※：島田俊介，佐々木隆光，末政直晃：大規模野外注入実験における経過24年目の追跡調査結果，第59回地盤工学研究発表会，地盤工学会

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ①審査会合コメント⑰回答《地盤改良（薬液注入）》

②現場条件等を踏まえたリスク事象の確認

改良品質の不確かさに関わるリスク事象に対する確認結果 (4/4)

改良品質に関わるリスク事象	リスク事象の確認結果
(施工④) 長期間施工状態を放置することで施工状況が変わり、当初計画通りの施工ができない。	[対策要] 施工機器の故障等による 作業中断 に対し、 対策を施す 必要があるため、詳細検討を実施する。
(情報①) 対象地盤の分布を見落とし、未改良範囲が残る。	現地の地質調査データ（30m間隔相当の詳細なボーリング調査データ）を取得しており対象地盤の分布が十分把握できていることを確認した。

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ①審査会合コメント⑰回答《地盤改良（薬液注入）》

③対策方針の立案

- 対策の検討を必要とした「改良品質の不確かさに関わるリスク事象」に対し、対策を検討・立案した。立案にあたっては、不確かさの存在や不具合発生に鑑み、保守的な要求品質を確保できるよう留意した。

改良品質の不確かさに関わるリスク事象に対する対策 (1/2)

改良品質に関わるリスク事象	対策
(地質①) 対象地盤の透水性の不均一性により改良品質にばらつきが生じる。	施工設計においては、地盤の透水性が不均一であることにより薬液の浸透が偏ることを防ぐため、地盤が割れず（割裂せず）、かつ薬液が計画範囲まで浸透する注入条件を設定する必要がある。過大な注入速度は地盤の割裂を招き、薬液が割れ目に集中する一方、注入速度が低すぎる場合には薬液が注入過程でゲル化し、十分に浸透しなくなるおそれがある。これらの点を踏まえ、対象土層の各々現地で確認した割裂が生じない最大注入速度（限界注入速度試験結果）の最小値（A s 層）3.0 L/min を採用し、目標とする改良体が形成される適正な薬液がゲル化するまでの時間を設定する。
(地下水②) 地下水のない不飽和状態では薬液が十分に浸透せず強度が確保できない。	施工設計においては、地下水位以浅に対して、地下水の有無による影響を受けない地盤改良（セメント系）を実施する。工法については、施工対象地盤の性状及び施工性を考慮し、掘削・置換工法、中層混合処理工法、高圧噴射攪拌工法のいずれか適切なものを採用する。
(設計②) 室内配合試験で設定した強度が現場で再現できない。	配合設計においては、室内試験と実際の現場環境に相違があり、現場でどの程度の強さが得られるか（強度発現率）や、安全側に見込む補正值（割増係数）を考慮する必要がある。これらを踏まえ、一軸圧縮試験から設定する設計基準強度の2倍を配合目標強度として設定し、薬液濃度を決定する
(設計④) 配合試験において試験データにばらつきがあり、改良効果が適切に評価できない。	配合設計においては、液状化強度試験から得られる液状化強度曲線のばらつきを考慮して平均の液状化強度比から1σ低減した値を液状化強度比として採用する。

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ①審査会合コメント⑱回答《地盤改良（薬液注入）》

③対策方針の立案

改良品質の不確かさに関わるリスク事象に対する対策（2/2）

改良品質に関わるリスク事象	対策
(施工①) ボーリングの孔曲がりの影響が大きく薬液注入位置が計画位置からずれる。	施工設計においては、削孔箇所地盤の硬さなどによりボーリング孔が曲がり、計画改良対象範囲端部に未改良部の発生を防止するため、設計改良範囲の外側（既実施の実績（削孔長の1%）を考慮）までを薬液注入の対象範囲として計画する。
(施工②) 注入順序が適切でなく、先行して施工した改良体が邪魔になり、未改良部が残る。	施工設計においては、水平及び深度方向に隣り合う注入ポイントに同時に注入せず、また地下水を排除しながら注入できるよう、中央から外側、南側から北側など、排出経路を確保する注入順序を採用する。
(施工③) 試料採取時の試料の乱れなどにより改良効果が適切に評価できない。	配合設計においては、試料採取時の試料の乱れ（ボーリングの振動によりコアとしての形状が保持されない等）による悪影響（強度の変化）への対策として、試料採取時の試料の乱れの影響を受けない指標（シリカ含有量増分量）と液状化強度比の相関を求め、当指標を管理基準値として採用する。
(施工④) 長期間施工状態を放置することで施工状況が変わり、当初計画通りの施工ができない。	施工設計においては、薬液注入の途中で作業の中断を余儀なくされた場合の手順として、あらかじめ、代替機による薬液注入の実施や隣接した代替孔の施工等を定めることで改良範囲、改良品質を確保する計画とする。

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ①審査会合コメント⑰回答《地盤改良（薬液注入）》

④改良品質の不確かさに対する保守性（一般工事との比較）

➤ 本工事のリスク対応として講じた対策について、一般工事での対応と比較した。地中での工事であり、施工の品質の不確かさへの対応として、品質（強度及び改良範囲）並びに確認数量を保守的に設定している。

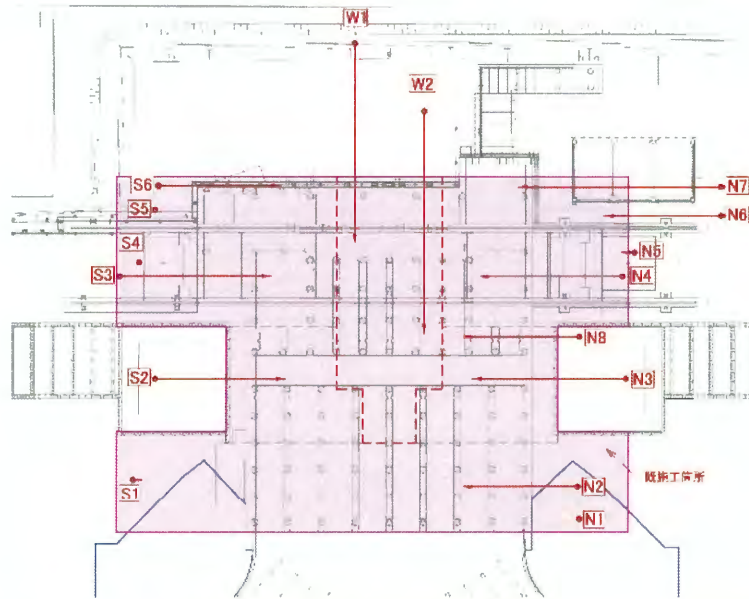
対策区分	改良品質に関わるリスク事象	①防潮堤（鋼製防護壁） 工事における対応（概要）	②一般工事での対応	評価（①，②比較結果）
配合設計	配合試験において試験データにばらつきがあり，改良効果が適切に評価できない。	保守的な強度（平均－標準偏差）を採用し，これを用いて改良効果の相関を整理	試験結果（平均値）の強度を採用し，これを用いて改良効果の相関を整理	品質（強度）を確保するため，試験データのばらつきを考慮し，安全側に低めの強度を採用
施工設計	ボーリングの孔曲がりの影響が大きく薬液注入位置が計画位置からずれる。	ボーリングの削孔誤差（実績）を考慮し，改良範囲を広めに計画する（配孔は改良範囲端部に施工誤差を考慮した配置を採用）。	改良深度は20m程度のため，ボーリングの配置に削孔精度は考慮していない	改良深度が深いいため，一般工事に比べ，品質（改良範囲）を確保するため，施工に余裕を付加
	長期間施工状態を放置することで施工状況が変わり，当初計画通りの施工ができない。	常時30台以上の注入ポンプを現場に配備し，そのうち2台を予備機として故障時の対応やメンテナンス時の代替機として準備する計画を策定	施工時に必ずしも代替機を準備する計画とは限らない。	作業の中断による品質の低下の可能性を低減する
品質確認	地中での施工であり，施工結果が直接的に把握しにくい（地中連続壁の不具合事象を踏まえ地中工事の信頼性確保が必要）	ボーリング孔数を改良土量5,000m ³ 未満では3孔，5,000 m ³ 以上では2,500m ³ 増えるごとに1孔追加する。各孔で地層ごとに，改良層厚が6m以上の場合は3箇所，6m未満の場合は概ね2mの間隔で試料採取する。改良範囲・時期ごとに当該頻度を適用する。	ボーリング孔数については同左。 各孔で改良層厚が6m以上の場合は上中下の3箇所，6m未満の場合は改良層厚に応じて2m程度に1箇所で試料採取する。	地層区分ごとに検査数量を増やす（一般工事の2倍以上）ことで，施工結果の信頼性が向上

3. 施工計画及び品質管理方法

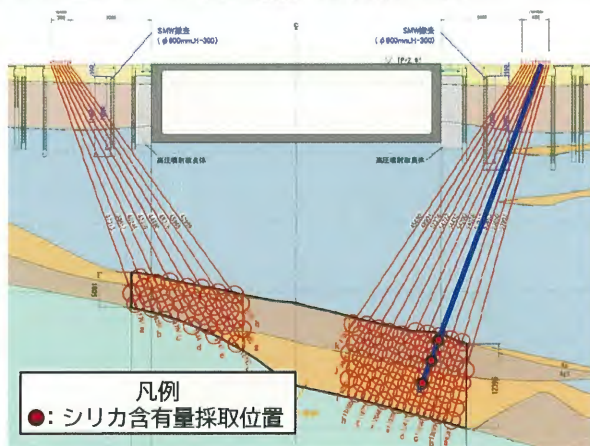
(2) 地盤改良の品質管理方法 ①審査会合コメント⑱回答《地盤改良（薬液注入）》

⑤既実施箇所の施工実績

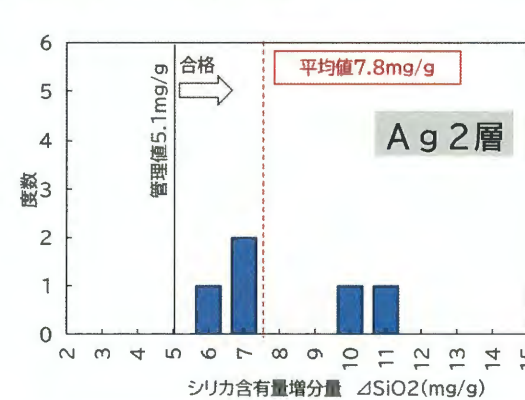
▶ 参考として、既実施箇所の品質確認の実績を示す。事後調査結果は管理基準値を十分満足していることを確認した。



地盤改良（薬液注入）事後調査（試料採取ボーリング平面図）



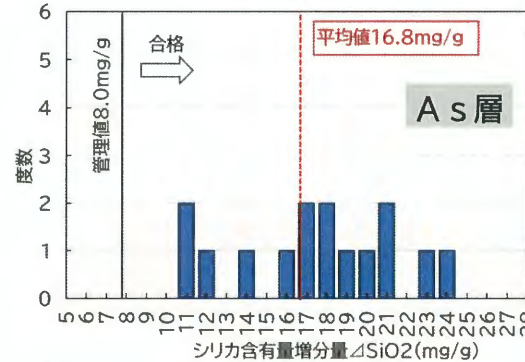
地盤改良（薬液注入）事後調査（試料採取位置断面図）



※試料数は対象土層の分布量に応じ
て工法のマニュアルに従い計画

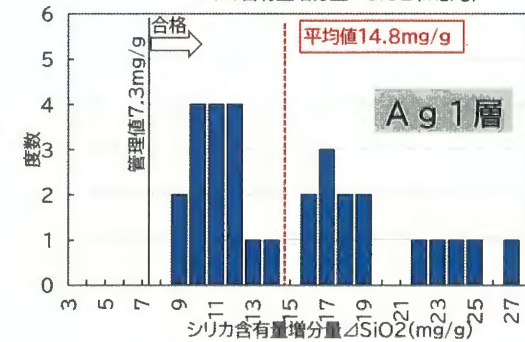
	Ag 2層
試料数※	5
平均値	7.8 mg/g
標準偏差	2.0 mg/g

調査結果は、全ての試料は合格
平均値は管理基準値の約1.5倍



	As層
試料数※	15
平均値	16.8 mg/g
標準偏差	4.0 mg/g

調査結果は、全ての試料は合格
平均値は管理基準値の約2倍



	Ag 1層
試料数※	30
平均値	14.8 mg/g
標準偏差	5.1 mg/g

調査結果は、全ての試料は合格
平均値は管理基準値の約2倍

シリカ含有量増分量確認結果

- 「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」（国土交通省，（国研）土木研究所）に示される不確実性によるリスク要因に基づき，地盤改良における改良品質の不確かさに関わるリスク事象を網羅的に洗い出した。
- 洗い出したリスク事象について，本工事のうち，地盤改良（薬液注入）への影響を確認し対策の要否を検討した。対策が必要と判断したリスク事象について具体的な対策を立案した。

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ②審査会合コメント⑱回答

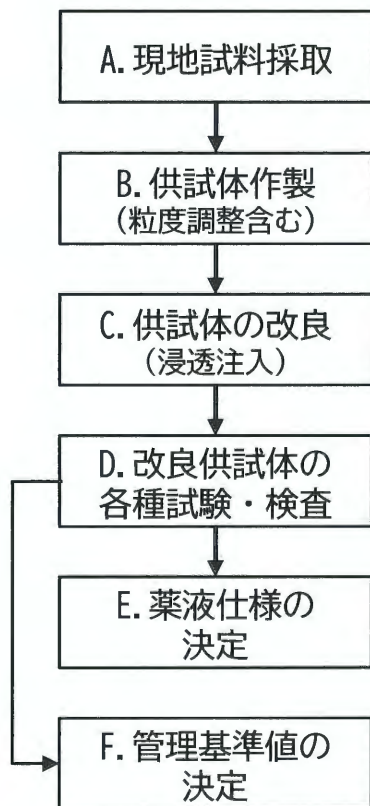
審査会合	コメント	
第1376回	⑱	● 地盤改良（薬液注入）の品質管理について、材料試験の規格、供試体の作成方法、管理値の設定における標本数の妥当性など、材料試験や品質検査の方法について、詳細に説明すること。

I. 地盤改良（薬液注入）の配合設計

【試験・検査方法の規格基準】

▶ 地盤改良（薬液注入）の配合設計は「浸透固化処理工法技術マニュアル 平成22年6月、財団法人 沿岸開発技術センター」に準拠した。また、配合設計において実施した試験・検査方法等の詳細を以下に示す。

試験・検査方法の準拠基準



試験・検査方法等		準拠基準
A. 現地試料採取		JGS 1224-2012「ロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラーによる試料の採取方法」ほか
B. 供試体作製（粒度調整含む）		JGS 0520-2020「三軸試験の供試体作製・設置方法」（粒度調整試料を用い、負圧法のうち空中落下法により作製）
C. 供試体の改良（浸透注入）		浸透固化処理工法技術マニュアル 平成22年6月、財団法人 沿岸開発技術センター
D. 改良供試体の 各種試験・検査	一軸圧縮試験	JIS A 1216:2020「土の一軸圧縮試験方法」
	液状化強度試験 ・繰返し三軸圧縮試験	JGS 0541-2020「土の繰返し非排水三軸試験方法」
	液状化強度試験 ・繰返し中空ねじりせん断試験	JGS 0543-2020「土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法」
	シリカ含有量試験 ・ICP発光分光分析	浸透固化処理工法技術マニュアル 平成22年6月、財団法人 沿岸開発技術センター JIS K 0116:2014「発光分光分析通則」

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ②審査会合コメント⑱回答

II. 地盤改良（薬液注入）の配合試験の標本数

- 地盤改良（薬液注入）の管理基準値の設定や使用する薬液の濃度の決定に際し、配合試験として液状化強度試験、土の一軸圧縮試験及びシリカ含有量試験を実施した。各試験の標本数は下表の通り。
- なお、改良地盤が要求品質を満足していることの確認として使用する管理基準値は、「試料採取時の試料の乱れによる悪影響」への対応として、浸透固化処理工法技術マニュアルに基づき、シリカ含有量増分量を採用した。

配合試験の標本数一覧

試験名	試験結果の整理方法及び標準標本数		標本数(実績：薬液濃度)								
	試験結果の整理方法	標準標本数	A g 2層			A s層		A g 1層			
			薬液濃度			薬液濃度		薬液濃度			
			4%	5%	8%	6%	8%	6%	8%	10%	
液状化強度試験	せん断応力比を変化させた試験を4個以上実施し、これらの結果から液状化強度曲線を算定（JGS 0541-2020）※1	4以上	5	11	11	7	9	8	6	7	
土の一軸圧縮試験	3回の平均値（JIS A1216:2020）※2	3	3	9	9	9	9	9	9	9	
シリカ含有量試験	浸透固化処理工法技術マニュアルに標準標本数が示されていないことから、液状化強度試験/一軸圧縮試験の標準標本数を超える標本数とする	-	5	6	6	6	6	5	5	7	

【妥当性の確認】

- ✓ 液状化強度試験は規格基準で標本数4個以上、一軸圧縮試験は規格基準の標準標本数3個との規定に対し、それぞれ規格以上の標本数を採取しており、標本数は妥当であると判断した。
- ✓ シリカ含有量増分量計測に用いる検体は、JGSの基準に従い相対密度を合わせた供試体を試験室にて改良していることから、シリカ含有量増分量の結果のばらつきは小さい。マニュアルには標準標本数は定められていないが、信頼性を高めるため一軸圧縮試験（3標本）、液状化強度試験（4標本以上）の規格基準の標準を超える標本数で評価した。

※1：JGS 0541-2020 土の繰返し非排水三軸試験方法（公益社団法人地盤工学会，地盤材料試験の方法と解説第1回改訂版）

※2：JIS A1216-2020 土の一軸圧縮試験方法

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ②審査会合コメント⑱回答

Ⅲ. 管理基準値の設定

(1) 要求品質（液状化強度比）の設定

- 地盤改良（薬液注入）は、地震による地盤の液状化防止を目的としており、設計上は想定する地震力に対して地盤改良体が液状化しないこととしている。
- このため、地盤改良体の性能目標は、設計から得られた地震時の最大せん断応力比に対し、地盤改良体（薬液注入）の液状化強度比が上回ることをとする。

以下に最大せん断応力比及び要求品質（液状化強度比）の算定方法及び結果を示す。

- ①地震応答解析は2次元有効応力解析(FLIP)により実施する。地震応答解析は基本ケースである地盤ケース①について全波検討し、最も厳しかった地震動（S_s-31）についてはすべての地盤ケースの計算を実施した。

地盤ケース	①	②	③	④	⑤	⑥
S _s -D1 (H+V+~H-V-) 計4ケース	実施	-	-	-	-	-
S _s -11, 12, 13, 14	実施	-	-	-	-	-
S _s -21, 22	実施	-	-	-	-	-
S _s -31 (H+V+, H-V+) 計2ケース	実施	実施	実施	実施	実施	実施

- 地盤ケース①：原地盤のせん断波速度（基本ケース）
 地盤ケース②：原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮（+1σ）
 地盤ケース③：原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮（-1σ）
 地盤ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂のせん断波速度
 地盤ケース⑤：原地盤のせん断波速度（全地盤を非液状化）
 地盤ケース⑥：原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮（+1σ）（全地盤を非液状化）

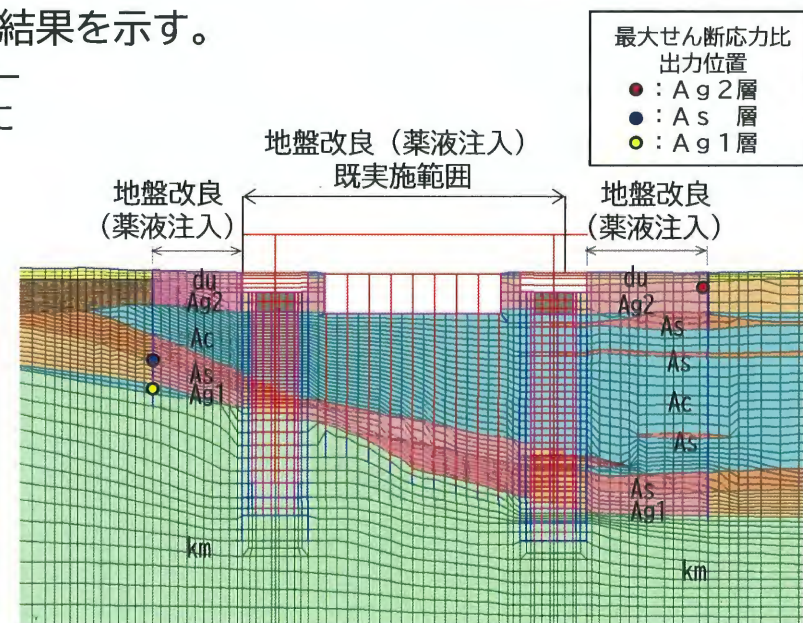
- ②①にて算出した地盤のせん断応力時刻歴データから、最大値を抽出し、以下の式により最大せん断応力比 L_{max} 算出する。

$$L_{max} = \tau / \sigma'_{m0}, \quad \sigma'_{m0} = (\sigma'_{v0} + 2\sigma'_{h0}) / 3$$

σ'_{m0} : t=0における平均有効主応力（初期平均有効主応力）
 $\sigma'_{v0}, \sigma'_{h0}$: t=0における鉛直, 水平成分の有効主応力

- ③液状化安全率 F_L を1とし、要求品質（改良後の地盤の液状化強度比 R_{L20} ※）を設定する。 ※ R_{L20} : 繰返し回数20回で液状化に至る応力比

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



2次元FLIP解析モデル

2次元FLIP解析による地盤内の最大せん断応力比及び要求品質

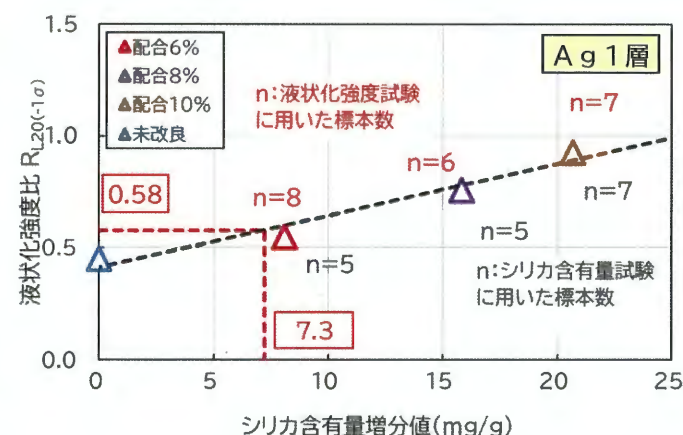
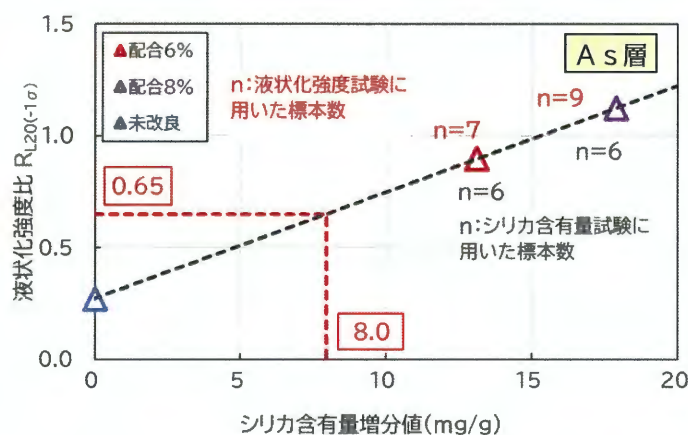
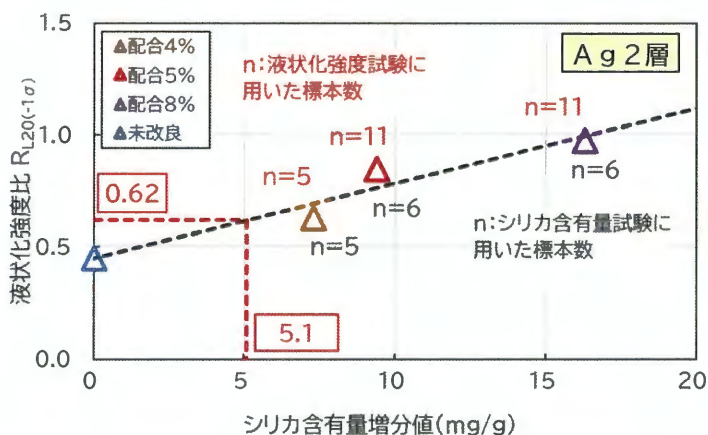
層区分	最大せん断応力比 L_{max}	要求品質（液状化強度比）
Ag2	0.62 (S _s -31 (H-V+)①)	左記(0.62)以上
As	0.65 (S _s -31 (H+V+)②)	左記(0.65)以上
Ag1	0.58 (S _s -31 (H+V+)⑥)	左記(0.58)以上

(2) 地盤改良の品質管理方法 ②審査会合コメント⑱回答

Ⅲ. 管理基準値の設定

(2)管理基準値の設定

- 既往の試験結果に追加した試験の結果を加え、液状化強度比とシリカ含有量増分量の相関を再設定した。
- この関係式を用いて前頁で設定した要求品質に対応する管理基準値を設定した。



液状化強度比とシリカ含有量増分量の相関

要求品質と管理基準値

対象土層	要求品質 (液状化強度比)	管理基準値 (シリカ含有量増分量)
Ag 2層	0.62 以上	5.1 mg/g以上
As 層	0.65 以上	8.0 mg/g以上
Ag 1層	0.58 以上	7.3 mg/g以上

(2) 地盤改良の品質管理方法 ②審査会合コメント⑱回答 《まとめ》

- 地盤改良（薬液注入）の品質管理について「浸透固化処理工法技術マニュアル 平成22年6月」に基づき実施した材料試験（供試体の作製含む）や品質検査の方法を規格基準とともに整理した。
- 具体的には、同マニュアルに示される配合試験や品質管理で用いる材料試験は、地盤工学会基準JGS（供試体の作製（三軸試験の供試体作製・設置方法）、液状化強度試験（繰返し三軸圧縮試験、繰返し中空ねじりせん断試験））及びJIS（土の一軸圧縮試験、シリカ含有量試験（ICP発光分光分析法））に従って実施する。
- 管理値の設定における標本数について、強度試験は規格基準以上の標本数を採取しており標本数は妥当であると判断した。シリカ含有量増分量の検体は、JGSの基準に従い相対密度を合わせた供試体を試験室にて改良していることから、シリカ含有量増分量の結果のばらつきは小さい。マニュアルには標準標本数は定められていないが、信頼性を高めるため一軸圧縮試験（3標本）、液状化強度試験（4標本以上）の規格基準の標準を超える標本数で評価した。

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ③審査会合コメント⑨回答

審査会合	コメント	
第1280回	⑨	● 地盤改良を新たに実施する場合には改良土全体が所定の強度を有していることを確認するための品質管理方法について、設工認で示す内容、使用前事業者検査で示す内容を整理すること。

I. 設工認と使用前事業者検査の整理

- 設工認段階では、地盤改良の目的及び設計上の取扱いを明確にし、具体的な性能目標を設定する。
- 使用前事業者検査は、これらの性能目標が達成されていることを確認する検査である。
このため、適用する基準を明確にし、これらの基準に従い、検査項目等を定め、工事が計画通り実施されていることを検査する。

工事の種類	目的	設計上の取扱い	設工認で設定する性能目標	使用前事業者検査で用いる事項
地盤改良 (薬液注入)	地震応答の低減及び地盤反力の確保のため、地盤の液状化を防止する。	地盤改良体（薬液注入）は想定する地震力に対して液状化しない。	設計から得られた地震時の最大せん断応力比に対し、地盤改良体（薬液注入）の液状化強度比 (R_{l20}) が上回ること	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工事（工法）に適用する基準 ・ 上記に基づき設定する検査項目 ・ 性能目標を確認するための指標 ・ 性能目標を確認するための方法 ・ 性能目標を確認する頻度 ・ 改良範囲
地盤改良 (セメント系)	地盤の液状化の防止及び津波波力に対する基礎の変形の抑制のため、地盤の強度・剛性を向上させる。	鋼製防護壁基礎から受ける荷重に対し、必要な地盤反力を発揮する。	設計に用いた強度及び剛性を上回ること	

次頁以降に以下を示す。
 （設工認）性能目標を達成する具体的な要求品質・設計強度
 （使用前事業者検査）検査で用いる具体的事項

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ③審査会合コメント⑨回答

II. 地盤改良（薬液注入）の要求品質及び検査の方法

【設工認】 性能目標を達成する具体的な要求品質及び管理基準値は以下の通り。

性能目標	要求品質（液状化強度比）P74参照	管理基準値（シリカ含有量増分量）
設計から得られた地震時の最大せん断応力比に対し、地盤改良体（薬液注入）の液状化強度比(R_{L20})が上回る。	Ag 2層：0.62 以上 As 層：0.65 以上 Ag 1層：0.58 以上	Ag 2層：5.1 mg/g以上 As 層：8.0 mg/g以上 Ag 1層：7.3 mg/g以上

【使用前事業者検査】 適用する基準類、検査項目・時期及び頻度・方法等は以下の通り。

工法	適用する基準・指針名	検査項目	検査時期	頻度及び方法等
薬液注入工法 (浸透注入工法)	①浸透固化処理工法技術マニュアル 平成22年6月、財団法人沿岸開発技術センター ②急速浸透注入工法 超多点注入工法 技術マニュアル平成24年2月、地盤注入開発機構恒久グラウト・本設注入協会	改良範囲	施工後	改良範囲は、施工配置図をもとに削孔位置、削孔長・削孔角度等が計画通りであることにより確認する（②参照）。
		シリカ含有量増分量	施工後	要求品質の液状化強度比に相当するシリカ含有量増分量を確認する。 【確認頻度】（①を参考に保守的に設定） ボーリング孔数： ・改良土量5,000 m ³ 未満では3孔 ・5,000 m ³ 以上では2,500 m ³ 増えるごとに1孔追加 各孔での試料採取箇所数： ・地層ごとに改良層厚が6m以上の場合は3箇所 ・6m未満の場合は概ね2mの間隔で採取 改良範囲・時期ごとに上記頻度を適用する。 【試験方法】（①参照） シリカ含有量試験 【管理基準値：シリカ含有量増分量※】 ※要求品質（液状化強度比）と相関を持ち、要求品質の達成を間接的に確認できる指標 Ag 2層：5.1 mg/g以上 As 層：8.0 mg/g以上 Ag 1層：7.3 mg/g以上

注記：表中の①、②は参照する基準・指針を示す。

3. 施工計画及び品質管理方法

(2) 地盤改良の品質管理方法 ③審査会合コメント⑨回答

Ⅲ. 地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）の要求品質及び検査の方法

【設工認】 性能目標を達成する具体的な設計強度は以下の通り。

性能目標	設計に用いた強度 (管理基準値※1)
設計に用いた強度及び剛性を上回ること	一軸圧縮強度 1.5 N/mm ²

※1：改良体の剛性は一軸圧縮強度に基づき解析用物性値が設定されていることから、強度及び剛性を確認するための間接的な指標として設計に用いた「一軸圧縮強度」を管理基準値として採用する。

【使用前事業者検査】 適用する基準類、検査項目・確認時期及び頻度・方法等は以下の通り。

工法	適用する基準・指針名
流動化処理土	「掘削土再利用大口径柱列ソイル工法設計・施工マニュアル 平成27年度版 CRM工法協会」

検査項目	検査時期	頻度及び方法
改良範囲	施工後	測量等により位置・寸法を確認する。
一軸圧縮試験	施工後	試験結果の平均値が性能目標の一軸圧縮強度以上であることを確認する。 【確認頻度】 製造日ごとに1回※2 【試験方法】 土の一軸圧縮試験※3 【管理基準値：一軸圧縮強度】 1.5 N/mm ²

地盤改良の品質管理の方法について、設工認で示す内容及び使用前事業者検査で示す内容を以下の通り整理した。

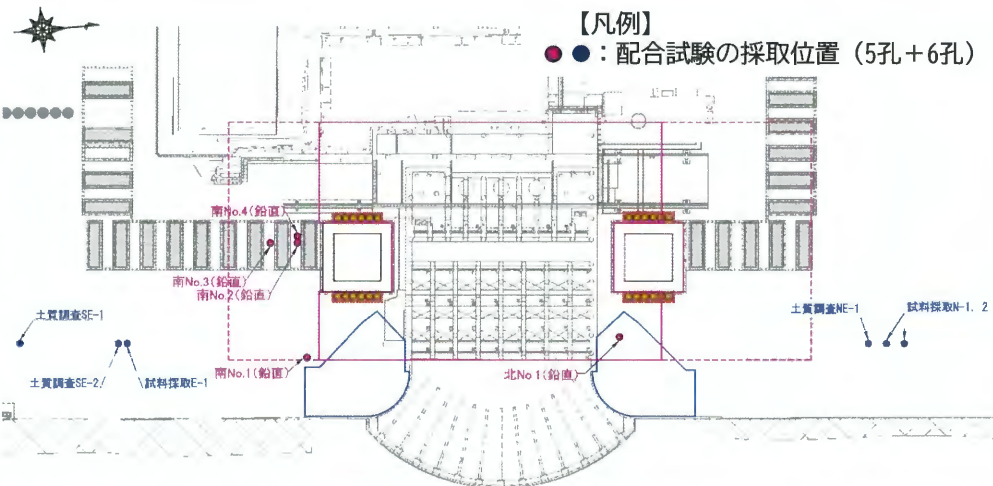
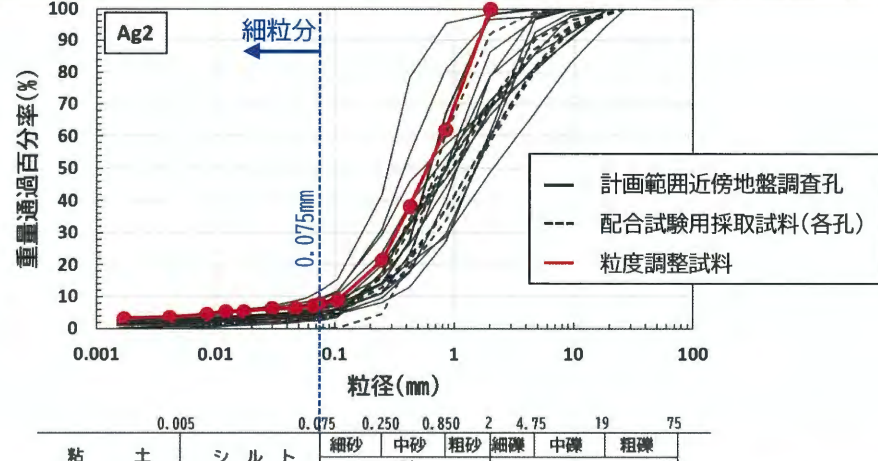
- ・設工認段階で説明する内容である地盤改良の設計上の取扱い及び性能目標（要求品質、管理基準値等、設計に用いた強度）を明確にした。
- ・使用前事業者検査の実施内容（適用する基準類、検査項目・時期及び頻度・方法、管理基準値等）を明確にした。

※2：3個の供試体の平均

※3：JIS A 1216：2020：土の一軸圧縮試験方法

【参考1】地盤改良（薬液注入）の配合試験の試料（粒度調整試料）の代表性

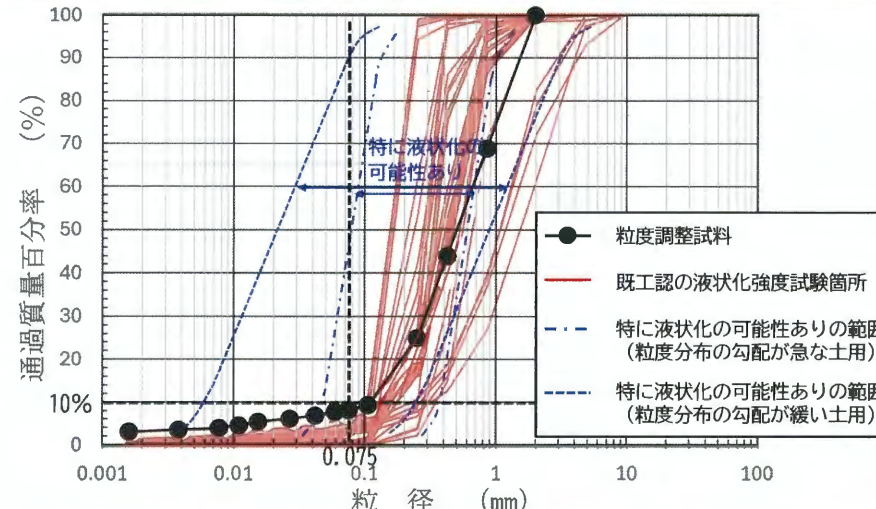
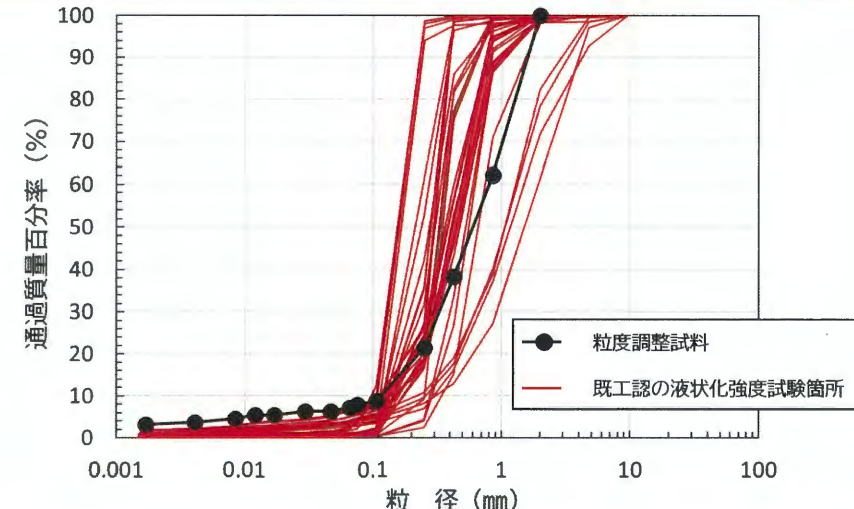
➤ 配合試験の試料について、液状化強度特性の評価や対象とする地盤の薬液注入状況の再現が適切にできるよう、以下の各項目を確認する。（以下、Ag2層の例）

配合試験の試料の採取場所	配合試験の試料の粒径加積曲線
 <p>【凡例】 ●●：配合試験の採取位置（5孔+6孔）</p> <p>配合試験の試料は、地盤改良（薬液注入）を計画した範囲を含む近傍エリアで網羅的に原地盤から採取した。</p>	 <p>重量通過百分率(%)</p> <p>粒径(mm)</p> <p>0.001 0.01 0.1 1 10 100</p> <p>0.005 0.075 0.250 0.850 2 4.75 19 75</p> <p>粘土 シルト 細砂 中砂 粗砂 細礫 中礫 粗礫</p> <ul style="list-style-type: none"> 配合試験用採取試料の粒度分布は、計画範囲近傍の既往地盤調査孔の粒度分布の範囲に位置している。 土層ごとに混合した試料は、配合試験で実施する各種試験の規格に合わせて粒度調整（Ag2層は粒径2mm以上（礫）を除外）した。粒度調整試料の粒径加積曲線は、礫分を除外したため、元の粒度分布より左に位置するが、計画範囲近傍の既往地盤調査孔の粒度分布の範囲に位置している。 液状化強度を増加させる細粒分の含有率は10%程度以下であり、細粒分による液状化強度増加は見込めない※。
<p>計画範囲を含む現地で網羅的に試料を採取</p>	<p>配合試験に用いる粒度調整試料の粒径加積曲線は計画地点の土質を表すものと言える</p>

配合試験に用いる粒度調整試料は、計画地点周辺の粒度分布内に位置しており代表性を有している。

※道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成14年3月，社）日本道路協会

【参考1】地盤改良（薬液注入）の配合試験の試料（粒度調整試料）の保守性

液状化特性（液状化しやすいか）	薬液注入効果（薬液の浸透性）
 <p>既工認の液状化強度試験箇所*の粒度分布（図中の赤線）と粒度調整試料の粒径加積曲線は共に港湾基準^{※1}の「特に液状化の可能性あり」の範囲内にある。この範囲内にあるものは、粒度分布の勾配の違いによる液状化の抵抗力の差異は見られない^{※2}とされており、粒度調整試料の液状化のしやすさは既工認のものと同等と評価する。</p> <p>*敷地内で液状化しやすいと評価した箇所</p>	 <p>薬液の浸透性は、地盤の粒径加積曲線の勾配と相関性がある。粒度分布の勾配が緩い（粒径がばらついている）ほど、大きな土粒子の隙間に小さな土粒子が入り込み、間隙が小さく緻密な構造となるため、透水性は小さくなる^{※3}（薬液が浸透しにくくなる）。 粒度調整試料の粒径加積曲線は、既工認の液状化強度試験箇所の粒度分布の中で比較的緩い勾配を示しており、透水性が小さく薬液が入りにくい粒度分布である。</p>
<p>液状化しやすい粒径加積曲線であることを確認</p>	<p>薬液が入りにくい粒度分布であることを確認</p>

配合試験に用いる粒度調整試料の粒径加積曲線は、以下の通り、粒度分布として保守性を有している。

- ・ 既工認の液状化強度試験箇所と同じく、液状化しやすい粒度分布である。
- ・ 薬液が入りにくい粒度分布であり、薬液注入効果として不利側である。

※1：港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成11年4月，社）日本港湾協会
 ※2：石原研而 土質動力学の基礎，P254，鹿島出版会，昭和51年
 ※3：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，pp.5～7，2005.6.

4. 総括

- 防潮堤（鋼製防護壁）で実施する地盤改良が、周辺の施設・設備へ与える影響を評価し、耐震評価に影響を与えないことを確認した。
- 不具合事象の原因を踏まえ、再発の可能性を検討し、今回の施工方法では同様の不具合が生じないことを確認した。また、網羅的に洗い出したりリスクに対して、試験施工やモックアップ試験を含む対策を実施する。さらに、計画通り施工されていることを確認する方法と時期を整理し、現地での直接確認、その他の定量的な方法により、工程の進捗に応じた品質確認が可能であることを確認した。

今後、防潮堤（鋼製防護壁）の耐震設計・耐津波設計及び地中連続壁部の残置影響評価について説明する。

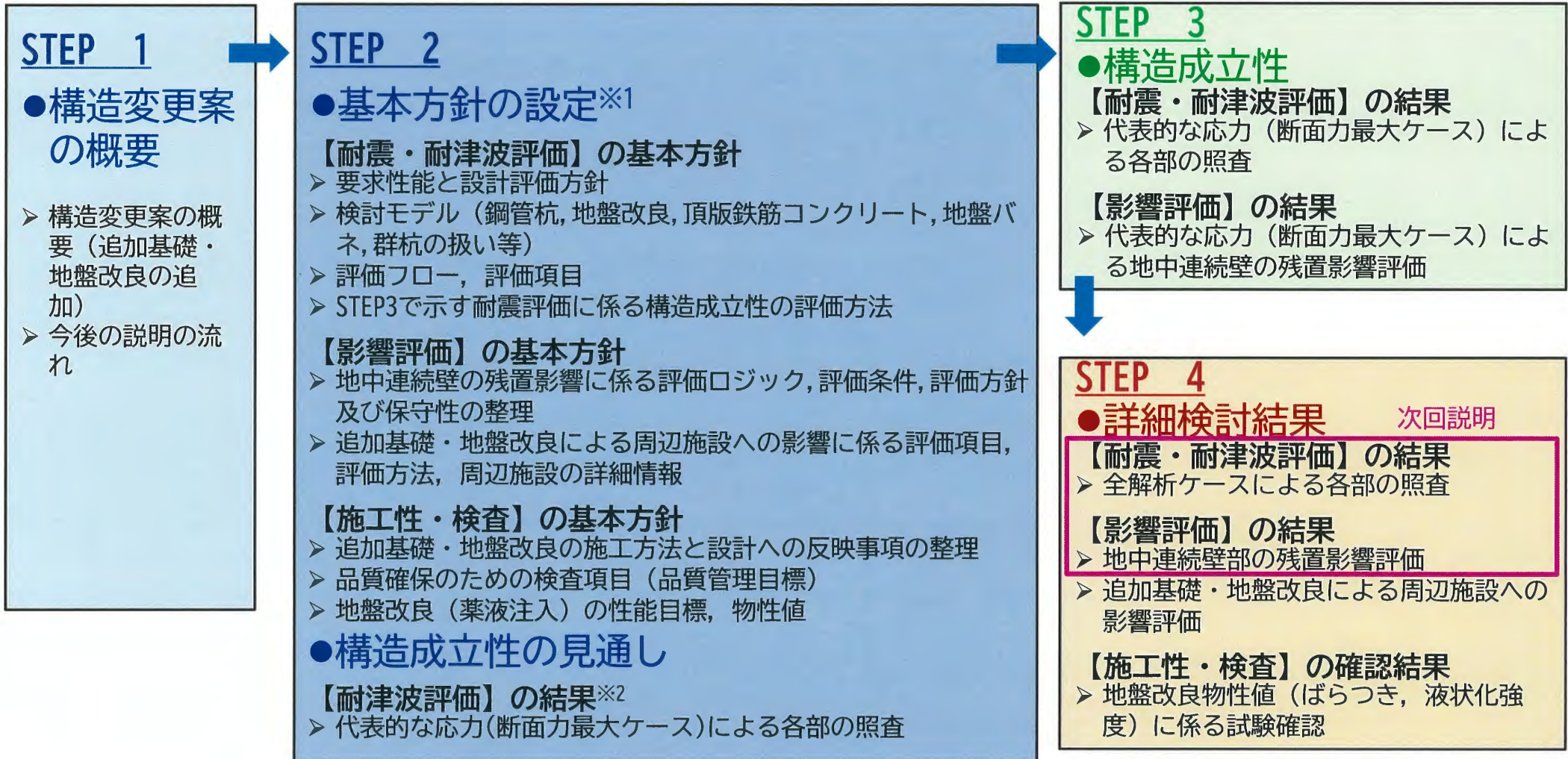
5. 今後の予定 (1 / 2)

次回は、STEP4のうち本日未説明の耐震・耐津波評価結果、影響評価の結果について、STEP3で確認いただいた代表ケースに加え、全解析ケースの結果について説明するとともに、これまでの説明分も含めてまとめた資料を提示する。

審査会合 (第1309回)

審査会合 (第1329回)

審査会合 (第1360回及び第1376回)



※1 STEP2で設定した基本方針に基づき構造成立性の確認 (STEP2, 3), 詳細検討 (STEP4) を実施する。

※2 構造変更する基礎に対して, 最も厳しい荷重条件である耐津波時 (重畳時) を代表ケースとして見通しを確認する。

5. 今後の予定 (2/2)

		●:説明実施		◎:説明実施予定		:今回説明 :説明実施	
		第1309回 2024.12.24	第1329回 2025.3.25	第1360回 2025.9.25	第1376回 2025.12.11	今回 2026.4.23	次回
STEP1							
構造変更案の概要		●	●	●	●		
今後の説明の流れ		●	●	●	●		
STEP2							
基本方針の設定	【耐震・耐津波評価】の基本方針 要求性能と設計評価方針 検討モデル 評価フロー, 評価項目 STEP3で示す耐震評価に係る構造成立性の評価方法		●				
	【影響評価】の基本方針 地中連続壁の残置影響に係る評価ロジック, 評価条件, 評価方針及び保守性の整理 追加基礎・地盤改良による周辺施設への影響に係る評価項目, 評価方法, 周辺施設の詳細情報		●				
	【施工性・検査】の基本方針 追加基礎・地盤改良の施工方法と設計への反映事項の整理 品質確保のための検査項目(品質管理目標) 地盤改良(薬液注入)の性能目標, 物性値		●				
見立構造の成	【耐津波評価】の結果 代表的な応力(断面力最大ケース)による各部の照査		●				
STEP3							
構造成立性	【耐震・耐津波評価】の結果 代表的な耐力(断面力最大ケース)による各部の照査			●	●		
	【影響評価】の結果 代表的な耐力(断面力最大ケース)による地中連続壁の残置影響評価			●			
STEP4							
詳細検討結果	【耐震・耐津波評価】の結果 全解析ケースによる各部の照査						◎
	【影響評価】の結果 地中連続壁部の残置影響評価 追加基礎, 地盤改良による周辺施設への影響評価					●	◎
	【施工性・検査】の確認結果 地盤改良物性値(ばらつき, 液化化強度)に係る試験確認					●	