

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3月19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

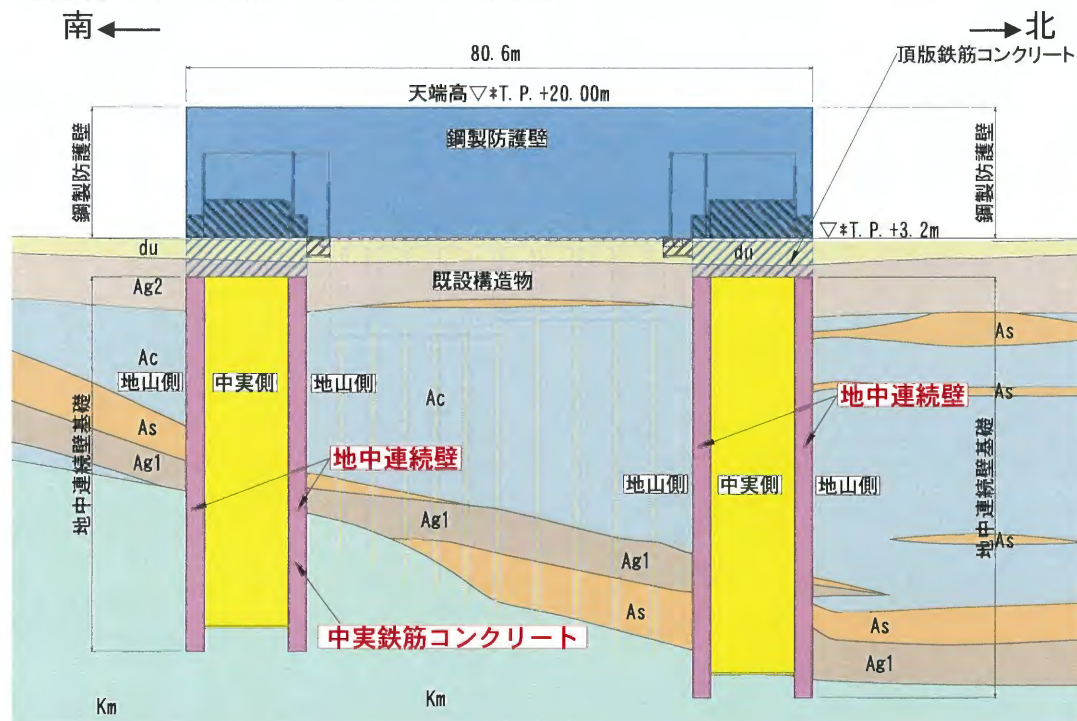
1. 概要	
(1) 構造変更に至った経緯	4
(2) 審査の流れ	6
(3) 審査会合コメント	7
2. 周辺施設・設備への影響評価 (審査会合コメント⑧回答)	追而
(1) 影響検討の基本方針	
(2) 影響評価	
3. 施工計画及び品質管理方法	
(1) 施工計画	10
(2) 地盤改良の品質管理方法 (審査会合コメント⑨及び⑰, ⑱回答)	29
4. 総括	50

1. 概要

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。防潮堤（鋼製防護壁）は、既設構造物の南北に15.5m×15.5mの2つの基礎（地中連続壁基礎）を岩盤より設置し、その上部に既設構造物を跨ぐように設置する。
- 防潮堤（鋼製防護壁）の建設に当たっては、基礎部として地中連続壁を構築した後、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確認したものである。



東海第二発電所 防潮堤設置計画図

【確認した不具合事象】

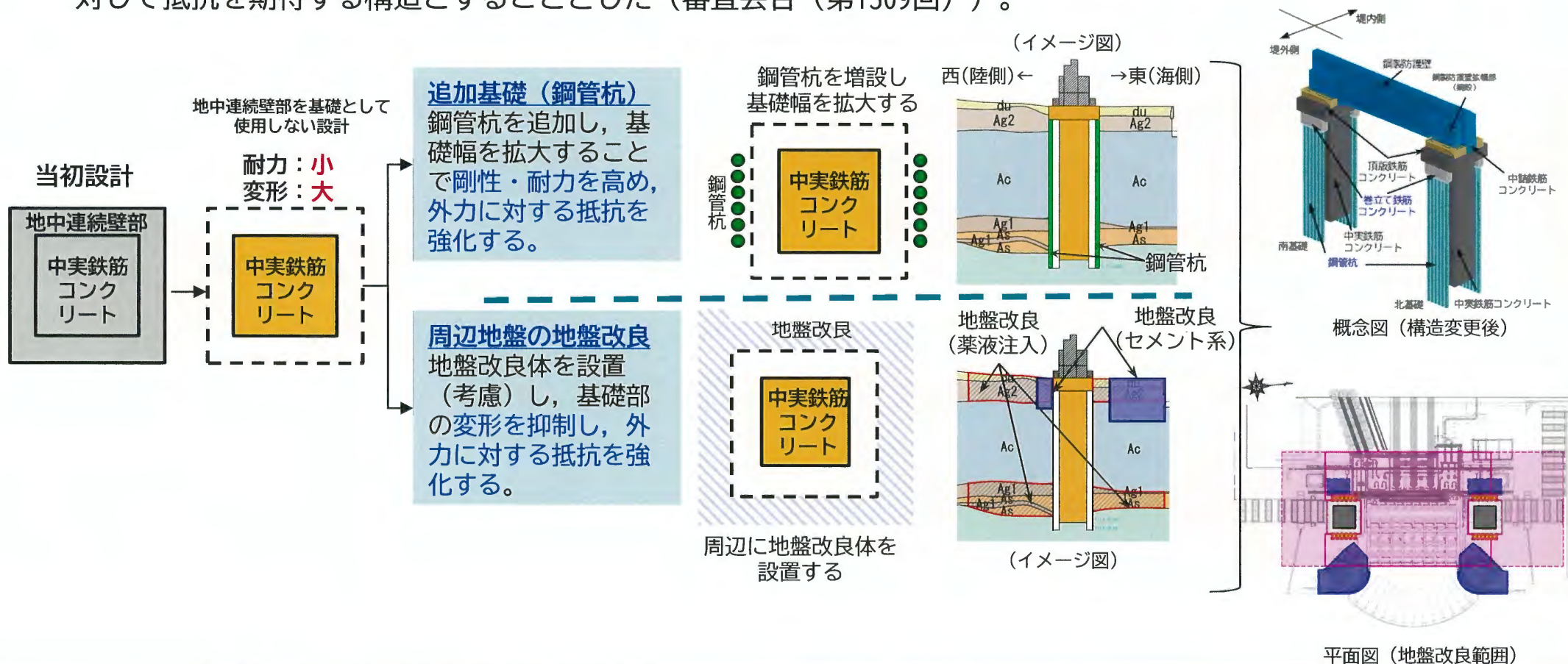
- ※鉄筋の変形, 脱落, 欠損
- ・ 中実側の掘削を実施したところ、地中連続壁の中実側の壁面の一部において、**コンクリート未充填及び鉄筋の変形等※**を確認した。また、その後の調査で地中連続壁の地山側においてもコンクリート未充填を確認した。
- ・ 地中連続壁の施工中、北基礎の地中連続壁の南西側角部において、**鉄筋かごが計画深度まで建込みできない事象（高止まり事象）**が発生した。

1. 概要

(1) 構造変更に至った経緯

審査会合（第1329回）資料を一部変更

- ▶ 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することとした（審査会合（第1309回））。



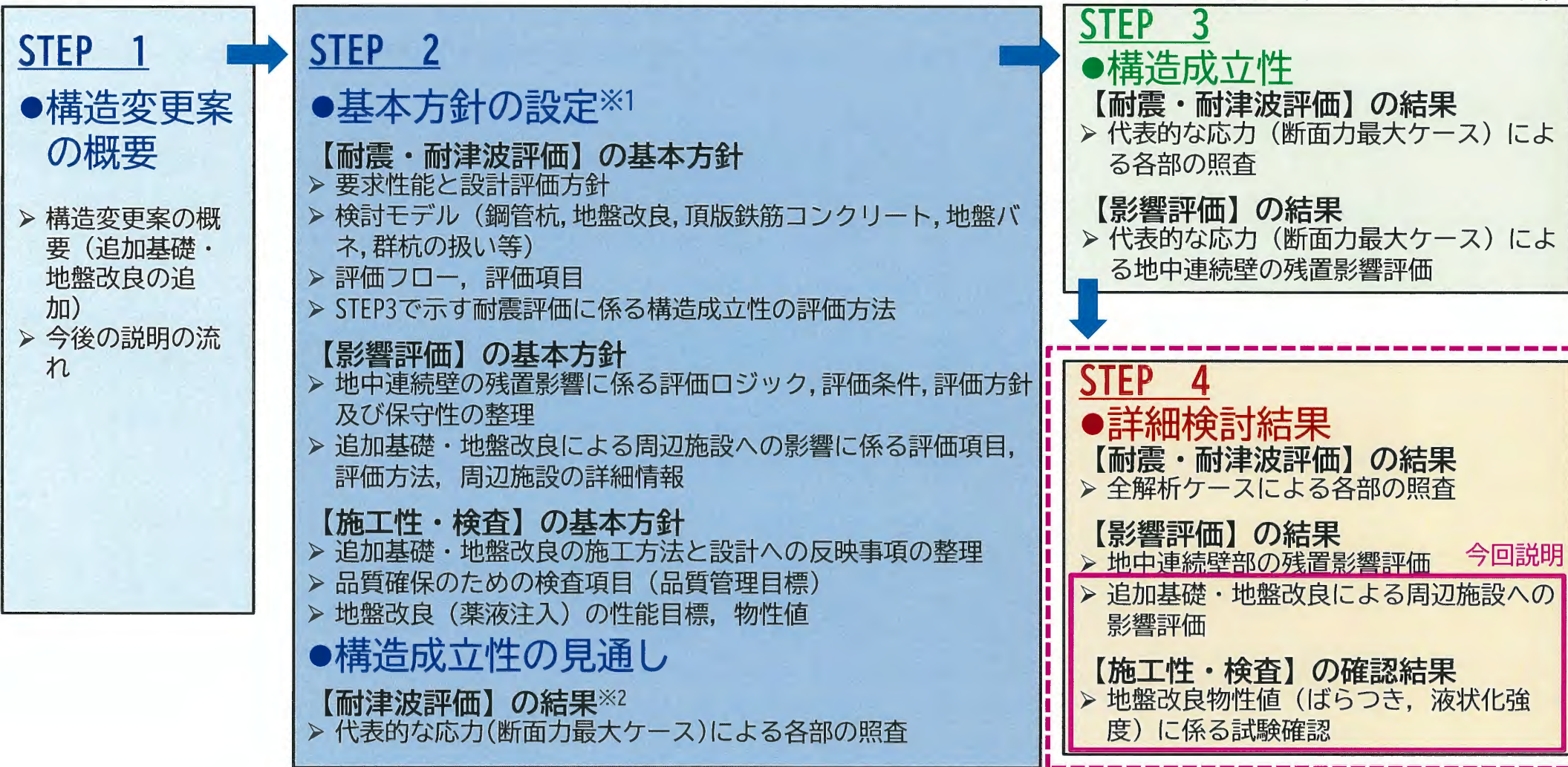
注) 審査会合（第1280回）において「中実鉄筋コンクリートの構造変更」も対策の候補として示したが、超重量の鋼材を地下深部へ運搬することが困難であること、厚手鉄板の現地溶接が困難であることから採用しないこととした。

STEP3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STEP4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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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。 	<p>今回回答</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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。 	<p>今回回答</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 説明スケジュールを明確にすること。 	回答済
	⑫	<ul style="list-style-type: none"> ● 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

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（過去の不具合原因を踏まえ策定）】（第1329回審査会合説明を再編集）

1) 施工方法の選定

施工方法は，適用性，施工実績を踏まえ，地盤のはらみ出し・崩落等を回避できる方法を選定する。

2) 施工性の確認

施工エリアについて現場調査や各施工ステップの施工図を作成し，特定した支障物や重機配置場所等への対策を検討の上，施工性を確認する。

3) 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想定し，その対策を施すことで施工の実現性を確保する。また，必要に応じ試験施工により計画どおりの工事が確実にできることを確認する。

4) 施工品質の確認

施工ステップ毎に工事が計画どおり行われていたことを確認できるよう，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。

【過去の不具合の原因の要点（次頁参照）】

- 1) 各施工ステップの施工状態の図面化・可視化，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
- 2) 施工中及び作業完了後の品質確認の際，その妥当性を目視等により直接確認できなかったこと

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原因は以下のとおり。

不具合事象	要因①	要因②	原因
コンクリート未充填	コンクリート流路の閉塞	a. 粘性土層（Ac層）のはらみ出し及び崩落	①掘削面（溝壁）付近の地盤（粘性土）に対する施工ステップ等の影響を考慮した施工設計まで考えが至らず、掘削面（溝壁）の安定性が確保されなかったため。 ②掘削面（溝壁）は泥水の中で、建て込んだ鉄筋の外側にあるため、その状態を目視等により直接確認できなかった。
		b. 溝壁のはらみ出しにより崩落した土砂の押上げ	・粘性土層（Ac層）のはらみ出しにより土砂が崩落したため（大元はa.の原因①）。
		c. 崩落土砂等の残置	・掘削面（溝壁）付近の地盤（粘性土）に対する施工ステップ等の影響を考慮した施工設計まで考えが至らず、溝壁が崩落し、その土砂等が残置されたため。
		d. SMWによる閉塞	・掘削面（溝壁）付近の地盤（粘性土）に対する施工ステップ等の影響を考慮した施工設計まで考えが至らず、溝壁が崩落し、その影響で周辺地盤が緩みSMW※が変位したため。
		e. 未改良地山の崩落	・掘削面（溝壁）付近の地盤の挙動について、粘性土に対する施工ステップ等の影響を考慮した施工設計まで考えが至らず、溝壁が崩落し、その対応として実施した地盤改良が未改良部に悪影響を与えたため。
鉄筋の変形等	設置済み鉄筋かごへの接触	f. ハンマーグラブの接触	・掘削面（溝壁）付近の地盤（粘性土）に対する施工ステップ等の影響を考慮した施工設計まで考えが至らず、掘削面（溝壁）が崩落し、崩落土砂等及び崩落防止用の碎石の回収に使用したハンマーグラブが設置済み鉄筋かごに接触したため（大元はa.の原因①）。
		g. 鉄筋かご同士の接触	・後行エレメントの鉄筋かごを建て込んだ際にハンマーグラブの接触に起因し変形した鉄筋かごに接触したため（大元はf.の原因）。 ・鉄筋かごの状態を目視等により直接確認できなかった。

注 ※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のこと。

【不具合の原因の要点】

- ・各施工ステップの施工状態の図面化・可視化，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。
- ・施工中及び作業完了後の品質確認の際，その妥当性を目視等により直接確認できなかった。

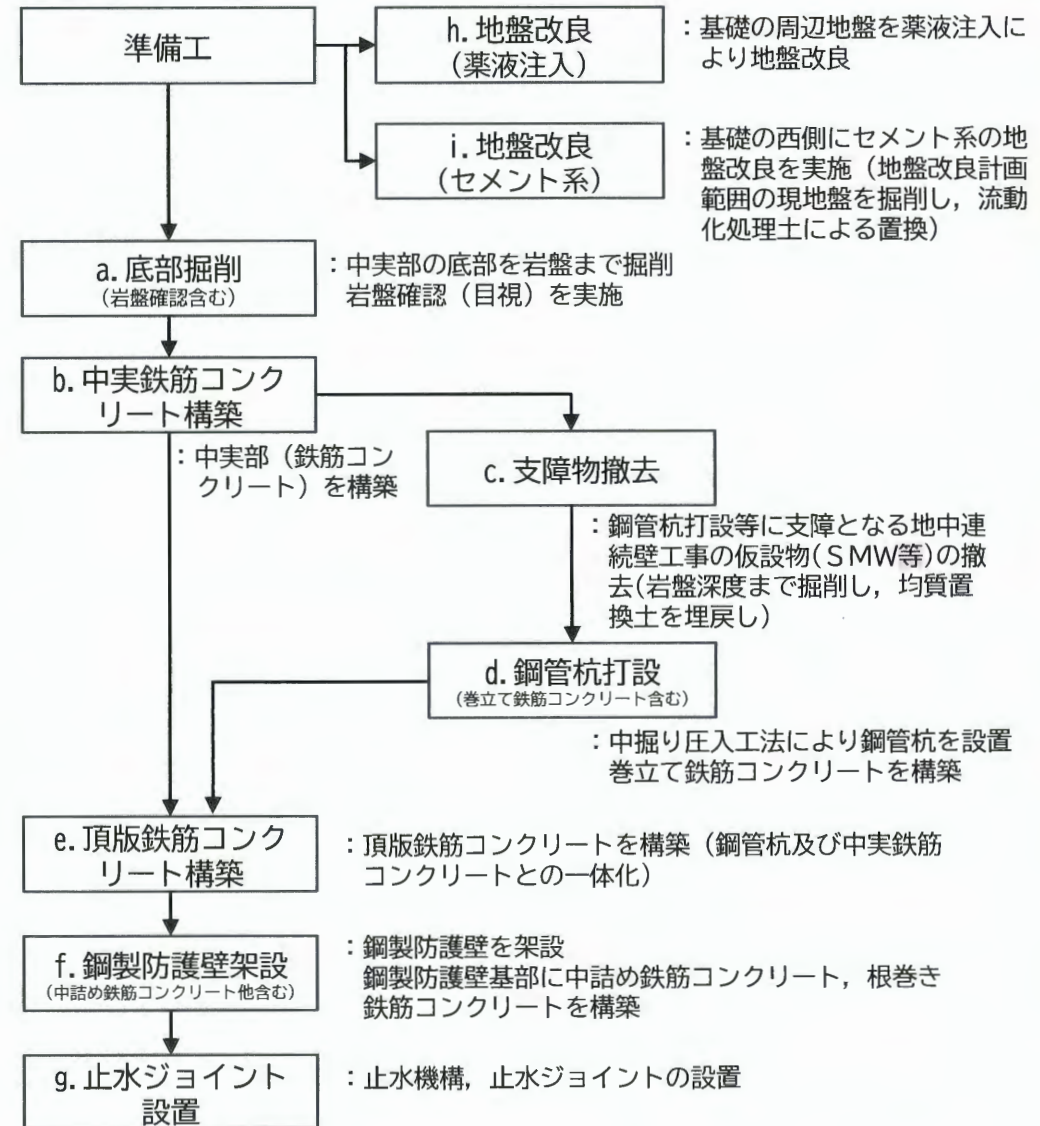
3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ③施工方法の選定

- ▶ 不具合事象の原因である「各施工ステップの施工状態の図面化・可視化，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，施工計画の詳細確認を実施した。
- ▶ 構造変更により既存の施工計画に加え，新たに必要となった下表の工事について適用性・施工実績より，施工方法を選定した。

施工ステップ	選定した工法	適用性・施工実績
鋼管杭打設	中掘り圧入工法	杭径・掘削深度とも発電所工事で施工実績あり（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）	掘削規模・要求品質とも発電所工事で施工実績あり（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，類似の深度を発電所工事で施工実績あり（既実施部）

- ▶ 発生した不具合事象について，全施工ステップ（右図）から当該不具合の原因と関連する可能性のある作業を抽出した。抽出した作業について，同様の不具合事象発生の可能性を確認した。



構造変更した防潮堤（鋼製防護壁）の施工ステップ図※

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

➤ 施工方法は、適用性、施工実績を踏まえ、地盤のはらみ出し・崩落等を回避できる方法を選定

防潮堤（鋼製防護壁）で発生した不具合事象について、全施工ステップから当該不具合事象の原因と関連する可能性のある作業を抽出した。抽出した作業について、同様の不具合事象発生の可能性を確認した。

不具合事象	左記に関連する作業	不具合事象の発生の可能性	該当する施工ステップ
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)	鋼管杭打設	・中掘り圧入工法は、鋼管杭が地山を抑えながら削孔、掘進するため、土砂の崩落等は発生しない。	d. 鋼管杭打設
	地盤改良 (掘削・置換)	・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。	i. 地盤改良（セメント系）
コンクリート未充填	コンクリート打設	・はらみ出しの発生しない型枠（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。 ・施工状況が目視で把握できる作業であり、異物は検知でき、コンクリートの打設前に撤去可能である。 ・施工状況が目視で把握できる作業であり、コンクリートの充填状況は打設作業中に目視にて確認可能である。	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）
	コンクリート打設 (鋼管杭内)	・はらみ出しの発生しない鋼管杭の中にコンクリートを打設する。 ・鋼管杭内はコンクリート打設前にスライム処理※1にて異物は除去する。 ・レッド測量※2により打ち上がり高さが確認可能である。	d. 鋼管杭打設
鉄筋の変形等	鉄筋組立	・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、当該箇所の再施工は可能である。 ・組み立てた鉄筋にハンマーグラブ等の接触は発生しない。	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）

(1) 施工計画 ④リスクを想定した対策の実施

注：青字は対策等の例として後述するもの

▶ 各施工ステップにおけるリスクを想定し、その対策を施すことで施工の実現性を確保する。

施工ステップ	施工中に想定されるリスク	対策等
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、鉄筋の精度が確保できず、鉄筋が計画どおり組み立てられない。 ・ 太径鉄筋の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。 ・ 実規模の鉄筋組立のモックアップ試験を実施し、必要な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。 ・ 実規模の組立鉄筋を用いたモックアップ試験を実施し、コンクリートが狭隘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。 ・ 掘削用ケーシングに取り付けられる掘削具（フリクションカッター）の外径はケーシングより若干太いので大きな摩擦は生じない。
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※1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。 ・ 掘削時の土砂が鋼管杭内から除去できず、後に打設するコンクリートと岩盤の間に残る。 ・ 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、計画どお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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鋼管杭はフリクションカッターを取付ける。 ・ 堆積層まで均質置換土に置換し、杭鉛直精度管理システムで精度を確保する。 ・ 鋼管杭内に水を張り、地下水とのバランスを取り、ボイリングを防止する。 ・ 掘削完了後、孔底処理※2（バケット掻き取りなど）により残った土砂を除去する。なお撤去完了は、レッド測量により掘削終了時の深度と対比して確認する。 ・ 3次元CADによる鉄筋干渉の確認により、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。

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：青字は対策等の例として後述するもの

➤ 各施工ステップにおけるリスクを想定し、その対策を施すことで施工の実現性を確保する。

施工ステップ	施工中に想定されるリスク	対策等
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配筋が重なり、太径鉄筋の高密度な配筋同士が干渉し、計画通り組み立てられない。 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元CADによる鉄筋干渉の確認により、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。
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、止水ジョイント等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を超える地盤改良（薬液注入）の実績は一般的ではなく、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、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、施工結果が直接的に把握しにくい。 	<ul style="list-style-type: none"> 計画地点近傍で最大深度（深さ50m超）の地盤改良試験施工を実施し、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。 改良品質の信頼性向上として、品質確認の数量を規格基準より拡充する。
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。 掘削前に底面下方の地盤の強度を高めるよう改良する。

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

I. 鋼管杭打設時における想定リスク及びその対策

(平面図：南基礎)

(鉛直断面図)

凡例

対策 : 想定リスクへの対策

鋼管杭打設施工イメージ

リスク	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。
対策①	杭鉛直精度管理システムで精度を確保する。
リスク	鋼管杭が摩擦により周辺地盤と固着する。
対策②	鋼管杭はフリクションカッターを取付ける。
リスク	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。
対策③・①	堆積層まで均質置換土に置換し、杭鉛直精度管理システムで精度を確保する。

リスク	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、計画どおり組み立てられない。
対策⑤	3次元CADによる鉄筋干渉の確認により、鉄筋組立が可能であることを確認した。

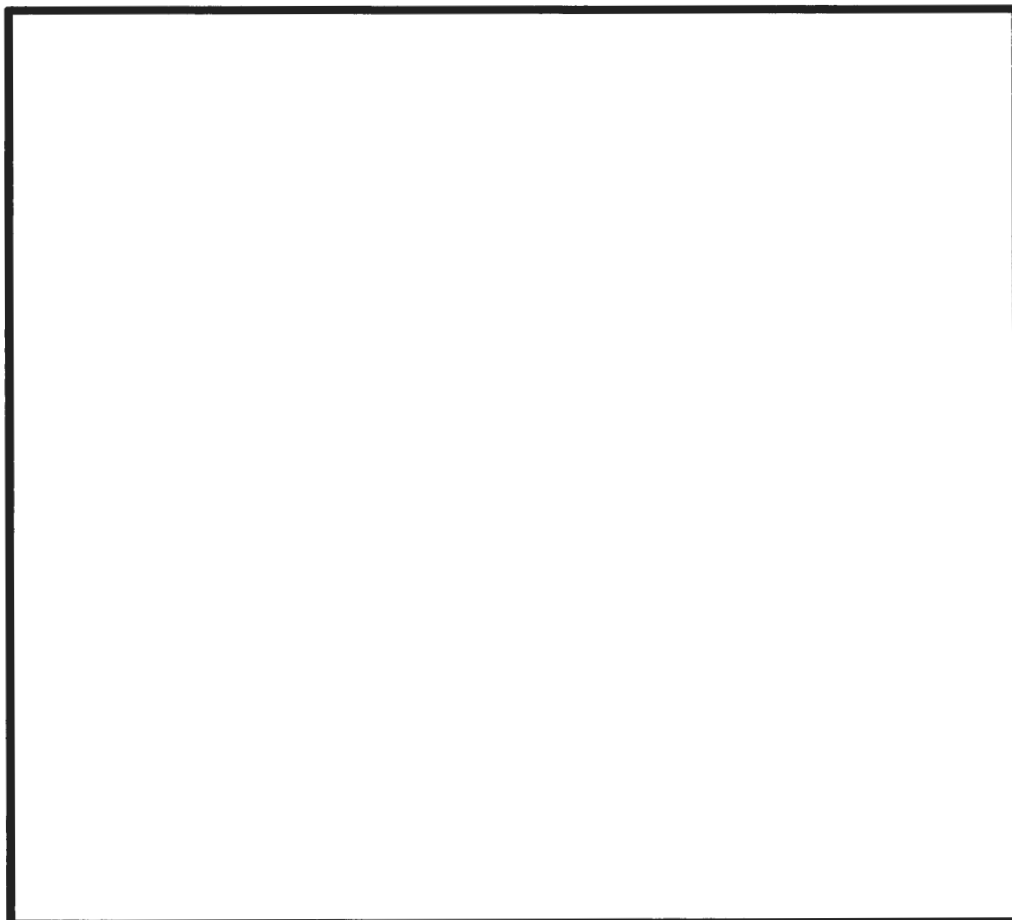
リスク	掘削時の土砂が鋼管杭内から除去できず、後に打設するコンクリートと岩盤の間に残る。
対策④	土砂は孔底処理により撤去する。土砂の撤去完了は、レッド測量により掘削終了時の深度と対比することで確認する。

（1）施工計画 ④リスクを想定した対策の実施

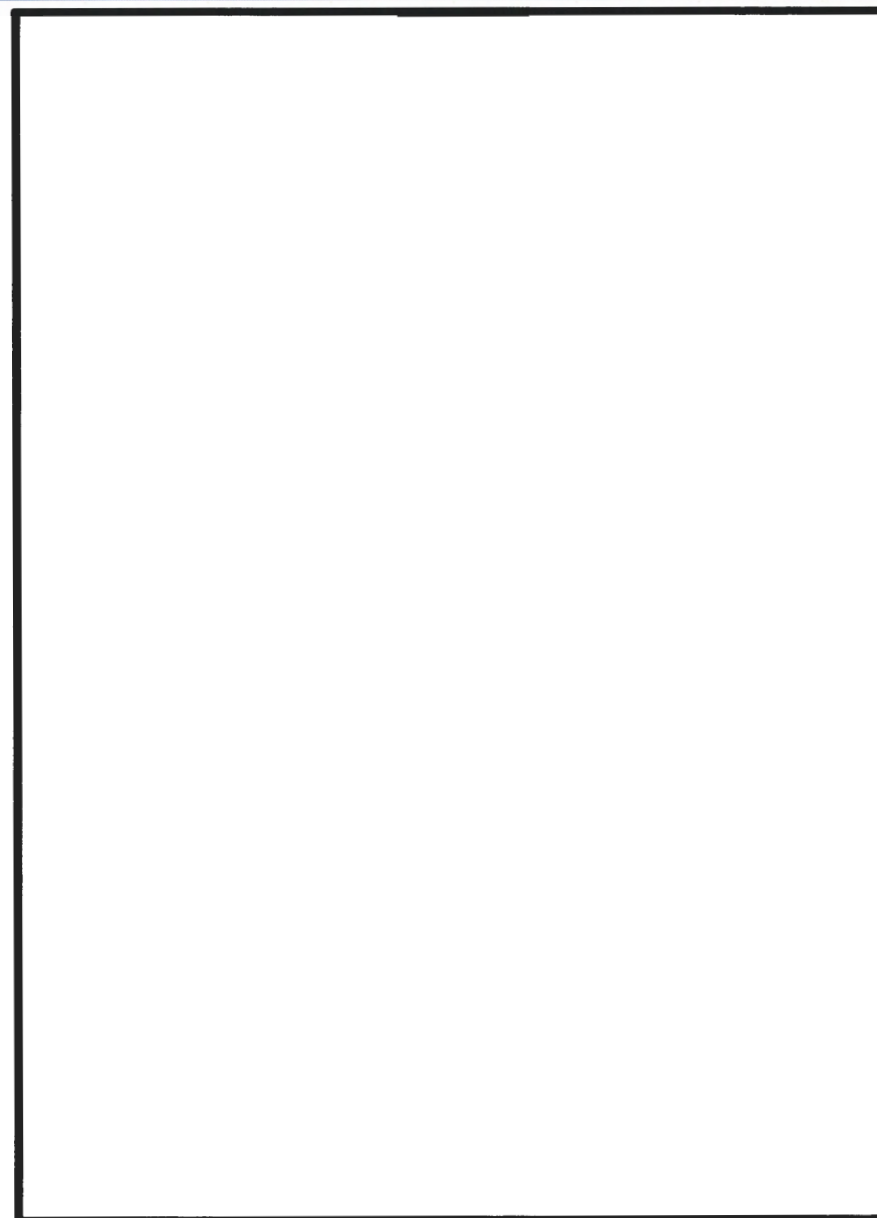
II. b. 中実鉄筋コンクリート構築に係る鉄筋組立試験

設計の構造図を参考に、施工性確認として右図の配筋の組立試験を行った。組立は実際の組立と同じ、1施工分の高さ3.3mを施工した。

組立は現地の環境と同様とするため、地中連続壁内空（10.7m×10.7m）を板で模擬し、内空のみで作業した。



モックアップ試験体（組立完了状態）



モックアップ試験配筋図（南基礎）

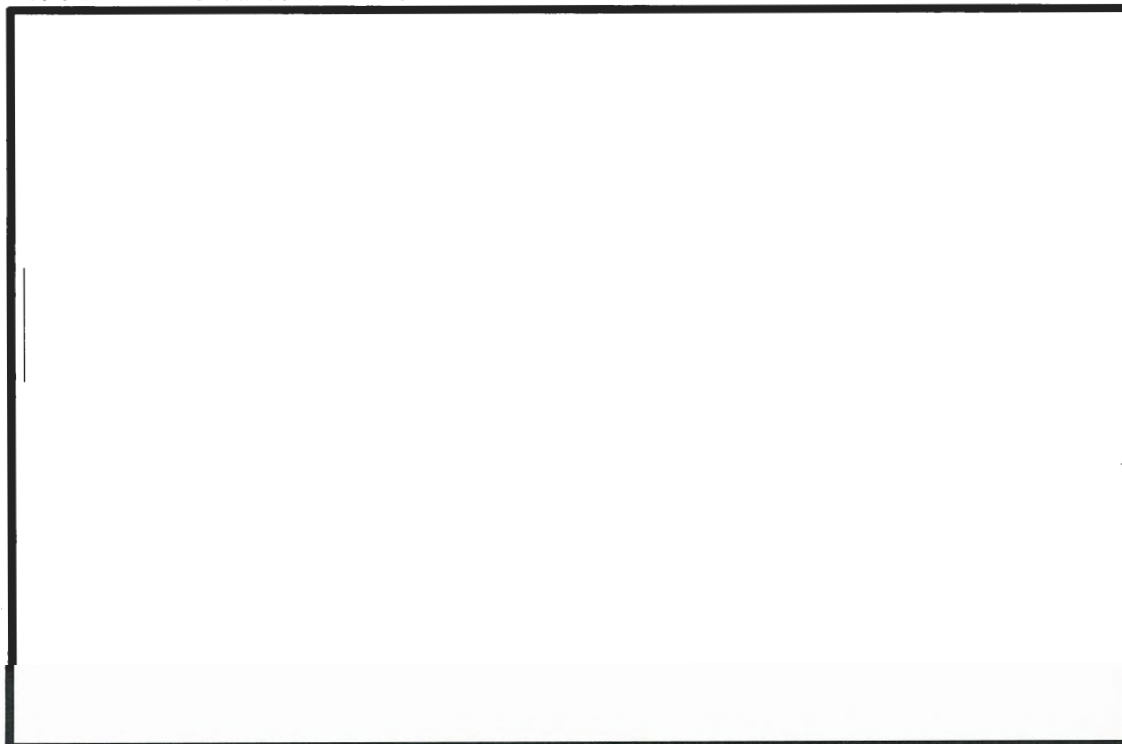
（1）施工計画 ④リスクを想定した対策の実施

Ⅲ. b. 中実鉄筋コンクリート構築に係るコンクリート充填確認 試験

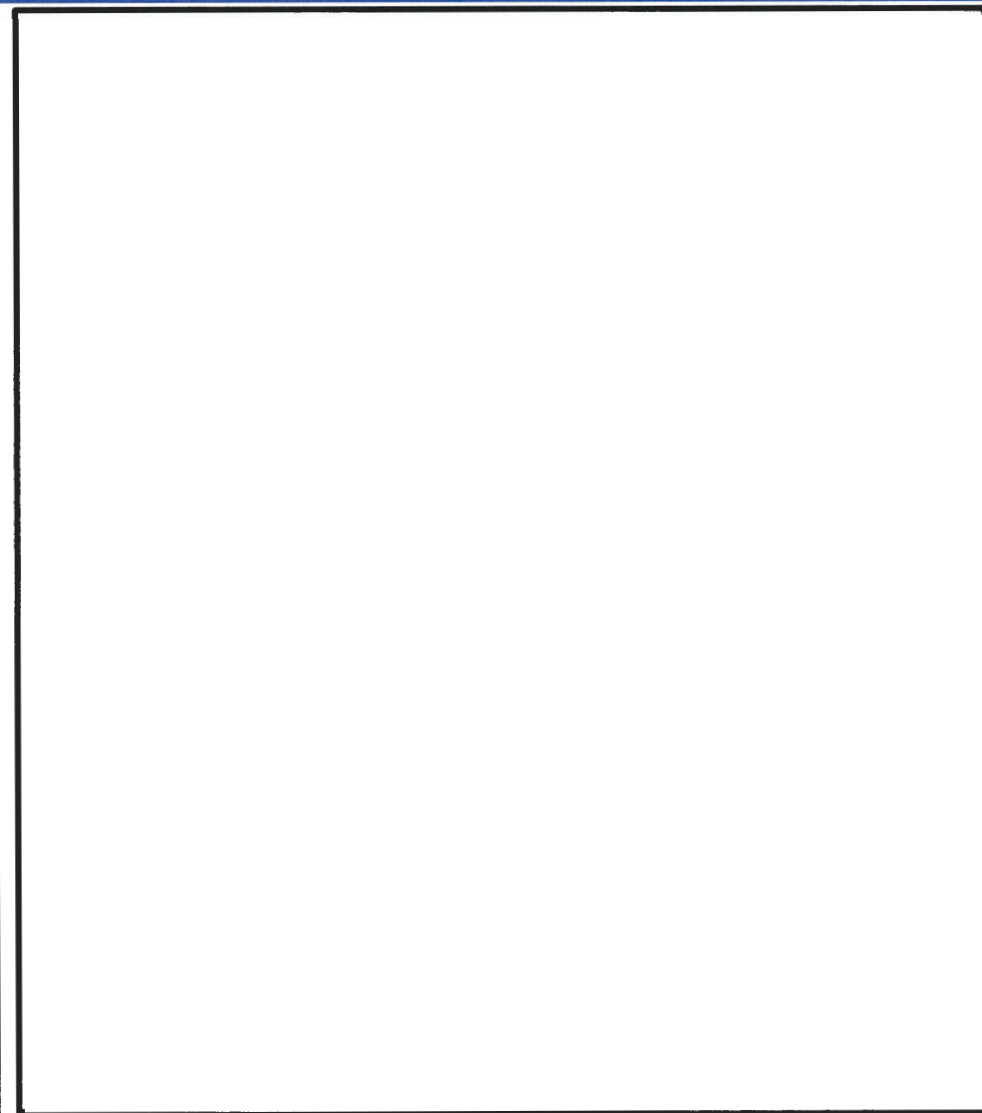
試験体の配筋図は下図のとおり。

平面で計画の1/4、高さ約1m分の実配筋を組み立て、そこに実際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。また、施工計画の向上を図るため、打込み場所の高さが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。試験体硬化後、切断してコンクリートの充填を確認した。



モックアップ試験体 観察箇所



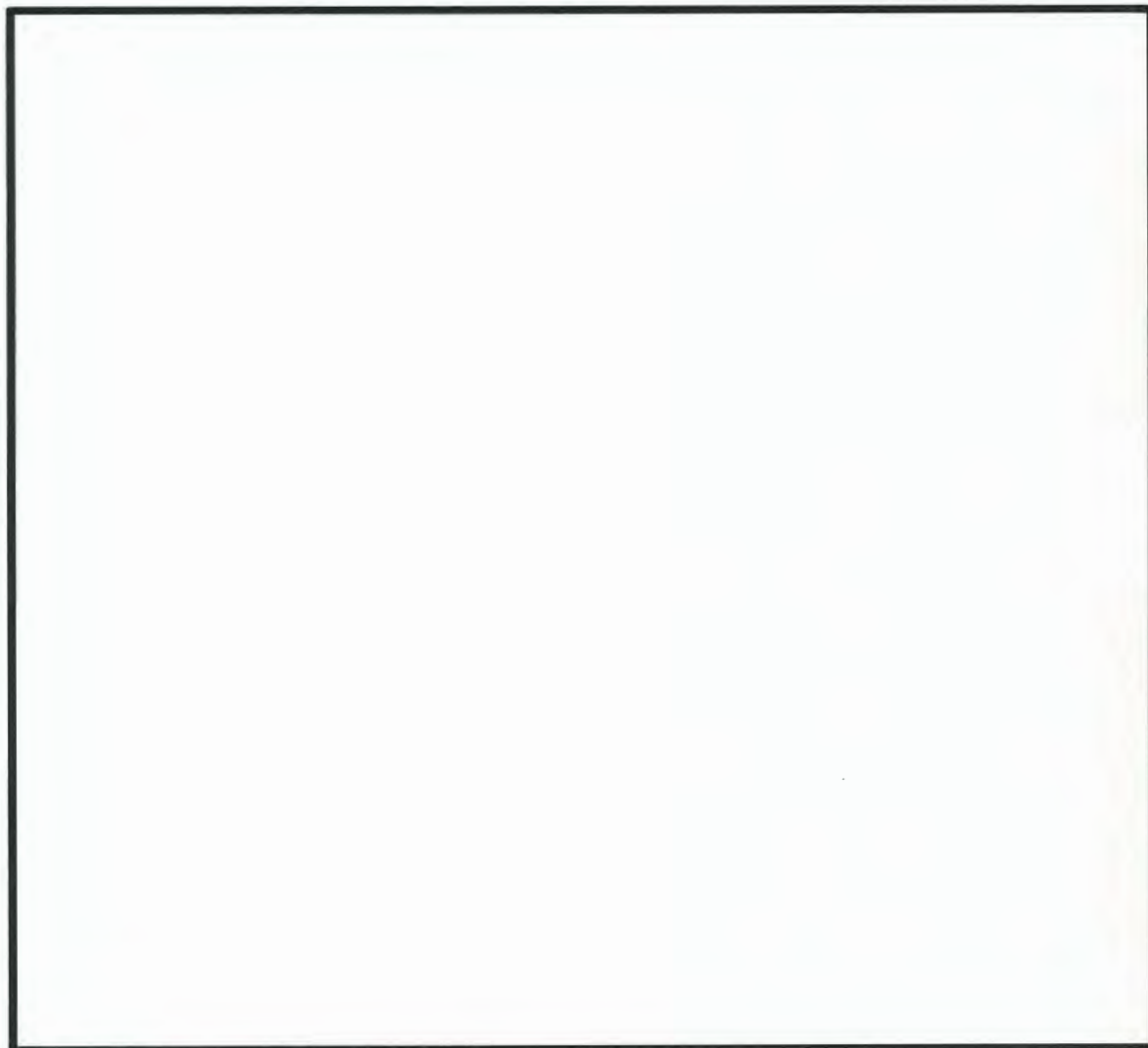
試験体の切断観察結果

太径鉄筋の高密度な配筋への高流動コンクリートによる打設を行い、本施工で充填に問題はなく、設計どおりの構築が可能であり、設計への影響はないことを確認した。

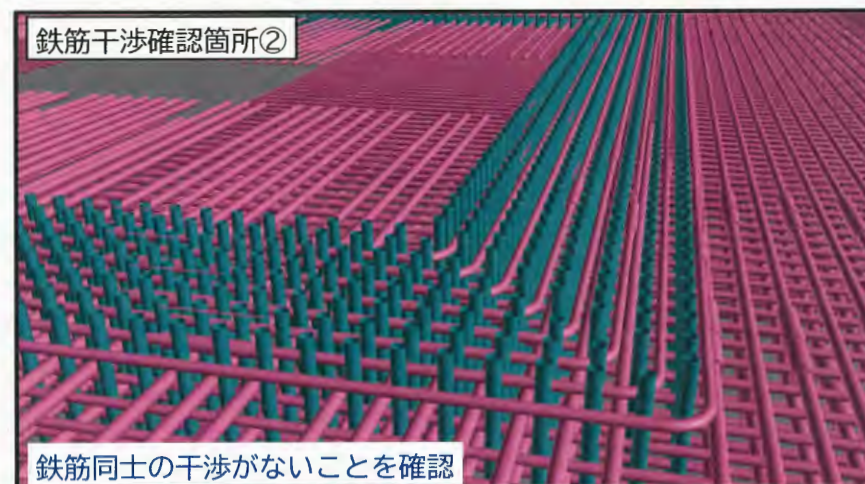
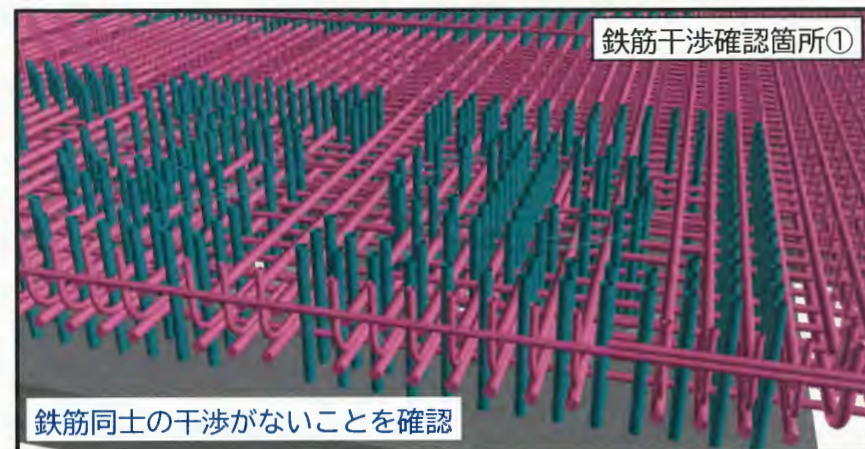
3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ④リスクを想定した対策の実施

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結果を以下に示す。



頂版鉄筋コンクリート配筋図（抜粋）



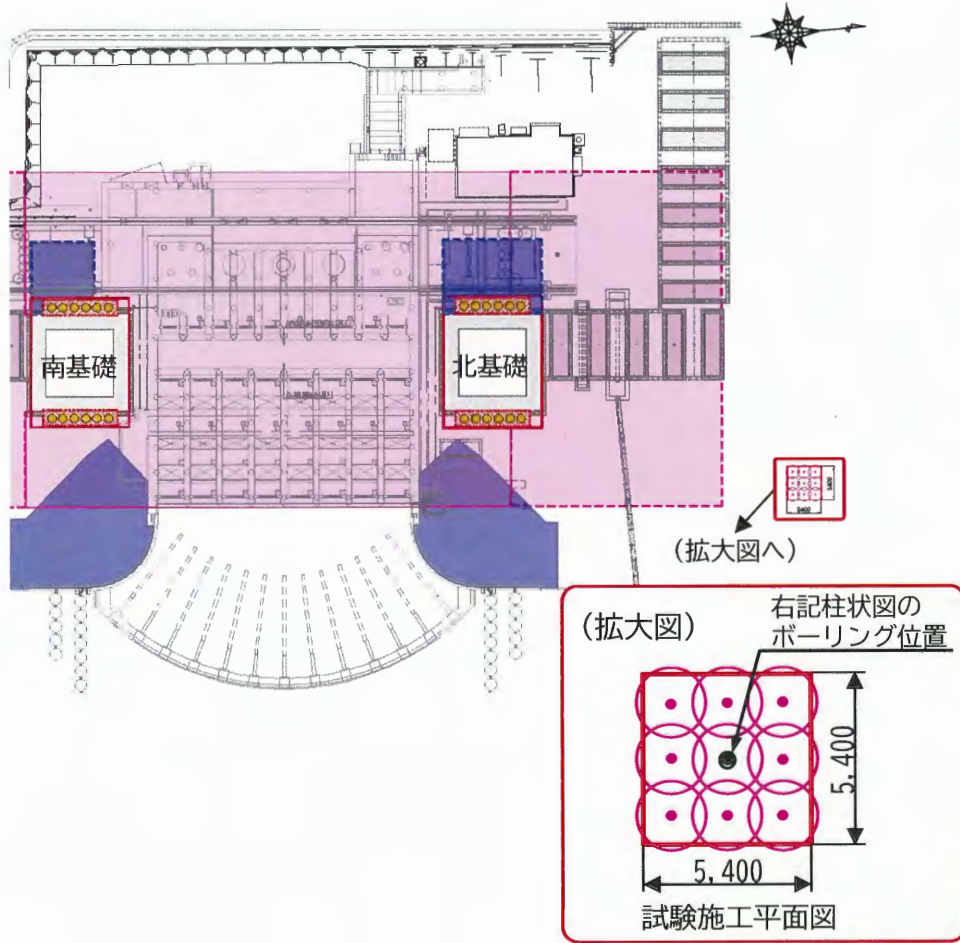
3次元CADによる干渉確認

3. 施工計画及び品質管理方法

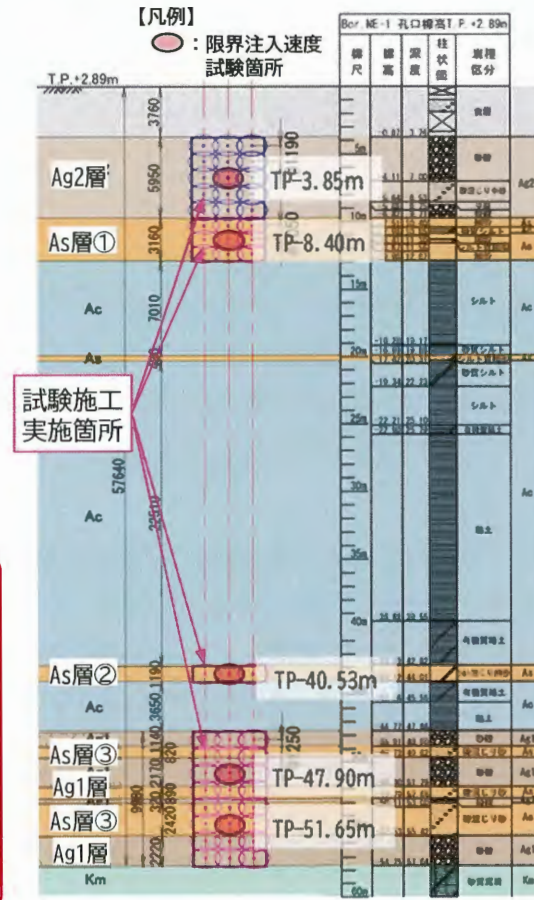
(1) 施工計画 ④リスクを想定した対策の実施

V. h. 地盤改良（薬液注入）の試験施工

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おいて、実施工で想定する施工条件で試験施工を実施し、計画どおりの施工が可能であることを確認した。



試験施工実施位置図



試験施工実施箇所の地盤状況

試験施工の事後調査結果

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	10.9	≧ 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

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 a. 基本方針

- 不具合事象の原因である「**施工中及び作業完了後の品質確認の際、その妥当性を目視等により直接確認できなかったこと**」を踏まえ、各施工ステップにおいて「計画どおり施工が行われていること」を確実に確認し、不具合を施工中または施工後に速やかに検知・是正できるよう、以下の観点から整理する。

【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

【確認方法】

以下の優先順位で確認方法を選定する。

- 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）
- 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）。
- 他の定量的な確認方法が採用できないもののうち、メーカーの記録が取得できるものについては、その記録に基づき仕様を確認する。（例：ミルシート、配合計画書）
- 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）
- 試料を用いた試験により確認（例：作成した試料の破壊試験（コンクリート、グラウト等の圧縮強度））

【確認時期】

- 品質の確認は作業完了後速やかに実施する。
- 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。

【その他】

- 上記の確認に加え、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。

以降、構造変更を行った基礎に係る主要な工事である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、「工事が計画どおり行われていることの確認」の方法（目視等を中心とした確認）と品質を確認する項目・確認時期の整理結果を説明する。

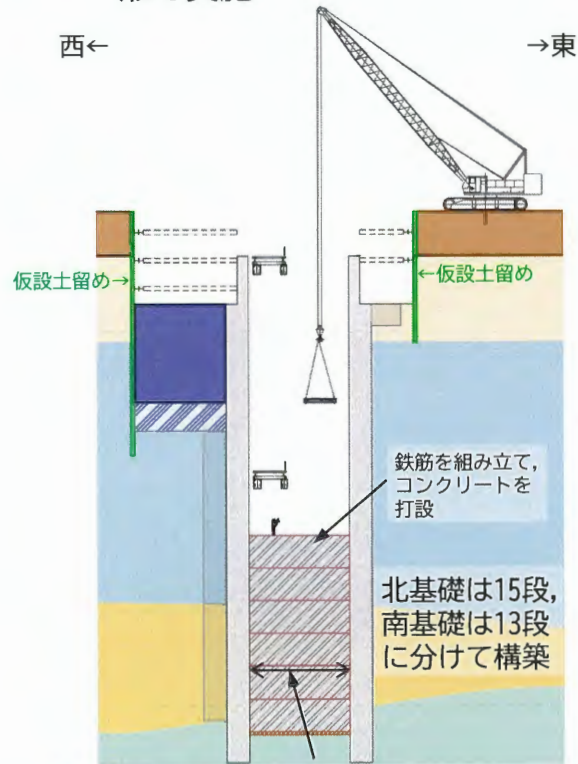
3. 施工計画及び品質管理方法

(1) 施工計画 ⑤施工品質の確認 b. 各施工ステップの確認

I. 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



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内空寸法を確保し平滑化する。

(2) 工事が計画どお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、時期を下表のとおり整理した。
- 中実鉄筋コンクリート構築に係る品質確認は、a. 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	吹付時にエア溜りが発生し未充填となるような箇所がないことを目視により確認	目視にて確認	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、強度発現後に圧縮試験により確認	計測にて確認	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	目視にて確認	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）	計測にて確認	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、計測にて確認	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、計測にて確認	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	目視にて確認	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、強度発現後に圧縮試験により確認	計測にて確認	施工後
	鉄筋の組立	鉄筋の組立状態と計画図の照合	目視、計測にて確認	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	図書の確認	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	計測にて確認	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、強度発現後に圧縮試験により確認	計測にて確認	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	目視にて確認	施工後

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 b. 各施工ステップの確認

II. d. 鋼管杭打設 (1/2)

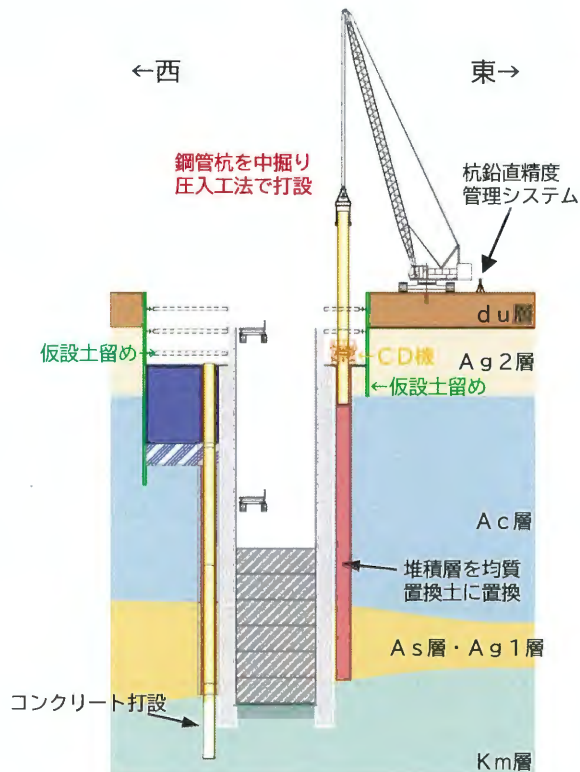
(1) 施工方法の概要 (鋼管杭打設工)

- 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) 工事が計画どお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, 時期を下表のとおり整理した。
- 鋼管杭打設のうち鋼管杭打設工に係る品質確認は, a. 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
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, 計測にて確認	施工前
	現場溶接の材料	現物と品質証明書の照合	目視にて確認	施工前
	杭芯位置	杭芯位置を測量し, 図面と照合	測量にて確認	施工前
	鋼管杭の傾斜	杭の傾斜を傾斜計等で計測	計測にて確認	施工中
	鋼管杭溶接	溶接条件 (入熱量等) を目視により確認	目視にて確認	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, 検査にて確認	施工後
	鋼管杭打設	基準高, 偏芯量, 傾斜量の計測	測量等にて確認	施工後
コンクリート打設工	コンクリートの配合計画書等	配合計画書, 材料試験結果の確認	図書の確認	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	計測にて確認	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, 強度発現後に圧縮試験により確認	計測にて確認	施工後
	根固めコンクリートの長さ	寸法を計測し, 設計値と照合	計測にて確認	施工後



鋼管杭打設 施工イメージ図

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 b. 各施工ステップの確認

II. d. 鋼管杭打設 (2/2)

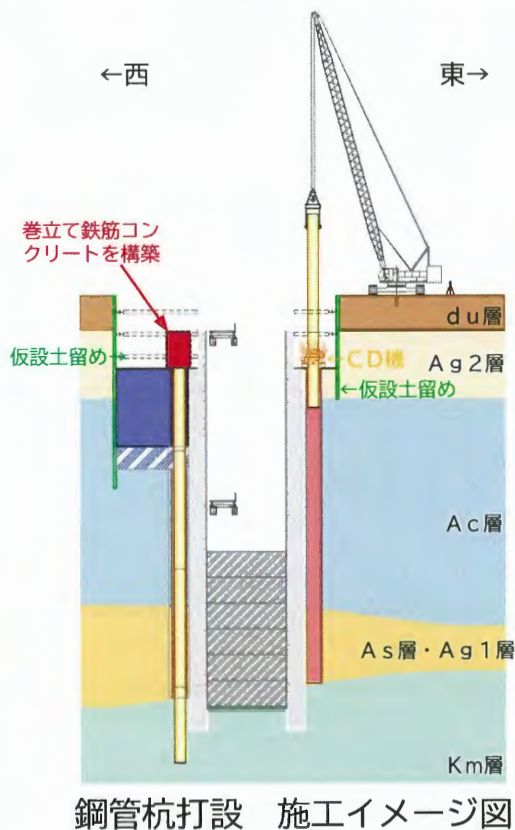
(1) 施工方法の概要

(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) 工事が計画どお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、時期を下表のとおり整理した。
- 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、a. 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, 計測にて確認 組立前
	鉄筋の組立	鉄筋の組立状態と計画図の照合	目視, 計測にて確認 組立後
	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, 計測にて確認 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	目視にて確認 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, 強度発現後に圧縮試験により確認	計測にて確認 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	図書の確認 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	計測にて確認 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, 強度発現後に圧縮試験により確認	計測にて確認 施工後
	構造物の寸法	寸法を計測し, 設計値と照合	計測にて確認 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	目視にて確認 施工後
	型枠工	コンクリート打設前に型枠寸法を測量し, 図面と照合	測量にて確認 施工中

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 b. 各施工ステップの確認

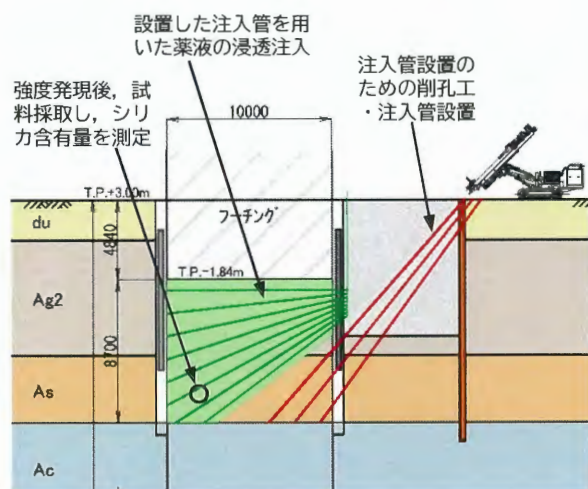
Ⅲ. h. 地盤改良（薬液注入）

(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、注入管より地盤に薬液を浸透注入
- 注入後、改良範囲より試料をボーリングで採取し、改良品質を確認

(2) 工事が計画どお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、時期を下表のとおり整理した。
- 地盤改良（薬液注入）に係る品質確認は、a. 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
（既設構造物直下の施工方法）

工程	確認項目	確認方法		時期
削孔工	削孔位置, 削孔角度	測量, 計測により確認	測量等にて確認	削孔前
	削孔長	ケーシング検尺により確認	計測にて確認	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, 計測にて確認	挿入前
	注入管の位置	注入管の位置を計測	計測にて確認	挿入後
	グラウト材の材料	分析報告書による確認	記録の確認	充填前
	グラウト材の比重	比重測定により確認	計測にて確認	充填前
	グラウトの充填	充填されている状態を目視にて確認	目視にて確認	充填後
注入工	薬液の材料	試験成績表等の確認及び比重測定との照合	記録の確認, 計測にて確認	注入前
	流量計の較正	実測値と計測値の誤差により確認	計測にて確認	注入前
	注入薬液の品質	pH測定により確認	計測にて確認	注入前
	注入速度・注入圧力	流量計（モニタ）により確認	目視にて確認	注入中
	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	目視にて確認	注入後
事後調査 ・ボーリング （試料採取） ・試料分析	ボーリング位置, 角度	測量, 計測により確認	測量等にて確認	削孔前
	ボーリング深度	ケーシング検尺により確認	計測にて確認	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分光分析）により確認	計測にて確認	採取後

なお、事後調査は規格基準に準拠し、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

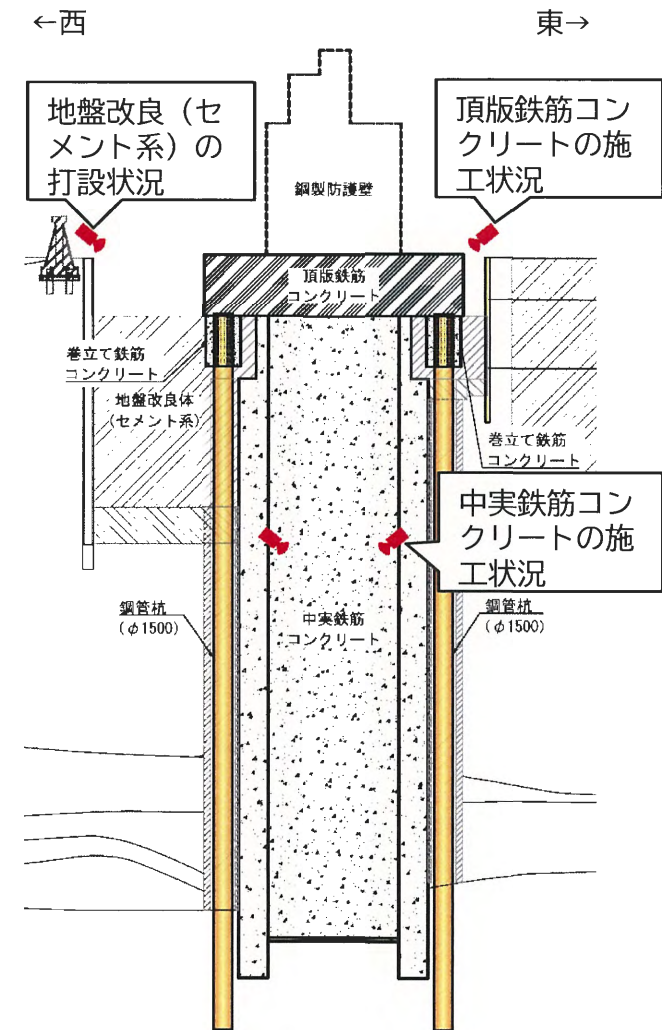
(1) 施工計画 ⑤施工品質の確認 c. カメラを活用した工事管理の高度化の試み

- 前頁までの工事管理に加え、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。

【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。
- ✓ 工事管理員や視察者が現場に入域せずに状況を把握できるため、**施工エリアの負荷低減と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

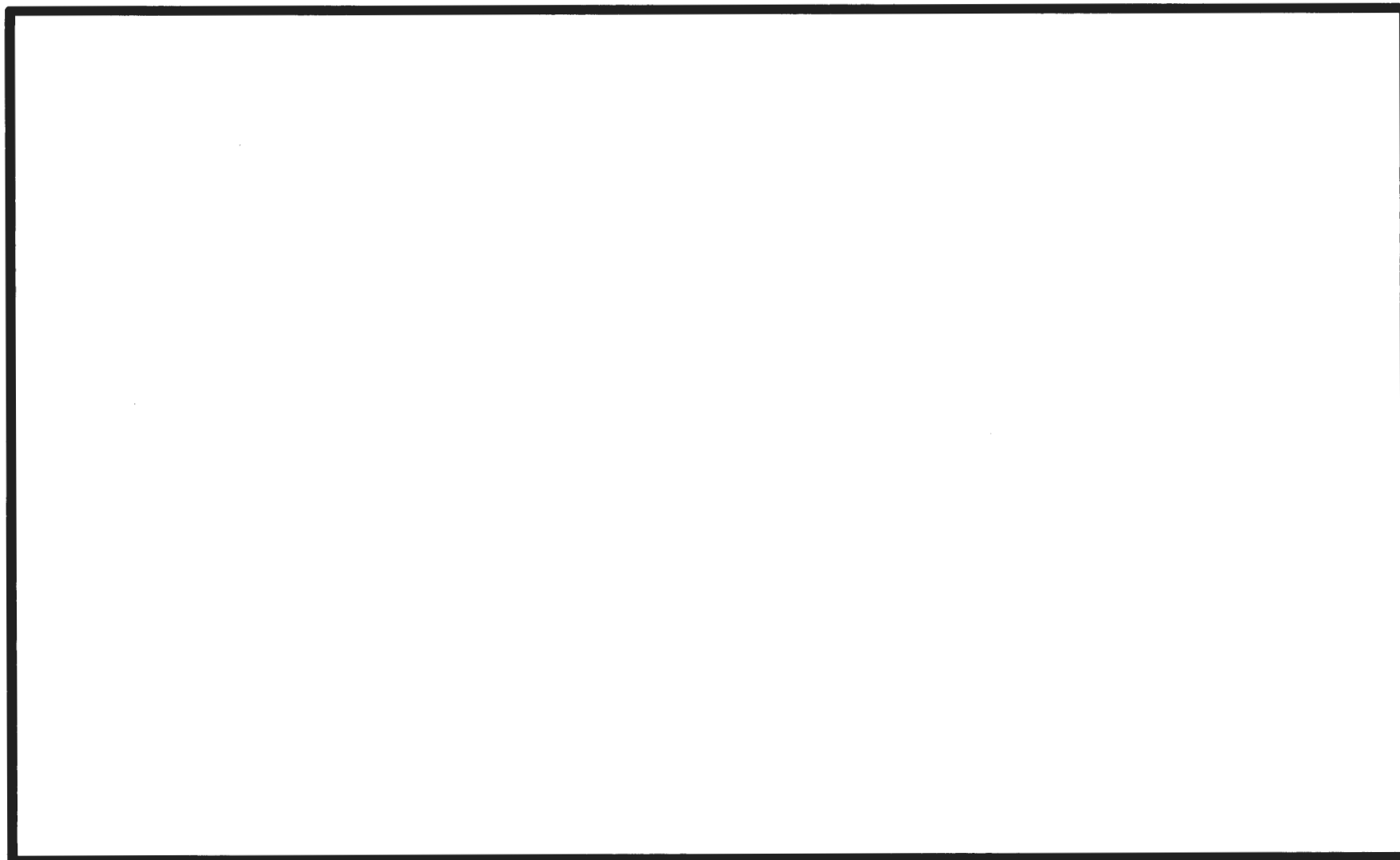


定点撮影の例（俯瞰的に把握）

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 c. カメラを活用した工事管理の高度化の試み

➤ 工事管理におけるカメラを活用イメージを以下に示す。



定点カメラ（中実鉄筋コンクリート撮影イメージ）

(1) 施工計画 ⑥まとめ

防潮堤（鋼製防護壁）の工事の基本方針に基づき、「地盤のはらみ出し・崩落等」を回避できる方法を選定した。また、各施工ステップにおけるリスクを想定し、その対策を施した上で品質が確保されていることを確認する具体的方法を整理した。

- 各施工ステップにおけるリスクを網羅的に想定し、試験施工・モックアップ試験により施工の実現性を確認した。また、リスク対策を用いることで施工の実現性が確保できることを確認した。
- 各施工ステップで工程に合わせて「工事が計画どおり行われているかの確認」の方法を整理し、現地で目視、寸法測定や他の定量的な方法により、工程の進捗毎に品質の確認が可能であることを確認した。

これに加え、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。

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

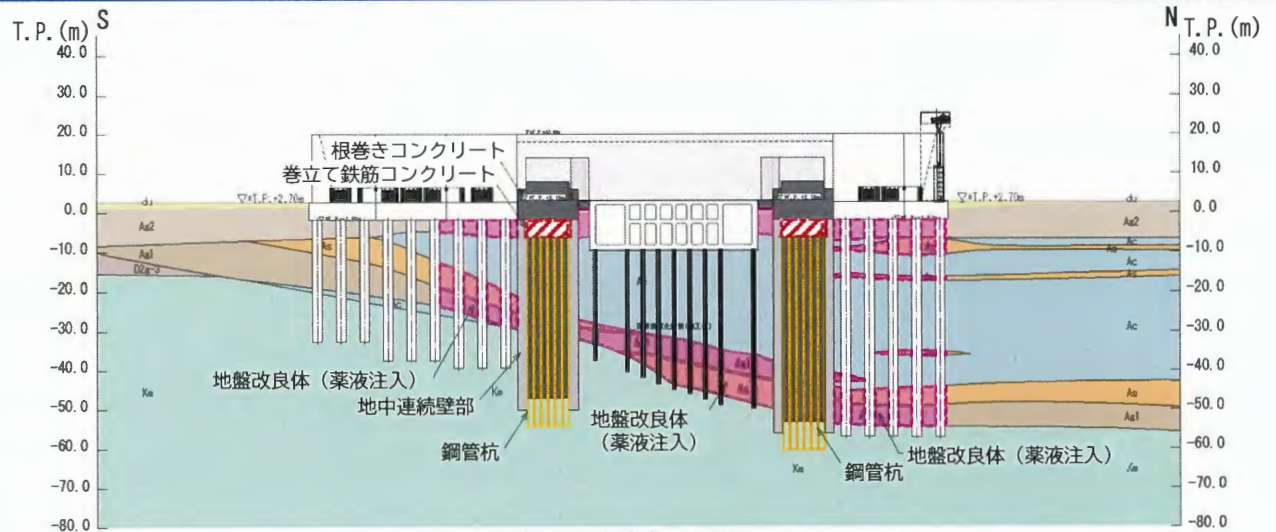
No	回答概要
⑰	<p>地盤改良（薬液注入，セメント系）の改良品質の不確かさの要因の抽出プロセスの詳細として、「土木事業における地質・地盤リスクマネジメント」に基づき不確かさによるリスク要因から「改良品質の不確かさにリスクとして想定される事象」を網羅的に抽出した。また、これらの想定事象について対策検討要否を評価した上で、改良品質の不確かさへの対策方針の詳細検討を実施した。これらの改良品質の不確かさに対する対策方針は、配合設計では「試験供試体の保守的な条件，試験データのばらつきを考慮した保守的な液状化強度比の採用」，施工では「ボーリングの削孔誤差を考慮し注入範囲を広めに計画」と余裕を持った施工にて改良品質を確保する。また，調査試料の標本数の拡充により信頼性を向上させる。</p>
⑱	<p>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）や品質検査の方法について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）），JIS（土の一軸圧縮試験）及び「シリカ含有量試験（ICP発光分光分析法）」に従って実施する。</p> <p>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を満足する標本数であり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，液状化強度試験の規格基準の標準を超える標本数で評価した。</p>
⑨	<p>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とおり整理した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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：必要な強度）を明確にした。 ・ 使用前事業者検査の実施内容が要求品質を満足していることを確認する方法（具体的な検査の詳細な方法及び管理基準値並びにこれらを規定する規格・基準等）を明確にした。

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 《地盤改良の計画》

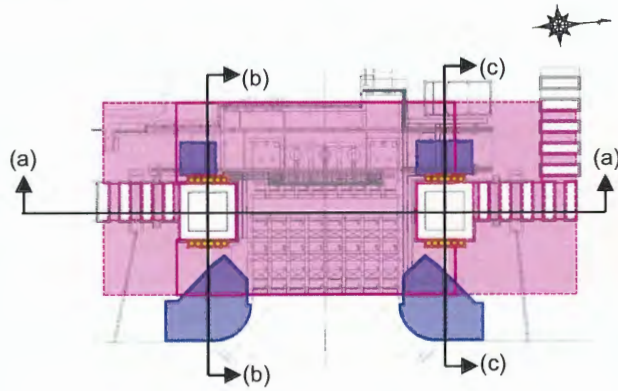
➤ コメント回答に先立ち、地盤改良について説明する。

- ・防潮堤（鋼製防護壁）の周囲は、地震応答の低減及び地盤反力の確保を目的に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）の西側は、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、地盤改良（セメント系）を実施する。
- ・地盤改良の範囲は各図のとおり。

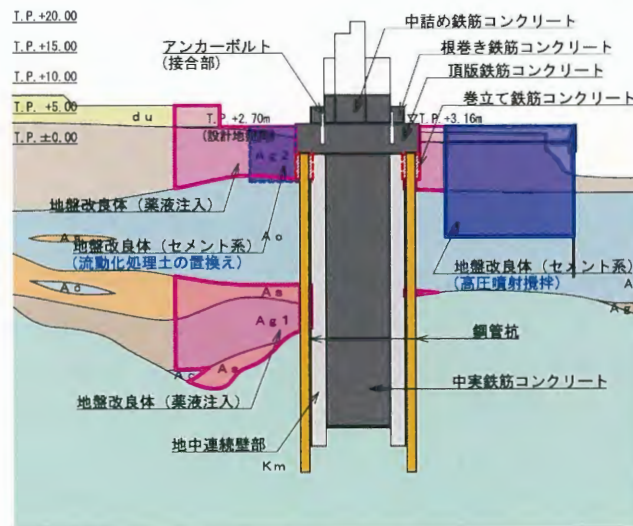
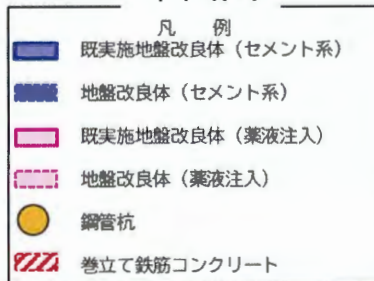


(a)-(a)断面図

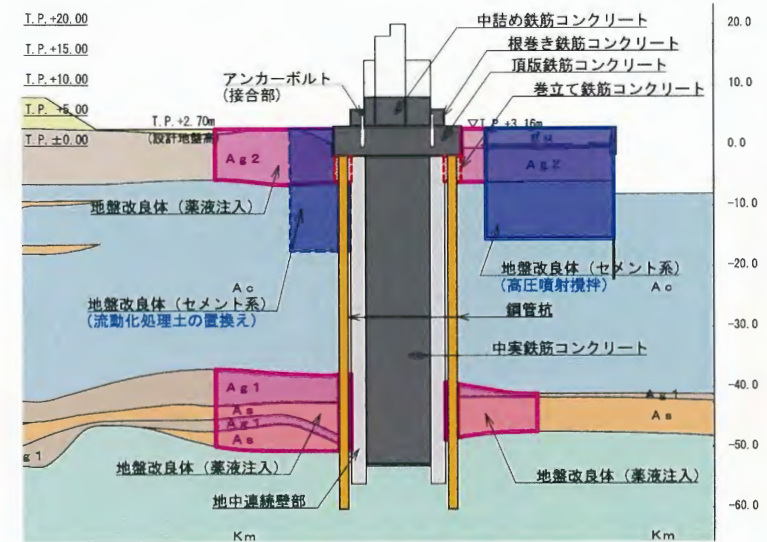
(鋼管杭は「投影」して記載)



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 《地盤改良のリスク要因の抽出及び対策の立案》

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。

(1)地盤改良のリスク要因（改良品質の不確かさ含む）の抽出及び対策の立案

リスク要因（不確かさ含む）の抽出に至る検討プロセス及び抽出した要因への対策検討プロセスを右図に示す。

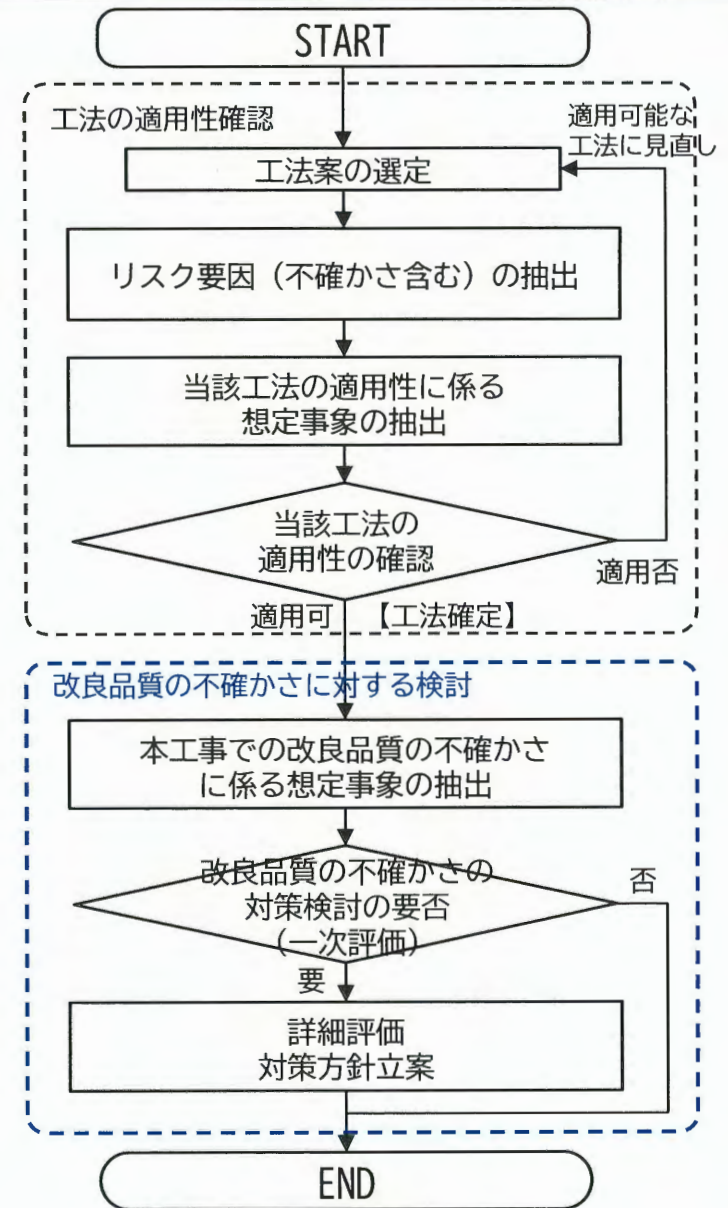
【工法の適用性確認】

- 工法案を選定する。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基づき、網羅的にリスク要因を抽出する。
- リスク要因ごとに工法の適用性の視点で想定される事象を抽出する。
- 抽出した想定事象について適用性を確認する。

【改良品質の不確かさに対する検討】…今回説明

- リスク要因ごとに本工事での改良品質の不確かさの視点で想定される事象を抽出する。 ➔(2)①
- 抽出した想定事象について、本工事での改良品質の不確かさの対策検討要否を評価する（一次評価）。 ➔(2)②
- 検討要となった事象について詳細評価を実施し、必要な対策を立案する。 ➔(2)③

(2)①等の記載は次項の記載箇所を示す。



リスク要因ごと想定事象の抽出及び対策検討の流れ

(2) 地盤改良の品質管理方法 《地盤改良のリスク要因の抽出及び対策の立案》

【不確かさの要因の抽出に当たって参照とすべき規格基準類の選定】

- 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」※1に基づき、リスク要因を整理し、地盤改良におけるリスク（改良品質の不確かさ）の要因を網羅的に抽出する。同ガイドラインによれば、地質・地盤リスクマネジメントの対象となる不確実性によるリスク要因には下表のようなものが挙げられている。

「土木事業における地質・地盤リスクマネジメント」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

- 次頁以降に、地盤改良のうち薬液注入について実施した「地盤改良のリスク要因の抽出及び対策の立案」の詳細を代表として説明する。

(2) 地盤改良の品質管理方法 《地盤改良(薬液注入)の検討結果 ①想定事象の抽出》

(2)地盤改良(薬液注入)の検討結果

①改良品質の不確かさに関わるリスクとして想定される事象の抽出

- 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、地質・地盤リスクマネジメントのガイドラインの「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※1を参考に、改良品質の不確かさの視点でリスクとして想定される事象を検討した。

地盤改良(薬液注入)における改良品質の不確かさのリスクとして想定される事象(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として想定される事象
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可能性がある。 ・(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ている。 ・(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、強度特性(液状化強度特性)に不確かさを有する。 ・(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)の含有の有無が不確実であり、薬液による改良効果が得られない可能性がある。
	人工地盤の材質・構造・物性等の不確実性に起因するもの	(上記の検討に含む)
	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、地盤改良の適用性や改良品質の不確かさの要因の抽出とは目的・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、強度が低下する可能性がある。 ・(環境②) 対象地盤の温度の変化により地盤改良体の品質に影響を及ぼす可能性がある。
	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)が地盤改良体の品質に影響を及ぼす可能性がある。 ・(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品質が確保できない可能性がある。

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(薬液注入)の検討結果 ①想定事象の抽出》

①改良品質の不確かさに関わるリスクとして想定される事象の抽出

地盤改良（薬液注入）における改良品質の不確かさのリスクとして想定される事象（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として想定される事象
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可能性がある。 ・ (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可能性がある。 ・ (設計④) 配合試験において試験データにばらつきを有する。 ・ (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可能性が考えられる。 ・ (材料②) 改良材（薬液）の品質のばらつきが、改良品質に影響を及ぼす可能性がある。 ・ (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可能性がある。 ・ (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、未改良部が残る可能性がある。 ・ (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可能性がある。 ・ (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る可能性がある。
	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、未改良範囲が残る可能性がある。

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(薬液注入)の検討結果 ②想定事象の一次評価》

②改良品質の不確かさに関わるリスクとして想定される事象の一次評価

- 前項で抽出した「改良品質の不確かさの視点でリスクとして想定される事象」について、対策検討要否を評価する(一次評価)。

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として想定される事象に対する一次評価(1/3)

施工・改良品質に関わる リスクとして想定される事象	詳細検討の要否検討結果 (一次評価)
(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可能性がある。	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。
(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ている。	否：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。
(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、強度特性(液状化強度特性)に不確かさを有する。	要：強度特性(液状化強度特性)の不確かさ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。
(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)の含有の有無が不確実であり、薬液による改良効果が得られない可能性がある。	否：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、下記のとおり影響検討を行い、問題ないことを確認した。 <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、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、使用する薬液は海水地盤での使用は問題ない※1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の水質はほぼ中性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、当該地点のカルシウム類は改良品質への影響はないことを従前の試験で確認している。
(環境①) 凍結により薬液が劣化し、強度が低下する可能性がある。	否：発電所より北方の小名浜の凍結深度は19cm※2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。

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(薬液注入)の検討結果 ②想定事象の一次評価》

②改良品質の不確かさに関わるリスクとして想定される事象の一次評価

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として想定される事象に対する一次評価(2/3)

施工・改良品質に関わる リスクとして想定される事象	詳細検討の要否検討結果 (一次評価)
(環境②) 対象地盤の温度の変化により地盤改良体の品質に影響を及ぼす可能性がある。	否：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14～25℃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)が地盤改良体の品質に影響を及ぼす可能性がある。	否：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※1。
(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品質が確保できない可能性がある。	否：薬液注入は地下水位以深を対象とし、地下水位以浅は地下水位の影響を受けないセメント系地盤改良の適切な工法で代替する。
(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る。	否：薬液注入工法のマニュアル※2に薬液濃度やシリカ含有量増分量と各種力学試験結果の相関(シリカ含有量増分値の増加に伴い一軸圧縮強度や液状化強度比が増加する傾向)が示されており、これに基づき配合設計を実施する。
(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可能性がある。	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。
(設計③) 設計パラメータの不確かさが強度に影響を与える可能性がある。	否：薬液注入工法のマニュアル※2では、薬液の濃度を変えて力学試験(液状化強度試験等)を実施し、要求性能を確保するための薬液の濃度の設定を行うこととされており、本工事でも同様の手順を採用する。
(設計④) 配合試験において試験データにばらつきを有する。	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。

注記 ※1：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
 ※2：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 《地盤改良(薬液注入)の検討結果 ②想定事象の一次評価》

②改良品質の不確かさに関わるリスクとして想定される事象の一次評価

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として想定される事象に対する一次評価（3/3）

施工・改良品質に関わる リスクとして想定される事象	詳細検討の要否検討結果 (一次評価)
(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可能性が考えられる。	否：今回使用する薬液は、既往論文※に記載のとおり、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) 改良材（薬液）の品質のばらつきが、改良品質に影響を及ぼす可能性がある。	否：改良材(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可能性がある。	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、未改良部が残る可能性がある。	否：注入による改良径を考慮し、造成した改良体が他の薬液注入を阻害しない配孔を計画する。また、注入した薬液による地下水の排除に支障をきたさないよう排出経路が確保される改良順序にて施工するため、品質に影響を及ぼすことはない。
(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可能性がある。	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。
(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る可能性がある。	否：地盤改良（薬液注入）の施工は施工箇所毎に施工を完了させる手順としており、施工状態が長期間放置することはない。
(情報①) 対象地盤の分布を見落とし、未改良範囲が残る可能性がある。	否：現地の地質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。

注記 ※：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 《地盤改良(薬液注入)の検討結果 ③想定事象の詳細検討結果》

③ 「改良品質の不確かさに関わるリスクとして想定される事象」の詳細検討結果

【地盤改良(薬液注入)の改良品質の不確かさへの対策方針】

➤ 抽出した改良品質に関わるリスクとして想定される事象に対し、対策方針を立案した。

地盤改良(薬液注入)の改良品質に関わるリスクとして想定される事象に対する対策方針

改良品質に関わるリスクとして想定される事象	対策方針
(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可能性がある。	施工設計において、地盤の不均一性(透水性のばらつき)への対策として、薬液注入速度は限界注入速度試験結果の最小値である3.0 L/minを採用する。
(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、強度特性(液状化強度特性)に不確かさを有する。	配合設計において、地盤の不均一性(粒度分布)への対策として、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(保守的になるよう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可能性がある。	配合設計において、室内配合試験と現場環境との相違の対策として、現場施工の強度発現率及び現場割増係数を考慮し、配合目標強度を設定し、施工に使用する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を有する。	配合設計において、試験データのばらつきに対しては、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する。
(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可能性がある。	施工設計において、大深度改良範囲の改良精度(改良範囲確保)への対策として、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。
(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可能性がある。	配合設計において、試料採取時の試料の乱れによる悪影響への対策として、試料採取時の試料の乱れに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、これを管理基準値として採用する。

■ 配合設計、施工設計において、上記の対策方針を採用することで、要求品質を確保する。

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 《地盤改良(薬液注入)の検討結果 ④不確かさに対する保守性》

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）

- 各対策方針について、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。

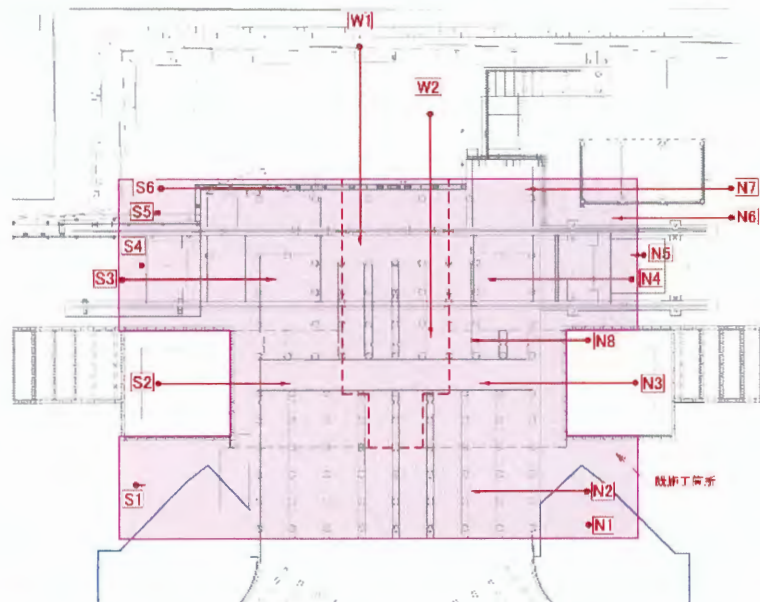
改良品質に関わるリスクとして想定される事象	対策区分	①防潮堤（鋼製防護壁）工事における対応（概要）	②一般工事での対応	評価（①，②比較結果）
対象地盤の細粒分含有率や粒度分布が不均一であり、強度特性（液状化強度特性）に不確かさを有する。	配合設計	保守的になるよう原地盤の液状化しやすい粒度分布に合わせた粒度調整試料を採用	採取試料をそのまま、または現地地盤の平均的な粒度分布に合わせた粒度調整試料を採用	品質（強度）を確保するため、配合設計に用いる試料の段階で保守的な試料を採用
室内配合試験で設定した強度が現場で再現できない可能性がある。		現場施工の強度発現率及び現場割増係数を考慮し、配合目標強度を設定し、施工に使用する薬液濃度を決定	同左	両者とも工法マニュアルのとおり、強度発現率及び現場割増係数を用いた薬液濃度を採用
配合試験において試験データにばらつきを有する。		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
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可能性がある。		採取試料時の試料の乱れに影響を受けない指標を管理基準値に採用	同左	両者とも工法マニュアルのとおり、現場の状況に合わせた適正な指標を採用
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可能性がある。	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を採用	同左	両者とも工法マニュアルのとおり、現場に合わせた適正な値を採用
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可能性がある。		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
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）	品質確認	改良土量5,000m ³ 未満では3箇所、5,000 m ³ 以上では2,500m ³ 増えるごとに1箇所追加実施する。地層毎に改良層厚が6m以上の場合は3深度、6m未満の場合は概ね2mの間隔で確認する。改良範囲・時期ごとに当該頻度を適用する。	改良土量5,000m ³ 未満では3箇所、5,000 m ³ 以上では2,500m ³ 増えるごとに1箇所追加実施する。改良層厚が6m以上の場合は上中下の3深度、6m以下の場合は改良層厚に応じて2m程度に1深度を確認する。	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

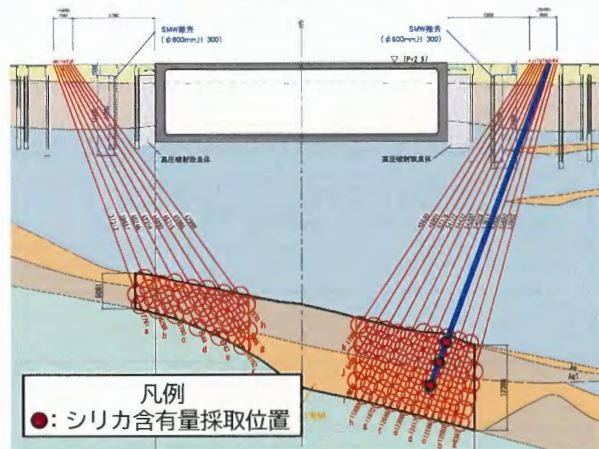
(2) 地盤改良の品質管理方法 《地盤改良(薬液注入)の検討結果 ⑤施工実績》

⑤既実施箇所の施工実績

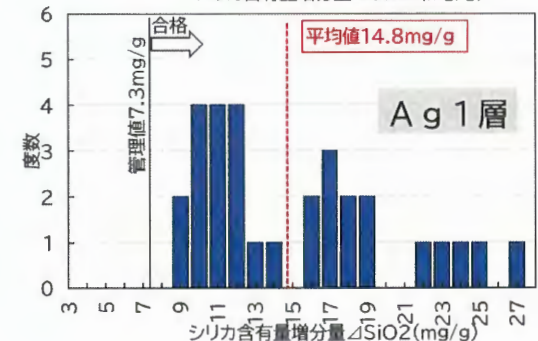
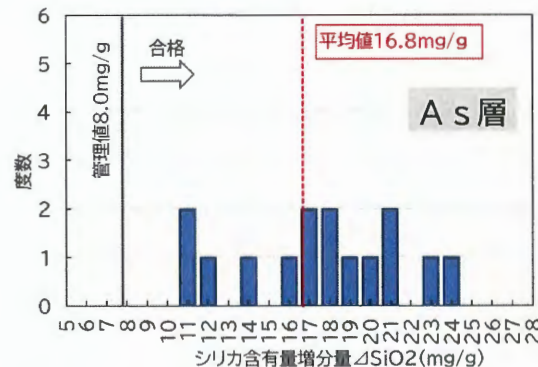
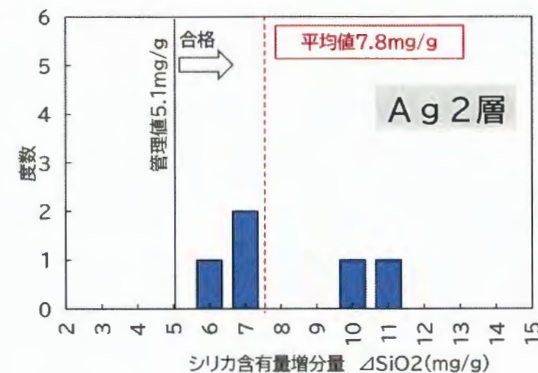
➤ 参考として、既実施箇所の品質確認の実績を示す。事後調査結果は管理基準値を十分満足している。



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）



シリカ含有量増分量確認結果

※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

以上のとおり、「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」に基づき、不確実性によるリスク要因から「施工・改良品質に関わるリスクとして想定される事象」を網羅的に抽出し、詳細検討の要否を確認した上で、適用性・改良品質の不確かさに係る詳細検討を実施した。

また、抽出したこれらの要因に対し、地盤改良の品質を確保するための対策を整理した。

地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさへの対策方針として

- ・ 配合設計では「試験データのばらつきを考慮した液状化強度比（平均－1 σ ）の採用」及び「保守的な液状化しやすい粒度分布に合わせた供試体の採用」により、保守的な強度設計
- ・ 施工設計では「ボーリングの削孔誤差（実績）を考慮し、注入範囲を広めに計画」

を採用し、余裕を持った施工にて地盤改良の品質を確保する。また、土中の工事で施工結果が直接的に把握しにくいことを踏まえ、品質を確認する試料数を規格基準より拡充する。

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 ②審査会合コメント⑱回答《地盤改良(薬液注入)の配合設計》

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（分析までの手順）

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(薬液注入)の配合試験の標本数》

II. 地盤改良(薬液注入)の配合試験の標本数

(1) 管理値の設定における標本数

- 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する。
- これらの試験の標本数の考え方を整理し、管理基準値の設定における標本数の妥当性を確認する。
- 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する。

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：薬液濃度毎)								
	試験結果の整理方法	標準標本数	Ag 2層			As層		Ag 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	

(2) 標本数の考え方(妥当性の確認)

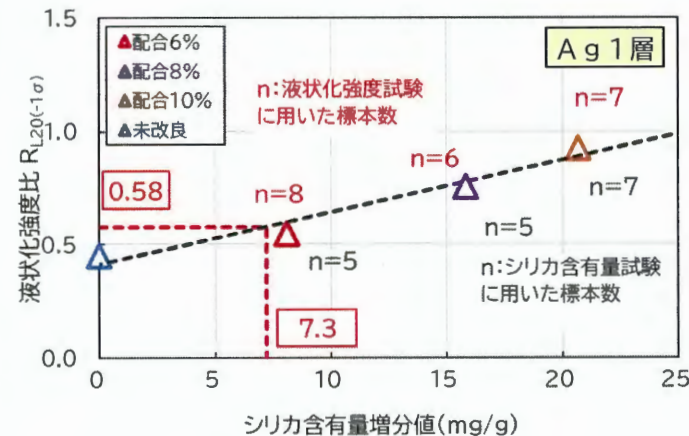
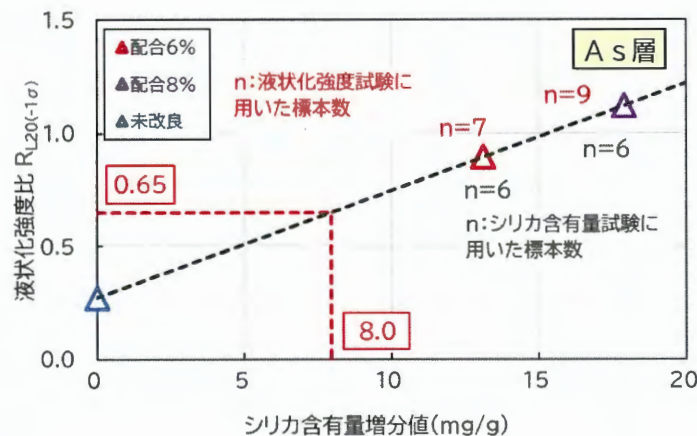
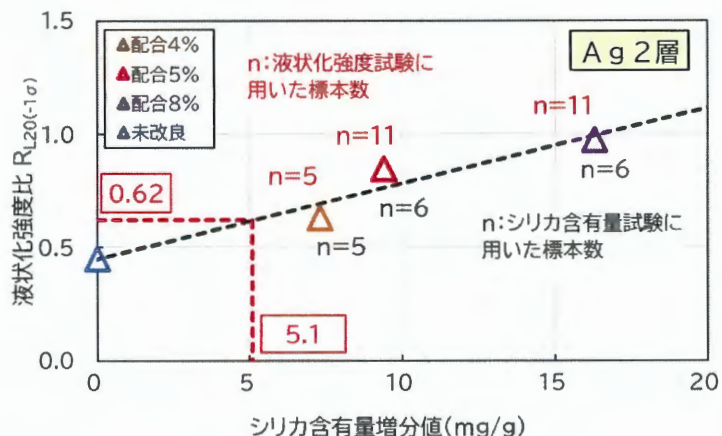
- ✓ 液状化強度試験は規格基準で標本数4個以上、一軸圧縮試験は規格基準の標準標本数3個との規定に対し、それぞれ規格以上の標本数を採取しており、標本数は妥当であると判断した。
- ✓ シリカ含有量増分量計測に用いる検体は、JGSの基準に従い相対密度を合わせた供試体を試験室にて改良していることから、シリカ含有量増分量の結果のばらつきは小さい。マニュアルには標準標本数は定められていないが、信頼性を高めるため一軸圧縮試験(3標本)、液状化強度試験(4標本以上)の規格基準の標準を超える標本数で評価した。

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(薬液注入)の管理基準値の設定》

(3) 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	5.1mg/g以上
As 層	0.65以上	8.0mg/g以上
Ag 1層	0.58以上	7.3mg/g以上

以上のとおり、地盤改良(薬液注入)の品質管理について、マニュアルに準拠し実施した供試体の作製から各種試験までの規格基準を整理した。

また、管理基準値の設定に用いた標本数を整理し、各試験の規格基準の標準標本数などから、今回実施した管理基準値の設定に係る試験の標本数は妥当であることを確認した。

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 ③審査会合コメント⑨回答 《設工認と使事検の整理》

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整理する。

工事の種類	目的	設計上の取扱い	性能目標
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(RL ₂₀)が上回ること
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

➤ 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、これらを実現させるための工法に適用される基準を明確にし、これらの基準に従い、検査項目等を定め、工事が計画どおり実施されているか検査を実施する。

工事の種類	性能目標	整理する事項
地盤改良 (薬液注入)	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(RL ₂₀)が上回ること	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工事（工法）に適用される基準の明確化 ・ 上記に基づき検査項目を設定 ・ 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)	設計に用いた強度及び剛性	

次頁以降に、地盤改良の各工事について整理した結果を示す。

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 《地盤改良(薬液注入)の要求品質及び検査の方法》

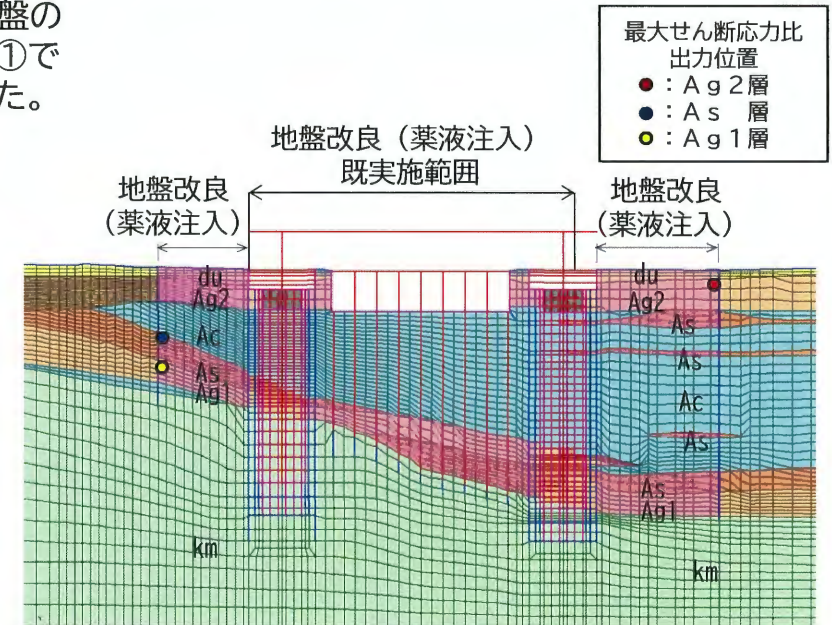
II. 地盤改良(薬液注入)の要求品質及び検査の方法

- 地盤改良(薬液注入)の目的は「地震応答の低減および地盤反力の確保のため、地盤の液状化を防止する」ことである。この設計上の取扱いは「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」となる。
- 設定される性能目標は「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事」である。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) 基準地震動 S_s の地震応答解析を2次元有効応力解析(FLIP)により実施し、地盤のせん断応力の時刻歴を算定する。地震応答解析は基本ケースである地盤ケース①で全波検討し、最も厳しい地震動 (S_s-31) で各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(+1 σ)
- 地盤ケース③：原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(-1 σ)
- 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(+1 σ) (全地盤を非液状化)



2次元FLIP解析モデル

(2) (1)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。

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

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。

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

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

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(薬液注入)の要求品質及び検査の方法》

II. 地盤改良(薬液注入)の要求品質及び検査の方法

(1) 設工認段階では、地盤改良(薬液注入)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整理する。

目的	設計上の取扱い	性能目標
地震応答の低減及び地盤反力の確保のため、地盤の液化化を防止する。	地盤改良体(薬液注入)は想定する地震力に対して液化化しない。	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)の液化化強度比(RL ₂₀)が上回る。

(2) 上表の性能目標の具体的な数値は下表のとおり。

基準地震動 S_s における地盤内の最大せん断応力比及び要求品質

性能目標	要求品質(液化化強度比)
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)の液化化強度比(RL ₂₀)が上回ることを確認する。	A _g 2層: 0.62以上 A _s 層: 0.65以上 A _g 1層: 0.58以上

(3) 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かを確認する検査である。このため、これらを実現させるための工法に適用される基準を明確にし、これらの基準に従い、検査項目等を定め、工事が計画どおり実施されているか検査を実施する。

適用する基準・指針等

工法	基準・指針名
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

検査項目・確認時期及び頻度・方法等

検査項目	確認時期	頻度及び方法等
改良範囲	削孔前 削孔後 注入前	改良範囲は、施工配置図をもとに削孔位置、削孔長・削孔角度等が計画どお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	要求品質の液化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) 改良土量5,000 m ³ 未満では3箇所, 5,000 m ³ 以上では2,500 m ³ 増えるごとに1箇所追加実施する。地層毎に改良層厚が6m以上の場合は3深度, 6m未満の場合は概ね2mの間隔で確認する。なお、改良範囲・時期ごとに当該頻度を適用する。 【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※】 A _g 2層: 5.1mg/g以上 A _s 層: 8.0mg/g以上 A _g 1層: 7.3mg/g以上 ※要求品質(液化化強度比)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

注記: 表中の①, ②は参照する基準・指針を示す。

(2) 地盤改良の品質管理方法 《地盤改良(掘削・置換工法)の要求品質及び検査の方法》

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

- ▶ 地盤改良(セメント系：掘削・置換工法)の目的は「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。」ことである。この設計上の取扱いは「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。」となる。
- ▶ 設定される性能目標は「設計に用いた強度及び剛性」である。

(1) 設工認段階では、地盤改良(セメント系：掘削・置換工法)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整理する。

目的	設計上の取扱い	性能目標
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

(2) 上表の性能目標の具体的な数値は下表のとおり。

性能目標	設計に用いた強度 (管理基準値注)
設計に用いた強度及び剛性	一軸圧縮強度 1.5 N/mm ²

注：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。

(3) 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かを確認する検査である。このため、これらを実現させるための工法に適用される基準を明確にし、これらの基準に従い、検査項目等を定め、工事が計画どおり実施されているか検査を実施する。

適用する基準・指針等

工法	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・確認時期及び頻度・方法等

検査項目	確認時期	頻度及び方法
改良範囲	掘削後 置換後	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 【試験方法】土の一軸圧縮試験※1

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(高圧噴射攪拌工法)の要求品質及び検査の方法》

IV. 地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の要求品質及び検査の方法

- ▶ 地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の目的は「地盤の液状化の防止及び強度の向上による護岸変位の抑制・地盤の安定性の確保のため、地盤の強度・剛性を向上させる」ことである。この設計上の取扱いは「護岸の変位の抑制及び地盤の安定性のため、必要な地盤剛性・強度を発揮する」となる。
- ▶ 設定される性能目標は「設計に用いた強度及び剛性」である。

(1) 設工認段階では、地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）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整理する。

目的	設計上の取扱い	性能目標
地盤の液状化の防止及び強度の向上による護岸変位の抑制・地盤の安定性の確保のため、地盤の強度・剛性を向上させる。	護岸の変位の抑制及び地盤の安定性のため、必要な地盤剛性・強度を発揮する。	設計に用いた強度及び剛性

(2) 上表の性能目標の具体的な数値は下表のとおり。

性能目標	設計に用いた強度 (管理基準値注)
設計に用いた強度及び剛性	砂・礫質土層：一軸圧縮強度 3.0 N/mm ² 粘性土層：一軸圧縮強度 1.0 N/mm ²

注：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。

(3) 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かを確認する検査である。このため、これらを実現させるための工法に適用される基準を明確にし、これらの基準に従い、検査項目等を定め、工事が計画どおり実施されているか検査を実施する。

適用する基準・指針等

工法	基準・指針名
高圧噴射攪拌工法	土木工事施工管理基準：国土交通省

検査項目・確認時期及び頻度・方法等

検査項目	確認時期	頻度及び方法等
改良範囲	施工前 施工中	測量を行い、施工位置により改良範囲を確認する。
一軸圧縮試験	施工後	性能目標の一軸圧縮強度が、各供試体で設計基準強度の85%以上かつ1回の試験結果で設計基準強度以上（1回の試験とは、3個の供試体の平均） 【確認頻度】改良体500本未満につき3本、1本の改良体について、上、中、下、それぞれ1回、計3回 【試験方法】土の一軸圧縮試験※1

以上のとおり、地盤改良の品質管理の方法について、設工認で示す内容（性能目標）及び使用前事業者検査で示す内容（計画範囲が要求品質を満足していることを確認する方法の詳細）を整理し、管理基準値等を明確にした。

4. 総括

- 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不具合を確認し、その不具合の全容を把握することができなかったことから、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。
- 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」を取り入れた構造変更を実施した。
- 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。
- 施工計画及び品質管理計画については、構造変更後の工事に対して十分な施工実績のある工法や施工性を確認するとともに、品質を確認する項目や方法・時期等を整理し、施工の実現性があることを確認した。

以上より、防潮堤（鋼製防護壁）の設計及び工事計画に問題がないことを確認した。