

東海第二発電所 第5回設計及び工事計画審査資料	
資料番号	補足-27 改0
提出年月日	2026年1月21日

東海第二発電所

設計及び工事計画に係る補足説明資料

第5回申請

(防潮堤（鋼製防護壁）の設計変更に係る補足説明)

2026年1月

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. 地中連続壁の不具合事象について（別途説明）
2. 不具合事象の調査結果を踏まえた対応方針（別途説明） 今回ご説明の範囲
3. 防潮堤（鋼製防護壁）の工事の計画における基本方針（施工性及び検査）
 - 3.1 基本方針
 - 3.2 構造変更の概要
 - 3.3 施工方法の選定
 - 3.4 工事の流れ
 - 3.5 各施工ステップの施工性・検査
 - 3.6 確認結果資料
4. 品質向上を目的とした設計変更（既工認設計からの変更）
 - 4.1 はじめに
 - 4.2 鋼製防護壁に係る仕様変更（構造変更①）
 - 4.3 アンカーボルト及び周辺鉄筋に係る仕様変更（構造変更②）
 - 4.4 中詰め鉄筋コンクリートと鋼製防護壁の接合部に係る仕様変更（構造変更③）

目次

3. 防潮堤（鋼製防護壁）の工事の計画における基本方針（施工性及び検査）	1
3.1 基本方針	1
3.2 構造変更の概要	1
3.3 施工方法の選定	6
3.3.1 鋼管杭打設	6
3.3.2 地盤改良（セメント系）	10
3.3.3 地盤改良（薬液注入）	13
3.4 工事の流れ	18
3.5 各施工ステップの施工性・検査	24
3.5.1 底部掘削	24
3.5.2 中実鉄筋コンクリート構築	26
3.5.3 支障物撤去	29
3.5.4 鋼管杭打設	35
3.5.5 頂版鉄筋コンクリート構築	41
3.5.6 鋼製防護壁架設	43
3.5.7 止水ジョイント設置	50
3.5.8 地盤改良（薬液注入）	53
3.5.9 地盤改良（セメント系）	59
3.6 確認結果資料	64
3.6.1 中実鉄筋コンクリート構築における品質への影響項目の確認結果	64
3.6.2 均質置換土の品質（設計）に及ぼす影響の確認結果	96
3.6.3 鋼管杭打設における品質への影響項目の確認結果	100
3.6.4 頂版鉄筋コンクリートの鉄筋組立時における品質への影響項目の確認結果	110
3.6.5 鋼製防護壁架設における品質への影響項目の確認結果	112
3.6.6 地盤改良（薬液注入）における品質への影響項目の確認結果	116
3.6.7 地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）における品質への影響項目の確認結果	171
3.6.8 地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）における品質への影響項目の確認結果	176
3.6.9 参考資料	180

3. 防潮堤（鋼製防護壁）の工事の計画における基本方針（施工性及び検査）

防潮堤（鋼製防護壁）の地中連続壁を構築する際、掘削した溝壁の安定性が確保できず、地盤のはらみ出し・崩落等の発生により、コンクリート未充填や鉄筋の高止まりが発生した。また、コンクリート未充填や鉄筋の変形等の状態の把握が地中連続壁の構築後となっており、不具合を施工中に検知・是正することができなかった。

これらを鑑み、防潮堤（鋼製防護壁）の工事の計画における施工性及び検査の確保、各施工ステップの施工性等について基本方針を定め、それに基づき工事計画の検討・確認を実施する。

3.1 基本方針

不具合を繰り返さない取り組みとして、各施工ステップの施工性・検査の確保について、以下の方針で検討する。

- ・防潮堤（鋼製防護壁）の施工方法について、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施工方法を選定する。
- ・施工エリアを調査し、各施工ステップの施工状態を具体的に図面化・可視化することにより、支障物の特定・干渉、重機配置場所等への対策を検討の上、工事の実現性・施工性を確認する。施工性の検討結果については必要に応じ、その検討結果を構造設計に反映することで実現性を有する構造を選定する。
- ・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工事の実現性を確保する。
- ・施工ステップ毎に工事が計画どおり行われていることの確認が可能か、工事の計画において品質を確認（検査）する項目・時期・方法を整理し、確認する。
- ・不具合を施工中及び施工後に検知・是正できるよう、目視等で実態を確認できる検査を選定する。

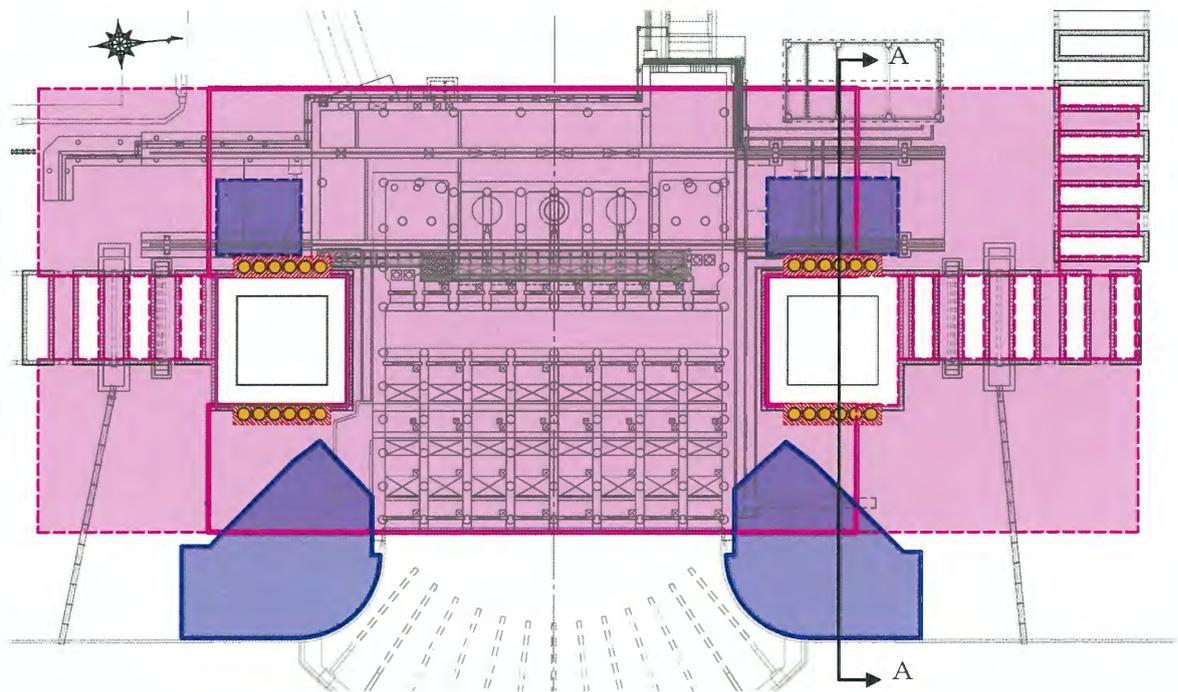
3.2 構造変更の概要

防潮堤（鋼製防護壁）の構造の主要な変更点は、追加基礎（鋼管杭）と地盤改良（セメント系、薬液注入）である。構造変更の概要として、追加基礎及び地盤改良範囲を図 3.2-1 に、追加基礎及び地盤改良範囲（北基礎断面）（A-A断面）を図 3.2-2 に示す。また、図 3.2-3 に南基礎構造概要図を、図 3.2-4 に北基礎構造概要図を示す。

【構造変更の概要】

- ・基礎を拡幅することで剛性・耐力を高める効果を得るため、地中連続壁部の東側及び西側に鋼管杭（杭頭部は巻立て鉄筋コンクリートにより補強）を設置するとともに頂版鉄筋コンクリートを鋼管杭の範囲まで拡大し、基礎構造として一体化させる。
- ・津波時の基礎の変位を抑制する効果を得るため、基礎（鋼管杭部）の西面に地盤改良（セメント系）を施す。なお、南基礎の西側の一面に既設構造物が設置されており、同構造物との干渉を考慮して改良範囲を設定する（構造設計に反映）。南基礎・北基礎の変位量を考慮し、変位量の大きい北基礎の地盤改良は南基礎に比べ深い範囲を設定する。
- ・基礎の地震時の応答を低減させるため、基礎周辺地盤の液状化対象層に液状化対策として地盤改良（薬液注入）を施す。

- ・基礎として使用しない地中連続壁部は中実鉄筋コンクリートを構築するため残置することとし、構造設計においては原地盤（非液状化地盤）として扱う。



全体平面図

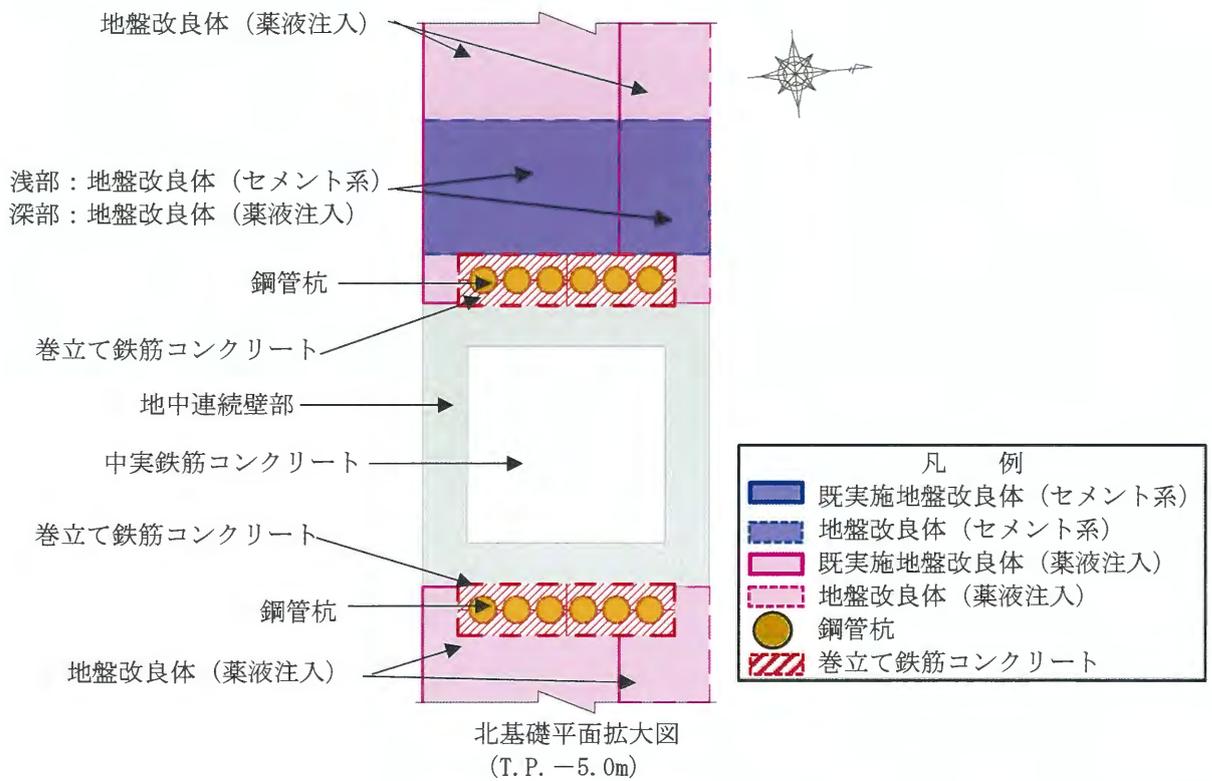


図 3.2-1 追加基礎及び地盤改良範囲

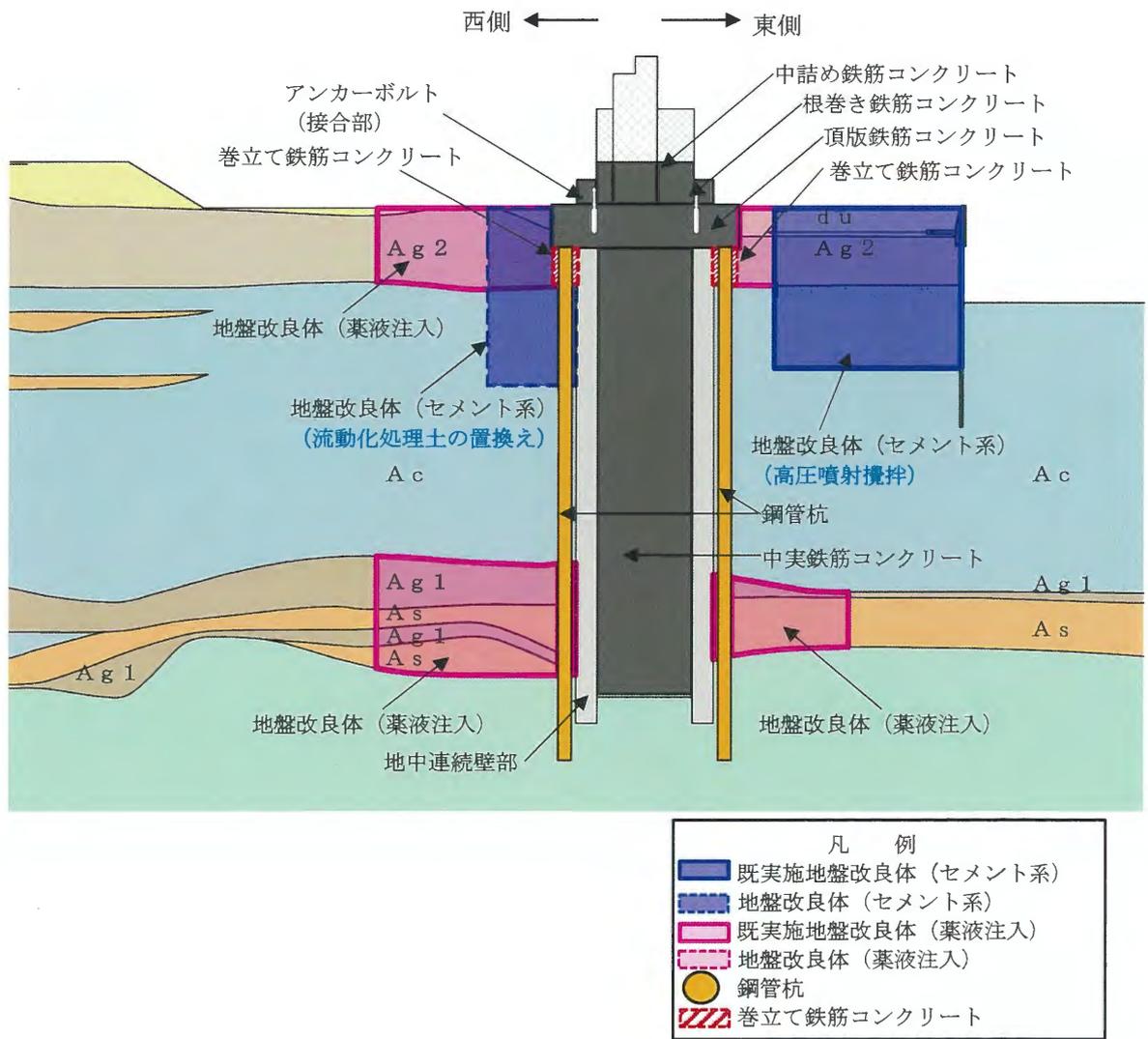


図 3.2-2 追加基礎及び地盤改良範囲 (北基礎断面) (A-A断面)

3.3 施工方法の選定

防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更により新たに追加となる工事（鋼管杭，地盤改良（セメント系，薬液注入））について，施工方法を選定する。施工方法の選定にあたっては，本工事に対する適用性・施工実績を確認し，想定されるリスクを抽出，その原因・要因及び対策を整理した上で，選定した施工方法の実現性を確認する。

3.3.1 鋼管杭打設

(1) 施工方法の選定

鋼管杭の施工方法の比較検討を行った。鋼管杭施工方法の比較検討結果を表 3.3-1 に示す。

本工事に適用する施工方法として「中掘り圧入工法」を選定した。「中掘り圧入工法」は，全周回転掘削機を用いて，切削ビット付鋼管杭を回転させながら地盤を切削（鋼管の内側の土砂は中掘りして撤去）し，地盤に圧入する工法である。

なお，選定工法（中掘り圧入工法）の適用性・施工実績について表 3.3-2 に整理した。

(2) 想定リスクと対策

中掘り圧入工法による鋼管杭打設の施工に想定されるリスクとして「鋼管杭が設計深さまで打設できない」ことが挙げられるため，その原因・要因及び対策を検討した（表 3.3-3 参照）。

補助工法として支障物撤去及び均質置換土^{*1)}による堆積層の置換を実施すること，鋼管杭にフリクションカッター²⁾を設置すること及び杭の鉛直精度管理システム³⁾を用いた常時精度確認により鉛直精度を確保することにより，想定リスクを回避し「鋼管杭を設計深さに打設できる」と判断した。鋼管杭の周囲は均質置換土になることから鋼管杭にネガティブフリクションは発生せず，鋼管杭は岩盤への先端支持力のみを期待した構造としている。

なお，支障物撤去及び均質置換土による堆積層の置換は鋼管杭打設に先立ち実施する。

(3) まとめ

以上の対策を実施することで，鋼管杭打設について確実な施工ができる見通しを得た。

なお，「打設地盤内の工事仮設物の撤去」及び「堆積層の均質置換土の置換」については，鋼管杭打設に先立ち実施する。

¹⁾ 流動化処理土等を用いて鋼管杭打設用に地盤の均質化として置換した土を「均質置換土」と呼称し，流動化処理土は，地盤改良（セメント系）として埋戻しに使用する土を示す。

²⁾ 鋼管杭を建込む際の地盤との摩擦抵抗を緩和するため杭先端部に取り付ける部品（図 3.3-2）

³⁾ 測量機器（トータルステーション）を用いて杭を計測し，杭の位置及び傾きを計測・管理し，杭打設の施工精度を向上させるツール（図 3.3-3）

表 3.3-1 鋼管杭施工方法の比較検討結果

工法名		埋込み杭工法		打込み杭工法	地中連続壁掘削工法
		中掘り圧入工法	建込工法	打撃工法	建込工法
概要	概要図				
	概要・特徴	・全周回転掘削機を用いて、鋼管杭内部をハンマーグラブ等で掘削しながら、回転や揺動圧入により、先端にビットをつけた鋼管杭を打設する。	・ノバルハンマーの削孔と連行して鋼管杭の先端から噴射されるエアで削孔し、鋼管杭を建込む。	・油圧ハンマーによる打撃で鋼管杭を打設する。	・連続壁掘削機で掘削を行い、安定液中に鋼管杭を建込む。
	使用機械	・クローラクレーン ・全周回転掘削機 ・ハンマーグラブ	・三点杭打機 ・クローラクレーン ・ノバルハンマー	・クローラクレーン ・油圧ハンマー	・クローラクレーン ・連続壁掘削機
適用性	施工機械	・全周回転掘削機が鋼管杭径（φ1,500 mm）に対応している。 ○	・三点杭打機、パーカッション機材が鋼管杭径（φ1,500 mm）に対応していない。 ×	・油圧ハンマーが鋼管杭径（φ1,500 mm）に対応している。 ○	・連続壁掘削機が鋼管杭径（φ1,500 mm）に対応している。 ○
	土質	・A g 2層, A s層, A g 1層, K m層に適用可能である。 ○	同左 ○	同左 ○	同左 ○
	深度*	60 m 以上 ○	40~50 m △	60 m 以上 ○	60 m 以上 ○
	振動	・振動が少なく、近接する重要構造物への影響がない。 ○	同左 ○	・振動があり、近接する重要構造物への影響が懸念される。 ×	・振動が少なく、近接する重要構造物への影響がない。 ○
	地盤変位・崩壊	・鋼管を回転や揺動により圧入するため、周辺地盤を緩めない。 ○	・A c層で大きく沈下する可能性があるため、鋼管杭の鉛直精度確保が懸念される。 △	・打撃により振動・衝撃が発生するため、掘削箇所を保持している土留め等への影響が懸念される。 ×	・安定液で構壁を保護するが、中実部側への逸水の可能性があるため、地山の崩壊が懸念される。 ×
	鉛直精度	・鋼管杭間隔が300 mm、削孔深度が60 m程度であり、鉛直精度確保のため、先行削孔による補助工法を併用する必要がある。 △	同左 △	同左 △	・安定液中に鋼管杭を建込むことで鉛直精度を確保できる。 ○
	施工実績	・東海第二発電所で施工実績がある。 ○	・東海第二発電所で施工実績がない。 -	・東海第二発電所で施工実績がある。 ○	同左 ○
評価	○ (置換工法併用により鉛直精度確保)	×	×	×	

評価記号について ○適用可, △施工条件要確認, ×適用不可

※鋼管杭の打設長は約50 m

表 3.3-2 選定工法（中掘り圧入工法）の適用性・施工実績

適用性・施工実績
<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭打設深度，鋼管杭径は適用範囲内である。 ・施工時の振動は小さく，施工場所に近接する発電所設備への影響はない。 ・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。 ・東海第二発電所で同様工事の施工実績（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）がある（図 3.3-1 参照）。

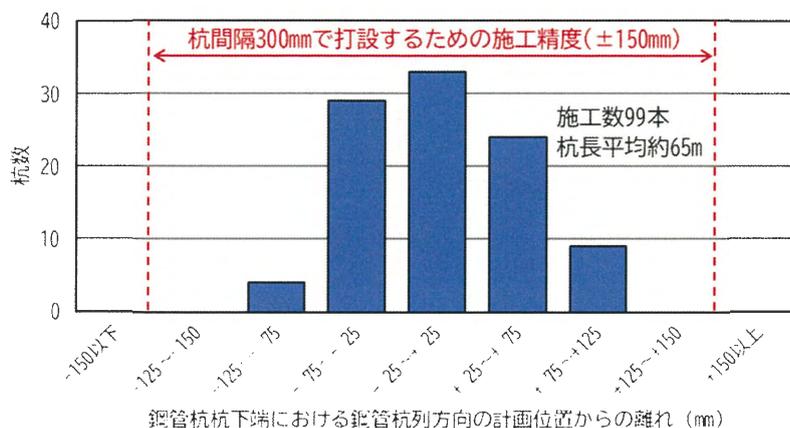


図 3.3-1 中掘り圧入工法による鋼管杭施工実績（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁施工実績）

表 3.3-3 中掘り圧入工法における想定リスクの原因・要因及び対策

想定リスク	原因・要因	対策	備考
・鋼管杭が設計深さまで打設できない	・打設地盤内の工事仮設物（地中連続壁工事のSMW ⁴⁾ 等）が支障になる。	・打設作業前に支障となる地中の工事仮設物を撤去する。	・地中の工事仮設物は既往の施工図等を確認した。
	・打設中の鋼管杭が周辺地盤との摩擦で固着する。	・打設中の鋼管杭と周辺地盤との摩擦を低減させるため，フリクションカッター（図 3.3-2 参照）を杭先端に設置する。	・フリクションカッターは粘性土層，改良地盤での鋼管杭打設に採用される。
	・地盤の不均質性の影響で杭の打設の鉛直精度を保つことが難しく，鋼管杭の間隔が小さい(300 mm)ため，杭打設の鉛直精度低下により鋼管杭同士が干渉する。	・地盤の不均質性の影響を回避するため，事前に掘削する堆積層を均質置換土に置換する。 ・杭の鉛直精度管理システム（図 3.3-3 参照）を用いて杭の鉛直精度の常時確認による精度を確保する。	・杭の鉛直精度管理システムは鋼管杭防潮壁の施工実績から採用した。
	・鋼管杭内部にボイリングが生じる場合，掘削部が不安定になり，杭打設の鉛直精度低下により鋼管杭同士が干渉する。	・鋼管杭内の水位調整を行うためのタンクを現場に確保し，鋼管杭内に水を張り，地下水とバランスをとることで出水を防止する。	・鋼管杭内に水を張り，地下水とバランスをとることで出水を防止できることを確認した。

⁴⁾ 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

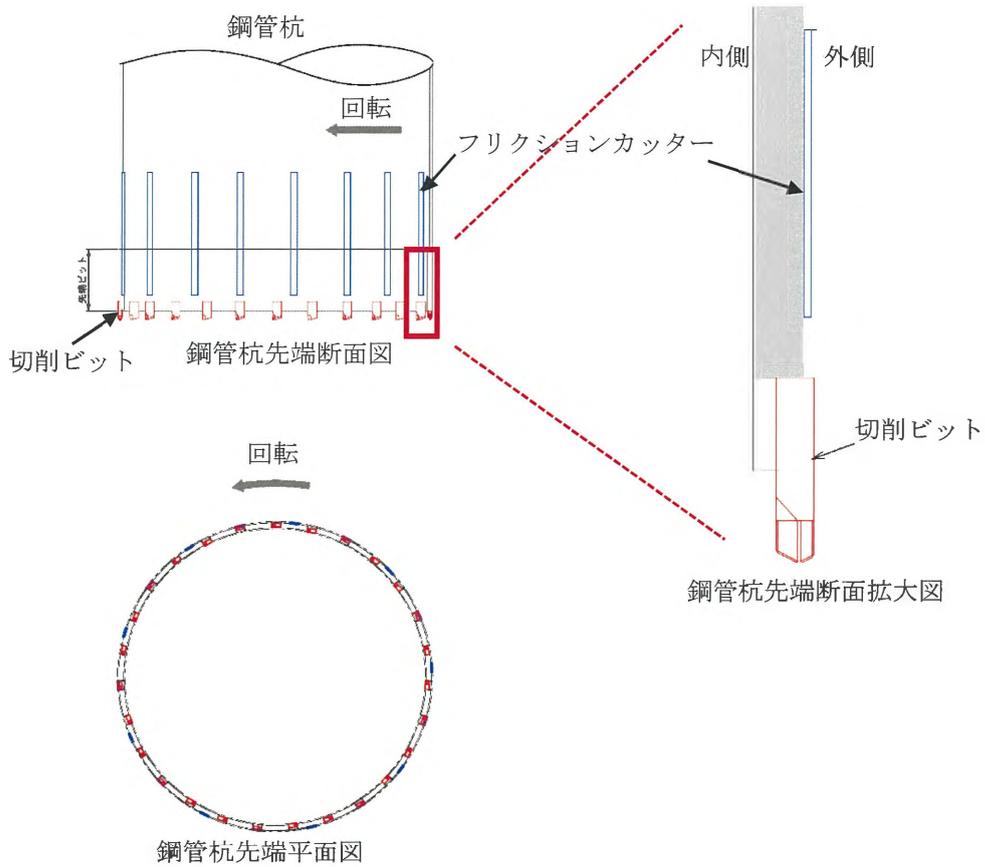


図 3.3-2 鋼管杭施工時の想定リスク対策（その1）：フリクションカッターイメージ図

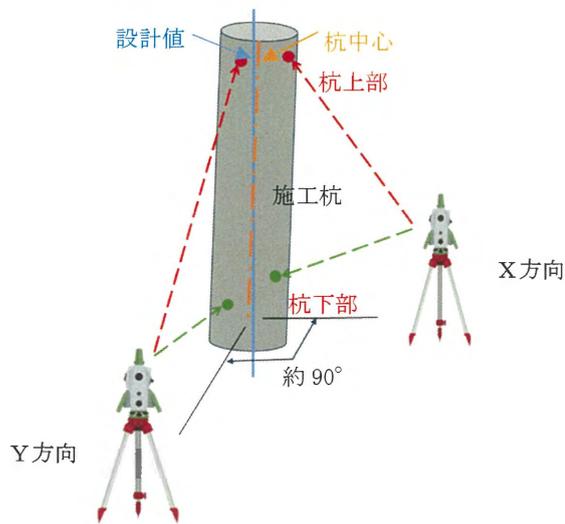


図 3.3-3 鋼管杭施工時の想定リスク対策（その2）：鋼管杭鉛直精度管理システム

3.3.2 地盤改良（セメント系）

(1) 施工方法の選定

地盤改良（セメント系）の施工方法の比較検討結果を表 3.3-4 に示す。

本工事に適用する施工方法として「掘削・置換工法（流動化処理土⁵⁾）」を選定した。

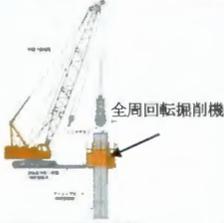
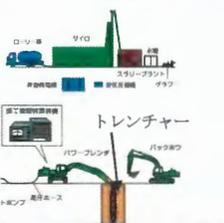
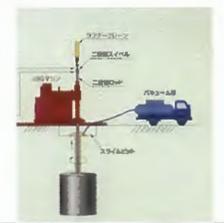
「掘削・置換工法（流動化処理土）」は、改良対象範囲の堆積層を掘削により撤去し、流動化処理土により同範囲を埋戻し（置換）する工法である。

本工法の選定に際し、適用性や改良品質の不確かさの要因について網羅的に抽出し、確認した結果、本工法の適用性に係る要因に詳細検討を要する項目はなかった（3.6.7 参照）。

なお、選定工法（掘削・置換工法（流動化処理土））の適用性・施工実績を表 3.3-5 に整理した。

⁵⁾ 建設発生土に固化材、混和剤及び水を混ぜて高い流動性と安定性を持たせた材料（再生土）

表 3.3-4 地盤改良（セメント系）の施工方法の比較検討結果

工法名		掘削置換工法		機械式攪拌工法（スラリー混合方式）		高圧噴射式攪拌工法	
		開削除去	全周回転掘削機掘削	浅部	深部		
概要	概要図						
	工法概要	<ul style="list-style-type: none"> 対象範囲を事前に土留め壁で仕切り、バックホウで掘削後、セメント改良土（流動化処理土）で埋め戻す。 掘削土の運搬、ストック、処理が必要である。 あらかじめセメント改良した改良土を使用するので、強度などの品質が安定している。 	<ul style="list-style-type: none"> 全周回転掘削機（φ2,000 mm 程）で掘削後、セメント添加土に置き換える。 掘削土の運搬、ストック、処理が必要である。 全周回転掘削機で掘削できる深度まで改良が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 地表面からセメントスラリーと地盤をトレンチャーで攪拌して、地盤を固結させる。 掘削土の運搬、ストック、処理が不要である。 低変位で構造物等の近接した施工が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> セメントスラリーを原位置地盤に注入しながら、原位置土と固化材を相対攪拌機構により強制的に混合・攪拌を行い、均質な大口径改良体を造成する。 低変位で構造物等の近接した施工が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 専用の装置を用いて、セメントミルクを高圧で地中に噴射し、土壌を物理的に切削し、同時に攪拌する。噴射された改良材と地盤の土壌を十分に混合し、均質な改良体を形成する。 排泥の運搬、ストック、処理が不要である。 地表に部分的な障害物が存在しても施工可能である。 	
適用性	土質	・ A g 2 層, A s 層, A c 層に適用可能である。	同左	同左	同左	同左	
	深度 [※]	○ 約 20 m	○ 約 60 m	○ 約 13 m	○ 50 m	○ 約 50 m	
	振動	・ 振動が少なく、近接する重要構造物への影響がない。	同左	同左	同左	同左	
	地盤変位・崩壊	・ 土留め構築後、支保工で支持するので地盤の変位は少ない。	○	・ ケーシングで地盤を保護しながら掘削するので地盤の変位は少ない。	○	同左	○
	安全性	・ 土留め構築後、地下水位以下で掘削作業をするため、十分な調査・検討、対策が必要である。	△	・ クローラクレーンの転倒防止のため足場確保のための地盤改良等の対策が必要である。	○	・ ベースマシン（3点式）の転倒防止のため足場確保のための地盤改良等の対策が必要である。	○
	地中障害物	・ 地中障害物がある場合、掘削と同時に保護・除去作業が可能である。	○	・ 地中障害物がある場合、別途、保護・除去作業が必要である。	同左	同左	同左
	品質	・ 受入検査、工程内検査、最終検査で品質を確認する。 ・ 開削後、測量により改良範囲を目視で確認可能である。	○	・ 掘削箇所が円形のため地中連続壁際に未施工範囲が残る。	△	・ 掘削箇所が円形のため地中連続壁際に未施工範囲が残る。	△
施工実績	○ ・ 東海第二発電所で施工実績がある。	○ ・ 東海第二発電所で施工実績がない。	○ ・ 東海第二発電所で施工実績がある。	○ ・ 東海第二発電所で施工実績がない。	○ ・ 東海第二発電所で施工実績がある。		
評価	○ (現地状況を踏まえた土留めを構築)	△	×	△	△		

評価記号：○適用可，△施工条件要確認，×適用不可

※地盤改良（セメント系）の計画深度は、南基礎で地表より約9m、北基礎で地表より約20mである。

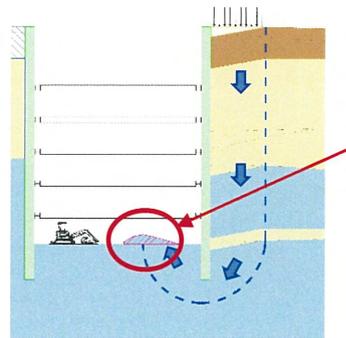
表 3.3-5 選定工法（掘削・置換工法（流動化処理土））の適用性・施工実績

適用性・施工実績
<ul style="list-style-type: none"> ・原位置の地盤を攪拌改良する工法と異なり、置換材の流動化処理土は製造品であり、強度の調整（品質管理）が可能である。 ・地盤改良範囲は、開削により測量・目視で確認が可能である。 ・東海第二発電所の安全性向上対策工事で施工実績がある。

(2) 想定リスクと対策

掘削・置換工法（流動化処理土）施工中に想定されるリスクとして、掘削において、「地下水が土留め壁面より出水し、施工が困難になる」及び「掘削底面がヒービング現象（図 3.3-4 参照）により不安定化する」ことが想定されるため、その原因・要因及び対策を検討し、表 3.3-6 のとおり整理した。

補助工法として、掘削深度が深い北基礎は剛性・止水性の高いSMWを土留め壁とすること及び掘削底面下方の地盤を掘削前に改良することで、想定リスクを回避し「計画どおりの範囲を安全に掘削・置換できる」と判断した。なお、掘削中に土留め壁面より出水が確認された場合は背面地盤に止水注入を実施する。また、地盤改良に対する改良品質の不確かさについては置換に用いる流動化処理土の配合（後述する各施工プロセスにて説明）にて対応することで、改良品質に対する不確かさが設計に影響を及ぼさないようにする。



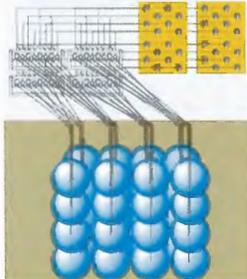
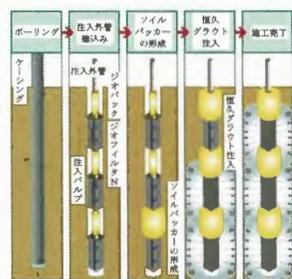
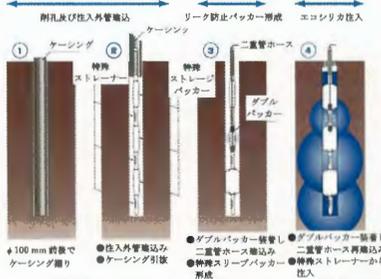
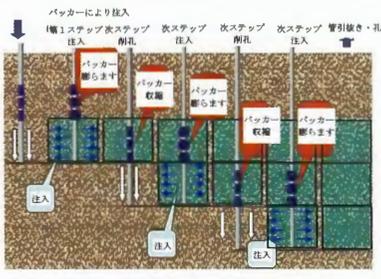
ヒービング現象：
掘削作業中に土留め背面の土の重量や地表面荷重等によって、掘削底面が押し上げられる現象

図 3.3-4 ヒービング概念図

表 3.3-6 掘削・置換工法（流動化処理土）工法における想定リスクの原因・要因及び対策

想定リスク	原因・要因	対策
<ul style="list-style-type: none"> ・地下水が土留め壁面より出水し、施工が困難になる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・土留め壁の止水性が不足している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・掘削深度が深く地下水の水圧が高くなる北基礎は、より剛性・止水性の高いSMWを土留めに使用する。 ・土留め壁面からの出水が確認された場合は背面地盤に止水注入を実施する。
<ul style="list-style-type: none"> ・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"> ・底面の粘性土層の強度が荷重に対し不足している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・掘削前にヒービング対策として底面下方の地盤を改良する。

表 3.3-8 地盤改良（薬液注入）の施工方法（注入方式）の比較検討結果

工法名		注入方式			
		結束細管多点注入方式	袋パッカー付注入外管方式	布スリーブ付注入外管方式	パッカー付きモニター [※] によるロッド注入方式
概要	概略図				
	工法概要	<ul style="list-style-type: none"> φ100 mm 程度で削孔し、シール材で充填すると共に結束注入細管を設置する。 地盤中に立体配置されたノズルから低吐出圧で多点から同時注入する。 	<ul style="list-style-type: none"> φ135 mm 程度で削孔し、袋パッカー付注入外管を設置後、吐出口前後の袋パッカーを膨らませる。 袋パッカーを透過した一部のスリーブ材により、周辺地盤も固結させる。 トリプルパッカーを挿入し緩結型注入材を注入する。 	<ul style="list-style-type: none"> φ100 mm 程度で削孔し、布スリーブ付注入外管を設置後、吐出口前後の布スリーブパッカーを膨らませる。 ダブルパッカーを挿入し緩結型注入材を注入する。 	<ul style="list-style-type: none"> φ75 mm 程度のパッカー付モニターを備えたロッドで削孔し、地山に直接パッカーを設置して注入を行う。
	改良体ピッチ	1.0～3.0 m	1.5～3.0 m	2.0～3.0 m	1.2 m
	削孔本数	少ない	同左	同左	多い
	改良強度	qu=100～500 kN/m ²	同左	同左	同左
	注入速度	192 L/min/ユニット (1～6 L/min/ポンプ)	120 L/min/ユニット (8～30 L/min/ポンプ)	100 L/min/ユニット (15～25 L/min/ポンプ)	80 L/min/ユニット (20 L/min/ポンプ)
	注入圧力	0.1～0.2 MPa	0.2～0.4 MPa	同左	同左
適用性	土質	砂質土 (Fc≤40%) ○	○	○	○
	構造物変位	<ul style="list-style-type: none"> 近接構造物の変位を注入している期間は適時測量にて鉛直変位を測定し、有意な変位とならないように管理値を設け監視し、変位の傾向がみられた場合は注入速度を下げ、かつ、同時注入箇所数を減らす。 	<ul style="list-style-type: none"> 構造物の変位を監視するが、有意な変位とならないよう注入圧力を調整することが難しい。 	同左	同左
	品質	<ul style="list-style-type: none"> 受入検査、工程内検査、最終検査で品質を確認する。 埋立土の不均質さに応じて、深度方向の改良体間隔を任意に設定できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 受入検査、工程内検査、最終検査で品質を確認する。 	同左	同左
施工実績		・東海第二発電所で施工実績がある。	・東海第二発電所で施工実績がない。	・東海第二発電所で施工実績がある。	・東海第二発電所で施工実績がない。
	評価	○	△	△	△

評価記号：○適用可、△施工条件要確認、×適用不可

※パッカーを膨らまし注入区間を定め注入材の逸走を防止し、モニター（注入装置）で注入材を注入する。

本工法の選定に際して、適用性や改良品質の不確かさの要因について網羅的に抽出し、本工法の適用性に係る要因として地盤条件等を抽出したが、詳細検討の結果、本工法の適用性に問題がないことを確認した（詳細は 3.6.6 参照）。

なお、選定工法（結束細管多点注入方式）の適用性・施工実績を表 3.3-9 に整理した。

表 3.3-9 選定工法（結束細管多点注入方式）の適用性・施工実績

適用性・施工実績
<ul style="list-style-type: none"> 対象地盤の不均質さに応じて、深度方向の改良体間隔を任意に設定できる。 既設構造物近接部の注入において、低吐出・低圧で注入するため施設への影響が小さい。 東海第二発電所で同様工事の施工実績がある（本施工場所に近接する範囲を施工）。

地盤改良（薬液注入）施工手順を図 3.3-6 に、地盤改良（薬液注入）施工概念図を図 3.3-7 に示す。本地盤改良では、薬液を浸透注入することで、砂地盤の間隙水を薬液に置き換え、その薬液がゲル化し、粘着力が付加され液状化の発生を防止する。薬液は、工場生産され品質が安定しており、長期耐久性⁹⁾及び液状化対策¹⁰⁾として実績が確認されている特殊シリカ系薬液を使用する。また、本薬液は取水構造物周辺地盤の液状化対策として使用した実績がある。薬液の種類に応じた耐久性評価を表 3.3-10 に示す。



図 3.3-6 地盤改良（薬液注入）の施工手順（結束細管多点注入方式）

⁹⁾ 恒久グラウト注入工法技術マニュアル, 地盤注入開発機構, 2019年9月

¹⁰⁾ 岡田和成, 木下圭介, 藤井雄一: 超多点注入工法(結束細管多点注入工法), 構造物近傍・直下の浸透注入工法による地盤改良, 基礎工, 地盤注入開発機構, Vol143, No. 10, pp. 22-24, 2015. 10

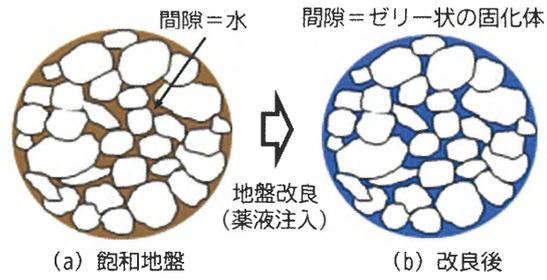


図 3.3-7 地盤改良（薬液注入）施工概念図

表 3.3-10 溶液型シリカ系グラウトの耐久性評価

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

(2) 想定リスクと対策

浸透注入工法による地盤改良（薬液注入）の施工に想定されるリスクとして「近接構造物の変位」、「薬液の逸走」が想定されるため、その原因・要因及び対策を検討し、表 3.3-11 のとおり整理した。浸透注入の詳細な施工範囲策定後、構造物ごとに有意な変位、逸走箇所を設定し、適切な対策を講じる。

表 3.3-11 選定工法（浸透注入工法）における想定リスクの原因・要因及び対策

想定リスク	原因・要因	対策	備考
・近接構造物に変位が生じる。	・地盤内で注入液の圧力が上昇することで構造物に変位が生じる。	・注入期間中は適時、測量にて近接構造物の鉛直方向の変位を測定し、有意な変位とならないように管理値を設定し監視を行い、変位の傾向がみられた場合は、注入速度を下げ、かつ、同時注入箇所数を減らす。	
・近接構造物の隙間から薬液が逸走し、海水域に薬液が漏れ出す。	・海側地盤の透水層やシートパイルなど護岸構造物の隙間から薬液が逸走する。	・護岸構造物と地盤改良範囲の間には、既実施地盤改良体（セメント系）が介在し、さらに、海岸線と地盤改良範囲は十分な離隔が確保できることから、海水域に薬液が漏れ出さない。	

3.4 工事の流れ

防潮堤（鋼製防護壁）の施工フローを図 3.4-1 に示す。また、北基礎の断面図を図 3.4-2 に、北基礎構築の施工ステップを図 3.4-3 から図 3.4-6 に示す。なお、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。

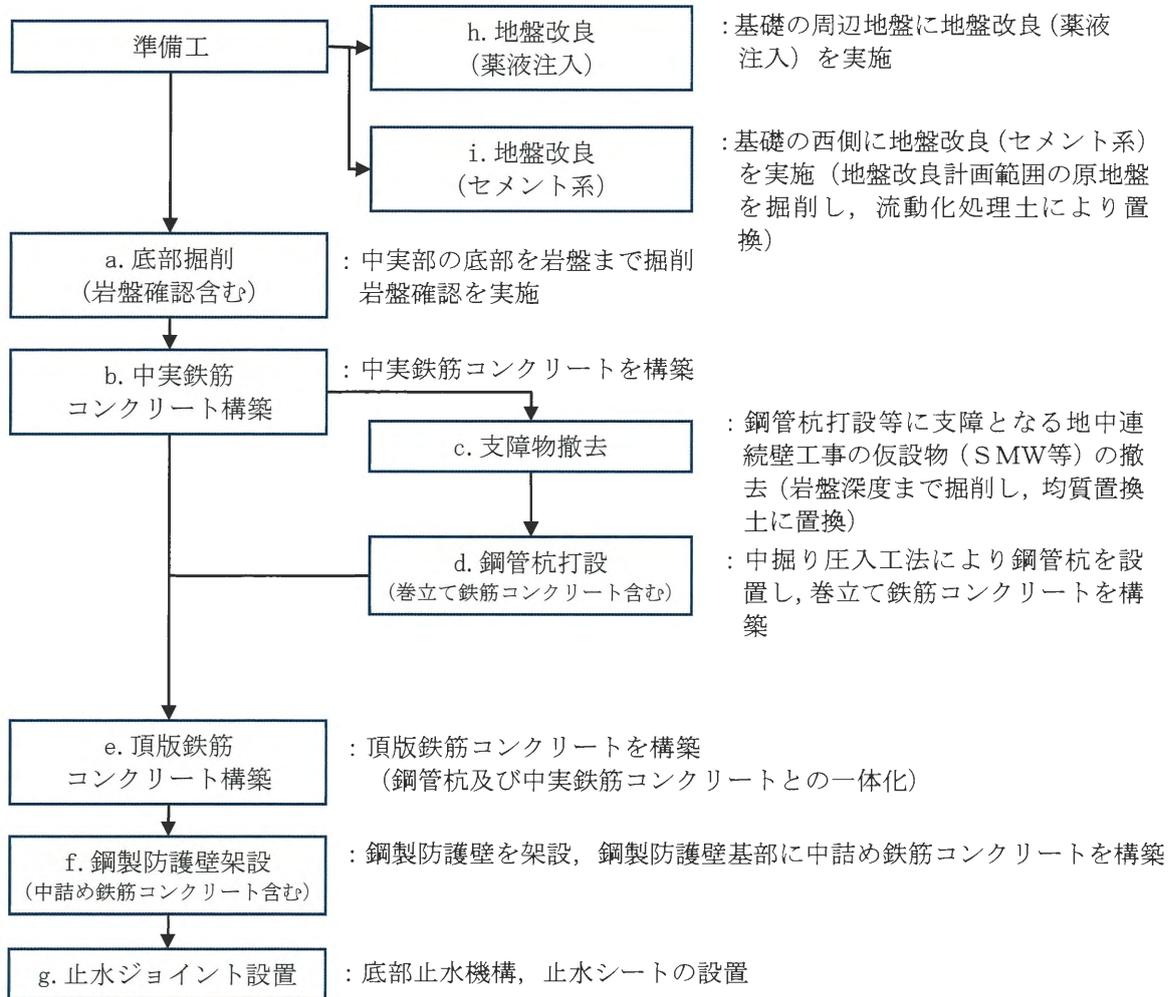


図 3.4-1 鋼製防護壁の施工フロー

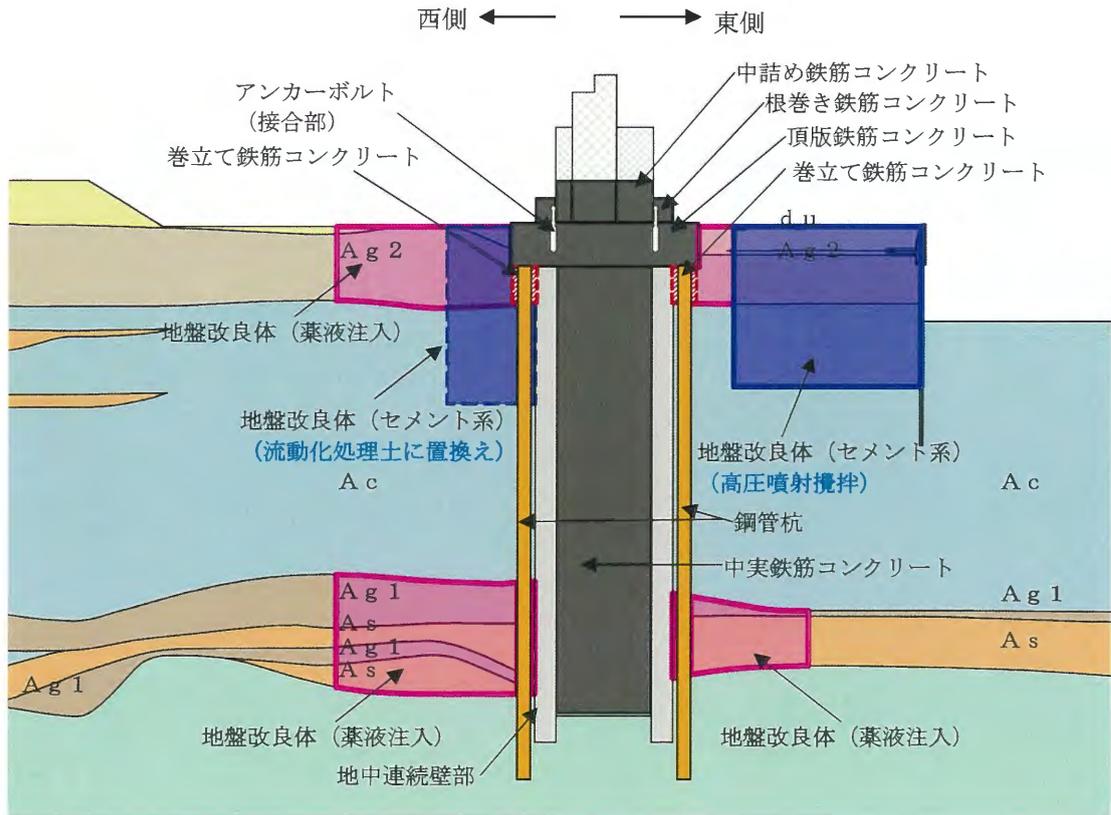


図 3.4-2 北基礎断面図

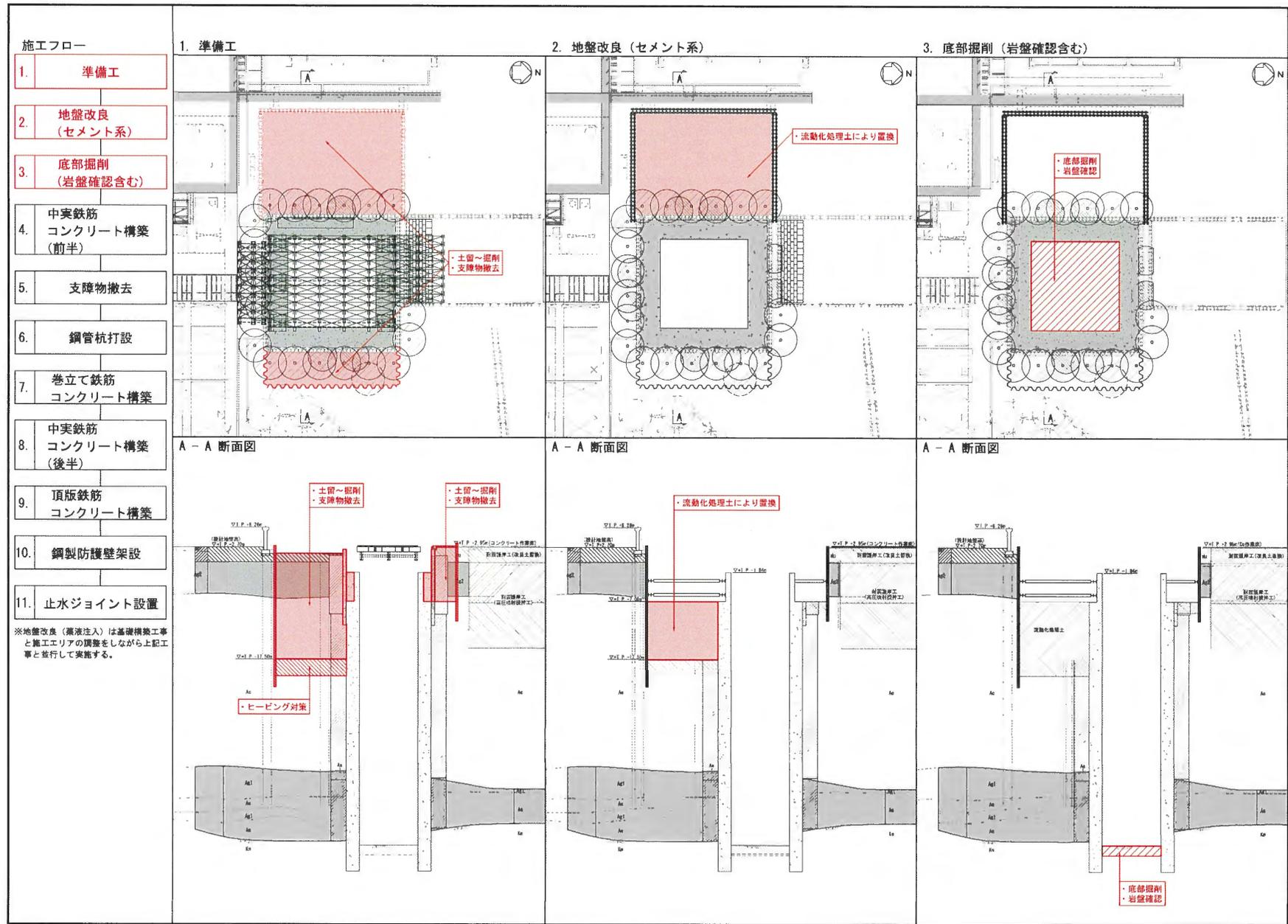


図 3.4-3 北基礎構築の施工ステップ (1/4)

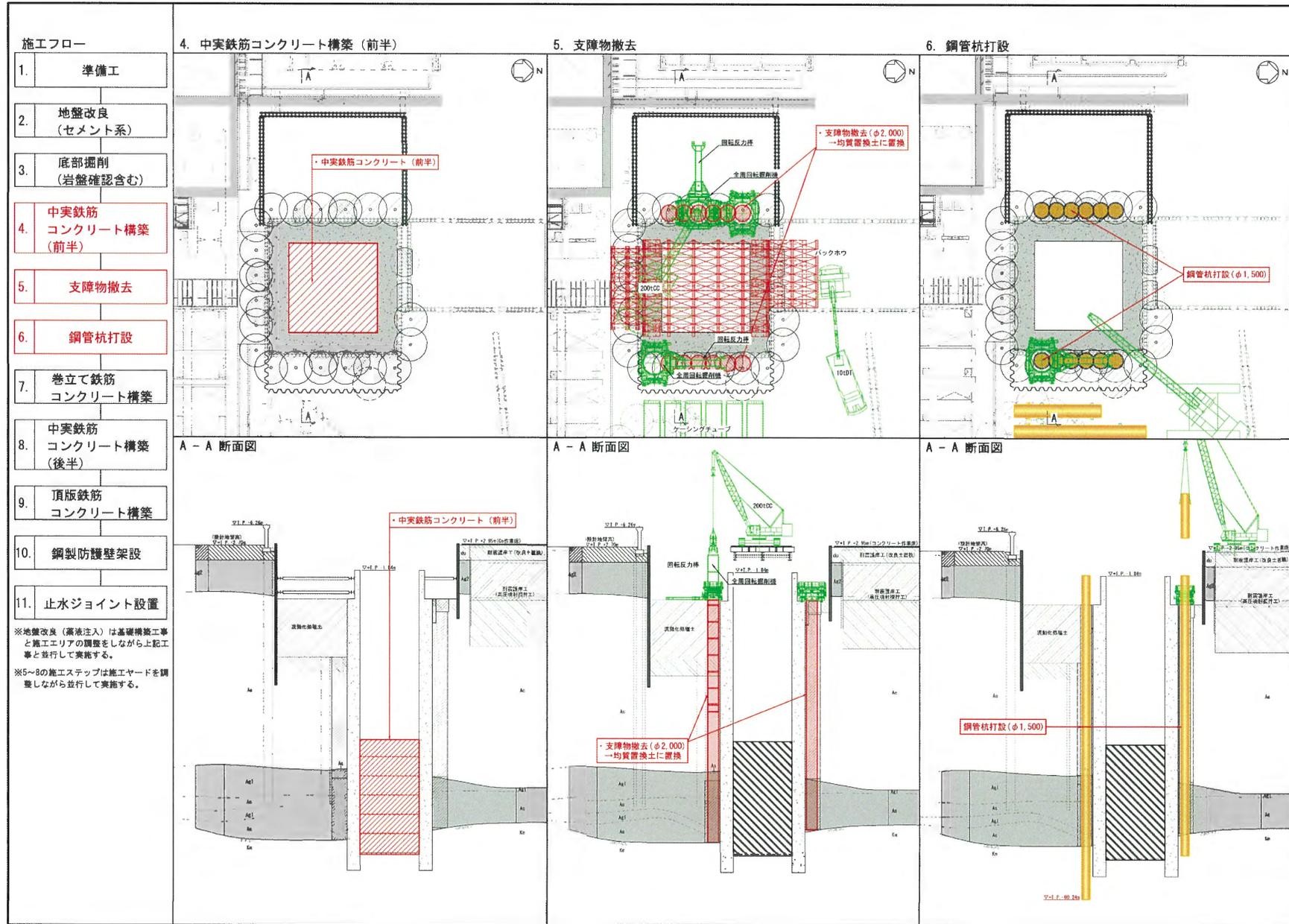


図 3.4-4 北基礎構築の施工ステップ (2/4)

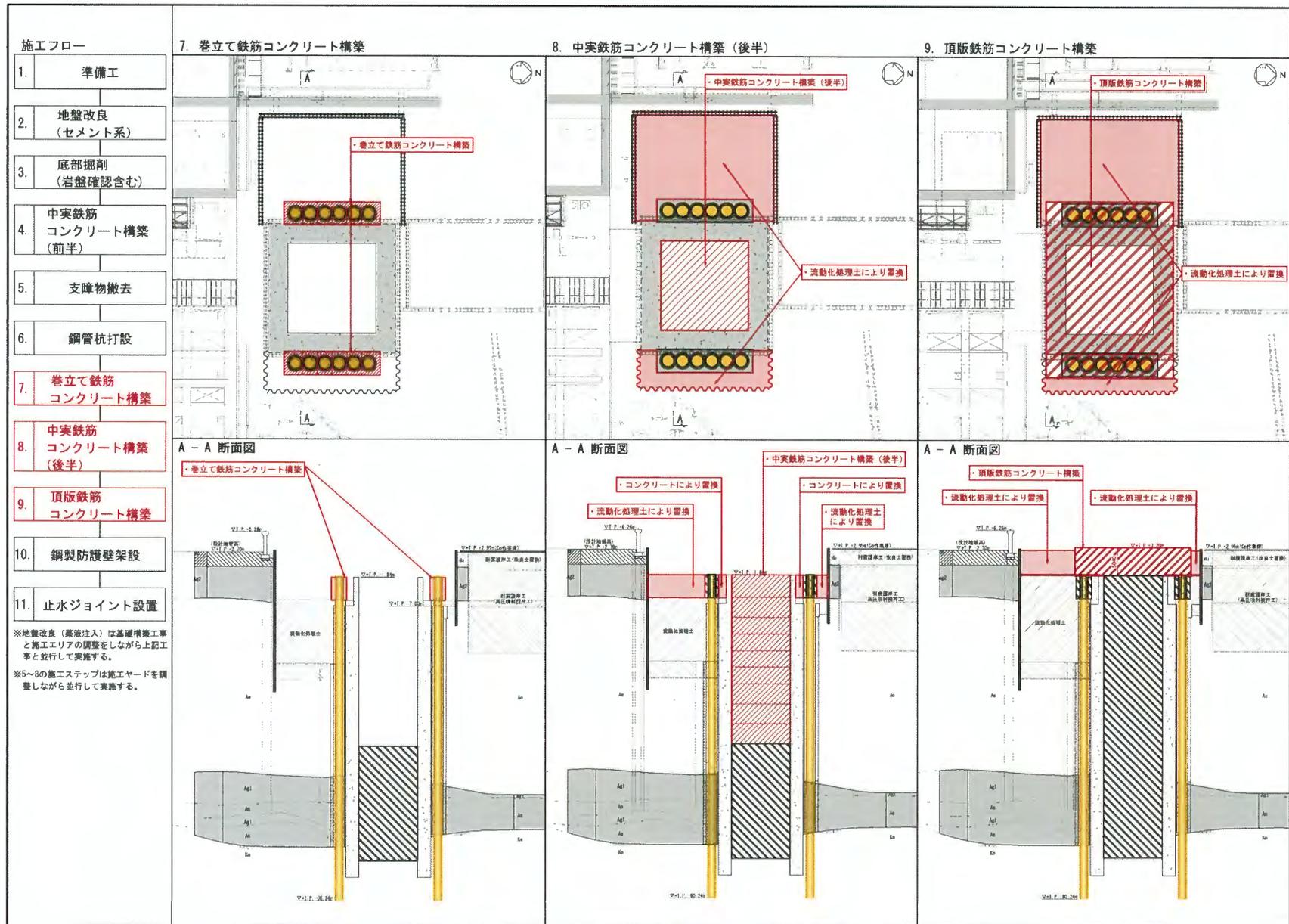


図 3.4-5 北基礎構築の施工ステップ (3 / 4)

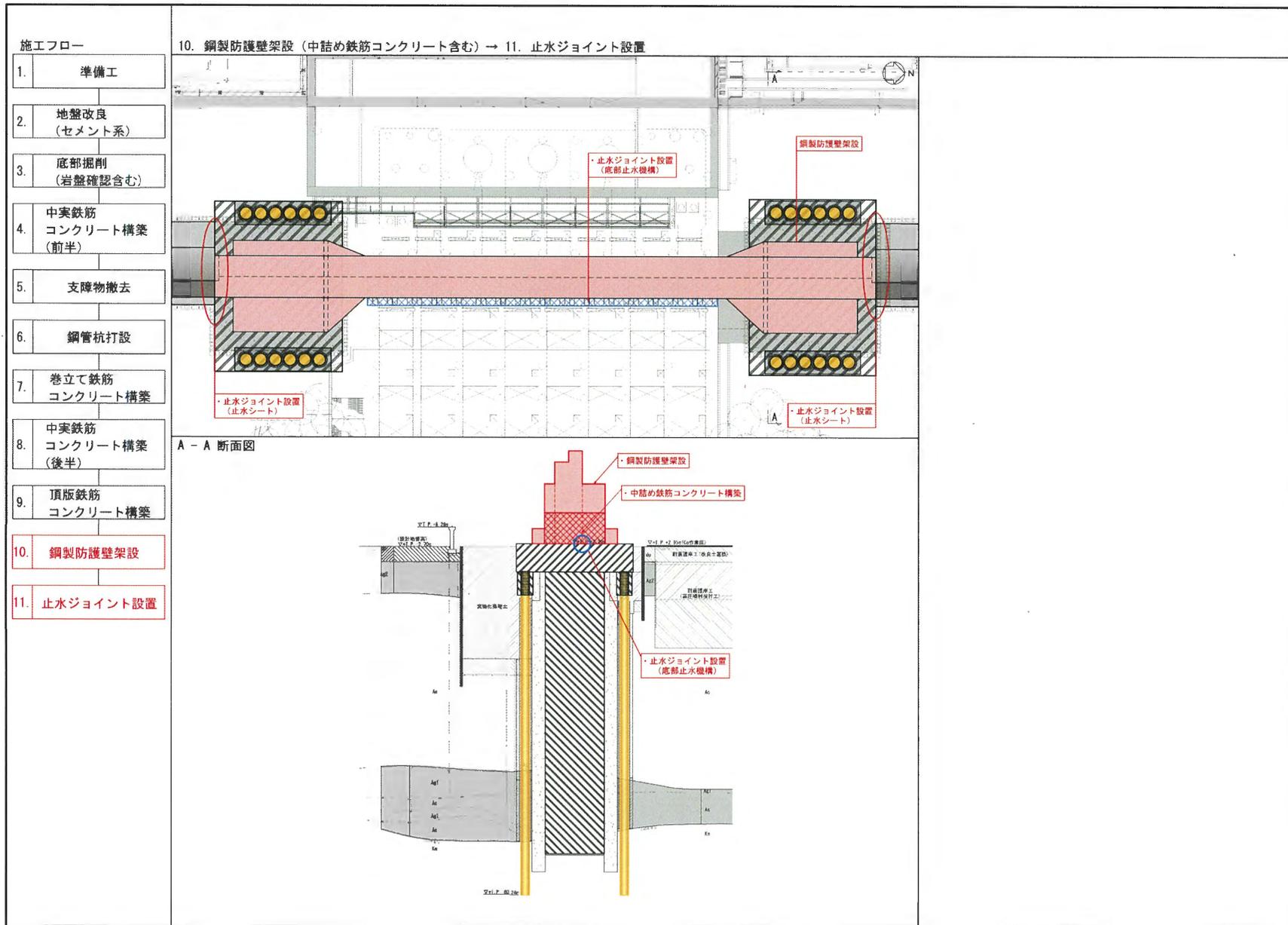


図 3.4-6 北基礎構築の施工ステップ (4/4)

3.5 各施工ステップの施工性・検査

以下に「3.4 工事の流れ」にて区分した各施工ステップの工事概要、施工方法及び施工性の確認結果を示す。また、不具合を繰り返さない取り組みとして、品質に影響を及ぼす可能性のある項目を抽出し、設計上の想定への影響の有無を確認する。更に、各施工ステップの工事が計画どおり行われていることの確認が可能か、品質を確認（検査）する項目・時期・方法を整理する。

3.5.1 底部掘削

(1) 工事概要

中実部の底部を設置予定深度（岩盤）まで掘削し、基礎設置面を整形する。
また、岩盤確認（検査）を実施する。

(2) 施工方法

中実鉄筋コンクリートを設置する基礎岩盤まで地中連続壁内を掘削する。バックホウにより掘削し、ベッセル等で揚土する。

(3) 施工性の確認

施工エリアの状況・干渉物等を考慮して、施工性を確認した。

底部掘削施工イメージ図（鉛直断面）を図 3.5-1 に示す。作業は従来作業（一般的な工事）と同様であり、干渉物等の課題はなく、本作業の施工性が確保されていることを確認した。

施工性の確認結果を表 3.5-1 に示す。

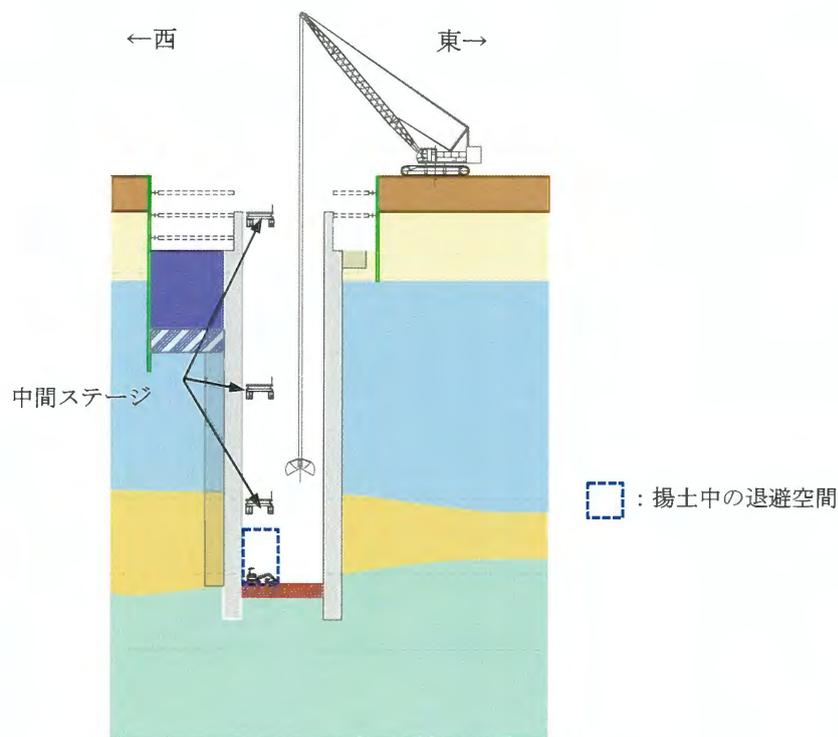


図 3.5-1 底部掘削施工イメージ図（鉛直断面）

表 3.5-1 底部掘削の施工性の確認結果

施工方法	確認結果
・バックホウにより掘削し，ベッセル等で揚土する。	<ul style="list-style-type: none"> ・作業は従来作業と同様（一般的な工事と同様）であり，干渉物はない。 ・重機荷重は小さく，施工上の問題とならない。

(4) 設計上の想定に影響を及ぼす可能性のある項目

本施工ステップにおいて品質に影響を及ぼす可能性のある項目の有無を確認し，該当する項目がないことを確認し，設計上の想定への影響がないことを確認した。その結果を表 3.5-2 に示す。

表 3.5-2 底部掘削における品質に影響を及ぼす可能性のある項目の確認結果

品質に影響を及ぼす可能性のある項目 (注視すべきプロセス等)	設計上の想定への影響の確認方法及び確認結果
なし	—

(5) 検査項目・時期等の整理

底部掘削における検査項目・時期等を表 3.5-3 に示す。検査項目・時期等を整理した結果，適切な時期に検査を実施することで，工事が計画どおり行われることの確認が可能である。

表 3.5-3 底部掘削における検査する項目・時期・方法

検査項目	主な確認事項	確認時期	確認方法	備考
岩盤確認	設置高さ，幅，性状	施工後	測量 ^{※1} ，目視確認 ^{※1}	

※1 施工後に測量により底部掘削高さ及び幅を確認する。また，目視確認により岩盤であることを確認する。

3.5.2 中実鉄筋コンクリート構築

(1) 工事概要

中実鉄筋コンクリートを構築する。

なお、中実鉄筋コンクリートの構築に先立ち、地中連続壁部の内空寸法を確保し、中実鉄筋コンクリート構築に支障を与えないよう内空側壁面の凹凸を平滑化する。

(2) 施工方法

リフトごとにクレーン及び人力で鉄筋を組み立てる。地中連続壁を型枠代わりにコンクリートを打設し、中実鉄筋コンクリートを構築する。

(3) 施工性の確認

施工エリアの状況・干渉物等を考慮して、施工性を確認した。

地中連続壁部壁面の凹凸の整形箇所及び整形方法を表 3.5-4 に示す。これらの整形を実施後、地中連続壁部の内空寸法を確認し、中実鉄筋コンクリートの外形寸法が確保されていることを確認する。

表 3.5-4 地中連続壁部壁面の凹凸の整形箇所及び整形方法

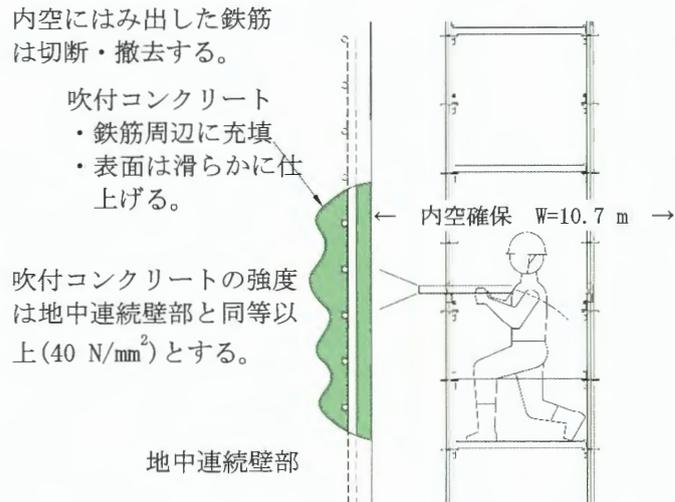
整形箇所	整形方法	備考
・コンクリートの未充填	・コンクリートの未充填は、吹付コンクリート・断面補修材を用いて充填する。	・中実鉄筋コンクリートの構築では、地中連続壁部壁面に型枠は設けず、直接コンクリートを打設する。
・鉄筋のはみ出し	・地中連続壁部の鉄筋のうち、中実鉄筋コンクリートの範囲にはみ出ているものは切断・撤去する。	
・コンクリートのはみ出し	・地中連続壁部が中実鉄筋コンクリートの範囲にはみ出ている箇所は切削する。	

図 3.5-2 に地中連続壁部の凹凸の整形（イメージ）、図 3.5-3 に中実鉄筋コンクリート構築イメージ図（鉛直断面）を示す。各作業について適切な時期に確認することで、実施した工事が計画どおり行われていることの確認が可能である。表 3.5-5 に中実鉄筋コンクリート構築の施工性の確認結果を示す。

また、「狭隘な立坑工事」となる中実鉄筋コンクリート構築では、揚重作業時のリスクへの対応として作業員の退避場所を設定し、施工の安全性を確保する。

表 3.5-5 中実鉄筋コンクリート構築の施工性の確認結果

施工方法	確認結果
<ul style="list-style-type: none"> ・通常の鉄筋コンクリート工事と同じ。 ・中実鉄筋コンクリートの構築に支障となる地中連続壁部壁面の凹凸を平滑化し、内空寸法を確保する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・干渉物、重機配置とも問題なし。 ・構造設計と並行して施工性の確認を行い、施工性を考慮した現実的な配筋を設計に反映するよう配慮する。



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面の凹凸を平滑化し、内空寸法を確保する。

図 3.5-2 地中連続壁部壁面の凹凸の整形 (イメージ)

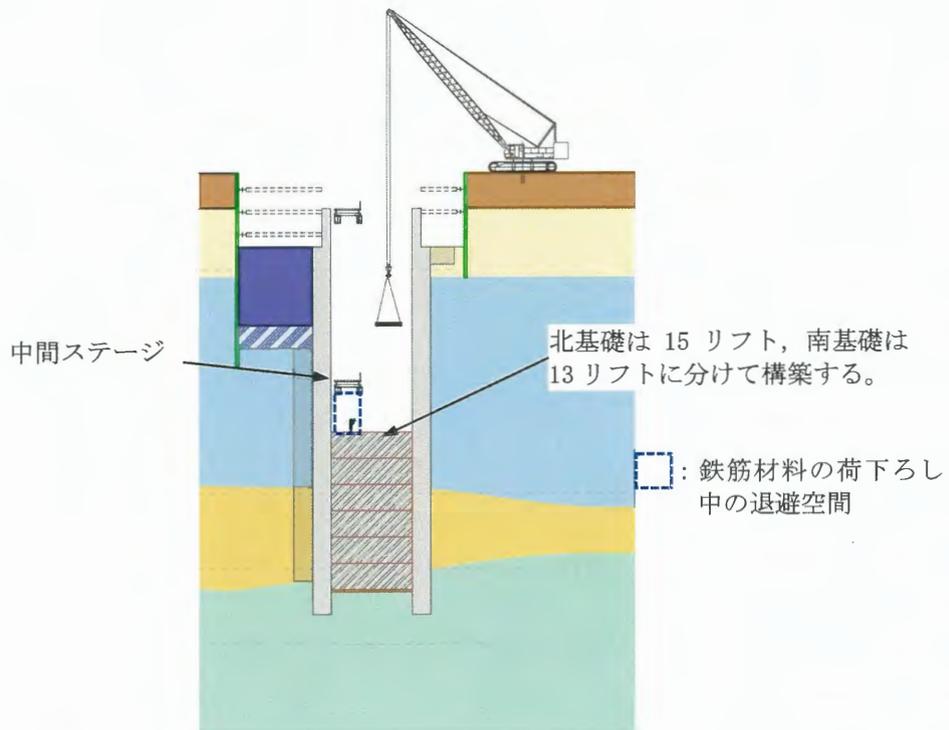


図 3.5-3 中実鉄筋コンクリート構築イメージ図 (鉛直断面)

(4) 設計上の想定に影響を及ぼす可能性のある項目

本施工ステップにおいて品質に影響を及ぼす可能性のある項目の有無を確認した結果、表 3.5-6 に示す項目が抽出され、これらの設計上の想定への影響について確認した（詳細は 3.6.1 参照）。

表 3.5-6 中実鉄筋コンクリート構築における品質に影響を及ぼす可能性のある項目の確認結果

品質に影響を及ぼす可能性のある項目 (注視すべきプロセス等)	設計上の想定への影響の確認方法及び確認結果
<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実績の少ない作業であり、鉄筋組立の精度確保、コンクリートの充填の施工難易度が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実規模の鉄筋組立試験により施工性・品質を確認する。 【確認結果】 以下より、設計上の想定への影響はないことを確認した。 ・ 実規模のモックアップ試験を実施し、鉄筋組立精度、コンクリート打設（充填）を確認し、計画どおりの構築が可能であることを確認した。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 機械式継手の範囲の帯鉄筋の配置 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 機械式継手(周辺含む)の配置を確認する。 【確認結果】 以下より、設計上の想定への影響はないことを確認した。 ・ 設計の鉄筋は機械式継手の範囲には配置せず近傍に配置し、元の位置には構造細目を満足する帯鉄筋を配置する(同鉄筋は構造設計に加算しない) 計画である。 ・ 機械式継手の配置はイモ継ぎであるが、設計における許容応力度の低減は行わないこととし、継手指針¹¹⁾に従い継手材料及び施工・検査のレベルを確保する計画であることを確認した。

(5) 検査項目・時期等の整理

中実鉄筋コンクリート構築における検査項目・時期等を表 3.5-7 に示す。検査項目・時期等を整理した結果、適切な時期に検査を実施することで、工事が計画どおり行われることの確認が可能である。

表 3.5-7 中実鉄筋コンクリート構築における検査する項目・時期・方法

検査項目	主な確認事項	確認時期	確認方法
鉄筋の品質	材質, 寸法, 配置	施工前 ^{※1} , 施工中 ^{※1}	記録確認, 寸法確認
コンクリートの品質	仕様, 性状, 強度	施工前 ^{※2} , 施工中 ^{※2} , 施工後 ^{※2}	記録確認
コンクリートの出来形	寸法確認 ^{※3}	施工前, 施工後	寸法確認

※1 鉄筋の材質, 寸法は使用前に確認し, 配置はコンクリートの打設後に確認できないことから施工中(コンクリート打設前)に確認する。

※2 施工前に使用する材料の仕様を確認する。施工中は受入確認, 施工後には受入検査時に作製した供試体により材料の品質(一軸圧縮強度)を確認する。

※3 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, 地中連続壁部壁面の凹凸を整形(平滑化)し, 内空断面を確保する。内空の寸法は, 鉄筋組立前, 外形の寸法はコンクリート打設後に確認する。

¹¹⁾ コンクリートライブラリー156 鉄筋定着・継手指針[2020年版](土木学会), 以下「継手指針」という。

3.5.3 支障物撤去

(1) 工事概要

鋼管杭打設に支障となる地中連続壁工事の仮設物（SMW等）を撤去する。

鋼管杭打設の施工性の向上のため岩盤標高（Km層上面）まで掘削し、均質置換土に置換する。

地中支障物の撤去や数十mの掘削に実績のあるオールケーシング工法を採用する。オールケーシング工法のイメージを図 3.5-4 に示す。

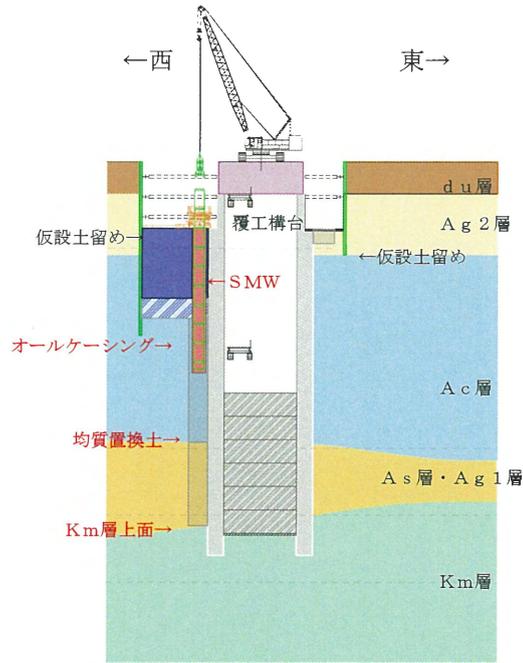
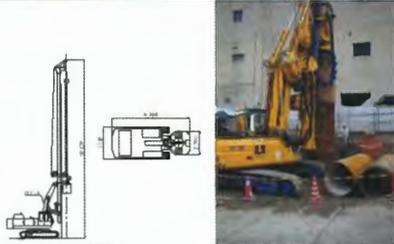
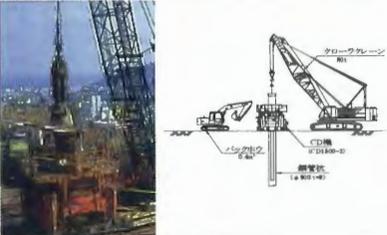


図 3.5-4 オールケーシング工法のイメージ図（鉛直断面）

(2) 施工方法

支障物の撤去には表 3.5-8 より、「オールケーシング工法」を選定した。対象とする支障物は、既設構造物、地中連続壁構築時のガイドウォール、SMW及び高圧噴射による改良体である。

表 3.5-8 施工方法の選定表

項目	大型ブレーカ工法	移動式大口径多目的削孔機工法(BG工法)	オールケーシング工法(CD工法)
施工概要図			
一般的な適用径	—	φ 550～φ 2000 (mm)	φ 1000～φ 2000 (mm) 今回 φ 1500 (mm)
標準的な適用深度	H=0.5m	H=10.0～30.0 (m)	H=10.0～50.0 (m)
機械総重量	3～21(t) (0.1～0.7 m ³ 級バックホウ)	34.3～106.0(t)	26.1～53.0(t)
施工概要	<ul style="list-style-type: none"> ・本工法は、クローラ式バックホウに油圧式大型ブレーカを装着して打撃による破碎を行う。 ・機械の作業スペースが必要。また、狭い箇所での破碎は困難である。振動・騒音が大きい。 ・バックホウ、ブレーカの大きさにより施工能力に差がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本工法は、油圧式大口径多目的削孔機による削孔工法である。 ・BG機(BOHR GERATE)は、粘性土、砂質土、砂礫、岩盤に対応している。 ・乾湿両方式を採用しオールケーシング方式、アースドリル方式、オーガ方式、パーカッション方式の削孔を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本工法は、ケーシングを掘削全長に回転・圧入しながらハンマーグラブで孔内を掘削し排土する工法である。 ・掘削完了後購入土等にて埋め戻しを行う。 ・また、カッティングエッジ・超硬チップを取付けたカッタービットを回転させコンクリート塊・鉄筋コンクリートの障害物・転石・岩盤等を掘削できる。
適用深度	削孔深度数 m 以下	削孔深度 40 m 以下	削孔深度 60 m 以下
適用範囲	<ul style="list-style-type: none"> ・バックホウのアタッチメントとして油圧ブレーカを取り付け、対象コンクリートを打撃破碎する。 ・作業スペースに合わせて重機サイズの選定が可能であるが、鉄筋切断等は人力作業を併用する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・杭径 800～2,000 mm のリーダー式ケーシング回転掘削工法に適用する。 ・なお、適用地盤は硬岩Ⅱ(未風化で無亀裂な新鮮な硬岩)以外の全ての地質、ならびに地中障害物(鉄筋コンクリート等)とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・杭径 1,000 mm～2,000 mm のケーシング回転掘削工法による置換え杭の施工に適用する。 ・なお、適用地盤は硬岩Ⅱ(未風化で無亀裂な新鮮な硬岩)以外の全ての地質、ならびに地中構造物(鉄筋コンクリート等)とする。
特徴	<ol style="list-style-type: none"> ① 1台あたりの破碎量は多い。壊したガラが大きい場合は二次破碎が必要となる。 ② 粉塵等が多量に発生する。騒音・振動が非常に大きい。 ③ 打撃エネルギーが大きいため破片の飛散防止対策が必要である。 ④ 重機周囲の区画が必要である。 	<ol style="list-style-type: none"> ① アタッチメント及びツールの迅速な交換により、あらゆる地質に対応する事ができる。 ② 機動性がよく、狭隘な場所でも施工が可能である。 ③ 補助ウィンチを備えているので削孔機本体で、ケーシングや鋼管、鋼材等建込む事が出来る。 ④ 全油圧駆動方式で左右に杭材(ケーシング)回転圧入する事が出来る。 ⑤ 粘性土が連続してある場合ケーシングに付着して削孔や引抜きに影響する。 	<ol style="list-style-type: none"> ① 強力な回転力の為岩盤、転石等掘削コンクリート構造物の切削が可能である。 ② ケーシングが 360° 回転する為高い精度が得られ大深度の掘削が可能である。 ③ 掘削全長に渡りケーシングを使用する為杭形状が確保出来孔壁の崩壊や近隣構造物への影響が少ない。 ④ 転石の場合、ハンマーグラブにより掴み取る事が出来る。
現場条件	撤去対象：原地盤土～セメント改良体相当、SMW鋼材等地中支障物含む 削孔深度：北基礎 50 m、南基礎 40 m		
適応性	削孔深度 対応不可	削孔深度 対応不可	撤去対象物、削孔深度 対応可能
評価	×	×	○

(3) 施工性の確認

施工エリアの状況・干渉物等を考慮して、施工性を確認する。

図 3.5-5 に鋼管杭打設等に係る支障物の撤去計画（南基礎）を示す。この図より、鋼管杭打設の際に支障となる工事仮設物（セメント改良体）やH鋼を芯材として配置されたS MW（地中連続壁部構築に使用した工事用仮壁ガイドウォールの地中部）が存在し、これらをあらかじめ切削・撤去し均質置換土（セメントベントナイト、以下「CB」という。）で埋め戻すことで鋼管杭を精度よく打設できることが可能である。なお、施工エリアを確保する土留めに対し、重機荷重が問題としないことを確認した（3.6.3 参照）。

図 3.5-6 に施工用地計画（南基礎）を示す。この図より、干渉物対策、施工用地確保等を調整し、本作業の施工性が確保されていることを確認した。また、図 3.5-7 に発電設備と全周回転掘削機の干渉の断面（南基礎）を示す。

オールケーシング工法の施工性の確認結果を表 3.5-9 に示す。

表 3.5-9 オールケーシング工法の施工性の確認結果

施工方法	確認結果	備考
オールケーシング工法	<ul style="list-style-type: none">・施工エリアが狭隘であることから、現地確認、施工図等をもとに重機配置図を作成し、干渉物の特定・撤去等の可否調整を実施した。・地中連続壁部の上部に覆工構台を設置すること等により、揚重機の配置場所等の用地が確保できることを確認した。	図 3.5-5, 図 3.5-6, 図 3.5-7 参照

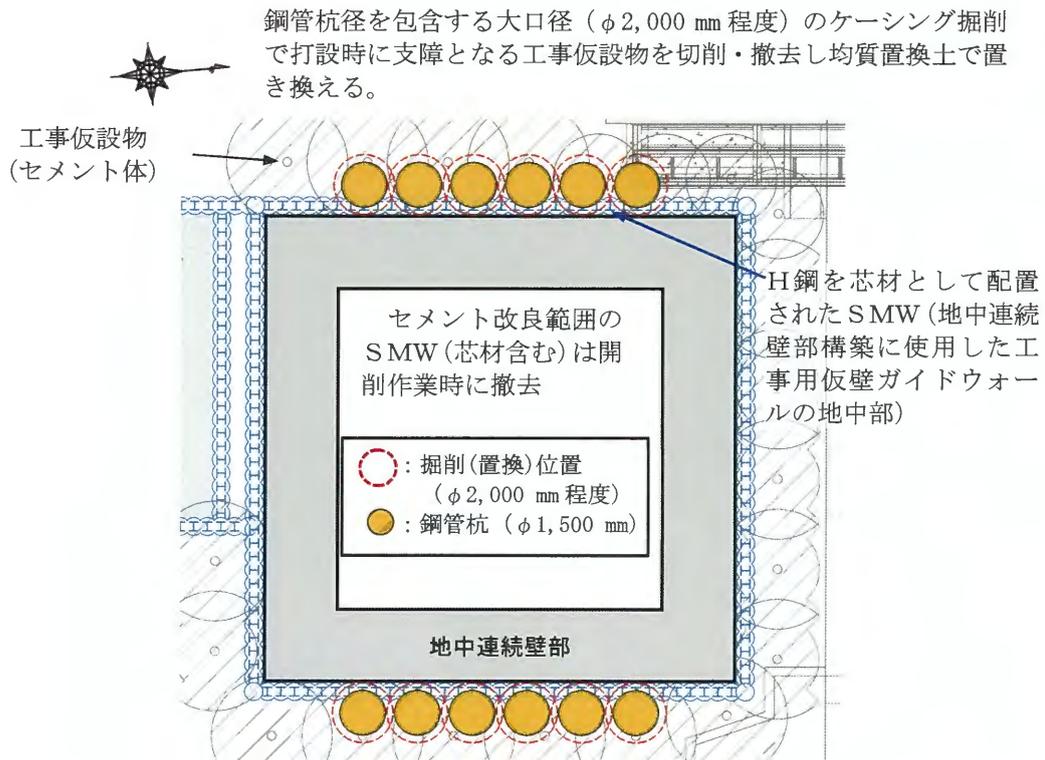


図 3.5-5 鋼管杭打設等に係る支障物の撤去計画 (南基礎)

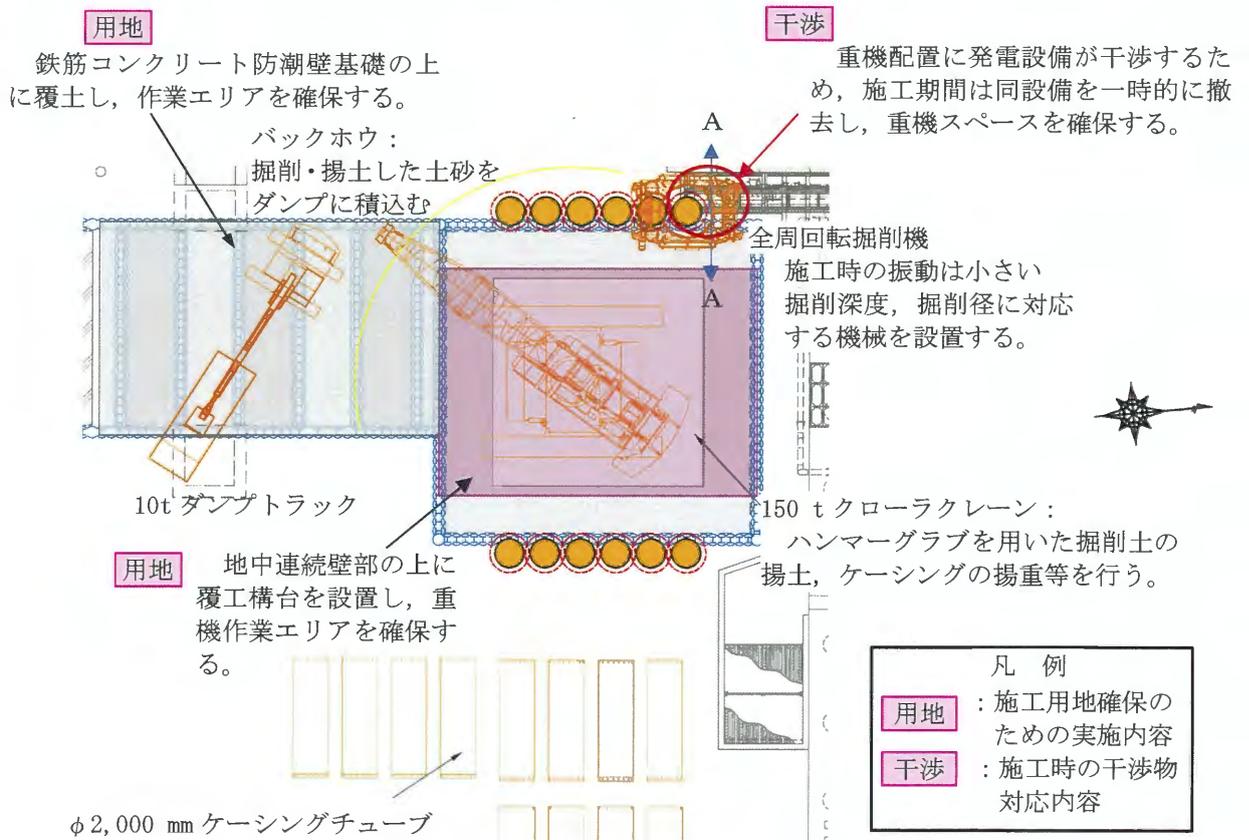


図 3.5-6 施工用地計画 (南基礎)

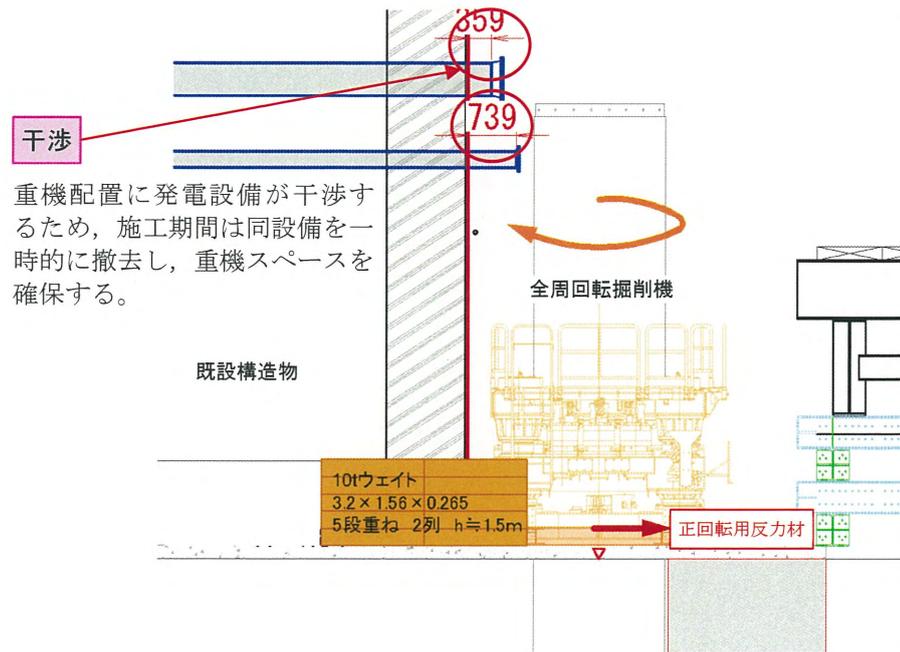


図 3.5-7 発電設備と全周回転掘削機の干渉（南基礎）（A-A断面）

(4) 設計上の想定に影響を及ぼす可能性のある項目

本施工ステップにおいて品質に影響を及ぼす可能性のある項目の有無を確認した結果、表 3.5-10 に示す項目が抽出され、これらの設計上の想定への影響について確認した（詳細は 3.6.2 参照）。

表 3.5-10 支障物撤去における品質に影響を及ぼす可能性のある項目の確認結果

品質に影響を及ぼす可能性のある項目 (注視すべきプロセス等)	設計上の想定への影響の確認方法及び確認結果
<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭打設時に撤去されない均質置換土の設計への影響が懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工内容の確認及び均質置換土の地盤物性値（経年変化含む）を整理する。 <p>【確認結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> 以下より、設計上の想定への影響はないことを確認した。 堆積層を置換する均質置換土（CB）の強度は周辺地盤の強度より大きく、設計における地盤バネへの影響がないことを確認した。 CBの使用実績及び効果のメカニズムから、CBは長期安定性を有する材料であり、設計に影響を及ぼさないことを確認した。

(5) 検査項目・時期等の整理

本工事で確認する項目・時期・方法を整理し、検査性を確認する。それらを表 3.5-11 に示す。

表 3.5-11 検査性の確認

確認項目	主な確認事項	確認時期	確認方法
掘削径	ケーシング径	施工前	寸法確認
掘削位置	掘削位置	施工前	測量
掘削深度	掘削深度	施工中 ^{※1}	測深
均質置換土等の品質	一軸圧縮強度	施工前 ^{※2} 、施工後 ^{※2}	配合計画書、圧縮強度試験 ^{※3}

※1 施工後では掘削した場所が埋め戻されてしまうことから、掘削完了時に確認する。

※2 施工前に使用する材料の仕様を確認する。施工後には受入検査時の供試体により材料の品質(一軸圧縮強度)を確認する。

※3 設計基準強度は 0.5 N/mm²とする。

以上の結果、地盤に埋設される支障物撤去の成果(均質置換土による置換)について、整理した検査を適切な時期に実施することで、工事が計画どおり行われていることの確認が可能である。

3.5.4 鋼管杭打設

(1) 工事概要

鋼管杭（φ1,500 mm, t=50 mm）をKm層（岩盤）まで打設する。

分割された鋼管を溶接して接合する。

鋼管杭の下端に根固めコンクリートを打設する。

鋼管杭の杭頭部に巻立て鉄筋コンクリートを構築する。

(2) 施工方法

鋼管杭打設は中掘り圧入工法にて実施する。

(3) 施工性の確認

施工エリアの状況・干渉物等を考慮して、施工性を確認する。

図 3.5-8 及び図 3.5-9 に鋼管杭打設イメージ図を示す。鋼管杭打設においては表 3.3-3 で整理した想定リスクに対する対策を実施し、施工性を確実なものとする。

また、施工用地計画（南基礎）を図 3.5-10 に示す。鋼管杭の打設では、打設する鋼管の仮置き場所、鋼管を揚重するクレーンの配備等大きな作業エリアを必要とすることから、現地状況を反映した重機配置図を作成し、施工の実現性を確認した。なお、施工にあたり干渉する設備の一時撤去等の対応を含むこととする。

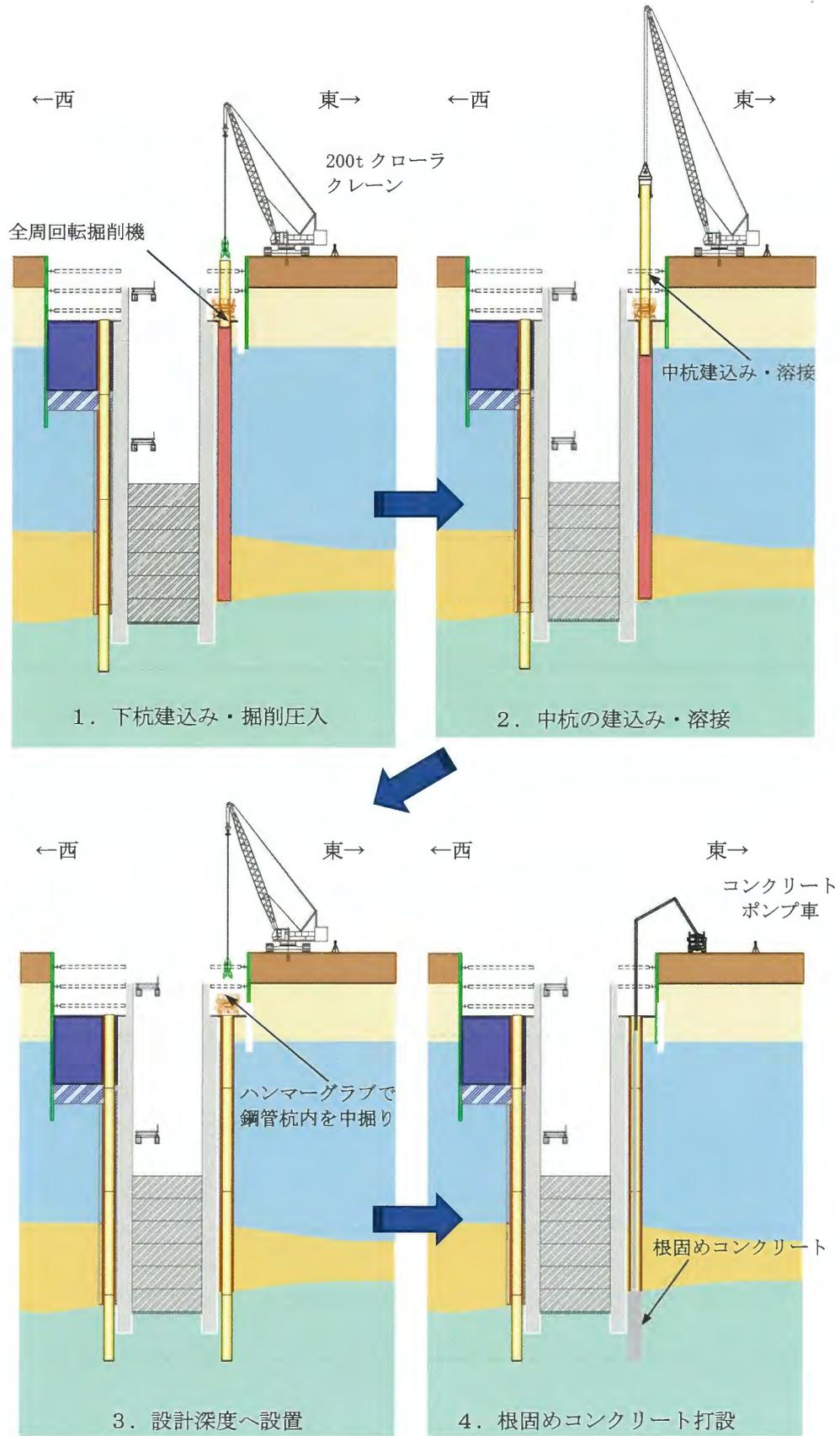


図 3.5-8 鋼管杭打設イメージ図 (その1)

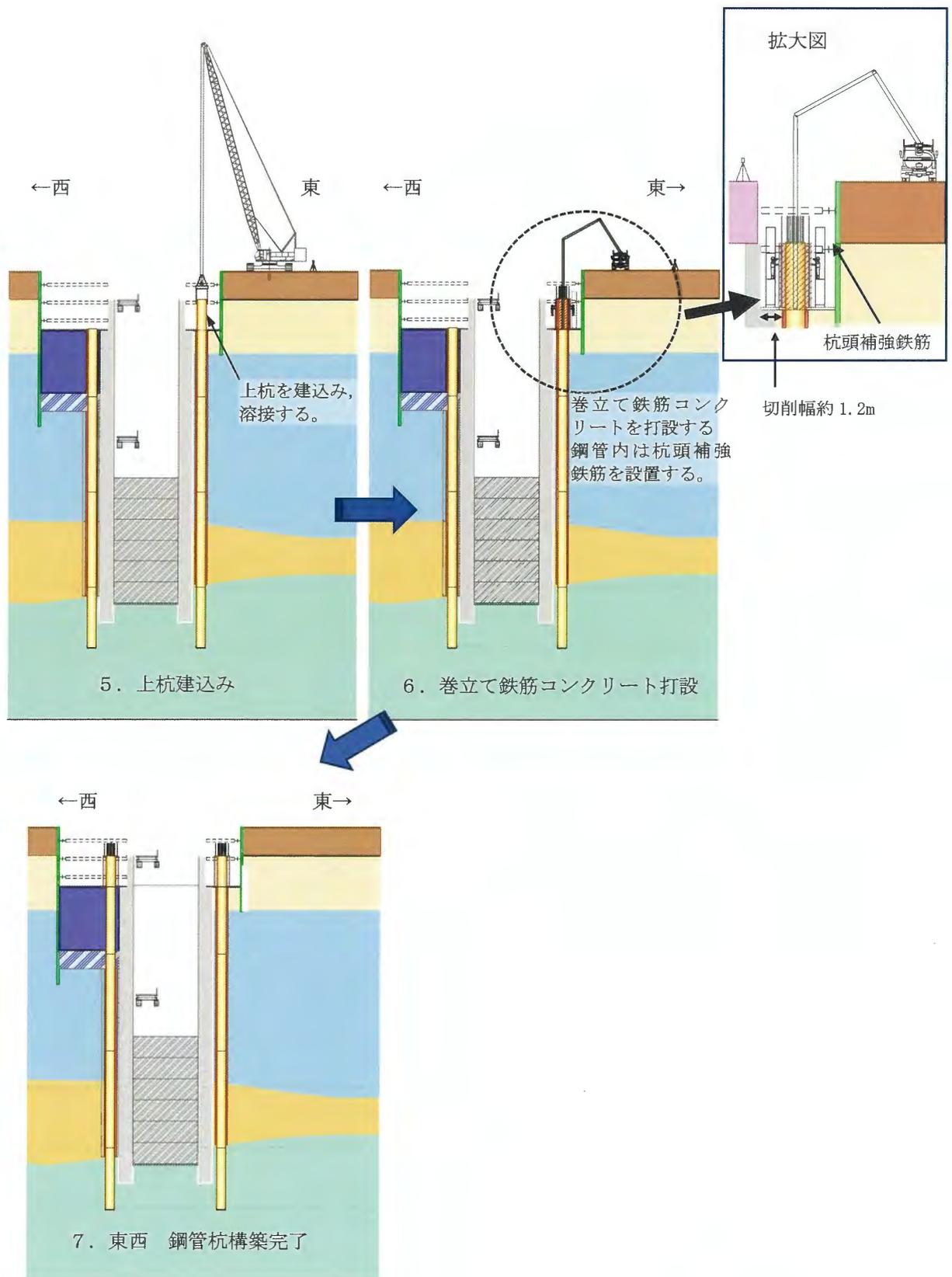
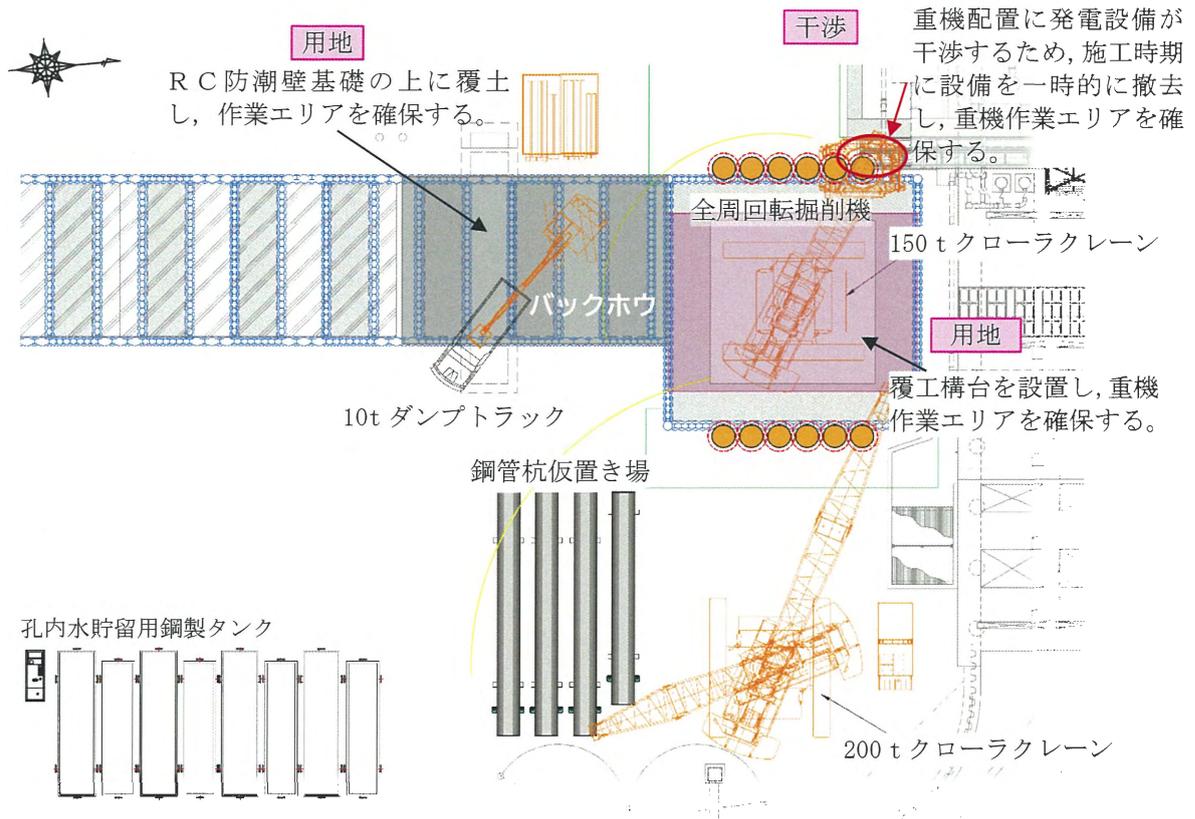


図 3.5-9 鋼管杭打設イメージ図 (その2)



凡 例

用地	: 施工用地確保のための実施内容
干渉	: 施工時の干渉物対応内容

図 3.5-10 施工用地計画（南基礎）

施工性の確認結果を表 3.5-12 に示す。

表 3.5-12 鋼管杭打設の施工性の確認結果

項目	確認結果
用地確保	・ 用地確保が可能であることを確認した。
干渉物	・ 特定後，撤去・移設として対策できることを確認した。 ・ 移設ができない発電設備は施工期間中，一時的に撤去（南基礎）する。

以上，干渉物対策，施工用地確保等を調整した結果，本作業の施工性が確保されていることを確認した。

(4) 設計上の想定に影響を及ぼす可能性のある項目

本施工ステップにおいて設計上の想定に影響を及ぼす可能性のある項目の有無を確認した結果、表 3.5-13 に示す項目が抽出され、これらの設計上の想定への影響について確認した（詳細は 3.6.3 参照）。

表 3.5-13 鋼管杭打設における品質に影響を及ぼす可能性のある項目の確認結果

品質に影響を及ぼす可能性のある項目 (注視すべきプロセス等)	設計上の想定への影響の確認方法及び確認結果
<ul style="list-style-type: none"> 約 50m の鋼管杭を水平に 30cm 間隔で打設するため高い打設精度が求められ施工難易度が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の施工方法・実績を整理する。 <p>【確認結果】 以下より、設計上の想定への影響はないことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭打設時に、鋼管杭の鉛直精度を常時監視するシステムを使用し、打設精度を向上させる。なお、本工法の組合せは発電所内の施工実績から十分な精度が確保できることを確認した。 上記の対策に加え、事前に岩盤標高付近までの堆積層を均質置換土に置き換えることによって、地盤の固さの不均質さの影響による鋼管杭打設時の鉛直精度低下を防ぐ計画であることを確認した。
<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭打設において施工荷重（重機荷重）が影響する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭打設時の重機配置及び工事仮設・杭打設への影響を確認する。 <p>【確認結果】 以下より、設計上の想定への影響はないことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 堆積層が厚く重機荷重の影響を受けやすい北基礎のうち、重機が直接地盤に設置される東側の鋼管杭打設等の施工における重機配置等が工事仮設・杭打設に影響がないことを確認した。
<ul style="list-style-type: none"> 巻立て鉄筋コンクリートは狭隘な区画での太径鉄筋の組立であり、施工難易度が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元CADにより配筋干渉がないことを確認する。 施工図により施工性を確認する。 <p>【確認結果】 以下より、設計上の想定への影響はないことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉛直鉄筋、帯鉄筋、せん断補強筋、配力筋がスタッド付鋼管杭の周囲に密に配置される状況について3次元CADにより配筋干渉を確認し、問題がないことを確認した。 施工エリアは、地中連続壁や既施設に挟まれ狭隘な場所での鉄筋組立となることから、施工エリアを図化し、組立作業の施工性が確保されていることを確認した。

(5) 検査項目・時期等の整理

本工事で検査する項目・時期・方法を表 3.5-14 に示す。

表 3.5-14 検査する項目・時期・方法

検査項目	主な確認事項	確認時期	確認方法
鋼管杭の品質	材質, 寸法	施工前	ミルシート, 寸法確認
鋼管杭の位置等	杭頭高さ, 根入れ長, 位置, 傾斜	施工前 ^{※1} , 施工中 ^{※1} , 施工後 ^{※1}	測量, 位置確認
コンクリートの品質	仕様, 性状, 強度	施工前 ^{※2} , 施工中 ^{※2} , 施工後 ^{※2}	配合計画書, 圧縮強度試験等
コンクリートの出来形	打設高さ (根固めコンクリート)	施工後	測深, 寸法確認
	外形寸法 (巻立て鉄筋コンクリート)	施工後	寸法確認
鉄筋の品質	材質, 寸法, 配置	施工前 ^{※3} , 施工中 ^{※3}	ミルシート, 寸法確認

- ※1 施工前に鋼管杭の設置位置を確認する。施工中は傾斜を確認する。施工後に杭頭高さ, 根入れ長, 平面位置, 傾斜を確認する。
- ※2 施工前に使用する材料の仕様を確認する。施工中は受入時に性状を確認, 施工後には受入検査時に作成した供試体により材料の品質 (一軸圧縮強度) を確認する。
- ※3 鉄筋の材質, 寸法は使用前に確認し, 配置はコンクリートの打設後に確認できないことから施工中 (コンクリート打設前) に確認する。

以上の結果, 鋼管杭打設の成果 (杭基礎部) について, 整理した検査を適切な時期に実施することで, 工事が計画どおり行われていることの確認が可能である。

3.5.5 頂版鉄筋コンクリート構築

(1) 工事概要

頂版鉄筋コンクリートを構築し、中実鉄筋コンクリート及び鋼管杭を一体化する。

(2) 施工方法

中実鉄筋コンクリート、鋼管杭の巻立てコンクリートと頂版鉄筋コンクリートを一体化させ、コンクリートを打設する。

(3) 施工性の確認

施工エリアの状況・干渉物等を考慮して、施工性を確認する。

図 3.5-11 に頂版鉄筋コンクリート構築イメージ図（鉛直断面）を示す。各作業について適切な時期に確認することで、実施した工事が計画どおり行われていることの確認が可能である。頂版鉄筋コンクリート構築の施工性の確認結果を表 3.5-15 に示す。

表 3.5-15 頂版鉄筋コンクリート構築の施工性の確認結果

施工方法	確認結果
通常の鉄筋コンクリート工事と同じ。	<ul style="list-style-type: none"> 干渉物、重機配置とも問題なし。 構造設計と並行して施工性の確認を行い、施工性を考慮した現実的な配筋を設計に反映するよう配慮する。

(4) 設計上の想定に影響を及ぼす可能性のある項目

本施工ステップにおいて品質に影響を及ぼす可能性のある項目の有無を確認した結果、表 3.5-16 に示す項目が抽出され、これらの設計上の想定への影響について確認した（詳細は 3.6.4 参照）。

表 3.5-16 頂版鉄筋コンクリート構築における品質に影響を及ぼす可能性のある項目の確認結果

品質に影響を及ぼす可能性のある項目 (注視すべきプロセス等)	設計上の想定への影響の確認方法及び確認結果
<ul style="list-style-type: none"> 中実鉄筋コンクリート、鋼管杭との接続箇所であり、構造鉄筋と定着鉄筋などが複雑に交錯するため、鉄筋組立の施工の難易度が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元CADによる配筋干渉を確認する。 <p>【確認結果】</p> <p>以下より、設計上の想定への影響はないことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 頂版鉄筋コンクリートは当該部の構造鉄筋に加え、中実鉄筋コンクリート等からの定着鉄筋などが複雑に交錯する配筋となるが、3次元CADによりこれらの鉄筋の配置干渉を確認した結果、問題がないことを確認した。

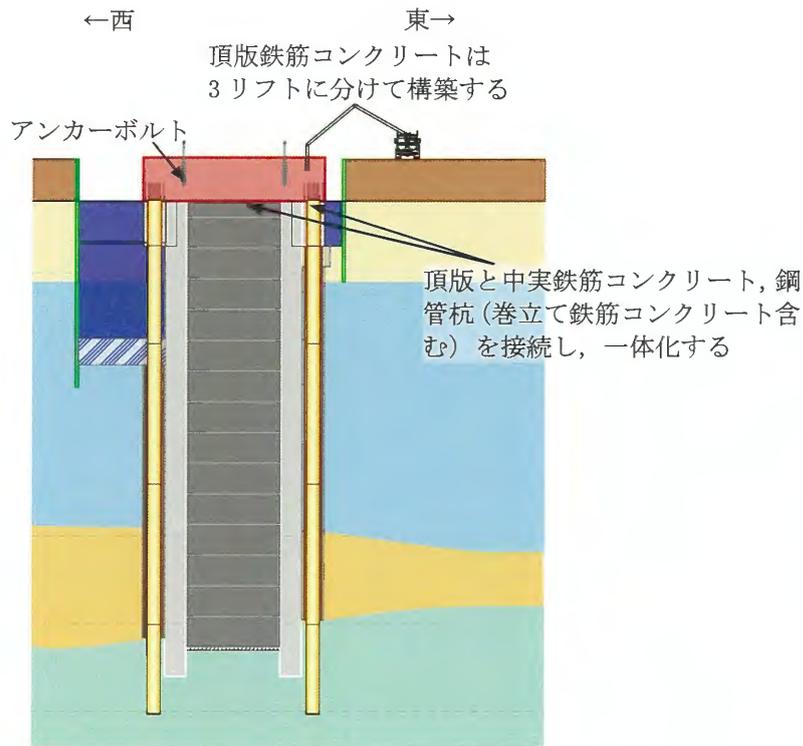


図 3.5-11 頂版鉄筋コンクリート構築イメージ図（鉛直断面）

(5) 検査項目・時期等の整理

本工事で検査する項目・時期・方法を整理し、検査性を確認する。検査する項目・時期・方法を表 3.5-17 に示す。

表 3.5-17 検査する項目・時期・方法

検査項目	主な確認事項	確認時期	確認方法
鉄筋の品質	材質, 寸法, 配置	施工前 ^{※1} , 施工中 ^{※1}	記録確認 寸法確認
コンクリートの品質	仕様, 性状, 強度	施工前 ^{※2} , 施工中 ^{※2} , 施工後 ^{※2}	記録確認
アンカーボルトの品質	材質, 寸法, 配置	施工前 ^{※1} , 施工中 ^{※1}	記録確認 寸法確認
コンクリートの出来形	寸法確認	施工後	寸法確認

※1 鉄筋, アンカーボルトの材質, 寸法は使用前に確認し, 配置はコンクリートの打設後に確認できないことから施工中（コンクリート打設前）に確認する。

※2 施工前に使用する材料の仕様を確認する。施工中は受入確認, 施工後には受入検査時の供試体により材料の品質（一軸圧縮強度）を確認する。

以上の結果, 頂版鉄筋コンクリート構築について, 整理した検査を適切な時期に実施することで, 工事が計画どおり行われていることの確認が可能である。

3.5.6 鋼製防護壁架設

(1) 工事概要

架設時の荷重により既設構造物に有害な変位・応力が発生しないよう、南北の基礎を両端の支点として鋼製防護壁を架設する。鋼製防護壁の架設イメージ図（鉛直断面）を図 3.5-12、鋼製防護壁の架設箇所（平面図）を図 3.5-13 に示す。

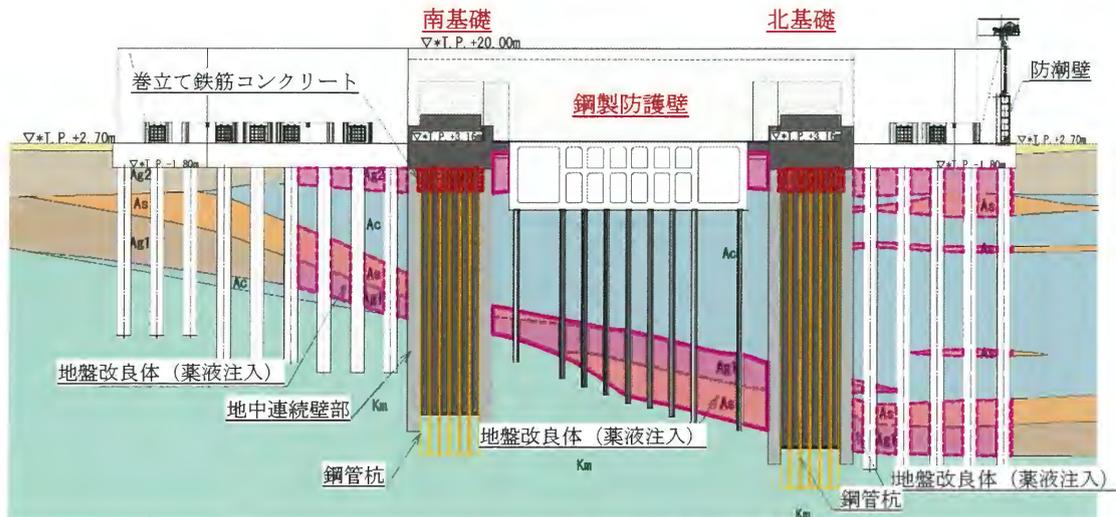


図 3.5-12 鋼製防護壁の架設イメージ図（鉛直断面）

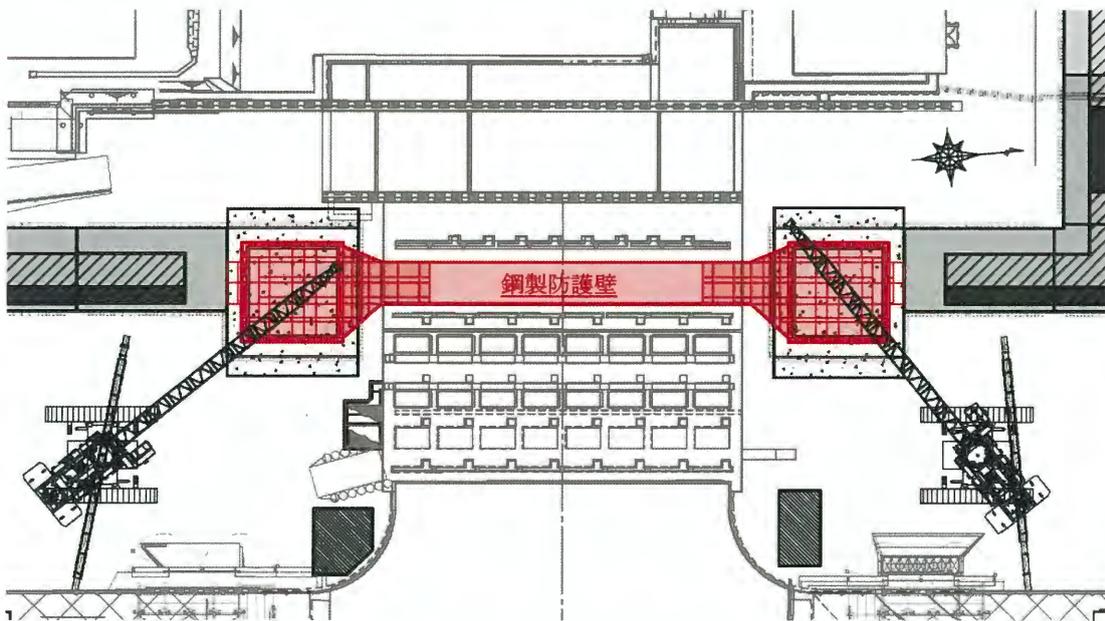


図 3.5-13 鋼製防護壁の架設箇所（平面図）

(2) 施工方法

頂版鉄筋コンクリート上部にブロック化した鋼製防護壁基部を設置し、アンカーボルトにて固定する。同基部から中央方向に分割した部材を順次架設し、南北間を閉合、防護壁を構築する。また、防護壁の構築の途中で基部において中詰め鉄筋コンクリートを構築する。

(3) 施工性の確認

施工エリアの状況・干渉物等を考慮して、施工性を確認する。鋼製防護壁の架設について、現地確認、施工図等をもとに重機配置図を作成し、干渉物の特定・撤去等の可否調整を実施した。図 3.5-14 から図 3.5-20 まで施工ステップを示す。鋼製防護壁の架設の際、基部は南北基礎の接合部に影響を及ぼす可能性がある。具体的には、南北基礎で既設アンカーボルトとの接合があり、基部接合部の位置精度を確保するために工場で組立てた状況と同じ状況で基部を組立てる必要がある。したがって、基部を一括架設（基部を大型ブロックに組立て架設）することとした。基部の一括架設の施工図を図 3.5-21 に示す。クローラークレーンの揚重性能（定格荷重）による作業半径内で、基部の設置空間、重機動線及び作業空間が十分に確保できることを確認した。また、鋼製防護壁架設の確認結果を表 3.5-18 に示す。

以上より、干渉物等の課題はなく、本作業の施工性が確保されていることを確認した。

表 3.5-18 鋼製防護壁架設の施工性の確認結果

施工ステップ	施工方法	確認結果
鋼製防護壁の架設	工場で製作した構造材をブロック化し、ブロックをクレーンにより吊り込み下段より組み立てる。吊り込まれたブロックをボルトまたは溶接にて接合し鋼製防護壁を一体化する。 鋼製防護壁の下段の組立後、アンカーボルトで固定し、基部に中詰め鉄筋コンクリートを構築する。また、鋼製防護壁構築後、根巻き鉄筋コンクリートを構築する。	干渉物、重機配置とも問題なし。 1～2 層目の架設期間中は支持架台を既設構造物に設置（図 3.5-14 から図 3.5-16 参照）しており、かつ、あらかじめ上げ越して架設を実施することで鋼製防護壁に有害なたわみ・変形等は発生しないことを確認した。支持架台から既設構造物への荷重についても有害な変位・応力となっていないことを確認している。 また、中詰め鉄筋コンクリート構築後に支持架台を撤去した後の 3 層目以降の架設（図 3.5-17 から図 3.5-20 参照）においても、鋼製防護壁に有害なたわみ、変形等は発生せず、問題がないことを確認した。

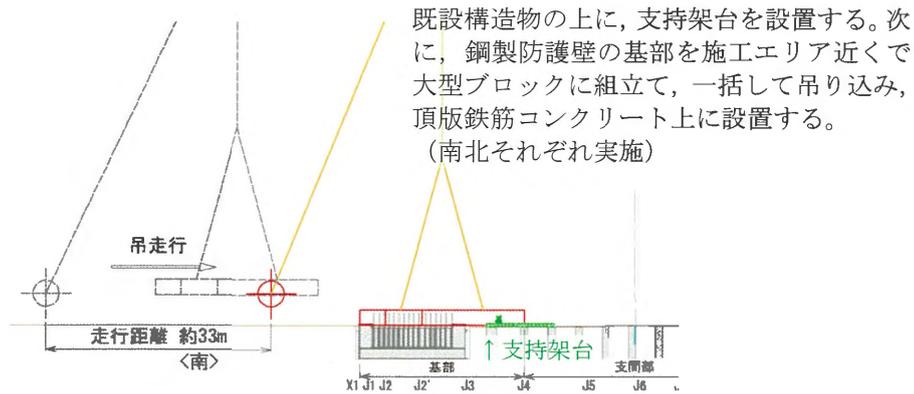


図 3.5-14 鋼製防護壁架設手順：①支持架台設置，基部一括架設

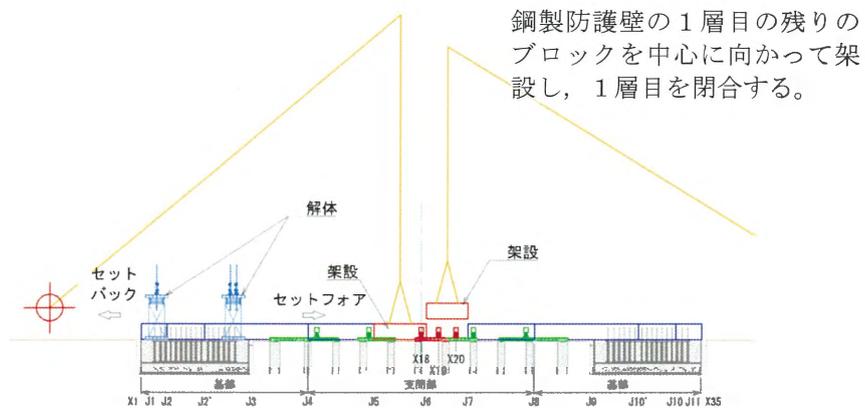


図 3.5-15 鋼製防護壁架設手順：②1層目架設

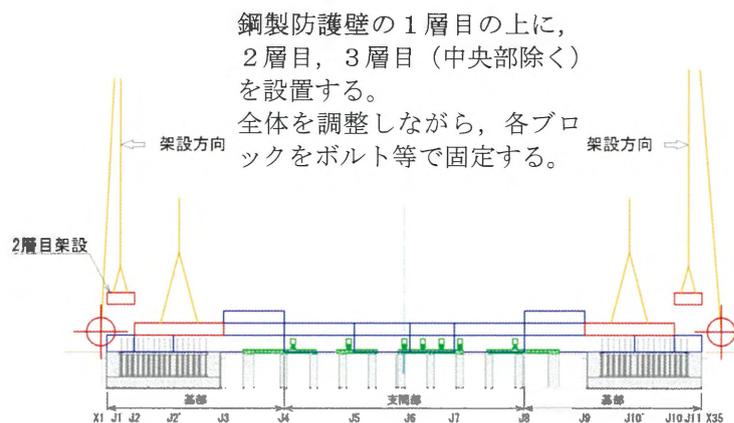


図 3.5-16 鋼製防護壁架設手順：③2～3層目架設

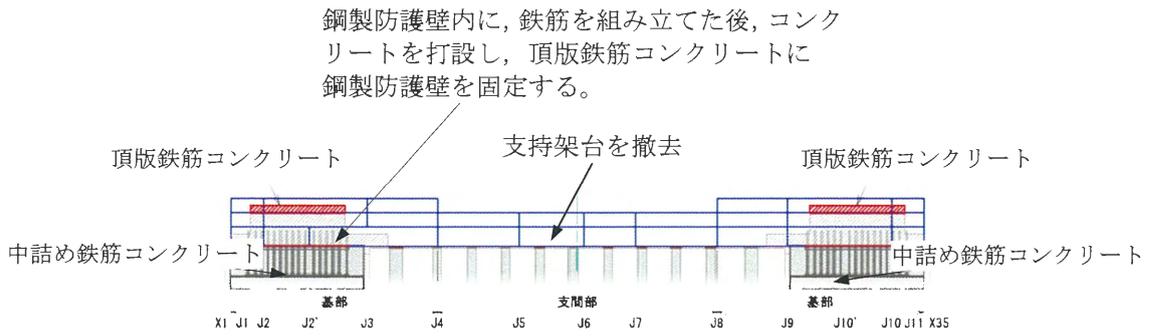


図 3.5-17 鋼製防護壁架設手順：④中詰め鉄筋コンクリート構築，支持架台撤去

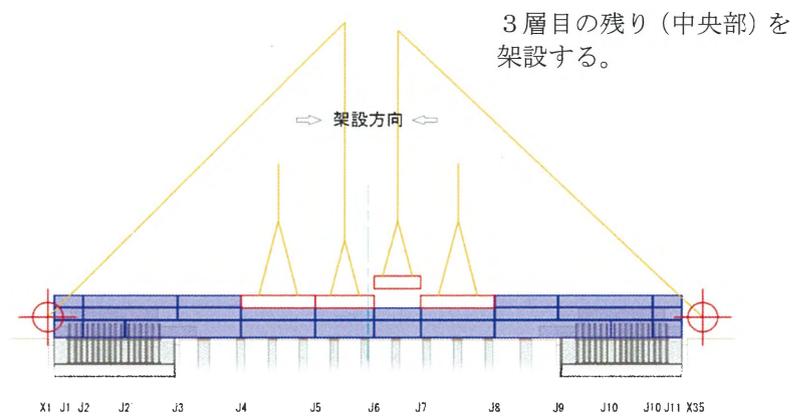


図 3.5-18 鋼製防護壁架設手順：⑤3層目残り架設

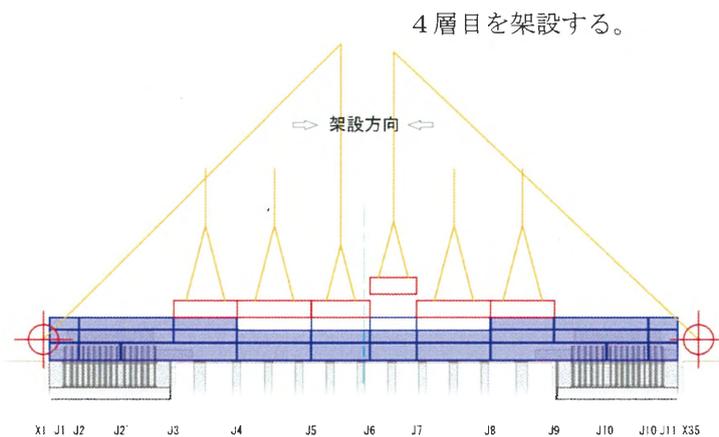


図 3.5-19 鋼製防護壁架設手順：⑥4層目架設

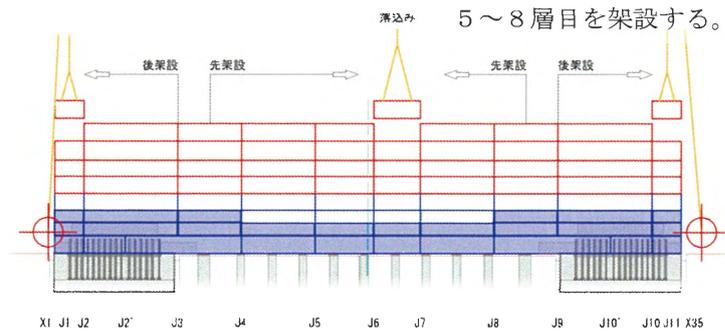


図 3.5-20 鋼製防護壁架設手順：⑦ 5～8層目架設

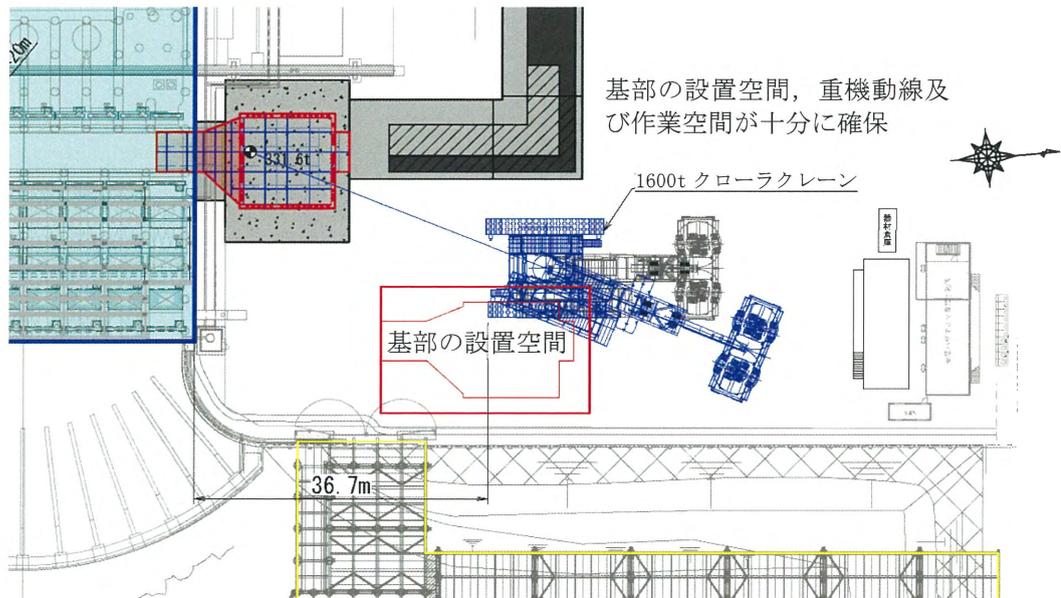


図 3.5-21 鋼製防護壁架設施工図（基部一括架設時）

(4) 設計上の想定に影響を及ぼす可能性のある項目

本施工ステップにおいて品質に影響を及ぼす可能性のある項目の有無を確認した結果、表 3.5-19 に示す項目が抽出され、これらの設計上の想定への影響について確認した（詳細は 3.6.5 参照）。

表 3.5-19 鋼製防護壁架設における品質に影響を及ぼす可能性のある項目の確認結果

品質に影響を及ぼす可能性のある項目 (注視すべきプロセス等)	設計上の想定への影響の確認方法及び確認結果
<ul style="list-style-type: none"> ・ 鋼製防護壁の一部に高強度鋼材を採用しており、部材溶接の施工難易度が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高強度鋼材に対する溶接施工試験結果に基づく施工仕様を決定する。 【確認結果】 以下より、設計上の想定への影響はないことを確認した。 ・ 高強度鋼材 (SBHS700) の現場溶接の品質を確保するため、試験施工により溶接に関わる各種条件を設定し溶接の品質確保に問題がないことを確認した。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 鋼製防護壁の基部内での太径の鉄筋の組立であり、施工難易度が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3次元CADによる配筋干渉及び施工図による施工性を確認する。 【確認結果】 以下より、設計上の想定への影響はないことを確認した。 ・ 鋼製防護壁の基部内の中詰め鉄筋コンクリートは、当該部の構造鉄筋、鋼殻部（鋼製防護壁を構成する壁体）とコンクリートの一体化のためのスタッドと頂版鉄筋コンクリートから定着鉄筋が複雑に交錯する配筋となる。このため、3次元CADによりこれらの鉄筋の配置干渉等に問題がないことを確認した。 ・ 鋼殻内部が狭隘なことから鉄筋の組立手順を図化し施工が可能であることを確認した。

(5) 検査項目・時期等の整理

本工事で検査する項目・時期・方法を整理し、検査性を確認する。検査する項目・時期・方法を表 3.5-20 に示す。

表 3.5-20 検査する項目・時期・方法

検査項目	主な確認事項	確認時期	確認方法	備考
鋼材の品質	材質, 寸法, 配置	施工前, 施工中	記録確認, 寸法確認	
鉄筋の品質	材質, 寸法, 配置	施工前, 施工中 ^{※1}	記録確認, 寸法確認	
コンクリートの品質	仕様, 性状, 強度	施工前 ^{※2} , 施工中 ^{※2} , 施工後 ^{※2}	記録確認	
鋼製防護壁	寸法, 外観	施工後	寸法確認, 目視確認	コンクリート部含む
鋼製防護壁 現場継手の品質 (高力ボルト)	締付けトルク値 ピンテール破断	施工後	締付け確認 目視確認	
鋼製防護壁 現場継手の品質 (現場溶接)	外部欠陥 内部欠陥	施工後	目視確認 非破壊検査	

※1 鉄筋の材質, 寸法は使用前に確認し, 配置はコンクリートの打設後に確認できないことから施工中(コンクリート打設前)に確認する。

※2 施工前に使用する材料の仕様を確認する。施工中は受入確認, 施工後には受入検査時に作成した供試体により材料の品質(一軸圧縮強度)を確認する。

以上の結果, 施工により確認が困難になる部位各工事の成果(鋼製防護壁, 止水ジョイント)の一部(例: 中詰め鉄筋コンクリートの鉄筋等)について, 整理した検査を適切な時期に実施することで, 工事が計画どおり行われていることの確認が可能である。

3.5.7 止水ジョイント設置

(1) 工事概要

止水ジョイントは、鋼製防護壁と既設構造物の間に設置する底部止水機構，鋼製防護壁と鉄筋コンクリート防潮壁の間に設置する止水シートで構成する。止水ジョイント（底部止水機構，止水シート）の設置イメージを図 3.5-22 に示す。

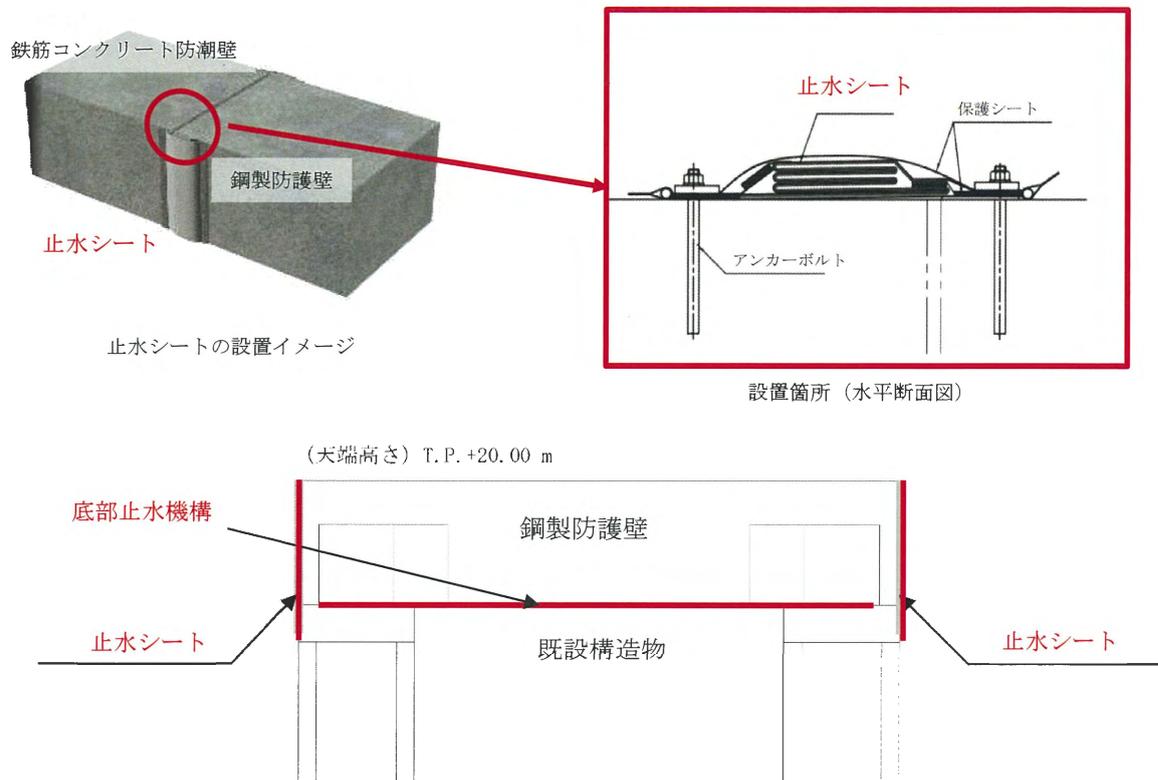


図 3.5-22 止水ジョイント（底部止水機構，止水シート）の設置イメージ

(2) 施工方法

鋼製防護壁架設前に、既設構造物天端に底部戸当たりを設置する。鋼製防護壁架設中に、既設構造物天端と鋼製防護壁の下端の間に底部止水機構を設置する。

鋼製防護壁架設後、鉄筋コンクリート防潮壁との間に止水シートを設置する。

底部止水機構の設置イメージを図 3.5-23 に、底部止水機構の詳細図（鉛直断面）を図 3.5-24 に示す。

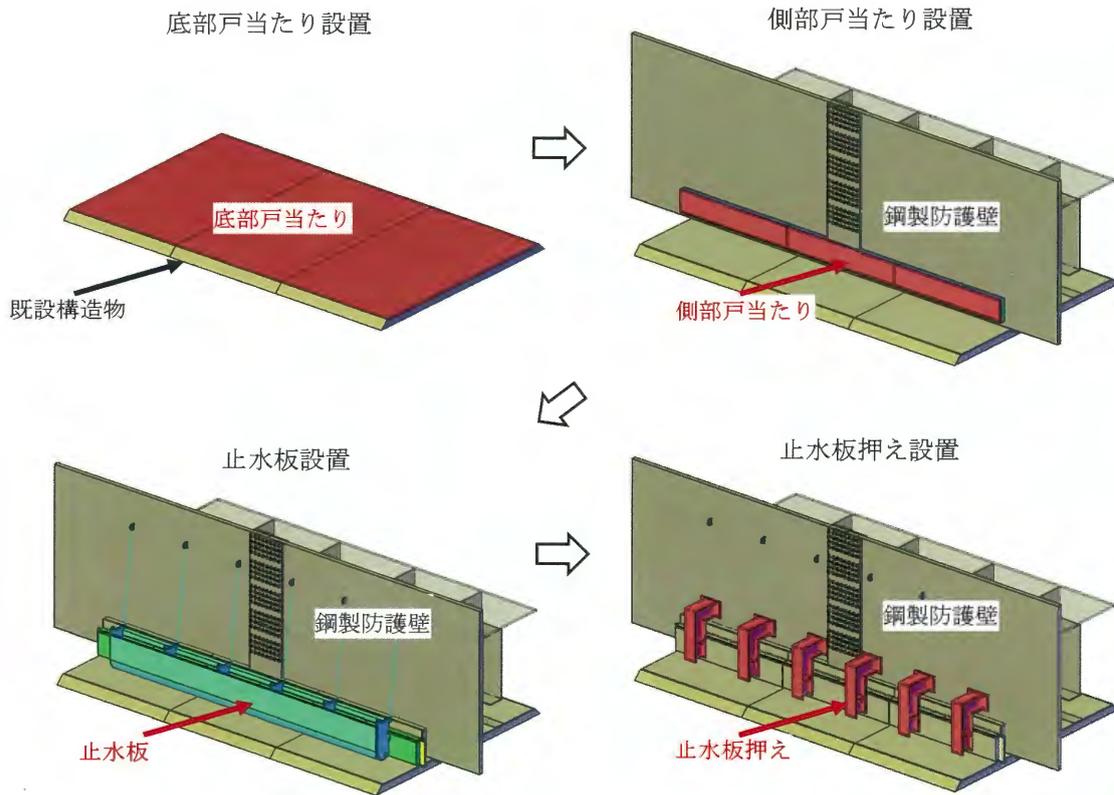


図 3.5-23 底部止水機構の設置イメージ

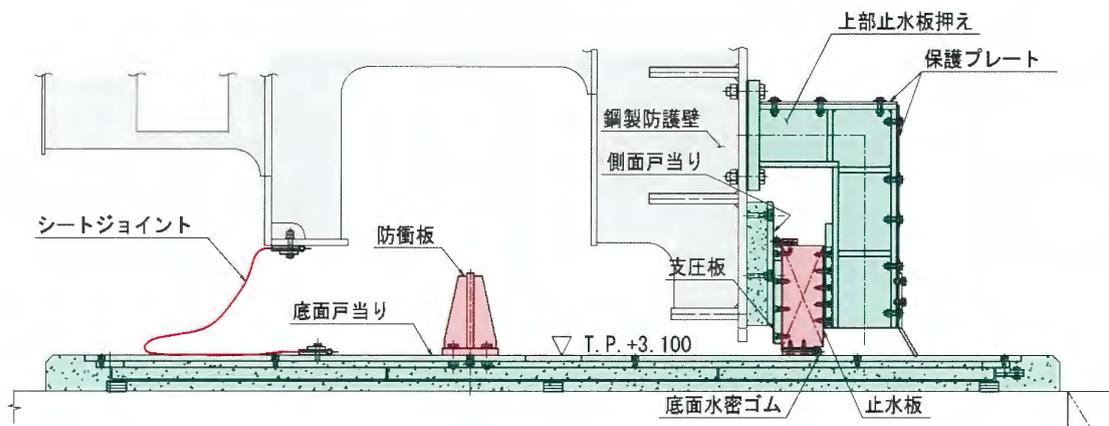


図 3.5-24 底部止水機構の詳細図（鉛直断面）

(3) 施工性の確認

施工エリアの状況・干渉物等を考慮して、施工性を確認する。止水ジョイント（底部止水機構、止水シート）の設置について、現地確認、施工図等をもとに重機配置図を作成し、干渉物・施工用地の有無を確認した。止水ジョイント設置の施工性の確認結果を表 3.5-21 に示す。止水ジョイントの設置位置を図 3.5-25 に示す。

表 3.5-21 止水ジョイント設置の施工性の確認結果

施工ステップ	施工方法	確認結果
止水ジョイントの設置 (底部止水機構)	工場で製作した底部止水機構等を鋼製防護壁下部、側部にボルトにて取り付ける。	鋼製防護壁の架設完了後に実施することで、支障物、施工用地等に問題がないことを確認した。
止水ジョイントの設置 (止水シート)	鉄筋コンクリート防潮壁構築後及び鋼製防護壁架設後、両者にボルトで取り付ける。	鋼製防護壁の架設及び鉄筋コンクリート防潮壁構築後、両者にボルトで設置する工事であり、施工上の支障物、施工用地に問題がないことを確認した。

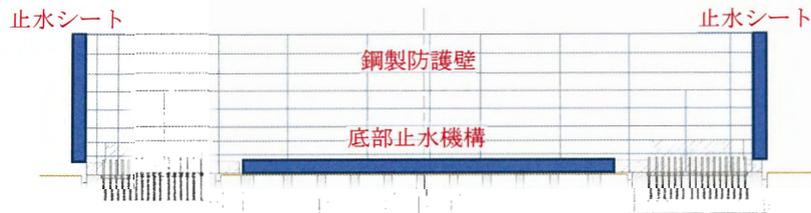


図 3.5-25 止水ジョイントの設置位置

(4) 設計上に影響を及ぼす可能性のある項目

本施工ステップにおいて品質に影響を及ぼす可能性のある項目の有無を確認し、該当する項目がないことを確認し、設計上の想定への影響がないことを確認した。その結果を表 3.5-22 に示す。

表 3.5-22 止水ジョイント設置における品質に影響を及ぼす可能性のある項目の確認結果

品質に影響を及ぼす可能性のある項目 (注視すべきプロセス等)	設計影響の確認方法及び確認結果
なし	—

(5) 検査項目・時期等の整理

検査項目及び時期等を整理した。その結果を表 3.5-23 に示す。

表 3.5-23 検査する項目・時期・方法

検査項目	主な確認事項	確認時期	確認方法	備考
底部止水機構	材質、外観	施工前、施工後	記録確認、目視確認	
止水シート	材質、外観	施工前、施工後	記録確認、目視確認	

3.5.8 地盤改良（薬液注入）

(1) 工事概要

鋼製防護壁周辺地盤のうち液状化対象層の液状化を防止するために薬液を注入し改良する。なお、地盤改良（薬液注入）の計画範囲のうち不飽和地盤については、施工品質の確保が困難であるため地盤改良（セメント系）にて性能目標（固結により液状化しないこと）を確保する。

(2) 施工性の確認

施工エリアの状況・干渉物等を考慮して、施工性を確認する。図 3.5-26 に地盤改良範囲（平面図），図 3.5-27 に既設構造物下の地盤改良のボーリング配置図（既実施範囲）を示す。これらの図によると、既設構造物の設置状況を確認し、対象地盤への薬液注入管削孔のためのボーリング配置を検討した結果、対象範囲の薬液注入が施工可能であることを確認した。既設構造物下の地盤改良計画平面図を図 3.5-28，既設構造物下の地盤改良施工フローを図 3.5-29 に示す。

施工性の確認結果を表 3.5-24 に示す。また、追加範囲には鉄筋コンクリート防潮壁や各種設備が設置されているが、施工実績から斜めボーリング等により追加範囲の施工は十分可能と判断できる。

表 3.5-24 施工性の確認結果

項目	確認結果
用地確保	・用地確保が可能であることを確認した。
干渉物	・ボーリングの位置・角度の調整により対応可能であることを確認した。

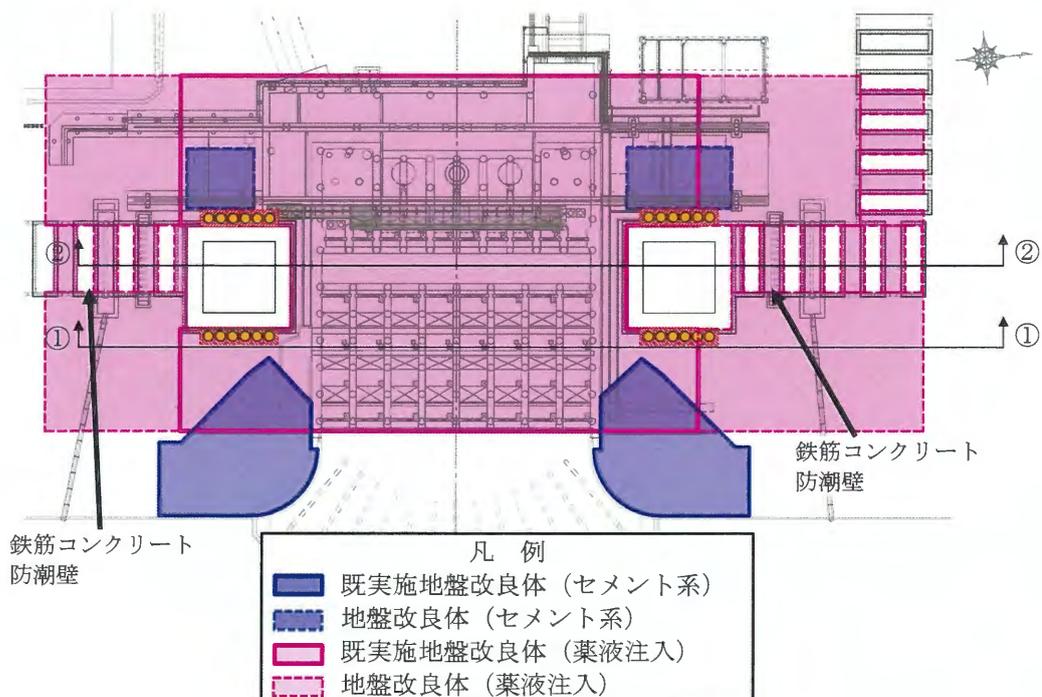


図 3.5-26 地盤改良範囲 平面図

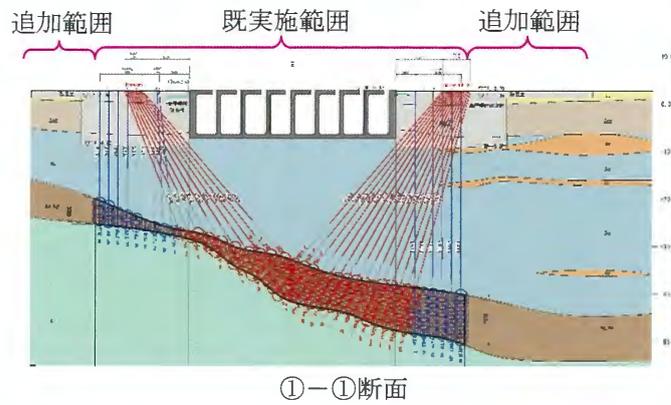
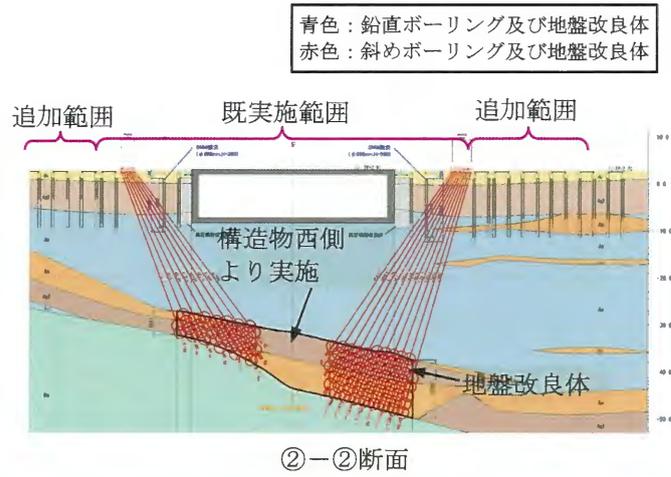


図 3.5-27 既設構造物下の地盤改良のボーリング配置図（既実施範囲）

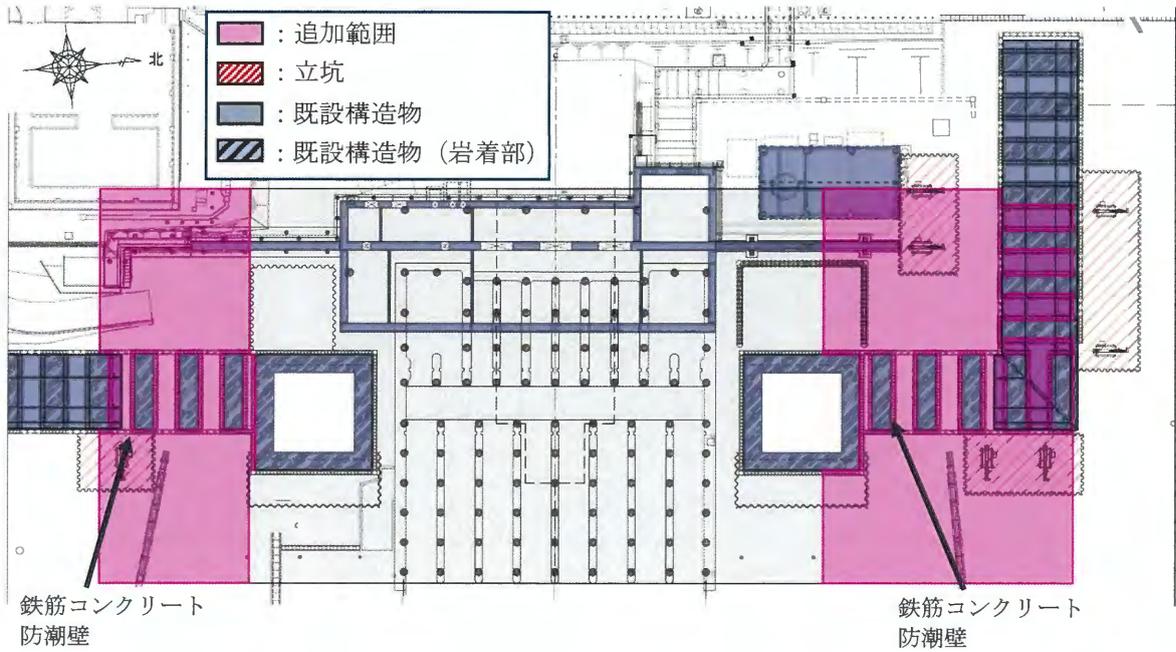


図 3.5-28 地盤改良（追加範囲）計画平面図

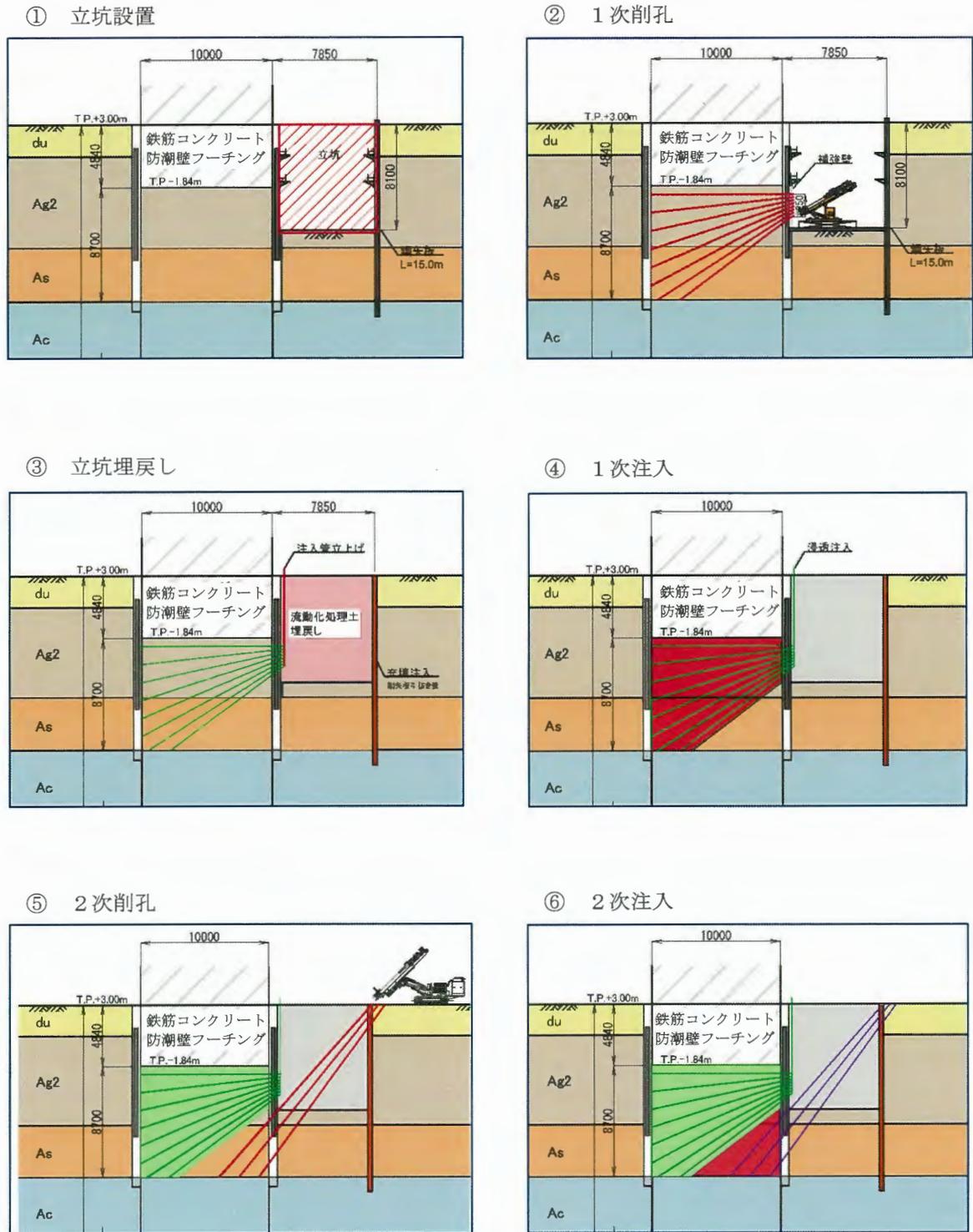


図 3.5-29 既設構造物下の地盤改良 施工フロー

(3) 地盤改良（薬液注入）における品質に影響を及ぼす可能性のある項目

本施工ステップにおいて品質に影響を及ぼす可能性のある項目（改良品質の不確かさの要因）として以下の項目（要因）を抽出し、各々に対し品質を満足する対策が為されており、設計上の想定への影響はないことを確認した（詳細は 3.6.6 参照）。

【抽出した項目（要因）】

- ・地盤条件（地質（透水性，強度特性（液状化強度特性）の不確かさ））
- ・施工条件（削孔，試料採取）
- ・設計条件（配合設計，室内試験と現場施工の相違，試験データのばらつき）

(4) 検査項目・時期等の整理

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。表 3.5-25 に改良の目的及び設計上の取扱い、性能目標を示す。また、性能目標の具体的な数値を表 3.5-26 に示す。

また、使用前事業者検査は、表 3.5-26 の性能目標が達成されているかを確認する検査であり、表 3.5-27 に検査項目が準拠する基準類を、表 3.5-28 に検査の項目・時期及び方法を、表 3.5-29 に管理基準値を示す。

地盤改良（薬液注入）の検査項目は、改良範囲及び地盤改良体地盤改良の性能目標の達成度を確認する。

表 3.5-25 地盤改良（薬液注入）の目的及び設計上の取扱い、性能目標

地盤改良（薬液注入）の目的	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) [*] が上回ることを確認する。

※繰返し回数 20 回で液状化に至る応力比。

表 3.5-26 地盤改良（薬液注入）の具体的な性能目標

地盤改良の目的	対象地層	最大せん断応力比 L_{max}	性能目標(液状化強度比)
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）の液状化強度比(RL ₂₀)が上回ることを。	A g 2 層	0.62	左記(0.62)値以上
	A s 層	0.65	左記(0.65)値以上
	A g 1 層	0.58	左記(0.58)値以上

表 3.5-27 検査項目が準拠する基準類

工法	基準・指針名
薬液注入工法	・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
	・急速浸透注入工法 超多点注入注入工法 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

表 3.5-28 検査する項目・時期及び方法

検査項目	確認時期	頻度及び方法
改良範囲	施工前	施工配置図等 ¹²⁾
シリカ含有量増分量 ¹³⁾	施工後	性能目標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。 【検査頻度】 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 増える毎に1箇所追加実施する。なお, 改良範囲・時期ごとに当該頻度を適用する。 【測定方法】 シリカ含有量試験

表 3.5-29 管理基準値

対象土層	性能目標(液状化強度比)	管理基準値* (シリカ含有量増分量)
A g 2層	0.62 以上	5.033 mg/g 以上
A s 層	0.65 以上	7.918 mg/g 以上
A g 1層	0.58 以上	7.849 mg/g 以上

※各層の配合試験結果に基づき設定(詳細は3.6.6 参照)

¹²⁾ 急速浸透注入工法 超多点注入注入工法 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

¹³⁾ 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

3.5.9 地盤改良（セメント系）

(1) 工事概要

鋼製防護壁基礎の変位抑制を目的として地盤改良（セメント系）を実施する。計画範囲の周囲に土留めを設置し、該当範囲の土砂を掘削し、流動化処理土に置き換える。

(2) 施工方法

鋼製防護壁基礎（北側，南側）の西側の地盤改良（セメント系）の計画範囲の周辺に土留めを設置し、該当範囲の土砂を掘削した後、流動化処理土に置き換える。流動化処理工法の概要図を図 3.5-30 に示す。流動化処理工法は配合試験により決定した配合をもとに、プラントにて流動化処理土を製造し、事前に掘削した改良対象範囲に打設（充填）する工法である。

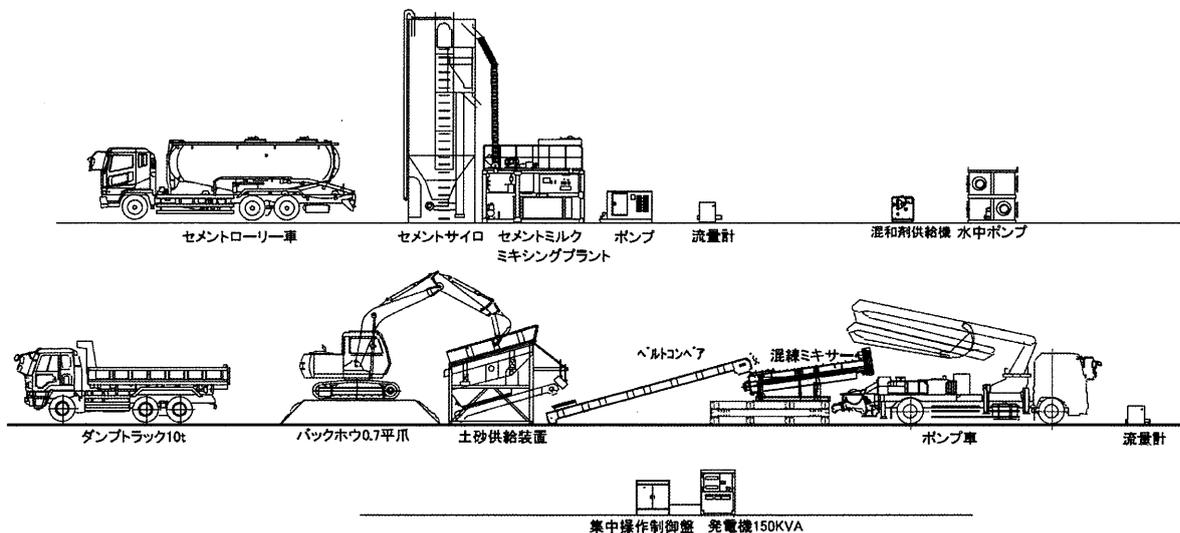


図 3.5-30 流動化処理工法の概要

(3) 施工性の確認

施工エリアの状況・干渉物等を考慮して、施工性を確認する。

地盤改良範囲及び施工図を図 3.5-31，掘削・置換工法施工イメージ図を図 3.5-32 に示す。

干渉物対策，施工用地確保等を調整し，本作業の施工性が確保されていることを確認した。確認結果を表 3.5-30 に示す。また，表 3.3-6 で整理した想定リスクに対する対策を行い，工事の確実性を確保する。

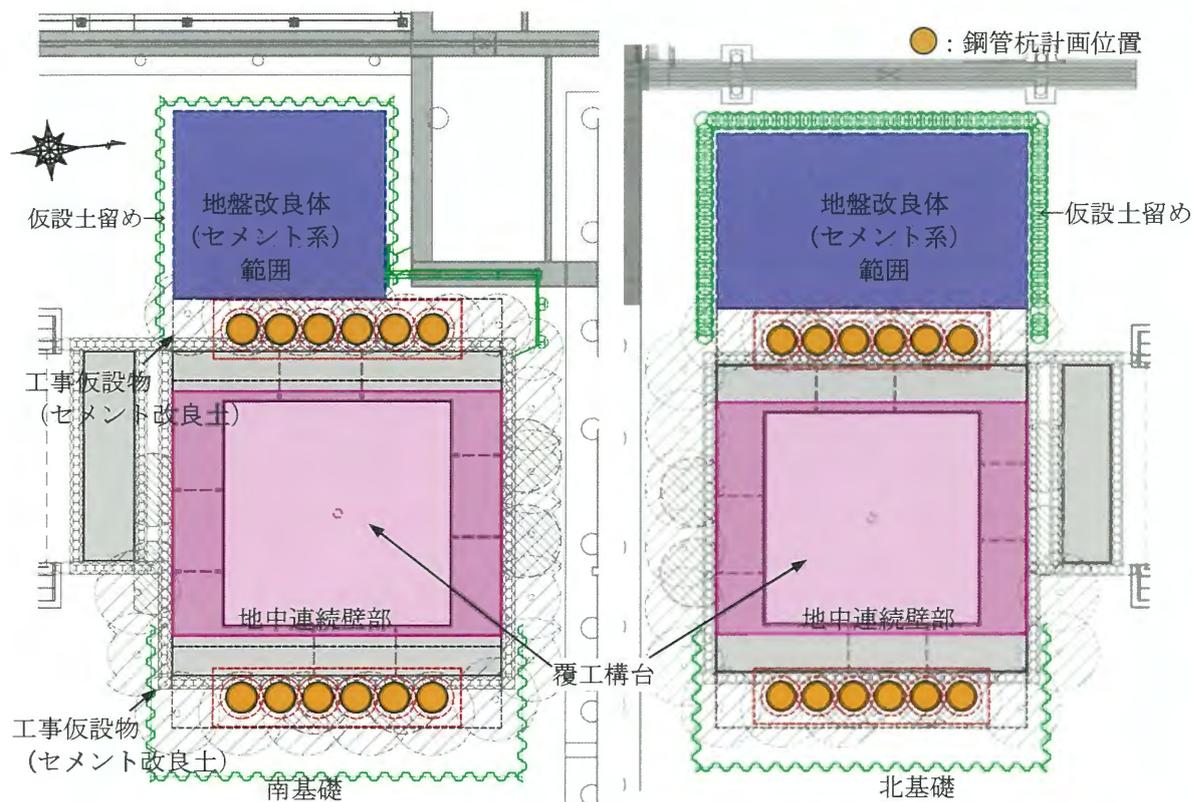


図 3.5-31 地盤改良範囲及び施工図

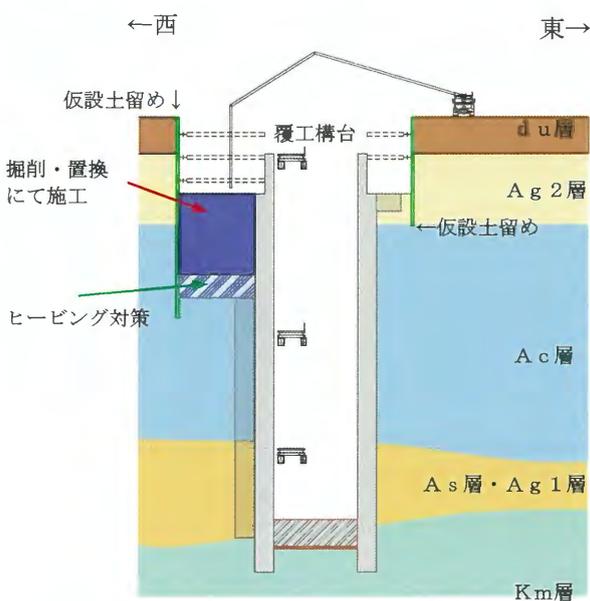


図 3.5-32 掘削・置換工法施工イメージ図

表 3.5-30 掘削・置換工法（流動化処理土）の施工性の確認結果

項目	確認結果
用地確保	・用地確保が可能であることを確認（仮設土留めにて施工空間を確保）した。
干渉物	・特定後，撤去／移設として対策できることを確認した。 ・場所的な制約箇所は構造設計に反映（南基礎）した。

(4) 設計上の想定に影響を及ぼす可能性のある項目

本施工ステップにおいて品質に影響を及ぼす可能性のある項目（改良品質の不確かさの要因）として施工条件（母材のばらつき）、配合設計（試験データのばらつき等）を抽出し、これに対し「流動化処理土の配合設計」により品質を満足する対策が為されており、設計上の想定への影響はないことを確認した（詳細は3.6.7 参照）。

(5) 検査項目・時期等の整理

設工認段階では、地盤改良（セメント系）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。改良目的及び設計上の扱いを表 3.5-31 に、設計に用いた強度（管理基準値）を表 3.5-32 に示す。

また、使用前事業者検査は、上記の性能目標が達成されているかを確認する検査であり、その具体的な項目（検査項目、管理基準値、時期、方法ほか）について以下に整理する。検査項目が準拠する基準類を表 3.5-33 に、検査の項目・時期及び方法を表 3.5-34 に示す。地盤改良の適用性、改良品質の不確かさに係る検討を 3.6.8 に示す。

表 3.5-31 地盤改良（セメント系）の目的及び設計上の取扱い

地盤改良（セメント系）の目的	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

表 3.5-32 設計に用いた強度（管理基準値）

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

※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。

表 3.5-33 検査が準拠する基準類

工法	基準・指針名
流動化処理土	流動化処理土利用技術マニュアル《平成19年／第2版》 （独）土木研究所／（株）流動化処理工法総合監理

表 3.5-34 検査の項目・時期及び方法

検査項目	確認時期	頻度及び方法
改良範囲	施工前	測量等による寸法確認
一軸圧縮試験	施工後	性能目標の一軸圧縮強度以上であることを確認する。 【検査頻度】製造日ごとに1回 ¹⁴⁾ 【検査方法】土の一軸圧縮試験 ¹⁵⁾

¹⁴⁾ 流動化処理土利用技術マニュアル《平成19年／第2版》に準拠：（独）土木研究所／（株）流動化処理工法総合監理

¹⁵⁾ JIS A 1216：2020：土の一軸圧縮試験方法

なお、参考として、地盤改良（セメント系）のうち既実施の高圧噴射攪拌工法についても同様に整理する。

表 3.5-35 に改良目的及び設計上の扱い、性能目標を、表 3.5-36 に性能目標である設計に用いた強度管理基準値を示す。

また、使用前事業者検査は、上記の性能目標が達成されているかを確認する検査であり、その具体的な項目（検査項目、管理基準値、時期、方法ほか）について以下に整理する。

表 3.5-37 に検査項目が準拠する基準類を、表 3.5-38 に検査の項目・時期及び方法を示す（地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）に対する「適用性」及び「改良品質の不確かさ」の要因の抽出プロセス及び結果は 3.6.8 参照）。

表 3.5-35 地盤改良（セメント系）の目的及び設計上の取扱い

地盤改良（セメント系）の目的	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

表 3.5-36 設計に用いた強度（管理基準値）

性能目標	設計に用いた強度（管理基準値※）
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

※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。

表 3.5-37 検査が準拠する基準類

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

表 3.5-38 検査の項目・時期及び方法

検査項目	確認時期	頻度及び方法
改良範囲	施工前、施工中	位置確認
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） 【検査頻度】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 【検査方法】土の一軸圧縮試験

3.6 確認結果資料

3.5 で述べてきた各施工ステップの施工性・検査性のうち、品質に影響を及ぼす可能性のある項目に対する確認結果について以下に詳細に記述する。

3.6.1 中実鉄筋コンクリート構築における品質への影響項目の確認結果

中実鉄筋コンクリート構築における品質への影響のある項目は以下の2つある。

- ・鉄筋組立、コンクリートの充填
- ・機械式継手の範囲の帯鉄筋の配置

これらが設計へ影響せず、中実鉄筋コンクリートの構築を確実に実施するための方策の確認として、各種試験を実施した。中実鉄筋コンクリートの構造図（南基礎）を図 3.6-1 に示す。

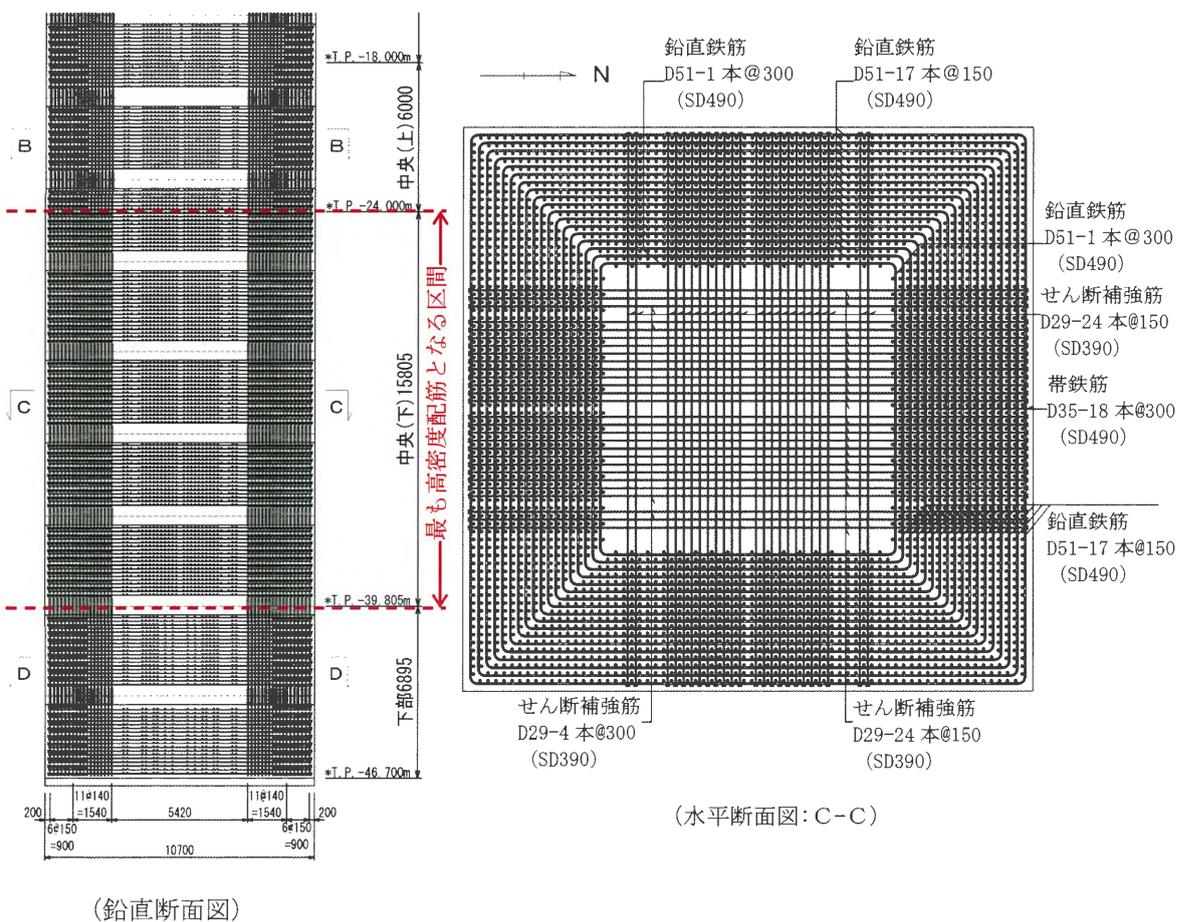


図 3.6-1 中実鉄筋コンクリートの構造図（南基礎）

(1) 鉄筋組立, コンクリートの充填について

a. 鉄筋組立試験

中実鉄筋コンクリートの構造図(図 3.6-1)を参考に, 主鉄筋が 18 段の多段配筋(鉛直鉄筋, 帯鉄筋)及び複数段のせん断補強筋(水平格子鉄筋)を計画のとおり精度よく組立可能であることを確認するため, 実大規模による鉄筋組立を実施した。

中実鉄筋コンクリートの鉛直鉄筋(D51, 外径 56.8 mm)は, 頂版鉄筋コンクリートの鉛直鉄筋を介し, 鋼製防護壁の隔壁部の鉄筋貫通孔($\phi 100$ mm)を通して(図 3.6-2), 中詰め鉄筋コンクリートと一体化させるため, 組立時に厳しい鉛直精度が求められる。鉛直鉄筋 D51 と鉄筋貫通孔の離隔が約 20 mm しかないため, 鉛直鉄筋の組立精度は位置ずれと傾き精度(鉛直精度)合わせて許容値を ± 15 mmとした。位置の精度については, 2023 年度コンクリート標準示方書「施工編: 検査標準」p207, 「3 章 鉄筋等の補強材 3.2 加工及び組立」の解説に「組み立てた鉄筋の配置の許容差は, 部材により異なる。柱, はり, 壁を有する一般的なコンクリート構造物では, 有効高さは設計寸法の $\pm 3\%$ または ± 30 mm の小さい値とするのがよい。また, 中心間隔は ± 20 mm 程度の範囲で定めるのがよい。」としている。

したがって, 組立精度の誤差を位置の精度は ± 10 mm, 傾き精度(鉛直精度)は ± 5 mm とすると, 位置の精度はコンクリート標準示方書より厳しいため, 組立精度を確保するための段取り鉄筋や固定材が必要となりその適用性を確認する必要がある。

設計の構造図(前頁の C-C 断面)を参考に, 施工性確認として図 3.6-3 の配筋の組立試験を行う。組立は実際の組立と同じ, 1 施工分の高さ 3.3 m を施工した。また, 組立完了状態を写真 3.6-1 に示す。

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

組立状況を写真 3.6-2 に示す。

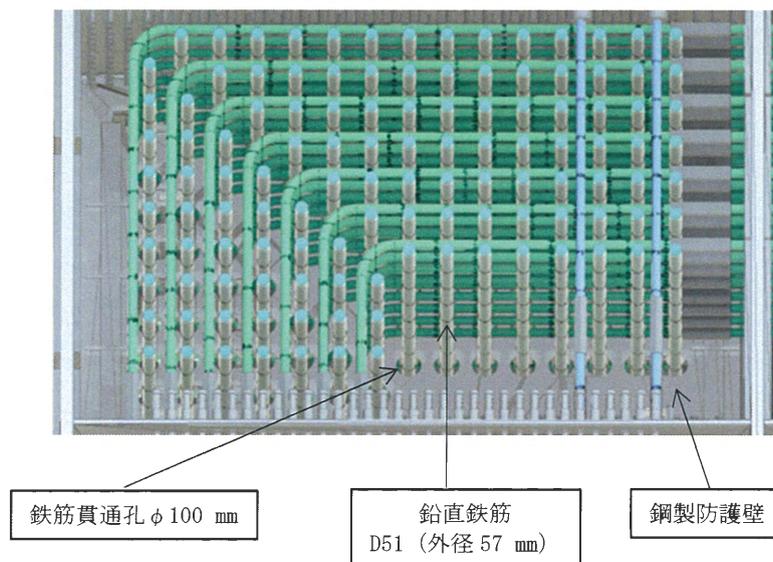


図 3.6-2 鉛直鉄筋と鉄筋貫通孔の関係

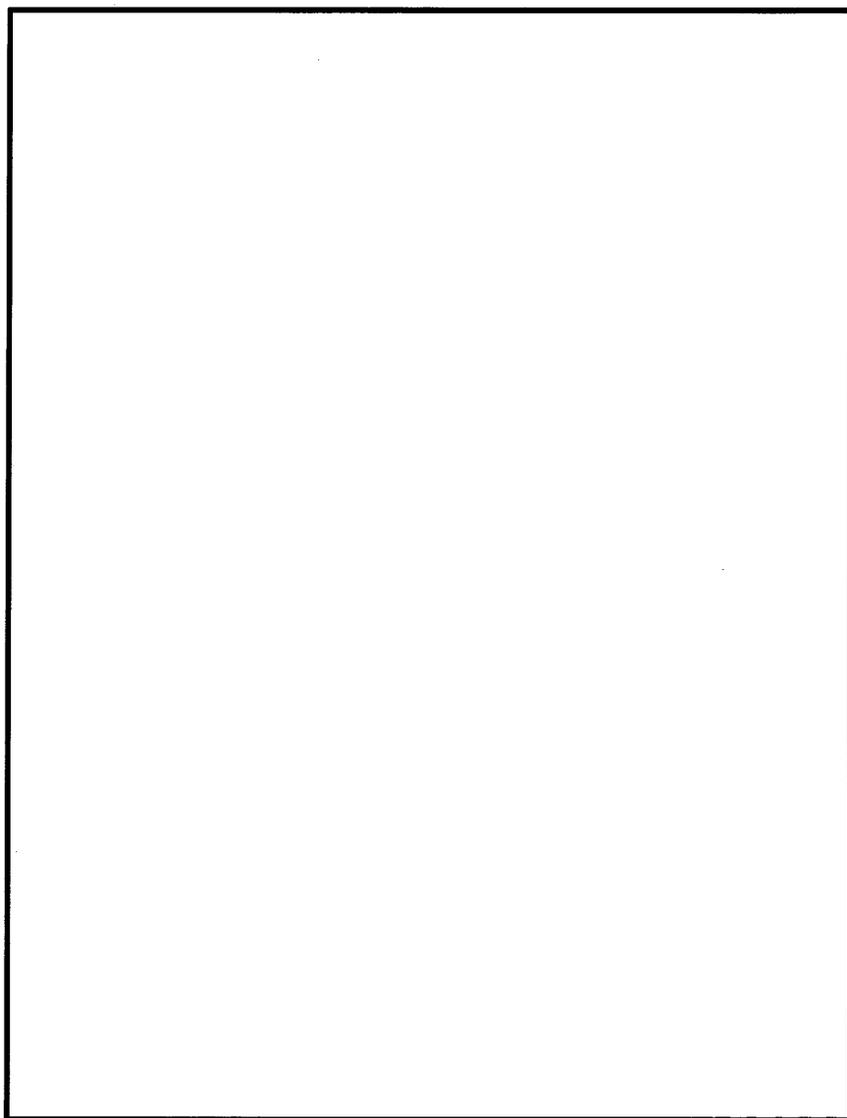


图 3.6-3 鉄筋組立試験配筋図

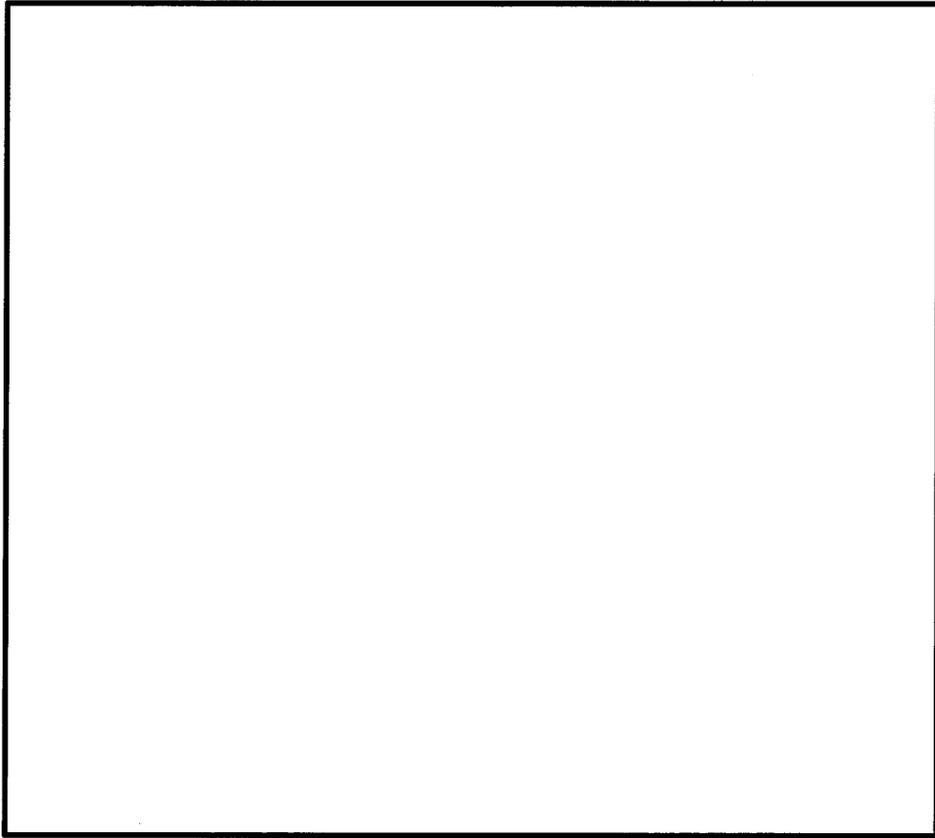


写真 3.6-1 試験体組立完了状態

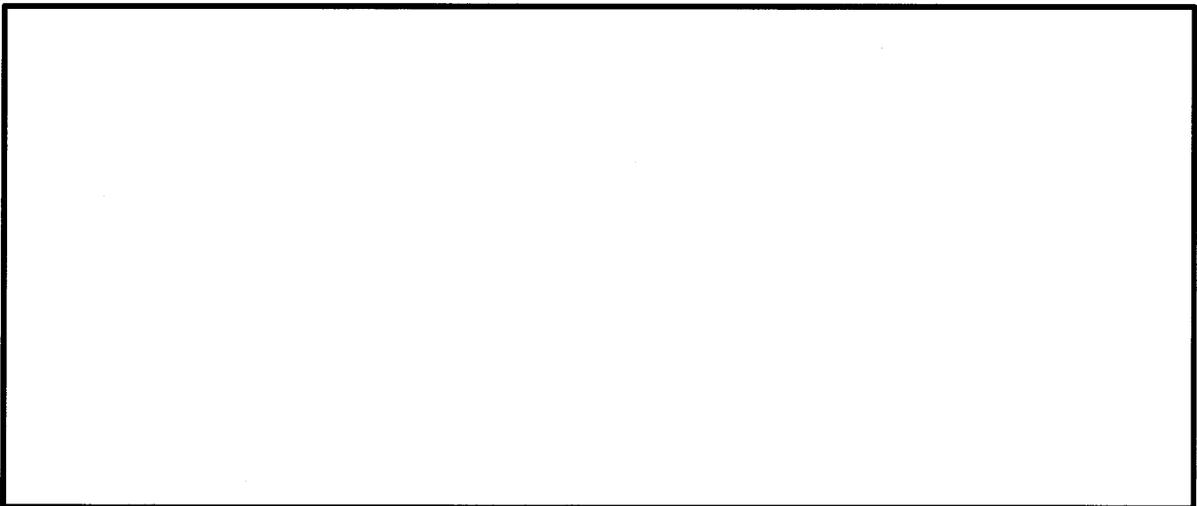


写真 3.6-2 鉄筋組立試験状況：鉛直鉄筋・帯鉄筋組立

(a) 多段配筋の組立に係わる精度確保の方策（その1）

写真 3.6-3, 写真 3.6-4, 写真 3.6-5, 写真 3.6-6 に示す方策を施すことで多段配筋の組立精度を確保し, 設計・計画どおりの組立が実現可能である。

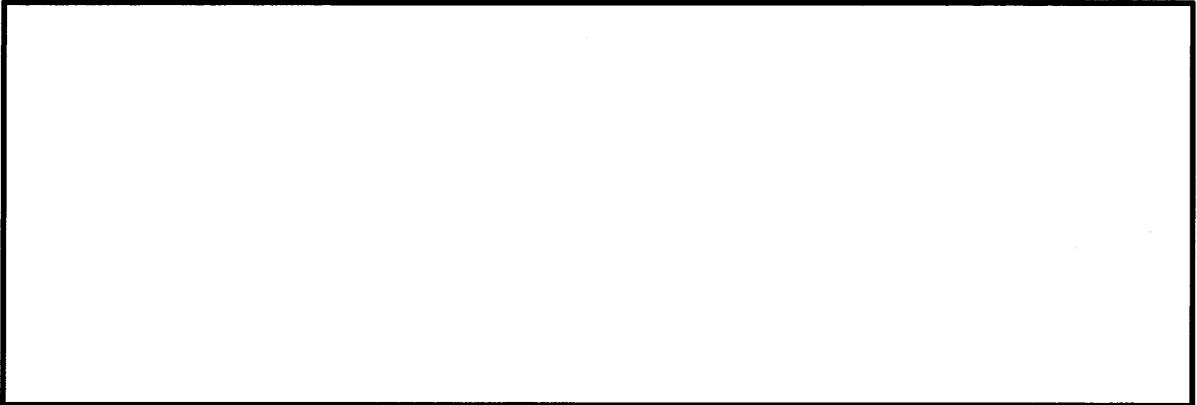


写真 3.6-3 鉄筋組立試験状況：せん断補強筋（水平鉄筋）



写真 3.6-4 鉛直鉄筋の間隔確保のための段取り材・鉄筋

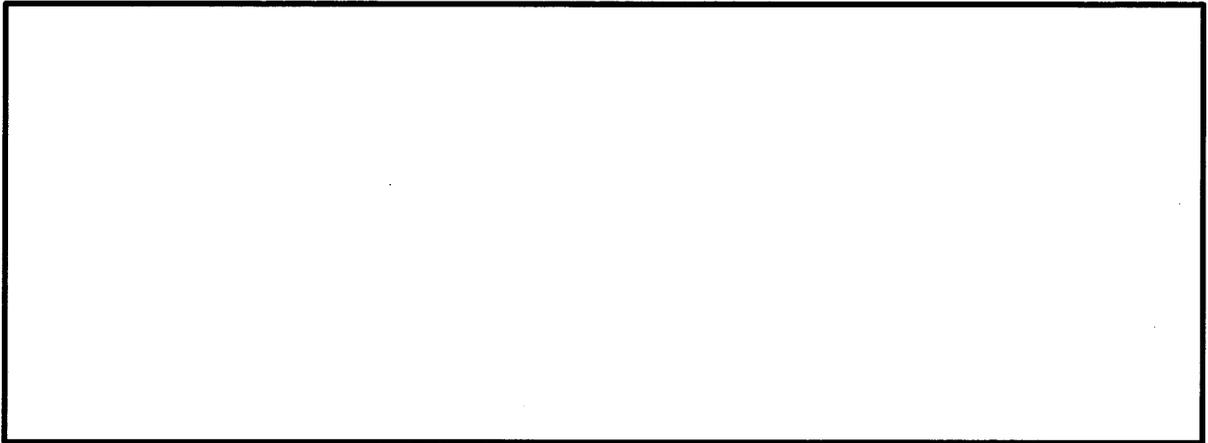


写真 3.6-5 帯鉄筋の組立・精度確保のための段取り鉄筋

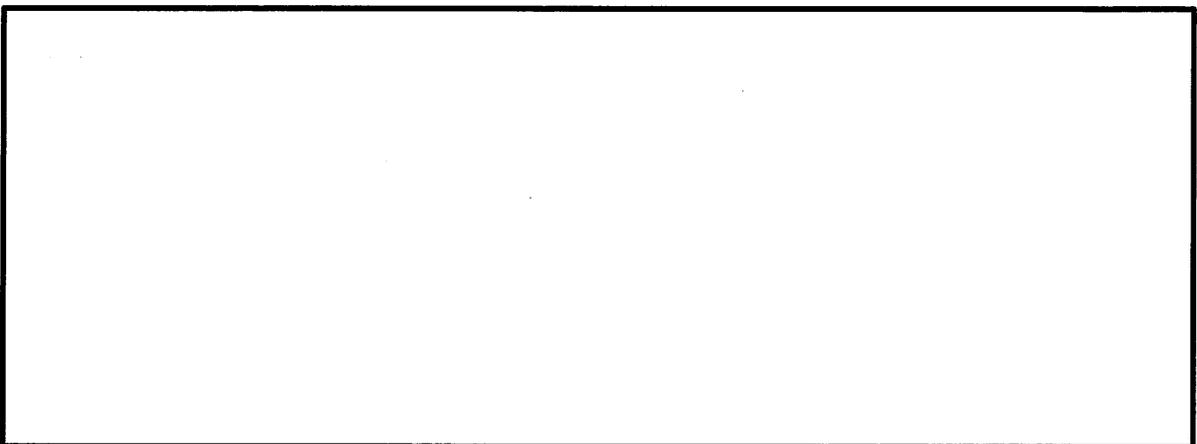
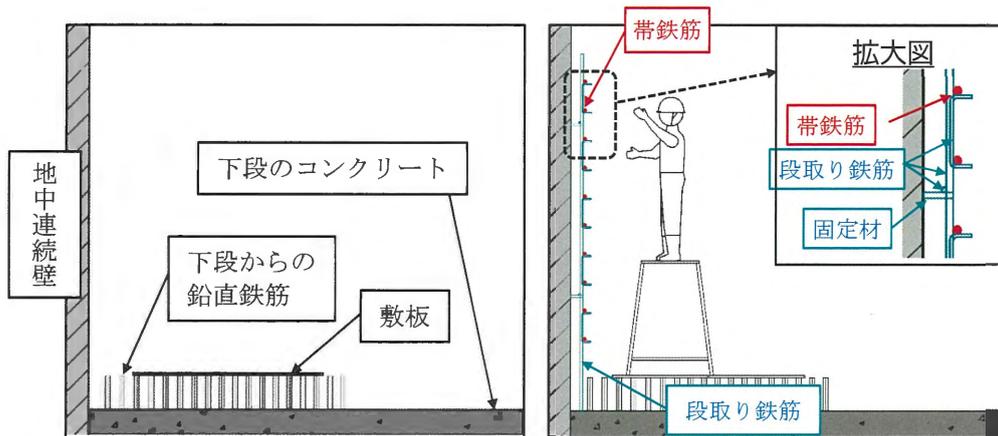


写真 3.6-6 せん断補強筋の間隔確保のための段取り鉄筋

(b) 多段配筋の組立に係わる精度確保の方策（その2）

2段目以降の施工方法を図 3.6-4 に示す。

- ①作業床の整備として、先行して構築した下段の鉛直鉄筋の上に敷板を設置する。
- ②地中連続壁に固定した段取り鉄筋により帯鉄筋の鉄筋間隔を定幅に調整・組立精度を確保する。帯鉄筋及び下段の鉛直鉄筋に設置した機械式継手に当該鉛直鉄筋を設置する（機械式継手には遊びがあり、鉛直鉄筋の位置調整は可能）。
- ③鉛直鉄筋・帯鉄筋を②の手順で組み立てたのち、せん断補強筋を設置する（せん断補強筋の位置、間隔は段取り鉄筋にて確保）。

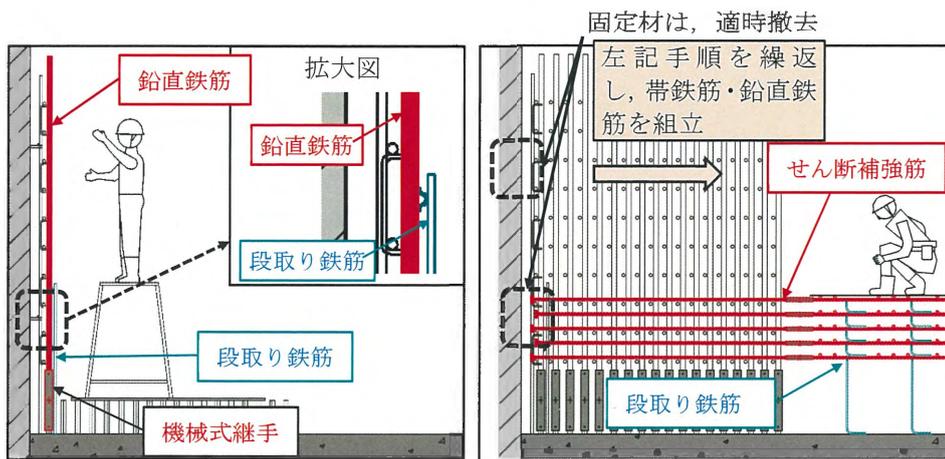


下段からの鉛直鉄筋の上に作業床を整備するため、敷板を設置する。

地中連続壁に固定した段取鉄筋に帯鉄筋を設置することで、鉄筋間隔を定幅に調整し、組立精度を確保する。

①作業床の整備（敷板の設置）

②鉛直鉄筋・帯鉄筋の組立
（その1：帯鉄筋仮置き）



帯鉄筋及び下段の鉛直鉄筋に設置した機械式継手に当該段の鉛直鉄筋を設置する。機械式継手には遊びがあり、鉛直鉄筋の位置調整は可能。

左記手順を繰返し鉛直鉄筋・帯鉄筋を組み立てる。その後、せん断補強筋を設置する（せん断補強筋の位置、間隔は段取り筋にて確保）。

②鉛直鉄筋・帯鉄筋の組立
（その2：組立）

③せん断補強筋
（格子鉄筋）の組立

図 3.6-4 2段目以降の鉄筋組立

(c) 試験結果

試験結果を以下に示す。

- ・帯鉄筋用の段取り鉄筋は固定材を用いて壁面（地中連続壁部壁面を想定）に固定することにより，帯鉄筋の設置精度の確保に有効であることを確認できた。
- ・鉛直鉄筋と帯鉄筋の間に段取り材（スペーサー）を設置することで，鉛直鉄筋と帯鉄筋の設置精度（±15 mm）の確保に有効であることを確認できた。
- ・せん断補強筋の組立（挿入）の際（写真 3.6-3 参照），縦半分に割った塩ビ管をガイドとして利用することにより，鉛直鉄筋組立後にせん断補強筋を設置することが可能であることを確認できた。
- ・鉄筋の水平，鉛直は都度，スラント（勾配計）を用いて鉛直精度±5 mm（上端及び下端の位置ずれと長さ 3.3 m に対して 0.05°）を確認した。

以上のことから，設計・計画どおりの組立を実現可能であり，設計上の想定に影響を及ぼさないことを確認した。

b. コンクリート充填確認試験

高密度配筋において、高流動コンクリート（自己充填性コンクリート）によるコンクリートの打設が可能（確実に充填されること）であることを確認するため、高密度配筋を組み立てた場所に使用予定のコンクリートを打設し、流動状況などを確認した。硬化後、試験体を切断し、充填を確認した。

試験体の配筋図を図 3.6-5 に、観察箇所を図 3.6-6 に示す。

中実鉄筋コンクリートの構造図（図 3.6-1）を参考に、平面積で計画の 1/4、高さ約 1 m 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：700 mm）を高さ約 1 m 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 層あたり高さ 30 cm として 3 層で約 1 m 分を行い、流動状況を確認した。また、打設位置の効率的な配置を設定するため、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。

コンクリート打設時の状況（コンクリートの流動状況）を写真 3.6-7 に、試験体の切断観察結果を写真 3.6-8 に示す。

試験の状況及び観察結果に基づく試験結果を以下に示す。

- ・鉛直鉄筋と帯鉄筋の交差部付近、組立筋付近の充填性が確認できた。
- ・機械式継手近傍の狭隘部の充填性が確保できた。
- ・地中連続壁部壁面を模擬した型枠を脱型後の観察では、コンクリート未充填による欠損（豆板等）は発生しておらず、コンクリートの充填性を確保できた。
- ・流動距離が 5 m 程度確保できており、打設位置を配慮することで打設位置から地中連続壁部壁面まで高流動コンクリートを打設できることを確認できた。試験結果から決定したコンクリート打設位置（平面図）を図 3.6-7 に示す。

以上のことから、設計・計画どおりに高流動コンクリートを打設することが実現可能であり、設計上の想定に影響を及ぼさないことを確認した。

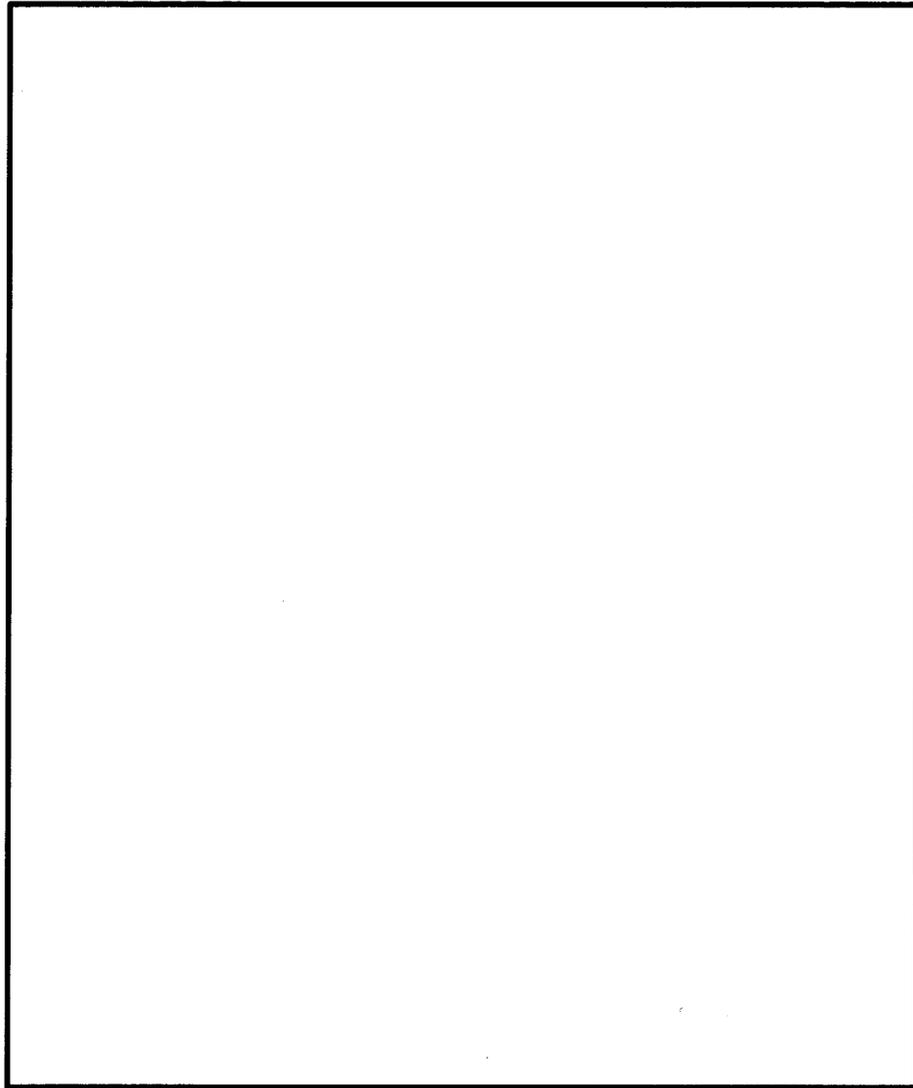


図 3.6-5 コンクリート充填確認試験体 配筋図

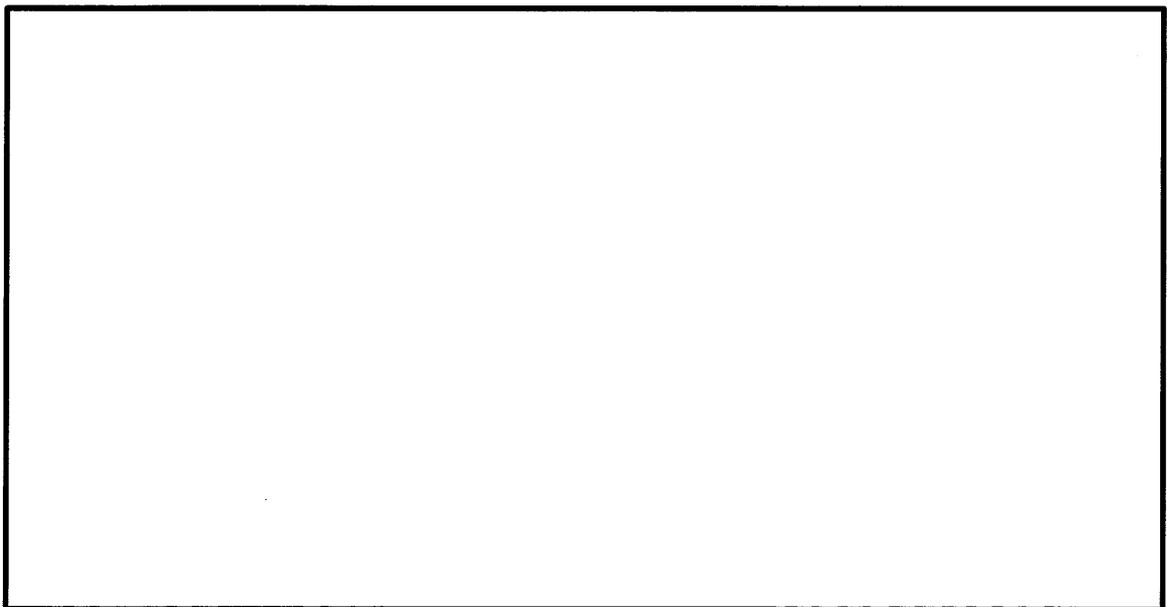


図 3.6-6 コンクリート充填確認試験体 観察箇所

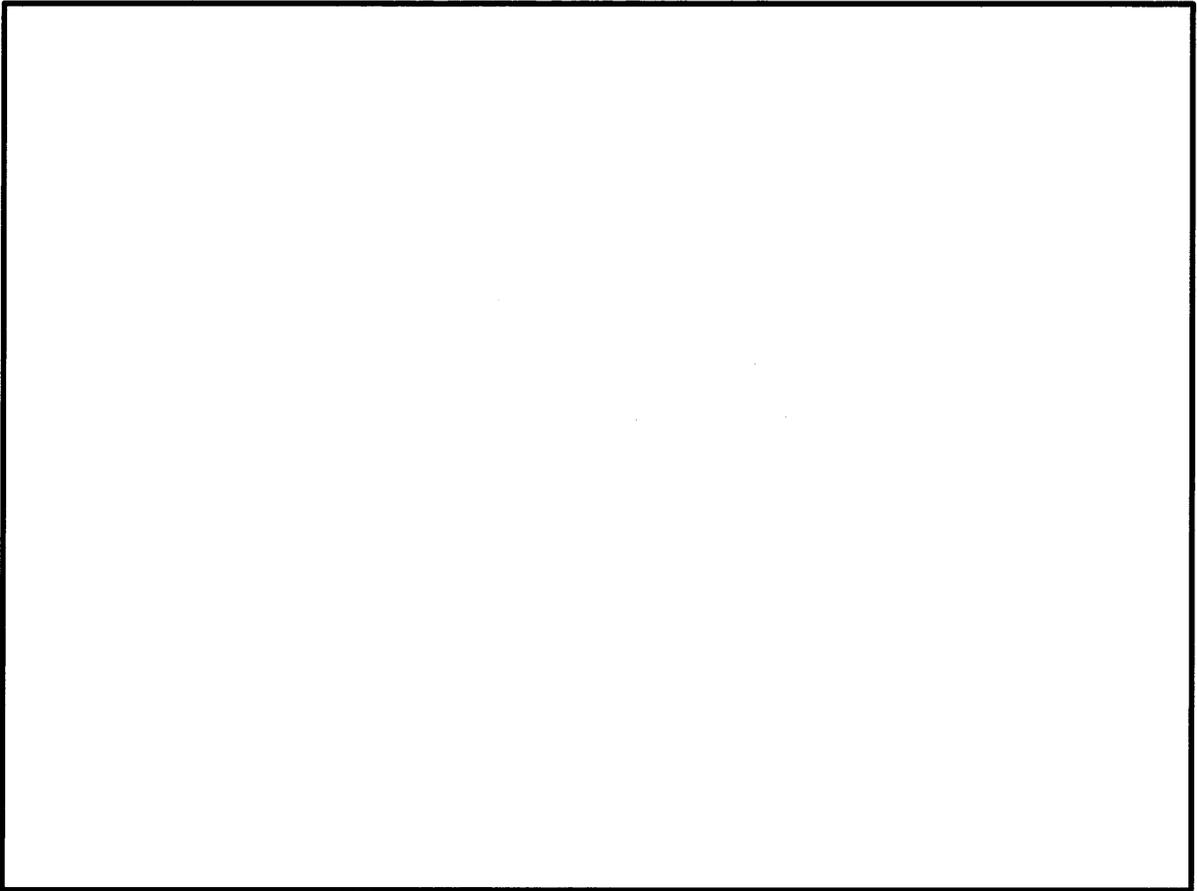


写真 3.6-7 コンクリート打設時の状況（コンクリートの流動状況）

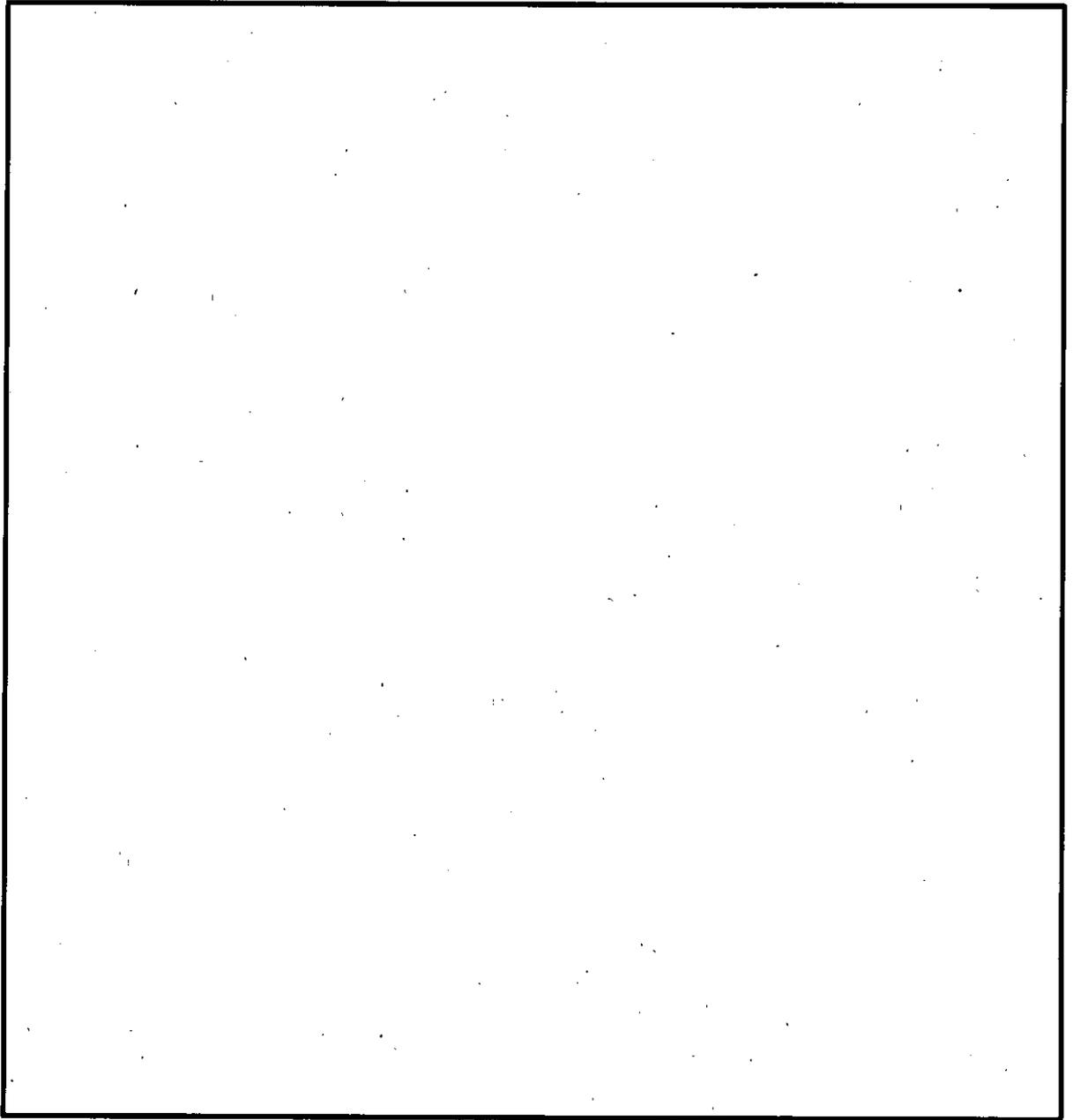


写真 3.6-8 試験体の切断面の観察結果

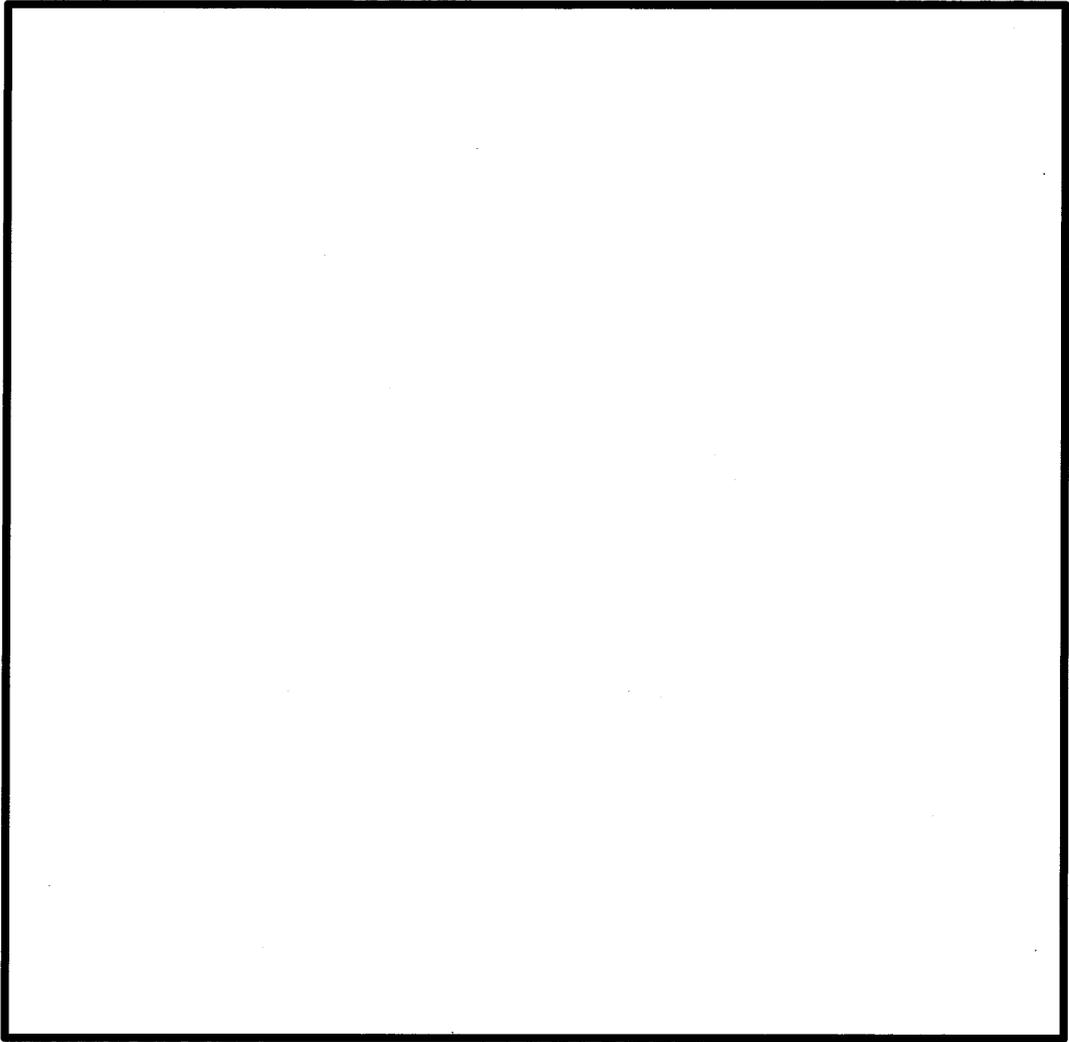


図 3.6-7 試験結果から決定したコンクリート打設基本位置 (平面図)

c. 打設時のコンクリート性状変化防止の確認試験

コンクリート打設用配管を用いて大深度（約 50 m 直下）にコンクリートを打設することから、コンクリートの性状（スランプフロー等）が変化する懸念がある。この変化を防止する方策（図 3.6-8）の有効性を実証し、施工上影響を及ぼさないことを確認する。また、高流動コンクリートが材料分離等の性状変化を生じない自由落下高さは 5m 以下を原則とする¹⁶⁾と規定されていることから、自由落下高さの制限を確保するための方策も本方策に含める。

【性状変化（スランプフローの変化）防止のための方策（例）】

- ・コンクリート打設前に配管内にモルタルを充填させ、コンクリートの材料分離の原因となる自由落下を防止する。
- ・配管の適当な箇所に曲管及びシャッターバルブを設けること、スポンジボール¹⁷⁾を使用することで、コンクリートの落下速度を調整する。施工に先んじて上記の有効性を確認する。

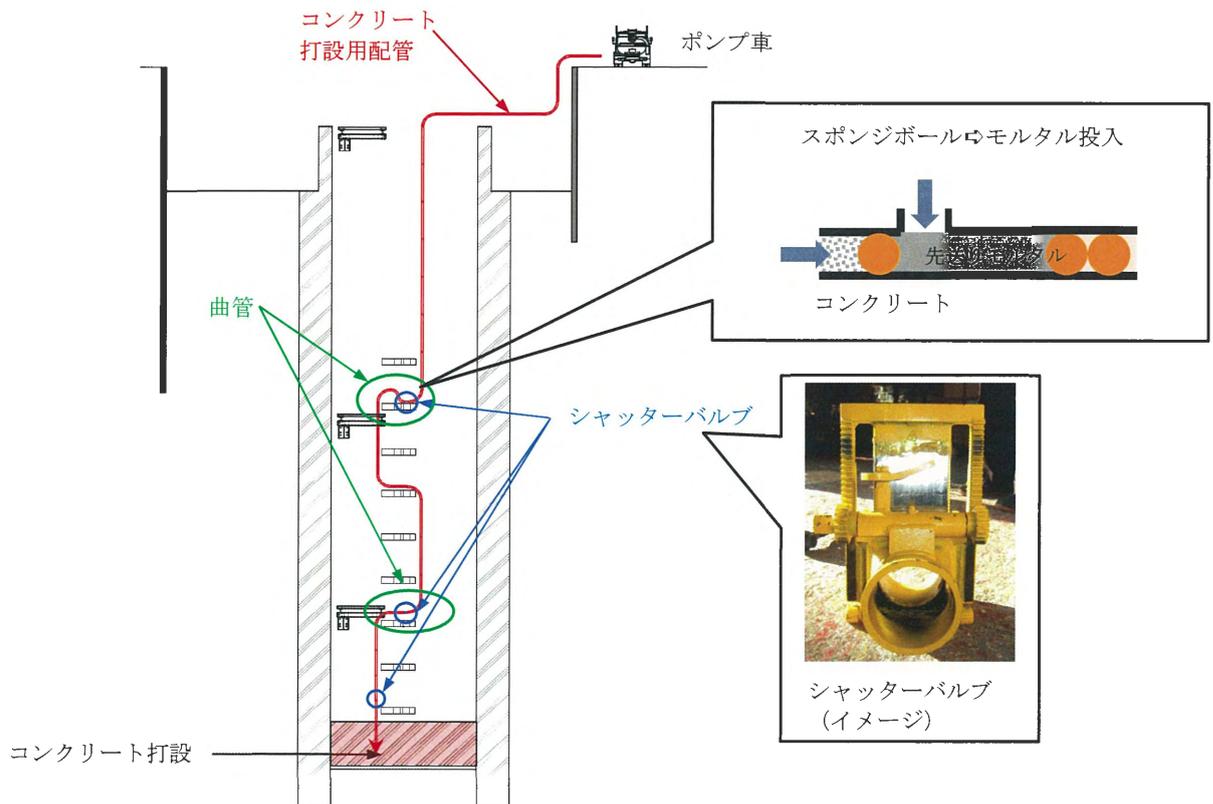


図 3.6-8 コンクリート性状変化防止対策（イメージ）

¹⁶⁾ コンクリートライブラリー136, 高流動コンクリートの配合設計・施工指針, 2012 年版

¹⁷⁾ 先送りモルタルの前に入れることによりモルタルの自由落下を防止し、先送りモルタルとコンクリートの間に入れることでコンクリートの骨材のモルタル中への拡散を防止する。

d. まとめ

確認結果を以下に示す。

- ・太径鉄筋の高密度な配筋について、実規模のモックアップ試験体を組み立て、組立精度が確保できることを確認した。
- ・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、充填に問題がないことを確認した。
- ・大深度におけるコンクリート打設は、シャッターバルブを設け、打設高さを5 m以下にすることで材料分離などのコンクリートの性状変化（スランプフロー等）を防止できることから、上記のコンクリート充填における課題とならないことを施工前に確認する。

以上の確認結果から、中実鉄筋コンクリートの構築が、施工性や品質管理の観点から実現性のある工事計画であり、設計への影響はないことを確認した。

e. 他鉄筋コンクリートへの適用性

中実鉄筋コンクリートの高密度配筋部を鉄筋組立及びコンクリート充填確認としてモックアップ試験を実施しているが、中実鉄筋コンクリート以外にも防潮堤（鋼製防護壁）の構築には鉄筋コンクリート工事があることから、本成果のこれらへの適用性を確認した。他鉄筋コンクリートへの適用性について、表 3.6-1 のとおり整理した。なお、鉄筋コンクリートを「RC」と記載した。

他のRC工事の高密度な配筋干渉は個別の部位ごとに3次元CADにより確認することで、中実鉄筋コンクリートを模擬した試験体を用いた各種試験の結果は他のRC工事の実現性の確認にも適用可能であることを確認した。

表 3.6-1 他鉄筋コンクリートへの適用性

施工ステップ	R C 工事	太径鉄筋(D51等)高密度な配筋	鉄筋設置誤差の累積	コンクリート打設に係る施工条件	確認結果
3.5.2 中実R C構築	中実R Cの構築	太径鉄筋の使用：該当 高密度な配筋：該当 ⇒鉄筋組立試験を実施	該当 (打継ぎ回数) ・北14回(影響大) ・南12回(影響大) ⇒鉄筋組立試験	・高密度配筋(D51@140) ・多段配筋(18段) ・精度確保の為に段取り材 ・高流動コンクリート(ランク1) ⇒コンクリート充填確認試験	-
3.5.4 鋼管杭打設	巻立てR Cの構築	太径鉄筋の使用：該当 高密度な配筋：該当 ⇒配筋の干渉確認が必要	非該当	・高密度配筋(D51@150) ・多段配筋(杭外3段) 〃(杭内2段) ・高流動コンクリート(ランク1) ⇒充填に係る確認が必要	【鉄筋組立】 ・条件は「3.5.2」同程度以下であり、鉄筋組立の試験結果を適用可能 ・3次元CADにより配筋干渉を個別に確認 【コンクリートの充填】 ・条件は「3.5.2」より軽微であり、コンクリート充填確認試験の試験結果を適用可能
3.5.5 頂版鉄筋コンクリート構築	頂版R Cの構築	太径鉄筋の使用：該当 高密度な配筋：該当 ⇒配筋の干渉確認が必要	該当 ・1回(影響小) ⇒一般工事と同程度	・高密度配筋(D51@150) ・多段配筋(7段：上部) ・高流動コンクリート(ランク1) ⇒充填に係る確認が必要	【鉄筋組立】 ・条件は「3.5.2」同程度以下であり、鉄筋組立の試験結果を適用可能 ・3次元CADにより配筋干渉を個別に確認 【コンクリートの充填】 ・条件は「3.5.2」より軽微であり、コンクリート充填確認試験の試験結果を適用可能
3.5.6 鋼製防護壁架設	中詰めR Cの構築	太径鉄筋の使用：該当 高密度な配筋：該当 ⇒配筋の干渉確認が必要	該当 ・1回(影響小) ⇒一般工事と同程度	・高密度配筋(D51@140) ・多段配筋(7段) ・高流動コンクリート(ランク1) ⇒充填に係る確認が必要	【鉄筋組立】 ・条件は「3.5.2」同程度以下であり、鉄筋組立の試験結果を適用可能 ・3次元CADにより配筋干渉を個別に確認 【コンクリートの充填】 ・条件は「3.5.2」より軽微であり、コンクリート充填確認試験の試験結果を適用可能
	参考：根巻きR Cの構築	太径鉄筋の使用：非該当 高密度な配筋：非該当 ⇒一般工事と同じ	該当 ・1回(影響小) ⇒一般工事と同じ	・配筋(D29@150) ・普通コンクリート ⇒一般工事と同じ	不要(一般工事と同じ)

(2) 機械式継手の範囲の帯鉄筋の配置について

a. 設計への影響評価

機械式継手の設置範囲の帯鉄筋の配置を確認し、設計への影響評価を実施する。確認結果は以下のとおり。

- ・構造設計の帯鉄筋は太径（D41～D35）の鉄筋のため、鉛直鉄筋の配筋間隔により機械式継手の範囲には配置せず、必要鉄筋量を確保するよう機械式継手の上下に振り分けて配置する。
- ・本構造物は許容応力度法による弾性設計であり、軸方向鉄筋の座屈が懸念される応力状態ではないものの、移動された元の箇所については、せん断力による斜めひび割れの進展防止・軸方向鉄筋のはらみ出し抑制の観点から配置可能な最大の D16 を構造細目に従い配置する（構造設計の鉄筋として加算しない）。なお、基礎幅は 10.7 m あり機械式継手の範囲を考慮してもせん断力による斜めせん断破壊の区間に必要なせん断補強筋は配置される。

中実鉄筋コンクリートの構造図（南基礎）を図 3.6-9、機械式継手の範囲の配筋詳細を図 3.6-10 に示す。

以上より、構造設計で必要な配筋を満足させるとともに、機械式継手の範囲には追加で構造細目を満足するように帯鉄筋を配置することから、設計への影響はないことを確認した。

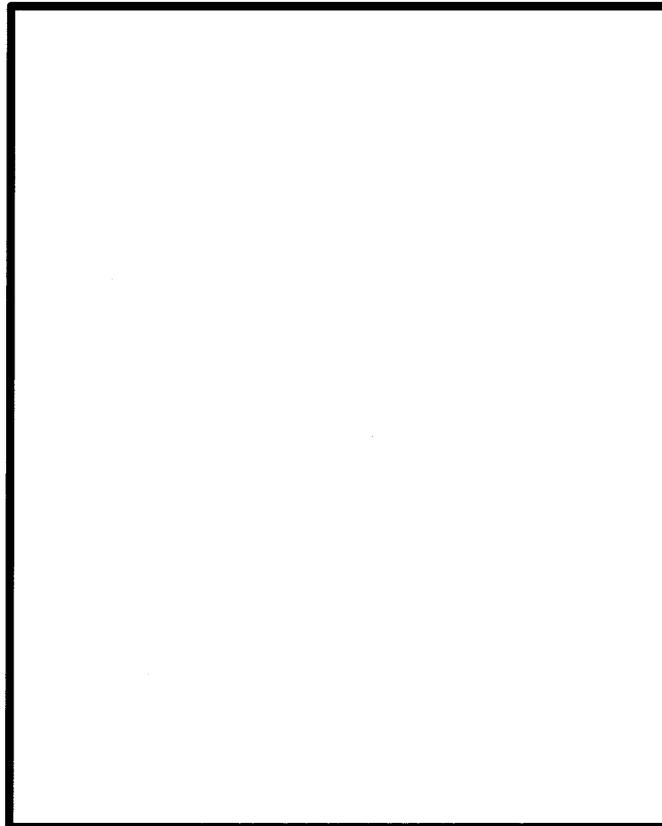


図 3.6-9 中実鉄筋コンクリートの構造図（南基礎）

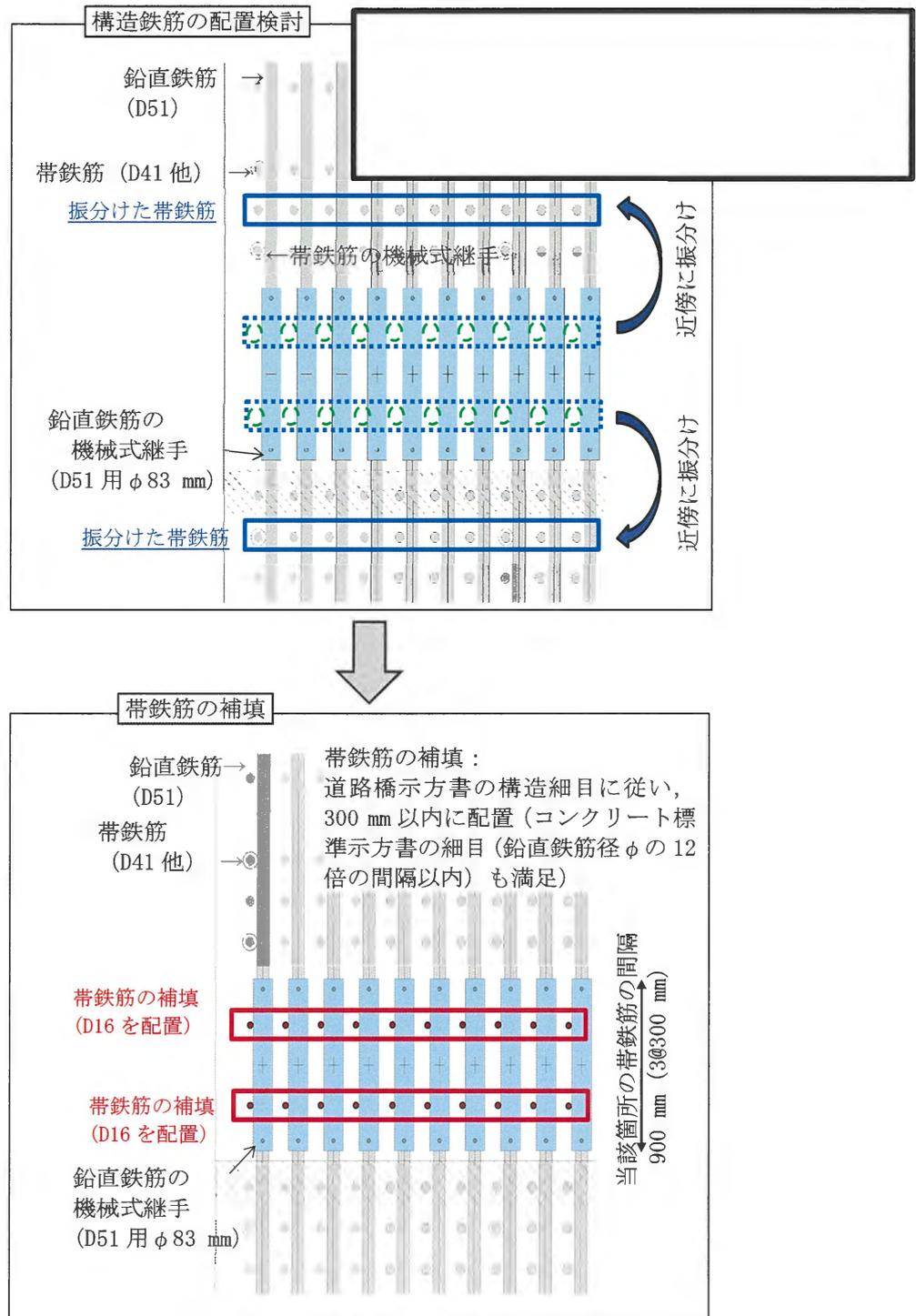


図 3.6-10 機械式継手の範囲の配筋詳細

b. 帯鉄筋に関する解説

帯鉄筋に関する各示方書の記述を図 3.6-11 に示す。

道路橋示方書・同解説Ⅳ（平成 24 年）

(1) 曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚において塑性化を考慮する領域では、かぶりコンクリートが剥落して軸方向鉄筋や帯鉄筋が露出し、これが塑性変形能に影響を及ぼすことを念頭に置く必要があることから、このような損傷が生じて、軸方向鉄筋や横拘束鉄筋が十分に機能するように、これらの配筋に関する構造細目を定めている。本構造細目は、橋脚の柱部だけでなく、ラーメン橋脚の横ばり部のように、塑性化する可能性がある領域に適用する。ここで、横拘束鉄筋とは軸方向鉄筋のはらみ出しを抑制する効果とコンクリートを拘束する効果を期待するために、部材軸に対して直角方向に配置される鉄筋であり、軸方向鉄筋を取り囲む帯鉄筋と部材断面を貫通するように配筋される中間帯鉄筋から構成される。なお、本規定は鉄筋コンクリート橋脚において地震時に塑性化を考慮する領域を対象としているが、塑性化を考慮しない場合には、下部構造編 7 章に規定する構造細目の規定に従う必要がある。

(3) 横拘束鉄筋の配置は、次の事項による場合においては、(1) 2) を満たすものとみなす。

1) 横拘束鉄筋のうちの帯鉄筋には異形棒鋼を用い、その直径は **13mm 以上**、かつ、軸方向鉄筋の直径よりも小さくする。塑性化を考慮する領域

における帯鉄筋間隔は、帯鉄筋の直径に応じて表-10.8.1 に示す値以下、かつ、断面高さの 0.2 倍以下とする。この場合、断面高さは、矩形断面の場合においては短辺の長さ、また、円形断面の場合においては直径とする。

なお、**弾性域に留まることが確実な領域では、帯鉄筋間隔の上限値は 300mm** としてもよい。ただし、高さ方向に対して途中で帯鉄筋の間隔を変化させる場合においては、その間隔を徐々に変化させなければならない。

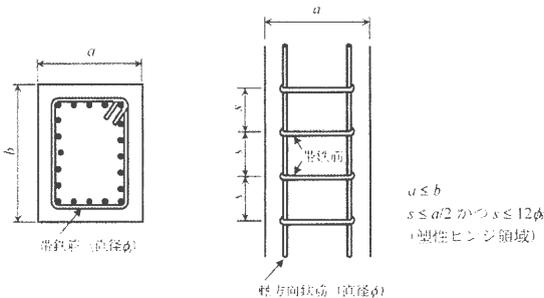
コンクリート標準示方書（2022）

8.4.3 帯鉄筋の配置

(1) 帯鉄筋の部材軸方向の間隔は、一般に、軸方向鉄筋の直径の 12 倍以下で、かつ部材断面の最小寸法以下とする。ヒンジとなる領域は、軸方向鉄筋の直径の 12 倍以下で、かつ部材断面の最小寸法の 1/2 以下とする。なお、帯鉄筋は、原則として、軸方向鉄筋を取り囲むように配置するものとする。

(2) 矩形断面で帯鉄筋を用いる場合には、帯鉄筋の一边の長さは、帯鉄筋直径の 48 倍以下かつ 1m 以下とする。帯鉄筋の一边の長さがそれを超えないように、帯鉄筋を配置しなければならない。

【解説】 (1) について、帯鉄筋やらせん鉄筋等の横方向鉄筋は、斜めひび割れの進展を抑制してせん断耐力を向上させるとともに、軸方向鉄筋の圧屈を防止し、かつ、コアコンクリートを拘束する役割も果たすものである。したがって、せん断補強あるいは所要のじん性の確保という観点からは、7 章における照査を満足する鉄筋量が配置されるとともに、この節で示すように、部材軸方向の間隔も所定の値以下とする必要がある（解説 図 8.4.1）。



解説 図 8.4.1 軸方向鉄筋全てを取り囲んで配置する帯鉄筋の間隔

図 3.6-11 帯鉄筋に関する解説

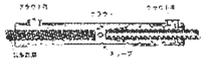
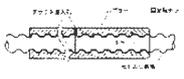
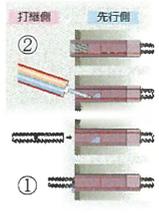
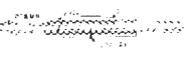
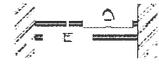
c. 機械式継手の配置等の整理

中実鉄筋コンクリートにおける機械式継手の配置等を整理する。併せて防潮堤（鋼製防護壁）の中実鉄筋コンクリート以外の各部位の機械式継手の配置等も整理する。

(a) 使用する機械式継手の種類

鉄筋継手箇所に使用する機械式継手は、施工性に応じて選定する。使用する機械式継手を表 3.6-2 に整理する。なお、機械式継手の名称は、継手指針に記載される名称とする。次頁以降の機械式継手の配置におけるタイプ及び選定理由は表 3.6-2 の「タイプ1～3」及び「選定理由Ⅰ～Ⅴ」を用いて明示する。

表 3.6-2 使用する機械式継手

タイプ	機械式継手の名称	継手の構成	鉄筋の節への対応	施工の特徴	施工イメージ	選定理由 (配置箇所の特徴)
1	モルタル充填継手		異形鉄筋同士、ねじ節鉄筋同士のほか、異形鉄筋とねじ節鉄筋との接続も可能	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋及び機械式継手を回すことなく、互いの鉄筋間をスライドさせて所定の位置にセットする スリーブ内に余裕があり、誤差を吸収できるため組立精度の確保が容易 		Ⅰ： 鉄筋組立の誤差を吸収する箇所（多段接続箇所他） Ⅱ： SD685 鉄筋の接続箇所（SD685 の鉄筋・継手の供給性を考慮）
2	ねじ節鉄筋継手（グラウト固定方式）		ねじ節鉄筋同士のみ	<ul style="list-style-type: none"> 予め先行側の鉄筋にカプラーと固定用ナットを装着しておき、カプラー内にグラウトを注入後、打継側の鉄筋を回してカプラー内に挿入する 		Ⅲ： 機械式継手を設置する鉄筋が組立順の関係で突出できない箇所 ※ Ⅳ： 接続時に機械式継手がスライドできない箇所
3	ねじ節鉄筋継手（グラウト固定方式）		ねじ節鉄筋同士のみ	<ul style="list-style-type: none"> 互いの鉄筋を所定の位置に配置した後、機械式継手を回してスライドさせ所定の位置にセットし、グラウトする 		Ⅴ： 上記以外（制約のない箇所）

※ 壁・床面からの鉄筋の突出(①)による組立への支障回避として埋込み(②)のように使用

(b) 各部位における機械式継手の配置等

中実鉄筋コンクリートにおける機械式継手の配置等を図 3.6-12、巻立て鉄筋コンクリートにおける機械式継手の配置等を図 3.6-13、頂版鉄筋コンクリートにおける機械式継手の配置等を図 3.6-14、図 3.6-15、図 3.6-16、中詰め鉄筋コンクリートにおける機械式継手の配置等を図 3.6-17 に示す。

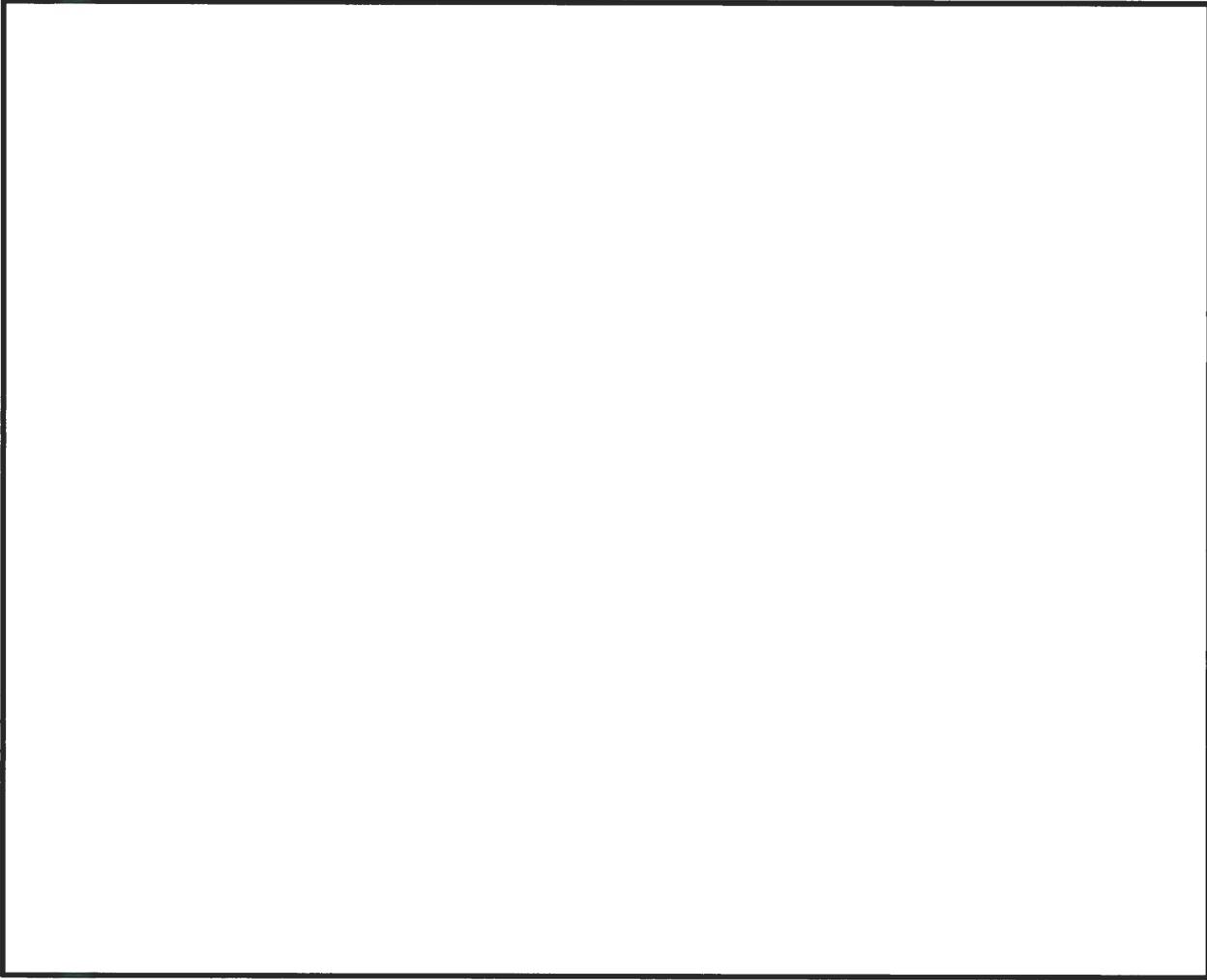
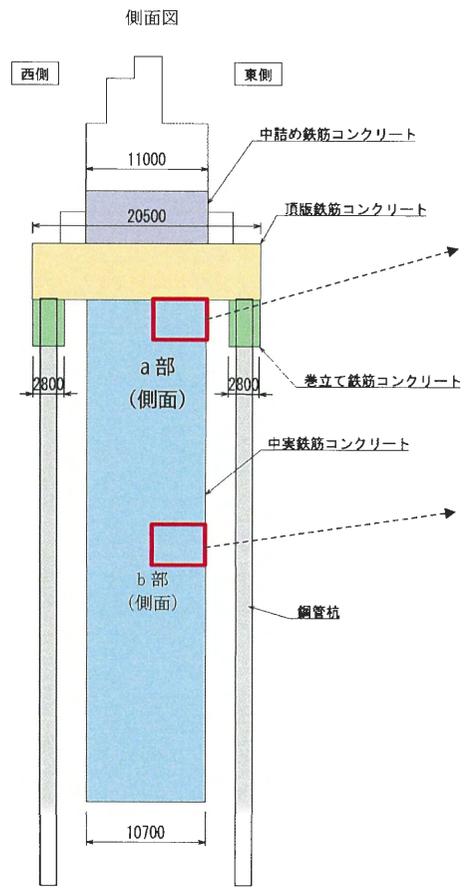


図 3.6-12 機械式継手の配置 (中実鉄筋コンクリート)

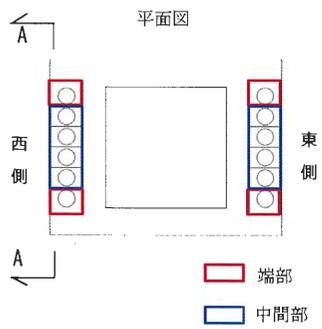
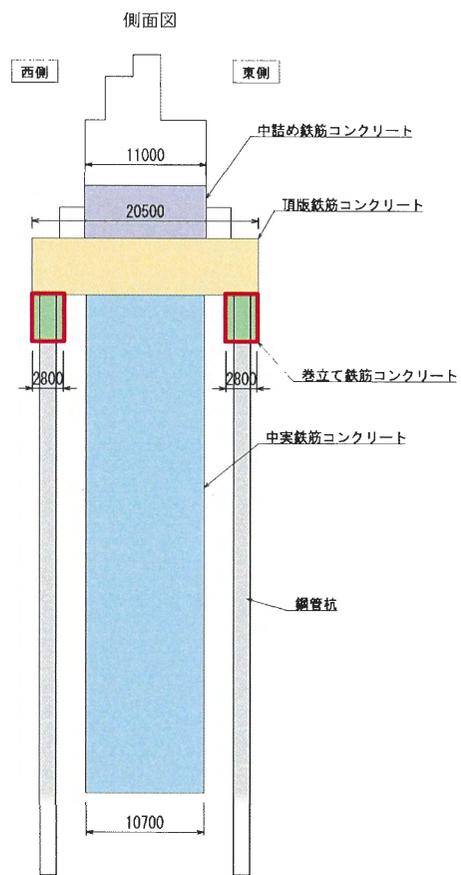


図 3.6-13 機械式継手の配置 (巻立て鉄筋コンクリート)

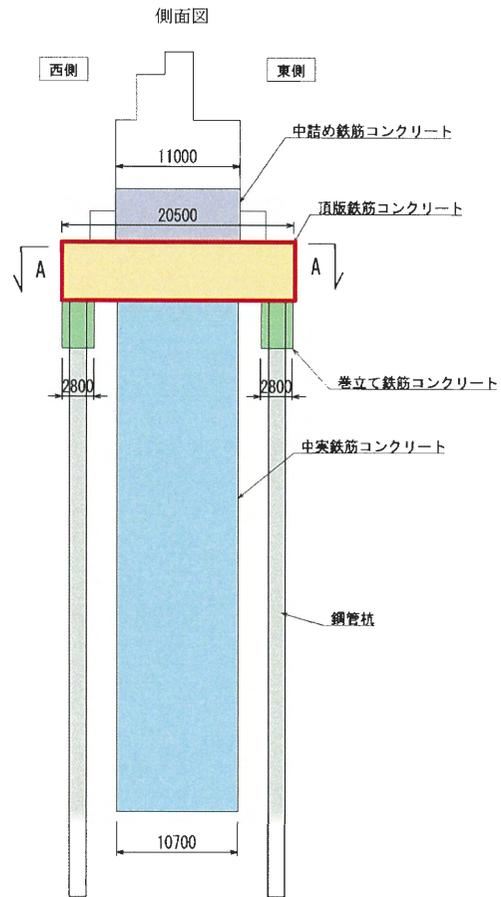


図 3.6-14 機械式継手の配置 (頂版鉄筋コンクリート (1/3))

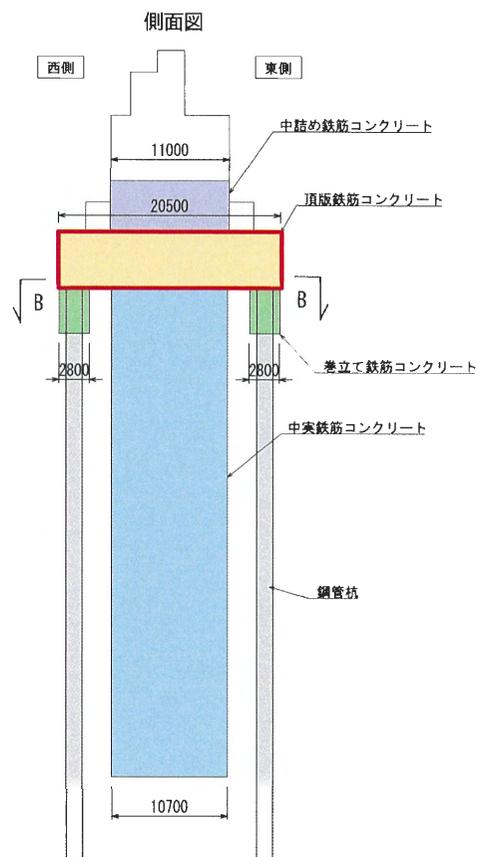


図 3.6-15 機械式継手の配置 (頂版鉄筋コンクリート (2/3))

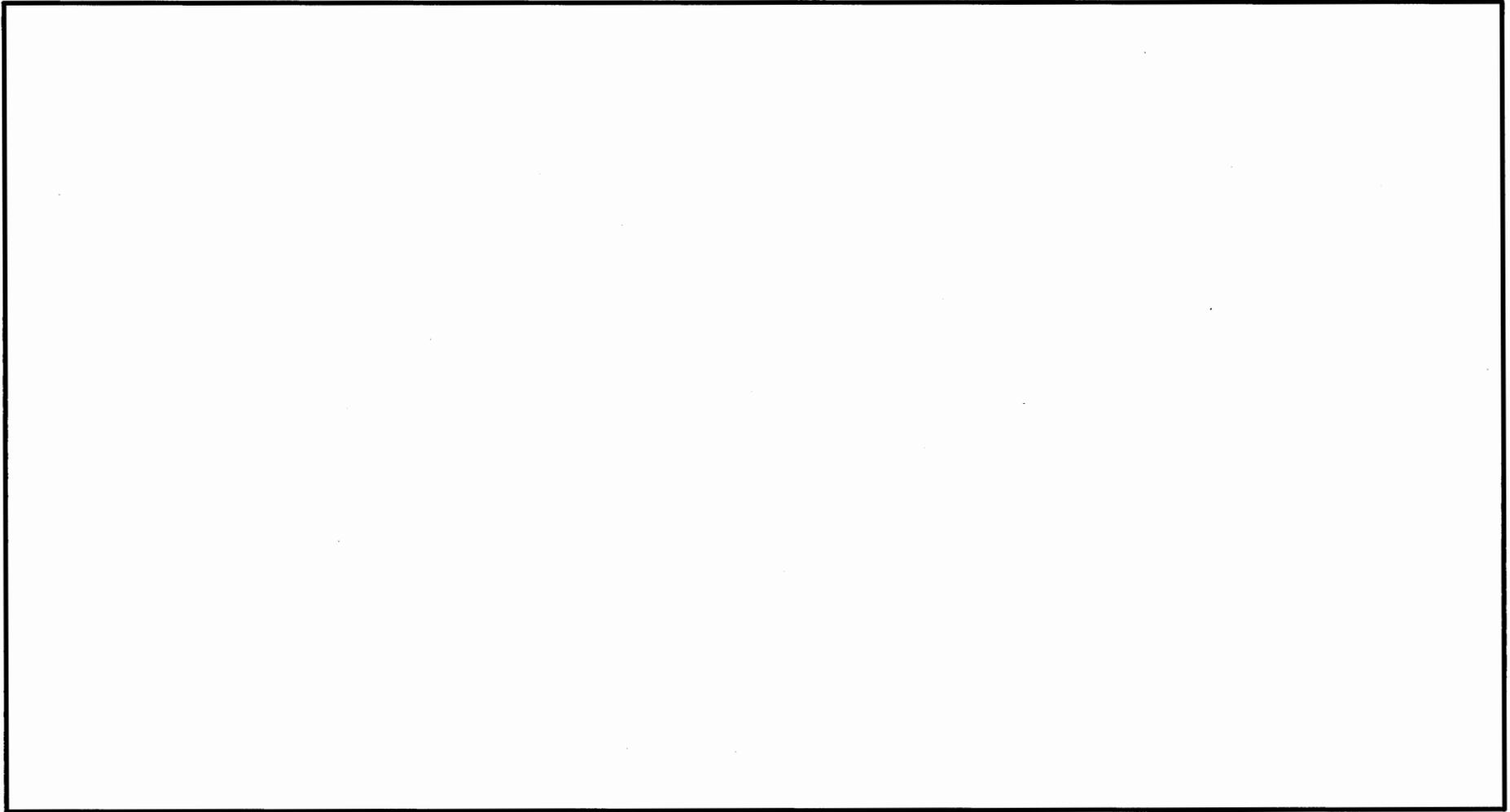


図 3.6-16 機械式継手の配置（頂版鉄筋コンクリート（3/3））

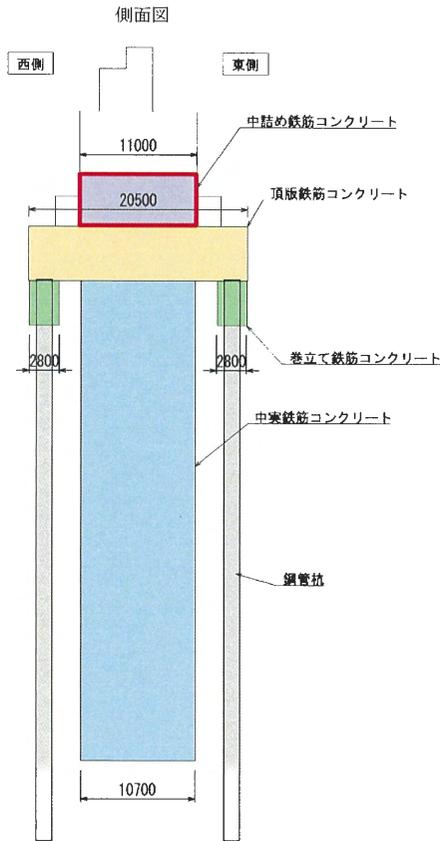


図 3.6-17 機械式継手の配置 (中詰め鉄筋コンクリート)

(c) 機械式継手の配置と設計・施工上の扱い

各部位の鉄筋においては、施工性や鉄筋形状により継手相互の離隔を確保（千鳥配置）できない箇所があるため、継手の集中度が「1/2 より大」（通称「イモ継ぎ」）となる箇所が生じる。鉄筋の配置（例：中実鉄筋コンクリート）を図 3.6-18 に示す。また、関連する継手指針の考え方について図 3.6-19 に示す。

機械式継手の配置に対し、継手指針に基づき各部位の設計を以下のように整理する。

- 機械式継手部は引張降伏強度の低減係数 α （図 3.6-19 中の継手指針「表 3.5.2」参照），継手単体の材料修正係数（図 3.6-19 中の継手指針「表 3.6.2」参照）を用いて照査を行う。
- 鉛直鉄筋は、多段配筋となり、継手相互の軸方向距離を確保した施工が困難なことから、機械式継手の集中度は「1/2 より大（イモ継ぎ）」となる。
- 機械式継手の施工レベルは 2（図 3.6-19 中の継手指針「解説表 3.1」参照），検査レベルは 1（図 3.6-19 中の継手指針「解説表 3.2」参照）として計画するため、機械式継手の信頼度は I 種（図 3.6-19 中の継手指針「解説表 3.5.2」参照）に該当する。
- 機械式継手の種類は SA 級または A 級を採用する計画である。

以上の結果，下記に留意して照査（設計）する。

- 機械式継手の引張降伏強度の低減係数 α は 1.0（図 3.6-19 中の継手指針「表 3.5.2」参照）
- 機械式継手単体の材料修正係数 p_{mj} は 1.0（図 3.6-19 中の継手指針「表 3.6.2」参照）

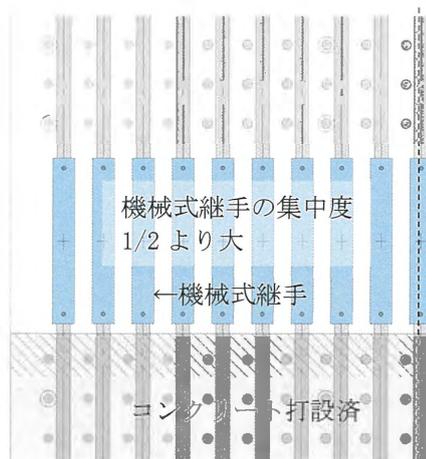


図 3.6-18 鉄筋の配置（例：中実鉄筋コンクリート）

$$f_{jd} = \alpha f_{jk} / \gamma_s$$

f_{jd} : 継手の引張降伏強度の設計値 (N/mm²)
 f_{jk} : 継手単体の引張降伏強度の特性値 (N/mm²)
 α : 引張降伏強度の低減係数 (表 3.5.2 参照)
 γ_s : 母材鋼材の材料係数

表 3.5.2 引張降伏強度の低減係数 α (P28*)

継手の信頼度	継手の集中度	
	1/2 以下	1/2 より大
I 種	1.0	1.0
II 種	0.9	0.8
III 種	0.8	—

※継手指針の掲載頁

解説 表 3.5.2 施工及び検査のレベルから定まる継手の信頼度 (P27*)

施工のレベル	検査のレベル		
	1	2	3
1	I 種	II 種	II 種
2	I 種	II 種	III 種
3	II 種	III 種	III 種

※継手指針の掲載頁

解説 表 3.1 機械式継手の施工のレベル (P157*)

施工のレベル	1	公的認定機関の認定書類に示される施工手順に従って、継手製造元技術者またはそれに準ずる技術者から教育を受けた作業者が、公的認定機関から認定された品質管理体制の下で、施工仕様書に従って施工を行う場合。
	2	公的認定機関の認定書類に示される施工手順に従って、継手製造元技術者またはそれに準ずる技術者から教育を受けた作業者が、施工仕様書に従って施工を行う場合。

解説 表 3.2 機械式継手の検査のレベル (P157*)

検査のレベル	1	公的認定機関から認定を受けた検査員が、全数検査を行う場合。
	2	公的認定機関の認定を受けた機械式継手のメーカーの技術講習会を受講し資格を取得した検査者が、全数検査を行う場合。

※継手指針の掲載頁

$$f_{jk} = p_{mj} f_{yk}$$

f_{jk} : 継手単体の引張降伏強度の設計値 (N/mm²)
 f_{yk} : 母材鉄筋の規格降伏強度の特性値 (N/mm²)
 p_{mj} : 継手単体の材料修正係数 (表 3.6.2 参照)

表 3.6.2 継手単体の材料修正係数 p_{mj} (P33*)

継手種類	継手単体の材料修正係数
S A 級	1.0
A 級	1.0
B 級	0.8
C 級	0.6

図 3.6-19 継手指針の考え方

(d) 高強度鉄筋 SD685 の機械式継手の適用性

高強度鉄筋 SD685 については一部で機械式継手による鉄筋継ぎを予定しており、設計に影響を及ぼす可能性の有無の確認として、SD685 の機械式継手の適用性を確認する。防潮堤（鋼製防護壁）で使用する機械式継手一覧を表 3.6-3 に示す。

継手指針では公的機関による評定を受けた機械式継手が複数掲載されている。この中で継手性能や施工条件などを確認し、SD685 の D51 の鉄筋に適合する適切な機械式継手を選定する。また、前述の整理のとおり SD685 の機械式継手は「モルタル充填継手」（前述のタイプ 1）から表 3.6-4 のとおり選定した。

表 3.6-4 に同製品の継手指針の掲載内容の抜粋を示す。表 3.6-4 のとおり「SD685 D51」の鉄筋に対応している。同継手の施工要領書に定められた方法で設置することで施工の品質を確保する。したがって、高強度鉄筋 SD685 同士を機械式継手によって継ぐことが、設計に影響を及ぼすことはない。

表 3.6-3 防潮堤（鋼製防護壁）で使用する機械式継手一覧（SD685 用機械式継手）

鉄筋種類	SD685		
タイプ	1	2	3
鉄筋名 D51	○	—	—
鉄筋名 D41	—	—	—
鉄筋名 D38	—	—	—

表 3.6-4 継手指針に掲載された機械式継手の例（抜粋）（SD685 用）

継手方式分類		モルタル充填継手	
工法名称		スリムスリーブ	
協会／企業		日本スプライススリーブ株式会社	
工法説明の URL		http://www.splice.co.jp	
継手性能	強度、剛性、じん性、すべり量	A級	SA級
	疲労性能	有り	有り
	その他	—	SA級は仕様にて別途条件有
公的機関による評定番号あるいは証明番号		BCJ評定 RC-393-03 BCJ評定-RC0460-01	土研セ企性 第1403号 土研セ企性 第1710号 土研セ構経 第1807号 ((一財)土木研究センター)
鉄筋材料指定の有無		無し	有り
鉄筋種類		SD295A・B→SD685	SD345～SD490
鉄筋呼び名		D10～D51	D16～D51

注：BCJ 評定：機械式継手の等級に必要な性能（強度、剛性、じん性、滑り量）を有することを、(財)日本建築センター(BCJ、国土交通大臣指定の公的機関)にて評定

(e) SD685 以外の鉄筋に対する機械式継手

SD685 以外の鉄筋に用いる機械式継手について整理する。「c. 機械式継手の配置等の整理」(図 3.6-12 から図 3.6-17) で示した各部位の機械式継手のうち、公的機関による評定を受けた機械式継手を選定した。「c. 機械式継手の配置等の整理」で示した機械式継手の種類を表 3.6-5 のとおり整理する。

SD685 鉄筋の機械式継手でも採用したモルタル充填継手に加え、各々の機械式継手について継手指針での掲載内容を表 3.6-6 に示す。

表 3.6-5 防潮堤(鋼製防護壁)で使用する機械式継手一覧(SD685 用機械式継手除く)

鉄筋種類	SD490			SD390		
	1	2	3	1	2	3
タイプ	1	2	3	1	2	3
鉄筋名 D51	○	○	—	—	—	—
鉄筋名 D41	—	—	○	○	—	—
鉄筋名 D38	○	○	○	○	—	○
鉄筋名 D35	○	—	○	○	○	○
鉄筋名 D32	○	—	—	○	—	—
鉄筋名 D29	○	—	—	—	—	○

表 3.6-6 継手指針に掲載された機械式継手の例（抜粋）（SD685 以外）

継手方式分類		ねじふし鉄筋グラウト固定式		
工法名称		リレージョイント		エポックジョイントFP
協会/企業		東京鉄鋼株式会社		
工法説明のURL		http://www.tokyotekko.co.jp		
継手性能	強度、剛性、じん性、すべり量	A級	SA級	A級
	疲労性能	—	有り	有り
	その他	—	SA級は仕様別途条件有	—
公的機関による評定番号あるいは証明番号		BCJ評定-RC0282-06	土研セ企性 第1607号 土研セ構維 第1903号 試験成績書第16-0230号 (一財)土木研究センター	評定 CBL RC007-14号
鉄筋材料指定の有無		ネジ ツコン		エポキシネジツコン
鉄筋種類		SD295A・B～SD490	SD345～SD490	SD295A・B～SD390
鉄筋呼び名		D13～D51	D13～D51	D19～D51

継手方式分類		ねじふし鉄筋グラウト固定式		
工法名称		フリージョイントFタイプ		フリージョイント FSタイプ
協会/企業		東京鉄鋼株式会社		
工法説明のURL		http://www.tokyotekko.co.jp		
継手性能	強度、剛性、じん性、すべり量	A級	SA級	A級
	疲労性能	—	有り	有り
	その他	—	SA級は仕様別途条件有	—
公的機関による評定番号あるいは証明番号		BCJ評定-RC0112-06. BCJ評定-RC0209-03(590)	土研セ企性 第1604号 (一財)土木研究センター	BCJ評定-RC0112-06
鉄筋材料指定の有無		ネジツコン		—
鉄筋種類		SD295A・B～USD590A・B	SD345～SD390	SD295A・B～SD490
鉄筋呼び名		D19～D51		

3.6.2 均質置換土の品質（設計）に及ぼす影響の確認結果

支障物撤去において使用する均質置換土が品質（設計）に影響を及ぼす可能性のある項目は以下の2つある。

- ・均質置換土の使用範囲及び均質置換土の強度と周辺地盤の強度の関係による設計への影響
- ・均質置換土の劣化による設計への影響

これらについて、①施工計画の確認、②均質置換土と周辺地盤の強度との関係の確認、③均質置換土の長期安定性に関する文献調査を実施した。

①施工計画

鋼管杭打設場所の支障物は岩盤内にはないこと、本地点の岩盤（Km層）は均質な砂質泥岩であることから、支障物撤去及び地盤の均質化のための掘削は、堆積層のみを対象に実施する（岩盤深度まで掘削しない。図 3.6-20 参照）。

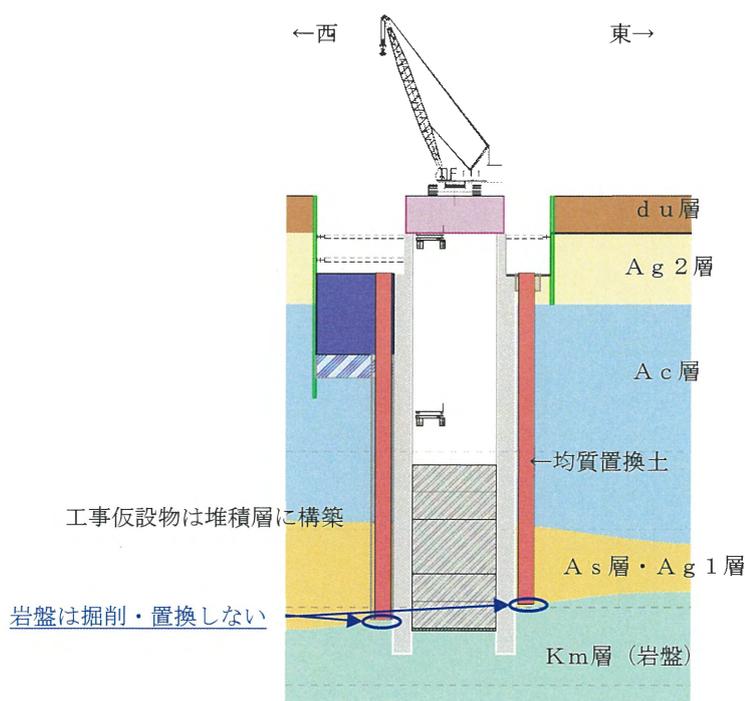


図 3.6-20 支障物撤去（均質置換土置換）（概要図）

②均質置換土と周辺地盤の強度との関係

支障物撤去後の埋め戻しとして用いる均質置換土にはCBを用いる計画であり、その配合試験結果に基づく材料仕様（せん断強度，初期せん断弾性係数）と原地盤（掘削・置換を実施する堆積層）の物性値との比較結果を表 3.6-7 に示す。

表 3.6-7 より、CBの強度・剛性は全ての堆積層の強度・剛性よりも大きく、CBの残置が鋼管杭と原地盤の応答伝達に影響を与えるものではないことを確認した。

表 3.6-7 初期せん断弾性係数及びせん断強度の比較（各土層で最大となる最深部の値）

北基礎	標高 (T.P.)	層厚 (m)	σ'_m (kN/m ²)	平均有効 拘束圧 σ'_{ma}	基準せん断 弾性係数 (kN/m ²)	C_{cd} (kN/m ²)	ϕ_{cd}	初期せん断弾性係数 (kN/m ²)		せん断強度 τ_f (kN/m ²)	
								原地盤	CB※	原地盤	CB※
Ag 2	-7.00	3.00	57.1	497.0	278,087.0	0.0	37.4	94,289	339,000	34.7	250.0
Ac	-39.55	4.05	164.1	480.0	121,829.0	25.0	29.1	63,766		101.7	
As	-44.70	1.70	229.1	378.0	143,284.0	12.0	41.0	110,176		159.4	
Ag 1	-52.85	2.15	253.5	814.0	392,073.0	0.0	37.4	218,792		154.0	

※CBの値は配合試験結果より得られた試験値

③CBの長期安定性に関する文献調査

CBの強度発現の原理、ベントナイトの特徴を確認する。また、CBの経時変化・劣化に関する文献を確認し、長期安定性を確認する。

杭基礎施工便覧によれば、ケーシングの外周部を掘削する場合は、先端地盤を乱して支持力に影響を及ぼすおそれがあるため、「埋戻しに流動化処理土やCB等周辺地盤と同等以上の強度を有するものを用いる」とされている。また、道路橋示方書・同解説（平成24年）他によれば、ケーソン基礎において、地盤とケーソン壁面間の空隙に地盤と同等以上の強度を有するセメントペーストやCB等の充てん材を注入するコンタクトグラウトを行う必要があるとされている。

上記のとおり、基礎と周辺地盤の接触部に周辺地盤より強度を有するCBを用いることは、各種基準にて推奨された工法である。

また、表 3.6-8 は可塑性グラウト注入工法に示された各種裏込め注入グラウトの性能比較表であり、CBは長期強度を有するものと評価されている。

なお、表 3.6-8 はグラウト注入への適用性の観点で物性（硬化時間等）・施工性が評価されており、本施工への適用性とは一致しない。また、表 3.6-8 の「固結の均一性」については、本工事のCBは施工時に均一に練り混ぜる計画であり該当しない。

CBの硬化（強度発現）の原理は、セメント系地盤改良・ソイルセメントと同様、セメントの水和反応による硬化である。CBはセメントと水とベントナイトで構成され、セメント系地盤改良・ソイルセメントに比べCBの組成の不確かさは少なく均質な材料である。

また、ベントナイトの特徴としては以下の点が挙げられる。

- ・経年劣化しにくい。
- ・セメントの劣化成分を有しない。
- ・湿潤と乾燥・凍結と融解を繰り返す環境下でも品質が変化しない。

表 3.6-8 各種裏込め注入グラウトの性能比較表¹⁸⁾

特長	種別	エアモルタル	CB	砂モルタル	LW	アルミニウム塩系	粘土鉱物系	高分子剤系
グラウトの性状			流動状グラウト			可塑状グラウト		
注入方式			一液性		二液性		二液性	
物性	硬化時間	長い ×	長い ×	長い ×	1~3分 ○	ほぼ瞬時 ◎	同左 ◎	同左 ◎
	可塑状保持時間	なし ×	なし ×	なし ×	なし ×	長い ◎	〃 ◎	〃 ◎
	水による希釈	あり ×	あり ×	あり ×	あり ×	なし ◎	〃 ◎	〃 ◎
	材料分離	なし ○	少しあり △	少しあり △	少しあり △	なし ◎	〃 ◎	〃 ◎
	長期強度	あり ○	あり ○	あり ○	なし ×	あり ○	〃 ○	〃 ○
	固結後の容積変化	なし ○	なし ○	なし ○	あり ×	なし ◎	〃 ◎	〃 ◎
	固結の均一性	良い ○	劣る ×	やや低い △	良い ○	非常に良い ◎	〃 ◎	〃 ◎
圧送性	良い ○	良い ○	やや低い △	良い ○	良い ○	同左 ○	低い △	
施工性	限定注入	困難 ×	困難 ×	困難 ×	条件次第 △	可能 ◎	〃 ◎	同左 ◎
	隙間からの漏出	非常に多い ×	非常に多い ×	多い △	止まる ○	直ちに止まる ◎	〃 ◎	〃 ◎
	注入範囲	広い ○	広い ○	狭い ×	条件次第 △	広い ○	〃 ○	〃 ○
	充填性	良い ○	良い ○	劣る ×	劣る ×	良い ◎	〃 ◎	〃 ◎
	歩留まり	低い △	劣る ×	低い △	良い ○	良い ◎	〃 ◎	〃 ◎
総合評価	隙間の多い所・水がある所には不向き		物性的に難点が多い	物性的に難点が多い	可塑状領域がないので施工困難	高価であるが歩留まりが良いので総合的には安価になる	同左	同左
		△	×	×	×	◎	◎	◎

以上により、CBはソイルセメントと同様に安定的と評価できることから、原理や使用環境が類似するソイルセメントの長期安定性について文献を調査した(表 3.6-9)。調査の結果、施工後10数年経ったソイルセメントは一軸圧縮強度や静弾性係数など施工直後に比べ増加しており、強度面における劣化は認められなかったとされていることから長期安定性を有する材料と評価でき、これらを考慮するとCBも同様に長期安定性を有する材料と評価した。

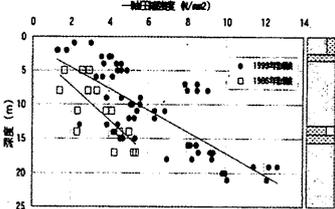
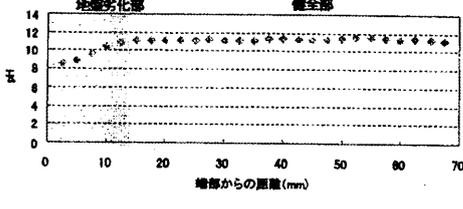
なお、一般的にセメント系材料の長期安定性・耐久性については周辺環境に影響を受け、その劣化要因として「凍害の影響」や「海水の影響」が挙げられる。CBの使用箇所は土中であり、また発電所は「凍害を受ける地域」には該当しないが、海の近傍に位置することから、海水中の硫酸イオンによる劣化(強度低下)を防ぐため、均質置換土に使用するCBは高炉セメント(耐硫酸塩セメント)を使用し、劣化を防止する。

以上より、CBは長期安定性を有する材料と評価した。

以上の確認結果から、鋼管杭打設時に残置される均質置換土(CB)は、周辺地盤の強度・剛性より大きく長期安定性を有することから、残置することによっても設計の地盤パネへの影響がないことを確認した。

¹⁸⁾ 可塑状グラウト注入工法 新設と補強・補修 三木他 日刊建設工業新聞社

表 3.6-9 文献調査結果

文献名	ソイルセメント柱列壁の耐久性に関する研究	施工後 35 年経過した鋼管ソイルセメント柱列壁の長期耐久性の調査
出典・執筆者	日本建築学会学術講演会 1999 阪井ほか	日本建築学会学術講演会 2009 吉田ほか
概要	<p>施工後 13 年経ったソイルセメント柱列壁より鉛直方向にコアサンプリングを実施し、一軸圧縮強度試験を実施し、一軸圧縮強度、静弾性係数とも施工直後に比べて増加しており、強度面における劣化は 13 年経過時点では認められなかった。</p>	<p>35 年前に施工された鋼管ソイルセメント柱列壁のソイルセメント及び鋼管を採取し、長期的な耐久性を評価した。劣化深さは約 5 mm/35 年であった。</p>
図表	 <p>一軸圧縮強度 (N/m²)</p> <p>深度 (m)</p> <p>● 1999年試験 □ 1986年試験</p> <p>The graph shows uniaxial compressive strength (N/m²) on the x-axis (0 to 14) and depth (m) on the y-axis (0 to 25). Data points for 1999 (solid circles) and 1986 (open squares) are plotted. A downward-sloping trend line is shown, indicating that strength increases with depth. The 1999 data points generally show higher strength than the 1986 data points at similar depths.</p>	 <p>土壌劣化部 健全部</p> <p>深度 (m)</p> <p>地盤からの距離 (mm)</p> <p>The diagram shows a cross-section of a column wall. The vertical axis is depth (m) from 0 to 14. The horizontal axis is distance from the ground (mm) from 0 to 70. The wall is divided into a 'soil deterioration zone' (土壌劣化部) on the left and a 'sound zone' (健全部) on the right. The deterioration zone shows a significant loss of material, while the sound zone remains intact.</p>

3.6.3 鋼管杭打設における品質への影響項目の確認結果

鋼管杭打設における品質に影響を及ぼす可能性のある項目は以下の3つある。

- ・約 50 m の鋼管杭を水平に 30 cm 間隔で打設するため高い打設精度が求められ施工難易度が高い。
- ・鋼管杭打設において施工荷重（重機荷重）が影響する。
- ・巻立て鉄筋コンクリートは狭隘な区画での太径鉄筋の組立であり，施工難易度が高い。
- ・鋼管杭に用いる高強度鋼材 (SBHS500) の現場溶接の施工難易度が高い。

これらが設計へ影響せず，鋼管杭打設を確実に実施するための方策の確認として，施工実績の整理，重機配置図の作成，3次元CADによる配筋干渉の確認により影響や施工性を確認する。

(1) 鋼管杭の打設精度

a. 均質置換土による置換

地盤の固さの不均質さの影響による鋼管杭打設時の鉛直精度低下を防ぐため，事前に岩盤標高付近までの堆積層を均質置換土に置き換える。地盤改良体（セメント系）の範囲は流動化処理土を代用する。鋼管杭打設概要図を図 3.6-21 に示す。

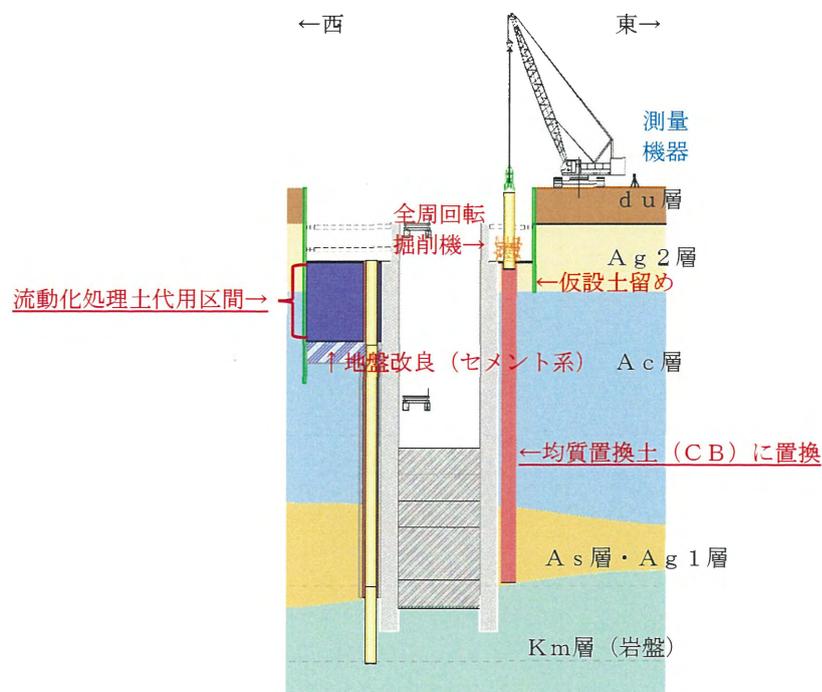


図 3.6-21 鋼管杭打設概要図

b. 鋼管杭の鉛直精度管理システムによる施工管理

中掘り圧入工法による鋼管杭打設時に、鋼管杭の鉛直精度を常時監視するシステム(図 3.6-22 参照)を使用し、打設精度を向上させる。このシステムは、測量機器(トータルステーション)を用いて杭の位置及び傾きを計測・管理し、杭打設の施工精度を向上させることができる。なお、本工法の組合せは発電所内の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の基礎工事(基礎杭長、約 65 m)で使用し、十分な精度で施工できることを確認している(図 3.6-23 参照)。

以上の確認結果から、鋼管杭の高精度の打設が施工性や品質管理の観点から実現性のある工事計画であり、設計への影響はないことを確認した。

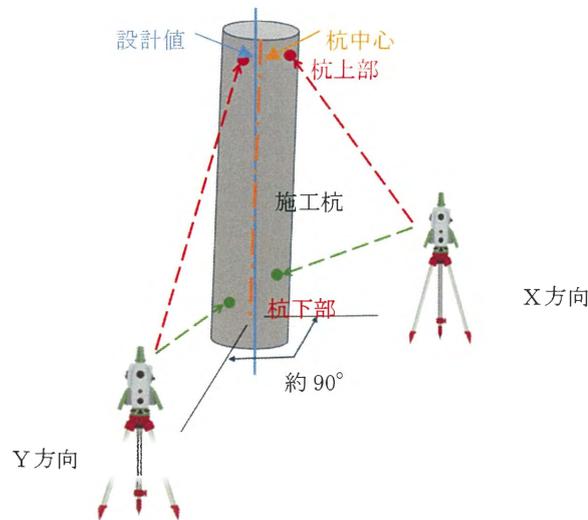


図 3.6-22 杭鉛直精度管理システム

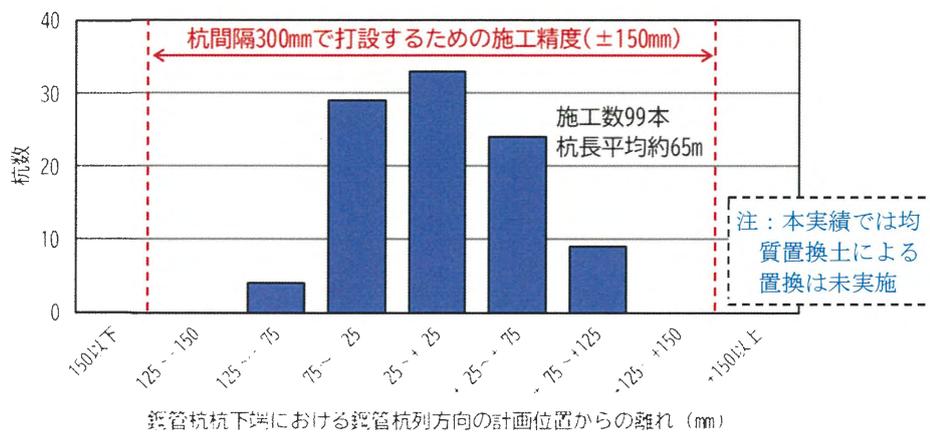


図 3.6-23 鉛直精度管理システムを用いた鋼管杭打設の施工精度(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁施工実績)

(2) 鋼管杭打設時の施工荷重（重機荷重）の影響

鋼管杭打設等における打設場所近傍への重機配置による工事の品質への影響を確認する。鋼管杭打設等の施工では 200t クローラクレーン及び全周回転掘削機を使用する。これらの重機配置による工事の品質への影響としては重機の接地荷重増大による地盤への影響（この影響に伴う工事の品質への影響）が想定される。

この影響の確認として、堆積層が厚く重機荷重の影響を受けやすい北基礎のうち、重機が直接地盤に接地する東側の施工について重機配置等を想定した検討を実施した。接地荷重が最大となる重機及びその状況は、全周回転掘削機を設置・撤去しているクローラクレーンである。

この接地荷重最大の状況においては、鋼管杭等の打設は行われておらず、接地荷重が鋼管杭等の打設精度に影響を及ぼすことはない。なお、鋼管杭の建込み時もクローラクレーンの接地荷重が大きくなるが、同時に鋼管杭の打設は行われていないため鋼管杭の打設精度に影響を及ぼすことはない。また、打設中は鋼管杭等により掘削部周囲の土砂は保持されることから、地盤のはらみ出しや崩壊等は発生しない。

施工荷重（重機荷重）の影響確認結果を図 3.6-24 に示す。

なお、この重機荷重（接地荷重が最大になるケース）を考慮して、鋼管杭打設盤を確保するための土留めを設置しており、施工エリアの確保も問題ない。

以上より、鋼管杭打設等で使用する重機荷重が工事の品質へ影響を及ぼすことはないことを確認した。

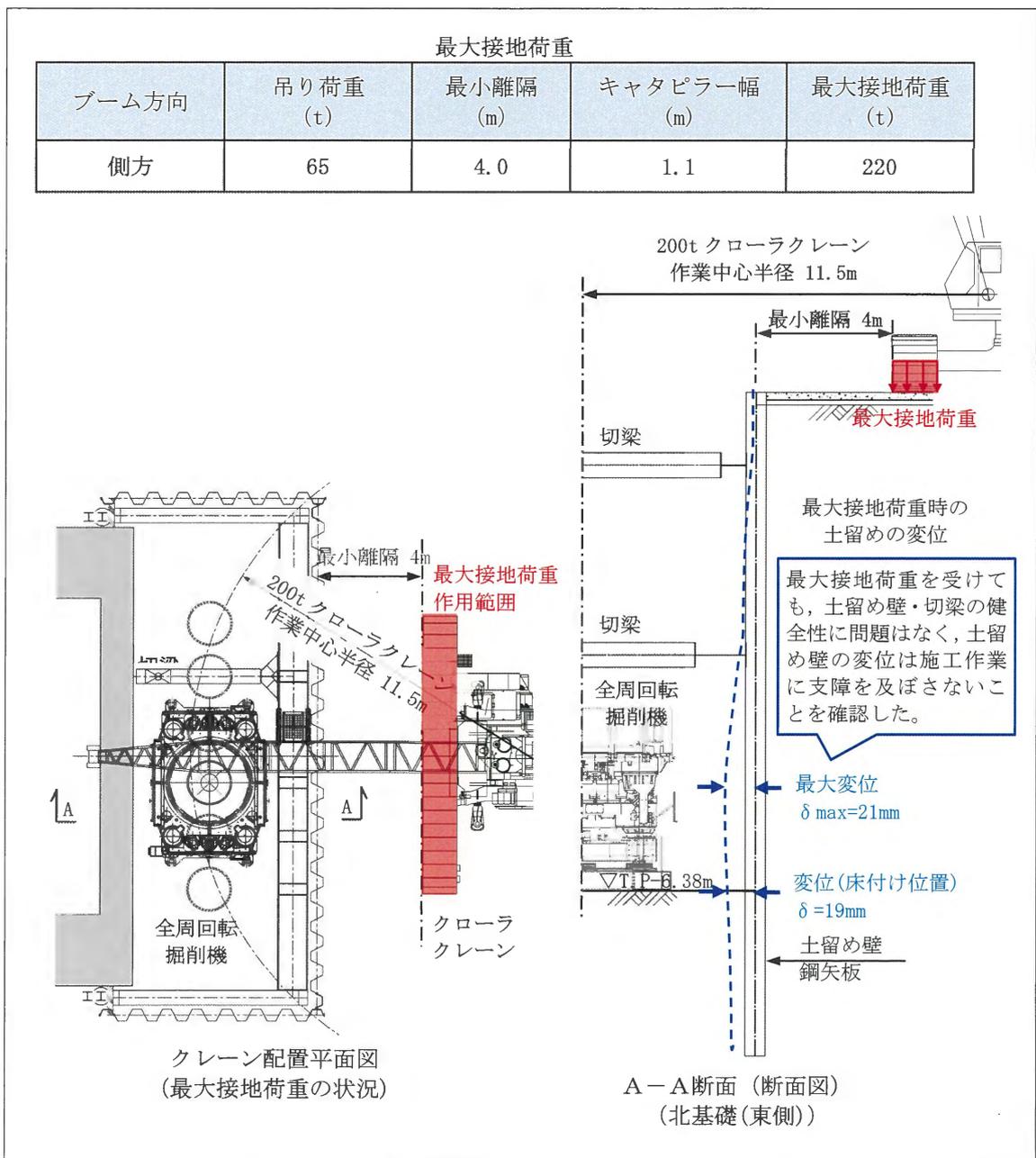


図 3.6-24 施工荷重（重機荷重）の影響確認結果

(3) 巻立て鉄筋コンクリートにおける狭隘な区画での太径鉄筋の組立

3次元CADにより配筋干渉及び施工図により施工性を確認する。

巻立て鉄筋コンクリートは、鉛直鉄筋（D51）、帯鉄筋（D38）、せん断補強筋（D41）、配力筋（D22）がスタッド付鋼管杭の周囲に密に配置される（図 3.6-25 参照）。これらを3次元CADにより図化し鋼材同士の干渉を確認する（図 3.6-26 参照）。

また、巻立て鉄筋コンクリートの施工エリアは、地中連続壁や既施設に挟まれ狭隘な場所での鉄筋組立となることから、施工エリアを図化し、組立作業の施工性を確認する（図 3.6-27）。

3次元CADにより鉄筋等の配置干渉がないこと、施工図より鉄筋組立が可能であることを確認した。

以上の確認結果から、巻立て鉄筋コンクリートの施工が施工性・品質の観点から実現性のある工事計画であり、設計上の想定への影響はないことを確認した。

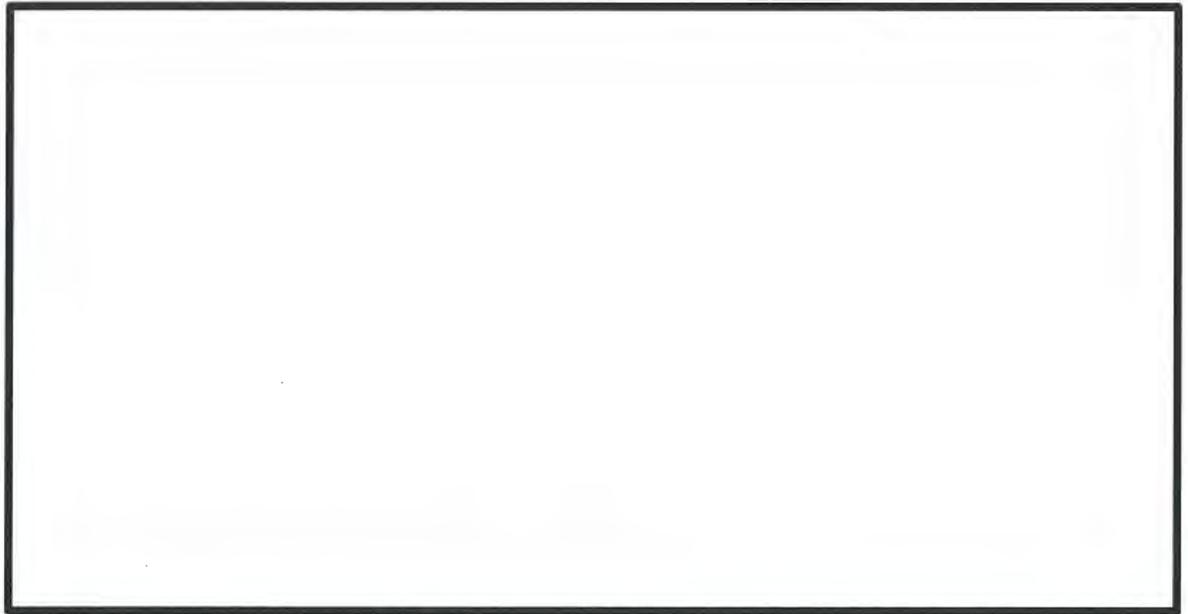


図 3.6-25 巻立て鉄筋コンクリートの配筋

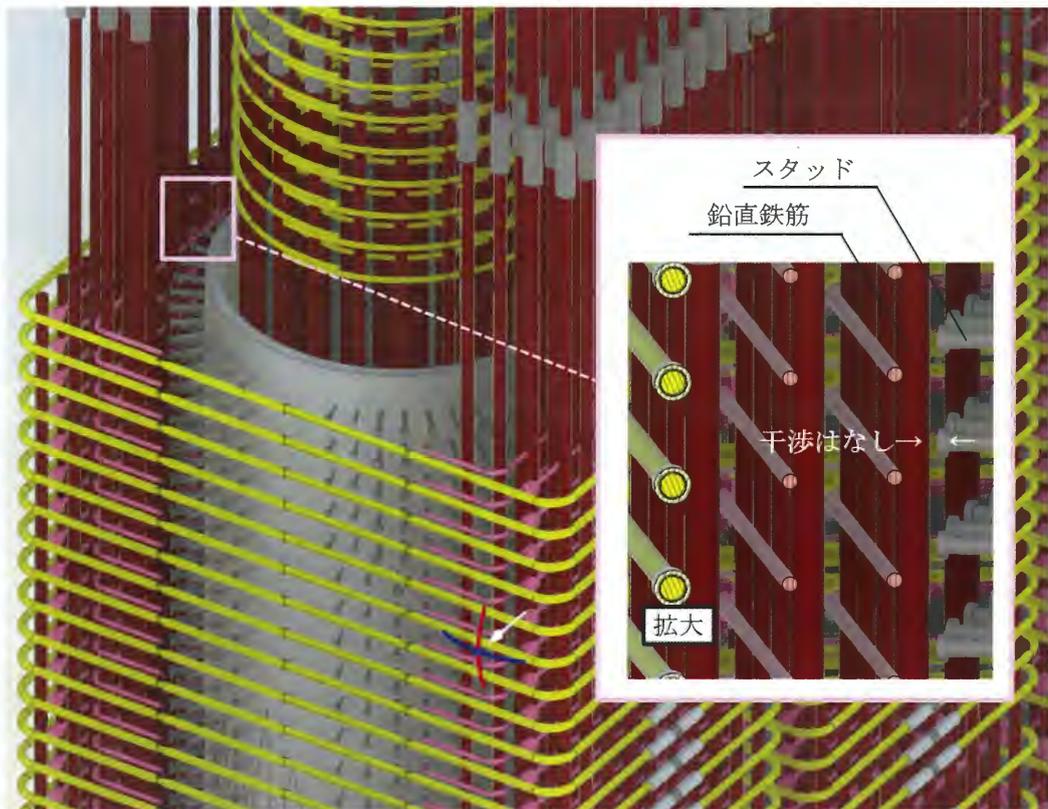


図 3.6-26 3次元CADによる配筋の干渉確認

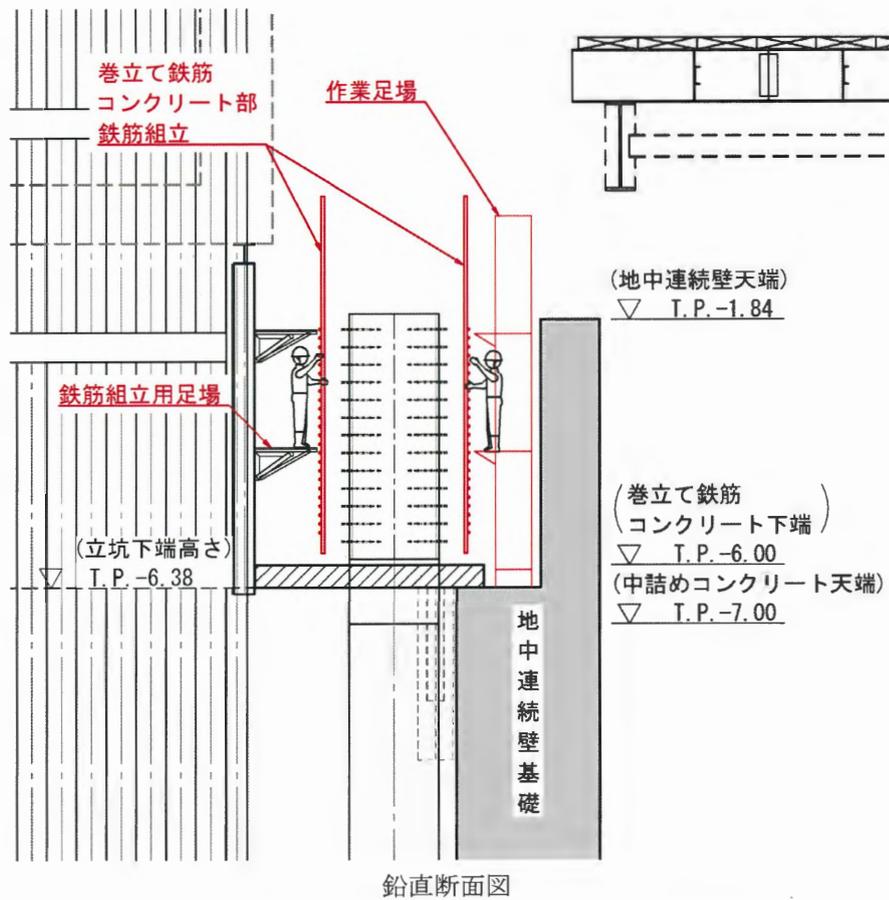
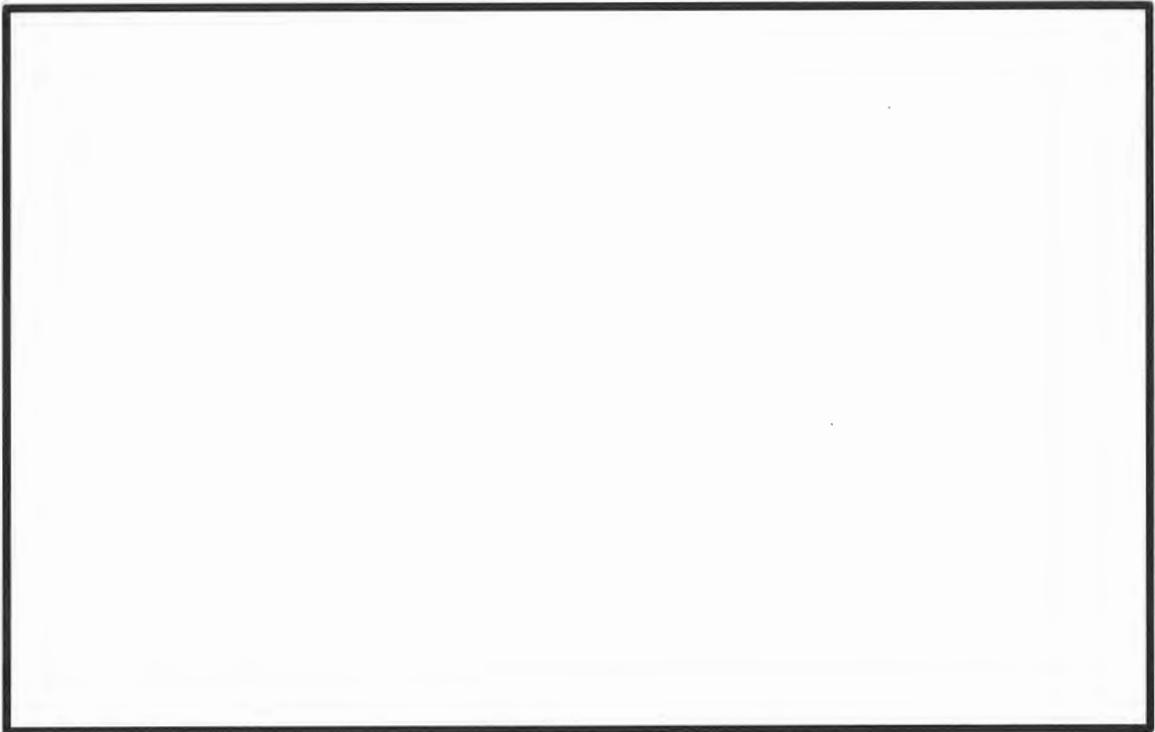


図 3.6-27 施工エリア図 (例：鉄筋組立の施工性確認)

(4) 高強度鋼材 (SBHS500) の部材溶接の施工性

高強度鋼材 (SBHS500) の現場溶接の品質を確保するため、溶接に関わる溶接条件、熱管理条件を設定する。SBHS500 については道路橋示方書・同解説 (平成 29 年) 他¹⁹⁾に溶接に関わる各種条件が明示されており、溶接条件・熱管理条件は一般化されている。以下に、道路橋示方書・同解説 (平成 29 年) 他に基づく溶接に関わる各種条件を示す。

鋼管杭の溶接は、道路橋示方書・同解説 (平成 29 年) 他に溶接に関わる条件などが示されており、一般化された作業である。以上より、本作業は施工性・品質の観点から実現性のある工事計画であり、設計上の想定への影響はないことを確認した。

a. 溶接条件・熱管理条件

溶接条件及び熱管理条件 (入熱量とパス間温度) を道路橋示方書・同解説 (平成 29 年) 他に基づき表 3.6-10 のとおりとする。

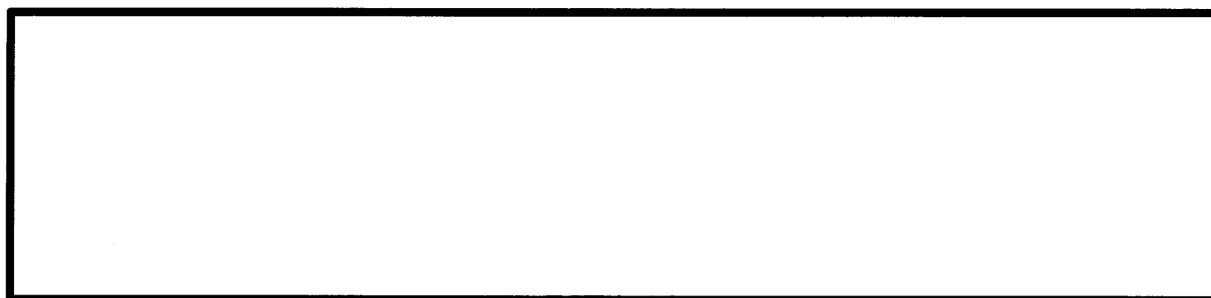
表 3.6-10 溶接条件・熱管理条件

項目	管理値等
溶接方法	ガスシールドメタルアーク溶接
溶接姿勢	横向き
開先形状	レ型
パス間温度 (°C)	300 以下
溶接入熱 (J/mm)	7000 以下

b. 開先条件

溶接姿勢 (横向き) における開先形状及び開先精度の管理値について設定した。また、参考として次頁に鋼管杭の継手形状を示す。その一例を表 3.6-11 に示す。

表 3.6-11 開先形状標準 (内面溶接用) の一例*



※：メーカー基準

¹⁹⁾ 橋梁用高性能鋼材 (社)日本鉄鋼連盟 橋梁用鋼材研究会

c. 鋼管杭の継手形状

継手形状は、道路橋示方書・同解説Ⅳ（平成 29 年）を参考に以下の施工条件を勘案して決定した。

- ・溶接姿勢は横向きとする。
- ・下杭～中杭は各杭を溶接しながら鋼管杭を打設することから（図 3.6-28 参照），鋼管の外側から外面溶接する。
- ・中杭と上杭の溶接は，上杭の鋼管外面にスタッドが設置されており，杭間隔も 30cm と狭隘であることから鋼管の内側から内面溶接する。
- ・溶接の際は裏当てリング等の補助部材を用いて溶接不具合の防止を図る。
- ・開先形状は，鋼管の板厚が 50mm と厚いため溶接パス数を極力少なくさせるため，道路橋示方書・同解説Ⅳ（平成 29 年）に記載の標準形状寸法（図 3.6-29 及び図 3.6-30 参照）より狭くしているが，溶接試験により融合不良，スラグ巻き込みなどの不具合が生じないことを確認している。

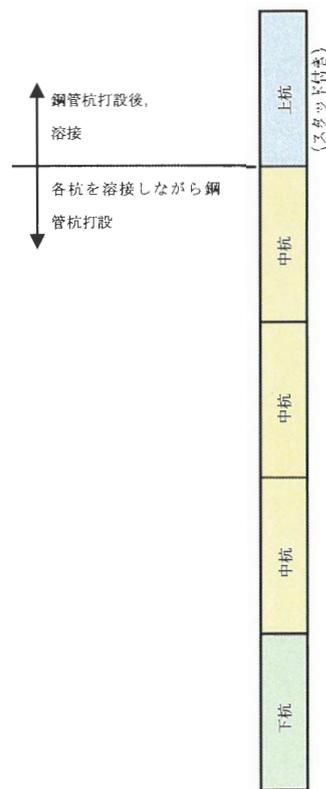


図 3.6-28 鋼管杭分割イメージ図（製作時）

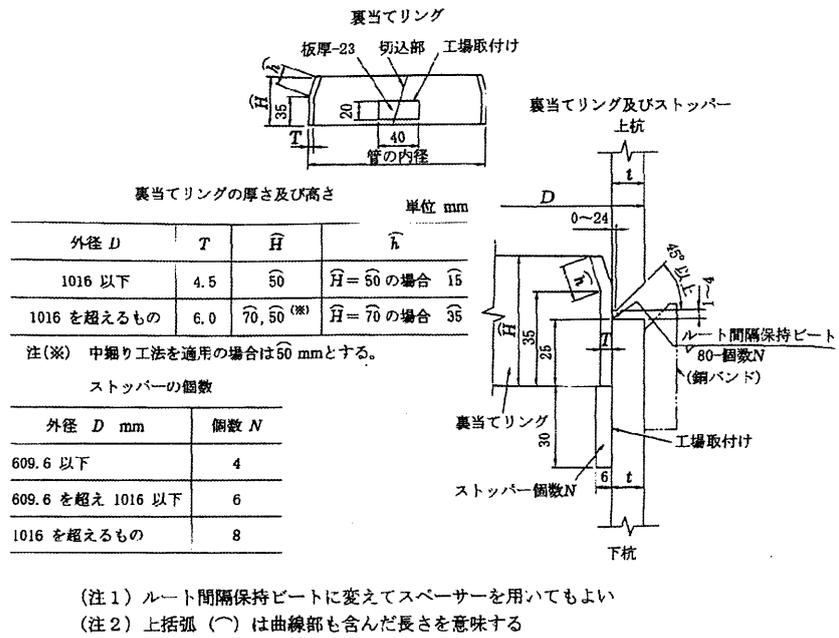


図 3.6-29 鋼管杭の半自動溶接現場継手標準形状寸法²⁰⁾

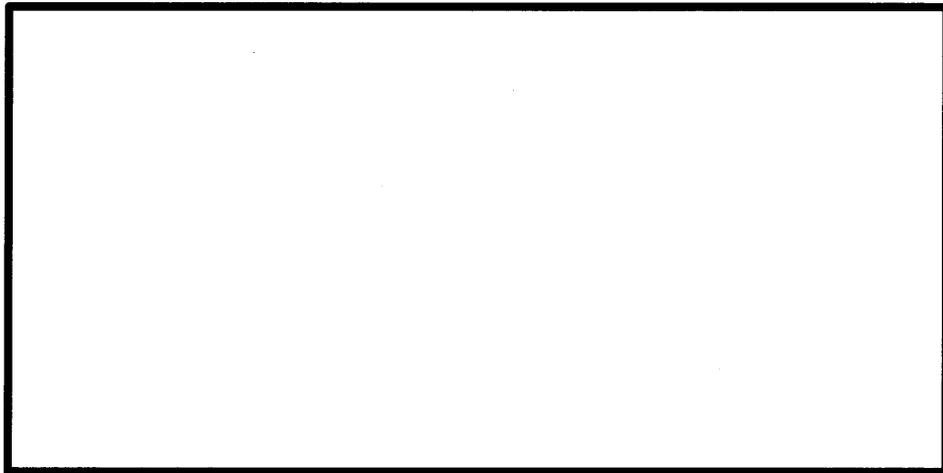


図 3.6-30 防潮堤（鋼製防護壁）の鋼管杭の継手形状[※]

※：メーカー基準

²⁰⁾ 道路橋示方書・同解説IV（平成29年）

3.6.4 頂版鉄筋コンクリートの鉄筋組立時における品質への影響項目の確認結果

頂版鉄筋コンクリート構築時に品質に影響を及ぼす可能性のある項目は以下のとおり。

- ・頂版鉄筋コンクリートの構造鉄筋に加え、中実鉄筋コンクリート等からの定着鉄筋などが複雑に交錯する配筋の鉄筋の組立であり、施工難易度が高い

これらが設計へ影響せず、頂版鉄筋コンクリートの構築を確実に実施するための方策の確認として、3次元CADにより鉄筋の配置干渉を確認する。

頂版鉄筋コンクリートの接続部を図 3.6-31 に、3次元CADによる鉄筋干渉確認箇所①を図 3.6-32 に、鉄筋干渉確認箇所②を図 3.6-33 に示す。3次元CADにより、各鉄筋は干渉せず、設計へ影響を及ぼすことはないことを確認した。

以上の確認結果から、頂版鉄筋コンクリートの施工が施工性・品質の観点から実現性のある工事計画であり、設計への影響はないことを確認した。

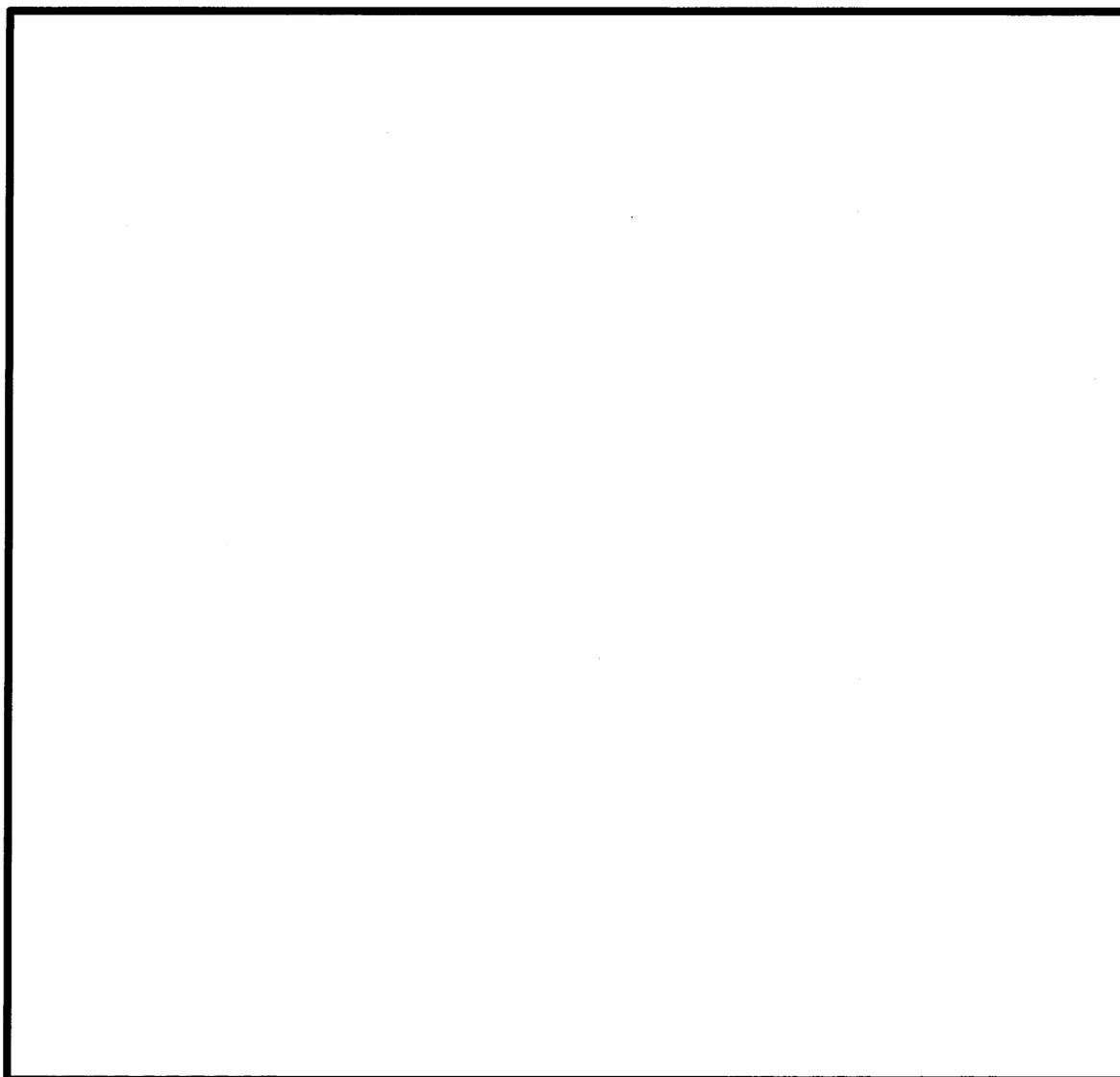


図 3.6-31 頂版鉄筋コンクリートの接続部

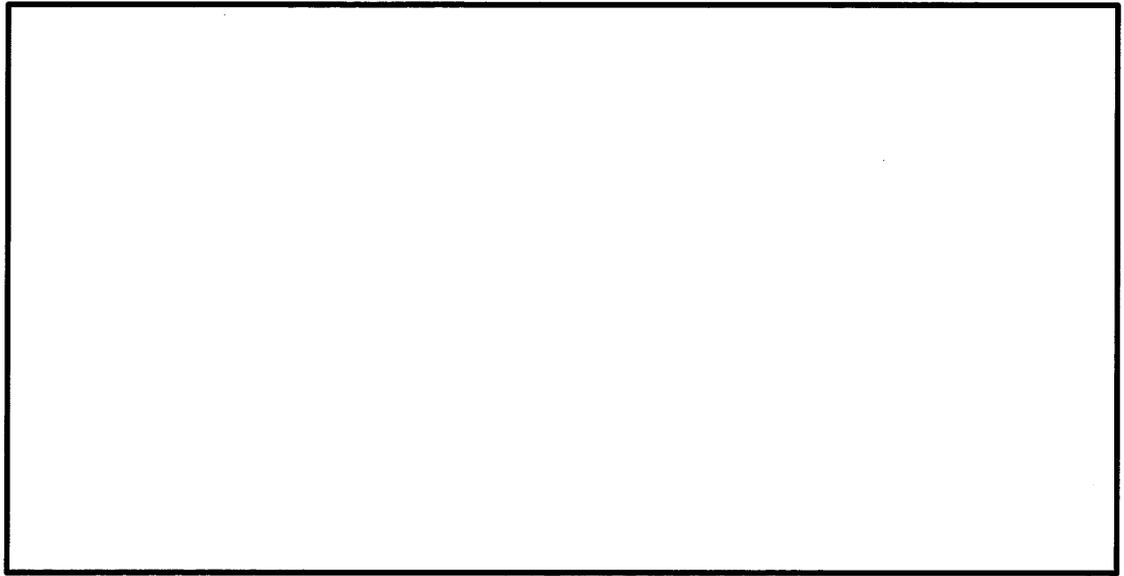


図 3.6-32 鉄筋干渉確認結果①

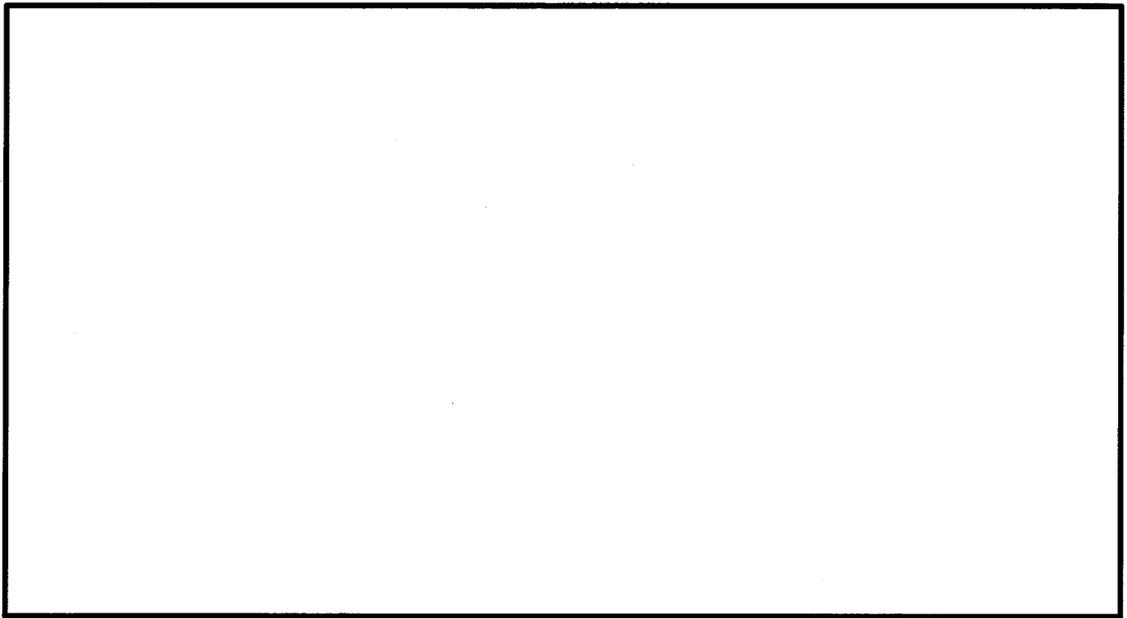


図 3.6-33 鉄筋干渉確認結果②

3.6.5 鋼製防護壁架設における品質への影響項目の確認結果

鋼製防護壁架設における品質に影響を及ぼす可能性のある項目は以下の2つある。

- ・鋼製防護壁の一部に高強度鋼材を採用しており、部材溶接の施工難易度が高い。
- ・鋼製防護壁の基部内での太径鉄筋の組立は、施工難易度が高い。

これらが設計へ影響せず、鋼製防護壁架設を確実に実施するための方策の確認として、溶接施工試験を実施し、あるいは3次元CADによる配筋干渉の確認及び施工図による施工性の確認を実施する。

(1) 高強度鋼材 (SBHS700) の部材溶接の施工性

高強度鋼材 (SBHS700) の現場溶接の品質を確保するため、溶接に関わる熱管理条件、開先形状、溶接条件を設定する。高強度鋼材 (SBHS700) に係るこれらの条件は、文献等で定められたものはなく、本工事に際し、同材料を用いた溶接施工試験を繰り返し実施し、得られた結果に基づき設定している。

a. 熱管理条件

適切な熱管理条件 (予熱温度、間温度等) を求めるため、同条件下 (開先形状、溶接姿勢、使用溶接材料) での要求品質を満足できる条件を確認した。

また、その他の組合せ (SBHS700×SBHS500) についても、同様にそれぞれ適切な熱管理条件を求め、要求品質を満足できる条件を確認した。

SBHS700×SBHS700, SBHS700×SBHS500 の熱管理条件を表 3.6-12 に示す。

表 3.6-12 熱管理条件

b. 開先条件

各溶接姿勢（下向き，上向き，横向き，立向き）における開先形状及び開先精度の管理値について設定した。その一例を表 3.6-13 に示す。

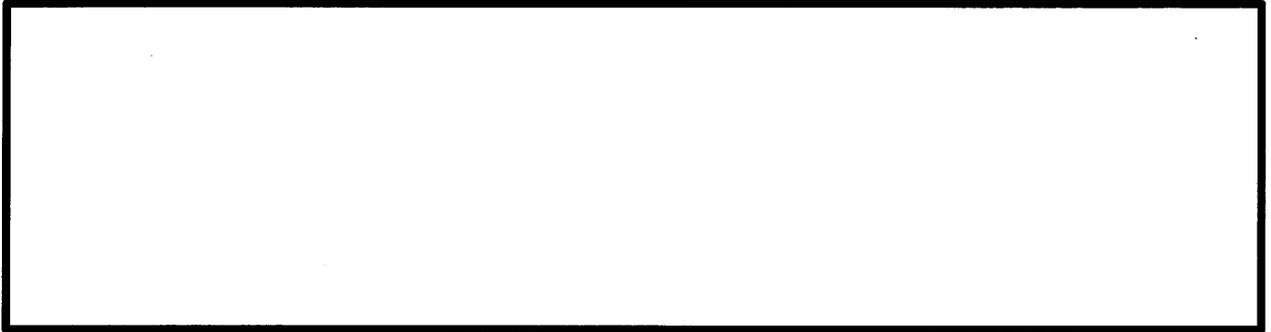
表 3.6-13 開先形状標準の一例



c. 溶接条件

適切な溶接条件を求めるため、同条件下（鋼種、溶接方法、溶接材料等）での試験施工を実施し、要求品質を満足できる条件を確認した。その一例を（表 3.6-14 参照）に示す。

表 3.6-14 鋼種、溶接方法、開先形状等の条件の一例



【確認結果】

- ・溶接施工試験により適切な溶接条件（熱管理条件ほか）を確認し、所定の品質を確保する条件を設定できた。
- ・設定した溶接条件を施工時に着実に実施すること及び非破壊検査の全箇所実施により、品質を確保する。

以上により、施工時にこれらを着実に実施することで、不具合のない構造物の構築は可能である。

以上の確認結果から、鋼製防護壁の高強度鋼材の溶接が、施工性・品質の観点から実現性のある工事計画であり、設計への影響はないことを確認した。

(2) 鋼製防護壁の基部内での太径鉄筋の組立の施工性

鋼製防護壁の基部内の中詰め鉄筋コンクリートは、当該部の構造鉄筋、鋼殻部（鋼製防護壁を構成する壁体）とコンクリートの一体化のためのスタッドと頂版鉄筋コンクリートから定着鉄筋が複雑に交錯する配筋となる。このため、3次元CADによりこれらの鉄筋の配置干渉等を確認した（図 3.6-34 参照）。また、鋼殻部が狭隘なことから鉄筋の組立手順を図化し施工性を確認した（図 3.6-35 参照）。

その結果、干渉部位がなく、組立手順どおりに組立が可能であることを確認した。

以上の確認結果から、鋼製防護壁の基部内での太径の鉄筋の組立は、施工性・品質の観点から実現性のある工事計画であり、設計上の想定への影響はないことを確認した。

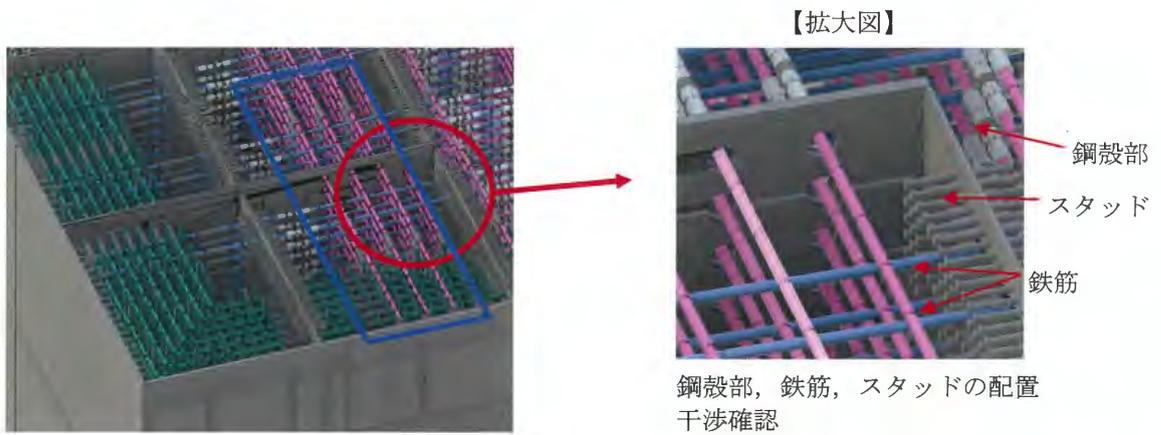


図 3.6-34 3次元CADによる鉄筋配置干渉確認

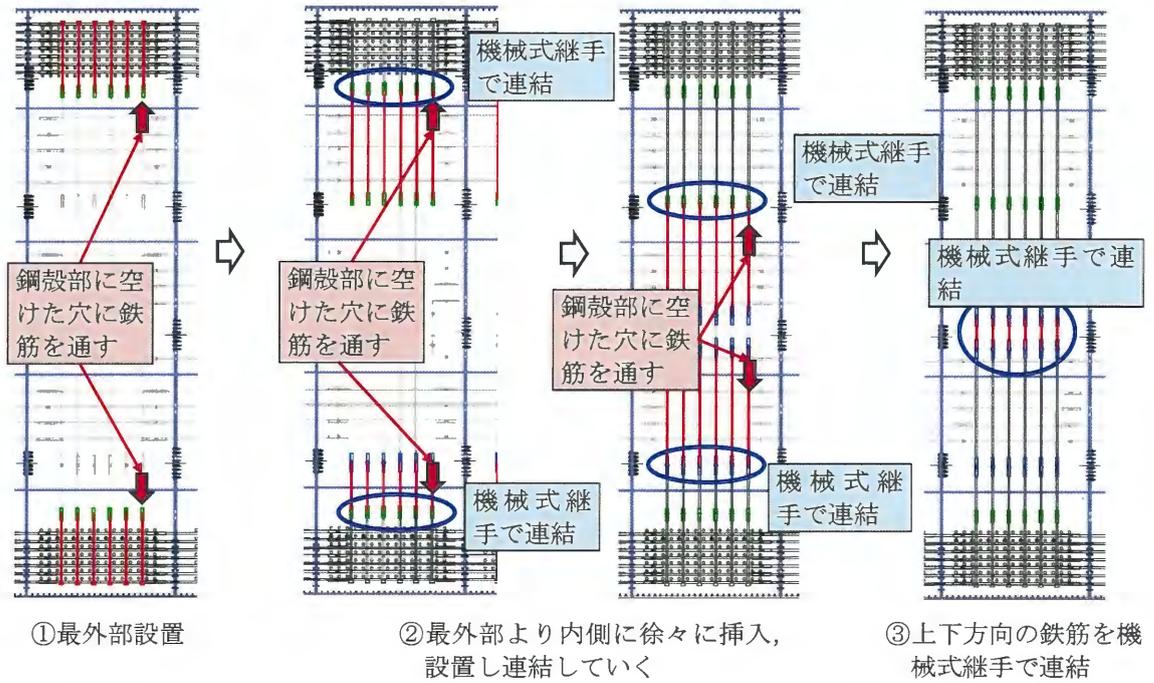


図 3.6-35 せん断補強筋組立手順 平面図

3.6.6 地盤改良（薬液注入）における品質への影響項目の確認結果

地盤改良（薬液注入）の本工事への適用性や改良品質の不確かさの要因を網羅的に抽出するため、地質・地盤リスクマネジメントの考え方にに基づき、地盤改良の適用性・改良品質に係る着目項目を整理した。

地盤改良の適用性・改良品質に係る項目は、自然的要因と人為的要因に大別され、各区分に該当する着目項目を表 3.6-15 のように整理した。

表 3.6-15 地盤改良の適用性・改良品質に係る項目

区分	着目項目（要因）
自然的要因	地盤条件（地質・地盤の材料、構造（分布）） 地下水の存在や挙動（地下水の有無、水質、水位・流況） 環境（凍結、温度変化、経年劣化）
人為的要因	施工条件（改良材の品質、母材の品質、施工性の確認、施工機械の性能、施工管理） 外的要因（周辺建造物の影響） 設計条件（配合設計、試験データのばらつき、設計パラメータの不確かさ）

整理した各着目項目について、地盤改良（薬液注入）を念頭に、文献やマニュアルなど^{21), 22), 23)}をもとに、「適用性」及び「改良品質の不確かさ」に及ぼす可能性について要因別に想定し、計画地点の自然的要因・人為的要因をもとに、詳細検討の要否を評価した。地盤改良（薬液注入）の適用性、改良品質の不確かさの要因抽出結果を表 3.6-16 及び表 3.6-17 に示す。

²¹⁾ 耐久グラウト注入工法施工指針, 日本グラウト協会, 2012年3月

²²⁾ 薬液注入工法の理論・設計・施工, 地盤工学会, 2009年7月

²³⁾ 薬液注入の長期耐久性と恒久グラウト本設注入工法の設計施工—環境保全型液状化対策工と品質管理—, 米倉 亮三, 島田 俊介, 2016年10月

表 3.6-16 地盤改良（薬液注入）の適用性，改良品質の不確かさの要因の抽出結果（その1）

着目項目（要因）		施工・改良品質に想定される事象	詳細検討の要否検討結果 （一次評価）
地盤条件	地質	地盤の限界注入速度が低く，浸透注入ができない可能性がある。	対象地盤への適用性を確認する必要があるため，詳細検討を実施する。
〃	地質	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。	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。
〃	地質	対象地盤の細粒分含有率が高く，浸透注入ができない可能性がある。	対象地盤への適用性を確認する必要があるため，詳細検討を実施する。
〃	地盤の材料	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。	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。
〃	地盤の材料	対象地盤内物質（例えば Ca）により薬液による改良効果が得られない可能性がある。	現地試料を用いた薬液配合試験により，改良効果が得られることを確認した。
〃	地質分布	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。	現地の地質調査データの取得状況から対象地盤の分布が十分把握できていることを確認した。
地下水	地下水の有無	地下水の無い不飽和状態では薬液が劣化し強度が低下する可能性がある。	薬液注入は地下水位以深を対象に実施し，地下水位以浅は地下水の有無の影響を受けない薬液注入以外の適切な工法で代替する。
〃	地下水の水質	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。	対象範囲の地下水に地盤改良体の品質に影響を及ぼす成分がないことを確認した（地下水中の塩分が改良効果に影響を及ぼさない ²⁴⁾ ）。
〃	地下水位・流況	地下水位の急勾配，被圧水位により薬液注入ができない可能性がある。	対象範囲の地下水位分布について適用性を確認するため，詳細検討を実施する。
環境	凍結	凍結により薬液が劣化し，強度が低下する可能性がある	注入した地盤は地表付近でないため凍結せず，地上の注入材料は凍結対策を施す計画である。
〃	温度変化	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。	地中及び海水近傍では温度変化がほぼないことから，温度変化に起因する地盤改良体の品質への影響はない。
〃	経年劣化	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。	今回使用する薬液に対し，既往論文 ²⁵⁾ で 24 年の耐久性が確認されている。

注：表中の灰色部は一次評価の結果，詳細検討が不要な着目項目（要因）

²⁴⁾ 米倉亮三，島田俊介：薬液注入の長期耐久性と恒久グラウト本設注入工法の設計施工—環境保全型液状化対策工と品質管理，近代科学社，302p，2016

²⁵⁾ 島田俊介，佐々木隆光，末政直晃，地盤工学会，第 59 回地盤工学研究発表会，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

表 3.6-17 地盤改良（薬液注入）の適用性、改良品質の不確かさの要因の抽出結果（その2）

着目項目（要因）		施工・改良品質に想定される事象	詳細検討の要否検討結果 （一次評価）
施工条件	改良材の品質	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。	改良材（薬液）は工場生産品であり、使用上の品質は確保されている。
〃	削孔	ボーリングの孔曲がりの影響により改良範囲が不足する可能性がある。	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、詳細検討を実施する。
〃	施工順序	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。	注入を阻害しない配孔を計画することで、改良順序が品質に影響を及ぼすことはない。
〃	施工機械の性能	改良範囲が大深度に位置し、施工機械の性能が改良範囲の深度に対応できない。	薬液注入の適用性を確認するため、詳細検討を実施する。
〃	試料採取	試料採取時の試料の緩み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。	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ことから、詳細検討を実施する。
外的要因	周辺施設の影響	構造物直下の施工ができない可能性がある。	構造物直下への適用性を確認するため、詳細検討を実施する。
設計条件	配合設計	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。	薬液注入工法のマニュアルに薬液濃度やシリカ含有量増分量と各種力学試験結果に相関が示されており、同様に配合設計を実施している。
〃	室内配合試験と現場環境との相違	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。	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。
〃	設計パラメータの不確かさ	強度に影響を与えるパラメータは薬液濃度のみであり、配合設計において考慮している。	左記の理由により詳細検討は不要である。
〃	試験データのばらつき	配合試験において試験データにばらつきを有する。	地盤改良体の品質のばらつきを考慮した配合設計を検討するため、詳細検討を実施する。

注：表中の灰色部は一次評価の結果、詳細検討が不要な着目項目（要因）

一次評価の結果、当該地点における地盤改良（薬液注入）に対する適用性に関わる要因として以下の要因を詳細検討が必要なものとして抽出した。

- ・地盤条件（地質（限界注入速度、細粒分含有率））
- ・地下水（地下水位・流況）
- ・施工条件（施工機械の性能）
- ・外的要因（周辺施設の影響）

また、改良品質の不確かさの要因として以下の要因を詳細検討が必要なものとして抽出した。

- ・地盤条件（地質（透水性、強度特性（液状化強度特性）の不確かさ））
- ・施工条件（削孔、試料採取）
- ・設計条件（室内試験と現場施工の相違、試験データのばらつき）

(1) 地盤改良（薬液注入）に対する適用性の確認結果

一次評価にて抽出した地盤改良（薬液注入）の当該地点への適用性に関わる要因に対する確認結果の概要を表 3.6-18 に示す

表 3.6-18 地盤改良（薬液注入）の適用性に係わる要因と確認結果

着目項目（要因）	想定される事象	確認方法	確認結果	
地盤条件	地質	対象地盤の透水性（限界注入速度）が低く、浸透注入ができない可能性がある。	改良対象地盤相当で限界注入速度試験（詳細は3.6.9（1）参照）を実施し、浸透注入工法の適用性を確認する。	計画最大深度の地盤にて限界注入速度試験を実施し、均一な改良体が形成できる浸透注入が可能であることを確認した。
〃	地質	対象地盤の細粒分含有率が高く、浸透注入ができない可能性がある。	改良対象土層の粒度分布から、浸透注入工法の適用性を確認する。	各土層の粒度分布を確認した結果、改良対象土層は、概ね浸透注入工法の適用範囲である細粒分含有率であることを確認した。
地下水	地下水位・流況	地下水位の急勾配、被圧水位により薬液注入ができない可能性がある。	対象範囲に浸透注入工法の適用に問題のある地下水位の急勾配等の有無を確認する。	敷地内の地下水位分布を確認し、被圧水位及び急な地下水位の勾配がないことを確認した。
施工条件	施工機械の性能	改良範囲が大深度に位置し、施工機械の性能が改良範囲の深度に対応できない。	計画最大深度の地盤にて試験施工を実施し、施工性を確認する。	計画最大深度の地盤にて限界注入速度試験、試験施工を実施し、高静水圧・高拘束圧下において、均一な改良体が形成できる浸透注入が可能であることを確認した。
外的要因	周辺施設の影響	構造物直下の施工ができない可能性がある。	対象範囲に浸透注入工法を適用するためのボーリングの配置方法を確認する。	構造物直下への施工法（注入孔配置）を図化し、計画範囲の改良が可能であることを確認した。

以下に、各着目項目（要因）の適用性について確認した結果の詳細を示す。

a. 地盤条件（地質）への適用性

地盤改良（薬液注入）の適用性として、均一な改良体が形成できる浸透注入が可能な地盤条件であること確認する。具体的な確認項目は表 3.6-18 の着目項目（要因）にて抽出した地盤条件（地質：細粒分含有率，透水性）について，対象地盤が地盤改良（薬液注入）の適用条件と整合しているか確認する。

以下に，地盤条件（地質）の確認の手順を示す。

- ・地盤改良（薬液注入）の対象土層… (a)
- ・地盤改良（薬液注入）の適用条件… (b)
- ・地盤改良対象土層の粒度等の調査結果による適用性の確認…(c)
- ・地盤改良対象土層の原位置試験における適用性の確認…(d)

(a) 地盤改良（薬液注入）の対象土層

地盤改良（薬液注入）は，液状化対策として地下水以深の飽和している砂・礫質土を対象とする。既工認（補足-3401[地盤の支持性能]）では，道路橋示方書（道路橋示方書・同解説，Ⅴ耐震設計編，平成 24 年 3 月）で対象としている土層を基本とし，さらに保守的な観点から，道路橋示方書では，検討対象としている更新世及び現在の地盤面から -20 m 以深の土層も抽出対象とした。

薬液注入の対象土層は，道路橋示方書の液状化検討対象土層（沖積層の土層で，以下の①～③を対象）に加え，道路橋示方書では検討対象外としている洪積層及び原地盤面から -20 m 以深の土層も抽出対象とした。抽出土層の抽出結果をエラー！参照元が見つかりません。に示す。

【道路橋示方書の液状化検討対象土層】

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

表 3.6-19 防潮堤（鋼製防護壁）周辺地盤の地盤改良（薬液注入）対象土層抽出結果

地質記号	層相	液状化検討対象土層	地盤改良（薬液注入）対象土層	備考
A g 2	礫	○	○	T.P. -23 m 以浅に分布。
A c	粘土	対象外	対象外	対象外
A s	砂	○	○	T.P. -23 m 以深に分布する範囲についても検討対象とする。
A g 1	礫	○	○	T.P. -23 m 以深に分布する範囲についても検討対象とする。

(b) 地盤改良（薬液注入）の対象土層

浸透注入工法において留意すべき条件（適用条件）を以下に示す。

【地盤（粒度等）に係る浸透注入工法の適用条件】

①細粒分含有率 F_c

- ・適用限界は $F_c \leq 40\%$ の地盤を対象とする。

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

②粘性土が互層状に分布する地盤

③貝殻混じり地盤

- ・貝殻に含まれているカルシウム成分によりゲルタイムに影響を与える。

④薬液の逸走が懸念される礫混じり、または礫地盤

⑤薬液の逸走や拡散が懸念される地下水の流れが速い地盤

浸透注入工法施工実績における代表的な粒度分布例を図 3.6-36 に示す。

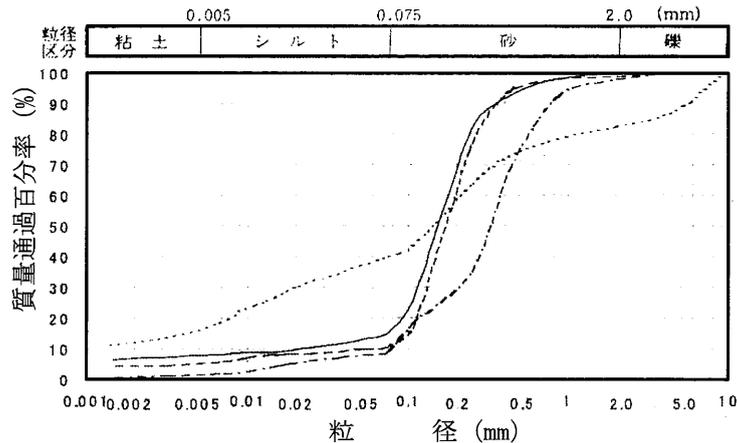


図 3.6-36 浸透注入工法施工実績における代表的な粒度分布例²⁶⁾

【地盤（透水性）による施工に係る適用条件】

地盤に係る適用条件については、図 3.6-37 に示す改良範囲周辺においての調査孔のデータを整理するとともに、粒度試験の結果より下記の森田²⁷⁾提案式を適用した地盤の透水係数より検討を実施する。

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

ここで、 k は透水係数 (m/sec) , D_{30} は試料 30%通過粒径 (mm) , U_c は均等係数, A は N 値から表 3.6-20 により設定した締まり度ランク値 (テルツァーギとペックの区

²⁶⁾ 浸透固化処理工法技術マニュアル, 財団法人沿岸開発技術研究センター, p. 15, 平成 15 年 3 月

²⁷⁾ 森田悠紀雄, 坪田邦治, 西垣誠, 小松満: 粒度分布と間隙率を考慮した土の透水係数の推定方法, 土と基礎, 地盤工学会, 53-7, pp. 5-7, 2005

分を適用) である。

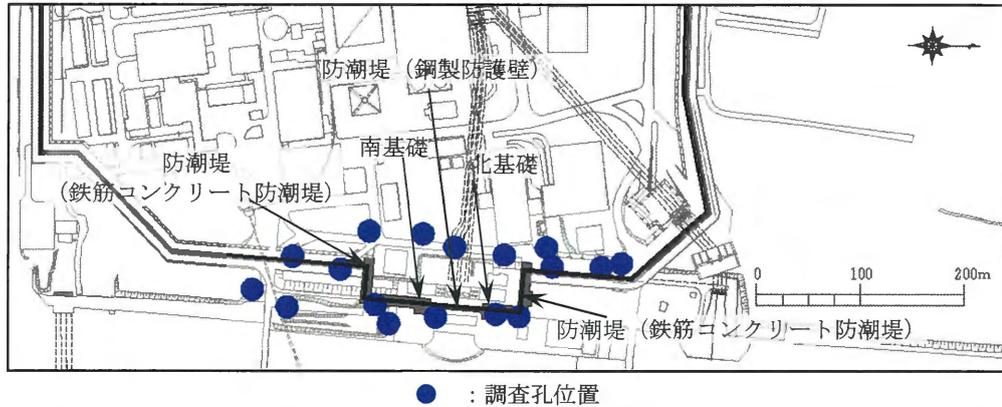


図 3.6-37 防潮堤 (鋼製防護壁) 周辺地盤調査孔

表 3.6-20 締め度ランク値²⁸⁾

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

注入圧力, 注入速度は, 地盤の限界注入速度試験, または施工実績 (細粒分含有率と注入速度の関係) より求めても良いとしている²⁹⁾。

防潮堤 (鋼製防護壁) の地盤改良 (薬液注入) においては, 既実施箇所より深い土層も対象としているために, 限界注入速度試験を実施し, 注入圧力及び注入速度を設定することとする。

次頁以降に, 前述した地盤及び施工に係る適用条件を踏まえた対象地盤に対する浸透注入工法の適用性を示す。

²⁸⁾ 地盤調査法, 社団法人地盤工学会, p. 201

²⁹⁾ 浸透固化処理工法技術マニュアル, (財)沿岸開発技術研究センター, p. 41, 平成 15 年 3 月

(c) 地盤改良（薬液注入：浸透注入工法）の対象土層の粒度等

防潮堤（鋼製防護壁）周辺地盤の調査孔のデータを各土層について整理した。

改良範囲及び周辺の調査孔のA g 2層, A s層, A g 1層の細粒分含有量Fcは、概ね浸透注入工法の適用限界となる40%以下である。なお、A s層は粒度分布のばらつきが大きく、一部にFcが40%以上の箇所があるものの注入仕様の適切な設定（注入間隔が小さく、低注入速度）で着実に浸透注入を行う工法を採用することから浸透注入は適用可能と判断した。

各土層の整理結果を表3.6-21に示す。各土層の粒度分布を確認した結果、改良対象土層は、概ね浸透注入工法の適用範囲である細粒分含有率であることを確認した。

表 3.6-21 改良対象土層の調査結果及び調査結果に基づき推定される性質

対象土層	A g 2層	A s層	A g 1層
N値調査結果	A g 2層は、南側において分布深度が深くなるものの、同じ深度でのN値は概ね同等と評価できる。	北側のA s層の分布深度が深くなるものの、同じ深度でのN値は概ね同等と評価できる。	北側のA s層の分布深度が深くなるものの、同じ深度でのN値は概ね同等と評価できる。
粒度試験調査結果	粒度試験の結果、細粒分（粒径 ≤ 0.075 mm）含有率Fcは、全調査孔で10%以下である。	粒度試験の結果、細粒分（粒径 ≤ 0.075 mm）含有率Fcは調査孔により40%以上の箇所があり、ばらつきが大きい。	粒度試験の結果、細粒分（粒径 ≤ 0.075 mm）含有率Fcは調査孔により40%以上の箇所があり、ばらつきが大きい。
均等係数調査結果	均等係数 ($U_c=D_{60}/D_{10}$, D_{60} は試料の60%通過粒径, D_{10} は試料の10%通過粒径)は2.3~21.1(粒度の配合は「均一」から「比較的良い」)である。均等係数 U_c が小さい範囲では砂分(粒径 ≤ 2 mm)が卓越となっている。	均等係数 ($U_c=D_{60}/D_{10}$, D_{60} は試料の60%通過粒径, D_{10} は試料の10%通過粒径)は、2~40(粒度の配合は、均一~比較的良い)である。	均等係数 ($U_c=D_{60}/D_{10}$, D_{60} は試料の60%通過粒径, D_{10} は試料の10%通過粒径)は、2~40(粒度の配合は、均一~比較的良い)である。
推定式による透水係数	地盤の透水性に影響する D_{30} 粒径は0.2 mm~1 mmであり、推定透水係数は $2.4 \times 10^{-3} \sim 5.9 \times 10^{-2}$ (cm/sec) が得られた。	地盤の透水性に影響する D_{30} 粒径は0.0082~0.18 mmであり、推定透水係数は $9 \times 10^{-5} \sim 1.2 \times 10^{-2}$ (cm/sec) のばらつきが大きい値が得られた。	地盤の透水性に影響する D_{30} 粒径は0.0082~0.18 mmであり、推定透水係数は $9 \times 10^{-5} \sim 1.2 \times 10^{-2}$ (cm/sec) のばらつきが大きい値が得られた。
均一性評価	N値, 粒度分布, 細粒分含有率Fc等により分布範囲による土性の変化は小さく、均一な土層と判断した。	N値, 粒度分布, 細粒分含有率Fc等により, 粒度分布, 細粒分含有率は分布範囲により変化する不均一な土層と判断した。	N値, 粒度分布, 細粒分含有率Fc等により, 南側と北側の分布深度は異なるものの, 均一な土層と判断した。
薬液注入の適用性評価	改良範囲及びその周辺の調査孔の細粒分含有率Fcは40%以下であり、浸透注入工法が適用可能と判断した。	改良範囲及びその周辺の調査孔の細粒分含有率Fcは粒度分布のばらつきが大きく、一部に40%以上の箇所があるものの、これらに対しても注入仕様の適切な設定により適用可能 ³⁰⁾ とされており、浸透注入工法の中でも注入間隔が小さく、低注入速度で着実に浸透注入を行う工法を採用することで適用可能と判断した。	改良範囲及びその周辺の調査孔の調査結果は幅広い粒径を有する土質と示されたが細粒分含有率Fcは40%以下であり、浸透注入工法が適用可能と判断した。また、北側のN値が比較して大きくなっているものの、同範囲の透水性の変化は小さく浸透注入の施工に支障はない。
N値分布	図 3.6-38 参照	図 3.6-40 参照	図 3.6-42 参照
粒度分布	図 3.6-39 参照	図 3.6-41 参照	図 3.6-43 参照

³⁰⁾ 浸透固化処理工法技術マニュアル（改訂版），沿岸技術ライブラリーNo.55, p.19, 令和2年7月

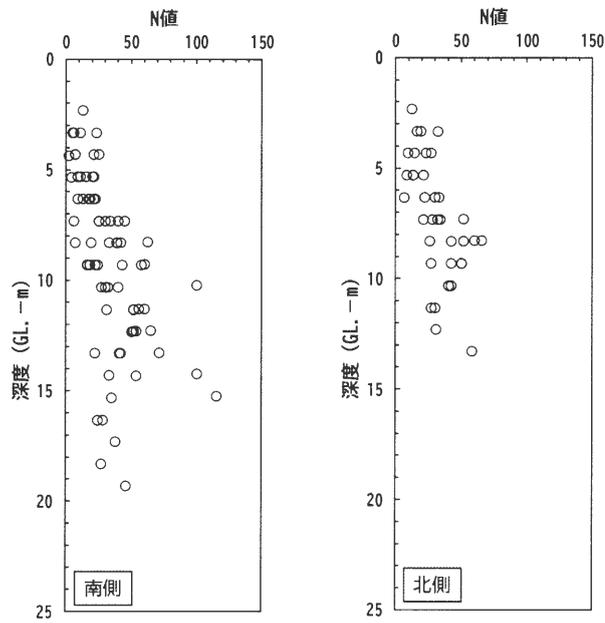


図 3.6-38 防潮堤（鋼製防護壁）近傍調査孔の N 値（A g 2 層）

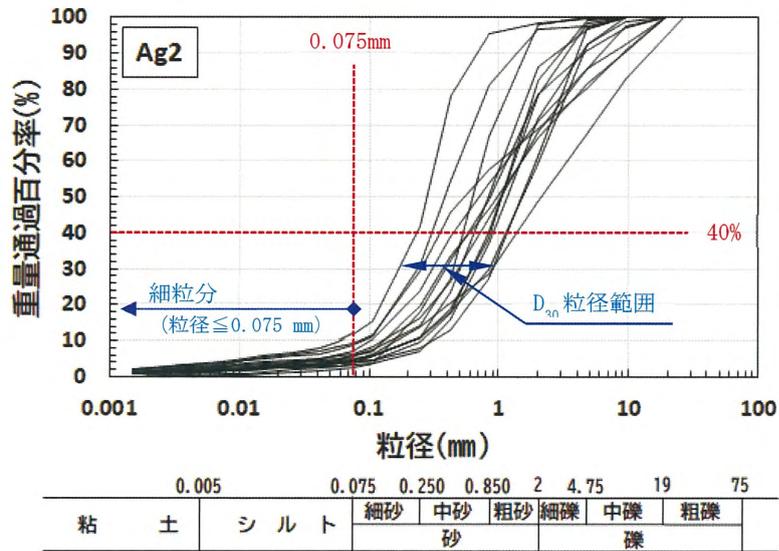


図 3.6-39 粒度試験結果（A g 2 層）

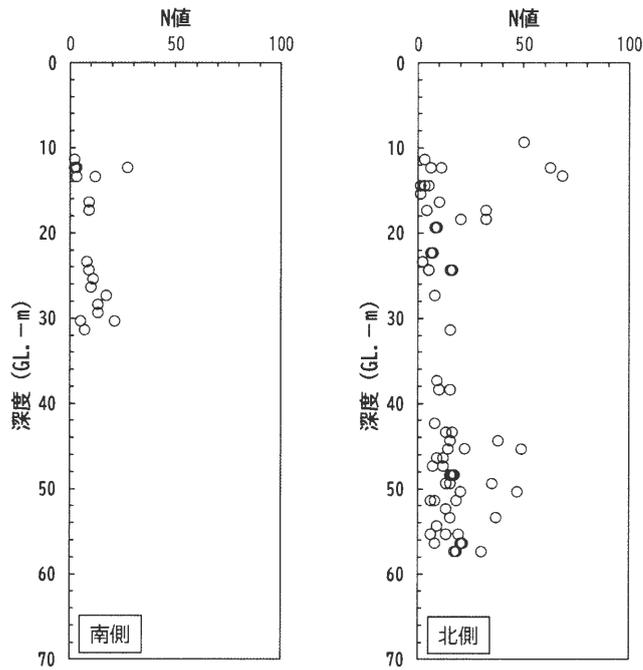


図 3.6-40 防潮堤（鋼製防護壁）近傍調査孔の N 値（A s 層）

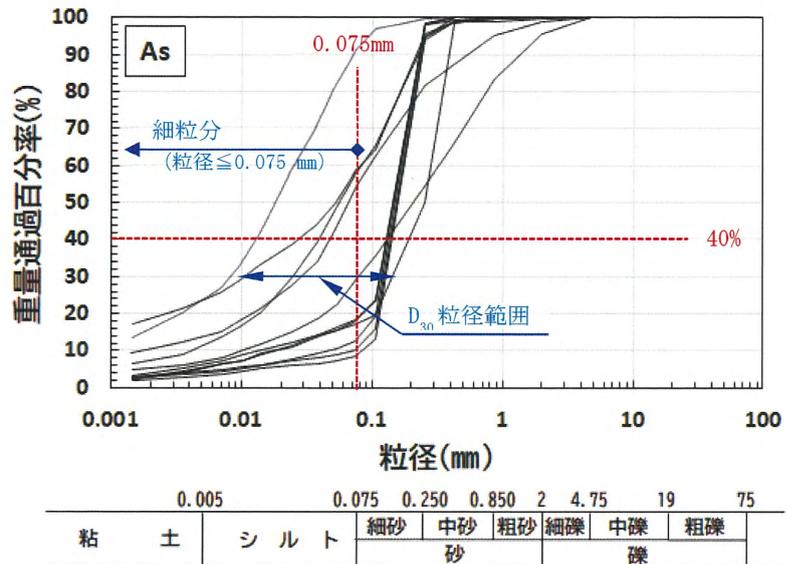


図 3.6-41 粒度試験結果（A s 層）

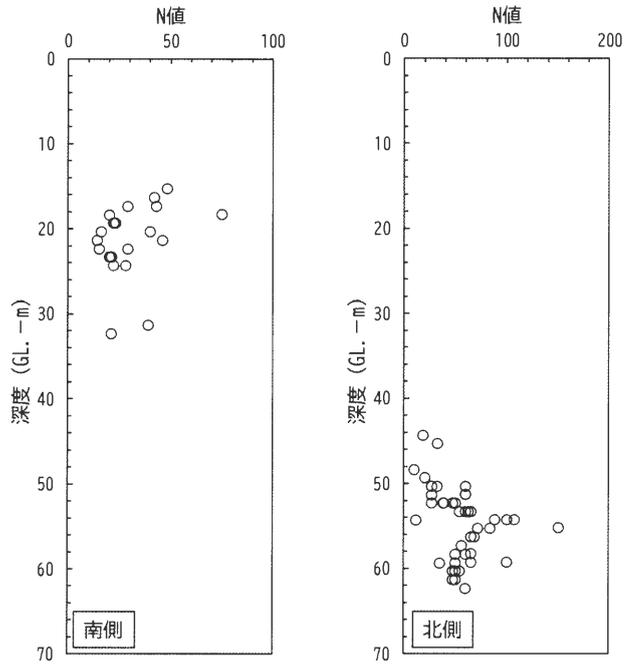


図 3.6-42 防潮堤（鋼製防護壁）近傍調査孔の N 値（A g 1 層）

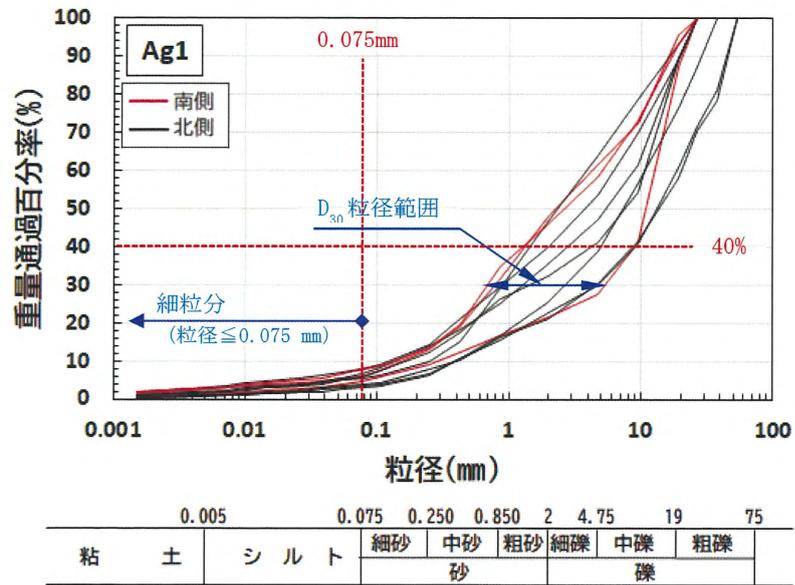


図 3.6-43 粒度試験結果（A g 1 層）

また、対象土層の分布については、改良範囲及びその周辺で実施したボーリング調査の結果に基づき地質断面図を作成し、対象土層の水平方向の分布状況や層厚の変化を考慮して地層の連続性を確認した。なお、レンズ状の挟在層（A s 層）についても近傍のボーリング柱状図を比較し、特定の層が他の地点で欠如している場合にレンズ状であると評価した。ボーリング調査位置図を図 3.6-44 に示す。

作成した地質断面図をもとに、地盤改良の配置を細かく設定し、対象土層（レンズ状の挟在層含む）の改良を確実に実施する。

以上より、地盤条件は適用性に問題ないことを確認した。

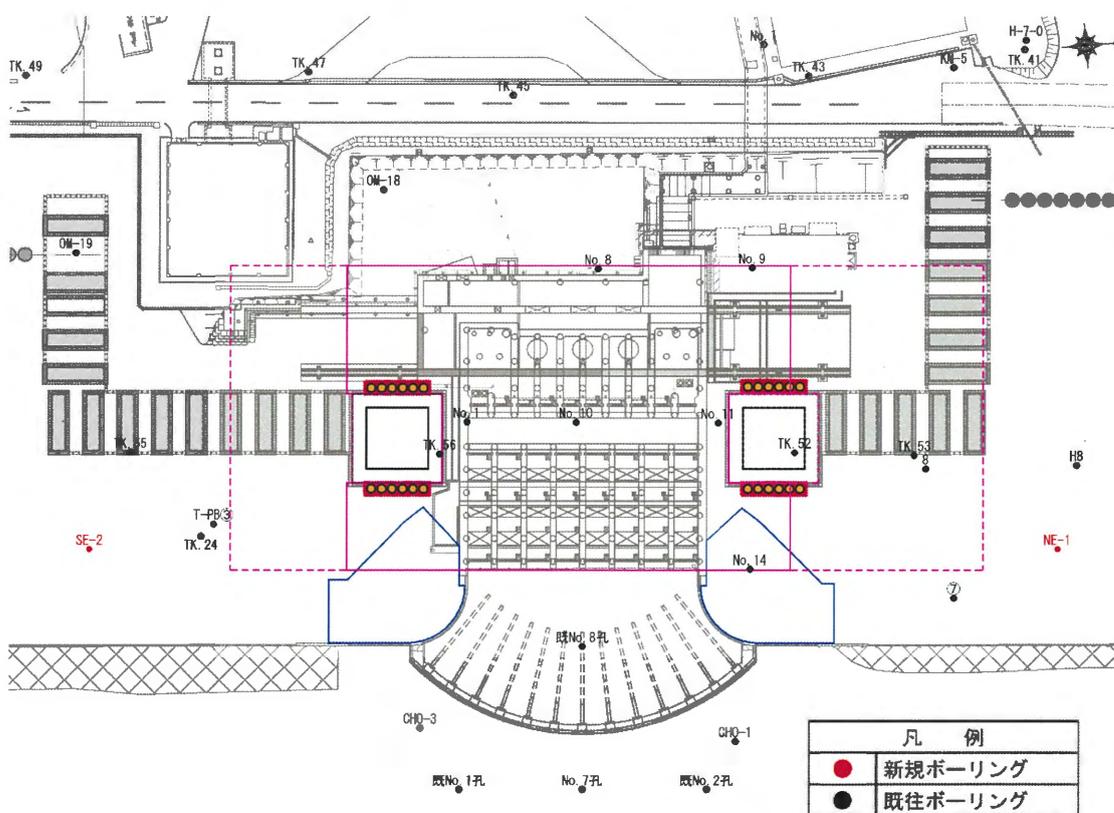


図 3.6-44 ボーリング調査位置

(d) 対象土層の原位置試験における適用性の確認

現地は、高静水圧・高拘束圧下であるので、高静水圧・高拘束圧下での施工性能を確認するために、計画最大深度の地盤にて限界注入速度試験を実施した。試験施工の実施箇所を図 3.6-45、限界注入速度試験実施箇所の地盤状況を図 3.6-46、原地盤での限界注入速度試験結果を図 3.6-47 に示す。

限界注入速度試験は、現地の対象地盤に水（上水）を注入し、その時の注入圧力と注入速度の関係から限界注入速度を求める試験である。また、実際の施工では、限界注入速度試験で決定した注入速度に相当する注入圧力で浸透注入を開始し、注入速度に着目しながら加圧し、注入速度が限界注入速度を超えないように必要に応じて圧力を調整する。なお、シリカ薬液の粘性による圧力損失でも注入速度が低下するものの、改良の完了は注入量で管理しており地盤改良体の品質に影響を及ぼさない。

限界注入速度試験の対象土はA g 2層，A g 1層，A s層とする。A g 2層，A g 1層は均一な地盤と評価され、代表的な土質の砂礫を対象とした。A s層は調査位置により細粒分含有率 Fc 等により土性が変動するため、シルト質砂～礫混じり砂まで幅広い土質を対象とした。限界注入速度試験の結果、3.0～3.5 L/min の注入速度で均一な改良体が形成できる浸透注入が可能であることが確認された。施工においては、限界注入速度試験結果の最小速度である 3.0 L/min を注入速度に設定する。

以上のとおり、計画最大深度の地盤にて限界注入速度試験を実施し、高静水圧・高拘束圧下において、均一な改良体が形成できる浸透注入が可能であることを確認した。

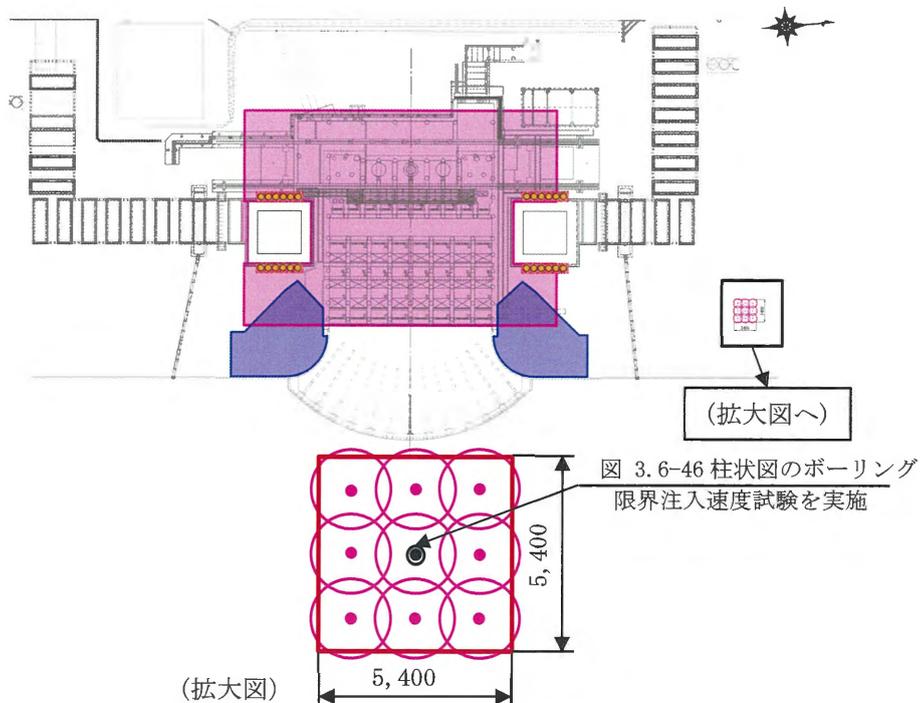


図 3.6-45 試験施工実施箇所位置

b. 地下水（地下水位・流況）への適用性

地盤改良（薬液注入）に対する、現地地下水位への適用性を確認する。

敷地の地下水位観測に基づき、観測最高水位（平成 29 年 6 月）コンター図を図 3.6-48 に示す。防潮堤（鋼製防護壁）設置箇所での地下水は、海水面と周辺地下水位 T.P. +1.5 m の等高線との間の流れであり、陸部から海への緩やかな流れになっている。また、A c 層（粘性土）下部に分布する A g 1 層、A s 層においては、地下水位の計測データから被圧水位は確認されていない。

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

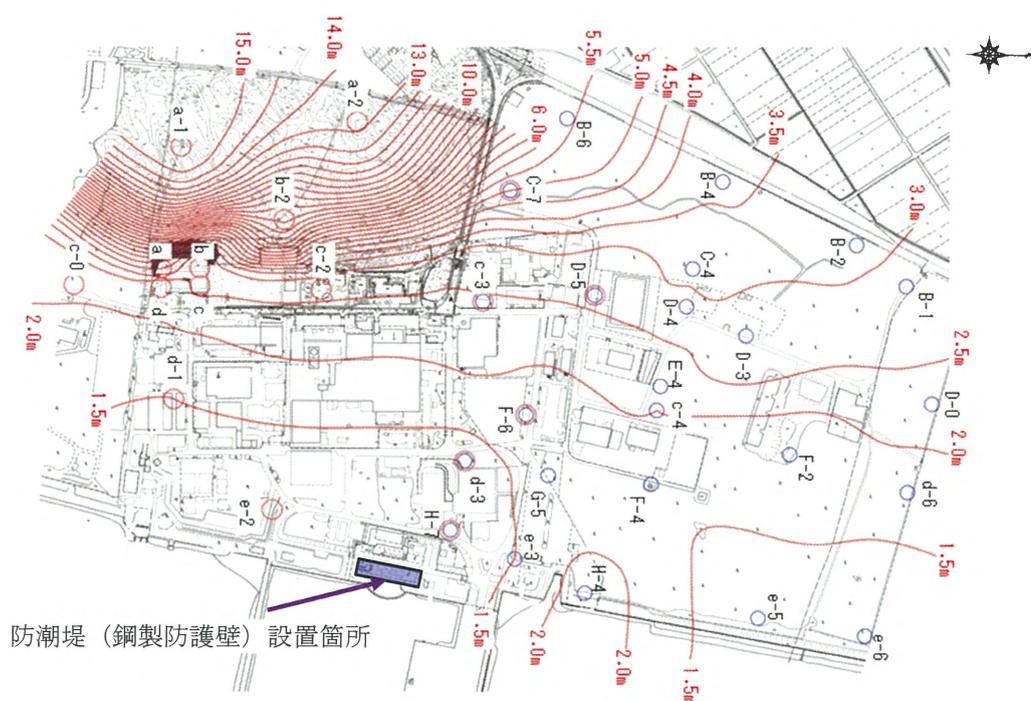


図 3.6-48 観測最高地下水位コンター図

c. 施工条件（施工機械の性能）

計画最大深度の地盤にて限界注入速度試験，試験施工を実施し，高静水圧・高拘束圧下において，均一な改良体が形成できる浸透注入が可能であることを確認した。試験施工の結果の詳細は3.6.6(2)a.(c)ホ.参照。

以上より，施工条件は適用性に問題ないことを確認した。

d. 外的要因（周辺施設の影響）

地盤改良（薬液注入）の外的要因（構造物直下への適用）に対する適用性（改良範囲への到達方法）を確認する。

既実施部の改良範囲及び断面位置図を図 3.6-49 に、地盤改良（薬液注入）の断面図（南北方向）を図 3.6-50 に、地盤改良（薬液注入）の断面図（東西方向）を図 3.6-51 に示す。

また、追加範囲の構造物の直下への施工法（注入孔配置）について、施工方法を図化し計画範囲の地盤改良が可能であることを確認する。

地盤改良は、図 3.6-52 に示すような施工段階 1, 2 により施工する。施工段階 1 では、改良範囲の側方に作業用立坑を設置し、立坑内より水平・斜め方向に地盤改良を実施することが可能である。施工段階 2 では、施工段階 1 完了後、作業用立坑を埋戻し当該箇所を通過するように斜め方向に地盤改良を実施することが可能である。

上記のように、計画範囲の地盤改良が可能であることを確認した。

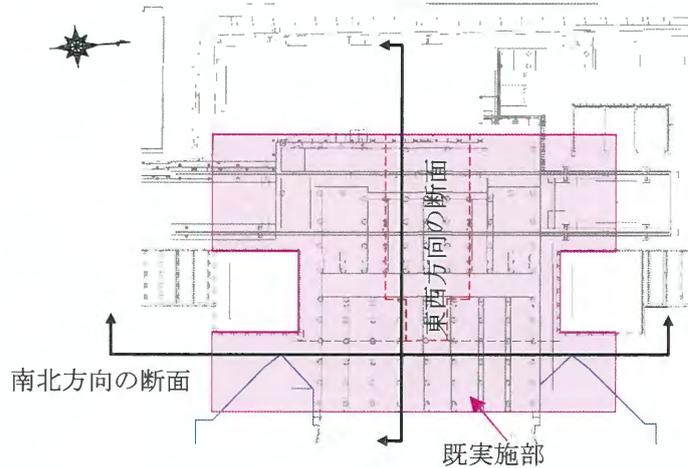


図 3.6-49 改良範囲及び断面位置図

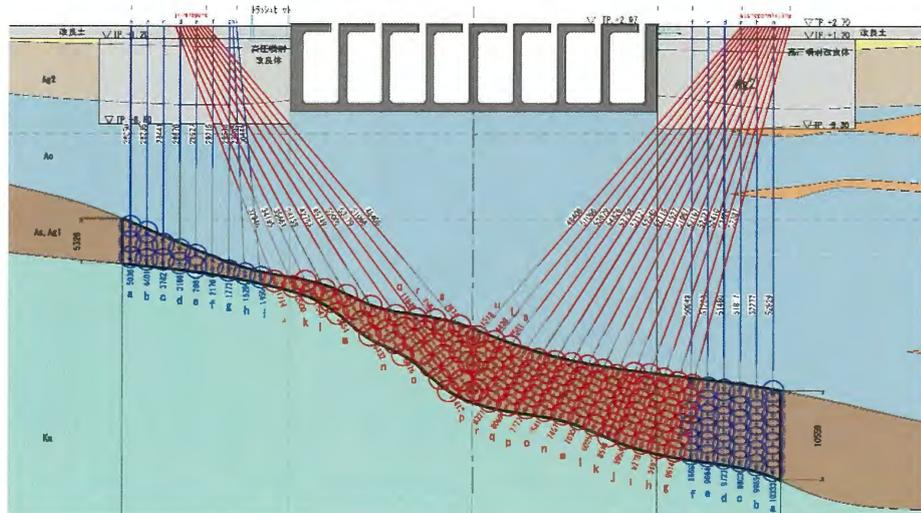


図 3.6-50 地盤改良（薬液注入）の断面図（南北方向）

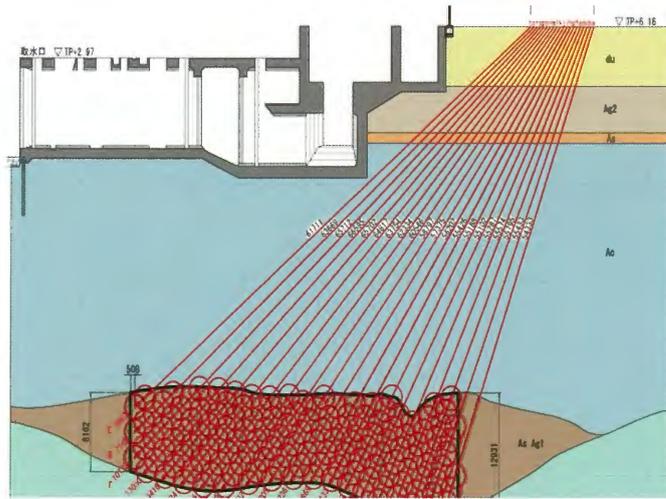
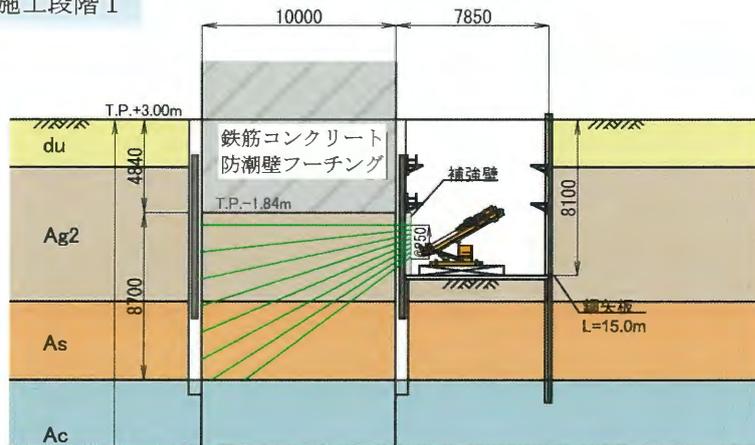


図 3.6-51 地盤改良（薬液注入）の断面図（東西方向）

施工段階 1



施工段階 2

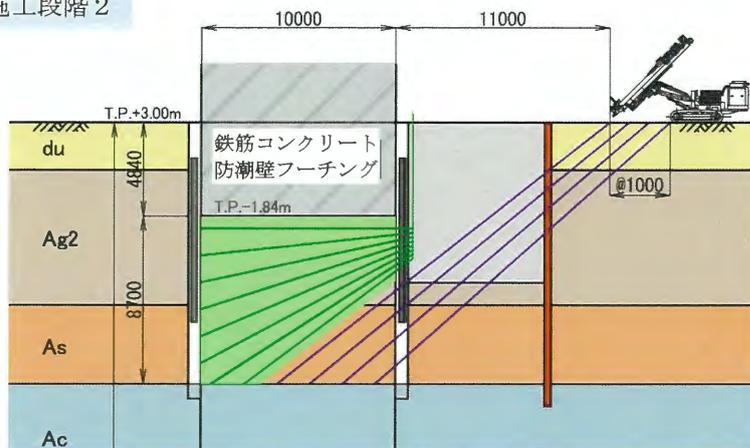


図 3.6-52 構造物直下の地盤改良の施工方法の例

(2) 地盤改良の不確かさの要因及び要求品質を満足するための対策方針

一次評価で抽出した地盤改良（薬液注入）の当該地点における改良品質の不確かさの要因及び要求品質を満足するための対策方針を表 3.6-22 に示す。

表 3.6-22 改良品質の不確かさの要因及び要求品質を満足するための対策方針

着目項目（要因）		想定される事象	対策方針
地盤条件	地質	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。
〃	地盤の材料	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（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。
施工条件	削孔	ボーリングの孔曲がりの影響により改良範囲が不足する可能性がある。	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、注入管の設置精度（ボーリングの削孔精度）の実績に基づき、地盤改良の配孔は改良範囲外縁部に施工誤差を考慮した配置を採用する。
〃	試料採取	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、採取試料の緩み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	室内配合試験と現場環境との相違	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、強度発現率及び現場割増係数を考慮し薬液濃度を設定する。
〃	試験データのばらつき	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について試験結果のばらつきを考慮した保守的な強度（平均値－標準偏差）を採用する。

液状化対策の浸透注入工法の計画から設計、施工、改良効果の確認までの流れを、図 3.6-53 に示す。

地盤改良（薬液注入）の改良品質の不確かさの要因に対し、要求品質を満足する工事を確実に実施するための方策として、表 3.6-22 の「対策方針」欄に示すとおり、工事の具体的な仕様（薬液の仕様決定、施工方法）を配合設計及び施工設計にて決定する。

本項目が設計へ影響を与えることなく、地盤改良（薬液注入）を確実に実施するための方策の確認として、以下に地盤改良（薬液注入）の「配合設計」及び「施工設計」が適切に実施されていることを確認する。

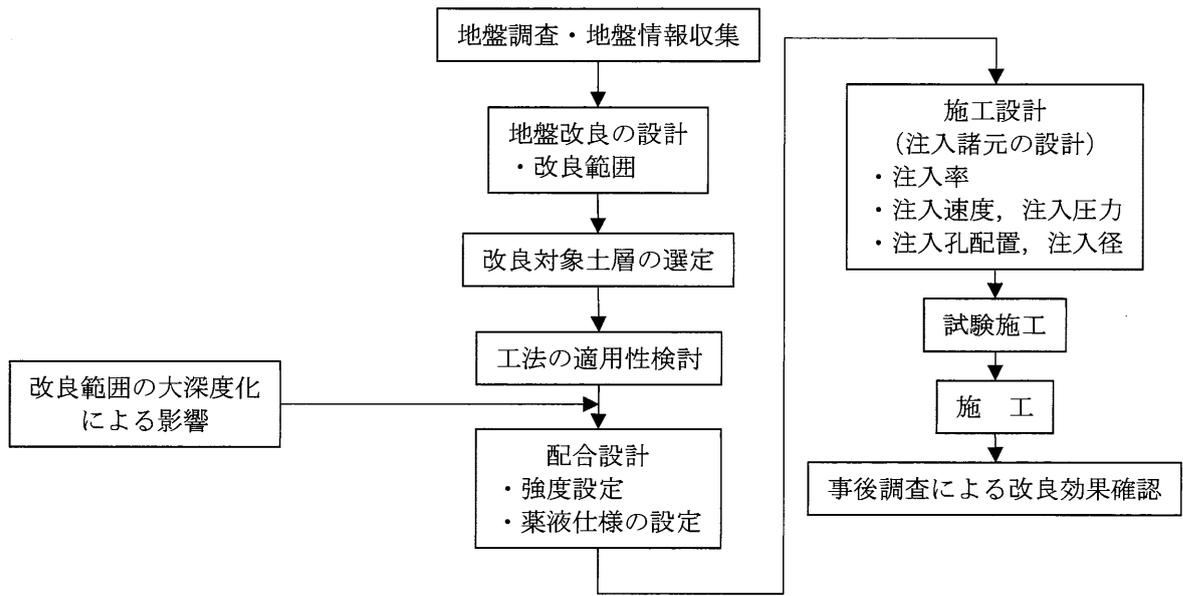


図 3.6-53 地盤改良（薬液注入）設計フロー

a. 配合設計

要求品質を満足する地盤改良（薬液注入）となるよう配合設計における改良品質の不確かさの要因への対策方針を確認する。

(a) 配合設計の流れ

配合設計フロー及び改良地盤に必要とする強度及び薬液配合設定について図 3.6-54 に示す。

①強度設定（地盤改良（薬液注入）の要求品質）

- ①-1 液状化検討対象の地盤を非液状化地盤とした2次元有効応力解析（解析コードFLIP）を実施し、各層の最大せん断応力比 $L_{max}(= \tau/\sigma'_{m0})$ を求める。
- ①-2 液状化安全率 (R_{L20}/L_{max}) を1とし改良後の地盤の液状化強度比を設定する。

②薬液仕様の設定

- ②-1 配合試験による液状化強度比と一軸圧縮強度、薬液濃度と一軸圧縮強度との関係をまとめる。
- ②-2 最大せん断応力比 L_{max} に相当する一軸圧縮強度（設計基準強度 q_{uck} ）及び配合目標強度 (q_{ul}) を設定する。

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

η ：現場割増係数 (=1.2) , κ ：強度発現率 (=0.6)

- ②-3 配合試験結果から配合目標強度を包含する試験の最小薬液濃度ケースを注入薬液濃度とする。

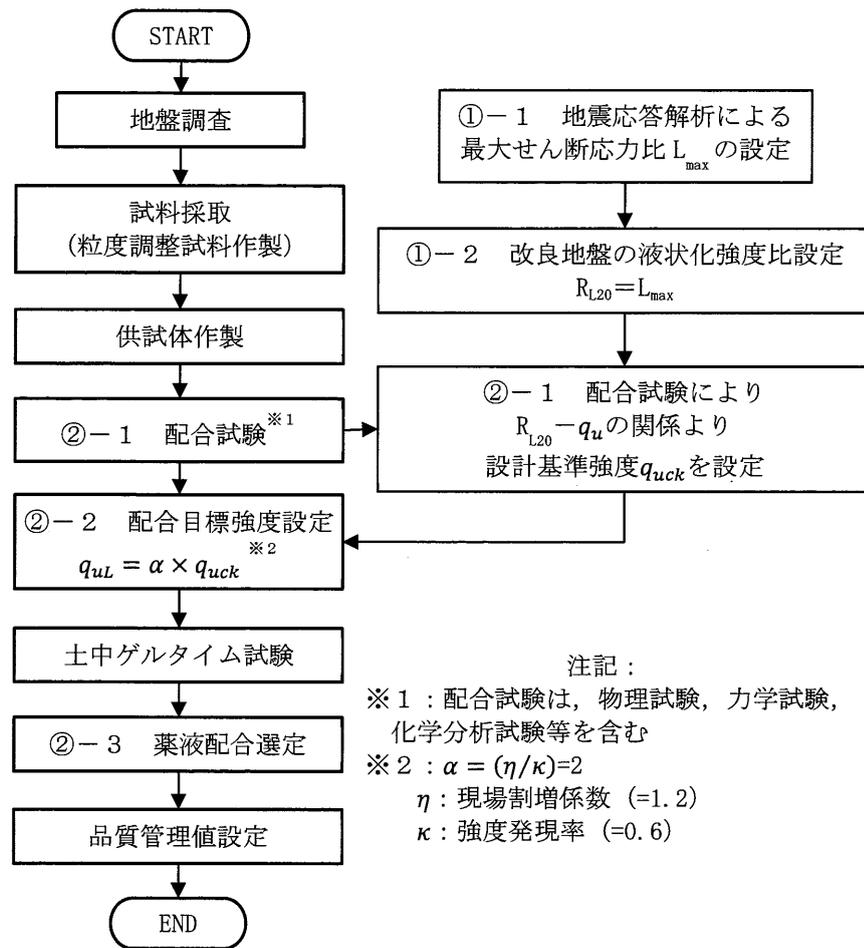


図 3.6-54 配合設計フロー³¹⁾

³¹⁾ 「浸透固化処理工法技術マニュアル，(財)沿岸開発技術研究センター，p.45，平成15年3月」に加筆

(b) 強度設定（地盤改良（薬液注入）の要求品質）

地盤改良（薬液注入）の要求品質は、想定する地震力に対し、対象範囲の地盤が液状化しないことである。具体的には、構造設計（地震応答等解析）から得られる最大せん断応力比に対し、改良地盤の液状化強度比がこれを上回ることをとする。

【最大せん断応力比 (L_{max}) の算定】

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

各土層の最大せん断応力比は、全ての地震動 S_s に対して実施する検討ケース①（基本ケース）において、最も大きいせん断応力比を示す地震動を用いて検討ケース②～⑥を実施する。その結果より、各土層の最大せん断応力比 (L_{max}) を設定する。

耐震評価における検討ケースを表 3.6-23 に、各土層の最大せん断応力比を表 3.6-24 に示す。また、最大せん断応力比出力位置（2次元FLIP解析モデル）を図 3.6-55 に、地盤のせん断応力時刻歴データとせん断応力比を図 3.6-56 に示す。

なお、地盤のせん断応力時刻歴データから発生する最大せん断応力比 L_{max} 算出方法は以下のとおり。

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

σ'_{m0} : t=0 における平均有効主応力

σ'_{v0} , σ'_{h0} : t=0 における鉛直、水平成分の有効主応力

τ_{max} : 動的せん断応力の時刻歴の最大値

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

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

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

求められた最大せん断応力比を表 3.6-25 に示す。

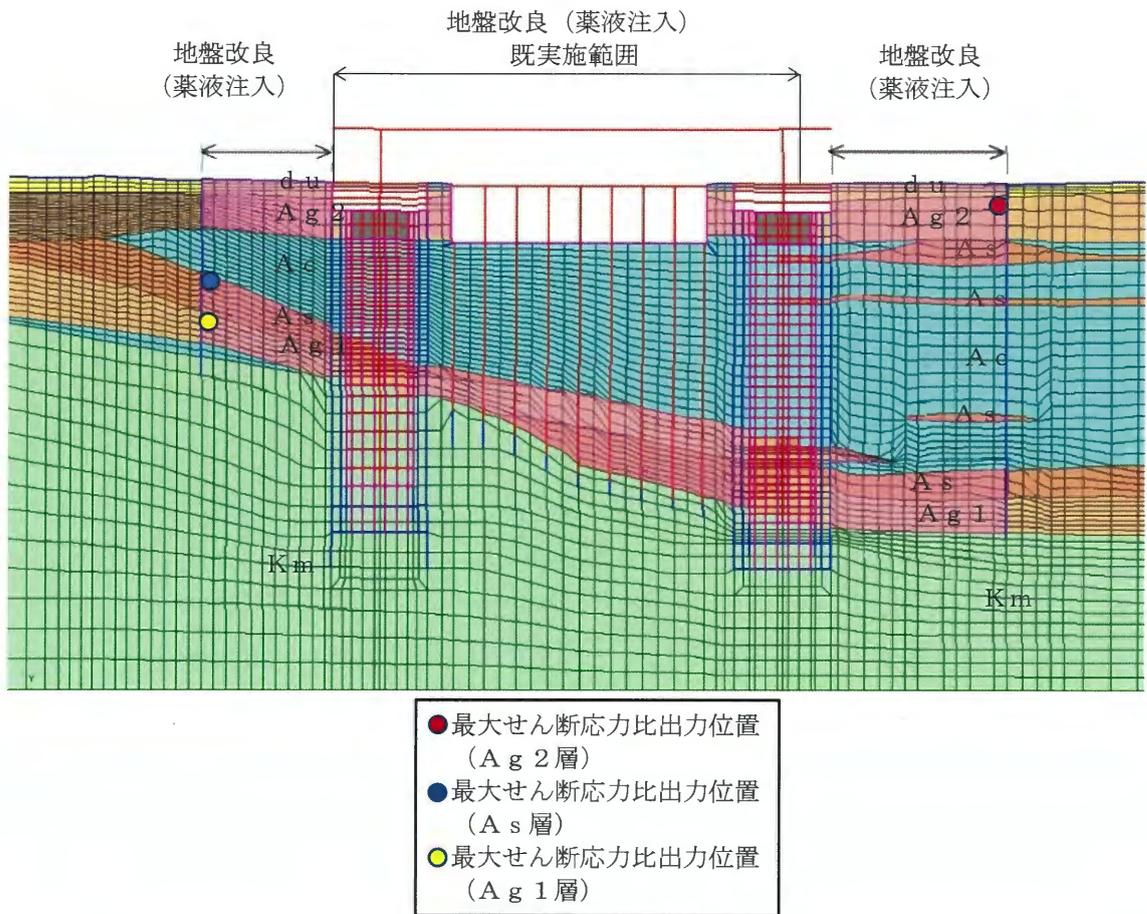


図 3.6-55 最大せん断応力比出力位置 (2次元FLIP解析モデル)

表 3.6-23 耐震評価における検討ケース

検討ケース		①	②	③	④	⑤	⑥	
原地盤	地盤剛性の設定	原地盤のせん断波速度	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(+1σ)	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(-1σ)	敷地に存在しない豊浦標準砂のせん断波速度	原地盤のせん断波速度	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(+1σ)	
	液状化強度特性の設定	原地盤に基づく液状化強度特性(-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性(-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性(-1σ)	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用	
地盤改良体 (棄液注入)	地盤剛性の設定	原地盤のせん断波速度	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(+1σ)	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(-1σ)	敷地に存在しない豊浦標準砂のせん断波速度	原地盤のせん断波速度	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(+1σ)	
	液状化強度特性の設定	非液状化	非液状化	非液状化	非液状化	非液状化	非液状化	
地震動 (位相)	S _s -D 1	(H+V+)	実施	—	—	—	—	—
		(H+V-)	実施	—	—	—	—	—
		(H-V+)	実施	—	—	—	—	—
		(H-V-)	実施	—	—	—	—	—
	S _s -1 1		実施	全ての基準地震動 S _s に対して実施する①の解析ケース(基本ケース)において、最も大きいせん断応力比を示す地震動を用いて検討ケース②~⑥を実施し、各土層の最大せん断応力比を設定する。				
	S _s -1 2		実施					
	S _s -1 3		実施					
	S _s -1 4		実施					
	S _s -2 1		実施	—	—	—	—	—
	S _s -2 2		実施	—	—	—	—	—
S _s -3 1	(H+V+)	実施	実施	実施	実施	実施	実施	
	(H-V+)	実施	—	—	—	—	—	

表 3.6-24 最大せん断応力比

検討 ケース	地震動	南基礎側				北基礎側				
		d u	A g 2	A s	A g 1	d u	A g 2	A s (浅部)	A s (深部)	A g 1
①	S _s -D 1 (H+V+)	0.37	0.47	0.56	0.45	0.47	0.56	0.51	0.52	0.52
	S _s -D 1 (H+V-)	0.36	0.47	0.56	0.45	0.47	0.56	0.51	0.54	0.52
	S _s -D 1 (H-V+)	0.37	0.51	0.57	0.49	0.46	0.55	0.49	0.46	0.52
	S _s -D 1 (H-V-)	0.38	0.50	0.57	0.49	0.47	0.54	0.50	0.46	0.53
	S _s -1 1	0.37	0.43	0.48	0.37	0.50	0.53	0.42	0.37	0.43
	S _s -1 2	0.39	0.44	0.58	0.45	0.51	0.50	0.51	0.49	0.52
	S _s -1 3	0.38	0.46	0.58	0.46	0.49	0.53	0.52	0.47	0.50
	S _s -1 4	0.37	0.45	0.51	0.39	0.49	0.51	0.50	0.40	0.42
	S _s -2 1	0.37	0.47	0.61	0.44	0.47	0.57	0.52	0.46	0.52
	S _s -2 2	0.35	0.48	0.51	0.38	0.43	0.49	0.51	0.38	0.44
	S _s -3 1 (H+V+)	0.47	0.57	0.64	0.49	0.58	0.56	0.51	0.50	0.56
S _s -3 1 (H-V+)	0.46	0.55	0.64	0.51	0.61	0.62	0.54	0.49	0.49	
②	S _s -3 1 (H+V+)	0.50	0.59	0.65	0.50	0.59	0.58	0.53	0.53	0.57
③	S _s -3 1 (H+V+)	0.43	0.55	0.62	0.48	0.55	0.54	0.49	0.47	0.55
④	S _s -3 1 (H+V+)	0.25	0.43	0.61	0.55	0.32	0.41	0.51	0.50	0.57
⑤	S _s -3 1 (H+V+)	0.47	0.55	0.61	0.57	0.64	0.58	0.50	0.50	0.56
⑥	S _s -3 1 (H+V+)	0.51	0.56	0.62	0.58	0.65	0.59	0.52	0.53	0.56
最大値		0.51	0.59	0.65	0.58	0.65	0.62	0.54	0.54	0.57

当該地盤改良（薬液注入）対象土層はA g 2層，A s層，A g 1層であり，表 3.6-24の南基礎側，北基礎側の各土層の最大値を最大せん断応力比とした。表 3.6-25に各土層の最大せん断応力比を示す。次節以降に示す配合設計における要求品質は，表 3.6-25に示す値を採用する。

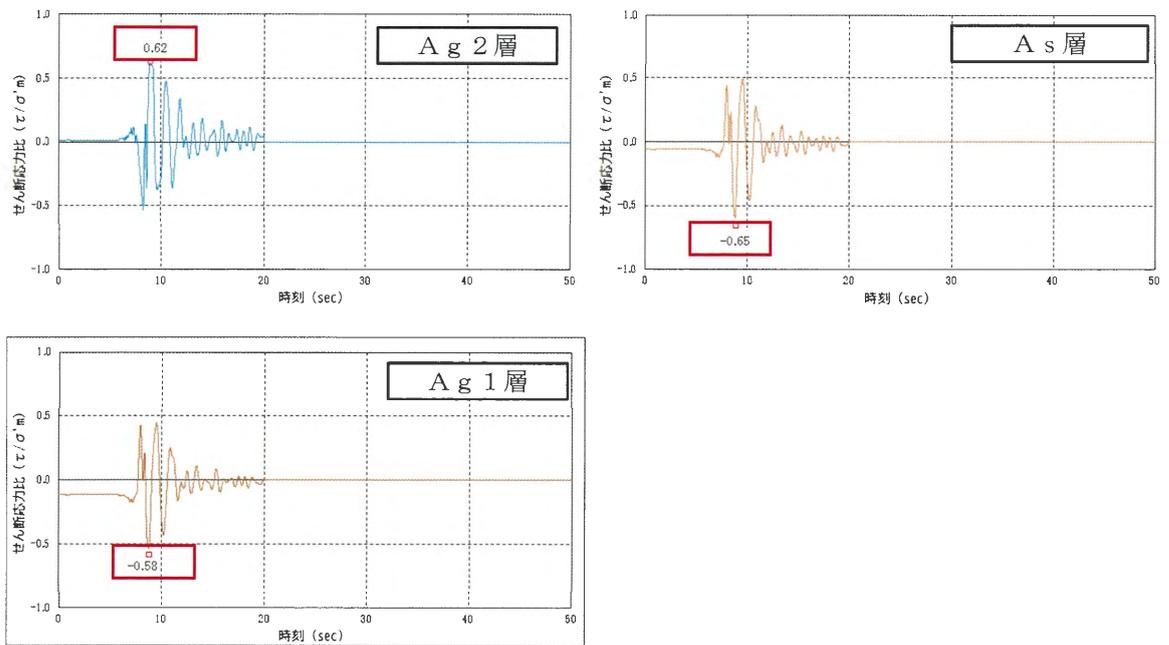


図 3.6-56 各土層のせん断応力時刻歴データ

表 3.6-25 2次元FLIP解析による地盤内の最大せん断応力比

層区分	最大せん断応力比 L_{max}	要求品質(液状化強度比)
A g 2	0.62	左記(0.62)値以上
A s	0.65	左記(0.65)値以上
A g 1	0.58	左記(0.58)値以上

(c) 薬液仕様の設定

イ. 配合試験

地盤改良（薬液注入）の配合試験は現地にて採取した試料を用いて供試体を作製し、濃度の異なる薬液により改良した後、その供試体で各種力学試験を実施し、薬液濃度と強度増加の関係を調査する。

配合試験においては、土の物理試験（土粒子の密度、粒度、含水比等）、一軸圧縮強度試験、中空繰返しねじりせん断試験³²⁾（A g 2層、A s層）、繰返し三軸試験³³⁾（A g 1層）を実施した（図 3.6-57、写真 3.6-9 及び写真 3.6-10 参照）。また、力学試験後は供試体から採取した試料を用いてシリカ含有量試験³⁵⁾を実施した。各試験は、地盤工学会の基準³⁴⁾及び浸透固化処理工法技術マニュアル³⁵⁾を適用した。

供試体の作製³⁶⁾は、炉乾燥した試料を空气中落下法で目標相対密度になるようにモールド内に締固めた後、脱気した水を供試体下部から上部方向に通水させる飽和過程、原地盤の土被り圧の载荷の順に行った。その後、飽和過程と同様、薬液を供試体下部から上部の方に浸透させ、薬液注入を実施した。作製した供試体のモールドは 28 日間一定の水温で水中養生した後、脱型して試験を実施した。

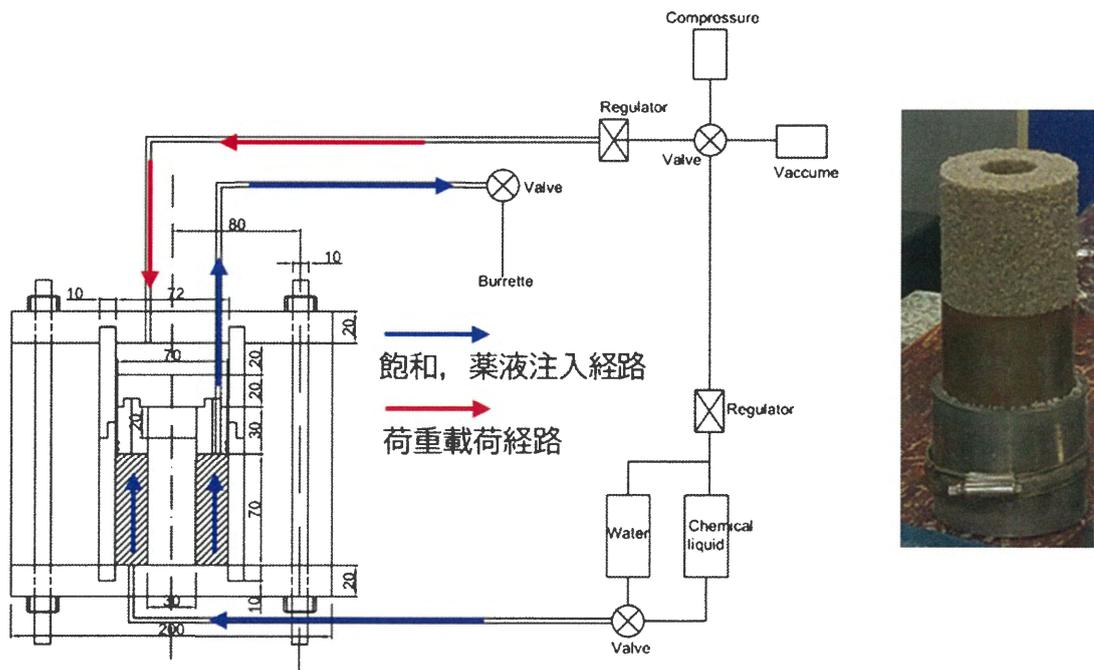


図 3.6-57 中空繰返しねじりせん断試験用供試体作製装置及び供試体成型状況

³²⁾ JGS 0543-2000 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
³³⁾ JGS 0541-2020 土の繰返し非排水三軸試験方法
³⁴⁾ 地盤材料試験の方法と解説，公益社団法人地盤工学会
³⁵⁾ 浸透固化処理工法技術マニュアル，(財)沿岸開発技術研究センター，平成 15 年 3 月
³⁶⁾ JGS 0524-2020 土の圧密排水(CD)三軸圧縮試験方法



写真 3.6-9 中空繰返しねじりせん断試験状況



写真 3.6-10 繰返し非排水三軸試験状況

既実施配合試験及び防潮堤（鋼製防護壁）構築のための配合試験において試料採取した位置を図 3.6-58 に示す。

供試体の作製にあたっては、「地盤の不均一性（粒度分布）による強度特性（液状化強度特性）の不確かさ」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粒度分布（液状化しやすい粒度分布）に合わせて粒度調整試料を採用する。

防潮堤（鋼製防護壁）構築のために実施した配合試験試料の粒度調整後の粒径加積曲線、敷地内での採取試料の粒径加積曲線を図 3.6-59 から図 3.6-61 に示す。

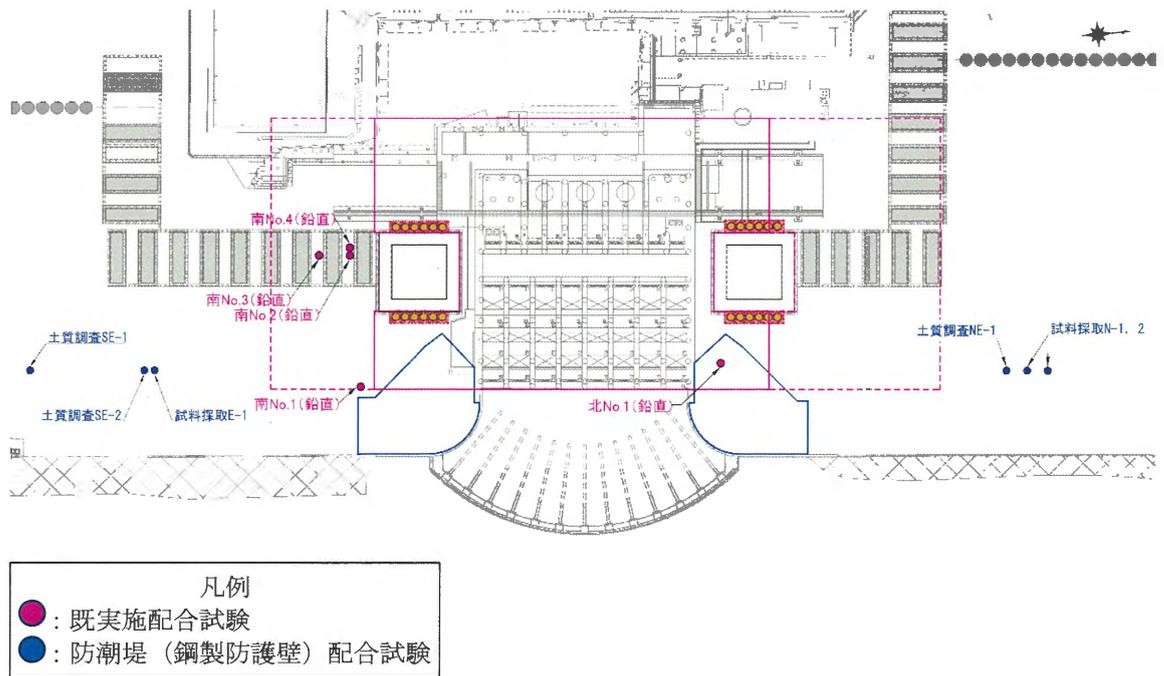


図 3.6-58 配合試験用の試料採取箇所

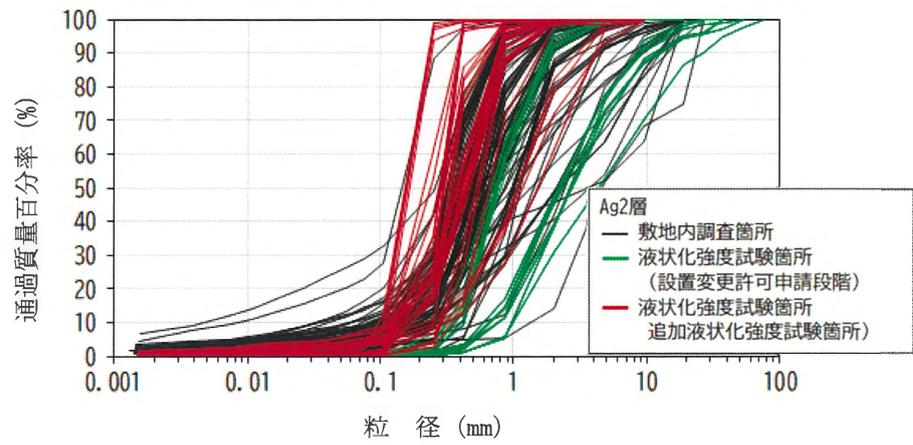
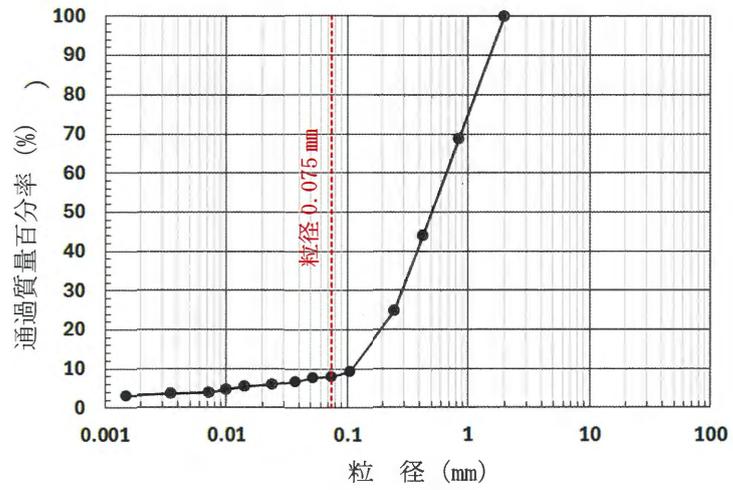


図 3.6-59 配合試験試料の粒度調整後の粒径加積曲線 (A g 2層)

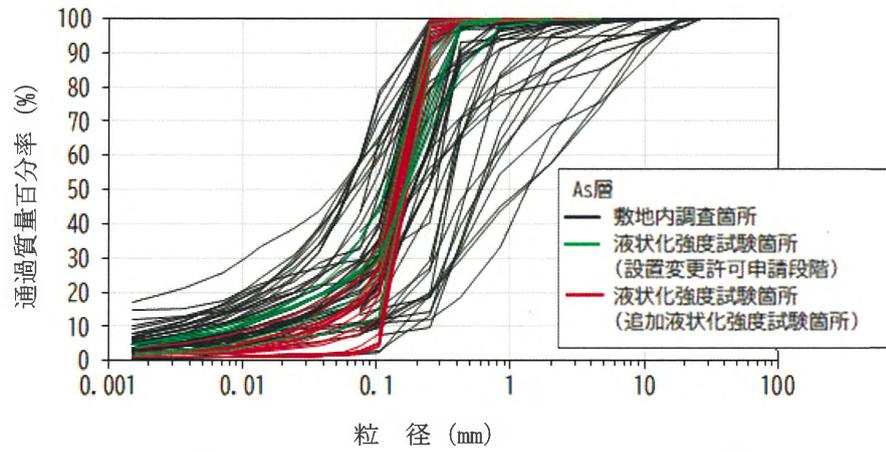
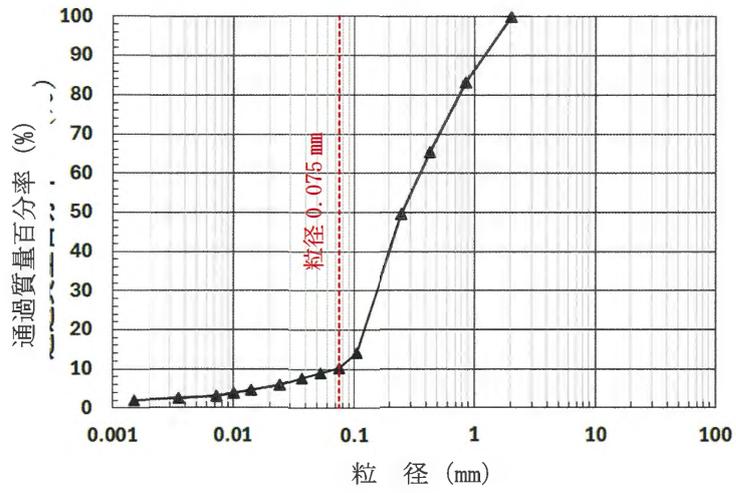


図 3.6-60 敷地内での採取試料の粒径加積曲線 (A s 層)

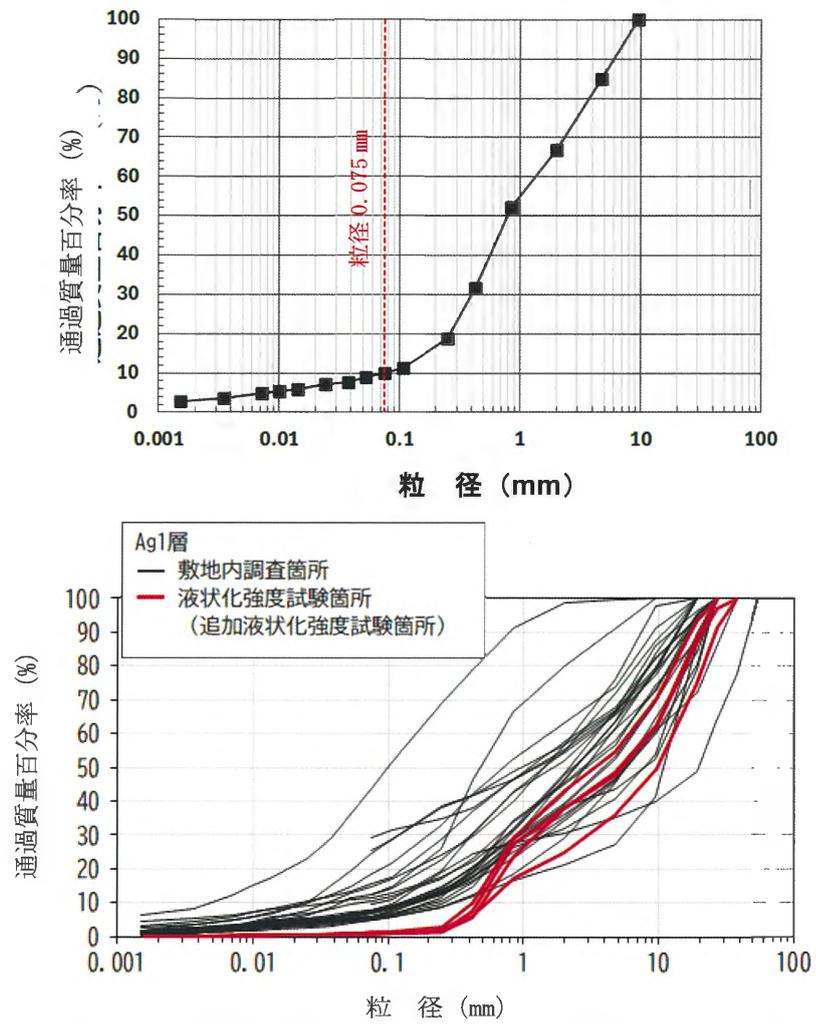


図 3.6-61 敷地内での採取試料の粒径加積曲線 (A g 1層)

ロ. 配合試験結果（薬液濃度と一軸圧縮強度，液状化強度比の関係）

各土層で実施した一軸圧縮試験結果を図 3.6-62 に示す。

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

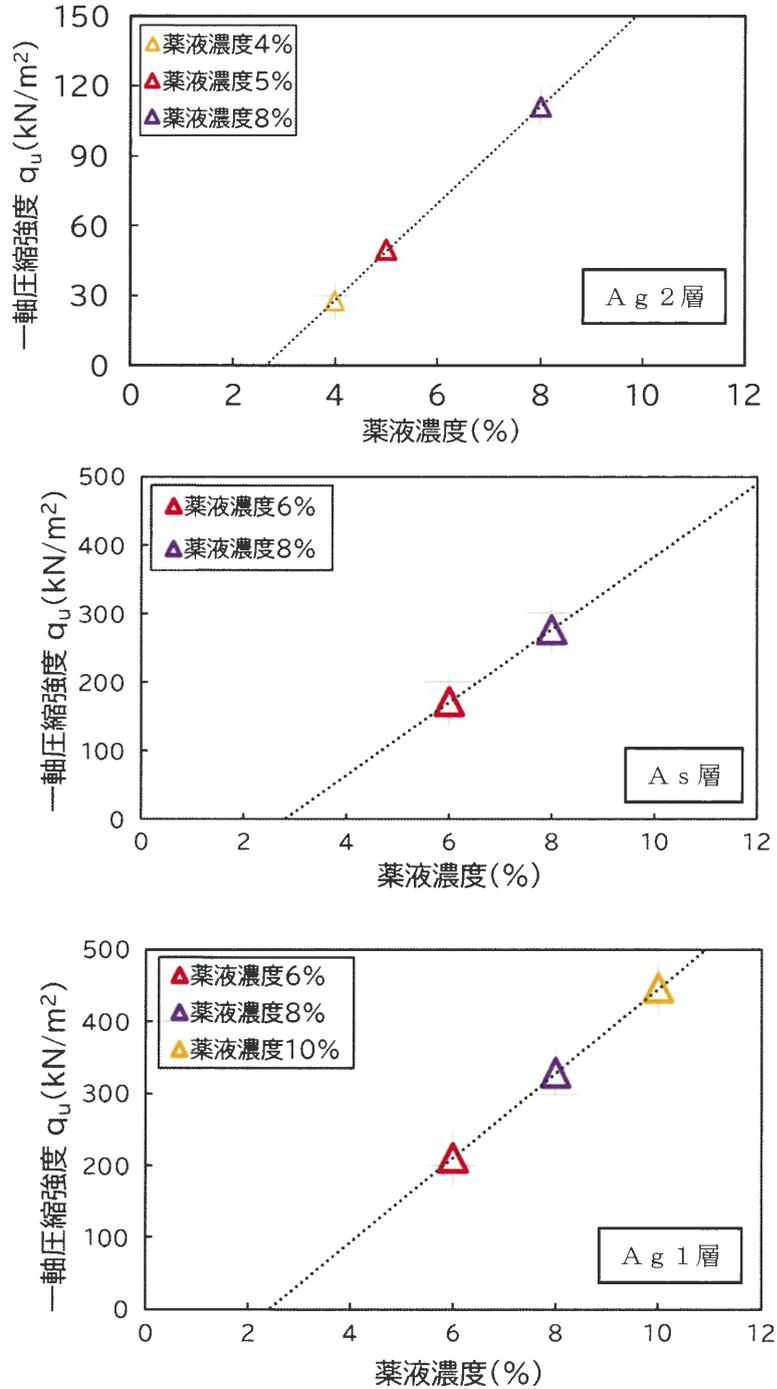


図 3.6-62 薬液濃度と一軸圧縮強度関係

各土層で実施した液状化強度試験結果を図 3.6-63 から図 3.6-65 に示す。

A g 2 層の液状化強度試験（中空繰返しねじりせん断試験）結果を図 3.6-63 に示す。薬液を注入した供試体の液状化強度試験結果は、概ね薬液濃度の順に大きくなっている。また、ばらつきを考慮（平均 -1σ ）した液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$ は、薬液濃度の増加とともに大きくなることを確認した。

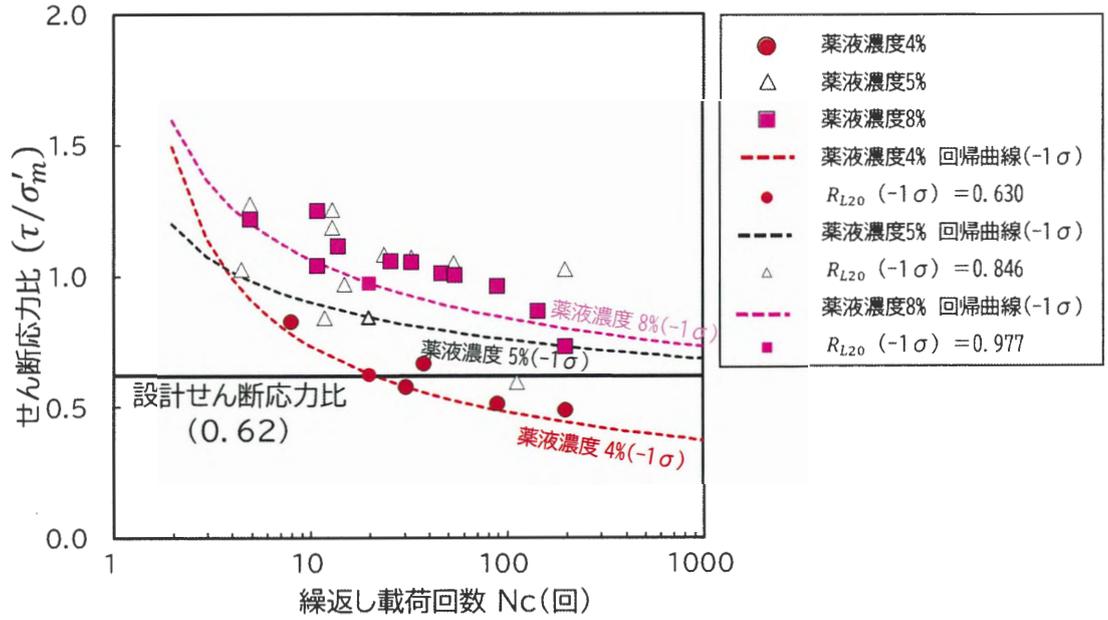


図 3.6-63 A g 2 層の液状化強度試験（中空繰返しねじりせん断試験）結果

A s 層の液状化強度試験（中空繰返しねじりせん断試験）結果を図 3.6-64 に示す。薬液を注入した供試体の液状化強度試験結果は、概ね薬液濃度の順に大きくなっている。また、ばらつきを考慮（平均 -1σ ）した液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$ は、薬液濃度の増加とともに大きくなることを確認した。

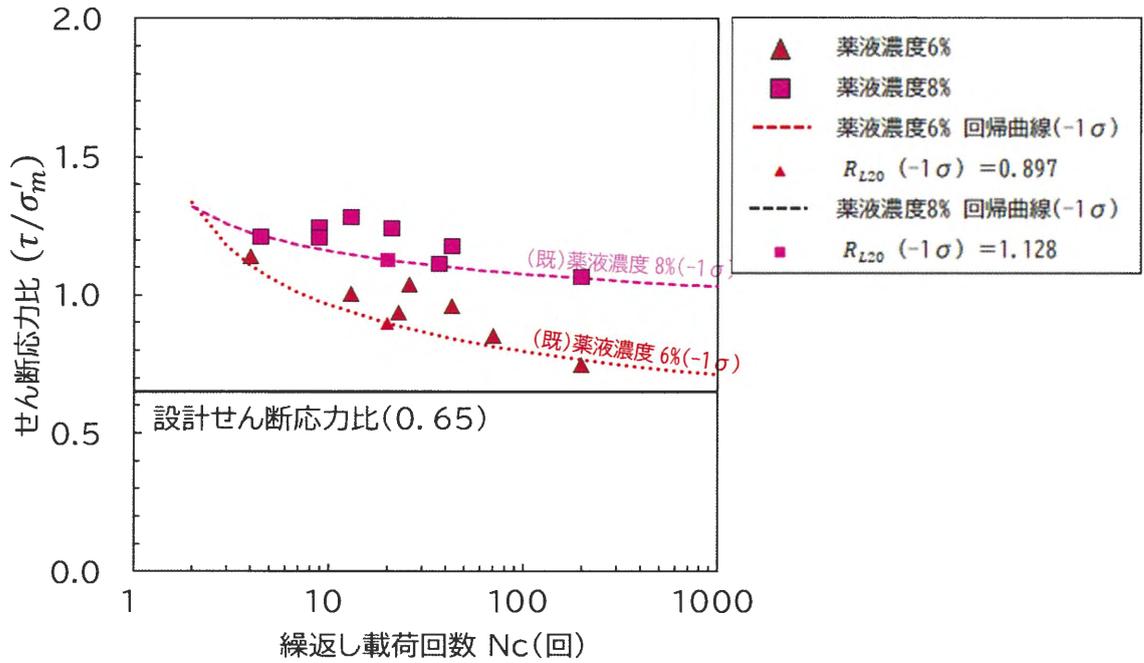


図 3.6-64 A s 層の液状化強度試験（中空繰返しねじりせん断試験）結果

A g 1 層の液状化強度試験（繰返し非排水三軸試験）結果を図 3.6-65 に示す。薬液を注入した供試体液状化強度試験結果は、薬液濃度の順に大きくなっている。また、ばらつきを考慮（平均 -1σ ）した液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$ は、薬液濃度の増加とともに大きくなることを確認した。

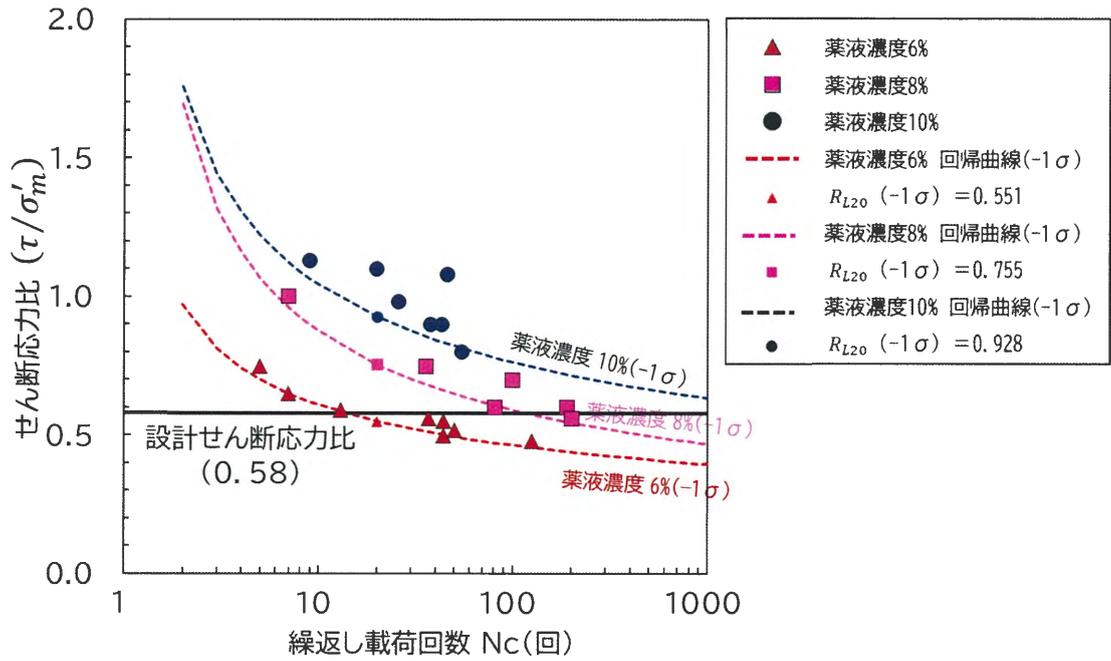


図 3.6-65 A g 1 層の液状化強度試験（繰返し非排水三軸試験）結果

「試験データのばらつき」への対策として、品質目標である液状化強度比について試験結果のばらつきを考慮した保守的な強度（平均値－標準偏差）を採用する。

薬液濃度と液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$ の関係を図 3.6-66 に示す。

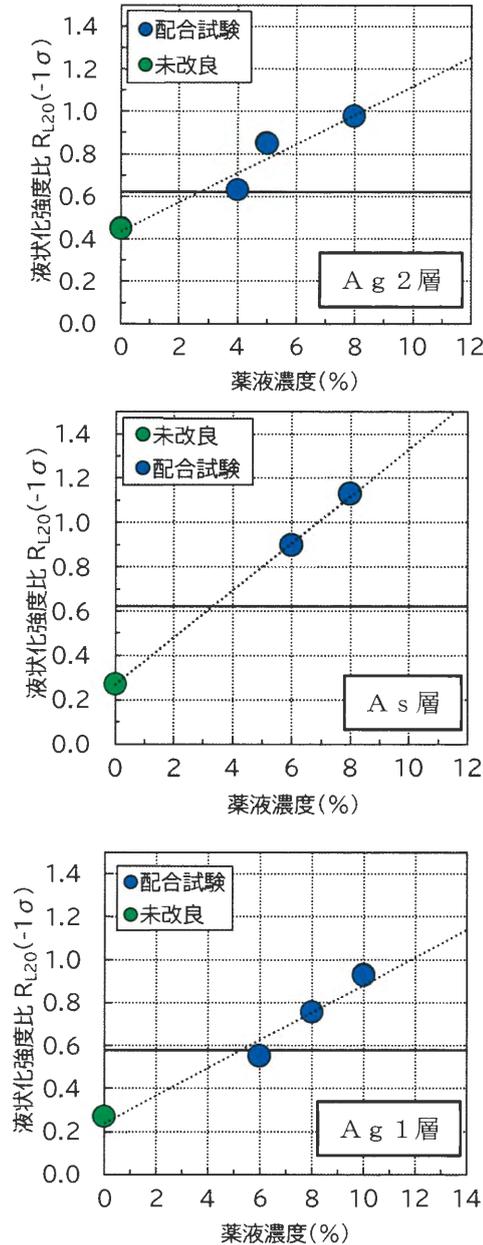


図 3.6-66 薬液濃度と液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$ の関係

一軸圧縮強度試験結果及び液状化強度試験結果から、薬液の濃度を基準として、両者の相関を整理する。なお、この相関の整理においても、試験結果のばらつきを考慮し、保守的となるよう液状化強度比は平均から標準偏差を引いた値を用いる。この関係から設計せん断応力比（最大せん断応力比）に相当する一軸圧縮強度（設計基準強度 q_{uck} ）を求める。

一軸圧縮強度と液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$ の関係を図 3.6-67 に示す。

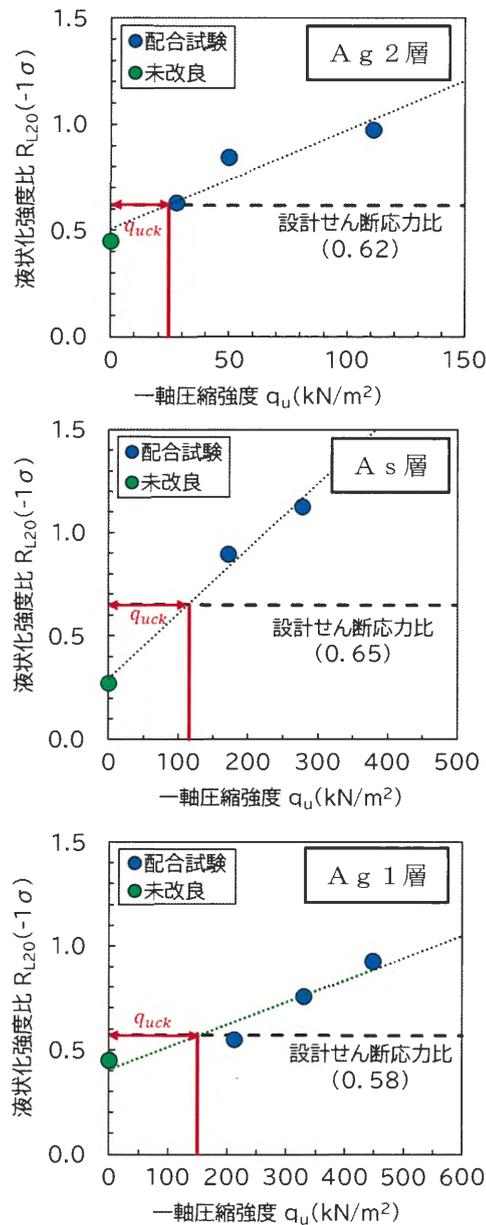


図 3.6-67 一軸圧縮強度と液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$ の関係

ハ. 現場強度発現率を考慮した薬液濃度の決定

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

原地盤での地盤改良（薬液注入）においては、山崎ら³⁷⁾は一次元注入試験装置を用いて浸透距離 (L) を浸透到達距離 (L_0) で無次元化した (L/L_0) と一軸圧縮強度 q_u 、シリカ含有量、強度発現率について検討を行い、地下水による希釈の影響を考慮しての強度（配合目標強度）を定める必要があるとしている（図 3.6-68 参照）。また、配合目標強度は、設計基準強度に対して浸透注入時の強度発現率を0.6とし、安全率を考慮した改良強度としている（下記の算定式のとおり）。ここで、 q_{ul} は配合目標強度、 q_{uck} は設計基準強度、 κ は強度発現率（0.6）、 η は現場割増係数（1.2）である。

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

なお、浸透到達距離 L_0 は間隙を100%改良と仮定してある注入量 Q の薬液を浸透注入させたときの理論的な到達距離であり、図 3.6-68 は同条件で実験により実際の浸透距離 L の位置での一軸圧縮強さ等を測定した結果を示している。なお、浸透到達距離 L_0 は次式にて求められる。

$$L_0 = (Q \cdot n)/(100/A) \quad \text{：一次元の場合}$$

Q ：薬液の注入量、 n ：間隙率(%), A ：試験注入管の断面積

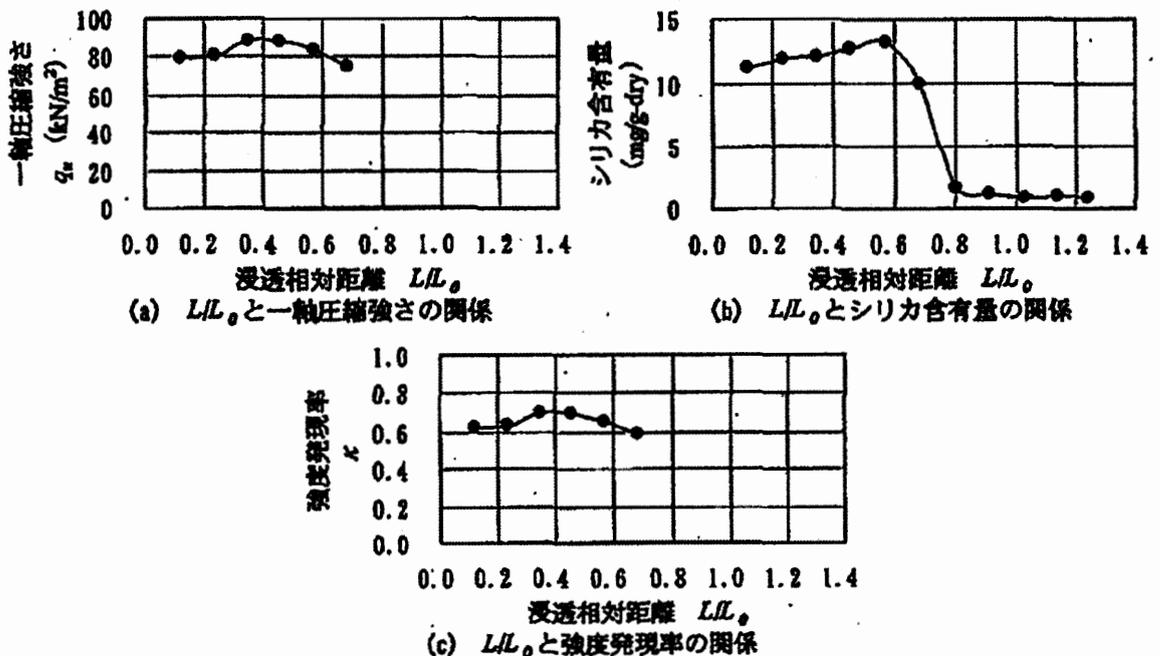


図 3.6-68 一次元浸透注入試験結果³⁷⁾

³⁷⁾ 山崎浩之, 善功企, 河村健輔: 溶液型薬液注入工法の液状化対策への適用, 港湾空港技術研究所報告, 第41巻, 第2号, pp.119~151, 2002.6.

この一軸圧縮強度（配合目標強度 q_{ul} ）に相当する薬液濃度を算定し、この結果から薬液濃度を設定する。各土層の液状化強度比と一軸圧縮強度の関係及び設計基準強度（ q_{uck} ），配合目標強度（ q_{ul} ）の設定を図 3.6-69，薬液濃度の算定を図 3.6-70 に示す。各土層の最大せん断応力比より必要な配合目標強度に対応する注入薬液仕様は，A g 2層で 5%，A s 層及び A g 1層で 8%と設定する。

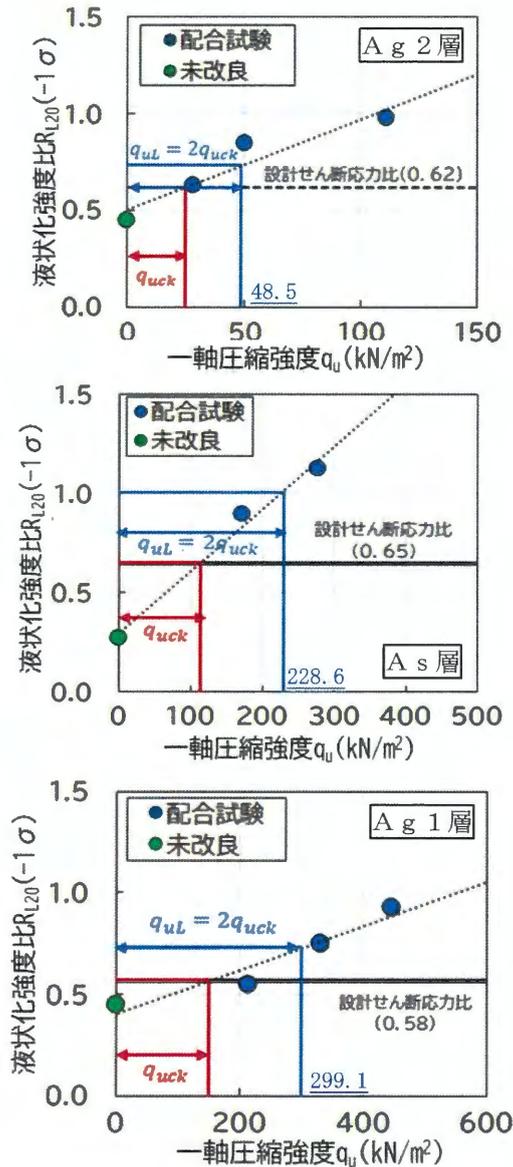


図 3.6-69 配合目標強度の設定

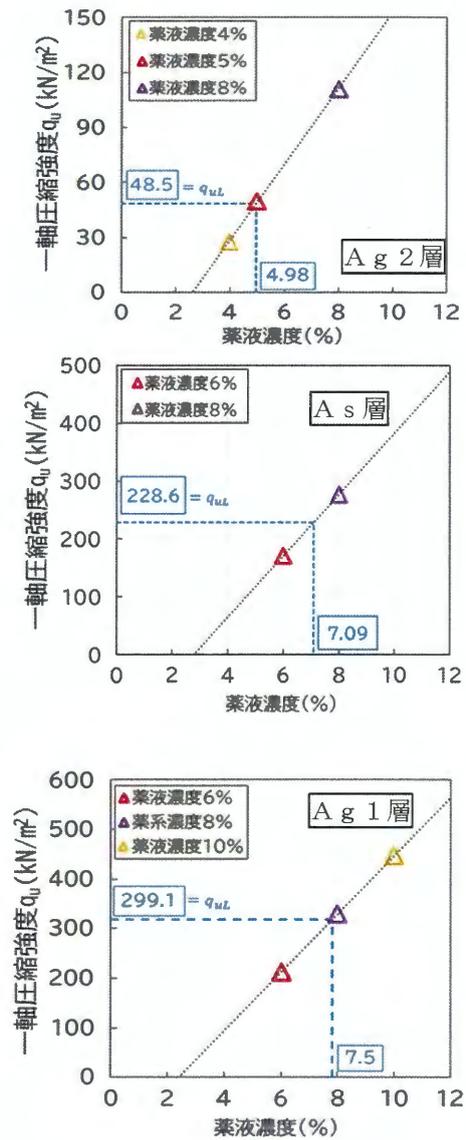


図 3.6-70 薬液濃度の算定

二. 品質管理値の設定（シリカ含有量増分量，液状化強度比の関係）

改良体の品質は，改良施工後の地盤において調査ボーリングにより乱れが少ない試料を採取し，一軸圧縮強度で評価することを標準としている。しかし，防潮堤（鋼製防護壁）周辺地盤の改良範囲においては，G.L. -60 mの大深度地盤を対象としており，試料採取時の土被り圧の解放，サンプラーとの摩擦による乱れの影響は大きく，また礫を多く含有するA_g 2層，A_g 1層や細粒分を多く含有するA_s層の土質特性を考慮すると一軸圧縮強度では正確な評価が困難となることが予想される（既実施箇所の試験結果を3.6.9（2）に示す）。このため，試料採取時の試料の乱れの影響を受けないシリカ含有量（シリカ含有量増分量）を改良品質確認のための指標とし，その管理値を表3.6-26に示すとおり設定する。なお，地盤改良体（薬液注入）のシリカ含有量増分量は以下の式で算定する。

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

表3.6-26は各層の未改良及び配合試験試料の液状化強度比及びシリカ含有量，図3.6-71は各層のシリカ含有量増分量と液状化強度比の関係，表3.6-27は各層のシリカ含有量増分量の管理値，図3.6-72は原地盤（未改良）のシリカ含有量の試料採取箇所位置を示す。

各層の未改良及び配合試験試料の液状化強度比及びシリカ含有量より，薬液濃度を基準としてシリカ含有量増分量と液状化強度比の関係を整理し（図3.6-71参照），各層の最大せん断応力比 L_{max} 以上となる液状化強度比に相当するシリカ含有量増分量を算定し，管理値として設定する（表3.6-27参照）なお，試験結果のばらつきを考慮し，液状化強度比については平均から標準偏差を引いた値を用いる。

図3.6-71に示すように，各土質における各薬液濃度のシリカ含有量増分量と液状化強度比は相関があり，設計基準強度より設定したシリカ含有量増分量を設計に採用しているため，設計上の想定への影響がないことを確認した。

なお，調査数量は，実績のある基準）に基づき，改良対象土層 5,000 m³未満は調査ボーリング3本，5,000 m³以上は2,500 m³増えることに1本追加することとする。事後ボーリング調査の実施例を図3.6-73に示す。

表 3.6-26 各層の未改良及び配合試験試料の液状化強度比及びシリカ含有量

	項 目	A g 2 層			A s 層		A g 1 層		
未改良	原地盤の液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$	0.450			0.271		0.450		
	原地盤のシリカ含有量 (mg/g)	0.765			1.988		2.033		
	原地盤のシリカ含有量の 試料数	6 個			17 個		15 個		
配合試験	薬液濃度	4 %	5 %	8 %	6 %	8 %	6 %	8 %	10 %
	改良体の液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$	0.630	0.846	0.977	0.897	1.128	0.551	0.755	0.928
	改良体のシリカ含有量 (mg/g)	8.027	10.000	17.000	15.000	20.000	11.579	19.750	22.667
	改良体のシリカ含有量の 試料数	5 個	1 個*	1 個*	1 個*	1 個*	5 個	5 個	7 個
	改良体のシリカ含有量増 分量 (mg/g)	7.262	9.235	16.235	13.012	18.012	9.546	17.717	20.634

※試料数 1 個の箇所は、一軸圧縮強度試験の 3 供試体の中間の値の供試体から採取した試料を採用している。

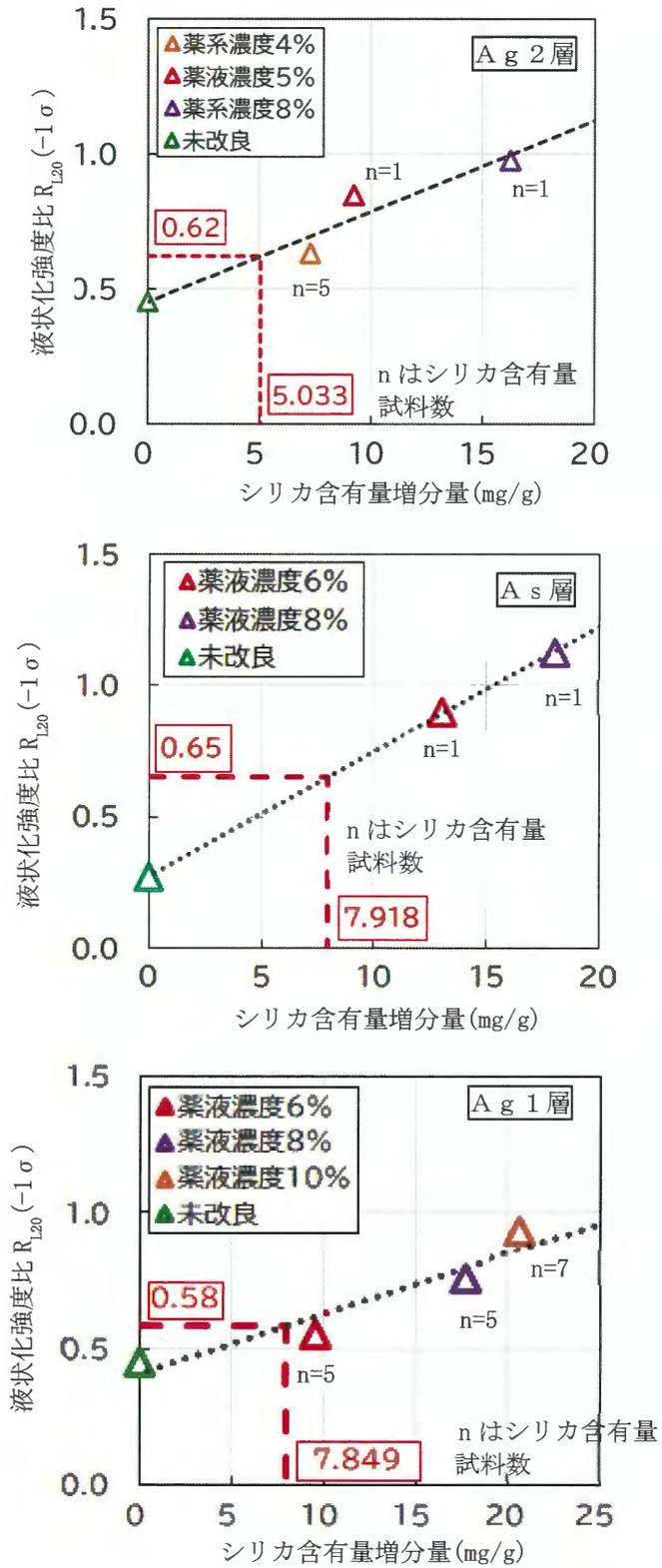


図 3.6-71 各層のシリカ含有量増分量と液状化強度比の関係

表 3.6-27 各層のシリカ含有量増分量の管理値

地層	A g 2 層	A s 層	A g 1 層
最大せん断応力比 L_{max}	0.62	0.65	0.58
要求される液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$	0.62 以上	0.65 以上	0.58 以上
管理値：シリカ含有量増分量 (mg/g)	5.033 以上	7.918 以上	7.849 以上

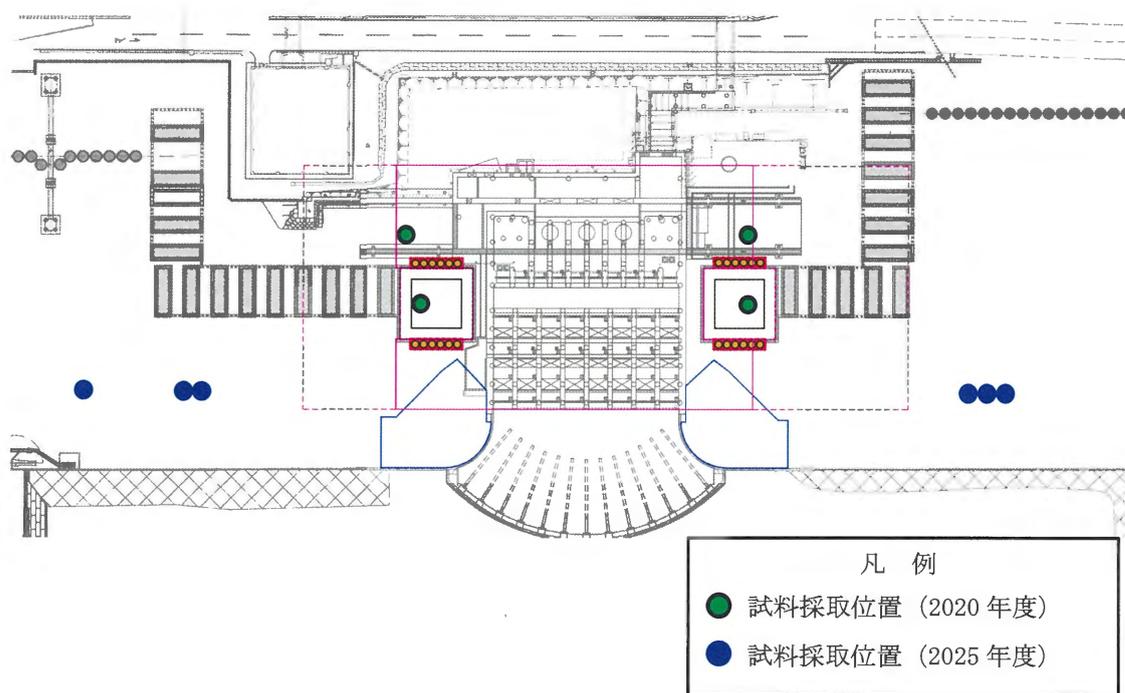


図 3.6-72 原地盤（未改良）のシリカ含有量の試料採取箇所位置図

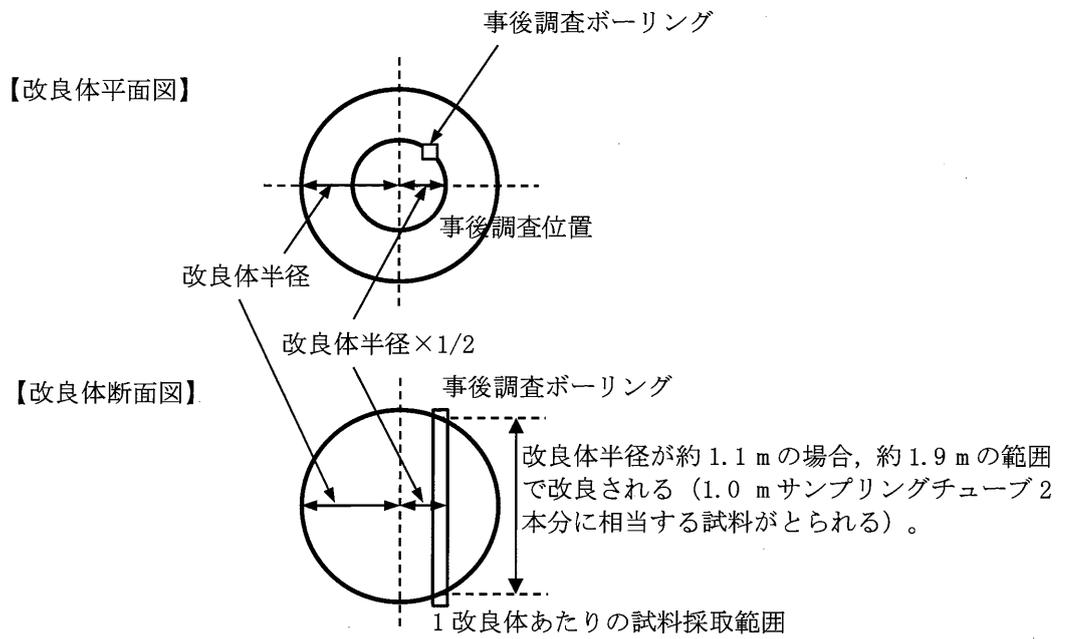


図 3.6-73 事後ボーリング調査実施例

ホ. 既実施箇所の施工結果

地盤改良（薬液注入）の既実施箇所の事後調査ボーリング実施箇所を図 3.6-74 に、シリカ含有量増分値測定結果を図 3.6-75 に示す。シリカ含有量増分量は、防潮堤（鋼製防護壁）で設定する設計管理値を満足する結果であった。

また、計画最大深度の地盤にて実施した試験施工の結果を表 3.6-28 に示す。試験施工の結果は要求品質を満足しており、高水圧・高拘束圧下に分布するAs層・Ag1層でも適切な改良効果が得られていることを確認した。

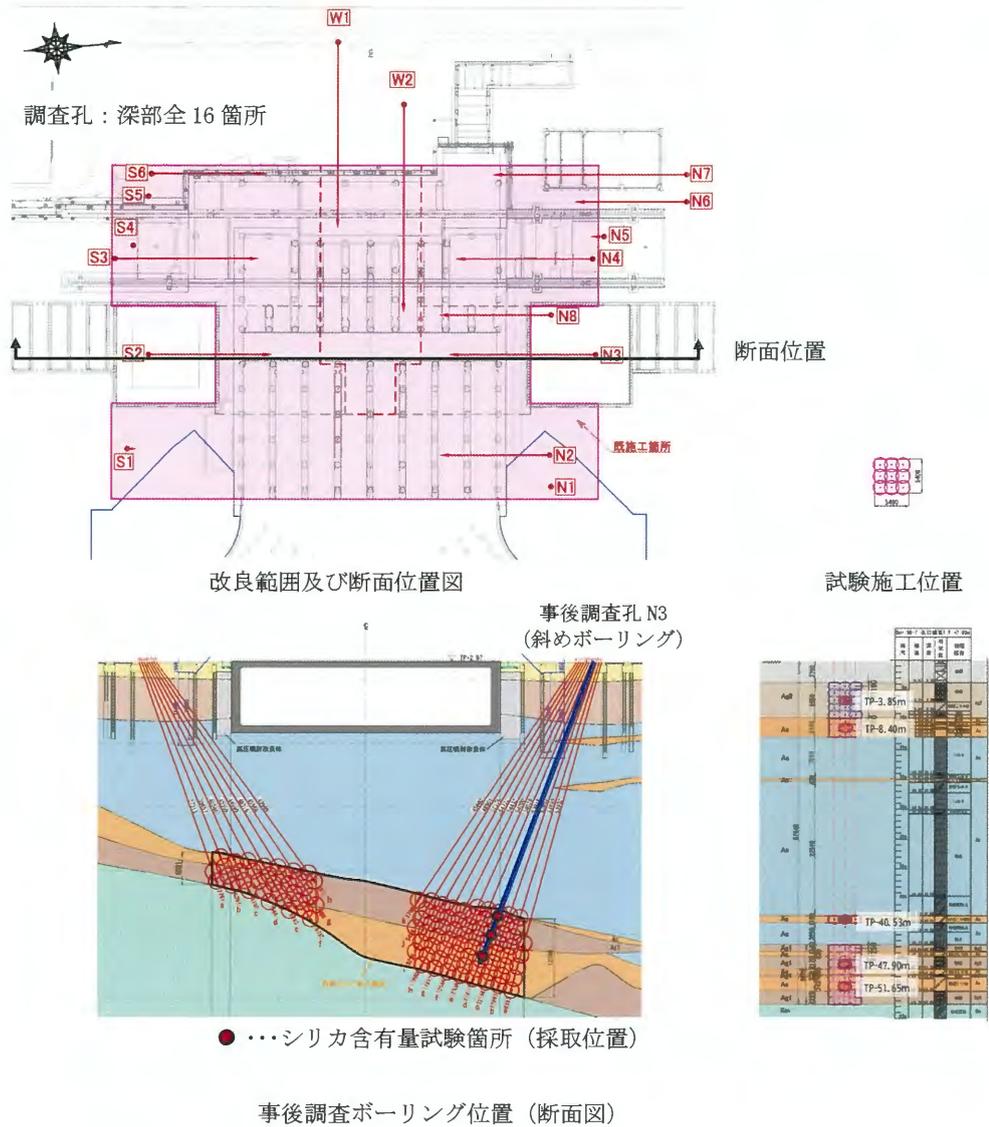


図 3.6-74 改良範囲及び事後調査ボーリング位置図

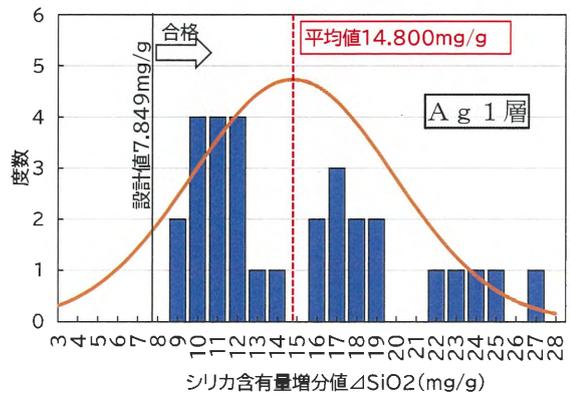
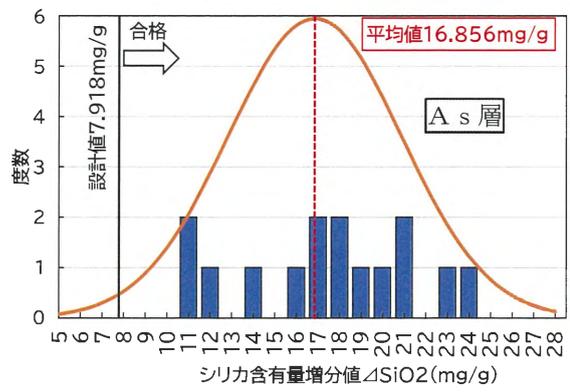
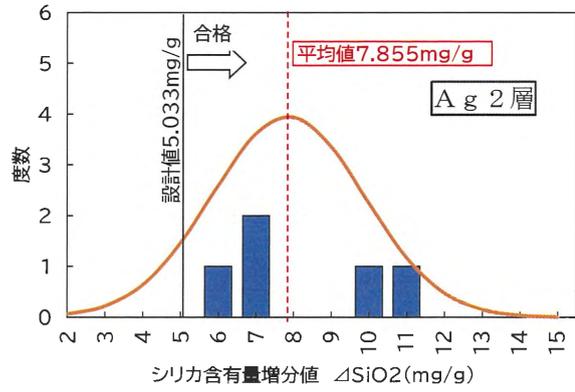


図 3.6-75 既実施箇所のシリカ含有量増分値測定結果

表 3.6-28 試験施工結果

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

b. 施工設計

防潮堤（鋼製防護壁）における液状化対策の地盤改良（薬液注入）は、従来の適用深度 G.L. -20 m 以浅より深く、最大で G.L. -60 m に達しているため、地盤条件（透水性の不均一性、高水圧、高拘束圧下での施工性含む）、施工条件（削孔、注入孔曲がりに対する改良出来形の確保）について検討を行った。

(a) 地盤条件（透水性の不均一性（限界注入速度試験））

地盤調査結果を踏まえ、A g 2 層、A s 層、A g 1 層の限界注入速度試験を実施した。限界注入速度試験実施場所を図 3.6-76 に、限界注入速度試験実施箇所地盤状況を図 3.6-77 に、原地盤の限界注入速度試験結果を図 3.6-78 に示す。

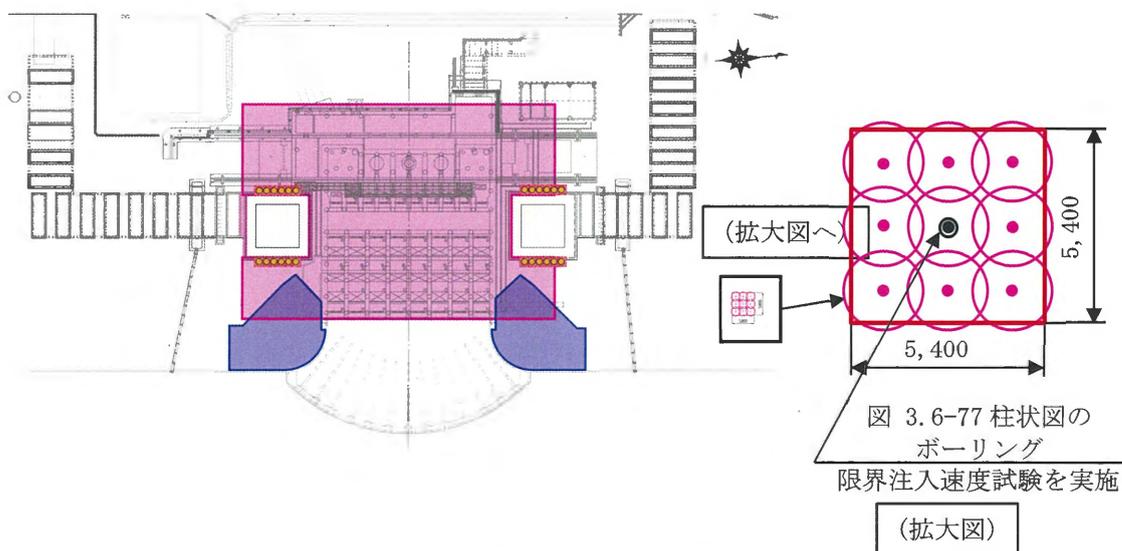


図 3.6-76 限界注入速度試験実施場所

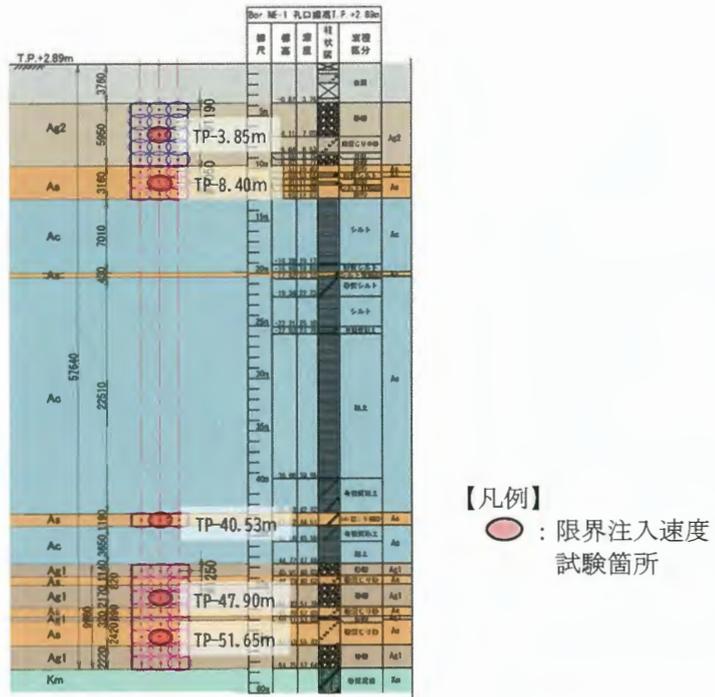


図 3.6-77 限界注入速度試験実施箇所之地盤状況

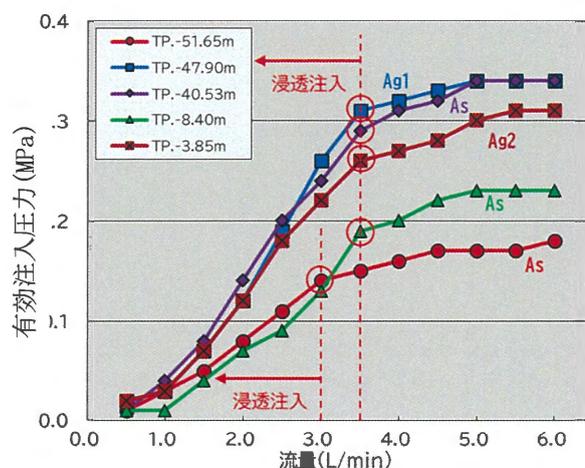


図 3.6-78 原地盤限界注入速度試験結果 (試験施工)

- A s 層は、細粒分含有量 F_c 等により土性が変動するため、限界注入速度試験はシルト質砂～礫混じり砂までの広い土質において実施した。
- A g 2 層, A g 1 層は、均一な地盤と評価され、代表的な土質の砂礫で試験を実施した。
- 限界注入速度試験の結果、3.0～3.5(L/min)の注入速度で浸透注入が可能であることを確認した。
- 施工においては、限界注入速度試験結果の最小速度である 3.0(L/min)を注入速度とする。

以上の結果から、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を施工に反映することで改良品質の不確かさによっても要求品質が確保できる計画とした。

(b) 施工条件（削孔）

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、注入管の設置精度（ボーリングの削孔精度）の実績に基づき、地盤改良の配孔は改良範囲外縁部に施工誤差を考慮した配置を採用する。

図 3.6-79 に改良範囲端部付近の孔曲がりによる未改良範囲発生状況（例）を示す。

イ. 改良範囲端部にて未改良部が生じる可能性

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

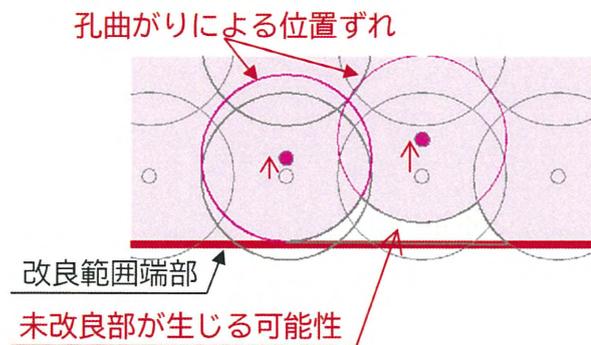


図 3.6-79 改良範囲端部付近の孔曲がりによる未改良範囲発生状況（例）

ロ. 改良範囲端部の対応策

改良範囲端部の追加注入孔配置の考え方を図 3.6-80 に示す。既実施の実績から孔曲がり率は 1/100 以下となっており、改良範囲端部の未改良事象の対策として、計画段階で改良範囲端部に孔曲がりの影響を考慮した改良範囲（孔曲がり 1/100）を設定し、設計改良範囲を確実に確保することとする。

また、孔曲がり計測結果を表 3.6-29、表 3.6-30 及び図 3.6-81 に示す。

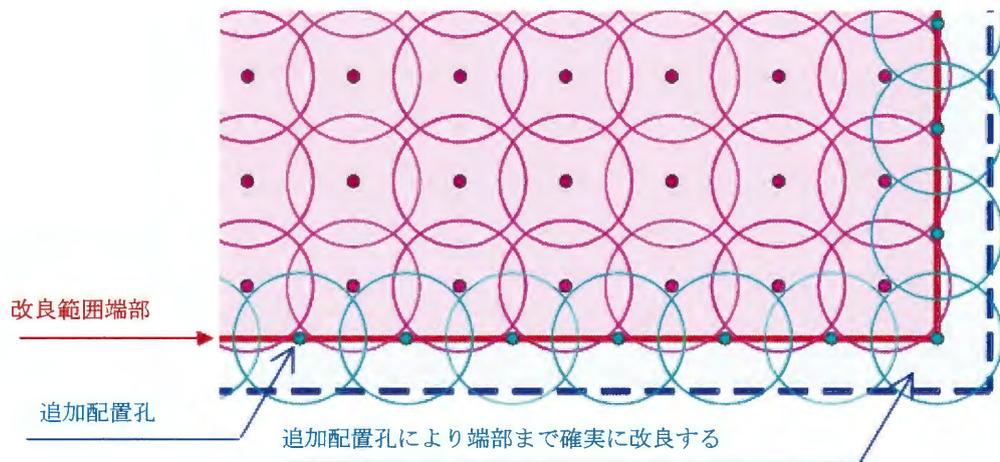


図 3.6-80 改良端部の追加注入孔配置の考え方

表 3.6-29 孔曲がり計測結果（既実施箇所 斜め削孔）

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

※偏心量は計画削孔ラインと実削孔到達点との直線距離で算出

表 3.6-30 孔曲がり計測結果（試験施工 鉛直削孔）

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

※偏心量は計画削孔ラインと実削孔到達点との直線距離で算出

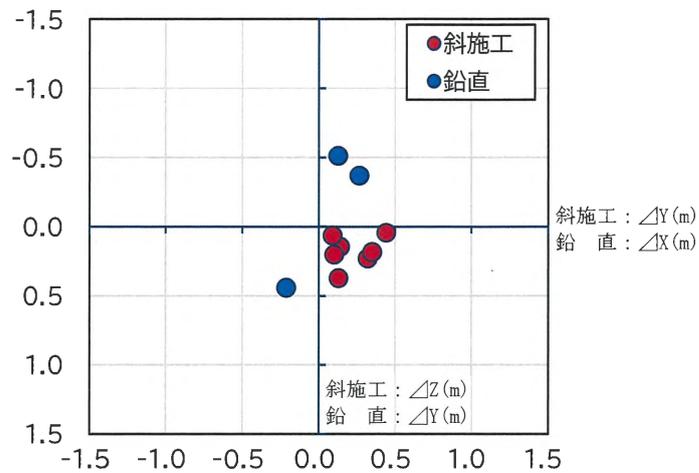


図 3.6-81 孔曲がり計測結果

以上の対策方針により，改良範囲端部において，注入孔削孔時の孔曲がりの精度 (1/100) を考慮して設定した改良範囲を施工に反映し，改良範囲の不確かさの要因に対する対応方策とすることで，改良品質の不確かさによっても要求品質が確保できる計画とした。なお，薬液注入の位置・角度及び削孔長などについては施工時に確認する。

以上より，地盤改良（薬液注入）を確実に実施するための方策として，改良品質の不確かさの要因に対する対策方策を考慮した配合設計及び施工設計の結果を採用し，要求品質を満足させることで設計に影響を及ぼさないことを確認した。

3.6.7 地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）における品質への影響項目の確認結果

地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）の本工事への適用性や改良品質の不確かさの要因を網羅的に抽出するため、地質・地盤リスクマネジメントの考え方にに基づき、地盤改良の適用性・改良品質に係る項目を整理した。

地盤改良の適用性・改良品質に係る項目は、3.6.6の表 3.6-15と同様に自然的要因と人為的要因に大別され、各区分に該当する項目を表 3.6-31のように整理した。

整理した項目について、地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）を念頭に、文献やマニュアルなど^{38), 39)}をもとに、各項目について「適用性」及び「改良品質の不確かさ」に及ぼす可能性について要因別に想定し、計画地点の自然的要因・人為的要因をもとに、詳細検討の要否を評価した（一次評価）。地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）の適用性、改良品質の不確かさの要因抽出結果を表 3.6-31 及び表 3.6-32 に示す

表 3.6-31 地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）の適用性、改良品質の不確かさの要因抽出結果（その1）

着目項目（要因）		施工・改良品質に想定される事象	詳細検討の要否検討結果（一次評価）
地盤条件	地質	掘削により計画範囲の地盤は撤去するため、地質の影響は受けない。	左記の理由により詳細検討が不要である。
〃	地盤の材料	掘削により計画範囲の地盤は撤去するため、地盤の材料の影響は受けない。	左記の理由により詳細検討が不要である。
〃	地質分布	掘削により計画範囲の地盤は撤去するため、地質分布の影響は受けない。	左記の理由により詳細検討が不要である。
地下水	地下水の有無	地下水による施工基面からの湧水の影響で適切な施工が困難となるため、改良品質を確保できない。	仮設土留め内を排水することで地下水の影響を受けない。
〃	地下水の水質	地下水の水質（pH、塩分等）が流動化処理土の品質に悪影響を与える可能性がある。	同上
〃	地下水位・流況	地下水による施工基面からの湧水の影響で適切な施工が困難となるため、改良品質を確保できない。	同上

注：表中の灰色部は一次評価の結果、詳細検討が不要な着目項目（要因）

³⁸⁾ 流動化処理土利用技術マニュアル第2版，土木研究所・流動化処理工法総合監理編，平成19年

³⁹⁾ 土の流動化処理工法（第二版）—建設発生土・泥土の再生利用技術—，久野悟朗・流動化処理工法研究機構流動化処理工法技術管理委員会，2007年9月

表 3.6-32 地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）の適用性、改良品質の不確かさの要因抽出結果（その2）

着目項目		施工・改良品質に想定される事象	詳細検討の要否検討結果（一次評価）
環境	凍結	凍結により改良品質を確保できない（改良体の硬化不良）。	凍結が懸念される環境下では施工を実施しない。
〃	経年劣化（地下水）	海の近傍に位置することから地下水の水質（pH、塩分等）による劣化により長期的に強度が低下する可能性がある。	高炉B種セメント（耐硫酸塩セメント）を使用し劣化を防止する計画である。
〃	経年劣化（凍結）	凍結・融解の影響により品質が劣化する可能性がある。	凍害を受ける地域には該当しない ⁴⁰⁾ 。
施工条件	改良材の品質	改良材（セメント）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。	セメントは工場生産品であり、使用上の品質は確保されている。
〃	経年劣化	劣化により長期的に強度が低下する可能性がある。	長期的な強度低下傾向がみられないことを確認 ⁴¹⁾ している。
〃	母材の品質	使用する母材の不均一性により、流動化処理土の品質に不確かさ（ばらつき）を有する。	母材は購入砂を使用するため、不均一性の影響は小さいものの、配合設計にて品質の不確かさの詳細検討を実施する。
〃	施工性の確認	掘削において、土留め、底盤が崩れる可能性がある。	掘削に用いる土留め等の設計においては適切な安全率の確保及びリスク（ヒービング）対策を実施している。
〃	施工機械の性能	流動化処理土における打設方法の違いにより品質に影響を与えないため、施工機械の性能に左右されない。	左記の理由により詳細検討は不要である。
〃	〃	専用プラントで製造するため、製造方法によるばらつきはない。	同上
〃	施工管理	マニュアルに準じた施工方法を遵守する。	同上
外的要因	周辺施設の影響	周辺施設との干渉で掘削のための土留めが設置できない可能性がある。	改良範囲は周辺施設等の情報を考慮し土留めを含め計画している。
設計条件	配合設計	セメントの配合量と一軸圧縮強度の関係の相関性にばらつきを有する可能性がある。	セメント配合量と一軸圧縮強度の相関を確認する必要があるため、詳細検討を実施する。
〃	設計パラメータの不確かさ	設計に影響を与えるパラメータは材料の比率のみであり、それらは配合設計において考慮している。	左記の理由により詳細検討は不要である。
〃	試験データのばらつき	配合試験において試験データのばらつきを有する。	流動化処理土の品質のばらつきを考慮した配合設計を検討する必要があるため、詳細検討を実施する。

注：表中の灰色部は一次評価の結果、詳細検討が不要な着目項目（要因）

⁴⁰⁾ 長谷川寿夫，藤原忠司：コンクリート構造物の耐久性シリーズ「凍害」，技報堂出版，1988.10

⁴¹⁾ セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究-材齢22年試験結果報告-（一社）セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会

一次評価の結果、地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）の当該地点に対する適用性に関わる要因に詳細検討を要する項目はなかった。改良品質の不確かさの要因として以下の項目が抽出された。

- ・ 施工条件（母材のばらつき）
- ・ 配合設計（配合設計，試験データのばらつき）

改良品質の不確かさの要因及び要求品質を満足するための対策方針を表 3.6-33 に示す。

表 3.6-33 改良品質の不確かさの要因及び要求品質を満足するための対策方針

着目項目（要因）		想定される事象	対策方針
施工条件	母材の品質	使用する母材の不均一性により、流動化処理土の品質に不確かさ（ばらつき）を有する。	配合設計において、母材の不均一性による流動化処理土の品質の不確かさへの対策として、設計の強度を割増した配合目標強度の設定する。
設計条件	配合設計	セメントの配合量と一軸圧縮強度の相関に不確かさがある可能性がある。	配合設計において、セメント配合量と一軸圧縮強度の相関の不確かさ及び試験データのばらつきへの対策として、配合量と強度の相関を確認の上、試験データのばらつきを考慮しても配合目標強度を満たす配合を採用する。
〃	試験データのばらつき	配合試験において試験データにばらつきを有する。	

地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）の改良品質の不確かさの要因に対し、要求品質を満足する工事を確実に実施するための方策として、表 3.6-33 の「対策方針」欄に示すとおり、工事の具体的な仕様（流動化処理土の品質確保）を配合設計にて決定する。

本項目が設計へ影響を与えることなく、地盤改良（セメント系：掘削置換工法）を確実に実施するための方策の確認として、以下に地盤改良（セメント系：掘削置換工法）の「配合設計」が適切に実施されていることを確認する。

(1) 概要

防潮堤（鋼製防護壁）基礎の西側を掘削・置換工法により地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）する計画である。このため、改良品質の不確かさは置換に使用する流動化処理土の品質に相当する。このため、流動化処理土の配合設計（セメントの配合量と一軸圧縮強度の関係）について設計への影響の有無を確認した。

(2) 流動化処理土の要求品質

流動化処理土の要求品質は、設計の一軸圧縮強度 q_{ud} を満足することである。

要求品質：設計の一軸圧縮強度 $q_{ud}=1.5 \text{ N/mm}^2$

(3) 配合設計（セメントの配合量と一軸圧縮強度の関係）

セメント配合量と一軸圧縮強度の相関性を確認した上で、品質目標である一軸圧縮強度のばらつきを考慮した配合目標強度を満たす配合を設定する。

a. 配合目標強度

セメントの配合量を変化させた試験練りを実施し、設計の一軸圧縮強度に対する配合目標強度を設定した。配合試験結果（セメント配合量と一軸圧縮強度の関係）を表 3.6-34、図 3.6-82 に示す。本工事で使用する流動化処理土は購入砂を材料として製造する方針としており、母材のばらつきは小さいと判断し、設計の一軸圧縮強度 $q_{ud}=1.5 \text{ N/mm}^2$ に対し、配合目標強度 $q_{uf}=1.5 q_{ud}$ であると考え、 $q_{uf}=2.25 \text{ N/mm}^2$ とした。

表 3.6-34 配合試験結果（セメント配合量と一軸圧縮強度の関係）

セメント配合量	購入砂	ベントナイト	水	一軸圧縮強度	適合性
125 g	1,142.7 g	10.0 g	523.8 g	0.627 N/mm ²	×
150 g	1,119.2 g	10.0 g	524.5 g	1.327 N/mm ²	×
175 g	1,095.7 g	10.0 g	525.1 g	1.959 N/mm ²	×
200 g	1,072.3 g	10.0 g	525.7 g	2.407 N/mm ²	○
225 g	1,048.8 g	10.0 g	526.4 g	2.589 N/mm ²	○

適合性：×：配合目標強度を満足しない結果，○：配合目標強度を満足する結果

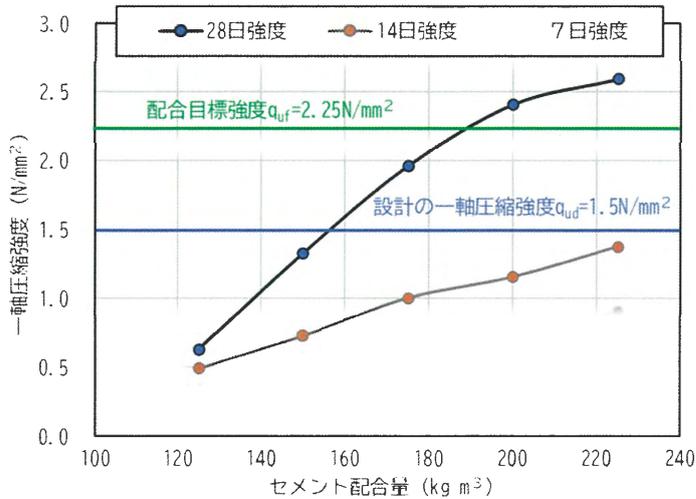


図 3.6-82 配合試験結果（セメント配合量と一軸圧縮強度の関係）

b. 強度のばらつきを考慮した配合の採用

配合試験結果より、配合目標強度を満足する配合は、セメントの配合量 200 kg/m³ 及び 225 kg/m³ であった。この配合 2 ケースについて、追加の一軸圧縮強度試験を実施し、強度のばらつきを確認した。追加の一軸圧縮試験結果及びセメント配合量と一軸圧縮強度の関係をそれぞれ表 3.6-35 に示す。

この確認の結果、最小値及び平均 - 1 σ が配合目標強度を満足する「セメント配合量 225 kg/m³」を採用することで、改良地盤（セメント系：掘削・置換工法）の品質を十分確保することが可能である。

表 3.6-35 一軸圧縮試験結果（ばらつき評価）

セメント配合量	200 kg/m³	225 kg/m³
平均値 (N/mm²)	2.48	2.84
最小値 (N/mm²)	2.23	2.33
変動係数	0.097	0.093
平均 - 1 σ (N/mm²)	2.16	2.32
(参考)試験数	10	11

以上より、地盤改良（セメント系：掘削・置換工法）を確実に実施するための方策として、「セメント配合量 225 kg/m³」の配合を採用し、要求品質を満足させることで設計に影響を及ぼさないことを確認した。

3.6.8 地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）における品質への影響項目の確認結果

地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の本工事への適用性や改良品質の不確かさの要因を網羅的に抽出するため、地盤改良の適用性・改良品質に係る項目を整理した。

地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の適用性・改良品質に係る項目は、3.6.6の表 3.6-15 と同様に自然的要因と人為的要因に大別され、各区分に該当する項目を表 3.6-36 及び表 3.6-37 のように整理した。

整理した項目について、地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）を念頭に、文献やマニュアルなど⁴²⁾、⁴³⁾をもとに、各項目について「適用性」及び「改良品質の不確かさ」に及ぼす可能性について要因別に想定し、計画地点の自然的要因・人為的要因をもとに、詳細検討の可否を評価した。地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の適用性、改良品質の不確かさの要因抽出結果を表 3.6-36 及び表 3.6-37 に示す。

表 3.6-36 地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の適用性、改良品質の不確かさの要因の抽出結果（その1）

着目項目		施工・改良品質に想定される事象	詳細検討の可否検討結果（一次評価）
地盤条件	地質	工法に適用が困難な転石・玉石層等が存在する可能性がある。	地質調査の結果により、改良範囲内に左記の該当地層が存在しないことを確認した。
〃	地盤の材料	土の化学的性質（pH、有機物含有量）が改良体の品質に影響を及ぼす可能性がある。	土の化学的性質を考慮の上、改良材を選定しており、試験施工及び実施工で必要な強度の発現を確認している。
〃	地質分布	地盤の性状（土質、締りの程度等）の深度方向・水平方向のばらつきにより改良品質（改良径）にばらつきが生じる可能性がある。	地盤の性状（土質、締りの程度等）のばらつきを考慮した対策を検討する必要があるため、詳細検討を実施する。
〃	地質分布	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。	改良対象範囲は土質条件ではなく、幾何学的形状で決定しており、当該範囲を改良する計画である。
地下水	地下水の有無	地下水の有無に関わらず施工が可能である。	左記の理由により詳細検討が不要である。
〃	地下水の水質	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。	現地の地下水の水質（pH、塩分等）の影響を受けないこと及び強度の発現を試験施工及び実施工で確認した。
〃	地下水位・流況	地下水の流れが地盤改良体の品質に影響を及ぼす可能性がある。	地下水位の分布から改良材が逸走するような水位勾配の分布はない。

注：表中の灰色部は一次評価の結果、詳細検討が不要な着目項目（要因）

⁴²⁾ セメント系固化材による地盤改良マニュアル第5版，一般社団法人セメント協会，2021年10月

⁴³⁾ SUPERJET 工法技術資料，SUPERJET 研究会，平成29年10月

表 3.6-37 地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の適用性，
改良品質の不確かさの要因の抽出結果（その2）

着目項目		施工・改良品質に想定される事象	詳細検討の要否検討結果 (一次評価)
環境	凍結	凍結により改良品質を確保できない（改良体の硬化不良）。	凍結が懸念される環境下では施工を実施しない。
〃	経年劣化（地下水の水質）	地下水の水質（pH、塩分等）が地盤改良体の長期的な品質に影響を及ぼす可能性がある。	水質（pH、塩分等）の影響を受けない改良材を用いており、改良品質への影響はない。
〃	経年劣化（凍結）	凍結・融解の影響により品質が劣化する可能性がある。	凍害を受ける地域には該当しない ⁴⁴⁾ 。
施工条件	改良材の品質	改良材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。	セメント系改良材は工場生産品であり、使用上の品質は確保されている。
〃	施工順序	改良順序によっては、先行して施工した改良体に阻害され、未改良部が残る可能性がある。	未改良部を残さない改良順序を計画している。
〃	経年劣化	劣化により長期的に強度が低下する可能性がある。	長期的な強度変化がないことを確認 ⁴⁵⁾ している。
〃	施工性の確認	施工範囲内にタイロッドがあり、施工に支障が生じる可能性がある。	タイロッドを回避した配孔により施工が可能である。
〃	施工機械の性能	施工機械の性能が改良範囲の深度に対応できない。	改良深度は工法の適用範囲内である。
〃	施工機械の性能	スラリーの改良材と水と配合が不適切で強度が発現しない可能性がある。	スラリーは専用機械により自動で適切な配合で製造される。
〃	施工方法	改良の削孔精度によって改良品質（改良範囲）に影響を及ぼす可能性がある。	改良深度が浅く、削孔の精度による改良範囲への影響はない。
外的要因	周辺施設の影響	既設構造物や埋設物の存在とその把握精度が低い場合、埋設物の影になり未改良部が残る可能性がある。	既設構造物や埋設物は把握されており、改良計画に反映しており問題ない。
〃	周辺環境への影響	海岸付近の改良のため、海側への改良材の逸走により、改良品質が確保されない可能性がある。	当該箇所の海側（護岸）には改良範囲以深まで鋼矢板で囲われており、改良材の海側への逸走は防がれており、問題ない。
設計条件	配合設計	土質に応じた改良材を選定し、その材料により決定される強度を設計に採用する。	左記の理由により詳細検討が不要である。
〃	設計パラメータの不確かさ	同上	同上
〃	試験データのばらつき	同上（配合試験は実施しない）。	同上

注：表中の灰色部は一次評価の結果、詳細検討が不要な着目項目（要因）

⁴⁴⁾ 長谷川寿夫，藤原忠司：コンクリート構造物の耐久性シリーズ「凍害」，技報堂出版，1988.10

⁴⁵⁾ 一般社団法人セメント協会，セメント系固化材による地盤改良マニュアル第5版

一次評価の結果、地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）に対する適用性に関わる要因に詳細検討を要する項目はなかった。一方、改良品質の不確かさの要因については「地盤条件（地盤の性状）」が抽出された。改良品質の不確かさの要因及び要求品質を満足するための対策方針を表 3.6-38 に示す。

表 3.6-38 改良品質の不確かさの要因及び要求品質を確保するための対応方針

着目項目（要因）		想定される事象	対策方針
地盤条件	地質分布	地盤の性状（土質、締りの程度等）の深度方向・水平方向のばらつきにより改良品質（改良径）にばらつきが生じる可能性がある。	施工設計において、地盤の性状（土質、締りの程度等）による改良径のばらつきへの対策として、ばらつきを考慮した地盤改良孔の配置を設定する。

地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の改良品質の不確かさの要因に対し、要求品質を満足する工事を確実に実施するための方策として、表 3.6-38 の「対策方針」欄に示すとおり、工事の具体的な仕様（改良径の確保）を施工設計にて決定する。

高圧噴射攪拌工法は構造変更に伴う新設施工の対象外で、構造変更前の既実施に該当する工種である。しかし、本項目が設計へ影響を与えることなく、地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）を確実に実施するための方策の確認として、以下に地盤改良（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の「施工設計」が適切に実施されていることを確認する。

(1) 概要

高圧噴射攪拌工法は、ボーリング孔より高圧でセメント系の地盤改良材を噴射し、地盤を切削・攪拌し、地盤を改良する工法で、防潮堤（鋼製防護壁）の東側において地盤改良（セメント系）として実施した。

(2) 地盤改良体（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の要求性能

地盤改良体（セメント系：高圧噴射攪拌工法）の要求品質は、設計の一軸圧縮強度 q_{ud} を満足することである。ただし、土質に応じた改良材を選定し、その改良材により決定される強度を設計に採用した。

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

(3) 改良品質の不確かさへの対策方針

改良径のばらつきを考慮した地盤改良孔の配置とするためにラップ配置を採用している。また、事後調査ボーリングを行い、計画範囲が改良できていることを確認した。

地盤改良円配置及び調査ボーリング箇所位置図（A c 層）を図 3.6-83 に示す。

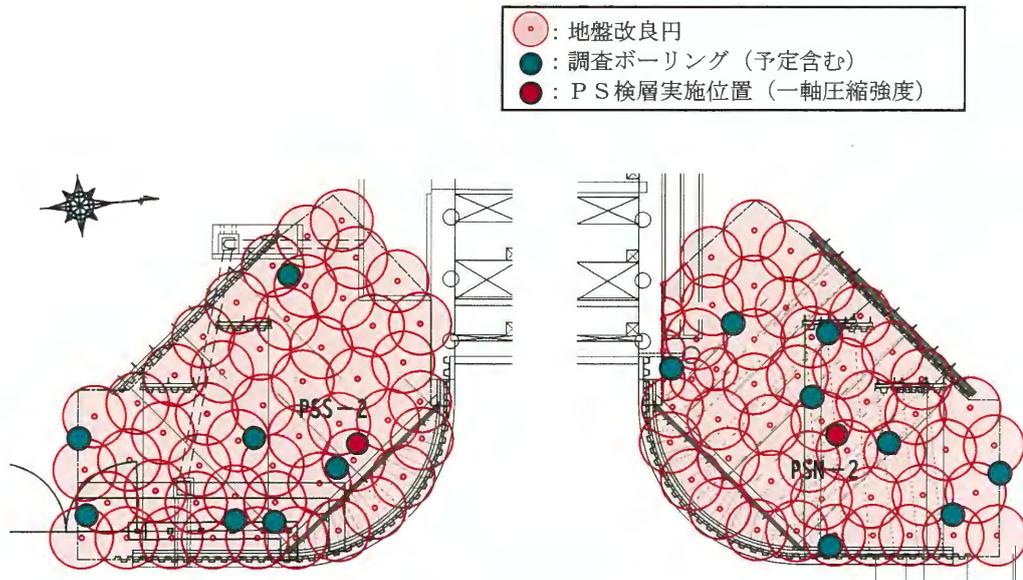


図 3.6-83 地盤改良円配置及び調査ボーリング箇所位置図 (A c 層)

(4) 施工場所の調査結果

施工箇所にて改良品質等の確認のために実施した一軸圧縮強度試験及びせん断波速度を確認した結果、地盤改良体の一軸圧縮強度 q_u 及びせん断波速度 V_s の試験結果が、改良品質を満足していることを確認している。一軸圧縮強度及びせん断波速度の調査結果を図 3.6-84 に示す。

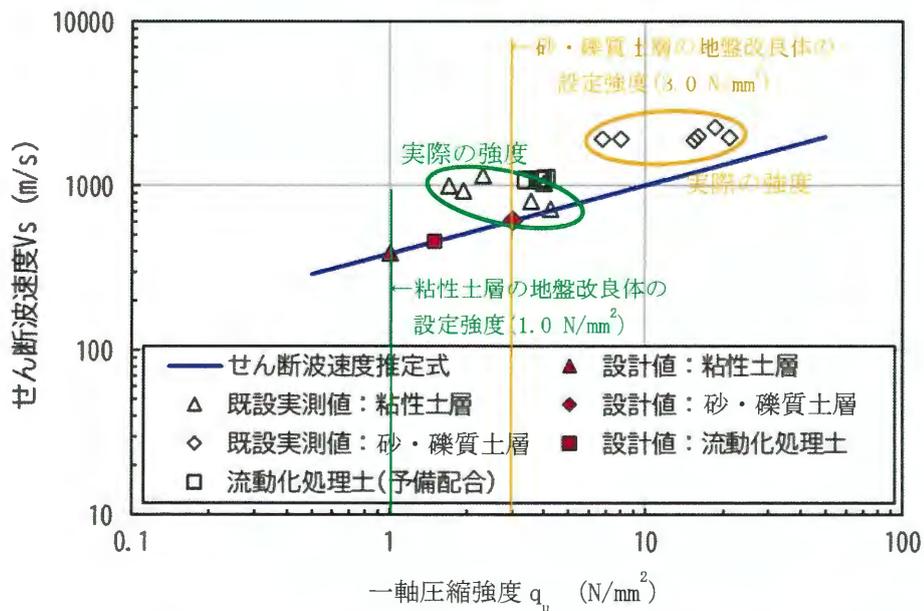


図 3.6-84 一軸圧縮強度及びせん断波速度の調査結果

3.6.9 参考資料

(1) 限界注入速度試験

注入速度と注入圧力の関係を図 3.6-85 に、限界注入速度試験フローを図 3.6-86 に示す。注入速度が遅い状態では、注入速度と注入圧力は比例関係であり、この際の注入形態は浸透注入となり、均質な改良体が形成される。注入速度がある速度より大きくなると、注入速度と注入圧力の比例関係は保てず、割裂浸透の注入形態となり、均質な改良体は形成されにくい。この注入速度と注入圧力の関係に影響を及ぼす要因としては、細粒分含有率、密度、土被り圧、地盤の透水性などがある。

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

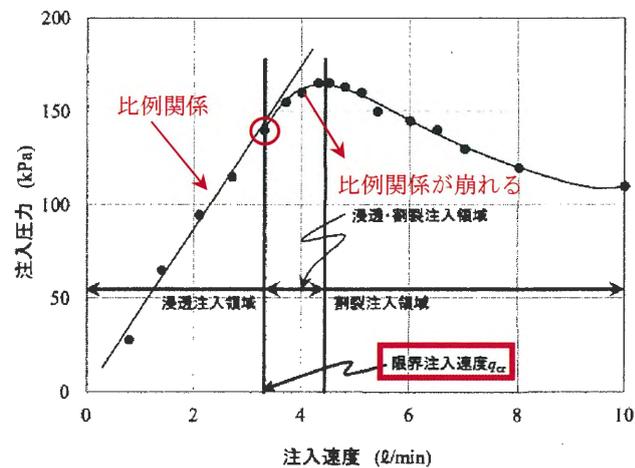


図 3.6-85 現場注水試験例（注入速度と注入圧力の関係）⁴⁶⁾

⁴⁶⁾ 恒久グラウト注入工法技術マニュアル, 地盤注入開発機構, 2019年9月

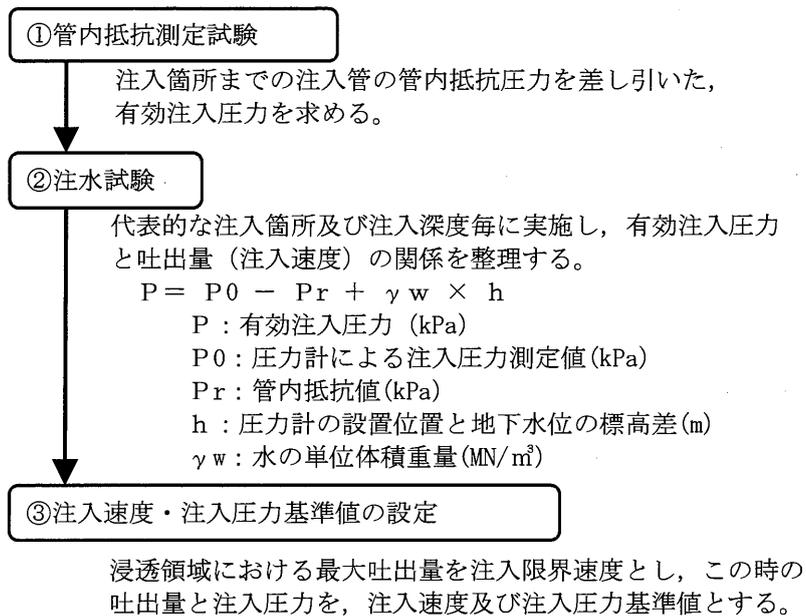


図 3.6-86 限界注入速度試験フロー⁴⁷⁾

⁴⁷⁾ 超多点注入工法技術マニュアル, 地盤注入開発機構, 平成 24 年 2 月

試験施工箇所のコアボーリングより採取したコアを観察し、簡易的な土質特性（以下、「土性」という。）の評価を実施した。その結果を表 3.6-39 に示す。

【確認結果】

- ・ A g 2 層, A s 層, A g 1 層とも土性の評価結果は近傍の既実施箇所とほぼ同等である。
- ・ A g 2 層, A g 1 層は土性, 締まり度などにばらつきが少ない。一方, A s 層は下表のとおり土質「礫混じり砂～シルト混じり砂」, 締まり度「緩い～中位」などばらつきを有している。

表 3.6-39 簡易的な土性の評価

層区分 項目		A g 2 層	A s 層			A g 1 層
			①(浅部)	②(深部)	③(深部)	
分布深度 (T. P. m)	上端	— 0.87	— 6.82	— 39.93	— 48.90	— 46.73
	下端	— 6.82	— 9.98	— 41.12	— 52.53	— 48.90
土質		砂礫 礫混じり砂	砂	シルト 混じり砂	礫混じり砂	砂礫
細粒分観察結果		細粒分少ない	細粒分少ない	細粒分多い	細粒分少ない	細粒分少ない
N 値 ⁴⁸⁾		33	7	16	21	50 回以上
締まり度		密	緩い	中位	中位	非常に密
透水性 ⁴⁹⁾		中位	中位	低い	中位	中位
評価結果		<ul style="list-style-type: none"> ・ 既実施箇所と土性が同等であることを確認した。 ・ 既実施箇所より改良深度が深くなるため, 限界注入速度試験を実施し, 注入速度と注入圧力を確認する。 				

⁴⁸⁾ 試験箇所近傍調査孔を適用

⁴⁹⁾ 地盤材料試験の方法と解説（二分冊の1），地盤工学会

土性の評価結果は既実施箇所とほぼ同等であるが、改良深度が既実施箇所より深くなることから限界注入速度試験を実施し、注入速度と注入圧を確認することとした。限界注入速度試験実施位置を図 3.6-87、限界注入速度試験実施位置の土質状況を図 3.6-88 に示す。また、土性のばらつきが確認されたA s層については表 3.6-39 のとおり複数箇所にて同試験を実施した。

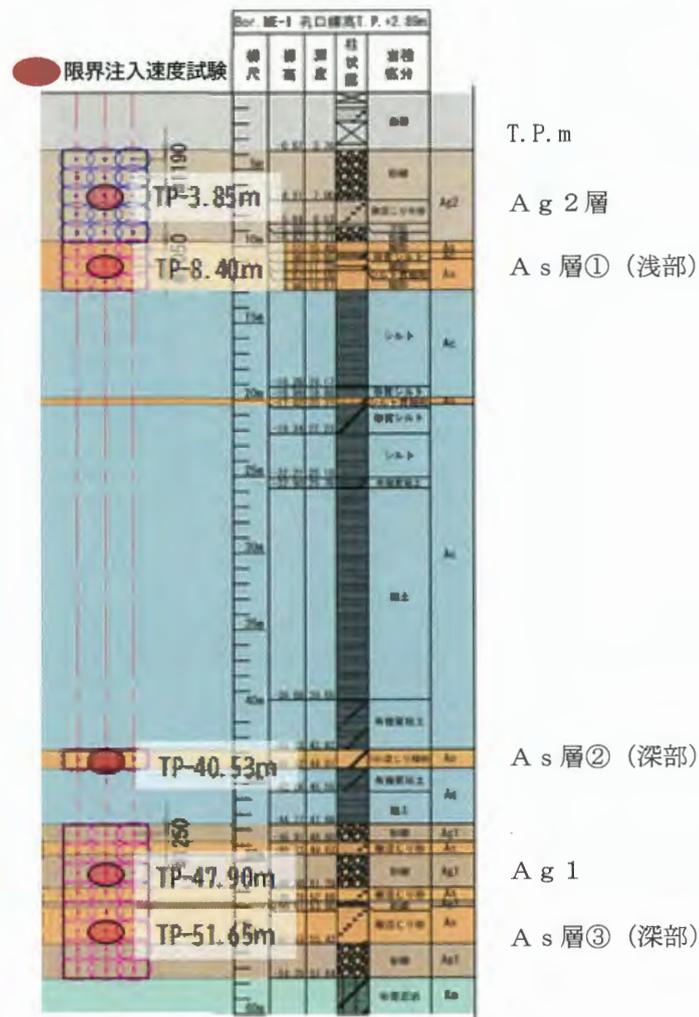


図 3.6-87 限界注入速度試験実施位置

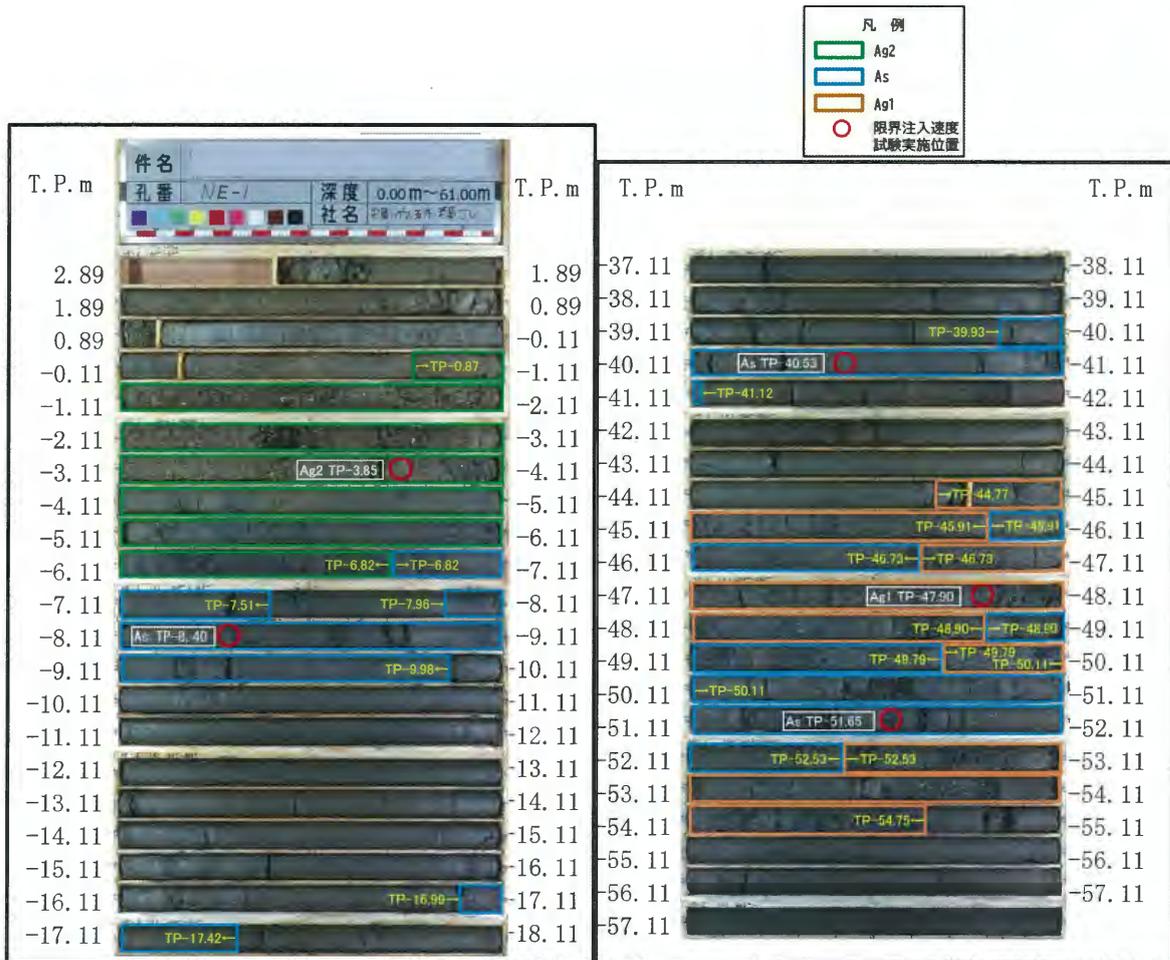


図 3.6-88 限界注入速度試験実施位置の土質状況

(2) 既実施地盤改良体の液状化強度試験

a. 既実施地盤改良体における液状化強度試験用の試料採取箇所

既実施地盤改良体における試料採取位置を図 3.6-89 に示す。既実施箇所において、地盤改良体の液状化強度比の評価を実施した。試料の採取方法は、砂・礫質土を対象とした際に乱れの影響が小さいとされるGSサンプリングで実施した。

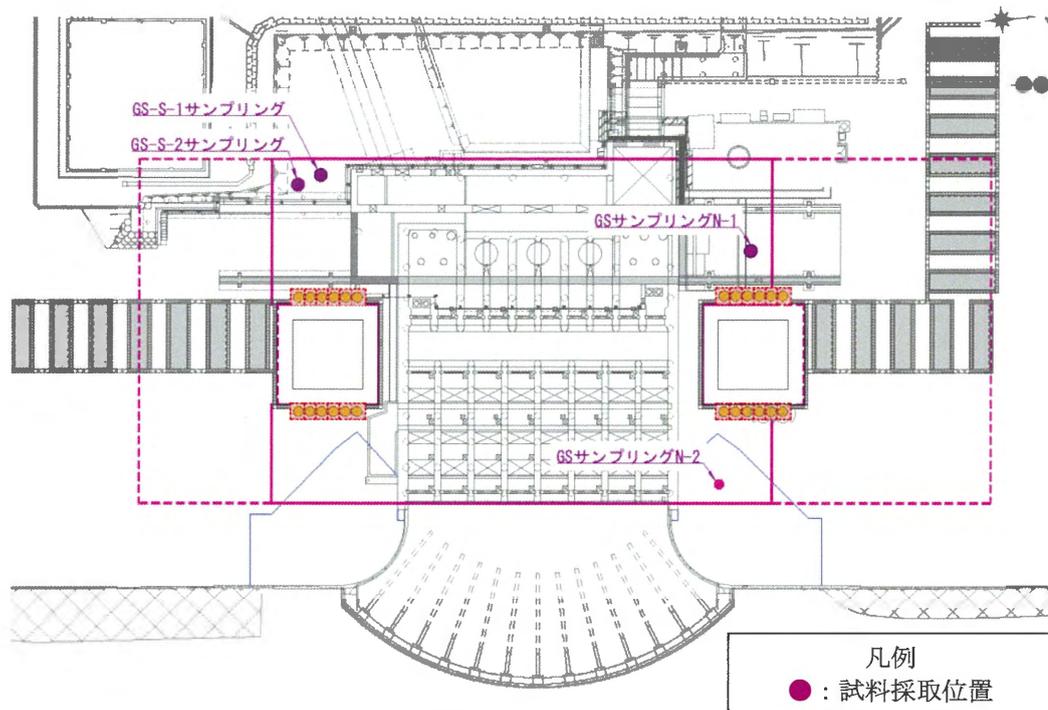


図 3.6-89 既実施地盤改良体の試料採取位置

b. 土の液状化と液状化強度試験

地下水以深の飽和した砂・礫質土盤は、地震動のような繰返し荷重が作用すると非排水状態での繰返しせん断となり、緩詰の砂・礫質土盤ではせん断変形に伴う土粒子の移動により間隙の水圧が上昇し、土粒子は水中に浮いた状態となりせん断強度が失われ、液体と似た挙動を示すこととなり、この現象を液状化という。地盤の液状化の概念を図 3.6-90 に示す。

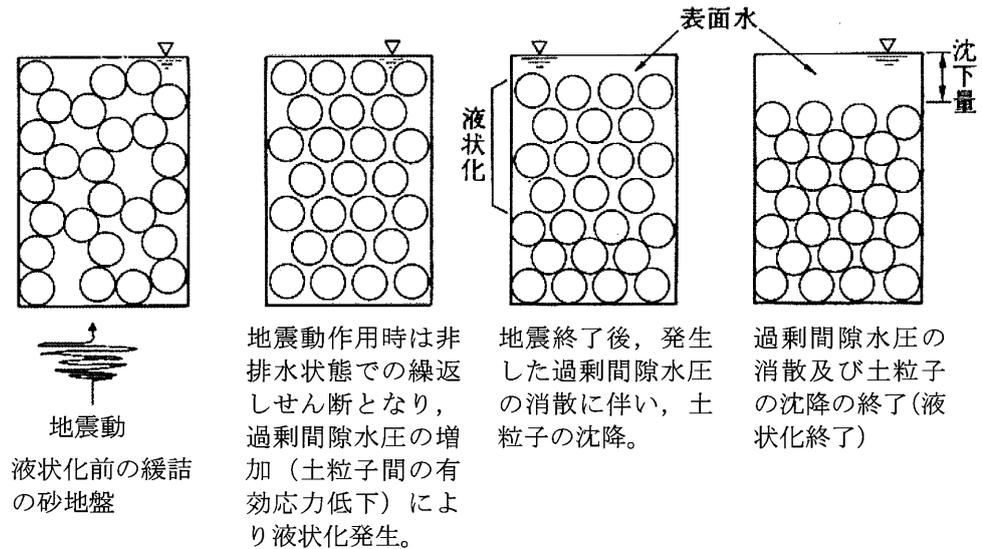


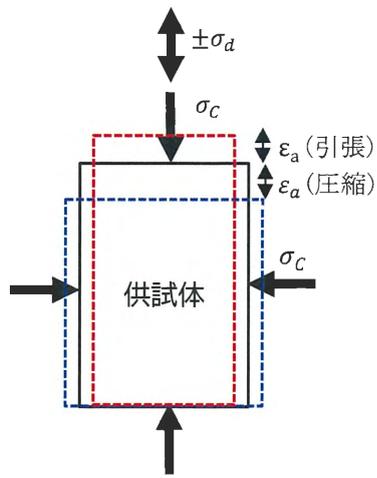
図 3.6-90 地盤の液状化の概念⁵⁰⁾

地盤の液状化強度の試験法は、供試体に一定の拘束圧を加えた状態で軸差応力 σ_a を圧縮・引張方向に载荷を行う繰返し非排水三軸試験、拘束圧の制御が可能で供試体上部に一定のトルク T (せん断力) を回転方向に正負で载荷を行う中空繰返しねじりせん断試験が代表的なものである。繰返し非排水三軸試験と中空繰返しねじりせん断試験を図 3.6-91 に示す。繰返し非排水三軸試験は軸ひずみ ϵ_a が 5%、中空繰返しねじりせん断試験はせん断ひずみ ϵ_s が 7.5%に達した際の過剰間隙水圧比が 0.95 以上に達することを液状化としており、 $\epsilon_s = (1 + \nu)\epsilon_a$ の関係から非排水条件でのポアソン比 $\nu = 0.5$ とすると $\epsilon_a = 5\%$ と $\epsilon_s = 7.5\%$ は同一の状態を示す。

中空繰返しねじりせん断試験の標準供試体の厚さ(20mm)は最大粒径の 5~10 倍以上が望ましいこと⁵¹⁾からこれに合致する土粒子の粒径が比較的小さい A g 2 層, A s 層は中空繰返しねじりせん断試験, 合致しない土粒子の粒径が大きい A g 1 層は繰返し非排水三軸試験を適用した。

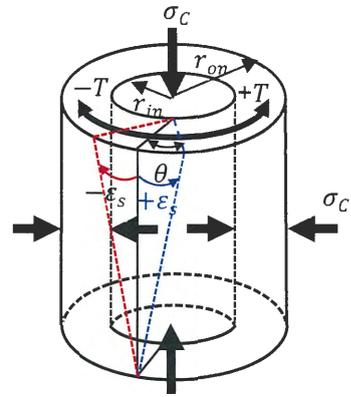
⁵⁰⁾ 吉見吉昭：砂地盤の液状化，技報堂出版株式会社，1991 年，5 月

⁵¹⁾ 地盤材料試験の方法と解説（一二分冊の 2 - ），公益社団法人地盤工学会



σ_c : 拘束圧
 σ_d : 繰返し载荷応力
 ε_a : 軸ひずみ

繰返し非排水三軸試験



σ_c : 拘束圧
 T : トルク
 ε_s : せん断ひずみ

中空繰返しねじりせん断試験

図 3.6-91 繰返し非排水三軸試験と中空繰返しねじりせん断試験

c. 液状化強度試験結果に対する考察

施工後の品質管理は採取した試料のシリカ含有量増分量を確認する計画であるが、地盤改良の改良品質について既実施箇所にてGSサンプリングにより採取した試料を用いた液状化強度試験により直接確認した結果及びその考察を以下に示す。

【試験結果及び考察】（以下は代表してAg2層の結果等を示す。）

- ・液状化強度試験試料の平均シリカ含有量増分量は 11.023 mg/g であり，シリカ含有量増分量の管理値 5.033 mg/g を上回った。
- ・液状化強度試験による $R_{L20}(-1\sigma) = 0.623$ は設計せん断応力比 0.62 とほぼ同様な値であった。試験の結果から「せん断ひずみ 7.5 % においても過剰間隙水圧比は 95 % に未達」であり，液状化の定義から「液状化していない」と評価した。なお，液状化強度曲線を求めるデータは過剰間隙水圧比の値に拘らず試験の停止条件である「せん断ひずみ 7.5 %」に達した際の繰返し載荷回数を採用している。液状化強度試験（中空繰返しねじりせん断試験）結果を図 3.6-92 に示す。
- ・シリカ含有量増分量と液状化強度比の相関よりも液状化強度試験による $R_{L20}(-1\sigma)$ が小さかった理由としては，試料採取時の土被り圧の解放，サンプラーとの摩擦などによる試料の乱れの影響^{52), 53)}によるせん断ひずみの進行の増大によるものと考えられる。シリカ含有量増分量と液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$ 判定結果を図 3.6-93 に示す。

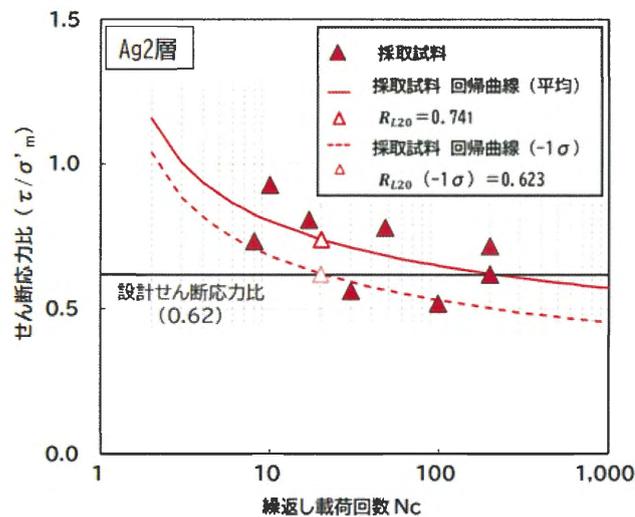


図 3.6-92 液状化強度試験（中空繰返しねじりせん断試験）結果

⁵²⁾ 土田孝：三軸試験による自然粘性土地盤の強度決定法に関する研究，港湾技研資料，No. 688，pp. 9-198，Dec. 1990

⁵³⁾ 利藤房男：乱れの少ない試料のサンプリング技術，応用地質技術年報，No. 36，pp. 41-48，2017

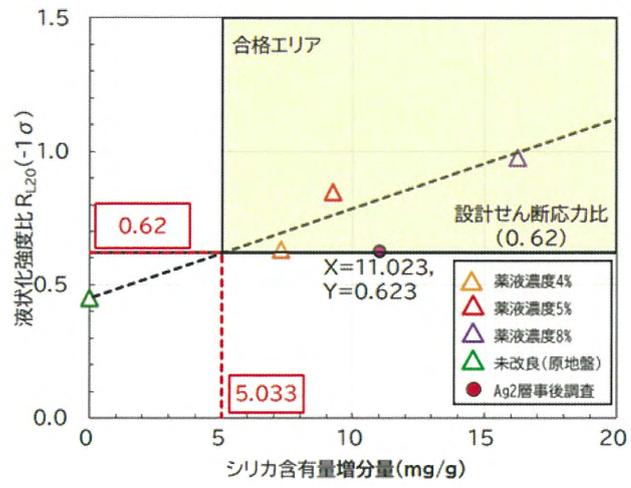


図 3.6-93 シリカ含有量増分量と液状化強度比 $R_{L20}(-1\sigma)$ 判定結果

d. 未改良土と改良土の液状化強度試験による繰返しせん断特性

過剰間隙水圧比の変化，せん断ひずみの変化，せん断ひずみと繰返しせん断応力の関係について未改良土（A g 2層）の液状化強度試験の結果を図 3.6-94 に，改良土（A g 2層）の液状化強度試験の結果は図 3.6-95 に示す。

平均有効主応力 σ'_m は以下の式により設定する。

$$\sigma'_m = (\sigma'_v + 2\sigma'_h)/3$$

σ'_v ：鉛直応力

σ'_h ：水平応力

なお，液状化強度試験における σ_c （拘束圧）は σ'_m に相当する。

また，未改良土と改良土の液状化強度試験結果の比較について表 3.6-40 にまとめた。

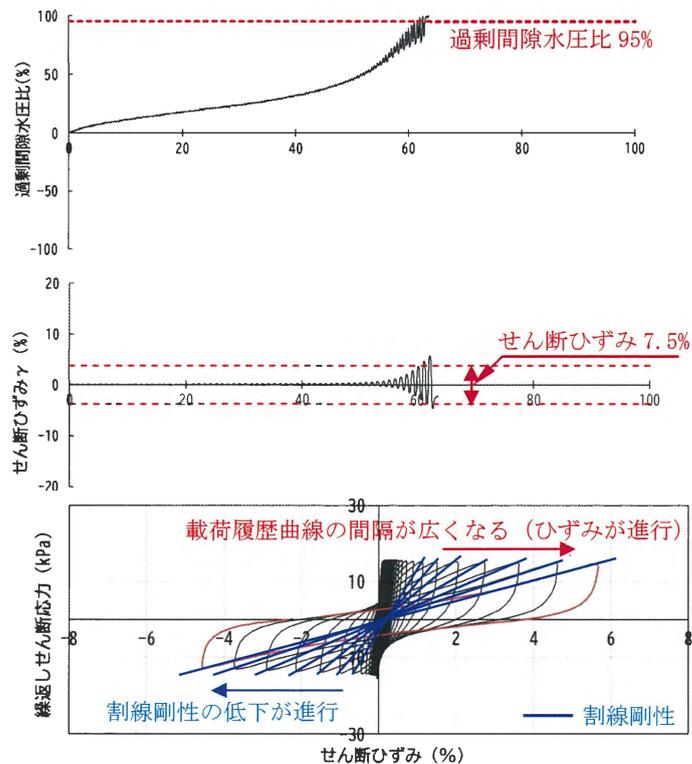


図 3.6-94 未改良土（A g 2層， $(\tau/\sigma'_m)=0.472$ ）の液状化強度試験結果

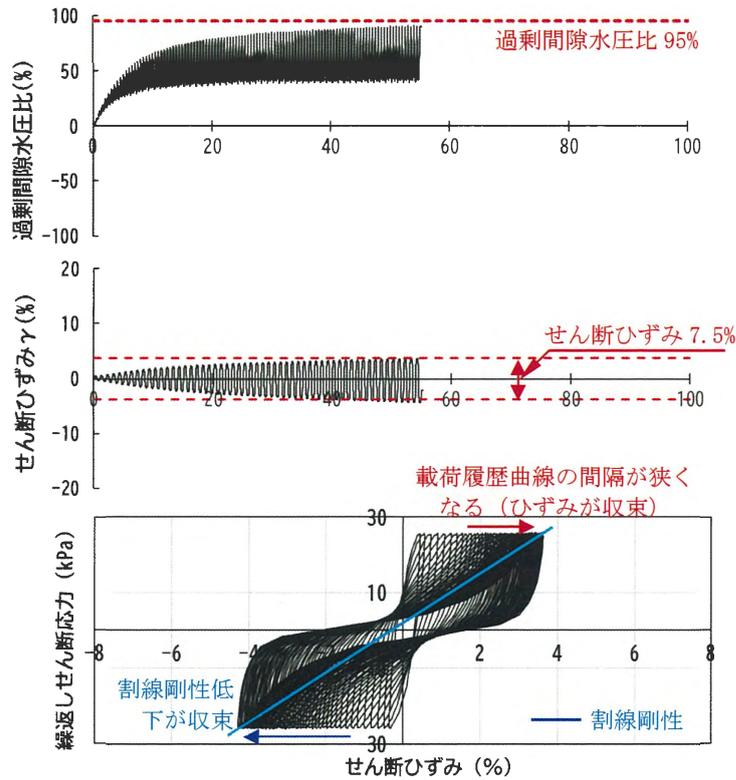


図 3.6-95 改良土 (A g 2 層, $(\tau/\sigma'_m)=0.782$) の液状化強度試験結果

表 3.6-40 未改良土と改良土の液状化特性の比較

項目	未改良土	改良土
過剰間隙水圧比	繰返し载荷とともに徐々に蓄積され漸増するが、ある繰返し回数 (本試験では 50 回) 付近で急激に増加し、その後過剰間隙水圧比 95 % に達しており、液状化に至ったと判断した。	繰返し载荷初期は過剰間隙水圧の増加量が多いが、その増加量は徐々に減じており、せん断ひずみ 7.5 % でも過剰間隙水圧比は 95 % に達せず、液状化に至っていないと判断した。
せん断ひずみ	ある繰返し回数 (本試験では 50 回) 以上で急増し、過剰間隙水圧比 95 % に達したほぼ同じ時点でせん断ひずみ 7.5 % に達しており、液状化に至ったと判断した。	繰返し载荷初期はせん断ひずみの増加量が多いが、その増加量は徐々に減じながらせん断ひずみ 7.5 % に達する (過剰間隙水圧の増加に伴うせん断ひずみの急増は見られないことから液状化に至っていないと判断した)。
せん断応力とひずみ関係	ある繰返し回数 (本試験では 50 回) 以上でせん断ひずみの振幅が大きくなり、最終的には過剰間隙水圧の増加により割線剛性の低下が進行し、剛性を失った扁平な形状の载荷履歴曲線を示しており液状化に至ったと判断した。	繰返し载荷初期のせん断ひずみの振幅は未改良土より大きいですが、载荷履歴曲線のせん断ひずみの振幅は徐々に収束し、試験後半ではほぼ同じ形状で割線剛性の低下が収束しており、剛性を維持していることから液状化に至っていないと判断した。

目 次

4. 品質向上を目的とした設計変更（既工認設計からの変更）	1
4.1 はじめに.....	1
4.2 鋼製防護壁に係る仕様変更（構造変更①）	4
4.3 アンカーボルト及び周辺鉄筋に係る仕様変更（構造変更②）	6
4.4 中詰め鉄筋コンクリートと鋼製防護壁の接合部に係る仕様変更（構造変更③）	8

4. 品質向上を目的とした設計変更（既工認設計からの変更）

4.1 はじめに

防潮堤（鋼製防護壁）の基礎の不具合事象を踏まえた設計変更（地中連続壁部は基礎として使用しない設計方針）に加え，防潮堤（鋼製防護壁）の施工検討において，品質向上を目的として一部構造部材の変更（仕様等の変更）を計画している。本章では，品質向上を目的とした以下の構造部材の変更の概要を示す。品質向上を目的とした構造部材の変更においても，不具合事象の影響を考慮した上での設計とする。

耐震・耐津波評価に反映する構造変更を図 4.1-1 及び図 4.1-2 に示す。

品質向上を目的とした構造部材の変更

- ・構造変更①：鋼製防護壁に係る仕様変更
- ・構造変更②：アンカーボルト及び周辺鉄筋に係る仕様変更
- ・構造変更③：中詰め鉄筋コンクリートと鋼殻の接合部に係る仕様変更

なお，地中連続壁部の不具合事象を踏まえた設計変更による構造変更は以下の項目である。

- ・構造変更④：中実鉄筋コンクリート，頂版鉄筋コンクリートの仕様変更^{※1}
鋼管杭・巻立て鉄筋コンクリートの追加^{※2}
地中連続壁部及びジベル鉄筋の変更（削除）^{※3}
地盤改良（セメント系，薬液注入）の追加^{※2}

※1 設計変更前の構造部材の仕様を変更する。

※2 設計変更前にはなかった構造部材等を追加する。

※3 設計変更前の構造部材を変更（削除）する。

品質向上を目的とした構造変更（構造変更①～③）の概要を 4.2 から 4.4 に示す。

既工認設計の結果に加筆

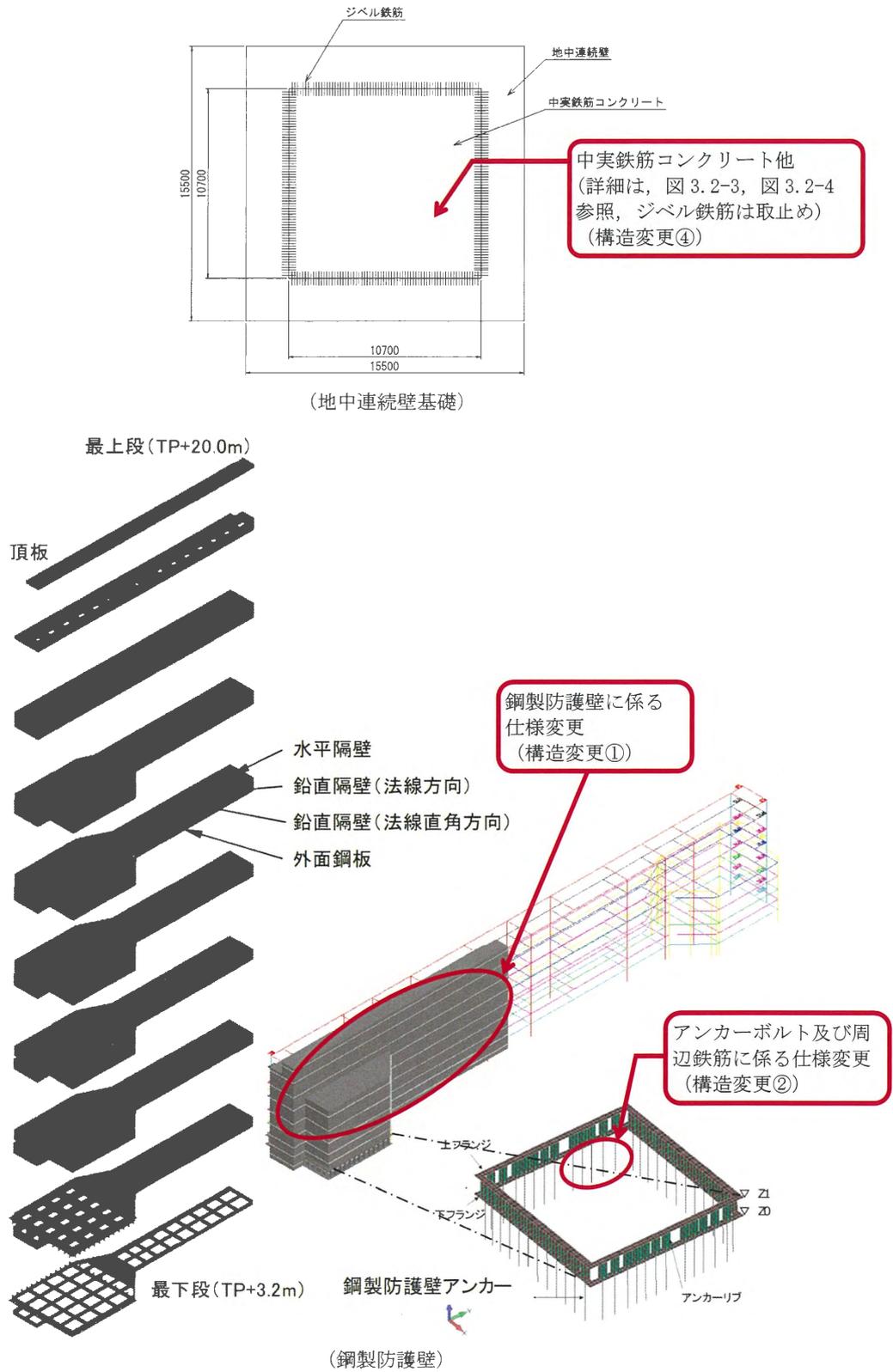


図 4.1-1 各構造部材における変更箇所の概要 (構造変更①, ②, ④)

4.2 鋼製防護壁に係る仕様変更（構造変更①）

鋼製防護壁について、既工認設計にて計画していた板厚・材質構成に対し、工場における実際の製作範囲を考慮した上で、板厚の増厚及び材質の向上を図った。その結果、板厚及び材質を統一し、部材点数及び接合箇所を削減し、作業性及び品質の向上を図った。鋼製防護壁に係る仕様変更の一例を図 4.2-1 に示す。

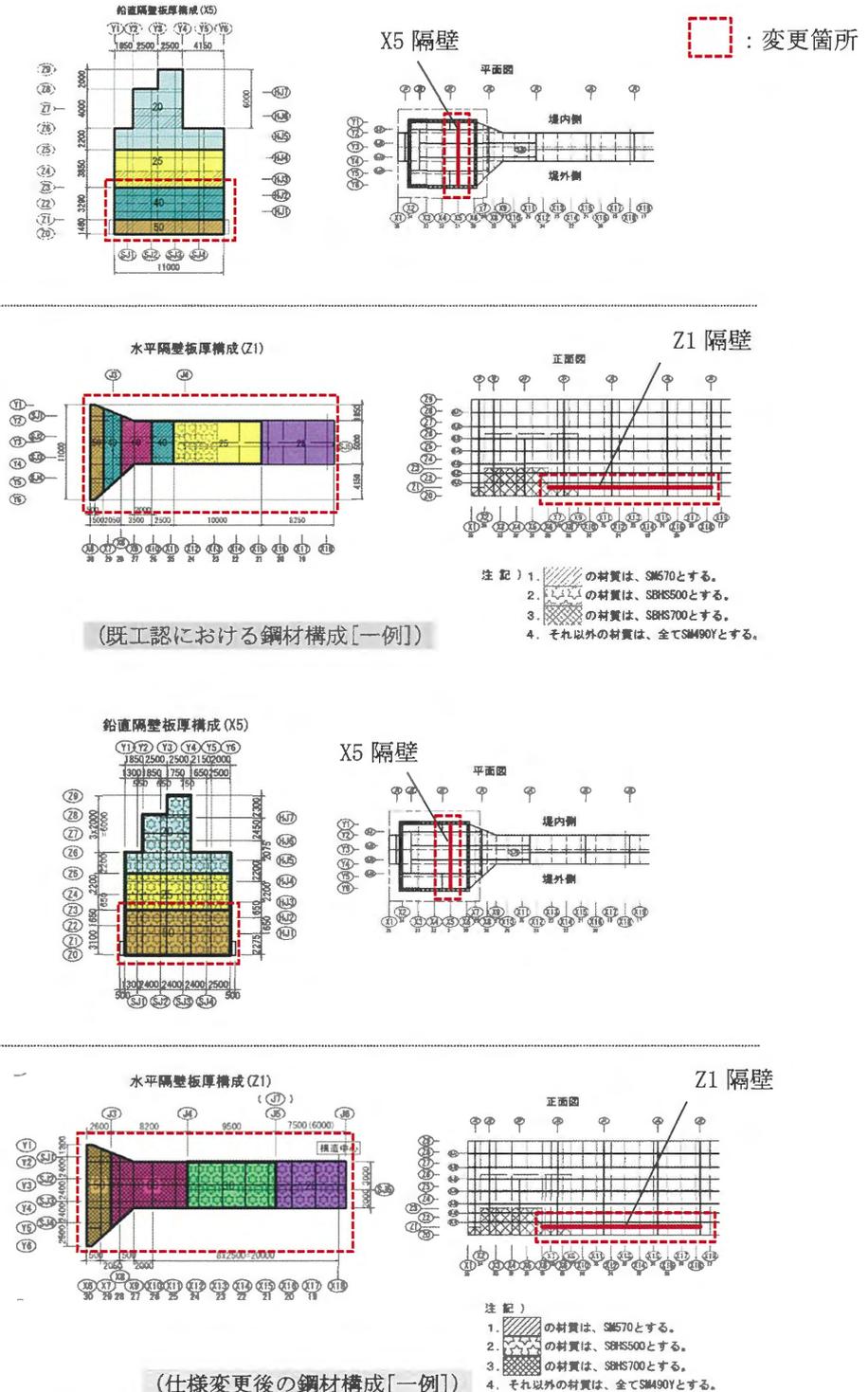
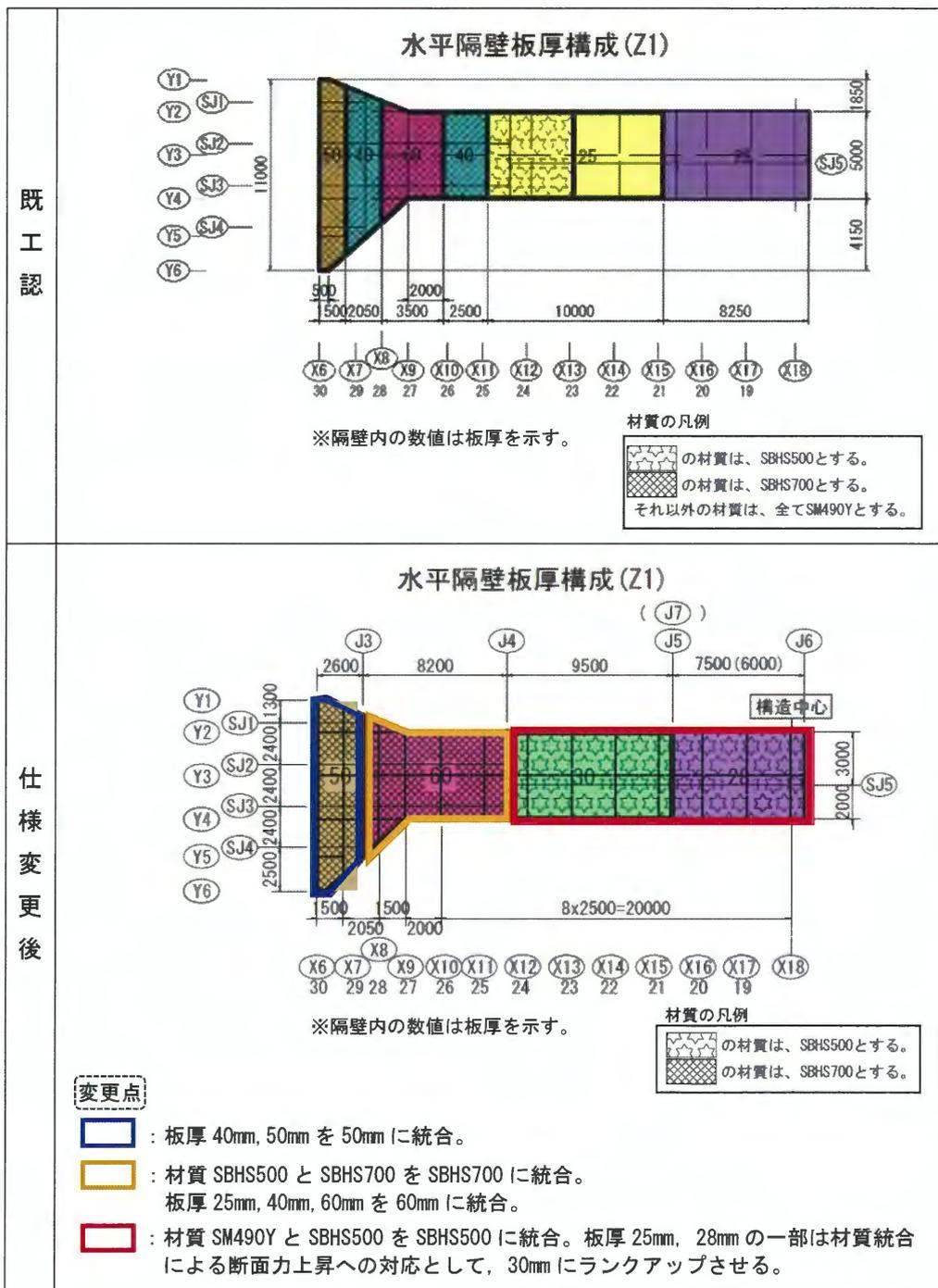


図 4.2-1 鋼製防護壁に係る仕様変更について

Z1 隔壁を例として、表 4.2-1 に板厚及び材質を統合した箇所を示す。既工認では 25mm, 28mm, 40mm, 50mm, 60mm の 5 種類の板厚と SM490Y, SBHS500, SBHS700 の 3 種類の材質との組合せで水平隔壁を構成していた。仕様変更後では、材質を SBHS500 と SBHS700 に統合することにより、板厚を 28mm, 30mm, 50mm, 60mm の 4 種類に低減した。この統合により、部材点数を 7 点から 4 点に削減し、それら部材同士を接続するための溶接延長の低減を図った。

表 4.2-1 板厚, 材質変更による作業性及び品質向上について



4.3 アンカーボルト及び周辺鉄筋に係る仕様変更（構造変更②）

アンカーボルトは、頂版鉄筋コンクリートと鋼製防護壁の接合部に配置されており、鋼製防護壁による引き抜き力を鋼製防護壁基礎に伝達する。当該箇所においては、頂版鉄筋コンクリートの密な配筋に対してアンカーボルトの施工の確実性を高めるため、アンカーボルトの配置と本数について再検討し、既工認設計と同等以上の安全裕度となる仕様に変更した。

また、中詰め鉄筋コンクリート内の鉛直隔壁に設ける鉄筋貫通孔の詳細に対し、貫通孔を考慮した鉄筋の施工性を確認し、より施工の確実性を高めるため、せん断補強筋の径と配置の見直しを実施した。

アンカーボルトの仕様変更は図 4.3-1、中詰め鉄筋コンクリートの鉄筋の配置の変更については図 4.3-2 に示す。

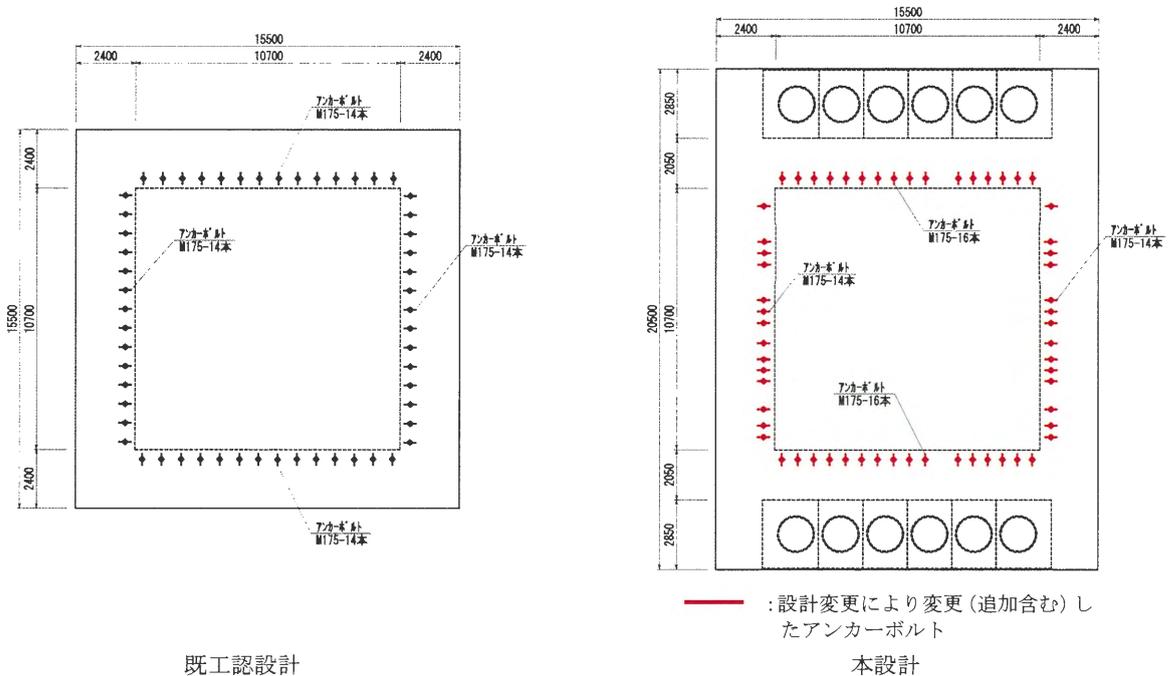


図 4.3-1 アンカーボルトの仕様変更について

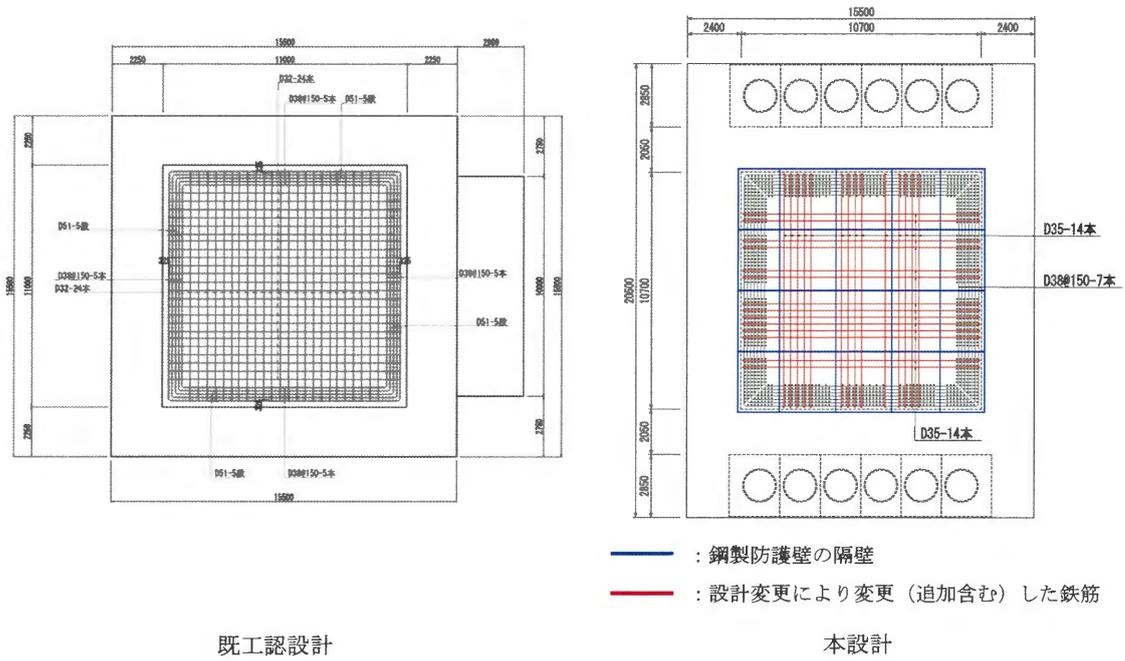


図 4.3-2 中詰め鉄筋コンクリートの鉄筋配置の仕様変更について

4.4 中詰め鉄筋コンクリートと鋼製防護壁の接合部に係る仕様変更（構造変更③）

中詰め鉄筋コンクリートと鋼製防護壁の一体化のために配置するスタッドは、既工認設計では外側鋼板の内面及び鉛直隔壁に配置する計画としていたが、鋼板接合のための添接ボルトや中詰め鉄筋コンクリートの鉄筋の配置を考慮し、施工の確実性を向上させるため、必要設置本数について検討を行い、水平隔壁への配置を追加する仕様に見直した。

(1) 評価方針

「道路橋示方書(Ⅱ鋼橋・鋼部材編)・同解説(日本道路協会、平成29年11月)」のせん断力を受けるスタッド必要設置本数の計算に基づき、外側鋼板の内面及び鉛直隔壁への標準間隔(100×100)で配置されるスタッド本数が既工認設計での設計本数以上であることを確認する。

(2) 評価結果

継手版や鉄筋配置の詳細な配置を考慮して再配置するスタッドについて、スタッドの配置面にZ2隔壁(下面)を追加して設計本数以上を確保する。スタッドの設置本数に関する評価結果を表4.4-1に示す。

表4.4-1に示す実配置本数は、既工認設計での算定本数を満足している。
標準配置図の比較を表4.4-2に示す。

表 4.4-1 スタッド本数の比較

隔壁	工認設計での算定本数 (100×100)	実配置本数	過不足 (+: 充足)
X2	4545 ^{※1}	7048×1面	+2503
X6	4545 ^{※1}	5245×1面	+700
Y1, Y6	4635 ^{※2} ×2面	3061×2面	-3148
X3, X4, X5	4545 ^{※1} ×6面	3765×2面 3780×2面 3716×2面	-4748
Y2, Y3, Y4, Y5	4635 ^{※2} ×8面	4850×2面 5636×2面 4840×2面 4931×2面	+3434
Z2 (下面)	-	1697×1面	+1697
計			+438

※1 X隔壁1面当りの算定本数

$$= \{ (11000 - 200 - 4 \times 200) / 100 + 1 \} \times \{ (4720 - 100 - 50 - 200) / 100 + 1 \} = 101 \times 44.7$$

$$\Rightarrow 101 \times 45 = 4545 \text{ (本)}$$

※2 Y隔壁1面当りの算定本数

$$= \{ (11000 - 200 - 3 \times 200) / 100 + 1 \} \times \{ (4720 - 100 - 50 - 200) / 100 + 1 \} = 103 \times 44.7$$

$$\Rightarrow 103 \times 45 = 4635 \text{ (本)}$$

表 4.4-2 中詰め鉄筋コンクリートと鋼製防護壁の接合部に係る仕様変更について

