

東海第二発電所 設計及び工事計画に係る説明資料

地中連続壁の不具合事象の全容とその対策

2024年5月7日

日本原子力発電株式会社

本資料中の  は、商業秘密又は防護上の観点で公開できません。

目 次

1. 不具合事象に対する調査・評価の概要	
2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）	
(1) 構造物形状（壁厚）	．．．．． 10p
(2) 構造物形状（設置深度(岩着)）	．．．．． 25p
(3) コンクリートの健全性	．．．．． 36p
(4) 鉄筋の健全性	．．．．． 41p
3. 構造設計への反映・対策の方針検討	．．．．． 47p
4. 構造変更を反映した耐震耐津波評価結果	．．．．． 55p
5. 参考資料	
・コンクリート未充填が形成された要因	．．．．． 62p
・音響探査及びコア採取結果（南基礎）	．．．．． 80p
・音響探査及びコア採取結果（北基礎）	．．．．． 84p
・耐震耐津波評価の再検討に係る補足	．．．．． 88p

1. 不具合事象に対する調査・評価の概要（1／7）

防潮堤（鋼製防護壁）地中連続壁の不具合については、その全容の把握と原因究明を行うとともにその対応策についての検討を行った。これら一連の不具合事象の全容から、調査結果及び対策を反映した耐震耐津波評価（既工認と同評価項目）を行った。

設計条件に着目した調査（不具合の全容）

- ・ 既工認における耐震耐津波評価における設計条件と施工された地中連続壁の違いを明らかにするため、設計条件として確認すべき事項（構造物形状、コンクリートの健全性、鉄筋の健全性）に着目し、調査範囲、調査方法を選定

構造設計への反映・対策の方針検討

- ・ 調査結果から、不具合の全容（既工認からの相違）を明らかにするとともに、調査結果に内在する不確かさの洗い出し、構造設計（耐震耐津波評価の設計条件）への反映方法と対策の検討を実施

不具合、不確かさを反映した耐震耐津波評価

- ・ 不具合、不確かさを反映した設計条件（対策等含む）に基づき、既工認と同評価項目の耐震耐津波評価を実施
- ・ 評価にあたっては、既工認の論点のリスト化により、不具合事象に関連するすべての論点を洗い出す

1. 不具合事象に対する調査・評価の概要 (2/7)

設計条件に着目した調査（不具合の全容）					構造設計への反映・対策の方針検討		
確認事項（設計条件）		調査範囲		調査方法	調査結果	構造設計への反映	施工対策
構造物形状	壁厚	中実部/地山側	剛結継手部	施工記録確認 （掘削幅測定、 超音波探査）	掘削後の超音波探査記録から掘削幅を確認	剛結継手部の未充填深さや範囲の不確かさを考慮した設計 ➢コンクリート未充填が確認された地山側の剛結継手部区間について、保守的に20cm欠損させた形状で評価	➢中実部側のコンクリート未充填部は中実部施工時に補修する。 ➢地山側のコンクリート未充填部は補修できないことを踏まえ、鉄筋の腐食対策として、かぶりコンクリートと同程度の不透水性を有する地盤改良体を地山側に設置する。
			非剛結継手部				
		中実部側	剛結継手部	目視観察	未充填の形状・深さを確認。		
			非剛結継手部				
		地山側	剛結継手部	（全区画）音響探査 コア採取	未充填の有無・深さを確認		
			非剛結継手部				
	設置深度（岩着）	基礎下端	剛結継手部	施工記録確認 （深度測定、 スライム処理）	コンクリート打設前に設計深度以上の掘削深さ、底盤の清掃状況、スライム等が堆積しない環境を確認（全区画の岩着を確認）		
			非剛結継手部				
コンクリートの健全性	強度	中実部/地山側	剛結継手部	一軸圧縮強度試験	設計基準強度40N/mm ² を十分満足していることを確認	➢地山側の変形等が生じた鉄筋、剛結継手部に想定した20cm欠損部の鉛直鉄筋及びこれを通るせん断補強筋を考慮しない解析評価	
	非剛結継手部						
鉄筋の健全性	配置	中実部側	剛結継手部	目視観察	鉄筋かご組立時の配置と異なる箇所（ズレや脱落）を確認	不具合の影響評価 ➢A北4区画の鉄筋かごの高止まり基礎部に鉄筋が存在しない場合の構造成立性評価	
			非剛結継手部				
		地山側	剛結継手部	モックアップ試験	中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認		
			非剛結継手部				
	変形	中実部側	剛結継手部	目視観察 施工記録確認 （超音波探査）	剛結継手部の先行及び後行エレメント鉄筋の変形を確認	③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価	
			非剛結継手部				
		地山側	剛結継手部	施工記録確認 （超音波探査）	一部区画で先行鉄筋の変形を確認		
			非剛結継手部				モックアップ試験

1. 不具合事象に対する調査・評価の概要 (3/7)

不具合, 不確かさを反映した耐震耐津波評価

耐震計算に係る既工認審査資料より網羅的に抽出した各設計項目に対する調査結果等の反映状況を示す。なお, 反映すべき構造変更は右記のとおり。

①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更

②地中連続壁の配筋変更

③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価

不具合事象に係る構造変更

④ジベル鉄筋の仕様変更

⑤鋼製防護壁の仕様変更

⑥アンカーボルト及び周辺鉄筋の仕様変更

品質向上に係る構造変更

評価対象部位		耐震評価設計項目	応答計算への反映箇所※		照査への反映箇所	
			反映すべき構造変更	反映方針	反映すべき構造変更	反映方針
下部構造	基礎地盤	基礎地盤の支持性能評価	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価	想定される無筋区間に対して支持性能(引張)照査を実施
	地中連続壁(連壁+中実コン)	部材の曲げ・せん断照査	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更 ②地中連続壁の配筋変更	20cm×8箇所の欠損や配筋変更を考慮した断面照査を実施
		地中連続壁と中実鉄筋コンクリートの一体化に係る評価(ジベル)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	④ジベル鉄筋の仕様変更	変更後の鉄筋仕様にて, せん断照査を実施
		【参考】 南北地中連続壁基礎の間に生じる地震時相対変位の影響について	地中連続壁の設計手法の妥当性を補足するための解析的検討であり, 構造変更①による影響を少なからず受ける内容ではあるが, 影響程度が非常に小さく, 再検討は不要だと判断した。			
上部構造	鋼製防護壁	外壁及び隔壁からなる主部材の評価	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	⑤鋼製防護壁の仕様変更	変更後の鋼材仕様にて, 応力照査を実施
		中詰め鉄筋コンクリートと鋼殻の接合部の評価(スタッド)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	なし	(スタッドに係る仕様変更はない)
		補剛材の評価	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	なし	(補剛材に係る仕様変更はない)
	接合部	アンカーボルトに係る各種評価(引抜き, コーンせん断等)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	⑥アンカーボルト及び周辺鉄筋の仕様変更	変更後のボルト及び鉄筋仕様にて, 応力照査を実施
		頂版鉄筋コンクリート, 中詰め鉄筋コンクリートに係る各種評価(水平せん断, 水平曲げ)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	⑥アンカーボルト及び周辺鉄筋の仕様変更	変更後のボルト及び鉄筋仕様にて, 応力照査を実施
		【別冊】 COM3による接合部アンカーの評価	本検討において支配的な荷重条件は“津波荷重(重畳時)”であることから, 強度計算に付随した追加検討に分類し, ここには記載しない。			
	止水ジョイント部	側方止水ジョイント部材の変形性能照査	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	なし	(止水ジョイントに係る仕様変更はない)
底部止水機構(1次止水機構)の耐震評価		鋼製防護壁により間接支持される設備(底部止水機構)の耐震計算であり, 構造変更①による影響を少なからず受ける内容ではあるが, 影響程度が非常に小さく, 再検討は不要だと判断した。				

※応答計算では地中連続壁の形状の影響が少ないことから反映すべき事項は①のみ

1. 不具合事象に対する調査・評価の概要（4／7）

耐津波計算に係る既工認審査資料より網羅的に抽出した各設計項目に対する調査結果等の反映状況を示す。なお、反映すべき構造変更は右記のとおり。

①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更

②地中連続壁の配筋変更

③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価

不具合事象に係る構造変更

④ジベル鉄筋の仕様変更

⑤鋼製防護壁の仕様変更

⑥アンカーボルト及び周辺鉄筋の仕様変更

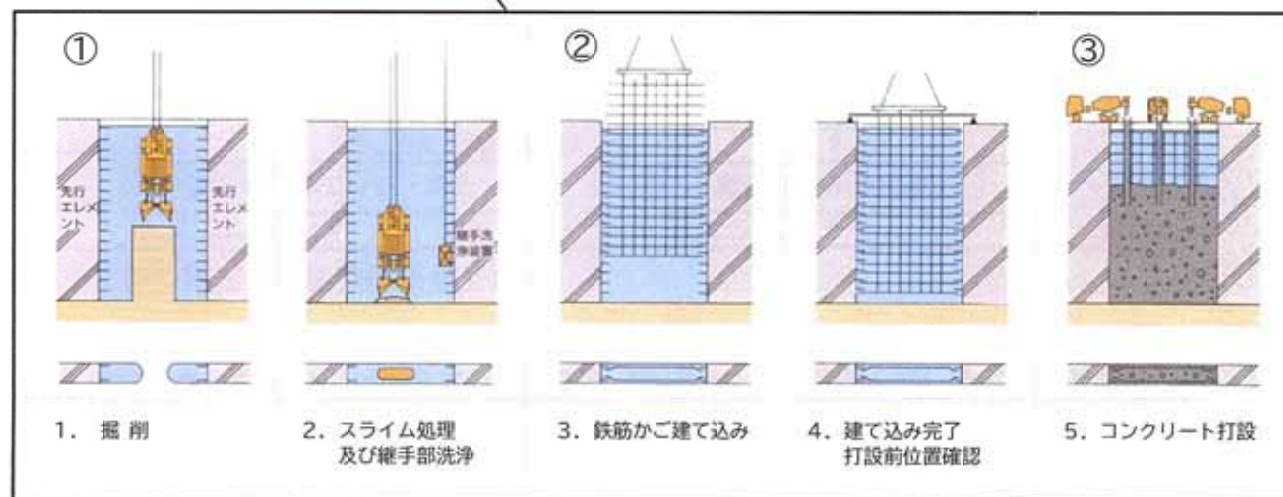
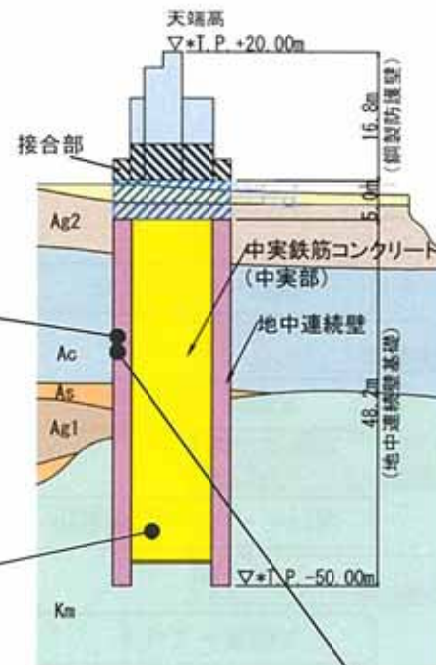
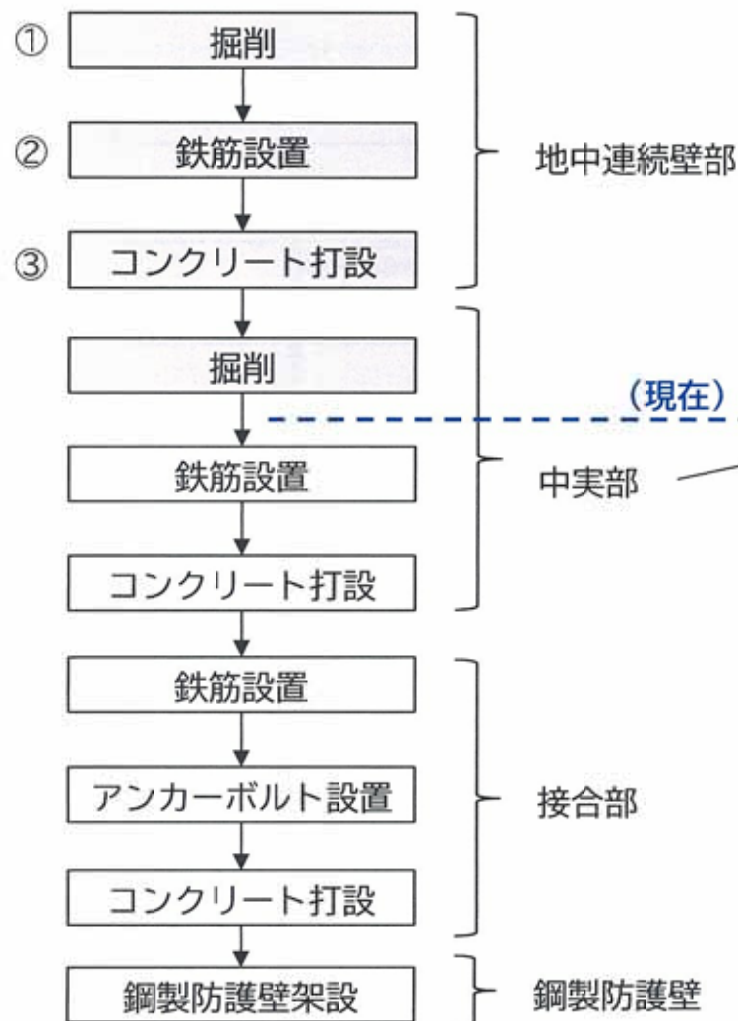
品質向上に係る構造変更

評価対象部位		耐津波設計項目	応答計算への反映箇所※		照査への反映箇所	
			反映すべき構造変更	反映方針	反映すべき構造変更	反映方針
下部構造	基礎地盤	基礎地盤の支持性能評価	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価	想定される無筋区間に対して支持性能(引張)照査を実施
	地中連続壁(連壁+中実コン)	部材の曲げ・せん断照査	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更 ②地中連続壁の配筋変更	20cm×8箇所の欠損や配筋変更を考慮した断面照査を実施
		地中連続壁と中実鉄筋コンクリートの一体化に係る評価(ジベル)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	④ジベル鉄筋の仕様変更	変更後の鉄筋仕様にて、せん断照査を実施
上部構造	鋼製防護壁	外壁及び隔壁からなる主部材の評価	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	⑤鋼製防護壁の仕様変更	変更後の鋼材仕様にて、応力照査を実施
		中詰め鉄筋コンクリートと鋼殻の接合部の評価(スタッド)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	なし	スタッドに係る仕様変更はない
		補剛材の評価	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	なし	補剛材に係る仕様変更はない
		【参考】余震荷重における3次元組合せ係数法の保守性の確認	鋼製防護壁の設計手法の妥当性を補足するための解析的検討であり、構造変更①による影響を少なからず受ける内容ではあるが、影響程度が非常に小さく、再検討は不要だと判断した。			
	接合部	アンカーボルトに係る各種評価(引抜き、コーンせん断等)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	⑥アンカーボルト及び周辺鉄筋の仕様変更	変更後のボルト及び鉄筋仕様にて、応力照査を実施
		頂版鉄筋コンクリート、中詰め鉄筋コンクリートに係る各種評価(水平せん断、水平曲げ)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	⑥アンカーボルト及び周辺鉄筋の仕様変更	変更後のボルト及び鉄筋仕様にて、応力照査を実施
		【別冊】COM3による接合部アンカーの評価	接合部の設計手法の妥当性を補足するための3次元解析(COM3)であり、構造変更①や構造変更⑥の影響を少なからず受ける内容ではあるが、耐津波評価における接合部の安全裕度が向上しているという設計事実を踏まえ、当該評価を再実施する必要はないと判断した。			
	止水ジョイント部	側方止水ジョイント部材の変形性能照査	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	なし	止水ジョイントに係る仕様変更はない
		底部止水機構(1次止水機構)の強度評価	鋼製防護壁により間接支持される設備(底部止水機構)の耐津波計算であり、構造変更①により評価の一部(余震荷重の算定)が影響を少なからず受ける内容ではあるが、影響程度が非常に小さく、再検討は不要だと判断した。			

※応答計算では地中連続壁の形状の影響しかないことから反映すべき事項は①のみ

1. 不具合事象に対する調査・評価の概要 (5/7)

(1) 防潮堤（鋼製防護壁）の施工手順



地中連続壁部の施工ステップ図

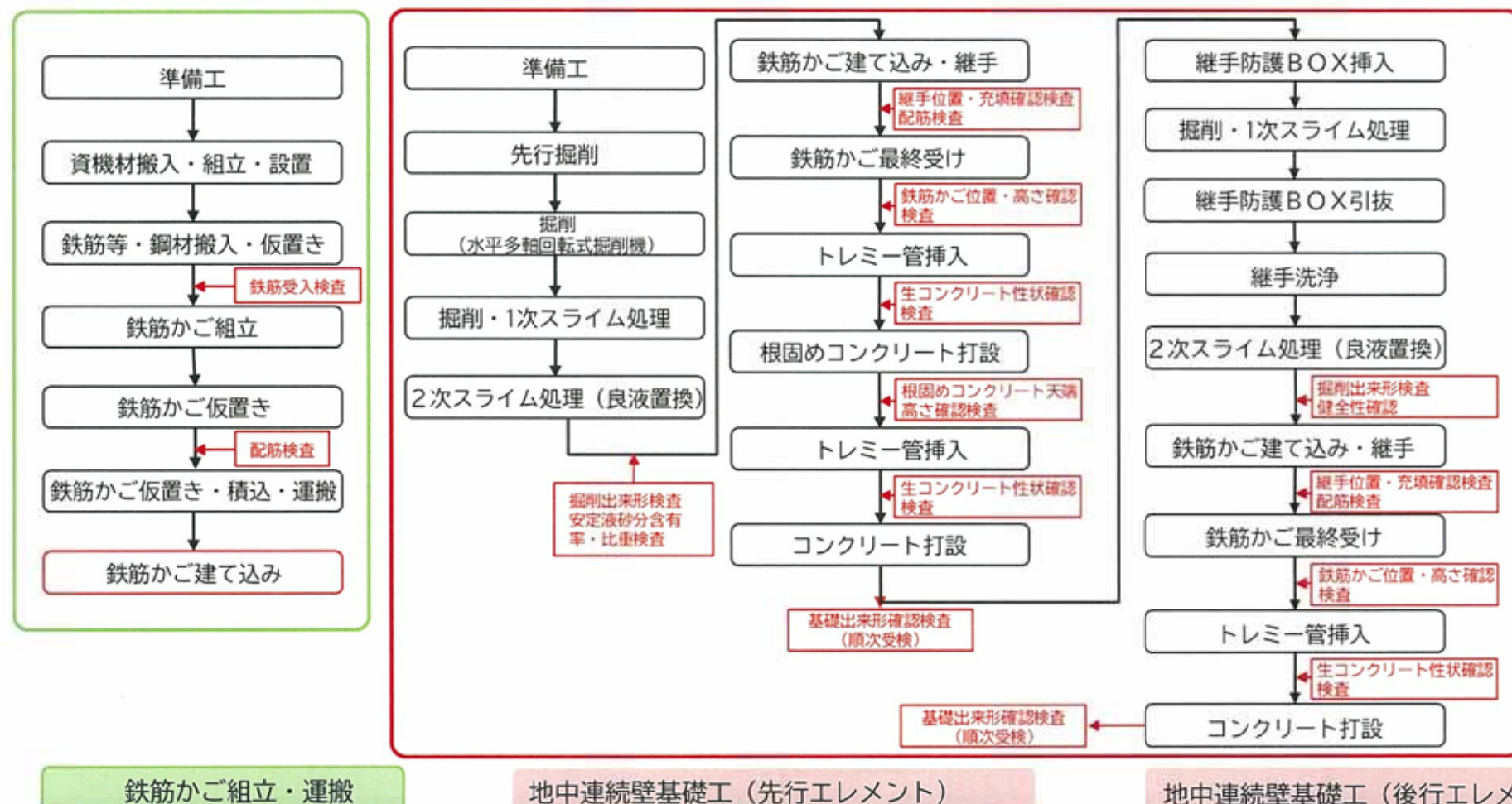
1. 不具合事象に対する調査・評価の概要（6/7）

（2）施工時の品質確認検査

各施工段階（下記フロー）において、品質確認検査を実施する。

また、想定外事象が発生した場合においても対策等を実施する際は、都度適切な品質確認検査を実施する。

地中連続壁基礎工に係る施工・品質確認検査フロー

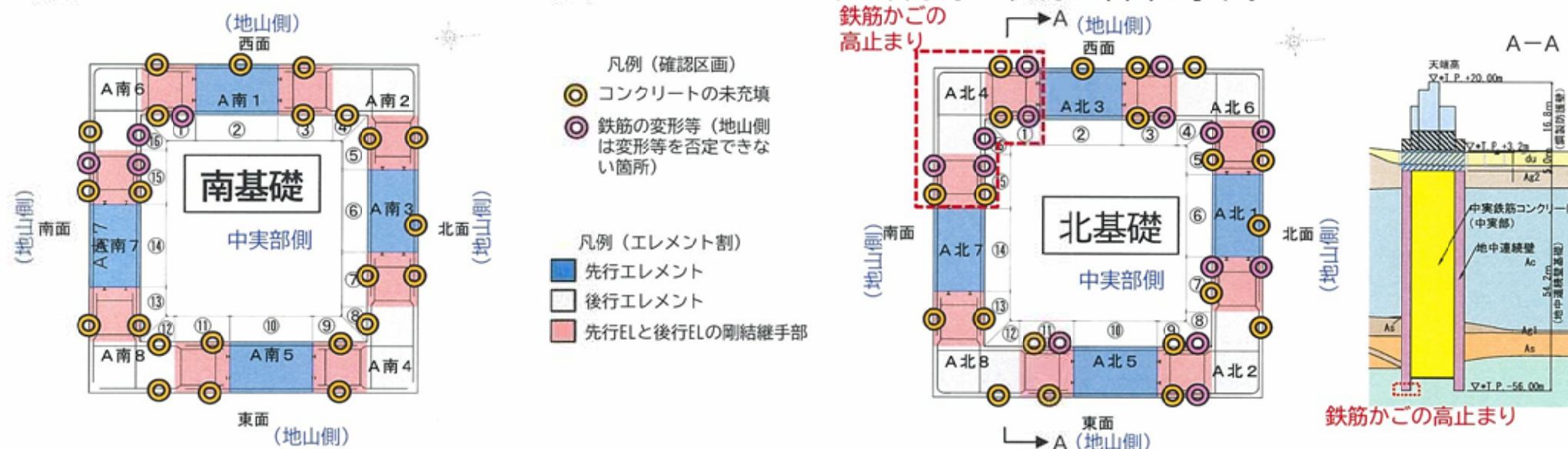


1. 不具合事象に対する調査・評価の概要（7/7）

南北基礎共通

(3) 確認した不具合事象

地中連続壁部構築後、中実部の掘削により、地中連続壁部にコンクリートの未充填及び鉄筋の変形、脱落、欠損（以下、「変形等」という）を確認した。南北基礎における不具合事象の状況を下図に示す。



不具合項目		コンクリートの未充填	鉄筋（水平鉄筋）の変形等
南基礎	中実部側	剛結継手部 (①③⑤⑦⑨⑪⑬⑮) 非剛結継手部 (④⑧⑫)	剛結継手部 (①⑮) 非剛結継手部 (⑬)
	地山側	剛結継手部 (①③⑤⑦⑨⑪⑬⑮) 非剛結継手部 (②⑥⑩⑭)	剛結継手部 (⑮)
北基礎	中実部側	剛結継手部 (①③⑤⑦⑨⑪⑬⑮)	剛結継手部 (①③⑤⑦⑨⑪⑮) 非剛結継手部 (⑬)
	地山側	剛結継手部 (①③⑤⑨⑪⑬⑮) 非剛結継手部 (②④⑥⑧⑫)	剛結継手部 (①③⑤⑦⑨⑮)
	その他	鉄筋かごの高止まり（A北4（①⑮⑯）で、鉄筋かごが所定の深度に設置できない事象）	

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）

（１）構造物形状（壁厚）

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（1）構造物形状（壁厚）

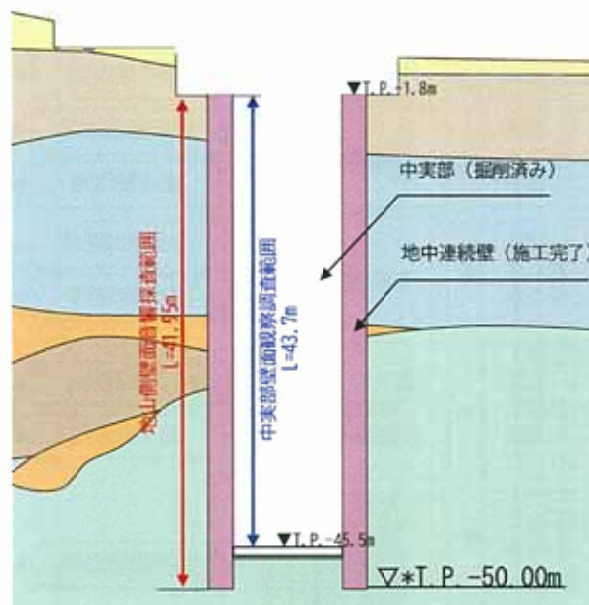
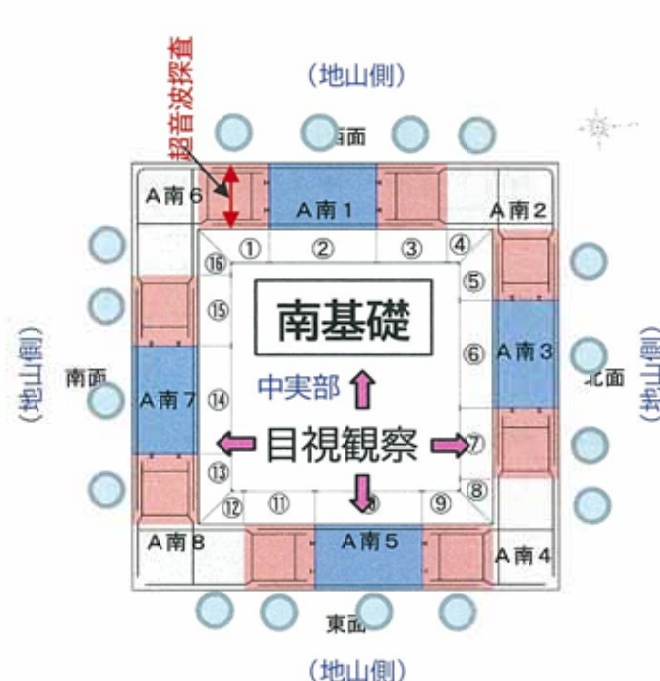
設計条件に着目した調査（不具合の全容）				構造設計への反映・対策の方針検討				
確認事項（設計条件）		調査範囲		調査方法	調査結果	構造設計への反映	施工対策	
構造物形状	壁厚	中実部/地山側	剛結継手部	施工記録確認 (掘削幅測定、 超音波探査)	掘削後の超音波探査記録から掘削幅を確認	剛結継手部の未充填深さや範囲の不確かさを考慮した設計 ➢コンクリート未充填が確認された地山側の剛結継手部区間について、保守的に20cm欠損させた形状で評価 ①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	➢中実部側のコンクリート未充填部は中実部施工時に補修する。 ➢地山側のコンクリート未充填部は補修できないことを踏まえ、鉄筋の腐食対策として、かぶりコンクリートと同程度の不透水性を有する地盤改良体を地山側に設置する。	
			非剛結継手部	目視観察	未充填の形状・深さを確認。			
		中実部側	剛結継手部		(全区画)音響探査 コア採取			未充填の有無・深さを確認
			非剛結継手部					
		地山側	剛結継手部		(全区画)音響探査 コア採取			健全性に影響を及ぼすような未充填はない。
			非剛結継手部					
	設置深度 (岩着)	基礎下端	剛結継手部	施工記録確認 (深度測量、 スライム処理)	コンクリート打設前に設計深度以上の掘削深さ、底盤の清掃状況、スライム等が堆積しない環境を確認 (全区画の岩着を確認)	➢地山側の変形等が生じた鉄筋、剛結継手部に想定した20cm欠損部の鉛直鉄筋及びこれを通るせん断補強筋を考慮しない解析評価 ②地中連続壁の配筋変更	➢中実部側は、変形等が認められる鉄筋を補修する。なお、現在、中実部側で気中に晒されている鉄筋は腐食対策を実施する。 ➢地山側のコンクリート未充填部および中実部側の鉄筋の変形等を考慮し、中実部で鉄筋を補強する。	
			非剛結継手部					
		強度	中実部/地山側	剛結継手部	一軸圧縮強度試験			設計基準強度40N/mm ² を十分満足していることを確認
				非剛結継手部				
鉄筋の健全性	配置	中実部側	剛結継手部	目視観察	鉄筋かご組立時の配置と異なる箇所（ズレや脱落）を確認	不具合の影響評価 ➢A北4区画の鉄筋かごの高止まり基礎部に鉄筋が存在しない場合の構造成立性評価 ③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価		
			非剛結継手部					
		地山側	剛結継手部	モックアップ試験	中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認			
			非剛結継手部					
		変形	中実部側	剛結継手部	目視観察 施工記録確認 (超音波探査)			剛結継手部の先行及び後行エレメント鉄筋の変形を確認
				非剛結継手部				
	地山側		剛結継手部	施工記録確認 (超音波探査)	一部区画で先行鉄筋の変形を確認			
			非剛結継手部			モックアップ試験 中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認		

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （1）構造物形状（壁厚）

南基礎

1) 調査内容

南基礎の構造物形状を確認するため以下の調査を実施した。



①施工記録確認

- ・ 超音波探査：各区画毎の出来形検査時の超音波探査記録の確認

②中実部側

- ・ 目視観察：壁面を清掃後に未充填部の深さをスケッチしその状態を確認

③地山側

- ・ 音響探査：地山側の壁面の形状（壁厚）を確認
- ・ コア採取：音響探査の欠測区間の壁厚を確認

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （1）構造物形状（壁厚）

南基礎

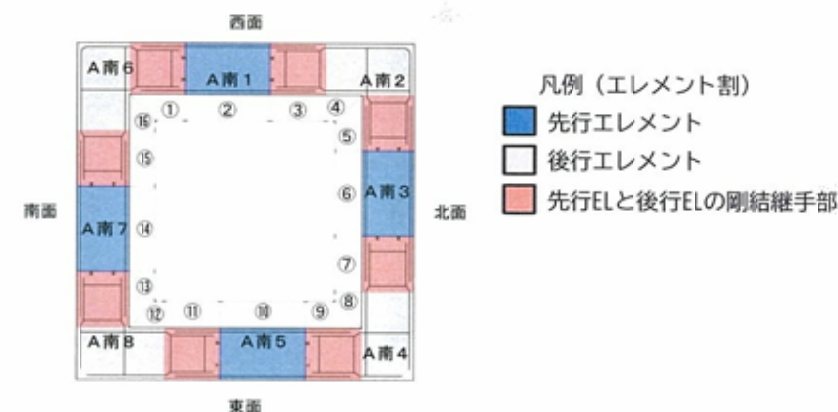
2) 掘削完了直後の施工記録確認結果（南基礎）

各区画における掘削完了後の超音波測定結果（施工記録）から、設計壁厚を満足する掘削幅で施工されていることを確認した。

を確認した。

実測値は最小値を示す

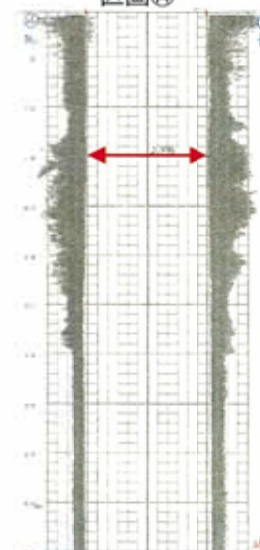
	区画	設計壁厚 (mm)	実測壁厚 (超音波記録より) (mm)	差 (mm)	規格値	合・否
A 南	①	2,400	2,480	+80	-50mm 以上	合
	②		2,480	+80		合
	③		2,480	+80		合
	④		2,440	+40		合
	⑤		2,440	+40		合
	⑥		2,480	+80		合
	⑦		2,440	+40		合
	⑧		2,440	+40		合
	⑨		2,560	+160		合
	⑩		2,480	+80		合
	⑪		2,480	+80		合
	⑫		2,400	±0		合
	⑬		2,440	+40		合
	⑭		2,440	+40		合
	⑮		2,480	+80		合
	⑯		2,480	+80		合



先行エレメント超音波測定位置



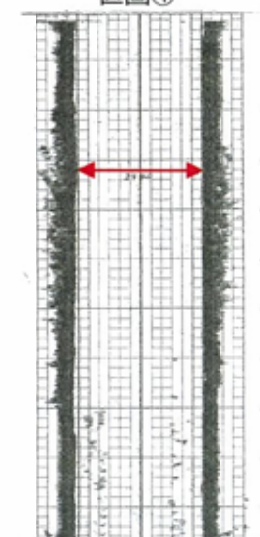
区画⑭



後行エレメント超音波測定位置



区画④



2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（1）構造物形状（壁厚）

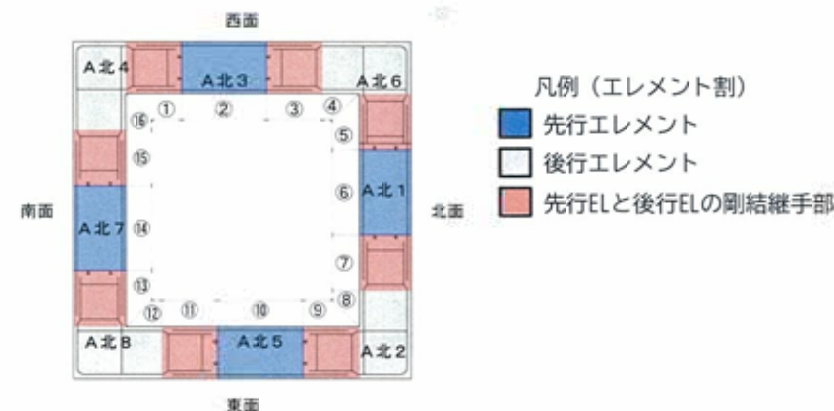
北基礎

3）掘削完了直後の施工記録確認結果（北基礎）

各区画における掘削完了後の超音波測定結果（施工記録）から、設計壁厚を満足する掘削幅で施工されていることを確認した。

実測値は最小値を示す

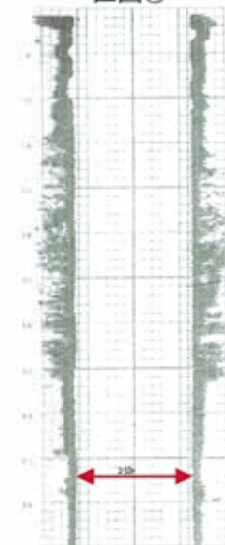
	区画	設計壁厚 (mm)	実測壁厚 (超音波記録より) (mm)	差 (mm)	規格値	合・否
A 北	①	2,400	2,480	+80	-50mm 以上	合
	②		2,480	+80		合
	③		2,520	+120		合
	④		2,440	+40		合
	⑤		2,560	+160		合
	⑥		2,520	+120		合
	⑦		2,560	+160		合
	⑧		2,440	+40		合
	⑨		2,520	+120		合
	⑩		2,520	+120		合
	⑪		2,440	+40		合
	⑫		2,400	±0		合
	⑬		2,520	+120		合
	⑭		2,520	+120		合
	⑮		2,480	+80		合
	⑯		2,400	±0		合



先行エレメント超音波測定位置



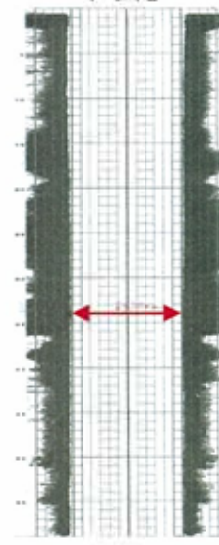
区画⑬



後行エレメント超音波測定位置



区画⑫

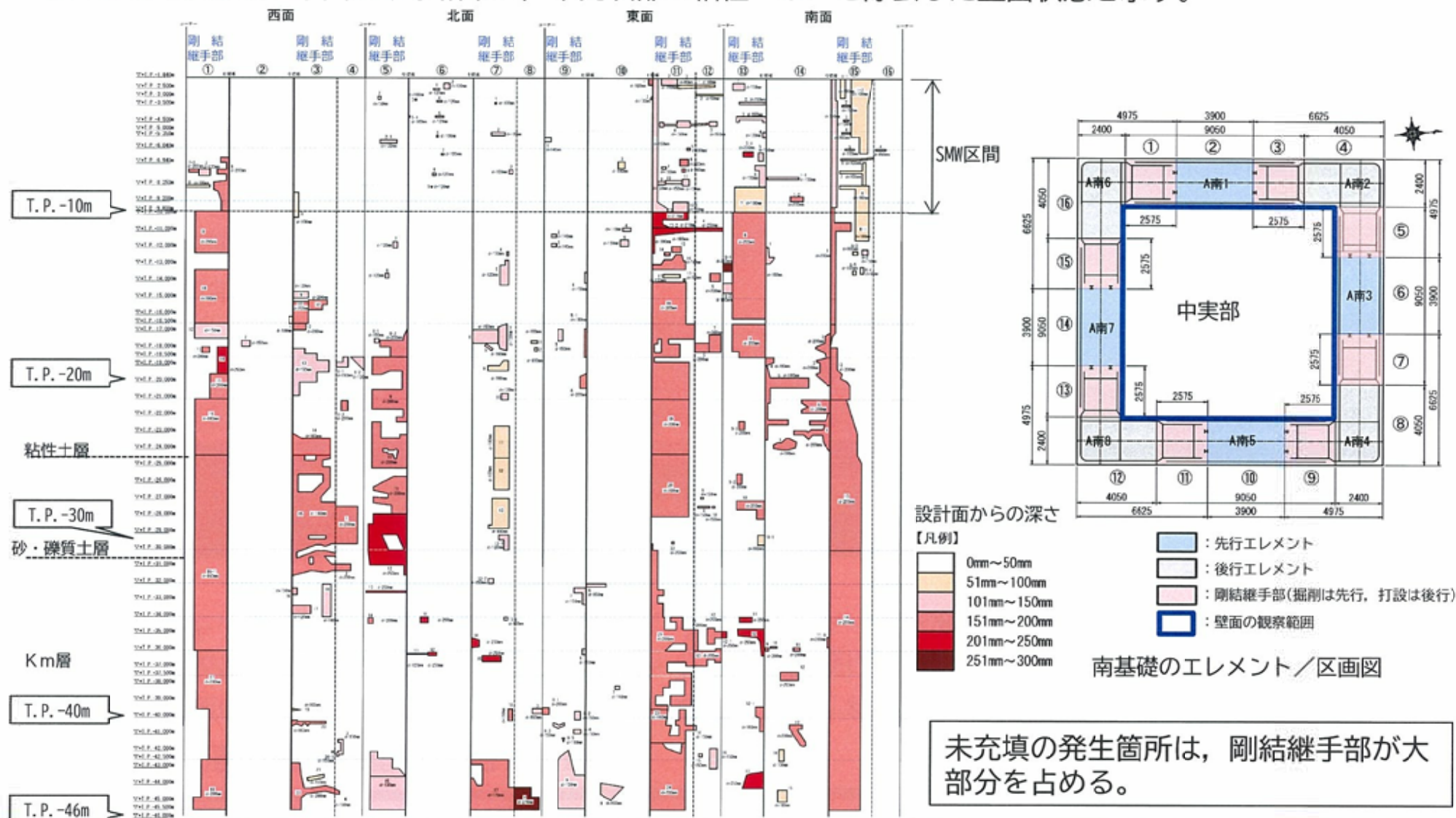


2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（1）構造物形状（壁厚）

南基礎

4）中実部側壁面の観察結果（コンクリート）

南基礎の中実部にて地中連続壁部にコンクリートの未充填（未充填の状況によっては鉄筋の露出）が発生していることを確認した。下図の観察結果は、未充填部の粘性土などを除去した壁面状態を示す。



南基礎中実部側地中連続壁面の観察結果

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（1）構造物形状（壁厚）

南基礎

5) 中実部側壁面の観察結果（要因と分類）

中実部側壁面の観察結果から、コンクリート未充填部が形成された要因とその分類を行った。

基本的には粘性土のはらみ出しによるコンクリート流路の阻害により、コンクリート未充填部が生じたものと判断される。また、通常の連壁施工においても発生しうるスライム・安定液の巻込みも一部で確認した。

凡例 ●：事象を確認 ×：未確認

要因		(a) 溝壁のはらみ出し及びはらみ出し土砂の崩落	(b) A南7コンクリート打設時の剛結継手部へのコンクリート・土砂の流出	(c) コンクリート打設中のスライム・安定液の巻込み	(d) A南7コンクリート打設時のコンクリートの流出	(e) 隣接する剛結継手部のはらみ出し・崩落土砂の流入
事象の特徴		開放期間が長い剛結継手部のSMW以深に認められる事象	剛結継手部のうち⑬の区画特有の事象	非剛結継手部を含め通常の連壁施工において発生しうる事象（非剛結継手部ではわずかに確認される程度）	非剛結継手部のうち先行エレメント⑭の区画特有の事象	非剛結継手部のうち後行エレメント④⑧⑫の区画特有の事象
剛結継手部	SMW区間	×	×	●	×	×
	粘性土区間	●	●	●	×	×
	砂・砂礫区間	●	●	●	×	×
	岩盤区間	はらみ出した粘性土の崩落による副次的な要因	●	●	×	×
非剛結継手部	SMW区間	×	×	●	×	×
	粘性土区間	×	×	●	●	×
	砂・砂礫区間	×	×	●	×	●
	岩盤区間	×	×	●	×	●

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （1）構造物形状（壁厚）

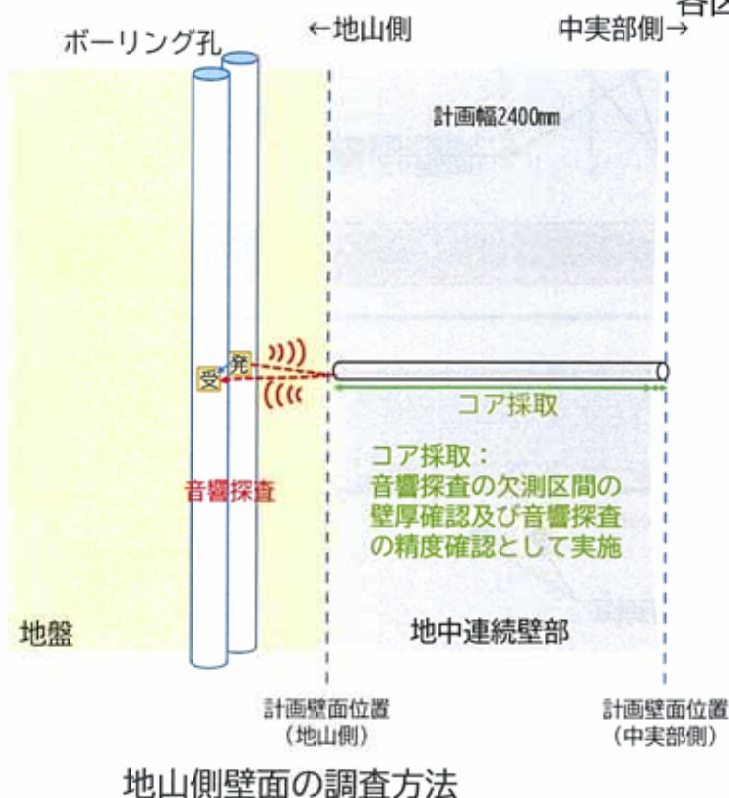
南基礎

6）地山側のコンクリート未充填調査結果（音響探査及びコア採取結果）

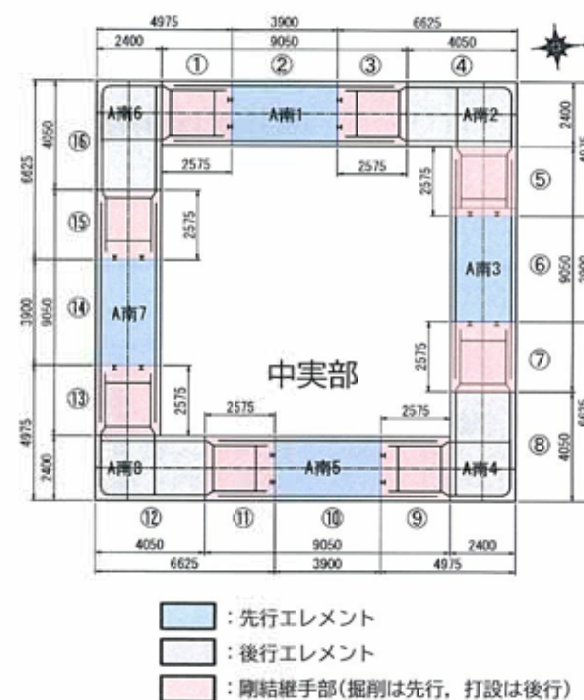
地山側のコンクリート未充填の状況を確認するため全区画で音響探査を実施し、欠測が生じた区間においてはコア測定により補完した。

コンクリート未充填は、剛結継手部（①③⑤⑦⑨⑪⑬⑮）に確認され（最大で16cm）、非剛結継手部では構造健全性に影響を及ぼすような未充填は認められない。

各区画の掘置期間およびコンクリート未充填測定結果



区画	掘置期間	音響探査及びコア長さ測定結果におけるコンクリート未充填最大深さ
①	260日間	16cm
②	9日間	2cm
③	50日間	11cm
④	9日間	未充填部なし
⑤	27日間	10cm
⑥	8日間	1cm
⑦	71日間	7cm
⑧	7日間	未充填部なし
⑨	24日間	8cm
⑩	8日間	未充填部なし
⑪	89日間	5cm
⑫	9日間	3cm
⑬	51日間	10cm
⑭	8日間	未充填部なし
⑮	152日間	11cm
⑯	6日間	1cm

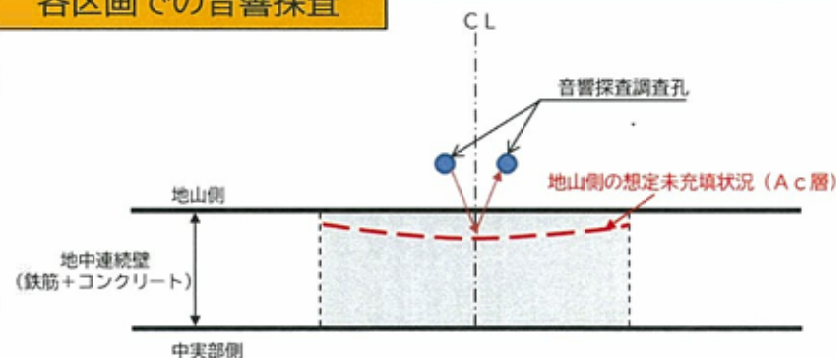


2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （1）構造物形状（壁厚） 南北基礎共通

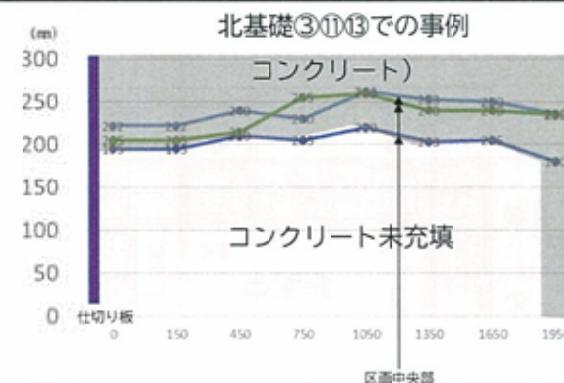
7) 音響探査の区画中央部位置での信頼性確認

区画中央部での音響探査結果が、各区画のコンクリート未充填深さとして問題ないことを3測線（計測幅2m程度）での計測を行い確認した。

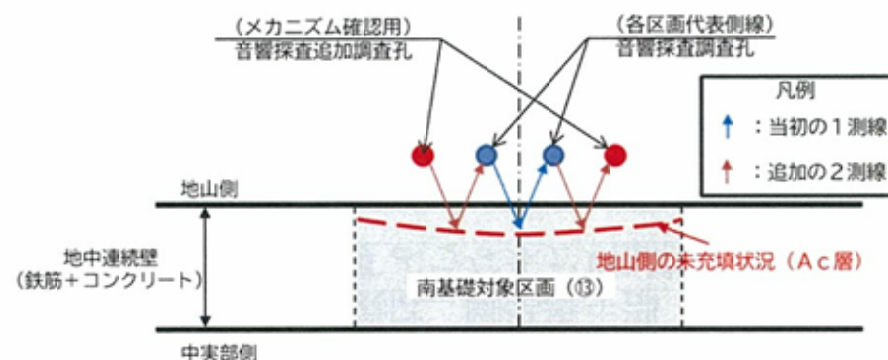
各区画での音響探査



地山側のコンクリート未充填については、掘置き期間中の時間の経過にともなうはらみ出しが最も大きな要因と考えられる。掘削は、各区画（幅2.5m～3.9m）毎に実施するため、各区画で傾向は異なるものの、掘削範囲の中央部で粘性土のはらみ出し量が大きくなると考えられる。

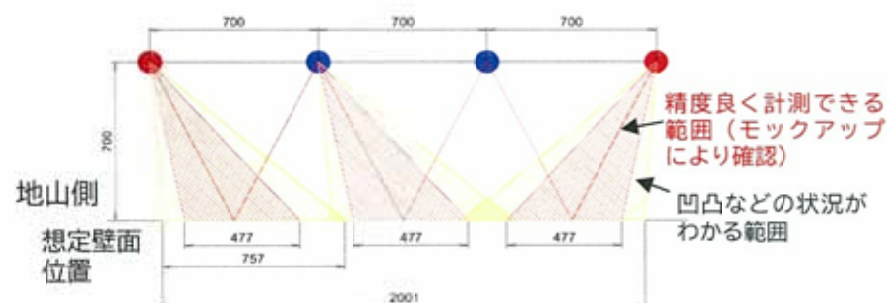


区画中央部での測定の妥当性確認試験



区画中央部での音響探査結果が、区画のコンクリート未充填深さとして問題ないことを3測線（計測幅2m程度）での計測を行い確認した。

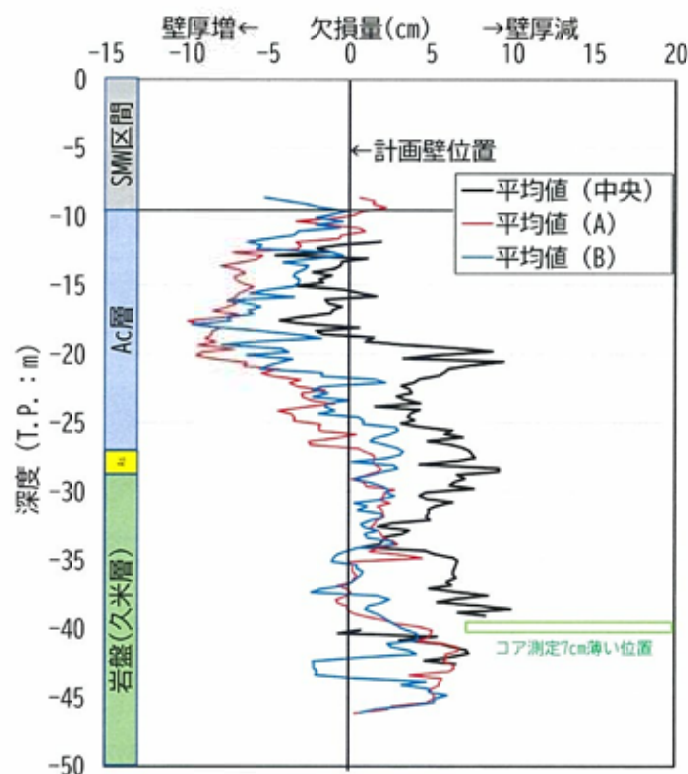
3測線計測の音響探査計測範囲



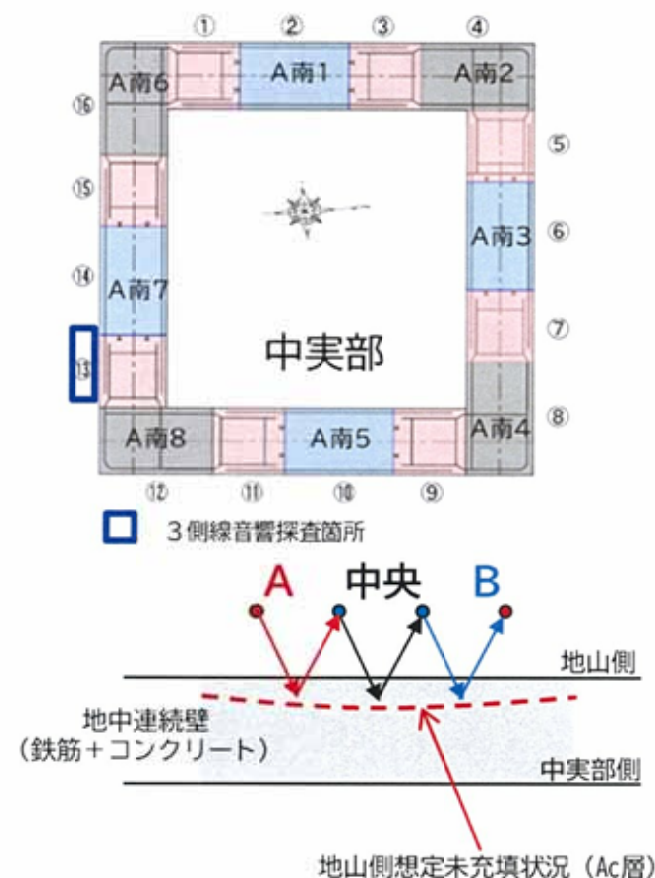
8) 音響探査の区画中央部位置での信頼性確認結果

区画中央部の両サイドで音響探査を追加し、中央部から離れた位置のコンクリート未充填深さを確認した結果、中央部の未充填深さとおおむね同等以下であることが確認された。

したがって区画中央部での音響探査結果を、同区画のコンクリート未充填深さとするに問題はないと判断した。

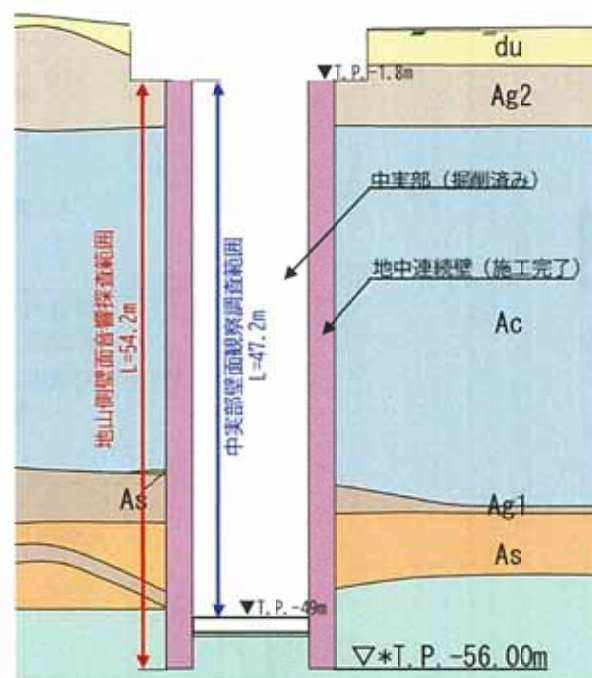
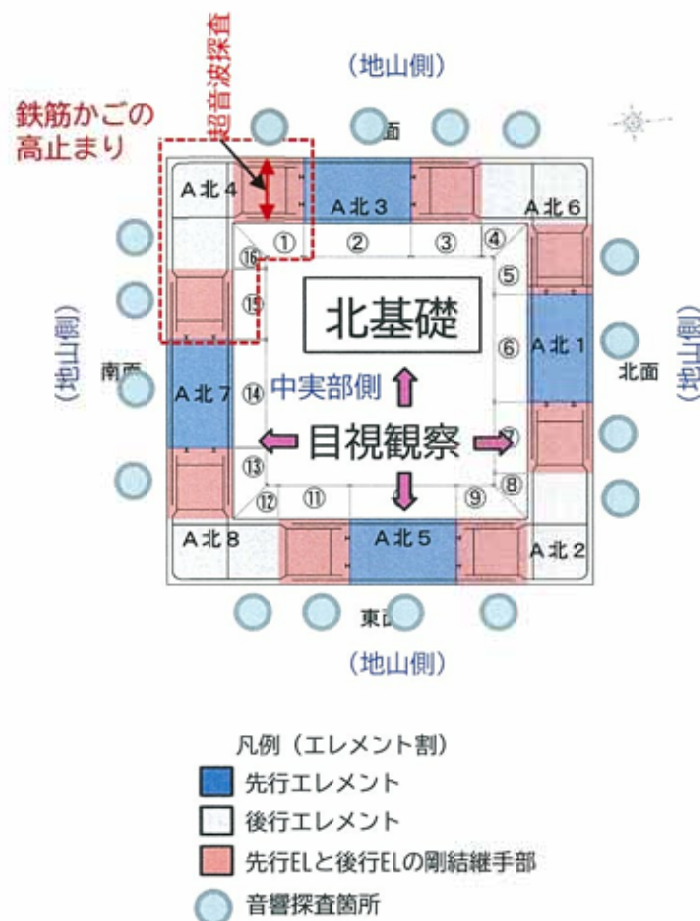


平均値深度分布の比較図



9) 調査内容

北基礎の構造物形状を確認するため以下の調査を実施した。



①施工記録確認

- 超音波探査：各区画毎の出来形検査時の超音波探査記録の確認

②中実部側

- 目視観察：壁面を清掃後に未充填部の深さをスケッチしその状態を確認

③地山側

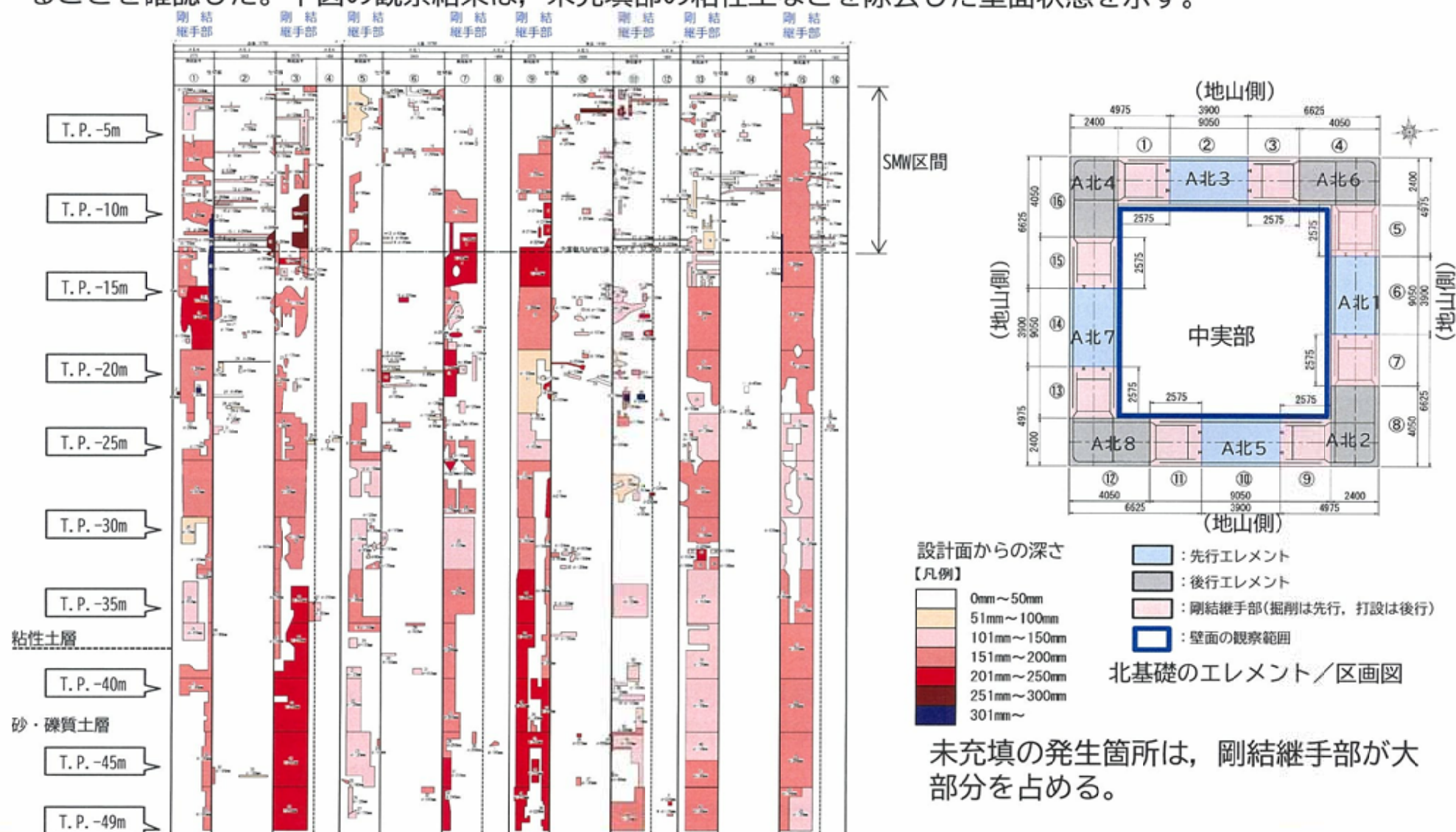
- 音響探査：地山側の壁面の形状（壁厚）を確認
- コア採取：音響探査の欠測区間の壁厚を確認

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （1）構造物形状（壁厚）

北基礎

1 0) 中実部側の壁面の観察結果（コンクリート）

北基礎の中実部にて地中連続壁部にコンクリートの未充填（未充填の状況によっては鉄筋の露出）が発生していることを確認した。下図の観察結果は、未充填部の粘性土などを除去した壁面状態を示す。



2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （1）構造物形状（壁厚）

北基礎

1 1）中実部側壁面の観察結果（要因と分類）

中実部側壁面の観察結果から、コンクリート未充填部が形成された要因とその分類を行った。

基本的には粘性土のはらみ出しによるコンクリート流路の阻害により、コンクリート未充填部が生じたものと判断される。また、通常の連壁施工においても発生しうるスライム・安定液の巻込みによるものやSMWの倒れこみによるコンクリート流路の阻害も確認した。

凡例 ●：事象を確認 ×：未確認

要因	(a) 溝壁のはらみ出し及びはらみ出し土砂の崩落	(b) コンクリート打設時のはらみ出し崩落土砂のSMW区間への押上げ	(c)コンクリート打設時の薄層状の地山の崩落	(d) SMWの変位によるコンクリート流路の阻害	(e) コンクリート打設中のスライム・安定液の巻込み	(f) A北3コンクリート打設時のコンクリートの流出	
事象の特徴	開放期間が長い剛結継手部のSMW以深に認められる事象	開放期間が特に長い剛結継手部①③⑦⑨⑬⑮区画のSMW区間に認められる事象	剛結継手部のうち①⑮の区画特有の事象	剛結継手部のうち⑮の区画特有の事象	非剛結継手部を含め通常の連壁施工において発生しうる事象（非剛結継手部ではわずかに確認される程度）	非剛結継手部のうち先行エレメント②の区画特有の事象	
剛結継手部	SMW区間	×	● はらみ出し・崩落した粘性土の押上げによる副次的な要因	×	●	●	×
	粘性土区間	●	×	●	×	●	×
	砂・砂礫区間	●	×	×	×	●	×
	岩盤区間	はらみ出した粘性土の崩落による副次的な要因	×	×	×	●	×
非剛結継手部	SMW区間	×	×	×	×	●	×
	粘性土区間	×	×	×	×	●	●
	砂・砂礫区間	×	×	×	×	●	×
	岩盤区間	×	×	×	×	●	×

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （1）構造物形状（壁厚）

北基礎

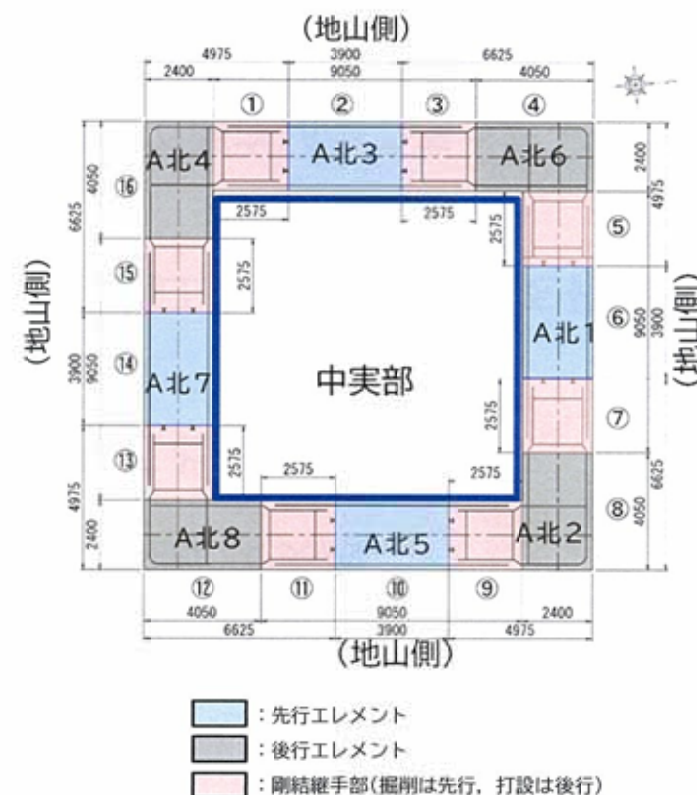
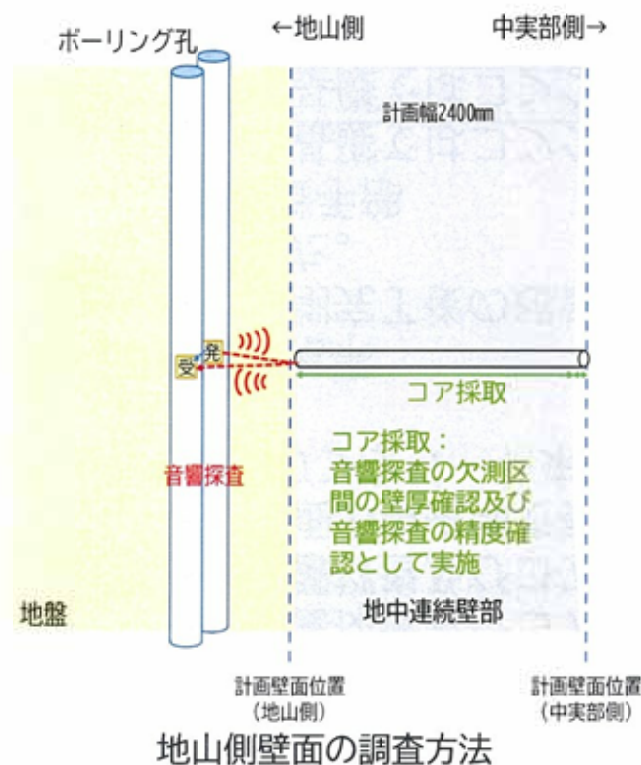
1 2）地山側の調査結果（音響探査及びコア採取結果）

地山側のコンクリート未充填を確認するため全区画で音響探査を実施し、欠測が生じた区間においてはコア測定により補完した。

コンクリート未充填は、剛結継手部（①③⑤⑨⑪⑬⑮）に確認され（最大で15cm）、非剛結継手部では構造的健全性に影響を及ぼすような未充填は認められない。

各区画の掘置期間およびコア長さ測定結果

区画	掘置期間	音響探査及びコア長さ測定結果におけるコンクリート未充填最大深さ
①	440日間	13cm
②	134日間	2cm
③	297日間	12cm
④	7日間	2cm
⑤	92日間	5cm
⑥	9日間	1cm
⑦	109日間	未充填部なし
⑧	7日間	2cm
⑨	235日間	4cm
⑩	8日間	未充填部なし
⑪	30日間	7cm
⑫	8日間	2cm
⑬	132日間	12cm
⑭	11日間	未充填部なし
⑮	463日間	15cm
⑯	41日間	未充填部なし



2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （1）構造物形状（壁厚）

まとめ（壁厚）

1) 確認内容

- 掘削完了後の超音波測定結果（施工記録）で確認
- 音響探査及びコア採取を剛結継手部の全区画（①③⑤⑦⑨⑪⑬⑮）で実施
- 音響探査及びコア採取を非剛結継手部の全区画（②④⑥⑧⑩⑫⑭⑯）で実施
- 区画の中央部で実施している音響探査を中央部以外でも実施
（コンクリート未充填深さの確認は中央部の測定結果で問題ないことを確認）

2) 確認結果

- 掘削完了後の超音波測定結果から、設計壁厚を満足する掘削幅で施工されていることを確認した。

剛結継手部

- 南基礎ではコンクリート未充填はいずれの区画でも確認され最大で深さ16cmであった。
- 北基礎ではコンクリート未充填は⑦を除いた区画で確認され最大で深さ15cmであった。

非剛結継手部

- いずれの区画においても鉄筋コンクリート躯体に悪影響を及ぼす未充填部はないことを確認した。

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）

（2）構造物形状（設置深度（岩着））

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（2）構造物形状（設置深度（岩着））

設計条件に着目した調査（不具合の全容）				構造設計への反映・対策の方針検討						
確認事項（設計条件）		調査範囲		調査方法	調査結果	構造設計への反映	施工対策			
構造物形状	壁厚	中実部/地山側	剛結継手部	施工記録確認 （掘削幅測定、 超音波探査）	掘削後の超音波探査記録から掘削幅を確認	剛結継手部の未充填深さや範囲の不確かさを考慮した設計 ➤コンクリート未充填が確認された地山側の剛結継手部区間について、保守的に20cm欠損させた形状で評価 ①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	➤中実部側のコンクリート未充填部は中実部施工時に補修する。 ➤地山側のコンクリート未充填部は補修できないことを踏まえ、鉄筋の腐食対策として、かぶりコンクリートと同程度の不透水性を有する地盤改良体を地山側に設置する。			
			非剛結継手部							
		中実部側	剛結継手部	目視観察	未充填の形状・深さを確認。					
			非剛結継手部							
		地山側	剛結継手部	（全区画）音響探査 コア採取	未充填の有無・深さを確認					
			非剛結継手部					（全区画）音響探査 コア採取	健全性に影響を及ぼすような未充填はない。	
		設置深度（岩着）	基礎下端	剛結継手部	施工記録確認 （深度測定、 スライム処理）					コンクリート打設前に設計深度以上の掘削深さ、底盤の清掃状況、スライム等が堆積しない環境を確認（全区画の岩着を確認）
				非剛結継手部						
	コンクリートの健全性	強度	中実部/地山側	剛結継手部	一軸圧縮強度試験	設計基準強度40N/mm ² を十分満足していることを確認	不具合の影響評価 ➤A北4区画の鉄筋かごの高止まり基礎部に鉄筋が存在しない場合の構造成立性評価 ③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価			
				非剛結継手部						
鉄筋の健全性	配置	中実部側	剛結継手部	目視観察	鉄筋かご組立時の配置と異なる箇所（ズレや脱落）を確認	不具合の影響評価 ➤A北4区画の鉄筋かごの高止まり基礎部に鉄筋が存在しない場合の構造成立性評価 ③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価	➤中実部側は、変形等が認められる鉄筋を補修する。なお、現在、中実部側で気中に晒されている鉄筋は腐食対策を実施する。 ➤地山側のコンクリート未充填部および中実部側の鉄筋の変形等を考慮し、中実部で鉄筋を補強する。			
			非剛結継手部							
		地山側	剛結継手部	モックアップ試験	中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認					
			非剛結継手部							
		変形	中実部側	剛結継手部	目視観察 施工記録確認 （超音波探査）			剛結継手部の先行及び後行エレメント鉄筋の変形を確認		
				非剛結継手部						
	地山側	剛結継手部	施工記録確認 （超音波探査）	一部区画で先行鉄筋の変形を確認						
		非剛結継手部			モックアップ試験			中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認		

剛結継手部の未充填深さや範囲の不確かさを考慮した設計

➢コンクリート未充填が確認された地山側の剛結継手部区間について、保守的に20cm欠損させた形状で評価

①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更

➢地山側の変形等が生じた鉄筋、剛結継手部に想定した20cm欠損部の鉛直鉄筋及びこれを通るせん断補強筋を考慮しない解析評価

②地中連続壁の配筋変更

不具合の影響評価
➢A北4区画の鉄筋かごの高止まり基礎部に鉄筋が存在しない場合の構造成立性評価

③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価

➢中実部側のコンクリート未充填部は中実部施工時に補修する。

➢地山側のコンクリート未充填部は補修できないことを踏まえ、鉄筋の腐食対策として、かぶりコンクリートと同程度の不透水性を有する地盤改良体を地山側に設置する。

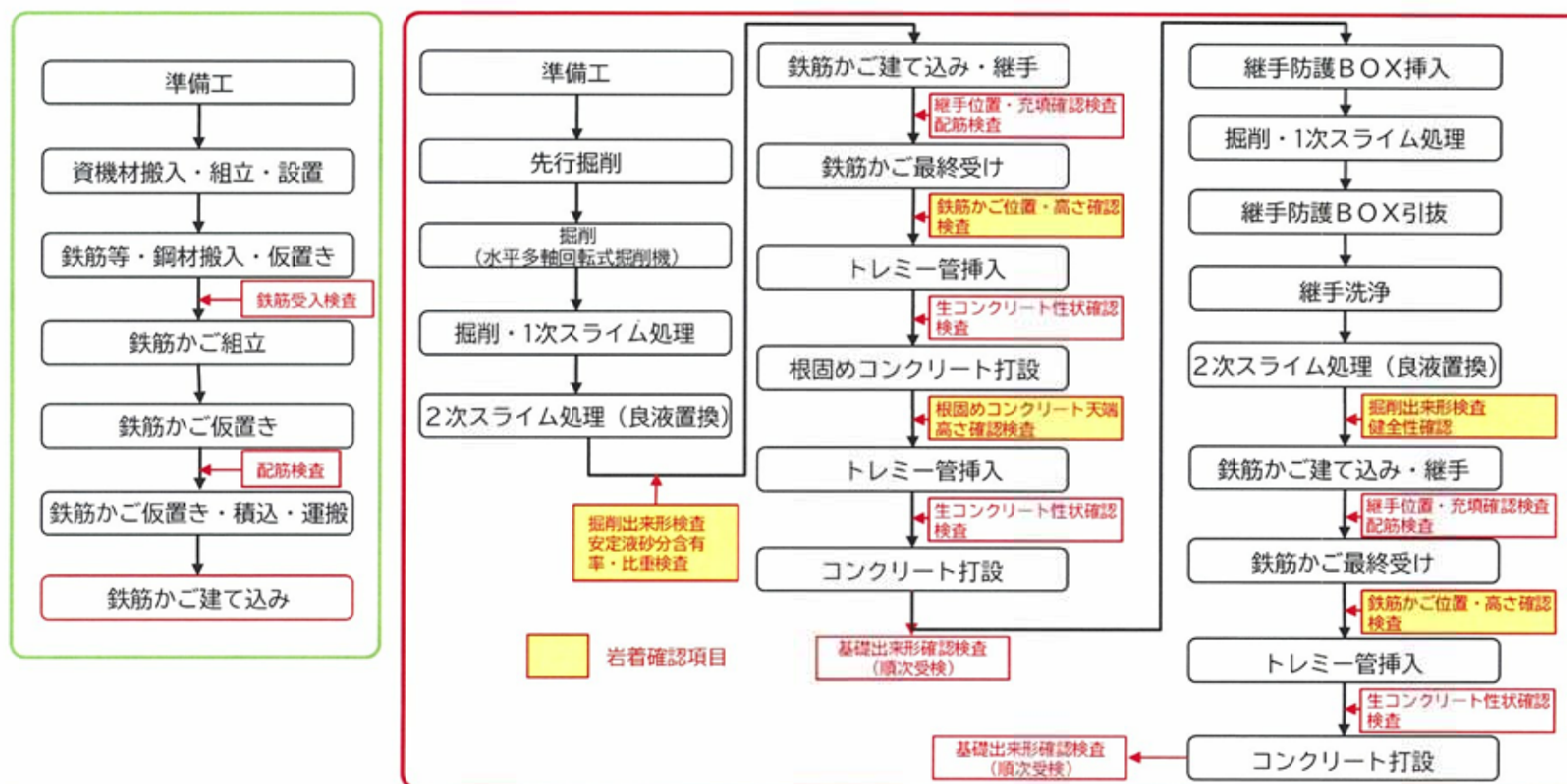
➢中実部側は、変形等が認められる鉄筋を補修する。なお、現在、中実部側で気中に晒されている鉄筋は腐食対策を実施する。

➢地山側のコンクリート未充填部および中実部側の鉄筋の変形等を考慮し、中実部で鉄筋を補強する。

1) 岩着の検査記録確認

所定の設計深度（岩着）に構造物が設置されるよう全区画において下記フローの通り掘削出来形検査等を実施している。

地中連続壁基礎工に係る施工・品質確認検査フロー



2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（2）構造物形状（設置深度(岩着)）

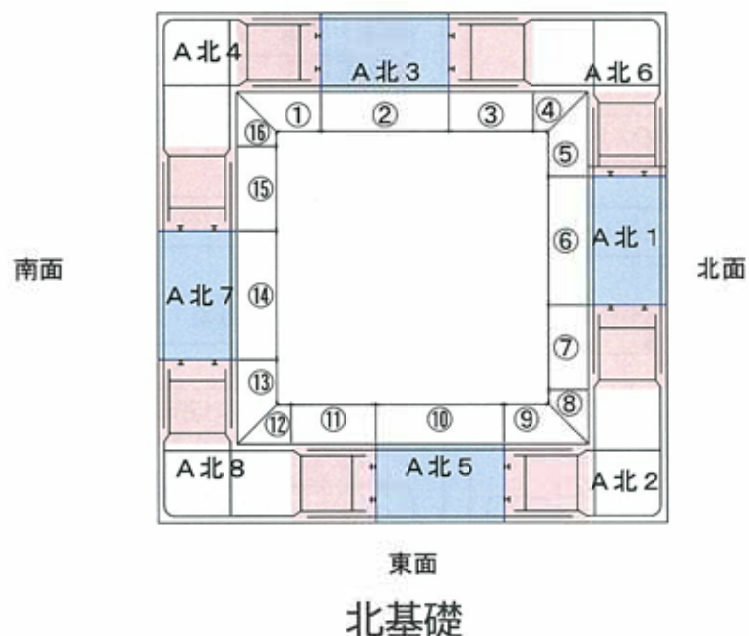
北基礎

2) 施工記録の確認（北基礎）

①通常施工が行われた箇所

施工記録から、掘削完了後深度測定（レッド検尺）にて設計基礎下端まで掘削完了しており根入れ長が確保出来ていることを確認した。

実測値は最小値を示す



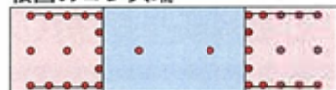
先行エレメント掘削出来形



後行エレメント掘削出来形



根固めコン天端



●：検尺位置

	区画	設計 基礎下端	掘削出来形	根固めコン 天端 中1	規格値	合・否	備考
北	①	T.P. -56.00m	「北基礎：鉄筋の高止まり区画：A北4」による				
	②		T.P. -58.481m	T.P. -56.332m	合	通常施	
	③		T.P. -58.134m	T.P. -56.178m	合	砕石投 ※2	
	④		T.P. -56.669m	-	合	通常施	
	⑤		T.P. -58.226m	T.P. -56.032m	合	砕石投 ※2	
	⑥		T.P. -58.170m	T.P. -56.091m	合	通常施	
	⑦		T.P. -58.229m	T.P. -56.070m	合	砕石投 ※2	
	⑧		T.P. -56.766m	-	合	通常施	
	⑨		T.P. -58.084m	T.P. -56.040m	合	砕石投 ※2	
	⑩		T.P. -57.843m	T.P. -56.070m	合	通常施	
	⑪		T.P. -57.976m	T.P. -56.018m	合	通常施	
	⑫		T.P. -56.364m	-	合	通常施	
	⑬		T.P. -58.058m	T.P. -56.606m	合	通常施	
	⑭		T.P. -57.845m	T.P. -56.606m	合	通常施	
	⑮		「北基礎：鉄筋の高止まり区画：A北4」による				
	⑯						

※1 剛結接手部（区画①、③、⑤、⑦、⑨、⑪、⑬、⑮）は継手清掃後の値

※2 溝壁保護のため砕石投入を実施した

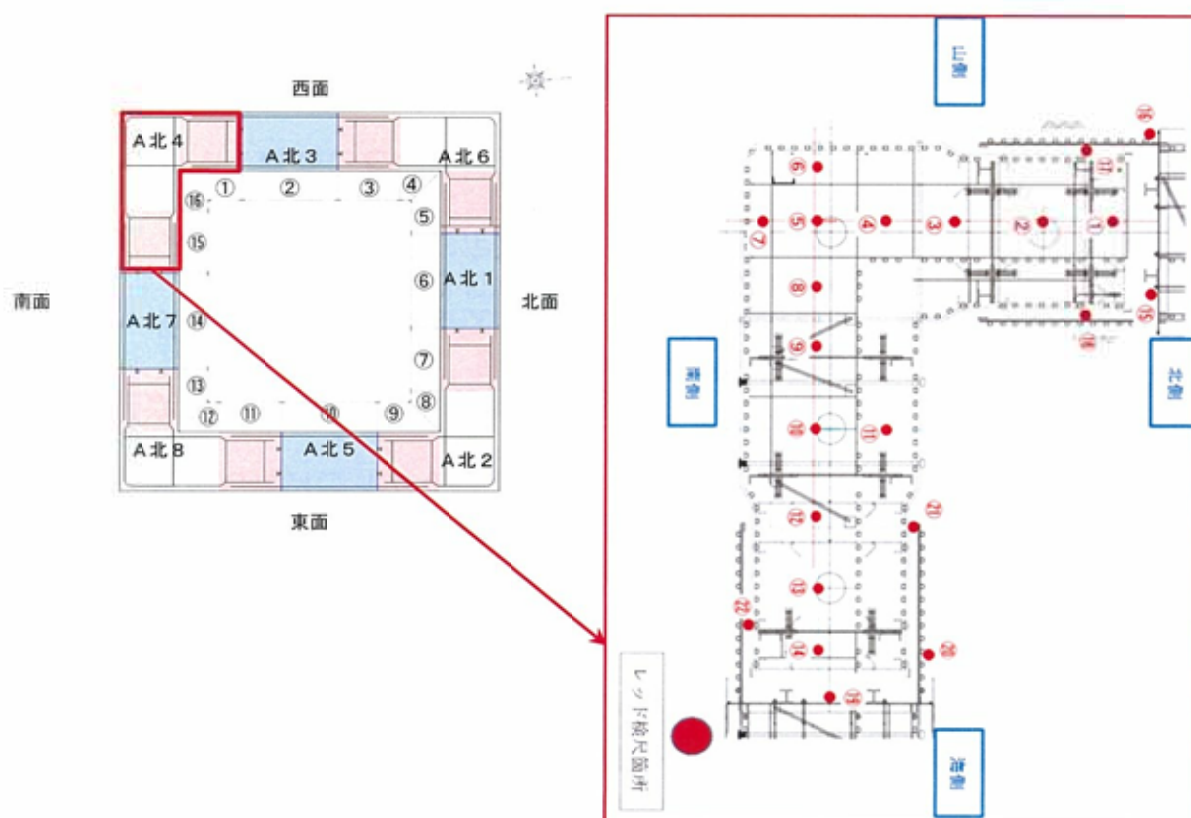
2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （2）構造物形状（設置深度(岩着)）

北基礎

2) 施工記録の確認（北基礎）

②想定外事象が発生した場所（北基礎：鉄筋かごの高止まり区画：⑮）

施工記録から、掘削完了後深度測定（レッド検尺）にて設計基礎下端まで掘削完了しており、根入れ長が確保できていることを確認した。



測定位置	設計 (基礎下端 T.P.) (m)	実測 (基礎下端 T.P.) (m)	合否
●①	T.P. -56.00m	-56.141	合
●②		-56.631	合
●③		-56.711	合
●④		-56.741	合
●⑤		-56.741	合
●⑥		-56.891	合
●⑦		-56.791	合
●⑧		-56.841	合
●⑨		-56.571	合
●⑩		-56.651	合
●⑪		-56.471	合
●⑫		-56.329	合
●⑬		-56.757	合
●⑭		-56.757	合
●⑮		-56.211	合
●⑯		-56.365	合
●⑰		-56.141	合
●⑱		-56.465	合
●⑲		-56.619	合
●⑳		-56.757	合
●㉑		-56.257	合
●㉒		-56.738	合

3) 施工記録の確認

①スライム処理と掘削溝底の清掃

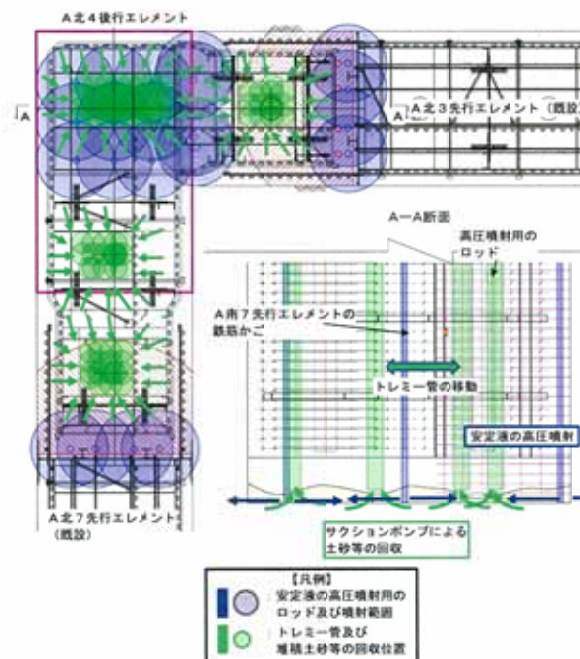
掘削溝内の安定液内の土砂分を測定し、掘削溝底へスライムが堆積しない環境を管理するとともに、安定液の高圧噴射およびサクションプンプによる掘削溝底等の土砂分の回収作業を実施していることを確認した。

a. 1次スライム処理（掘削完了後）

掘削完了後、溝内の安定液を静置し、安定液中に浮遊している土砂分を沈殿させサクションプンプ等を使って溝底に堆積したスライムを除去。

b. 2次スライム処理（鉄筋かご建込直前）

- ・ 1次スライム処理後、安定液の良液置換を実施
- ・ 安定液中に浮遊する沈殿速度の遅い微細な砂分、細粒分（粘性土）で構成されているスライムの処理の実施
- ・ スライム除去後の安定液の砂分率、比重を計測し、砂分率1.0%未満、比重は良液置換後1.01～1.10の管理基準値以下であることを確認。



安定液の高圧噴射およびサクションプンプによる回収位置図



サクションプンプによる土砂回収

2次スライム処理後コンクリート打設直前の安定液測定値（比重、砂分率）

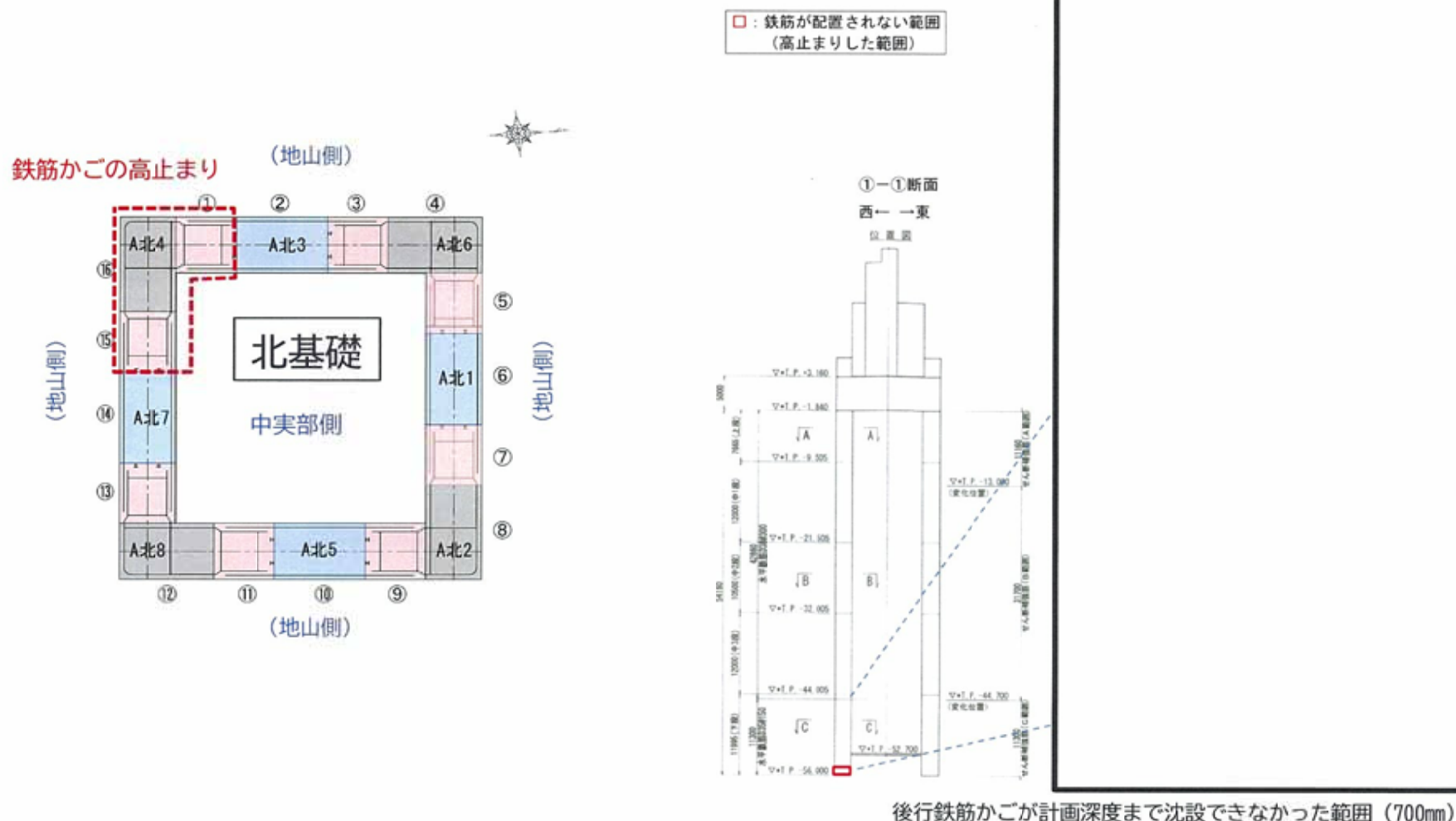
エレメント	区画	比重	砂分率 (%)	合・否	エレメント	区画	比重	砂分率 (%)	合・否
		1.01～1.10	1.0%未満				1.01～1.10	1.0%未満	
A南1	㉔	1.064	0.2	合	A北1	㉔	1.092	0.8	合
A南2	㉕, ㉖, ㉗	1.082	0.3	合	A北2	㉕, ㉖, ㉗	1.089	0.2	合
A南3	㉘	1.073	0.2	合	A北3	㉘	1.070	0.9	合
A南4	㉙, ㉚, ㉛	1.075	0.5	合	A北4	㉙, ㉚, ㉛	1.079	0.2	合
A南5	㉜	1.084	0.6	合	A北5	㉜	1.089	0.6	合
A南6	㉝, ㉞, ㉟	1.064	0.1	合	A北6	㉝, ㉞, ㉟	1.082	0.2	合
A南7	㊱	1.088	0.6	合	A北7	㊱	1.073	0.4	合
A南8	㊲, ㊳, ㊴	1.090	0.5	合	A北8	㊲, ㊳, ㊴	1.077	0.4	合

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（2）構造物形状（設置深度(岩着)）

北基礎

4) 鉄筋かご高止まりの事象

A北4の構築において、後行エレメントの鉄筋かご建込み中に、当該鉄筋かごが計画深度より約70cm高い位置で沈設できない状態となった。このため、土留め壁としての根入れ部に相当する区間の一部（下端より70cmの区間）に鉄筋が配置されない事象が発生した。



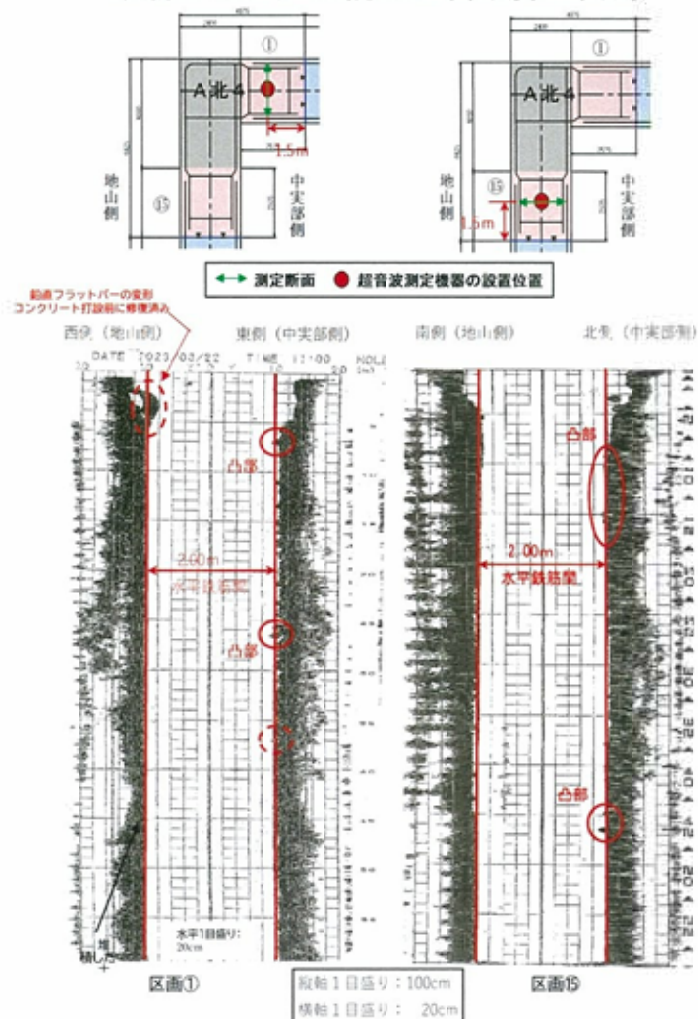
2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（2）構造物形状（設置深度(岩着)）

北基礎

4) 鉄筋かご高止まりの事象（原因・メカニズム）

A北4の区画①及び⑮において、鉄筋かご建込み前の超音波記録から、中実部側の先行エレメントの鉄筋ラインに凸部が確認された。鉄筋かご高止まりの原因・メカニズムは以下のとおり。

鉄筋かご建込み前の超音波探査記録



1. 堆積土砂等の撤去にハンマーグラブを利用。ハンマーグラブが設置済の先行エレメントの水平鉄筋等に接触し、同鉄筋を変形（凸部の生成）



2. 後行エレメントの鉄筋建込みにて、設置済の先行エレメント水平鉄筋等の変形部（凸部）に接触・干渉



3. 設置済の先行エレメント水平鉄筋等に接触したことにより、後行エレメントの鉄筋かごが中実部側に引き寄せられ、さらに強く接触・干渉し、変形



4. 区画⑮の接触により後行エレメントの鉄筋かごがA北7側（東側）にずれ、区画①でも鉄筋同士が接触し、鉄筋の変形が発生



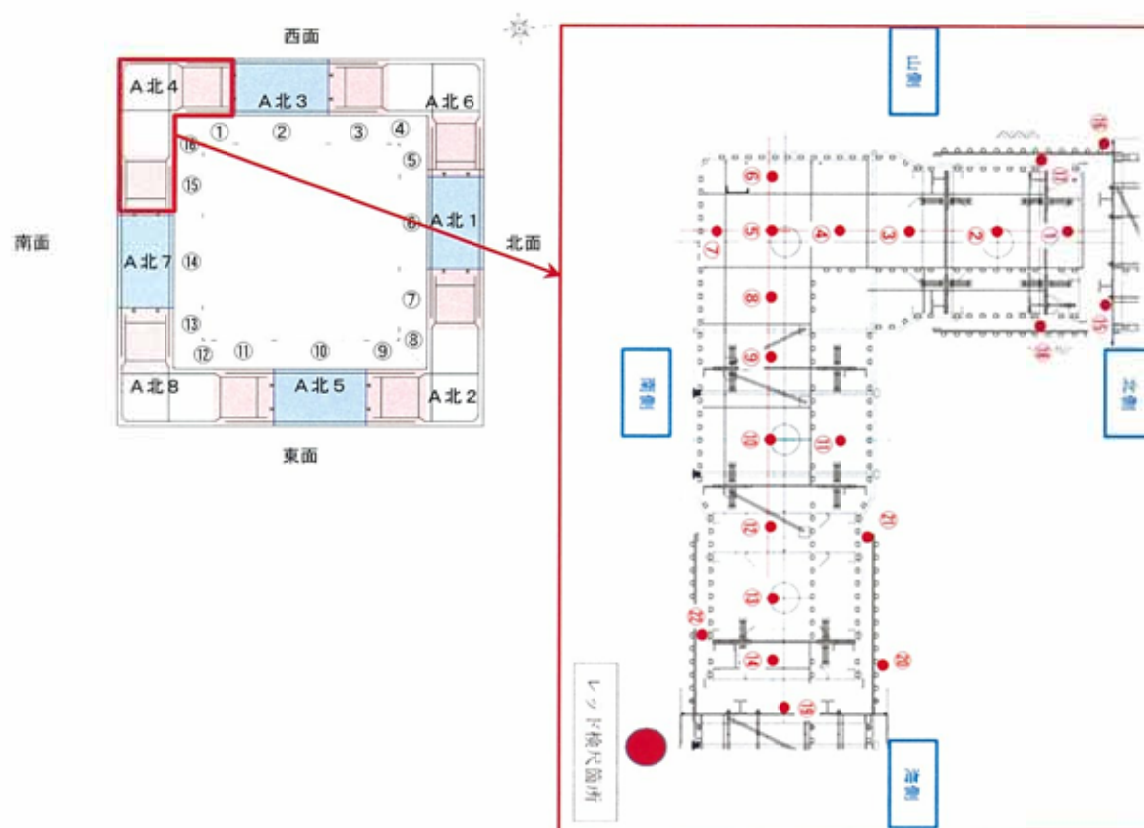
5. 上記事象が全深度で発生したことから、設置済の先行エレメント水平鉄筋と後行エレメント鉄筋が嵌合し、高止まりが発生

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（2）構造物形状（設置深度（岩着））

北基礎

4）鉄筋かご高止まりの事象（設置深度の確認）

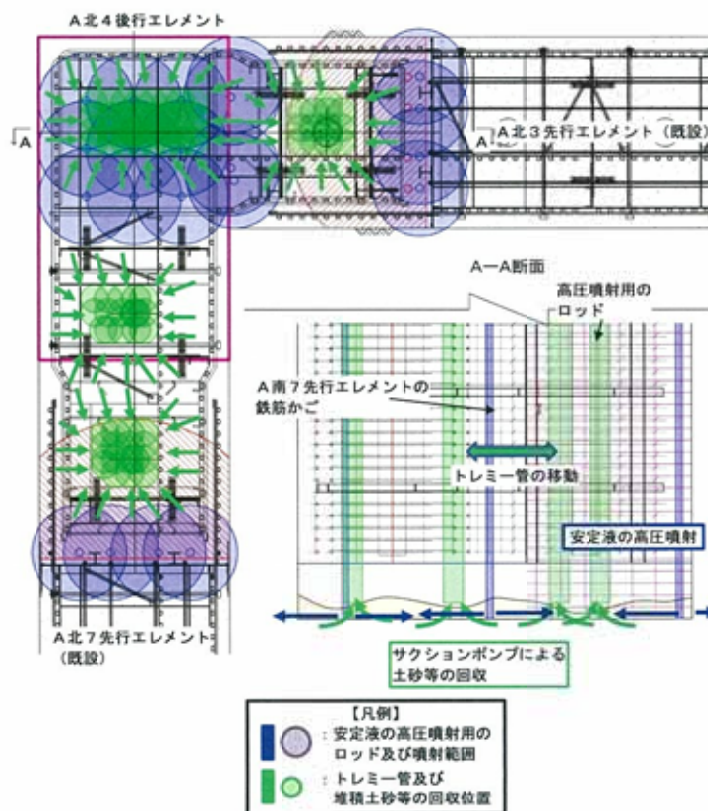
施工記録から、掘削完了後深度測定（レッド検尺）にて設計基礎下端まで掘削完了しており、根入れ長が確保できていることを確認した。



測定位置	設計 (基礎下端 T.P.) (m)	実測 (基礎下端 T.P.) (m)	合否
●①	T.P. -56.00m	-56.141	合
●②		-56.631	合
●③		-56.741	合
●④		-56.741	合
●⑤		-56.741	合
●⑥		-56.891	合
●⑦		-56.791	合
●⑧		-56.841	合
●⑨		-56.571	合
●⑩		-56.651	合
●⑪		-56.471	合
●⑫		-56.329	合
●⑬		-56.757	合
●⑭		-56.757	合
●⑮		-56.211	合
●⑯		-56.365	合
●⑰		-56.141	合
●⑱		-56.465	合
●⑲		-56.649	合
●⑳		-56.757	合
●㉑		-56.257	合
●㉒		-56.738	合

4) 鉄筋かご高止まりの事象（掘削溝底の清掃及び測量）

深度測定（レッド検尺）による深度，スライム除去確認においても，設計基礎下端深度（T.P. -56.0m）以深であることが確認できたため，確実な岩着が可能であることを確認した。



安定液の高圧噴射およびサクションポンプによる回収位置図

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（2）構造物形状（設置深度(岩着)）

まとめ（設置深度(岩着)）

1) 確認内容

- 通常施工が行われた区画及び施工段階でイレギュラーな事象（溝壁の崩壊等）が確認された区画を含めた全区画において、施工記録を確認。

2) 確認結果

- 通常施工が行われた区画及び施工段階でイレギュラーな事象（溝壁の崩壊等）が確認された区画を含めた全区画において、施工記録（掘削深度測量、スライム処理時の底盤清掃状態）を確認した結果、構造物は設計深度（岩盤深度）に確実に設置されていることを確認した。

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）

（3）コンクリートの健全性

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（3）コンクリートの健全性

設計条件に着目した調査（不具合の全容）					構造設計への反映・対策の方針検討					
確認事項（設計条件）		調査範囲		調査方法	調査結果	構造設計への反映	施工対策			
構造物形状	壁厚	中実部/地山側	剛結継手部	施工記録確認 （掘削幅測定、 超音波探査）	掘削後の超音波探査記録から掘削幅を確認	剛結継手部の未充填深さや範囲の不確かさを考慮した設計 ➢コンクリート未充填が確認された地山側の剛結継手部区間について、保守的に20cm欠損させた形状で評価 ①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	➢中実部側のコンクリート未充填部は中実部施工時に補修する。 ➢地山側のコンクリート未充填部は補修できないことを踏まえ、鉄筋の腐食対策として、かぶりコンクリートと同程度の不透水性を有する地盤改良体を地山側に設置する。			
			非剛結継手部							
		中実部側	剛結継手部	目視観察	未充填の形状・深さを確認。					
			非剛結継手部							
		地山側	剛結継手部	（全区画）音響探査 コア採取	未充填の有無・深さを確認					
			非剛結継手部					（全区画）音響探査 コア採取	健全性に影響を及ぼすような未充填はない。	
		設置深度（岩着）	基礎下端	剛結継手部	施工記録確認 （深度測定、 スライム処理）					コンクリート打設前に設計深度以上の掘削深さ、底盤の清掃状況、スライム等が堆積しない環境を確認（全区画の岩着を確認）
				非剛結継手部						
	コンクリートの健全性	強度	中実部/地山側	剛結継手部	一軸圧縮強度試験	設計基準強度40N/mm ² を十分満足していることを確認	③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価			
			非剛結継手部							
鉄筋の健全性	配置	中実部側	剛結継手部	目視観察	鉄筋かご組立時の配置と異なる箇所（ズレや脱落）を確認	不具合の影響評価 ➢A北4区画の鉄筋かごの高止まり基礎部に鉄筋が存在しない場合の構造成立性評価				
			非剛結継手部							
		地山側	剛結継手部	モックアップ試験	中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認					
			非剛結継手部							
	変形	中実部側	剛結継手部	目視観察 施工記録確認 （超音波探査）	剛結継手部の先行及び後行エレメント鉄筋の変形を確認					
			非剛結継手部							
		地山側	剛結継手部	施工記録確認 （超音波探査）	一部区画で先行鉄筋の変形を確認					
			非剛結継手部				モックアップ試験	中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認		

1) コンクリート強度

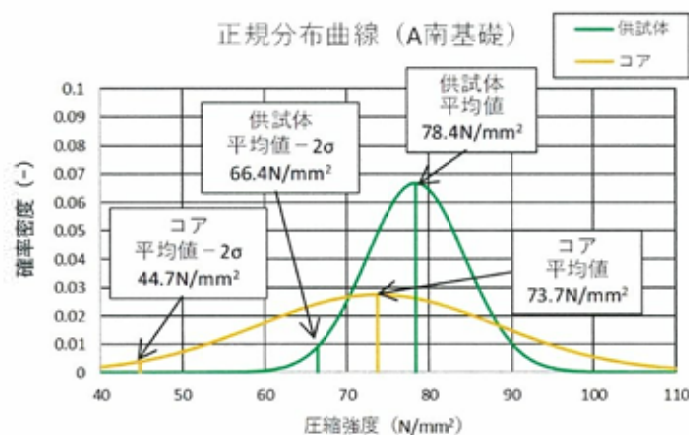
コンクリートの受け入れ検査時の供試体強度試験および、コンクリート打設後のコア強度試験（コア採取位置を次ページに示す）結果を以下に示す。圧縮強度の平均値は以下のとおりであり、設計基準強度の40 N/mm²に対して十分な余裕があることを確認した。

- 受け入れ検査時の供試体強度試験で78.4 N/mm²（南），79.6 N/mm²（北）
- コア強度試験で73.7 N/mm²（南），79.8 N/mm²（北）

なお、コア強度試験の最小値は44.4 N/mm²（南），53.9 N/mm²（北）であり、95%信頼区間102.7～44.7 N/mm²（南），98.7～60.8 N/mm²（北）の外側にあるが、設計基準強度は上回っている。

A南基礎のコンクリート標準供試体とコア供試体の圧縮強度試験結果

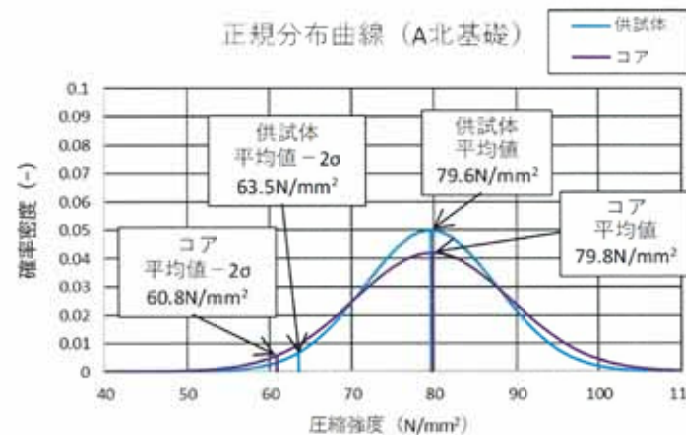
区分	データ数	平均値	最大値	最小値	標準偏差	変動係数(%)	95%区間	
							平均+2σ	平均-2σ
供試体	54	78.4	90.5	68.0	5.99	7.6	90.4	66.4
コア	33	73.7	97.5	44.4	14.51	19.7	102.7	44.7



コンクリートの圧縮強度の正規分布曲線（南基礎）

A北基礎のコンクリート標準供試体とコア供試体の圧縮強度試験結果

区分	データ数	平均値	最大値	最小値	標準偏差	変動係数(%)	95%区間	
							平均+2σ	平均-2σ
供試体	58	79.6	96.3	64.9	8.01	10.1	95.6	63.5
コア	39	79.8	96.6	53.9	9.47	11.9	98.7	60.8



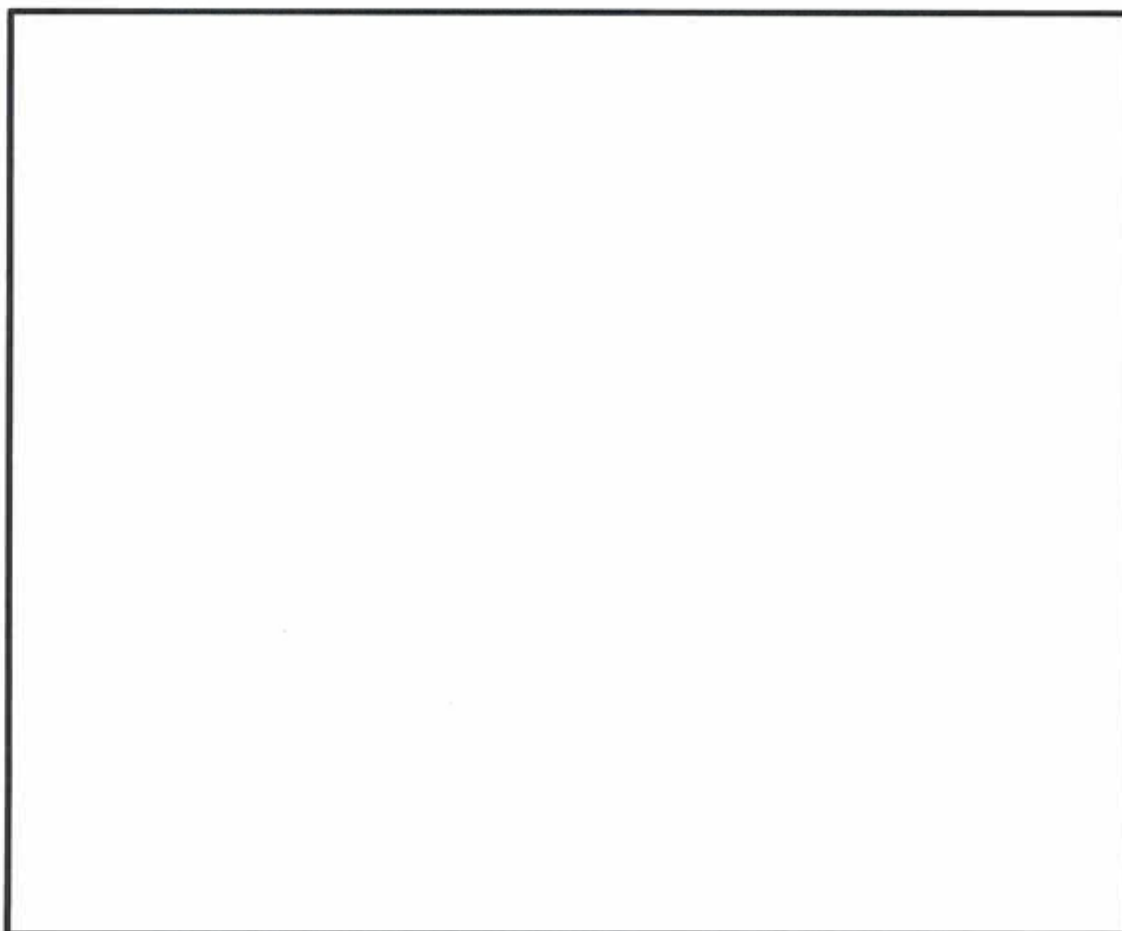
コンクリートの圧縮強度の正規分布曲線（北基礎）

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （3）コンクリートの健全性

南北基礎共通

2) コンクリート打設後のコア強度試験結果

- 実際の連壁から採取したコア強度試験結果を以下に示す。
- 試験の供試体は、表層部の安定液混じり箇所を取り除いた後に、水平コアボーリングで供試体を採取し、圧縮強度試験を実施した。



南基礎 圧縮強度試験					中実部側→中間→壁中心側				
No.	区画	位置	採取深度	欠損有無	圧縮強度試験結果 (N/mm ²)				合格判定 ≥40N/mm ²
					1	2	3	平均	
1	①	未充填部	T.P. -11.4m	無	58.2	46.8	46.9	50.6	合格
2		未充填境界部	T.P. -11.5m	無	80.7	46.0	79.9	68.9	合格
3		未充填部	T.P. -21.5m	無	92.2	77.8	73.9	81.3	合格
4		未充填境界部	T.P. -21.2m	無	70.6	79.1	80.7	76.8	合格
5		未充填部	T.P. -30.5m	無	83.4	89.1	83.5	85.3	合格
6		未充填境界部	T.P. -29.3m	無	77.0	65.2	68.2	70.1	合格
7		未充填部	T.P. -38.5m	無	78.4	74.2	44.4	65.7	合格
8		未充填境界部	T.P. -39.0m	無	65.9	47.9	71.2	61.7	合格
9	④	打設速度調整区間	T.P. -17.9m	無	96.6	92.8	81.3	90.2	合格
10			T.P. -21.5m	無	97.5	86.2	81.5	88.4	合格
11			T.P. -24.2m	無	65.3	75.2	75.2	71.9	合格

北基礎 圧縮強度試験					中実部側→中間→壁中心側				
No.	区画	位置	採取深度	欠損有無	圧縮強度試験結果 (N/mm ²)				合格判定 ≥40N/mm ²
					1	2	3	平均	
1	①	未充填部	T.P. -6.5m	無	60.7	73.4	70.5	68.2	合格
2		未充填境界部	T.P. -6.2m	無	78.0	80.7	64.4	74.4	合格
3		未充填部	T.P. -16.5m	無	81.5	72.5	74.5	76.2	合格
4		未充填境界部	T.P. -15.0m	無	71.8	79.0	80.1	77.0	合格
5		未充填部	T.P. -25.5m	無	89.3	80.8	94.4	88.2	合格
6		未充填境界部	T.P. -25.2m	無	88.7	84.6	81.5	84.9	合格
7		未充填部	T.P. -36.3m	無	91.0	85.6	78.5	85.0	合格
8		未充填境界部	T.P. -36.3m	無	84.5	70.8	75.1	76.8	合格
9		未充填部	T.P. -42.3m	無	96.3	96.6	79.3	90.7	合格
10		未充填境界部	T.P. -42.8m	無	87.3	96.1	92.5	92.0	合格
11	②	打設速度調整区間	T.P. -9.9m	無	80.9	73.3	73.3	75.8	合格
12			T.P. -11.0m	無	75.9	79.5	74.5	76.6	合格
13			T.P. -45.7m	無	53.9	73.6	86.6	71.4	合格

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （3）コンクリートの健全性

まとめ（コンクリートの健全性）

1) 確認内容

- ・ コンクリート打設前の供試体強度試験，コンクリート打設後に躯体から採取したコアを用いた強度試験結果の確認

2) 確認結果

- ・ コンクリート打設後に躯体から採取したコアを用いた強度試験結果，設計基準強度を十分満足していることを確認した。

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）

（4）鉄筋の健全性

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（4）鉄筋の健全性

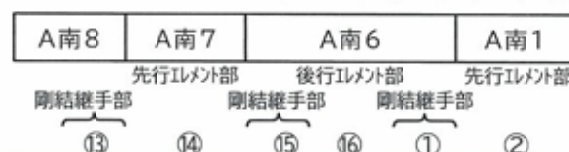
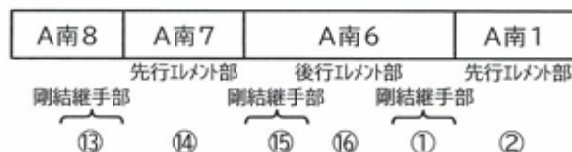
設計条件に着目した調査（不具合の全容）					造設計への反映・対策の方針検討					
確認事項（設計条件）		調査範囲		調査方法	調査結果	構造設計への反映	施工対策			
構造物形状	壁厚	中実部/地山側	剛結継手部	施工記録確認 (掘削幅測定、 超音波探査)	掘削後の超音波探査記録から掘削幅を確認	剛結継手部の未充填深さや範囲の不確かさを考慮した設計 ➢コンクリート未充填が確認された地山側の剛結継手部区間について、保守的に20cm欠損させた形状で評価 ①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	➢中実部側のコンクリート未充填部は中実部施工時に補修する。 ➢地山側のコンクリート未充填部は補修できないことを踏まえ、鉄筋の腐食対策として、かぶりコンクリートと同程度の不透水性を有する地盤改良体を地山側に設置する。			
			非剛結継手部					目視観察	未充填の形状・深さを確認。	
		中実部側	剛結継手部	(全区画)音響探査 コア採取	未充填の有無・深さを確認					
			非剛結継手部					(全区画)音響探査 コア採取	健全性に影響を及ぼすような未充填はない。	
		地山側	剛結継手部	施工記録確認 (深度測定、 スライム処理)	コンクリート打設前に設計深度以上の掘削深さ、底盤の清掃状況、スライム等が堆積しない環境を確認（全区画の岩着を確認）					
			非剛結継手部					一軸圧縮強度試験	設計基準強度40N/mm ² を十分満足していることを確認	
		基礎下端	剛結継手部	目視観察	鉄筋かご組立時の配置と異なる箇所（ズレや脱落）を確認					
			非剛結継手部					モックアップ試験	中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認	
コンクリートの健全性	強度	中実部/地山側	剛結継手部	一軸圧縮強度試験	設計基準強度40N/mm ² を十分満足していることを確認	不具合の影響評価 ➢A北4区画の鉄筋かごの高止まり基礎部に鉄筋が存在しない場合の構造成立性評価 ③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価	➢地山側の変形等が生じた鉄筋、剛結継手部に想定した20cm欠損部の鉛直鉄筋及びこれを通るせん断補強筋を考慮しない解析評価 ➢中実部側は、変形等が認められる鉄筋を補修する。なお、現在、中実部側で気中に晒されている鉄筋は腐食対策を実施する。 ➢地山側のコンクリート未充填部および中実部側の鉄筋の変形等を考慮し、中実部で鉄筋を補強する。			
			非剛結継手部					目視観察	未充填の形状・深さを確認。	
	中実部側	剛結継手部	(全区画)音響探査 コア採取	未充填の有無・深さを確認						
		非剛結継手部			(全区画)音響探査 コア採取			健全性に影響を及ぼすような未充填はない。		
	地山側	剛結継手部	施工記録確認 (深度測定、 スライム処理)	コンクリート打設前に設計深度以上の掘削深さ、底盤の清掃状況、スライム等が堆積しない環境を確認（全区画の岩着を確認）						
		非剛結継手部			一軸圧縮強度試験			設計基準強度40N/mm ² を十分満足していることを確認		
	鉄筋の健全性	配置	中実部側	剛結継手部					目視観察	鉄筋かご組立時の配置と異なる箇所（ズレや脱落）を確認
				非剛結継手部	目視観察			未充填の形状・深さを確認。		
地山側			剛結継手部	モックアップ試験		中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認				
			非剛結継手部		モックアップ試験		中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認			
変形		中実部側	剛結継手部	目視観察 施工記録確認 (超音波探査)		剛結継手部の先行及び後行エレメント鉄筋の変形を確認				
			非剛結継手部		施工記録確認 (超音波探査)		一部区画で先行鉄筋の変形を確認			
		地山側	剛結継手部	施工記録確認 (超音波探査)		一部区画で先行鉄筋の変形を確認				
			非剛結継手部		モックアップ試験		中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認			

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （4）鉄筋の健全性

南基礎

1) 中実部側壁面の観察結果（鉄筋の変形等）

南基礎の鉄筋の変形等の状況を確認した。A南6エリアで水平鉄筋（西面地山側除く）で変形等が発生している。



凡例

右図に続く → 南面 ↔ 西面

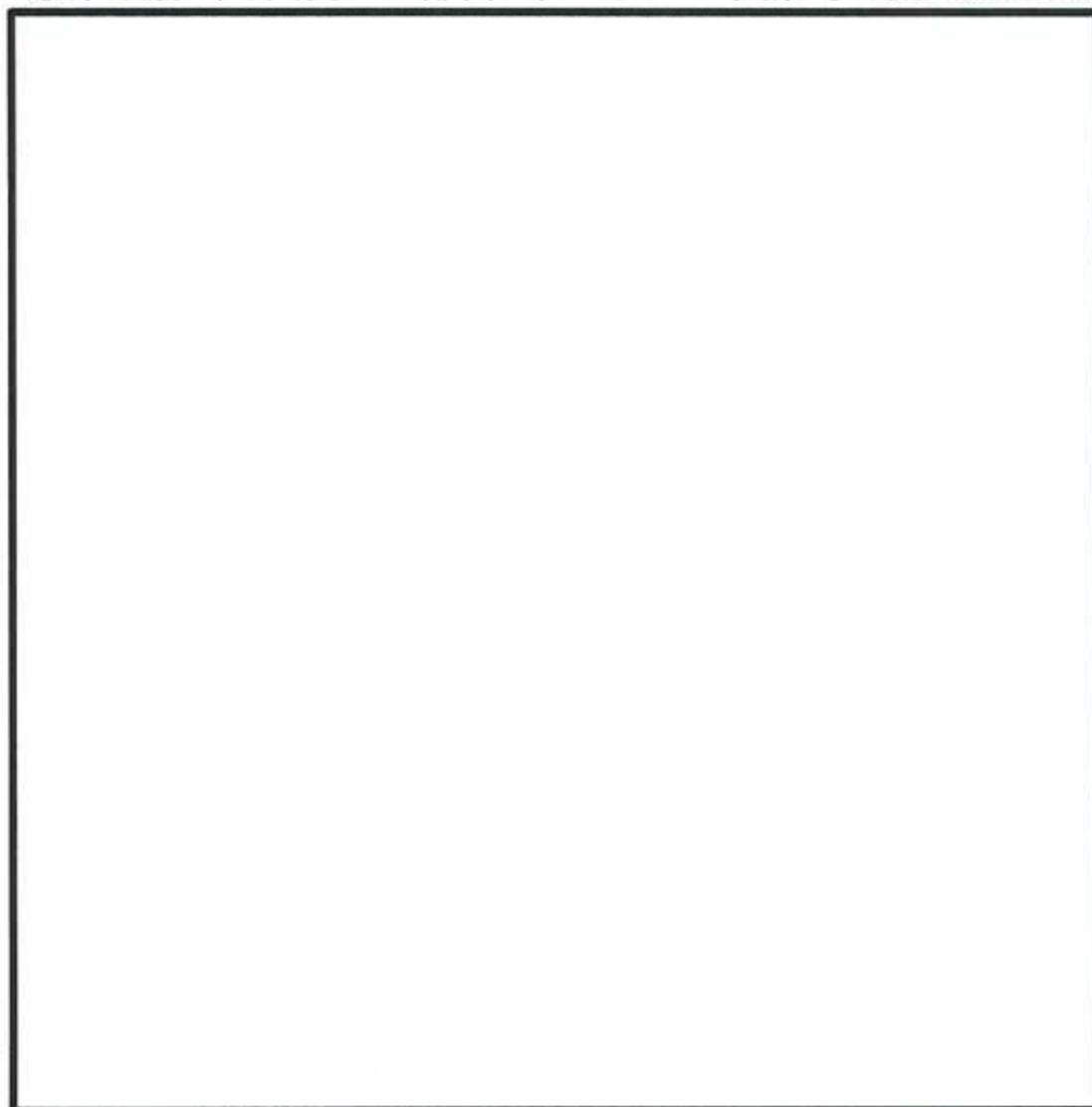
- 先行エレメント鉄筋 変形箇所 (現況確認によるもの)
- - - 先行エレメント鉄筋 変形箇所 (現況(実線部)からの推定)
- 後行エレメント鉄筋 変形箇所 (現況確認によるもの)
- 設計の鉄筋位置
- 鉄筋現況確認箇所(変形なし)
- フラットバー変形箇所
- ⊗ 鉄筋欠損箇所

平面位置図

南基礎中実部側地中連続壁面の鉄筋の変形等の調査結果

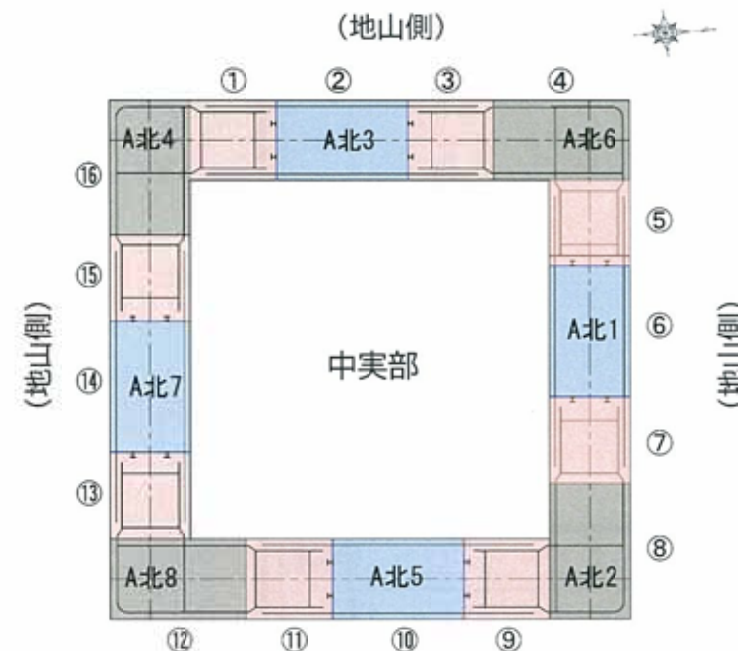
2）中実部側壁面の観察結果（鉄筋の変形等）（T.P. -49m掘削時点）

北基礎の鉄筋の変形等の状況を確認した。A北4（①，⑮，⑯）エリアの水平鉄筋（地山側の一部含む）に大きな変形等が発生している。



北基礎中実部側
地中連続壁面の観察結果

- ：先行エレメント
- ：後行エレメント
- ：剛結継手部（掘削は先行、打設は後行）



（地山側）
北基礎のエレメント／区画図

- ：設計位置の鉄筋
- ：確認出来た鉄筋（変形なし）
- ：先行エレメント鉄筋変形箇所
- ：後行エレメント鉄筋変形箇所
- ：フラットバー変形箇所
- ：先行エレメント
- ：剛結継手部
- ⊗：鉄筋欠損箇所

3) 鉄筋の変形が周辺の鉄筋に及ぼす影響

- ・ 中実部側の鉄筋の変形等が認められた（A南6）において、地山側の鉄筋挙動を確認するため実物大のモックアップ試験を実施した。
- ・ 先行エレメントと後行エレメントの水平鉄筋同士の接触・変形を模擬するために、中実部側の水平鉄筋に上方への強制変位を与えた。



現地観察結果とモックアップ試験の水平鉄筋の変形状況が酷似しており、現地で発生した状況が再現できていると考えられる。

【観察結果】

- ・ 鉄筋同士は結束線によって接続されているため、ある程度以上の外力に対しては結束線の破断又は鉄筋の引抜けにより、中実部側から地山側への力の伝達がなくなる。
- ・ 中実部側の鉄筋が干渉及び変形しても、地山側後行エレメントの水平鉄筋や鉛直鉄筋への影響は発生しなかった。



剛結継手部において、中実部側（地山側）の水平鉄筋に変形が生じてても、地山側（中実部側）の後行エレメントの鉄筋は健全であることを確認した。

2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （4）鉄筋の健全性

まとめ（鉄筋の健全性）

1) 確認内容

- 先行・後行エレメントの鉄筋かごが干渉した事象に対して、モックアップ試験を実施し、接触し変形した鉄筋が周辺鉄筋に及ぼす影響について確認。

2) 確認結果

- モックアップ試験の実施結果、接触箇所の水平鉄筋の変形が生じても、反対側の水平鉄筋及び鉛直鉄筋は健全であることを確認した（鉄筋同士は結束線によって接続されており、ある程度以上の外力に対しては結束線の破断又は鉄筋の引抜けにより、中実部側から地山側への力の伝達がなくなる）。
- 鉄筋の変形等が想定された範囲については、耐震耐津波計算において、その鉄筋を構造強度として除外し中実部で鉄筋を補強する。
- 中実部側で変形等が確認された鉄筋については、基本補修を施すが、評価上は保守的に構造強度として除外する。

3. 構造設計への反映・対策の方針検討

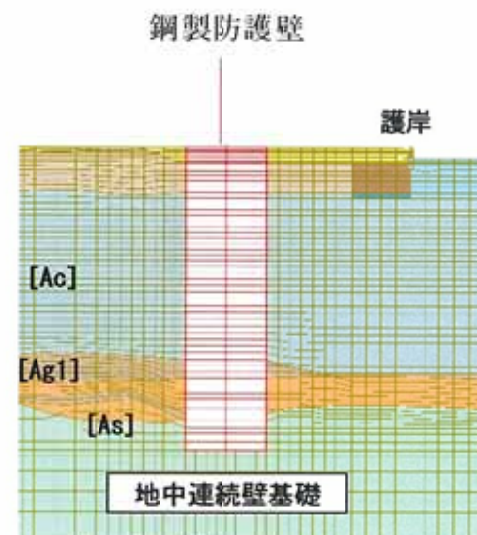
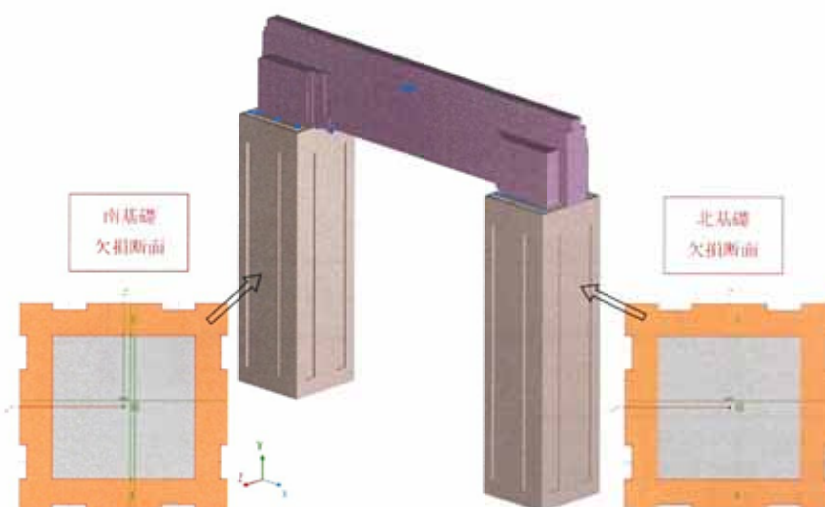
- (1) 構造設計への反映方針
- (2) 施工対策方針

3. 構造設計への反映・対策の方針検討（1）構造設計への反映方針

1. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）				2. 構造設計への反映・対策の方針検討				
確認事項（設計条件）		調査範囲		調査方法	調査結果	構造設計への反映	施工対策	
構造物形状	壁厚	中実部/地山側	剛結継手部	施工記録確認 （掘削幅測定、 超音波探査）	掘削後の超音波探査記録から掘削幅を確認	剛結継手部の未充填深さや範囲の不確かさを考慮した設計 ➢コンクリート未充填が確認された地山側の剛結継手部区間について、保守的に20cm欠損させた形状で評価 ①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更 ➢地山側の変形等が生じた鉄筋、剛結継手部に想定した20cm欠損部の鉛直鉄筋及びこれを通るせん断補強筋を考慮しない解析評価 ②地中連続壁の配筋変更 不具合の影響評価 ➢A北4区画の鉄筋かごの高止まり基礎部に鉄筋が存在しない場合の構造成立性評価 ③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価	➢中実部側のコンクリート未充填部は中実部施工時に補修する。 ➢地山側のコンクリート未充填部は補修できないことを踏まえ、鉄筋の腐食対策として、かぶりコンクリートと同程度の不透水性を有する地盤改良体を地山側に設置する。 ➢中実部側は、変形等が認められる鉄筋を補修する。なお、現在、中実部側で気中に晒されている鉄筋は腐食対策を実施する。 ➢地山側のコンクリート未充填部および中実部側の鉄筋の変形等を考慮し、中実部で鉄筋を補強する。	
			非剛結継手部					
		中実部側	剛結継手部	目視観察	未充填の形状・深さを確認。			
			非剛結継手部					
		地山側	剛結継手部	（全区画）音響探査 コア採取	未充填の有無・深さを確認			
			非剛結継手部					（全区画）音響探査 コア採取
	設置深度（岩着）	基礎下端	剛結継手部	施工記録確認 （深度測定、 スライム処理）	コンクリート打設前に設計深度以上の掘削深さ、底盤の清掃状況、スライム等が堆積しない環境を確認（全区画の岩着を確認）			
			非剛結継手部					
		強度	中実部/地山側	剛結継手部	一軸圧縮強度試験			設計基準強度40N/mm ² を十分満足していることを確認
				非剛結継手部				
コンクリートの健全性	配置	中実部側	剛結継手部	目視観察	鉄筋かご組立時の配置と異なる箇所（ズレや脱落）を確認			
			非剛結継手部					
		地山側	剛結継手部	モックアップ試験	中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認			
			非剛結継手部					
	変形	中実部側	剛結継手部	目視観察 施工記録確認 （超音波探査）	剛結継手部の先行及び後行エレメント鉄筋の変形を確認			
			非剛結継手部					
		地山側	剛結継手部	施工記録確認 （超音波探査）	一部区画で先行鉄筋の変形を確認			
			非剛結継手部			モックアップ試験	中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認	

1) 地中連続壁の形状変更

- 剛結接手部で確認された未充填深さや範囲の不確かさを考慮し、地中連続壁部のすべての剛結継手部に対し、厚さ20cmの断面欠損を両基礎で設定。
- コンクリートの未充填により断面積および断面二次モーメントが低下するため、線形はり要素の断面性能に反映し、曲げ剛性、せん断剛性、軸剛性の低下を考慮する。



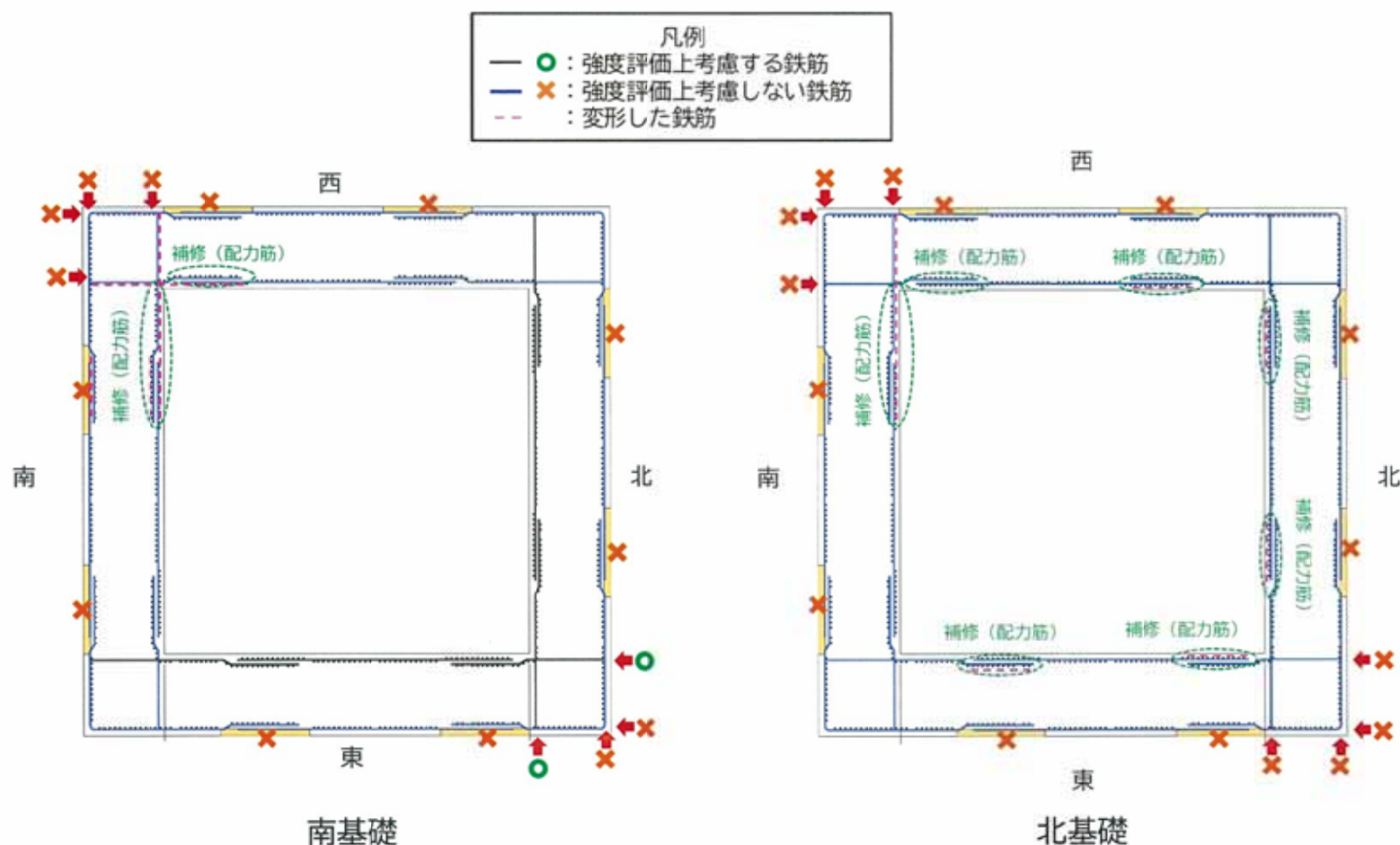
■不具合事象を考慮したコンクリート未充填部の解析モデルへの反映

コンクリートの未充填により断面積および断面二次モーメントが低下するため、線形はり要素の断面性能に反映し、曲げ剛性、せん断剛性、軸剛性の低下を考慮する。

断面	断面積 (m ²)	断面二次モーメント (m ⁴)
健全（既工認）断面	240.25	4810.00
設計変更断面	236.16 (健全断面の98.3%)	4666.32 (健全断面の97.0%)

2) 地中連続壁の配筋変更

- ・ 構造計算においては、地山側の全ての剛結継手部区間にコンクリートの未充填部（調査結果に保守性を持たせ、厚さ20cmの欠損を地中連続壁部の天端から下端に一律に設定）を想定したことから、この未充填部の鉛直鉄筋と地山側の全ての水平鉄筋（せん断補強筋）は構造強度として考慮しない。
- ・ また、中実部側で変形等を確認した鉄筋は補修しても、構造強度（せん断補強筋）としては考慮しない



3. 構造設計への反映・対策の方針検討 (1) 構造設計への反映方針

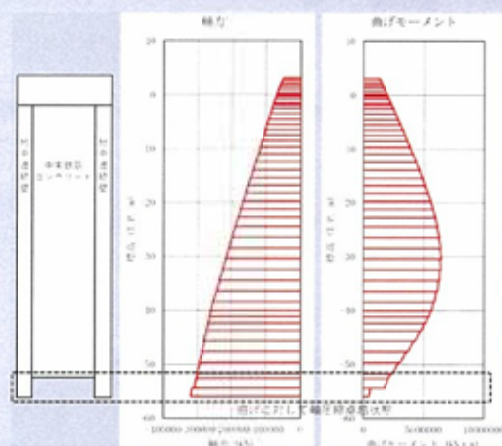
北基礎

3) A北4の鉄筋かご高止まりの評価

A北4区画の鉄筋かごの高止まり基礎部に鉄筋が存在しない場合の構造成立性評価結果を以下に示す。

北基礎下端岩盤根入れ部の断面力

- 基礎下端のため軸圧縮力が卓越した状態
- 曲げモーメントはほとんど作用しない

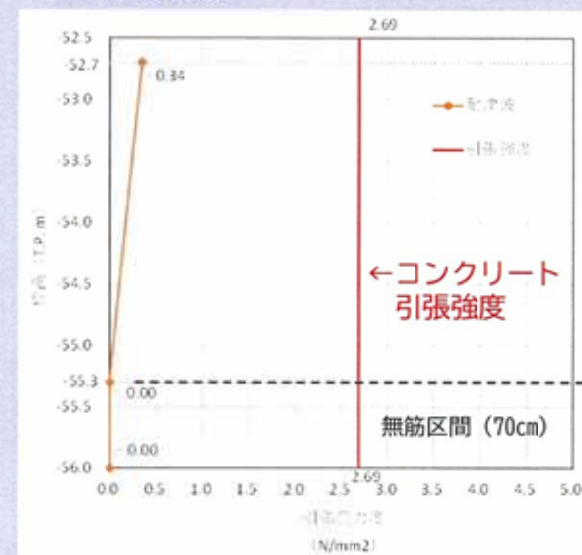
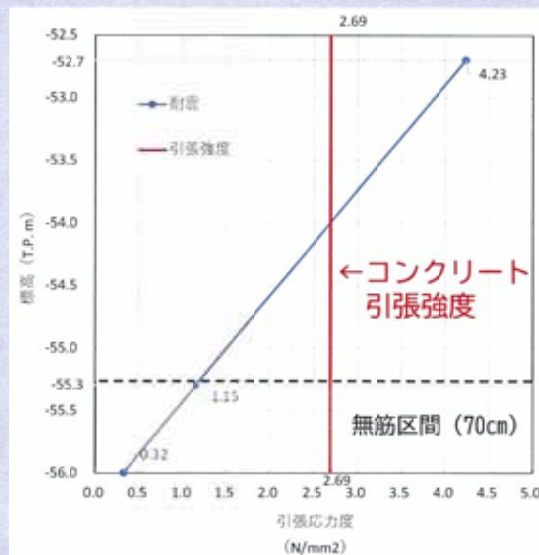


北基礎下端岩盤根入れ部の水平断面における応力状態

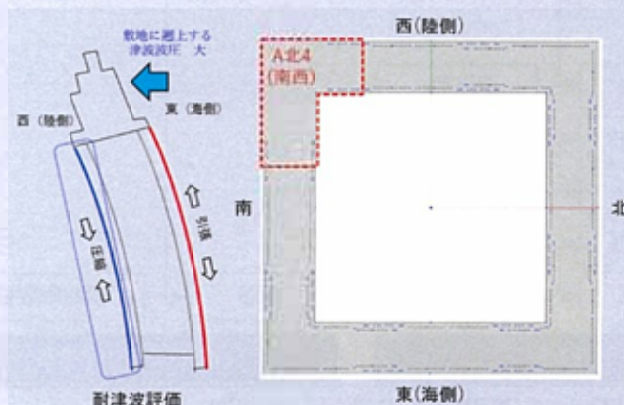
北基礎の南西A北4エレメントの鉄筋かご高止まりに伴い、岩盤根入れ部に主鉄筋のない部分がある。

- 耐震評価:** コンクリートの引張強度に対し、引張応力度は十分に小さく、無筋区間においてコンクリートの引張破壊は発生しない。

- 耐津波評価:** コンクリートの引張強度に対して引張応力度は十分に小さく、津波評価において当該区画は全圧縮となる (津波波圧が西向きに作用する)。また、圧縮縁のコンクリート曲げ軸力は許容限界以下である。



下部工 (鋼製防護壁基礎)



3. 構造設計への反映・対策の方針検討（2）施工対策方針

設計条件に着目した調査（不具合の全容）				構造設計への反映・対策の方針検討						
確認事項（設計条件）		調査範囲		調査方法	調査結果	構造設計への反映	施工対策			
構造物形状	壁厚	中実部/地山側	剛結継手部	施工記録確認 （掘削幅測定、 超音波探査）	掘削後の超音波探査記録から掘削幅を確認	剛結継手部の未充填深さや範囲の不確かさを考慮した設計 ➢コンクリート未充填が確認された地山側の剛結継手部区間について、保守的に20cm欠損させた形状で評価 ①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	➢中実部側のコンクリート未充填部は中実部施工時に補修する。 ➢地山側のコンクリート未充填部は補修できないことを踏まえ、鉄筋の腐食対策として、かぶりコンクリートと同程度の不透水性を有する地盤改良体を地山側に設置する。			
			非剛結継手部							
		中実部側	剛結継手部	目視観察	未充填の形状・深さを確認。					
			非剛結継手部							
		地山側	剛結継手部	（全区画）音響探査 コア採取	未充填の有無・深さを確認					
			非剛結継手部					（全区画）音響探査 コア採取	健全性に影響を及ぼすような未充填はない。	
	設置深度（岩着）	基礎下端	剛結継手部	施工記録確認 （深度測定、 スライム処理）	コンクリート打設前に設計深度以上の掘削深さ、底盤の清掃状況、スライム等が堆積しない環境を確認（全区画の岩着を確認）					➢地山側の変形等が生じた鉄筋、剛結継手部に想定した20cm欠損部の鉛直鉄筋及びこれを通るせん断補強筋を考慮しない解析評価 ②地中連続壁の配筋変更
			非剛結継手部							
		強度	中実部/地山側	剛結継手部	一軸圧縮強度試験			設計基準強度40N/mm ² を十分満足していることを確認	不具合の影響評価 ➢A北4区画の鉄筋かごの高止まり基礎部に鉄筋が存在しない場合の構造成立性評価 ③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価	
				非剛結継手部						
コンクリートの健全性	配置	中実部側	剛結継手部	目視観察	鉄筋かご組立時の配置と異なる箇所（ズレや脱落）を確認		➢中実部側は、変形等が認められる鉄筋を補修する。なお、現在、中実部側で気中に晒されている鉄筋は腐食対策を実施する。 ➢地山側のコンクリート未充填部および中実部側の鉄筋の変形等を考慮し、中実部で鉄筋を補強する。			
			非剛結継手部							
		地山側	剛結継手部	モックアップ試験	中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認					
			非剛結継手部							
		変形	中実部側	剛結継手部	目視観察 施工記録確認 （超音波探査）			剛結継手部の先行及び後行エレメント鉄筋の変形を確認		
				非剛結継手部						
	鉄筋の健全性	地山側	剛結継手部	施工記録確認 （超音波探査）	一部区画で先行鉄筋の変形を確認					
			非剛結継手部					モックアップ試験	中実側での鉄筋かごの接触は、地山側の鉄筋へ影響しないことを確認	

剛結継手部の未充填深さや範囲の不確かさを考慮した設計
 ➤コンクリート未充填が確認された地山側の剛結継手部区間について、保守的に20cm欠損させた形状で評価

①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更

➤地山側の変形等が生じた鉄筋、剛結継手部に想定した20cm欠損部の鉛直鉄筋及びこれを通るせん断補強筋を考慮しない解析評価

②地中連続壁の配筋変更

不具合の影響評価
 ➤A北4区画の鉄筋かごの高止まり基礎部に鉄筋が存在しない場合の構造成立性評価

③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価

➤中実部側のコンクリート未充填部は中実部施工時に補修する。

➤地山側のコンクリート未充填部は補修できないことを踏まえ、鉄筋の腐食対策として、かぶりコンクリートと同程度の不透水性を有する地盤改良体を地山側に設置する。

➤中実部側は、変形等が認められる鉄筋を補修する。なお、現在、中実部側で気中に晒されている鉄筋は腐食対策を実施する。

➤地山側のコンクリート未充填部および中実部側の鉄筋の変形等を考慮し、中実部で鉄筋を補強する。

1) 地山側の鉄筋の腐食対策

地山側のコンクリート未充填箇所に露出した鉄筋に地下水が接触する場合、地下水に溶解した酸素が鉄筋に供給されることで「腐食」が発生する。更にその「腐食」は、健全なコンクリート内に存在する鉄筋にも進行することが懸念されるため、その進行を防止することも踏まえた防食対策を実施する。

①防食対策（道路橋示方書・同解説Ⅳ 下部構造編より）

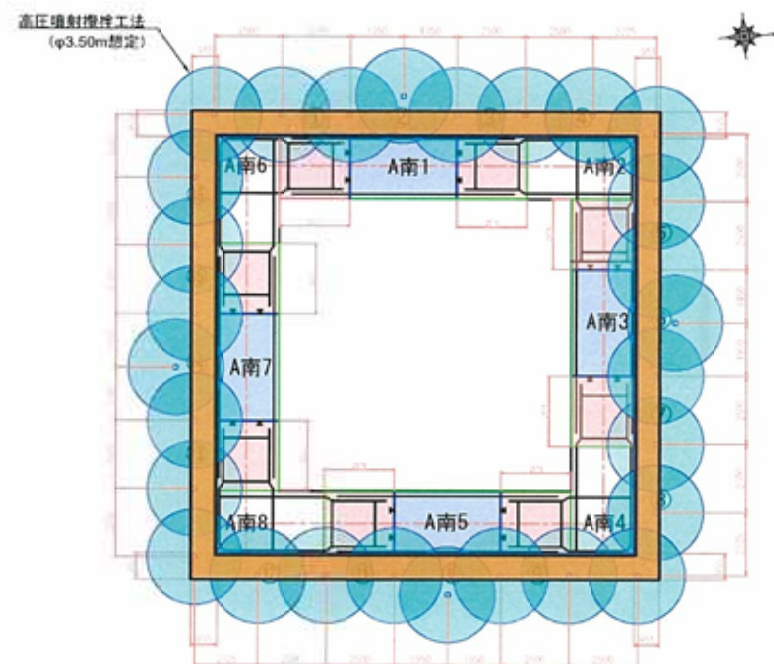
コンクリート未充填箇所にセメント改良体を構築し、露出した鉄筋と地下水との接触を遮断することで鉄筋の「腐食」を防止する。セメント改良体はコンクリートの最小かぶり厚(70mm)と同等の遮水性能を有するセメント改良体厚さを確保する。

②遮水性能の確保

地中連続壁のコンクリートは、セメント改良体と比較し、約14倍の透水係数を有している。そのため、コンクリートの最小かぶり厚(70mm)に対し、約14倍のセメント改良体厚さを確保することでコンクリートと同等の遮水性能を有することができる。また、セメント改良体はpHが11以上の強アルカリ性を示し、不動態被膜を形成することから鉄筋の腐食防止効果は高まる。

コンクリート未充填部 かぶり部の材料	透水係数 κ (m/sec)	最小(必要)かぶり t (mm)
コンクリート	7.33×10^{-11}	70※
セメント改良体	1.00×10^{-9} ↓ 約14倍	955以上 ↓ 約14倍

※最小かぶり t については、道路橋示方書・同解説Ⅳ. 下部構造編（H24.3）を基にコンクリートの劣化や鉄筋腐食に対する耐久性の観点から70mmとする。

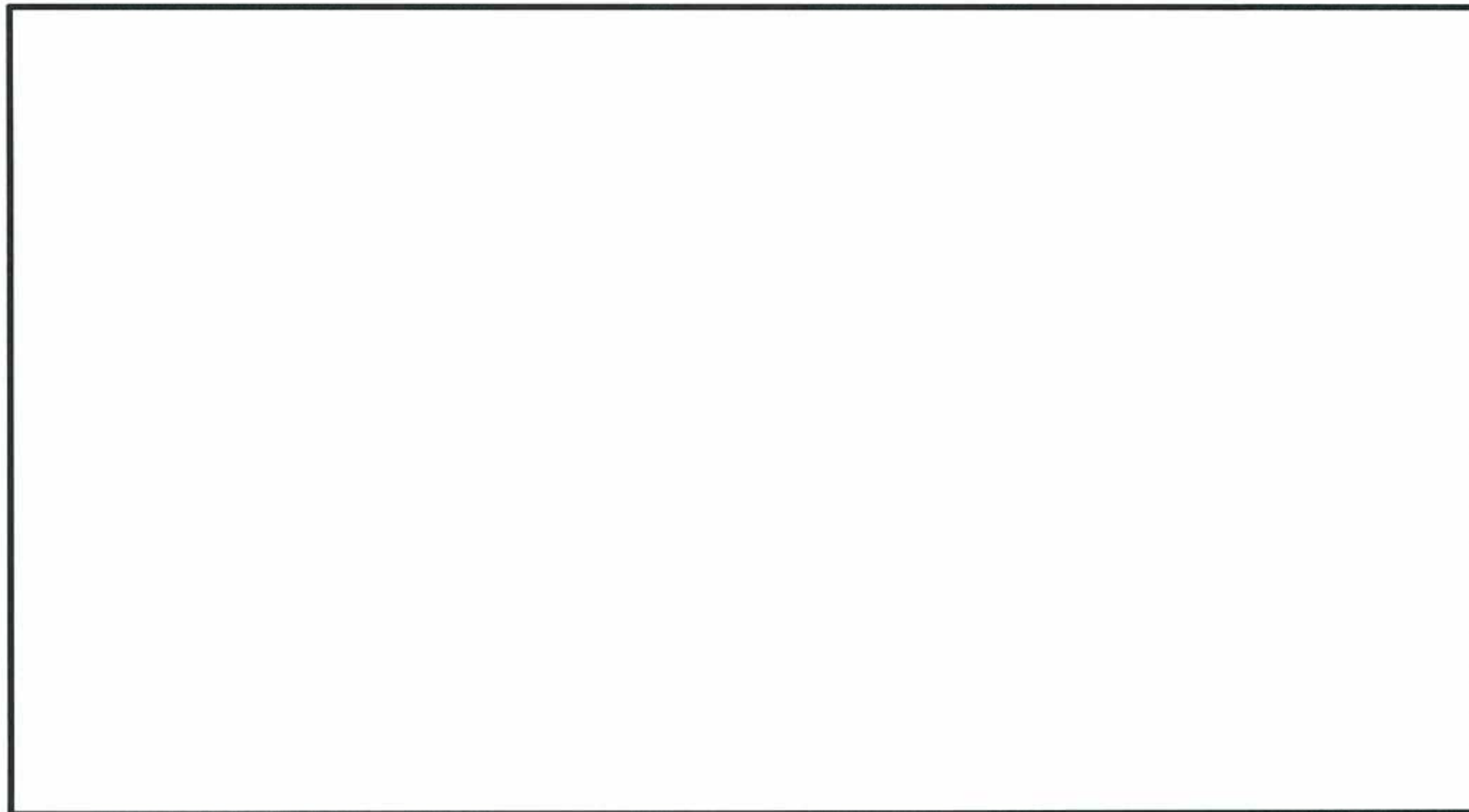


地盤改良概念図

- セメント改良体（高圧噴射攪拌工法）：直径φ3.5m
- セメント改良体厚さ955mm（セメント改良体φ3.5mによる改良厚さ）

2) 中実部での補強鉄筋対策

地山側のコンクリート未充填部および中実部側の鉄筋の変形等を考慮し、中実部で鉄筋を補強する。



構造変更を反映した耐震耐津波評価結果

4. 構造変更を反映した耐震耐津波評価結果（1／5）

(1) 構造変更を反映した耐震耐津波の設計方針

防潮堤（鋼製防護壁）の地中連続壁における不具合事象の全容を踏まえ、当該構造物の耐震耐津波評価に反映すべき構造変更を以下のとおり決定した。

構造変更①：地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更
構造変更②：地中連続壁の鉄筋変形等を考慮した配筋変更
構造変更③：北基礎における鉄筋かごの高止まりを考慮した評価

不具合事象に
係る構造変更

また、不具合事象には関連しないものの、施工計画上の配慮（品質向上）を目的として実施した以下の構造変更を合わせて反映する。

構造変更④：ジベル鉄筋に係る仕様変更
構造変更⑤：鋼製防護壁に係る仕様変更
構造変更⑥：アンカーボルト及び周辺鉄筋に係る仕様変更

品質向上に係
る構造変更

以上①～⑥の構造変更について、まずは防潮堤（鋼製防護壁）の各構造部位における設計項目を網羅的に抽出した上で、各設計項目の“応答計算”及び“照査”という設計プロセスにおける2つの主要な観点に着目して、反映箇所の検討を実施した。

本検討結果を次頁に掲載する。

4. 構造変更を反映した耐震耐津波評価結果（2／5）

(2) 耐震評価への反映箇所について

①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更

②地中連続壁の配筋変更

③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価

不具合事象に係る構造変更

④ジベル鉄筋の仕様変更

⑤鋼製防護壁の仕様変更

⑥アンカーボルト及び周辺鉄筋の仕様変更

品質向上に係る構造変更

評価対象部位		耐震評価設計項目	応答計算への反映箇所※		照査への反映箇所	
			反映すべき構造変更	反映方針	反映すべき構造変更	反映方針
下部構造	基礎地盤	基礎地盤の支持性能評価	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価	想定される無筋区間に対して支持性能(引張)照査を実施
	地中連続壁(連壁+中実コン)	部材の曲げ・せん断照査	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更 ②地中連続壁の配筋変更	20cm×8箇所の欠損や配筋変更を考慮した断面照査を実施
		地中連続壁と中実鉄筋コンクリートの一体化に係る評価(ジベル)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	④ジベル鉄筋の仕様変更	変更後の鉄筋仕様にて、せん断照査を実施
		【参考】南北地中連続壁基礎の間に生じる地震時相対変位の影響について	地中連続壁の設計手法の妥当性を補足するための解析的検討であり、構造変更①による影響を少なからず受ける内容ではあるが、影響程度が非常に小さく、再検討は不要だと判断した。			
上部構造	鋼製防護壁	外壁及び隔壁からなる主部材の評価	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	⑤鋼製防護壁の仕様変更	変更後の鋼材仕様にて、応力照査を実施
		中詰め鉄筋コンクリートと鋼殻の接合部の評価(スタッド)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	なし	(スタッドに係る仕様変更はない)
		補剛材の評価	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	なし	(補剛材に係る仕様変更はない)
	接合部	アンカーボルトに係る各種評価(引抜き、コーンせん断等)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	⑥アンカーボルト及び周辺鉄筋の仕様変更	変更後のボルト及び鉄筋仕様にて、応力照査を実施
		頂版鉄筋コンクリート、中詰め鉄筋コンクリートに係る各種評価(水平せん断、水平曲げ)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	⑥アンカーボルト及び周辺鉄筋の仕様変更	変更後のボルト及び鉄筋仕様にて、応力照査を実施
		【別冊】COM3による接合部アンカーの評価	本検討において支配的な荷重条件は“津波荷重(重畳時)”であることから、強度計算に付随した追加検討に分類し、ここには記載しない。			
	止水ジョイント部	側方止水ジョイント部材の変形性能照査	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	なし	(止水ジョイントに係る仕様変更はない)
		底部止水機構(1次止水機構)の耐震評価	鋼製防護壁により間接支持される設備(底部止水機構)の耐震計算であり、構造変更①による影響を少なからず受ける内容ではあるが、影響程度が非常に小さく、再検討は不要だと判断した。			

※応答計算では地中連続壁の形状の影響しかないことから反映すべき事項は①のみ

4. 構造変更を反映した耐震耐津波評価結果（3／5）

(3) 耐津波評価への反映箇所について

①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更

②地中連続壁の配筋変更

③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価

不具合事象に係る構造変更

④ジベル鉄筋の仕様変更

⑤鋼製防護壁の仕様変更

⑥アンカーボルト及び周辺鉄筋の仕様変更

品質向上に係る構造変更

評価対象部位		耐津波設計項目	応答計算への反映箇所※		照査への反映箇所	
			反映すべき構造変更	反映方針	反映すべき構造変更	反映方針
下部構造	基礎地盤	基礎地盤の支持性能評価	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	③北基礎の鉄筋かごの高止まりを考慮した評価	想定される無筋区間に対して支持性能(引張)照査を実施
	地中連続壁(連壁+中実コン)	部材の曲げ・せん断照査	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更 ②地中連続壁の配筋変更	20cm×8箇所の欠損や配筋変更を考慮した断面照査を実施
		地中連続壁と中実鉄筋コンクリートの一体化に係る評価(ジベル)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	④ジベル鉄筋の仕様変更	変更後の鉄筋仕様にて、せん断照査を実施
上部構造	鋼製防護壁	外壁及び隔壁からなる主部材の評価	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	⑤鋼製防護壁の仕様変更	変更後の鋼材仕様にて、応力照査を実施
		中詰め鉄筋コンクリートと鋼製の接合部の評価(スタッド)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	なし	スタッドに係る仕様変更はない
		補剛材の評価	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	なし	補剛材に係る仕様変更はない
		【参考】余震荷重における3次元組合せ係数法の保守性の確認	鋼製防護壁の設計手法の妥当性を補足するための解析的検討であり、構造変更①による影響を少なからず受ける内容ではあるが、影響程度が非常に小さく、再検討は不要だと判断した。			
	接合部	アンカーボルトに係る各種評価(引抜き、コーンせん断等)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	⑥アンカーボルト及び周辺鉄筋の仕様変更	変更後のボルト及び鉄筋仕様にて、応力照査を実施
		頂版鉄筋コンクリート、中詰め鉄筋コンクリートに係る各種評価(水平せん断、水平曲げ)	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	⑥アンカーボルト及び周辺鉄筋の仕様変更	変更後のボルト及び鉄筋仕様にて、応力照査を実施
		【別冊】COM3による接合部アンカーの評価	接合部の設計手法の妥当性を補足するための3次元解析(COM3)であり、構造変更①や構造変更⑥の影響を少なからず受ける内容ではあるが、耐津波評価における接合部の安全裕度が向上しているという設計事実を踏まえ、当該評価を再実施する必要はないと判断した。			
	止水ジョイント部	側方止水ジョイント部材の変形性能照査	①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	20cm×8箇所の欠損を考慮し連壁の断面性能を低下	なし	止水ジョイントに係る仕様変更はない
		底部止水機構(1次止水機構)の強度評価	鋼製防護壁により間接支持される設備(底部止水機構)の耐津波計算であり、構造変更①により評価の一部(余震荷重の算定)が影響を少なからず受ける内容ではあるが、影響程度が非常に小さく、再検討は不要だと判断した。			

※応答計算では地中連続壁の形状の影響が少ないことから反映すべき事項は①のみ

4. 構造変更を反映した耐震耐津波評価結果（4／5）

(4) 構造変更を反映した耐震耐津波評価の方針

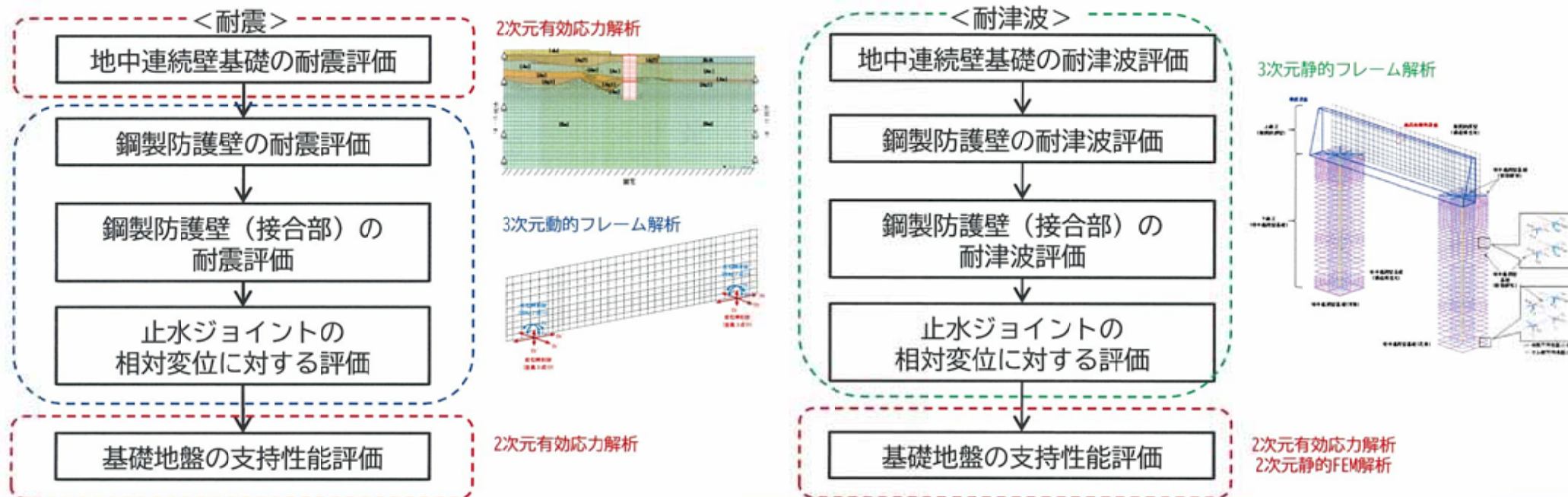
構造変更を反映した耐震耐津波評価を実施するための方針は、平成30年10月に認可を受けた耐震耐津波評価（以下、「既工認」という。）と同様とする。ここでは、評価方針の一部を抜粋して掲載する。

①耐震耐津波評価における検討ケース

- ・耐震評価における入力地震動は、基準地震動 S_s 全波とする。既工認と同様に、 S_s 全波を入力して、まずは基本となる地盤物性ケースに対する評価を行った上で、地盤物性のばらつき（豊浦標準砂を含む）を考慮した耐震評価を実施する。
- ・耐津波評価においても、既工認と同様に、津波時及び重畳時の地盤状況及びばらつきを考慮して設定した複数の地盤バネを考慮し、これを網羅的に組み合わせた検討ケースに対して、耐津波評価を実施する。

②耐震耐津波評価における検討フロー

以下に示す各評価項目における応答計算には「コンクリートの未充填による断面欠損」を考慮している。



4. 構造変更を反映した耐震耐津波評価結果（5／5）

(5) 構造変更を反映した耐震耐津波評価結果

今回の構造変更を考慮した耐震耐津波評価の結果、防潮堤（鋼製防護壁）の各構造部材について、基準地震動または基準津波等による荷重に対し、原設計と比較しても全体的に安全裕度が向上していること及び健全性が確保されることを確認した。

評価項目		設計変更後の照査値※1			【参考】 既工認における 各部材の 最大照査値
		耐震	耐津波		
			津波時※2	重畳時※2	
地中連続壁基礎 に対する照査	コンクリート及び鉄筋の 曲げ軸力照査	0.35	0.38	0.82	0.93
	鉄筋コンクリートの せん断力照査	0.73	0.55	0.77	0.90
	ジベル鉄筋量の照査	0.93	0.69	0.96	0.96
鋼製防護壁に対する照査		0.83	—	0.63	0.97
鋼製防護壁 (接合部) に対する照査	アンカーボルトの 照査	0.95	—	0.58	0.94
基礎地盤の支持性能 に対する照査		最大接地圧： 3861kN/m ² 極限支持力度： 6116kN/m ²	—	最大接地圧： 3630kN/m ² 極限支持力度： 6116kN/m ²	最大接地圧： 3861kN/m ² 極限支持力度： 6116kN/m ²
止水ジョイント部の相対変位量 に対する照査		最大変位：1.480m 許容変位：2.00m	最大変位：0.890m 許容変位：2.00m	最大変位：1.124m 許容変位：2.00m	最大変位：1.486m 許容変位：2.00m

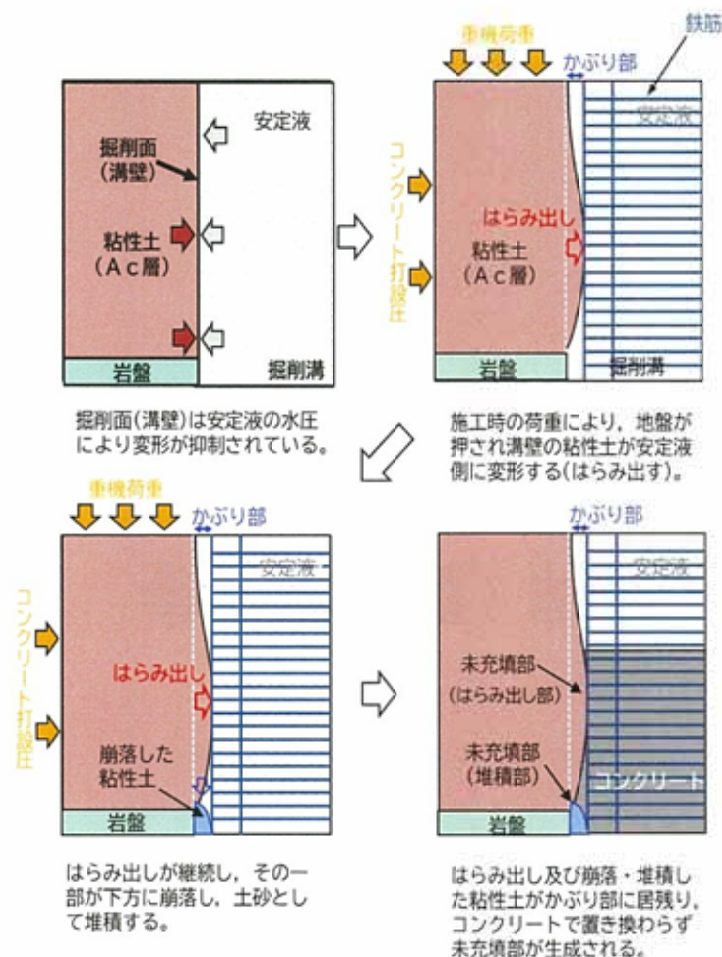
注記 ※1 各評価項目に対して実施した検討ケースのうち、最大照査値を掲載する。

※2 津波時及び重畳時に記載の各照査値は、基準津波及び敷地に遡上する津波による照査値のうち最大値である。

参 考 資 料

(a) 溝壁のはらみ出し・はらみ出し土砂の崩落

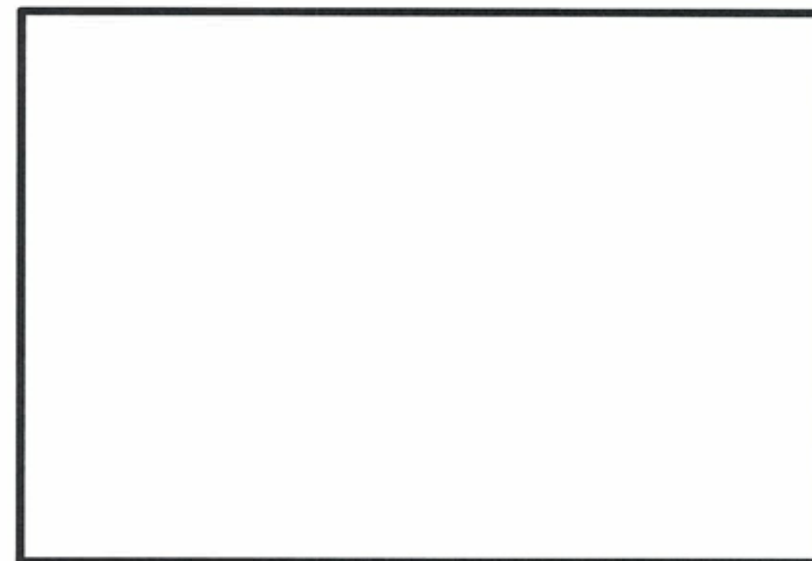
掘置き期間が長い剛結継手部で、施工機械の上載荷重やコンクリート打設圧の繰返し载荷により、中実部側の内部圧力が上昇し、軟弱な沖積粘性土にはらみ出しが発生、また、はらみ出した粘性土の一部が下方に崩落し、鉄筋かぶり部に堆積したことで、コンクリートの流路を阻害。



(b) A南7コンクリート打設時の剛結継手部へのコンクリート・土砂の流出 (⑮の区画特有の事象)

A南7コンクリート打設中に、中実部側の溝壁の一部が崩落、コンクリート打設面の降下及び⑮の区画（剛結継手部）に土砂・コンクリートがシートとともに流出し、鉄筋かぶり部に残留したことで、コンクリートの流路を阻害。

(⑮の拡大)



後行エレメントの鉄筋（緑の鉄筋）を建て込む前に流入した土砂等を撤去した。
ただし、中実部側の先行エレメントの鉄筋と溝壁の間の撤去ができず中実部掘削時に対応するとして一部残置した。

このため、当該箇所にコンクリートの未充填が発生した。
未充填部にはコンクリート打設中のスライム・安定液の巻込みとともに、シートが確認された。

(c) コンクリート打設中のスライム・安定液の巻込み（安定液混じり箇所）

SMW区間およびSMW以深の区間において、鉄筋かぶり部のコンクリートに、スライムの巻込みや安定液が混入している安定液混じり箇所が局所的に分布。

【発生原因の推定】

コンクリート打設中にスライムの巻込みや安定液の混入により局所的に安定液混じり箇所が発生（連壁施工上起こりうる事象：下記指針参照）。

「2012年制定 コンクリート標準示方書 施工編 P283～284」

- ・ 地中連続壁に用いる水中コンクリートは、施工時の強度低下（スライムの巻込み、安定液の混入等）を考慮して強度を設定するものとし、過去の実績から安定液中での施工時の強度は、気中施工時の強度の0.7倍程度とみなして強度を設定するとよい。
- ・ 地中連続壁のコンクリートは、締固めることができないこと、溝壁と鉄筋との間隔が狭い場合にはコンクリートが十分にゆきわたらない可能性があること、水中あるいは安定液中にあるため施工の良否が判定しにくいこと等を考慮して、鉄筋のかぶりは10cm以上とする必要がある。

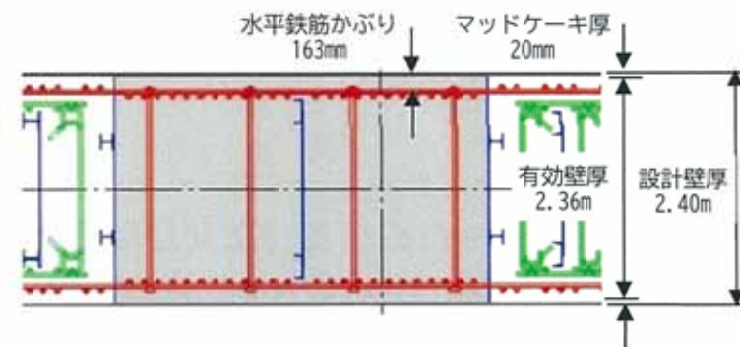
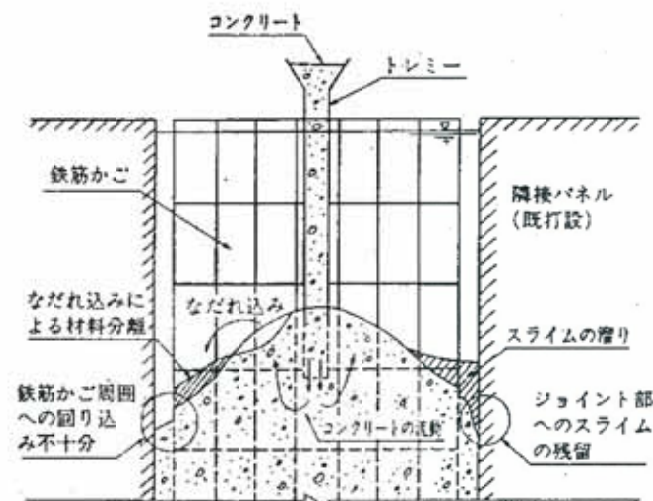
「地中連続壁工法Q & A集 平成27年12月 P51」

地中連続壁のコンクリートは、通常施工のコンクリートに比べて、発現強度のばらつきが大きい。ばらつきの要因のひとつとして、コンクリート打設中に、コンクリートと安定液とが接し、安定液とセメントのゲル化物をコンクリート中に巻き込みやすい。

【施工時の対策】

- ・ コンクリート強度の割増し

設計基準強度 40N/mm^2 に対し、水中コンクリート強度を 58N/mm^2 に割増して施工した。



(参考) コンクリート未充填が形成された要因

南基礎

(c) コンクリート打設中のスライム・安定液の巻込み（安定液混じり箇所）

【地山側のコンクリート充填状況の調査結果】

設計壁厚2.4mに対し、

- ・音響探査結果：-3cm～+11cm
- ・水平コア結果：+0.5cm～+9cm



非剛結継手部において有効壁厚※を確保(区画⑫を除く)

※有効壁厚：設計壁厚から地中連続壁表面の泥膜などコンクリートの劣化部分（片側20mmずつ合計40mm）を減じた厚さで、断面照査に用いる壁厚（道路橋示方書・同解説（H24）IV. 下部構造編 P. 506）

南基礎 地山側のコンクリート充填状況調査結果

区画	種別	音響探査			水平コアによる厚さ確認		
		結果 ※右記の欠測箇所を除く	欠測箇所 TP (m)		目的	TP (m)	結果
②	先行	+10cm～-2cm	T. P. -11. 7m	～ T. P. -13. 2m	欠測補完	T. P. -12. 1m	+4. 0cm
			T. P. -24. 7m	～ T. P. -26. 9m	欠測補完	T. P. -25. 8m	+0. 5cm
			T. P. -32. 7m	～ T. P. -33. 4m	欠測補完	T. P. -32. 9m	+7. 5cm
④	後行	PP設備に干渉し音響探査孔の設置が不可能のためコアにて補完			測定不能補完	T. P. -14. 2m	+1. 0cm
					測定不能補完	T. P. -21. 2m	+0. 5cm
					測定不能補完	T. P. -28. 8m	+3. 5cm
					測定不能補完	T. P. -36. 9m	+5. 0cm
					測定不能補完	T. P. -43. 5m	+1. 5cm
⑥	先行	+7cm～-1cm	T. P. -14. 8m	～ T. P. -16. 1m	欠測補完	T. P. -15. 2m	+0. 5cm
			T. P. -17. 1m	～ T. P. -18. 8m	欠測補完	T. P. -17. 1m	+2. 5cm
⑧	後行	+6cm～0cm	T. P. -11. 4m	～ T. P. -15. 4m	欠測補完	T. P. -13. 9m	+7. 5cm
			T. P. -14. 9m	～ T. P. -23. 4m	不安定補完	T. P. -17. 5m	+8. 5cm
			T. P. -22. 9m	～ T. P. -27. 1m	欠測補完	T. P. -24. 9m	+2. 0cm
			-	～ -	キャブレーション	T. P. -32. 1m	+4. 0cm
			-	～ -	欠測補完	T. P. -37. 0m	+7. 0cm
⑩	先行	+10cm～+2cm	-	～ -	キャブレーション	T. P. -15. 1m	+0. 5cm
⑫	後行	+10cm～-3cm	-	～ -	キャブレーション	T. P. -20. 4m	+3. 0cm
⑭	先行	+10cm～0cm	T. P. -9. 8m	～ T. P. -23. 3m	不安定補完	T. P. -14. 4m	+9. 0cm
			-	-	不安定補完	T. P. -20. 7m	+2. 0cm
⑮	後行	+11cm～-1cm	T. P. -9. 3m	～ T. P. -13. 1m	欠測補完	T. P. -11. 2m	+3. 0cm
			T. P. -16. 3m	～ T. P. -17. 8m	欠測補完	T. P. -17. 2m	+2. 0cm

