

参 考 資 料

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

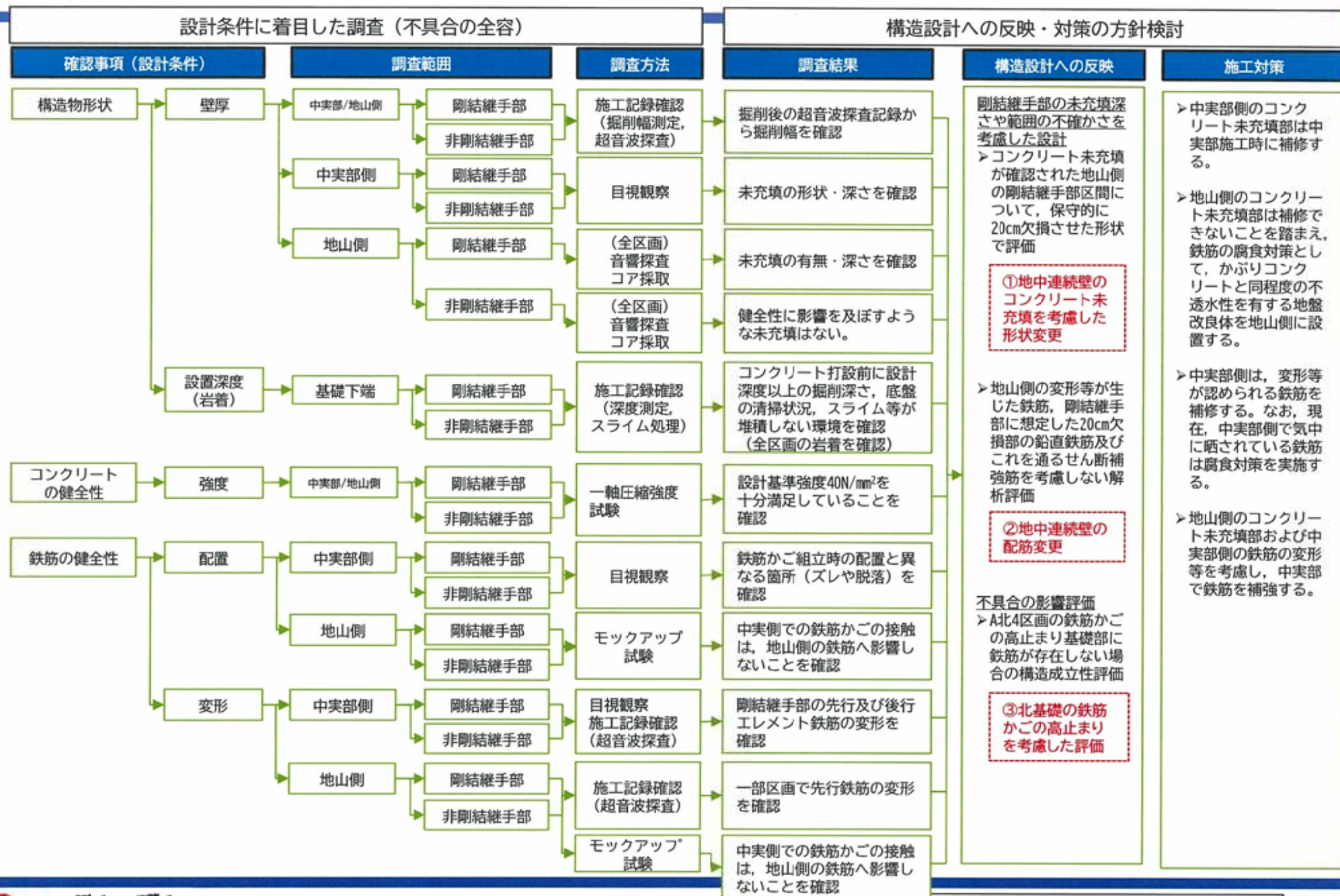
構造設計への反映・対策の方針検討

- ・ 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）



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

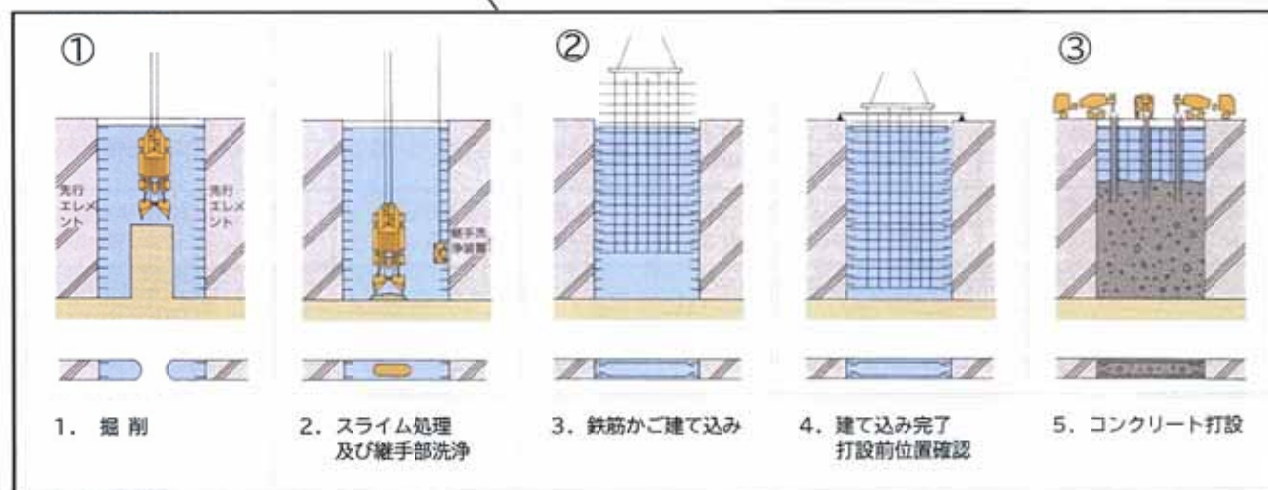
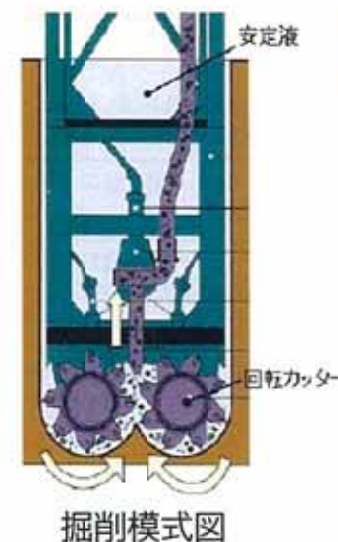
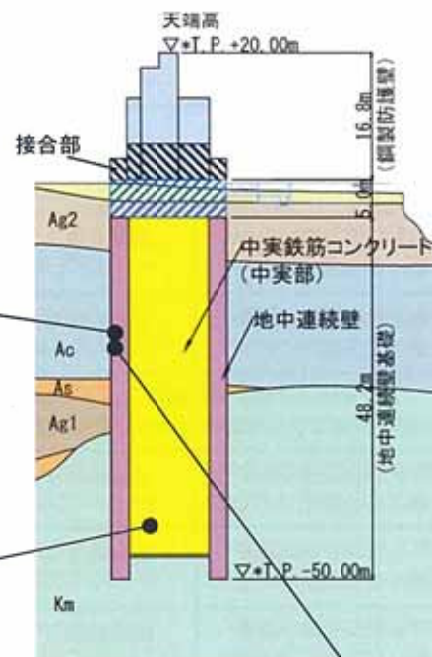
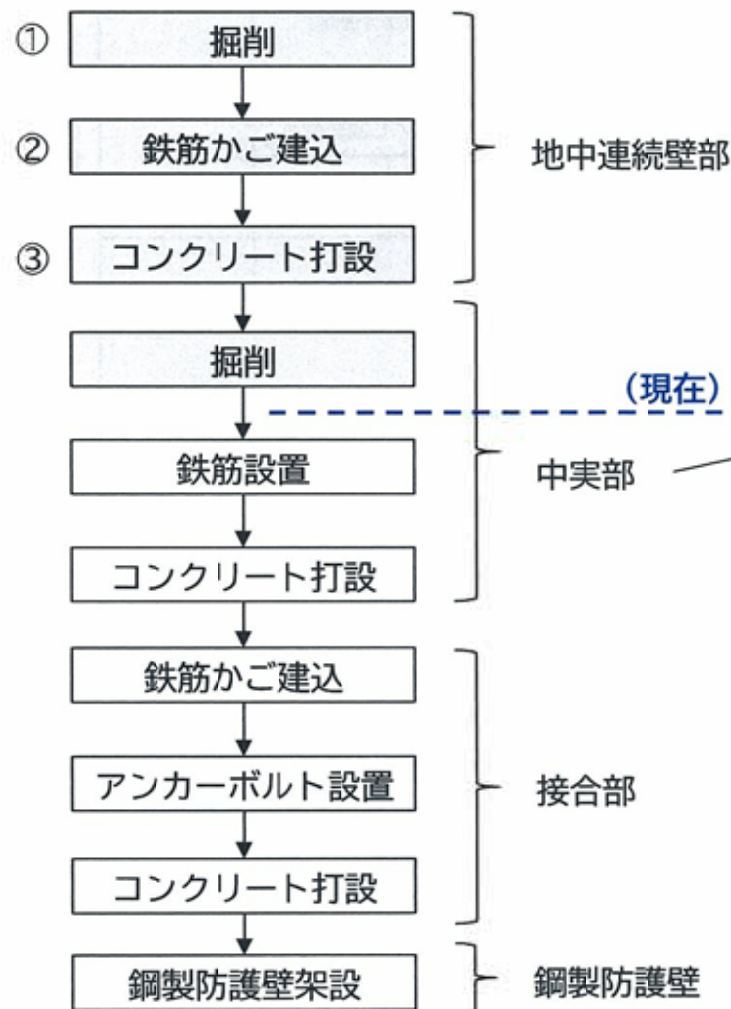
品質向上に係る構造変更

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 (5/7)

防潮堤（鋼製防護壁）の施工手順



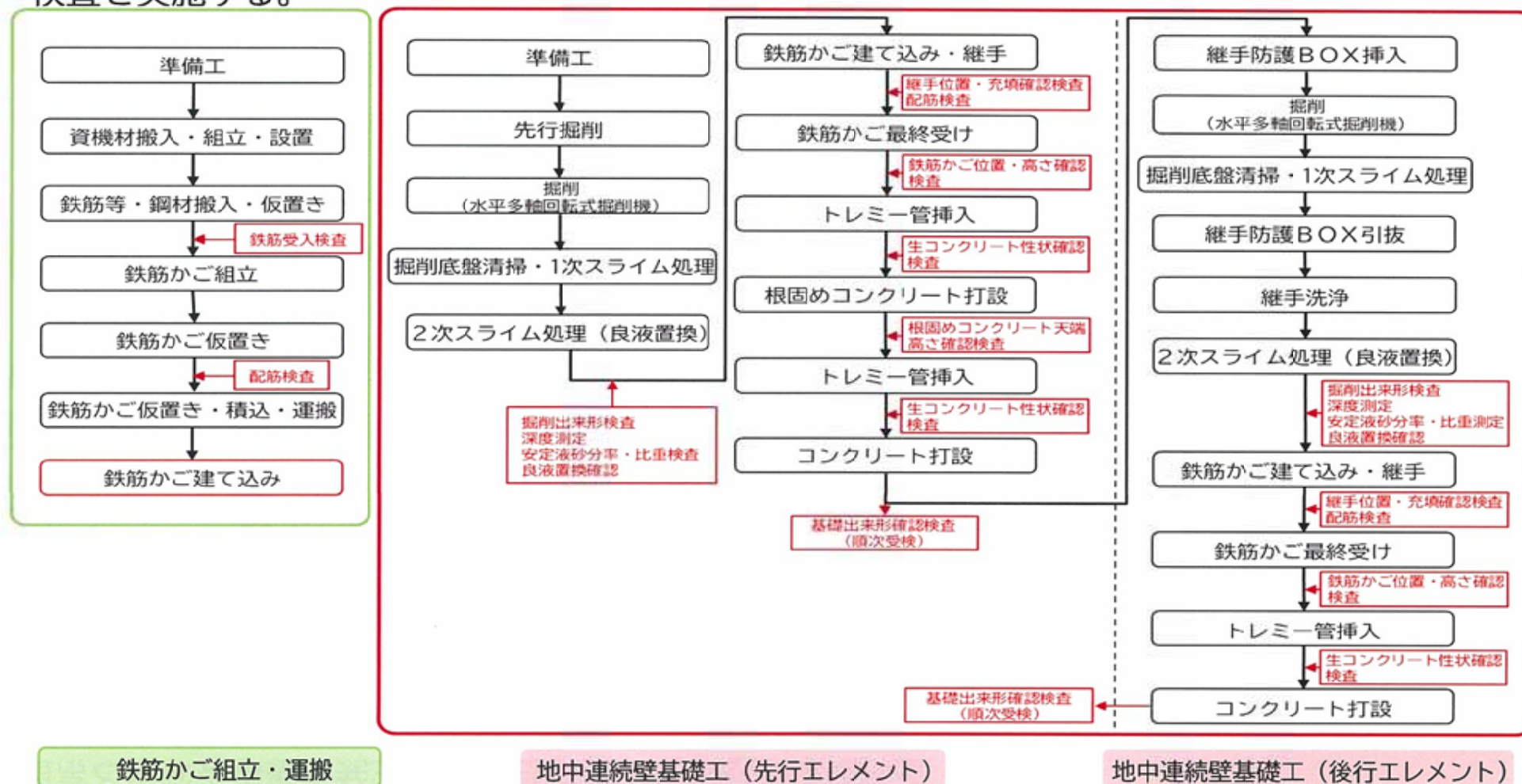
地中連続壁部の施工ステップ図

1. 不具合事象に対する調査・評価の概要（6/7）

➤ 通常施工時の品質確認検査

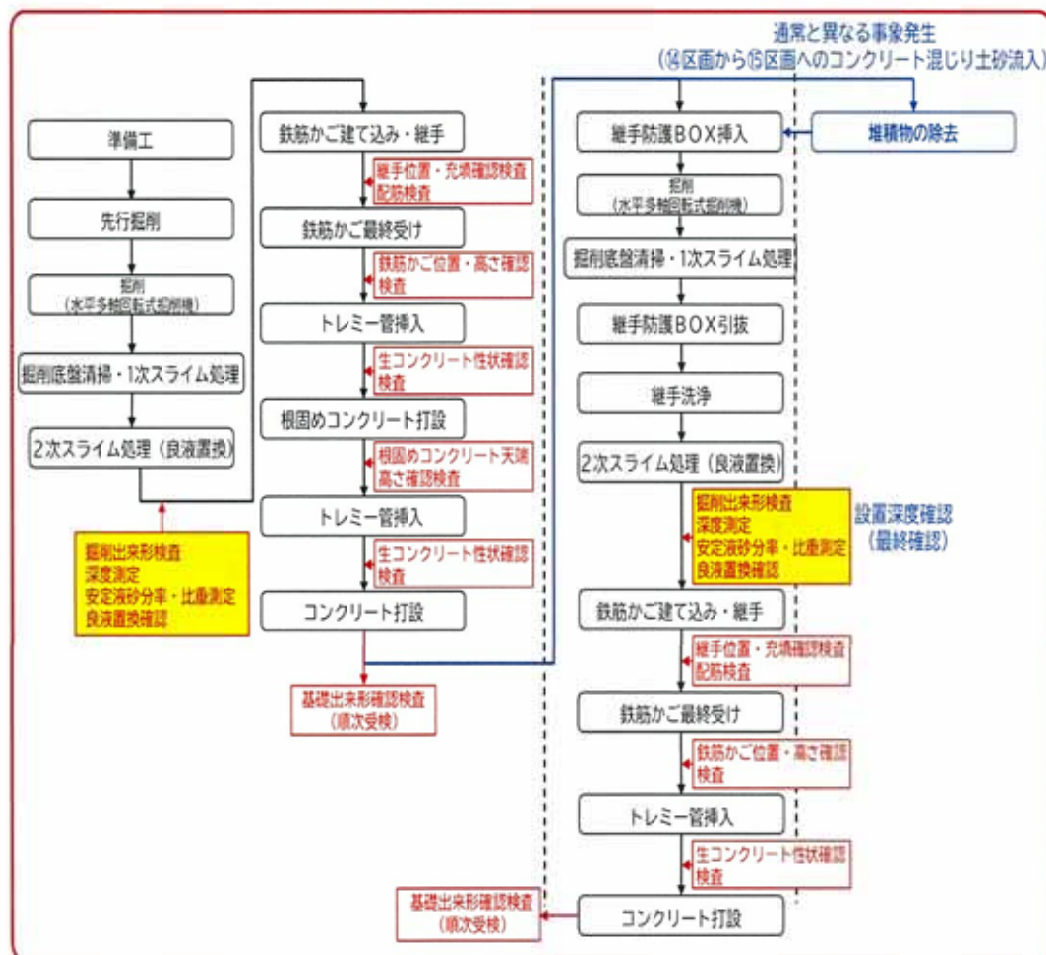
通常施工では、下記フローのように各施工段階において品質確認検査を実施する。

また、通常と異なる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。



通常施工時の地中連続壁基礎工に係る施工・品質確認検査フロー

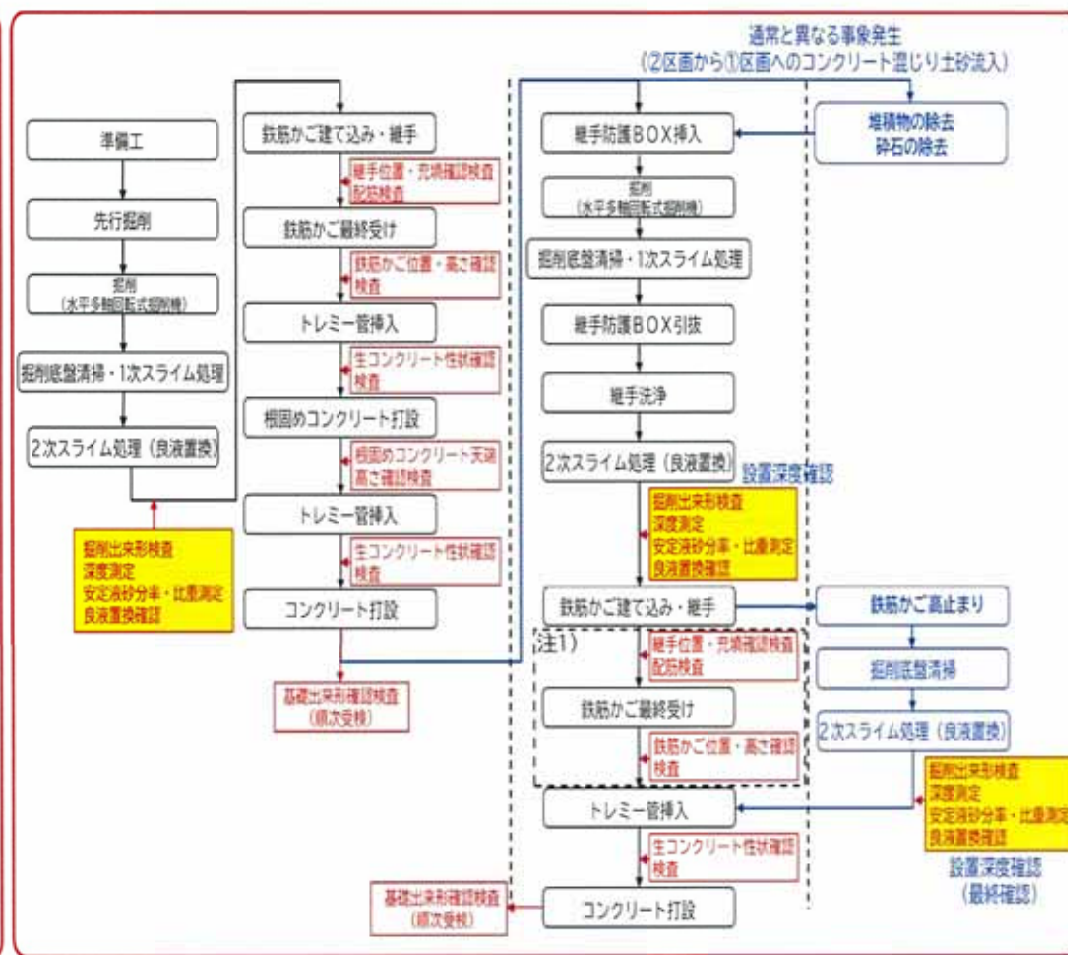
➤ 通常と異なる事象が発生した場合の施工時の品質確認検査



地中連続壁基礎工（先行エレメント）

地中連続壁基礎工（後行エレメント）

流入土砂除去



地中連続壁基礎工（先行エレメント）

地中連続壁基礎工（後行エレメント）

流入土砂・碎石除去、
鉄筋停止まで

注1) ③, ⑤, ⑦, ⑨区画の碎石除去のみの通常と異なる事象が発生した場合は実施する。

南基礎（溝壁崩壊に伴うコンクリート混じり土砂除去）

北基礎（コンクリート混じり土砂・砕石除去と鉄筋の高止まり）

通常と異なる事象発生時の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）

（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）

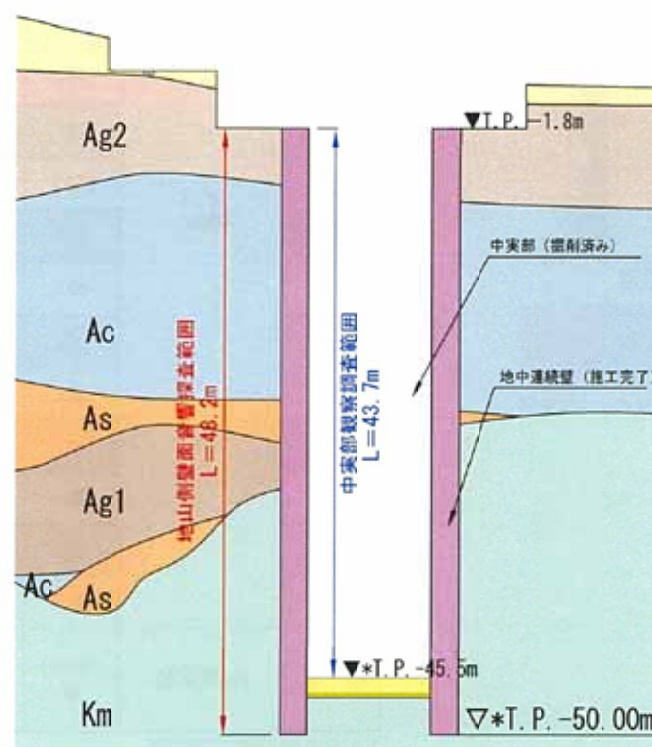
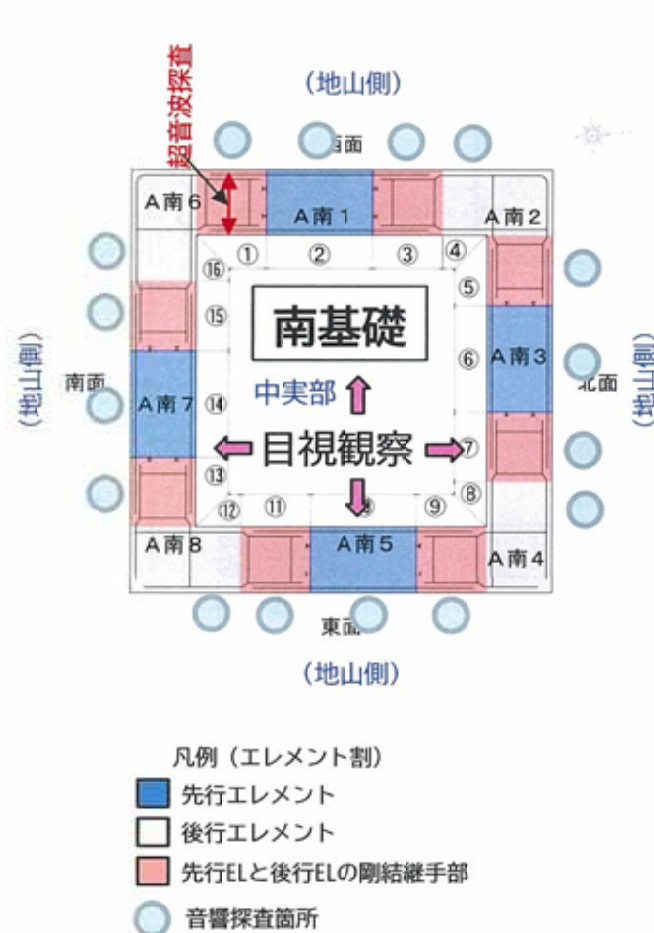
設計条件に着目した調査（不具合の全容）				構造設計への反映・対策の方針検討				
確認事項（設計条件）		調査範囲		調査方法	調査結果	構造設計への反映	施工対策	
構造物形状	壁厚	中実部/地山側	剛結継手部	施工記録確認 （掘削幅測定、 超音波探査）	掘削後の超音波探査記録から掘削幅を確認	剛結継手部の未充填深さや範囲の不確かさを考慮した設計 ➢コンクリート未充填が確認された地山側の剛結継手部区間について、保守的に20cm欠損させた形状で評価 ①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	➢中実部側のコンクリート未充填部は中実部施工時に補修する。 ➢地山側のコンクリート未充填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					
		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）			
				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	②地中連続壁の配筋変更	➢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
	鉄筋の健全性	配置	中実部側	剛結継手部				
変形	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					
	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			
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								

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。



地中連続壁調査範囲

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（調査深度T.P. -1.8m～T.P. -45.5m）

③地山側

- 音響探査：地山側の壁面の形状（壁厚）を確認
各区画の中央部（1測線）で実施
⑩区画と⑬区画では中央部とその付近（3測線）で実施
（調査深度T.P. -1.8m～T.P. -50.0m）
- 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）

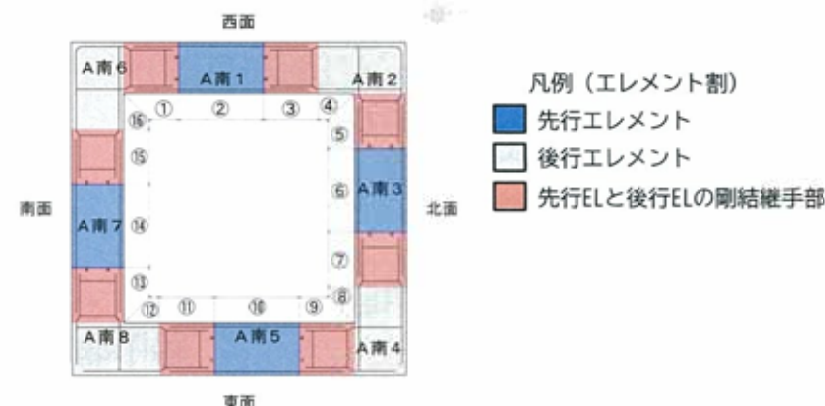
各区画における掘削完了後（先行エレメント鉄筋かご建て込み前）の超音波測定結果（施工記録）から、設計壁厚を満足する掘削幅で施工されていることを確認した。

超音波探査による掘削幅計測結果

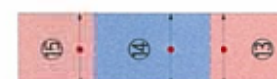
実測値は最小値を示す。

	区画	設計壁厚 (mm)	実測壁厚 (超音波記録より) (mm)	差 (mm)	管理値 ^{注1)}	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

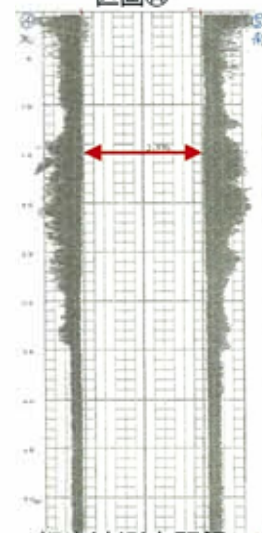
注1) 地中連続壁の既往の施工における鉛直精度の実績（1/500）を考慮した値である。



先行エレメント超音波測定位置



区画⑭

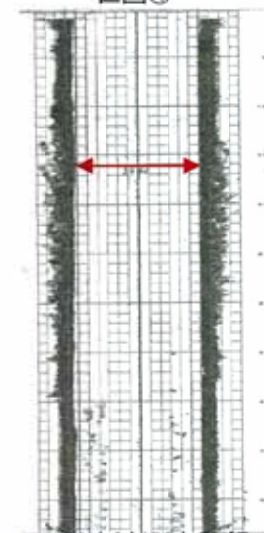


超音波測定記録

後行エレメント超音波測定位置



区画④



超音波測定記録

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

3）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④、⑧、⑫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	×	×	●	×	●

南基礎

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（①，③，⑤，⑦，⑨，⑪，⑬，⑮区画）で確認（最大で16cm）され、非剛結継手部（②，⑥，⑧，⑩，⑫，⑭区画）でも確認（最大で4cm）された。

ボーリング孔

←地山側

中実部側→

計画幅2400mm

コア採取

音響探査

地盤

地中連続壁部

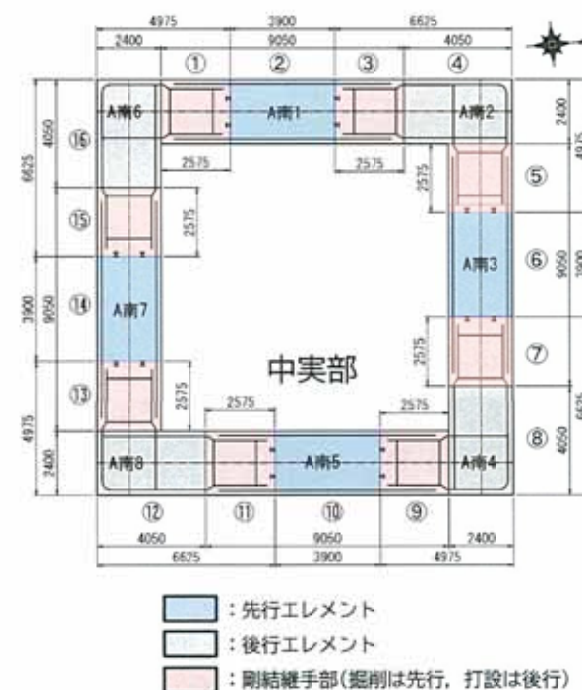
計画壁面位置 (地山側)

計画壁面位置 (中実部側)

コア採取：
音響探査の欠測区間の
壁厚確認及び音響探査
の精度確認として実施

地山側壁面の調査方法

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	3cm
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	9cm
⑧	7日間	3cm
⑨	24日間	8cm
⑩	8日間	1cm
⑪	89日間	5cm
⑫	9日間	4cm
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



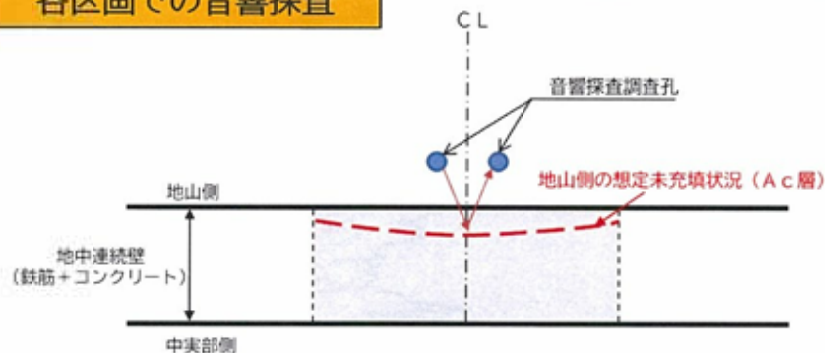
2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （1）構造物形状（壁厚）

南北基礎共通

5) 音響探査の区画中央部位置での信頼性確認

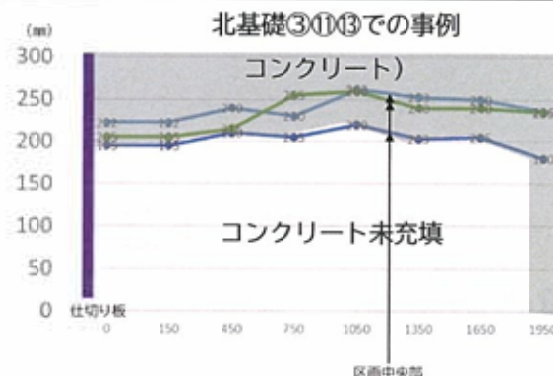
区画中央部での音響探査結果が、各区画のコンクリート未充填深さとして問題ないことを3測線（計測幅2m程度）での計測を行い確認した。

各区画での音響探査

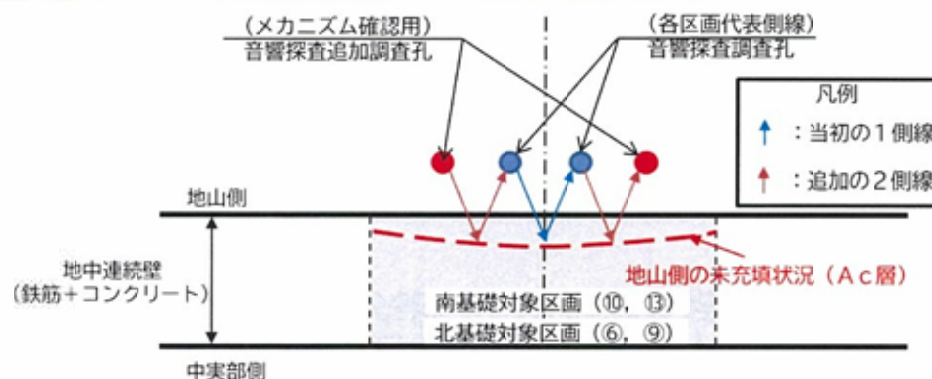


地山側のコンクリート未充填については、掘置き期間中の時間の経過にともなうはらみ出しが最も大きな要因と考えられる。

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。

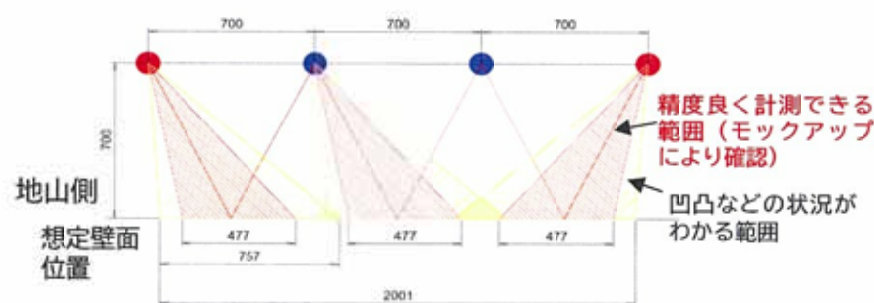


区画中央部での測定の妥当性確認試験



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。

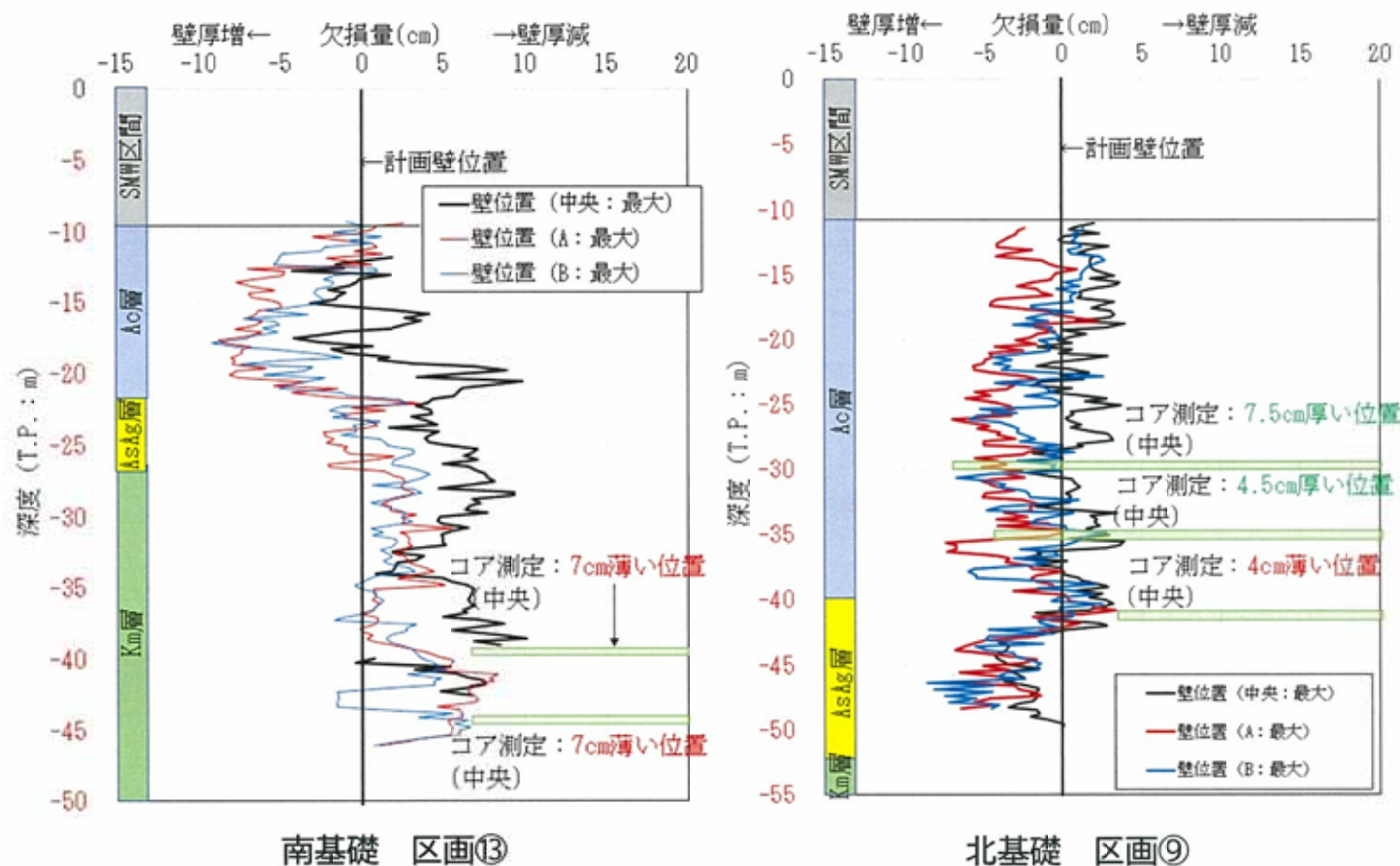
3 測線計測の音響探査計測範囲



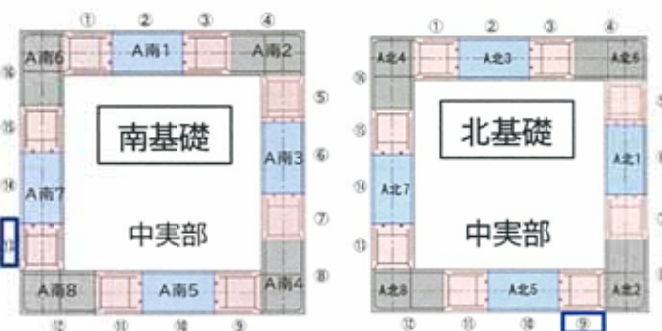
6) 音響探査の区画中央部位置での信頼性確認結果（剛結継手部）

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。

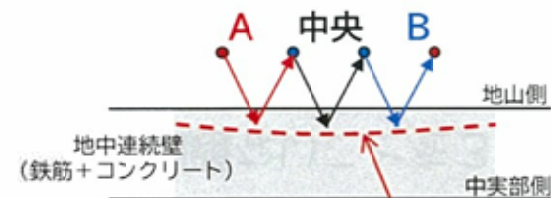
したがって区画中央部での音響探査結果を、同区画のコンクリート未充填深さとするに問題はないと判断した。



最大値深度分布の比較図



3測線音響探査箇所



地山側想定未充填状況 (Ac層)

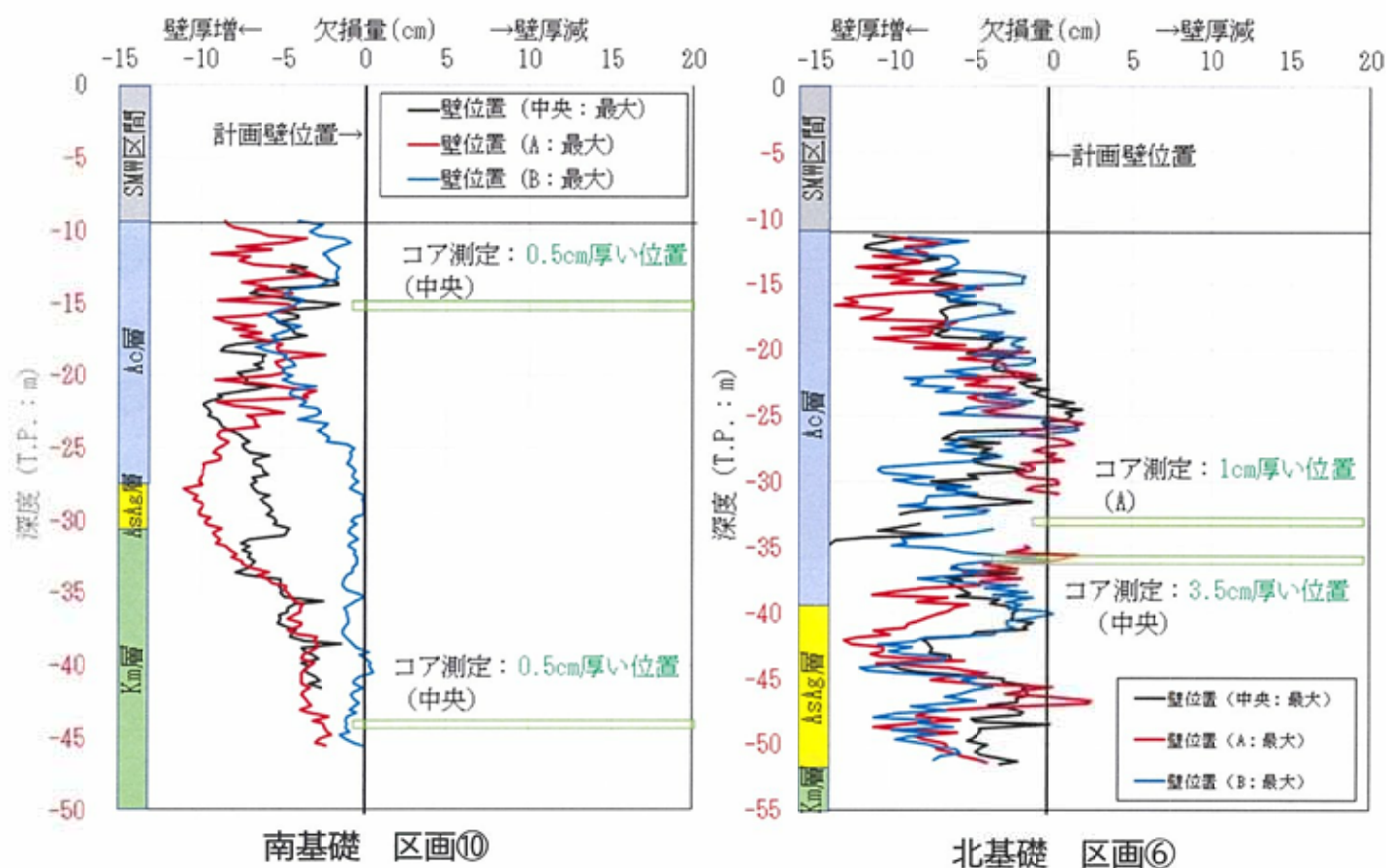
2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容） （1）構造物形状（壁厚）

南北基礎共通

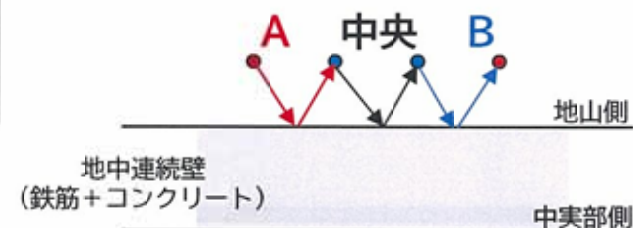
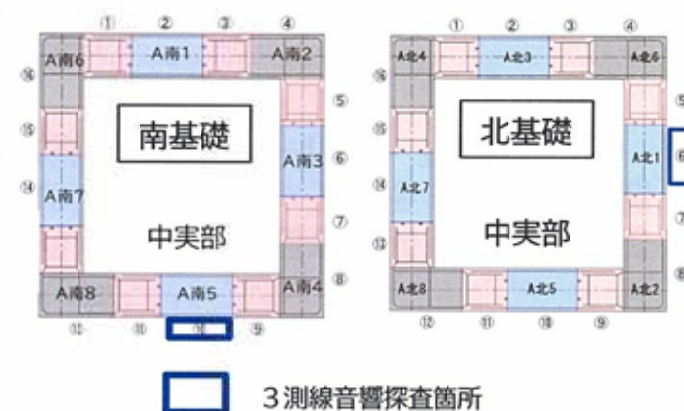
7) 音響探査の区画中央部位置での信頼性確認結果（非剛結継手部）

3測線（計測幅2 m程度）での計測を行った結果、いずれの測線においてもはらみ出しの影響は認められず、中央部の未充填深さとおおむね同等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。

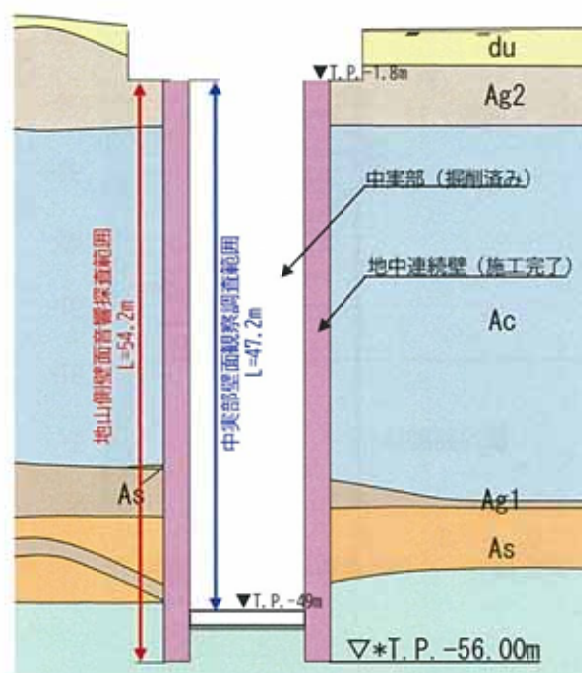
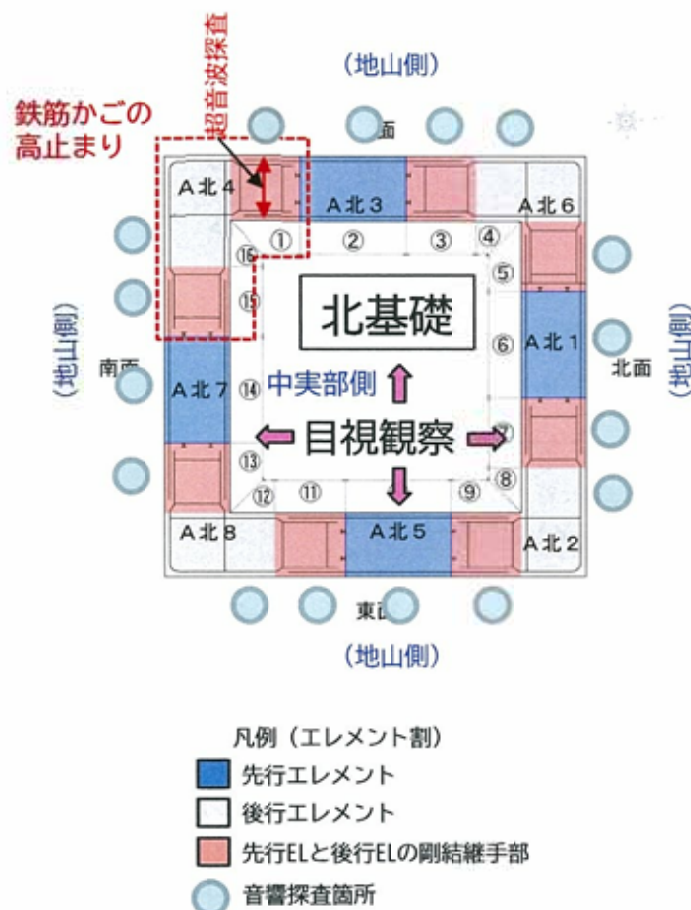


最大値深度分布の比較図



8) 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。



地中連続壁調査範囲

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（調査深度T.P. -1.8m～T.P. -49.0m）

③地山側

- 音響探査：地山側の壁面の形状（壁厚）を確認
各区画の中央部（1測線）で実施
⑥区画と⑨区画では中央部とその付近（3測線）で実施
（調査深度T.P. -1.8m～T.P. -56.0m）
- 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

9) 掘削完了直後の施工記録確認結果（北基礎）

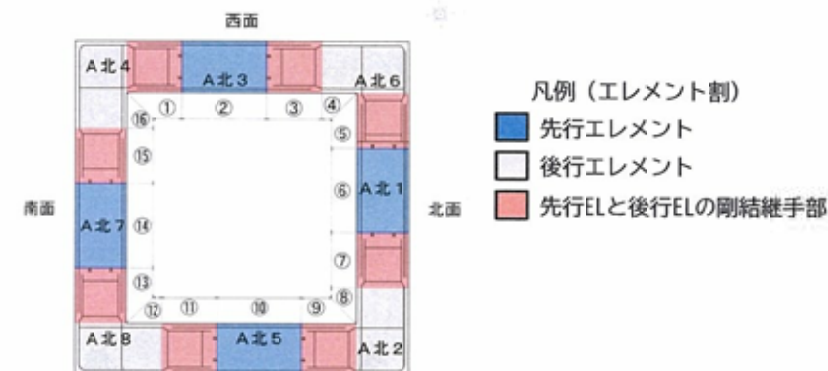
各区画における掘削完了後（先行エレメント鉄筋かご建て込み前）の超音波測定結果（施工記録）から、設計壁厚を満足する掘削幅で施工されていることを確認した。

超音波探査による掘削幅計測結果

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)	管理値 ^{注1)}	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

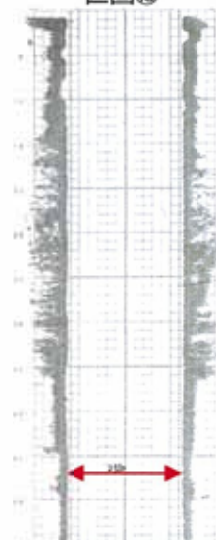
注1) 地中連続壁の既往の施工における鉛直精度の実績（1/500）を考慮した値である。



先行エレメント超音波測定位置



区画13

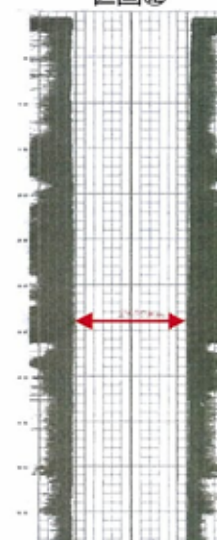


超音波測定記録

後行エレメント超音波測定位置



区画12



超音波測定記録

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、通常の地中連続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①、③、⑦、⑨、⑬、⑮区画のSMW区間に認められる事象	剛結継手部のうち①、⑮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）

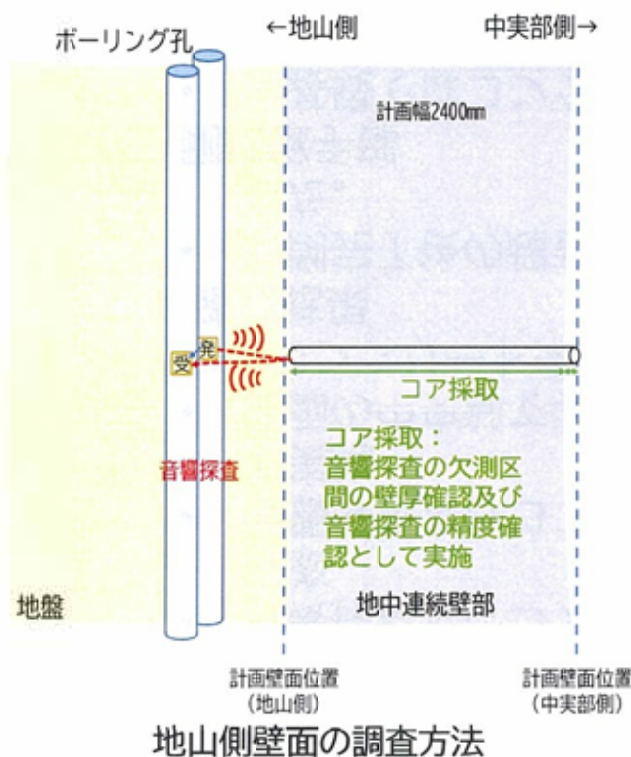
北基礎

1 1) 地山側の調査結果（音響探査及びコア採取結果）

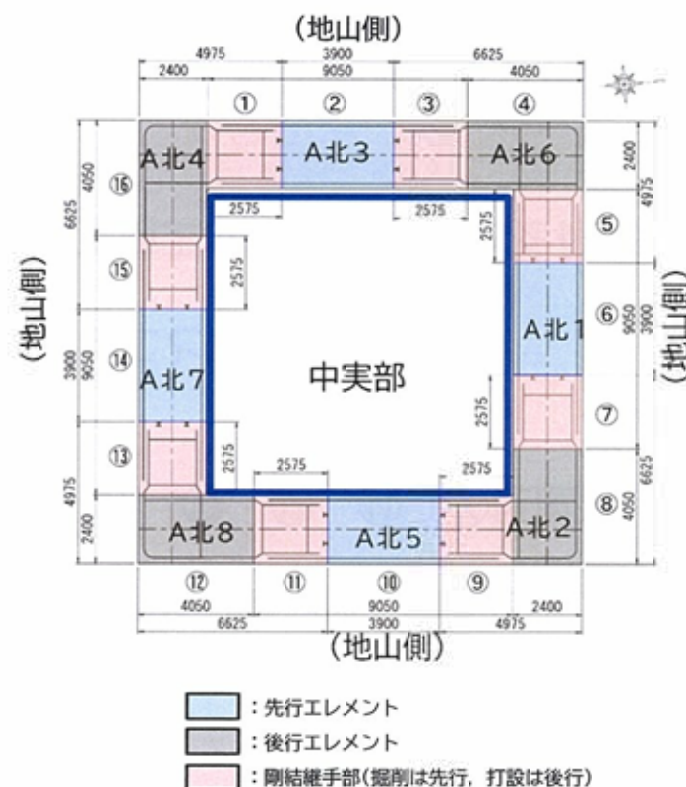
地山側のコンクリート未充填を確認するため全区画で音響探査を実施し、欠測が生じた区間においてはコア測定により補完した。

コンクリート未充填は、剛結継手部（①，③，⑤，⑨，⑪，⑬，⑮区画）で確認（最大で15cm）され、非剛結継手部（②，④，⑥，⑧，⑫区画）でも確認（最大で3cm）された。

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	15cm
②	134日間	3cm
③	297日間	12cm
④	7日間	2cm
⑤	92日間	7cm
⑥	9日間	2cm
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（①，③，⑤，⑦，⑨，⑪，⑬，⑮区画）で実施
- 音響探査及びコア採取を非剛結継手部の全区画（②，④，⑥，⑧，⑩，⑫，⑭，⑯区画）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各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区画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，剛結継手部よりコンクリート未充填範囲は部分的，かつ局所であり，鉄筋コンクリート躯体の構造的に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））

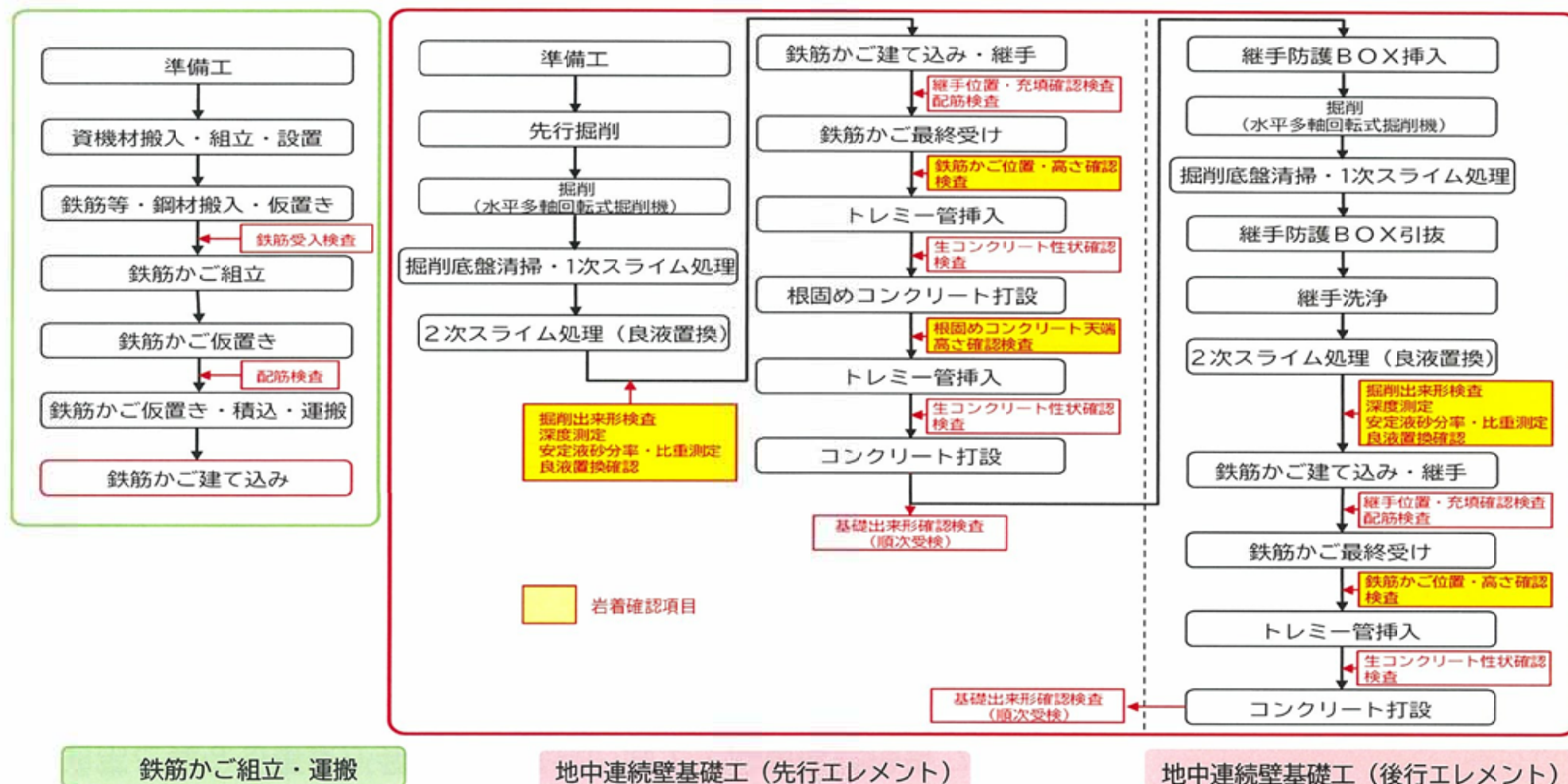
設計条件に着目した調査（不具合の全容）					構造設計への反映・対策の方針検討						
確認事項（設計条件）		調査範囲		調査方法	調査結果	構造設計への反映	施工対策				
構造物形状	壁厚	中実部/地山側	剛結継手部	施工記録確認 （掘削幅測定、 超音波探査）	掘削後の超音波探査記録から掘削幅を確認	剛結継手部の未充填深さや範囲の不確かさを考慮した設計 ➢コンクリート未充填が確認された地山側の剛結継手部区間について、保守的に20cm欠損させた形状で評価 ①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	➢中実部側のコンクリート未充填部は中実部施工時に補修する。 ➢地山側のコンク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							
			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 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						
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）（2）構造物形状（設置深度(岩着)）

南北基礎共通

1) 岩着の検査記録確認

所定の設計設置深度（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。

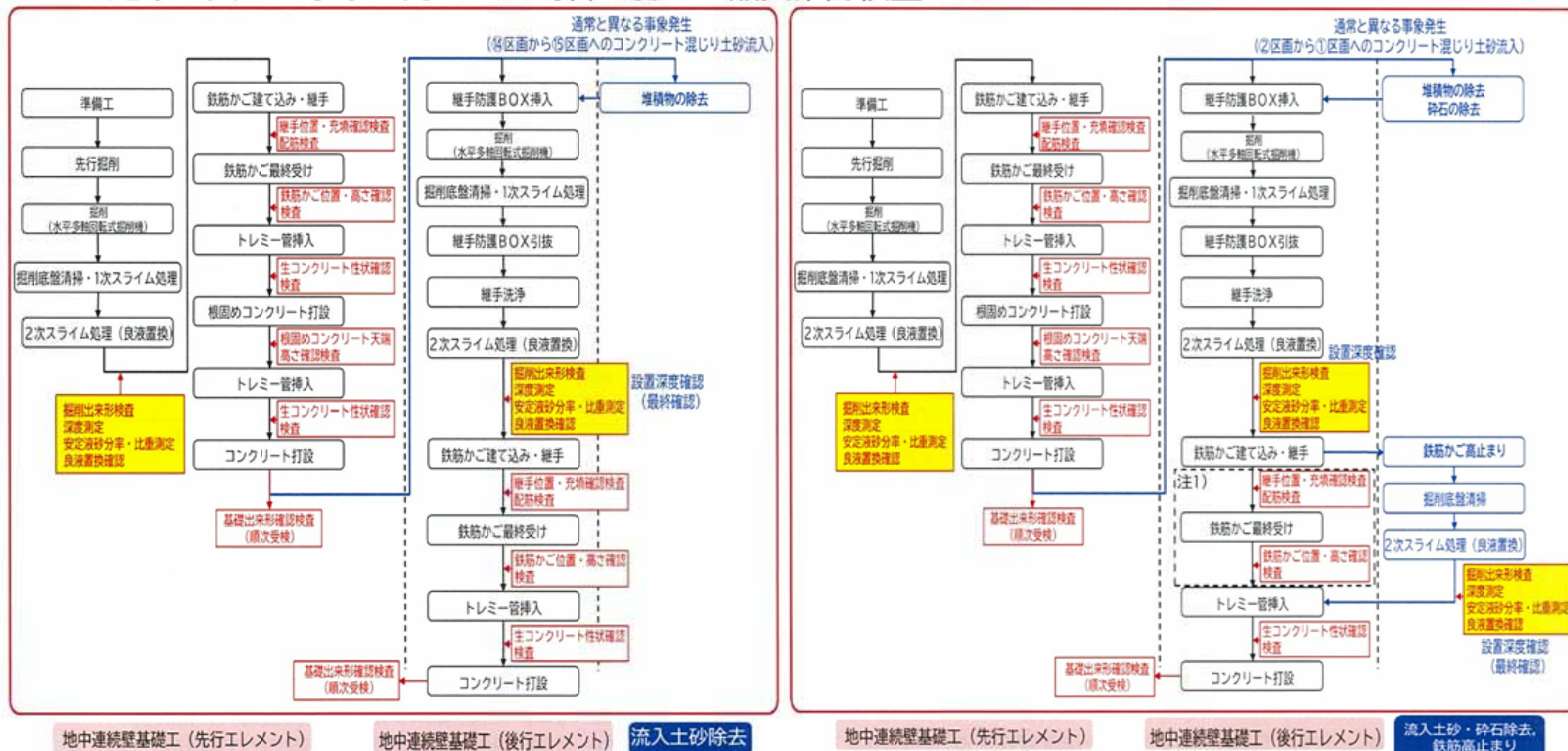


地中連続壁基礎工に係る施工・品質確認検査フロー

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））南北基礎共通

2) 岩着の検査記録確認

通常と異なる事象が発生した場合の施工・品質確認検査フロー



南基礎（溝壁崩壊に伴うコンクリート混じり土砂除去）

注1) ③, ⑤, ⑦, ⑨区画の砕石除去のみの通常と異なる事象が発生した場合は実施する。

北基礎（鉄筋の高止まり（⑮区画, ⑯区画, ①区画））

通常と異なる事象発生時の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)）

南基礎

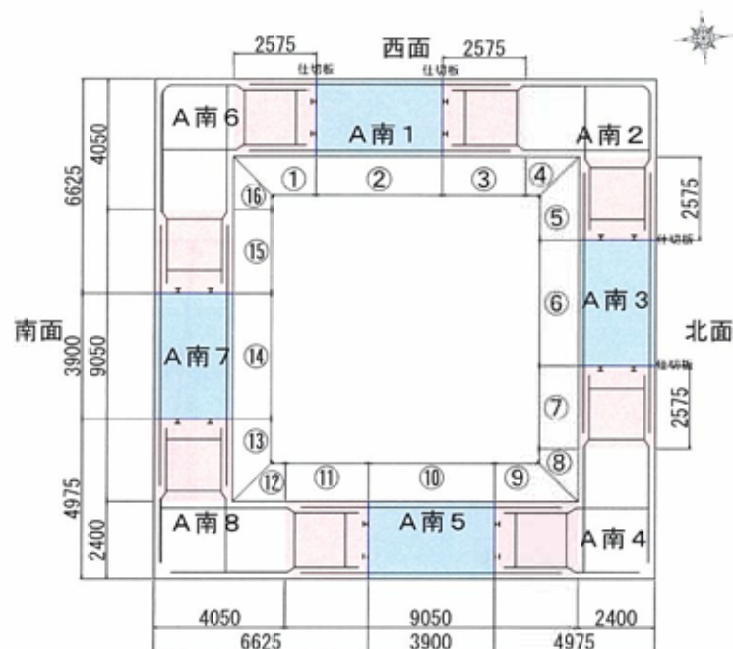
3) 施工記録の確認（南基礎）

①鉄筋かご建込み前の掘削出来形（設計設置深度の確認）

施工記録から、掘削完了後の掘削底盤の清掃及びスライム処理実施後（鉄筋かご建込み前）に深度測定※にて掘削深度を測定し、設計基礎下端まで根入れ長が確保出来ていることを確認した。

・実測基礎下端深度（鉄筋かご建込み前）

※ 検尺テープの先端に重りを付けて測量する方法。



A南基礎

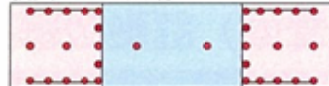
先行エレメント掘削出来形



後行エレメント掘削出来形



根固めコン天端



●：深度測定箇所

区画	設計基礎下端	掘削出来形	根固めコン天端 (中)	規格値	合・否	備考
①		T.P. -52.072m	T.P. -50.295m		合	通常施工
②		T.P. -51.693m	T.P. -50.172m		合	通常施工
③		T.P. -51.944m	T.P. -50.350m		合	通常施工
④		T.P. -50.493m	-		合	通常施工
⑤		T.P. -52.213m	T.P. -50.472m		合	通常施工
⑥		T.P. -52.121m	T.P. -50.039m		合	通常施工
⑦		T.P. -52.084m	T.P. -50.430m		合	通常施工
⑧		T.P. -51.180m	-		合	通常施工
⑨		T.P. -52.144m	T.P. -50.125m		合	通常施工
⑩		T.P. -52.118m	T.P. -50.110m		合	通常施工
⑪		T.P. -52.068m	T.P. -50.215m		合	通常施工
⑫		T.P. -51.484m	-		合	通常施工
⑬		T.P. -52.143m	T.P. -50.824m		合	砕石投入
⑭		T.P. -52.193m	T.P. -50.020m		合	通常施工
⑮		「南基礎：土砂崩落区画：A南6」による				
⑯		T.P. -51.857m	-		合	通常施工

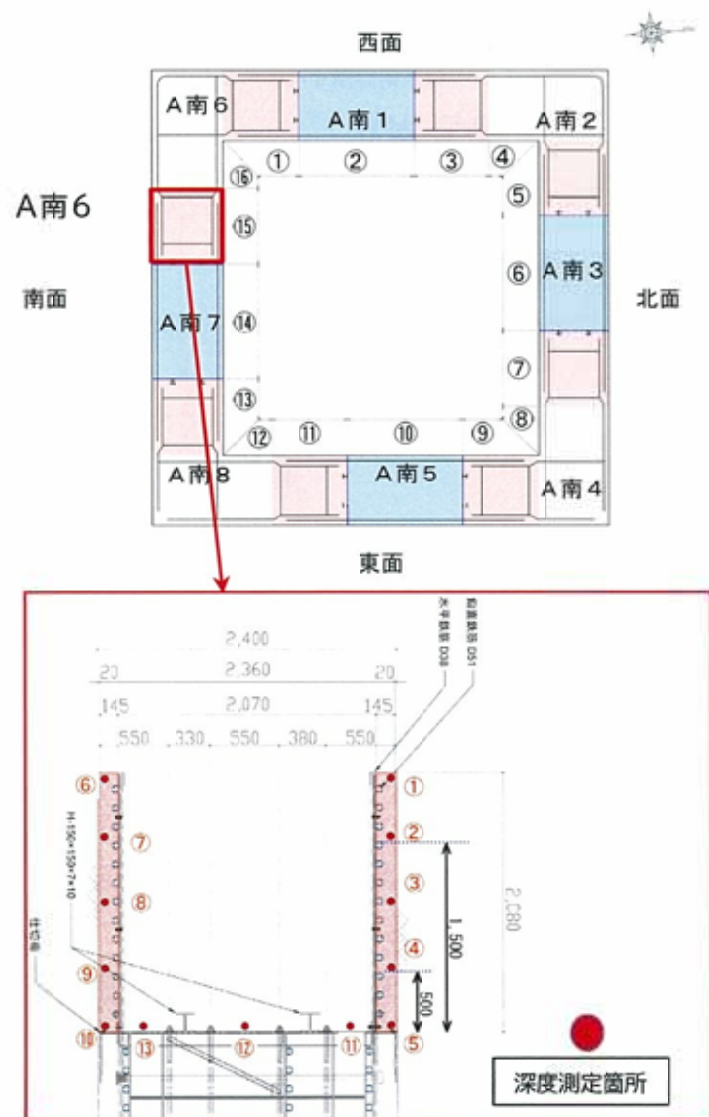
※ 剛性継手部(区画①、③、⑤、⑦、⑨、⑪、⑬、⑮)は継手清掃後の値

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)）

南基礎

3) 施工記録の確認（南基礎）

②南基礎：土砂崩落区画：A南6



- ⑭区画のコンクリート打設時に通常と異なる事象（溝壁の崩壊に伴う⑮区画へのコンクリート・土砂の流入）が発生した。
- ⑮区画の土砂等の撤去・掘削底盤清掃後の深度測定にて、計測箇所No. ②以外で設計基礎下端深度まで根入れ長が確保できていることを確認した。
- ⑮区画の計測箇所No. ②は、中実部側の鉄筋と溝壁の間の流入土砂が残っていたが、中実部掘削時に掘削範囲で除去した。

深度測定箇所			設計 (基礎下端T.P.)(m)	実測 (基礎下端T.P.)(m)	合否
剛結継手	北側(中実部側)	①	T.P. -50.00m	-51.706	合
		②		-22.267	否
		③		-50.629	合
		④		-50.510	合
		⑤		-50.572	合
	南側(地山側)	⑥		-50.466	合
		⑦		-50.706	合
		⑧		-50.615	合
		⑨		-50.357	合
		⑩		-50.622	合
仕切板		⑪		-50.544	合
		⑫		-50.496	合
		⑬		-50.298	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)）

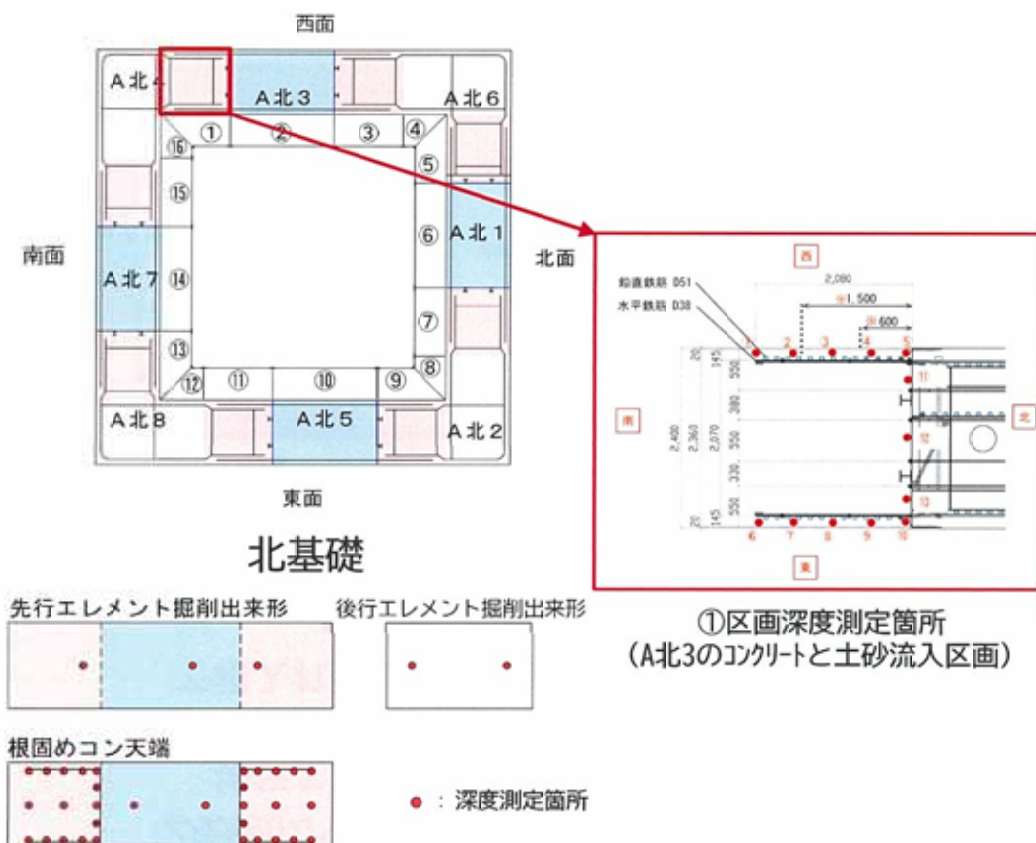
北基礎

4) 施工記録の確認（北基礎）

①鉄筋かご建込み前の掘削出来形（掘削深度）

施工記録から、掘削完了後の掘削底盤清掃及びスライム処理実施後（鉄筋かご建込み前）に深度測定※にて掘削深度を測定し、設計基礎下端深度まで根入れ長が確保出来ていることを確認した。

※ 検尺テープの先端に重りを付けて測量する方法。



・実測基礎下端深度（鉄筋かご建込み前）

実測値は最小値を示す

区画	設計基礎下端	掘削出来形	根固めコン天端 ⑧1	規格値	合・否	備考
①		流入コンクリート、土砂除去後に深度測定（右表）				
②		T.P. -58.481m	T.P. -56.332m		合	通常施工
③		T.P. -58.134m	T.P. -56.178m		合	砕石投入
④		T.P. -56.669m	-		合	通常施工
⑤		T.P. -58.226m	T.P. -56.032m		合	砕石投入
⑥		T.P. -58.170m	T.P. -56.091m		合	通常施工
⑦		T.P. -58.229m	T.P. -56.070m		合	砕石投入
⑧	T.P. -56.00m	T.P. -56.766m	-		合	通常施工
⑨		T.P. -58.084m	T.P. -56.040m		合	砕石投入
⑩		T.P. -57.843m	T.P. -56.070m		合	通常施工
⑪		T.P. -57.976m	T.P. -56.018m		合	通常施工
⑫		T.P. -56.364m	-		合	通常施工
⑬		T.P. -58.058m	T.P. -56.616m		合	通常施工
⑭		T.P. -57.845m	T.P. -56.606m		合	通常施工
⑮		T.P. -58.039m	T.P. -56.140m		合	砕石投入
⑯		T.P. -56.865m	-		合	通常施工

①区画実測基礎下端深度

（後行鉄筋かご建込み前）

深度測定箇所	設計基礎下端	実測（基礎下端）	合・否
●①		T.P. -56.591m	合
●②		T.P. -56.591m	合
●③		T.P. -56.591m	合
●④		T.P. -56.381m	合
●⑤		T.P. -56.411m	合
●⑥		T.P. -56.575m	合
●⑦	T.P. -56.00m	T.P. -56.515m	合
●⑧		T.P. -56.585m	合
●⑨		T.P. -56.635m	合
●⑩		T.P. -56.665m	合
●⑪		T.P. -56.701m	合
●⑫		T.P. -56.661m	合
●⑬		T.P. -56.611m	合

※1 異結継手部(区画①、②、③、④、⑤、⑥、⑦、⑧、⑨)は継手清掃後の値

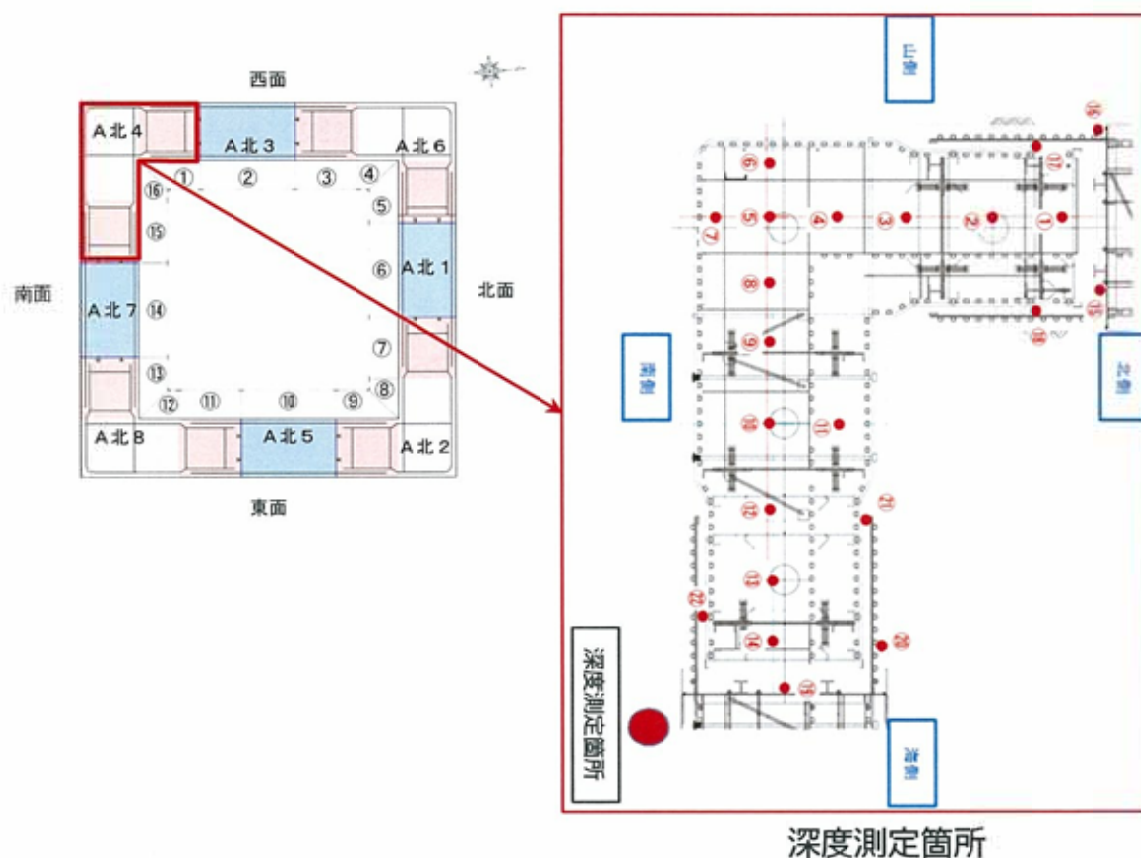
2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（2）構造物形状（設置深度(岩着)）

北基礎

4) 施工記録の確認（北基礎）

②鉄筋かご高止まり事象後の掘削出来形（北基礎：鉄筋かごの高止まり区画：⑮，⑯，⑰区画）

後行エレメント鉄筋かご建込み時において、通常と異なる事象（鉄筋の高止まり）が発生した。コンクリート打設直前（掘削底盤清掃及びスライム処理後）の深度測定にて掘削深度を測定し、設計基礎下端深度まで根入れ長が確保できていることを確認した。



基礎下端深度測定結果（コンクリート打設直前）

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

5) 施工記録の確認（南北基礎共通）

①安定液の管理

スライム処理後の掘削溝内の安定液内の土砂分を測定し、掘削底盤ヘスライムが堆積しない環境であることを確認した。

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、サクシオンポンプ等を使って掘削底盤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の管理基準値を満足していることを確認

②掘削底盤清掃

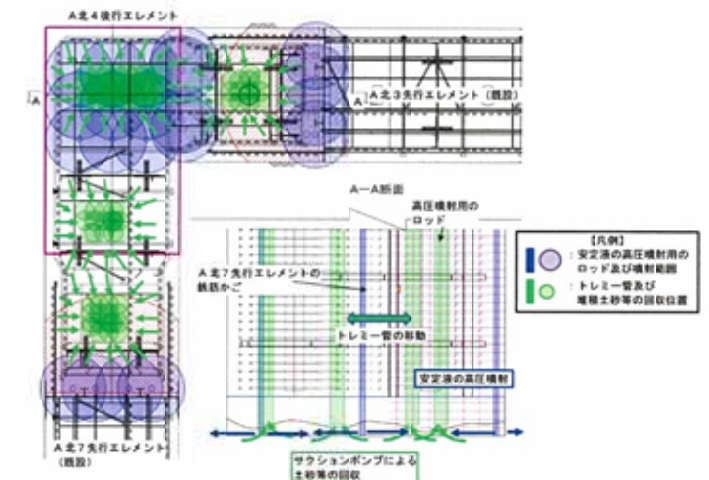
安定液の高圧噴射およびサクシオンポンプによる掘削底盤の堆積土砂の回収が完了していることを確認した。



サクシオンポ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	②	1.064	0.2	合	合	A北1	⑥	1.092	0.8	合	合
A南2	②、①、③	1.082	0.2	合	合	A北2	⑦、⑧、⑨	1.089	0.2	合	合
A南3	④	1.073	0.2	合	合	A北3	②	1.070	0.9	合	合
A南4	②、④、⑤	1.075	0.5	合	合	A北4	①、③、⑥	1.079	0.2	合	合
A南5	⑥	1.084	0.6	合	合	A北5	③	1.089	0.6	合	合
A南6	③、④、⑤	1.064	0.1	合	合	A北6	⑤、①、③	1.082	0.2	合	合
A南7	④	1.088	0.6	合	合	A北7	③	1.073	0.4	合	合
A南8	④、⑤、⑥	1.090	0.5	合	合	A北8	③、②、③	1.077	0.4	合	合

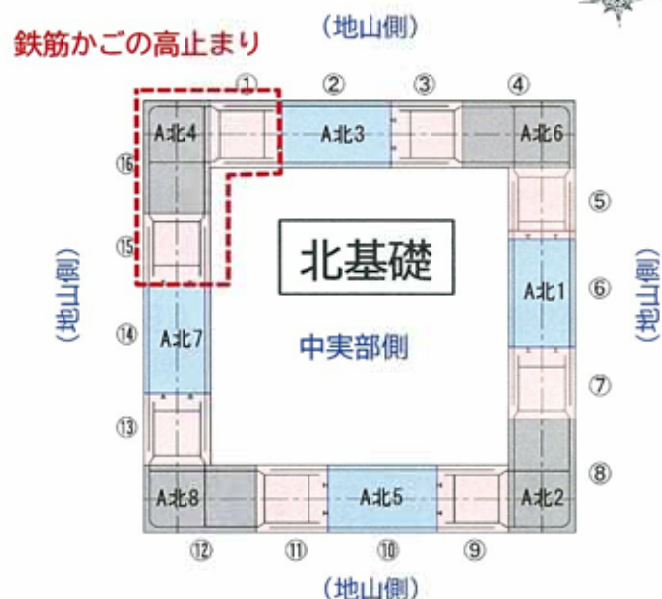


安定液の高圧噴射およびサクシオンポンプによる回収位置図

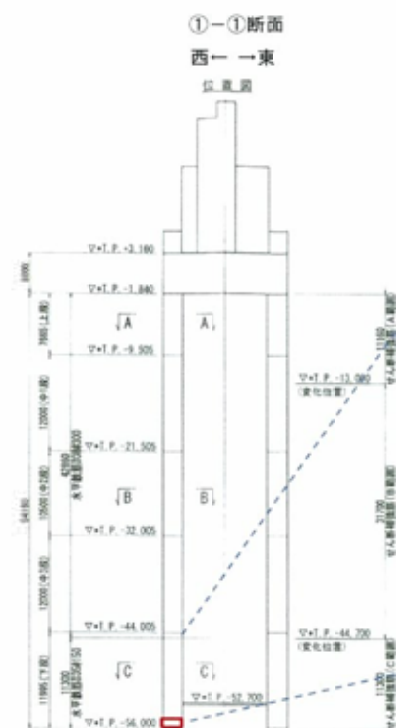
上記の作業は、通常施工の場合は鉄筋かご建込直前に実施するものであるが、鉄筋高止まりの通常と異なる事象が発生したことにより鉄筋かご建込～コンクリート打設まで長期間になる場合はコンクリート打設直前にも実施している。

6) 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）に後行エレメントの鉄筋が配置されない事象が発生した。



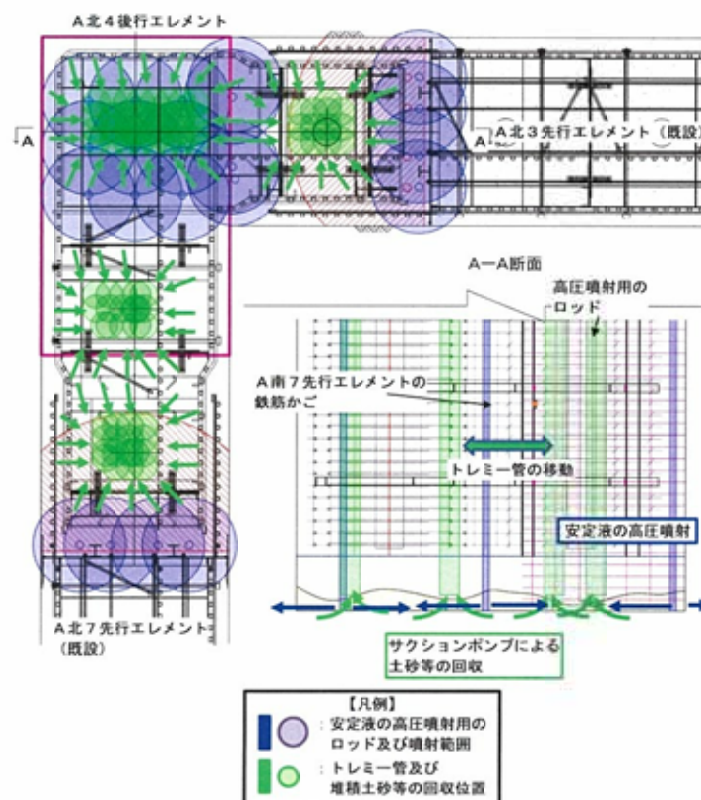
□：鉄筋が配置されない範囲
（高止まりした範囲）



後行鉄筋かごが計画深度まで沈設できなかった範囲（高止まり70cm）

7) 鉄筋かご高止まりの事象（掘削溝底の清掃及び測量）

後行鉄筋かごに高止まりが確認された後、掘削底盤清掃及びスライム除去を実施した。



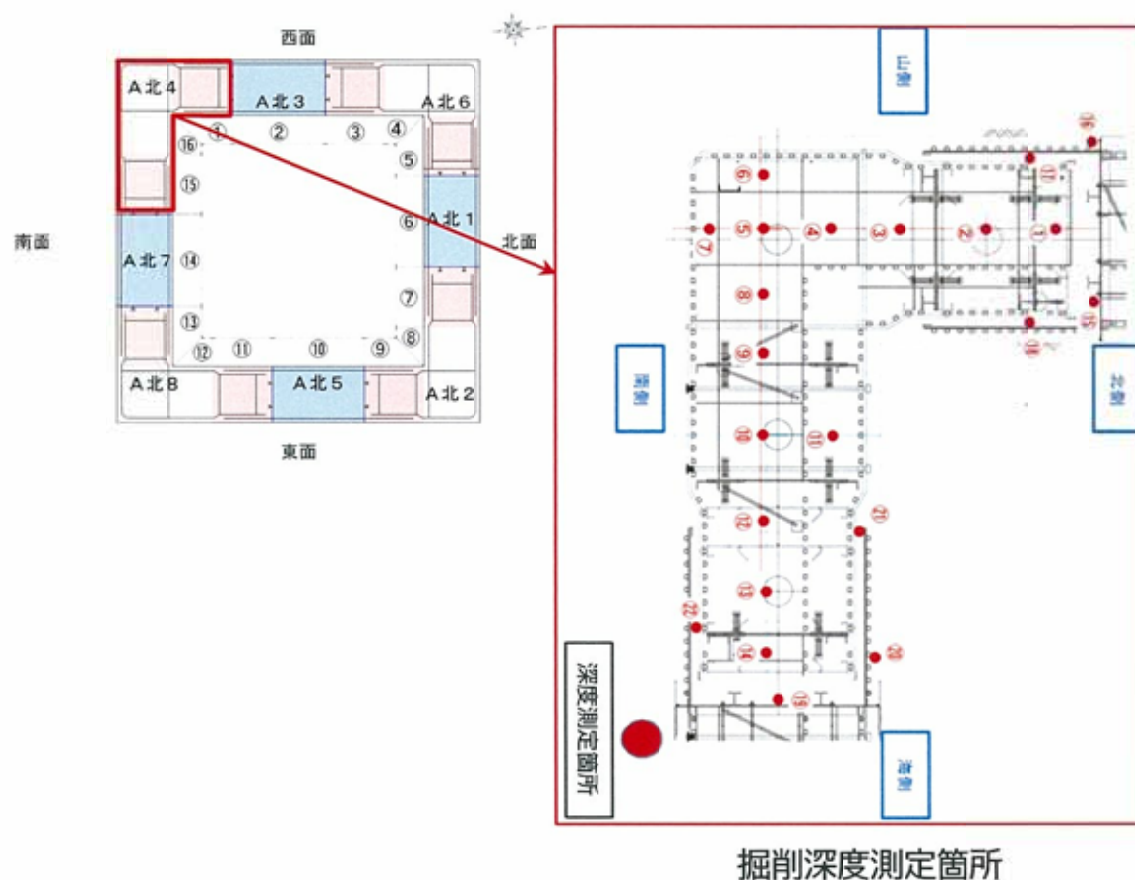
安定液の高圧噴射およびサクシヨンポンプによる回収位置図

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)）

北基礎

8）鉄筋かご高止まりの事象（設置深度の確認）

後行鉄筋かごに高止まりが確認された後、コンクリート打設直前に掘削底盤清掃及びスライム処理後の深度測定にて掘削深度を測定し、設計基礎下端深度まで根入れ長が確保できていることを確認した（確実な岩着が可能であることを確認した）。



基礎下端深度測定結果（コンクリート打設直前）

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

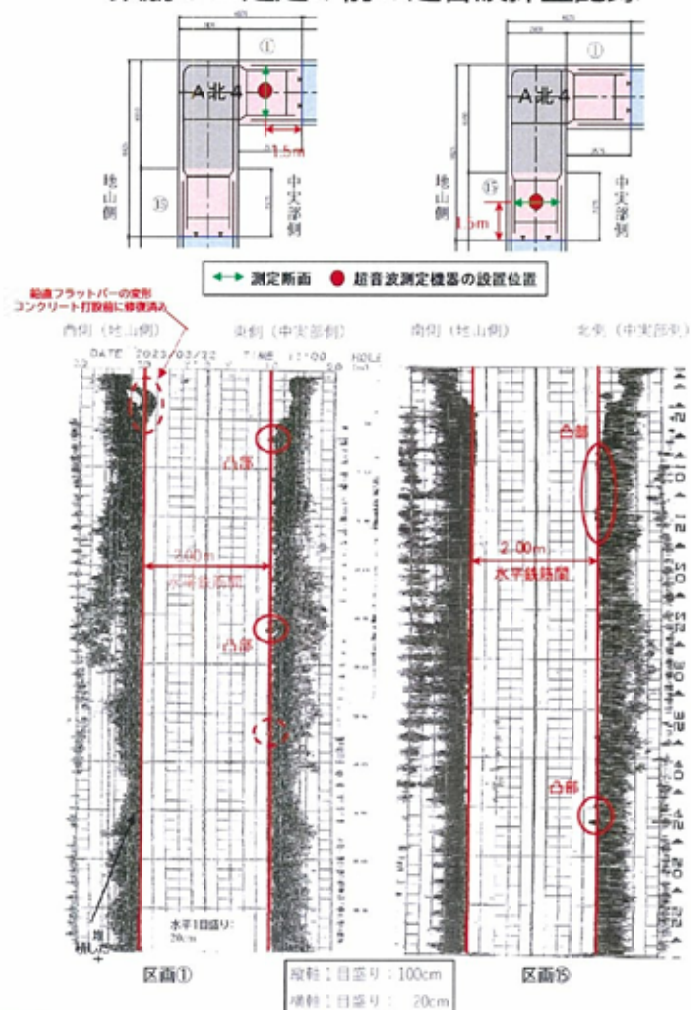
2. 設計条件に着目した調査（不具合の全容）（2）構造物形状（設置深度(岩着)）

北基礎

9) 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の反射位置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である。

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. 設置済の中実部側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)）

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通常とは異なる事象（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通常とは異なる事象（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，掘削底盤清掃及びスライム処理状況）を確認した結果，構造物は設計設置深度（岩着深度）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 ➢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				
		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		
			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	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 一部区画で先行鉄筋の変形を確認 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				
		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）			
			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）			
			非剛結継手部		モックアップ試験		

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

1) コンクリート強度

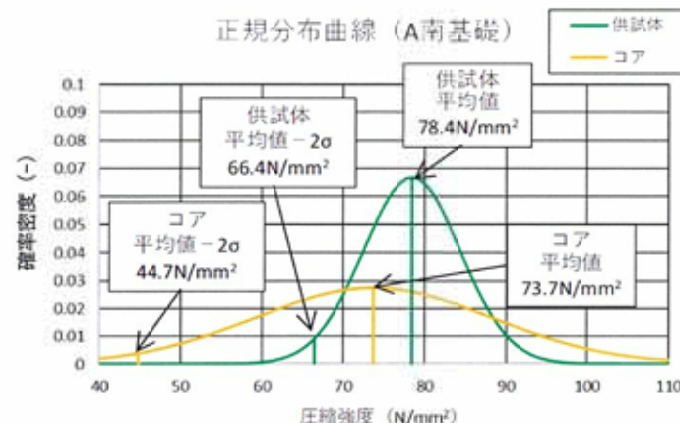
コンクリートの受け入れ検査時の供試体強度試験および、コンクリート打設後のコア強度試験（コア採取位置を次ページに示す）結果を以下に示す。圧縮強度の平均値は以下のとおりであり、設計基準強度の40 N/mm²に対して十分な余裕があることを確認した。

- ・ 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、設計基準強度を上回っている。

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

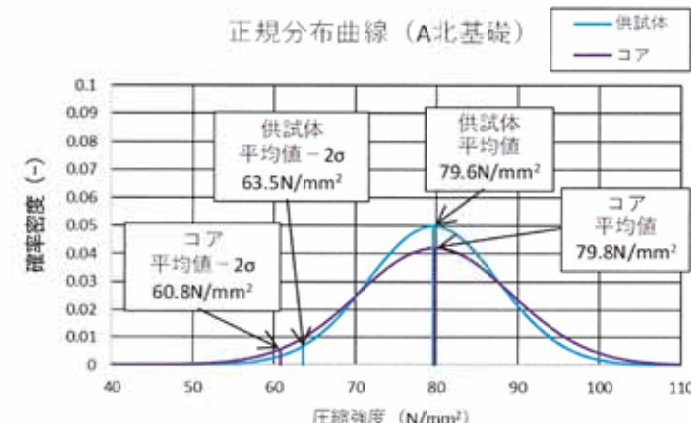
区分	データ数	平均値	最大値	最小値	標準偏差	変動係数(%)	95%信頼区間	
							平均+2σ	平均-2σ
供試体	54	78.4	90.5	68.0	5.99	7.6	90.4	66.4
コア	33	73.7	97.5	44.4	14.51	19.7	102.7	44.7



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%信頼区間	
							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) 地中連続壁のコンクリート強度試験（一軸圧縮試験）結果

- ・ 実際の連壁から採取したコアのコンクリート圧縮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。

コンクリートの圧縮強度試験結果

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)				合否判定 ≥ 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		T.P. -17.9m	無	96.6	92.8	81.3	90.2	合格
10		打設速度調整区間	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

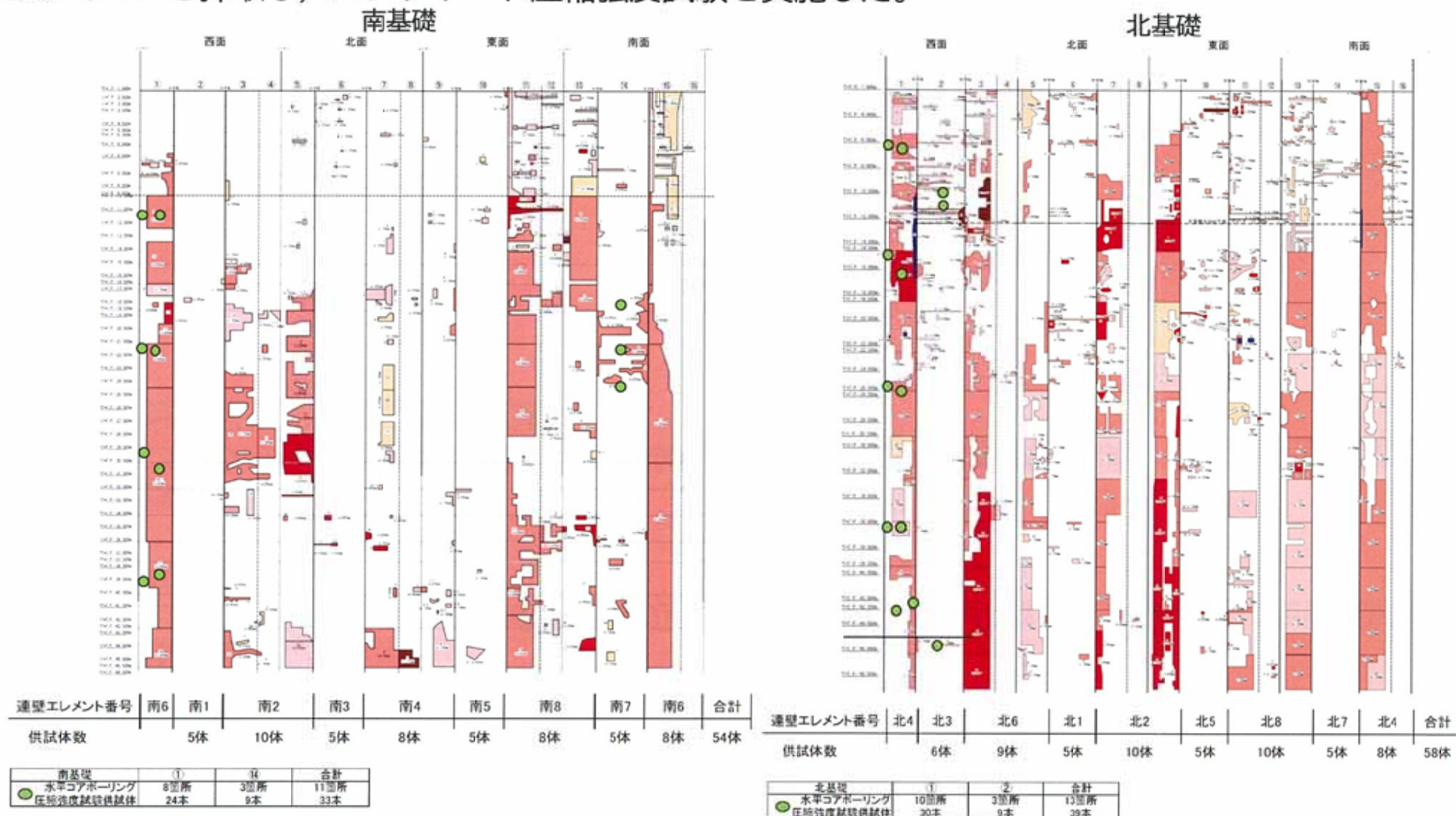
No.	区画	位置	採取深度	欠損有無	圧縮強度試験結果 (N/mm ²)				合否判定 ≥ 40N/mm ²
					1	2	3	平均	
1	①	未充填部	T.P. -6.5m	無	60.7	73.4	70.5	68.2	合格
2		未充填境界部	T.P. -6.2m	無	78.0	80.7	64.4	74.4	合格
3		未充填部	T.P. -16.5m	無	81.5	72.5	74.5	76.2	合格
4		未充填境界部	T.P. -15.0m	無	71.8	79.0	80.1	77.0	合格
5		未充填部	T.P. -25.5m	無	89.3	80.8	94.4	88.2	合格
6		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		T.P. -9.9m	無	80.9	73.3	73.3	75.8	合格
12		打設速度調整区間	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

南基礎・北基礎

供試体取得位置図

コンクリート打設時の流出が発生した区画及び掘削からコンクリート打設までの施工期間が長い区画においてコアを採取し、コンクリート圧縮強度試験を実施した。



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

まとめ（コンクリートの健全性）

1) 確認内容

- ・ コンクリート受入検査時の供試体の強度試験，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

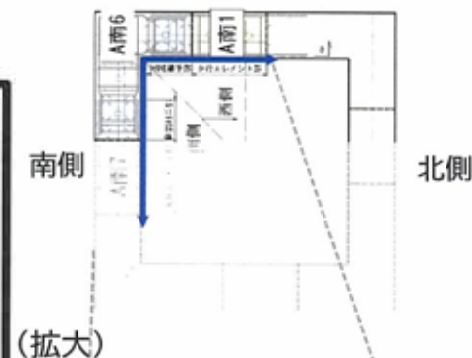
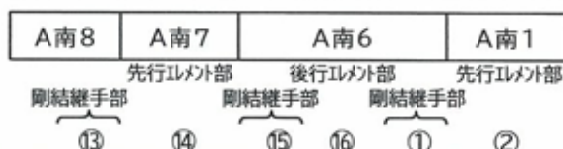
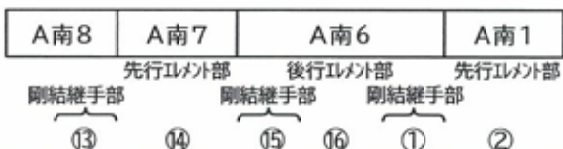
設計条件に着目した調査（不具合の全容）				造設計への反映・対策の方針検討		
確認事項（設計条件）	調査範囲		調査方法	調査結果	構造設計への反映	施工対策
構造物形状	壁厚	中実部/地山側	剛結継手部	施工記録確認（掘削幅測定、超音波探査）	剛結継手部の未充填深さや範囲の不確かさを考慮した設計 ➢コンクリート未充填が確認された地山側の剛結継手部区間について、保守的に20cm欠損させた形状で評価 ①地中連続壁のコンクリート未充填を考慮した形状変更	➢中実部側のコンクリート未充填部は中実部施工時に補修する。 ➢地山側のコンクリート未充填部は補修できないことを踏まえ、鉄筋の腐食対策として、か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		
			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		
			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）	➢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。
		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/mm²を十分満足していることを確認	➢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			
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 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	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		
			非剛結継手部			
	変形	中実部側	剛結継手部	目視観察	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 一部区画で先行鉄筋の変形を確認 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	施工記録確認（超音波探査）		
		地山側	剛結継手部	施工記録確認（超音波探査）		
			非剛結継手部	モックアップ試験		

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)の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

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

2024. 6. 18 日本原子力発電株式会社

2) 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結束されているため、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

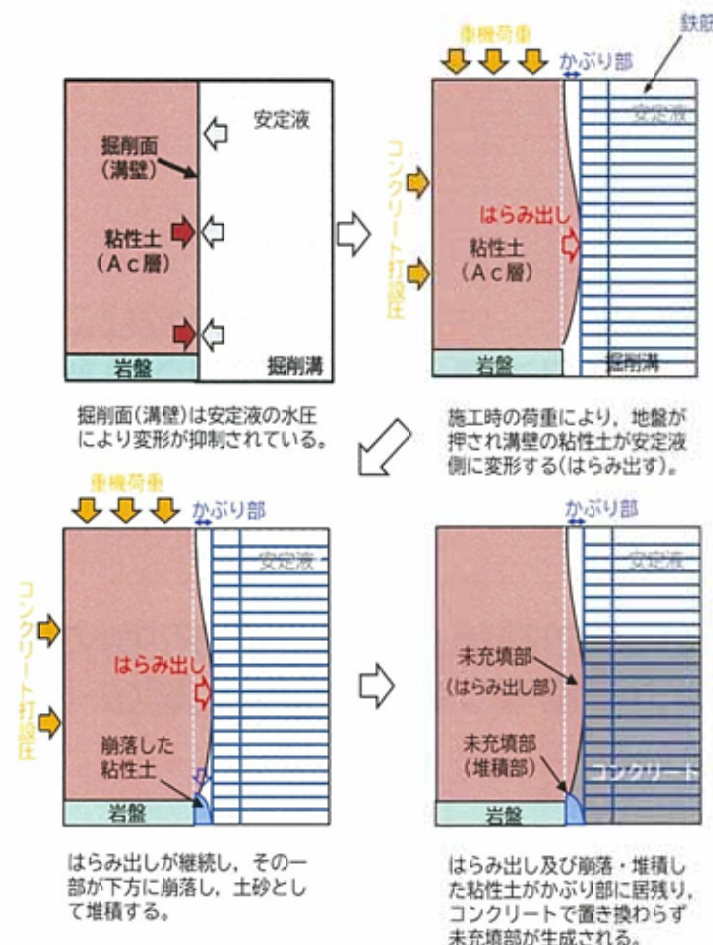
- ・ 先行・後行エレメントの鉄筋かごが干渉した事象に対して、モックアップ試験を実施し、接触し変形した鉄筋が周辺鉄筋に及ぼす影響について確認

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結束されており、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、中実部側の変形の影響が地山側に伝達されない）。

(a) 溝壁のはらみ出し・はらみ出し土砂の崩落

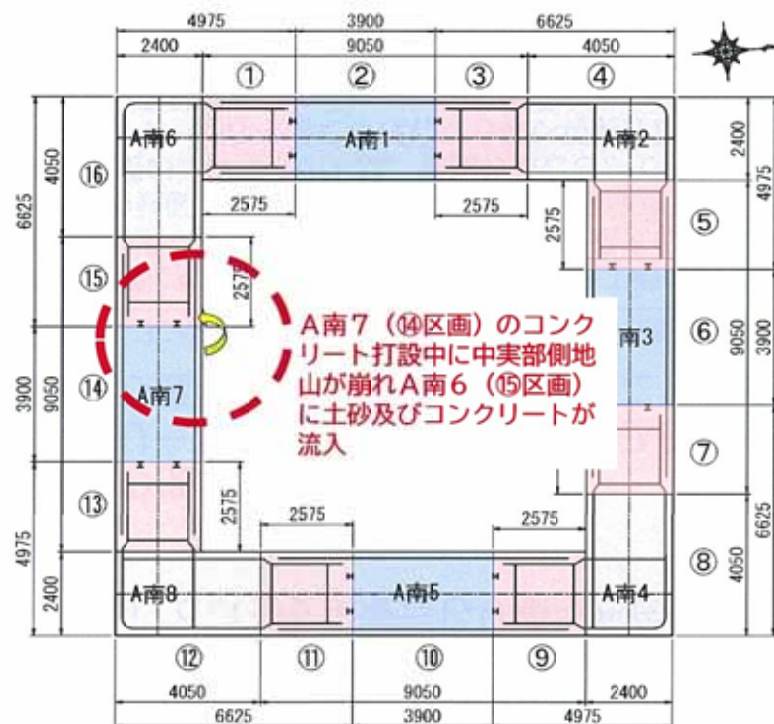
掘置き期間が長い剛結継手部で、施工機械の上載荷重やコンクリート打設圧の繰返し载荷により、中実部側の内部圧力が上昇し、軟弱な沖積粘性土にはらみ出しが発生する。また、はらみ出した粘性土の一部が下方に崩落し、鉄筋かぶり部に堆積したことで、コンクリートの流路を阻害することによりコンクリート未充填部が形成される。



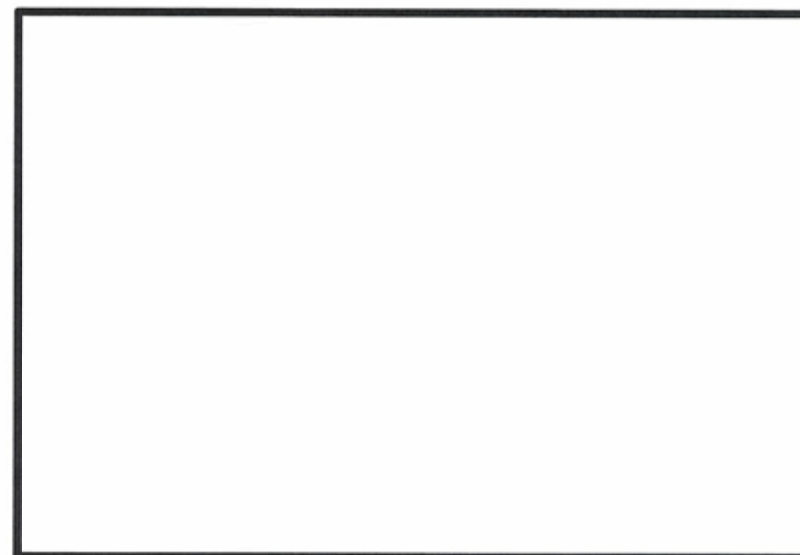
コンクリート未充填の形成状況（粘性土のはらみ出し及びはらみ出し部の崩落）

(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（⑮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する。



（⑮区画の拡大）



中実部掘削による⑮の区画のコンクリート未充填確認状況

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）

S MW区間およびS MW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する。

【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 pp. 283～284」

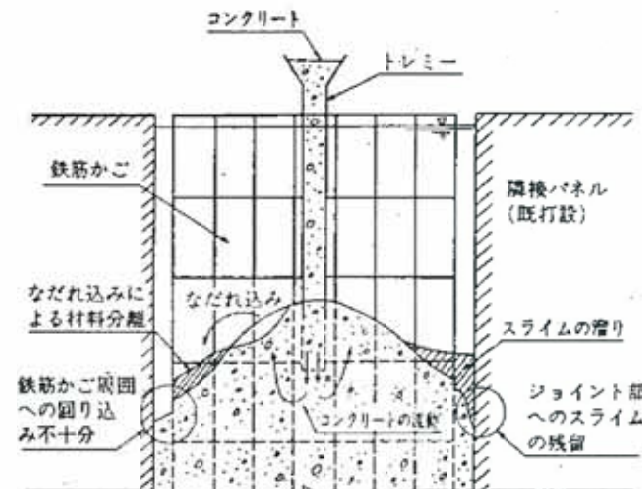
- ・地中連続壁に用いる水中コンクリートは、施工時の強度低下（スライムの巻込み、安定液の混入等）を考慮して強度を設定するものとし、過去の実績から安定液中での施工時の強度は、気中施工時の強度の0.7倍程度とみなして強度を設定するとよい。
- ・地中連続壁のコンクリートは、締固めることができないこと、溝壁と鉄筋との間隔が狭い場合にはコンクリートが十分にゆきわたらない可能性があること、水中あるいは安定液中にあるため施工の良否が判定しにくいこと等を考慮して、鉄筋のかぶりは10cm以上とする必要がある。

「地中連続壁工法Q & A集 平成27年12月 p. 51」

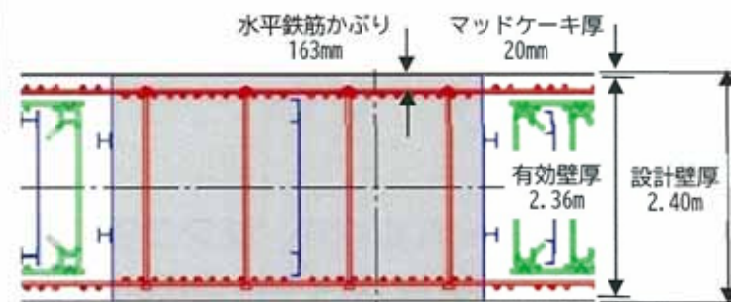
地中連続壁のコンクリートは、通常施工のコンクリートに比べて、発現強度のばらつきが大きい。ばらつきの要因のひとつとして、コンクリート打設中に、コンクリートと安定液とが接し、安定液とセメントのゲル化物をコンクリート中に巻き込みやすい。

【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。



トレミー管によるコンクリート打設状況概念



地中連続壁有効壁厚の設定

(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】^{注)}

設計壁厚2.4mに対し、

・音響探査結果：-4cm ～ +11cm

・水平コア結果：0cm ～ +9cm

注) 壁厚が厚くなる側が+、壁厚が薄くなる側が-である。

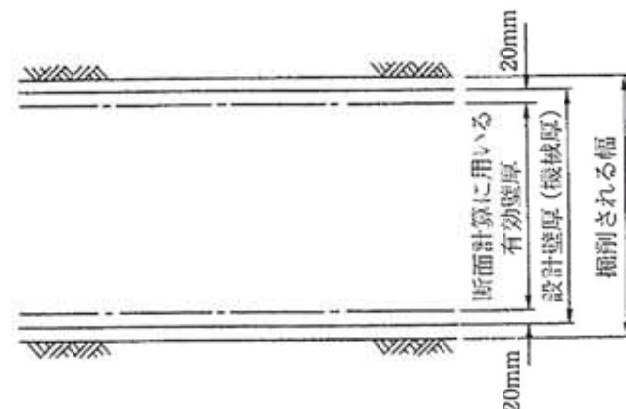


非剛結継手部において有効壁厚※を確保(区画②, ⑧, ⑫を除く)

※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

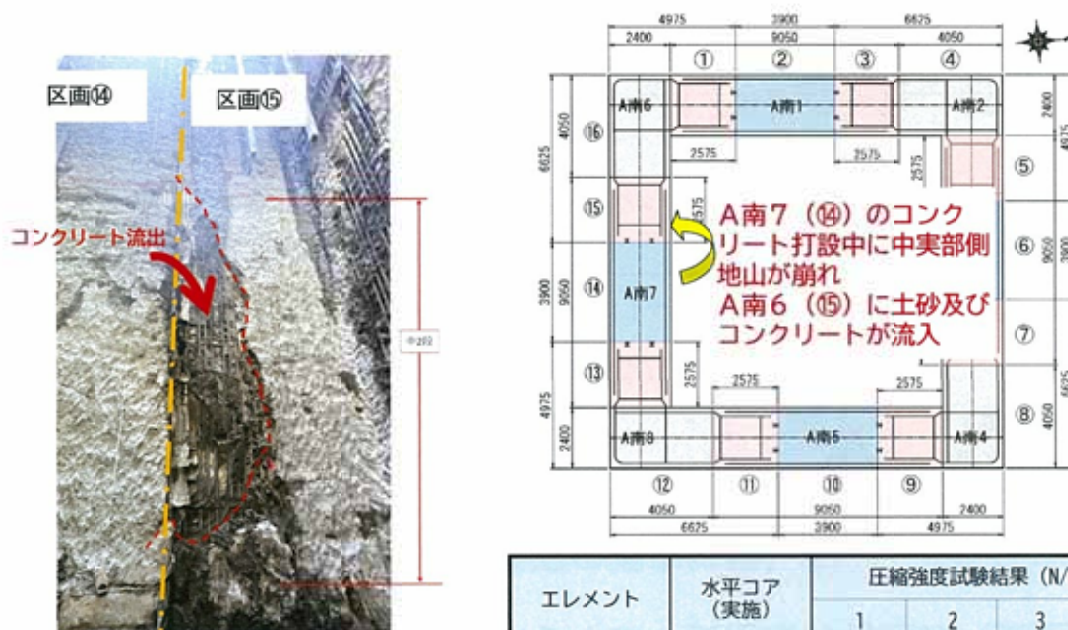
区画	種別	音響探査		水平コアによる厚さ確認		
		結果 (右記の欠測箇所を除く)	欠測箇所 TP(m) (⑩区画は中央部の欠測箇所)	目的	TP(m)	結果
②	先行	+8cm~-3cm	T.P. -11.7m ~ T.P. -13.2m	欠測補完	T.P. -12.1m	+4.0cm
			T.P. -24.7m ~ T.P. -26.9m	欠測補完	T.P. -25.8m	+0.5cm
			T.P. -32.7m ~ T.P. -33.4m	欠測補完	T.P. -32.9m	+7.5cm
④	後行	PP設備に干渉し 音響探査孔の設置が 不可能のためコアにて補完	~	測定不能補完	T.P. -14.2m	+1.0cm
			~	測定不能補完	T.P. -21.2m	+0.5cm
			T.P. -9.3m ~ T.P. -49.0m	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	+6cm~-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~-3cm	T.P. -11.4m ~ T.P. -15.4m	欠測補完	T.P. -13.9m	+7.5cm
			T.P. -15.4m ~ T.P. -22.8m	不安定補完	T.P. -17.5m	+8.5cm
			T.P. -22.8m ~ T.P. -27.1m	欠測補完	T.P. -24.9m	+2.0cm
			- ~ -	キャリアレジョン	T.P. -32.1m	+4.0cm
			~	欠測補完	T.P. -37.1m	+7.0cm
			T.P. -34.0m ~ T.P. -49.0m	欠測補完	T.P. -44.3m	+0.0cm
⑩	先行	+11cm~-1cm	- ~ -	キャリアレジョン	T.P. -15.1m	+0.5cm
			T.P. -41.8m ~ T.P. -49.0m	欠測補完	T.P. -44.4m	+0.5cm
⑫	後行	+9cm~-4cm	- ~ -	キャリアレジョン	T.P. -20.4m	+3.0cm
⑭	先行	+9cm~0cm	T.P. -9.3m ~ 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
⑯	後行	+10cm~-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



地中連続壁有効壁厚の設定

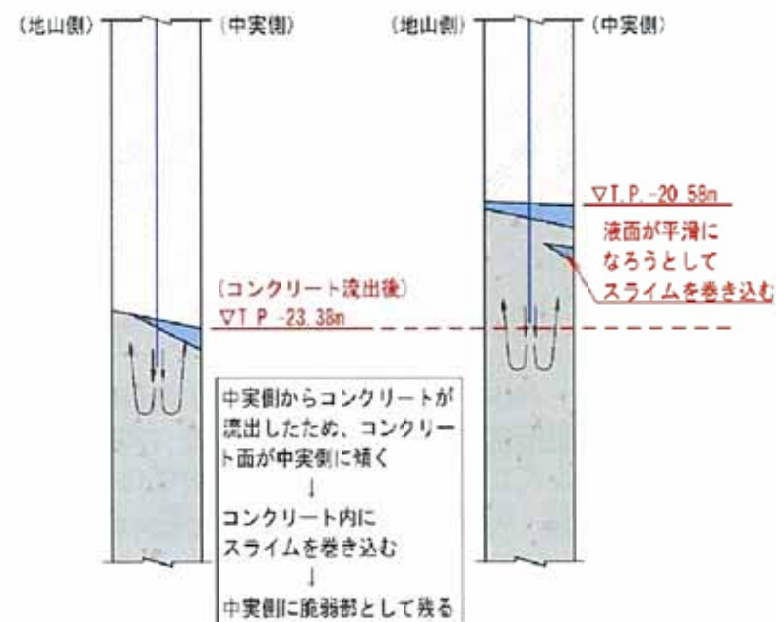
(d) A南7コンクリート打設時のコンクリートの流出 (14の区画特有の事象)

- ・ A南7先行エレメント (14の区画) のコンクリート打設中に、中実部側の溝壁の一部が崩落し、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・コンクリートが流出した。
- ・ コンクリートの流出事象に伴い、他の区画に比べ、スライムの巻き込みや安定液の混入が多くなり、安定液混じり箇所が密集したと考えられる。
- ・ 本事象は、中実部側特有の事象となっていることから、地山側では発生していないと考えられる。なお、中実部側の壁面から水平コアボーリングにより供試体を採取し、圧縮強度試験を行った結果、圧縮強度は70~90 N/mm²程度となっており、すべて設計基準強度40N/mm²以上であることを確認している。



コンクリート流出箇所

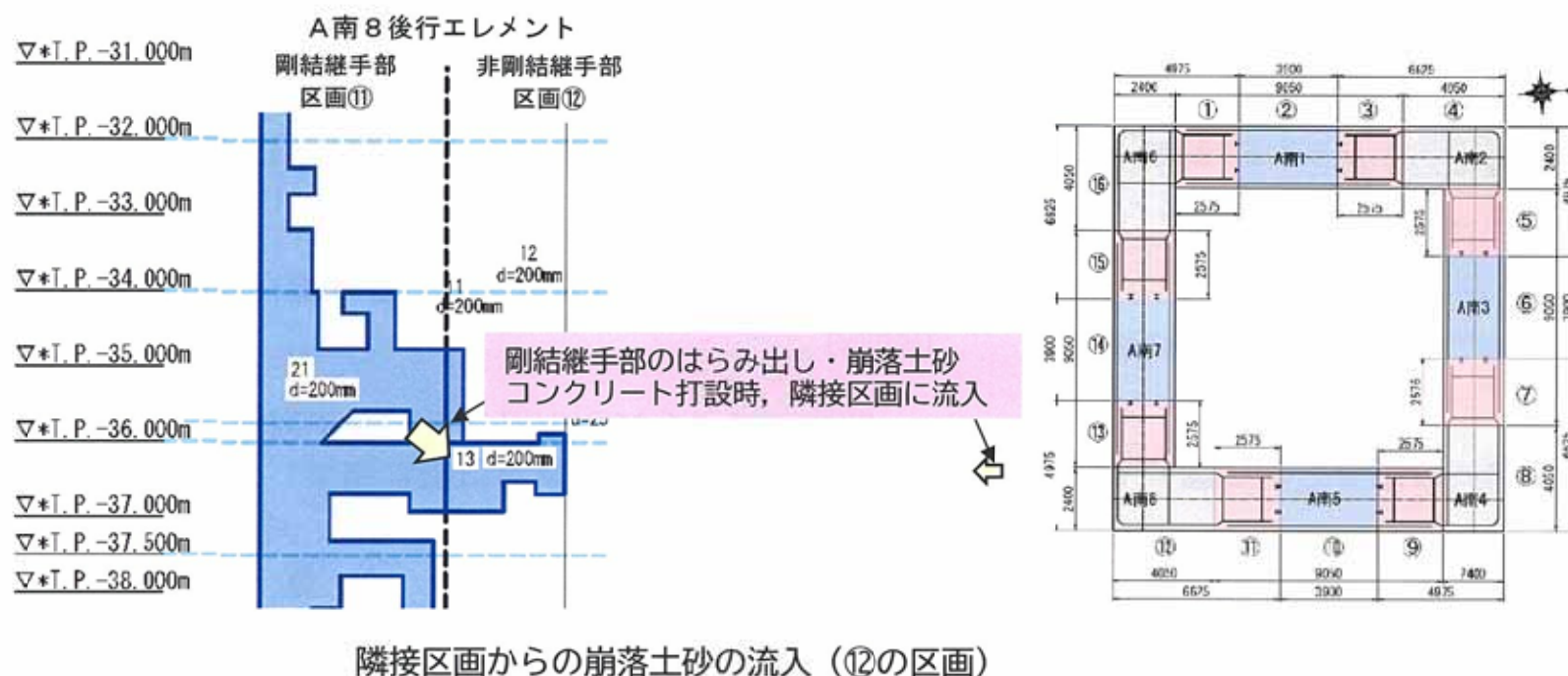
エレメント	水平コア (実施)	圧縮強度試験結果 (N/mm ²)			
		1	2	3	平均
A南7先行 エレメント (14の区画)	T.P. -17.9m	96.6	92.8	81.3	90.2
	T.P. -21.5m	97.5	86.2	81.5	88.4
	T.P. -24.2m	65.3	75.2	75.2	71.9



コンクリート打設時の溝壁崩壊による
スライム巻き込み状況

(e) 隣接する剛結継手部のはらみ出し・崩落土砂の流入 (④, ⑧, ⑫区画特有の事象)

剛結継手部の中実部側の鉄筋かぶり部に、既にはらみ出し・崩落していた土砂 (粘性土) がコンクリート打設時に隣接する区画の中実部側に流入した。



(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 (SMW区間)

I 厚い沖積粘性土層・掘置き期間の長期化

- ・粘性土厚さ：A南基礎では約15m～21mに対し、A北基礎では約31m～33m(約1.8倍)
- ・掘置き期間：A南基礎では24日～260日に対し、A北基礎では30日～463日(特にコンクリート未充填が確認された①, ③, ⑦, ⑨, ⑬, ⑮区画では、109日～463日と長期)



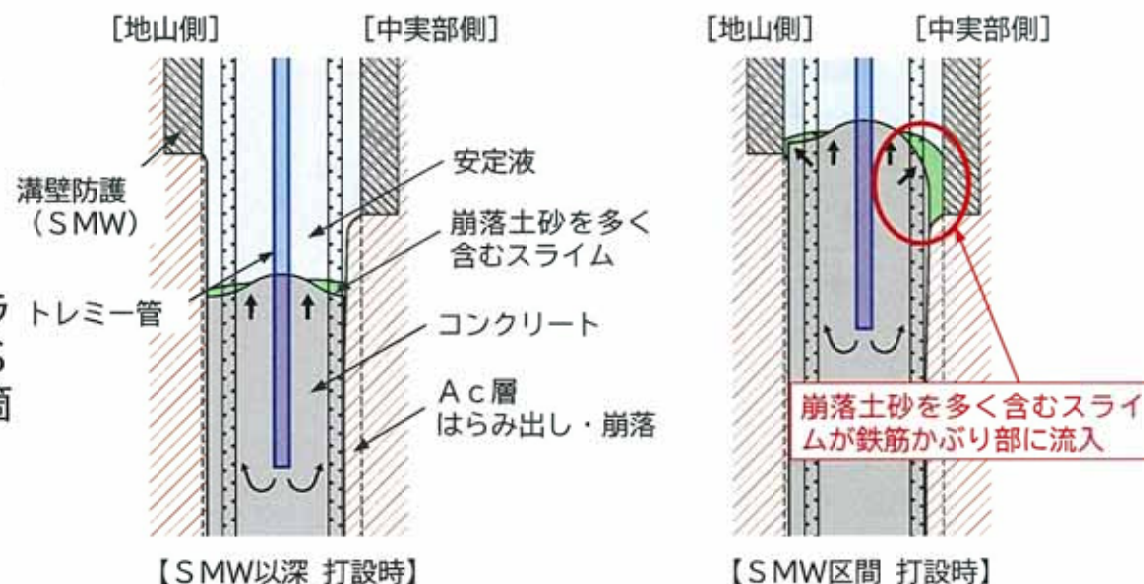
SMW以深において、A南基礎に比べ、中実部側の鉄筋かぶり部へのAc層のはらみ出し・崩落が広範囲で発生し、崩落土砂を多く含んだスライムが増加

II 中実部側の鉄筋かぶり部へのはらみ出しの有無

- ・SMW以深：はらみ出し有り
- ・SMW区間：はらみ出し無し



SMW以深で発生した崩落土砂を多く含んだスライムがコンクリート打設に伴って押し上げられ、SMW区間の鉄筋かぶり部に流入し、安定液混じり箇所やコンクリートの未充填箇所が発生



コンクリート打設区間でのスライム巻き込み状況

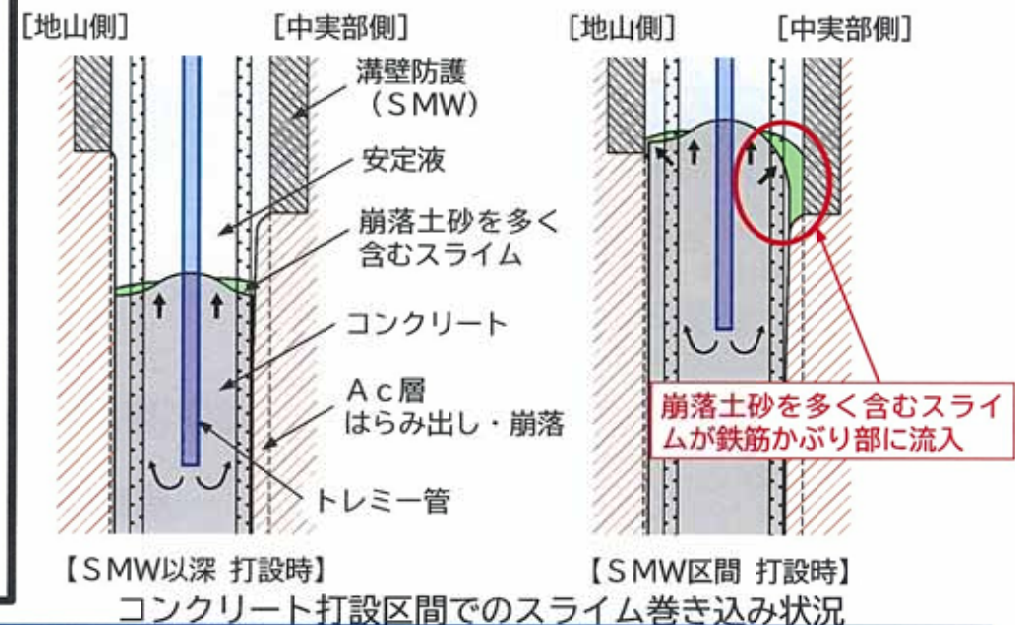
(b) コンクリート打設時のはらみ出し崩落土砂のSMW区間への押上げ (SMW区間)

厚い沖積粘性土層・掘置き期間の長期化

- ・粘性土厚さ：A南基礎では約15m～21mに対し、A北基礎では約31m～33m(約1.8倍)
- ・掘置き期間：A南基礎では24日～260日に対し、A北基礎では30日～463日(特にコンクリート未充填が確認された①, ③, ⑦, ⑨, ⑬, ⑮区画では, 109日～463日と長期)



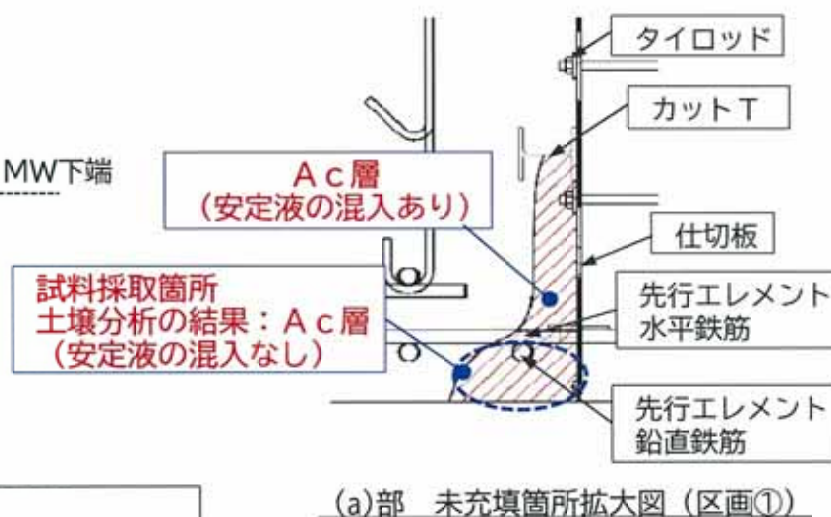
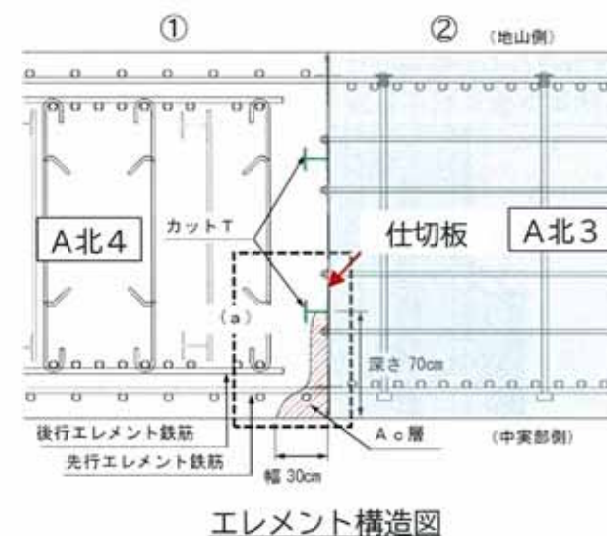
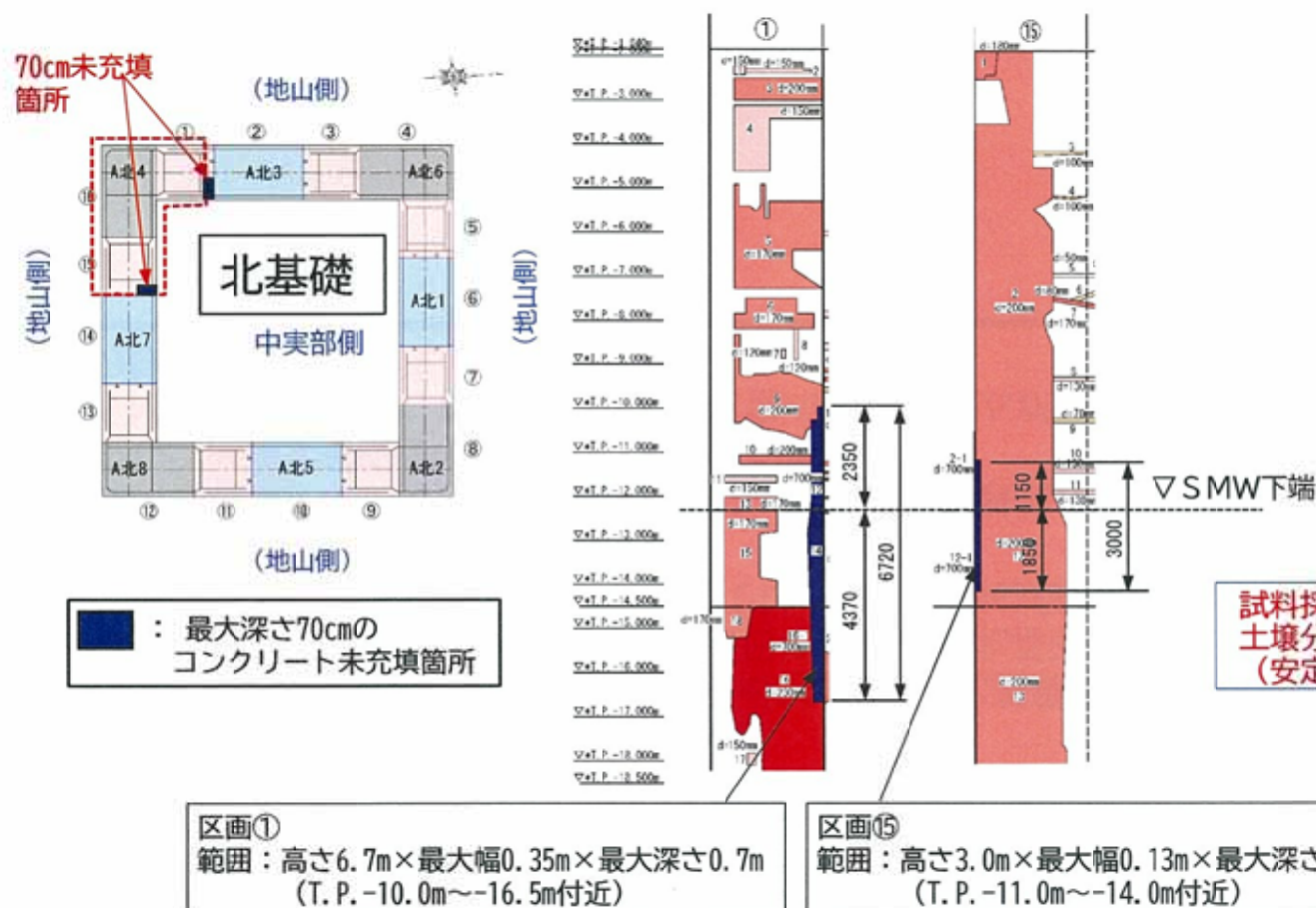
- ・SMW以深において、A南基礎に比べ、中実部側の鉄筋かぶり部へのAc層のはらみ出し・崩落が広範囲で発生し、崩落土砂を多く含んだスライムが増加
- ・SMW以深で発生した崩落土砂を多く含んだスライムがコンクリート打設に伴って押し上げられ、SMW区間の鉄筋かぶり部に流入



(c) コンクリート打設時の薄層状の地山の崩落 (①, ⑮区画特有の事象)

A北4後行エレメントの剛結継手部において、仕切板※に沿って最大深さ70cmのコンクリート未充填を確認

※仕切板：エレメント継手面に設置する鋼板

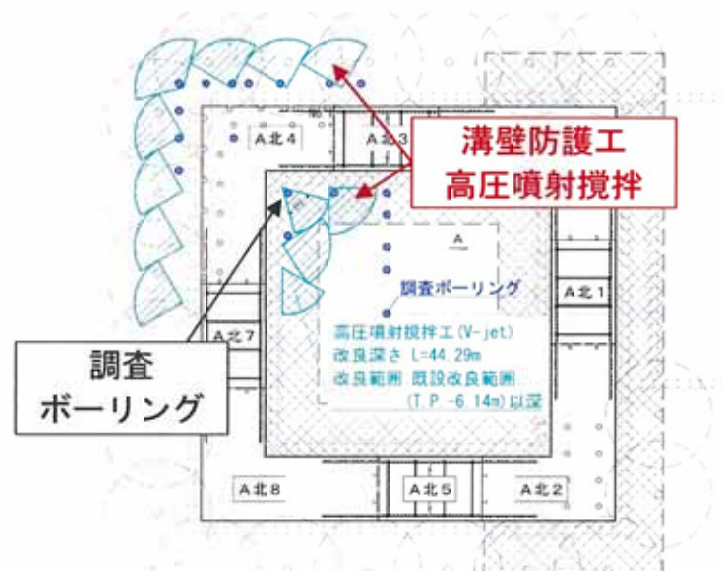


(c) コンクリート打設時の薄層状の地山の崩落 (①, ⑮区画特有の事象)

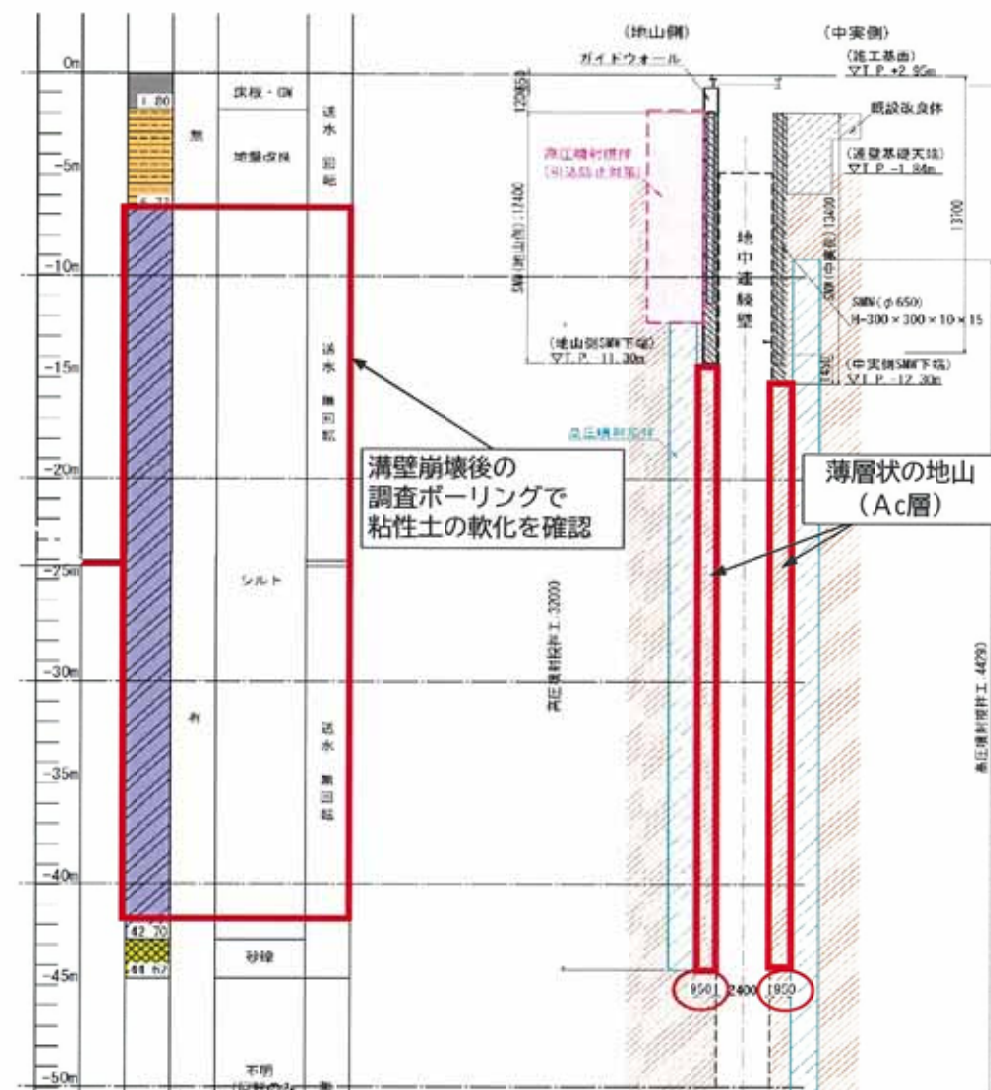
【発生原因の推定】

I. 薄層状の地山 (Ac層) の形成

- ・隣接するA北3先行エレメントの施工時に、溝壁の崩壊が発生し、地山の緩みにより粘性土の軟化を確認
- ・既設の溝壁防護SMWの背面側 (中実部, 地山部) から、高圧噴射攪拌地盤改良による溝壁防護工を追加



A北4周辺の調査ボーリング箇所及び追加溝壁防護工 (高圧噴射攪拌) 実施状況



調査ボーリング結果及び追加溝壁防護工 (高圧噴射攪拌) 実施状況

(c) コンクリート打設時の薄層状の地山の崩落 (①, ⑮区画特有の事象)

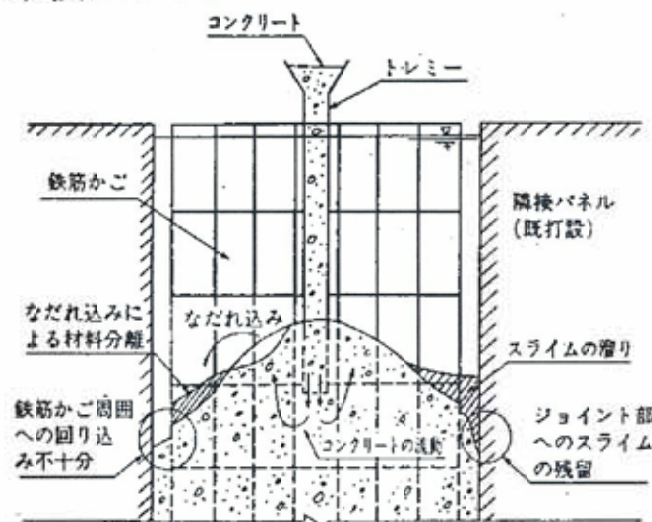
【発生原因の推定】

Ⅱ. 仕切板付近の鉄筋形状

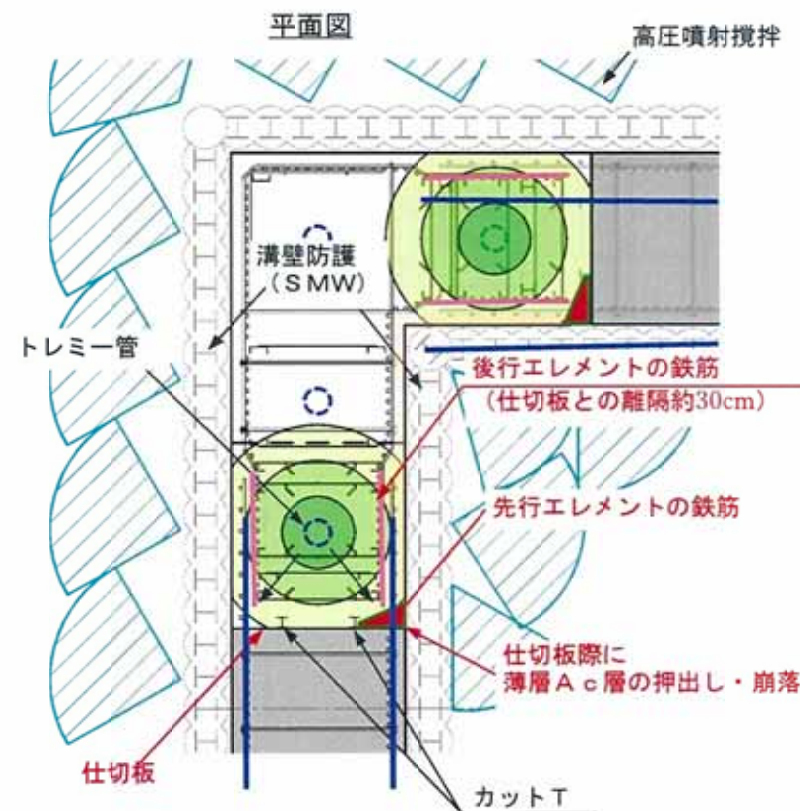
- ・仕切板から後行エレメント側の離隔約30cmの区間には後行エレメントの鉄筋はなく、先行エレメントの鉄筋のみが設置
- ・重ね継手区間に比べ、崩落土砂が連壁内部へ流入しやすい状況

Ⅲ. コンクリートの打上り高さ

- ・コンクリートの打上り面はトレミー設置付近が最も高く、同心円状に広がるため、仕切板端部付近で最も低くなり、スライムが堆積しやすい



トレミー管によるコンクリート打設状況概念



トレミー管によるコンクリート打設状況概念

(参考) コンクリート未充填が形成された要因

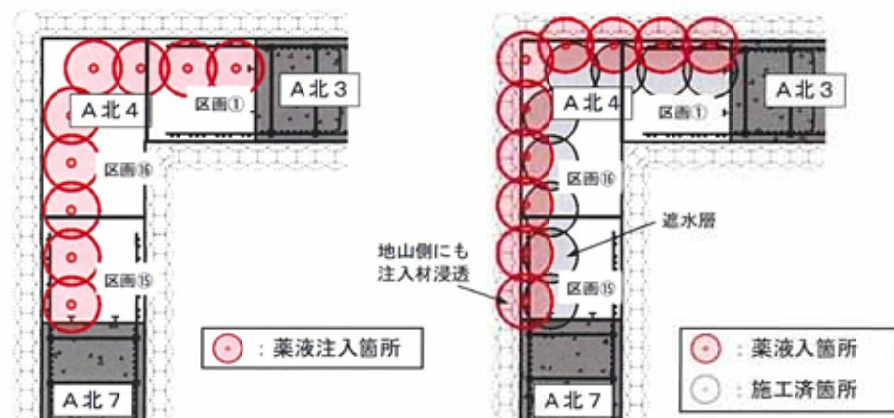
北基礎

(c) コンクリート打設時の薄層状の地山の崩落
(①, ⑮区画特有の事象)

【発生原因の推定】

前述したⅠ～Ⅲの要因により

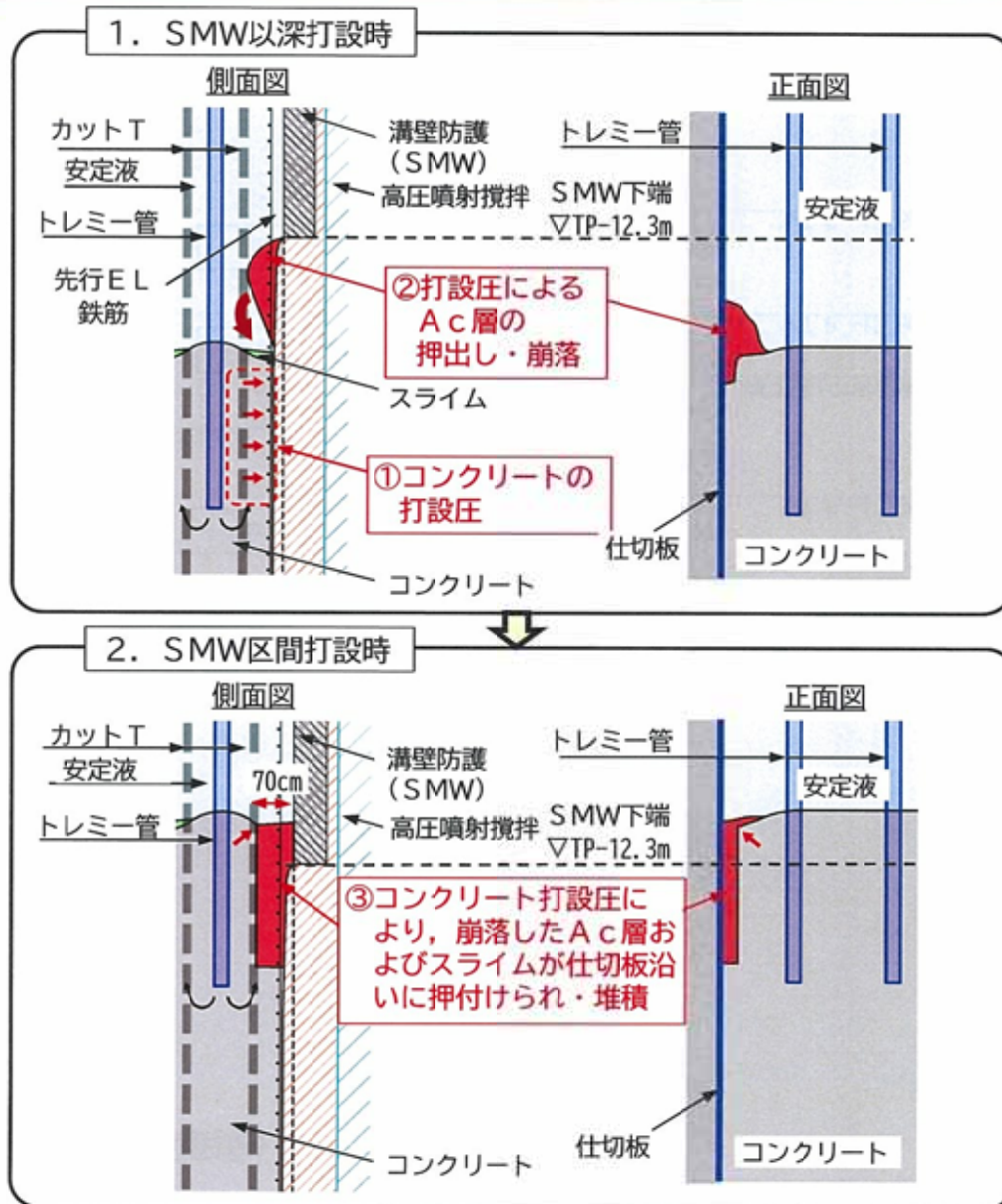
- ・ SMW下端付近のコンクリート打設中に、溝壁面に打設圧力が作用し「高圧噴射攪拌およびSMWと縁が切れた薄層状の地山」が押出されて崩落し、仕切板近傍の先行エレメントの鉄筋を超えて流入（右図①・②）
- ・ コンクリートの上昇に伴い、崩落した土砂は、打上り面が最も低くなる仕切板に押付けられ・堆積（右図③）
- ・ 地山側では、高圧噴射攪拌の改良体造成中に、溝壁内に排泥の流入が確認されたことから、逸走防止用の薬液注入を実施（下図）。そのため、地山側は、中実部側に比べ未充填の深さは小さいと想定



STEP 1. 薬液注入（連壁中心側）

STEP 2. 薬液注入（地山側）

逸走防止用薬液注入工実施箇所



薄層状の地山の崩落に伴うコンクリート未充填の形成

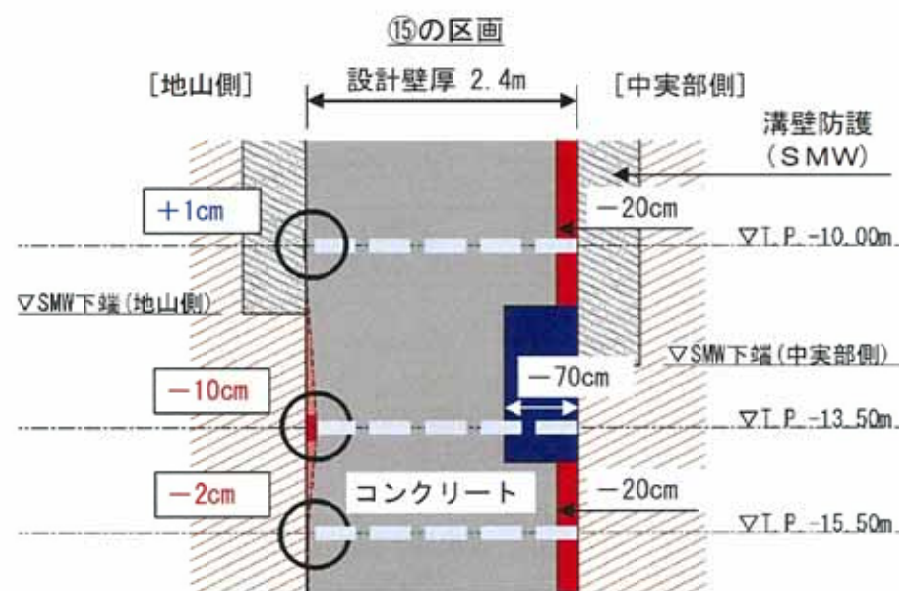
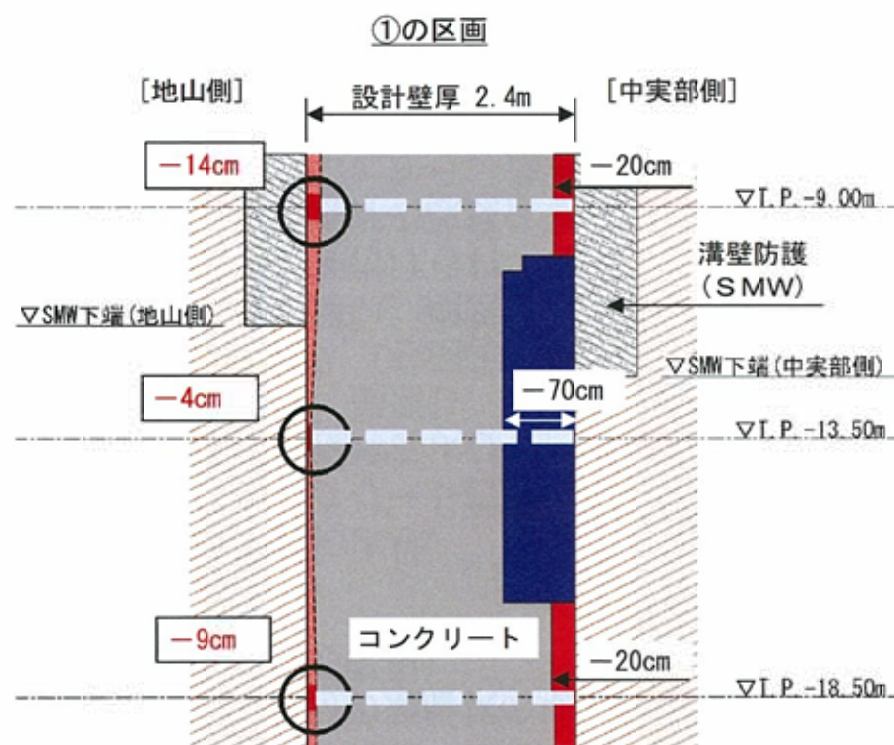
(c) コンクリート打設時の薄層状の地山の崩落 (①, ⑮区画特有の事象)

【地山側のコンクリート充填調査】

水平コアボーリングの結果, 地山側のコンクリート未充填深さ
設計壁厚2.4mに対し, ①区画で最大-14cm, ⑮区画で最大-10cm



中実部側に比べ小さいことを確認



薄層状の地山の崩落に伴うコンクリート未充填の確認 (中実部側及び地山側)

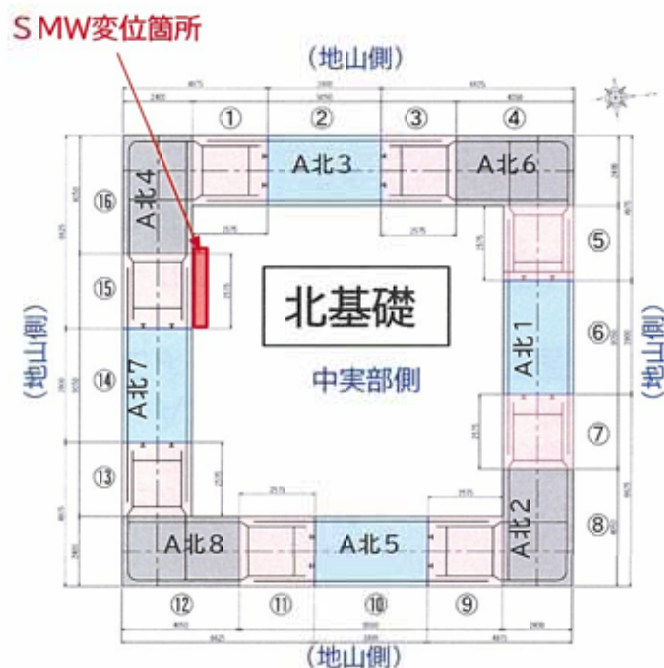
(d) SMWの変位によるコンクリート流路の阻害 (⑮区画特有の事象)

⑮区画において、溝壁防護SMWのソイルセメントが鉄筋かぶり部側に変位し、コンクリートの未充填を確認

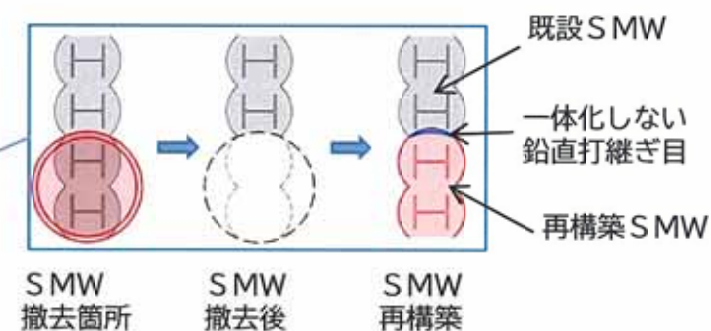
【発生原因の推定】

I. SMW不連続部の形成

深部液状化対策工（超多点注入工）の施工において、SMWの一部が支障したことから、SMWの撤去・再構築を行ったため、既設と新設のSMW境界面に一体化しない鉛直打継ぎ目（不連続部）が形成



再構築したSMWの掘削時の状況写真



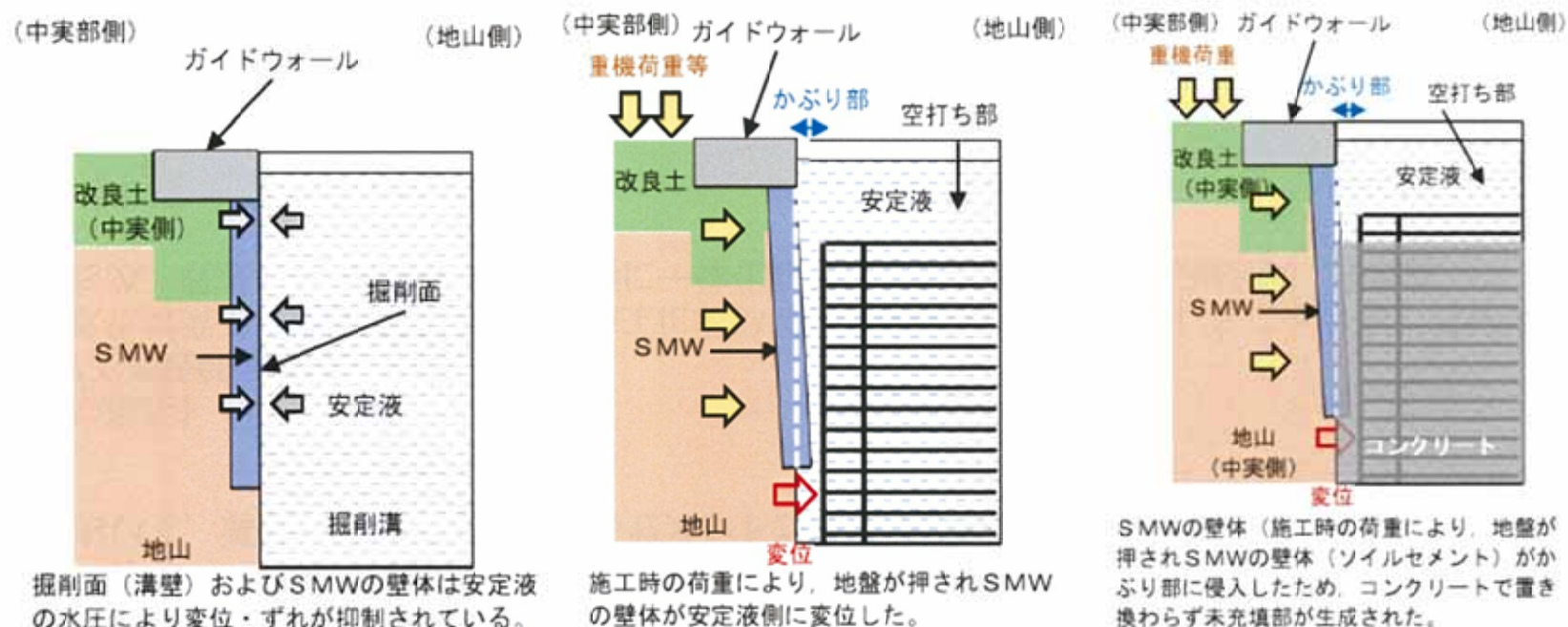
(d) SMWの変位によるコンクリート流路の阻害 (⑮区画特有の事象)

【発生原因の推定】

Ⅱ. 溝壁崩壊に伴う地盤の緩みによる中実部側の沈下

A北3先行エレメント施工時の溝壁の崩壊により地山の緩みが確認され、連壁掘削機等の重機荷重の載荷により、中実部側の施工基面で約10cm程度の沈下が発生

I～Ⅱの要因により、既設と新設のSMW不連続部でずれが生じ、鉄筋かぶり部側に変位したことで、コンクリート流路を阻害



SMW壁の変位に伴うコンクリート未充填の形成

(参考) コンクリート未充填が形成された要因

北基礎

(e) 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）

S MW区間およびS MW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】

A南基礎と同様

【地山側のコンクリート充填状況の調査結果】注）非剛結継手部において有効壁厚※を確保（区画②を除く）

設計壁厚2.4mに対し、

・音響探査結果：-3cm ～ +15cm

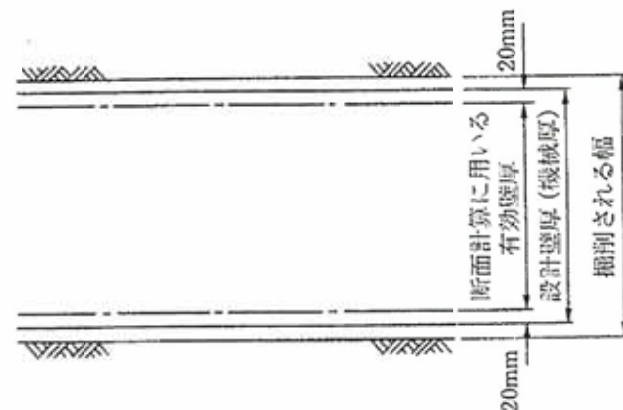
・水平コア結果：0cm ～ +13cm

注）壁厚が厚くなる側が+、壁厚が薄くなる側が-である。

※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）

北基礎 地山側のコンクリート充填状況調査結果

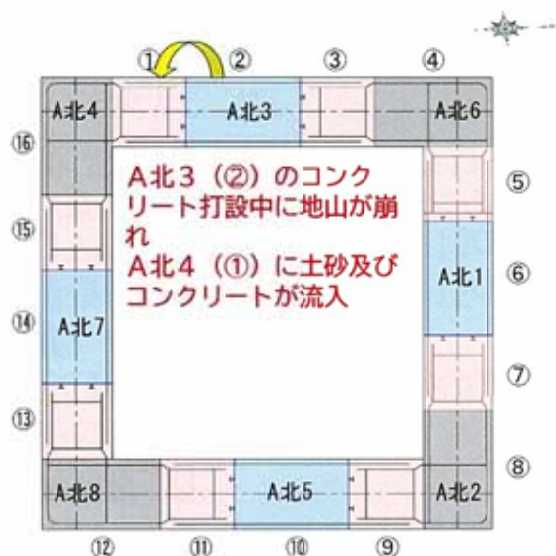
区画	種別	音響探査		水平コアによる厚さ確認	
		結果 (右記の欠測箇所を除く)	欠測箇所 (⑤区間は中央、A側線の欠測箇所)	目的	結果
②	先行	+6cm～-3cm	T.P.-28.7m ～ T.P.-30.7m T.P.-33.0m ～ T.P.-40.2m	欠測補完 不安定補完	T.P.-29.4m +6.0cm T.P.-38.8m +1.0cm
④	後行	+7cm～-2cm	T.P.-14.3m ～ T.P.-18.6m T.P.-32.3m ～ T.P.-33.6m	欠測補完	T.P.-16.5m +1.0cm T.P.-33.0m +0.0cm
⑥	先行	+15cm～-2cm	T.P.-30.7m ～ T.P.-34.9m T.P.-35.0m ～ T.P.-36.5m	欠測補完	T.P.-33.0m +1.0cm T.P.-33.0m +3.5cm
⑧	後行	+8cm～-2cm	-	セリアレーゾ	T.P.-19.8m +6.5cm
⑩	先行	地盤改良の影響で地盤が乱れ、データの取得ができなかった。 コア長さ測定にて補完	T.P.-11.3m ～ T.P.-49.0m	測定不能補完	T.P.-13.6m +1.0cm
				測定不能補完	T.P.-21.0m +0.5cm
				測定不能補完	T.P.-28.5m +2.0cm
				測定不能補完	T.P.-36.0m +2.0cm
				測定不能補完	T.P.-43.2m +1.0cm
⑫	後行	+7cm～-2cm	T.P.-37.1m ～ T.P.-38.3m	セリアレーゾ	T.P.-31.4m +1.0cm
				欠測補完	T.P.-37.7m +4.5cm
				測定不能補完	T.P.-14.0m +1.0cm
				測定不能補完	T.P.-20.1m +4.0cm
				測定不能補完	T.P.-28.7m +5.0cm
⑭	先行	地盤改良の影響で地盤が乱れ、データの取得ができなかった。 コア長さ測定にて補完	T.P.-11.3m ～ T.P.-49.0m	測定不能補完	T.P.-36.1m +2.0cm
				測定不能補完	T.P.-43.0m +2.0cm
				測定不能補完	T.P.-48.5m +2.0cm
				測定不能補完	T.P.-11.8m +1.0cm
				測定不能補完	T.P.-17.8m +1.0cm
⑯	後行	地盤改良の影響で地盤が乱れ、データの取得ができなかった。 コア長さ測定にて補完	T.P.-11.3m ～ T.P.-49.0m	測定不能補完	T.P.-23.3m +8.5cm
				測定不能補完	T.P.-30.6m +0.0cm
				測定不能補完	T.P.-38.1m +13.0cm
				測定不能補完	T.P.-45.1m +3.0cm
				測定不能補完	T.P.-45.1m +3.0cm



地中連続壁有効壁厚の設定

(f) A北3 コンクリート打設時のコンクリートの流出 (②区画特有の事象)

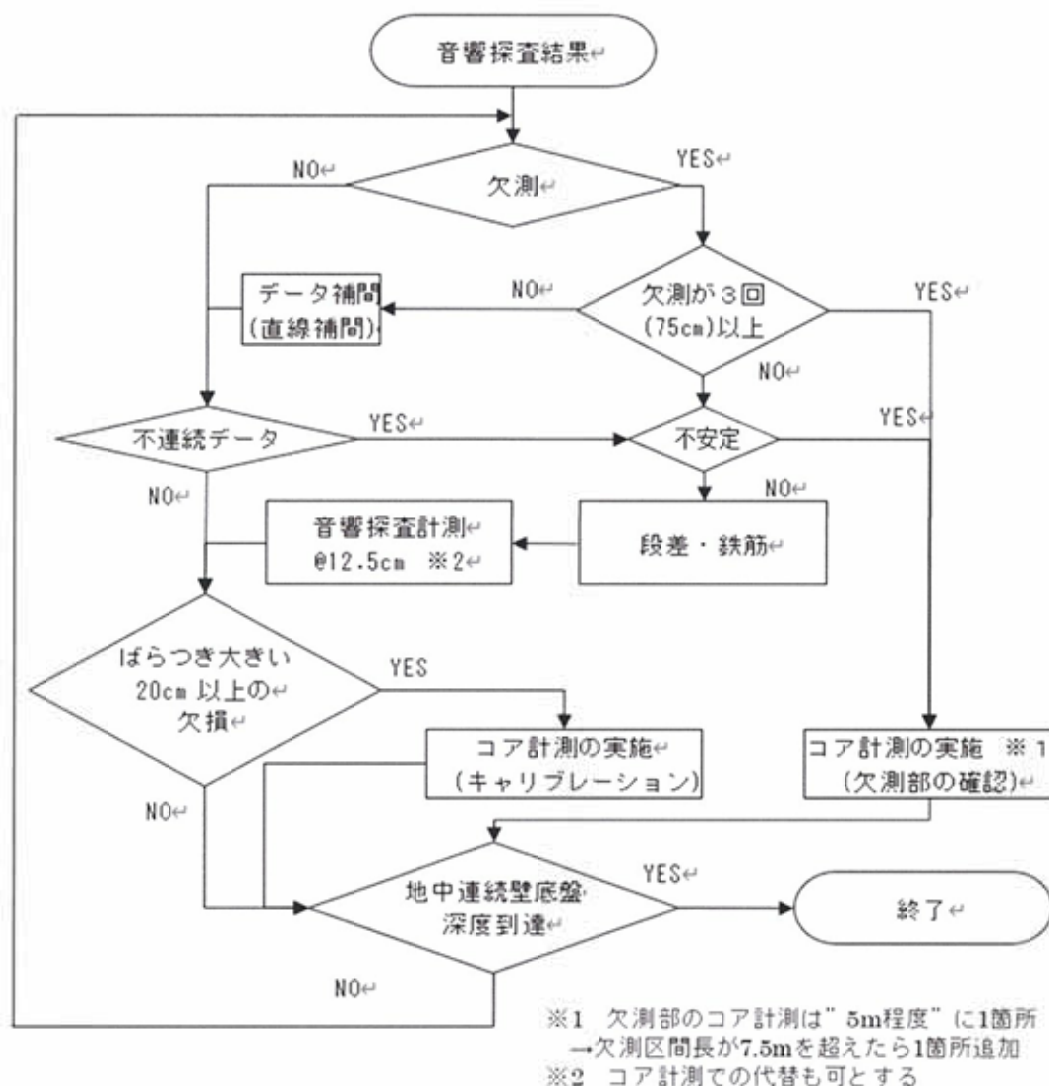
- ・ A北3 先行エレメント (②区画) のコンクリート打設中に、溝壁の一部が崩落し、コンクリート打設面の降下及び①の区画 (剛結継手部) に土砂・コンクリートが流出した。
- ・ コンクリートの流出事象に伴い、他の区画に比べ、スライムの巻込みや安定液の混入が多くなり、安定液混じり箇所が密集したと考えられる。
- ・ 本事象は、地山側でも発生している可能性はあるが、中実部側の連壁面から水平コアボーリングにより供試体を採取し、圧縮強度試験を行った結果、圧縮強度は70N/mm²以上となっており、設計基準強度40N/mm²以上であることを確認している。



A北3 コンクリート流出箇所 圧縮強度試験

エレメント	水平コア (実施)	欠損 有無	圧縮強度試験結果			
			1	2	3	平均
A北3 先行 エレメント (②の区画)	T. P. -9.9m	無	80.9	73.3	73.3	75.8
	T. P. -11.0m	無	75.9	79.5	74.5	76.6
	T. P. -45.7m	無	53.9	73.6	86.6	71.4

音響探査及びコア採取の実施手順と判定フローを以下に示す。



【音響探査】

音波の到達時間を用いて壁面位置を特定する方法である。手順を以下に示す。

- ①地山側の壁面（計画壁面位置）から70cm程度外側に2孔のボーリング孔を設け、一方に発信器、もう一方に受信器を同一標高に設置する（鉛直方向の測定ピッチは25cm（不安定区間12.5cm））
- ②発信器から音波を発信し、発信器から直接受信器に到達する音波と壁面に反射してから到達する音波を受信する。
- ③発信器から直接受信器に到達した音波の到達時間と発信器と受信機の距離（孔間の距離）から、その標高の地盤中の音波速度を求める。なお、ボーリング孔の孔曲がり測定も実施し、本探査の精度向上を図っている。
- ④発信器から壁面に反射して到達した音波の到達時間と前述の音波速度から、受信機と壁面の距離を算定し、壁面の位置を特定する。

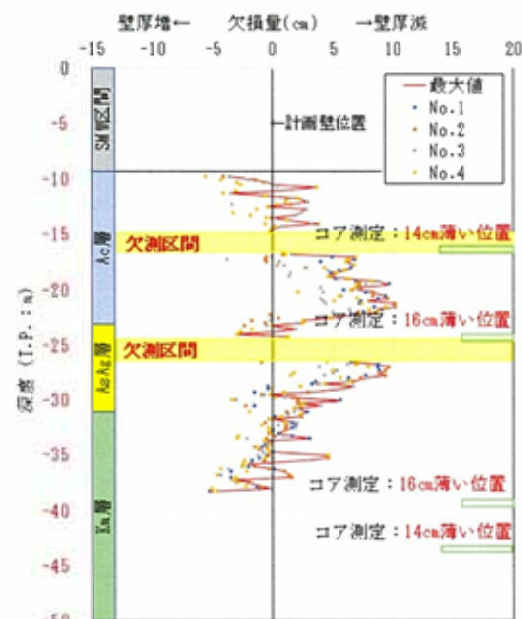
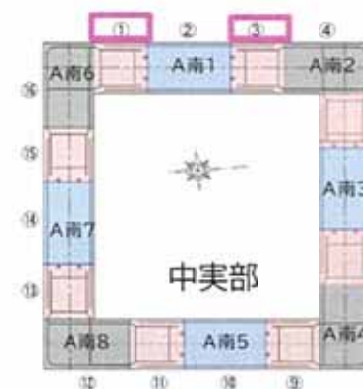
【コア測定（コア採取）】

中実部側壁面より水平にボーリングし、採取したコアから地山側の壁の位置を特定する。

音響探査及びコア採取の実施手順と判定フロー

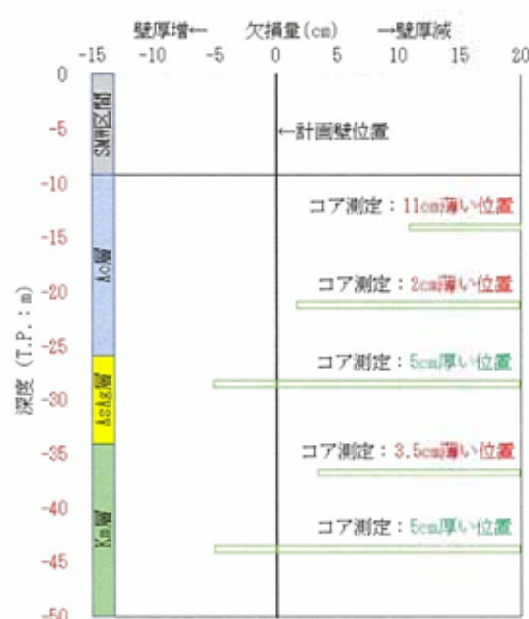
1) 剛結継手部 ①, ③, ⑤, ⑦区画

- ・ 探査の結果、地山側の剛結継手部においてコンクリートの未充填の発生 (最大16cm)を確認した。



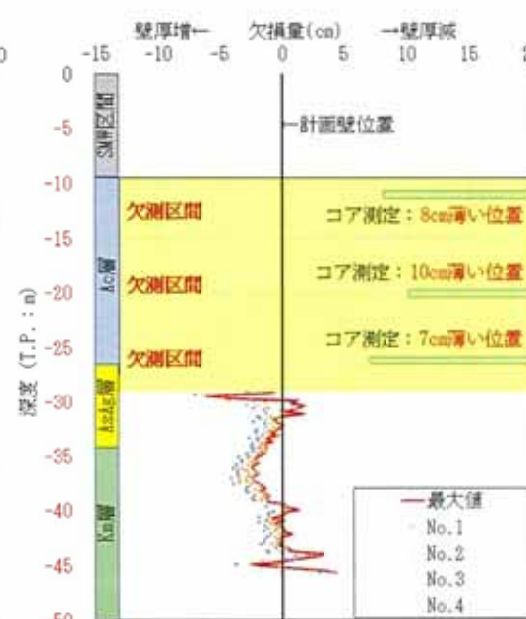
剛結継手部 (①区画)

- ・ 音響探査では、+4cm~-10cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では、-14cm~-16cmの壁厚を確認した。



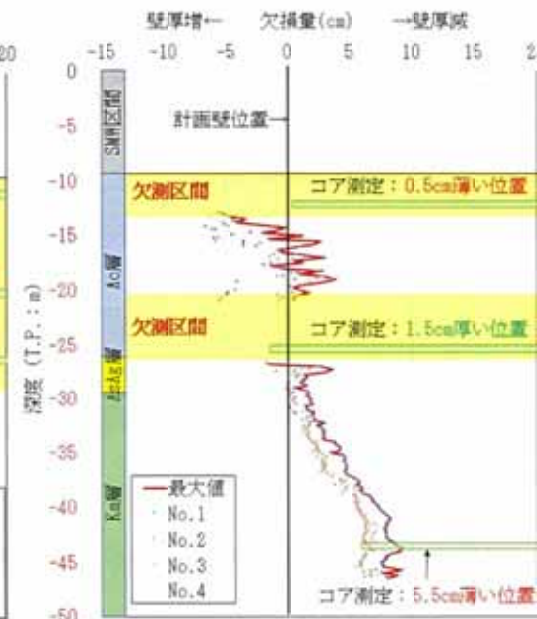
剛結継手部 (③区画)

- ・ 音響探査では、地盤改良の影響で地盤が乱れ、反射波が確認できなかった。
- ・ コア測定では、+5cm~-11cmの壁厚を確認した。



剛結継手部 (⑤区画)

- ・ 音響探査では、+6cm~-4cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では、-7cm~-10cmの壁厚を確認した。



剛結継手部 (⑦区画)

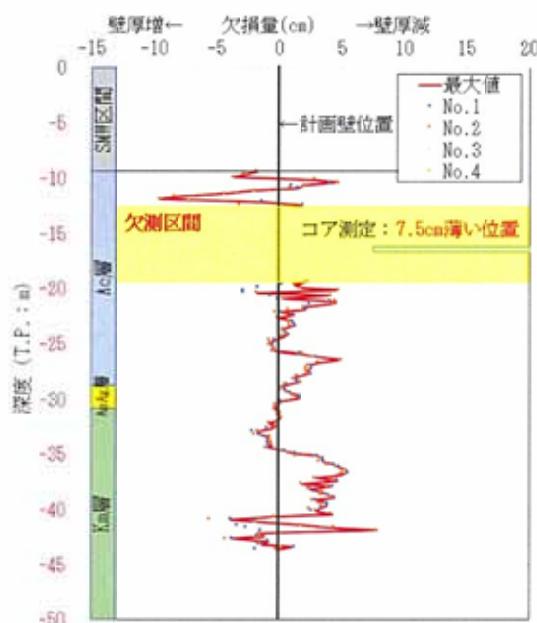
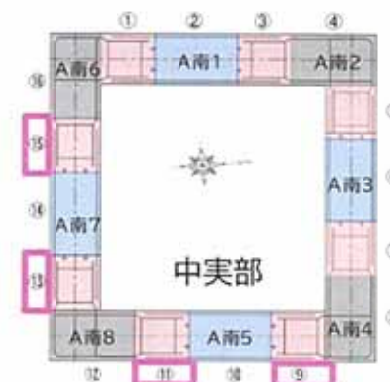
- ・ 音響探査では、+5cm~-9cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では、+1.5cm~-5.5cmの壁厚を確認した。

(参考) 音響探査及びコア採取結果 (南基礎)

南基礎

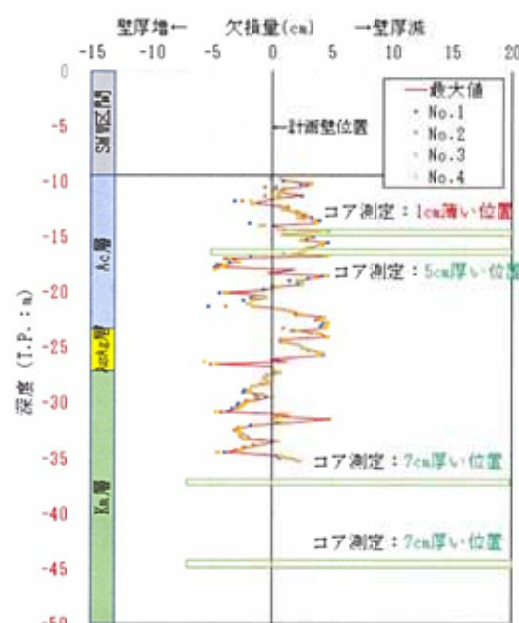
2) 剛結継手部 ⑨, ⑪, ⑬, ⑮区画

- ・ 探査の結果, 地山側の剛結継手部においてコンクリートの未充填の発生 (最大11cm以下)を確認した。
- ・ 水平コア及び音響探査の結果は整合していることを確認した。



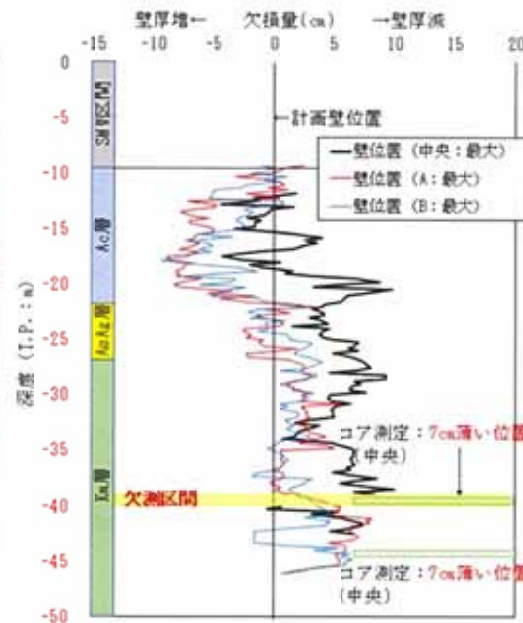
剛結継手部 (⑨区画)

- ・ 音響探査では, +10cm~-8cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, -7.5cmの壁厚を確認した。



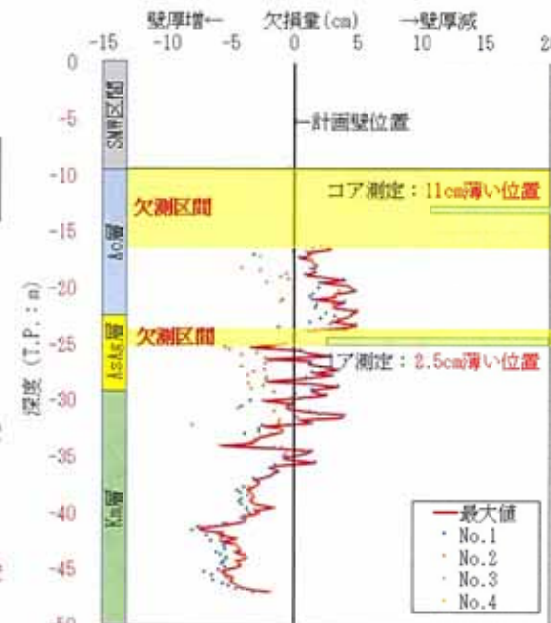
剛結継手部 (⑪区画)

- ・ 音響探査では, +4cm~-5cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +7cm~-1cmの壁厚を確認した。



剛結継手部 (⑬区画)

- ・ 音響探査では, +9cm~-10cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, -7cmの壁厚を確認した。

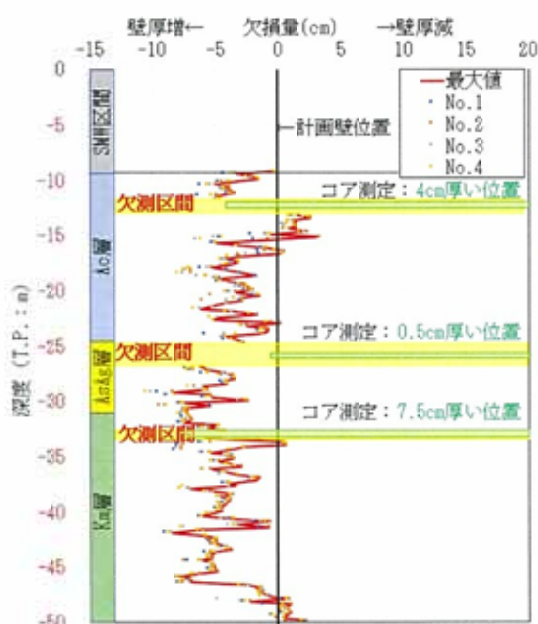
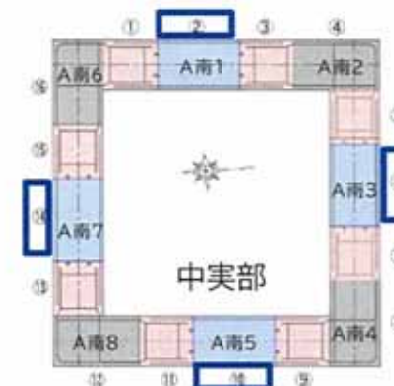


剛結継手部 (⑮区画)

- ・ 音響探査では, +7cm~-5cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, -2.5cm~-11cmの壁厚を確認した。

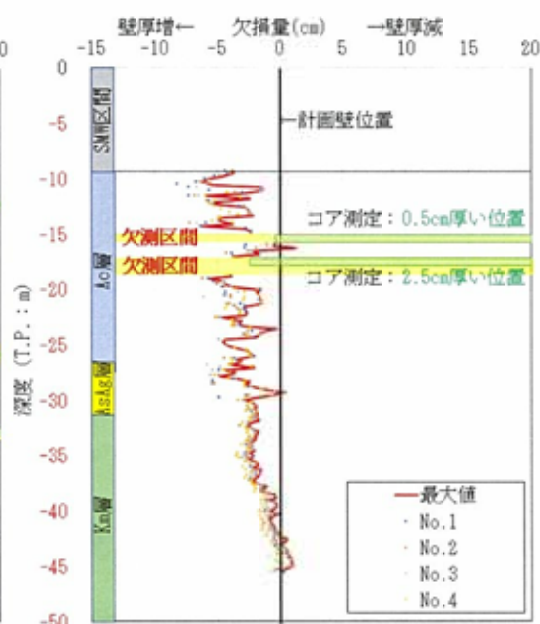
3) 非剛結継手部 (先行エレメント) ②, ⑥, ⑩, ⑭区画

- ・ 探査の結果, 地山側の非剛結継手部 (先行エレメント) において未充填の発生 (最大3cm以下)を確認した。
- ・ 水平コア及び音響探査の結果は整合していることを確認した。



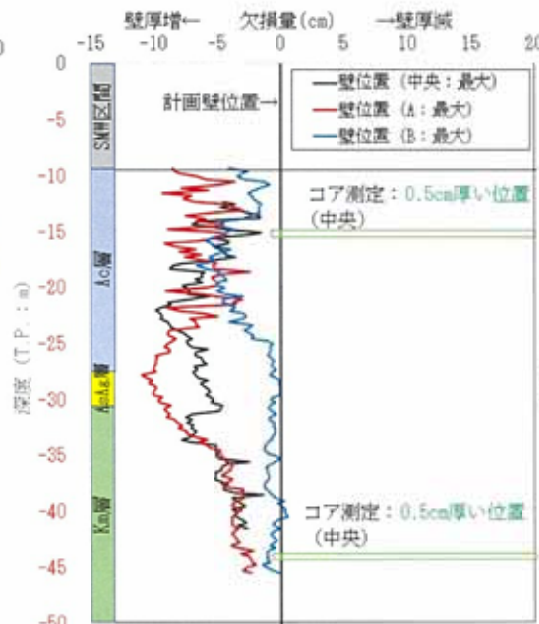
非剛結継手部 (②区画)

- ・ 音響探査では, +8cm~-3cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +7.5cm~+0.5cmの壁厚を確認した。



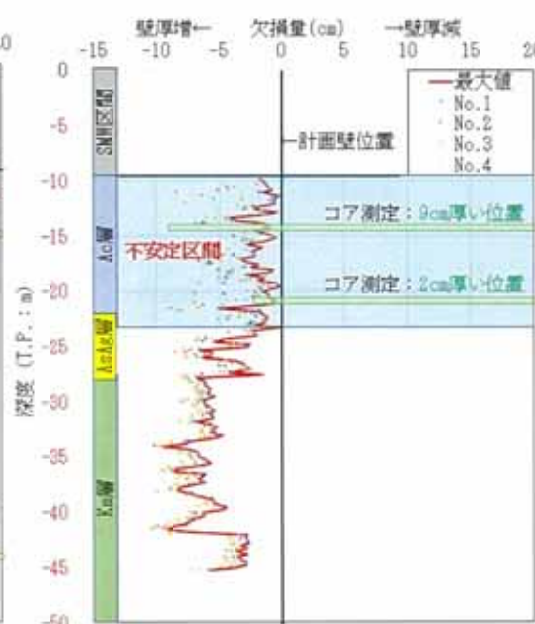
非剛結継手部 (⑥区画)

- ・ 音響探査では, +6cm~-1cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +2.5cm~+0.5cmの壁厚を確認した。



非剛結継手部 (⑩区画)

- ・ 音響探査では, +11cm~-1cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +0.5cmの壁厚を確認した。



非剛結継手部 (⑭区画)

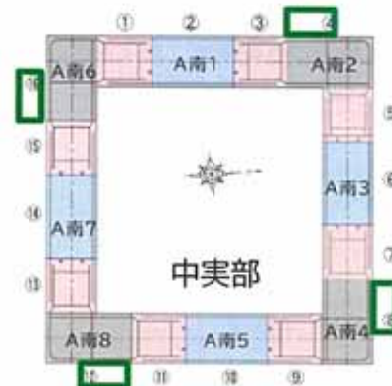
- ・ 音響探査では, +9cm~0cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +9cm~+2cmの壁厚を確認した。

(参考) 音響探査及びコア採取結果 (南基礎)

南基礎

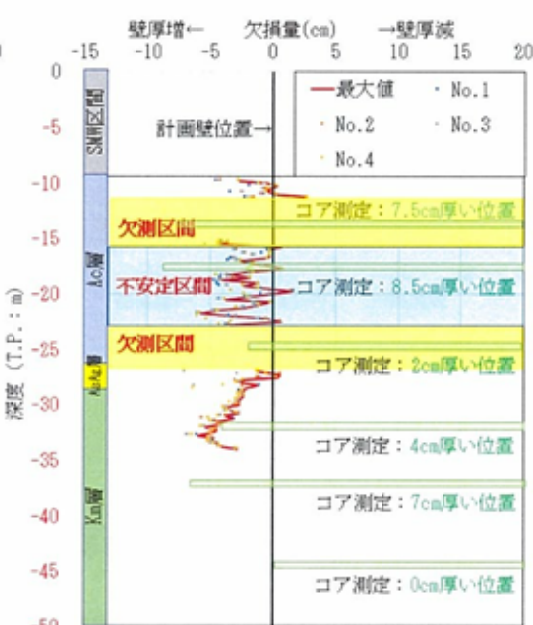
4) 非剛結継手部 (後行エレメント) ④, ⑧, ⑫, ⑯区画

- ・ 探査の結果, 地山側の非剛結継手部 (後行エレメント) において未充填の発生 (最大4cm以下)を確認した。
- ・ 水平コア及び音響探査の結果は整合していることを確認した。
- ・ ④の区画では, 削孔機配置ができず音響探査を実施できないため水平コアで確認した。



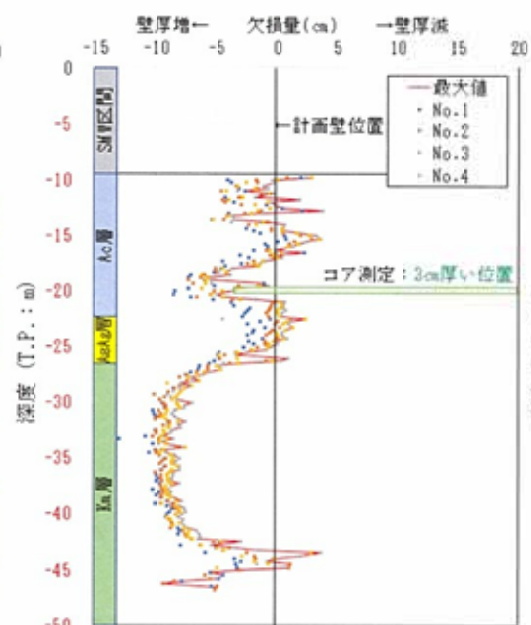
非剛結継手部 (④区画)

- ・ 音響探査では, 削孔機が配置できず音響探査が実施できなかった。
- ・ コア測定では, +5cm ~ +0.5cmの壁厚を確認した。



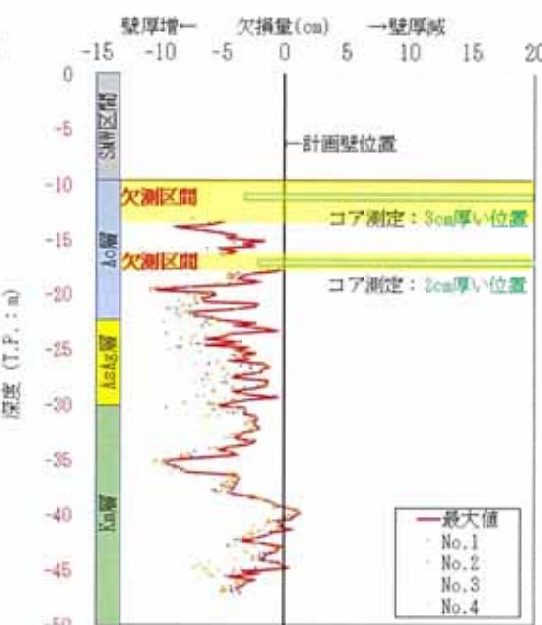
非剛結継手部 (⑧区画)

- ・ 音響探査では, +6cm ~ -3cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +8.5cm ~ 0cmの壁厚を確認した。



非剛結継手部 (⑫区画)

- ・ 音響探査では, +9cm ~ -4cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +3cmの壁厚を確認した。

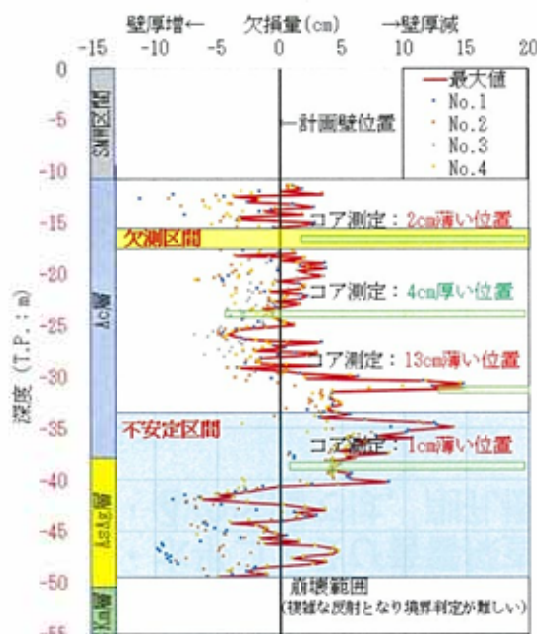
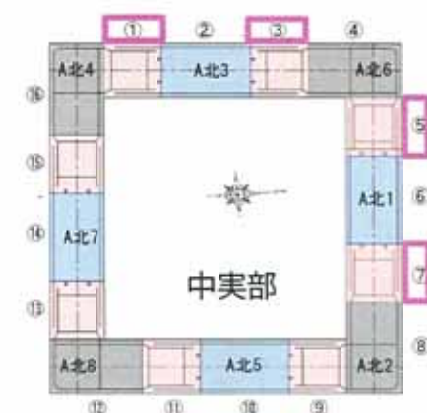


非剛結継手部 (⑯区画)

- ・ 音響探査では, +10cm ~ -1cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +3cm ~ +2cmの壁厚を確認した。

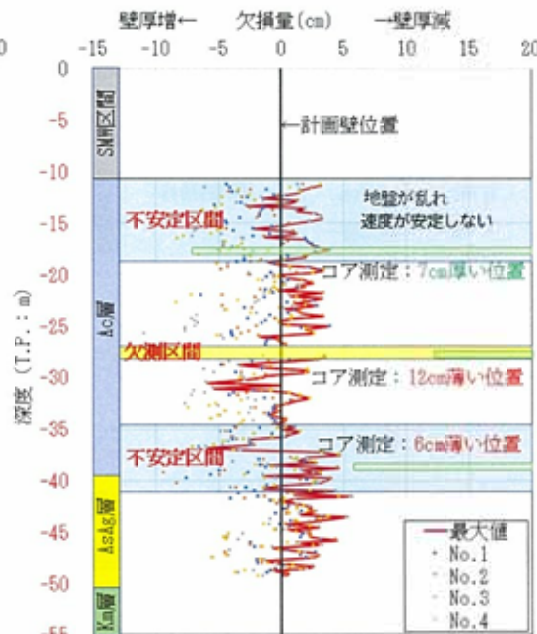
1) 剛結継手部 ①, ③, ⑤, ⑦区画

- ・ 探査の結果、地山側の剛結継手部においてコンクリートの未充填の発生 (最大15cm)を確認した。
- ・ 水平コア及び音響探査の結果は整合していることを確認した。



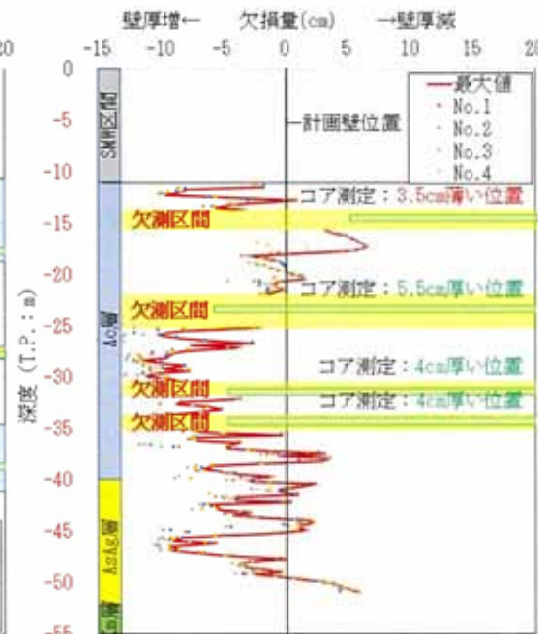
剛結継手部 (①区画)

- ・ 音響探査では、+6cm～-15cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では、+4cm～-13cmの壁厚を確認した。



剛結継手部 (③区画)

- ・ 音響探査では、+6cm～-6cmの壁厚を確認した。ばらつきが大きい。
- ・ コア測定では、+7cm～-12cmの壁厚を確認した。



剛結継手部 (⑤区画)

- ・ 音響探査では、+11cm～-7cmの壁厚を確認した。起伏が大きい。
- ・ コア測定では、+5.5cm～-3.5cmの壁厚を確認した。



剛結継手部 (⑦区画)

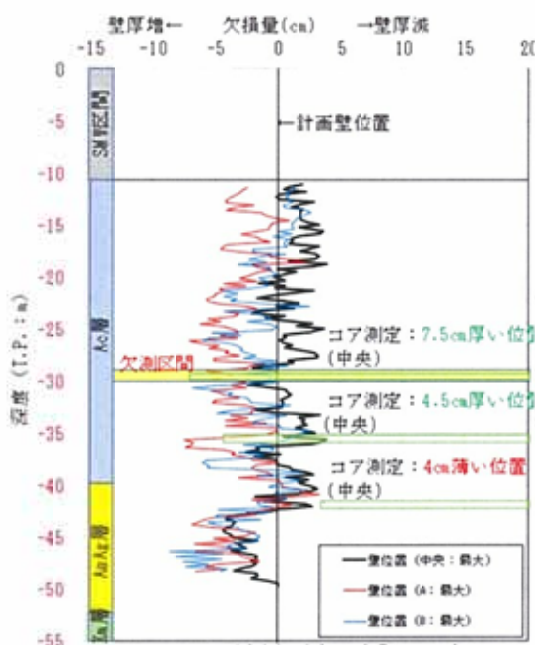
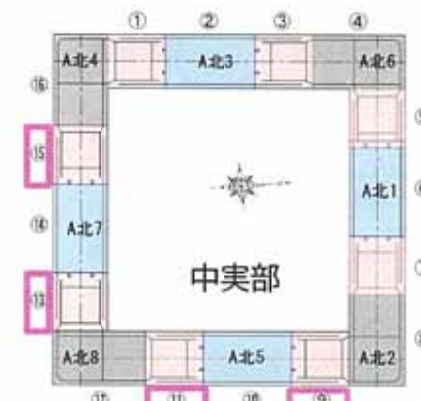
- ・ 音響探査では、地盤改良の影響で地盤が乱れ、採用可能な直達波が得られなかった。
- ・ コア測定では、+17cm～+6.5cmの壁厚を確認した。

(参考) 音響探査及びコア採取結果 (北基礎)

北基礎

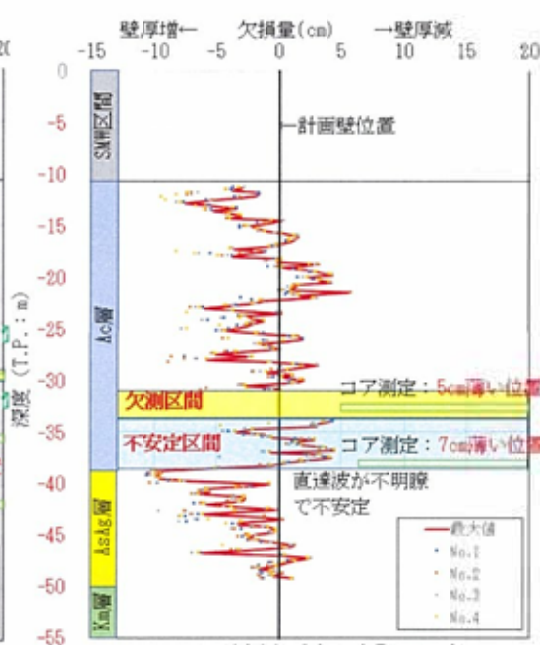
2) 剛結継手部 ⑨, ⑪, ⑬, ⑮区画

- ・ 探査の結果, 地山側の剛結継手部においてコンクリートの未充填の発生 (最大15cm)を確認した。
- ・ 水平コア及び音響探査の結果は整合していることを確認した。



剛結継手部 (⑨区画)

- ・ 音響探査では, +9cm~-4cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +7.5cm~-4cmの壁厚を確認した。



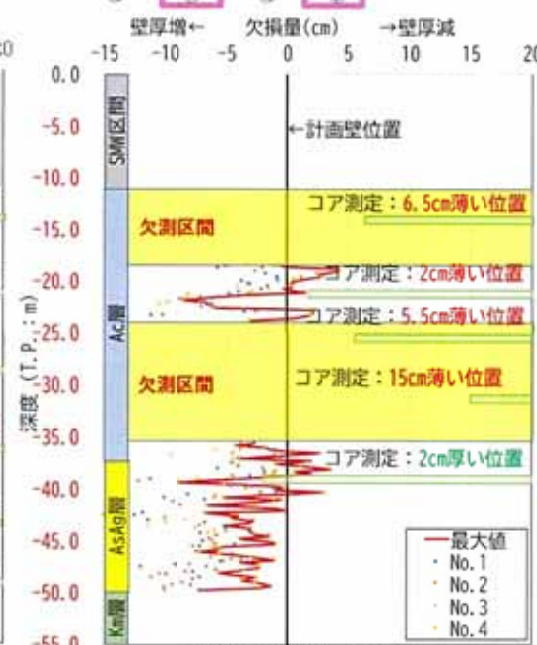
剛結継手部 (⑪区画)

- ・ 音響探査では, +10cm~-6cmの壁厚を確認した。全体的に起伏が大きい。
- ・ コア測定では, -7cm~-5cmの壁厚を確認した。



剛結継手部 (⑬区画)

- ・ 音響探査では, 地盤改良の影響で地盤が乱れ, 採用可能な直達波が得られなかった。
- ・ コア測定では, +9.5cm~-12cmの壁厚を確認した。



剛結継手部 (⑮区画)

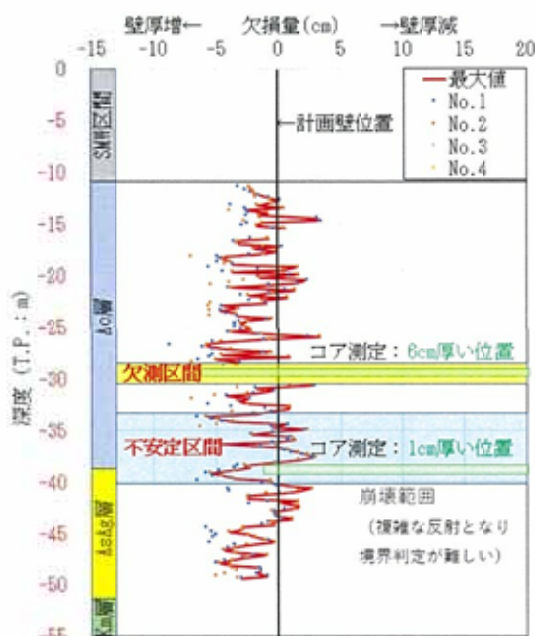
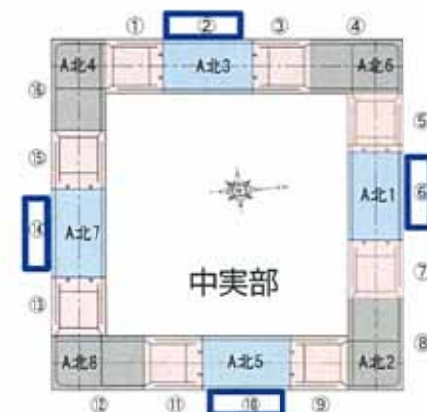
- ・ 音響探査では, +9cm~-4cmの壁厚を確認した。全体的に欠測区間が多い。
- ・ コア測定では, +2cm~-15cmの壁厚を確認した。

(参考) 音響探査及びコア採取結果 (北基礎)

北基礎

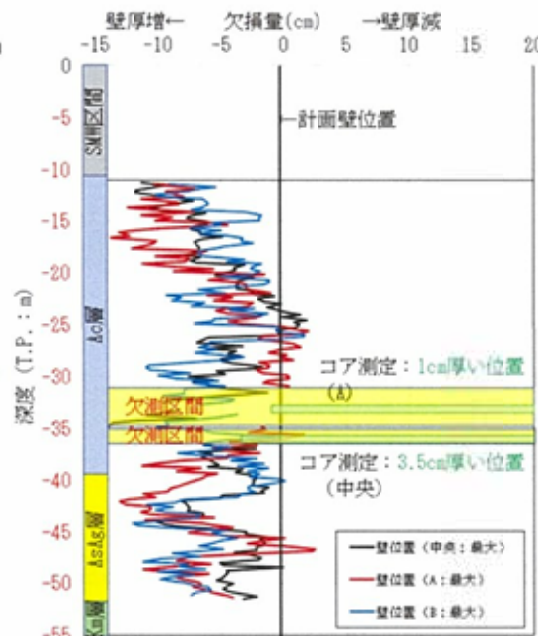
3) 非剛結継手部 (先行エレメント) ②, ⑥, ⑩, ⑭区画

- ・ 探査の結果, 地山側の非剛結継手部 (先行エレメント) において未充填の発生 (最大3cm以下)を確認した。
- ・ 水平コア及び音響探査の結果は整合していることを確認した。



非剛結継手部 (②区画)

- ・ 音響探査では, +6cm~-3cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +6cm~+1cmの壁厚を確認した。



非剛結継手部 (⑥区画)

- ・ 音響探査では, +15cm~-2cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +3.5~+0.5cmの壁厚を確認した。



非剛結継手部 (⑩区画)

- ・ 音響探査では, 地盤改良の影響で地盤が乱れ, 採用可能な直達波が得られなかった。
- ・ コア測定では, +2cm~+0.5cmの壁厚を確認した。



非剛結継手部 (⑭区画)

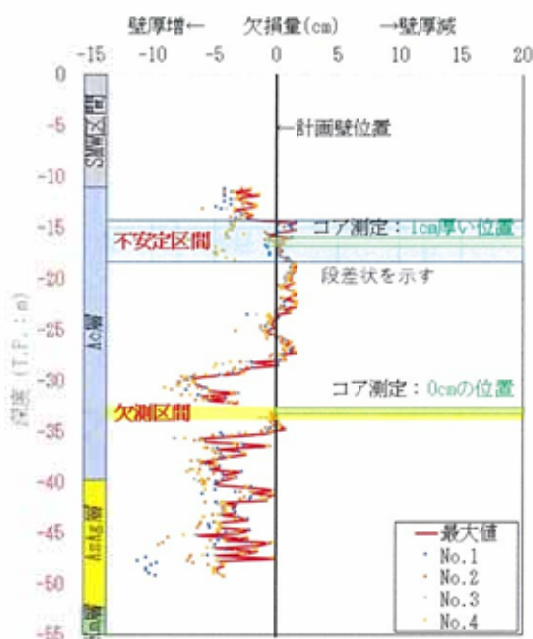
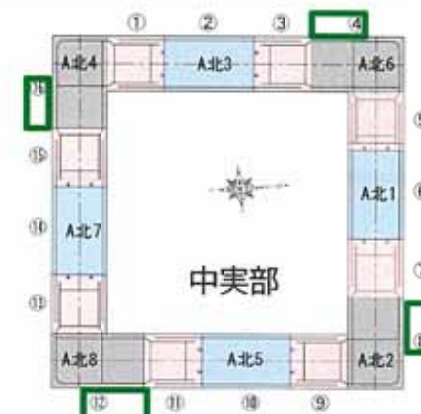
- ・ 音響探査では, 地盤改良の影響で地盤が乱れ, 採用可能な直達波が得られなかった。
- ・ コア測定では, +5cm~+1cmの壁厚を確認した。

(参考) 音響探査及びコア採取結果 (北基礎)

北基礎

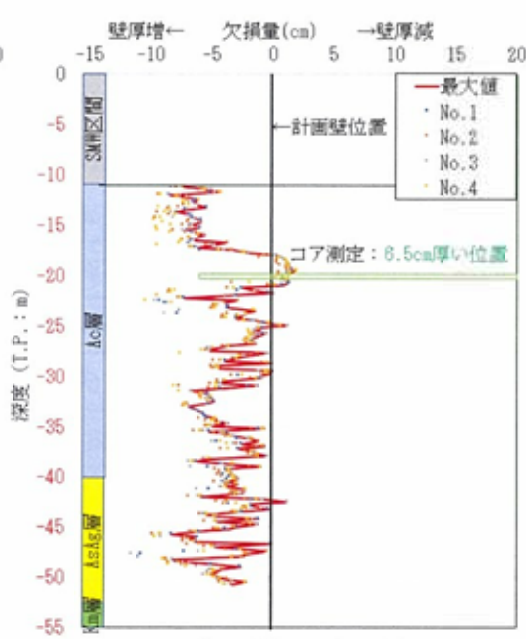
4) 非剛結継手部 (後行エレメント) ④, ⑧, ⑫, ⑯区画

- ・ 探査の結果, 地山側の非剛結継手部 (後行エレメント) において未充填の発生 (最大2cm以下)を確認した。
- ・ 水平コア及び音響探査の結果は整合していることを確認した。



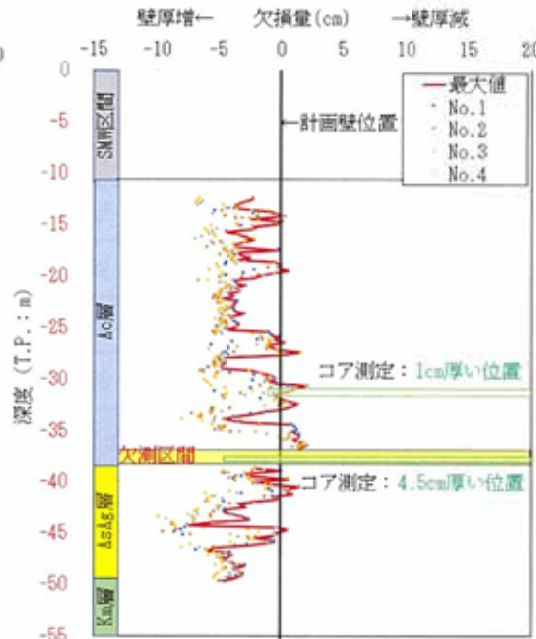
非剛結継手部 (④区画)

- ・ 音響探査では, +7cm~-2cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +1cm~0cmの壁厚を確認した。



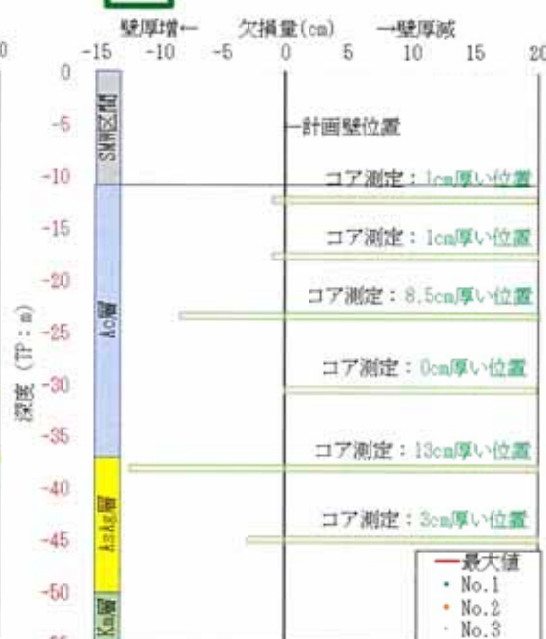
非剛結継手部 (⑧区画)

- ・ 音響探査では, +8cm~-2cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +6.5cmの壁厚を確認した。



非剛結継手部 (⑫区画)

- ・ 音響探査では, +7cm~-2cmの壁厚を確認した。
- ・ コア測定では, +4.5cm~+1cmの壁厚を確認した。



非剛結継手部 (⑯区画)

- ・ 音響探査では, 地盤改良の影響で地盤が乱れ, 採用可能な直達波が得られなかった。
- ・ コア測定では, +13cm~0cmの壁厚を確認した。

(参考) 非剛結継手部 地山側鉄筋のかぶり厚について

南基礎

➤ 鉄筋かごの現状の位置を考慮しても鉄筋の最小かぶり70mm※を満足していることを確認した

※道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編（平成24年3月，公益社団法人 日本道路協会），pp.187～188

南基礎 非剛結継手部 地山側鉄筋かぶり厚 純かぶり = かぶり厚 - 地山側未充填深さ

鉄筋位置図TP-45.0m付近

区画	エレメント区分	外縁鉄筋	地山側未充填深さ※1 (mm)	純かぶり (mm)					
				T.P. -1.8m		T.P. -27.0m		T.P. -45.0m	
				かぶり厚※2	純かぶり	かぶり厚※2	純かぶり	かぶり厚※2	純かぶり
②	先行	①側 水平	30	159	129	159	129	159	129
		③側 水平	30	144	114	144	114	144	114
④	後行	後行水平	0	188	188	116	116	145	145
		後行水平	0	127	127	188	188	175	175
⑥	先行	⑤側 水平	10	154	144	154	144	154	144
		⑦側 水平	10	139	129	139	129	139	129
⑧	後行	後行水平	30	138	108	163	133	193	163
		後行水平	30	165	135	233	203	149	119
⑩	先行	⑨側 水平	10	178	168	178	168	178	168
		⑪側 水平	10	186	176	186	176	186	176
⑫	後行	後行水平	40	112	72	233	193	233	193
		後行水平	40	201	161	163	123	163	123
⑭	先行	⑬側 水平	0	154	154	154	154	154	154
		⑮側 水平	0	134	134	134	134	134	134
⑯	後行	後行水平	10	150	140	133	123	88	78
		後行水平	10	159	149	215	205	147	137

※1 音響探査，水平コアにより測定した値

※2 鉄筋の位置ずれ調査結果を考慮したかぶり厚

— 先行鉄筋
— 後行鉄筋

(参考) 非剛結継手部 地山側鉄筋のかぶり厚について

北基礎

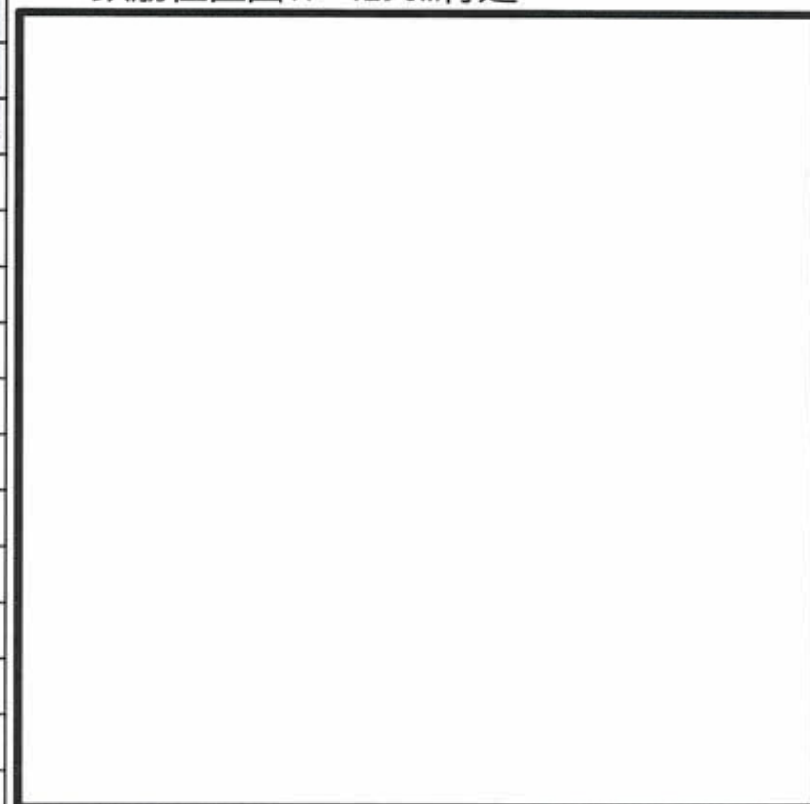
➤ 鉄筋かごの現状の位置を考慮しても鉄筋の最小かぶり70mm※を満足していることを確認した

※道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編（平成24年3月，公益社団法人 日本道路協会），pp.187～188

北基礎 非剛結継手部 地山側鉄筋かぶり厚 純かぶり = かぶり厚 - 地山側未充填深さ

鉄筋位置図TP-42.0m付近

区画	エレメント区分	外縁鉄筋	地山側未充填深さ※1 (mm)	純かぶり (mm)					
				T.P.-1.8m		T.P.-17.0m		T.P.-42.0m	
				かぶり厚※2	純かぶり	かぶり厚※2	純かぶり	かぶり厚※2	純かぶり
②	先行	①側 水平	30	168	138	174	144	196	166
		③側 水平	30	180	150	189	159	170	140
④	後行	後行水平	20	155	135	135	115	175	155
		後行水平	20	152	132	129	109	149	129
⑥	先行	⑤側 水平	20	162	142	130	110	131	111
		⑦側 水平	20	154	134	157	137	127	107
⑧	後行	後行水平	20	150	130	191	171	127	107
		後行水平	20	111	91	123	103	100	80
⑩	先行	⑨側 水平	0	157	157	150	150	147	147
		⑪側 水平	0	156	156	155	155	121	121
⑫	後行	後行水平	20	137	117	184	164	91	71
		後行水平	20	148	128	129	109	217	197
⑭	先行	⑬側 水平	0	194	194	122	122	229	229
		⑮側 水平	0	209	209	197	197	200	200
⑯	後行	後行水平	0	165	165	199	199	243	243
		後行水平	0	136	136	119	119	147	147



— 先行鉄筋
— 後行鉄筋

※1 音響探査, 水平コアにより測定した値

※2 鉄筋の位置ずれ調査結果を考慮したかぶり厚

