
東海第二発電所 設計及び工事計画に係る説明資料

防潮堤（鋼製防護壁）の設計変更

2024年2月13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. 防潮堤（鋼製防護壁）の概要
2. 防潮堤（鋼製防護壁）で発生した不具合事象の概要
 - (1) 概要
 - (2) コンクリートの未充填
 - (3) 鉄筋の変形等
 - (4) 発生原因
3. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策
 - (1) 対策方針の検討
 - (2) 対策方針（補強：構造変更）
 - (3) コンクリート未充填及び鉄筋の変形等の対策
4. 防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更に係る影響確認
 - (1) 影響確認の概要
 - (2) 影響確認の方針
 - (3) 影響確認の結果
5. 時系列の整理
 - (1) 事象発生に係る経緯
 - (2) 問題点の抽出（工事段階のプロセスの検証）

1. 防潮堤（鋼製防護壁）の概要（1 / 5）

【補正の経緯】

- 平成30年10月に工事計画の認可を受け、それ以降、防潮堤（鋼製防護壁）の設置工事を実施してきた。
- 同工事において防潮堤（鋼製防護壁）の基礎の一部である地中連続壁部の構築及び中実部の掘削において、不具合事象を確認した。
- 本不具合事象について調査・検討を行った結果、設計の変更（補強による強度確保）が必要と判断した。この設計の変更は、調査が終了した南基礎の調査結果に基づき検討を行っているが、調査中の北基礎に対しても保守的な評価をしており、この対策に包含される見込みである。このため、見直した設計に基づく設工認を補正した。

1. 防潮堤（鋼製防護壁）の概要（2 / 5）

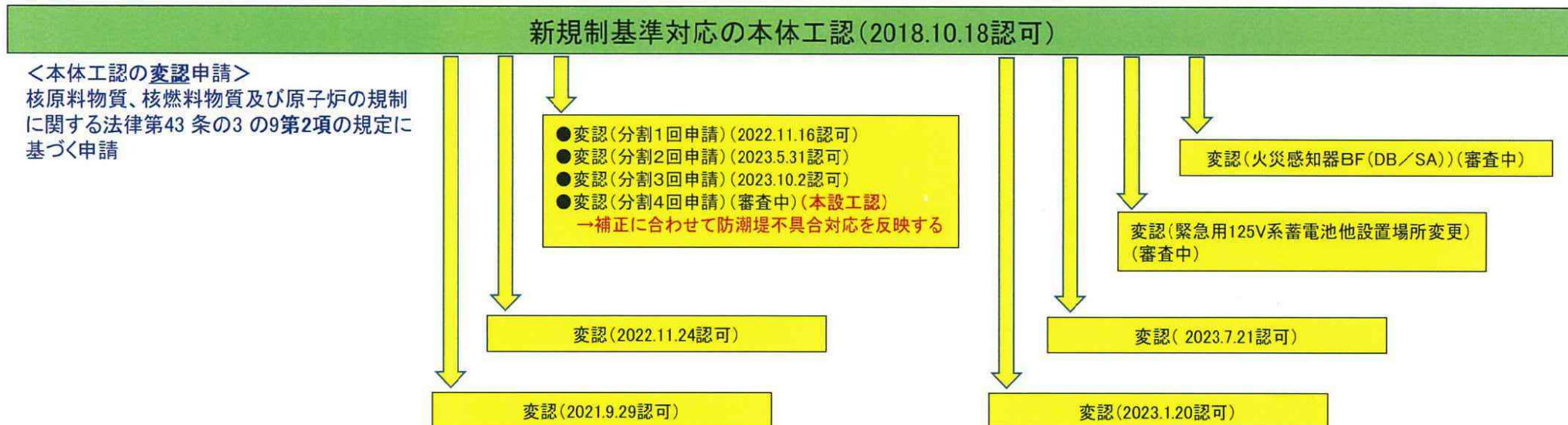
【申請の方法】

- 現在申請中の設計及び工事の計画の変更(令和5年5月31日付け発室発第39号)(以下, 本設工認申請)の補正※を行うとともに, これに合わせて添付書類に本構造変更を反映する。
- また, 本設工認申請は平成30年10月18日付け原規規発第1810181号(以下, 本設工認)の変更認可申請として行っているものであるため今回の補正により, 本体の工事計画が変更(上書き)されることになる。(次頁「東海第二発電所設計及び工事計画認可申請の申請状況」参照)

※手続き方法として, 当該不具合を踏まえた構造を反映するための本設工認の変更認可申請の方法が考えられるが, 変更認可申請の認可後に本設工認申請においても審査が必要となるため, 手続きの合理性及び安全対策工事の早期完了の観点から, 本設工認申請の補正手続きを行った。

1. 防潮堤（鋼製防護壁）の概要（3 / 5）

<東海第二発電所設計及び工事計画認可申請の申請状況>



<新規の工事計画の申請>

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第43条の3の9第1項の規定に基づく申請

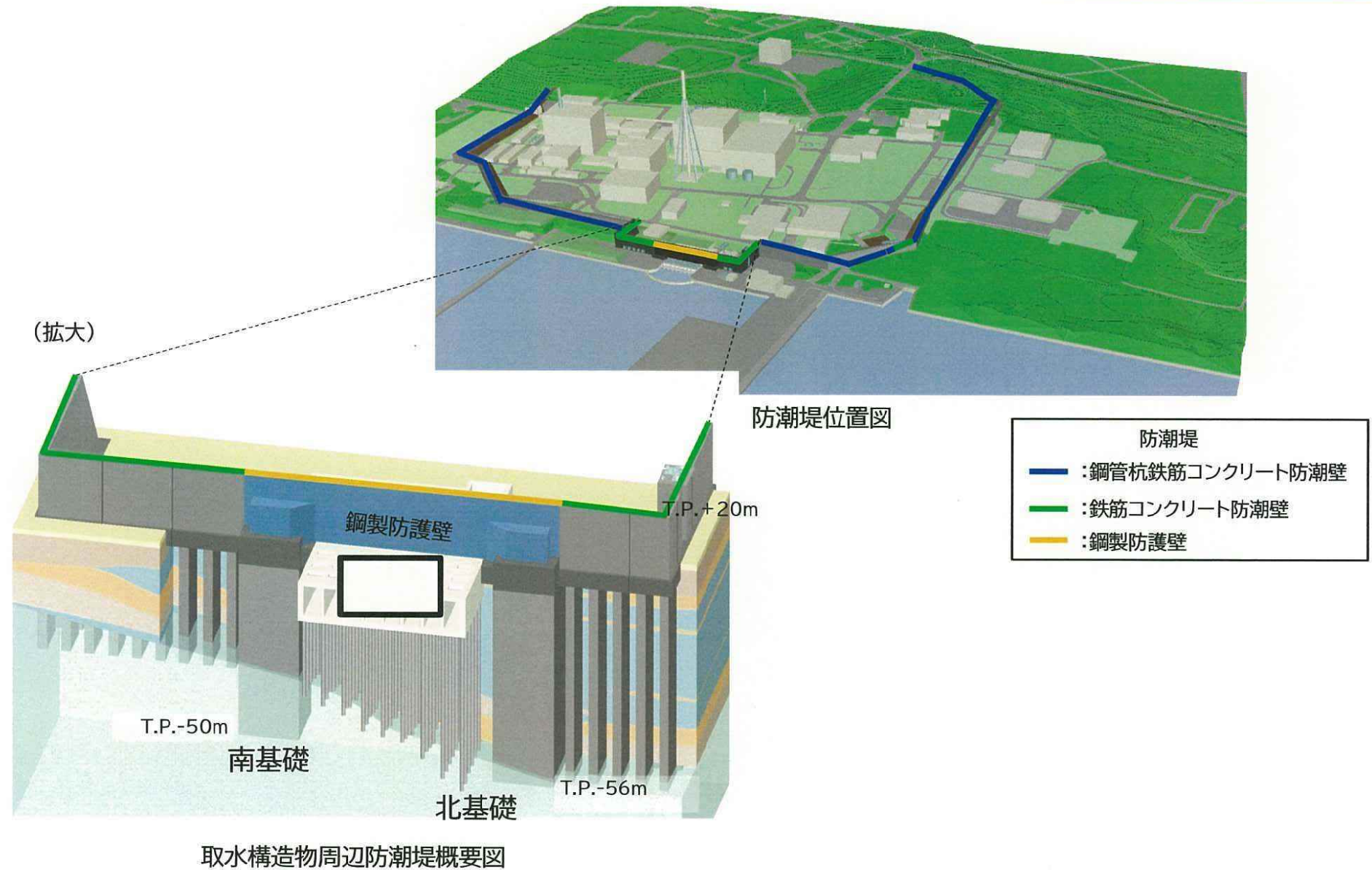
設工認(所内常設直流電源設備(3系統目))(審査中)

(設計及び工事の計画の認可)

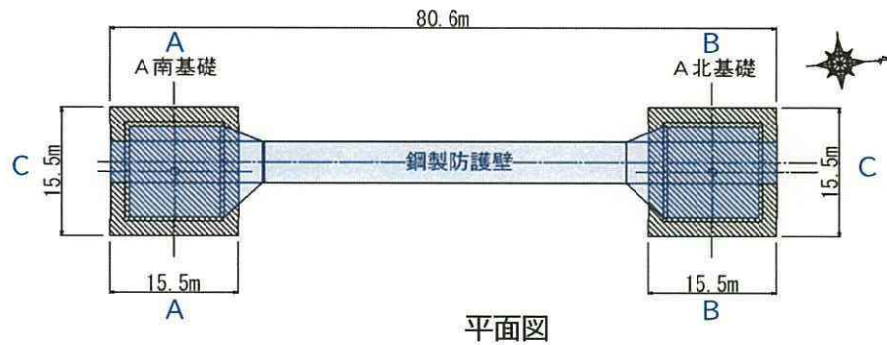
第43条の3の9 発電用原子炉施設の設置又は変更の工事(核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は発電用原子炉による災害の防止上特に支障がないものとして原子力規制委員会規則で定めるものを除く。)をしようとする発電用原子炉設置者は、原子力規制委員会規則で定めるところにより、当該工事に着手する前に、その設計及び工事の方法その他の工事の計画(以下この節において「設計及び工事の計画」という。)について原子力規制委員会の認可を受けなければならない。ただし、発電用原子炉施設の一部が滅失し、若しくは損壊した場合又は災害その他非常の場合において、やむを得ない一時的な工事とするときは、この限りでない。

2 前項の認可を受けた者は、当該認可を受けた設計及び工事の計画を変更しようとするときは、原子力規制委員会規則で定めるところにより、原子力規制委員会の認可を受けなければならない。ただし、その変更が原子力規制委員会規則で定める軽微なものであるときは、この限りでない。

1. 防潮堤（鋼製防護壁）の概要（4 / 5）

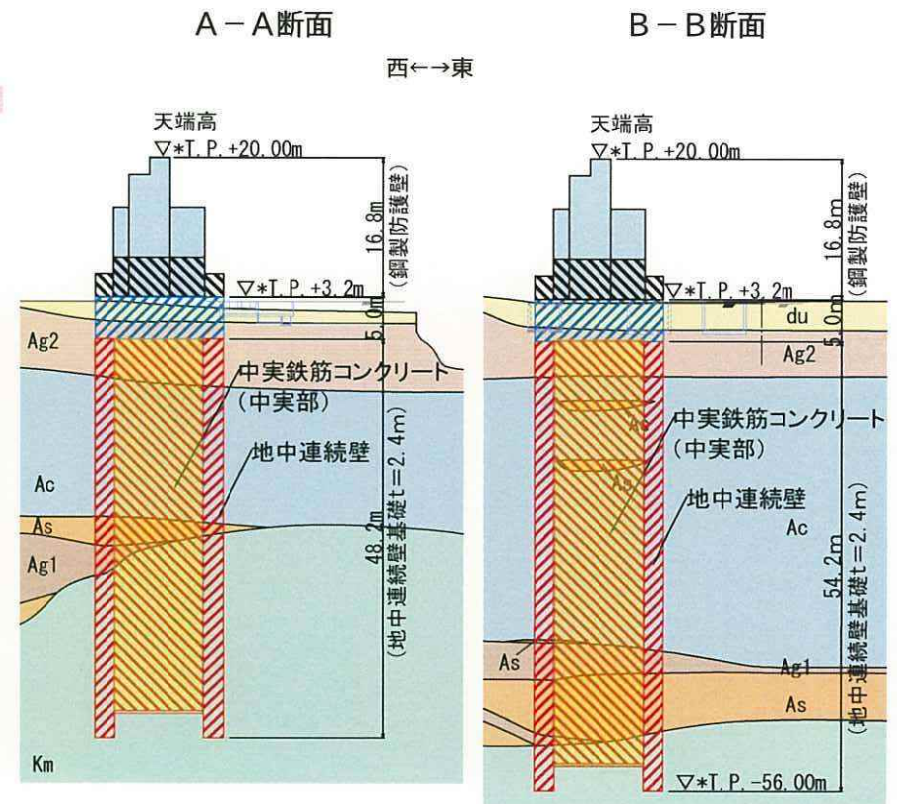
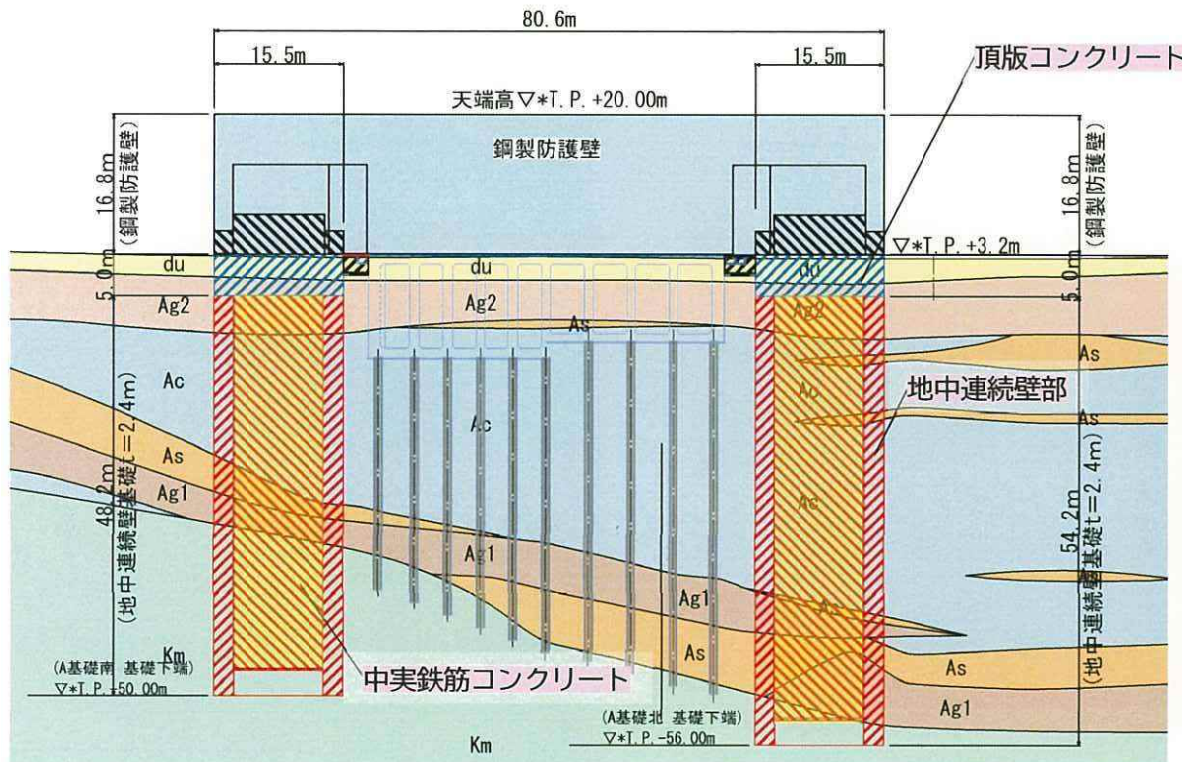


1. 防潮堤（鋼製防護壁）の概要（5/5）



鋼製防護壁の基礎の構築は以下の手順で実施

1. 地中連続壁部を地上より構築
2. 地中連続壁部を土留めとして中実部を掘削
3. 掘削後下端より鉄筋コンクリートを地中連続壁部と一体化するよう構築
4. 同上部に頂版コンクリートを構築



2. 防潮堤（鋼製防護壁）で発生した不具合事象の概要（1 / 6）

(1) 概要

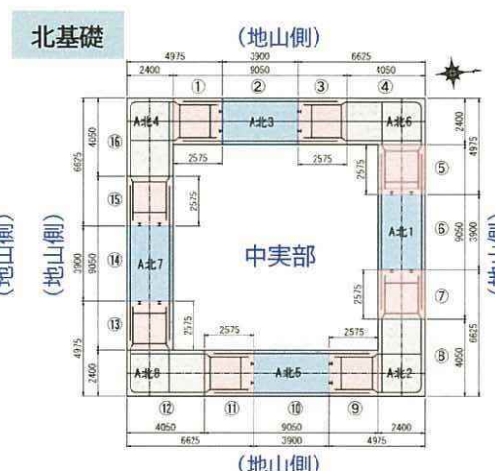
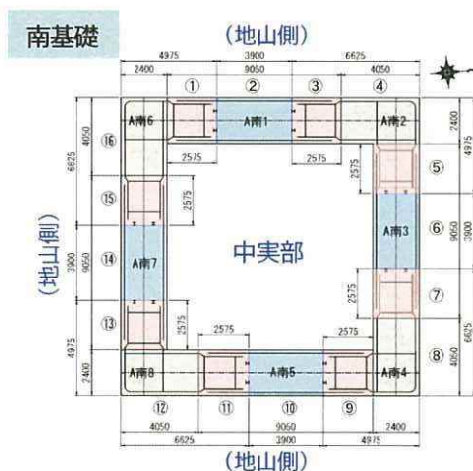
地中連続壁部構築後、中実部の掘削により、地中連続壁部にコンクリートの未充填及び鉄筋の変形等を確認した。南北基礎における不具合事象の発生の確認状況を下表に示す。

不具合事象の確認状況

不具合項目	南基礎		北基礎（調査中）	
	中実部側	地山側	中実部側	地山側
コンクリートの未充填	あり (目視観察)	あり (音響探査等)	あり (目視観察)	あり (音響探査等)
鉄筋の変形等 (水平鉄筋の変形)	あり (目視観察)	あり※ (評価)	あり (目視観察)	評価中 (評価)
鉄筋の高止まり	なし (施工記録)		あり (施工記録)	

注：記載下段は調査方法

※参考資料4. (1)参照



- 先行EL
- 後行EL
- 先行ELと後行ELの剛結継手部

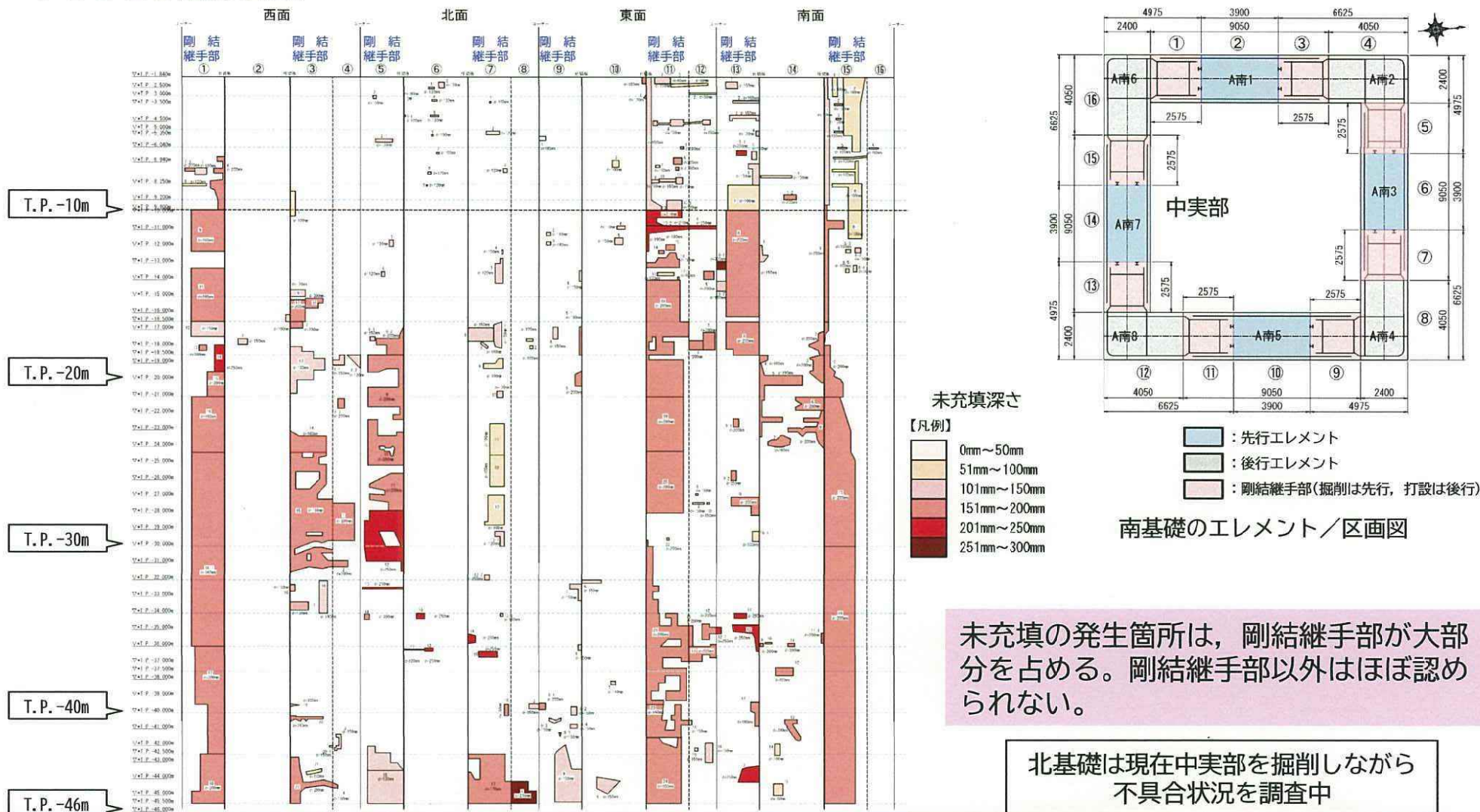
黄ハッチ部について次頁
以降に概要を示す。

鋼製防護壁基礎のうち地中連続壁部（口の字型）

2. 防潮堤（鋼製防護壁）で発生した不具合事象の概要（2/6）

(2) コンクリートの未充填

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。

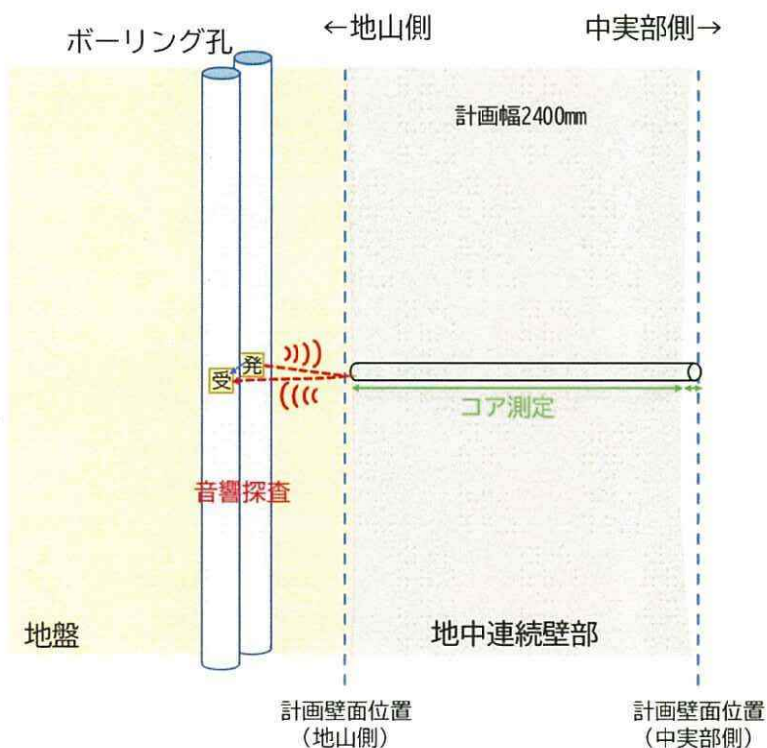


南基礎中実部側地中連続壁面の観察結果

2. 防潮堤（鋼製防護壁）で発生した不具合事象の概要（3 / 6）

(2) コンクリートの未充填

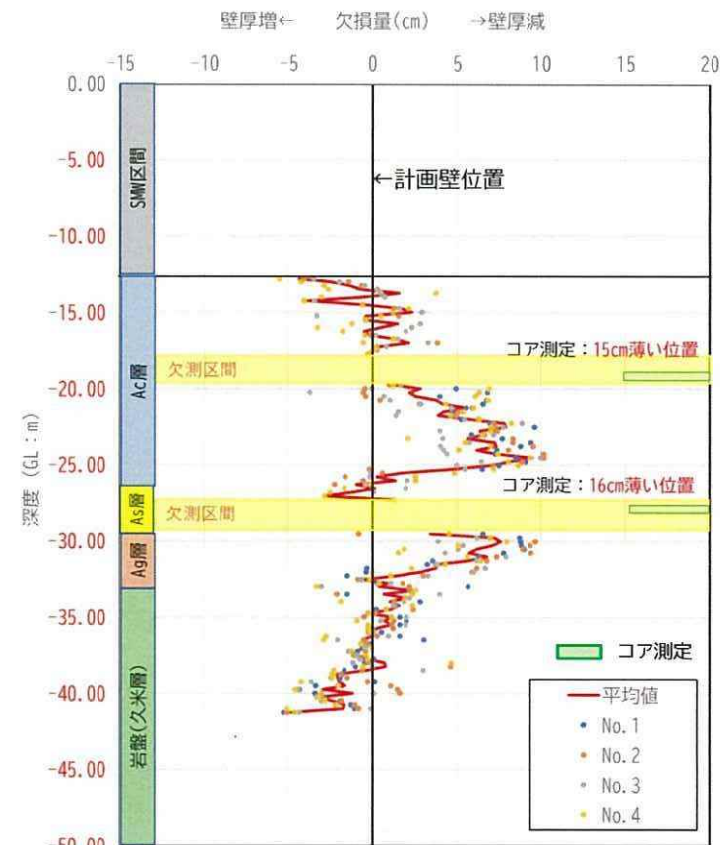
発生原因（(4) a.2参照）より，地山側のコンクリート未充填の発生傾向を検討し，はらみ出しが大きいと評価された位置で探査等を実施した。



地山側壁面の調査方法

各区画の掘置期間

区画	掘置期間
①	260日間
②	9日間
③	50日間
④	9日間
⑤	27日間
⑥	8日間
⑦	71日間
⑧	7日間
⑨	24日間
⑩	8日間
⑪	89日間
⑫	9日間
⑬	51日間
⑭	8日間
⑮	152日間
⑯	6日間



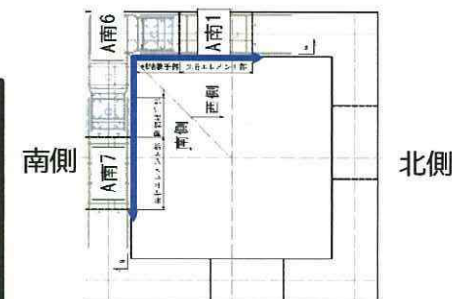
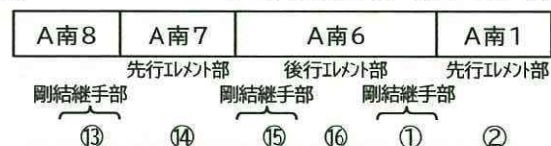
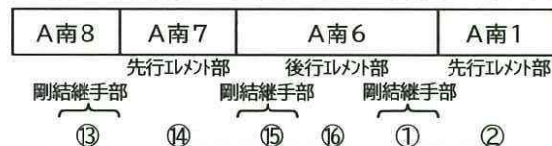
地山側壁面の調査結果
(①の区画)

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(20cm以下)を確認した。

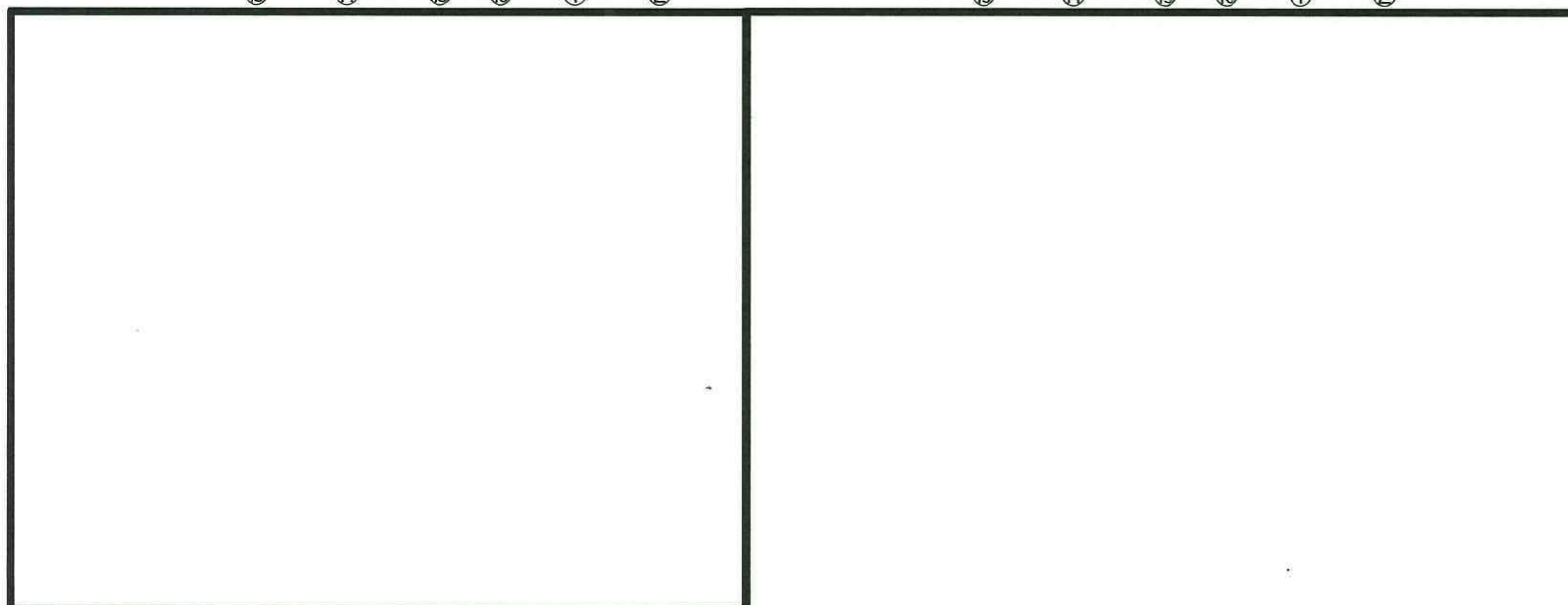
2. 防潮堤（鋼製防護壁）で発生した不具合事象の概要（4／6）

(3) 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。



(拡大)



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

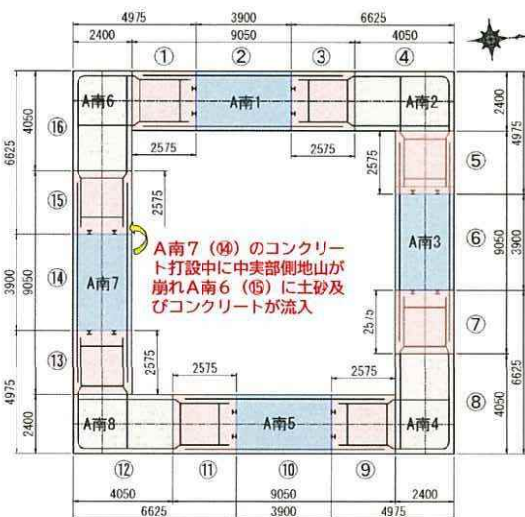
南基礎中実部側地中連続壁面の鉄筋の変形等の調査結果

2. 防潮堤（鋼製防護壁）で発生した不具合事象の概要（5 / 6）

(4) 発生原因 a. コンクリートの未充填

南基礎の未充填部の状況や施工情報を確認した結果、未充填の原因は以下の2点。

1) A南7コンクリート打設時に流入した土砂等の撤去残り

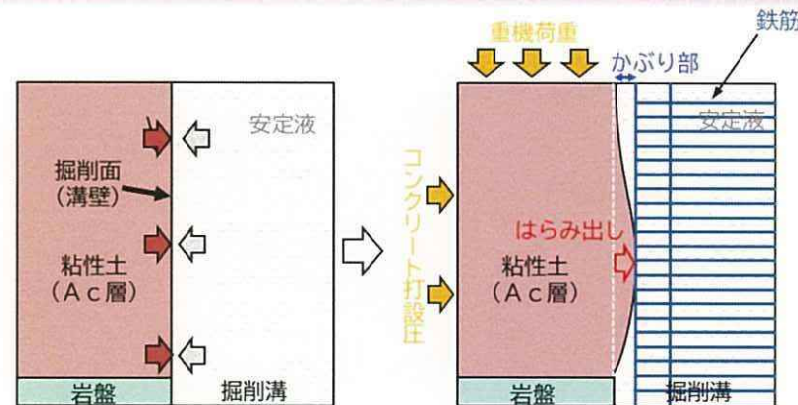


(05の拡大)

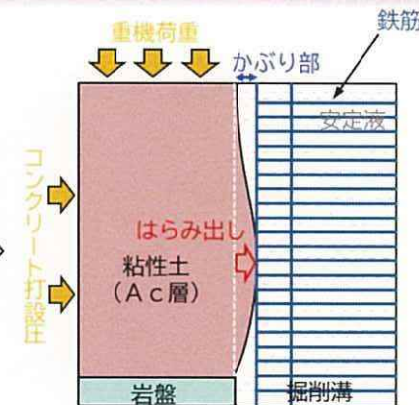


後行エレメントの鉄筋（緑の鉄筋）を建て込む前に流入した土砂等を撤去した。ただし、中実部側の先行エレメントの鉄筋と溝壁の間の撤去ができず中実部掘削時に対応するとして一部残置した。このため、当該箇所コンクリートの未充填が発生した。

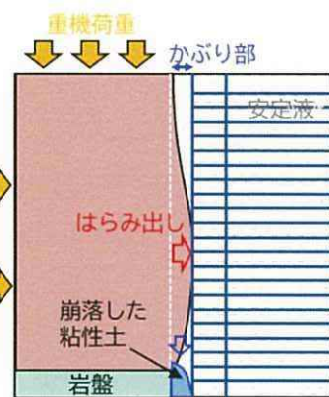
2) 溝壁の粘性土（Ac層）のはらみ出し及び同土砂の崩落



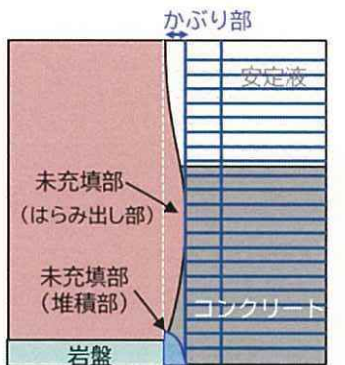
掘削面(溝壁)は安定液の水圧により変形が抑制されている。



施工時の荷重により、地盤が押され溝壁の粘性土が安定液側に变形する(はらみ出す)。



はらみ出しが継続し、その一部が下方に崩落し、土砂として堆積する。



はらみ出し及び崩落・堆積した粘性土がかぶり部に居残り、コンクリートで置き換わらず未充填部が生成される。

2. 防潮堤（鋼製防護壁）で発生した不具合事象の概要（6 / 6）

(4) 発生原因 b. 鉄筋の変形等

A南6にて確認した鉄筋の変形等の原因は以下のとおり。

A南7のコンクリート打設時に中実部側地山が崩れ、土砂等がA南6（⑮の区画）に流入・堆積。



同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鉄筋に接触し、同鉄筋を変形（凸部の生成）。



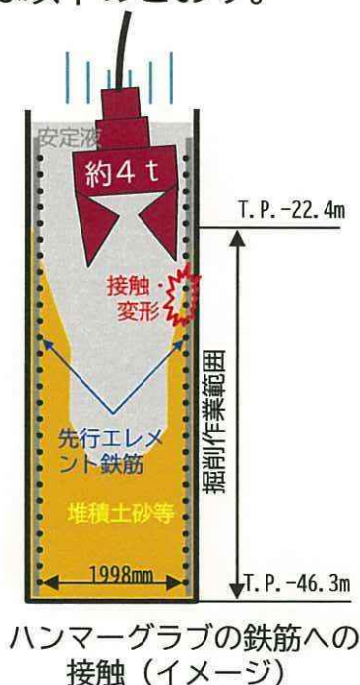
同土砂等の撤去に堆積土砂等切削治具を利用。同治具が設置済鉄筋に接触し、同鉄筋が変形（凸部の生成）。



後行エレメントの鉄筋建込みにて設置済鉄筋の変形部（凸部）に接触・干渉し、先行・後行の鉄筋かごの広範囲に変形等が発生。

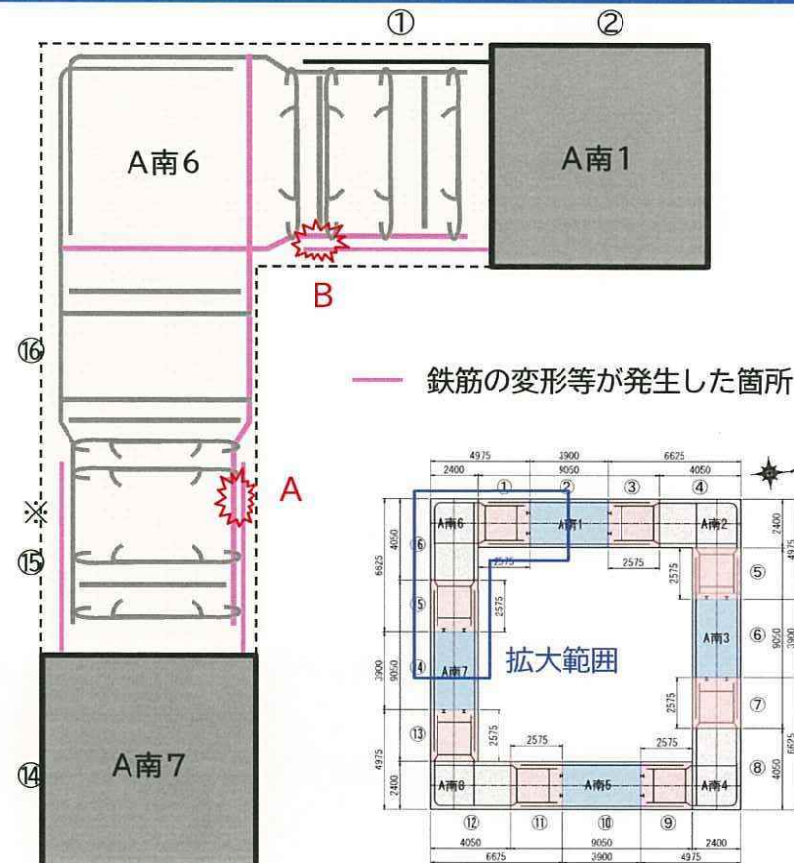


⑮の区画の接触により後行エレメントの鉄筋かごがA南7側（東側）にずれ、①の区画でも鉄筋同士が接触し、①の区画でも鉄筋の変形が発生。



…A

…B



※土砂等撤去の際の超音波記録に凸部を確認。後行エレメントの鉄筋かご建込み前の記録では凸部がなくなっており、先の記録は撤去中の土砂の可能性もあるが、保守的に変形したものと評価する。

鉄筋の変形等の発生箇所 （南基礎）

北基礎で発生した高止まりについても
現在中実部を掘削しながら原因を調査中

3. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策（1 / 6）

(1) 対策方針の検討

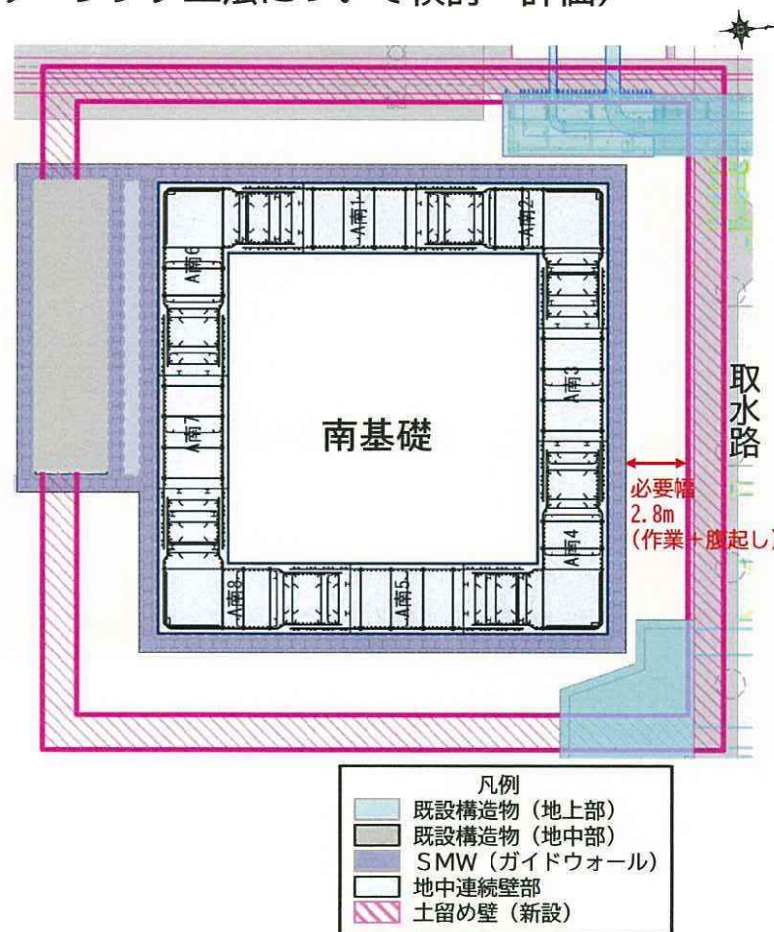
不具合事象の対策として当該箇所を補修する方法（地山側の当該箇所へアクセスし、補修する方法）、撤去し再構築する方法を施工成立性，作業性，安全性の観点で検討・評価した。

（土留め壁新設，地盤改良立坑，オールケーシング工法について検討・評価）

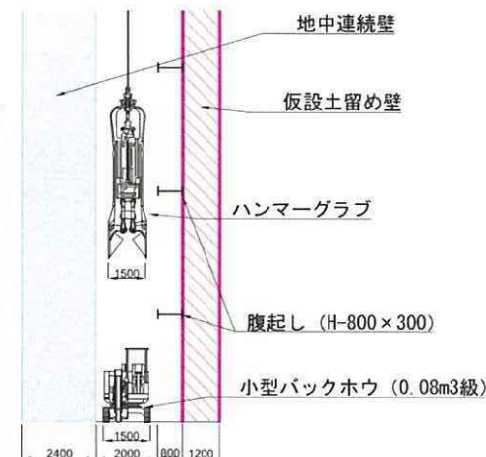
検討・評価結果

方法	土留め壁新設
目的	地山側の補修／撤去・再構築
概要	地中連続壁部の外側に新たに土留め壁を設置した後，地中連続壁部の周囲を掘削し，補修（解体）作業場所を確保する。
施工性	× 地中連続壁部の近傍に取水路（非常用海水の取水路含む）があり，土留め壁の設置場所が確保できない。
作業性	—
安全性	—
総合評価	×

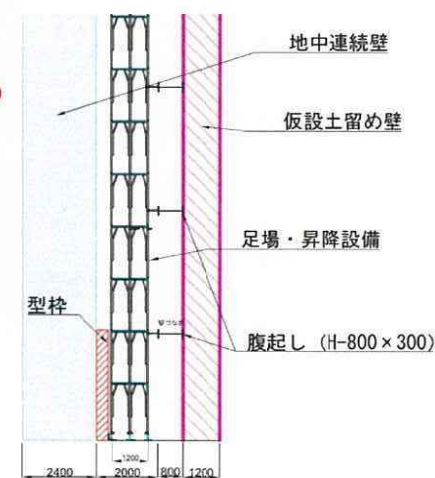
各観点で「×」となったものは総合評価を×とする。



土留め壁新設概要



掘削作業時



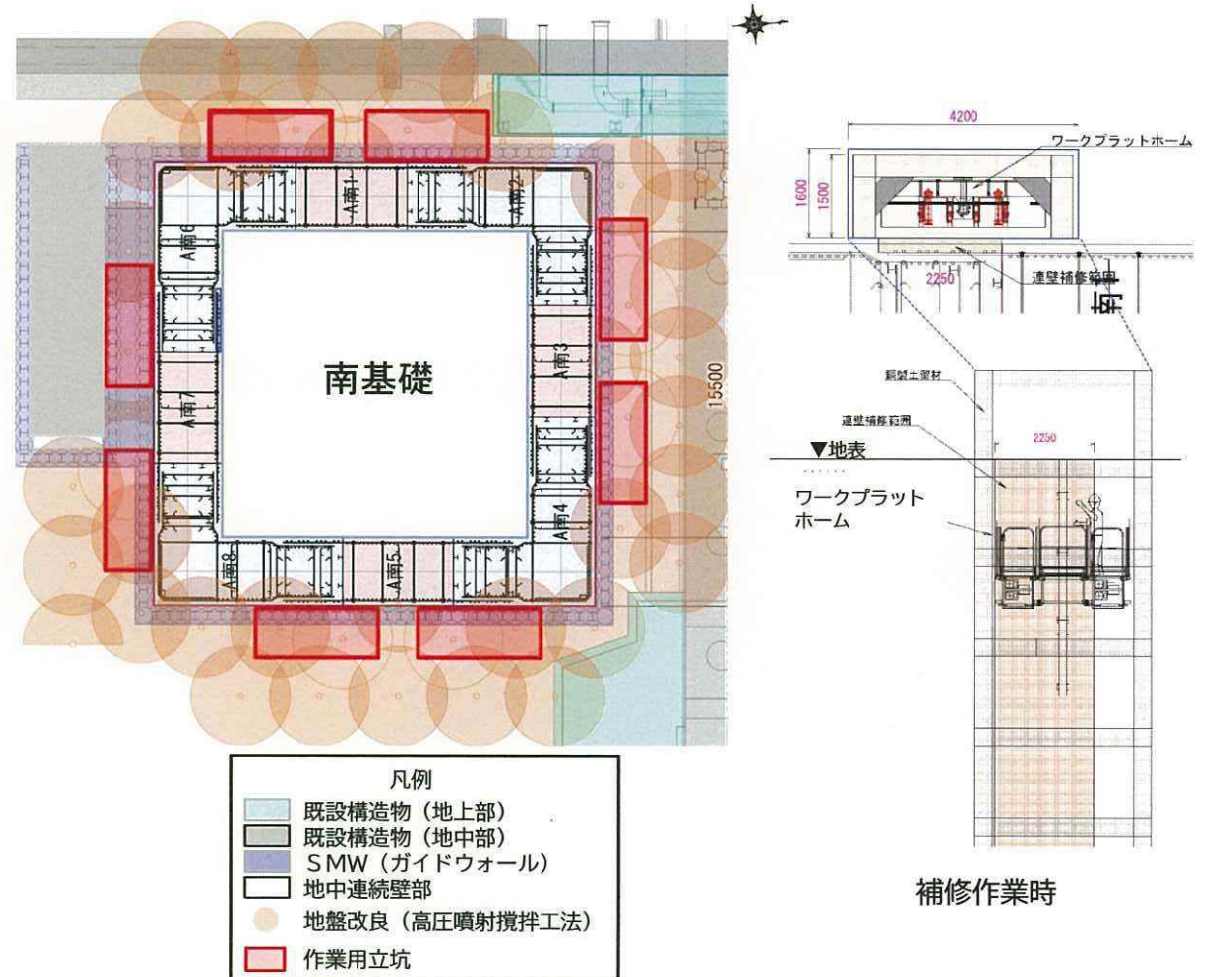
補修作業時

3. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策（2／6）

(1) 対策方針の検討

不具合事象の対策として当該箇所を補修する方法（地山側の当該箇所へアクセスし、補修する方法）、撤去し再構築する方法を施工成立性，作業性，安全性の観点で検討・評価した。

検討・評価結果	
方法	地盤改良立坑
目的	地山側の補修
概要	地中連続壁部の外側を地盤改良し、補修箇所全面に立坑（4m×2m）を設置し、補修作業場所を確保する。作業は作業用昇降カゴ上で実施する。
施工成立性	△ 立坑により作業場所の確保は可能。ただし、地盤改良で完全な止水は困難であり、作業上のリスクとなる。
作業性	△ 狭隘場所（4m×2m）での作業
安全性	× 緊急時避難の確保が困難
総合評価	× 各観点で「×」となったものは総合評価を×とする。



地盤改良立坑 概要

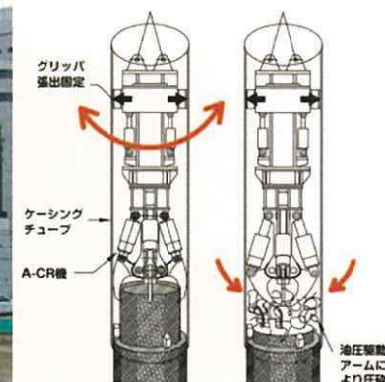
3. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策（3／6）

(1) 対策方針の検討

不具合事象の対策として当該箇所を補修する方法（地山側の当該箇所へアクセスし、補修する方法）、撤去し再構築する方法を施工成立性、作業性、安全性の観点で検討・評価した。

検討・評価結果

方 法	オールケーシング工法
目 的	撤去・再構築
概 要	地上より全周回転掘削機により、地中構造物を切削し、解体・撤去する。
施 工 成 立 性	× 本施設は施工実績の深度(50m)を超過している（北基礎約60m）。また、使用材料（コンクリート40N/mm ² ，鉄筋SD490-D51等）も施工実績と乖離している。
作 業 性	—
安 全 性	—
総 合 評 価	×



オールケーシング工法

不具合事象の対策として当該箇所を補修する方法（地山側の当該箇所へアクセスし、補修する方法）及び撤去し再構築する方法を評価した結果、施工成立性及び安全性の観点から、現実的ではないと判断した。

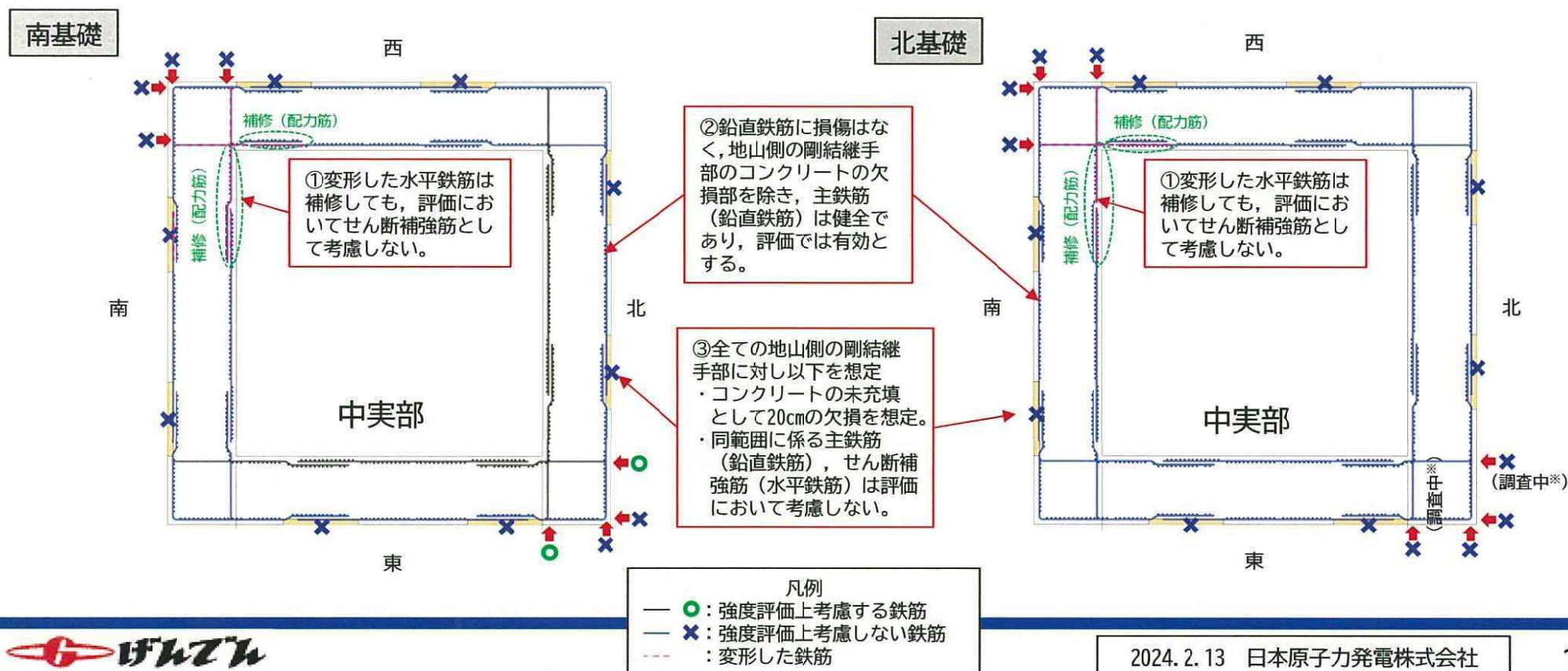
3. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策（4／6）

(2) 対策方針（補強：構造変更）

地山側の補修又は撤去・再構築による現設計への復旧が現実的でないとの評価に対し、中実部での対策であれば「安全にかつ作業性を確保した施工が可能であること」から、地山側の構造不具合の補修に代え、中実部の鉄筋コンクリートを現計画以上に補強（構造変更）する。その際、鋼製防護壁基礎として従前の耐力以上を確保するよう計画する。

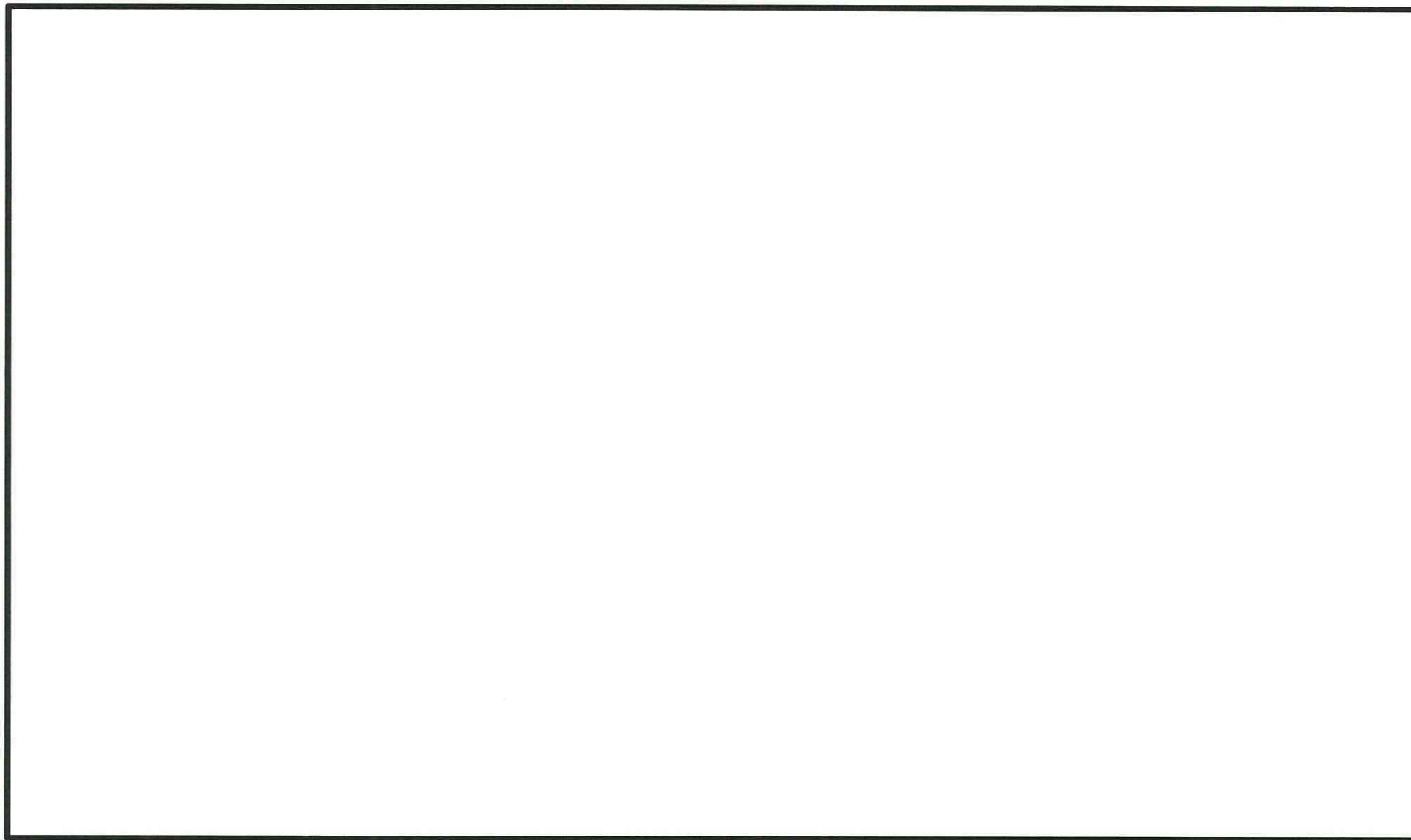
- ・ 調査結果を踏まえ、地山側の全ての剛結継手部区間にコンクリートの欠損（保守性を持たせ20cmと設定）を想定し、この欠損部の鉛直鉄筋（主鉄筋）と地山側の全ての水平鉄筋（せん断補強筋）は構造強度として期待しない。
- ・ 中実部側のコンクリート未充填は、中実部の構築時に補修等により再充填することから欠損とは扱わない（鉄筋の変形等がある箇所鉄筋は構造強度として期待しない）。北基礎は調査が完了していないことを踏まえ、中実部側の全ての水平鉄筋（せん断補強筋）を構造強度として期待しない。

上記の地中連続壁部において想定すべき構造不具合（強度等の評価に考慮できない）箇所を下図に示す。



3. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策（5 / 6）

(2) 対策方針（補強：構造変更）…南基礎



3. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策（6／6）

(3) コンクリートの未充填及び鉄筋の変形等の対策

地中連続壁部の不具合による構造強度の低下に対しては「(2) 対策方針（補強：構造変更）」により当初の構造強度以上を確保する方針である。これに加え、構造物の品質向上の観点から、中実部側の壁面で確認されたコンクリートの未充填及び鉄筋の変形等について以下の対策を行う。

【地中連続壁面の整備】

地中連続壁部と中実部のコンクリートの付着を確実なものとするため下表の管理を実施していく。

地中連続壁面の整備に係る管理項目

目的	管理項目
コンクリートの密実な充填性の確保	コンクリートを充填する際にエア溜まりができないような形状の確保
	断面の半分以上露出した鉄筋に対し、同鉄筋周辺のコンクリートの流路（あき、40mm以上※）が確保できていること ※コンクリート標準示方書（2012年）を援用
	変形した鉄筋により流路が阻害されていないこと（支障となる鉄筋が撤去されていること）
露出鉄筋の腐食防止	コンクリートの未充填により露出した鉄筋に対する防せい処理（錆等の除去含む）の施工
新旧コンクリートの密着性の向上	既存コンクリート表面への吸水抑制するプライマー処理の施工

【水平鉄筋の補修】

変形した水平鉄筋については、新たに同じ仕様の鉄筋を当該箇所付近に配置し、配力筋の確保とする。変形した水平鉄筋等がこの鉄筋の再配置に支障となる場合は、これらを切断撤去する。

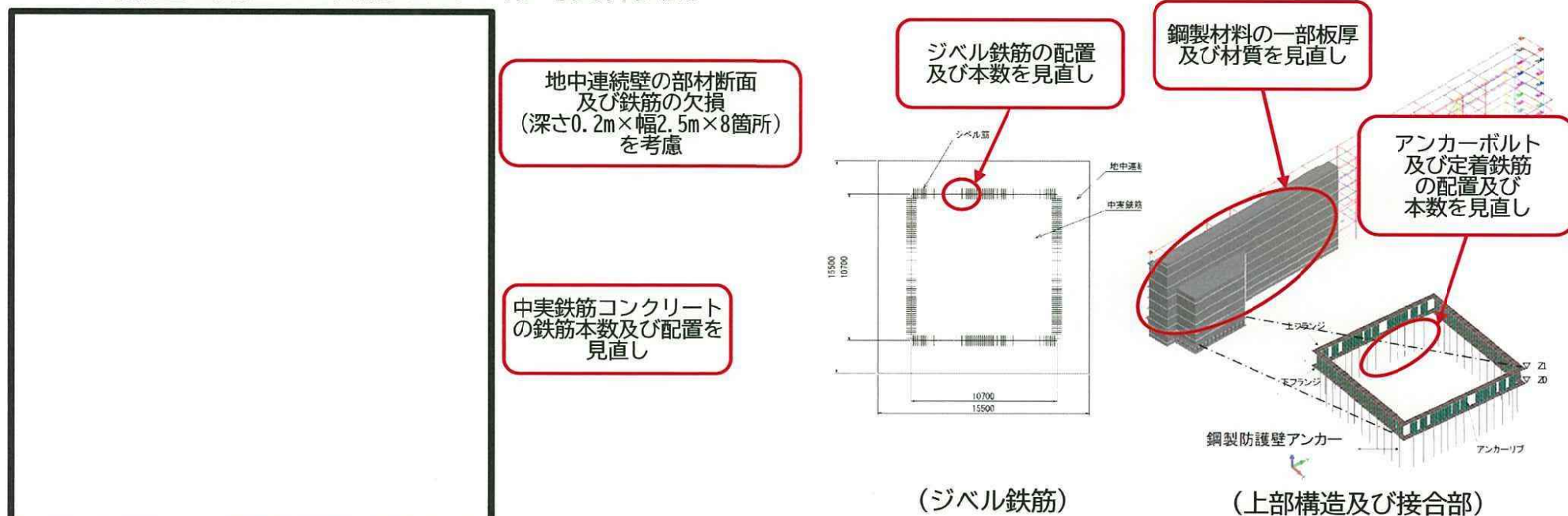
4. 防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更に係る影響確認（1 / 3）

(1) 影響確認の概要

地中連続壁基礎の不具合事象への各対策（構造変更）を踏まえ、防潮堤（鋼製防護壁）の平成30年10月に認可を受けた耐震及び耐津波評価用の解析モデルを修正し、各照査項目への影響を確認した。

具体的には、地中連続壁の壁面にて確認したコンクリートの未充填及び鉄筋の変形等を考慮し、地中連続壁及び中実鉄筋コンクリートの応答解析及び照査の見直しを実施した。本設計変更に係る防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更の詳細を「3. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策」に示す。

なお、上記の設計変更に加え、施工時における品質向上を目的として配置や数量等を変更した下部構造（地中連続壁基礎のアンカーボルト、ジベル鉄筋）及び上部構造（鋼製防護壁）についても、その仕様変更を踏まえ各照査の見直しを実施した。（参考資料参照）



地中連続壁基礎の不具合事象による設計変更

その他の設計変更

4. 防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更に係る影響確認（2 / 3）

(2) 影響確認の方針

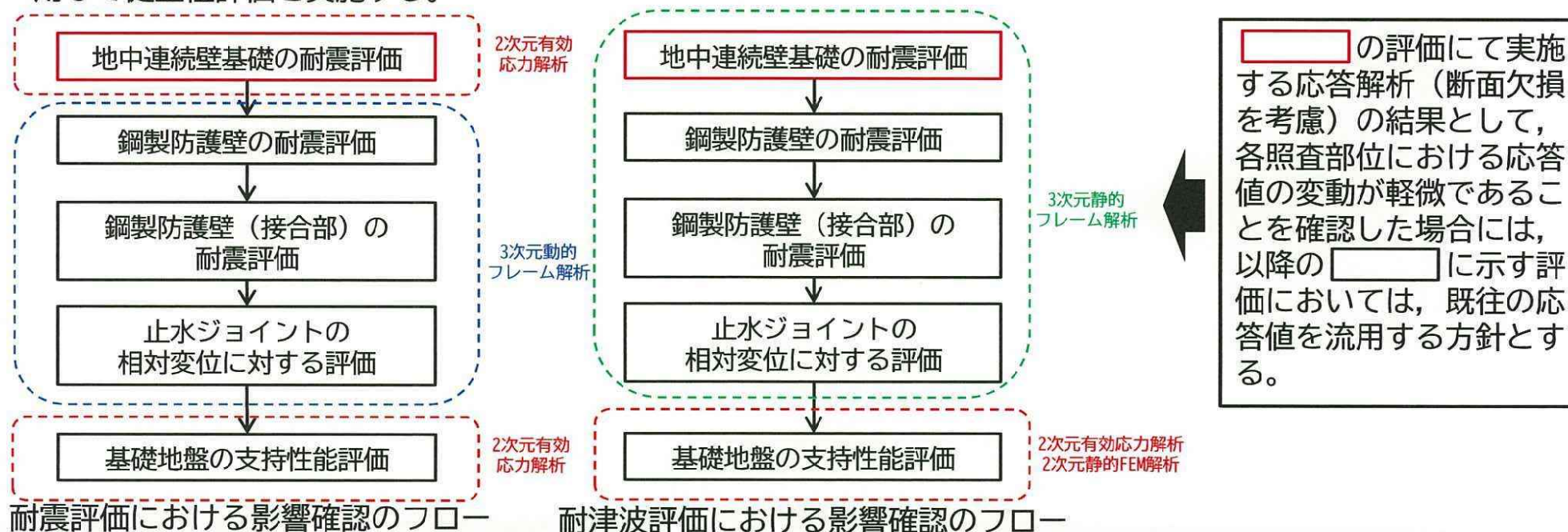
影響確認を実施するための方針は、平成30年10月に認可を受けた耐震及び耐津波評価方針と同様とすることを基本とする。ただし、各評価における検討ケース及び応答解析モデルについては、各設計変更による耐震評価への影響程度を考慮し、以下のような取扱いとする。

①耐震及び耐津波評価における検討ケース

耐震及び耐津波評価における検討ケースは、平成30年10月に認可を受けた耐震及び耐津波評価における各部材の最大照査値に対応したケース（地震動及び地盤物性のばらつきの組合せ）とする。

②各応答解析モデルの変更について

不具合事象に対応した断面欠損を考慮することで、地中連続壁基礎の応答解析モデルが変更となるが、各照査対象部位への影響程度を考慮し、影響程度が軽微である場合は、以下のフローに示すとおり、既往の応答値を流用して健全性評価を実施する。



4. 防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更に係る影響確認（3 / 3）

(3) 影響確認の結果

今回の設計変更を考慮した影響確認の結果、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、健全性が確保されることを確認した。

評価項目		照査値*1		
		耐震	耐津波	
			津波時	重畳時
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
	鉄筋コンクリートの せん断力照査	0.73	0.55	0.77
	ジベル鉄筋量の照査	0.94	0.69	0.96
鋼製防護壁に対する照査		0.82	—	0.68
鋼製防護壁（接合部） に対する照査	アンカーボルトの 照査	0.90	—	0.58
基礎地盤の支持性能に対する照査*2		最大接地圧：3861kN/m ² 極限支持力度：6116kN/m ²	—	最大接地圧：3632kN/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*2		最大変位：1.486m 許容変位：2.00m	最大変位：0.896m 許容変位：2.00m	最大変位：1.129m 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：設計変更による影響程度が軽微であることから、既工認と同様の照査値を掲載する。

5. 時系列の整理

(1) 事象発生に至る経緯

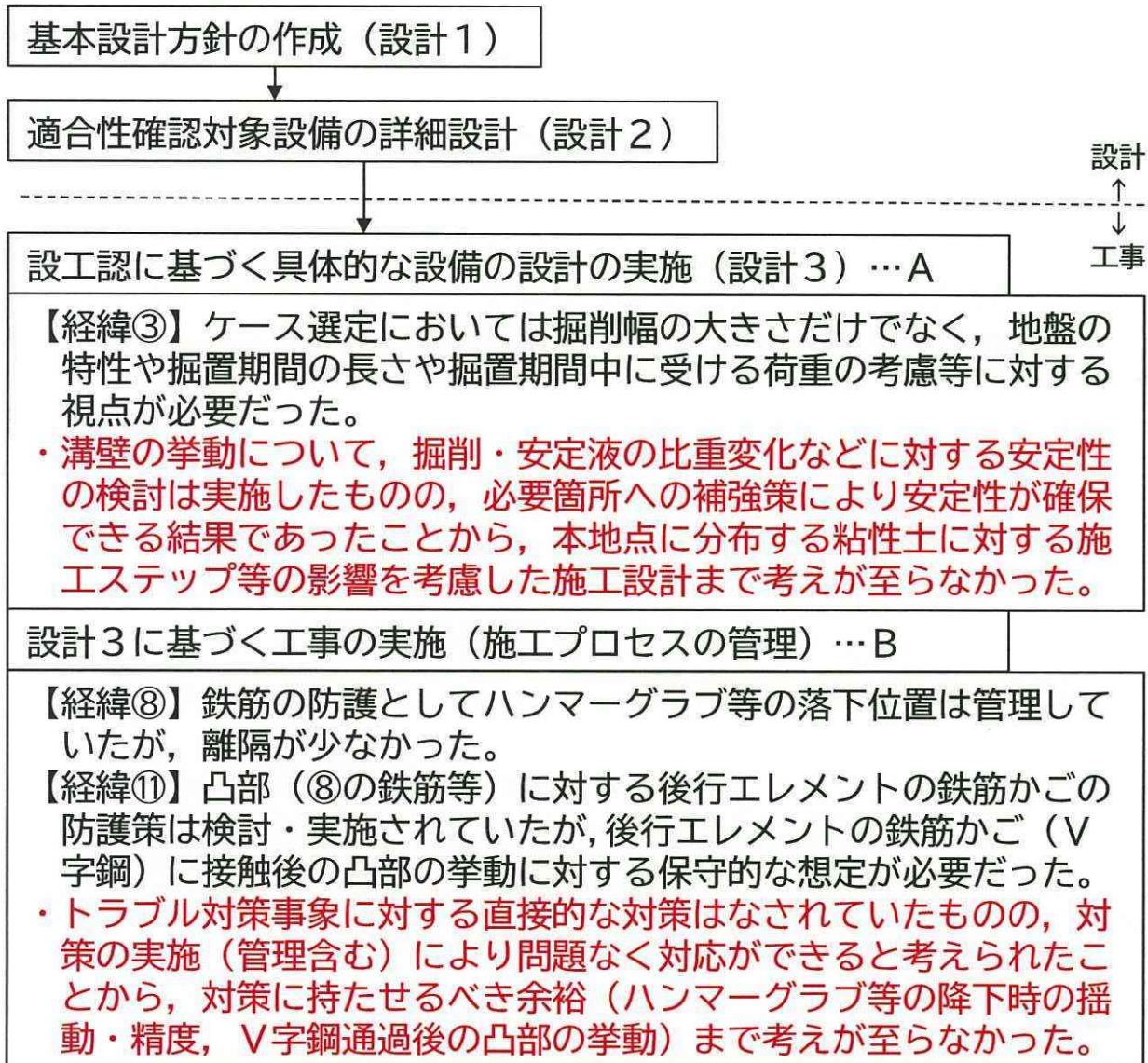
赤字：コンクリートの未充填及び鉄筋の変形に係る問題点

青字：鉄筋の変形等に係る問題点

- ① 2018年10月 東海第二発電所DB／SA工認認可
- ② 2019年9月 防潮堤（鋼製防護壁）設置工事を発注
- ③ 2019年12月 工事仮設（溝壁の安定性）の検討において掘削幅が大きいケースを代表ケースとして設計を実施
問題点① ケースの選定においては掘削幅の大きさだけでなく、地盤の特性や掘置期間の長さ、掘置き期間に受ける荷重等に対する視点が必要だった。
- ④ 2020年4月 工事仮設（溝壁の補強）を実施
- ⑤ 2021年10月 南基礎 地中連続壁構築開始
- ⑥ 2022年1月 北基礎 地中連続壁構築開始
- ⑦ 2022年3月 南基礎 A南7のコンクリート打設時に隣接する剛結継手部（A南6：⑮の区画）に土砂等が流入（問題点①を背景に発生）
- ⑧ 2022年3月～7月 同土砂等の撤去。ハンマーグラブ等が鉄筋等に接触し、鉄筋等が変形（判明は2022年7月）
問題点② ハンマーグラブ等の降下位置を管理することで鉄筋への接触を防ぐこととしていたが、鉄筋等とハンマーグラブ等の離隔は小さく、ハンマーグラブ等の揺動などに対する配慮が必要だった。
- ⑨ 2022年6月 北基礎 A北3のコンクリート打設時に隣接する剛結継手部（A北4：①の区画）に土砂等が流入（問題点①を背景に発生）
- ⑩ 2022年7月～2023年3月 同土砂等の撤去。ハンマーグラブ等が鉄筋等に接触し、鉄筋等が変形（判明は2023年3月）（問題点②と同じ）
- ⑪ 2022年7月 南基礎 A南6後行エレメントの鉄筋かご建込み。掘削溝内に凸部（⑧の鉄筋等の変形に相当）に係る対策（V字鋼等の追加）を実施していたが、建込み時に広範囲に鉄筋の変形等が発生（判明は2023年6月）
問題点③ 凸部（⑧の鉄筋等）に対する後行エレメントの鉄筋かごの防護策は検討・実施されていたが、後行エレメントの鉄筋かご（V字鋼）に接触後の凸部の挙動に対する保守的な想定が必要だった。
- ⑫ 2023年3月 北基礎 A北4鉄筋かごの高止まり発生
- ⑬ 2023年6月 南基礎 コンクリートの未充填及び鉄筋の変形等を確認
- ⑭ 2023年8月 北基礎 コンクリートの未充填及び鉄筋の変形等を確認

5. 時系列の整理（問題点の抽出（工事段階のプロセスの検証））

(2) 問題点の抽出（工事段階のプロセスの検証）



○左記の原因より、「設工認に基づく具体的な調達管理の実施（設計3）」、「設計3に基づく工事の実施（調達管理）」を充実させるため、以下の対策を実施する。

A. 設計担当Grは、地中連続壁を構築する工事における具体的な設備の設計においては、施工ステップを考慮した上で、検討された条件以外に厳しい条件がないかを施工事例等を参考に、調達管理（提出図書の審査）において確認する。

B. 施工プロセスの管理を担当するGrは、工事で発生したトラブルに対する対策を検討する際、その対策で新たに想定されるトラブルに対しても対策を検討し、想定されるトラブルを防止する。

○本件の重要性に鑑みて、調達管理に係る要領書・手順書に上記のチェック項目を追加する。

参考資料

1. 品質向上を目的とした設計変更
2. はらみ出しのメカニズム (A南6)
3. 南基礎の音響探査等の結果
4. 鉄筋の変形等に係る調査
5. 北基礎の調査状況
6. 南基礎の事象分析

1. 品質向上を目的とした設計変更 (1 / 3)

(1) ジベル鉄筋

▶ ジベル鉄筋における設計変更の概要

ジベル鉄筋は、地中連続壁と中実鉄筋コンクリートを一体化することを目的に設置されている。平成30年10月に認可を受けた工認においては、「トンネル標準示方書[共通編]・同解説/[開削工法編]・同解説」(土木学会, 2006年制定)に基づき、発生せん断力が短期許容せん断力以下であることを確認していた。しかしながら、配置本数が多く、他鉄筋との干渉等による施工品質の低下が施工計画上の課題となっていたことから、本課題への対策として以下の仕様調整を計画した。

① ジベル鉄筋における発生せん断力の精緻化

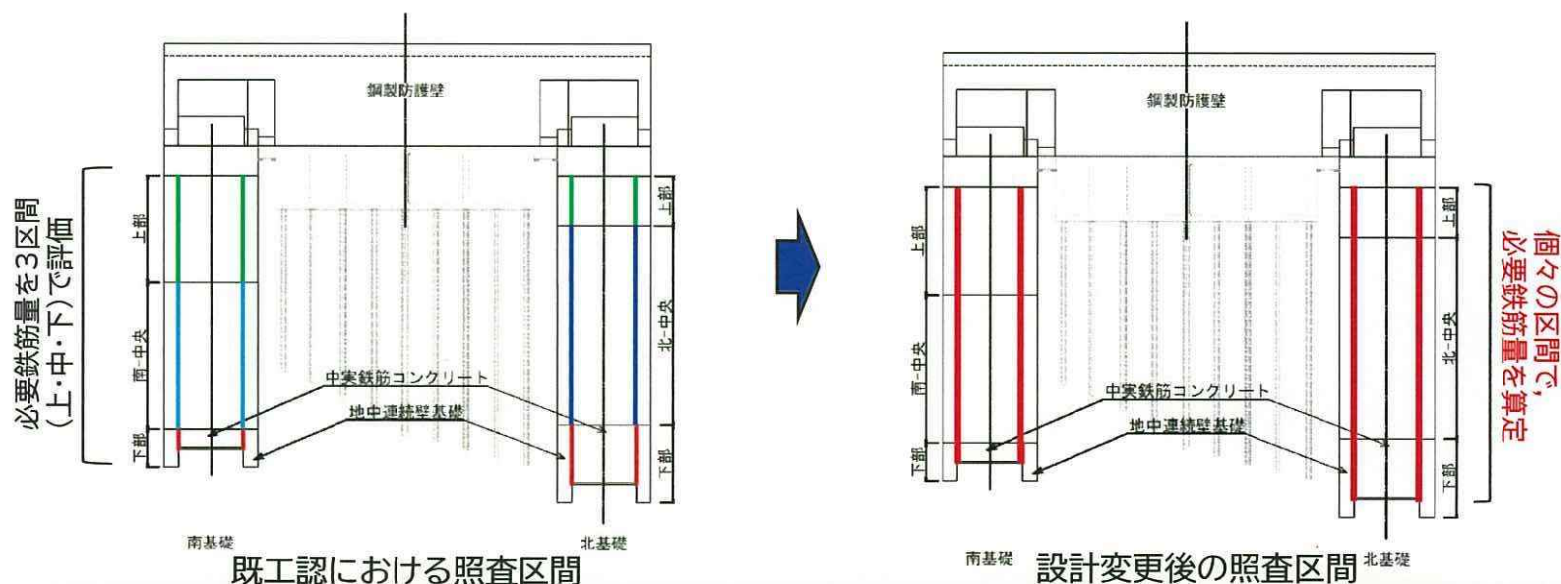
既工認の詳細設計において極端に大きく設定していたジベル鉄筋の発生せん断力について、3次元解析等の詳細評価を根拠として、現実的な発生せん断力に精緻化した。

② ジベル鉄筋の照査範囲の細区分化

既工認の詳細設計においては、ジベル鉄筋を鉛直方向の3区間に分類し、各区間の最大発生せん断力から必要鉄筋量を算定していたが、区間を更に細分化した上で、個々の区間にて必要鉄筋量を算定した。

③ ジベル鉄筋の材料仕様変更

既工認の詳細設計においてはSD390を採用していたが、これをSD490に変更し高強度化した。

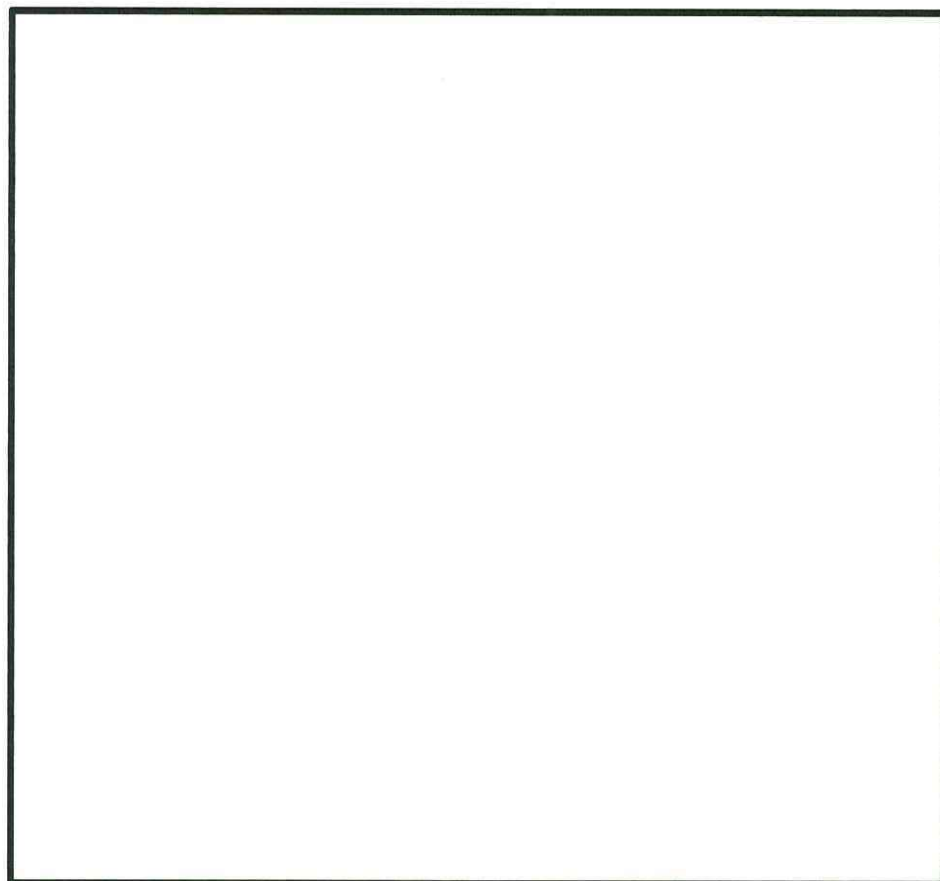


1. 品質向上を目的とした設計変更 (2 / 3)

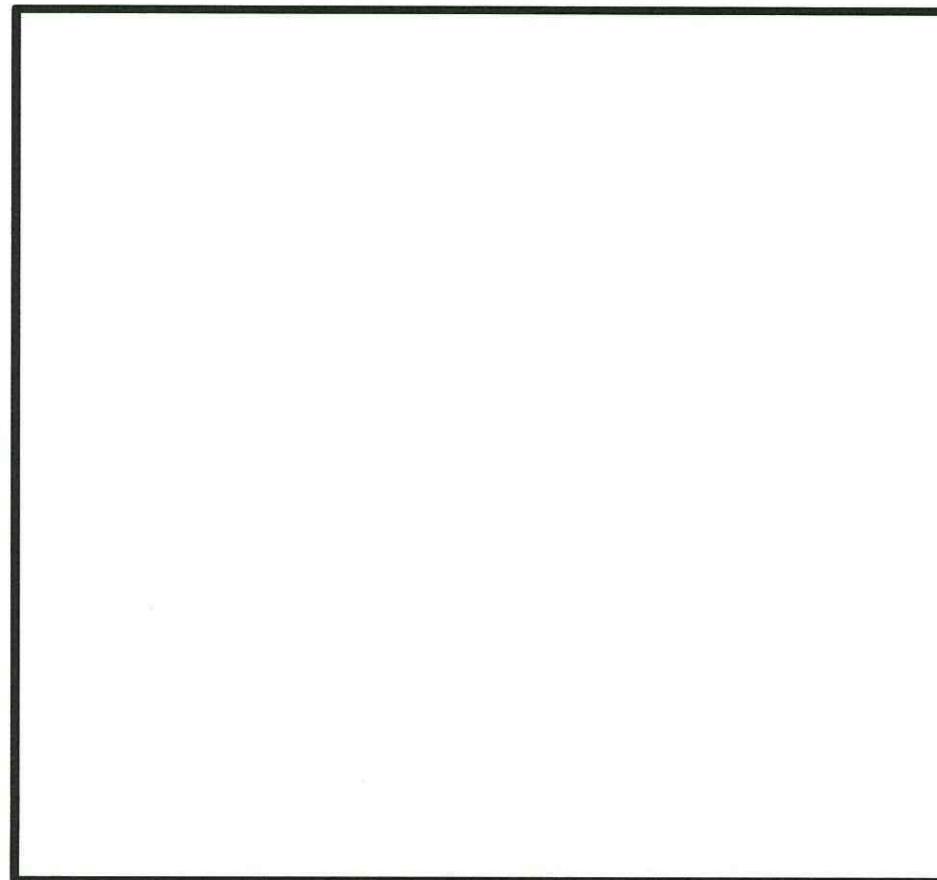
(2) アンカーボルト

▶ アンカーボルトにおける設計変更の概要

アンカーボルトは、地中連続壁基礎と鋼製防護壁の接合部に配置されており、鋼製防護壁による引き抜き力を地中連壁基礎に伝達する。当該箇所においては、地中連続壁基礎側の密な配筋とアンカーボルトの干渉が施工計画上の課題であり、他鉄筋の干渉を回避するためにアンカーボルトを再検討した結果として、安全裕度が同様以上となることを確認した上で配置と本数を見直すこととした。



既工認におけるアンカーボルト等の配置



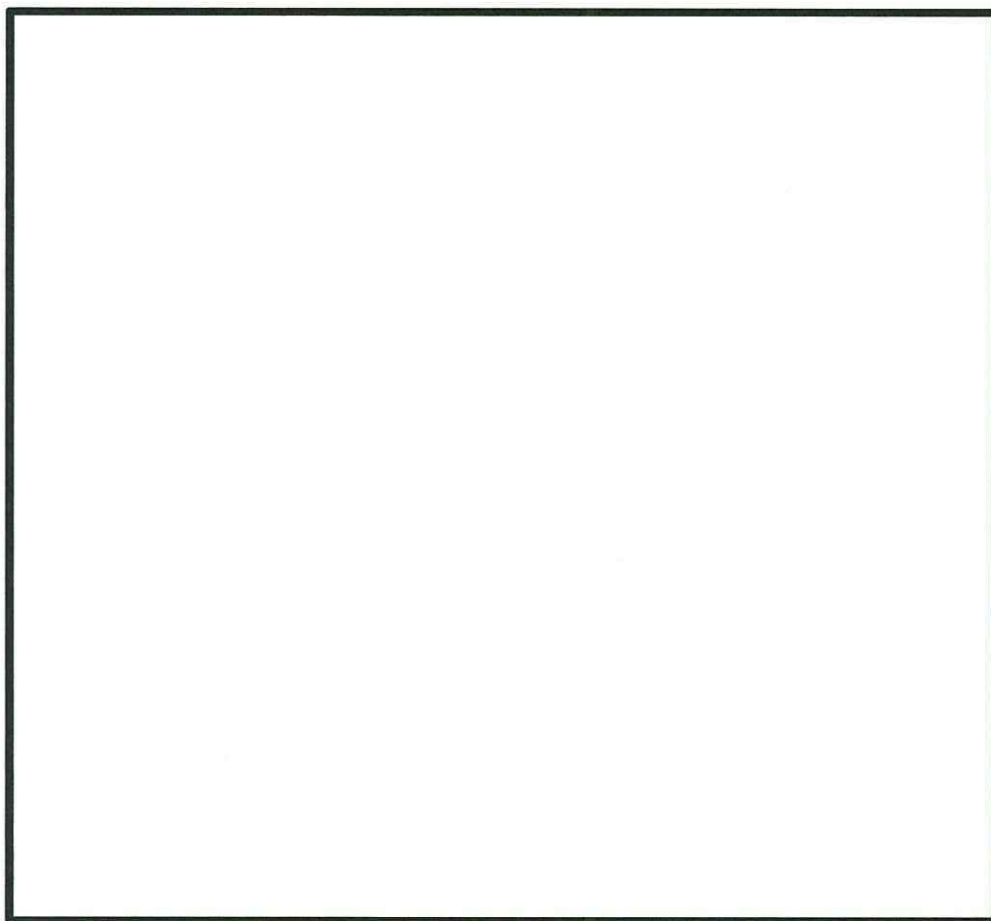
設計変更後のアンカーボルト等の配置

1. 品質向上を目的とした設計変更 (3 / 3)

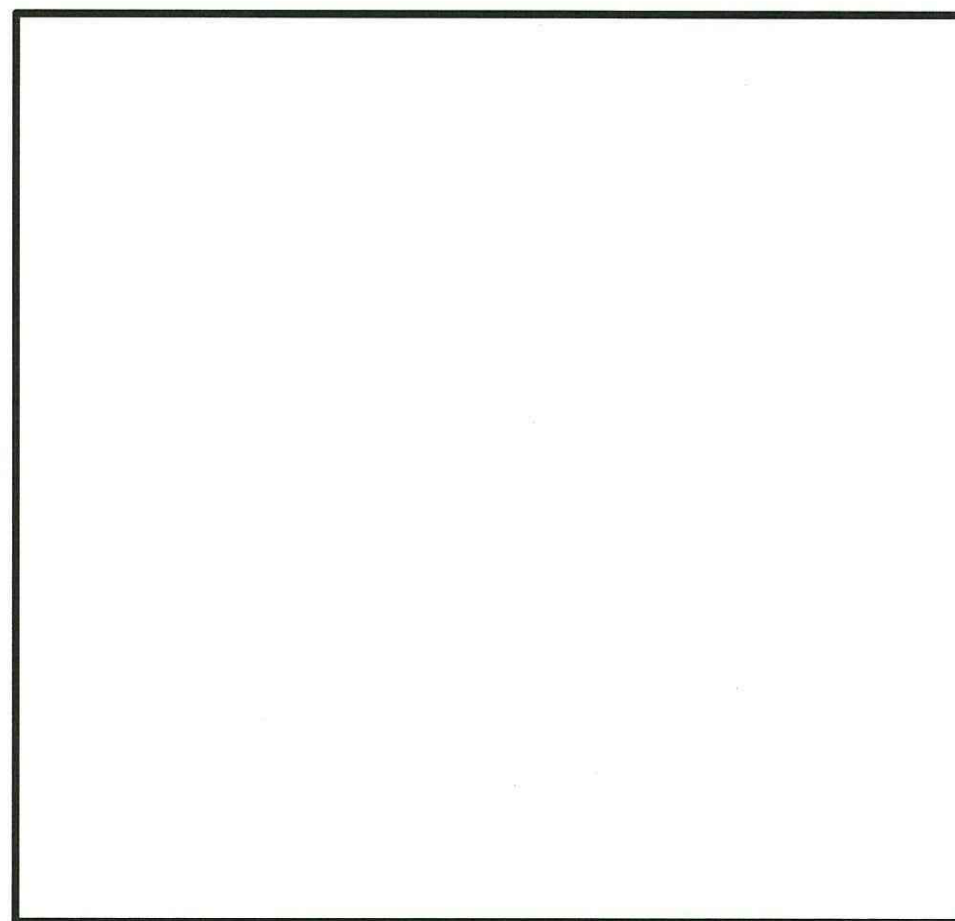
(3) 鋼製防護壁

➤ 鋼製防護壁における設計変更の概要

鋼製防護壁について、既工認にて計画していた板厚・材質構成に対し、さらに、工場における実際の製作範囲等を考慮した上で、板厚・材質の向上を図った。



既工認における板厚・材質構成例

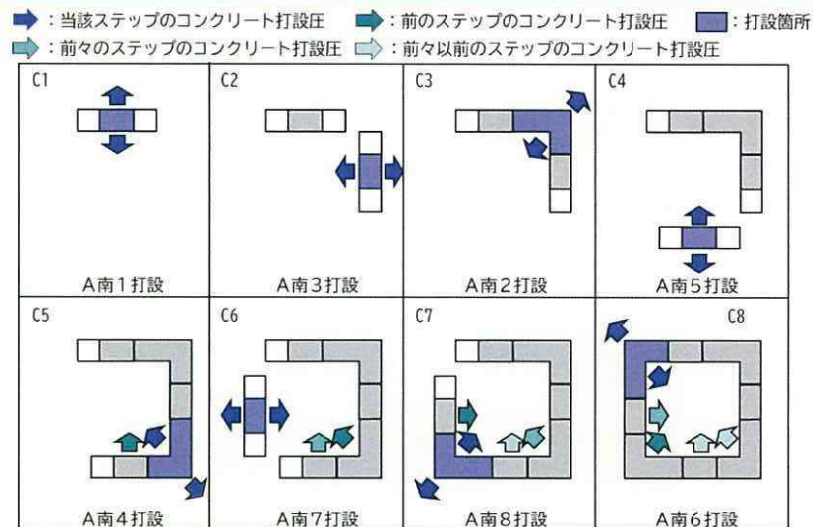
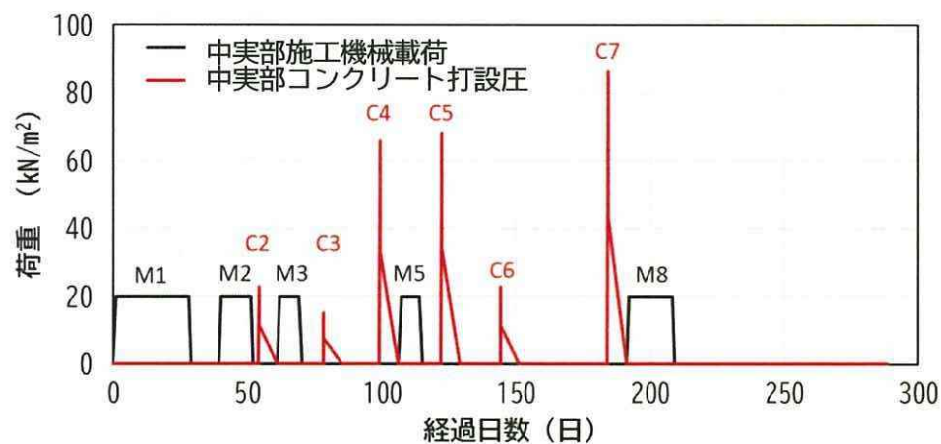


設計変更後の板厚・材質構成例

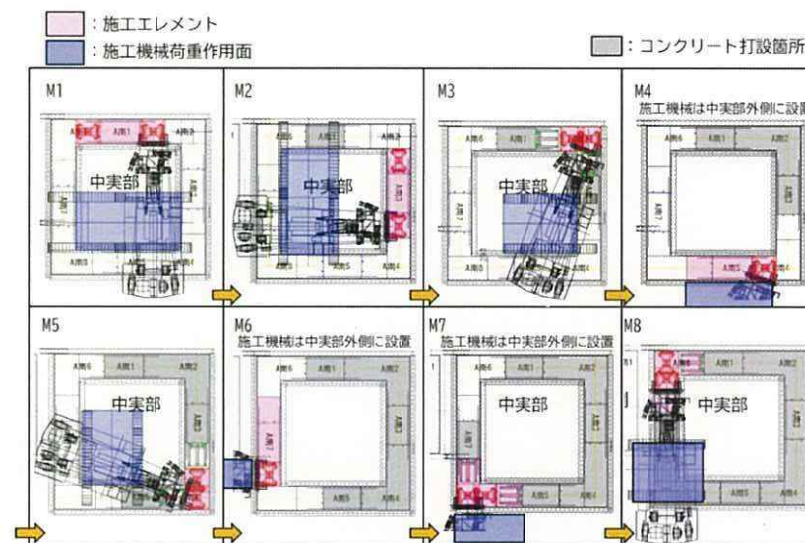
2. はらみ出しのメカニズム (A南6) (1/3)

施工記録から確認した結果, 下図に示すように中実部側及び地山側において施工機械(掘削機)の繰り返し荷重が作用していることを確認した。また, 中実部側は各エレメントのコンクリート打設による打設圧が繰り返し作用していたと考えられた。

地中連続壁の構築過程において, 上記の荷重の繰り返し作用が中実部側に内部圧力となって蓄積したことが想定される。



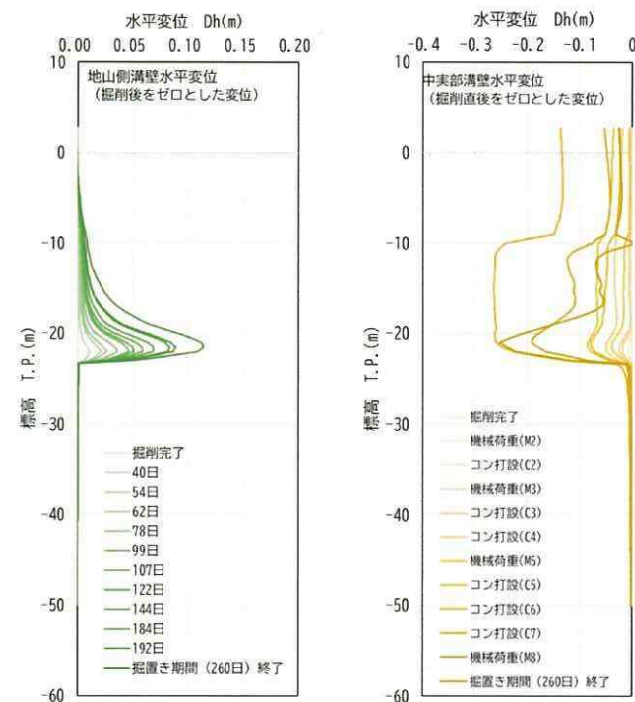
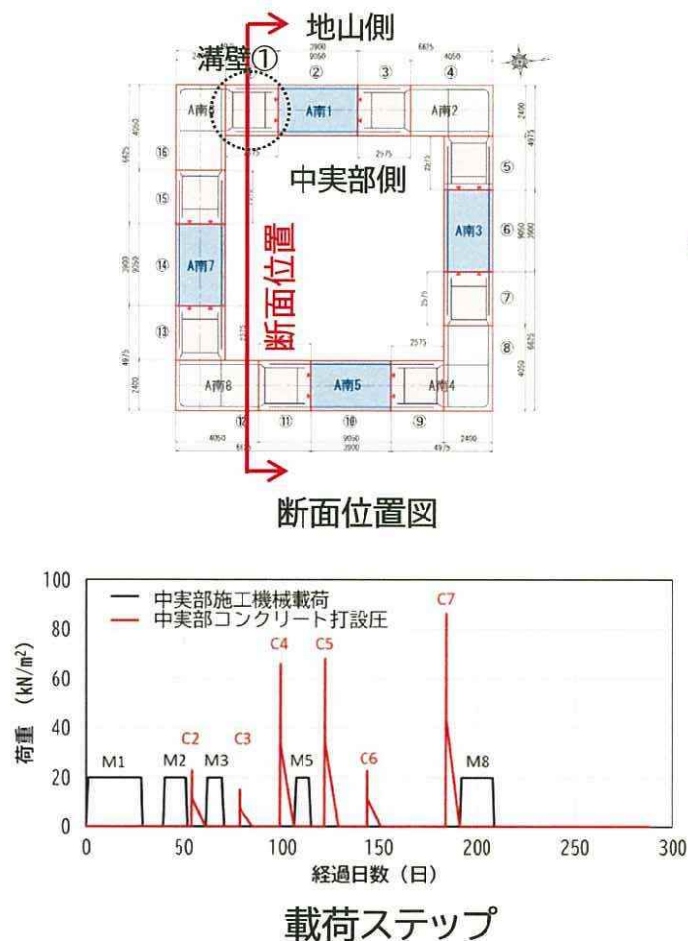
コンクリート打設に伴う地盤への施工圧力の蓄積履歴



施工機械荷重の履歴

2. はらみ出しのメカニズム (A南6) (2/3)

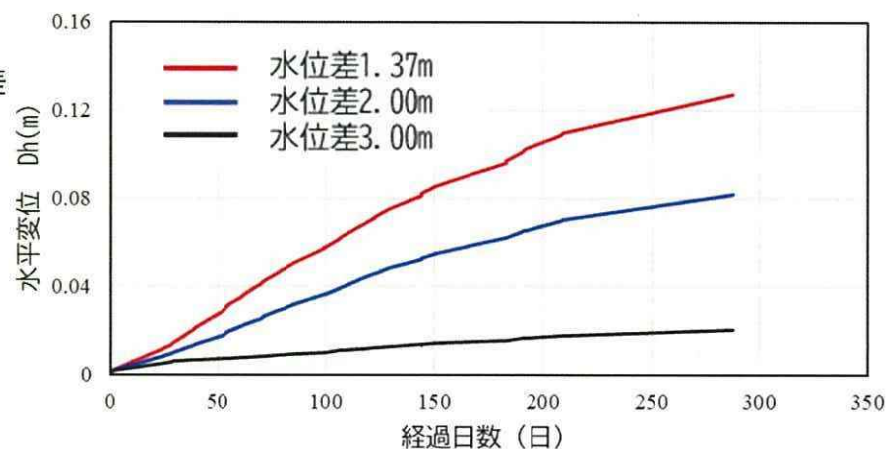
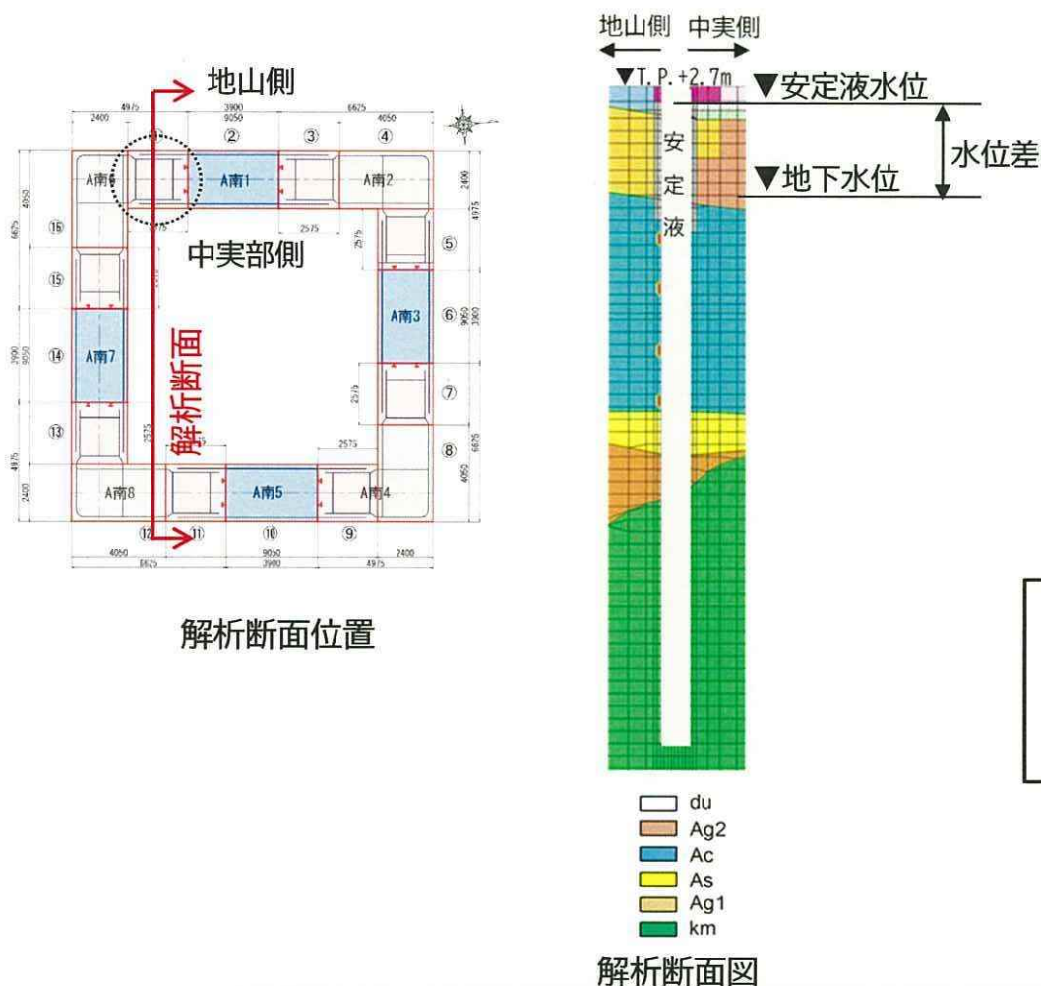
- 解析は、平面2次元FEM手法を適用し、各土層の構成則は各々の挙動を再現できるモデルとした。
- 粘性土であるAc層は、ひずみ軟化やクリープ等を考慮できる弾粘塑性構成則(関口・太田モデル)にてモデル化し、解析は静的・有効応力解析(Soilplus)を用いた。
- 施工機械やコンクリート打設圧の繰返し作用が、中実部の内部圧力となって蓄積したことで、中実部側のはらみ出し量が大きくなると考えられる。



溝壁①の変位推移比較
(左:地山側/右:中実部側)

2. はらみ出しのメカニズム (A南6) (3/3)

- 溝壁のはらみ出し量 (水平変位量) に寄与する要因について、掘削溝の掘置き期間や掘削溝内の安定液と周辺の地下水との水位差 (水圧差) に着目して検討を行った。
- 溝壁のはらみ出し量は、掘削溝の掘置き期間や安定液と周辺地下水との水位差 (水圧差) にも影響することを確認した。



- 掘削溝の掘置き期間 (経過日数) が増加するにつれて、溝壁の水平変位も増加していく。
- 掘削溝内と周辺地盤の水位差が大きいほど、溝壁の水平変位は増加しにくくなる。

3. 南基礎の音響探査等の結果

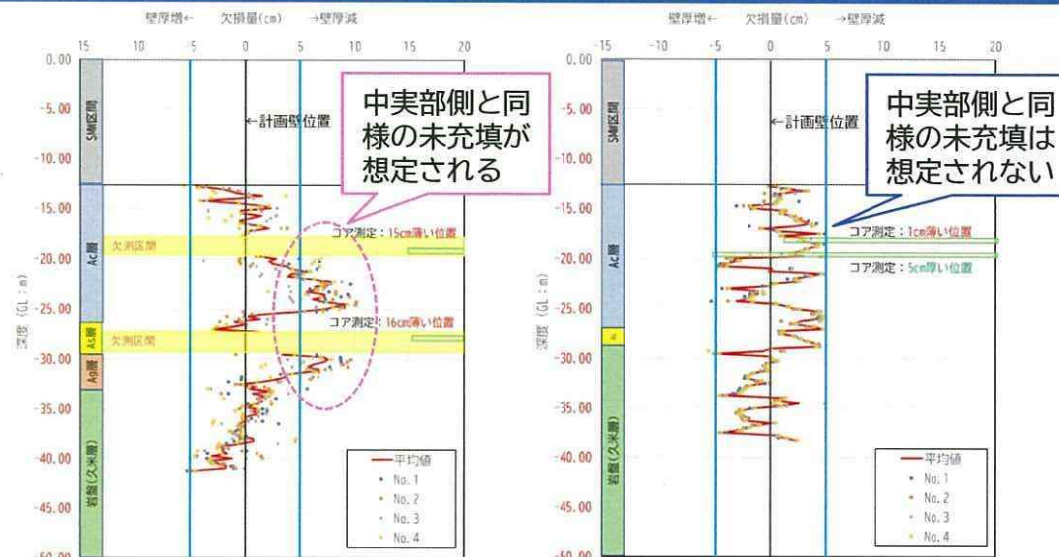
地山側に対する調査

- ・はらみ出しの発生原因(掘置期間, 施工時荷重)に着目し, 代表箇所2箇所(①, ⑪)で音響探査等を実施。また, 原因の影響が小さい箇所2箇所(⑧, ⑫)でも音響探査等を実施。



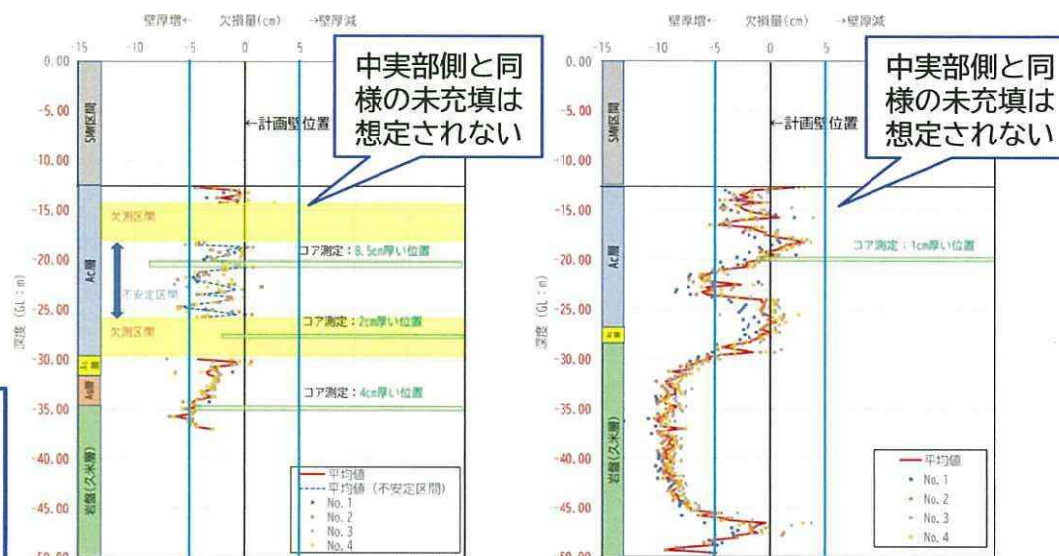
剛結継手部で掘置期間が長いA南6の区画では, ①の区画のコア採取において15cm, 16cmのコンクリートの未充填が確認された。

上記以外の剛結継手部及び非剛結継手部では, 中実部側で確認されたようなコンクリートの未充填は確認されなかった。



剛結継手部 (①)

剛結継手部 (⑪)

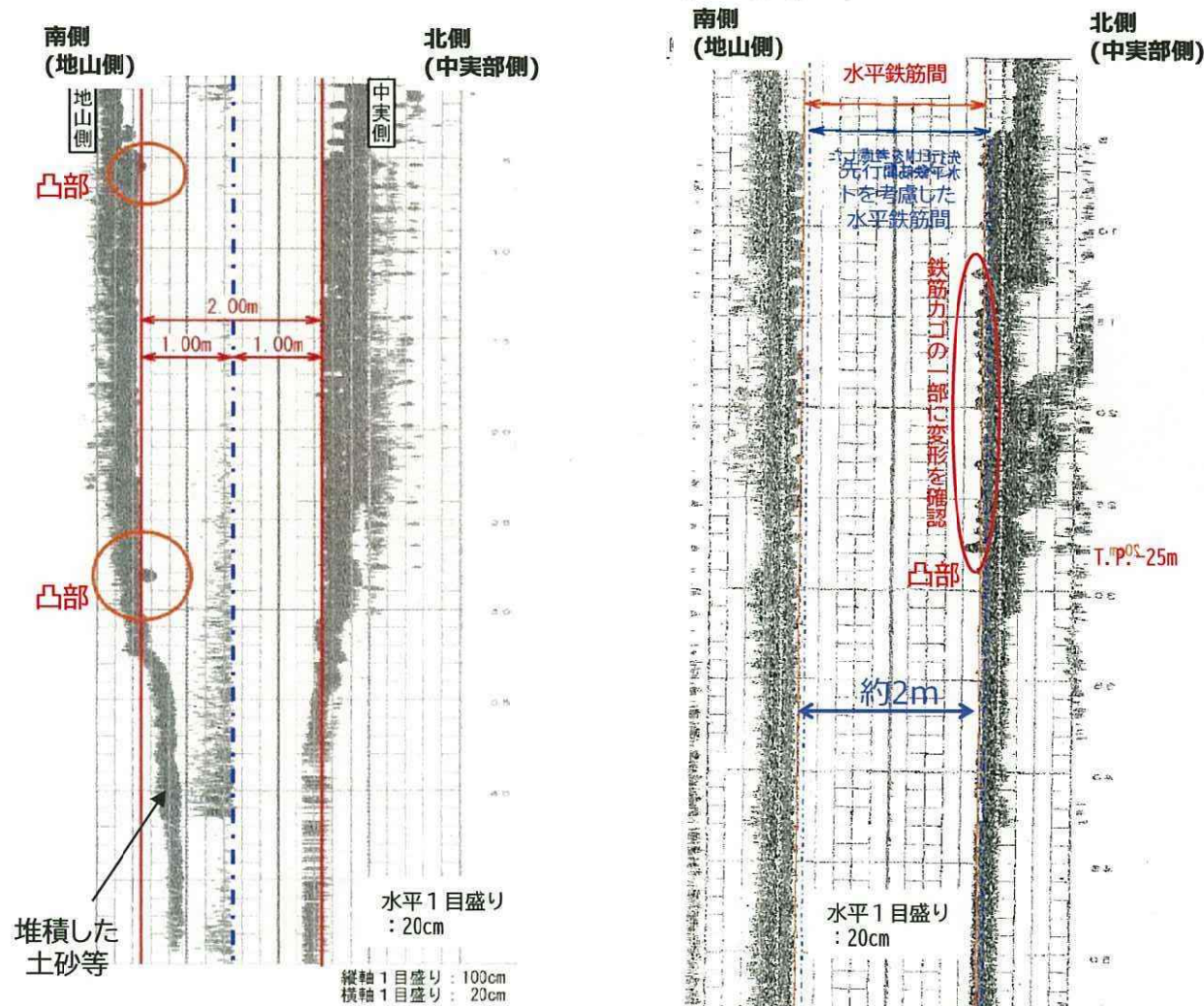


非剛結継手部 (⑧)

非剛結継手部 (⑫)

4. 鉄筋の変形等に係る調査 (1) (超音波記録) 南基礎 (A南6 : ⑮の区画)

A南6 (⑮の区画) の土砂等の撤去作業において作業管理として実施した超音波記録を確認した結果、鉄筋の変形等が示唆される凸部 (先行エレメントの鉄筋の変形) を確認した。



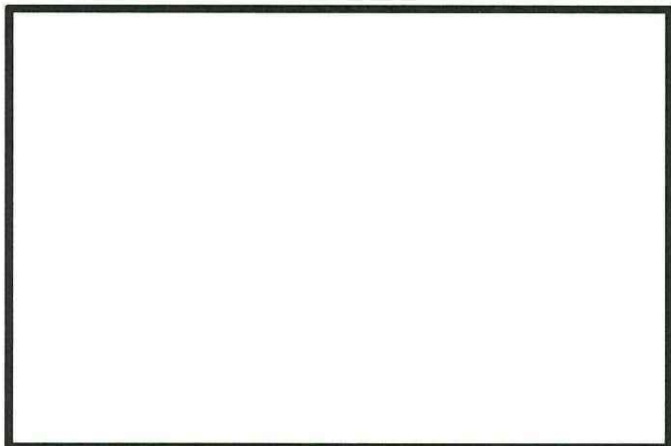
ハンマーグラブによる
土砂撤去作業中

鉄筋かご(後行エレメント)建込み前
(ハンマーグラブ建込み後)

- 土砂等撤去の際の超音波記録に凸部 (鉄筋の変形を示唆するもの) を確認。
- 後行エレメントの鉄筋かご建込み前の記録では凸部がなく、先の記録は撤去中の土砂の可能性もあるが、保守的に変形したものとして評価した。

4. 鉄筋の変形等に係る調査 (2) 発生範囲評価結果 ～モックアップ試験～

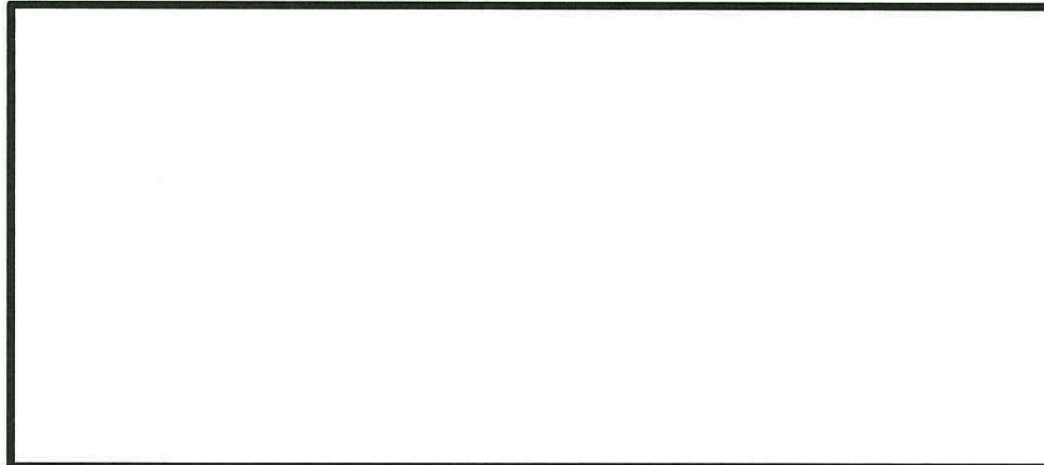
- 鉄筋の変形等が認められた（A南6）の地山側の鉄筋挙動等を確認するため実物大のモックアップ試験及び数値模擬を実施した。
- 先行鉄筋と後行鉄筋の接触を模擬して、中実部側の接触部（水平鉄筋）に強制変位を与えた結果、地山側の水平鉄筋や鉛直鉄筋への影響は発生しなかった。



現地観察結果



モックアップ試験
(水平鉄筋の変形状況)



数値模擬の計算結果

【観察結果】

- 中実側の鉄筋が干渉及び変形しても、地山側の水平鉄筋や鉛直鉄筋への影響は発生しなかった。
 - 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破断又は引抜けにより力の伝達がなくなる。

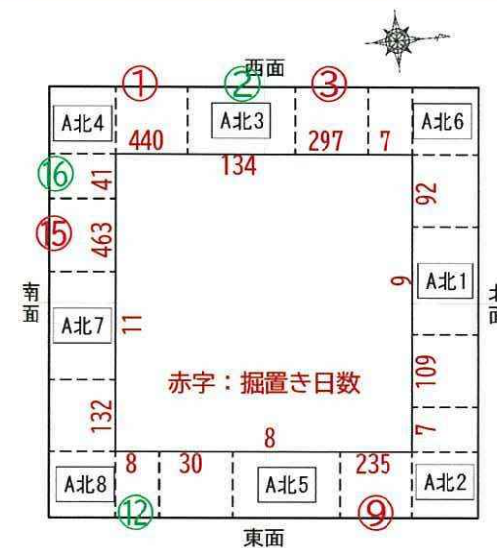


現地観察結果とモックアップ試験の水平鉄筋の変形状況が酷似しており、現地で発生した状況が再現できていると考えられる。

5. 北基礎の調査状況

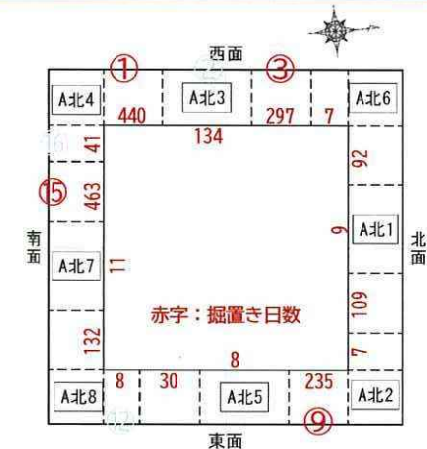
- 北基礎については、現在中実部を掘削中であり、掘削と並行して中実部側の溝壁調査を実施している。
- 地山側の調査（音響探査，コア採取）については、現在進行中であるものの、音響探査の結果が概ね終了している。
- なお、調査対象箇所については、はらみ出しの可能性がある箇所（掘置き期間が長い掘削溝，重機荷重が作用した掘削溝）に着目し，剛結継手部と非剛結継手部にわけて調査を実施している。

調査位置		調査位置選定理由
剛結継手部	① (A北4)	<ul style="list-style-type: none"> 掘削溝の掘置き期間が長い…440日 地山側の重機荷重履歴はなし
	③ (A北6)	<ul style="list-style-type: none"> 掘削溝の掘置き期間が長い…297日 地山側の重機荷重履歴はなし
	⑨ (A北3)	<ul style="list-style-type: none"> 掘削溝の掘置き期間が長い…235日 地山側の重機荷重履歴最多（1回）
	⑮ (A北4)	<ul style="list-style-type: none"> 掘削溝の掘置き期間が最長…463日 地山側の重機荷重履歴はなし
非剛結継手部 (健全部)	② (A北2)	<ul style="list-style-type: none"> 掘削溝の掘置き期間がやや長い…134日 地山側の重機荷重履歴はなし
	⑫ (A北8)	<ul style="list-style-type: none"> 掘削溝の掘置き期間が短い…8日 地山側の重機荷重履歴最多（1回）
	⑯ (A北4)	<ul style="list-style-type: none"> 掘削溝の掘置き期間がやや短い…41日 地山側の重機荷重履歴はなし

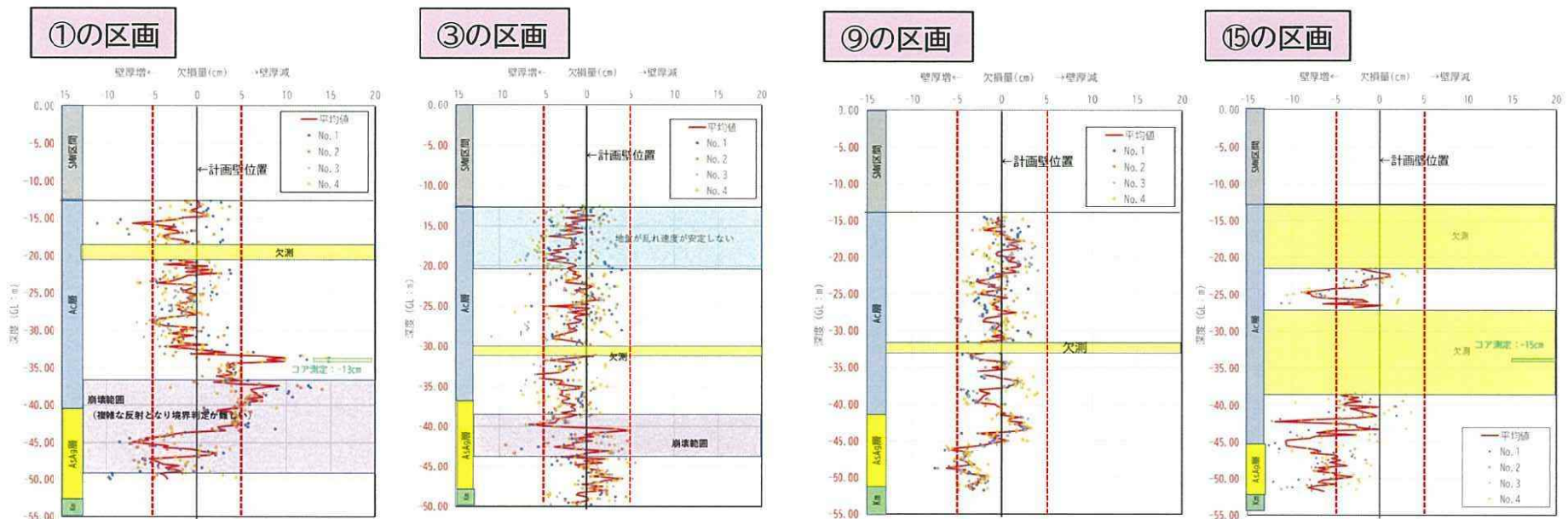


5. 北基礎の調査状況（剛結継手部区間：音響探査等の結果）

- 剛結継手部で掘置き期間が長いA北4の区画では、①、⑮の区画のコア採取において13cm、15cmのコンクリート未充填が確認された（想定20cmに包含されている）。
- 剛結継手部の③、⑨の区画では、コンクリート未充填は5cm程度であり、中実部側で確認されたような規模のものは確認されなかった。



調査位置図

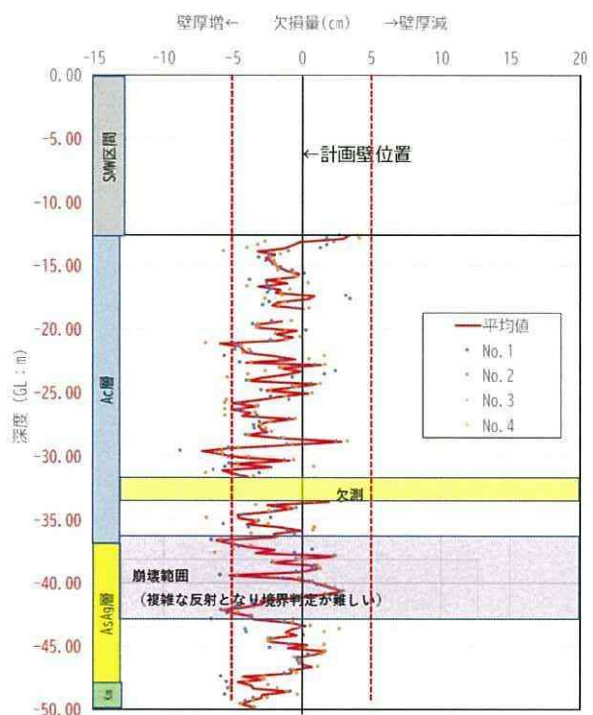


5. 北基礎の調査状況（非剛結継手部区間：音響探査の結果）

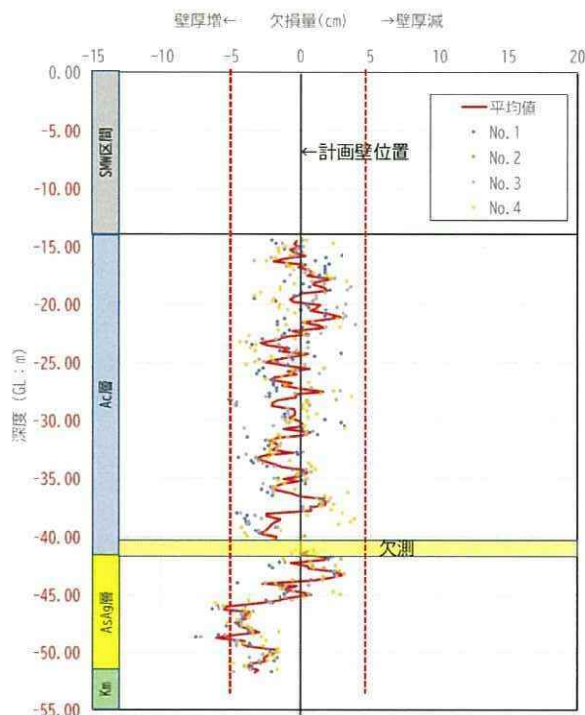
- 非剛結継手部の②，⑫，⑯の区画では，地山側のコンクリート未充填は5cm以下であり，中実部側で確認されたような規模のものは発生していない。



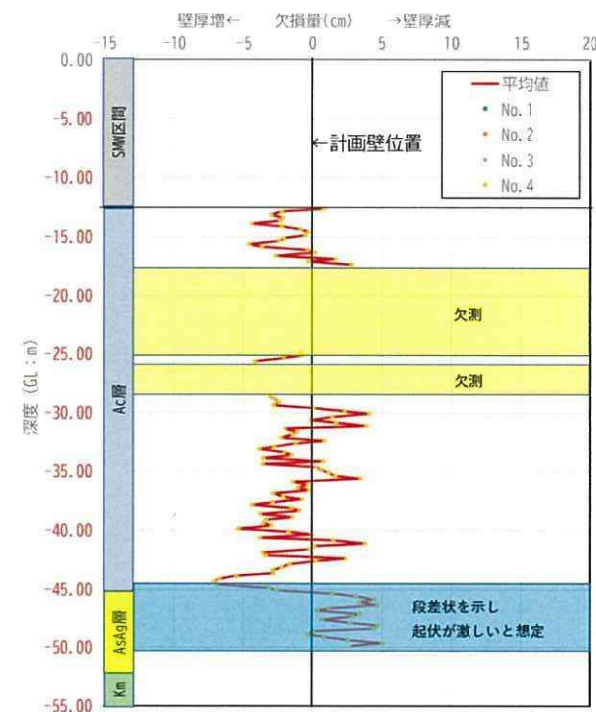
②の区画



⑫の区画



⑯の区画



6. 南基礎の事象分析（鉄筋の変形等の発生原因）

事象	要因1	要因2	調査内容・結果	評価	
鉄筋の変形等 (鉄筋損傷)	1) はらみ出しによる溝壁の接触		はらみ出した溝壁が先行エレメントの鉄筋に接触し変形する可能性がある。 このため、コンクリートの未充填部(はらみ出し)を調査した結果、鉄筋の変形等は確認できなかった。また、はらみ出しが原因となる可能性は考えられない。	×	
	2) A南7コンクリート打設時の流入土砂等の接触		A南7コンクリート打設時の溝壁の崩れにより、②の区画(剛結継手部)に流入した土砂等が、先行エレメントの鉄筋等に接触し、変形させた可能性が考えられる。 このため、崩れた土砂の性状を確認した結果、土砂は剛性・強度の低い粘性土であるため、鉄筋部を変形等させることがないこと。また土砂除去作業前の超音波記録において、崩れた箇所(T.P.約-19m)付近に鉄筋の変形等を示唆する記録は確認できなかったことから、崩壊土砂による鉄筋の変形等の可能性は考えられない。	×	
	3) 先行エレメントの鉄筋がご建込時の溝壁への接触		先行エレメントの鉄筋がごを建込した際に、鉄筋がごが溝壁に接触した場合、鉄筋等が変形する可能性が考えられる。 このため、施工状況を確認した結果、鉄筋がごの建込み作業は水平2方向より建込み位置を慎重に確認しながら実施しており、さらに施工記録から壁面に対しスペーサーを配置していた。よって、鉄筋がごを溝壁に接触させる可能性は考えられない。	×	
	4) 堆積土砂等の撤去時の作業用機器の接触	a.ハンマーグラブの接触		鉄筋等が設置されている掘削溝内にハンマーグラブを使用し鉄筋等に接触させた場合、鉄筋等が変形する可能性が考えられる。 このため、施工手順や記録、ハンマーグラブの使用状況を確認した結果、ハンマーグラブはA南6のみで使用していることを確認した。施工時には、地上部では鉄筋等に接触しないようハンマーグラブの投入位置を確認しているものの、鉄筋等とハンマーグラブの間のクリアランスは小さく、ハンマーグラブ沈没時(ワイヤーでハンマーグラブを吊った状態で水中に落下させる)の揺動でも接触する可能性がある。 あわせて、ハンマーグラブで掘削する場合は、自由落下して掘削することから、鉄筋に接触した場合でも、オペレーターが気づかないことが想定される。なお、同作業完了時の超音波記録(上段-中1段)において、②の区画(剛結継手部)の中実部側及び地山側の鉄筋等の変形を示唆する記録が確認された。	○
		b.全周回転掘削機ケーシングの接触		鉄筋等が設置されている掘削溝内に全周回転掘削機を用いてケーシングを建込み、堆積土砂等の切削・撤去を行った際、ケーシングが鉄筋等に接触して鉄筋等が変形する可能性が考えられる。 このため、施工手順等を確認した結果、全周回転掘削機(ケーシング含む)は、A南6のみで使用されていることを確認した。また、全周回転掘削機(ケーシング含む)は測量から割り出された設置済みの鉄筋等の位置を避けて設置する管理がなされているとともに、ケーシング設置位置は全周回転掘削機により固定されていた。したがって、ケーシングが鉄筋に接触することはなく本作業が鉄筋の変形等の要因となる可能性はない。	×
		c.バーカッションドリルのロッドの接触		鉄筋等が設置されている掘削溝内で、バーカッションドリル(φ135mm)を用いて堆積土砂等をほぐす作業を行った際、バーカッションドリルが鉄筋等に接触して鉄筋等が変形する可能性が考えられる。 このため、作業状況を確認した結果、バーカッションドリルは堆積土砂等までゆっくり降下させており、鉄筋等に接触した際にはオペレーターが明確かつ即時に停止が可能であることから、本作業が鉄筋の変形等の要因となる可能性は考えられない。	×
		d.高圧噴射に伴うロッドの接触及び水流の影響		鉄筋等が設置されている掘削溝内で高圧噴射を使用し、堆積土砂等をほぐす作業を行った際、高圧噴射のロッドが鉄筋等へ接触する。あるいは高圧噴射の水流により鉄筋等が加圧されて、鉄筋等が変形する可能性がある。 このため、作業状況を確認した結果、高圧噴射のロッド(φ89mm及びφ114mm)は堆積土砂等までゆっくり降下させており、常に鉄筋等に接触しても鉄筋を変形させる程の荷重はかからないこと、接触した際にはオペレーターが明確かつ即時に停止が可能であること、また、高圧噴射の水流は堆積土砂等の中で噴射されることから、本作業が鉄筋等の変形等の要因となる可能性は考えられない。	×
		e.堆積土砂等切削器具の接触		鉄筋等が設置されている掘削溝内で、堆積土砂等切削器具を用いて堆積土砂等のほぐし作業を行った際、堆積土砂等切削器具が鉄筋等に接触して鉄筋等が変形する可能性が考えられる。 作業状況を確認した結果、堆積土砂等切削器具はA南6のみで使用していることを確認した。鉄筋部の距離(約2.0m)の溝壁内に幅1.9mの堆積土砂等切削器具を降下させるため、鉄筋等とのクリアランスが小さいことを確認した。また、堆積土砂等切削器具の落下において位置がずれない為のガイドを使用していた。したがって、本作業において、堆積土砂等切削器具が鉄筋等に接触し変形等の要因となる可能性は考えられない。	○
		f.高圧噴射ロッド回収器具の接触		堆積土砂撤去のために使用し脱落した高圧噴射のロッドの回収器具(油圧ハンマーグラブ、クラムシェルバケット)が、鉄筋等に接触して、鉄筋等が変形する可能性が考えられる。 このため、作業状況を確認した結果、ロッド回収器具はゆっくり再降下されていることを確認した。このため、ロッド回収器具が鉄筋等に接触した際にはクレーンの荷重計によりオペレーターが即時に気づくことができ、鉄筋の変形等を回避することが可能であることから、本作業が鉄筋等の変形等の要因となる可能性は考えられない。 なお、これら回収器具を用いた回収作業の前後の超音波記録を確認した結果、作業前後で鉄筋等に有意な変化は認められない。	×
	5) 防護ボックス設置・撤去時の接触		設置済みの先行エレメントの鉄筋等の防護として防護ボックスを設置する際に、設置済みの先行エレメントの鉄筋等に接触して、鉄筋等が変形する可能性が考えられる。 このため、作業状況を確認した結果、防護ボックスの設置(建込)の手順において、仕切り板に設置されているT字のガイドに防護ボックスのガイドを添わせることで位置ずれを起こさず設置できることから、本作業が鉄筋の変形等の要因となる可能性は考えられない。	×	
6) 後行エレメントの鉄筋がご建込時の接触		後行エレメントの鉄筋がごを建込んだ際に、先行エレメントの鉄筋等に接触して鉄筋等の変形等に至る可能性が考えられる。 このため、作業状況を確認した結果、A南6の後行エレメントの鉄筋がごの建込前において、先行エレメントの鉄筋等に変形(凸部)が超音波記録にて確認されており、後行エレメントの鉄筋がご建込時にも接触する可能性が考えられた。これに対応するために建て込む鉄筋がごにも対策(V型鋼材、鉛直フラットバーの追加)を施していた。 また、鉛直フラットバーの中3段と下段の接続部に約5cmの隙間が確認され、先行エレメントの変形部との干渉が回避できず、変形部が鉄筋がご内に進入し、引っ掛かることで後行エレメントの建込みに伴い、先行エレメント及び後行エレメントの水平鉄筋の広範囲な変形等に至った可能性がある。	◎		
7) トレミー管の接触		コンクリートの打設やポンプによる堆積物の撤去作業のため、鉄筋がご設置済みの掘削溝内へのトレミー管の降下、使用時の移動、または、作業後の上昇において、トレミー管が設置済みの鉄筋等に接触して鉄筋等の変形等に至る可能性がある。 このため、施工手順等を確認した結果、トレミー管の直径は30cm弱であり、降下・上昇は、掘削溝の中央で実施しており、鉄筋位置から十分に離れていることから、接触する可能性は考えられない(コンクリート打設時は更に内側にある掘削機の中で使用している)。また、ポンプによる堆積物撤去作業においては、取引効果を高めるためのトレミー管の水平移動は、クローラクレーンにより低速であるブームの旋回駆動操作により行うため、鉄筋等に接触する可能性はあるものの変形等に至るとは考えられない。	×		

6. 南基礎の事象分析（コンクリート未充填の発生原因）

事象	要因1	要因2	調査内容・結果	評価
コンクリート未充填部の発生	1) コンクリート流路の阻害	a. マッドケキの生成	掘削中・開放期間中は、安定液により不透水膜（マッドケキ）が形成され、これを介して土圧・水圧がバランスし、溝壁の安定性が保持されている。このマッドケキが鉄筋等に付着し厚みが増していくと、鉄筋間のコンクリートの流路が狭まり、コンクリートの未充填の原因となる可能性がある。 このため、安定液の種類、分散剤の使用有無、施工手順を確認し、マッドケキの過大成長および先行エレメントコンクリート壁面や鉄筋等へのマッドケキの形成の防止策を講じていること、コンクリート打設前に鉄筋等よりマッドケキを除去していることを確認した。結果は以下の通り。 ・当該現場では、ペントナイト安定液よりマッドケキの厚さが薄く、かつ不透水膜として機能が卓越となるペントナイトCMC安定液を使用している。また、鉄筋等へのペントナイト粒子の吸着を防止するために分散剤を添加していることを確認した。 ・施工手順を確認した結果、コンクリート打設前に鉄筋部について、洗浄を行う手順となっていることを確認した。	×
		b. 溝壁のはらみ出し	施工時に地盤に加わる荷重（施工機械等の上乗荷重やコンクリートの打設圧）や安定液と地下水の水位差不足により溝壁にはらみ出しが発生した場合、コンクリートの充填すべき箇所の閉塞及び流路の阻害により、コンクリートが未充填となる可能性がある。 このため、南基礎地中連続壁部の施工履歴及び施工条件に基づき、二次元FEM解析により溝壁のはらみ出し発生について確認した。結果は以下の通り。 ・当該地中連続壁部の構築過程においては、掘削機により地盤へ繰返し荷重が作用していること、コンクリート打設圧による側圧が中実部に内部圧力となって蓄積したことが想定される。 ・この施工履歴に基づき地盤に作用する応力を考慮した解析を実施した結果、溝壁が最も長期間開放されていた箇所（A南6の①の区画（剛結継手部））での、地山側のはらみ出し量は最大約11cm、様々な施工荷重の影響を受けている中実部側のはらみ出し量は最大約25cm、地山側の地盤でも施工荷重を受けた箇所（A南8の②の区画（剛結継手部））の地山側のはらみ出し量は最大約3cmが推定された。 ・更に、はらみ出した溝壁は、はらみ出しが大きくなるにつれ不安定になり、その一部は崩落し、下方のコンクリートの充填すべき箇所の閉塞及び流路の阻害となり、コンクリートの未充填の原因となる可能性がある。なお、壁面観察の結果、粘性土（A c層）分布深度以深のコンクリートの未充填部の堆積物は粘性土（A c層）であり、粘性土（A c層）が崩落したものと考えられる。	○
		c. 安定液の性状	コンクリートの打設の際に、掘削溝内の安定液の濃度（比重等）が高く、管理基準値を満足していない場合、安定液とコンクリートの比重差の減少や安定液の粘性の増加により、安定液とコンクリートの置換性が悪化し、コンクリートの未充填が発生する可能性がある。 このため、施工記録を確認した結果、全てのコンクリートの打設前（鉄筋かご建込み前）において、掘削溝内の安定液の濃度（比重等）が所定の管理基準値を満足しており、安定液の性状によるコンクリートの未充填は生じないと考えられる。	×
		d. 掘削溝の出来形の不良	地中連続壁を構築するための掘削溝が計画よりも小さく施工されていた場合、鉄筋かぶり部が縮小し、コンクリートの流路が狭くなることからコンクリートの未充填の要因になる可能性がある。 このため、掘削溝の掘削形状が所定の幅や深さであることを、鉄筋かこの建込み前に超音波記録にて確認する。この結果、施工記録から、所定の掘削形状が確保されていることが確認できており、掘削出来形によるコンクリートの未充填は生じないと考えられる。	×
	2) コンクリートの流動性の不足	e. コンクリートの性状	コンクリートには粗骨材が含まれており、配置された鉄筋間隔と粗骨材の最大粒径との差が比較的小さい場合、コンクリートの未充填の原因になる可能性がある。 地中連続壁のコンクリートに用いられている粗骨材はコンクリート標準示方書の粗骨材に要求される物理的性質等を満たすものであり、最大粒径20mmはコンクリート標準示方書に基づく最小鉄筋間隔と粗骨材の粒径の関係（鉄筋の最小間隔（約100mm）の3/4以下）を十分満足している。 以上より、コンクリート材料によるコンクリート未充填は発生しないと考えられる。 また、コンクリートの流動性（スランプフロー値）が小さい場合、コンクリートの打設の際に打設管から躯体の端まで到達せず、コンクリートの未充填の原因になる可能性が考えられるが、地中連続壁に用いられたコンクリートは、高流動コンクリートを採用しており、受入時の検査では基準となるスランプフロー値等を満足していることを確認している。 したがって、コンクリートの流動性が小さいことによりコンクリートの未充填が生じた可能性は考えられない。	×

別紙 説明スケジュール (案)

説明項目	2月			3月			4月			5月		
申請の概要		▼										
南基礎調査結果 発生原因 対策方針			▼									
設計方針 設計条件 (想定)				▼								
耐震設計・影響確認 耐津波設計・影響確認 その他仕様変更					▼							
北基礎調査結果 // 発生原因						▼						
北基礎調査結果 他								▼				