

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3月5日
日本原子力発電株式会社

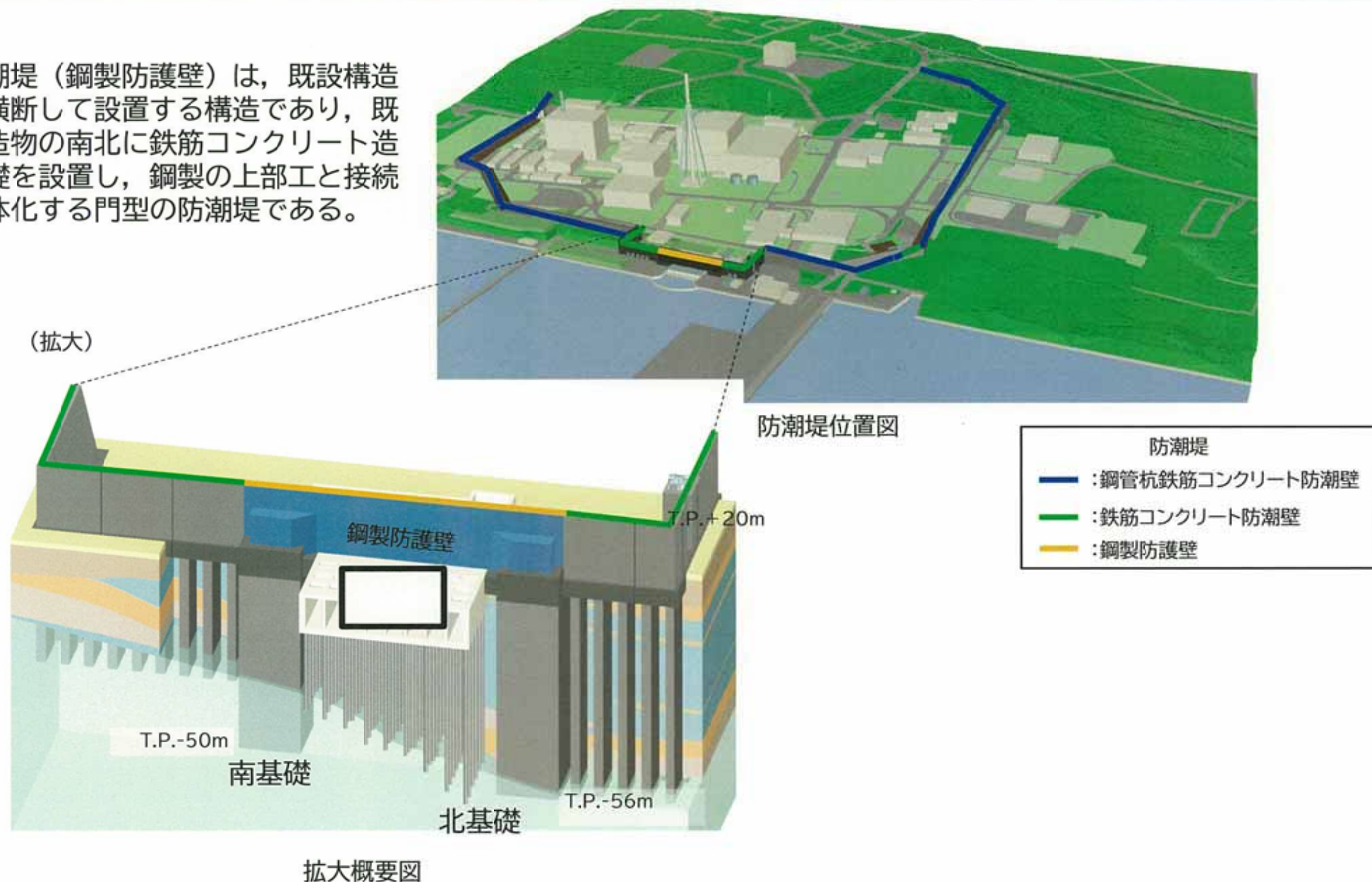
本資料中の  は、商業秘密又は防護上の観点で公開できません。

目 次

1. 防潮堤（鋼製防護壁）の概要
2. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策
 - (1) 不具合事象の概要
 - (2) 不具合事象に対する対策（設計変更）
 - (3) 設計変更後の防潮堤基礎としての成立性
3. 防潮堤（鋼製防護壁）の設計変更に係る耐震耐津波評価
 - (1) 不具合事象を考慮した設計変更に係る耐震耐津波評価の概要
 - (2) 施工設計時の品質向上箇所を反映した耐震耐津波評価の概要
 - (3) 設計変更を考慮した耐震耐津波評価の方針
 - (4) 設計変更を考慮した地中連続壁基礎の耐震耐津波評価の結果
 - (5) 設計変更を考慮した耐震耐津波評価の結果

1. 防潮堤（鋼製防護壁）の概要（1／5）

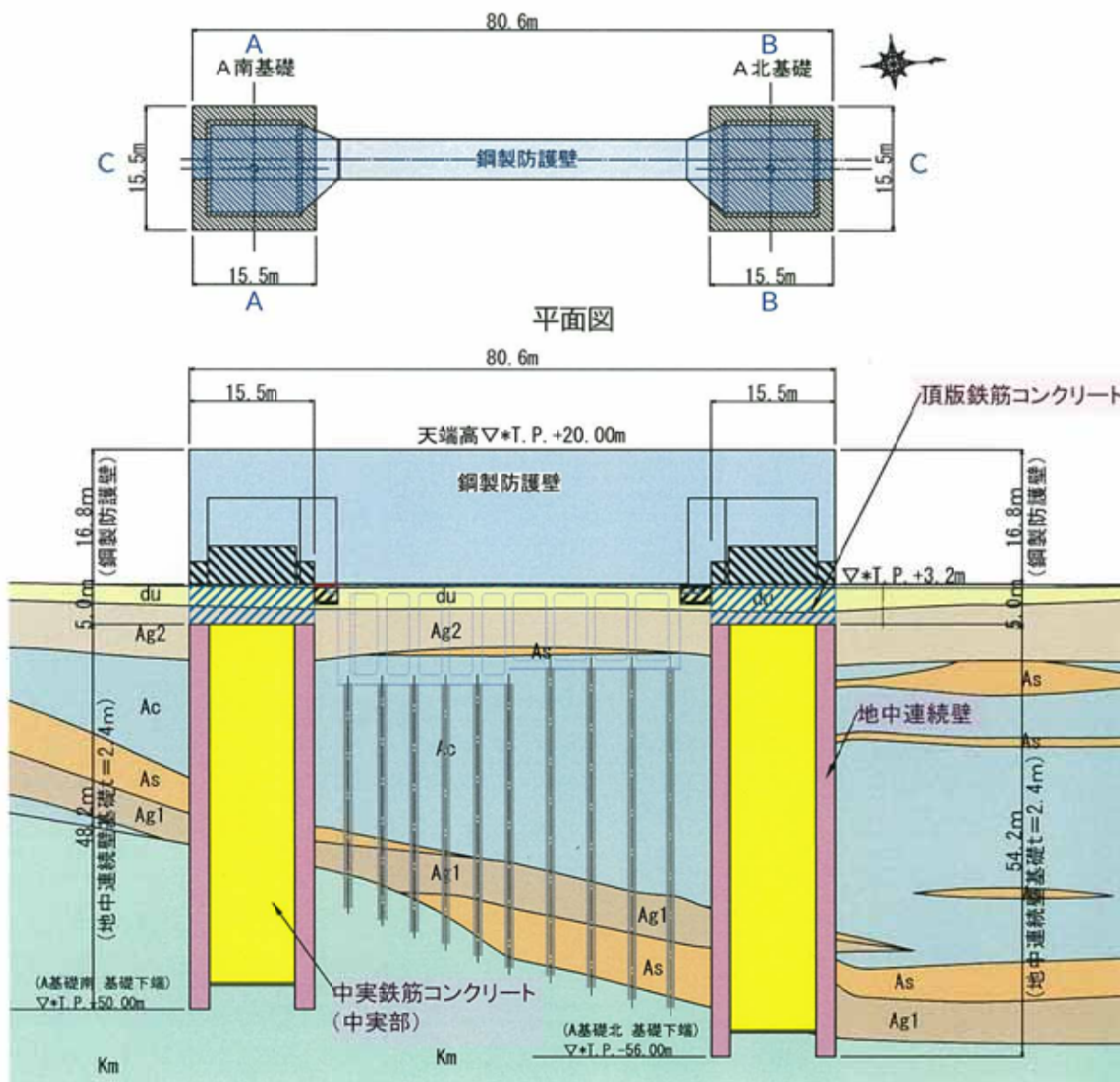
防潮堤（鋼製防護壁）は、既設構造物を横断して設置する構造であり、既設構造物の南北に鉄筋コンクリート造の基礎を設置し、鋼製の上部工と接続し一体化する門型の防潮堤である。



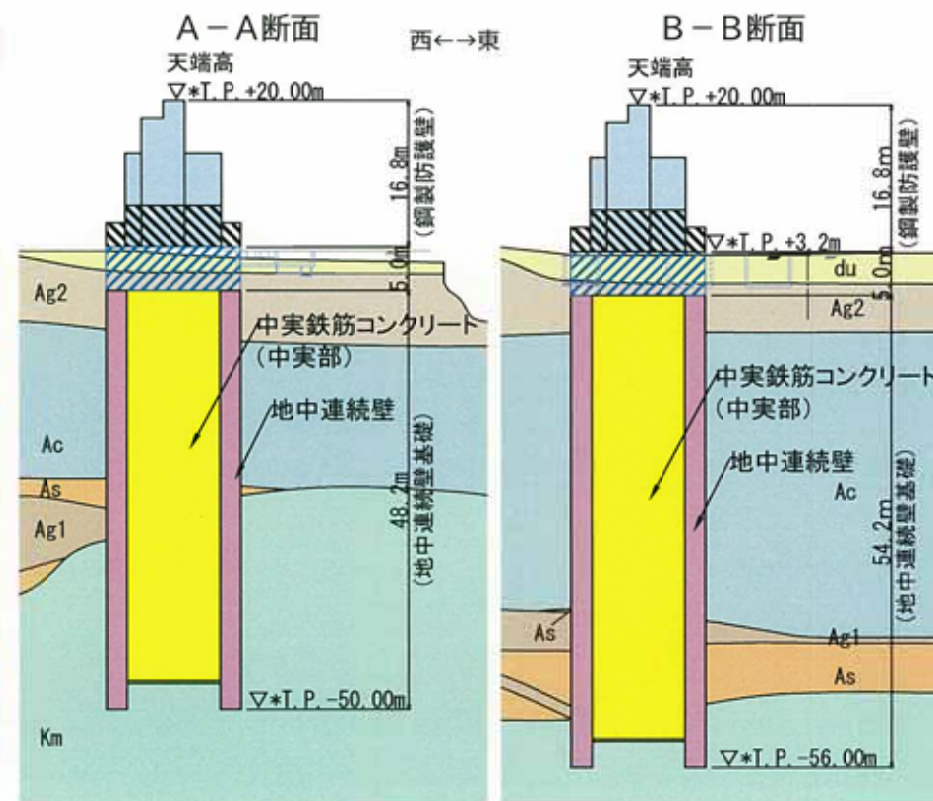
1. 防潮堤（鋼製防護壁）の概要（2/5）

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. 掘削後下端より中実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. 同上部に頂版鉄筋コンクリートを構築



鉛直断面図（堤正面：C-C断面）

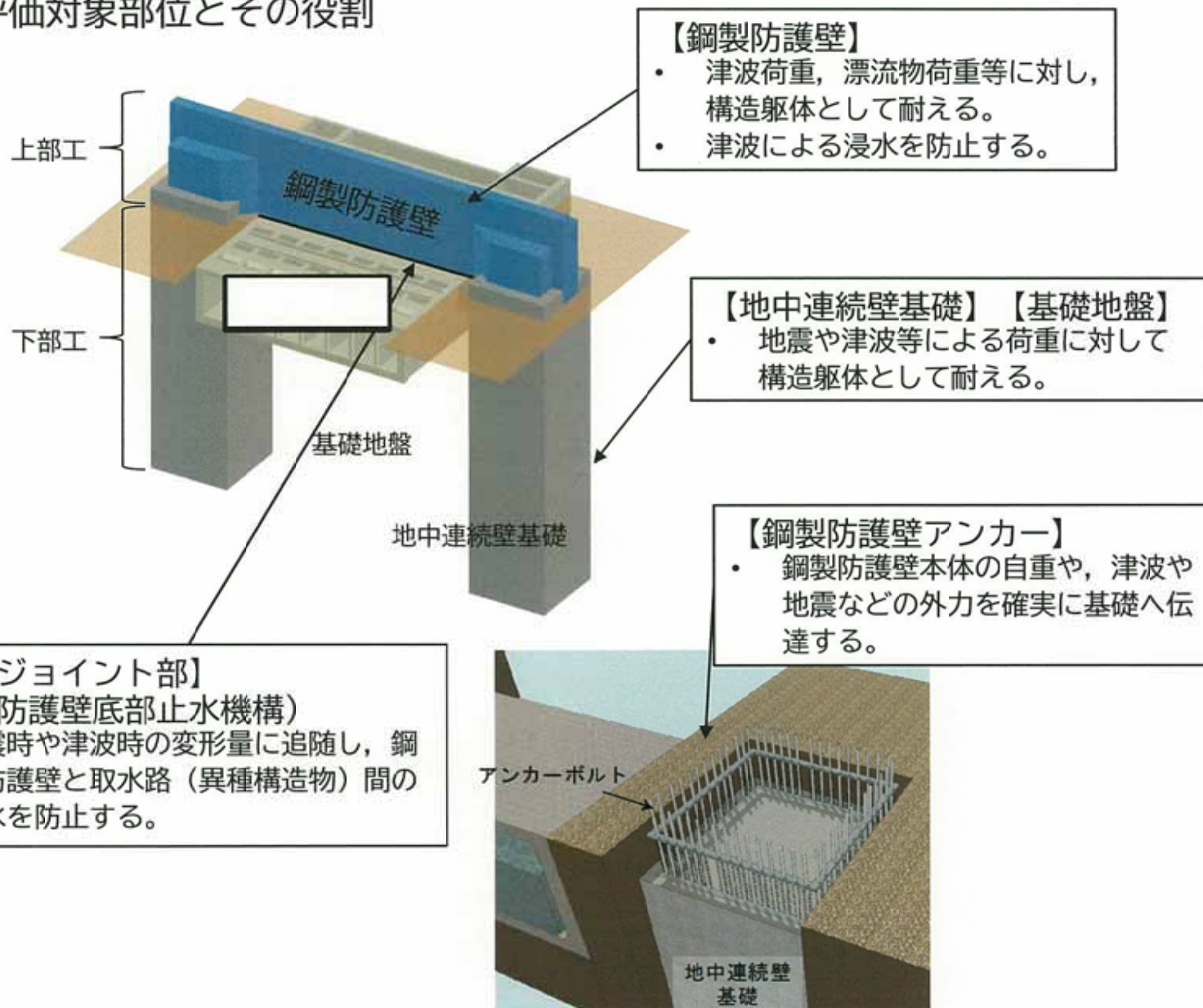


鉛直断面図（堤側面）

1. 防潮堤（鋼製防護壁）の概要（3／5）

■防潮堤（鋼製防護壁）の評価対象部位とその役割

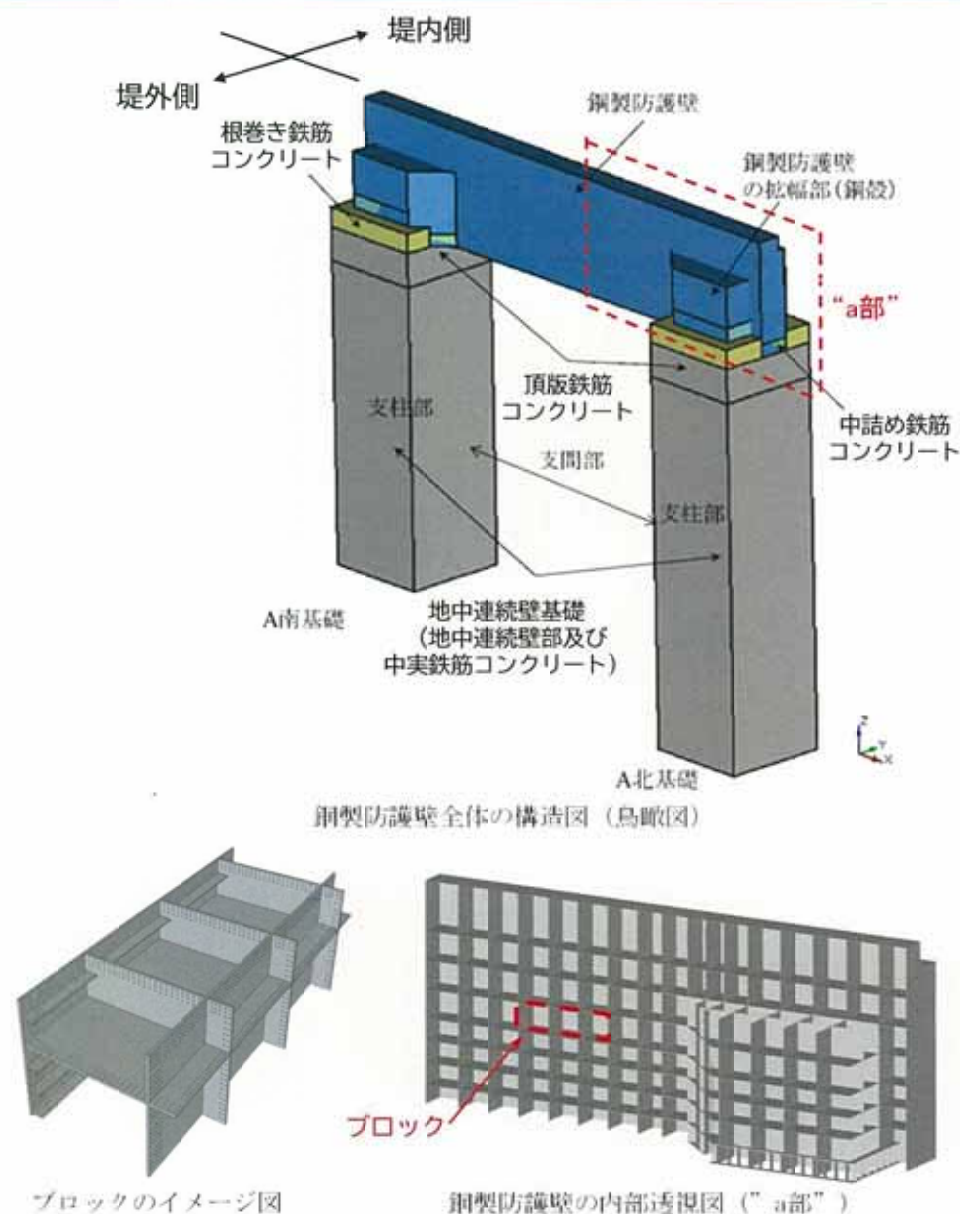
津波防護施設として防潮堤に求められる要求機能は、繰返しの来襲を想定した遡上津波に対して浸水を防止すること、基準地震動 S_s に対し要求される機能を損なう恐れがないよう構造物全体として十分な変形能力と構造強度を有することである。



1. 防潮堤（鋼製防護壁）の概要（4/5）

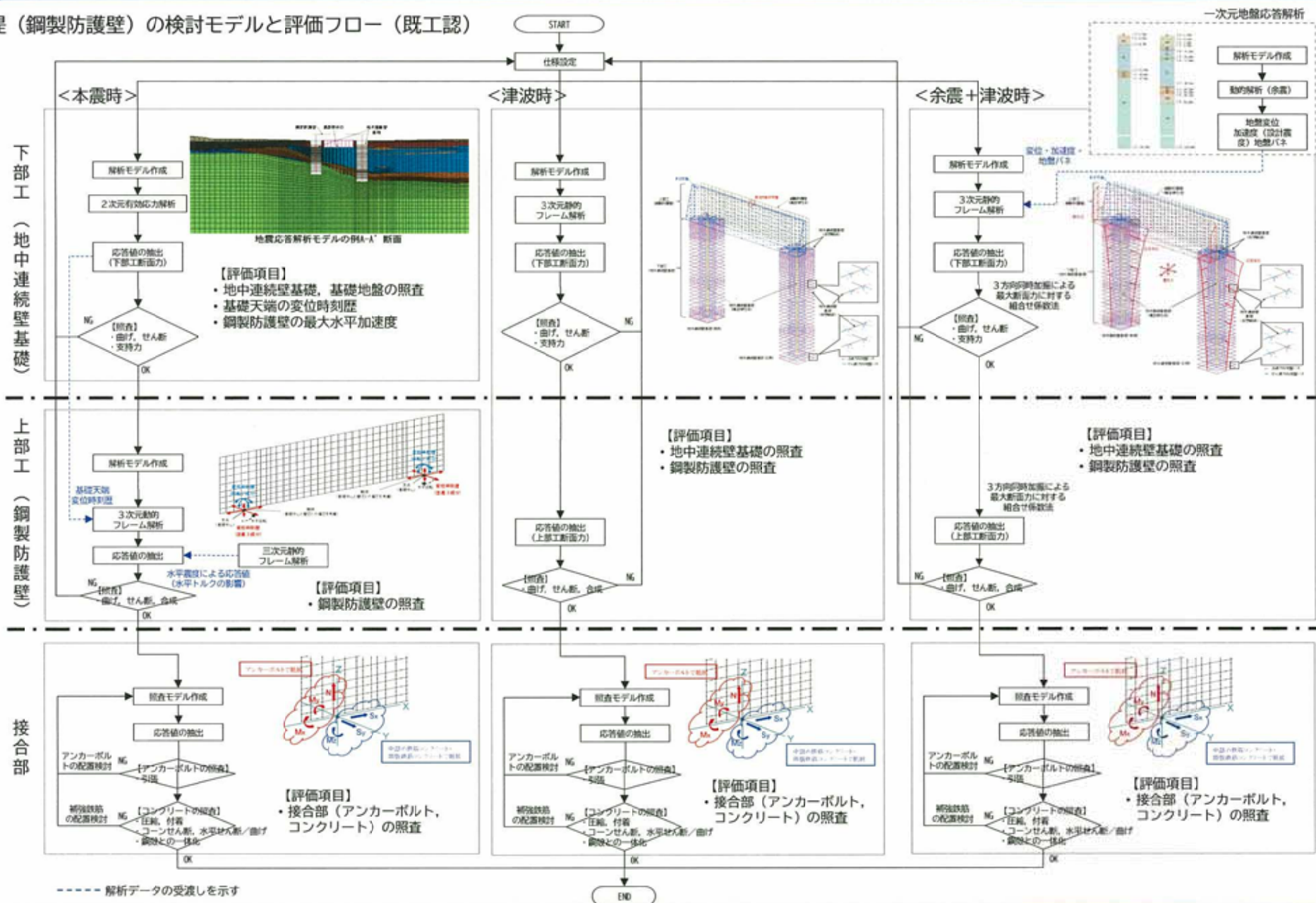
■防潮堤（鋼製防護壁）の構成部位と役割（詳細）

区分	分類	構成	各部位の役割
上部工	鋼製防護壁	鋼製防護壁 (支間部, 支柱部)	津波荷重等に抵抗する。
		鋼製防護壁の拡幅部 (鋼殻)	基礎上部の範囲を拡幅することにより, 下部工応力の低減とアンカーボルトの 配置エリアを確保する。
		中詰め鉄筋コンクリート	鋼殻内部の鉄筋コンクリートで, 下部 工周辺の鋼殻応力の低減と上部工から のせん断力と水平回転モーメント (水平トルク)を基礎頂版に伝達する。
接合部	アンカー ボルト	—	上部工からの引抜き力を地中連続壁 基礎頂版鉄筋コンクリートに伝達する。
下部工	地中連続壁 基礎 (A北, A南)	頂版鉄筋コンクリート	地中連続壁基礎の上部に構築する鉄 筋コンクリート版で, 鋼製防護壁からの 荷重を地中連続壁基礎に伝達させる。 アンカーボルト及び中詰め鉄筋コンク リート内の鉄筋を定着させる。
		地中連続壁部 (鉄筋コンクリート)	基礎外面を形成し基礎の主要部材とな る。
		中実鉄筋コンクリート	地中連続壁内部の鉄筋コンクリートで, 地中連続壁と一体となって発生断面力 を負担する。
非 構造 部材	根巻き鉄筋 コンクリート	—	アンカーボルト頭部の防食などを目的 とした鉄筋コンクリート。非構造部材と して設計する。



1. 防潮堤（鋼製防護壁）の概要（5/5）【鋼製防護壁の評価方法】

■防潮堤（鋼製防護壁）の検討モデルと評価フロー（既工認）



2. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策（1/5）

(1) 不具合事象の概要

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。観察結果、音響探査等から確認した南北基礎における不具合事象の発生の状況を下表に示す（詳細は参考資料1, 2, 3参照）。

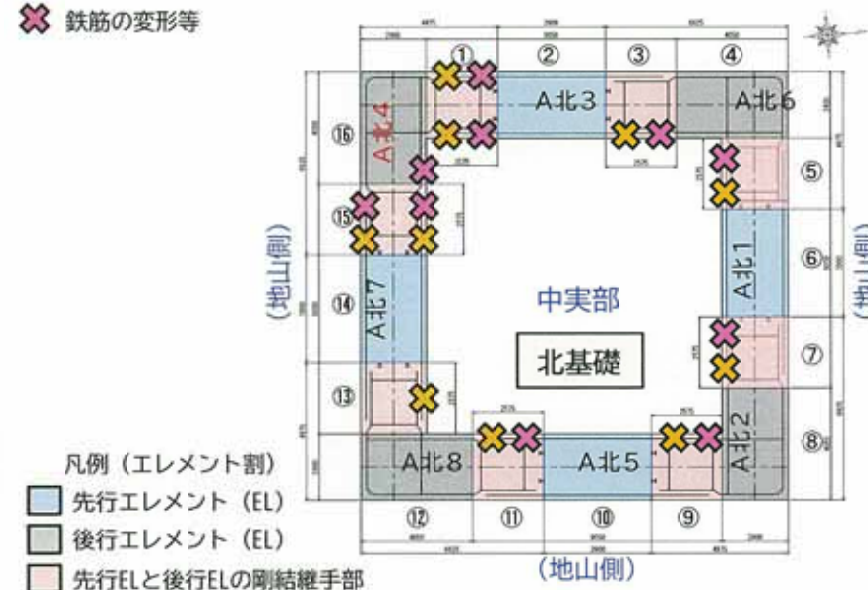
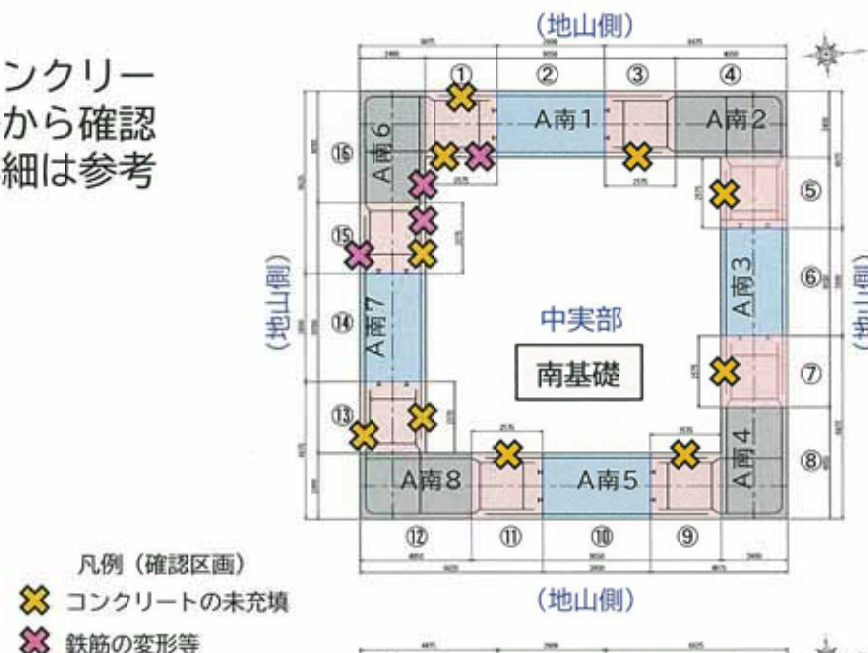
不具合事象の確認結果

区画	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	全ての剛結継手部の区画で確認	①, ⑮, ⑯の区画で確認
	地 山 側	剛結継手部①, ⑬の区画で確認 (最大16cmの未充填)	⑮の区画で確認 (保守的に想定※1)
北基礎	中実部側	全ての剛結継手部の区画で確認	①③⑤⑦⑨⑪⑮⑯の区画で確認※2
	地 山 側	剛結継手部①, ⑮の区画で確認 (最大15cmの未充填)	①, ⑮の区画で発生 (保守的に想定※1) ※2

※1 施工記録から保守的に想定
※2 北基礎ではA北4にて鉄筋の高止まりも発生している。

不具合事象の確認方法

	コンクリートの未充填	鉄筋の変形等
中実部側	目視観察	目視観察
地山側	音響探査, コア採取	超音波記録, モックアップ試験に基づく評価



地中連続壁部のエレメント割

2. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策（2／5）

（2）不具合事象に対する対策（設計変更）

不具合事象に対し、地山側の不具合部の補修又は地中連続壁部の撤去・再構築による現設計への復旧を検討したが、施工の成立性、安全性の面でいずれも現実的でないと評価した（参考資料4参照）。

そこで本不具合により低下した基礎の耐力を補うための方法として、中実部の鉄筋コンクリートを更に鉄筋補強することについて検討を行った。補強の基本的な考え方を下表に示す。

中実部への補強の方針

不具合の種類	場所	基礎の耐力評価上の扱い	中実部の補強	備考
コンクリートの未充填	地山側	欠損部のコンクリートのせん断耐力欠損	せん断補強筋の追加	★
		欠損部に位置する鉄筋の欠損	主鉄筋(鉛直鉄筋)の追加	
			せん断補強筋の追加	
	中実部側	コンクリートを充填することで、耐力は現設計どおり（欠損しない）	中実部構築時に充填	
鉄筋の変形等	地山側	せん断補強筋のせん断耐力欠損	せん断補強筋の追加	★と兼ねる
	中実部側	せん断補強筋のせん断耐力欠損	せん断補強筋の追加	注

注：水平鉄筋は主筋（鉛直鉄筋）の配力筋を兼ねることから、中実部側の変形等が確認されている鉄筋に対して補修（取替）または同仕様鉄筋の追加設置を行う。

2. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策（3/5）

(2) 不具合事象に対する対策（設計変更）

a. 地山側に想定した不具合

【対策】・前頁の考えに基づき、中実部にて鉄筋を現計画に追加して配置する。

【設計】・補強した鉄筋が有する耐力を考慮する。
・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）を想定する。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。…①
・未充填部以外の鉛直鉄筋は構造強度として考慮する。…②

b. 中実部側に想定した不具合

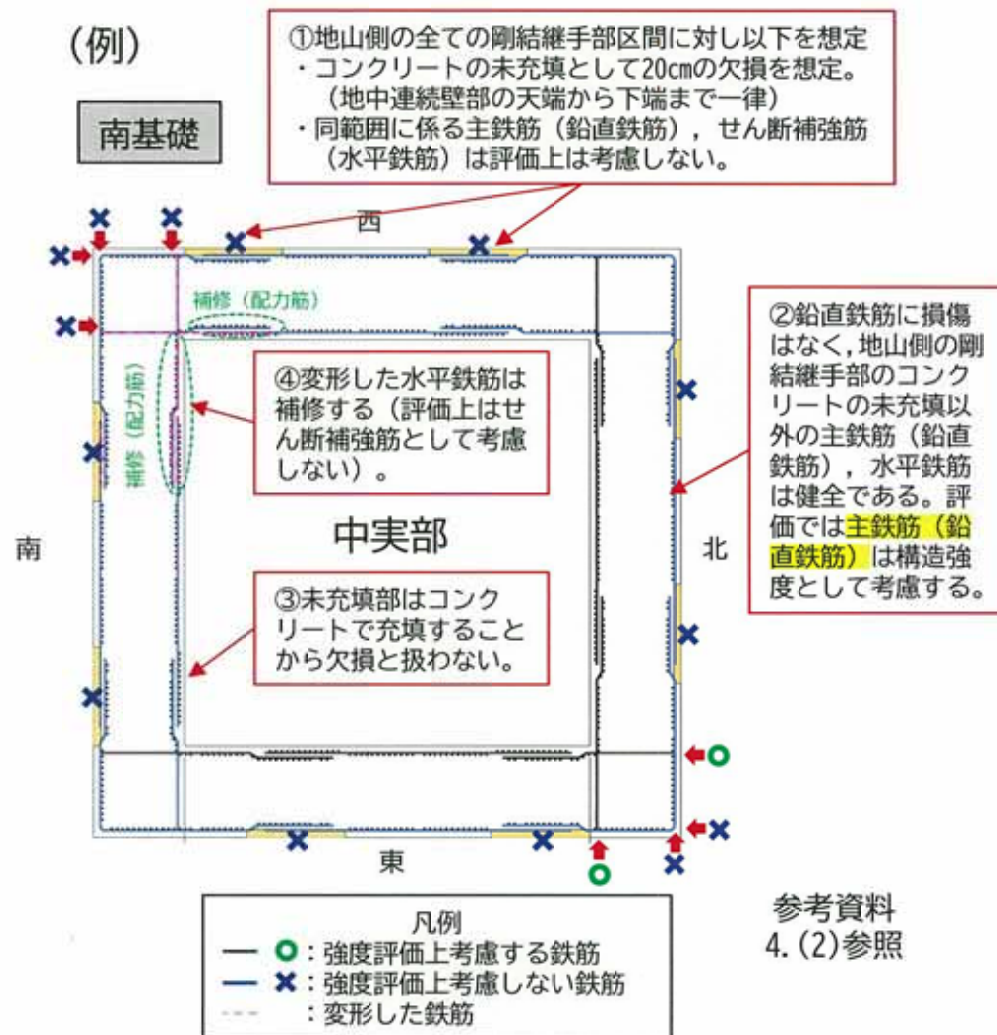
【対策】・コンクリートの未充填部はコンクリートを充填する。鉄筋の変形等は補修する。

【設計】・未充填部は充填されるため中実部側のコンクリートは欠損とは扱わない。…③
・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。…④
・北基礎は調査が完了していないことを踏まえ、中実部側の全てのせん断補強筋（水平鉄筋）を構造強度（せん断補強筋）として考慮しない。

c. 設計目標

既認可の工事計画と同等以上の安全裕度とする。

(例)



不具合事象の設計上の扱い

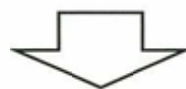
※北基礎は調査中であるものの、これまでの調査結果は本設計の条件とした想定に包含されていることを確認している。

2. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策（4／5）

（3）設計変更後の防潮堤基礎としての成立性

鋼製防護壁の基礎を設計変更するにあたり、各種指針に照らして鉄筋コンクリートとしての成立性について確認した。

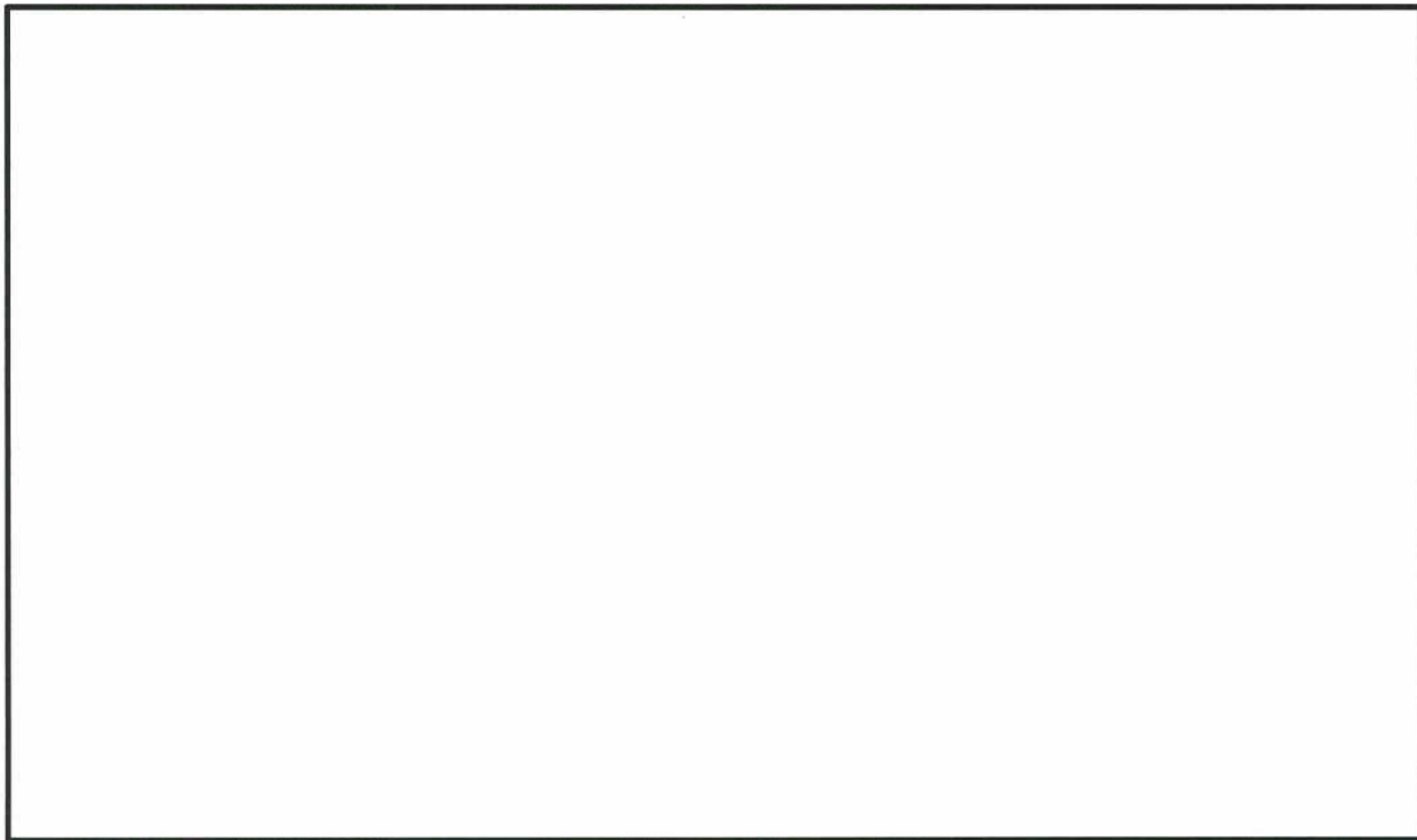
	確認事項	対策・適合性
設計方針	- 部材設計：許容応力度以内 - 鉛直鉄筋，せん断補強鉄筋の中実部への追加配置	- 設工認と同様，弾性範囲内での設計とする - 設工認の安全裕度と同等以上になるよう配置する
配筋細目	- 軸方向鉄筋のあき（柱）：40mm以上，粗骨材の最大寸法の4/3倍以上，鉄筋直径の1.5倍以上 - 最小鉄筋量：コンクリート断面積の0.8%以上の軸方向鉄筋を配置張鉄筋比0.2%以上 - 最大鉄筋量：コンクリート断面積の6%以下，釣合鉄筋比の75%以下 他	コンクリート標準示方書，道路橋示方書Ⅳに基づく配筋を行う。



今回の構造変更は，地中連続壁部で構造強度として期待できない鉄筋を中実部側で補強するものである。
上記の配筋細目を考慮することを踏まえ，構造変更は問題ないことを確認した。

2. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策（5／5）

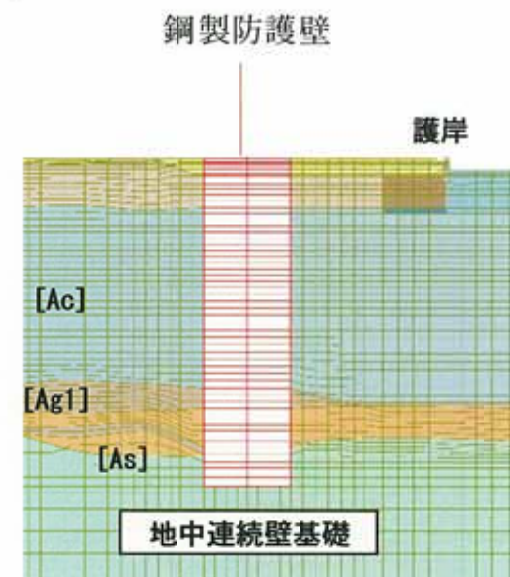
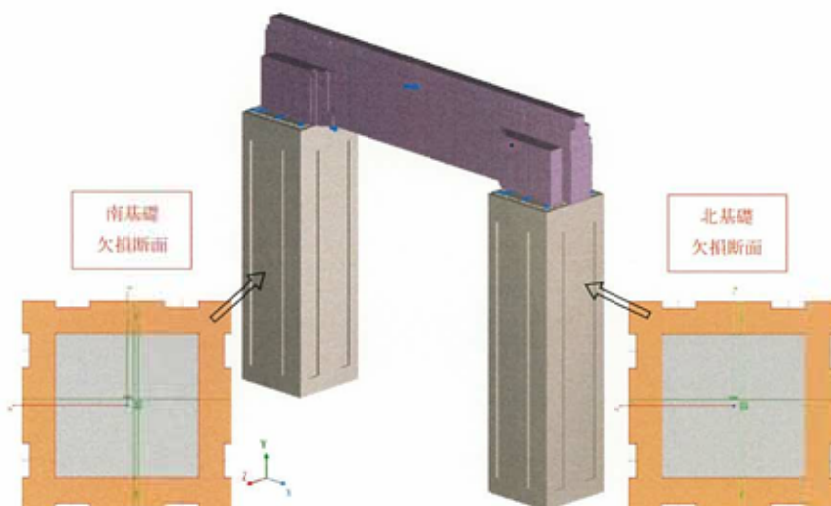
（4）不具合事象に対する対策（設計変更）…南基礎の例



3. 防潮堤（鋼製防護壁）の設計変更に係る耐震耐津波評価（1／5）

(1) 不具合事象を考慮した設計変更に係る耐震耐津波評価の概要

- ・コンクリートの未充填及び鉄筋の変形等の不具合事象を考慮し、解析評価断面の見直しを実施した。
- ・地中連続壁部に対して深さ0.2m×幅2.5mの断面欠損を両基礎とも8箇所ずつ設定。コンクリートの欠損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した。
- ・また、各部材の照査においては、鉄筋の仕様や数量の変更、配置等を考慮する。



断面	断面積 (m^2)	断面二次モーメント (m^4)
健全（設工認）断面	240.25	4810.00
欠損断面	236.16 (健全断面の98.3%)	4666.32 (健全断面の97.0%)

不具合事象を考慮したコンクリート欠損部の解析モデルへの反映

コンクリートの欠損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した。

3. 防潮堤（鋼製防護壁）の設計変更に係る耐震耐津波評価（2／5）

(2) 施工設計時の品質向上箇所を反映した耐震耐津波評価の概要

地中連続壁部の不具合事象を考慮した設計変更箇所に加え、施工設計時の品質向上を目的とした見直し箇所を照査に反映した。

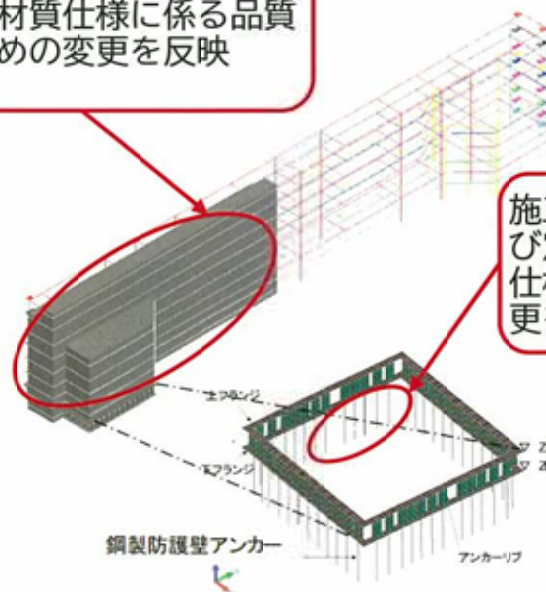
- ・ 上部工（アンカーボルト）の配置や本数、材料仕様の見直し【施工品質の精度向上】
- ・ 上部工（鋼製防護壁）の板厚や材料仕様の見直し【工場製作時の高強度の材料仕様範囲の拡大による施工品質の向上】
- ・ 下部工（ジベル鉄筋）の配置や本数、材料仕様の見直し【設置作業上の安全性確保を考慮した施工品質の向上】

施工設計時のジベル鉄筋の配置、本数、材料仕様に係る品質向上のための変更を反映



(ジベル鉄筋)

施工設計時の鋼製材料の一部板厚及び材質仕様に係る品質向上のための変更を反映



(上部構造及び接合部)

施工設計時のアンカーボルト及び定着鉄筋の配置、本数、材料仕様に係る品質向上のための変更を反映

施工設計時の品質向上箇所を反映した設計変更

3. 防潮堤（鋼製防護壁）の設計変更に係る耐震耐津波評価（3／5）

(3) 設計変更を考慮した耐震耐津波評価の方針

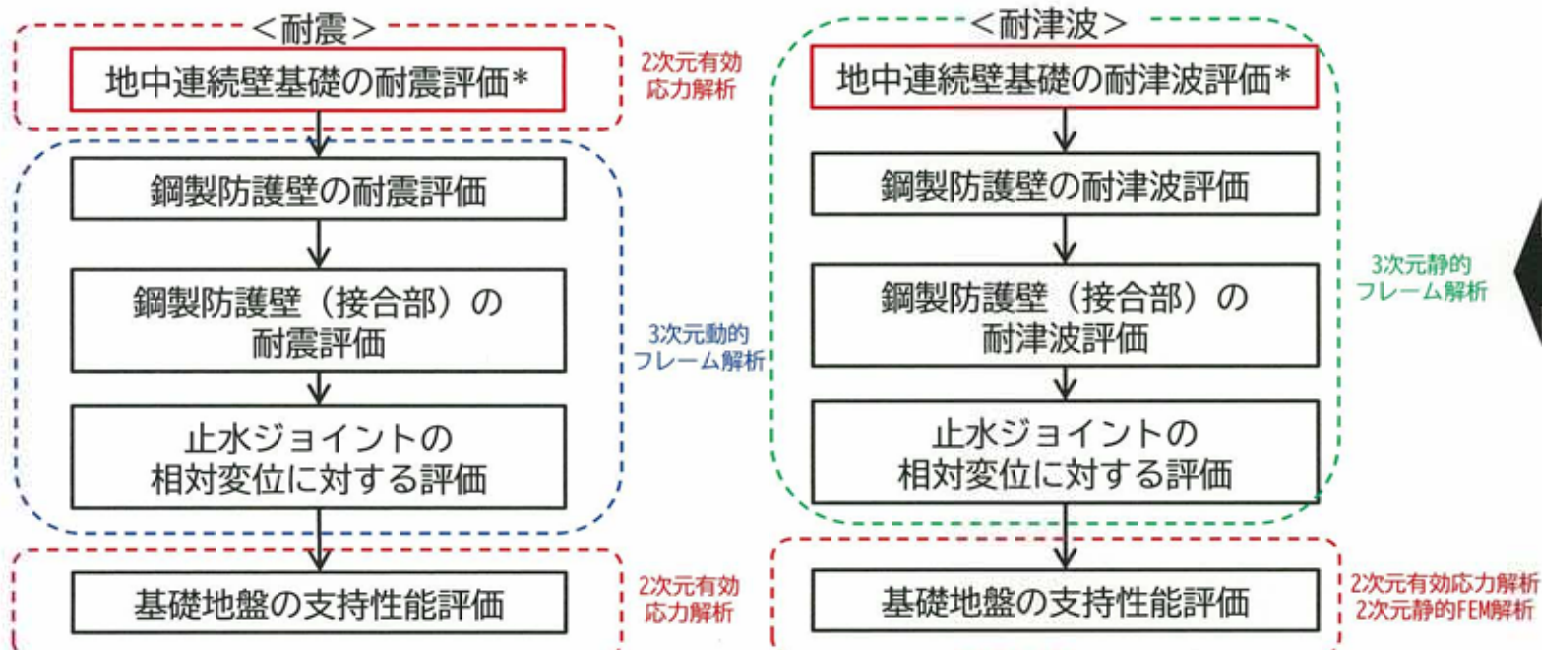
今回の設計変更を考慮した耐震耐津波評価を実施するための方針は、平成30年10月に認可を受けた耐震及び耐津波評価方針と同様とすることを基本とする。ただし、各評価における検討ケース及び応答解析モデルについては、各設計変更による耐震評価への影響程度を考慮し、以下のような取扱いとする。

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。



□ の評価にて実施する応答解析（断面欠損を考慮）の結果として、各照査部位における応答値の変動が軽微であることを確認した場合には、以降の□に示す評価においては、既往の応答値を流用する方針とする。

注記 * (1)(2)に示す設計変更のうち、構造物の応答解析モデルに影響を与える項目として、地中連続壁基礎の断面欠損を考慮する。なお、鋼製防護壁の仕様変更に伴う重量増分は極めて小さく（1%未満）、設計重量の切り上げに包絡される結果となった。

3. 防潮堤（鋼製防護壁）の設計変更に係る耐震耐津波評価（4／5）

（4）設計変更を考慮した地中連続壁基礎の耐震耐津波評価の結果

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、既工認における地中連続壁基礎の応答解析モデルでの応答と比較し、各照査対象部位への影響程度について確認を行った。

①上部工（鋼製防護壁）への影響

- ・ 基礎天端の相対変位は1%未満の変動
- ・ 基礎天端の加速度応答スペクトルは1%未満の変動
- ・ 上部工の断面力（軸力・せん断力・曲げモーメント）は1%未満の変動

②接続部への影響

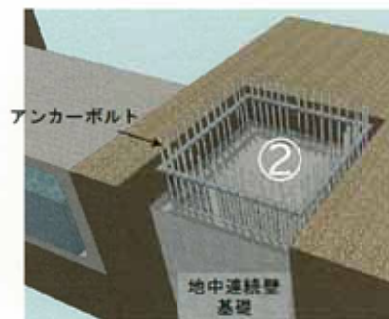
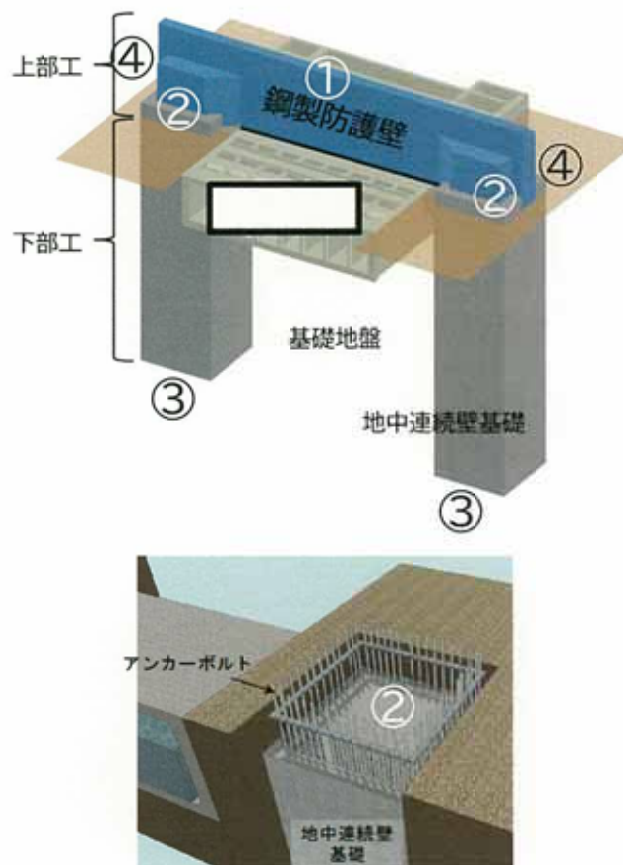
- ・ アンカーボルト照査用断面力は1%未満の変動
- ・ 頂版鉄筋コンクリート及び中詰め鉄筋コンクリートの照査用断面力は1%未満の変動

③基礎地盤の支持性能への影響

- ・ 最大接地圧は1%未満の変動

④相対変位への影響（止水性への影響）

- ・ 防潮堤（鋼製防護壁）と隣接する構造物間の相対変位は1%未満の変動



地中連続壁基礎の耐震耐津波評価を実施した結果、各照査部位における応答値の変動が軽微であることを確認した。

3. 防潮堤（鋼製防護壁）の設計変更に係る耐震耐津波評価（5／5）

(5) 設計変更を考慮した耐震耐津波評価の結果

今回の設計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		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	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	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	0.94	0.69	0.96	0.96
鋼製防護壁に対する照査		0.82	—	0.68	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	0.90	—	0.58	0.94
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	同左
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	同左

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。

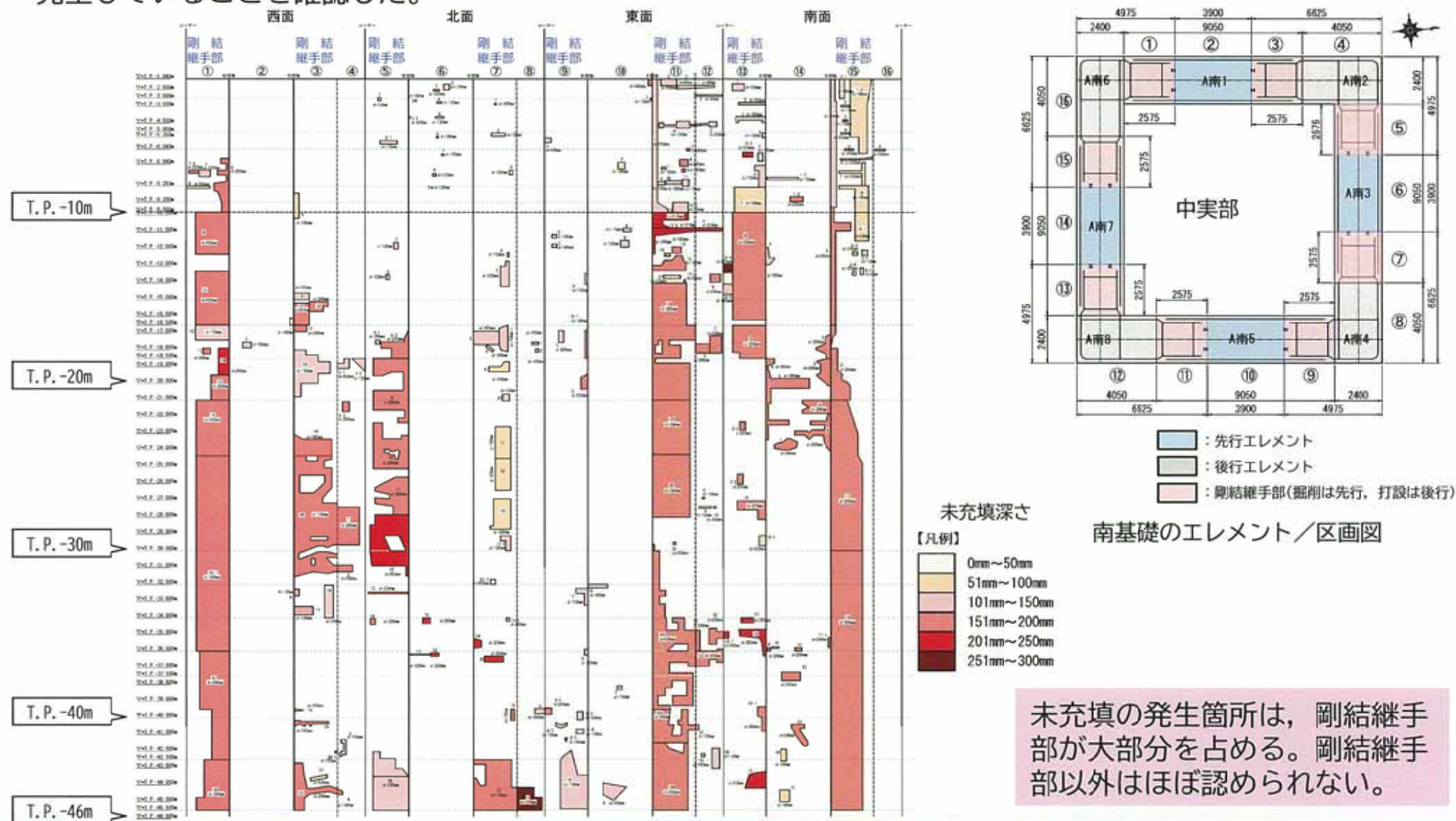
*2：設計変更による影響程度が軽微であることから、既工認と同様の照査値を掲載する。

1. 南基礎地中連続壁部で発生したコンクリートの未充填の概要
2. 南基礎地中連続壁部で発生した鉄筋の変形等の概要
3. 北基礎の調査結果
4. 不具合事象への対応方針の検討結果
5. 品質向上を目的とした設計変更
6. 設計及び工事に係る品質マネジメントシステム上の位置づけ
7. 南基礎の事象分析
8. 補正手続きの経緯

1. 南基礎地中連続壁部で発生したコンクリートの未充填の概要 (1/8)

(1) 中実部側壁面の観察結果

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

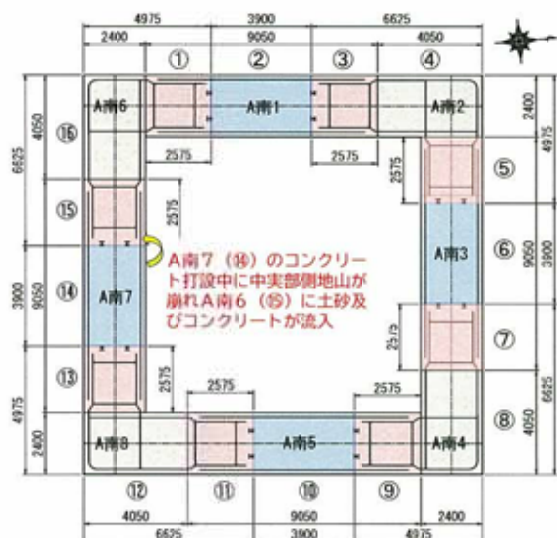
1. 南基礎地中連続壁部で発生したコンクリートの未充填の概要 (2/8)

(2) 発生原因

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

2) 溝壁の粘性土 (Ac層) のはらみ出し及び同土砂の崩落



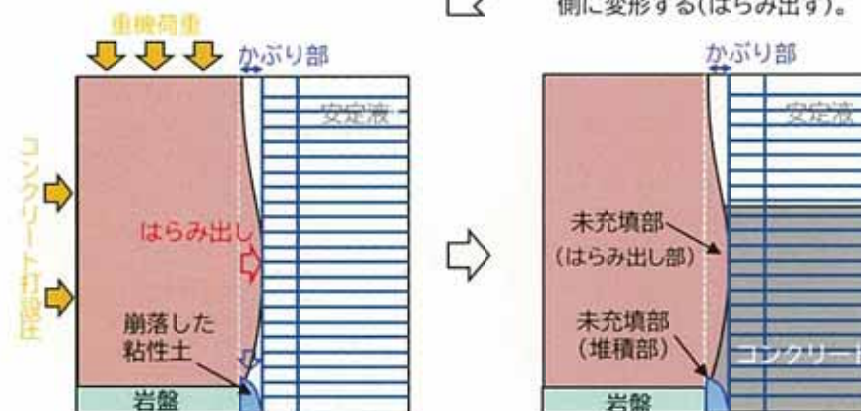
(15の拡大)

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。



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変形する (はらみ出し)。



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。

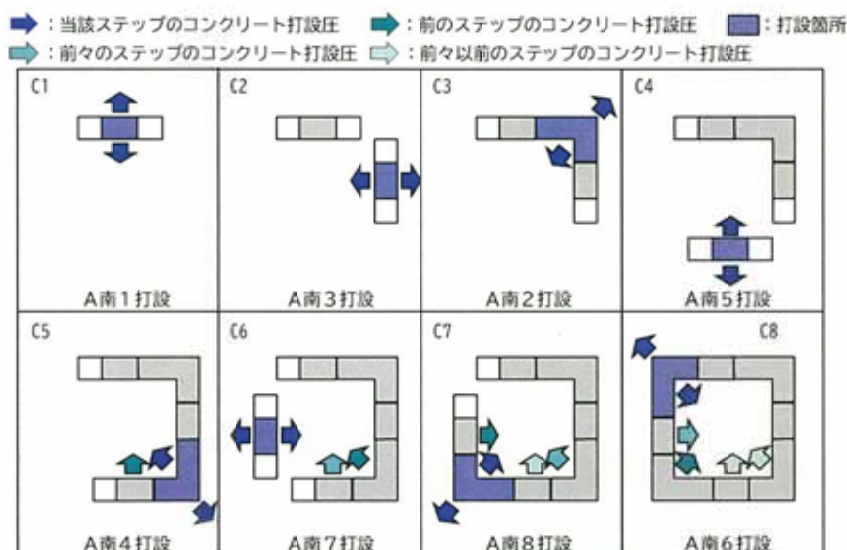
1. 南基礎地中連続壁部で発生したコンクリートの未充填の概要 (3/8)

(3) はらみ出しに関する考察

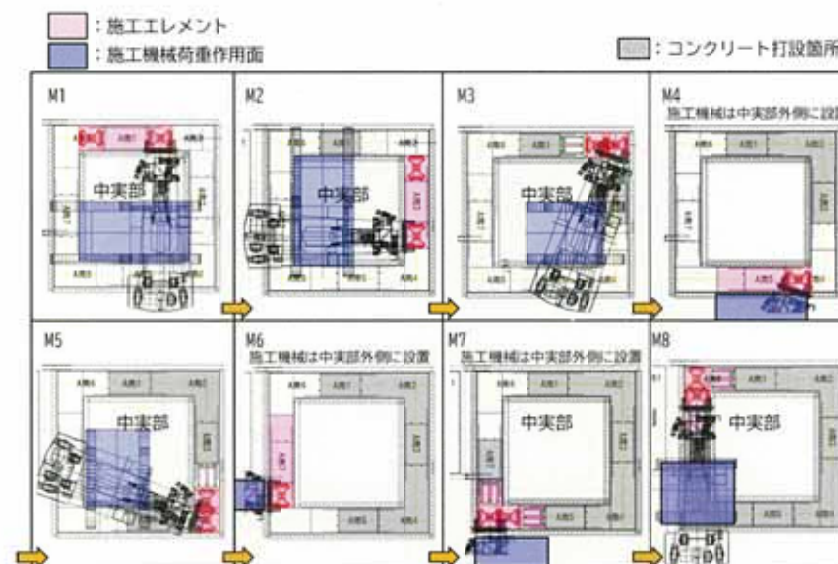
施工記録から確認した結果, 下図に示すように中実部側及び地山側において施工機械（掘削機）の繰返し荷重が作用していることを確認した。

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

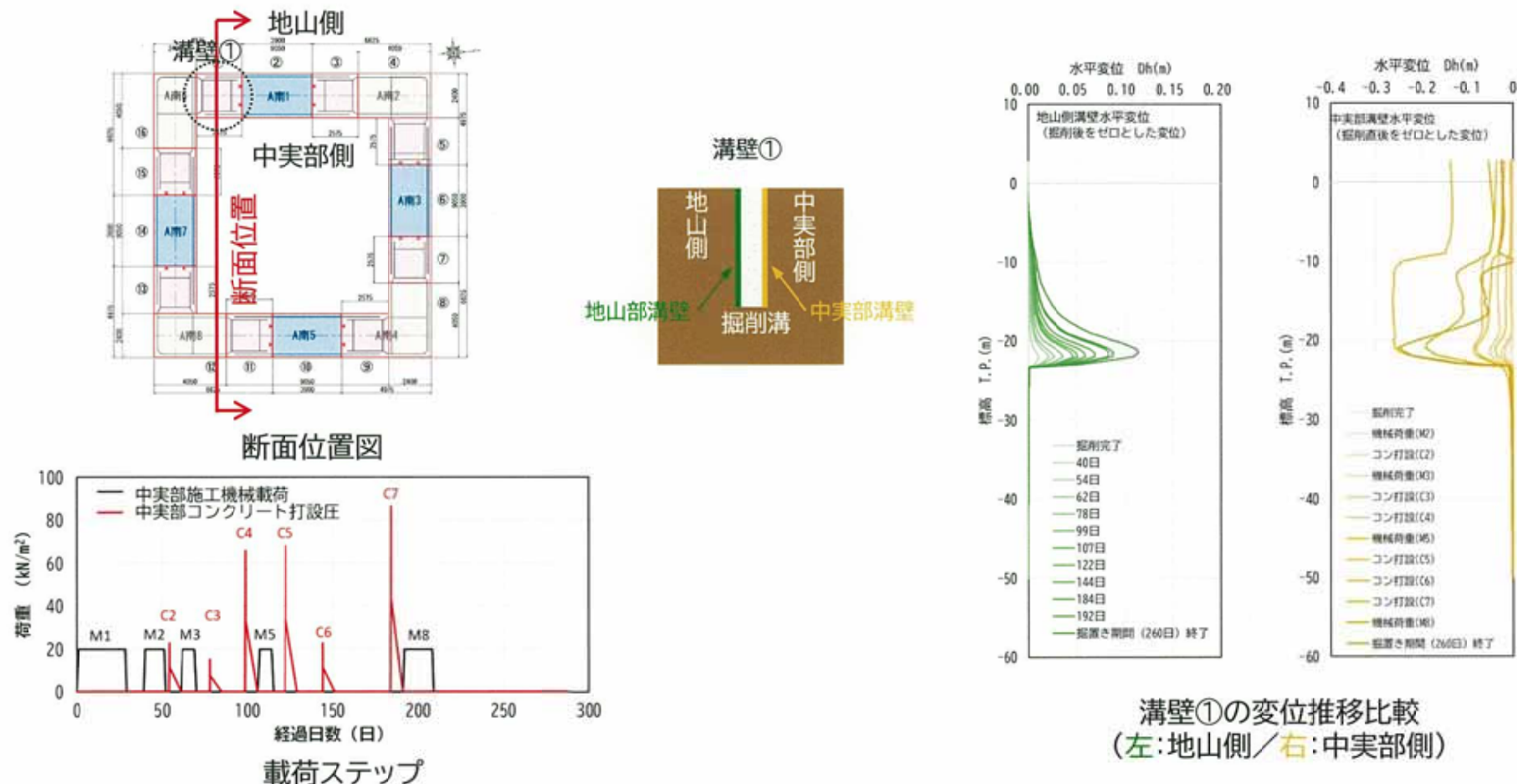


施工機械荷重の履歴

1. 南基礎地中連続壁部で発生したコンクリートの未充填の概要 (4/8)

(3) はらみ出しに関する考察

- 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、解析コードは静的・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、中実部側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。

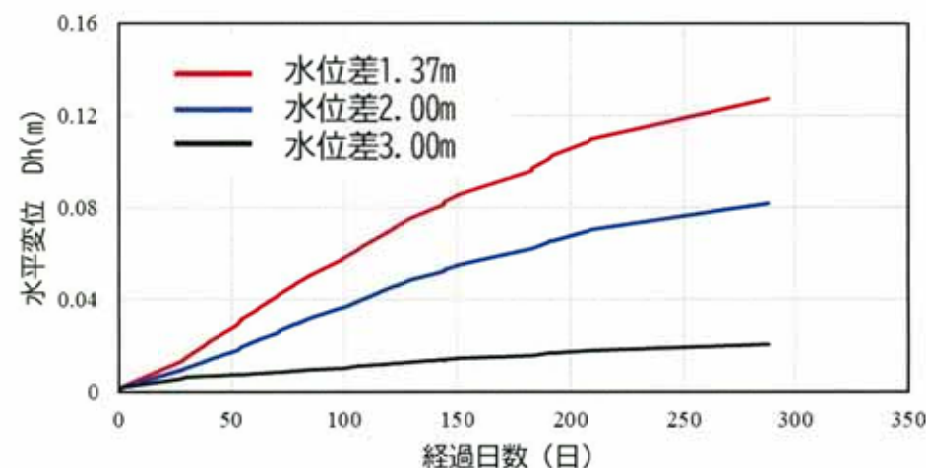
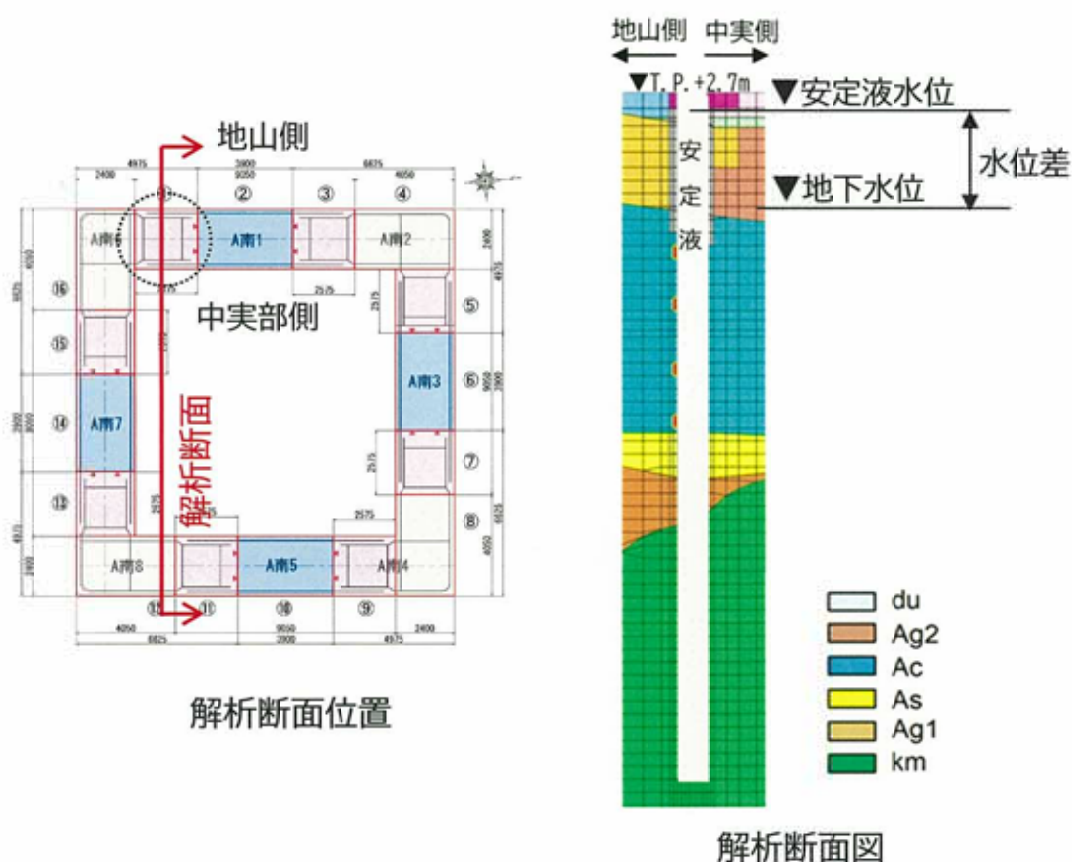


溝壁①の変位推移比較
(左:地山側/右:中実部側)

1. 南基礎地中連続壁部で発生したコンクリートの未充填の概要 (5/8)

(3) はらみ出しに関する考察

- 溝壁のはらみ出し量（水平変位量）に影響を与える要因について、繰返し作用の他、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）に着目した検討を行った。
- 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。

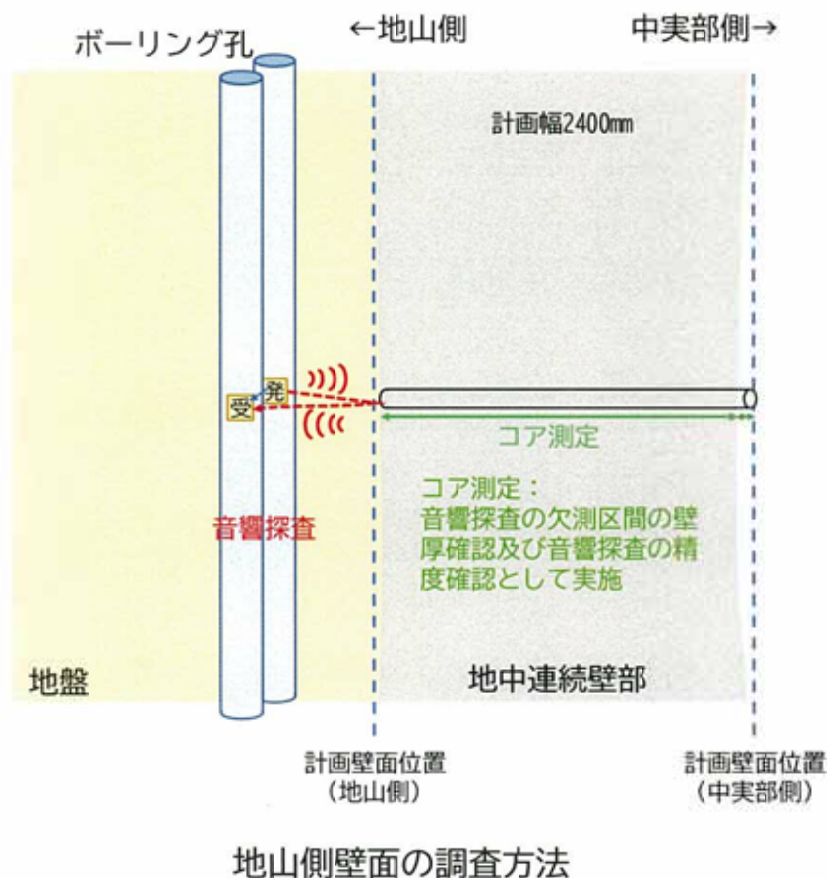


- 掘削溝の掘置き期間（経過日数）が増加するにつれて、溝壁の水平変位も増加していく。
- 掘削溝内と周辺地盤の水位差が大きいほど、溝壁の水平変位は増加しにくくなる。

1. 南基礎地中連続壁部で発生したコンクリートの未充填の概要 (6/8)

(4) 地山側の調査

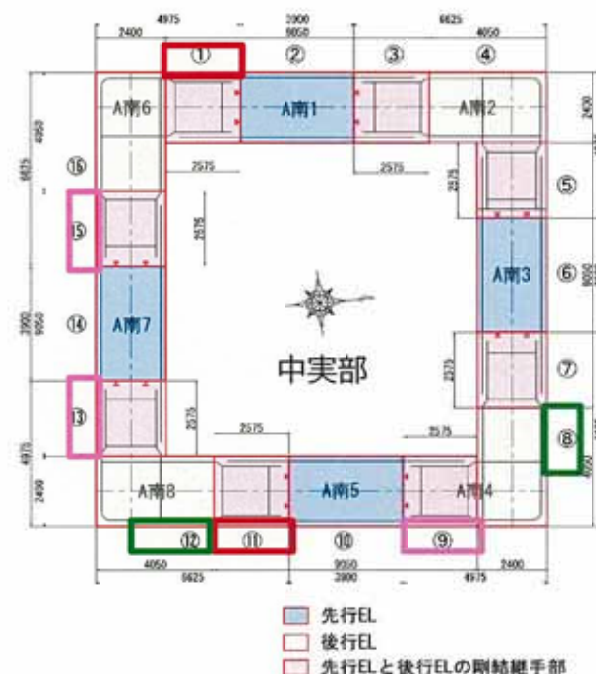
発生原因(前述の(2), (3)参照)より, 地山側のコンクリート未充填の発生傾向を検討し, はらみ出しが大きいと評価された位置等で音響探査, コア測定を実施した。



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

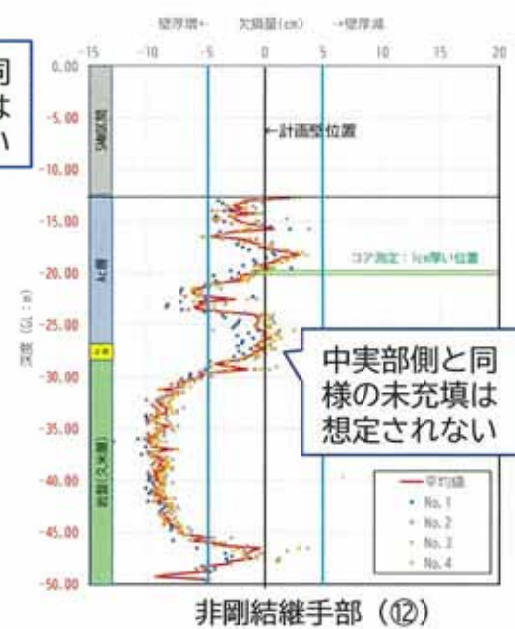
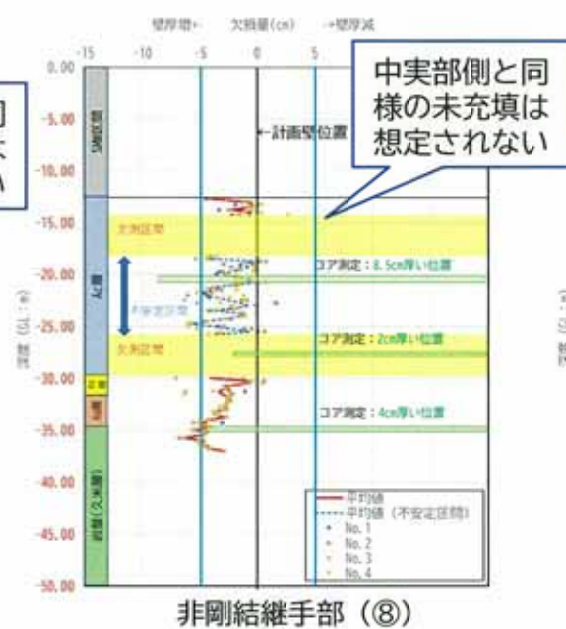
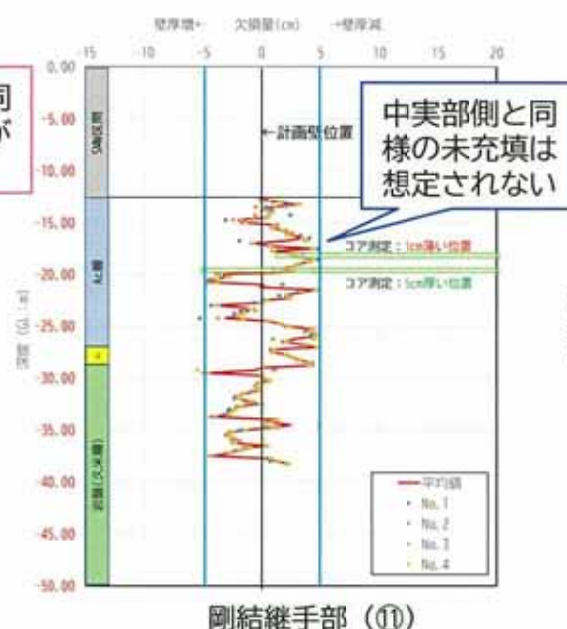
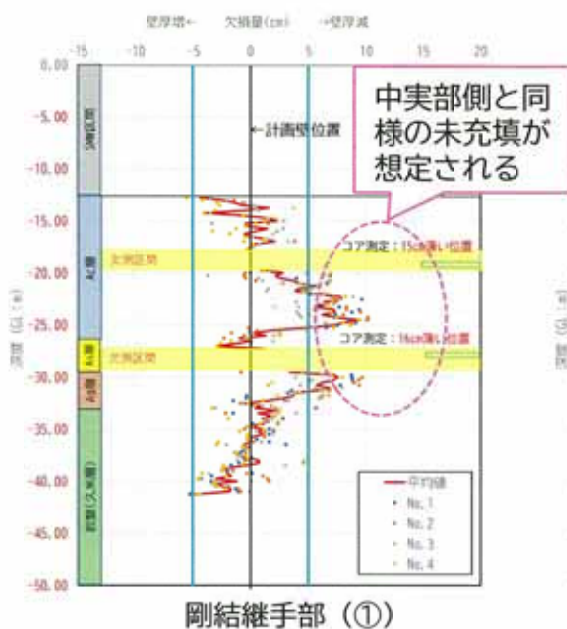
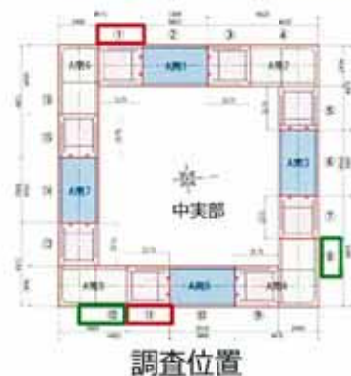
・ はらみ出しの発生原因(掘置期間, 施工時荷重)に着目し, 代表箇所2箇所(①, ⑪)で音響探査を実施。また, 原因の影響が小さい箇所2箇所(⑧, ⑫)でも音響探査を実施。



・ 上記に加え⑨, ⑬, ⑮でも音響探査を実施

1. 南基礎地中連続壁部で発生したコンクリートの未充填の概要 (7/8)

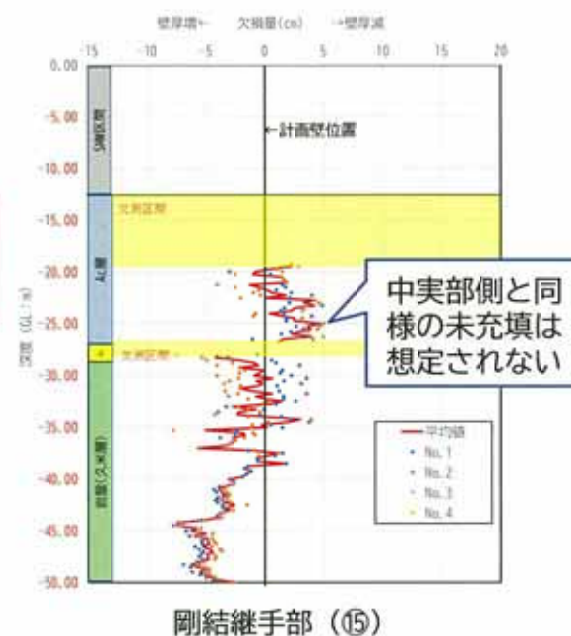
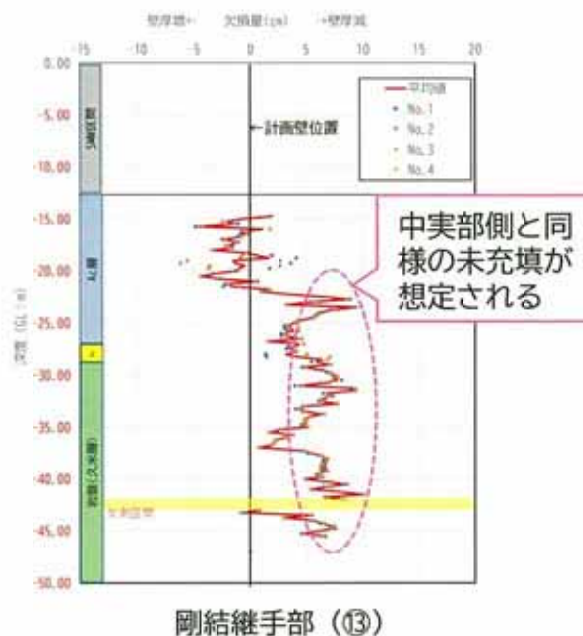
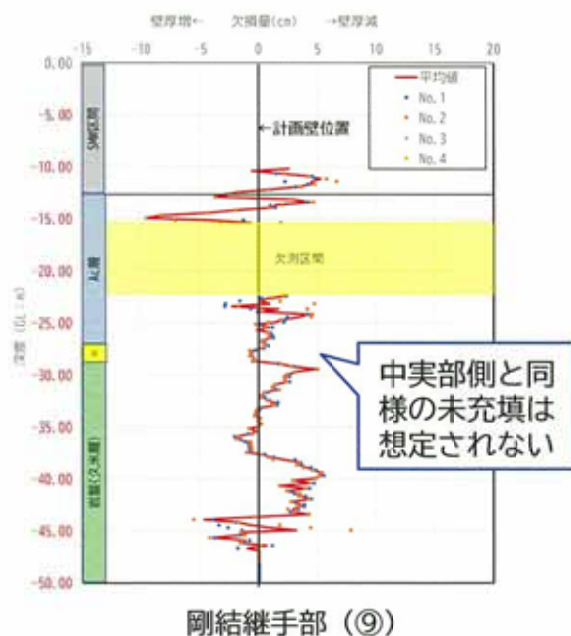
(4) 地山側の調査



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。水平コア及び音響探査の結果は整合しており、音響探査の精度(誤差数cm以下)は確保されていることを確認した。

1. 南基礎地中連続壁部で発生したコンクリートの未充填の概要 (8/8)

(4) 地山側の調査

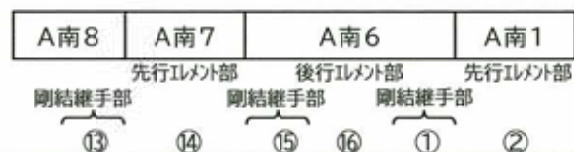
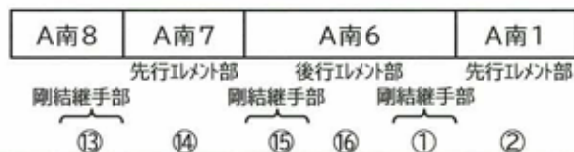


探查の結果、地山側の剛結継手部においてコンクリートの未充填の発生(想定した20cm以下)を確認した。欠測区間についてはコア測定により未充填の有無を確認していく。

2. 南基礎地中連続壁部で発生した鉄筋の変形等の概要 (1/4)

(1) 中実部側壁面の観察結果

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

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. 南基礎地中連続壁部で発生した鉄筋の変形等の概要 (2/4)

(2) 発生原因

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。

1. 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。



2. 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）。



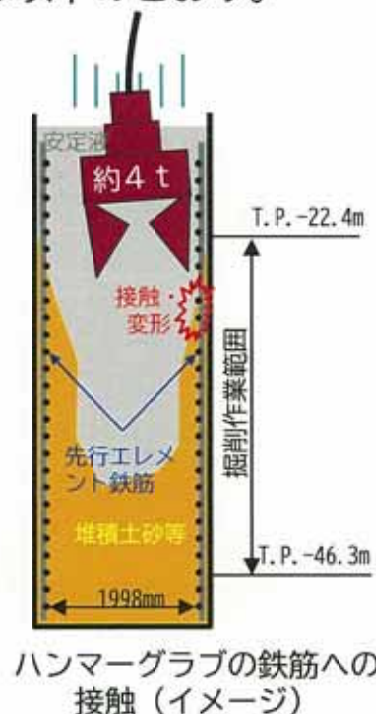
3. 同土砂等の撤去に堆積土砂等切削治具を利用。同治具が設置済鉄筋に接触し、同鉄筋が変形（凸部の生成）。



4. 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。

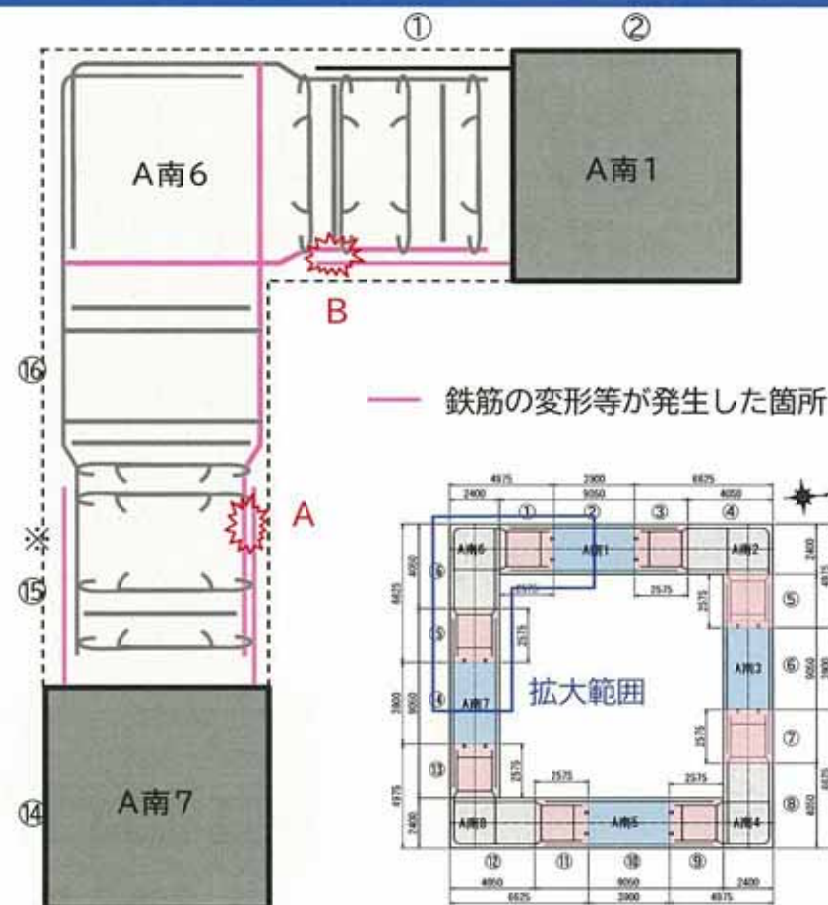


5. 15の区画の接触により後行エレメントの鉄筋かごがA南7側（東側）にずれ、①の区画でも鉄筋同士が接触し、①の区画でも鉄筋の変形が発生。



…A

…B



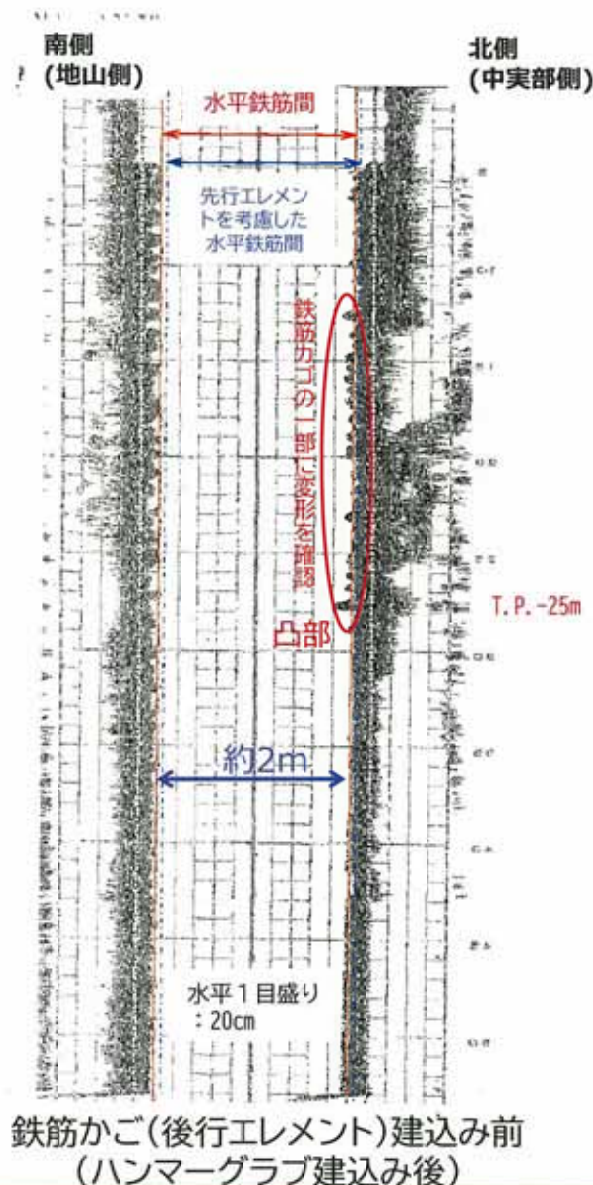
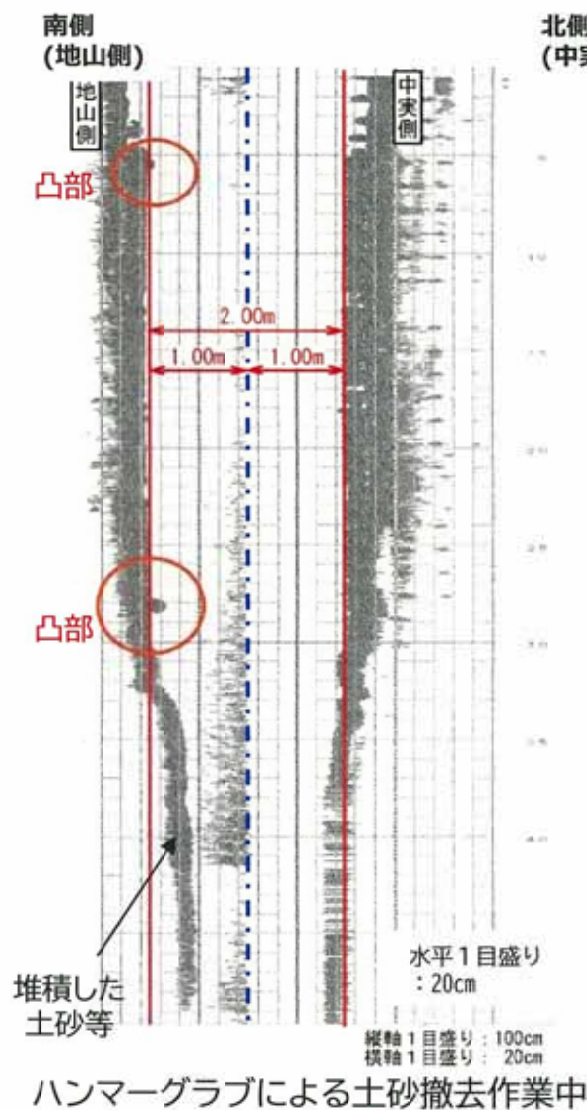
※土砂等撤去の際の超音波記録に凸部を確認。後行エレメントの鉄筋かご建込み前の記録では凸部がなくなっており、先の記録は撤去中の土砂の可能性もあるが、保守的に変形したものと評価する。

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

2. 南基礎地中連続壁部で発生した鉄筋の変形等の概要 (3/4)

(2) 発生原因

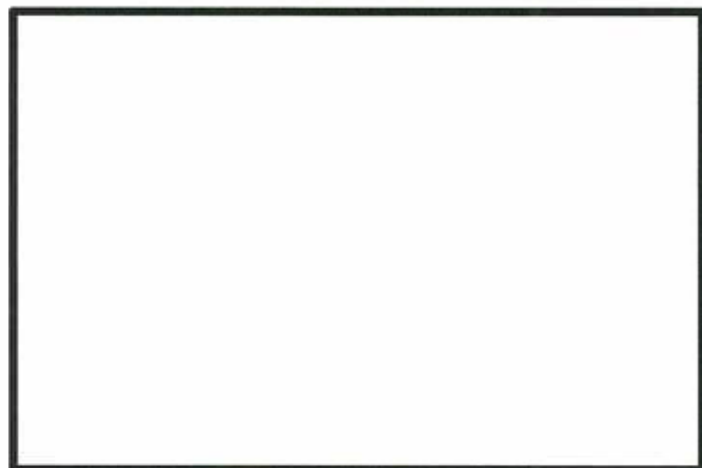


- 土砂等撤去の際の超音波記録に凸部(鉄筋の変形を示唆するもの)を確認。
- 後行エレメントの鉄筋かご建込み前の記録では凸部がなくなっており、先の記録は撤去中の土砂の可能性もあるが、保守的に変形したものとして評価した。

2. 南基礎地中連続壁部で発生した鉄筋の変形等の概要 (4/4)

(3) 発生範囲の評価

- 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シミュレーションを実施した。
- 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。



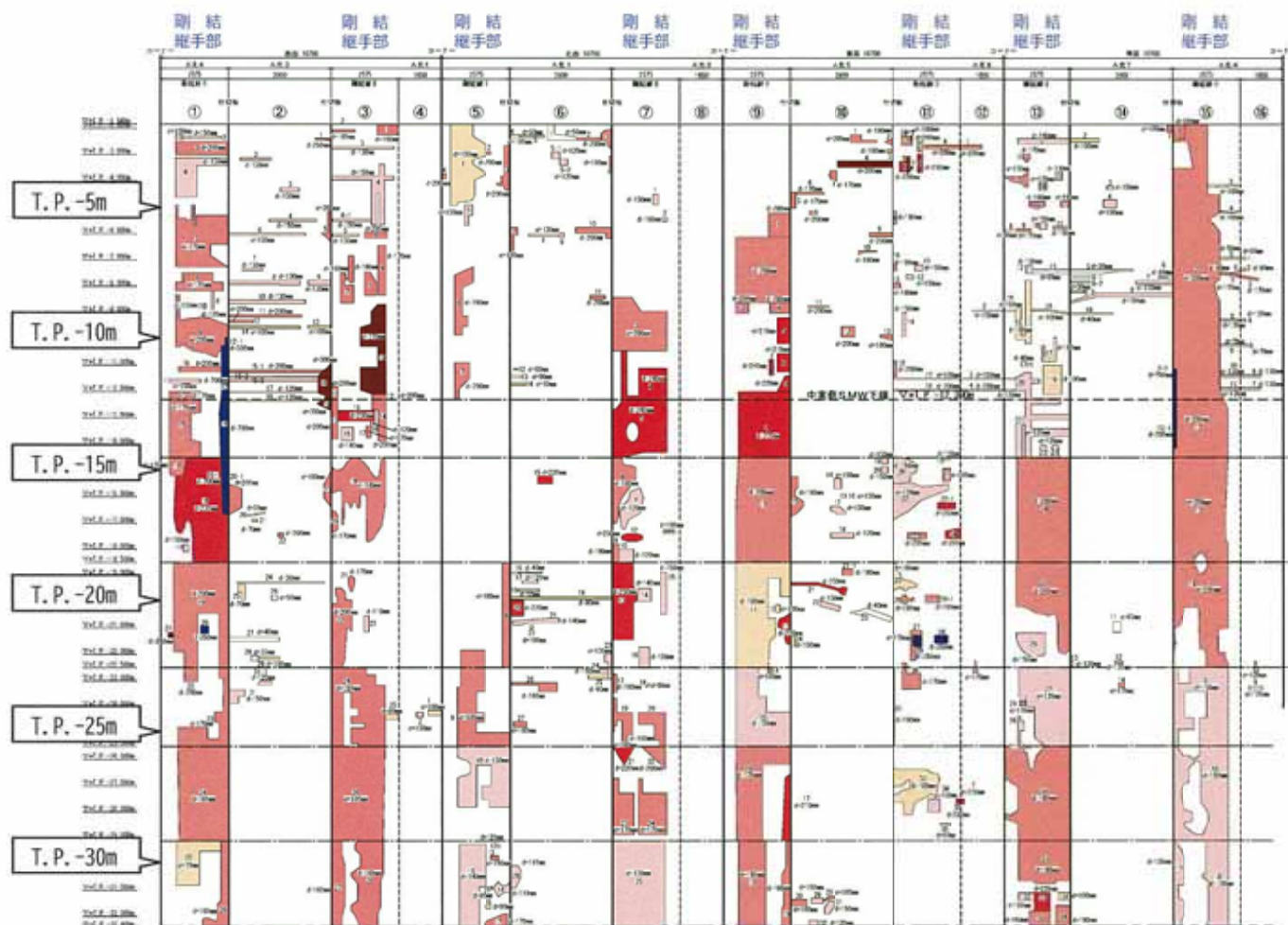
現地観察結果とモックアップ試験の水平鉄筋の変形状況が酷似しており、現地で発生した状況が再現できていると考えられる。

3. 北基礎の調査結果 (1/5)

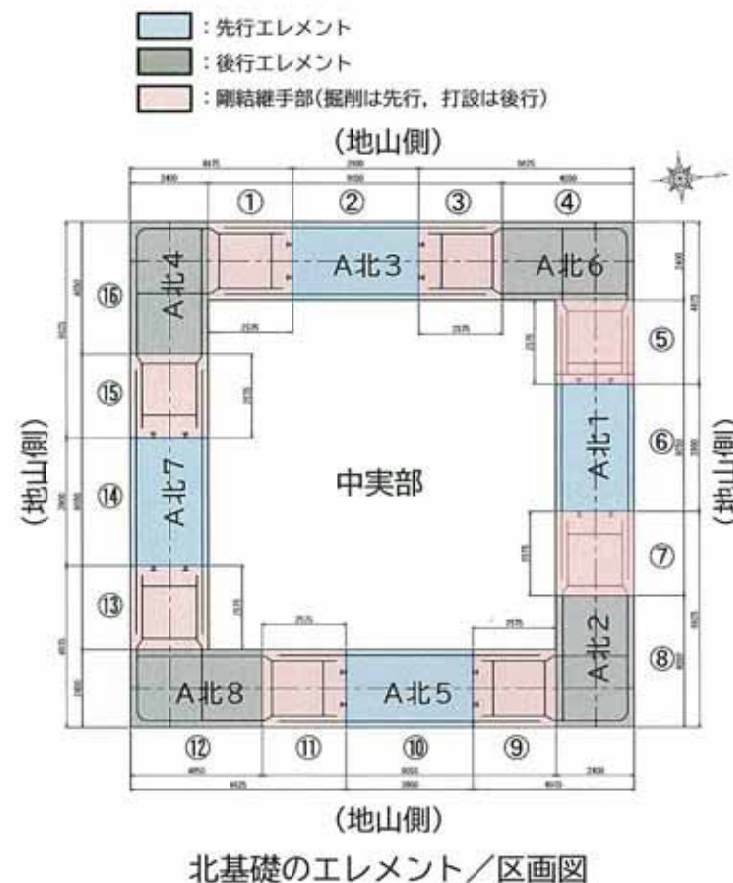
(1) コンクリートの未充填 (T. P. 約-32m掘削時点)

a. 目視観察結果 (中実部側)

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。



北基礎中実部側地中連続壁面の観察結果



【凡例】



※凡例の数値は計画面からの未充填部の深さを示す。

未充填の発生箇所は、剛結継手部が大部分を占める。剛結継手部以外はほぼ認められない。

3. 北基礎の調査結果 (2/5)

(1) コンクリートの未充填 (T.P. 約-32m掘削時点)

b. 地山側の調査 (音響探査, コア測定)

- 地山側の調査 (音響探査, コア測定) 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)	- 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)	- 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)	- 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)	- 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)	- 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)	- 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)	- 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



3. 北基礎の調査結果 (3/5)

(1) コンクリートの未充填 (T.P. 約-32m掘削時点)

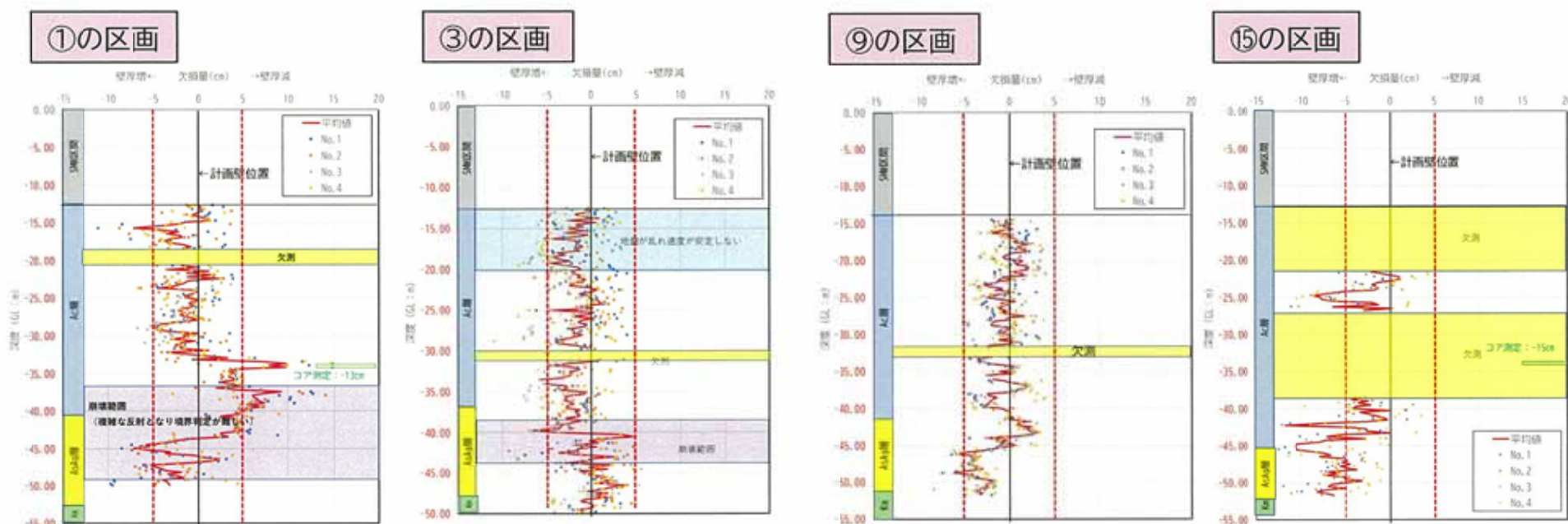
b. 地山側の調査 (音響探査, コア測定)

【剛結継手部】

- 剛結継手部で掘置き期間が長いA北4の区画では, ①, ⑮の区画のコア測定において13cm, 15cmのコンクリート未充填が確認された(想定する20cm以内)。
- 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



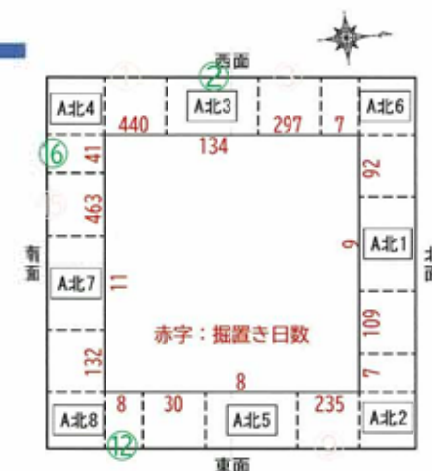
3. 北基礎の調査結果 (4/5)

(1) コンクリートの未充填 (T.P. 約-32m掘削時点)

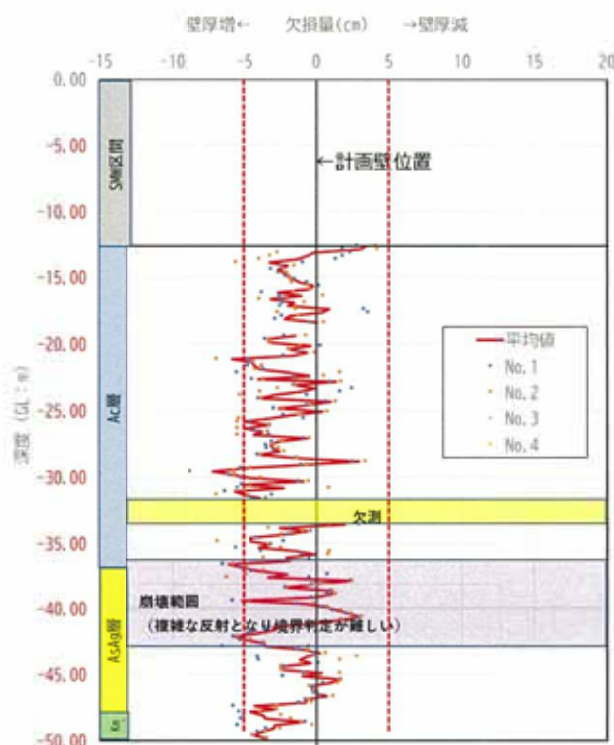
b. 地山側の調査 (音響探査, コア測定)

【非剛結継手部】

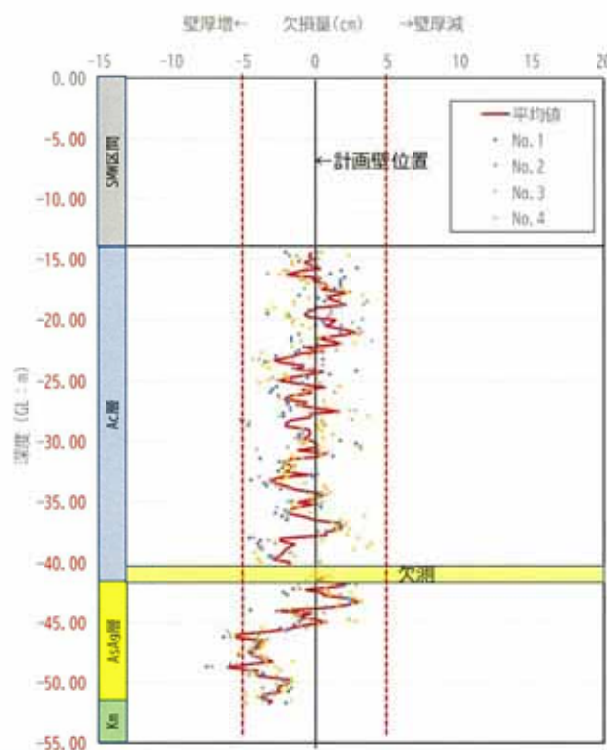
- 非剛結継手部の②, ⑫, ⑯の区画では, 地山側のコンクリート未充填は5cm以下であり, 中実部側で確認されたような規模のものは発生していない。



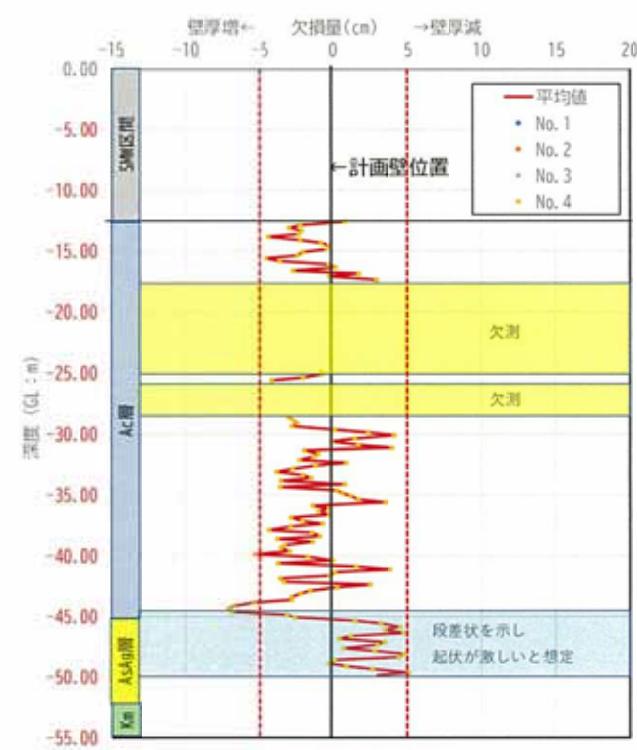
②の区画



⑫の区画



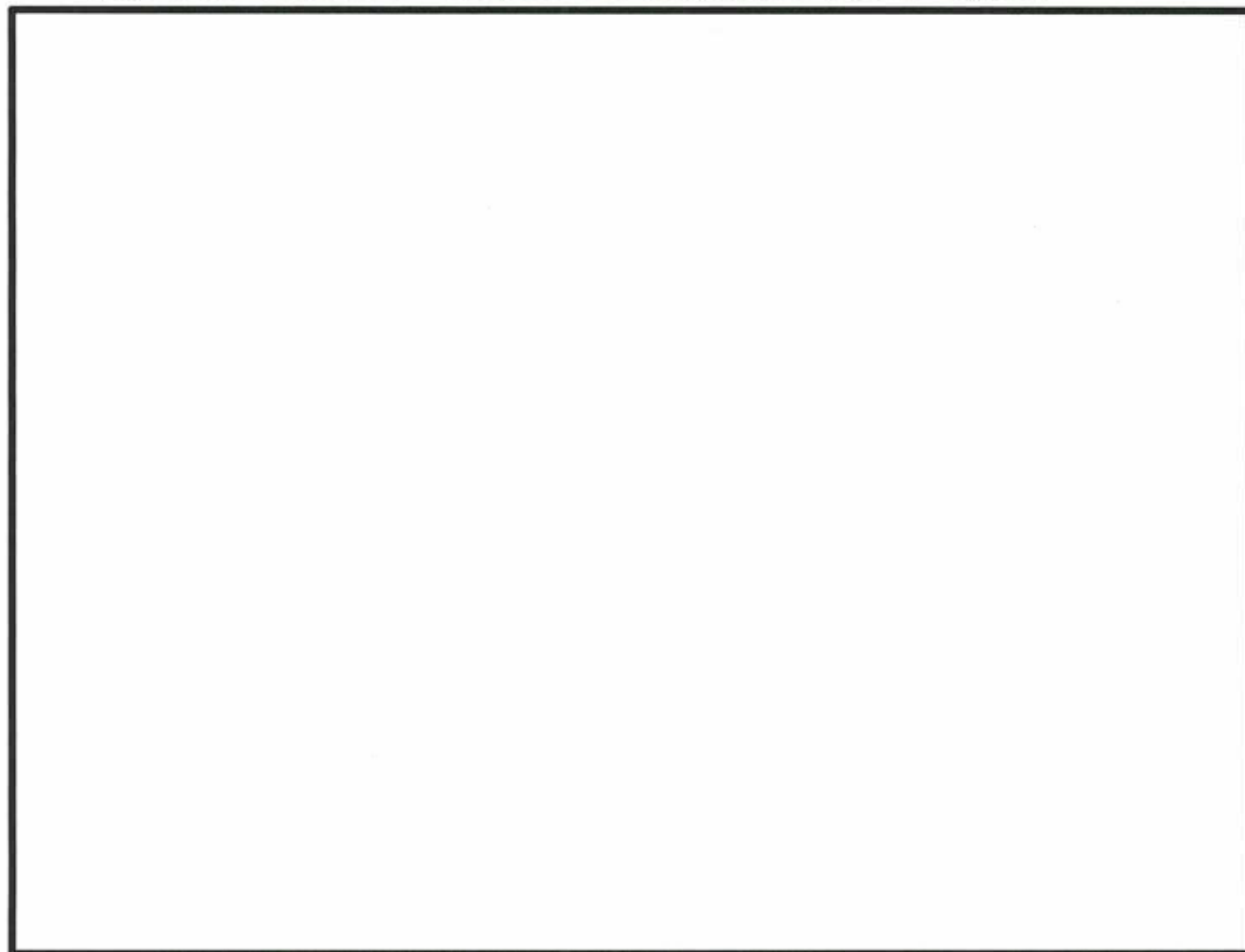
⑯の区画



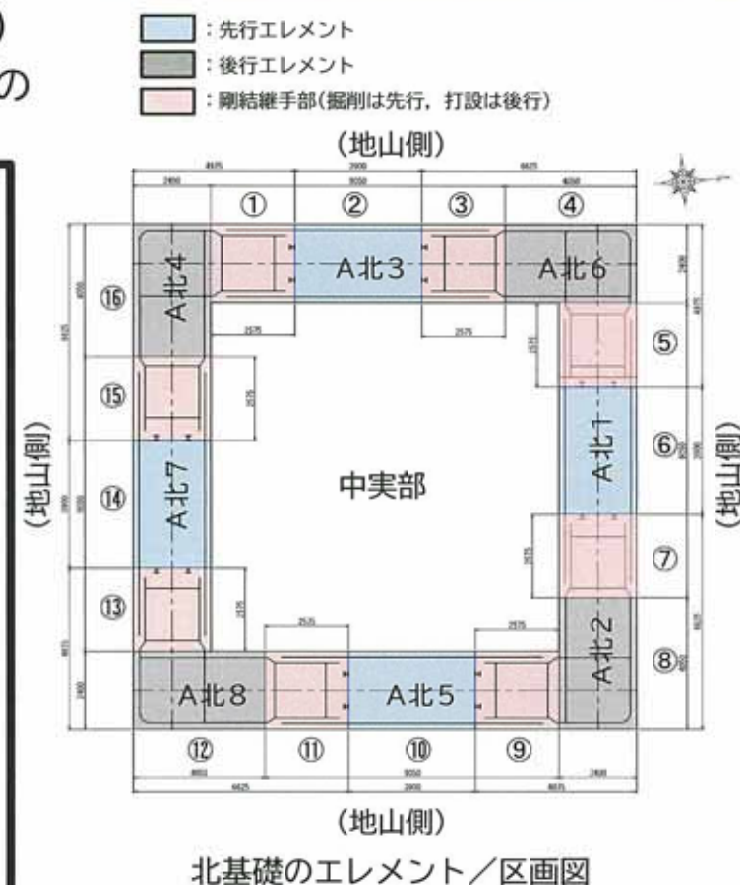
3. 北基礎の調査結果 (5/5)

(2) 鉄筋の変形等…中実部側壁面の観察結果 (T.P. 約-32m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



- : 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

4. 不具合事象への対応方針の検討結果（1／7）

（1）対策方法の検討

不具合発生事象を踏まえ、地山側壁面のコンクリート未充填部の補修、地中連続壁撤去・再構築及び中実部側での補強の各々の策について比較・評価を実施した。

方 法	地盤改良立坑	土留め壁新設	オールケーシング工法	中実部側での補強
目 的	地山側の補修	地山側の補修／ 撤去・再構築	撤去・再構築	不具合事象を考慮した 構造物健全性確保
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。	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。	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。	地中連続壁の地山側壁面の欠損、鉄筋の変形を考慮して、中実部側への補強鉄筋を配置することで地中連続壁基礎の健全性を確保する。
長 所	・地山側補修箇所の壁面状況の目視確認及び補修が可能 ・地山側壁面位置調査を併用により実施箇所の抽出が可能	・地山側補修箇所の壁面状況の目視確認及び補修が可能 ・（掘削により全面が目視確認できるため）地山側壁面位置の調査不要 ・作業空間の確保による補修及び撤去作業が可能	・撤去により原設計とおりの構造物設置が可能	・現計画と同様に地中連続壁の内側での作業であり、作業の安全性確保が可能。 ・中実部側の鉄筋コンクリートの補強により原設計同等以上の耐力確保可能
短 所	・緊急時の避難対策確保が困難 ・作業場所の狭隘化による作業能率の低下 ・立坑幅は剛結継手部の区画を包含する程度であり、水平鉄筋の補修は困難（水平鉄筋に係る設計変更は必要）	・近接構造物があり、土留め設置場所の確保ができない ・周辺地盤緩み防止対策必要	・工法適用可能最大深度（50m）を超過（北基礎約60m）しており、かつ当構造物の使用材料の強度が高く、施工実績と乖離している。 ・このため、施工機械を新たに開発することが必要（施工できる機器がない）	・不具合事象を包絡する保守的な設計条件の設定が必要 ・欠損部設定による地盤-構造物応答への影響検討が必要 ・不具合事象の設計への反映に伴う設計変更の必要
総合評価	×	×	×	○

以上より、本不具合事象の対策としては、中実部側の鉄筋コンクリートの補強が最も有効策であると判断した。

4. 不具合事象への対応方針の検討結果 (2/7)

(1) 対策方針の検討

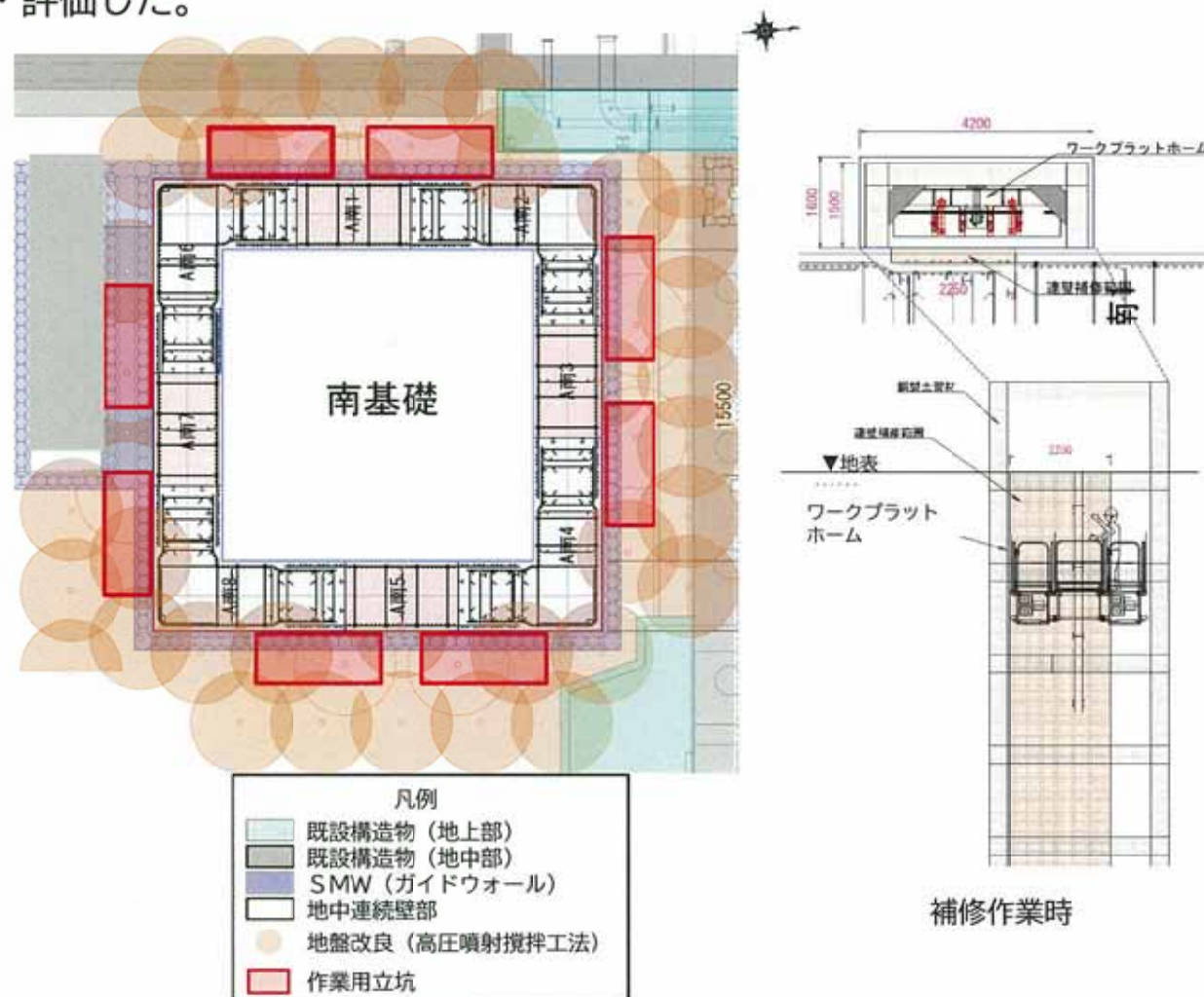
a. 地盤改良立坑

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）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

4. 不具合事象への対応方針の検討結果 (3/7)

(1) 対策方針の検討

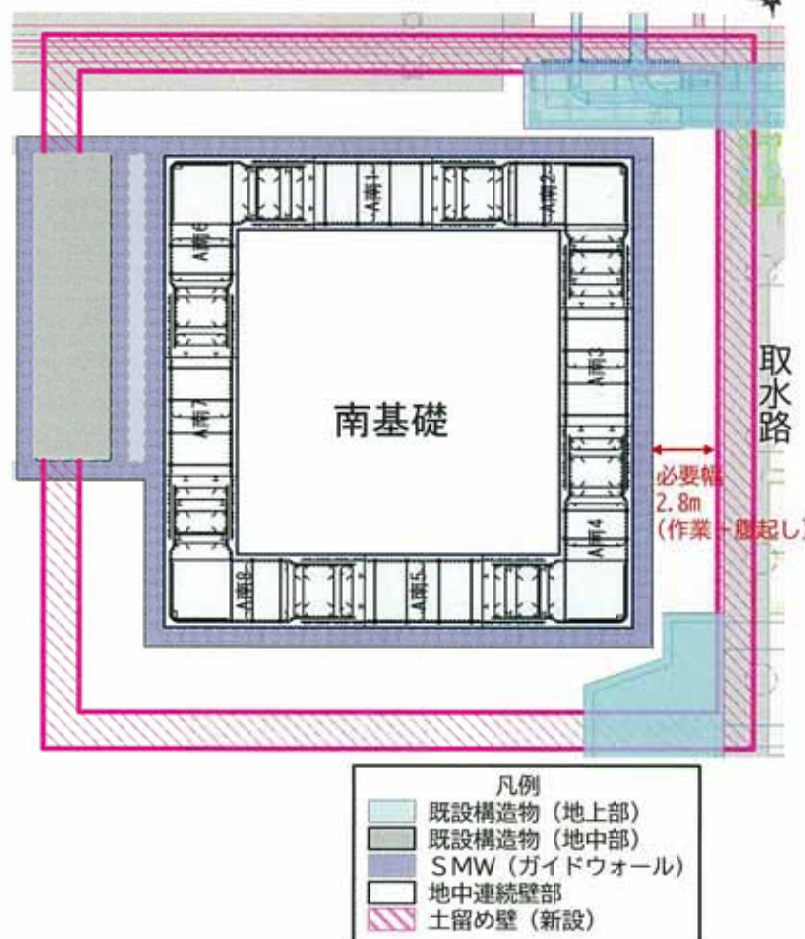
b. 土留め壁新設

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。

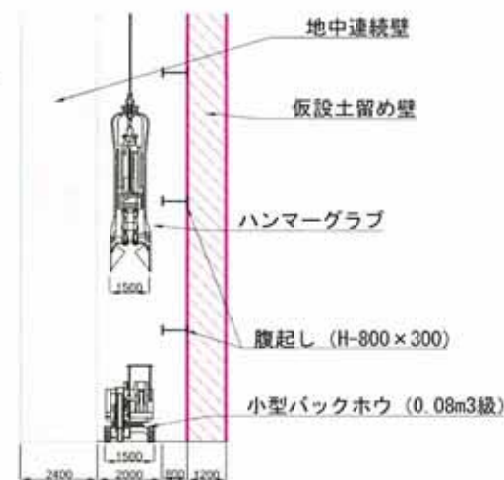
検討・評価結果

方 法	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 成 立 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	×

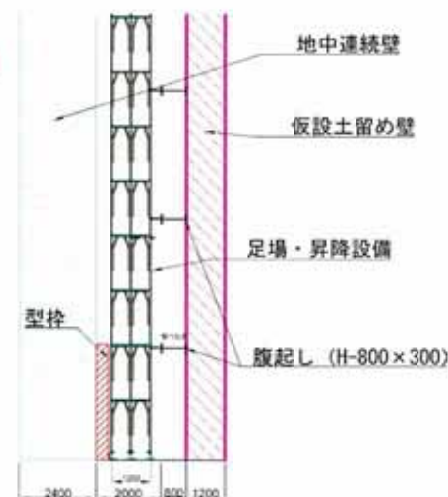
各観点で「×」となったものは総合評価を×とする。



土留め壁新設概要



掘削作業時



補修作業時

4. 不具合事象への対応方針の検討結果 (4/7)

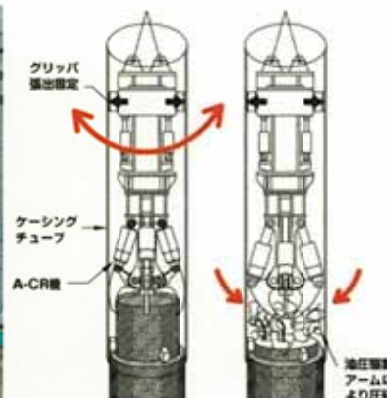
(1) 対策方針の検討

c. オールケーシング工法

不具合事象の対策として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)を超過しており(北基礎約60m)，使用材料の強度も高く(コンクリート40N/mm ² ，鉄筋SD490-D51等)，施工実績と乖離している。 このため，施工機械の新たに開発することが必要。
作 業 性	—
安 全 性	—
総合評価	×



オールケーシング工法

4. 不具合事象への対応方針の検討結果 (5/7)

(2) 不具合事象に対する対策（中実部での補強及び補修による設計変更）

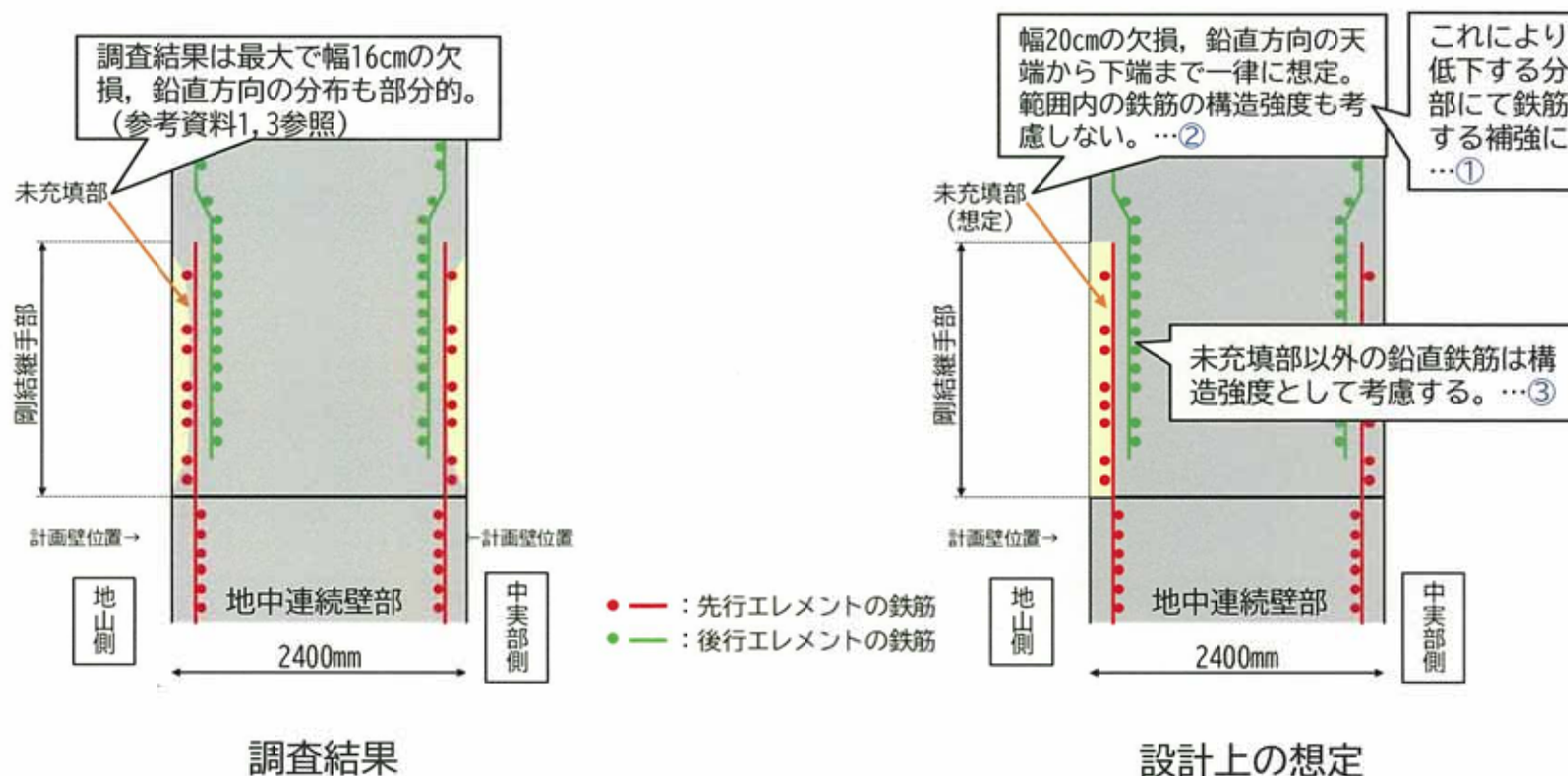
a. 地山側に想定した不具合

【対策】・中実部への補強の方針に基づき、中実部にて鉄筋を現計画に追加して配置する。…①

【設計】・中実部にて補強した鉄筋が有する耐力を考慮する。…①

・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）を想定する。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。…②

・未充填部以外の鉛直鉄筋は構造強度として考慮する。…③



4. 不具合事象への対応方針の検討結果 (6/7)

(2) 不具合事象に対する対策（中実部での補強及び補修による設計変更）

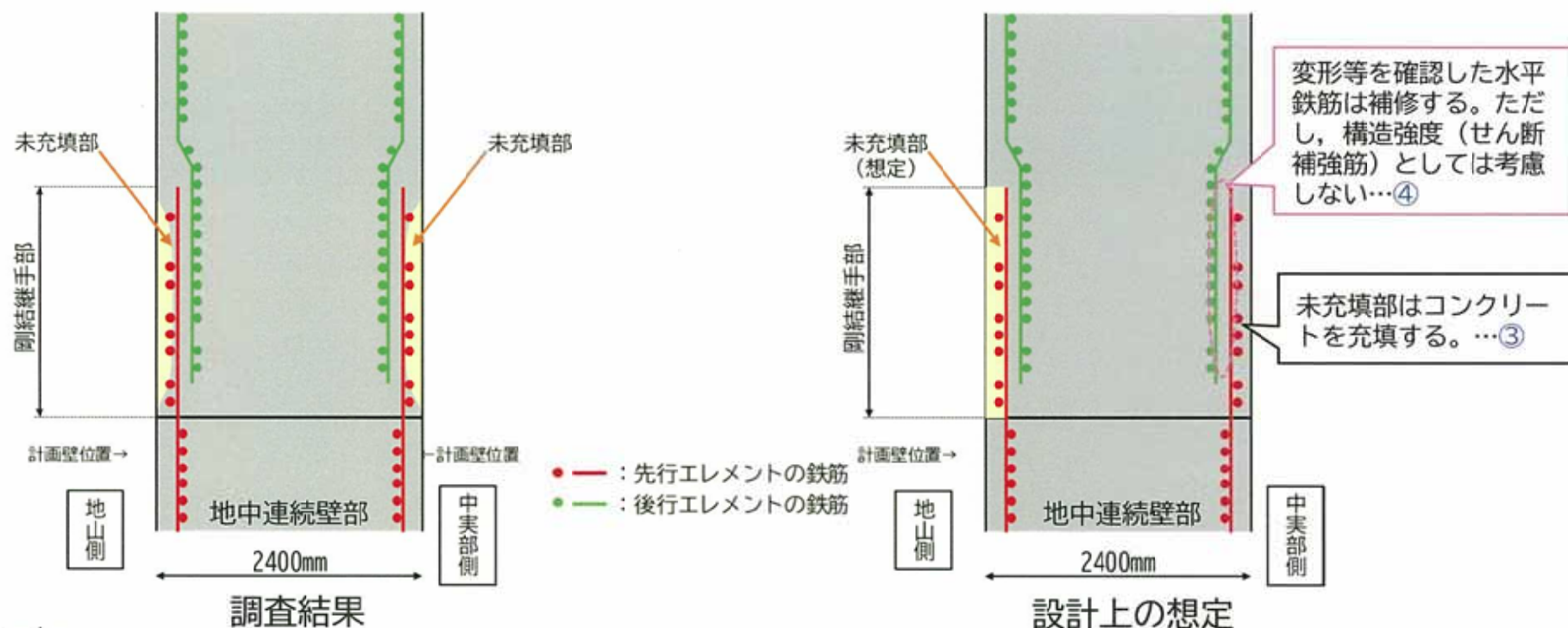
b. 中実部側に想定した不具合

【対策】・コンクリートの未充填部はコンクリートを充填する。鉄筋の変形等は補修する。

【設計】・未充填部は充填されるため中実部側のコンクリートは欠損とは扱わない。…③

・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。…④

・北基礎は調査が完了していないことを踏まえ、中実部側の全てのせん断補強筋（水平鉄筋）を構造強度（せん断補強筋）として考慮しない。



c. 設計目標

既認可の工事計画と同等以上の安全裕度とする。

なお、北基礎は調査中であるものの、これまでの調査結果は本設計の条件とした想定に包含されていることを確認している。

4. 不具合事象への対応方針の検討結果（7/7）

(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. 防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象に対する対策」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。

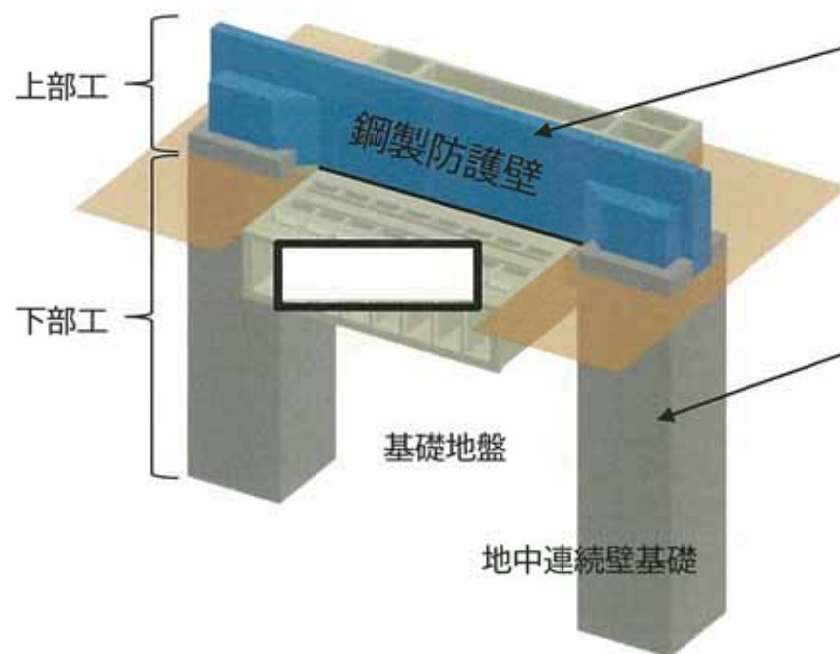
地中連続壁面の整備に係る管理項目

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）
	コンクリートは自己充填性を有する高流動コンクリート（前項の鉄筋周辺のあきの大きさより自己充填性のレベルとして「ランク1」、最大骨材寸法20mm）を用いること
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。

5. 品質向上を目的とした設計変更 (1/4)



【鋼製防護壁】

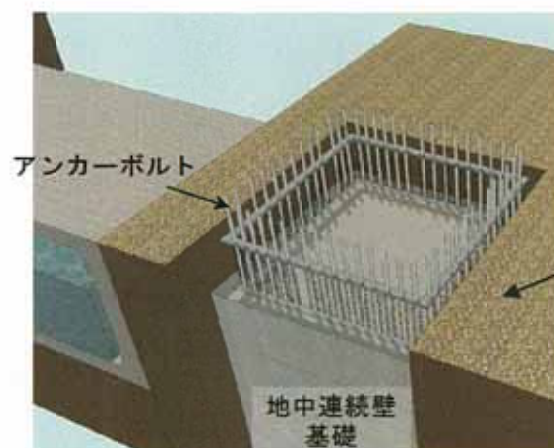
- ・ 施工設計時の鋼製材料の一部の材質仕様に係る品質向上のための変更を反映（施工設計の段階において、工場製作時の材質仕様を揃えるなど溶接等における品質向上を図った）

【地中連続壁基礎】

- ・ 施工設計時のジベル鉄筋の配置及び本数に係る品質向上のための変更を反映（施工設計の段階において、設置作業上の安全性確保の観点で本数や材料仕様を見直し）
- ・ 不具合事象を考慮した基礎の構造見直し

【鋼製防護壁アンカー】

- ・ 施工設計時のアンカーボルト及び定着鉄筋の配置・本数に係る品質向上のための変更を反映（施工設計の段階において、配筋の位置や材料仕様等の詳細を見直し）

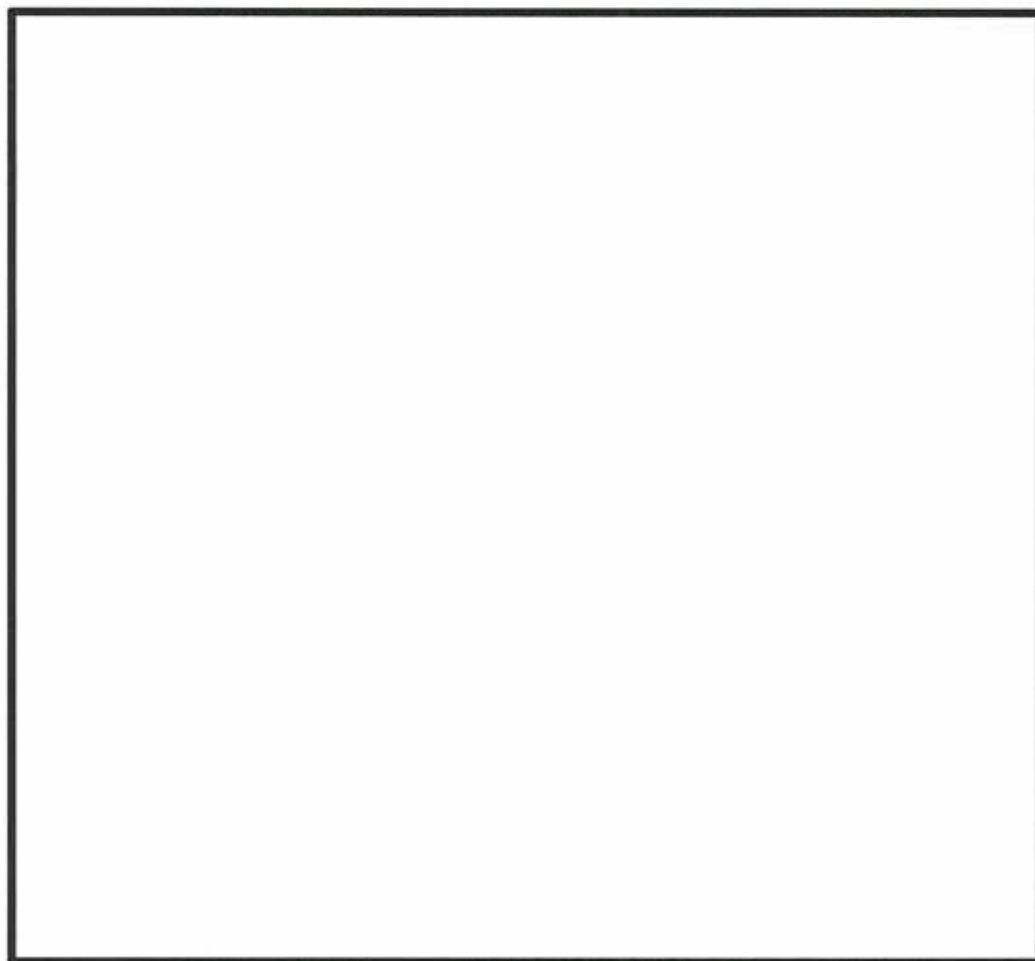


5. 品質向上を目的とした設計変更 (2/4)

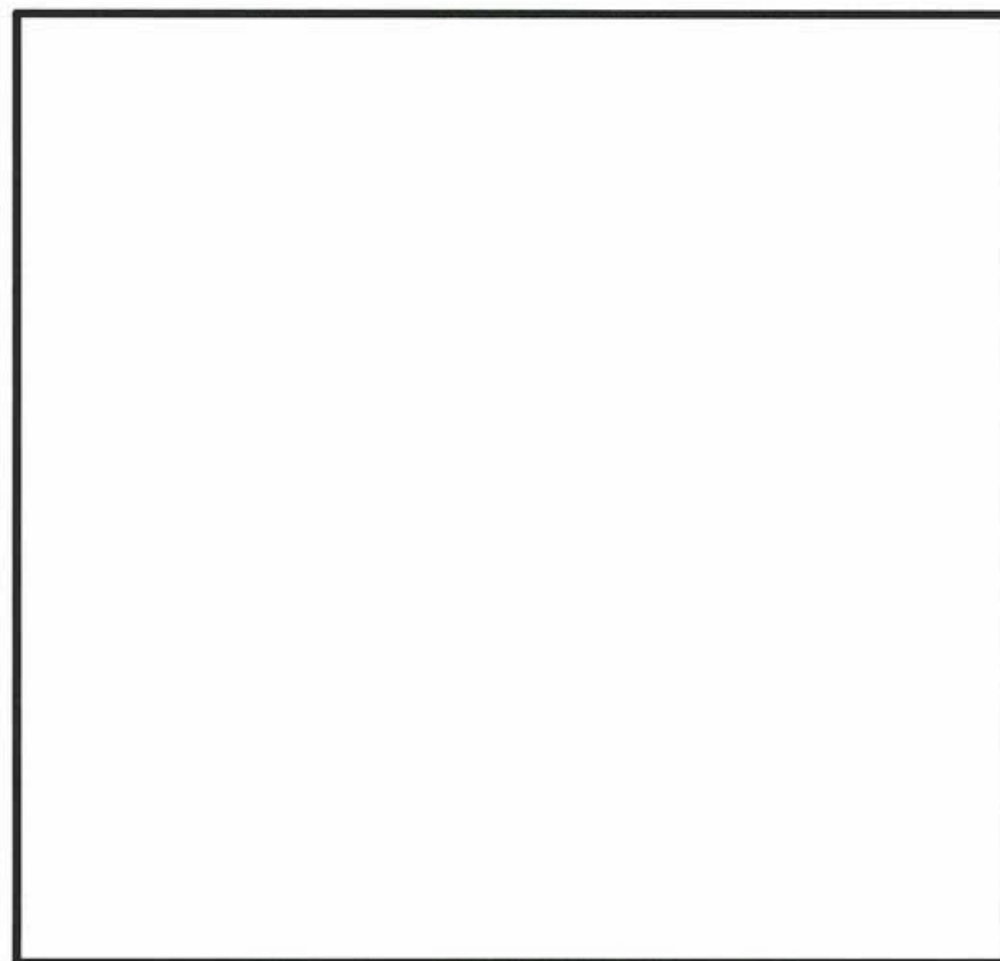
(1) 鋼製防護壁

➤ 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

5. 品質向上を目的とした設計変更 (3/4)

(2) 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

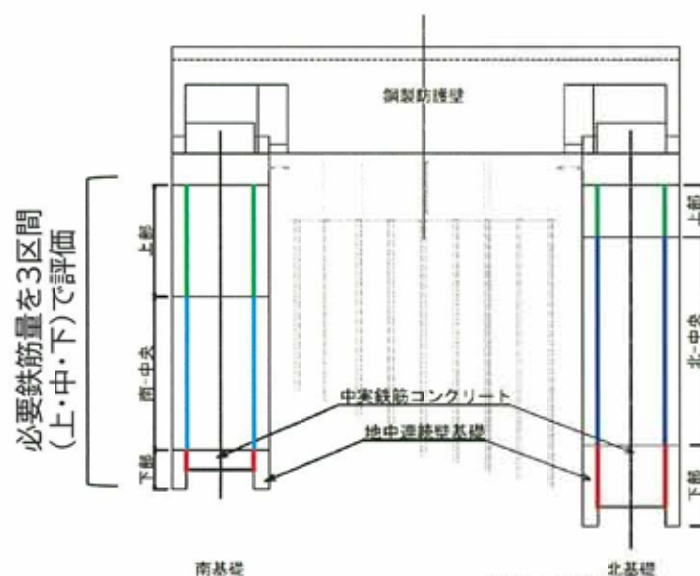
既工認の詳細設計において極端に大きく設定していたジベル鉄筋の発生せん断力について、3次元解析等の詳細評価を根拠として、現実的な発生せん断力に精緻化した。

② ジベル鉄筋の照査範囲の細区分化

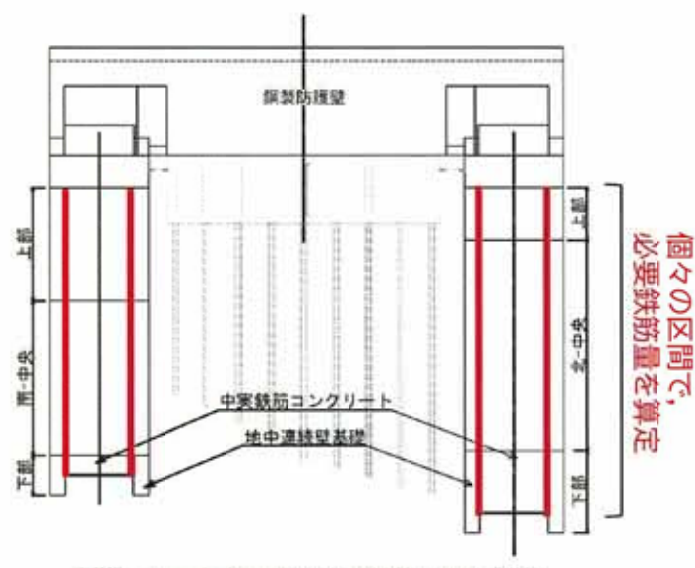
既工認の詳細設計においては、ジベル鉄筋を鉛直方向の3区間に分類し、各区間の最大発生せん断力から必要鉄筋量を算定していたが、区間を更に細分化した上で、個々の区間にて必要鉄筋量を算定した。

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。



既工認における照査区間



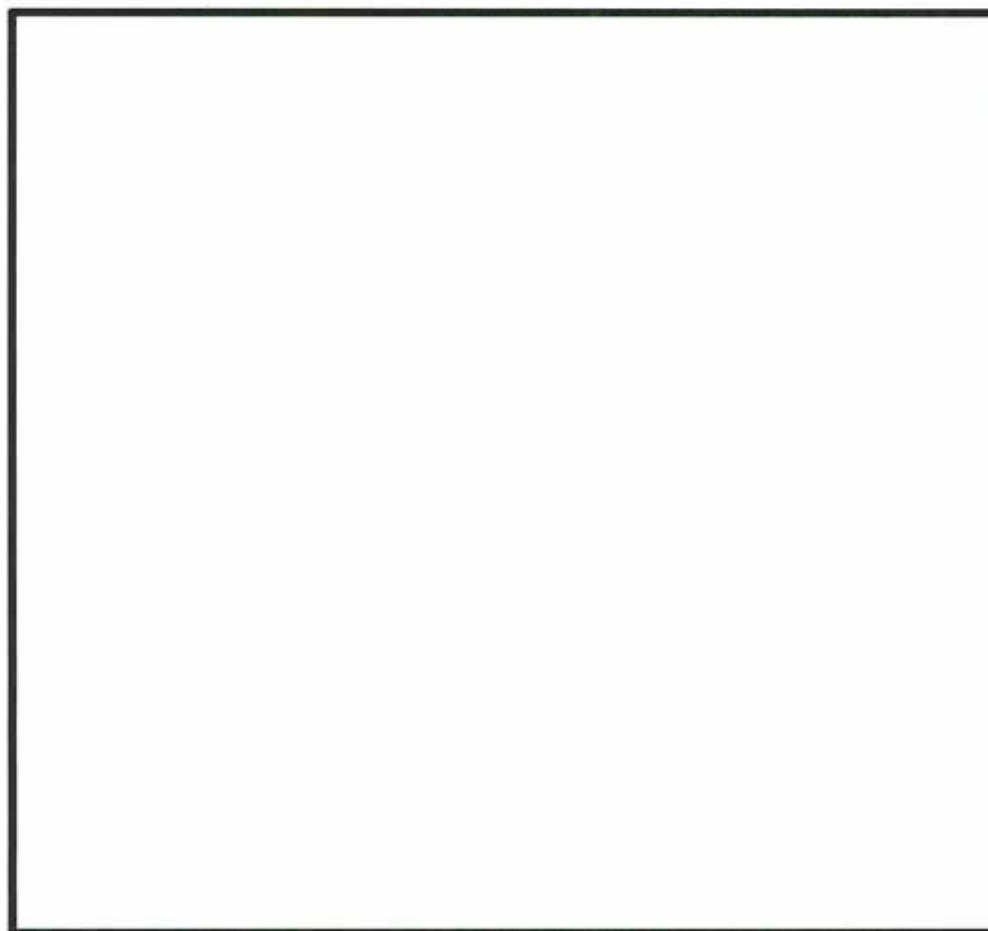
設計変更後の照査区間

5. 品質向上を目的とした設計変更 (4/4)

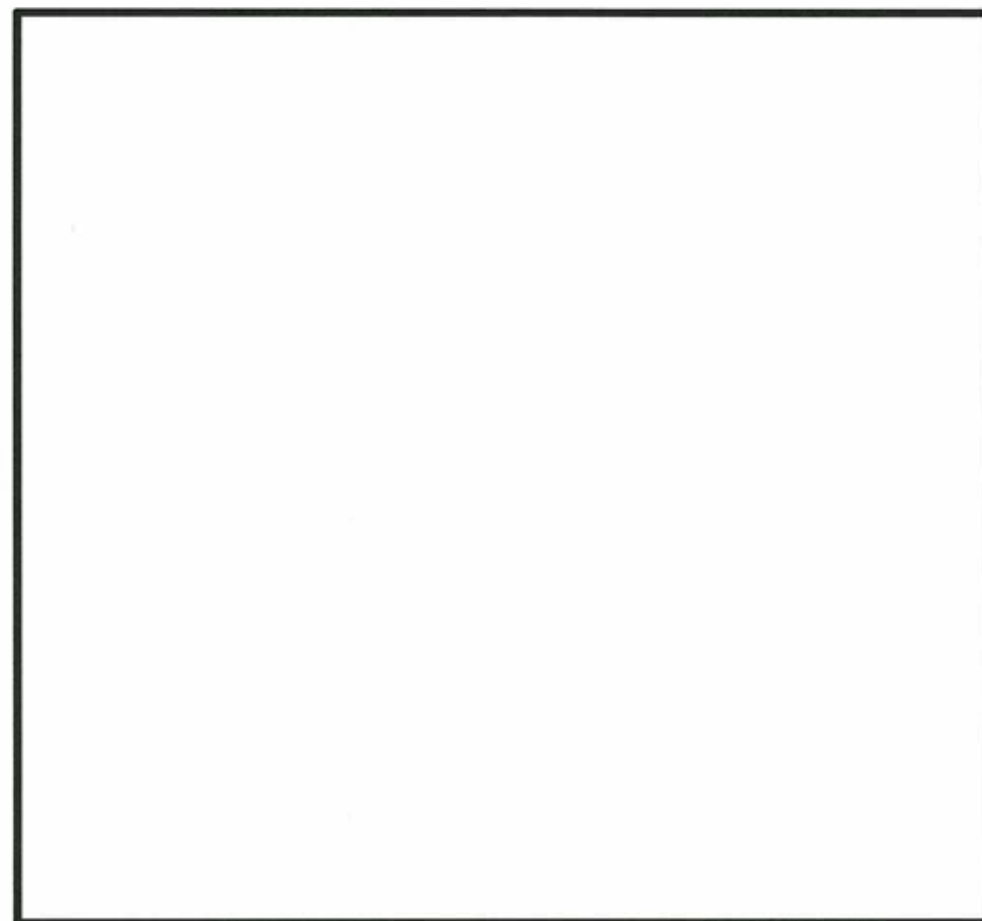
(3) アンカーボルト

➤ 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

6. 設計及び工事に係る品質マネジメントシステム上の位置づけ (1/3)

(1) 事象発生の段階

本不具合事象について、設工認における設計、工事及び検査の流れに沿って本事象の品質マネジメントシステム上の位置づけを確認した。

本事象は、設工認における設計、工事及び検査の流れでは「工事及び検査」の段階において発生したものである。また「設計」の段階においては、設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに従って業務を遂行しており問題なかった。

「工事及び検査」の「設工認に基づく具体的な設備の設計の実施（設計3）」のアウトプットに基づく現地据付工事における設計開発プロセスにおいて、次頁以降に示す必要な視点が不足する等して、本不適合に至った。

品質マネジメントシステムの各段階 (設工認における設計、工事及び検査の各段階)

設計	基本設計方針の作成（設計1）
	適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（設計2）
	設計のアウトプットに対する検証
工事及び検査	設工認申請（届出）書の作成・承認
	設工認に基づく具体的な設備の設計の実施（設計3） ← 原因となったプロセス
	具体的な設備の設計に基づく工事の実施（現地据付工事） ← 本事象発生
	使用前事業者検査の計画、管理、実施

6. 設計及び工事に係る品質マネジメントシステム上の位置づけ (2/3)

(2) 時系列

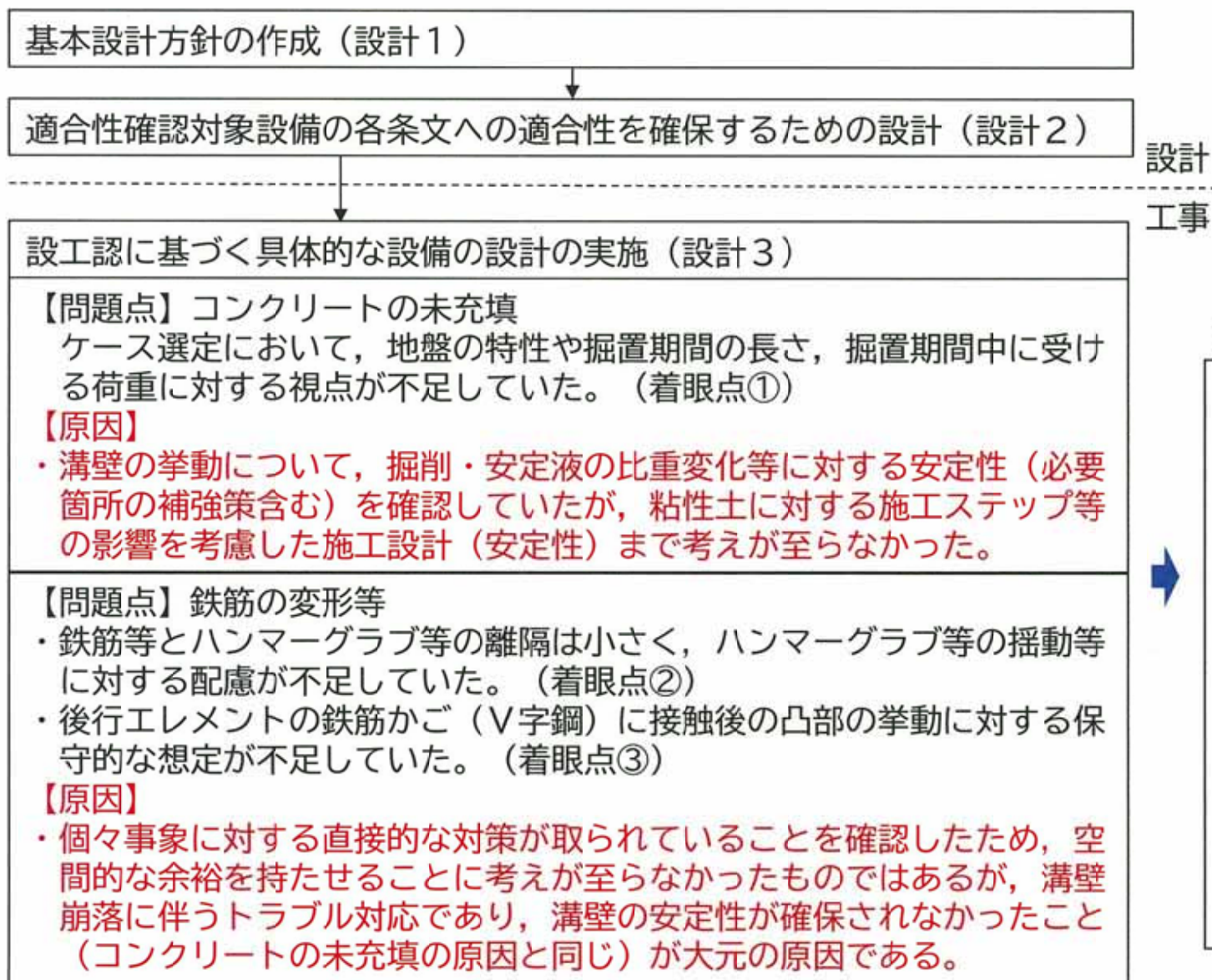
赤字：コンクリートの未充填及び鉄筋の変形に係る問題点

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
着眼点① ケースの選定において、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不足していた。
- 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（着眼点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）
着眼点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等に対する配慮が不足していた。
- 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（着眼点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）（着眼点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。掘削溝内の凸部（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）
着眼点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不足していた。
- 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

6. 設計及び工事に係る品質マネジメントシステム上の位置づけ (3/3)

(3) 問題点の抽出



(4) 対策

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)」を充実させるため、以下の対策を実施する。

○工事担当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確認する。

○調達管理に係る手順書に上記のチェック項目を追加する。

7. 南基礎の事象分析 (1/2) 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閉塞	a. マッドケーキの生成	掘削中・開放期間中は、安定液により不透水膜（マッドケーキ）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。このマッドケー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、マッドケー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ー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ー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、ベントナイト安定液よりマッドケーキの厚さが薄く、かつ不透水膜として機能が卓越となるベントナイトCMC安定液を使用している。また、鉄筋等へのベ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（施工機械等の上載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閉塞により、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り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、地山側の地盤で最も施工荷重を受けた箇所（A南8の①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閉塞となり、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る場合、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、鉄筋かご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いること、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。	×

7. 南基礎の事象分析 (2/2) 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) はらみ出しによる構壁の接触		はらみ出しの構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、コンクリートの充填部にははらみ出し部を観察した結果、鉄筋の変形等は確認できなかった。また、はらみ出しの構壁の性状は粘性土質であり、鉄筋を変形させる程の剛性・強度はないため、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構壁の崩れにより、②の区画(南端壁手前)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、鉄筋を変形等させることがないこと、また土砂搬去作業時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かごに建設時の構壁への接触		先行エレメントの鉄筋かごを建設した際に、鉄筋かごが構壁に接触した場合、鉄筋等が変形する可能性が考えられる。 このため、施工状況を調査した結果、鉄筋かごの建設作業は水平2方向より建設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、鉄筋かごを構壁に接触させる可能性は考えられない。	×
	4) 増積土砂等の搬去時の作業用機具の接触	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、ハンマーグラブ沈降時(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)の振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(南端壁手前)の中央部側及び地山側の鉄筋等の変形を示唆する記録は確認された。	○
		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設し、増積土砂等の切削・搬去を行った際、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)は測量から計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い。本作業が鉄筋の変形等の要因となる可能性はない。	×
		c. パ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、パーカッションドリル(φ135mm)を用いて増積土砂等をばくす作業を行った際、パ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ある。 このため、作業状況を確認した結果、パーカッションドリルは増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、増積土砂等をばくす作業を行った際、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)は増積土砂等までゆっくり降下させており、仮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、高圧噴射の水流は増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. 増積土砂等切削刃具の接触	鉄筋等が設置されている掘削溝内で、増積土砂等切削刃具を用いて増積土砂等のばくす作業を行った際、増積土砂等切削刃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、増積土砂等切削刃具はA南6のみで使用されていることを確認した。鉄筋間の距離(約2.0m)の掘削内に幅1.9mの増積土砂等切削刃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、増積土砂等切削刃具の降下において位置がずれないためのガイドを使用していなかった。したがって、本作業において、増積土砂等切削刃具が鉄筋等に接触し変形等の要因となる可能性が考えられる。	○
		f. 高圧噴射ロッド回収刃具の接触	増積土砂搬去のために使用し回収した高圧噴射のロッドの回収刃具(強引ハンマーグラブ、クランシエル(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ある。 このため、作業状況を確認した結果、ロッド回収刃具はゆっくり昇降されていることを確認した。このため、ロッド回収刃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、これら回収刃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・搬去時の接触		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(建設)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かごに建設時の接触		後行エレメントの鉄筋かごを建設した際に、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建設前に、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かご建設時にも接触する可能性があると考えられた。これに対応するために建設した鉄筋かごにも凸部(凸部)を設け、超音波記録(約5cm)の範囲が確認され、先行エレメントの変形部との干渉が回避できず、変形部が鉄筋かご内へ進入し、引っ掛かることで後行エレメントの建設に伴い、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増積物の搬去作業のため、鉄筋かご設置済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の鉄筋等に接触して鉄筋等が変形等に至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、トレミー管の直径は30cm前後であり、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補強材の中で使用している)。また、ポンプによる増積物搬去作業においては、吸引効率を高めるためのトレミー管の水平移動は、クローラークレーンにより低速であるブームの旋回動作により行うため、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。	×

8. 補正手続きの経緯（1／3）

【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。

8. 補正手続きの経緯 (2/3)

【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。

8. 補正手続きの経緯 (3/3)

<東海第二発電所設計及び工事計画認可申請の申請状況>

新規規制基準対応の本体工認(2018.10.18認可)

<本体工認の変認申請>

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2項の規定に基づく申請

- 変認(分割1回申請)(2022.11.16認可)
- 変認(分割2回申請)(2023.5.31認可)
- 変認(分割3回申請)(2023.10.2認可)
- 変認(分割4回申請)(審査中)(本設工認)
→補正に合わせて防潮堤不具合対応を反映する

変認(火災感知器BF(DB/SA))(審査中)

変認(緊急用125V系蓄電池他設置場所変更)(審査中)

変認(2022.11.24認可)

変認(2023.7.21認可)

変認(2021.9.29認可)

変認(2023.1.20認可)

<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。