

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）の構造変更)

2026年7月17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。

1. 概要

- (1) 構造変更に至った経緯 4
- (2) 審査の流れ 6

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

- (1) 耐震評価 8
- (2) 耐津波評価 16
- (3) 地中連続壁部の残置影響評価 24
- (4) まとめ 33

3. 参考

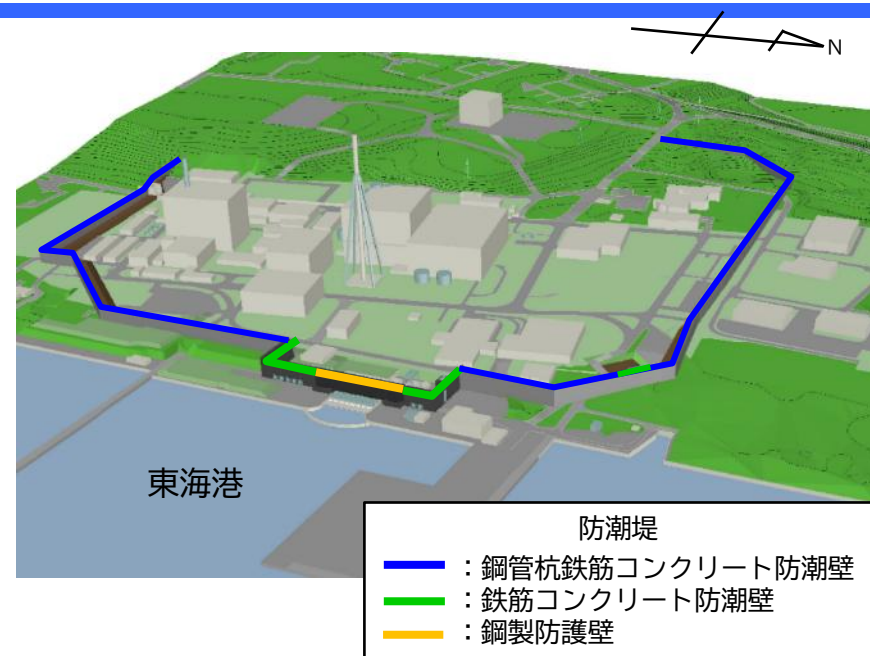
- (1) 工事管理の改善と再発防止に向けた取組み 35
- (2) 止水機構に関する評価 36
- (3) SD685のひずみレベルに係る詳細検討 37
- (4) 防潮堤（鋼製防護壁）基礎の構造変更に係る検討内容 38

1. 概要

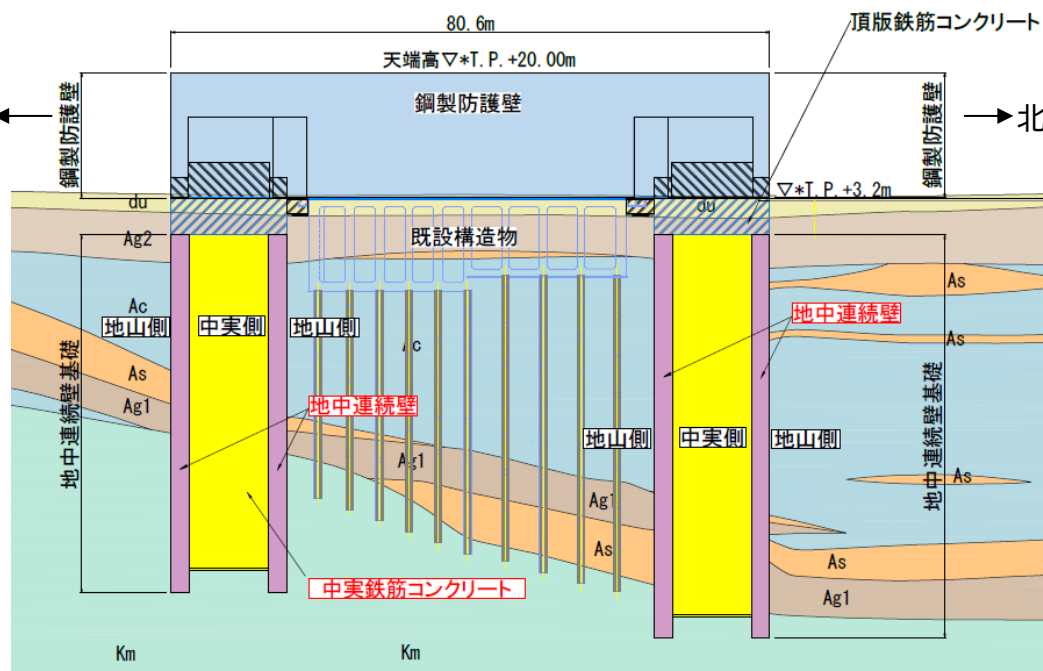
- (1) 構造変更に至った経緯
- (2) 審査の流れ

(1) 構造変更に至った経緯

- 東海第二発電所の防潮堤のうち防潮堤（鋼製防護壁）は、敷地の東側の東海港に面した位置に設置する。既工認では、既設構造物の南北に2つの地中連続壁基礎を岩盤に設置し、その上部に既設構造物を跨ぐように鋼製防護壁を設置する計画としていた。
- その施工は、地中連続壁を地中に構築した後、同地中連続壁を土留めとして中実部を掘削し、中実鉄筋コンクリートを地中連続壁と一体化させながら構築する計画としていた。
- 地中連続壁の不具合事象は、地中連続壁の施工中及び中実側の掘削中において確認したものである。



東海第二発電所 防潮堤設置計画図



防潮堤（鋼製防護壁，既工認）

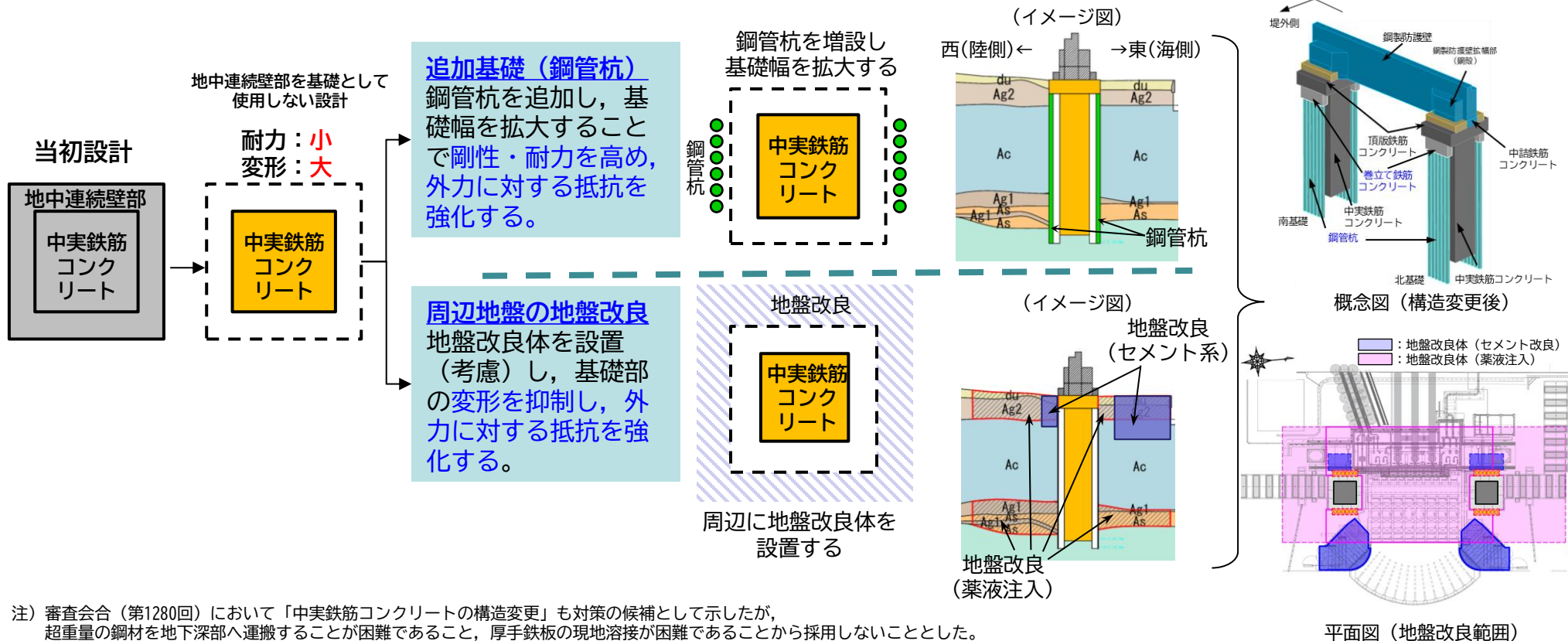
【確認した不具合事象】

- ・ 中実側の掘削を実施したところ、地中連続壁の中実側の壁面の一部において、**コンクリート未充填及び鉄筋の変形等※**を確認した。また、その後の調査で地中連続壁の地山側においてもコンクリート未充填を確認した。
- ・ 地中連続壁の施工中、北基礎の地中連続壁の南西側角部において、**鉄筋かごが計画深度まで建込みできない事象（高止まり事象）**が発生した。

※鉄筋の変形，脱落，欠損

(1) 構造変更に至った経緯

- 防潮堤（鋼製防護壁）の基礎は、地中連続壁部と中実鉄筋コンクリートを一体化して構築する計画であったが、先行して設置した地中連続壁部にコンクリートの未充填や鉄筋の変形等の不具合を確認した。当該不具合の状況について調査を実施したが、その全容を把握することができなかったことから、不具合が生じた地中連続壁部については、残置するものの基礎として使用しない設計に変更した（審査会合（第1259回、第1280回））。
- 地中連続壁部を基礎として使用しない設計とすることにより、防潮堤基礎の剛性・耐力が確保できないため、その対策として「追加基礎（鋼管杭）」及び「周辺地盤の地盤改良」を取り入れた構造に変更し、支配的な津波荷重に対して抵抗を期待する構造とした（審査会合（第1309回））。



(2) 審査の流れ

前回の審査会合（第1407回）では、STEP 4で説明する内容のうち「追加基礎・地盤改良による周辺施設への影響評価」及び「施工性・検査の確認結果」を説明した。今回はSTEP 4のうち、残りの「耐震・耐津波評価の結果」及び「地中連続壁部の残置影響評価の結果」について説明する。

審査会合（第1309回）

審査会合（第1329回）

審査会合（第1360回及び第1376回）

STEP 1**●構造変更案の概要**

- 構造変更案の概要（追加基礎・地盤改良の追加）
- 今後の説明の流れ

STEP 2**●基本方針の設定※1****【耐震・耐津波評価】の基本方針**

- 要求性能と設計評価方針
- 検討モデル（鋼管杭、地盤改良、頂版鉄筋コンクリート、地盤バネ、群杭の扱い等）
- 評価フロー、評価項目
- STEP3で示す耐震評価に係る構造成立性の評価方法

【影響評価】の基本方針

- 地中連続壁の残置影響に係る評価ロジック、評価条件、評価方針及び保守性の整理
- 追加基礎・地盤改良による周辺施設への影響に係る評価項目、評価方法、周辺施設の詳細情報

【施工性・検査】の基本方針

- 追加基礎・地盤改良の施工方法と設計への反映事項の整理
- 品質確保のための検査項目（品質管理目標）
- 地盤改良（薬液注入）の性能目標、物性値

●構造成立性の見通し**【耐津波評価】の結果※2**

- 代表的な応力（断面力最大ケース）による各部の照査

STEP 3**●構造成立性****【耐震・耐津波評価】の結果**

- 代表的な応力（断面力最大ケース）による各部の照査

【影響評価】の結果

- 代表的な応力（断面力最大ケース）による地中連続壁の残置影響評価

審査会合（第1407回及び今回）

STEP 4**●詳細検討結果**

今回説明

【耐震・耐津波評価】の結果

- 全解析ケースによる各部の照査

【影響評価】の結果

- 地中連続壁部の残置影響評価
- 追加基礎・地盤改良による周辺施設への影響評価

【施工性・検査】の確認結果

- 地盤改良物性値（ばらつき、液状化強度）に係る試験確認

※1 STEP2で設定した基本方針に基づき構造成立性の確認（STEP2, 3）、詳細検討（STEP4）を実施する。

※2 構造変更する基礎に対して、最も厳しい荷重条件である耐津波時（重畳時）を代表ケースとして見通しを確認する。

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

- (1) 耐震評価
- (2) 耐津波評価
- (3) 地中連続壁部の残置影響評価
- (4) まとめ

（１）耐震評価 ：STEP4での実施概要（STEP3との相違）

- STEP3（構造成立性検討）では、変更した構造の成立性を確認するため、既工認結果から評価が厳しいと想定される代表的な条件による主要な部位の照査を実施
- STEP4（詳細検討）では、構造変更を含む防潮堤全体の基準適合性を確認するため、既工認と同じ方針に基づき、全検討ケースによる全ての部位の照査を実施
- その他の設計方針（評価フローや解析モデル等）については、STEP3とSTEP4で相違なし

STEP3とSTEP4の主な設計方針の比較

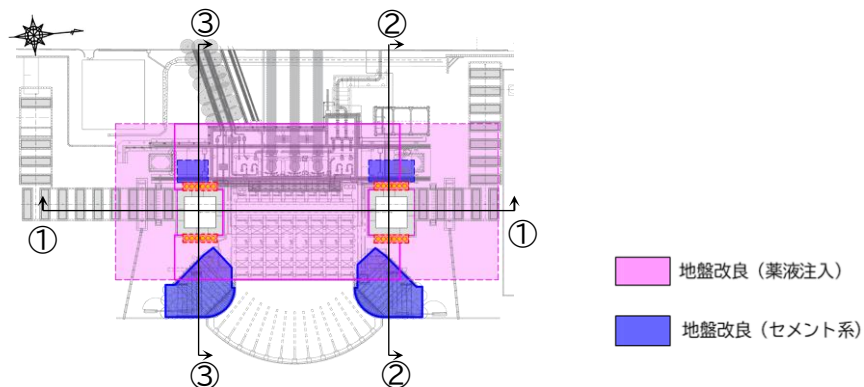
主な設計方針	STEP3	STEP4
解析モデル	既工認のモデルに構造変更を反映	同左
評価対象地震動	代表地震動のみ（Ss-D1）	Ss全波（既工認と同じ）
地盤ケース（地盤剛性）	既工認結果から厳しいと思われるケースを選定（地盤ケース③）	全ての地盤ケースを考慮（既工認と同じ）
評価対象部位	主要な部位のみ	全ての部位

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

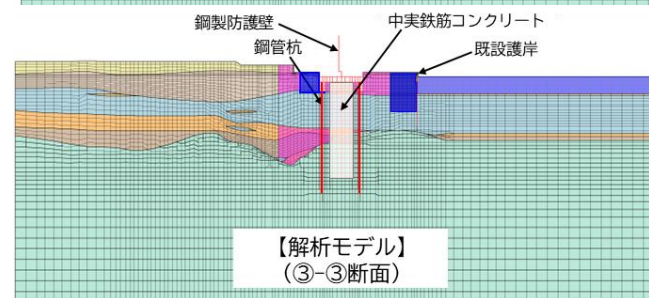
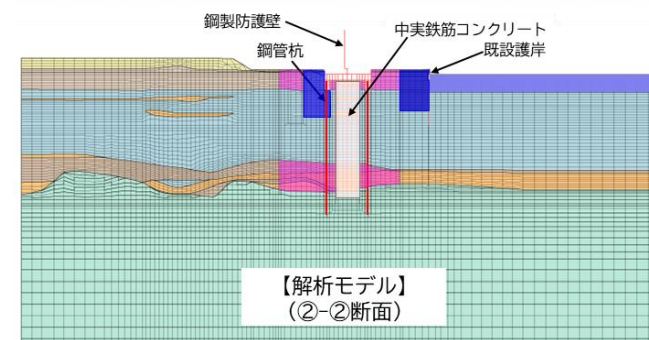
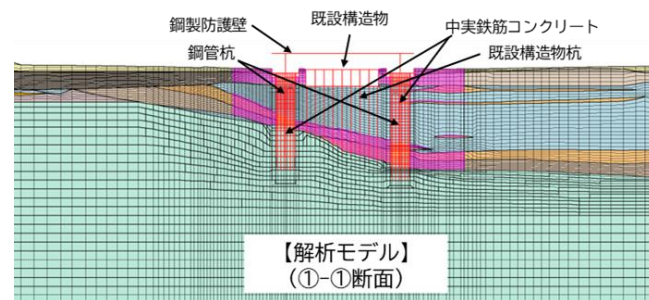
（1）耐震評価：解析モデル

- 耐震評価における解析モデルはSTEP3と同様（既工認の解析モデルに構造変更を反映）
- なお，構造変更として追加する鋼管杭（巻立て鉄筋コンクリート含む），地盤改良体（セメント系及び薬液注入）については，2次元FEMモデルに反映している

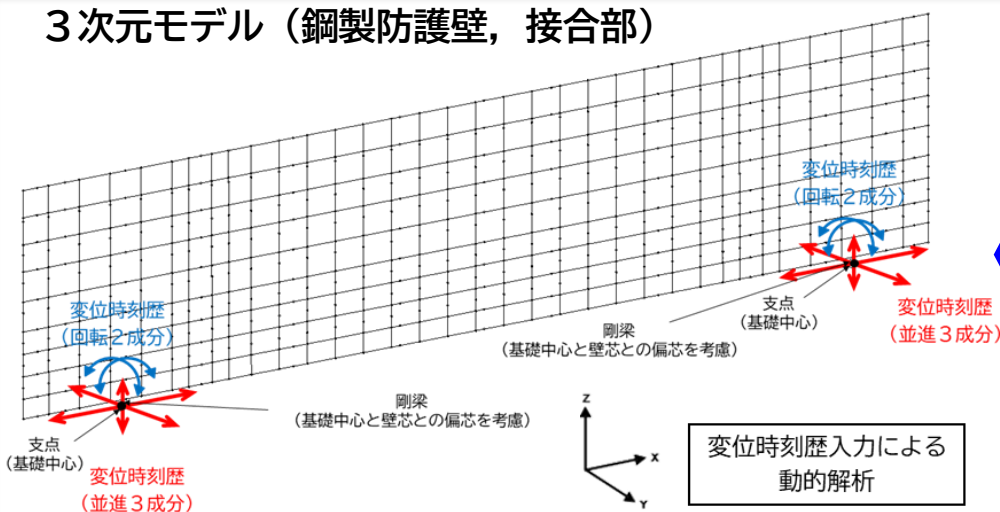
2次元FEMモデル（断面位置図）



2次元FEMモデル（鋼製防護壁基礎）



3次元モデル（鋼製防護壁，接合部）



基礎天端
の変位
時刻歴を
入力

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

(1) 耐震評価：評価対象地震動及び地盤ケース

- 既工認と同じ下記の手法により地震動と地盤のばらつきを考慮
- 基本となる地盤ケース（①）に対して、地震動Ss全波（12波）を用いた評価を実施
 - 最大照査値を示した地震動Ssを用いて、他の地盤ケース（②～⑥）に対して評価を実施

地盤ケース		① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定		原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
STEP4	基準地震動 ※1	Ss-D1	地盤ケース①に対し全波(12波)を評価 →	最大値を示した地震動※2を用いて、地盤ケース②～⑥に対して評価 【最大値について】 ・鋼製防護壁基礎及び基礎地盤に対しては各評価対象部位の“最大照査値” ・鋼製防護壁及び接合部に対しては、南北基礎天端の“最大相対変位”			
		Ss-11					
		Ss-12					
		Ss-13					
		Ss-14					
		Ss-21					
		Ss-22					
		Ss-31					
STEP3	Ss-D1			最厳ケース想定として選定			

※1 S_s-D1及びS_s-31は特定の方向性を有しないため、位相を反転させた波についても確認する

※2 曲げ・せん断各々について地震動を選定する（曲げとせん断とで同じ地震動が選定される場合もある）

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（1）耐震評価 ：評価対象部位

- STEP4では全ての部位の照査を実施
- STEP3では主要な部位の照査のみを実施

耐震評価における評価対象部位一覧及びSTEP3との比較

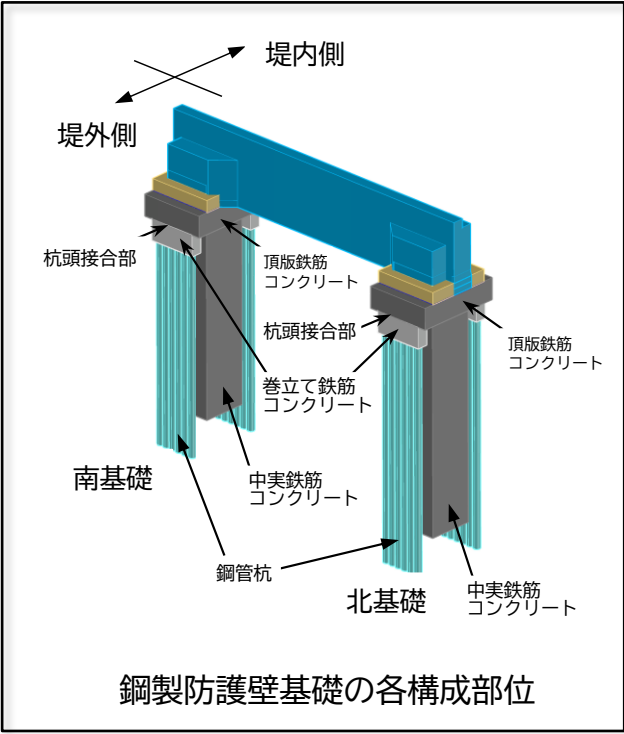
区分	評価対象部位		耐震評価		備考
			STEP3	STEP4	
鋼製防護壁基礎	中実鉄筋コンクリート		○	○	
	鋼管杭		○	○	
	巻立て鉄筋コンクリート		○	○	
	杭頭接合部		○	○	
	頂版鉄筋コンクリート		○	○	
鋼製防護壁	鋼製防護壁	主部材	△	○	△：STEP3では、南北基礎の最大相対変位が既工認を下回ることをもって健全性を確認した
		補剛材	—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
		添接板	—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
	止水ジョイント		—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
	止水機構		—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
接合部	アンカーボルト		△	○	△：STEP3では、南北基礎の最大相対変位が既工認を下回ることをもって健全性を確認した
	ベースプレート		—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
	中詰め鉄筋コンクリート		△	○	△：STEP3では、南北基礎の最大相対変位が既工認を下回ることをもって健全性を確認した
地盤	基礎地盤	中実部	○	○	
		鋼管杭部	○	○	
	地盤改良（セメント改良）		—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討
（1）耐震評価：評価結果（鋼製防護壁基礎）

各評価対象部位に発生する応力度及び断面力が許容限界を下回ることを確認した

鋼製防護壁基礎の各評価対象部位の評価結果のうち最も厳しい値（最大照査値）を下表に示す。

区分	評価対象部位	照査位置	照査項目；応力度及び断面力の種類		発生値	許容限界	最大照査値	地震動	地盤ケース
鋼製防護壁基礎	中実鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	堤軸方向鉄筋引張応力度(N/mm ²)	176	435.0	0.41	Ss-31	ケース①
		南基礎	せん断	堤軸方向せん断力(kN)	209596	262058	0.80	Ss-31	ケース④
	鋼管杭	北基礎	曲げ	堤軸直交方向圧縮応力度(N/mm ²)	226	442.5	0.52	Ss-31	ケース④
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断応力度(N/mm ²)	13.5	255.0	0.06	Ss-D1	ケース①
	巻立て鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	堤軸直交方向鉄筋引張応力度(N/mm ²)	102	600.0	0.17	Ss-31	ケース②
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	1696	3771	0.45	Ss-D1	ケース①
	杭頭接合部	北基礎	仮想RC断面(RC)	堤軸直交方向鉄筋引張応力度(N/mm ²)	150	600.0	0.25	Ss-31	ケース②
	頂版鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	堤軸直交方向鉄筋引張応力度(N/mm ²)	338	435.0	0.78	Ss-31	ケース③
		南基礎	せん断	堤軸方向せん断力(kN)	40165	137690	0.30	Ss-31	ケース①

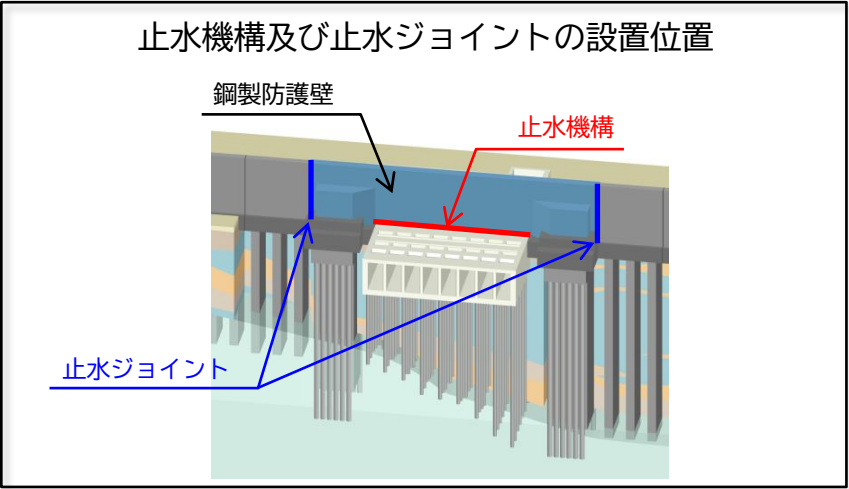
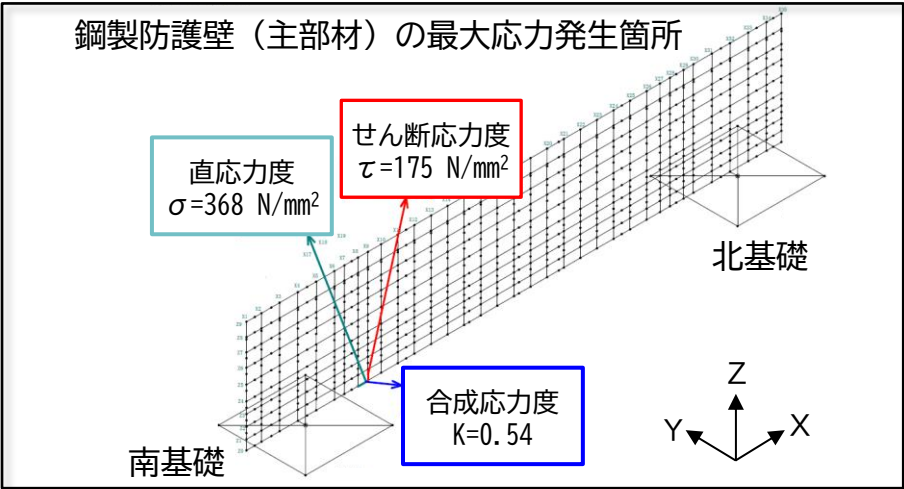


2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討
（1）耐震評価：評価結果（鋼製防護壁）

各評価対象部位に発生する応力度及び断面力が許容限界を下回ることを確認した

鋼製防護壁の各評価対象部位の評価結果のうち最も厳しい値（最大照査値）を下表に示す。

区分	評価対象部位	照査位置	照査項目；応力度及び断面力等の種類		発生値	許容限界	最大照査値	地震動	地盤ケース
鋼製防護壁	鋼製防護壁	左下図参照	主部材	直応力度(N/mm ²)	368	615	0.60	Ss-D1	ケース④
				せん断応力度(N/mm ²)	175	352.5	0.50	Ss-D1	ケース④
				合成応力度(-)	0.54	1.2	0.45	Ss-D1	ケース④
		—	補剛材	断面二次モーメント(cm ⁴)	26483	37137	0.72	—	—
		—	添接板	引張時断面積(cm ²)	70.3	270.3	0.27	—	—
				圧縮時断面積(cm ²)	67.5	373.9	0.19	—	—
	止水ジョイント	—	止水ジョイント部の変形量(m)		1.457	2.0	0.73	—	—
	止水機構	—	止水機構の耐震評価については、設計の入力条件である2次元有効応力解析から算出される基準地震動S _S の設計震度が既工認時の結果を全て下回ることから、既工認の結果に包絡される。						



(1) 耐震評価 : 評価結果 (接合部)

接合部の各評価対象部位の評価結果のうち最も厳しい値（最大照査値）を下表に示す。

区分	評価対象 部位	照査 位置	照査項目；応力度及び断面 力等の種類		発生値	許容 限界	最大 照査値	地震動	地盤 ケース	
接合部	アンカー ボルト	北基礎	引張	引張応力度 (N/mm ²)	232	315.0	0.74	Ss-D1	ケース④	
		—	定着	定着長(cm)※	236.9	252.0	0.95	—	—	
		北基礎	コーン せん断	コーンせん断 応力度(N/mm ²)	1.145	1.558	0.74	Ss-D1	ケース④	
	ベース プレート	南基礎	軸圧縮応力度 (N/mm ²)			278	450	0.62	Ss-D1	ケース④
		南基礎	曲げ応力度 (N/mm ²)			94	355	0.27	Ss-D1	ケース④
		南基礎	せん断応力度 (N/mm ²)			66	260	0.26	Ss-D1	ケース④
		南基礎	合成応力度 (—)			0.101	1.2	0.09	Ss-D1	ケース④
	中詰め 鉄筋 コンクリート	南基礎	せん断	せん断力(kN)	58042	221212	0.27	Ss-D1	ケース④	
南基礎		水平回転 モーメント	水平鉄筋 応力度(N/mm ²)	185	435	0.43	Ss-D1	ケース④		

頂版鉄筋コンクリート

中詰め鉄筋コンクリート

鋼製防護壁 (鋼殻)

巻立て鉄筋コンクリート

鋼管杭

中実鉄筋コンクリート

拡大

上フランジ (ベースプレート)

下フランジ (ベースプレート)

アンカーボルト

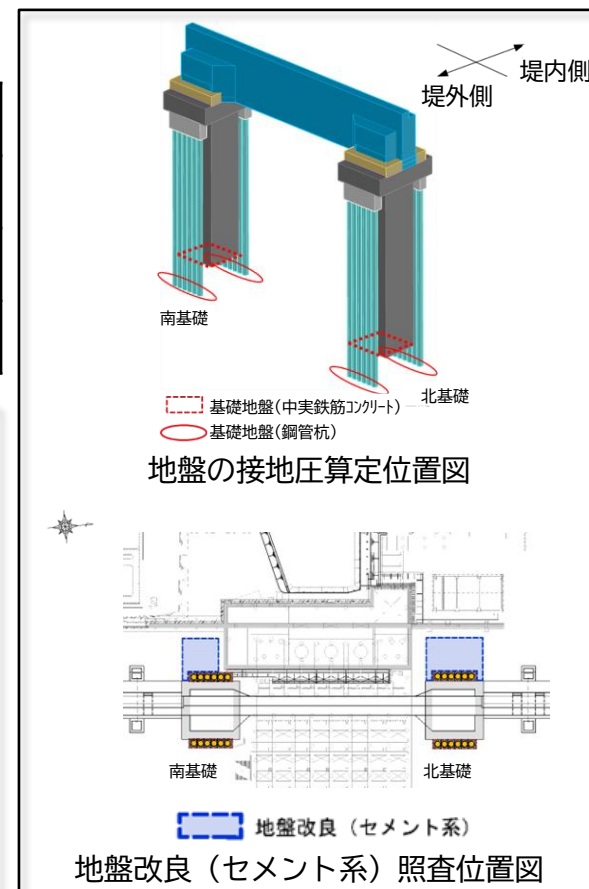
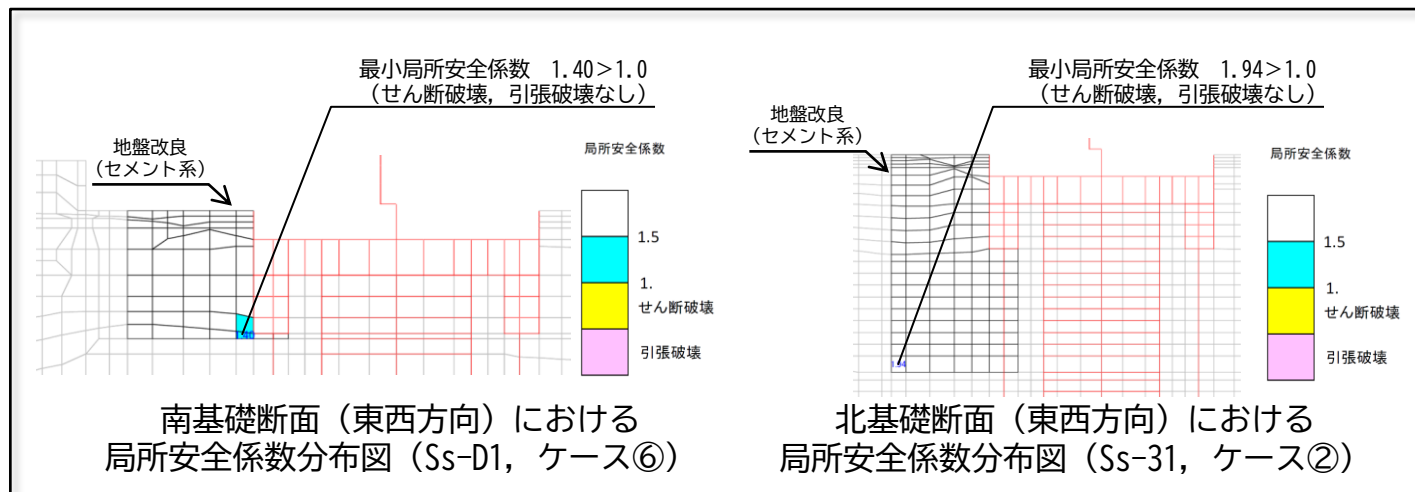
2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（1）耐震評価：評価結果（地盤）

- 基礎地盤の接地圧は許容限界（極限支持力度）を下回ることを確認した
- 地盤改良（セメント系）は、地震時に破壊することがなく、側方抵抗として期待できる地盤であることを確認した

地盤の支持性能について確認し、その評価結果のうち最も厳しい値を下表に示す。

区分	評価対象部位	照査位置	照査項目；接地圧		発生値	許容限界	地震動	地盤ケース
地盤	基礎地盤	中実鉄筋コンクリート	支持性能	北基礎 堤軸方向 接地圧 (kN/m ²)	4777	6116	Ss-31	ケース④
		鋼管杭	支持性能	南基礎 堤軸直交方向 接地圧 (kN/m ²)	4912	5039	Ss-D1	ケース④
	地盤改良（セメント系）	時刻歴最大のせん断応力に対して、局所安全係数が1.0を上回り、せん断破壊を示す要素は確認されなかった。また、引張破壊している要素もないことを確認した。						



（2）耐津波評価：STEP4での実施概要（STEP3との相違）

- STEP3（構造成立性検討）では、変更した構造の成立性を確認するため、相対的に大きな荷重条件となる「敷地に遡上する津波」について主要な部位の照査を実施
- STEP4（詳細検討）では、構造変更を含む防潮堤全体の基準適合性を確認するため、「敷地に遡上する津波」及び「基準津波」の双方について全ての部位の照査を実施
- 基礎地盤の支持性能について、STEP3では3次元フレームモデルによる暫定値を示したが、STEP4では2次元FEMモデルを用いたより精緻な解析を実施（既工認と同様）
- その他の設計方針（評価フローや地盤ケース等）については、STEP3とSTEP4で相違なし

STEP3とSTEP4の主な設計方針の比較

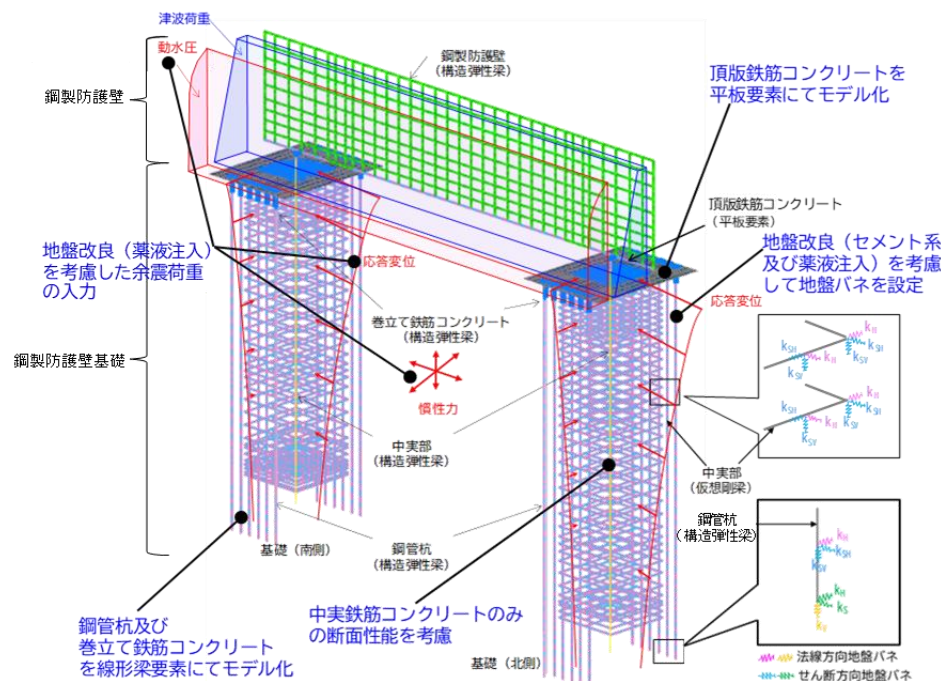
主な設計方針	STEP3	STEP4
解析モデル	- 既工認のモデルに構造変更を反映 - 基礎地盤の支持性能は3次元フレームモデルで評価	- 同左 - 基礎地盤の支持性能は2次元FEMモデルで精緻に評価
評価対象津波	敷地に遡上する津波	敷地に遡上する津波 及び 基準津波（既工認と同じ）
地盤ケース（地盤バネ）	全ての地盤ケースを考慮（既工認と同じ）	同左
評価対象部位	主要な部位のみ	全ての部位

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（2）耐津波評価：解析モデル

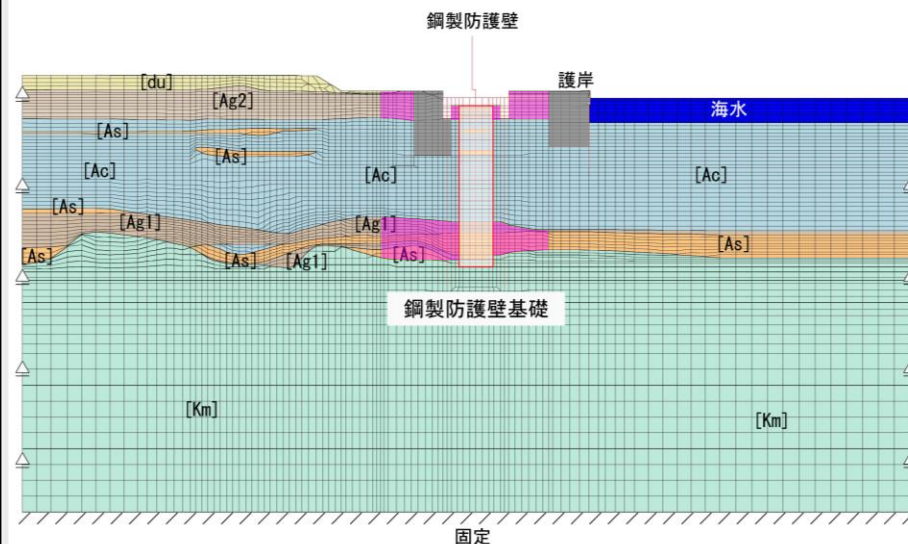
- 耐津波評価における解析モデルはSTEP3と同様（既工認の解析モデルに構造変更を反映）
- なお、構造変更として追加する鋼管杭（巻立て鉄筋コンクリート含む）、地盤改良体（セメント系及び薬液注入）については、3次元フレームモデルに反映している
- STEP3の支持性能評価では、3次元フレームモデルによる暫定値を示したが、STEP4では既工認と同様、2次元FEMモデルを用いたより精緻な解析を実施

3次元フレームモデル
（評価部位：鋼製防護壁基礎、鋼製防護壁、接合部）



【解析モデル（イメージ）図】（津波と余震の重畳時）

2次元FEMモデル
（評価部位：基礎地盤）



【解析モデル図】（基礎地盤の支持性能評価）

（２）耐津波評価 ：評価対象津波及び地盤ケース（地盤バネ）

- ・ 既工認と同様，本震及び余震時における地盤のばらつきを考慮した上で，津波時には１～２，余震と津波の重畳時には３～５の地盤バネを設定（STEP3も同様）
- ・ STEP4では「敷地に遡上する津波」及び「基準津波」の双方について評価を実施

耐津波評価における検討ケース一覧

地盤のばらつきケース		地盤バネ定数	地盤バネの反力上限値	評価対象津波
津波時	地盤バネ 1	初期せん断剛性から設定	ピーク強度（平均）から設定	「基準津波」 及び 「敷地に遡上する津波」
	地盤バネ 2	静弾性係数から設定	残留強度(-1σ)から設定	
余震と津波 の重畳時	地盤バネ 3	余震時収束剛性から設定 (地表面 <u>加速度最大</u>)	ピーク強度（平均）から設定	
	地盤バネ 4	余震時収束剛性から設定 (地表面 <u>変位最大</u>)	同上	
	地盤バネ 5	余震時収束剛性から設定 (<u>せん断ひずみ最大</u>)	同上	

(2) 耐津波評価 : 評価対象部位

- STEP4では全ての部位の照査を実施
- STEP3では主要な部位の照査のみを実施

耐津波評価における評価対象部位一覧及びSTEP3との比較

区分	評価対象部位		耐津波評価		備考
			STEP3	STEP4	
鋼製防護壁基礎	中実鉄筋コンクリート		○	○	
	鋼管杭		○	○	
	巻立て鉄筋コンクリート		○	○	
	杭頭接合部		○	○	
	頂版鉄筋コンクリート		○	○	
鋼製防護壁	鋼製防護壁	主部材	△	○	△：STEP3では、主部材の断面力が既工認を下回ることをもって健全性を確認した
		補剛材	—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
		添接板	—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
	止水ジョイント		—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
	止水機構		—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
接合部	アンカーボルト		○	○	
	ベースプレート		—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
	中詰め鉄筋コンクリート		○	○	
地盤	基礎地盤	中実部	△	○	△：STEP3では、3次元フレームモデルのバネ反力による暫定値を示した
		鋼管杭部	△	○	△：STEP3では、3次元フレームモデルのバネ反力による暫定値を示した
	地盤改良（セメント改良）		—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（2）耐津波評価 ：評価結果（鋼製防護壁基礎）

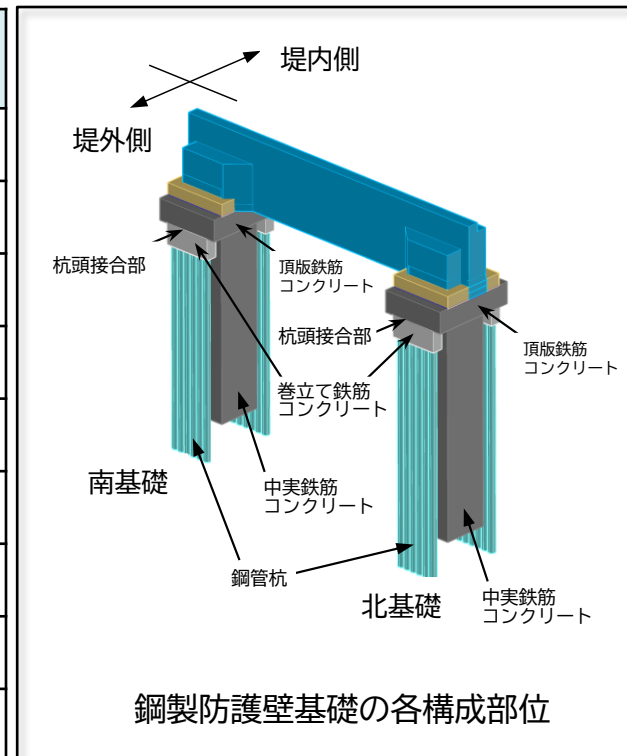
各評価対象部位に発生する応力度及び断面力が許容限界を下回ることを確認した

鋼製防護壁基礎の各評価対象部位の評価結果のうち最も厳しい値（最大照査値）を下表に示す。

区分	評価対象部位	照査位置	照査項目；応力度及び断面力の種類		発生値	許容限界	最大照査値※1	津波種別	地盤バネケース※2
鋼製防護壁基礎	中実鉄筋コンクリート	南基礎	曲げ	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	265.8	478.5	0.56	遡上津波	地盤バネ4
		南基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	214108	247591	0.87	遡上津波	地盤バネ4
	鋼管杭	北基礎	曲げ	曲げ応力度(N/mm ²)	452.4	500.0	0.91	遡上津波	地盤バネ4
		南基礎	せん断	せん断応力度(N/mm ²)	45.3	285.0	0.16	遡上津波	地盤バネ4
	巻立て鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	Con圧縮応力度(N/mm ²)	25.5	32.0	0.80	遡上津波	地盤バネ2
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	14028	14469	0.97	遡上津波	地盤バネ1
	杭頭接合部	南基礎	仮想RC断面(RC)	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	632.5	660.0	0.96	遡上津波	地盤バネ4
	頂版鉄筋コンクリート	南基礎	曲げ	堤軸方向鉄筋引張応力度(N/mm ²)	432.3	478.5	0.91	遡上津波	地盤バネ5
		南基礎	せん断	せん断力(kN)	29790	31712	0.94	遡上津波	地盤バネ5

※1 最大照査値が1.00に近接しているものを赤字で示す

※2 地盤バネ1～2：津波時，地盤バネ3～5：重畳時



2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

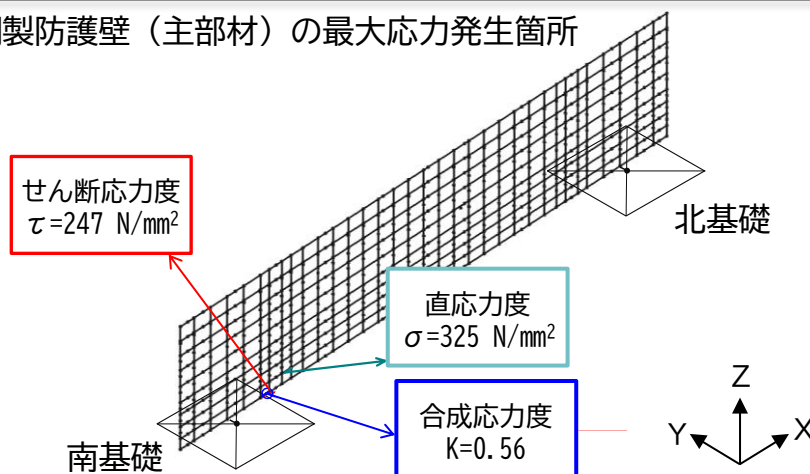
（2）耐津波評価：評価結果（鋼製防護壁）

各評価対象部位に発生する応力度及び断面力が許容限界を下回ることを確認した

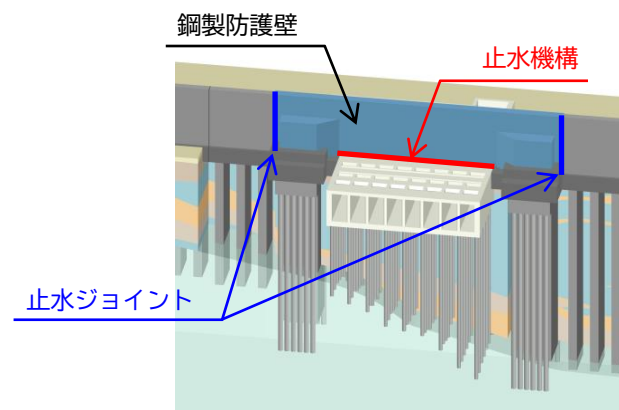
鋼製防護壁の各評価対象部位の評価結果のうち最も厳しい値（最大照査値）を下表に示す。

区分	評価対象部位	照査位置	照査項目；応力度及び断面力等の種類	発生値	許容限界	最大照査値	津波種別	地盤バネケース※
鋼製防護壁	鋼製防護壁	左下図参照	主部材 直応力度(N/mm ²)	324.6	697	0.47	遡上津波	地盤バネ5
			せん断応力度(N/mm ²)	246.6	399.5	0.62	遡上津波	地盤バネ5
			合成応力度(-)	0.56	1.2	0.47	遡上津波	地盤バネ5
		—	補剛材 断面二次モーメント(cm ⁴)	26483	37137	0.72	—	—
		—	添接板 引張時断面積(cm ²)	70.3	270.3	0.27	—	—
			圧縮時断面積(cm ²)	67.5	373.9	0.19	—	—
	止水ジョイント	—	止水ジョイント部の変形量(m)	1.059	2.0	0.53	—	—
	止水機構	—	止水機構の耐津波評価について、津波荷重は既工認から変更なく、余震荷重は設計の入力条件である2次元有効応力解析から算出されるS _d -D1の設計震度が既工認時の結果を全て下回ることから、既工認の結果に包絡される。					

鋼製防護壁（主部材）の最大応力発生箇所



止水機構及び止水ジョイントの設置位置



※：地盤バネ1～2：津波時，地盤バネ3～5：重畳時

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（2）耐津波評価：評価結果（接合部）

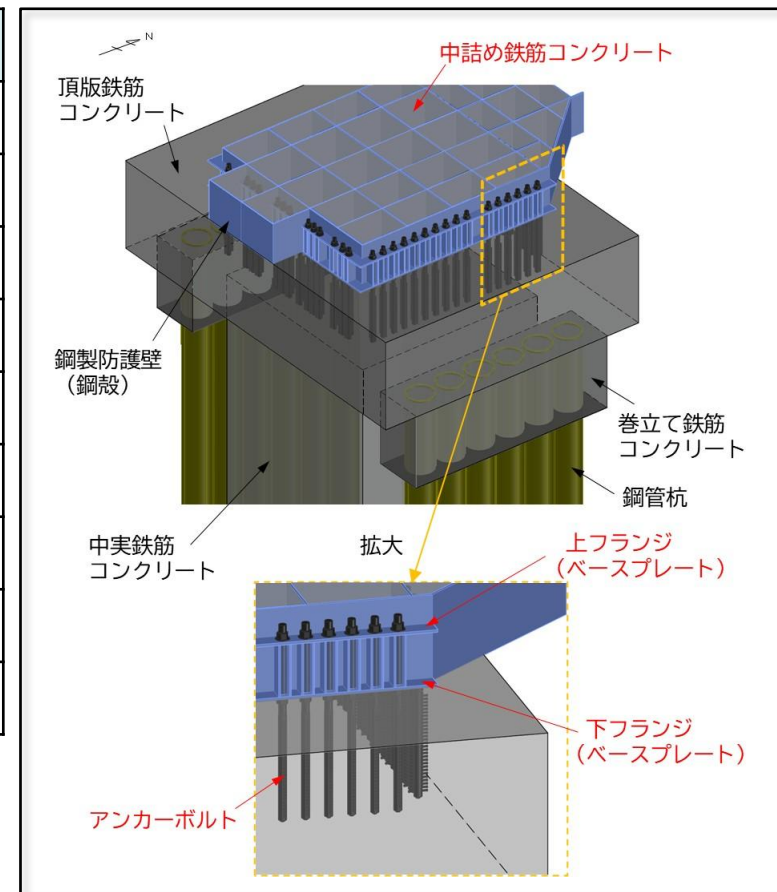
各評価対象部位に発生する応力度及び断面力が許容限界を下回ることを確認した

接合部の各評価対象部位の評価結果のうち最も厳しい値（最大照査値）を下表に示す。

区分	評価対象部位	照査位置	照査項目；応力度及び断面力等の種類		発生値	許容限界	最大照査値	津波種別	地盤バネケース※2
接合部	アンカーボルト	南基礎	引張	引張応力度 (N/mm ²)	216.2	355.0	0.61	遡上津波	地盤バネ5
		—	定着	定着長(cm)※1	236.9	252.0	0.95	—	—
		南基礎	コーンせん断	コーンせん断応力度 (N/mm ²)	1.142	1.554	0.74	遡上津波	地盤バネ5
	ベースプレート	南基礎	軸圧縮応力度 (N/mm ²)		163.3	450.0	0.37	遡上津波	地盤バネ5
		南基礎	曲げ応力度 (N/mm ²)		46.0	355.0	0.13	遡上津波	地盤バネ5
		南基礎	せん断応力度 (N/mm ²)		38.8	260.0	0.15	遡上津波	地盤バネ5
		南基礎	合成応力度 (—)		0.036	1.20	0.04	遡上津波	地盤バネ5
	中詰め鉄筋コンクリート	南基礎	せん断	せん断力(kN)	224237	252547	0.89	遡上津波	地盤バネ5
		南基礎	水平回転モーメント	水平鉄筋応力度 (N/mm ²)	331.4	478.5	0.70	遡上津波	地盤バネ5

※1 アンカーボルトの定着長は、地震動によらず鉄筋とコンクリートの材料により決定するため、必要定着長に対する実定着長を確認したものである

※2 地盤バネ1～2：津波時、地盤バネ3～5：重畳時



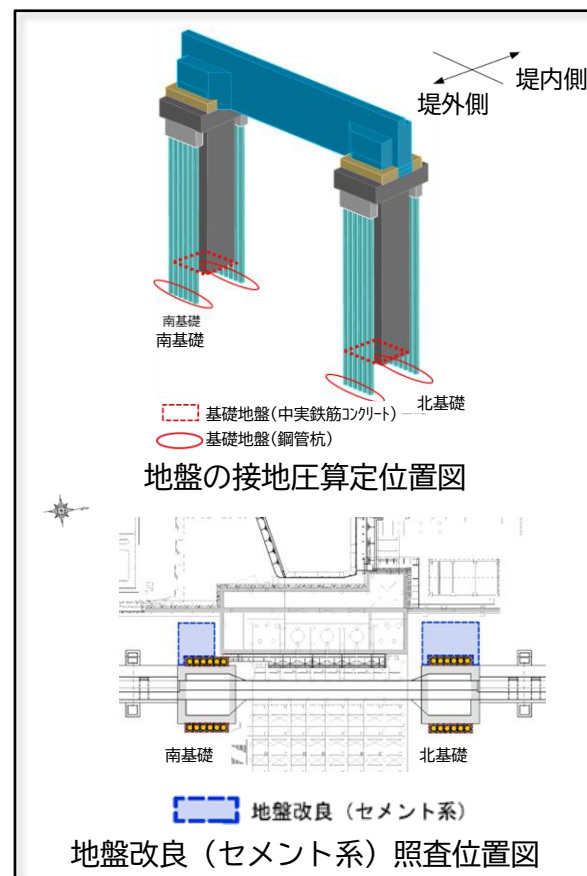
(2) 耐津波評価：評価結果（地盤）

- 基礎地盤の接地圧について、STEP4では既工認と同様2次元静的FEM解析による精緻な解析を実施し、許容限界（極限支持力度）を下回ることを確認した
- 地盤改良（セメント系）は、津波荷重作用時においても内部すべりが発生することなく、側方抵抗として期待できる地盤であることを確認した

地盤の支持性能について確認し、その評価結果のうち最も厳しい値を下表に示す。

区分	評価対象部位	照査位置	照査項目；接地圧		発生値	許容限界	安全率	津波種別	地盤ケース※
地盤	基礎地盤	中実鉄筋コンクリート	支持性能	北基礎 堤軸直交方向 接地圧(kN/m ²)	1918	6116	—	基準津波	ケース⑤
		鋼管杭	支持性能	北基礎 堤軸直交方向 接地圧(kN/m ²)	4338	5092	—	遡上津波	ケース③
	地盤改良(セメント系)	新設地盤改良	すべり	南基礎 堤軸直交方向 すべり(kN/m ²)	134.4	750	5.57	遡上津波	地盤バネ1

※ 基礎地盤については地盤ケース①～⑥で、地盤改良(セメント系)については地盤バネ1～5で評価を実施（地盤バネ1～2：津波時、地盤バネ3～5：重畳時）



（3）地中連続壁部の残置影響評価（耐震）：STEP4での実施概要（STEP3との相違）

- STEP3では代表的な応力（断面力最大ケース）による主要な部位の照査を実施
- STEP4では工認設計モデル※1の評価結果を踏まえ、評価対象部位毎に最も厳しい結果となる地震動と地盤ケースを組合せを選定し、全ての部位の照査を実施することで、地中連続壁部の残置による構造健全性への影響を網羅的に評価する

STEP3とSTEP4の主な設計方針の比較

主な設計方針	STEP3	STEP4
解析モデル	残置影響評価モデル※2による地震応答解析で算出した断面力に対し、中実鉄筋コンクリートの部材断面のみで照査を実施	同左
評価対象地震動	代表地震動のみ（Ss-D1）	工認設計モデルの評価結果を踏まえ、以下のとおり、地震動を設定 ・鋼製防護壁基礎、地盤 →Ss-31（①, ③断面），Ss-D1（②断面） ・鋼製防護壁、接合部 →Ss-D1
地盤ケース（地盤剛性）	既工認結果から厳しいと思われるケースを選定（地盤ケース③）	工認設計モデルの評価結果を踏まえ、以下のとおり、地盤ケースを設定 ・鋼製防護壁基礎、地盤 →全ケース ・鋼製防護壁、接合部 →ケース④
評価対象部位	主要な部位のみ	全ての部位

※1 地中連壁部を基礎として考慮せず原地盤（非液状化）とした上で、中実鉄筋コンクリートのみの質量・剛性を考慮した解析モデル

※2 中実鉄筋コンクリートに地中連壁部の質量・剛性を加算した解析モデル

（３）地中連続壁部の残置影響評価（耐津波）：STEP4での実施概要（STEP3との相違）

- STEP3では「敷地に遡上する津波」について代表的な地盤バネにより主要な部位の照査を実施
- STEP4では工認設計モデル※¹の評価結果を踏まえ，評価対象部位毎に最も厳しい結果となる地震動と地盤ケースの組合せを選定し，全ての部位の照査を実施することで，地中連続壁部の残置による構造健全性への影響を網羅的に評価する

STEP3とSTEP4の主な設計方針の比較

主な設計方針	STEP3	STEP4
解析モデル	残置影響評価モデル※ ² により算出した断面力に対し，中実鉄筋コンクリートの部材断面のみで照査を実施	同左
評価対象津波	敷地に遡上する津波	工認設計モデルの評価結果を踏まえ，以下のとおり，評価対象津波を設定 ・鋼製防護壁基礎，接合部，鋼製防護壁 →敷地に遡上する津波 ・地盤 →敷地に遡上する津波，基準津波
地盤ケース（地盤バネ）	以下のとおり，代表的な地盤バネを設定 ・鋼製防護壁基礎 →地盤バネ 1～5 ・鋼製防護壁 →地盤バネ 5 ・接合部 →地盤バネ 5	工認設計モデルの評価結果を踏まえ，以下のとおり，地盤バネ等を設定 ・鋼製防護壁基礎 →地盤バネ 1～5 ・鋼製防護壁 →地盤バネ 5 ・接合部 →地盤バネ 3～5 ・地盤 →地盤ケース①～⑥
評価対象部位	主要な部位のみ	全ての部位

※¹ 地中連壁部を基礎として考慮せず原地盤（非液状化）とした上で，中実鉄筋コンクリートのみの質量・剛性を考慮した解析モデル

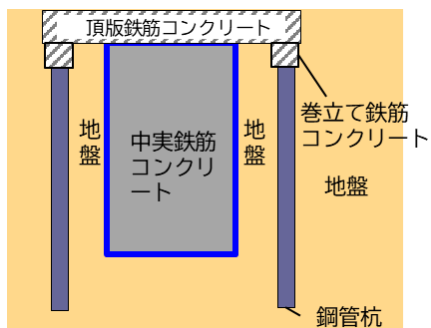
※² 中実鉄筋コンクリートに地中連壁部の質量・剛性を加算した解析モデル

（3）地中連続壁部の残置影響評価：残置影響評価モデル

- 残置影響評価モデルは、耐震及び耐津波評価ともにSTEP3で使用したものと同一

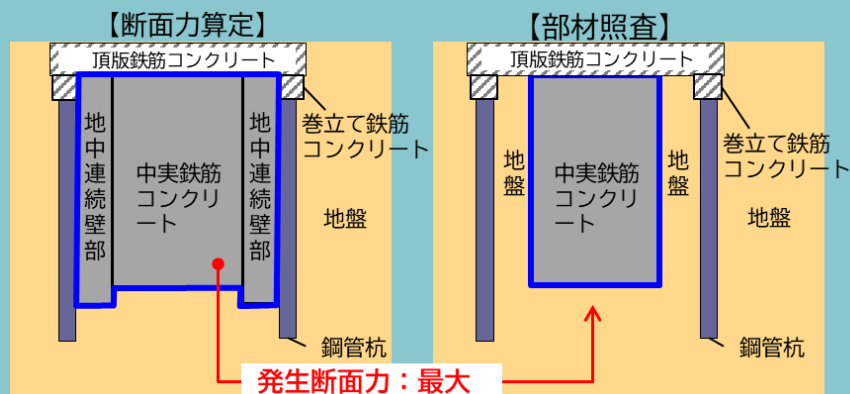
【工認設計モデル】

不具合のあった地中連続壁部を構造部材として考慮せず、強度・剛性の小さい地盤とした設計モデル



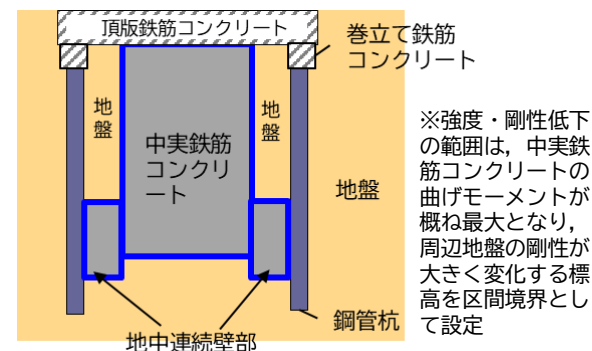
【残置影響評価モデル】

健全な地中連続壁部を仮定して最大限の発生断面力を算定し、中実鉄筋コンクリートのみで構造を成立させる保守的な設計モデル



【部分欠損モデル】

地中連続壁部の強度・剛性の不均一性を網羅的に評価するために、地中連続壁部の一部区間の強度と剛性を低下させたモデル



2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（3）地中連続壁部の残置影響評価：残置影響評価の検討ケース

- ・ 工認設計モデルにおいて評価した各検討ケースの評価結果を踏まえ、評価対象部位毎に最も厳しい結果となる検討ケース※を選定する

※耐震評価：地震動と地盤ケースの組合せ ， 耐津波評価：津波荷重と地盤バネケースの組合せ

（耐震評価）

区分	地震動の選定	地盤ケースの選定
・ 鋼製防護壁基礎 ・ 地盤	解析断面毎に照査値が最大となる1波を選定 ➤ ①-①断面，③-③断面：Ss-31 ➤ ②-②断面：Ss-D1	評価対象部位毎に最大照査値となる地盤ケースを網羅的に実施 ➤ 各断面：地盤ケース①～⑥
・ 鋼製防護壁 ・ 接合部	南北の基礎間相対変位が最大となる1波を選定 ➤ 3次元モデル：Ss-D1	南北の基礎間相対変位が最大となる地盤ケースを選定 ➤ 3次元モデル：地盤ケース④

（耐津波評価）

区分	津波荷重の選定	地盤バネケースの選定
・ 鋼製防護壁基礎	照査値が最大となる津波荷重を選定 ➤ 3次元モデル：敷地に遡上する津波	評価対象部位毎に最大照査値となる地盤バネを網羅的に実施 ➤ 3次元モデル：地盤バネ1～5
・ 鋼製防護壁 （重畳時のみ）	同上	照査値が最大となる地盤バネを選定 ➤ 3次元モデル：地盤バネ5
・ 接合部 （重畳時のみ）	同上	評価対象部位毎に最大照査値となる地盤バネを網羅的に実施 ➤ 3次元モデル：地盤バネ3～5
・ 地盤 （重畳時のみ）	評価対象部位毎に最大照査値となる津波荷重を網羅的に実施 ➤ ②-②断面，③-③断面：基準津波，敷地に遡上する津波	評価対象部位毎に最大照査値となる地盤ケースを網羅的に実施 ➤ ②-②断面，③-③断面：地盤ケース①～⑥

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（3）地中連続壁部の残置影響評価：STEP4での評価対象部位

- STEP4では全ての部位を対象とし照査を実施
- STEP3では主要な部位の照査のみを実施

残置影響評価（耐震・耐津波）における評価対象部位一覧及びSTEP3との比較

区分	評価対象部位		耐震評価		耐津波評価		備考
			STEP3	STEP4	STEP3	STEP4	
鋼製防護壁基礎	中実鉄筋コンクリート		○	○	○	○	
	鋼管杭		○	○	○	○	
	巻立て鉄筋コンクリート		○	○	○	○	
	杭頭接合部		○	○	○	○	
	頂版鉄筋コンクリート		○	○	○	○	
鋼製防護壁	鋼製防護壁	主部材	△	○	△	○	△：STEP3では、南北基礎の最大相対変位（耐震評価）または、鋼製防護壁の断面力（耐津波評価）が既工認を下回ることをもって健全性を確認した —：細部の評価につきSTEP3では省略 (○)：下記の理由により健全性を確認した ・補剛材：主部材の仕様に応じて必要量が決定するものであり、当該仕様は工認設計モデルから変更がないため、評価結果は変わらず十分な裕度が確保できる ・添接板：主部材の発生断面力に応じて仕様が決定されるものであり、当該断面力は工認設計モデルと比較して有意な差がないため、十分な裕度が確保できる ・止水ジョイント：鋼製防護壁天端の変位量により照査を実施するものであり、基礎全体の剛性は工認設計モデルより大きく、変位は抑制されるため、裕度は向上する ・地盤改良：基礎から伝達される荷重により応力照査を実施するものであり、基礎全体の剛性が工認設計モデルより大きく向上することで、側方地盤改良体の発生応力が抑制されることから、裕度は向上する
		補剛材	—	(○)	—	(○)	
		添接板	—	(○)	—	(○)	
	止水ジョイント		—	(○)	—	(○)	
	止水機構		—	○	—	○	
接合部	アンカーボルト		△	○	○	○	
	ベースプレート		—	○	—	○	
	中詰め鉄筋コンクリート		△	○	○	○	
地盤	基礎地盤	中実部	—	○	—	○	
		鋼管杭部	—	○	—	○	
	地盤改良（セメント改良）		—	(○)	—	(○)	

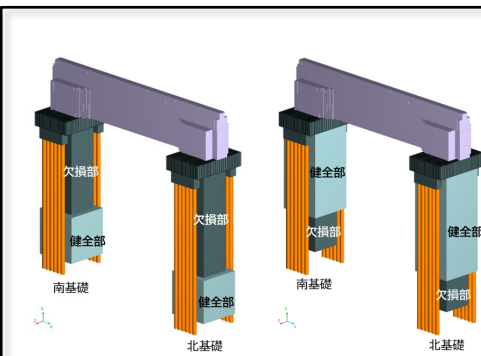
2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（3）地中連続壁部の残置影響評価（耐震）：評価結果（鋼製防護壁基礎）

- 鋼製防護壁基礎の各構造部材に発生する応力度及び断面力が許容限界を下回ることを確認した
- 部分欠損モデルにより局所的な応力集中を仮定した評価においては、残置影響評価を下回る結果となった

鋼製防護壁基礎の各評価対象部位の評価結果のうち最も厳しい値（最大照査値）を下表に示す。

①鋼製防護壁基礎

工認設計モデル								残置影響評価モデル		部分欠損モデル※3		
区分	評価対象部位	照査位置	照査項目；応力度及び断面力の種類		最大照査値	地震動	地盤ケース	最大照査値※1	検討ケース	最大照査値	検討ケース	欠損ケース
鋼製防護壁基礎	中実鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	堤軸方向鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.41	Ss-31	ケース①	(北) 0.40	Ss-31 ケース③	(南) 0.35	Ss-31 ケース④	欠損ケース1
		南基礎	せん断	堤軸方向せん断力(kN)	0.80	Ss-31	ケース④	(南) 0.99	Ss-31 ケース④	(南) 0.82	Ss-31 ケース④	欠損ケース2
	鋼管杭	北基礎	曲げ	堤軸直交方向圧縮応力度(N/mm ²)	0.52	Ss-31	ケース④	(北) 0.45	Ss-31 ケース④			
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断応力度(N/mm ²)	0.06	Ss-D1	ケース①	(北) 0.06	Ss-31 ケース④			
	巻立て鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	堤軸直交方向鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.17	Ss-31	ケース②	(南) 0.15※2	Ss-D1 ケース④			
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	0.45	Ss-D1	ケース①	(北) 0.31	Ss-31 ケース④			
	杭頭接合部	北基礎	仮想RC断面(RC)	堤軸直交方向鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.25	Ss-31	ケース②	(南) 0.20	Ss-D1 ケース④			
	頂版鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	堤軸直交方向鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.78	Ss-31	ケース③	(南) 0.17	Ss-D1 ケース②			
		南基礎	せん断	堤軸方向せん断力(kN)	0.30	Ss-31	ケース①	(南) 0.17	Ss-D1 ケース①			

※1 最大照査値が1.00に近接しているものを赤字で示す。

※2 工認設計モデルでは最大照査値となったRC部の値を、残置影響モデルでは最大照査値となった鋼管杭部の値を掲載している。

※3 本評価は、残置影響評価により有意な影響を受ける“中実鉄筋コンクリート”に対して実施する。

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

(3) 地中連続壁部の残置影響評価（耐震）：評価結果（接合部，鋼製防護壁，地盤）

- 鋼製防護壁及び接合部の各構造部材に発生する応力度及び断面力が許容限界を下回ることを確認した
- 基礎地盤の接地圧は許容限界（極限支持力度）を下回っていることを確認した

鋼製防護壁，接合部及び地盤の評価結果のうち最も厳しい値（最大照査値）を下表に示す。

②鋼製防護壁，接合部

工認設計モデル							残置影響評価モデル		
区分	評価対象部位	照査位置	照査項目；応力度及び断面力等の種類		最大照査値	地震動	地盤ケース	最大照査値	検討ケース
鋼製防護壁	鋼製防護壁	－	主部材	直応力度(N/mm ²)	0.60	Ss-D1	ケース④	0.62	Ss-D1, ケース④
				せん断応力度(N/mm ²)	0.50	Ss-D1	ケース④	0.52	Ss-D1, ケース④
				合成応力度(－)	0.45	Ss-D1	ケース④	0.48	Ss-D1, ケース④
	止水機構	－	* 止水機構の耐震評価については、設計の入力条件である2次元有効応力解析から算出される基準地震動S _s の設計震度が既工認時の結果を全て下回ることから、既工認の結果に包絡される。					同左	
接合部	アンカーボルト	北基礎	引張	引張応力度(N/mm ²)	0.74	Ss-D1	ケース④	(北)0.75	Ss-D1, ケース④
		－	定着	定着長(cm)※	0.95	－	－	0.95	－
		北基礎	コーンせん断	せん断応力度(N/mm ²)	0.74	Ss-D1	ケース④	(北)0.74	Ss-D1, ケース④
	ベースプレート	南基礎	軸圧縮応力度 (N/mm ²)		0.62	Ss-D1	ケース④	(南)0.58	Ss-D1, ケース④
		南基礎	曲げ応力度 (N/mm ²)		0.27	Ss-D1	ケース④	(南)0.25	Ss-D1, ケース④
		南基礎	せん断応力度 (N/mm ²)		0.26	Ss-D1	ケース④	(南)0.24	Ss-D1, ケース④
		南基礎	合成応力度		0.09	Ss-D1	ケース④	(南)0.10	Ss-D1, ケース④
	中詰め鉄筋コンクリート	南基礎	せん断	せん断力(kN)	0.27	Ss-D1	ケース④	(南)0.40	Ss-D1, ケース④
		南基礎	水平回転モーメント	水平鉄筋応力度(N/mm ²)	0.43	Ss-D1	ケース④	(南)0.44	Ss-D1, ケース④

※ アンカーボルトの定着長は，鉄筋とコンクリートの材料により決定するため，必要定着長に対する実定着長を確認したものである。

③地盤

工認設計モデル								残置影響評価モデル		
区分	評価対象 部位	照査位置	照査項目；接地圧		発生値	許容 限界	地震動	地盤 ケース	発生値	検討 ケース
地盤	基礎 地盤	中実鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ	支持性能	北基礎 堤軸方向 接地圧(kN/m ²)	4777	6116	Ss-31	ケース④	4533	Ss-31, ケース④
		鋼管杭		南基礎 堤軸直交方向 接地圧(kN/m ²)	4912	5039	Ss-D1	ケース④	4017	Ss-D1, ケース②

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（3）地中連続壁部の残置影響評価（耐津波）：評価結果（鋼製防護壁基礎）

- 各構造部材に発生する応力度及び断面力が許容限界を下回ることを確認した
- 部分欠損モデルにより局所的な応力集中を仮定した評価においては、残置影響評価を下回る結果となった

鋼製防護壁基礎の各評価対象部位の評価結果のうち最も厳しい値（最大照査値）を下表に示す。

①鋼製防護壁基礎

工認設計モデル							残置影響評価モデル		部分欠損モデル※2			
区分	評価対象 部位	照査 位置	照査項目；応力度及び断面力の種類		最大 照査値※1	津波荷重	地盤バネ ケース	最大 照査値※1	地盤バネ ケース	最大 照査値	地盤バネ ケース	欠損ケース
鋼製防護壁基礎	中実鉄筋 コンクリート	南基礎	曲げ	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.56	遡上津波	地盤バネ4	(南) 0.90	地盤バネ4	(南) 0.69	地盤バネ4	欠損ケース2
		南基礎	せん断	堤軸直交方向 せん断力(kN)	0.87	遡上津波	地盤バネ4	(南) 0.97	地盤バネ4	(南) 0.88	地盤バネ4	欠損ケース1
	鋼管杭	北基礎	曲げ	曲げ応力度(N/mm ²)	0.91	遡上津波	地盤バネ4	(北) 0.66	地盤バネ5			
		南基礎	せん断	堤軸方向 せん断応力度(N/mm ²)	0.16	遡上津波	地盤バネ4	(南) 0.15	地盤バネ4			
	巻立て鉄筋 コンクリート	北基礎	曲げ	Con圧縮応力度(N/mm ²)	0.80	遡上津波	地盤バネ2	(北) 0.57	地盤バネ5			
		北基礎	せん断	堤軸直交方向 せん断力(kN)	0.97	遡上津波	地盤バネ1	(北) 0.81	地盤バネ5			
	杭頭 接合部	南基礎	仮想RC断面 (RC)	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.96	遡上津波	地盤バネ4	(北) 0.78	地盤バネ5			
	頂版鉄筋 コンクリート	南基礎	曲げ	堤軸方向 鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.91	遡上津波	地盤バネ5	(北) 0.63	地盤バネ5			
		南基礎	せん断	せん断力(kN)	0.94	遡上津波	地盤バネ5	(北) 0.58	地盤バネ5			

欠損ケース1 欠損ケース2

部分欠損モデル

※1 最大照査値が1.00に近接しているものを赤字で示す。

※2 本評価は、残置影響評価により有意な影響を受ける“中実鉄筋コンクリート”に対して実施する。

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

(3) 地中連続壁部の残置影響評価（耐津波）：評価結果（鋼製防護壁，接合部，地盤）

- 鋼製防護壁及び接合部の各構造部材に発生する応力度及び断面力が許容限界を下回ることを確認した
- 基礎地盤の接地圧は許容限界（極限支持力度）を下回っていることを確認した

鋼製防護壁，接合部及び地盤の評価結果のうち最も厳しい値（最大照査値）を下表に示す。

②鋼製防護壁，接合部

工認設計モデル							残置影響評価モデル		
区分	評価対象 部位	照査 位置	照査項目；応力度及び断面力等の種類		最大 照査値	津波荷重	地盤バネ ケース	最大 照査値	地盤バネ ケース
鋼 製 防 護 壁	鋼製防護壁	－	主部材	直応力度(N/mm ²)	0.47	遡上津波	地盤バネ5	0.46	地盤バネ5
				せん断応力度(N/mm ²)	0.62	遡上津波	地盤バネ5	0.57	地盤バネ5
				合成応力度(－)	0.47	遡上津波	地盤バネ5	0.40	地盤バネ5
	止水機構	－	* 止水機構の耐津波評価について、津波荷重は既工認から変更なく、余震荷重は設計の入力条件である2次元有効応力解析から算出されるS _d －D1の設計震度が既工認時の結果を全て下回ることから、既工認の結果に包絡される。					余震の設計震度が既工認を僅かに上回るが設計上問題なし（参考(4)）	
接 合 部	アンカー ボルト	南基礎	引張	引張応力度(N/mm ²)	0.61	遡上津波	地盤バネ5	(南)0.59	地盤バネ5
		－	定着	定着長(cm)※1	0.95	－	－	0.95	－
		南基礎	コーンせん断	せん断応力度(N/mm ²)	0.74	遡上津波	地盤バネ5	(南)0.73	地盤バネ5
	ベース プレート	南基礎	軸圧縮応力度（N/mm ² ）		0.37	遡上津波	地盤バネ5	(南)0.36	地盤バネ5
		南基礎	曲げ応力度（N/mm ² ）		0.13	遡上津波	地盤バネ5	(南)0.13	地盤バネ5
		南基礎	せん断応力度（N/mm ² ）		0.15	遡上津波	地盤バネ5	(南)0.15	地盤バネ5
		南基礎	合成応力度		0.04	遡上津波	地盤バネ5	(南)0.03	地盤バネ5
	中詰め鉄筋 コンクリート	南基礎	せん断	せん断力(kN)	0.89	遡上津波	地盤バネ5	(南)0.87	地盤バネ5
		南基礎	水平回転モーメント	水平鉄筋応力度(N/mm ²)	0.70	遡上津波	地盤バネ5	(南)0.68	地盤バネ5

※1 アンカーボルトの定着長は、鉄筋とコンクリートの材料により決定するため、必要定着長に対する実定着長を確認したものである。

③地盤

工認設計モデル									残置影響評価モデル	
区分	評価対象 部位	照査 位置	照査項目；接地圧		発生値	許容 限界	津波 荷重	地盤 ケース	発生値	検討 ケース
地盤	基礎 地盤	中実鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ	支持 性能	北基礎 堤軸直交方向 接地圧(kN/m²)	1918	6116	基準津波	ケース⑤	2869	基準津波, ケース③
		鋼管杭		北基礎 堤軸直交方向 接地圧(kN/m²)	4338	5092	遡上津波	ケース③	4657	遡上津波, ケース③

（４）まとめ

○耐震評価

防潮堤（鋼製防護壁）は、基準地震動 S_s による地震力に対し、構造物の曲げ軸力及びせん断力並びに基礎地盤の接地圧等が許容限界以下であることを確認した。また、地震時における止水ジョイント部の異種構造物間の相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

以上より、防潮堤（鋼製防護壁）は、基準地震動 S_s による地震力に対して、要求機能を維持できる。

○耐津波評価

防潮堤（鋼製防護壁）は、津波時及び重畳時に作用する荷重に対し、構造物の曲げ軸力及びせん断力並びに基礎地盤の接地圧等が許容限界以下であることを確認した。また、重畳時における止水ジョイント部の異種構造物間の相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

以上より、防潮堤（鋼製防護壁）は、津波時及び重畳時に対して、要求機能を維持できる。

○残置影響評価

残置する地中連続壁部の影響を設計上保守的に考慮した残置影響評価モデルによる評価を行った。

耐震評価及び耐津波評価に対し、構造物の曲げ軸力及びせん断力並びに基礎地盤の接地圧が許容限界以下であることを確認した。

以上より、防潮堤（鋼製防護壁）は、残置する地中連続壁部による影響を考慮しても、要求機能を維持できる。

3. 参考

- (1) 工事管理の改善と再発防止に向けた取組み
- (2) 止水機構に関する評価
- (3) SD685のひずみレベルに係る詳細検討
- (4) 防潮堤（鋼製防護壁）基礎の構造変更に係る検討内容

(1) 工事管理の改善と再発防止に向けた取り組み

- ◆ 当社は、本不具合事象を当社の工事管理に起因する問題として重く受け止めている。
- ◆ 本不具合に端を発し、設工認の変更に至ったことの重大性を踏まえ、異常兆候の発見及び情報共有が不十分だったと認識し、現場実態をより正確に把握する観点から、従来の工事管理・品質管理※1に加え、経営として責任あるリーダーシップの下、以下の改善を徹底する。

発電所大での取り組み

異常兆候の早期発見に向けた改善

- ・ 協力会社を含めたCondition Report (C R) 活動を一層活性化する
 - 現場作業員へC R活動の目的・方法を周知する
 - 当社監理員が今以上に現場に関与し、現場作業員から直接、気付きや懸念を聞き取る

発電所において管理実績の少ない工事への取り組み

作業報告の場への参加による情報収集の強化

- ・ 施工会社の作業報告の場に当社監理員が参加し、工事の実施状況を確認するとともに、計画との差異や懸念事項を把握し、改善の要否を判断する
- ・ 収集した情報をC R活動に確実につなぎ、是正対応へ反映する

現場観察・作業観察※2による現場の改善

- ・ 当社監理員等による工事現場の観察（現場作業員の振舞いや現場状態の観察）を強化し、現場の弱点や課題を早期に発見することにより現場の改善につなげる

※1 協力会社からの作業進捗等の聞取り、書類確認・現場立会による工事品質の確認

※2 発電所では、上位職者が現場での行動観察を通じてパフォーマンスの課題を抽出し、改善につなげる活動を従来から実施している。

発電所において、発電所長のリーダーシップの下、同様の不具合を二度と生じさせないという決意で、これらの取り組みを強力に推進する。

3. 参考

(2) 止水機構に関する評価

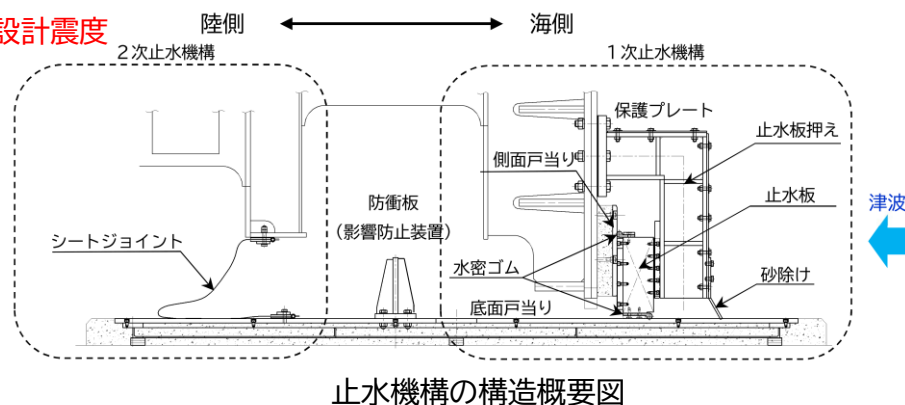
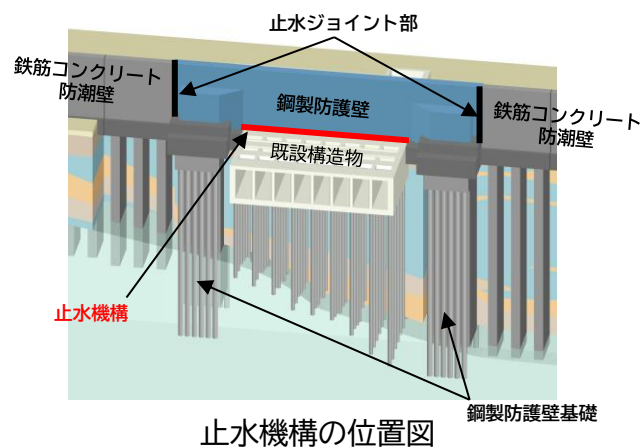
- 止水機構は鋼製防護壁に間接支持されており、防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更により地震時及び余震時の設計震度に変更となることから、設計震度について既工認との大小関係を確認した上で、既工認を上回る場合は部材照査を実施する方針とする
- 残置影響評価によりEW方向の設計震度（余震時）が既工認を上回る結果となったことから、止水機構の部材照査を実施した
- 照査項目のうち照査値が既工認を上回ったものを抜粋する。なお、津波荷重は“敷地に遡上する津波”である

防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更を考慮した設計震度(1.2×ZPAによる震度)

		水平方向		鉛直方向
		NS方向	EW方向	
本震時 (基準地震動Ss)	既工認モデル	3.10	3.85	5.50
	工認設計モデル	2.88	3.66	5.38
	残置影響評価モデル	2.79	3.49	5.22
余震時 (Sd-D1)	既工認モデル	1.34	1.93	1.78
	工認設計モデル	1.30	1.78	1.74
	残置影響評価モデル	1.34	1.99※	1.72

※赤字：既工認を上回る設計震度

区分	構成部位	照査項目	最大照査値	
			既工認	残置影響評価
止水機構	止水板	本体：せん断	0.08	0.09
	保護プレート	正面部材：曲げ	0.60	0.61
		正面部材：せん断	0.30	0.31
	防衝板	取付けボルト：せん断	0.61	0.62
	シートジョイント	シート：引張	0.72	0.74



3. 参考

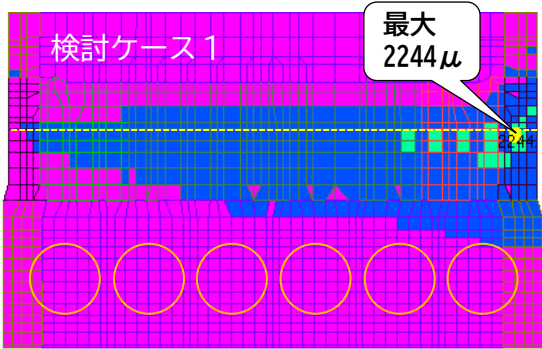
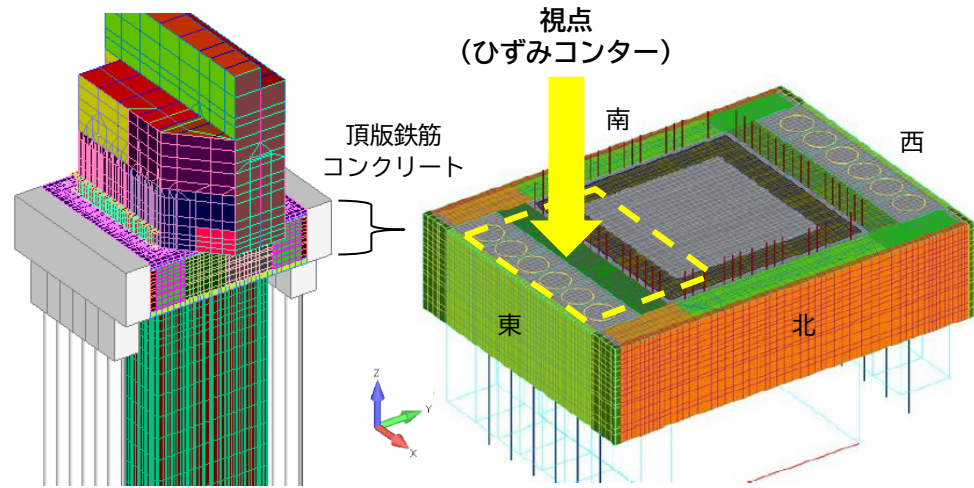
(3) SD685のひずみレベルに係る詳細検討

- SD685鉄筋の適用性を確認するに当たり、鉄筋近傍のひずみレベルを確認するため、3次元材料非線形解析（COM3）による評価を実施している
- STEP3では、中実鉄筋コンクリートの最大照査値ケース（下表検討ケース1）の評価結果を示したが、STEP4ではより網羅的な評価を実施するため、頂版鉄筋コンクリートの最大照査値ケース（下表検討ケース2）について追加検討を実施した
- その結果、頂版鉄筋コンクリート上面のひずみがSD685の許容ひずみ以下であることを確認した

COM3における検討ケース一覧表

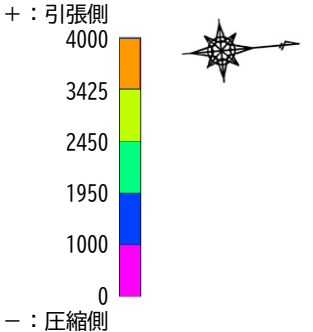
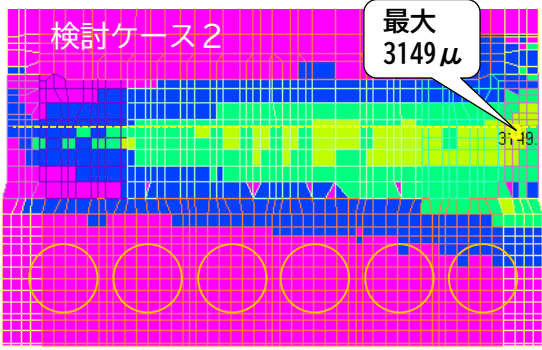
検討 ケース	津波 荷重	余震荷重 組合せ係数			地盤 バネ
		X方向 (堤軸方向)	Y方向 (堤軸直交方向)	Z方向 (鉛直方向)	
ケース1 (STEP3)	敷地に 遡上する 津波	+1.0	+0.4	+0.4	地盤 バネ4
ケース2 (STEP4)		-0.4	+1.0※	+0.4	

※ 津波荷重と組合せ係数1.0の余震荷重の作用方向が同一となる検討ケース



各鉄筋の許容限界

使用 鉄筋	降伏 ひずみ	許容 ひずみ
SD685	3425 μ	3300 μ
SD490	2450 μ	2393 μ
SD390	1950 μ	1700 μ



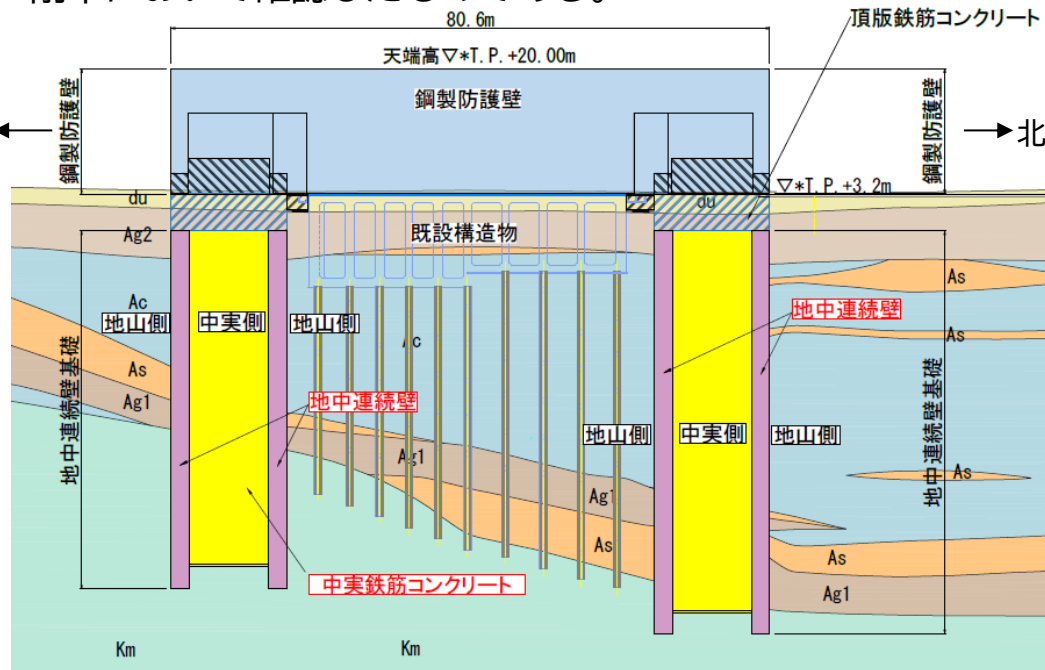
頂版鉄筋コンクリート上面東西（Y）方向の軸方向鉄筋（SD685）のひずみコンター図

最大ひずみ発生位置

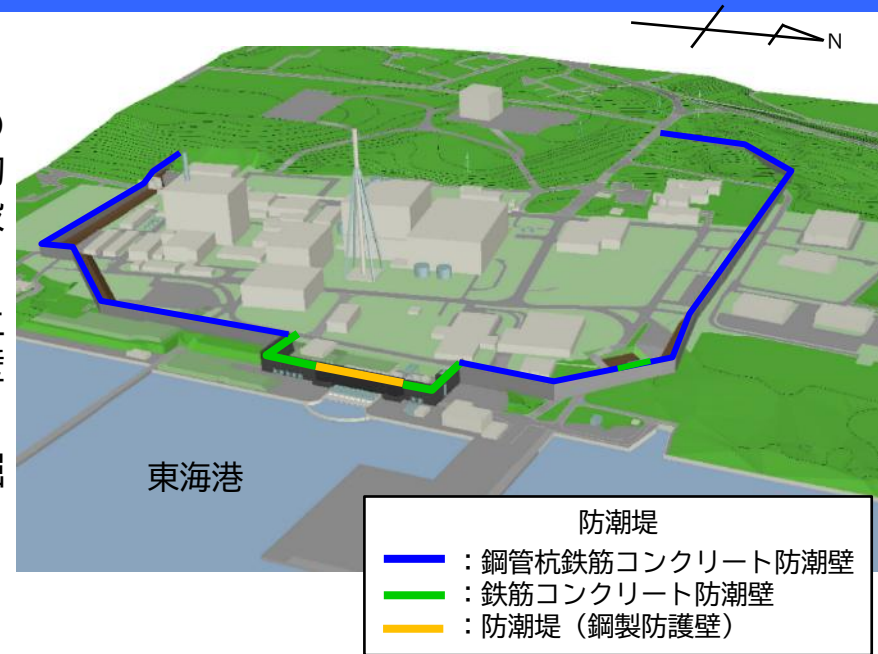
1) 不具合事象発見の経緯と事象の概要

■不具合事象の発見の経緯

- 東海第二発電所の防潮堤のうち防潮堤（鋼製防護壁）は、敷地の東側の東海港に面した位置に設置する。既工認では、既設構造物の南北に2つの地中連続壁基礎を岩盤に設置し、その上部に既設構造物を跨ぐように鋼製防護壁を設置する計画としていた。
- その施工は、地中連続壁を地中に構築した後、同地中連続壁を土留めとして中実部を掘削し、中実鉄筋コンクリートを地中連続壁と一体化させながら構築する計画としていた。
- 地中連続壁の不具合事象は、地中連続壁の施工中及び中実側の掘削中において確認したものである。



防潮堤（鋼製防護壁，既工認）



東海第二発電所 防潮堤設置計画図

■不具合事象の概要

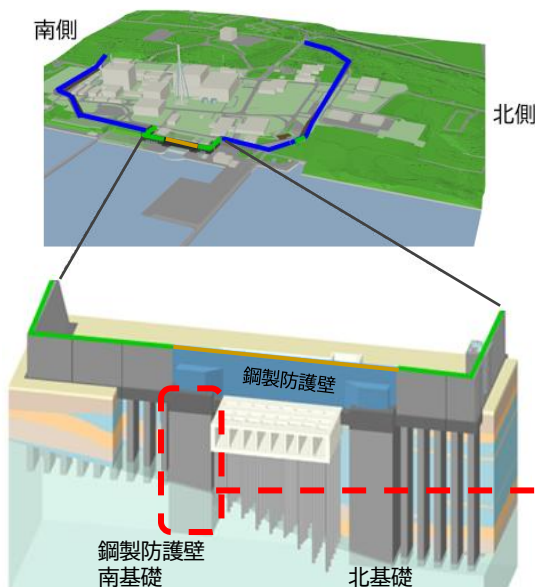
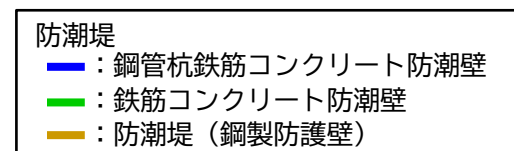
- ・ 中実側の掘削を実施したところ、地中連続壁の中実側の壁面の一部において、**コンクリート未充填及び鉄筋の変形等※**を確認した。また、その後の調査で地中連続壁の地山側においてもコンクリート未充填を確認した。
- ・ 地中連続壁の施工中、北基礎の地中連続壁の南西側角部において、**鉄筋かごが計画深度まで建込みできない事象（高止まり事象）**が発生した。

※鉄筋の変形，脱落，欠損

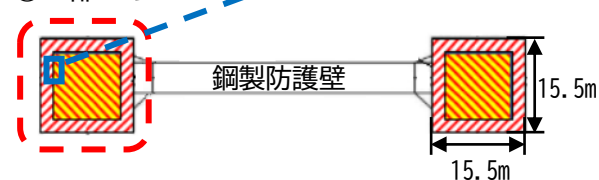
2) 不具合事象の概要

■基礎構築中に確認した不具合（南基礎での事例）

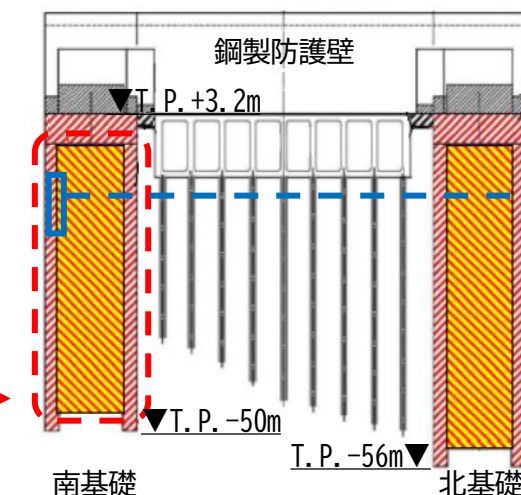
中実部の掘削中に確認したコンクリートの未充填及び鉄筋の変形等を確認した。



①上部から

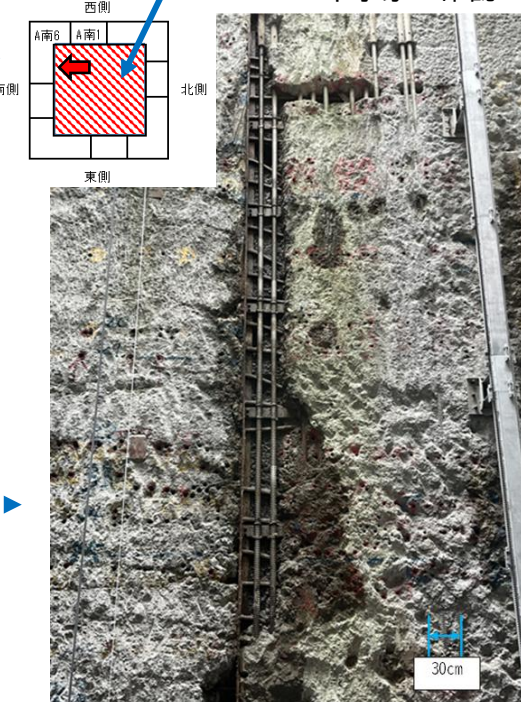


②正面から



撮影方向
西側
南側
北側
東側

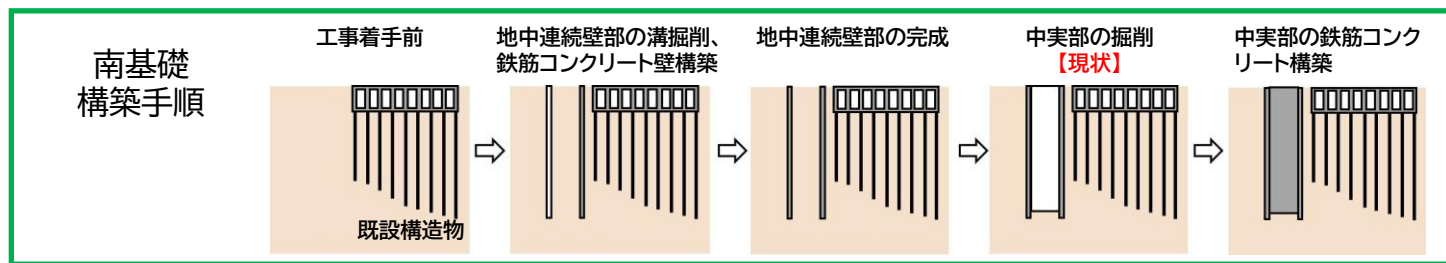
部の掘削時に
本事象を確認



コンクリートの未充填*及び
鉄筋の変形等の状況(例)

※：コンクリート未充填は壁面の広範囲で確認

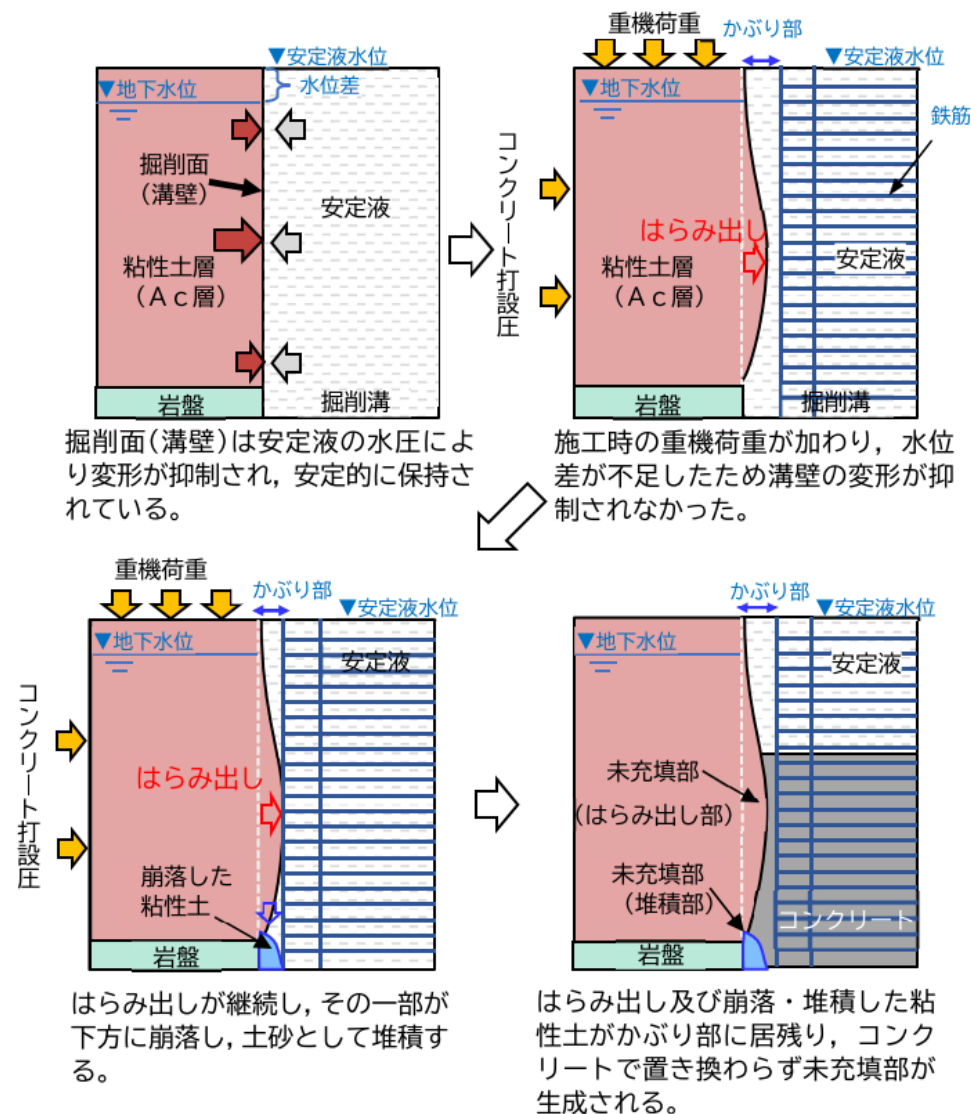
(写真は調査のため一部のコンクリートを除去した状態)



3) 不具合事象（コンクリートの未充填）

■発生原因（コンクリートの未充填）（1/2）

コンクリート未充填部が発生する直接の原因は、「コンクリートの流路阻害」であり、特に粘性土層（Ac層）のはらみ出し及び崩落によるものが大半を占めていると判断した。



発生メカニズムの模式図（粘性土のはらみ出し）

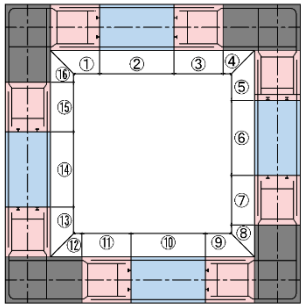
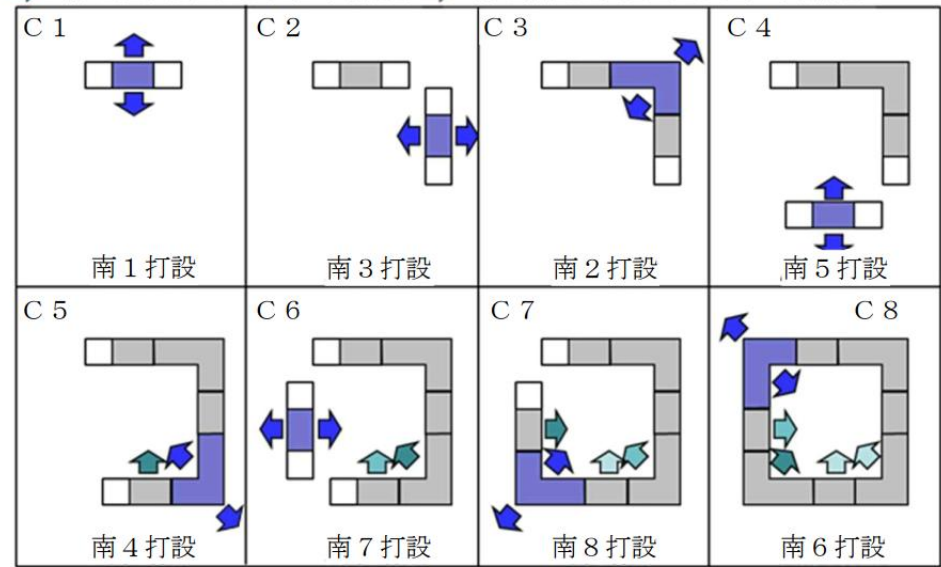
3) 不具合事象（コンクリートの未充填）

■発生原因（コンクリートの未充填）（2/2）

溝壁（粘性土）がはらみ出し、その一部が崩落したことによりコンクリート流路を阻害してコンクリート未充填が発生したと推定した。

- ・ 施工時の荷重の影響として、当初考慮していなかった地中連続壁の構築ステップにおける施工機械やコンクリート打設の荷重が繰返し中実部の地盤に作用し、その結果、内部圧力が残留・蓄積した状態となった。
- ・ 安定液と地下水位の水位差などにより、溝壁の土圧と安定液の均衡が崩れた。
- ・ 掘削溝の掘り置き期間が長期に渡っていた。

➡：当該ステップのコンクリート打設圧 ➡：前のステップのコンクリート打設圧 ■：打設箇所
➡：前々のステップのコンクリート打設圧 ➡：前々以前のステップのコンクリート打設圧



掘削溝の施工区分図

面	区画	掘置き期間	
		南基礎	北基礎
西面	区画①	260日	440日
	区画③	50日	297日
北面	区画⑤	27日	92日
	区画⑦	71日	109日
東面	区画⑨	24日	235日
	区画⑪	89日	30日
南面	区画⑬	51日	132日
	区画⑮	152日	463日

構築ステップごとのコンクリート打設に伴う地盤への
施工圧力の蓄積履歴
(南基礎)

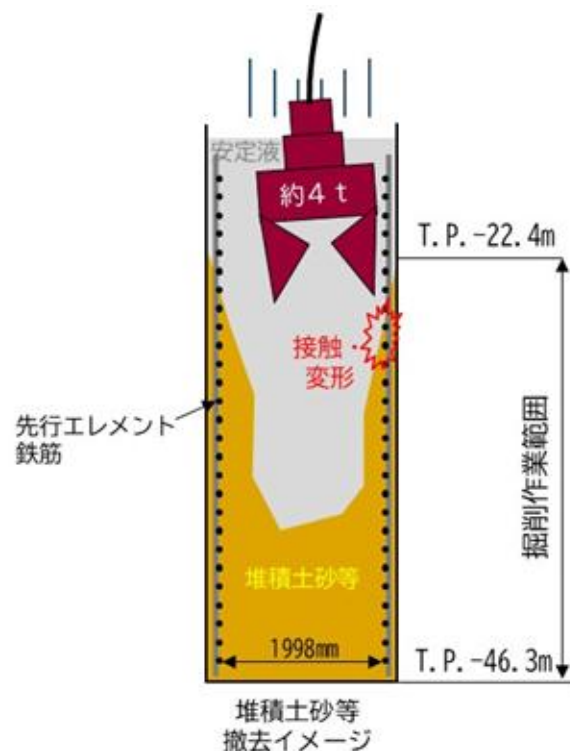
掘置き期間
(南・北基礎)

3) 不具合事象（鉄筋の変形等）

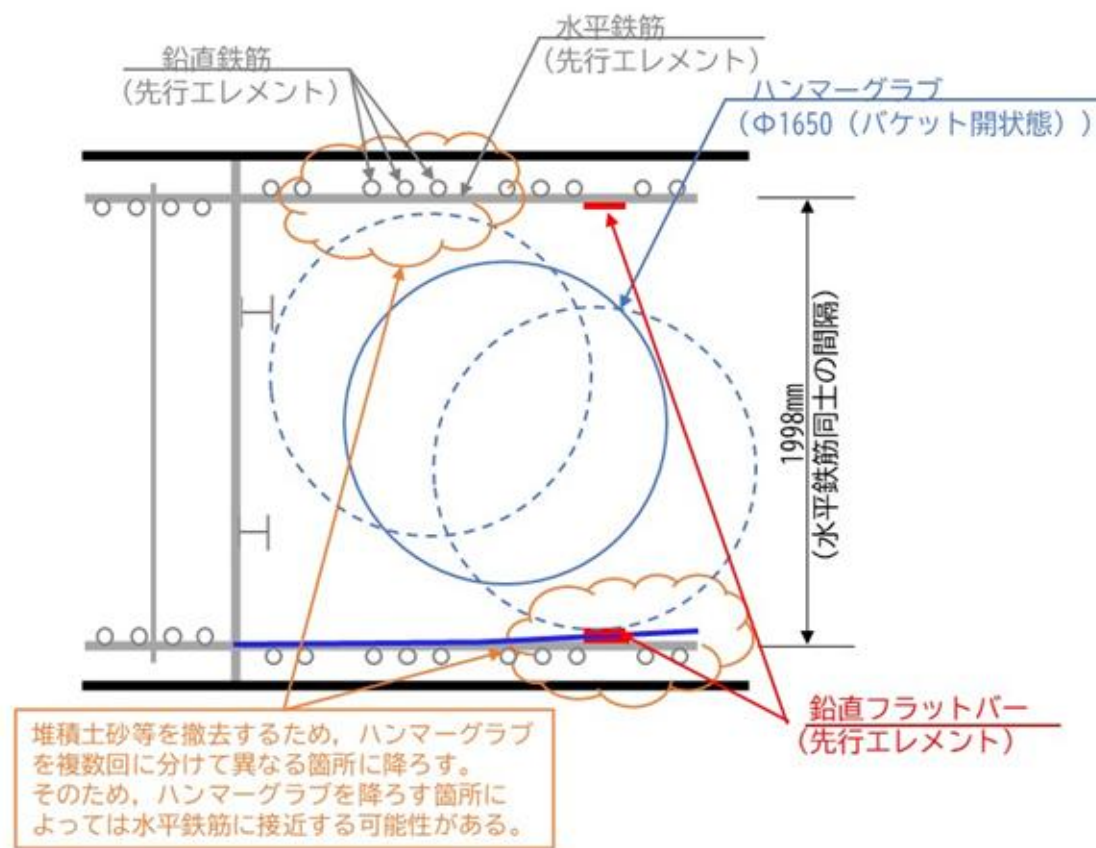
■発生原因（鉄筋の変形等）

溝壁内に堆積した崩壊土砂等の撤去作業において、既に設置されていた先行エレメント鉄筋にハンマーグラブが接触し、鉄筋を変形させたと推定した。

その後、後行エレメント鉄筋の建込みにおいて、先行エレメントの変形した鉄筋に干渉し、両エレメント鉄筋が変形・一部脱落が生じた。



断面図



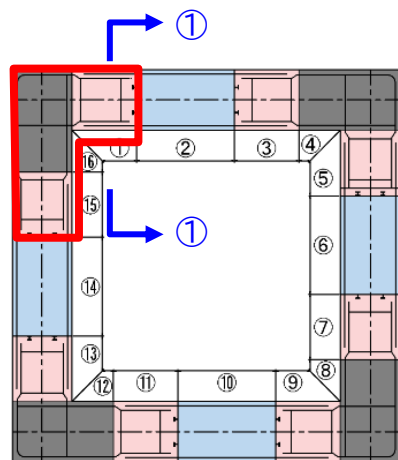
平面図

3. 参考 (4) 防潮堤（鋼製防護壁）基礎の構造変更に係る検討内容

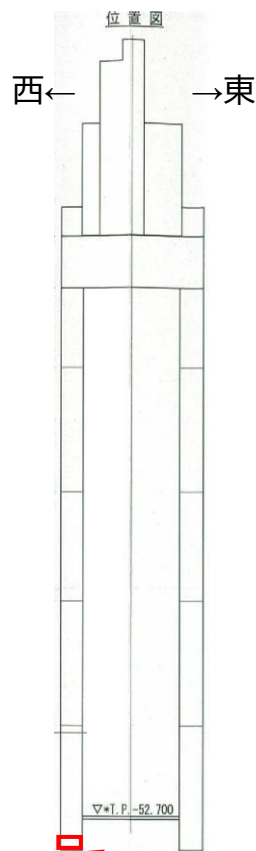
3) 不具合事象（鉄筋の変形等（北基礎の鉄筋の高止まり））

後行エレメントの鉄筋かご建込み時に、鉄筋かごが計画深度より約70cm高い位置までしか建込めない状態となった。その対応として鉄筋かごの上げ下ろしを複数回実施した結果、先行エレメントと後行エレメントの鉄筋が接触・錯綜し、これにより計画深度まで建て込めず、高止まりが発生した。

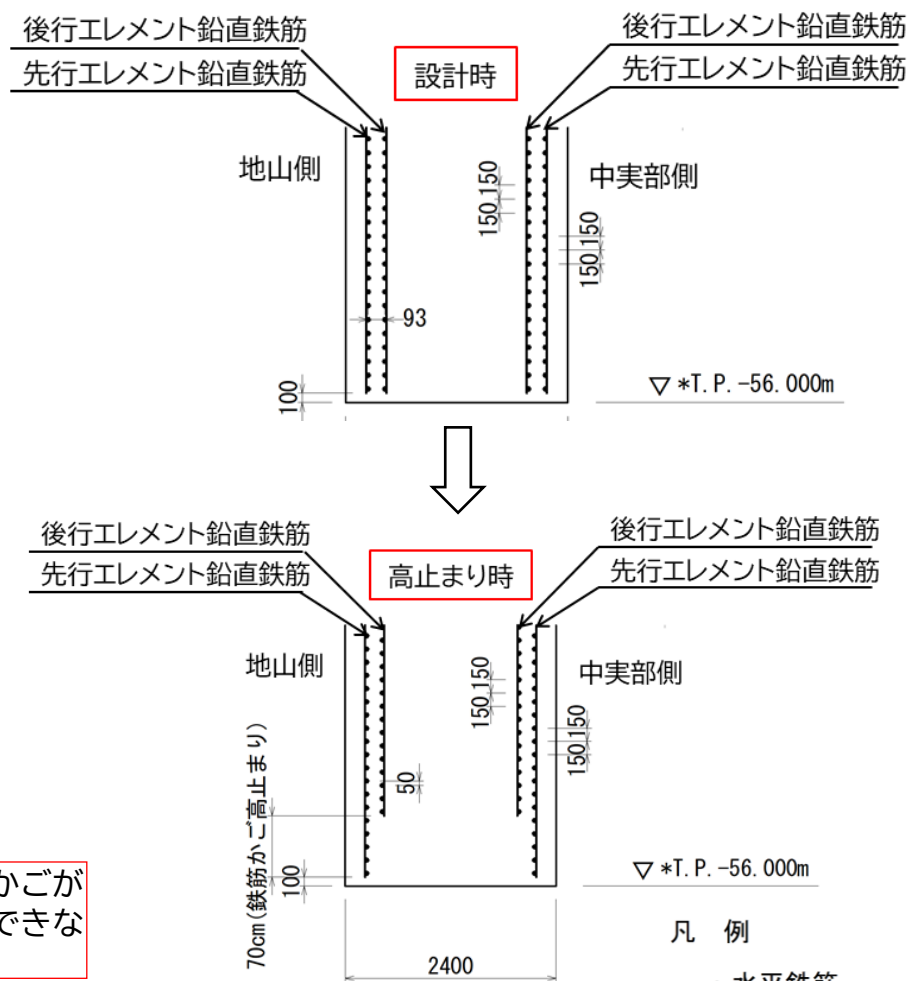
①-①断面



鉄筋の高止まり
発生範囲図
(北基礎)



後行エレメント鉄筋かごが
計画深度まで建込みできな
かった範囲 (70cm)

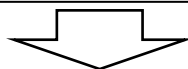


4) 不具合事象に係る全容（調査結果）と今後の方針

不具合の状況について調査を実施したが、その全容を把握することができなかったことから、不具合が生じた地中連続壁部については、残置するものの基礎として使用しない設計に変更した。

不具合事象に係る調査結果

- ・ 南基礎及び北基礎の地中連続壁の中実部側壁面で、コンクリート未充填及び鉄筋の変形等（鉄筋かごの高止まり事象含む）の不具合事象を調査・確認した。
- ・ その結果、コンクリート未充填は粘性土層（A c 層）のはらみ出し等によるコンクリートの流路阻害、鉄筋の変形等はハンマグラブの鉄筋かごへの接触等を原因として特定した。
- ・ ただし、南基礎及び北基礎の地中連続壁の地山側壁面については音響探査等で未充填の状況を調査したもの、地中連続壁の中実部側壁面のように目視観察による状況確認ができなかった。



結論（方針の決定）

- ・ これらの調査結果によっても地中連続壁の不具合の全容は把握できず、地中連続壁に防潮堤基礎としての耐力を期待することは困難であることから、地中連続壁を基礎の一部として使用することは適さないと判断し、地中連続壁の撤去・再構築や設計変更を視野に入れた対応方針の検討を行った。
- ・ 検討の結果、地中連続壁の撤去・再構築については、施工面において大きな原子力安全上のリスクが存在することが判明したことから、地中連続壁については、残置するものの基礎として使用しない設計に変更した。

5) 構造変更後の構造成立性評価に係る検討ステップ

地中連続壁部の不具合事象を踏まえ、地中連続壁部を基礎としては使用しない設計に変更すること及び地中連続壁部は残置して中実部基礎構築のための土留壁として使用する方針とした上で、構造変更の内容について下記の流れで検討を進めた。

審査会合(第1309回)

審査会合(第1329回)

審査会合(第1360回及び第1376回)

STEP 1

●構造変更案の概要

- 構造変更案の概要(追加基礎・地盤改良の追加)
- 今後の説明の流れ

STEP 2

●基本方針の設定※1

【耐震・耐津波評価】の基本方針

- 要求性能と設計評価方針
- 検討モデル(鋼管杭, 地盤改良, 頂版鉄筋コンクリート, 地盤バネ, 群杭の扱い等)
- 評価フロー, 評価項目
- STEP3で示す耐震評価に係る構造成立性の評価方法

【影響評価】の基本方針

- 地中連続壁の残置影響に係る評価ロジック, 評価条件, 評価方針及び保守性の整理
- 追加基礎・地盤改良による周辺施設への影響に係る評価項目, 評価方法, 周辺施設の詳細情報

【施工性・検査】の基本方針

- 追加基礎・地盤改良の施工方法と設計への反映事項の整理
- 品質確保のための検査項目(品質管理目標)
- 地盤改良(薬液注入)の性能目標, 物性値

●構造成立性の見通し

【耐津波評価】の結果※2

- 代表的な応力(断面力最大ケース)による各部の照査

STEP 3

●構造成立性

【耐震・耐津波評価】の結果

- 代表的な応力(断面力最大ケース)による各部の照査

【影響評価】の結果

- 代表的な応力(断面力最大ケース)による地中連続壁の残置影響評価

審査会合(第1407回及び今回)

STEP 4

●詳細検討結果

【耐震・耐津波評価】の結果

- 全解析ケースによる各部の照査

【影響評価】の結果

- 地中連続壁部の残置影響評価
- 追加基礎・地盤改良による周辺施設への影響評価

【施工性・検査】の確認結果

- 地盤改良物性値(ばらつき, 液状化強度)に係る試験確認

※1 STEP2で設定した基本方針に基づき構造成立性の確認(STEP2, 3), 詳細検討(STEP4)を実施する。

※2 構造変更する基礎に対して、最も厳しい荷重条件である耐津波時(重畳時)を代表ケースとして見通しを確認する。

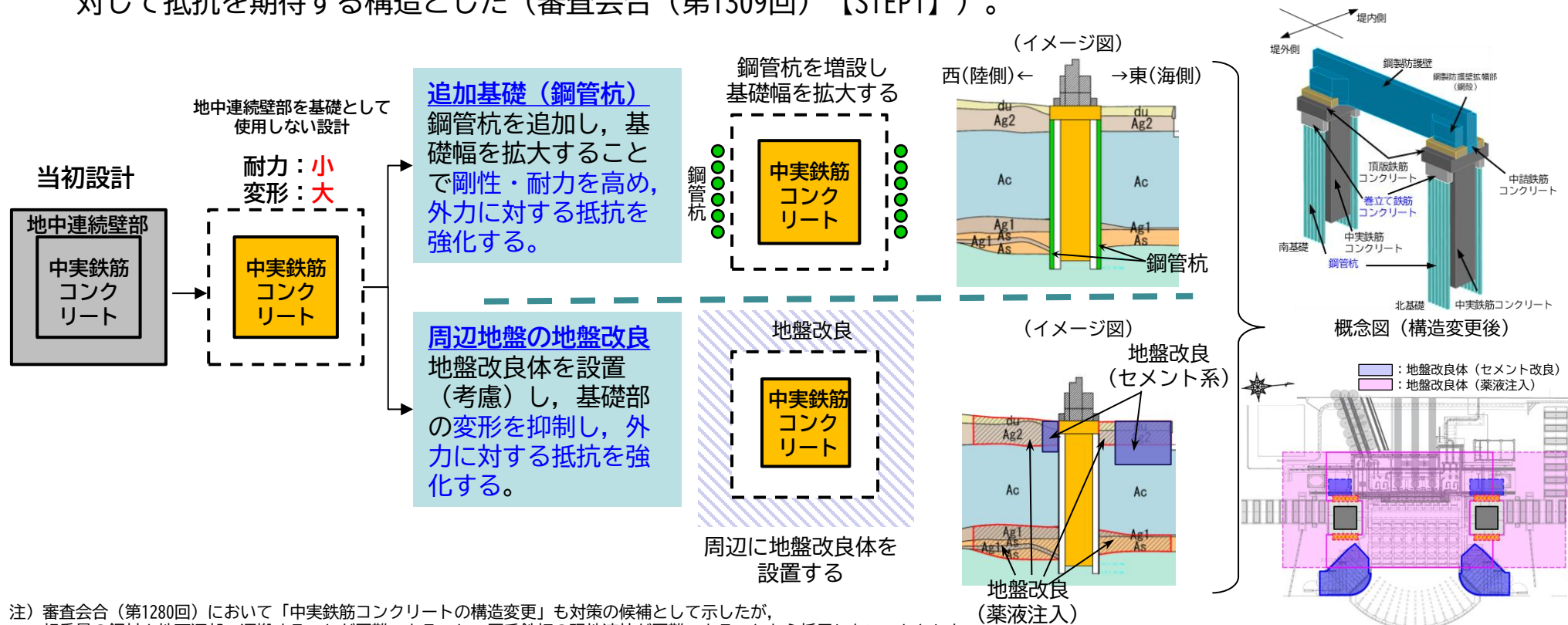
STEP 1

●構造変更案の概要

6) 構造変更案の概要

■構造変更に係る方針

- 防潮堤(鋼製防護壁)の基礎は、地中連続壁部と中実鉄筋コンクリートを一体化して構築する計画であったが、先行して設置した地中連続壁部にコンクリートの未充填や鉄筋の変形等の不具合を確認した。当該不具合の状況について調査を実施したが、その全容を把握することができなかったことから、不具合が生じた地中連続壁部については、残置するものの基礎として使用しない設計に変更した(審査会合(第1259回, 第1280回))。
- 地中連続壁部を基礎として使用しない設計とすることにより、防潮堤基礎の剛性・耐力が確保できないため、その対策として「追加基礎(鋼管杭)」及び「周辺地盤の地盤改良」を取り入れた構造に変更し、支配的な津波荷重に対して抵抗を期待する構造とした(審査会合(第1309回)【STEP1】)。



6) 構造変更案の概要

STEP 1

■構造変更概要(既工認との比較)

青字は、既工認から変更した箇所

	既工認※	構造変更
概略図		
上部工	・鋼製防護壁 ・中詰鉄筋コンクリート ・根巻鉄筋コンクリート ・止水ジョイント部	同左
接合部	・アンカーボルト	同左
下部工	・頂版鉄筋コンクリート ・地中連続壁基礎 (A. 中実鉄筋コンクリートとC. 地中連続壁をジベル鉄筋により一体化した構造)	・頂版鉄筋コンクリート ・複合基礎 (A. 中実鉄筋コンクリート, B. 鋼管杭, D. 巻立て鉄筋コンクリート) ・C. 地中連続壁部は構造部材として考慮しない
周辺地盤	第四系 (地盤改良なし)	第四系 (地盤改良あり)
基礎地盤	久米層 (岩盤)	同左

STEP 2

- 基本方針の設定
- 構造成立性の見通し

7) 耐震・耐津波設計に係る基本方針

■耐震・耐津波設計に係る基本設計方針

構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）について、規制・基準に基づく要求機能及び荷重伝達メカニズムと発生断面力の整理等を行った結果、耐震・耐津波設計手法について、概ね既工認と同様の手法を適用できることを確認し、変更箇所においても適切なモデル化が可能であることを確認した。

また、要求機能を喪失する事象に対する設計・施工上の配慮事項については、施工性や検査を考慮した実現性を確認した上で、耐震・耐津波評価手法を立案する。

検討項目（検討フロー）	検討結果
要求機能と設計方針	- 上部工及び接合部においては、要求機能と設計方針に係る変更はない。 - 下部工のうち、構造変更により追加された「鋼管杭」「巻立て鉄筋コンクリート」「改良地盤（セメント系、薬液注入）」については、各要求機能を踏まえて新たに設計方針を設定するが、設計方針としては既工認（他の構造物を含む。）の範疇に包絡される。
⇩ 荷重伝達メカニズムと発生断面力の検討	- 荷重伝達メカニズムにおいては既工認と概ね同様である。 - 発生断面力について、構造変更のない上部工においては既工認と概ね同様であるが、構造変更となる下部工（中実鉄筋コンクリート、鋼管杭、巻立て鉄筋コンクリート、頂版鉄筋コンクリート）については変更が生じることから、これを踏まえ、設計・施工上配慮すべき事項を検討する。
⇩ 要求機能を喪失する事象に対する設計・施工上配慮すべき事項の整理	構造変更となる下部工及び追加の改良地盤（セメント系、薬液注入）を中心に、要求機能の喪失を加味した設計・施工上配慮すべき事項を整理し、これを踏まえて耐震・耐津波の評価手法を立案する。
⇩ 既工認設計での評価手法と構造変更後の評価手法の比較整理	新たに設定した耐震・耐津波設計手法について、概ね既工認と同様の手法を適用できることを確認し、変更箇所においても適切なモデル化が可能であることを確認した。

7) 耐津波設計手法の概要(1/3)

■耐津波設計手法の概要

耐津波設計手法の全体について、既工認との比較表を以下に示す。

 : 既工認からの主要な変更箇所

項目	内容	既工認※1（設計変更前）	今回申請（基礎の追加＋地盤改良）	備考	
耐津波解析	計算機プログラム（解析コード）	Engineer' s Studio ver.6.0.4	Engineer' s Studio ver.11.0.0		
	耐津波解析手法	三次元静的フレーム解析	同左	接合部は三次元材料非線形解析（COM3）でも評価	
	荷重ケース	津波時（基準津波及びTP+24m津波）及び重畳時	同左		
	構造物のモデル化	モデル	上部構造及び下部構造は、線形梁要素※2	- 上部構造及び下部構造（中実鉄筋コンクリート）については同左 - 増設する下部構造（鋼管杭、巻立て鉄筋コンクリート）は線形梁要素 - さらに、頂版鉄筋コンクリートを平板要素にてモデル化する。	※2 下部構造は、縦梁（構造弾性梁）と横梁（仮想剛梁）で構成
		材料物性	- 道路橋示方書、コンクリート標準示方書及び道路土工カルバート工指針に基づき鉄筋コンクリート（下部構造）のヤング係数等を設定 - 設計基準強度：40 N/mm² または 50 N/mm² - 道路橋示方書、鋼構造物設計基準に基づき鋼材（上部構造）のヤング係数等を設定	- 鉄筋コンクリート（下部構造）については、設計基準強度を50 N/mm² に統一 - 鋼材（上部構造）については、同左 - 増設する鋼管杭（下部構造）については、道路橋示方書に基づきヤング係数等を設定	
	地盤のモデル化	モデル	非線形地盤バネ要素	- 中実鉄筋コンクリート周囲の地盤バネについては、同左（地盤改良体含む）※3 - 鋼管杭背面の地盤バネ（面直バネ）については群杭効果を考慮、さらに地盤改良体（セメント系）を考慮し反力上限値を設定 - 鋼管杭同士及び中実鉄筋コンクリートの間には連結バネを採用	※3 地中連続壁部は非液化化地盤としてモデル化
		解析用地盤物性	原地盤の土質試験等に基づき設定したものとして「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にとりまとめた物性値に基づき、以下のとおり地盤バネを設定する。 - 地盤バネ1：初期せん断剛性、ピーク強度 - 地盤バネ2：静弾性係数、残留強度（平均-1σ） - 地盤バネ3：地表面最大加速度ケース - 地盤バネ4：地表面最大変位ケース - 地盤バネ5：最大せん断ひずみケース	津波時 重畳時 同左	
		非線形特性	地盤反力上限値を考慮したバイリニア型	同左	

7) 耐津波設計手法の概要 (2/3)

■耐津波設計手法の概要

 : 既工認からの主要な変更箇所

項目	内容	既工認※1 (設計変更前)	今回申請 (基礎の追加+地盤改良)	備考
耐津波解析	荷重組合せ		同左	
	荷重の設定	津波時： $G + P + P_t + P_c + P_s$ 重畳時： $G + P + P_t + K_{sd} + P_s$ G：固定荷重，P：積載荷重， P _t ：遡上津波荷重，P _c ：衝突荷重， P _s ：積雪荷重，K _{sd} ：余震荷重		
		固定荷重	躯体自重	同左
		積載荷重	機器配管自重 (スクリーン室クレーン)	同左
		遡上津波荷重	基準津波及び敷地に遡上する津波による水平波圧	同左
		衝突荷重	0.69 tの車両の漂流物荷重	同左
		積雪荷重	30 cmの積雪を考慮 (地上部)	同左
		風荷重	津波時は海からの風荷重は受圧面となる防潮壁には作用しない。また，陸からの風荷重は考慮しない方が保守的である。したがって，風荷重を考慮しない。	同左
		余震荷重	弾性設計用地震動S _d -D1による余震荷重として，慣性力，動水圧及び応答変位	同左
	余震荷重の設定	地震応答解析手法	一次元地震応答解析 (FLIP)	同左
		入力地震動	弾性設計用地震動S _d -D1	同左
		地盤物性のばらつき	豊浦標準砂を含む検討ケース①～⑥の計6パターンを考慮	下記の検討ケース①～⑥，③'のうち，液状化パラメータ非適用※4のケースを採用する。

※4 周辺地盤に地盤改良体 (薬液注入) を設置するため。

※1 既工認の添付書類「V-3-別添3-2-1-1 防潮堤 (鋼製防護壁) の強度計算書」

地盤物性のばらつき検討ケース		地盤剛性の設定	液状化強度特性の設定
① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース (基本ケース)		原地盤のせん断波速度	原地盤に基づく液状化強度特性 (-1σ)
② 地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース		原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (+1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性 (-1σ)
③ 地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース		原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性 (-1σ)
④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース		敷地に存在しない豊浦標準砂のせん断波速度	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性
⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース		原地盤のせん断波速度	液状化パラメータを非適用
⑥ 地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース		原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (+1σ)	液状化パラメータを非適用
③' 地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した非液状化の条件を仮定した解析ケース		原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (-1σ)	液状化パラメータを非適用

7) 耐津波設計手法の概要 (3/3)

■耐津波設計手法の概要

 : 既工認からの主要な変更箇所

項目	内容	既工認※1 (設計変更前)	今回申請 (基礎の追加+地盤改良)	備考
評価	要求性能	設計基準対象施設 ・構造強度 (各構造部材/基礎地盤) ・支持性能 (各構造部材) ・止水性 (各構造部材/基礎地盤/止水ジョイント)	同左	
	材料物性	■鉄筋コンクリート 道路橋示方書, コンクリート標準示方書及び道路土工カルバート工指針に基づき, 以下の材料に対する許容限界を設定 ・コンクリート: 設計基準強度 40 N/mm ² または 50 N/mm ² ・主鉄筋: SD490 ・せん断補強筋: SD390 ■鋼材及びアンカーボルト 道路橋示方書, 鋼構造物設計基準, 土木学会のガイドラインに基づき, 以下の材料に対する許容限界を設定 ・鋼材: SM490Y, SM570, SBHS500, SBHS700 ・アンカーボルト: SM520相当	■鉄筋コンクリート※5 ・コンクリートについて, 設計基準強度を50 N/mm ² に統一 ・主鉄筋: SD490, SD685 ・せん断補強筋: SD390 ■鋼材及びアンカーボルト 鋼材, アンカーボルトについては, 同左 ■鋼管杭 土木学会のガイドラインに基づき, 以下の材料に対する許容限界を設定 ・鋼管杭: SBHS500	※5 残置する地中連続壁部は鉄筋コンクリートであるものの, その強度に期待せず, 評価上は地盤改良体(薬液注入)として取り扱う。
	許容限界	■構造強度 ・各構造部材: 津波時, または重畳時/短期許容応力度 ・基礎地盤: 津波時, または重畳時/極限支持力度 ■支持性能 ・各構造部材: 津波時, または重畳時/短期許容応力度 ■止水性 ・各構造部材: 津波時, または重畳時/短期許容応力度 ・基礎地盤: 津波時, または重畳時/極限支持力度 ・止水ジョイント: 津波時, または重畳時/有意な漏洩が生じない変形量	同左	
その他	地盤改良体の評価	—	地盤改良体 (セメント系) : すべり安全率1.2以上	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編) 及び耐津波設計に係る工認審査ガイド

※1 既工認の添付書類「V-3-別添3-2-1-1 防潮堤(鋼製防護壁)の強度計算書」

8) 耐震設計手法の概要 (1/3)

■耐震設計手法の概要

耐震設計手法の全体について、既工認との比較表を以下に示す。

 ：既工認からの主要な変更箇所

項目		内容	既工認※1 (設計変更前)	今回申請 (基礎の追加+地盤改良)	備考
(下部構造評価用) 地震応答解析①	入力地震動の算定法	水平・鉛直	基準地震動 S_g を用いて、一次元波動論により算定	同左	
	計算機プログラム（解析コード）		F L I P Ver. 7.3.0.2	同左	
	地震応答解析手法		二次元動的有効応力解析	同左	
	構造物のモデル化	モデル	上部構造及び下部構造は、線形梁要素※2	上部構造及び下部構造（中実鉄筋コンクリート）については、同左 増設する下部構造（鋼管杭、巻立て鉄筋コンクリート）も、線形梁要素としてモデル化 また、鋼管杭の増設に伴い頂版鉄筋コンクリートを拡張し線形梁要素（水平）としてモデル化	※2 下部構造は、縦梁（構造弾性梁）と横梁（仮想剛梁）で構成
		材料物性	道路橋示方書、コンクリート標準示方書及び道路土工カルバート工指針に基づき鉄筋コンクリート（下部構造）のヤング係数等を設定 設計基準強度：40 N/mm ² または 50 N/mm ² 道路橋示方書、鋼構造物設計基準に基づき鋼材（上部構造）のヤング係数等を設定	鉄筋コンクリート（下部構造）については、設計基準強度を50 N/mm ² に統一※3 鋼材（上部構造）については、同左 増設する鋼管杭（下部構造）については、道路橋示方書に基づきヤング係数等を設定	※3 施工時に圧縮強度試験を行い、強度を確認する
		減衰定数	鉄筋コンクリート：5 %，鋼材：3 %	鉄筋コンクリート及び鋼材については、同左 鋼管杭：3 %	
	地盤のモデル化	モデル	2次元 F E Mモデル（マルチスプリング要素及び間隙水要素）	同左※4 地盤改良体（セメント系及び薬液注入）もモデル化する（既設の地盤改良体も考慮）	※4 地中連続壁部はマルチスプリング要素にて非液化地盤としてモデル化
		解析用地盤物性	原地盤の土質試験等に基づき設定したものとして「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にとりまとめた物性値を用いる。	同左	
		非線形特性	双曲線モデル（H-Dモデル）	同左	
		地盤物性のばらつき	豊浦標準砂を含む検討ケース①～⑥の計6パターンを考慮（検討ケース①～⑥の詳細は本資料の15頁に記載）	同左	
地下水位設定		地表面		同左	

8) 耐震設計手法の概要 (2/3)

■耐震設計手法の概要

項目		内容	既工認※1（設計変更前）	今回申請（基礎の追加＋地盤改良）	備考
（下部構造評価用） 地震応答解析①	荷重組合せ		G＋P＋K _s ＋P _s ＋P _k G：固定荷重，P：積載荷重 K _s ：地震荷重，P _s ：積雪荷重 P _k ：風荷重	同左	
	荷重の設定	固定荷重	躯体自重	同左	
		積載荷重	機器配管自重（スクリーン室クレーン）	同左	
		地震荷重	基準地震動S _g による荷重	同左	
		積雪荷重	30 cmの積雪を考慮（地上部）	同左	
		風荷重	風速30 m/sの風圧力を考慮（地上部）	同左	
地震応答解析における境界条件		側方：粘性境界 底面：粘性境界 地盤と構造物の接合面：ジョイント要素	同左		
（上部・接合部構造評価用） 地震応答解析②	入力地震動の算定法	水平・鉛直	地震応答解析①にて算定した南北基礎天端の時刻歴応答変位により設定※5	同左	※5 下部構造との接合部を固定点（強制変位入力箇所）とする。
	計算機プログラム（解析コード）		TDAPⅢ Ver. 3.08	同左	地震応答解析②における荷重組合せや荷重の設定については、地震応答解析①と同条件とする。
	地震応答解析手法		三次元動的フレーム解析 （南北基礎の支持条件の違いによる３次元的な挙動を設計において考慮（水平二方向））	同左	
	構造物のモデル化	モデル	上部構造は、格子状に配置した線形梁要素	同左	
		材料物性	道路橋示方書，鋼構造物設計基準に基づき鋼材（上部構造）のヤング係数等を設定	同左	
		減衰定数	鋼材：3 %	同左	

※5 下部構造との接合部を固定点（強制変位入力箇所）とする。

地震応答解析②における荷重組合せや荷重の設定については、地震応答解析①と同条件とする。

※1 既工認の添付書類「V-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書」

8) 耐震設計手法の概要 (3/3)

■耐震設計手法の概要

 : 既工認からの主要な変更箇所

項目	内容	既工認※1（設計変更前）	今回申請（基礎の追加＋地盤改良）	備考
応力照査	要求性能	設計基準対象施設 ・構造強度（各構造部材/基礎地盤） ・支持性能（各構造部材） ・止水性（各構造部材/基礎地盤/止水ジョイント）	同左	
	材料物性	■鉄筋コンクリート 道路橋示方書、コンクリート標準示方書及び道路土工カルバート工指針に基づき、以下の材料に対する許容限界を設定 ・コンクリート：設計基準強度 40 N/mm ² または 50 N/mm ² ・主鉄筋：SD490 ・せん断補強筋：SD390 ■鋼材及びアンカーボルト 道路橋示方書、鋼構造物設計基準、土木学会のガイドラインに基づき、以下の材料に対する許容限界を設定 ・鋼材：SM490Y, SM570, SBHS500, SBHS700 ・アンカーボルト：SM520相当	■鉄筋コンクリート※6 ・コンクリートについて、設計基準強度を 50N/mm ² に統一 ・主鉄筋：SD490, SD685 ・せん断補強筋：SD390 ■鋼材及びアンカーボルト 鋼材及びアンカーボルトについては、同左 ■鋼管杭 土木学会のガイドラインに基づき、以下の材料に対する許容限界を設定 ・鋼管杭： SBHS500	※6 残置する地中連続壁部は鉄筋コンクリートであるものの、その強度に期待せず、評価上は地盤改良体（薬液注入）として取り扱う。
	許容限界	■構造強度 ・各構造部材： S_s /短期許容応力度 ・基礎地盤： S_s /極限支持力度 ■支持性能 ・各構造部材： S_s /短期許容応力度 ■止水性 ・各構造部材： S_s /短期許容応力度 ・基礎地盤： S_s /極限支持力度 ・止水ジョイント： S_s /有意な漏洩が生じない変形量	同左	
その他	地盤改良体の評価	—	地盤改良体(セメント系)：すべり安全率1.2以上	道路橋示方書・同解説(I共通編・IV下部構造編)及び耐津波設計に係る工認審査ガイド

※1 既工認の添付書類「V-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書」

3. 参考 (4) 防潮堤(鋼製防護壁)基礎の構造変更に係る検討内容

9) 耐震・耐津波評価に係る手順

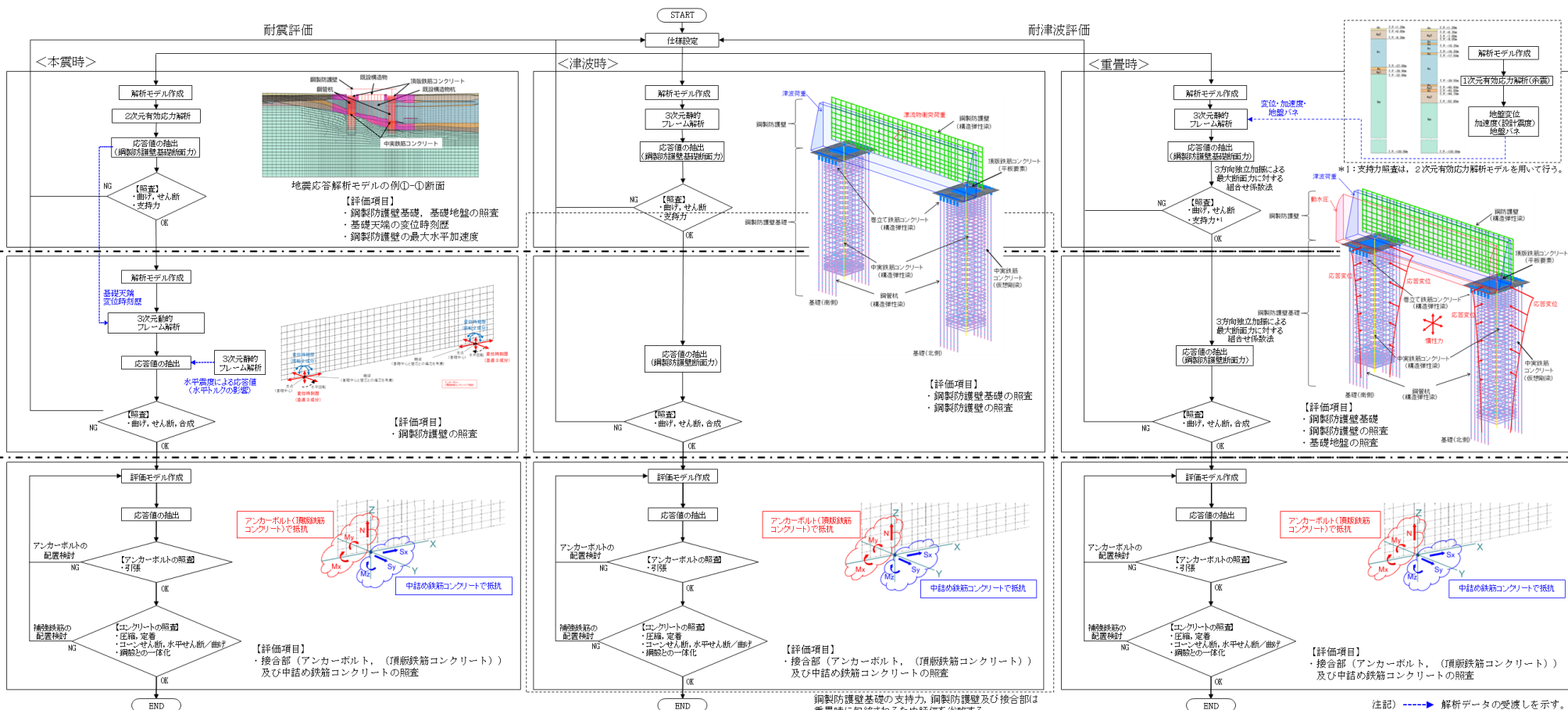
STEP 2

耐震・耐津波評価に係る評価フローは既工認と同様とし、構造変更をモデルに反映して解析を実施する。

鋼製防護壁基礎

鋼製防護壁

接合部

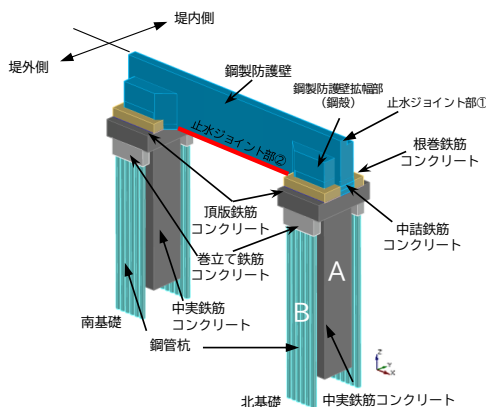


注記) 重畳時: 津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時

10) 構造成立性の見通し結果(試算結果;工認設計モデル)

■ 構造成立性の見通し結果(試算結果)

- 構造変更後の構造成立性を見通しを確認するため、鋼製防護壁基礎にとって最も厳しい荷重条件となる重畳時(敷地に遡上する津波+余震)のケースで検討を行った。
- 耐津波設計の基本設計方針に基づき解析評価を行った結果、基礎(中実鉄筋コンクリート、鋼管杭、巻立て鉄筋コンクリート、杭頭接合部、頂版鉄筋コンクリート)、接合部(アンカーボルト)、上部工(鋼製防護壁)、基礎地盤のいずれにおいても許容限界を満足していることを確認できたことから、構造が成立する見通しを得た。
- 構造成立性を見通し結果の例として基礎の代表部位となる中実鉄筋コンクリート及び鋼管杭の照査結果を以下に示す。



1) 中実鉄筋コンクリートの照査

① 曲げ照査

	応力度の種類	発生応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
北基礎	Con曲げ圧縮応力度	10.3	32	0.33
	鉄筋圧縮応力度	147.2	478.5	0.31
	鉄筋引張応力度	191.6	478.5	0.41
南基礎	Con曲げ圧縮応力度	17.5	32	0.55
	鉄筋圧縮応力度	248.5	478.5	0.52
	鉄筋引張応力度	338.6	478.5	0.71

② せん断照査

	せん断力の方向	発生せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	照査値
北基礎	堤軸方向	57255	259255	0.23
	堤軸直交方向	187817	259255	0.73
南基礎	堤軸方向	90436	259255	0.35
	堤軸直交方向	207822	259255	0.81

- 照査値は最大値を記載している。
- 今後、保守的な残置影響評価等の設計進捗に伴い、照査値は変更となる可能性がある。

2) 鋼管杭の照査

① 曲げ照査

	応力度の種類	発生応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
北基礎	圧縮応力度	347.2	433.5	0.81
	引張応力度	279.0	433.5	0.65
南基礎	圧縮応力度	352.0	433.5	0.82
	引張応力度	312.7	433.5	0.73

② せん断照査

	作用方向	発生応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
北基礎	堤軸方向	17.2	246.5	0.07
	堤軸直交方向	20.0	246.5	0.09
南基礎	堤軸方向	20.7	246.5	0.09
	堤軸直交方向	20.5	246.5	0.09

1 1) 地中連続壁部の残置影響評価に係る基本設計方針 (1/3)

■残置影響評価手法の概要

- 鋼製防護壁基礎のうち残置する“地中連続壁部”は、不具合の全容が把握できておらず、地震・津波荷重に対する耐力が期待できない状態である可能性があるため、**構造部材として考慮しないこととし、工認設計における解析評価では“地中連続壁部”を中実鉄筋コンクリートと鋼管杭の変形が生じやすい「地盤」としてモデル化する**（表1の左図）。
- ただし、不具合のある“地中連続壁部”は、実際はある程度の強度・剛性を保有することから“地中連続壁部”が中実鉄筋コンクリート・鋼管杭とともに地震・津波荷重を負担することになるため、“**地中連続壁部**”の強度・剛性を考慮した状態における中実鉄筋コンクリートと鋼管杭の変形、断面力への影響も確認する必要がある。
- 中実鉄筋コンクリート・鋼管杭の各部材が負担する荷重は、“地中連続壁部”の不具合の状態に応じて変化し、**残置する“地中連続壁部”の実際の状態は、不具合範囲が極めて大きい状態を想定した「地中連続壁部の耐力が期待できない」状態と不具合範囲が極めて小さい状態を想定した「地中連続壁部が健全である」状態の間**にある（表1）。

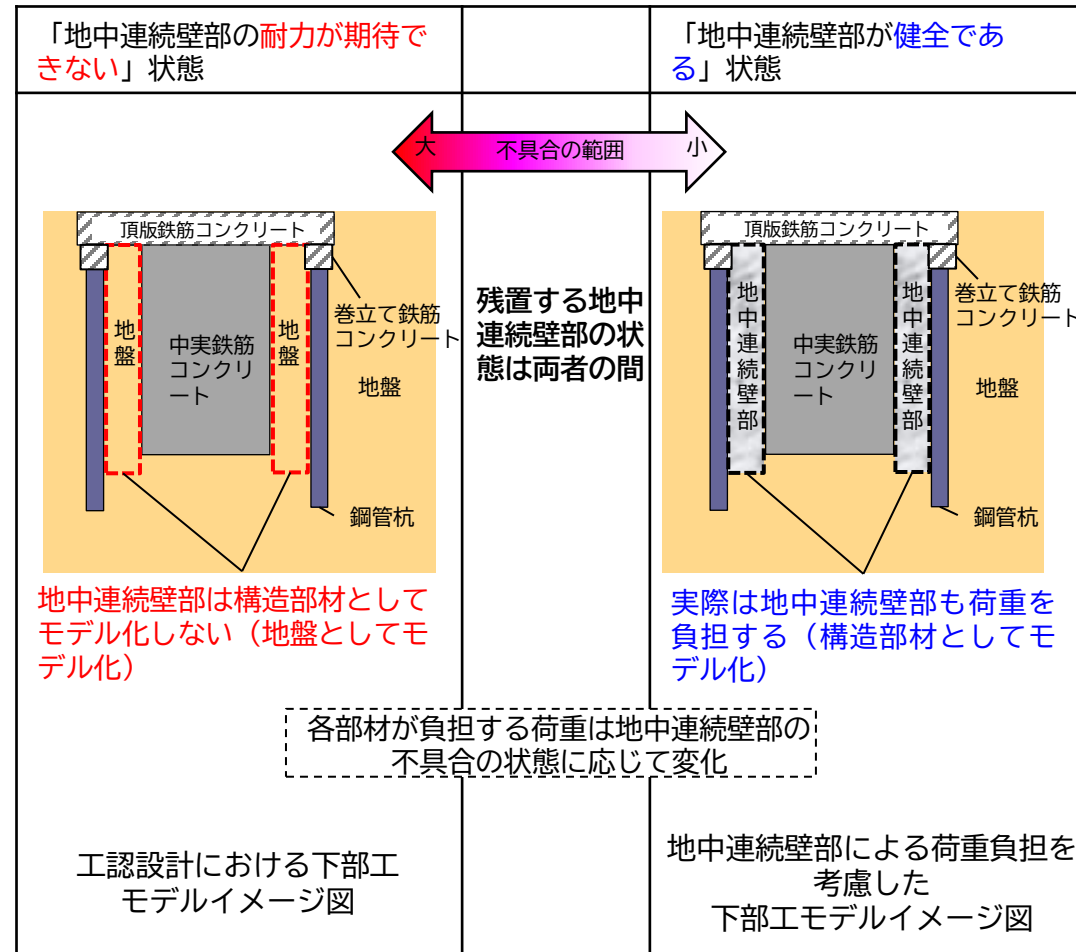


表1 残置する地中連続壁部の状態

以上より、耐震・耐津波評価において中実鉄筋コンクリート、鋼管杭毎に保守的（網羅的）な条件による影響評価を実施

また、上記影響評価において、上部工及び接続部についても影響を確認

1 1) 地中連続壁部の残置影響評価に係る基本設計方針 (2/3)

■残置影響評価手法の概要（中実鉄筋コンクリートに対する保守的な設計手法）

- 「中実鉄筋コンクリート＋地中連続壁部」の負担する荷重が最大となる状態は、曲げ剛性 $E I$ ※1 が最も大きくなる「地中連続壁部が健全」な場合である。
- この状態において「中実鉄筋コンクリート部＋地中連続壁部」に発生する断面力を、残置する地中連続壁部を期待せず、**中実鉄筋コンクリートのみに負担させる設計を成立させることで、中実鉄筋コンクリートは十分な保守性（網羅性）を有する設計となる。**

※1 E ：ヤング係数 I ：断面二次モーメント

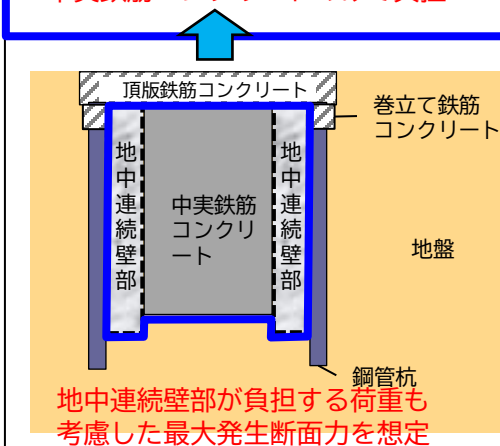
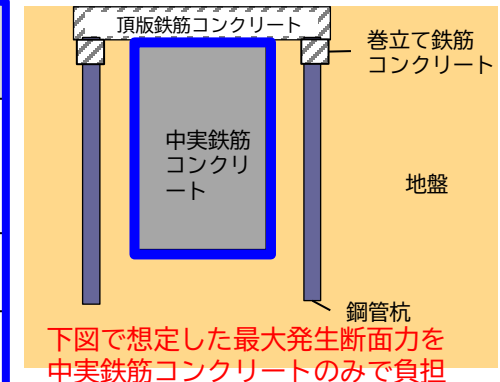
表2 発生断面力比較表（中実鉄筋コンクリート）

	「地中連続壁部の耐力が期待できない」状態		「地中連続壁部が健全である」状態
「中実鉄筋コンクリート＋地中連続壁部」の負担荷重	小	大 ← 不具合の範囲 → 小 残置する地中連続壁部の状態は両者の間	大
「鋼管杭」の負担荷重	大		小
発生断面力（イメージ図）	曲げモーメント せん断 中実鉄筋コンクリート＋地中連続壁部：小 鋼管杭：大		曲げモーメント せん断 中実鉄筋コンクリート＋地中連続壁部：大 鋼管杭：小

(凡例)

--- 中実鉄筋コンクリート＋地中連続壁部の断面力
---- 鋼管杭の断面力

保守的に小さな断面で大きな荷重を負担する設計※2



※2 当該設計により中実鉄筋コンクリートの仕様を決定する。

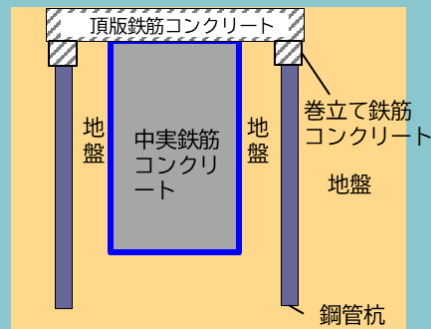
1 1) 地中連続壁部の残置影響評価に係る基本設計方針 (3/3)

■残置影響評価手法のまとめ

- 地中連続壁部の残置による影響として、「工認設計モデル」に対して、地中連続壁部+中実鉄筋コンクリートがより抵抗力を受け持ち、より大きな発生断面力が生じる可能性がある。一方で、地中連続壁部の抵抗力は不確かな部分があるため、健全な地中連続壁部を仮定して最大限の発生断面力を算定し、中実鉄筋コンクリートのみで構造を成立させる保守的なケースを「残置影響評価モデル」として設計に考慮する。
- また、地中連続壁部の強度・剛性の不確かさの考慮として、中実鉄筋コンクリートの曲げモーメントが概ね最大となる位置に強度・剛性低下(健全部と地盤の境界)を想定した評価も行う。

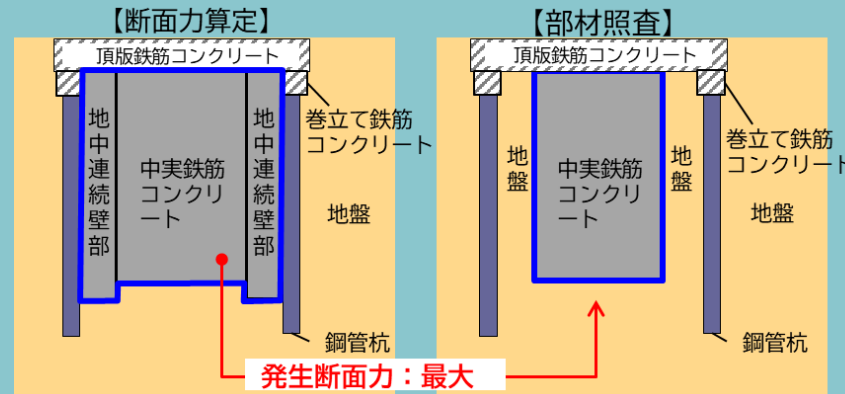
【工認設計モデル】

不具合のあった地中連続壁部を構造部材として考慮せず、強度・剛性の小さい地盤とした設計モデル



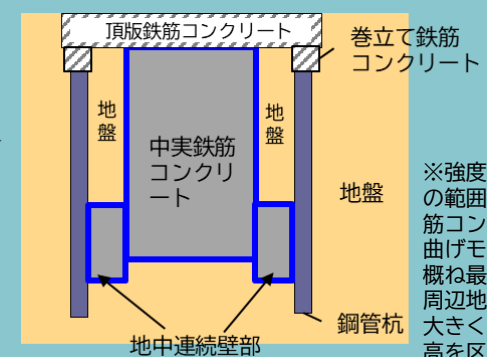
【残置影響評価モデル】

健全な地中連続壁部を仮定して最大限の発生断面力を算定し、中実鉄筋コンクリートのみで構造を成立させる保守的な設計モデル



【残置影響評価モデルのうち、局部的な応力集中を仮定したモデル】

地中連続壁部の強度・剛性の不均一性を網羅した設計となっていることを確認するためのモデル



※強度・剛性低下の範囲は、中実鉄筋コンクリートの曲げモーメントが概ね最大となり、周辺地盤の剛性が大きく変化する標高を区間境界として設定

耐津波評価は、地盤のばらつきケースを全ケースで実施(評価で用いる津波は「敷地に遡上する津波」)
耐震評価は、地盤のばらつきケース③の基準地震動Ss-D1の入力で実施

1 2) 地盤改良に係る周辺施設・設備への影響検討方針

地盤改良範囲と周辺の耐震上重要な施設・設備との位置関係を整理し、影響評価の対象となる施設・設備を選定した上で健全性評価を実施する。

No.	影響評価対象となる「施設」	影響評価対象となる「設備」
1	【DB：Cクラス(Ss※1)】 【SA：重要SA設備※2】 ・ 取水構造物	【DB：Sクラス】【SA：重要SA設備※2】 ・ 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ、ストレーナ及び配管 ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ、ストレーナ及び配管 ・ 残留熱除去系海水系ポンプ、ストレーナ及び配管 【DB：Sクラス】 ・ 取水ピット空気抜き配管逆止弁 ・ 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁 ・ 取水路点検用開口部浸水防止蓋 ・ 潮位計 ・ 取水ピット水位計
2	【DB：Sクラス】 ・ 防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)	【DB：Sクラス】 ・ 防潮扉
	【DB：Cクラス(Ss※1)】 ・ 出口側集水枡	【DB：Sクラス】 ・ 構内排水路逆流防止設備
3	【DB：Cクラス(Ss※1)】 ・ 屋外二重管	【DB：Sクラス】【SA：重要SA設備※2】 ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系配管 ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水配管 ・ 残留熱除去系海水系配管
4	【DB：Sクラス】 ・ 貯留堰	—
	【DB：Cクラス(Ss※1)】 ・ 貯留堰取付護岸 ・ 土留鋼管矢板	—

凡 例	
	既実施地盤改良体 (セメント改良)
	既実施地盤改良体 (薬液注入)
	追加地盤改良体 (セメント改良)
	追加地盤改良体 (薬液注入)
	鋼管杭 (φ1500)
	巻立て鉄筋コンクリート

※1：屋外重要土木構造物，Sクラスの間接支持構造物等で基準地震動Ssでの機能維持が必要な設計基準対象施設

※2：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備が設置される基準地震動Ssでの機能維持が必要な重大事故等対処施設

1 3) 施工・検査に係る基本方針

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

これらを踏まえ、鋼製防護壁の工事の計画について施工性の確保及び検査に係る基本方針を以下のとおりとした。

【施工性の確保に係る基本方針】

- ・ 鋼製防護壁の施工方法について、適用性、施工実績を踏まえ、地盤のはらみ出し・崩落等を回避できる施工方法を選定する。
- ・ 施工エリアについて現場調査や各施工ステップの施工図を作成し、特定した支障物や重機配置場所等への対策を検討の上、施工性を確認する。
- ・ 各施工ステップにおけるリスクを想定し、その対策を施すことで施工の実現性を確保する。

【検査の基本方針】

- ・ 施工ステップ毎に工事が計画どおり行われていることの確認が可能か、品質を確認（検査）する項目・時期・方法を整理し、確認する。
- ・ 不具合を施工中及び施工後に検知・是正できるよう目視等で実態を確認できる検査を選定する。

例：中実鉄筋コンクリート：気中施工として鉄筋組立・型枠・コンクリート打設の各段階を確認
巻立て鉄筋コンクリート：気中施工として鉄筋組立・型枠・コンクリート打設の各段階を確認
鋼管杭：打設前に地表にて長さ・径等を確認し、打設後は打設高さを確認
改良地盤（セメント系）：改良範囲は掘削した段階（埋戻し（置換前））に測量により確認

STEP 3

●構造成立性

➤【耐震・耐津波評価】の結果

代表的な応力（断面力最大ケース）による各部の照査

➤【影響評価】の結果

代表的な応力（断面力最大ケース）による地中連続壁の残置影響評価

1 4) 耐津波設計に係る評価結果（工認設計モデル）

■耐津波設計における検討ケース

STEP3（構造成立性）で考慮した耐津波設計における検討ケース選定の考え方を以下に示す。

- ・既工認の耐津波評価においては、地盤のばらつきケースを地盤バネ1～5で実施している。
- ・構造変更後の防潮堤は、既工認と同様の門型構造であり、荷重伝達メカニズムもほぼ同様であることから、既工認と同様、耐津波評価結果により基礎の仕様が確定する。
- ・今回は基礎の構造変更であることから、基礎の仕様を確定する耐津波評価に当たっては、**地盤のばらつきケースを全ケースで実施し確認した（評価で用いる津波は「敷地に遡上する津波」）**。
- ・耐津波評価における地盤のばらつきケースを以下に示す。

構造成立性評価に係る耐津波評価の地盤のばらつきケース

地盤のばらつき ケース		地盤バネ定数	地盤バネの 反力上限値	津波
津 波 時	地盤バネ1	初期せん断剛性から設定	ピーク強度（平均）から設定	「敷地に遡上 する津波」
	地盤バネ2	静弾性係数から設定	残留強度(-1σ)から設定	
余 震 と 津 波 の 重 畳 時	地盤バネ3	余震時収束剛性から設定 (地表面加速度最大)	ピーク強度（平均） から設定	
	地盤バネ4	余震時収束剛性から設定 (地表面変位最大)	同上	
	地盤バネ5	余震時収束剛性から設定 (せん断ひずみ最大)	同上	

3. 参考 (4) 防潮堤（鋼製防護壁）基礎の構造変更に係る検討内容

1 4) 耐津波設計に係る評価結果（工認設計モデル）

■耐津波設計に係る評価結果

- 防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計に係る評価結果を下表に示す。
- 下表では、防潮堤（鋼製防護壁）の各構成部位における最も厳しい値（最大照査値）を抽出して表記している。
- 評価の結果、いずれの部位も許容限界を満足していることを確認した。

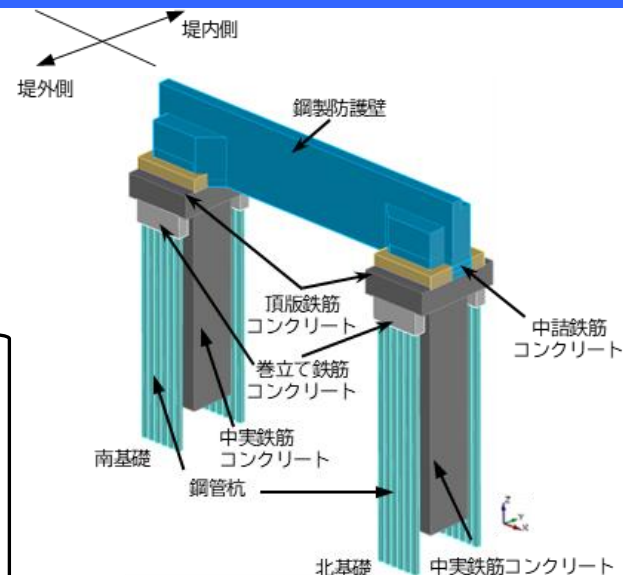
①構造変更となる部位

最大照査値のうち1.00に近接しているものを赤字で記載

区分	評価対象部位	南北基礎	照査項目；応力度及び断面力の種類		発生値	許容限界	最大照査値	地盤のばらつき
下部工	中実鉄筋コンクリート	南基礎	曲げ	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	265.8	478.5	0.56	地盤バネ4
		南基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	214108	247591	0.87	地盤バネ4
	鋼管杭	北基礎	曲げ	圧縮応力度(N/mm ²)	452.4	500.0	0.91	地盤バネ4
		南基礎	せん断	堤軸方向せん断応力度(N/mm ²)	45.3	285.0	0.16	地盤バネ4
	巻立て鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	Con圧縮応力度(N/mm ²)	24.9	32.0	0.78	地盤バネ2
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	17896	18916	0.95	地盤バネ1
	杭頭接合部	南基礎	仮想RC断面(RC)	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	632.5	660.0	0.96	地盤バネ4
	頂版鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	603.0	660.0	0.92	地盤バネ5
		南基礎	せん断	堤軸及び堤軸直交方向合成せん断力(kN)	29790	31712	0.94	地盤バネ5

②既工認から変更のない部位

区分	評価対象部位	南北基礎	照査項目；応力度及び断面力の種類		発生値	許容限界	最大照査値	地盤のばらつき
接合部	アンカーボルト	南基礎	引張	堤軸直交方向 アンカーボルト引張応力度(N/mm ²)	216.2	355.0	0.61	地盤バネ5
上部工	中詰め鉄筋コンクリート	南基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	224237	252547	0.89	地盤バネ5
		南基礎	水平回転モーメント	水平鉄筋応力度(N/mm ²)	331.4	478.5	0.70	地盤バネ5
	鋼製防護壁	—	—	—	鋼製防護壁は、既工認の断面力を超えることがないことを確認済			



防潮堤（鋼製防護壁）の各構成部位

①構造変更となる部位

- 「工認設計モデル」は、地中連続壁部を地盤として扱うため、基礎の剛性及び地盤の抵抗面積が低減する。
- このように、地中連続壁を基礎として考慮しない条件の下で、鋼管杭等による基礎の構造変更を行うことにより、構造が成立することを確認した。

②既工認から変更のない部位

- 既工認と同等の裕度を確保していることを確認した。

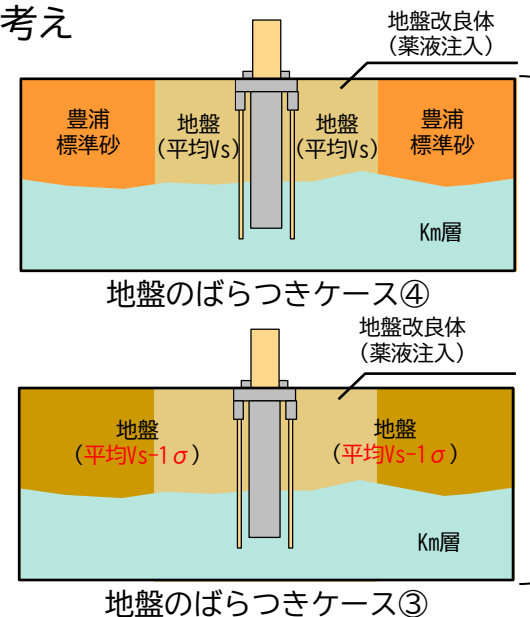
3. 参考 (4) 防潮堤(鋼製防護壁)基礎の構造変更に係る検討内容

1 5) 耐震設計に係る評価結果(工認設計モデル)

■耐震設計における検討ケース

STEP3(構造成立性)で考慮した耐震設計における検討ケース選定の考え方を以下に示す。

- 既工認の耐震評価では、主要構造部位に対し最も厳しい評価となったのは地盤のばらつきケース④(豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定したケース)の基準地震動 S_s -D1入力時であった。
- 耐震評価では、地盤の液状化・軟化により両基礎の変位差が大きくなり、上部工や接合部への荷重負担が大きくなるが、構造変更後は基礎周辺を広く地盤改良し周辺地盤は液状化しない設計条件となることから、右図に示すとおり、地盤のばらつきケース④よりも地盤のばらつきケース③(地盤物性を -1σ 低減させたケース)の方が周辺地盤の剛性を低く評価することとなるため、両基礎の変位量が大きく算出される。
- 以上より、耐震評価に当たっては、**地盤のばらつきケース③の基準地震動 S_s -D1の入力で構造成立性を確認した。**



構造変更後の設計条件においては、地盤のばらつきケース③が周辺地盤の剛性を最も小さく評価する。

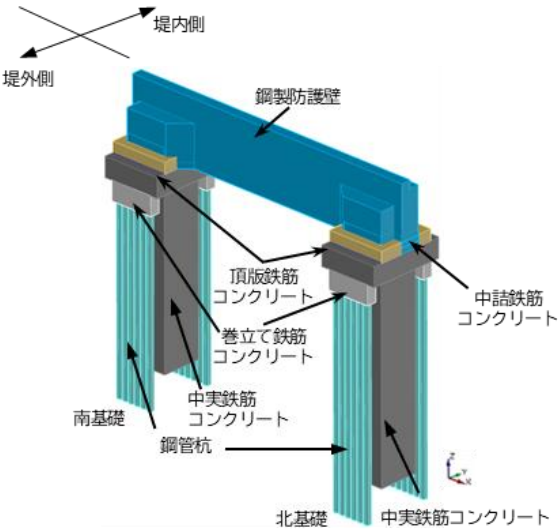
地盤のばらつきケース	地盤剛性の設定	液状化強度特性の設定	北基礎と南基礎の変位差
① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	原地盤のせん断波速度	原地盤に基づく液状化強度特性(-1σ)	両基礎の変位差は③、④に比較して小さい(既工認)
② 地盤物性のばらつきを考慮($+1\sigma$)した解析ケース	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮($+1\sigma$)	原地盤に基づく液状化強度特性(-1σ)	両基礎の変位差は③、④に比較して小さい(既工認)
③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性(-1σ)	◎既工認において両基礎の変位差が比較的大さい (地盤改良体(薬液注入)の地盤剛性を -1σ 低減させた設定とするため、両基礎の変位差の観点で保守的に評価される)
④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	敷地に存在しない豊浦標準砂のせん断波速度	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	既工認における基礎の変位が最大であるが、豊浦標準砂の液状化特性を用いた強制的な液状化を仮定した評価であり、構造変更後は地盤改良により周辺地盤は液状化しないことから両基礎の変位は小さくなる
⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	原地盤のせん断波速度	液状化パラメータを非適用	両基礎の変位差は③、④に比較して小さい(既工認)
⑥ 地盤物性のばらつきを考慮($+1\sigma$)して非液状化の条件を仮定した解析ケース	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮($+1\sigma$)	液状化パラメータを非適用	両基礎の変位差は③、④に比較して小さい(既工認)

■耐震設計に係る評価結果

- 防潮堤（鋼製防護壁）の耐震設計に係る評価結果を下表に示す。
- 下表では、防潮堤（鋼製防護壁）の各構成部位における最も厳しい値（最大照査値）を抽出して表記している。
- 評価の結果、いずれの部位も許容限界を満足していることを確認した。

①構造変更となる部位

区分	評価対象部位	南北基礎	照査項目；応力度及び断面力の種類		発生値	許容限界	最大照査値	地盤のばらつき
下部工	中実鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	141.8	435.0	0.33	ケース③
		南基礎	せん断	堤軸方向せん断力(kN)	164626	228260	0.73	ケース③
	鋼管杭	北基礎	曲げ	圧縮応力度(N/mm ²)	225.8	442.5	0.52	ケース③
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断応力度(N/mm ²)	10.5	255.0	0.05	ケース③
	巻立て鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	コン圧縮応力度(N/mm ²)	3.3	24.0	0.14	ケース③
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	830.7	3124.9	0.27	ケース③
	杭頭接合部	北基礎	仮想RC断面(RC)	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	111.4	600.0	0.19	ケース③
	頂版鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	堤軸直交方向鉄筋引張応力度(N/mm ²)	353.2	435.0	0.82	ケース③
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	116157	442914	0.27	ケース③



防潮堤（鋼製防護壁）の各構成部位

①構造変更となる部位

- 下部工における全ての照査項目において、耐震の照査値は、耐津波の照査値を下回る結果となった。
- 構造変更後の基礎構造においても、設計上のクリティカルケースは耐津波であることを確認した。

②既工認から変更のない部位（上部工、接合部）

上部工の発生応力や接合部の発生断面力は、地震応答解析で得られる南北基礎天端の変位時刻歴を入力として実施する上部工の動的解析によって算出するため、構造成立性の確認においては南北基礎の相対変位を参照する。

断面	南北基礎の相対変位成分	最大相対変位(既工認)	最大相対変位(構造変更)	地盤のばらつき
堤軸方向	水平相対変位量(mm)	4.6mm	4.3mm	ケース③
	鉛直相対変位量(mm)	29.2mm	17.3mm	ケース③
堤軸直交方向	水平相対変位量(mm)	356.4mm	221.6mm	ケース③
	鉛直相対変位量(mm)	12.0mm	19.7mm	ケース③



以下の構造部位においては、左記の相対変位を根拠に、構造成立性を有していると判断した。

接合部：アンカーボルト
上部工：中詰め鉄筋コンクリート、鋼製防護壁

②既工認から変更のない部位

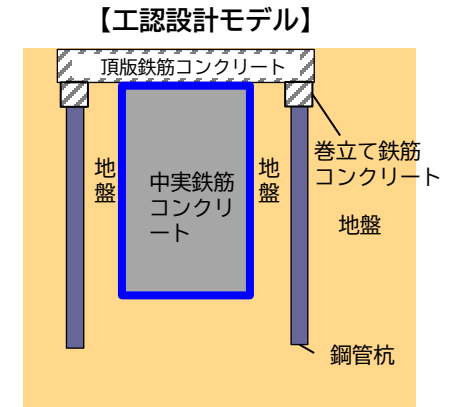
- 南北基礎の相対変位を根拠として、既工認と同等の裕度を確保していることを確認した。

1 6) 耐震・耐津波設計に係る評価結果（工認設計モデル）

■耐津波・耐震評価結果のまとめ

【評価内容】

- 不具合が生じた地中連続壁部を基礎として使用しない設計とすることにより，防潮堤基礎の剛性・耐力が確保できないため，その対策として「追加基礎（鋼管杭）」及び「周辺地盤の地盤改良」を取り入れた構造に変更し，支配的な津波荷重に対して抵抗を期待する構造とした。
- 地中連続壁部を地盤として扱った「工認設計モデル」は，既工認と同様の門型構造であり，荷重伝達メカニズムもほぼ同様であることから，基礎の仕様を確定する耐津波評価では地盤のばらつきケースは全ケースで，耐震評価では地盤が軟化し，上部工・接合部仕様への影響が大きくなると考えられる解析ケースにて評価した。



【評価結果】

- 「工認設計モデル」による耐震・耐津波評価の結果，各構造部位の発生応力度が許容応力度を下回ることから，代表的な応力（断面力最大ケース）において，構造変更後の防潮堤は十分な安全性を確保し構造が成立する見通しを得た（鋼管杭等，新設の構成部位は，地中連続壁部を地盤として取り扱う「工認設計モデル」にて構造が成立することを確認した）。

1 7) 耐津波設計に係る評価結果（残置影響評価モデル）

■残置影響評価結果（耐津波設計）

- 下表では、防潮堤（鋼製防護壁）の各構成部位における最も厳しい値（最大照査値）を抽出して表記している。
- 評価の結果、**いずれの部位も許容限界を満足していることを確認した。**

①構造変更となる部位

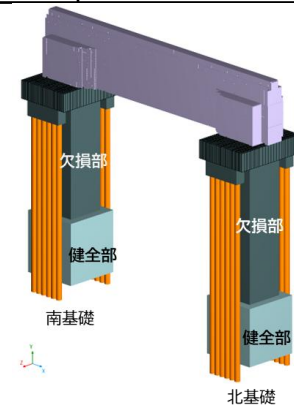
工認設計モデル						残置影響評価モデル		局所的な応力集中の仮定※		
区分	評価対象部位	南北基礎	照査項目；応力度及び断面力の種類		最大照査値	地盤のばらつき	最大照査値	地盤のばらつき	最大照査値	地盤のばらつき
下部工	中実鉄筋コンクリート	南基礎	曲げ	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.56	地盤バネ4	(南) 0.90	地盤バネ4	(南) 0.69	地盤バネ4, 欠損ケース2
		南基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	0.87	地盤バネ4	(南) 0.97	地盤バネ4	(南) 0.91	地盤バネ4, 欠損ケース1
	鋼管杭	北基礎	曲げ	圧縮応力度(N/mm ²)	0.91	地盤バネ4	(北) 0.66	地盤バネ5		
		南基礎	せん断	堤軸方向せん断応力度(N/mm ²)	0.16	地盤バネ4	(南) 0.15	地盤バネ4		
	巻立て鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	Con圧縮応力度(N/mm ²)	0.78	地盤バネ2	(北) 0.57	地盤バネ5		
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	0.95	地盤バネ1	(北) 0.57	地盤バネ1		
	杭頭接合部	南基礎	仮想RC断面 (RC)	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.96	地盤バネ4	(北) 0.78	地盤バネ5		
	頂版鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.92	地盤バネ5	(北) 0.63	地盤バネ5		
		南基礎	せん断	堤軸及び堤軸直交方向合成せん断力(kN)	0.94	地盤バネ5	(北) 0.58	地盤バネ5		

欠損部

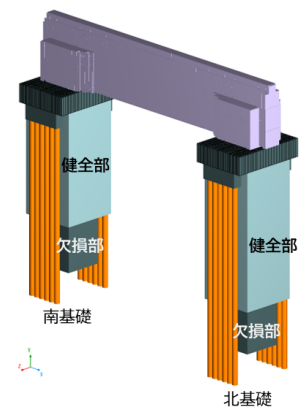
健全部

南基礎

※本評価は、残置影響評価において最大照査値となる中実部にて、地盤バネ4を対象に実施する方針とする。



欠損ケース1



欠損ケース2

②既工認から変更のない部位（上部工、接合部）

工認設計モデル							残置影響評価モデル	
区分	評価対象部位	南北基礎	応力度及び断面力の種類		最大照査値	地盤のばらつき	最大照査値	地盤のばらつき
接合部	アンカーボルト	南基礎	引張	堤軸直交方向引張応力度(N/mm ²)	0.61	地盤バネ5	(南) 0.59	地盤バネ5
上部工	中詰め鉄筋コンクリート	南基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	0.89	地盤バネ5	(南) 0.87	地盤バネ5
		南基礎	水平回転モーメント	水平鉄筋応力度(N/mm ²)	0.70	地盤バネ5	(南) 0.68	地盤バネ5
	鋼製防護壁	—	—	—	鋼製防護壁は、既工認の断面力を超えることがないことを確認済			

最大照査値のうち1.00に近接しているものを赤字で表記

- 残置影響評価では、地中連壁基礎部の断面力を負担する中実鉄筋コンクリートのみが厳しい照査値となる結果となったが、**許容限界を満足していることを確認した。**
- 局所的な応力集中を仮定したモデルにおいては、残置影響評価に包絡される結果となり、**設計上有意な影響が無いことを確認した。**

18) 耐震設計に係る評価結果（残置影響評価モデル）

■残置影響評価結果（耐震設計）

- 下表では、防潮堤（鋼製防護壁）の各構成部位における最も厳しい値（最大照査値）を抽出して表記している。
- 評価の結果、いずれの部位も許容限界を満足していることを確認した。

①構造変更となる部位

最大照査値のうち1.00に近接しているものを赤字で表記

工認設計モデル							残置影響評価モデル	
区分	評価対象部位	南北基礎	照査項目；応力度及び断面力の種類		最大照査値	地盤のばらつき	最大照査値	地盤のばらつき
下部工	中実鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.33	ケース③	(北) 0.39	ケース③
		南基礎	せん断	堤軸方向せん断力(kN)	0.73	ケース③	(南) 0.92	ケース③
	鋼管杭	北基礎	曲げ	圧縮応力度(N/mm ²)	0.52	ケース③	(北) 0.44	ケース③
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(N/mm ²)	0.05	ケース③	(北) 0.06	ケース③
	巻立て鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	Con圧縮応力度(N/mm ²)	0.14	ケース③	鉄筋引張応力度(南) 0.15	ケース③
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	0.27	ケース③	(北) 0.36	ケース③
	杭頭接合部	北基礎	巻立てRC部	鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.19	ケース③	(南) 0.27	ケース③
	頂版鉄筋コンクリート	北基礎	曲げ	堤軸直交方向鉄筋引張応力度(N/mm ²)	0.82	ケース③	(南) 0.51	ケース③
		北基礎	せん断	堤軸直交方向せん断力(kN)	0.27	ケース③	(南) 0.18	ケース③

【耐震設計における“局所的な応力集中の仮定”について】

前頁の耐津波設計において“局所的な応力集中の仮定”が残置影響評価に包絡されることを確認したことから、耐震設計においても同様の結果が得られるものとする。

以上より、耐震設計における“局所的な応力集中の仮定”については、今後の設計進捗を踏まえ必要に応じて実施する方針とする。

②既工認から変更のない部位（上部工、接合部）

上部工の発生応力や接合部の発生断面力は、地震応答解析で得られる南北基礎天端の変位時刻歴を入力として実施する上部工の動的解析によって算出するため、構造成立性の確認においては南北基礎の相対変位を参照する。

断面	南北基礎の相対変位成分	最大相対変位(既工認)	最大相対変位(残置影響評価)	地盤のばらつき
堤軸方向	水平相対変位量(mm)	4.6mm	4.3mm	ケース③
	鉛直相対変位量(mm)	29.2mm	16.0mm	ケース③
堤軸直交方向	水平相対変位量(mm)	356.4mm	210.5mm	ケース③
	鉛直相対変位量(mm)	12.0mm	21.5mm	ケース③



以下の構造部位においては、左記の相対変位を根拠に、構造成立性を有していると判断した。

接合部：アンカーボルト
上部工：中詰め鉄筋コンクリート、鋼製防護壁

- 耐震設計に係る残置影響評価では、地中連壁基礎部の断面力を負担する中実鉄筋コンクリートに加え、鋼管杭等についても一部工認設計モデルを上回る照査値を確認した（残置影響評価モデルは、地中連続壁部を考慮することで鋼管杭と鉄筋コンクリート基礎の離隔が小さくなるため、鉄筋コンクリート基礎からの地震時慣性力による応力伝達が大きくなり、工認設計モデルと比較して杭等の断面力がわずかに増加したものと考えられる）。
- ただし、鋼管杭等の照査値は十分な余裕があることを確認した。

19) 耐震・耐津波設計に係る評価結果（残置影響評価モデル）

■残置影響評価結果のまとめ

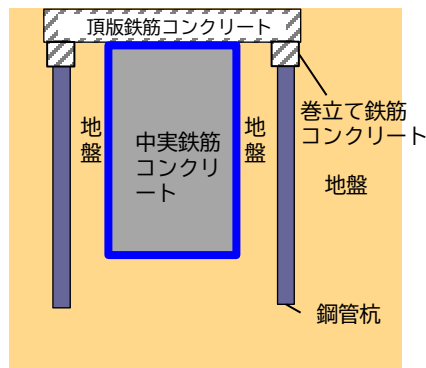
【評価内容】

- ・ 地中連続壁部の残置による影響として、「工認設計モデル」に対して、地中連続壁部＋中実鉄筋コンクリートがより抵抗力を受け持ち、より大きな発生断面力が生じる可能性がある。一方で、地中連続壁部の抵抗力は不確かな部分があるため、健全な地中連続壁部を仮定して最大限の発生断面力を算定し、中実鉄筋コンクリートのみで構造を成立させる保守的なケースを「残置影響評価モデル」として設計に考慮した。
- ・ また、地中連続壁部の強度・剛性の不確かさの考慮として、中実鉄筋コンクリートの曲げモーメントが概ね最大となる位置に強度・剛性低下（健全部と地盤の境界）を想定した評価も行った。

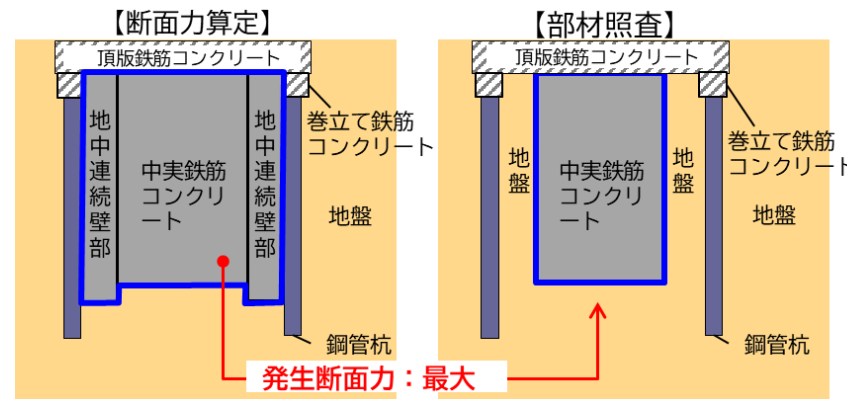
【評価結果】

- ・ 「残置影響評価モデル」による評価の結果、中実鉄筋コンクリート及び地中連続壁部に発生する保守的な断面力が、中実鉄筋コンクリートのみの小さい断面で受け持たせる設計としても、主鉄筋等を増強することで構造が成立する見通しを得た（この配筋に基づき施工する）。
- ・ 残置影響評価のうち「局部的な応力集中が起こる事象を仮定した評価モデル」による評価の結果でも、中実鉄筋コンクリートの照査値は残置影響評価モデルを上回ることなく、構造が成立する見通しを得た。
- ・ 以上のことから、**地中連続壁部を残置した状況においても、構造変更後の防潮堤は十分な安全性を確保した設計により構造が成立する見通しを得た。**

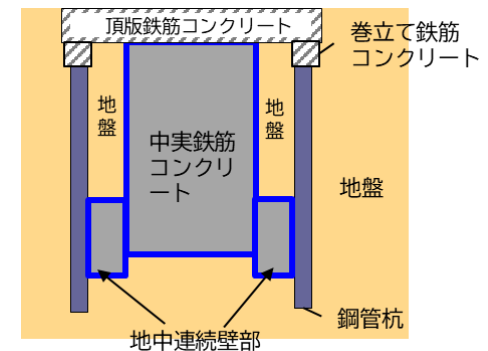
【工認設計モデル】



【残置影響評価モデル】



残置影響評価のうち、「局部的な応力集中が起こる事象を仮定した評価モデル」



STEP 4

●詳細検討結果

- 【影響検討】の確認結果
 - ・追加基礎・地盤改良による周辺施設への影響評価
- 【施工性・検査】の確認結果
 - ・地盤改良物性値（ばらつき，液状化強度）に係る試験確認

20) 地盤改良による周辺施設・設備への影響評価手法(1/2)

地盤改良による周辺施設・設備への影響評価は、地盤改良を反映した解析モデルを用いて、既工認時と同じ地震応答解析手法により実施した。具体的には、以下に示すとおり地盤改良による「影響程度の確認」を実施し、必要に応じて「最大照査値等の確認」を行った。

➤ 影響程度の確認

- ・ 既工認時の2次元有効応力解析モデルに対して、影響評価の対象となる施設・設備に近接する既実施及び追加地盤改良体を反映する。
- ・ 上記解析モデル(影響検討モデル)により算定される応答※や照査値について、既工認時の結果に対する比率を算出する。

※施設においては接地圧、変位量、局所安全係数、震度
設備においては最大応答加速度、床応答曲線

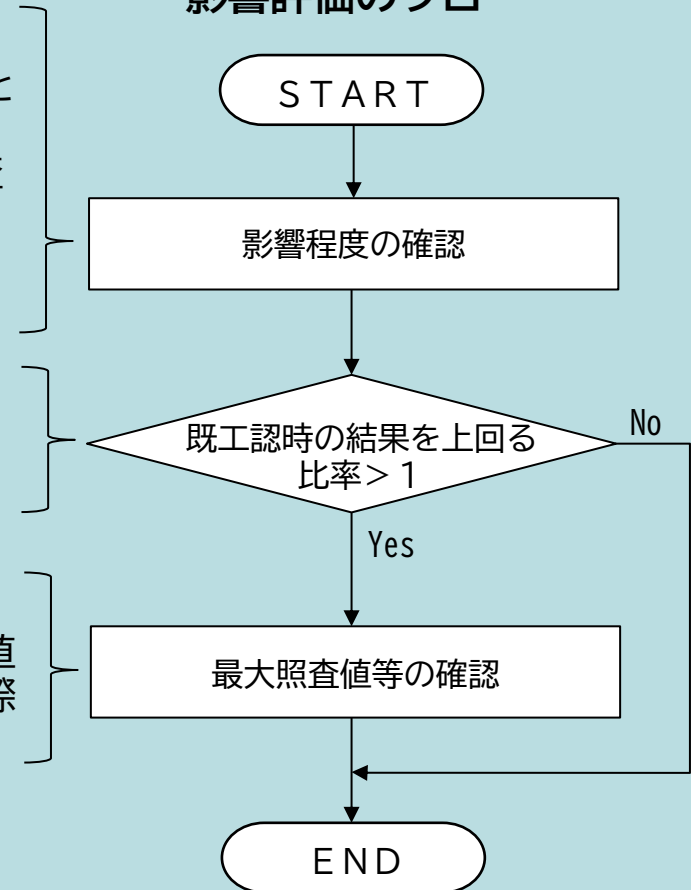
最大照査値等の確認の要否判定

- ・ 比率が1を上回る場合は、最大照査値等の確認が必要と判断する。
- ・ 比率が1以下の場合は、影響評価終了とする。

➤ 最大照査値等の確認

- ・ 算定した各部材の照査値等の比率の最大値を既工認時の最大照査値等(接地圧や変位量等を含む)に乗じて、地盤改良体を考慮した際の最大照査値等を算定し、許容限界を満足することを確認する。

影響評価のフロー



20) 地盤改良による周辺施設・設備への影響評価手法(2/2)

- 地盤改良体の有無にかかわらず、既工認時に用いた地震動と地盤の組合せが、定性的には厳しい施設の耐震評価条件となると想定される(地震動の最大加速度・継続時間・位相、地盤の剛性低下が要因)。このため、影響評価においては、既工認で最も厳しい評価結果が得られた地震動と地盤の組合せ(下左表)を用いた。
- ただし、既工認時の地震動と地盤の組合せには地盤改良体の効果が含まれたものではないことから、より保守的な評価とするため、既工認時の最大照査値に、最も厳しくなる評価位置以外の比率も含め最大となる比率を乗じて、影響評価としての最大照査値を算定した(下右表)。

取水構造物(取水ピット)鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価(例)

既工認での地震動及び地盤ケースの選定

地震動		せん断力照査					
		①	②	③	④	⑤	⑥
S _s -D1	H+, V+	0.348					
	H+, V-	0.360					
	H-, V+	0.378					
	H-, V-	0.383	0.379	0.374	0.433	0.401	0.405
S _s -11		0.277					
S _s -12		0.361					
S _s -13		0.342					
S _s -14		0.290					
S _s -21		0.340					
S _s -22		0.326					
S _s -31	H+, V+	0.296					
	H-, V+	0.328					

地盤ケース①について全S_sの照査値を計算する。最大照査値(0.383)を示したS_s-D1(H-, V-)について、全地盤ケースの照査値を計算し、最大照査値(0.433)となる地盤ケース④が選定される。

照査値の算定結果

影響検討ケース	評価位置	照査値		比率
		既工認	今回	
④S _s -D1 (H-, V-)	突出部	0.433	0.472	1.090
	側壁	0.407	0.398	0.978
	隔壁	0.348	0.311	0.894
	左張出	0.319	0.293	0.918
	頂版1	0.376	0.378	1.005
	頂版2	0.291	0.258	0.887
	底版1	0.399	0.447	1.120
	底版2	0.235	0.212	0.902

保守性確保のため、評価位置に依らず、最大照査値(表中の0.433)と最大比率(表中の1.120)を乗じて、地盤改良による影響評価としての最大照査値($0.485 = 0.433 \times 1.120$)としている。

2 1) 地盤改良による周辺施設・設備への影響評価結果

【評価内容】

防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更に伴い、追加基礎（鋼管杭）と周辺地盤の地盤改良を取り入れることとした。これに伴う施設の地震時加速度や変位等の変化及び既設の鋼管杭等地中構造物に対し地盤改良体と原地盤の剛性差が与える影響等を評価するため、既実施及び追加の地盤改良体を既工認モデルに反映した地震応答解析を実施した。

【評価結果】

(1) 周辺施設への影響評価結果

各施設において、追加地盤改良体を反映したモデルにより算出した照査値等を既工認時の結果と比較したところ、増減はあるものの、大きな差異が見られなかった。また、上記の照査値等を用いて算出した比率を既工認時の最大照査値に乗じることで、追加地盤改良体による影響評価を実施したところ許容限界を満足することから、構造変更に伴う地盤改良体とその周辺施設の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

(2) 周辺設備への影響評価結果

各設備が設置されている断面において、追加地盤改良体を反映したモデルにより算出した最大応答加速度及び床応答曲線を既工認時の結果と比較したところ、増減はあるものの、既工認時の耐震評価に適用している設備評価用最大応答加速度及び床応答曲線に対して下回っていることから、構造変更に伴う地盤改良体とその周辺設備の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

22) 施工・品質（地盤改良（薬液注入）の配合設計）（1/4）

■地盤改良（薬液注入）の試験・検査方法の規格基準

- 地盤改良（薬液注入）の配合設計は「浸透固化処理工法技術マニュアル 平成22年6月，財団法人 沿岸開発技術センター」に準拠した。また，配合設計において実施した試験・検査方法等の詳細を以下に示す。

試験・検査方法の準拠基準		
試験・検査方法等		準拠基準
A. 現地試料採取		JGS 1224-2012「ロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラーによる試料の採取方法」ほか
B. 供試体作製（粒度調整含む）		JGS 0520-2020「三軸試験の供試体作製・設置方法」（粒度調整試料を用い，負圧法のうち空中落下法により作製）
C. 供試体の改良（浸透注入）		浸透固化処理工法技術マニュアル 平成22年6月，財団法人 沿岸開発技術センター
D. 改良供試体の各種試験・検査	一軸圧縮試験	JIS A 1216：2020「土の一軸圧縮試験方法」
	液状化強度試験 ・繰返し三軸圧縮試験	JGS 0541-2020「土の繰返し非排水三軸試験方法」
	液状化強度試験 ・繰返し中空ねじりせん断試験	JGS 0543-2020「土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法」
	シリカ含有量試験 ・ICP発光分光分析	浸透固化処理工法技術マニュアル 平成22年6月，財団法人 沿岸開発技術センター JIS K 0116:2014「発光分光分析通則」

22) 施工・品質(地盤改良(薬液注入)の配合設計) (2/4)

■地盤改良(薬液注入)の配合試験の標本数

- 地盤改良(薬液注入)の管理基準値の設定や使用する薬液の濃度の決定に際し、配合試験として液状化強度試験、土の一軸圧縮試験及びシリカ含有量試験を実施した。各試験の標本数は下表の通り。
- なお、改良地盤が要求品質を満足していることの確認として使用する管理基準値は、「試料採取時の試料の乱れによる悪影響」への対応として、浸透固化処理工法技術マニュアルに基づき、シリカ含有量増分量を採用した。

配合試験の標本数一覧

試験名	試験結果の整理方法及び標準標本数		標本数(実績：薬液濃度)								
	試験結果の整理方法	標準 標本数	A g 2 層			A s 層		A g 1 層			
			薬液濃度			薬液濃度		薬液濃度			
			4%	5%	8%	6%	8%	6%	8%	10%	
液状化強度試験	せん断応力比を変化させた試験を4個以上実施し、これらの結果から液状化強度曲線を算定（JGS 0541-2020）※1	4以上	5	11	11	7	9	8	6	7	
土の一軸圧縮試験	3回の平均値（JIS A1216:2020）※2	3	3	9	9	9	9	9	9	9	
シリカ含有量試験	浸透固化処理工法技術マニュアルに標準標本数が示されていないことから、液状化強度試験/一軸圧縮試験の標準標本数を超える標本数とする	—	5	6	6	6	6	5	5	7	

【妥当性の確認】

- ✓ 液状化強度試験は規格基準で標本数4個以上、一軸圧縮試験は規格基準の標準標本数3個との規定に対し、それぞれ**規格以上の標本数を採取しており、標本数は妥当であると判断した。**
- ✓ シリカ含有量増分量計測に用いる検体は、JGSの基準に従い**相対密度を合わせた供試体を試験室にて改良していること**から、シリカ含有量増分量の結果のばらつきは小さい。マニュアルには標準標本数は定められていないが、信頼性を高めるため一軸圧縮試験(3標本)、液状化強度試験(4標本以上)の規格基準の標準を超える標本数で評価した。

※1：JGS 0541-2020 土の繰返し非排水三軸試験方法(公益社団法人地盤工学会、地盤材料試験の方法と解説第1回改訂版)

※2：JIS A1216-2020 土の一軸圧縮試験方法

■地盤改良(薬液注入)の管理基準値の設定

(1)要求品質(液状化強度比)の設定

- 地盤改良(薬液注入)は、地震による地盤の液状化防止を目的としており、設計上は想定する地震力に対して地盤改良体が液状化しないこととしている。
- このため、地盤改良体の性能目標は、設計から得られた地震時の最大せん断応力比に対し、地盤改良体(薬液注入)の液状化強度比が上回ることとする。

以下に最大せん断応力比及び要求品質(液状化強度比)の算定方法及び結果を示す。

- ①地震応答解析は2次元有効応力解析(FLIP)により実施する。地震応答解析は基本ケースである地盤ケース①について全波検討し、最も厳しかった地震動(S_S-31)についてはすべての地盤ケースの計算を実施した。

地盤ケース	①	②	③	④	⑤	⑥
S _S -D1 (H+V+~H-V-) 計4ケース	実施	-	-	-	-	-
S _S -11, 12, 13, 14	実施	-	-	-	-	-
S _S -21, 22	実施	-	-	-	-	-
S _S -31 (H+V+, H-V+) 計2ケース	実施	実施	実施	実施	実施	実施

地盤ケース①：原地盤のせん断波速度(基本ケース)

地盤ケース②：原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(+1σ)

地盤ケース③：原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(-1σ)

地盤ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂のせん断波速度

地盤ケース⑤：原地盤のせん断波速度(全地盤を非液状化)

地盤ケース⑥：原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(+1σ)(全地盤を非液状化)

- ②①にて算出した地盤のせん断応力時刻歴データから、最大値を抽出し、以下の式により最大せん断応力比 L_{max} 算出する。

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

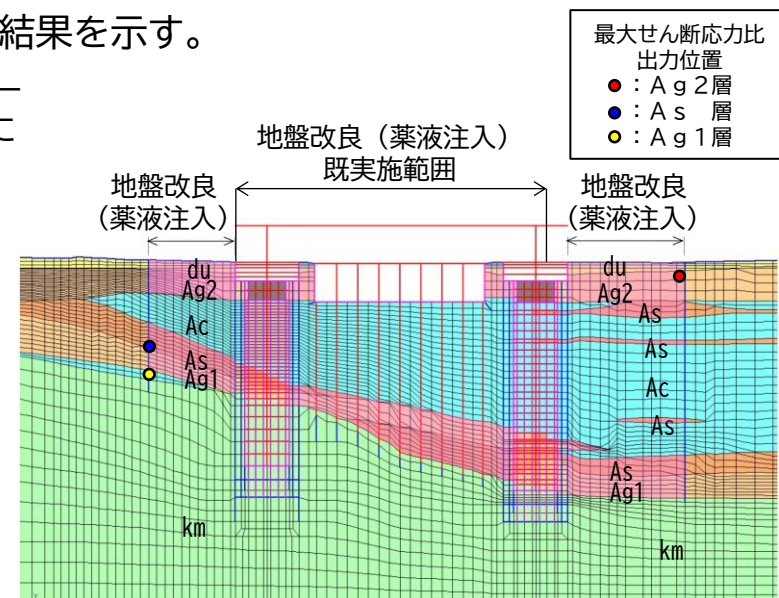
σ'_{m0} : t=0における平均有効主応力(初期平均有効主応力)

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

- ③液状化安全率 F_L を1とし、要求品質(改良後の地盤の液状化強度比 R_{L20} ※)を設定する。

※ R_{L20} : 繰返し回数20回で液状化に至る応力比

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



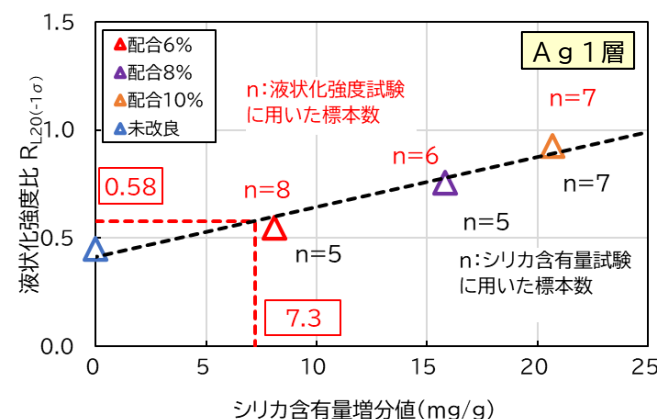
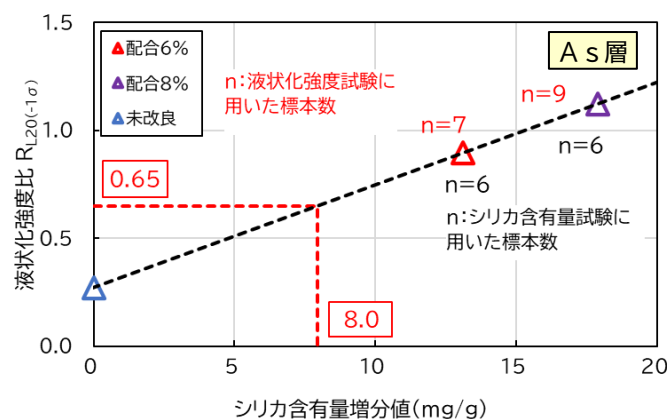
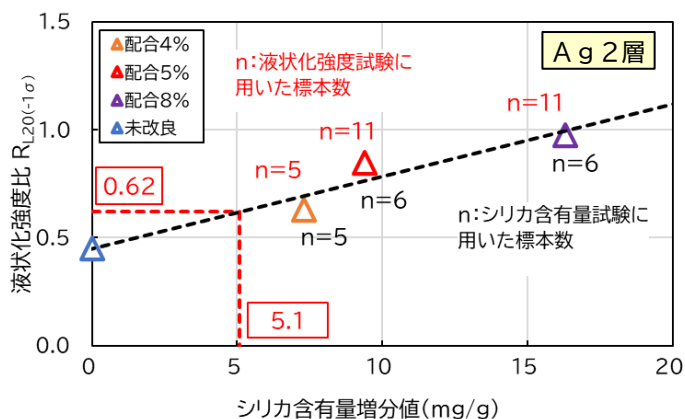
2次元FLIP解析モデル

2次元FLIP解析による地盤内の最大せん断応力比及び要求品質

層区分	最大せん断応力比 L_{max}	要求品質(液状化強度比)
Ag2	0.62 (S _S -31 (H-V+)①)	左記(0.62)以上
As	0.65 (S _S -31 (H+V+)②)	左記(0.65)以上
Ag1	0.58 (S _S -31 (H+V+)⑥)	左記(0.58)以上

■地盤改良（薬液注入）の管理基準値の設定

- 既往の試験結果に追加した試験の結果を加え、液状化強度比とシリカ含有量増分量の相関を再設定した。
- この関係式を用いて前頁で設定した要求品質に対応する管理基準値を設定した。



液状化強度比とシリカ含有量増分量の相関

要求品質と管理基準値

対象土層	要求品質 (液状化強度比)	管理基準値 (シリカ含有量増分量)
Ag 2層	0.62 以上	5.1 mg/g以上
As 層	0.65 以上	8.0 mg/g以上
Ag 1層	0.58 以上	7.3 mg/g以上

23) 施工・品質の確認（不具合事象の原因を踏まえた対策）

➤ 防潮堤（鋼製防護壁）の地中連続壁で発生した不具合事象の要因・原因は以下の通り。

不具合事象	要因	原因
コンクリート未充填	粘性土層（A c 層）のはらみ出し及び崩落	・ 施工により溝壁（掘削面）付近の地盤（粘性土）が緩み、溝壁の安定性が確保されなかった。（施工の波及的影響（リスク）検討が不十分） ・ 溝壁は泥水の中で、その状態を目視等により直接確認できなかった。 ・ 目視に代わる有効な代替措置を講じなかった。
	崩落土砂の押上げ	・ 溝壁が崩落し、底部に堆積した土砂が、その後のコンクリート打設により上方へ押し上げられた。
	崩落土砂等の残置	・ 設置済みの鉄筋が干渉し、溝壁から崩落した土砂を除去するための機材が接近できず、全量の除去には至らなかった。
	SMW※による閉塞	・ 溝壁下部の崩落に伴い、その上方にあるSMWの支持地盤が緩み、SMWがコンクリート打設範囲まではみ出した。
	未改良地山の崩落	・ 溝壁崩落対策として地盤改良を行った結果、コンクリート打設による圧力が未改良地山に集中した。（施工の波及的影響（リスク）検討が不十分）
鉄筋の変形等	ハンマーグラブの接触	・ 崩落土砂等の回収のためハンマーグラブを水中に沈降させた際、揺動により鉄筋かごと接触した。（施工計画の検討、リスク想定が不十分）
	鉄筋かご同士の接触	・ 次の鉄筋かごを建て込んだ際にハンマーグラブとの接触で変形した設置済の鉄筋かごに接触した。 ・ 鉄筋かごの設置作業は不透明な安定液中で実施するため、設置済の鉄筋かごが変形していたことを目視等により直接確認できなかった。 ・ 目視に代わる有効な代替措置を講じなかった。

※Soil Mixing Wall：

土にセメントスラリーを原位置で混合攪拌し地中に造成した壁体。浅部の崩落防止のために施工されていた。

不具合事象の原因の要点

- ・ 各施工ステップにおいて **リスク想定が不十分** であり、不具合の発生を予期できなかった
- ・ 工事が計画通り行われていることを **直接確認せず、代替措置を講じなかった**

23) 施工・品質の確認（不具合事象の原因を踏まえた対策）

- 不具合事象の原因である「工事が計画通り行われていることを直接確認せず、代替措置を講じなかった」ことを踏まえ、以下の観点から施工品質の確認方法を検討し、整理した。

【観点1】 「計画通り施工が行われていること」を確実にする。

【観点2】 「不具合を速やかに検知し、是正できること」を確実にする。

- この観点から、確認すべき項目、方法、時期を明確化して整理した。

	明確化した事項
確認項目	各工程で、工事の品質（設計要求への適合）が確保されていることを確認すべき全ての項目
確認方法	以下の優先順位で確認方法を選定する。 ① 品質の確認方法は現地で目視、寸法測定するなど直接確認できる方法を採用する。 （例：鉄筋の組立状況、構造物の外観、鋼管杭の位置） ② 目視、寸法測定などの直接確認が適用できないものについては他の定量的な方法を採用する。 （例：溶接部の非破壊検査、鋼管杭の傾斜量） ③ 当該箇所より採取した試料による確認（例：地盤改良試料の成分分析） ④ 供試体を用いた試験で確認（例：作成した供試体の破壊試験（コンクリート、グラウトの圧縮強度）） ⑤ 他に定量的な確認方法を採用できない場合であって、メーカーの記録が取得可能なものについては、当該メーカー記録に基づき仕様を確認する。（例：ミルシート、配合計画書）
確認時期	・ 作業完了後速やかに品質を確認する。 ・ コンクリート及びグラウト材の強度確認は規格基準に定められた時期に実施する。

- 上記に加え、工事の信頼性向上として定点カメラ等を活用した工事管理の高度化（見える化）を採用する