

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8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. 概要

- (1) 構造変更に至った経緯 4
- (2) 審査の流れ 7

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

- (1) はじめに 9
- (2) 耐震評価 11
- (3) 耐津波評価 21
- (4) 地中連続壁部の残置影響評価 32
- (5) 止水機構 42
- (6) まとめ 44

3. 工事管理の改善と再発防止に向けた取組み 45

4. 参考

- (1) 防潮堤（鋼製防護壁）基礎の構造変更に係る検討内容 48

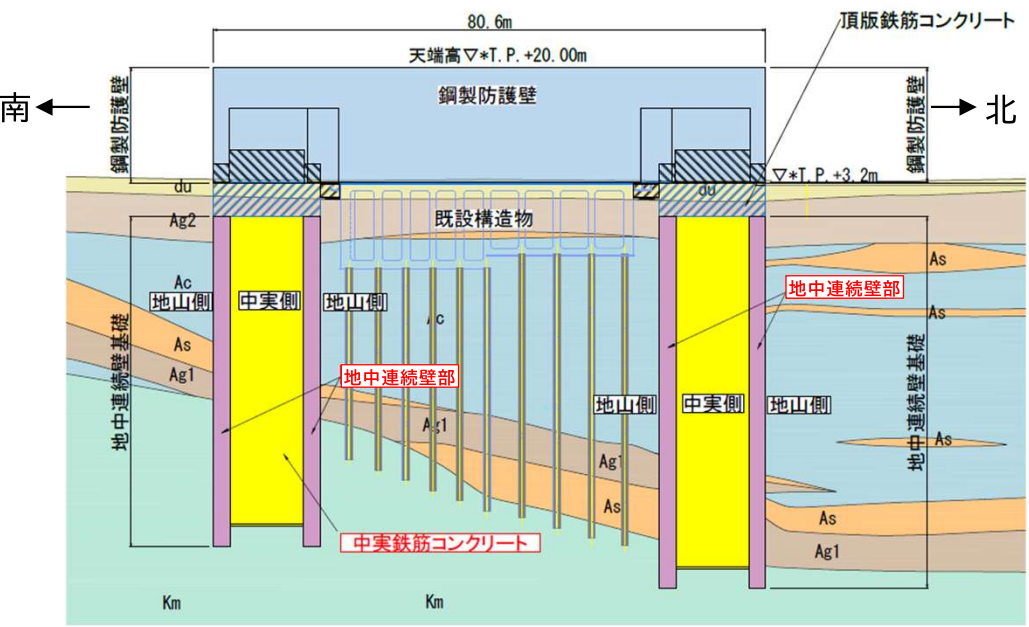
1. 概要

- (1) 構造変更に至った経緯
- (2) 審査の流れ

1. 概要

(1) 構造変更に至った経緯 (1/3)

- 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。2018年10月認可の工事計画では、既設構造物の南北両側に地中連続壁基礎を岩盤まで設置し、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。
- 工事は2019年9月に開始し、地中連続壁部を構築した後、その内部（中実側）を掘削するとともに、中実鉄筋コンクリートと地中連続壁部を一体化させながら基礎を構築する計画であった。しかし、地中連続壁部の施工中及び中実側の掘削中に、地中連続壁部の不具合事象※を確認した。
- このため、防潮堤の構造の見直し（設計変更）について、2024年2月に工事計画変更認可申請を行った。



防潮堤（鋼製防護壁，既工認）

時系列	内容
2018年10月	重大事故等対処施設の工事計画認可 平成30年10月18日付け原規規発第1810181号
2019年9月	工事開始
2022年3月 ～2023年3月	地中連続壁部の施工中のトラブル発生 （溝壁の崩壊，鉄筋の高止り等）
2023年6月	不具合の確認（南基礎）
2023年8月	不具合の確認（北基礎）
2024年2月	重大事故等対処施設の設計及び工事計画変更認可申請 （補正申請：防潮堤の設計変更の追加）
2024年3月 ～2024年8月	審査会合（第1240回，第1259回，第1280回）
2024年8月	重大事故等対処施設の設計及び工事計画変更認可申請 （2024年2月申請の分割：防潮堤の工事計画を他の審査案件から分割）
2024年12月 ～2026年4月	審査会合（第1309回，第1329回，第1360回，第1376回，第1407回）

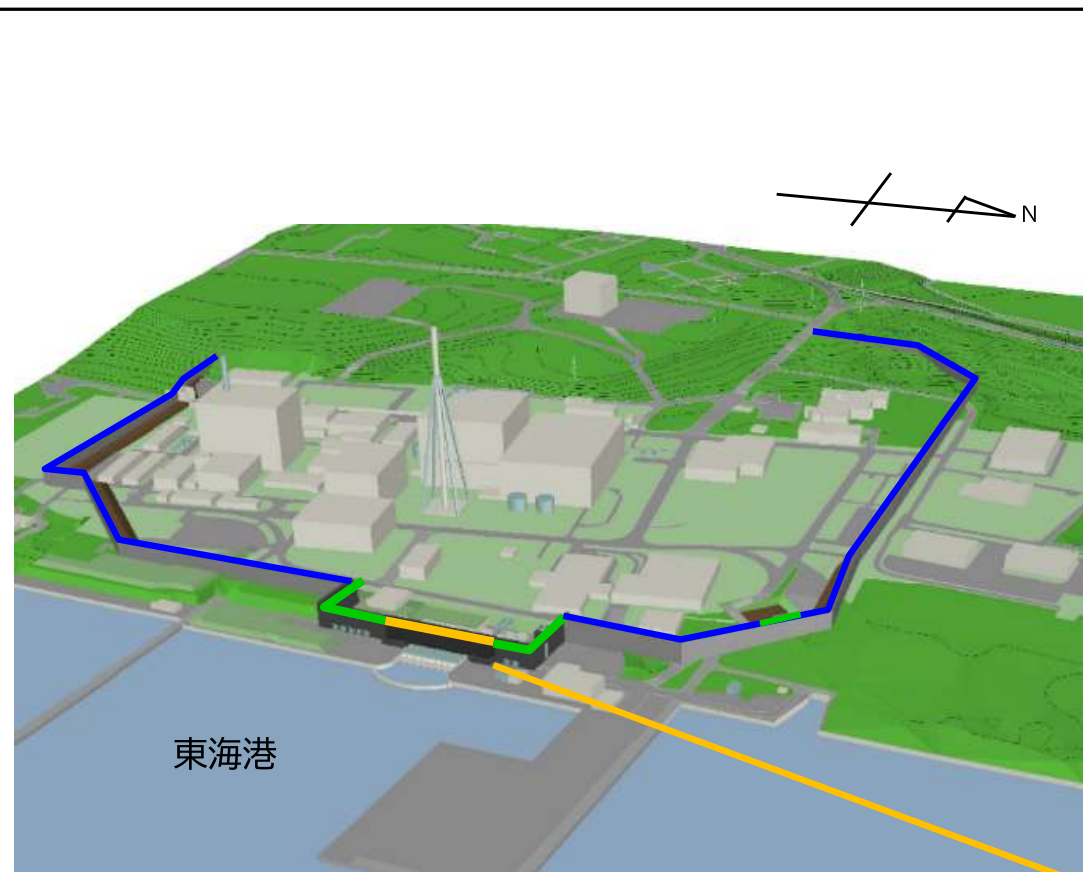
※地中連続壁部の不具合事象

- ・ 中実側の掘削を実施したところ、地中連続壁部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部の地山側においてもコンクリート未充填を確認した（2023年6月～2024年5月）。
- ・ 地中連続壁部の施工中、北基礎の地中連続壁部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（2023年3月）。

※鉄筋の変形，脱落，欠損

1. 概要

(1) 構造変更に至った経緯 (2/3)



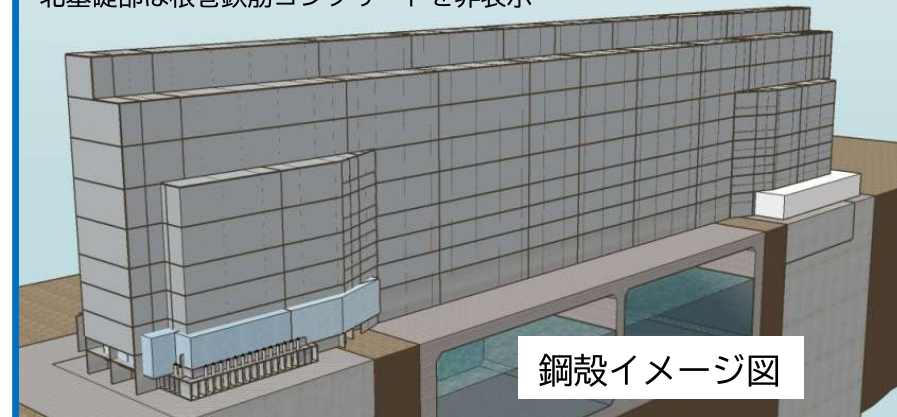
東海港

防潮堤

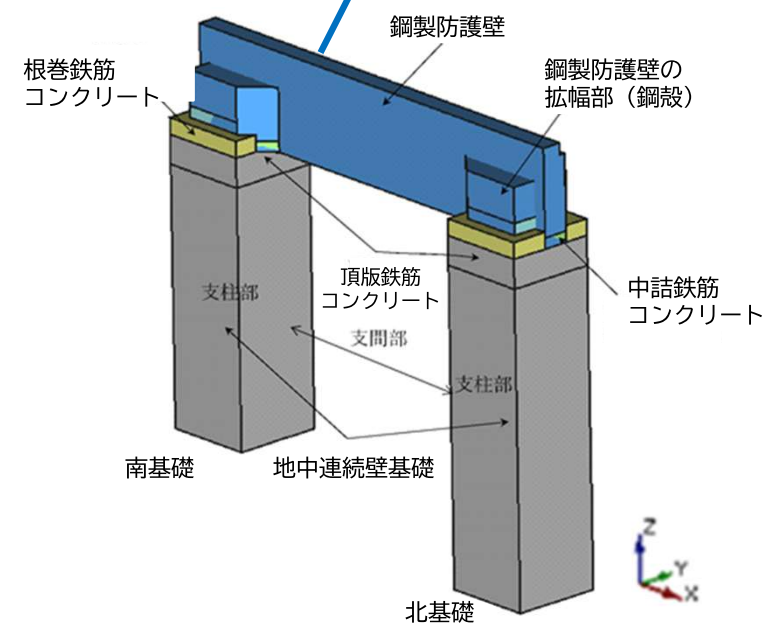
- ： 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁
- ： 鉄筋コンクリート防潮壁
- ： 鋼製防護壁

東海第二発電所 防潮堤設置計画図

北基礎部は根巻鉄筋コンクリートを非表示



鋼殻イメージ図

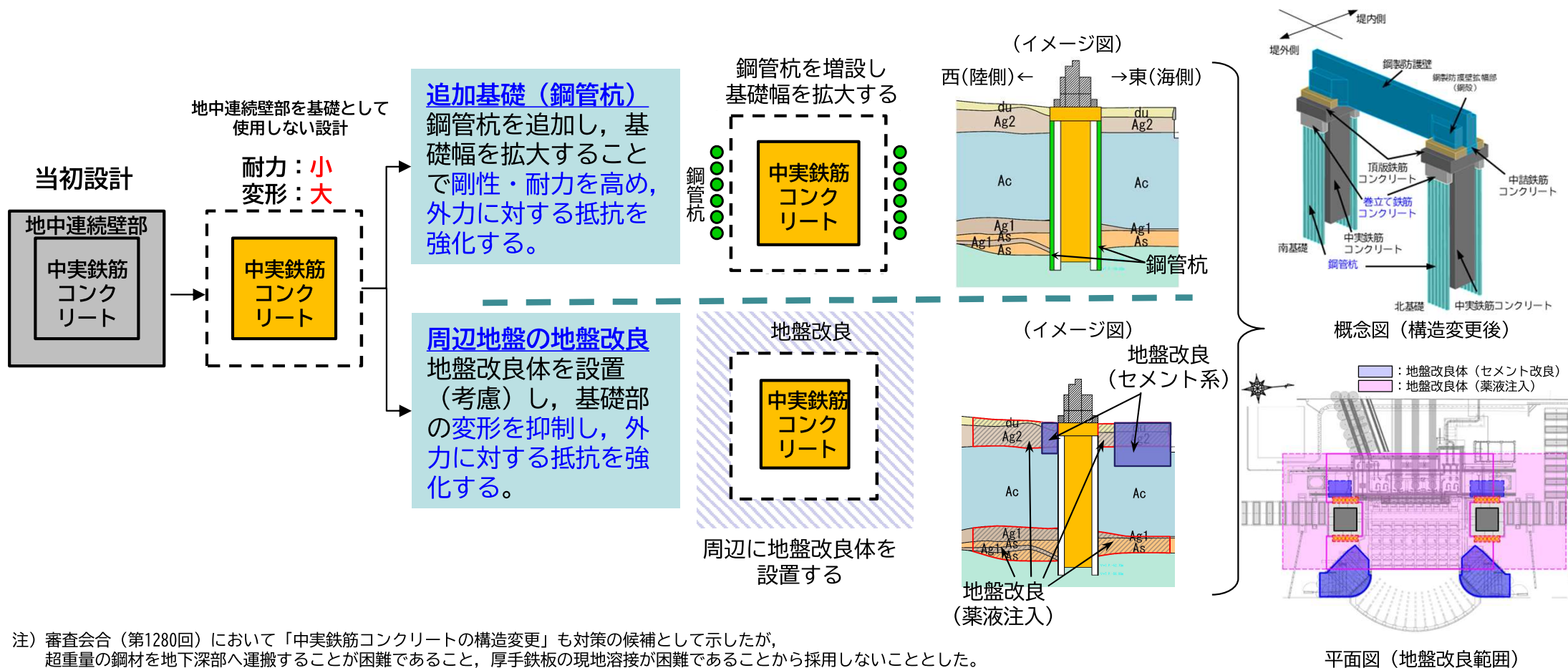


防潮堤（鋼製防護壁） 構造概要図（既工認時）

1. 概要

(1) 構造変更に至った経緯 (3/3)

- 地中連続壁部の不具合事象を確認したため、当該不具合の状況を調査したが、その全容を把握できなかった。このため、不具合が生じた地中連続壁部は残置するが、基礎として使用しない設計に変更することを説明（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することを説明（審査会合（第1309回））。



1. 概要

(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（津波と余震の重畳時）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) はじめに
- (2) 耐震評価
- (3) 耐津波評価
- (4) 地中連続壁部の残置影響評価
- (5) 止水機構
- (6) まとめ

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討
（１）はじめに：既工認※との構造比較

審査会合（第1329回）資料
を一部変更

防潮堤（鋼製防護壁）における既工認からの構造変更は以下のとおり

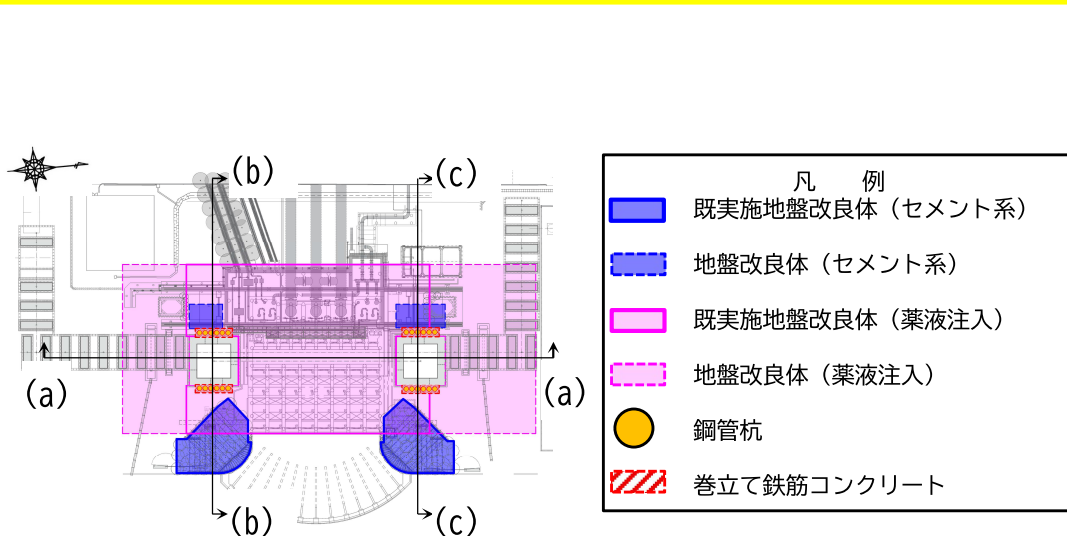
青字は、既工認から変更した箇所

	既工認	構造変更（工認設計モデル）
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. 地中連続壁をジバ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

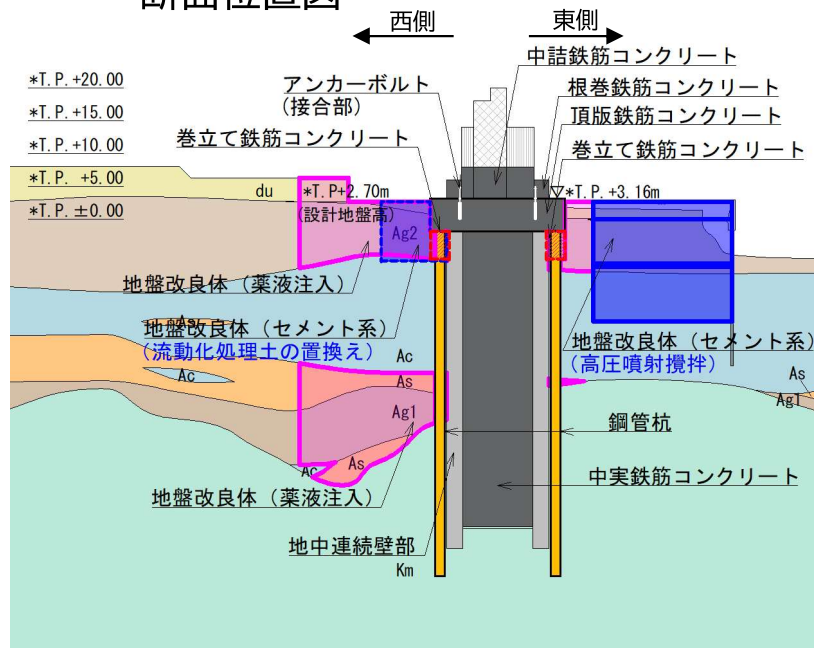
2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

(1) はじめに：防潮堤（鋼製防護壁）の構造概要

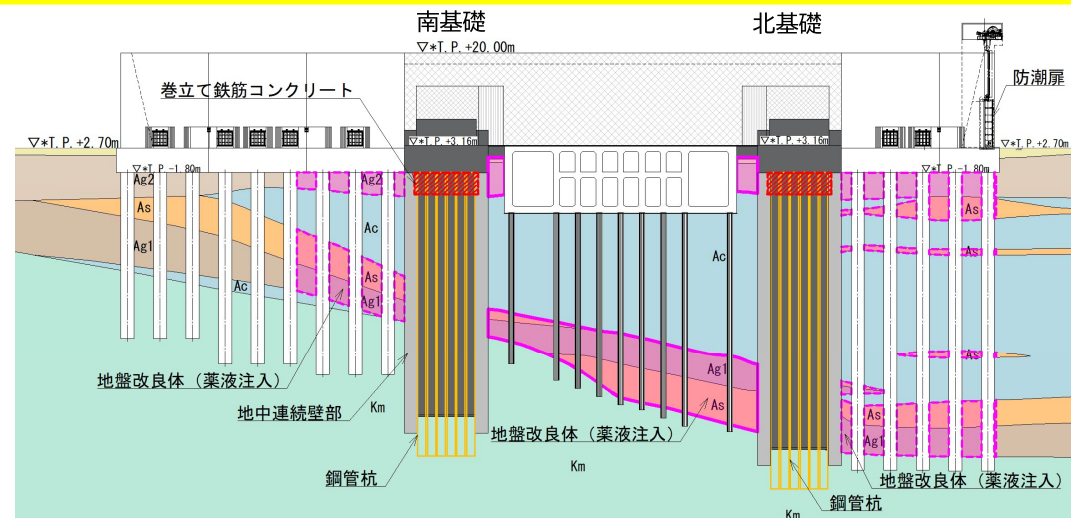
審査会合（第1329回）資料
を一部変更



断面位置図

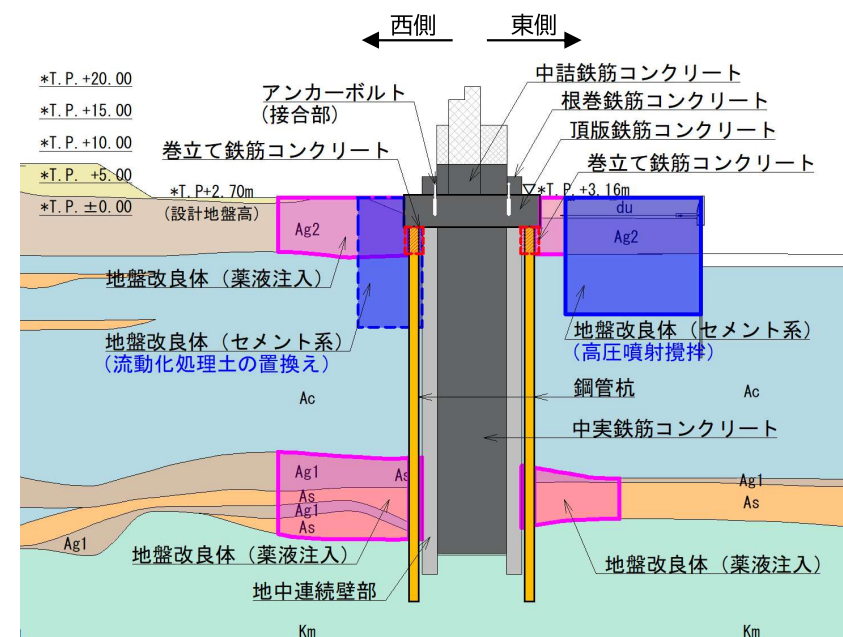


(b)-(b)断面図



(a)-(a)断面図

（鋼管杭は「投影」して記載。）



(c)-(c)断面図

（２）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見通しを得るため、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

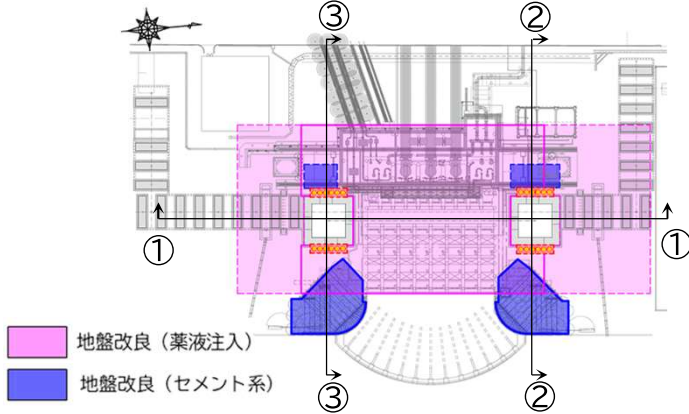
主な設計方針	STEP3	STEP4
解析モデル	既工認のモデルに構造変更を反映	同左
評価対象地震動	代表地震動のみ（ S_s -D1）	S_s 全波（既工認と同じ）
地盤ケース（地盤剛性）	既工認結果から厳しいと思われるケースを選定（地盤ケース③）	全ての地盤ケースを考慮（既工認と同じ）
評価対象部位	主要な部位のみ	全ての部位

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

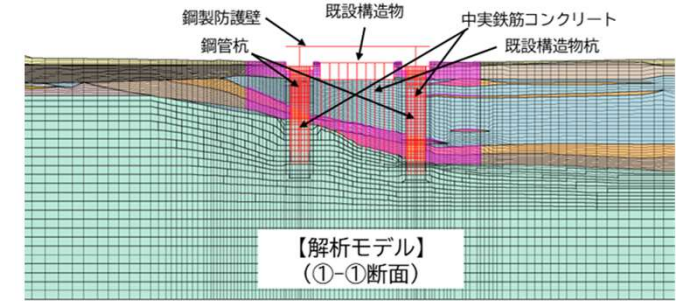
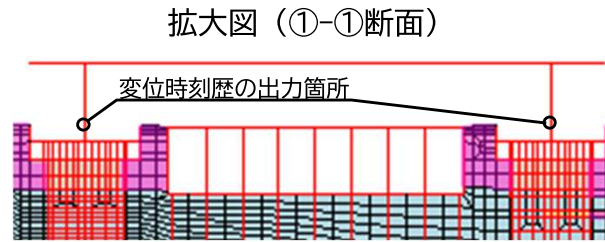
（2）耐震評価：解析モデル

- 耐震評価においてはSTEP3と同様、**鋼製防護壁基礎を2次元FEMモデルで、鋼製防護壁を3次元モデルで評価している**
- 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

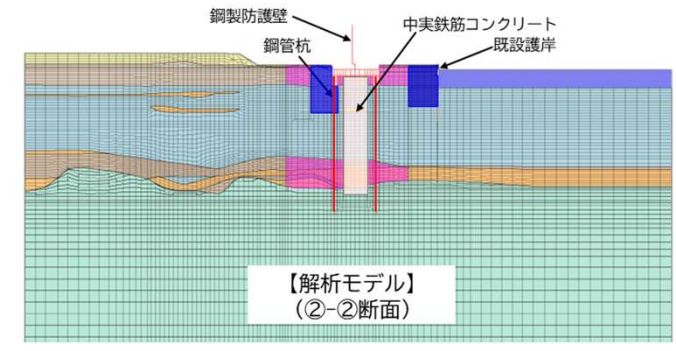
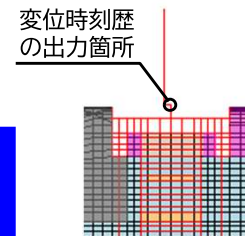
2次元FEMモデル（断面位置図）



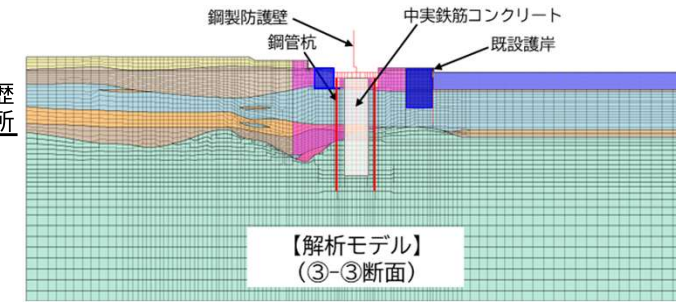
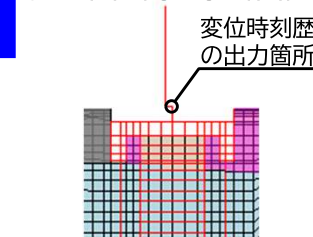
2次元FEMモデル（鋼製防護壁基礎）



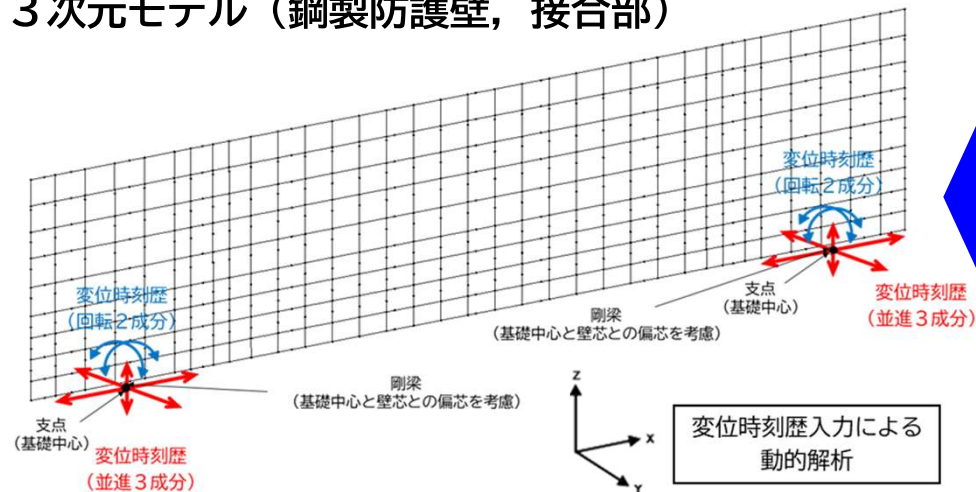
拡大図（②-②断面）



拡大図（③-③断面）

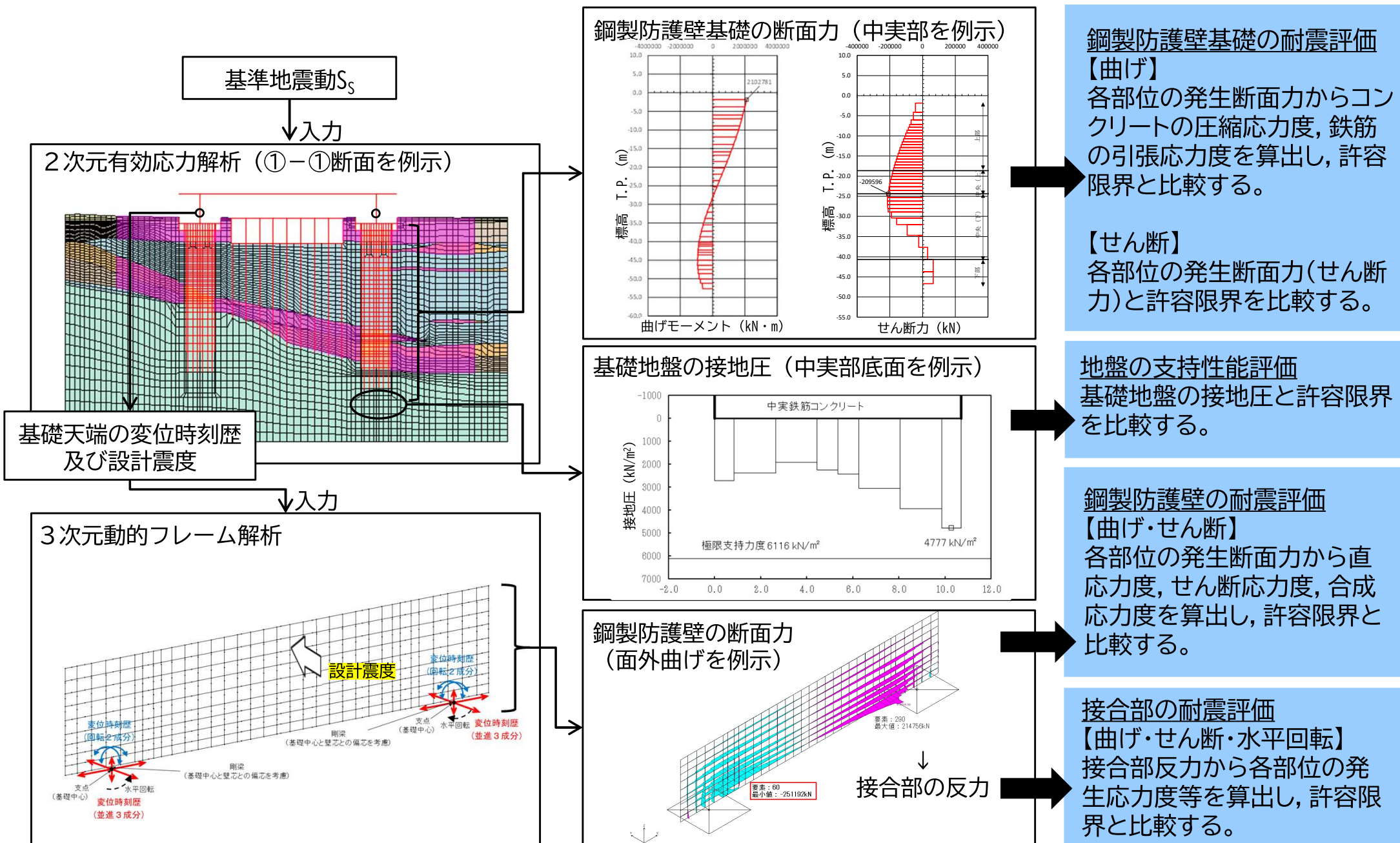


3次元モデル（鋼製防護壁，接合部）



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 （2）耐震評価：評価方法の概要



2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討
（2）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 S_s 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 S_s 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	②	③	④	⑤	⑥	
		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)	地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	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	原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	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	S _s -D1	地盤ケース①に対し 全波(12波)を評価 →					
		S _s -11						
		S _s -12		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				
		S _s -13		【最大値について】				
		S _s -14		・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”				
		S _s -21		・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”				
		S _s -22						
		S _s -31						
STEP3	S _s -D1			最厳ケース※3 想定として選定				

※1 S_s -D1については水平・上下の位相反転（計4波）を、 S_s -31については水平の位相反転（計2波）を考慮する
※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）
※3 周辺地盤の地盤改良体（薬液注入）の効果や既工認の評価結果に基づき、耐震評価が最も厳しくなると想定した代表1ケースを選定

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（2）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

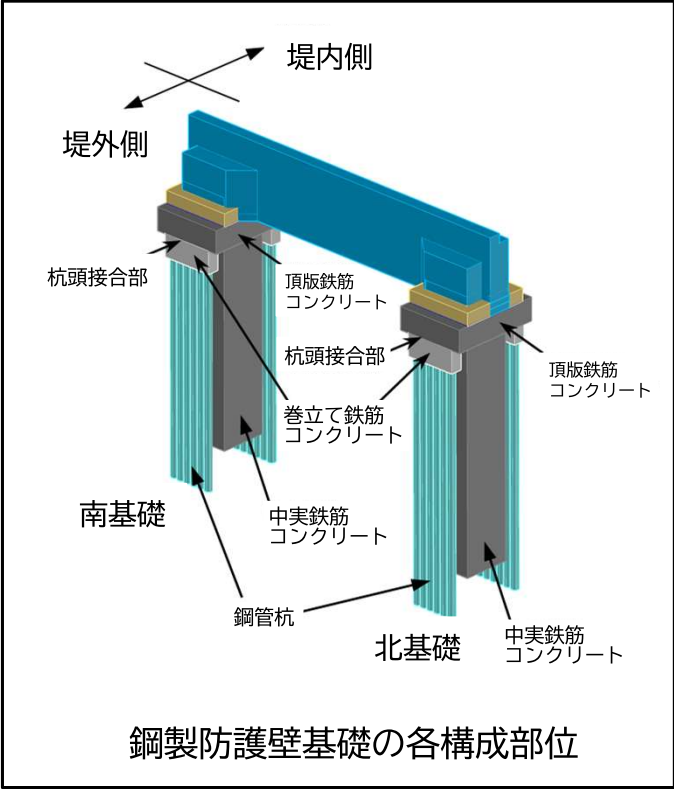
区分	評価対象部位		耐震評価		備考
			STEP3	STEP4	
鋼製防護壁基礎	中実鉄筋コンクリート		○	○	
	鋼管杭		○	○	
	巻立て鉄筋コンクリート		○	○	
	杭頭接合部		○	○	
	頂版鉄筋コンクリート		○	○	
鋼製防護壁	鋼製防護壁	主部材	△	○	△：STEP3では、南北基礎の最大相対変位が既工認を下回ることをもって健全性を確認した
		補剛材	—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
		添接板	—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
	止水ジョイント		—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
	止水機構		—	○	—：細部の評価につき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
（2）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



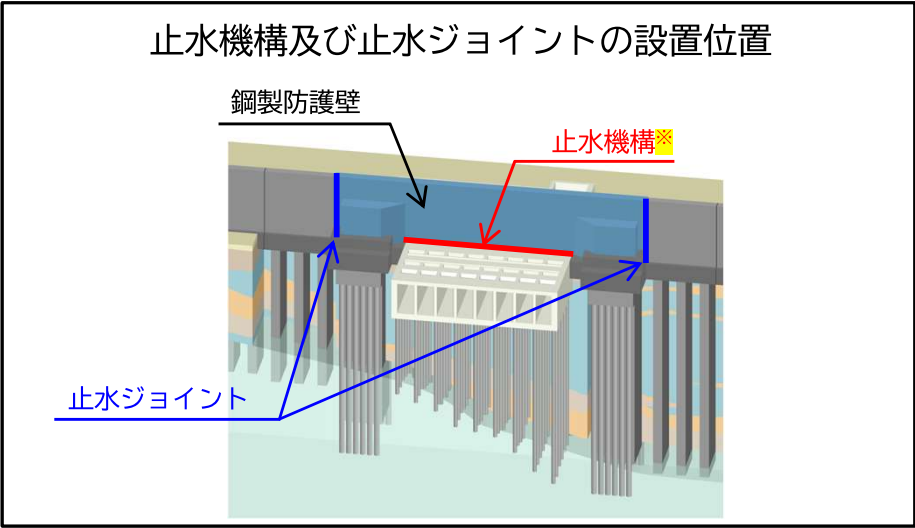
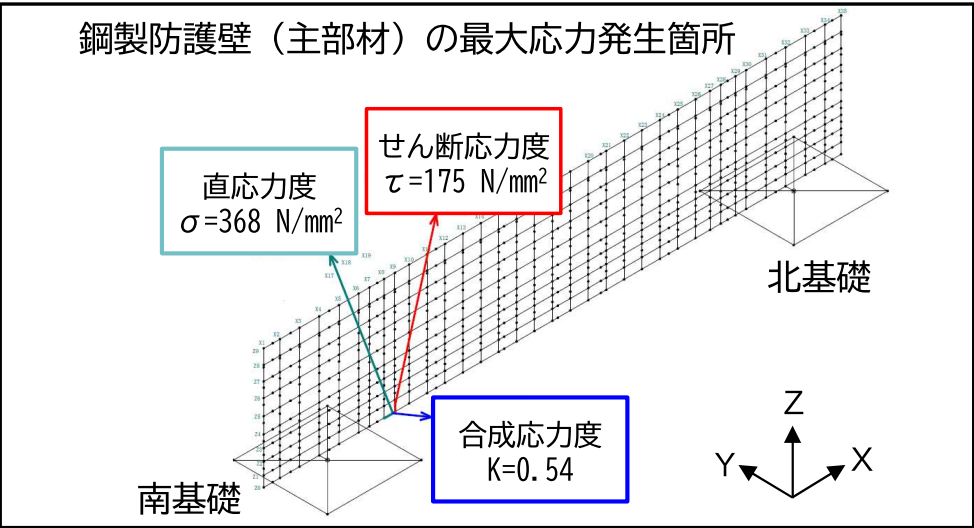
※ STEP3以降の設計進捗による中実鉄筋コンクリート（南基礎）のせん断補強筋追加及び頂版鉄筋コンクリート（南北基礎）の主筋の仕様向上を反映（次頁以降も同様）

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討
（2）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Ss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。						



※詳細構造は、p42参照

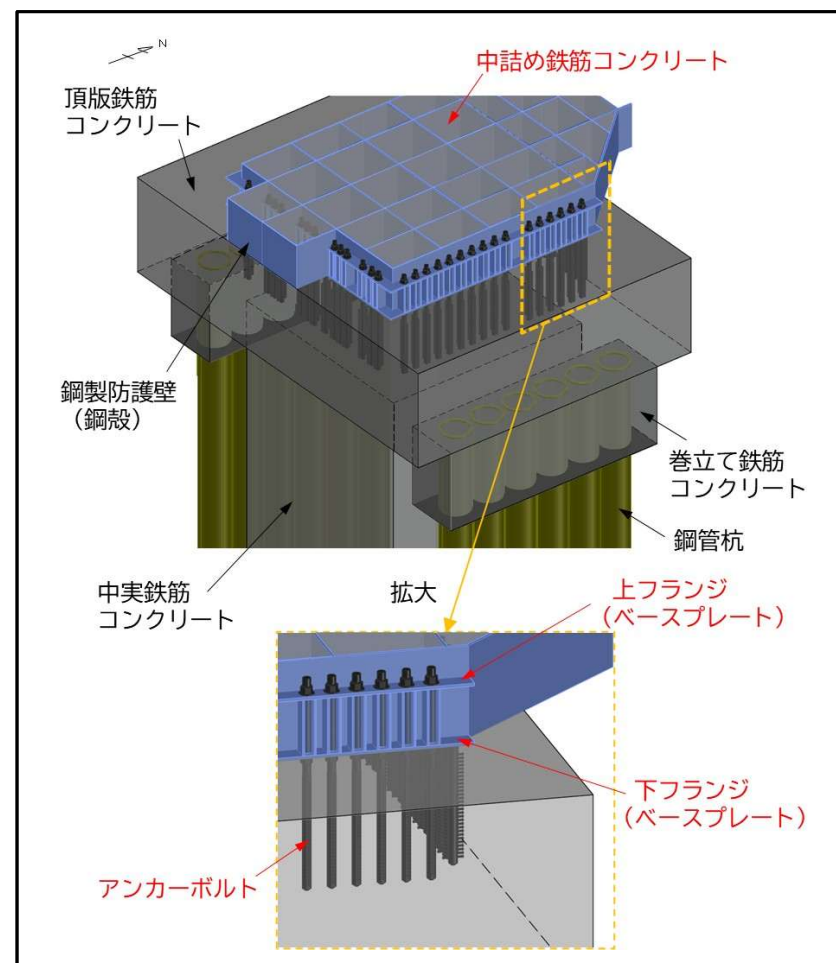
2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討 （2）耐震評価 ：評価結果（接合部）

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	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

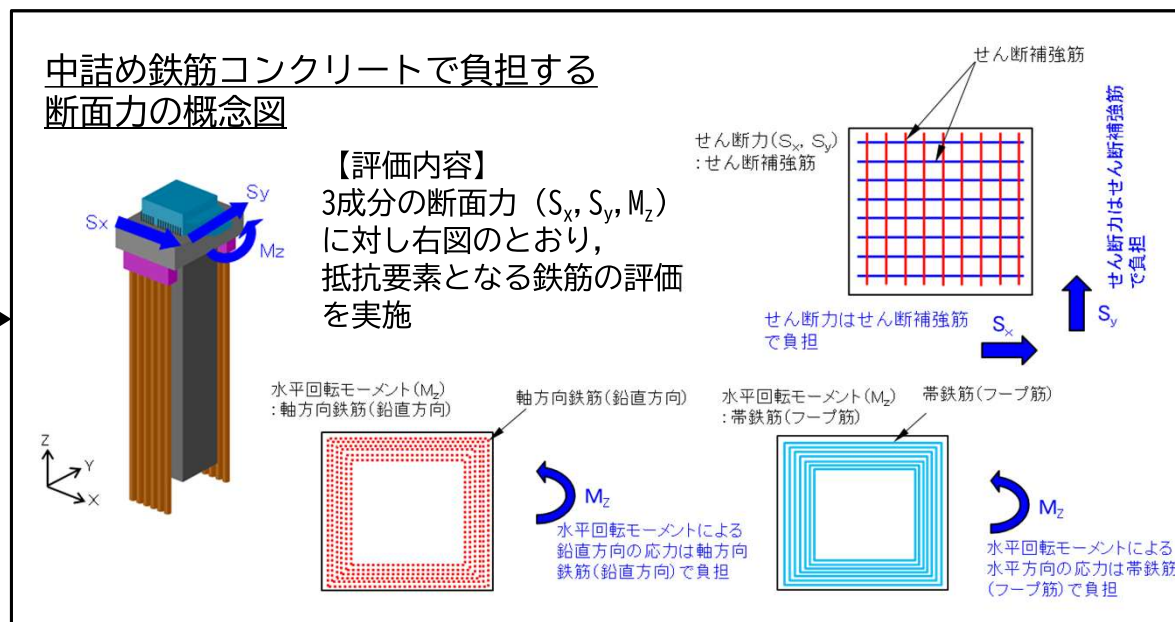
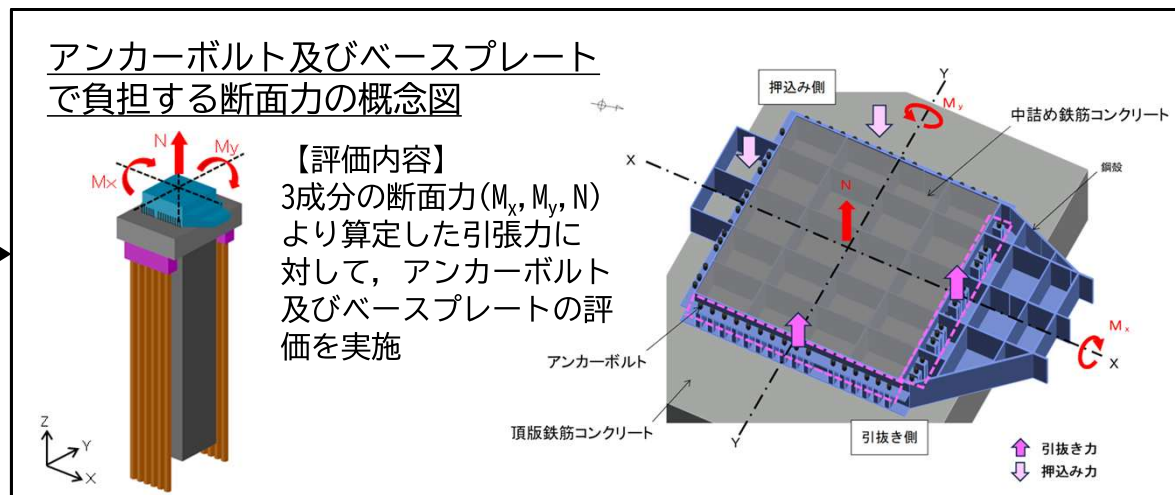
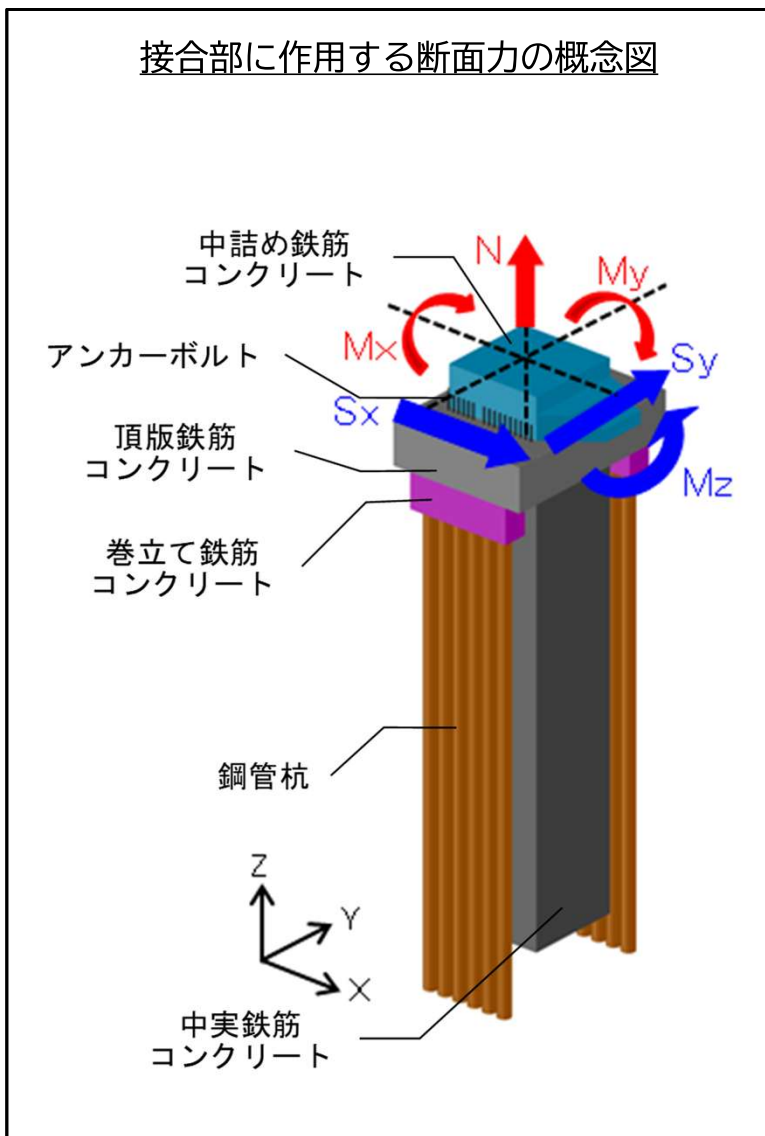
※ アンカーボルトの定着長は、地震動によらず鉄筋とコンクリートの材料により決定するため、必要定着長に対する実定着長を確認したものである



2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（2）耐震評価：評価結果（接合部）に係る補足

前頁に示す接合部の耐震評価に関連して、各部位の断面力分担及び各断面力に対する評価内容を以下に示す
なお、本頁に記載の内容は、後述する耐津波及び残置影響評価においても共通である

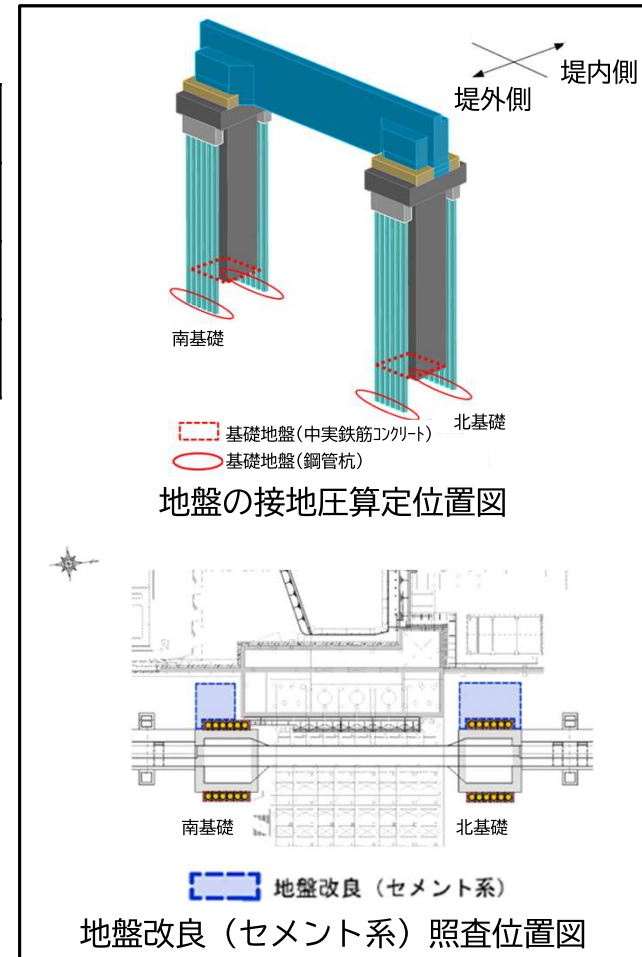
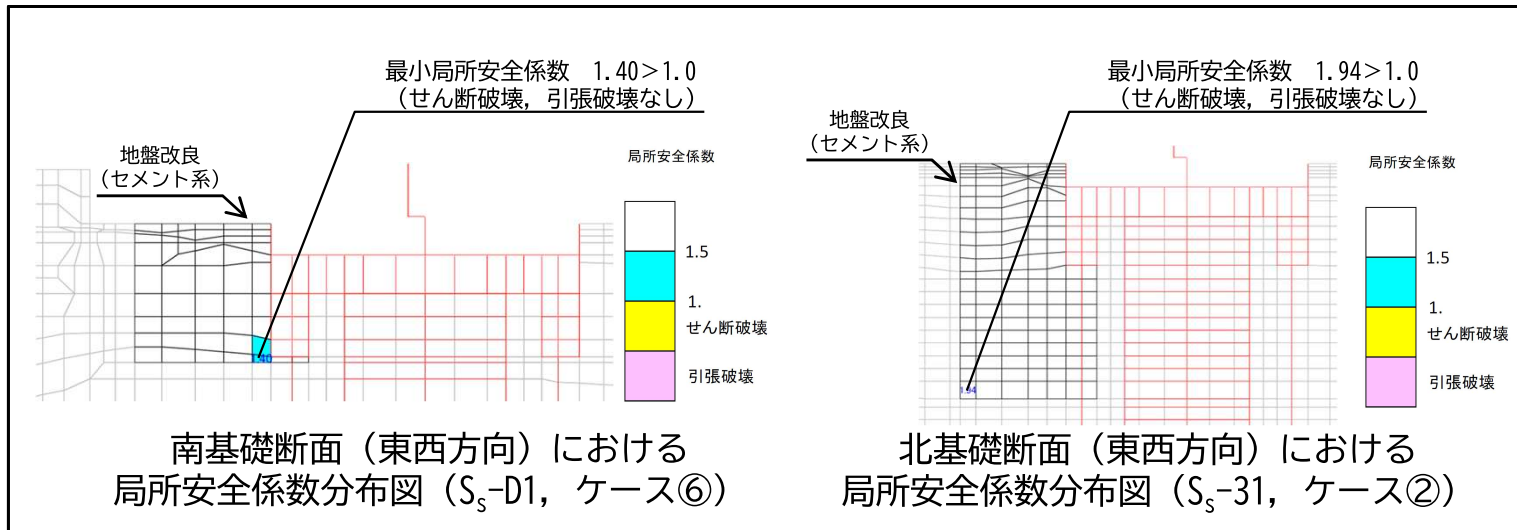


2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討 （2）耐震評価：評価結果（地盤）

- 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。					



（3）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見通しを得るため、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

※ 確率論的リスク評価において、全炉心損傷頻度に対して、津波のリスクが有意となる津波（防潮堤前面においてT.P.+24mとなるように設定）

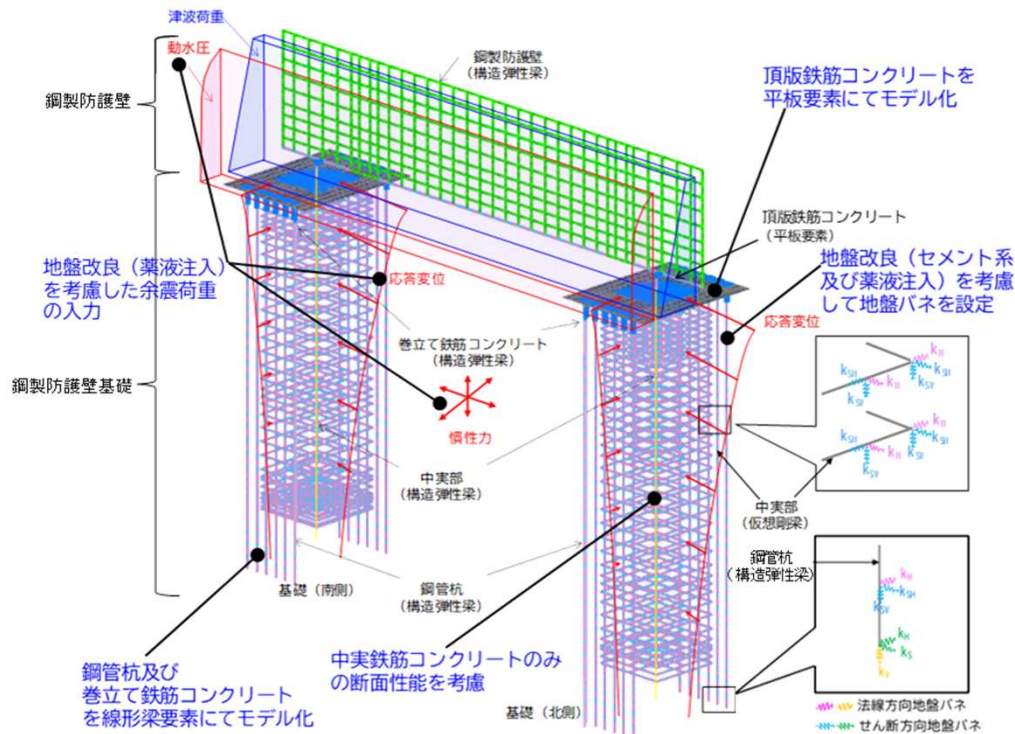
2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（3）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，3次元フレームモデルから成る
- 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

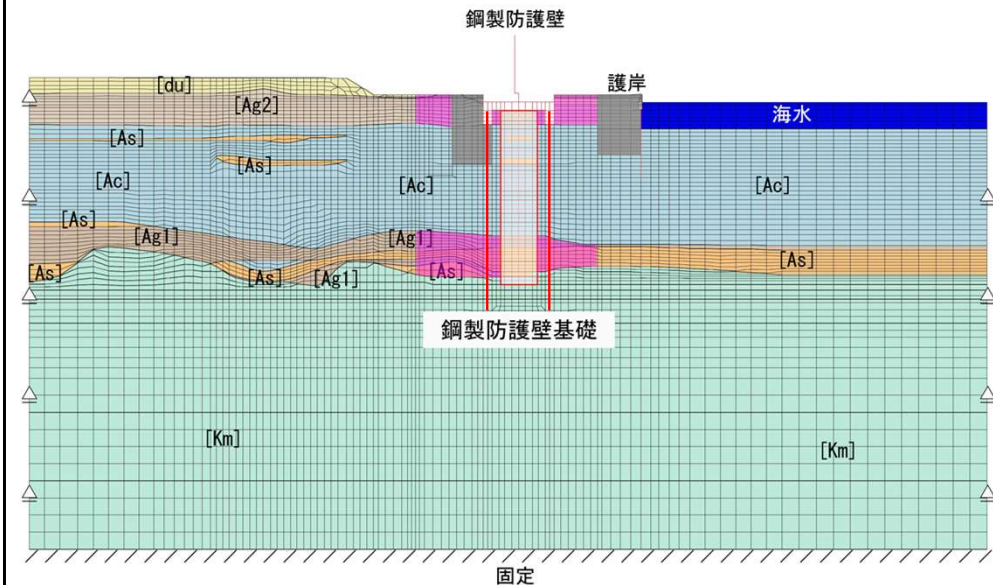
（評価部位：鋼製防護壁基礎，鋼製防護壁，接合部）



【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

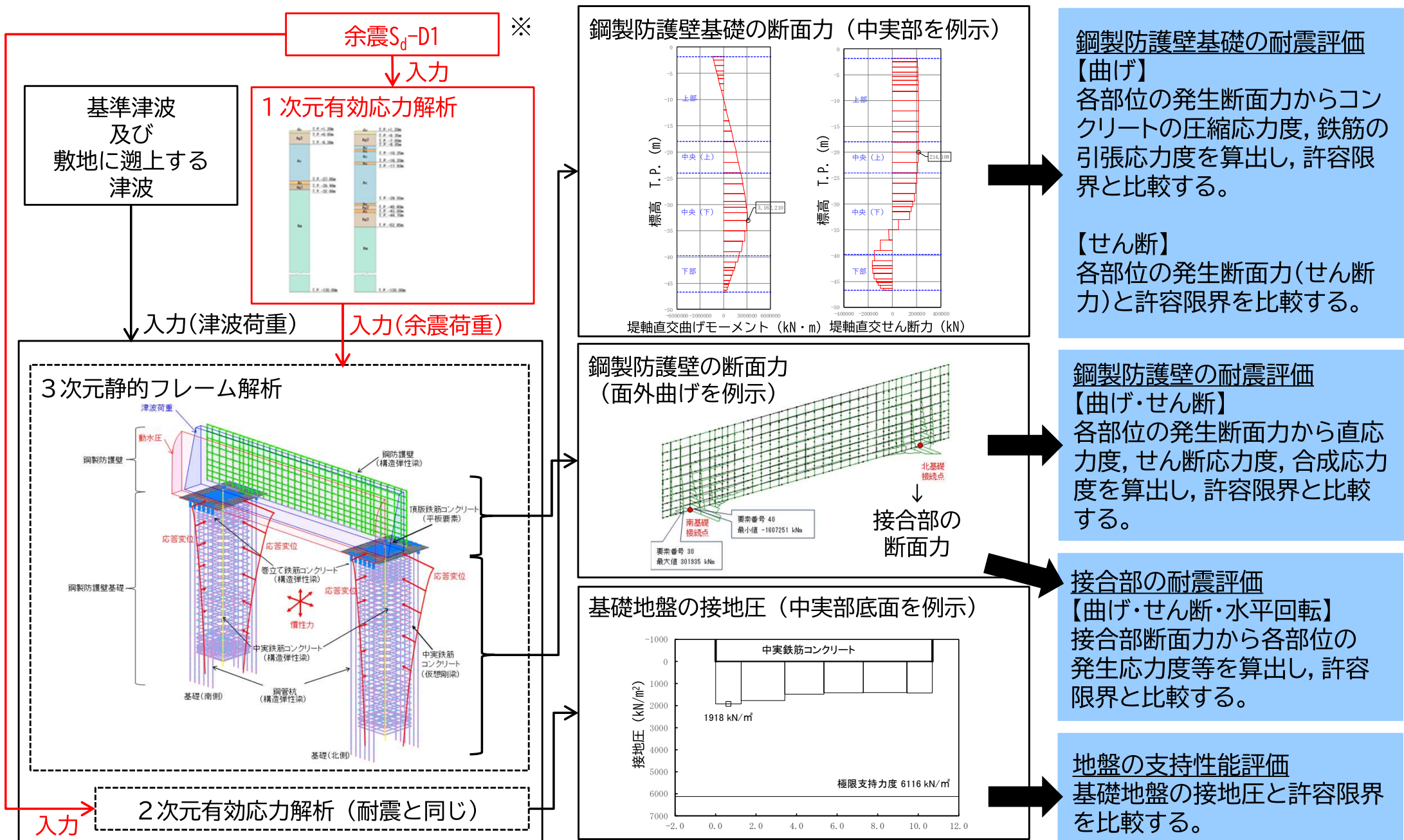
（評価部位：基礎地盤）



【解析モデル図】（基礎地盤の支持性能評価）

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（3）耐津波評価：評価方法の概要



（3）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，津波と余震の重畳時には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	
津波と余震 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. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（3）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

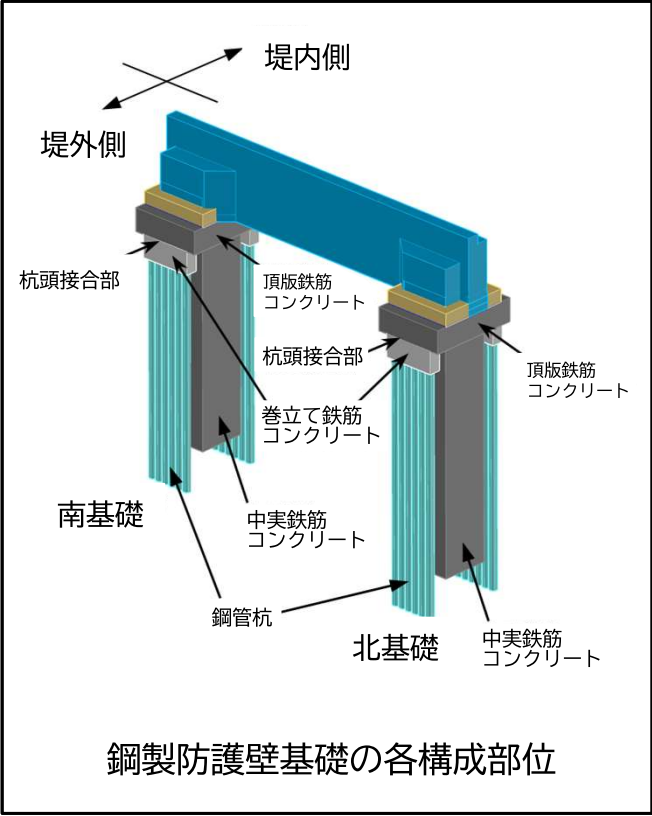
区分	評価対象部位		耐津波評価		備考
			STEP3	STEP4	
鋼製防護壁基礎	中実鉄筋コンクリート		○	○	
	鋼管杭		○	○	
	巻立て鉄筋コンクリート		○	○	
	杭頭接合部		○	○	
	頂版鉄筋コンクリート		○	○	
鋼製防護壁	鋼製防護壁	主部材	△	○	△：STEP3では、主部材の断面力が既工認を下回ることをもって健全性を確認した
		補剛材	—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
		添接板	—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
	止水ジョイント		—	○	—：細部の評価につきSTEP3では省略
	止水機構		—	○	—：細部の評価につきSTEP3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
（3）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※3	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
なお、工認設計モデルでは、地中連続壁の質量をモデルに組み込むことにより、余震時の慣性力が実際よりも大きく評価され保守的な結果となる

※2 地盤バネ1～2：津波時、地盤バネ3～5：津波と余震の重畳時

※3 STEP4の結果は、津波種別・地盤バネケースのいずれもSTEP3と同じだが、STEP3(第1360回審査会合)の最大照査値に記載誤りがあったため最大照査値を訂正した

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

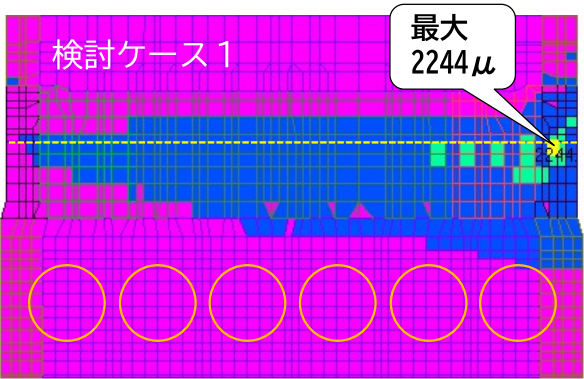
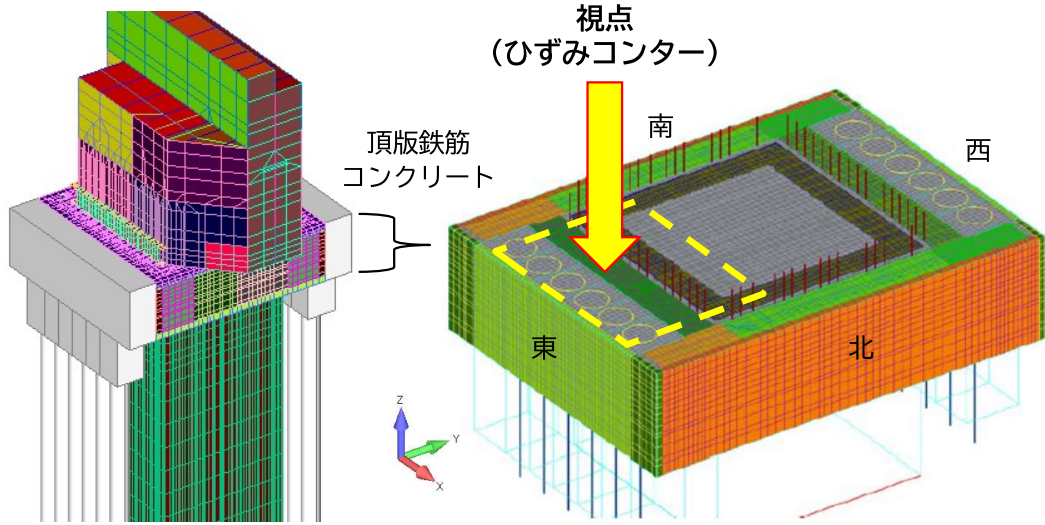
(3) 耐津波評価：評価結果（SD685のひずみレベルに係る詳細検討）

- ・ 頂版鉄筋コンクリートに用いている高強度鉄筋SD685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鉄筋ひずみが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

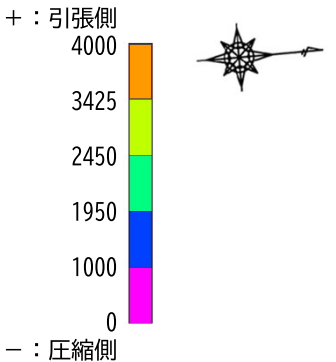
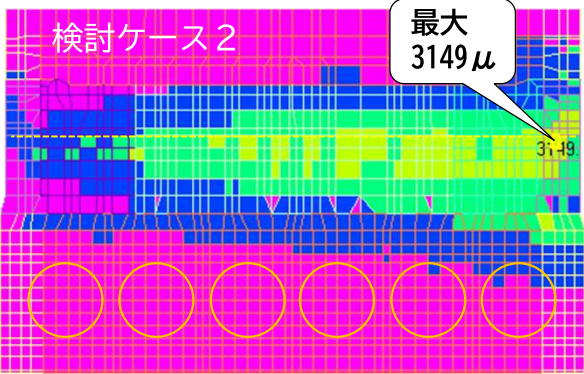
検討 ケース	津波 種別	余震荷重 組合せ係数			地盤 バネ
		X方向 (堤軸方向)	Y方向 (堤軸直交方向)	Z方向 (鉛直方向)	
ケース1 (STEP3)	敷地に 遡上する 津波	+1.0	+0.4	+0.4	地盤 バネ4
ケース2 (STEP4)		-0.4	+1.0※	+0.4	

※ 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

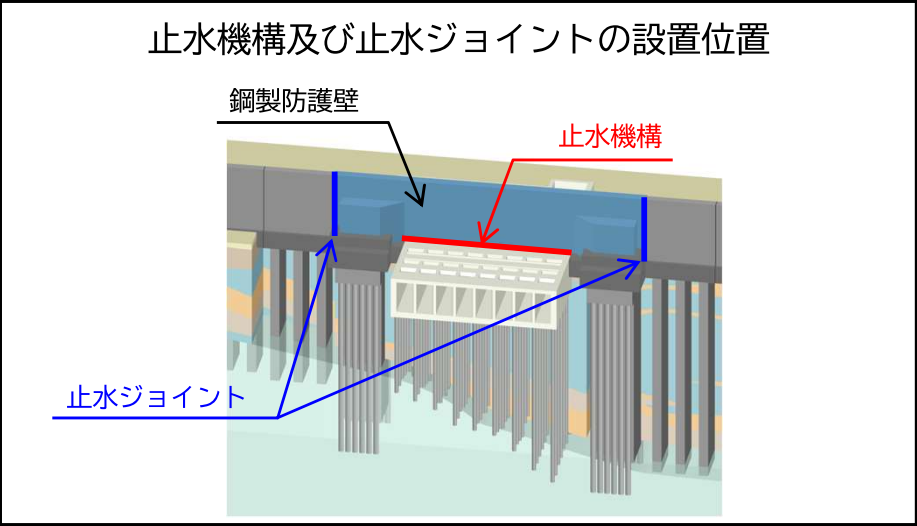
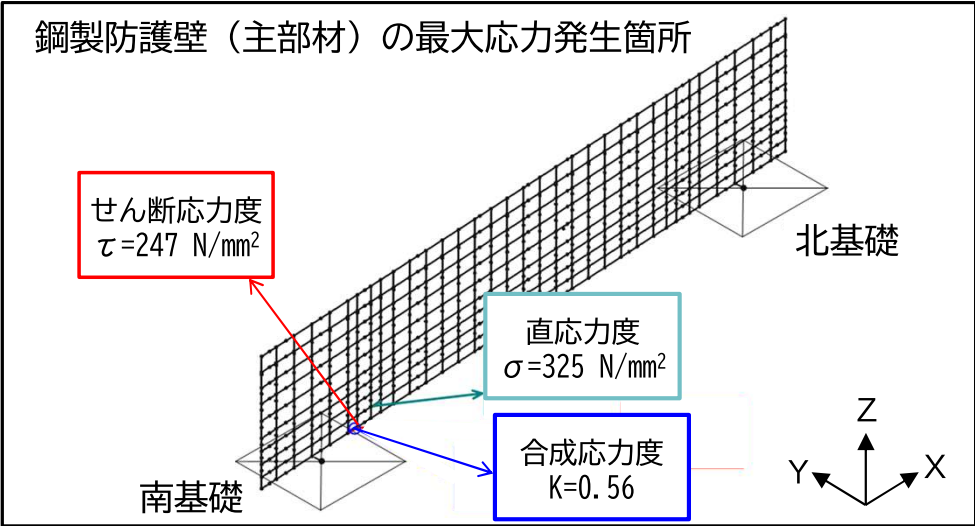
■ 最大ひずみ発生位置

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討
（3）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Sd-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。					



※：地盤バネ1～2：津波時、地盤バネ3～5：津波と余震の重畳時

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（3）耐津波評価：評価結果（接合部）

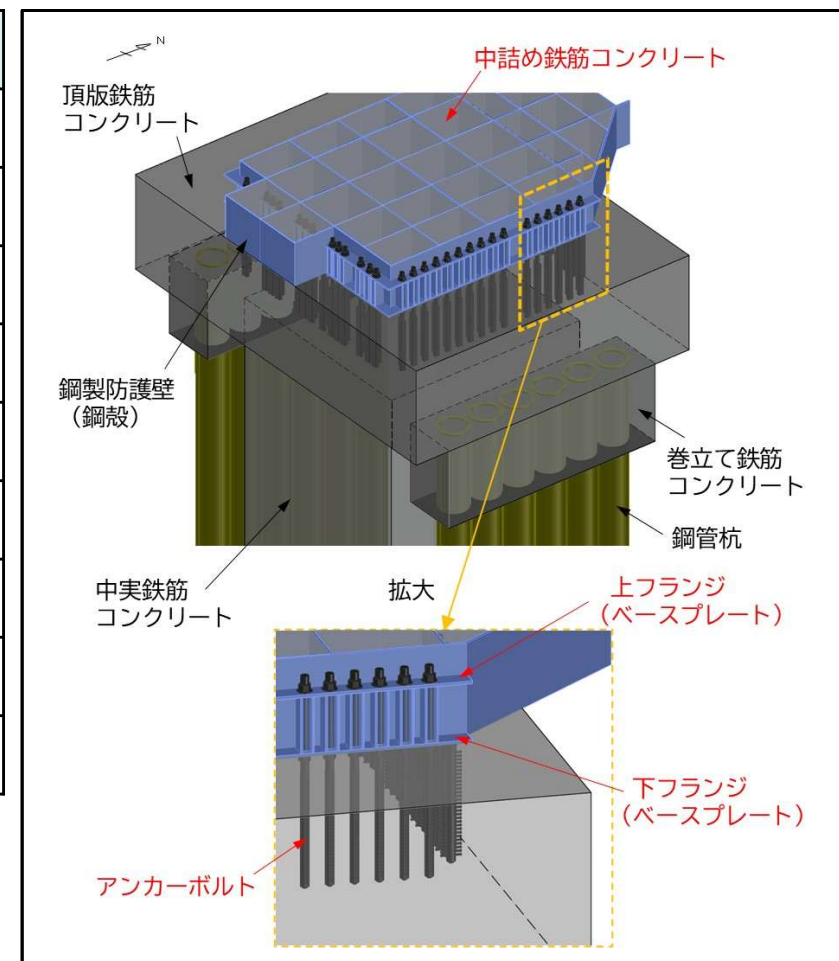
各評価対象部位に発生する応力度及び断面力が許容限界を下回ることを確認した

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：津波と余震の重畳時



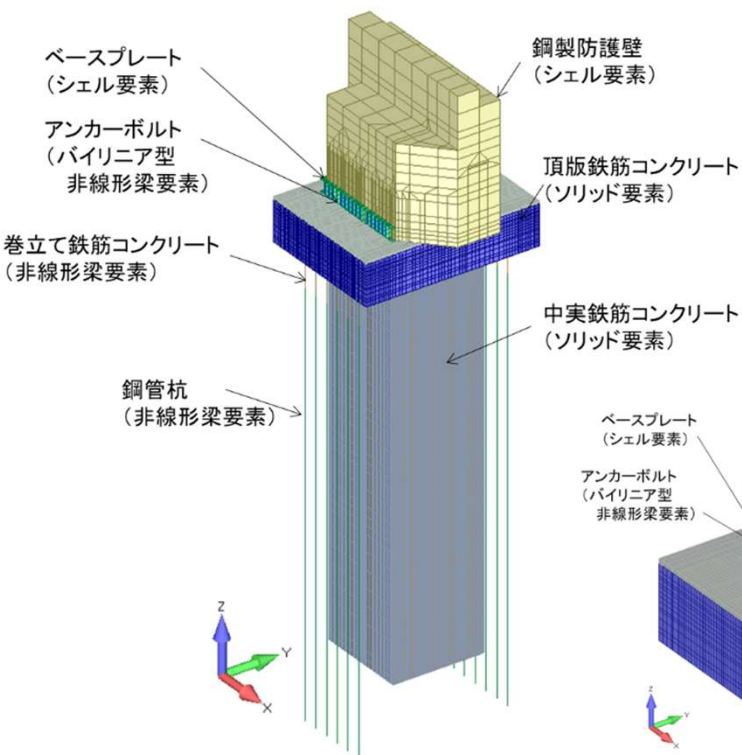
2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（3）耐津波評価：評価結果（接合部）に係る補足

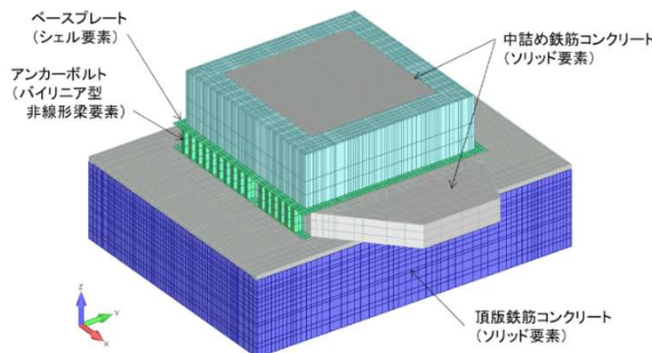
- 接合部に配置するアンカーボルトは、「鋼構造物設計基準（Ⅱ 鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成15年10月）」に基づき設計している。当該基準は橋梁の設計を想定しているため，防潮堤に作用する津波荷重のような大規模な水平荷重に対する工認設計の妥当性を確認することを目的に，3次元材料非線形解析（COM3）による詳細評価を実施した
- COM3による詳細評価の結果，アンカーボルトに発生する引張力が，許容限界以下であることを確認した

耐津波評価において接合部が最も厳しい以下のケースを検討対象とする。

- 評価対象：南基礎
- 敷地に遡上する津波と余震の重畳時

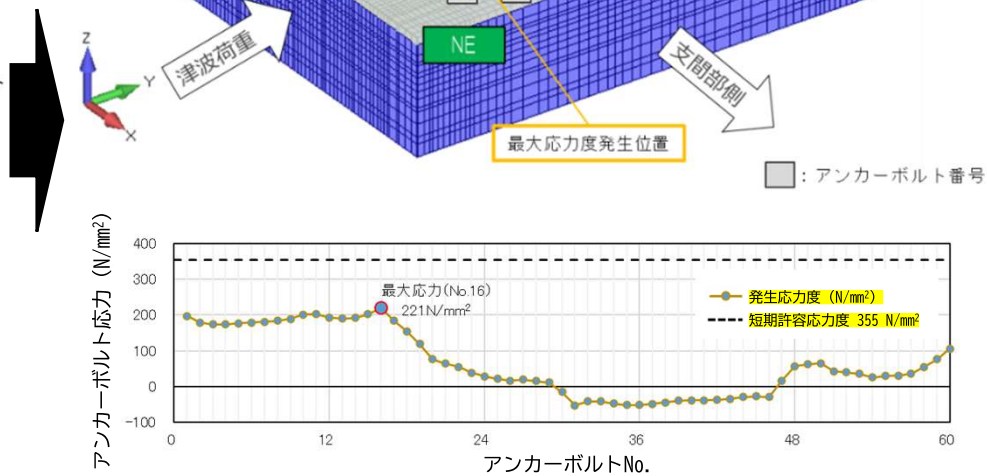


（全体図）



（接合部）

3次元材料非線形解析（COM3）の解析モデル



COM3におけるアンカーボルトの評価結果

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

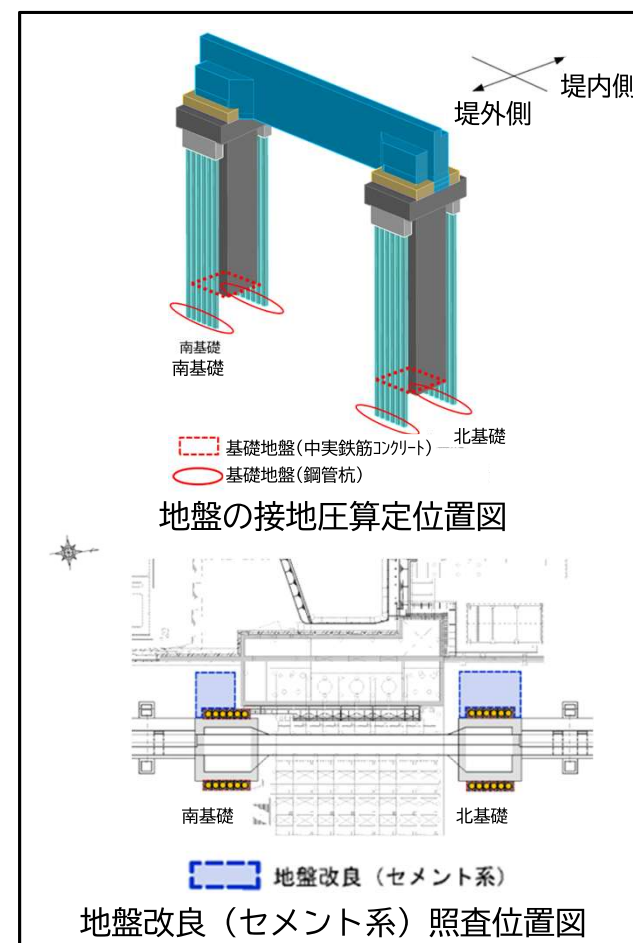
（3）耐津波評価：評価結果（地盤）

- 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：津波と余震の重畳時）



（４）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では工認設計モデルによる詳細設計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※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（ S_s -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 →S_s-31（①，③断面），S_s-D1（②断面） - 鋼製防護壁，接合部 →S_s-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

※ 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（詳細はp35）

（４）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による詳細設計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津波種別と地盤バネの組合せを選定し、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

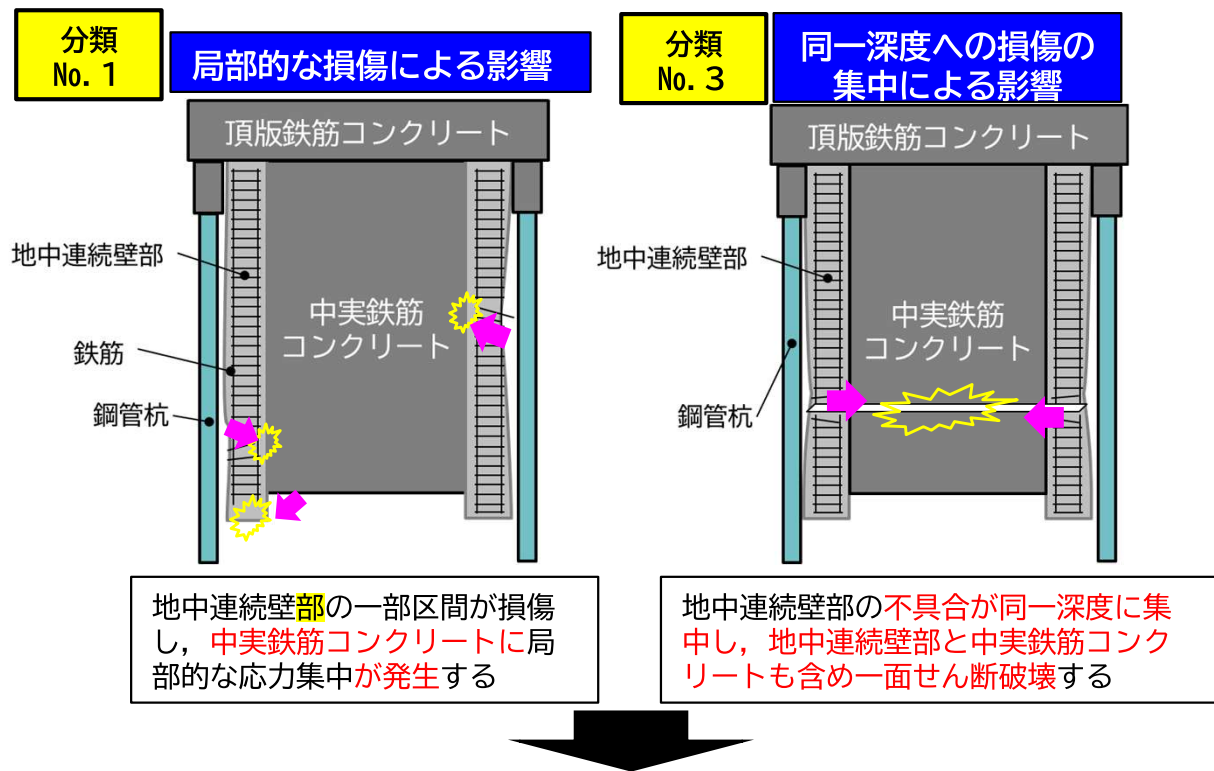
主な設計方針	STEP3	STEP4
解析モデル	残置影響評価モデルにより算出した断面力に対し、中実鉄筋コンクリートの部材断面のみで照査を実施	同左
津波種別	敷地に遡上する津波	工認設計モデルの評価結果を踏まえ、以下のとおり、評価対象津波を設定 - 鋼製防護壁基礎、接合部、鋼製防護壁 →敷地に遡上する津波 - 地盤 →敷地に遡上する津波、基準津波
地盤バネ※	以下のとおり、代表的な地盤バネを設定 - 鋼製防護壁基礎 →地盤バネ 1～5 - 鋼製防護壁 →地盤バネ 5 - 接合部 →地盤バネ 5	工認設計モデルの評価結果を踏まえ、以下のとおり、地盤バネ等を設定 - 鋼製防護壁基礎 →地盤バネ 1～5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

※ 地盤の評価においては地盤ケース①～⑥を実施

2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（4）地中連続壁部の残置影響評価：残置影響評価方針

- 残置影響評価においては、地中連続壁部の施工時に確認された不具合事象に加え、将来的に想定すべき不具合事象を考慮した上で設計に影響を与え得る誘発事象を整理した
- 整理の結果、想定した誘発事象のうち分類No.1（局所的な損傷による影響）、分類No.3（同一深度への損傷の集中による影響）を設計上考慮すべき誘発事象として設定した



その他の誘発事象

分類
No. 2

大変形による影響

- 地中連続壁部及び周辺地盤の状況を踏まえ、地中連続壁部が単独で大変形し、隣接する鋼管杭等に接触して想定外の荷重が発生することはない

分類
No. 4

経年劣化の進展に関する影響

- 地中連続壁部の周辺環境や中実鉄筋コンクリートの被り厚等を踏まえ、経年劣化（中性化、塩害、凍害等）による影響はない

分類
No. 5

近傍工事への影響

- 地中連続壁部の近傍工事である地盤改良体の設置や鋼管杭の打設について、その施工方法を踏まえ、露出した鉄筋等が問題となることはない

誘発事象による設計・施工影響の有無

地中連続壁部の強度・剛性に不均一性が生じることを想定して、これに伴う中実鉄筋コンクリートの発生断面力の変動を、設計上適切に考慮する必要がある。

上述した強度・剛性の不均一による応力集中や損傷は、その発生位置及び程度に不確さがある。このため、残置影響評価においては、不明確な応力集中及び損傷の影響を包絡できるように、発生する断面力及び荷重を負担する部材に対して保守的な条件を設定する。

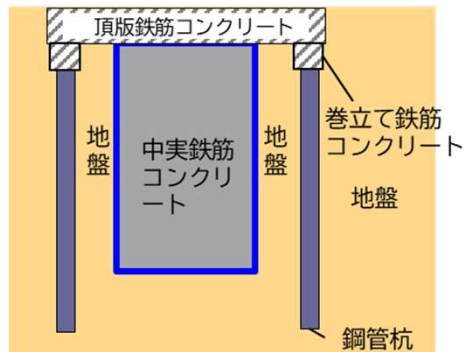
2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（４）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であり，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である
- また，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ことを目的として，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・剛性低下の境界部を設定した評価（部分欠損モデルによる評価）も行う（STEP3と同じ）

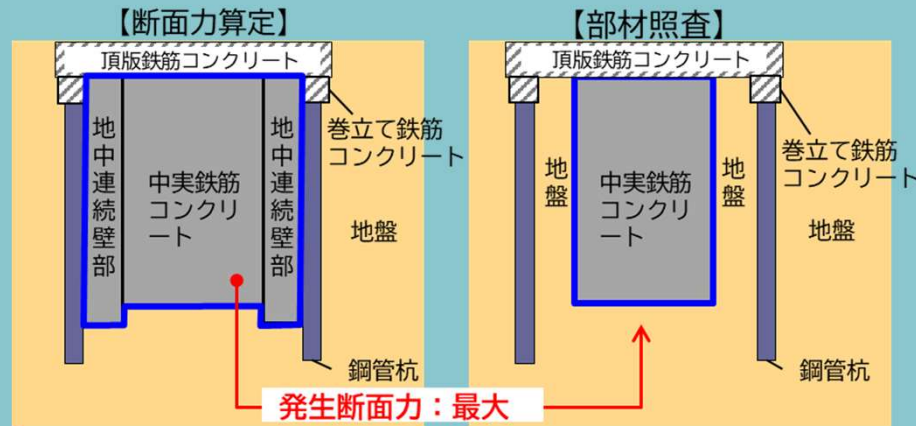
【工認設計モデル】

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



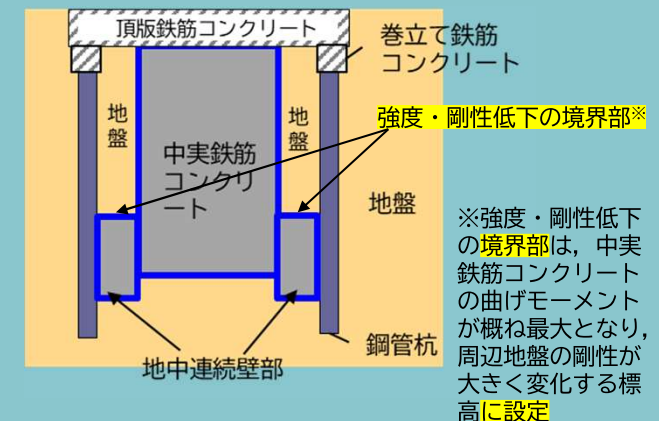
【残置影響評価モデル】

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（地盤と地中連続壁部を上下反転させた計2ケースを実施）



2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（4）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

- 残置影響評価については、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※1を選定する

（耐震評価）

※1：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の組合せ

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	工認設計モデルにて解析断面毎に照査値が最大となる1波を選定することで、各評価対象部位に対し厳しいケースが包絡される ➤ ①-①断面，③-③断面：Ss-31 ➤ ②-②断面：Ss-D1	全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	工認設計モデルにて南北の基礎間相対変位が最大となる1波を選定することで、各評価対象部位に対し厳しいケースが包絡される ➤ 3次元モデル：Ss-D1	工認設計モデルにて南北の基礎間相対変位が最大となる地盤ケースを選定することで、各評価対象部位に対し厳しいケースが包絡される ➤ 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※2
鋼製防護壁基礎	工認設計モデルにて照査値が最大となる津波荷重を選定することで、各評価対象部位に対し厳しいケースが包絡される ➤ 3次元モデル：敷地に遡上する津波	全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 (津波と余震の重畳時のみ)	同上	工認設計モデルにて照査値が最大となる地盤バネを選定することで、各評価対象部位に対し厳しいケースが包絡される ➤ 3次元モデル：地盤バネ5
接合部 (津波と余震の重畳時のみ)	同上	津波と余震の重畳時における全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 (津波と余震の重畳時のみ)	全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	全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

（４）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 ー：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	ー	(○)	ー	(○)	
		添接板	ー	(○)	ー	(○)	
	止水ジョイント		ー	(○)	ー	(○)	
	止水機構		ー	○	ー	○	
接合部	アンカーボルト		△	○	○	○	・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依り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
	ベースプレート		ー	○	ー	○	
	中詰め鉄筋コンクリート		△	○	○	○	
地盤	基礎地盤	中実部	ー	○	ー	○	
		鋼管杭部	ー	○	ー	○	
	地盤改良（セメント改良）		ー	(○)	ー	(○)	

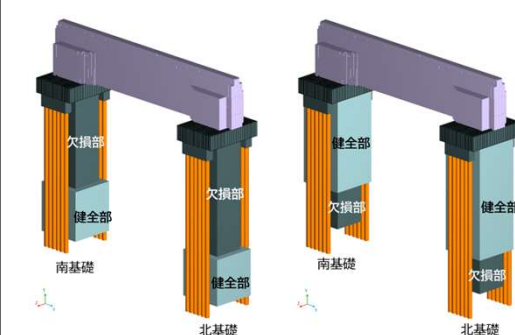
2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（４）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) 0.47	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			

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 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

（４）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Ss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	

③地盤

※ 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。

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/m²)	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/m²)	4912	5039	Ss-D1	ケース④	4017	Ss-D1, ケース②

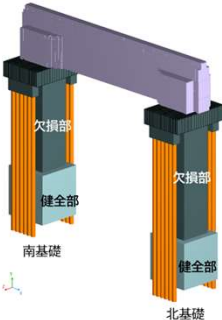
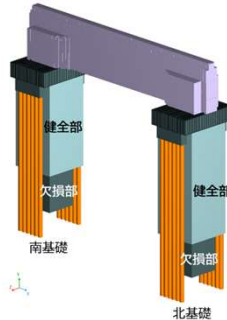
2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

（４）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	津波種別	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			
	 欠損部 健全部 南基礎 北基礎  健全部 欠損部 南基礎 北基礎 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

（4）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	津波種別	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Sd-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（p42参照）	
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)※	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

※ 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 種別	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/m ²)	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/m ²)	4338	5092	遡上津波	ケース③	4657	遡上津波, ケース③



2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討
（5）止水機構：静的評価

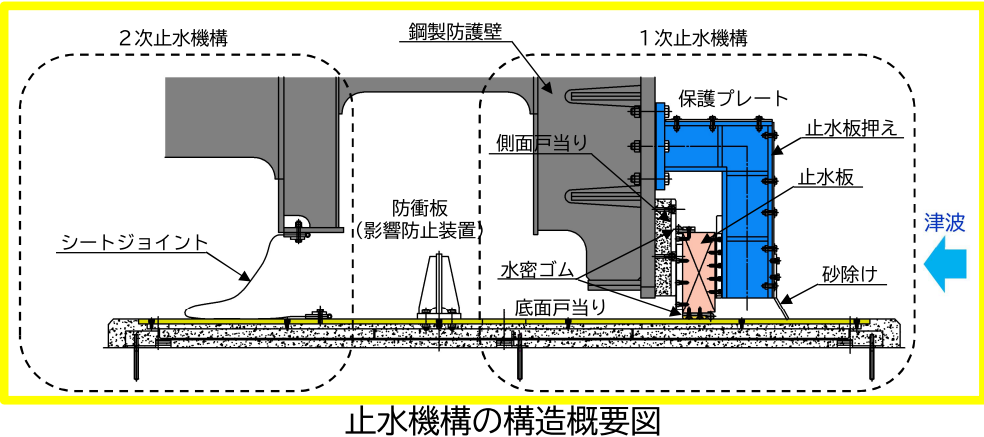
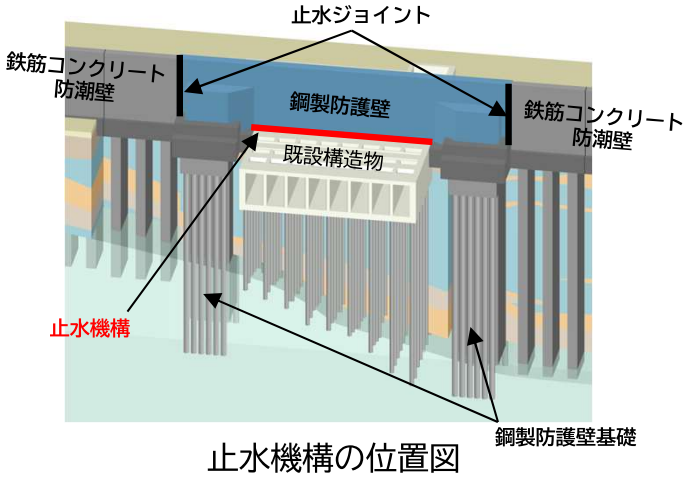
- 止水機構は鋼製防護壁に間接支持されており、防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更により地震時及び余震時の設計震度が変更となることから、設計震度について既工認との大小関係を確認した上で、既工認を上回る場合は部材照査を実施する方針とする
- 残置影響評価によりEW方向の設計震度（余震時）が既工認を上回る結果となったため、止水機構の部材照査を実施
- 設計震度（余震時）及び津波荷重（敷地に遡上する津波）を考慮した評価により、止水機構の各部位の発生応力度が許容限界を下回っていることを確認した

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

※赤数字：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

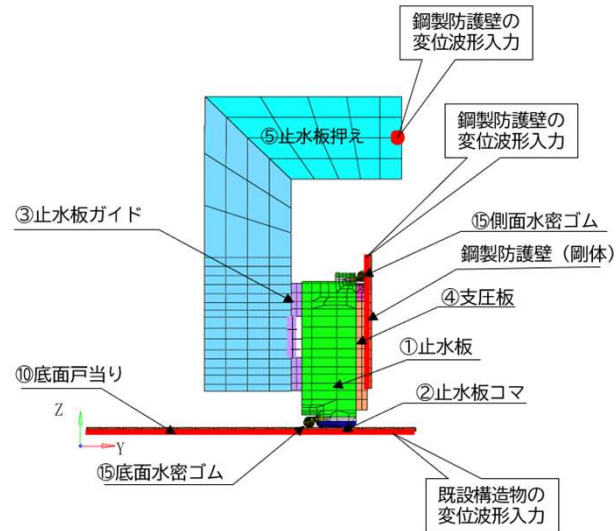


2. 構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）の設計検討

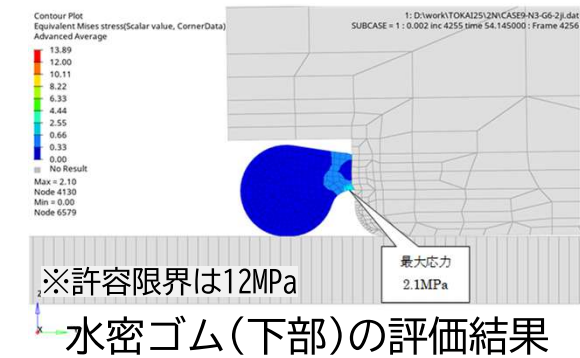
(5) 止水機構：動的評価

- 1 次止水機構に対しては、前頁に示す静的解析に加え、超弾性体である水密ゴムの地震時の接触挙動を精緻に把握するため2次元動的解析を実施した。また、止水板は固定されておらず地震時に複雑な挙動を示すため、止水板と接するその他の部材を含めて3次元動的解析を実施した
- 2次元及び3次元動的解析の結果、1次止水機構の各部位の発生応力が許容限界を下回っていることを確認した

2次元動的解析モデルと評価結果



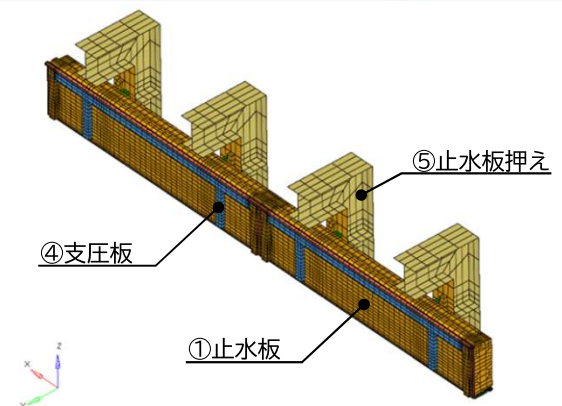
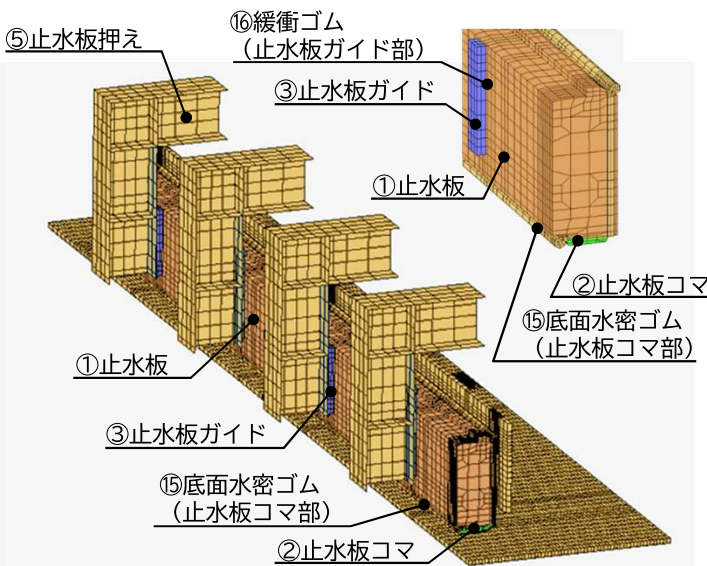
2次元動的解析モデル



3次元動的解析モデルと評価結果

3次元動的解析による応力照査結果

対象部位	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	照査値
①止水板	2.2	300	0.01
②止水板コマ	66.9	228	0.30
③止水板ガイド	47.4	337	0.15
④支圧板	10.0	38	0.27
⑤止水板押え	85.4	382	0.23
⑮底面水密ゴム (止水板コマ部)	0.3	12	0.03
⑯緩衝ゴム (止水板ガイド部)	2.0	12	0.17



3次元動的解析モデル

（6）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。

○耐津波評価

防潮堤（鋼製防護壁）は、基準津波及び敷地に遡上する津波の荷重、並びにこれらと余震の重畳を考慮した荷重に対し、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。

○残置影響評価

残置する地中連続壁部による誘発事象を整理した上で、そ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。

○止水機構

止水機構は、防潮堤（鋼製防護壁）の工認設計モデル及び残置影響評価モデルによる地震応答及び津波荷重を考慮した評価を行った。耐震評価及び耐津波評価に対し、止水機構の各部材の応力度が許容限界以下であることを確認した。



以上より、構造変更後の防潮堤（鋼製防護壁）は、津波防護施設としての要求機能を維持できる。

3. 工事管理の改善と再発防止に向けた取組み

3. 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。

発電所全体での取り組み

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
 - 全ての現場作業員へC R活動の目的・方法を定期的に周知する
 - 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新たな取り組み

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。

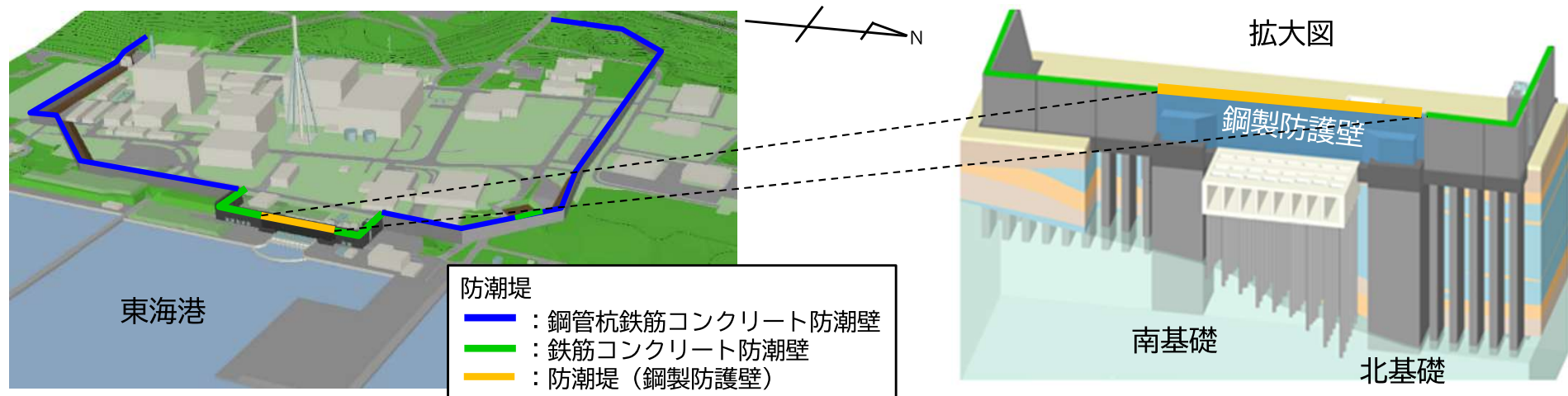
4. 参考

(1) 防潮堤（鋼製防護壁）基礎の構造変更に係る検討内容

4. 参考 (1) 防潮堤（鋼製防護壁）基礎の構造変更に係る検討内容

1) 防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更に至った経緯

- 東海第二発電所では、敷地への津波の流入を防止するため、敷地を取り囲む形で防潮堤を設置する計画であり、2018年10月に工事計画認可を取得した。防潮堤の内、防潮堤（鋼製防護壁）は、既設構造物の南北両側に地中連続壁基礎を岩盤まで設置し、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ものである。
- 工事は2019年9月に開始し、地中連続壁部を構築した後、その内部（中実側）を掘削するとともに、中実鉄筋コンクリートと地中連続壁部を一体化させながら基礎を構築する計画であった。しかし、地中連続壁部の施工中及び中実側の掘削中に、地中連続壁部の不具合事象を確認した。
- このため、防潮堤の構造の見直し（設計変更）について、2024年2月に工事計画変更認可申請を行った。

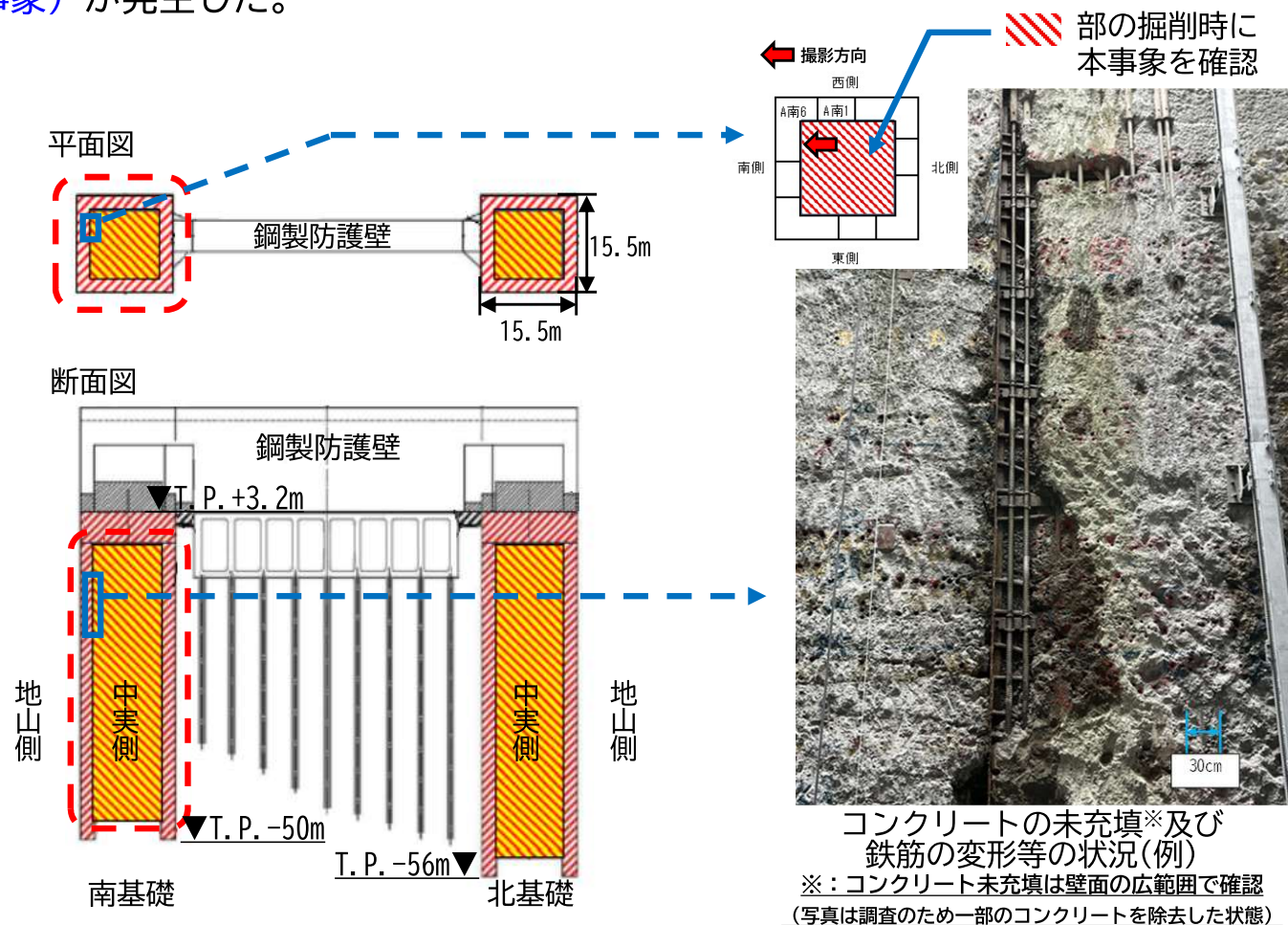


時系列	内容
2018年10月	重大事故等対処施設の工事計画認可（平成30年10月18日付け原規規発第1810181号）
2019年9月	工事開始
2022年3月～2023年3月	地中連続壁部の施工中のトラブル発生（溝壁の崩壊，鉄筋の高止り等）
2023年6月～2023年8月	不具合の確認（南基礎，北基礎の中実側の掘削完了）
2024年2月	重大事故等対処施設の設計及び工事計画変更認可申請（補正申請：防潮堤の設計変更の追加）
2024年8月	重大事故等対処施設の設計及び工事計画変更認可申請（2024年2月申請の分割：防潮堤の工事計画を他の審査案件から分割）

4. 参考 (1) 防潮堤（鋼製防護壁）基礎の構造変更に係る検討内容

2) 不具合事象の概要

- 南基礎及び北基礎の中実側の掘削を実施したところ、地中連続壁部の中実側（内側）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（外側）においてもコンクリート未充填を確認した。
- また、地中連続壁の施工中には、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。

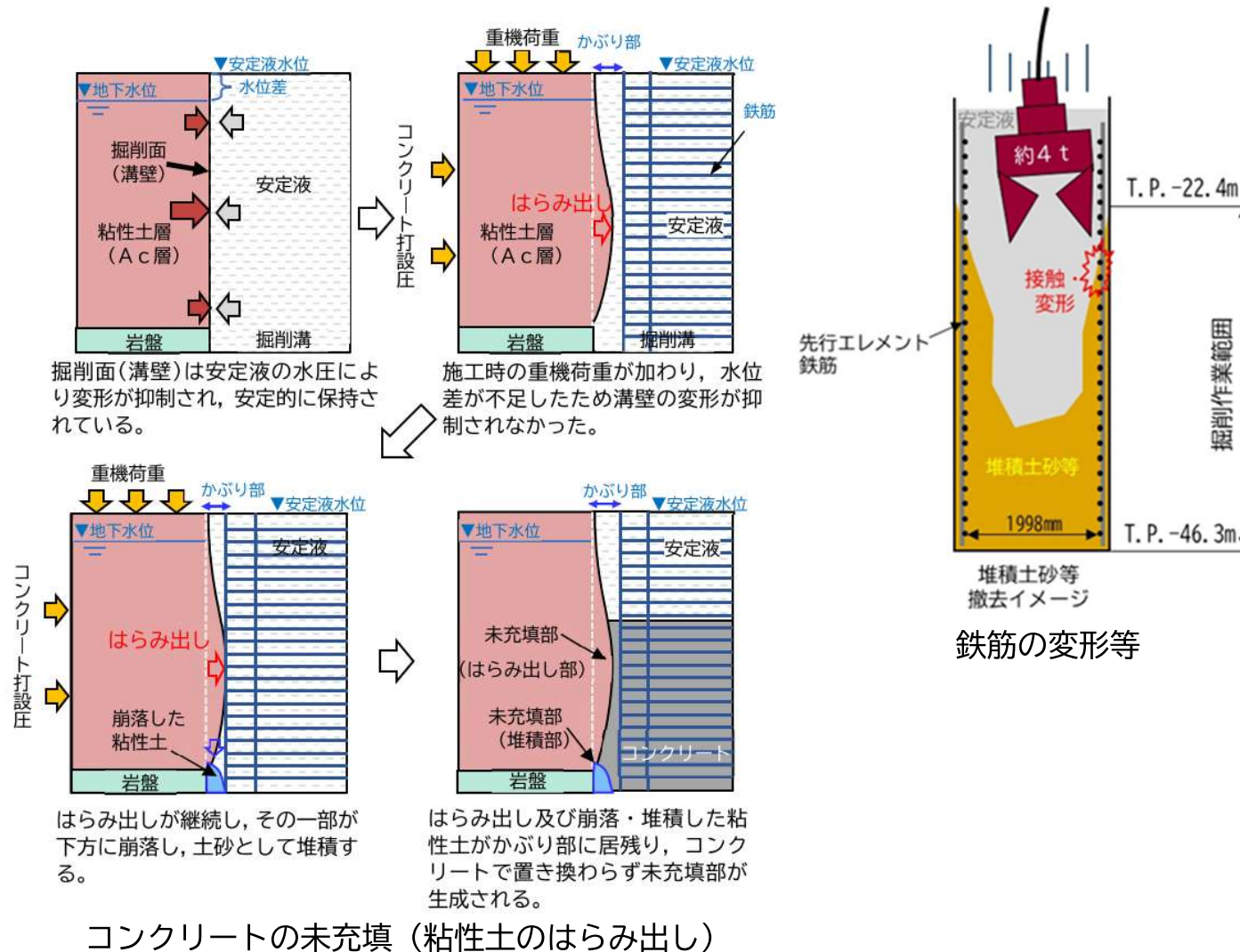


基礎構築中に確認した不具合（南基礎）

4. 参考 (1) 防潮堤(鋼製防護壁)基礎の構造変更に係る検討内容

3) 不具合事象発生の要因(コンクリートの未充填及び鉄筋の変形等)

- コンクリート未充填部が発生した原因は、「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
- 鉄筋の変形等が発生した原因は、溝壁内に堆積した崩壊土砂等の撤去作業において、先行して設置していた鉄筋にハンマーグラブが接触し鉄筋が変形、後行で設置した鉄筋も変形した鉄筋に干渉



事象を引き起こした根本原因

- 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(施工中に溝壁の状態を直接確認する方法がない中、確認するための代替措置を講じなかったこと及び鉄筋かごの状態を直接確認せず、代替措置を講じなかったこと)

4. 参考 (1) 防潮堤(鋼製防護壁)基礎の構造変更に係る検討内容

4) 鋼製防護壁基礎の構造変更

- 地中連続壁部の不具合の状況を調査したが、その全容を把握できなかったため、不具合が生じた地中連続壁部は残置するが、基礎として使用しない設計に変更することとした。
- 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に変更した

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RC, 根巻RC, 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RC ・ 地中連続壁基礎 (A. 中実RC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RC ・ 複合基礎 (A. 中実RC, B. 鋼管杭, D. 巻立てRC) ・ 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

5) 構造変更後の構造成立性評価に係る検討

構造変更後の耐震・耐津波に係る構造成立性評価及び施工性・検査に係る検討を下記の手順で確実に進め、構造成立性及び施工の実現性を確認した。

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

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。

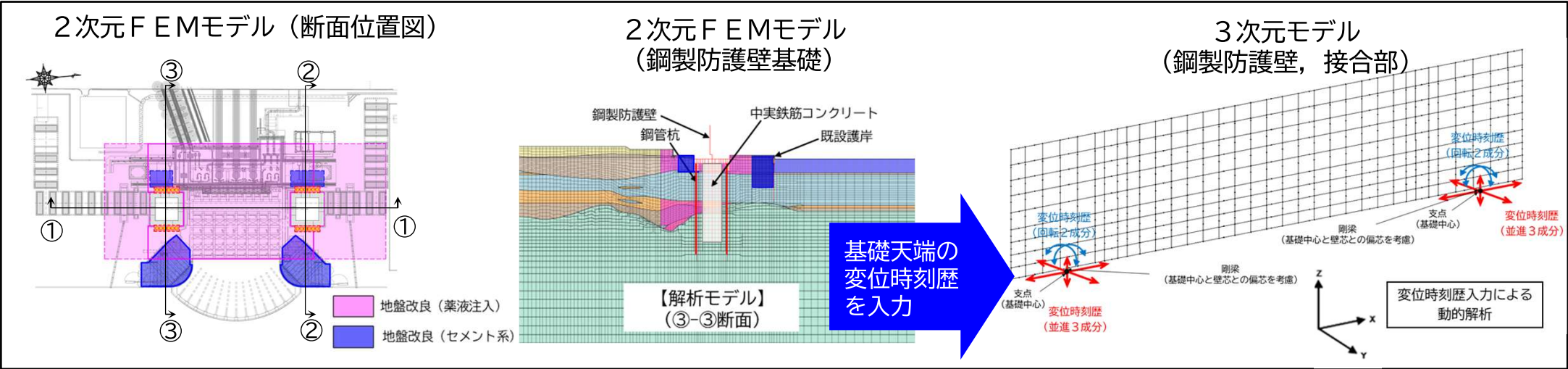
4. 参考 (1) 防潮堤(鋼製防護壁)基礎の構造変更に係る検討内容

6) 耐震評価による構造成立性確認

評価内容

- ・ 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した。
- ・ 基礎は2次元FEMモデルで鋼製防護壁基礎を、鋼製防護壁・接合部を3次元モデルで評価し、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以下であることを確認した。

評価モデル



評価結果

- ・ 耐震評価の結果、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。

鋼製防護壁基礎の一部の照査例を示す。

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

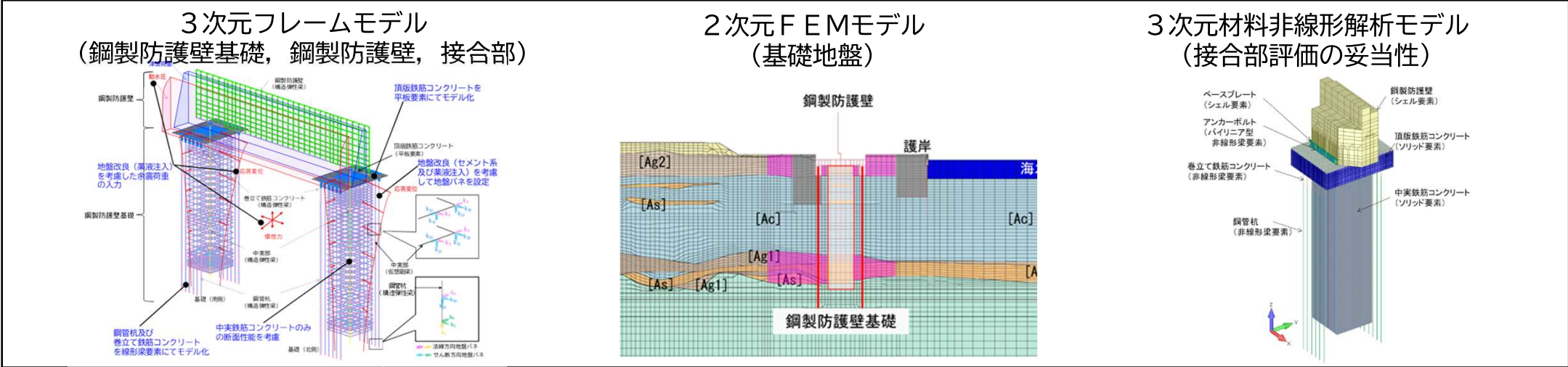
4. 参考 (1) 防潮堤（鋼製防護壁）基礎の構造変更に係る検討内容

7) 耐津波評価による構造成立性確認

評価内容

- ・ 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」について全ての部位の照査を実施した。
- ・ 鋼製防護壁・鋼製防護壁基礎・接合部は3次元フレームで評価し、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以下であることを確認する。また、接合部の評価の妥当性について3次元FEMモデルを用いた評価を行う。

評価モデル



評価結果

- ・ 耐津波評価の結果、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。

鋼製防護壁基礎の一部の照査例を示す。

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	津波種別	地盤バネケース
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)	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

4. 参考 (1) 防潮堤(鋼製防護壁)基礎の構造変更に係る検討内容

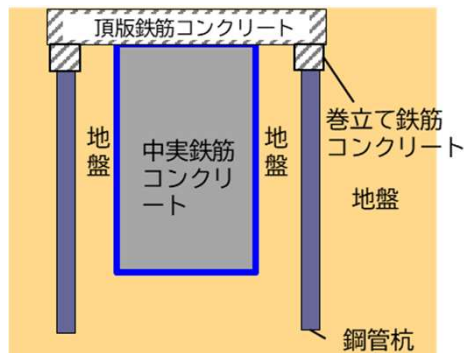
8) 構造変更による影響評価: 地中連続壁部の残置影響評価

評価の目的

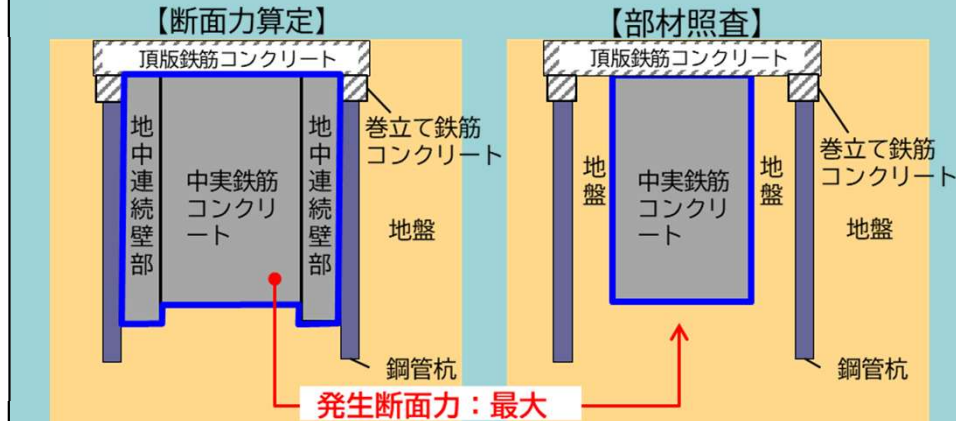
- 地中連続壁部は不具合の全容が把握できておらず、地震・津波荷重に対する耐力が期待できない。
このため、工認設計の解析評価では**地中連続壁部を構造部材として考慮せず**、中実鉄筋コンクリートと鋼管杭の変形が生じやすい「**地盤**」としてモデル化した。【工認設計モデル】
- ただし、**実際には地中連続壁部には強度・剛性があるため、接触する中実鉄筋コンクリートへの影響を評価、確認する必要がある**。
このため、**地中連続壁部を健全と仮定して最大限の発生断面力を算定し、中実鉄筋コンクリートのみで構造を成立させる保守的なモデル**で影響を評価した。【残置影響評価モデル】
さらに、地中連続壁部の強度・剛性の不均一性を網羅的に評価するため、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でも評価した。【部分欠損モデル】

評価モデル

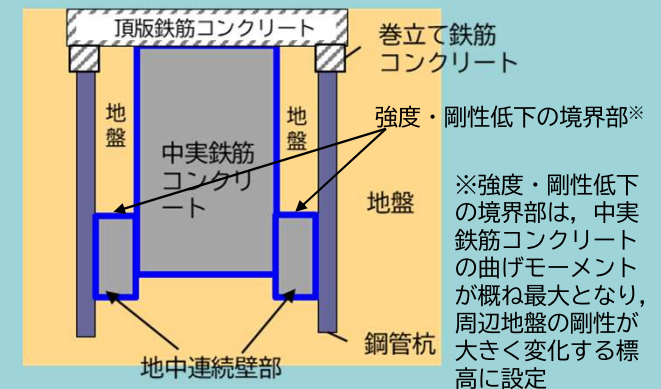
【工認設計モデル】



【残置影響評価モデル】



【部分欠損モデル】



評価結果

- 残置影響評価モデルでの評価では、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
- 部分欠損モデルでの評価では、残置影響評価結果を下回ることを確認した

9) 確実な工事完遂のための施工方法と品質管理（検査）

- ・ 不具合事象の原因を踏まえ、鋼製防護壁工事を確実に完遂するため、施工方法と施工品質管理について、以下の基本方針を策定した
- ・ 基本方針に基づき、具体的内容を検討し、対策を決定した

不具合事象	直接原因	根本原因
コンクリート未充填	・ 施工により掘削面の地盤が緩んだ結果、粘性土層がはらみ出し、崩落した ・ 掘削面が泥水の中で、その状態を目視により直接確認できなかった	・ 各施工ステップにおいてリスク想定が不十分であり、不具合の発生を予測できなかった ・ 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
鉄筋の変形等	・ 崩落土砂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が、不透明な安定液中での作業であり、鉄筋かごの変形を目視により直接確認できなかった	

基本方針：不具合事象を踏まえて以下の通り策定

1) 施工方法の選定・確認

- ・ 適用性・施工実績を踏まえ、不具合事象を回避できる施工方法を選定する
- ・ 全施工ステップについて、同様の不具合が発生しないことを確認する

2) リスクを想定した対策の実施

- ・ 各施工ステップにおけるリスクを網羅的に洗い出し、対策を施すことでその他全ての不具合の発生を防止する
- ・ 必要に応じ試験施工を実施し、計画通りの工事が確実にできることを確認する

3) 施工品質の確認

- ・ 施工ステップごとに工事が計画通り行われていることを直接確認できるよう、品質を確認（検査）する項目・確認時期、確認方法を整理し、適用する
- ・ 不具合を施工中及び施工後に速やかに検知・是正できる措置を講じる。

10) 施工方法の選定・確認, リスクを想定した対策の実施

不具合事象の原因である「各施工ステップにおいてリスク想定が不十分であり、不具合の発生を予測できなかった」を踏まえ、以下を実施

◆施工方法の選定・確認

- ・全施工ステップについて、不具合事象の原因と関連する可能性のあるものを抽出
 - ・抽出した施工ステップについて、同様の不具合事象発生の可能性を検討
 - ・検討の結果、今回採用する施工方法では不具合事象は再発しないことを確認
- ⇒ (例) 掘削・置換時は、鋼矢板・SMW及び切梁の構造体で土留めしており、はらみ出し・崩落は発生しないことを確認

◆リスクを想定した対策の実施

- ・各施工ステップにおけるリスクを網羅的に洗い出し、対策を施すことで施工の実現性を確保できることを確認
- (例)
- ・ **モックアップ試験**により、太径鉄筋の高密度な配筋の組立精度が確保可能であることを確認
 - ・ **3次元CAD**により、頂版鉄筋コンクリート構築での径鉄筋の高密度な配筋の干渉のないことを確認
 - ・ 地盤改良（薬液注入）の実施工と同等の地質分布を有する実施工範囲の近傍地点において、**試験施工**を実施し、計画と同じ大深度の地盤改良でも計画通りの施工が可能であること及び所定の改良品質を達成できることを確認
 - ・ 地盤改良において、薬液注入用のボーリング削孔誤差を最大限考慮し、**設計改良範囲の外側まで薬液注入の対象範囲**として設定
 - ・ 地盤改良において設計どおりの液状化強度を確実に得るため、**注入する薬液の配合を保守的に設定**（通常は試験結果の平均を用いるが、本工事では平均から1σ低減した値を用いる）

1 1) 施工品質の確認

- ・ 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、施工品質の確認方法として、確認すべき項目、方法、時期を下表のとおり整理した。
- ・ 最優先の確認方法は直接確認であり、全確認項目のうち約8割で実施

◆施工品質の確認方法

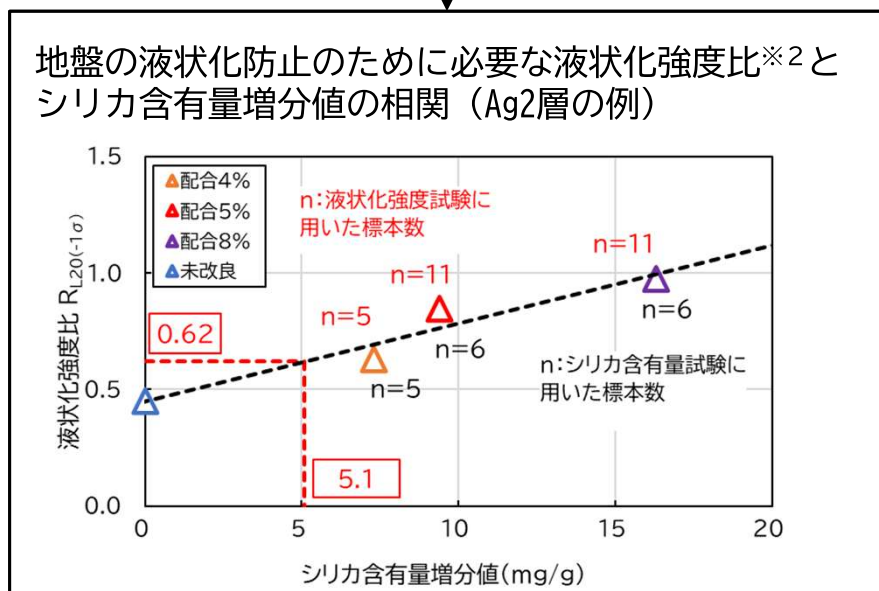
確認項目	各工程で、工事の品質（設計要求への適合）が確保されていることを確認すべき全ての項目
確認方法	以下の優先順位で確認方法を選定する ① 品質の確認方法は現地で目視、寸法測定するなど直接確認できる方法を採用する。 （例：鉄筋の組立状況、構造物の外観、鋼管杭の位置） ② 目視、寸法測定などの直接確認が適用できないものについては他の定量的な方法を採用する。 （例：溶接部の非破壊検査、鋼管杭の傾斜量） ③ 当該箇所より採取した試料による確認（例：地盤改良試料の成分分析） ⇒地盤改良については次ページで説明 ④ 供試体を用いた試験で確認（例：作成した供試体の破壊試験（コンクリート、グラウトの圧縮強度）） 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。

4. 参考 (1) 防潮堤（鋼製防護壁）基礎の構造変更に係る検討内容

1 2) 施工品質の確認： 地盤改良（薬液注入）

- ・ 地盤改良（薬液注入）工事では施工品質を直接、目視で確認できない。
- ・ このため、規格基準類に従い、現地試料を用いた供試体の各種試験・検査により施工品質を確認する。
- ・ 本工事では、検査で用いる管理基準値の設定に必要な標本数を規格基準で定める標準標本数以上採取することで施工品質を確実に確保する。

試験名	標準 標本数	本工事で対象とする地層の薬液濃度別の採取標本数							
		A g 2 層			A s 層		A g 1 層		
		4%	5%	8%	6%	8%	6%	8%	10%
液状化強度試験	4以上	5	11	11	7	9	8	6	7
土の一軸圧縮試験	3	3	9	9	9	9	9	9	9
シリカ含有量試験	—※1	5	6	6	6	6	5	5	7



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※3 (シリカ含有量増分量)
A g 2 層	0.62 以上	5.1 mg/g以上
A s 層	0.65 以上	8.0 mg/g以上
A g 1 層	0.58 以上	7.3 mg/g以上

- ※1 シリカ含有量増分のばらつきは小さく、規格基準類で標準標本数が定められていないが、信頼性を高めるため液状化強度試験の4標本以上を採取した
- ※2 設計から得た地震時の最大せん断応力比から算出する値であり、地盤改良後の液状化強度比がこの値を上回れば、液状化しない
- ※3 使用前事業者検査で確認する値

1 3) 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。

発電所全体での取り組み

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
 - 全ての現場作業員へC R活動の目的・方法を定期的に周知する
 - 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新たな取り組み

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。