

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-他-067改11
提出年月日	2023年1月12日

島根原子力発電所第2号機

工事計画認可申請（補正）に係る論点整理について

2023年1月
中国電力株式会社

■ 説明内容

- 工事計画認可申請（補正）に係る論点について、第1018回審査会合（2021年12月7日）にて示した主な説明事項を含め、審査の中で論点として整理された項目について説明する。本日説明する主な説明事項は以下のとおり。

【土木構造物関係】

分類	No.	項目	回答頁
[1] 詳細設計申送り事項	1-9(1)	防波壁（多重鋼管杭式擁壁における防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等の説明）	P.3～8
	1-9(2)	防波壁（多重鋼管杭式擁壁における鋼管杭周辺岩盤の破壊に伴う鋼管杭の水平抵抗への影響の確認）	追而
	1-9(3)	防波壁（多重鋼管杭式擁壁における3次元静的FEM解析による被覆コンクリートの健全性評価）	P.11～17
	1-9(4)	防波壁（波返重力擁壁における既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認）	P.18～25
[4] その他の詳細設計に係る説明事項	4-5(1)	取水槽（取水槽の耐震評価）	P.26～34
	4-5(2)	設計地下水位を踏まえた屋外重要土木構造物の解析手法	P.35～38

【機器・配管関係】

分類	No.	項目	回答資料
[1] 詳細設計申送り事項	1-6	機器・配管系への制震装置の適用（単軸粘性ダンパ）	別途資料で説明

- なお、今後の審査にて論点として抽出されたものについても審査会合にて説明する。

【1-9】防波壁

【防波壁の各構造形式における主な論点】

➤ 表 1 の赤枠に示す防波壁（多重鋼管杭式擁壁，波返重力擁壁）における主な論点等を踏まえた詳細設計の結果について説明する。

表 1 防波壁の各構造形式における主な論点

防波壁の構造形式	主な論点
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 1-9(1) 1-9(2) 1-9(3)	<ul style="list-style-type: none"> 多重鋼管杭の許容限界について模型実験及び3次元静的 F E M 解析による確認 防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等の説明 鋼管杭周辺岩盤の破壊に伴う鋼管杭の水平抵抗への影響の確認 3次元静的 F E M 解析による被覆コンクリートの健全性評価
防波壁 (逆T擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない鋼管杭による逆T擁壁への悪影響の確認 杭頭部の力学挙動について模型実験による確認 グラウンドアンカのモデル化を踏まえた健全性評価及び品質管理 改良地盤の範囲及び仕様等の説明（P S 検層等に基づく） 基礎底面の傾斜に対する健全性評価
防波壁 (波返重力擁壁) 1-9(4)	<ul style="list-style-type: none"> 既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認 3次元静的 F E M 解析によるケーソンの健全性評価 ケーソン中詰材改良の範囲及び仕様等の説明

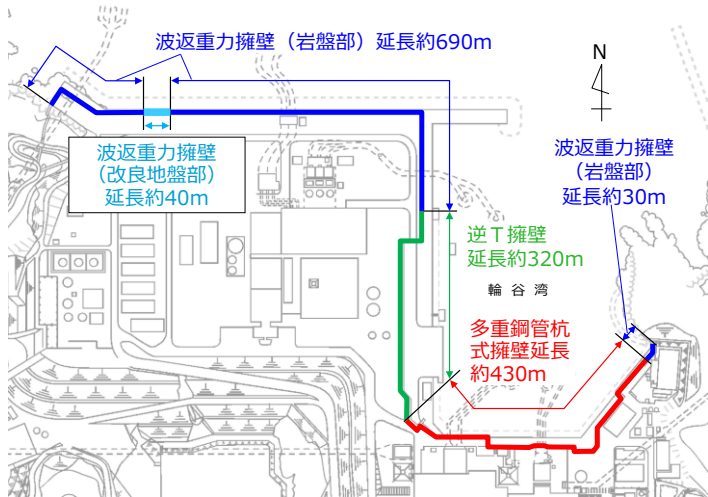


図 1 防波壁の位置図

□ : 今回説明する論点 青字 : 説明済みの論点

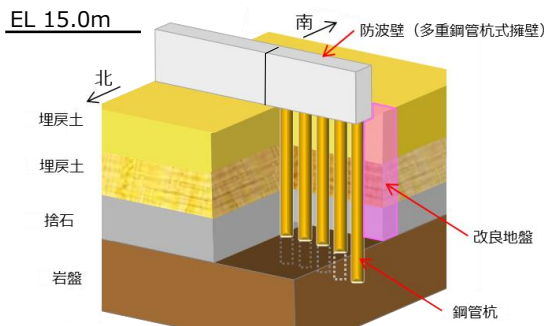


図 2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図

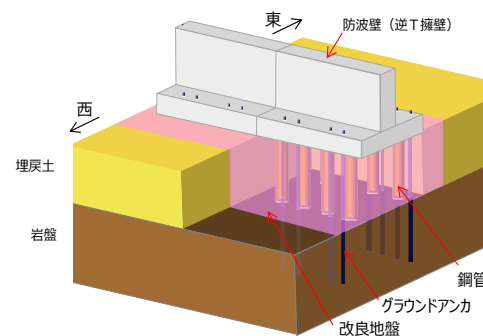


図 3 防波壁（逆T擁壁）の構造概要図

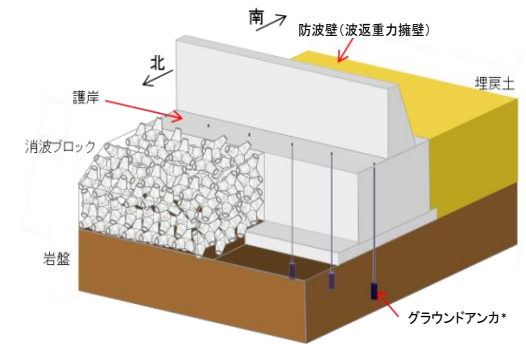


図 4 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図

注記* : 防波壁（逆T擁壁）は鋼管杭の効果期待せず耐震評価を行う。

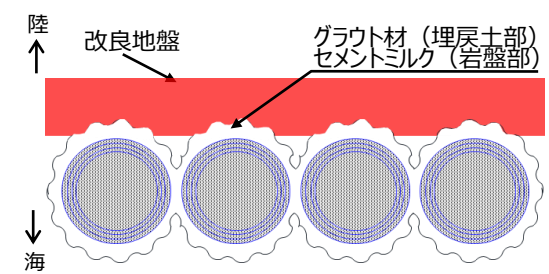
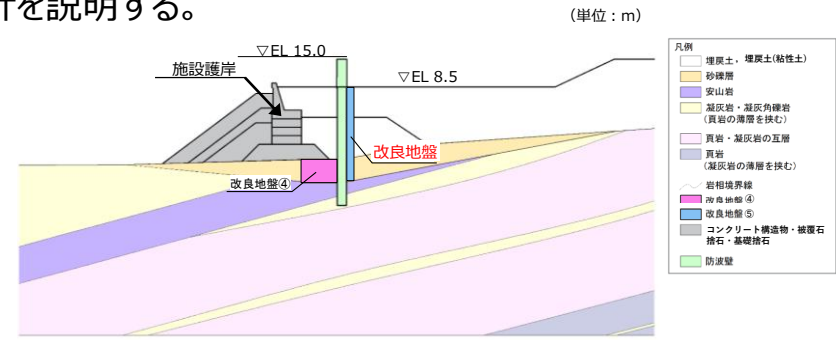
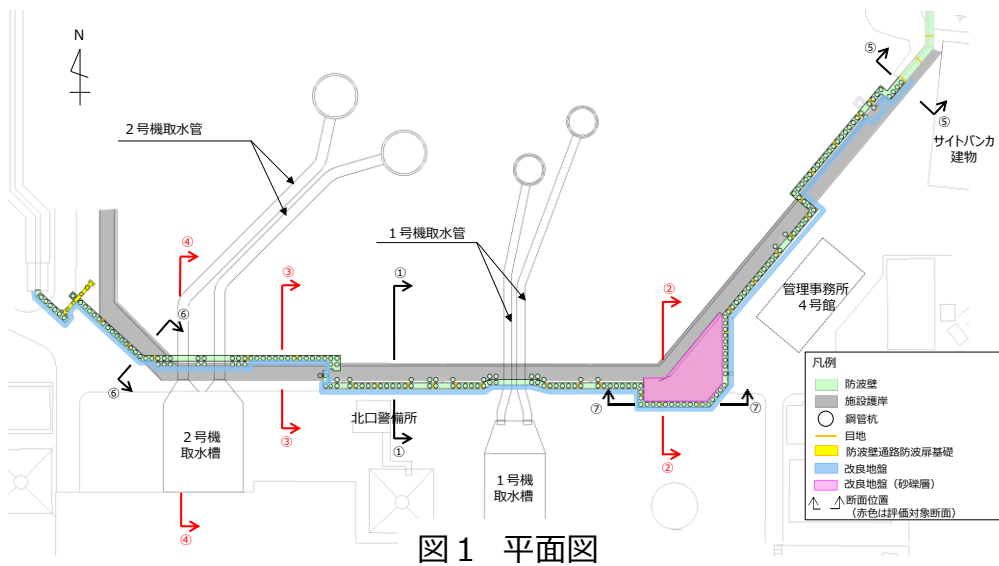
注記* : 防波壁（波返重力擁壁）は、グラウンドアンカの効果を期待しない設計とする。

**【1-9 (1)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁における
防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等）**

【1-9 (1)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等（1/5）

【設置変更許可審査を踏まえた詳細設計段階における検討内容】

- 図1及び図2に示す防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背後に設置する改良地盤について、詳細設計段階における検討内容は以下のとおり。
 - ・ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の鋼管杭間は、図3のとおりセメントミルク（岩盤根入れ部）及びグラウト材（埋戻土部）により間詰めしているが、地震により前面の施設護岸が損傷し、杭間に直接波圧が作用した場合には、グラウト材（埋戻土部）の止水性を担保することが困難であることから、防波壁の背後に改良地盤を設置する。
 - ・ 詳細設計段階において、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背後に設置する改良地盤の範囲並びに原位置試験及び室内試験を踏まえた解析用物性値を設定し、地震時において改良地盤が難透水性を保持することを確認する。また、セメントミルクについても試験結果を踏まえた評価方針を説明する。



【1-9 (1)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁における防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等）（2/5）

【詳細設計申送り事項に対する回答】

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	埋戻土部の鋼管杭間のグラウト材を耐震・耐津波設計上、役割に期待しない方針としたことから、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背後に設置する改良地盤について、その施工範囲及び仕様を説明すること。	B	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）全線においてその背後に、高圧噴射攪拌工法により改良地盤を設置することとし、その解析用物性値については、原位置試験及び室内試験結果を踏まえ設定した。 また、地震時において、改良地盤に難透水性の保持に影響する流入経路は形成されないことを確認した。	P.6,7
2	岩盤根入れ部の鋼管杭間に注入するセメントミルクについて、その評価方針を説明すること。	B	鋼管杭と岩盤の間の空隙を間詰めしているセメントミルクについて、すべての鋼管杭（191本）に対して一軸圧縮試験を実施し、支持岩盤（C _H 級及びC _M 級）の強度9.8N/mm ² を上回る強度を有することを確認していることから、セメントミルクを岩盤として耐震及び耐津波評価を実施する方針とする。	P.8

【1-9 (1)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等（3/5）

1. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）背後の改良地盤の範囲及び仕様

- 図4のとおり防波壁（多重鋼管杭式擁壁）全線においてその背後に、高圧噴射攪拌工法により改良地盤を設置する。
- 図4に示す原位置試験及び試料採取位置において、表1に示す原位置試験及び室内試験を実施し、改良地盤の解析用物性値を設定する。
- 改良地盤のボーリングコア写真を図5に示す。

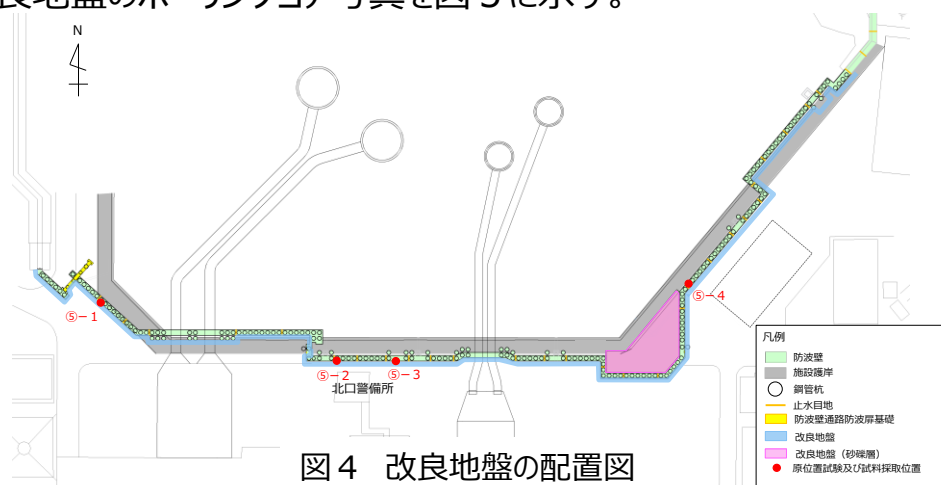


図4 改良地盤の配置図

表1 試験項目

項目	規格・基準名称	試験規格
飽和密度	土の湿潤密度試験方法	JIS A 1225
間隙率	土粒子の密度試験方法	JIS A 1202
S波速度	地盤の弾性波速度検層方法	JIS 1122
G/G0~γ関係 h~γ関係	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法	JIS 0542
粘着力, 内部摩擦角	土の圧密非排水三軸圧縮試験方法	JGS 0523

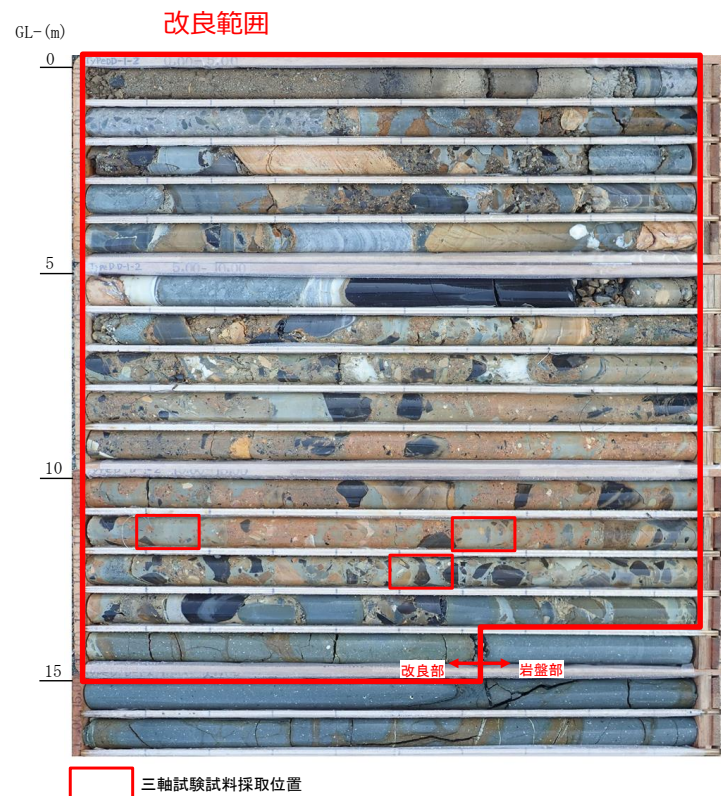


図5 ボーリングコア写真（⑤-2）

【1-9 (1)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等（4/5）

1. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）背後の改良地盤の範囲及び仕様（続き）

- 原位置試験及び室内試験結果を踏まえ、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価に用いる改良地盤の解析用物性値を、表2のとおり設定した。
- 2次元動的FEM解析及び耐震照査の結果、図6のとおり、せん断破壊及び引張強度に達する要素はないことから、難透水性の保持に影響する流入経路は形成されないことを確認した。

表2 改良地盤の解析用物性値

項目		改良地盤	設定根拠
物理特性	密度	ρ (g/cm ³)	2.11
	間隙率	n	0.45
変形特性	動せん断弾性係数*1	G_{ma} (kN/m ²)	368100
	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}' (kN/m ²)	98
	ポアソン比	ν	0.33
	減衰定数の上限値	hmax	0.095
強度特性	粘着力	c' (kN/m ²)	1250
	内部摩擦角	ϕ' (°)	0

注記*1：動せん断弾性係数は代表的な数値を示す。

*2：液化化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法（港湾技研資料No.869,平成9年6月）

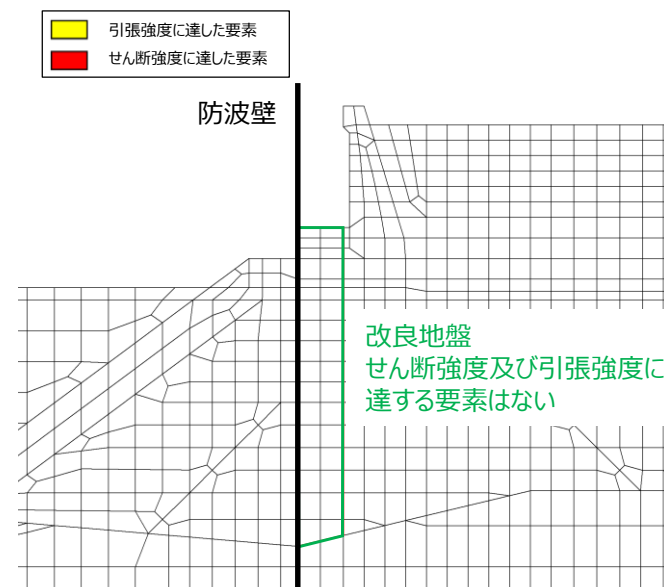


図6 改良地盤の破壊履歴図（例：③-③断面）

【1-9 (1)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁における防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等）（5/5）

2. セメントミルクの評価方針

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の多重鋼管杭は、図7に示すとおり、岩盤を掘削して鋼管杭を建て込み、鋼管杭と岩盤の間の空隙をセメントミルクで間詰めしている。
- セメントミルクは、すべての鋼管杭（191本）に対して一軸圧縮試験（図8）を実施し、表3に示すとおり支持岩盤（ C_H 級及び C_M 級）の強度 9.8N/mm^2 を上回る強度を有することを確認していることから、セメントミルクを岩盤として耐震及び耐津波評価を実施する。なお、セメントミルクを含む岩盤の評価結果は、【1-9(2)】にて説明する。

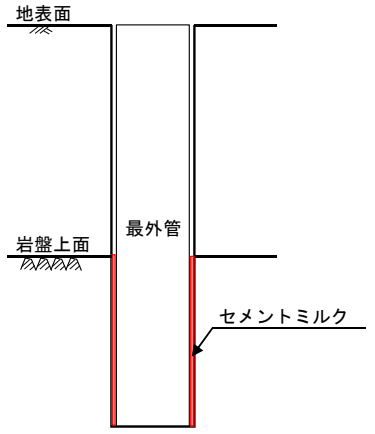


図7 セメントミルクの配置図

表3 セメントミルクの一軸圧縮強度

セメントミルクの一軸圧縮強度 (N/mm ²)		岩盤の強度 (N/mm ²)
最大値	62.6	
最小値	33.6	
平均値	47.5	9.8

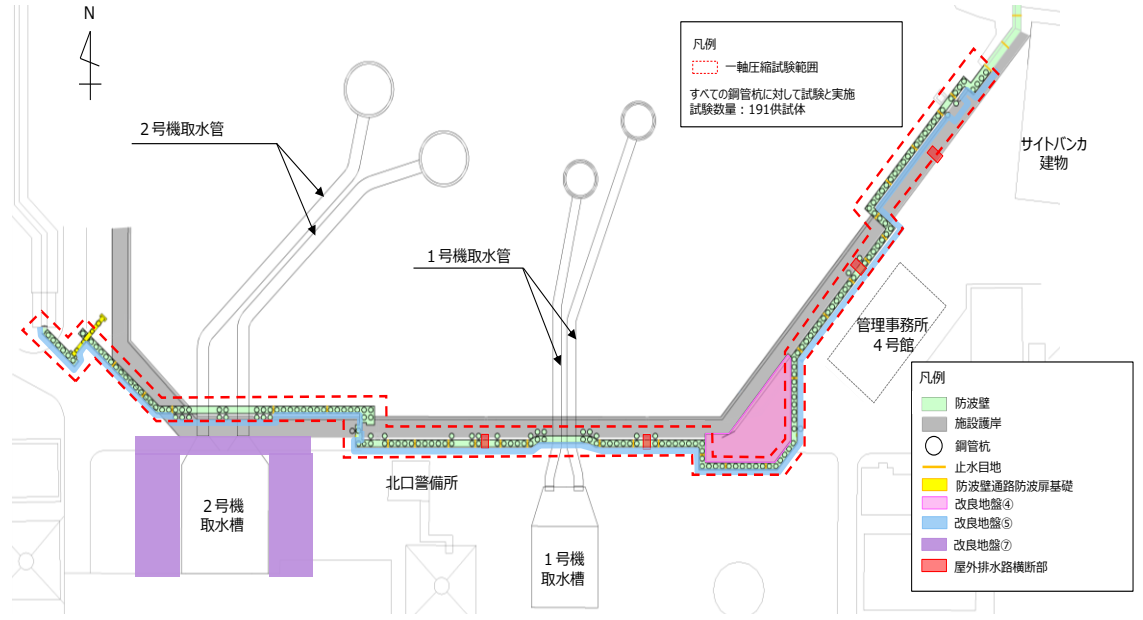


図8 セメントミルクの一軸圧縮試験範囲

**【1-9 (2)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁における
鋼管杭周辺岩盤の破壊に伴う鋼管杭の水平抵抗への影響の確認）**

【1-9 (2)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁における鋼管杭周辺岩盤の破壊に伴う鋼管杭の水平抵抗への影響の確認）

追 而

**【1-9 (3)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁における
3次元静的 F E M解析による被覆コンクリートの健全性評価）**

【1-9 (3)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁における3次元静的FEM解析による被覆コンクリートの健全性評価）（1/6）

【設置変更許可審査を踏まえた詳細設計段階における検討内容】

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の被覆コンクリートの健全性評価について、詳細設計段階における検討内容は以下のとおり。
 - 図1に示すとおり、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、防波壁の延長方向（法線方向）に鋼管杭を複数設置しており、鋼管杭を巻き込むように被覆コンクリート壁を設置している。
 - 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は線状構造物であることから、弱軸方向断面である法線直交方向の断面を耐震評価断面として、2次元動的FEM解析を用いて、鋼管杭に耐震性を有することを確認する。
 - 詳細設計段階において、被覆コンクリート壁は、図2に示すような鋼管杭の挙動の差異により生じる、法線方向のねじれに伴い被覆コンクリートに発生する応力に対して健全性を確認するため、3次元静的FEM解析を実施し、その健全性を確認する。

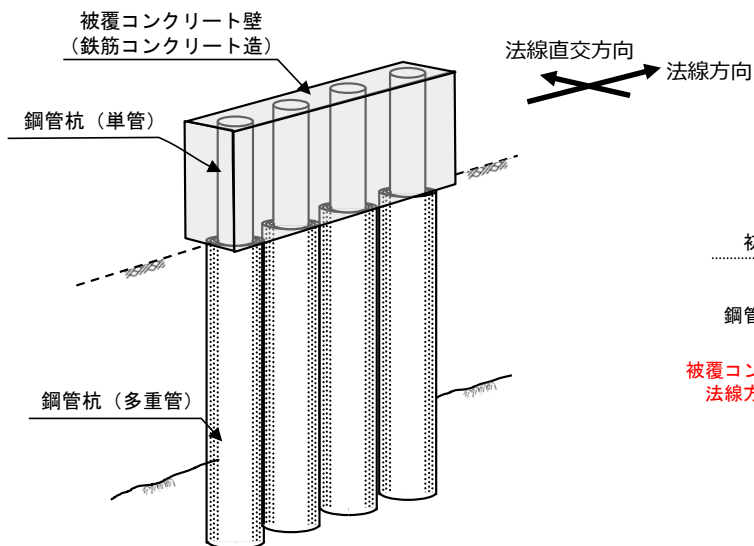


図1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図

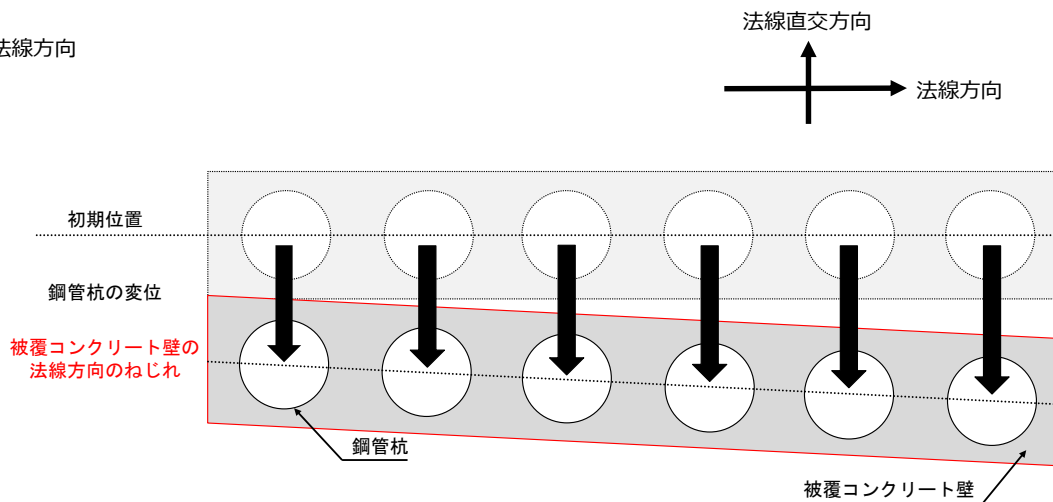


図2 被覆コンクリート壁のねじれの概念図

【1-9 (3)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁における3次元静的FEM解析による被覆コンクリートの健全性評価）（2/6）

【詳細設計申送り事項に対する回答】

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の被覆コンクリート壁について、3次元静的FEM解析を実施し、その詳細設計の結果を説明すること。	B	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の被覆コンクリート壁について、鋼管杭の挙動の差異により生じる、法線方向のねじれに伴い被覆コンクリートに発生する応力に対して健全性を確認するため、2次元動的FEM解析において鋼管杭の変位が最も大きくなる地震動及び照査時刻を選定し、3次元静的FEM解析を実施した結果、被覆コンクリート壁は許容限界以下であることを確認した。	P.14~17

【1-9 (3)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁における3次元静的FEM解析による被覆コンクリートの健全性評価）（3/6）

- 1. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価のフロー
 - 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価のフローを図3に示す。

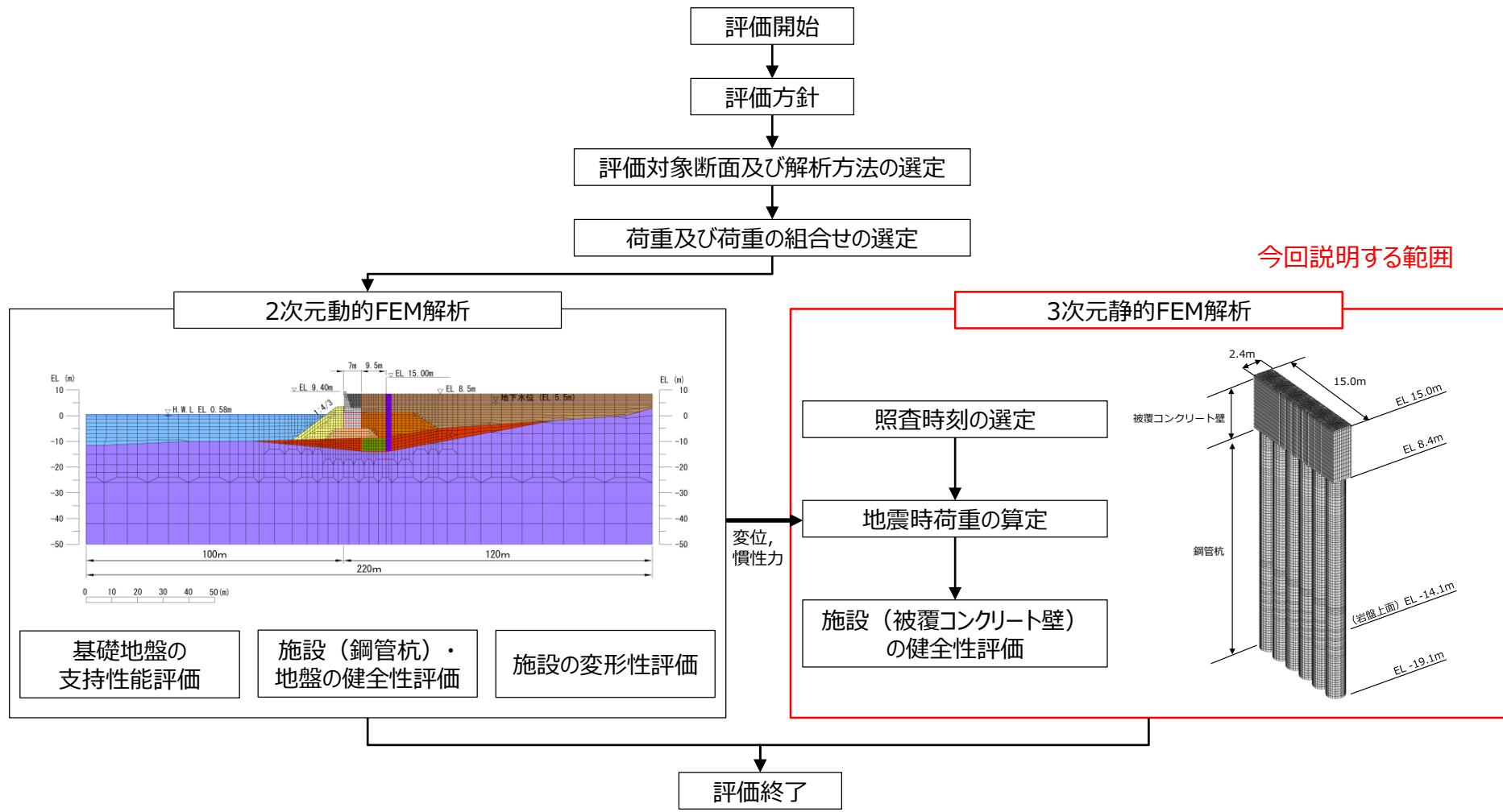


図3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価のフロー

【1-9 (3)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁における3次元静的FEM解析による被覆コンクリートの健全性評価）（4/6）

2. 3次元静的FEM解析

- 被覆コンクリート壁の健全性評価において、鋼管杭の挙動の差異に伴うねじれによる影響を考慮する観点から、3次元静的FEM解析を実施する。
- 3次元静的FEM解析に入力する鋼管杭の変位は、被覆コンクリート壁のねじれを表現するため、2次元動的FEM解析における地盤物性のばらつきを考慮した解析ケースより、鋼管杭の変位が最大値、最小値を両端の鋼管杭に設定し、その間の鋼管杭には線形補間した変位量を設定する（図4）。なお、2次元動的FEM解析より、鋼管杭の変位が最も大きくなる地震動及び照査時刻の変位を用いる。
- 3次元静的FEM解析への入力値として、図5に示すように、常時荷重に加え、地震時荷重として慣性力と鋼管杭の変位を入力する。慣性力及び鋼管杭の変位は、2次元動的FEM解析から応答値を抽出する（図6）。

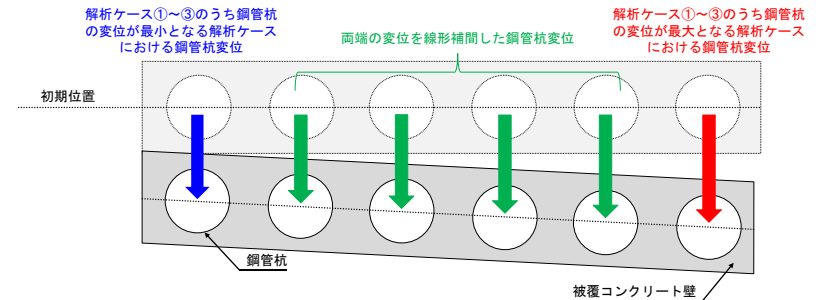


図4 鋼管杭変位の入力イメージ

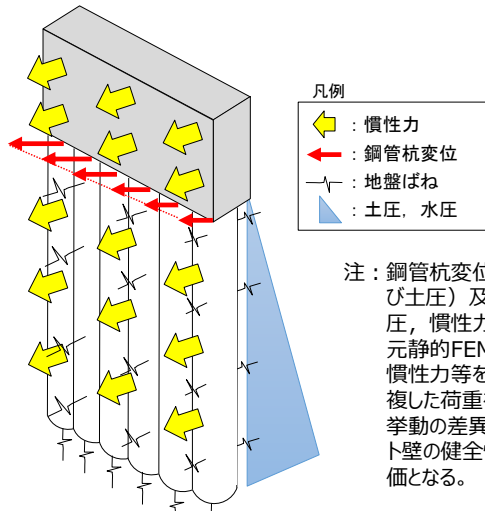


図5 3次元静的FEM解析への入力イメージ

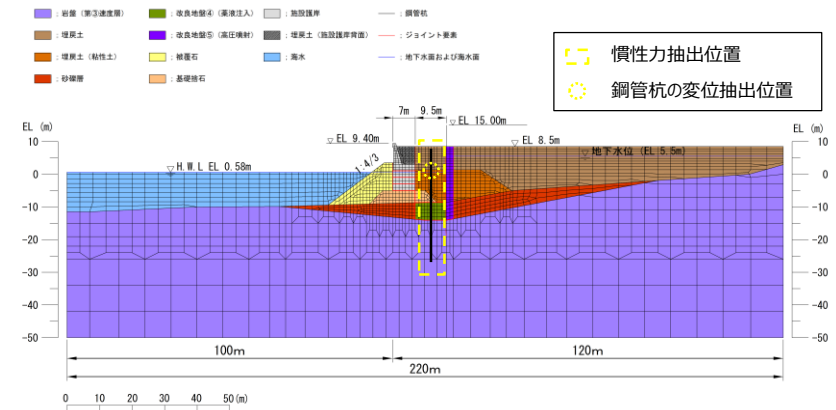


図6 慣性力及び鋼管杭の変位の抽出位置（例：②-②断面）

【1-9 (3)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁における3次元静的FEM解析による被覆コンクリートの健全性評価）（5/6）

3. 3次元静的FEM解析結果

- 3次元静的FEM解析を実施する地震動及び照査時刻における変位及び天端加速度（水平）を表1に示す。
- 3次元静的FEM解析における被覆コンクリート壁の評価対象位置は、図7～9に示すとおり、鋼管杭の相対変位による荷重が作用する鋼管杭間とする。
- 被覆コンクリート壁の健全性評価結果（表2～4）に示すとおり、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の被覆コンクリート壁は許容限界以下であることを確認した。

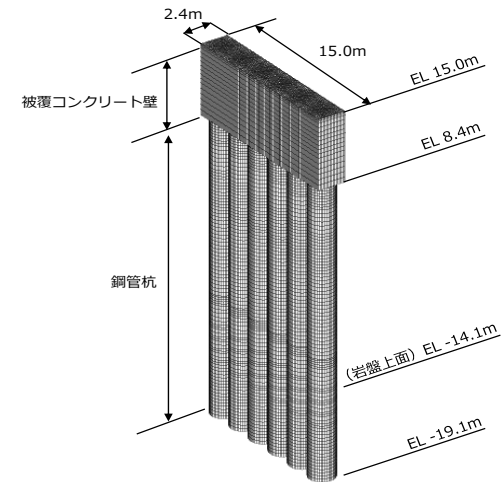
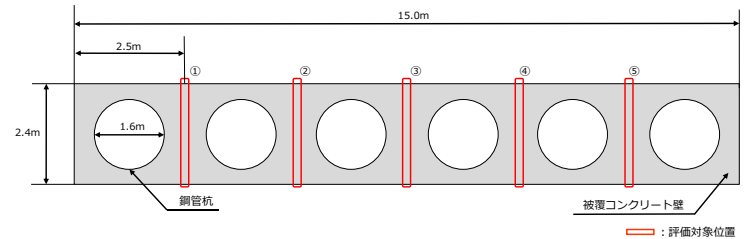


図7 評価対象位置（②-②断面）

表1 3次元構造解析における入力値

評価対象断面*1	地震動	照査時刻 (s)	被覆コンクリート壁下端の変位*2 (cm)	天端加速度 (水平)*2 (cm/s ²)
②-②断面	Ss-D(++)	13.34	-34.514	1250
③-③断面	Ss-D(++)	13.25	-18.611	853
④-④断面 (海側杭)	Ss-D(++)	9.02	-3.181	845
④-④断面 (陸側杭)			-5.860	814

注記*1：構造的特徴及び周辺地盤状況等から耐震評価上厳しいと考えられる断面を選定

*2：地盤物性が平均値の解析ケースにおける値を記載

表2 被覆コンクリート壁の健全性評価結果（②-②断面）

コンクリートの曲げ・軸力系の破壊	鉄筋の曲げ・軸力系の破壊	コンクリートのせん断破壊
0.09	0.28	0.17

注：評価対象位置の最大照査値を示す。

【1-9 (3)】防波壁（多重鋼管杭式擁壁における3次元静的FEM解析による被覆コンクリートの健全性評価）（6/6）

3. 3次元静的FEM解析結果（続き）

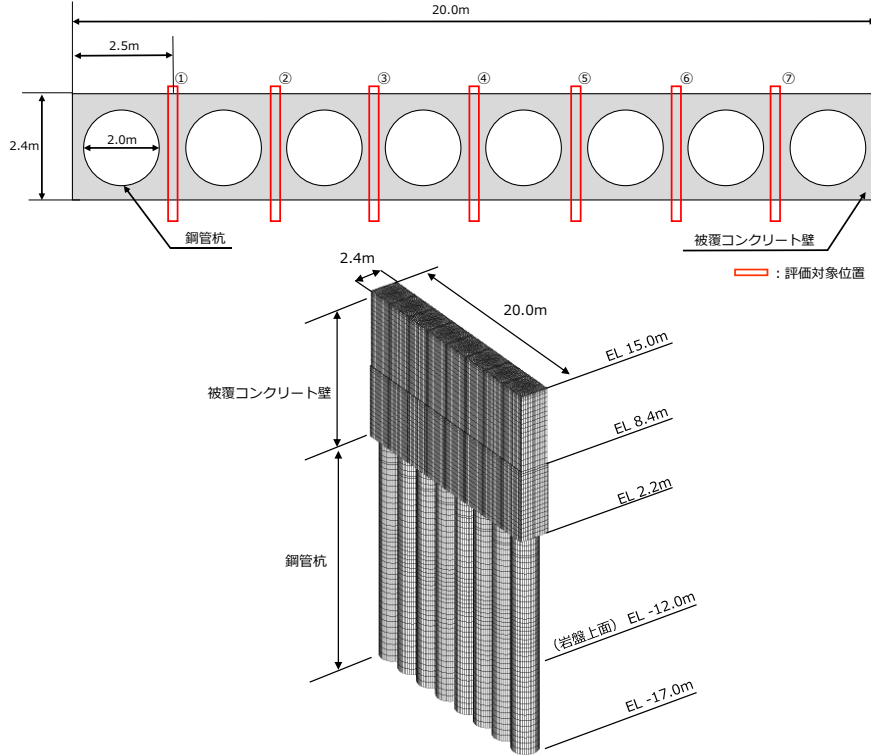


図8 評価対象位置（③-③断面）

表3 被覆コンクリート壁の健全性評価結果（③-③断面）

コンクリートの 曲げ・軸力系の 破壊	鉄筋の 曲げ・軸力系の 破壊	コンクリートの せん断破壊
0.07	0.25	0.18

注：評価対象位置の最大照査値を示す。

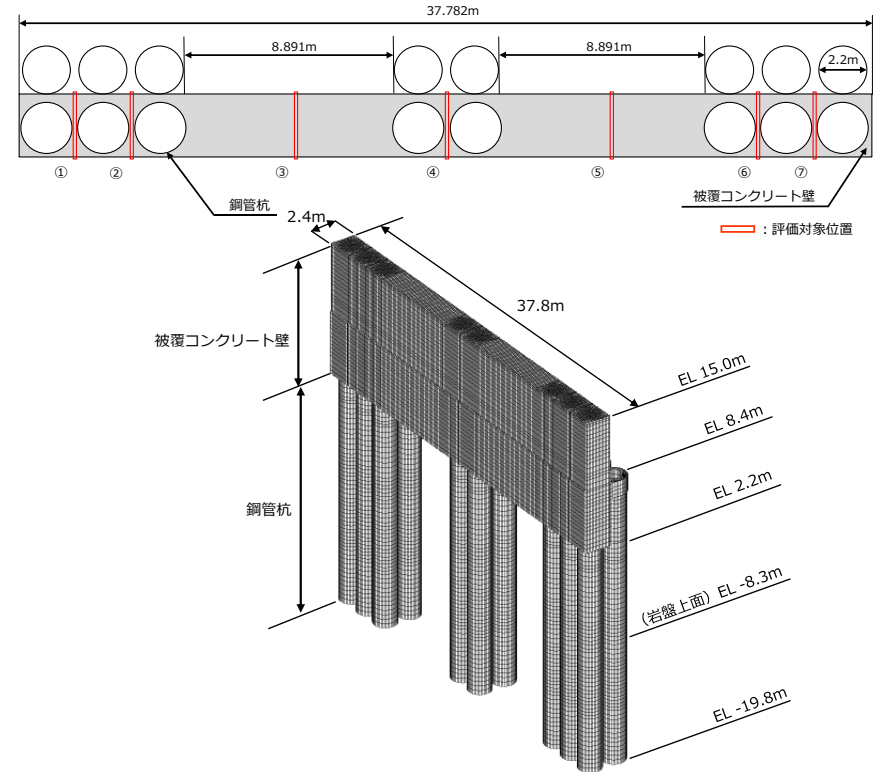


図9 評価対象位置（④-④断面）

表4 被覆コンクリート壁の健全性評価結果（④-④断面）

コンクリートの 曲げ・軸力系の 破壊	鉄筋の 曲げ・軸力系の 破壊	コンクリートの せん断破壊
0.07	0.22	0.24

注：評価対象位置の最大照査値を示す。

**【1-9（4）】防波壁（波返重力擁壁における
既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認）**

【1-9 (4)】防波壁（波返重力擁壁における既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認）（1/7）

【設置変更許可審査を踏まえた詳細設計段階における検討内容】

- 図1に示す防波壁（波返重力擁壁）の重力擁壁における既設と新設コンクリートとの一体性について、詳細設計段階における検討内容は以下のとおり。
 - 防波壁（波返重力擁壁）の重力擁壁は、基部コンクリート上に設置した既設の鉄筋コンクリート造の擁壁を嵩上げするように構築している。
 - 設計及び施工上の配慮として、既設部分と新設部分の一体性を図るために、新設部分のコンクリート打設前に既設部分のコンクリート表面を目荒らし処理して付着力を確保している。また、新設部分の主筋を基部コンクリートに定着させることにより、重力擁壁と基部コンクリートの一体性を確保している。
 - 詳細設計段階において、防波壁（波返重力擁壁）の既設と新設コンクリートについて、以下に示す観点（図2）を踏まえ、一体化として評価できることを確認する。

- ① 既設部分と新設部分との付着強度の確認
- ② 鉄筋の引抜における破壊形態の確認
- ③ 境界部に起因した部材の破壊及び境界部の破壊状況の確認

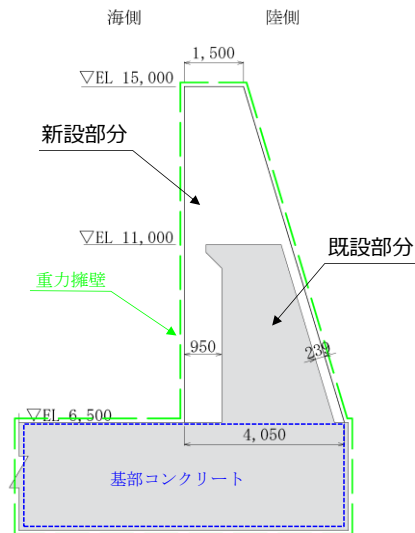


図1 防波壁（波返重力擁壁）
重力擁壁の断面図

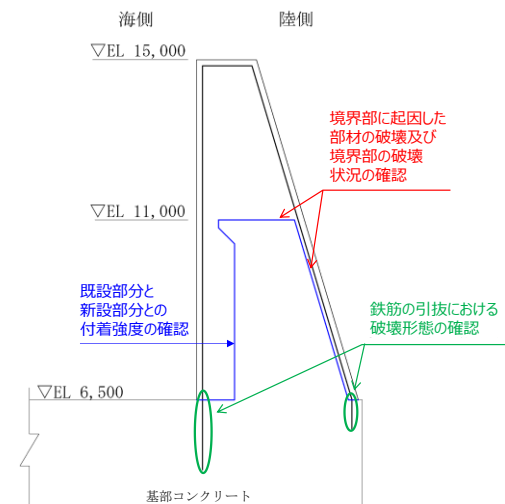


図2 一体性における確認事項

【1-9 (4)】防波壁（波返重力擁壁における既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認）（2/7）

【詳細設計申送り事項に対する回答】

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	防波壁（波返重力擁壁）の壁体構造について、既設と新設コンクリートを一体化として評価できる根拠及び設計・施工上の配慮事項を説明すること。	B	<p>防波壁（波返重力擁壁）の壁体構造について、以下の観点から、既設と新設コンクリートを一体として挙動することを確認した。</p> <p>① 既設部分と新設部分との付着強度の確認 既設部分と新設部分の付着を向上させるために既設部分のコンクリート表面の目荒らし処理を行い、付着強度試験は、すべての試験において付着強度が1.5N/mm²以上であることを確認した。</p> <p>② 鉄筋の引抜における破壊形態の確認 新設部分の主筋の定着部分は、基部コンクリートの隅角部に近接していることから、実構造物スケールの実験体による鉄筋の引張試験を行った結果、鉄筋定着部の破壊形態は鉄筋の降伏であり、隅角部の影響はなく、主筋は基部コンクリートに十分定着していることを確認した。</p> <p>③ 境界部に起因した部材の破壊及び境界部の破壊状況の確認 断面内に新旧コンクリートの境界部を有する鉄筋コンクリート部材においては、境界部の破壊、それに伴う鉄筋コンクリート部材の破壊進展が懸念されることを踏まえ、材料非線形解析を実施した結果、地震時及び津波時において、コンクリート及び境界部が破壊していないことから、既設部分と新設部分は一体として挙動していることを確認した。また、プッシュオーバー解析において、コンクリート及び境界部においても局所的なせん断破壊が生じるものの、水平方向に貫通するような破壊が生じていないことを確認した。</p>	P.21～25

【1-9 (4)】防波壁（波返重力擁壁における既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認） (3/7)

1. 既設部分と新設部分との付着強度の確認

- 防波壁（波返重力擁壁）の施工におけるコンクリートの付着力は、既設部分と新設部分の付着を向上させるために既設部分のコンクリート表面に目荒らし処理を行った。
- 目荒らし処理後は、付着力を確認するため、図3及び図4に示す付着強度試験を行った。
- 付着強度試験は、目荒らし処理完了範囲の擁壁面3箇所（図5）にモルタルを打設して供試体を作成した。1箇所につき5供試体を作成し、建研式引張試験器を用いて引っ張ることで付着強度を確認し、表1に示すとおりすべての試験において付着強度が $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上*であることを確認した。

注記*：表面保護工法 設計施工指針（案）【工種別マニュアル編】（土木学会，2005年）断面修復工マニュアルに記載される付着強度 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ を参考に管理基準値として $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ を設定

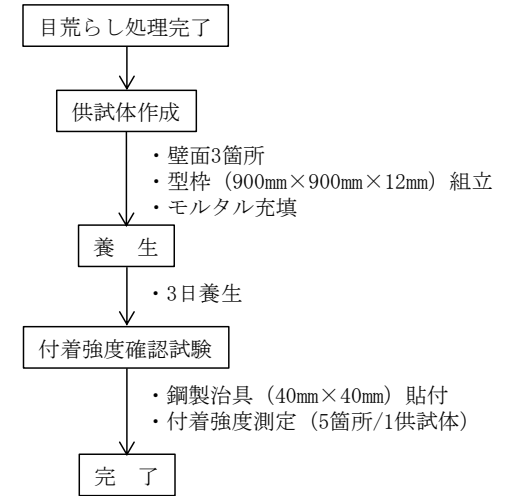


図3 付着強度試験フロー

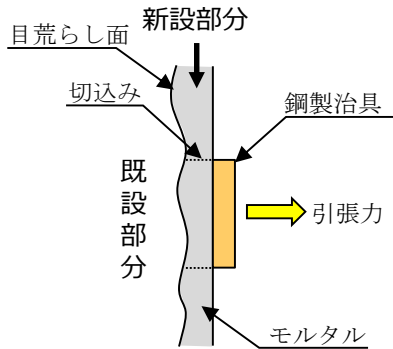


図4 付着強度試験イメージ

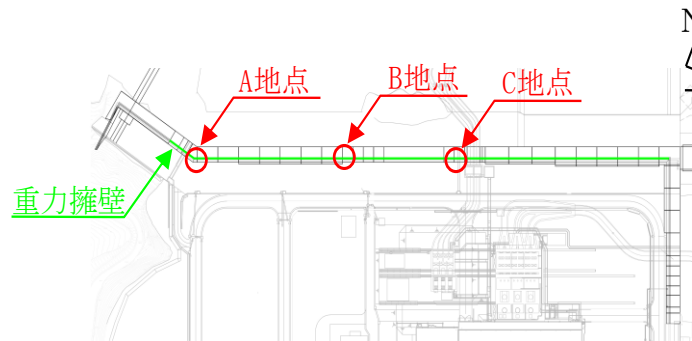


図5 付着強度試験実施位置図

表1 付着強度試験結果

単位： N/mm^2

供試体 NO	試験場所		
	A地点	B地点	C地点
1	1.71	1.78	1.76
2	1.61	1.66	1.72
3	1.72	1.88	1.66
4	1.74	1.63	1.84
5	1.60	1.99	1.58

【1-9 (4)】防波壁（波返重力擁壁における既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認）（4/7）

2. 鉄筋の引抜における破壊形態の確認

- 新設部分の主筋の定着部分は、図6に示すように基部コンクリートの隅角部（陸側）に近接しており、主筋と隅角部の距離が主筋の破壊形態や引張耐力に及ぼす影響を確認するため、実構造物スケールの鉄筋定着及びへりあきを考慮した実構造物スケールの実験体を作成し、鉄筋の引張試験（図7）を行った。
- 図8に示す実験結果（引張荷重－鉄筋ひずみ関係）より、鉄筋の降伏荷重に至るまでに大きな荷重の低下は見られず、コンクリートのコーン状破壊、鉄筋とセメントミルク界面の付着破壊及びコンクリートとセメントミルク界面の付着破壊は生じていないことから、鉄筋定着部の破壊形態は、鉄筋の降伏と判断した。
- 以上より、陸側及び海側の主筋は、隅角部の影響はなく、基部コンクリートに十分定着していることを確認した。

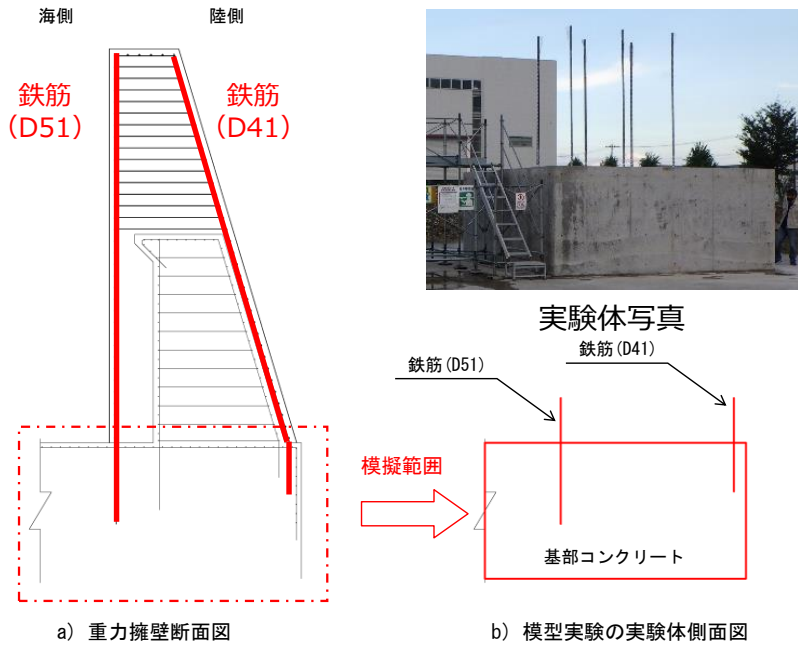


図6 重力擁壁の実験体における模擬範囲

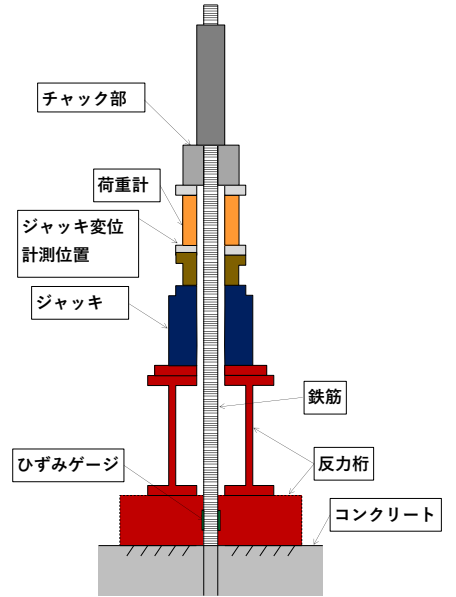


図7 荷重装置及び計測位置概要図

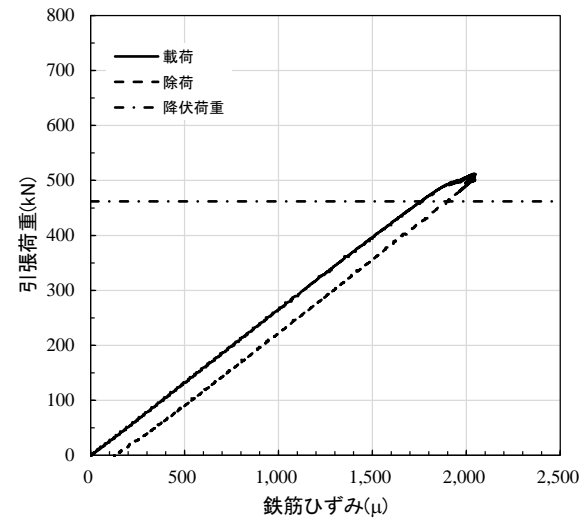


図8 実験結果（引張荷重－鉄筋ひずみ関係）（鉄筋D41）

【1-9 (4)】防波壁（波返重力擁壁における既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認） (5/7)

3. 境界部に起因した部材の破壊及び境界部の破壊状況の確認

- 断面内に新旧コンクリートの境界部を有する鉄筋コンクリート部材においては、地震時又は津波時に、境界部の引張破壊及びせん断破壊、それに伴う鉄筋コンクリート部材の破壊進展が懸念される。
- 図9に示す既設部分と新設部分の境界部を有する重力擁壁をモデル化し、材料非線形解析により、地震荷重又は津波荷重の作用時において、境界部の引張破壊及びせん断破壊、それに伴う鉄筋コンクリート部材の破壊進展を確認する。さらに、地震時及び津波時の荷重から更に増加させたプッシュオーバー解析を実施し、境界部及び鉄筋コンクリート部材の破壊状況を確認する。
- 材料非線形解析における解析条件を表2～4に示す。

表2 材料定数

項目	新設部分	既設部分
コンクリート 圧縮強度	24.0N/mm ²	21.0N/mm ²
コンクリート せん断強度	4.8N/mm ²	4.2N/mm ²
鉄筋	345N/mm ²	345N/mm ²

表3 ジョイント要素の設定値

ジョイント要素	設定値
面直方向	軸剛性 : 1.00×10 ⁷ N/mm ² 引張強度 : 1.5 N/mm ² *1
せん断方向	軸剛性 : 1.00×10 ⁷ N/mm ² せん断強度 : 1.5 N/mm ² *2

注記*1: 付着強度試験を踏まえ、管理基準値1.5N/mm²を設定
*2: 文献に記載される2.0～4.36N/mm²を踏まえ、安全側に設定

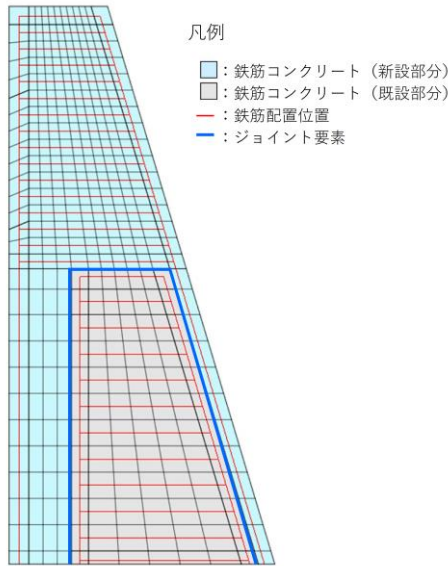


図9 解析モデル図

表4 材料非線形解析における作用荷重

入力荷重	概要	水平荷重
地震時① (Ss-D(--))	海側から陸側に重力擁壁が傾斜する方向に荷重が作用する場合において重力擁壁の曲げ・軸力系の照査値が全解析ケースの中で最大	955 kN
地震時② (Ss-N1(++))	陸側から海側に重力擁壁が傾斜する方向に荷重が作用する場合において重力擁壁の曲げ・軸力系の照査値が全解析ケースの中で最大	971 kN
津波時①	津波波圧及び漂流物衝突荷重を考慮	851 kN

【1-9 (4)】防波壁（波返重力擁壁における既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認）（6/7）

3. 境界部に起因した部材の破壊及び境界部の破壊状況の確認（続き）

- 地震時①を載荷した場合の水平荷重と天端水平変位の関係を図10に示す。地震時①における材料非線形解析の結果として、図11～15より、コンクリートの破壊及び鉄筋の降伏が生じておらず、境界部も破壊していないことを確認した。
- 地震時②及び津波時①においても、コンクリートの破壊及び鉄筋の降伏が生じておらず、境界部も破壊していないことを確認した。

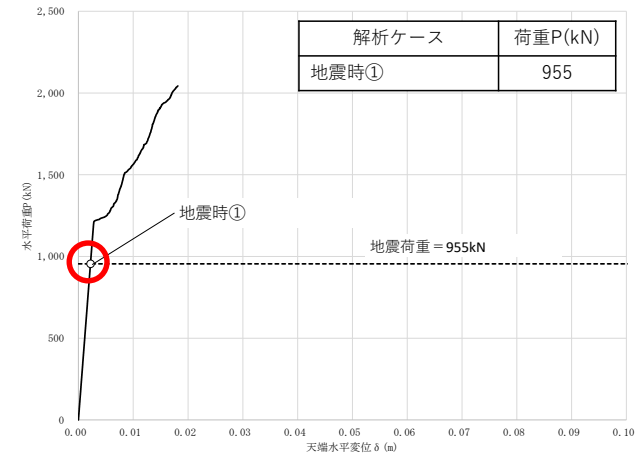


図10 水平荷重と天端水平変位の関係（地震時①）

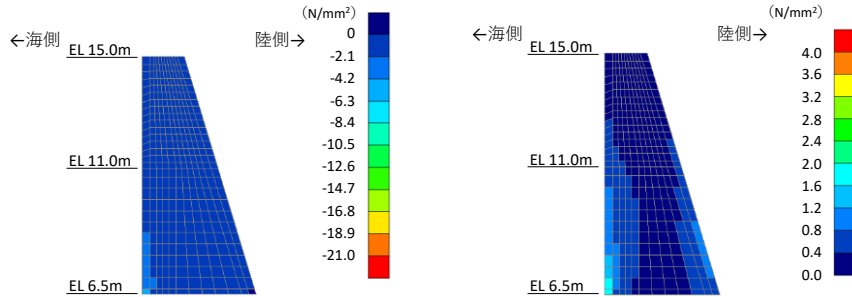


図11 コンクリートの最小主応力図 図12 コンクリートの最大せん断応力図

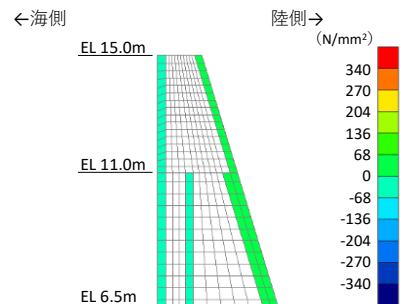


図13 鉄筋の応力図

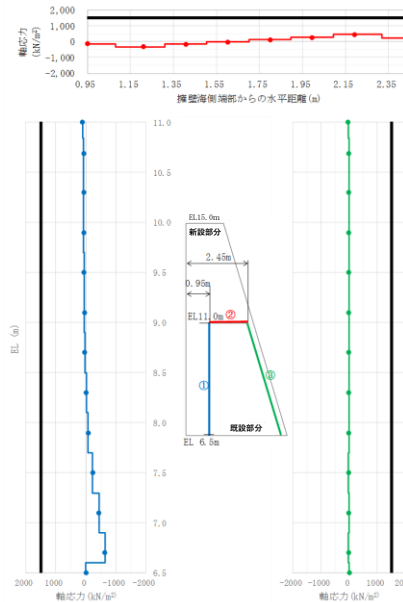


図14 境界部における引張応力図

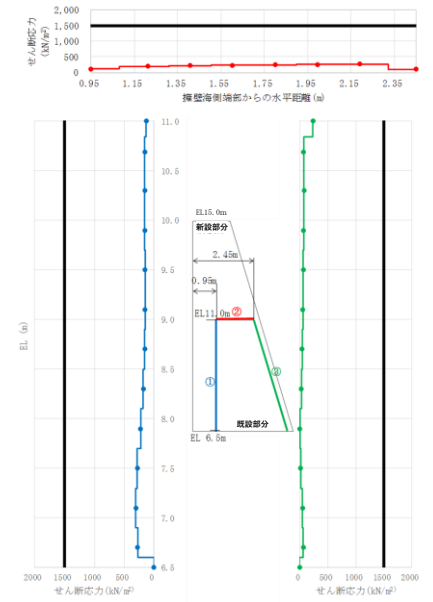


図15 境界部におけるせん断応力図

【1-9 (4)】防波壁（波返重力擁壁における既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認）（7/7）

3. 境界部に起因した部材の破壊及び境界部の破壊状況の確認（続き）

- プッシュオーバー解析における水平荷重と天端水平変位の関係を図16～18に示す。
- 地震時①の荷重から更に増加させていくと、図19に示すとおりコンクリートの一部がせん断破壊し、境界部においても局所的なせん断破壊が生じるものの、弱部として懸念される新設コンクリートにおける既設部分の天端付近及び陸側のコンクリートが薄い箇所は健全である。
- プッシュオーバー解析において、新設部分と既設部分の境界部にすべりが発生した時点における荷重は1,849kNであることから、地震時及び津波時には、既設部分と新設部分の境界部は一体として挙動していると判断した。
- 以上の確認より、既設部分と新設部分の一体性が確保されていることを確認した。

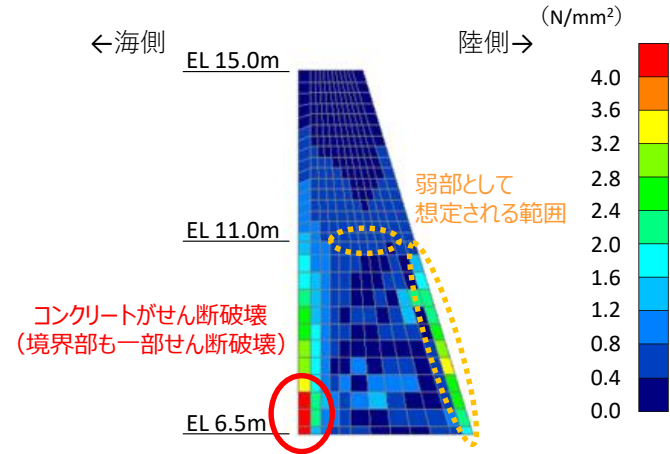


図19 コンクリートの最大せん断応力図 (例：地震時①のプッシュオーバー解析)

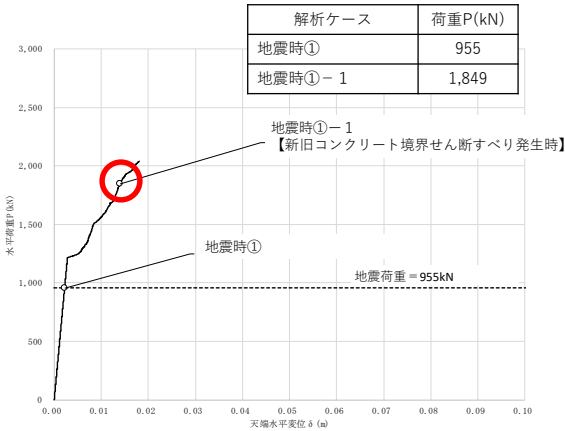


図16 水平荷重と天端水平変位の関係 (地震時①のプッシュオーバー解析)

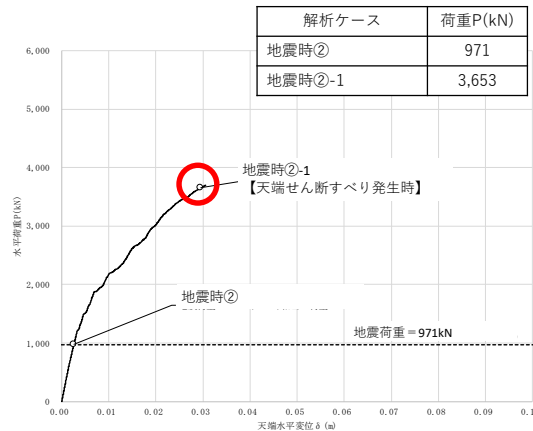


図17 水平荷重と天端水平変位の関係 (地震時②のプッシュオーバー解析)

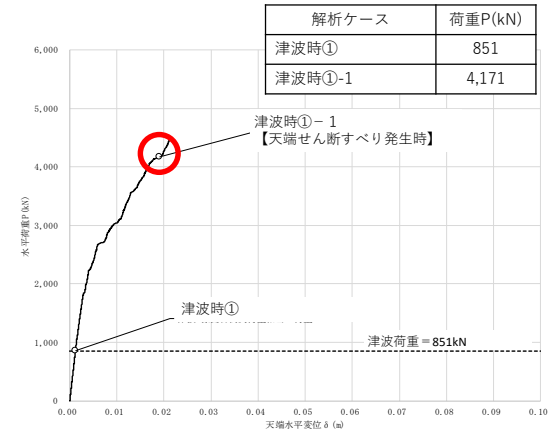


図18 水平荷重と天端水平変位の関係 (津波時①のプッシュオーバー解析)

【4-5（1）】取水槽（取水槽の耐震評価）

【4-5 (1)】取水槽 (取水槽の耐震評価) (1/8)

【取水槽の耐震評価説明内容】

- 取水槽は非常用取水設備であり，耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である原子炉補機冷却海水ポンプ等を間接支持する支持機能，非常時における海水の通水機能及び浸水防止のための止水機能が要求される (図1，図2，図3)。
- 取水槽については，耐震性の裕度を向上するため耐震補強を行っていることから，その概要について説明する。
- 取水槽が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認した耐震評価結果について説明する。

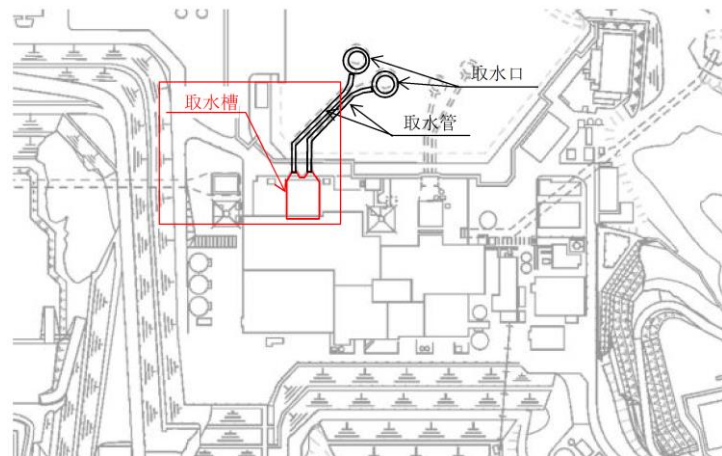


図1 取水槽の位置図

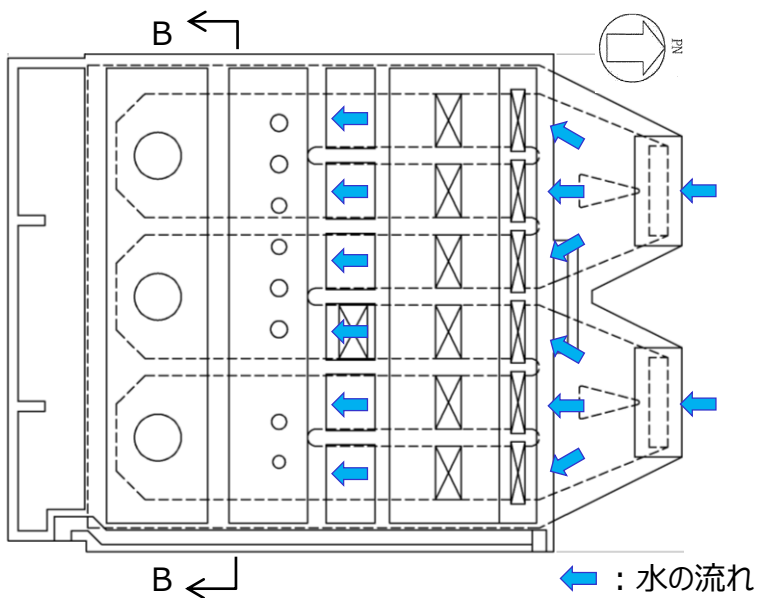


図2 取水槽の平面図

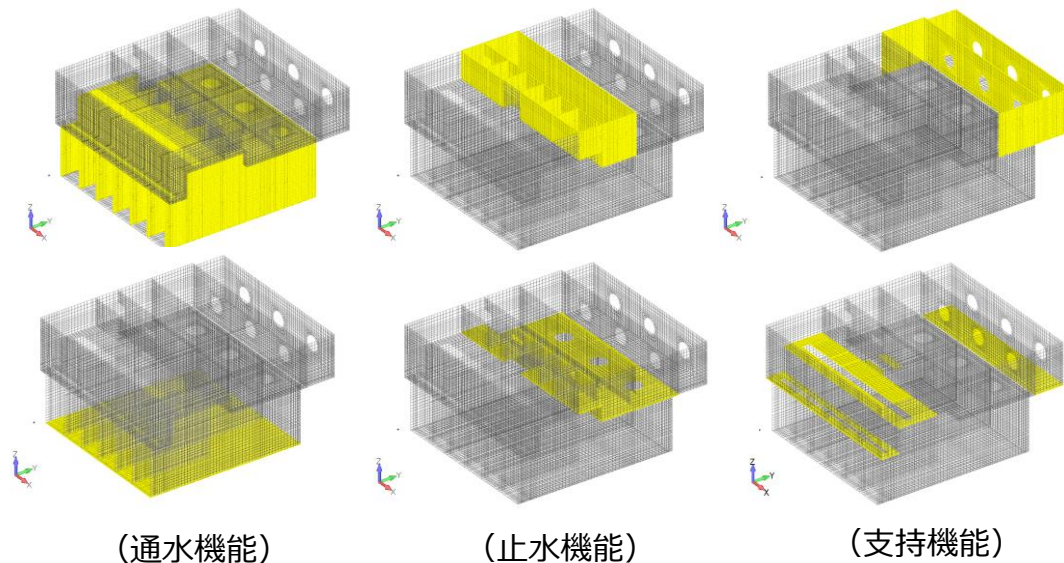


図3 各機能が要求される部材の範囲 (上:壁部, 下:床部)

【4-5 (1)】取水槽 (取水槽の耐震評価) (2/8)

【取水槽の構造概要】

- 取水槽は地下2階構造で、上部は除じん機エリア、海水ポンプエリア及びストレーナエリアの3エリアに分かれている。下部は水路となっており、除じん機エリアは6連のボックスカルバート構造、海水ポンプエリアは3連のボックスカルバート構造である。上部は各エリアが隔壁により仕切られ、各エリアによって開口部の存在や中床版の設置高さが異なる等の構造である (図4, 図5)。

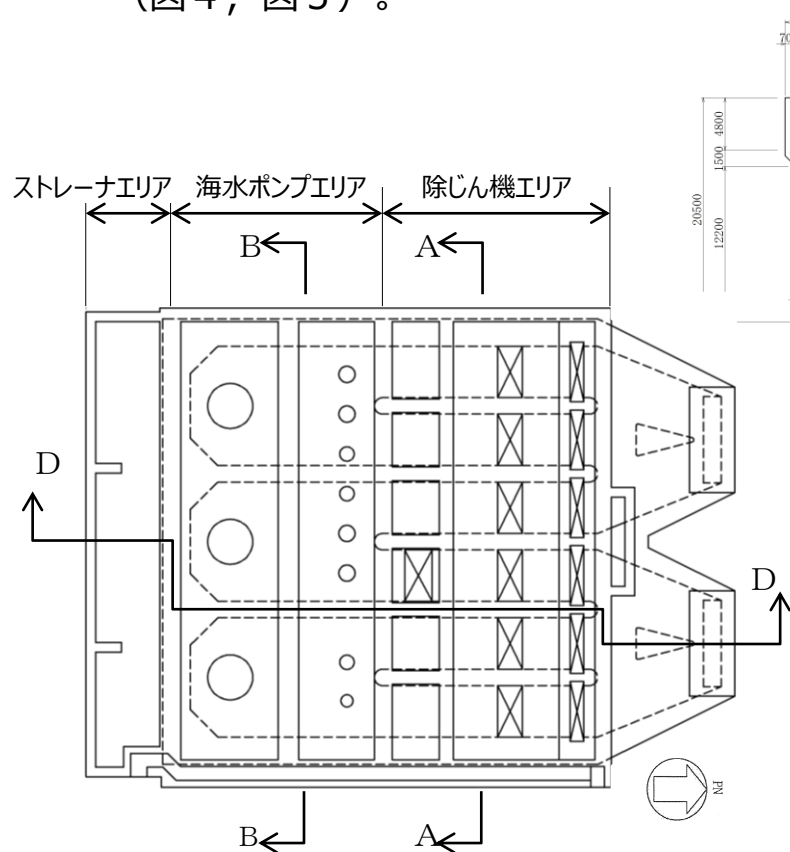
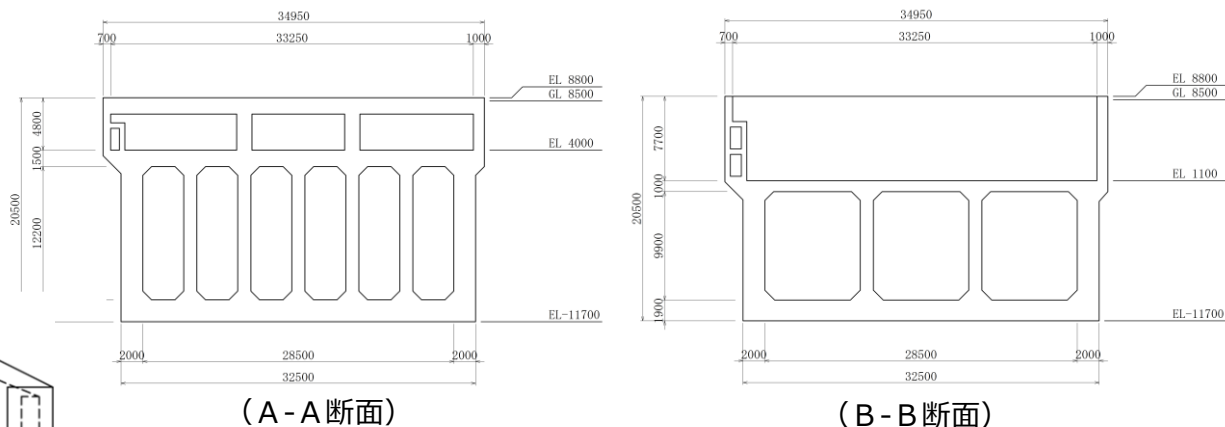
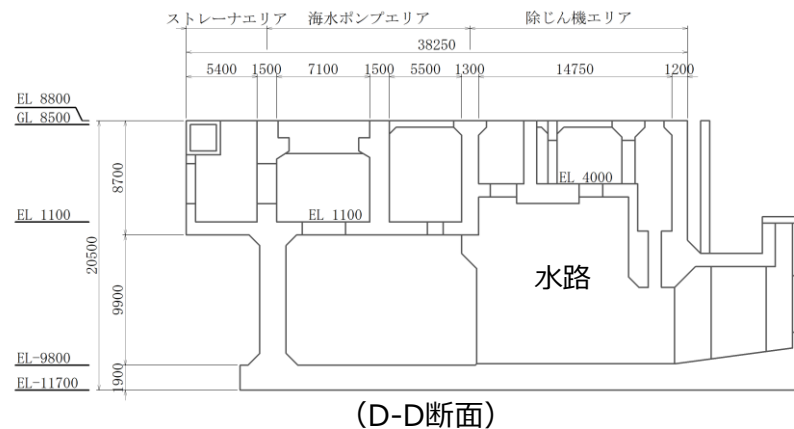


図4 取水槽の平面図



(A-A断面)

(B-B断面)



(D-D断面)

図5 取水槽の断面図

【4-5 (1)】取水槽 (取水槽の耐震評価) (3/8)

【取水槽の耐震補強工事概要】

- 設計当時の基準地震動 S_s の増大により、取水槽の耐震性を確保するため、耐震補強を実施する。
- せん断破壊に対する補強として後施工せん断補強筋 (以下「PHb」という。) を適用する (図6)。
- 除じん機エリアにおける北妻壁の曲げ・軸力系の破壊に対する補強として、北妻壁の増厚補強 (部材厚1,200mmを1,800mmに増厚) を実施するとともに、控壁を追設 (5枚) する (図6)。
- 波及的影響を防止するため原子炉補機海水ポンプ棚 (RSWポンプ棚) の撤去を実施する (図6)。

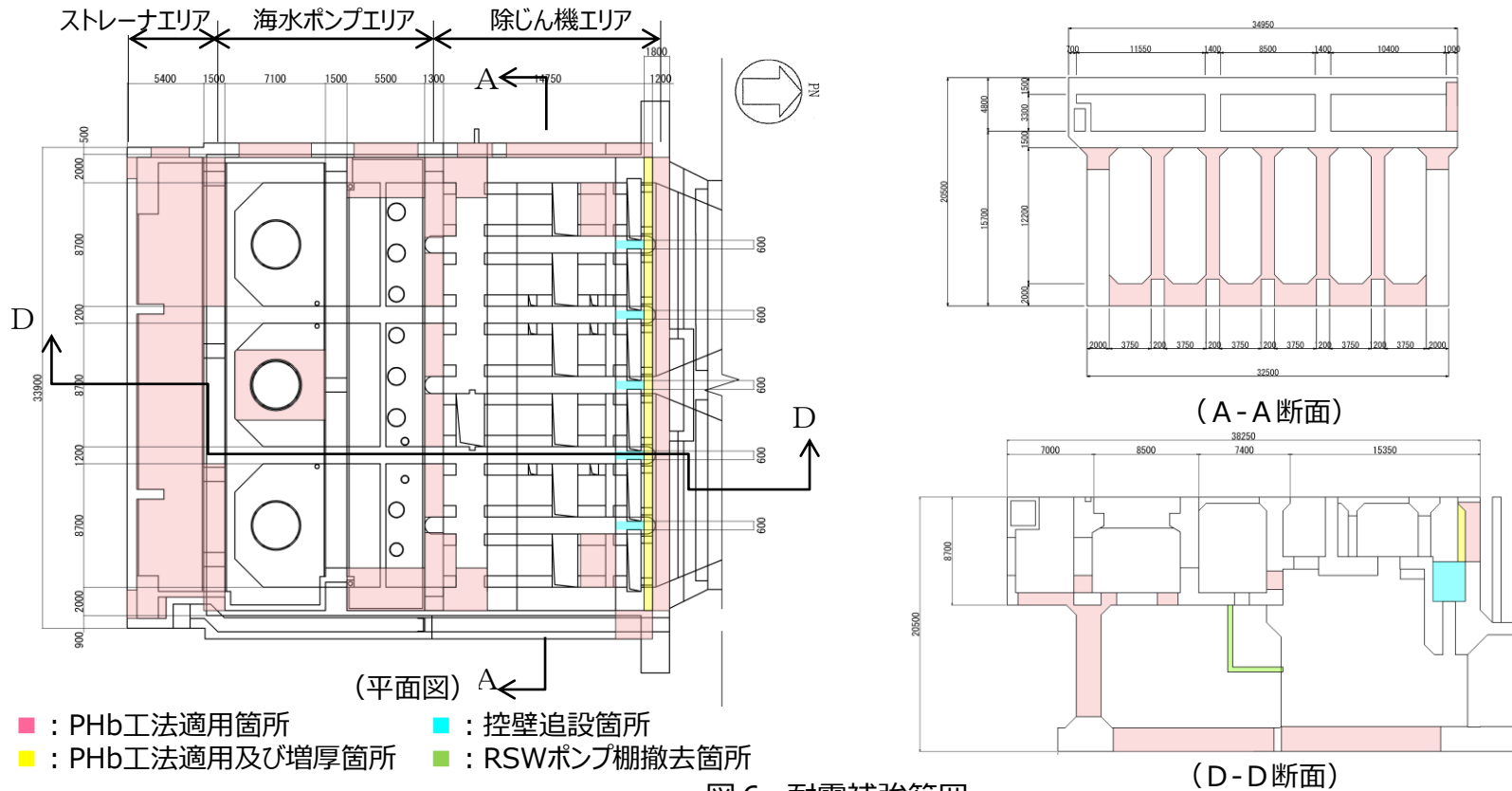


図6 耐震補強範囲

【4-5 (1)】取水槽（取水槽の耐震評価）（4/8）

【取水槽の耐震補強工事概要】

- 地盤改良範囲について，深度方向は地表（GL.8.5m）から基岩（EL.-5.0m）までの13.5mとし，幅は13.5mとしている。また，取水槽の北側については，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）までを地盤改良する。

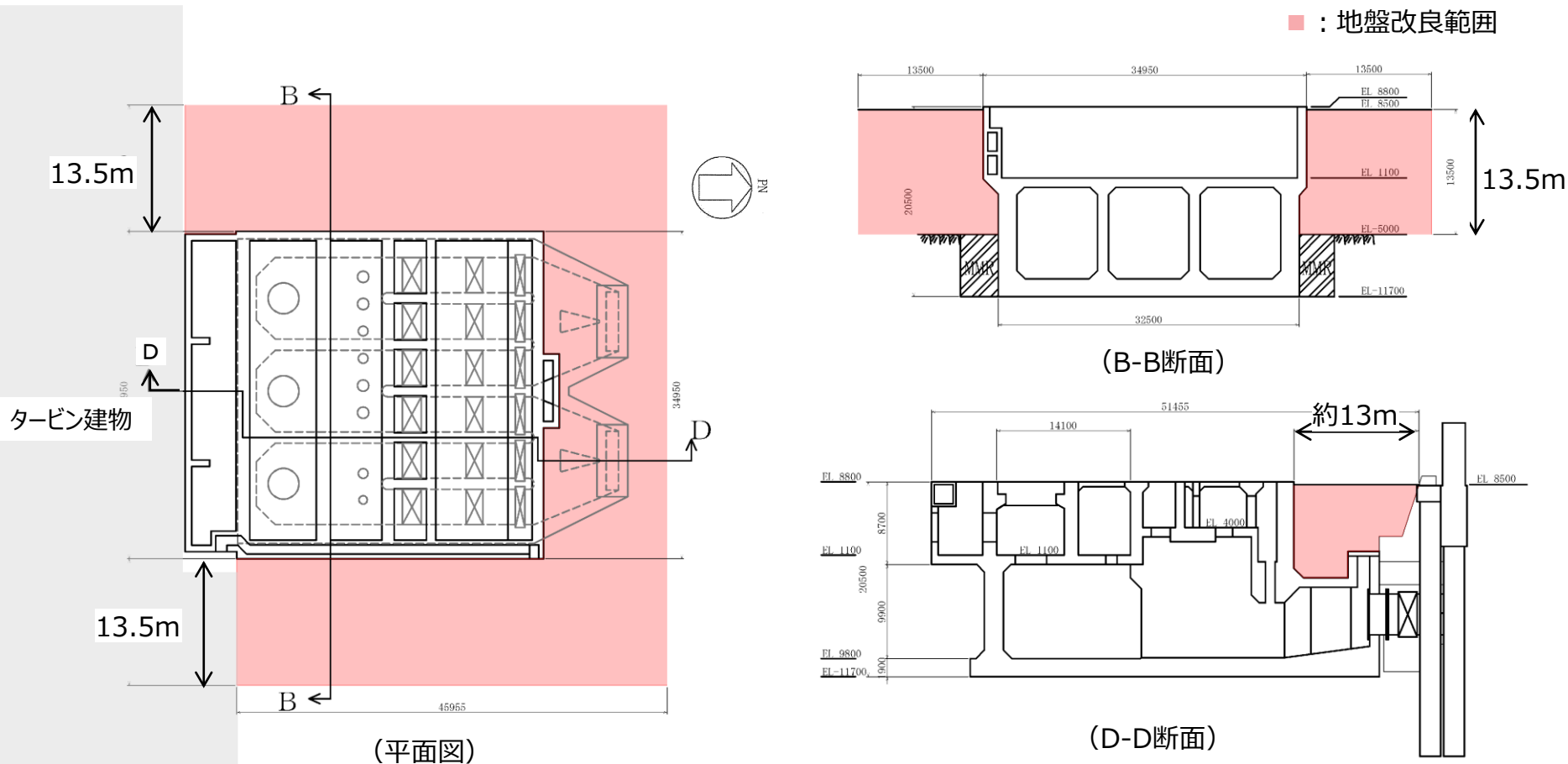


図7 地盤改良範囲

【4-5 (1)】取水槽（取水槽の耐震評価）（5/8）

【取水槽の耐震評価フロー】

- 取水槽は加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁を有する箱型構造物であることから、3次元非線形シェル要素を用いた3次元構造解析により耐震性評価を実施する。
- 3次元構造解析の実施に当たり、2次元有限要素法を用いた地震応答解析（時刻歴応答解析）により地震時荷重を算定し、その荷重を3次元構造解析モデルに作用させる。地震応答解析では、地震時荷重（地震時土圧）に加え、慣性力、基礎地盤に発生する接地圧等を抽出する（図8）。
- 3次元構造解析及び地震応答解析に基づき、「曲げ・軸力系の破壊に対する照査」及び「せん断破壊に対する照査」並びに「基礎地盤の支持性能に対する照査」を実施し、所定の許容限界を満足することを確認する。また、取水槽の要求機能を満足していることを確認するため、「通水機能」「止水機能」「支持機能」の観点から各部材の評価を実施する（表1）。

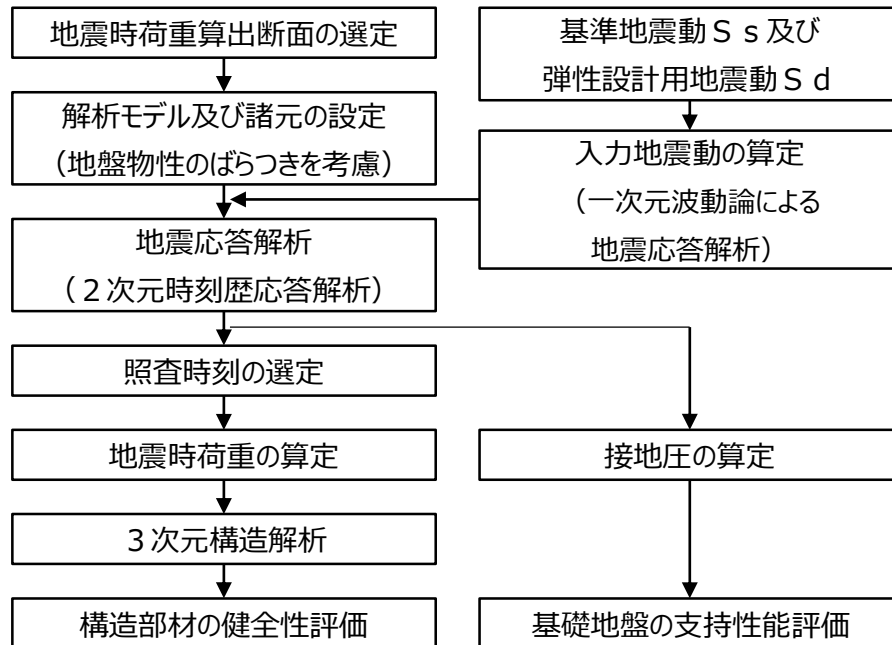


図8 耐震評価フロー図

表1 照査項目と許容限界

照査項目		許容限界	
曲げ・ 軸力系 の破壊	構造強度	コンクリート圧縮縁ひずみ	10000 μ
	通水機能	コンクリート圧縮縁ひずみ	10000 μ
	止水機能	コンクリート圧縮ひずみ	2000 μ
		主筋ひずみ	1725 μ
支持機能	コンクリート圧縮縁ひずみ	10000 μ	
せん断 破壊	構造強度 通水機能 止水機能 支持機能	せん断耐力*	棒部材式 による
基礎地盤の 支持性能	支持地盤 (CL級)		3.9N/mm ²
	MMR	$f'_{ck}=15.6\text{N/mm}^2$	15.6N/mm ²
		$f'_{ck}=18.0\text{N/mm}^2$	18.0N/mm ²

* PHb適用部材は照査値が0.8程度であることを確認する。

【4-5 (1)】取水槽（取水槽の耐震評価）（6/8）

【地震応答解析の概要】

- 取水槽の構造的特徴を踏まえ、各エリアの妻壁や隔壁の配置が異なることによる剛性差が地震時荷重及び床応答に与える影響を考慮し、東西方向では、除じん機エリア、海水ポンプエリア及びストレーナエリアごとに等価剛性モデルを作成し、地震応答解析を実施する（図9）。
- 取水槽は、構造物の大部分が地中に埋設されており、取水槽の東西方向には埋戻土が主に分布し、地下水位がEL.4.5mに分布していることから、液状化を考慮した有効応力解析（FLIP）を実施する（図10）。
- また、埋戻土が地震時に構造物への応答に大きく影響を与える判断されることから、埋戻土のばらつきについても考慮する。加えて、非液状化の条件を仮定したケースとして、全応力解析（TDAP III）を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する（表2）。

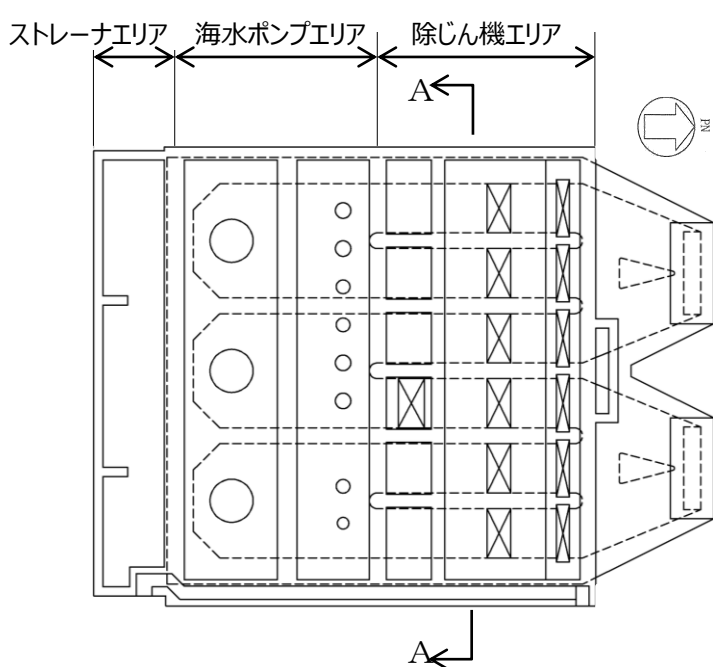


図9 取水槽の平面図

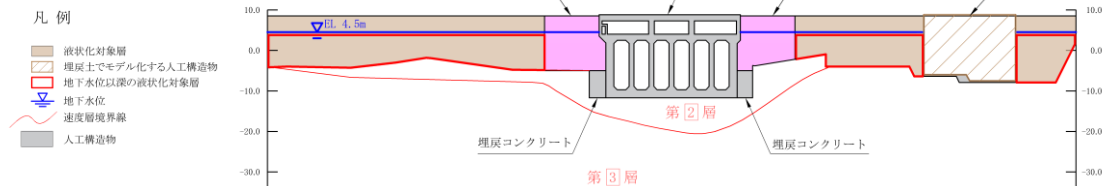


図10 取水槽の断面図（A-A断面）

表2 解析ケース一覧

解析ケース	解析手法	地盤物性	
		埋戻土 (初期せん断弾性係数)	岩盤 (動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	有効 応力 解析	平均値	平均値
ケース②		平均値 + 1σ	平均値
ケース③		平均値 - 1σ	平均値
ケース④	全応力 解析	平均値	平均値
ケース⑤		平均値 + 1σ	平均値

【4-5 (1)】取水槽（取水槽の耐震評価）（7/8）

【3次元構造解析の概要】

- 構造物の各部材を非線形シェル要素でモデル化した3次元構造解析モデルにより、耐震評価を行う（図10）。
- 取水槽に作用する荷重は、地震応答解析において構造物の評価に支配的な荷重が作用する時刻（9時刻）を選定し、各時刻における地震時応答から設定する（地盤物性のばらつき及び非液状化を考慮した624ケース）（表3）。
- 構造部材の健全性評価において照査値が許容限界を上回る場合、「要素の平均化」等の追加解析を実施し、許容限界を満足することを確認する（図11）。

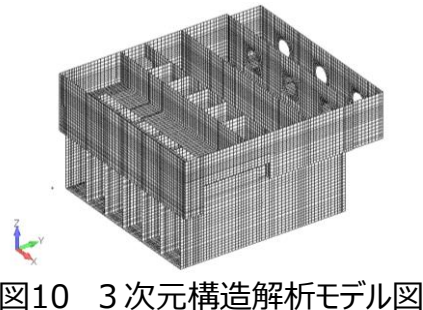
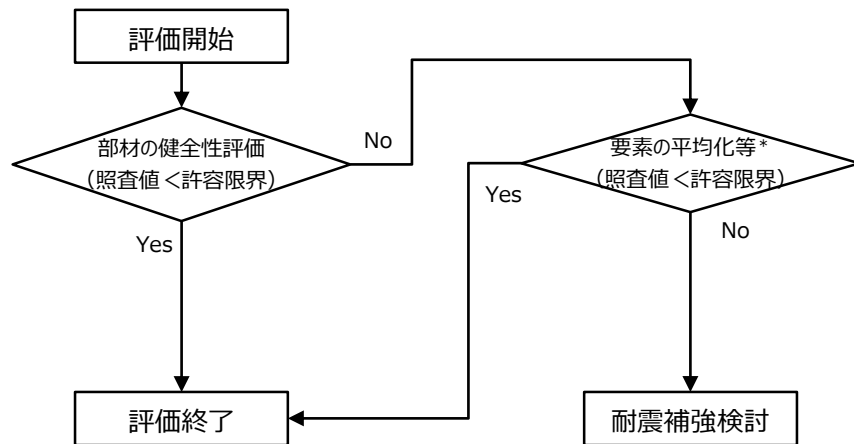


図10 3次元構造解析モデル図



* 要素の平均化，せん断照査の線形被害則，部材モデルを用いた健全性評価

図11 照査値が許容限界を超えた場合の対応

表3 照査時刻の考え方

照査時刻	損傷モード	着目部位		荷重抽出時刻	抽出する応答値
時刻1	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		下部構造における頂底版間の層間変位が最大となる時刻	中部2節点，下部2節点の応答変位を用いて回転成分を除去した層間変位
時刻2	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		上部構造における各側壁の転倒曲げモーメントが最大となる時刻	(上部構造に隣接する側面地盤水平土圧+上部構造側壁の慣性力)×上部構造のアーム長の積算値
時刻3					
時刻4	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		総水平荷重が最大となる時刻	底面地盤せん断応力の積算値
時刻5	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		上部構造における各側壁の水平荷重が最大となる時刻	上部構造に隣接する側面地盤水平土圧と上部構造側壁の慣性力の積算値
時刻6					
時刻7	せん断破壊 (面内)	壁 (面内)		面部材の層間変位が最大となる時刻	上部2節点，中部2節点の応答変位を用いて回転成分を除去した層間変位
時刻8	曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊 (面外)	壁 (面外)		上部構造における各側壁の上部荷重が最大となる時刻	上部構造に隣接する側面地盤の上半分の水平土圧と側壁の慣性力の積算値
時刻9					

【4-5 (1)】取水槽（取水槽の耐震評価）（8/8）

【取水槽の耐震評価フロー】

- 曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果，せん断破壊に対する照査結果及び基礎地盤の支持性能に対する照査結果のうち，要求機能ごとの最大照査値を表4～表6に示す。いずれについても，許容限界を満足することを確認した。

表4 曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果

機能要求	照査用 ひずみ ε_d *	限界ひずみ ε_R	照査値 $\varepsilon_d / \varepsilon_R$
構造強度	7932 μ	10000 μ	0.80
通水機能	2129 μ	10000 μ	0.22
止水機能	1973 μ	2000 μ	0.99
	1624 μ	1725 μ	0.94
支持機能	7932 μ	10000 μ	0.80

*：発生ひずみ×構造解析係数 γ_a （=1.2）

表6 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

評価対象	接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d / R_u
支持地盤 (C _L 級)	0.95	3.9	0.25

表5 せん断破壊に対する照査結果

機能要求	照査用 せん断力* ¹ V_d (kN/m)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
構造強度	1486	1520	0.98* ²
通水機能	4556	4962	0.92
止水機能	1486	1520	0.98* ²
支持機能	171	187	0.92

*1：発生せん断力×構造解析係数 γ_a （=1.05）

*2：要素の平均化を実施した照査値

【（参考）要素の平均化】

- ひずみの平均化は，許容限界を超えている当該要素に対し，曲げ変形の方角を考慮して主筋の軸方向に隣接する要素を対象とし，当該要素のひずみと隣接する要素のひずみをそれぞれの要素の面積に応じた加重平均として算出する。
- せん断力の平均化は，許容限界を超えている当該要素に対し，隣接する要素を対象とし，当該要素のせん断力と隣接する要素のせん断力を，それぞれの要素の面積に応じた加重平均として算出する。

【4-5 (2)】設計地下水位を踏まえた屋外重要 土木構造物の解析手法

【4-5 (2)】設計地下水位を踏まえた屋外重要土木構造物の解析手法 (1/3)

36

【詳細設計申送り事項に対する回答】

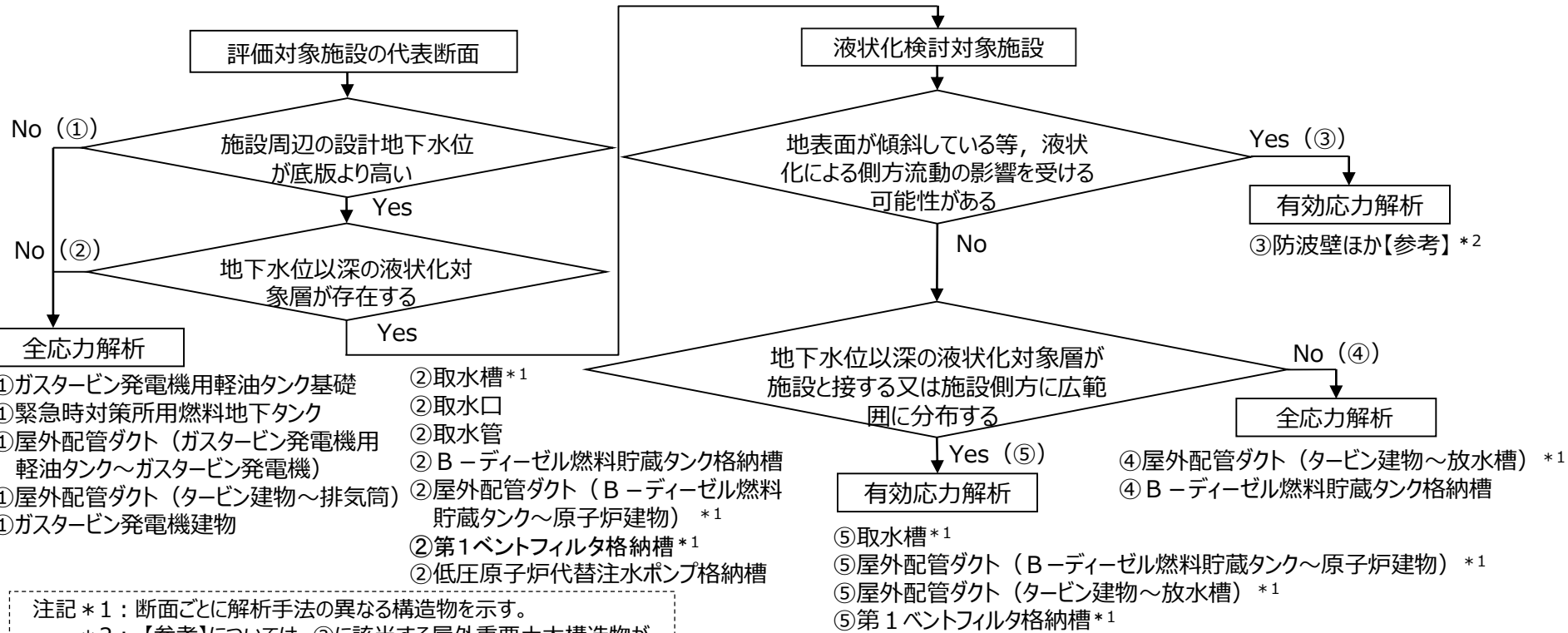
No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	設置変更許可において示した液状化対象施設の選定の考え方を踏まえ、工事計画認可では設定した地下水位に基づく液状化検討対象施設の選定結果について説明すること。 (第329回ヒアリング (2020年6月2日))	B	設工認段階における設計地下水位の設定結果に基づき、液状化検討対象施設の選定及び選定結果に応じた解析手法について説明する。	P.37,38

【4-5 (2)】設計地下水位を踏まえた屋外重要土木構造物の解析手法 (2/3)

【詳細設計申送り事項に対する回答】

- 施設周辺の地下水位が十分に低い場合又は地下水位以深に液状化対象層が存在しない場合は、全応力解析により耐震評価を実施する。
- 地盤の液状化による側方流動の影響を受ける場合もしくは地下水位以深の液状化対象層が施設と接する又は施設側方に広く分布する場合は、有効応力解析を選定する。なお、液状化しない場合についても想定し、全応力解析により確認する。
- 地下水位以深の液状化対象層と施設の間で離隔があり、かつ液状化対象層が局所的に分布する場合は、全応力解析により耐震評価を実施する。なお、液状化の影響が構造物に及んでいないことを有効応力解析により確認する。

解析手法の選定フロー



注記 *1：断面ごとに解析手法の異なる構造物を示す。
*2：【参考】については、③に該当する屋外重要土木構造物が存在しないため、補足的に記載した。

【詳細設計申送り事項に対する回答】

液状化検討対象施設の解析手法について

- フロー④は、局所的な液状化の可能性について、有効応力解析により定量的に悪影響がないことを確認のうえ、全応力解析により耐震評価を実施する。
- フロー⑤は、施設近傍で液状化が発生する可能性があり、液状化が発生した場合、その影響について判断がつかないことから、有効応力解析により耐震評価を実施する。また、液状化が発生しない場合の確認を全応力解析により確認する。

	フロー④	フロー⑤
周辺地盤の状況	地下水位以深の液状化対象層と施設の間に離隔があり、かつ液状化対象層が局所的に分布する。	地下水位以深の液状化対象層が施設と接する又は施設側方に広範囲に分布する。
選定する解析手法	施設に液状化等の影響が及ばないと考えられるため、全応力解析により耐震評価を実施。	施設近傍で液状化が発生する可能性がある。あるいは、施設周辺の地盤で液状化が発生した場合、その影響について判断がつかないことから、有効応力解析により耐震評価を実施。
補足検討事項	液状化等の影響が及んでいないことの確認を有効応力解析により実施する。	液状化が発生しない場合の確認を全応力解析により実施する。
代表的な耐震評価断面	<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ モデル化する隣接構造物 ■ 液状化対象層 □ 地下水位以深の液状化対象層 ▽ 地下水位 〰 速度層境界線 ■ 人工構造物 <p style="text-align: center;">屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)</p>	<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 液状化対象層 □ 地下水位以深の液状化対象層 ▽ 地下水位 〰 速度層境界線 ■ 人工構造物 <p style="text-align: center;">取水槽</p>

<参考> 審査会合における主な説明事項の説明状況 (1/2)

分類	No.	主な説明事項	説明状況	
[1] 詳細設計 申送り事項	1-1	地震応答解析モデルにおける建物基礎底面の付着力	第1054回審査会合にて説明済	
	1-2	建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価	第1067回審査会合にて説明済	
	1-3	横置円筒形容器の応力解析への F E Mモデル適用方針の変更	次回以降の審査会合にて説明	
	1-4	サプレッションチェンバの耐震評価	第1096回審査会合にて説明済	
	1-5	漂流物衝突荷重の設定	第1067,1096回審査会合にて説明済 漂流物対策工及び漂流防止装置については次回以降の審査会合にて説明	
	1-6	機器・配管系への制震装置の適用	【三軸粘性ダンパ】	第1067回審査会合にて説明済
			【単軸粘性ダンパ】	今回説明
	1-7	浸水防止設備のうち機器・配管系の基準地震動 S s に対する許容限界	次回以降の審査会合にて説明	
	1-8	設計地下水位の設定	第1067回審査会合にて説明済	
	1-9	防波壁 【多重鋼管杭式擁壁】	• 多重鋼管杭の許容限界について模型実験及び 3次元静的 F E M解析による確認	第1096回審査会合にて説明済
			• 防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等の説明	今回説明
			• 鋼管杭周辺岩盤の破壊に伴う鋼管杭の水平抵抗への影響の確認	今回説明
			• 3次元静的 F E M解析による被覆コンクリートの健全性評価	今回説明
		防波壁 【逆T擁壁】	• 役割に期待しない鋼管杭による逆T擁壁への悪影響の確認	第1096回審査会合にて説明済
• 杭頭部の力学挙動について模型実験による確認			第1096回審査会合にて説明済	
• グラウンドアンカのモデル化を踏まえた健全性評価及び品質管理			第1096回審査会合にて説明済	
• 改良地盤の範囲及び仕様等の説明 (P S 検層等に基づく)			第1067回審査会合にて説明済 現地施工進捗に伴う品質確認試験結果については次回以降の審査会合にて説明	
		• 基礎底面の傾斜に対する健全性評価	第1096回審査会合にて説明済	

<参考> 審査会合における主な説明事項の説明状況 (2/2)

分類	No.	主な説明事項		説明状況
[1] 詳細設計 送り事項	1-9	防波壁 【波返重力 擁壁】	• 既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認	今回説明
			• 3次元静的 F E M解析によるケーソンの健全性評価	次回以降の審査会合にて説明
			• ケーソン中詰材改良の範囲及び仕様等の説明	次回以降の審査会合にて説明
	1-10	土石流影響評価		次回以降の審査会合にて説明
	1-11	保管・アクセス (抑止杭)		第1054回審査会合にて説明済
	1-12	ブローアウトパネル閉止装置		第1036,1054回審査会合にて説明済
1-13	非常用ガス処理系吸入口の位置変更による影響		第1036,1054回審査会合にて説明済	
1-14	原子炉ウエル排気ラインの閉止及び原子炉ウエル水張りラインにおけるドレン弁の閉運用による影響		第1036回審査会合にて説明済	
[2] 新たな規 制要求 (バック フィット) への 対応事項	2-1	安全系電源盤に対する高エネルギーアーク (HEAF) 火災対策		第1054回審査会合にて説明済
	2-2	火災感知器の配置		次回以降の審査会合にて説明
[3] 設置変更 許可審査時 からの設計 変更内容	3-1	ドライウエル水位計 (原子炉格納容器床面 + 1.0m) 設置高さの変更		次回以降の審査会合にて説明
	3-2	格納容器酸素濃度 (B系) 及び格納容器水素濃度 (B系) 計測範囲の変更		第1036回審査会合にて説明済
	3-3	第4保管エリアの形状変更		次回以降の審査会合にて説明
	3-4	放射性物質吸着材の設置箇所の変更		次回以降の審査会合にて説明
[4] その他の 詳細設計に係 る説明事項	4-1	配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定		第1067回審査会合にて説明済
	4-2	原子炉本体の基礎の応力評価に用いる解析モデルの変更		次回以降の審査会合にて説明
	4-3	復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響		次回以降の審査会合にて説明
	4-4	制御棒・破損燃料貯蔵ラック等における排除水体积質量減算の適用		次回以降の審査会合にて説明
	4-5	取水槽		今回説明
	4-6	制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用及び原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更		次回以降の審査会合にて説明