

島根原子力発電所 2 号炉 津波による損傷の防止

論点 3 「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性」

(コメント回答)

令和 2 年 9 月
中国電力株式会社

審査会合における指摘事項

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
114	R2.8.20	・鋼管杭式逆 T 擁壁のグラウンドアンカーについて、逆 T 擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する役割に対し、その評価が成立することの見通しを説明すること。	P112,113,120,121
115		・波返重力擁壁の既設ケーソンの対策について、中詰材改良による補強方法の成立性を説明すること。また、中詰材の改良範囲及び仕様について、設定方法の考え方を説明すること。	P68,69
116		・波返重力擁壁のケーソンの評価断面について、構造成立性評価では「地盤改良部」を代表として選定しているが、構造が異なる「輪谷部」についてもケーソンの設計が成立する見通しを説明すること。	P150,151
117		・波返重力擁壁の構造成立性検討における解析条件について、荷重の載荷方法（2次元動的 F E M 解析結果から地震時荷重を算出し、その荷重を 3 次元静的 F E M 解析に載荷する方法等）及びケーソンと中詰材の相互作用を評価するための解析上の配慮事項を具体的に説明すること。	P130,133
118		・多重鋼管杭式擁壁の構造成立性検討について、根入れ部周辺の岩盤のせん断破壊領域と引張破壊領域の評価を示し、水平抵抗力に対して同領域が及ぼす影響を考慮した設計方針を説明すること。	P17,24

審査会合における指摘事項に対する回答【No.114】

■ 指摘事項（第888回審査会合 令和2年8月20日）

【No.114（論点3）防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性】

○鋼管杭式逆 T 擁壁のグラウンドアンカーについて、逆 T 擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する役割に対し、その評価が成立することの見通しを説明すること。

■ 回答

○防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）のグラウンドアンカーについては、逆 T 擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する役割に期待していることから、成立の見通しを確認するため、地震時及び津波時におけるグラウンドアンカーの設計アンカー力を考慮した逆 T 擁壁の滑動・転倒照査を実施した。照査の結果、逆 T 擁壁が滑動・転倒しないことから、グラウンドアンカーは構造成立することを確認した。（P112,113,120,121）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.115～117】

■ 指摘事項（第888回審査会合 令和2年8月20日）

【No.115,116,117（論点3）防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性】

- 波返重力擁壁の既設ケーソンの対策について、中詰材改良による補強方法の成立性を説明すること。また、中詰材の改良範囲及び仕様について、設定方法の考え方を説明すること。
- 波返重力擁壁のケーソンの評価断面について、構造成立性評価では「地盤改良部」を代表として選定しているが、構造が異なる「輪谷部」についてもケーソンの設計が成立する見通しを説明すること。
- 波返重力擁壁の構造成立性検討における解析条件について、荷重の載荷方法（2次元動的 F E M解析結果から地震時荷重を算出し、その荷重を3次元静的 F E M解析に載荷する方法等）及びケーソンと中詰材の相互作用を評価するための解析上の配慮事項を具体的に説明すること。

■ 回答

- ケーソンの中詰材を改良する工法として高圧噴射攪拌工法等が挙げられる。波返重力擁壁直下のケーソン内の中詰材改良にあたっては、ケーソン躯体に影響がないように、斜め方向の改良を実施することで施工可能と判断する。また、中詰材の改良範囲として、地震時荷重等が直接作用するケーソン前壁及び後壁の背面の中詰材を改良することを基本とし、ケーソンの照査結果を踏まえ、必要に応じて改良範囲の追加を検討する。中詰材改良の仕様として、ケーソンの照査結果を踏まえ、中詰材改良の解析用物性値（剛性）を設定し、解析用物性値（剛性）の妥当性を試験等により確認する。
(P68,69)
- 波返重力擁壁のケーソンの評価断面として、ケーソンの構造が異なる輪谷部断面を追加検討した結果、ケーソンの中詰材の一部を改良することで、構造成立することを確認した。(P150,151)
- 波返重力擁壁の構造成立性検討における3次元静的 F E M解析について、2次元動的 F E M解析（有効応力）によるケーソン頂底板間の相対変位が最大となる時刻の地震時荷重（地震時土圧、動水圧）及び加速度を抽出し、2次元モデルに対応する3次元モデルの要素・節点に地震時荷重・加速度を載荷している。また、ケーソン各部材と中詰材との境界条件は節点共有としている。(P130,133)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.118】

■ 指摘事項（第888回審査会合 令和2年8月20日）

【No.118（論点3）防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性】

○多重鋼管杭式擁壁の構造成立性検討について、根入れ部周辺の岩盤のせん断破壊領域と引張破壊領域の評価を示し、水平抵抗力に対して同領域が及ぼす影響を考慮した設計方針を説明すること。

■ 回答

○防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の鋼管杭根入れ部周辺の岩盤については、鋼管杭の変形を抑制する役割に期待していることから、詳細設計段階において局所安全係数分布のせん断及び引張破壊領域を確認することにより、鋼管杭の水平抵抗への影響を評価する。なお、岩盤の破壊領域が連続的に拡大し、鋼管杭の設計に影響を及ぼす場合は、対策（改良地盤③の範囲拡大等）を実施する。（P17,24）

目次（1 / 3）

 : 本日で説明範囲

1. 概要

2. 津波防護対象施設..... 8

3. 防波壁に関する設置許可基準規則と各条文に対する確認事項

4. 防波壁設計に関する基本条件

4. 1 防波壁の概要..... 9

4. 2 防波壁（共通）の設計フロー

4. 3 基準地震動

4. 4 防波壁高さ及び設計に用いる津波高さ

4. 5 検討ケース及び荷重の組合せ..... 11

4. 6 重畳時（津波＋余震時）の評価

4. 7 解析用物性値

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5. 1 構造概要

5. 2 規制における要求性能..... 12

5. 3 周辺地質

5. 4 設計方針..... 18

5. 5 個別論点

目 次（2 / 3）

：本日ご説明範囲

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6. 1 構造概要

6. 2 規制における要求性能..... 30

6. 3 周辺地質

6. 4 設計方針..... 36

6. 5 個別論点

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7. 1 構造概要

7. 2 規制における要求性能..... 47

7. 3 周辺地質

7. 4 設計方針..... 54

7. 5 個別論点..... 66

8. その他の構造概要

8. 1 止水目地

8. 2 防波壁通路防波扉

8. 3 1号放水連絡通路防波扉

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価

9. 1 設置許可段階における確認項目..... 70

9. 2 構造成立性評価の方針

9. 3 設置許可段階での提示内容

9. 4 地下水位の設定方針

9. 5 解析用物性値

10. 防波壁の構造についての構造成立性	
10.1 構造成立性評価の基本方針	73
10.2 構造成立性評価断面の選定	78
10.3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造成立性検討	85
10.4 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造成立性検討	103
10.5 防波壁（波返重力擁壁）の構造成立性検討	125
10.6 止水性に係る検討結果（2次元浸透流解析）	157
10.7 まとめ	159

2. 津波防護対象施設

- 設置許可基準規則5条及び40条の対象となる津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備を以下に示す。

凡例



設計基準対象施設（重大事故等対処設備を含む）の津波防護対象設備を内包する建物・区画



重大事故等対処施設の津波防護対象設備を内包する建物・区画

津波防護施設

浸水防止設備
(外郭防護)

浸水防止設備
(内郭防護)※

津波監視設備

※ 基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能保持のみを要求する機器・配管を除く

津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の平面配置

4. 防波壁設計に関する基本条件 4.1 防波壁の概要

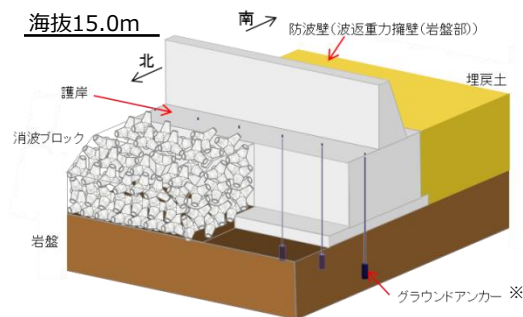
第888回審査会合
資料2-1 P.7 再掲

9

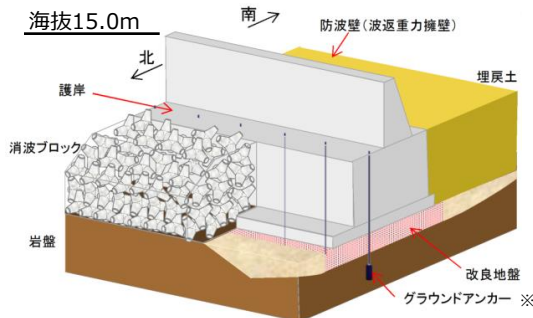
4.1.1 防波壁の構造型式

- 防波壁の構造型式は、鉄筋コンクリート壁であり、さらに多重鋼管杭式擁壁、鋼管杭式逆T擁壁及び波返重力擁壁に分類。また、波返重力擁壁は、改良地盤部と岩盤支持に分類。
- 防波壁は津波荷重や地震荷重に対して、端部も含めて津波防護機能を十分に保持。また、目地部について適切に止水対策を実施。

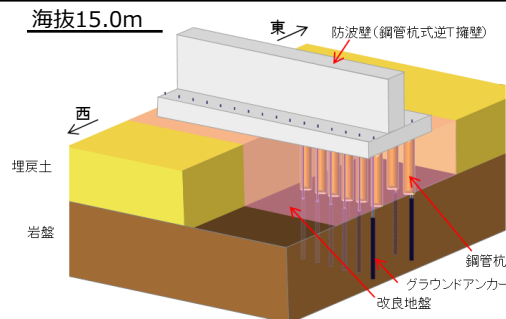
波返重力擁壁 (岩盤支持)



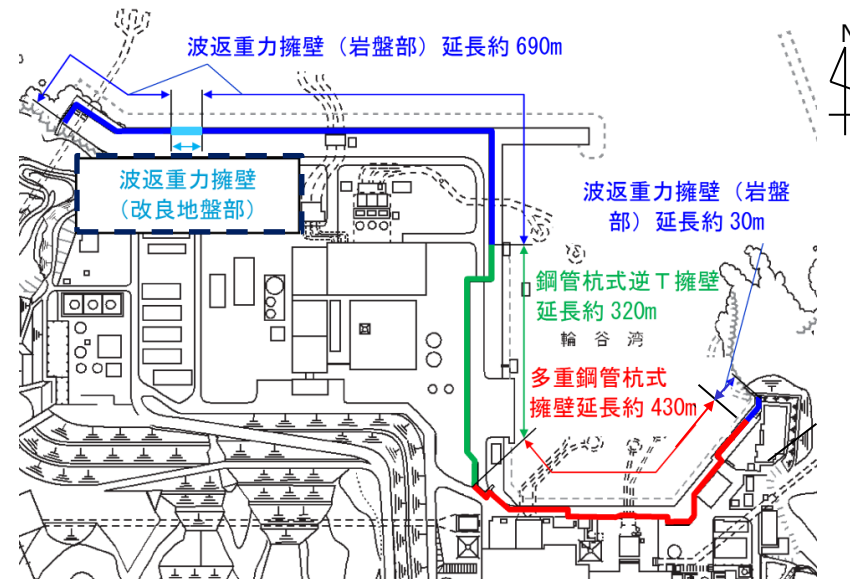
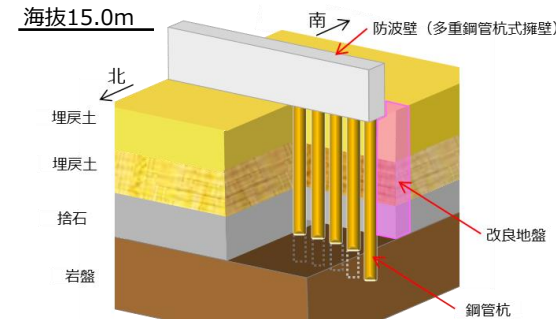
波返重力擁壁 (改良地盤部)



鋼管杭式逆T擁壁 (岩盤支持)



多重鋼管杭式擁壁 (岩盤支持)



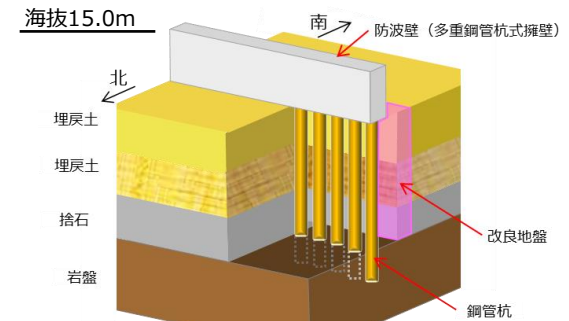
防波壁の位置図

※ 防波壁(波返重力擁壁)は、グラウンドアンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

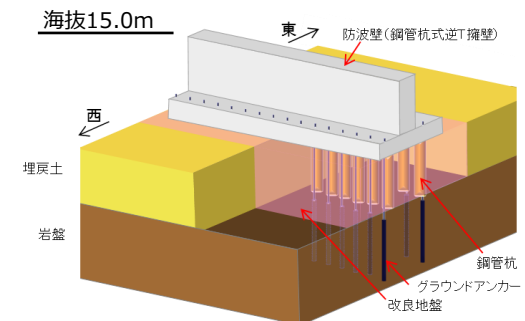
4. 防波壁設計に関する基本条件 4.1 防波壁の概要

4.1.2 防波壁の構造選定

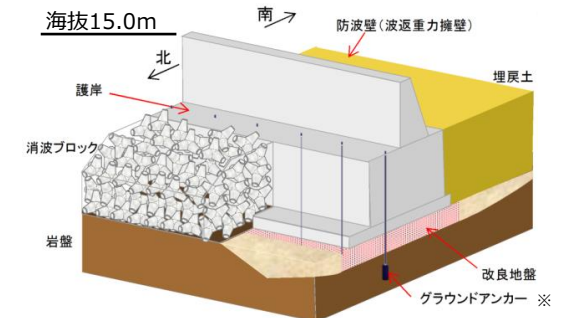
- 防波壁の構造選定の考え方を以下に示す。
- 多重鋼管杭式擁壁の構造選定
 - ・ 1, 2号炉北側の施設護岸は基礎捨石上に設置しており, 1, 2号炉北側の施設護岸と発電所施設は近接し, 狹隘である。
 - ・ 基礎を支持する岩盤の深さは, 最深約EL. - 14.5mである。
 - ・ 敷地の制約と岩盤深さを考慮し, 鋼管杭による杭基礎構造を選定し, 設計した。なお, 上部工から伝達される荷重に耐える構造とするため, 大口径の鋼管杭を多重化した。
 - ・ 上部工は下部から連続する鋼管杭 (最内管) を被覆する鉄筋コンクリート造とした。
- 鋼管杭式逆T擁壁の構造選定
 - ・ 3号炉東側の一部の施設護岸は基礎捨石上に設置しており, 3号炉東側の施設護岸と発電所施設は十分な離隔距離がある。
 - ・ 基礎を支持する岩盤の深さは, 最深約EL. - 10.0mである。
 - ・ 岩盤深さを考慮し, 埋戻土 (掘削ズリ) に対して地盤改良を実施する設計とした。
 - ・ 上部工は安定性を考慮し, 逆T構造の鉄筋コンクリート造とした。
- 波返重力擁壁の構造選定
 - ・ 3号炉北側の施設護岸は改良地盤又は岩盤に直接設置している。
 - ・ 岩着構造の施設護岸を基礎とした直接基礎構造を選定し, 設計した。
 - ・ 上部工は安定性を考慮し, 重力擁壁構造の鉄筋コンクリート造とした。



多重鋼管杭式擁壁



鋼管杭式逆T擁壁



波返重力擁壁

※ 防波壁 (波返重力擁壁) は, グラウンドアンカーの効果を期待しなくても, 耐震・耐津波安全性を担保している。

4. 防波壁設計に関する基本条件

4.5 検討ケース及び荷重の組合せ

第888回審査会合
資料2-1 P.9 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

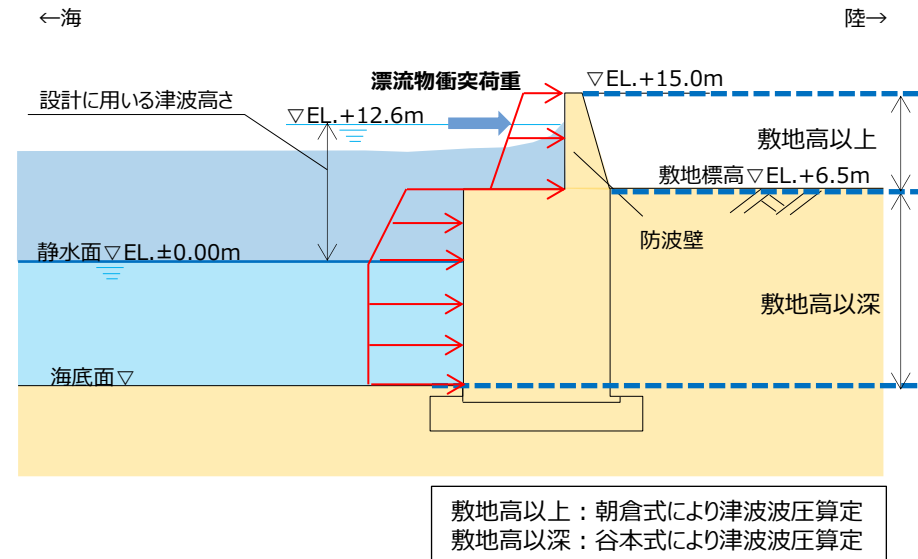
11

- 検討ケースは、荷重の組合せを考慮し、以下のケースを実施する。防波壁は、地震後及び津波後の再使用性と津波の繰返し作用を考慮し、構造物全体の変形能力に対して十分な裕度を有するよう設計する。
- なお、津波荷重、漂流物衝突荷重及び荷重の組合せについては、今後、別の論点の審査結果を反映する。

検討ケース	荷重の組合せ※
地震時	常時荷重＋地震荷重
津波時	常時荷重＋津波荷重＋漂流物衝突荷重 (海域活断層から想定される地震による津波においては入力津波高さ以深の防波壁の部位においても漂流物が衝突するものとして照査を実施する。)
重畳時 (津波＋余震時)	常時荷重＋津波荷重＋余震荷重 (海域活断層から想定される地震による津波が到達する防波壁（波返重力擁壁）のケーソン等については、海域活断層から想定される地震による津波に対する評価を実施する)

※自然現象による荷重（風荷重及び積雪荷重）は設備の設置状況、構造（形状）等の条件を含めて適切に組み合わせを考慮する

荷重	内容
常時荷重	構造物の自重、土圧、
自然現象による荷重	風荷重、積雪荷重
地震荷重	基準地震動 S_s を作用させる
余震荷重	弾性設計用地震動 S_d-D による地震動を考慮する
津波荷重	津波荷重（津波波力）を考慮する なお、設計用津波波力について、敷地高以上は朝倉式に基づき算定し、敷地高以深については谷本式に基づき算定する
漂流物衝突荷重	漂流物、荷重算定式について詳細検討を行ったうえで作用させる



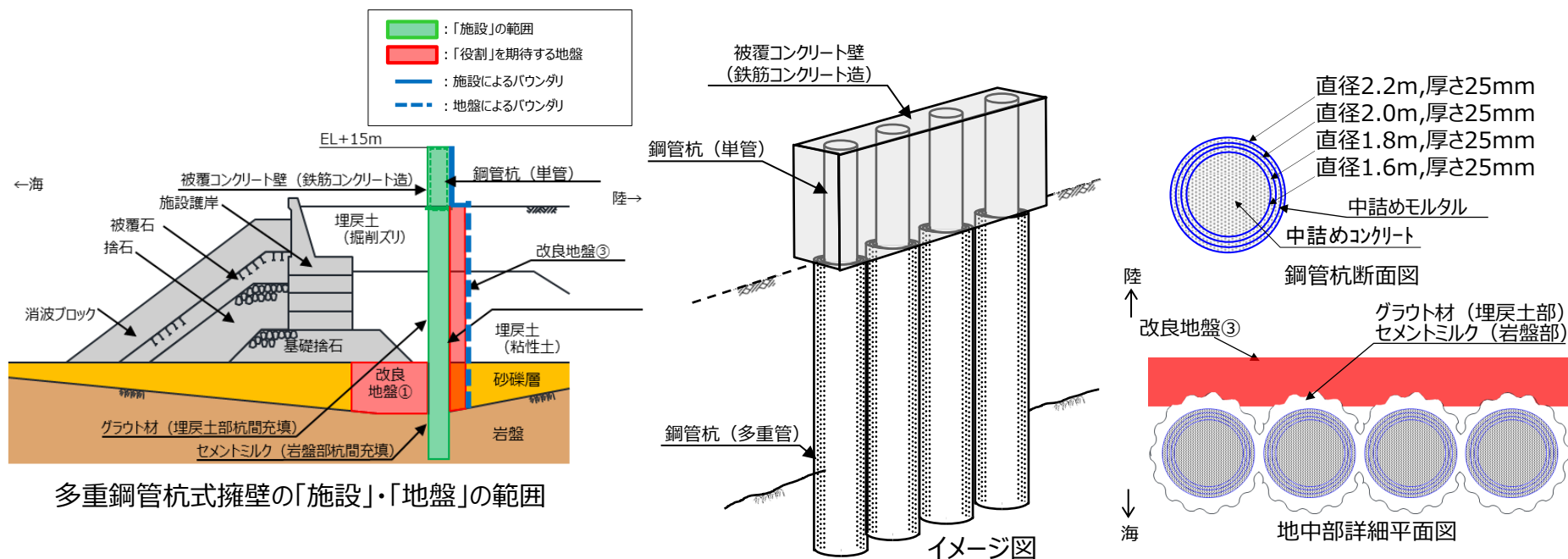
津波時の荷重イメージ図（波返重力擁壁）

5.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（1 / 5）

- 新規性基準への適合性において，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を下表のとおり整理した。
- 以下の条文を確認することにより，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各条文への適合性を確認する。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における検討要旨

規 則	検 討 要 旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	・ 施設（鋼管杭）を支持する地盤を対象とし，すべり，支持力，傾斜等に対する安定性を確認する。
第4条（地震による損傷の防止）	・ 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮したうえで，施設の耐震安全性を確認する。
第5条（津波による損傷の防止）	・ 地震（本震及び余震）による影響を考慮したうえで，機能を保持できることを確認する。 ・ 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。



5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.2 規制における要求性能

5.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（2 / 5）

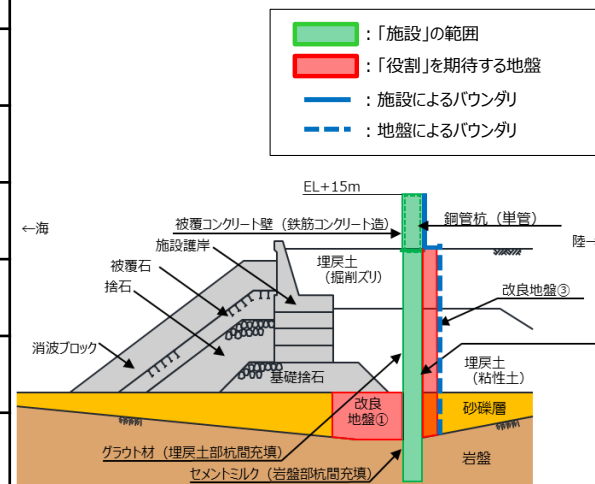
第870回審査会合
資料1-2-1 P. 47 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

13

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』，材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし，これらを総称として『止水性』と整理する。
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の周辺地盤及び施設護岸については，設置状況に応じて解析モデルに取り込むが，防波壁の前面に位置している施設護岸については，その損傷による防波壁への影響が大きいと考えられるため，それが損傷した場合の防波壁の耐震性への影響を確認する（5.5（4）参照）。
- 鋼管杭間を間詰めしているグラウト材及び改良地盤②は難透水性の地盤ではあるが，地震により施設護岸が損傷し，杭間に直接津波波圧が作用した場合には，止水性を担保することが困難であることから，津波の地盤中からの回り込みに対して万全を期すため，防波壁の背後に地盤改良（改良地盤③）を実施する（5.5（4）参照）。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鋼管杭	・被覆コンクリート壁を支持する。	・被覆コンクリート壁を支持する。
	被覆コンクリート壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに，遮水性を保持する。
	止水目地	・被覆コンクリート壁間の変形に追従する。	・被覆コンクリート壁間変形に追従し，遮水性を保持する。
地盤	セメントミルク	・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤① （砂礫層）	・鋼管杭の変形を抑制する。	・難透水性を保持する。
	改良地盤② （1号炉取水路上部等）	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが，役割に期待しない。
	改良地盤③ （防波壁背後）	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み，防波壁への相互作用を考慮する）。	・難透水性を保持する。
	岩盤	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 ・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・鋼管杭の変形を抑制する。
	埋戻土（掘削スリ）， 埋戻土（粘性土）， 砂礫層	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み，防波壁への相互作用を考慮する）。	・防波壁より陸側については，津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸，基礎捨石， 捨石，被覆石	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み，防波壁への波及的影響を考慮する）。	・役割に期待しない。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。
	グラウト材	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが，役割に期待しない。



役割を期待する範囲

5.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（3 / 5）

- 多重鋼管杭式擁壁において、前頁の役割を有する改良地盤等について、具体的な役割を整理し、「施設」と「地盤」に区分する。
- 側方地盤としての鋼管杭の変形抑制を主な役割とするセメントミルク及び改良地盤①（砂礫層）、また、難透水性の保持を役割とする改良地盤③（防波壁背後）について、『地盤』と区別する。

凡 例

- ◎：要求機能を主体的に満たすために設計上必要な項目（該当する部位を施設と区分する）
- ：施設の役割を維持するために設計に反映する項目
- －：設計上考慮しない項目

各部位の具体的な役割

部位	具体的な役割						『施設』と『地盤』の 区分の考え方
	地震時	津波時	鉛直支持	すべり安全率	（鋼管杭の変形抑制） 耐震性	（遮水性・難透水性） 耐津波性	
セメントミルク	・鋼管杭間にセメントミルクを設置することで、鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭間にセメントミルクを設置することで、鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を有するセメントミルクを鋼管杭間に連続的に設置することで、津波時の水みちを形成しない。	－	－	○	○	鋼管杭の変形抑制が主な役割であり、施設の側方地盤に要求される役割と同等であること、難透水性の保持の役割をもつことから『地盤』と区分する。
改良地盤① （砂礫層）	・鋼管杭の海側に改良地盤を設置することで鋼管杭の変形を抑制する。	・難透水性を保持することで、遮水性を有する被覆コンクリート壁、止水目地の下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。	－	－	○	○	鋼管杭の変形抑制が主な役割であり、施設の側方地盤に要求される役割と同等であること、難透水性の保持の役割をもつことから『地盤』と区分する。
改良地盤③ （防波壁背後）	・役割に期待しない。	・難透水性を保持することで、遮水性を有する被覆コンクリート壁、止水目地、下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。	－	－	－	○	難透水性の保持の役割をもつことから『地盤』と区分する。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.2 規制における要求性能

5.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（4 / 5）

第870回審査会合
資料1-2-1 P. 49 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

15

- 多重鋼管杭式擁壁における条文に対応する各部位の役割を踏まえた性能目標を以下のとおり整理した。

各部位の役割に対する性能目標

部位		性能目標			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	耐震性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	耐津波性 (透水性, 難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭	—	—	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭が概ね弾性状態に留まること。	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭が概ね弾性状態に留まること。
	被覆コンクリート壁			構造部材の健全性を保持するために、被覆コンクリート壁が概ね弾性状態に留まること。	止水目地の支持機能を喪失して被覆コンクリート間から有意な漏えいを生じないために、被覆コンクリート壁が概ね弾性状態に留まること。
	止水目地			被覆コンクリート壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	被覆コンクリート壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形・遮水性能を保持すること。
地盤	セメントミルク	—	—	鋼管杭の変形を抑制するため、セメントミルクがすべり破壊しないこと。 (内的安定を保持)	地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性を保持）するためセメントミルクがすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	改良地盤① (砂礫層)	—	—	鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)	地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性を保持）するため改良地盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	改良地盤③ (防波壁背後)	—	—	—	地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性を保持）するため改良地盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	岩盤	鋼管杭を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	鋼管杭の変形を抑制するため、鋼管杭周辺岩盤がすべり破壊しないこと。 (内的安定を保持)	—

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.2 規制における要求性能

5.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（5 / 5）

第870回審査会合
資料1-2-1 P. 50 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

16

- 前頁で整理した性能目標を満足するための照査項目と許容限界を以下のとおり整理した。
- 岩盤は「鋼管杭の支持」及び「基礎地盤のすべり安定性に寄与」の役割を有していることから、支持力及び基礎地盤のすべり安全率により健全性を確認する。
- 液状化の影響については有効応力解析により考慮し埋戻土、砂礫層の変状に伴う施設評価への影響を検討する。
- また、液状化に伴う海側の埋戻土、砂礫層の変状により護岸形状が変化し、荷重伝達経路や津波波圧に影響する可能性があることから、詳細設計段階に影響の程度を検討する（詳細は9.3を参照）。
- なお、施設及び岩盤の各部位の役割や性能目標を長期的に維持していくために必要な保守管理方法を今後検討していく。

各部位の照査項目と許容限界（上段：照査項目、下段：許容限界）

部位		照査項目と許容限界			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	耐震性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	耐津波性※1 (透水性、難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭	—	—	曲げ・せん断 (降伏モーメント（曲げ）及びせん断応力度（せん断）)	
	被覆コンクリート壁			曲げ・せん断 (短期許容応力度以下)	
	止水目地			変形 (許容変形量以下)	変形・水圧 (許容変形量・許容水圧以下)
地盤	セメントミルク	—	—	すべり安全率※3 (1.2以上)	
	改良地盤① (砂礫層)	—	—	すべり安全率※3 (1.2以上)	
	改良地盤③ (防波壁背後)			—	すべり安全率※3 (1.2以上)
	岩盤	支持力 (極限支持力度)	すべり安全率（基礎地盤）※2 (1.5以上)	すべり安全率※3 (1.2以上)	—

※1 設備及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、セメントミルク及び改良地盤の透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に浸水しないことを確認する。

※2 第3条のすべり安全率は施設の外的安定の確認を目的としており、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価結果に係る審査ガイド」に基づいて1.5以上を許容限界とする。

※3 第4条・第5条のすべり安全率は各部位の内的安定の確認を目的としており、「耐津波設計に係る審査ガイド」を準用して1.2以上を許容限界とする。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.2 規制における要求性能

5.2.2 要求機能と設計評価方針

第870回審査会合
資料1-2-1 P. 51 加筆・修正
※修正箇所を下線で示す

17

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、津波の発生に伴い、津波防護対象設備がその安全性又は重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないような設計とする。

赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計					設計に用いる許容限界					
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計（評価方針）	評価対象部位	応力等の状態	損傷モード						
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	[基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド] 5.1.津波防護施設の設計 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び崩壊に対する抵抗性を並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計すること。 (1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2)設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見通しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。 a)余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ：常時+津波、常時+津波+地震（余震） ②荷重の設定 a)津波による荷重（波圧、衝撃力）の設定に関して、考慮する知見（例えば、国交省の暫定指針等）及びそれらの適用性。 b)余震による荷重として、サイト特性（余震の震源、ハザード）が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。 c)地震により周辺地盤に液化化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。 ③許容限界 a)津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の変形能力（終局耐力時の変形）に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。（なお、機能損壊に至った場合、補修に、ある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。） 〔基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド〕 6.3.津波防護施設、浸水防止設備等津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のつち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能（津波防護機能、浸水防止機能）を保持すること。	・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。	・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さの設定及び構造物の境界部等への止水処置により止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することとして、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。	・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、①想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さ（浸水高さ+EL+11.9mに余裕を考慮した天端高さ+EL+15.0m）の設定により、敷地前面に設置する設計とする。 ②防波壁の上部構造は、鋼管杭の周囲に設置する鉄筋コンクリート壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ③防波壁の杭周辺に改良地盤（薬液注入工）を構築することで杭の変形を抑制し、鉄筋コンクリート壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ④鉄筋コンクリート壁間は、波圧による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s に対し、①鋼製及びコンクリートの耐性のある部材を使用することで止水性能を保持する設計とする。 ⑥防波壁の杭周辺に、改良地盤（薬液注入工）を構築することで杭の変形を抑制し、鉄筋コンクリート壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ⑦鉄筋コンクリート壁間は、地震による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。	・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼管杭及び鉄筋コンクリート壁で構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とするとともに、鉄筋コンクリート壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。	基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするとともに、構造部材である鋼管杭が、概ね弾性状態に留まることが確認する。	鋼管杭	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編（平成14年3月）」を踏まえた降伏モーメント（曲げ）及びせん断応力度（せん断）とする。					
											被覆コンクリート壁	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書、構造性能照査編、2002年制定」を踏まえた短期許容応力度とする。	
											止水目地	止水目地	変形・水圧	有意な漏えいに至る変形・水圧	メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。
											止水目地の鋼製部材	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。	
セメントミルク	すべり安全率	すべり破壊し、変形抑制機能や難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。												
改良地盤①（砂礫層）	すべり安全率	すべり破壊し、変形抑制機能や難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。												
改良地盤③（防波壁背後）	すべり安全率	すべり破壊し、難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。												
岩盤	支持力すべり安全率（局所安全係数分布のせん断及び引張破壊領域が連続していない）	鉛直支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編（平成14年3月）」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。 「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。												

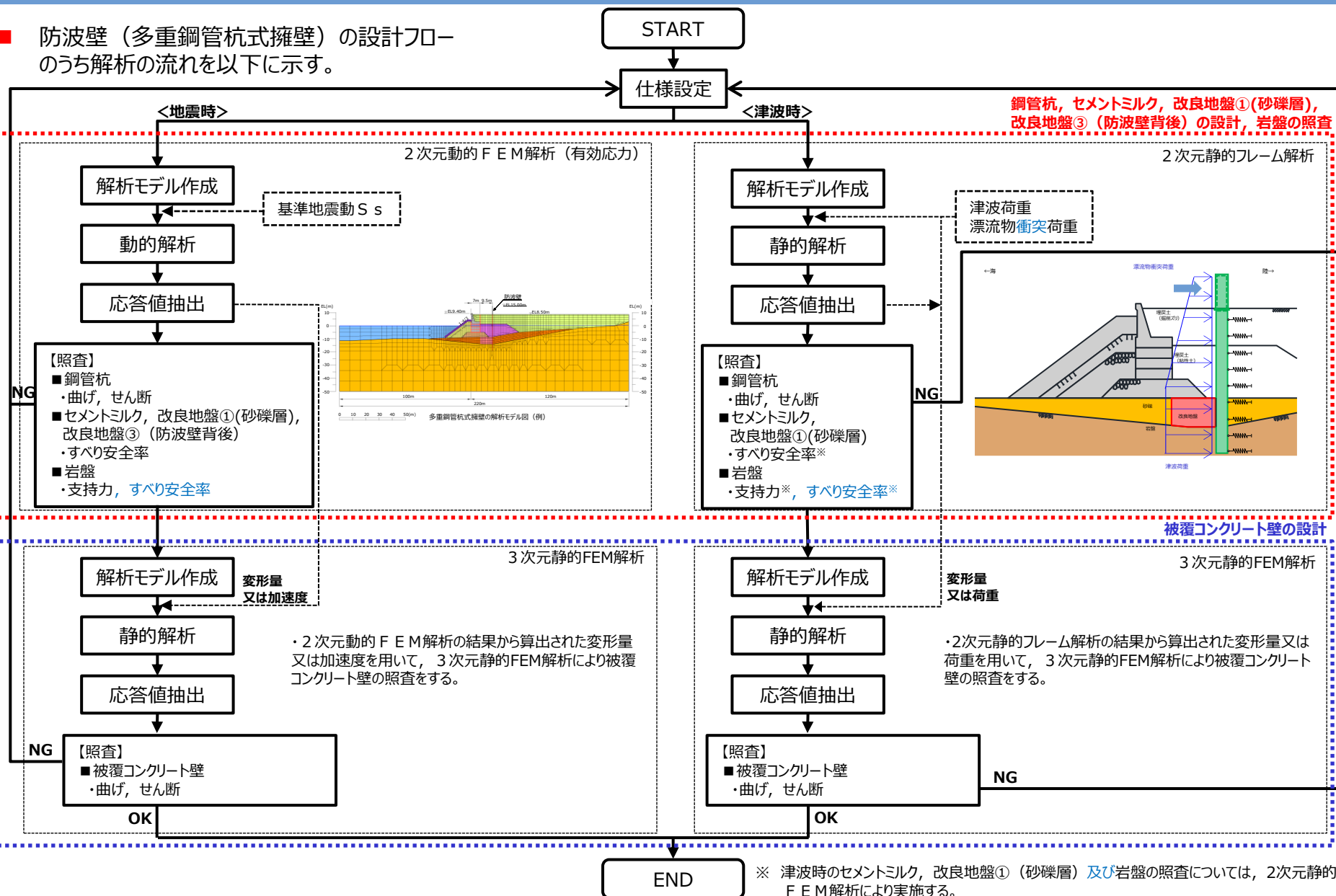
5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.1 設計フロー

第870回審査会合
資料1-2-1 P. 60 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

18

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



5.4.2 設計方針の概要（1）鋼管杭

鋼管杭の役割と設計方針概要

- 地震時，津波時の荷重に対して損傷せず，被覆コンクリート壁の支持機能を保持する。
- 津波時は2次元静的フレーム解析，地震時は液状化を精緻に評価するために2次元動的 F E M解析により，杭の断面力を照査する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては，地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し，有効応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	曲げ・せん断	（曲げ）降伏モーメント （せん断）せん断応力度	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 （平成14年3月）
	津波時	2次元静的フレーム解析			

5.4.2 設計方針の概要（2）被覆コンクリート壁

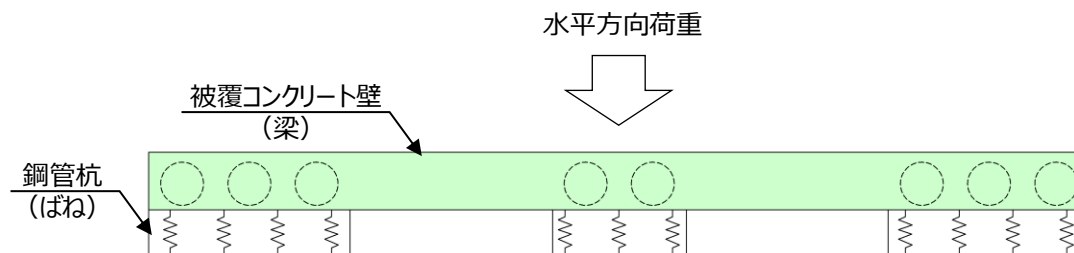
被覆コンクリート壁の役割と設計方針概要

- 地震時，津波時の荷重に対して損傷せず，止水目地の支持機能及び遮水性を保持する。
- 2次元動的 F E M解析及び2次元静的フレーム解析の結果から算出された加速度と変形量を用いて，3次元静的 F E M解析により被覆コンクリート壁の照査をする。また，取水路横断部の被覆コンクリート壁についても，前後2列に配置される鋼管杭を含む3次元的な挙動を精緻に評価するため，鋼管杭の配置を考慮した梁モデルによる静的解析から3次元静的 F E M解析による照査に見直す。
- 参考として，取水路横断部における当初の設計方針を次頁に示す。

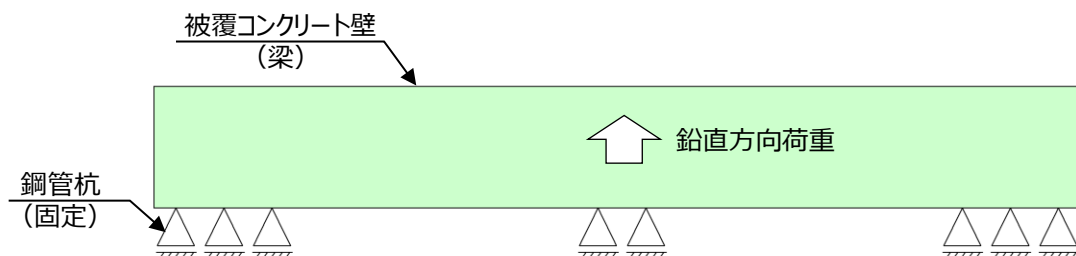
評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
被覆 コンクリート壁	地震時	3次元静的FEM解析	曲げ・せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造性能照査編， 2002年制定
	津波時				

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針 （参考）取水路横断部の方針（1/2）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部の当初の設計方針を以下に示す。
- 取水路横断部は、一般部同様、地震荷重や津波荷重に対し、各部位に発生する断面力や応力度が許容限界以下であることを確認する。
- 被覆コンクリート壁の評価について、水平方向荷重に対しては、取水路横断箇所以外は鋼管杭と一体構造であることを考慮し、下図（a）に示すとおり、鋼管杭をばねによる弾性支承とし、被覆コンクリート壁を梁でモデル化して評価する。鉛直方向荷重に対しては、下図（b）に示すとおり、鋼管杭を固定支承とし、被覆コンクリート壁を梁でモデル化して評価する。



（a）水平方向荷重に対する解析モデル（平面図）

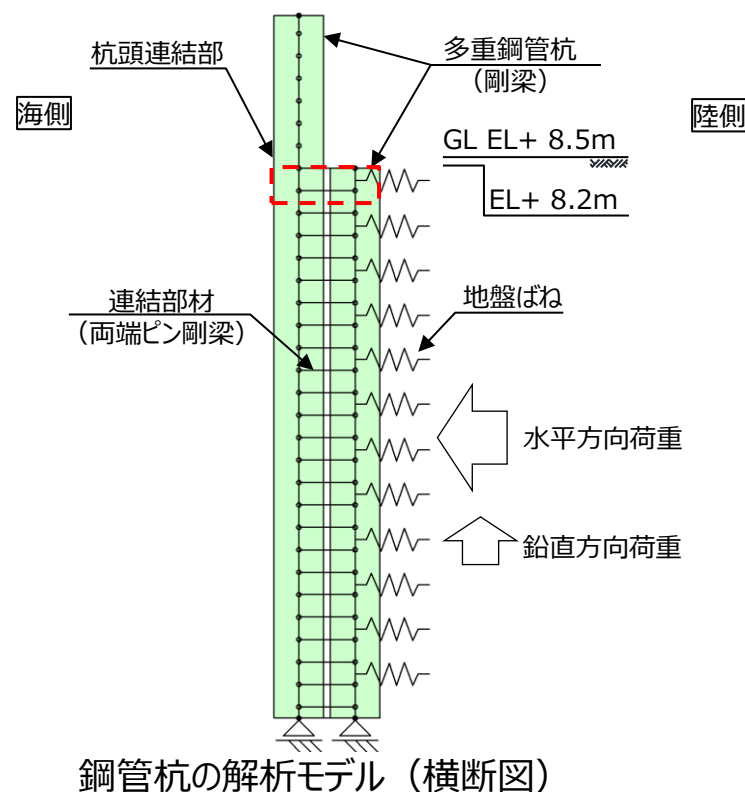


（b）鉛直方向荷重に対する解析モデル（縦断図）

被覆コンクリート壁の解析モデル

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針 （参考）取水路横断部の方針（2/2）

- 鋼管杭の評価について、鋼管杭は、多重管構造を1本の梁としてモデル化し、上部コンクリート及び内部の間詰めコンクリートの剛性及び強度は考慮しない。
- また、海側と陸側に2本の杭が隣接し、杭頭連結部で一体化していることから、下図に示すとおり、両端ピン剛梁で相対する節点を結合したモデルでモデル化し、杭頭連結部以外で両端ピン剛梁に引張が生じている箇所は、この梁を取り外して評価する。
- なお、地盤は地盤ばねでモデル化する。
- ここで、地震時検討における水平方向の震度は、被覆コンクリート壁下端位置における基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果から得られた加速度応答スペクトルから、予め算定した防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部の水平方向1次固有周期に対応する応答加速度を用いて算定する。
- 鉛直方向の震度は、地震応答解析から得られた鉛直上向き及び下向きそれぞれの最大応答加速度から算定する。



5.4.2 設計方針の概要（3）止水目地

止水目地の役割と設計方針概要

- 止水目地は、被覆コンクリート壁間の変形に追従し、損傷せず津波時の遮水性を保持する（止水目地の構造については8.1参照）。
- 地盤と施設を連成した2次元動的 F E M解析及び2次元静的フレーム解析の結果の内、変形及び水圧を抽出して、止水目地の照査を実施する。また、止水ゴム等の取付け部の鋼製部材（アンカーボルト、押え板）に発生する応力が許容応力度以下であることを確認する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
止水目地	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	変形・水圧	メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。	
	津波時	2次元静的フレーム解析			
止水目地の 鋼製部材	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	曲げ・せん断	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。	
	津波時	波圧算定式により算定			

5.4.2 設計方針の概要（４）岩盤

地盤（岩盤）の役割と設計方針概要

- 岩盤は鋼管杭を鉛直支持し、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。また、鋼管杭の変形を抑制する。
- 地震時は、地盤と施設を連成した2次元動的 F E M解析を実施する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 津波時は、地盤と施設を連成した2次元静的 F E M解析を実施する。
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の支持力は、岩盤の支持力試験から定めた極限支持力と地震応答解析により求められる杭先端の最大軸力を比較することにより確認する。
- 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」によると、極限支持力の推定式について以下の記載がされている。
 - ・支持杭の軸方向支持力は杭先端支持力と周面摩擦力の和として表されるが、多重鋼管杭式擁壁の支持力評価に当たっては、周面摩擦力による抵抗に期待しない設計とする。

《「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」に示される極限支持力の推定式》

$$R_u = q_d A + \underbrace{U \sum L_i f_i}_{\text{周面摩擦力}}$$

q_d ：杭先端における単位面積あたりの極限支持力度（kN/m²）

A ：杭先端面積（m²）

- 鋼管杭周辺の岩盤については、詳細設計段階において局所安全係数分布のせん断及び引張破壊領域を確認することにより、鋼管杭の水平抵抗への影響を評価する。なお、岩盤の破壊領域が連続的に拡大し、鋼管杭の設計に影響を及ぼす場合は、対策（改良地盤③の範囲拡大等）を実施する。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
岩盤	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	支持力 すべり安全率（局所 安全係数分布のせん 断及び引張破壊領域 が連続していない）	極限支持力 すべり安全率1.2以上	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成14年3月) 耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的 F E M解析			

5.4.2 設計方針の概要（5）改良地盤①（砂礫層）

改良地盤①（砂礫層）の役割と設計方針概要

- 改良地盤①（砂礫層）は鋼管杭の変形を抑制し、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 改良地盤①（砂礫層）は、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性の保持）。
- 地震時は、地盤と施設を連成した2次元動的 F E M解析を実施する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 津波時は、地盤と施設を連成した2次元静的 F E M解析を実施する。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤 ①（砂礫層）	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的 F E M解析			

改良地盤③（防波壁背後）の役割と設計方針概要

- 改良地盤③（防波壁背後）地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性の保持）。
- 地震時は、地盤と施設を連成した2次元動的 F E M解析を実施する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 津波時は、地盤と施設を連成した2次元静的 F E M解析を実施する。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤 ③（防波壁背後）	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的 F E M解析			

5.4.2 設計方針の概要（6）セメントミルク

セメントミルクの役割と設計方針概要

- セメントミルクは、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性の保持）。
- 地震時は、地盤と施設を連成した2次元動的 F E M解析を実施する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 津波時は、地盤と施設を連成した2次元静的 F E M解析を実施する。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
セメントミルク	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的 F E M解析			

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.2 設計方針の概要（7）地震時の検討(2次元動的有限要素解析(有効応力解析))(1/2)

- 地震時の検討は、2次元動的有限要素解析（有効応力解析）にて行う。以下に、解析の概要を示す。

解析の目的

- ・ 鋼管杭，被覆コンクリート壁，埋戻土，基礎捨石，砂礫層，改良地盤，施設護岸，岩盤等を含めた全体の動的挙動評価
- ・ 地盤特性及び液状化を考慮した影響評価

結果の利用

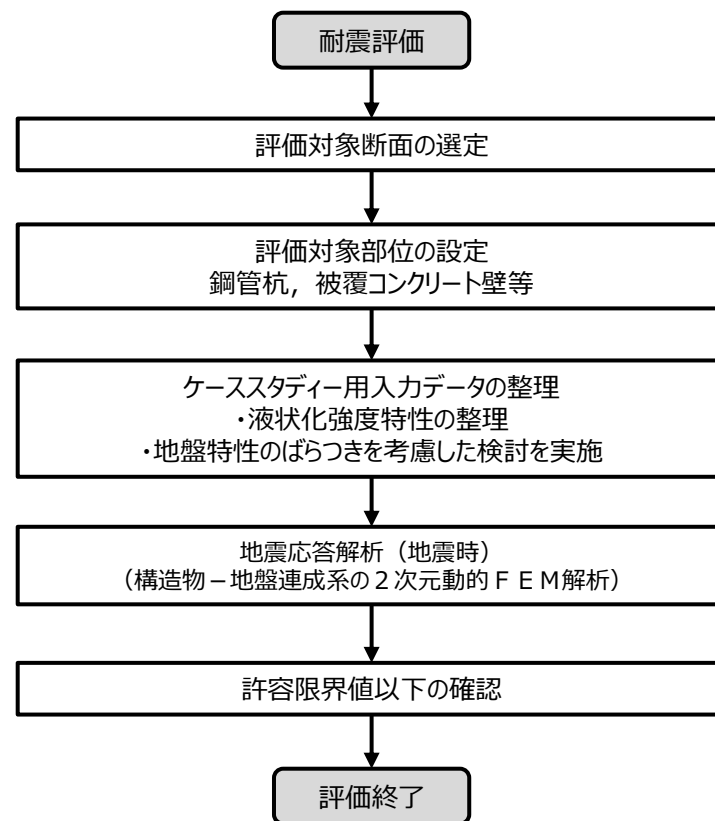
- ・ 鋼管杭及び被覆コンクリート壁等の照査
- ・ 止水目地の変形量
- ・ 地震時応答（変形量を含む）

解析条件

- ・ 地盤物性のばらつきを考慮する。

「代表断面選定の考え方」

着目点	概要	代表断面の選定
地質分布	構造的特徴，周辺の地質分布及び隣接構造物を考慮して，代表断面を選定する。	詳細設計段階において，地震応答解析により耐震評価を行ううえで，構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を選定する。

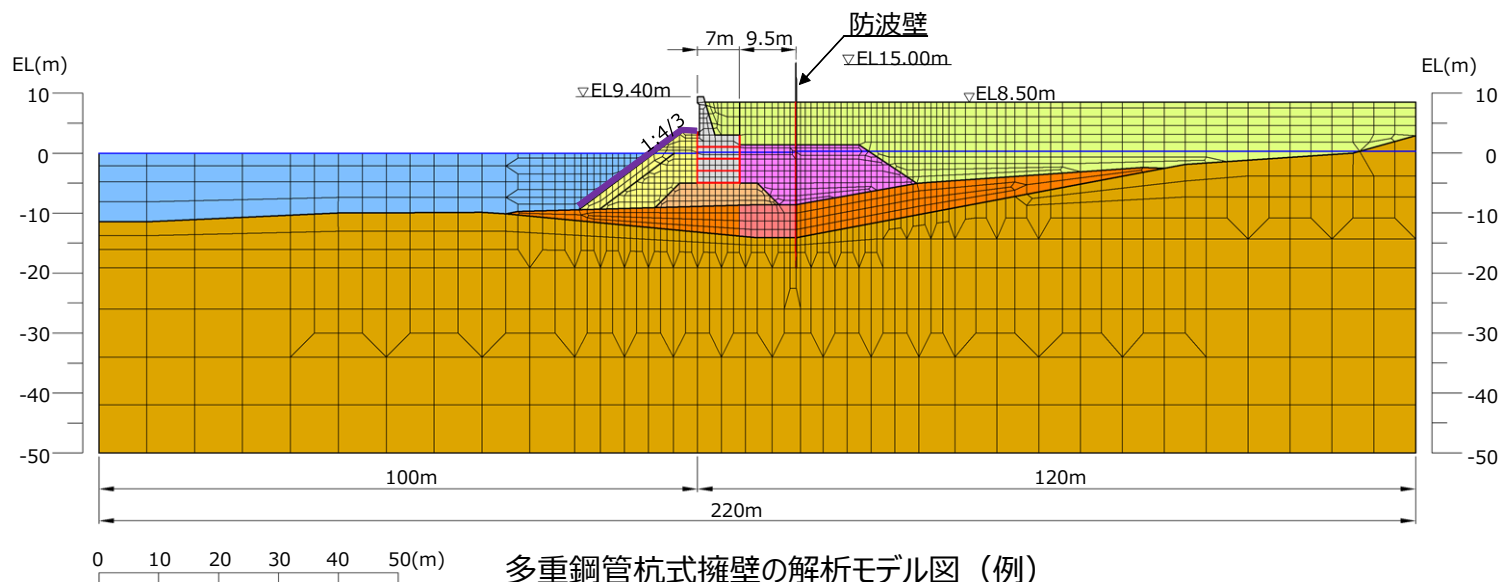
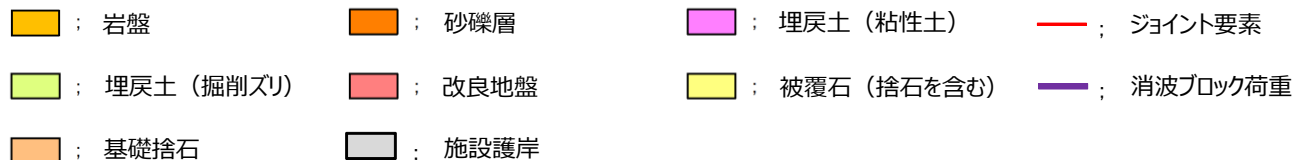


5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.2 設計方針の概要（7）地震時の検討(2次元動的有限要素解析(有効応力解析))(2/2)

モデル化方針（多重鋼管杭式擁壁）

- 鋼管杭は線形はり要素でモデル化する（多重鋼管杭のモデル化に関しては5.5（2）参照）。
- 岩盤及び施設護岸は線形平面要素でモデル化する。
- 埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、砂礫層、改良地盤、被覆石及び基礎捨石はマルチスプリング要素でモデル化する。消波ブロックは分布荷重で考慮する。
- 液状化評価対象層である埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層は液状化パラメータを設定する。
- 海水は流体要素でモデル化する。
- 防波壁と周辺地盤など、要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素でモデル化する。



5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.2 設計方針の概要（8）津波時の検討（静的フレーム解析）

■ 津波時の検討は、静的フレーム解析にて行う。以下に、解析の概要を示す。

解析の目的

- 鋼管杭の挙動評価（津波時）

結果の利用

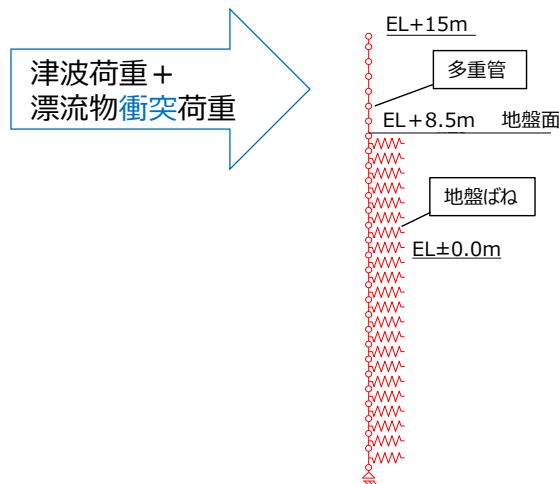
- 鋼管杭の照査
- 止水目地の変形量

モデル化方針

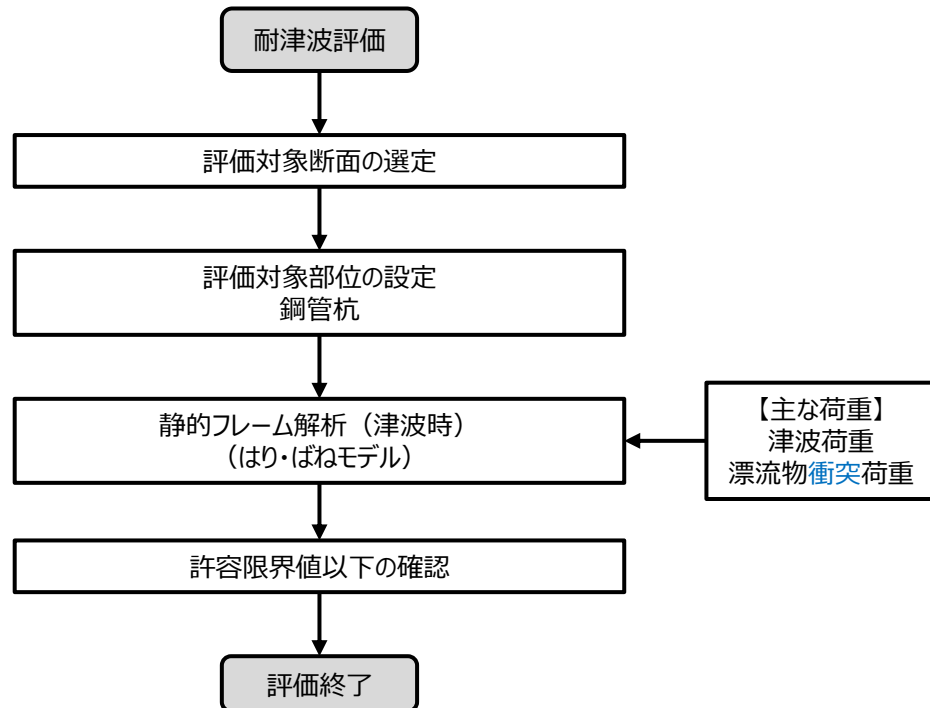
- 鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。
- 岩盤は地盤ばねでモデル化する。

解析条件

- 解析用物性値（静的物性）を用いる。



多重鋼管杭式擁壁 解析モデル図(例)

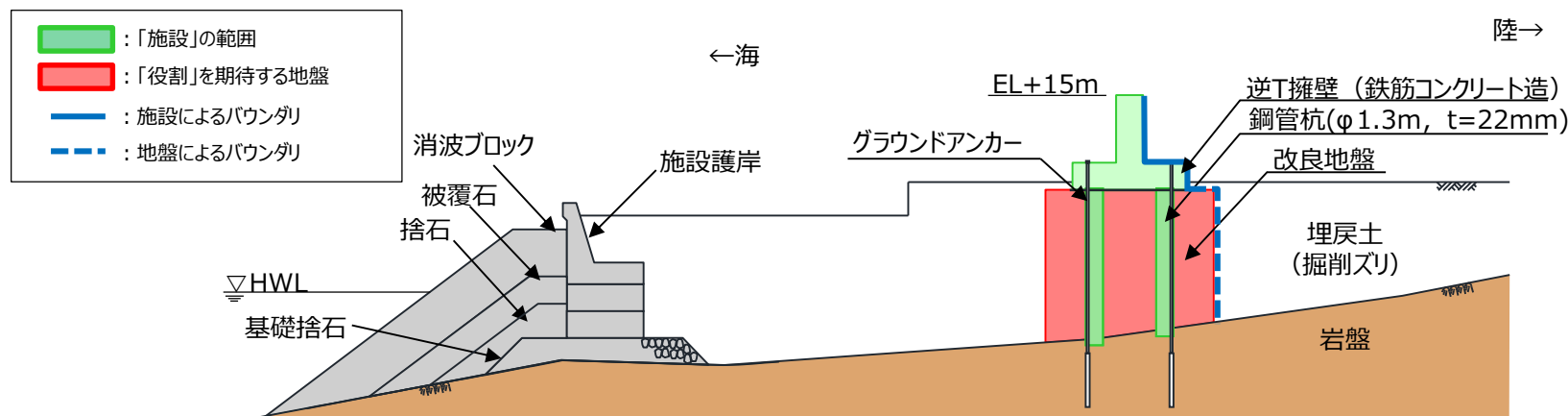


6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（1 / 5）

- 新規制基準への適合性において，防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を下表の**とおり**整理した。
- 以下の条文を確認することにより，防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の各条文への適合性を確認する。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における検討要旨

規 則	検 討 要 旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	・ 施設を支持する地盤を対象とし，すべり，支持力，傾斜等に対する安定性を確認する。
第4条（地震による損傷の防止）	・ 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮した うえで ，施設の耐震安全性を確認する。
第5条（津波による損傷の防止）	・ 地震（本震及び余震）による影響を考慮した うえで ，機能を保持できることを確認する。 ・ 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。



鋼管杭式逆T擁壁の「施設」・「地盤」の範囲

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.2 規制における要求性能

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（2 / 5）

第888回審査会合
資料2-1 P. 21 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

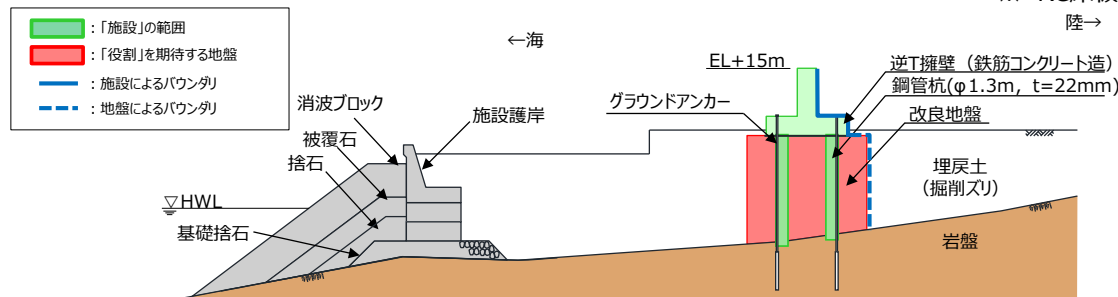
31

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』、材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし、これらを総称として『止水性』と整理する。
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の周辺地盤及び施設護岸については、設置状況に応じて解析モデルに取り込むが、防波壁の前面に位置している施設護岸については、その損傷による防波壁への影響が大きいと考えられるため、それが損傷した場合の防波壁の耐震性への影響を確認する。
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、改良地盤が逆T擁壁を支持しているが、鋼管杭は改良地盤との相互作用を考慮するため、解析にあたっては鋼管杭を解析モデルに取り込む。なお、詳細設計段階においては、鋼管杭が**逆T擁壁に悪影響を与えない設計とする**。
- 鋼管杭については、地震時及び津波時において杭先端の岩盤根入れが0.5m程度であることを踏まえ、岩盤からのせん断抵抗を考慮しない設計とする。また、グラウンドアンカーのアンカー力により、逆T擁壁を改良地盤に、改良地盤を岩盤に押し付ける構造としているため、逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒抑止の役割に期待する設計とする。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鋼管杭	・役割に期待しない。（解析モデルに取り込み、改良地盤との相互作用を考慮する）	・役割に期待しない。（解析モデルに取り込み、改良地盤との相互作用を考慮する）
	逆T擁壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・逆T擁壁間の変形に追従する。	・逆T擁壁間の変形に追従し、遮水性を保持する。
	グラウンドアンカー	・逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。	・逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。
地盤	改良地盤※	・逆T擁壁を支持する。	・逆T擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	岩盤	・逆T擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・逆T擁壁を支持する。
	埋戻土（掘削スリ）	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する）。	・防波壁より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸、基礎捨石 被覆石、捨石	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への波及的影響を考慮する）。	・役割に期待しない。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。

※ RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。



役割を期待する範囲（地震時・津波時）

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（3 / 5）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）において，前頁の役割を有する改良地盤等について，具体的な役割を整理し，「施設」と「地盤」に区分する。
- 逆T擁壁の支持を主な役割とする改良地盤について，『地盤』と区別する。

凡 例

- ◎：要求機能を主体的に満たすために設計上必要な項目（該当する部位を施設と区分する）
- ：施設の役割を維持するために設計に反映する項目
- －：設計上考慮しない項目

各部位の具体的な役割

部位	具体的な役割						『施設』と『地盤』の区分の考え方
	地震時	津波時	鉛直支持	すべり安全率	耐震性	（遮水性・難透水性）耐津波性	
改良地盤※	・逆T擁壁を支持する。	・逆T擁壁を支持する。 ・難透水性を保持することで，遮水性を有する逆T擁壁，止水目地の下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。	－	－	○	○	逆T擁壁の支持が主な目的であり，地盤に要求される役割と同様であること，難透水性の保持の役割を持つことから『地盤』と区分する。

※ RC床板については，保守的に改良地盤として扱う。

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（4 / 5）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における条文に対応する各部位の役割を踏まえた性能目標を以下のとおり整理した。

各部位の役割に対する性能目標

部位		性能目標			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	耐震性 (第4条)	耐津波性 (透水性, 難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭	—	—	逆T擁壁への悪影響を与えないために、鋼管杭が概ね弾性状態に留まること。	逆T擁壁への悪影響を与えないために、鋼管杭が概ね弾性状態に留まること。
	逆T擁壁			構造部材の健全性を保持するために、逆T擁壁が概ね弾性状態に留まること。	止水目地の支持機能を喪失して逆T擁壁間から有意な漏えいを生じないために、逆T擁壁が概ね弾性状態に留まること。
	止水目地			逆T擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	逆T擁壁から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形・遮水性能を保持すること。
	グラウンドアンカー			逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒抑止のために設計アンカー力を確保すること。	逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒抑止のために設計アンカー力を確保すること。
地盤	改良地盤※	施設を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	—	地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性を保持）するため改良地盤がすべり破壊しないこと。（内的安定を保持）
	岩盤				—

※ RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.2 規制における要求性能

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（5 / 5）

第888回審査会合
資料2-1 P. 24 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

34

- 前頁で整理した性能目標を満足するための照査項目と許容限界を以下のとおり整理した。
- 液状化の影響については有効応力解析により考慮し、埋戻土の変状に伴う施設評価への影響を検討する。
- また、液状化に伴う海側の埋戻土、砂礫層の変状により護岸形状が変化し、荷重伝達経路や津波波圧に影響する可能性があることから、詳細設計段階において影響の程度を検討する（詳細は9.3を参照）。
- なお、施設及び岩盤の各部位の役割や性能目標を長期的に維持していくために必要な保守管理方法を今後検討していく。

各部位の照査項目と許容限界（上段：照査項目，下段：許容限界）

部位		照査項目と許容限界			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	耐震性 (第4条)	耐津波性※1 (透水性、難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭※2	—	—	曲げ・せん断 (降伏モーメント（曲げ）及びせん断応力度（せん断）)	
	逆T擁壁			曲げ・せん断※5 (短期許容応力度以下)	
	止水目地			変形 (許容変形量以下)	変形・水圧 (許容変形量・許容水圧以下)
	グラウンドアンカー			引張 (設計アンカー力以下)	
地盤	改良地盤※3	支持力	すべり安全率（基礎地盤）※4		すべり安全率※6 (1.2以上)
	岩盤	(極限支持力度)			—

※1 設備及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、改良地盤の透水係数を保守的に考慮しても津波の耐水時間中に浸水しないことを確認する。

※2 鋼管杭の杭頭の水平変位量については、地盤改良を実施することにより変形を抑制していることから、許容限界は設定しない。

※3 RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

※4 第3条のすべり安全率は施設の外的安定の確認を目的としており、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価結果に係る審査ガイド」に基づいて1.5以上を許容限界とする。

※5 グラウンドアンカーの受圧板からの反力による逆T擁壁（フーチング）の照査を併せて実施する。グラウンドアンカーについては「6.4.2 設計方針の概要（4）グラウンドアンカー」参照。

※6 第4条・第5条のすべり安全率は各部位の内的安定の確認を目的としており、「耐津波設計に係る審査ガイド」を準用して1.2以上を許容限界とする。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.2 設置許可基準規則における要求性能

第888回審査会合
資料2-1 P.25 再掲

35

6.2.2 要求機能と設計評価方針

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、津波の発生に伴い、津波防護対象設備がその安全性又は重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないような設計とする。

赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計					設計に用いる許容限界
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計 (評価方針)	評価対象部位	応力等の状態	損傷モード	
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	[基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド] 5.津波防護施設設計 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び沈下に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐力にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるような設計とする。 (1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2)設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分に保持できる設計がなされることの見通しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。 ①荷重組合せ a)余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ:常時+津波、常時+津波+地震(余震) ②荷重の設定 a)津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する知見(例えば、国土省の暫定指針等)及びそれらの適用性。 b)余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。 c)地震により周辺地盤に液化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。 ③許容限界 a)津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の变形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修にある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。) [基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド] 6.3津波防護施設、浸水防止設備等津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。 ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）に対し、十分な構造強度を有した構造であることを要求される。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さ（浸水高さEL+11.9mに余裕を考慮した天端高さEL+15.0m）の設定により、敷地前面に設置する設計とする。 ②防波壁の上部構造は、鋼管杭の上部に設置する鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。 ③防波壁は鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ④鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、波圧による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水処置を講ずる設計とする。 ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、⑤鋼製及びコンクリートの耐力のある部材を使用することで止水性を保持する設計とする。 ⑥防波壁は鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ⑦鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、地震による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水処置を講ずる設計とする。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とともに、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏れを生じない設計とする。この構造強度設計上の性能目標とする。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。また、ゴムジョイント及びシートジョイントが止水性を保持するための鋼製部材は、概ね弾性状態に留まることが確認する。	基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。また、ゴムジョイント及びシートジョイントが止水性を保持するための鋼製部材は、概ね弾性状態に留まることが確認する。	鋼管杭	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」を踏まえた降伏モーメント（曲げ）及びせん断応力度（せん断）とする。
		・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、⑤鋼製及びコンクリートの耐力のある部材を使用することで止水性を保持する設計とする。 ⑥防波壁は鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ⑦鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、地震による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水処置を講ずる設計とする。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s による地震時荷重に、鋼管杭及び鉄筋コンクリート製逆T擁壁で構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とともに、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏れを生じない設計とする。この構造強度設計上の性能目標とする。	基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間から有意な漏れを生じない変形に留める設計とするため、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間に設置するゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地が有意な漏れを生じない変形量以下であることを確認する。	止水目地				
		・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、⑤鋼製及びコンクリートの耐力のある部材を使用することで止水性を保持する設計とする。 ⑥防波壁は鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ⑦鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、地震による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水処置を講ずる設計とする。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s による地震時荷重に、鋼管杭及び鉄筋コンクリート製逆T擁壁で構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とともに、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏れを生じない設計とする。この構造強度設計上の性能目標とする。	基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間から有意な漏れを生じない変形に留める設計とするため、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間に設置するゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地が有意な漏れを生じない変形量以下であることを確認する。		止水目地の鋼製部材	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。
		・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、⑤鋼製及びコンクリートの耐力のある部材を使用することで止水性を保持する設計とする。 ⑥防波壁は鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ⑦鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、地震による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水処置を講ずる設計とする。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s による地震時荷重に、鋼管杭及び鉄筋コンクリート製逆T擁壁で構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とともに、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏れを生じない設計とする。この構造強度設計上の性能目標とする。	基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間から有意な漏れを生じない変形に留める設計とするため、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間に設置するゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地が有意な漏れを生じない変形量以下であることを確認する。	グラウンドアンカー				
		・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、⑤鋼製及びコンクリートの耐力のある部材を使用することで止水性を保持する設計とする。 ⑥防波壁は鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ⑦鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、地震による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水処置を講ずる設計とする。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s による地震時荷重に、鋼管杭及び鉄筋コンクリート製逆T擁壁で構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とともに、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏れを生じない設計とする。この構造強度設計上の性能目標とする。	基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間から有意な漏れを生じない変形に留める設計とするため、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間に設置するゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地が有意な漏れを生じない変形量以下であることを確認する。		改良地盤※ ²	支持力	鉛直支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。
		・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、⑤鋼製及びコンクリートの耐力のある部材を使用することで止水性を保持する設計とする。 ⑥防波壁は鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ⑦鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、地震による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水処置を講ずる設計とする。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s による地震時荷重に、鋼管杭及び鉄筋コンクリート製逆T擁壁で構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とともに、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏れを生じない設計とする。この構造強度設計上の性能目標とする。	基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する設計とするため、作用する設置圧が許容値以下に留まることが確認する。	地盤				
		・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、⑤鋼製及びコンクリートの耐力のある部材を使用することで止水性を保持する設計とする。 ⑥防波壁は鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ⑦鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、地震による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水処置を講ずる設計とする。	・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s による地震時荷重に、鋼管杭及び鉄筋コンクリート製逆T擁壁で構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とともに、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏れを生じない設計とする。この構造強度設計上の性能目標とする。	基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する押し込み力が許容値以下に留まることが確認する。		岩盤	支持力	鉛直支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。

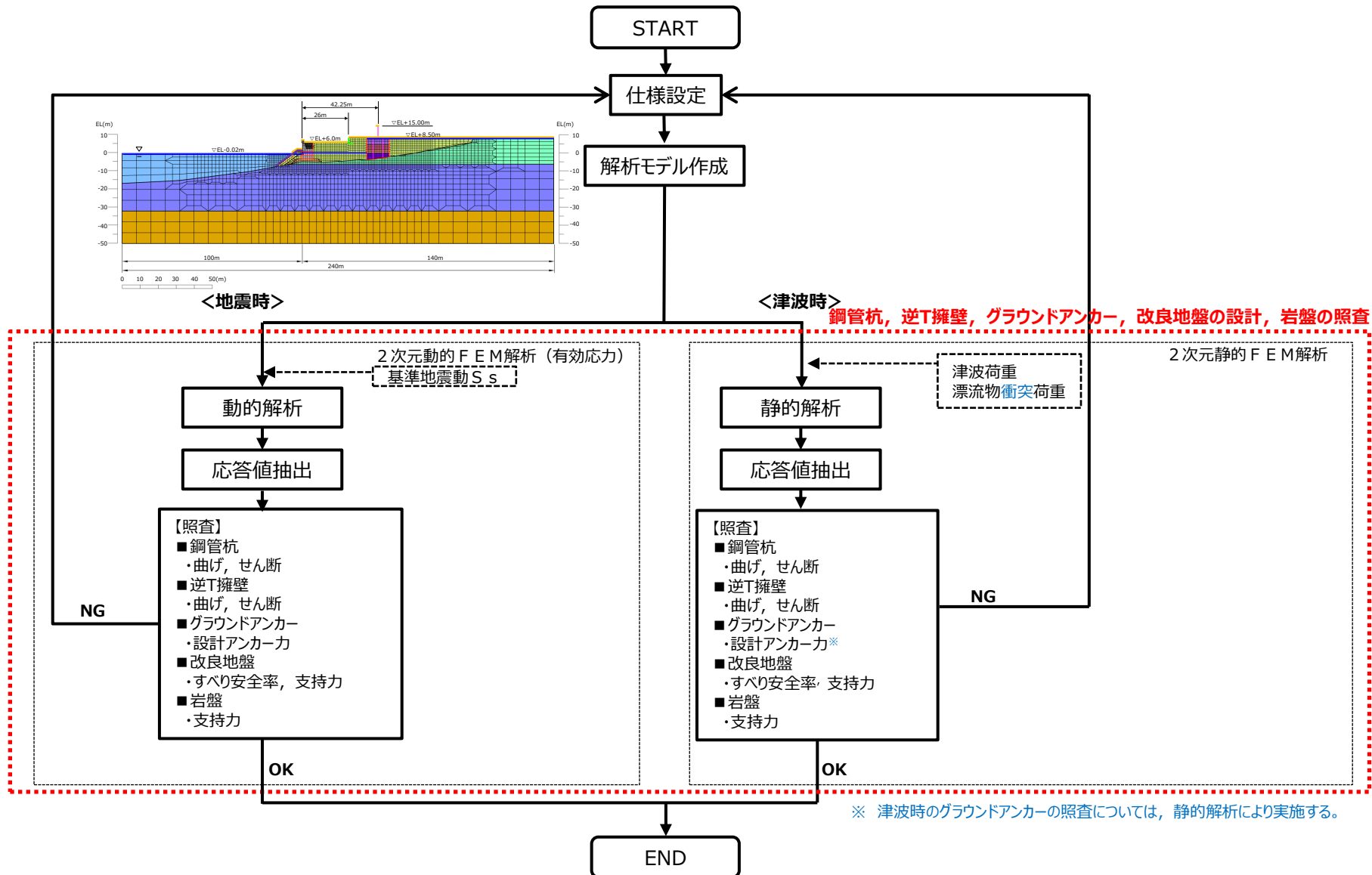
※1 グラウンドアンカーの受圧板からの反力による逆T擁壁（フーチング）の照査を併せて実施する。グラウンドアンカーは、試験施工により設計アンカー力を確保していることを確認し、定期点検により初期アンカー力以上のアンカー力が作用していることを確認する。

なお、グラウンドアンカーの仕様は「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」等に基づき設定する。

※2 RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

6.4.1 設計フロー

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



6.4.2 設計方針の概要（1）鋼管杭

鋼管杭の役割と設計方針概要

- 地震時及び津波時の荷重に対して損傷せず，逆T擁壁に悪影響を与えない設計とする。
- 津波時は2次元静的 F E M解析，地震時は液状化を精緻に評価するために2次元動的 F E M解析により，杭の断面力を照査する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては，地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し，有効応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	曲げ せん断	(曲げ) 降伏モーメント (せん断) せん断応力度	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成14年3月)
	津波時	2次元静的 F E M解析			

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（2）逆T擁壁

逆T擁壁の役割と設計方針概要

- 地震時，津波時の荷重に対して損傷せず，止水目地の支持機能及び遮水性を保持する。
- 津波時は2次元静的 F E M解析，地震時は液状化を精緻に評価するために2次元動的 F E M解析により，逆T擁壁を照査する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては，地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し，有効応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
逆T擁壁	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造性能照査編 2002年制定
	津波時	2次元静的 F E M解析			

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（3）止水目地

止水目地の役割と設計方針概要

- 止水目地は、逆T擁壁間の変形に追従し、損傷せず津波時の遮水性を保持する（止水目地の構造については8.1参照）。
- 地盤と施設を連成した2次元動的FEM解析及び2次元静的FEM解析の結果の内、変形及び水圧を抽出して、止水目地の照査を実施する。また、止水ゴム等の取付け部の鋼製部材（アンカーボルト、押え板）に発生する応力が許容応力度以下であることを確認する。
- 2次元動的FEM解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
止水目地	地震時	2次元動的FEM解析 （有効応力解析）	変形・水圧	メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。	
	津波時	2次元静的FEM解析			
止水目地の 鋼製部材	地震時	2次元動的FEM解析 （有効応力解析）	曲げ・せん断	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。	
	津波時	波圧算定式により算定			

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（4）グラウンドアンカー（1／2）

グラウンドアンカーの役割と設計方針概要

- グラウンドアンカーは、逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。逆T擁壁及び改良地盤が滑動・転倒しないように、必要なグラウンドアンカーを設置する。
- グラウンドアンカーの仕様は、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）」に準拠したPC鋼より線を用いる。なお、グラウンドアンカーの設計アンカー力は、地震及び津波により発生する転倒力に対して十分な耐力を確保するように設定する。
- 津波時は静的解析、地震時は液状化を精緻に評価するために2次元動的 F E M解析結果を用いて、グラウンドアンカーの照査を行う。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
グラウンドアンカー	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	引張	設計アンカー力	「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）」
	津波時	静的解析			

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

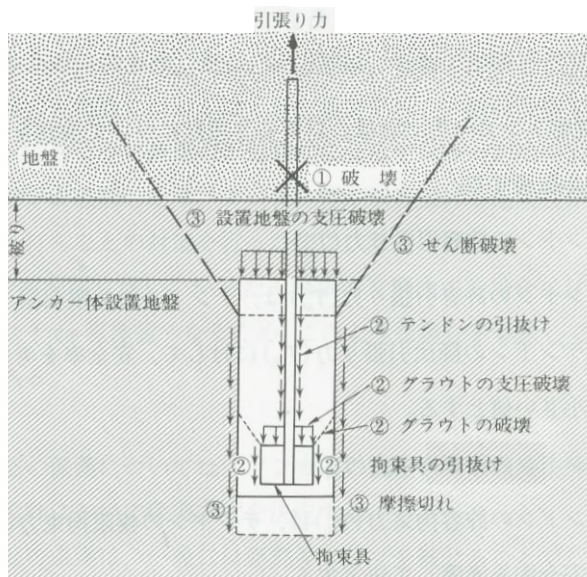
6.4.2 設計方針の概要（4）グラウンドアンカー（2／2）

グラウンドアンカーの役割と設計方針概要

- グラウンドアンカーの設計アンカー力の保持を確認するため、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）」に準拠した試験施工（品質保証試験）を行い、①テンドンの破壊、②テンドンがアンカー体から引き抜けることによる破壊、③アンカー体が地盤から引き抜けることによる破壊が生じておらず、設計アンカー力以上を確保していることを確認する。
- なお、グラウンドアンカーは永久アンカーで、構造物の供用期間中はその機能を果たす必要があるため、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」に準じた定期点検を実施し、必要に応じて再緊張等の適切な対策を講じる。

【凡例】

- ① テンドンの破壊
- ② テンドンがアンカー体から引き抜けることによる破壊
- ③ アンカー体が地盤から引き抜けることによる破壊



ある種のアンカー形式の破壊概念例
「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」より抜粋



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）定期点検状況
（リフトオフ試験）

6.4.2 設計方針の概要（5）岩盤

地盤（岩盤）の役割と設計方針概要

- 岩盤は逆T擁壁を支持し、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 地震時は、地盤と施設を連成した2次元動的 F E M解析を実施する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 津波時は、地盤と施設を連成した2次元静的 F E M解析を実施する。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
岩盤	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	支持力	極限支持力	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 （平成14年3月）
	津波時	2次元静的 F E M解析			

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（6）改良地盤

地盤（改良地盤）の役割と設計方針概要

- 改良地盤は逆T擁壁を支持する。
- 改良地盤は、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性の保持）。
- 地震時は、地盤と施設を連成した2次元 F E M解析を実施する。
- 2次元 F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 津波時は、地盤と施設を連成した2次元静的 F E M解析を実施する。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤※	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	すべり安全率 支持力	すべり安全率1.2以上 極限支持力	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的 F E M解析			

※ RC床板については、保守的に地盤改良として扱う。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（7）地震時の検討（2次元動的 F E M解析（有効応力解析））（1 / 2）

- 地震時の検討は、2次元動的 F E M解析（有効応力解析）にて行う。以下に、解析の概要を示す。

解析の目的

- ・ 鋼管杭，逆 T 擁壁，埋戻土，基礎捨石，改良地盤，施設護岸，岩盤等を含めた全体の動的挙動評価
- ・ 地盤特性及び液状化を考慮した影響評価

結果の利用

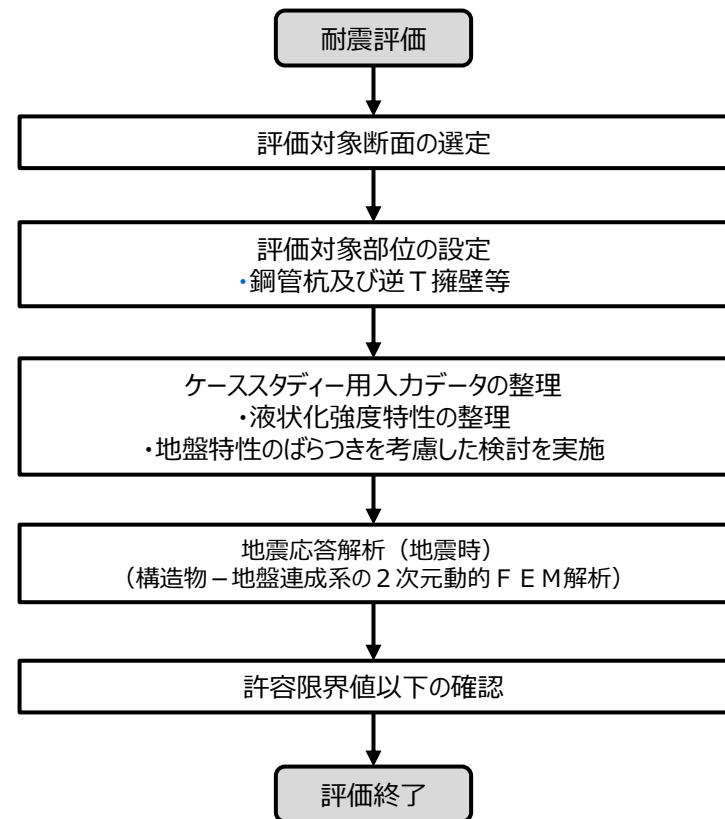
- ・ 鋼管杭及び逆T擁壁等の照査
- ・ 止水目地の変形量
- ・ 地震時応答（変形量を含む）

解析条件

- ・ 地盤物性のばらつきを考慮する。

「代表断面選定の考え方」

着目点	概要	代表断面の選定
地質分布	構造的特徴，周辺の地質分布及び隣接構造物を考慮して，代表断面を選定する。	詳細設計段階において，地震応答解析により耐震評価を行う ^{うえ} で，構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を選定する。

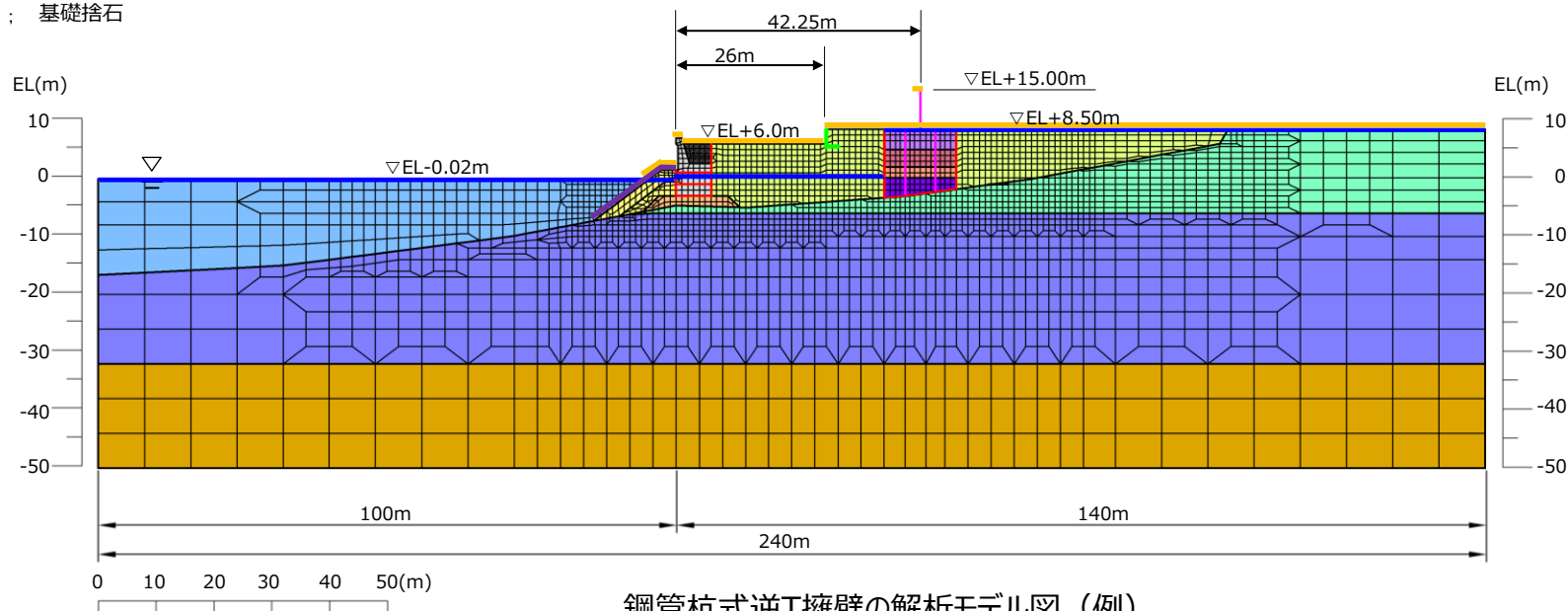
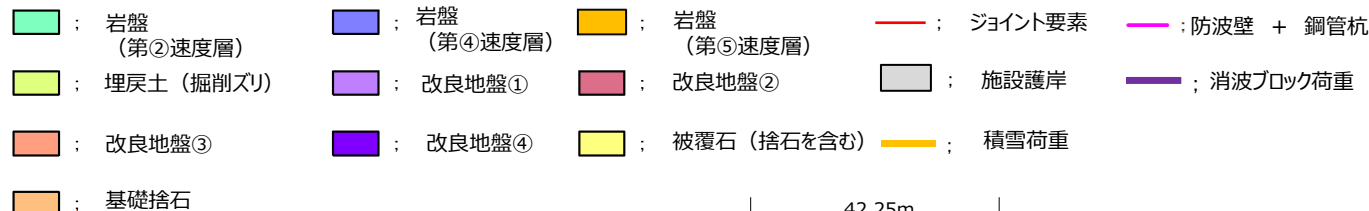


6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（7）地震時の検討（2次元動的 F E M解析（有効応力解析））（2 / 2）

モデル化方針（鋼管杭式逆T擁壁）

- 防波壁及び鋼管杭は線形はり要素でモデル化する。なお、鋼管杭先端については、岩盤からのせん断抵抗に期待しないモデル化とする。
- 岩盤及び施設護岸は線形平面要素でモデル化する。埋戻土（掘削ズリ）、改良地盤、被覆石及び基礎捨石はマルチスプリング要素でモデル化する。消波ブロックは分布荷重で考慮する。
- 液状化評価対象層である埋戻土（掘削ズリ）は液状化パラメータを設定する。
- 海水は流体要素でモデル化する。
- 防波壁と周辺地盤、鋼管杭先端と岩盤など、要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素でモデル化する。
- グラウンドアンカーについては、実態に合ったモデル化を実施し、詳細設計段階において説明する。



鋼管杭式逆T擁壁の解析モデル図（例）

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（8）津波時の検討（2次元静的 F E M解析）

第888回審査会合
資料2-1 P. 43 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

46

■ 津波時の検討は、2次元静的 F E M解析にて行う。以下に、解析の概要を示す。

解析の目的

- 鋼管杭，逆T擁壁等の挙動評価（津波時）

結果の利用

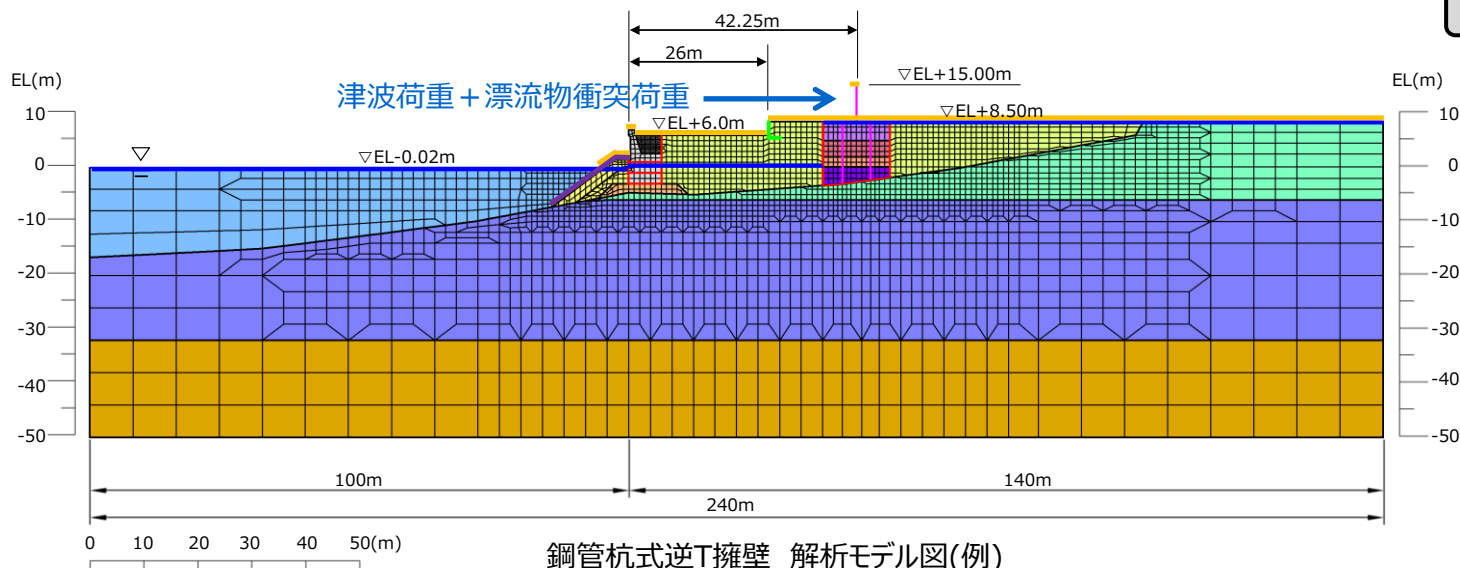
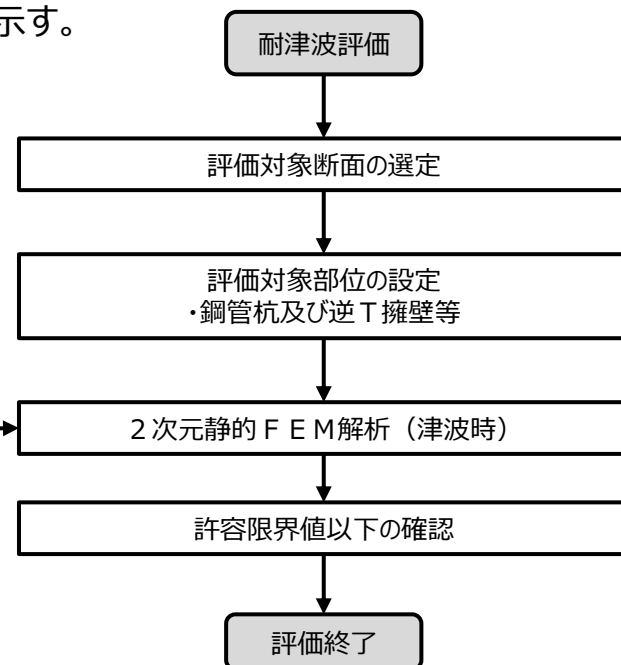
- 鋼管杭，逆T擁壁等の照査
- 止水目地の変形量

モデル化方針

- 地震時と同じモデルを用いる。

解析条件

- 解析用物性値（静的物性）を用いる。

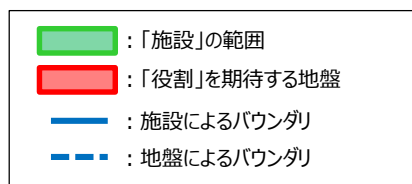


7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（1 / 6）

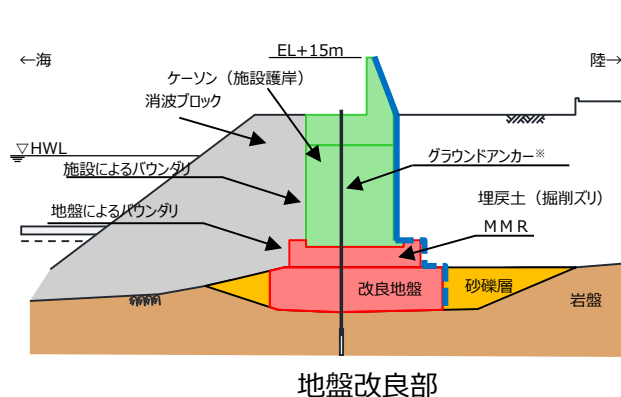
- 新規規制基準への適合性において、防波壁（波返重力擁壁）における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を下表のとおり整理した。
- 以下の条文を確認することにより、防波壁（波返重力擁壁）の各条文への適合性を確認する。

防波壁（波返重力擁壁）における検討要旨

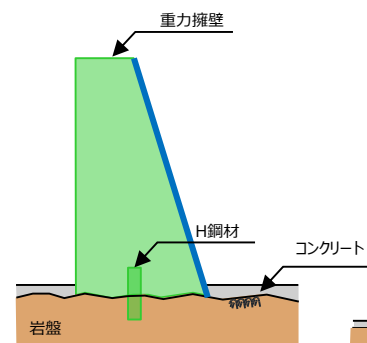
規 則	検 討 要 旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	施設（重力擁壁、ケーソン）を支持する地盤を対象とし、すべり、支持力、傾斜等に対する安定性を確認する。
第4条（地震による損傷の防止）	施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮した<u>うえで</u>、施設の耐震安全性を確認する。
第5条（津波による損傷の防止）	- 地震（本震及び余震）による影響を考慮した<u>うえで</u>、機能を保持できることを確認する。 - 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。



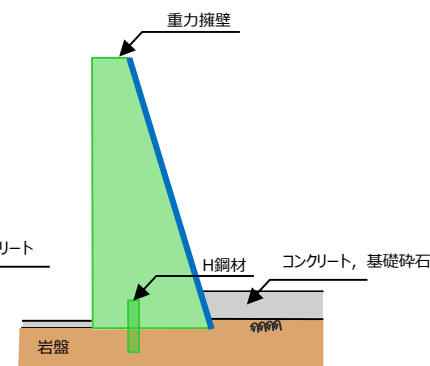
※ 防波壁（波返重力擁壁）は、グラウンドアンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。



地盤改良部



西端部



東端部

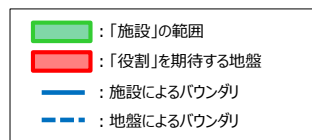
波返重力擁壁（改良地盤部）の「施設」・「地盤」の範囲

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（2 / 6）

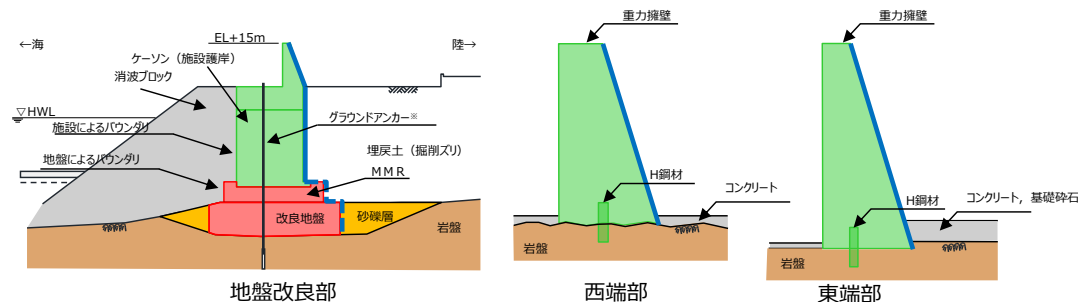
- 防波壁（波返重力擁壁）における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』、材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし、これらを総称として『止水性』と整理する。
- 漂流物衝突荷重の影響により、防波壁の各部位の照査の結果、性能目標を維持できない場合は、防波壁（津波防護施設）の一部として漂流物対策工を追加設置する。なお、当該施設の設計方針については、「指摘6 漂流物衝突荷重の設定方針」において説明する。

防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	重力擁壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・重力擁壁間の変形に追従する。	・重力擁壁間の変形に追従し、遮水性を保持する。
	ケーソン	・重力擁壁を支持するとともに、遮水性を保持する。	・重力擁壁を支持するとともに、遮水性を保持する。
	H鋼	・重力擁壁の滑動を抑制する。	・重力擁壁の滑動を抑制する。
地盤	MMR	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	岩盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。
	埋戻土（掘削ズリ）、砂礫層	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する）。	・津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。



※ 防波壁（波返重力擁壁）は、グラウンドアンカーの効果も期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。



役割を期待する範囲

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（3 / 6）

- 防波壁（波返重力擁壁）において、前頁の役割を有する改良地盤等について、具体的な役割を整理し、「施設」と「地盤」に区分する。
- 防波壁（波返重力擁壁）において、MMR及び改良地盤の具体的な役割を以下のとおり整理した。
- 施設の支持及び難透水性の保持を主な役割とするMMR及び改良地盤について、『地盤』と区別する。

凡 例

◎：要求機能を主体的に満たすために設計上必要な項目
（該当する部位を施設と区分する）

○：施設の役割を維持するために設計に反映する項目

－：設計上考慮しない項目

各部位の具体的な役割

部位	具体的な役割						『施設』と『地盤』の区分の考え方
	地震時	津波時	鉛直支持	すべり安全率	耐震性	（遮水性・難透水性）耐津波性	
MMR	ケーソン及び重力擁壁の下方にMMRを設置することで、防波壁を鉛直支持するとともに、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁の下方にMMRを設置することで防波壁を鉛直支持する。 ・難透水性を保持することで、遮水性を有する重力擁壁、止水目地の下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。	○	○	－	○	施設の鉛直支持が主な役割であり、施設の支持地盤に要求される役割と同様であることから、『地盤』と区分する。
改良地盤	ケーソン、重力擁壁及びMMRの下方の砂礫層を地盤改良（沈下防止）することで防波壁を鉛直支持するとともに、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁の下方の砂礫層を地盤改良（沈下防止）することで防波壁を鉛直支持する。 ・難透水性を保持することで、遮水性を有する重力擁壁、止水目地の下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。	○	○	－	○	施設の鉛直支持が主な役割であり、施設の支持地盤に要求される役割と同様であること、難透水性の保持の役割を持つことから、『地盤』と区分する。

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（4 / 6）

- 防波壁（波返重力擁壁）における条文に対応する各部位の役割を踏まえた性能目標を以下のとおり整理した。

各部位の役割に対する性能目標

部位		性能目標			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	耐震性 (第4条)	耐津波性 (透水性、難透水性) (第5条)
施設	重力擁壁	—	—	構造部材の健全性を保持するために、重力擁壁が概ね弾性状態に留まること。	止水目地の支持機能を喪失して重力擁壁間から有意な漏えいを生じないために、重力擁壁が概ね弾性状態に留まること。
	止水目地			重力擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	重力擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形・遮水性能を保持すること。
	ケーソン			構造部材の健全性を保持するために、ケーソンが概ね弾性状態に留まること。	構造部材の健全性を保持し、有意な漏えいを生じないために、ケーソンが概ね弾性状態に留まること。
	H鋼			構造部材の健全性を保持するために、H鋼が概ね弾性状態に留まること。	構造部材の健全性を保持するために、H鋼が概ね弾性状態に留まること。
地盤	MMR	・ケーソン及び重力擁壁を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	—	地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性を保持）するため、MMR及び改良地盤が破壊しないこと。（内的安定を保持）
	改良地盤				
	岩盤				—

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.2 規制における要求性能

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（5 / 6）

第888回審査会合
資料2-1 P.80 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

51

- 前頁で整理した性能目標を満足するための照査項目と許容限界を以下のとおり整理した。
- 防波壁（波返重力擁壁）については、重力擁壁等に対する地震時応答値の抽出、及び止水目地の変形量を算出するため、2次元動的 F E M解析（有効応力）による地震応答解析を実施する。また、重力擁壁及びケーソンの性能照査のため、3次元静的 F E M解析を実施する。
- ケーソン重量算定の考え方については港湾基準に準拠する。ケーソン重量の算定にあたっては、中詰材（銅水砕スラグ※1又は砂）を考慮することにより適切に設定する。中詰材で使用する銅水砕スラグは、砂状で粒子密度が砂よりも大きい材料であり、解析で考慮する重量については工事記録や土質試験により得られた結果を用いることにより適切に評価する。
- 港湾基準によると、護岸施設の地震応答解析において、ケーソン全体に対してコンクリートの解析用物性値（ヤング率等）を設定している。島根2号炉ケーソンについても港湾基準に準じて評価する方針としていたが、中詰材の剛性を期待せずに、ケーソンの躯体のコンクリート強度と構造に応じた剛性を考慮した解析用物性値を設定する方針に見直し、地震応答解析を実施する。
- ケーソンの底板、隔壁及びフーチングについては、それぞれに期待する役割を踏まえ、曲げについては限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ、せん断についてはせん断耐力を許容限界とする方針としていた。しかしながら、ケーソン内部に格子状に複数配置される隔壁等は、地震時及び津波時に前壁、後壁及び側壁からの荷重伝達により一体的に挙動することから、ケーソン全体が津波防護施設としての要求性能を担保するため、前壁、後壁、側壁に加え、隔壁、底板、及びフーチングについても、性能目標を「概ね弾性状態に留まること」とし、それに応じた照査を実施する方針に見直す。（詳細は、7.4.2（1）及び（2）参照）なお、ケーソンの各部材の照査の結果、性能目標を維持できない場合は、性能目標を維持できるよう中詰材改良等の対策を講じる。
- なお、施設及び岩盤の各部位の役割や性能目標を長期的に維持していくために必要な保守管理方法を今後検討していく。

※1 銅の精錬過程で発生するスラグを水で細かく砕いた砂状の物質で一般の砂に比べ密度が大きい。

各部位の照査項目と許容限界（上段：照査項目，下段：許容限界）

部位		照査項目と許容限界			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	耐震性 (第4条)	耐津波性※2 (透水性、難透水性) (第5条)
施設	重力擁壁	—	—	曲げ・せん断 (短期許容応力度以下)	
	止水目地			変形 (許容変形量以下)	変形・水圧 (許容変形量・許容水圧以下)
	ケーソン			曲げ・せん断 (短期許容応力度以下)	
	H鋼			せん断 (せん断応力度以下)	
地盤	M M R	支持力	すべり安全率（基礎地盤）※3	—	すべり安全率※4
	改良地盤	(極限支持力度)	(1.5以上)		(1.2以上)
	岩盤				—

※2 設備及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、M M R及び改良地盤の透水係数を保守的に考慮しても津波の耐水時間中に浸水しないことを確認する。

※3 第3条のすべり安全率は施設の外的安定の確認を目的としており、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価結果に係る審査ガイド」に基づいて1.5以上を許容限界とする。

※4 第4条・第5条のすべり安全率は各部位の内的安定の確認を目的としており、「耐津波設計に係る審査ガイド」を準用して1.2以上を許容限界とする。

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（6 / 6）

- ケーソンの各部材の名称と地震時（海側方向）及び津波時にケーソンに作用する荷重図を以下に示す。
- 地震時及び津波時にケーソンに作用する荷重を踏まえ、ケーソンの各部材に期待する役割を整理すると、ケーソンは常に海に接しており、重力擁壁を支持していることから、地震時及び津波時の役割は同じとなる。

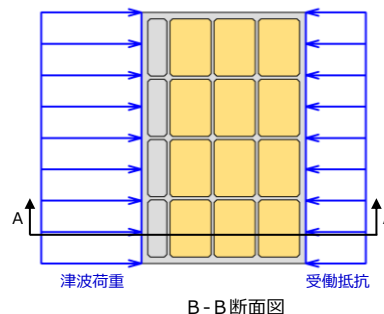
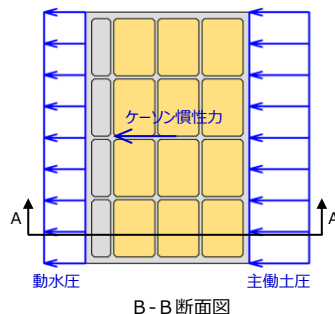
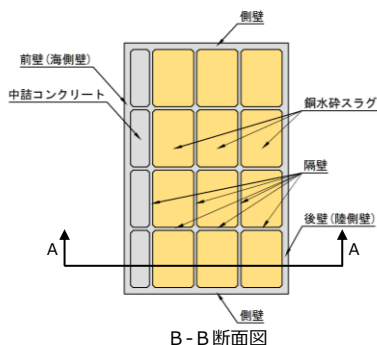
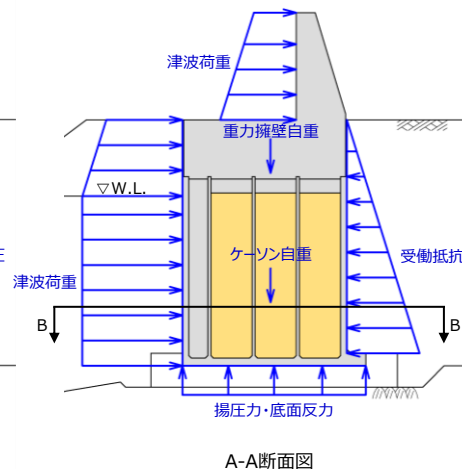
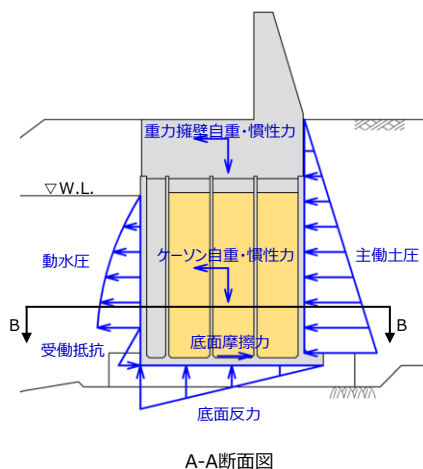
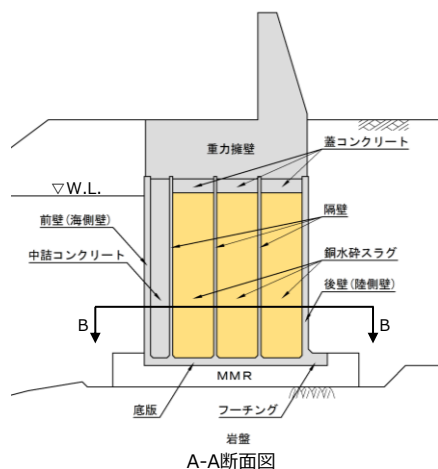
ケーソンの各部材に期待する役割

名称	地震時及び津波時の役割
・前壁 ・後壁 ・側壁	・重力擁壁を支持する ・遮水性を保持する
・底版	・前壁、後壁、側壁、隔壁を支持する
・隔壁	・重力擁壁を支持する ・前壁、後壁、側壁、底版の変形を抑制する
・フーチング	・滑動、転倒に対して安定性を確保する

(ケーソン部材名称)

(地震時（海側方向）)

(津波時)



ケーソンに作用する荷重図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.2 規制における要求性能

7.2.2 要求機能と設計評価方針

第888回審査会合
資料2-1 P.82 再掲

53

- 防波壁（波返重力擁壁）は、津波の発生に伴い、津波防護対象設備がその安全性又は重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないような設計とする。

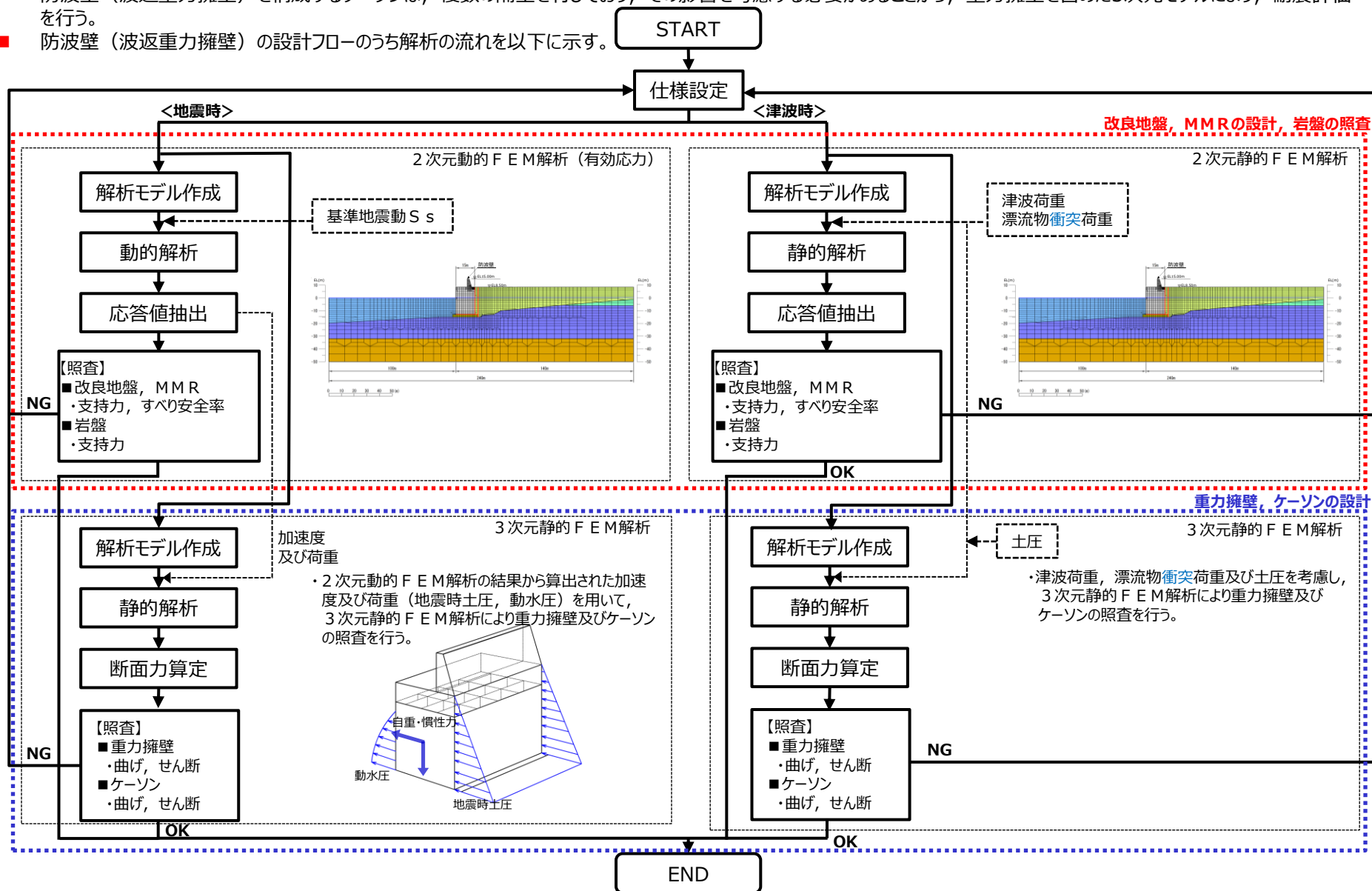
赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計					設計に用いる許容限界				
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計 (評価方針)	評価対象部位	応力等の状態	損傷モード					
防波壁 (波返重力擁壁)	[基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド] 5.1津波防護施設の設計 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び沈下に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるような設計すること。 (1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2)設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見通しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。 a)荷重組合せ ①余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ:常時+津波、常時+津波+地震(余震) ②荷重の設定 a)津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する知見(例えば、国交省の暫定指針等)及びそれらの適用性。 b)余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。 c)地震により周辺地盤に液化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。 ③許容限界 a)津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の变形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修に、ある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。) [基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド] 6.3津波防護施設、浸水防止設備等津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての变形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること	・防波壁(波返重力擁壁)は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。 ・防波壁(波返重力擁壁)は、 基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての变形能力(終局耐力時の変形)に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。	・防波壁(波返重力擁壁)は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さの設定及び構造物の境界部等への止水処置により止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・防波壁(波返重力擁壁)は、 基準地震動 S s に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。	・防波壁(波返重力擁壁)は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、①想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さ(浸水高さEL+11.9mに余裕を考慮した天端高さEL+15.0m)の設定により、敷地前面に設置する設計とする。 ②防波壁の上部構造は、施設護岸ケーソン上部に設置する重力擁壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。 ③重力擁壁間は、波圧による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。 ・防波壁(波返重力擁壁)は、 基準地震動 S s に対し、④コンクリートの耐力のある部材を使用することにより止水性を保持する設計とする。 ⑤重力擁壁間は、地震による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。	・防波壁(波返重力擁壁)は、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、重力擁壁及びケーソンで構成し、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とするとともに、重力擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。 ・防波壁(波返重力擁壁)は、 基準地震動 S s による地震時荷重に対し、重力擁壁及びケーソンで構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とするとともに、重力擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。	基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、構造部材である重力擁壁、ケーソン(止水性能を有する部材)及びH鋼が、概ね弾性状態に留まることを確認する。	重力擁壁	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書、構造性能照査編、2002年制定」を踏まえた短期許容応力度とする。				
											止水目地	変形・水圧	有意な漏えいに至る変形・水圧	メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。
						止水目地の鋼製部材	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。					
						ケーソン	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書、構造性能照査編、2002年制定」を踏まえた短期許容応力度とする。					
						H鋼	せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編(平成14年3月)」を踏まえたせん断応力度とする。					
						地盤	支持力	鉛直支持性能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編(平成14年3月)」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。					
						改良地盤	すべり安全率	すべり破壊し、難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。					
						岩盤	支持力	支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編(平成14年3月)」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。					

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.1 設計フロー（1/2）

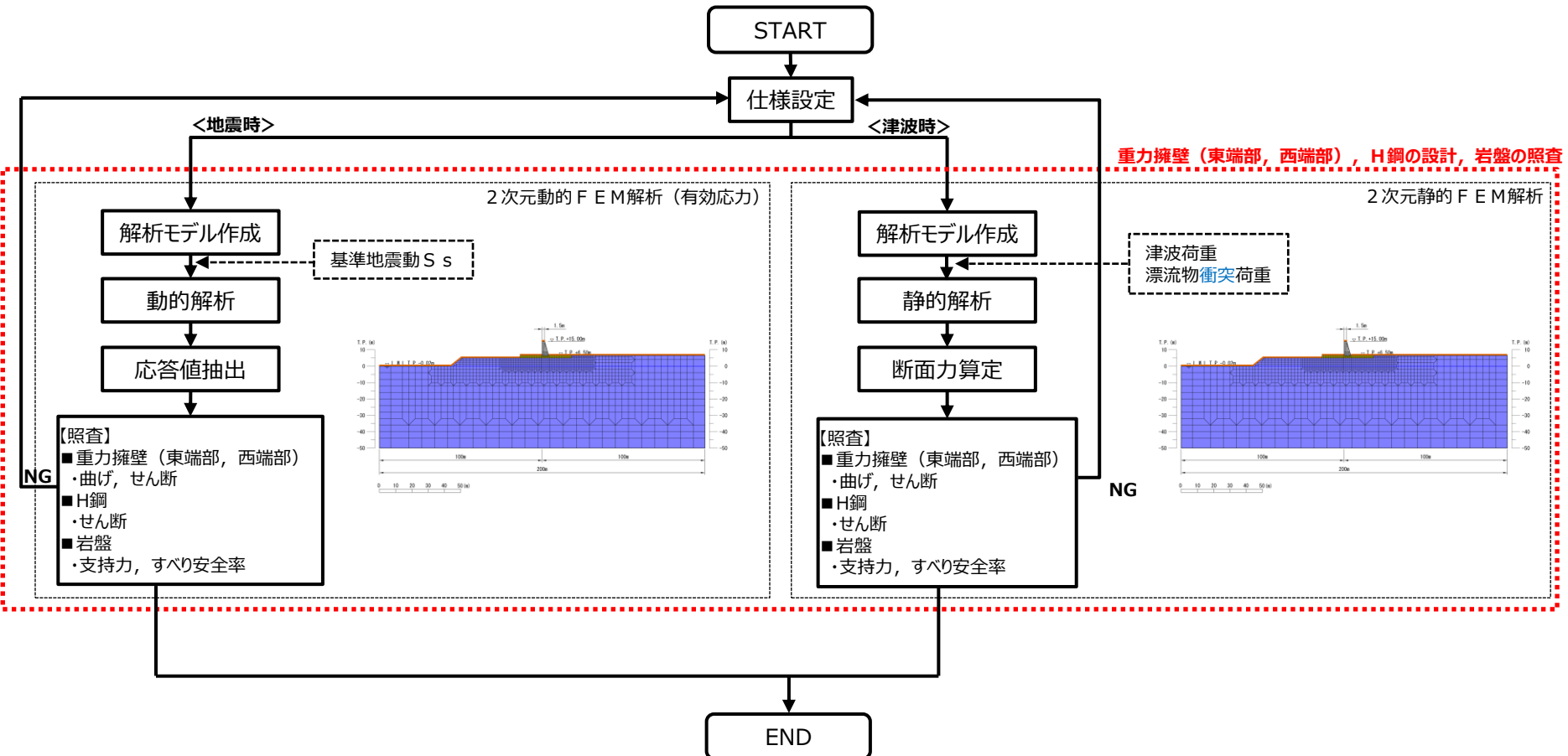
- 防波壁（波返重力擁壁）を構成するケーソンは、複数の隔壁を有しており、その影響を考慮する必要があることから、重力擁壁を含めた3次元モデルにより、耐震評価を行う。
- 防波壁（波返重力擁壁）の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.1 設計フロー（2/2）

- 防波壁（波返重力擁壁）東端部及び西端部の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



7.4.2 設計方針の概要（1）重力擁壁，ケーソン

重力擁壁の役割と設計方針概要

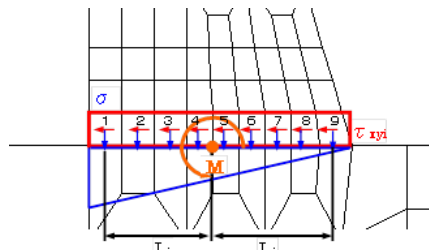
- 地震時，津波時の荷重に対して損傷せず，止水目地の支持機能及び遮水性を保持する。
- 重力擁壁は，ケーソンを含めてモデル化した3次元静的 F E M解析により，地震時及び津波時の照査を行う。なお，東端部及び西端部は，地震時は2次元動的 F E M解析により，津波時は2次元静的 F E M解析により照査を行う。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
重力擁壁	地震時	3次元静的 F E M解析 又は2次元動的 F E M解析	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造性能照査編 2002年制定
	津波時	3次元静的 F E M解析 又は2次元静的 F E M解析			

〔2次元動的 F E M解析における重力擁壁のモデル化及び断面力算定方法〕

2次元動的 F E M解析において平面要素でモデル化する重力擁壁は，重力擁壁付根各要素での発生応力（垂直応力 σ_y ，せん断応力 τ_{xy} ）を基に，重力擁壁付根中心位置における，軸力 N ，曲げモーメント M ，せん断力 Q を算定する。

本照査方法は，JEAG4601-1987におけるp.381「基礎マット等の厚いコンクリートの断面評価法」に準じたものである。



2次元動的 F E M解析モデル図

$$\begin{aligned} \text{軸力} \quad N &= \sum (\sigma_{yi} \times l_i) \\ \text{曲げモーメント} \quad M &= \sum (\sigma_{yi} \times l_i \times L_i) \\ \text{せん断力} \quad Q &= \sum (\tau_{xyi} \times l_i) \end{aligned}$$

ここに， σ_{yi} ：防波壁付根要素の垂直応力（ kN/m^2 ）
 τ_{xyi} ：防波壁付根要素のせん断応力（ kN/m^2 ）
 l_i ：防波壁付根各要素の要素幅（ m ）
 L_i ：防波壁付根中心からのアーム長（ m ）

ケーソンの役割と設計方針概要

- 地震時，津波時の荷重に対して損傷せず，重力擁壁の支持機能及び遮水性を保持する。
- ケーソンの各部位に対しては，重力擁壁を含めてモデル化した3次元静的 F E M解析により，地震時及び津波時の照査を行う。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
ケーソン	地震時	3次元静的 F E M解 析	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造性能 照査編，2002年制定
	津波時				

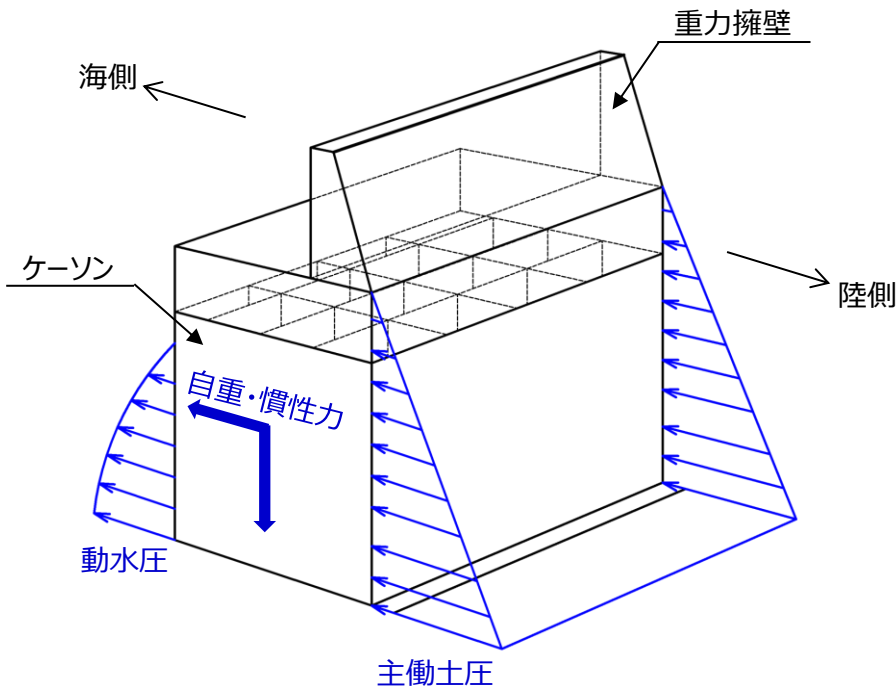
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.2 設計方針の概要（2）ケーソン部材評価方針（2/2）

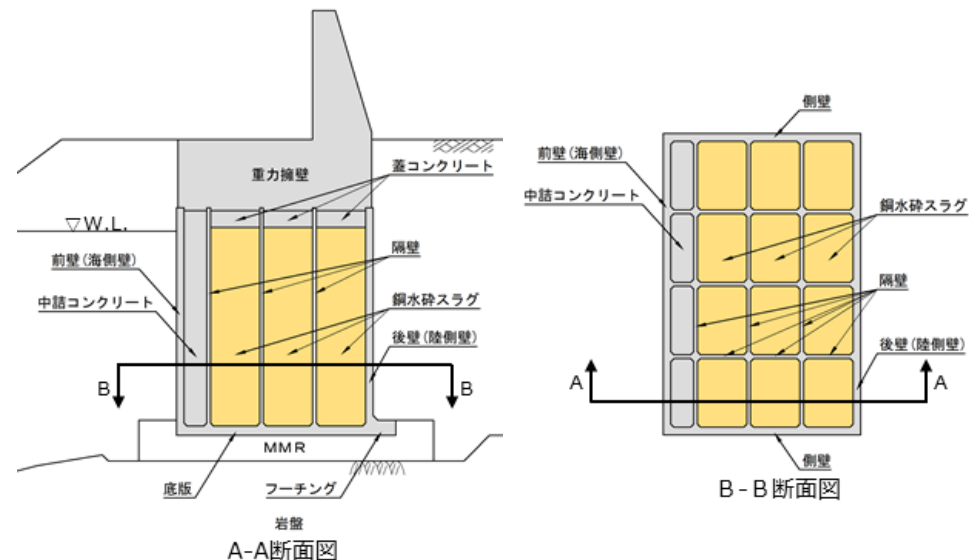
- ケーソンの底版、隔壁及びフーチングについては、それぞれに期待する地震時及び津波時の役割を踏まえ、曲げについては限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ、せん断についてはせん断耐力を許容限界とする方針としていたが、津波時に遮水性の役割に期待する前壁、後壁及び側壁と構造的に一体化していることを踏まえ、許容限界を短期許容応力度に見直す。

ケーソンの各部材の要求性能と許容限界

名称	要求性能	許容限界	
		曲げ	せん断
・前壁 ・後壁 ・側壁	止水性能 支持性能	短期許容応力度	
・隔壁 ・底版 ・フーチング	支持性能		



地震時（海側方向）の荷重イメージ図（改良地盤部の例）



ケーソン部材名称（改良地盤部の例）

7.4.2 設計方針の概要（3）H鋼

H鋼の役割と設計方針概要

- 地震時，津波時の荷重に対して損傷せず，重力擁壁の滑動を抑制する。
- 地震時は，地盤と施設を連成した2次元動的 F E M解析を実施する。
- 津波時は2次元静的 F E M解析によりH鋼の断面力を照査する。
- 重力擁壁の転倒に伴うH鋼の引抜きについては，岩盤の支持力照査を踏まえて評価する。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
H鋼	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	せん断	せん断応力度	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成14年3月)
	津波時	2次元静的 F E M解析			

7.4.2 設計方針の概要（4）止水目地

止水目地の役割と設計方針概要

- 止水目地は、重力擁壁間の変形に追従し、損傷せず津波時の遮水性を保持する（止水目地の構造については8.1参照）。
- 地盤と施設を連成した2次元動的 F E M解析及び静的解析の結果の内、変形及び水圧を抽出して、止水目地の照査を実施する。また、止水ゴム等の取付け部の鋼製部材（アンカーボルト、押え板）に発生する応力が許容応力度以下であることを確認する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用限界
止水目地	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	変形・水圧	メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。	
	津波時	静的解析			
止水目地の 鋼製部材	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	曲げ・せん断	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。	
	津波時	波圧算定式により算定			

7.4.2 設計方針の概要（5）岩盤

地盤（岩盤）の役割と設計方針概要

- 岩盤はケーソン及び波返重力擁壁を支持し，基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 地震時は，地盤と施設を連成した2次元動的 F E M解析を実施する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては，地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し，有効応力解析を用いる。
- 津波時は，地盤と施設を連成した2次元静的 F E M解析を実施する。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
岩盤	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	支持力	極限支持力	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 （平成14年3月）
	津波時	2次元静的 F E M解析			

7.4.2 設計方針の概要（6）改良地盤及びMMR

地盤（改良地盤及びMMR）の役割と設計方針概要

- 改良地盤及びMMRはケーソンを支持し、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 改良地盤は、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性の保持）。
- 地震時は、地盤と施設を連成した2次元動的 F E M解析を実施する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 津波時は、地盤と施設を連成した2次元静的 F E M解析を実施する。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤 及び MMR	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	支持力	極限支持力	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成14年3月)
			すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的 F E M解析	支持力	極限支持力	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成14年3月)
			すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.2 設計方針の概要（7）地震時の検討（2次元動的有限要素解析（有効応力解析））（1/2）

- 地震時の検討は、2次元動的有限要素解析（有効応力解析）にて行う。以下に、解析の概要を示す。

解析の目的

- ・ 重力擁壁，ケーソン，埋戻土，基礎捨石，砂礫層，改良地盤，施設護岸，岩盤等を含めた全体の動的挙動評価
- ・ 地盤特性及び液状化を考慮した影響評価

結果の利用

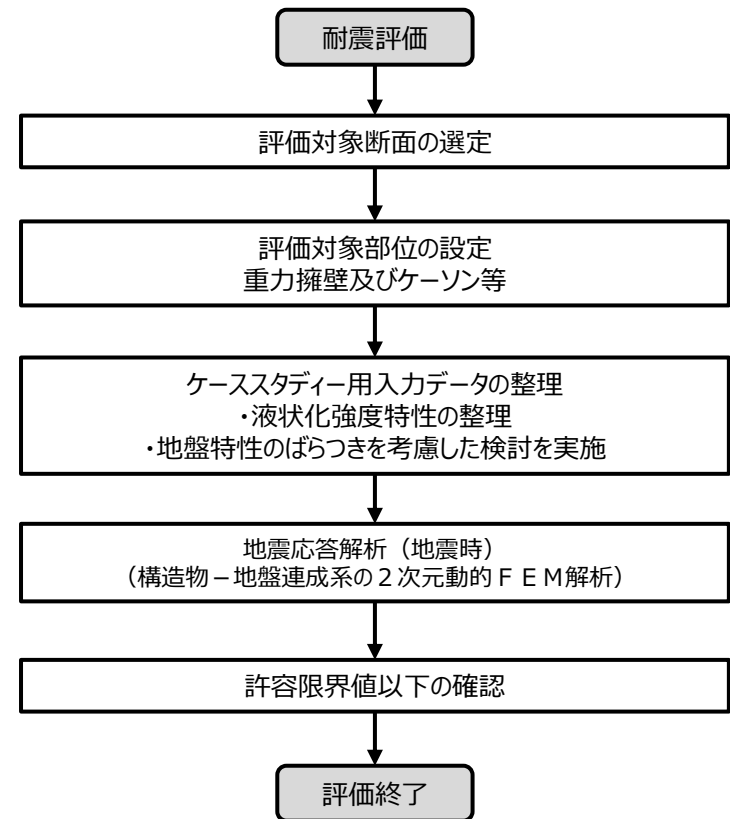
- ・ 重力擁壁及びケーソン等の照査
- ・ 止水目地の変形量
- ・ 地震時応答（変形量を含む）

解析条件

- ・ 地盤物性のばらつきを考慮する。

「代表断面選定の考え方」

着目点	概要	代表断面の選定
地質分布	構造的特徴，周辺の地質分布及び隣接構造物を考慮して，代表断面を選定する。	詳細設計段階において，地震応答解析により耐震評価を行う <u>うえ</u> で，構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を選定する。



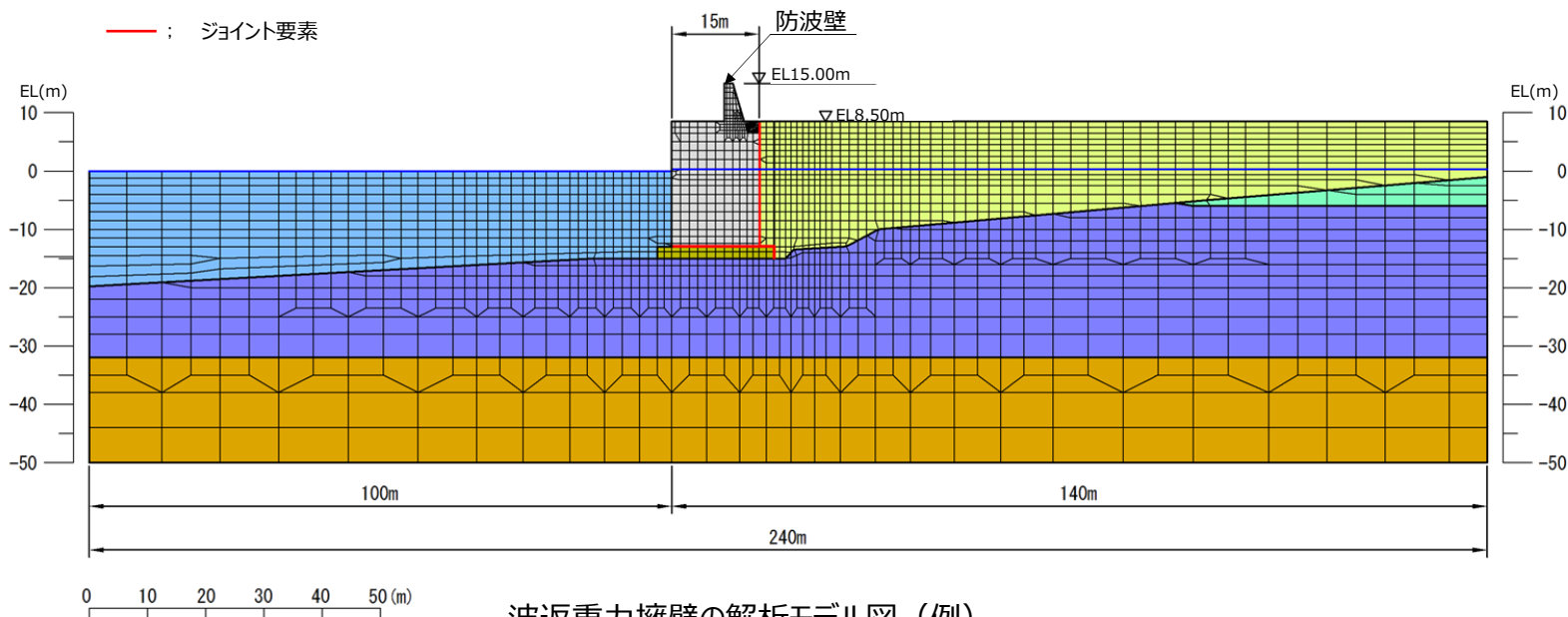
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.2 設計方針の概要（7）地震時の検討（2次元動的有限要素解析（有効応力解析））（2/2）

モデル化方針（波返重力擁壁）

- 波返重力擁壁は施設護岸と一体化した構造のため線形平面要素でモデル化する。
- 岩盤及びMMRは線形平面要素でモデル化する。
- 埋戻土（掘削ズリ）、砂礫層、改良地盤はマルチスプリング要素でモデル化する。消波ブロックは分布荷重で考慮する。
なお、ケーソン前面の基礎捨石天端以深に存在する消波ブロック（一般部①－①断面他）は、基礎捨石天端以深の範囲をモデル化する。
- 液状化評価対象層である埋戻土（掘削ズリ）は液状化パラメータを設定する。
- 海水は流体要素でモデル化する。
- 防波壁と背後地盤など、要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素でモデル化する。

- : 岩盤（第①速度層）
 : 岩盤（第②速度層）
- : 岩盤（第③速度層）
 : 埋戻土（掘削ズリ）
- : MMR
 : ジョイント要素



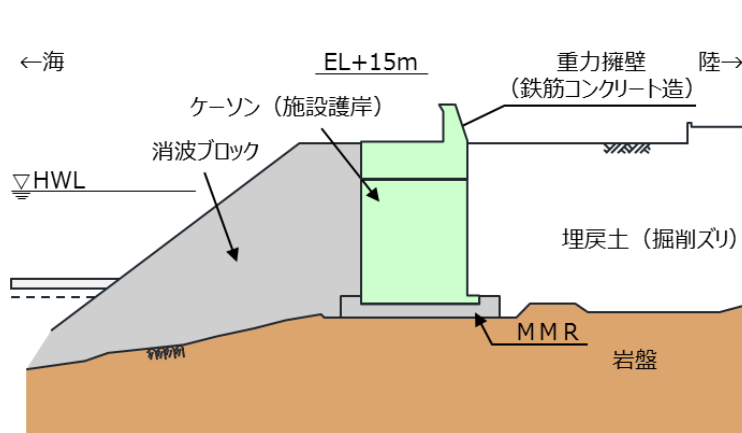
波返重力擁壁の解析モデル図（例）

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

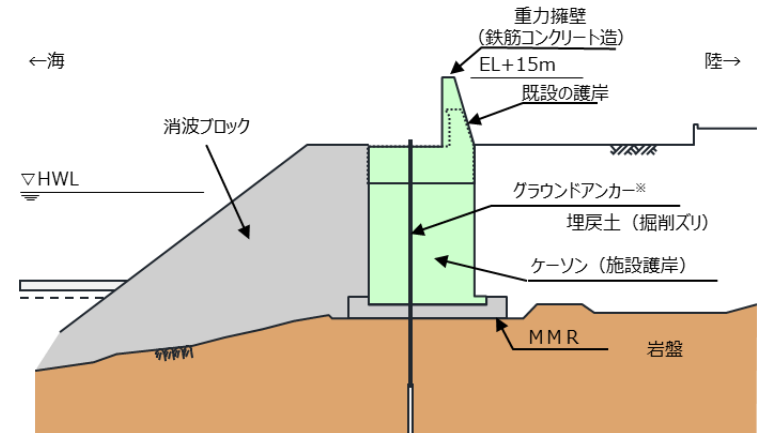
7.4.2 設計方針の概要（8）ケーソン設計方針（既設の護岸の構造変更に係る主な経緯）

- 防波壁（波返重力擁壁）の構造変更に係る主な経緯を以下に示す。
- 防波壁（波返重力擁壁）のうち既設の護岸は、3号炉増設時に建設されている。その後、平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を踏まえ、重力擁壁の嵩上げを実施し、港湾の施設の技術基準適合性確認を受けている。

主な経緯	概 要	重力擁壁天端高	準拠基準
①3号炉増設時 (H16.2 公有水面埋立免許受領)	埋立地の外郭施設であるため、波浪時（変動波浪：100年確率波）及び地震時（レベル1地震動：設計震度0.14）の外力に対して十分な耐波性、耐震性を有する構造として設計。	EL+11m	海岸保全施設築造基準解説、河川砂防技術基準（案）同解説、港湾基準（平成11年4月）等
②港湾の施設の技術基準適合性確認 (H23.11 確認証受領)	平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を踏まえた安全対策として、津波による敷地内への浸水を防止するため、既設ケーソン式護岸の嵩上げを実施し、港湾の施設の技術基準適合性確認証を受領した。当該確認においては、レベル1地震動、基準地震動 S_s (600Gal) 及び津波高さ(敷地浸水高さ) EL+15mにより評価。	EL+15m	港湾基準
③新規制基準適合性審査 (H25.12)	基準地震動 S_s 及び入力津波を設計外力とした場合でも、構造成立性を確認。	EL+15m	港湾基準、防波堤の耐津波設計ガイドライン(2013)、RC示方書等



3号増設時



防波壁（波返重力擁壁）断面図

※ 防波壁（波返重力擁壁）は、グラウンドアンカーの効果の期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

申請時

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.2 設計方針の概要（8）ケーソン設計方針（新規制基準における要求機能及び性能照査）

- 新規制基準において、津波防護施設は、基準地震動 S_s 並びに入力津波に対し、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強度を有するとともに、浸水及び漏水を防止することが要求性能とされている。
- 防波壁（波返重力擁壁）は津波防護施設であることから、その構成部位であるケーソンの照査に当たっては、要求機能及び性能目標を新規制基準に従い設定する。
- ケーソンは港湾基準によると、供用時における照査部位として底版、フーチング、前壁、後壁及び側壁が選定されるが、新規制基準においては津波防護施設に区分されるため、性能目標が地震、津波後の再使用性を考慮し、「概ね弾性状態に留まること」となることから、港湾基準における照査部位に隔壁を加えることとする。照査項目及び許容限界は下表のとおり。

	新規制基準	ケーソンの設計方針	（参考）港湾の施設の技術上の基準・同解説	
施設名	津波防護施設	津波防護施設	津波対策施設	
			使用性	修復性
要求性能	・基準地震動 S_s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強度を有した構造であること。 ・入力津波に対して、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、津波による浸水及び漏水を防止すること。	・基準地震動 S_s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強度を有した構造であること。 ・入力津波に対して、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、津波による浸水及び漏水を防止すること。	・施工時及び供用時に当該施設が置かれる諸条件に照らし、自重、土圧、水圧、変動波浪、水の流れ、レベル地震動、漂流物の衝突等の作用による損傷等が、当該施設の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこととする。（永続状態及び変動状態）	・津波、レベルⅡ地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復による当該施設の機能の回復に影響を及ぼさないこと。（偶発状態）
性能目標	・基準地震動 S_s 並びに入力津波により発生する応力が、既往研究等において試験・解析等により妥当性が確認された許容値を超えていないこと。	・概ね弾性状態に留まること。	・永続状態及び変動状態に対して健全性を損なう危険性が限界値以下であること。	・偶発状態に対して作用による損傷の程度が限界値以下であること。
供用時における照査部位	施設の安定性を確保するために健全性を求める部材	・底版、フーチング ・前壁、後壁及び側壁 ・隔壁	・底版、フーチング ・前壁、後壁及び側壁	施設の安定性を確保するために健全性を求める部材
供用時における照査項目（許容限界）	規定なし	・曲げ破壊（短期許容応力度） ・せん断破壊（短期許容応力度）	・断面破壊（設計断面耐力） ・使用性（曲げひび割れ幅の制限値） ・抜け出し（設計降伏応力度）	規定なし

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（2）ケーソン構造成立性検討（1 / 4）

第888回審査会合
資料2-1 P.109 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

66

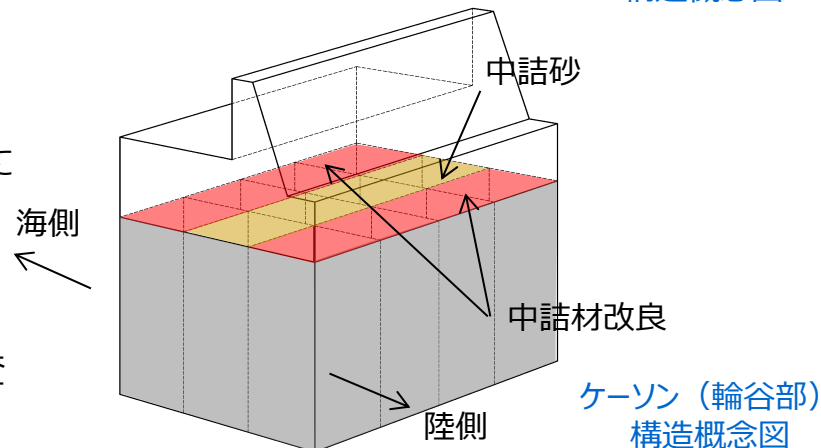
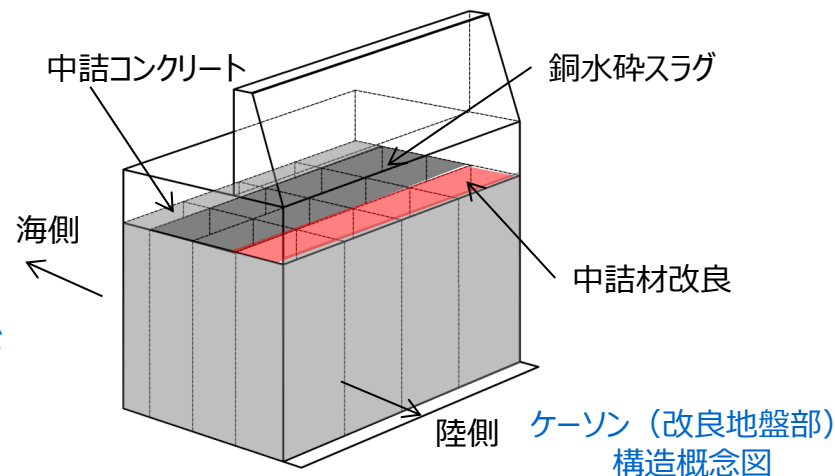
- 防波壁（波返重力擁壁）ケーソンの構造成立性を確認するため、3次元静的 F E M解析による検討を実施する。検討にあたっては、地震時のケーソン背後の地震時土圧及び慣性力によるケーソンへの影響が大きいことから、地震時による検討を実施する。
- ケーソンの評価について、2次元動的 F E M解析によりケーソン全体を評価する方針から、2次元動的 F E M解析から荷重等を抽出し、3次元静的 F E M解析によりケーソンの各部材を評価する方針に見直した。
- また、ケーソンの剛性について、港湾基準に基づきケーソン全体に対してコンクリートの剛性を設定する方針から、中詰材の剛性を期待しない方針に見直した。
- 上記の方針の見直しに伴い、地震時荷重を直接負担する部材等で構造成立性が見込めないことから、対策工として中詰材の一部を改良したものととして構造成立性を検討する。

【検討断面及び検討用地震動】

- 検討断面は、他の断面と比較してケーソン高さが高く、ケーソンの構造が異なる改良地盤部断面及び輪谷部断面を選定する。
- 地震荷重は基準地震動 $S_s - D$ とする。

【解析条件】

- 2次元動的 F E M解析（有効応力解析）を実施し、ケーソンの頂底板間の相対変形量が最大となる時刻における加速度及び荷重（地震時土圧、動水圧）を抽出し、3次元静的 F E Mモデルに作用させる。
- 2次元動的 F E M解析では、ケーソンの躯体のコンクリート強度と構造に応じた剛性を考慮した解析用物性値を設定する。
- 3次元静的 F E M解析では、2次元動的 F E M解析と同様に、中詰材の剛性を期待せず、重量のみ考慮する。
- 3次元静的 F E M結果を踏まえ、構造部材のうち、前壁、後壁、側壁、隔壁、底板及びフーチングを対象に、短期許容応力度による照査を実施する。



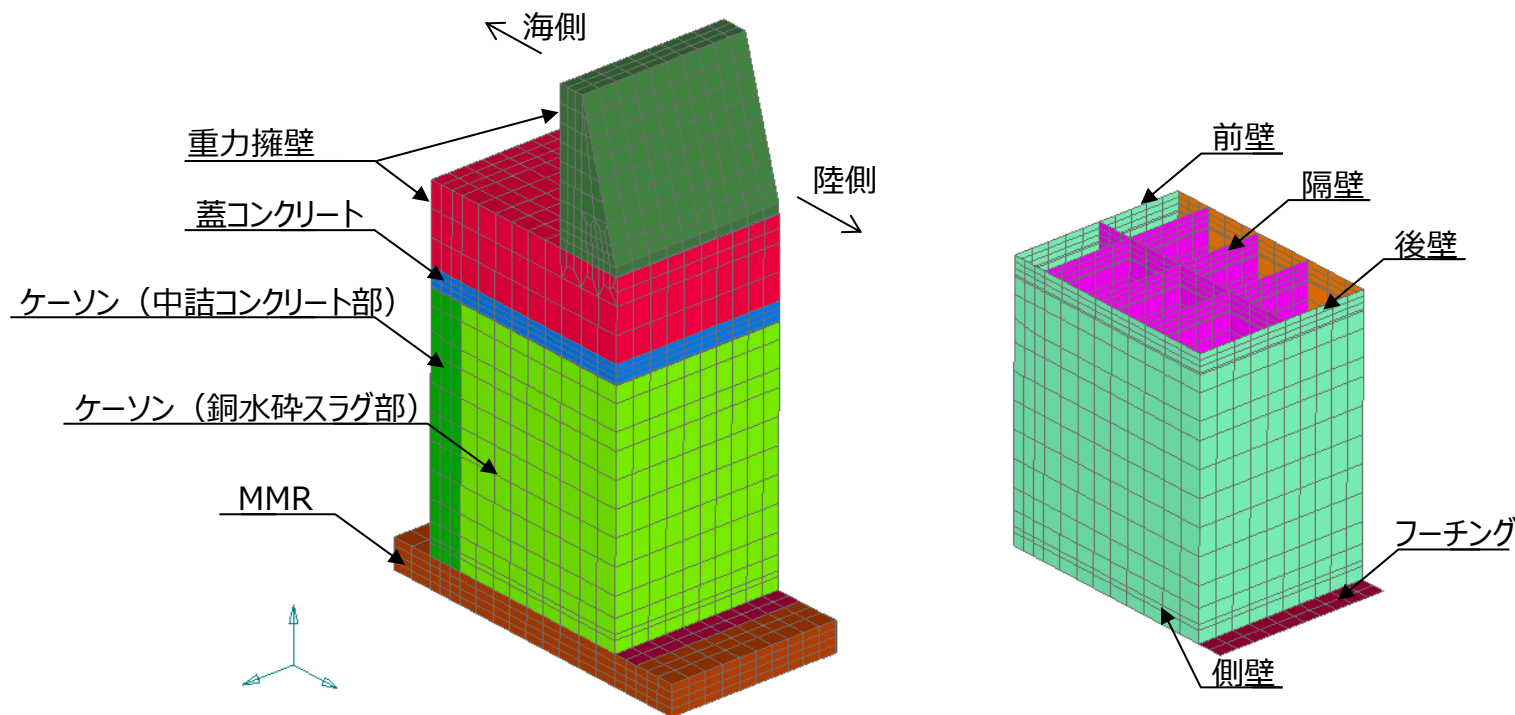
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（2）ケーソン構造成立性検討（2 / 4）

- ケーソンは長辺方向及び短辺方向に配置された隔壁を有することから、各部材の照査は3次元モデルによる静的 F E M解析により行う。3次元静的 F E M解析の解析モデルを以下に示す。

【モデル化方針】

- ケーソンについては、シェル要素でモデル化し、重力擁壁、蓋コンクリート、中詰材（中詰コンクリート、銅水砕スラグ及び砂）及び M Rについては、ソリッド要素でモデル化する。なお、中詰材の一部を改良したものとして構造成立性を検討する。
- ケーソンの奥行方向を半分にした3次元モデルとする。なお、詳細設計段階においては、ケーソン 1 函分をモデル化して解析を実施する。

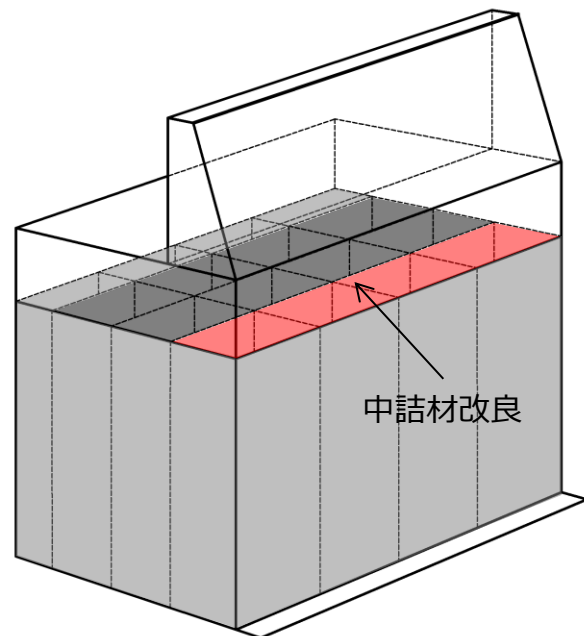


解析モデル図（改良地盤部の例）

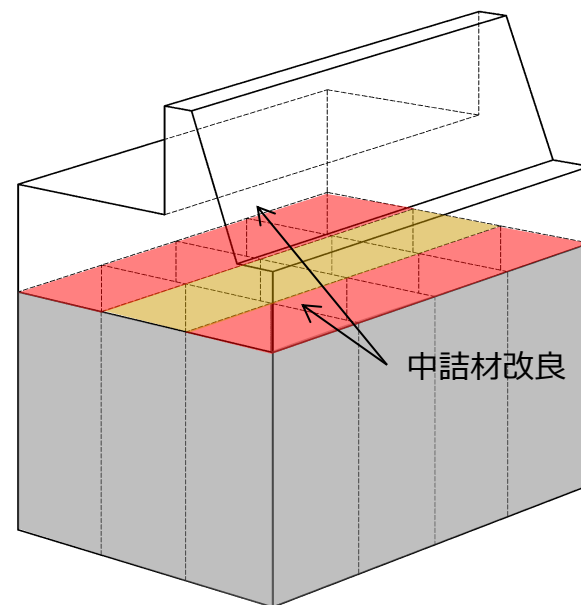
7.5 個別論点（2）ケーソン構造成立性検討（3 / 4）

【中詰材の改良範囲及び仕様】

- ケーソンの中詰材の一部を改良（固化処理等）することで、基準地震動 $S_s - D$ に対し、改良地盤部及び輪谷部のケーソンにおける各構造部材において構造成立性が確保されることを確認する。
- 詳細設計段階において、他の断面も適切に検討したうえで、地震時及び津波時の荷重の不確かさ及び物性値のばらつきを考慮しても、ケーソンの各構造部材が津波防護施設としての性能を保持させる設計とし、中詰材の改良範囲及び仕様を決定する。
- 中詰材の改良範囲として、地震時、津波時荷重等が直接作用するケーソン前壁及び後壁の背面の中詰材を改良することを基本とし、ケーソンの照査結果を踏まえ、必要に応じて改良範囲の追加を検討する。また、中詰材改良の仕様として、ケーソンの照査結果を踏まえ、中詰材及びケーソン隔壁内に実施する中詰材改良の解析用物性値（剛性）を設定し、解析用物性値（剛性）の妥当性を試験等により確認する。



ケーソン（改良地盤部）耐震補強対策工（例）

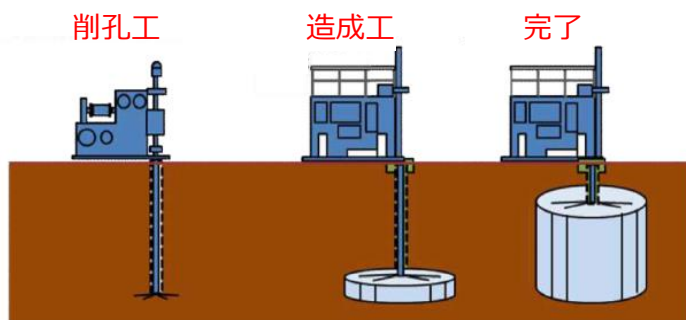


ケーソン（輪谷部）耐震補強対策工（例）

7.5 個別論点（2）ケーソン構造成立性検討（4 / 4）

【中詰材改良の施工成立性】

- 中詰材改良の工法の例として、ケーソン内の中詰材に固化材を噴射しながら混合・攪拌する高圧噴射攪拌工法が挙げられる。
- 波返重力擁壁直下のケーソン内の中詰材改良にあたっては、ケーソン躯体に影響がないよう下図のように斜め方向に施工することで中詰材の改良は可能と判断する。なお、ケーソン内の中詰材を改良した施工実績があり、施工状況を以下に示す。
- 試験施工等により中詰材改良に要求される解析用物性値（剛性）が確保できることを確認する。また、中詰材改良の施工後確認試験（P S 検層等）により、品質管理を行う。



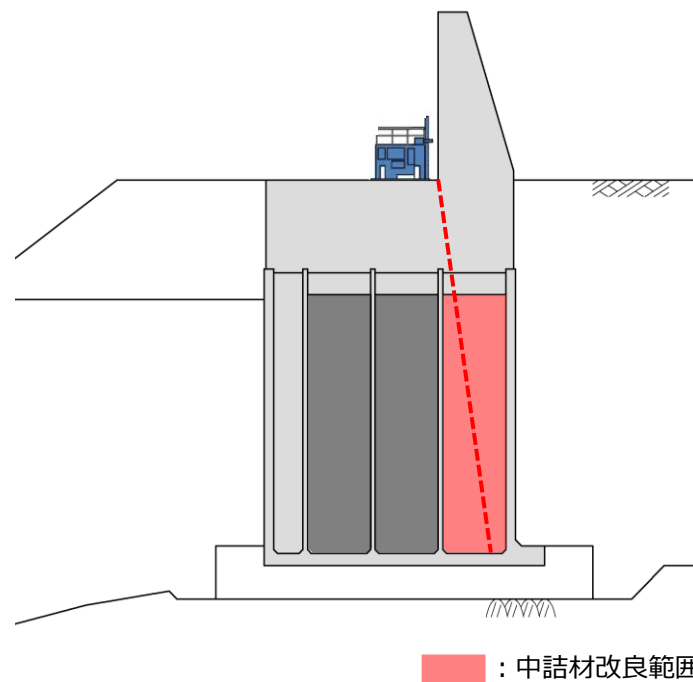
高圧噴射攪拌工法の施工イメージ



施工状況（削孔工）



施工状況（造成工）

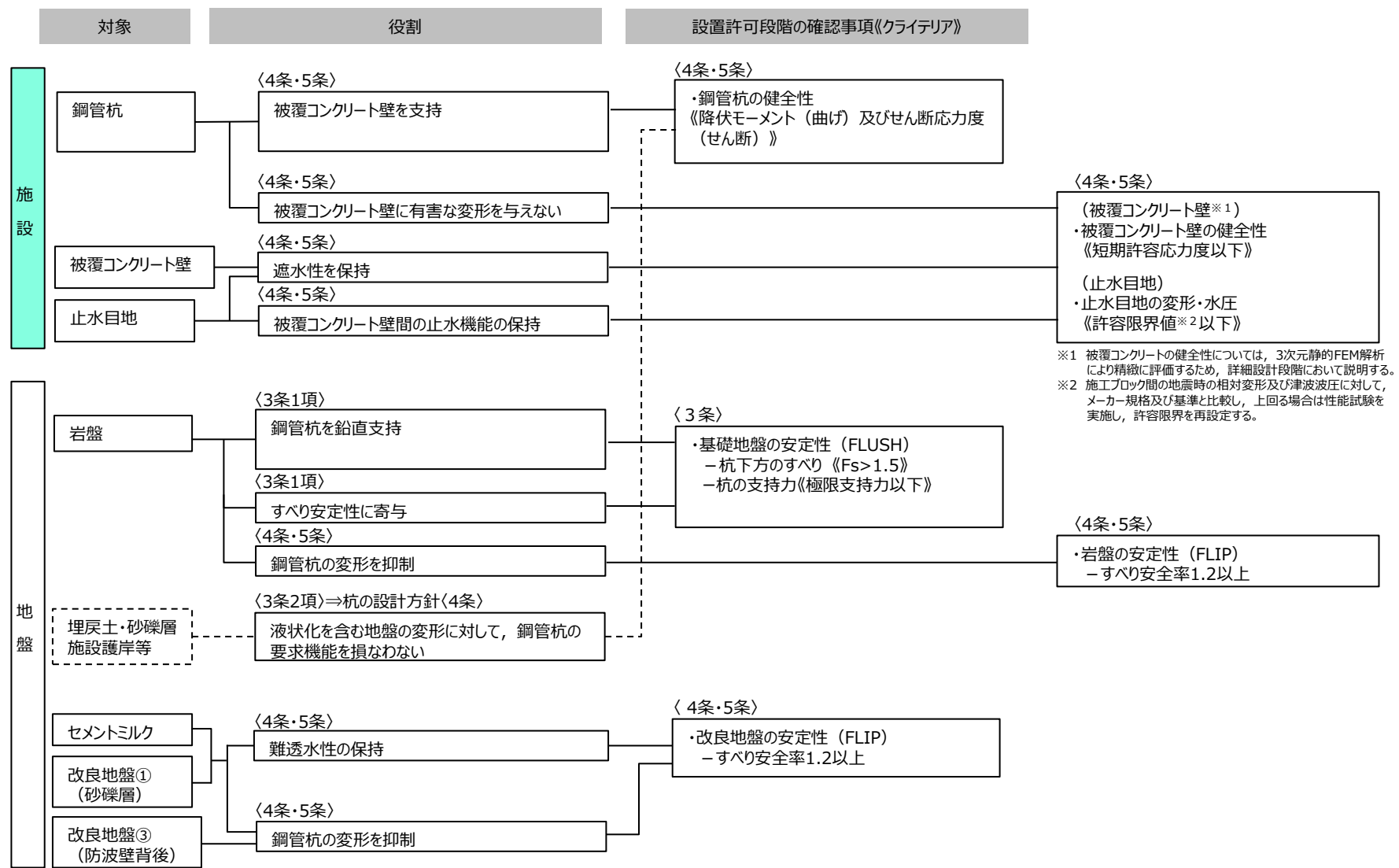


ケーソン中詰材改良の施工イメージ

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.1 設置許可段階における確認項目

9.1.1 設置許可段階における確認項目（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））

■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における設置許可段階の確認項目を示す。
 （規則第3条に対する地盤の確認項目を含む。規則第4,5条に対する設計内容は4.2, 5.4.1及び5.4.2を参照）



※1 被覆コンクリートの健全性については、3次元静的FEM解析により精緻に評価するため、詳細設計段階において説明する。
 ※2 施工ブロック間の地震時の相対変形及び津波波圧に対して、メーカー規格及び基準と比較し、上回る場合は性能試験を実施し、許容限界を再設定する。

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.1 設置許可段階における確認項目

9.1.2 設置許可段階における確認項目（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における設置許可段階の確認項目を示す。
 （規則第3条に対する地盤の確認項目を含む。規則第4,5条に対する設計内容は4.2, 6.4.1及び6.4.2を参照）



※ RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.1 設置許可段階における確認項目

9.1.3 設置許可段階における確認項目（防波壁（波返重力擁壁））

- 防波壁（波返重力擁壁）における設置許可段階の確認項目を示す。
 （規則第3条に対する地盤の確認項目を含む。規則第4,5条に対する設計内容は4.2, 7.4.1及び7.4.2を参照）



10.1.1 構造成立性評価の概要

- 島根原子力発電所防波壁の設計方針については、第790回審査会合（令和元年10月31日）、第839回審査会合（令和2年2月25日）、第870回審査会合（令和2年6月30日）及び第888回審査会合（令和2年8月20日）資料「論点3 防波壁の設計方針について」で説明した。
- 本章では、設置許可段階において、基本設計の成立性を確認することから、防波壁の基本構造が設置許可基準規則の各条文（第3条※¹、第4条、第5条）に適合する見通しであること（構造成立性）を示すため、地震時、津波時における評価を実施した。
- なお、荷重等の評価条件は現時点のものであり、今後変更になった場合は設計に反映することとする※²。

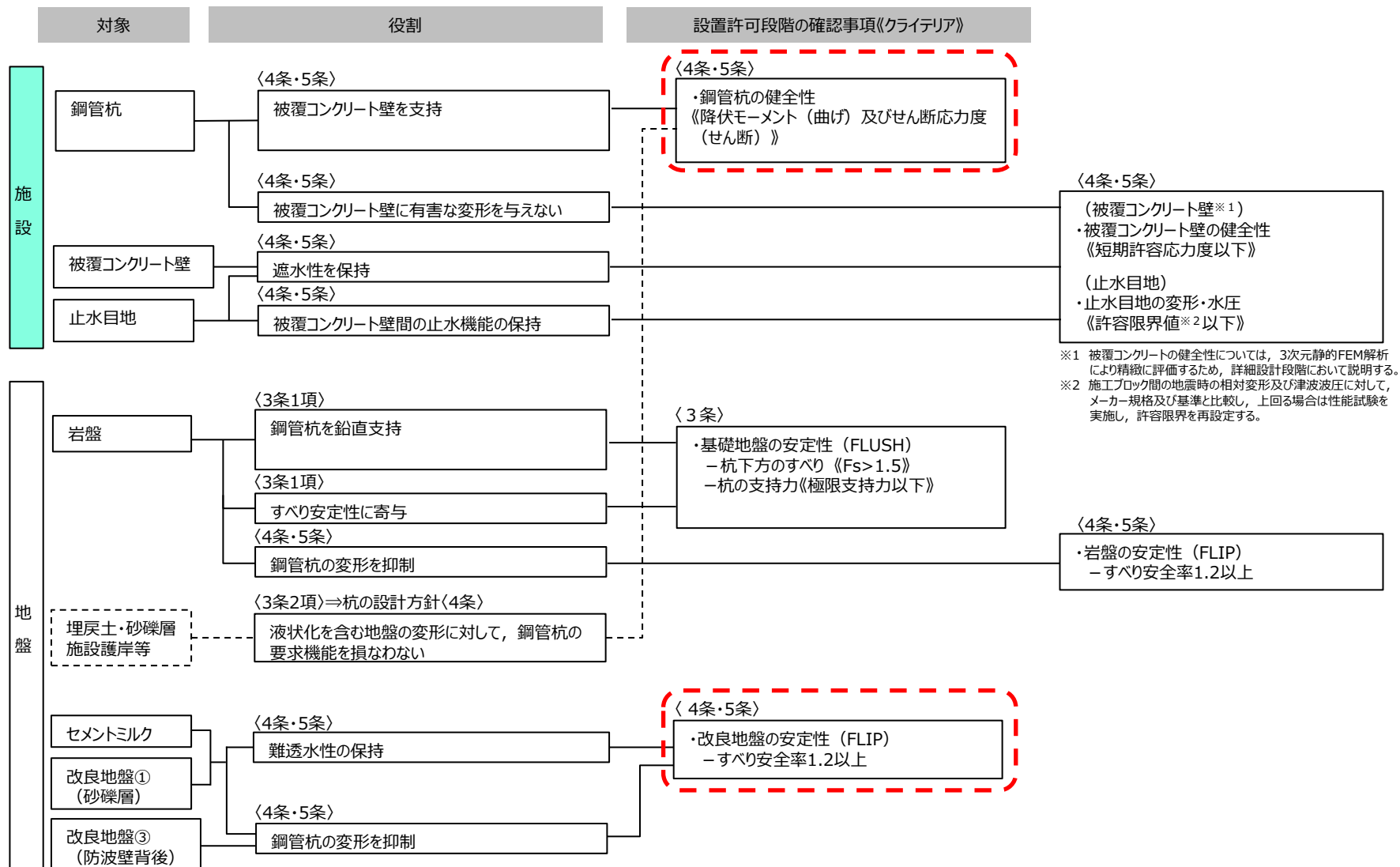
※1 本章は、主に第4条、第5条への適合性についてまとめている。第3条への適合性については、基礎地盤の安定性評価の審査において説明する。

※2 詳細設計段階で万一裕度が確保できなくなった場合には、追加の裕度向上対策の実施により対応する。

10.1.2 構造成立性評価における確認項目（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））

■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における設置許可段階の確認項目を示す。

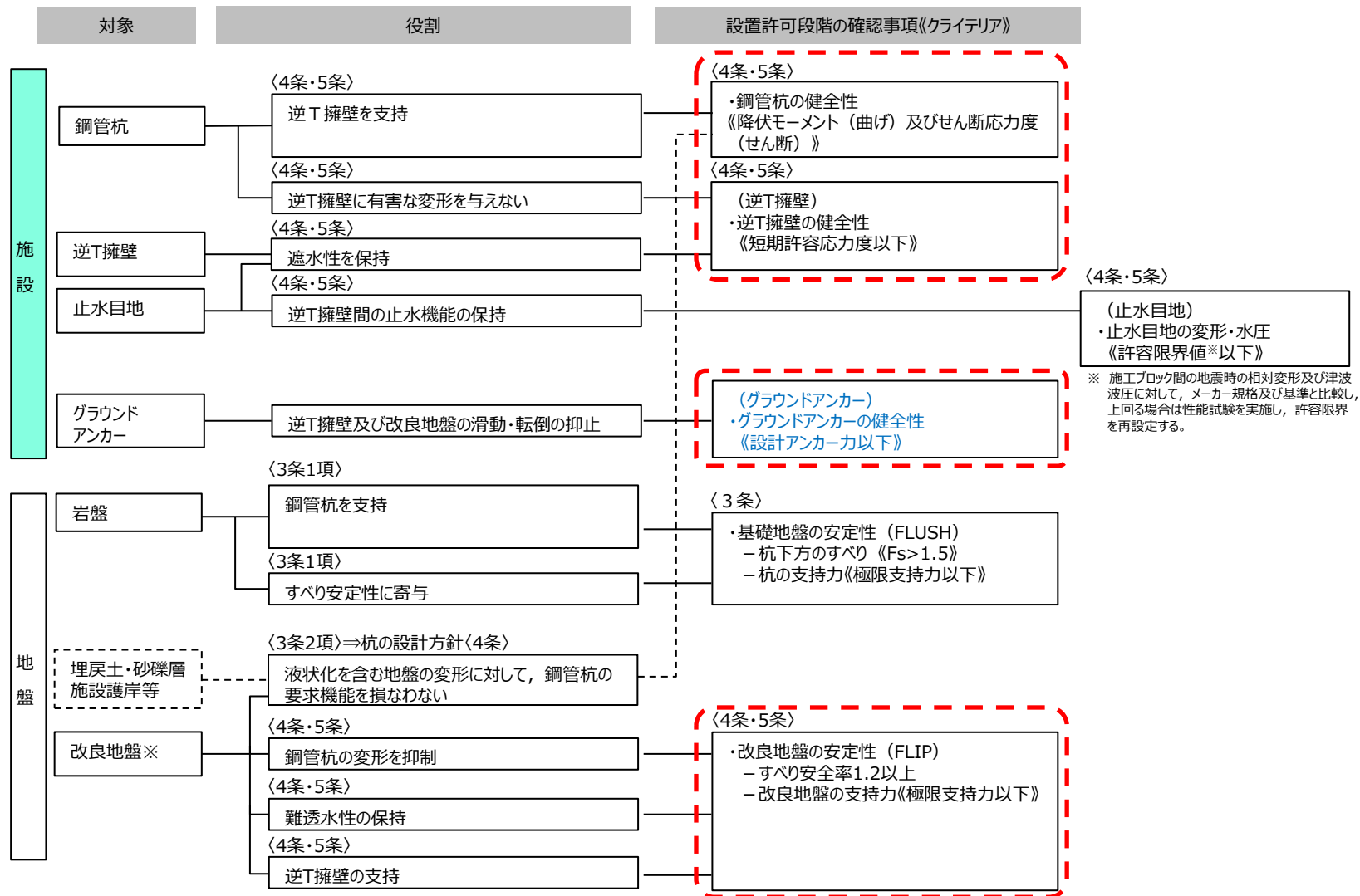
 : 本資料における確認項目(4・5条)



10.1.2 構造成立性評価における確認項目（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））

■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における設置許可段階の確認項目を示す。

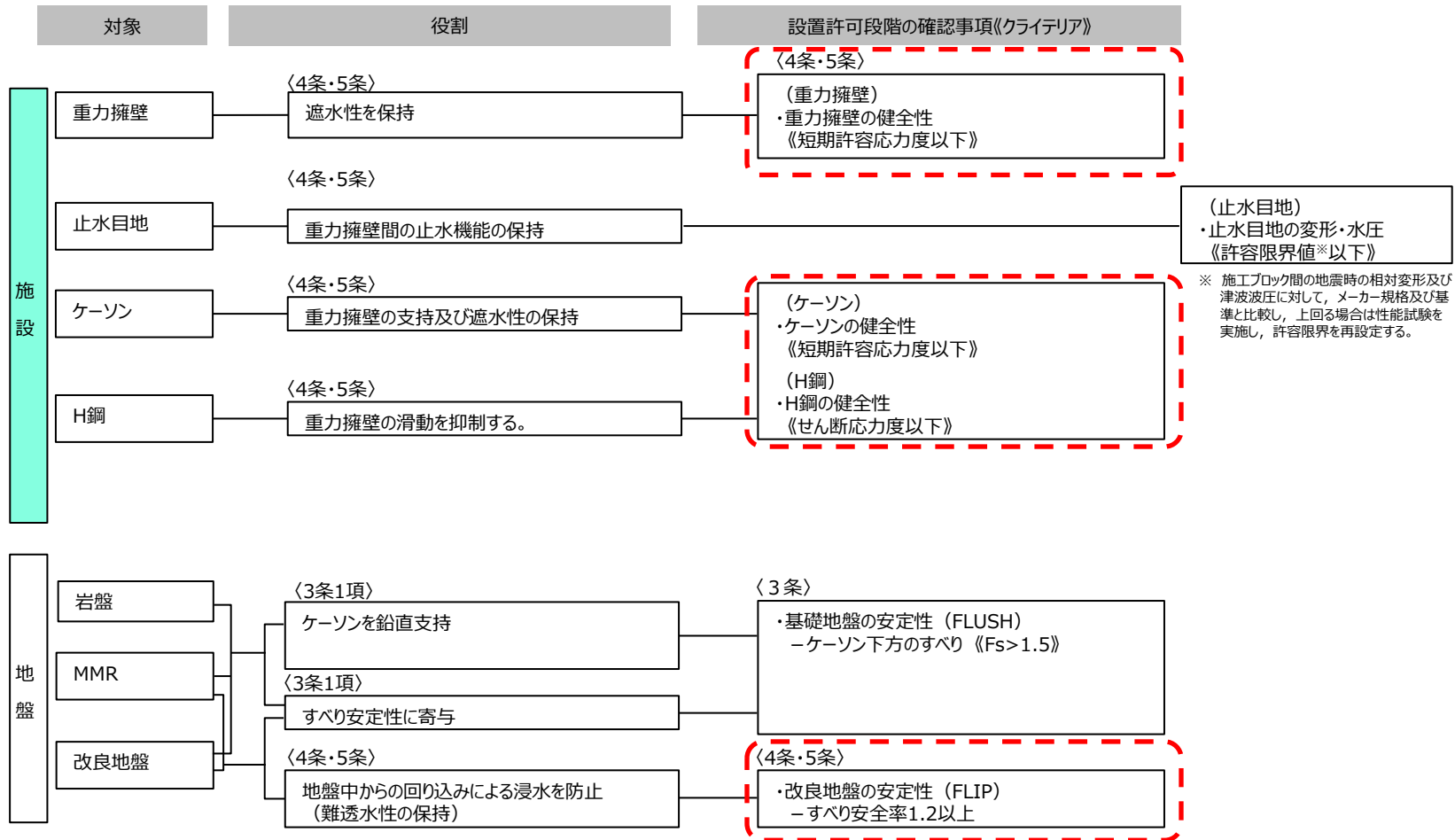
 : 本資料における確認項目(4・5条)



10.1.2 構造成立性評価における確認項目（防波壁（波返重力擁壁））

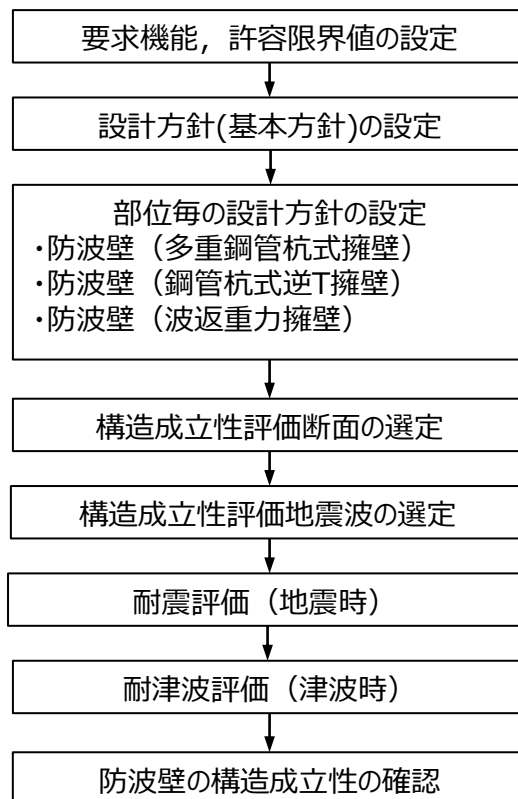
- 防波壁（波返重力擁壁）における設置許可段階の確認項目を示す。

 : 本資料における確認項目(4・5条)



10.1.3 構造成立性見通し確認方針

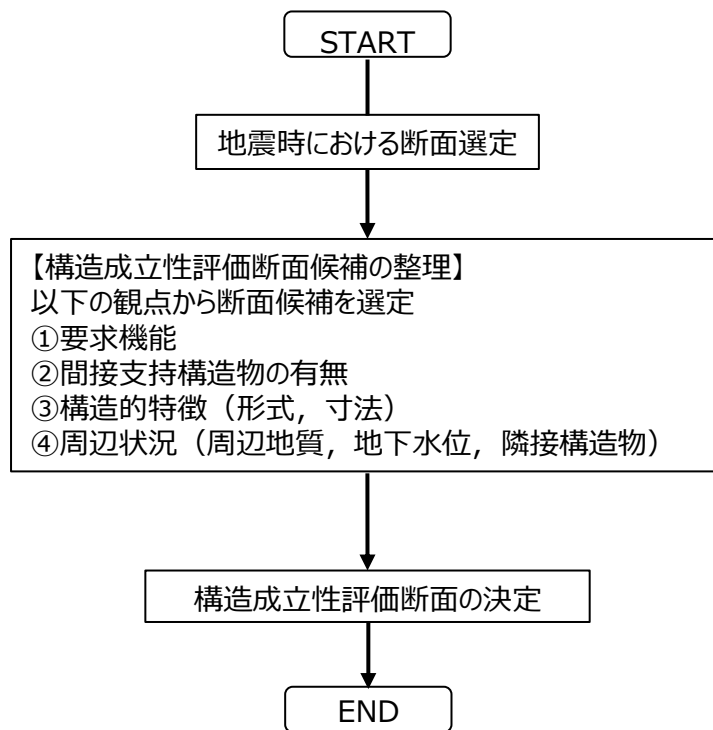
- 防波壁の構造成立性を確認するため、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」等に基づき、基準地震動 $S_s - D$ 及び基準津波による荷重等に対して、防波壁の施設としての構造部材が十分な裕度があること、補強により対策可能であること等を確認する。
- なお、詳細設計段階で万一裕度が確保できなくなった場合には、追加の裕度向上対策(改良地盤範囲の拡大等)の実施により対応する。



防波壁の構造成立性評価の流れ

10.2.1 構造成立性評価断面選定フロー

- 防波壁は敷地前面に広範囲にわたり設置することから、構造的特徴や周辺地質状況等を踏まえて、以下のフローに基づき構造成立性における評価断面を選定する。
- なお、詳細設計段階では、必要に応じて構造成立性確認において選定した地点以外の断面も選定し評価を行う。



構造成立性評価断面選定フロー

10.2.2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）①

- 下表のとおり①要求機能，②間接支持する設備，③構造的特徴（上部工及び下部工），④周辺状況（周辺地質）の観点にて構造成立性評価断面候補を整理した。
- その結果，③構造的特徴（下部工）及び④周辺状況（周辺地質）の特徴を踏まえた候補断面を選定することとした。

構造成立性評価断面候補の整理（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））

			防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	要求機能及び観点による整理
①要求機能			津波防護施設	・要求機能による断面選定は不要である。
②間接支持する設備			・なし	・間接支持する設備による断面選定は不要である。
③構造的特徴	上部工	構造概要	・線状構造物 ・下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆	・同一の断面となっており，構造的特徴による断面選定は不要である。
		寸法	・幅2.40m，高さ6.80m	
	下部工	構造概要	・多重鋼管杭 ・根入れ深さ5.0m～7.0m程度	・位置に応じて杭長が異なるため，候補断面の選定が必要である。
		寸法	・φ1.60～2.20m ・岩盤までの深さ：9.5m～22.9m	
④周辺状況（周辺地質）		地質概要	・主にC _M 級岩盤またはC _H 級岩盤に鋼管杭を打設 ・周辺地質は，埋戻土（掘削ズリ）・埋戻土（粘性土）及び砂礫層が分布し，一部基礎砕石の下側を地盤改良	・位置に応じて岩盤深さ，改良地盤の有無等，周辺状況が異なるため，候補断面の選定が必要である。

上記より，下部工の構造的特徴及び周辺地質の特徴を踏まえた候補断面を抽出する。

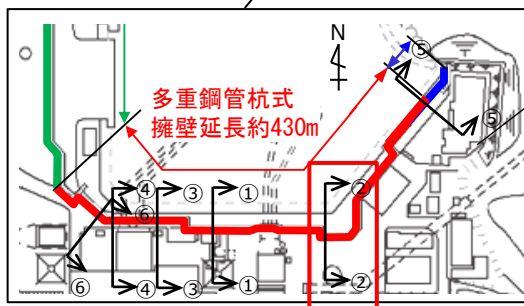
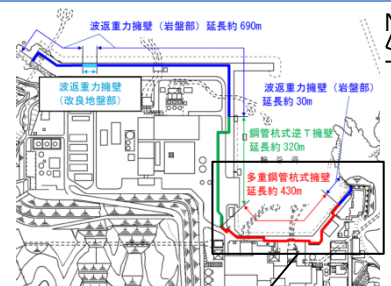
10. 防波壁の構造についての構造成立性 10.2 構造成立性評価断面の選定

10.2.2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）②

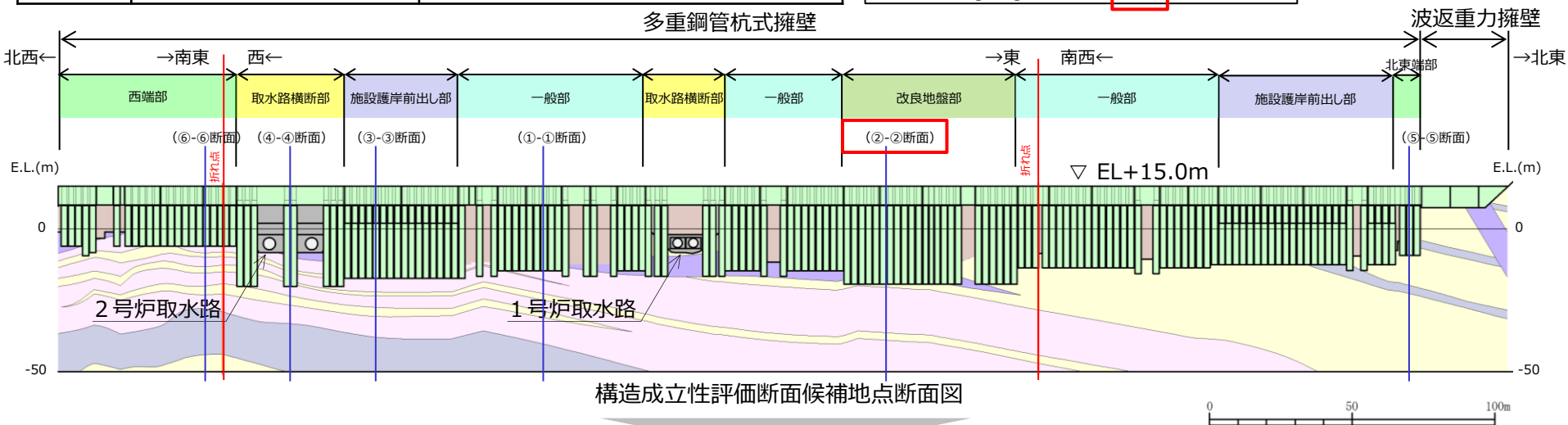
第888回審査会合
資料2-2 P.11 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

80

着目点	構造的特徴	周辺状況
①-①断面	・施設護岸の背面に、鋼管杭4,5本程度を標準とした壁体を連続して設置。	・地表面から岩盤までの深さ：18.1m ・鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にC _M 級岩盤に打設し、支持。 ・南側に北口警備所が隣接するが小規模であり防波壁変位に対する影響は軽微。
②-②断面	・施設護岸の背面に、鋼管杭6本程度を標準とした壁体を連続して設置。	・地表面から岩盤までの深さ：22.9m ・鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にC _M 級岩盤に打設し、支持。 ・岩盤が最も深部に存在する断面。 ・基礎捨石の下側に改良地盤及び砂礫層が存在する断面。 ・北東側に管理事務所4号館が隣接するが、小規模であり防波壁変位に対する影響は軽微。
③-③断面	・施設護岸の前面に、鋼管杭8本程度を標準とした壁体を連続して設置。	・地表面から岩盤までの深さ：20.8m ・鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にC _M 級岩盤に打設し、支持。
④-④断面	・取水管を横断するため、鋼管杭を2列配置し、16本程度を標準とした壁体を連続して設置。	・地表面から岩盤までの深さ：16.8m ・鋼管杭を根入れ深さ7.0m程度で主にC _M 級及びC _H 級岩盤に打設し、支持。
⑤-⑤断面	・施設護岸上に鋼管杭4本を標準とした壁体を設置。	・地表面から岩盤までの深さ：12.7m ・鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にC _H 級岩盤に打設し、支持。 ・東側にサイトビルが隣接するが、岩盤上に直接基礎形式で設置されており、防波壁変位に対する影響は軽微。
⑥-⑥断面	・施設護岸の背面に、鋼管杭5本程度を標準とした壁体を連続して設置。	・地表面から岩盤までの深さ：9.5m ・鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にC _M 級及びC _H 級岩盤に打設し、支持。



- 凡例
- 埋戻土（掘削ズリ、粘性土）
 - 砂礫層
 - 安山岩
 - 凝灰岩・凝灰角礫岩（頁岩の薄層を挟む）
 - 頁岩・凝灰岩の互層
 - 頁岩（凝灰岩の薄層を挟む）
 - 岩相境界線
 - 改良地盤
 - MMR・コンクリート構造物
被覆石・捨石・基礎捨石
 - 防波壁



設置許可段階における構造成立性評価の断面は、「岩盤が最も深部に位置し、かつ基礎捨石の下側に改良地盤及び砂礫層が存在する②-②断面」を選定する。

10.2.3 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）①

- 下表のとおり①要求機能、②間接支持する設備、③構造的特徴（上部工及び下部工）、④周辺状況（周辺地質）の観点にて構造成立性評価断面候補を整理した。
- その結果、③構造的特徴（下部工）及び④周辺状況（周辺地質）の特徴を踏まえた候補断面を選定することとした。

構造成立性評価断面候補の整理（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））

			防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	要求機能及び観点による整理
①要求機能			津波防護施設	・要求機能による断面選定は不要である。
②間接支持する設備			・なし	・間接支持する設備による断面選定は不要である。
③構造的特徴	上部工	構造概要	・線状構造物 ・鉄筋コンクリート構造物	・同一の断面となっており、構造的特徴による断面選定は不要である。
		寸法	・幅8.5m、高さ7.0m～8.5m	
	下部工	構造概要	・鋼管杭（横断方向に2列） ・根入れ深さ0.5m程度	・位置に応じて岩盤深さが異なるため、候補断面の選定が必要である。
		寸法	・φ1.3m ・岩盤までの深さ：6.3m～16.5m	
④周辺状況（周辺地質）		地質概要	・主にC _M 級岩盤またはC _H 級岩盤に鋼管杭を打設 ・周辺地質は埋戻土（掘削ズリ）が分布し、防波壁周辺を地盤改良	・位置に応じて岩盤深さ及び施設護岸位置等、周辺状況が異なるため、候補断面の選定が必要である。

上記より、下部工の構造的特徴及び周辺地質の特徴を踏まえた候補断面を抽出する。

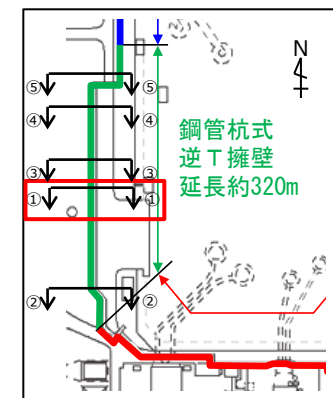
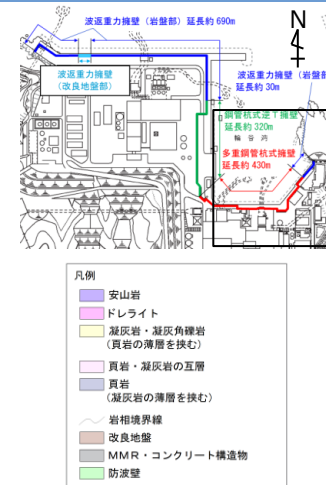
10. 防波壁の構造についての構造成立性 10.2 構造成立性評価断面の選定

10.2.3 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）②

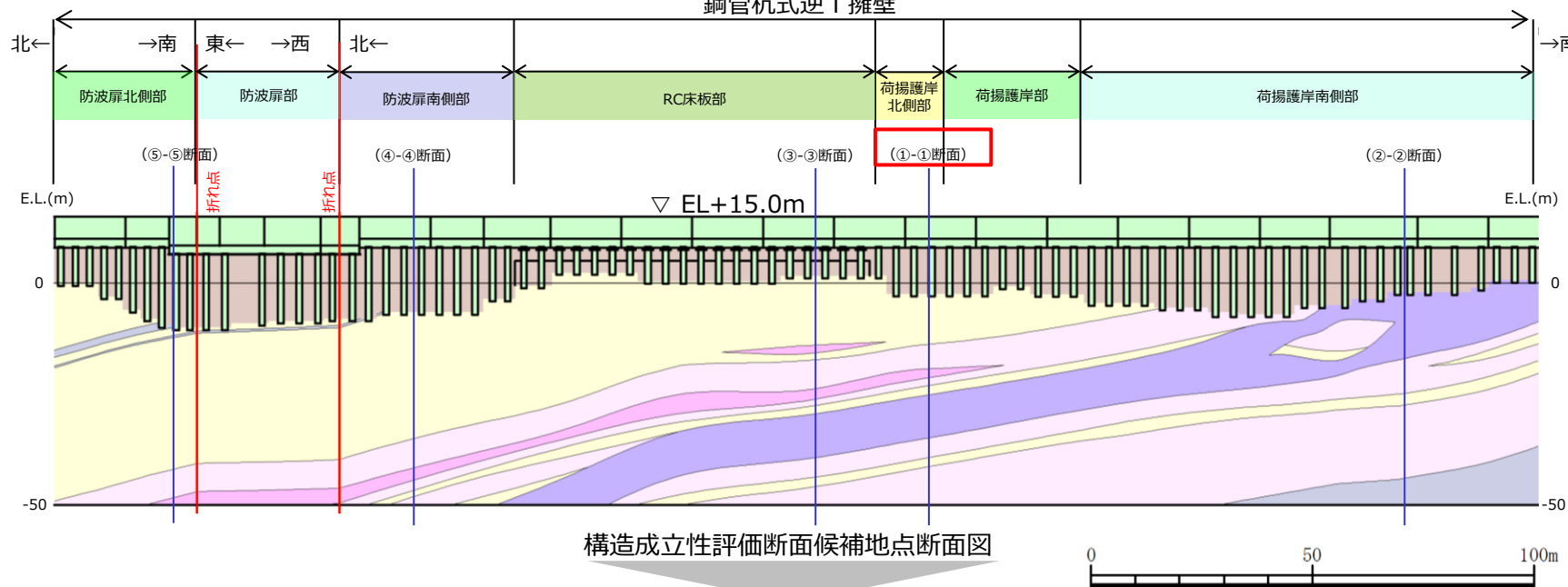
第888回審査会合
資料2-2 P.13 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

82

着目点	構造的特徴	周辺状況
①-①断面	・鋼管杭8本を1ブロックとした壁体を連続して設置。	・地表面から岩盤までの深さ：10.3m ・鋼管杭を根入れ深さ0.5m程度で主にC _M 級岩盤に打設。
②-②断面	・鋼管杭6本又は8本を1ブロックとした壁体を連続して設置。	・地表面から岩盤までの深さ：10.0m ・鋼管杭を根入れ深さ0.5m程度で主にC _H 級岩盤に打設。
③-③断面	・鋼管杭8本を1ブロックとした壁体を連続して設置。	・地表面から岩盤までの深さ：6.3m ・鋼管杭を根入れ深さ0.5m程度で主にC _M 級岩盤に打設。 ・逆T擁壁下部に地盤改良を実施し、その上部にRC床板を設置。
④-④断面	・鋼管杭6本又は8本を1ブロックとした壁体を連続して設置。	・地表面から岩盤までの深さ：14.5m ・鋼管杭を根入れ深さ0.5m程度で主にC _M 級岩盤に打設。
⑤-⑤断面	・鋼管杭6本又は10本を1ブロックとした壁体を連続して設置。	・地表面から岩盤までの深さ：16.5m ・鋼管杭を根入れ深さ0.5m程度で主にC _M 級岩盤に打設。 ・東側には輪谷湾が近接。



鋼管杭式逆T擁壁



構造成立性評価断面候補地点断面図

設置許可段階における構造成立性評価の断面は、「標準断面として①－①断面」を選定する。

10.2.4 防波壁（波返重力擁壁）①

- 下表のとおり①要求機能，②間接支持する設備，③構造的特徴（上部工及び下部工），④周辺状況（周辺地質）の観点にて構造成立性評価断面候補を整理した。
- その結果，③構造的特徴（下部工）及び④周辺状況（周辺地質）の特徴を踏まえた候補断面を選定することとした。

耐震評価候補断面の整理（防波壁（波返重力擁壁））

			防波壁（波返重力擁壁）	要求機能及び観点による整理
①要求機能			津波防護施設	・要求機能による断面選定は不要である。
②間接支持する設備			・なし	・間接支持する設備による断面選定は不要である。
③構造的特徴	上部工	構造概要	・線状構造物 ・鉄筋コンクリート造 ・一部，端部にかけて岩盤に擦り付く。	・ほぼ同一の断面となっており，構造的特徴による断面選定は不要である。
		寸法	・幅1.50m，高さ6.5m～8.5m（地上部のみ）	
	下部工	構造概要	・ケーソン	・位置に応じてケーソンの有無，高さが異なるため，候補断面の選定が必要である。
		寸法	・幅13m～15m ・岩盤までの深さ：16.3m～29.0m	
④周辺状況（周辺地質）		地質概要	・ケーソンを介して主にC _M 級またはC _H 級岩盤に支持 ・一部，C _M 級またはC _H 級岩盤に上部工を直接支持 ・周辺地質は，埋戻土（掘削スリ）及び砂礫層が分布し，一部，ケーソンの下側を地盤改良	・位置に応じて岩盤深さ，岩級区分，改良地盤の有無等，周辺状況が異なるため，候補断面の選定が必要である。

上記より，下部工の構造的特徴及び周辺地質の特徴を踏まえた候補断面を抽出する。

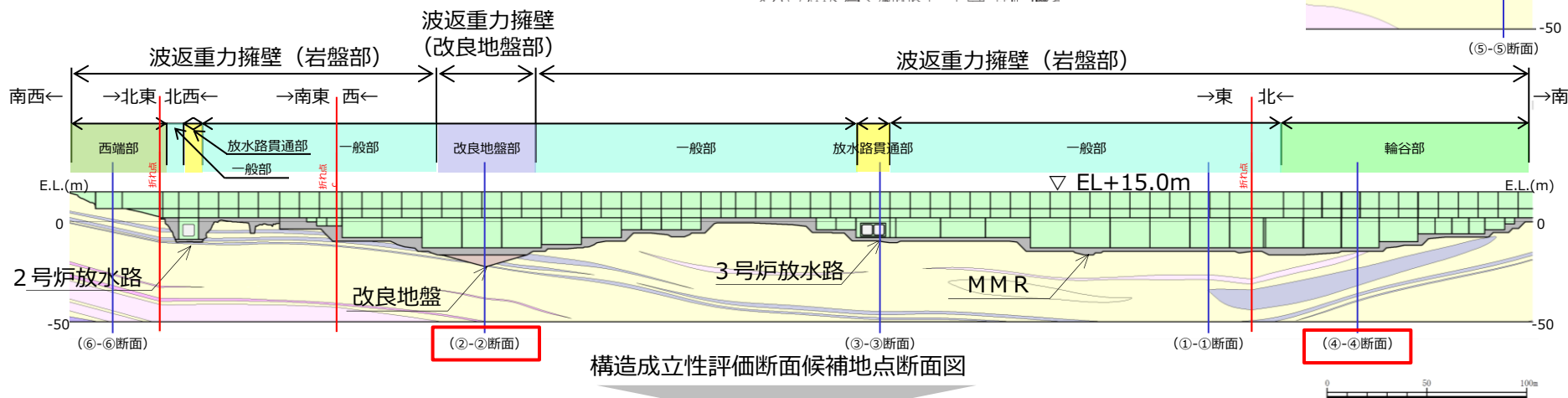
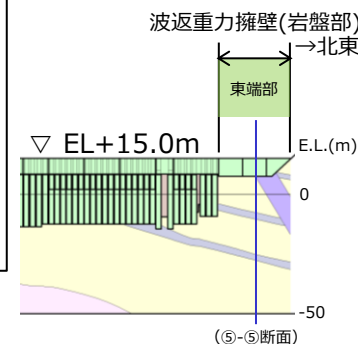
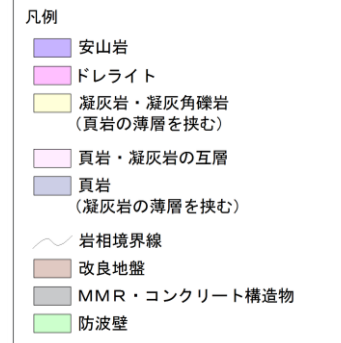
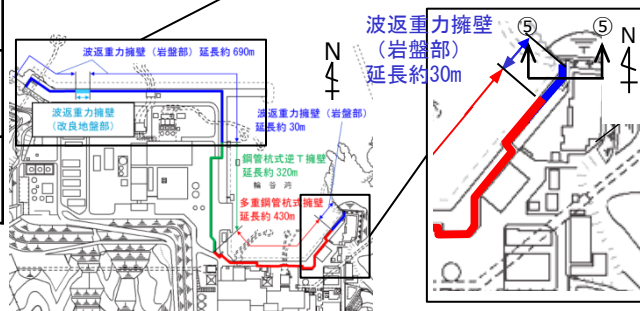
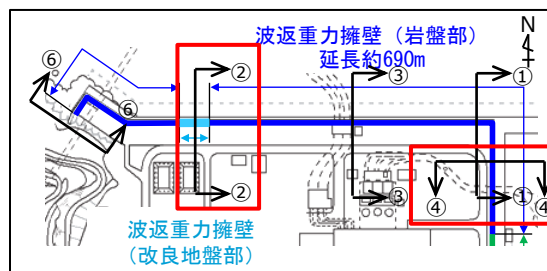
10. 防波壁の構造についての構造成立性 10.2 構造成立性評価断面の選定

10.2.4 防波壁（波返重力擁壁）②

第888回審査会合
資料2-2 P.15 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

84

着目点	構造的特徴	周辺状況
①-①断面	・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置。	・地表面から岩盤までの深さ：21.2m ・ケーソンを介して主にC _M 級岩盤に支持される。
②-②断面	・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置。	・地表面から岩盤までの深さ：29.0m ・ケーソンを介して主にC _M 級岩盤または改良地盤に支持される。 ・高圧噴射攪拌工法により地盤改良を実施している改良地盤部が存在する。 ・周辺に砂礫層が分布している。
③-③断面	・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置。	・地表面から岩盤までの深さ：16.3m ・ケーソンを介して主にC _H 級岩盤に支持される。
④-④断面	・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置。	・地表面から岩盤までの深さ：23.2m ・ケーソンを介して主にC _M 級岩盤に支持される。
⑤-⑤断面	・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置。 ・端部にかけて岩盤に擦り付く。	・主にC _H 級岩盤に直接支持される。
⑥-⑥断面	・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置。 ・端部にかけて岩盤に擦り付く。	・C _M 級岩盤に直接支持される。



構造成立性評価断面候補地点断面図



設置許可段階における構造成立性評価の断面は、「南北方向断面で岩盤が他地点と比較し相対的に最も深部に位置し、改良地盤及び砂礫層が分布する②-②断面」、及び「東西方向断面で岩盤が最も深部に位置する④-④断面」を選定する。

10.3.1 構造成立性評価における解析条件（1）地震時①

第888回審査会合 資料2-2 P.18
加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

解析の目的（2次元動的FEM解析（有効応力解析））

- 鋼管杭，被覆コンクリート壁等の施設及び埋戻土，岩盤等の地盤を含めた全体の動的挙動評価。
- 地盤物性及び液状化対象層を考慮した影響評価。

モデル条件

- 鋼管杭は線形はり要素でモデル化する。
- 岩盤及び施設護岸は線形平面要素でモデル化する。
- 埋戻土（掘削ズリ），埋戻土（粘性土），砂礫層，改良地盤，被覆石及び基礎捨石はマルチスプリング要素でモデル化する。消波ブロックは分布荷重でモデル化する。
- 液状化評価対象層である埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層は液状化パラメータを設定する。
- 海水は流体要素でモデル化する。
- 防波壁と背後地盤など，要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は，ジョイント要素でモデル化する。

モデル化領域

- 鉛直方向は，下端から十分な距離を確保するためEL-50mまでモデル化する。
- 水平方向は，海側，陸側とも十分な領域を確保するよう全幅220mでモデル化する。

地盤要素の要素高さ

- 地盤の要素高さは，最大周波数及び地盤のせん断波速度 V_s より求まる最大要素高さを上回らないように設定する。

$$H_{max} = \frac{1}{m} \cdot \lambda = \frac{1}{m} \cdot \frac{V_s}{f_{max}}$$

 H_{max} ：最大要素高さ(m) λ ：せん断波の波長(m) V_s ：せん断波の速度(m/s) f_{max} ：考慮する地震動の最大周波数(Hz) m ：分割係数(=5とした)

10.3.1 構造成立性評価における解析条件（2）地震時②

第888回審査会合 資料2-2 P.19
加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

ジョイント要素

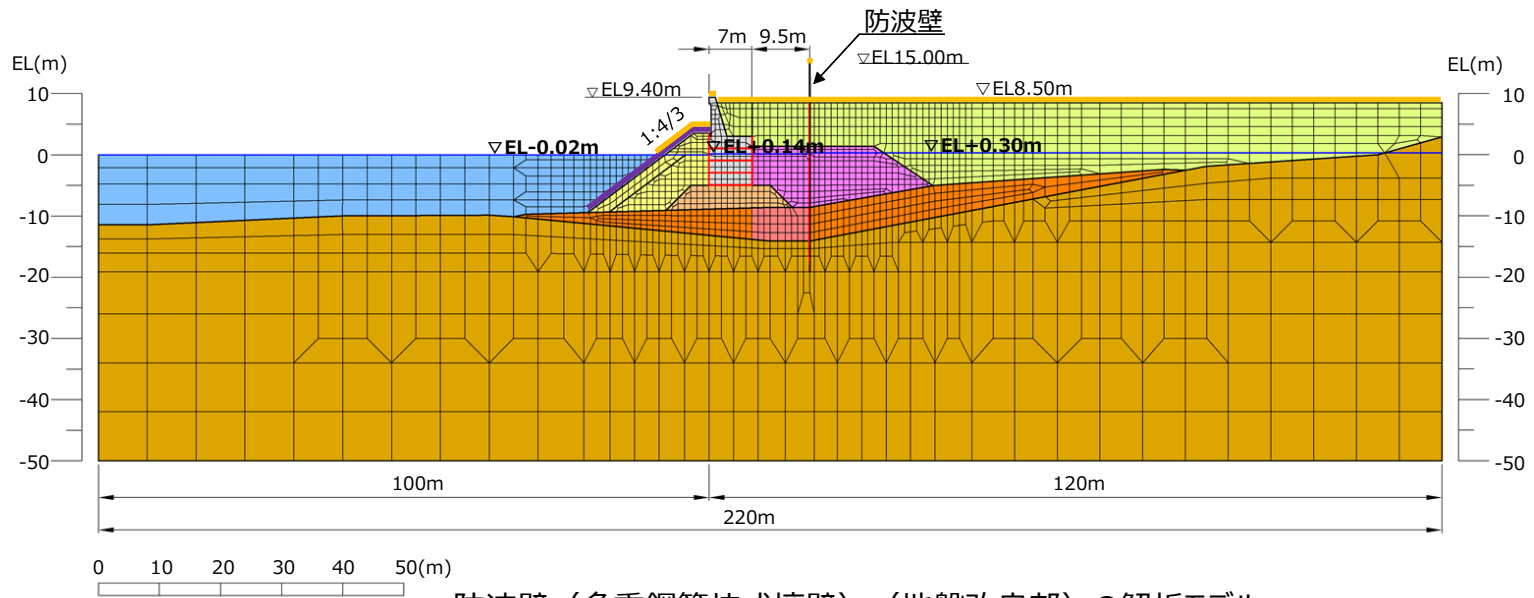
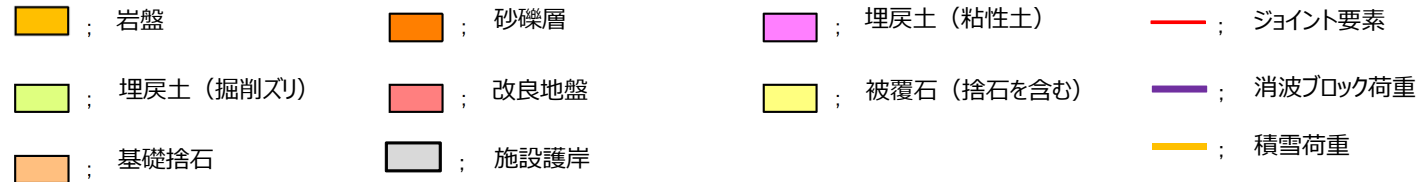
- 防波壁と周辺地盤など、施設と地盤の間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素を設定する。

境界条件

- 動的解析では、半無限地盤へのエネルギー逸散を評価するため、モデル側方及び底面に粘性境界を設ける。

地下水位の設定

- 構造成立性評価における地下水位の設定に当たっては、港湾基準に基づく残留水圧を考慮するため、護岸前面はEL-0.02m、護岸から防波壁まではEL+0.14m、防波壁より陸側はEL+0.3mを設定する。
- 詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ保守性を確認のうえ、設定する。



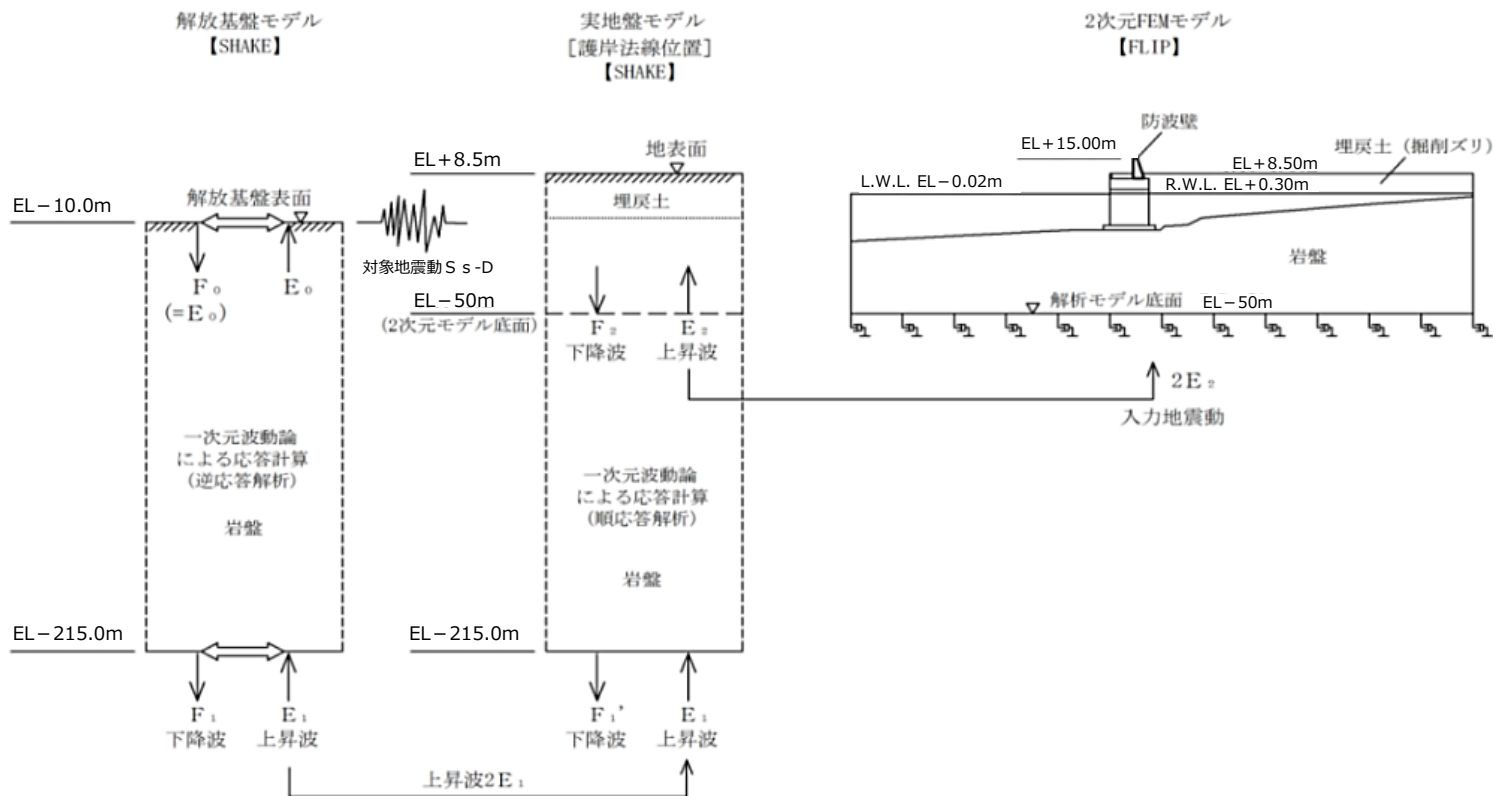
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（地盤改良部）の解析モデル

10.3.1 構造成立性評価における解析条件（3）地震時③

第888回審査会合 資料2-2 P.20
加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

入力地震動

- 入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s-D を、一次元波動論により解析モデル下端で評価し、水平方向及び鉛直方向に同時に与える。



減衰定数

- 減衰特性は、港湾構造物設計事例集に基づき、Rayleigh減衰による剛性比例型減衰とする。なお、地盤の非線形性を考慮するマルチスプリング要素（埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、砂礫層、改良地盤、被覆石及び基礎捨石）は履歴減衰も考慮する。

10. 防波壁の構造についての構造成立性 10.3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造成立性検討

88

10.3.1 構造成立性評価における解析条件（4）地震時④

第88回審査会合 資料2-2 P.21
加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

材料種別			物理特性		強度特性			変形特性			設定根拠
			単位体積重量		粘着力 C (kN/m ²)	せん断 抵抗角 Φ _f (°)	せん断強度 T _r ※1, 2 (kN/m ²)	せん断弾性係数 G ※1, 3, 4 (ヤング率 E) ※5 (kN/m ²)	ポア ソン 比 ν	最大 減衰定数 h _{max}	
			飽和, 湿潤 γ _{sat} , γ _t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)							
地盤	埋戻土 (掘削スリ)	気中	19.6	－	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}	0.33	0.24	（単位体積重量） ・埋戻土（掘削スリ）、砂礫層、改良地盤は現地調査結果により設定 ・埋戻土（粘性土）は『港湾基準』に準拠し設定 （粘着力） ・埋戻土（掘削スリ、粘性土）、砂礫層は『設計事例集』に準拠し設定 ・改良地盤は『浸透固化処理工法技術マニュアル』に準拠し設定 （せん断抵抗角） ・埋戻土（掘削スリ）は液状化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(Ver.3.0.1) により算定 ・埋戻土（粘性土）：『設計事例集』に準拠し設定 ・地盤改良は原地盤相当（埋戻土（掘削スリ））の値を設定 （せん断強度） ・『FLIP取扱説明書』に示された定義式に基づき設定 （せん断弾性係数） ・液状化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(Ver.3.0.1) により基準せん断弾性係数G _{ma} を算出し、『FLIP取扱説明書、p.8-2』に示された定義式に基づき設定 （ポアソン比） ・『設計事例集』に準拠し設定 （最大減衰定数） ・国土技術政策総合研究所HP公開の『一次元FLIP入力データ作成プログラム1D-MAKER 操作マニュアル』に準拠し設定
		水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}			
	埋戻土 (粘性土) ※5 (施設護岸～鋼管杭間)	気中	16.7	－	0	30.00	σ' _m sin30.00°	12750(σ' _m /112.3) ^{0.5}	0.20		
		水中	16.7	6.6	0	30.00	σ' _m sin30.00°	12750(σ' _m /141.8) ^{0.5}			
	埋戻土 (粘性土) ※5 (鋼管杭背面)	気中	16.7	－	0	30.00	σ' _m sin30.00°	12750(σ' _m /111.3) ^{0.5}	0.24		
		水中	16.7	6.6	0	30.00	σ' _m sin30.00°	12750(σ' _m /140.2) ^{0.5}			
	砂礫層 (施設護岸～鋼管杭間)		20.7	10.6	0	38.81	σ' _m sin38.81°	63390(σ' _m /98) ^{0.5}	0.24		
	砂礫層 (鋼管杭背面)		20.7	10.6	0	38.81	σ' _m sin38.81°	63390(σ' _m /98) ^{0.5}			
改良地盤①（砂礫層）		20.7	10.6	1677	38.00	1677 cos38.00° +σ' _m sin38.00°	751900(σ' _m /98) ^{0.5}				
護岸構成材	施設護岸 (バレット)		24.0	－	－	－	－	(E=2.330×10 ⁷)	0.20	－	（単位体積重量） ・施設護岸は『港湾基準』及び『コンクリート標準示方書』に準拠し設定 ・石材（被覆石、基礎捨石）は『港湾基準』に準拠し設定 （粘着力） ・石材（被覆石、基礎捨石）は『港湾基準』に示される20(kN/m ²)を保守的に0と設定。 （せん断抵抗角） ・石材（被覆石、基礎捨石）は『港湾基準』に準拠し設定 （せん断強度）（せん断弾性係数） ・地盤と同様 （ポアソン比） ・石材（被覆石、基礎捨石）は『設計事例集』に準拠し設定 ・護岸は『コンクリート標準示方書』に準拠し設定 （最大減衰定数） ・国土技術政策総合研究所HP公開の『一次元FLIP入力データ作成プログラム1D-MAKER 操作マニュアル』に準拠し設定
	施設護岸 (上部コンクリート)		22.6	－	－	－	－	(E=2.040×10 ⁷)			
	施設護岸 (セルラーブロック) (コンクリート詰)	気中	23.0	－	－	－	－	(E=2.330×10 ⁷)			
		水中	23.0	12.9	－	－	－	(E=2.330×10 ⁷)			
	施設護岸 (セルラーブロック) (栗石詰)		22.0	11.9	－	－	－	(E=2.330×10 ⁷)			
	被覆石（捨石を含む） (気中)		18.0	－	0	35.00	σ' _m sin35.00°	180000(σ' _m /98) ^{0.5}	0.33	0.24	
	基礎捨石・被覆石 (捨石を含む) (水中)		20.0	9.9	0	35.00	σ' _m sin35.00°	180000(σ' _m /98) ^{0.5}	0.33	0.24	

※1 σ'_m は各要素における平均有効拘束圧

※2 せん断強度式は $\tau_f = \sigma'_m \sin \Phi_f + C \cos \Phi_f$

※3 せん断弾性係数の式は $G = G_{ma}(\sigma'_m/\sigma'_{ma})^{mG}$ 。ここに G_{ma} は基準平均有効拘束圧における基準せん断弾性係数、 σ'_{ma} は基準平均有効拘束圧、 mG は拘束圧依存性のパラメータ(標準値=0.5)。

※4 せん断弾性係数を求める際の基準平均有効拘束圧については、粘性土は層中央部における平均有効拘束圧を設定し、粘性土以外については一律98kN/m²(標準値)とする。

※5 線形材料については、変形特性としてヤング率を設定する。

10.3.1 構造成立性評価における解析条件（5）地震時⑤

第888回審査会合 資料2-2 P.22
加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

荷重及び荷重の組合せ

■ 地震時の2次元動的FEM解析（有効応力）に用いる荷重の組合せを以下に示す。

検討 ケース	常時荷重					短期荷重				
	自重	積雪荷重	風荷重	土圧	水圧	地震荷重	余震荷重	津波荷重	漂流物 衝突 荷重	動水圧
地震時	○	○	—	○	○	○	—	—	—	○

・積雪荷重

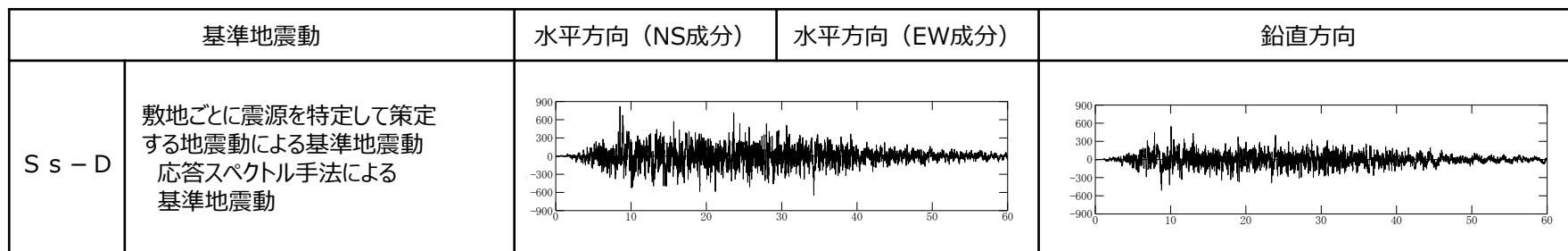
積雪荷重は 0.7kN/m^2 とし、解析領域表面（海水を除く）に作用させる。

・風荷重

構造成立性においては、風荷重による影響は軽微であることから、風荷重は考慮しない。

・地震荷重

解析に用いた地震波は、基準地震動 S s -Dである。

※ 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形〔縦軸：加速度（ cm/s^2 ），横軸：時間（s）〕

10.3.1 構造成立性評価における解析条件（6）津波時①

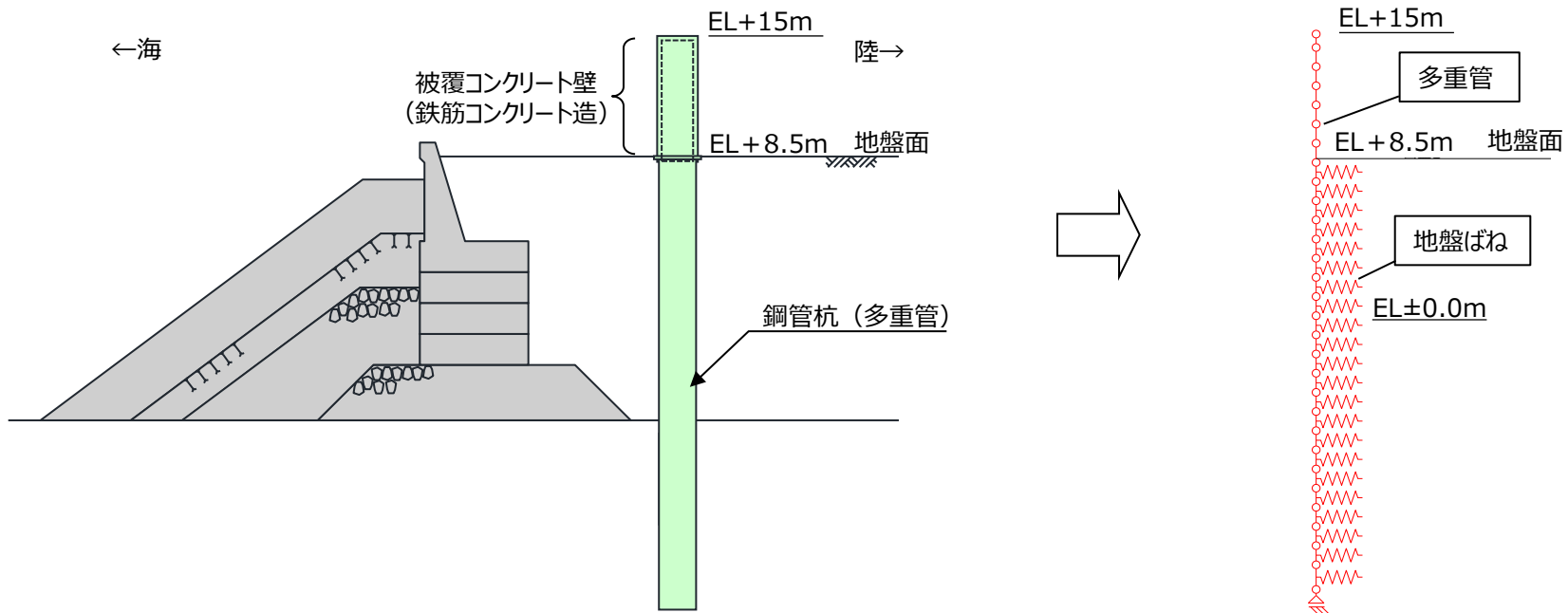
第888回審査会合 資料2-2 P.23
加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

解析の目的（2次元静的フレーム解析）

■ 鋼管杭の挙動評価（津波時）

モデル条件

- 多重管構造を2次元静的フレームでモデル化し、1本の梁として計算する。
- 地盤は受働土圧を上限とした線形ばねでモデル化する。
- 被覆コンクリートおよび内部の中詰コンクリートの剛性および強度は考慮しない。



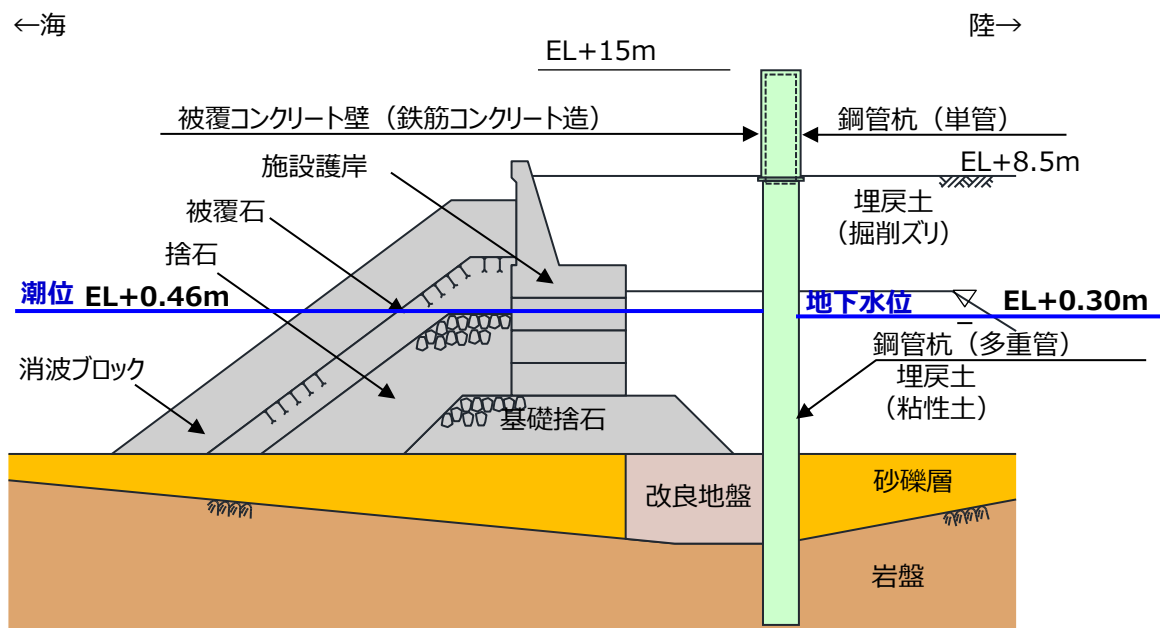
2次元静的フレーム解析モデル図

10.3.1 構造成立性評価における解析条件（7）津波時②

第888回審査会合 資料2-2 P.24
加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

潮位及び地下水位の設定

- 津波荷重の算定潮位はEL+0.46mとし、構造成立性評価における地下水位はEL+0.30mとする。
- 詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ保守性を確認のうえ、設定する。



地下水位概要図（津波時）

10.3.1 構造成立性評価における解析条件（8）津波時③

第888回審査会合 資料2-2 P.25
加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

荷重及び荷重の組合せ

- 津波時の2次元静的フレーム解析に用いる荷重の組合せを以下に示す。

検討 ケース	常時荷重					短期荷重				
	自重	積雪荷重	風荷重	土圧	水压	地震荷重	余震荷重	津波荷重	漂流物衝突荷重	動水压
津波時	○	—※	—※	○	○	—	—	○	○	—

・津波荷重

※ 津波時の積雪荷重及び風荷重については、影響が軽微のため考慮しない。

津波波圧は敷地高以上については入力津波高さの1/2を浸水深として朝倉式により算定し、敷地高以下については入力津波高さに基づき谷本式により津波波圧を設定する方針としているが、構造成立性検討にあたっては、施設護岸が損傷する可能性を考慮し、入力津波高さを高潮ハザードの裕度を参照した津波高さEL+12.6mとし、静水面との差の1/2を入射津波の静水压上の高さ（振幅）として、谷本式により算定し、擁壁の海側から作用させる。

$$\eta^* = 3.0 \times a_1$$

η^* ：静水面上の波圧作用高さ(m)

a_1 ：入射津波の静水压上の高さ（振幅）(m)

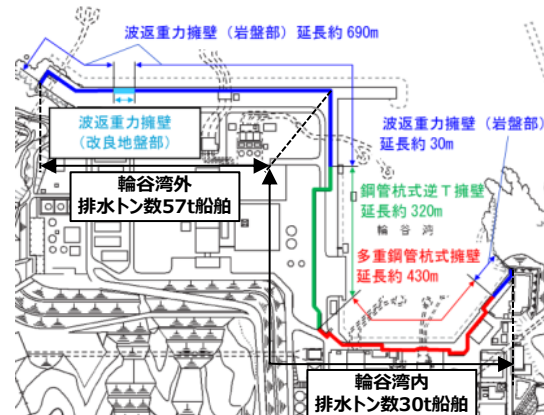
$$P_1 = 2.2 \times \rho g \times a_1$$

P_1 ：静水面における波圧強度(kN/m²)

ρg ：海水の単位体積重量(kN/m³)

$$P_u = P_1$$

P_u ：前面下端における揚圧力(kN/m²)



対象漂流物の設定

■ 漂流物衝突荷重

漂流物衝突荷重については、追加実施した発電所沿岸及び沖合での漁船の操業実績調査も踏まえた漂流物評価結果等に基づき、詳細設計段階において設定するが、構造成立性検討にあたっては、輪谷湾外及び湾内の防波壁各構造形式に対して影響を与える可能性のある最大規模の船舶を考慮し、以下のとおり設定する。

・輪谷湾外の防波壁に対しては、沖合で操業する最大規模の排水トン数57t船舶、輪谷湾内の防波壁に対しては、湾内で当社が管理して作業する最大規模の排水トン数30t船舶が到達することを仮定し、地盤改良部（②-②断面）において排水トン数30t船舶を対象漂流物と設定し、道路橋示方書式（下式）を用いて算定する。

・流速は10m/sと設定する。

$$P = 0.1 \times W \times v$$

P ：漂流物衝突荷重 (kN/m²)

W ：対象漂流物重 (kN)

v ：流速 (m/s)

10.3.1 構造成立性評価における解析条件（9）鋼管杭の評価条件①

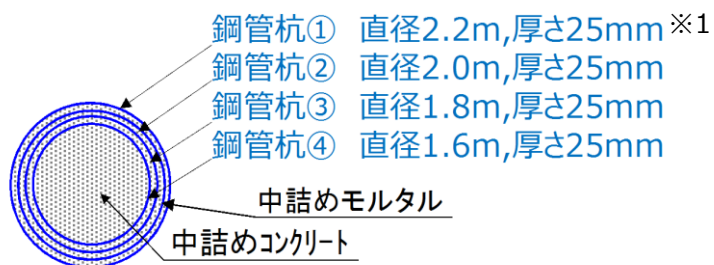
第888回審査会合 資料2-2 P.26
加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	曲げ・せん断	(曲げ) 降伏モーメント (せん断) せん断応力度	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成14年3月)
	津波時	2次元静的フレーム解析			

モデル化方針

- 多重鋼管杭は，各鋼管を中詰めコンクリート及びモルタルで充填することにより，一体として挙動し，荷重を分担できる構造とした。
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の2次元動的 F E M解析にあたっては，多重鋼管杭は線形はり要素でモデル化し，単一の断面積及び断面二次モーメント（各管の断面二次モーメントの合計）を設定する。



※1 最外管については，セメントミルクで周囲を覆われており腐食する環境ではないと判断できるが，保守的に厚さに腐食代1mmを考慮し，断面積・断面二次モーメントを算定する。ここで，腐食代は，港湾基準に示されている鋼材の腐食速度の標準値(陸側土中部，残留水位より下)を使用し，耐用年数を50年として算出した。

$$\text{断面二次モーメント } I^{\ast 2} = I_{\text{①}} + I_{\text{②}} + I_{\text{③}} + I_{\text{④}}$$

$$\text{断面積 } A^{\ast 2} = A_{\text{①}} + A_{\text{②}} + A_{\text{③}} + A_{\text{④}}$$

※2 添え字は鋼管杭の番号

10.3.1 構造成立性評価における解析条件（10）鋼管杭の評価条件②

第888回審査会合 資料2-2 P.27
加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す応力度照査

鋼管杭については、杭に発生する降伏モーメント M_y と最大曲げモーメント M_{max} との比が1以上となることを確認する。
また、せん断応力度 τ_y と発生せん断応力度 τ との比が1以上となることを確認する。

【曲げ】

$$\frac{M_y}{M_{max}} \geq 1$$

 M_y : 降伏モーメント (kN・m) M_{max} : 最大曲げモーメント (kN・m)

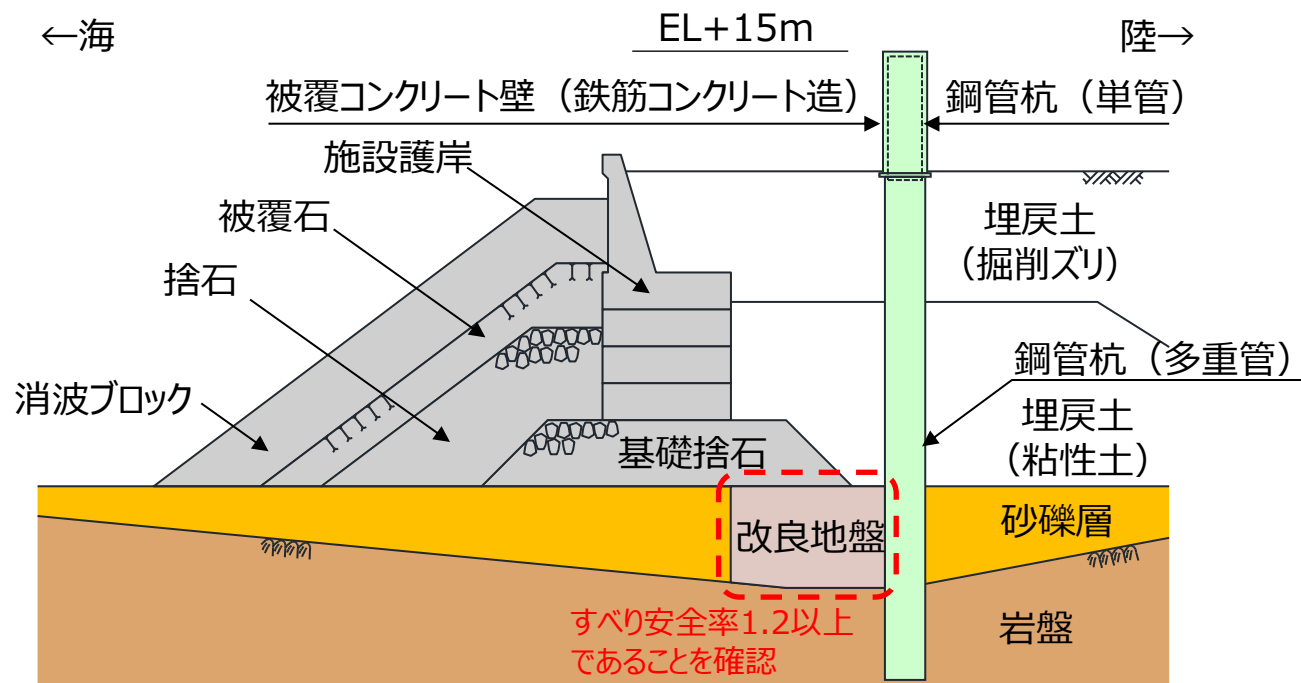
【せん断】

$$\frac{\tau_y}{\tau} \geq 1$$

 τ_y : せん断応力度 (N/mm²) τ : 発生せん断応力度 (N/mm²)

照査項目，許容限界

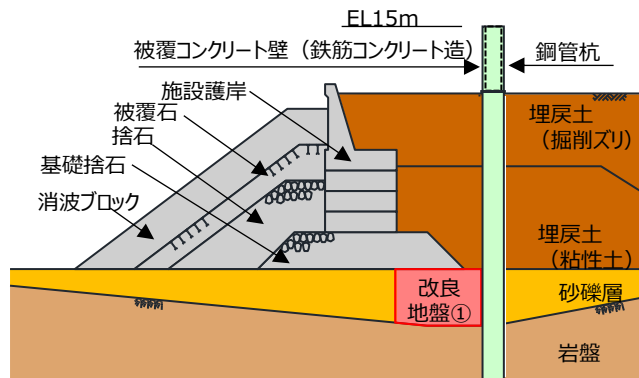
評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤① (砂礫層)	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド



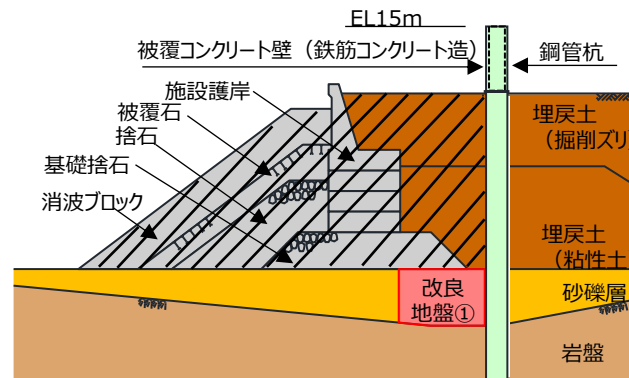
2次元動的 F E M解析での確認内容

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（地盤改良部）のうち、鋼管杭の地震時における最小安全率時刻での照査結果を次頁に示す。
- 防波壁に近接する施設護岸の損傷を考慮し、防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合（前面なし）の照査結果も併せて示す。
- 照査項目、許容限界
【鋼管杭】

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	曲げ・せん断	(曲げ)降伏モーメント (せん断)せん断応力度	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）

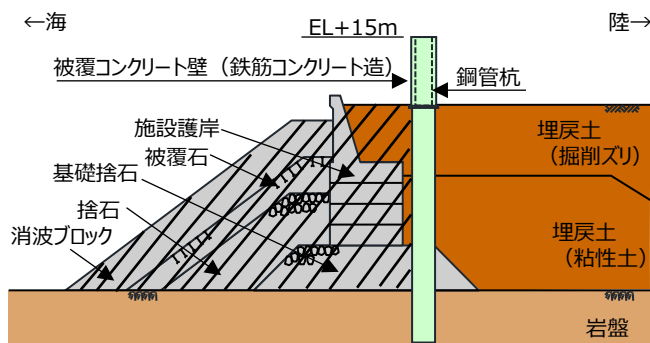


地盤改良部断面（②－②断面）前面有り

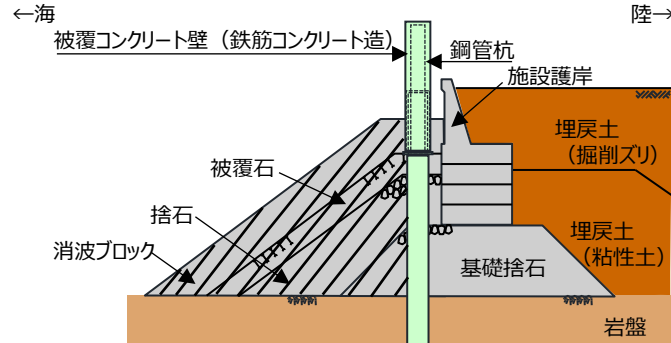


地盤改良部断面（②－②断面）前面無し

：防波壁前面では、地震により地形変化が発生する可能性を踏まえ、施設護岸及び埋戻土の受働抵抗に関する物性値を考慮しない



一般部（①－①断面）前面無し



施設護岸前出し部（③－③断面）前面無し

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（地盤改良部）のうち、鋼管杭の地震時における最小安全率時刻での照査結果を以下に示す。
- また、防波壁に近接する施設護岸の損傷を考慮し、防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合（前面なし）の照査結果も併せて示す。
- 鋼管杭に厳しい損傷モード（曲げ、せん断照査の最小安全率時刻）を想定しても、構造成立性が確保されることを確認した。
- 降伏モーメントに対する照査（最小安全率時）

ケース	評価 部位	最小安全率 となる部位	照査 項目	地震動	時刻 (s)	最大曲げモーメント $M_{\max}$ (kN・m)	降伏モーメント M_y (kN・m)	最小安全率 $M_y/M_{\max}$	判定 (> 1.0)
地盤改良部断面 (②-②断面) 前面有り	鋼管杭	地中部※【4重管構造】	曲げ	S s-D	14.09	15,402	23,692	1.53	OK
地盤改良部断面 (②-②断面) 前面なし	鋼管杭	地中部※【4重管構造】	曲げ	S s-D	17.92	13,153	23,827	1.81	OK
【参考】一般部 (①-①断面) 前面なし	鋼管杭	地中部※【4重管構造】	曲げ	S s-D	17.58	22,036	27,681	1.25	OK
【参考】施設護岸前出し部 (③-③断面) 前面なし	鋼管杭	地中部※【4重管構造】	曲げ	S s-D	17.60	14,407	23,582	1.63	OK

- せん断応力度に対する照査（最小安全率時）

ケース	評価 部位	最小安全率 となる部位	照査 項目	地震動	時刻 (s)	発生応力 τ (N/mm ²)	せん断応力度 τ_y (N/mm ²)	最小安全率 τ_y/τ	判定 (> 1.0)
地盤改良部断面 (②-②断面) 前面有り	鋼管杭	地中部※【4重管構造】	せん断	S s-D	16.02	13	182	14.00	OK
地盤改良部断面 (②-②断面) 前面なし	鋼管杭	地中部※【4重管構造】	せん断	S s-D	14.17	12	182	15.16	OK
【参考】一般部 (①-①断面) 前面なし	鋼管杭	地中部※【4重管構造】	せん断	S s-D	17.58	24	182	7.58	OK
【参考】施設護岸前出し部 (③-③断面) 前面なし	鋼管杭	地中部※【4重管構造】	せん断	S s-D	13.74	21	182	8.66	OK

※ 地中部【4重管構造】は、照査値が最も大きくなる外側から2つ目の鋼管杭φ2000(SKK490)の数値を示す。

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（地盤改良部）のうち，鋼管杭の津波時における照査結果を以下に示す。
- 津波時においても，構造成立性が確保されることを確認した。

【鋼管杭】

■ 照査項目，許容限界

評価 部位	検討 ケース	解析方法	照査項 目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭	津波時	2次元静的フレーム解析	曲げ・ せん断	(曲げ)降伏モーメント (せん断)せん断応力度	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）

■ 降伏モーメントに対する照査

評価 部位	最小安全率 となる部位	最大曲げモーメント $M_{\max}$ (kN・m)	降伏モーメント M_y (kN・m)	最小安全率 $M_y/M_{\max}$	判定 (> 1.0)
鋼管杭	地上部 【1重管構造】	4,835	14,530	3.00	OK

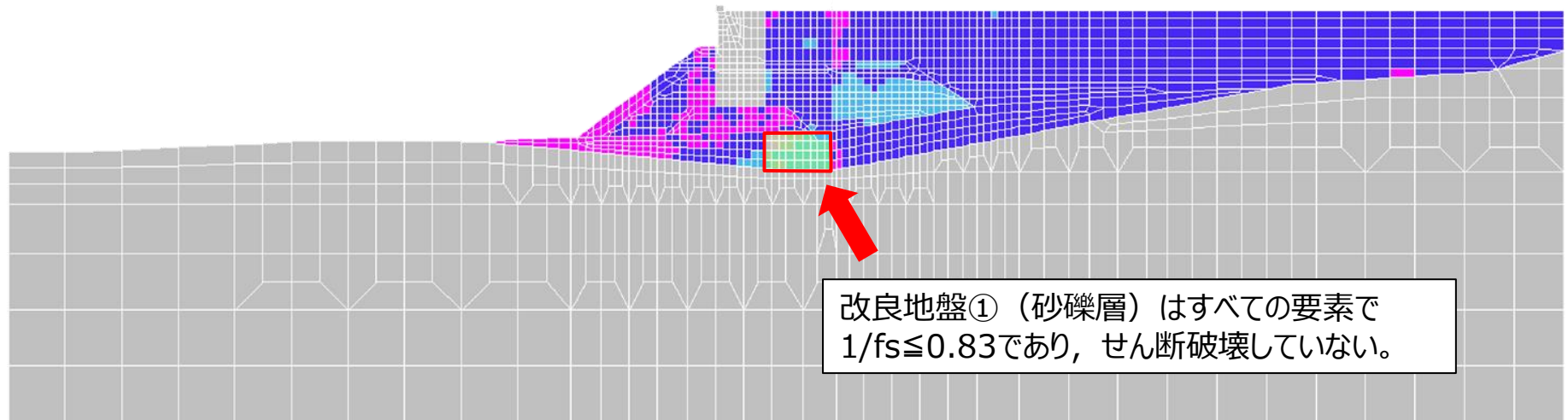
■ せん断応力度に対する照査

評価 部位	最小安全率 となる部位	照査項目	発生応力 τ (N/mm ²)	せん断応力度 τ_y (N/mm ²)	最小安全率 τ_y/τ	判定 (> 1.0)
鋼管杭	地上部 【1重管構造】	せん断	11	182	16.54	OK

- 改良地盤①（砂礫層）前面有りの地震時における全時刻での局所安全率の逆数($1/f_s$)の分布を以下に示す。
- 改良地盤①（砂礫層）は、局所安全率の逆数 $1/f_s$ がすべての要素で $1/f_s \leq 0.83$ （ $f_s \geq 1.2$ ）であり、破壊領域が存在しないことから、すべり安全率1.2以上を確保できる。

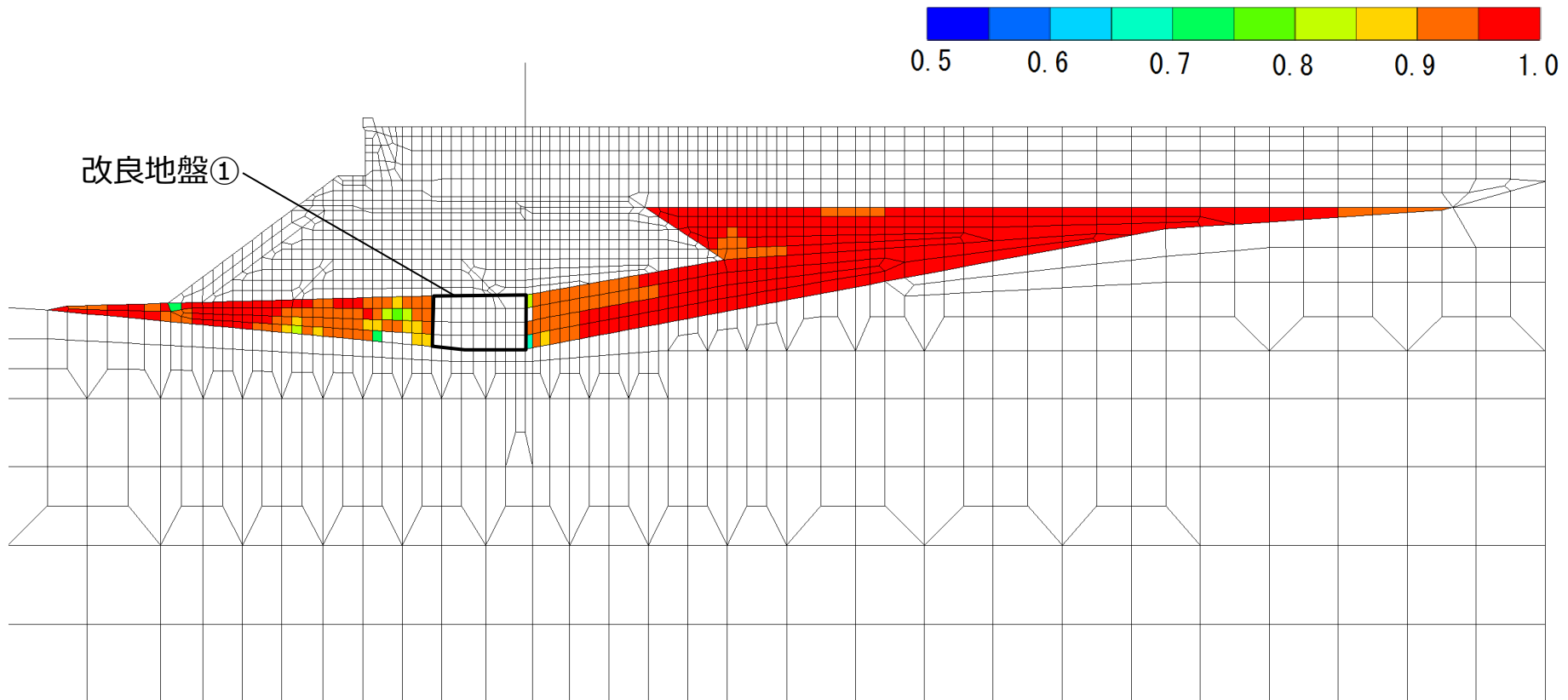
照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤① （砂礫層）	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド



改良地盤①（砂礫層）前面有りの全時刻での局所安全率の逆数の分布

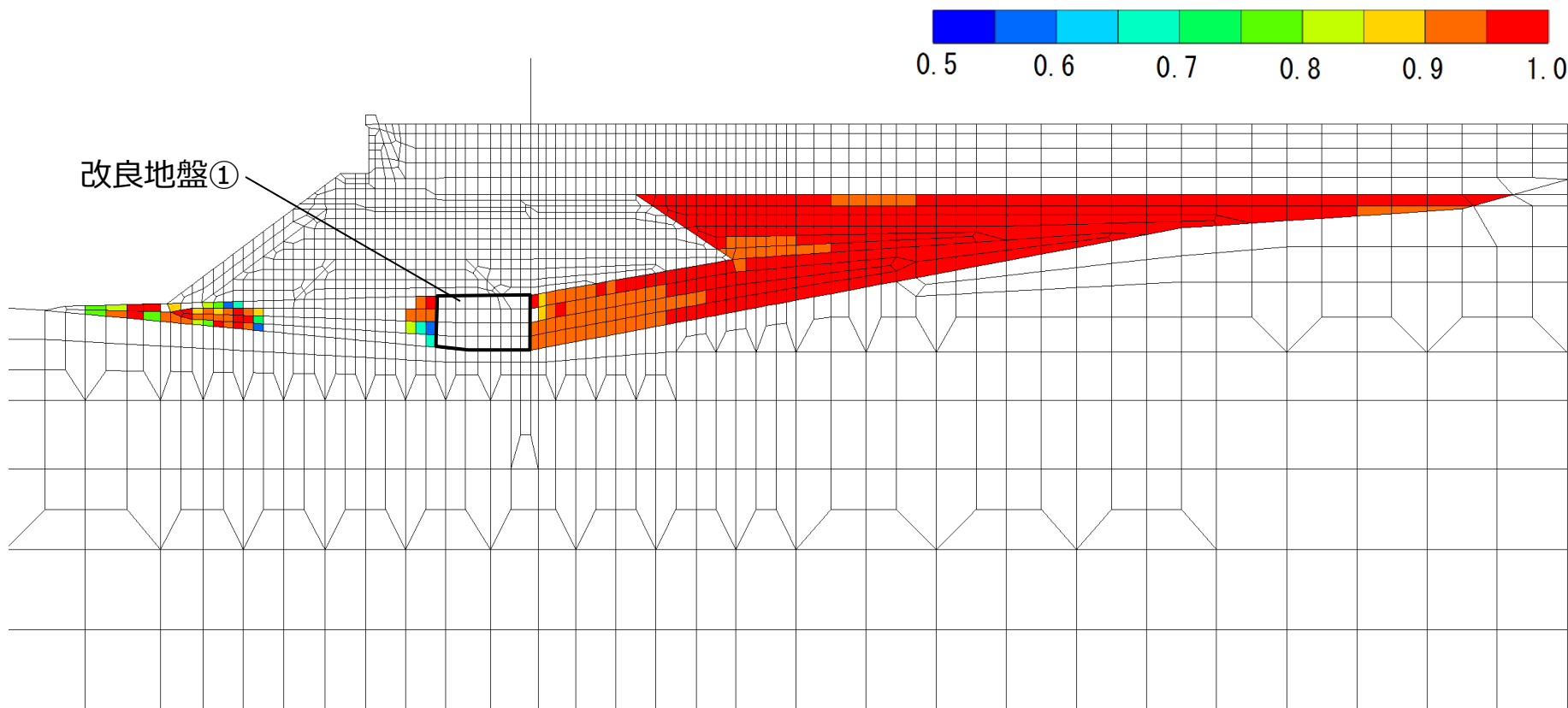
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（地盤改良部）前面有りの地震時における全時刻での過剰間隙水圧比の分布を以下に示す。
- 防波壁周辺の地盤のうち、地下水位以深の埋戻土（掘削ズリ）、砂礫層において液状化をしていることを確認した。
- 詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ保守性を確認のうえ、地下水位を設定する。



改良地盤①（砂礫層）前面有りの過剰間隙水圧比分布図（時刻歴最大値）※

※過剰間隙水圧比0.95を超えている層で液状化している。

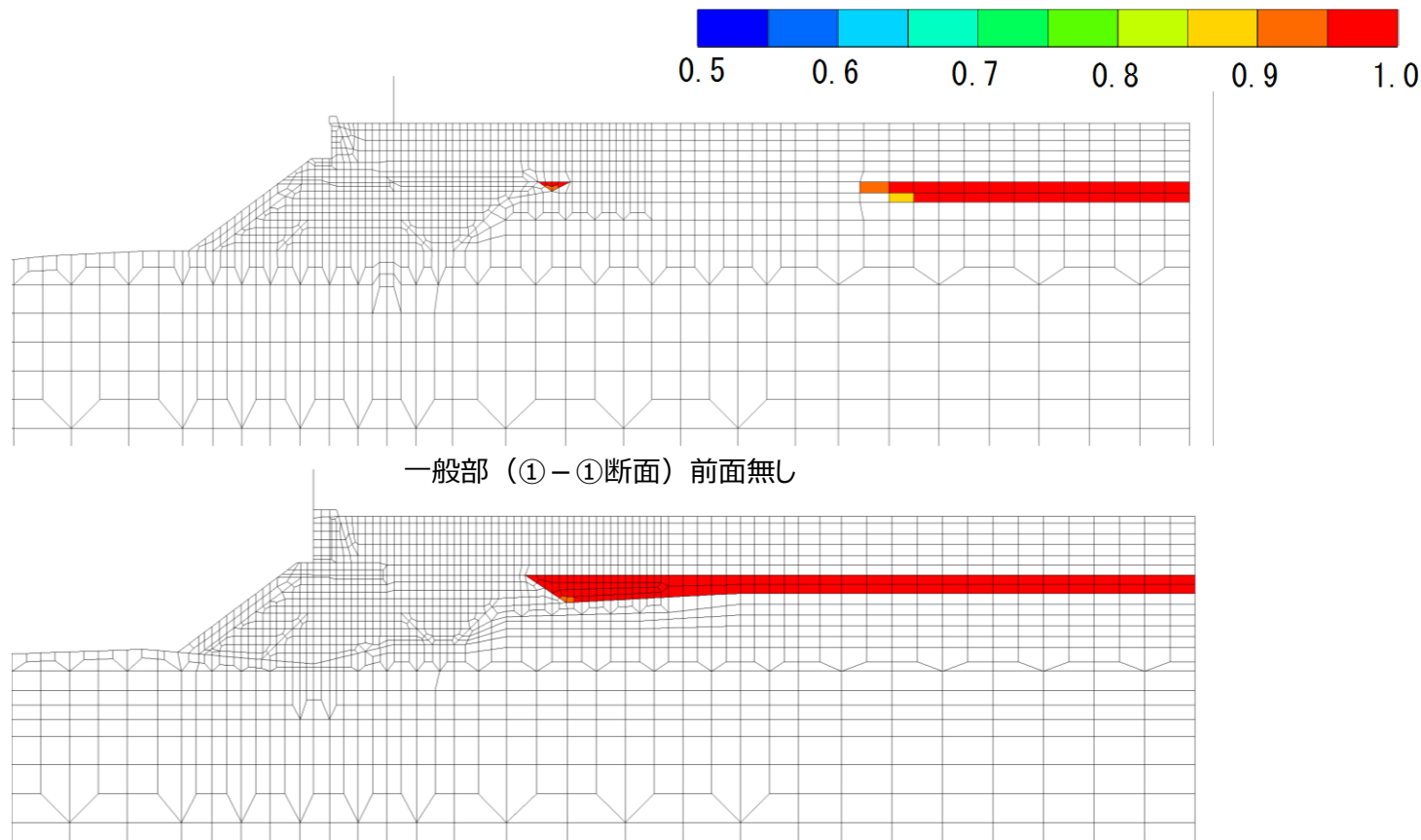
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（地盤改良部） 前面無しの地震時における全時刻での過剰間隙水圧比の分布を以下に示す。
- 防波壁周辺の地盤のうち、地下水位以深の埋戻土（掘削ズリ）、砂礫層において液状化をしていることを確認した。
- 詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ保守性を確認のうえ、地下水位を設定する。



改良地盤①（砂礫層）前面無しの過剰間隙水圧比分布図（時刻歴最大値）※

※過剰間隙水圧比0.95を超えている層で液状化している。

- 参考として、一般部（①－①断面）及び施設護岸前出し部（③－③断面）の防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合の地震時における全時刻での過剰間隙水圧比の分布を以下に示す。
- 防波壁周辺の地盤のうち、地下水位以深の埋戻土（掘削ズリ）の一部において液状化をしていることを確認した。



【参考】過剰間隙水圧比分布図（時刻歴最大値）※

※過剰間隙水圧比0.95を超えている層で液状化している。

解析の目的（2次元FEM解析（有効応力解析））

- 鋼管杭，逆T擁壁等の施設及び埋戻土，岩盤等の地盤を含めた全体の動的挙動評価。
- 地盤物性及び液状化対象層を考慮した影響評価。

モデル条件

- 防波壁は線形はり要素でモデル化する。
- 鋼管杭は線形はり要素，杭先端は岩盤からのせん断抵抗を考慮しないようにジョイント要素でモデル化する。
- 岩盤及び施設護岸は線形平面要素でモデル化する。
- 埋戻土（掘削ズリ），改良地盤，被覆石及び基礎捨石はマルチスプリング要素でモデル化する。消波ブロックは分布荷重でモデル化する。
- 液状化評価対象層である埋戻土（掘削ズリ）は液状化パラメータを設定する。
- 海水は流体要素でモデル化する。
- 防波壁と背後地盤など，要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は，ジョイント要素でモデル化する。
- グラウンドアンカーの設計アンカー力は，本解析上ではモデル化せず，鋼管杭の照査で軸力として見込む。

モデル化領域

- 鉛直方向は，下端から十分な距離を確保するためEL-50mまでモデル化する。
- 水平方向は，海側，陸側とも十分な領域を確保するよう全幅240mでモデル化する。

地盤要素の要素高さ

- 地盤の要素高さは，最大周波数及び地盤のせん断波速度 V_s より求まる最大要素高さを上回らないように設定する。

$$H_{max} = \frac{1}{m} \cdot \lambda = \frac{1}{m} \cdot \frac{V_s}{f_{max}}$$

H_{max} ：最大要素高さ(m)

λ ：せん断波の波長(m)

V_s ：せん断波の速度(m/s)

f_{max} ：考慮する地震動の最大周波数(Hz)

m ：分割係数(=5とした)

10.4.1 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の解析条件（2）地震時②

ジョイント要素

- 鋼管杭の先端、防波壁と周辺地盤など、施設と地盤の間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素を設定する。

境界条件

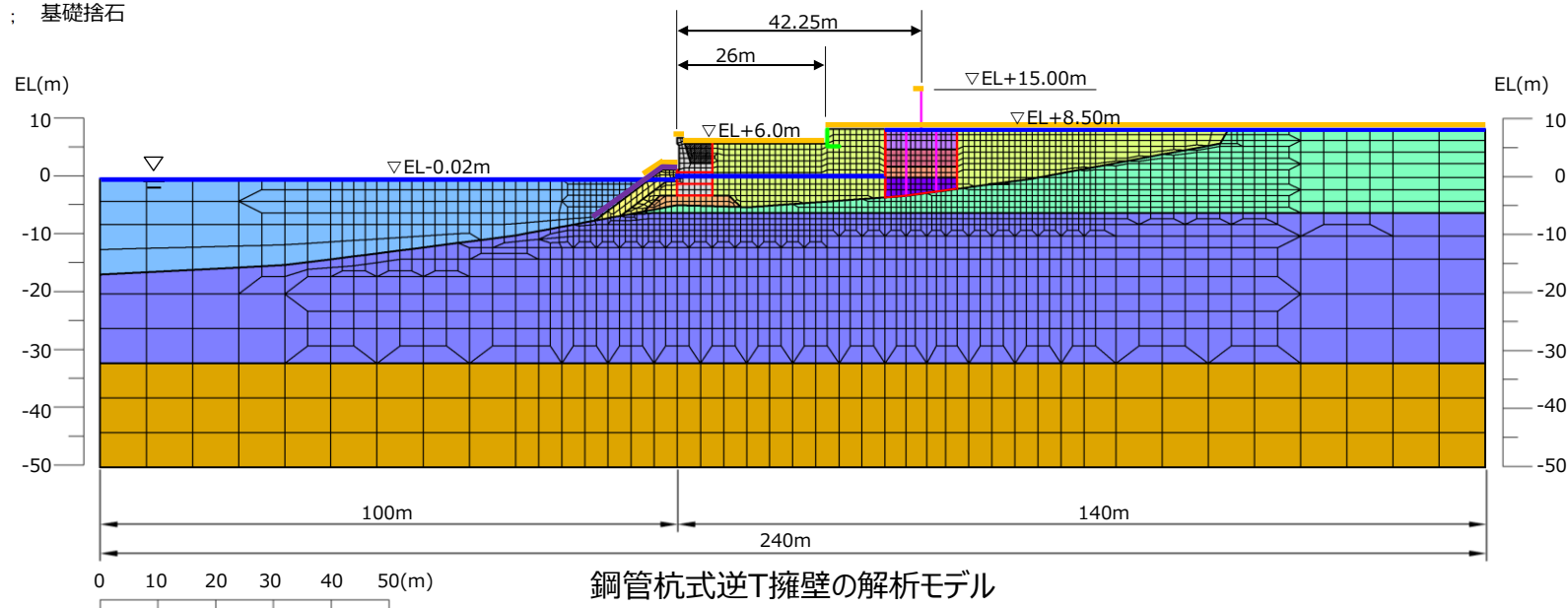
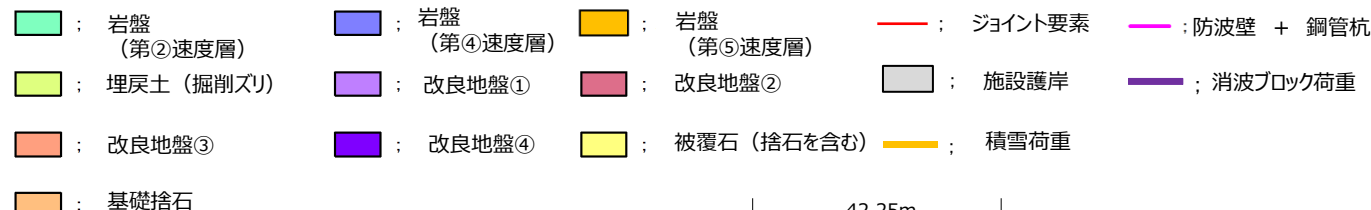
- 動的解析では、半無限地盤へのエネルギー逸散を評価するため、モデル側方及び底面に粘性境界を設ける。

入力地震動及び減衰定数

- 入力地震動及び減衰係数については、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）と同様に設定する。

地下水位の設定

- 構造成立性評価における地下水位の設定に当たっては、港湾基準に基づく残留水圧を考慮するため、護岸前面はEL-0.02m、護岸から防波壁までEL+0.14m、防波壁より陸側は地表面とする。
- 詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ保守性を確認のうえ、設定する。



10. 防波壁の構造についての構造成立性 10.4 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造成立性検討

10.4.1 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の解析条件（3）地震時③

第888回審査会合
資料2-2 P.41 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

105

材料種別			物理特性		強度特性			変形特性			設定根拠
			単位体積重量		粘着力 C (kN/m ²)	せん断 抵抗角 Φ _f (°)	せん断強度 T _f ^{※1, 2} (kN/m ²)	せん断弾性係数 G ^{※1, 3, 4} (ヤング率 E) ^{※5} (kN/m ²)	ポアソン比 ν	最大 減衰定数 h _{max}	
			飽和, 湿潤 γ _{sat} , γ _t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)							
地盤	埋戻土 (掘削スリ) T.P.+6.0m盤	気中	19.6	－	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}	0.33	0.24	（単位体積重量） ・埋戻土（掘削スリ），砂礫層，改良地盤は現地調査結果により設定 （粘着力） ・埋戻土（掘削スリ）は『設計事例集』に準拠し設定 ・改良地盤は『浸透固化処理工法技術マニュアル』に準拠し設定 （せん断抵抗角） ・埋戻土（掘削スリ）は液状化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(Ver.3.0.1) により算定 ・地盤改良は原地盤相当（埋戻土（掘削スリ））の値を設定 （せん断強度） ・『FLIP取扱説明書』に示された定義式に基づき設定 （せん断弾性係数） ・液状化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(Ver.3.0.1) により基準せん断弾性係数G _{ma} を算出し、『FLIP取扱説明書，p.8-2』に示された定義式に基づき設定 （ポアソン比） ・『設計事例集』に準拠し設定 （最大減衰定数） ・国土技術政策総合研究所HP公開の『一次元FLIP入力データ作成プログラム1D-MAKER 操作マニュアル』に準拠し設定
		水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}			
	埋戻土 (掘削スリ) T.P.+8.5m盤	気中	19.6	－	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}			
		水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}			
	改良地盤① (水中)		20.7	10.6	628	38.00	628 cos38.00° +σ' _m sin38.00°	404600(σ' _m /98) ^{0.5}			
	改良地盤② (水中)		20.7	10.6	490	40.54	490 cos40.54° +σ' _m sin40.54°	327900(σ' _m /98) ^{0.5}			
	改良地盤③ (水中)		20.7	10.6	1140		1140 cos40.54° +σ' _m sin40.54°	742900(σ' _m /98) ^{0.5}			
	改良地盤④ (水中)		20.7	10.6	1253	38.71	1253 cos38.71° +σ' _m sin38.71°	777300(σ' _m /98) ^{0.5}			
護岸構 成材	施設護岸 (バラベツ)		24.0	－	－	－	－	(E=2.330×10 ⁷)	0.20	－	（単位体積重量） ・施設護岸は『港湾基準』及び『コンクリート標準示方書』に準拠し設定 （せん断弾性係数） ・地盤と同様 （ポアソン比） ・護岸は『コンクリート標準示方書』に準拠し設定
	施設護岸 (上部コンクリート)		22.6	－	－	－	－	(E=2.040×10 ⁷)			
	施設護岸 (セルラーブロック) (コンクリート詰)	気中	23.0	－	－	－	－	(E=2.330×10 ⁷)			
		水中	23.0	12.9	－	－	－	(E=2.330×10 ⁷)			
	施設護岸 (セルラーブロック) (栗石詰)		22.0	11.9	－	－	－	(E=2.330×10 ⁷)			

※1 σ'_m は各要素における平均有効拘束圧

※2 せん断強度式は $\tau_f = \sigma'_m \sin \Phi_f + C \cos \Phi_f$

※3 せん断弾性係数の式は $G = G_{ma} (\sigma'_m / \sigma'_{ma})^{mG}$ 。ここに G_{ma} は基準平均有効拘束圧における基準せん断弾性係数， σ'_{ma} は基準平均有効拘束圧， mG は拘束圧依存性のパラメータ(標準値=0.5)。

※4 せん断弾性係数を求める際の基準平均有効拘束圧については，粘性土は層中央部における平均有効拘束圧を設定し，粘性土以外については一律98kN/m²(標準値)とする。

※5 線形材料については，変形特性としてヤング率を設定する。

荷重及び荷重の組合せ

- 地震時の2次元動的FEM解析（有効応力）に用いる荷重の組合せを以下に示す。

検討 ケース	常時荷重					短期荷重				
	自重	積雪荷重	風荷重	土圧	水圧	地震荷重	余震荷重	津波荷重	漂流物衝突 荷重	動水圧
地震時	○	○	—	○	○	○	—	—	—	○

・積雪荷重

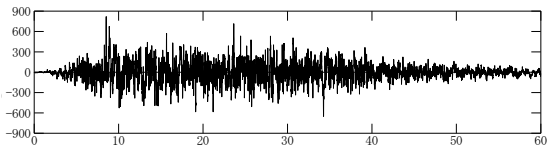
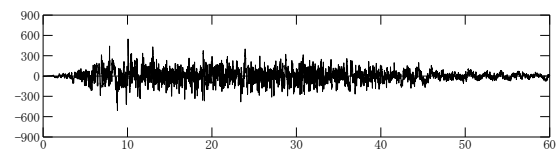
積雪荷重は 0.7kN/m^2 とし、解析領域表面（海水を除く）に作用させる。

・風荷重

構造成立性においては、風荷重による影響は軽微であることから、風荷重は考慮しない。

・地震荷重

解析に用いた地震波は、基準地震動S s-Dである。

基準地震動		水平方向（NS成分）	水平方向（EW成分）	鉛直方向
S s-D	敷地ごとに震源を特定して策定 する地震動による基準地震動 応答スペクトル手法による 基準地震動			

※ 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸:加速度(cm/s^2), 横軸:時間(s)]

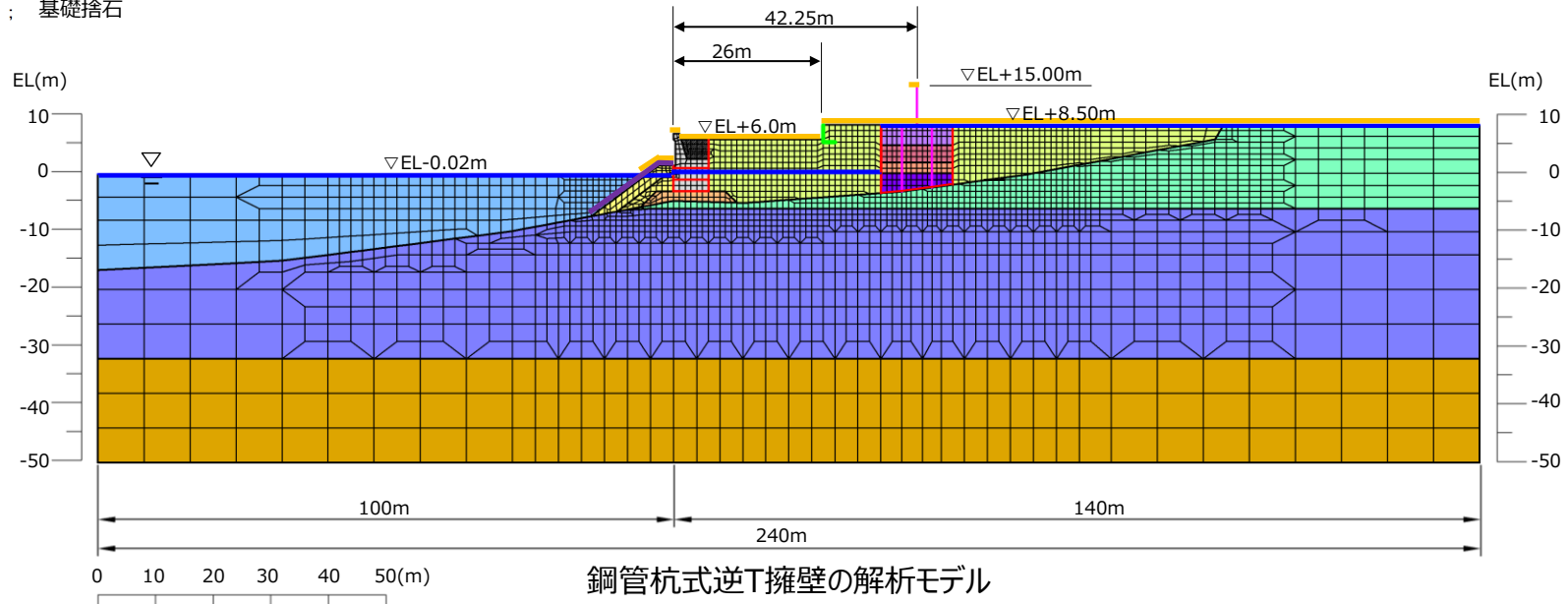
解析の目的（2次元静的 F E M解析）

- 鋼管杭及び逆T擁壁の静的挙動評価（津波時）

モデル条件

- 地震時と同様のモデルを用いる。

- | | | | | |
|--|---|---|---|---|
|  ; 岩盤
(第②速度層) |  ; 岩盤
(第④速度層) |  ; 岩盤
(第⑤速度層) |  ; ジョイント要素 |  ; 防波壁 + 鋼管杭 |
|  ; 埋戻土（掘削ズリ） |  ; 改良地盤① |  ; 改良地盤② |  ; 施設護岸 |  ; 消波ブロック荷重 |
|  ; 改良地盤③ |  ; 改良地盤④ |  ; 被覆石（捨石を含む） |  ; 積雪荷重 | |
|  ; 基礎捨石 | | | | |



荷重及び荷重の組合せ

■ 津波時の2次元静的フレーム解析に用いる荷重の組合せを以下に示す。

検討 ケース	常時荷重					短期荷重				
	自重	積雪荷重	風荷重	土圧	水圧	地震荷重	余震荷重	津波荷重	漂流物衝突 荷重	動水圧
津波時	○	○	—※	○	○	—	—	○	○	—

・津波荷重

※ 津波時の風荷重については、影響が軽微のため考慮しない。

津波波圧は敷地高以上については入力津波高さの1/2を浸水深として朝倉式により算定し、敷地高以下については入力津波高さに基づき谷本式により津波波圧を設定する方針としているが、構造成立性検討にあたっては、施設護岸が損傷する可能性を考慮し、入力津波高さを高潮ハザードの裕度を参照した津波高さEL+12.6mとし、静水面との差の1/2を入射津波の静水圧上の高さ（振幅）として、谷本式により算定し、擁壁の海側から作用させる。

$$\eta^* = 3.0 \times a_1$$

η^* : 静水面上の波圧作用高さ(m)

a_1 : 入射津波の静水圧上の高さ（振幅）(m)

$$P_1 = 2.2 \times \rho g \times a_1$$

P_1 : 静水面における波圧強度(kN/m²)

ρg : 海水の単位体積重量(kN/m³)

$$P_u = P_1$$

P_u : 前面下端における揚圧力(kN/m²)

■ 漂流物衝突荷重

漂流物衝突荷重については、追加実施した発電所沿岸及び沖合での漁船の操業実績調査も踏まえた漂流物評価結果等に基づき、詳細設計段階において設定するが、構造成立性検討にあたっては、輪谷湾外及び湾内の防波壁各構造形式に対して影響を与える可能性のある最大規模の船舶を考慮し、以下のとおり設定する。

・輪谷湾外の防波壁に対しては、沖合で操業する最大規模の排水トン数57t船舶、輪谷湾内の防波壁に対しては、湾内で当社が管理して作業する最大規模の排水トン数30t船舶が到達することを仮定し、荷揚護岸北側部（①-①断面）において排水トン数30t船舶を対象漂流物と設定し、道路橋示方書（下式）を用いて算定する。

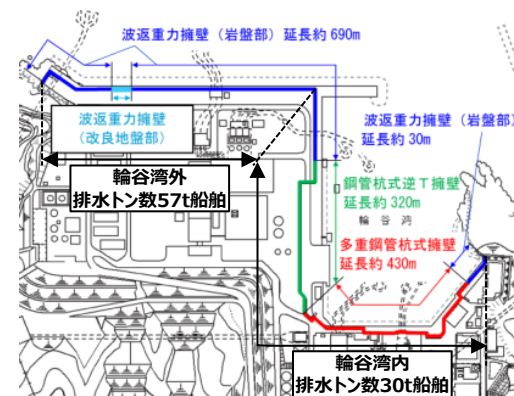
・流速は10m/sと設定する。

$$P = 0.1 \times W \times v$$

P : 漂流物衝突荷重 (kN/m²)

W : 対象漂流物重 (kN)

v : 流速 (m/s)



対象漂流物の設定

照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭	地震時	2次元動的 F E M解析 （有効応力解析）	曲げ せん断	（曲げ）降伏モーメント （せん断）せん断応力度	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 （平成14年3月）
	津波時	2次元静的 F E M解析			

応力度照査

鋼管杭については，杭に発生する降伏モーメント M_y と最大曲げモーメント M_{max} との比が1以上となることを確認する。
また，せん断応力度 τ_y と発生せん断応力度 τ との比が1以上となることを確認する。

【曲げ】

$$\frac{M_y}{M_{max}} \geq 1$$

M_y : 降伏モーメント (kN・m)

M_{max} : 最大曲げモーメント (kN・m)

【せん断】

$$\frac{\tau_y}{\tau} \geq 1$$

τ_y : せん断応力度 (N/mm²)

τ : 発生せん断応力度 (N/mm²)

照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
逆T擁壁	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造性能照査編 2002年制定
	津波時	2次元静的 F E M解析			

応力度照査

コンクリートについては，許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca} と曲げ圧縮応力度 σ_c との比，および許容せん断応力度 τ_a とせん断応力度 τ との比がそれぞれ1以上となることを確認する。

鉄筋については，許容引張応力度 σ_{sa} と引張応力度 σ_s との比が1以上となることを確認する。

【コンクリート】

$$\frac{\sigma_{ca}}{\sigma_c} \geq 1$$

σ_{ca} : 許容曲げ応力度 (N/mm²)
 σ_c : 曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

$$\frac{\tau_a}{\tau} \geq 1$$

τ_a : 許容せん断応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)

【鉄筋】

$$\frac{\sigma_{sa}}{\sigma_s} \geq 1$$

σ_{sa} : 許容引張応力度 (N/mm²)
 σ_s : 引張応力度 (N/mm²)

杭頭に対する断面照査

鋼管杭式逆T擁壁の杭頭に対する断面照査は、『杭基礎設計便覧（平成18年度改訂版）』に従い、せん断力Q及び軸力Nが作用する杭頭部での許容応力度と垂直方向と水平方向の支圧応力度（ σ_{cv} 、 σ_{ch} ）及び押抜きせん断応力度（ τ_v 、 τ_h ）との比が1以上であることを確認する。

$$\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{cv}} \geq 1 \quad \frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{ch}} \geq 1$$

$$\frac{\tau_{va}}{\tau_v} \geq 1 \quad \frac{\tau_{ha}}{\tau_h} \geq 1$$

σ_{cv} : 杭頭部での垂直方向の支圧応力度（N/mm²）

σ_{ch} : 杭頭部での水平方向の支圧応力度（N/mm²）

σ_{ba} : 杭頭部での許容支圧応力度（N/mm²）

τ_v : 杭頭部での垂直方向の押抜きせん断応力度（N/mm²）

τ_h : 杭頭部での水平方向の押抜きせん断応力度（N/mm²）

τ_{va} : 杭頭部での垂直方向の許容押抜きせん断応力度（N/mm²）

τ_{ha} : 杭頭部での水平方向の許容押抜きせん断応力度（N/mm²）

10.4.1 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の解析条件（10）グラウンドアンカーの評価条件（滑動）

- 地震時及び津波時における、グラウンドアンカーの設計アンカー力を考慮した逆T擁壁の滑動・転倒照査を実施し、安全率が1以上となり、グラウンドアンカーが構造成立することを確認する。

滑動の照査

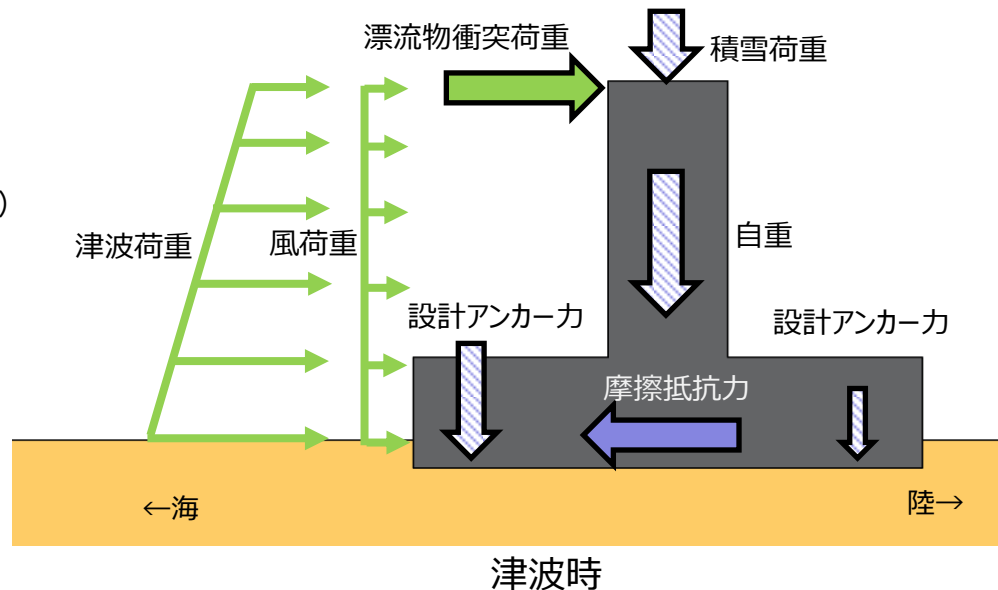
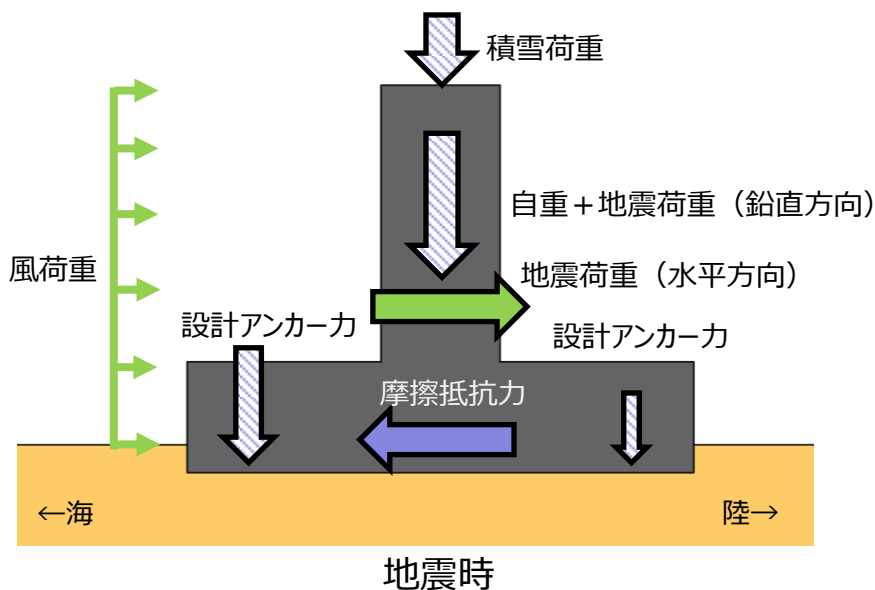
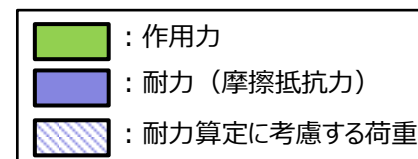
- ・地震時及び津波時における、逆T擁壁の滑動に対する耐力（摩擦抵抗力）と逆T擁壁に発生する作用力（地震時は地震荷重等、津波時は津波荷重及び漂流物衝突荷重等の総和）の比が1以上であることを確認する。

$$\frac{\text{耐力}}{\text{作用力}} \geq 1$$

【地震時】
 耐力（摩擦抵抗力）：（耐力算定に考慮する荷重）×静止摩擦係数
 作用力：地震荷重（水平方向）＋風荷重

【津波時】
 耐力（摩擦抵抗力）：（耐力算定に考慮する荷重）×静止摩擦係数
 作用力：津波荷重＋漂流物衝突荷重＋風荷重

- ・滑動の照査に当たっては、鋼管杭によるせん断抵抗力は考慮しない方針とし、逆T擁壁と改良地盤の境界部の摩擦係数は、港湾基準に示されるコンクリート同士の摩擦係数 $\mu=0.5$ を準用し、設定する。



滑動の照査における荷重イメージ

10.4.1 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の解析条件（11）グラウンドアンカーの評価条件（転倒）

転倒の照査

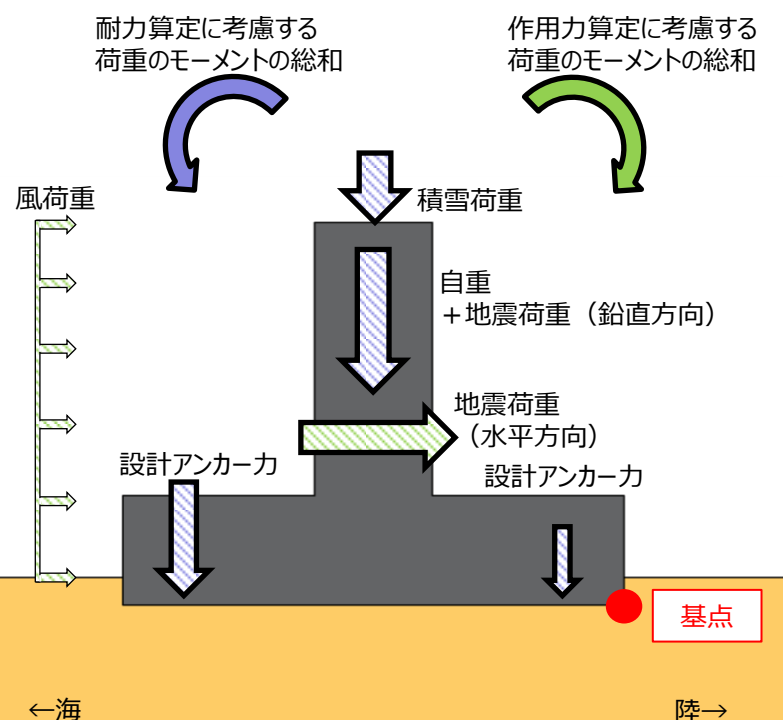
・地震時及び津波時における，逆T擁壁の転倒に対する耐力（自重及び設計アンカー力等によるモーメント）と逆T擁壁に発生する作用力（地震時は地震荷重（水平方向）等によるモーメント，津波時は津波荷重及び漂流物衝突荷重等によるモーメント）の比が1以上であることを確認する。

$$\frac{\text{耐力}}{\text{作用力}} \geq 1$$

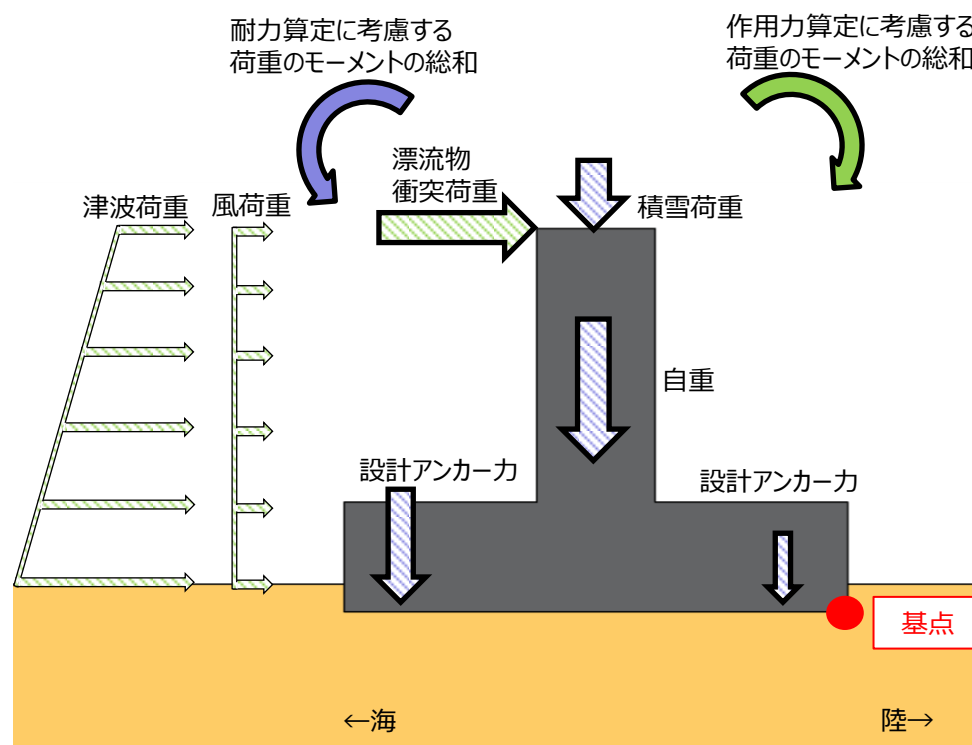
耐力：耐力算定に考慮する荷重のモーメントの総和
作用力：作用力算定に考慮する荷重のモーメントの総和

	：作用力
	：作用力算定に考慮する荷重
	：耐力
	：耐力算定に考慮する荷重

・なお，転倒の照査に当たっては，鋼管杭による抵抗力は考慮しない。



地震時

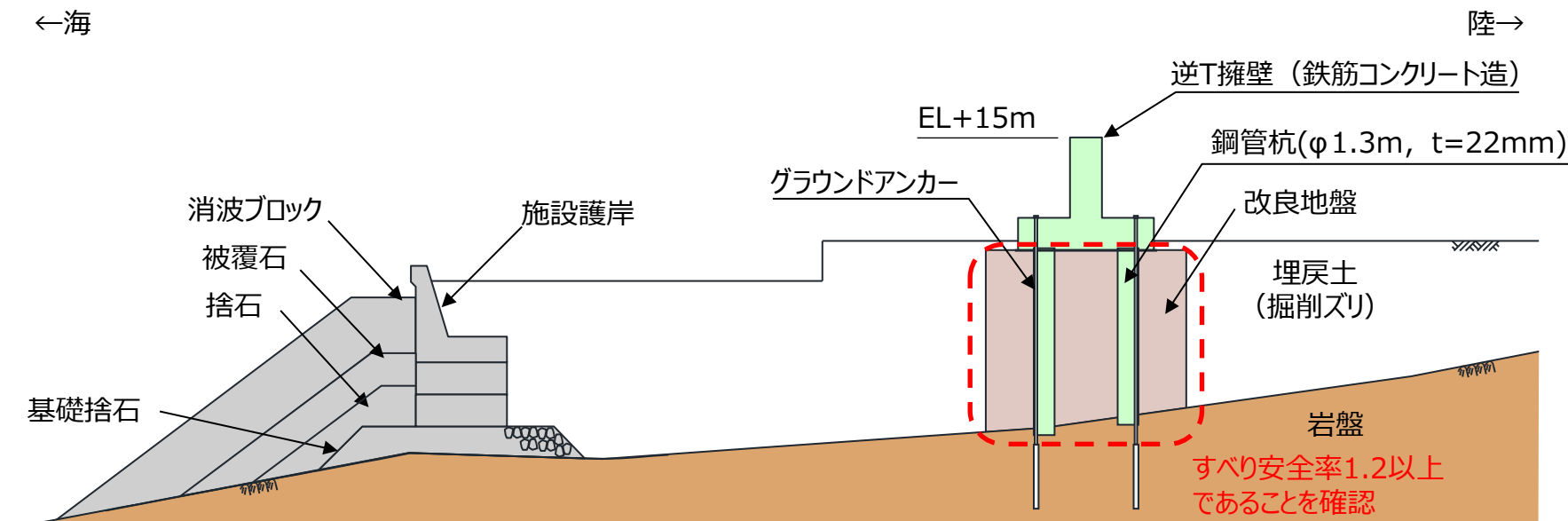


津波時

転倒の照査における荷重イメージ

照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	すべり安全率 支持力	すべり安全率1.2以上 極限支持力	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的 F E M解析			



2次元動的 F E M解析での確認内容

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（荷揚護岸北側部）のうち、鋼管杭の地震時における最小安全率時刻での照査結果を以下に示す。
- 鋼管杭に厳しい損傷モード（曲げ，せん断照査の最小安全率時刻）を想定しても，構造成立性が確保されることを確認した。

【鋼管杭】

■ 照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	曲げ せん断	(曲げ)降伏モーメント (せん断)せん断応力度	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成14年3月)

■ 降伏モーメントに対する照査（最小安全率時）

評価部位	地震動	時刻 (s)	最大曲げモーメント $M_{\max}$ (kN・m)	降伏モーメント M_y (kN・m)	最小安全率 $M_y/M_{\max}$	判定 (> 1.0)
鋼管杭	S s-D	23.93	769	7,820	10.16	OK

■ せん断応力度に対する照査（最小安全率時）

評価部位	照査項目	地震動	時刻 (s)	発生応力 τ (N/mm ²)	せん断応力度 τ_y (N/mm ²)	最小安全率 τ_y/τ	判定 (> 1.0)
鋼管杭	せん断	S s-D	23.92	5	182	36.40	OK

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（荷揚護岸北側部）のうち、鋼管杭の津波時における照査結果を以下に示す。
- 津波時においても、構造成立性が確保されることを確認した。

【鋼管杭】

■ 照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭	地震時	2次元静的 F E M解析	曲げ せん断	(曲げ)降伏モーメント (せん断)せん断応力度	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）

■ 降伏モーメントに対する照査

評価部位	最大曲げモーメント $M_{\max}(\text{kN}\cdot\text{m})$	降伏モーメント $M_y(\text{kN}\cdot\text{m})$	最小安全率 $M_y/M_{\max}$	判定 (> 1.0)
鋼管杭	135	7,871	58.30	OK

■ せん断応力度に対する照査

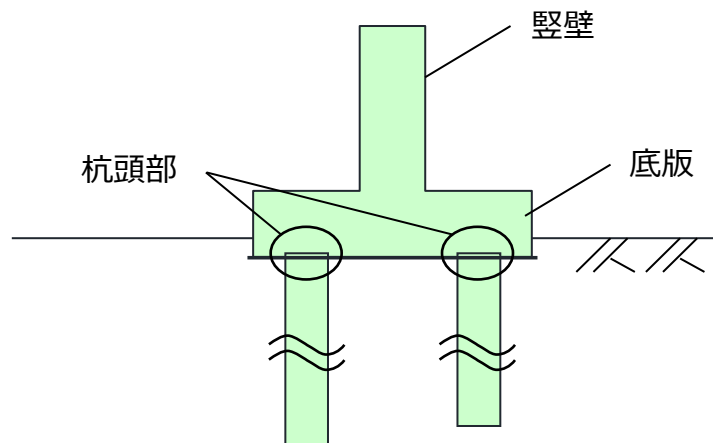
評価部位	照査項目	発生応力 τ (N/mm^2)	せん断応力度 τ_y (N/mm^2)	最小安全率 τ_y/τ	判定 (> 1.0)
鋼管杭	せん断	1	182	182.00	OK

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（荷揚護岸北側部）のうち、逆T擁壁の地震時における最小安全率時刻での照査結果を次頁に示す。
- 逆T擁壁に厳しい損傷モード（曲げ，せん断照査の最小安全率時刻）を想定しても，構造成立性が確保されることを確認した。

【逆T擁壁】

■ 照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
逆T擁壁	地震時	2次元動的FEM解析 （有効応力解析）	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書， 構造性能照査編， 2002年制定



逆T擁壁の評価部位

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（荷揚護岸北側部）のうち、逆T擁壁の地震時における最小安全率時刻での照査結果を以下に示す。
- 逆T擁壁に厳しい損傷モード（曲げ、せん断照査の最小安全率時刻）を想定しても、構造成立性が確保されることを確認した。

■ 短期許容応力に対する照査（最小安全率時）

評価 部位	照査項目	地震動	時刻 (s)	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		最小 安全率 (許容応力／ 発生応力)	判定 (> 1.0)
豎壁	曲げ・軸力	S s -D	9.17	曲げ圧縮応力度σ _c	5.6	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	18	3.21	OK
			9.17	引張応力度σ _s	242.3	許容引張応力度σ _{sa}	323	1.33	OK
	せん断		23.91	せん断応力度τ	0.32	許容せん断応力度τ _a	0.9	2.81	OK
底板	曲げ・軸力		9.17	曲げ圧縮応力度σ _c	5.4	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	18	3.33	OK
			9.17	引張応力度σ _s	262.8	許容引張応力度σ _{sa}	323	1.22	OK
	せん断		23.91	せん断応力度τ	0.46	許容せん断応力度τ _a	0.9	1.95	OK
杭頭部	押込み力に 対する照査		17.76	垂直支圧応力度σ _{cv}	2.2	許容垂直支圧応力度σ _{ba}	14.4	6.54	OK
			17.76	押抜きせん断応力度τ _v	0.17	許容押抜きせん断 応力度τ _{va}	0.9	5.29	OK
	水平力に 対する照査		9.20	水平支圧応力度σ _{ch}	0.5	許容水平支圧応力度σ _{ba}	14.4	28.80	OK
			9.20	押抜きせん断応力度τ _h	0.04	許容押抜きせん断 応力度τ _{ha}	0.9	22.50	OK

【逆T擁壁】

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（荷揚護岸北側部）のうち、逆T擁壁の津波時における照査結果を以下に示す。
- 津波時においても、構造成立性が確保されることを確認した。
- 照査項目、許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
逆T擁壁	津波時	2次元静的FEM解析	曲げせん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造成立性照査編，2002年制定

■ 短期許容応力に対する照査

評価部位	照査項目	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		最小安全率 (許容応力／発生応力)	判定 (> 1.0)
縦壁	曲げ・軸力	曲げ圧縮応力度 σ_c	3.6	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	5.00	OK
		引張応力度 σ_s	168.6	許容引張応力度 σ_{sa}	323	1.91	OK
	せん断	せん断応力度 τ	0.23	許容せん断応力度 τ_a	0.9	3.91	OK
底版	曲げ・軸力	曲げ圧縮応力度 σ_c	3.0	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	6.00	OK
		引張応力度 σ_s	123.7	許容引張応力度 σ_{sa}	323	2.61	OK
	せん断	せん断応力度 τ	0.27	許容せん断応力度 τ_a	0.9	3.33	OK
杭頭部	押込み力に対する照査	垂直支圧応力度 σ_{cv}	2.2	許容垂直支圧応力度 σ_{ba}	14.4	6.54	OK
		押抜きせん断応力度 τ_v	0.17	許容押抜きせん断応力度 τ_{va}	0.9	5.29	OK
	水平力に対する照査	水平支圧応力度 σ_{ch}	0.1	許容水平支圧応力度 σ_{ba}	14.4	144.00	OK
		押抜きせん断応力度 τ_h	0.01	許容押抜きせん断応力度 τ_{ha}	0.9	90.00	OK

10.4.2 構造成立性検討結果（断面：荷揚護岸北側部）（6）グラウンドアンカー 地震時

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（荷揚護岸北側部）のうち、逆T擁壁の最大変形量となる時刻における地震荷重を用いて実施した滑動・転倒照査結果を以下に示す。
- グラウンドアンカーの設計アンカー力を考慮した地震時における滑動・転倒照査の結果、安全率が1以上となりグラウンドアンカーが構造成立することを確認した。
- なお、詳細設計段階において裕度が確保できなくなった場合には、グラウンドアンカーを追加設置することにより滑動・転倒しないよう対応する。

■ 滑動に対する照査

検討ケース	作用力 (kN)	耐力 (kN)	安全率 (耐力/作用力)	判定 (> 1.0)
滑動	691.2	1,255.5	1.81	OK

■ 転倒に対する照査

検討ケース	作用力 (kN・m/m)	耐力 (kN・m/m)	安全率 (耐力/作用力)	判定 (> 1.0)
転倒	1,605.1	11,797.0	7.34	OK

10.4.2 構造成立性検討結果（断面：荷揚護岸北側部）（7）グラウンドアンカー 津波時

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（荷揚護岸北側部）のうち、逆T擁壁の津波時における滑動・転倒照査結果を以下に示す。
- グラウンドアンカーの設計アンカー力を考慮した津波時における滑動・転倒照査の結果、安全率が1以上となりグラウンドアンカーが構造成立することを確認した。
- なお、詳細設計段階において裕度が確保できなくなった場合には、グラウンドアンカーを追加設置することにより滑動・転倒しないよう対応する。

■ 滑動に対する照査

検討ケース	作用力 (kN)	耐力 (kN)	安全率 (耐力/作用力)	判定 (> 1.0)
滑動	716.7	867.0	1.20	OK

■ 転倒に対する照査

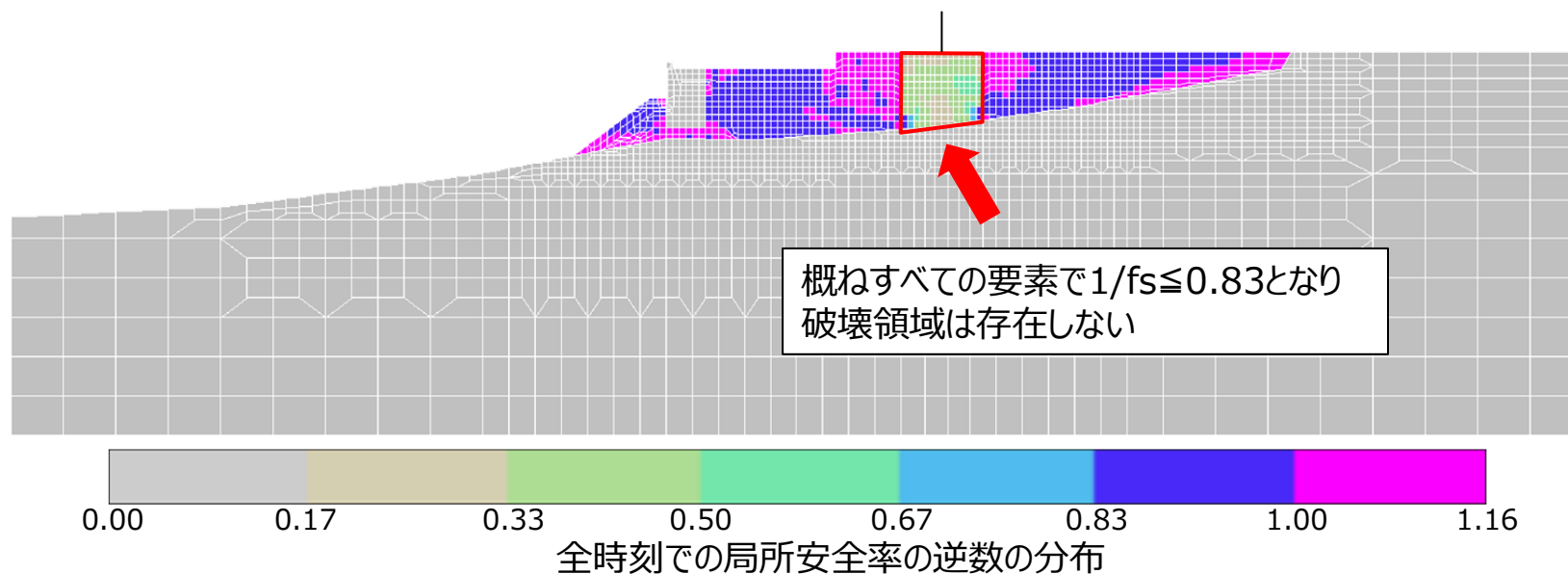
検討ケース	作用力 (kN・m/m)	耐力 (kN・m/m)	安全率 (耐力/作用力)	判定 (> 1.0)
転倒	3,326.3	8,494.3	2.55	OK

10.4.2 構造成立性検討結果（断面：荷揚護岸北側部）（8）改良地盤 地震時

- 改良地盤の地震時における全時刻での局所安全率の逆数($1/f_s$)の分布を以下に示す。
- 改良地盤は、局所安全率の逆数 $1/f_s$ が概ね $1/f_s \leq 0.83$ ($f_s \geq 1.2$) となり、また、 $0.83 \leq 1/f_s \leq 1$ ($1 \leq f_s \leq 1.2$) となる領域はわずかとなっており、破壊領域が存在しないことを確認した。

照査項目、許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	すべり安全率 支持力	すべり安全率1.2以上 極限支持力	耐津波設計に係る工認審査ガイド



- 逆T擁壁の接地圧は、改良地盤を保守的に埋戻土（掘削ズリ）（極限支持力 1.2 N/mm^2 ）と仮定しても、安全率が1以上となることを確認した。

極限支持力に対する照査

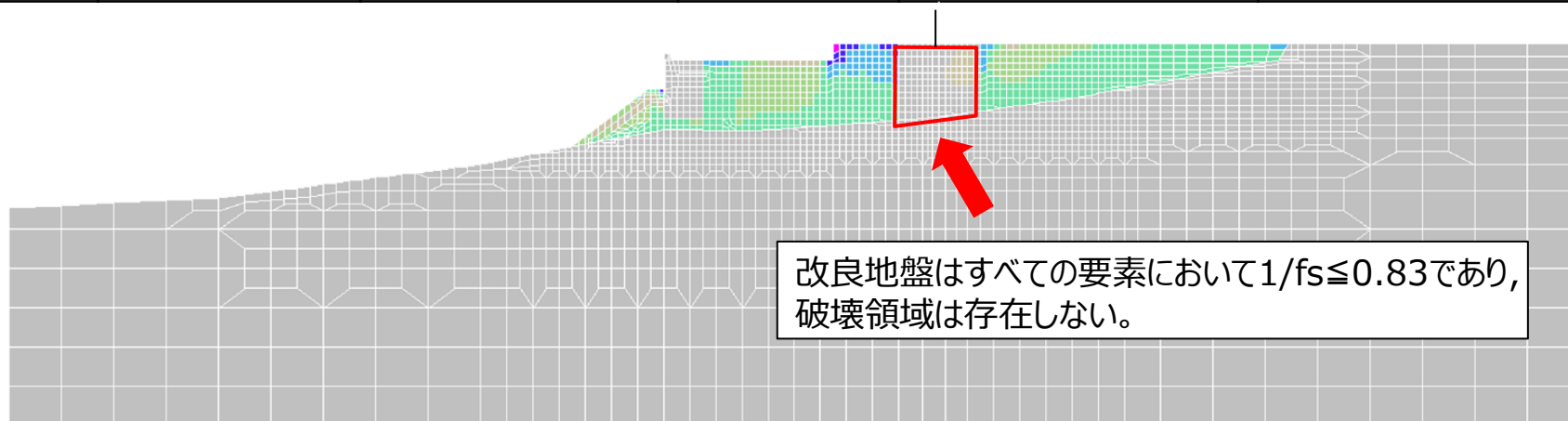
評価部位	接地圧 (N/mm^2)	極限支持力 (N/mm^2)	最小安全率	判定 (> 1.0)
改良地盤	0.4	1.2	3.00	OK

10.4.2 構造成立性検討結果（断面：荷揚護岸北側部）（9）改良地盤 津波時

- 改良地盤の津波時における全時刻での局所安全率の逆数($1/f_s$)の分布を以下に示す。
- 改良地盤は、局所安全率の逆数 $1/f_s$ がすべての要素で $1/f_s \leq 0.83$ ($f_s \geq 1.2$) であり、破壊領域が存在しないことから、すべり安全率1.2以上を確保できる。

照査項目、許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤	津波時	2次元静的 F E M解析 (有効応力解析)	すべり安全率 支持力	すべり安全率1.2以上 極限支持力	耐津波設計に係る工認審査ガイド



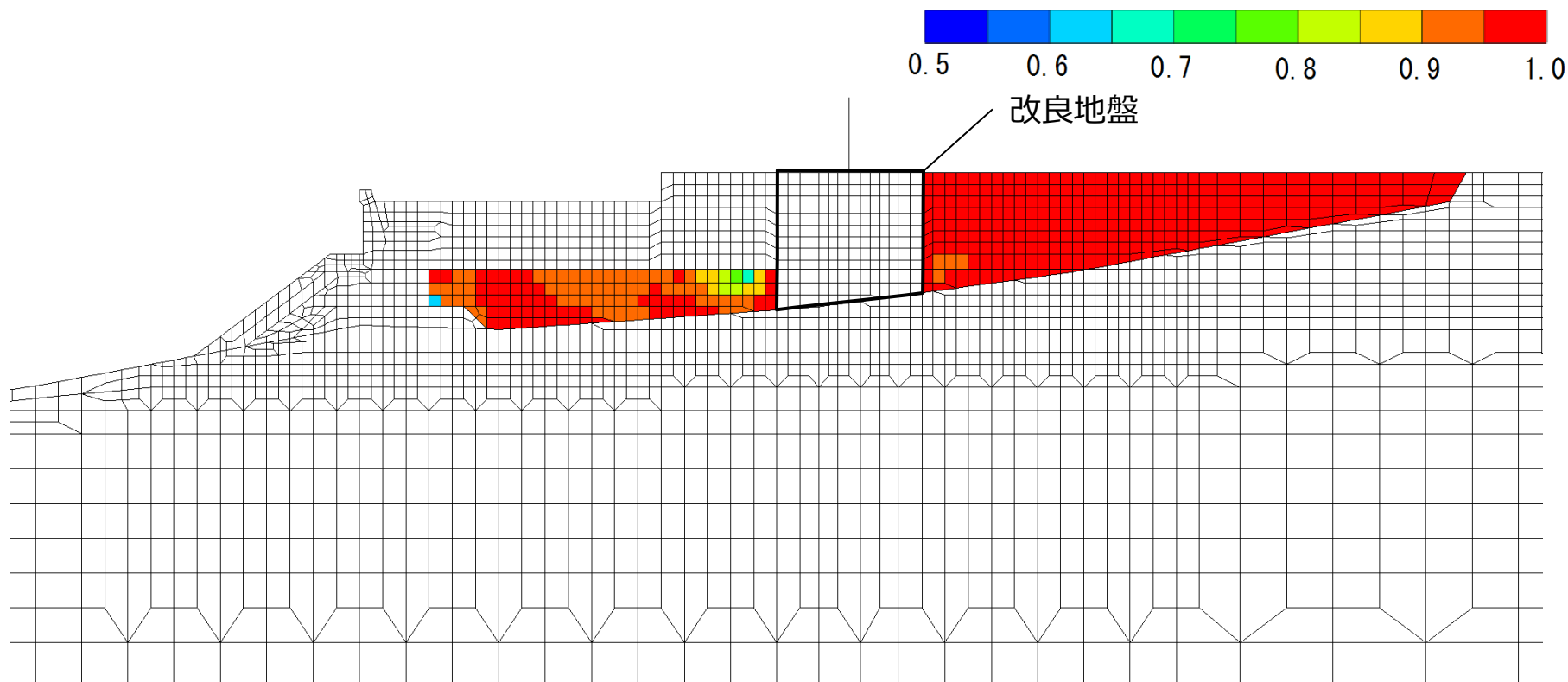
全時刻での局所安全率の逆数の分布

- 逆T擁壁の接地圧は、改良地盤を保守的に埋戻土（掘削ズリ）（極限支持力 1.2 N/mm^2 ）と仮定しても、安全率が1以上となることを確認した。

極限支持力に対する照査

評価部位	接地圧 (N/mm^2)	極限支持力 (N/mm^2)	最小安全率	判定 (> 1.0)
改良地盤	0.3	1.2	4.00	OK

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（荷揚護岸北側部）の地震時における全時刻での過剰間隙水圧比の分布を以下に示す。
- 防波壁周辺の地盤のうち、地下水位以深の埋戻土（掘削ズリ）において液状化をしていることを確認した。
- 詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ保守性を確認のうえ、地下水位を設定する。



過剰間隙水圧比分布図（時刻歴最大値）※

※過剰間隙水圧比0.95を超えている層で液状化している。

解析の目的（2次元FEM解析（有効応力解析））

- 重力擁壁，ケーソン等の施設及び埋戻土，岩盤等の地盤を含めた全体の動的挙動評価。
- 地盤物性及び液状化対象層を考慮した影響評価。

モデル条件

- 波返重力擁壁はケーソン護岸と一体化した構造のため線形平面要素でモデル化する。
- ケーソンは，中詰材の剛性を期待せずに，ケーソンの躯体のコンクリート強度と構造に応じた剛性を考慮した解析用物性値を設定する。
- 岩盤及びMMRは線形平面要素でモデル化する。
- 埋戻土（掘削ズリ），砂礫層，改良地盤はマルチスプリング要素でモデル化する。消波ブロックは分布荷重でモデル化する。
- 液状化評価対象層である埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層は液状化パラメータを設定する。
- 海水は流体要素でモデル化する。
- 防波壁と背後地盤など，要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は，ジョイント要素でモデル化する。

モデル化領域

- 鉛直方向は，下端から十分な距離を確保するためEL-50mまでモデル化する。
- 水平方向は，海側，陸側とも十分な領域を確保するよう全幅240mでモデル化する。

地盤要素の要素高さ

- 地盤の要素高さは，最大周波数及び地盤のせん断波速度 V_s より求まる最大要素高さを上回らないように設定する。

$$H_{max} = \frac{1}{m} \cdot \lambda = \frac{1}{m} \cdot \frac{V_s}{f_{max}}$$

H_{max} : 最大要素高さ(m)

λ : せん断波の波長(m)

V_s : せん断波の速度(m/s)

f_{max} : 考慮する地震動の最大周波数(Hz)

m : 分割係数(=5とした)

ジョイント要素

- 防波壁と背後地盤など、施設と地盤の間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素を設定する。

境界条件

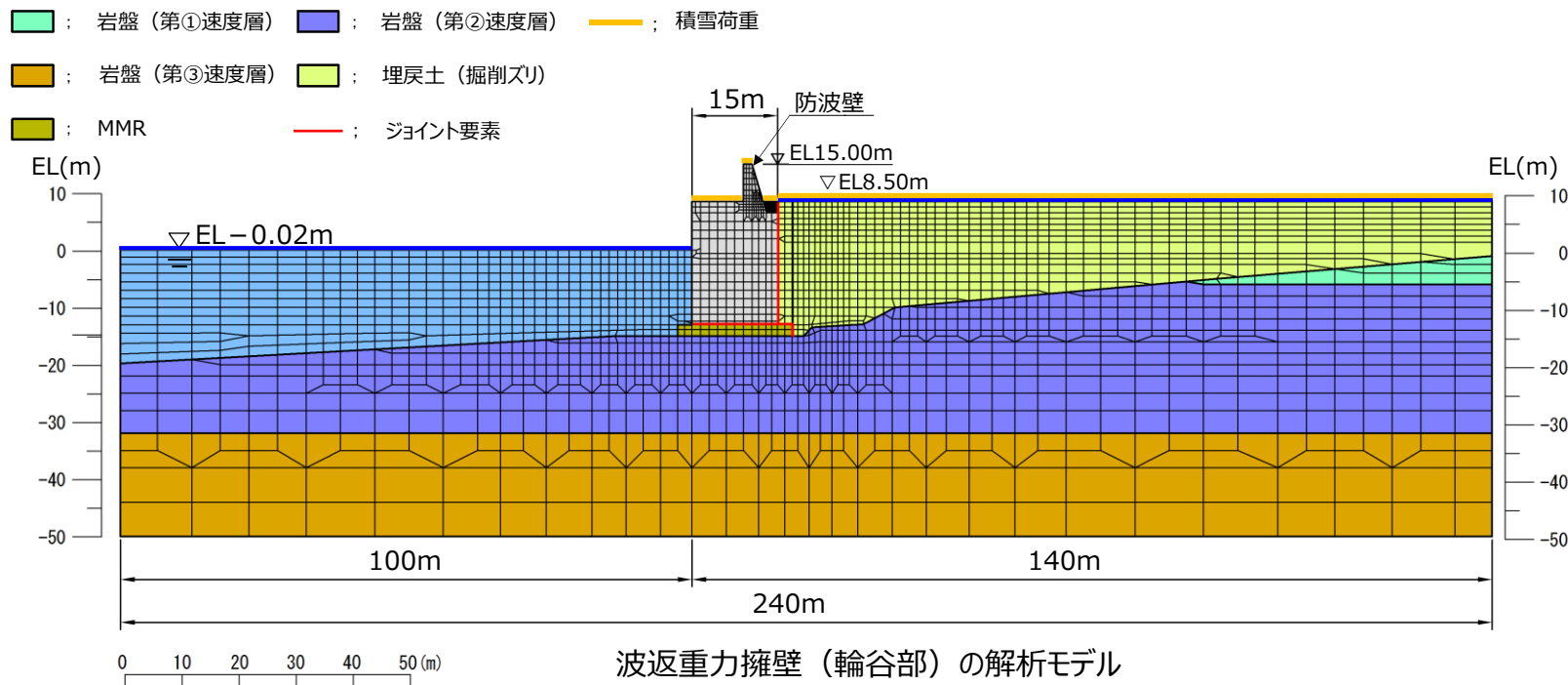
- 動的解析では、半無限地盤へのエネルギー逸散を評価するため、モデル側方及び底面に粘性境界を設ける。

入力地震動及び減衰定数

- 入力地震動及び減衰係数については、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）及び防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）と同様に設定する。

地下水位の設定

- 構造成立性評価における地下水位の設定に当たっては、港湾基準に基づく残留水圧を考慮するため、護岸前面はEL-0.02mとし、護岸より陸側は地表面とする。
- 詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ保守性を確認のうえ、設定する。



10. 防波壁の構造についての構造成立性 10.5 防波壁（波返重力擁壁）の構造成立性検討

10.5.1 防波壁（波返重力擁壁）の解析条件（3）地震時③

第888回審査会合
資料2-2 P.62 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

127

材料種別			物理特性		強度特性			変形特性			設定根拠	
			単位体積重量		粘着力 C (kN/m ²)	せん断 抵抗角 Φ _f (°)	せん断強度 T _f ※1, 2 (kN/m ²)	せん断弾性係数 G※1, 3, 4 (ヤング率 E) ※5 (kN/m ²)	ポアソン 比 ν	最大 減衰定数 h _{max}		
			飽和, 湿潤 γ _{sat} , γ _t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)								
地盤	埋戻土 (掘削スリ) (輪谷部) T.P.+8.5m盤	気中	19.6	－	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}	0.33	0.24	(単位体積重量) ・埋戻土（掘削スリ）は現地調査結果により設定 ・砂礫層, 改良地盤は『港湾基準』に準拠し設定 (粘着力) ・埋戻土（掘削スリ）, 砂礫層は『設計事例集』に準拠し設定 ・改良地盤は『ジェットグラウト工法 技術資料（第23版）, p.21』に準拠し設定 (せん断抵抗角) ・埋戻土（掘削スリ）は液状化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(Ver.3.0.1) により算定 ・攪拌系の改良である高圧噴射攪拌工法による改良のため, 安全側である0°に設定 (せん断強度) ・『FLIP取扱説明書』に示された定義式に基づき設定 (せん断弾性係数) ・液状化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(Ver.3.0.1) により基準せん断弾性係数G _{ma} を算出し, 『FLIP取扱説明書, p.8-2』に示された定義式に基づき設定 (ポアソン比) ・『設計事例集』に準拠し設定 (最大減衰定数) ・国土技術政策総合研究所HP公開の『一次元FLIP入力データ作成プログラム1D-MAKER 操作マニュアル』に準拠し設定	
		水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}				
	埋戻土 (掘削スリ) (地盤改良部) T.P.+6.5m盤	気中	19.6	－	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}				
		水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}				
	埋戻土 (掘削スリ) (地盤改良部) T.P.+8.5m盤		気中	19.6	－	0	39.35	σ' _m sin39.35°				76570(σ' _m /98) ^{0.5}
			水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°				76570(σ' _m /98) ^{0.5}
	砂礫層		20.7	10.6	0	38.81	σ' _m sin38.81°	63390(σ' _m /98) ^{0.5}				
	改良地盤		20.7	10.6	500	0	500	93980(σ' _m /98) ^{0.5}				
基礎捨石 (水中)		20.0	9.9	0	35.00	σ' _m sin35.00°	180000(σ' _m /98) ^{0.5}					
施設	重力擁壁 (上部)		24.0	－	－	－	－	(E=2.500×10 ⁷)	0.20	－	(単位体積重量) ・構造物は『港湾基準』及び『コンクリート標準示方書』に準拠し設定 (せん断弾性係数) ・地盤と同様 (ポアソン比) ・構造物は『コンクリート標準示方書』に準拠し設定	
	重力擁壁 (下部)		22.6	－	－	－	－	(E=2.200×10 ⁷)				
	ケーソン (地盤改良部)	気中	22.9	－	－	－	－	(E=2.198×10 ⁶)				
		水中	22.9	12.8	－	－	－	(E=2.198×10 ⁶)				
	ケーソン (輪谷部)	気中	20.9	－	－	－	－	(E=2.309×10 ⁶)				
		水中	20.9	10.8	－	－	－	(E=2.309×10 ⁶)				
	MMR		24.0	13.9	－	－	－	(E=2.500×10 ⁷)				
消波ブロック (空隙率=50%)		11.3	6.3	－	－	－	(E=1.100×10 ⁷)					

※1 σ'_m は各要素における平均有効拘束圧

※2 せん断強度式は $\tau_f = \sigma'_m \sin \Phi_f + C \cos \Phi_f$

※3 せん断弾性係数の式は $G = G_{ma}(\sigma'_m/\sigma'_{ma})^{mG}$ 。ここに G_{ma} は基準平均有効拘束圧における基準せん断弾性係数、 σ'_{ma} は基準平均有効拘束圧、 mG は拘束圧依存性のパラメータ(標準値=0.5)。

※4 せん断弾性係数を求める際の基準平均有効拘束圧については、粘性土は層中央部における平均有効拘束圧を設定し、粘性土以外については一律98kN/m²(標準値)とする。

※5 線形材料については、変形特性としてヤング率を設定する。

荷重及び荷重の組合せ

■ 地震時の2次元動的FEM解析（有効応力）に用いる荷重の組合せを以下に示す。

検討 ケース	常時荷重					短期荷重				
	自重	積雪荷重	風荷重	土圧	水圧	地震荷重	余震荷重	津波荷重	漂流物 衝突 荷重	動水圧
地震時	○	○	—	○	○	○	—	—	—	○

・積雪荷重

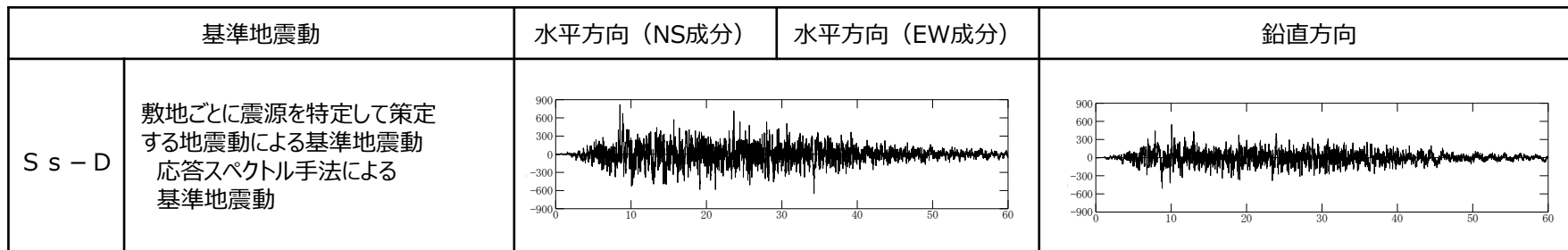
積雪荷重は 0.7kN/m^2 とし、解析領域表面（海水を除く）に作用させる。

・風荷重

構造成立性においては、風荷重による影響は軽微であることから、風荷重は考慮しない。

・地震荷重

解析に用いた地震波は、基準地震動 S s -Dである。



※ 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸: 加速度(cm/s^2), 横軸: 時間(s)]

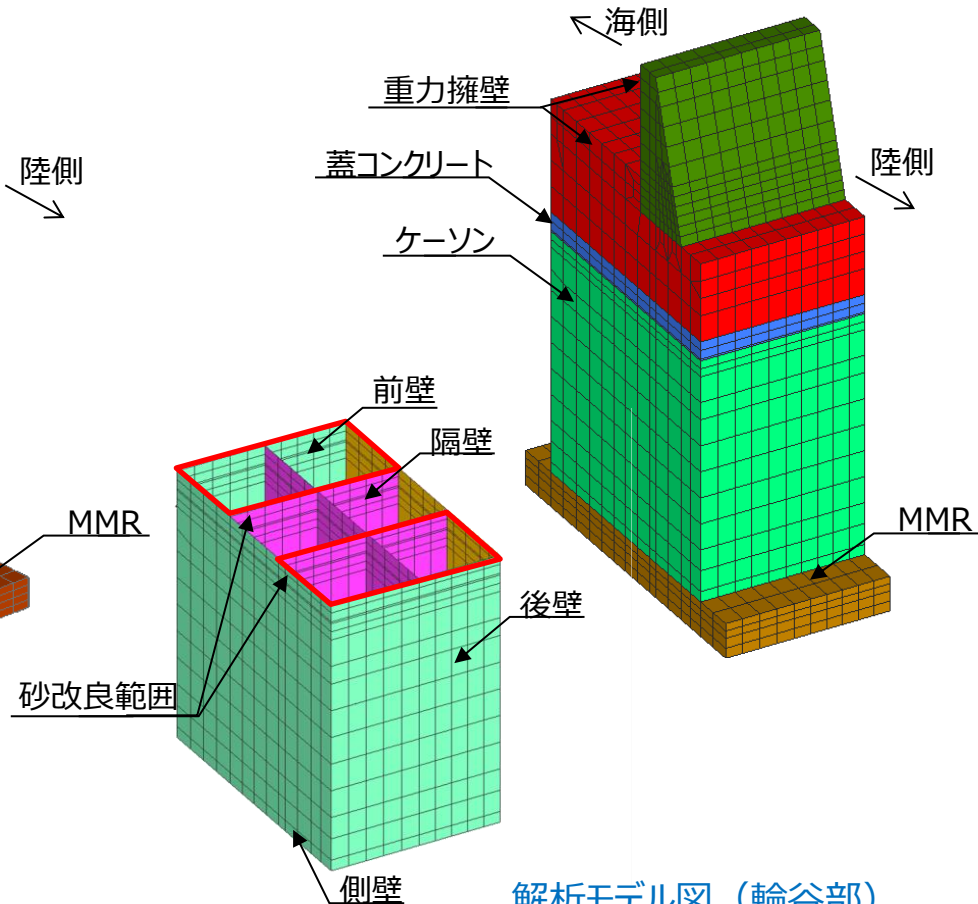
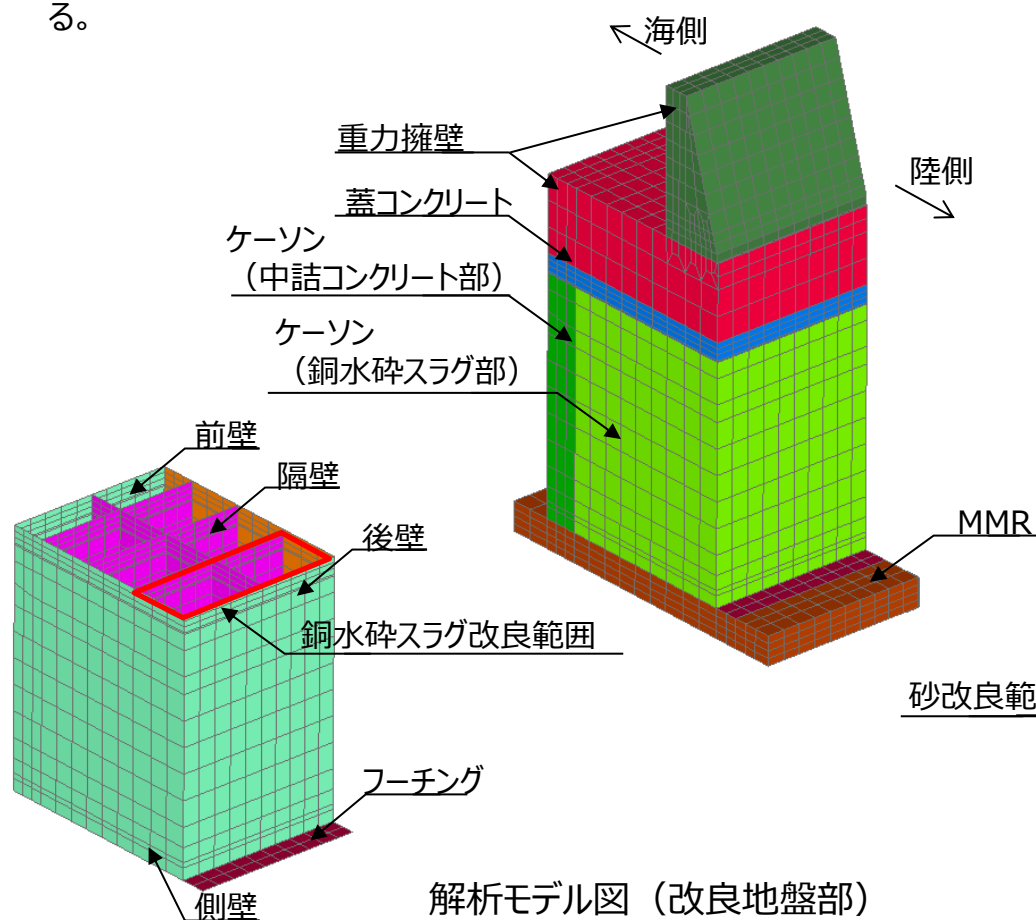
10.5.1 防波壁（波返重力擁壁）の解析条件（5）地震時⑤

解析の目的（3次元静的FEM解析）

- 重力擁壁及びケーソンの性能照査に使用する応答値の算出。

モデル条件

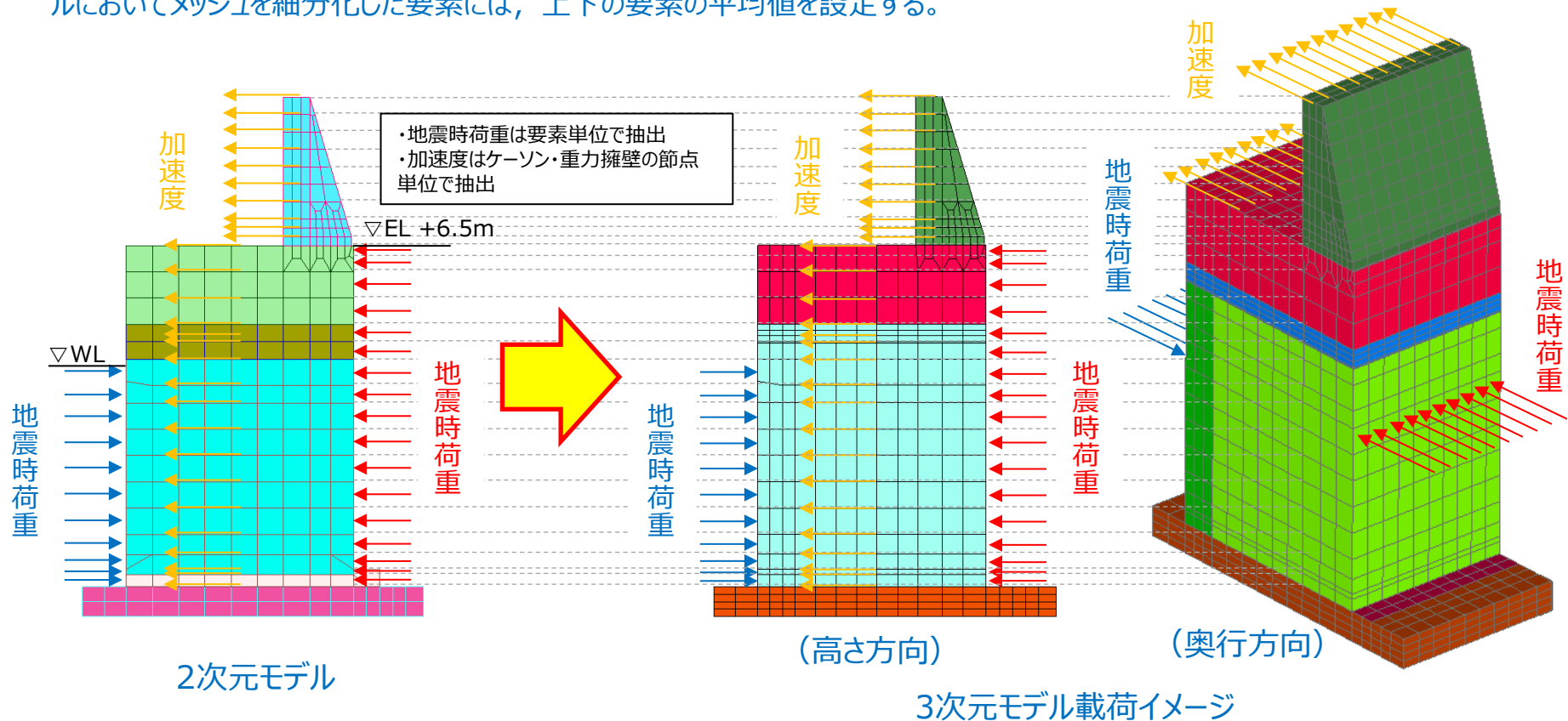
- ケーソンはシェル要素でモデル化し、重力擁壁、蓋コンクリート、中詰材（中詰コンクリート、銅水砕スラグ及び砂）及びMMRについては、ソリッド要素でモデル化する。なお、中詰材の一部を改良したものとして構造成立性を検討する。
- ケーソンの奥行方向を半分にした3次元モデルとする。なお、詳細設計段階においては、ケーソン1函分をモデル化して解析を実施する。



10.5.1 防波壁（波返重力擁壁）の解析条件（6）地震時⑥

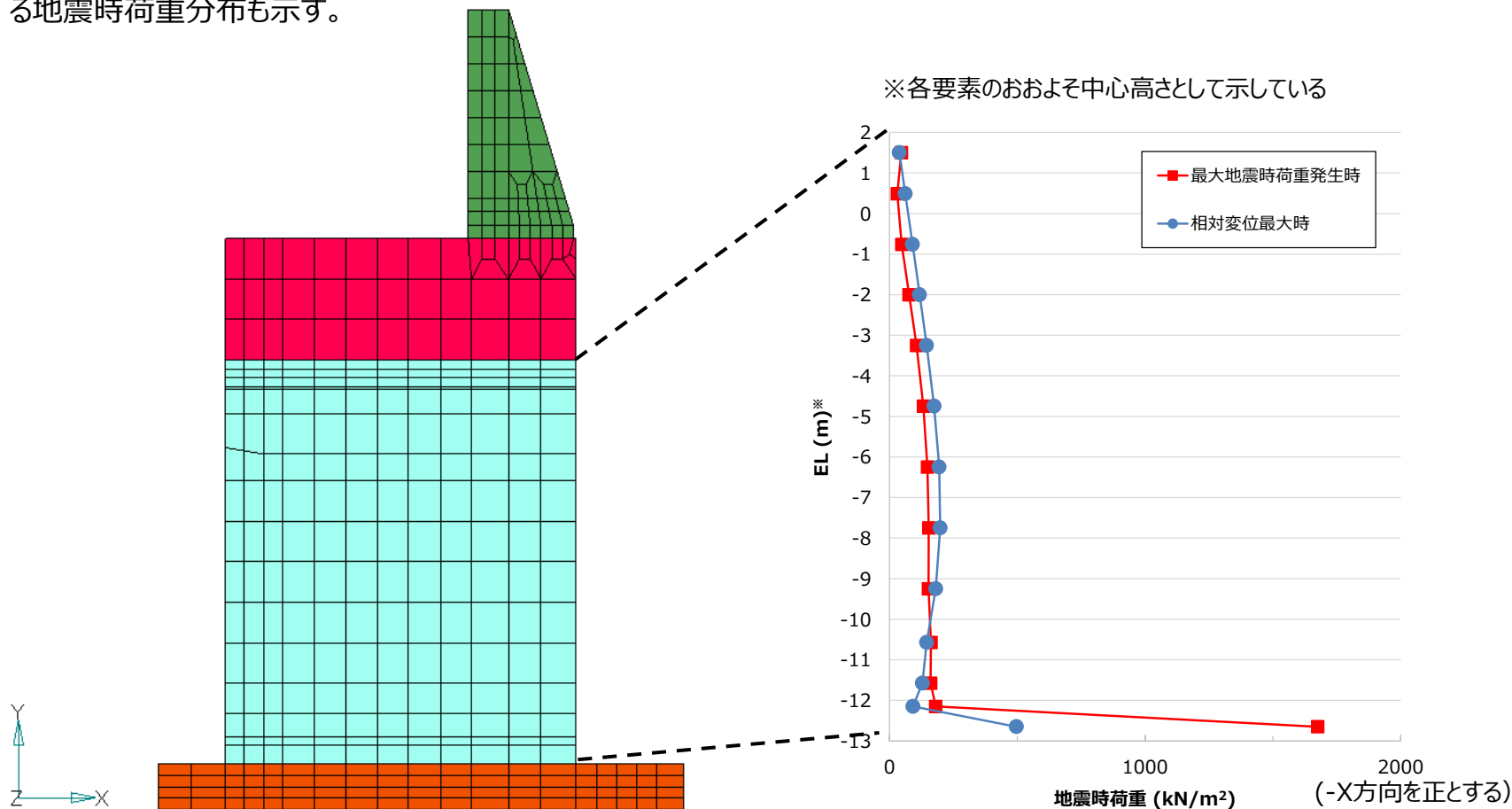
荷重条件

- 2次元動的 F E M解析（有効応力）によるケーソン頂底板間の相対変位が最大となる時刻の地震時荷重（地震時土圧，動水圧）及び加速度を抽出し，3次元モデルに载荷する。なお，地震時荷重等を抽出する2次元動的 F E M解析（有効応力）では，中詰材の剛性を期待せず，ケーソンの躯体コンクリート強度と構造に応じた剛性を考慮した解析用物性値を設定する。
- 3次元モデルの地震時荷重は，2次元モデルにおける抽出要素の中心高さに対応する3次元モデルの要素に载荷する。なお，3次元モデルにおいてメッシュを細分化した要素には，各々同じ地震時荷重を载荷する。
- 3次元モデルの加速度は，2次元モデルにおける抽出要素の節点高さに対応する3次元モデルの節点に設定する。なお，3次元モデルにおいてメッシュを細分化した要素には，上下の要素の平均値を設定する。



【ケーソンに載荷する地震時荷重（改良地盤部）】

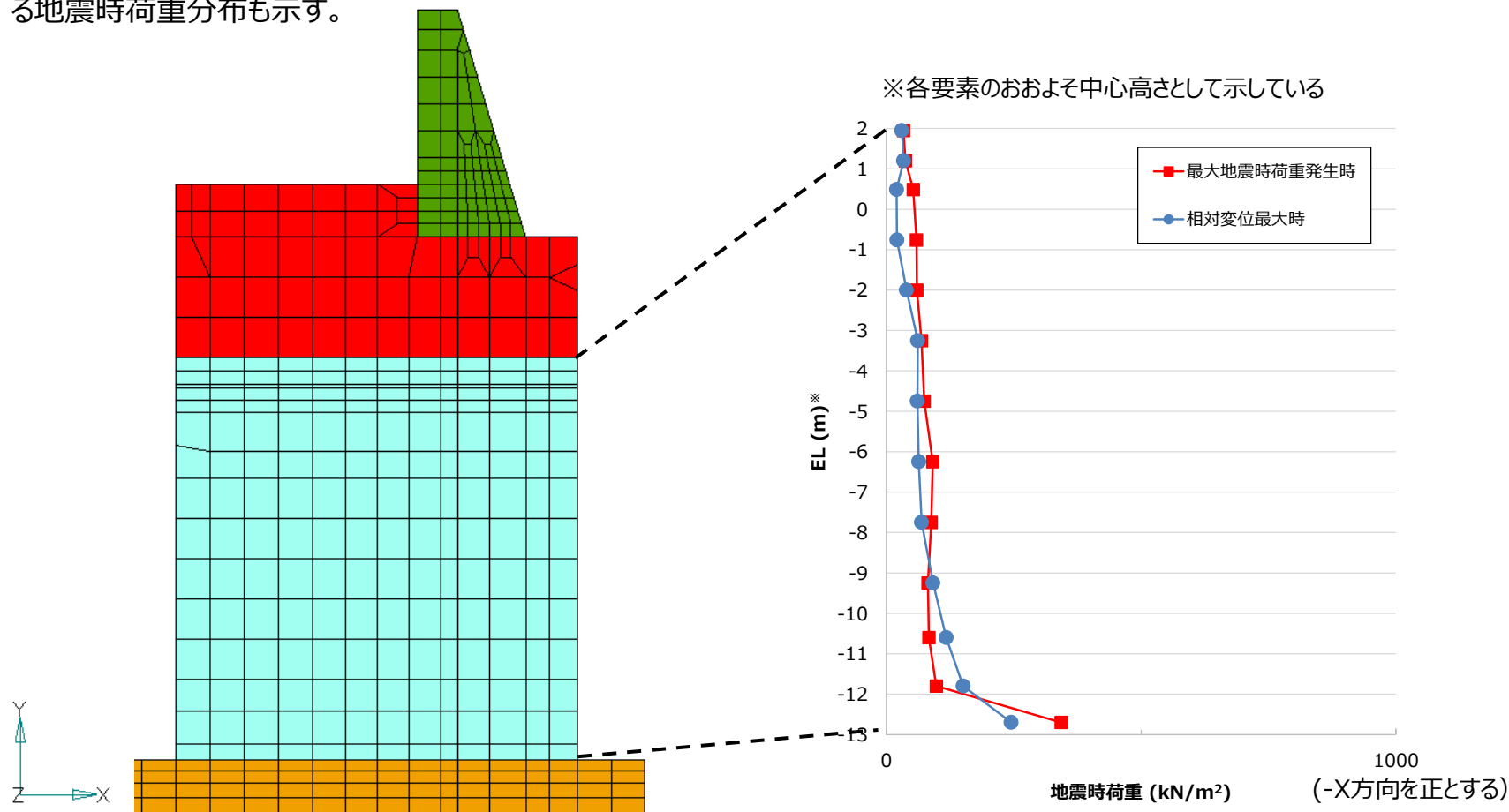
- 3次元静的FEM解析においてケーソンに載荷する荷重のうち、ケーソンの頂底板間の相対変形量が最大となる時刻における地震時荷重（地震時土圧、動水圧）を下図に示す。また、参考として、ケーソンに載荷する地震時荷重の最大値が発生する時刻における地震時荷重分布も示す。



10.5.1 防波壁（波返重力擁壁）の解析条件（8）地震時⑧

【ケーソンに載荷する地震時荷重（輪谷部）】

- 3次元静的FEM解析においてケーソンに載荷する荷重のうち、ケーソンの頂底板間の相対変形量が最大となる時刻における地震時荷重（地震時土圧、動水圧）を下図に示す。また、参考として、ケーソンに載荷する地震時荷重の最大値が発生する時刻における地震時荷重分布も示す。



3次元モデルのケーソンにおける地震時荷重入力位置
（輪谷部断面）

ケーソンに載荷する地震時荷重分布
（輪谷部断面）

中詰材の物性値及び境界条件

- 3次元静的 F E M解析における中詰材の物性値及び境界条件を下表に示す。なお、銅水砕スラグ及び砂については、剛性に関する物性値は期待しないが、重量は考慮する。

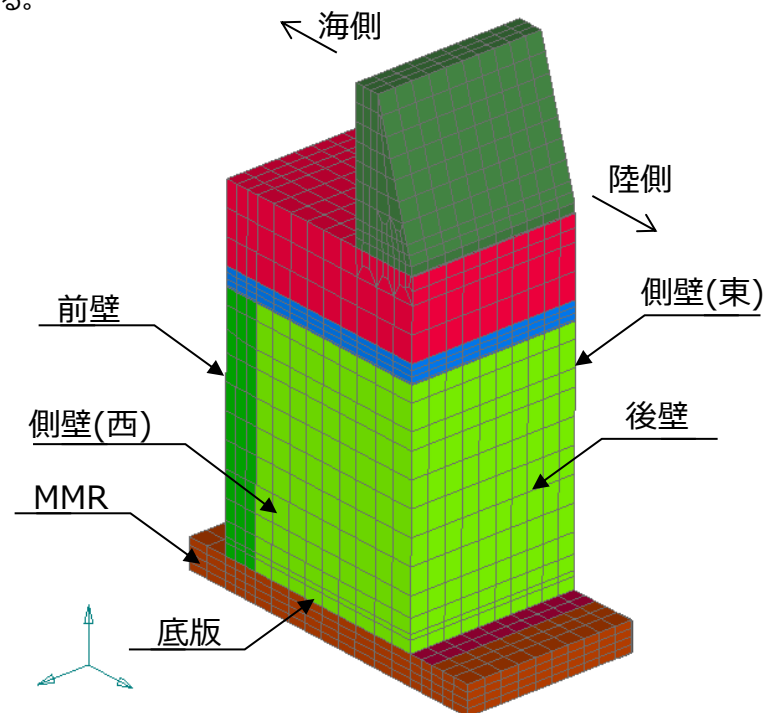
	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング率 (kN/m ²)	ポアソン比	境界条件
中詰コンクリート	22.6	2.2×10^7	0.20	前壁、側壁、後壁、 隔壁、底板、蓋コンクリートと 節点共有
銅水砕スラグ	22.6	1.0	0.33	
銅水砕スラグ（改良）※	22.6	9.7×10^6	0.33	
砂	20.0	1.0	0.30	
砂（改良）※	20.0	4.0×10^6	0.33	

※銅水砕スラグ（改良）及び砂（改良）の物性値は、詳細設計段階にて説明する。

境界条件

- ケーソンの3次元モデルにおける境界条件を下表に示す。

部位	境界条件	備 考
前壁	拘束なし	地震時荷重を載荷
側壁（東）	対称条件	ケーソン奥行方向を半分としているため
側壁（西）	拘束なし	—
後壁	拘束なし	地震時荷重を載荷
底板	拘束なし	MMRと節点共有
MMR	固定条件	—



解析の目的（静的解析）

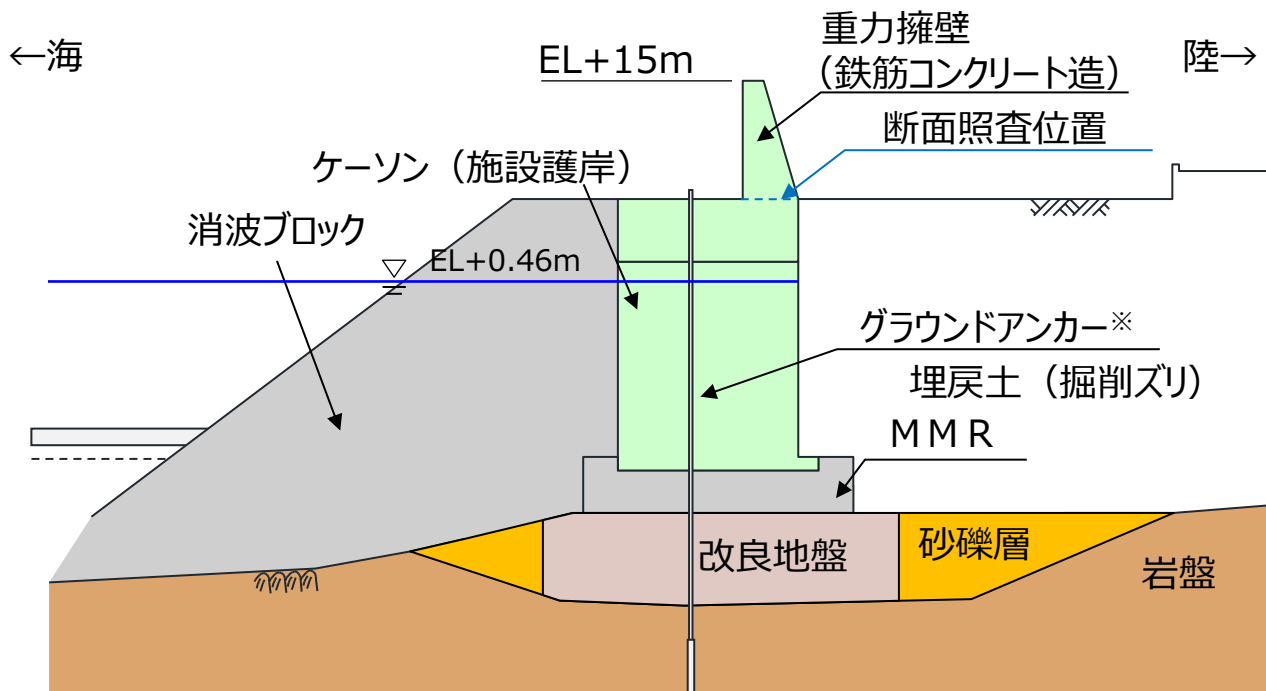
- 防波壁の静的挙動評価（津波時）

荷重の考慮

- 津波防波壁の部材照査は、押波の荷重作用時における波返壁の基部に発生する断面力を計算する。

潮位の設定

- 津波荷重の算定潮位EL+0.46mとする。
- 詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ、保守性を確認のうえ、設定する。



※ 防波壁（波返重力擁壁）は、グラウンドアンカーの効果을期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

地下水位概要図（津波時）

荷重及び荷重の組合せ

■ 津波時の静的解析に用いる荷重の組合せを以下に示す。

検討 ケース	常時荷重					短期荷重				
	自重	積雪荷重	風荷重	土圧	水圧	地震荷重	余震荷重	津波荷重	漂流物衝突荷重	動水圧
地震時	○	—※	—※	○	○	—	—	○	○	—

■ 津波荷重

※ 津波時の積雪荷重及び風荷重については、影響が軽微のため考慮しない。

津波波圧は敷地高以上については入力津波高さの1/2を浸水深として朝倉式により算定し、敷地高以下については入力津波高さに基づき谷本式により津波波圧を設定する方針としているが、構造成立性検討にあたっては、ケーソンの評価を実施するため、入力津波高さを高潮ハザードの裕度を参照した津波高さEL+12.6mとし、静水面との差の1/2を入射津波の静水圧上の高さ（振幅）として、谷本式により算定し、擁壁の海側から作用させる。

$$\eta^* = 3.0 \times a_1$$

η^* ：静水面上の波圧作用高さ(m)

a_1 ：入射津波の静水圧上の高さ（振幅）(m)

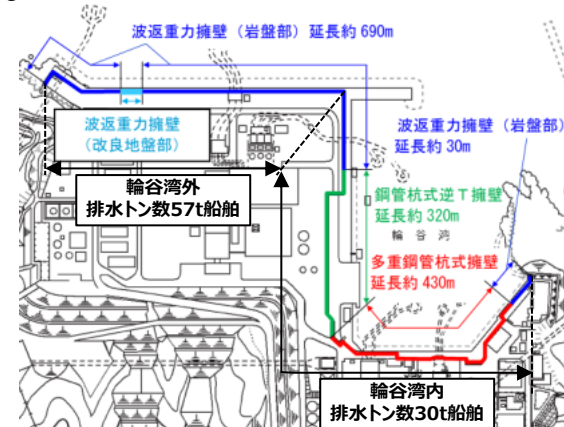
$$P_1 = 2.2 \times \rho g \times a_1$$

P_1 ：静水面における波圧強度(kN/m²)

ρg ：海水の単位体積重量(kN/m³)

$$P_u = P_1$$

P_u ：前面下端における揚圧力(kN/m²)



対象漂流物の設定

■ 漂流物衝突荷重

漂流物衝突荷重については、追加実施した発電所沿岸及び沖合での漁船の操業実績調査も踏まえた漂流物評価結果等に基づき、詳細設計段階において設定するが、構造成立性検討にあたっては、輪谷湾外及び湾内の防波壁各構造形式に対して影響を与える可能性のある最大規模の船舶を考慮し、以下のとおり設定する。

・輪谷湾外の防波壁に対しては、沖合で操業する最大規模の排水トン数57t船舶、輪谷湾内の防波壁に対しては、湾内で当社が管理して作業する最大規模の排水トン数30t船舶が到達することを仮定し、改良地盤部（②-②断面）において排水トン数57t船舶を、輪谷部（④-④断面）において排水トン数30t船舶を対象漂流物と設定し、道路橋示方書式（下式）を用いて算定する。

・流速はいずれも10m/sと設定する。

$$P = 0.1 \times W \times v$$

P ：漂流物衝突荷重 (kN/m²)

W ：対象漂流物重 (kN)

v ：流速 (m/s)

照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
重力擁壁	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造性能照査編 2002年制定
	津波時	静的解析			

応力度照査

コンクリートについては，許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca} と曲げ圧縮応力度 σ_c との比，および許容せん断応力度 τ_a とせん断応力度 τ との比がそれぞれ1以上となることを確認する。

鉄筋については，許容引張応力度 σ_{sa} と引張応力度 σ_s との比が1以上となることを確認する。

【コンクリート】

【鉄筋】

$$\frac{\sigma_{ca}}{\sigma_c} \geq 1$$

σ_{ca} : 許容曲げ応力度 (N/mm²)
 σ_c : 曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

$$\frac{\sigma_{sa}}{\sigma_s} \geq 1$$

σ_{sa} : 許容引張応力度 (N/mm²)
 σ_s : 引張応力度 (N/mm²)

$$\frac{\tau_a}{\tau} \geq 1$$

τ_a : 許容せん断応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)

照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
ケーソン （各部材 に対して）	地震時	3次元静的FEM解析	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造性能照査編， 2002年制定
	津波時				

応力度照査

コンクリートについては，許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca} と曲げ圧縮応力度 σ_c との比，および許容せん断応力度 τ_a とせん断応力度 τ との比がそれぞれ1以上となることを確認する。

鉄筋については，許容引張応力度 σ_{sa} と引張応力度 σ_s との比が1以上となることを確認する。

【コンクリート】

【鉄筋】

$$\frac{\sigma_{ca}}{\sigma_c} \geq 1$$

σ_{ca} : 許容曲げ応力度 (N/mm²)
 σ_c : 曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

$$\frac{\sigma_{sa}}{\sigma_s} \geq 1$$

σ_{sa} : 許容引張応力度 (N/mm²)
 σ_s : 引張応力度 (N/mm²)

$$\frac{\tau_a}{\tau} \geq 1$$

τ_a : 許容せん断応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)

- 防波壁（波返重力擁壁）（地盤改良部）のうち、重力擁壁の地震時における最小安全率時刻での照査結果を以下に示す。
- 重力擁壁に厳しい損傷モード（曲げ，せん断照査の最小安全率時刻）を想定しても，構造成立性が確保されることを確認した。

【重力擁壁】

■ 照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
重力擁壁	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書， 構造性能照査編， 2002年制定

■ 短期許容応力度に対する照査（最小安全率時）

評価部位	照査項目	地震動	時刻(s)	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		最小安全率 (許容応力／発生応力)	判定 (> 1.0)
重力擁壁	曲げ・軸力	S s -D	10.89	曲げ圧縮応力度 σ_c	2.4	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	7.50	OK
			10.89	引張応力度 σ_s	102.6	許容引張応力度 σ_{sa}	323	3.14	OK
	せん断		34.42	せん断応力度 τ	0.36	許容せん断応力度 τ_a	0.90	2.50	OK

- 防波壁（波返重力擁壁）（地盤改良部）のうち、重力擁壁の津波時における照査結果を以下に示す。
- 津波時においても、構造成立性が確保されることを確認した。

【重力擁壁】

■ 照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
重力擁壁	津波時	静的解析	曲げせん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書， 構造性能照査編， 2002年制定

■ 短期許容応力度に対する照査

評価部位	照査項目	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		最小安全率 (許容応力／ 発生応力)	判定 (> 1.0)
重力擁壁	曲げ・軸力	曲げ圧縮応力度 σ_c	4.2	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	4.28	OK
		引張応力度 σ_s	178.8	許容引張応力度 σ_{sa}	323	1.80	OK
	せん断	せん断応力度 τ	0.35	許容せん断応力度 τ_a	0.90	2.57	OK

- 防波壁（波返重力擁壁）（地盤改良部）のうち、ケーソンの照査項目，許容限界を以下に示す。
- 地盤改良部のケーソンについては，詳細設計段階において実施する照査の結果を踏まえ，中詰材の改良範囲及び仕様を適切に設定して必要な剛性を確保し，ケーソンの構造部材について津波防護施設としての性能を保持させる設計とする。
- なお，本構造成立性資料においては，地震時の照査結果を示し，津波時の照査結果は詳細設計段階において説明する。

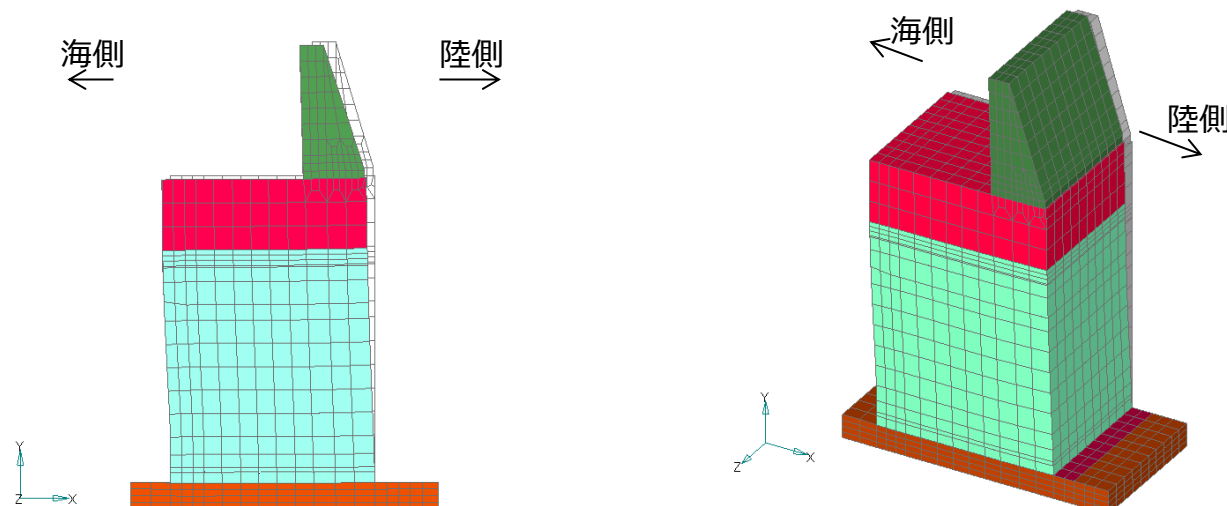
【ケーソン】

- 照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
前壁	地震時	3次元静的 F E M解析	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造性能照査編，2002年制定 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1999年改定
	津波時				
側壁	地震時				
	津波時				
後壁	地震時				
	津波時				
隔壁	地震時				
	津波時				
底版	地震時				
	津波時				
フーチング	地震時				
	津波時				

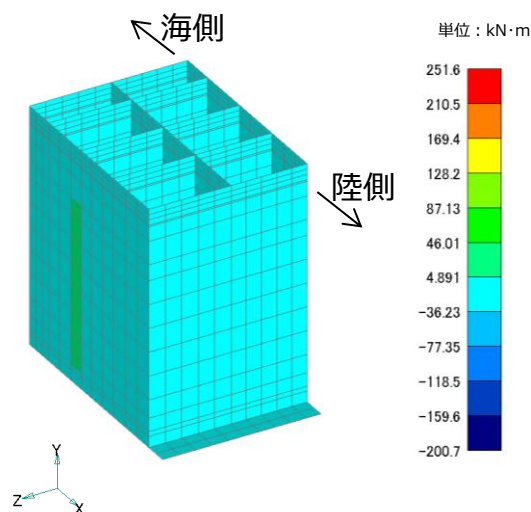
【解析結果（地盤改良部）】

■ ケーソン（陸側1列目の中詰材改良による対策を考慮）の変形図及び断面力図（曲げモーメントコンター図及びせん断力コンター図）を以下に示す。

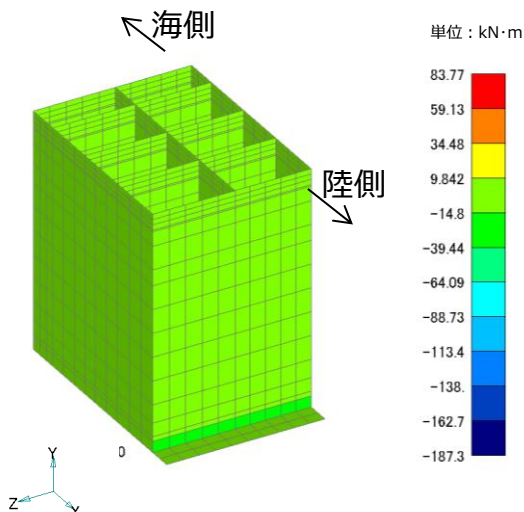


変形図※

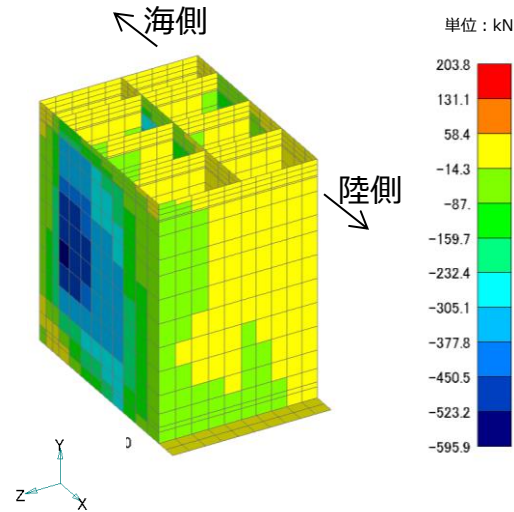
※実際の変形量の500倍にスケールアップ



曲げモーメントコンター図(水平方向)



曲げモーメントコンター図(鉛直方向)



せん断力コンター図

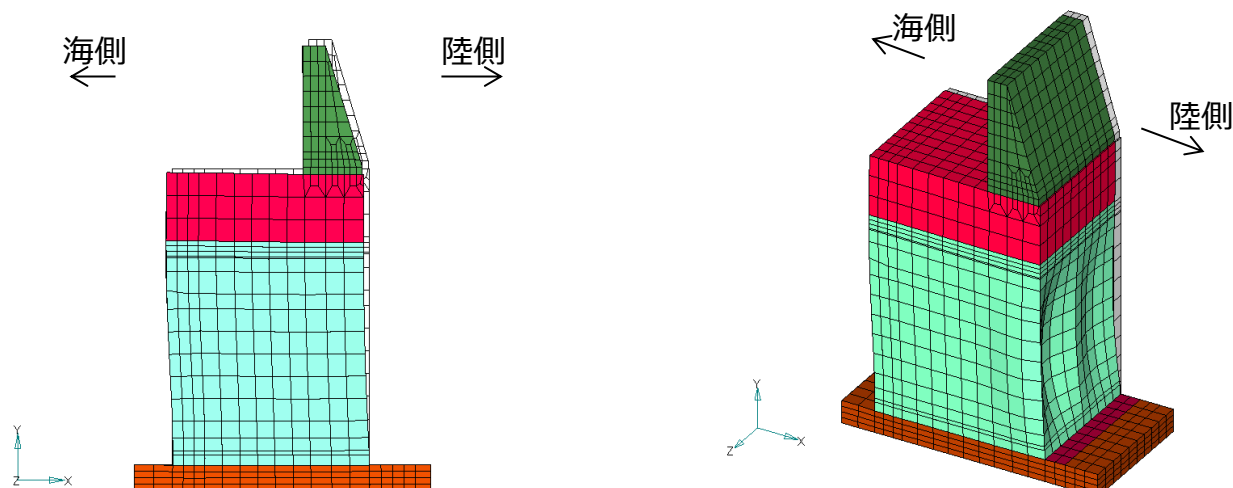
- 地震時における地盤改良部のケーソン（陸側1列目の中詰材改良による対策を考慮）の照査結果を以下に示しており、構造成立性が確保されることを確認した。

※：単位(kN)

評価 部位	照査 項目	地震動	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		最小安全率 (許容／発生)	判定 (＞1.0)
前壁	曲げ・ 軸力	S s -D	曲げ圧縮応力度σ _c	1.10	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	12.27	OK
			引張応力度σ _s	68.93	許容引張応力度σ _{sa}	294	4.26	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.18	許容せん断応力度τ _a	0.675	3.75	OK
側壁	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	0.82	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	16.46	OK
			引張応力度σ _s	38.72	許容引張応力度σ _{sa}	294	7.59	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.07	許容せん断応力度τ _a	0.675	9.64	OK
			面内せん断力N _{xy} ※	270.48	許容面内せん断力Q _a ※	555	2.05	OK
後壁	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	1.75	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	7.71	OK
			引張応力度σ _s	103.21	許容引張応力度σ _{sa}	294	2.84	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.23	許容せん断応力度τ _a	0.675	2.93	OK
隔壁	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	5.18	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	2.60	OK
			引張応力度σ _s	115.40	許容引張応力度σ _{sa}	294	2.54	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.46	許容せん断応力度τ _a	0.675	1.46	OK
			面内せん断力N _{xy} ※	109.26	許容面内せん断力Q _a ※	277.5	2.53	OK
底板	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	0.70	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	19.28	OK
			引張応力度σ _s	25.81	許容引張応力度σ _{sa}	294	11.39	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.15	許容せん断応力度τ _a	0.675	4.50	OK
フーチング	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	0.41	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	32.92	OK
			引張応力度σ _s	25.85	許容引張応力度σ _{sa}	294	11.37	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.06	許容せん断応力度τ _a	0.675	11.25	OK

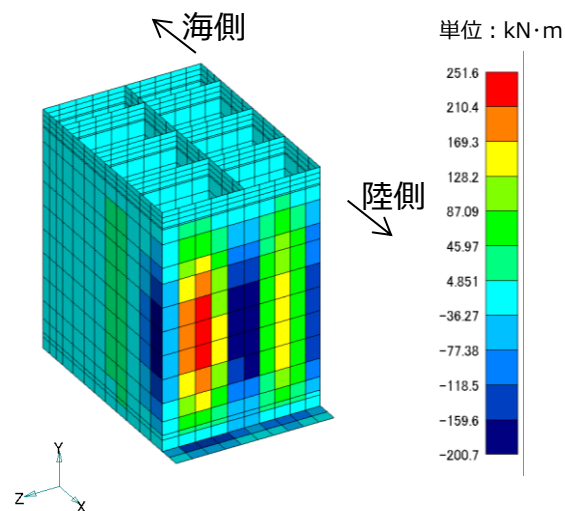
【解析結果】

■ ケーソン（中詰材改良無し）の変形図及び断面力図（曲げモーメントコンター図及びせん断力コンター図）を以下に示す。

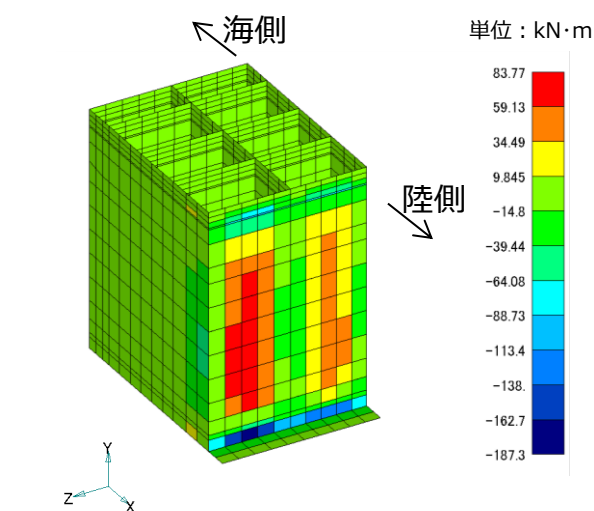


変形図※

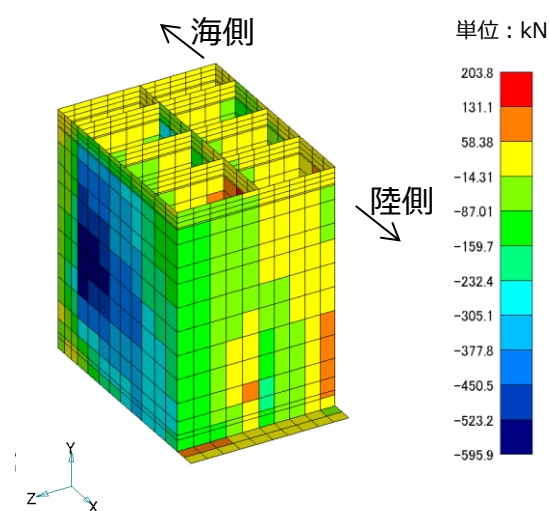
※実際の変形量の500倍にスケールアップ



曲げモーメントコンター図(水平方向)



曲げモーメントコンター図(鉛直方向)



せん断力コンター図

10. 防波壁の構造についての構造成立性 10.5 防波壁（波返重力擁壁）の構造成立性検討
10.5.2 構造成立性検討結果（断面：地盤改良部）（参考）ケーソン（中詰材改良無し）②

第888回審査会合
資料2-1 P.114 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

144

【部材照査結果】

- ケーソン（中詰材改良無し）への発生断面力に対する各構造部材の照査結果を以下に示す。
■ 前壁，隔壁及び底版は発生応力が許容応力を下回るものの，後壁及び側壁の一部で上回ることを確認した。 ※：単位(kN)

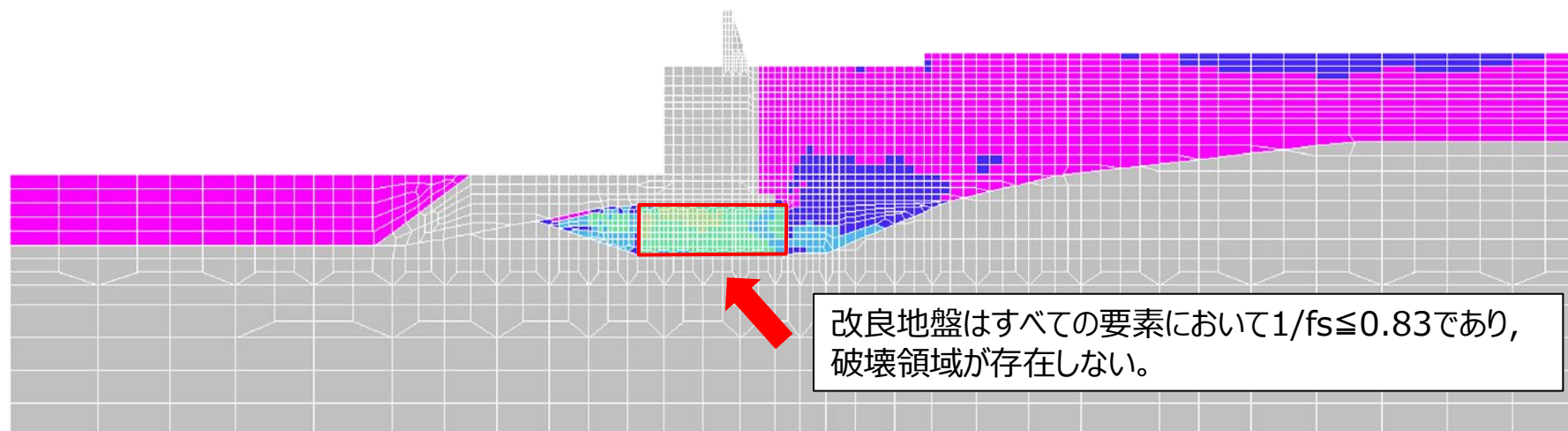
評価 部位	照査 項目	地震動	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		最小安全率 (許容／発生)	判定 (> 1.0)
前壁	曲げ・ 軸力	S s -D	曲げ圧縮応力度σ _c	1.04	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	12.98	OK
			引張応力度σ _s	65.27	許容引張応力度σ _{sa}	294	4.50	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.18	許容せん断応力度τ _a	0.675	3.75	OK
側壁	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	10.60	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	1.27	OK
			引張応力度σ _s	501.23	許容引張応力度σ _{sa}	294	0.58	NG
	せん断		せん断応力度τ	0.22	許容せん断応力度τ _a	0.675	3.06	OK
			面内せん断力N _{xy} ※	297.93	許容面内せん断力Q _a ※	555	1.86	OK
後壁	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	14.50	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	0.93	NG
			引張応力度σ _s	856.89	許容引張応力度σ _{sa}	294	0.34	NG
	せん断		せん断応力度τ	1.16	許容せん断応力度τ _a	0.675	0.58	NG
隔壁	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	5.79	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	2.33	OK
			引張応力度σ _s	120.04	許容引張応力度σ _{sa}	294	2.44	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.59	許容せん断応力度τ _a	0.675	1.14	OK
			面内せん断力N _{xy} ※	121.20	許容面内せん断力Q _a ※	277.5	2.28	OK
底版	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	1.19	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	11.34	OK
			引張応力度σ _s	45.47	許容引張応力度σ _{sa}	294	6.46	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.23	許容せん断応力度τ _a	0.675	2.93	OK
フーチング	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	1.85	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	7.29	OK
			引張応力度σ _s	115.40	許容引張応力度σ _{sa}	294	2.54	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.15	許容せん断応力度τ _a	0.675	4.50	OK

- 改良地盤の地震時における全時刻での局所安全率の逆数($1/f_s$)の分布を以下に示す。
- 改良地盤は、局所安全率の逆数 $1/f_s$ がすべての要素で $1/f_s \leq 0.83$ ($f_s \geq 1.2$) であり、破壊領域が存在しないことから、すべり安全率1.2以上を確保できる。

照査項目，許容限界

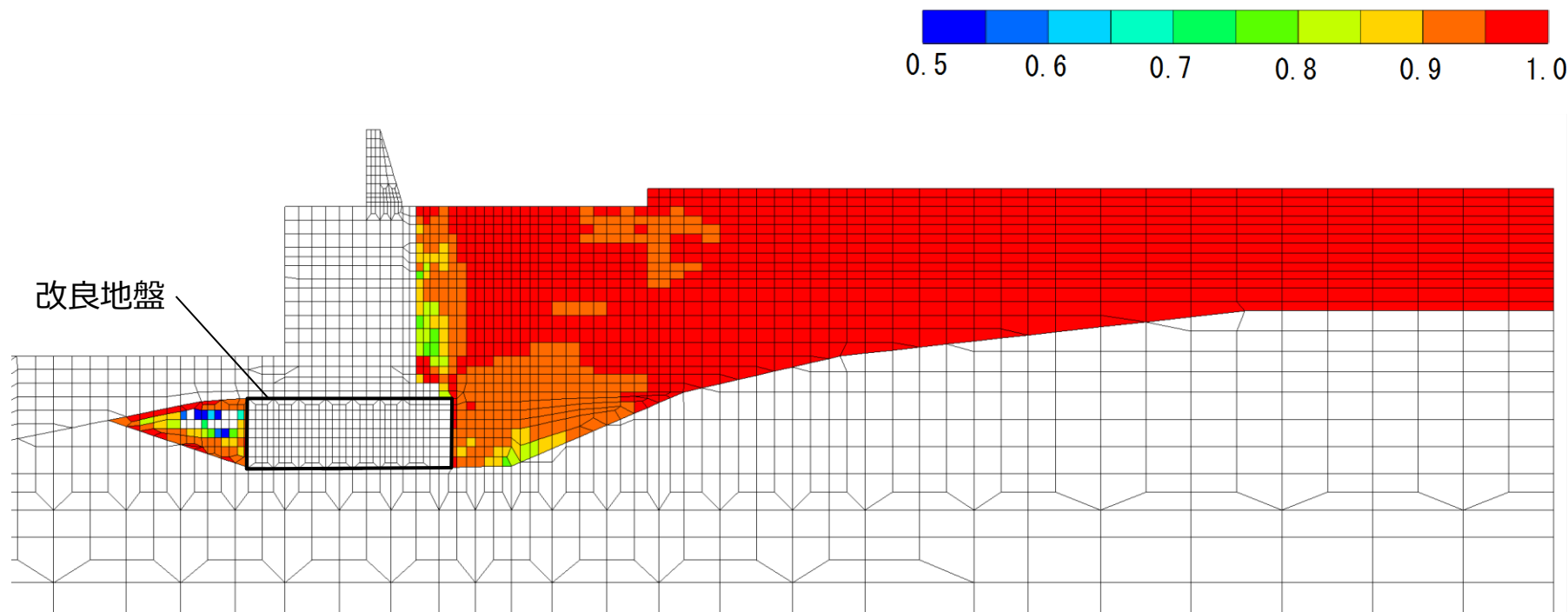
評価部位	検討ケース※	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド

※ 地盤改良部への影響は地震時に比べて小さいと考えられるため、津波時の検討を省略する。



全時刻での局所安全率の逆数の分布

- 防波壁（波返重力擁壁）（地盤改良部）の地震時における全時刻での過剰間隙水圧比の分布を以下に示す。
- 防波壁周辺の地盤のうち、地下水位以深の埋戻土（掘削ズリ）、砂礫層において液状化をしていることを確認した。
- 詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ保守性を確認のうえ、地下水位を設定する。



過剰間隙水圧比分布図（時刻歴最大値）※

※過剰間隙水圧比0.95を超えている層で液状化している。

- 防波壁（波返重力擁壁）（輪谷部）のうち、重力擁壁の地震時における最小安全率時刻での照査結果を以下に示す。
- 重力擁壁に厳しい損傷モード（曲げ、せん断照査の最小安全率時刻）を想定しても、構造成立性が確保されることを確認した。

【重力擁壁】

■ 照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
重力擁壁	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書， 構造性能照査編， 2002年制定

■ 短期許容応力度に対する照査（最小安全率時）

評価部位	照査項目	地震動	時刻(s)	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		最小安全率 (許容応力／発生応力)	判定 (> 1.0)
重力擁壁	曲げ・軸力	S s -D	34.30	曲げ圧縮応力度 σ_c	1.2	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	15.00	OK
			34.30	引張応力度 σ_s	42.9	許容引張応力度 σ_{sa}	323	7.52	OK
	せん断		13.23	せん断応力度 τ	0.18	許容せん断応力度 τ_a	0.90	5.00	OK

- 防波壁（波返重力擁壁）（輪谷部）のうち，重力擁壁の津波時における照査結果を以下に示す。
- 津波時においても，構造成立性が確保されることを確認した。

【重力擁壁】

■ 照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
重力擁壁	津波時	静的解析	曲げせん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書， 構造性能照査編， 2002年制定

■ 短期許容応力度に対する照査

評価部位	照査項目	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		最小安全率 (許容応力／ 発生応力)	判定 (> 1.0)
重力擁壁	曲げ・軸力	曲げ圧縮応力度 σ_c	2.7	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	6.66	OK
		引張応力度 σ_s	118.6	許容引張応力度 σ_{sa}	323	2.72	OK
	せん断	せん断応力度 τ	0.23	許容せん断応力度 τ_a	0.90	3.91	OK

10.5.3 構造成立性検討結果（断面：輪谷部）（3）ケーソン①

- 防波壁（波返重力擁壁）（輪谷部）のうち，ケーソンの照査項目及び許容限界を以下に示す。
- 輪谷部のケーソンについては，詳細設計段階において実施する照査の結果を踏まえ，中詰材の改良範囲及び仕様を適切に設定して必要な剛性を確保し，ケーソンの構造部材について津波防護施設としての性能を保持させる設計とする。
- なお，本構造成立性資料においては，地震時の照査結果を示し，津波時の照査結果は詳細設計段階において説明する。

【ケーソン】

■ 照査項目，許容限界

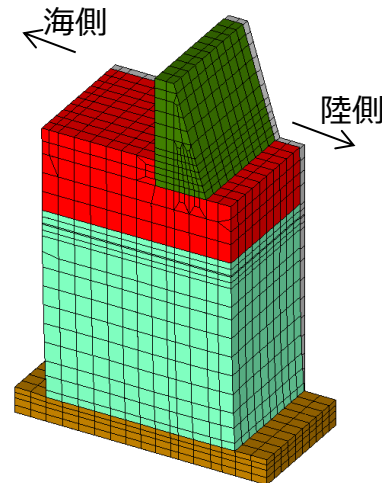
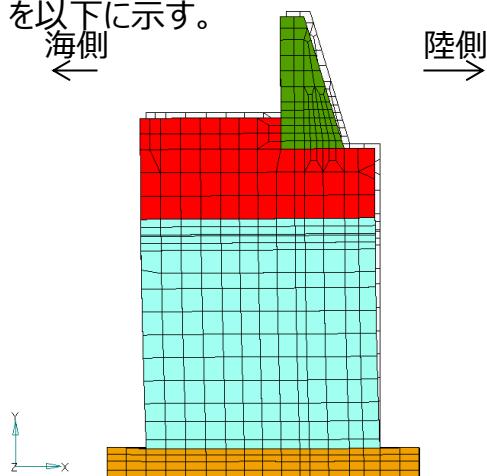
評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
前壁	地震時	3次元静的 F E M解析	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造性能照査編， 2002年制定 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説， 1999年改定
	津波時				
側壁	地震時				
	津波時				
後壁	地震時				
	津波時				
隔壁	地震時				
	津波時				
底版	地震時				
	津波時				

10. 防波壁の構造についての構造成立性 10.5 防波壁（波返重力擁壁）の構造成立性検討

10.5.3 構造成立性検討結果（断面：輪谷部）（4）ケーソン②

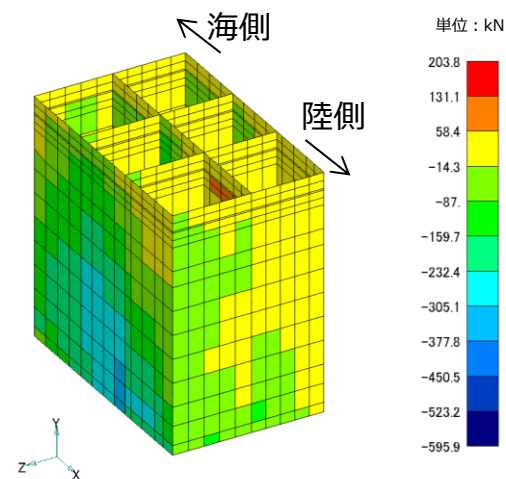
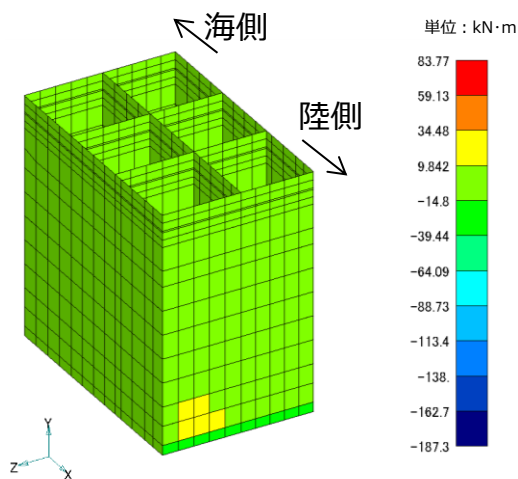
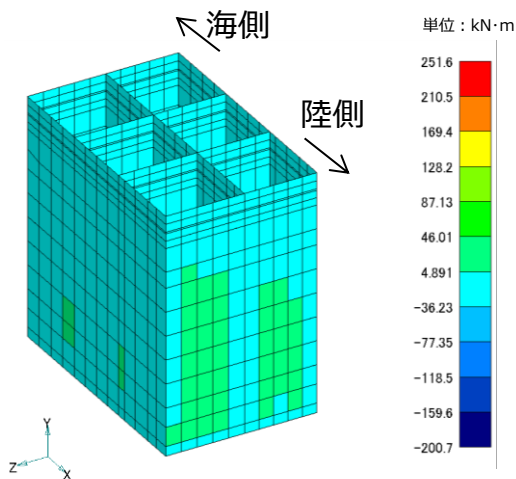
【解析結果（輪谷部）】

■ ケーソン（陸側1列目及び海側1列目の中詰材改良による対策を考慮）の変形図及び断面力図（曲げモーメントコンター図及びせん断力コンター図）を以下に示す。



変形図※

※実際の変形量の500倍にスケールアップ



曲げモーメントコンター図(水平方向)

曲げモーメントコンター図(鉛直方向)

せん断力コンター図

10. 防波壁の構造についての構造成立性 10.5 防波壁（波返重力擁壁）の構造成立性検討

10.5.3 構造成立性検討結果（断面：輪谷部）（5）ケーソン③

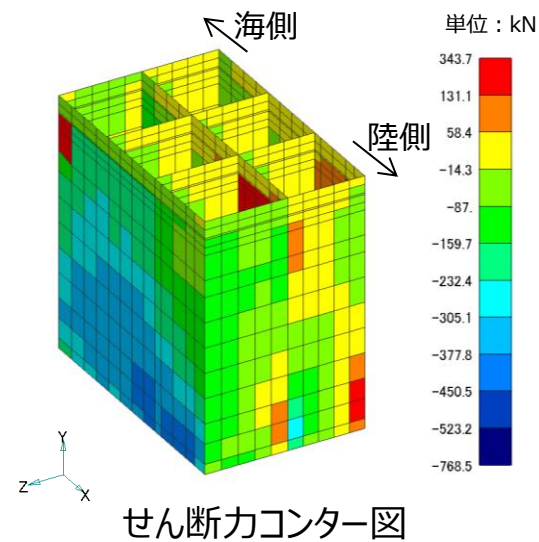
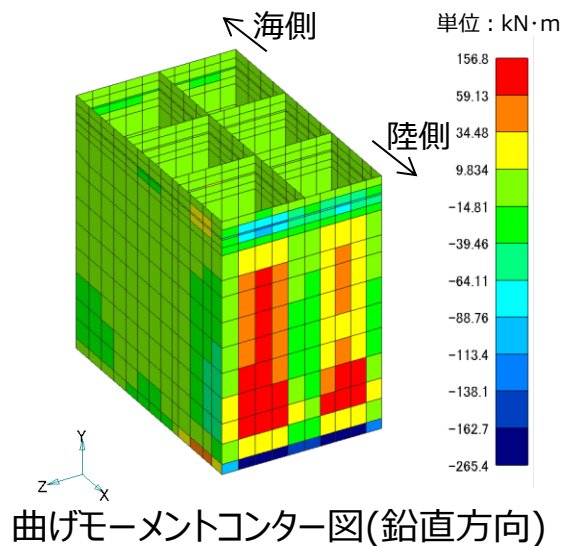
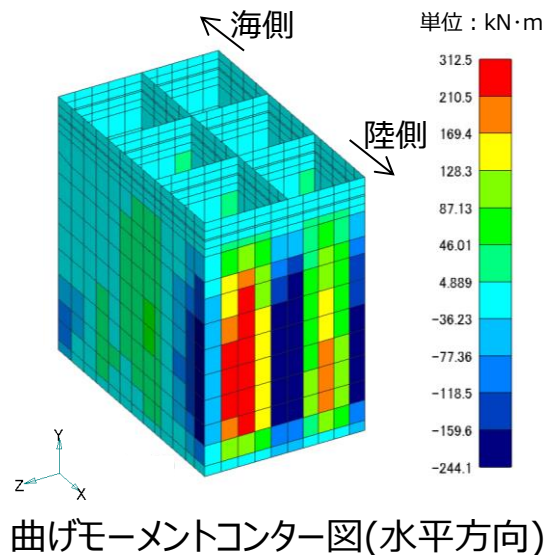
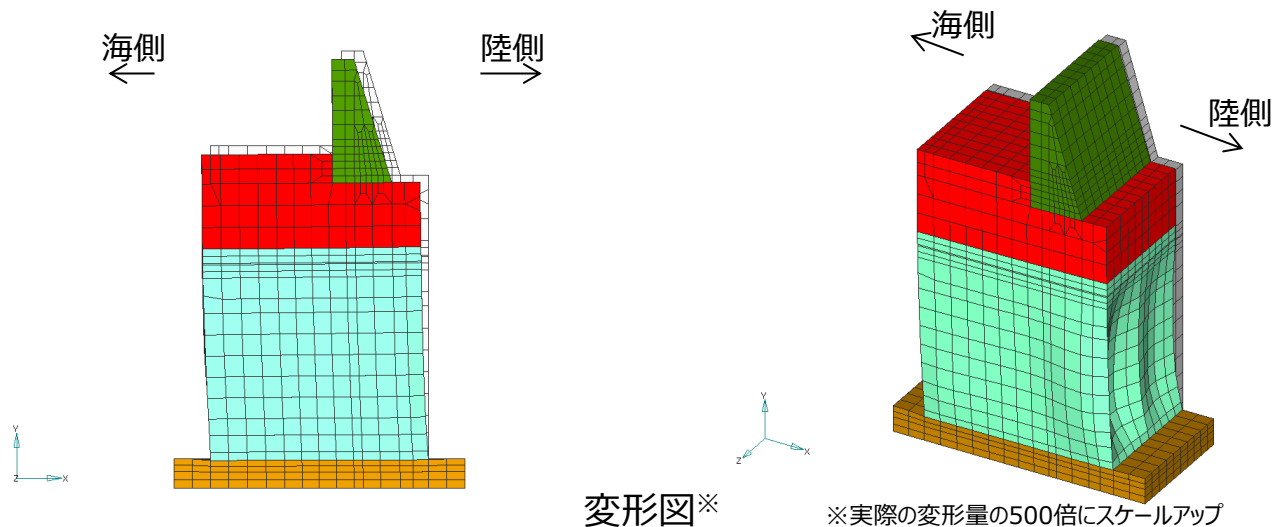
- 地震時における輪谷部のケーソン（陸側1列目及び海側1列目の中詰材改良による対策を考慮）の照査結果を以下に示しており、構造成立性が確保されることを確認した。

※：単位(kN)

評価 部位	照査 項目	地震動	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		最小安全率 (許容／発生)	判定 (＞1.0)
前壁	曲げ・ 軸力	S S-D	曲げ圧縮応力度σ _c	1.69	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	7.98	OK
			引張応力度σ _s	72.44	許容引張応力度σ _{sa}	294	4.05	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.57	許容せん断応力度τ _a	0.675	1.18	OK
側壁	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	0.77	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	17.53	OK
			引張応力度σ _s	32.00	許容引張応力度σ _{sa}	294	9.18	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.11	許容せん断応力度τ _a	0.675	6.13	OK
			面内せん断力N _{xy} ※	160.51	許容面内せん断力Q _a ※	555	3.45	OK
後壁	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	1.77	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	7.62	OK
			引張応力度σ _s	74.05	許容引張応力度σ _{sa}	294	3.97	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.37	許容せん断応力度τ _a	0.675	1.82	OK
隔壁	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	3.04	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	4.44	OK
			引張応力度σ _s	36.75	許容引張応力度σ _{sa}	294	8.00	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.52	許容せん断応力度τ _a	0.675	1.29	OK
			面内せん断力N _{xy} ※	68.43	許容面内せん断力Q _a ※	277.5	4.05	OK
底板	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	1.27	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	10.62	OK
			引張応力度σ _s	56.06	許容引張応力度σ _{sa}	294	5.24	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.16	許容せん断応力度τ _a	0.675	4.21	OK

【解析結果】

■ ケーソン（中詰材改良無し）の変形図及び断面力図（曲げモーメントコンター図及びせん断力コンター図）を以下に示す。



10.5.3 構造成立性検討結果（断面：輪谷部）（参考）ケーソン（中詰材改良無し）②

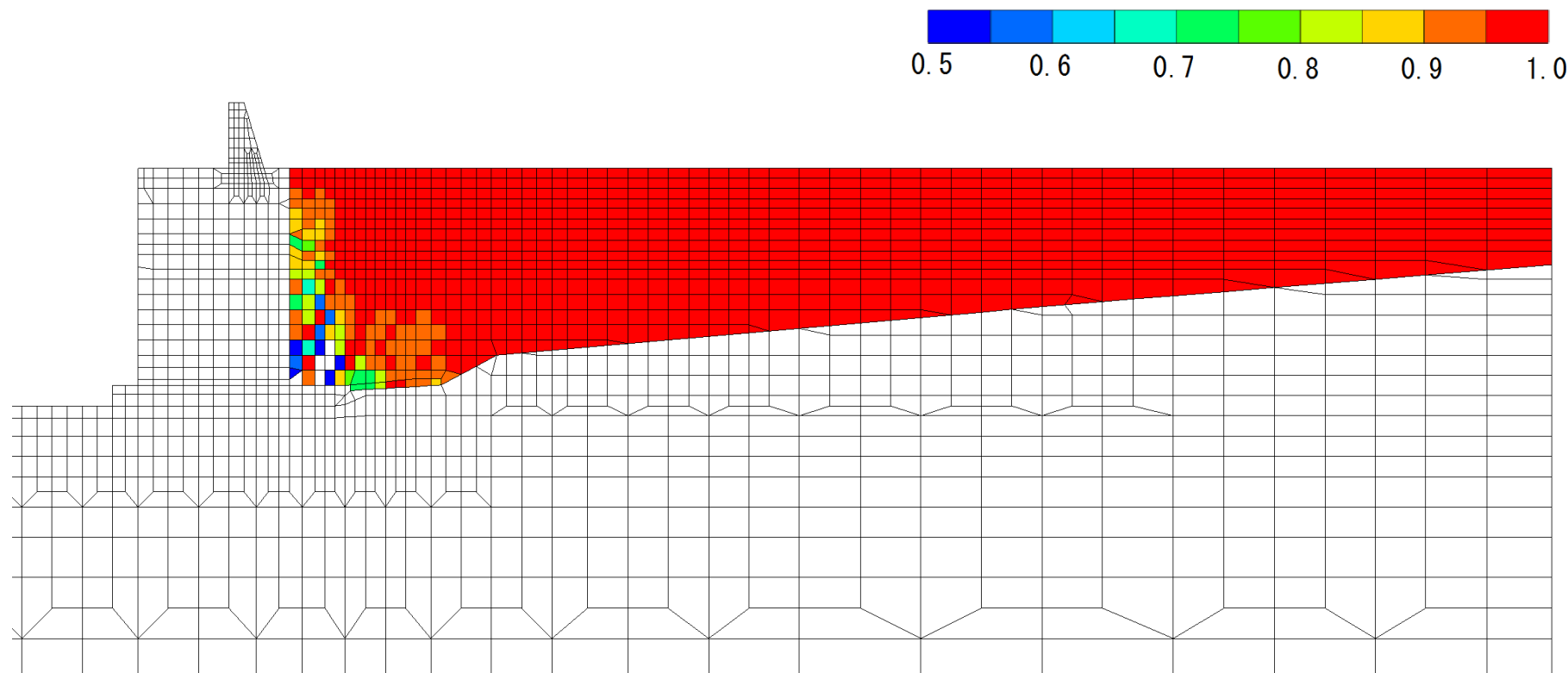
【部材照査結果】

- ケーソン（中詰材改良無し）への発生断面力に対する各構造部材の照査結果を以下に示す。
- 側壁及び隔壁は発生応力が許容応力を下回るものの、前壁、後壁及び底版の一部で上回ることを確認した。

※：単位(kN)

評価 部位	照査 項目	地震動	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		最小安全率 (許容／発生)	判定 (> 1.0)
前壁	曲げ・ 軸力	S s -D	曲げ圧縮応力度σ _c	7.51	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	1.79	OK
			引張応力度σ _s	380.34	許容引張応力度σ _{sa}	294	0.77	NG
	せん断		せん断応力度τ	2.25	許容せん断応力度τ _a	0.675	0.30	NG
側壁	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	8.57	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	1.57	OK
			引張応力度σ _s	283.09	許容引張応力度σ _{sa}	294	1.03	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.33	許容せん断応力度τ _a	0.675	2.04	OK
			面内せん断力N _{xy} ※	206.14	許容面内せん断力Q _a ※	555	2.69	OK
後壁	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	13.89	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	0.97	NG
			引張応力度σ _s	612.38	許容引張応力度σ _{sa}	294	0.48	NG
	せん断		せん断応力度τ	1.68	許容せん断応力度τ _a	0.675	0.40	NG
隔壁	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	4.57	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	2.95	OK
			引張応力度σ _s	70.74	許容引張応力度σ _{sa}	294	4.15	OK
	せん断		せん断応力度τ	0.31	許容せん断応力度τ _a	0.675	2.17	OK
			面内せん断力N _{xy} ※	192.13	許容面内せん断力Q _a ※	277.5	1.44	OK
底版	曲げ・ 軸力		曲げ圧縮応力度σ _c	7.04	許容曲げ圧縮応力度σ _{ca}	13.5	1.91	OK
			引張応力度σ _s	311.33	許容引張応力度σ _{sa}	294	0.94	NG
	せん断		せん断応力度τ	0.94	許容せん断応力度τ _a	0.675	0.71	NG

- 防波壁（波返重力擁壁）（輪谷部）の地震時における全時刻での過剰間隙水圧比の分布を以下に示す。
- 防波壁周辺の地盤のうち、地下水位以深の埋戻土（掘削ズリ）において液状化をしていることを確認した。
- 詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ保守性を確認のうえ、地下水位を設定する。



過剰間隙水圧比分布図（時刻歴最大値）※

※過剰間隙水圧比0.95を超えている層で液状化している。

10.5.4 構造成立性検討結果（断面：東端部，西端部）（1）防波壁（波返重力擁壁）（東側端部）H鋼

- 防波壁防波壁（波返重力擁壁）（東側端部）のうち，H鋼の津波時における照査結果を以下に示す。
- 津波時及び地震時においても，構造成立性が確保されることを確認した。

【H鋼】

■ 照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
H鋼	津波時	静的解析	せん断	せん断応力度	港湾基準
	地震時				

■ せん断応力度に対する照査

評価部位	検討ケース	照査項目	せん断力Vd (kN/m)	せん断応力度Vsd (kN/m)	最小安全率 (せん断応力度 ／ せん断力)	判定 (> 1.0)
H鋼	津波時	せん断	744.71	2305.33	3.09	OK
	地震時		840.32	2305.33	2.74	OK

10.5.4 構造成立性検討結果（断面：東端部，西端部）（2）防波壁（波返重力擁壁）（西側端部）H鋼

- 防波壁防波壁（波返重力擁壁）（西側端部）のうち，H鋼の津波時における照査結果を以下に示す。
- 津波時及び地震時においても，構造成立性が確保されることを確認した。

【H鋼】

■ 照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
H鋼	津波時	静的解析	せん断	せん断応力度	港湾基準
	地震時				

■ せん断応力度に対する照査

評価部位	検討ケース	照査項目	せん断力Vd (kN/m)	せん断応力度Vsd (kN/m)	最小安全率 (せん断応力度 ／ せん断力)	判定 (> 1.0)
H鋼	津波時	せん断	1101.04	2095.76	1.90	OK
	地震時		840.32	2095.76	2.49	OK

10.6.1 浸透流解析の概要

第888回審査会合 資料2-2 P.87
加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

- 防波壁の止水性については、コンクリート壁、逆T擁壁、重力擁壁、止水目地等の施設で遮水を担保し、改良地盤で地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性の保持）する。
- そのうち、地盤中からの回り込みによる浸水防止（難透水性の保持）について、2次元浸透流解析により確認する。
- 地盤における改良地盤の割合が最も支配的となる鋼管杭式逆T擁壁を対象とし、保守的な条件により解析を実施する。

[検討条件]

《津波水位》

保守的な水位として防波壁高さ（EL15m）の津波を考慮

《解析手法》

2次元浸透流解析（非定常解析）

《計算時間》

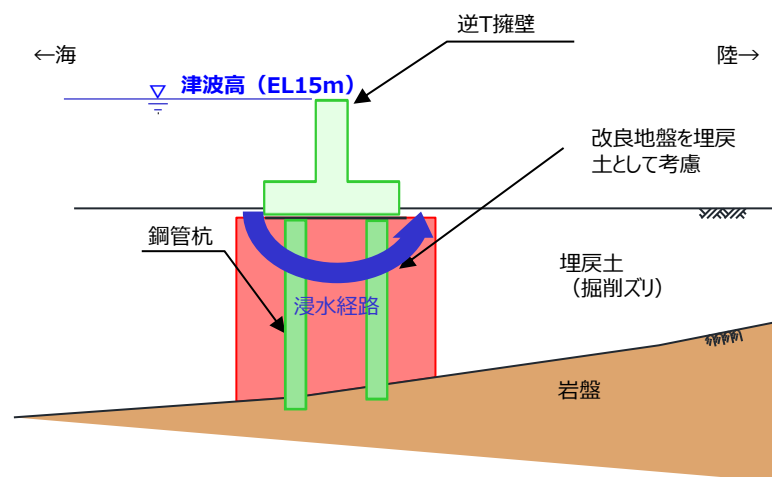
保守的な津波の継続時間※として計算時間を30分とする。

《初期水位》

EL+0.14m（構造成立性検討と同一の条件）

《透水係数》

透水係数は下表の通り、改良地盤部分については、周辺の埋戻土（掘削ズリ）と同一の透水係数を設定する。



解析条件の概要

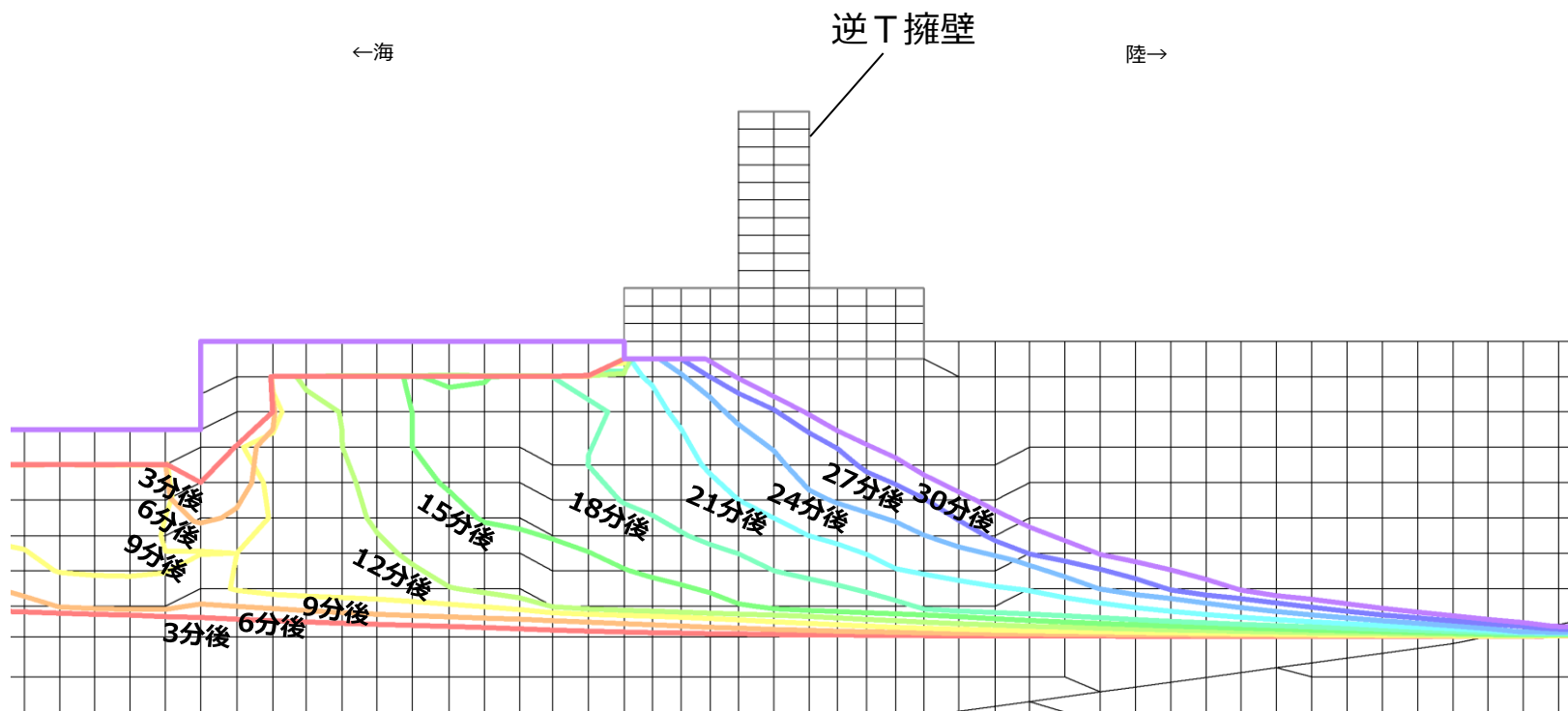
地盤材料	透水係数(m/s)	摘要
岩盤	1×10^{-5}	CL級岩盤と仮定
コンクリート	1×10^{-11}	
埋戻土	2×10^{-3}	
改良地盤	2×10^{-3}	埋戻土と仮定

※ 基準津波 1 の敷地前面における周期は約4分

10.6.2 浸透流解析の結果

第888回審査会合 資料2-2 P.88
加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

- 津波来襲より30分経過後においても、防波壁より敷地側に浸水は認められないことから、施設及び地盤を含む範囲について、保守的な条件により2次元浸透流解析を実施した場合においても、地盤中からの回り込みにより敷地が浸水するおそれはない。



2次元浸透流解析（非定常解析）結果

- 島根原子力発電所防波壁の設計方針に基づき、防波壁の構造成立性について確認した。
- 設置許可段階において、基本設計の成立性を確認するため、防波壁の基本構造が設置許可基準規則の各条文（第3条※¹、第4条、第5条）に適合する見通しであること（構造成立性）を示すため、地震時、津波時において損傷モードを想定しても構造成立性が確保されることを確認した。
- また、施設及び地盤を含む範囲の2次元浸透流解析を行い、地盤中から回り込みによる浸水が防止されること（難透水性の保持）を確認した。
- 以上の検討から、防波壁は要求性能を喪失せず、基本構造が設置許可基準規則の各条文（第4条、第5条）に適合する見通し（構造成立性）を確認した。
- なお、荷重等の評価条件は現時点のものであり、今後変更となった場合は設計に反映することとする※²。

※1 本資料は、主に第4条、第5条への適合性についてまとめている。第3条への適合性については、基礎地盤の安定性評価の審査において説明する。

※2 詳細設計段階で万一裕度が確保できなくなった場合には、追加の裕度向上対策の実施により対応する。