

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

(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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	EP-066改42 (説37) P48,49,57, 58
115		<ul style="list-style-type: none"> 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。 	P67,68
116		<ul style="list-style-type: none"> 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。 	P65, EP-066改42 (説37) P89,90
117		<ul style="list-style-type: none"> 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FEM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FEM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。 	EP-066改42 (説37) P69,72
118		<ul style="list-style-type: none"> 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。 	P16,23

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。（EP-066改42（説37）P48,49,57,58）

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。（P67,68）
- 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。（P65, EP-066改42（説37） P89,90）
- 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。（EP-066改42（説37） P69,72）

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。影響を及ぼす場合には、岩盤の破壊領域の分布に応じた水平抵抗の設定を行い、適切に施設評価を実施する方針とする。（P16,23）

目次 (1/2)

- 1. 概要
- 2. 津波防護対象施設..... 7
- 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..... 8
 - 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..... 10
 - 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 規制における要求機能.....11
 - 5. 3 周辺地質
 - 5. 4 設計方針..... 17
 - 5. 5 個別論点

目次 (2/2)

- 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 規制における要求機能..... 29
 - 6. 3 周辺地質
 - 6. 4 設計方針..... 35
 - 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 規制における要求機能..... 46
 - 7. 3 周辺地質
 - 7. 4 設計方針..... 53
 - 7. 5 個別論点..... 65
- 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..... 69
 - 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

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

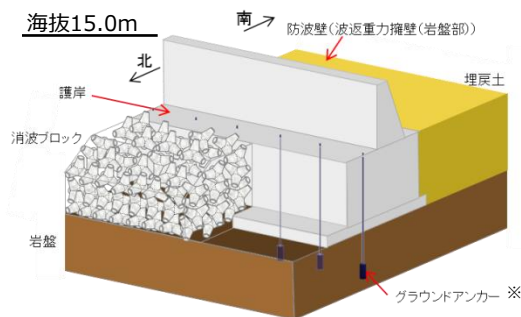
津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の平面配置

4. 防波壁設計に関する基本条件 4.1 防波壁の概要

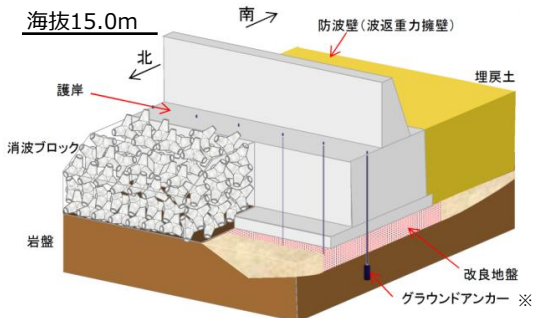
4.1.1 防波壁の構造型式

- 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。

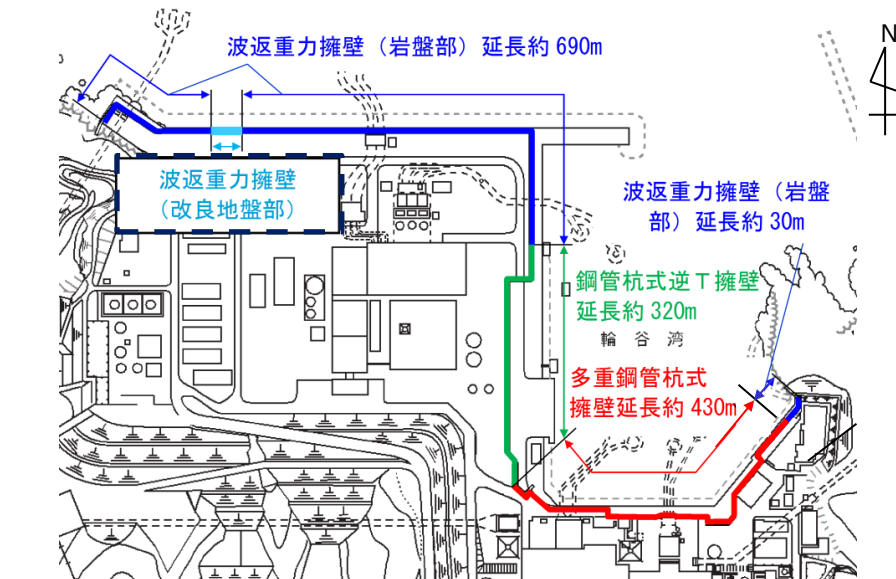
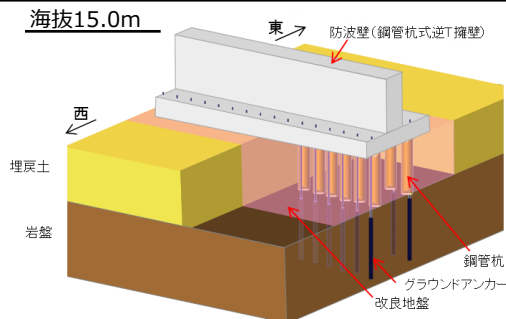
波返重力擁壁 (岩盤支持)



波返重力擁壁 (改良地盤部)



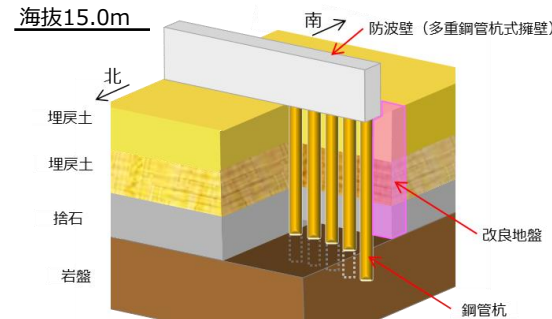
鋼管杭式逆T擁壁 (岩盤支持)



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을期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

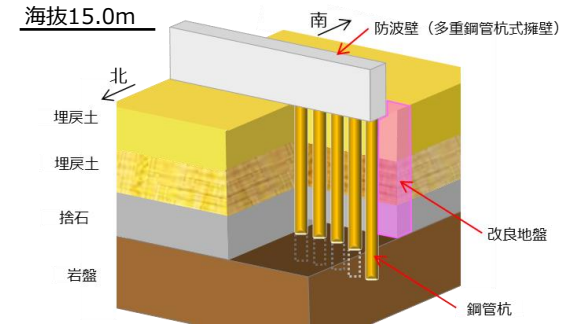
多重鋼管杭式擁壁 (岩盤支持)



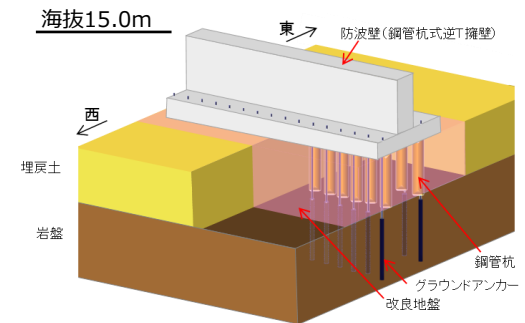
4. 防波壁設計に関する基本条件 4.1 防波壁の概要

4.1.2 防波壁の構造選定

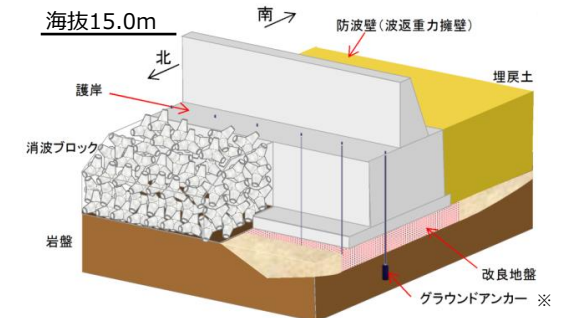
- 防波壁の構造選定の考え方を以下に示す。
- 多重鋼管杭式擁壁の構造選定
 - 1, 2号炉北側の施設護岸は基礎捨石上に設置しており, 1, 2号炉北側の施設護岸と発電所施設は近接し, 狭隘である。
 - 基礎を支持する岩盤の深さは, 最深約EL-14.5mである。
 - 敷地の制約と岩盤深さを考慮し, 鋼管杭による杭基礎構造を選定し, 設計した。なお, 上部工から伝達される荷重に耐える構造とするため, 大口径の鋼管杭を多重化した。
 - 上部工は下部から連続する鋼管杭 (最内管) を被覆する鉄筋コンクリート造とした。
- 鋼管杭式逆T擁壁の構造選定
 - 3号炉東側の一部の施設護岸は基礎捨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

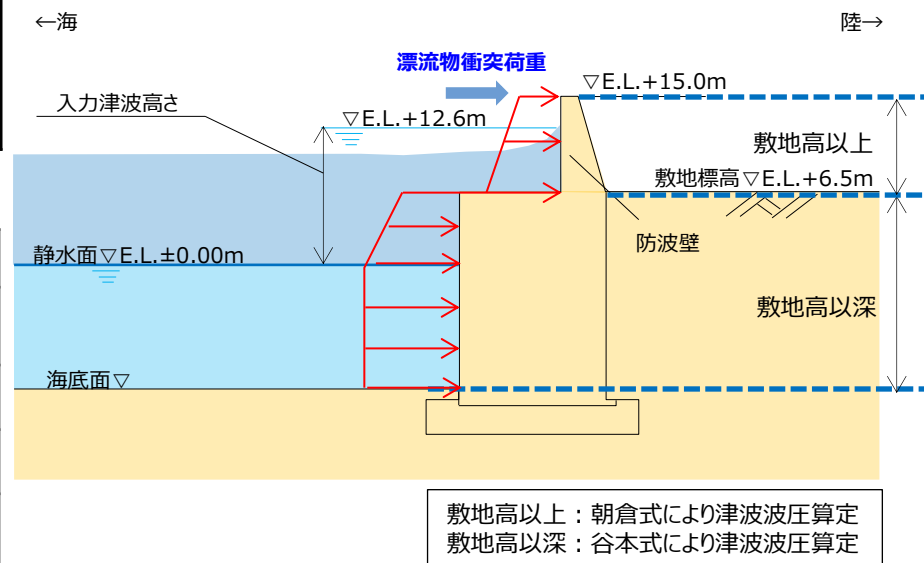
4.5 検討ケース及び荷重の組合せ

- 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
重畳時 (津波 + 余震時)	常時荷重 + 津波荷重 + 余震荷重 (海域活断層に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個別に評価を実施する)

※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上で作用させる



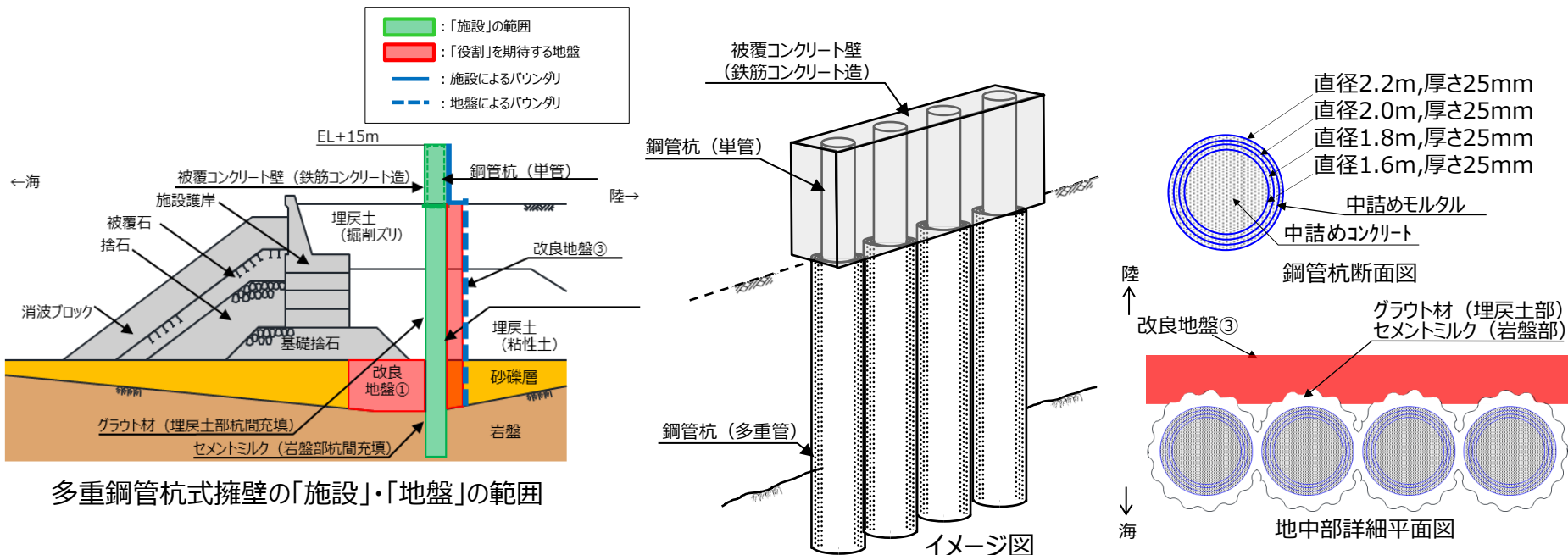
津波時の荷重イメージ図(波返重力擁壁)

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上で、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上で、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

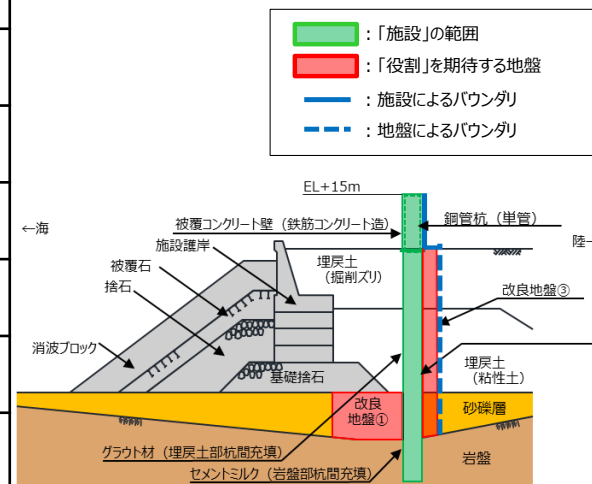
5.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（2 / 5）

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

- 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）

- 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）

- 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

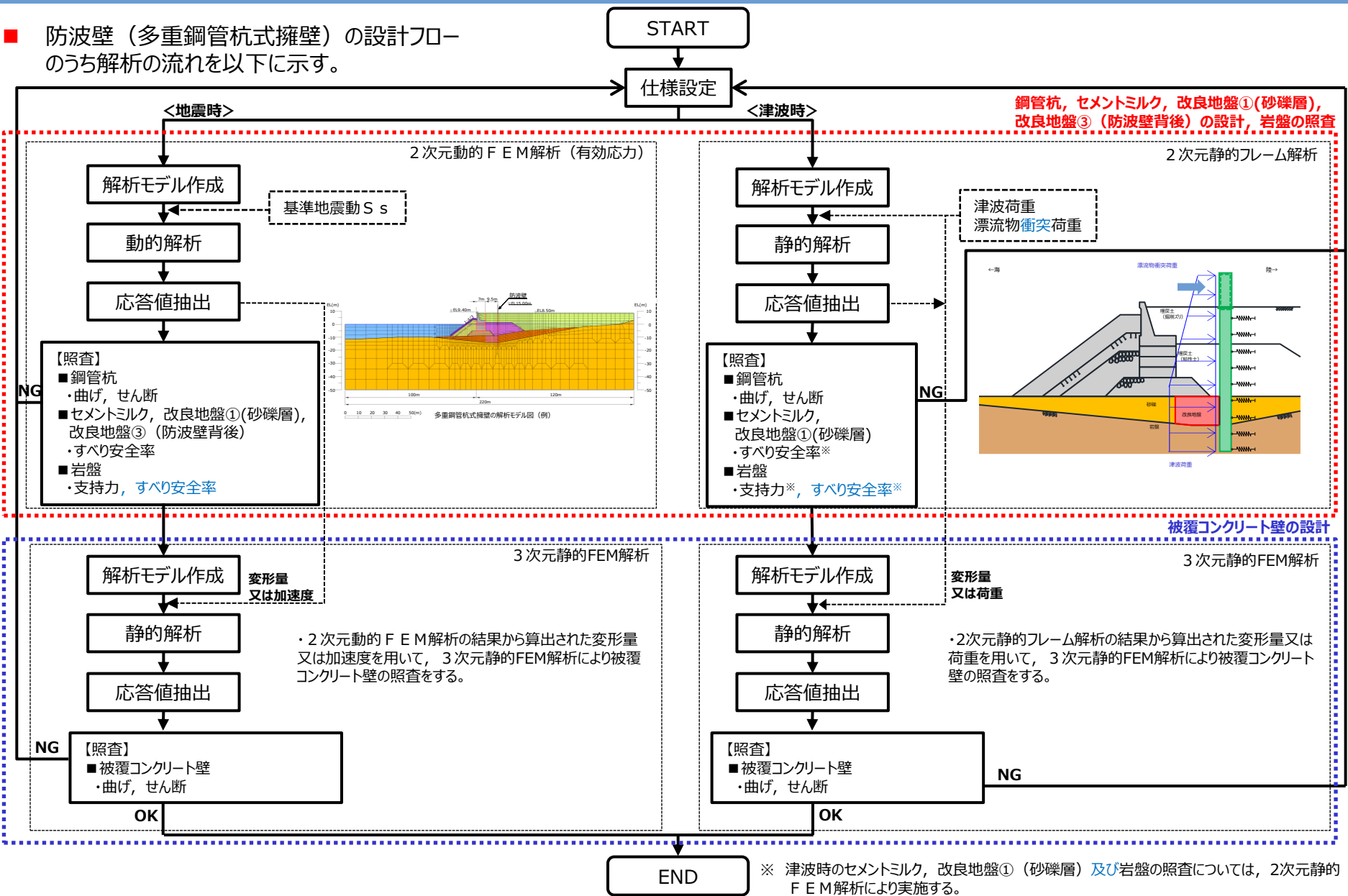
■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、津波の発生に伴い、津波防護対象設備がその安全性又は重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないような設計とする。

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)	<p>[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没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直しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容として以下に例示する。</p> <p>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)及びそれぞれの適用性。 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。</p>	<p>・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が要求される。</p> <p>・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おそれがないよう、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。</p>	<p>・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、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体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。</p> <p>・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。</p> <p>・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。</p> <p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s に対し、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。</p> <p>⑥防波壁の杭周りに、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。</p>	<p>・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湧上波及び積雪、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+1.1、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防波壁の杭周りに改良地盤（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には、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ビード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。</p> <p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s 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。</p> <p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、津波時におけ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とを構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>・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、被覆コンクリート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、被覆コンクリート壁間に設置するゴムジョイント及びビード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。また、ゴムジョイント及びビードジョイントが止水性能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を確認する。</p> <p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、津波時におけ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とを構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、津波時におけ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とを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	<p>・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。</p> <p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、津波時におけ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とを構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、津波時におけ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とを構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、津波時におけ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とを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	<p>鋼管杭</p> <p>被覆コンクリート壁</p> <p>止水目地</p> <p>止水目地の鋼製部材</p> <p>セメントミルク</p> <p>改良地盤①(砂礫層)</p> <p>改良地盤③(防波壁背後)</p> <p>岩盤</p>	<p>曲げ・せん断</p> <p>曲げ・せん断</p> <p>変形・水圧</p> <p>曲げ・せん断</p> <p>すべり安全率</p> <p>すべり安全率</p> <p>すべり安全率</p> <p>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)</p>	<p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p> <p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p> <p>有意な漏れに至る変形・水圧</p> <p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p> <p>すべり破壊し、変形抑制機能や難透水性を喪失する状態</p> <p>すべり破壊し、変形抑制機能や難透水性を喪失する状態</p> <p>すべり破壊し、難透水性を喪失する状態</p> <p>鉛直支持機能を喪失する状態 鋼管杭周辺岩盤のせん断及び引張破壊領域が連続していない</p>	<p>「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(せん断)とする。</p> <p>「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。</p> <p>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き許容変形量及び許容水圧以下とする。</p> <p>「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。</p> <p>「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。</p> <p>「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。</p> <p>「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。</p>	

5.4.1 設計フロー

■ 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. 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（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. 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（2）被覆コンクリート壁

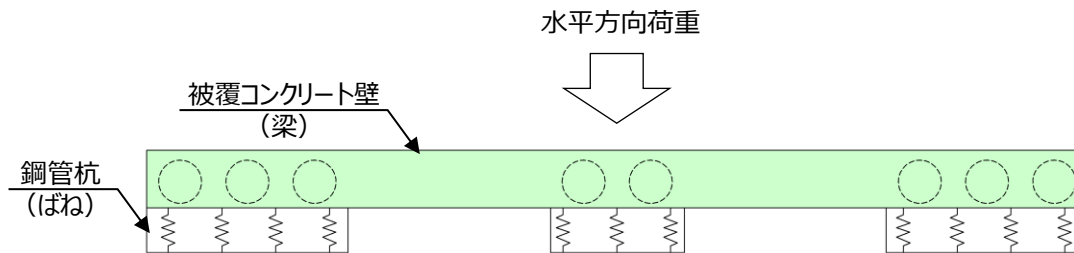
被覆コンクリート壁の役割と設計方針概要

- 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。

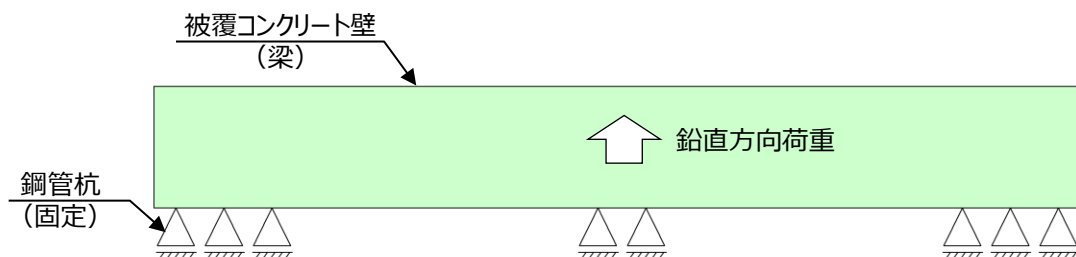
評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
被覆 コンクリート 壁	地震時	3次元静的FEM解析	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造性能照査編， 2002年制定
	津波時				

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）

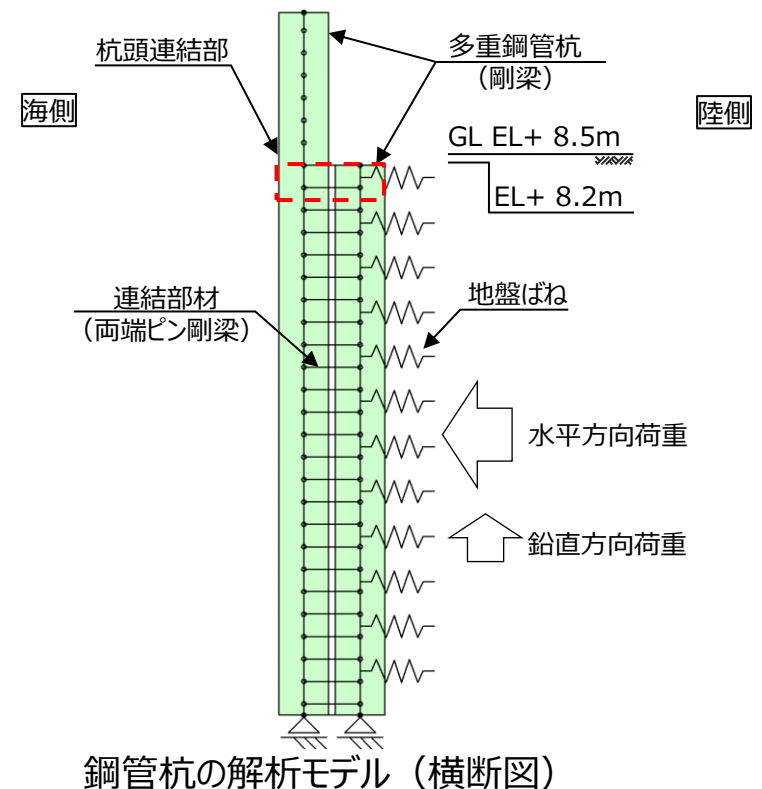


(b) 鉛直方向荷重に対する解析モデル（縦断図）

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. 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（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。影響を及ぼす場合には、岩盤の破壊領域の分布に応じた水平抵抗の設定を行い、適切に施設評価を実施する方針とする。

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. 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（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FEM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

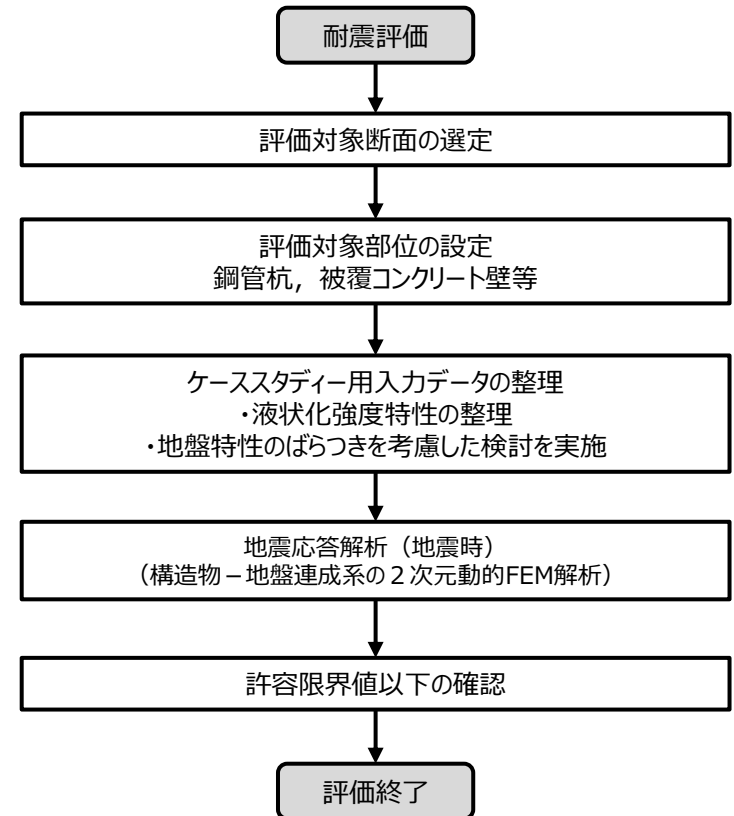
- 鋼管杭及び被覆コンクリート壁等の照査
- 止水目地の変形量
- 地震時応答（変形量を含む）

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上で，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。

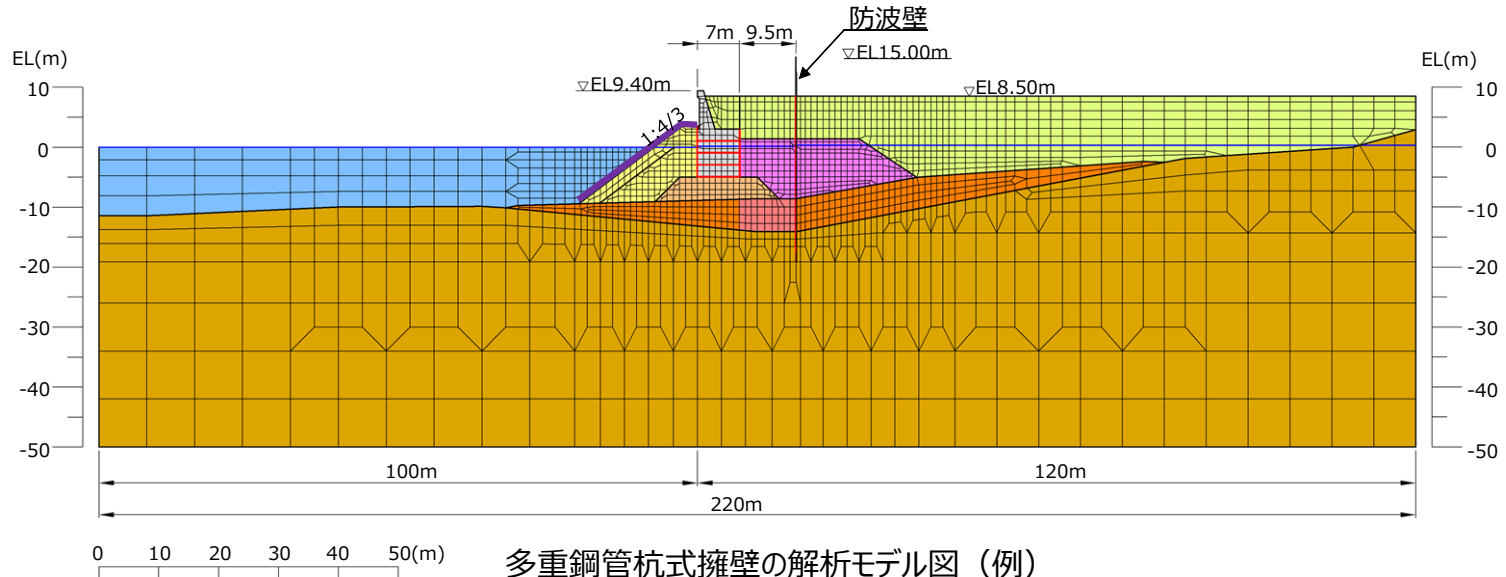
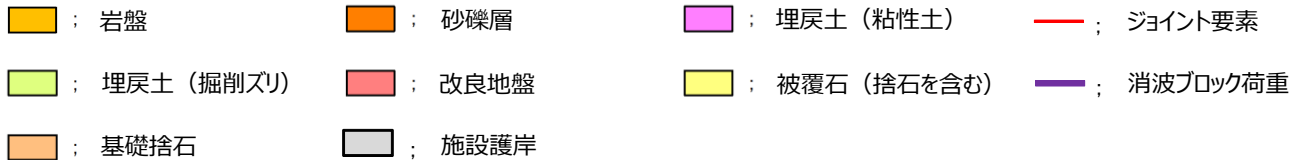


5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.2 設計方針の概要（7）地震時の検討(二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

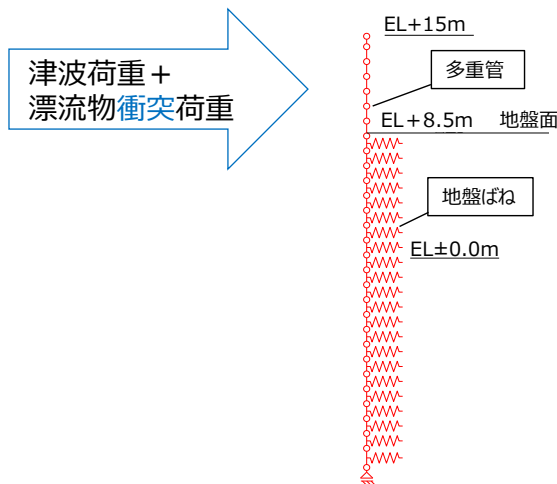
- 鋼管杭の照査
- 止水目地の変形量

モデル化方針

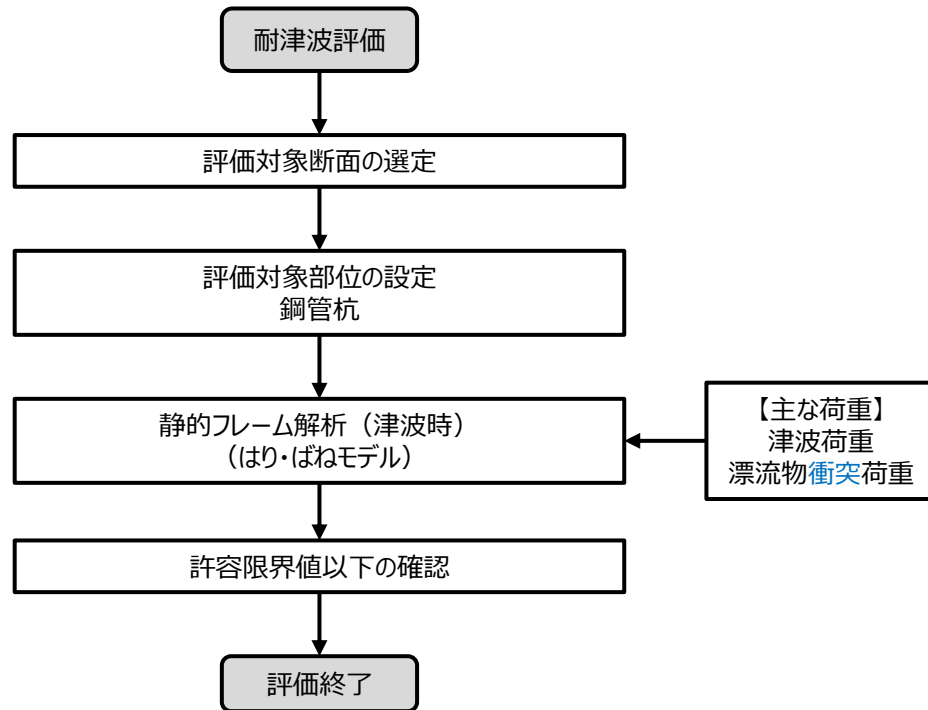
- 鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。
- 岩盤は地盤ばねでモデル化する。

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)

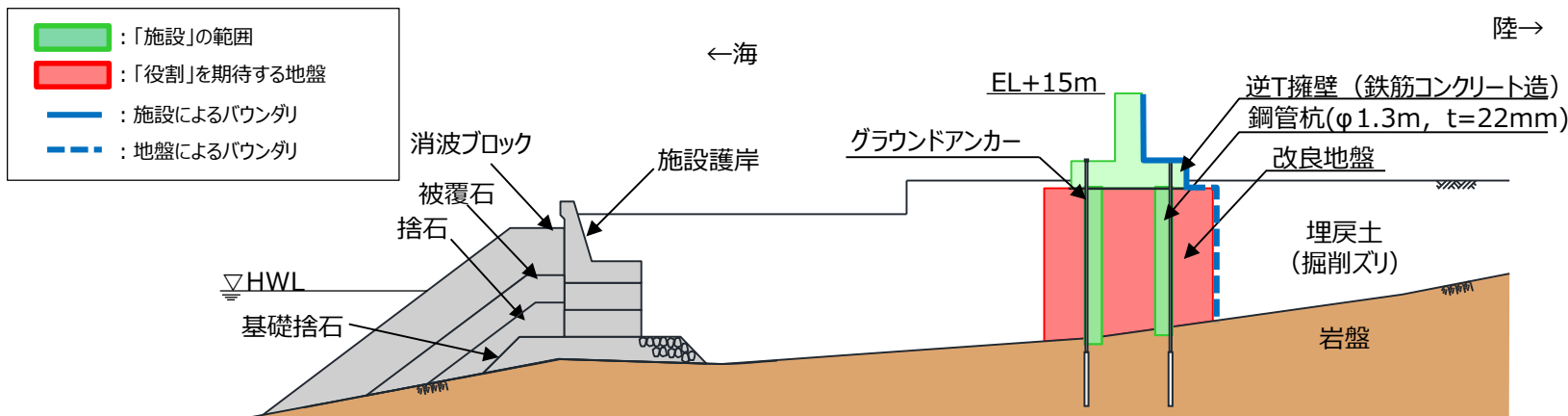


6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（1 / 5）

- 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上で，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上で，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

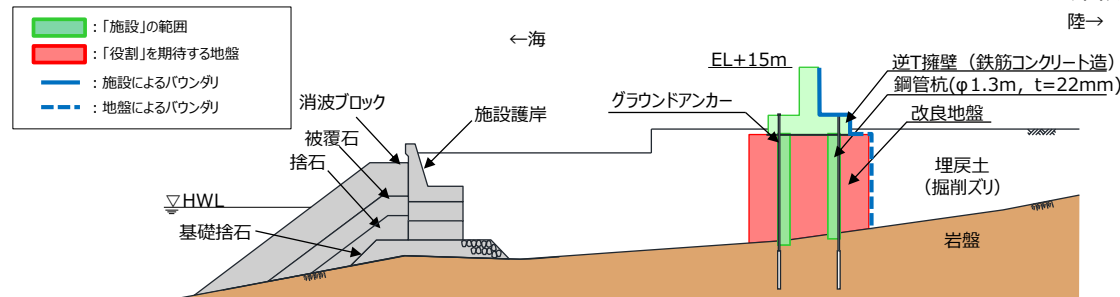
6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（2 / 5）

- 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、鋼管杭があることによる悪影響の有無について評価を実施する。
- 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感じないために、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感じないために、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感じないために、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※	-	-	逆T擁壁を支持するため、改良地盤が逆T擁壁の接地圧により破壊しないこと。	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	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。	-	-

※ 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）

- 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	-	-	すべり安全率※6 （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）※4 （1.5以上）	-	-

※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

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。

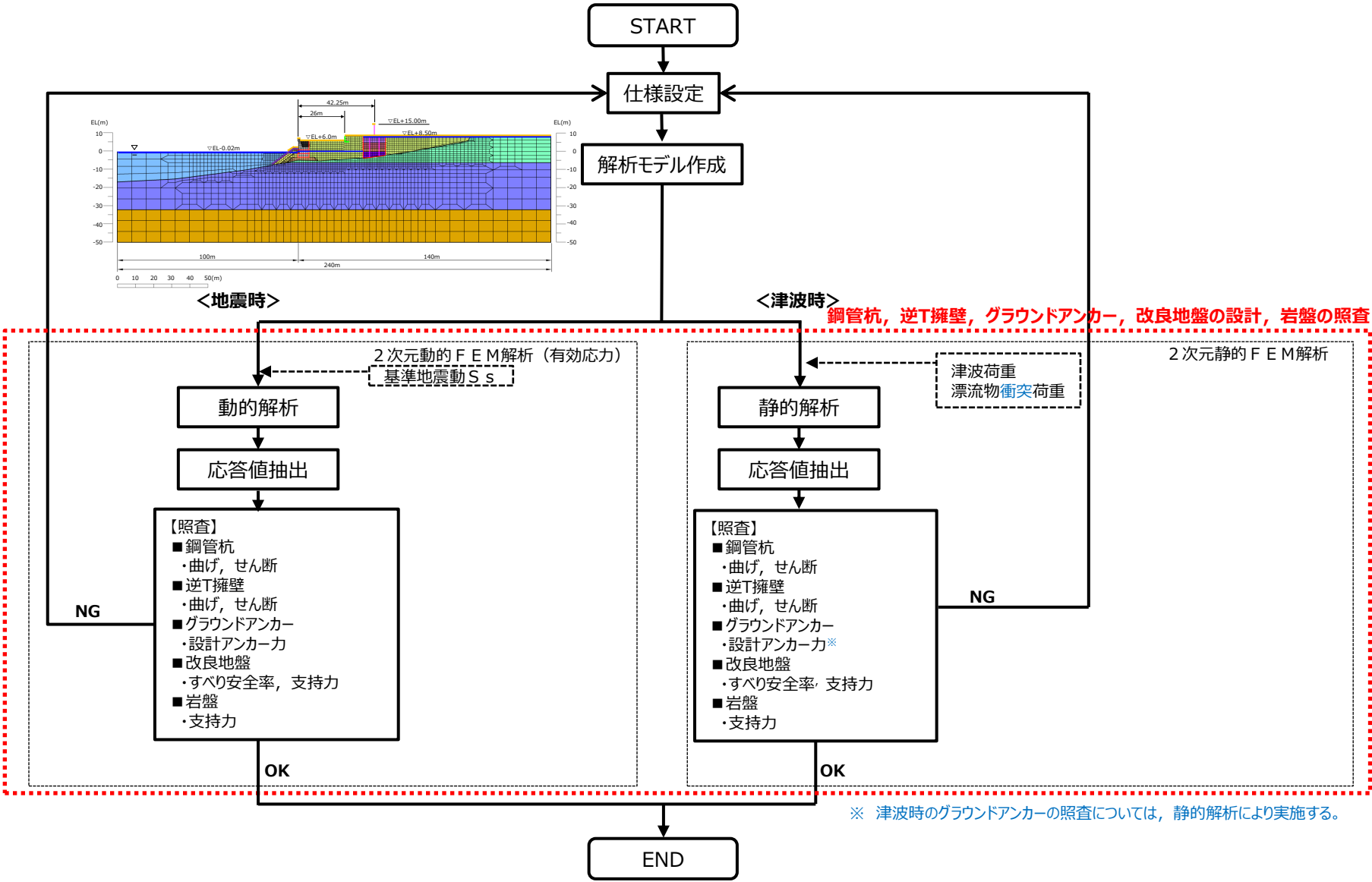
赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

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	<p>[基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド]</p> <p>5.1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、津波による浸食及び沈没に対する抵抗性を並びにす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設計とする。</p> <p>(1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。</p> <p>(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直しを得るため、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。</p> <p>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) b)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。 ②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(終局耐力時の变形)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]</p> <p>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(終局耐力時の变形)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</p>	<p>・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。</p> <p>・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動Ss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(終局耐力時の变形)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。</p>	<p>・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て、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した津波高さに余裕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設定及び構造体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。</p> <p>・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動Ss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。</p>	<p>・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高さに余裕を考慮し、敷地前面に設置する設計とする。</p> <p>①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。</p> <p>②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。</p> <p>③鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、基準地震動Ssに対し、津波による変形に追随する、止水性を有する止水目地を設置することにより止水処置を講ずる設計とする。</p> <p>・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動Ssに対し、 ⑤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ことによる止水処置を講ずる設計とする。</p>	<p>・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高さに余裕を考慮し、鋼管杭及び鉄筋コンクリート製逆T擁壁で構成し、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。</p> <p>・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動Ss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高、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を形成する設計とするため、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。</p> <p>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と確認する。</p>	<p>・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動Ss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高、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、構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動Ss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高、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、構造強度設計上の性能目標とする。</p>	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。
		逆T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	有意な漏れに至る変形・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き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。					
		止水目地	引張	設計アンカー力を喪失し、逆T擁壁が滑動・転倒する	「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）」を踏まえた設計アンカー力以下とする。					
		グラウンドアンカー	引張	設計アンカー力を喪失し、逆T擁壁が滑動・転倒する	「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）」を踏まえた設計アンカー力以下とする。					
改良地盤*	すべり安全率支持力	すべり破壊し、変形抑制機能や不透水性を喪失する状態 鉛直支持機能を喪失する状態	「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	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. 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（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ことを確認する。
- 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。
- 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

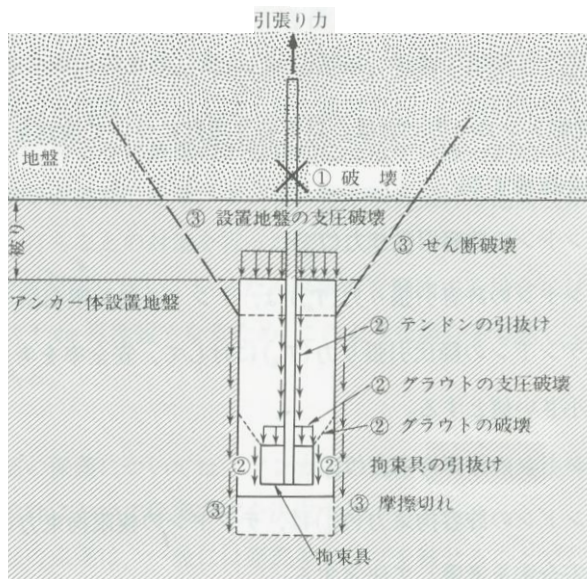
6.4.2 設計方針の概要（4）グラウンドアンカー（2 / 2）

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



グラウンドアンカー
(リフトオフ試験中)

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. 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（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FEM解析（有効応力解析））（1/2）

- 地震時の検討は、2次元動的FEM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

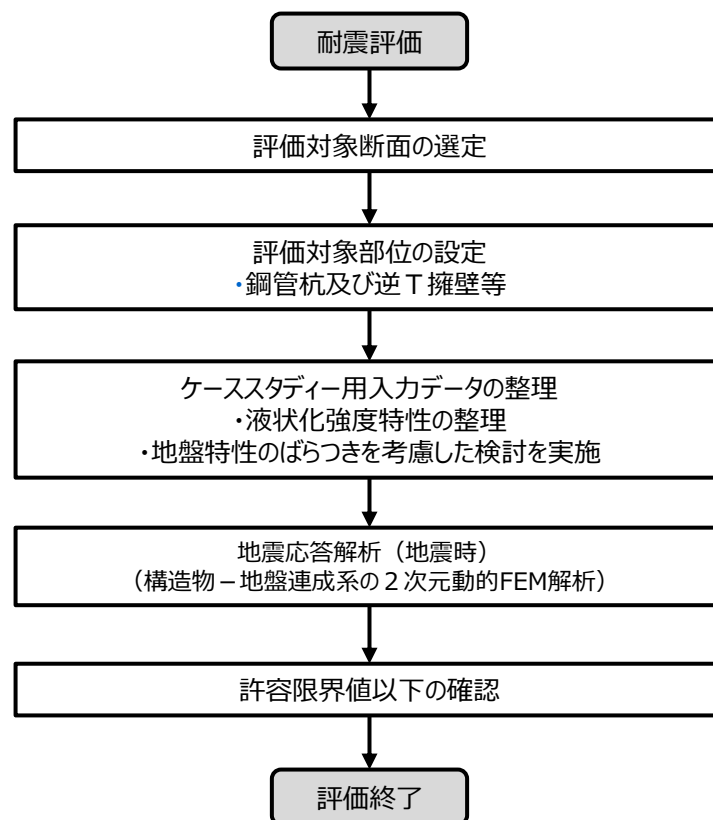
- 鋼管杭及び逆T擁壁等の照査
- 止水目地の変形量
- 地震時応答（変形量を含む）

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上で，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。

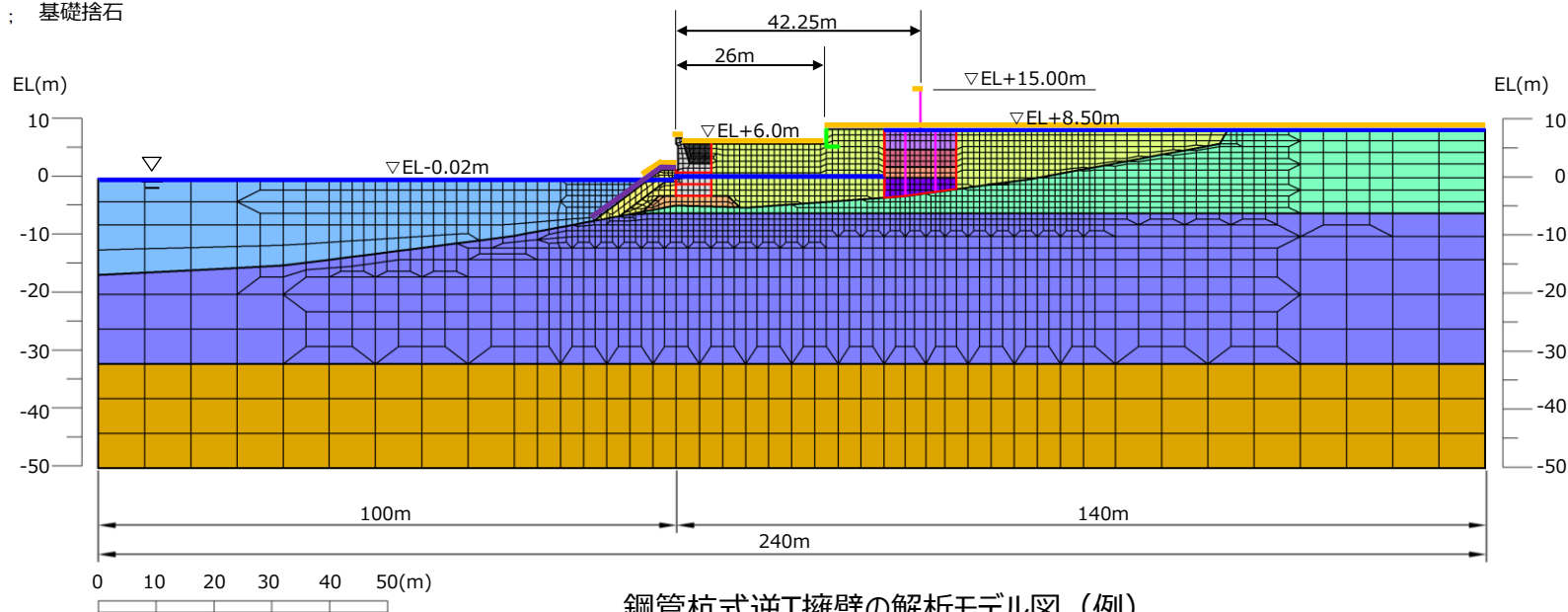
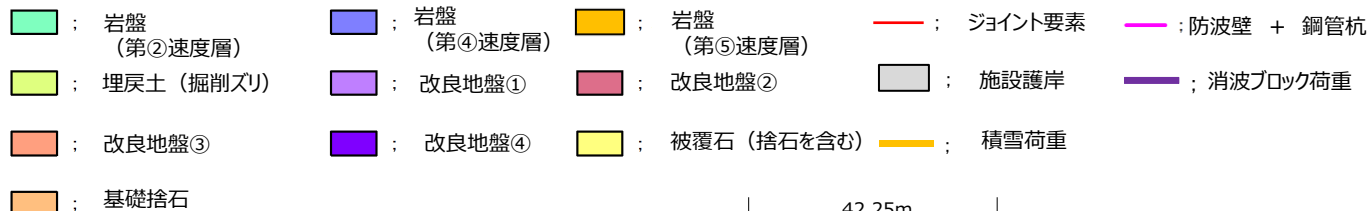


6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

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FEM解析）

■ 津波時の検討は、2次元静的FEM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

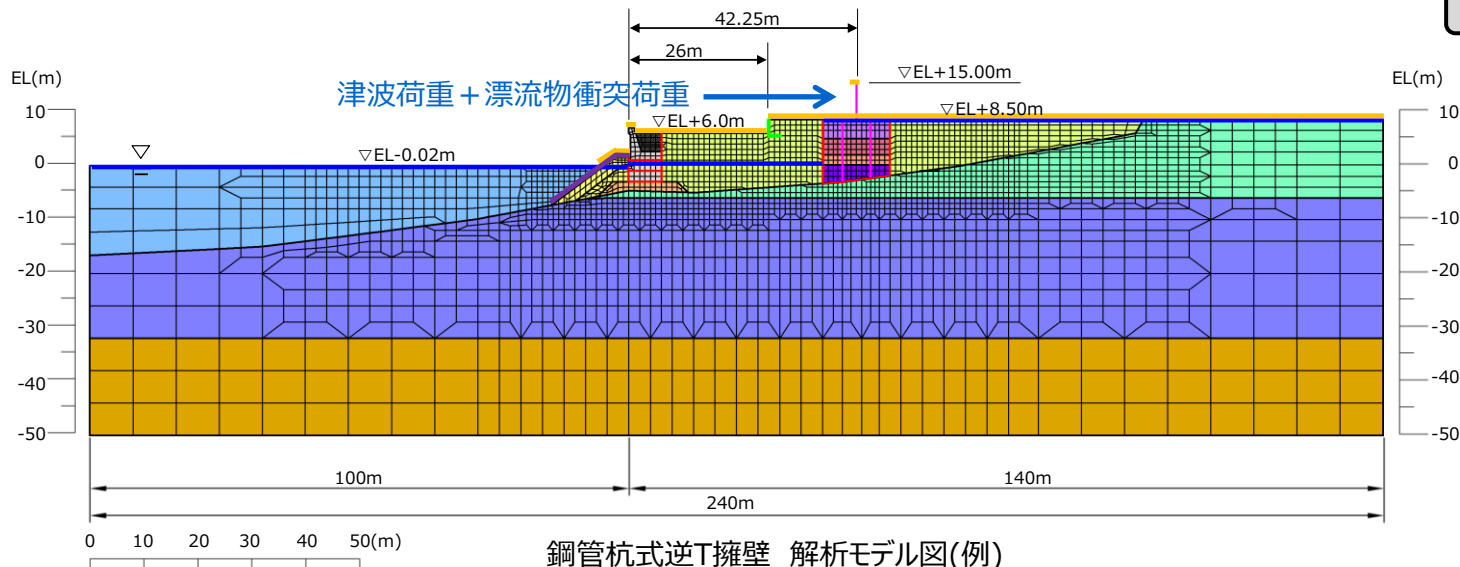
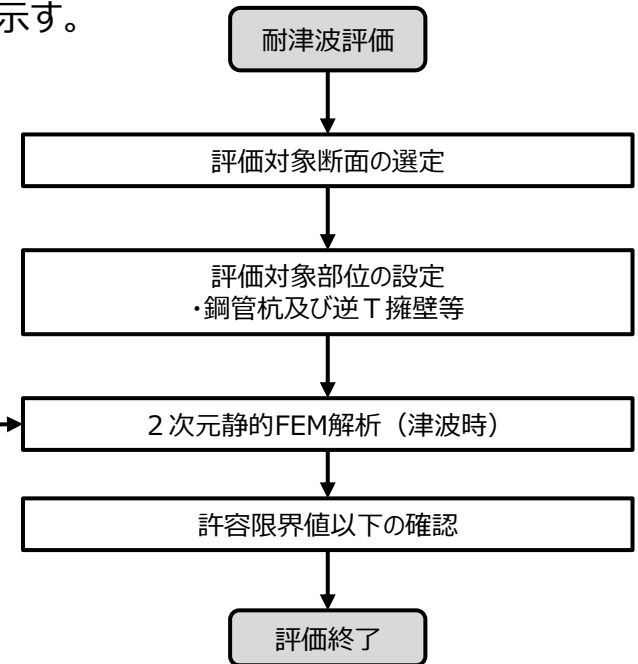
- 鋼管杭，逆T擁壁等の照査
- 止水目地の変形量

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。

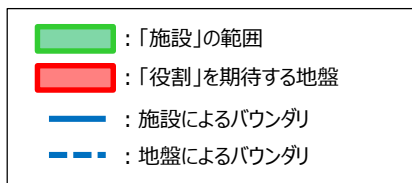


7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（1 / 6）

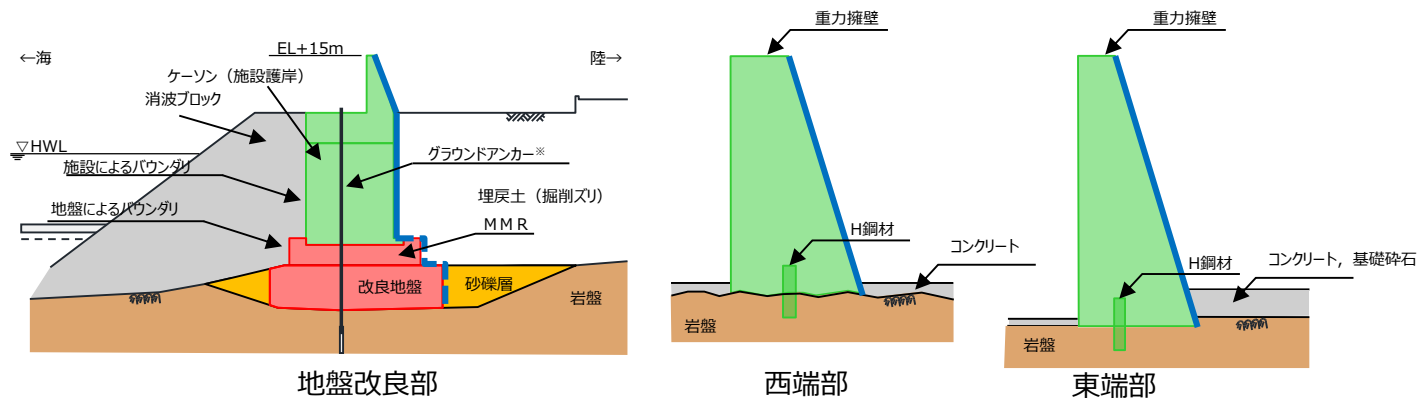
- 新規制基準への適合性において、防波壁（波返重力擁壁）における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を下表のとおり整理した。
- 以下の条文を確認することにより、防波壁（波返重力擁壁）の各条文への適合性を確認する。

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）	<ul style="list-style-type: none"> 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）	<ul style="list-style-type: none"> 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上で、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）	<ul style="list-style-type: none"> 地震（本震及び余震）による影響を考慮した上で、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。



※ 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。



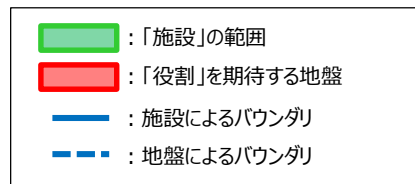
波返重力擁壁（改良地盤部）の「施設」・「地盤」の範囲

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（2 / 6）

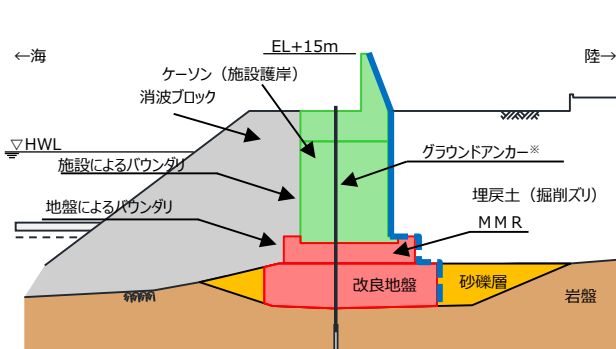
- 防波壁（波返重力擁壁）における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』，材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし、これらを総称として『止水性』と整理する。

防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割

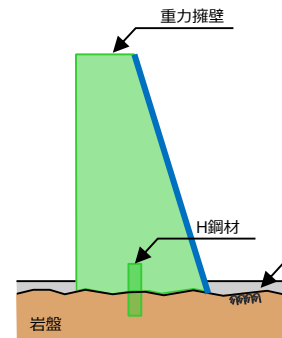
	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	重力擁壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・重力擁壁間の変形に追従する。	・重力擁壁間の変形に追従し、遮水性を保持する。
	ケーソン	・重力擁壁を支持するとともに、遮水性を保持する。	・重力擁壁を支持するとともに、遮水性を保持する。
	H鋼	・重力擁壁の滑動を抑制する。	・重力擁壁の滑動を抑制する。
地盤	MMR	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・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。



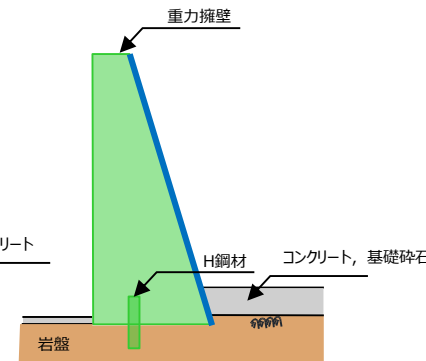
※ 防波壁（波返重力擁壁）は、グラウンドアンカーの効果に期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。



地盤改良部
役割を期待する範囲



西端部



東端部

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	耐津波性 (遮水性・難透水性)	
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

50

- 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FEM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FEM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。
- ケーソンの底版、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。一方で、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ため、各部材の個々の役割に応じて許容限界を設定した場合、ケーソン全体で津波防護施設としての性能を適切に評価出来ない可能性がある。以上のことから、前壁、後壁、側壁に加え、隔壁、底版、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	MMR	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)			(1.2以上)
	岩盤				-

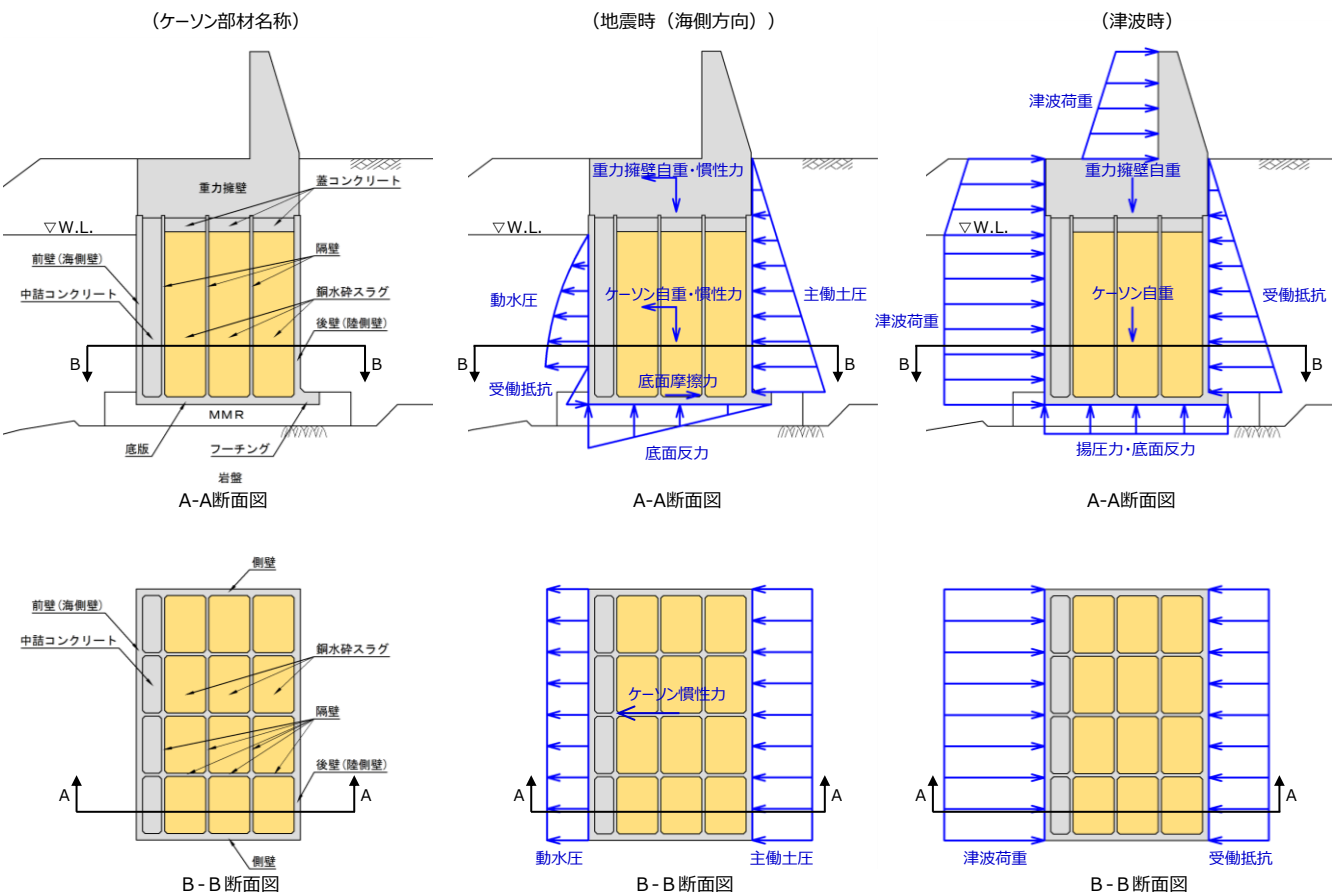
※2 設備及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、MMR及び改良地盤の透水係数を保守的に考慮しても津波の耐水時間中に浸水しないことを確認する。

※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

■ 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。

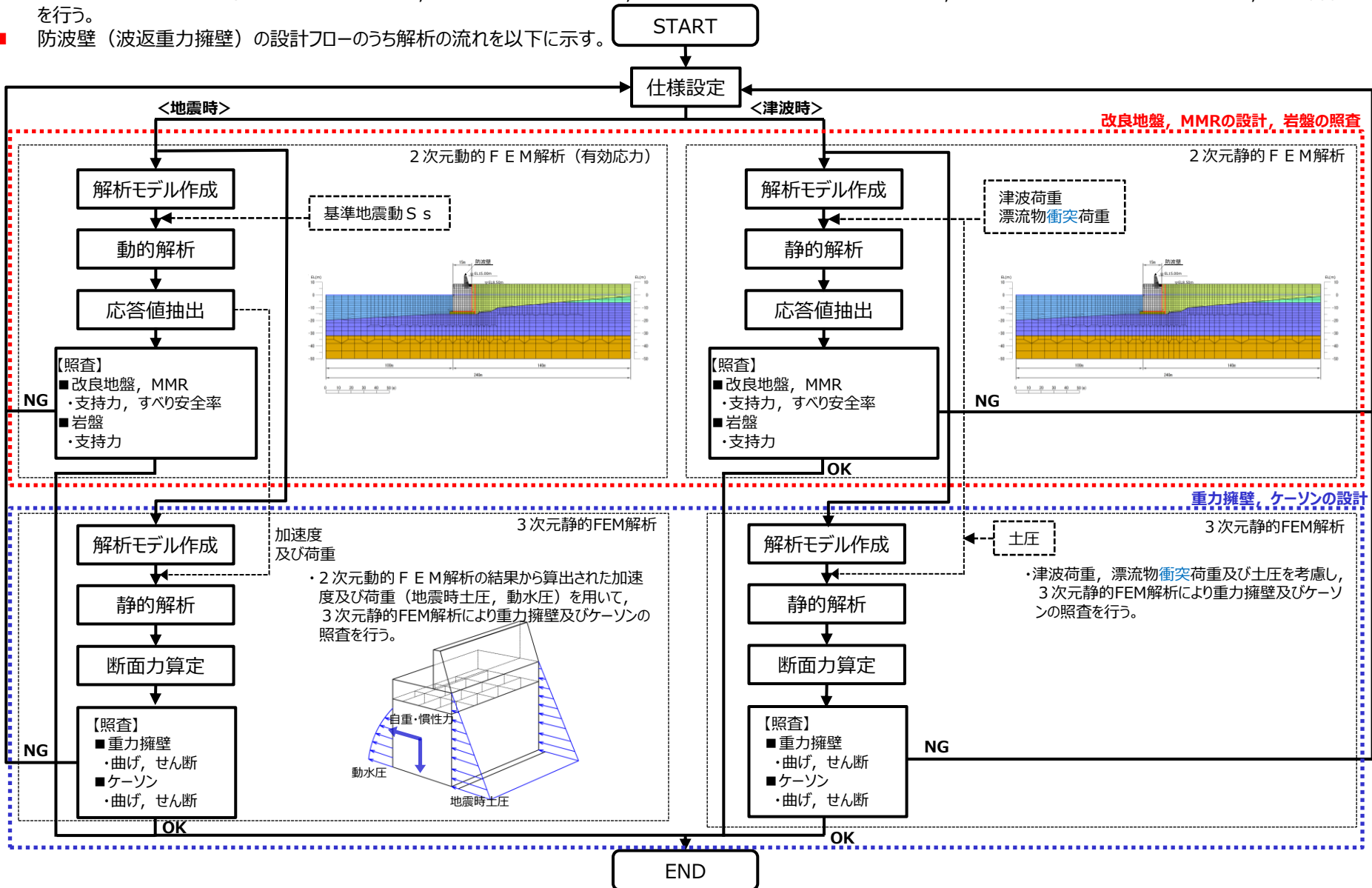
赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

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)	<p>[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没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保持できる設計がなされることの見直しを得るため、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(終局耐力時の变形)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(終局耐力時の变形)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</p>	<p>・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(終局耐力時の变形)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。</p>	<p>・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+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に設置する重力擁壁及び止水目地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、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。 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。</p>	<p>・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+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に設置する重力擁壁及び止水目地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、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。 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。</p>	<p>・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、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、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。 ・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、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、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。 ・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、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、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を確認する。 ・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、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、地盤からの回り込みによる浸水を防止する設計とするため、すべり破壊せず津波が敷地に浸水しないことを確認する。 ・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、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を確認する。</p>	<p>重力擁壁</p>	<p>曲げ・せん断</p>	<p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p>	<p>「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。</p>						
										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。		
													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。
													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）

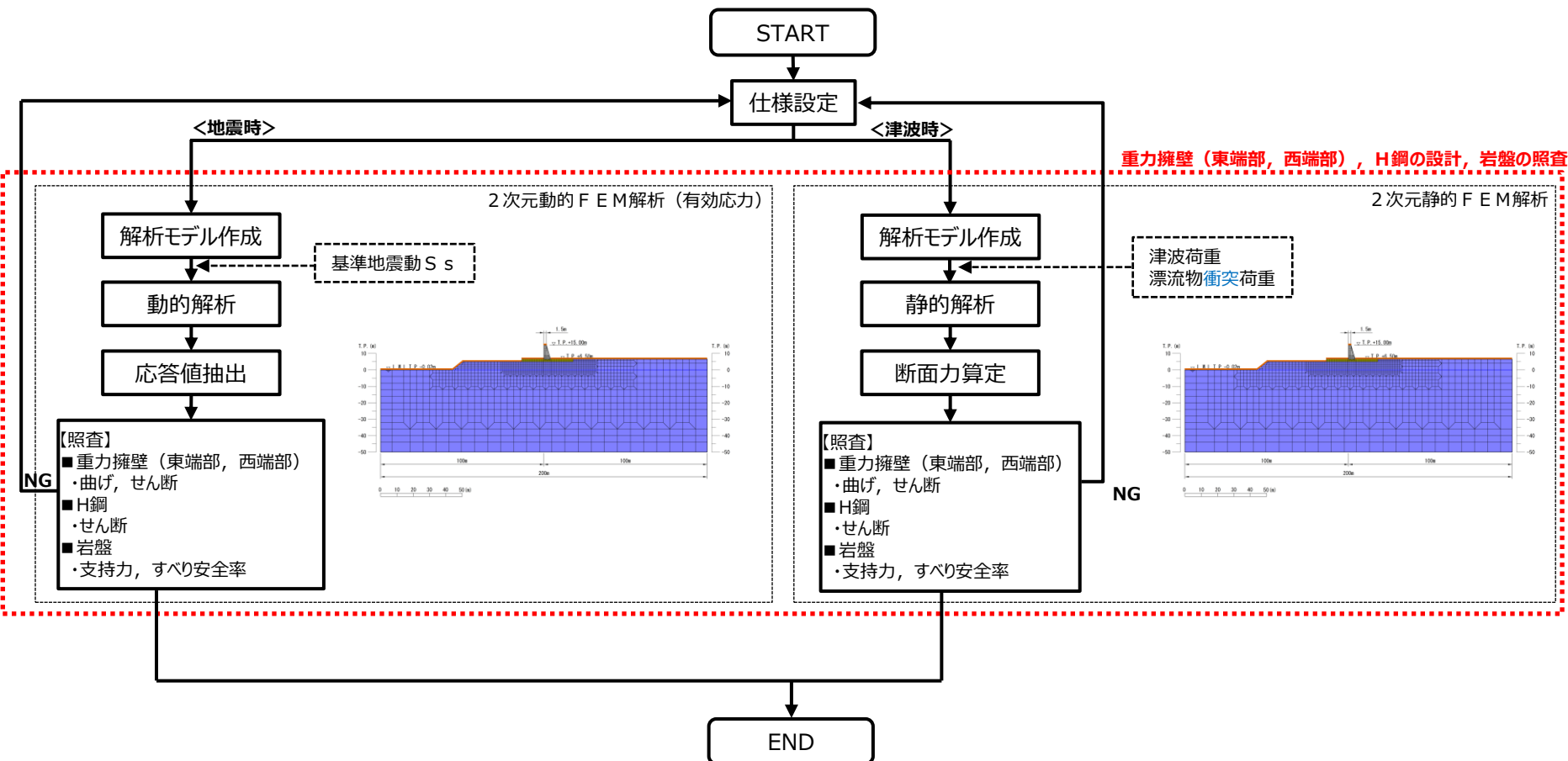
- 防波壁（波返重力擁壁）を構成するケーソンは、複数の隔壁を有しており、その影響を考慮する必要があることから、重力擁壁を含めた3次元モデルにより、耐震評価を行う。
- 防波壁（波返重力擁壁）の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



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. 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（1）重力擁壁，ケーソン

重力擁壁の役割と設計方針概要

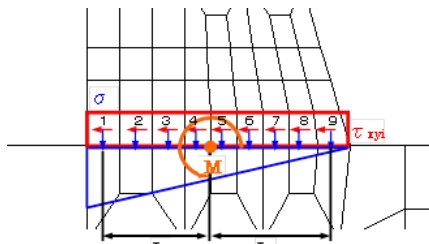
- 地震時，津波時の荷重に対して損傷せず，止水目地の支持機能及び遮水性を保持する。
- 重力擁壁は，ケーソンを含めてモデル化した3次元静的FEM解析により，地震時及び津波時の照査を行う。なお，東端部及び西端部は，地震時は2次元動的FEM解析により，津波時は2次元静的FEM解析により照査を行う。

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FEM解析 又は2次元動的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	3次元静的FEM解析 又は2次元静的FEM解析			

〔2次元動的FEM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FEM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FEM解析モデル図

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

ここに， σ_{y_i} ：防波壁付根要素の垂直応力（kN/m²）
 τ_{xy_i} ：防波壁付根要素のせん断応力（kN/m²）
 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FEM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 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				

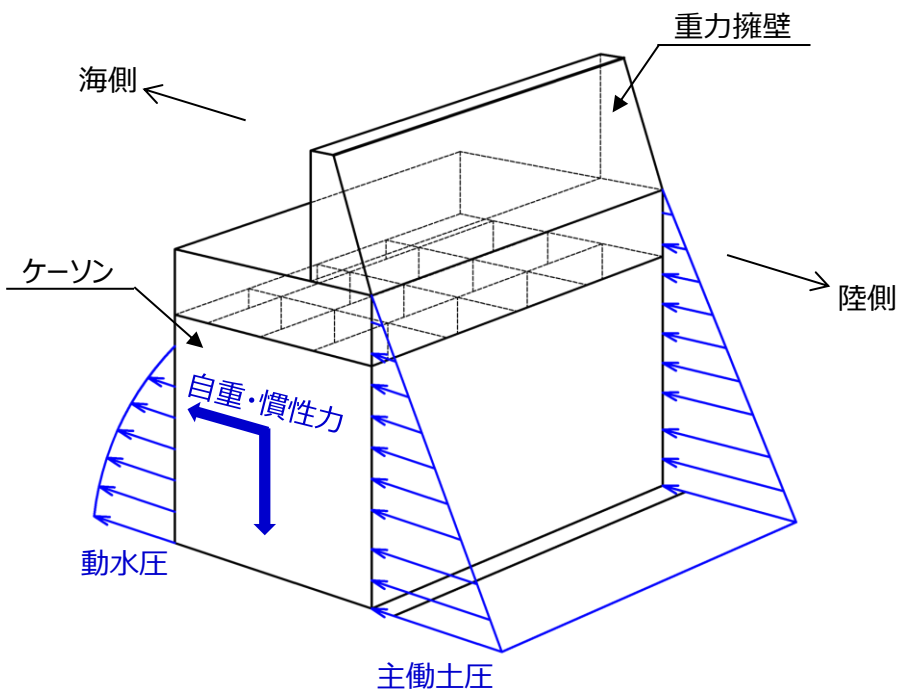
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.2 設計方針の概要（2）ケーソン部材評価方針（2/2）

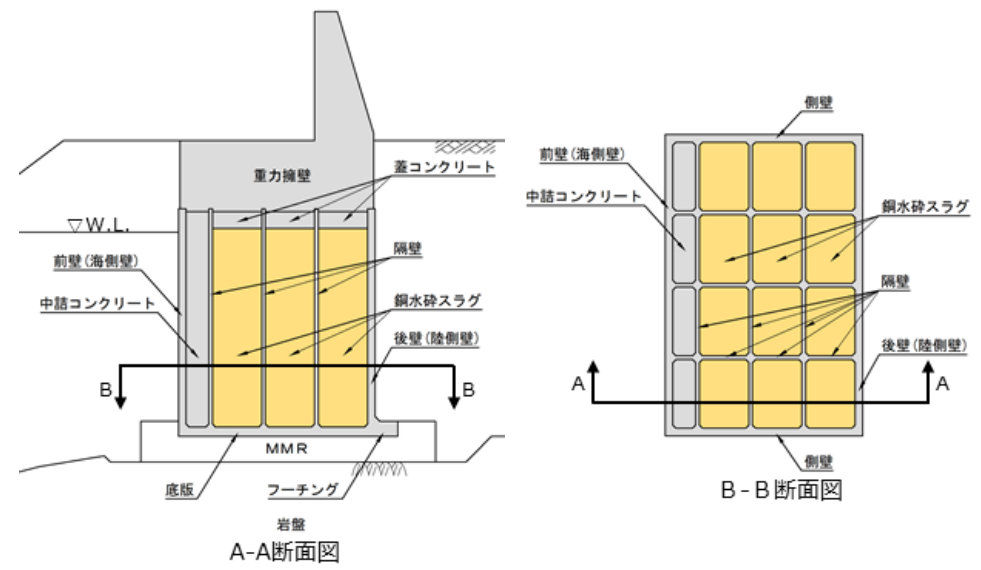
■ ケーソンの底版、隔壁及びフーチングについては、それぞれに期待する地震時及び津波時の役割を踏まえ、曲げについては限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ、せん断についてはせん断耐力を許容限界とする方針としていたが、津波時に遮水性の役割に期待する前壁、後壁及び側壁と構造的に一体化していることを踏まえ、許容限界を短期許容応力度に見直す。

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. 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（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. 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（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. 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（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

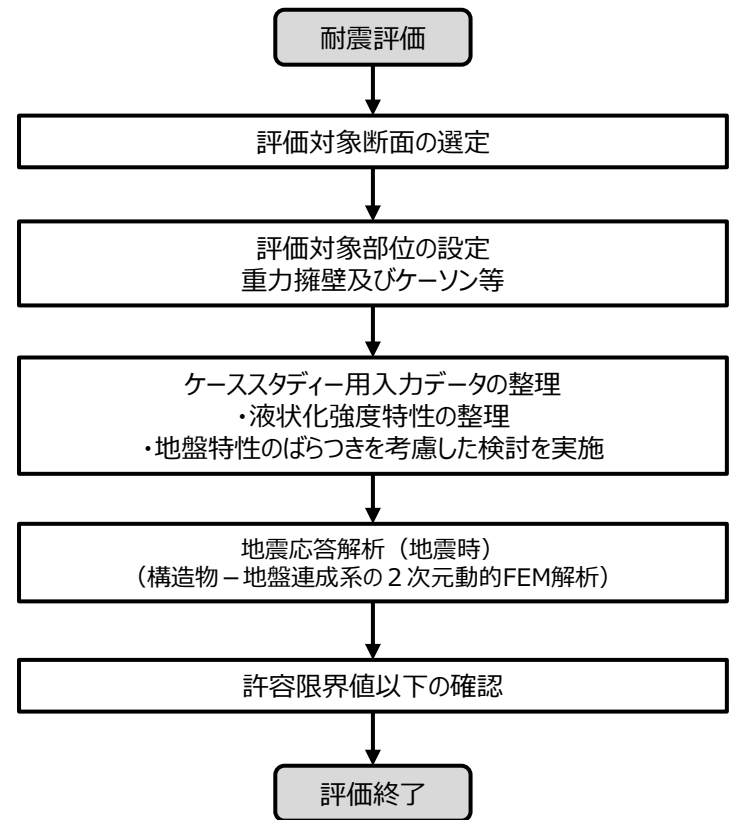
- 重力擁壁，ケーソン，埋戻土，基礎捨石，砂礫層，改良地盤，施設護岸，岩盤等を含めた全体の動的挙動評価
- 地盤特性及び液状化を考慮した影響評価

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上で，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。

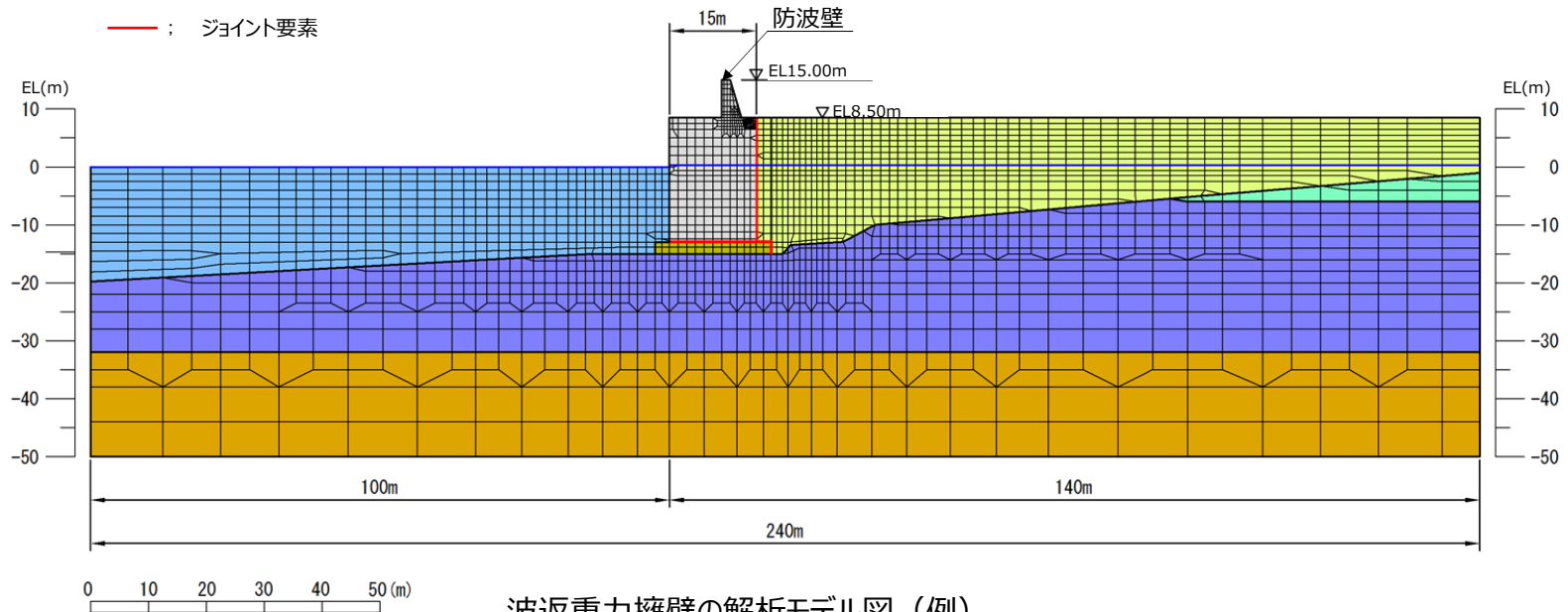
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

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



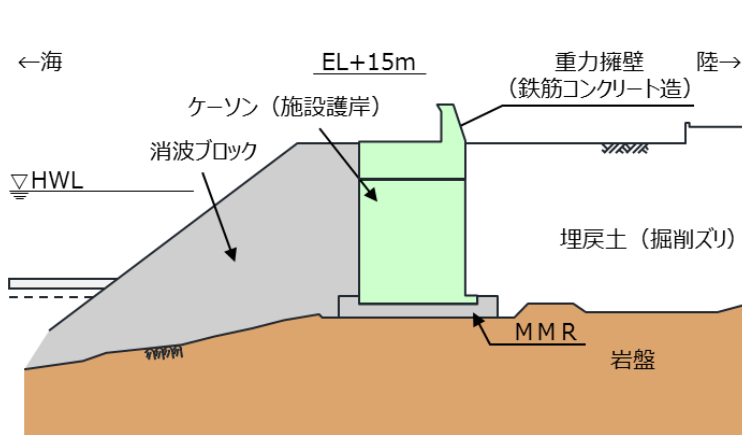
波返重力擁壁の解析モデル図（例）

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

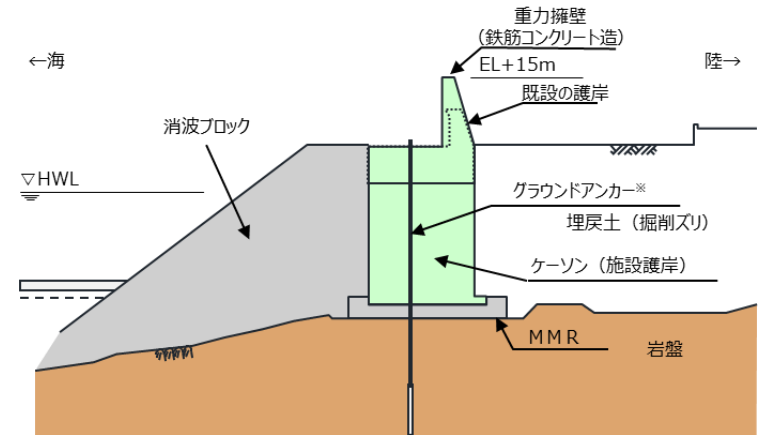
7.4.2 設計方針の概要（8）ケーソン設計方針（既設の護岸の構造変更に係る主な経緯）

- 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Ss（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Ss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

申請時

※ 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とも、耐震・耐津波安全性を担保している。

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（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、要求性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。

施設名	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	
	津波防護施設	津波防護施設	津波対策施設	
要求性能	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	使用性	修復性
性能目標	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・概ね弾性状態に留まること。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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） ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・底版、フーチング ・前壁、後壁及び側壁 ・隔壁 	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げ破壊（短期許容応力度） ・せん断破壊（短期許容応力度） 	<ul style="list-style-type: none"> ・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）

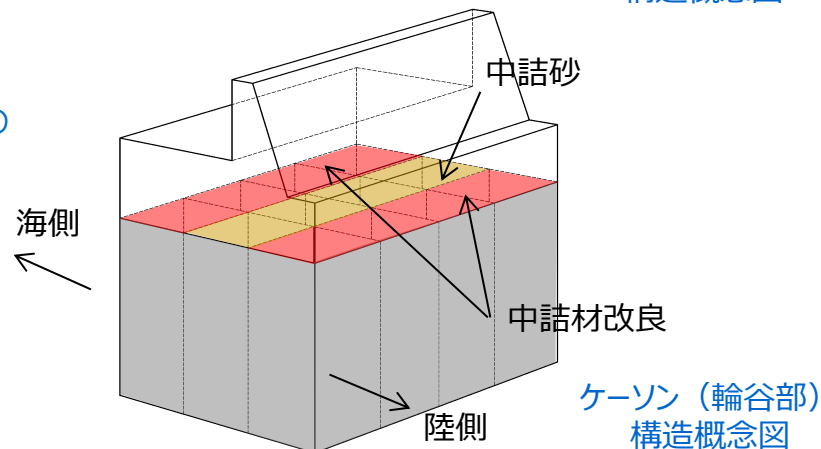
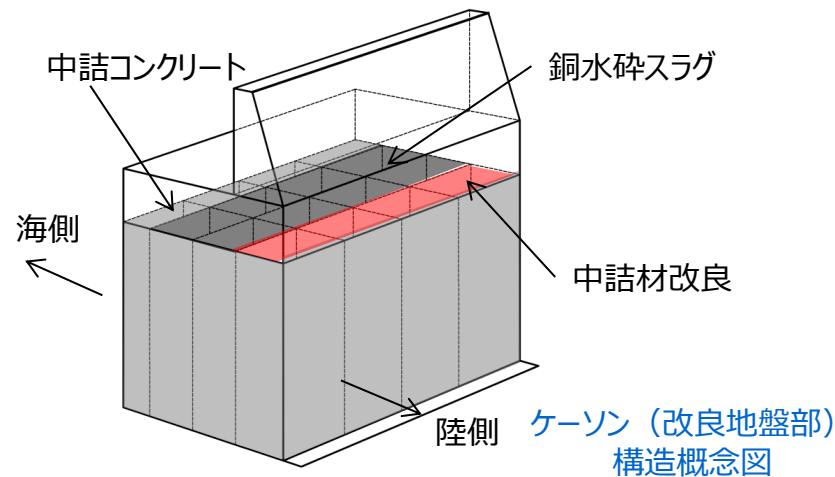
- 防波壁（波返重力擁壁）ケーソンの構造成立性を確認するため、3次元静的FEM解析による検討を実施する。検討にあたっては、地震時のケーソン背後の地震時土圧及び慣性力によるケーソンへの影響が大きいことから、地震時による検討を実施する。
- 港湾基準に基づきケーソン全体に対してコンクリートの剛性を設定して2次元動的FEM解析で評価する方針から、中詰材の剛性を期待せず3次元静的FEM解析で評価する方針に見直したため、地震時荷重を直接負担する部材等で構造成立性が見込めないことから、対策工として中詰材の一部を改良したものととして構造成立性を検討する。

【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FEM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FEMモデルに作用させる。
- 2次元動的FEM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FEM解析では、2次元動的FEM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FEM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。



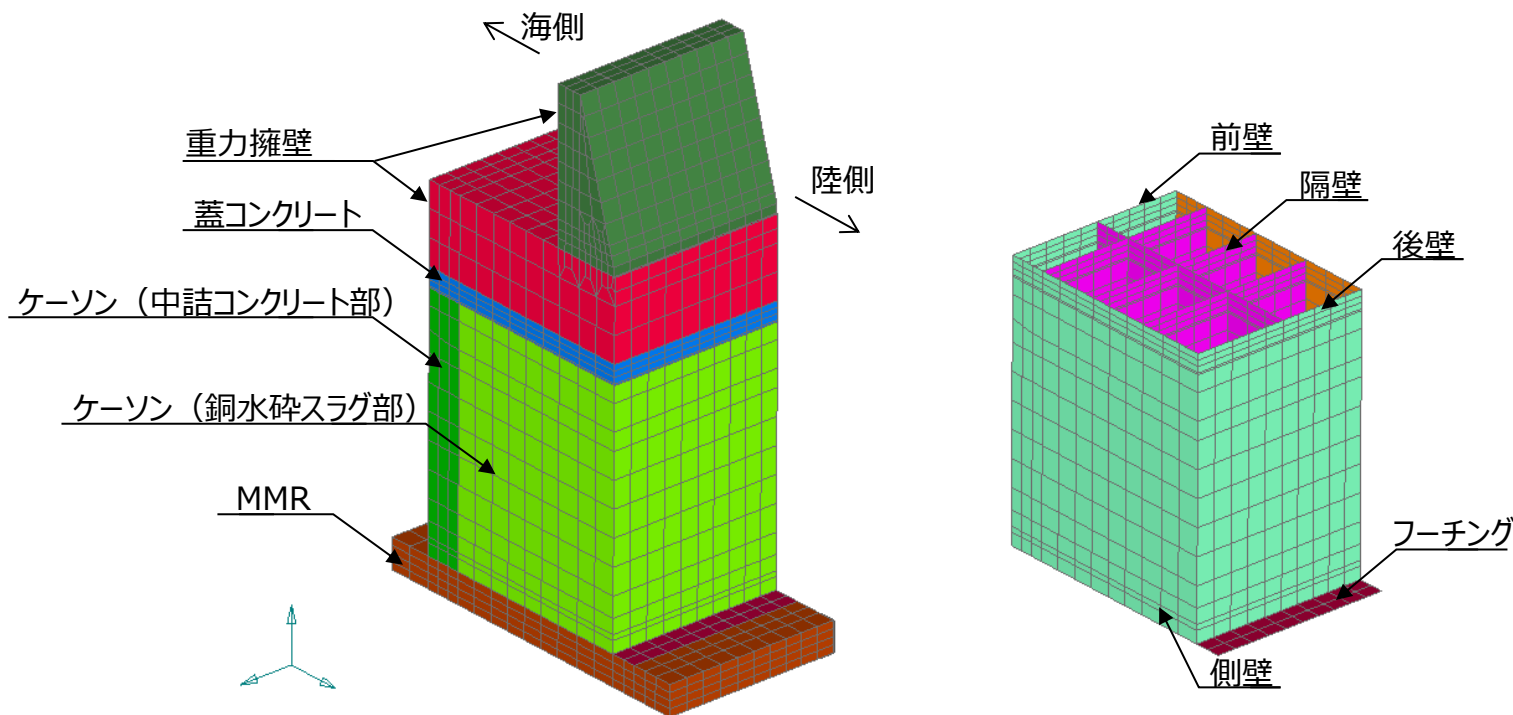
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

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FEM解析により行う。3次元静的FEM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。

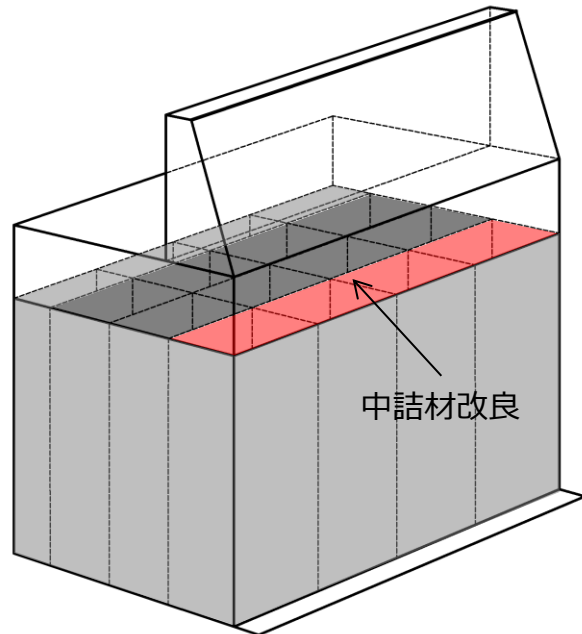


解析モデル図（改良地盤部の例）

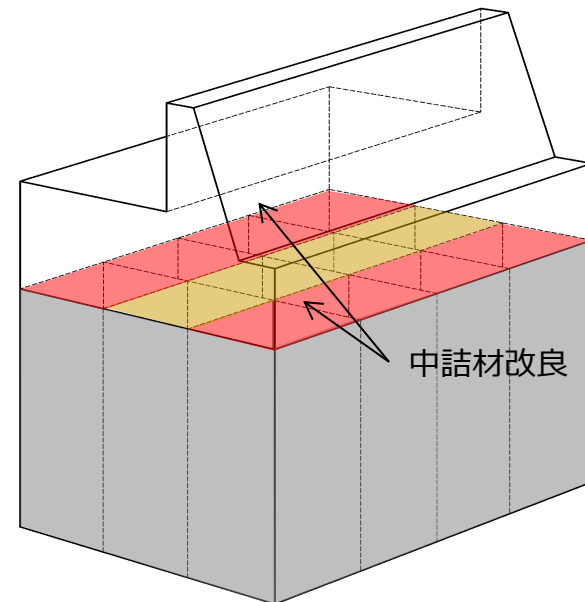
7.5 個別論点（2）ケーソン構造成立性検討（3/4）

【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）



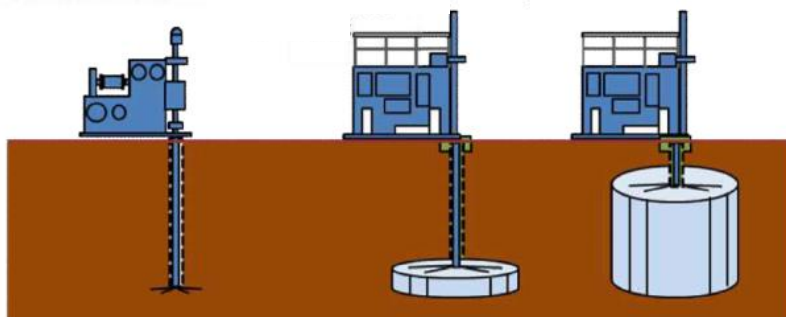
ケーソン（輪谷部）耐震補強対策工（例）

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

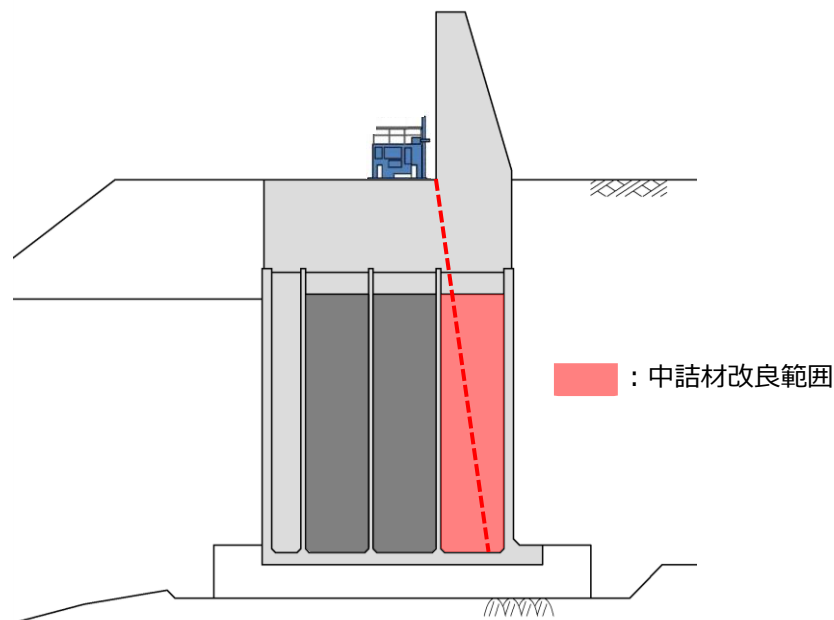
7.5 個別論点（2）ケーソン構造成立性検討（4/4）

【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。
- 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（PS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

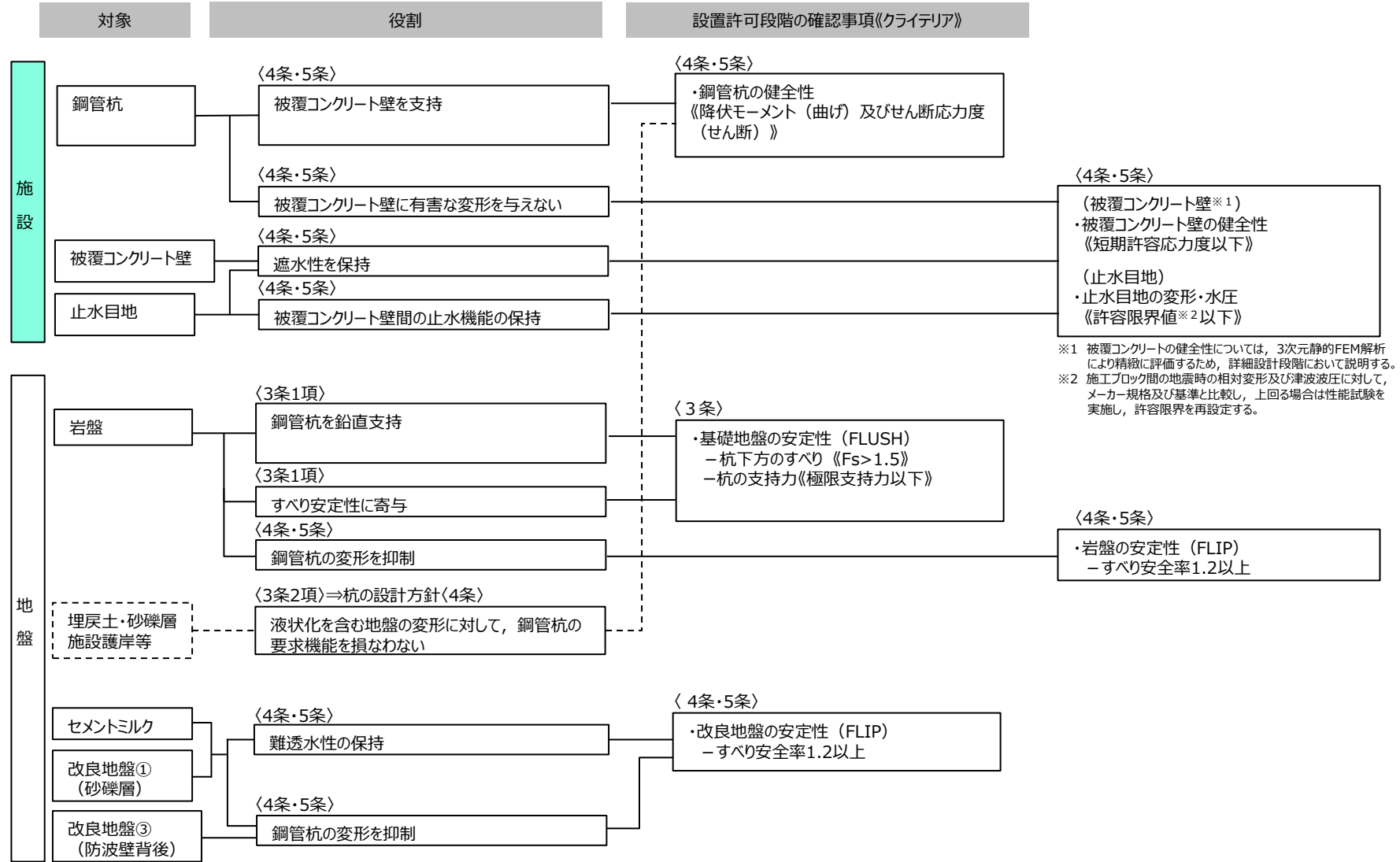


ケーソン中詰材改良の施工イメージ

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）



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）



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）

