

島根原子力発電所 2 号炉

津波による損傷の防止

令和 2 年 2 月
中国電力株式会社

第5条：津波による損傷の防止

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置, 構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.3 気象等
 - 1.4 設備等 (手順等含む)
2. 津波による損傷の防止
(別添資料1)
島根原子力発電所2号炉 耐津波設計方針について
3. 運用, 手順説明
(別添資料2)
津波による損傷の防止
4. 現場確認を要するプロセス
(別添資料3)
島根原子力発電所2号炉 耐津波設計における現場確認を要するプロセスについて

下線は, 今回の提出資料を示す。

島根原子力発電所 2 号炉 耐津波設計方針について

目 次

I. はじめに

II. 耐津波設計方針

1. 基本事項

- 1.1 津波防護対象の選定
- 1.2 敷地及び敷地周辺における地形及び施設の配置等
- 1.3 基準津波による敷地周辺の遡上・浸水域
- 1.4 入力津波の設定
- 1.5 水位変動，地殻変動の考慮
- 1.6 設計または評価に用いる入力津波

2. 設計基準対象施設の津波防護方針

- 2.1 敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
- 2.2 敷地への浸水防止（外郭防護1）
- 2.3 漏水による重要な安全機能への影響防止（外郭防護2）
- 2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）
- 2.5 水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響防止
- 2.6 津波監視

3. 重大事故等対処施設の津波防護方針

- 3.1 敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
- 3.2 敷地への浸水防止（外郭防護1）
- 3.3 漏水による重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止
（外郭防護2）
- 3.4 重大事故等に対処するために必要な機能を有する施設の隔離（内郭防護）
- 3.5 水位変動に伴う取水性低下による重大事故等に対処するために必要な
機能への影響防止
- 3.6 津波監視

4. 施設・設備の設計・評価の方針及び条件

- 4.1 津波防護施設の設計
- 4.2 浸水防止設備の設計
- 4.3 津波監視設備の設計
- 4.4 施設・設備等の設計・評価に係る検討事項

(添付資料)

1. 基準津波に対して機能を維持すべき設備とその配置
2. 津波シミュレーションに用いる数値計算モデルについて
3. 地震時の地形等の変化による津波遡上経路への影響について
4. 日本海東縁部に想定される地震による発電所敷地への影響について
5. 港湾内の局所的な海面の励起について
6. 管路計算の詳細について
7. 入力津波に用いる潮位条件について
8. 入力津波に対する水位分布について
9. 津波防護対策の設備の位置付けについて
10. 内郭防護において考慮する溢水の浸水範囲，浸水量について
11. 浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策の設置位置，実施範囲及び施工例
12. 基準津波に伴う砂移動評価について
13. 島根原子力発電所周辺海域における底質土砂の分析結果について
14. 海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について
15. 津波漂流物の調査要領について
16. 燃料等輸送船の係留索の耐力について
17. 燃料等輸送船の喫水高さと津波高さとの関係について
18. 漂流物の評価において考慮する津波の流速・流向について
19. 津波監視設備の監視に関する考え方
20. 耐津波設計において考慮する荷重の組合せについて
21. 基準類における衝突荷重算定式について
22. 耐津波設計における余震荷重と津波荷重の組合せについて
23. 防波扉及び水密扉の運用管理について
24. 審査ガイドとの整合性（耐津波設計方針）
25. 防波壁の設計方針及び構造成立性評価結果について
26. 防波壁及び防波扉の津波荷重の設定方針について
27. 海域活断層に想定される地震による津波及び日本海東縁部に想定される地震による津波に対する流入防止対策について
28. タービン建物及び取水槽循環水ポンプエリアに設置する耐震Sクラスの設備に対する浸水影響について
29. 1号炉取水槽流路縮小工について
30. 取水槽除じん機エリア防水壁及び取水槽除じん機エリア水密扉の設計方針及び構造成立性の見通しについて

(補足資料)

- ・津波防護上の地山範囲における地質調査 ルートマップ, 柱状図及びコア写真集

(参考資料)

- － 1 島根原子力発電所における津波評価について
- － 2 島根原子力発電所 2 号炉内部溢水の影響評価について(別添資料 1 第 9 章)
- － 3 島根原子力発電所 2 号炉内部溢水の影響評価について(別添資料 1 第 10 章)
- － 4 島根原子力発電所 2 号炉内部溢水の影響評価について (別添資料 1 補足説明資料 30)

下線は, 今回の提出資料を示す。

防波壁の設計方針及び構造成立性評価結果について

目次

1. 防波壁の要求機能と設計方針について
 - (1) 防波壁に要求される機能
 - (2) 防波壁の各部位の性能目標と許容限界
 - (3) 防波壁高さの設定方針
 - (4) 設計方針
 - a. 構造概要
 - (a) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）
 - (b) 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）
 - (c) 防波壁（波返重力擁壁）
 - (d) 1号放水連絡通路防波扉
 - (e) 防波扉
 - (f) 止水目地
 - b. 防波壁設置位置の地質構造
 - c. 防波壁に作用する荷重と部位の役割
 - d. 損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮
 - e. 設計手順
 - (a) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）
 - (b) 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）
 - (c) 防波壁（波返重力擁壁）
 - f. 解析概要
 - (a) 止水目地
 - (b) 2次元動的有限要素解析（有効応力解析）
 - (c) 静的フレーム解析
 - (d) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部
 - g. 設計荷重
 - h. 地下水位の設定方針
 - i. 解析用物性値
 - j. 構造成立性評価地震波
2. 構造成立性評価
 - (1) 構造成立性評価の基本方針
 - (2) 構造成立性評価断面の選定
 - a. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）
 - b. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）
 - c. 防波壁（波返重力擁壁）

- (3) 構造成立性評価地震波の選定
 - (4) 解析条件
 - a. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）
 - b. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）
 - c. 防波壁（波返重力擁壁）
 - (5) 構造成立性検討結果
 - a. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）
 - b. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）
 - c. 防波壁（波返重力擁壁）
 - (6) 止水性に係る検討結果
 - (7) まとめ
- (参考資料1) 島根防波壁の構造等に関する先行炉との比較
- (参考資料2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要
- (参考資料3) 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造概要
- (参考資料4) 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要
- (参考資料5) 防波壁多重鋼管杭の設計方針
- (参考資料6) 防波壁に作用する荷重と部位の役割

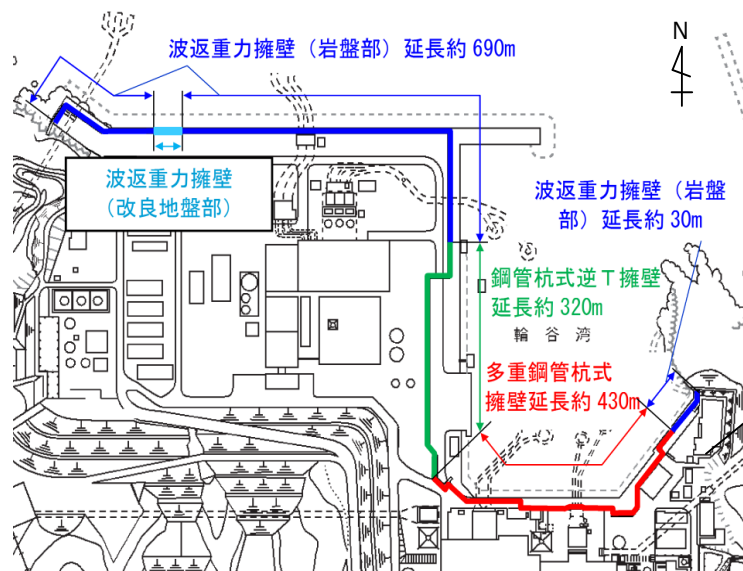
1. 防波壁の要求機能と設計方針について

(1) 防波壁に要求される機能

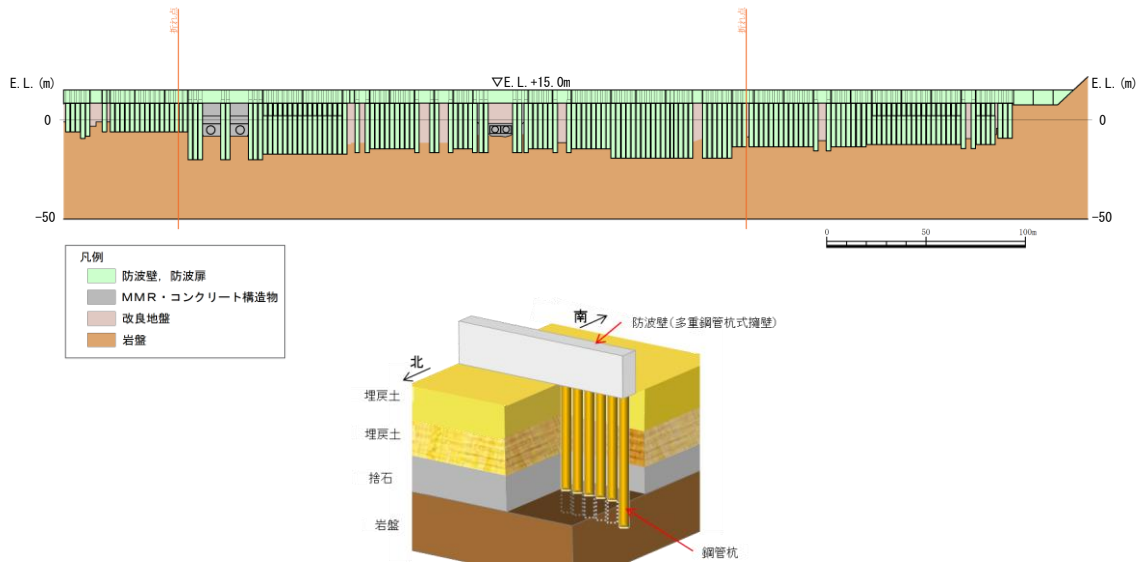
防波壁の構造形式は、多重鋼管杭式擁壁、鋼管式逆 T 擁壁及び波返重力擁壁に分類され、波返重力擁壁は、更に岩盤支持部と改良地盤部に分類される。防波壁の平面図を第 1-1 図に、防波壁の評価対象部位の概要図を第 1-2 図に示す。津波防護施設として防波壁に求められる要求機能は、繰返しの襲来を想定した遡上波に対して浸水を防止すること、基準地震動 S_s に対し要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体として変形能力に対し十分な構造強度を有することである。

上記の機能を確保するための性能目標は、基準津波による遡上波に対して余裕を考慮した防波壁高さを確保するとともに、構造物の境界部等の止水性を維持し、基準地震動 S_s に対して止水性を損なわない構造強度を有した構造物とすることである。

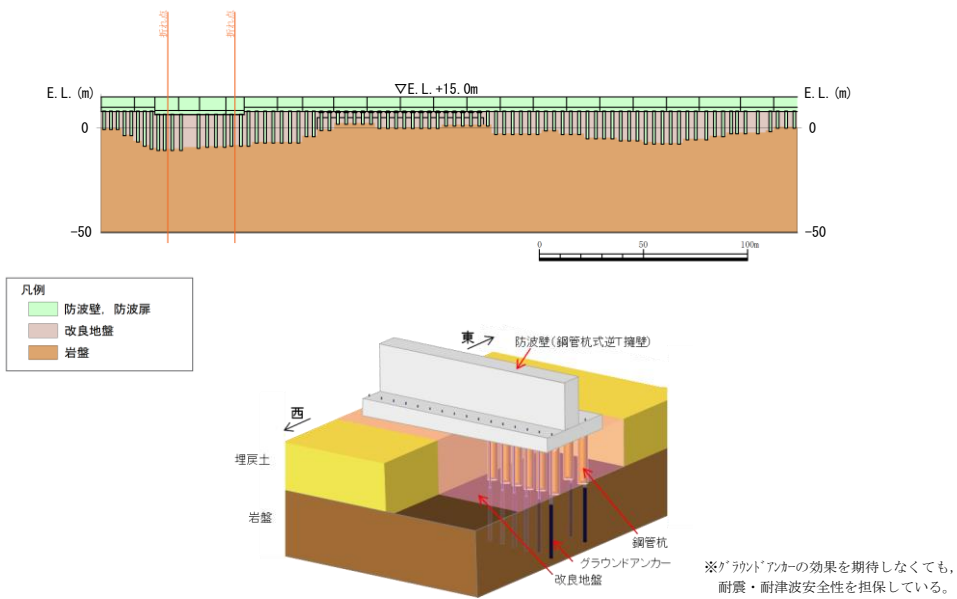
防波壁に関する要求機能と設計評価方針について第 1-1 表に示す。



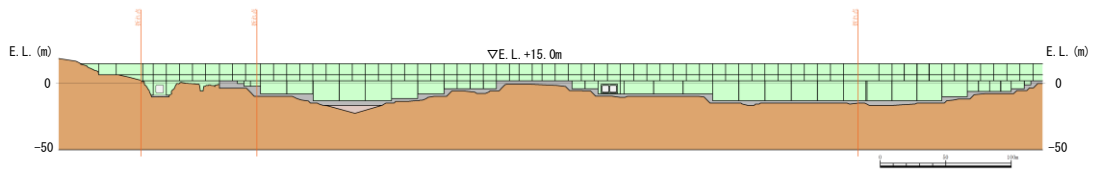
第 1-1 図 防波壁の平面図



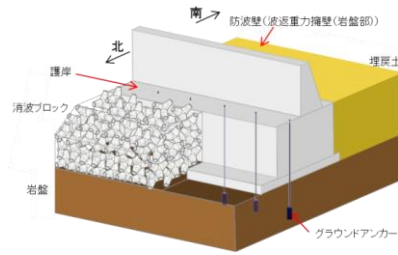
第 1-2(1)図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価対象部位



第 1-2(2)図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の評価対象部位

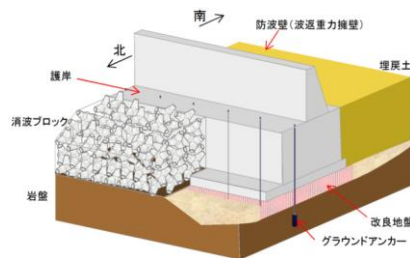


凡例	
	防波壁・防波岸
	MMR・コンクリート構造物
	改良地盤
	岩盤



(岩盤支持)

※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。



(改良地盤支持)

※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。

第 1-2(3) 図 防波壁 (波返重力擁壁) の評価対象部位

赤字：荷重条件
 緑字：要求機能
 青字：対応方針

第1-1(1)表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に関する要求機能と設計評価方針

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	
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</p> <p>5.1 津波防護施設設計</p> <p>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洗掘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に設計すること。</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。</p> <p>① 荷重組合せ</p> <p>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)</p> <p>② 荷重の設定</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>③ 許容限界</p> <p>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。)</p> <p>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</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（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。</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(浸水高さ EL+11.8m 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。</p> <p>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、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、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(浸水高さ EL+11.8m 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。</p> <p>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り止水性を保持する設計とする。</p> <p>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位を抑制し、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>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。</p> <p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s に対し、</p> <p>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能を保持する設計とする。</p> <p>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位を抑制し、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>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。</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（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。</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。
		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	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。				
			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。				
		地盤	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。			
			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。			
			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。			

赤字：荷重条件
 緑字：要求機能
 青字：対応方針

第1-1(2)表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）に関する要求機能と設計評価方針

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	
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 津波防護施設の設計</p> <p>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洗掘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設計すること。</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。</p> <p>①荷重組合せ</p> <p>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)</p> <p>②荷重の設定</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>③許容限界</p> <p>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。)</p> <p>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</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 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。</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場合においても、想定される津波高さ(浸水高さ EL+11.8m)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。</p> <p>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。</p> <p>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位を抑制し、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間を、波圧による変形に追従する、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（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、</p> <p>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能を保持する設計とする。</p> <p>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位を抑制し、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間を、波圧による変形に追従する、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（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(浸水高さ EL+11.8m)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。</p> <p>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。</p> <p>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位を抑制し、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間を、波圧による変形に追従する、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（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、</p> <p>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能を保持する設計とする。</p> <p>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位を抑制し、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間を、波圧による変形に追従する、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（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、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 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えい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えい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>	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。
		<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する。</p> <p>・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、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、構造部材である鉄筋コンクリート製逆T擁壁が、概ね弾性状態に留まることを確認する。</p>	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。			
		<p>・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、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えい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えい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>	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。			
		<p>・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、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えい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>	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。			
		<p>・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、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>	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。			
		<p>・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、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、鋼管杭の変位を抑制し、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改良地盤がすべり破壊せずに津波が敷地に浸水しないことを確認する。</p>	改良地盤	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。			

第 1-1(3)表 防波壁（波返重力擁壁）に関する要求機能と設計評価方針

赤字：荷重条件
 緑字：要求機能
/>

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</p> <p>5.1 津波防護施設設計</p> <p>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洗掘に対する抵抗性を評価し、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。</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。</p> <p>① 荷重組合せ</p> <p>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)</p> <p>② 荷重の設定</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>c) 地震により周辺地盤に液状化が発生する場合、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。</p> <p>③ 許容限界</p> <p>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。)</p> <p>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</p> <p>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</p>	<p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））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（波返重力擁壁（岩盤部））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。</p>	<p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））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、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（波返重力擁壁（岩盤部））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機能設計上の性能目標とする。</p>	<p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））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、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>① 想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さ（輪谷湾内浸水高さ EL+11.8m、輪谷湾外浸水高さ EL+10.6m 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。</p> <p>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。</p> <p>③ 重力擁壁間は、波圧による変形に追従する、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（岩盤部））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>④ 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。</p> <p>⑤ 重力擁壁間は、地震による変形に追従する、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（岩盤部））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。</p> <p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））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、作用する設置圧が許容値以下に与まることを確認する。</p>	<p>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、作用する設置圧が許容値以下に与まることを確認する。</p>	<p>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与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>
		ケーソン	せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	2 次元応答解析結果から得られる面内せん断に対して「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。					
		地盤	MMR・改良地盤	支持力	鉛直支持性能を喪失する状態	港湾基準を踏まえ、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。					

(2) 防波壁の性能目標と許容限界

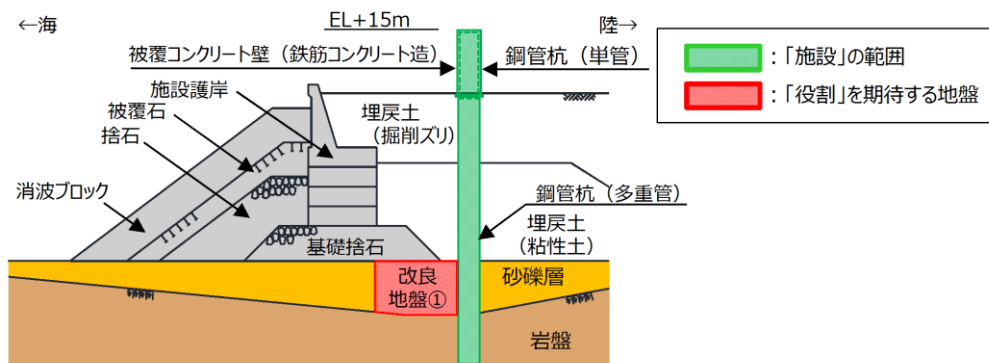
a. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

新規制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第 1-2 表に示す。

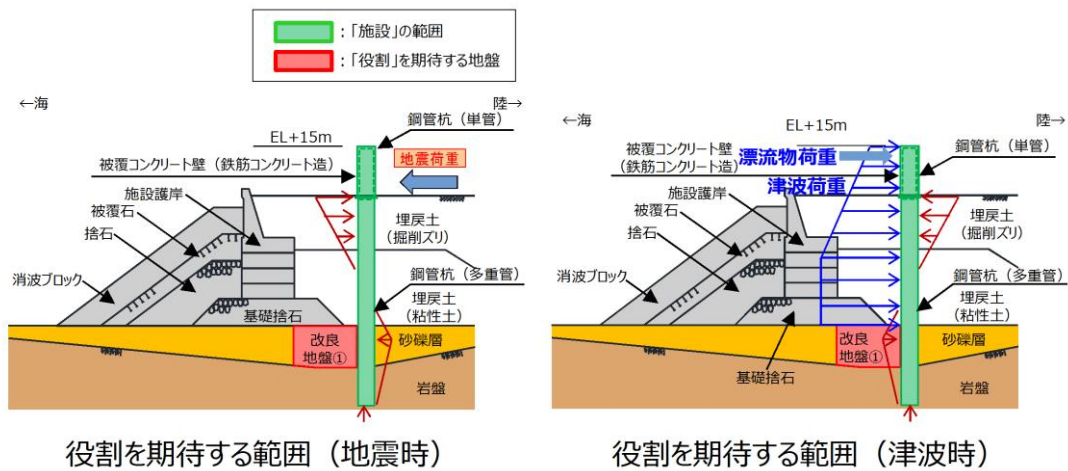
第 1-2 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における検討要旨

規 則	検 討 要 旨
第 3 条 (設計基準対象施設の地盤)	<ul style="list-style-type: none"> 施設（鋼管杭）を支持する地盤を対象とし、地盤内にすべり線を想定し、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（多重鋼管杭式擁壁）における条文に対応する施設の範囲及び各部位の役割を第 1-3 図、第 1-4 図及び第 1-3 表に示す。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、これらを総称して『止水性』と整理する。地震時において、埋戻土（掘削ズリ）及び施設護岸等は、地震荷重作用方向により、地盤反力として寄与する場合、土圧として荷重作用する場合があることから、適切にモデル化して地震応答解析を実施することにより、その影響を考慮する。一方で、津波時において、防波壁より陸側の埋戻土（掘削ズリ）等は、津波荷重に対して地盤反力として寄与することから、適切にモデル化して津波時解析を実施する。



第 1-3 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の「施設」の範囲



第 1-4 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の役割を期待する範囲

第 1-3 表 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位に追従する。	・被覆コンクリート壁間の変位に追従し、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。	・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 (杭間部)	・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。
	岩盤	・鋼管杭を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・鋼管杭を支持する。
	埋戻土 (掘削スリ), 埋戻土 (粘性土), 砂礫層	・地震荷重の作用方向の反対方向に地盤反力として寄与する (一方で、その時防波壁反対側では、土圧として作用する)。	・防波壁より陸側については、津波荷重等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	・地震荷重の作用方向が海側方向の場合, 地盤反力として寄与する (一方で、地震荷重の作用方向が陸側方向の場合, 土圧として作用する)。	・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。

各部位の『施設』と『地盤』を区分するに当たり、セメントミルク、改良地盤①（砂礫層）の具体的な役割を第1-4表のとおり整理した。

側方地盤としての鋼管杭の変形抑制の役割（第1-4表中「○」と記載）を有するセメントミルク及び改良地盤①（砂礫層）は『地盤』と区別する。

なお、施設の役割を維持するための条件として設計に反映する項目「○」と評価した具体的な考え方を以下に示す。

- ・セメントミルク及び改良地盤①（砂礫層）の役割である健全性については、鋼管杭の変形を抑制するために剛性（変形特性）を設計に反映することから「○」とした。
- ・セメントミルク及び改良地盤①（砂礫層）の役割である止水性については、地盤中からの回り込みによる浸水を防止するために透水係数を設計に反映することから「○」とした。なお、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを浸透流解析により確認する。

第1-4表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の具体的な役割

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

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) 健全性		(遮水性・難透水性) 止水性
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。	・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、セメントミルク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。

以上を踏まえ、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における各部位の役割に対する性能目標を第 1-5 表に、性能目標を満足するための照査項目と許容限界を第 1-6 表に示す。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、詳細設計時（工認段階）に影響の程度を検討する

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。

第 1-5 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の役割に対する性能目標

部位		性能目標・・・5.8.9章			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	健全性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	止水性 (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)
	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。	-	-

第 1-6 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）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)	健全性 (鋼管杭の変形抑制) (第 4 条)	止水性 ^{※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}	
	改良地盤① (砂礫層)	-	-	(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)	-	-

※1 絞鋼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建設の湧水時間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全性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。

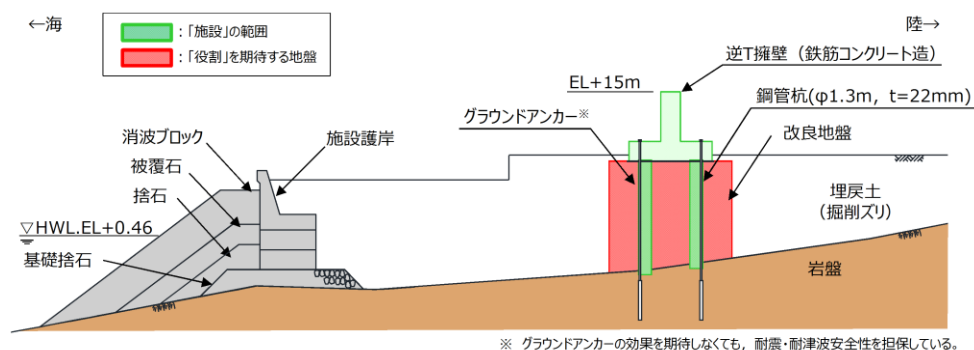
b. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）

新規性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第1-7表に示す。

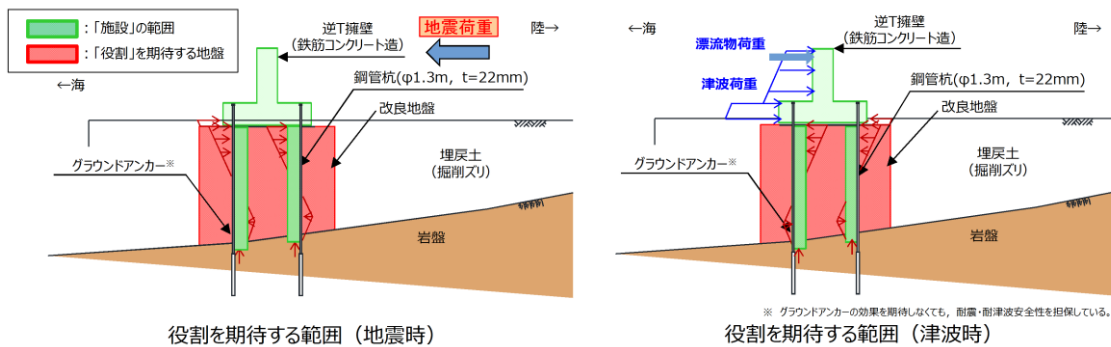
第1-7表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における検討要旨

規 則	検 討 要 旨
第3条 (設計基準対象施設の地盤)	<ul style="list-style-type: none"> 施設（鋼管杭）を支持する地盤を対象とし、地盤内にすべり線を想定し、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（鋼管杭式逆T擁壁）における条文に対応する施設の範囲及び各部位の役割を第1-5図、第1-6図及び第1-8表に示す。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、これらを総称して『止水性』と整理する。地震時において、埋戻土（掘削ズリ）及び施設護岸等は、地震荷重作用方向により、地盤反力として寄与する場合、土圧として荷重作用する場合があることから、適切にモデル化して地震応答解析を実施することにより、その影響を考慮する。一方で、津波時において、防波壁より陸側の埋戻土（掘削ズリ）は、津波荷重に対して地盤反力として寄与することから、適切にモデル化して津波時解析を実施する。



第1-5図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の「施設」の範囲



第 1-6 図 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の役割を期待する範囲

第 1-8 表 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	・逆 T 擁壁を支持する。	・逆 T 擁壁を支持する。
	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 擁壁間の変位に追従する。	・逆 T 擁壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
地盤	改良地盤	・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。
	岩盤	・鋼管杭を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	鋼管杭を支持する。
	埋戻土（掘削ズリ）	・地震荷重の作用方向の反対方向に地盤反力として寄与する（一方で、その時防波壁反対側では、土圧として作用する）。	・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	・地震荷重の作用方向が海側方向の場合、地盤反力として寄与する（一方で、地震荷重の作用方向が陸側方向の場合、土圧として作用する）。	・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。

各部位の『施設』と『地盤』を区分するに当たり、改良地盤の具体的な役割を第 1-9 表のとおり整理した。

側方地盤としての役割（第 1-9 表中「○」と記載）を有する改良地盤は『地盤』と区別する。

なお、施設の役割を維持するための条件として設計に反映する項目「○」と評価した具体的な考え方を以下に示す。

- ・改良地盤の役割である健全性については、鋼管杭の変形を抑制するために剛性（変形特性）を設計に反映することから「○」とした。
- ・改良地盤の役割である止水性については、地盤中からの回り込みによる浸水を防止するために透水係数を設計に反映することから「○」とした。なお、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを浸透流解析により確認する。

第1-9表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の各部位の具体的な役割

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

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	すべり安定性	(鋼管杭の変形抑制) 健全性		(遮水性・難透水性) 止水性
改良地盤	・鋼管杭周辺に必要な強度を有する改良地盤を設置することで鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭周辺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。	-	-	○	○	鋼管杭の変形抑制が主な目的であり、側方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。

以上を踏まえ、防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における各部位の役割に対する性能目標を第1-10表に、性能目標を満足するための照査項目と許容限界を第1-11表に示す。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、詳細設計時（工認段階）に影響の程度を検討する。

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。

第1-10表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の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)	健全性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	止水性 (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。
	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・透水性能を保持すること。
地盤	改良地盤	-	-	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)
	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。	-	-

第 1-11 表 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）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)	健全性 (鋼管杭の変形抑制) (第 4 条)	止水性 ^{※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))	
	逆 T 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)
地盤	改良地盤	-	-	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)	-	-

※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 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。

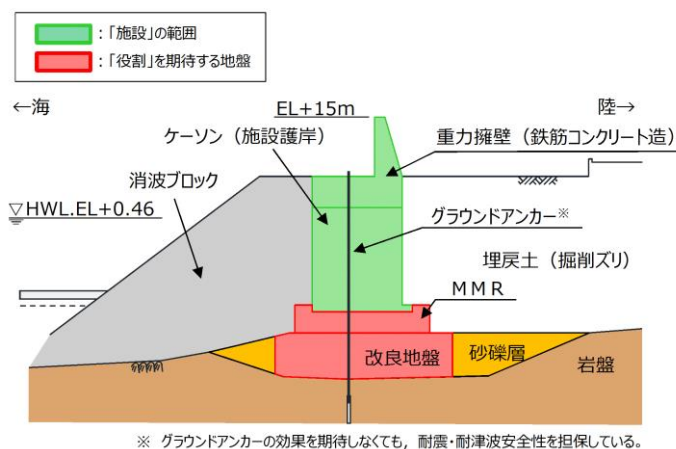
c. 防波壁（波返重力擁壁）

新規性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第 1-12 表に示す。

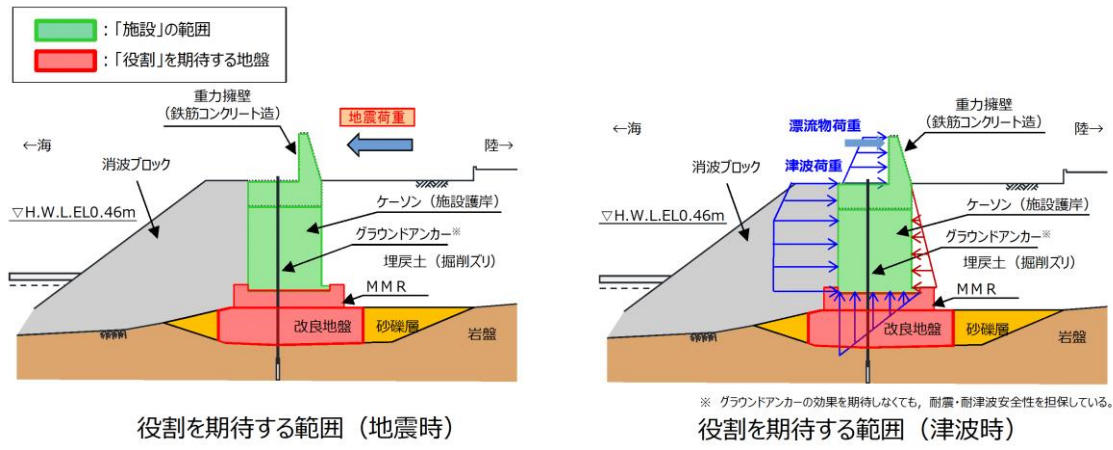
第 1-12 表 防波壁（波返重力擁壁）における検討要旨

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（鋼管杭）を支持する地盤を対象とし、地盤内にすべり線を想定し、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）における条文に対応する施設の範囲及び各部位の役割を第 1-7 図、第 1-8 図及び第 1-13 表に示す。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、これらを総称して『止水性』と整理する。地震時において、埋戻土（掘削ズリ）は、地震荷重作用方向により、地盤反力として寄与する場合、土圧として荷重作用する場合があることから、適切にモデル化して地震応答解析を実施することにより、その影響を考慮する。一方で、津波時において、埋戻土（掘削ズリ）は、津波荷重に対して地盤反力として寄与することから、適切にモデル化して津波時解析を実施する。



第 1-7 図 防波壁（波返重力擁壁）の「施設」の範囲



第 1-8 図 防波壁（波返重力擁壁）の役割を期待する範囲

第 1-13 表 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	・重力擁壁間の変位に追従する。	・重力擁壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
	ケーソン	・重力擁壁を支持する。	・重力擁壁を支持する。
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（掘削スリ）、砂礫層	・地震荷重の作用方向が陸側方向の場合、地盤反力として寄与する（一方で、地震荷重の作用方向が海側方向の場合、土圧として作用する）。	・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。

各部位の『施設』と『地盤』を区分するに当たり、MMR及び改良地盤の具体的な役割を第 1-14 表のとおり整理した。

支持地盤や側方地盤としての役割（第 1-14 表中「○」と記載）を有する MMR 及び改良地盤は『地盤』と区分する。

なお、施設の役割を維持するための条件として設計に反映する項目「○」と評価した具体的な考え方を以下に示す。

- ・ MMR 及び改良地盤の役割である鉛直支持については、ケーソン及び重力擁壁を鉛直支持するために支持力を設計に反映することから「○」とした。
- ・ MMR 及び改良地盤の役割であるすべり安定性については、基礎地盤のすべり安定性を確保するために滑動抵抗力（強度特性）を設計に反映することから「○」とした。

- ・MMR及び改良地盤の役割である止水性については、地盤中からの回り込みによる浸水を防止するために透水係数を設計に反映することから「○」とした。なお、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを浸透流解析により確認する。

第 1-14 表 防波壁（波返重力擁壁）の各部位の具体的な役割

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

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	健全性	（遮水性・止水性・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。

以上を踏まえ、防波壁（波返重力擁壁）における各部位の役割に対する性能目標を第 1-15 表に、性能目標を満足するための照査項目と許容限界を第 1-16 表に示す。「港湾構造物設計事例集（平成 30 年改訂版）（（一財）沿岸技術研究センター）」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躯体を構築して中詰材（銅水砕スラグ等）を充填した後に蓋コンクリートで密閉する構造であることから、港湾構造物設計事例集におけるケーソンの躯体コンクリートと中詰材が一体挙動を示す考え方に準拠し、躯体コンクリート強度に応じた剛性でケーソン全体の解析用物性値を設定して地震応答解析を実施し、発生せん断応力を算定する。ケーソンの津波防護施設としての健全性・止水性については発生せん断応力度が短期許容応力度以下であることにより確認する。これについては、先行炉と同様の考え方である。また、中詰材によるケーソンの剛性低下を考慮した場合についても、発生せん断応力度への影響は軽微であると判断した。

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。

第 1-15 表 防波壁（波返重力擁壁）の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)	健全性 (鋼管杭の変形抑制) (第 4 条)	止水性 (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。	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			重力擁壁から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	重力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・透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するために、ケーソン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に、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			-	-

第 1-16 表 防波壁（波返重力擁壁）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)	健全性 (鋼管杭の変形抑制) (第 4 条)	止水性 ^{※1} (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			せん断 (短期許容応力度以下)	
地盤	MMR	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)
	改良地盤	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)
	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)		-

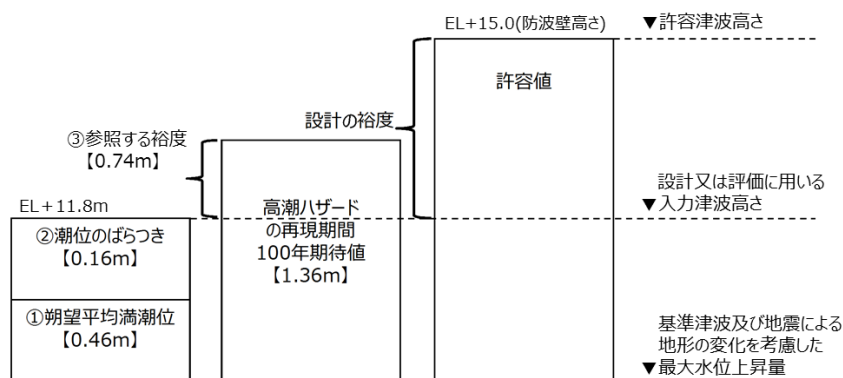
- ※1 設備及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、MMR及び改良地盤の透水係数を保守的に考慮しても津波の耐水時間中に浸水しないことを確認する。
 ※2 第3条のすべり安全率は施設の外的安定の確認を目的としており、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価結果に係る審査ガイド」に基づいて1.5以上を許容限界とする。
 ※3 第4条・第5条のすべり安全率は各部位の内的安定の確認を目的としており、「耐津波設計に係る審査ガイド」を準用して1.2以上を許容限界とする。

(3) 防波壁高さの設定方針

防波壁は、設計に用いる津波高さ（入力津波高さ）に対して余裕を持った高さを設定している。入力津波高さと防波壁高さの関係を第1-17表に、設計裕度のイメージを第1-9図に示す。

第1-17表 入力津波高さ と 防波壁高さ の 関係

入力津波高さ (潮位のばらつき等考慮)	EL+11.8m
防波壁高さ	EL+15.0m
設計裕度	3.2m



第1-9図 防波壁設計裕度のイメージ

(4) 設計方針

a. 構造概要

(a) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

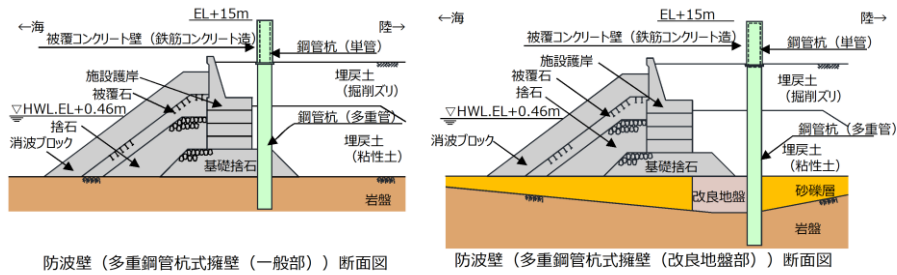
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、1，2号炉北側に配置し、鋼管杭を岩盤に打設した（根入れ深さ：5.0m程度）。鋼管杭は、コンクリートで中詰めされた大口径管の多重構造を採用している。また、岩盤部では隣り合う多重鋼管杭間にセメントミルクを間詰めし、埋戻土部はグラウト材で間詰めした。

被覆コンクリート壁は、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した部材で構成される。鋼管杭6本程度を1ブロックの標準とした壁体を連続して設置した。このブロック間の境界には、止水性を保持するための止水目地（(4) a. (f)参照）を設置する。

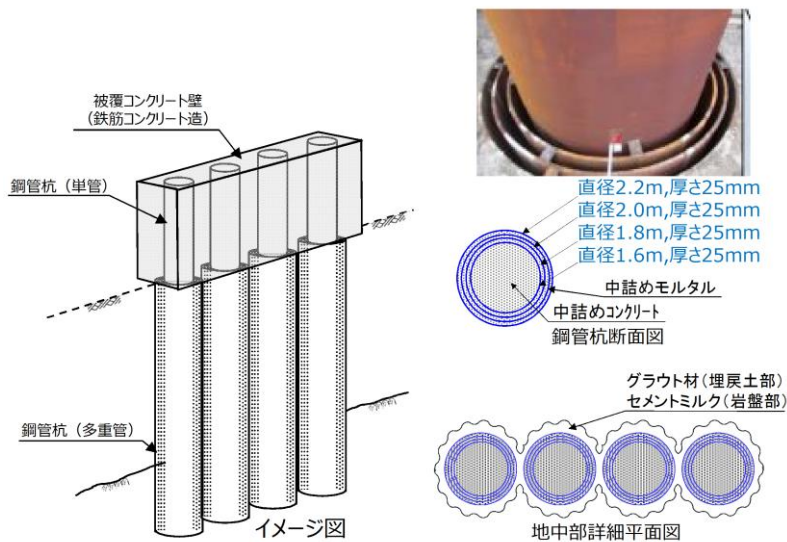
また、地中部の鋼管杭の最外管の間隔は約30cmであり、隣り合う多重

鋼管杭間はセメントミルク（岩盤部）又はグラウト材（埋戻土部）で充填されている。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の断面図を第 1-10 図に、構造概要を第 1-11 図に示す。



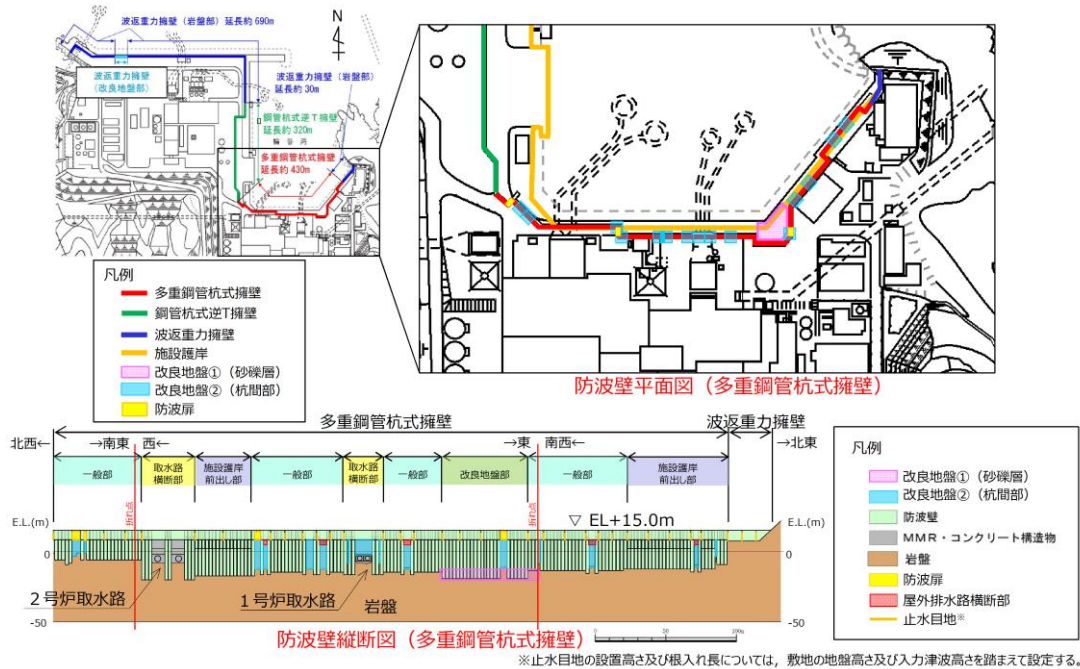
第 1-10 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の断面図



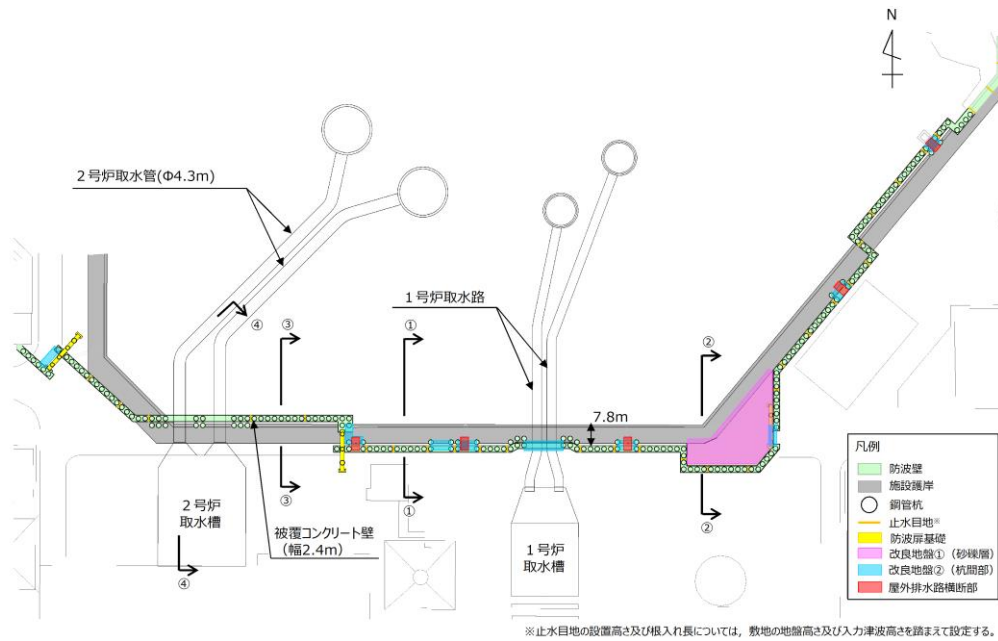
第 1-11 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）については、1, 2号炉北側全線にわたり多重鋼管杭を連続的に設置した。岩盤上に砂礫層が堆積している範囲において防波壁前面で薬液注入工法（特殊スラグ系固化剤）により地盤改良を実施した（改良地盤①）。また、取水路及び屋外排水路設置箇所等で杭間隔が大きい区間については、側方の鋼管杭に支持された上部工が横断する構造としており、横断部の地中については、止水性を保持する観点から薬液注入工法（セメント系固化剤）により地盤改良を実施した（改良地盤②）。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の縦断図を第 1-12 図に，平面図を第 1-13 図に示す。



第 1-12 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の縦断図

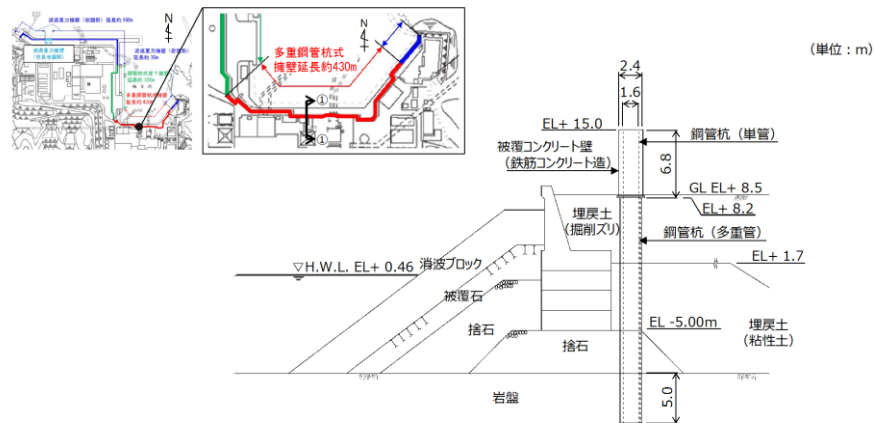


第 1-13 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の平面図

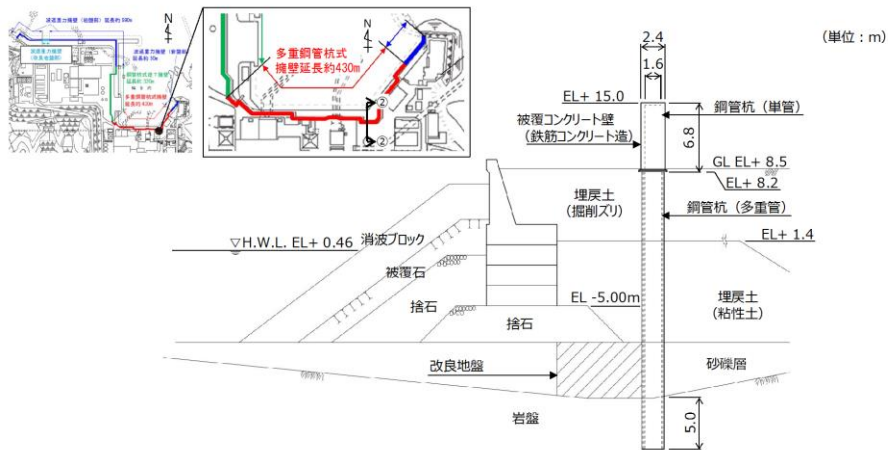
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、一般部、改良地盤部、施設護岸前出し部及び取水路横断部で構成される。特徴は以下のとおり。

- ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）一般部（①－①断面）については、施設護岸の南側（陸側）に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が配置される構造となっている。
- ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）改良地盤部（②－②断面）については、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の南東角部に位置し、支持地盤が深く、杭長が最も長い箇所である。周辺の砂礫層（海側）に対しては、薬液注入工法により地盤改良を実施した。
- ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）施設護岸前出し部（③－③断面）については、施設護岸の北側（海側）に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が配置される構造となっている。
- ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部（④－④断面）については、2号炉取水管（φ4.3m）を横断するため、側方の多重鋼管杭を南北方向に2列配置し、杭頭連結材を設置した（杭頭部の構造については参考資料2参照）。

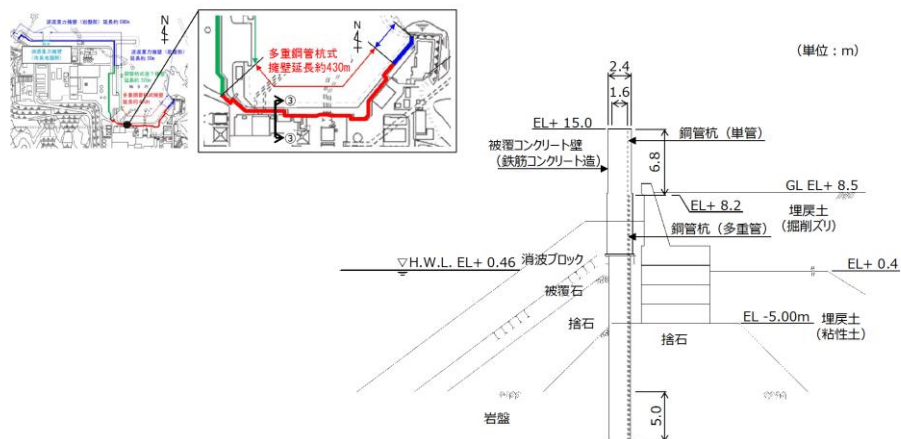
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）一般部の構造を第1-14(1)図に、改良地盤部の構造を第1-14(2)図に、施設護岸前出し部の構造を第1-14(3)図に、取水路横断部の構造を第1-14(4)図に示す。また、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）を構成する評価対象部位の役割及び施設の範囲を第1-18表及び第1-15図に、各部位の仕様を第1-19表に示す。



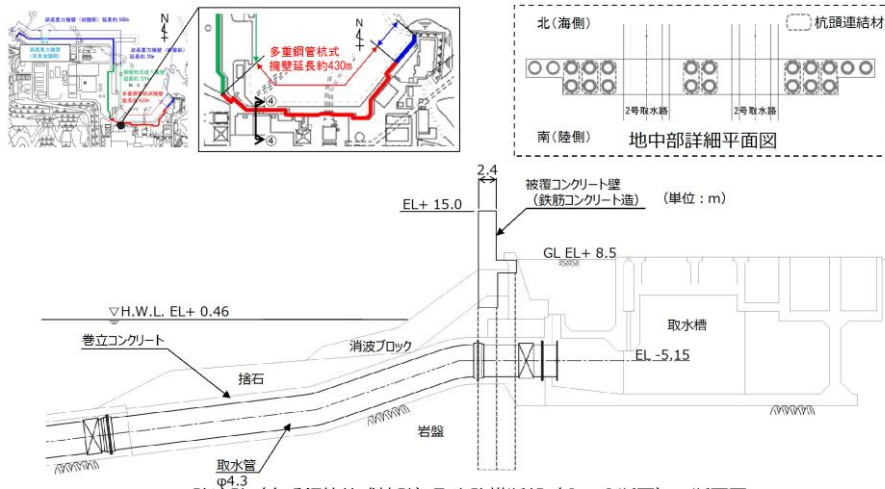
第1-14(1) 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）一般部（①－①）断面図



第1-14(2) 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）改良地盤部（②－②）断面図



第1-14(3) 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）施設護岸前出し部（③－③）断面図



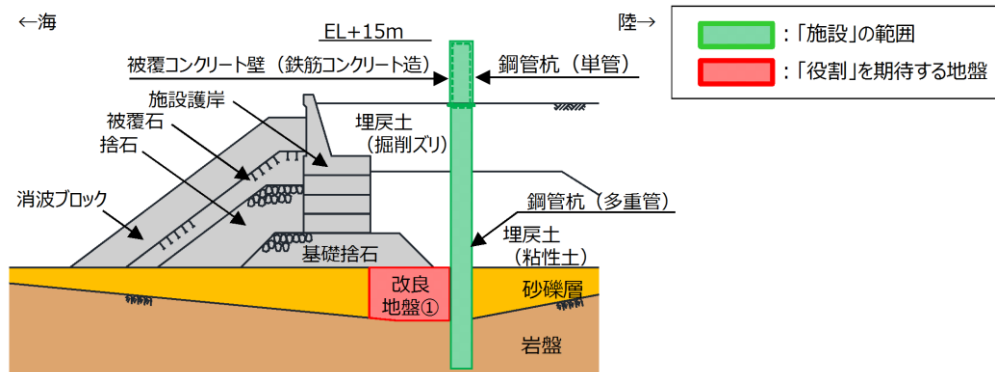
第1-14(4) 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断面（④－④）断面図

第1-18 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の役割

■ 施設の範囲

評価対象部位	役割	備考
鋼管杭*	被覆コンクリート壁を支持	
被覆コンクリート壁*	止水目地を支持，遮水性の保持	
止水目地*	被覆コンクリート壁間の遮水性の保持	
【地盤】		
セメントミルク	鋼管杭の変形を抑制，難透水性の保持	
改良地盤①（砂礫層）	鋼管杭の変形を抑制，難透水性の保持	薬液注入工法
改良地盤②（杭間部）	役割に期待しない	薬液注入工法
岩盤	鋼管杭を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与	基礎地盤
埋戻土（掘削ズリ），埋戻土（粘性土），砂礫層	地盤反力として寄与（土圧として作用）	
施設護岸，被覆石，捨石，基礎捨石	地盤反力として寄与（土圧として作用）	
消波ブロック	役割に期待しない	
グラウト材	役割に期待しない	薬液注入工法

※ 鋼管杭，被覆コンクリート壁，止水目地を構造上のバウンダリとする。



第 1-15 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) (改良地盤部) における「施設」と「地盤」の区分

第 1-19 表 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の各部位の仕様

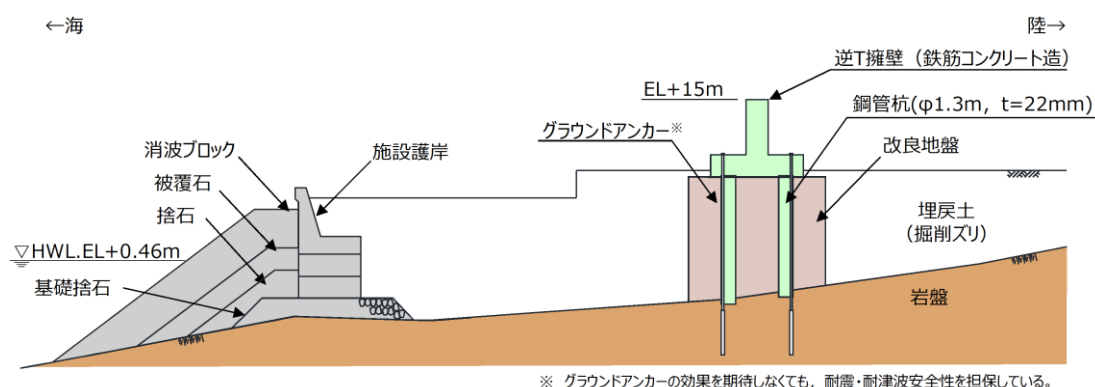
部位	仕様
【施設】	
鋼管杭	最内管：φ1600mm, t=25mm, SKK490 最内から2番目の管：φ1800mm, t=25mm, SKK490 最内から3番目の管：φ2000mm, t=25mm, SKK490 最外管：φ2200mm, t=25mm, SKK490又はSM490Y 杭底～地表面に中詰コンクリート ($f'_{ck}=18\text{N/mm}^2$)
被覆コンクリート壁	コンクリート： $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 鉄筋：SD345
止水目地	ゴムジョイント, シートジョイント：クロロプレンゴム
【地盤】	
セメントミルク	$q_u=9.8\text{N/mm}^2$ 以上
改良地盤① (砂礫層)	薬液注入工法 (特殊スラグ系固化材)

(b)防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、3号炉東側に配置し、鋼管杭を岩盤に打設した。「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」に示される式によると、極限支持力が杭先端における単位面積当たりの極限支持力と杭先端面積の積で表されることから、杭先端部全周を確実に支持させるため岩盤不陸を考慮し、0.5m程度の根入れ深さを確保した。逆T擁壁は、鋼管杭8本程度（横断方向に2列、縦断方向に4列）を1ブロックの標準とした壁体を連続して設置した（杭頭部の構造については参考資料3参照）。このブロック間の境界には、止水性を保持するための止水目地（(4) a. (f)参照）を設置する。

なお、グラウンドアンカー（永久アンカー）を設置しているが、アンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波性を担保している。

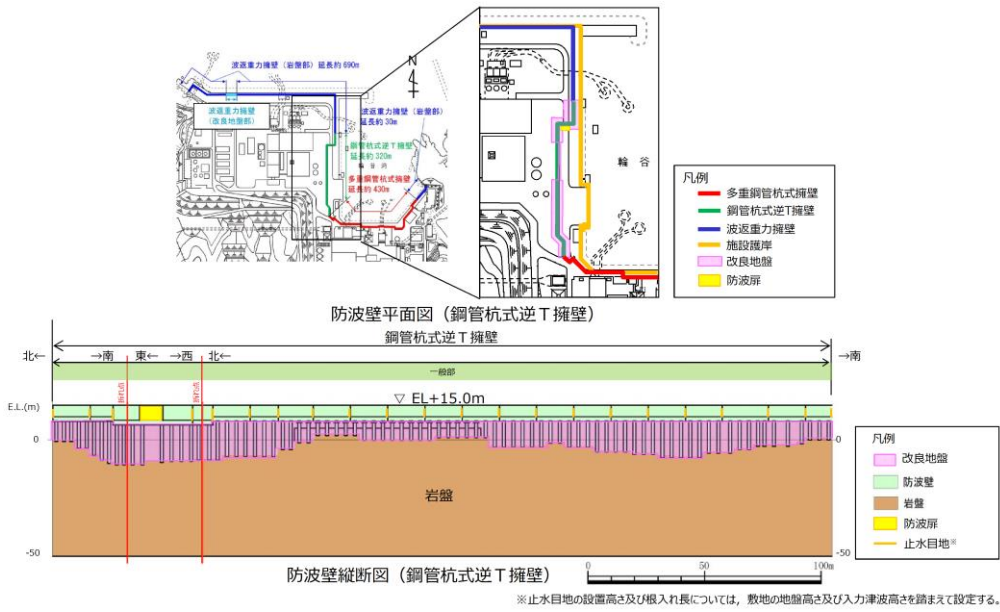
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造概要を第1-16図に示す。



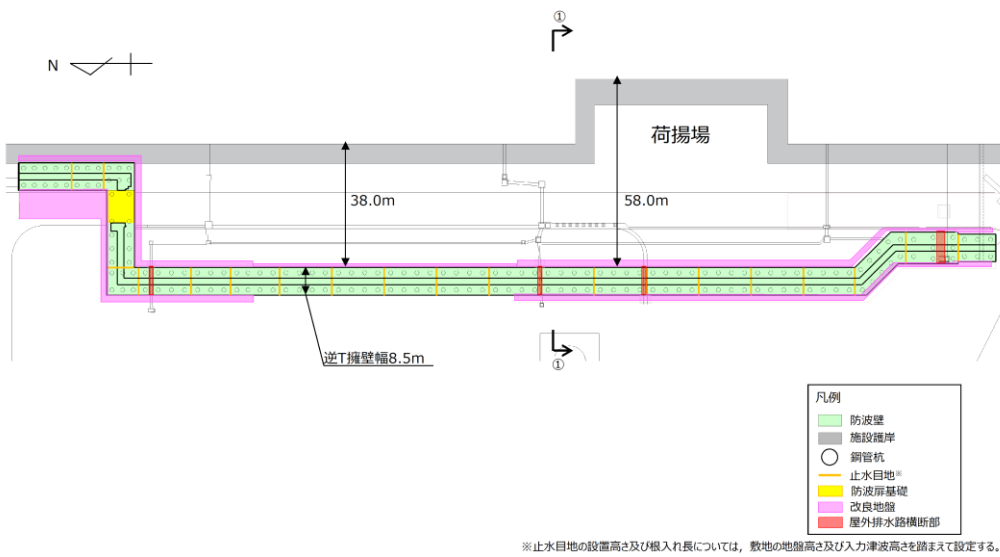
第1-16 図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）構造概要図

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）については、3号炉東側全線にわたり鋼管杭を約4m間隔で配置し、止水性の保持等の観点から杭間の埋戻土（掘削スリ）に対して地盤改良を実施した。

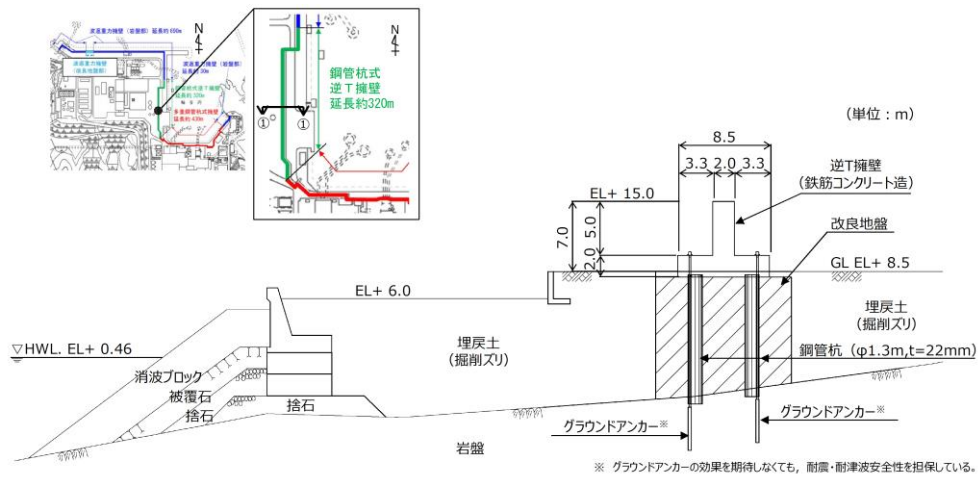
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の縦断図を第1-17図に、平面図を第1-18図に、断面図を第1-19図に示す。また、構造部位とその役割を第1-20表及び第1-20図に、各部位の仕様を第1-21表に示す。



第 1-17 図 防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) 縦断面図



第 1-18 図 防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) 平面図



第 1-19 図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）一般部（①—①断面）断面図

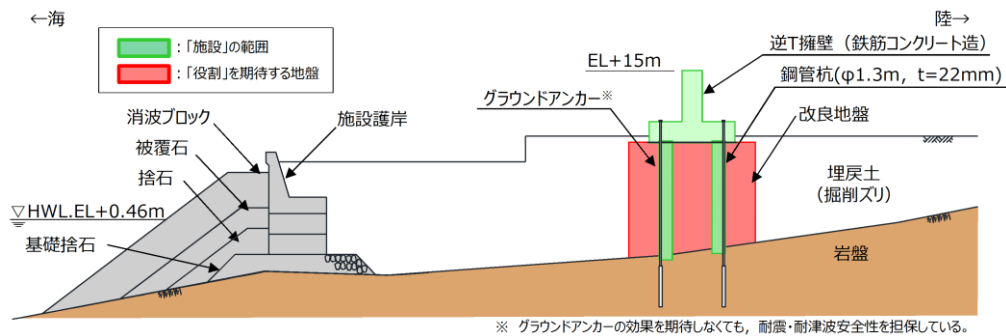
第 1-20 表 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の各部位の役割

評価対象部位	役割	備考
鋼管杭*	逆 T 擁壁を支持	
逆 T 擁壁*	止水目地を支持，遮水性の保持	
止水目地*	逆 T 擁壁間の遮水性の保持	

【地盤】

改良地盤	鋼管杭の変形を抑制，難透水性の保持	周辺地盤 薬液注入工法
岩盤	鋼管杭を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与	基礎地盤
埋戻土（掘削ズリ）	地盤反力として寄与（土圧として作用）	
施設護岸，被覆石，捨石，基礎捨石	地盤反力として寄与（土圧として作用）	
消波ブロック	役割に期待しない	

※ 鋼管杭，逆 T 擁壁，止水目地を構造上のバウンダリとする。



※ 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。

第 1-20 図 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）（一般部）における「施設」と「地盤」の区分

第 1-21 表 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の各部位の仕様

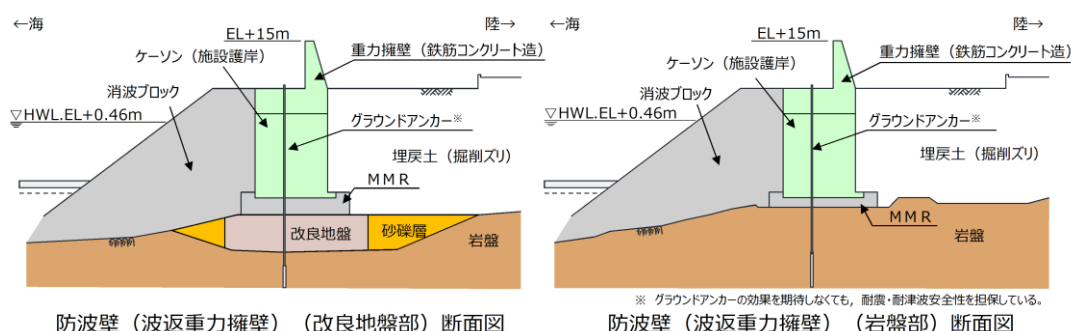
部位	仕様
【施設】	
鋼管杭	φ 1300mm, t=22mm, SKK490
逆 T 擁壁	コンクリート : $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 鉄筋 : SD345
止水目地	ゴムジョイント，シートジョイント : クロロプレンゴム
【地盤】	
改良地盤	薬液注入工法（セメント系固化材）

(c)防波壁（波返重力擁壁）

防波壁（波返重力擁壁）は、3号炉北側及び防波壁両端部に配置した。3号炉北側についてはケーソン及びMMR（マンメイドロック）を介して岩盤上に設置し、防波壁両端部については堅硬な地山に直接設置した。（ケーソンの構造については参考資料4参照）。なお、砂礫層が分布する箇所については、地盤改良を実施した。重力擁壁は、約10mを1ブロックとした壁体を連続して設置する。このブロック間の境界には、止水性を保持するための止水目地（(4) a. (f)参照）を設置する。

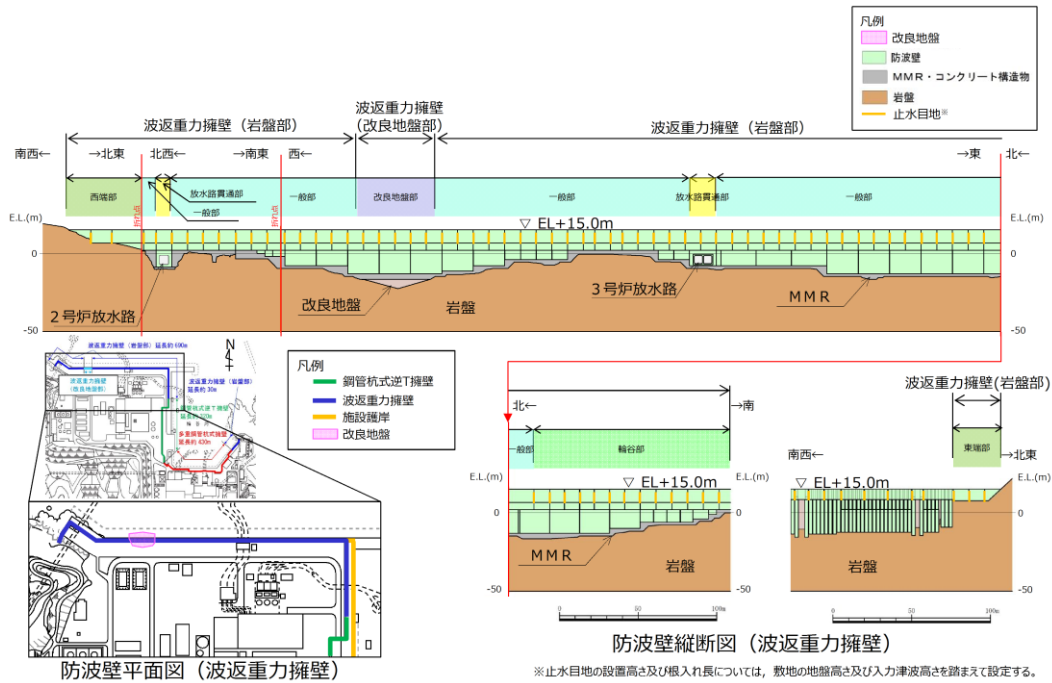
なお、グラウンドアンカー（永久アンカー）を設置しているが、アンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波性を担保している。

防波壁（波返重力擁壁）の構造概要を第1-21図に示す。

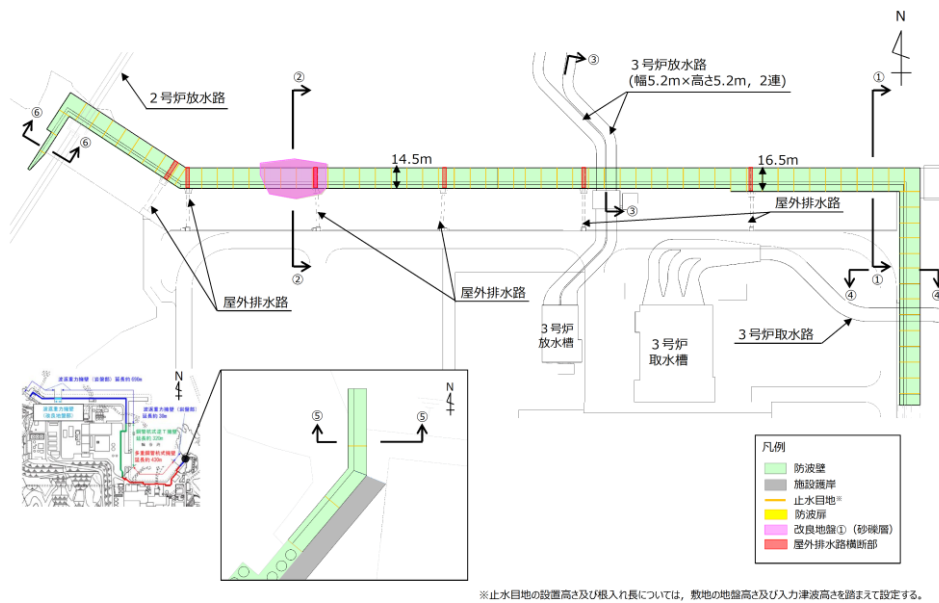


第1-21図 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図

防波壁（波返重力擁壁）については、3号炉北側の概ね全線にわたり岩盤に支持されているが、一部に砂礫層が介在する箇所に対して地盤改良を実施した。また、2, 3号炉放水路がケーソンを貫通する箇所がある。防波壁（波返重力擁壁）の縦断図を第1-22図に、平面図を第1-23図に示す。



第 1-22 図 防波壁 (波返重力擁壁) の縦断面図

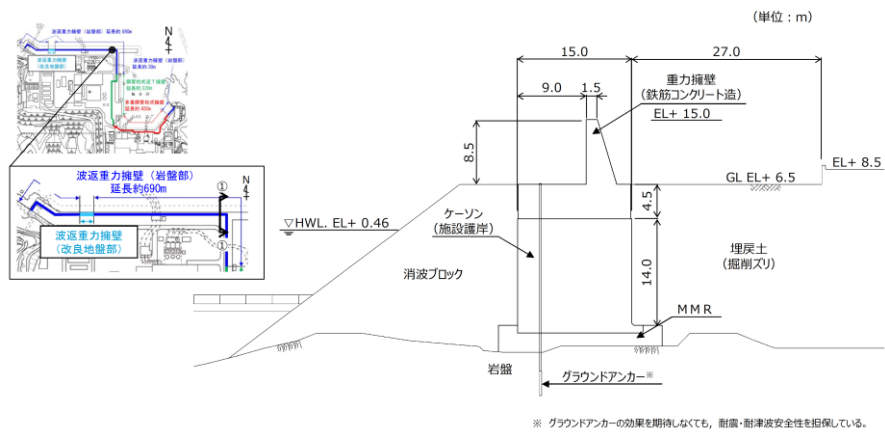


第 1-23 図 防波壁 (波返重力擁壁) の平面図

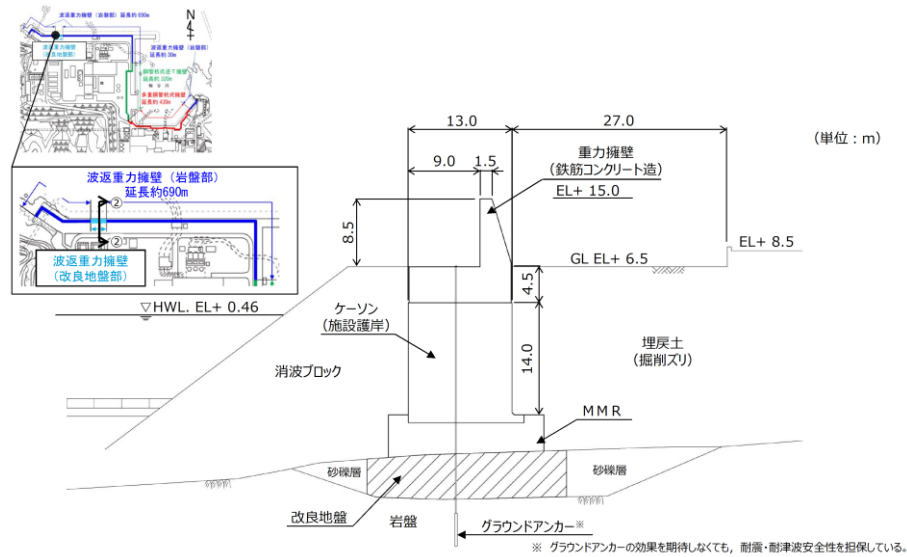
防波壁（波返重力擁壁）は、一般部、改良地盤部、放水路貫通部、輪谷部、東端部及び西端部で構成される。特徴は以下のとおり。

- ・防波壁（波返重力擁壁）一般部（①－①断面）については、MMR を介して岩盤に直接設置されたケーソン上に重力擁壁を設置した。
- ・防波壁（波返重力擁壁）改良地盤部（②－②断面）については、ケーソン下部に砂礫層を介在していたことから、高圧噴射攪拌工法による地盤改良を実施した。
- ・防波壁（波返重力擁壁）放水路貫通部（③－③断面）については、放水路（幅 5.2m×高さ 5.2m, 2 連）が貫通するケーソン上に重力擁壁を設置した。放水路貫通部の放水路（ケーソン）は重力擁壁を間接支持する構造物とする。
- ・防波壁（波返重力擁壁）輪谷部（④－④断面）については、防波壁（波返重力式擁壁）の東側に位置し、輪谷湾に面しており、防波壁の海側に消波ブロックを設置していない断面である。
- ・防波壁（波返重力擁壁）東端部（⑤－⑤断面）については、地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、H 鋼（H-350×350×12×19）を 1m 間隔で打設し、重力擁壁を堅硬な地山に直接設置する設計とした。また、前面及び背面をコンクリートで被覆した。
- ・防波壁（波返重力擁壁）西端部（⑥－⑥断面）については、地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、H 鋼（H-350×350×12×19）を 1m 間隔で打設し、重力擁壁を堅硬な地山に直接設置する設計とした。また、前面及び背面をコンクリートで被覆した。

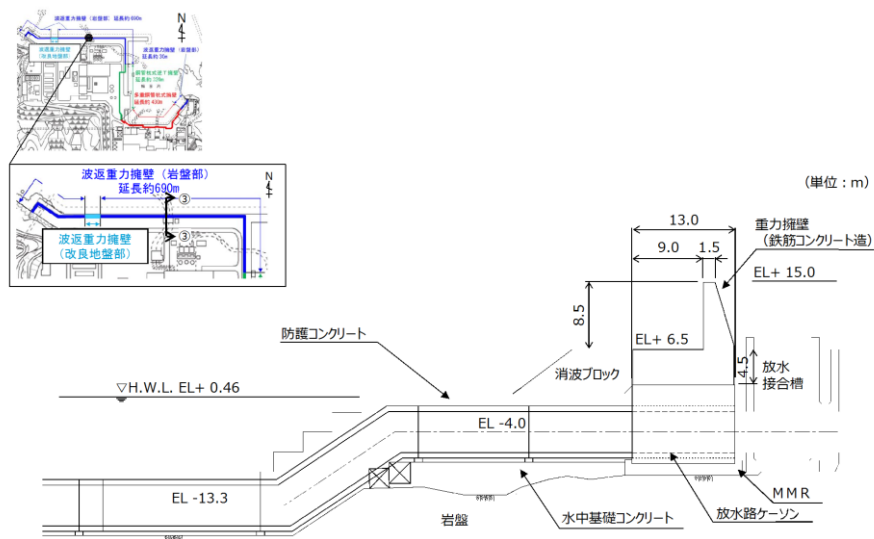
防波壁（波返重力擁壁）一般部の構造を第 1-24(1) 図に、改良地盤部の構造を第 1-24(2) 図に、放水路貫通部の構造を第 1-24(3) 図に、輪谷部の構造を第 1-24(4) 図に、東端部の構造を第 1-24(5) 図に、西端部の構造を第 1-24(6) 図に示す。また、東端部の状況写真を第 1-25(1) 図に、西端部の状況写真を第 1-25(2) 図に、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）を構成する評価対象部位の役割及び施設の範囲を第 1-22 表及び第 1-26 図に、各部位の仕様を第 1-23 表に示す。



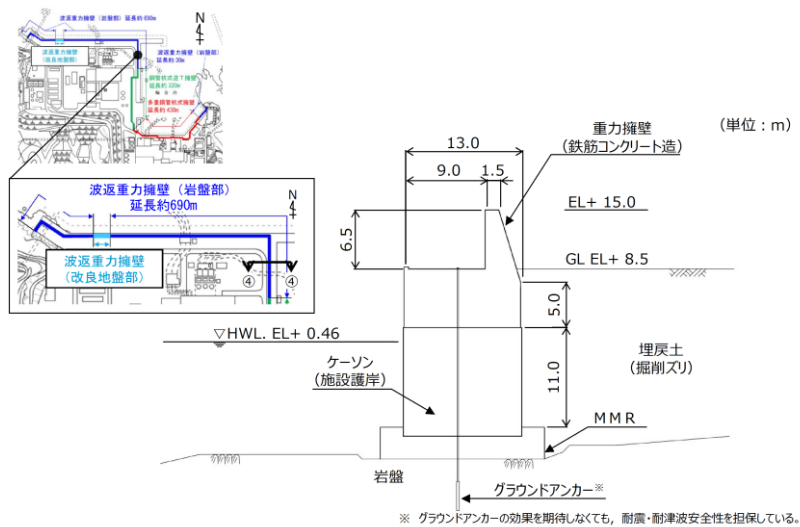
第 1-24(1) 図 防波壁（波返重力擁壁）一般部（①－①）断面図



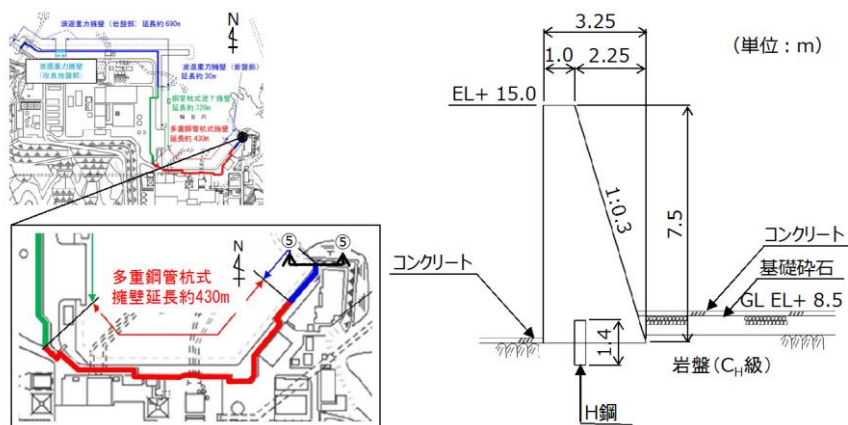
第 1-24(2) 図 防波壁（波返重力擁壁）改良地盤部（②－②）断面図



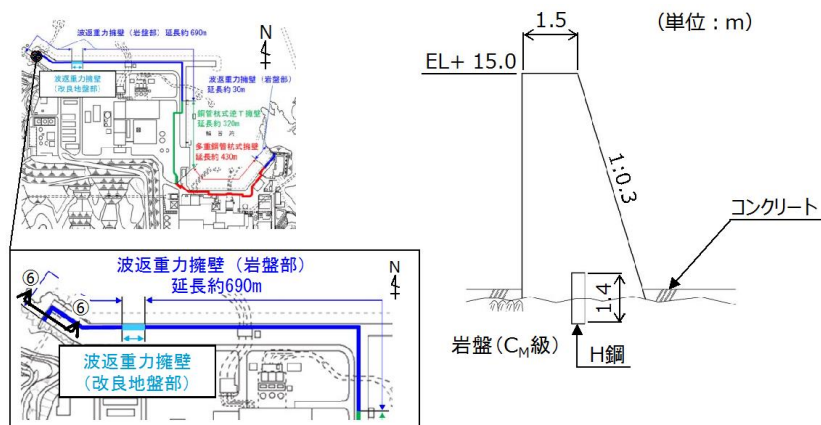
第 1-24(3) 図 防波壁（波返重力擁壁）放水路貫通部（③－③）断面図



第1-24(4) 図 防波壁 (波返重力擁壁) 輪谷部 (④-④) 断面図



第1-24(5) 図 防波壁 (波返重力擁壁) 東端部 (⑤-⑤) 断面図



第1-24(6) 図 防波壁 (波返重力擁壁) 西端部 (⑥-⑥) 断面図



防波壁東端部 外観写真

防波壁東端部 岩盤露出状況

第 1-25(1) 図 防波壁（波返重力擁壁）東端部 状況写真



防波壁西端部 状況写真

防波壁西端部 岩盤露出状況

第 1-25(2) 図 防波壁（波返重力擁壁）西端部 状況写真

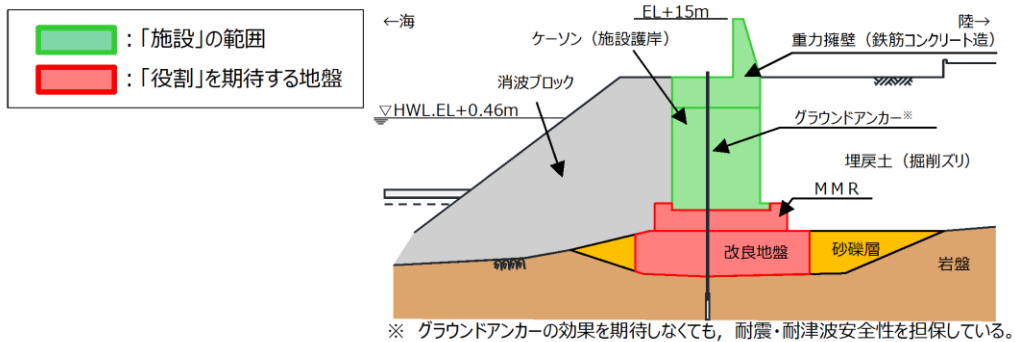
第 1-22 表 防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割

■ 施設の範囲

評価対象部位	役割	備考
重力擁壁*	止水目地を支持，遮水性の保持	
止水目地*	重力擁壁間の遮水性の保持	
ケーソン*	重力擁壁を支持	
【地盤】		
MMR	ケーソン及び重力擁壁を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与，難透水性の保持	ケーソン架台に打設した基礎コンクリート，24N/mm ²
改良地盤	ケーソン及び重力擁壁を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与，難透水性の保持	基礎地盤（ケーソン下面と岩盤上面の間に，砂礫層が介在している区間のみ） 高圧噴射攪拌工法
岩盤	ケーソン及び重力擁壁を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与	基礎地盤
埋戻土（掘削ズリ），砂礫層	地盤反力として寄与（土圧として作用）	
消波ブロック	役割に期待しない	

※ 重力擁壁，止水目地，ケーソンを構造上のバウンダリとする。

本資料のうち，枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



第 1-26 図 防波壁（波返重力擁壁）（地盤改良部）における「施設」と「地盤」の区分

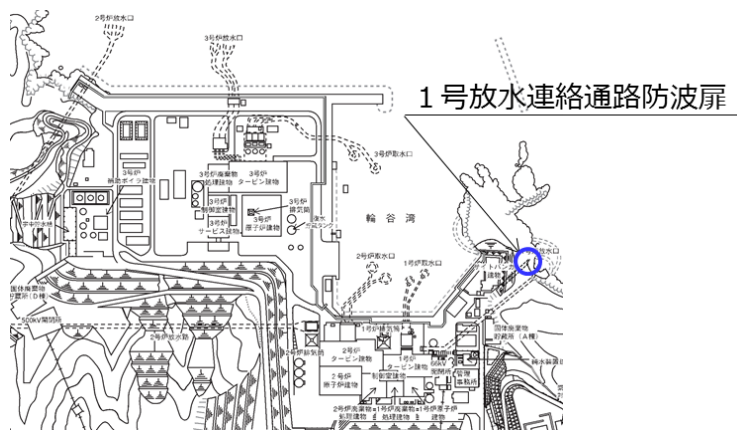
第 1-23 表 防波壁（波返重力擁壁）の各部位の仕様

部位	仕様
【施設】	
重力擁壁	コンクリート： $f'_{ck}=24\text{N}/\text{mm}^2$ 鉄筋：SD345
止水目地	ゴムジョイント，シートジョイント：クロロプレンゴム
ケーソン	—
【地盤】	
MMR	ケーソン架台に打設した基礎コンクリート， $f'_{ck}=24\text{N}/\text{mm}^2$
改良地盤	高圧噴射攪拌工法（セメント系固化材）

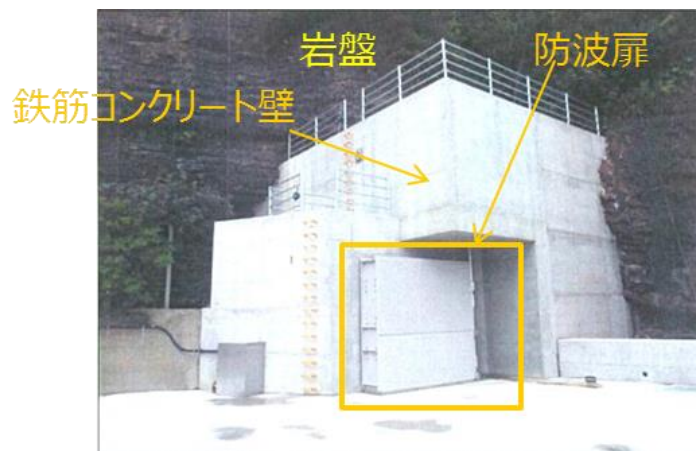
(d) 1号放水連絡通路防波扉

1号放水連絡通路坑口部（既設）からの津波の流入を防止するため、1号放水連絡通路防波扉を設置した。

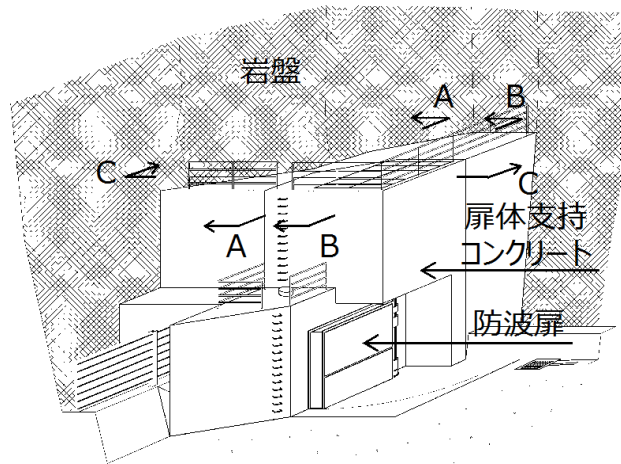
1号放水連絡通路防波扉は、防波扉及び扉体支持コンクリート（開閉機構を支持する鉄筋コンクリート構造物）で構成される。地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、MMR（マンメイドロック）を介し、堅硬な地山に設置しており、津波荷重や地震荷重等に対して津波防護機能を十分に保持する設計とした。津波の流入を防止するため、1号放水連絡通路坑口部（既設）と扉体支持コンクリートとの取り合い部に止水目地を設置する。また、両構造物周辺に間詰コンクリートを打設して周辺地山と一体化を図ることにより地震による変形を抑制する設計とした。1号放水連絡通路防波扉の設置位置図を第1-27図に、設置状況写真を第1-28図に、鳥瞰図を1-29図に、断面図を1-30図に示す。



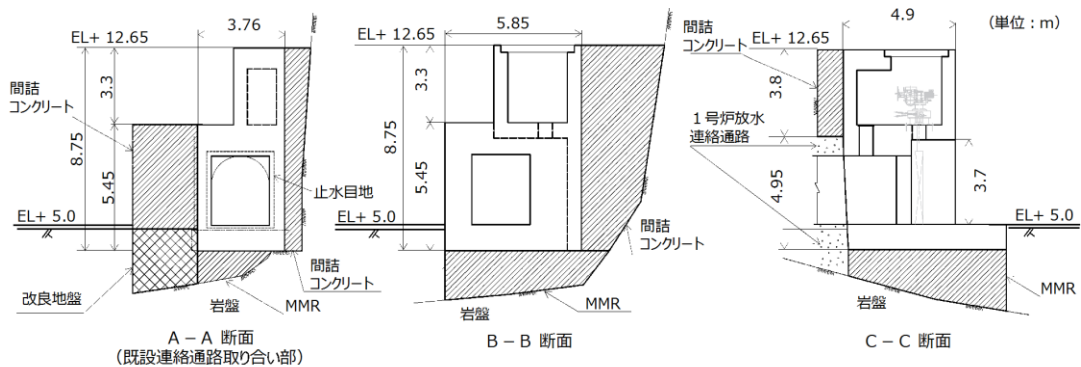
第1-27図 1号放水連絡通路防波扉の位置図



第1-28図 1号放水連絡通路防波扉の設置状況写真

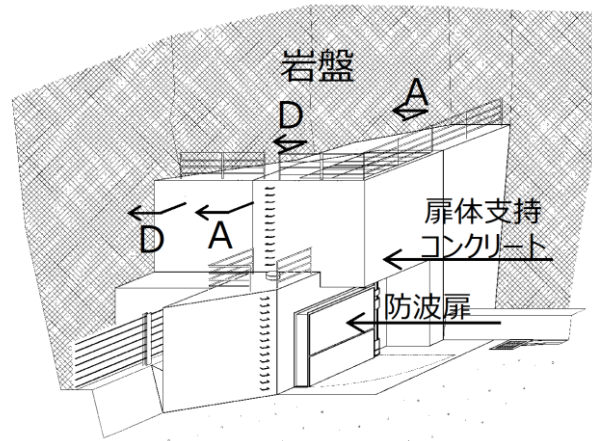


第 1-29 図 1 号放水連絡通路防波扉の鳥瞰図 (1)

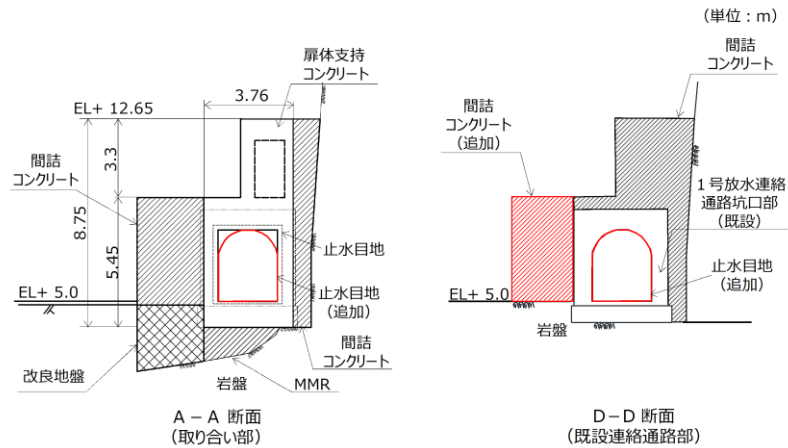


第 1-30 図 1 号放水連絡通路防波扉の断面図 (1)

1号放水連絡通路坑口部（既設）については、一部区間において既設コンクリートが設置されていないため、コンクリートにより補強する。1号放水連絡通路坑口部（既設）及び既設連絡津路取り合い部については、追加で実施するコンクリートにより耐震・耐津波性を有する構造とするが、念のため変形・遮水性能を保持する止水目地を追加で設置する。1号放水連絡通路防波扉の鳥瞰図を第 1-31 図に、断面図を第 1-32 図に、構造部位とその役割及び施設の範囲を第 1-24 表及び第 1-33 図に、評価対象部位の仕様を第 1-25 表に示す。



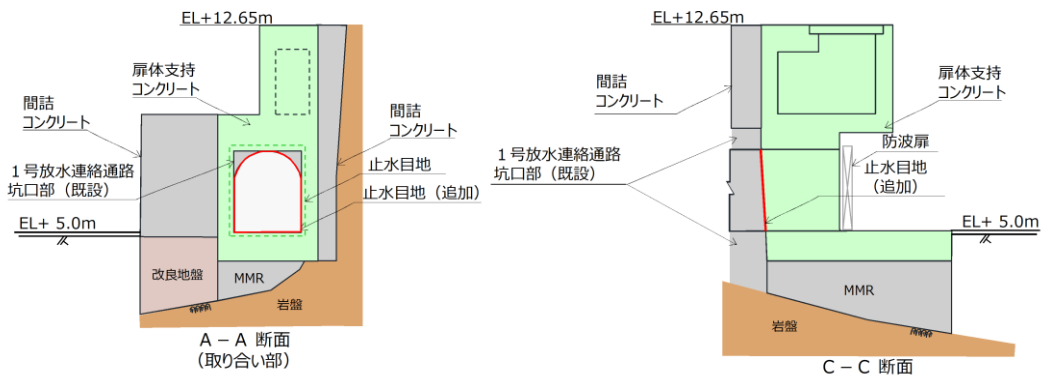
第 1-31 図 1 号放水連絡通路防波扉の鳥瞰図 (2)



第 1-32 図 1 号放水連絡通路防波扉の断面図 (2)

第 1-24 表 1 号放水連絡通路防波扉の各部位の役割

評価対象部位	役割	備考
扉体支持 コンクリート	防波扉（開閉機構含む）の支持， 止水機能の保持	
止水目地	1号炉放水連絡通路間の止水機能の保持	
【地盤】		
MMR	扉体支持コンクリートを支持	基礎地盤
間詰コンクリート	扉体支持コンクリートの変形を抑制	
改良地盤	間詰コンクリートを支持	周辺地盤 表層改良工法
岩盤	扉体支持コンクリートを支持	基礎地盤



第 1-33 図 1 号放水連絡通路防波扉「施設」の範囲

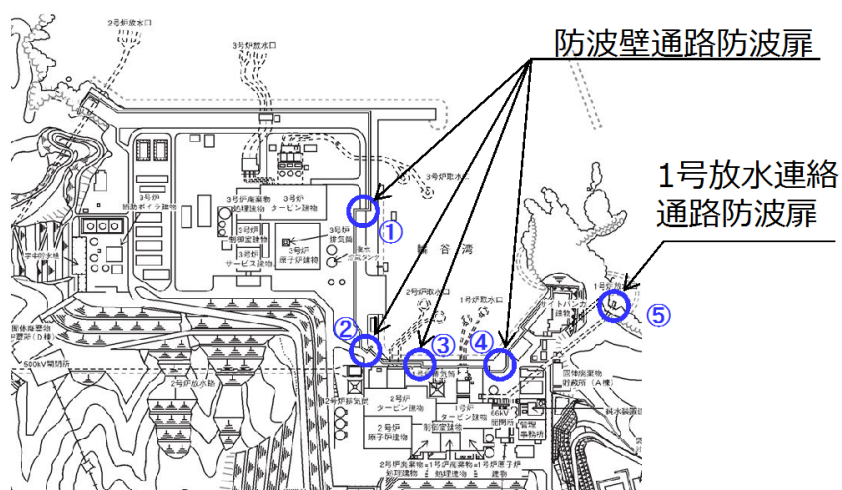
第 1-25 表 1 号放水連絡通路防波扉の各部位の仕様

評価対象部位	仕様
扉体支持 コンクリート	コンクリート：24N/mm ² 鉄筋：SD345
止水目地	ゴム止水材
MMR・ 間詰コンクリート	コンクリート：18N/mm ²
改良地盤	表層改良工法

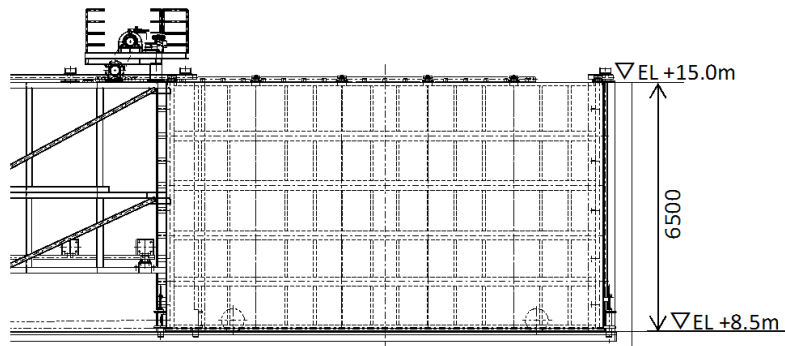
(e)防波扉

防波壁通路防波扉は、3号炉東側に1箇所、1、2号炉北側に3箇所、1号放水連絡通路に1箇所の計5箇所に設置しており、鋼製の主桁、補助縦桁及びスキムプレート等により構成される。防波壁通路防波扉は津波荷重や地震荷重等に対して浸水防止機能を十分に保持設計とした。3号炉東側の防波扉（①）及び1、2号炉北側の防波扉（②～④）は下部及び側部に設置した水密ゴムにより遮水性を確保している。防波扉下部に設置した水密ゴムは津波による水圧により扉に押し付けられる構造としている（防波扉断面図 詳細図参照）。

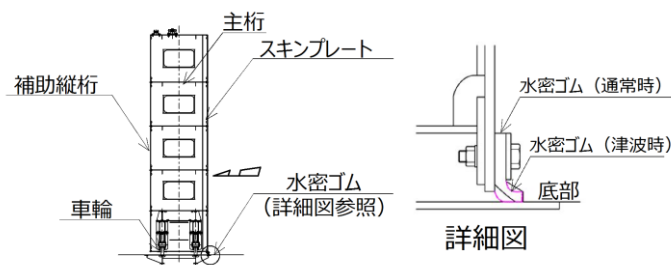
防波扉の位置図を第1-34図に、構造を第1-35～43図に、設置状況を第1-44～48図に、防波扉を構成する評価対象部位の役割及び施設の範囲を第1-26表及び第1-49図に示す。



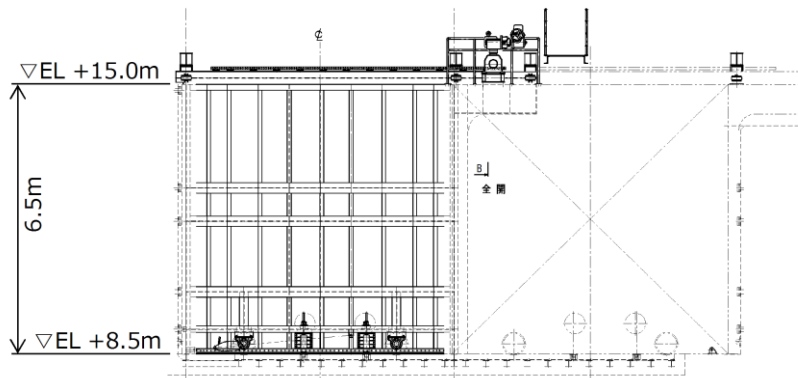
第1-34 図 防波壁通路防波扉の位置図



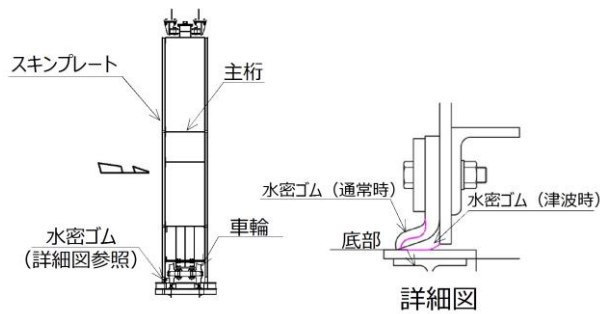
第 1-35 図 防波壁通路防波扉（3号炉東側）① 正面図



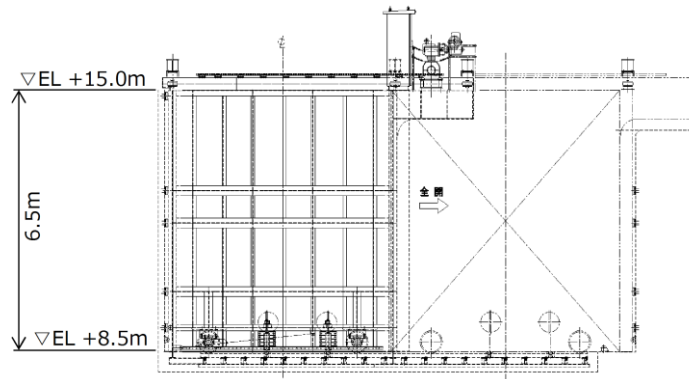
第 1-36 図 防波壁通路防波扉（3号炉東側）① 断面図



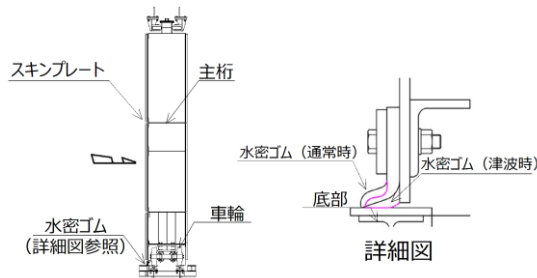
第 1-37 図 防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）② 正面図



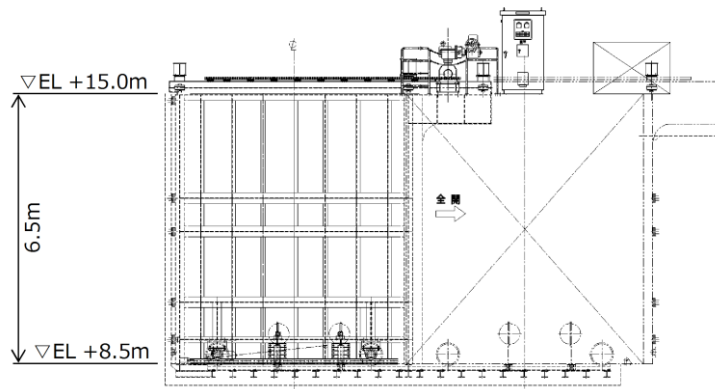
第 1-38 図 防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）② 断面図



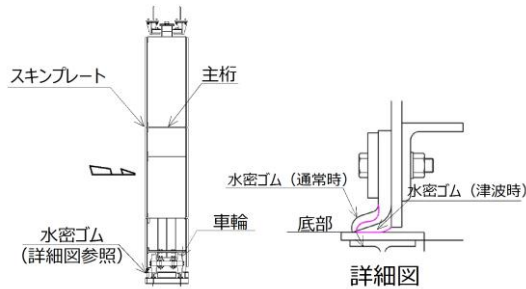
第 1-39 図 防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）③ 正面図



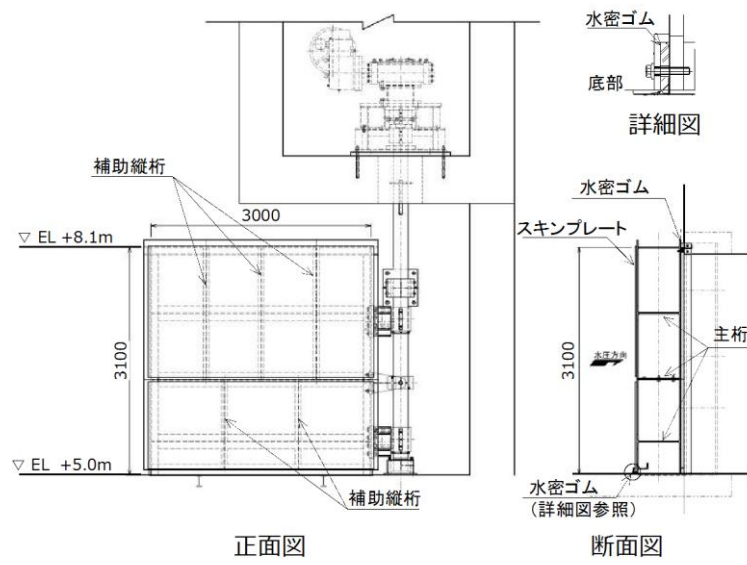
第 1-40 図 防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）③ 断面図



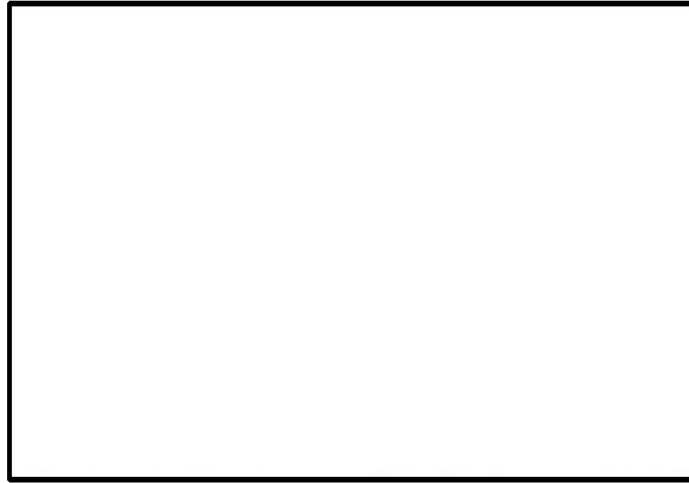
第 1-41 図 防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）④ 正面図



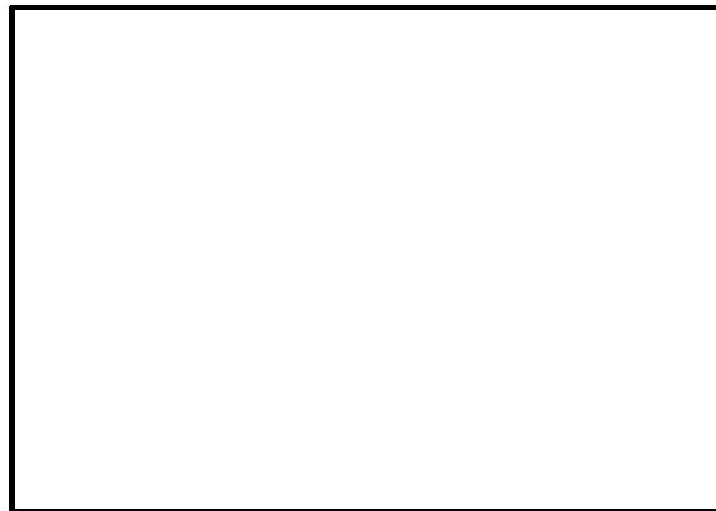
第 1-42 図 防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）④ 断面図



第 1-43 図 防波壁通路防波扉（1号放水連絡通路） 正面図・断面図



第 1-44 図 防波壁通路防波扉（3号炉北側）① 設置状況



第 1-45 図 防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）② 設置状況

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



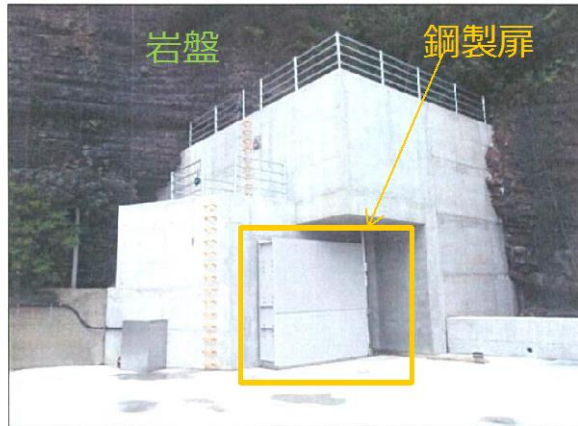
第 1-46 図 防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）③ 設置状況



第 1-47 図 防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）④ 設置状況

1号放水連絡通路防波扉（⑤）は扉前面に設置した下部水密ゴム，背面に取り付けた側部及び上部水密ゴムにより遮水性を確保している。

1号放水連絡通路防波扉は開閉時に上昇・下降する機構となっており，下部水密ゴムは閉状態で押さえ板に押し付けられる構造としている。



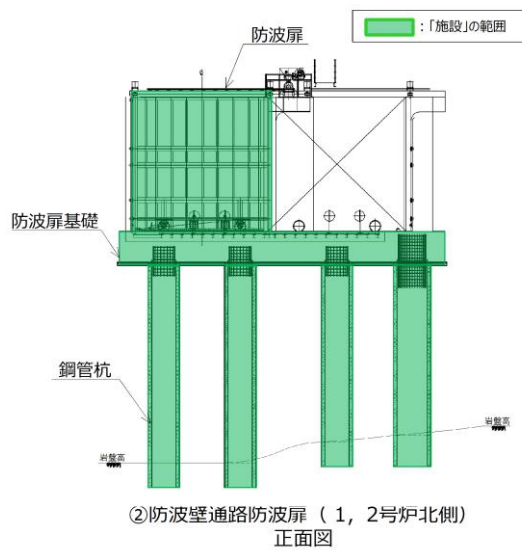
第 1-48 図 防波壁通路防波扉（1号放水連絡通路防波扉）⑤ 設置状況

第 1-26 表 防波壁通路防波扉の各部位の役割

評価対象部位	役割	備考
防波扉	遮水性の保持	
防波扉基礎	防波扉を支持	
鋼管杭	防波扉を支持	
水密ゴム	遮水性の保持	

【地盤】

改良地盤	鋼管杭の変形を抑制，難透水性の保持	
岩盤	鋼管杭を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与	

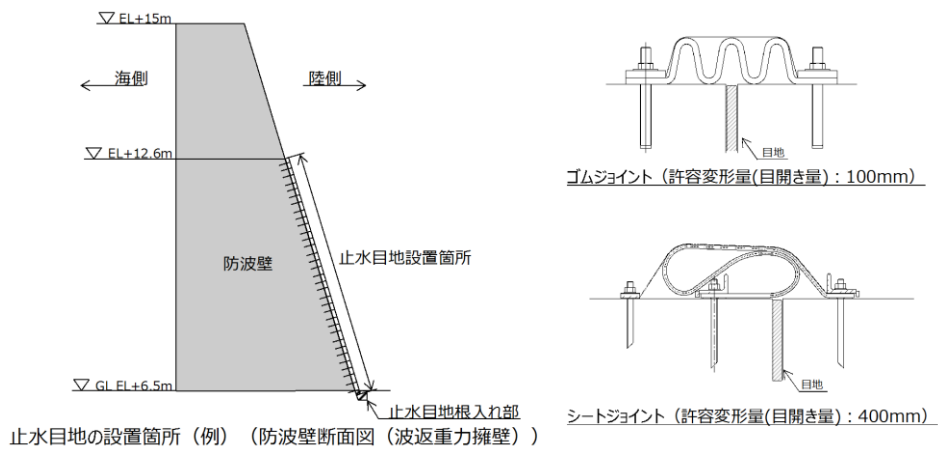


第 1-49 図 防波壁通路防波扉「施設」の範囲

(f) 止水目地

防波壁の施工ブロック間の目地部からの津波の遡上を防止するため、止水目地を設置する。止水目地は、隣接する防波壁の施工ブロック間の地震時の相対変位に応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。また、遡上する津波波圧に対する耐津波性を有し、入力津波高さを踏まえた設計とする。

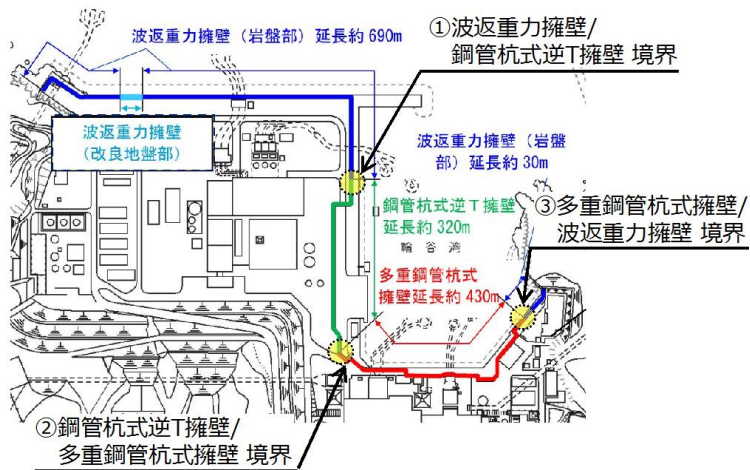
ゴムジョイント及びシートジョイントは止水性能を保持させるため、鋼製部材（押え板、アンカーボルト）で固定する。止水目地の許容変形量、許容水圧及び耐久性は、メーカー規格及び基準並びに必要なに応じて実施する性能試験を参考に定める。止水目地は、津波漂流物の衝突による損傷を防止するため、防波壁の陸側に設置する。防波壁（波返壁重力式擁壁）を例に止水目地の設置箇所、及び概要図を第 1-50 図に示す。



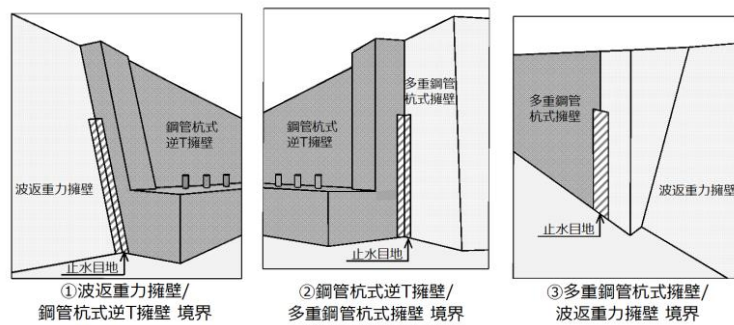
第 1-50 図 防波壁の止水目地の設置箇所及び概要図

防波壁には異種構造型式の境界部が 3 箇所存在するため、構造を擦り付けることで離隔が生じないように設置した。目地からの津波の流入を防止するため、境界に止水目地を設置する。異種構造型式の境界位置の止水目地は設置箇所の形状を考慮して設計する。

防波壁構造形式の境界位置図を第 1-51 図に、境界部の止水目地の形状を第 1-52 図に示す。



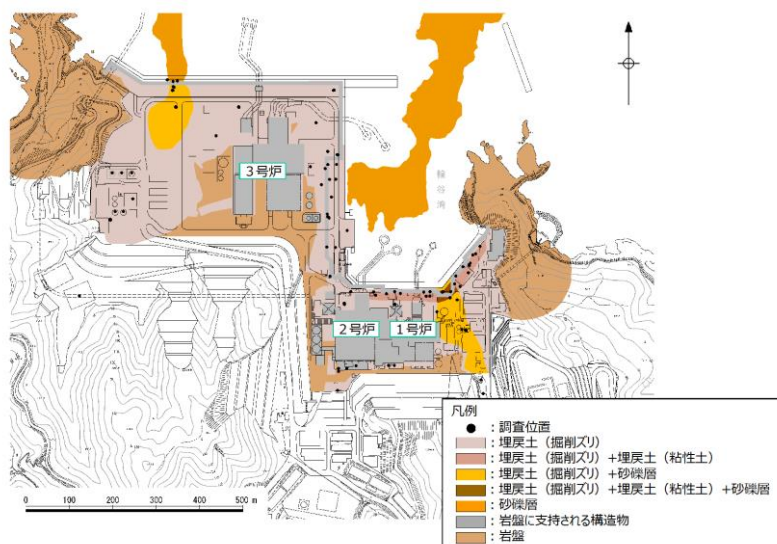
第 1-51 図 防波壁の構造形式の境界位置図



第 1-52 図 防波壁構造形式境界部の止水目地形状

b. 防波壁設置位置の地質構造

防波壁周辺の被覆層の分布状況及び地山の岩盤の分布状況を第1-53図に示す。

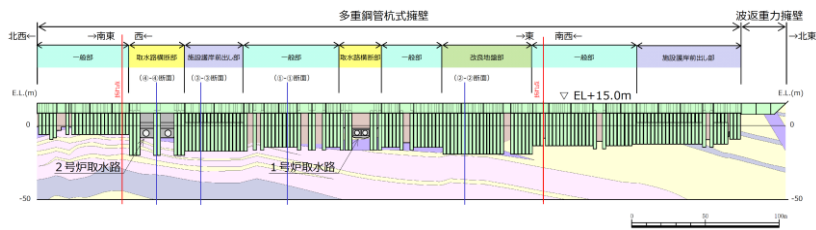
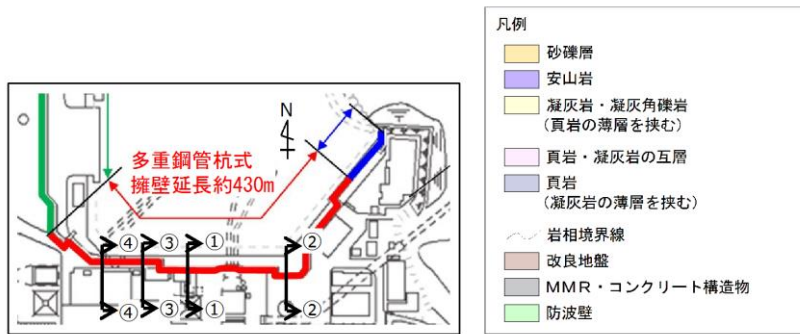


第1-53図 敷地の被覆層 平面図

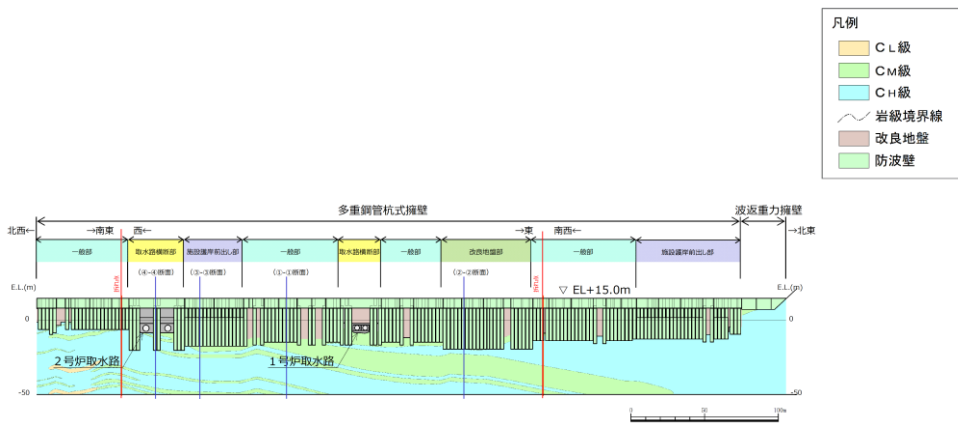
(a) 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)

防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の岩相縦断図を第1-54図に、岩級縦断図を第1-55図に、地質断面図を第1-56～59図に示す。防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) は、杭を介して主にCM級及びCH級岩盤に支持されており、縦断方向に応じた地質変化部は存在しない。また、耐震評価候補断面の整理方針を第1-27表に示す。各断面の特徴は以下のとおり。

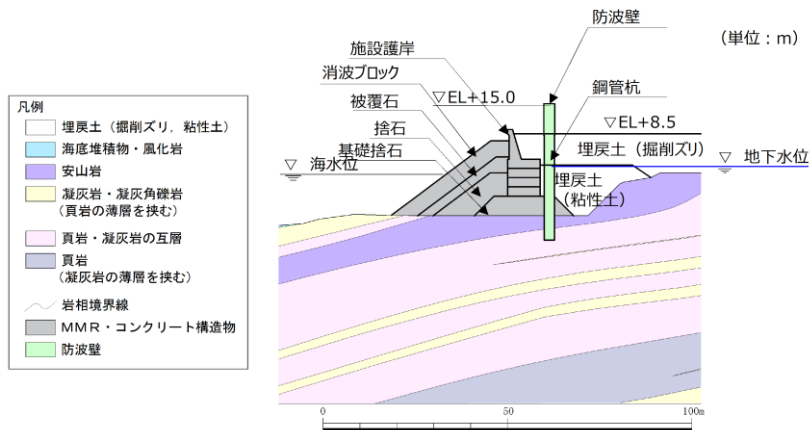
- ・ ①-①断面は、鋼管杭を岩盤に根入れしている。また、周辺には埋戻土 (掘削ズリ) 等が分布している。
- ・ ②-②断面は、鋼管杭を岩盤に根入れしている。また、周辺には埋戻土 (掘削ズリ)、砂礫層等が分布している
- ・ ③-③断面は、鋼管杭を岩盤に根入れしている。また、周辺には埋戻土 (掘削ズリ) 等が分布している。
- ・ ④-④断面は、鋼管杭を岩盤に根入れしている。また、周辺には埋戻土 (掘削ズリ) が分布している。



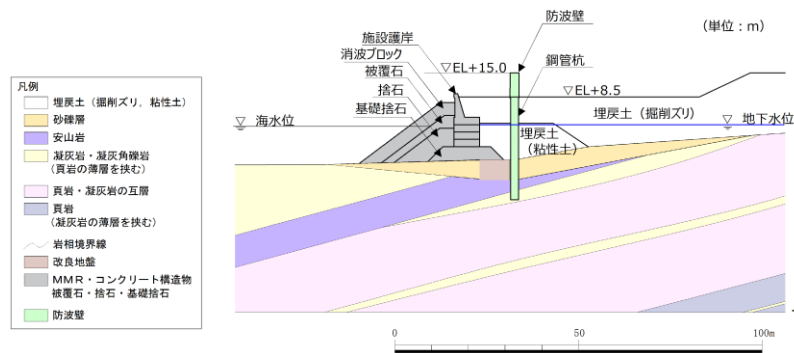
第 1-54 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の岩相縦断面図



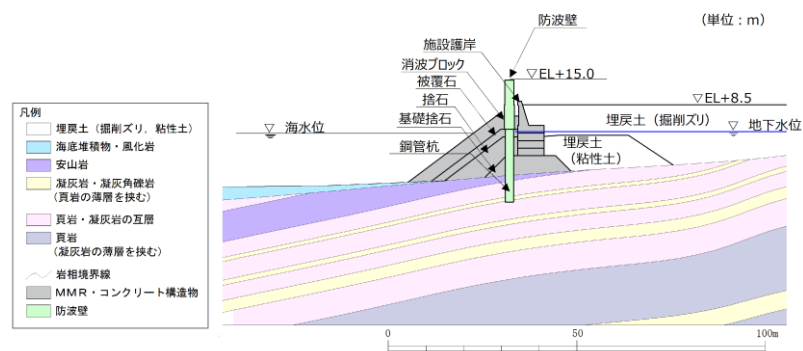
第 1-55 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の岩級縦断面図



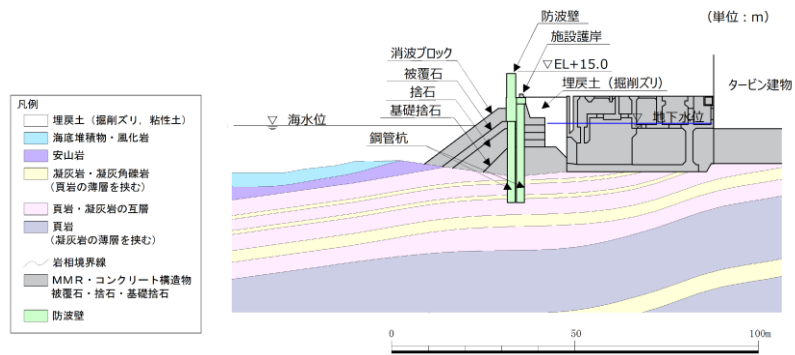
第 1-56 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の地質断面図 (①-①)



第 1-57 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の地質断面図 (②-②)



第 1-58 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の地質断面図 (③-③)



第 1-59 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地質断面図（④－④）

第 1-27 表 耐震評価候補断面の整理
(防波壁 (多重鋼管杭式擁壁))

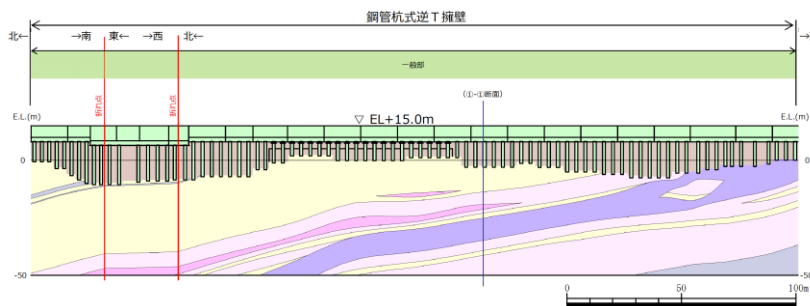
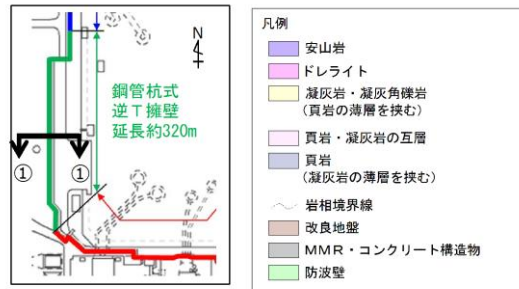
観点		防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	
		一般部 (①-①断面)	改良地盤部 (②-②断面)
要求機能		津波防護施設	津波防護施設
①間接支持する設備		・なし	・なし
②構造的特徴	形式	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭4.5本程度を標準とした壁体を連続して設置している。 被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭6本程度を標準とした壁体を連続して設置している。 被覆コンクリート壁は、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した部材で構成されている。
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ6.80m 鋼管杭：φ1.80～2.20m 	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ6.80m 鋼管杭：φ1.80～2.20m
③周辺状況	周辺地質	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にCM級岩盤に打設し、支持されている。 周辺地質は、埋戻土 (掘削スリ) 及び埋戻土 (粘性土) が分布している。 地表面から岩盤までの深さ：18.1m 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にCM級岩盤に打設し、支持されている。 周辺地質は、埋戻土 (掘削スリ) 及び埋戻土 (粘性土) が分布し、基礎捨石の下側に改良地盤及び砂礫層が分布している。 地表面から岩盤までの深さ：22.9m
	地下水位*	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。
	隣接構造物	・北側に施設護岸が隣接する。	・北側に施設護岸が隣接する。
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。	
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。	

観点		防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	
		施設護岸前出し部 (③-③断面)	取水路横断部 (④-④断面)
要求機能		津波防護施設	津波防護施設
①間接支持する設備		・なし	・なし
②構造的特徴	形式	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭8本程度を標準とした壁体を連続して設置している。 被覆コンクリート壁は、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した部材で構成されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭16本程度による壁体を設置している。 被覆コンクリート壁は、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した部材で構成されている。
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ13.00m 鋼管杭：φ1.80～2.20m 	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ13.00m 鋼管杭：φ1.80～2.20m (海側、陸側に2列配置)
③周辺状況	周辺地質	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にCM級岩盤に打設し、支持されている。 周辺地質は、埋戻土 (掘削スリ) 及び埋戻土 (粘性土) が分布している。 地表面から岩盤までの深さ：20.8m 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を根入れ深さ7.0m程度で主にCM級及びCH級岩盤に打設し、支持されている。 周辺地質は、埋戻土 (掘削スリ) が分布している。 地表面から岩盤までの深さ：18.8m
	地下水位*	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。
	隣接構造物	・南側に施設護岸が隣接する。	・南側に施設護岸が隣接する。
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。	
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。	

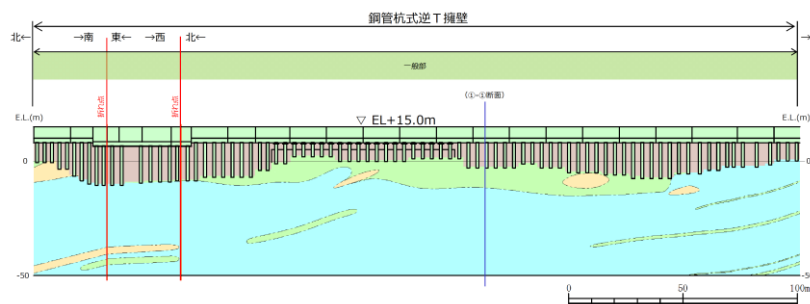
※ 地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえて詳細設計段階で設定する。

(b)防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）

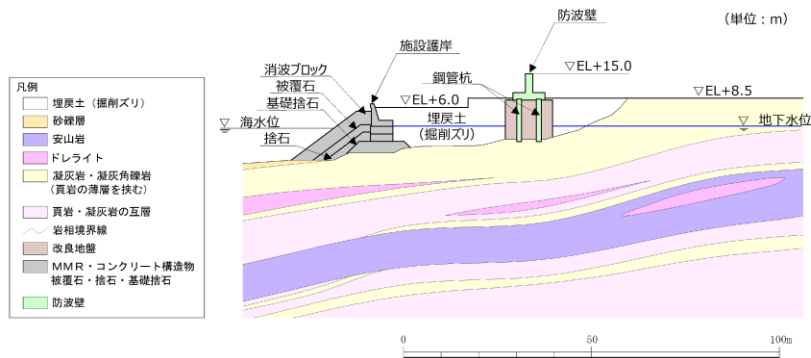
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の岩相縦断面図を第1-60図に、岩級縦断面図を第1-61図に、地質断面図を第1-62図に示す。防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、杭を介して主にCM級に支持されており、縦断方向に応じた地質変化部は存在しない。また、耐震評価候補断面の整理方針を第1-28表に示す。①-①断面は、鋼管杭を岩盤に根入れしている。また、周辺の埋戻土（掘削ズリ）を地盤改良している。



第1-60図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の岩相縦断面図



第1-61図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の岩級縦断面図



第 1-62 図 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の地質断面図（①－①）

第 1-28 表 耐震評価候補断面の整理
（防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁））

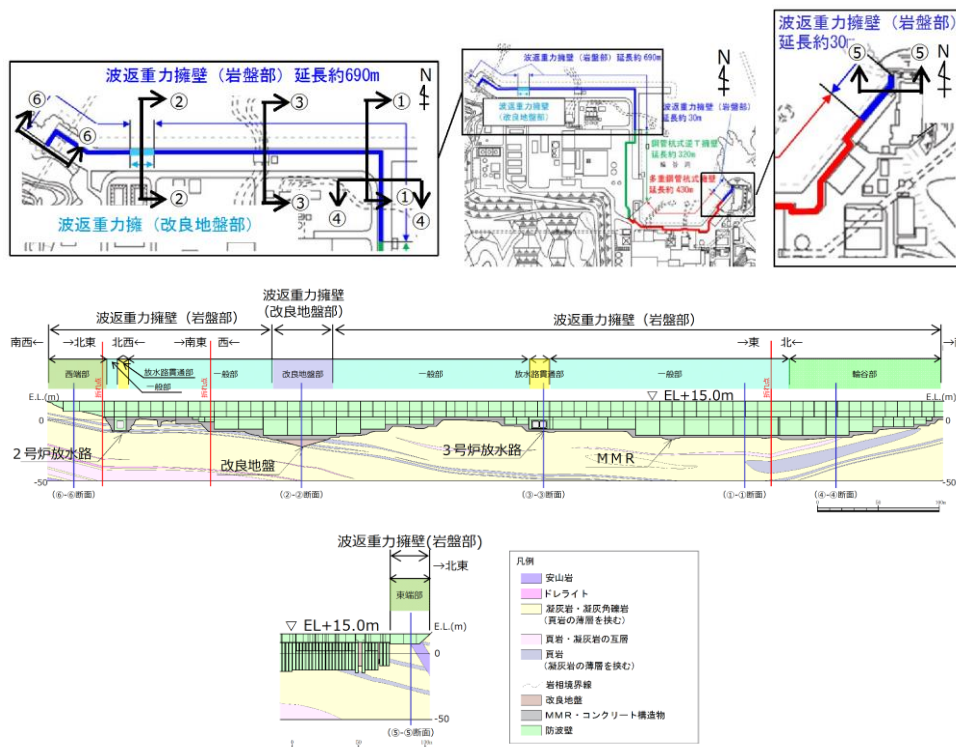
観点		防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）	
		一般部（①-①断面）	
要求機能		津波防護施設	
①間接支持する設備		・なし	
②構造的特徴	形式	<ul style="list-style-type: none"> ・線状構造物 ・鉄筋コンクリート構造物 ・鋼管杭6本又は10本を1ブロックとした壁体を連続して設置する。 	
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> ・逆 T 擁壁：幅8.5m、高さ7.0m ・鋼管杭：φ1.3m 	
③周辺状況	周辺地質	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭を根入れ0.5m程度で主にC級岩盤に対して打設し、支持されている。 ・周辺地質は埋戻土（掘削スリ）及び改良地盤が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：10.9m 	
	地下水位※	・解析結果等を踏まえて整理する。	
	隣接構造物	・北側に施設護岸が隣接する。	
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。	
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。	

※ 地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえて詳細設計段階で設定する。

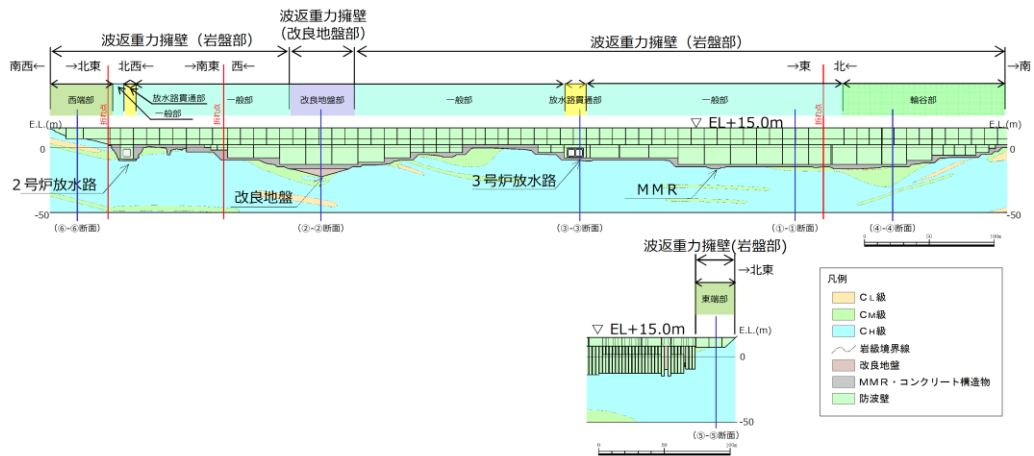
(c)防波壁（波返重力擁壁）

防波壁（波返重力擁壁）岩相縦断図を第 1-63 図 に、岩級縦断図を第 1-64 図 に、地質断面図を 第 1-65 図～第 1-70 図に示す。防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）は、直接又はケーソンを介して主に CM 級及び CH 級岩盤に支持されており、縦断方向に応じた地質変化部は存在しない。また、耐震評価候補断面の整理方針を第 1-29 表に示す。各断面の特徴は以下のとおり。

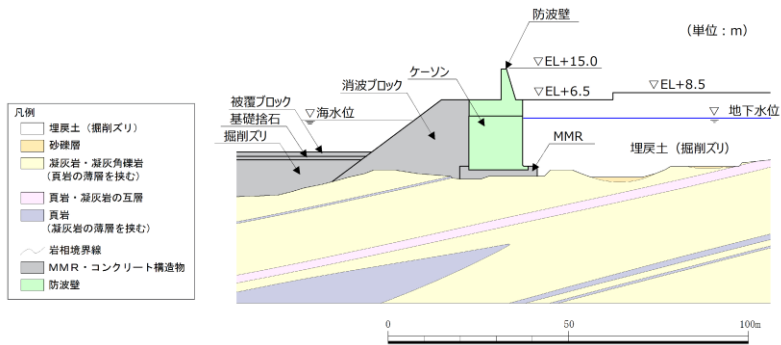
- ・①-①断面は、岩盤上にケーソンを介して重力擁壁を設置している。また、背面の周辺地盤には埋戻土（掘削ズリ）が分布している。
- ・②-②断面は、岩盤上の砂礫層を高圧噴射攪拌工法により地盤改良し、その上部にケーソンを介して重力擁壁を設置している。また、背面の周辺地盤には埋戻土（掘削ズリ）が分布している。
- ・③-③断面は、防波壁下部のケーソンを 3 号炉放水路が貫通している。
- ・④-④断面は、岩盤上にケーソンを介して重力擁壁を設置している。また、背面の周辺地盤には埋戻土（掘削ズリ）が分布している。
- ・⑤-⑤断面は、岩盤上に直接、重力擁壁を設置している
- ・⑥-⑥断面は、岩盤上に直接、重力擁壁を設置している。



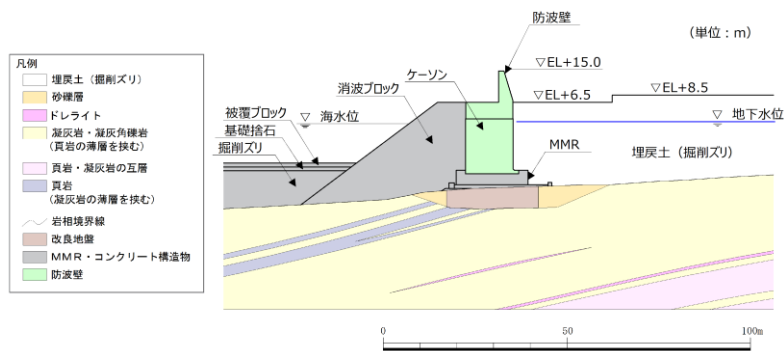
第 1-63 図 防波壁（波返重力擁壁）の岩相縦断図



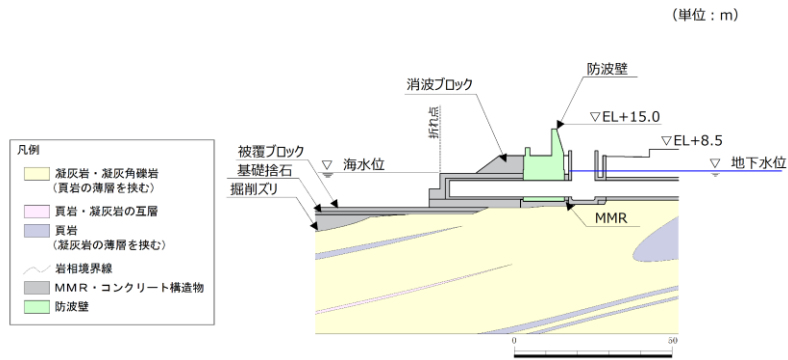
第 1-64 図 防波壁（波返重力擁壁）の岩級縦断図



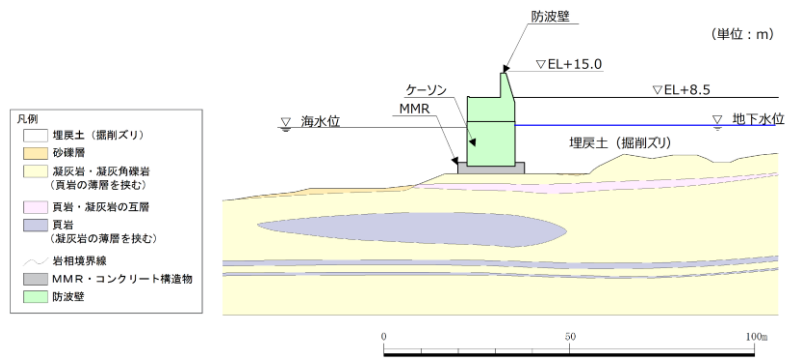
第 1-65 図 防波壁（波返重力擁壁）の地質断面図 (①-①)



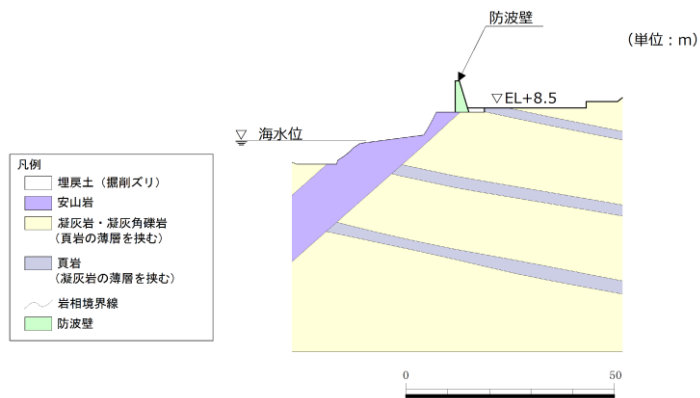
第 1-66 図 防波壁（波返重力擁壁）の地質断面図 (②-②)



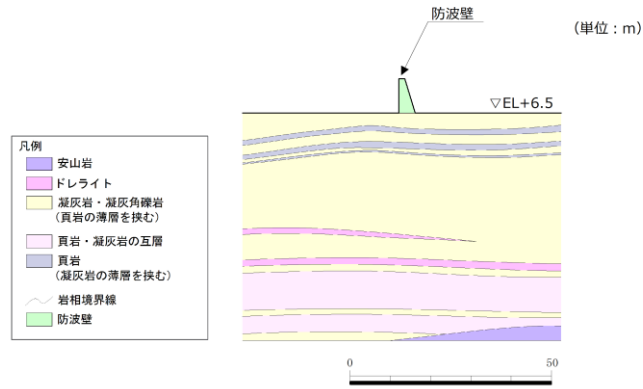
第 1-67 図 防波壁 (波返重力擁壁) の地質断面図 (③-③)



第 1-68 図 防波壁 (波返重力擁壁) の地質断面図 (④-④)



第 1-69 図 防波壁 (波返重力擁壁) の地質断面図 (⑤-⑤)



第 1-70 図 防波壁（波返重力擁壁）の地質断面図（⑥－⑥）

第 1-29 表 耐震評価候補断面の整理
(防波壁 (波返重力擁壁))

観点		防波壁 (波返重力擁壁)		
		一般部 (①-①断面)	改良地盤部 (②-②断面)	放水路貫通部 (③-③断面)
要求機能		津波防護施設	津波防護施設	津波防護施設
①間接支持する設備		・なし	・なし	・なし
②構造的 特徴	形式	・線状構造物 ・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している。	・線状構造物 ・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している。	・線状構造物 ・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している。
	寸法	・幅1.50m ・高さ8.50m (地上部のみ)	・幅1.50m ・高さ8.50m (地上部のみ)	・幅1.50m ・高さ8.50m (地上部のみ)
③周辺状況	周辺地質	・ケーソンを介して主にCM級岩盤に支持される。 ・周辺地質は、埋戻土 (掘削ズリ) が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ: 21.2m	・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。 ・ケーソンを介して主にCM級岩盤または改良地盤に支持される。 ・周辺地質は、埋戻土 (掘削ズリ) 及び砂礫層が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ: 29.0m	・ケーソンを介して主にCH級岩盤に支持される。 ・周辺地質は、埋戻土 (掘削ズリ) が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ: 18.3m
	地下水位*	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。
	隣接構造物	・なし	・なし	・3号伊放水路が防波壁下部のケーソンを貫通する。
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。		
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。		

観点		防波壁 (波返重力擁壁)		
		輪谷部 (④-④断面)	東端部 (⑤-⑤断面)	西端部 (⑥-⑥断面)
要求機能		津波防護施設	津波防護施設	津波防護施設
①間接支持する設備		・なし	・なし	・なし
②構造的 特徴	形式	・線状構造物 ・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している。	・線状構造物 ・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している。 ・端部にかけて岩盤に擦り付く。	・線状構造物 ・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している。 ・端部にかけて岩盤に擦り付く。
	寸法	・幅1.50m ・高さ8.50m (地上部のみ)	・幅1.50m ・高さ7.50m	・幅1.00m ・高さ8.50m
③周辺状況	周辺地質	・ケーソンを介して主にCM級岩盤に支持される。 ・周辺地質は、埋戻土 (掘削ズリ) が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ: 23.2m	・主にCH級岩盤に直接支持される。 ・地表面から岩盤までの深さ: 0.0m	・CM級岩盤に直接支持される。 ・地表面から岩盤までの深さ: 0.0m
	地下水位*	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。
	隣接構造物	・なし	・なし	・なし
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。		
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。		

※ 地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえて詳細設計段階で設定する。

c. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

防波壁は、多重鋼管杭式擁壁、鋼管杭式逆T擁壁及び波返重力擁壁の3つの構造形式に分かれているが、それぞれに作用する荷重に対し各部位が所要の機能を発揮して構造成立性を確保することが必要であることから、作用する荷重、構造体の変形モード及び各部位の役割について、地震時及び津波時に分けて整理する。

(a) 地震時

i. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

地震時において、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位は、地震荷重及び地震後に来る津波に対して防波壁の機能（津波に対する止水性）を維持するため、第1-30表及び第1-31表に示す役割を有する。

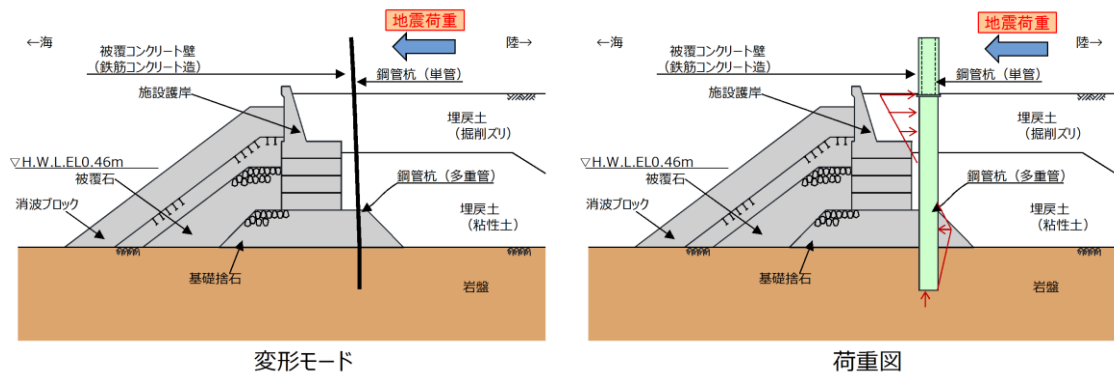
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における地震時の変形モード及び荷重図を第1-71図に示す。

第1-30表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の役割（地震時）

部位の名称	役割
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	・ 止水目地を支持する。
止水目地	・ 被覆コンクリート壁間の変位に追従する。

第1-31表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地盤の役割（地震時）

地盤	役割
セメントミルク	・ 鋼管杭の変形を抑制する。
改良地盤①（砂礫層）	・ 鋼管杭の変形を抑制する。
改良地盤②（杭間部）	・ 役割に期待しない。
岩盤	・ 鋼管杭を支持する。 ・ 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
埋戻土（掘削ズリ）、 埋戻土（粘性土）、砂礫層	・ 地震荷重の作用方向の反対方向に地盤反力として寄与する（一方で、その時防波壁反対側では、土圧として作用する）。
施設護岸、被覆石、捨石、 基礎捨石	・ 地震荷重の作用方向が海側方向の場合、地盤反力として寄与する（一方で、地震荷重の作用方向が陸側方向の場合、土圧として作用する）。
消波ブロック	・ 役割に期待しない。
グラウト材	・ 役割に期待しない。



第 1-71 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の変形モード及び荷重図（地震時）

ii. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）

地震時において、防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の各部位は、地震荷重及び地震後に来る津波に対して防波壁の機能（津波に対する止水性）を維持するため、第1-32表及び第1-33表に示す役割を有する。

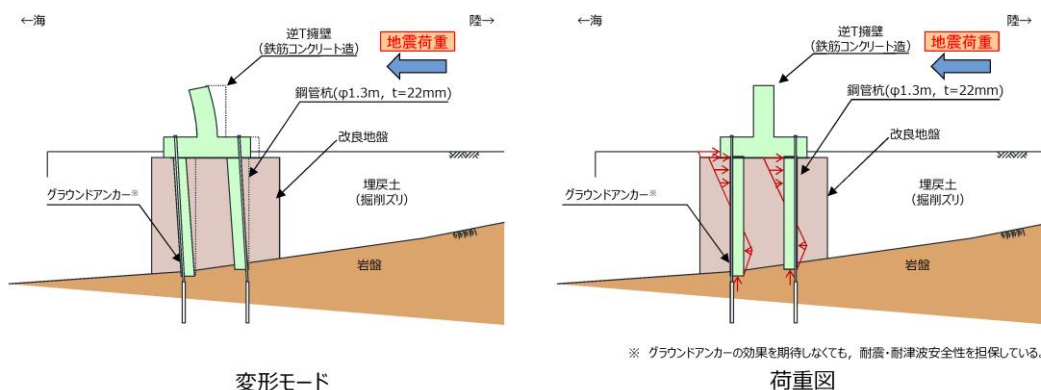
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における地震時の変形モード及び荷重図を第1-72図に示す。

第1-32表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の各部位の役割（地震時）

部位の名称	役割
鋼管杭	・ 逆T擁壁を支持する。
逆T擁壁	・ 止水目地を支持する。
止水目地	・ 逆T擁壁間の変位に追従する。

第1-33表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の地盤の役割（地震時）

地盤	役割
改良地盤	・ 鋼管杭の変形を抑制する。
岩盤	・ 鋼管杭を支持する。 ・ 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
埋戻土（掘削ズリ）	・ 地震荷重の作用方向の反対方向に地盤反力として寄与する（一方で、その時防波壁反対側では、土圧として作用する）。
施設護岸、被覆石、捨石、基礎捨石	・ 地震荷重の作用方向が海側方向の場合、地盤反力として寄与する（一方で、地震荷重の作用方向が陸側方向の場合、土圧として作用する）。
消波ブロック	・ 役割に期待しない。



第1-72図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の変形モード及び荷重図（地震時）

iii. 防波壁（波返重力擁壁）

地震時において、防波壁（波返重力擁壁）の各部位は、地震荷重及び地震後に来る津波に対して防波壁の機能（津波に対する止水性）を維持するため、第 1-34 表及び第 1-35 表に示す役割を有する。

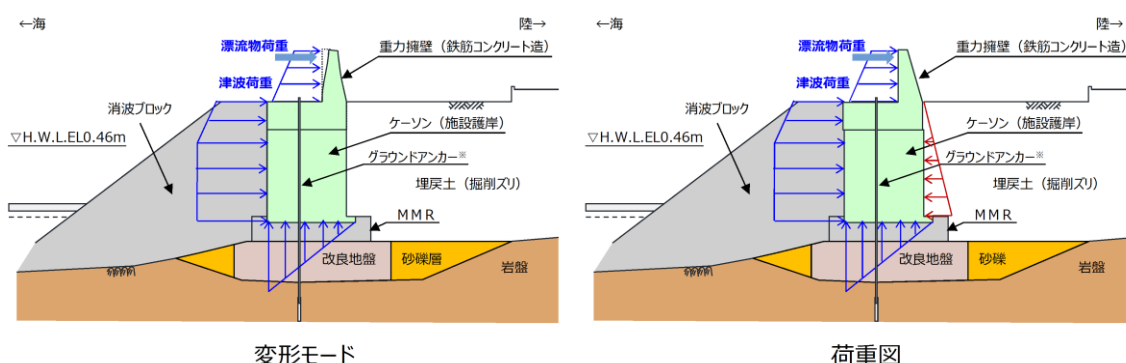
防波壁（波返重力擁壁）における地震時の変形モード及び荷重図を第 1-73 図に示す。

第 1-34 表 防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割（地震時）

部位の名称	役割
重力擁壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持する。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 重力擁壁間の変位に追従する。
ケーソン	<ul style="list-style-type: none"> 重力擁壁を支持する。

第 1-35 表 防波壁（波返重力擁壁）の地盤の役割（地震時）

地盤	役割
MMR	<ul style="list-style-type: none"> 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。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 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。
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 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。
埋戻土（掘削ズリ），砂礫層	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重の作用方向が陸側方向の場合，地盤反力として寄与する（一方で，地震荷重の作用方向が海側方向の場合，土圧として作用する）。
消波ブロック	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない。



第 1-73 図 防波壁（波返重力擁壁）の変形モード及び荷重図（地震時）

(b) 津波時

i. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

津波時において、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位は、津波荷重及び漂流物荷重に対して防波壁の機能（津波に対する止水性）を維持するため、第 1-36 表及び第 1-37 表に示す役割を有する。

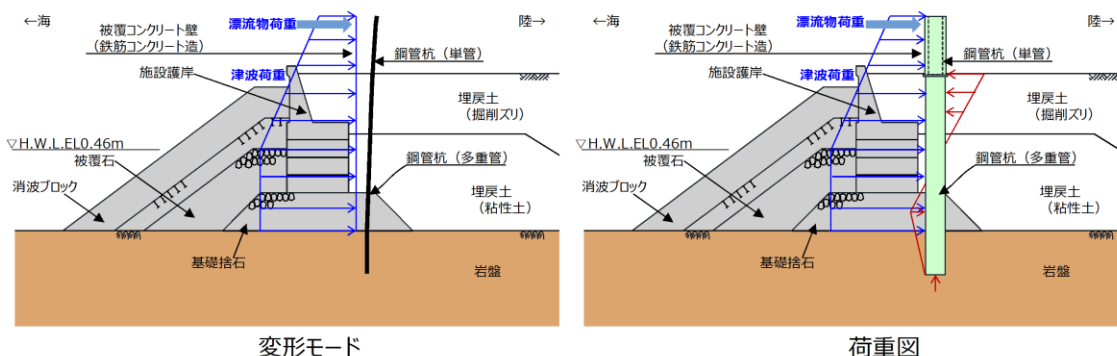
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における津波時の変形モード及び荷重図を第 1-74 図に示す。

第 1-36 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の役割（津波時）

部位の名称	役割
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	・ 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位に追従し、遮水性を保持する。

第 1-37 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地盤の役割（津波時）

地盤	役割
セメントミルク	・ 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（杭間部）	・ 難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。
岩盤	・ 鋼管杭を支持する。
埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、砂礫層	・ 防波壁より陸側については、津波荷重等に対して地盤反力として寄与する。
施設護岸、被覆石、捨石、基礎捨石	・ 役割に期待しない。
消波ブロック	・ 役割に期待しない。
グラウト材	・ 役割に期待しない。



第 1-74 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の変形モード及び荷重図（津波時）

ii. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）

津波時において、防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の各部位は、津波荷重及び漂流物荷重に対して防波壁の機能（津波に対する止水性）を維持するため、第1-38表及び第1-39表に示す役割を有する。

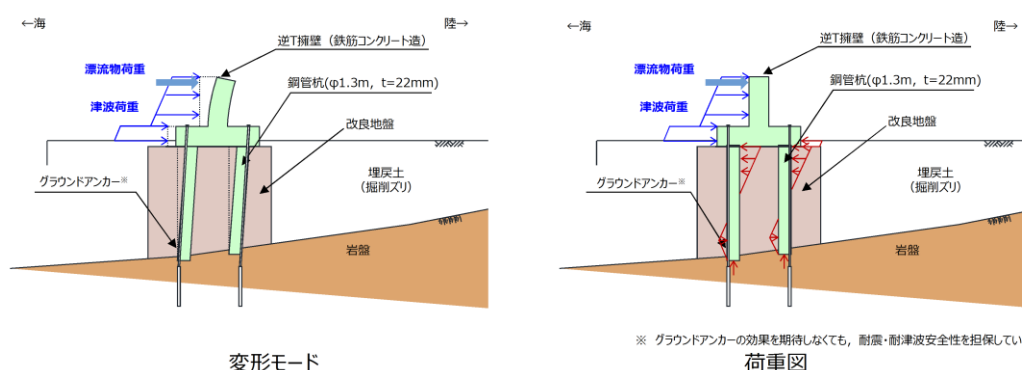
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における津波時の変形モード及び荷重図を第1-75図に示す。

第1-38表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の各部位の役割（津波時）

部位の名称	役割
鋼管杭	・ 逆T擁壁を支持する。
逆T擁壁	・ 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擁壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。

第1-39表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の地盤の役割（津波時）

地盤	役割
改良地盤	・ 鋼管杭の変形を抑制する。 ・ 難透水性を保持する。
岩盤	・ 鋼管杭を支持する。
埋戻土（掘削ズリ）	・ 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、被覆石、捨石、基礎捨石	・ 役割に期待しない。
消波ブロック	・ 役割に期待しない。



第1-75図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の変形モード及び荷重図（津波時）

iii. 防波壁（波返重力擁壁）

津波時において、防波壁（波返重力擁壁）の各部位は、津波荷重及び漂流物荷重に対して防波壁の機能（津波に対する止水性）を維持するため、第 1-40 表及び第 1-41 表に示す役割を有する。

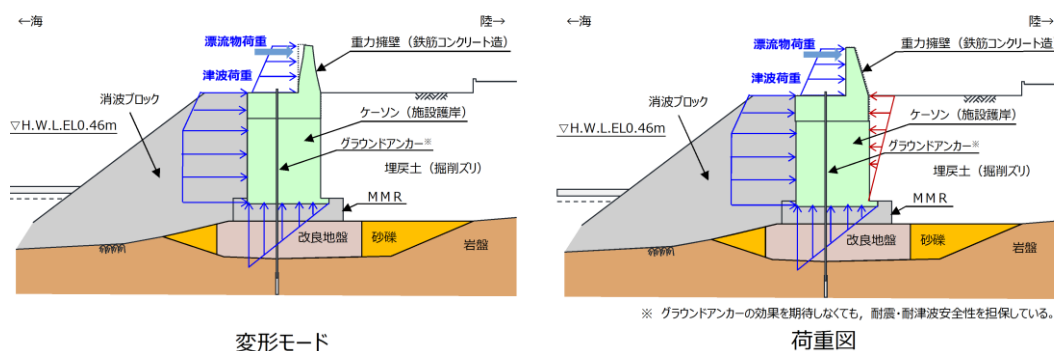
防波壁（波返重力擁壁）における津波時の変形モード及び荷重図を第 1-76 図に示す。

第 1-40 表 防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割（津波時）

部位の名称	役割
重力擁壁	・ 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	・ 重力擁壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
ケーソン	・ 重力擁壁を支持する。

第 1-41 表 防波壁（波返重力擁壁）の地盤の役割（津波時）

地盤	役割
MMR	・ 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。 ・ 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。
埋戻土（掘削ズリ）、砂礫層	・ 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。



第 1-76 図 防波壁（波返重力擁壁）の変形モード及び荷重図（津波時）

(c) 重畳時（津波＋余震時）

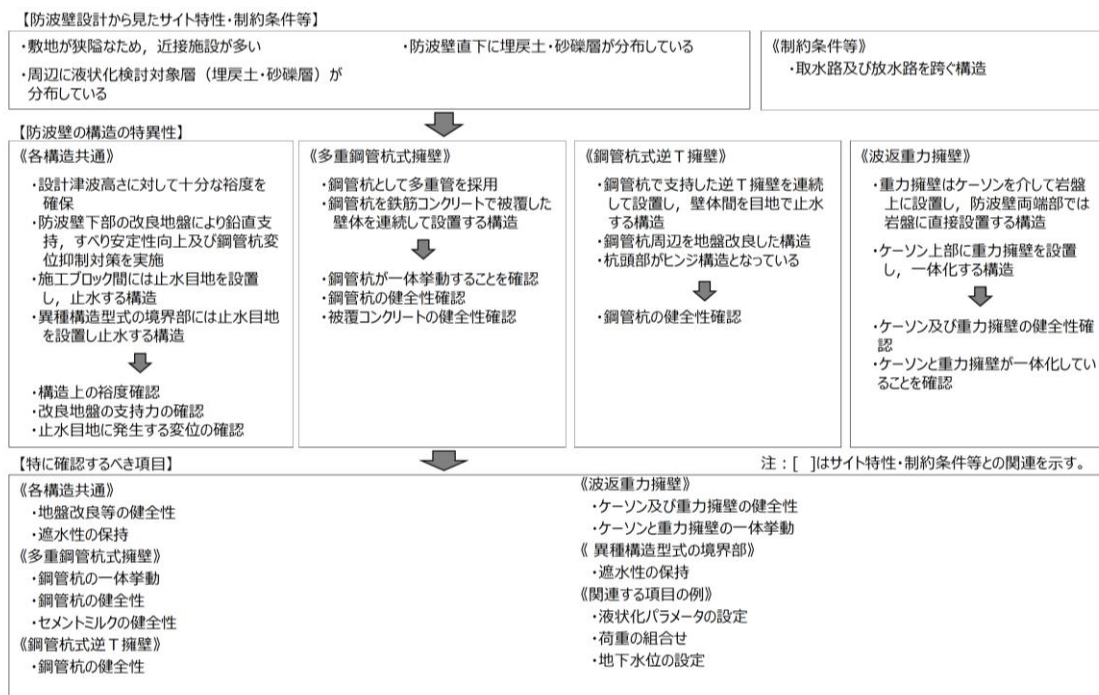
「津波＋余震時」の外力は、「地震時」又は「津波時」の外力に包絡されることから、検討を省略する。詳細は参考資料 6 を参照。

d. 損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

防波壁は、多重鋼管杭式擁壁、鋼管杭式逆T擁壁及び波返重力擁壁の3つの構造形式に分かれている。ここでは、防波壁の設計方針について、サイト特性を踏まえた構造の特異性及び設計の保守性を整理した上で、地震時及び津波時に、防波壁が維持すべき機能を喪失し得る事象（損傷モード）を仮定し、その損傷モードに対し設計・施工上どのような配慮が必要となるかを整理する。

(a) サイト特性・制約条件を踏まえた構造の特異性

防波壁設計から見たサイト特性・制約条件等を抽出し、防波壁の各構造の特異性と特に確認すべき項目を整理した結果を第1-77図に示す。



第1-77図 防波壁の各構造の特異性と特に確認すべき項目の整理

(b) 損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

防波壁について、設計の保守性の観点から、以下に示すように津波高さに対する裕度及び想定を超える事象に対する配慮をしている。

i. 津波高さに対する裕度

- 入力津波高さ EL+11.8m に対し EL+15.0m の高さの防波壁を設置しており、十分な裕度を有する設計
- 防波壁天端高さにまで津波が遡上したとしても、防波壁の健全性が維持できる構造上の裕度を確保

ii. 想定を超える事象に対する配慮

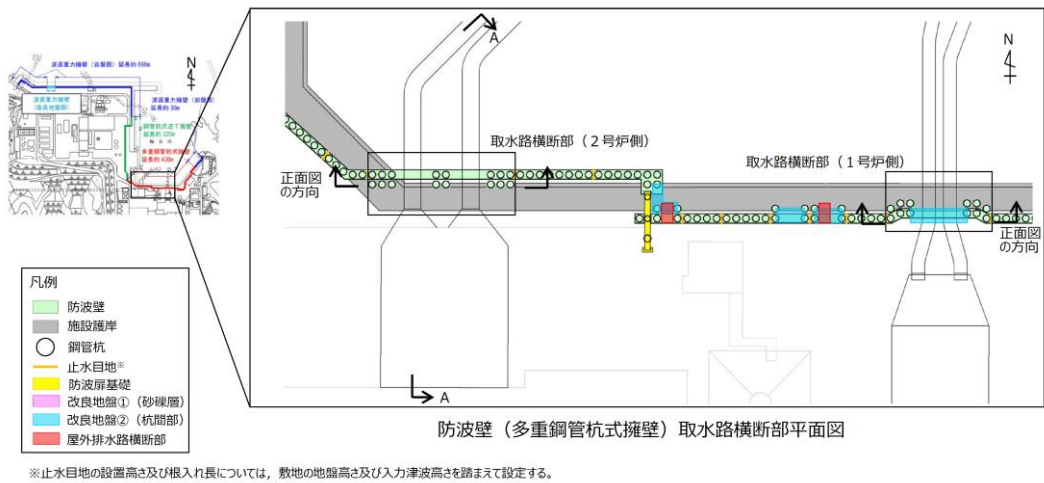
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各構造について、各部位が損傷して要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮を整理した結果を第 1-42 表～第 1-45 表に示す。

第 1-42(1)表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼管杭	• 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①, ②	• 地震後や津波後の再使用性、津波時の影響（繰返しの津波）を考慮して、被覆コンクリート壁や止水目地の変位を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭がおおむね弾性範囲であることを確認する。	○
	• 地震又は津波荷重により埋戻土-改良地盤間、改良地盤-岩盤間に相対変位が生じ、せん断力が鋼管杭に作用し、鋼管杭が損傷し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①, ②		○
	• 地震又は津波荷重により、単管と多重管の境界部で鋼管杭が損傷し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①, ②		○
	• 地震又は津波荷重により、杭頭連結部に応力が集中することで、杭頭連結部が破損し、被覆コンクリート壁が損傷するか、位置を保持できなくなり、遮水性を喪失する。	①, ②	• 杭頭連結部が損傷しないことを確認する。（杭頭連結材を設置している取水路横断部の構造については以下参照）	○
	• 汀線方向の地震荷重により、曲げ・せん断破壊し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①	• 地震荷重については汀線方向についても考慮し、被覆コンクリート壁や止水目地の変位を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭がおおむね弾性範囲であることを確認する。	○
	• 隣接するブロックからの荷重により、鋼管杭が損傷し被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①	• 地震荷重については汀線方向についても考慮し、隣接ブロックの影響を確認する。	○
	• 津波荷重により、鋼管杭の下部が転倒するようなモードが発生し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	②	• 鋼管杭が転倒しないことを確認する。	○
	• 地震時又は津波時に施設護岸の一部が崩壊し、漂流物として被覆コンクリート壁に衝突することで鋼管杭が損傷し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	②	• 数値シミュレーションにより、護岸際は流速が小さいことを確認しているため、護岸構成部材は津波により漂流物とならないと判断する。	—

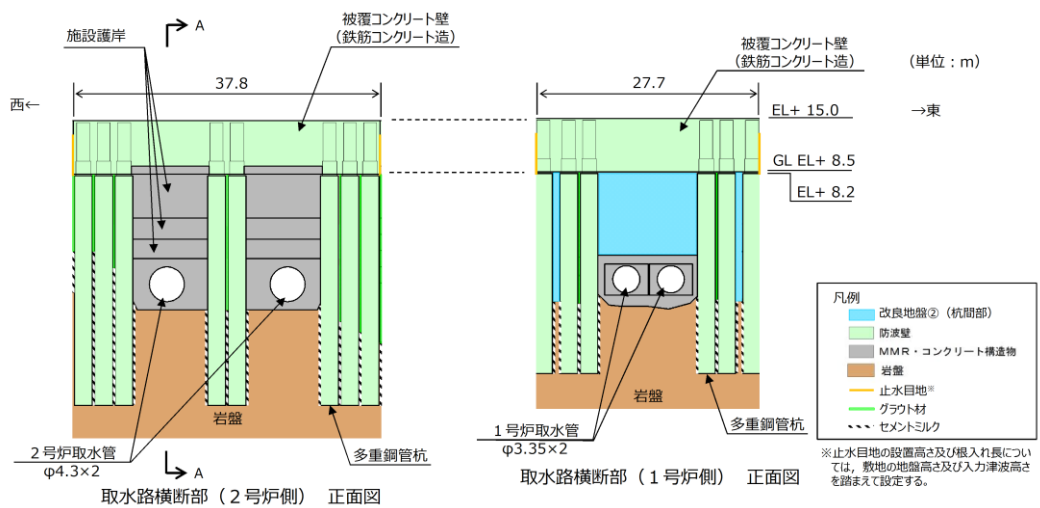
※1 ①地震時、②津波時
 ※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部の平面図を第 1-78 図に示す。取水路横断部では、1号炉及び2号炉の取水管を横断するため、取水管側方の多重鋼管杭を南北方向に2列配置した。



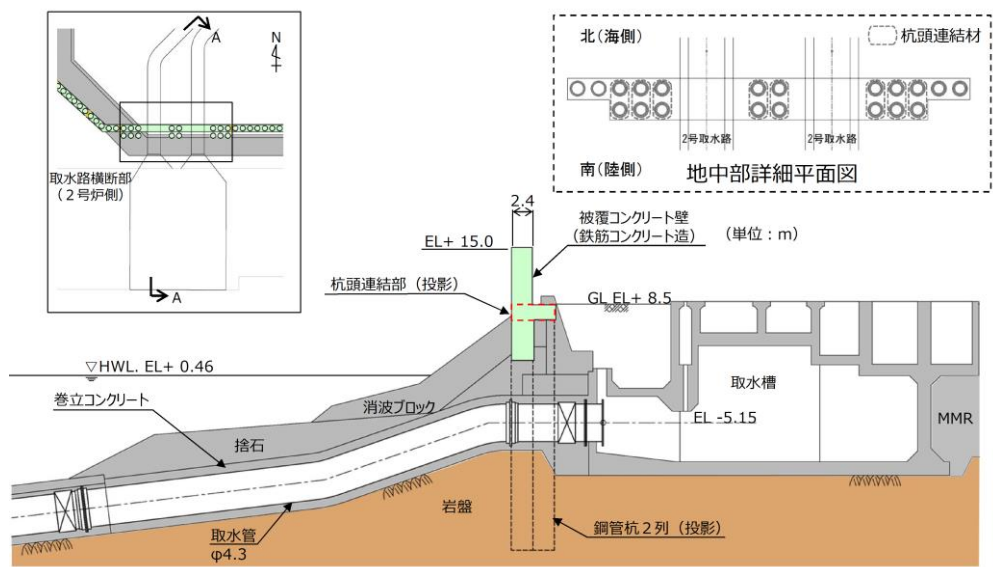
第 1-78 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部平面図

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部の正面図を第 1-79 図に示す。取水路横断部の耐震及び耐津波評価は、下図に示すとおり、2号炉側のスパンが1号炉側より大きく、部位の発生断面力が大きくなることから、2号炉側に代表させて行う。



第 1-79 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部正面図

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部（2号炉側，A-A断面）の断面図を第 1-80 図に示す。取水路横断部（2号炉）では、2号炉取水管（φ4.3m）を横断するため、側方の多重鋼管杭を南北方向に2列配置し、杭頭連結材を設置した（杭頭部の構造については参考資料2参照）。



第 1-80 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部
（2号炉側，A－A断面） 断面図

第 1-42(2)表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
被覆コンクリート壁	• 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。	①, ②	• 被覆コンクリート壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。	○
	• 地震又は津波荷重により、同一ブロック内で鋼管杭に相対変位が発生し、被覆コンクリート壁がねじれ、曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。	①, ②		○
	• 津波荷重により鋼管杭接続部に押抜きせん断応力がはたらき、押抜きせん断破壊が生じる。	②		○
	• 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、被覆コンクリート壁が損傷する、あるいは止水目地を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	—	• 万一、竜巻及びその随伴事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。	—
	• 津波時の漂流物荷重により、被覆コンクリート壁が損傷し、遮水性を喪失する。	②	• 漂流物荷重による被覆コンクリート壁の発生応力度が許容応力度以下であることを確認する。	○
	• 地震時又は津波時に施設護岸の一部が崩壊し、津波により運ばれて被覆コンクリート壁に衝突することで被覆コンクリート壁が損傷し、遮水性を喪失する。	②	• 数値シミュレーションにより、護岸際は流速が小さいことを確認しているため、護岸構成部材は津波により漂流物とならないと判断する。	—

※1：①地震時、②津波時
 ※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（—）。

第 1-42(3)表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
止水目地 (支持部含む)	• 地震又は津波時により発生した施工ブロック間の相対変位により、目地の許容変位量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。	①, ②	• 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であることを確認する。	○
	• 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、止水目地が損傷し、遮水性を喪失する。	—	• 万一、竜巻及びその随伴事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。	—

※1：①地震時、②津波時
 ※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（—）。

第 1-42(4)表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
改良地盤① (砂礫層)	• 地震時又は津波時に、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、杭の横抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、被覆コンクリート壁を支持できなくなることで、被覆コンクリート壁の遮水性を喪失する。	①, ②	• 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）を確認する。 • 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。	○
	• 地震又は津波荷重により、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。			
	• 地震時又は津波時に、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、地盤としての有効応力を喪失した状態で地下水や津波による浸透圧が作用することで、ポイリング・バイピング現象により土粒子が流出して水みちが形成される。			

※1：①地震時、②津波時
 ※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（—）。

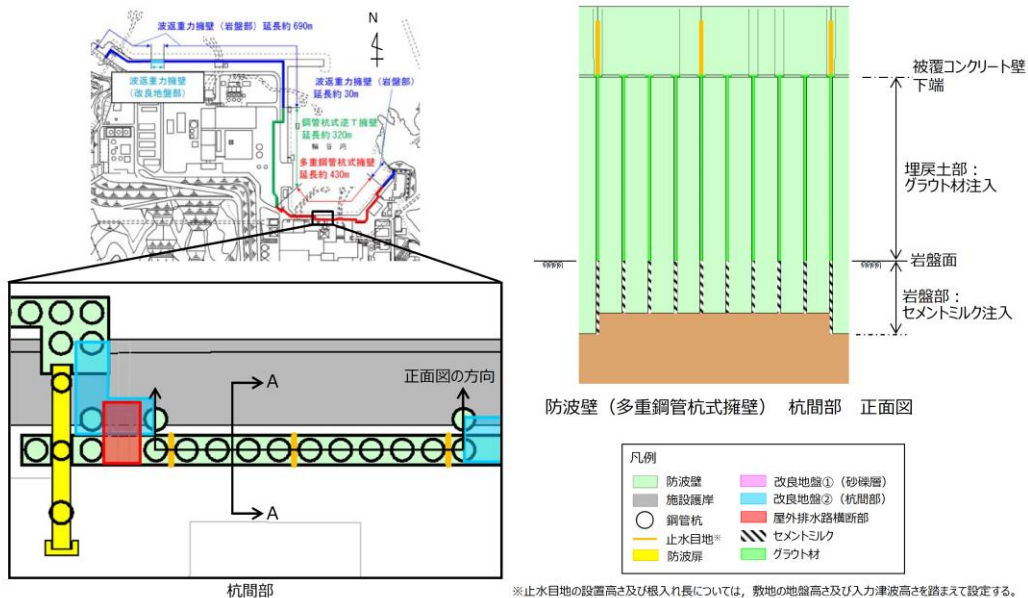
第 1-42(5)表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
セメントミルク	地震又は津波荷重により、セメントミルクがせん断破壊し、地盤としての有効応力が喪失した状態で地下水や津波による浸透圧が作用することで、ボイリング・パイピング現象により土粒子が流出して水みちが形成される。	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 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）を確認する。（多重鋼管杭間の地中部の構造については次頁以降参照） 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。 	○
	地震時又は津波時に、セメントミルクがせん断破壊し、鋼管杭の変位を抑制できなくなることで、杭の変形量が大きくなり、被覆コンクリート壁を支持できなくなることで、被覆コンクリート壁の透水性を喪失する。	①, ②		○
	取水路からの漏水により改良地盤が洗掘され、難透水性を喪失する。	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 取水路（取水管）は、基準地震動に対して安全性を確保している。 取水路（取水管）の劣化等による漏水を防止する観点から保守管理を適切に実施している。 	—
岩盤	地震時に鋼管杭下端底面のすべりが生じ、杭の変形量が大きくなり、杭が被覆コンクリート壁を支持できなくなることで、被覆コンクリート壁の透水性を喪失する。	①	すべり安全率が許容値以上であることを確認する。（3条で確認）	○
	地震時に鋼管杭に伝わる荷重により岩盤が破壊し、鉛直支持機能を喪失する。	①	杭先端部の最大軸力が地盤の極限支持力以下であることを確認する。	○

※1 ①地震時, ②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）杭間部の正面図を第 1-81 図に示す。隣り合う多重鋼管杭間について、地中部（岩盤部）はセメントミルク、岩盤面より上部はグラウト材を注入している。

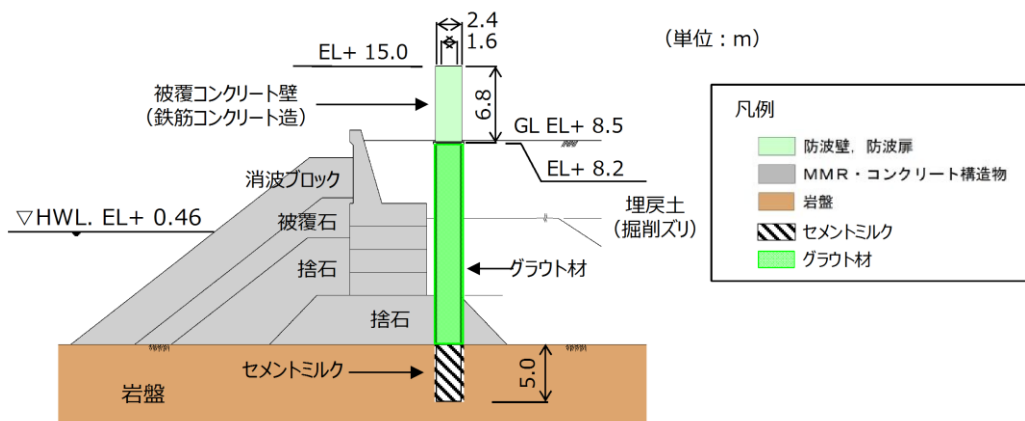


第 1-81 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）杭間部正面図

セメントミルク及びグラウト材の設計上の役割等について第 1-43 表及び第 1-82 図のとおり整理した。

第 1-43 表 セメントミルク及びグラウトの設計上の役割

	セメントミルク（地中部（岩盤部）に注入）	グラウト材（地中部（埋戻土部）に注入）
造成目的	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭（最外管）の岩盤根入れ部（下端の 5.0m）と周辺岩盤を一体化するために造成。 ・周辺はCM級岩盤以上であることから、所定の設計基準強度を有するセメントミルクを採用。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭（最外管）と周辺地盤（埋戻土部）との空隙を充填するために造成。 ・グラウト材が空隙に確実に留まり、施工後に固化体が長期的に品質を持続すること、及び流動性を有して空隙に均一に充填可能であること等を考慮して、ゲルタイムを有する瞬結性懸濁型注入材を採用。
強度仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・一軸圧縮強度；9.8 (N/mm²) 	<ul style="list-style-type: none"> ・一軸圧縮強度；0.7~1.4 (N/mm²)
管理項目	<ul style="list-style-type: none"> ・所定の一軸圧縮強度を有すること、及び鋼管杭下端から岩盤面まで注入していることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・「薬液注入工事における施工管理方式について（H2.10（社）日本薬液注入協会）」に基づき、注入量等を確認する。
設計上の役割 （杭の変形抑制・止水性）	<ul style="list-style-type: none"> ・強度特性は周辺の岩盤相当であることから、地震時及び津波時の鋼管杭の変形を抑制する役割を有する。 ・また、津波時の地盤中からの回り込みに対しては、周辺の岩盤相当の強度を有することから、難透水性の保持の役割を有する。 （防波壁より陸側の地下水位に対しては、難透水性の保持による、地下水位上昇側の影響要因となる。） 	<ul style="list-style-type: none"> ・強度特性は周辺の埋戻土を若干上回る程度であることから、地震時及び津波時の鋼管杭の変形を抑制するものではなく、埋戻土と同様に扱う。 ・また、津波時の地盤中からのまわり込みに対しても、難透水性の地盤ではあるが、埋戻土と同様に扱い、浸透流影響評価を行う。



第 1-82 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）杭間部（A-A 断面） 断面図

防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）、防波壁（波返重力擁壁）及び境界部について、各部位が損傷して要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮を整理した結果を第 1-44 表～第 1-46 表に示す。

第 1-44(1)表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼管杭	• 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①, ②	• 地震後や津波後の再使用性、津波時の影響（繰返しの津波）を考慮して、逆T擁壁や止水目地の変位を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭がおおむね弾性範囲であることを確認する。	○
	• 地震又は津波荷重により逆T擁壁-改良地盤間、改良地盤-岩盤間に相対変位が生じ、せん断力が鋼管杭に作用して鋼管杭が損傷することで、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①, ②		○
	• 汀線方向の地震荷重により、曲げ・せん断破壊し、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①	• 地震荷重については汀線方向についても考慮し、逆T擁壁や止水目地の変位を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭がおおむね弾性範囲であることを確認する。	○
	• 隣接するブロックからの荷重により、鋼管杭が損傷し逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①	• 地震荷重については汀線方向についても考慮し、隣接ブロックの影響を確認する。	○
	• 津波荷重により、鋼管杭の下部が転倒するようなモードが発生し、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	②	• 鋼管杭が転倒しないことを確認する。	○
	• 地震時又は津波時に施設護岸の一部が崩壊し、津波により運ばれて逆T擁壁に衝突することで鋼管杭が損傷し、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	②	• 数値シミュレーションにより、護岸際は流速が小さいことを確認しているため、護岸構成部材は津波により漂流物とならないと判断する。	—

※1：①地震時，②津波時

※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（—）。

第 1-44(2)表 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
逆T擁壁	• 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。	①, ②	• 逆T擁壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。	○
	• 地震又は津波荷重により、杭頭接合部に応力が集中することで、杭頭接合部が破損し、逆T擁壁が損傷するか、位置を保持できなくなり、遮水性を喪失する。	①, ②		○
	• 津波時の漂流物荷重により、逆T擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。	②	• 漂流物荷重による逆T擁壁の発生応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。	○
	• 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、被覆コンクリート壁が損傷する。あるいは止水目地を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	—	• 万一、竜巻及びその随伴事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。	—
	• 地震又は津波荷重により、逆T擁壁が転倒もしくは滑動により透水性を喪失する。	①, ②	• 逆T擁壁の転倒及び滑りの有無を確認する。	○
	• 地震時又は津波時に施設護岸の一部が崩壊し、津波により運ばれて逆T擁壁に衝突することで逆T擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。	②	• 数値シミュレーションにより、護岸際は流速が小さいことを確認しているため、護岸構成部材は津波により漂流物とならないと判断する。	—

※1：①地震時，②津波時

※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（－）。

第 1-44(3)表 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
止水目地 (支持部含む)	• 地震又は津波時により発生した施工ブロック間の相対変位により、目地の許容変位量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。	①, ②	• 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であることを確認する。	○
	• 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、止水目地が損傷し、遮水性を喪失する。	—	• 万一、竜巻及びその随伴事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。	—

※1：①地震時，②津波時

※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（－）。

第 1-44(4)表 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
改良地盤	• 地震時又は津波時に、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、杭の横抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、逆T擁壁を支持できなくなることで、逆T擁壁の遮水性を喪失する。	①, ②	• 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）を確認する。 • 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。	○
	• 地震又は津波荷重により、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。			
	• 地震時又は津波時に、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、地盤としての有効応力を喪失した状態で地下水や津波による浸透圧が作用することで、ボイリング・バイピング現象により土粒子が流出して水みちが形成される。			

※1：①地震時，②津波時

※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（－）。

第 1-44(5)表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
岩盤	・地震時に鋼管杭下端底面のすべりが生じ、杭の変形量が大きくなり、杭が逆T擁壁を支持できなくなることで、鋼製遮水壁の遮水性を喪失する。	①	・すべり安全率が許容値以上であることを確認する。 (3条で確認)	○
	・地震時に鋼管杭に伝わる荷重により岩盤又は改良地盤が破壊し、鉛直支持機能を喪失する。	①	・杭先端部の最大軸力が地盤の極限支持力以下であることを確認する。	○

※1：①地震時，②津波時
※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（－）。

第 1-45(1)表 防波壁（波返重力擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
重力擁壁	・地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。	①，②	・重力擁壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。	○
	・津波時の漂流物荷重により、重力擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。	②	・漂流物荷重による重力擁壁の発生応力度が許容応力度以下であることを確認する。	○
	・竜巻の風荷重や飛来物荷重により、重力擁壁が損傷する、あるいは止水目地を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	—	・万一、竜巻及びその随伴事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。	—
	・地震又は津波荷重により、重力擁壁が滑動し、ケーソンと重力擁壁の境界に水みちが形成される。	①，②	・ケーソンと重力擁壁の間に有意な漏えいを生じさせる水みちを形成する相対変位が発生しないことを確認する。	○
	・地震時又は津波時に施設護岸の一部が崩壊し、津波により運ばれて重力擁壁に衝突することで重力擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。	②	・数値シミュレーションにより、護岸際は流速が小さいことを確認しているため、護岸構成部材は津波により漂流物とならないと判断する。	—

※1：①地震時，②津波時
※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（－）。

第 1-45(2)表 防波壁（波返重力擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
止水目地 (支持部含む)	・地震又は津波時により発生した施工ブロック間の相対変位により、目地の許容変位量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。	①，②	・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であることを確認する。	○
	・地震時に、汀線方向圧縮側の変形により遮水性を喪失する。	①		○
	・竜巻の風荷重や飛来物荷重により、止水目地が損傷し、遮水性を喪失する。	—	・万一、竜巻及びその随伴事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。	—

※1：①地震時，②津波時
※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（－）。

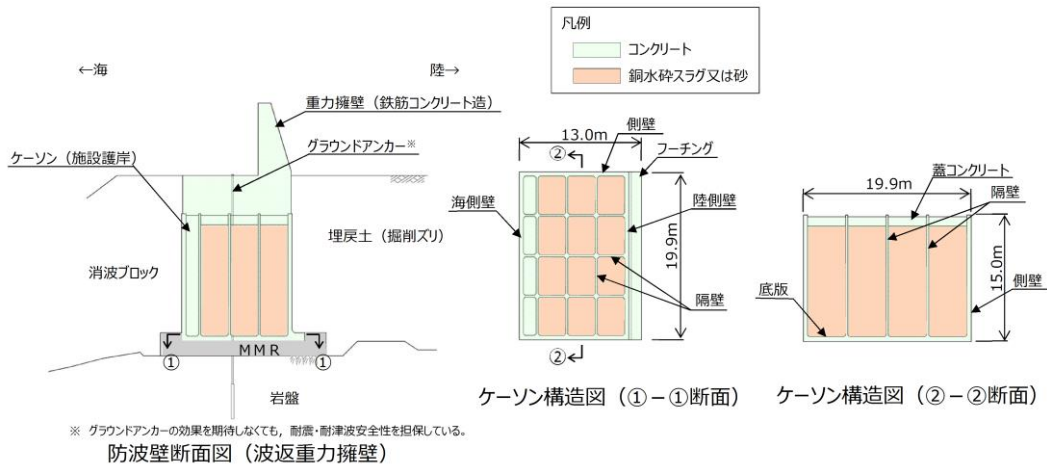
第 1-45(3)表 防波壁（波返重力擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
ケーソン	地震時又は津波時に、ケーソンがせん断破壊し、重力擁壁を支持できなくなることで、重力擁壁の遮水性を喪失する。	①, ②	ケーソンの発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。	○
	地震時又は津波時に、放水路貫通部のケーソンがせん断破壊し、重力擁壁を支持できなくなることで、重力擁壁の遮水性を喪失する。	①, ②		○
	地震又は津波荷重により、ケーソンがせん断破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。	①, ②		○
	地震又は津波荷重により、ケーソンが滑动することで、重力擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①, ②	ケーソンの滑动の有無を確認する。	○

※1：①地震時，②津波時
 ※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

ケーソンの構造を第 1-83 図に示す。ケーソンは鉄筋コンクリート製であり、隔壁で仕切られたケーソン内は、中詰材（コンクリート、銅水砕スラグ又は砂）で充填されており、中詰材の流出を防止するため、中詰材の上部に蓋コンクリートを打設している。中詰材は銅水砕スラグ又は砂を使用しており、これらの飽和単位体積重量は、22.6kN/m³、20.0kN/m³ である。

蓋コンクリート打設前の中詰材の充填状況を第 1-84 図に示す。



第 1-83 図 防波壁（波返重力擁壁）ケーソン構造図



中詰材（銅水砕スラグ）充填状況
（蓋コンクリート打設前）

第 1-84 図 防波壁（波返重力擁壁）ケーソン中詰材充填状況

第 1-45(4)表 防波壁（波返重力擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定 ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
MMR	• 地震又は津波荷重によりMMRがすべり破壊し、ケーソン及び重力擁壁を支持できなくなるにより遮水性を喪失する。	①, ②	• すべり安全率が許容値以上であることを確認する。 (3条で確認)	○
	• 地震又は津波荷重により、MMRがせん断破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。	②	• 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。	○
	• 地震又は津波時に重力擁壁及びケーソンに伝わる荷重によりMMRが破壊し、ケーソンを支持できなくなる。	①, ②	• 防波壁直下またはケーソン直下の地盤の鉛直圧縮応力が極限支持力以下であることを確認する。	○

※1：①地震時，②津波時

※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

第 1-45(5)表 防波壁（波返重力擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定 ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
改良地盤	• 地震又は津波荷重により、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。	①, ②	• 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がすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。 • 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。	○
	• 地震時又は津波時に、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、地盤としての有効応力を喪失した状態で地下水や津波による浸透圧が作用することで、ポイリング・バイキング現象により土粒子が流出して水みちが形成される。			
	• 地震又は津波荷重により改良地盤がすべり破壊し、安定性を喪失して防波壁の高さを維持できなくなり、重力擁壁の遮水性を喪失する。	①, ②	• すべり安全率が許容値以上であることを確認する。 (3条で確認)	○
	• 地震時に重力擁壁及びケーソンに伝わる荷重により改良地盤が破壊し、ケーソンを支持できなくなる。	①	• 防波壁直下またはケーソン直下の地盤の鉛直圧縮応力が極限支持力以下であることを確認する。	○

※1：①地震時，②津波時

※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

第 1-45(6)表 防波壁（波返重力擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
岩盤	地震又は津波荷重により岩盤がすべり破壊し、安定性を喪失して防波壁の高さを維持できなくなり、重力擁壁の遮水性を喪失する。	①, ②	すべり安全率が許容値以上であることを確認する。 (3条で確認)	○
	地震時に重力擁壁及びケーソンに伝わる荷重により岩盤及び改良地盤が破壊し、ケーソンを支持できなくなる。	①	防波壁直下またはケーソン直下の地盤の鉛直圧縮応力が極限支持力以下であることを確認する。	○

※1：①地震時，②津波時
 ※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（－）。

第 1-46 表 境界部の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ※1	設計・施工上の配慮	照査※2
波返重力擁壁と鋼管杭式逆T擁壁の境界部	地震又は津波荷重により逆T擁壁と重力擁壁の間に相対変位が生じ、水みちとなり、波返重力擁壁と鋼管杭式逆T擁壁の境界部での遮水性を喪失する。	①, ②	異種構造型式の境界部では構造をすりつけたうえ、止水目地を設置することで、遮水性に配慮する。	—
鋼管杭式逆T擁壁と多重鋼管杭式擁壁の境界部	地震又は津波荷重により逆T擁壁と被覆コンクリート壁の間に相対変位が生じ、水みちとなり、鋼管杭式逆T擁壁と多重鋼管杭式擁壁の境界部での遮水性を喪失する。			—
多重鋼管杭式擁壁と波返重力擁壁の境界部	地震又は津波荷重により被覆コンクリート壁と重力擁壁の間に相対変位が生じ、水みちとなり、多重鋼管杭式擁壁と波返重力擁壁の境界部での遮水性を喪失する。			—
波返重力擁壁 西端・東端部	地震により地山が崩壊して、高さが維持できなくなり、波返重力擁壁と端部地山の境界部での遮水性を喪失する。	①	地山斜面が崩壊しないことを確認する。	○
	津波により地山が洗掘され、高さが維持できなくなり、波返重力擁壁と端部地山の境界部での遮水性を喪失する。	②	硬固な岩盤であるため、洗掘されない。	—

※1：①地震時，②津波時
 ※2：照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（－）。

e. 設計手順

防波壁の耐震・耐津波設計は、津波防護施設であること、Sクラスの設計基準対象施設であることを踏まえ、第1-1(1)表～第1-1(3)表の防波壁に関する要求機能と設計評価方針、第1-6表、第1-11表及び第1-16表の照査項目と許容限界に従い、防波壁の各部位の設計を行う。設計の対象断面や解析条件等について、設置許可段階と詳細設計段階に区分して整理した結果を第1-47表に示す。

第1-47(1)表 設置許可段階と詳細設計段階における解析条件等の整理

		設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)	詳細設計段階*	本資料の説明範囲
対象断面	構造成立性 (4条・5条)	[防波壁(多重鋼管杭式擁壁)] ・支持岩盤が深く、鋼管杭の長さが最大となり、また、砂礫層、埋戻土(掘削ズリ)埋戻土(粘性土)及び改良地盤が分布しており、当該構造区間における応答が相対的に大きいと考えられる断面(1断面)を構造成立性評価断面として選定。 [防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)] ・支持地盤が深く、鋼管杭の長さが最大となり、当該構造区間における応答が相対的に大きいと考えられる断面(1断面)を構造成立性評価断面として選定。 [防波壁(波返重力擁壁)] ・支持岩盤が深く、擁壁高さが高くなり、砂礫層、埋戻土(掘削ズリ)、改良地盤が分布しており、当該構造区間における応答が相対的に大きいと考えられる断面(2断面)を構造成立性評価断面として選定。	・構造成立性評価断面以外に、一次元地震応答解析結果等を参照し、必要に応じて検討対象断面を追加。 ・役割を期待しない埋戻土及び砂礫層については、その形状を適切にモデル化し、試験等で得られた物性値に基づく有効応力解析により挙動を評価することを基本とするが、変形・損傷によって施設の評価に影響する可能性を考慮して必要に応じて断面形状を変化させた検討を行う。	○
	地盤安定性 (3条)	[防波壁(多重鋼管杭式擁壁)] [防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)] [防波壁(波返重力擁壁)] ・照査項目であるすべり安全率が、地質状況等から最も小さくなると考えられる断面を代表断面(各1断面)として選定。	—	— (基礎地盤の安定性評価にて説明予定)

※ 万が一、詳細設計段階にて構造成立性に課題が生じた場合は、追加対策等により対応する。

第1-47(2)表 設置許可段階と詳細設計段階における解析条件等の整理

		設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)	詳細設計段階	本資料の説明範囲
対象地震波	構造成立性 (4条・5条)	・構造物への影響が大きい地震波(1波)を構造成立性評価地震波として選定。	・全基準地震動5波	○
	地盤安定性 (3条)	・全基準地震動5波	—	— (基礎地盤の安定性評価にて説明予定)
解析方法		[防波壁(多重鋼管杭式擁壁)] ・「e.(a)防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の設計手順」を基本とし、「2.(1)構造成立性評価の基本方針」に示すフローにより、構造成立性を確認する。	・「e.設計手順」による ・必要に応じてより精緻な解析を実施する。	○
		[防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)] ・「e.(b)防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)の設計手順」を基本とし、「2.(1)構造成立性評価の基本方針」に示すフローにより、構造成立性を確認する。		
		[防波壁(波返重力擁壁)] ・「e.(c)防波壁(波返重力擁壁)の設計手順」を基本とし、「2.(1)構造成立性評価の基本方針」に示すフローにより、構造成立性を確認する。		

第 1-47(3)表 設置許可段階と詳細設計段階における解析条件等の整理

	設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)	詳細設計段階*	本資料の説明範囲	
地下水位*	防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	【地震時】 ・防波壁の陸側: EL+0.30m ・護岸陸側から防波壁まで: EL+0.14m ・護岸より海側: EL-0.02m 【津波時】 ・護岸より陸側: EL+0.48m ・護岸より海側: EL+0.48m	・3次元浸透流解析の結果を踏まえ、保守性を確認の上、設定する。	○
	防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)	【地震時】 ・護岸より陸側: EL+0.14m ・護岸より海側: EL-0.02m 【津波時】 ・護岸より陸側: EL+0.14m ・護岸より海側: EL+0.48m		○
	防波壁(波返重力擁壁)	【地震時】 ・護岸より陸側: EL+0.30m ・護岸より海側: EL-0.02m 【津波時】 ・護岸より陸側: EL+0.48m ・護岸より海側: EL+0.48m		○
液状化(液状化強度特性)	・液状化検討対象層(埋戻土(掘削ズリ、砂礫層))に対して、液状化試験結果及び有効応力解析(ELIP)の簡易設定法により設定する。なお、簡易設定法より設定された液状化強度特性は、液状化試験結果下限値の液状化強度特性よりも保守的であることを確認する。	・有効応力解析による地震応答解析を実施し、液状化の有無のいずれが保守的となるかを確認する。その上で保守的となる解析を基本ケースとする。 ・有効応力解析で用いる液状化強度特性は、設置許可段階の設定を基本とする。	一	

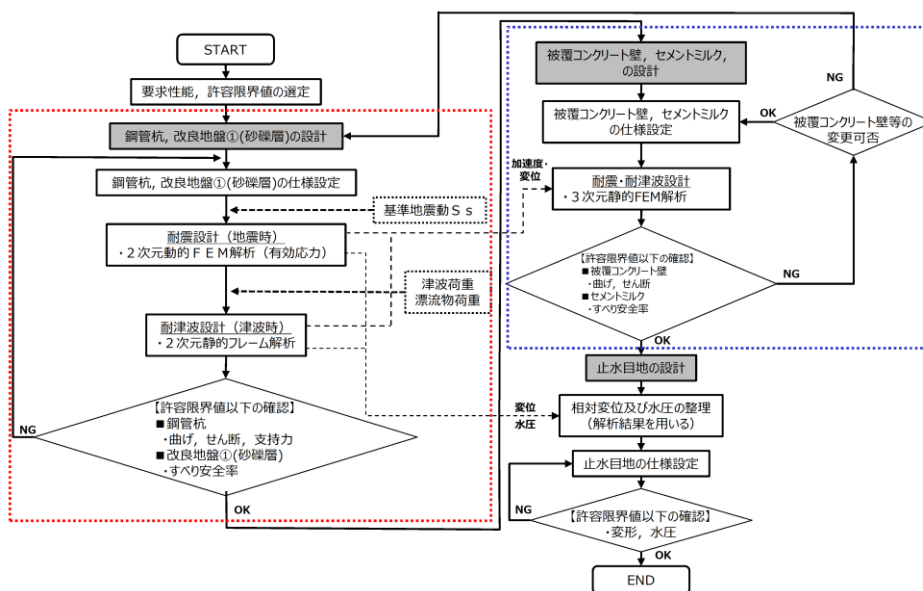
※ 地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえて詳細設計段階で設定する。

第 1-47(4)表 設置許可段階と詳細設計段階における解析条件等の整理

	設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)	詳細設計段階	本資料の説明範囲
地盤物性のばらつき	各断面で解析用物性値(基本物性)に基づいた評価を行い、構造成立性が確保できる見通しであることを確認する。 【防波壁(多重鋼管杭式擁壁)】 (剛性) 解析用物性値 (強度) 解析用物性値 【防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)】 (剛性) 解析用物性値 (強度) 解析用物性値 【防波壁(波返重力擁壁)】 (剛性) 解析用物性値 (強度) 解析用物性値	各断面で地盤物性のばらつきを考慮した評価を行う。地盤物性のばらつき設定ケースは以下を基本として、基本物性における各部位の評価結果や裕度等を踏まえて具体的な解析実施ケースを検討する。 【防波壁(多重鋼管杭式擁壁)】 (剛性) 解析用物性値, ±1σ ・鋼管杭、被覆コンクリート壁及び止水目地については、地盤の土圧による影響が支配的となることから、埋戻土、改良地盤及び砂礫の剛性のばらつき(±1σ)を考慮する。 【防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)】 (剛性) 解析用物性値, ±1σ ・鋼管杭、逆T擁壁及び止水目地については、地盤の土圧による影響が支配的となることから、埋戻土及び改良地盤の剛性のばらつき(±1σ)を考慮する。 【防波壁(波返重力擁壁)】 (剛性) 解析用物性値, ±1σ ・ケーソン、重力擁壁及び止水目地については、地盤の土圧による影響が支配的となることから、埋戻土、改良地盤及び砂礫の剛性のばらつき(±1σ)を考慮する。	○

(a)防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計フローを第 1-85 図に、解析モデル及び解析概要を第 1-86 図及び第 1-87 図に示す。

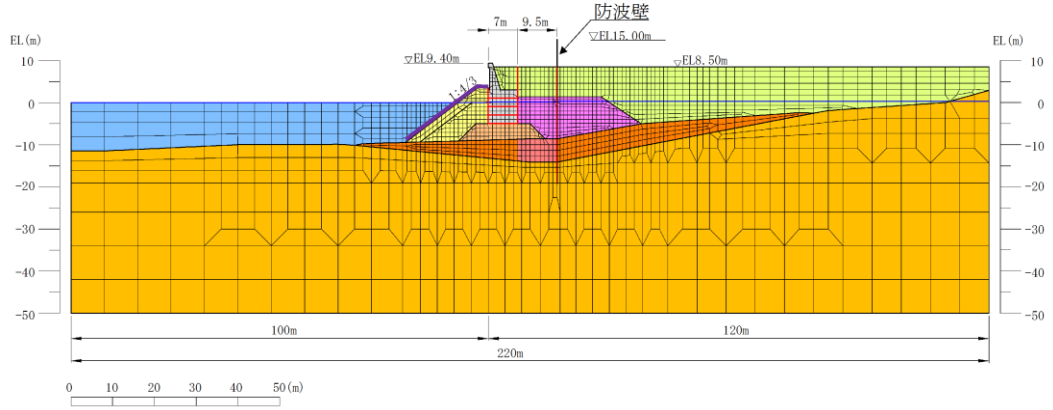


第 1-85 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計フロー

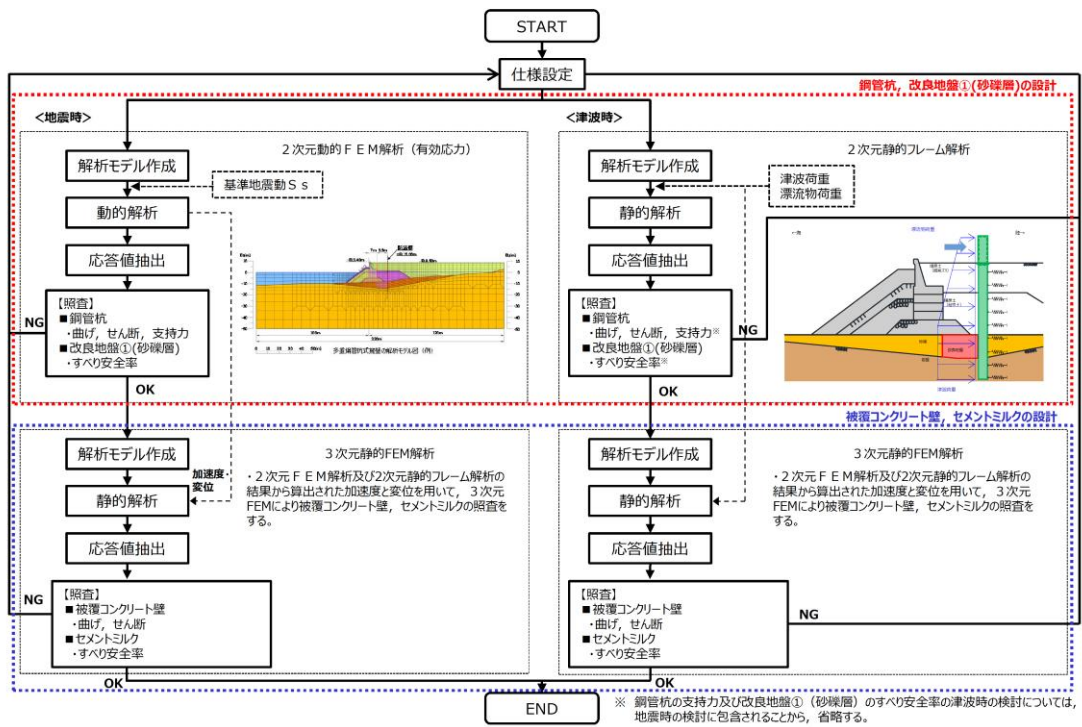
モデル化方針について、以下に示す。

- ・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参考資料 5 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
- 砂礫層
- 埋戻土(粘性土)
- ジョイント要素
- 埋戻土(掘削ズリ)
- 改良地盤
- 被覆石(捨石を含む)
- 消波ブロック荷重
- 基礎捨石
- 施設護岸



第 1-86 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の解析モデル



第 1-87 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の解析概要

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の部位ごとの設計方針を第 1-48 表に示す。
 また、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の設置許可段階における確認項目を
 第 1-88 図に示す。

第 1-48 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の部位ごとの設計方針

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)
	津波時	2次元静的フレーム解析			
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				
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。	
	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	ー	曲げ せん断	「建築基準法施行令2008年6月」を踏まえた許容応力度とする。	
	津波時	ー			
岩盤	地震時	2次元動的FEM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 ^{※1}	2次元静的フレーム解析			
改良地盤① (砂礫層)	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}	2次元静的フレーム解析			
セメント ミルク	地震時	3次元静的FEM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				

※1 津波時の検討については、地震時の検討に含まれることから、省略する。
 ※2 津波荷重は上部工のみに作用することから、改良地盤部への影響は地震時に比べて小さいと考えられるため、検討を省略する。

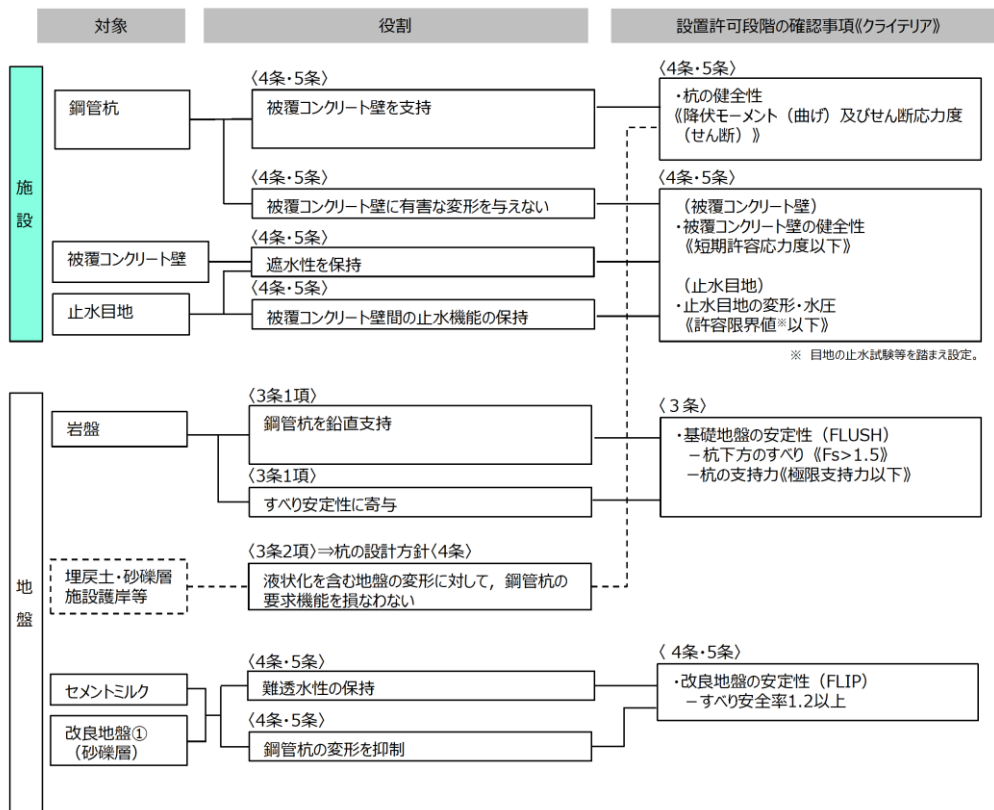
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の支持力は、岩盤の支持力試験から定めた極限支持力と地震応答解析により求められる杭先端の杭先端の最大軸力を比較することにより確認する。

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

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

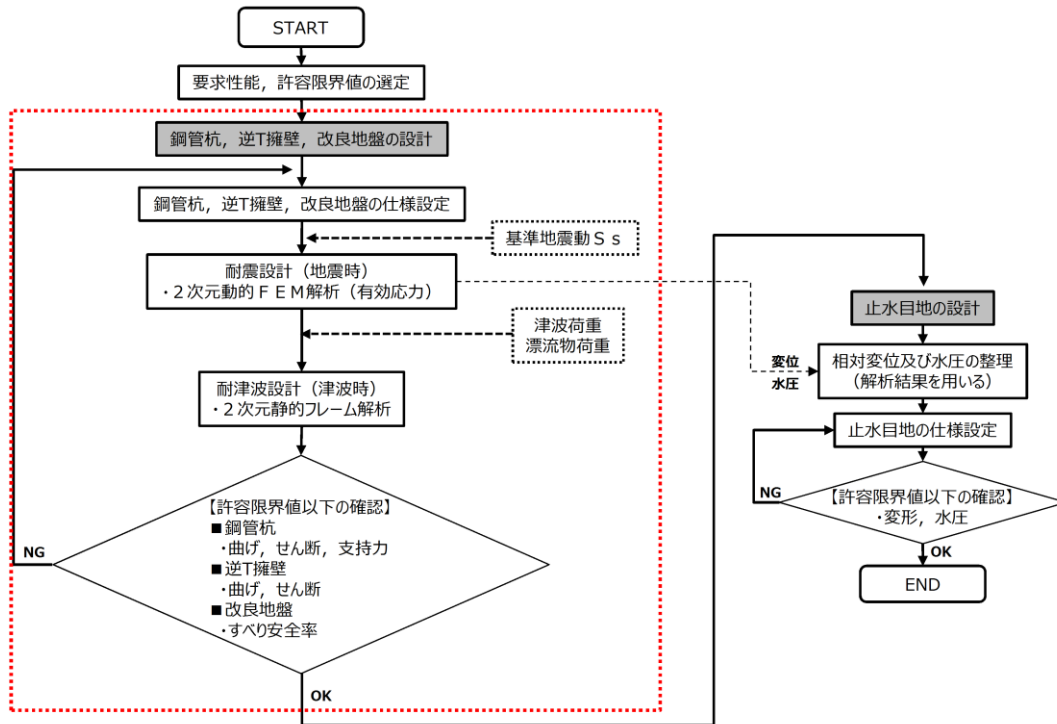
q_d : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度 (kN/m²)
 A : 杭先端面積 (m²)



第 1-88 図 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）]

(b)防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）

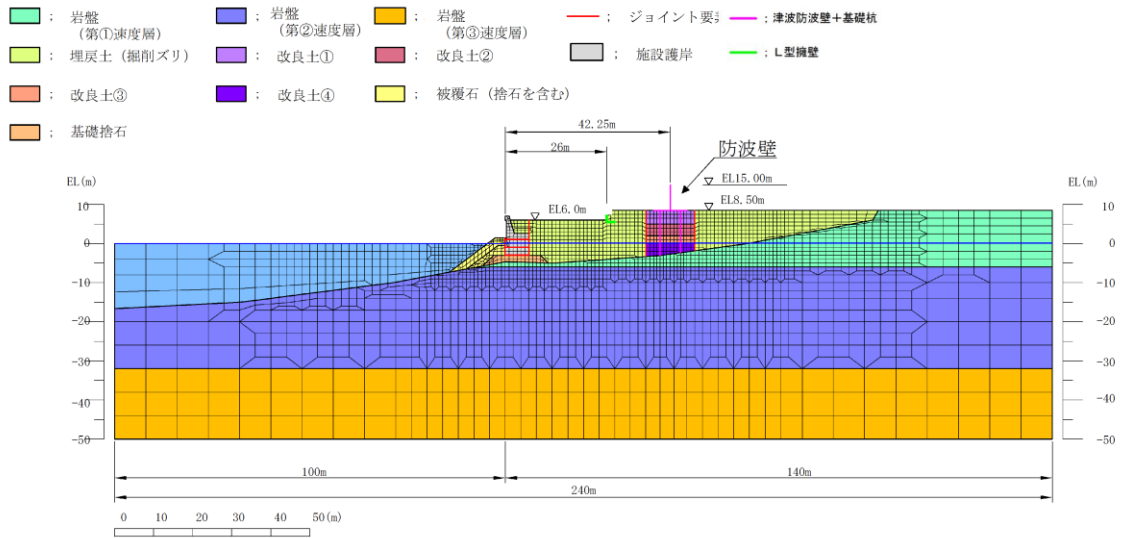
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計フローを第 1-89 図に、解析モデル及び解析概要を第 1-90 図及び第 1-91 図に示す。



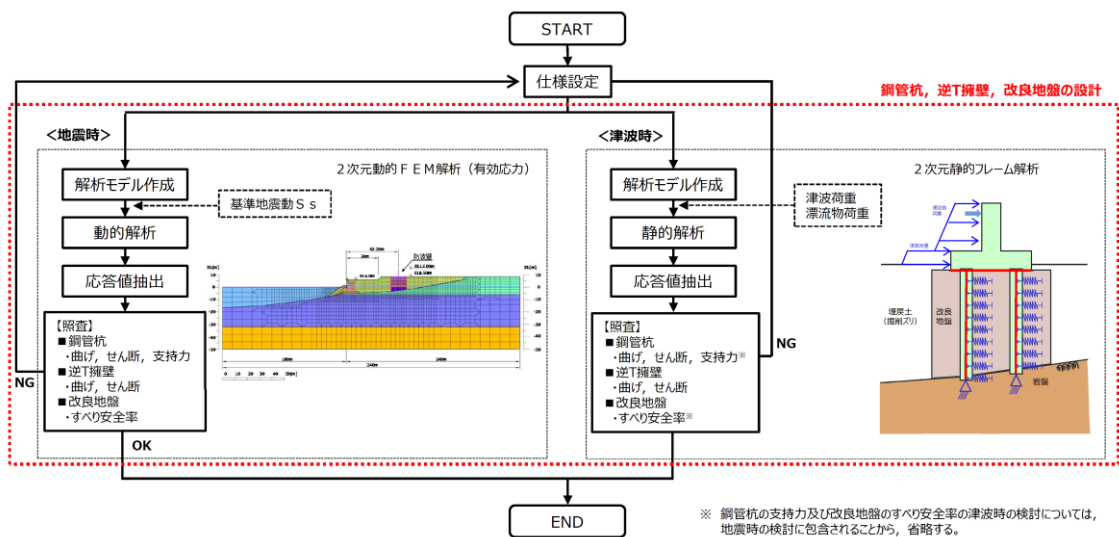
第 1-89 図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計フロー

モデル化方針について、以下に示す。

- ・防波壁及び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），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。



第 1-90 図 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の解析モデル



第 1-91 図 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の解析概要

防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の部位ごとの設計方針を第 1-49 表に示す。

また、防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の設置許可段階における確認項目を第 1-92 図に示す。

第 1-49 表 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の部位ごとの設計方針

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)
	津波時	2次元静的フレーム解析			
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
	津波時	2次元静的フレーム解析			
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。	
	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	—	曲げ せん断		「建築基準法施行令2006年8月」を踏まえた許容応力度とする。
	津波時	—			
岩盤	地震時	2次元動的 FEM 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 ^{*1}	2次元静的フレーム解析			
改良地盤	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}	2次元静的フレーム解析			

※1 津波時の検討については、地震時の検討に含まれることから、省略する。
 ※2 津波荷重は上部工のみに作用することから、改良地盤部への影響は地震時に比べて小さいと考えられるため、検討を省略する。

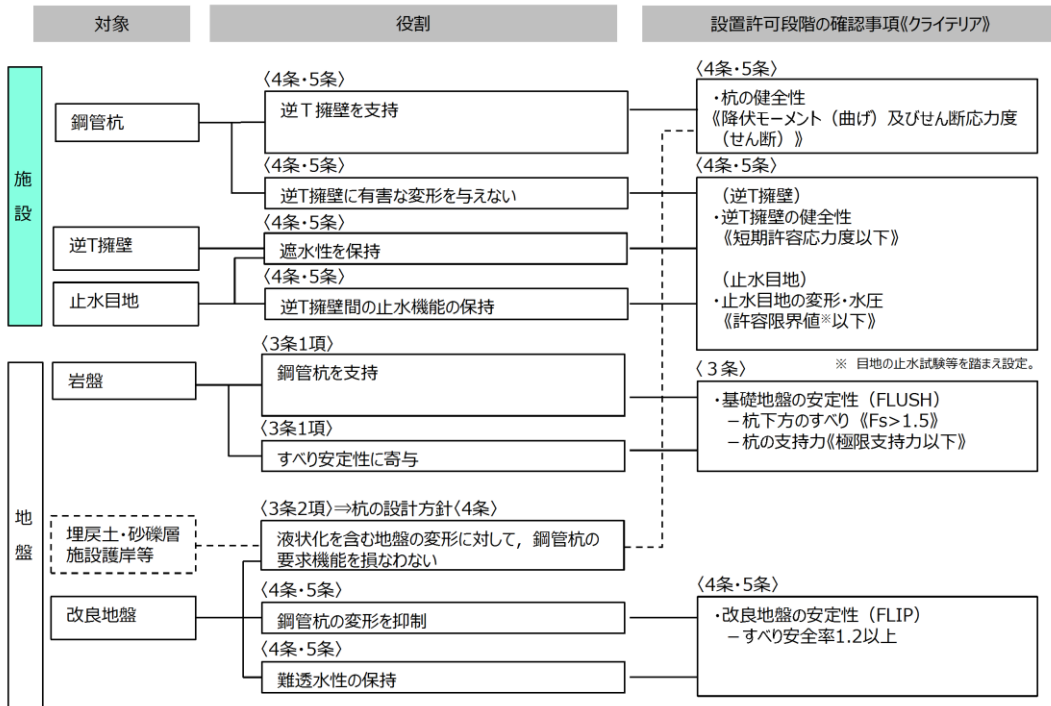
防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の支持力は、岩盤の支持力試験から定めた極限支持力と地震応答解析により求められる杭先端の杭先端の最大軸力を比較することにより確認する。

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

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

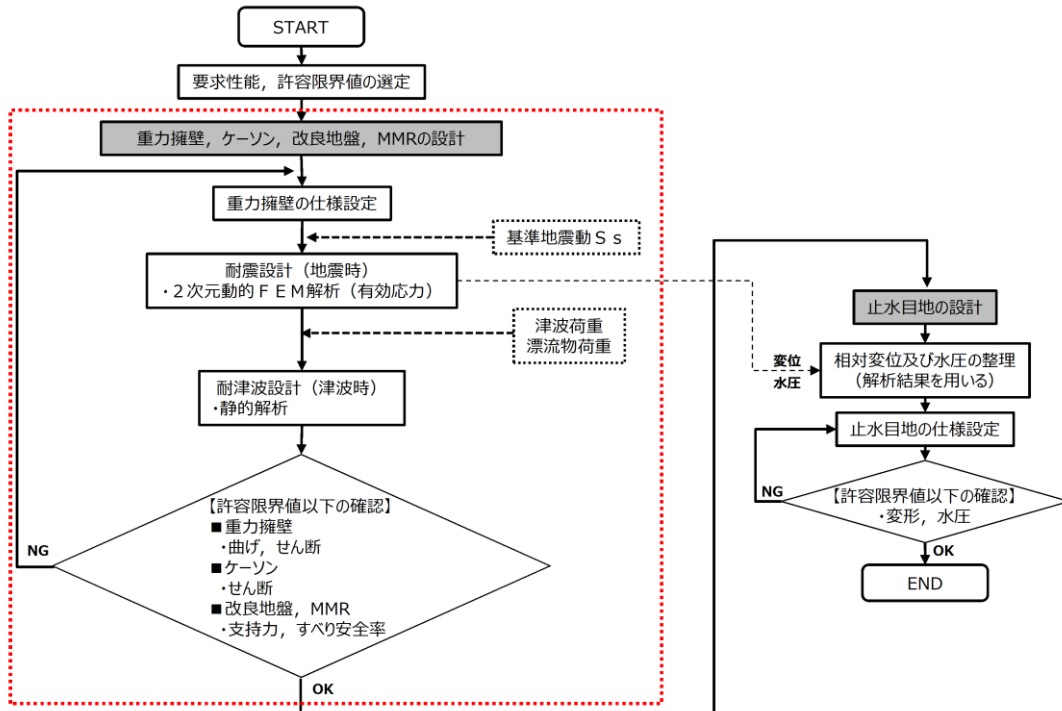
q_d : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度 (kN/m²)
 A : 杭先端面積 (m²)



第 1-92 図 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）]

(c)防波壁（波返重力擁壁）

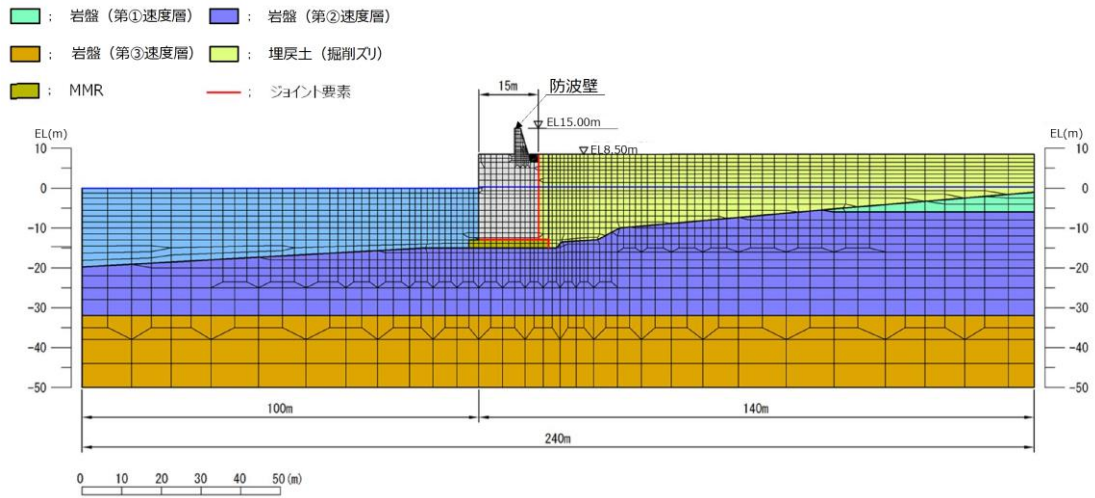
防波壁（波返重力擁壁）の設計フローを第 1-93 図に、解析モデルを第 1-94 図に、解析概要を第 1-95 図に示す。



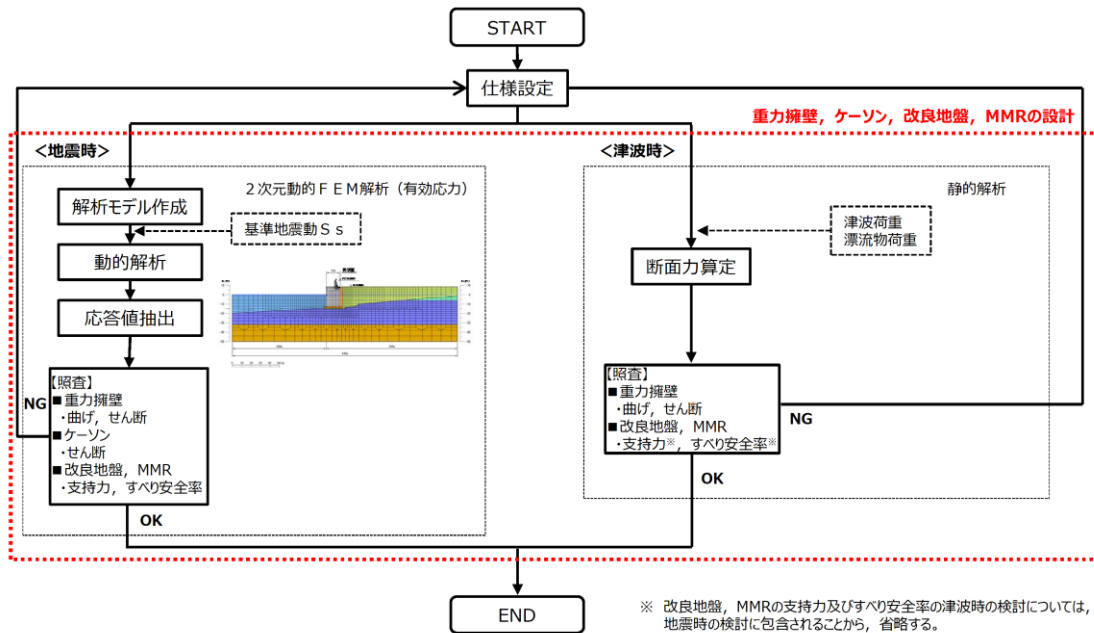
第 1-93 図 防波壁（波返重力擁壁）の設計フロー

モデル化方針について、以下に示す。

- ・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はり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。



第 1-94 図 防波壁（波返重力擁壁）の解析モデル



第 1-95 図 防波壁（波返重力擁壁）の解析概要

防波壁（波返重力擁壁）の部位ごとの設計方針を第 1-50 表に示す。

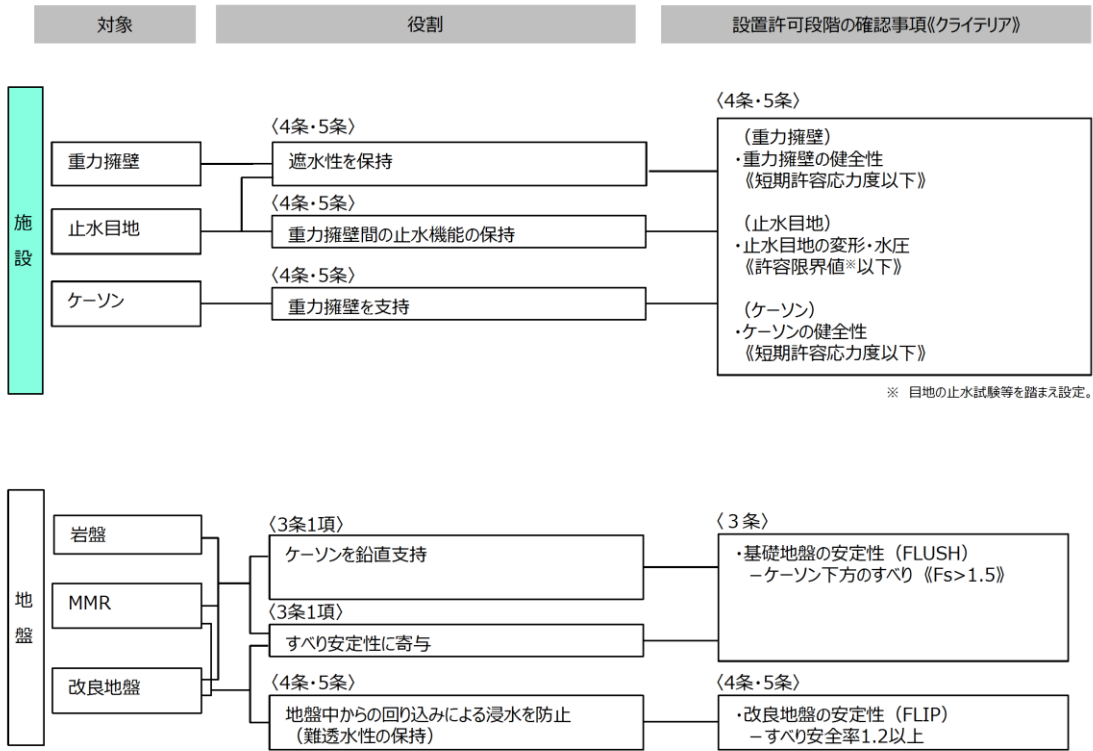
また、防波壁（波返重力擁壁）の設置許可段階における確認項目を第 1-96 図に示す。

第 1-50 表 防波壁（波返重力擁壁）の部位ごとの設計方針

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			
ケーソン	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	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	—	—	—	—
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。
	津波時	静的解析			
止水目地の 鋼製部材	地震時	—	曲げ せん断		「建築基準法施行令2008年8月」を踏まえた許容応力度とする。
	津波時	—			
岩盤	地震時	2次元動的FEM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*1	静的解析			
改良地盤及び MMR	地震時	2次元動的FEM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	静的解析	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

※1 津波時の検討については、地震時の検討に包含されることから、省略する。

※2 津波荷重は上部工のみに作用することから、改良地盤部への影響は地震時に比べて小さいと考えられるため、検討を省略する。



第 1-96 図 設置許可段階における確認項目 [防波壁 (波返重力擁壁)]

f. 解析概要

各解析の設計方針の概要を以下に示す。

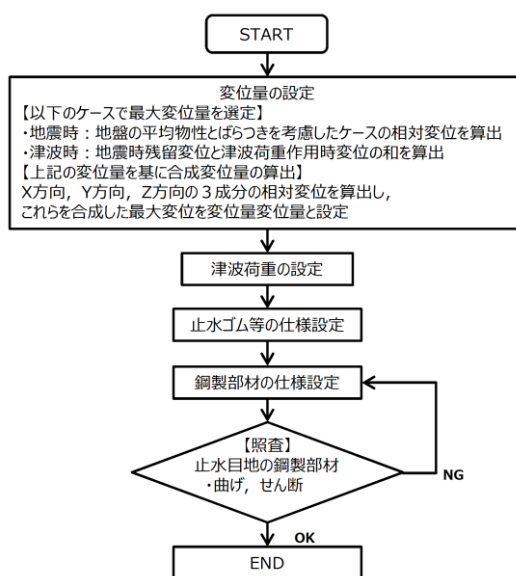
(a) 止水目地

止水ジョイントの設計フローを第 1-97 図に示す。

止水ジョイント部の構造成立性評価については、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析及び津波荷重を用いた静的フレーム解析により算出された変位量と、入力津波を用いて津波波圧算定式より算出した津波荷重に対して止水ゴム等の止水性が維持できる仕様であることを確認する。

止水ゴム等の仕様設定は、性能試験（耐圧試験・引張変形試験）により津波荷重に耐え、止水機能を維持できる変形量となるよう設定するとともに、構造物間に生じる相対変位に対し追従可能な材料を選定する。

止水ゴム等が取付け部の鋼製部材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。



第 1-97 図 設計フロー

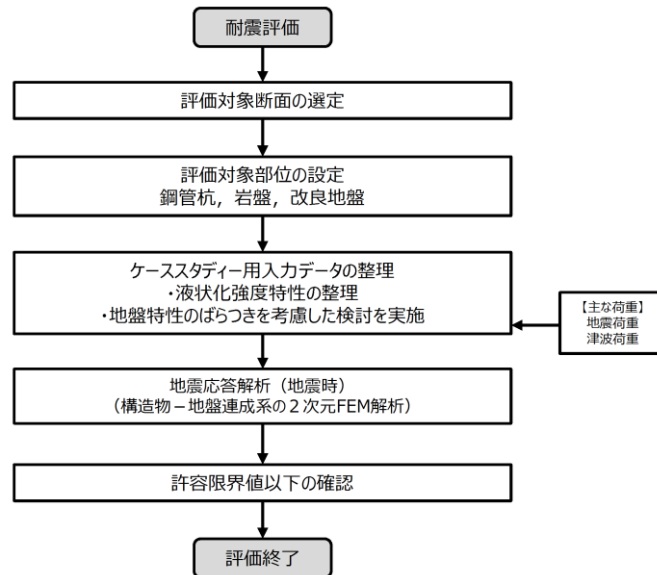
(b) 2次元動的有限要素解析（有効応力解析）

2次元動的有限要素解析(有効応力解析)の設計フローを第 1-98 図に、代表断面選定の考え方を第 1-51 表に示す。

i. 解析の目的

- ・ 鋼管杭，埋戻土，基礎捨石，砂礫層，改良地盤，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

- ii. 結果の利用
 - ・鋼管杭，逆T擁壁，波返重力擁壁及びケーソンの照査
 - ・地震時応答（変位を含む）
- iii. 解析条件
 - ・地盤物性のばらつきを考慮する



第 1-98 図 設計フロー

第 1-51 表 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。

(c) 静的フレーム解析

静的フレーム解析の設計フローを第 1-99 図に示す。

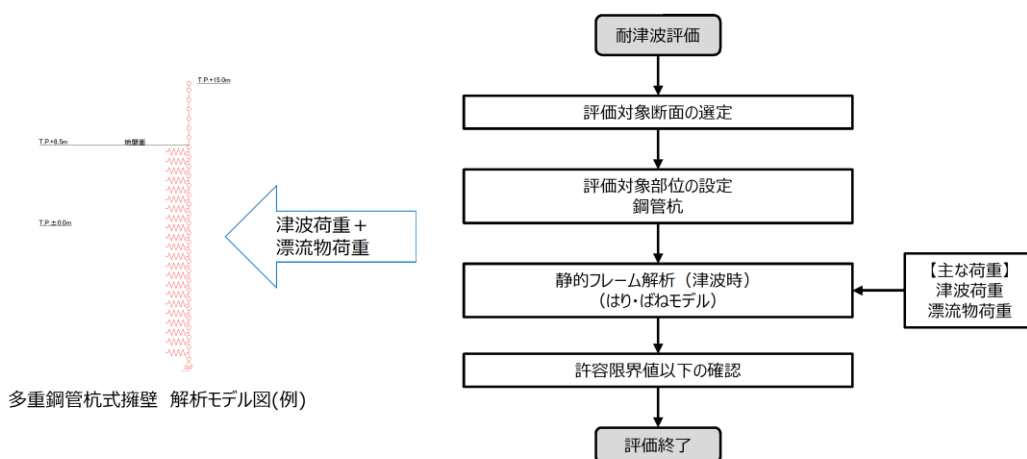
- i. 解析の目的
 - ・鋼管杭，逆T擁壁の挙動評価（津波時）
- ii. 結果の利用
 - ・鋼管杭，逆T擁壁の照査
 - ・止水目地の変位量

iii. モデル化方針

- ・ 鋼管杭，逆T擁壁は線形はり要素（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

IV. 解析条件

- ・ 解析用物性値（静的物性）を用いる



第 1-99 図 設計フロー

(d) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部

取水路横断部の解析モデルを第 1-100 図に示す。

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，第 1-100 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，第 1-100 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。

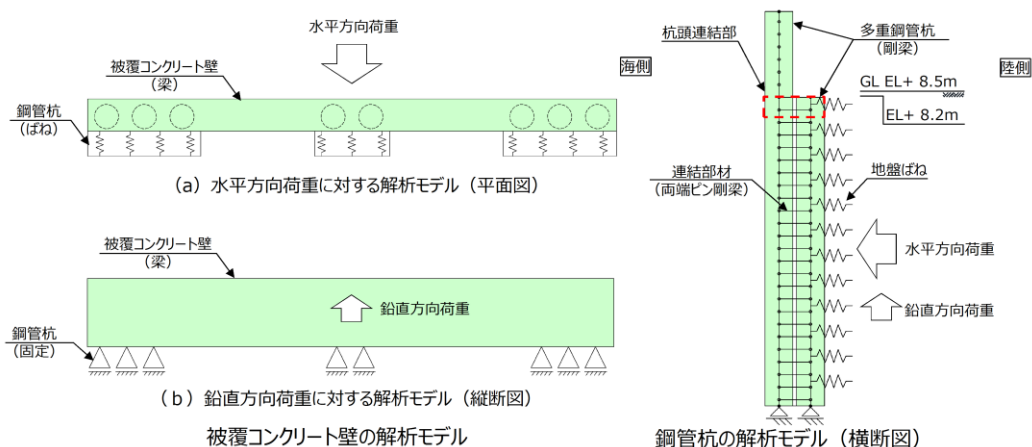
鋼管杭の評価について，鋼管杭は，多重管構造を 1 本の梁としてモデル化し，上部コンクリート及び内部の間詰めコンクリートの剛性及び強度は考慮しない。

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，第 1-100 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。



第 1-100 図 解析モデル

g. 設計荷重

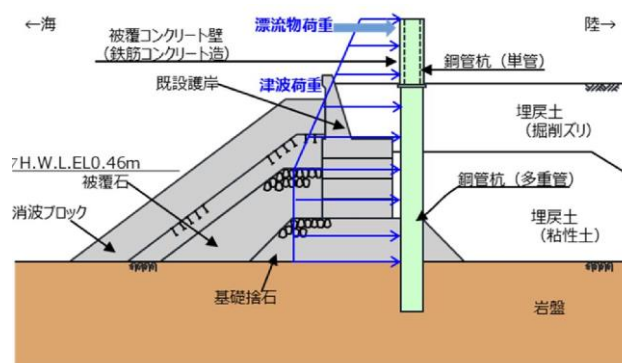
設計に用いる荷重の組合せを第 1-52 表に、各荷重の内容を第 1-53 表に、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の津波時の例を第 1-101 図に示す。

第 1-52 表 荷重の組合せ

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 ※ 海城活断層より想定される地震による津波は、防波壁の敷地の壁体部（被覆コンクリート部等）には到達しないが、到達する部位については個別に評価を実施する。（別添. 7 参照）

第 1-53 表 荷重の内容

荷重	内容
常時荷重	建造物の自重，土圧，水圧，積雪荷重及び風荷重
地震荷重	基準地震動 S_s を作用させる
津波荷重	入力津波高さと防波壁前面の静水面高さ（朔望平均満潮位EL+0.46m）の差の1/2を入射津波高さとし、港湾基準に基づき谷本式により津波波力を算定し、作用させる
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防波壁天端高さに作用させる



第 1-101 図 荷重の概念図

(防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における津波荷重＋漂流物荷重の例)

h. 地下水位の設定方針

地震時の地下水位については、護岸前面は朔望平均干潮位 T. P. -0.02m とする。護岸より陸側の地下水位設定は港湾基準に準拠して残留水位とし、各護岸の止水状況を考慮し設定する。

また、設置許可段階における津波荷重の算定潮位は朔望平均満潮位 (H. W. L.) とする。地下水位については、各護岸の止水状況を考慮し、朔望平均満潮位 (H. W. L.) 又は残留水位とする。

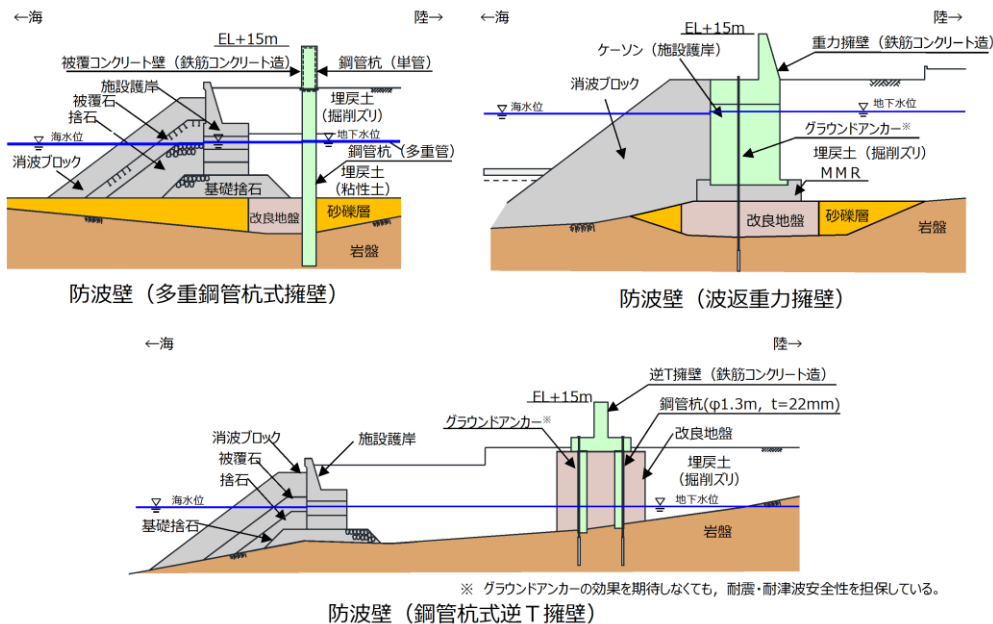
地震時の地下水位の設定方針を第 1-54 表及び第 1-102 図に、津波時の地下水位の設定方針を第 1-55 表及び第 1-103 図に示す。

また、詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ、保守性を確認の上、設定する。

なお、地下水位の設定においては、地下水位低下設備の効果を期待しない地下水位を改めて設定する。

第 1-54 表 地下水位の設定方針 (設置許可段階)

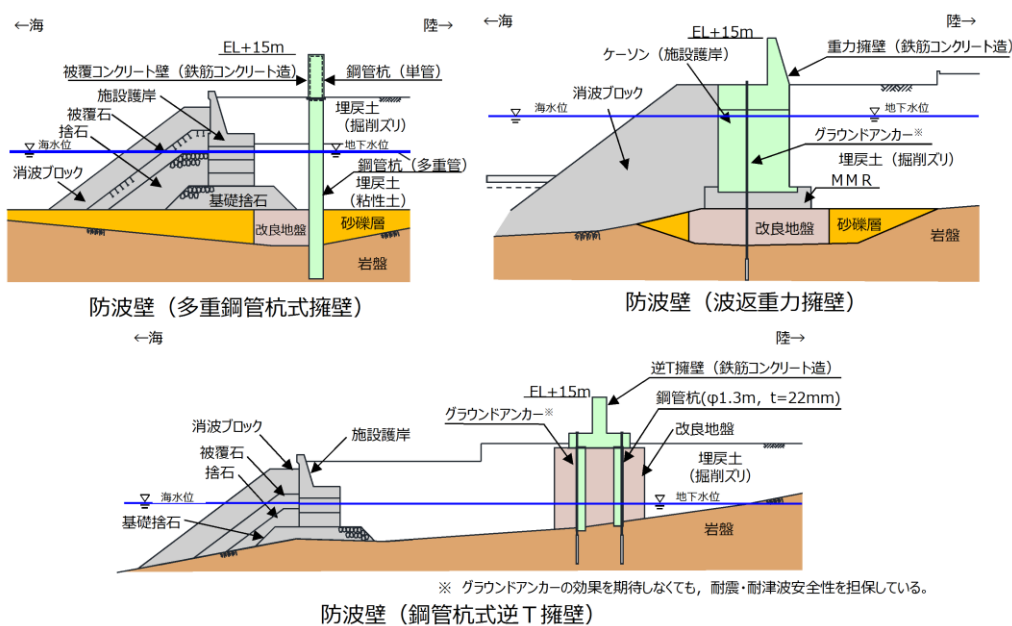
構造型式	水位
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁の陸側 : EL+0.30m 護岸陸側から防波壁まで : EL+0.14m 護岸より海側 : EL-0.02m
防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> 護岸より陸側 : EL+0.14m 護岸より海側 : EL-0.02m
防波壁 (波返重力擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> 護岸より陸側 : EL+0.30m 護岸より海側 : EL-0.02m



第 1-102 図 地下水位設定の概要

第 1-55 表 地下水位の設定方針（設置許可段階）

構造型式	水位
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸より陸側：EL+0.46m ・護岸より海側：EL+0.46m
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸より陸側：EL+0.14m ・護岸より海側：EL+0.46m
防波壁（波返重力擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸より陸側：EL+0.46m ・護岸より海側：EL+0.46m



第 1-103 図 地下水位設定の概要

i. 解析用物性値

地盤の解析用物性値を第 1-56 表に，構造物の解析用物性値を第 1-57 表に，解析用物性値の準拠基準を第 1-58 表に示す。

第1-56(1)表 解析用物性値 (地盤) (1/2)

材料種別		物理特性			強度特性			変形特性		
		単位体積重量		せん断抵抗角 ϕ_f (°)	粘着力 c (kN/m ²)	せん断強度 $T_{f,1,2}$ (kN/m ²)	せん断弾性係数 $G_{*1,3,4}$ (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)							
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	埋戻土 (掘削ズリ)	19.6	—	40.05	0	$\sigma'_m \sin 40.05^\circ$	94550 ($\sigma'_m/98$) ^{0.5}	0.33	0.24	
	水中	20.7	10.6	39.18	0	$\sigma'_m \sin 39.18^\circ$	72420 ($\sigma'_m/98$) ^{0.5}			
防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	埋戻土 (掘削ズリ) I.P. + 8.0m盤	19.6	—	40.86	0	$\sigma'_m \sin 40.86^\circ$	118700 ($\sigma'_m/98$) ^{0.5}	0.33	0.24	
	水中	20.7	10.6	39.07	0	$\sigma'_m \sin 39.07^\circ$	89650 ($\sigma'_m/98$) ^{0.5}			
地盤	埋戻土 (掘削ズリ) I.P. + 8.5m盤	19.6	—	40.54	0	$\sigma'_m \sin 40.54^\circ$	107600 ($\sigma'_m/98$) ^{0.5}	0.33	0.24	
	水中	20.7	10.6	38.72	0	$\sigma'_m \sin 38.72^\circ$	81240 ($\sigma'_m/98$) ^{0.5}			
防波壁 (波返重力擁壁)	埋戻土 (掘削ズリ) (輪台部) I.P. + 8.5m盤	19.6	—	41.16	0	$\sigma'_m \sin 41.16^\circ$	125100 ($\sigma'_m/98$) ^{0.5}	0.33	0.24	
	水中	20.7	10.6	39.23	0	$\sigma'_m \sin 39.23^\circ$	73560 ($\sigma'_m/98$) ^{0.5}			
防波壁 (掘削ズリ) (地盤改良部) I.P. + 8.5m盤	埋戻土 (掘削ズリ) (地盤改良部) I.P. + 8.5m盤	19.6	—	41.44	0	$\sigma'_m \sin 41.44^\circ$	133200 ($\sigma'_m/98$) ^{0.5}	0.33	0.24	
	水中	20.7	10.6	39.52	0	$\sigma'_m \sin 39.52^\circ$	80890 ($\sigma'_m/98$) ^{0.5}			
防波壁 (掘削ズリ) (地盤改良部) I.P. + 8.5m盤	埋戻土 (掘削ズリ) (地盤改良部) I.P. + 8.5m盤	19.6	—	41.16	0	$\sigma'_m \sin 41.16^\circ$	125100 ($\sigma'_m/98$) ^{0.5}	0.33	0.24	
	水中	20.7	10.6	39.27	0	$\sigma'_m \sin 39.27^\circ$	74450 ($\sigma'_m/98$) ^{0.5}			

※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 $G = C_0 \cdot (\sigma'_m / \sigma'_{m0})^{n_0}$ 。ここに C_0 は基準平均有効拘束圧における基礎せん断弾性係数、 σ'_{m0} は基準平均有効拘束圧、 n_0 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。

第1-56(2)表 解析用物性値(地盤)(2/2)

材料種別	物理特性		強度特性			変形特性			
	単位体積重量		せん断 抵抗力 Φ_f (°)	せん断強度 τ_f ^{※1,2} (kN/m ²)	せん断弾性係数 G ^{※1,3,4} (kN/m ²)	ポアソン比 ν	最大 減衰定数 H_{max}		
	飽和, γ_{sat} , γ_t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)						粘着力 c (kN/m ²)	
地盤	埋戻土(粘性土) ^{※5} (施設護岸~鋼管杭間)	気中	16.7	—	30.00	σ'_n sin30.00°	12750($\sigma'_n/112.3$) ^{0.5}	0.20	
		水中	16.7	6.8	30.00	σ'_n sin30.00°	12750($\sigma'_n/141.8$) ^{0.5}		
		気中	16.7	—	30.00	σ'_n sin30.00°	12750($\sigma'_n/111.3$) ^{0.5}		
		水中	16.7	6.8	30.00	σ'_n sin30.00°	12750($\sigma'_n/140.2$) ^{0.5}		
	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	砂礫層 (施設護岸~鋼管杭間)	20.7	10.6	0	38.48	σ'_n sin38.48°	55540($\sigma'_n/98$) ^{0.5}	0.33
			20.7	10.6	0	38.49	σ'_n sin38.49°	55760($\sigma'_n/98$) ^{0.5}	
		改良地盤①(砂礫層)	20.7	10.6	1677	38.00	$1677 \cos 38.00^\circ + \sigma'_n \sin 38.00^\circ$	751900($\sigma'_n/98$) ^{0.5}	
		被覆石(指石を含む) (気中)	18.0	—	20	35.00	$20 \cos 35.00^\circ + \sigma'_n \sin 35.00^\circ$	180000($\sigma'_n/98$) ^{0.5}	
	防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	基礎積石・被覆石(指石を含む) (水中)	20.0	9.9	20	35.00	$20 \cos 35.00^\circ + \sigma'_n \sin 35.00^\circ$	180000($\sigma'_n/98$) ^{0.5}	0.24
			改良地盤(上部) (気中)	19.6	—	628	38.00	$628 \cos 38.00^\circ + \sigma'_n \sin 38.00^\circ$	
改良地盤(中部) (気中)		19.6	—	490	40.54	$490 \cos 40.54^\circ + \sigma'_n \sin 40.54^\circ$	327900($\sigma'_n/98$) ^{0.5}		
改良地盤(下部) (気中)		19.6	—	1140	40.54	$1140 \cos 40.54^\circ + \sigma'_n \sin 40.54^\circ$	742800($\sigma'_n/98$) ^{0.5}		
防波壁 (波返重力擁壁)	改良地盤 (水中)	20.7	10.6	1253	38.71	$1253 \cos 38.71^\circ + \sigma'_n \sin 38.71^\circ$	777300($\sigma'_n/98$) ^{0.5}	0.24	
		砂礫層	20.0	9.9	0	38.49	σ'_n sin38.49°		55870($\sigma'_n/98$) ^{0.5}
	改良地盤	20.0	9.9	500	0	500	93880($\sigma'_n/98$) ^{0.5}		
	人工リーフ	20.0	9.9	20	35.00	$20 \cos 35.00^\circ + \sigma'_n \sin 35.00^\circ$	180000($\sigma'_n/98$) ^{0.5}		

※1 σ'_n は各要素における平均有効拘束圧
 ※2 せん断強度式は $\tau_f = \sigma'_n \sin \phi_f + c \cos \phi_f$
 ※3 せん断弾性係数の式は $G = \frac{1}{2} \frac{E}{(1 + \nu)}$ 、ここに E_{max} は基礎平均有効拘束圧における基礎せん断弾性係数、 σ'_n は基礎平均有効拘束圧のポアソン比(標準値=0.5)。
 ※4 せん断弾性係数を求める際の基礎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30kN/m²(標準値)とする。
 ※5 粘性土は在来地盤の粘性土ではないため、正統圧密粘土と仮定してセメント化し、設計事例集 第2巻 第1章 p.1-63 に準拠した強度特性($\phi_f=30^\circ$, $c=0$)を設定する。

第 1-57 表 解析用物性値 (構造物)

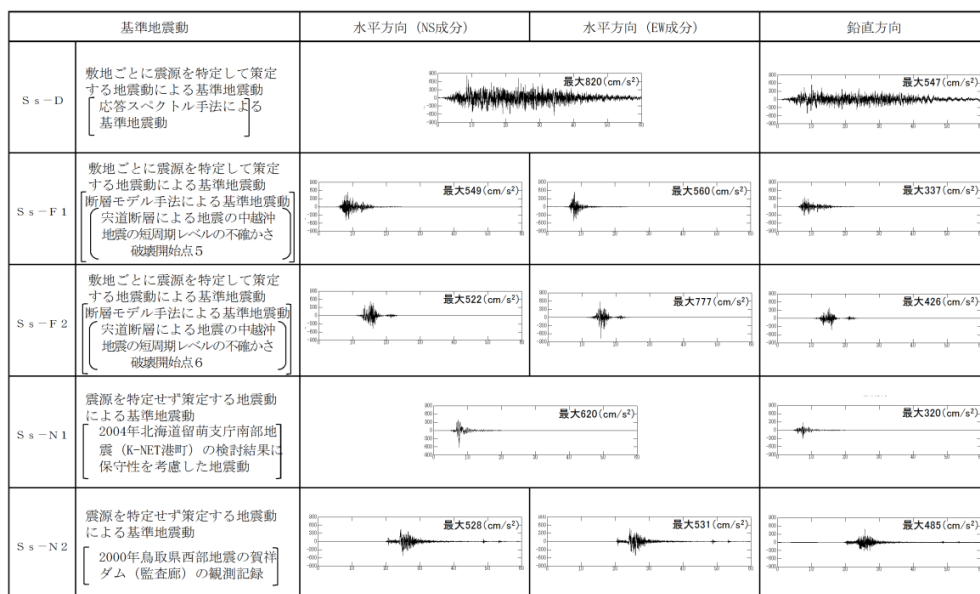
材料種別	物理特性		強度特性			変形特性				
	単位体積重量		粘着力 C (kN/m ²)	せん断 抵抗角 Φ _f (°)	せん断強度 T _f (kN/m ²)	ヤング率 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	最大 減衰定数 h _{max}		
	飽和, γ _{sat} , γ _t (kN/m ³)	水中 γ', (kN/m ³)								
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	埋戻土 (掘削ズリ) (施設護岸上部)	19.6	—	—	—	2.330×10 ⁷	0.20	—		
	埋戻土 (掘削ズリ) (施設護岸上部)	19.6	—	—	—	2.330×10 ⁷				
	防波壁 (鋼管杭式逆口擁壁)	重力擁壁 (上部)	24.0	—	—	—			2.500×10 ⁷	
		重力擁壁 (下部)	22.6	—	—	—			2.200×10 ⁷	
	防波壁 (波返重力擁壁)	ケーソン (地盤改良部)	気中	—	—	—			2.500×10 ⁷	
			水中	22.9	12.8	—			2.500×10 ⁷	
		ケーソン (輪谷部)	気中	20.9	—	—			—	2.500×10 ⁷
			水中	20.9	10.8	—			—	2.500×10 ⁷
	共通 防波壁(鋼管杭式逆口 擁壁, 多重鋼管杭式 擁壁)	MMR	—	24.0	13.9	—			2.500×10 ⁷	
			埋戻土 (護岸上部)	19.6	—	—			—	2.500×10 ⁷
テトラポット (空隙率=50%)		水中	20.7	10.6	—	—	2.500×10 ⁷			
		施設護岸 (パラベット)	11.3	6.3	—	—	1.100×10 ⁷			
施設護岸 (上部コンクリート)		施設護岸 (パラベット)	24.0	—	—	—	2.330×10 ⁷			
		施設護岸 (上部コンクリート)	22.6	—	—	—	2.040×10 ⁷			
	施設護岸 (セルラープロック (コンクリート 詰))	施設護岸 (セルラープロック (コンクリート 詰))	23.0	—	—	—	2.330×10 ⁷			
		施設護岸 (セルラープロック (栗五苗))	23.0	12.9	—	—	2.330×10 ⁷			
施設護岸 (セルラープロック (栗五苗))	22.0	11.9	—	—	2.330×10 ⁷					

第 1-58 表 解析用物性値の準拠基準

解析用物性値		準拠基準
物理特性	飽和、湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m^3)	<ul style="list-style-type: none"> 埋戻土 (掘削ズリ), 砂礫層, 改良地盤 (多重鋼管杭式擁壁, 鋼管杭式逆 T 擁壁) : 現地調査結果により設定 埋戻土 (粘性土), 石材 (基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ), 砂礫層 (波返重力擁壁), 改良地盤 (波返重力擁壁) : 『港湾基準』に準拠し設定 構造物 : 『港湾基準, p.415』および『コンクリート標準示方書 (土木学会, 2002), p.29』に準拠し設定
	水中 γ' (kN/m^3)	<ul style="list-style-type: none"> 海水の単位体積重量は, 『設計事例集 第1編 第7章, p.7-22』より, $10.1\text{kN}/\text{m}^3$とした。
強度特性	粘着力 C (kN/m^2)	<ul style="list-style-type: none"> 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章, p.1-69』に準拠し, 埋戻土 (掘削ズリ, 粘性土) : $0 (\text{kN}/\text{m}^2)$, 石材 (基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ) : $20 (\text{kN}/\text{m}^2)$ 『浸透固化処理工法技術マニュアル, p.26』に準拠し, 改良地盤 (多重鋼管杭式擁壁, 鋼管杭式逆擁壁) : $qu / (2 \times \tan (45^\circ + \phi / 2))$ 『ジェットグROUT工法 技術資料 (第2版), p.21』に準拠し, 改良地盤 (波返重力擁壁) : $500\text{kN}/\text{m}^2$
	せん断抵抗角 Φ_f ($^\circ$)	<ul style="list-style-type: none"> 埋戻土 (掘削ズリ) : 液化化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM (Ver.3.0.1) により算定 石材 (基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ) : 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章, p.1-65』に準拠し設定 35° 改良地盤 (多重鋼管杭式擁壁, 鋼管杭式逆擁壁) : 原地盤 (掘削ズリ) 相当の値を設定 改良地盤 (波返重力擁壁) : 擁壁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 埋戻土 (粘性土) : 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章, p.1-65』に準拠し設定 30°
変形特性	せん断強度 T_f (kN/m^2)	<ul style="list-style-type: none"> 『FLIP取扱説明書, p.8-1』に示された定式式に基づき設定
	せん断弾性係数 G (kN/m^2)	<ul style="list-style-type: none"> 液化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』に示された定式式に基づき設定
	ポアソン比 ν	<ul style="list-style-type: none"> 地盤 : 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章, p.1-61』に準拠し設定 0.33 構造物 : 『コンクリート標準示方書 (土木学会, 2002), p.29』に準拠し設定 0.20
	最大減衰定数 H_{max}	<ul style="list-style-type: none"> 国土技術政策総合研究所IP公開の『一次元FLIP入力データ作成プログラムID-MAKER 操作マニュアル, p.14.19』に準拠し設定 埋戻土 (掘削ズリ), 石材 (基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ) : 0.24, 埋戻土 (粘性土) : 0.20

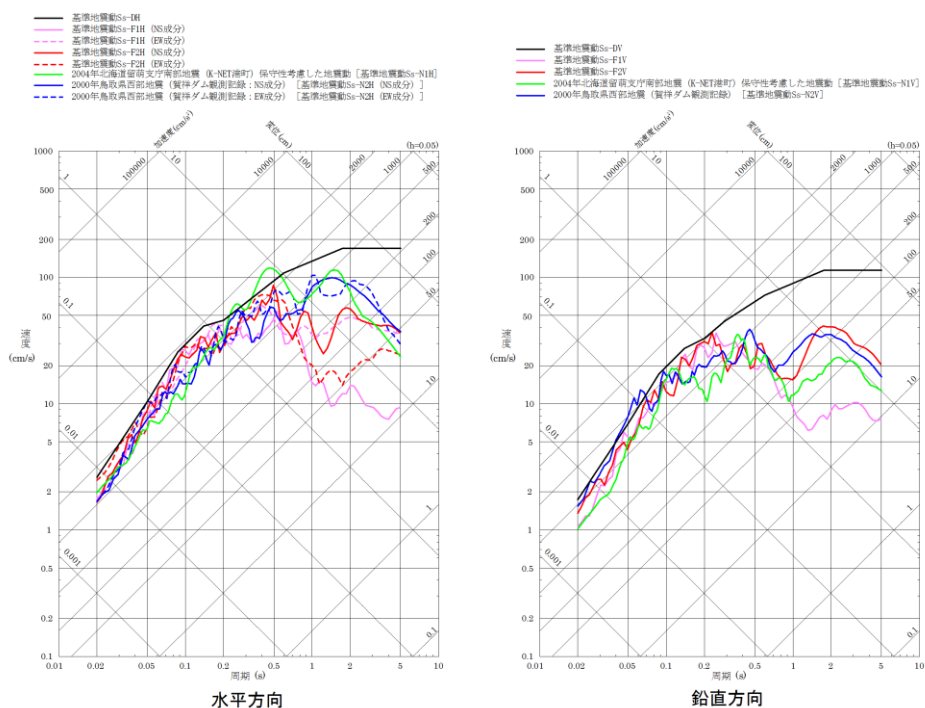
j. 構造成立性評価地震波

構造成立性評価断面（地点）における基準地震動5波の応答結果から、構造成立性評価地震波を選定する。基準地震動 S_s の時刻歴波形及び応答スペクトルを第 1-104 図及び第 1-105 図に示す。



※ 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/s²)，横軸：時間 (s)〕

第 1-104 図 基準地震動 S_s の時刻歴波形



第 1-105 図 基準地震動 S_s の応答スペクトル

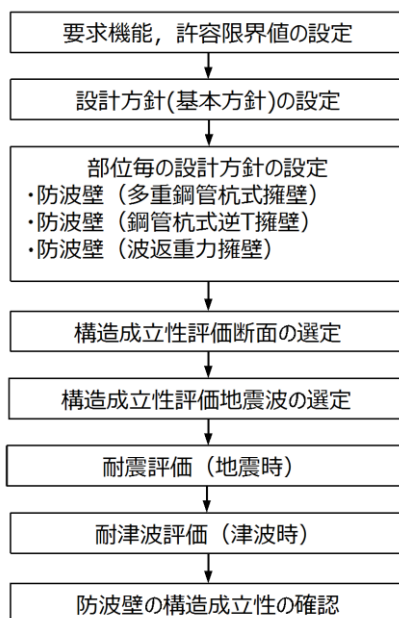
2. 構造成立性評価

(1) 構造成立性評価の基本方針

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 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余裕があること、補強により対策可能であること等を確認する。

防波壁の構造成立性評価の流れを第 2-1 図に示す。

なお、詳細設計段階で万一余裕が確保できなくなった場合には、追加の余裕向上対策(改良地盤範囲の拡大等)の実施により対応する。

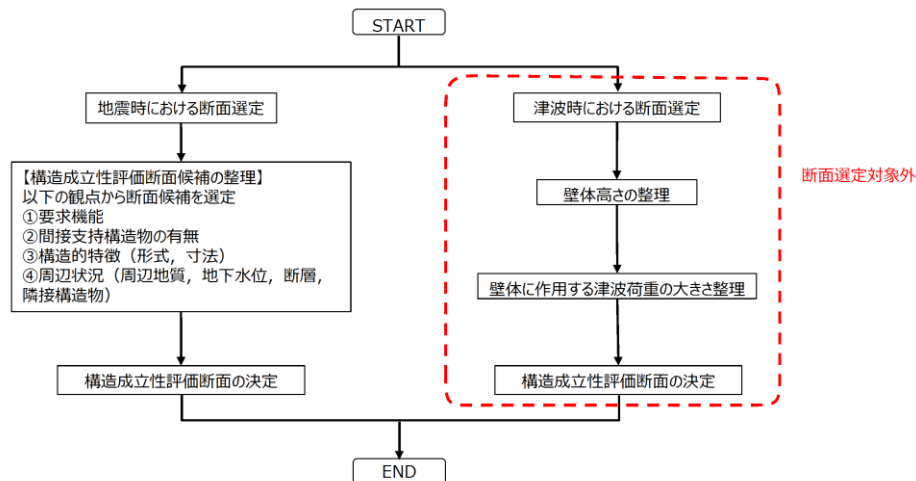


第 2-1 図 防波壁の構造成立性評価の流れ

(2) 構造成立性評価断面の選定

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、第 2-2 図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評価において選定した地点以外の断面も選定して評価を行う。



第 2-2 図 構造成立性評価断面選定フロー

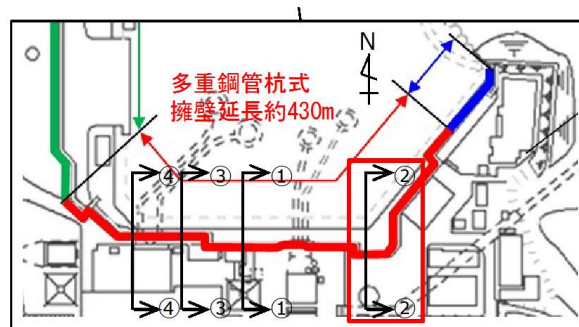
a. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）について、①要求機能、②間接支持する設備、③上部工、④下部工、⑤周辺地盤の観点にて構造成立性評価断面候補を整理した結果を第 2-1 表に示す。また、評価断面候補地点の平面図及び断面図を第 2-3 図及び第 2-4 図に、候補地点の概要を第 2-2 表に示す。

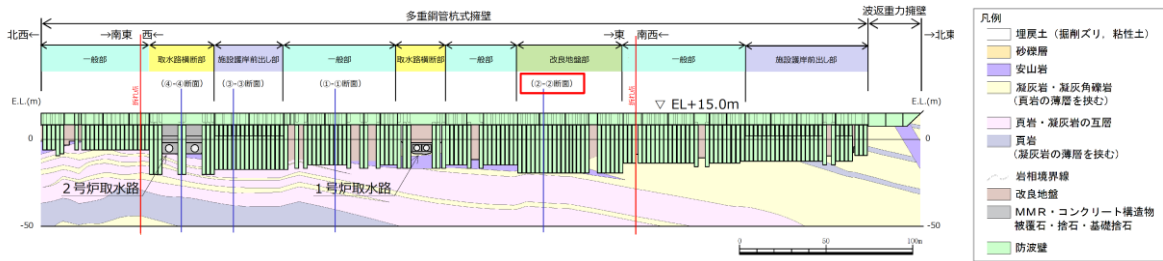
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、④下部工の構造的特徴及び⑤周辺地盤によって構造成立性評価断面を選定することとする。設置許可段階における構造成立性評価の断面は、「岩盤が最も深部に位置し、かつ基礎捨石の下側に改良地盤及び砂礫層が存在する②-②断面」を選定する。

第 2-1 表 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	
④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：16.8m～22.9m	
⑥周辺地盤	地質概要	・主にCM級岩盤またはCH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。



第 2-3 図 構造成立性評価断面候補地点の平面図（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））



第 2-4 図 構造成立性評価断面候補地点の断面図（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））

第 2-2 表 構造成立性評価断面候補地点の概要（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））

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CM級岩盤に打設し、支持。
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CM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。
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CM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CM級及びCH級岩盤に打設し、支持。

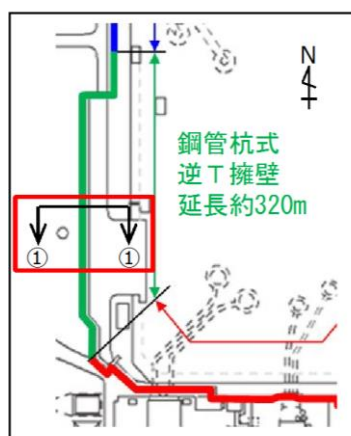
b. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）について、①要求機能、②間接支持する設備、③上部工、④下部工、⑤周辺地盤の観点にて構造成立性評価断面候補を整理した結果を第2-3表に示す。また、評価断面候補地点の平面図及び断面図を第2-5図及び第2-6図に示す。

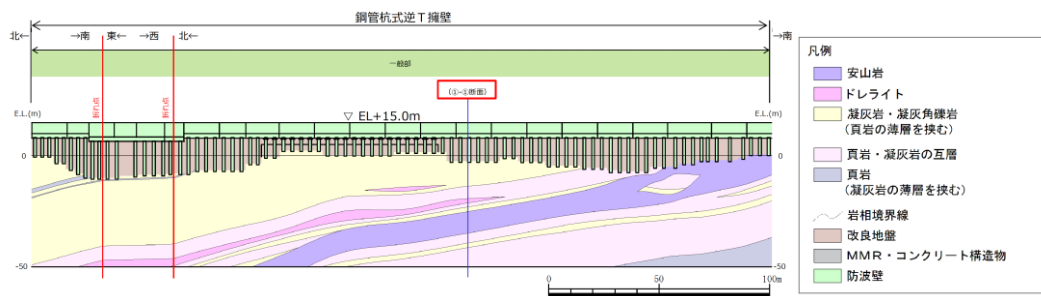
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、④下部工の構造的特徴及び⑤周辺地盤によって構造成立性評価断面を選定することとする。設置許可段階における構造成立性評価の断面は、「断面位置による応答特性に大きな差異はないと考えられることから、標準断面①-①断面」を選定する。

第2-3表 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	
④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	・位置に応じて杭長が異なるものの、周囲を地盤改良することから、応答特性に大きな差異はないと考えられるため、断面選定は不要である。
	寸法	・φ1.3m ・岩盤までの深さ：10.9m	
⑤周辺地盤	地質概要	・主にCM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、岩級区分、改良地盤厚さ等、周辺状況が異なるものの、周囲を地盤改良することから、応答特性に大きな差異はないと考えられるため、断面選定は不要である。



第2-5図 構造成立性評価断面候補地点の平面図（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））



第 2-6 図 構造成立性評価断面候補地点の断面図（防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁））

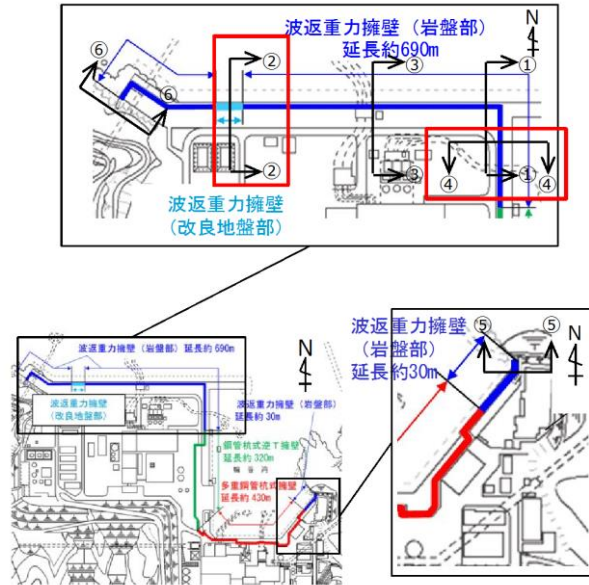
c. 防波壁（波返重力擁壁）

防波壁（波返重力擁壁）について、①要求機能、②間接支持する設備、③上部工、④下部工、⑤周辺地盤の観点にて構造成立性評価断面候補を整理した結果を第 2-4 表に示す。評価断面候補地点の平面図及び断面図を第 2-7 図及び第 2-8 図に、候補地点の概要を第 2-5 表に示す。

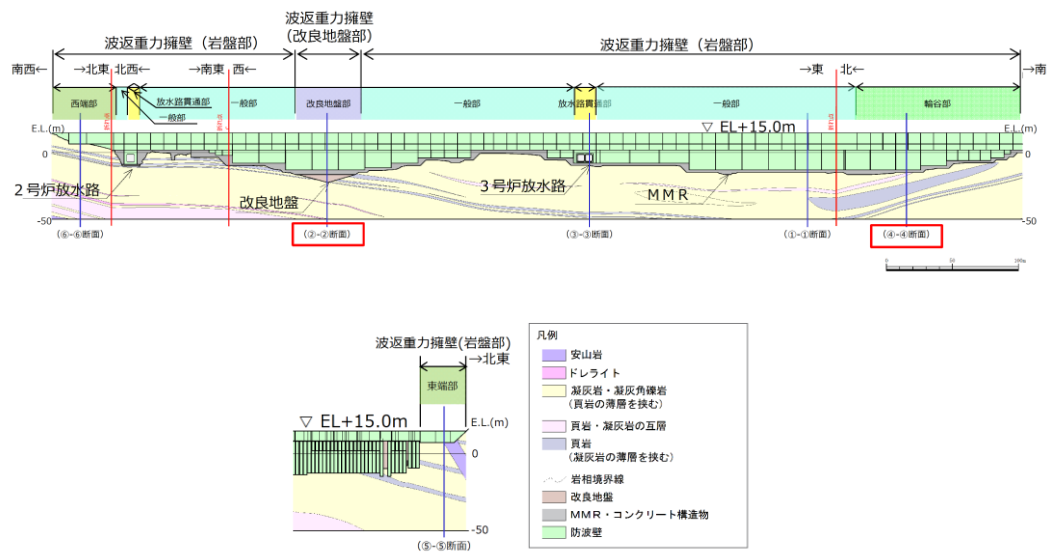
防波壁（波返重力擁壁）は、④下部工の構造的特徴及び④周辺状況のうち周辺地質状況によって構造成立性評価断面を選定することとする。設置許可段階における構造成立性評価の断面は、「南北方向断面で岩盤が他地点と比較し相対的に最も深部に存在し、改良地盤及び砂礫層が分布する②-②断面」、及び「東西方向断面で岩盤が最も深部に存在する④-④断面」を選定する。

第 2-4 表 構造成立性評価断面候補の整理（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）	
④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	
⑤周辺地盤	地質概要	・ケーソンを介して主に CM 級または CH 級岩盤に支持 ・一部、CM 級または CH 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。



第 2-7 図 構造成立性評価断面候補地点の平面図 (防波壁 (波返重力擁壁))



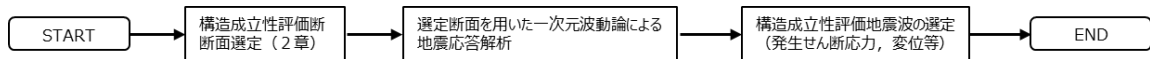
第 2-8 図 構造成立性評価断面候補地点の断面図 (防波壁 (波返重力擁壁))

第 2-5 表 構造成立性評価断面候補地点の概要（防波壁（波返重力擁壁））

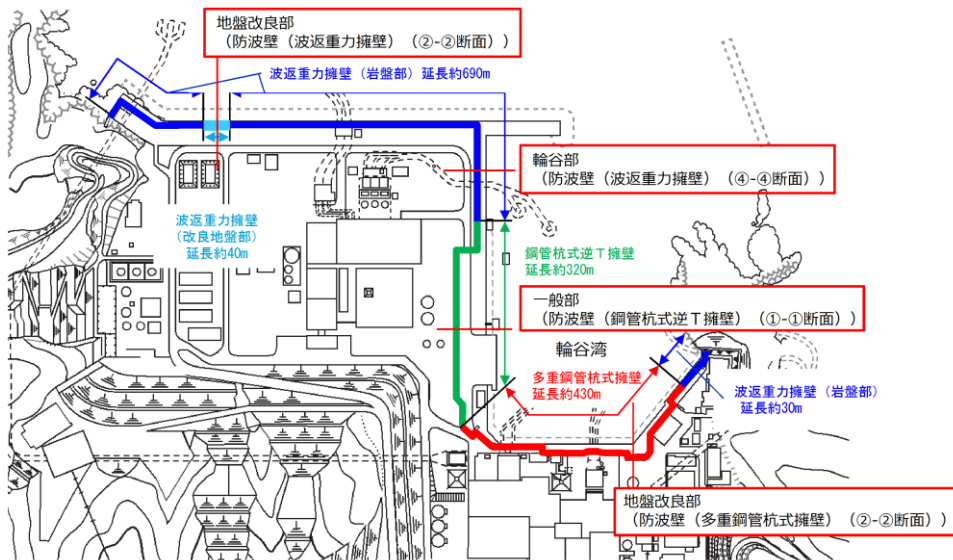
着目点	構造的特徴	周辺状況
①-①断面	・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置。	・地表面から岩盤までの深さ：21.2m ・ケーソンを介して主にCII級岩盤に支持される。
②-②断面	・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置。	・地表面から岩盤までの深さ：29.0m ・ケーソンを介して主にCII級岩盤または改良地盤に支持される。 ・高圧噴射攪拌工法により地盤改良を実施している改良地盤部が存在する。 ・周辺に砂礫層が分布している。
③-③断面	・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置。	・地表面から岩盤までの深さ：16.3m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

(3) 構造成立性評価地震波の選定

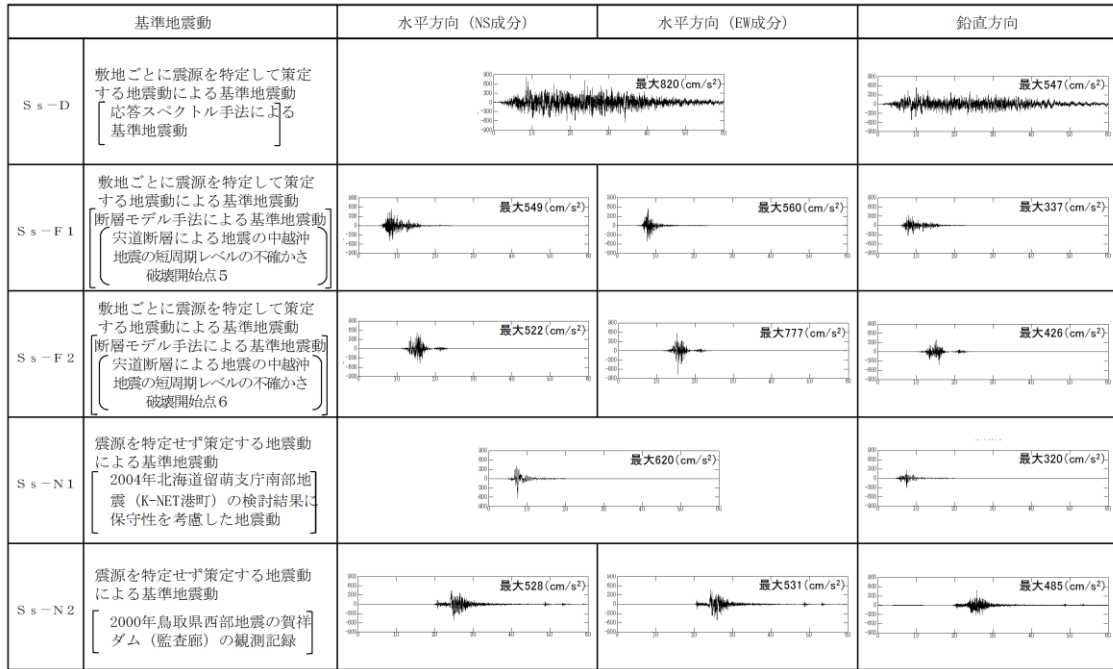
構造成立性評価地震波選定フローを第 2-9 図に示す。第 2-10 図に示した構造成立性評価断面（地点）における基準地震動 5 波の応答結果から、構造成立性評価地震波を選定する。基準地震動 S_s の時刻歴波形及び応答スペクトルを第 2-11 図及び第 2-12 図に示す。



第 2-9 図 構造成立性評価地震選定フロー

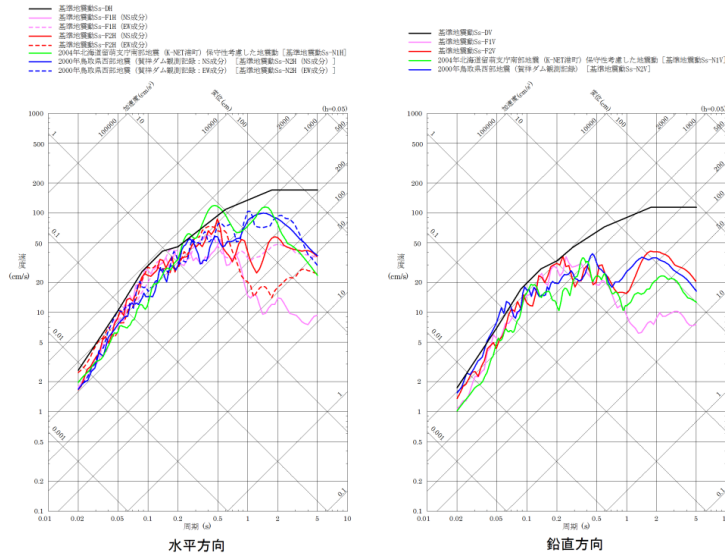


第 2-10 図 構造成立性地震波選定地点



※ 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/s²), 横軸: 時間 (s)]

第 2-11 図 基準地震動 S_s の時刻歴波形



第 2-12 図 基準地震動 S_s の応答スペクトル

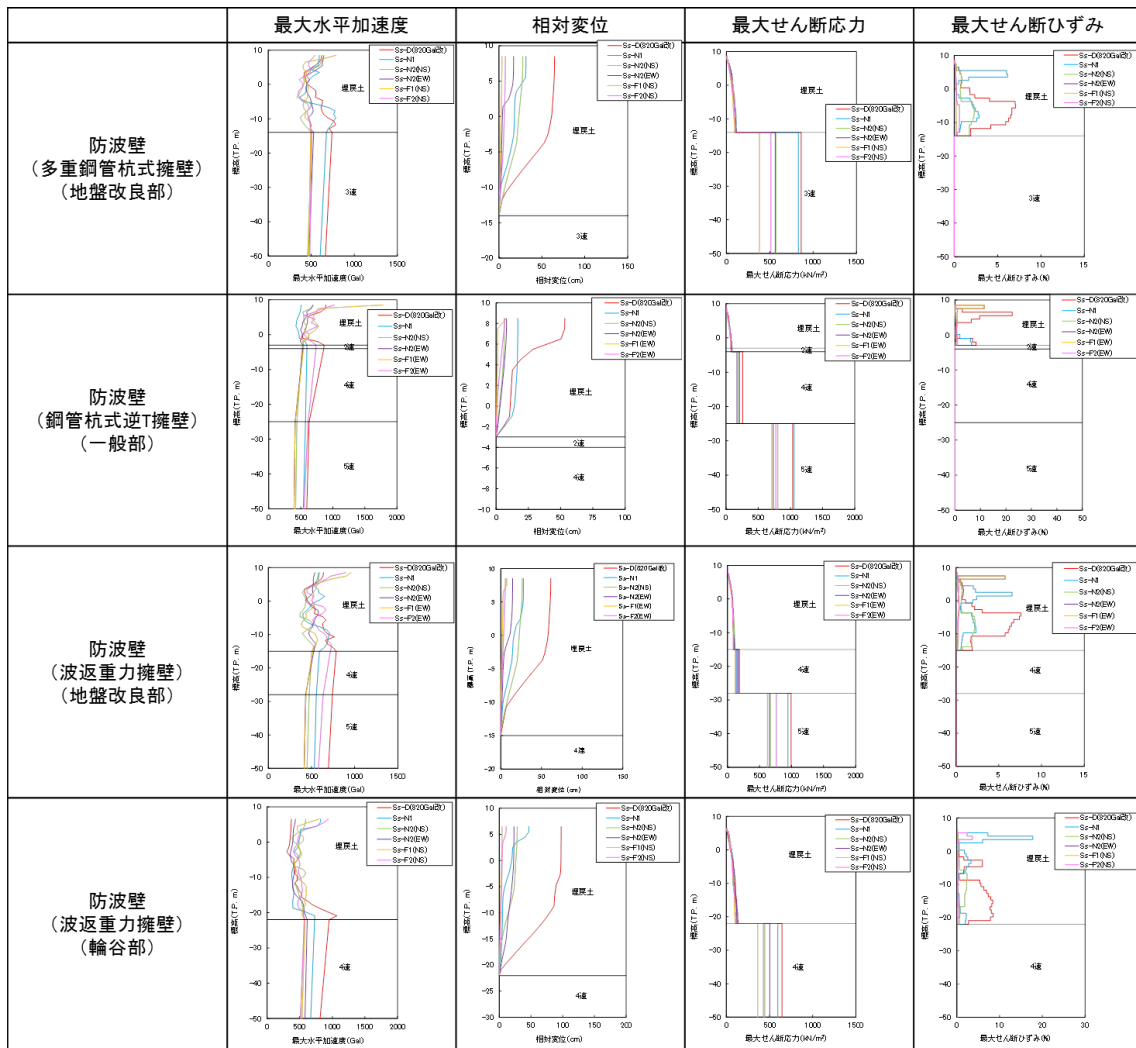
構造成立性評価断面における基準地震動Ss5波の一次元波動論による地震応答解析結果（最大水平加速度，相対変位，最大せん断応力，最大ひずみ）を第2-13 図に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（改良地盤部）では，相対変位及び最大せん断ひずみについて，鋼管杭の周辺地盤である埋戻土における $S_s - D$ 及び $S_s - N1$ の応答が相対的に大きい。周辺地盤の液状化等の影響も考慮し，上記2波のうち，継続時間の長い $S_s - D$ を構造成立性評価地震波として選定した。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（一般部）については，鋼管杭の周辺地盤である埋戻土における $S_s - D$ の応答が相対的に大きいため， $S_s - D$ を構造成立性評価地震波として選定した。

防波壁（波返重力擁壁）の2断面については，周辺地盤である埋戻土における $S_s - D$ ， $S_s - N1$ ， $S_s - F1$ の応答が相対的に大きい。周辺地盤の液状化等の影響も考慮し，上記2波のうち，継続時間の長い $S_s - D$ を構造成立性評価地震波として選定した。

以上を踏まえ，構造成立性評価断面において，構造成立性評価地震波として選定した $S_s - D$ により評価を行うこととする。



第2-13 図 基準地震動Ssの1次元地震応答解析結果

(4) 解析条件

a. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

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を行うとともに，地盤物性及び液状化対象層を考慮した影響を考慮するため，二次元動的FEM解析（有効応力解析）を実施する。

以下に各ケースにおける解析条件及び各部位の評価条件を示す。

(a) 解析モデルと入力地震動（各ケース共通）

解析に用いる解析モデルは，地質断面図に基づき，以下の条件により作成する。

- ・鉛直方向は，下端から十分な距離を確保するため E.L. -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。
- ・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。
- ・消波ブロックは荷重でモデル化する。
- ・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。
- ・埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層は液状化評価対象層であることから，液状化パラメータを設定する。
- ・地盤は平面ひずみ要素でモデル化し，要素の高さは，下式のとおり，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)

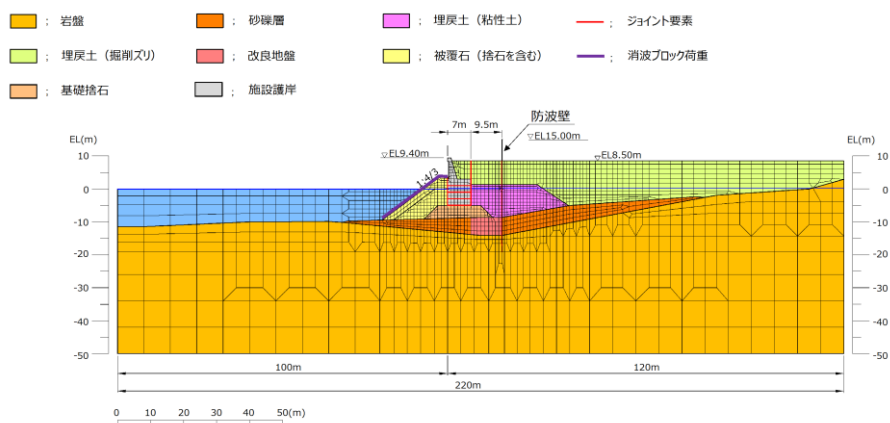
V_s : せん断波の速度(m/s)

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)

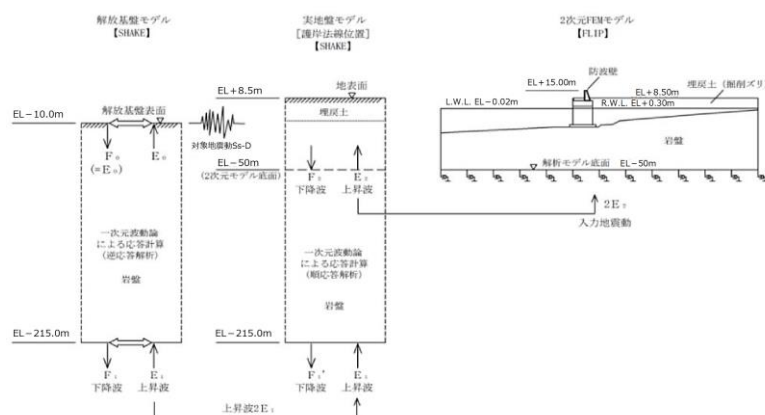
境界条件は、動的解析では、半無限地盤へのエネルギー散逸を評価するため、モデル側方及び底面に粘性境界を設ける。

解析モデル及びジョイント要素の設定を第2-14図に示す。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。また、動的解析では、半無限地盤へのエネルギー散逸を評価するため、モデル側方及び底面に粘性境界を設ける。



第2-14図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（地盤改良部）の解析モデル

入力地震動は、第2-15図に示すとおり、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s-D を、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。



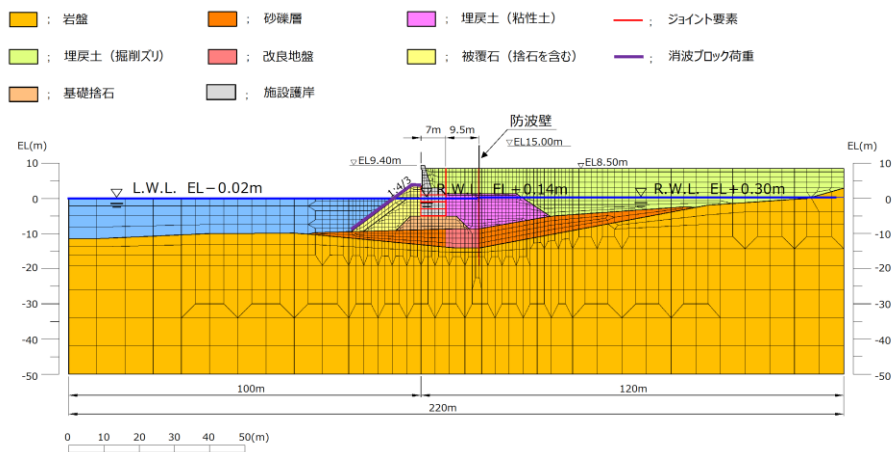
第2-15図 入力地震動の設定方法

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。

(b) 地震時

地震時の地下水位概要図を第 2-16 図に示す。設置許可段階における防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の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、護岸前面は朔望平均干潮位（L. W. L.）とし、護岸より陸側の地下水位は残留水位（R. W. L.）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上、設定する。



第 2-16 図 地下水位概要図（地震時）

地盤及び護岸構成材の解析用物性値を第 2-6 表に示す。

第2-6 表 解析用物性値

材料種別	物理特性		強度特性			変形特性			設定根拠
	飽和、湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m^3)	単位体積重量 γ' (kN/m^3)	せん断 抵抗角 ϕ_t ($^\circ$)	せん断 強度 $T_{s,t,2}$ (kN/m^2)	せん断弾性係数 $G_{s,t,3,4}$ (ヤング率 E) ** (kN/m^2)	ポア ソン 比 ν	最大 減衰定数 Γ_{max}		
								粘着力 C (kN/m^2)	
地盤	埋戻土 (細目ズリ)	気中	19.6	—	40.05	$\sigma'_m \sin 40.05^\circ$	$94550(\sigma'_m/98)^{0.5}$	0.24	<ul style="list-style-type: none"> (単位体積重量) 埋戻土 (細目ズリ)、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 (細目ズリ、粘性土)、砂礫層は『設計事例集』に準拠し設定 改良地盤は『設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 (細目ズリ) は液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) は『設計事例集』に準拠し設定 改良地盤は現地調査(埋戻土(細目ズリ))の値を設定 (せん断弾性係数) FLIP取説説明書』に示された定数式に基づき設定 (せん断弾性係数) 液化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(ver.3.0.1) により算定 せん断弾性係数$G_{s,t,3,4}$を算出し、FLIP取説説明書、ポアソン比νを算定 (最大減衰定数) 『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公開の『二次元LIP入力データ作成プログラムLIP-MAKER 操作マニュアル』に準拠し設定
		水中	20.7	10.6	39.18	$\sigma'_m \sin 39.18^\circ$	$72420(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
	埋戻土 (粘性土) ** (施設護岸～鋼管杭間)	気中	16.7	—	30.00	$\sigma'_m \sin 30.00^\circ$	$12750(\sigma'_m/112.3)^{0.5}$	0.20	
		水中	16.7	6.6	30.00	$\sigma'_m \sin 30.00^\circ$	$12750(\sigma'_m/141.8)^{0.5}$		
	埋戻土 (粘性土) ** (鋼管杭前面)	気中	16.7	—	30.00	$\sigma'_m \sin 30.00^\circ$	$12750(\sigma'_m/111.3)^{0.5}$	0.33	
		水中	16.7	6.6	30.00	$\sigma'_m \sin 30.00^\circ$	$12750(\sigma'_m/140.2)^{0.5}$		
	砂礫層 (施設護岸～鋼管杭間)	気中	20.7	10.6	38.48	$\sigma'_m \sin 38.48^\circ$	$55540(\sigma'_m/98)^{0.5}$	0.24	
		水中	20.7	10.6	38.49	$\sigma'_m \sin 38.49^\circ$	$55760(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
	改良地盤① (砂礫層)	水中	20.7	10.6	38.00	$1677 \cos 38.00^\circ + \sigma'_m \sin 38.00^\circ$	$751900(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
	護岸構成材	施設護岸 (ハフバット)	施設護岸	24.0	—	—	—	$(E=2,330 \times 10^7)$	
施設護岸 (セララープロック)			22.6	—	—	—	$(E=2,040 \times 10^7)$		
施設護岸 (コンクリート 詰)		気中	23.0	—	—	—	$(E=2,330 \times 10^7)$		
		水中	23.0	12.9	—	—	$(E=2,330 \times 10^7)$		
被覆石 (積石詰)		施設護岸 (セルラープロック)	22.0	11.9	—	—	$(E=2,330 \times 10^7)$		
		被覆石 (積石を含む) (気中)	18.0	—	35.00	$20 \cos 35.00^\circ + \sigma'_m \sin 35.00^\circ$	$180000(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
基礎砕石・被覆石 (積石を含む) (水中)	20.0	9.9	35.00	$20 \cos 35.00^\circ + \sigma'_m \sin 35.00^\circ$	$180000(\sigma'_m/98)^{0.5}$				

※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 $\tau = \sigma'_m \sin \phi_t + C \cos \phi_t$
 ※3 せん断弾性係数の式は $G = G_{sm}(\sigma'_m / \sigma'_{sm})^{0.5}$ 。ここに G_{sm} は基準平均有効拘束圧における基準せん断弾性係数、 σ'_{sm} 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 $98\text{kN}/\text{m}^2$ (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。

地震時の二次元動的有限要素解析（有効応力）に用いる荷重の組合せを第 2-7 表に示す。

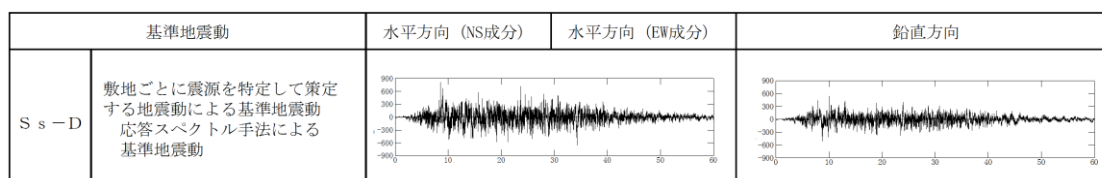
積雪荷重は 0.7kN/m^2 とし、解析領域表面（海水を除く）に作用させる。

風荷重は、建築物の構築物構造基準に準拠して設定する。

解析に用いた地震波は、第 2-17 図に示す（3）で選定した Ss - D の 1 波である。

第 2-7 表 荷重及び荷重の組合せ（地震時）

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 荷重	動水圧
地震時	○	○	○	○	○	○	—	—	—	○

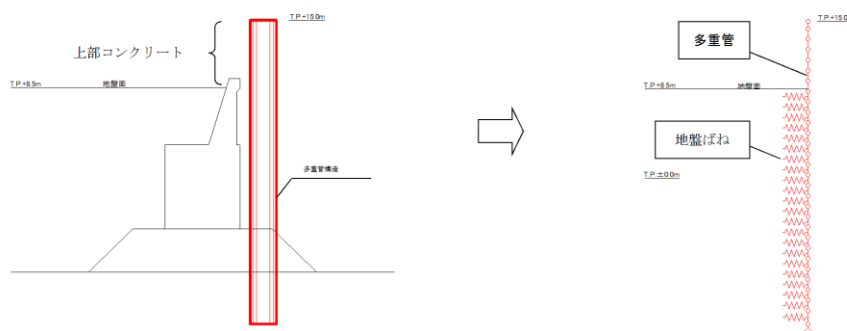


※ 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形 [縦軸：加速度 (cm/s²)，横軸：時間 (s)]

第 2-17 図 解析に用いた Ss

(c) 津波時

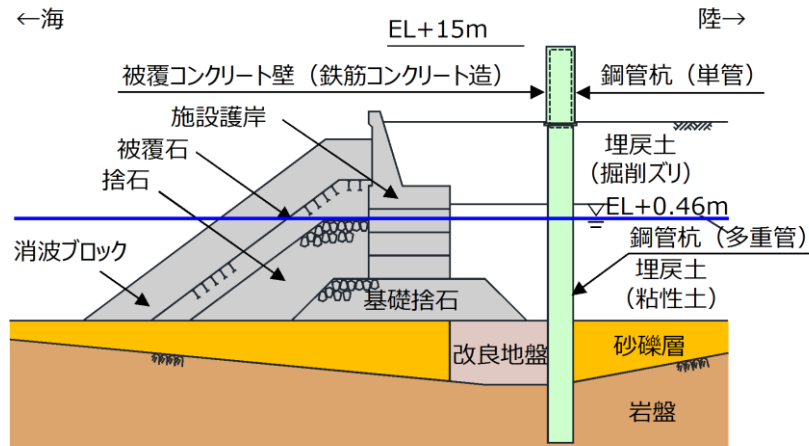
多重管構造については、二次元静的フレームでモデル化し、1本の梁として計算する。地盤は受働土圧を上限とした線形ばねでモデル化する。上部コンクリートおよび内部の中詰コンクリートの剛性および強度は考慮しない。多重鋼管杭のモデル図を第 2-18 図に示す。



第 2-18 図 多重鋼管杭のモデル化（津波時）

津波時の地下水位概要図を第 2-19 図に示す。津波荷重の算定潮位は朔望平均満潮位 (H. W. L.) とし、津波時の構造成立性評価における地下水位は、朔望平均満潮位 (H. W. L.) 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上、設定する。



第 2-19 図 地下水位概要図 (津波時)

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第 2-8 表に示す。積雪荷重は、影響が軽微のため考慮しない。

風荷重は、影響が軽微のため考慮しない。

第 2-8 表 荷重及び荷重の組合せ (津波時)

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 荷重	動水圧
津波時	○	—※	—※	○	○	—	—	○	○	—

※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。

津波荷重について、基準津波による津波荷重及び漂流物荷重を上回る津波荷重を保守的に設定する。防波壁に作用する津波波力は、港湾基準に示されている式により算定し、第2-20図に示すとおり、擁壁の海側から作用させる。

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

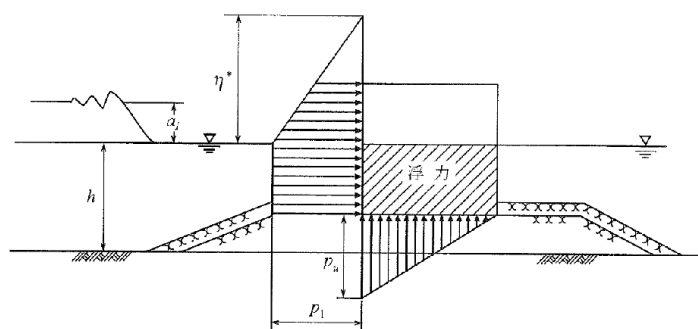
η^* : 静水面上の波圧作用高さ(m)
 a_1 : 入射津波の静水面上の高さ(振幅)(m)

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

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)



第2-20図 津波荷重の载荷イメージ

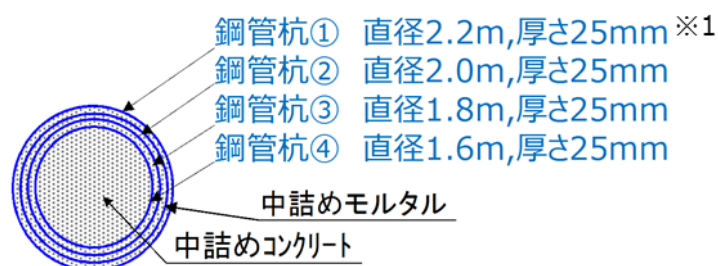
(d) 鋼管杭の評価条件

鋼管杭の許容応力度の考え方を第 2-9 表に示す。多重鋼管杭は、第 2-21 図に示すとおり、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 FEM 解析にあたっては、多重鋼管杭はビーム要素でモデル化し、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。

第 2-9 表 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)
	津波時	2次元静的フレーム解析			



※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。

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

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

※2 添え字は鋼管杭の番号

第 2-21 図 多重鋼管杭の概要

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

【曲げ】

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

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

【せん断】

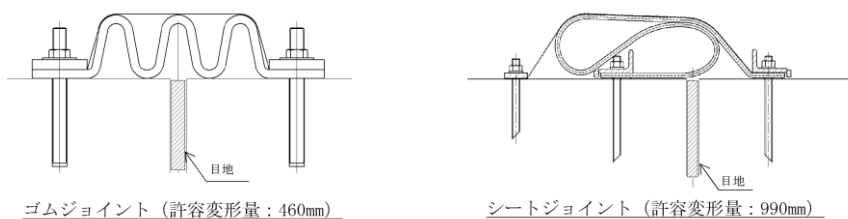
$$\frac{\tau}{\tau_y} \leq 1$$

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

(e) 止水目地の評価条件

鋼管杭間の相対変位は、隣接する鋼管杭の杭長が概ね同等となることから、ほぼ生じないと想定される。止水目地の許容変形量は、第 2-22 図に示すとおり、ゴムジョイントで 460 mm、シートジョイントで 990 mm であり、想定される変形量に応じた設置が可能であることから、遮水性は確保可能である。また、選択した止水目地が発生水圧に対して十分遮水できることを、詳細設計段階（工認段階）で試験等により確認する。詳細設計段階での照査項目及び許容限界を第 2-10 表に示す。

被覆コンクリート壁間の止水目地は、想定される変位量に応じ仕様を決定する。



第 2-22 図 止水目地の設定例

第 2-10 表 詳細設計段階における照査項目，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
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。	
	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	—	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	—			

(f) 改良地盤①（砂礫層）の評価条件

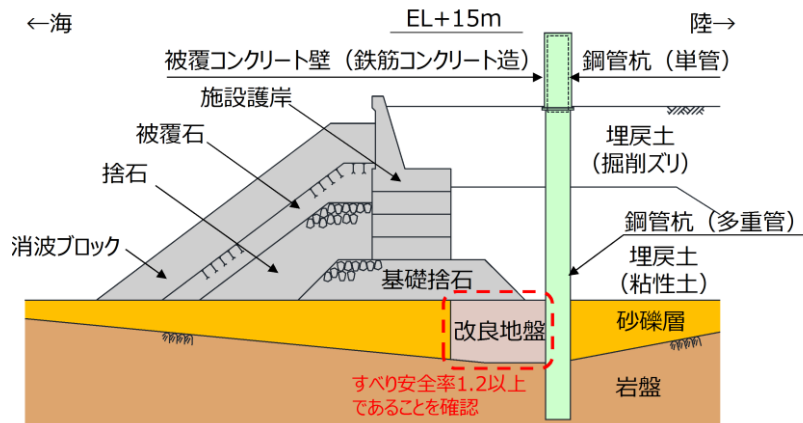
改良地盤①（砂礫層）は、地震時について耐津波設計に係る工認審査ガイドを準用し、すべり安全率が1.2以上であることを確認する。津波時については、津波荷重は上部工にのみ作用することから、地盤改良部への影響は地震時に比べて小さいと考えられるため、検討を省略する。

改良地盤①（砂礫層）の照査項目及び許容限界を第2-11表に、2次元FEM解析での確認概要を第2-23図に示す。

第2-11表 改良地盤①（砂礫層）の照査項目，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

※津波荷重は上部工にのみ作用することから、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、検討を省略する。



第2-23図 2次元動的FEM解析での確認概要

b. 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）

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を行うとともに，地盤物性及び液状化対象層を考慮した影響を考慮するため，2次元動的 FEM 解析（有効応力解析）を実施する。

以下に各ケースにおける解析条件及び各部位の評価条件を示す。

(a) 解析モデルと入力地震動（各ケース共通）

解析に用いる解析モデルは，地質断面図に基づき，以下の条件により作成する。

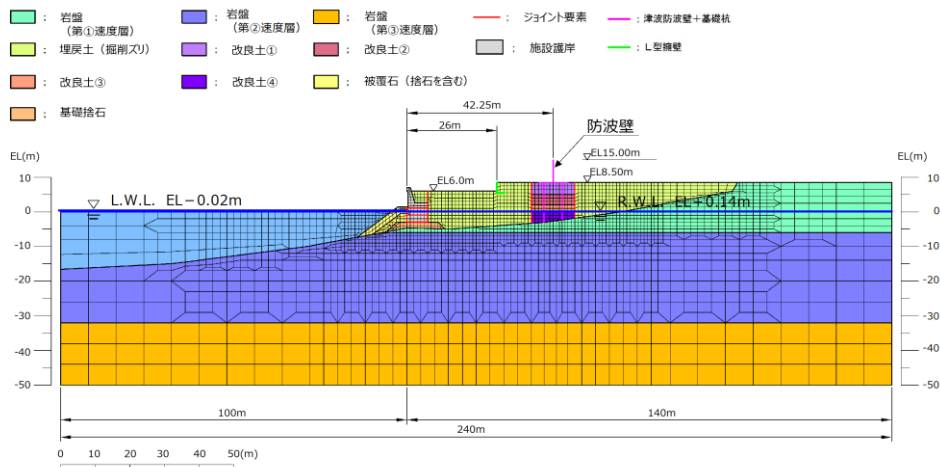
- ・鉛直方向は，下端から十分な距離を確保するため EL-50m までモデル化する。
- ・水平方向は，海側，陸側とも十分な領域を確保するよう全幅 240m でモデル化する。
- ・防波壁及び鋼管杭は線形はり要素でモデル化する。
- ・岩盤及び施設護岸は線形平面要素でモデル化する。
- ・埋戻土（掘削ズリ），改良地盤，被覆石及び基礎捨石はマルチスプリング要素でモデル化する。
- ・海水は流体要素でモデル化する。
- ・防波壁と背後地盤など，要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は，ジョイント要素でモデル化する。
- ・埋戻土（掘削ズリ）は液状化評価対象層であることから，液状化パラメータを設定する。
- ・地盤は平面ひずみ要素でモデル化し，要素の高さは，下式のとおり，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)

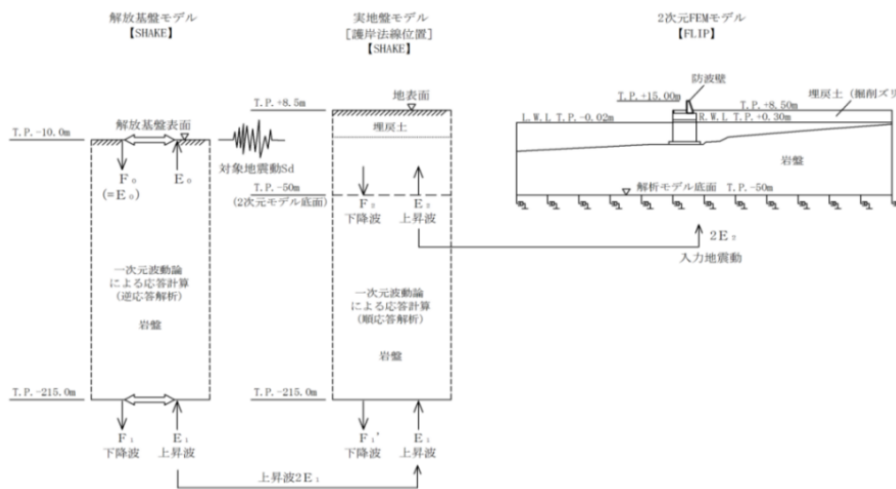
境界条件は，動的解析では，半無限地盤へのエネルギー散逸を評価するため，モデル側方及び底面に粘性境界を設ける。

解析モデル及びジョイント要素の設定を第 2-24 図に示す。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。また，動的解析では，半無限地盤へのエネルギー散逸を評価するため，モデル側方及び底面に粘性境界を設ける。



第2-24 図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の解析モデル

入力地震動は、第2-25 図に示すとおり、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。



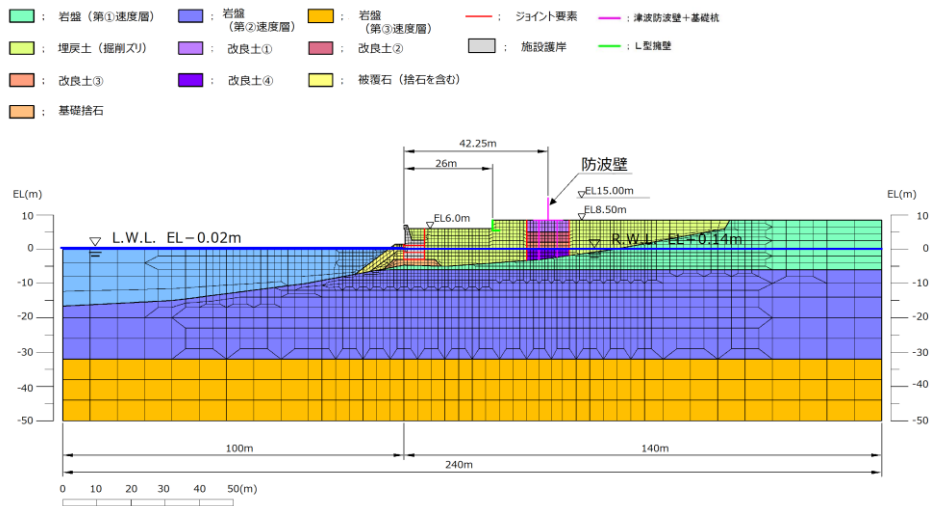
第2-25 図 入力地震動の設定方法

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）、改良地盤）は履歴減衰も考慮する。

(b)地震時

地震時の地下水位概要図を第 2-26 図に示す。設置許可段階における防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の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、護岸前面は朔望平均干潮位（L.W.L.）とし、護岸より陸側の地下水位は残留水位（R.W.L.）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上、設定する。



第 2-26 図 地下水位概要図（地震時）

地盤及び護岸構成材の解析用物性値を第 2-12 表に示す。

第2-12 表 解析用物性値

材料種別	物理特性		強度特性			変形特性			設定根拠
	飽和、湿潤 γ_{sat}, γ_t (KN/m^3)	単位体積重量 水中 γ' (KN/m^3)	粘着力 C (KN/m^2)	せん断 抵抗角 ϕ^t ($^\circ$)	せん断強度 $\tau_f^{sat, t}$ (KN/m^2)	せん断弾性係数 (ヤング率 E) E_{85} (KN/m^2)	ポアソン 比 ν	最大 減衰定数 h_{max}	
地盤	埋戻土 (掘削ズリ) T.P.+6.0m盤	気中	0	40.86	$\sigma'_m \sin 40.86^\circ$	$115700(\sigma'_m/98)^{0.5}$	0.33	0.24	(単位体積重量) ・埋戻土(掘削ズリ)、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(掘削ズリ)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(掘削ズリ)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(掘削ズリ))の値を設定 (せん断強度) ・『FLIP地盤説明書』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_{0m})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印公開の『一次元FLIP入力データ作成プログラムID-MAKER 操作マニュアル』に準拠し設定
		水中	10.6	39.07	$\sigma'_m \sin 39.07^\circ$	$69650(\sigma'_m/98)^{0.5}$			
	埋戻土 (掘削ズリ) T.P.+8.5m盤	気中	0	40.54	$\sigma'_m \sin 40.54^\circ$	$107600(\sigma'_m/98)^{0.5}$			
		水中	10.6	38.72	$\sigma'_m \sin 38.72^\circ$	$61240(\sigma'_m/98)^{0.5}$			
護岸構成品材	改良地盤(上部) (気中)	19.6	628	38.00	$628 \cos 38.00^\circ + \sigma'_m \sin 38.00^\circ$	$404600(\sigma'_m/98)^{0.5}$	0.20	-	(単位体積重量) ・施設護岸は『施設基準』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
		19.6	490	40.54	$490 \cos 40.54^\circ + \sigma'_m \sin 40.54^\circ$	$327900(\sigma'_m/98)^{0.5}$			
	19.6	1140	40.54	$1140 \cos 40.54^\circ + \sigma'_m \sin 40.54^\circ$	$742900(\sigma'_m/98)^{0.5}$				
	20.7	1253	38.71	$1253 \cos 38.71^\circ + \sigma'_m \sin 38.71^\circ$	$777900(\sigma'_m/98)^{0.5}$				
施設護岸 (バラスト)	施設護岸 (上部コンクリート)	24.0	-	-	-	$(E=2.330 \times 10^7)$	-	-	
		22.6	-	-	-	$(E=2.040 \times 10^7)$			
	施設護岸 (セラルーフロック) (コンクリート 詰)	23.0	-	-	-	$(E=2.330 \times 10^7)$			
		23.0	12.9	-	-	$(E=2.330 \times 10^7)$			
施設護岸 (セラルーフロック) (栗石詰)	22.0	11.9	-	-	$(E=2.330 \times 10^7)$				

※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 $\tau_f = \sigma'_m \sin \phi^t + C \cos \phi^t$
 ※3 せん断弾性係数の式は $G_{0m} = (\sigma'_m / \sigma'_m) m$ 。ここに G_{0m} は基準平均有効拘束圧における基準せん断弾性係数、 σ'_m は基準平均有効拘束圧、 m 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 $98 \text{ kN}/\text{m}^2$ (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。

地震時の二次元動的有限要素解析（有効応力）に用いる荷重の組合せを第 2-13 表に示す。

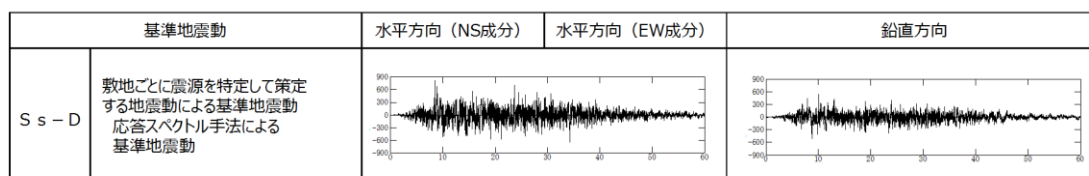
積雪荷重は 0.7kN/m^2 とし、解析領域表面（海水を除く）に作用させる。

風荷重は、建築物の構築物構造基準に準拠して設定する。

解析に用いた地震波は、第 2-27 図に示す（3）で選定した Ss - D の 1 波である。

第 2-13 表 荷重及び荷重の組合せ（地震時）

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 荷重	動水圧
地震時	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—



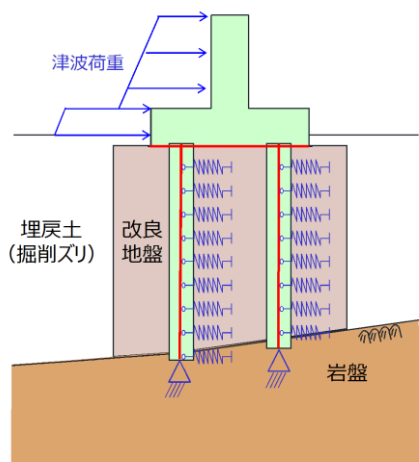
※ 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸:加速度 (cm/s²), 横軸:時間 (s)]

第 2-27 図 解析に用いた SS

(c) 津波時

鋼管杭及び逆T擁壁の静的挙動の評価を以下の条件で実施する。

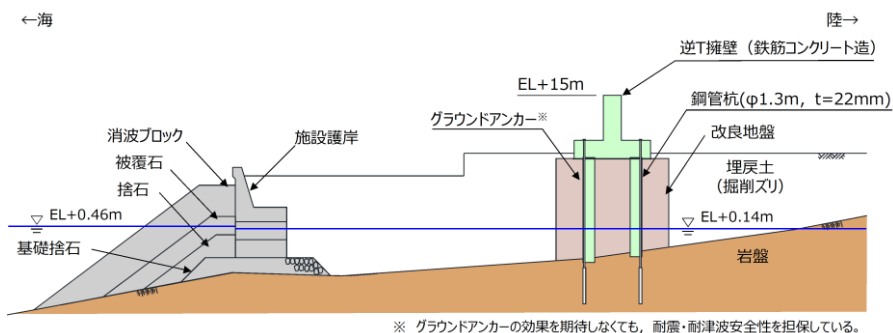
- ・ 作用荷重，断面力算定，部材照査は法線方向の杭間隔単位（4 m）で実施する。
- ・ 津波による外力は杭の押し込み支持力，水平抵抗力で受け持つものとする。
- ・ 骨組計算モデル図を第 2-28 図に示す。



第 2-28 図 骨組計算モデル図（標準部）

津波時の地下水位概要図を第 2-29 図に示す。津波荷重の算定潮位は朔望平均満潮位（H. W. L.）とし，津波時の構造成立性評価における地下水位は，施設護岸から逆T擁壁まで距離があることを考慮し，残留水位（R. W. L.）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上，設定する。



第 2-29 図 地下水位概要図（津波時）

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第2-14表に示す。積雪荷重及び風荷重は、影響が軽微のため考慮しない。

第2-14表 荷重及び荷重の組合せ（津波時）

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 荷重	動水圧
津波時	○	—※	—※	○	○	—	—	○	○	—

※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。

津波荷重について、基準津波による津波荷重及び漂流物荷重を上回る津波荷重を保守的に設定する。防波壁に作用する津波波力は、港湾基準に示されている式により算定し、第2-30図に示すとおり、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)

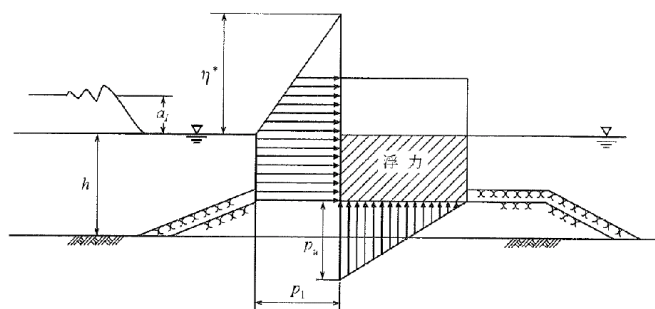
$$P_1 = 2.2 \times \rho g \times a_1$$

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)



第2-30図 津波荷重の载荷イメージ

(d) 鋼管杭の評価条件

鋼管杭については、杭に発生する最大曲げモーメント M_{max} と降伏モーメント M_y との比が1以下となることを確認する。また、せん断応力度 τ と降伏せん断応力度 τ_y との比が1以下となることを確認する。鋼管杭の照査項目及び許容限界を第2-15表に示す。

【曲げ】

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

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

【せん断】

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

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

第2-15表 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)
	津波時	2次元静的フレーム解析			

(e) 逆T擁壁の評価条件

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

鉄筋については、引張応力度 σ_s と許容引張応力度 σ_{sa} との比が1以下となることを確認する。

逆T擁壁の照査項目及び許容限界を第2-16表に示す。

【コンクリート】

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

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

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

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

【鉄筋】

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

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

第2-16表 逆T擁壁の照査項目及び許容限界

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
	津波時	2次元静的フレーム解析			

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および軸力Nが作用する杭頭部での垂直方向と水平方向の支圧応力度（ σ_{cv} , σ_{ch} ）および押抜きせん断応力度（ τ_v , τ_h ）を算定し、それぞれ許容応力度との比が1以下であることを確認する。

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

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

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 (kN・m)

τ_v : 杭頭部での垂直方向の押抜きせん断応力度 (N/mm²)

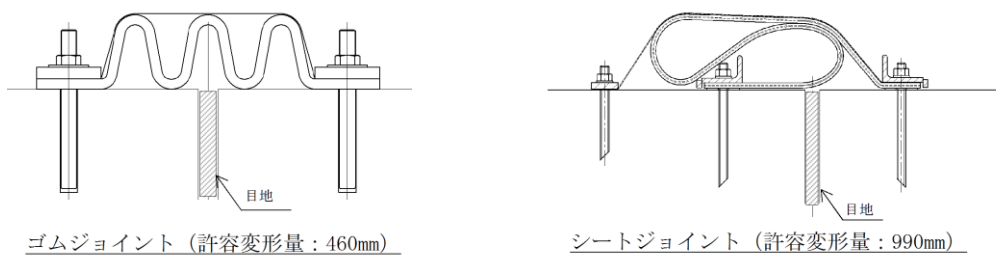
τ_h : 杭頭部での水平方向の押抜きせん断応力度 (N/mm²)

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)

(f) 止水目地の評価条件

鋼管杭間の相対変位は，隣接する鋼管杭の杭長が概ね同等となることから，ほぼ生じないと想定される。止水目地の許容変形量は，第 2-31 図に示すとおり，ゴムジョイントで 460 mm，シートジョイントで 990 mm であり，想定される変形量に応じた設置が可能であることから，遮水性は確保可能である。また，選択した止水目地が発生水圧に対して十分遮水できることを，詳細設計段階（工認段階）で試験等により確認する。詳細設計段階での照査項目及び許容限界を第 2-17 表に示す。



第 2-31 図 止水目地の設定例

第 2-17 表 詳細設計段階における照査項目，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
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。	
	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	—	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	—			

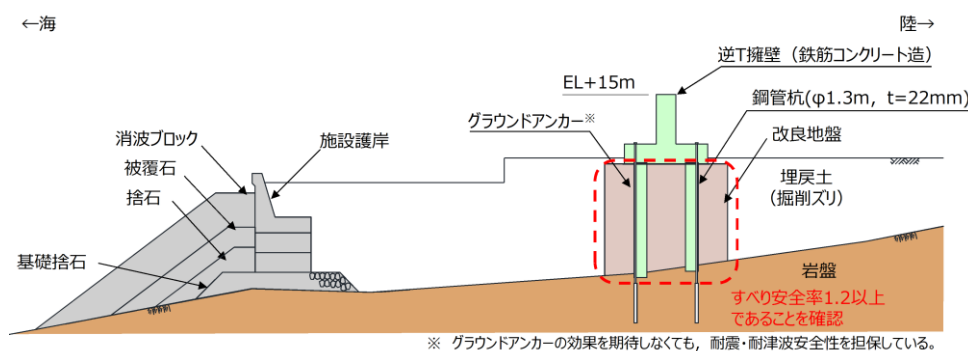
(g) 改良地盤の評価条件

改良地盤は、地震時について耐津波設計に係る工認審査ガイドを準用し、すべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。津波時については、津波荷重は上部工にのみ作用することから、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、検討を省略する。

改良地盤の照査項目及び許容限界を第 2-18 表に、2次元 FEM 解析での確認概要を第 2-32 図に示す。

第 2-18 表 改良地盤の照査項目，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



第 2-32 図 2次元動的 FEM 解析での確認概要

c. 防波壁（波返重力擁壁）

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を行うとともに，地盤物性及び液状化対象層を考慮した影響を考慮するため，2次元動的FEM解析（有効応力解析）を実施する。

以下に各ケースにおける解析条件及び各部位の評価条件を示す。

(a) 解析モデルと入力地震動（各ケース共通）

解析に用いる解析モデルは，地質断面図に基づき，以下の条件により作成する。

- ・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。
- ・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。
- ・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），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。
- ・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。
- ・埋戻土（掘削ズリ）は液状化評価対象層であることから，液状化パラメータを設定する。
- ・地盤は平面ひずみ要素でモデル化し，要素の高さは，下式のとおり，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)

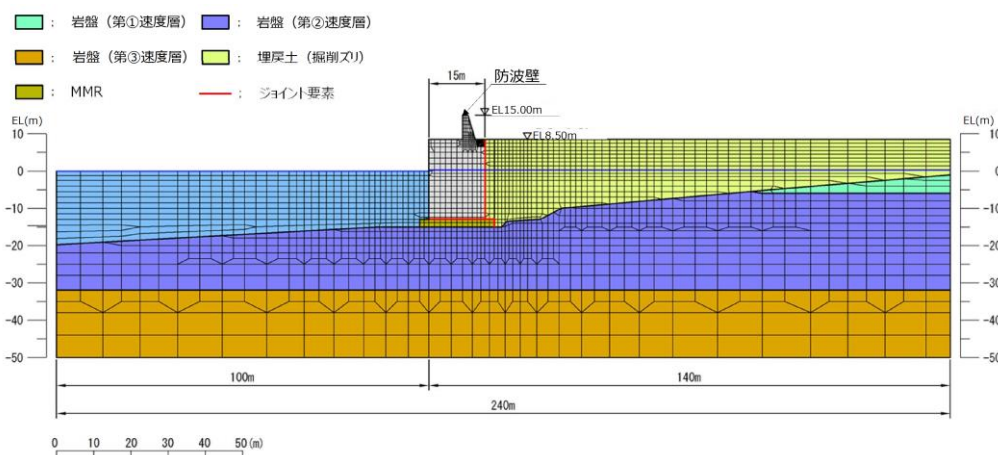
V_s : せん断波の速度(m/s)

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)

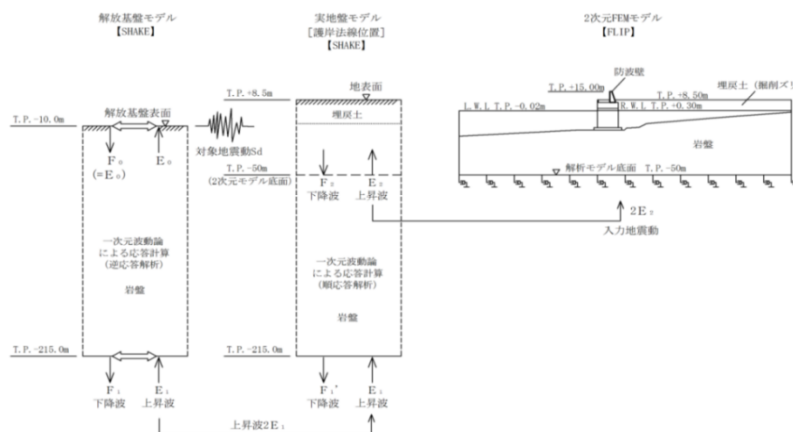
境界条件は，動的解析では，半無限地盤へのエネルギー散逸を評価するため，モデル側方及び底面に粘性境界を設ける。

解析モデル及びジョイント要素の設定を第 2-33 図に示す。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。また、動的解析では、半無限地盤へのエネルギー散逸を評価するため、モデル側方及び底面に粘性境界を設ける。



第 2-33 図 防波壁（波返重力擁壁）の解析モデル

入力地震動は、第 2-34 図に示すとおり、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。



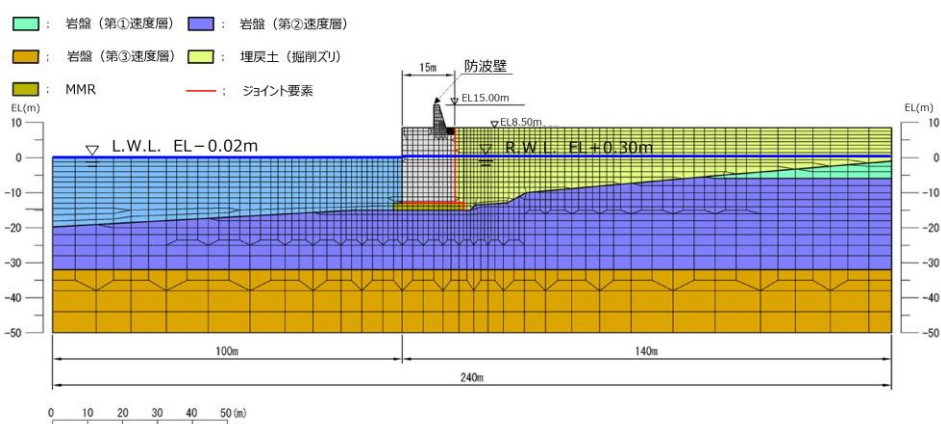
第 2-34 図 入力地震動の設定方法

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））は履歴減衰も考慮する。

(b) 地震時

地震時の地下水位概要図を第 2-35 図に示す。設置許可段階における防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の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、護岸前面は朔望平均干潮位（L.W.L.）とし、護岸より陸側の地下水位は残留水位（R.W.L.）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上、設定する。



第 2-35 図 地下水位概要図（地震時）

地盤及び護岸構成材の解析用物性値を第 2-19 表に示す。

第2-19 表 解析用物性値

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 _r (°)	せん断強度 T ^{sat, γt} (kN/m ²)	せん断弾性係数 G ^{sat, γt} (kN/m ²)	ポアソン 比 ν	最大 減衰定数 h _{max}			
	飽和, 湿潤 γ _{sat, γt} (kN/m ³)	水中 γ _w (kN/m ³)									
地盤	埋戻土 (掘削スリ) (輪谷部) T.P.+8.5m盤	気中	0	41.16	$\sigma'_m \sin 41.16^\circ$	$125100(\sigma'_m/98)^{0.5}$		(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 ・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『シミュレーション工法 技術資料 (第23 号)』に準拠し設定 ・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 _{ms} 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IP公開の『一次元FLIP入力 データ作成プログラムID-MAKER 操作マニュアル』に 準拠し設定			
		水中	0	39.23	$\sigma'_m \sin 39.23^\circ$	$73560(\sigma'_m/98)^{0.5}$					
	埋戻土 (掘削スリ) (地盤改良部) T.P.+6.5m盤	気中	0	41.44	$\sigma'_m \sin 41.44^\circ$	$133200(\sigma'_m/98)^{0.5}$					
		水中	0	39.52	$\sigma'_m \sin 39.52^\circ$	$80890(\sigma'_m/98)^{0.5}$					
	埋戻土 (掘削スリ) (地盤改良部) T.P.+8.5m盤	気中	0	41.16	$\sigma'_m \sin 41.16^\circ$	$125100(\sigma'_m/98)^{0.5}$	0.33				
		水中	0	39.27	$\sigma'_m \sin 39.27^\circ$	$74450(\sigma'_m/98)^{0.5}$					
	砂礫層		20.0	38.49	$\sigma'_m \sin 38.49^\circ$	$55870(\sigma'_m/98)^{0.5}$					
			20.0	0	500	$93980(\sigma'_m/98)^{0.5}$					
	人工リーフ		20.0	35.00	$20 \cos 35.00^\circ + \sigma'_m \sin 35.00^\circ$	$180000(\sigma'_m/98)^{0.5}$					
							0.20				
施設	重力擁壁 (上部)		-	-	-	(P=2.500×10 ⁷)					
			-	-	-	(P=2.200×10 ⁷)					
	重力擁壁 (下部)		-	-	-	(P=2.500×10 ⁷)					
			-	-	-	(P=2.500×10 ⁷)					
	ケーソン (地盤改良部)	気中	-	-	-	(P=2.500×10 ⁷)					
		水中	12.8	-	-	(P=2.500×10 ⁷)					
	ケーソン (輪谷部)	気中	-	-	-	(P=2.500×10 ⁷)					
		水中	10.8	-	-	(P=2.500×10 ⁷)					
	MMR		24.0	-	-	(P=2.500×10 ⁷)					
			11.3	-	-	(P=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 $\tau = \sigma'_m \sin \phi_r + C \cos \phi_r$
 ※3 せん断弾性係数の式は $G = G_{ms} (\sigma'_m / \sigma'_{m0})^{0.5}$ 。ここに G_{ms} は基準平均有効拘束圧における基準せん断弾性係数、σ'_{m0} は基準平均有効拘束圧 (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。

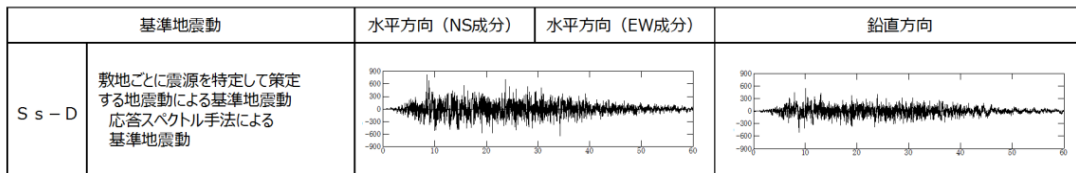
地震時の二次元動的有限要素解析（有効応力）に用いる荷重の組合せを第 2-20 表に示す。

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。

風荷重は、建築物の構築物構造基準に準拠して設定する。解析に用いた地震波は、第 2-36 図に示す（3）で選定した Ss - D の 1 波である。

第 2-20 表 荷重及び荷重の組合せ（地震時）

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 荷重	動水圧
地震時	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—



※ 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/s²), 横軸:時間(s)]

第 2-36 図 解析に用いた SS

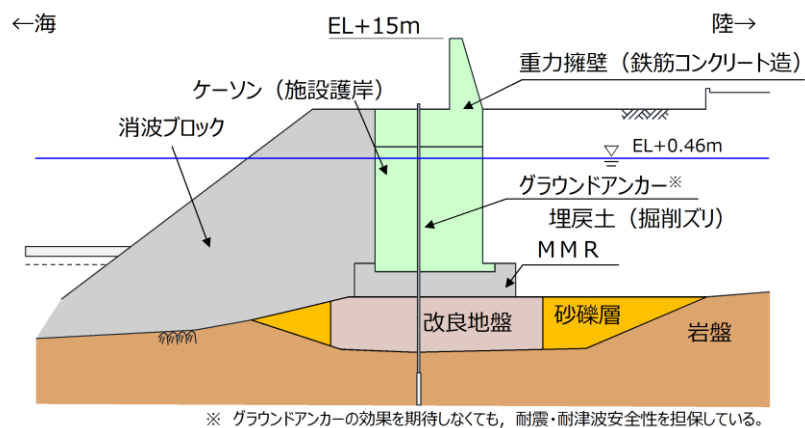
(c) 津波時

防波壁の静的挙動の評価を以下の条件で実施する。

- ・ 部材照査は、押波時の荷重を考慮する。

津波時の地下水位概要図を第 2-37 図に示す。津波荷重の算定潮位は朔望平均満潮位（H. W. L.）とし、津波時の構造成立性評価における地下水位は、朔望平均満潮位（H. W. L.）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上、設定する。



第 2-37 図 地下水位概要図 (津波時)

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第2-21表に示す。積雪荷重及び風荷重は、影響が軽微のため考慮しない。

第2-21表 荷重及び荷重の組合せ（津波時）

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 荷重	動水圧
津波時	○	—※	—※	○	○	—	—	○	○	—

※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。

津波荷重について、基準津波による津波荷重及び漂流物荷重を上回る津波荷重を保守的に設定する。防波壁に作用する津波波力は、港湾基準に示されている式により算定し、第2-38図に示すとおり、擁壁の海側から作用させる。

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

η^* : 静水面上の波圧作用高さ(m)

a_I : 入射津波の静水圧上の高さ(振幅)(m)

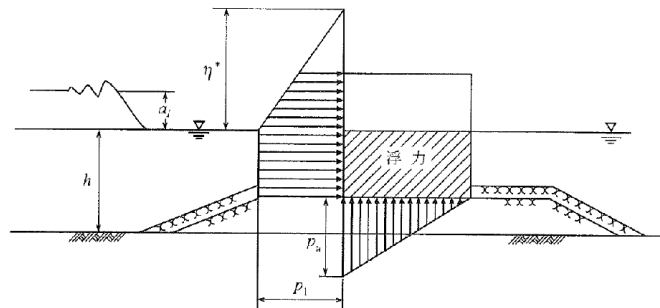
$$P_1 = 2.2 \times \rho g \times a_I$$

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)



第2-38図 津波荷重の载荷イメージ

(d) 重力擁壁の評価条件

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

鉄筋については、引張応力度 σ_s と許容引張応力度 σ_{sa} との比が 1 以下となることを確認する。

重力擁壁の照査項目及び許容限界を第 2-22 表に示す。

【コンクリート】	【鉄筋】
$\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} \leq 1$ $\frac{\tau}{\tau_a} \leq 1$	$\frac{\sigma_s}{\sigma_{sa}} \leq 1$
σ_c : 曲げ圧縮応力度 (N/mm ²) σ_{ca} : 許容曲げ圧縮応力度 (N/mm ²) τ : せん断応力度 (N/mm ²) τ_a : 許容せん断応力度 (N/mm ²)	σ_s : 引張応力度 (N/mm ²) σ_{sa} : 許容引張応力度 (N/mm ²)

第 2-22 表 逆 T 擁壁の照査項目及び許容限界

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			

※津波時の検討断面は、基準津波の津波高さが比較的高い輪谷部とする。

(e) ケーソンの評価条件

ケーソンについては、ケーソン内に発生するせん断応力度 τ とコンクリートのみで負担できる許容せん断応力度 f_s との比が 1 以下となることを確認する。

ケーソンの照査項目及び許容限界を第 2-23 表に示す。

$$\frac{\tau}{f_s} \leq 1$$

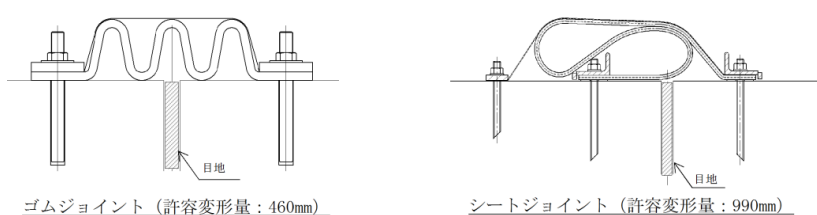
τ : せん断応力度 (N/mm²)
 f_s : コンクリートのみで負担できる許容せん断応力度 (N/mm²)

第 2-23 表 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	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	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	—	—	—	—

(f) 止水目地の評価条件

ケーソン間の相対変位は、隣接する鋼管杭の杭長が概ね同等となることから、ほぼ生じないと想定される。止水目地の許容変形量は、第 2-39 図に示すとおり、ゴムジョイントで 460 mm，シートジョイントで 990 mm であり、想定される変形量に応じた設置が可能であることから、遮水性は確保可能である。また、選択した止水目地が発生水圧に対して十分遮水できることを、詳細設計段階で試験等により確認する。詳細設計段階での照査項目及び許容限界を第 2-24 表に示す。



第 2-39 図 止水目地の設定例

第 2-24 表 詳細設計段階における照査項目，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
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。
	津波時	静的解析			
止水目地の 鋼製部材	地震時	—	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	—			

(5) 構造成立性検討結果

a. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（地盤改良部）

(a) 鋼管杭

i. 地震時

鋼管杭の照査項目及び許容限界を第 2-25 表に示す。また、地震時における最小安全率時刻での照査結果を第 2-26 表及び第 2-27 表に示す。

第 2-25 表 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）

第 2-26 表 降伏モーメントに対する照査結果（最小安全率時）

評価部位	最小安全率となる部位	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	地中部* 【4重管構造】	Ss-D	17.63	15,427	23,679	1.53	OK

第 2-27 表 降伏応力に対する照査結果（最小安全率時）

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)	降伏応力 τ_y (N/mm ²)	最小安全率 τ_y/τ	判定 (>1.0)
鋼管杭	地中部* 【4重管構造】	せん断	Ss-D	17.63	13	182	14.00	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。

以上の結果から、鋼管杭は基準地震動 Ss に対し、厳しい損傷モード（曲げ圧縮，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。

ii. 津波時

鋼管杭の照査項目及び許容限界を第 2-28 表に示す。また、津波時における照査結果を第 2-29 表及び第 2-30 表に示す。

第 2-28 表 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）

第 2-29 表 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】	6,119	14,530	2.37	OK

第 2-30 表 降伏応力に対する照査

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)	降伏応力 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	17	182	10.70	OK

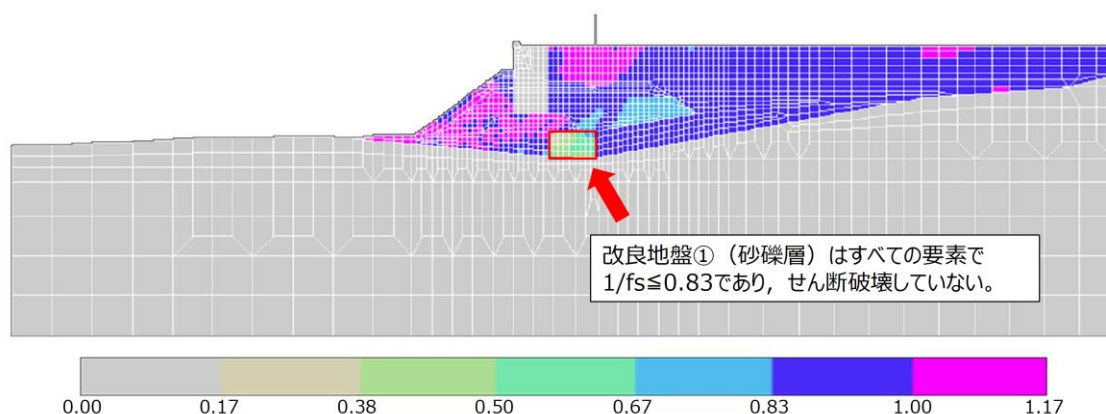
以上の評価結果から、鋼管杭は基準津波に対し、構造成立性が確保されることを確認した。

(b) 改良地盤①（砂礫層）

改良地盤①（砂礫層）の照査項目及び許容限界を第 2-31 表に示す。改良地盤①（砂礫層）の地震時における全時刻での局所安全率の逆数($1/f_s$)の分布を第 2-40 図に示す。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。

第 2-31 表 照査項目，許容限界

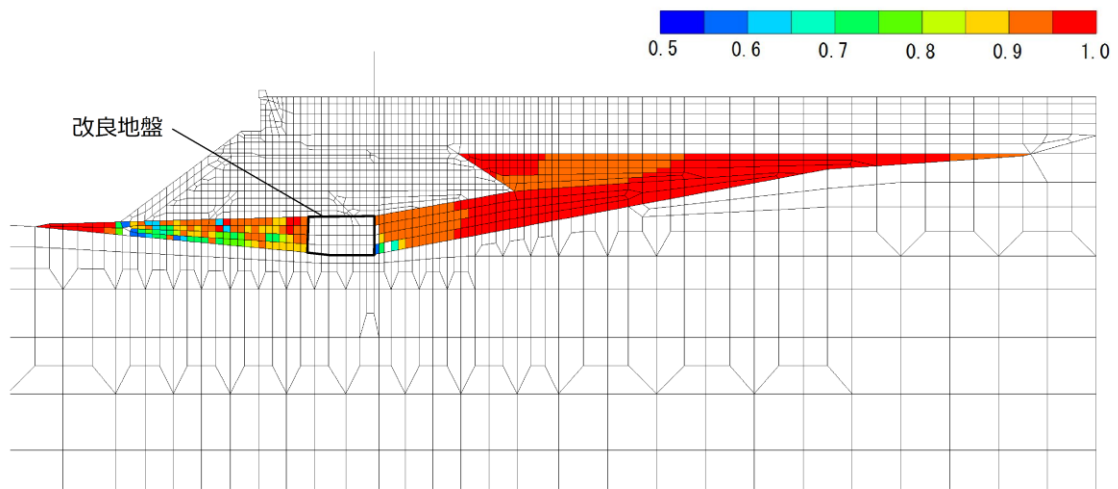
評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤①（砂礫層）	地震時	2次元動的FEM解析（有効応力解析）	すべり安全率	すべり安全率 1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド



第 2-40 図 全時刻での局所安全率の逆数の分布

(c) 周辺地盤の液状化状況

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（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第 2-41 図に示す。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上、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。

第 2-41 図 全時刻での過剰間隙水圧比の分布

b. 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）

(a) 鋼管杭

i. 地震時

鋼管杭の照査項目及び許容限界を第 2-32 表に示す。また、地震時における最小安全率時刻での照査結果を第 2-33 表及び第 2-34 表に示す。

第 2-32 表 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)

第 2-33 表 降伏モーメントに対する照査結果（最少安全率時）

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	Ss-D	8.59	857	6,732	7.85	OK

第 2-34 表 降伏応力に対する照査結果（最少安全率時）

評価部位	照査項目	地震動	時刻 (s)	発生応力 τ (N/mm ²)	降伏応力 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	19.19	8	182	22.75	OK

以上の評価結果から、鋼管杭は基準地震動 Ss に対し、厳しい損傷モード（曲げ圧縮，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。

ii. 津波時

鋼管杭の照査項目及び許容限界を第 2-35 表に示す。また、津波時における照査結果を第 2-36 表及び第 2-37 表に示す。

第 2-35 表 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)

第 2-36 表 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} (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	1,668	7,158	4.29	OK

第 2-37 表 降伏応力に対する照査

評価部位	照査項目	発生応力 τ (N/mm ²)	降伏応力 τ_y (N/mm ²)	最小安全率 τ_y/τ	判定 (>1.0)
鋼管杭	せん断	21	182	8.66	OK

以上の評価結果から、鋼管杭に厳しい損傷モード（曲げ圧縮，せん断照査等）を想定しても、構造成立性が確保されることを確認した。

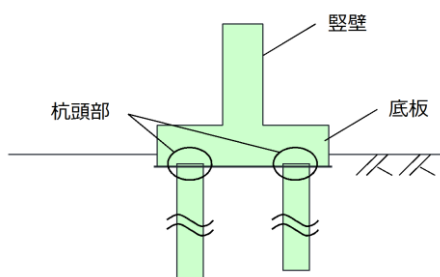
(b) 逆 T 擁壁

i. 地震時

逆 T 擁壁の照査項目及び許容限界を第 2-38 表に、評価部位を第 2-42 図に示す。また、地震時における最小安全率時刻での照査結果を第 2-39 表に示す。

第 2-38 表 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



第 2-42 図 逆 T 擁壁の評価部位

第 2-39 表 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)		
縦壁	曲げ・軸力	Ss-D	19.19	曲げ圧縮応力度 σ_c	3.9	許容曲げ応力度 σ_{ca}	18	4.61	OK
			19.19	引張応力度 σ_t	194.9	許容引張応力度 σ_{ta}	323	1.65	OK
せん断	29.65		せん断応力度 τ	0.26	許容せん断応力度 τ_a	0.9	3.46	OK	
	底板		曲げ・軸力	29.65	曲げ圧縮応力度 σ_c	4.1	許容曲げ応力度 σ_{ca}	18	4.39
29.65				引張応力度 σ_t	184.2	許容引張応力度 σ_{ta}	323	1.75	OK
29.65				せん断応力度 τ	0.49	許容せん断応力度 τ_a	0.9	1.83	OK
杭頭部	押込み力に対する照査		29.65	垂直支圧応力度 σ_{cv}	4.8	許容支圧応力度 σ_{ba}	14.4	3.00	OK
			29.65	押抜きせん断応力度 τ_v	0.37	許容押抜きせん断応力度 τ_{va}	0.9	2.43	OK
	水平力に対する照査		19.19	水平支圧応力度 σ_{ch}	2.5	許容支圧応力度 σ_{ba}	14.4	5.76	OK
			19.19	押抜きせん断応力度 τ_h	0.19	許容押抜きせん断応力度 τ_{ha}	0.9	4.73	OK

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。

ii. 津波時

逆T擁壁の照査項目及び許容限界を第2-40表に示す。また、津波時における照査結果を第2-41表に示す。

第2-40表 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次元静的フレーム解析	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

第2-41表 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)
壁	曲げ・軸力	曲げ圧縮応力度 σ_c	3.6	許容曲げ応力度 σ_{ca}	18	5.00	OK
		引張応力度 σ_s	153.6	許容引張応力度 σ_{sa}	323	2.10	OK
	せん断	せん断応力度 τ	0.39	許容せん断応力度 τ_a	0.9	2.30	OK
杭頭部	押込み力に対する照査	垂直支圧応力度 σ_{cv}	2.8	許容支圧応力度 σ_{ba}	14.4	5.14	OK
		押抜きせん断応力度 τ_v	0.22	許容押抜きせん断応力度 τ_{va}	0.9	4.09	OK
	水平力に対する照査	水平支圧応力度 σ_{ch}	6.6	許容支圧応力度 σ_{ba}	14.4	2.18	OK
		押抜きせん断応力度 τ_h	0.50	許容押抜きせん断応力度 τ_{ha}	0.9	1.80	OK

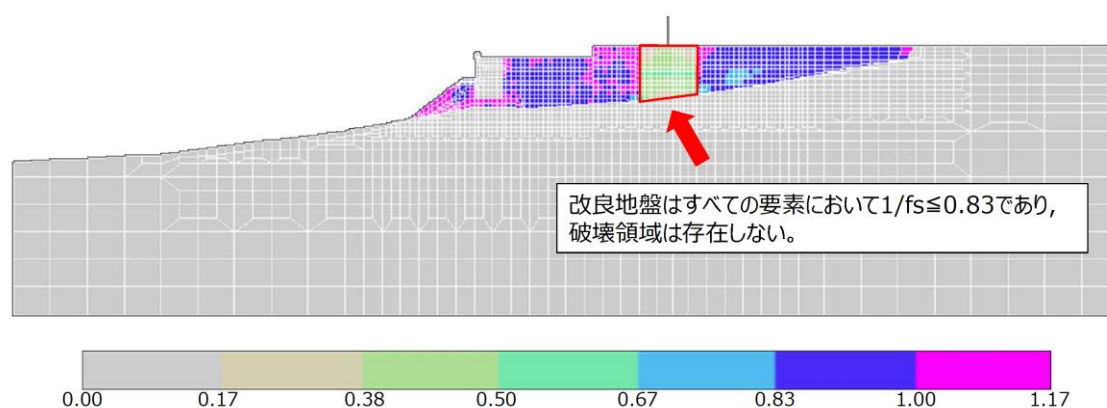
逆T擁壁に厳しい損傷モード（曲げ，せん断照査）を想定しても，構造成立性が確保されることを確認した。

(c) 改良地盤

改良地盤の照査項目及び許容限界を第 2-42 表に示す。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($1/f_s$)の分布を第 2-43 図に示す。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。

第 2-42 表 照査項目，許容限界

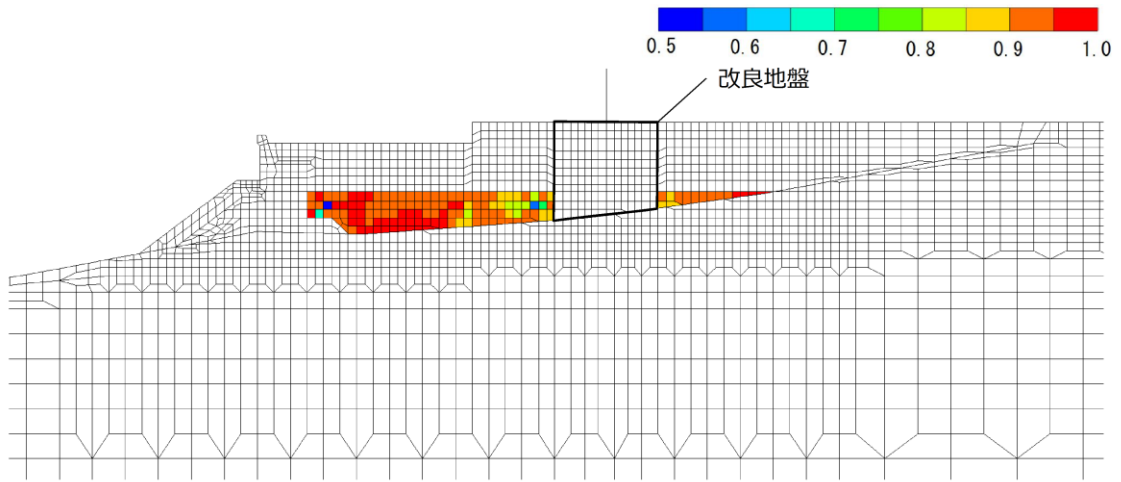
評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	すべり安全率	すべり安全率 1.2以上	耐津波設計に係る 工認審査ガイド



第 2-43 図 全時刻での局所安全率の逆数の分布

(d) 周辺地盤の液状化状況

防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）（一般部）の地震時における全時刻での過剰間隙水圧比の分布を第 2-44 図に示す。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上、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。

第 2-44 図 全時刻での過剰間隙水圧比の分布

c. 防波壁（波返重力擁壁）（断面：輪谷部）

(a) 重力擁壁

i. 地震時

重力擁壁の照査項目及び許容限界を第 2-43 表に示す。また、地震時における最小安全率時刻での照査結果を第 2-44 表に示す。

第 2-43 表 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

第 2-44 表 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	25.75	曲げ圧縮 応力度 σ_c	1.5	許容曲げ 応力度 σ_{ca}	18	12.00	OK
			25.75	引張 応力度 σ_s	72.7	許容引張 応力度 σ_{sa}	323	4.44	OK
	せん断		せん断 応力度 τ	0.19	許容せん断 応力度 τ_a	0.90	4.73	OK	

重力擁壁に厳しい損傷モード（曲げ圧縮，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。

ii. 津波時

重力擁壁の照査項目及び許容限界を第 2-45 表に示す。また、津波時における照査結果を第 2-46 表に示す。

第 2-45 表 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

第 2-46 表 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	2.8	許容曲げ 応力度 σ_{ca}	18	6.42	OK
		引張 応力度 σ_s	126.6	許容引張 応力度 σ_{sa}	323	2.55	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

重力擁壁に厳しい損傷モード(曲げ圧縮, せん断照査)を想定しても, 構造成立性が確保されることを確認した。

(b) ケーソン

ケーソンの地震時における岩盤の支持力評価結果を第 2-47 表に、地盤のすべり安全率検討結果を第 2-48 表に示す。

第 2-47 表 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	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	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	—	—	—	—

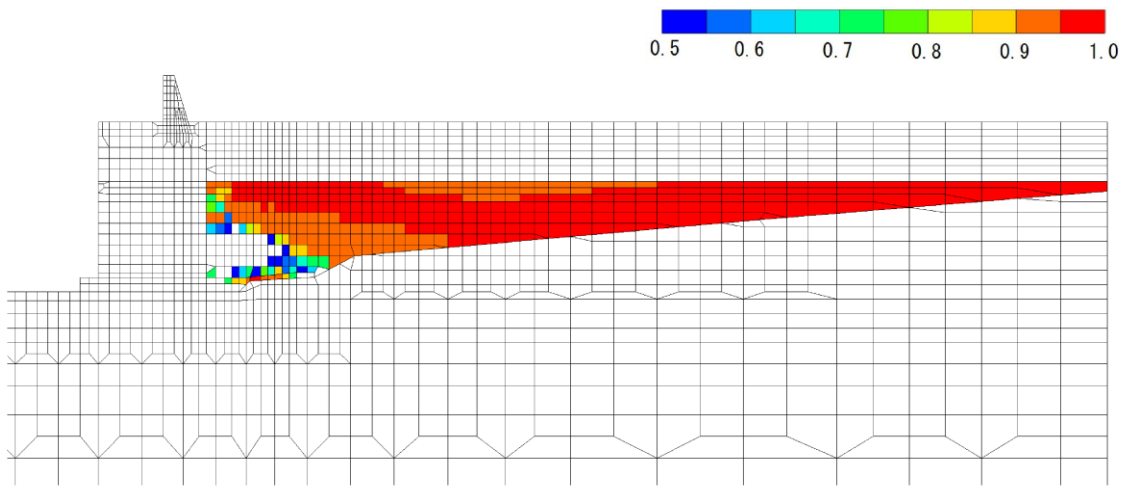
第 2-48 表 短期許容応力度に対する照査（最小安全率時）

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)
				せん断 応力度 τ	0.66	許容せん断 応力度 f_s	0.90		
ケーソン	せん断	S s-D	14.47	せん断 応力度 τ	0.66	許容せん断 応力度 f_s	0.90	1.36	OK

ケーソンに厳しい損傷モード（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。

(c) 周辺地盤の液状化状況

防波壁（鋼管杭式逆 T 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第 2-45 図に示す。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上，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。

第 2-45 図 全時刻での過剰間隙水圧比の分布

d. 防波壁（波返重力擁壁）（断面：地盤改良部）

(a) 重力擁壁

防波壁（波返重力擁壁）（地盤改良部）のうち、重力擁壁の照査項目及び許容限界を第 2-49 表に示す。また、地震時における最小安全率時刻での照査結果を第 2-50 表に示す。

第 2-49 表 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

第 2-50 表 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	28.10	曲げ圧縮 応力度 σ_c	2.3	許容曲げ 応力度 σ_{ca}	18	7.82	OK
			28.10	引張 応力度 σ_s	118.1	許容引張 応力度 σ_{sa}	323	2.73	OK
	28.10		せん断 応力度 τ	0.24	許容せん断 応力度 τ_a	0.90	3.75	OK	

重力擁壁に厳しい損傷モード（曲げ圧縮，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。

(b) ケーソン

ケーソンの地震時における岩盤の支持力評価結果を第 2-51 表に、地盤のすべり安全率検討結果を第 2-52 表に示す。

第 2-51 表 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	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	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	—	—	—	—

第 2-52 表 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)
				せん断 応力度 τ	0.611	許容せん断 応力度 f_s	0.90		
ケーソン	せん断	S s-D	9.00	せん断 応力度 τ	0.611	許容せん断 応力度 f_s	0.90	1.47	OK

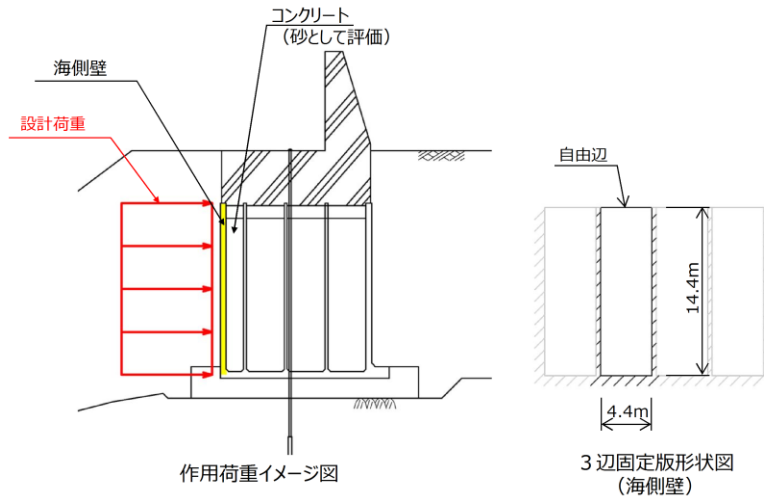
ケーソンに厳しい損傷モード（せん断照査の最小安全率時刻）を想定しても、構造成立性が確保されることを確認した。

防波壁（波返重力擁壁）（地盤改良部）のケーソンについて、海側壁の照査を行った。

海側壁においては、地震時に作用する中詰材の地震時土圧よりも津波時に作用する津波波圧の方が大きいため、構造成立性の照査に当たっては津波時の照査を行う。荷重イメージ図を第 2-46 図に示す。

なお、照査に当たっては、海側第 1 隔室内はコンクリートを充填しているが、保守的に砂として評価する。

また、海側壁の断面力は、隔壁及び底版で支持された 3 辺固定版として算出し、許容限界を短期許容応力度として、コンクリートの圧縮応力度及び鉄筋の引張応力度について照査を行った。照査結果を第 2-53 表に示す。最大照査値が 1.0 を下回り、海側第 1 隔室内の中詰材をコンクリートと評価した場合は更に十分な裕度が確保できることを確認した。



第 2-46 図 全時刻での過剰間隙水圧比の分布

第 2-53 表 照査項目，許容限界

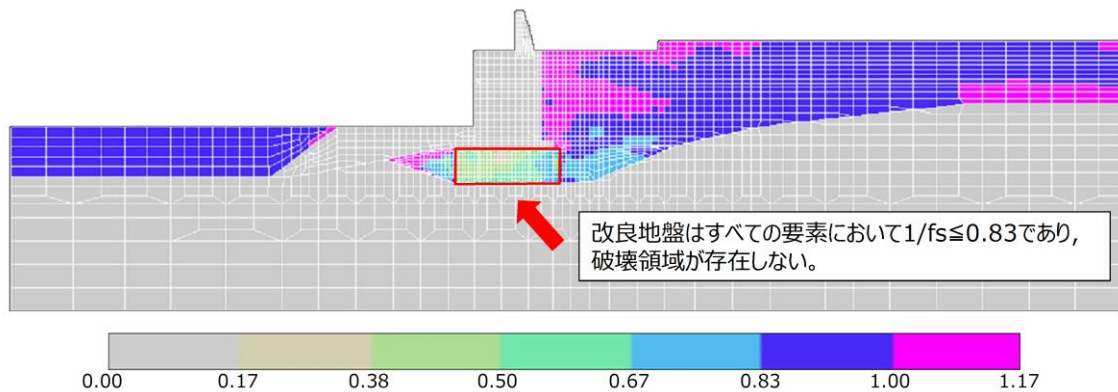
評価部位	最大照査値 (発生応力度/許容応力度)		判定 (< 1.0)
海側壁 (津波時)	コンクリート	0.54	OK
	鉄筋	0.86	OK

(c) 改良地盤

改良地盤の地震時における照査項目及び許容限界を第2-54 表示す。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 ($1/f_s$) の分布を第 2-47 図に示す。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。

第2-54 表 照査項目，許容限界

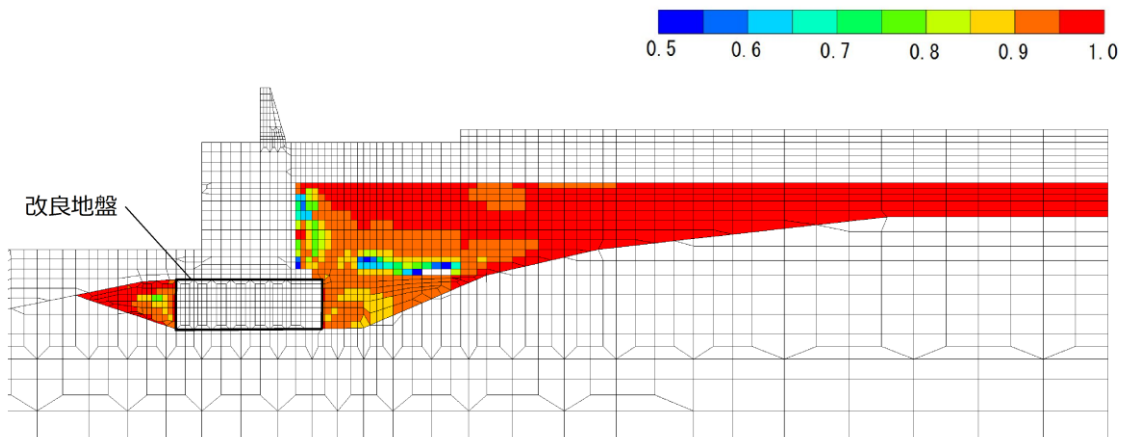
評価部位	検討ケース※	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤	地震時	2次元動的 FEM 解析 (有効応力解析)	すべり安全率	すべり安全率 1.2 以上	耐津波設計に係る 工認審査ガイド



第 2-47 図 全時刻での局所安全率の逆数の分布

(d) 周辺地盤の液状化状況

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（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第 2-48 図に示す。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上、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。

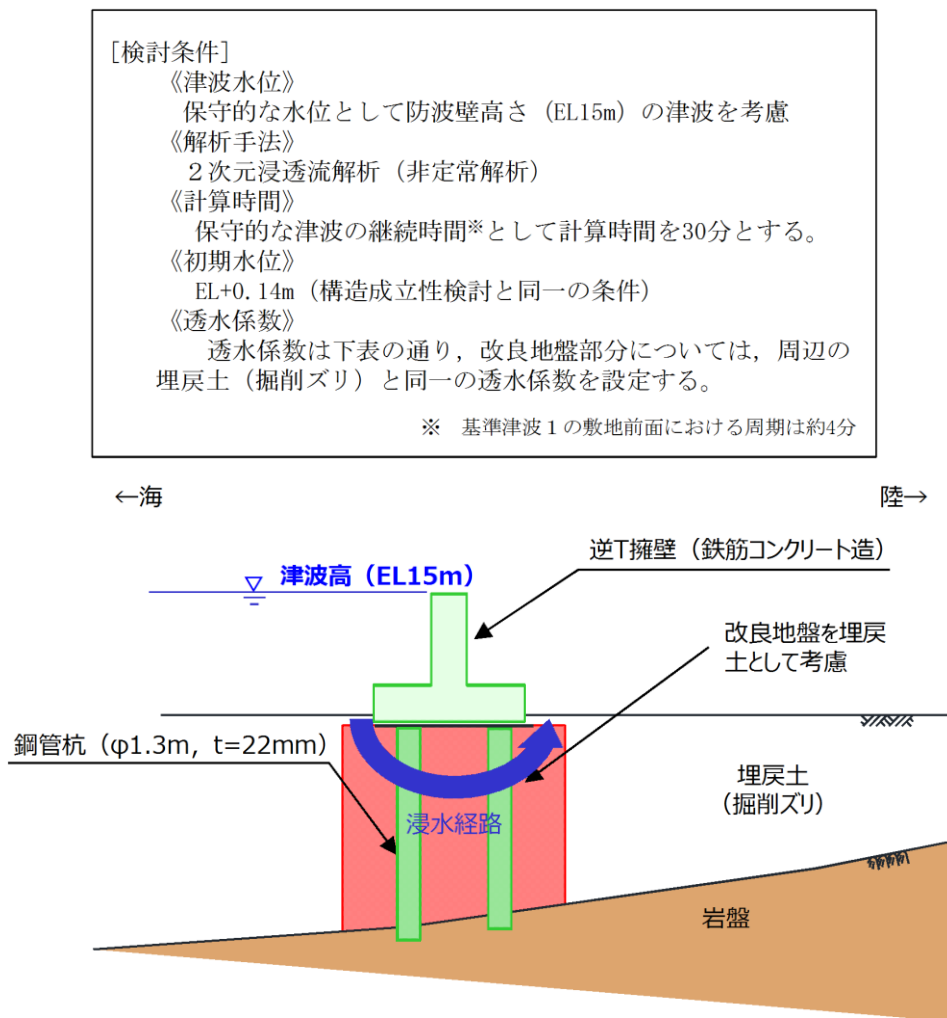
第 2-48 図 全時刻での過剰間隙水圧比の分布

(6) 止水性に係る検討結果

防波壁の止水性については、被覆コンクリート壁、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、二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。

解析条件の概要を第 2-49 図に、透水係数を第 2-55 表に示す。



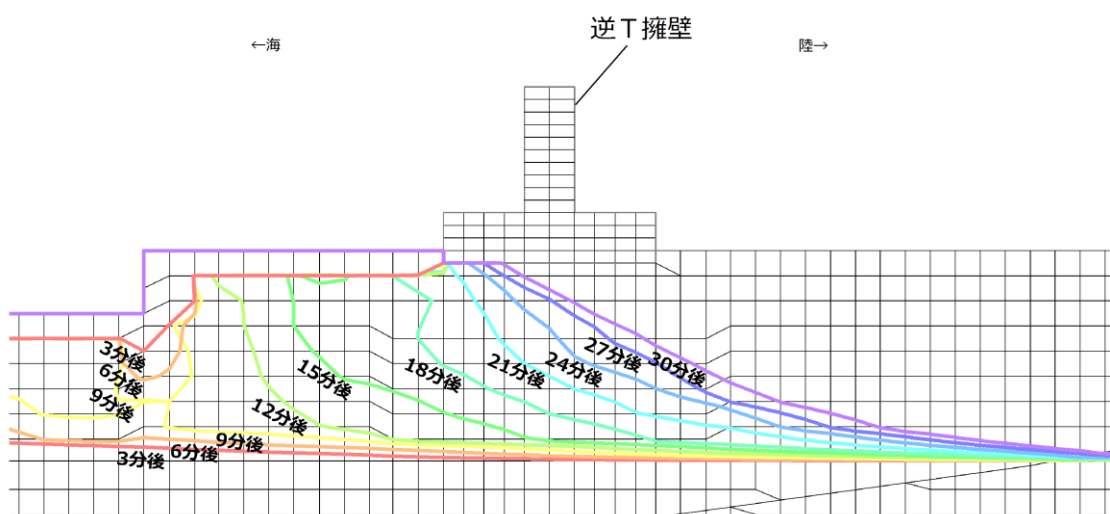
第 2-49 図 解析条件の概要

第 2-55 表透水係数 (単位 : m/s)

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^{-7}	
埋戻土	2×10^{-3}	
改良地盤	2×10^{-3}	埋戻土と仮定

二次元浸透流解析結果を第 2-50 図に示す。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。

以上のことから、施設及び地盤を含む範囲の二次元浸透流解析により、地盤中からの回り込みによる浸水が防止される(難透水性の保持)ことを確認した。



第 2-50 図 二次元浸透流解析結果

(7) まとめ

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条の適合性については、今後の基礎地盤の安定性評価の審査において別途説明予定である。

※2：詳細設計段階（工認段階）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。

防波壁の構造等に関する先行炉との比較

1. 比較の観点

島根原子力発電所の防波壁は、多重鋼管杭式擁壁、鋼管杭式逆T擁壁及び波返重力擁壁の3つの構造型式に分かれている。

これらの設計において留意すべき事項を整理するため、島根原子力発電所と先行炉（日本原子力発電(株)東海第二発電所、東北電力(株)女川原子力発電所及び関西電力(株)美浜発電所）の防潮堤等について構造等を比較する。

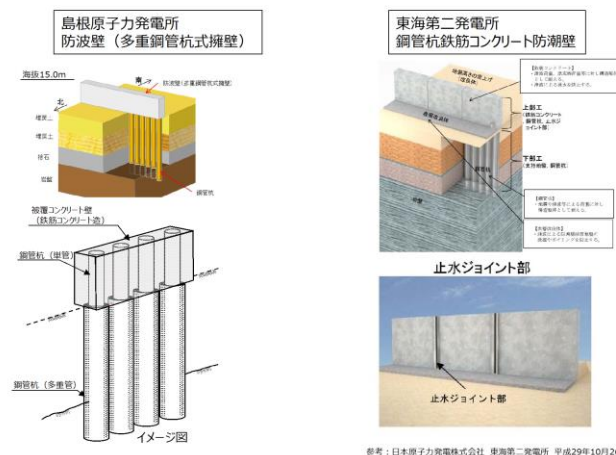
また、先行炉との比較を踏まえ、先行炉実績との類似点を踏まえた設計方針の適用性及び先行炉実績との相違点を踏まえた設計への反映事項を示す。

2. 先行炉との比較

(1) 多重鋼管杭式擁壁

防波壁のうち多重鋼管杭式擁壁については、岩盤に支持された鋼管杭に上部工として被覆コンクリート壁を設置する構造であることから、類似する先行炉津波防護施設として、東海第二発電所における鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁を選定する。それぞれの構造概要を第1図に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は港湾基準の自立矢板式護岸に準拠し設計を行う。島根原子力発電所の防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造及び設計条件等に関する特徴を示すとともに、東海第二発電所の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁と比較を行い、類似点及び相違点を抽出した。類似点についてはその適用性を、相違点についてはそれを踏まえた設計への反映事項を、それぞれ第1表のとおり整理した。



第1図 構造イメージ（島根原子力発電所 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）及び東海第二発電所 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）

第1表 防波壁（多重鋼管杭擁壁）の構造等に関する先行炉との比較

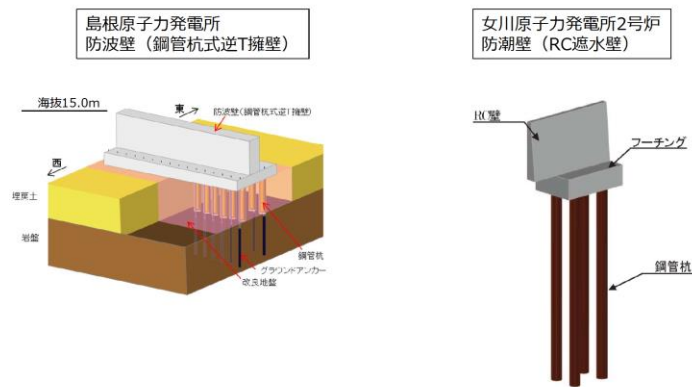
評価項目	島根原子力発電所 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） の構造等	先行炉の構造等*	島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点を踏まえた設計 方針の 適用性	先行炉実績との相違点を踏まえた設計 への 反映事項	
		日本原子力発電(株) 東海第二発電所 (鋼管杭鉄筋コンクリート防 潮壁)	類似点	相違点			
防波壁の構造	下部工の構造	・鋼管杭は岩盤に支持させる。	・鋼管杭は岩盤に支持させる。	・鋼管杭を岩盤に支持。	-	・同様の支持形態である。	-
		・上部工から伝達される荷重に耐える構造とするため、鋼管杭（多重鋼管杭）を採用する。	・鋼管杭（単管）を採用する。	-	・鋼管杭の構造の違い	-	・多重鋼管杭が一体として挙動することを、水平載荷実験により確認している。
		・鋼管杭の許容限界：（曲げ）降伏モーメント（せん断）せん断応力度	・鋼管杭の許容限界：短期許容応力度	-	・鋼管杭の許容限界の違い	-	・鋼管杭の許容限界について、道路橋示方書・同解説（平成14年3月）に基づき、曲げについては降伏モーメント、せん断についてはせん断応力度をそれぞれ設定し、設計する。
		・遮水性保持のために、鋼管杭間にセメントミルクを充填するとともに、取水路横断部については、杭間で地盤改良を実施する。	・遮水性保持のために、海側にシートパイルを施工する。	-	・遮水性保持を期待する設備の違い	-	・今後、3次元FEM解析によりセメントミルク及び改良地盤の健全性を確認する。
上部工の構造	・鋼管杭間からの津波の浸水を防止する観点で、鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆する。 ・地震荷重並びに津波荷重は、鋼管で負担する設計としている。	・鋼管杭間からの津波の浸水を防止する観点で、鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆する。 ・地震荷重並びに津波荷重を全て鉄筋コンクリートで負担できる設計としている。	-	・遮水性を確保する部材の設計方針の違い	-	・今後、3次元FEM解析によりセメントミルク及び改良地盤の健全性を確認する。	
止水対策	止水目地	・止水目地材として、相対変位に応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。 ・設置箇所：防波壁の陸側に設置する。 ・止水目地の許容限界：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。	・止水目地材として、相対変位に応じ、シートジョイントを採用する。 ・設置箇所：防潮堤の堤内側と堤外側に設置する。 ・止水目地の許容限界：許容変形量、許容引張強度	・同等の仕様の止水目地を採用している。	・止水目地は、防波壁の陸側に設置する。	・同様の止水目地材の採用であることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。	・止水目地取り換え時に一時的に遮水性が確保できなくなることが懸念されるが、耐用年数が30年であり、経年劣化による取り換えは不要と考えられる。万一取り換えの必要が生じた場合には、津波襲来までの時間で取り換えを行うよう、今後運用面の手順を整備する。
液状化影響に関する設計への反映	・液状化検討対象層（埋戻土（掘削スリ、砂礫層））に対して、液状化試験結果及び有効応力解析（FLIP）の簡易設定法に基づき液状化強度特性を設定する。	・液状化検討対象層に対して、液状化試験結果を踏まえ、地盤を強制的に液状化させる条件（豊浦標準砂の考慮）も含めて保守的な液状化強度特性を設定する。	-	・液状化強度特性の設定において、有効応力解析（FLIP）の簡易設定法を採用している。	-	・簡易設定法による液状化強度比が、液状化強度試験に基づく液状化強度特性より保守的となっていることを確認している。 ・別途、「地盤の液状化強度特性」の審査において説明する。	

※先行炉の情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

(2) 鋼管杭式逆T擁壁

防波壁のうち鋼管杭式逆T擁壁については、岩盤に支持された鋼管杭上に上部工として鉄筋コンクリート壁を設置する構造であることから、類似する先行炉津波防護施設として、女川原子力発電所2号炉における防潮壁（RC遮水壁）を選定する。それぞれの構造イメージを第2図に示す。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は港湾基準の外郭施設（護岸）に準拠し設計を行う。島根原子力発電所の防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造及び設計条件等に関する特徴を示すとともに、女川原子力発電所2号炉の防潮壁（RC遮水壁）と比較を行い、類似点及び相違点を抽出した。類似点についてはその適用性を、相違点についてはそれを踏まえた設計への反映事項を、それぞれ第2表のとおり整理した。



第2図 構造イメージ（島根原子力発電所 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）及び女川原子力発電所2号炉 防潮壁（RC遮水壁））

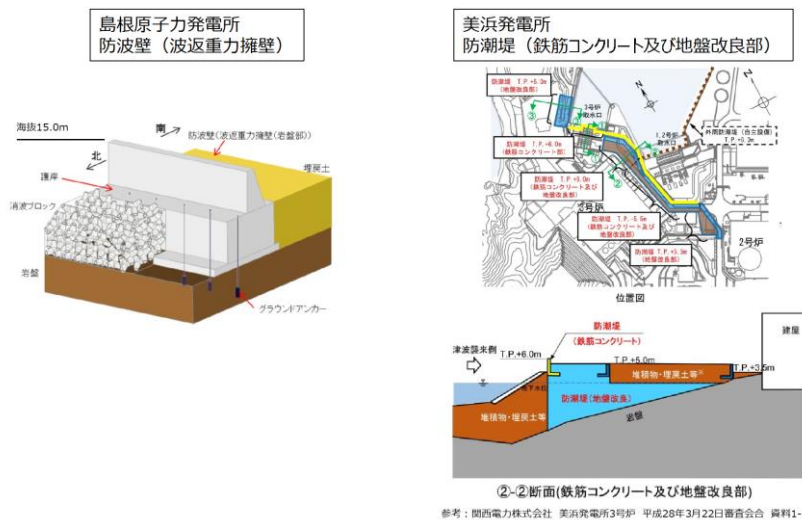
第2表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造等に関する先行炉との比較

項目	島根原子力発電所 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） の構造等	先行炉の構造等*	島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点を 踏まえた設計方針の 適用性	先行炉実績との相違点を 踏まえた設計への 反映事項	
		東北電力(株) 女川原子力発電所2号炉 防潮壁（RC遮水壁）	類似点	相違点			
防波壁の構造	下部工の構造	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭は岩盤に支持させる。 杭頭部は、ヒンジ結合として設計 鋼管杭の許容限界： （曲げ）降伏モーメント （せん断）せん断応力度 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭は岩盤に支持させる。 杭頭部は、剛結合として設計 鋼管杭の許容限界： （曲げ）降伏強度以下 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を岩盤に支持させる設計とする。 鋼管杭の許容限界を降伏強度に基づき設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 杭頭部をヒンジ結合として設計している。 	<ul style="list-style-type: none"> 許容限界については、降伏強度に基づく考え方となっており、先行炉の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 杭頭を剛結とした場合についても成立性を確認する。 今後、模型実験により杭頭部の力学挙動を確認する。
	上部工の構造	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート製の逆T擁壁を地上部に設置する。 逆T擁壁（鉄筋コンクリート）の許容限界：短期許容応力度 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート製の遮水壁を地上部に設置する。 遮水壁の許容限界： （曲げ）降伏耐力以下 （せん断）せん断耐力以下 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭に支持された鉄筋コンクリート壁を地上部に設置する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 同様の構造である。先行炉の上部工の設計方針が適用可能である。 	—
止水対策	止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変位に応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。 設置箇所：防波壁の陸側に設置する。 止水目地の許容限界： 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変位に応じ、シートジョイントを採用する。 設置箇所：防潮堤の堤内側と堤外側に設置する。 止水目地の許容限界： 許容変形量、許容引張強度 	<ul style="list-style-type: none"> 同等の仕様の止水目地を採用している。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地は、防波壁の陸側に設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 同様の止水目地材の採用であることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地取り換え時に一時的に遮水性が確保できなくなる懸念があるが、耐用年数が30年であり、経年劣化による取り換えは不要と考えられる。万一取り換えの必要が生じた場合については、津波襲来までの時間で取り換えを行うよう、今後運用面の手順を整備する。
液状化影響に関する設計への反映	<ul style="list-style-type: none"> 液状化検討対象層（埋戻土（掘削ズリ、砂礫層））に対して、液状化試験結果及び有効応力解析（FLIP）の簡易設定法に基づき液状化強度特性を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化検討対象層に対して、液状化試験結果を踏まえ、地盤を強制的に液状化させる条件（豊浦標準砂の考慮）も含めて保守的な液状化強度特性を設定する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 液状化強度特性の設定において、有効応力解析（FLIP）の簡易設定法を採用している。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 簡易設定法による液状化強度比が、液状化強度試験に基づく液状化強度特性より保守的となっていることを確認している。 別途、「地盤の液状化強度特性」の審査において説明する。 	

(3) 波返重力擁壁

防波壁のうち波返重力擁壁については、岩盤上にMMR及びケーソンを介して鉄筋コンクリート壁を設置する構造であることから、類似する先行炉津波防護施設として、美浜発電所における防潮堤（鉄筋コンクリート及び地盤改良部）を選定する。それぞれの構造イメージを第3図に示す。

防波壁（波返重力擁壁）は港湾基準の外郭施設（護岸）に準拠し設計を行う。島根原子力発電所の防波壁（波返重力擁壁）の構造及び設計条件等に関する特徴を示すとともに、美浜発電所の防潮堤（鉄筋コンクリート及び地盤改良部）と比較を行い、類似点及び相違点を抽出した。類似点についてはその適用性を、相違点についてはそれを踏まえた設計への反映事項を、それぞれ第3表のとおり整理した。



第3図 構造イメージ（島根原子力発電所 防波壁（波返重力擁壁）及び美浜発電所 防潮堤（鉄筋コンクリート及び地盤改良部））

第3表 防波壁（波返重力擁壁）の構造等に関する先行炉との比較

項目	島根原子力発電所 防波壁（重力波返擁壁）	先行炉の構造*	島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点を 踏まえた設計方針の 適用性	先行炉実績との相違点を 踏まえた設計への 反映事項	
		関西電力(株) 美浜発電所 防潮堤 (鉄筋コンクリート及び地盤改良部)	類似点	相違点			
防波壁の構造	下部工の構造	・下部工（ケーソン）は、岩盤若しくは改良地盤に支持させる。なお、上部工（重力擁壁）を直接岩盤若しくは MMR に支持させる箇所がある。	・下部工（改良地盤）は、岩盤に支持させる。	・下部工（コンクリート構造物若しくは改良体）を岩盤に支持させる設計とする。	—	・同様の構造及び支持形態である。先行炉の下部工の設計方針が適用可能である。	—
	上部工の構造	・鉄筋コンクリート製の重力擁壁を地上部に設置する。 ・重力擁壁（鉄筋コンクリート）の許容限界：短期許容応力度	・鉄筋コンクリート製の防潮堤を地上部に設置する。 ・防潮堤の許容限界：短期許容応力度	・コンクリート構造物若しくは改良体に支持された鉄筋コンクリート壁を地上部に設置する。 ・許容限界は、短期許容応力度とする。	—	・同様の構造及び許容限界の設定である。先行炉の上部工の設計方針が適用可能である。	—
止水対策	止水目地	・止水目地材として、相対変位に応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。 ・設置箇所：防波壁の陸側に設置する。 ・止水目地の許容限界： 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。	・止水目地材として、相対変位に応じ、シートジョイントを採用する。 ・設置箇所：防潮堤の堤内側と堤外側に設置する。 ・止水目地の許容限界： 許容変形量、許容引張強度	・同等の仕様の止水目地を採用している。	・止水目地は、防波壁の陸側に設置する。	・同様の止水目地材の採用であることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。	・止水目地取り換え時に一時的に遮水性が確保できなくなることが懸念されるが、耐用年数が30年であり、経年劣化による取り換えは不要と考えられる。万一取り換えの必要が生じた場合については、津波襲来までの時間で取り換えを行うよう、今後運用面の手順を整備する。
液状化影響に関する設計への反映		・液状化検討対象層（埋戻土（掘削ズリ、砂礫層））に対して、液状化試験結果及び有効応力解析（FLIP）の簡易設定法に基づき液状化強度特性を設定する。	・液状化検討対象層に対して、液状化試験結果を踏まえ、地盤を強制的に液状化させる条件（豊浦標準砂の考慮）も含めて保守的な液状化強度特性を設定する。	—	・液状化強度特性の設定において、有効応力解析（FLIP）の簡易設定法を採用している。	—	・簡易設定法による液状化強度比が、液状化強度試験に基づく液状化強度特性より保守的となっていることを確認している。 ・別途、「地盤の液状化強度特性」の審査において説明する。

3. 先行炉との比較結果のまとめ

- ・島根原子力発電所の防波壁の構造及び設計条件等に関する類似する先行炉の津波防護施設との比較を踏まえ、防波壁は先行炉の設計方針を適用して設計を行う。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）：東海第二発電所 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

防波壁（鋼管杭式逆T 擁壁）：女川原子力発電所 2号炉 防潮壁（RC 遮水壁）

防波壁（波返重力擁壁）：美浜発電所 防潮堤（鉄筋コンクリート及び地盤改良部）

- ・また、多重鋼管杭の許容限界については、道路橋示方書・同解説（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。
- ・防波壁の液状化影響の設計の反映に関して、液状化検討対象層に対する液状化試験結果に基づく保守的な液状化強度特性を設定する点については先行炉と同様であるが、有効応力解析（FLIP）の簡易設定法に基づき液状化強度特性を設定していることから、その適用性や実績について今後詳細に説明する。

(参考資料2)

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の杭頭部構造について、一般部と取水路横断部で構造が異なっている。それぞれの杭頭部の状況を第1図に示す。

【一般部】

- ・4重管のうち、最内管のφ1600のみ地上部に突出させ、φ1800、φ2000、φ2200の杭頭上部からφ1600の杭頭まで、鉄筋コンクリートで被覆する構造としている。

【取水路横断部】

- ・取水路横断部では2号炉取水管を横断するため、取水管の両側に鋼管杭を追加した構造としている。
- ・地震時及び津波時に被覆コンクリート直下の杭と隣接する追加杭が荷重を分担するように、地上付近（EL+6.7m～+8.2m）で杭頭連結材にて連結し、内部をコンクリートで充填している。杭頭連結材上部から最内管上端まで鉄筋コンクリートで被覆する構造としている。



第1図 杭頭部の状況

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造概要

防波壁のうち鋼管杭式逆T擁壁について、設置の経緯を第1図のとおり整理した。

	当初設計時（杭頭を剛結とした場合）	現在（杭頭をヒンジ結合とした場合）
鋼管杭の 曲げ モーメント図		
設計の 考え方	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の杭頭部の結合方式を剛結とすると杭頭部の曲げモーメントが降伏モーメントを超え、杭が降伏する結果となった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・当初設計時の杭の設計で杭頭部における曲げモーメントを減少させ、概ね弾性範囲内となるよう杭頭部の結合方式にヒンジ結合を採用した。 ・杭頭部の結合方式をヒンジ結合とすることに伴い、杭頭部での地盤の塑性化を防ぎ、構造成立性を確保するため鋼管杭周辺において薬液注入工法による地盤改良を実施した。 ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の杭頭部については、地震により杭頭部に曲げモーメントが作用するが、作用する曲げモーメントが小さい状態では杭頭部は剛として挙動し、曲げモーメントが増加すると杭頭部補強鉄筋周辺のコンクリートにクラックが発生し、ヒンジ状態に移行する。 したがって、杭頭部の設計の考え方としては、曲げモーメントが大きい設計荷重状態ではヒンジ結合として挙動すると考えているため、模型実験により杭頭部の力学的特性について確認するとともに、杭頭部に曲げモーメントが発生する剛結合による影響検討も行い、両ケースについて防波壁に損傷が発生しないことを確認し詳細設計段階において説明する。

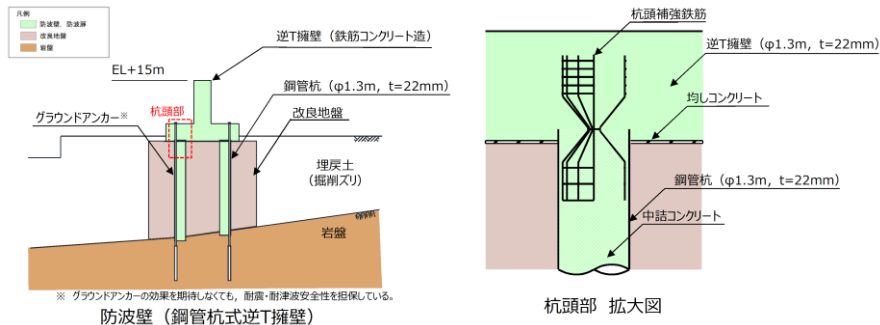
第1図 防波壁（鋼管式逆T擁壁）の設計の経緯

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）では、橋梁分野での実績を踏まえ、道路土工擁壁工指針（平成24年7月）に基づき、杭頭部の結合方式はヒンジ結合を採用した。また、同指針に基づき、杭の埋込み深さを設定するとともに、第2図に示す杭頭部補強鉄筋を配置した。

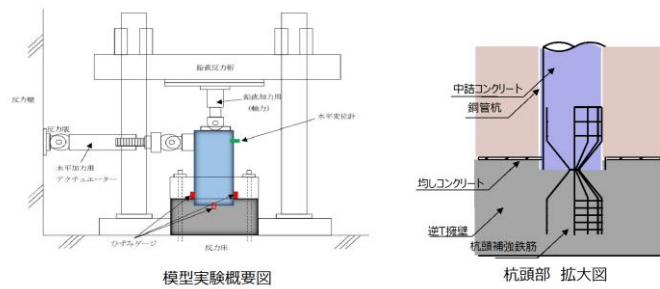
一方、「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成29年11月）」では、杭とフーチングとの接合部について、原則として剛結としているが、剛結としない場合には、接合方法の力学特性等を実験等により検証したうえで、個別にモデル化等について検討する必要性があるとしている。

上記を踏まえ、ヒンジ結合として設計・施工した防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の杭頭部について、模型実験により地震荷重もしくは津波荷重が作用した際の杭頭部の力学挙動を把握するとともに、杭頭部に発生する断面力が設計に与え

る影響について解析により確認した結果を詳細設計段階で説明する。模型実験の概要図を第3図に示す。



第2図 防波壁（鋼管式逆T擁壁）の杭頭部の構造概要図



第3図 模型実験概要図

防波壁（波返重力擁壁）の構造概要

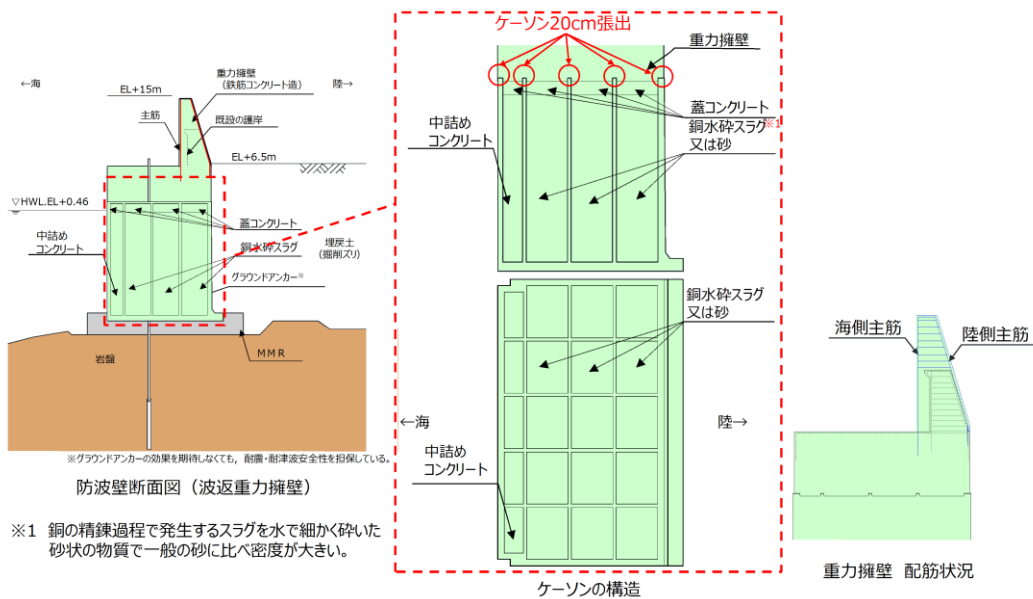
防波壁のうち波返重力擁壁について、設置の経緯を第1図のとおり整理した。

3号造成時	申請時	改良地盤の追加
<p>・防波壁（波返重力擁壁）を設置する範囲には、3号機増設に伴い設置した岩着したケーソン式構造で安定性の高い護岸（T.P.+10m）が既に設置されている。</p> <p>・既設の護岸は、日本海の冬季波浪に耐えうる頑健性の高い構造としていた。</p>	<p>・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の護岸を嵩上げ（T.P.+15m）した。</p> <p>・左記に示した既設の護岸の特徴を踏まえ、既設の護岸を流用した構造型式とすることが、施工上、構造上適切と判断した。</p> <p>・波返重力擁壁は既設の護岸の波返壁を巻き込む構造とすることから、相互の付着力が必要となるため、防波壁の施工前に、既存の護岸の波返壁表面に目荒らしを実施した。また、波返重力擁壁の主筋を既設の護岸に挿し込むことにより既設の護岸との一体化を図った。</p>	<p>・一部、砂礫層が介在する箇所に対して高圧噴射攪拌工法により地盤改良を実施した。</p>
天端高さ ▽T.P.+10m	天端高さ ▽T.P.+15m	天端高さ ▽T.P.+15m

第1図 防波壁（波返重力擁壁）の設置の経緯

波返重力擁壁のうちケーソンの構造について、第2図に示す。岩盤上に鋼製架台を設置し、ケーソンを据え付けた後、鋼製架台内に水中コンクリートを打設することにより、マンメイドロック（MMR）を構築している。ケーソン内はコンクリート、銅水砕スラグ又は砂により中詰めし、その上部に蓋コンクリート及び重力擁壁を打設している。ケーソンと重力擁壁の境界は、蓋コンクリート天端をケーソン天端から20cm下げて打設とすることで、一体構造としている。ケーソンの施工状況について、第3図に示す。

また、保守的にケーソンと重力擁壁の境界にジョイント要素を設定した解析モデルにより2次元FEM解析を実施し、基準地震動Ss-Dにより発生する相対変位について確認した。解析モデルを第4図に示す。ジョイント要素については、港湾基準に示されるコンクリート同士の静止摩擦係数 $\mu=0.5$ として設定した。Ss-Dによる地震応答解析の結果、ケーソンと重力擁壁との境界部における残留変位量は輪谷部断面において2mm、改良地盤部断面において0mmとなり、有意な変位は生じていない。以上を踏まえ、構造成立性検討及び詳細設計段階においては、ケーソンと重力擁壁を一体構造として扱う。

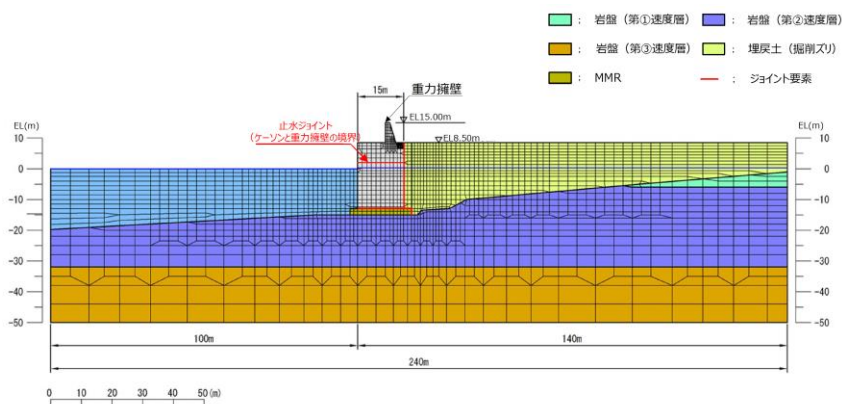


第2図 防波壁 (波返重力擁壁) ケーソンの構造



蓋コンクリート打設状況

第3図 防波壁 (波返重力擁壁) ケーソンの施工状況



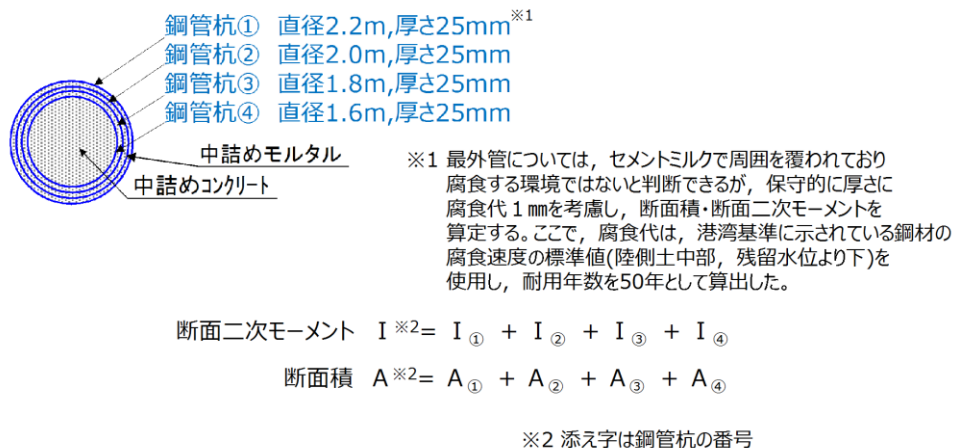
第4図 波返重力擁壁の解析モデル図 (例)

防波壁多重鋼管杭の設計方針

1. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）のモデル化

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、一体として挙動することで、荷重を分担できる構造としており、多重鋼管杭の挙動については実験により確認を行っている（水平載荷実験については2. 参照）。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の2次元動的FEM解析にあたっては、多重鋼管杭はビーム要素でモデル化し、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。なお、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。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。



第1図 多重鋼管杭の概要

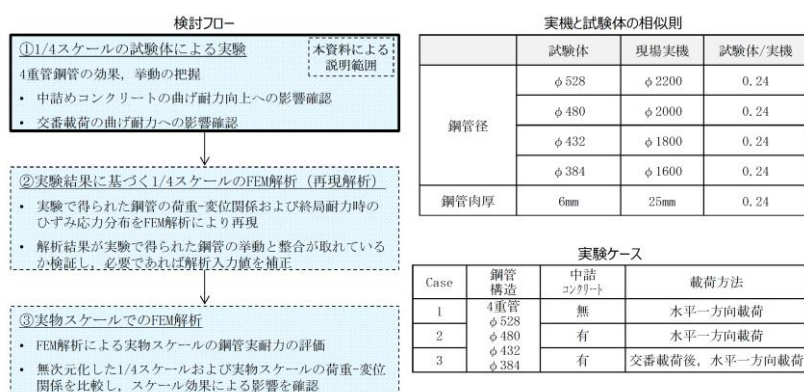
2. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の水平載荷試験

(1) 実験概要

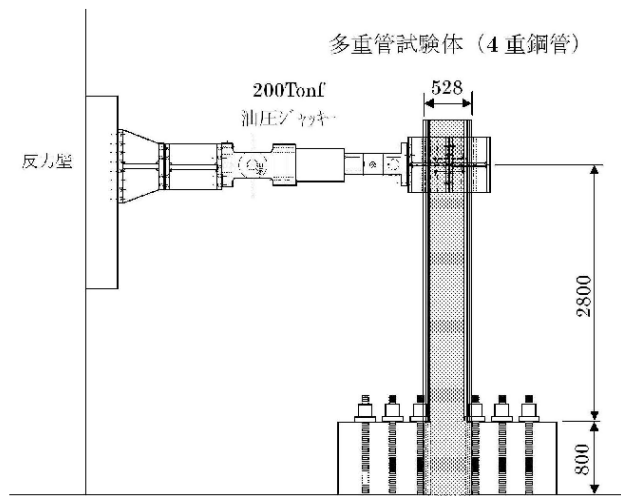
多重鋼管杭は鋼管 1 本あたりの全塑性モーメントを港湾基準から算出し、それらを合算して多重鋼管杭の曲げ耐力として評価することから、多重鋼管杭の実耐力・挙動特性を確認するために水平載荷実験及び数値解析を実施している。このうち多重管の一体挙動と降伏荷重時の挙動を確認したについて説明する。

実験には、耐力・挙動特性に関してスケール効果の影響は小さいことから、1/4 スケールの試験体を用いる。実験としては、Case1及びCase2は中詰コンクリートの有無が曲げ耐力に与える効果と多重鋼管杭の挙動特性を、Case3は交番載荷を与えた後の多重鋼管杭の挙動特性を確認する。また、港湾基準から算出した全塑性荷重・降伏荷重と比較する。なお、交番載荷では、 δy 、 $2\delta y$ 、 $3\delta y$ (δy : 試験から得られた最外管の降伏時変位) を繰り返し載荷した後、水平一方向載荷を行う。

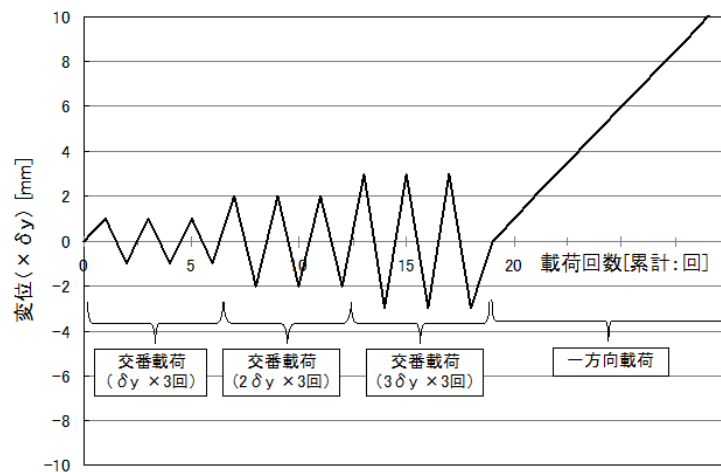
試験の概要を第2 図に、試験装置の概要図を第3 図に、交番水平載荷時に作用させる変位を第4 図に示す。



第 2 図 試験の概要



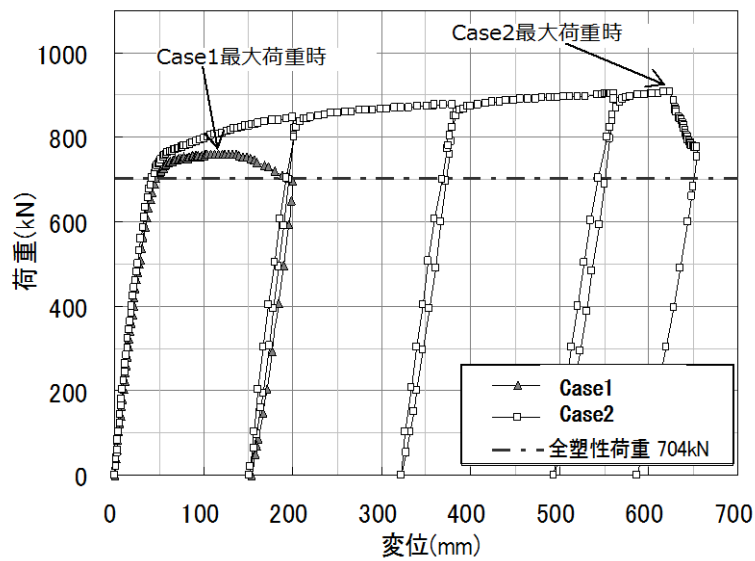
第3図 実験装置概要図



第4図 交番水平载荷変位

(2) 結果の概要 (Case1 と Case2 の比較)

水平一方向載荷ケース (Case1 及び Case2) のうち, Case1 (4重管中詰無) の結果, 最大荷重は多重管の全塑性荷重 704kN に対して 1.08 倍であり, 概ね一致している。一方, Case2 (4重管中詰有) の結果, 最大荷重平均で 1.29 倍となった。Case1 と Case2 を比較すると, 最外管の局部座屈発生までは同じ挙動を示すが, Case2 は Case1 と比較して最内側管がコンクリートで中詰めされていることにより, 曲げ耐力が増加している。Case1 及び Case2 の実験結果を第 5 図及び第 1 表に示す。



第 5 図 Case1 及び Case2 の最大荷重時の荷重変位関係

第 1 表 Case1 及び Case2 の実験結果の比較

実験Case	最大荷重 (kN)	最大荷重時変位 (mm)	全塑性荷重に対する比率
Case 1	761	120	1.08
Case 2	907	624	1.29

(3) 結果の概要 (Case3 の結果)

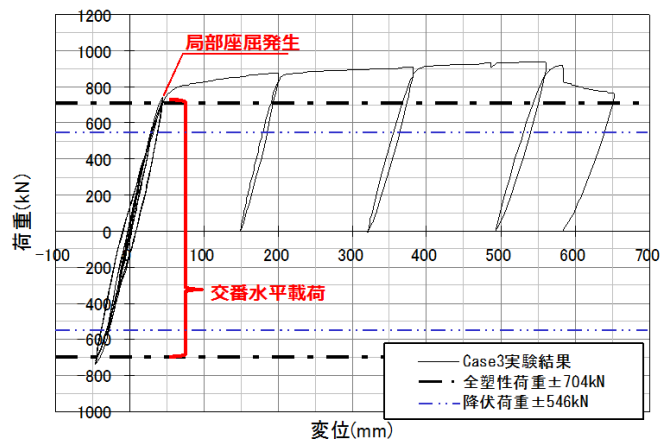
Case3 (交番载荷後, 水平一方向) の結果, 繰返し荷重を受けた後でも Case2 と同様に荷重は緩やかに上昇している。水平荷重と変位の関係から, 多重鋼管杭に対する水平载荷実験の荷重は, 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成 11 年 4 月」より算定した各管の全塑性モーメントの合計値に達する時の全塑性荷重と概ね一致していることを確認した。また, 実験後の試験体の観察の結果, 圧縮側のモルタル・コンクリートにひび割れ等の損傷は見られない。また, 圧縮側の鋼管杭の座屈による変形量は内側ほど小さいことから, 外側から内側にかけて順番に座屈が発生したと考えられる。

以上より多重鋼管杭は一体構造として挙動して荷重を分担しており, 降伏荷重においても弾性挙動を示していることを確認した。

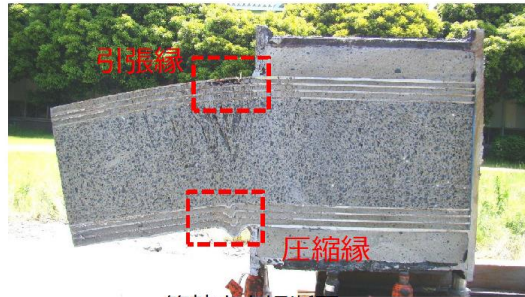
水平载荷試験の最大荷重時の写真を第6 図に, 水平荷重と変位の関係を第7 図に, 試験後の試験体の切断面の写真を第8 図に示す。



第6 図 最大荷重時座屈状況



第7 図 水平荷重と変位の関係



管軸方向切断面



引張縁破断状況



圧縮縁はらみ出し状況

第 8 図 水平載荷試験状況

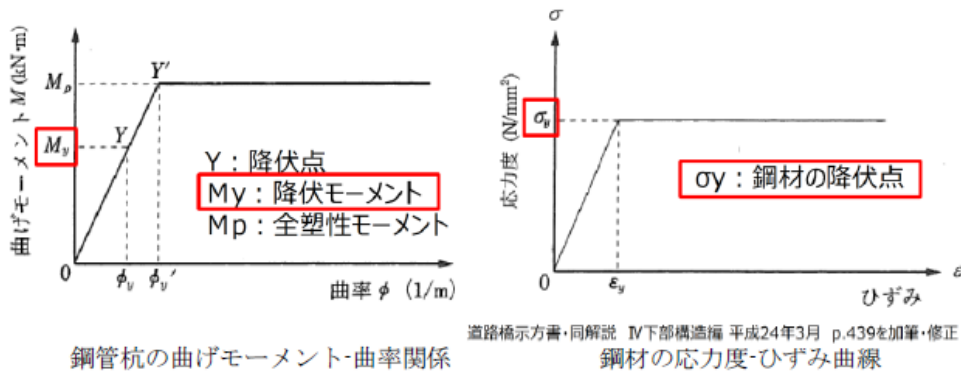
3. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の鋼管杭曲げ系破壊に関する許容限界

「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、降伏の判定は、全塑性モーメントを上限值とするバイリニア型の「鋼管杭の杭体の曲げモーメント-曲率関係」を用いてよいとされている。

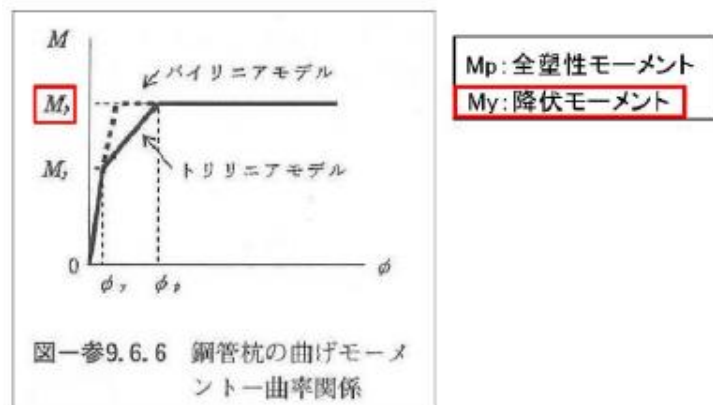
また、「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」によると、鋼管杭の曲げモーメントと曲率の関係は、全塑性モーメントを上限值とするトリリニアモデルを用いるが、トリリニアモデルに代えて、より簡便に計算が可能な、破線で示すバイリニアモデルを用いても計算結果に差があまり見られないので、バイリニアモデルを用いてよいとされている。

以上を踏まえ、鋼管杭の曲げ系破壊については、繰返しの津波荷重に対して機能を保持していることを確認することとし、降伏モーメント M_y を許容限界とする。

「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 平成14年3月」に示される鋼管杭の曲げモーメント-曲率関係を第9図に、「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」に示される鋼管杭の曲げモーメント-曲率関係を第10図に示す。



第9図 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 平成14年3月」

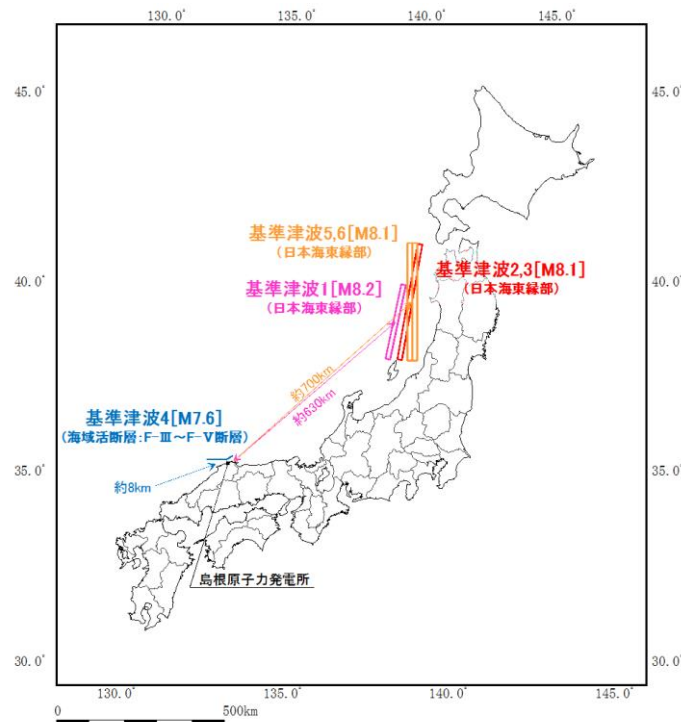


第10図 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」

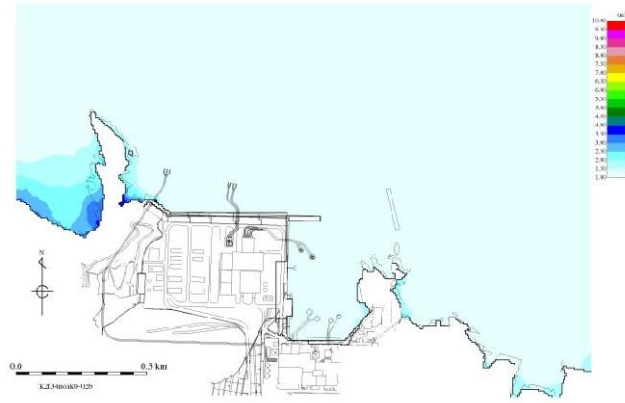
防波壁に作用する荷重と部位の役割

基準津波の波源の活動に伴い発生する可能性がある津波および余震の影響を踏まえ、「津波+余震時」の検討の要否について以下の通り、検討を行った。

- ・第1 図に示すとおり、「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1, 2, 3, 5及び6」の波源位置は、敷地から600km以上の距離にあり、その波源の活動に伴う余震については、敷地への影響が明らかに小さい。
- ・第2 図に示すとおり、「海域活断層に想定される地震による基準津波4」は、防波壁の敷地の壁体部（被覆コンクリート部等）には到達しないが、到達する部位については個別に評価を実施する。
- ・なお、詳細については、荷重の組合せの審査において説明する。



第1 図 島根原子力発電所と基準津波の波源



第 2 図 基準津波 4 の最大水位上昇量分布