

島根原子力発電所2号炉  
津波による損傷の防止

令和元年10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. 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

(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)

下線は、 今回の提出資料を示す。

防波壁の設計方針について

## 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) 防波壁の構造選定の考え方
  - (3) 防波壁高さの設定方針
  - (4) 設計方針
    - a. 構造概要
      - (a) 多重鋼管杭式擁壁
      - (b) 鋼管杭式逆T擁壁
      - (c) 波返重力擁壁
      - (d) 止水目地
      - (e) 防波壁の異種構造形式の境界部
    - b. 防波壁設置位置の地質構造
      - (a) 敷地の被覆層の分布状況
      - (b) 防波壁設置位置の地質構造
      - (c) 防波壁の耐震評価候補断面の整理
    - c. 設計手順
      - (a) 多重鋼管杭式擁壁
      - (b) 鋼管杭式逆T擁壁
      - (c) 波返重力擁壁
    - d. 設計荷重
    - e. 多重鋼管杭式擁壁の設計方針
    - f. 鋼管杭式逆T擁壁の設計方針
    - g. 波返重力擁壁の設計方針

(参考資料) 防波壁の構造等に関する先行例との比較

## 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

防波壁の平面位置図を第 1-1 図に、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、評価対象部位を第 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  $S_s$  に対して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、遡上津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体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。

### (2) 防波壁の構造選定の考え方

防波壁の構造型式は、鉄筋コンクリート壁であり、さらに多重鋼管杭式擁壁、鋼管杭式逆 T 擁壁及び波返重力擁壁に分類される。防波壁の構造選定の考え方を以下に示す。

#### a. 多重鋼管杭式擁壁

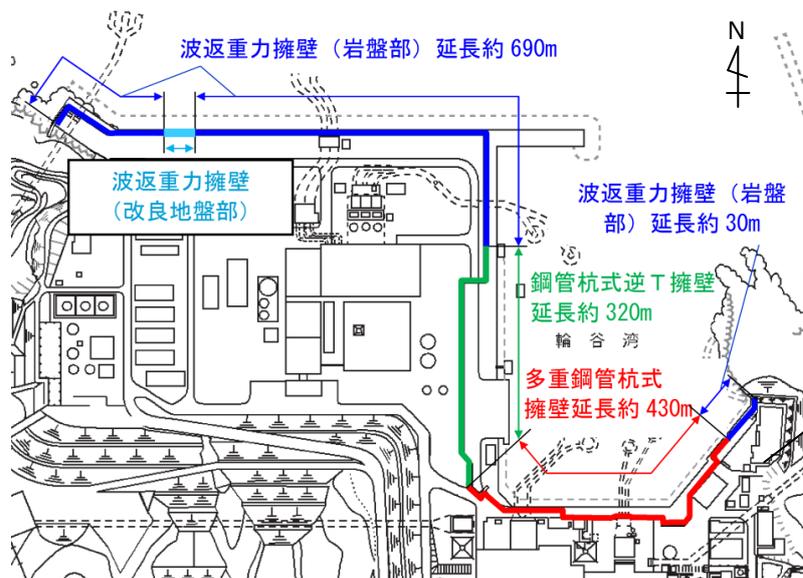
1, 2 号炉北側の施設護岸は基礎捨石上に設置しており、1, 2 号炉北側の施設護岸と発電所施設は近接し、狭隘である。基礎を支持する岩盤の深さは、最深約 EL-14.5m である。敷地の制約と岩盤深さを考慮し、鋼管杭による杭基礎構造を選定し、「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成 19 年 7 月」（以下、「港湾基準」という）の自立矢板式護岸に準拠し設計することとした。なお、上部工から伝達される荷重に耐える構造とするため、大口径の鋼管杭を多重化した。上部工は下部から連続する鋼管杭（最内管）を被覆する鉄筋コンクリート造とした。

#### b. 鋼管杭式逆 T 擁壁

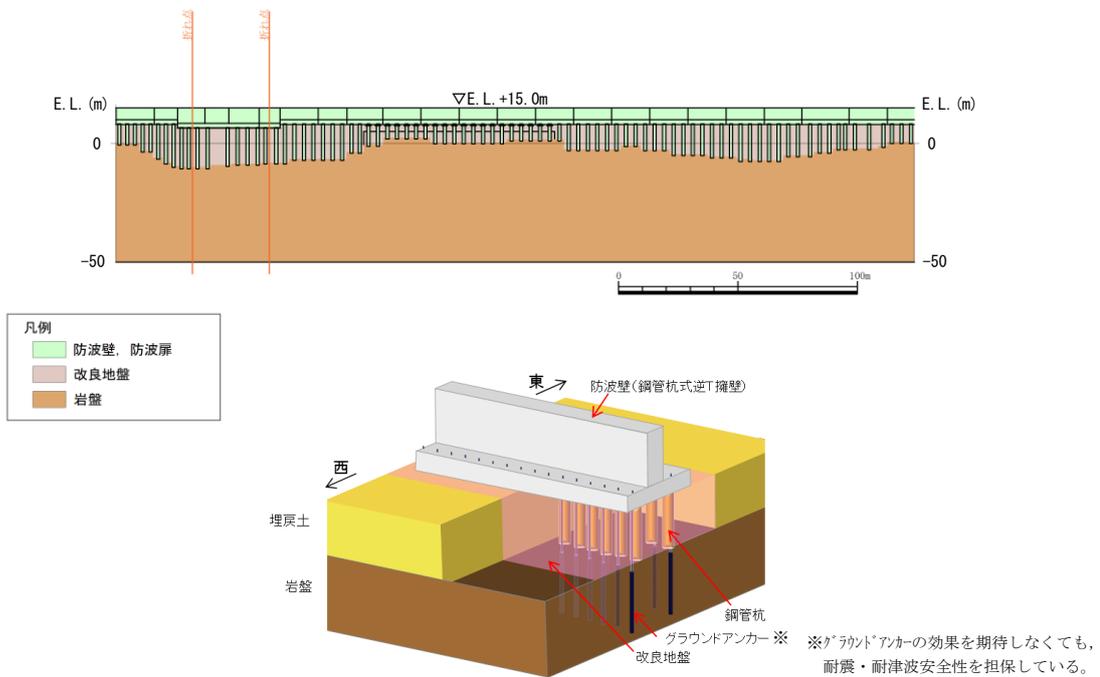
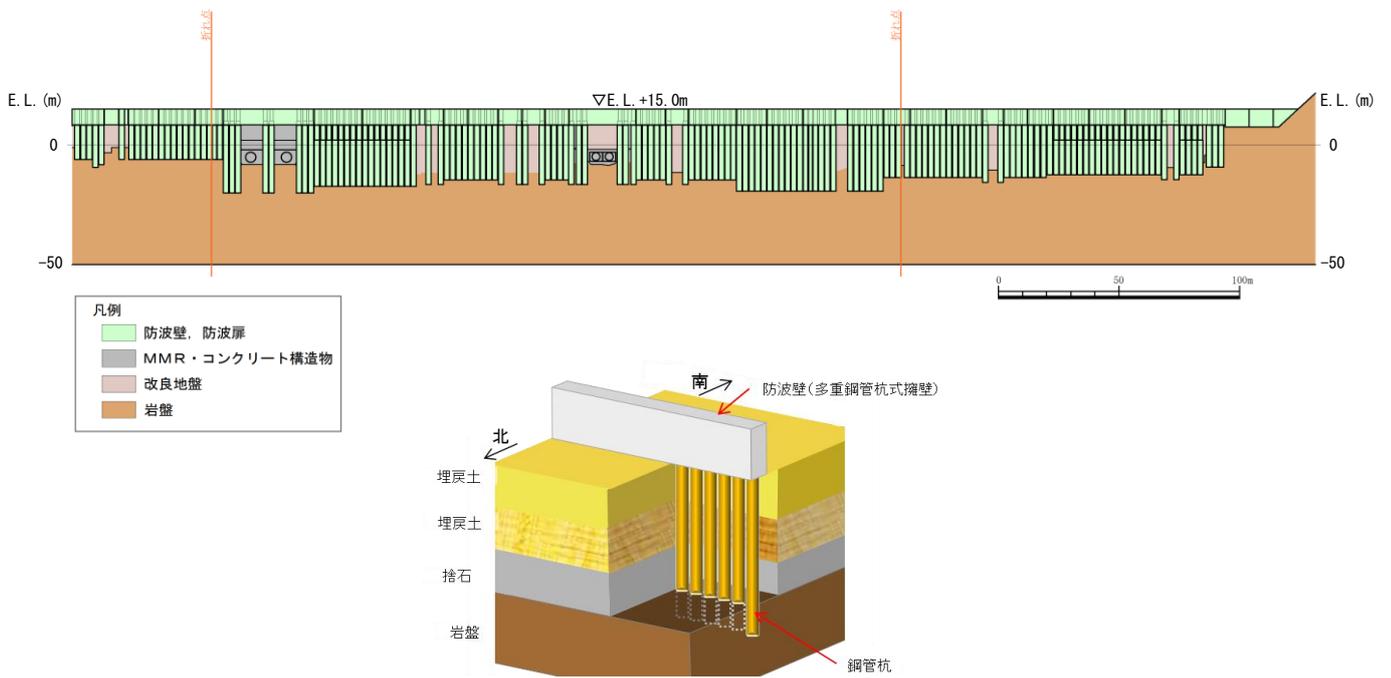
3 号炉東側の一部の施設護岸は基礎捨石上に設置しており、3 号炉東側の施設護岸と発電所施設は十分な離隔距離がある。基礎を支持する岩盤の深さは、最深約 EL-10.0m である。岩盤深さを考慮し、鋼管杭による杭基礎構造を選定し、港湾基準の外郭施設（護岸）に準拠し設計を行った。上部工は安定性を考慮し、逆 T 構造の鉄筋コンクリート造とした。

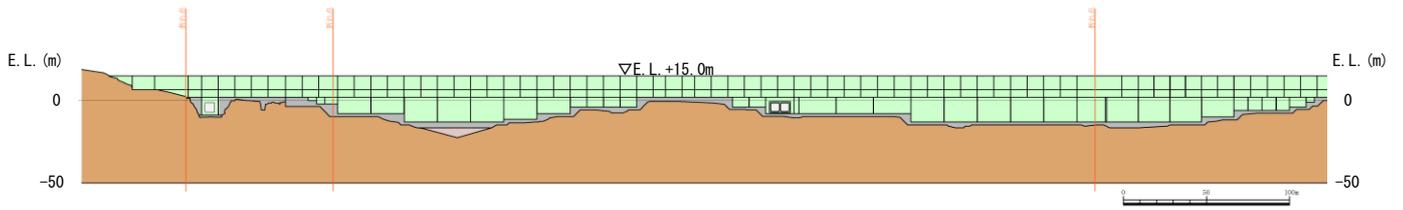
c. 波返重力擁壁

3号炉北側の施設護岸は改良地盤または岩盤に直接設置している。岩着構造の施設護岸を基礎とした直接基礎構造を選定し、港湾基準の外郭施設（護岸）に準拠し設計を行った。上部工は津波荷重に耐えられるよう重力擁壁構造の鉄筋コンクリート造とした。

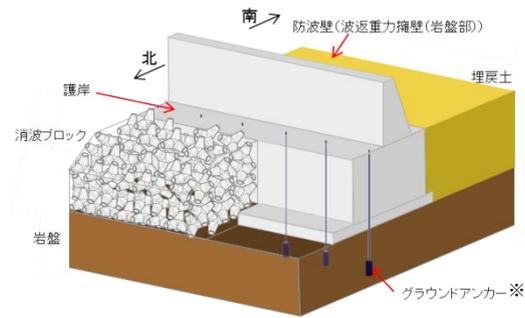


第 1-1 図 防波壁位置図



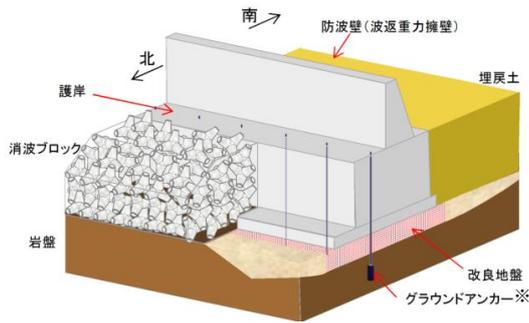


- 凡例
- 防波壁、防波扉
  - MMR・コンクリート構造物
  - 改良地盤
  - 岩盤



(岩盤支持)

※グラウンドアンカーの効果을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을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

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

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 (多重鋼管杭式擁壁)	基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド 5.1 津波防護施設設計 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び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、越流時の耐力にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるよう設計すること。 (1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2)設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見直しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。 ①荷重組合せ a)余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ:常時+津波、常時+津波+地震(余震) ②荷重の設定 a)津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する知見(例えば、国交省の暫定指針等)及びそれらの適用性。 b)余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。 c)地震により周辺地盤に液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。 ③許容限界 a)津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の変形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修に、ある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。) 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド 6.3 津波防護施設、浸水防止設備等津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること	・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの変来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、 <b>基準地震動 S s に対し</b> 、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。	・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの変来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さの設定及び構造体の境界部等への止水処置により止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、 <b>基準地震動 S s に対し</b> 、主要な構造部材の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。	・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの変来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、 ①想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さ(浸水高さ T.P.+11.8m に余裕を考慮した天端高さ T.P.+15.0m)の設定により、敷地前面に設置する設計とする。 ②防波壁の上部構造は、鋼管杭の周囲に設置する鉄筋コンクリート壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。 ③防波壁の杭周辺に改良地盤(薬液注入工)を構築することで杭の変位を抑制し、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。 ④鉄筋コンクリート壁間は、波圧による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、 <b>基準地震動 S s に対し</b> 、鋼製及びコンクリートの耐力のある部材を使用することで止水性能を保持する設計とする。 ⑥防波壁の杭周辺に、改良地盤(薬液注入工)を構築することで杭の変位を抑制し、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。 ⑦鉄筋コンクリート壁間は、地震による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。	・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの変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。 ⑤鋼製及びコンクリートの耐力のある部材を使用することで止水性能を保持する設計とする。	基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの変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。	基礎地盤	支持力	支持機能を喪失する状態	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。
						基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの変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、構造部材である鋼管杭が、概ね弾性状態に留まることを確認する。	鋼管杭	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編(平成14年3月)」を踏まえた降伏モーメント(曲げ)及びせん断応力度(せん断)とする。
						基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの変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壁が、概ね弾性状態に留まることを確認する。	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。
						基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの変来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、被覆コンクリート壁間から有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため、被覆コンクリート壁間に設置するゴムジョイント及び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。 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接続ボルトや鋼製部材は、概ね弾性状態に留まることを確認する。	止水目地	変形・水圧	有意な漏えいに至る変形・水圧	メーカー規格及び基準並びに性能試験を参考に定める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。						

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

赤字：荷重条件  
 緑字：要求機能  
 青字：対応方針

施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計				設計に用いる許容限界	
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計 (評価方針)	評価対象部位	応力等の状態		損傷モード
防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁)	基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド 5.1 津波防護施設設計 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び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、越流時の耐力にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計すること。 (1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2)設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見直しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。 ①荷重組合せ a)余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ:常時+津波、常時+津波+地震(余震) ②荷重の設定 a)津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する見直し(例えば、国交省の暫定指針等)及びそれらの適用性。 b)余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。 c)地震により周辺地盤に液化化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。 ③許容限界 a)津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の変形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修に、ある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。) 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド 6.3 津波防護施設、浸水防止設備等津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること	・防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）は、地震後の繰返しの変来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。 ・防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。	・防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）は、地震後の繰返しの変来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さの設定及び構造体の境界部等への止水処置により止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）は、基準地震動 S s に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。	・防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）は、地震後の繰返しの変来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、①想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さ（浸水高さ T.P.+11.8m に余裕を考慮した天端高さ T.P.+15.0m）の設定により、敷地前面に設置する設計とする。 ②防波壁の上部構造は、鋼管杭の上部に設置する鉄筋コンクリート製逆 T 擁壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。 ③防波壁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 擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ④鉄筋コンクリート製逆 T 擁壁間は、波圧による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。 ・防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）は、基準地震動 S s に対し、 ⑤鋼製及びコンクリートの耐力のある部材を使用することで止水性能を保持する設計とする。 ⑥防波壁の杭周辺に、改良地盤（薬液注入工）を構築することで杭の変位を抑制し、鉄筋コンクリート製逆 T 擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ⑦鉄筋コンクリート製逆 T 擁壁間は、地震による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。	・防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）は、地震後の繰返しの変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。	基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの変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。	基礎地盤	支持力	支持機能を喪失する状態	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。
						基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの変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、構造部材である鋼管杭が、概ね弾性状態に留まることを確認する。	鋼管杭	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋方書・同解説 IV下部構造編（平成 14 年 3 月）」を踏まえた降伏モード（曲げ）及びせん断応力度（せん断）とする。
						基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの変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。	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。
						基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの変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。 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接続ボルトや鋼製部材は、概ね弾性状態に留まることを確認する。	止水目地	変形・水圧	有意な漏えいに至る変形・水圧	メーカー規格及び基準並びに性能試験を参考に定める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

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  
 青字：対応方針

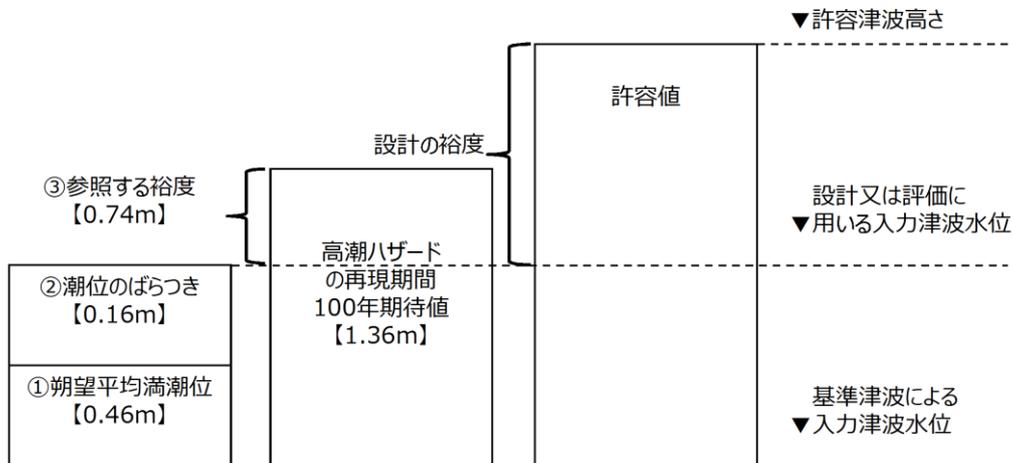
施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計				設計に用いる許容限界
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計 (評価方針)	評価対象部位	応力等の状態	
防波壁 (波返重力擁壁 (岩盤部))	基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド 5.1 津波防護施設設計 津波防護施設については、その構造に 応じ、波力による侵食及び洗掘に対する 抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安 定性を評価し、越流時の耐力にも配慮 した上で、入力津波に対する津波防護 機能が十分に保持できるように設計す ること。 (1)要求事項に適合する設計方針であ ることを確認する。 (2)設計方針の確認に加え、入力津波 に対して津波防護機能が十分に保持で ける設計がなされることの見直しを得 るため、以下の項目について、設定の 考え方を確認する。確認内容を以下に 例示する。 ①荷重組合せ a)余震が考慮されていること。耐津波 設計における荷重組合せ:常時+津波、 常時+津波+地震(余震) ②荷重の設定 a)津波による荷重(波圧、衝撃力)の 設定に関して、考慮する知見(例えば、 国交省の暫定指針等)及びそれらの適 用性。 b)余震による荷重として、サイト特 性(余震の震源、ハザード)が考慮され、 合理的な頻度、荷重レベルが設定され る。 c)地震により周辺地盤に液状化が発生 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。 ③許容限界 a)津波防護機能に対する機能保持限 界として、当該構造物全体の変形能力 (終局耐力時の変形)に対して十分な余 裕を有し、津波防護機能を保持するこ と。(なお、機能損傷に至った場合、補 修に、ある程度の期間が必要となるこ とから、地震、津波後の再使用性に 着目した許容限界にも留意する必要が ある。) 基準地震動及び耐震設計方針に係る 審査ガイド 6.3 津波防護施設、浸水防止設備等 津波防護機能を有する施設、浸水防止 機能を有する設備及び敷地における津 波監視機能を有する設備のうち建物及 び構築物は、常時作用している荷重及 び運転時に作用する荷重と基準地震動 による地震力の組合せに対して、当該 建物・構築物が構造物全体としての 変形能力(終局耐力時の変形)について 十分な余裕を有するとともに、その施 設に要求される機能(津波防護機能、 浸水防止機能)を保持すること	・防波壁（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。 ・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。	・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、 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 T.P. +11.8m、輪谷湾外浸水高さ T.P. +10.6m に余裕を考慮した天端高さ T.P.+15.0m)の設定により、敷地前 面に設置する設計とする。 ②防波壁の上部構造は、施設護岸ケー ソン上部に設置する重力擁壁及び止水 目地により止水性を保持する設計とし る。 ③重力擁壁間は、波圧による変形に追 随する、止水性を確認したゴムジョイ ント及びシートジョイントによる止水 目地を設置することによる止水処置を講 ずる設計とする。 ・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部）） は、基準地震動 S s に対し、④コン クリートの耐力のある部材を使用する ことで止水性能を保持する設計とする。 ⑤重力擁壁間は、地震による変形に追 随する、止水性を確認したゴムジョイ ント及びシートジョイントによる止水 目地を設置することによる止水処置を講 ずる設計とする。	・防波壁（波返重力擁壁（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。 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し 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。 基準地震動 S s による地震時荷重、地 震後の繰返しの襲来を想定した津波荷 重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪 を考慮した荷重に対し、主要な構造部 材の構造健全性を保持する設計とする ために、構造部材である重力擁壁が、 概ね弾性状態に留まることを確認する。 ・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部）） は、基準地震動 S s による地震時荷重 に対し、重力擁壁で構成し、津波時 においても主要な構造部材の構造健全 性を保持する設計とし、十分な支持性 能を有する地盤に設置する設計とする とともに、重力擁壁間は、ゴムジョイ ント及びシートジョイントによる止水 目地を設置し、有意な漏えいを生じな い設計とすることを構造強度設計上の 性能目標とする。 基準地震動 S s による地震時荷重、地 震後の繰返しの襲来を想定した津波荷 重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪 を考慮した荷重に対し、重力擁壁間 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、重力擁壁間に 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。 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 めの接続ボルトや鋼製部材は、概ね 弾性状態に留まることを確認する。	基礎地盤 改良地盤	支持力	支持機能を喪失する状態	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。	
					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	二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。	
					重力擁壁	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書、構造性能照査編、2002年制定」を踏まえた短期許容応力度とする。	
					止水目地	止水目地	変形・水圧	有意な漏えいに至る変形・水圧	メーカー規格及び基準並びに性能試験を参考に定める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。

(3) 防波壁高さの設定方針

敷地前面海域に位置する防波壁は、津波高さに対して余裕を考慮した防波壁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 1-2 表に、設計裕度のイメージを第 1-3 図に示す。

第 1-2 表 入力津波高さと防波壁高さの関係

	港湾外	港湾内
防波壁構造	波返重力擁壁	多重鋼管杭式擁壁 鋼管杭式逆 T 擁壁 波返重力擁壁
入力津波高さ (潮位のばらつき等考慮)	T. P. +10. 6m	T. P. +11. 8m
防波壁高さ	T. P. +15. 0m	T. P. +15. 0m
設計裕度	4. 4m	3. 2m



第 1-3 図 防波壁設計裕度の考え方

(4) 設計方針

a. 構造概要

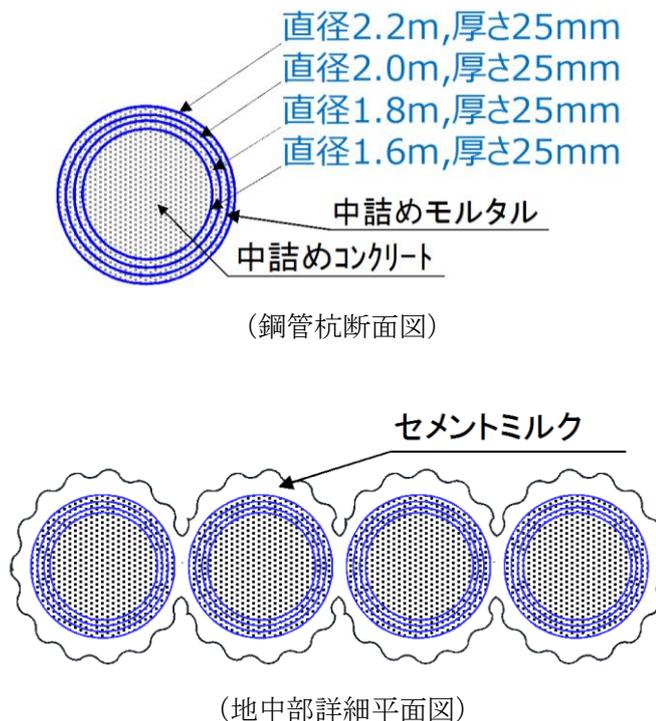
(a) 多重鋼管杭式擁壁

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する（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、地中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する。多重鋼管杭のイメージを第1-4図に示す。

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する。このブロック間の境界には、止水性を確保するための止水目地を設置する。

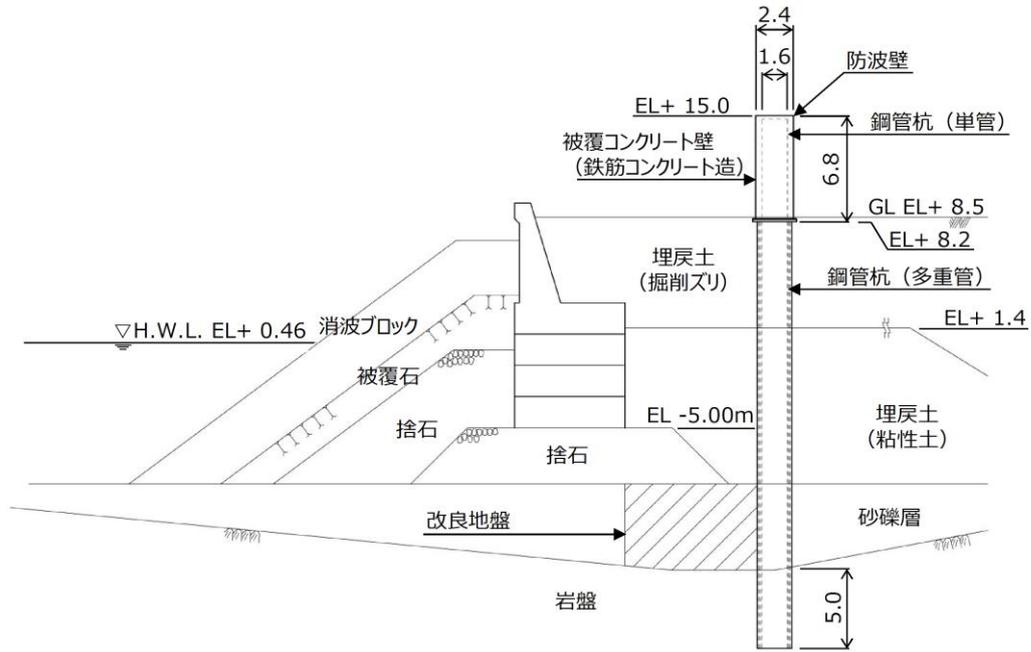
多重鋼管杭式擁壁の構造概要を第1-5図に、構造部位とその役割を第1-3表に示す。

なお、材料の仕様については第1-4表のとおりである。

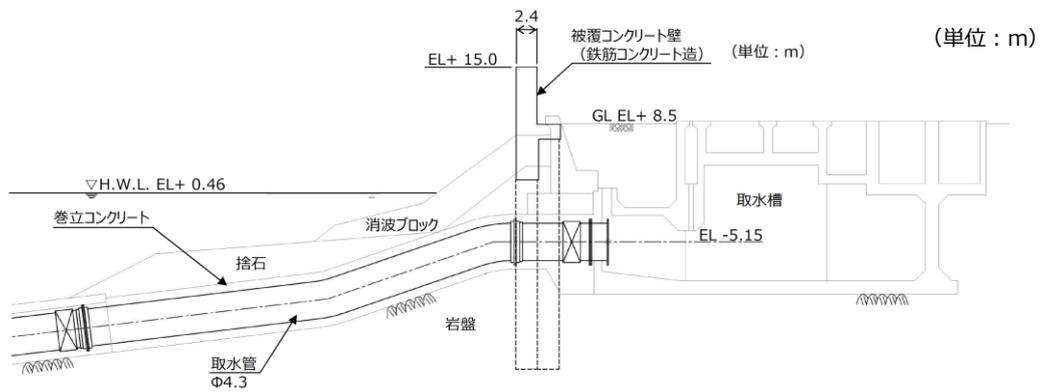


第1-4図 多重鋼管杭イメージ

(単位 : m)



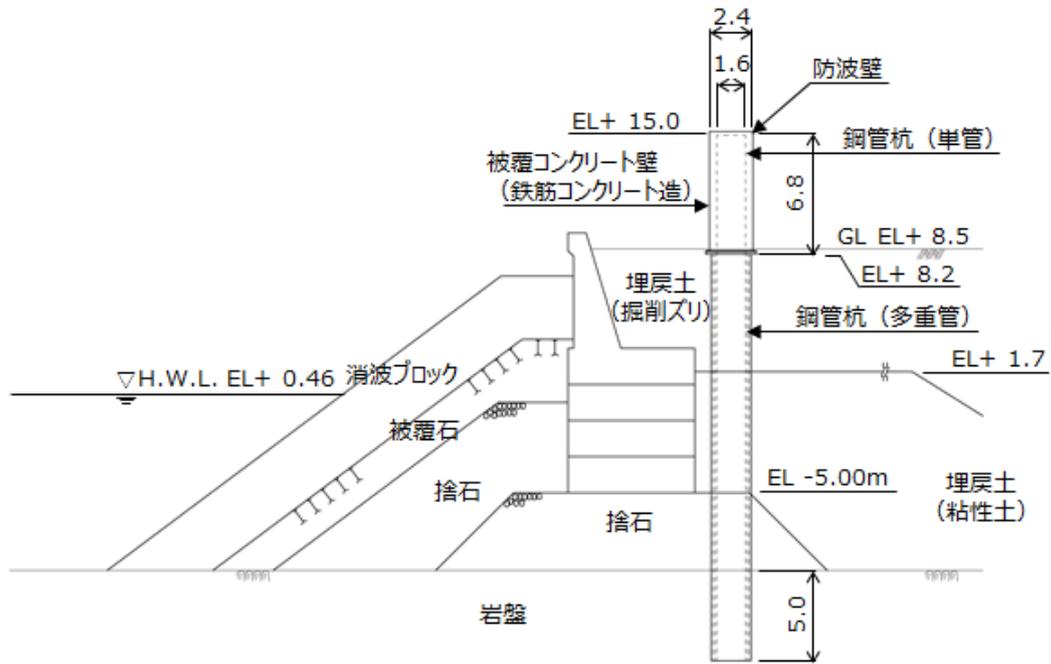
改良地盤部



取水路横断部

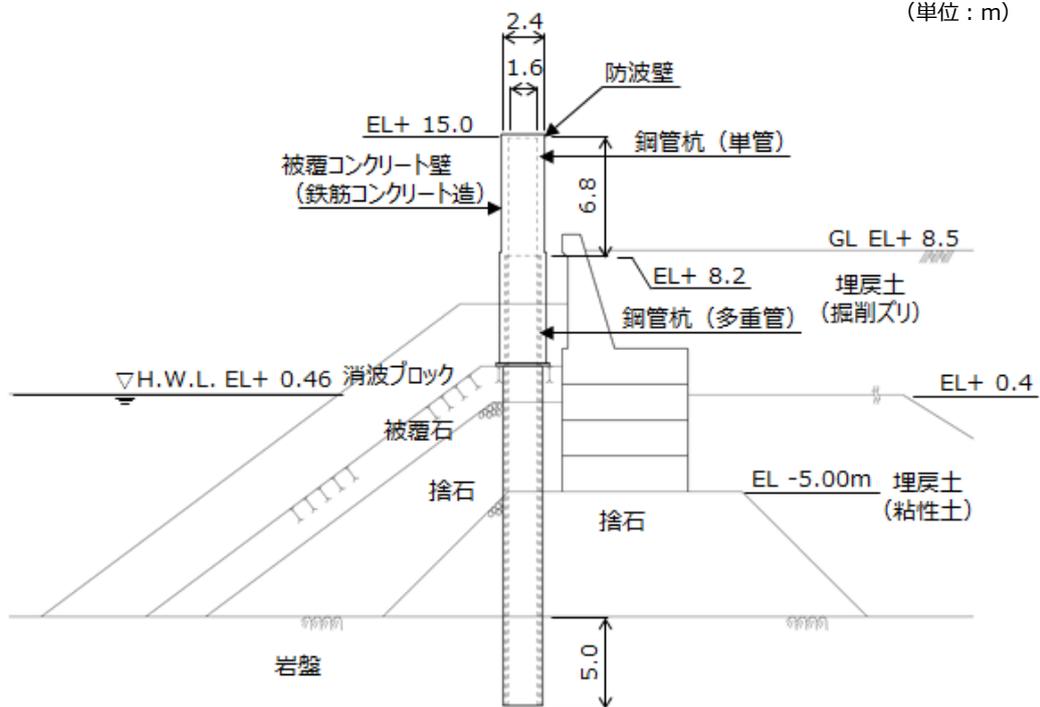
第 1-5(1) 図 多重鋼管杭式擁壁の構造概要図

(単位：m)



一般部

(単位：m)



施設護岸前出し部

第 1-5(2) 図 多重鋼管杭式擁壁の構造概要図

第 1-3 表 構造部位と役割

構造部位	役割
<b>【施設】</b>	
鋼管杭 <sup>※1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>被覆コンクリート壁から伝達される荷重を支持地盤に確実に伝達し、防波壁としての機能を維持する。</li> </ul>
被覆コンクリート壁 <sup>※1</sup> (鉄筋コンクリート)	<ul style="list-style-type: none"> <li>外部からの地震荷重、津波荷重、漂流物荷重等を鋼管杭に確実に伝達し、防波壁としての機能を維持する。</li> <li>止水目地を支持する。</li> </ul>
止水目地 <sup>※1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>被覆コンクリート壁の施工ブロック間に生じる変位に追従し、津波荷重に対して十分な耐性を持ち、防波壁としての機能を維持する。</li> </ul>
<b>【地盤】</b>	
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>周辺地盤（砂礫層が分布している区間のみ）における鋼管杭の変位を抑制する。</li> <li>難透水性を保持する。</li> </ul>
セメントミルク	<ul style="list-style-type: none"> <li>難透水性を保持する。</li> <li>掘削範囲を充填し、鋼管杭と岩盤を一体化する。</li> </ul>
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭を支持する。</li> </ul>

※1 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 1-4 表 材料仕様

材 料	仕 様
鋼管杭	$\phi$ 2.2m, t=25mm (SKK490 又は SM490Y) <sup>※2</sup> $\phi$ 2.0m, t=25mm (SKK490) $\phi$ 1.8m, t=25mm (SKK490) $\phi$ 1.6m, t=25mm (SKK490)
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

※2 発生する曲げモーメントに応じて降伏点強度の大きい SM490Y を採用する。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の杭頭部構造について、一般部及び取水路横断部を例に説明する。

一般部では、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。

取水路横断部では、2号炉取水管を横断するため、取水管の両端部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。また、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。

多重鋼管杭建込状況及び杭頭連結材設置状況を第1-6図に示す。

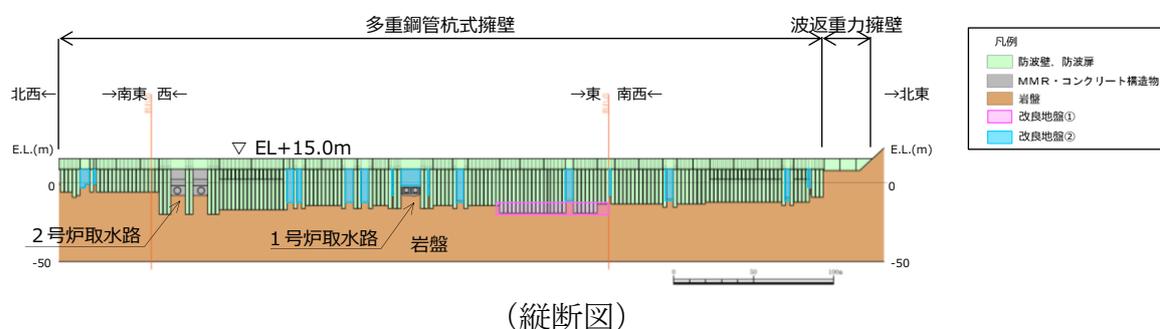
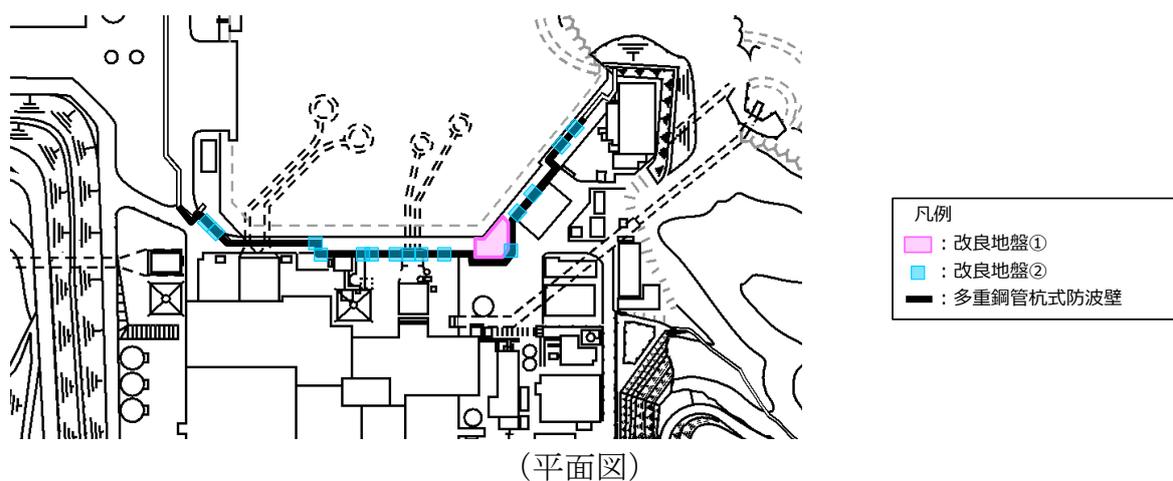


第1-6図 多重鋼管杭建込状況及び杭頭連結材設置状況

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）区間では，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（セメント系固化剤）により改良地盤とする。（改良地盤①）

また，構造物横断部等で杭間隔が大きい区間においても，薬液注入（セメント系固化剤）により改良地盤とする。（改良地盤②）

改良地盤の範囲を第 1-7 図に示す。



第 1-7 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）改良地盤の範囲

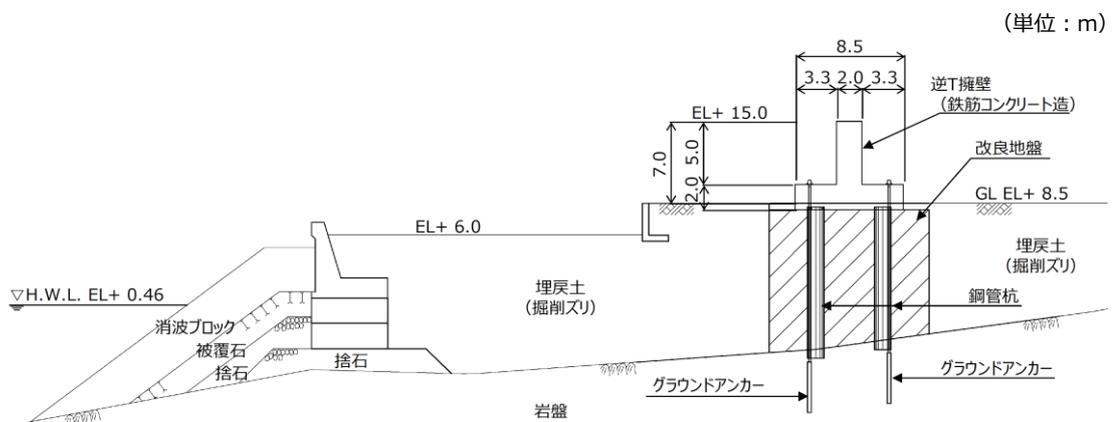
(b) 鋼管杭式逆T擁壁

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する。

逆T擁壁は、鋼管杭8本程度を1ブロックの標準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、止水性を確保するための止水目地を設置する。

鋼管杭式逆T擁壁の構造概要を第1-8図に、構造部位とその役割を第1-5表に示す。

なお、材料の仕様については第1-6表のとおりである。



(一般部)

※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1-8図 鋼管杭式逆T擁壁構造概要図

第 1-5 表 構造部位と役割

構造部位	役割
<b>【施設】</b>	
鋼管杭 <sup>※</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・逆T擁壁から伝達される荷重を支持地盤に確実に伝達し, 防波壁としての機能を維持する。</li> </ul>
逆T擁壁 <sup>※</sup> (鉄筋コンクリート)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外部からの地震荷重, 津波荷重, 漂流物荷重等を鋼管杭に確実に伝達し, 防波壁としての機能を維持する。</li> <li>・止水目地を支持する。</li> </ul>
止水目地 <sup>※</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・逆T擁壁の施工ブロック間に生じる変位に追従し, 津波荷重に対して十分な耐性を持ち, 防波壁としての機能を維持する。</li> </ul>
<b>【地盤】</b>	
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周辺地盤における鋼管杭の変位を抑制する。</li> <li>・難透水性を保持する。</li> </ul>
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼管杭を支持する。</li> </ul>

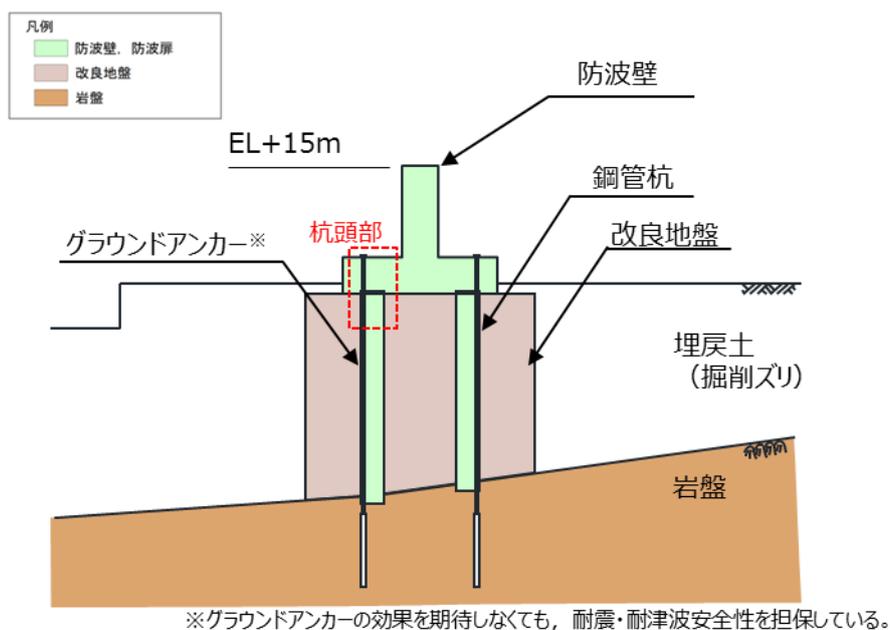
※ 鋼管杭, 逆T擁壁, 止水目地を構造上のバウンダリとする。

第 1-6 表 材料仕様

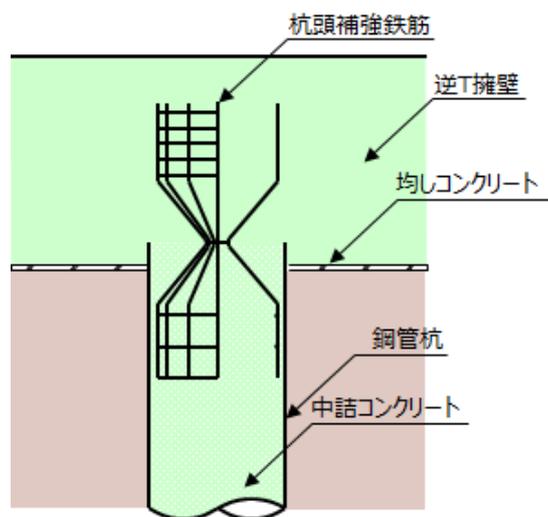
材 料	仕 様
鋼管杭	$\phi 1.3\text{m}$ , $t=22\text{mm}$ (SKK490)
コンクリート	$f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$
鉄 筋	SD345
止水目地	ゴムジョイント, シートジョイント: クロロプレンゴム

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）では、道路土工 擁壁工指針（平成 24 年 7 月）に基づき、杭頭部での発生応力を抑えることを目的として、杭頭部の結合方式はヒンジ結合を採用し、杭の埋込み深さについては同指針に基づき、「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編（平成 14 年 3 月）」を準用して、下図に示す杭頭補強鉄筋を逆 T 擁壁に挿入する。

防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の杭頭部の構造概要図を第 1-9 図に示す。



(防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）横断面図)

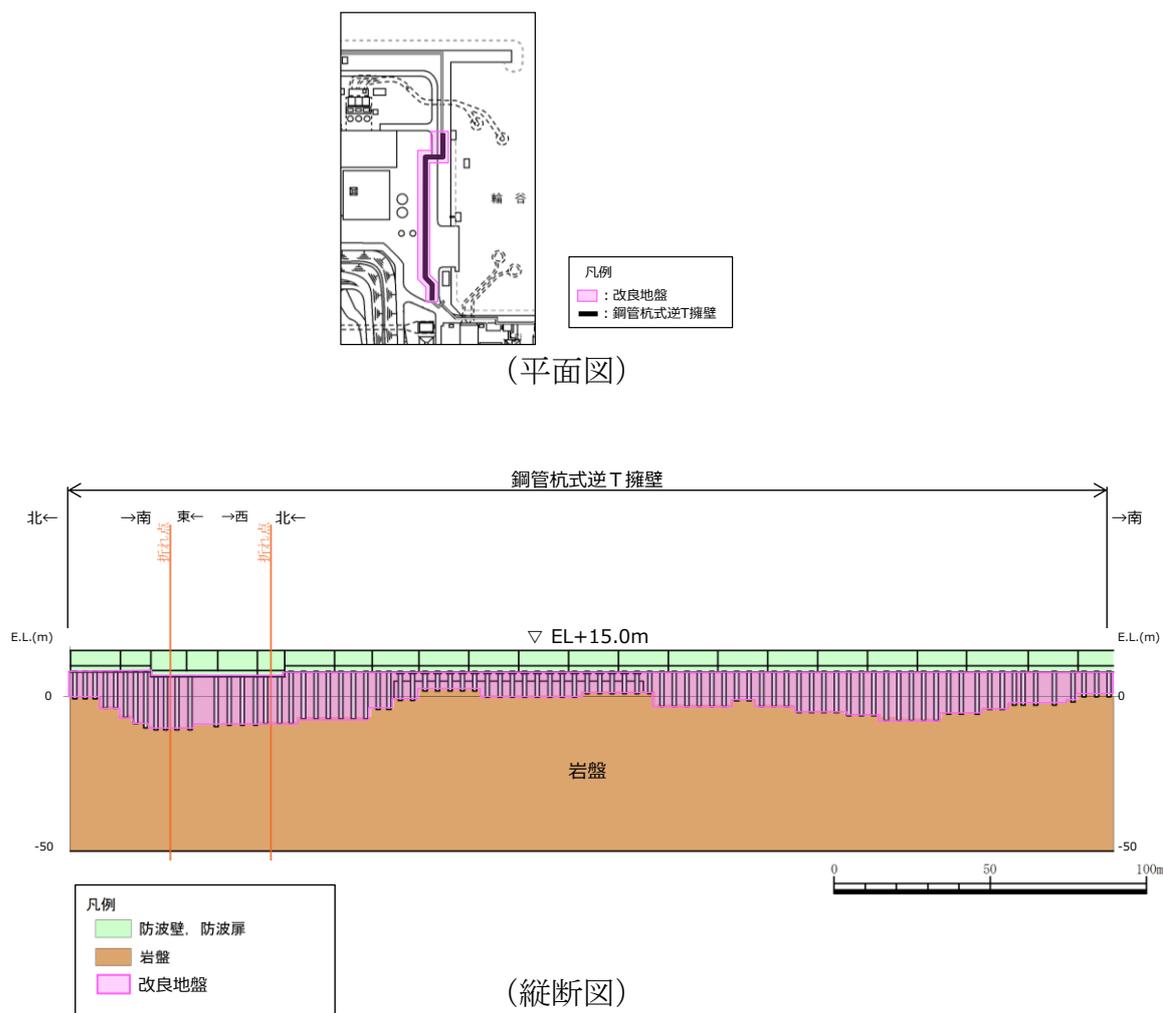


(杭頭部 拡大図)

第 1-9 図 防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）の杭頭部の構造概要図

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）区間では、防波壁底面から岩盤までを薬液注入工法（セメント系固化剤）により改良地盤とする。

改良地盤の範囲を第 1-10 図に示す。



第 1-10 図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）改良地盤の範囲

### (c) 波返重力擁壁

波返重力擁壁は、3号炉北側及び防波壁端部に配置する。3号炉北側についてはケーソンを介して岩盤上に設置し、防波壁端部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する。なお、砂礫層が分布する箇所については、地盤改良を実施する。

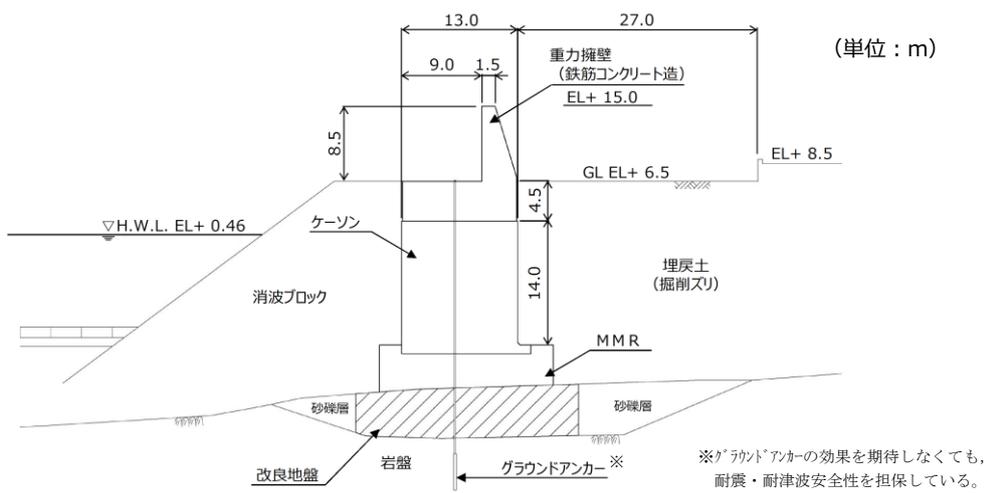
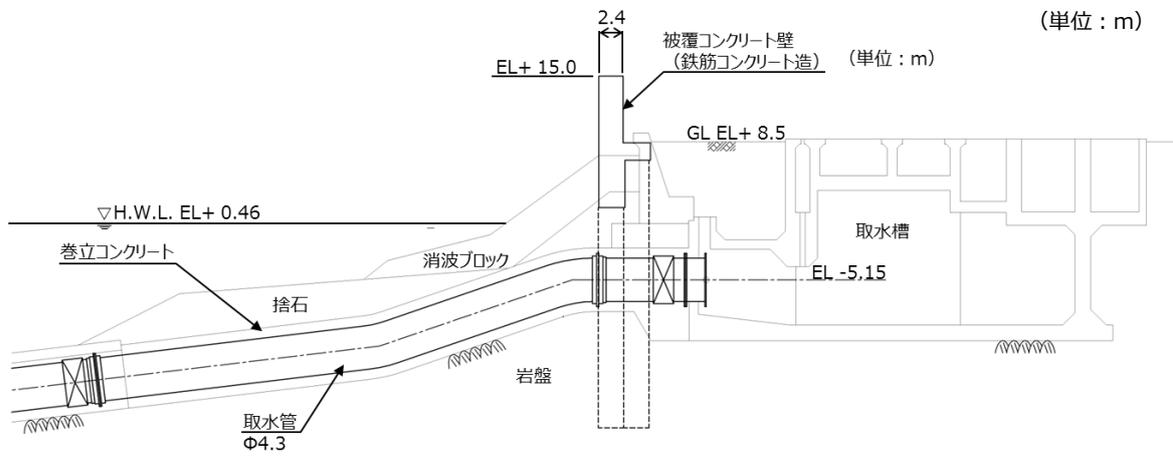
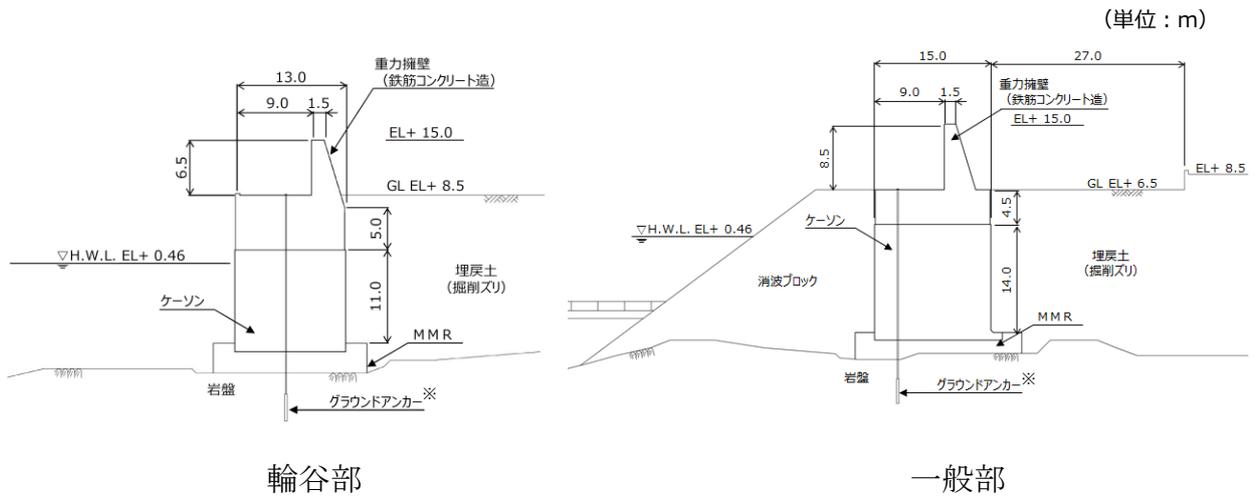
重力擁壁は、約10m間隔を1ブロックとした壁体を連続して設置する。このブロック間の境界には、止水性を確保するための止水目地を設置する。

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又は銅水砕スラグにより中詰めし、その上部を蓋コンクリート及び上部工コンクリートを打設して一体化させている。地上部の重力擁壁は上部工と一体構造としている。

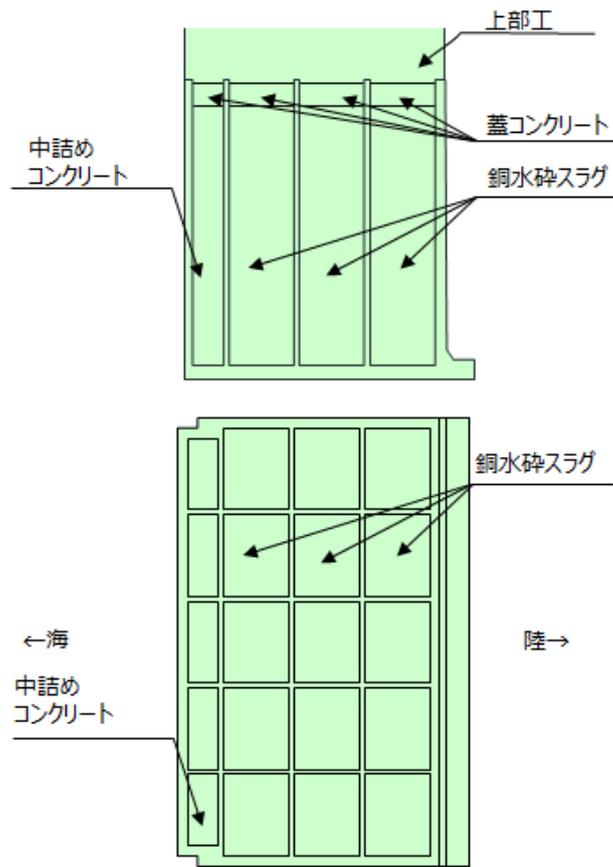
放水路貫通部の放水路(ケーソン)は重力擁壁を間接支持する構造物とする。

波返重力擁壁の構造概要を第1-11～13図に、構造部位とその役割を第1-7表に示す。

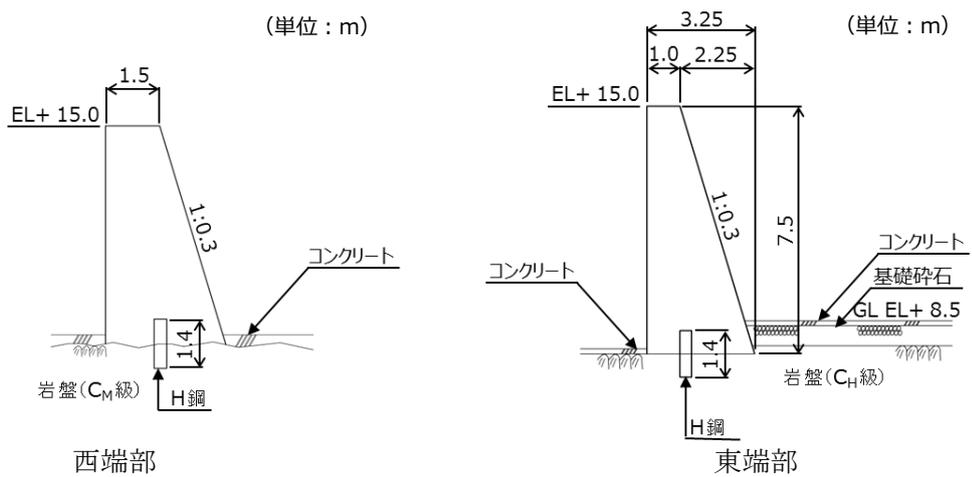
なお、材料の仕様については第1-8表のとおりである。



第 1-11 図 波返重力擁壁（ケーソン部）の構造概要図



第 1-12 図 ケーソンの構造例



第 1-13 図 波返重力擁壁（端部）の構造概要図

第 1-7 表 構造部位と役割

構造部位	役割
<b>【施設】</b>	
ケーソン <sup>※1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重力擁壁から伝達される荷重を支持地盤に確実に伝達し，防波壁としての機能を維持する。</li> </ul>
重力擁壁 <sup>※1</sup> (鉄筋コンクリート)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外部からの地震荷重，津波荷重，漂流物荷重等をケーソンに確実に伝達し，防波壁としての機能を維持する。</li> <li>・止水目地を支持する。</li> </ul>
止水目地 <sup>※1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重力擁壁の施工ブロック間に生じる変位に追従し，津波荷重に対して十分な耐性を持ち，防波壁としての機能を維持する。</li> </ul>
<b>【地盤】</b>	
MMR	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーソンを支持する。</li> </ul>
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周辺地盤（砂礫層が分布している区間のみ）におけるケーソンの変位を抑制する。</li> <li>・難透水性を保持する。</li> </ul>
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーソンを支持する。</li> </ul>

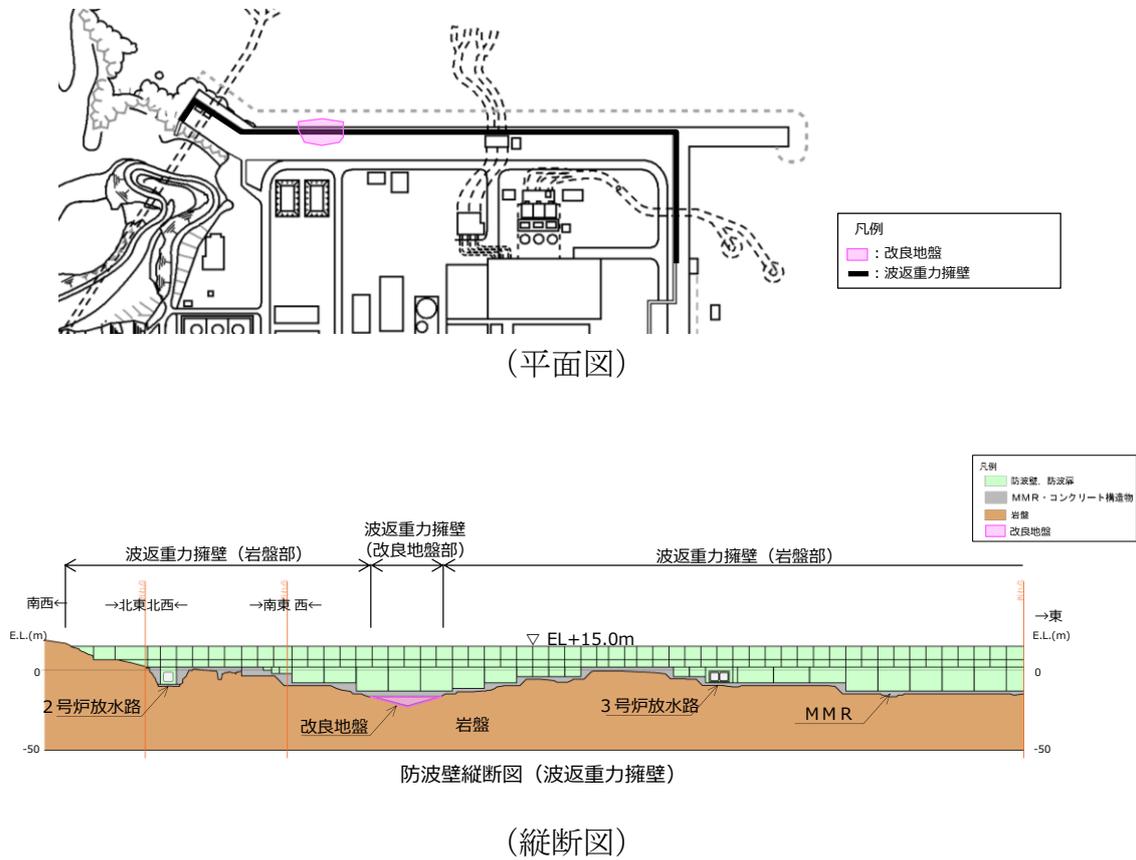
※1 ケーソン，重力擁壁，止水目地は構造上のバウンダリとする。

第 1-8 表 材料仕様

材 料	仕 様
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

防波壁（波返重力擁壁）区間では、一部、砂礫層が介在する箇所に対して  
 高压噴射攪拌工法により改良地盤とする。

改良地盤の範囲を第 1-14 図に示す。



第 1-14 図 防波壁（波返重力擁壁）改良地盤の範囲

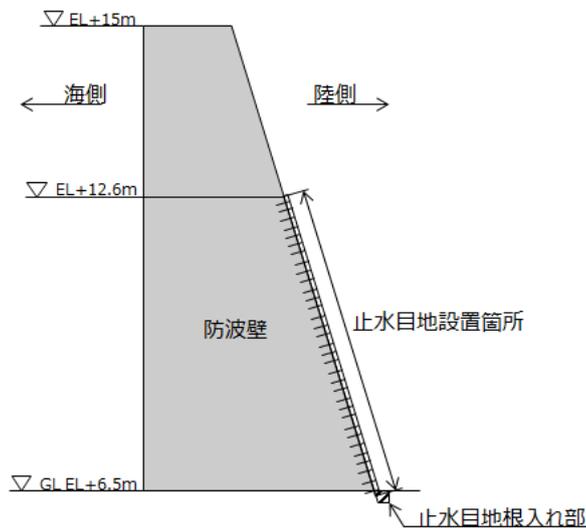
(d) 止水目地

止水目地は、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とともに、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。

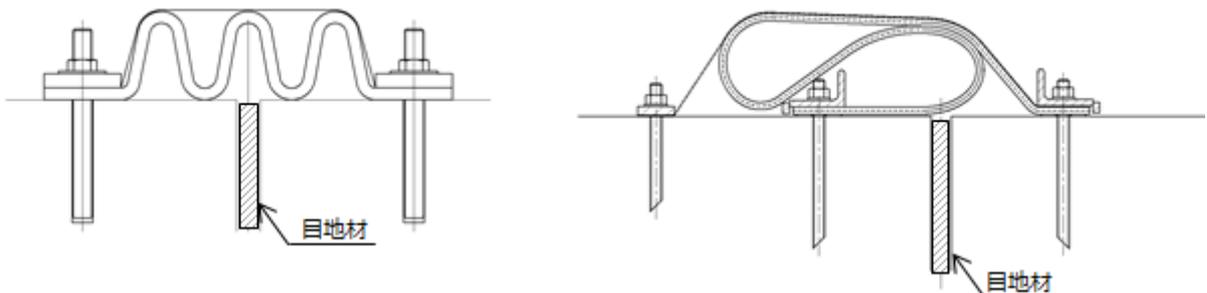
止水目地は、隣接する防波壁の施工ブロック間の地震時の相対変位に応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。また、遡上する津波波圧に対する耐津波性を有し、入力津波高さを踏まえた設計とする。

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応じて実施する性能試験を参考に定める。

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1-15図に示す。



(止水目地の設置箇所 (例) (防波壁断面図 (波返重力擁壁)))

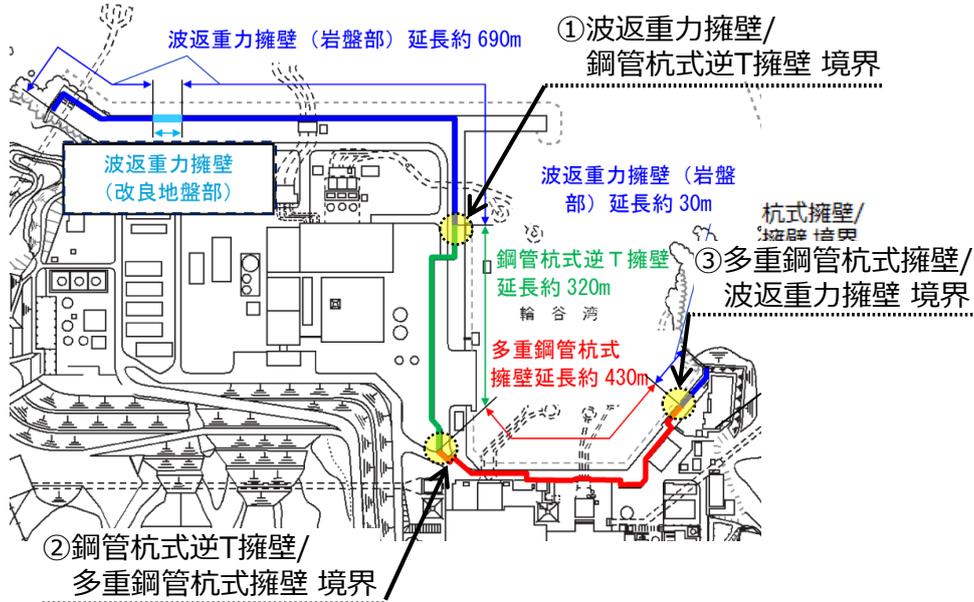


(ゴムジョイント (相対変位：小))

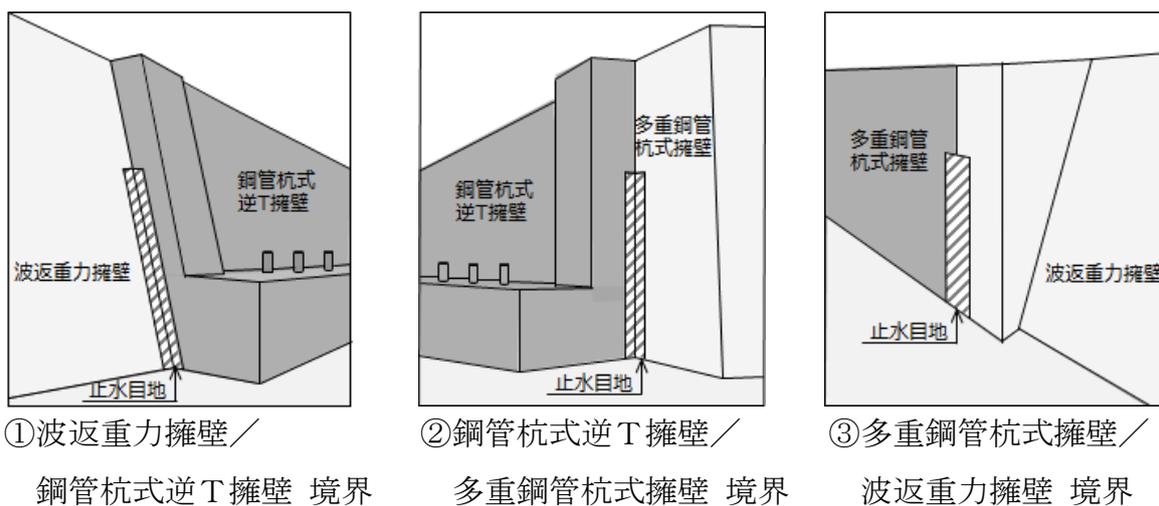
(シートジョイント (相対変位：大))

第1-15図 止水目地の設置箇所及び概要図

防波壁は異種構造型式の境界部が3箇所存在するため、構造をすりつける。境界部には、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。防波壁の異種構造型式の境界位置図及び構造概要を第1-16図に示す。



(防波壁の構造形式の境界位置図)



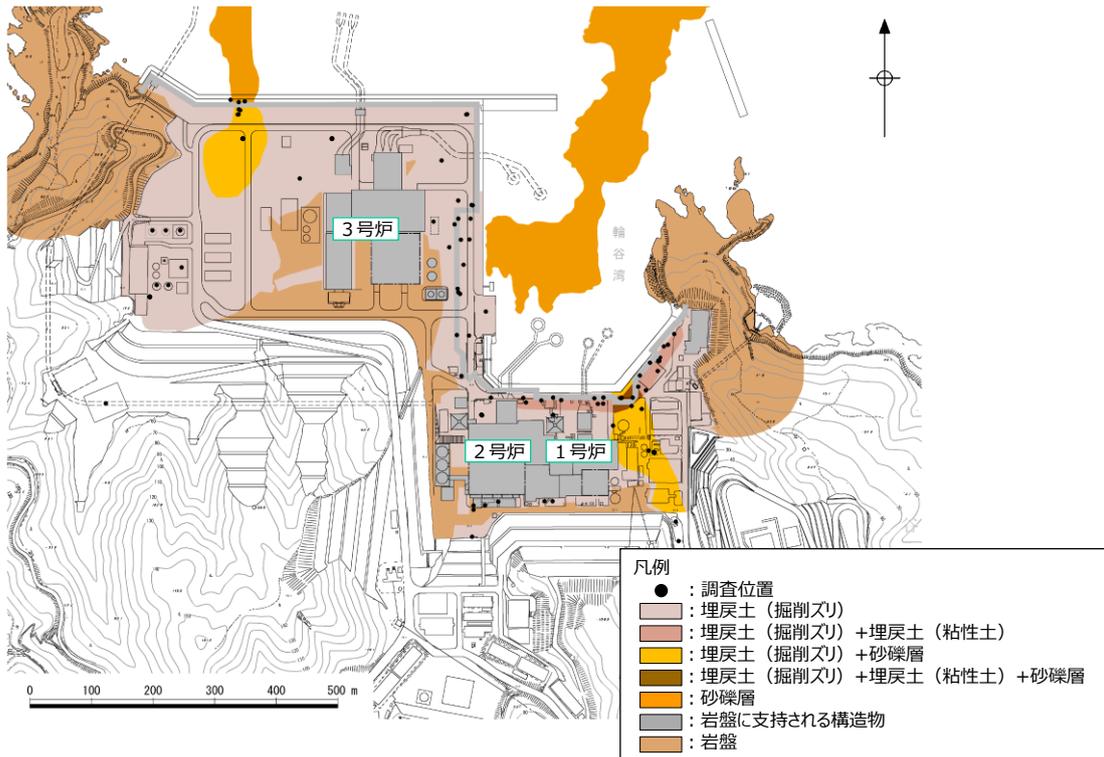
第1-16図 防波壁の異種構造型式の境界位置図及び構造概要

b. 防波壁設置位置の地質構造

(a) 敷地の被覆層の分布状況

敷地の被覆層の分布について、EL+15m 以下の敷地には、埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、及び砂礫層が分布する。

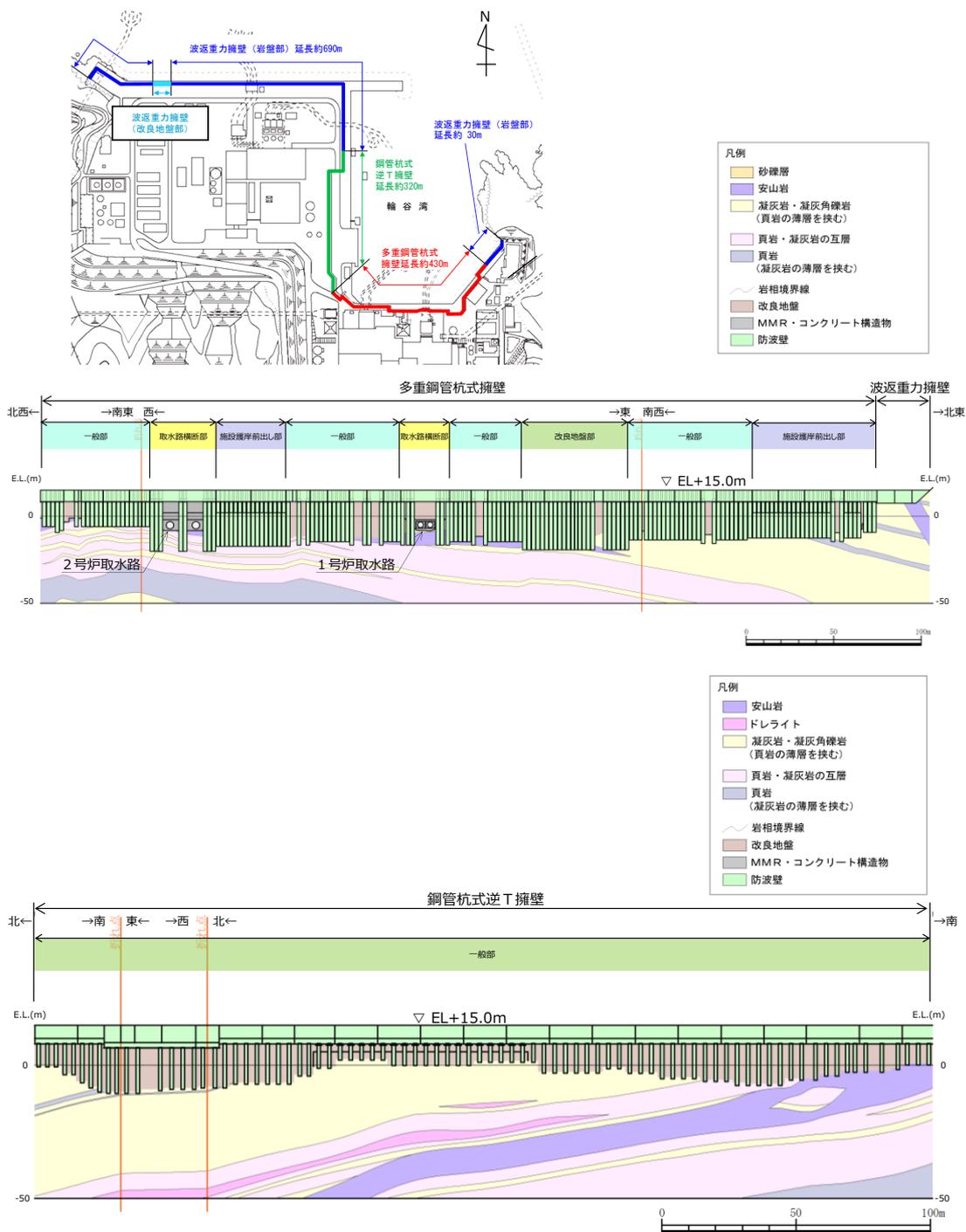
敷地の被覆層の分布図を第 1-17 図に示す。



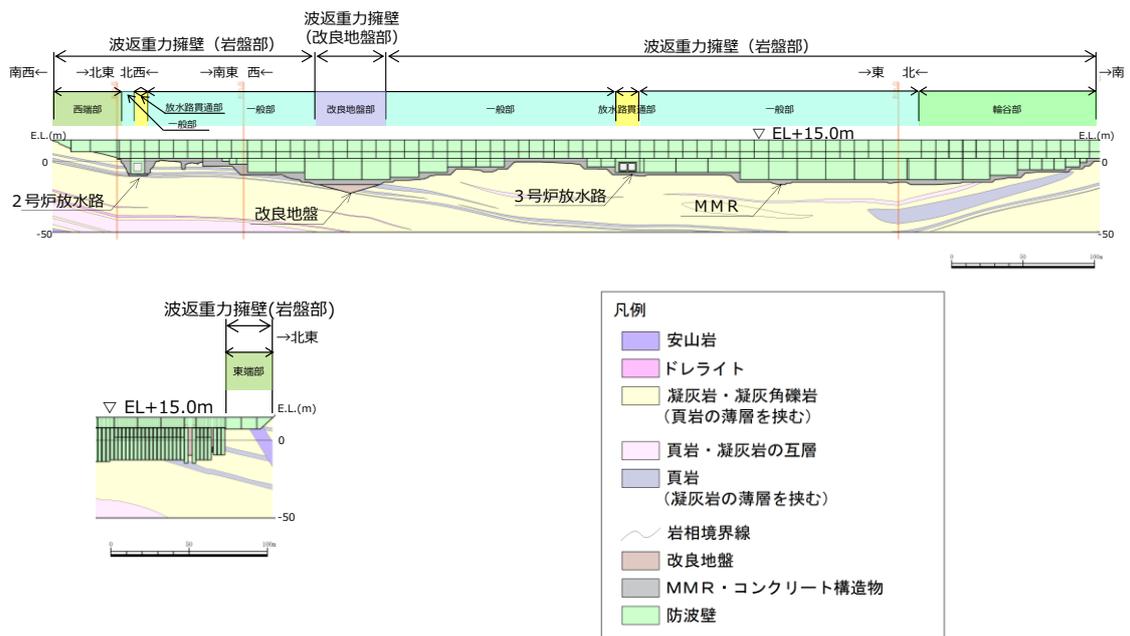
第 1-17 図 敷地の被覆層分布平面図

(b) 防波壁設置位置の地質構造

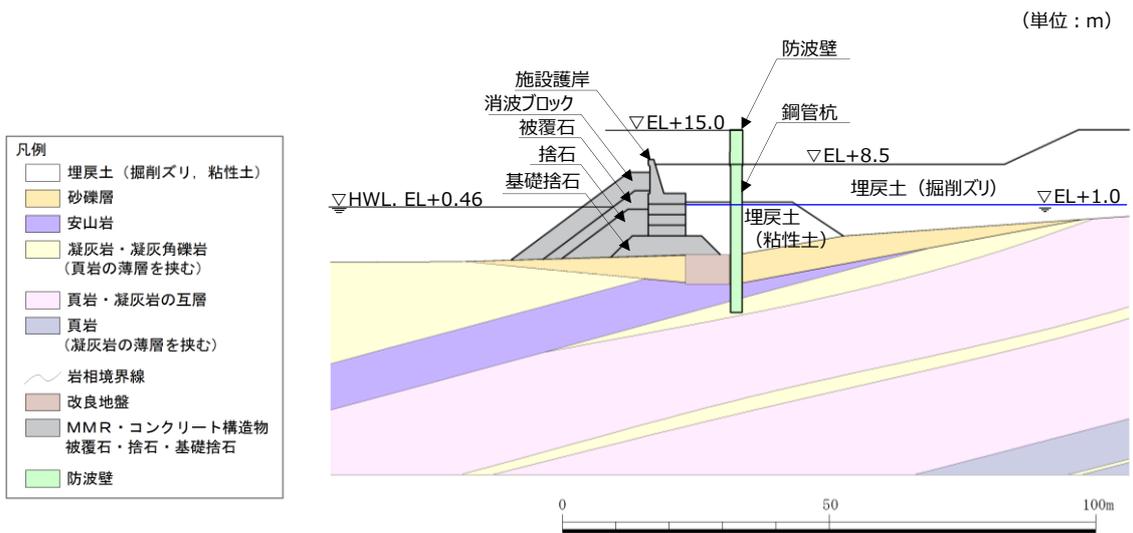
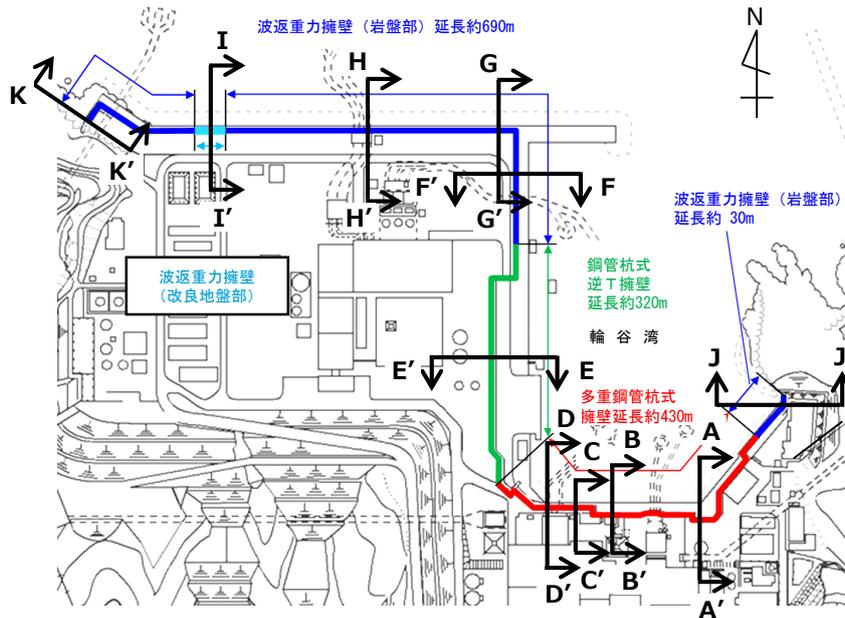
防波壁設置位置の地質構造について、防波壁の地質縦断図を第 1-18 図に、横断方向の地質断面図を第 1-19 図に示す。



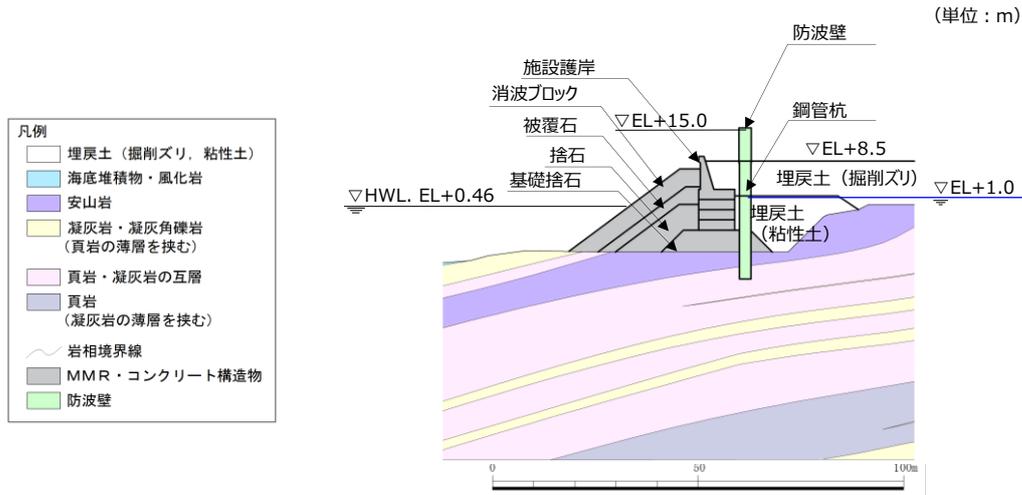
第 1-18(1) 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁及び鋼管杭式逆 T 擁壁）の地質縦断図



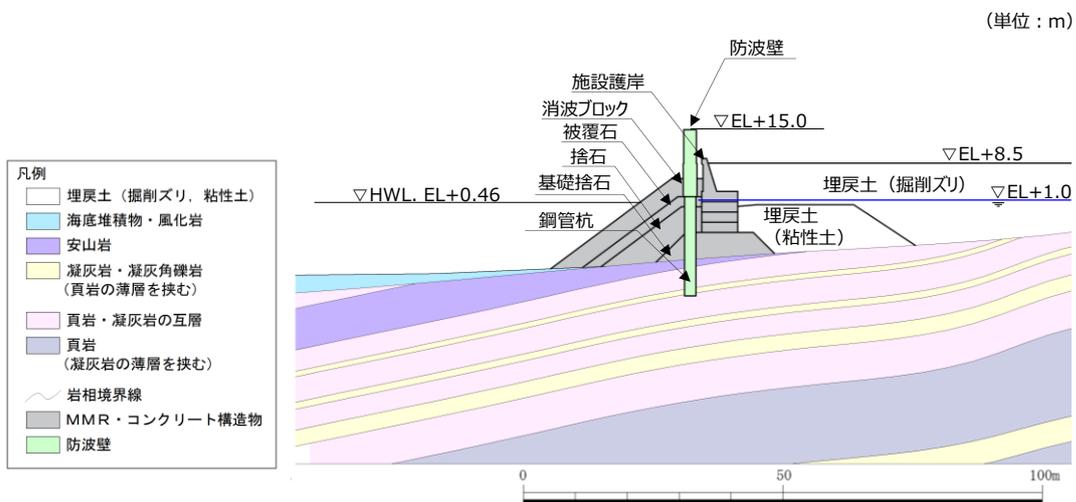
第 1-18 (2) 図 防波壁 (波返重力擁壁) の地質縦断図



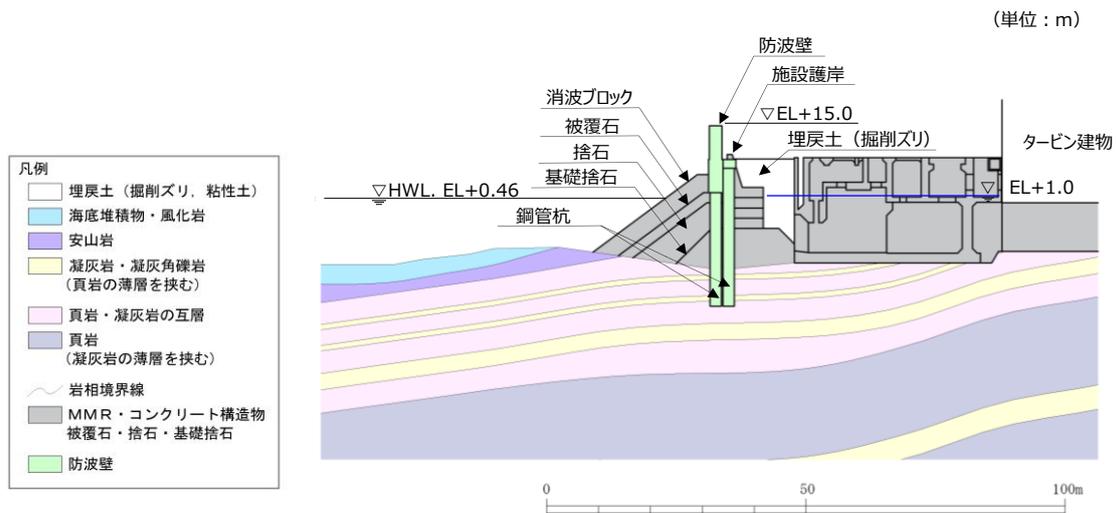
第 1-19(1) 図 多重鋼管杭式擁壁 改良地盤部 (A-A' 断面)



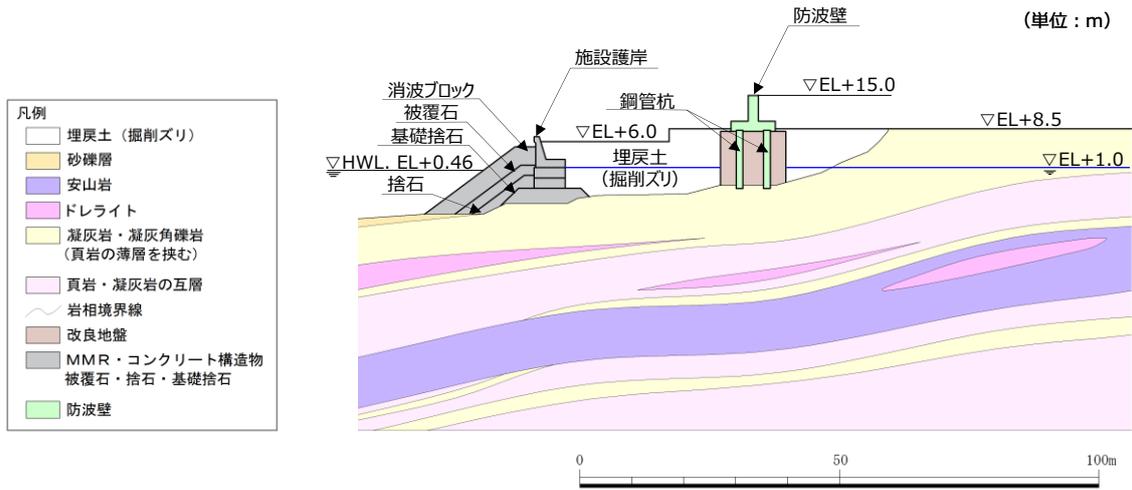
第 1-19(2) 図 多重鋼管杭式擁壁 一般部 (B-B' 断面)



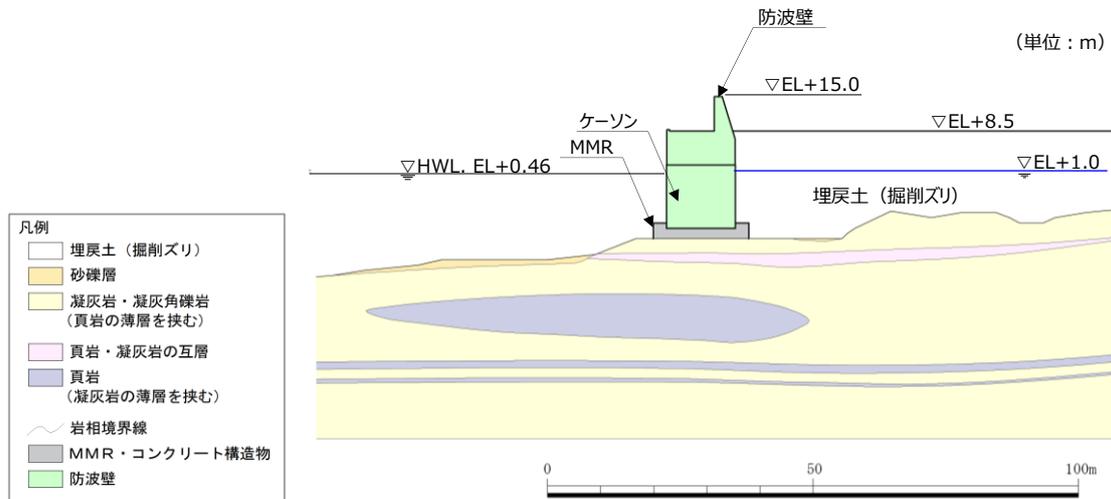
第 1-9(3) 図 多重鋼管杭式擁壁 施設護岸前出し部 (C-C' 断面)



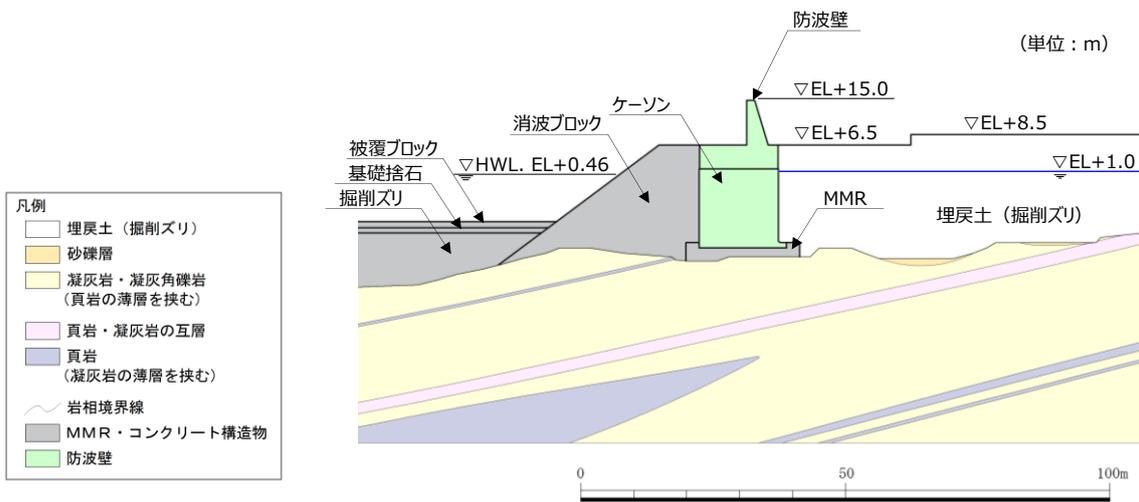
第 1-9(4) 図 多重鋼管杭式擁壁 取水路横断部 (D-D' 断面)



第 1-9 (5) 図 鋼管杭式逆 T 擁壁 一般部 (E-E' 断面)

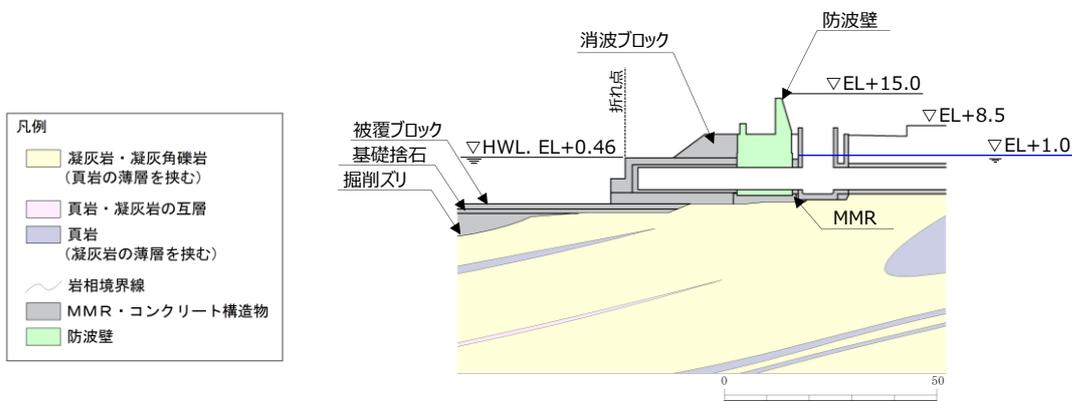


第 1-19(6) 図 波返重力擁壁 輪谷部 (F-F' 断面)

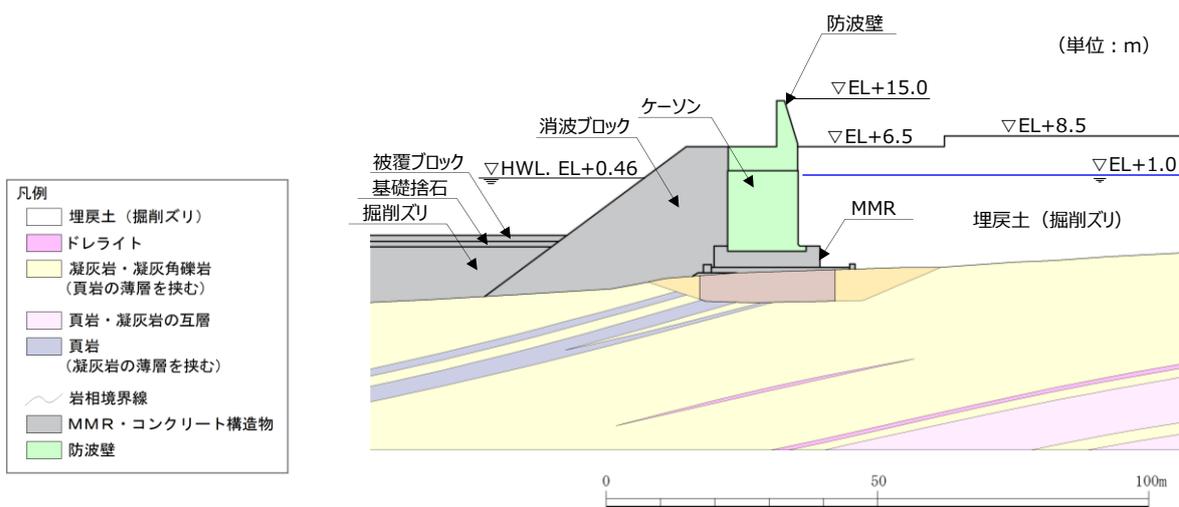


第 1-19(7) 図 波返重力擁壁 一般部 (G-G' 断面)

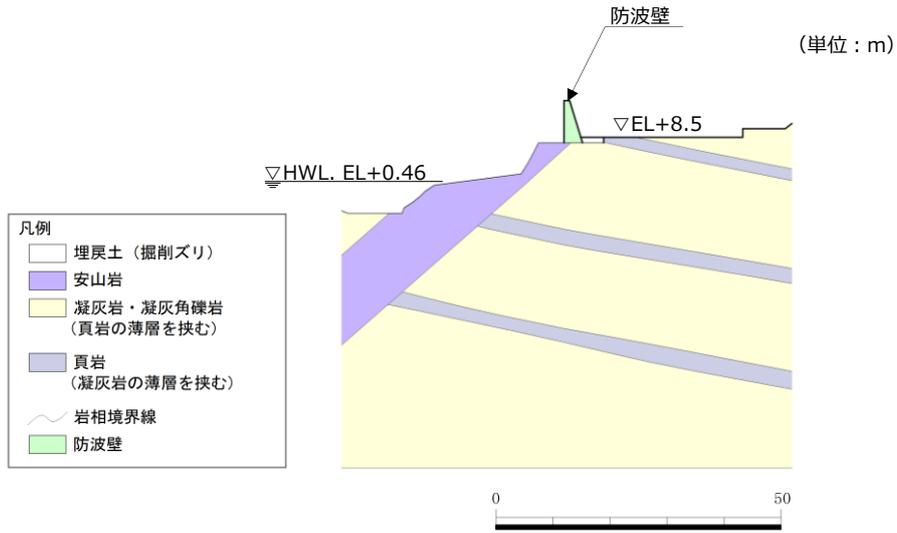
(単位 : m)



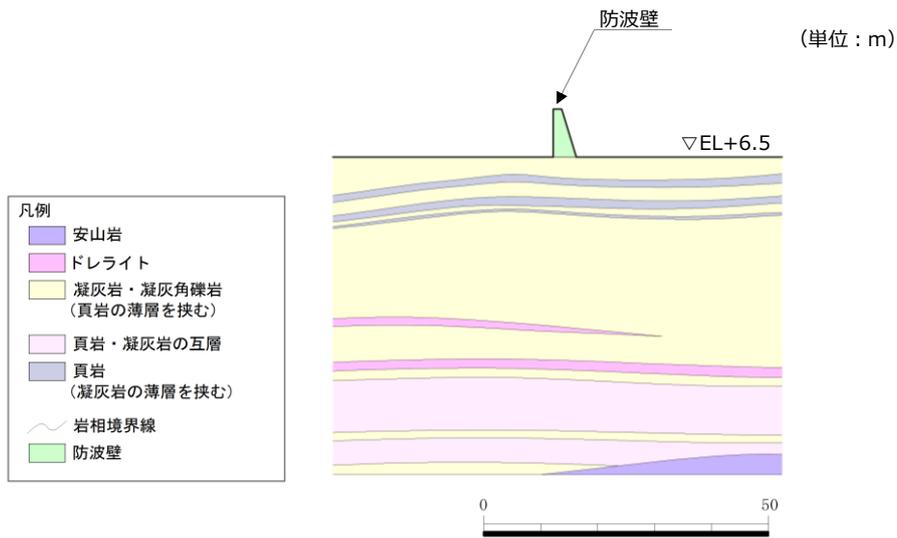
第 1-19(8) 図 波返重力擁壁 放水路貫通部 (H-H' 断面)



第 1-19(9) 図 波返重力擁壁 改良地盤部 (I-I' 断面)



第 1-19(10) 図 防波壁東端部 (J-J' 断面)



第 1-19(11) 図 防波壁西端部 (K-K' 断面)

(c) 防波壁の耐震評価候補断面の整理

防波壁について、間接支持する設備、構造的特徴、上述した地質構造を含む周辺状況、及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面の整理方針を第1-9表に示す。

工認段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、上記の観点を考慮して断面を整理し、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評価対象断面として選定する。

第1-9(1)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	改良地盤部
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	・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。	・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	・被覆コンクリート：幅2.40m、高さ6.80m ・鋼管杭：φ1.60～2.20m	・被覆コンクリート：幅2.40m、高さ6.80m ・鋼管杭：φ1.60～2.20m
③周辺状況	周辺地質	・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。	・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		・周辺状況を踏まえて整理する。	
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	取水路横断部
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	・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。	・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	・被覆コンクリート：幅2.40m、高さ13.00m ・鋼管杭：φ1.60～2.20m	・被覆コンクリート：幅2.40m、高さ13.00m ・鋼管杭：φ1.60～2.20m（海側、陸側に2列配置）
③周辺状況	周辺地質	・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。	・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		・周辺状況を踏まえて整理する。	
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工認段階で設定する。

第 1-9(2) 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	
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	・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	・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	・鋼管杭を根入れ0.5m程度で主にCM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		・周辺状況を踏まえて整理する。	
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工認段階で設定する。

第 1-9(3) 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	改良地盤部	放水路貫通部
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 (掘削スリ) が分布している。	・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。 ・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 (掘削スリ) 及び砂礫層が分布している。	・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 (掘削スリ) が分布している。
	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号炉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		・周辺状況を踏まえて整理する。		
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	東端部	西端部
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6.50m (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 (掘削スリ) が分布している。	・主にCH級岩盤に直接支持される。	・CM級岩盤に直接支持される。
	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		・周辺状況を踏まえて整理する。		
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工認段階で設定する。

c. 設計手順

(a) 多重鋼管杭式擁壁

多重鋼管杭式擁壁の耐震・耐津波評価は、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1-10表の多重鋼管杭式擁壁の評価項目に従い、各構造部材の構造設計を行う。

第1-10表 多重鋼管杭式擁壁の評価項目

構造強度設計		設計に用いる許容限界	
評価対象部位	応力等の状態		
基礎地盤	支持力	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。	
鋼管杭	曲げ, せん断	「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 (鉄筋コンクリート)	曲げ, せん断	「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	メーカー規格及び基準並びに性能試験を参考に定める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	「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。

(b) 鋼管杭式逆T擁壁

鋼管杭式逆T擁壁の耐震・耐津波評価は、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1-11表の鋼管杭式逆T擁壁の評価項目に従い、各構造部材の構造設計を行う。

第1-11表 鋼管杭式逆T擁壁の評価項目

構造強度設計		設計に用いる許容限界	
評価対象部位	応力等の状態		
基礎地盤	支持力	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。	
鋼管杭	曲げ，せん断	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」を踏まえた降伏モーメント（曲げ）及びせん断応力度（せん断）とする。	
逆T擁壁 （鉄筋コンクリート）	曲げ，せん断	「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	メーカー規格及び基準並びに性能試験を参考に定める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	「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。	

(c) 波返重力擁壁

波返重力擁壁の耐震・耐津波評価は、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1-12表の波返重力擁壁の評価項目に従い、各構造部材の構造設計を行う。

第1-12表 波返重力擁壁の評価項目

構造強度設計		設計に用いる許容限界	
評価対象部位	応力等の状態		
基礎地盤 改良地盤	支持力	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。	
ケーソン	せん断	二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。	
重力擁壁 (鉄筋コンクリート)	曲げ、せん断	「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	メーカー規格及び基準並びに性能試験を参考に定める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	「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。	

d. 設計荷重

設計に用いる荷重の組合せを以下に示す。

- ①基準地震動  $S_s$  による地震荷重
- ②津波荷重
- ③津波荷重 + 漂流物衝突荷重

※海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けないため、余震荷重を考慮しない。

e. 多重鋼管杭式擁壁の設計方針

多重鋼管杭式擁壁は鋼管杭を岩盤に根入れする構造とする。

鋼管杭は地震時及び津波時において各部位が十分な裕度を有することを確認する。

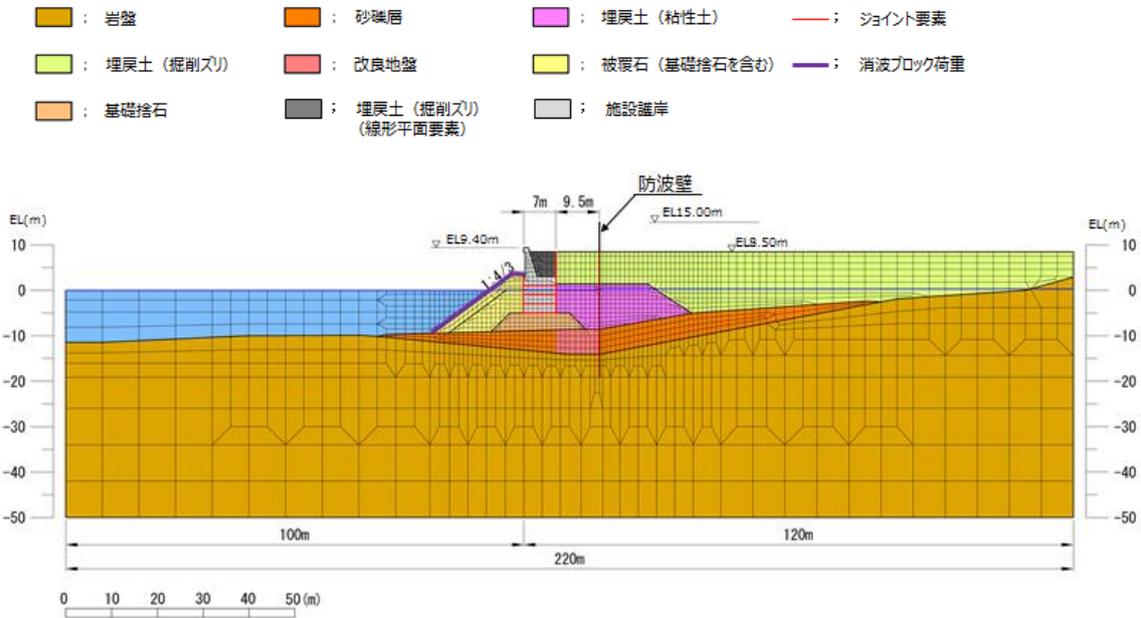
鋼管杭の支持性能については、基礎に作用する地盤反力が基礎地盤の極限支持力以下であることを照査する。

津波時は二次元静的フレーム解析、地震時は液状化を精緻に評価するために有効応力解析を実施し、鋼管杭に発生する断面力を用いて応力照査を実施する。第 1-20 図に有効応力解析における解析モデル図および解析フロー図を示す。

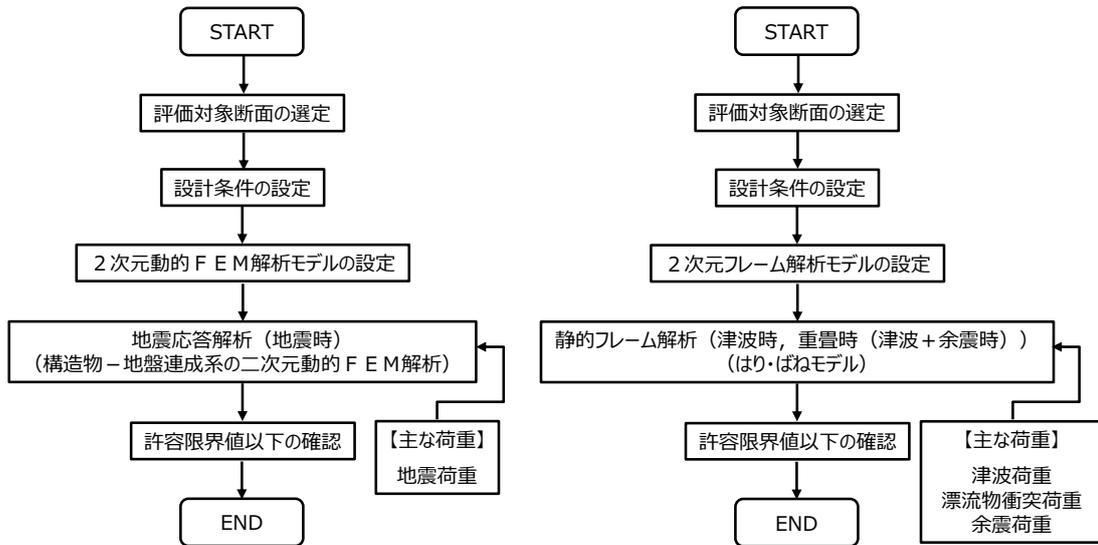
被覆コンクリート壁に要求される性能は、津波に対する止水性を確保することである。そのため、繰返し襲来する地震及び津波荷重が作用した場合に対して概ね弾性状態に留まる設計とする。

被覆コンクリート壁は、鋼管杭を介して岩着させ、津波や漂流物の荷重は被覆コンクリート壁に直接的に作用し、鋼管杭へ伝達させる。ブロック間には止水目地を設けて止水性を確保する。

止水目地部に要求される性能は、地震時に構造物間の相対変位と、その後の津波により構造物間の相対変位に対して止水性を確保することである。そのため、伸縮性を有するものとし、防波壁内側にゴムジョイント又はシートジョイントを設置する。また、多重鋼管杭式擁壁と波返重力擁壁等、異種構造物間の境界にもゴムジョイント又はシートジョイントを設置する。



第 1-20(1) 図 多重鋼管杭式擁壁の解析モデル図



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の  
設計フロー（地震時）

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の  
設計フロー（地震時）  
（津波時，重畳時（津波＋余震時））

第 1-20(2) 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の解析フロー

f. 鋼管杭式逆T擁壁の設計方針

鋼管杭式逆T擁壁は鋼管杭を岩盤に根入れする構造とする。

鋼管杭は地震時及び津波時において各部位が十分な裕度を有することを確認する。

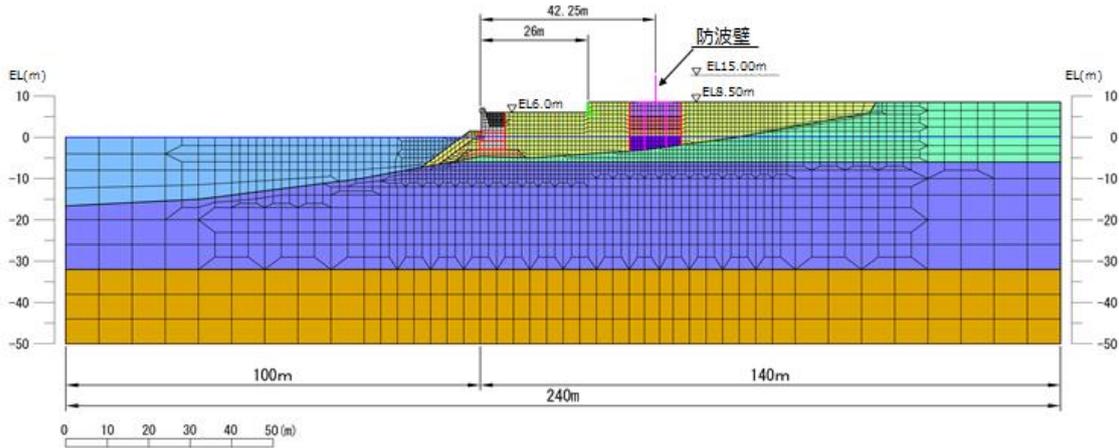
鋼管杭の支持性能については、基礎に作用する地盤反力が基礎地盤の極限支持力以下であることを照査する。

津波時は二次元静的フレーム解析、地震時は液状化を精緻に評価するために有効応力解析を実施し、鋼管杭に発生する断面力を用いて応力照査を実施する。第1-21図に有効応力解析における解析モデル図および解析フロー図を示す。

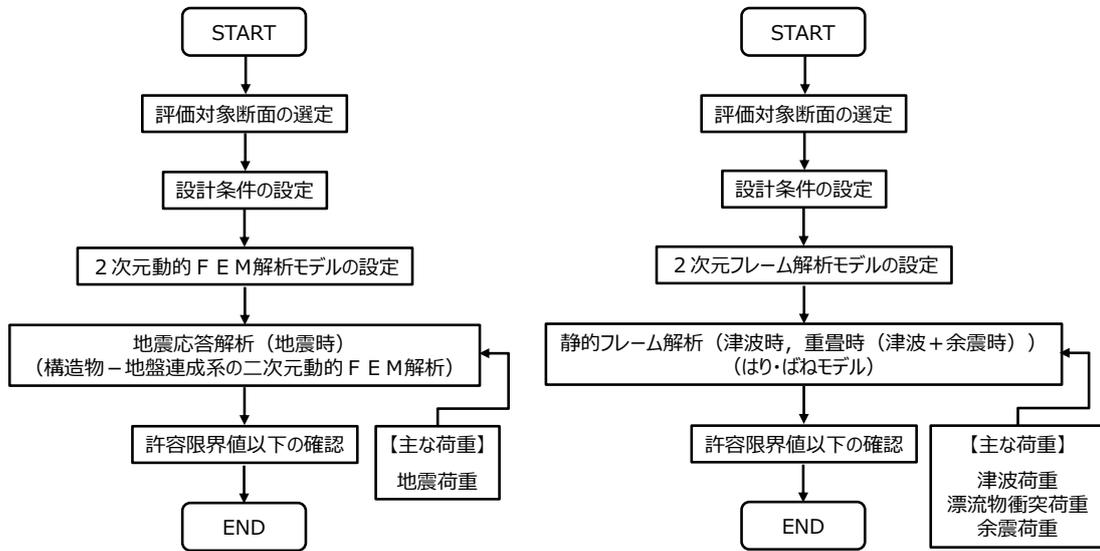
逆T擁壁に要求される性能は、津波に対する止水性を確保することである。そのため、繰返し襲来する地震及び津波荷重が作用した場合に対して概ね弾性状態に留まる設計とする。

逆T擁壁は、鋼管杭を介して岩着させ、津波や漂流物の荷重は逆T擁壁に直接的に作用し、鋼管杭へ伝達させる。ブロック間には止水目地を設けて止水性を確保する。

止水目地部に要求される性能は、地震時に構造物間の相対変位と、その後の津波や余震により構造物間の相対変位に対して止水性を確保することである。そのため、伸縮性を有するものとし、防波壁内側にゴムジョイント又はシートジョイントを設置する。また、鋼管杭式逆T擁壁と波返重力擁壁等、異種構造物間の境界にもゴムジョイント又はシートジョイントを設置する。



第 1-21 (1) 図 鋼管杭式逆 T 擁壁の解析モデル図



防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) の  
設計フロー (地震時)

防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) の  
設計フロー (地震時)  
(津波時, 重畳時 (津波+余震時))

第 1-21 (2) 図防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) の解析フロー

g. 波返重力擁壁の設計方針

波返重力擁壁はケーソンを介して直接岩盤に支持する構造とする。

ケーソンは地震時及び津波時において各部位が十分な裕度を有することを確認する。

ケーソンの支持性能については、ケーソンに作用する地盤反力が基礎地盤の極限支持力以下であることを照査する。

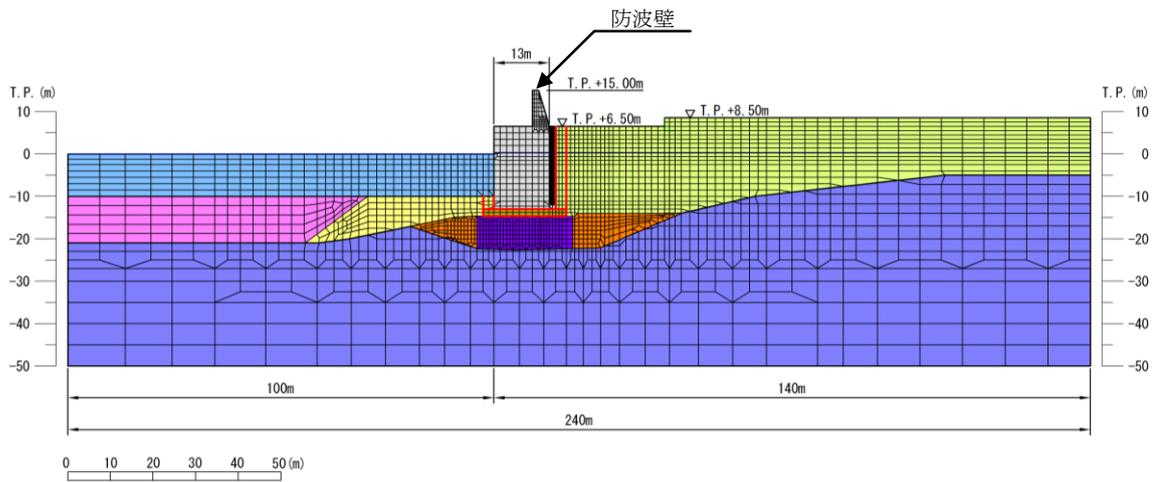
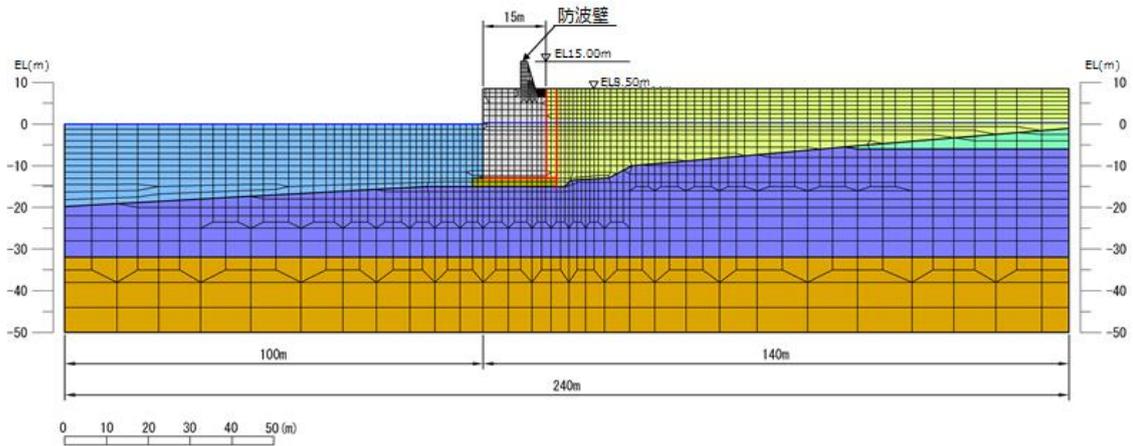
津波時は静的解析、地震時は液状化を精緻に評価するために有効応力解析を実施し、ケーソンに発生する応力を用いて応力照査を実施する。第 1-22 図に有効応力解析における解析モデル図および解析フロー図を示す。

重力擁壁に要求される性能は、津波に対する止水性を確保することである。そのため、繰返し襲来する地震及び津波荷重が作用した場合に対して概ね弾性状態に留まる設計とする。

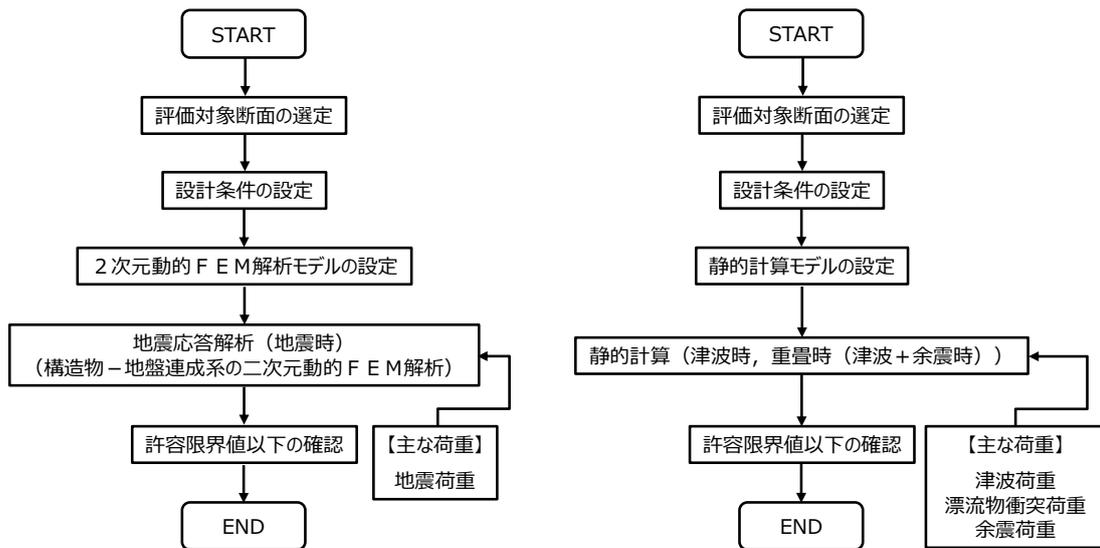
重力擁壁は、ケーソンを介して岩着させ、津波や漂流物の荷重は重力擁壁に直接的に作用し、ケーソンへ伝達させる。ブロック間には止水目地を設けて止水性を確保する。

止水目地部に要求される性能は、地震時に構造物間の相対変位と、その後の津波により構造物間の相対変位に対して止水性を確保することである。そのため、伸縮性を有するものとし、防波壁内側にゴムジョイント又はシートジョイントを設置する。また、波返重力擁壁と多重鋼管杭式擁壁等、異種構造物間の境界にもゴムジョイント又はシートジョイントを設置する。

- |                         |         |                |
|-------------------------|---------|----------------|
| ■ : 被覆ブロック<br>(基礎捨石を含む) | ■ : 岩盤① | ■ : 岩盤②        |
| ■ : 消波ブロック              | ■ : 岩盤③ | ■ : 埋戻土 (掘削スリ) |
| ■ : 砂礫層                 | ■ : MMR | — : ジョイント要素    |
| ■ : 改良地盤                |         |                |



第 1-22 (1) 図 波返重力擁壁の解析モデル図



防波壁（波返重力擁壁）の  
設計フロー（地震時）

防波壁（波返重力擁壁）の  
設計フロー（地震時）  
（津波時，重畳時（津波＋余震時））

第 1-22 (2) 図 防波壁（波返重力擁壁）の解析フロー

(参考資料)

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。

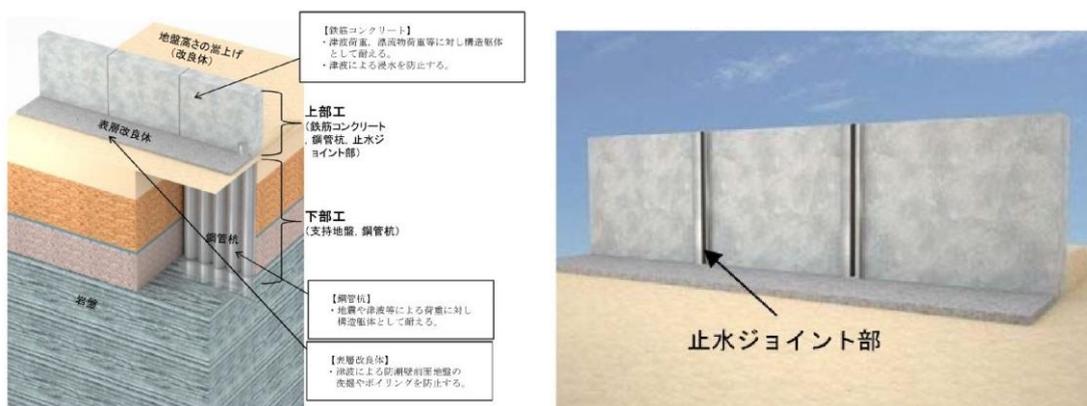
また、先行炉との比較を踏まえ、先行炉実績との類似点を踏まえた設計方針の適用性及び先行炉実績との相違点を踏まえた設計への反映事項を示す。

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し、比較を行う。

東海第二発電所の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の概要を第1図に、島根原子力発電所の防波壁との比較結果を第1表に示す。



参考：日本原子力発電株式会社 東海第二発電所 平成29年10月26日審査会合 資料2-1-7

第1図 東海第二発電所 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の概要

第1表 東海第二発電所 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁との比較結果

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 <sup>※</sup>	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭（多重鋼管杭）を採用する。</li> <li>鋼管杭は岩盤に支持させる。</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭を採用する。</li> <li>鋼管杭は岩盤に支持させる。</li> <li>鋼管杭の許容限界： 短期許容応力度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭を岩盤に支持させる設計とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭の許容限界について、以下のとおり設定する。 （曲げ）降伏モーメント （せん断）せん断応力度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同様の構造及び支持形態である。多重化した鋼管杭の一体性を確認し、先行炉の鋼管杭の設計方針が適用可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭の許容限界について、道路橋示方書・同解説に基づき、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。</li> </ul>
	上部工の構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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する。</li> <li>被覆コンクリート壁（鉄筋コンクリート）の許容限界：短期許容応力度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>鋼管杭5本程度を1ブロックの標準とした壁体を連続して設置する。</li> <li>鉄筋コンクリートの許容限界： 短期許容応力度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>複数の鋼管杭を1ブロックとして被覆した鉄筋コンクリート製の壁体を連続して設置する。</li> <li>許容限界は、短期許容応力度とする。</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	—
止水対策	止水目地	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>設置箇所：防波壁の陸側に設置する。</li> <li>止水目地の許容限界： メーカー規格及び基準並びに性能試験を参考に定めた許容変形量・水圧以下とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>設置箇所：防潮堤の堤内側と堤外側に設置する。</li> <li>止水目地の許容限界： 許容変形量、許容引張強度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>相対変位に応じ、止水目地材を採用する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>止水目地は、防波壁の陸側に設置する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同様の止水目地材の採用である。先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である（陸側設置の妥当性を確認）。</li> </ul>	—
液状化影響に関する設計への反映		<ul style="list-style-type: none"> <li>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）の簡易設定法を踏まえた保守的な液状化強度特性を設定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>液状化検討対象層に対して、液状化試験結果を踏まえ、保守的な液状化強度特性を設定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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の設定については同様である。先行炉の液状化影響の設計への反映が適用可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>簡易設定法からの保守的な液状化強度特性を設定し、設計する。</li> </ul>

※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。

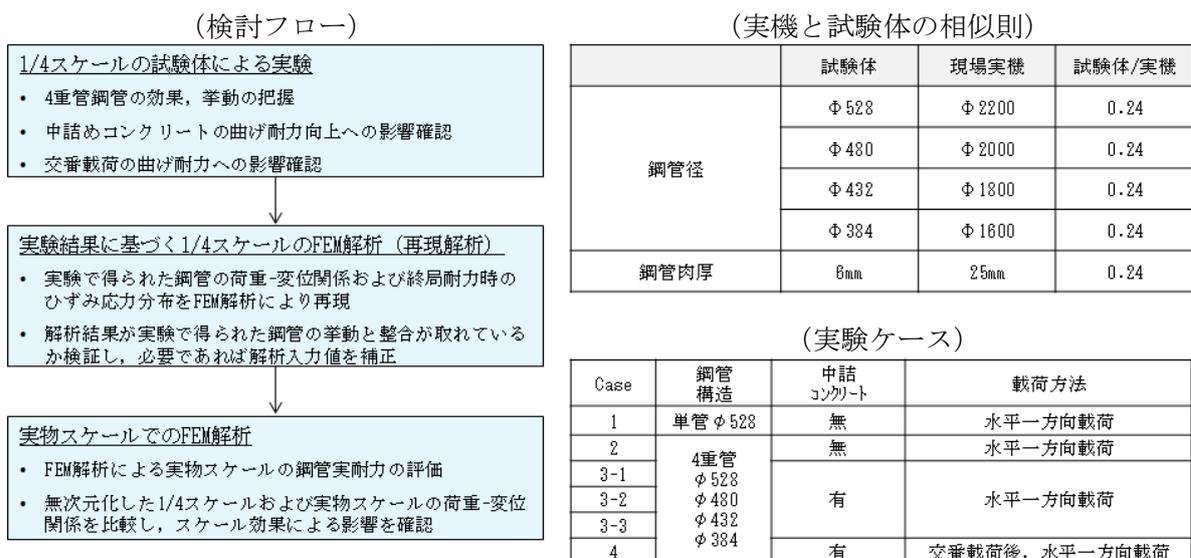
a. 多重鋼管杭の一体性確認

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、一体挙動・荷重分担する構造としており、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。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の二次元動的 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 1 mm 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。

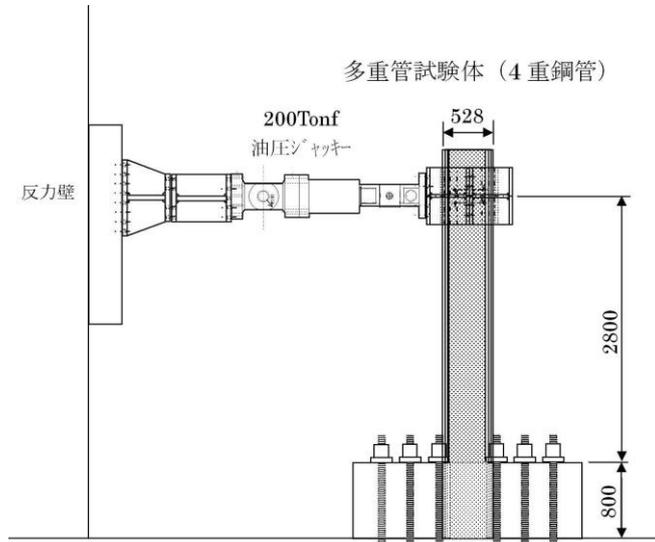
多重鋼管杭は鋼管 1 本あたりの全塑性モーメントを港湾基準から算出し、それらを合算して多重鋼管杭の曲げ耐力として評価することから、多重鋼管杭の実耐力・挙動特性を確認するために水平載荷実験及び数値解析を実施している。このうち、多重鋼管の一体挙動と降伏荷重時の挙動について説明する。

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 は単管を、Case2 及び Case3 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、Case4 は交番載荷し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、 $\delta y$ 、 $2\delta y$ 、 $3\delta y$ （ $\delta y$ ：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。

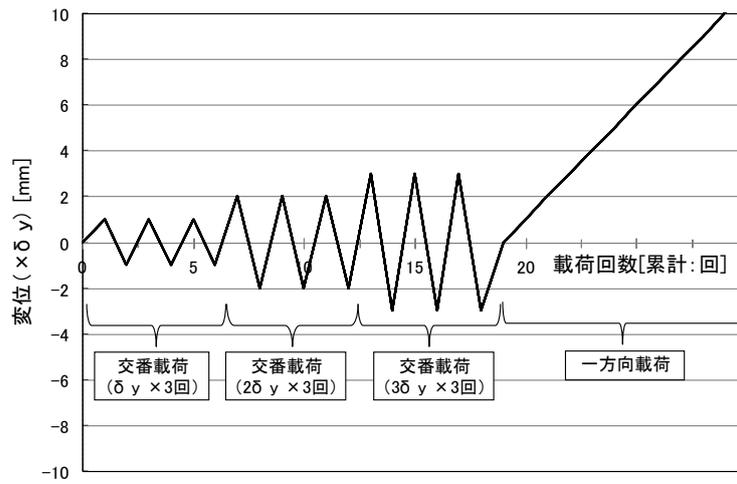
試験の概要を第 2 図に、試験装置の概要図を第 3 図に、交番水平載荷時に作用させる変位を第 4 図に示す。



第 2 図 試験の概要

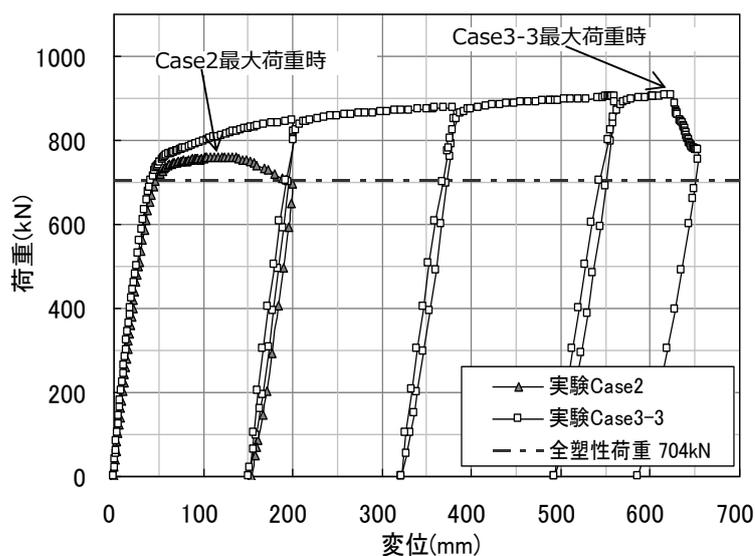


第3図 試験装置概要図



第4図 交番水平载荷変位

水平一方向載荷ケース (Case2 及び Case3) のうち, Case2 (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, Case3 (4重管中詰有) の結果, 最大荷重平均で 1.29 倍となった。Case2 と Case3 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, Case3 は Case2 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。Case2 及び Case3 の実験結果を第 5 図及び第 2 表に示す。



第 5 図 Case2 及び Case3-3 最大荷重時の荷重変位関係

第 2 表 Case2 及び Case3 の実験結果の比較

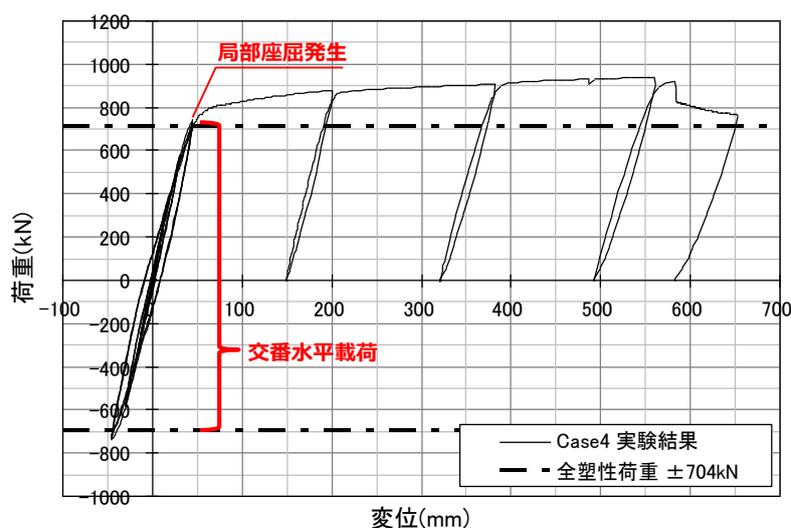
実験 Case	最大荷重 (kN)	最大荷重時変位 (mm)	全塑性荷重に対する比率
Case2	761	120	1.08
Case 3-1	908	536	1.29
Case 3-2	904	560	1.28
Case 3-3	907	624	1.29
Case3 平均	906	574	1.29

Case4（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 Case3 と同様に荷重は緩やかに上昇している。水平荷重と変異の関係から，多重鋼管杭に対する水平載荷試験時の荷重は，「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，試験後の試験体の切断面の写真より，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く，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。

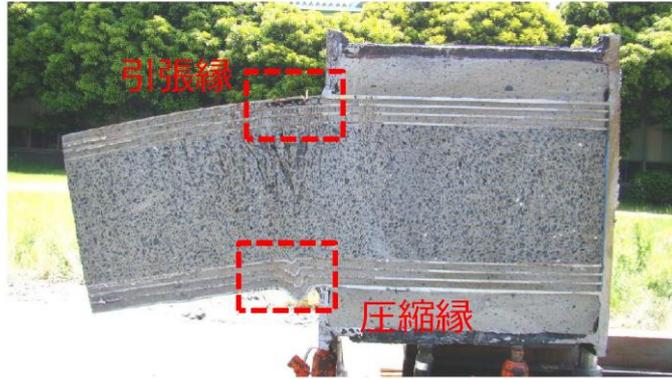
水平載荷試験の最大荷重時の写真を第 6 図に，水平荷重と変位の関係を第 7 図に，試験後の試験体の切断面の写真を第 8 図に示す。



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)



(引張線破断状況)



(圧縮線はらみ出し状況)

第8図 試験体の切断面

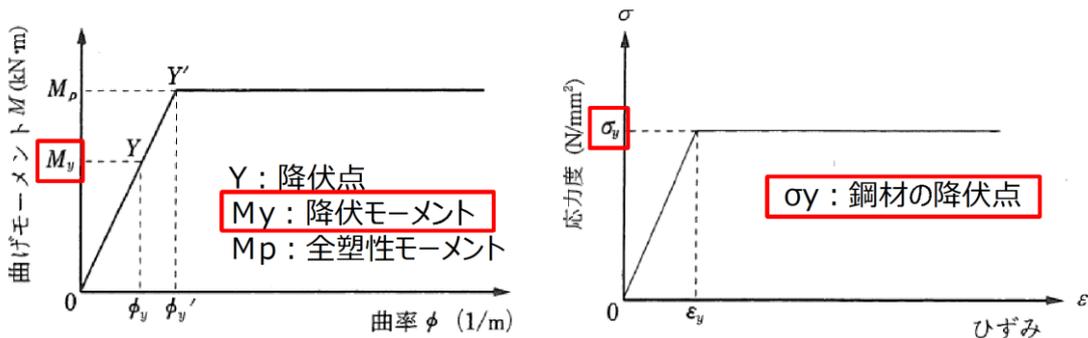
b. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の鋼管杭曲げ系破壊に関する許容限界

「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値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値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。

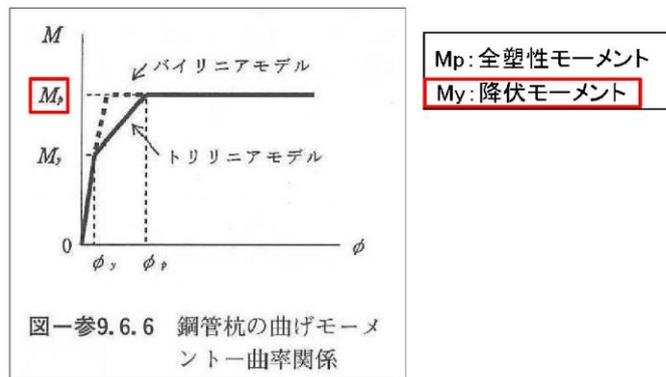
「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 平成14年3月」に示される鋼管杭の曲げモーメント-曲率関係を第9図に、「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」に示される鋼管杭の曲げモーメント-曲率関係を第10図に示す。



鋼管杭の曲げモーメント-曲率関係

道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 平成24年3月 p.439を加筆・修正  
鋼材の応力度-ひずみ曲線

第9図 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 平成14年3月」



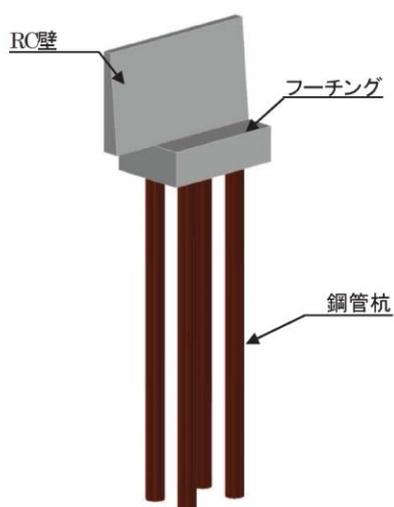
図一参9.6.6 鋼管杭の曲げモーメント-曲率関係

第10図 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」

## (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）を選定し、比較を行う。

女川原子力発電所2号炉における防潮壁（RC遮水壁）の概要を第11図に、島根原子力発電所の防波壁との比較結果を第3表に示す。



参考：東北電力株式会社 女川原子力発電所2号炉 平成30年10月23日審査会合 資料1-2-2

第11図 女川原子力発電所2号炉 防潮壁（RC遮水壁）の概要

第3表 女川原子力発電所2号炉 防潮壁（RC遮水壁）との比較結果

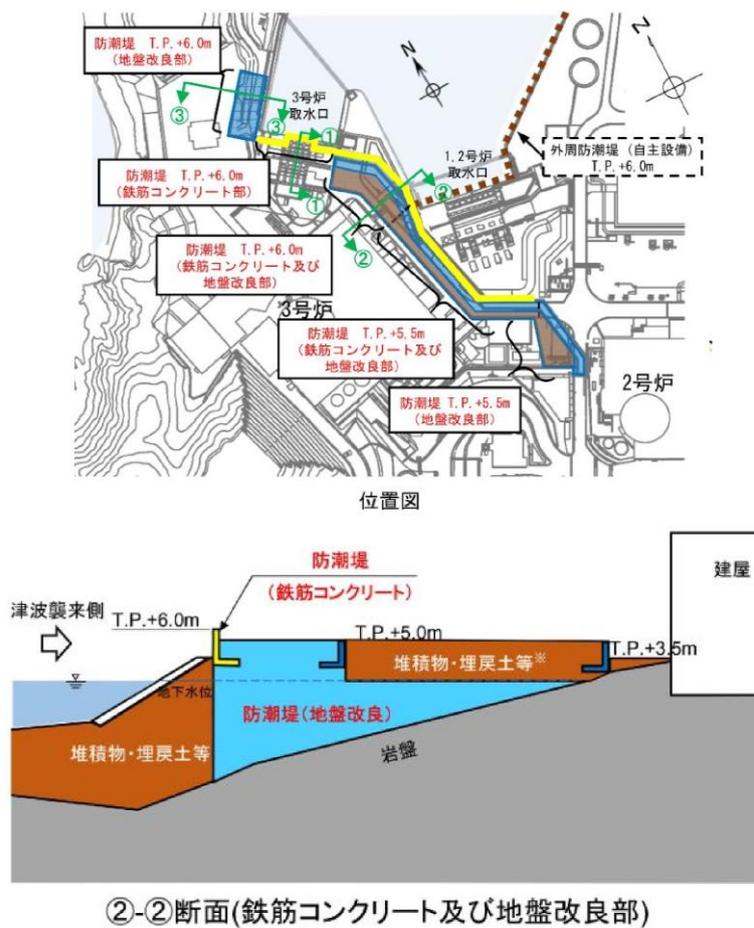
項目	島根原子力発電所 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） の構造等	先行炉の構造等 <sup>※</sup>	島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点 を 踏まえた設計方針の 適用性	先行炉実績との相違点を 踏まえた設計への 反映事項	
		東北電力(株) 女川原子力発電所2号炉 防潮壁（RC遮水壁）	類似点	相違点			
防波壁の構造	下部工の構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭を採用する。</li> <li>鋼管杭は岩盤に支持させる。</li> <li>鋼管杭は防波壁の横断方向に2列配置する。</li> <li>鋼管杭の許容限界： （曲げ）降伏モーメント （せん断）せん断応力度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭を採用する。</li> <li>鋼管杭は岩盤に支持させる。</li> <li>鋼管杭は防潮壁の横断方向に2列配置する。</li> <li>鋼管杭の許容限界： （曲げ）降伏強度以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭を岩盤に支持させる設計とする。</li> <li>鋼管杭は防波壁の横断方向に2列配置する。</li> <li>鋼管杭の許容限界を降伏強度に基づき設定する。</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>同様の構造，支持形態及び許容限界の設定である。先行炉の鋼管杭の設計方針が適用可能である。</li> </ul>	—
	上部工の構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート製の逆T擁壁を地上部に設置する。</li> <li>逆T擁壁（鉄筋コンクリート）の許容限界：短期許容応力度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート製の遮水壁を地上部に設置する。</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	—
止水対策	止水目地	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>止水目地の許容限界： メーカー規格及び基準並びに性能試験を参考に定めた許容変形量・水圧以下とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>止水目地材として，相対変位に応じ，止水ジョイントを設置する。</li> <li>止水目地の許容限界： メーカー規格及び基準並びに必要に応じて実施する性能試験を参考に定めた許容変形量・水圧以下とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>相対変位に応じ，止水目地材を採用する。</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>同様の止水目地材の採用である。先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。</li> </ul>	—
液状化影響に関する設計への反映		<ul style="list-style-type: none"> <li>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）の簡易設定法を踏まえた保守的な液状化強度特性を設定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>液状化検討対象層に対して，液状化試験結果を踏まえ，保守的な液状化強度特性を設定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>液状化検討対象層に対して，液状化試験結果を踏まえ，保守的な液状化強度特性を設定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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の設定については同様である。先行炉の液状化影響の設計への反映が適用可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>簡易設定法からの保守的な液状化強度特性を設定し，設計する。</li> </ul>

※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。

(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）を選定し、比較を行う。

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）の概要を第12図に、島根原子力発電所の防波壁との比較結果を第4表に示す。



第12図 美浜発電所 防潮堤（鉄筋コンクリート及び地盤改良部）の概要

第4表 美浜発電所 防潮堤（鉄筋コンクリート及び地盤改良部）との比較結果

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 <sup>※</sup>		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㈱ 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。 ・止水目地の許容限界：メーカー規格及び基準並びに性能試験を参考に定めた許容変形量・水圧以下とする。	・止水目地材として、相対変位に応じ、止水ジョイントを設置する。 ・止水目地の許容限界：メーカー規格及び基準並びに性能試験を参考に定めた許容変形量・水圧以下とする。	・相対変位に応じ、止水目地材を採用する。	—	・同様の止水目地材の採用である。先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。	—
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）の簡易設定法を踏まえた保守的な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、保守的な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、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する。	・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の設定については同様である。先行炉の液状化影響の設計への反映が適用可能である。	・簡易設定法からの保守的な液状化強度特性を設定し、設計する。

※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。

### 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。