

島根原子力発電所 2 号炉 津波による損傷の防止

論点 3 防波壁の構造についての設計方針

(コメント回答)

令和 2 年 8 月
中国電力株式会社

審査会合における指摘事項

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
106	R2.6.30	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭式逆T擁壁の鋼管杭の根入れ部について、支持地盤への根入れが浅く、水平力に対する支持性能を期待できない可能性があるため、杭先端のせん断抵抗に期待しない設計方針を検討し、構造成立性を説明すること。設計方針は、杭周辺の地盤改良及びグラウンドアンカーの効果に期待して実態に即した内容とし、地盤改良がない区間について地盤改良の追加を検討すること。 	P19,21～ 25,37,38,59
107		<p>波返重力擁壁のケーソンの構造成立性評価において、以下の点を説明すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> 基準地震動Ss に対して、隔壁、底版、フーチングが塑性化した場合であっても、一体構造の側壁（前壁、後壁、側壁）が弾性状態にとどまり、かつ止水性能を確保でき、防波壁としての構造が耐震設計及び耐津波設計の観点から成立する見通しであること。 3次元FEM 解析結果から、地震時の隔壁等がどのような状態（変形、ひび割れ等）になるか。また、その状態が止水性能を担保している側壁にどのような影響を与えるか。 基準地震動Ss により隔壁等が塑性化した場合、剛性低下を考慮した津波時の強度評価の方針など、耐津波設計上の配慮の必要性について。 基準地震動Ss 未満の地震により隔壁等が塑性化した場合、隔壁等にひび割れが生じた際の点検補修の要否など、基準に適合する状態の維持及び管理の成立性について。 	P80,82, 85,86, 109～115
108		<ul style="list-style-type: none"> 波返重力擁壁の構造成立性の見通しにおいて、詳細設計段階で実施する荷重の不確かさケース、物性値のばらつきケース等を踏まえた対応方針及び具体的な対応策を説明すること。 	P109～115

審査会合における指摘事項に対する回答【No.106】

■ 指摘事項（第870回審査会合 令和2年6月30日）

【No.106（論点3）防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性】

○鋼管杭式逆T擁壁の鋼管杭の根入れ部について、支持地盤への根入れが浅く、水平力に対する支持性能を期待できない可能性があるため、杭先端のせん断抵抗に期待しない設計方針を検討し、構造成立性を説明すること。設計方針は、杭周辺の地盤改良及びグラウンドアンカーの効果に期待して実態に即した内容とし、地盤改良がない区間について地盤改良の追加を検討すること。

■ 回答

○鋼管杭式逆T擁壁の設計方針について、以下のとおり見直す。

- ・鋼管杭について、先端部の岩盤根入れが0.5m程度としていること踏まえ、岩盤からのせん断抵抗に期待しない設計に見直す。具体的には、解析モデルにおいて、鋼管杭先端部をピン結合モデルからジョイント要素モデルに見直す。
- ・上述に併せて、鋼管杭周辺の改良地盤については、「逆T擁壁を支持する」役割を追加し、グラウンドアンカーについては、「逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する」役割に期待する施設として、実態に即してグラウンドアンカーの設計アンカー力を考慮した設計を行う。また、RC床版部については、鋼管杭の海側に難透水層の保持を目的とした幅の狭い地盤改良を実施していたが、他の断面同様、逆T擁壁下部全幅にわたり、逆T擁壁の支持を目的とした埋戻土（掘削ズリ）の地盤改良を追加実施する。
- ・鋼管杭式逆T擁壁の構造成立性については、上記を踏まえた鋼管杭先端における岩盤からのせん断抵抗に期待しないことによる評価結果を示すが、詳細設計段階においては、鋼管杭の先端部が岩盤からせん断抵抗を受けた場合の悪影響の有無についても評価を実施する。
(P19,21～25,37,38,59)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.107,108】

■ 指摘事項（第870回審査会合 令和2年6月30日）

【No.107, 108（論点3）防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性】

○波返重力擁壁のケーソンの構造成立性評価において、以下の点を説明すること。

- ・基準地震動 S_s に対して、隔壁、底版、フーチングが塑性化した場合であっても、一体構造の側壁（前壁、後壁、側壁）が弾性状態にとどまり、かつ止水性能を確保でき、防波壁としての構造が耐震設計及び耐津波設計の観点から成立する見通しであること。
- ・3次元FEM解析結果から、地震時の隔壁等がどのような状態（変形、ひび割れ等）になるか。また、その状態が止水性能を担保している側壁にどのような影響を与えるか。
- ・基準地震動 S_s により隔壁等が塑性化した場合、剛性低下を考慮した津波時の強度評価の方針など、耐津波設計上の配慮の必要性について。
- ・基準地震動 S_s 未満の地震により隔壁等が塑性化した場合、隔壁等にひび割れが生じた際の点検補修の要否など、基準に適合する状態の維持及び管理の成立性について。

○波返重力擁壁の構造成立性の見通しにおいて、詳細設計段階で実施する荷重の不確かさケース、物性値のばらつきケース等を踏まえた対応方針及び具体的な対応策を説明すること。

■ 回答

○波返重力擁壁のケーソン構造成立性について、ケーソン高さが高く、砂よりも重い銅水砕スラグが充填されており、地震時における躯体への影響が大きいことから、改良地盤部を代表断面とし、以下のとおり評価を実施した。（P80,82,85,86,109～115）

- ・基準地震動 S_s により隔壁等が塑性化した場合、剛性低下を考慮した津波時の強度評価が困難であることから、前壁、後壁、側壁に加え、隔壁、底版及びフーチングについても、性能目標を「概ね弾性状態に留まること」とし、それに応じた照査を実施する方針に見直す。
- ・基準地震動 S_s 未満の地震により隔壁等が塑性化した場合、ひび割れが生じた際の点検や基準に適合する状態の維持及び管理を実施することが困難であることから、上記同様、隔壁等の性能目標を「概ね弾性状態に留まること」とし、それに応じた照査を実施する方針に見直す。
- ・改良地盤部のケーソンは、基準地震動 S_s に対して、前壁、隔壁、底版及びフーチングの構造成立性を確認したが、後壁及び側壁について、発生応力が許容限界（短期許容応力度）を上回ったことから、当該部材については遮水性を保持することが出来ない可能性がある判断し、中詰材の一部を改良（固化処理等）することで津波防護施設としての性能を保持させる設計とする。また、詳細設計段階において、ケーソンの照査結果を踏まえ、中詰材の改良範囲及び仕様を適切に設定して必要な剛性を確保し、ケーソンの構造部材について津波防護施設としての性能を保持させる設計とする。
- ・3次元FEM解析結果によると、後壁及び側壁について、一部の要素について、弾性状態に留まらず塑性域に入ることを確認したことから、遮水性の保持を目的に、中詰材の一部の改良（固化処理等）を実施する。

○波返重力擁壁のうち、改良地盤部については後壁及び側壁について発生応力が許容限界（短期許容応力度）を上回る結果となったことから、中詰材の一部を改良（固化処理等）する設計とする。また、詳細設計段階において、試験等により中詰材の解析用物性値を確認するとともに、ケーソン隔壁内に実施する中詰材改良の仕様と範囲については、地震時及び津波時の荷重の不確かさ及び物性値のばらつきを考慮し、設定する。（P109～115）

目次 (1/2)

 : 本日で説明範囲

- 1. 概要
- 2. 津波防護対象施設..... 6
- 3. 防波壁に関する設置許可基準規則と各条文に対する確認事項
- 4. 防波壁設計に関する基本条件
 - 4. 1 防波壁の概要..... 7
 - 4. 2 防波壁（共通）の設計フロー
 - 4. 3 基準地震動
 - 4. 4 防波壁高さ及び設計に用いる津波高さ
 - 4. 5 検討ケース及び荷重の組合せ..... 9
 - 4. 6 重畳時（津波＋余震時）の評価
 - 4. 7 解析用物性値
- 5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針
 - 5. 1 構造概要
 - 5. 2 規制における要求機能
 - 5. 3 周辺地質
 - 5. 4 設計方針
 - 5. 5 個別論点

目次 (2/2)



 : 本日で説明範囲

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針	10
6. 1 構造概要	10
6. 2 規制における要求機能	20
6. 3 周辺地質	26
6. 4 設計方針	33
6. 5 個別論点	58
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針	
7. 1 構造概要	64
7. 2 規制における要求機能	76
7. 3 周辺地質	
7. 4 設計方針	83
7. 5 個別論点	109
8. その他の構造概要	
8. 1 止水目地	
8. 2 防波壁通路防波扉	
8. 3 1号放水連絡通路防波扉	
9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価	116
9. 1 設置許可段階における確認項目	116
9. 2 構造成立性評価の方針	119
9. 3 設置許可段階での提示内容	120
9. 4 地下水位の設定方針	124
9. 5 解析用物性値	125

2. 津波防護対象施設

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

凡例

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

津波防護施設

浸水防止設備
(外郭防護)

浸水防止設備
(内郭防護)※

津波監視設備

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

津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備の平面配置

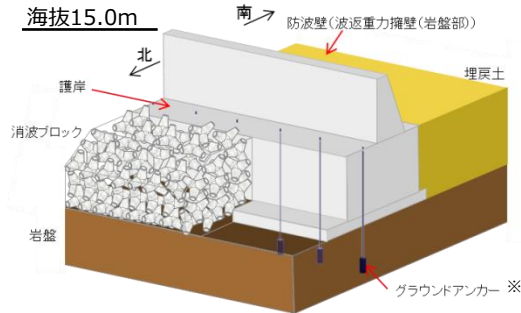
4. 防波壁設計に関する基本条件 4.1 防波壁の概要

第870回審査会合
資料1-2-1 P.25 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

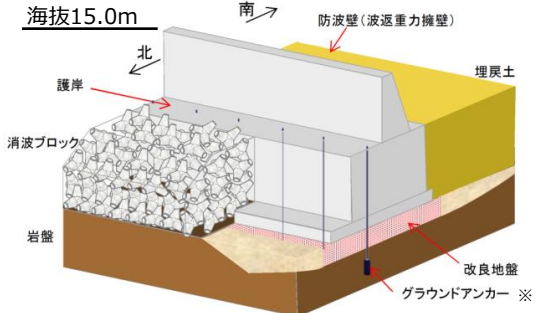
4.1.1 防波壁の構造型式

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

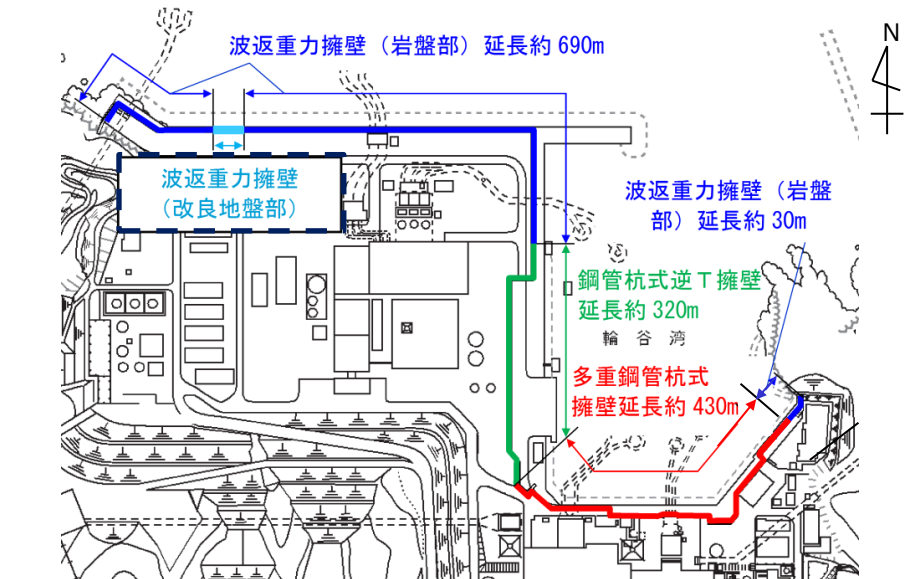
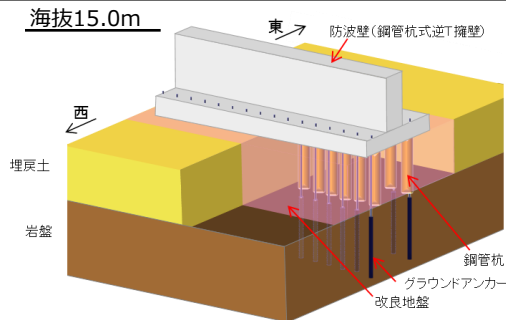
波返重力擁壁 (岩盤支持)



波返重力擁壁 (改良地盤部)



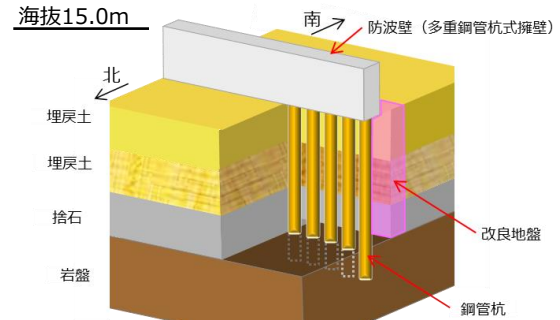
鋼管杭式逆T擁壁 (岩盤支持)



防波壁の位置図

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

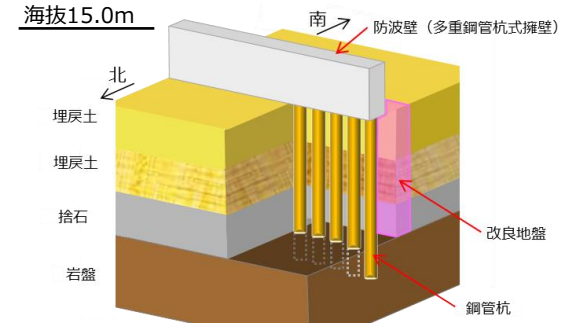
多重鋼管杭式擁壁 (岩盤支持)



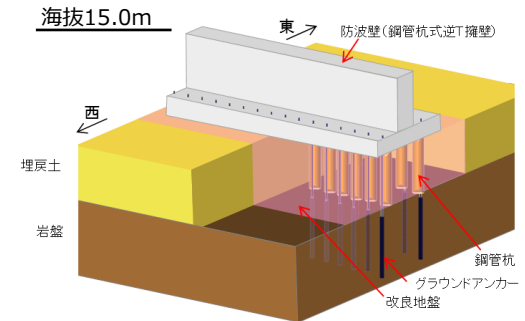
4. 防波壁設計に関する基本条件 4.1 防波壁の概要

4.1.2 防波壁の構造選定

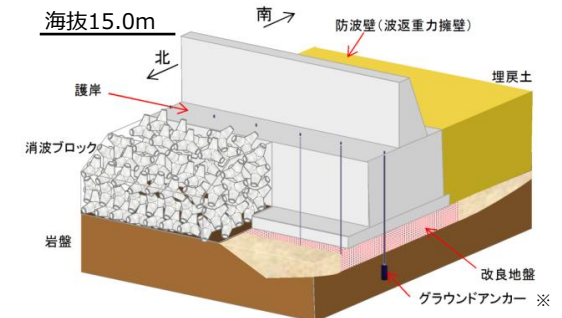
- 防波壁の構造選定の考え方を以下に示す。
- 多重鋼管杭式擁壁の構造選定
 - 1, 2号炉北側の施設護岸は基礎捨石上に設置しており, 1, 2号炉北側の施設護岸と発電所施設は近接し, 狭隘である。
 - 基礎を支持する岩盤の深さは, 最深約EL-14.5mである。
 - 敷地の制約と岩盤深さを考慮し, 鋼管杭による杭基礎構造を選定し, 設計した。なお, 上部工から伝達される荷重に耐える構造とするため, 大口径の鋼管杭を多重化した。
 - 上部工は下部から連続する鋼管杭 (最内管) を被覆する鉄筋コンクリート造とした。
- 鋼管杭式逆T擁壁の構造選定
 - 3号炉東側の一部の施設護岸は基礎捨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



多重鋼管杭式擁壁



鋼管杭式逆T擁壁



波返重力擁壁

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

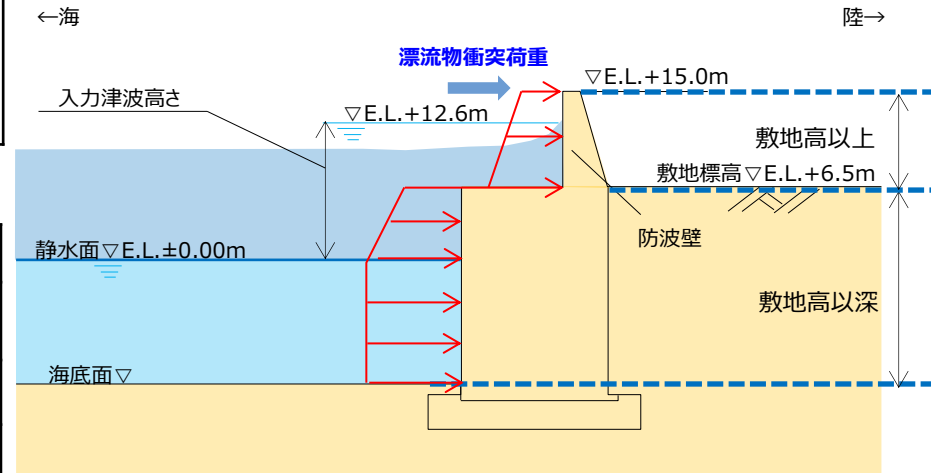
4. 防波壁設計に関する基本条件

4.5 検討ケース及び荷重の組合せ

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

検討ケース	荷重の組合せ※
地震時	常時荷重 + 地震荷重
津波時	常時荷重 + 津波荷重 + 漂流物衝突荷重
重畳時 (津波 + 余震時)	常時荷重 + 津波荷重 + 余震荷重 (海域活断層に想定される地震による津波が到達する防波壁(波返重力擁壁)のケース等については個別に評価を実施する)

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



敷地高以上：朝倉式により津波波圧算定
敷地高以深：谷本式により津波波圧算定

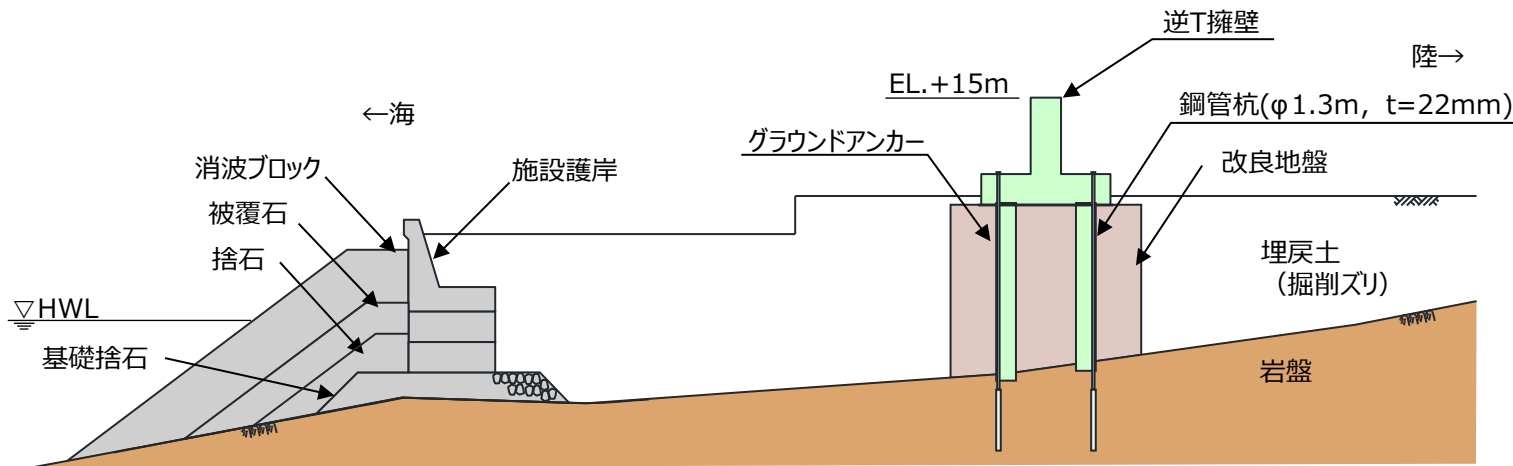
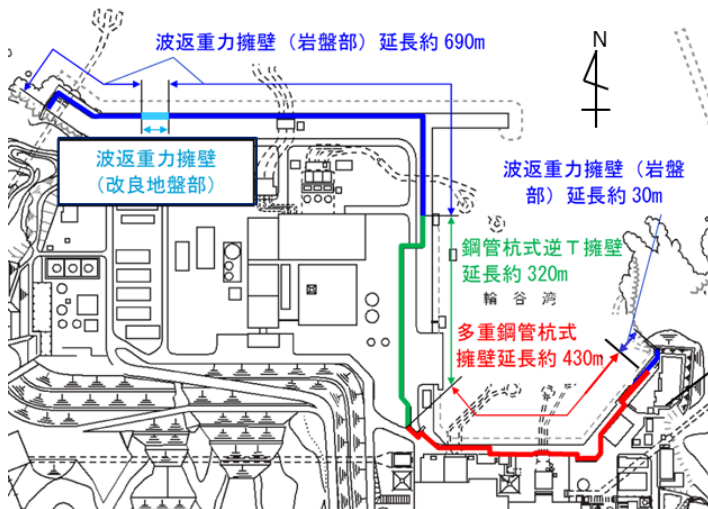
津波時の荷重イメージ図(波返重力擁壁)

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

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（1/10）

- 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。
- 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6.5（1）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(8.1参照)を設置する。
- 逆T擁壁上に、標準的な1ブロックにおいて海側では8本、陸側では4本を基本にグラウンドアンカーを設置している。

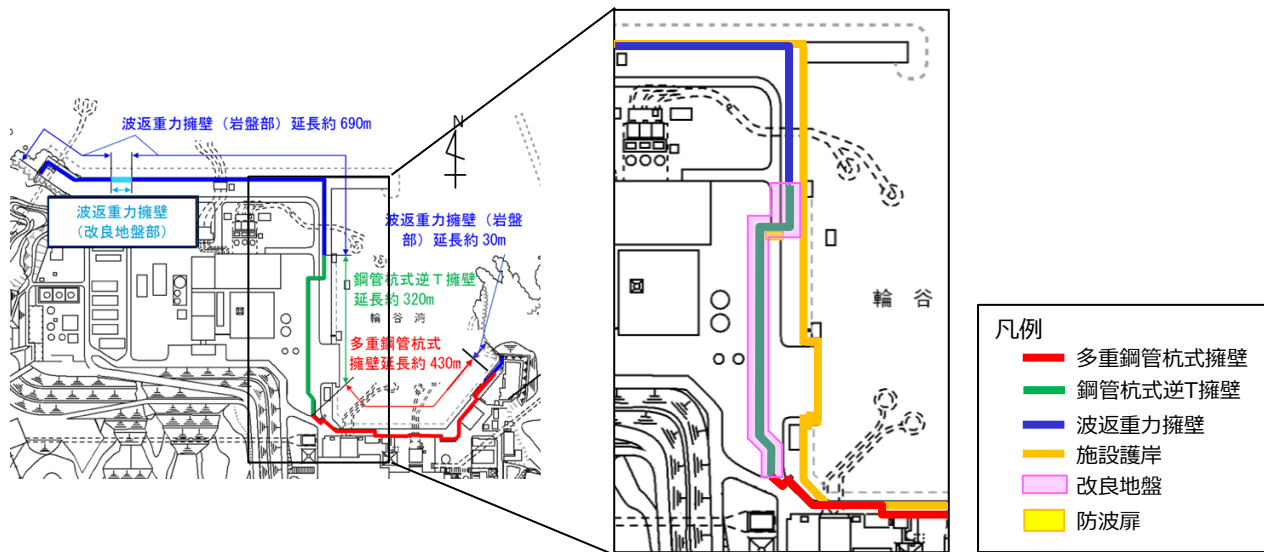


防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）断面図

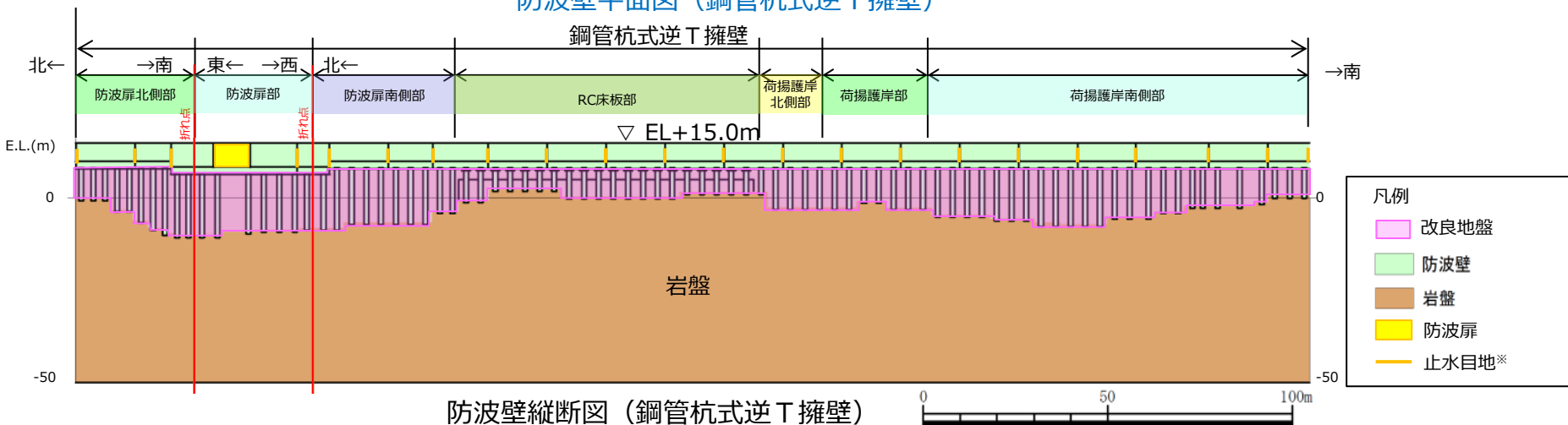
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（2/10）

- 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、逆T擁壁の支持及び止水性の保持の観点から杭間の埋戻土（掘削ズリ）に対して地盤改良を実施した。



防波壁平面図（鋼管杭式逆T擁壁）



防波壁縦断図（鋼管杭式逆T擁壁）

*止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

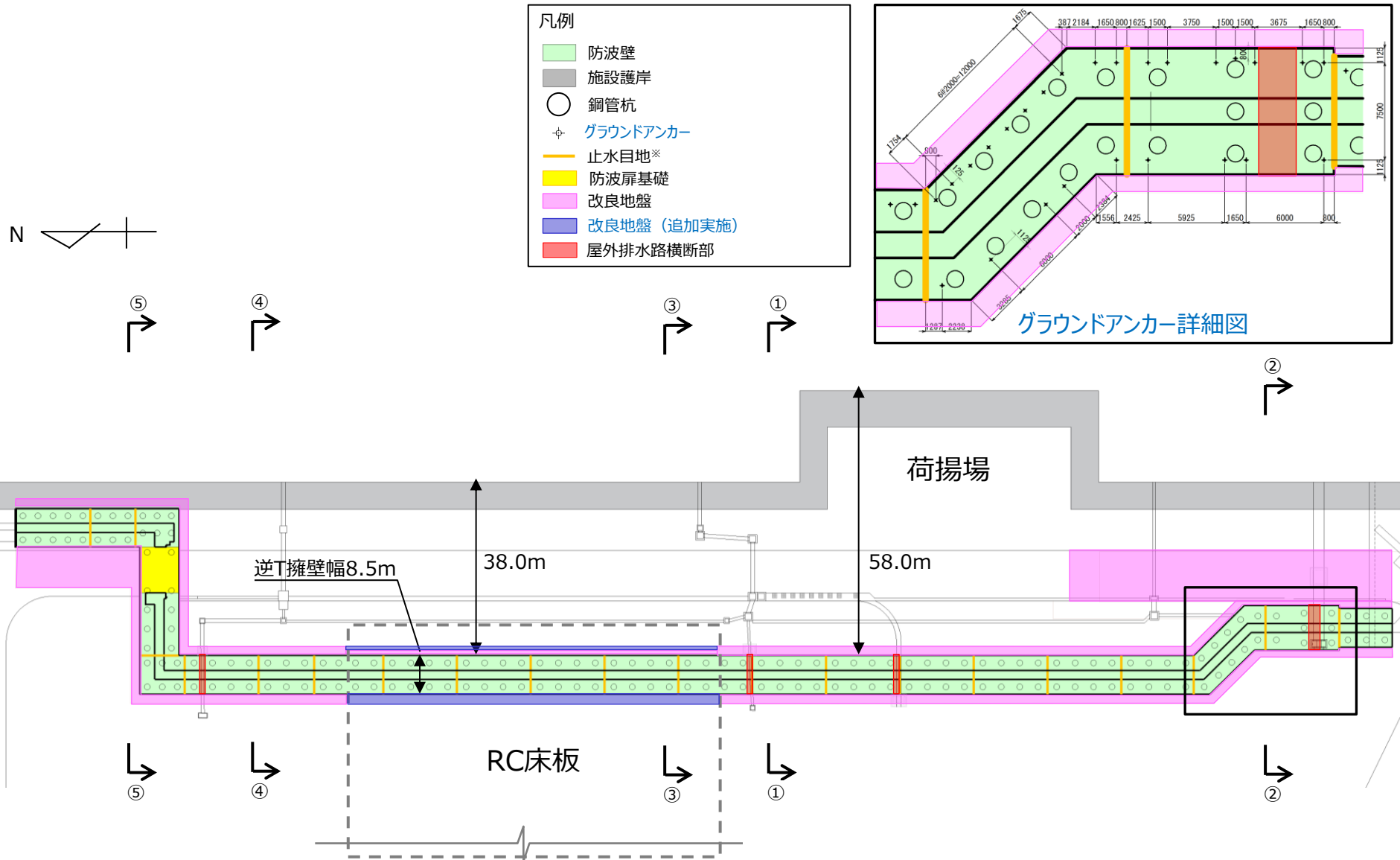
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（3/10）

第870回審査会合
資料1-2-1 P. 106 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

12

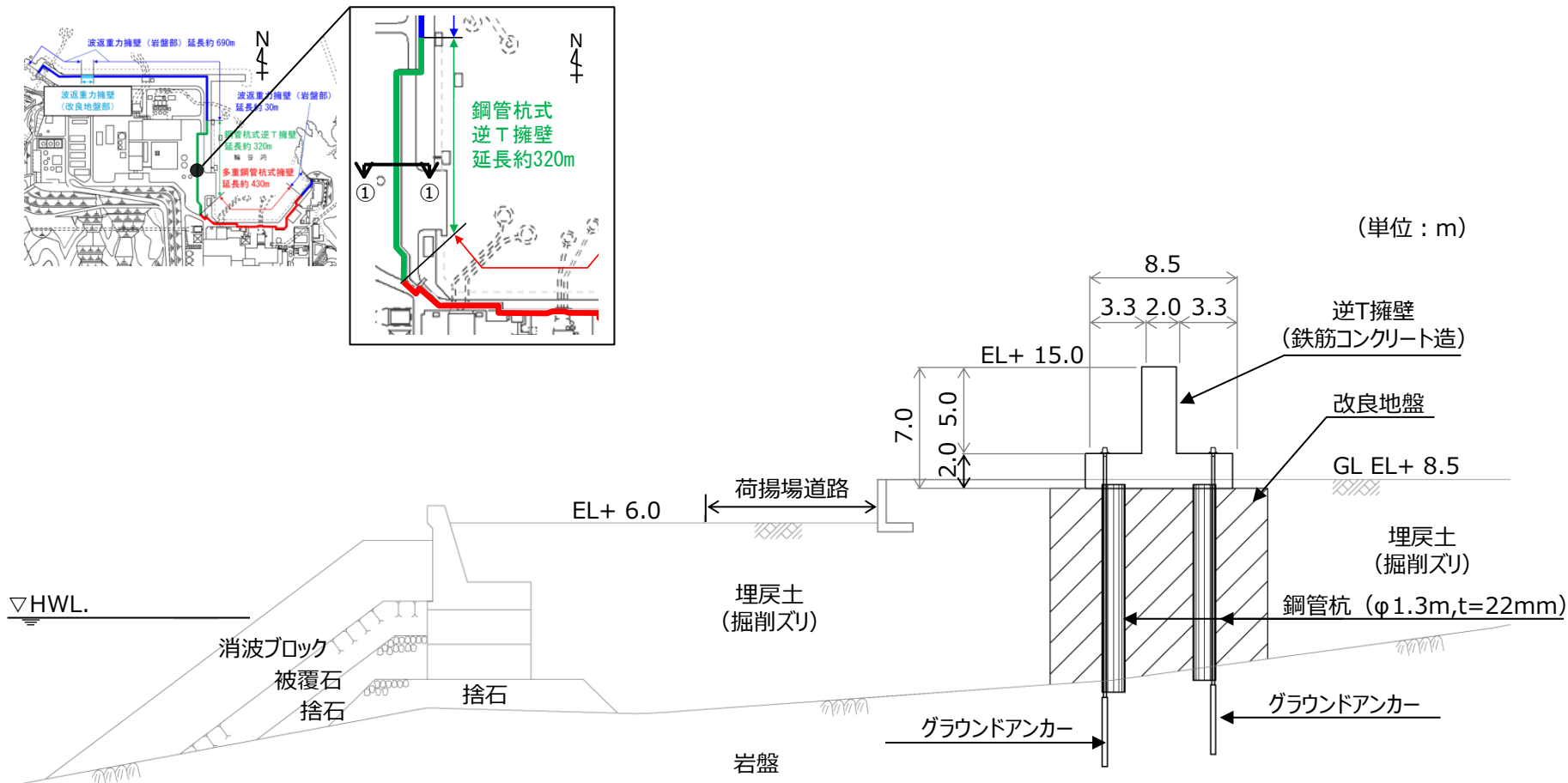
■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の平面図（止水目地位置含む）を以下に示す。



6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（4/10）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）荷揚護岸北側部（①－①断面）については、施設護岸の西側（陸側）に防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）が配置される構造となっている。

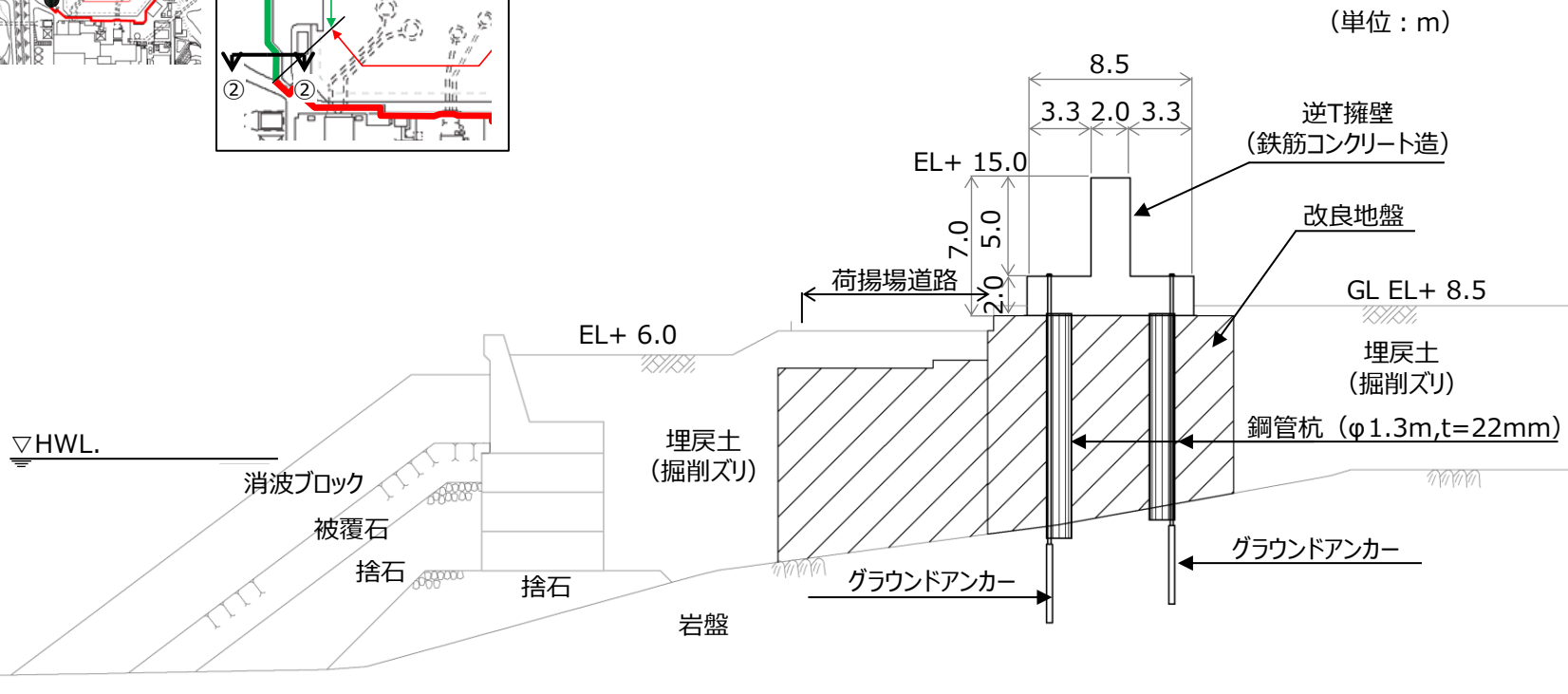
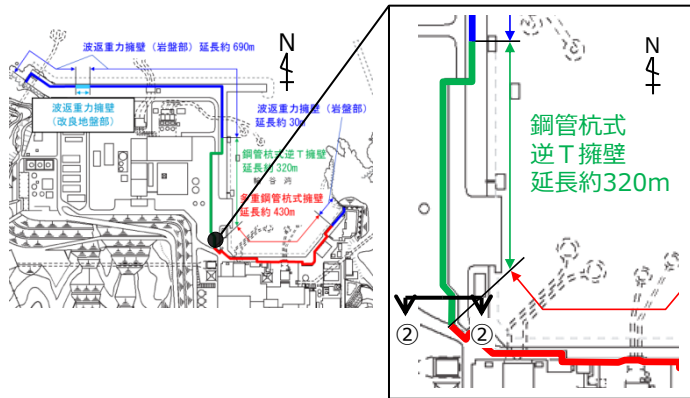


防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）荷揚護岸北側部（①－①断面） 断面図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（5/10）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）荷揚護岸南側部（②-②断面）については、施設護岸の西側（陸側）に防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）が配置される構造となっている。

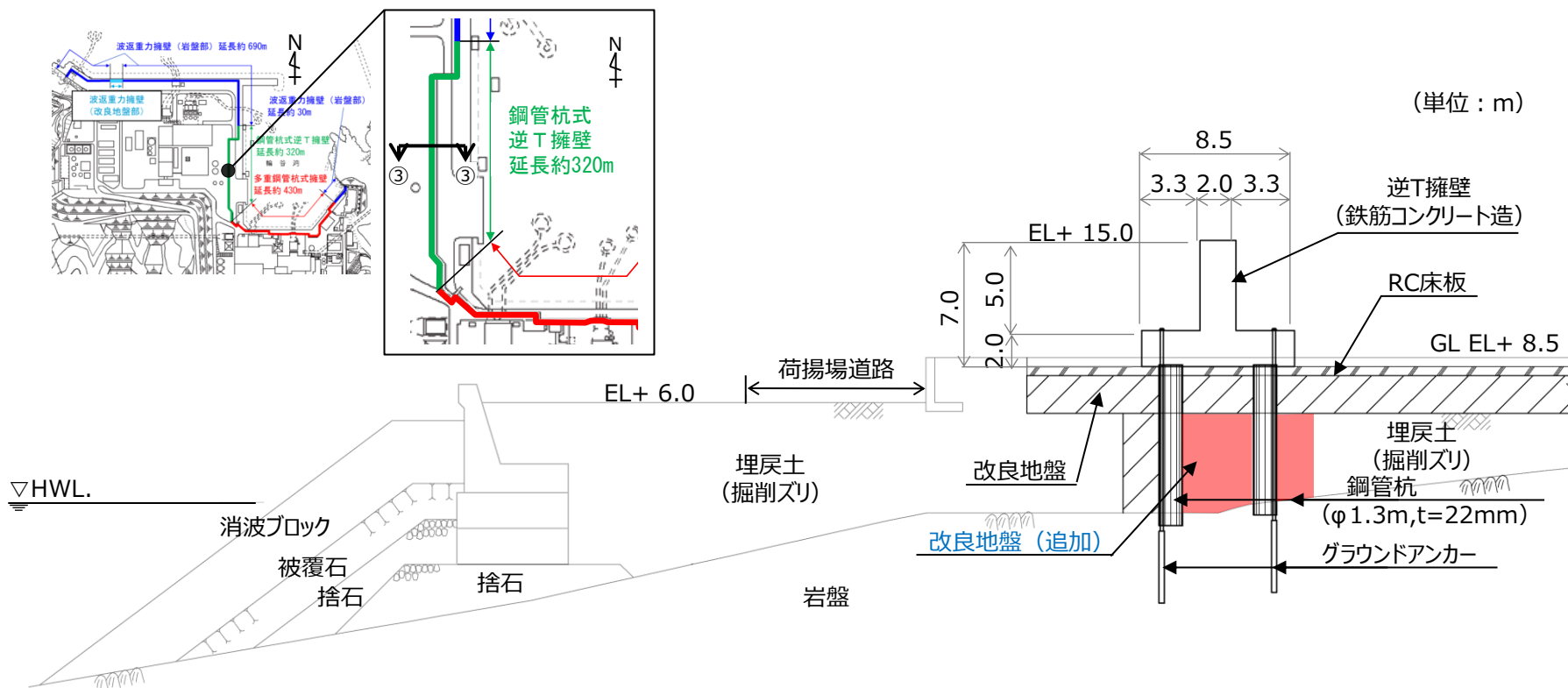


防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）荷揚護岸南側部（②-②断面） 断面図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（6/10）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）RC床版部（③－③断面）については、施設護岸の西側（陸側）に防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）が配置される構造となっている。
- 3号炉建設時において、地盤改良を実施し、その上部にRC床版を設置している。
- 当該区間は岩盤が浅く、鋼管杭が短いことから、地震時及び津波時の鋼管杭の変形量が小さいため津波による地盤中からの回り込みを防止することを目的として、鋼管杭の海側に幅の狭い地盤改良を実施していたが、他の断面同様、逆T擁壁下部全幅にわたり、埋戻土（掘削ズリ）の地盤改良を追加実施する。

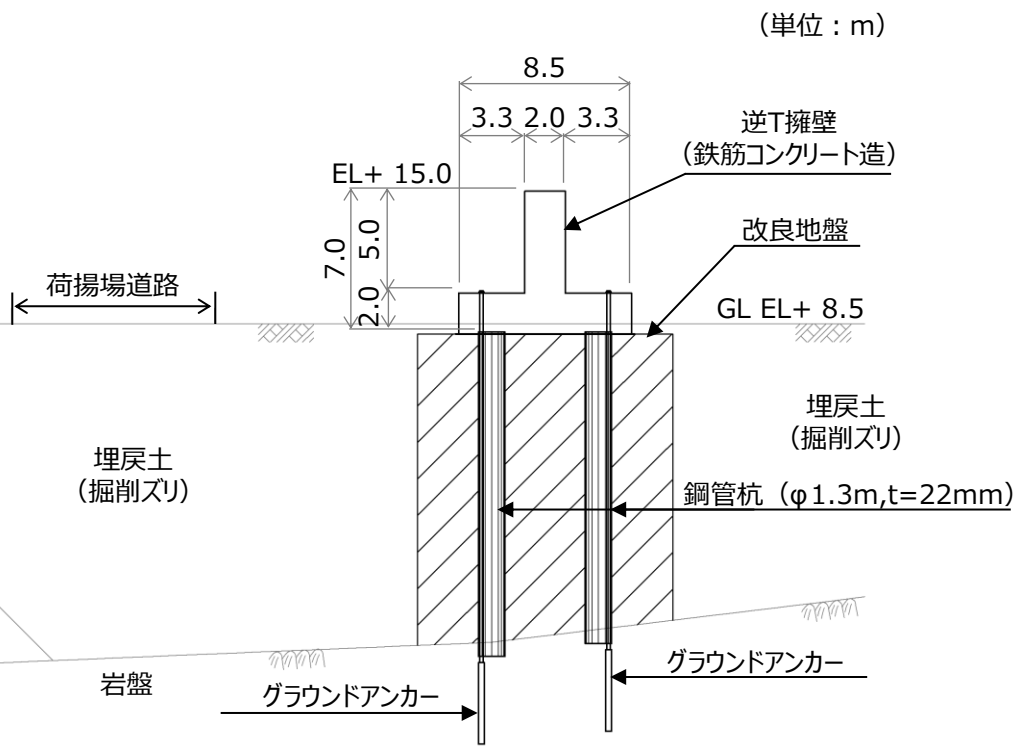
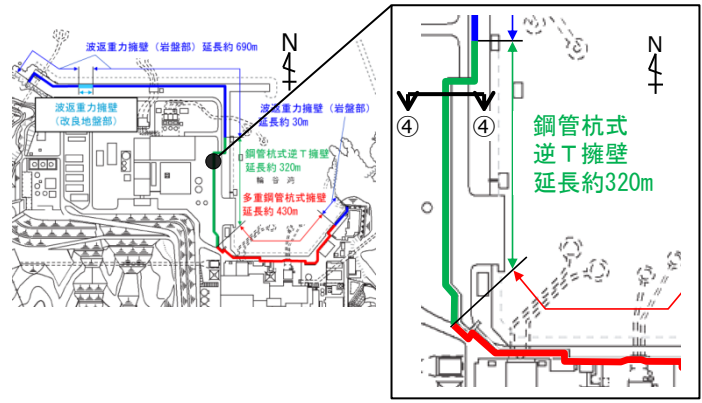


防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）RC床版部（③－③断面）断面図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（7/10）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）防波扉南側部（④－④断面）については、施設護岸の西側（陸側）に防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）が配置される構造となっている。

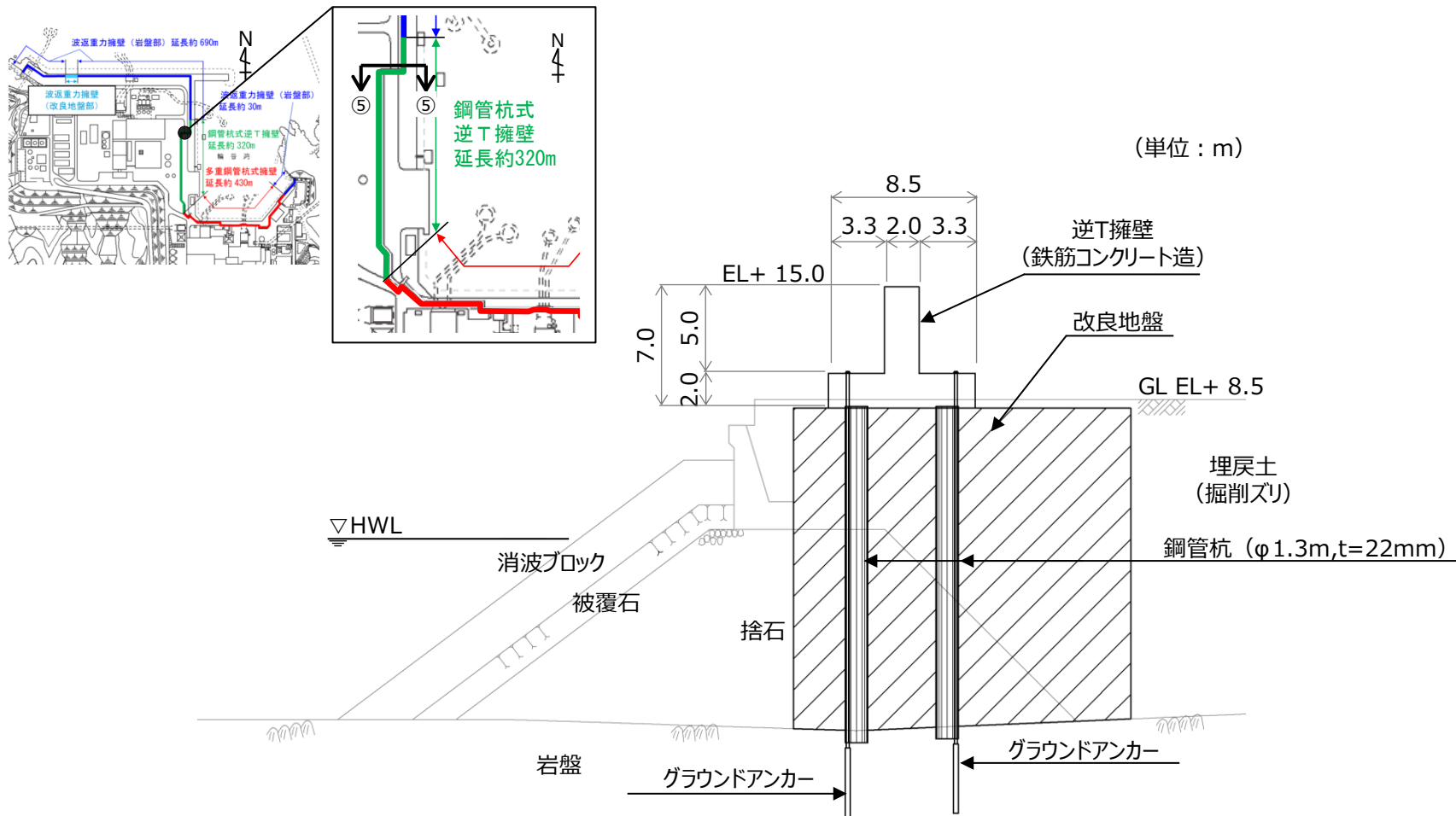


防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）防波扉南側部（④－④断面） 断面図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（8/10）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）防波扉北側部（⑤－⑤断面）については、施設護岸の西側（陸側）に防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）が配置される構造となっている。



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）防波扉北側部（⑤－⑤断面） 断面図

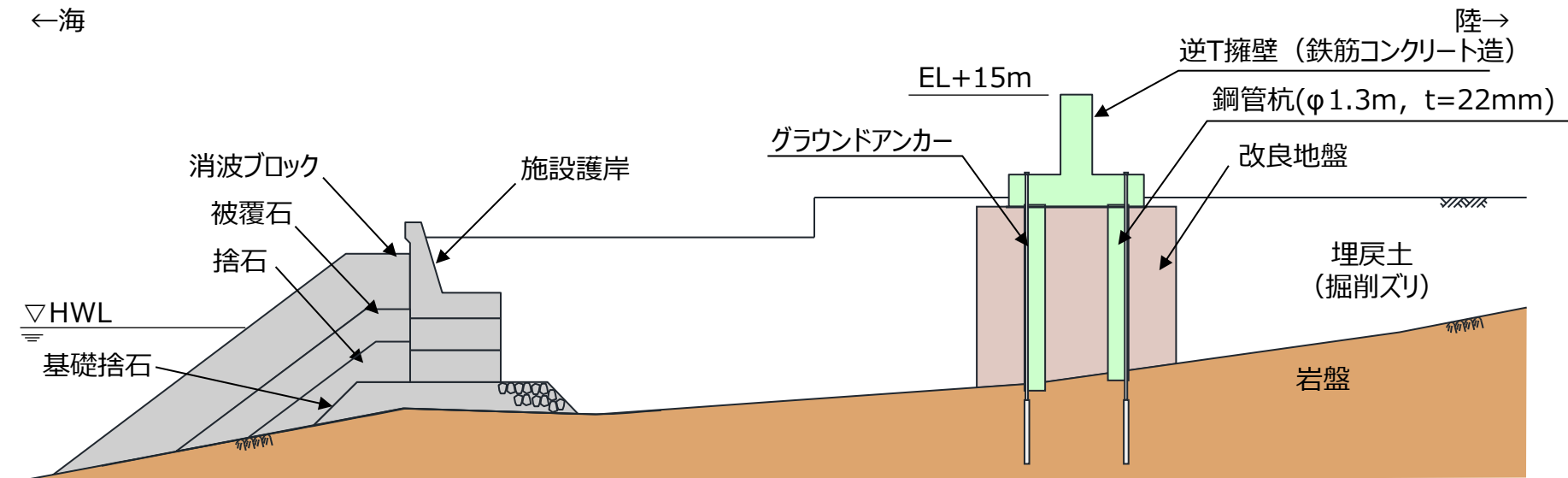
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（9/10）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）を構成する各部位は以下の仕様とした。

部位	仕様
【施設】	
鋼管杭	φ1300mm, 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
グラウンドアンカー	永久アンカー※ (PC鋼より線)
【地盤】	
改良地盤	薬液注入工法 (セメント系固化材, 特殊スラグ系固化材) , 表層改良工法 (セメント系固化材)

※永久アンカーとは、アンカーによって安定を図る永久構造物あるいは斜面などに用いるもので、腐食の恐れがある使用材料に対しては確実な防食・防錆を行ったものをいう。
(グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）より抜粋)



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

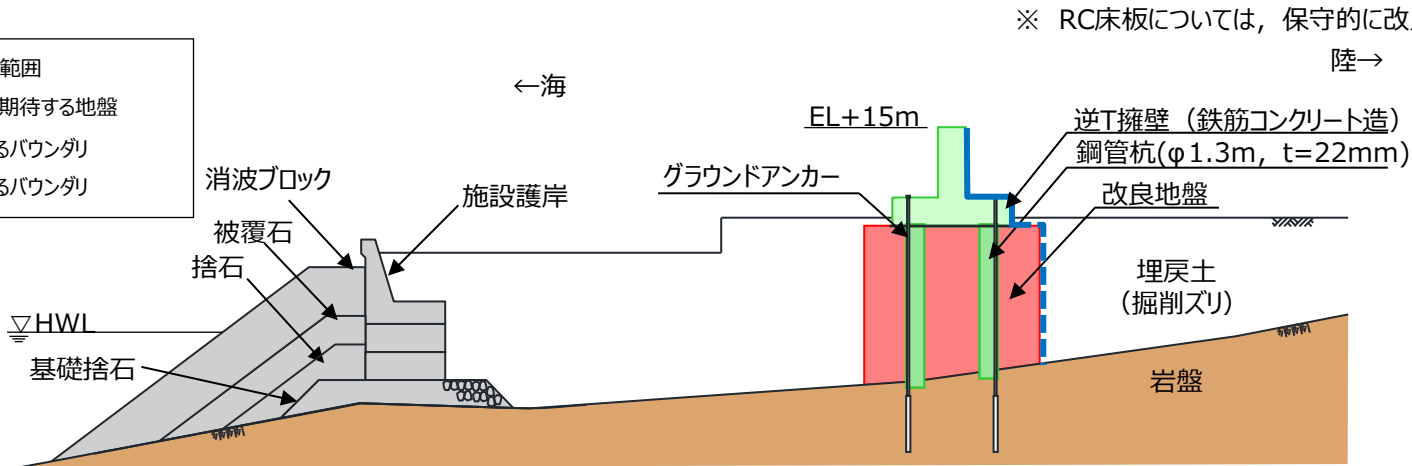
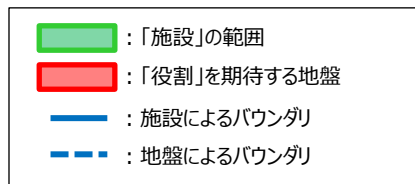
6.1 構造概要（10/10）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）を構成する評価対象部位及び構造上のバウンダリを示す。
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は逆T擁壁及び止水目地を構造上のバウンダリとする。また、地中部の改良地盤についても構造上のバウンダリとする。
- なお、設置許可基準規則を踏まえた評価対象部位の役割及び性能目標等について次頁以降で詳述する。

評価対象部位の役割

■ 施設の範囲 ■ 「役割」を期待する地盤

評価対象部位	役割	備考
鋼管杭	役割に期待しない（解析モデルに取り込み、改良地盤との相互作用を考慮する）	
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	
グラウンドアンカー	逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒の抑止	
改良地盤※	逆T擁壁の支持、難透水性の保持	薬液注入工法、表層改良工法
岩盤	逆T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）、施設護岸、被覆石、捨石、基礎捨石、消波ブロック	役割に期待しない	



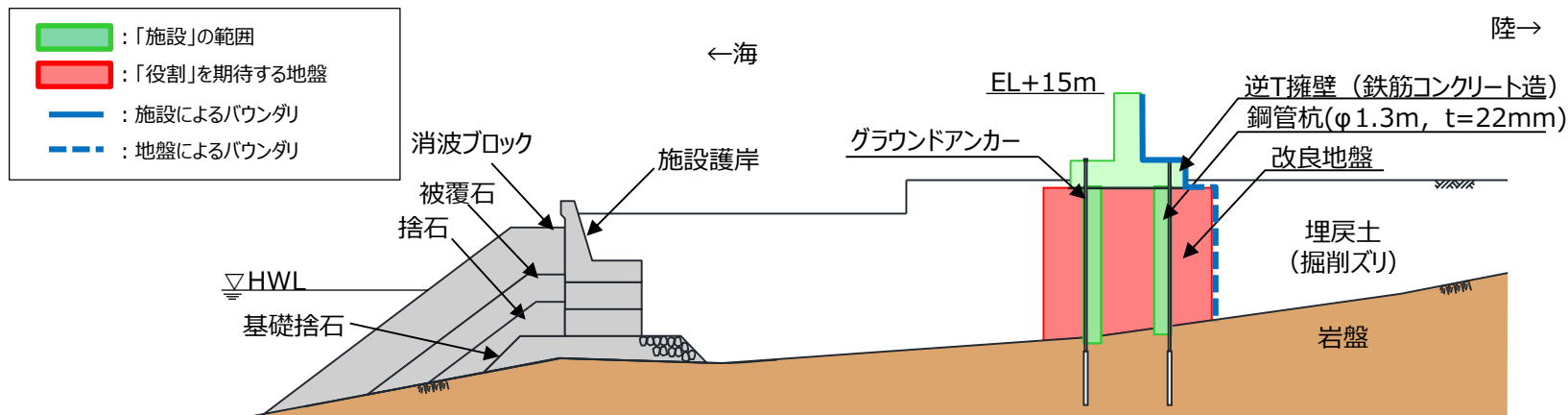
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（荷揚護岸北側部）における構造上のバウンダリ

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（1 / 5）

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

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における検討要旨

規則	検討要旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	<ul style="list-style-type: none"> 施設（鋼管杭）を支持する地盤を対象とし，すべり，支持力，傾斜等に対する安定性を確認する。
第4条（地震による損傷の防止）	<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。



鋼管杭式逆T擁壁の「施設」・「地盤」の範囲

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.2 規制における要求性能

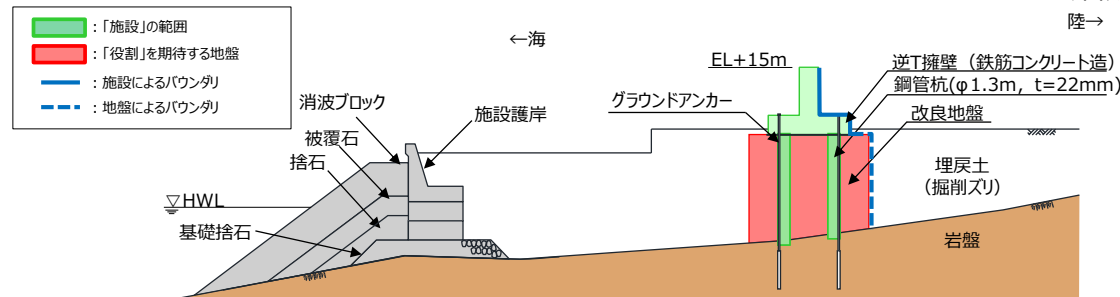
6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（2 / 5）

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

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の各部位の役割

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

※ RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。



役割を期待する範囲（地震時・津波時）

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（3 / 5）

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

凡 例

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

各部位の具体的な役割

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

※ RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.2 規制における要求性能

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（4 / 5）

第870回審査会合
資料1-2-1 P. 117 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

23

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

各部位の役割に対する性能目標

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

※ RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.2 規制における要求性能

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（5 / 5）

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

各部位の照査項目と許容限界（上段：照査項目，下段：許容限界）

部位		照査項目と許容限界			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	耐震性 (第4条)	耐津波性※1 (透水性、難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭※2	-	-	曲げ・せん断 (降伏モーメント（曲げ）及びせん断応力度（せん断）)	
	逆T擁壁			曲げ・せん断※5 (短期許容応力度以下)	
	止水目地			変形 (許容変形量以下)	変形・水圧 (許容変形量・許容水圧以下)
	グラウンドアンカー			引張 (設計アンカー力以下)	
地盤	改良地盤※3	-	-	すべり安全率※6 (1.2以上)	
	岩盤	支持力 (極限支持力度)	すべり安全率（基礎地盤）※4 (1.5以上)	-	-

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

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

※3 RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

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

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

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

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

第870回審査会合 資料1-2-1 P.119 加筆・修正
※修正箇所を下線で示す

6.2.2 要求機能と設計評価方針

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

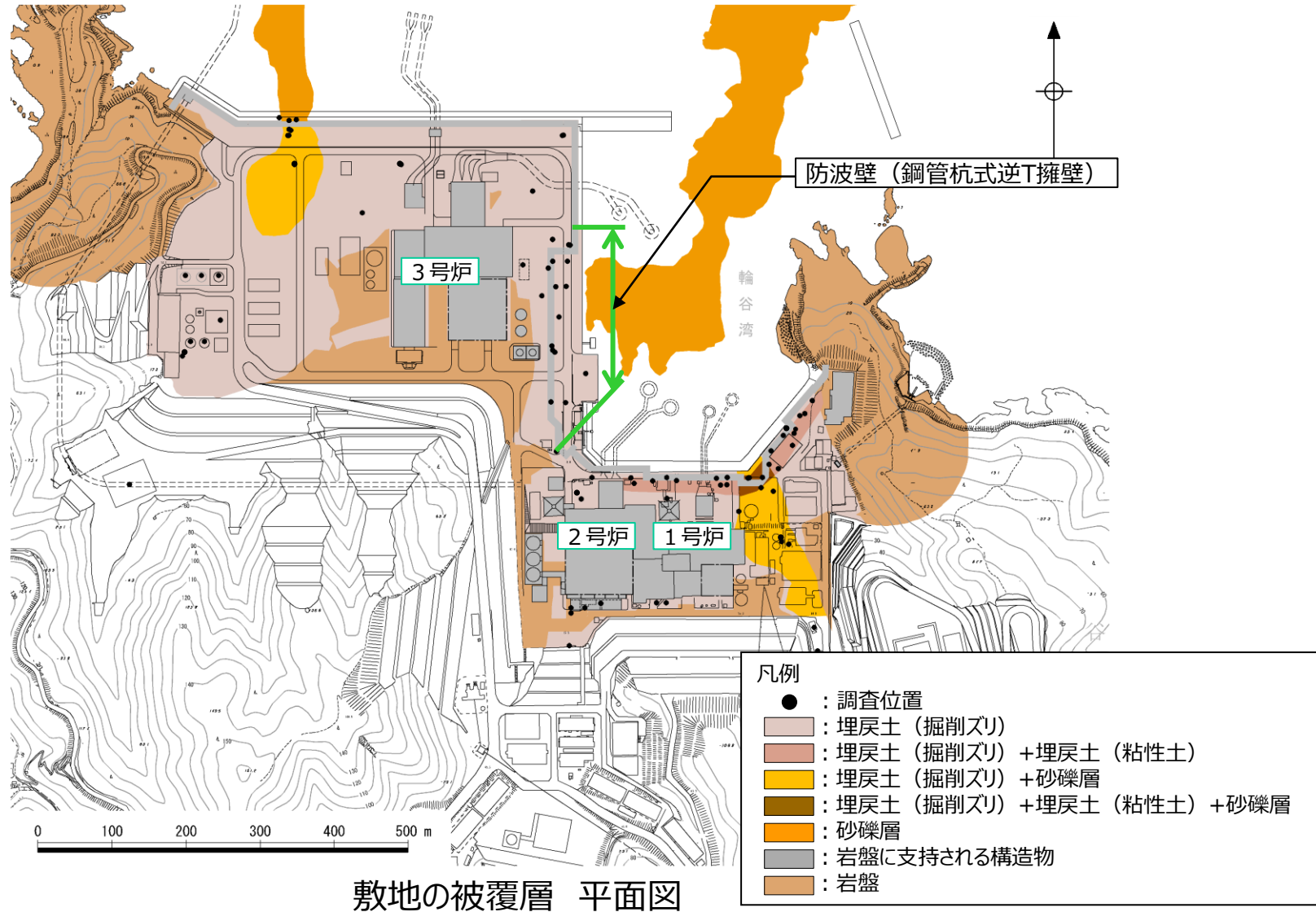
赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

施設名	要求機能		機能設計			構造強度設計				設計に用いる許容限界			
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計 (評価方針)	評価対象部位	応力等の状態	損傷モード				
防波壁 （鋼管杭式逆T擁壁）	<p>[基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド] 5.1津波防護施設設計 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び沈没に対する抵抗力並びにすり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できることを確認すること。 (1)要求事項に適合する設計方針であることを確認すること。 (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こと。 確認内容を以下に例示する。 ①荷重組合せ a)余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ:常時+津波、常時+津波+地震(余震) ②荷重の設定 a)津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する知見(例えば、国交省の暫定指針等)及びそれらの適用性。 b)余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。 c)地震により周辺地盤に液化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。 ③許容限界 a)津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の变形能力(終局耐力時の变形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修にある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。) [基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド] 6.3津波防護施設、浸水防止設備等津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての变形能力(終局耐力時の变形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること</p>	<p>・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。 ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての变形能力(終局耐力時の变形)に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。</p>	<p>・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、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。</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、①想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さ(浸水高さ+EL+11.9mに余裕を考慮した天端高さ+EL+15.0m)の設定により、敷地前面に設置する設計とする。 ②防波壁の上部構造は、鋼管杭の上部に設置する鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。 ③防波壁は鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ④鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、波圧による変形に追随する、止水性を確保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り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性のある部材を使用することにより止水性を保持する設計とする。 ⑥防波壁は鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地による止水性を保持することにより止水処置を講ずる設計とする。</p>	<p>・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、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、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し、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とする。 ・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れを生じない変形を留める設計とするため、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間に設置するゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地が有意な漏れを生じない変形量以下であることを確認する。 また、ゴムジョイント及びシートジョイントが止水性を保持するための鋼製部材は、概ね弾性状態に留まることを確認する。</p>	<p>鋼管杭 逆T擁壁 止水目地 止水目地の鋼製部材 グラウンドアンカー 改良地盤^{※2} 岩盤</p>	<p>曲げ・せん断 曲げ・せん断^{※1} 変形・水圧 曲げ・せん断 引張 すべり安全率支持力 支持力</p>	<p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態 部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態 有意な漏れに至る変形・水圧 部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態 設計アンカー力を喪失し、逆T擁壁が滑動・転倒する すべり破壊し、変形抑制機能や不透水性を喪失する状態 鉛直支持機能を喪失する状態</p>	<p>「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」を踏まえた降伏モーメント(曲げ)及びせん断応力(せん断)とする。 「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。 メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づき許容変形量及び許容水圧以下とする。 「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。 「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）」を踏まえた設計アンカー力以下とする。 「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。 「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>				
										<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、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し、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とし、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に設置するゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地が有意な漏れを生じない変形量以下であることを確認する。</p>	<p>・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>	<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>
										<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、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し、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とし、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に設置するゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地が有意な漏れを生じない変形を留める設計とするため、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間に設置するゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地が有意な漏れを生じない変形量以下であることを確認する。</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、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する押し込み力が許容値以下に留まることを確認する。</p>	<p>・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>
										<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、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し、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とし、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に設置するゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地が有意な漏れを生じない変形を留める設計とするため、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間に設置するゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地が有意な漏れを生じない変形量以下であることを確認する。</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、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する押し込み力が許容値以下に留まることを確認する。</p>	<p>・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>

※1 グラウンドアンカーの受圧板からの反力による逆T擁壁（フーチング）の照査を併せて実施する。グラウンドアンカーは、試験施工により設計アンカー力を確保していることを確認し、定期点検により初期アンカー力以上のアンカー力が作用していることを確認する。
なお、グラウンドアンカーの仕様は「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」等に基づき設定する。
※2 RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

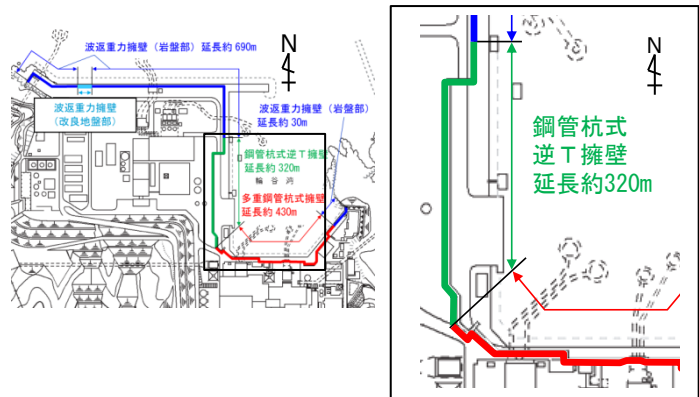
6.3 周辺地質（1/7）

■ 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以下に示す。

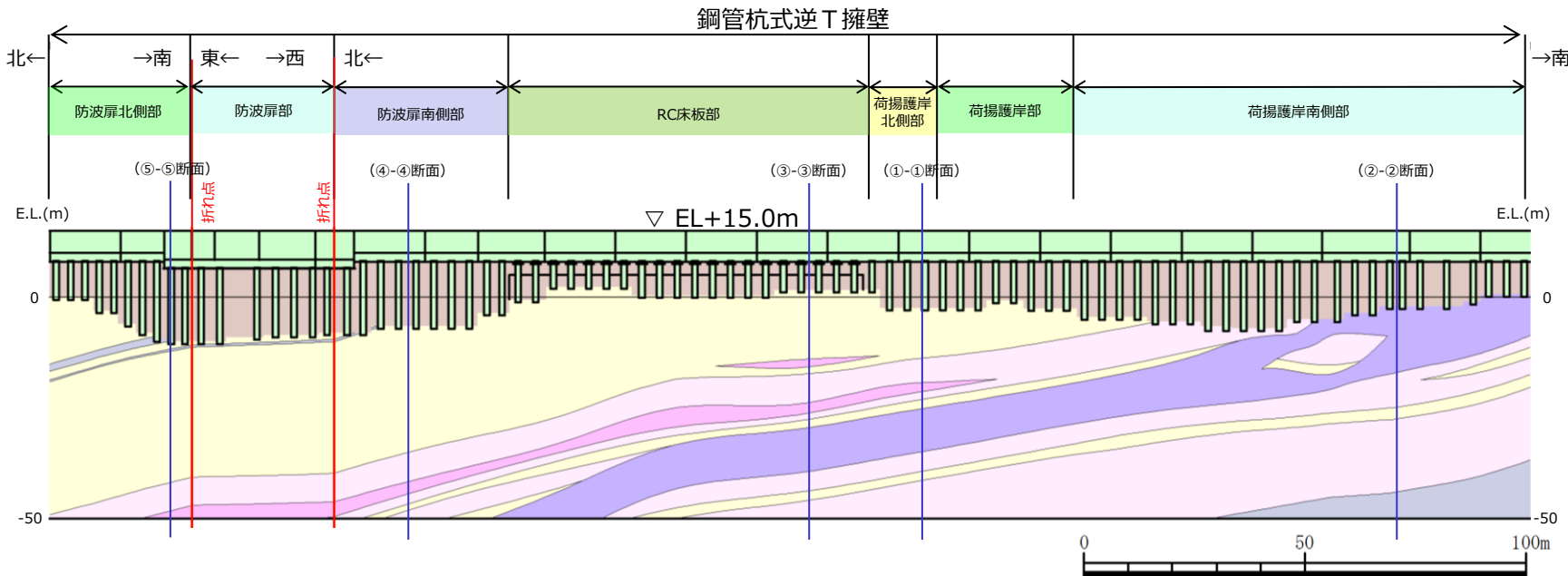
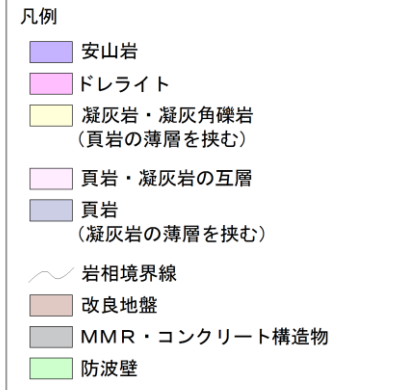


6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.3 周辺地質（2/7）



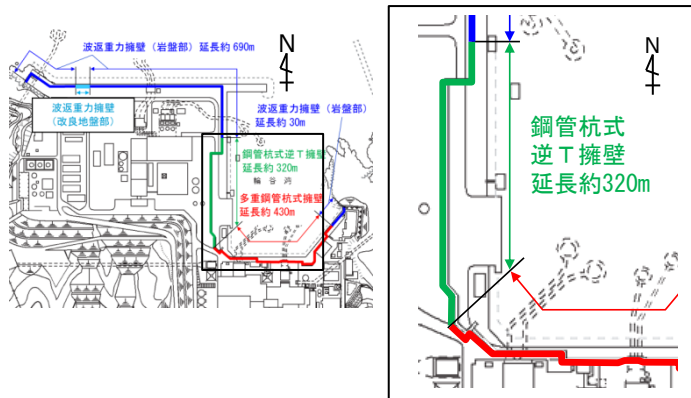
■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の地質縦断図を以下に示す。



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）地質縦断図

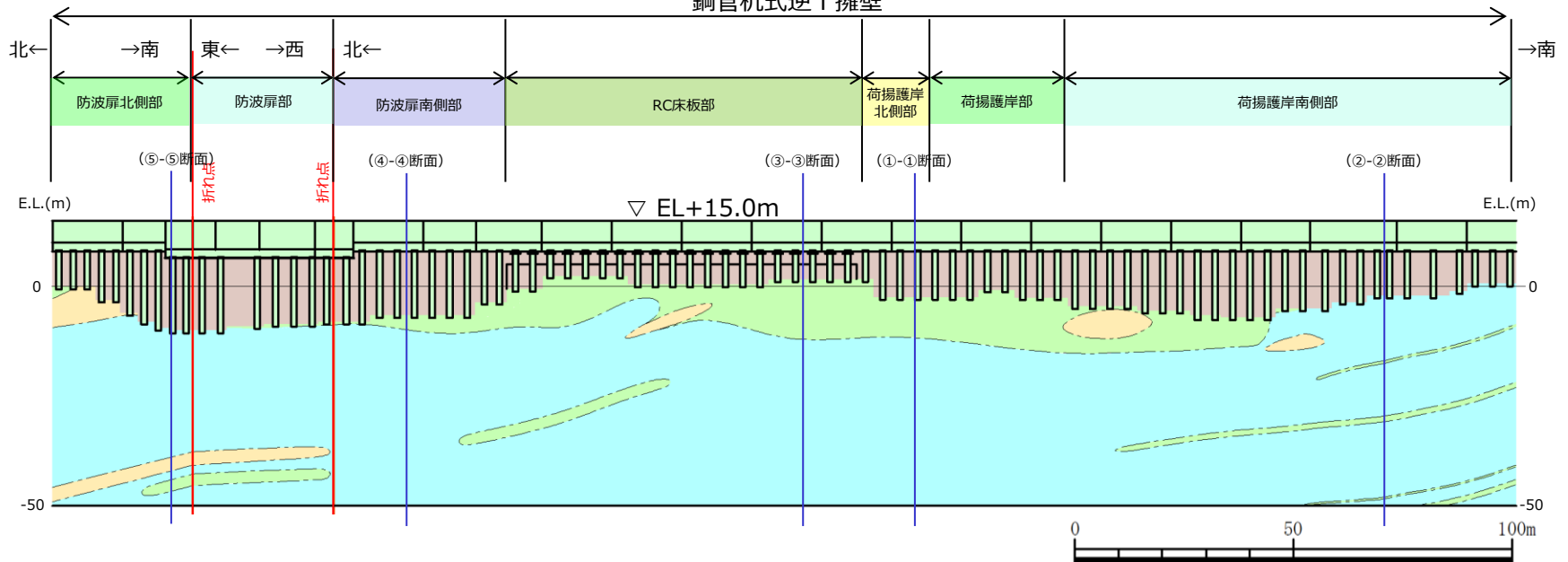
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.3 周辺地質（3/7）



- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の岩級縦断面図を以下に示す。
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、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。

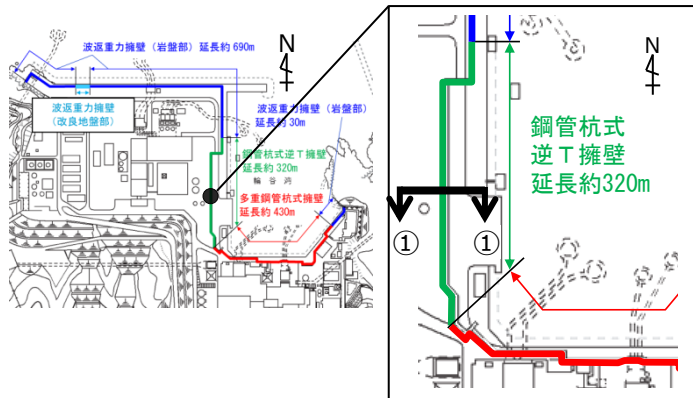
鋼管杭式逆T擁壁



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 岩級縦断面図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

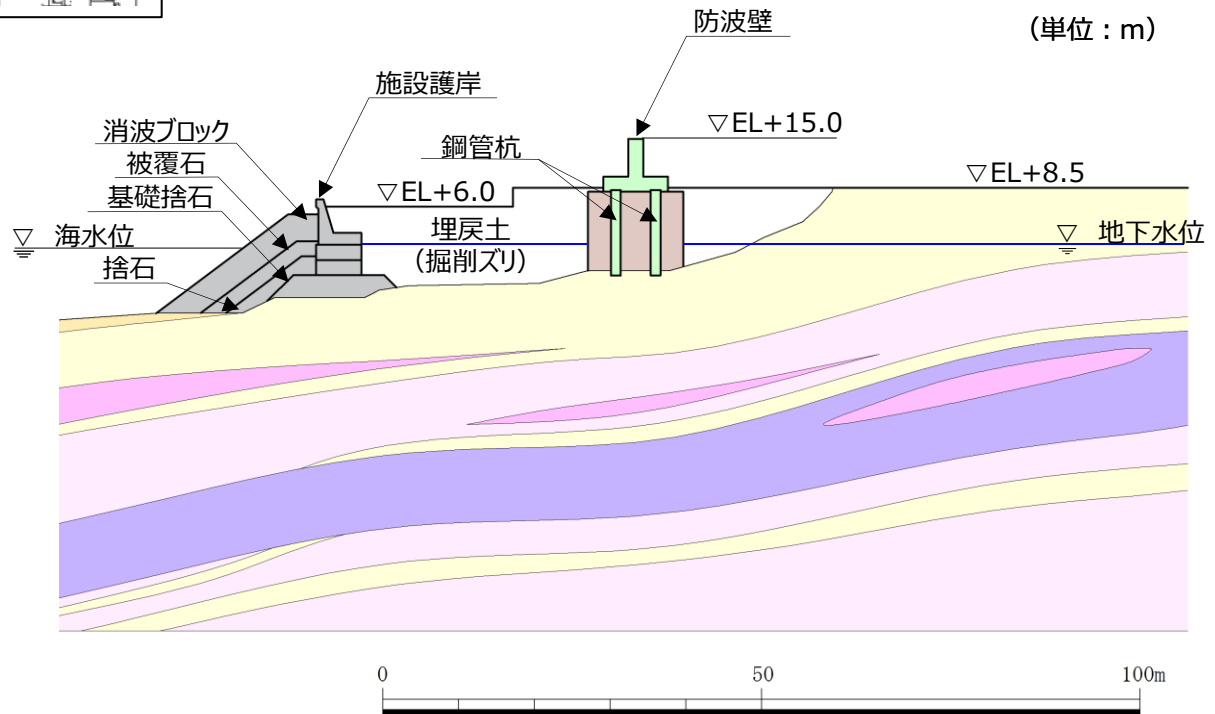
6.3 周辺地質（4/7）



- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）荷揚護岸北側部の地質断面図を以下に示す。
- ①－①断面は、鋼管杭を岩盤に打設している。また、周辺の埋戻土（掘削ズリ）を地盤改良している。

凡例

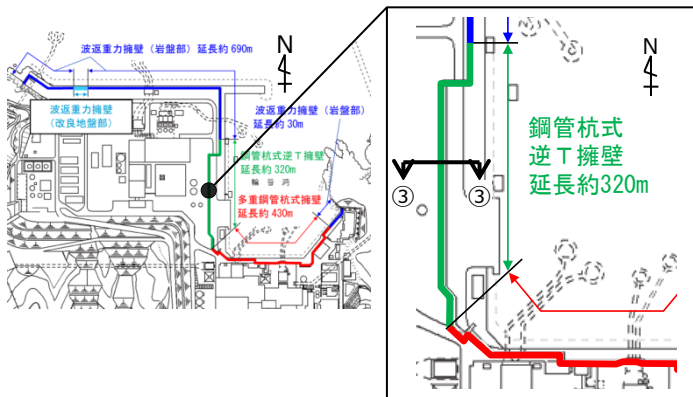
	埋戻土（掘削ズリ）
	砂礫層
	安山岩
	ドレライト
	凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)
	頁岩・凝灰岩の互層
	岩相境界線
	改良地盤
	MMR・コンクリート構造物 被覆石・捨石・基礎捨石
	防波壁



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）荷揚護岸北側部（①-①断面）
地質断面図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

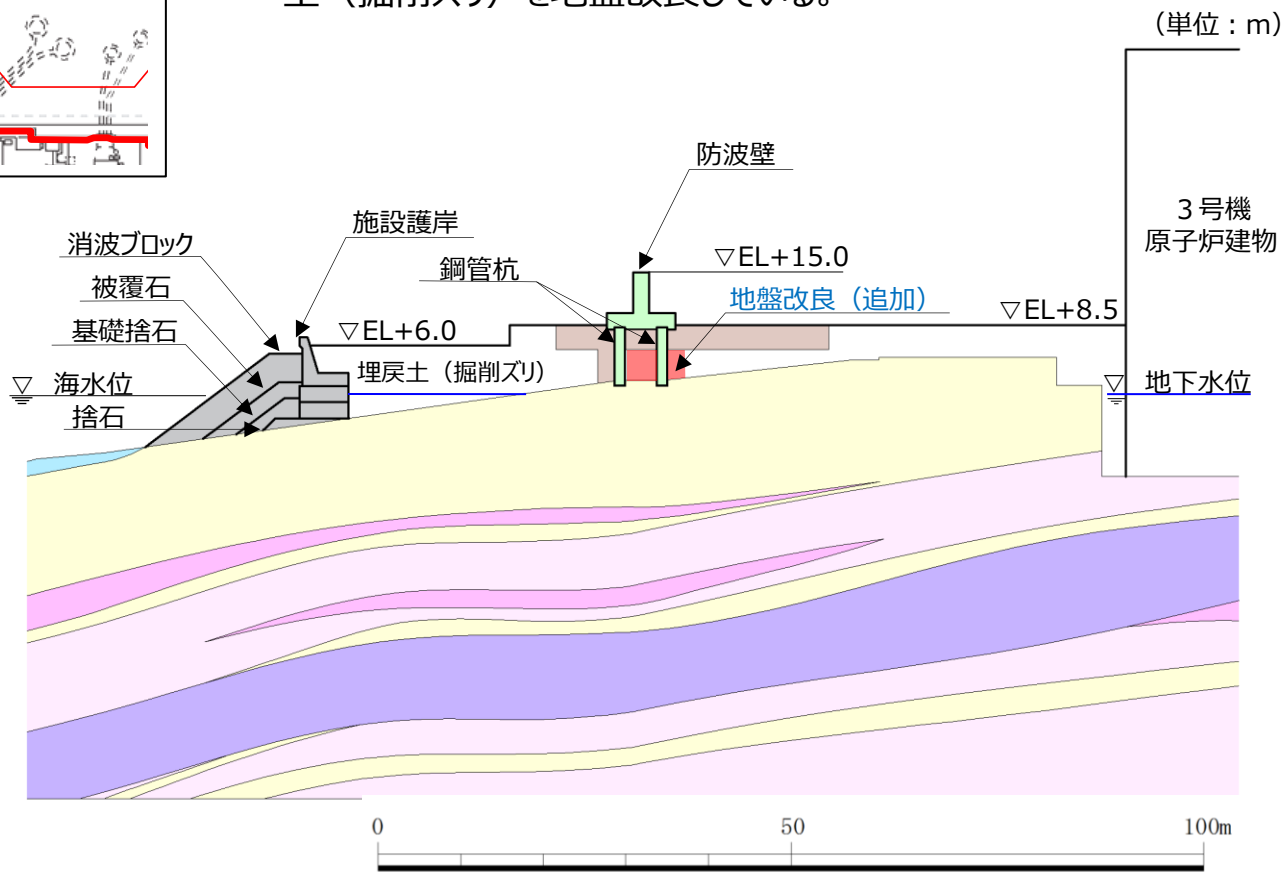
6.3 周辺地質（5/7）



- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）RC床板部の地質断面図を以下に示す。
- ③-③断面は、鋼管杭を岩盤に打設している。また、周辺の埋戻土（掘削ズリ）を地盤改良している。

凡例

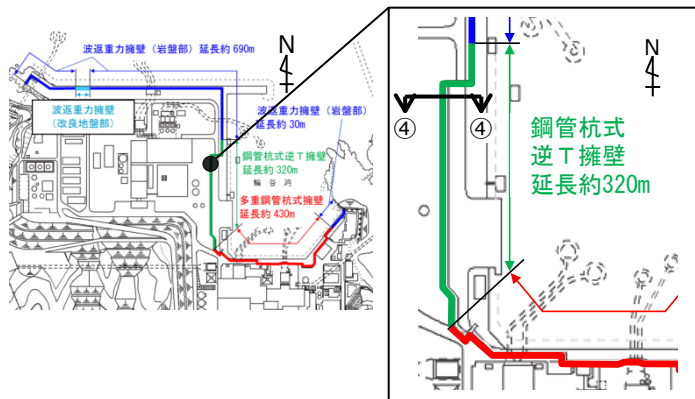
	埋戻土（掘削ズリ）
	海底堆積物
	安山岩
	ドレライト
	凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)
	頁岩・凝灰岩の互層
	頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む)
	岩相境界線
	改良地盤
	MMR・コンクリート構造物 被覆石・捨石・基礎捨石
	防波壁



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）RC床板部（③-③断面）
地質断面図

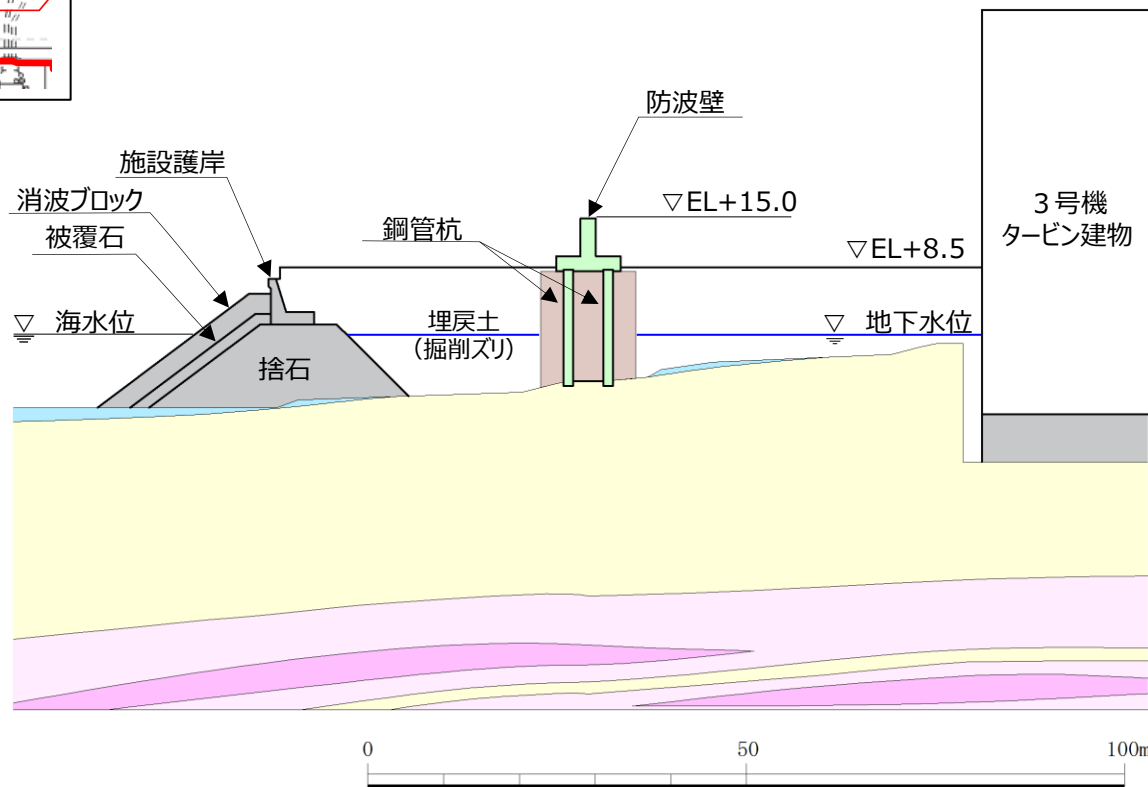
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.3 周辺地質（6/7）



- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）防波扉南側部の地質断面図を以下に示す。
- ④－④断面は、鋼管杭を岩盤に打設している。また、周辺の埋戻土（掘削ズリ）を地盤改良している。

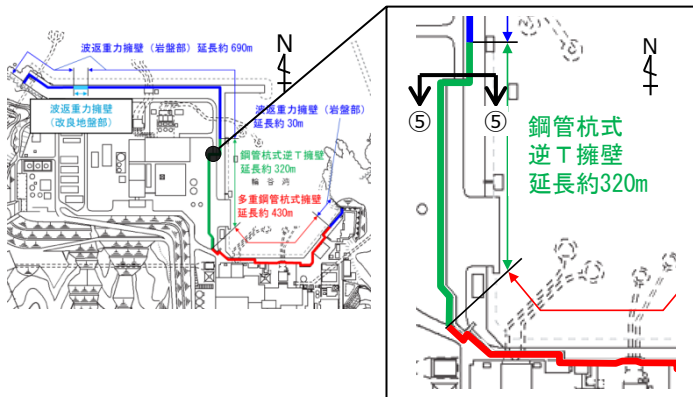
(単位：m)



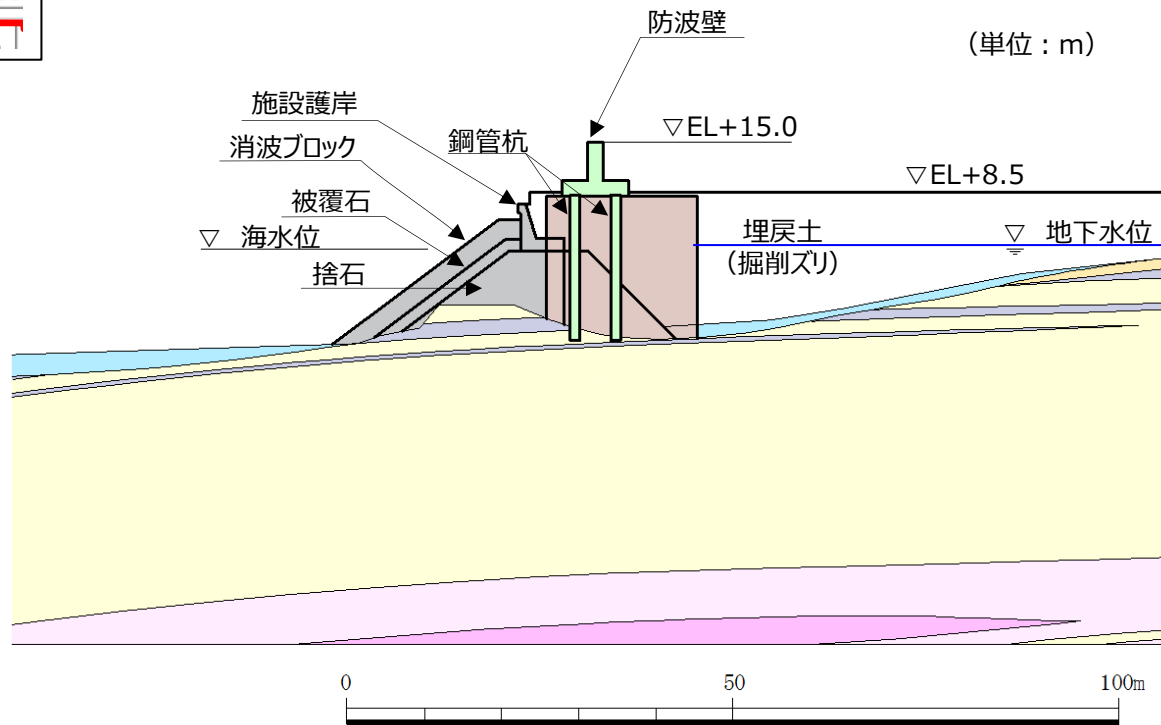
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）防波扉南側部（④－④断面）地質断面図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.3 周辺地質（7/7）



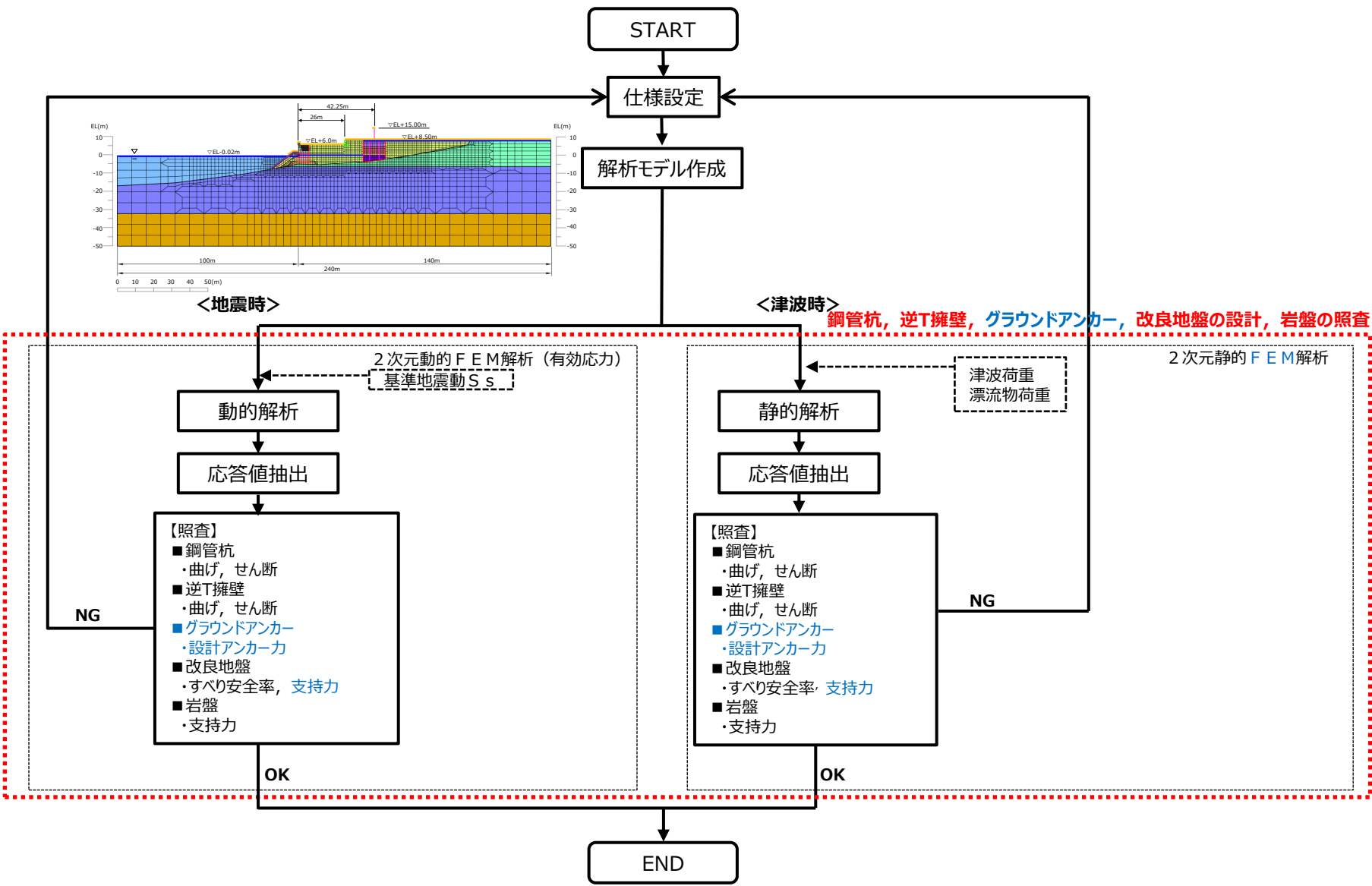
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）防波扉北側部の地質断面図を以下に示す。
- ⑤－⑤断面は、鋼管杭を岩盤に打設している。また、周辺の埋戻土（掘削ズリ）を地盤改良している。



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）防波扉北側部（⑤-⑤断面）
地質断面図

6.4.1 設計フロー

■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



6.4.2 設計方針の概要（1）鋼管杭

鋼管杭の役割と設計方針概要

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

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

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（2）逆T擁壁

逆T擁壁の役割と設計方針概要

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

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

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（3）止水目地

止水目地の役割と設計方針概要

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

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

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（4）グラウンドアンカー（1 / 2）

グラウンドアンカーの役割と設計方針概要

- グラウンドアンカーは、逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。逆T擁壁及び改良地盤が滑動・転倒しないように、必要なグラウンドアンカーを設置する。
- グラウンドアンカーの仕様は、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）」に準拠したPC鋼より線を用いる。
- 津波時は2次元静的 F E M解析，地震時は液状化を精緻に評価するために2次元動的 F E M解析結果を用いて，グラウンドアンカーの照査を行う。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては，地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し，有効応力解析を用いる。

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

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

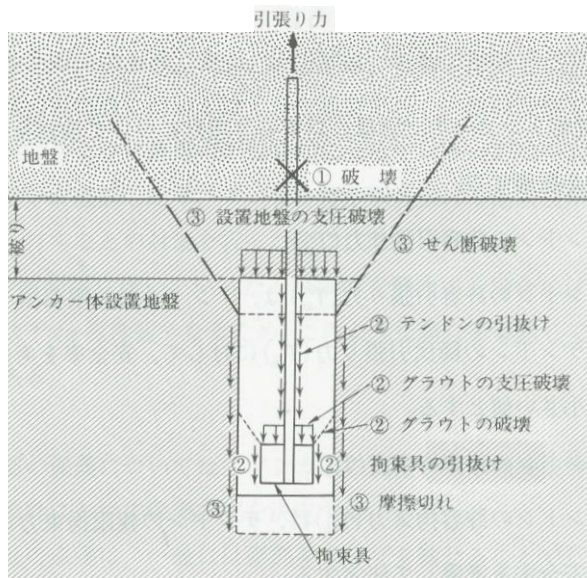
6.4.2 設計方針の概要（4）グラウンドアンカー（2 / 2）

グラウンドアンカーの役割と設計方針概要

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

【凡例】

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



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



グラウンドアンカー
(リフトオフ試験中)

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）定期点検状況
(リフトオフ試験)

6.4.2 設計方針の概要（5）岩盤

地盤（岩盤）の役割と設計方針概要

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

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

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（6）改良地盤

地盤（改良地盤）の役割と設計方針概要

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

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

※ RC床板については、保守的に地盤改良として扱う。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

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

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

解析の目的

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

結果の利用

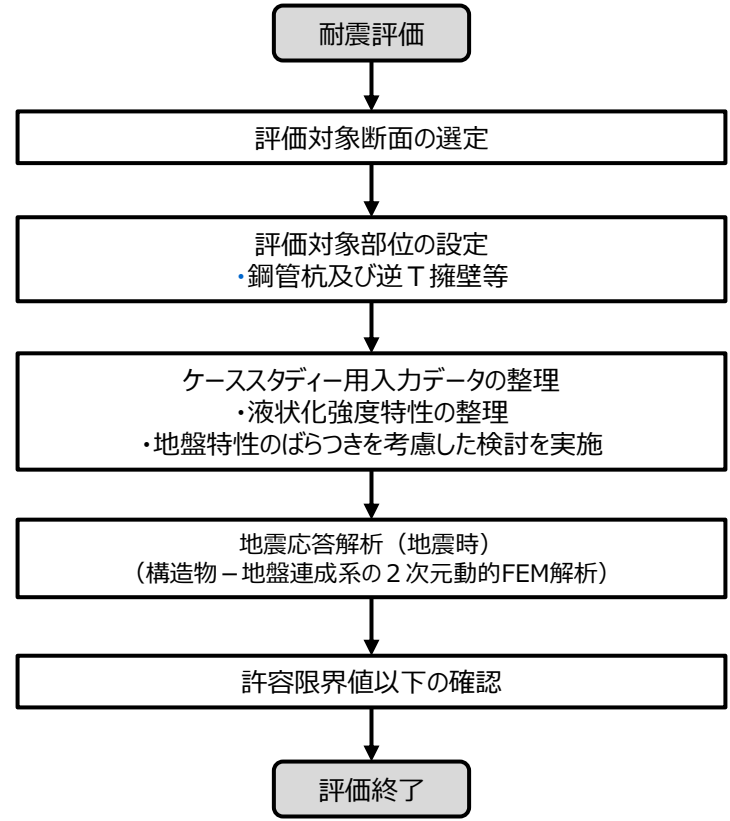
- 鋼管杭及び逆T擁壁等の照査
- 止水目地の変形量
- 地震時応答（変形量を含む）

解析条件

- 地盤物性のばらつきを考慮する。

「代表断面選定の考え方」

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


















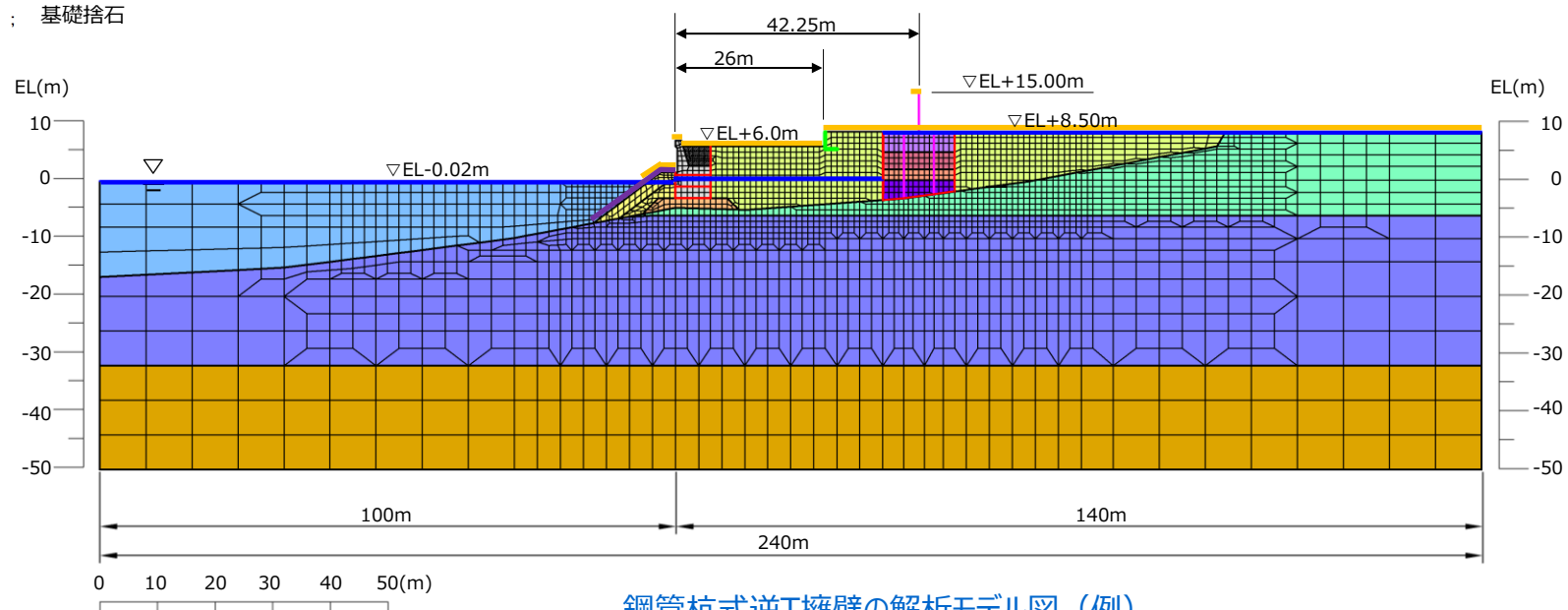
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

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

モデル化方針（鋼管杭式逆T擁壁）

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

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



鋼管杭式逆T擁壁の解析モデル図（例）

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（8）津波時の検討（2次元静的FEM解析）

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

解析の目的

- 鋼管杭，逆T擁壁等の挙動評価（津波時）

結果の利用

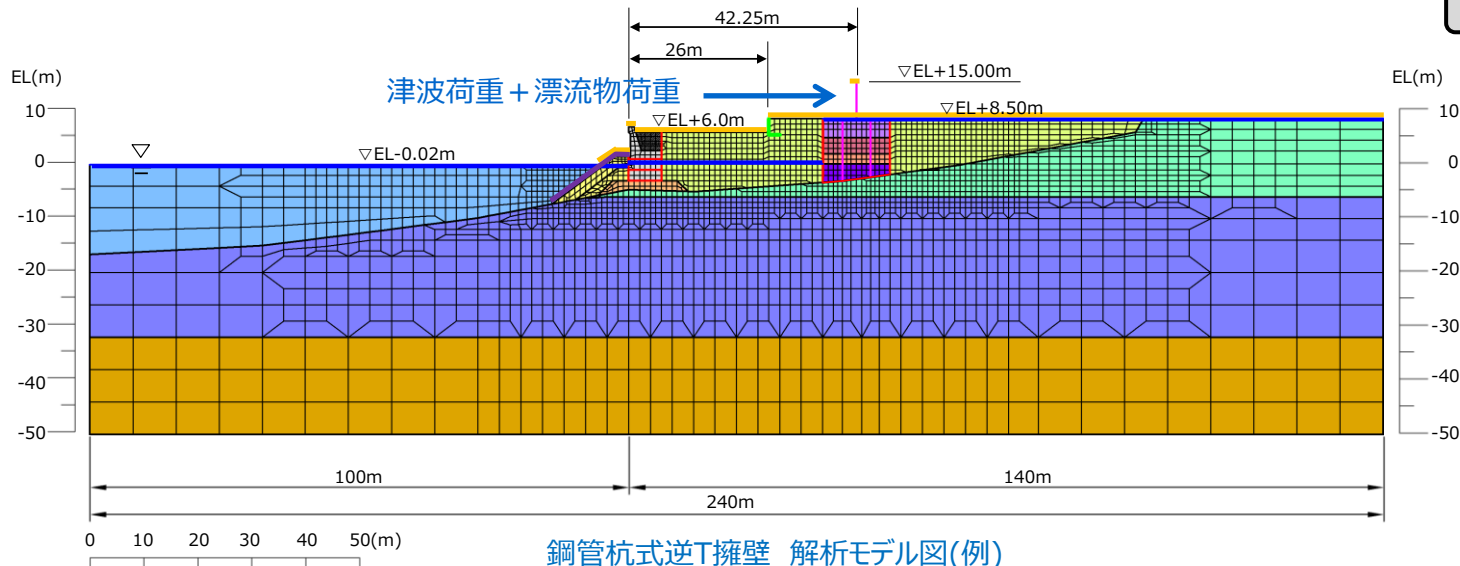
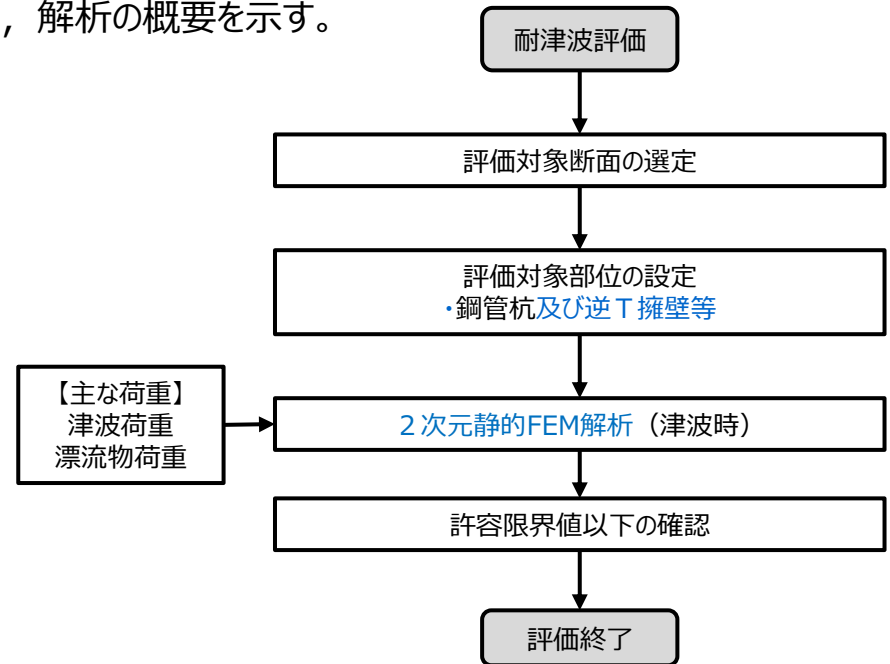
- 鋼管杭，逆T擁壁等の照査
- 止水目地の変形量

モデル化方針

- 地震時と同じモデルを用いる

解析条件

- 解析用物性値（静的物性）を用いる。



6.4.3 荷重と発生断面力の概要

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）については、埋戻土（掘削ズリ）に対して地盤改良を実施する設計としている。
- 防波壁の構造成立性には、このような構造に作用する荷重に対し、各部位が所要の機能を発揮して安全であることが必要である。
- このような観点から、防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）に作用する荷重、構造体の発生断面力について整理する。

6.4.3 荷重と発生断面力の概要（1）津波時

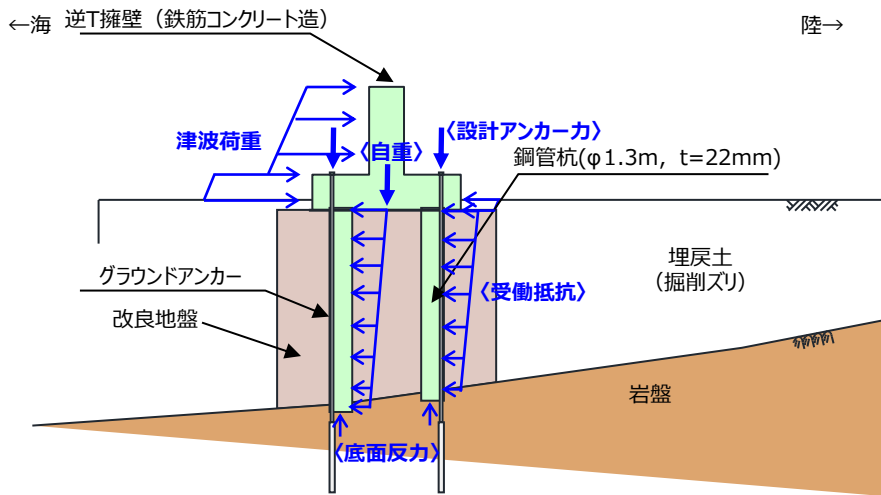
■ 津波時の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

- 逆T擁壁に作用する津波荷重は、 縦壁・フーチングを介して改良地盤・岩盤に伝わる。
- グラウンドアンカーの設計アンカー力により、 逆T擁壁を改良地盤に、 改良地盤を岩盤に押し付ける力が働く。

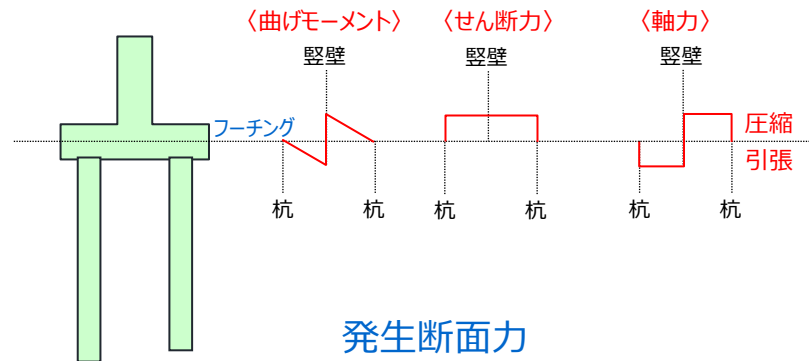
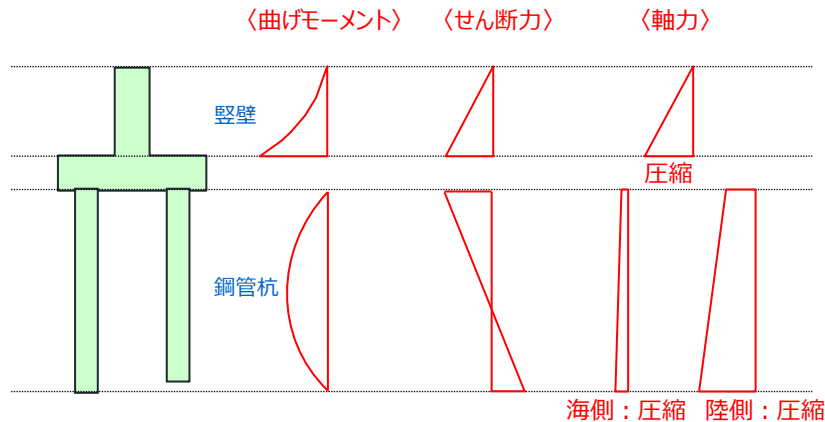
【発生断面力（応力状態）】

- 逆T擁壁の発生断面力は縦壁とフーチングとの接合部に集中する。また、 鋼管杭とフーチングの接合部がヒンジ構造であるため、 鋼管杭の曲げモーメントは鋼管杭中央付近、 せん断力は鋼管杭上端側で卓越する。



※ 雪荷重, 風荷重, 衝突荷重は省略

荷重図



発生断面力

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.3 荷重と発生断面力の概要（1）地震時（1/2）

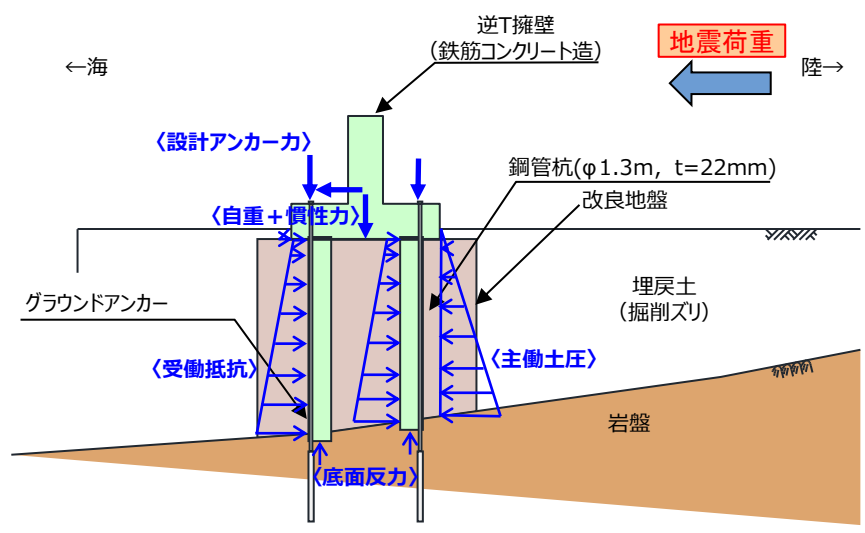
■ 地震時（海側方向）の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

- 逆T擁壁及び鋼管杭に作用する地震力（慣性力及び主動土圧）は、**縦壁・フーチング**を介して改良地盤・岩盤に伝わる。
- **グラウンドアンカー**の設計アンカー力により、逆T擁壁を改良地盤に、改良地盤を岩盤に押し付ける力が働く。

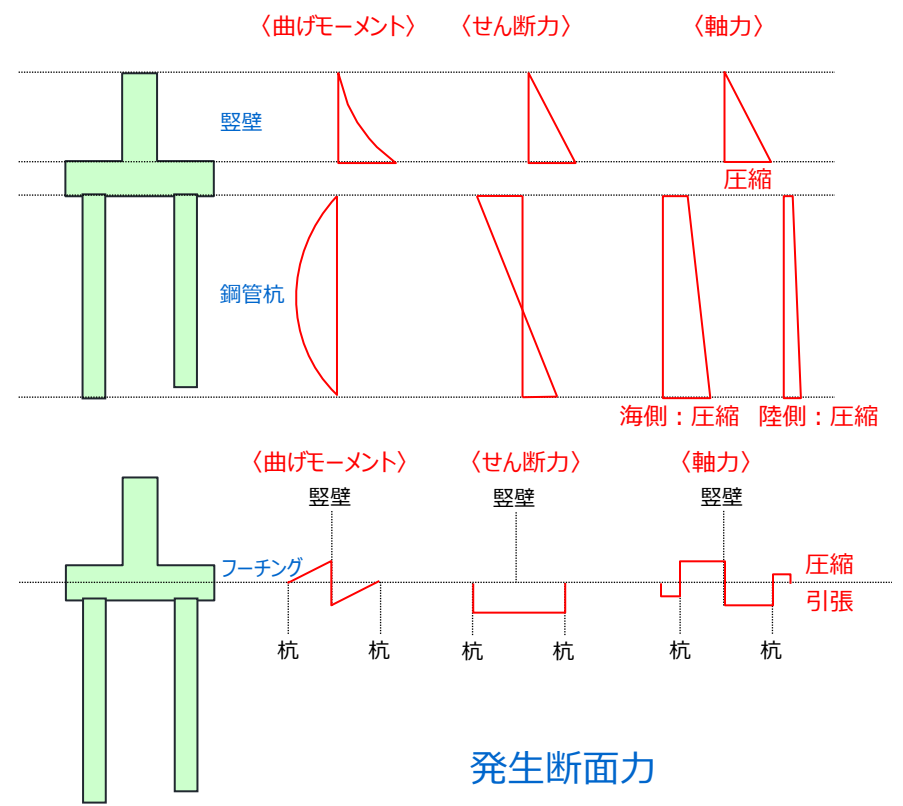
【発生断面力（応力状態）】

- 逆T擁壁の断面力は縦壁とフーチングとの接合部に集中する。また、**鋼管杭とフーチングの接合部がヒンジ構造**であるため、鋼管杭の曲げモーメントは鋼管杭中央付近、せん断力は鋼管杭上端側で卓越する。



※ 雪荷重、風荷重は省略

荷重図



発生断面力

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.3 荷重と発生断面力の概要（1）地震時（2/2）

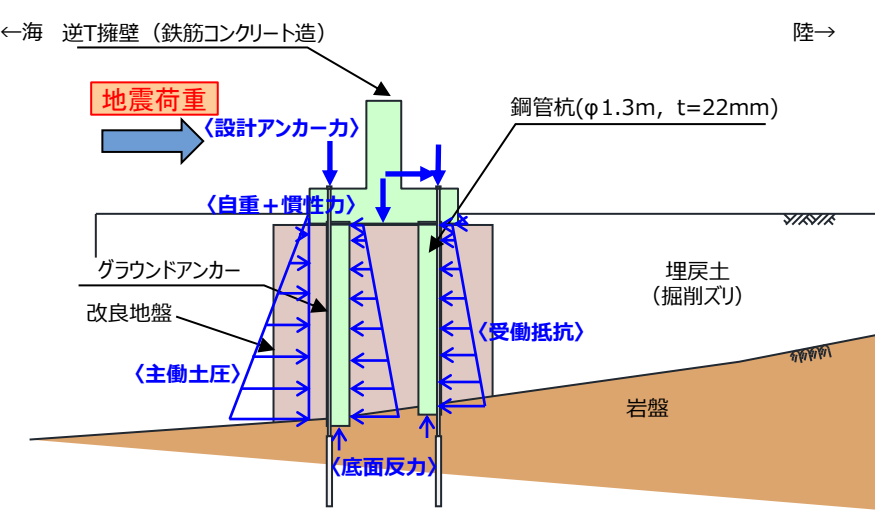
■ 地震時（陸側方向）の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

- 逆T擁壁及び鋼管杭に作用する地震力（慣性力及び主動土圧）は、**縦壁・フーチング**を介して改良地盤・**岩盤**に伝わる。反力として受働抵抗が働く。
- **グラウンドアンカー**の設計アンカー力により、逆T擁壁を改良地盤に、改良地盤を岩盤に押し付ける力が働く。

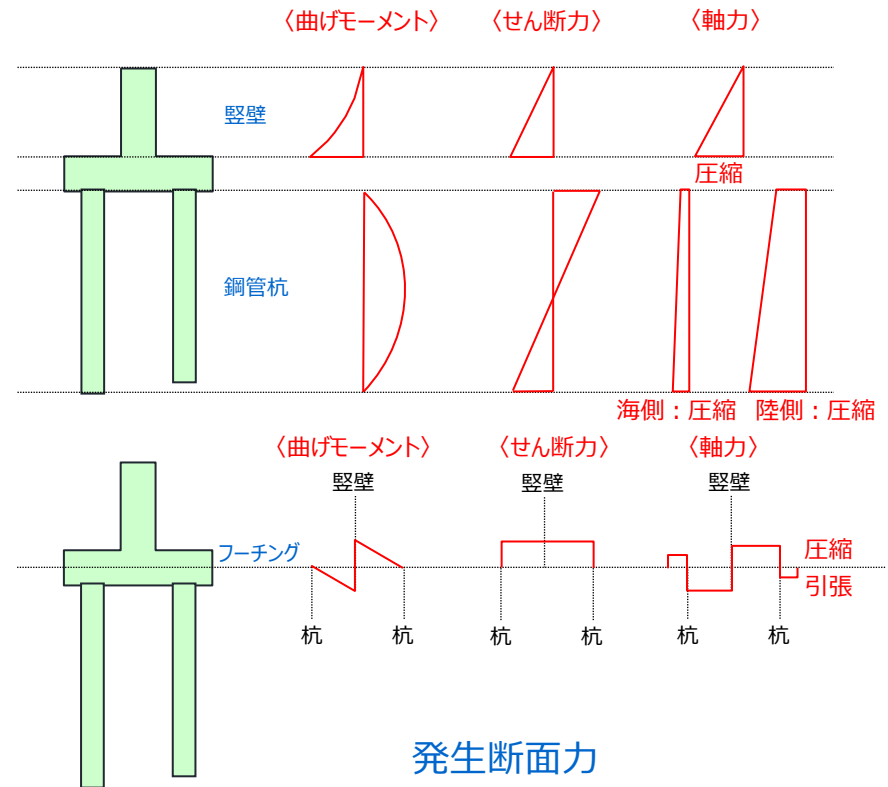
【発生断面力（応力状態）】

- 逆T擁壁の断面力は縦壁とフーチングとの接合部に集中する。また、**鋼管杭とフーチングの接合部がヒンジ構造**であるため、鋼管杭の曲げモーメントは鋼管杭中央付近、せん断力は鋼管杭上端側で卓越する。



※ 雪荷重、風荷重は省略

荷重図



発生断面力

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（1/5）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 地震又は津波荷重により逆T擁壁－改良地盤間に相対変形が生じ、せん断力が鋼管杭に作用して鋼管杭が損傷することで、遮水性を喪失する。 鋼管杭下端部において岩盤からのせん断抵抗を受けられないことで、逆T擁壁が滑動または転倒し、遮水性を喪失する。 【損傷モードと弱部（2）】 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 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形を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭の変形が概ね弾性範囲であることを確認する。 鋼管杭先端は根入れ深さが0.5m程度であることから、岩盤からのせん断抵抗に期待しない設計とする。 グラウンドアンカーにより逆T擁壁の滑動・転倒を抑止する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 汀線方向の地震荷重により、曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 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形を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭が概ね弾性範囲であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 隣接するブロックからの荷重により、鋼管杭が損傷し、遮水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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、遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭が転倒しないことを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震により杭頭部に曲げモーメントが集中し、曲げ破壊することで、遮水性を喪失する。【損傷モードと弱部（2）】 	①	<ul style="list-style-type: none"> 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する。（6.5（1）参照） 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に施設護岸の一部が損傷し、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、遮水性を喪失する。 地震時に施設護岸の一部が損傷し、受働抵抗が低下することにより鋼管杭が損傷し、遮水性を喪失する。【損傷モードと弱部（3）】 	①	<ul style="list-style-type: none"> 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。 防波壁前面の施設護岸をモデル化しないケースにおいて、防波壁の構造成立性を確認する。 	—

※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（－）。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（2 / 5）

■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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		○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重により鋼管杭接続部に押抜きせん断応力が働き、押抜きせん断破壊が生じることで逆T擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。【損傷モードと弱部（2）】 	①, ②		○
	<ul style="list-style-type: none"> グラウンドアンカーの受圧板からの反力により逆T擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。 	①, ②		○
	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物荷重による逆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。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 万一、竜巻及びその随件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。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 逆T擁壁の転倒及び滑りの有無を確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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（-）。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（3 / 5）

■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

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)	<ul style="list-style-type: none"> 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形により、目地の許容変形量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 異種構造形式の境界部、防波壁周辺の隣接構造物、改良地盤の有無を考慮して選定した断面について止水目地の相対変形量を算定し、許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物が衝突することにより、目地が損傷し遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	—
グラウンドアンカー	<ul style="list-style-type: none"> テンドン、グラウトが破損することによりグラウンドアンカーのアンカー力が不足し、逆T擁壁が転倒する。 【損傷モードと弱部（2）】 	—	<ul style="list-style-type: none"> 試験施工（品質保証試験）により設計アンカー力以上を確保していることを確認する。 定期点検により設計アンカー力以上のアンカー力が作用していることを確認する。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 定着部の地盤が破壊することによりグラウンドアンカーのアンカー力が不足し、逆T擁壁が転倒する。 【損傷モードと弱部（2）】 	—		
	<ul style="list-style-type: none"> 定着治具が破壊することにより、グラウンドアンカーのアンカー力が不足し、逆T擁壁が転倒・滑動することにより遮水性を喪失する。 【損傷モードと弱部（2）】 	—		

※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（-）。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（4 / 5）

■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

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	<ul style="list-style-type: none"> 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、逆T擁壁の遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 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）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。 逆T擁壁からの接地圧が改良地盤の極限支持力以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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。【損傷モードと弱部（2）】 			
	<ul style="list-style-type: none"> 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・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。 			
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に逆T擁壁に伝わる荷重により改良地盤が破壊し、鉛直支持機能を喪失する。 			

※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（-）。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（5/5）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

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	<ul style="list-style-type: none"> 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、鋼製逆T擁壁の遮水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 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） 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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。【損傷モードと弱部（2）】 	①	<ul style="list-style-type: none"> 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。（6.5（2）参照） 	○

※1 ①地震時，②津波時

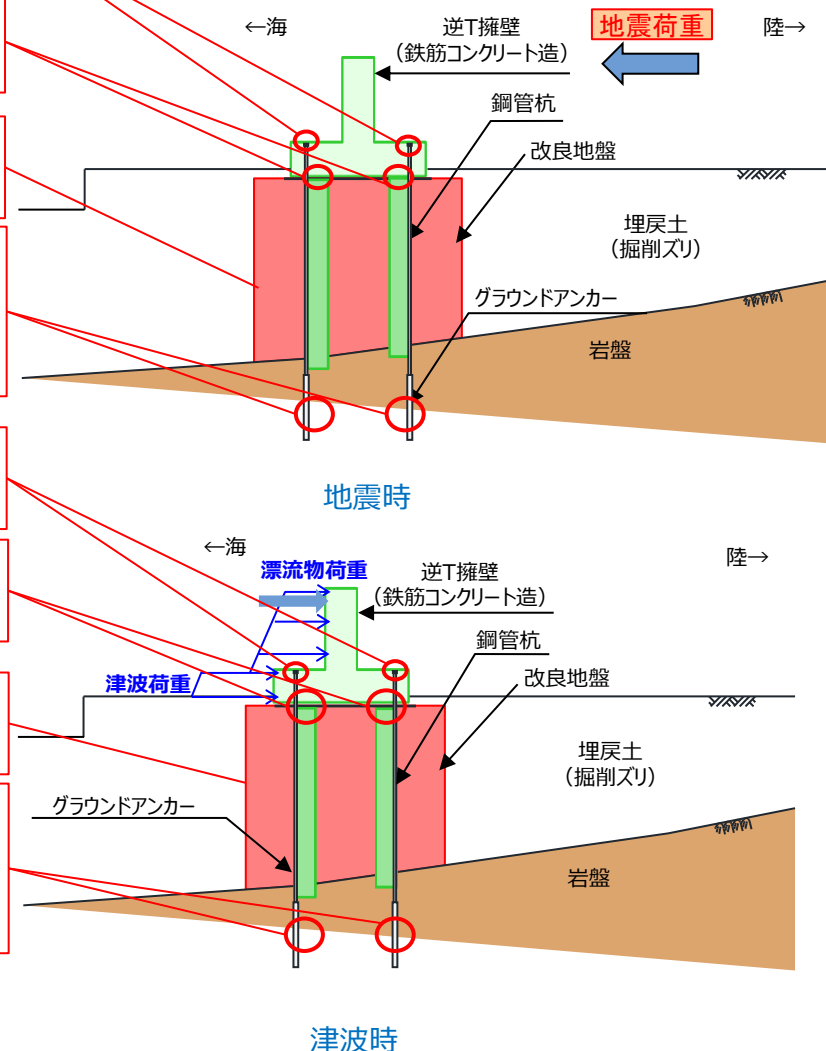
※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.4 損傷モードと弱部（2）共通（地震時・津波時）

■ 逆T擁壁、改良地盤、グラウンドアンカー及び鋼管杭について、地震時及び津波時に局所的に応力が集中し、構造上の弱部となる箇所は以下の通り。

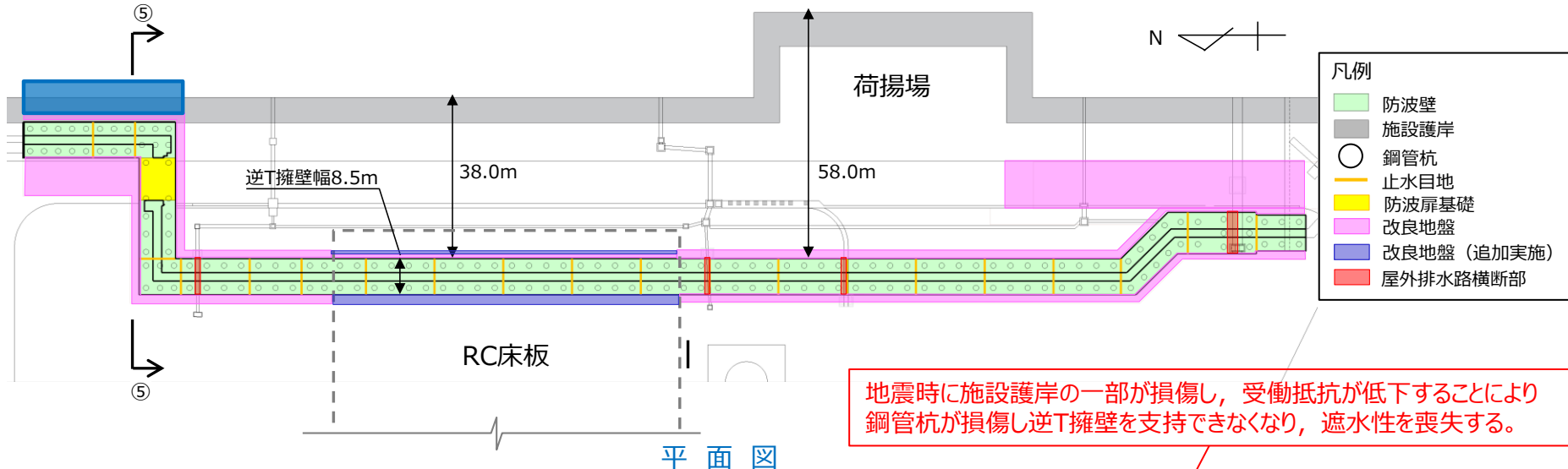
- 【グラウンドアンカー】
 - ・定着治具が破壊することにより、グラウンドアンカーのアンカー力が不足し、逆T擁壁が転倒・滑動することにより遮水性を喪失する。
- 【逆T擁壁】
 - ・押し抜きせん断応力が働き、押し抜きせん断破壊が生じることで逆T擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。
- 【改良地盤】
 - ・地震荷重により、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。
- 【グラウンドアンカー】
 - ・テンドン、グラウトが破損することによりグラウンドアンカーのアンカー力が不足し、逆T擁壁が転倒する。
 - ・定着部の地盤が破壊することによりグラウンドアンカーのアンカー力が不足し、逆T擁壁が転倒する。
- 【グラウンドアンカー】
 - ・定着治具が破壊することにより、グラウンドアンカーのアンカー力が不足し、逆T擁壁が転倒・滑動することにより遮水性を喪失する。
- 【逆T擁壁】
 - ・押し抜きせん断応力が働き、押し抜きせん断破壊が生じることで逆T擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。
- 【改良地盤】
 - ・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。
- 【グラウンドアンカー】
 - ・テンドン、グラウトが破損することによりグラウンドアンカーのアンカー力が不足し、逆T擁壁が転倒する。
 - ・定着部の地盤が破壊することによりグラウンドアンカーのアンカー力が不足し、逆T擁壁が転倒する。



6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.4 損傷モードと弱部（3）施設護岸が損傷した場合の鋼管杭の耐震性（地震時）

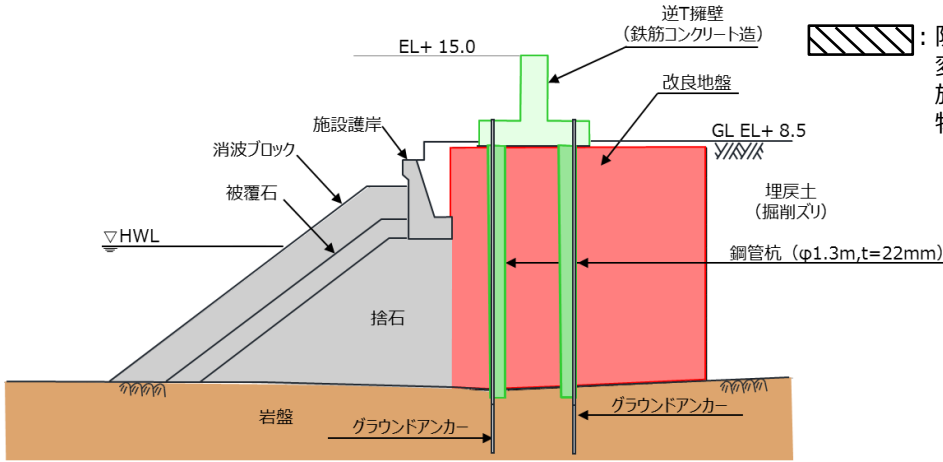
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）のうち、前面の施設護岸の一部が地震により損傷し、受働抵抗が低下することにより構造上の弱部となる防波壁北側部の平面図及び断面図を以下に示す。
- 施設護岸が地震により損傷することによる防波壁への影響（耐震性）の検討は、防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合の解析を実施することにより行う。



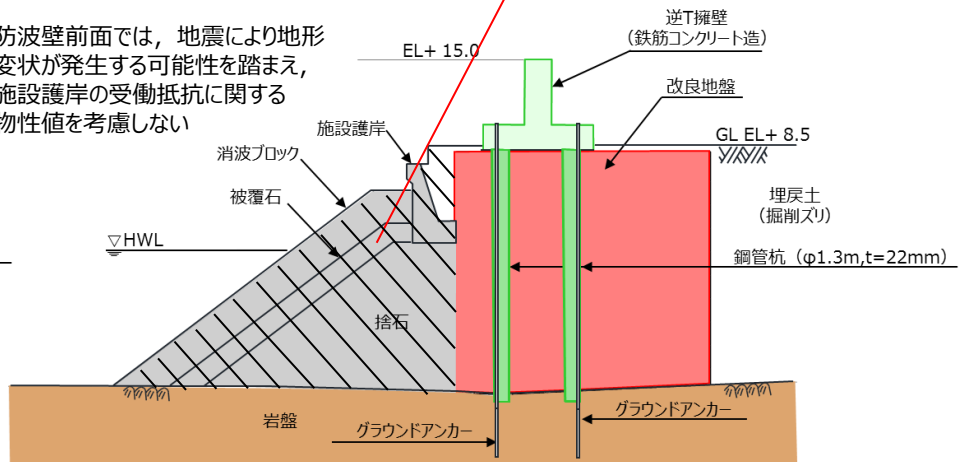
平面図

地震時に施設護岸の一部が損傷し、受働抵抗が低下すること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。

防波壁前面では、地震により地形変状が発生する可能性を踏まえ、施設護岸の受働抵抗に関する物性値を考慮しない



基本ケース



追加検討ケース (⑤-⑤断面)

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（1/3）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）について、間接支持する設備、構造的特徴、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以下の表に示す。
- 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、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。また、止水目地の機能維持の観点からも、異種構造物形式の境界部、防波壁周辺の隣接構造物、改良地盤の有無を考慮したうえで、防波壁の施工ブロック間の相対変形が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。

耐震評価候補断面の整理（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））（1/3）

観点		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）		
		荷揚護岸北側部（①-①断面）	荷揚護岸南側部（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 ・鉄筋コンクリート構造物 ・鋼管杭8本を1ブロックとした壁体を連続して設置した。 	<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8本を1ブロックとした壁体を連続して設置した。 	
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> ・逆T擁壁：幅8.5m，高さ7.0m ・鋼管杭：φ1.3m 	<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CM級岩盤に対して打設している。 ・周辺地質は埋戻土（掘削ズリ）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：10.3m 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭を根入れ0.5m程度で主にCH級岩盤に対して打設している。 ・周辺地質は埋戻土（掘削ズリ）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：10.0m 	
	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。	
	隣接 構造物	横断方向	・なし	・なし
		縦断方向	・なし	・異種構造形式（多重鋼管杭式擁壁）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。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（2/3）

耐震評価候補断面の整理（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））（2/3）

観点		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）		
		RC床板部（③-③断面）	防波扉南側部（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 ・鉄筋コンクリート構造物 ・鋼管杭8本を1ブロックとした壁体を連続して設置した。 	<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8本を1ブロックとした壁体を連続して設置した。 	
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> ・逆T擁壁：幅8.5m，高さ7.0m ・鋼管杭：φ1.3m 	<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CM級岩盤に対して打設している。 ・周辺地質は埋戻土（掘削ズリ）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：6.3m 	<ul style="list-style-type: none"> ・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ている。 ・周辺地質は埋戻土（掘削ズリ）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：14.5m
	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	横断方向	・なし	・なし
		縦断方向	・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。

6.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（3/3）

耐震評価候補断面の整理（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））（3/3）

観点		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	
		防波扉北側部（⑤-⑤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した。 	
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> ・逆T擁壁：幅8.5m，高さ8.5m ・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CM級岩盤に対して打設している。 ・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。 ・捨石部の一部については、地盤改良を実施している。 ・地表面から岩盤までの深さ：16.5m 	
	地下水位※	・解析結果等を踏まえて整理する。	
	隣接構造物	横断方向	・東側に施設護岸が隣接する。
縦断方向		・異種構造形式（波返重力擁壁）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。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.5 個別論点（1）設計の経緯

	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）
<p>鋼管杭の 曲げ モーメント 図</p>		
<p>設計の 考え方</p>	<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、鋼管杭の変形を抑制し、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。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.5 個別論点（2）逆T擁壁の支持機構

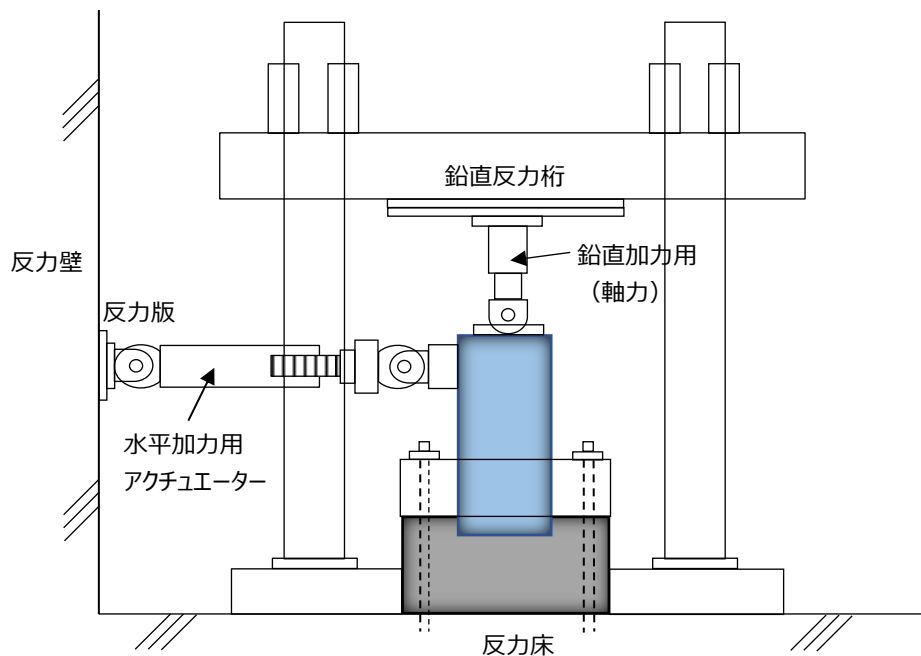
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の鋼管杭については、「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成24年3月）」に示される杭の支持層への根入れ深さを確保できていないことから、岩盤からのせん断抵抗に期待しない設計とする。なお、鋼管杭の先端部が岩盤からせん断抵抗を受けた場合の悪影響の有無について評価を実施する。
- 上記を踏まえ、鋼管杭周辺の改良地盤については、「逆T擁壁を支持する」役割を追加し、グラウンドアンカーについては、「逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する」役割に期待する施設の一部として要求性能に応じた設計を行う。

	岩盤からのせん断抵抗に期待する設計 (令和2年6月30日 審査会合時点)	岩盤からのせん断抵抗に期待しない設計 (今回見直し)
鋼管杭・グラウンドアンカーの設計		
設計の考え方	<ul style="list-style-type: none"> ・岩盤からのせん断抵抗及び鉛直支持力に期待する設計とし、杭先端をピン結合でモデル化。 ・グラウンドアンカーを設計に考慮しない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・岩盤からのせん断抵抗に期待しない設計とするため、解析モデルにおいて、杭先端をピン結合からジョイント要素に見直す。 ・改良地盤は逆T擁壁を支持する役割に期待する設計とする。 ・グラウンドアンカーは逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒の抑止の役割に期待する設計とする。

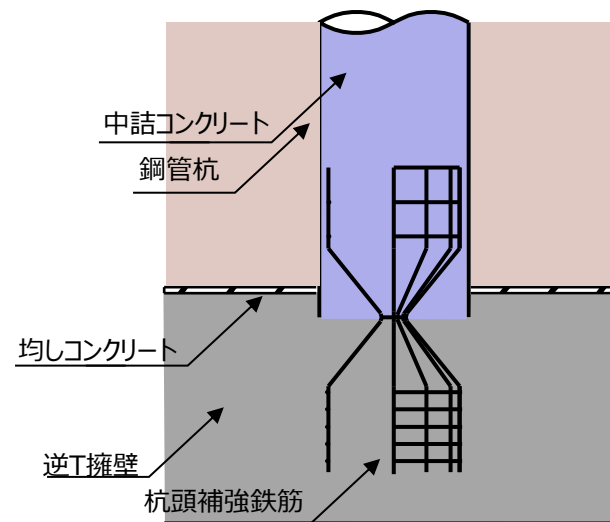
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.5 個別論点（3）杭頭部の力学特性確認実験（1/2）

- 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成29年11月）」によると、杭とフーチングとの接合部について、以下の記載がされている。
 - ・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がある。
- 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が剛からヒンジへ移行することを確認する。
- 模型実験はスケール効果による影響を小さくする観点から出来るだけ実機に近いサイズでの実験となるよう、1/2の模型縮尺とする。



模型実験概要図



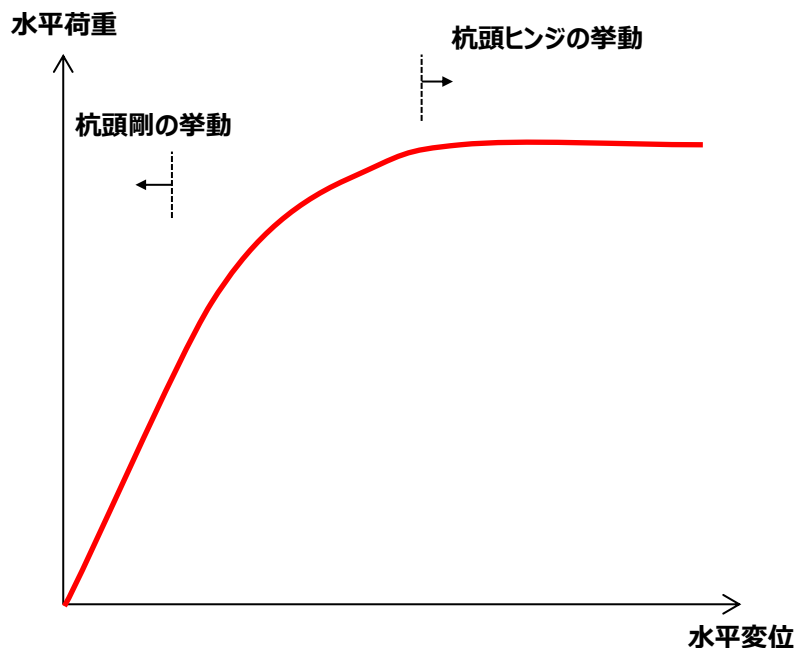
杭頭部 拡大図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

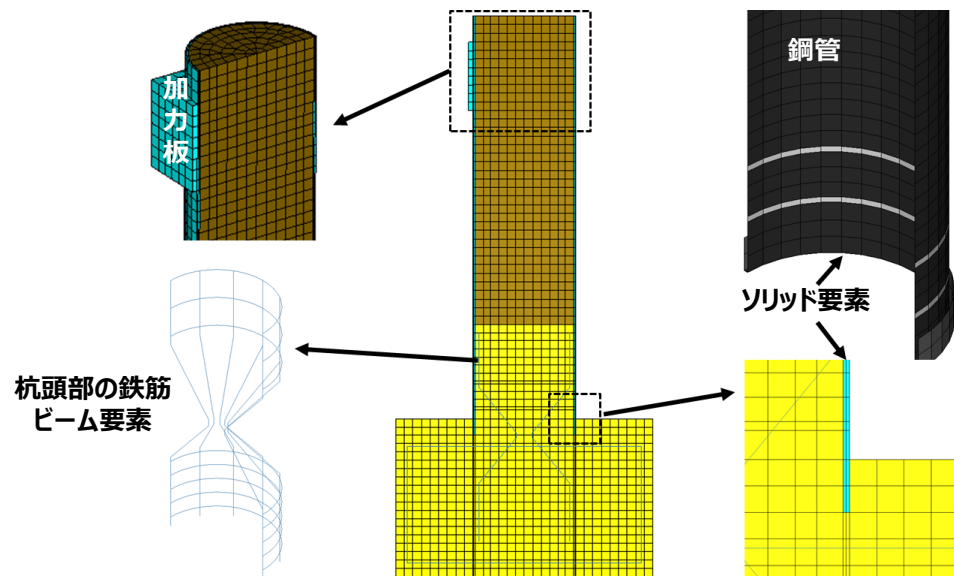
6.5 個別論点（3）杭頭部の力学特性確認実験（2/2）

詳細設計段階においては、以下の検討により、杭頭部の力学的挙動の確認を行う。

- 模型実験から得られる荷重－変位曲線を踏まえ、耐震・耐津波設計における荷重範囲における杭頭部の挙動が、杭頭剛と杭頭ヒンジの中間的な挙動であることを確認する。
- 実験結果の妥当性を確認するため、実験模型をモデル化した3次元静的FEM解析により、実験結果の再現解析を実施する。
- 数値解析により、杭頭部を剛とした場合とヒンジ状態とした場合の耐震性及び耐津波性に係る評価結果を示すとともに、底盤が概ね弾性状態であることを確認する。



実験結果に基づく荷重－変位曲線（イメージ）



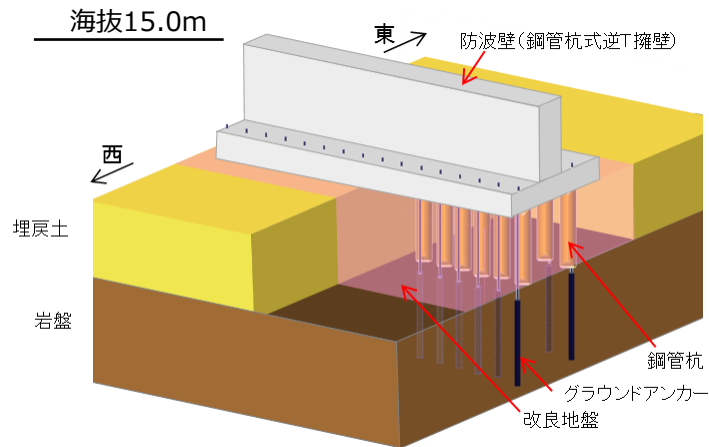
3次元静的FEM解析モデル概要図（イメージ）

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

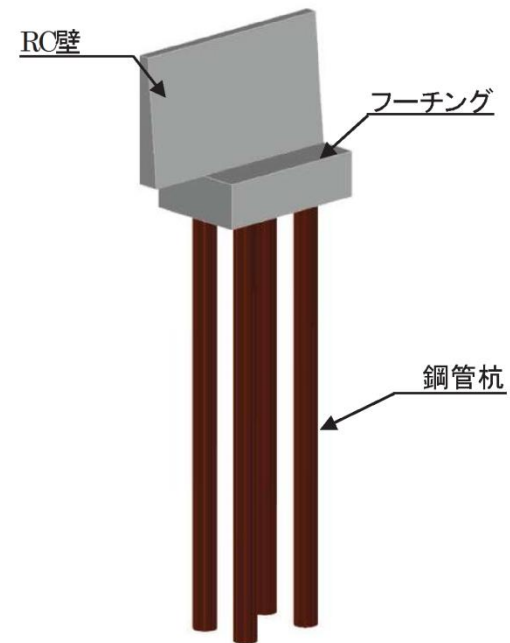
6.5 個別論点（4）構造等に関する先行炉との比較（1/2）

- 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。

島根原子力発電所
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）



6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.5 個別論点（4）構造等に関する先行炉との比較（2/2）

- 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以下のとおり抽出した。
- 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、それぞれ以下のとおり整理した。

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。 鋼管杭の根入れ長が異なる。 	<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。 鋼管杭先端における岩盤からのせん断抵抗に期待しない設計とする。
	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 グラウンドアンカーを設置している 	<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 グラウンドアンカーを設置していない 	<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"> グラウンドアンカーの役割に期待している。 	<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。 	<ul style="list-style-type: none"> グラウンドアンカーのアンカー力により改良地盤と岩盤に有意な変形を生じないために設計アンカー力を確保する。
止水対策	止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に応じ、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、相対変形量に応じ、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	<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、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。 	

※ 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。

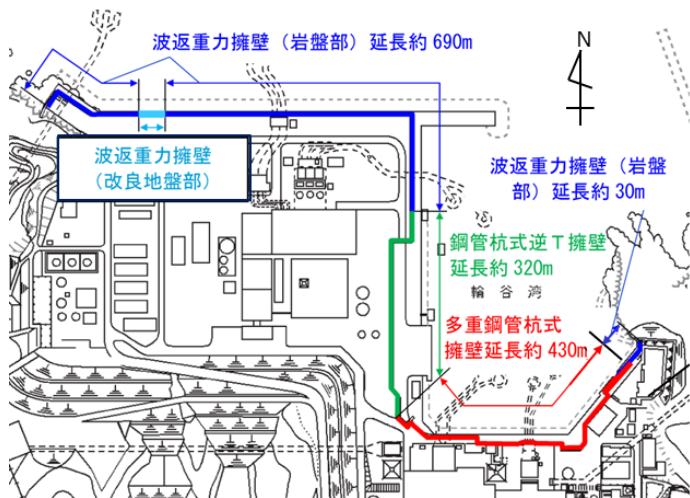
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁）

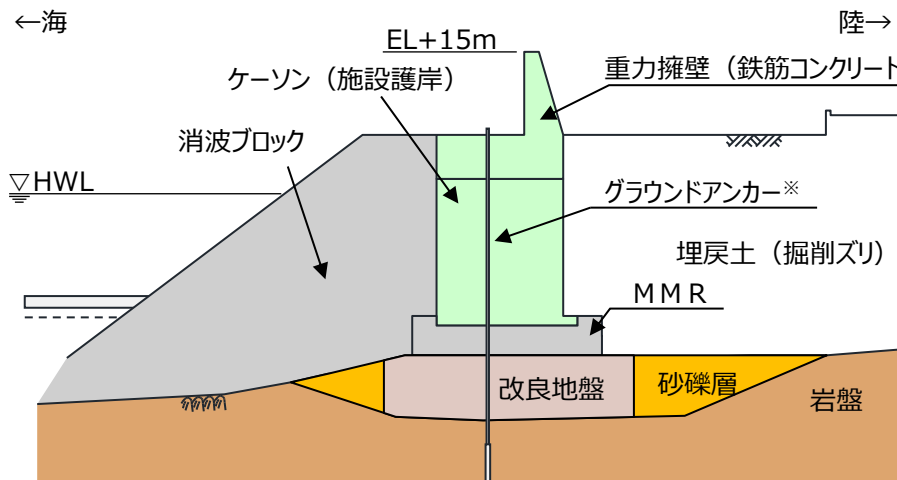
構造概要（1/12）

第870回審査会合
資料1-2-1 P.160 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

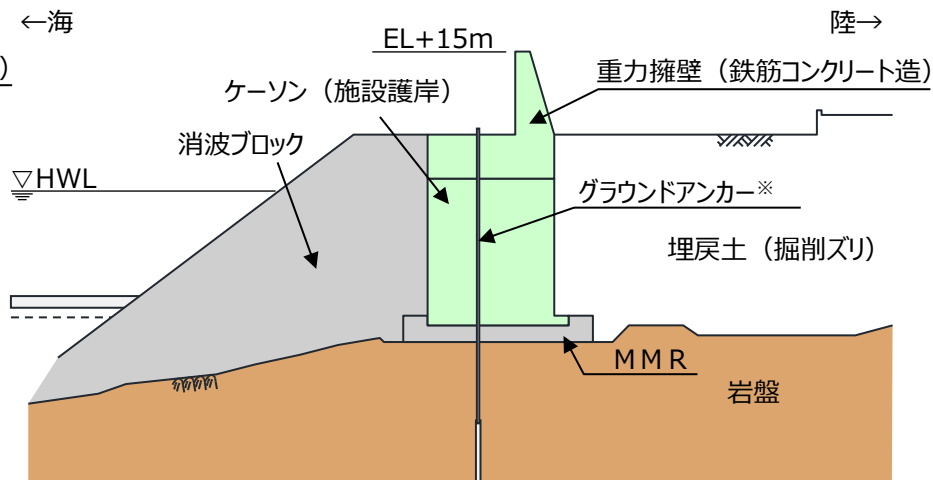
64



- 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。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（ケソンの構造については別添.4-2参照）。
- 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(8.1参照)を設置する。
- 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을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）（改良地盤部）断面図



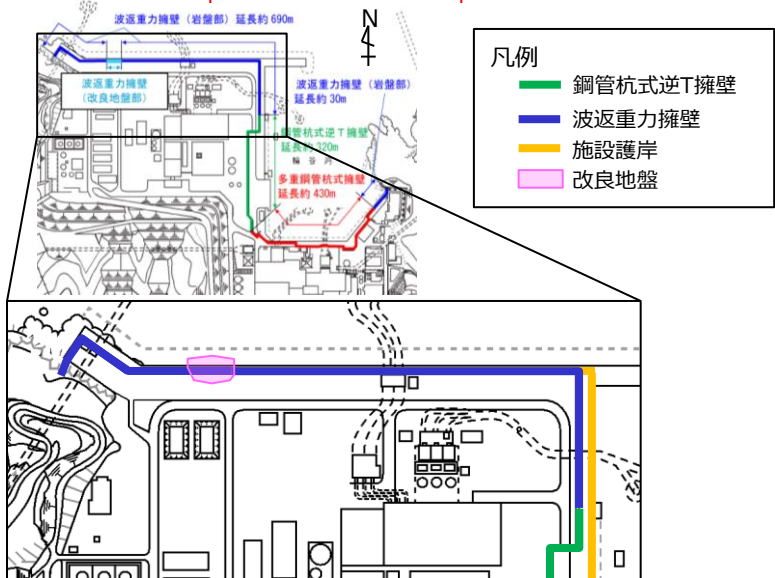
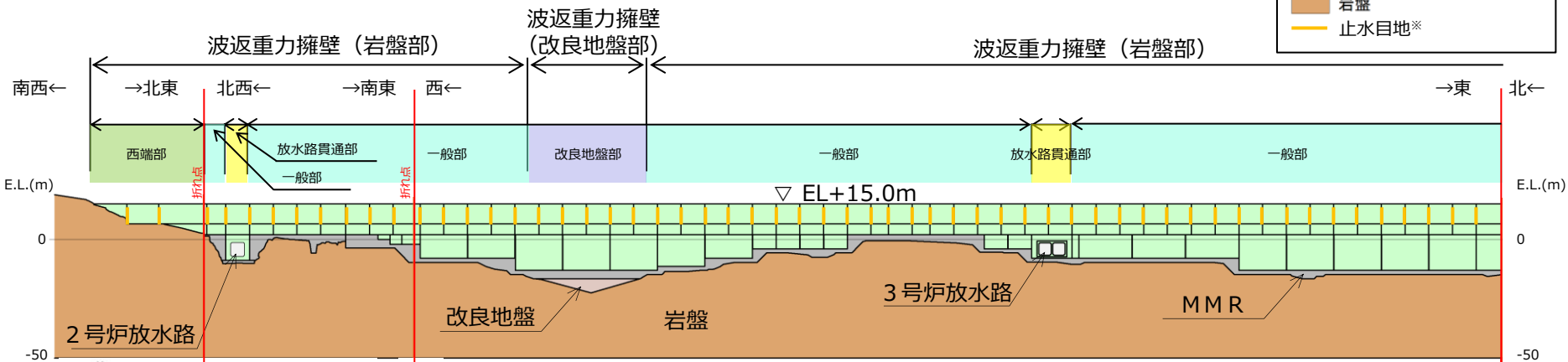
防波壁（波返重力擁壁）（岩盤部）断面図

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

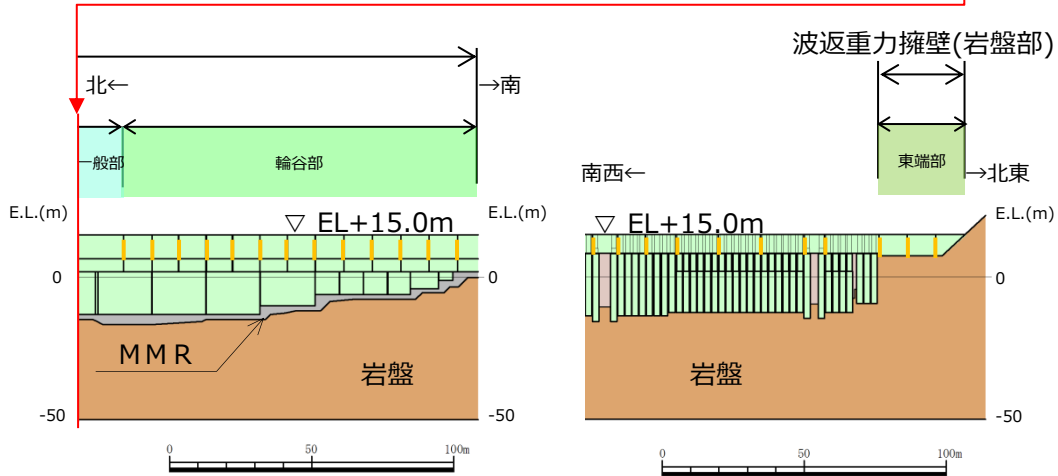
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（2/12）

■ 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。



防波壁平面図（波返重力擁壁）



防波壁縦断図（波返重力擁壁）

※止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

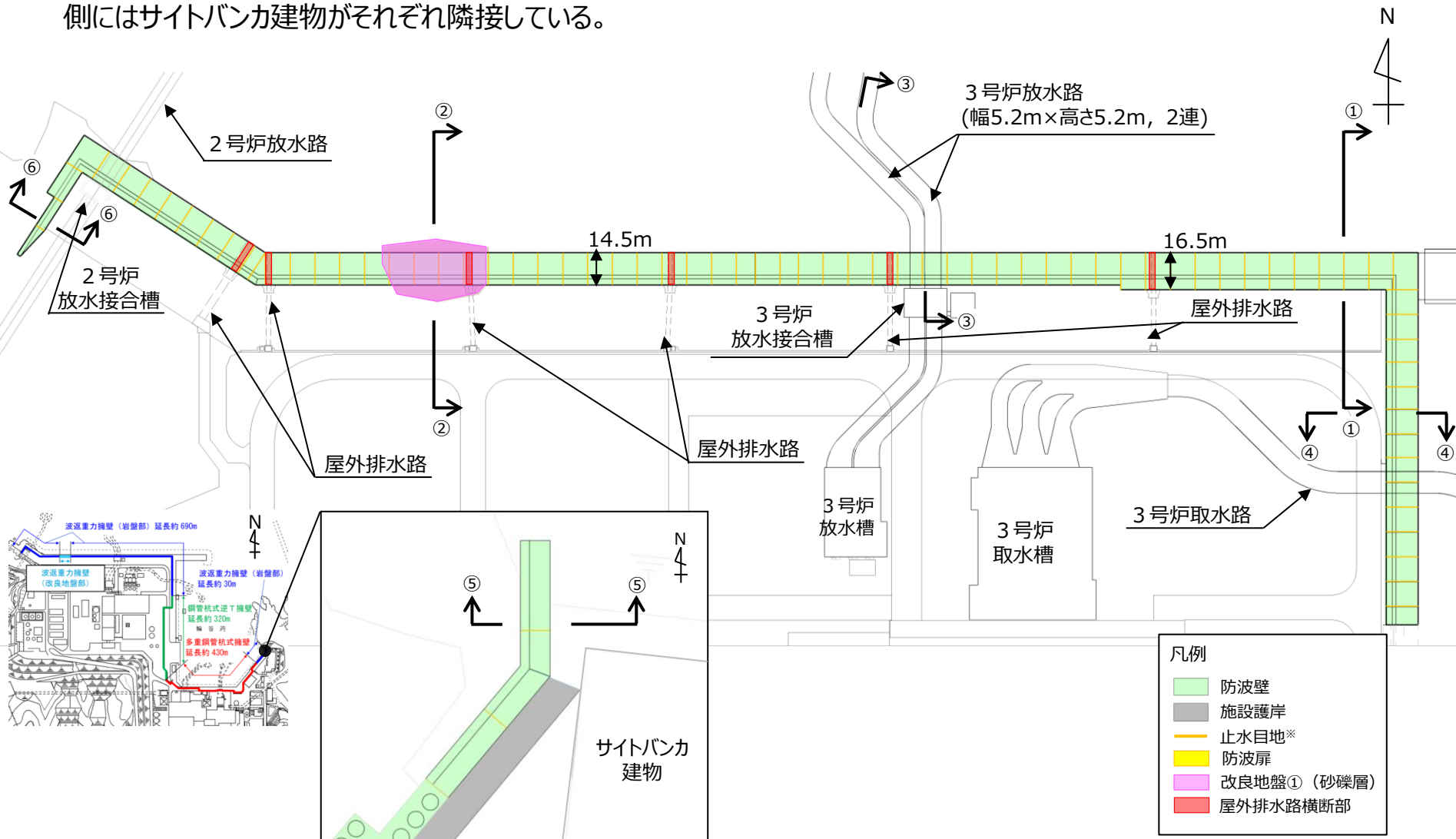
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁）構造概要（3/12）

第870回審査会合
資料1-2-1 P.162 再掲

66

- 防波壁（波返重力擁壁）の平面図（止水目地位置含む）を以下に示す。
- 防波壁放水路横断面（③-③断面）には3号炉放水路（放水接合槽を含む），また，東端部（⑤-⑤断面）東側にはサイトバンカ建物がそれぞれ隣接している。



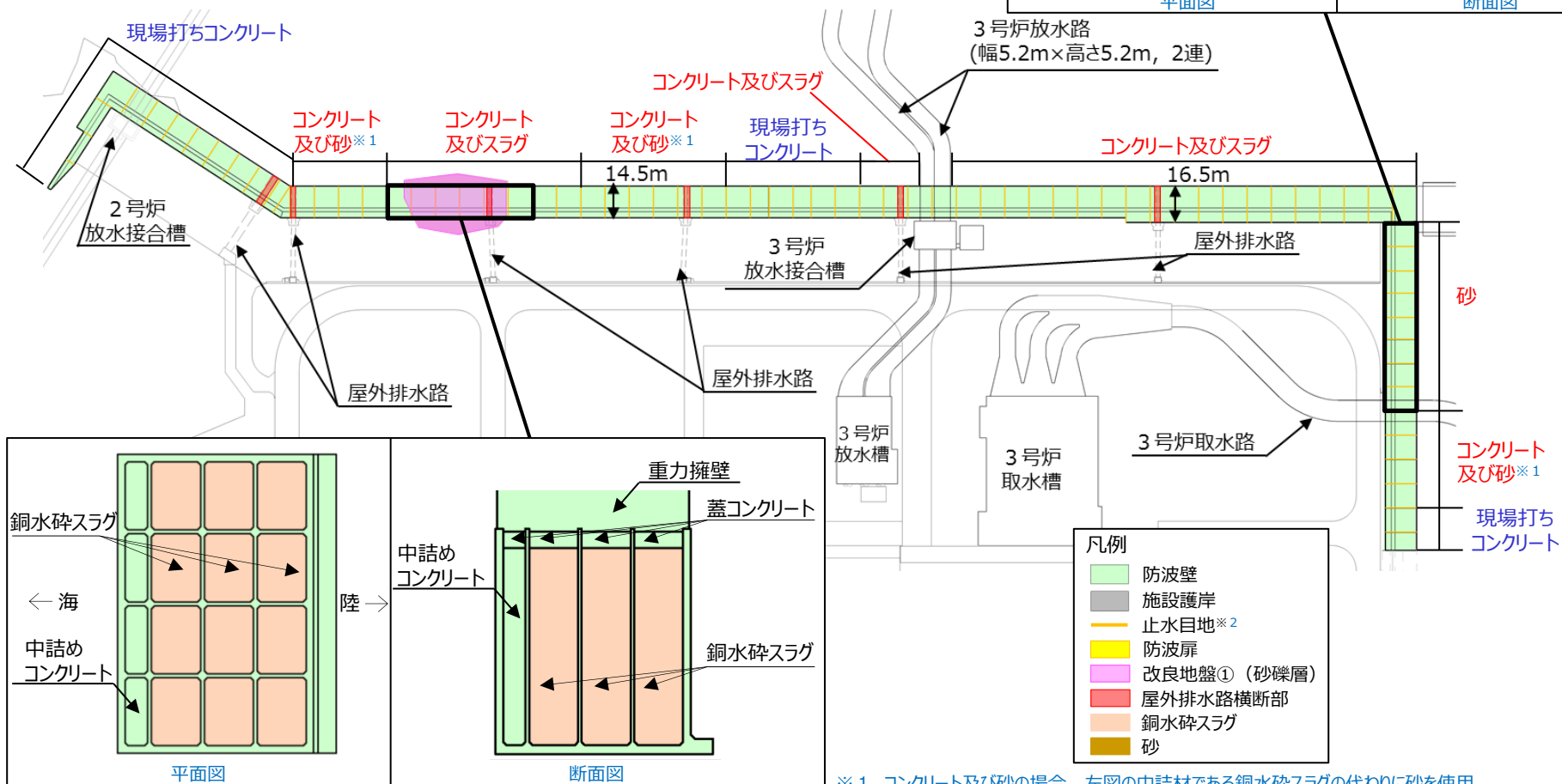
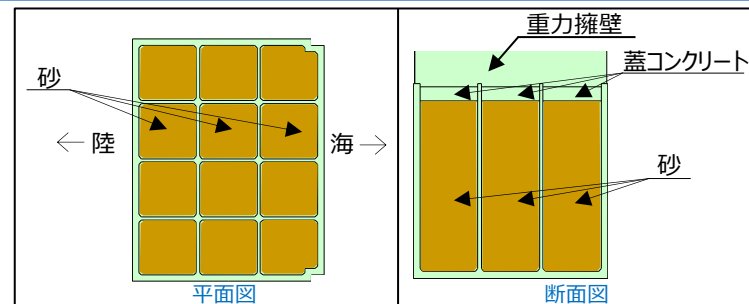
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（4/12）

第870回審査会合
資料1-2-1 P.163 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

67

- 防波壁（波返重力擁壁）のケーソン中詰材の施工状況を以下に示す。
- 中詰材の種類は、ケーソンの安定性確保の観点から以下の3種類を選定している。
- なお、一部の区間においては、現場打ちコンクリートとしており、ケーソンを使用しない構造としている。



※1 コンクリート及び砂の場合、左図の中詰材である銅水砕スラグの代わりに砂を使用。

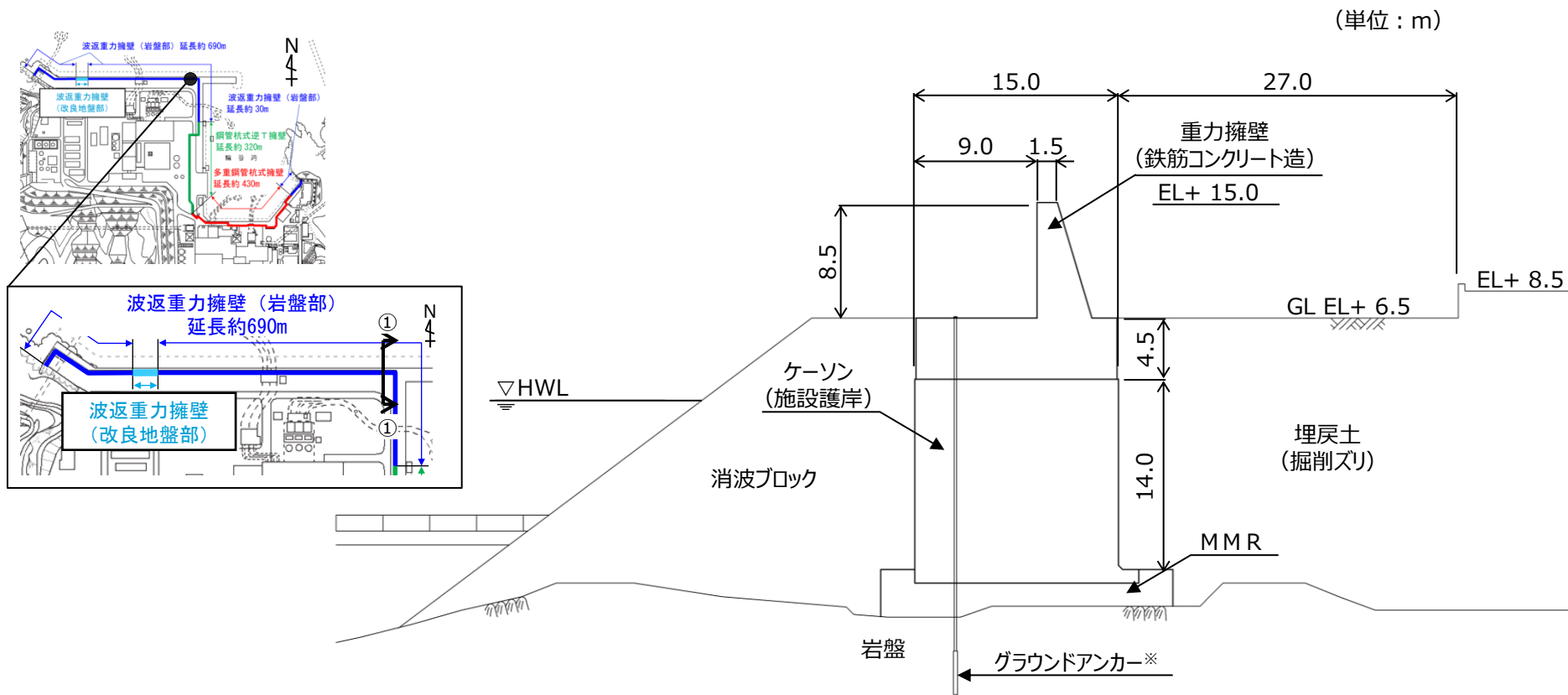
※2 止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（5/12）

第870回審査会合
資料1-2-1 P.164 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

- 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。



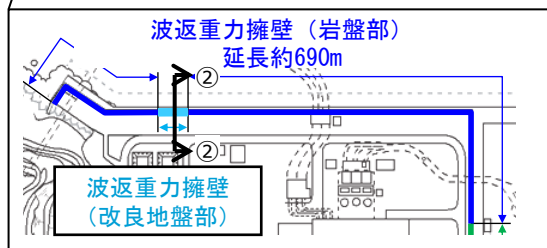
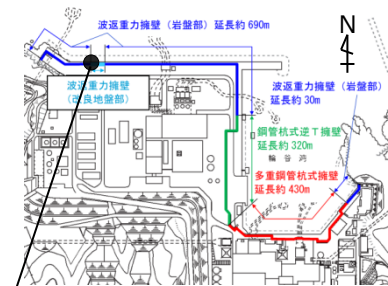
※ 防波壁（波返重力擁壁）は，グラウンドアンカーの効果을期待しなくても，耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁（波返重力擁壁）一般部（①－①断面） 断面図

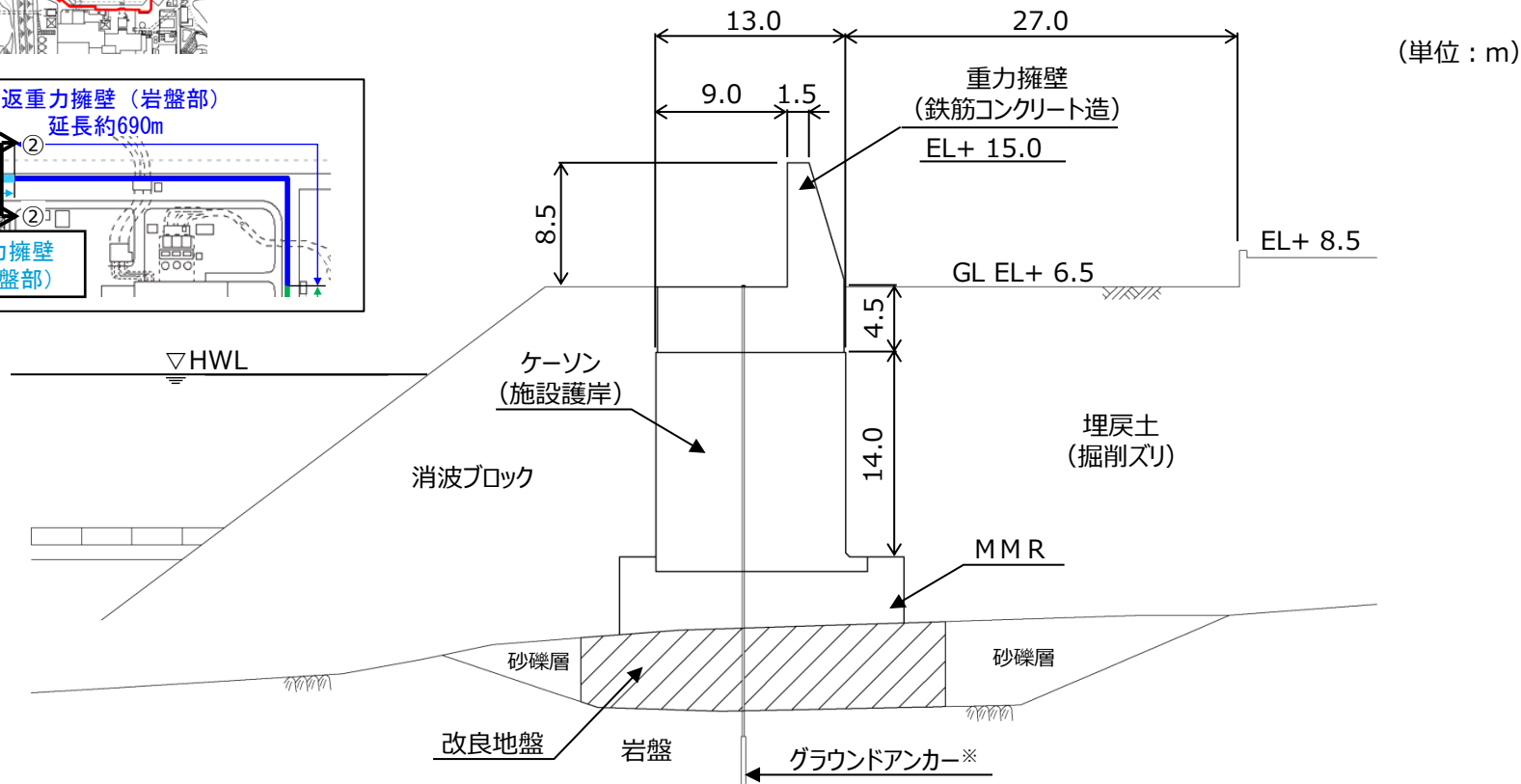
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（6/12）

第870回審査会合
資料1-2-1 P.165 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す



- 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）は、グラウンドアンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

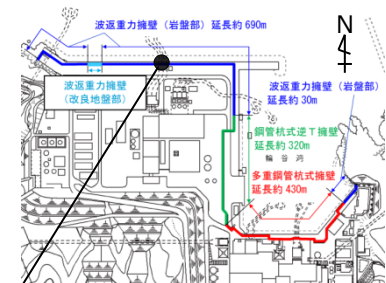
防波壁（波返重力擁壁）改良地盤部（②－②断面） 断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

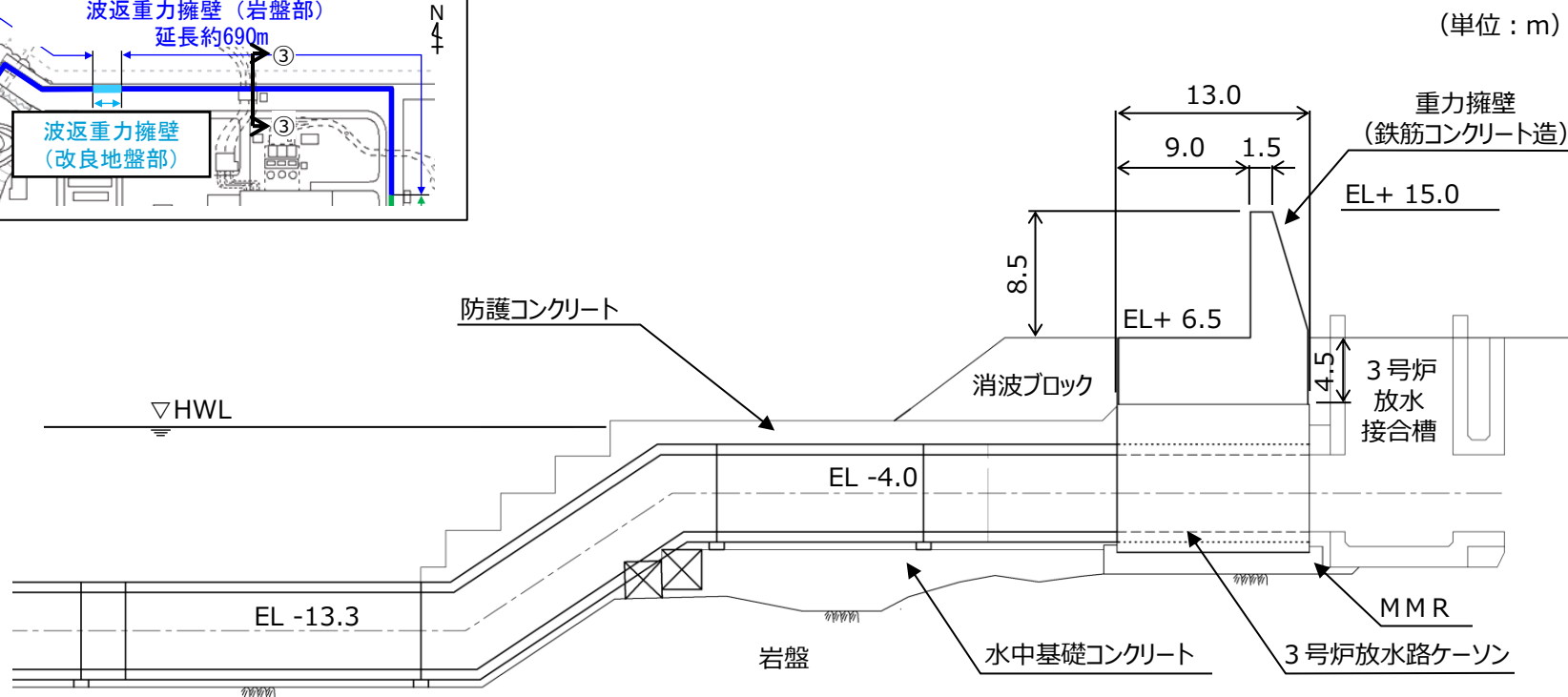
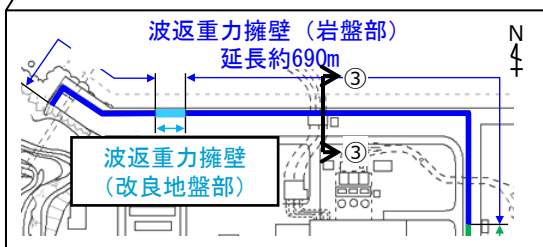
7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（7/12）

第870回審査会合
資料1-2-1 P.166 再掲

70



- 防波壁（波返重力擁壁）放水路貫通部（③－③断面）については、3号炉放水路（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。
- 3号炉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。



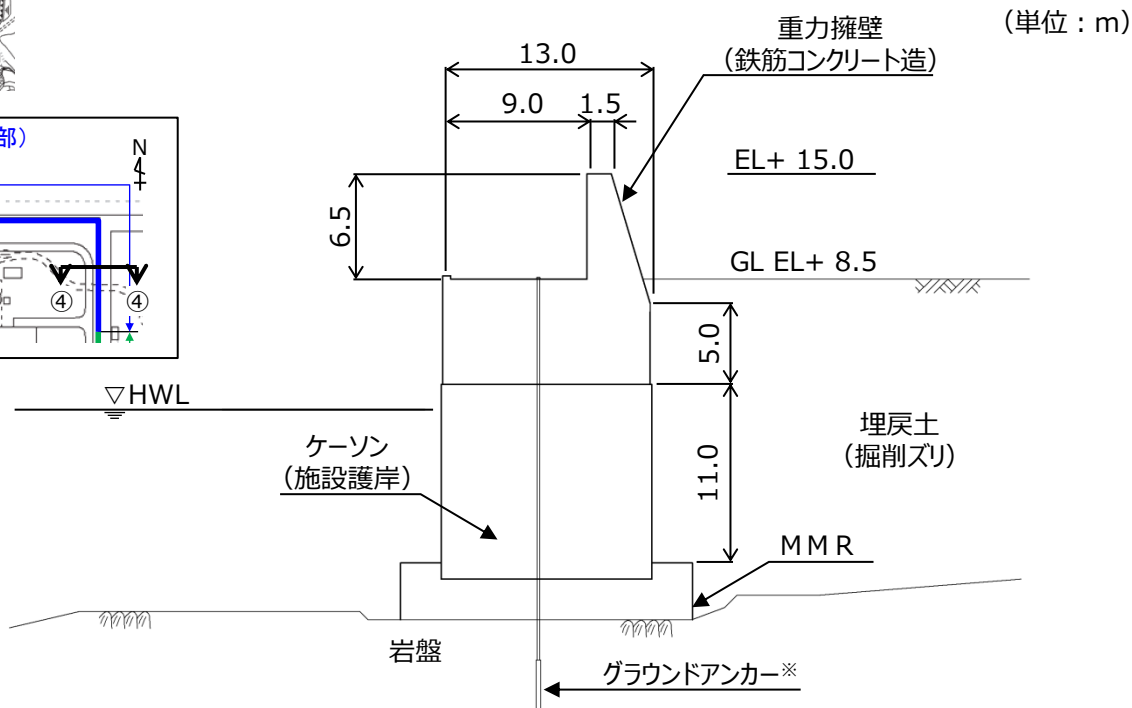
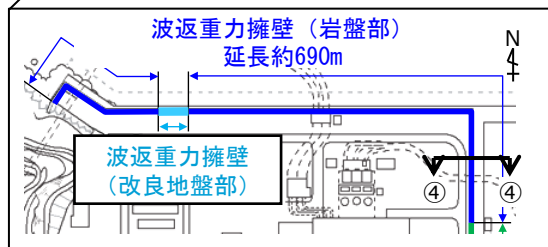
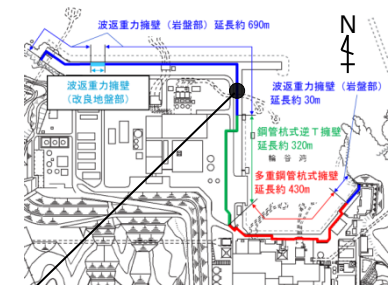
防波壁（波返重力擁壁）放水路貫通部（③－③断面） 断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（8/12）

第870回審査会合
資料1-2-1 P.167 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

- 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）は，グラウンドアンカーの効果を期待しなくても，耐震・耐津波安全性を担保している。

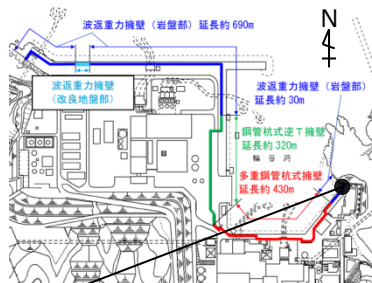
防波壁（波返重力擁壁）輪谷部（④－④断面） 断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

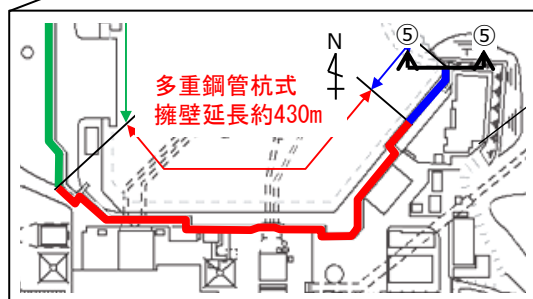
7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（9/12）

第870回審査会合
資料1-2-1 P.168 再掲

72



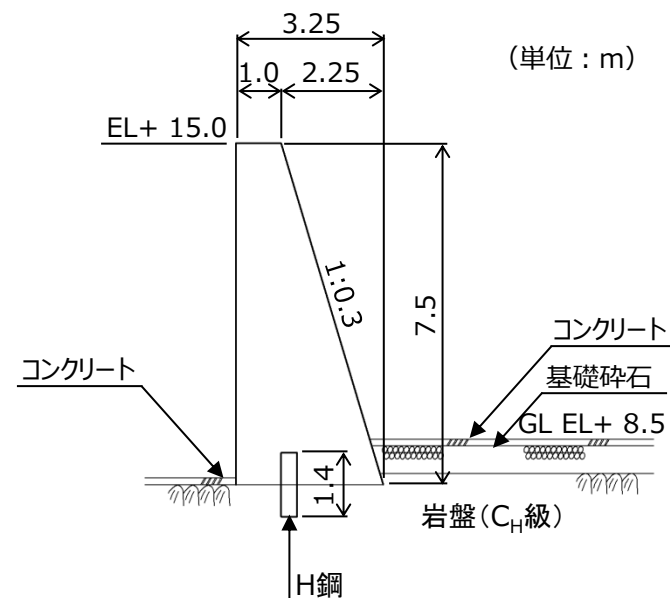
- 防波壁（波返重力擁壁）東端部（⑤-⑤断面）については、地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、H鋼（H-350×350×12×19）を1m間隔で打設し、重力擁壁を堅硬な地山に直接設置する設計とした。また、前面及び背面をコンクリートで被覆した。



防波壁東端部 外観写真



防波壁東端部 岩盤露出状況



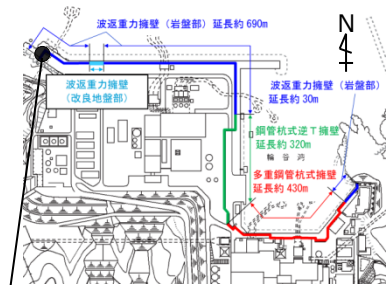
防波壁（波返重力擁壁）東端部
（⑤-⑤断面） 断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

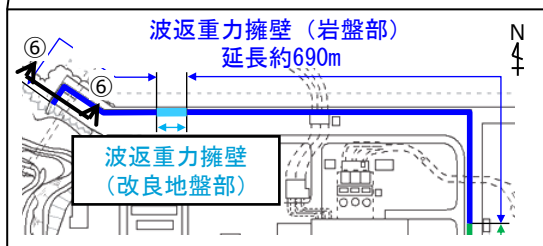
7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（10/12）

第870回審査会合
資料1-2-1 P.169 再掲

73



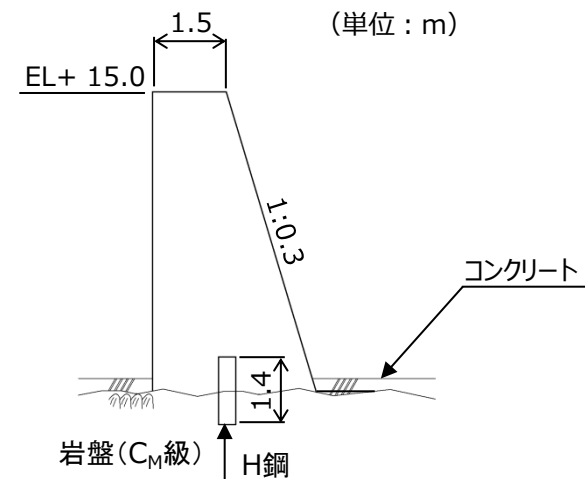
- 防波壁（波返重力擁壁）西端部（⑥-⑥断面）については、東端部同様、地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、H鋼（H-350×350×12×19）を1m間隔で打設し、重力擁壁を堅硬な地山に直接設置する設計とした。また、前面及び背面をコンクリートで被覆した。



防波壁西端部 状況写真



防波壁西端部 岩盤露出状況



防波壁（波返重力擁壁）西端部
（⑥-⑥断面） 断面図

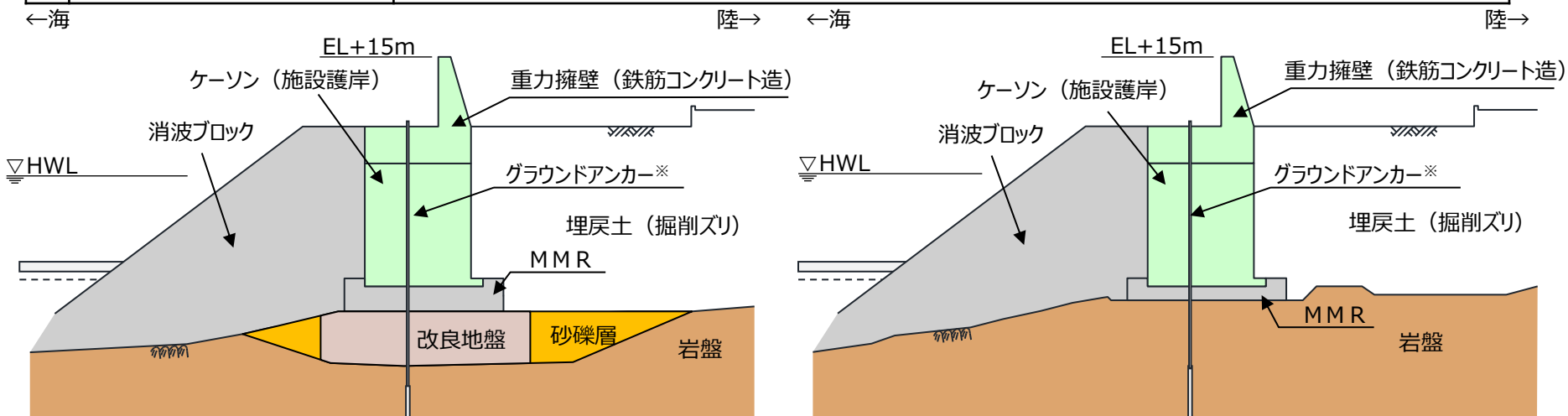
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（11/12）

第870回審査会合
資料1-2-1 P.170 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

■ 防波壁（波返重力擁壁）を構成する各部位は以下の仕様とした。

部位	仕様
【施設】	
重力擁壁	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
ケーソン	プレキャストコンクリート
H鋼	H-350×350×12×19，SM490
【地盤】	
MMR	ケーソン架台に打設した基礎コンクリート， $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$
改良地盤	高圧噴射攪拌工法（セメント系固化材）



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

防波壁（波返重力擁壁（改良地盤部））断面図

防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（12/12）

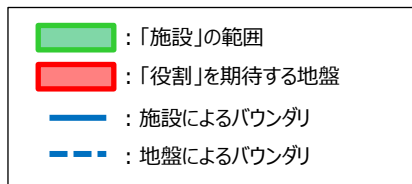
第870回審査会合
資料1-2-1 P.171 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

- 防波壁（波返重力擁壁）を構成する評価対象部位及び構造上のバウンダリを下表に示す。
- 防波壁（波返重力擁壁）は重力擁壁，止水目地，ケーソン，MMR及び地盤改良を構造上のバウンダリとする。
- なお，設置許可基準規則を踏まえた評価対象部位の役割及び性能目標等について次頁以降で詳述する。

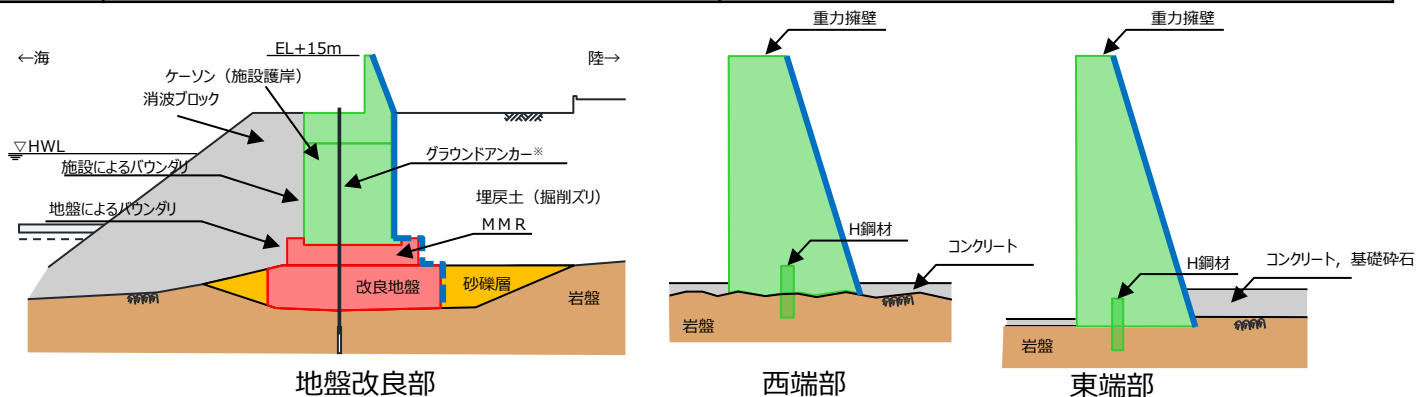
評価対象部位の役割

■ 施設の範囲 ■ 「役割」を期待する地盤

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，遮水性の保持	
H鋼	重力擁壁の滑動を抑制	東端部，西端部に設置
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	基礎地盤，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，消波ブロック	役割に期待しない	



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



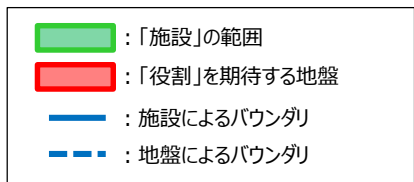
地盤改良部
防波壁（波返重力擁壁）における構造上のバウンダリ

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（1 / 6）

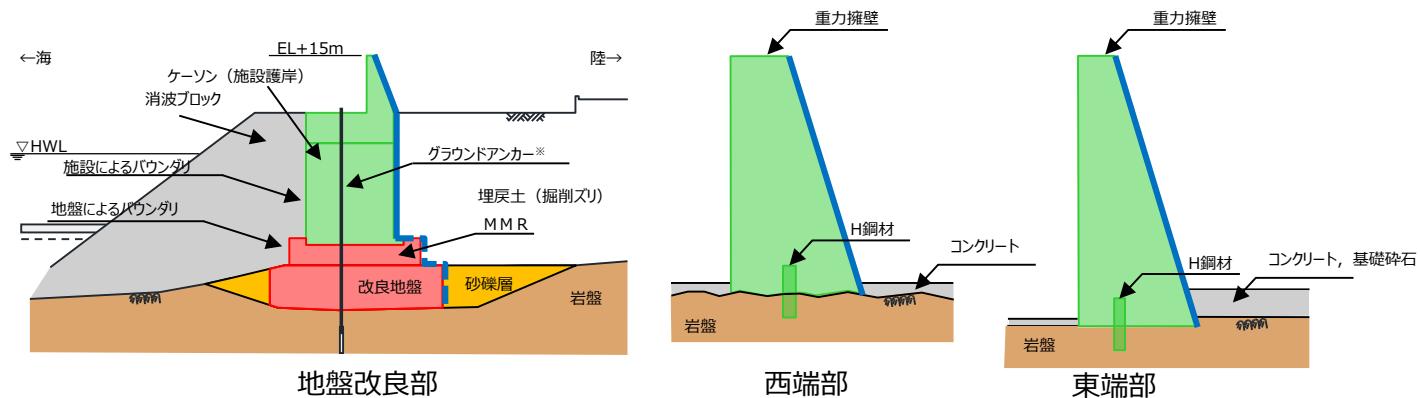
- 新規制基準への適合性において、防波壁（波返重力擁壁）における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を下表の通り整理した。
- 以下の条文を確認することにより、防波壁（波返重力擁壁）の各条文への適合性を確認する。

防波壁（波返重力擁壁）における検討要旨

規則	検討要旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	<ul style="list-style-type: none"> 施設（重力擁壁、ケーソン）を支持する地盤を対象とし、すべり、支持力、傾斜等に対する安定性を確認する。
第4条（地震による損傷の防止）	<ul style="list-style-type: none"> 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮した上で、施設の耐震安全性を確認する。
第5条（津波による損傷の防止）	<ul style="list-style-type: none"> 地震（本震及び余震）による影響を考慮した上で、機能を保持できることを確認する。 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。



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



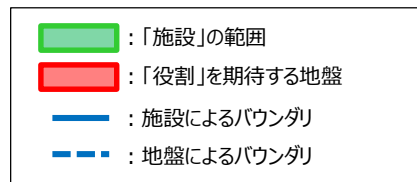
波返重力擁壁（改良地盤部）の「施設」・「地盤」の範囲

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（2 / 6）

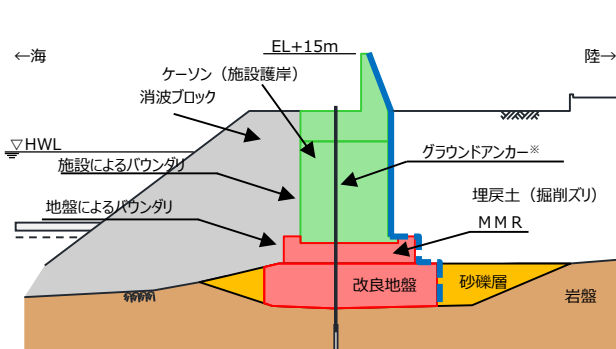
- 防波壁（波返重力擁壁）における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』，材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし，これらを総称として『止水性』と整理する。

防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割

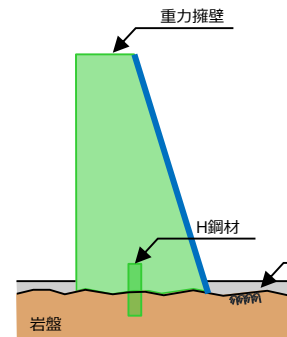
	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	重力擁壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに，遮水性を保持する。
	止水目地	・重力擁壁間の変形に追従する。	・重力擁壁間の変形に追従し，遮水性を保持する。
	ケーソン	・重力擁壁を支持するとともに，遮水性を保持する。	・重力擁壁を支持するとともに，遮水性を保持する。
	H鋼	・重力擁壁の滑動を抑制する。	・重力擁壁の滑動を抑制する。
地盤	MMR	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・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



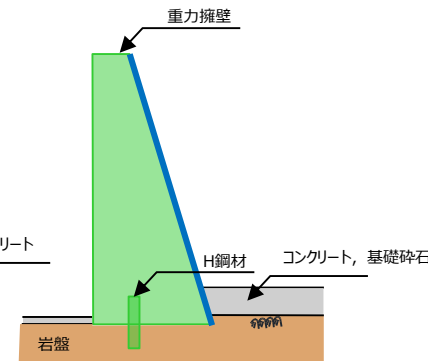
※ 防波壁（波返重力擁壁）は，グラウンドアンカーの効果に期待しなくても，耐震・耐津波安全性を担保している。



地盤改良部
役割を期待する範囲



西端部



東端部

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（3 / 6）

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

凡 例

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

○：施設の役割を維持するために設計に反映する項目

－：設計上考慮しない項目

各部位の具体的な役割

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

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（4 / 6）

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

各部位の役割に対する性能目標

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

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.2 規制における要求性能

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（5 / 6）

- 前頁で整理した性能目標を満足するための照査項目と許容限界を以下のとおり整理した。
- 防波壁（波返重力擁壁）については、**重力擁壁等に対する地震時応答値の抽出**、及び**止水目地の変形量を算出**するため、2次元動的FEM解析（有効応力）による地震応答解析を実施する。**また、重力擁壁及びケーソンの性能照査のため、3次元静的FEM解析を実施する。**
- ケーソン重量算定の考え方については港湾基準に準拠する。ケーソン重量の算定にあたっては、中詰材（銅水砕スラグ※1又は砂）を考慮することにより適切に設定する。中詰材で使用する銅水砕スラグは、砂状で粒子密度が砂よりも大きい材料であり、解析で考慮する重量については工事記録や土質試験により得られた結果を用いることにより適切に評価する。
- 港湾基準によると、護岸施設の地震応答解析において、ケーソン全体に対してコンクリートの解析用物性値（ヤング率等）を設定しているが、島根2号炉ケーソンについては中詰材の剛性を考慮せずに、ケーソンの躯体のコンクリート強度と構造に応じた剛性を考慮した解析用物性値を設定して地震応答解析を実施する。なお、中詰材の重量は、銅水砕スラグ又は砂の施工状況に応じて付加質量として考慮する。
- ケーソンの底版、隔壁及びフーチングについては、それぞれに期待する役割を踏まえ、曲げについては限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ、せん断についてはせん断耐力を許容限界とする方針としていたが、**基準地震動Ssにより隔壁等が塑性化した場合、剛性低下を考慮した津波時の強度評価が困難であること及び基準地震動Ss未満の地震により隔壁等が塑性化した場合、ひび割れが生じた際の点検や基準に適合する状態の維持及び管理を実施することが困難であることから、前壁、後壁、側壁に加え、隔壁、底版、及びフーチングについても、性能目標を「概ね弾性状態に留まること」とし、それに応じた照査を実施する方針に見直す。**
- （詳細は、7.4.2（1）及び（2）参照）
- なお、施設及び岩盤の各部位の役割や性能目標を長期的に維持していくために必要な保守管理方法を今後検討していく。

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

各部位の照査項目と許容限界（上段：照査項目、下段：許容限界）

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

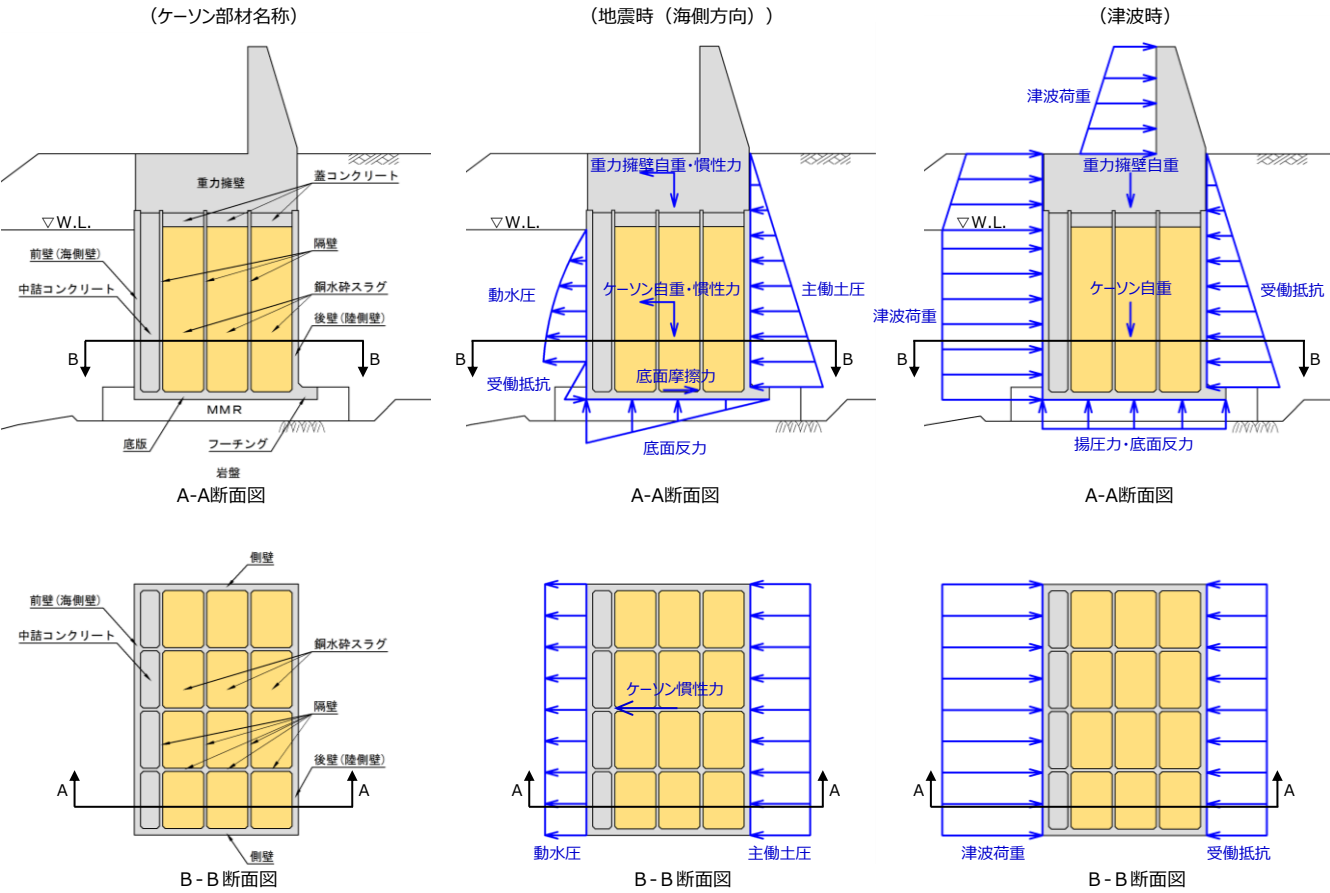
※2 設備及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、MMR及び改良地盤の透水係数を保守的に考慮しても津波の耐水時間中に浸水しないことを確認する。

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

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

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（6 / 6）

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



ケーソンに作用する荷重図

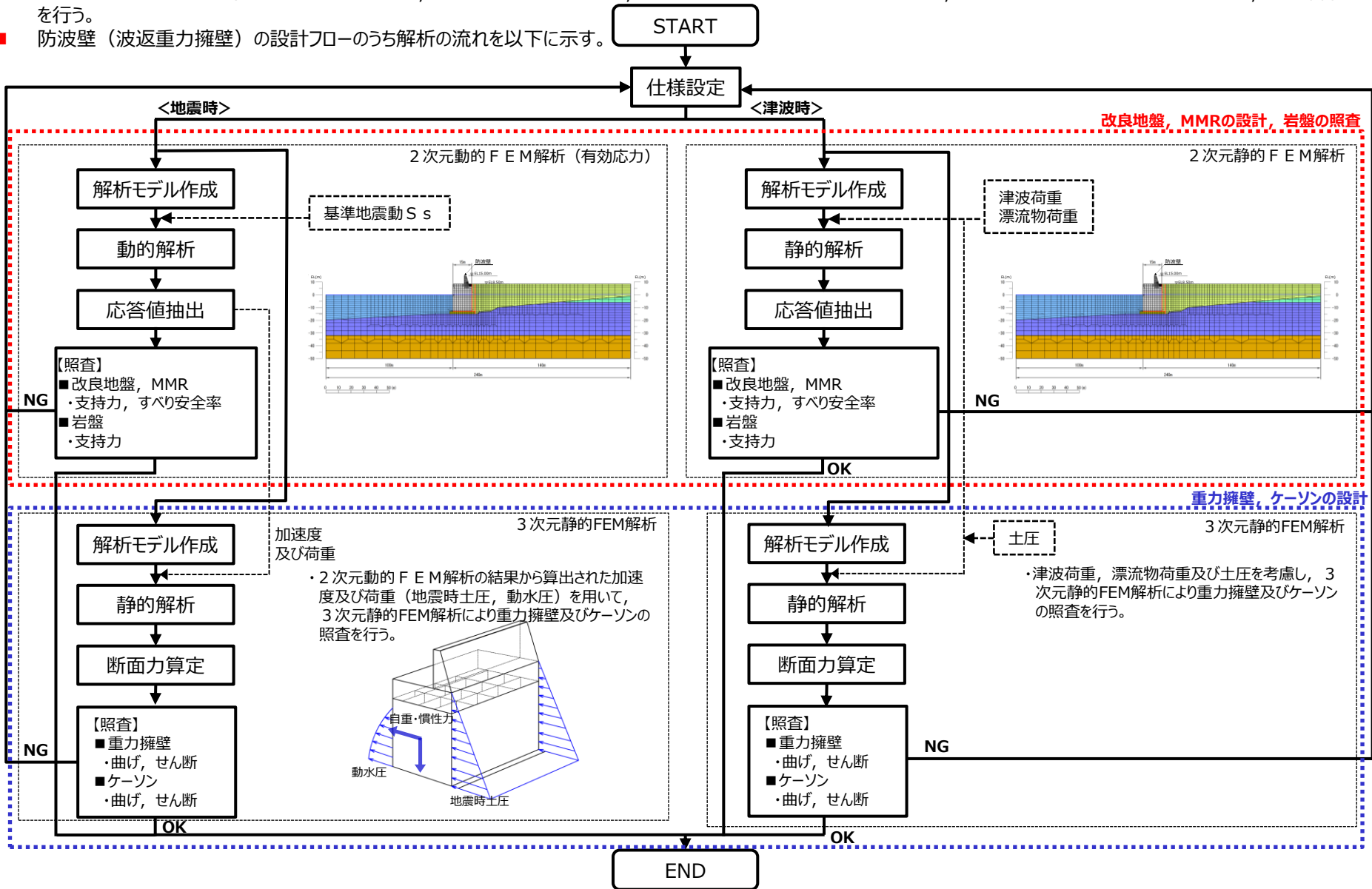
ケーソンの各部材に期待する役割

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

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

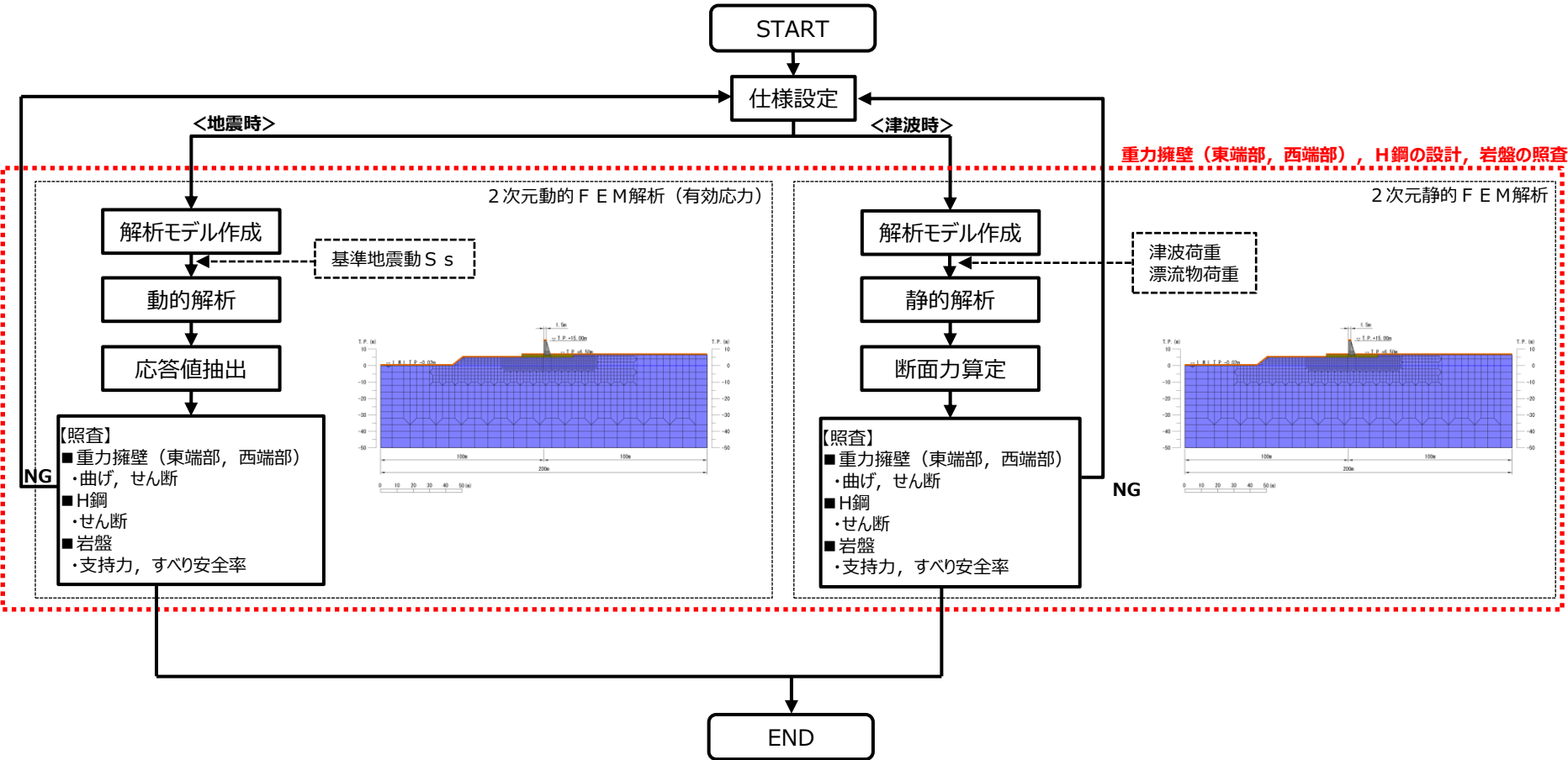
7.4.1 設計フロー（1/2）

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



7.4.1 設計フロー（2/2）

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



7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.2 設計方針の概要（1）重力擁壁，ケーソン

重力擁壁の役割と設計方針概要

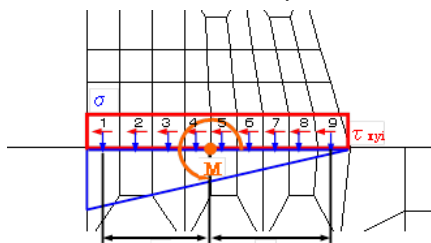
- 地震時，津波時の荷重に対して損傷せず，止水目地の支持機能及び遮水性を保持する。
- 重力擁壁は，ケーソンを含めてモデル化した3次元静的FEM解析により，地震時及び津波時の照査を行う。なお，東端部及び西端部は，地震時は2次元動的FEM解析により，津波時は2次元静的FEM解析により照査を行う。

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

〔2次元動的FEM解析における重力擁壁のモデル化及び断面力算定方法〕

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

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



2次元動的FEM解析モデル図

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

ここに， σ_{y_i} ：防波壁付根要素の垂直応力（kN/m²）
 τ_{xy_i} ：防波壁付根要素のせん断応力（kN/m²）
 l_i ：防波壁付根各要素の要素幅（m）
 L_i ：防波壁付根中心からのアーム長（m）

ケーソンの役割と設計方針概要

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

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

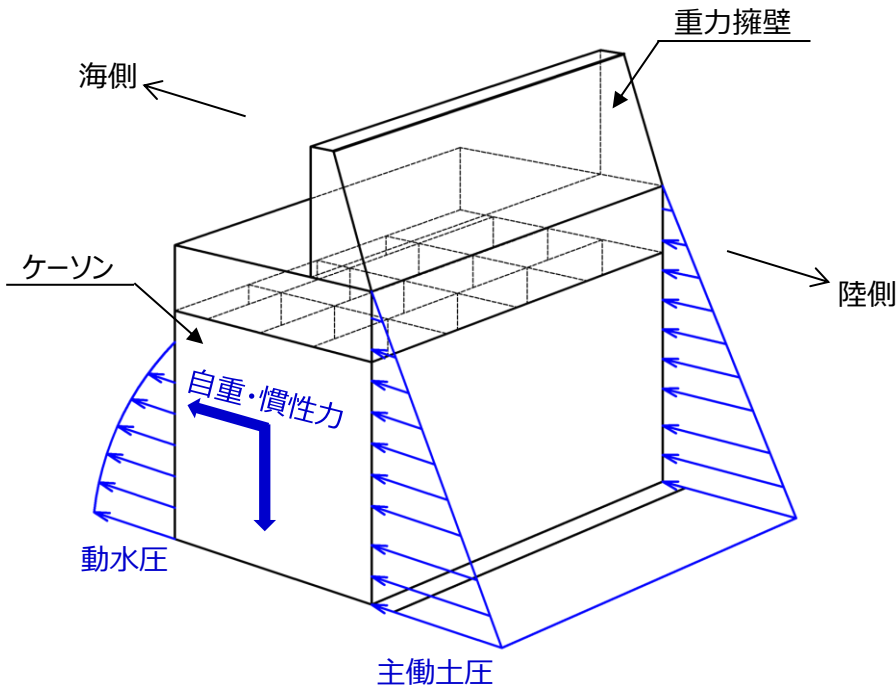
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.2 設計方針の概要（2）ケーソン部材評価方針（2/2）

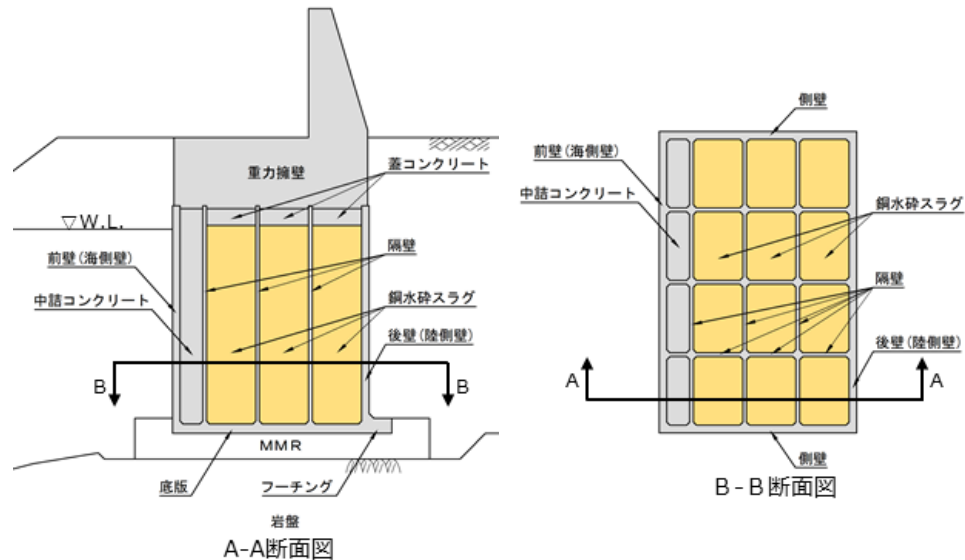
■ ケーソンの底版、隔壁及びフーチングについては、それぞれに期待する地震時及び津波時の役割を踏まえ、曲げについては限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ、せん断についてはせん断耐力を許容限界とする方針としていたが、津波時に遮水性の役割に期待する前壁、後壁及び側壁と構造的に一体化していることを踏まえ、許容限界を短期許容応力度に見直す。

ケーソンの各部材の要求性能と許容限界

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



地震時（海側方向）の荷重イメージ図（改良地盤部の例）



ケーソン部材名称（改良地盤部の例）

7.4.2 設計方針の概要（3）H鋼

H鋼の役割と設計方針概要

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

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

7.4.2 設計方針の概要（4）止水目地

止水目地の役割と設計方針概要

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

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

7.4.2 設計方針の概要（5）岩盤

地盤（岩盤）の役割と設計方針概要

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

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

7.4.2 設計方針の概要（6）改良地盤及びMMR

地盤（改良地盤及びMMR）の役割と設計方針概要

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

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

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

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

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

解析の目的

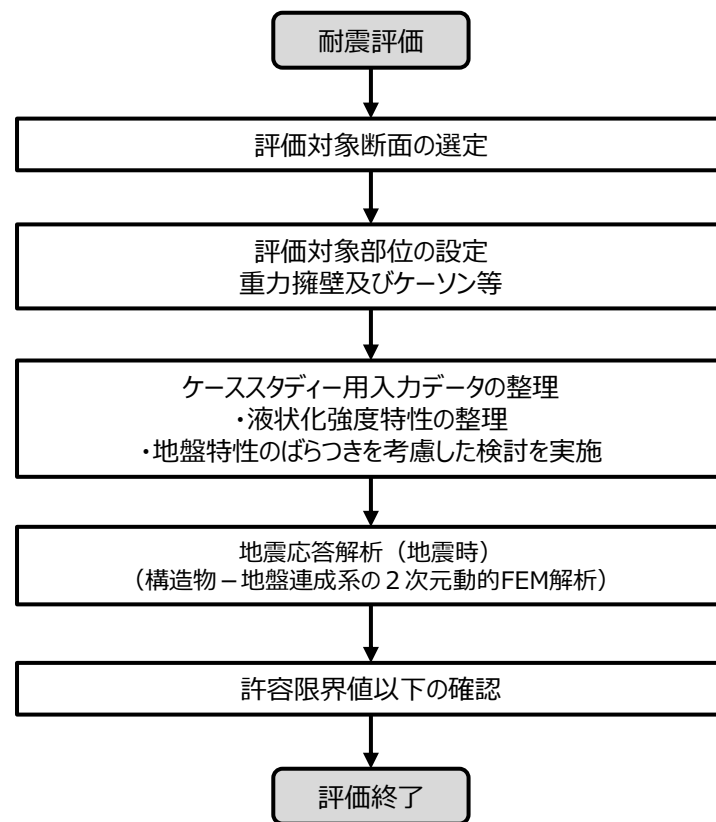
- 重力擁壁，ケーソン，埋戻土，基礎捨石，砂礫層，改良地盤，施設護岸，岩盤等を含めた全体の動的挙動評価
- 地盤特性及び液状化を考慮した影響評価

結果の利用

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

解析条件

- 地盤物性のばらつきを考慮する。



《代表断面選定の考え方》

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

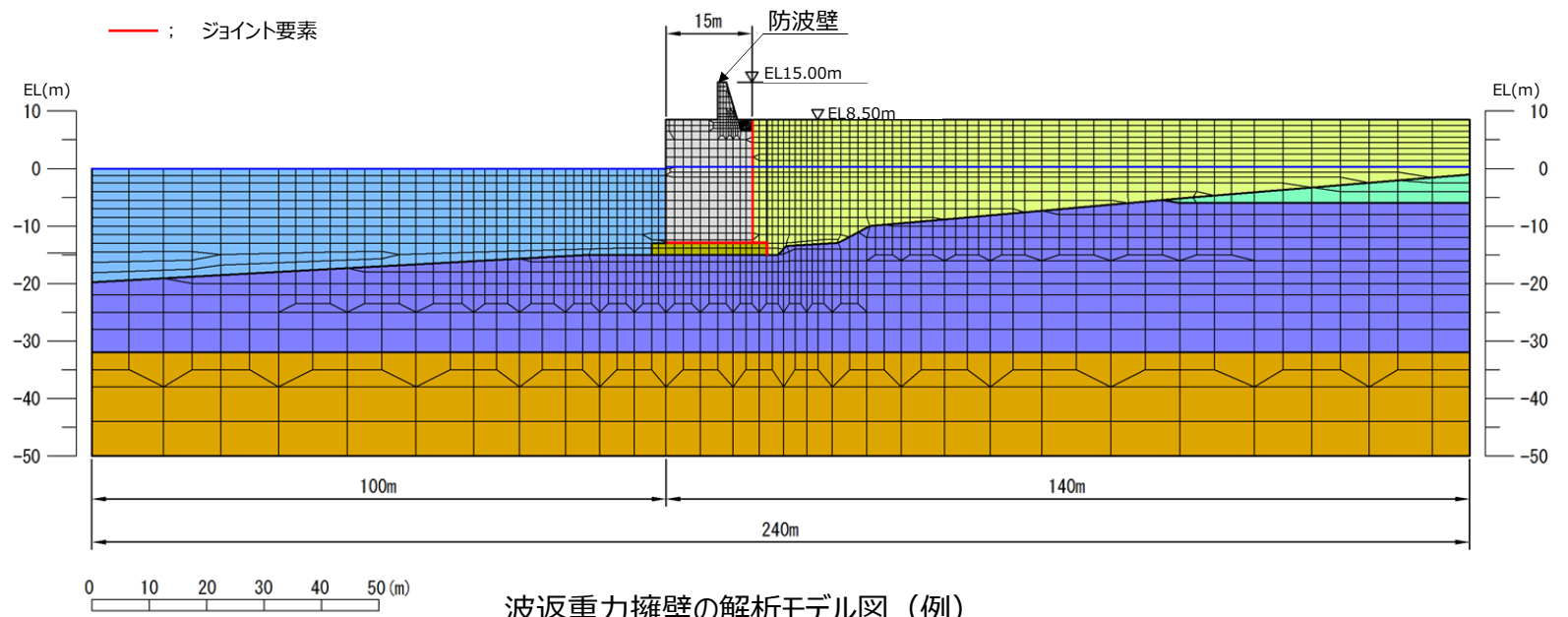
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

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

モデル化方針（波返重力擁壁）

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

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



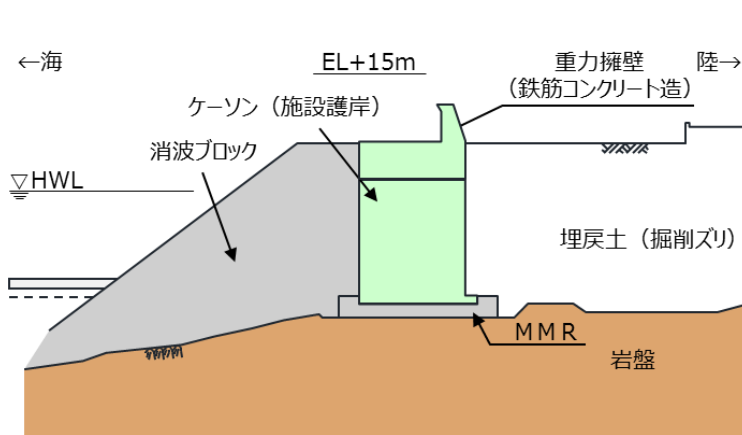
波返重力擁壁の解析モデル図（例）

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

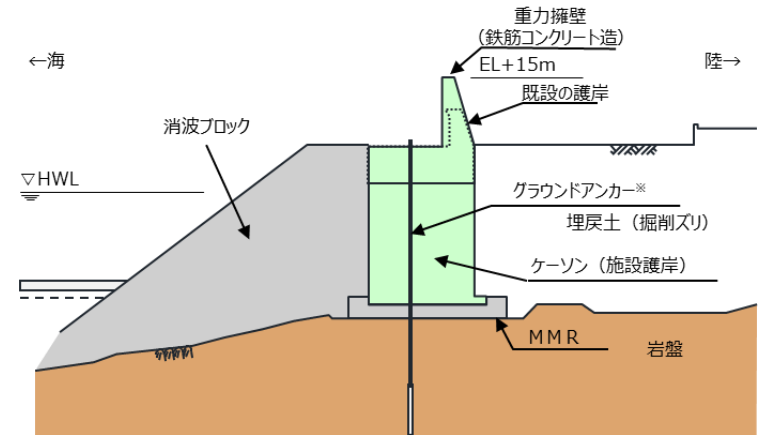
7.4.2 設計方針の概要（8）ケーソン設計方針（既設の護岸の構造変更に係る主な経緯）

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

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



3号増設時



防波壁（波返重力擁壁）断面図

申請時

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

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

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

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

施設名	新規制基準	ケーソンの設計方針	(参考) 港湾の施設の技術上の基準・同解説	
	津波防護施設	津波防護施設	津波対策施設	
要求性能	<ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動 S_s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強度を有した構造であること。 ・入力津波に対して、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、津波による浸水及び漏水を防止すること。 	<ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動 S_s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強度を有した構造であること。 ・入力津波に対して、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、津波による浸水及び漏水を防止すること。 	使用性	修復性
性能目標	<ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動 S_s 並びに入力津波により発生する応力が、既往研究等において試験・解析等により妥当性が確認された許容値を超えていないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> ・概ね弾性状態に留まること。 	<ul style="list-style-type: none"> ・永続状態及び変動状態に対して健全性を損なう危険性が限界値以下であること。 	<ul style="list-style-type: none"> ・津波、レベルII地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復による当該施設の機能の回復に影響を及ぼさないこと。（偶発状態） ・偶発状態に対して作用による損傷の程度が限界値以下であること。
供用時における照査部位	施設の安定性を確保するために健全性を求める部材	<ul style="list-style-type: none"> ・底版、フーチング ・前壁、後壁及び側壁 ・隔壁 	<ul style="list-style-type: none"> ・底版、フーチング ・前壁、後壁及び側壁 	施設の安定性を確保するために健全性を求める部材
供用時における照査項目（許容限界）	規定なし	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げ破壊（短期許容応力度） ・せん断破壊（短期許容応力度） 	<ul style="list-style-type: none"> ・断面破壊（設計断面耐力） ・使用性（曲げひび割れ幅の制限値） ・抜け出し（設計降伏応力度） 	規定なし

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.3 荷重と発生断面力の概要

- 防波壁（波返重力擁壁）は、3号炉北側についてはケーソンを介して岩盤に鉛直支持させ、防波壁両端部は直接岩盤に鉛直支持させる。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。
- 防波壁の構造成立性には、このような構造に作用する荷重に対し、各部位が所要の機能を発揮して安全であることが必要である。
- このような観点から、防波壁（波返重力擁壁）に作用する荷重、構造体の発生断面力について整理する。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.3 荷重と発生断面力の概要（1）津波時

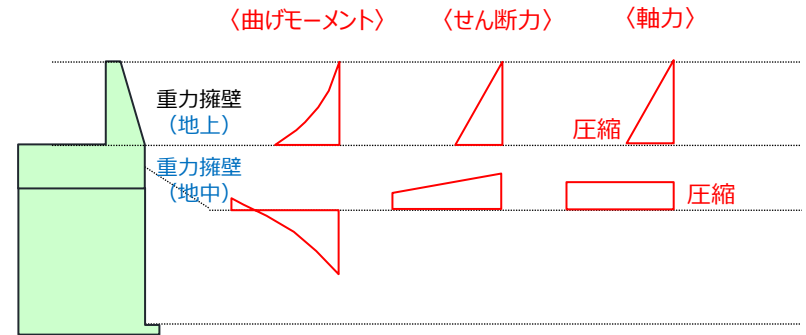
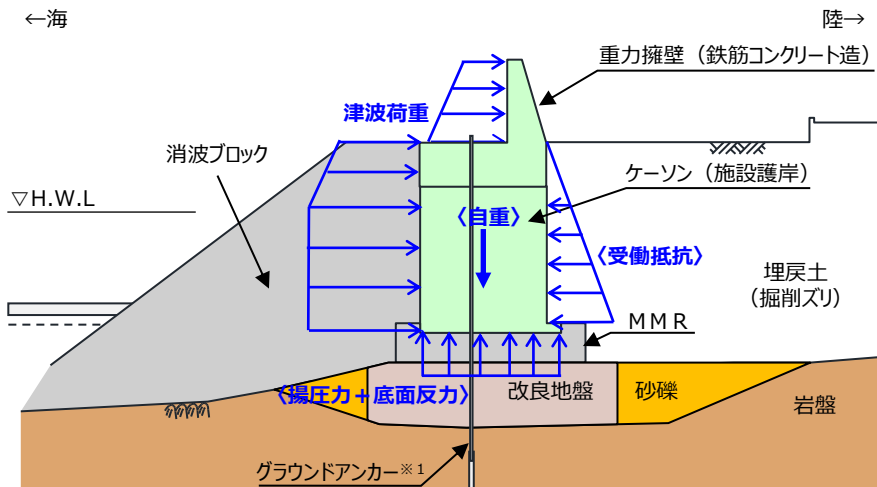
- 津波時の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

- 津波荷重に対して海側に位置する消波ブロックは考慮せず、津波荷重はケーソンに直接作用させる。
- 重力擁壁及びケーソンに作用する津波荷重は、重力擁壁・ケーソンを介して背後の埋戻土及び底面に伝わり、反力として受働抵抗が働く。

【発生断面力（応力状態）】

- 重力擁壁には受働抵抗が作用しないため、重力擁壁の発生断面力は重力擁壁付け根に集中する。



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

荷重図

発生断面力

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.3 荷重と発生断面力の概要（2）地震時（1/2）

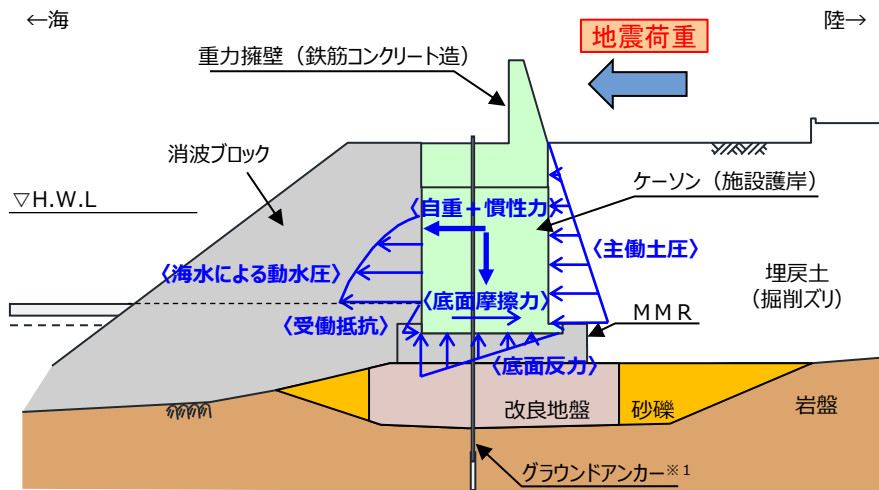
■ 地震時（海側方向）の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

- 地震力に対して海側に位置する消波ブロックは、受働抵抗として期待しない。
- 重力擁壁及びケーソンに作用する地震力（慣性力及び主働土圧）は、重力擁壁・ケーソンを介して前面の捨石及びケーソンの底面に伝わり、反力として受働抵抗及び底面摩擦が働く。

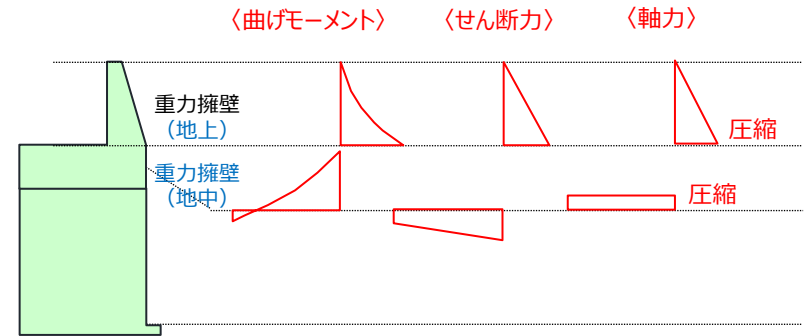
【発生断面力（応力状態）】

- 重力擁壁には受働抵抗が作用しないため、重力擁壁の発生断面力は重力擁壁付け根に集中する。



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

荷重図



発生断面力

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.3 荷重と発生断面力の概要（2）地震時（2/2）

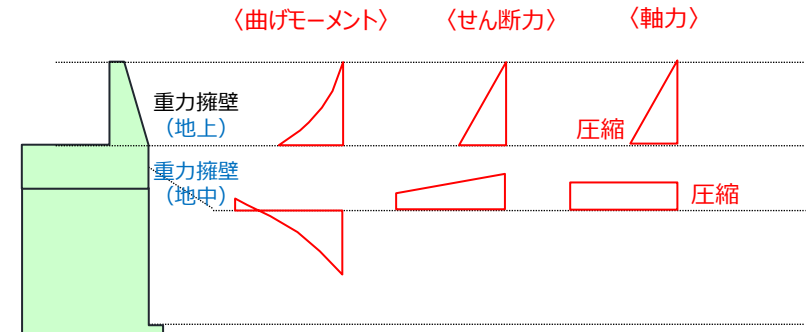
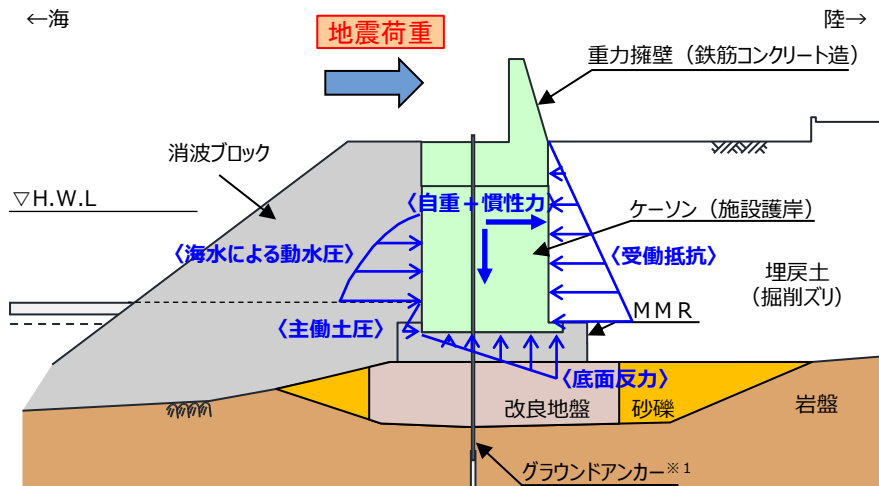
- 地震時（陸側方向）の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

- 重力擁壁及びケーソンに作用する地震力（慣性力及び主動土圧）は、重力擁壁・ケーソンを介して背後の埋戻土及びケーソンの底面に伝わり、反力として受働抵抗及び底面反力が働く。

【発生断面力（応力状態）】

- 重力擁壁には受働抵抗が作用しないため、重力擁壁の発生断面力は重力擁壁付け根に集中する。



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

※ 2 雪荷重、風荷重は省略

荷重図

発生断面力

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（1/6）

- 防波壁（波返重力擁壁）における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 万一、竜巻及びその随件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。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重により、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ことで、遮水性を喪失する。【損傷モードと弱部（2）】 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 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下げて打設することで、一体構造としている。ケーソンと重力擁壁の境界部であるケーソン張出部の健全性を確認し、遮水性を確保することを確認する。（7.5（3）参照） 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、重力擁壁の既設コンクリートと新設コンクリートの取合い部が損傷し、遮水性を喪失する。【損傷モードと弱部（3）】 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 既設コンクリートの表面は目荒らしを実施し、必要な付着強度を確保している。また、嵩上げた重力擁壁は、海側及び陸側に新たに鉛直鉄筋を主筋として配置し、この鉄筋を施設護岸に定着させ、一体化させた構造としている。（7.5（2）参照） 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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（-）。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（2 / 6）

- 防波壁（波返重力擁壁）における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

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)	<ul style="list-style-type: none"> 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形により、目地の許容変形量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 異種構造形式の境界部、防波壁周辺の隣接構造物、改良地盤の有無を考慮して選定した断面について止水目地の相対変形量を算定し、許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物が衝突することにより、目地が損傷し遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 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（－）。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（3 / 6）

■ 防波壁（波返重力擁壁）における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

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	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、ケーソンが曲げ及びせん断破壊し、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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、放水路貫通部のケーソンが曲げ及びせん断破壊し、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		○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、ケーソンが曲げ及びせん断破壊し、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> ケーソン（前壁、後壁、側壁）の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、ケーソンが滑動及び転倒することで、重力擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> ケーソンの滑動及び転倒の有無を確認する。 	○
H鋼	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、H鋼のせん断破壊又は周辺岩盤のすべり破壊により、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	<ul style="list-style-type: none"> H鋼の発生応力度がせん断応力度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（-）。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（4/6）

- 防波壁（波返重力擁壁）における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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) 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。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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		○
	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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(-)。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（5 / 6）

- 防波壁（波返重力擁壁）における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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）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。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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・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。 			
	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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） 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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（-）。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（6/6）

- 防波壁（波返重力擁壁）における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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) 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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が破壊し、重力擁壁又はケーソンを支持できなくなる。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 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(-)。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

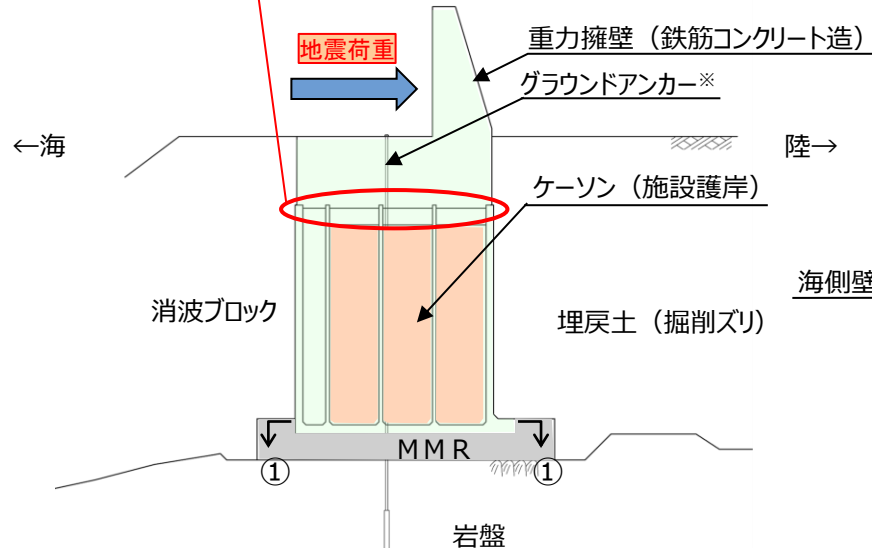
7.4.4 損傷モードと弱部（2）共通（地震時）

- ケーソンの構造及び地震時に局所的に応力が集中し、構造上の弱部となる箇所を以下に示す。
- 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/m^3 、 20.0kN/m^3 である。
- 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下げて打設することで、一体構造としている。ケーソンと重力擁壁の境界部のケーソン張出部の健全性を確認し、遮水性を確保することを確認した（詳細は7.5(3)参照）。



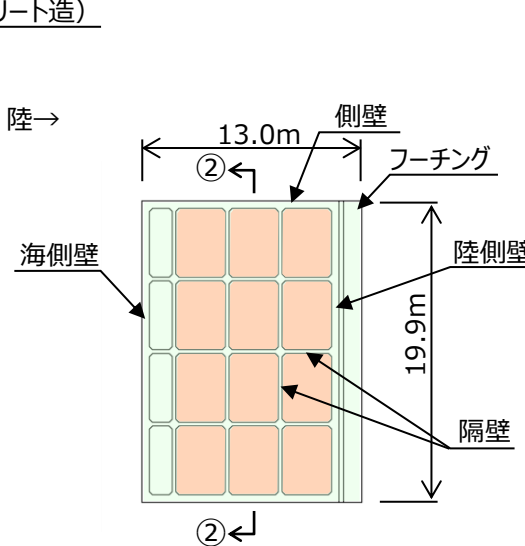
中詰材（銅水砕スラグ）充填状況
 （蓋コンクリート打設前）

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ことで、遮水性を喪失する。

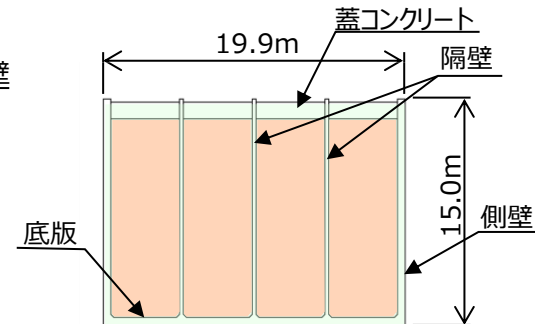
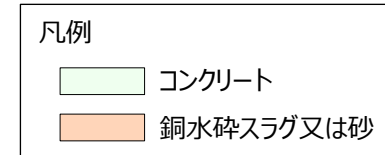


※ 防波壁（波返重力擁壁）は、グラウンドアンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁断面図（波返重力擁壁）



ケーソン構造図（①-①断面） ケーソン構造図（②-②断面）

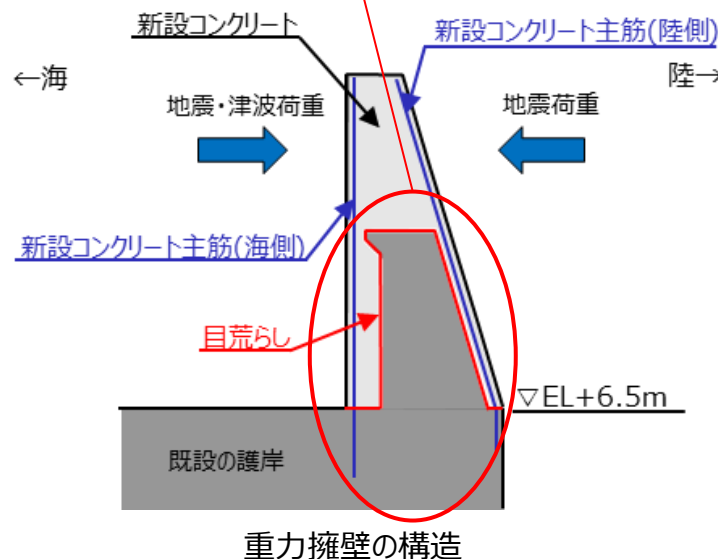


7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.4 損傷モードと弱部（3）共通（地震時，津波時）

- 重力擁壁の構造及び構造上の弱部となる箇所を以下に示す。
- 重力擁壁は，津波による敷地内への浸水を防止するため，既設の護岸を高上げた構造としている。
- 新設コンクリートは，既設の護岸の重力擁壁表面に目荒らしを行い，既設コンクリートを巻き込むように打設し，新設コンクリートに配置する鉄筋を既設の護岸に定着することにより，既設コンクリートと新設コンクリートの一体化を図っている。
- したがって，設置許可段階においては，新設コンクリート主筋の既設の護岸への定着長と新設コンクリートの付着強度について確認する。（詳細は7.5（2）参照）。

地震又は津波荷重により，重力擁壁の既設コンクリートと新設コンクリートの取合い部が損傷し，遮水性を喪失する。



陸側鉄筋組立状況



目荒らし施工状況

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（1/2）

- 防波壁（波返重力擁壁）について、間接支持する設備、構造的特徴、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以下の表に示す。
- 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、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。また、止水目地の機能維持の観点からも、異種構造物形式の境界部、防波壁周辺の隣接構造物、改良地盤の有無を考慮したうえで、防波壁の施工ブロック間の相対変形が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。

耐震評価候補断面の整理（防波壁（波返重力擁壁））（1/2）

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（掘削スリ）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（掘削スリ）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（掘削スリ）が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：16.3m	
	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	横断方向	・なし	・なし	・南北両側に3号炉放水路が隣接する。 ・南側に放水接合槽が隣接する。
		縦断方向	・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。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（2/2）

耐震評価候補断面の整理（防波壁（波返重力擁壁））（2/2）

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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 下端部にH鋼（H-350×350×12×19）を1m間隔で設置している。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 下端部にH鋼（H-350×350×12×19）を1m間隔で設置している。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 下端部にH鋼（H-350×350×12×19）を1m間隔で設置している。 	
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> 幅1.50m 高さ6.50m（地上部のみ） 	<ul style="list-style-type: none"> 幅1.00m 高さ7.50m 	<ul style="list-style-type: none"> 幅1.50m 高さ8.50m 	
③周辺 状況	周辺地質	<ul style="list-style-type: none"> 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。 地表面から岩盤までの深さ：23.2m 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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	横断 方向	・なし	・東側に岩盤上に直接基礎形式で設置されたサイトバンカ建物が隣接する。	・なし
		縦断 方向	・異種構造形式（鋼管杭式逆T擁壁）が隣接する。	・異種構造形式（多重鋼管杭式擁壁）が隣接する。	・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。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（2）ケーソン構造成立性検討（1/7）

- 防波壁（波返重力擁壁）ケーソンの構造成立性を確認するため、3次元静的FEM解析による検討を実施した。検討にあたっては、地震時のケーソン背後の動土圧及び慣性力によるケーソンへの影響が大きいことから、地震時による検討を実施する。検討条件を以下に示す。

【検討断面及び検討用地震動】

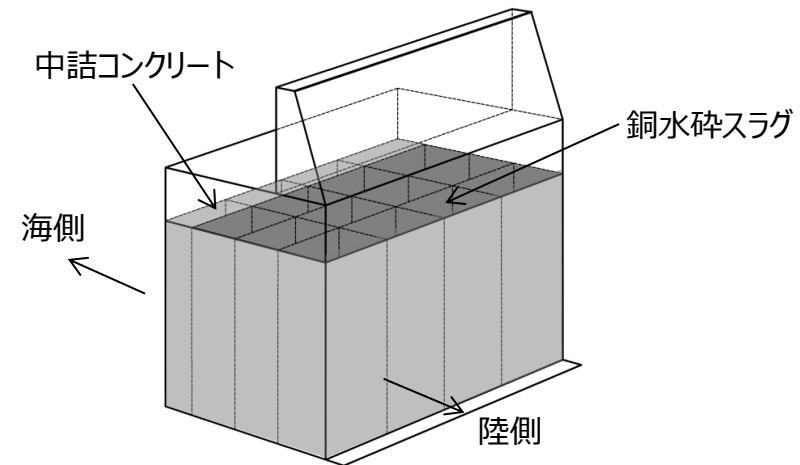
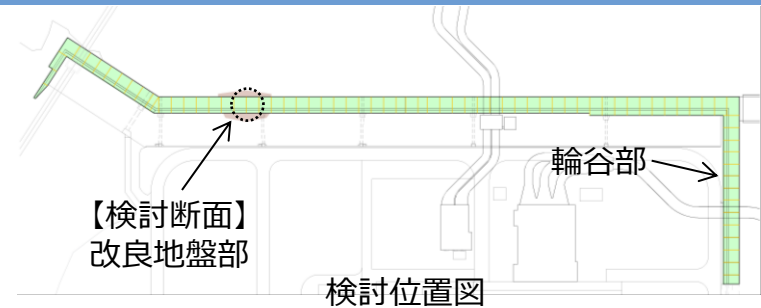
- 検討断面は以下の観点から、改良地盤部断面を選定する。

- ・ケーソン高さが高い。
- ・中詰材は砂よりも重い銅水砕スラグが充填されており、剛性を考慮しないため、地震時における躯体への影響が大きい。

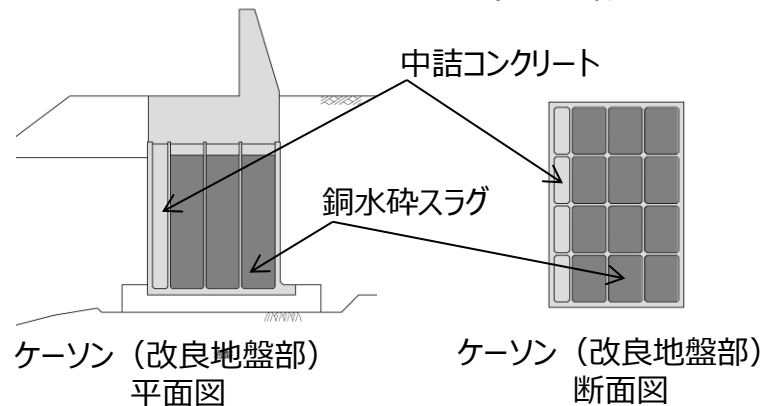
- 地震荷重は基準地震動 $S_s - D$ とする。

【解析条件】

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



ケーソン（改良地盤部）構造概念図



ケーソン（改良地盤部）
平面図

ケーソン（改良地盤部）
断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（2）ケーソン構造成立性検討（2/7）

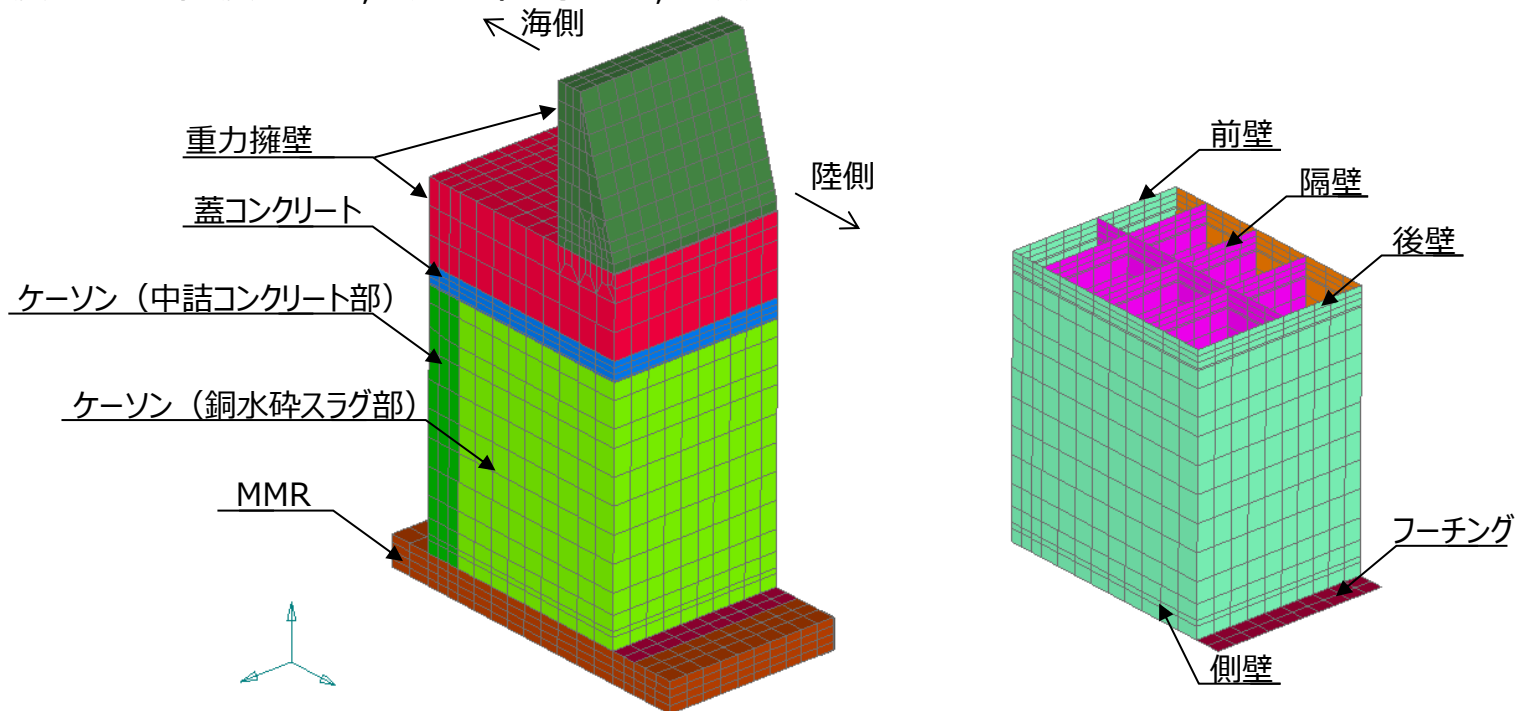
- ケーソンは長辺方向及び短辺方向に配置された隔壁を有することから、各部材の照査は3次元モデルによる静的FEM解析により行う。3次元静的FEM解析の解析モデルを以下に示す。

【モデル化方針】

- ケーソンについては、シェル要素でモデル化し、重力擁壁、蓋コンクリート、中詰材（中詰コンクリート及び銅水砕スラグ）及びMMRについては、ソリッド要素でモデル化する。
- ケーソンの奥行方向を半分にした3次元モデルとする。なお、詳細設計段階においては、ケーソン1函分をモデル化して解析を実施する。

【荷重条件】

- ケーソンの頂底板間の相対変形量が最大となる時刻における2次元動的FEM解析（有効応力）の結果から算出された加速度及び地震時荷重（地震時土圧、動水圧）を抽出し、3次元モデルに载荷する。



解析モデル図（改良地盤部の例）

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（2）ケーソン構造成立性検討（3 / 7）

【中詰材の物性値及び解析条件】

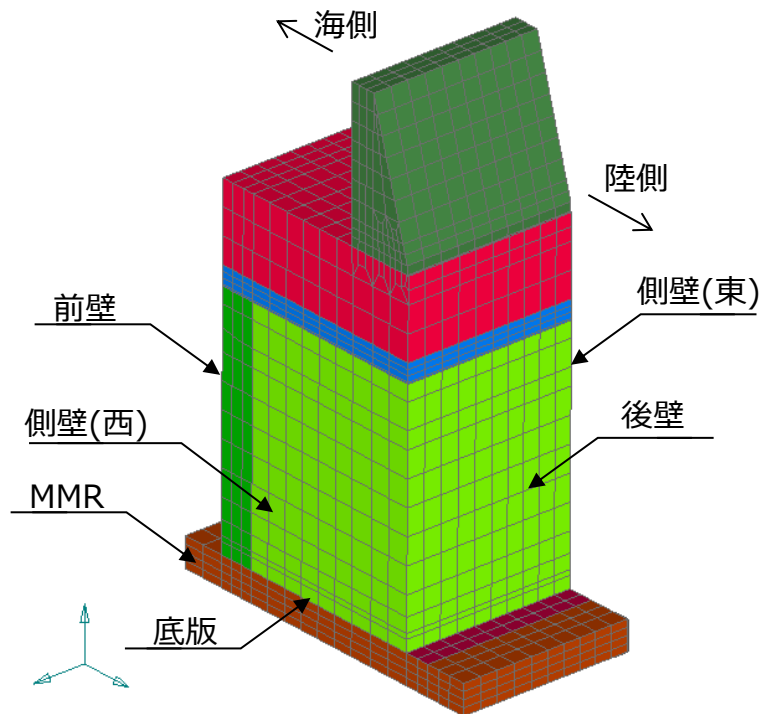
- 3次元静的FEM解析における中詰材の物性値及び解析条件を下表に示す。なお、銅水砕スラグについては、保守的に剛性に関する物性値は考慮しないが、重量は考慮する。

	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング率 (kN/m ²)	ポアソン比	境界条件
中詰コンクリート	22.6	2.2×10 ⁷	0.20	隔壁、底版、蓋コンクリートと節点共有
銅水砕スラグ	22.6	1.0	0.33	

【境界条件】

- ケーソンの3次元モデルにおける境界条件を下表に示す。

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

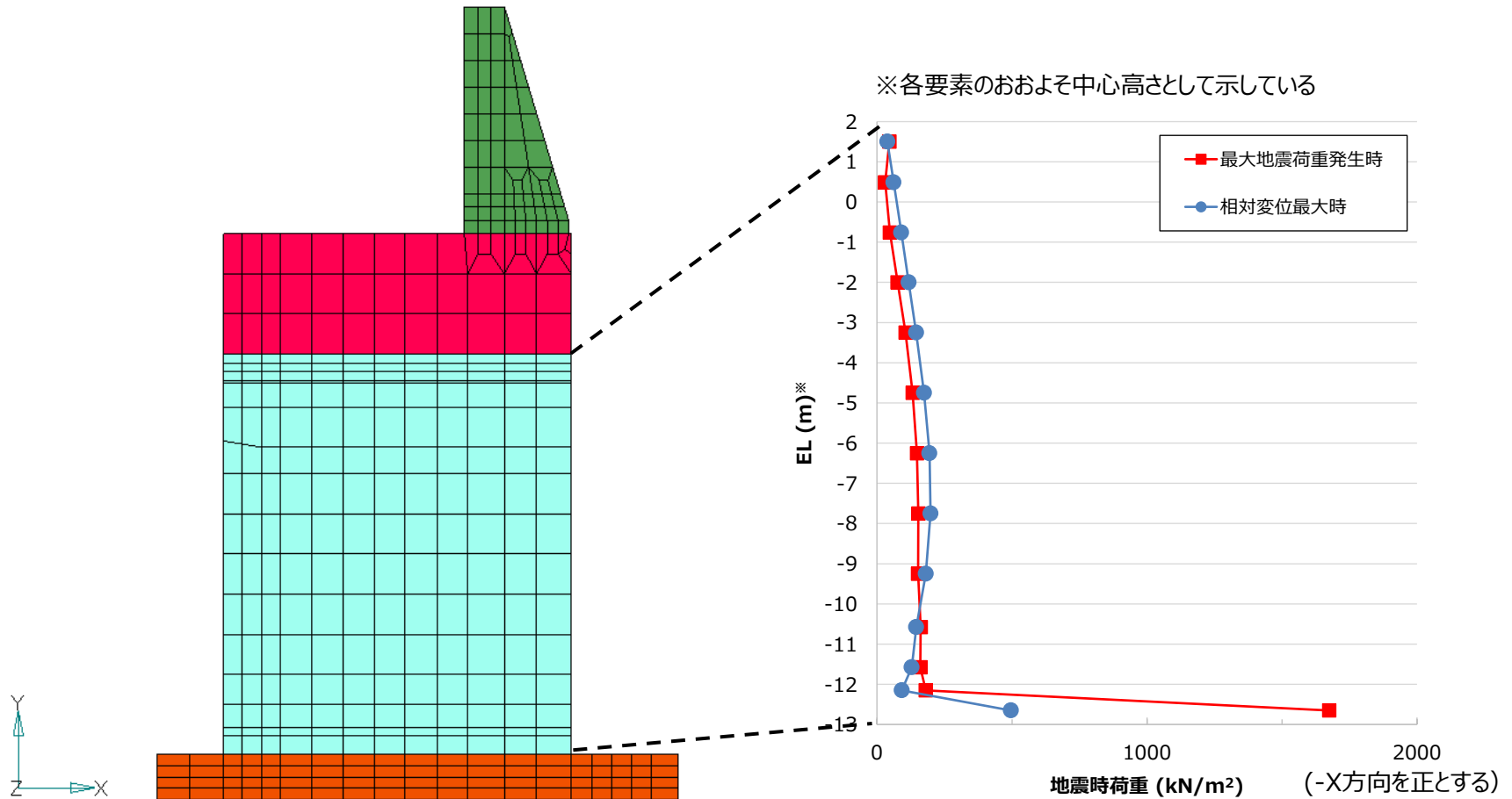


7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（2）ケーソン構造成立性検討（4/7）

【ケーソンに載荷する地震時荷重】

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



3次元モデルにおける地震時荷重入力位置

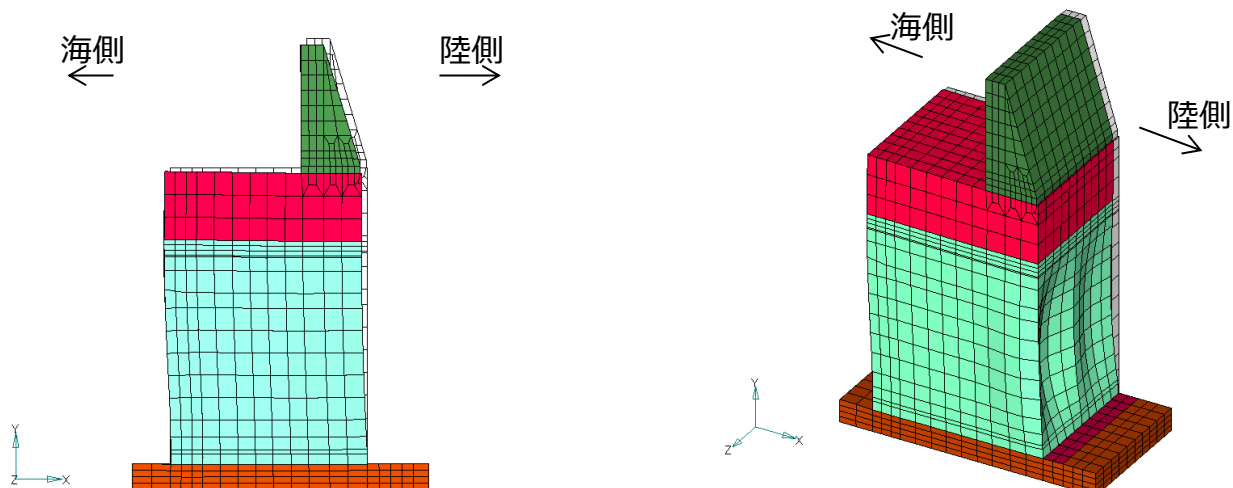
ケーソンに載荷する地震時荷重分布

7. 防波壁 (波返重力擁壁) の設計方針

7.5 個別論点 (2) ケーソン構造成立性検討 (5/7)

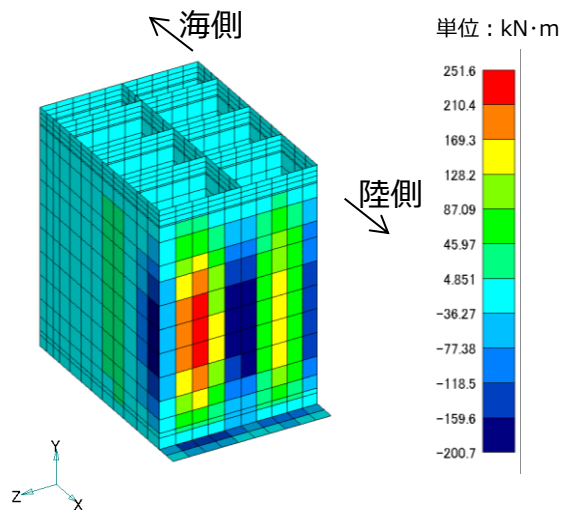
【解析結果】

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

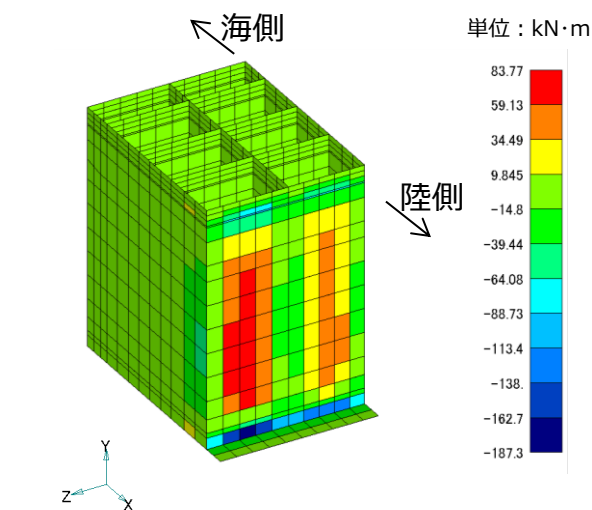


変形図※

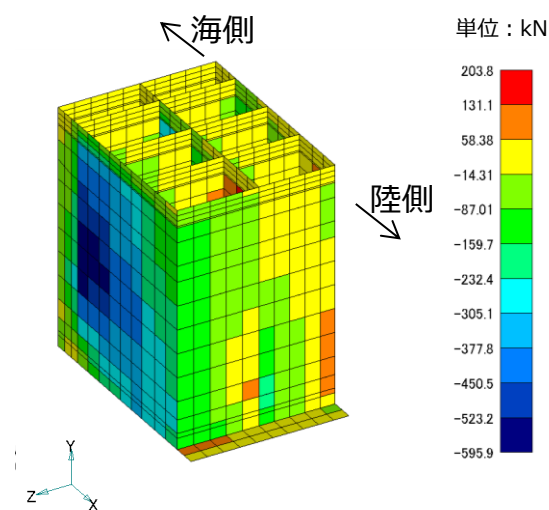
※実際の変形量の500倍にスケールアップ



曲げモーメントコンター図(水平方向)



曲げモーメントコンター図(鉛直方向)



せん断力コンター図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（2）ケーソン構造成立性検討（6/7）

【部材照査結果】

■ ケーソンへの発生断面力に対する各構造部材の照査結果を以下に示す。

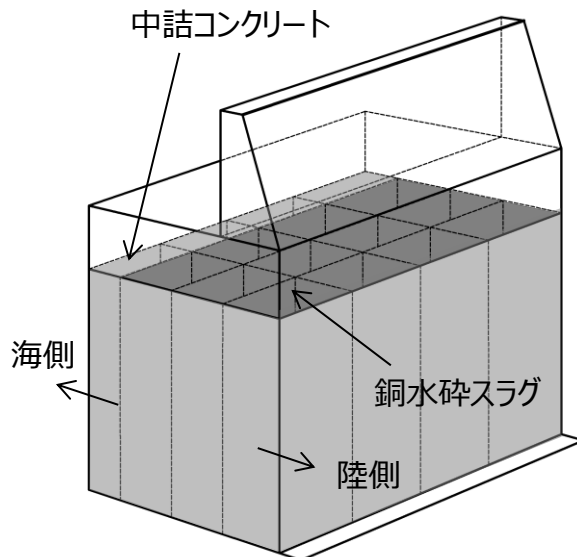
■ 前壁，隔壁及び底版は発生応力が許容応力を下回るものの，後壁及び側壁の一部で上回ることを確認した。 ※：単位(kN)

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

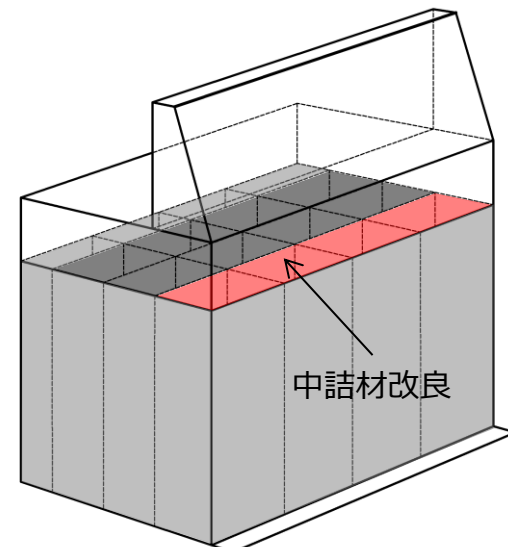
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（2）ケーソン構造成立性検討（7/7）

- 改良地盤部のケーソンについて、基準地震動 $S_s - D$ に対し、前壁、隔壁及び底版の構造成立性を確認した。一方で、後壁及び側壁について、発生応力が許容限界（短期許容応力度）を上回ったことから、当該部材については遮水性を保持することが出来ない可能性があるかと判断し、中詰材の一部を改良（固化処理等）することで津波防護施設としての性能を保持させる設計とする。
- 波返重力擁壁のケーソンについては、上記対策を考慮した構造成立性評価を実施する。
- また、詳細設計段階において、輪谷部断面も含むケーソンの照査結果を踏まえ、中詰材の改良範囲及び仕様を適切に設定して必要な剛性を確保し、ケーソンの構造部材について津波防護施設としての性能を保持させる設計とする。
- なお、詳細設計段階において、試験等により中詰材の解析用物性値を確認するとともに、ケーソン隔壁内に実施する中詰材改良の仕様と範囲については、地震時及び津波時の荷重の不確かさ及び物性値のばらつきを考慮し、設定する。



ケーソン（改良地盤部）構造概念図

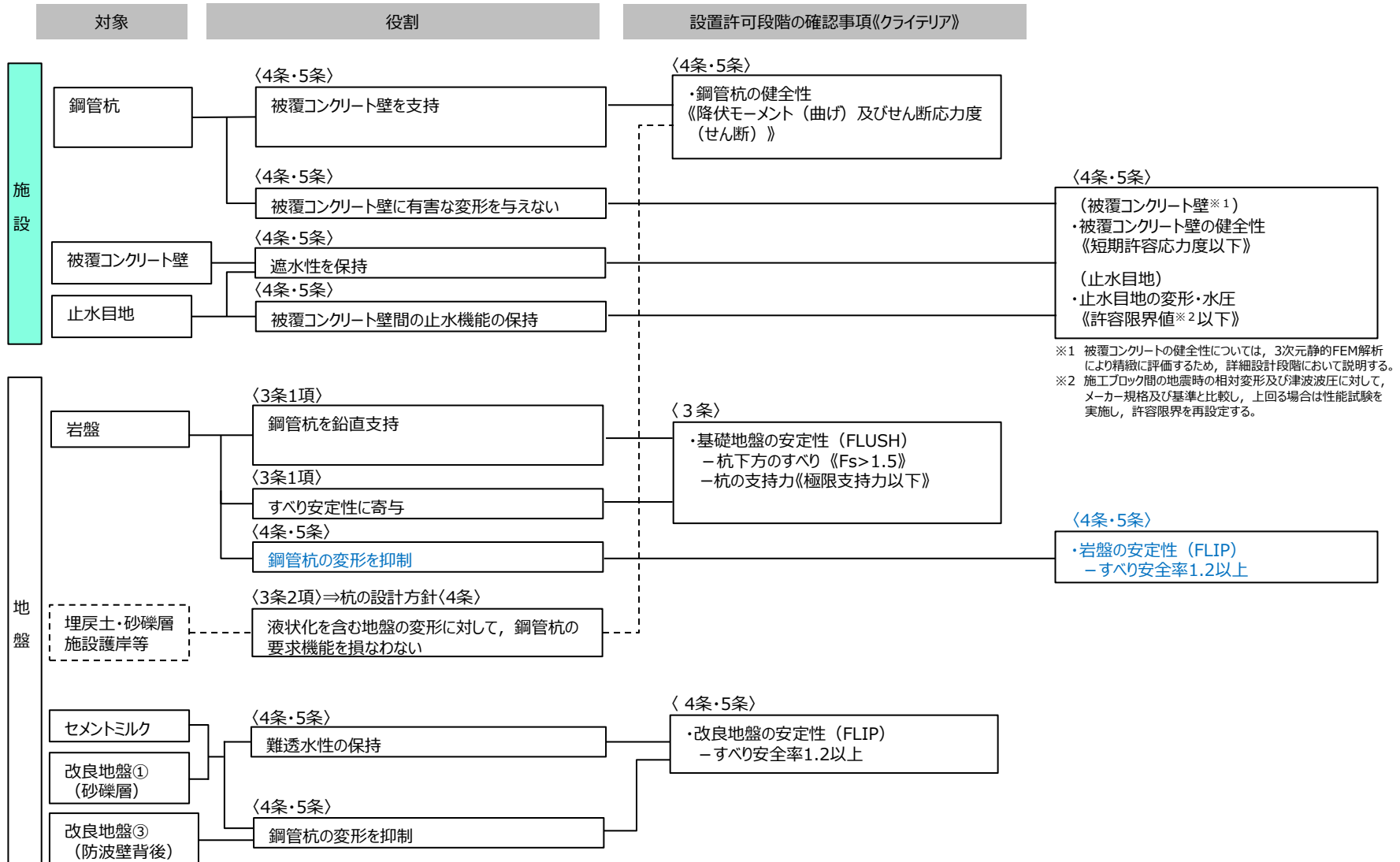


ケーソン（改良地盤部）耐震補強対策工（例）

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

9.1.1 設置許可段階における確認項目（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））

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



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

9.1.2 設置許可段階における確認項目（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））

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



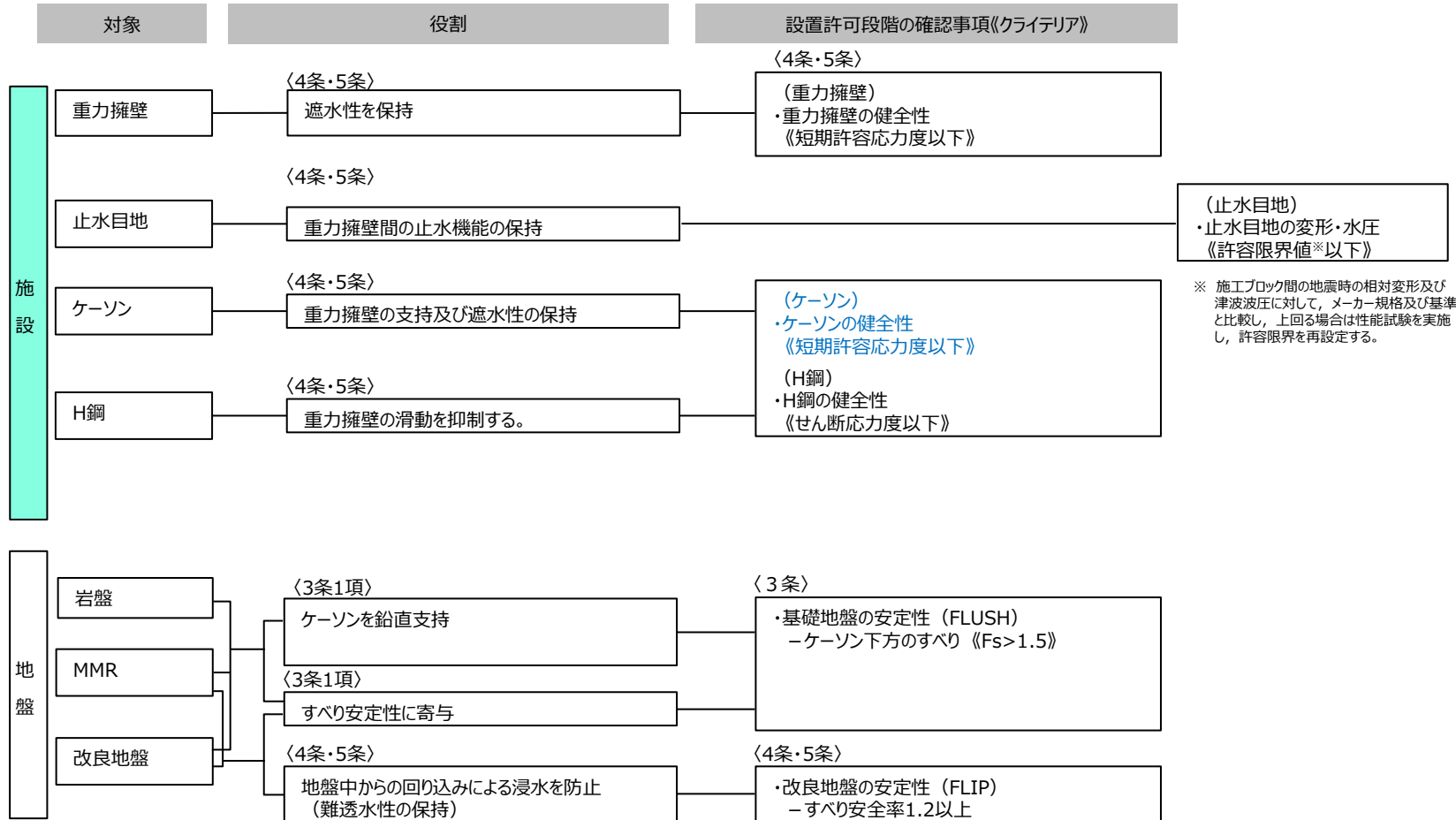
※ 施工ブロック間の地震時の相対変形及び津波波圧に対して、メーカー規格及び基準と比較し、上回る場合は性能試験を実施し、許容限界を再設定する。

※ RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

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

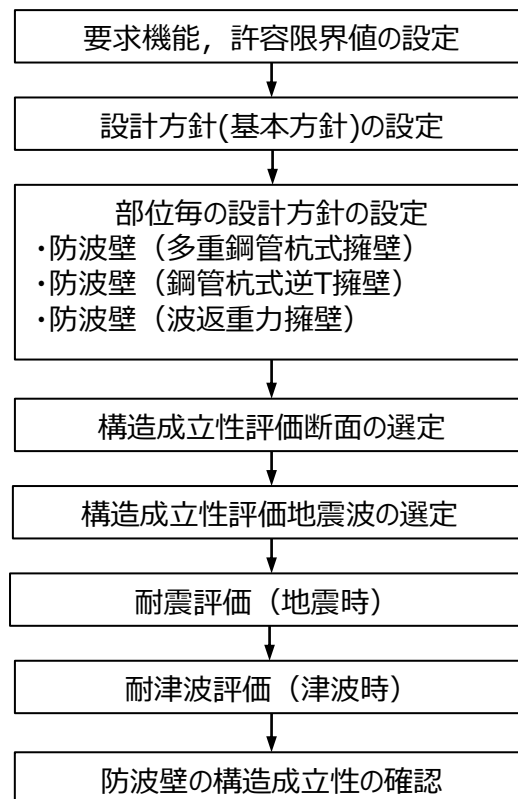
9.1.3 設置許可段階における確認項目（防波壁（波返重力擁壁））

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



9.2 構造成立性評価の方針

- 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。
- なお、詳細設計段階に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(地盤改良範囲の拡大等)の実施により対応する。



防波壁の構造成立性評価の流れ

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価

9.3 設置許可段階での提示内容 (1/4)

第870回審査会合
資料1-2-1 P.254 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

120

- 設置許可段階において提示する内容のうち、対象断面について整理した。

		設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)	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)] <ul style="list-style-type: none"> 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)] <ul style="list-style-type: none"> 支持岩盤深さ、鋼管杭の長さ、及び地盤改良範囲が全区間の中で平均的な断面(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)] <ul style="list-style-type: none"> 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。 	
	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)] <ul style="list-style-type: none"> 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)

9.3 設置許可段階での提示内容 (2/4)

- 設置許可段階において提示する内容のうち、解析方法について整理した。

		設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)	本資料の説明範囲
対象地震波	構造成立性 (4条・5条)	<ul style="list-style-type: none"> • 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。 	○
	地盤安定性 (3条)	<ul style="list-style-type: none"> • 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)] <ul style="list-style-type: none"> • 「5.4 設計方針」を基本とし、9.2項に示すフローにより、構造成立性を確認する。 	○
		[防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)] <ul style="list-style-type: none"> • 「6.4 設計方針」を基本とし、9.2項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)] <ul style="list-style-type: none"> • 「7.4 設計方針」を基本とし、9.2項に示すフローにより、構造成立性を確認する。 	

9.3 設置許可段階での提示内容 (3/4)

- 設置許可段階における解析条件を整理した。

	設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)		本資料の説明範囲
地下水位	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁から陸側：EL+0.30m ・施設護岸から防波壁まで：EL+0.14m ・施設護岸から海側：EL-0.02m 	○
	防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁から陸側：地表面 ・施設護岸から防波壁まで：EL+0.14m ・施設護岸から海側：EL-0.02m 	○
	防波壁 (波返重力擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁から陸側：地表面 ・防波壁から海側：EL-0.02m 	○
液状化 (液状化 強度特性)	<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。 		—

9.3 設置許可段階での提示内容 (4/4)

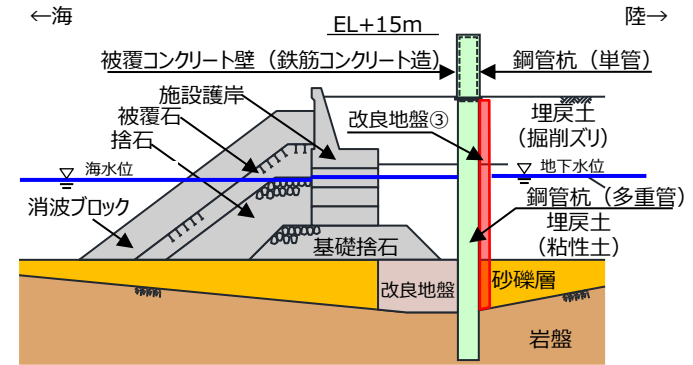
- 設置許可段階における解析条件を整理した。

	設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)	本資料の説明範囲
地盤物性のばらつき	<p>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。</p> <p>[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</p> <p>[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</p> <p>[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</p>	○

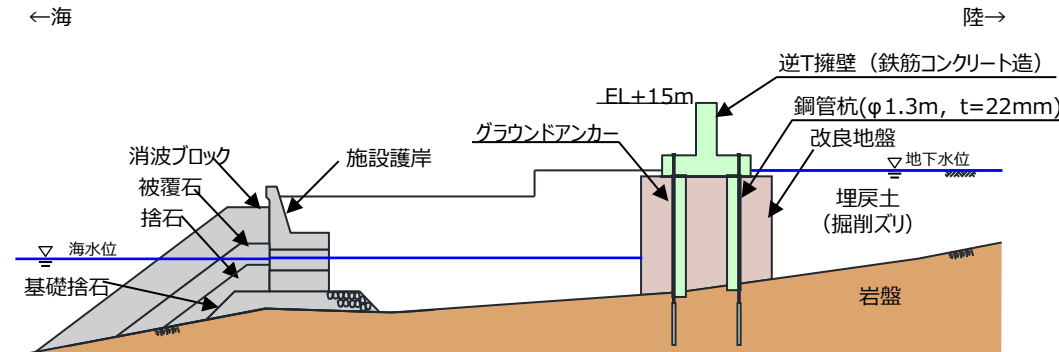
9.4 地下水位の設定方針

- 地下水位については、護岸前面はEL-0.02mとする。また、施設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する。なお、3号炉エリアの防波壁より陸側については、保守的に地表面とする。

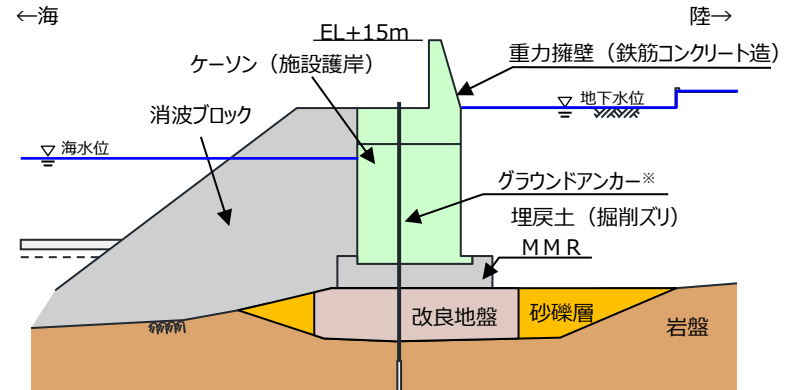
構造型式	水位
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁から陸側：EL+0.30m ・施設護岸から防波壁まで：EL+0.14m ・施設護岸から海側：EL-0.02m
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁から陸側：地表面 ・施設護岸から防波壁まで：EL+0.14m ・施設護岸から海側：EL-0.02m
防波壁（波返重力擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁から陸側：地表面 ・防波壁から海側：EL-0.02m



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）

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

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.1 解析用物性値 (地盤) (1/2)

第870回審査会合
資料1-2-1 P.259 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

材料種別				物理特性		強度特性			変形特性		
				単位体積重量		粘着力 C (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ_f (°)	せん断強度 T_f *1, 2 (kN/m ²)	せん断弾性係数 G *1, 3, 4 (kN/m ²)	ポアソン比 ν	最大減衰定数 h_{max}
				飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)						
地盤	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	埋戻土 (掘削スリ)	気中	19.6	—	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$	0.33	0.24
			水中	20.7	10.6	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
	防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	埋戻土 (掘削スリ) T.P.+6.0m盤	気中	19.6	—	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
		埋戻土 (掘削スリ) T.P.+8.5m盤	気中	19.6	—	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
	防波壁 (波返重力擁壁)	埋戻土 (掘削スリ) (輪谷部) T.P.+8.5m盤	気中	19.6	—	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
		埋戻土 (掘削スリ) (地盤改良部) T.P.+6.5m盤	気中	19.6	—	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
		埋戻土 (掘削スリ) (地盤改良部) T.P.+8.5m盤	気中	19.6	—	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		

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

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

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.1 解析用物性値 (地盤) (2/2)

第870回審査会合
資料1-2-1 P.260 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

材料種別			物理特性		強度特性			変形特性		
			単位体積重量		粘着力 C (kN/m ²)	せん断 抵抗角 Φ _f (°)	せん断強度 T _f *1,2 (kN/m ²)	せん断弾性係数 G*1,3,4 (kN/m ²)	ポアソン比 ν	最大 減衰定数 h _{max}
			飽和, 湿 潤 γ _{sat} , γ _t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)						
地盤	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	埋戻土(粘性土)*5 (施設護岸~鋼管杭間)	気中	16.7	—	0	30.00	σ' _m sin30.00°	12750(σ' _m /112.3) ^{0.5}	0.20
			水中	16.7	6.6	0	30.00	σ' _m sin30.00°	12750(σ' _m /141.8) ^{0.5}	
		埋戻土(粘性土)*5 (鋼管杭背面)	気中	16.7	—	0	30.00	σ' _m sin30.00°	12750(σ' _m /111.3) ^{0.5}	
			水中	16.7	6.6	0	30.00	σ' _m sin30.00°	12750(σ' _m /140.2) ^{0.5}	
		砂礫層 (施設護岸~鋼管杭間)		20.7	10.6	0	38.81	σ' _m sin38.81°	63390(σ' _m /98) ^{0.5}	0.33
		砂礫層 (鋼管杭背面)		20.7	10.6	0	38.81	σ' _m sin38.81°	63390(σ' _m /98) ^{0.5}	
		改良地盤①(砂礫層)		20.7	10.6	1677	38.00	1677 cos38.00° +σ' _m sin38.00°	751900(σ' _m /98) ^{0.5}	
		被覆石(捨石を含む) (気中)		18.0	—	0	35.00	σ' _m sin35.00°	180000(σ' _m /98) ^{0.5}	
	基礎捨石・被覆石(捨石を含む) (水中)		20.0	9.9	0	35.00	σ' _m sin35.00°	180000(σ' _m /98) ^{0.5}		
	防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	改良地盤① (水中)		20.7	10.6	628	38.00	628 cos38.00° +σ' _m sin38.00°	404600(σ' _m /98) ^{0.5}	0.24
		改良地盤② (水中)		20.7	10.6	490	40.54	490 cos40.54° +σ' _m sin40.54°	327900(σ' _m /98) ^{0.5}	
		改良地盤③ (水中)		20.7	10.6	1140		1140 cos40.54° +σ' _m sin40.54°	742900(σ' _m /98) ^{0.5}	
		改良地盤④ (水中)		20.7	10.6	1253	38.71	1253 cos38.71° +σ' _m sin38.71°	777300(σ' _m /98) ^{0.5}	
防波壁 (波返重力擁壁)	砂礫層		20.7	10.6	0	38.81	σ' _m sin38.81°	63390(σ' _m /98) ^{0.5}	0.33	
	改良地盤		20.7	10.6	500	0	500	93980(σ' _m /98) ^{0.5}		
	基礎捨石 (水中)		20.0	9.9	0	35.00	σ' _m sin35.00°	180000(σ' _m /98) ^{0.5}		

※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τ_f=σ'_m sinφ_f + C cos φ_f

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

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

※5 粘性土は在来地盤の粘性土ではないため, 正規圧密粘土と仮定してモデル化し, 『設計事例集 第2編 第1章 p.1-63』に準拠した強度特性(Φ_f=30°, C=0)を設定する。

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.2 解析用物性値 (構造物)

第870回審査会合
資料1-2-1 P.261 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

材料種別			物理特性		強度特性			変形特性			
			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, 湿潤 γ _{sat} , γ _t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)							
構造物	防波壁 (波返重力擁壁)	重力擁壁 (上部)	24.0	—	—	—	—	2.500×10 ⁷	0.20	—	
		重力擁壁 (下部)	22.6	—	—	—	—	2.200×10 ⁷			
		ケーソン (地盤改良部)	気中	22.9	—	—	—	—			2.198×10 ⁶
			水中	22.9	12.8	—	—	—			2.198×10 ⁶
		ケーソン (輪合部)	気中	20.9	—	—	—	—			2.309×10 ⁶
			水中	20.9	10.8	—	—	—			2.309×10 ⁶
		MMR	24.0	13.9	—	—	—	2.500×10 ⁷			
	消波ブロック (空隙率=50%)	11.3	6.3	—	—	—	1.100×10 ⁷				
	共通 防波壁(鋼管杭式逆T 擁壁, 多重鋼管杭式 擁壁)	施設護岸 (パラペット)	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 (セルラーブロック) (コンクリート詰)		気中	23.0	—	—	—	—	2.330×10 ⁷			
		水中	23.0	12.9	—	—	—	2.330×10 ⁷			
施設護岸 (セルラーブロック) (栗石詰)		22.0	11.9	—	—	—	2.330×10 ⁷				

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.3 解析用物性値の準拠基準

■ 各解析用物性値の準拠基準を以下に示す。

解析用物性値		準拠基準
物理特性	単位体積重量	<ul style="list-style-type: none"> 飽和, 湿潤 $\gamma_{sat, yt}$ (kN/m³) 水中 γ' (kN/m³)
		<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』及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
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 (kN/m²), 石材(基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ): 20 (kN/m²) 『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): $qu / (2 \times \tan(45^\circ + \phi/2))$ 『ジェットグラウト工法 技術資料(第23版), p.21』に準拠し, 改良地盤(波返重力擁壁): 500kN/m²
	せん断抵抗角 Φ_f (°)	<ul style="list-style-type: none"> 埋戻土(掘削ズリ): 液状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(埋戻土(掘削ズリ)) 相当の値を設定 改良地盤(波返重力擁壁): 攪拌系の改良である高圧噴射攪拌工法による改良のため, 安全側である0°に設定 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°
	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』に示された定義式 ($\tau = \sigma_m \sin \Phi_f + C \cos \Phi_f$) に基づき設定
変形特性	せん断弾性係数 G (kN/m ²)	<ul style="list-style-type: none"> 液状化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(Ver.3.0.1) により基準せん断弾性係数G_{ma}を算出し, 『FLIP取扱説明書, p.8-2』に示された定義式に基づき設定
	ポアソン比 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HP公開の『一次元FLIP入力データ作成プログラム1D-MAKER 操作マニュアル, 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

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.4 解析用物性値（石材）の設定方針

- 石材（基礎捨石、被覆石）の強度特性は、港湾基準より粘着力 $C=20(\text{kN/m}^2)$ 、せん断抵抗角 $\phi_f=35^\circ$ が標準の値とされているが、港湾基準の引用文献の検討内容を整理するとともに、地震時の動的挙動への適用性についても文献の内容を検討し、強度特性の信頼性について検証する。
- また、港湾基準に標準値として示される捨石の強度特性 $C=20(\text{kN/m}^2)$ 、 $\phi_f=35^\circ$ について、島根原子力発電所の護岸に使用した石材（基礎捨石・被覆石）への適用性について確認する。
- 港湾基準では、石材の強度特性の設定方法が以下の通り記載されている。

(6) マウンド材及び基礎地盤の強度定数

① マウンド材

偏心傾斜した作用を受ける支持力の模型実験及び現地実験の結果によれば、三軸圧縮試験から求められた強度定数を用いてビショップ法による円弧滑り解析を行えば精度の高い結果が得られることが明らかになっている⁵⁾。また、碎石の大型三軸圧縮試験から、粒径の大きい粒状体の強度定数は均等係数の等しい相似粒度の材料から求められる値にほぼ等しいことが確認されている⁶⁾。したがって、捨石の強度定数を正確に推定するには相似粒度の試料を用いた三軸圧縮試験を実施することが望ましいが、強度試験を行わない場合には、一般に用いられている通常の捨石に対する標準的な強度定数として粘着力 $c_D=20\text{kN/m}^2$ 、せん断抵抗角 $\phi_D=35^\circ$ の値が用いられている。実際の捨石においては現地での捨石の密度に対応して強度に相違が生じることが予想されるが、現地での捨石の状態を把握することは非常に困難であるので、標準的な強度定数の値が設定されている。

標準値は碎石の大型三軸圧縮試験の結果からやや安全側に求めた値であり、既存防波堤及び係留施設の解析結果からも妥当な値である。なお、強度定数として粘着力 $c_D=20\text{kN/m}^2$ としているが、これは碎石のせん断抵抗角 ϕ_D の拘束圧による変化を考慮するための見掛けの粘着力である。図-2.2.7は各種の碎石に関する三軸試験結果をまとめたものであるが⁵⁾、拘束圧が大きくなるとともに粒子破砕によって ϕ_D は減少する。図中に実線で示された値は見掛けの粘着力 $c_D=20\text{kN/m}^2$ 、 $\phi_D=35^\circ$ とした値であるが、見掛けの粘着力を考慮することによって ϕ_D の拘束圧依存性が反映されている。母岩の一軸圧縮強さと強度定数の関連を調べた結果によると、これらの標準値が適用できるのは母岩の一軸圧縮強さが 30MN/m^2 以上の石材である。母岩の強度が 30MN/m^2 以下である弱い石材をマウンドの一部として用いる場合、強度定数はほぼ $c_D=20\text{kN/m}^2$ 、 $\phi_D=30^\circ$ となる⁷⁾。

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.5 解析用物性値（石材）の設定根拠（1/4）

- 港湾基準の引用文献である「港湾技術研究所報告 捨石マウンドの支持力の新しい計算法（1987.6）（文献①）」では、捨石マウンド上に重力式構造物が設けられる場合における捨石の力学的特性の検討を目的とした実験が行われている。
- ここで、文献①では、直轄港湾工事に用いられる基礎捨石に対して質量～粒径換算を行い、それらと同程度の強度・比重を有する「碎石（ $D_{max}=25\text{mm}\sim 200\text{mm}$ ：砂岩と花崗岩の2種類）」を対象に、試験条件として均等係数 U_c 、拘束圧及び締固め程度を変化させた供試体を準備し、直径60cm・高さ120cmの供試体では中型三軸圧縮試験、直径120cm・高さ240cmの供試体では大型三軸圧縮試験をそれぞれ実施して捨石の力学特性を検討している。
- 上述の試験結果より、「捨石の強度定数は粘着力 $C=2$ （ tf/m^2 ）、せん断抵抗角 $\phi=35$ （ $^\circ$ ）を標準とする」とされている。
- なお、島根原子力発電所の基礎捨石は $D_{max}=200\text{mm}\sim 250\text{mm}$ であり、文献①と同等の大きさである。

表-5 実験ケース

岩種	試験機	D_{max} (mm)	料試名	U_c	拘束圧 α_3 (kgf/cm^2)		
					粗 締	中 締	密 締
花崗岩	中 型	25.4	A 1	1.2	2, 4		
			A 2	2.8	2, 4		
			A 3	5.0	2, 4		
		63.5	B 1	1.2	2, 4	1	1, 2, 4
			B 2	2.8		1, 2, 4	1, 2, 4
			B 3	5.0	1, 2, 4		1, 2, 4
	B 4		8.0	1, 2, 4	1, 2, 4	1, 2, 4	
	B 5		15.0	1, 2, 4	1, 2, 4	1, 2, 4	
	大 型	100	C 1	1.2	2		
			C 2	2.8	2		
		150	D 1	1.2	2, 4, 8	1, 2, 4, 8	
			D 2	2.8	2		
			D 3	5.0	2		
		200	E 1	1.2	2		
			E 0	2.0			4
E 2			2.8		4	1, 2, 4	
E 3			5.0	2			
硬質砂岩	中 型	25.4	F 1	1.3	2, 4, 8	0.5, 1, 2, 4, 8, 14	2, 4, 8
						63.5	G 1
	大型	150	H 1	1.2		2, 4, 8	

文献①の三軸圧縮実験ケース

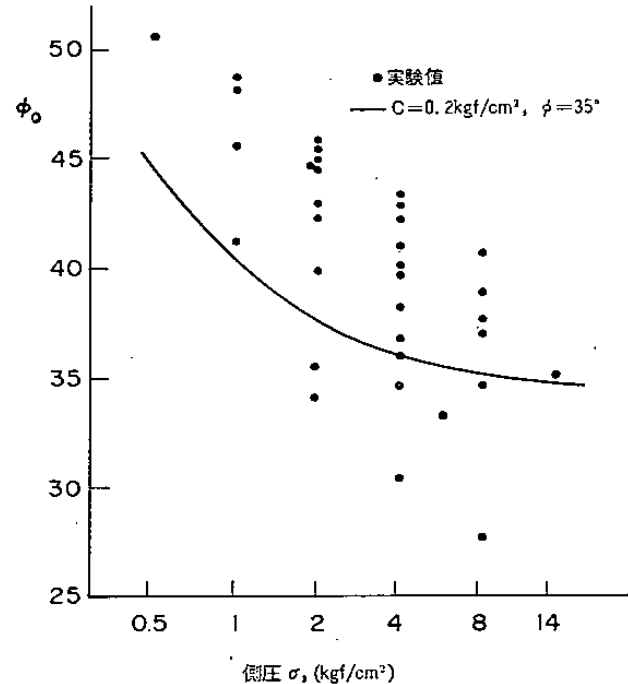


図-49 見掛けの粘着力を考慮した場合の ϕ_0 と σ_3 の関係

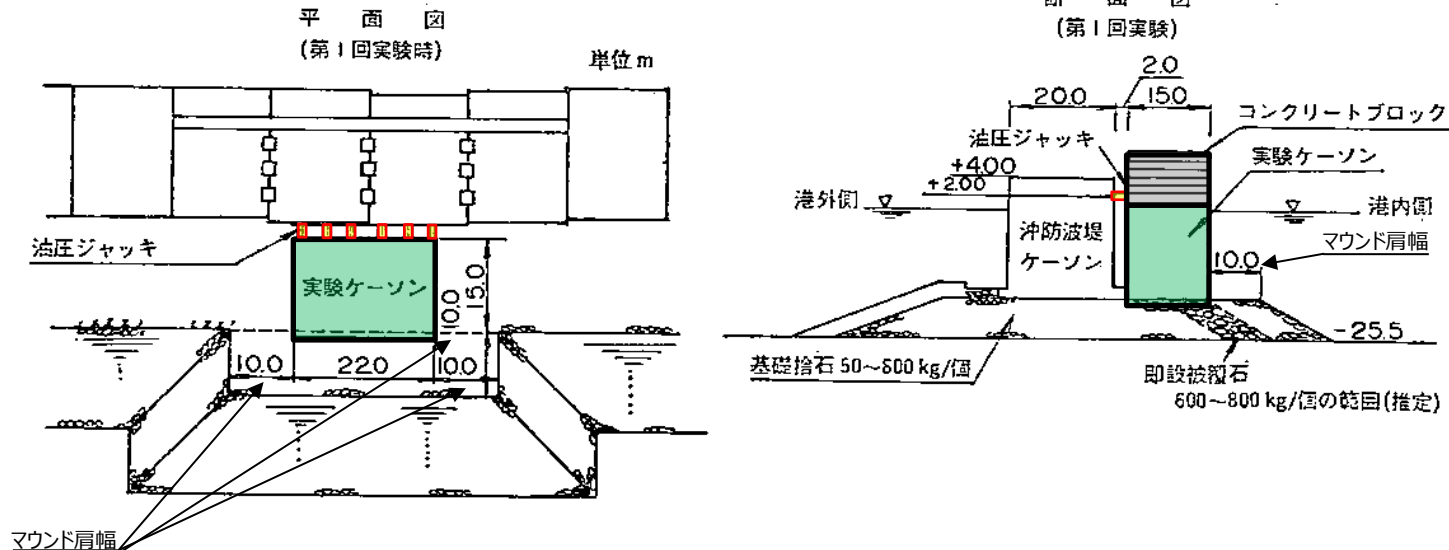
文献①の三軸圧縮実験結果

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.5 解析用物性値（石材）の設定根拠（2/4）

- 文献①は、捨石マウンドにおける支持力の新しい計算方法の提案を目的に、捨石マウンド上の重力式建造物の安定性（静的）に関して現地実験（小名浜港：基礎捨石50kg～800kg/個，被覆石600kg～800kg/個（推定））が行われている。
- 現地実験は、マウンド肩幅を10mから25m, 15m, 5mに変更した4ケースで行われており、実験ケーソン（幅22m×奥行15m）に油圧ジャッキで水平力を与えてマウンド及び基礎地盤に偏心傾斜荷重を加えることで、実験ケーソンの回転角や水平変位が計測されている。
- 現地実験から得られた最大水平力を用いた円形すべり計算結果によると、「捨石の三軸試験による強度定数 $C=2$ (tf/m²)， $\Phi=35$ (°) を用いたビショップ法の結果が実験結果と良く一致する」とされている。

		第1回実験	第2回実験	第3回実験
実験条件	マウンド肩幅	通常の防波堤マウンド肩幅を想定し $B=10m$	マウンド肩幅の影響を無視できる幅として $B=25m$	マウンド肩幅の影響を明確にするため途中で肩幅を変えて2回実施 $B=15m \rightarrow B=5m$ (3-1回) (3-2回)
	マウンド構成	実験函の下に被覆石 (500~800 kgf/個) が2m程度の厚さで存在する。	被覆石なし	被覆石なし



小名浜港現地試験概要図
(文献①「港湾技術研究所報告 捨石マウンドの支持力の新しい計算法 (1987.6)」より引用)

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.5 解析用物性値（石材）の設定根拠（3/4）

- 引用文献「港湾技研資料 マウンド用石材の大型三軸試験による強度特性（1991.3）（文献②）」では、「品質が劣ると考えられてきた石材の強度特性を明らかにする」ことを目的として、文献①で用いた比較的良質な花崗岩等よりも性質が劣る石灰岩及び軟質な砂岩等について、一軸圧縮強度に着目した分類で大型三軸圧縮試験（供試体寸法：直径30cm，高さ60cm）が行われている。（一軸圧縮強度との相関関係を得るため、幅広い範囲の一軸圧縮強度を持つ特殊モルタルも使用）
- 大型三軸圧縮試験の結果、「母岩の一軸圧縮強度が300 (kgf/cm²) 以上であれば、文献①で報告された捨石の標準値であるC=2 (tf/m²)，φ=35 (°) をほぼ満足する」とされている。
- なお、島根原子力発電所の石材（基礎捨石・被覆石）の一軸圧縮強度は30 (N/mm²) を有している（9.5（参考）岩盤試験結果参照）。

表-3 砕石母岩の材料特性

岩種	試料名	表乾比重 D _s	絶乾比重 D _b	吸水率 Q(%)	一軸圧縮強度 σ _c (kgf/cm ²)
石炭岩	石炭岩I	2,696	2,689	0.284	700以上
	石炭岩II	2,617	2,588	1.129	600
	石炭岩III	2,698	2,679	0.717	700以上
花崗岩	花崗岩I	2,653	2,612	1.59	800以上
	花崗岩II	2,593	2,567	1.03	1,130
砂岩	砂岩I	2,338	2,117	10.5	155
	砂岩II	2,363	2,173	8.75	99
	砂岩III	2,367	2,160	9.58	180

表-4 特殊モルタル試料の材料特性

岩種	試料名	表乾比重 D _s	絶乾比重 D _b	吸水率 Q(%)	一軸圧縮強度 σ _c (kgf/cm ²)
特殊モルタル	モルタル40	1,710	1,160	47.38	43.2
	モルタル70	1,721	1,225	40.58	70.5
	モルタル100	1,810	1,336	35.46	106
	モルタル300	2,226	2,013	10.63	320
	モルタル700	2,372	2,205	7.52	665

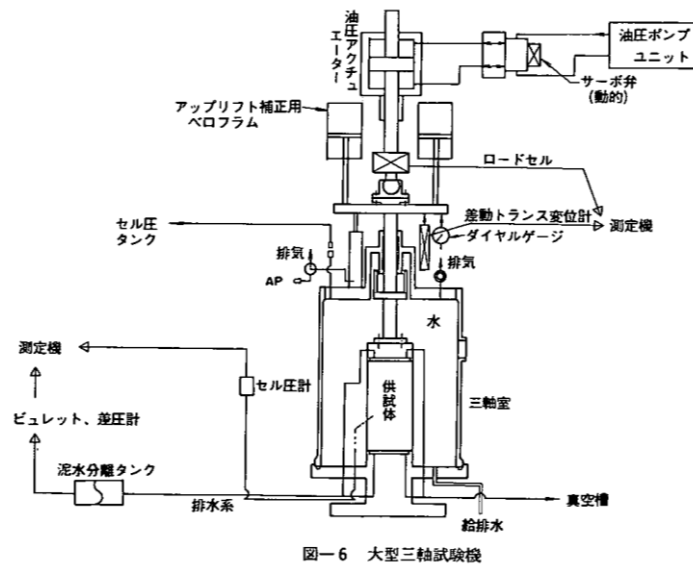
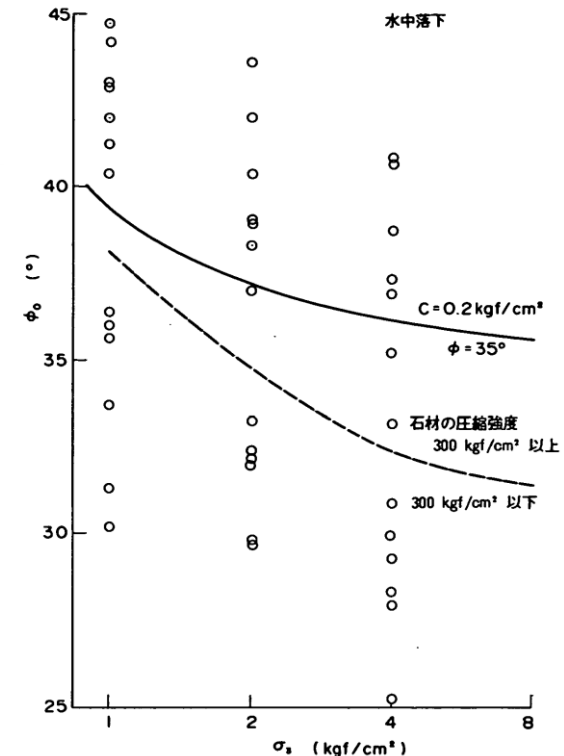


図-6 大型三軸試験機



文献②の三軸圧縮実験結果

文献②の三軸圧縮実験ケース

大型三軸圧縮試験機

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

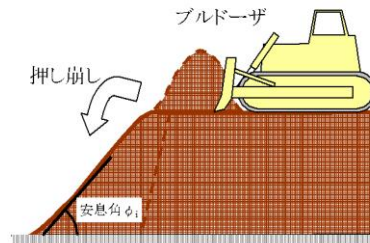
9.5.5 解析用物性値（石材）の設定根拠（4/4）

- 独立行政法人土木研究所では、ロックフィルダム の主要築堤材料として使用されるロック材料のせん断強度の評価について、原位置における表層すべり試験（切り崩し試験及び押し崩し試験）を実施し、原粒度条件下でのロック材料のせん断強度の評価を論文「拘束圧依存性を考慮したロック材料の強度評価（山口ほか）」で示している。
- ロック材料を100t級大型ブルドーザで静かに谷に押し崩す「押し崩し試験」を実施して、安息角を計測しているが、「得られた平均38.5（°）の結果は、大型三軸圧縮（CD）試験により求められた内部摩擦角41.0（°）とほぼ同等の値である」とされている。

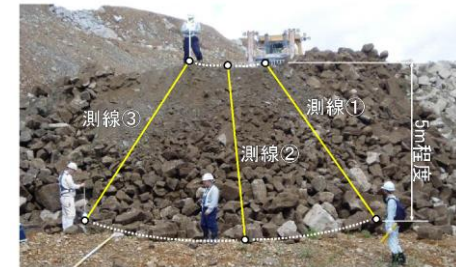
原位置表層すべり試験結果（押し崩し試験による安息角）

試験回数	現地計測結果（°）				
	測線①	測線②	測線③	各平均	平均
1回目	37.3	39.3	40.8	39.1	38.5
2回目	35.8	40.8	36.8	37.8	

図表は全て「ダム工学 Vol.18 No3(2008) P166-181 論文 拘束圧依存性を考慮したロック材料の強度評価 山口ほか」より引用



押し崩し試験の概要



押し崩し試験の安息角計測イメージ

- 島根原子力発電所にて、押し崩し試験を模擬した安息角の現地試験を実施した。
- 現地試験には基礎捨石と同様の石材（凝灰岩主体： $D_{max}=200\sim 250\text{mm}$ 程度）を用いて、40tダンプにて平坦な場所でダンプアップすることで試料塊を作り、ダンプが逃げる方向以外の3辺を測線として試料塊の角度計測を行った。試験は3回行い、合計9測線から得られた平均値は38.5（°）であり、文献①のせん断抵抗角 $\phi=35$ （°）と同等な結果となった。

安息角試験 試験値一覧表

試験	測線	角度	平均角度
1回目	①	35.2	38.5
	②	36.8	
	③	46.3	
2回目	①	29.8	
	②	37.8	
	③	35.3	
3回目	①	44.4	
	②	36.3	
	③	44.8	



試料塊作成（ダンプアップ）



安息角試験写真（計測全景）

まとめ

島根原子力発電所の石材は $D_{max}=200\text{mm}\sim 250\text{mm}$ であり、一軸圧縮強度は30（ N/mm^2 ）を有することから、港湾基準に示される $C=20(\text{kN}/\text{m}^2)$ 、 $\phi_f=35$ （°）を適用できると判断した。

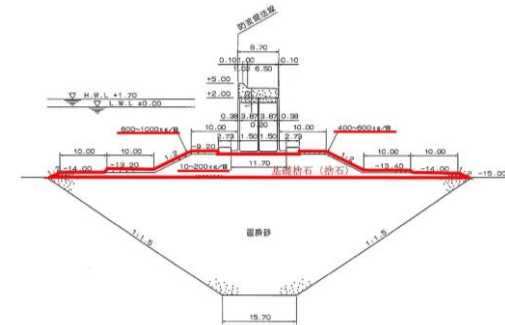
9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.6 解析用物性値（石材）の動的評価への適用性（2/4）

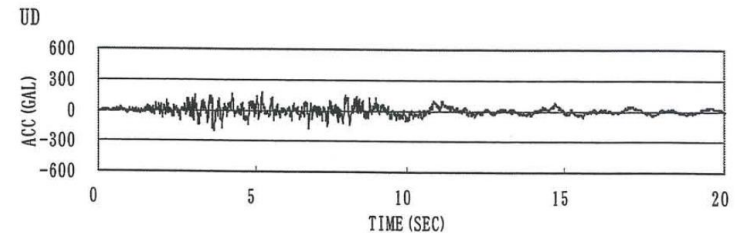
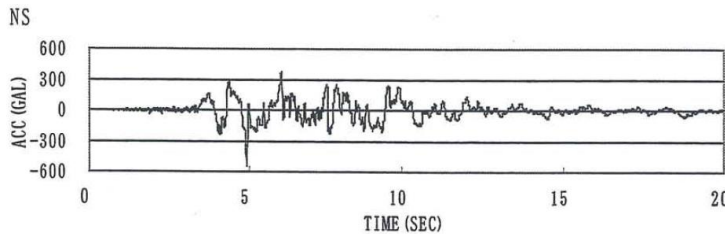
事例検証② 神戸港第七防波堤※捨石は主に10kg~200kg/個程度

検討ケース※	せん断強度特性		残留変位量		備考
	C(kN/m ²)	Φ (°)	水平 (m)	鉛直 (m)	
CASE2	0	40	0.04	4.39	従来方法
CASE4	20	35	0.00	2.26	提案方法
観測値			-	1.4~2.6	

※結果は捨石強度特性のみが異なるCASE 2（従来方法）とCASE4(提案方法)のみ抜粋している。



検討対象断面（神戸港第七防波堤）

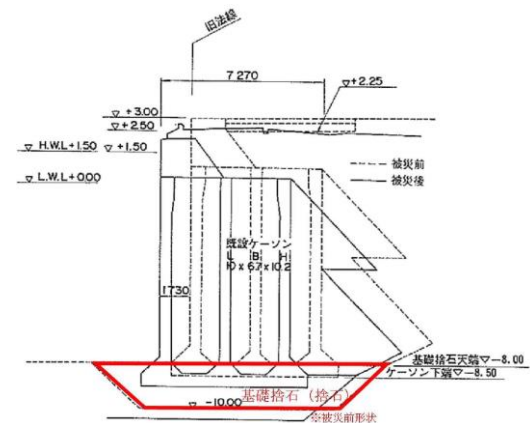


検討用地震動_ポートアイランド鉛直アレー地震観測網のGL-32mに設置の加速度計による1995兵庫県南部地震の際の観測記録

事例検証③ 釧路港北埠頭岸壁

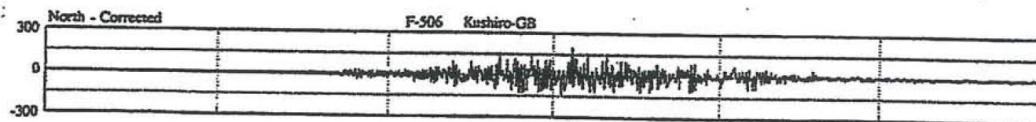
検討ケース※	せん断強度特性		残留変位量		備考
	C(kN/m ²)	Φ (°)	水平 (m)	鉛直 (m)	
CASE1	0	40	0.89	0.21	従来方法
CASE3	20	35	1.28	0.22	提案方法
観測値			0.8~1.6	0.2~0.5	

※結果は捨石強度特性の設定の違いに着目し、CASE1（従来方法）とCASE3(提案方法)のみ抜粋している。



検討対象断面（釧路港北埠頭岸壁）

① 地震波：釧路沖地震観測波、基盤 NS 成分 (F-506 Kushiro-GB)、最大加速度 204.4gal



検討用地震動

各図表は「捨石のモデル化に関する検討報告書」から引用

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.6 解析用物性値（石材）の動的評価への適用性（3/4）

■「捨石のモデル化に関する検討報告書」で検討した事例は、いずれも重力式岸壁あるいはケーソン式防波堤であることから、鋼管杭を使用した構造物を対象とした被災事例の再現解析における捨石の解析用物性値の設定状況について以下に示す。解析用物性値の設定状況については、1995年兵庫県南部地震における神戸港T桟橋及び2011年東北地方太平洋沖地震における小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁、相馬港2号埠頭-12m岸壁について再現解析を実施している文献について確認した。

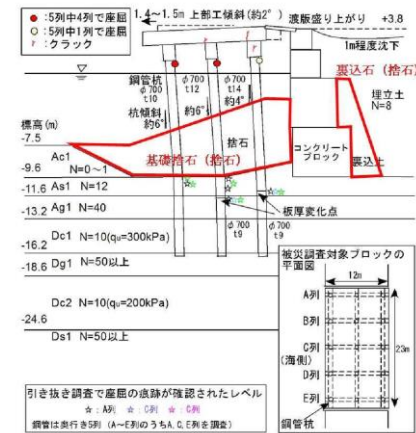
被災事例の再現解析① 神戸港T桟橋

1995年兵庫県南部地震による神戸港T桟橋の被災事例を対象とした再現解析が行われているが、捨石の解析用物性値として、粘着力 $C=20$ (kN/m²)、せん断抵抗角 $\phi=35$ (°)が設定されており、鋼管杭の座屈位置という被災事例を再現できたとされている。

FLIPIにおける解析用物性値（神戸港T桟橋）

土層名	湿潤密度	間隙率	変形特性					
			初期せん断剛性	基準化拘束圧	拘束土依存係数	内部摩擦角	粘着力	屈曲減衰上限値
	ρ_1 (t/m ³)	n	G_{ma} (kPa)	σ'_{ma} (kPa)	m	ϕ_f (°)	c (kPa)	h_{max}
As1	1.8	0.45	111900	98.0	0.5	40.7	0	0.24
Ag1	2.0	0.45	226500	98.0	0.5	44.4	0	0.24
埋立土	1.8	0.45	65840	98.0	0.5	38.9	0	0.24
捨石	2.0	0.45	180000	98.0	0.5	35.0	20	0.24
裏込土	2.0	0.45	180000	98.0	0.5	35.0	20	0.24
Ac1	1.5	0.67	3750	5.0	0.5	25.0	0	0.20
Dc2	1.7	0.55	34000	86.4	0.0	0.0	100	0.20
Dg1	2.0	0.45	228200	98.0	0.5	44.5	0	0.24

「二次元有効応力解析による直杭式横桟橋の被災事例の再現計算（2009）」から引用



断面図（神戸港T桟橋）

「二次元有効応力解析による直杭式横桟橋の被災事例の再現計算（2009）」から引用

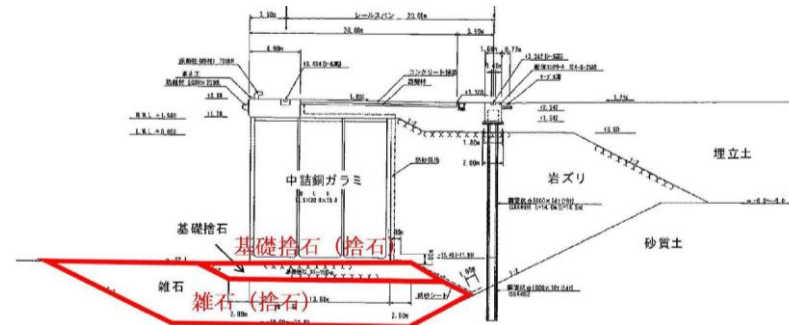
被災事例の再現解析② 小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁

2011年東北地方太平洋沖地震による小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁の被災を対象とした再現解析が行われているが、捨石の解析用物性値として、粘着力 $C=20$ (kN/m²)、せん断抵抗角 $\phi=35$ (°)が設定されており、岸壁背後の沈下等の被災結果に調和的な変形を再現可能であるとされている。なお、当該岸壁の基礎捨石は30~200kg/個とされている。

FLIPIにおける解析用物性値（小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁）

地層名	N_{65}	ρ_s (t/m ³)	ρ_{sat} (t/m ³)	σ'_{ma} (kN/m ²)	G_{ma} (kN/m ²)	v	K_{ma} (kN/m ²)	C (kN/m ²)	ϕ (°)	n	h_{max}
埋立土	8.3	1.8	2.0	98	75400	0.33	196600	-	39	0.45	0.24
岩ずり	10.4	1.8	2.0	98	86600	0.33	225800	-	39	0.45	0.24
砂質土	22.2	-	2.0	98	140600	0.33	366700	-	41	0.45	0.24
固結シルト(風化部)	-	-	1.8	171.88	10200	0.33	26600	30	-	0.55	0.20
基礎砕石	-	-	2.0	98	180000	0.33	469400	20	35	0.45	0.24
雑石	-	-	2.0	98	180000	0.33	469400	20	35	0.45	0.24

「2011年東北地方太平洋沖地震において地震動により被災した小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁（-12m）の再現解析（2014）」から引用



断面図（小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁）

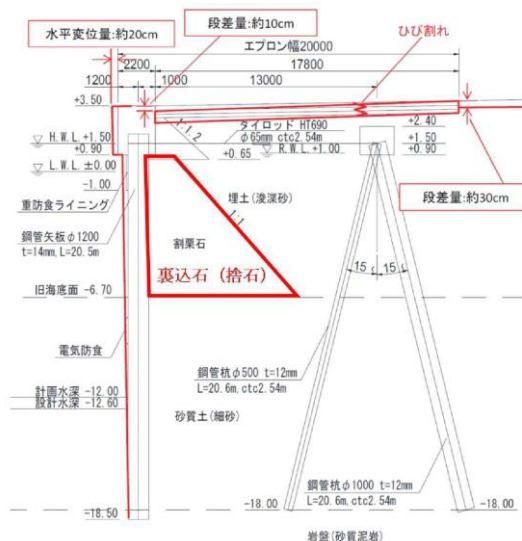
「2011年東北地方太平洋沖地震において地震動により被災した小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁（-12m）の再現解析（2014）」から引用

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.6 解析用物性値（石材）の動的評価への適用性（4/4）

被災事例の再現解析③ 相馬港2号埠頭-12m岸壁

2011年東北地方太平洋沖地震による相馬港2号埠頭-12m岸壁の被災を対象とした再現解析が行われているが、捨石の解析用物性値として、粘着力 $C=20$ (kN/m²) , せん断抵抗角 $\phi=35$ (°) が設定されており、被災状況や背後地盤の沈下や段差について再現できたとされている。



断面図（相馬港2号埠頭-12m岸壁）

「相馬港2号埠頭-12m岸壁を対象とした事例解析（2012年度）」から引用

FLIPにおける解析用物性値（相馬港2号埠頭-12m岸壁）

記号	土質	ρ (t/m ³)	σ_{ma}' (kN/m ²)	V_s (m/s)	G_{ma} (kN/m ²)	m_G	K_{ma} (kN/m ²)	m_K	c (kN/m ²)	ϕ_f	h_{max}	n	E (kN/m ²)
B	埋土(浚渫砂)	1.80	98	162	75246	0.5	196230	0.5	0.0	39.38	0.24	0.45	
		2.00											
As	砂質土(細砂)	2.00	98	269	125095	0.5	326228	0.5	0.0	41.33	0.24	0.45	
R	岩盤(砂質泥岩)	1.73											1392000
	裏込石	2.00	98		101300	0.5	264000	0.5	20.00	35.00	0.24	0.45	

「相馬港2号埠頭-12m岸壁を対象とした事例解析（2012年度）」から引用

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.7 解析用物性値（石材）の設定方針 まとめ

(1) 文献調査結果

- 文献①及び②から、「母岩の一軸圧縮強度が300 (kgf/cm²) 以上であれば、文献①で報告されている捨石の標準値であるC=2 (tf/m²) , $\Phi_f=35$ (°) をほぼ満足する」とされている。
- 独立行政法人土木研究所で実施された押し崩し試験による安息角と大型三軸圧縮 (C D) 試験による内部摩擦角がほぼ同等の値となるとされていることを踏まえ、島根原子力発電所では押し崩し試験を模擬した安息角の現地試験を実施し、安息角の平均値は38.5度となることを確認した。
- 石材の動的挙動について、「捨石のモデル化に関する検討報告書」において、1995年兵庫県南部地震及び1993年釧路沖地震といった複数の地震動に対する被災事例を対象に、事例検証が行われており、捨石の解析用物性値C=20(kN/m²) , $\Phi_f=35$ (°) と設定した場合、解析結果はそれぞれの観測値と適合性が良いとされている。また、鋼管杭を使用した構造物を対象とした解析事例においても、捨石の解析用物性値C=20(kN/m²) , $\Phi_f=35$ (°) と設定して被災事例を再現できたとされている。
- 以上より、捨石の標準値とされているC=20(kN/m²) , $\Phi_f=35$ (°) は信頼性がある値であると判断した。

(2) 島根原子力発電所への適用性

- 岩石試験結果参照より、島根原子力発電所で使用されている石材（基礎捨石・被覆石）の一軸圧縮強度は30 (N/mm²) を有している。
- 島根原子力発電所の施設護岸の工事で使用した基礎捨石は、30kg以上/個程度 (200mm~250mm) であり、「捨石のモデル化に関する検討報告書」で事例検証が行われている捨石の質量 (六甲アイランドRF3 岸壁の捨石は主に200kg~400kg/個程度、神戸港第七防波堤の捨石は主に10kg~200kg/個程度) の範囲内となっている。
- 以上のことから、島根の石材（基礎捨石・被覆石）においても港湾基準に示されるC=20(kN/m²) , $\Phi_f=35$ (°) を適用できると判断した。

(3) 設置許可段階における構造成立性評価

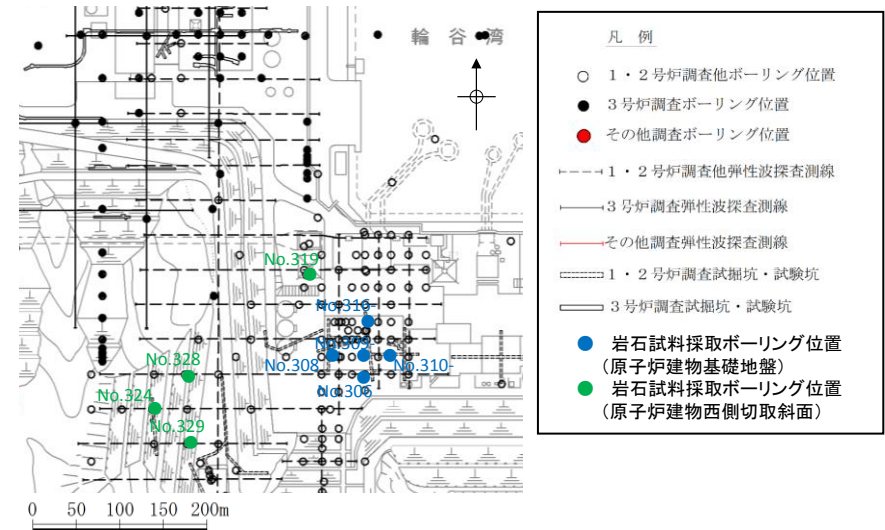
- 島根の石材の解析用物性値は上述のとおり考えているが、設置許可段階においては、保守的にC=0(kN/m²) , $\Phi_f=35$ (°) と設定した場合の構造成立性評価について確認する。

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値 (参考) 岩石試験結果

- 島根原子力発電所の石材（基礎捨石・被覆石）は主に発電所敷地内の凝灰岩を使用しており、これについて実施した岩石試験の概要を示す。
- ボーリングコアから採取した試料を用いて一軸圧縮試験を実施した結果、 30N/mm^2 を上回る結果となった。

試験概要

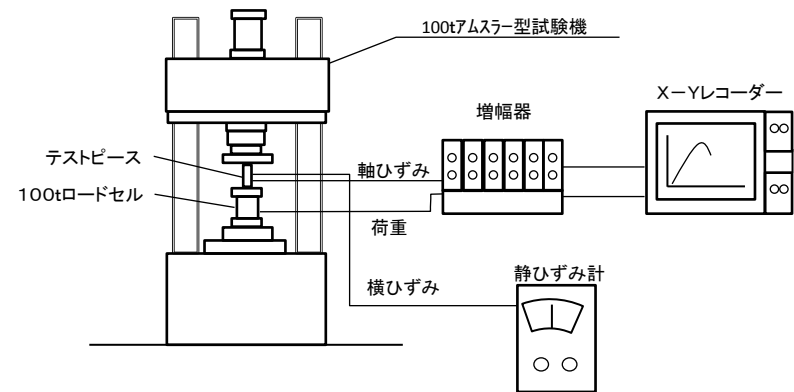
供試体サイズ		直径：50 (mm) 高さ：100 (mm)
最大能力		980kN(100t)
原子炉建物 基礎地盤	試料採取ボーリング	306,308,309,310,316
	試験個数	18個
	一軸圧縮強度	82.57 (N/mm ²)
原子炉建物 西側切取斜面	試料採取ボーリング	324,319,328,329
	試験個数	10個
	一軸圧縮強度	122.98 (N/mm ²)



岩石試料採取位置図



凝灰岩ボーリングコア写真の例
(No.B-2(2006), G.L.-87.41~88.12, -88.48~-90.00m)



一軸圧縮試験装置図

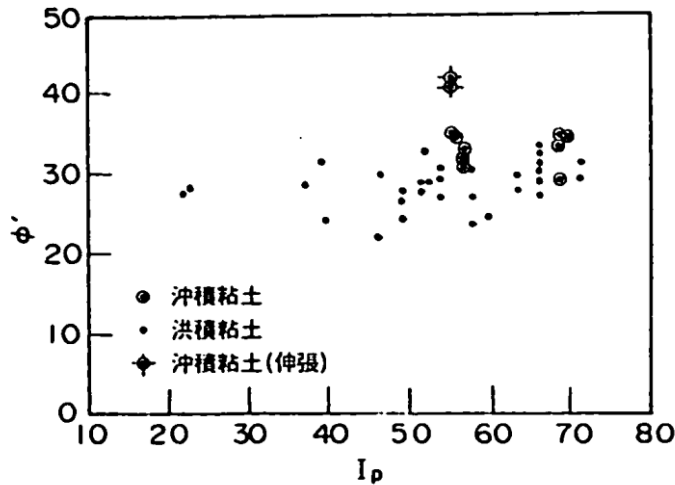
9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.8 解析用物性値（粘性土）の設定根拠

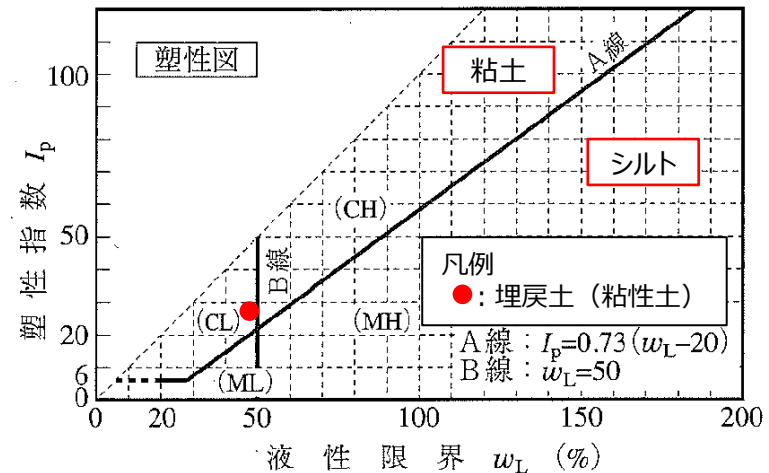
- 島根原子力発電所の埋戻土（粘性土）は、護岸建設時に、背面の止水性を担保するために施工しており、攪乱されていることから、正規圧密状態である、また、土の液性限界・塑性限界試験（JIS A 1205）結果より、塑性指数は $I_p=27.3$ となり、塑性図における「粘土」に位置する。
- 粘性土の強度特性の設定の考え方としては、「FLIP研究会14年間の検討成果まとめの作成について（FLIP研究会14年間の検討成果まとめWG）」（以下「FLIP研究会報告」という）があり、FLIP研究会報告によると、「三軸試験による自然粘性土地盤の強度設定法に関する研究（土田，1990）」の正規圧密粘土の塑性指数－内部摩擦角（排水条件）の関係から、粘性土は $C=0(kN/m^2)$ 、 $\Phi_f=30$ （°）と設定している。
- 土田（1990）の「正規圧密時の内部摩擦角と塑性指数の関係」によると、塑性指数によらず、 $\Phi=30$ （°）一定の結果が得られていることから、島根原子力発電所の埋戻土（粘性土）の強度特性については、 $C=0(kN/m^2)$ 、 $\Phi_f=30$ （°）と設定できると判断した。

埋戻土（粘性土）の液性限界・塑性限界試験結果

	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	塑性指数 I_p
埋戻土（粘性土） （平均値，試験数：22）	48.5	21.2	27.3



正規圧密時の内部摩擦角と塑性指数の関係
「三軸試験による自然粘性土地盤の強度設定法に関する研究（土田，1990）」より引用



※ 地盤工学会，H22：土質試験 基本と手引き に加筆
塑性図による粘性土の分類

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.9 解析用物性値（セルラーブロック）の設定根拠（1/2）

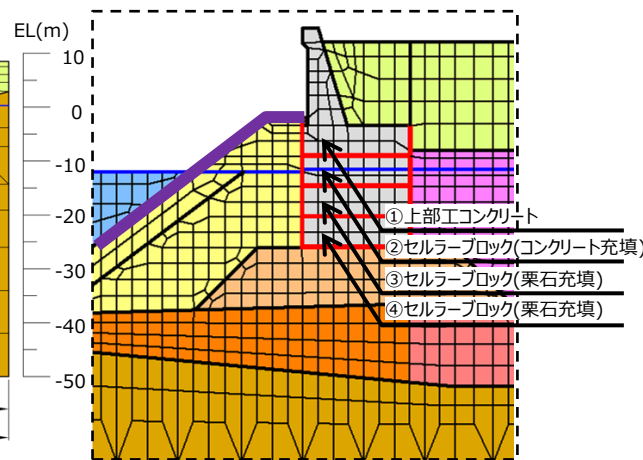
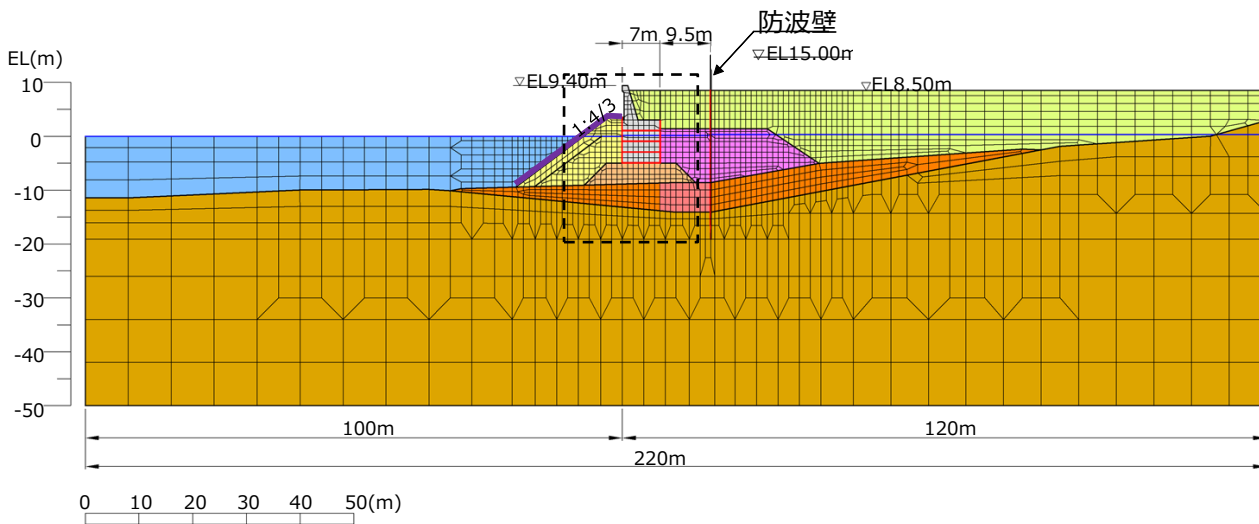
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に近接する施設護岸を構成する上部工コンクリート及びセルラーブロックのモデル化にあたっては、要素間の滑り・剥離を考慮するため、ジョイント要素でモデル化している。また、セルラーブロックの中詰材の剛性は考慮しない。
- せん断抵抗角は港湾基準に準拠し、以下に示す摩擦係数の考え方を踏まえ設定した。

ジョイント要素	ジョイント要素に考慮した摩擦係数の根拠
①上部工コンクリート・ ②セルラーブロック（コンクリート充填）境界	・境界面の上下はそれぞれコンクリートであるため、港湾基準より「コンクリートとコンクリート」の静止摩擦係数0.5と設定する。
②セルラーブロック（コンクリート充填）・ ③セルラーブロック（栗石充填）境界	・セルラーブロック（栗石充填）設置後に上段のセルラーブロックのコンクリートを打設したことから、境界面の上下はそれぞれコンクリートであるため、「コンクリートとコンクリート」の静止摩擦係数0.5と設定する。
③セルラーブロック（栗石充填）・ ④セルラーブロック（栗石充填）境界	・境界面はセルラーブロック同士と栗石同士で構成されている。港湾基準よりセルラーブロック同士は「コンクリートとコンクリート」の静止摩擦係数0.5、栗石同士は「捨石と捨石」の静止摩擦係数0.8であるため、これらを平均した0.6（0.65の少数第2位を切り捨て）と設定する。
④セルラーブロック（栗石充填）・ 基礎捨石境界	・セルラーブロック（栗石充填）と基礎捨石境界の摩擦係数は、港湾基準に示される「底版のないセルラーブロックの性能照査に用いる摩擦係数の特性値」から0.7と設定する。（島根原子力発電所における施設護岸への適用性については次頁参照）

コンクリートとコンクリート	0.5
コンクリートと岩盤	0.5
水中コンクリートと岩盤	0.7~0.8
コンクリートと捨石	0.6
捨石と捨石	0.8
木材と木材	0.2(湿)~0.5(乾)
摩擦増大マットと捨石	0.75

静止摩擦係数の値
(港湾基準より引用)

- 上部工コンクリート及びセルラーブロックは完全に分離した構造物同士であることから、粘着力は考慮しない。

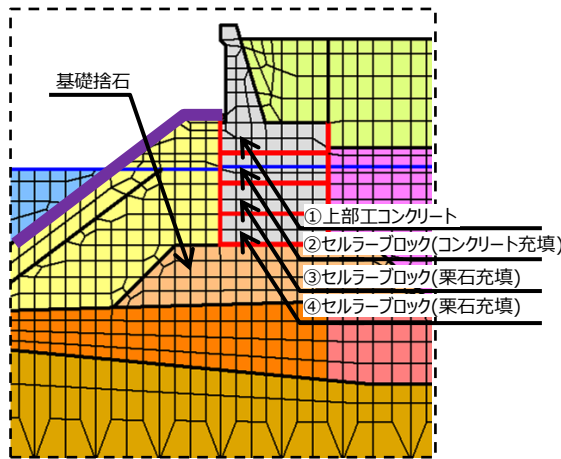


施設護岸部 拡大図

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.9 解析用物性値（セルラーブロック）の設定根拠（2/2）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に近接する施設護岸を構成するセルラーブロックのうち、最下部の④セルラーブロック（栗石充填）と基礎捨石の境界のジョイント要素については、港湾基準に準拠し摩擦係数0.7と設定した。
- 港湾基準では、底版のないセルラーブロックの滑動の性能照査に用いる摩擦係数の特性値は、厳密には鉄筋コンクリート底版の受ける反力については0.6、中詰石底部の受ける反力については0.8を用いて計算すべきであるが、便宜上0.7としてもよい、とされている。
- 島根原子力発電所の施設護岸へ用いたセルラーブロックの鉄筋コンクリート部と中詰部の面積比を考慮して摩擦係数の平均値を算定した結果、0.71となることから、港湾基準に示される摩擦係数0.7と設定することは妥当と判断する。



施設護岸部 拡大図

コンクリートとコンクリート	0.5
コンクリートと岩盤	0.5
水中コンクリートと岩盤	0.7~0.8
コンクリートと捨石	0.6
捨石と捨石	0.8
木材と木材	0.2(湿)~0.5(乾)
摩擦増大マットと捨石	0.75

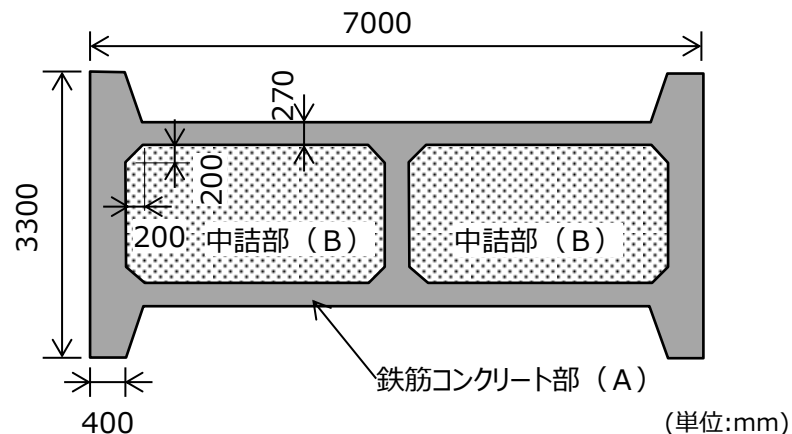
静止摩擦係数の値

(港湾基準より引用)

【摩擦係数算定の考え方】

$$S_{\text{鉄筋コンクリート}} : S_{\text{中詰材}} = A : B$$

$$\text{摩擦係数の平均値} = (0.6 \times A + 0.8 \times B) / (A + B)$$



セルラーブロック平面図 (例)