

島根原子力発電所 2号炉 津波による損傷の防止

論点 3 防波壁の設計方針について

(コメント回答)

令和 2 年 2 月
中国電力株式会社

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
3	H31.2.26	<p>[論点 3]</p> <ul style="list-style-type: none"> 防波壁の構造及び支持地盤，周辺地盤を含めた設置状況を把握するとともに、先行炉の審査実績を踏まえ、島根原子力発電所の特性を考慮した上で防波壁の構造成立性について整理して説明すること。 なお，この整理にあたって，類似する先行炉の津波防護施設の構造、地盤などの周辺環境を含む設計条件・評価手法等との相違の有無を整理すると共に、島根原子力発電所の特有の技術的課題を抽出して提示すること。 	<p>EP-066改20 (説16)</p> <p>EP-066改20 (説17)</p>
49	H31.4.9 第4条 (地震による 損傷の防止)	<p>[論点Ⅱ-31:フレーム解析モデル(線形)の適用]</p> <ul style="list-style-type: none"> 防波壁の耐震評価については，耐津波設計方針における指摘と併せ，耐震の観点として，荷重及び荷重の組合せ，許容限界，設備への加速度応答に対する配慮などを含めて説明すること。 	<p>161,167, 168,182</p>

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
52	R元.10.31	<ul style="list-style-type: none"> 各構造型式の防波壁について、構造上の弱部となり得る箇所を網羅的に選定し、その詳細構造と構造的特徴を説明すること。 	123~146
		【防波壁（波返重力擁壁）】	
53		<ul style="list-style-type: none"> 波返重力擁壁を構成するケーソン、上部工、重力擁壁について、地震及び津波の作用荷重が支持地盤及び周辺地盤へ伝達されるメカニズム、荷重伝達メカニズムと構造弱部を踏まえた機能損失モード及び機能損失モードを踏まえた設計の考え方を説明すること。 	111~146
54		<ul style="list-style-type: none"> 既設ケーソンに上部工と重力擁壁を増築した波返重力擁壁について、増築構造の採用に至る経緯と設計思想を説明すること。 	70,197, EP-066改 20 (説 17) P78,82,83
55		<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重に対するケーソンと上部工の境界面における摩擦抵抗など、どのような設計概念、どのような設計方針であるかを明確に説明すること。 	198,199
		【防波壁（多重鋼管杭式擁壁）】	
56		<ul style="list-style-type: none"> 東海第二発電所の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針を適用するとしているが、許容限界、セメントミルクの位置づけ等、違いがある項目については選定理由を資料に記載の上説明すること。 	55,132~133,186~188
57		<ul style="list-style-type: none"> 上部工（被覆コンクリート壁）の設計方針、設計フローについて、東海第二発電所の先行審査を参考に、機能喪失モードや機能維持評価の考え方をふくめて説明すること。 	128,155~156,162
58		<ul style="list-style-type: none"> 既設護岸の防波壁に対する波及的影響を含めて、防波壁の機能維持評価の考え方を整理して説明すること。 	55,61,104~107
59	<ul style="list-style-type: none"> 多重鋼管杭式擁壁について、先行炉や一般産業施設の適用実績を調査し、その実績において参照している基準類並びに同基準における設計の考え方、適用範囲、構造細目を整理した上で、島根サイトにおける評価方針の適用性を説明すること。 	201~203	

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
		【防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）】	
60		・津波防護施設である防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）に対し，道路土工に用いる擁壁工指針に示される杭頭部のヒンジ結合の手法を採用するに当たって，当該指針の適用条件や適用範囲に留意した事項，当該指針を適用できると判断した理由について説明すること。	194～196
61		・鋼管杭式逆T擁壁の鋼管杭の先端支持力と周面摩擦力について，どのような規格及び基準等に基づき設定しているのかを説明すること。	25,164, 170
62		・杭頭接合部の構造について，道路橋示方書で剛結合を原則としている規定や剛結合以外の結合方法の実験等による力学特性検証等，道路橋示方書の記載内容との対応を踏まえて整理すること。	194～196
		【1号放水連絡通路防波扉】	
63	R元.10.31	・1号放水連絡通路防波扉については，既設の連絡通路坑口部と扉体支持コンクリートとの位置関係，既設の連絡通路と岩盤との位置関係，取り合い部の構造及び止水目地の構造・仕様を明確にした上で，取り合い部における止水性能の評価方針を説明すること。	40～42
64		・1号放水連絡通路防波扉については，既設の連絡通路を含めて津波の浸水防止を期待する範囲を明確にしたうえで，津波の侵入防止を確保する設計方針を説明すること。	40～42
		【各構造型式共通】	
65		・防波壁（多重鋼管杭式擁壁，鋼管杭式逆T擁壁，波返重力擁壁）に関する要求機能と設計方針については，防波壁を構成する評価対象部位を網羅的に抽出し，それぞれの要求機能に応じた設計方針を整理して説明すること。	53～70
66		・止水目地について，許容変化量，許容水圧及び耐久性の許容設定値を具体的にどのような考え方で定めているのか，基本的な考え方を説明すること。	18～23, 26～28, 31～38, 78～79, 83,92～93

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
67	R元.10.31	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁の構造形状，杭の配置形状，防波扉等の付属施設位置，目地位置，防波壁と既設護岸・発電所施設との位置関係等を平面図において明確にし，その上で構造，周辺施設，周辺地盤，地盤改良等の相違を踏まえた断面を網羅的に提示すること。 	18～23, 26～28, 31～38, 78～79,83, 92～93
68		<ul style="list-style-type: none"> 津波防護施設の断面選定方針は，屋外重要土木構造物等の断面選定方針にて審査中の指摘事項を反映して説明すること。 	78～79,83, 92～93
		【全般】	
69		<ul style="list-style-type: none"> 時刻歴応答解析（有効応力解析），フレーム解析モデル，限界状態設計法の適用については，防波壁の詳細構造，設計方針等に関して詳細な説明を行ったうえで，改めて詳細に説明すること。 	16～39, 53～70
70		<ul style="list-style-type: none"> 今回指摘した島根特有の技術的課題については，事業者自らが提示する課題であり，先行炉の課題解決のプロセスが考慮されるべきものであるため，今後の説明においては，今回の指摘事項と先行炉の実績を踏まえて資料を十分に作り込んで提出して説明すること。 	EP-066改20 （説16） EP-066改20 （説17）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.3】（1/6）

■ 指摘事項

【No.3（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】（審査会合（H31.2.26））

- 防波壁については、波返重力擁壁、鋼管杭式擁壁等の複数の構造形式があること、また、多様な支持地盤、周辺地盤の構成であること、取水路等を跨いで設置する箇所があること、防波壁東西端の地山斜面との接続部の構造などから、防波壁の構造及び支持地盤周辺地盤を含めた設置状況を把握するとともに、先行炉の審査実績を踏まえ、島根原子力発電所の特性を考慮した上で防波壁の構造成立性について整理して説明すること。
 - なお、この整理にあたって、類似する先行炉の津波防護施設の構造、地盤などの周辺環境を含む設計条件・評価手法等との相違の有無を整理すると共に、島根原子力発電所の特有の技術的課題を抽出して提示すること。
- （確認したい事項）
- ・防波壁の構造・仕様、支持地盤及び周辺地盤の地質の網羅的な提示
 - ・先行炉実績との類似点、相違点の整理
 - ・先行炉実績との類似点を踏まえた先行炉実績の設計方針の適用性
 - ・先行炉実績との相違点を踏まえた構造成立性

【（4条 論点Ⅱ-28）時刻歴応答解析（有効応力解析）の適用】（審査会合（H31.4.9））

【（4条 論点Ⅱ-30）限界状態設計法の適用（降伏モーメント及びせん断応力度による評価）】

【No.49（4条 論点Ⅱ-31）フレーム解析モデル（線形）の適用】

- 防波壁の耐震評価については、耐津波設計方針における指摘と併せ、耐震の観点として、荷重及び荷重の組合せ、許容限界、設備への加速度応答に対する配慮などを含めて説明すること。

■ 回答

- ・多重鋼管杭式擁壁、鋼管杭式逆T擁壁、波返重力擁壁それぞれについて、構造図、縦断図、断面図等により、構造概要、仕様、支持地盤及び周辺地盤の地質等を整理した。また、取水路横断部や地盤改良部等の構造についても整理した。（P14～39,71～93,97～99）
- ・先行炉（東海第二発電所、女川発電所2号、美浜発電所）の津波防護施設との構造の比較を実施し、島根地点の防波壁の特徴（多重鋼管杭構造、鋼管杭杭頭部のヒンジ結合、ケーソン構造等）を整理した上で、類似点については先行炉実績の設計方針の適用性について説明するとともに、相違点がある場合は、模型実験等により設計の妥当性を確認した。（P186～P192,194～196,201～203）
- ・各構造形式の防波壁について、構造的特徴を踏まえて選定した代表断面を対象に動的FEM解析等により構造成立性検討を実施し、構造が成立する見通しを確認した。（EP-066改20（説17）P62～85）
- ・防波壁に作用する荷重とその組合せ（地震荷重、余震荷重等）、施設及び構造成立上の役割に期待する地盤（改良地盤等）に関する許容限界、防波壁への要求機能を喪失する事象を踏まえた、各部位に対する設計・施工上の配慮事項について整理した。（P53～70,101,124～146）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.3】 (2/6)

■ 指摘事項

【No.52~55 (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】(審査会合 (R元.10.31))

- 各構造型式の防波壁について、構造上の弱部となり得る箇所を網羅的に選定し、その詳細構造と構造的特徴を説明すること。
(防波壁 (波返重力擁壁))
- 波返重力擁壁を構成するケーソン、上部工、重力擁壁について、地震及び津波の作用荷重が支持地盤及び周辺地盤へ伝達されるメカニズム、荷重伝達メカニズムと構造弱部を踏まえた機能損失モード及び機能損失モードを踏まえた設計の考え方を説明すること。
- 既設ケーソンに上部工と重力擁壁を増築した波返重力擁壁について、増築構造の採用に至る経緯と設計思想を説明すること。
- 地震荷重に対するケーソンと上部工の境界面における摩擦抵抗など、どのような設計概念、どのような設計方針であるかを明確に説明すること。

■ 回答

- ・島根原子力発電所のサイト特性・制約条件等を踏まえた防波壁構造の特異性を整理した上で、要求機能を喪失する損傷モードを抽出し、これに対して設計・施工上において配慮する点についても整理した。(P123~146)
(防波壁 (波返重力擁壁))
- ・防波壁 (波返重力擁壁) について、地震時及び津波時の評価対象部位の役割を整理するとともに、変形モード及び荷重図を示した上で、要求機能を喪失する事象を網羅的に抽出した。また、要求機能を喪失する事象を踏まえ、設計・施工上において配慮する点についても整理した。(P111~146)
- ・防波壁 (波返重力擁壁) については、3号機増設に伴い設置したケーソン式構造護岸が日本海の冬季波浪に耐え得る頑健性の高い岩着構造物であるため、施設護岸に波返重力擁壁を増設し、津波による敷地内への浸水を防止する構造とした。波返重力擁壁の増設にあたっては、施設護岸の波返壁に表面への目荒らし及び差筋の配置により施設護岸との一体化を行っている。ケーソンについては、「港湾構造物設計事例集 (平成30年改訂版)」に準拠し、躯体コンクリート強度に応じた剛性でケーソン全体の解析用物性値を設定して地震応答解析を実施し、発生せん断力が短期許容応力度以下であることによる構造成立性を確認した。また、津波時の海側壁の照査を実施し、津波防護機能を保持することを確認した。(P70,197, EP-066改20 (説17) P78,82,83)
- ・ケーソンと上部工の境界については、重力擁壁に対してケーソン縦壁及び横壁を突起させる施工上の配慮により一体化していると考えているが、ケーソンと上部工境界にコンクリート同士の付着力を考慮したジョイント要素を設定した解析モデルにより地震応答解析を実施し、境界部において遮水性を喪失するような有意な相対変位が発生していないことを確認した。(P198,199)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.3】 (3/6)

■ 指摘事項

【No.56~59 (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】 (審査会合 (R元.10.31))

(防波壁 (多重鋼管杭式擁壁))

- 東海第二発電所の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針を適用するとしているが、許容限界、セメントミルクの位置づけ等、違いがある項目については選定理由を資料に記載の上説明すること。
- 上部工 (被覆コンクリート壁) の設計方針、設計フローについて、東海第二発電所の先行審査を参考に、機能喪失モードや機能維持評価の考え方を含めて説明すること。
- 既設護岸の防波壁に対する波及的影響を含めて、防波壁の機能維持評価の考え方を整理して説明すること。
- 多重鋼管杭式擁壁について、先行炉や一般産業施設の適用実績を調査し、その実績において参照している基準類並びに同基準における設計の考え方、適用範囲、構造細目を整理した上で、島根サイトにおける評価方針の適用性を説明すること。

■ 回答

(防波壁 (多重鋼管杭式擁壁))

- ・東海第二発電所の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁との相違点を整理した結果、多重鋼管杭を採用していることや許容限界として「道路橋示方書 (平成14年3月) 」に基づき許容限界を設定していること、及び鋼管杭間のセメントミルクにより止水性を確保していることが抽出された。多重鋼管杭の許容限界については、水平載荷試験結果等により説明するとともに、詳細設計段階において3次元静的FEM解析結果を説明する。また、鋼管杭間に注入するセメントミルクについてはその施工範囲と目的 (鋼管杭 (最外管) の岩盤根入れ部 (下端の5.0m) と周辺岩盤を一体化) を明確にして、埋戻土部については、耐震・耐津波設計上、その役割に期待しないこととした。(P55,132~133,186~188)
- ・被覆コンクリートについては、地震又は津波荷重により同一ブロック内で鋼管杭に相対変位が発生し、被覆コンクリート壁がねじれ、曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する損傷モードが想定されるため、東海第二発電所の鉄筋コンクリート梁壁の検討実績を踏まえ、3次元静的FEM解析により照査を実施する。(P128,155~156,162)
- ・既設護岸の損傷に伴う防波壁への波及的影響について検討した結果、数値シミュレーションに基づく流速を踏まえると、護岸構成部材は津波により漂流物とならないと判断した。また、地震時において、施設護岸は、地震荷重の作用方向により、地盤反力として寄与する場合や、土圧として荷重作用する場合があることから、「港湾の施設の技術上の基準・同解説 (平成19年7月) 」等に基づき適切にモデル化して地震応答解析を実施することにより、その影響を確認する。(P55,61,104~107)
- ・防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) について、一般産業施設の適用実績がほとんどないことから、水平載荷試験を実施し、多重鋼管杭が一体構造として挙動して荷重を分担しており、降伏荷重においても弾性挙動を示していることを確認した。(P201~203)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.3】 (4/6)

■ 指摘事項

【No.60~64 (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】 (審査会合 (R元.10.31))

(防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁))

- 津波防護施設である防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁) に対し、道路土工に用いる擁壁工指針に示される杭頭部のヒンジ結合の手法を採用するに当たって、当該指針の適用条件や適用範囲に留意した事項、当該指針を適用できると判断した理由について説明すること。
- 鋼管杭式逆T擁壁の鋼管杭の先端支持力と周面摩擦力について、どのような規格及び基準等に基づき設定しているのかを説明すること。
- 杭頭接合部の構造について、道路橋示方書で剛結合を原則としている規定や剛結合以外の結合方法の実験等による力学特性検証等、道路橋示方書の記載内容との対応を踏まえて整理すること。

(1号放水連絡通路防波扉)

- 1号放水連絡通路防波扉については、既設の連絡通路坑口部と扉体支持コンクリートとの位置関係、既設の連絡通路と岩盤との位置関係、取り合い部の構造及び止水目地の構造・仕様を明確にした上で、取り合い部における止水性能の評価方針を説明すること。
- 1号放水連絡通路防波扉については、既設の連絡通路を含めて津波の浸水防止を期待する範囲を明確にしたうえで、津波の侵入防止を確保する設計方針を説明すること。

■ 回答

(防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁))

- ・鋼管杭式逆T擁壁については、橋梁分野での実績を踏まえ、道路土工 擁壁工指針 (平成24年7月) に基づき杭頭部の結合方式としてヒンジ結合を採用している。(P195)
- ・一方、道路橋示方書・同解説 下部構造編 (平成29年11月) では、杭とフーチングの接合部について、「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する必要がある」とされていることを踏まえ、詳細設計段階で模型実験及び解析により接合部の力的特性を確認する。(P196)
- ・「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成14年3月)」に示される極限支持力の推定式によると、支持杭の軸方向支持力は杭先端支持力と周面摩擦力の和として表されるが、鋼管杭式逆T擁壁の支持力評価に当たっては、周面摩擦力による抵抗に期待しない設計とする。(P25,164,170)

(1号放水連絡通路防波扉)

- ・1号放水連絡通路防波扉について、評価対象部位 (扉体支持コンクリート等の施設及びMMR及び間詰コンクリート等の地盤) の構造を示すとともに役割を整理した。また、既設の連絡通路坑口部を含めた断面図を示すことにより各評価対象部位の位置関係を明確にした。既設の連絡通路坑口部と扉体支持コンクリート部の取り合い部からの浸水を防止するため、止水目地を追加設置するとともに、間詰めコンクリートが設置されていない一部区間をコンクリートで補強することにより止水性を確保する方針とする。(P40~42)
- ・1号放水連絡通路防波扉及び既設の連絡通路について、浸水防止を期待する範囲 (扉体支持コンクリート、止水目地等) を明確にし、地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、MMR (マンメイドロック) を介し、堅硬な地山に設置し、津波荷重や地震荷重等に対して津波防護機能を十分に保持する設計とする。(P40~42)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.3】 (5/6)

■ 指摘事項

【No.65～68（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】（審査会合（R元.10.31））

（各構造型式共通）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁，鋼管杭式逆T擁壁，波返重力擁壁）に関する要求機能と設計方針については，防波壁を構成する評価対象部位を網羅的に抽出し，それぞれの要求機能に応じた設計方針を整理して説明すること。
- 止水目地について，許容変化量，許容水圧及び耐久性の許容設定値を具体的にどのような考え方で定めているのか，基本的な考え方を説明すること。

（津波防護施設の断面選定）

- 防波壁の構造形状，杭の配置形状，防波扉等の付属施設位置，目地位置，防波壁と既設護岸・発電所施設との位置関係等を平面図において明確にし，その上で構造，周辺施設，周辺地盤，地盤改良等の相違を踏まえた断面を網羅的に提示すること。
- 津波防護施設の断面選定方針は，屋外重要土木構造物等の断面選定方針にて審査中の指摘事項を反映して説明すること。

■ 回答

（各構造型式共通）

- ・防波壁の各構造型式について，評価対象部位（施設及び地盤）を網羅的に抽出し，それぞれ地震時及び津波時の役割を整理した。また，各部位の役割を踏まえた性能目標と，性能目標を満足するための照査項目と許容限界についても整理した。なお，役割の整理にあたっては，防波壁周辺の施設護岸や埋戻土等が，防波壁の構造成立性に寄与する観点や荷重として作用する観点に着目し，地震応答解析等へのモデル化の考え方も含めて整理した。（P53～70）
- ・止水目地部の構造成立性評価については，基準地震動 S_s を用いた地震応答解析及び津波荷重を用いた静的フレーム解析により算出された変位量と，入力津波による津波荷重に対して止水ゴム等の止水性が維持できる仕様を採用する。（P177）

（津波防護施設の断面選定）

- ・防波壁の各構造型式について，防波壁の鋼管杭の配置形状，防波扉（4箇所）の杭を含めた配置形状，目地位置，施設護岸及び1・2・3号炉取水設備等の防波壁近傍の発電所施設との位置関係を平面図において明確にした。その上で，構造，周辺施設等を踏まえた耐震評価候補断面（多重鋼管杭式擁壁；4断面，鋼管杭式逆T擁壁；1断面，波返重力擁壁；6断面）を整理した。（P18～23,26～28,31～38,78～79,83,92～93）
- ・津波防護施設の耐震評価断面選定に当たっては，屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定方針を踏まえ，間接支持する機器・配管を有しないことを考慮し，以下の観点から選定する。なお，今後の審査での指摘事項を適切に反映する。（P78～79,83,92～93）

①要求機能

②構造的特徴（形式，寸法）

③周辺状況（構造物周辺地質，地下水位，隣接構造物）

④地震波の伝播特性

審査会合における指摘事項に対する回答【No.3】 (6/6)

■ 指摘事項

【No.69,70 (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】 (審査会合 (R元.10.31))

(全般)

- 時刻歴応答解析 (有効応力解析) , フレーム解析モデル, 限界状態設計法の適用については, 防波壁の詳細構造, 設計方針等に関して詳細な説明を行ったうえで, 改めて詳細に説明すること。
- 今回指摘した島根特有の技術的課題については, 事業者自らが提示する課題であり, 先行炉の課題解決のプロセスが考慮されるべきものであるため, 今後の説明においては, 今回の指摘事項と先行炉の実績を踏まえて資料を十分に作り込んで提出して説明すること。

■ 回答

(全般)

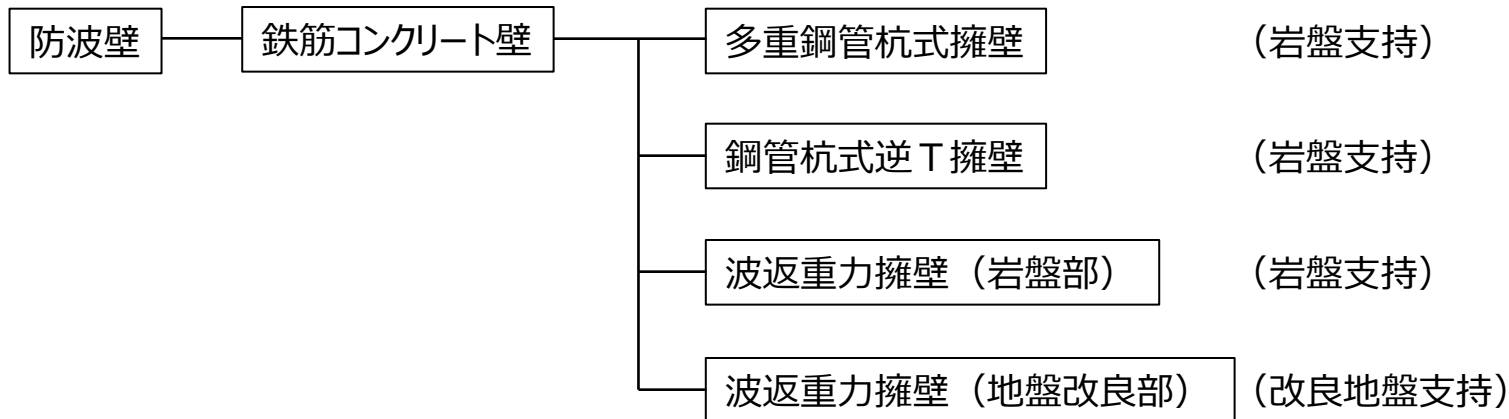
- ・時刻歴応答解析 (有効応力解析) , フレーム解析モデル, 限界状態設計法の適用については, 今回, 防波壁の詳細構造 (取水路横断部や地盤改良部等を含む) , 評価対象部位について耐震性・耐津波性確保のための役割, 性能目標, 照査項目, 許容限界等の設計方針を示し, 詳細を説明する。(P16~39,53~70)
- 【防波壁の評価対象部位】
- 多重鋼管杭式擁壁 (施設) ; 鋼管杭, 被覆コンクリート, 止水目地
(地盤) ; セメントミルク, 改良地盤, 岩盤
- 鋼管杭式逆T擁壁 (施設) ; 鋼管杭, 逆T擁壁, 止水目地
(地盤) ; 改良地盤, 岩盤
- 波返重力擁壁 (施設) ; 重力擁壁, 止水目地, ケーソン
(地盤) ; MMR (マンメイドロック) , 改良地盤, 岩盤
- ・多重鋼管杭式擁壁, 鋼管杭式逆T擁壁, 波返重力擁壁それぞれについて, 先行炉 (東海第二発電所, 女川発電所2号, 美浜発電所) の津波防護施設との構造の比較を実施し, 島根原子力発電所の防波壁の特徴を整理し, 類似点については先行炉実績の設計方針の適用性, 相違点については設計への反映事項をそれぞれ説明した。多重鋼管杭式擁壁で相違点として抽出された多重鋼管杭の採用, 「道路橋示方書 (平成14年3月) 」に基づく許容限界設定 (降伏モーメント等) , 及び鋼管杭間のセメントミルクによる止水性については, 水平載荷試験結果等により説明するとともに, 詳細設計段階において3次元静的FEM解析結果を説明する。また, 鋼管杭間に注入するセメントミルクについてはその施工範囲と目的 (鋼管杭 (最外管) の岩盤根入れ部 (下端の5.0m) と周辺岩盤を一体化) を明確にして, 埋戻土部については, 耐震・耐津波設計上, その役割に期待しないこととした。なお, その他の相違点についても実験等により設計の妥当性確認を実施する。これらの先行炉審査実績等との相違点を踏まえ, 島根原子力発電所防波壁の設計・施工への配慮事項を網羅的に抽出し反映するとともに構造成立性を確認した。

目次

1. 概要	12
2. 津波防護対象施設	13
3. 防波壁の概要	14
4. 設置許可基準規則への適合性について	51
5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質	71
6. 基本設計方針	94
7. 防波壁に作用する荷重と部位の役割	110
8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮	123
9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針	147
10. 部位ごとの設計方針	155

1. 概要

- 津波防護施設として防波壁に求められる要求機能は、繰り返しの襲来を想定した遡上波に対して浸水を防止すること、基準地震動 S_s に対し要求される機能を損なうおそれがないよう、構造全体として変形能力について十分な余裕を有することである。
- 上記の機能を確保するための性能目標は、基準津波による遡上波に対し余裕を考慮した防波壁高さを確保するとともに、構造体の境界部等の止水性を維持し、基準地震動 S_s に対し止水性を損なわない構造強度を有した構造物とすることである。
島根原子力発電所においては、入力津波に対して、高さEL+15mの防波壁を設置し、地震時の変位や変形を考慮しても十分な余裕を確保した防波壁高さとなっている。
- 防波壁の構造型式は、鉄筋コンクリート壁であり、さらに多重鋼管杭式擁壁、鋼管杭式逆T擁壁及び波返重力擁壁に分類される。



- 防波壁は、地震後及び津波後の再使用性と津波の繰り返し作用を考慮し、構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう設計する。設計においては、地盤の液状化の影響を考慮する。また、津波の検討においては地震による影響を考慮したうえで評価する。

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「津波防護対象施設」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

津波監視設備

浸水防止設備
(外郭防護)

浸水防止設備
(内郭防護)

凡例

: 防波壁内アクセスルート
 : 防波壁外アクセスルート
 : 保管場所
 : EL6.5m盤
 : EL8.5m盤
 : EL15.0m盤
 : EL44.0m盤

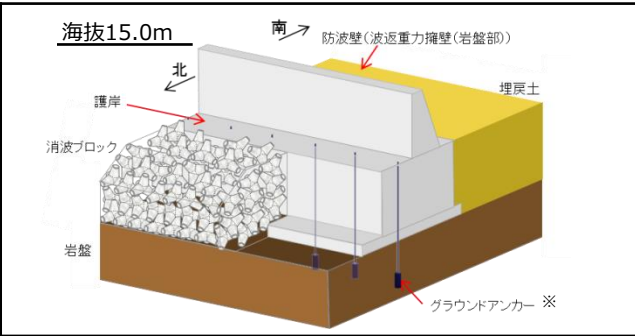
津波防護対象施設の平面配置

3. 防波壁の概要

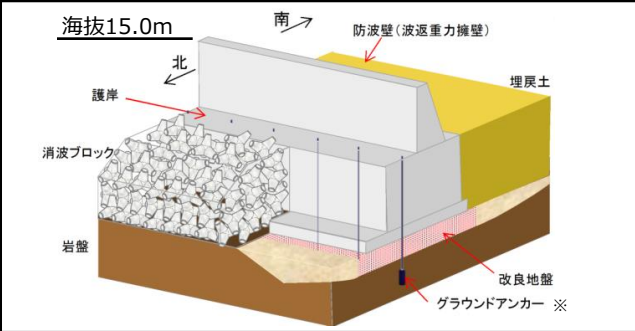
3.1 防波壁の構造型式

- 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。

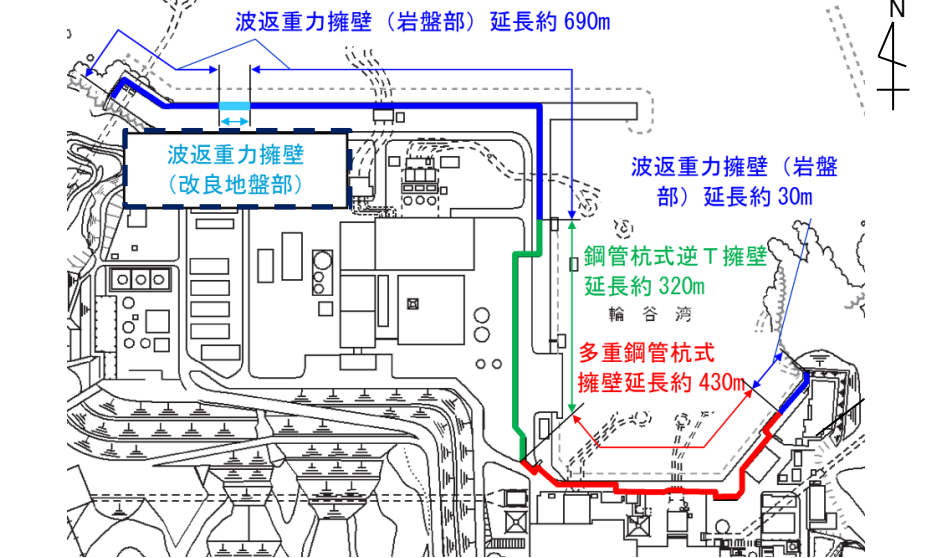
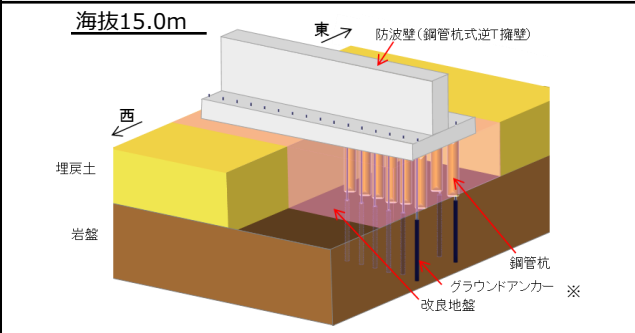
**波返重力擁壁
(岩盤支持)**



**波返重力擁壁
(改良地盤部)**



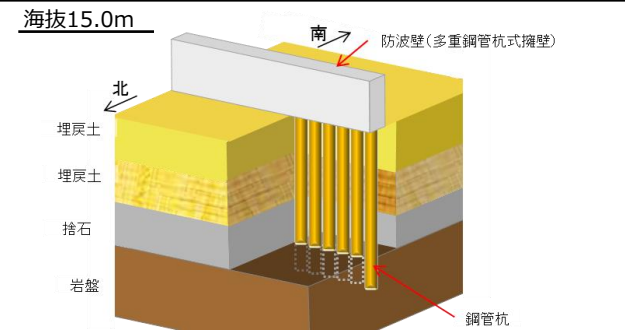
**鋼管杭式逆T擁壁
(岩盤支持)**



防波壁の位置図

※ 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。

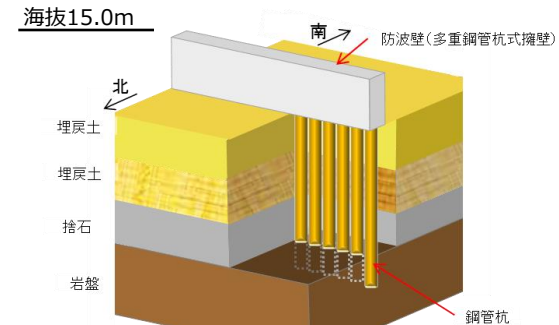
**多重鋼管杭式擁壁
(岩盤支持)**



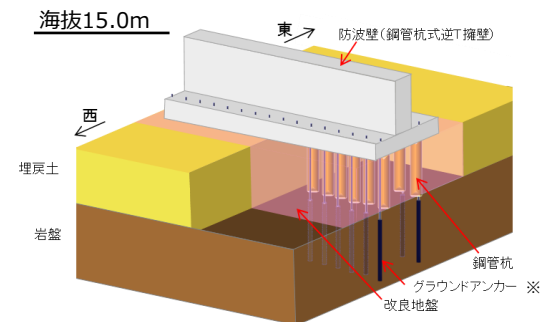
3. 防波壁の概要

3.2 防波壁の構造選定

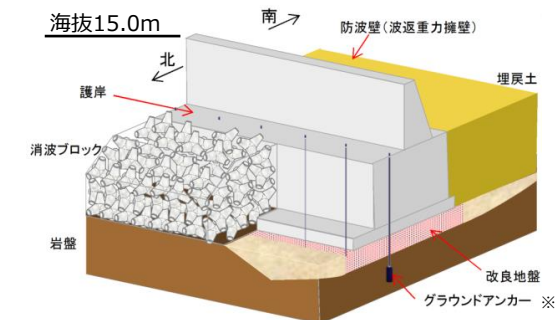
- 防波壁の構造選定の考え方を以下に示す。
- 多重鋼管杭式擁壁の構造選定
 - ・ 1, 2号炉北側の施設護岸は基礎捨石上に設置しており, 1, 2号炉北側の施設護岸と発電所施設は近接し, 狭隘である。
 - ・ 基礎を支持する岩盤の深さは, 最深約EL-14.5mである。
 - ・ 敷地の制約と岩盤深さを考慮し, 鋼管杭による杭基礎構造を選定し, 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」(以下, 「港湾基準」という)の自立矢板式護岸に準拠し設計することとした。なお, 上部工から伝達される荷重に耐える構造とするため, 大口径の鋼管杭を多重化した。
 - ・ 上部工は下部から連続す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

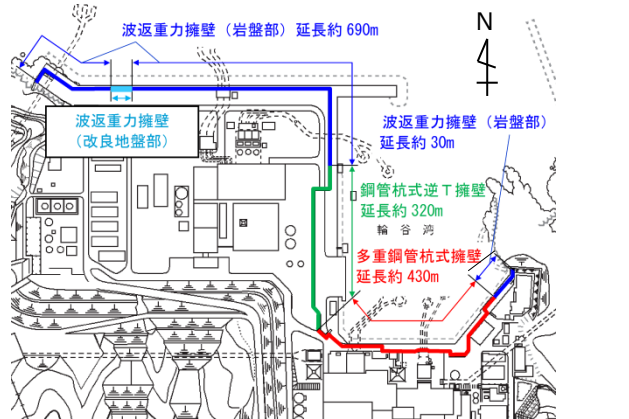


波返重力擁壁

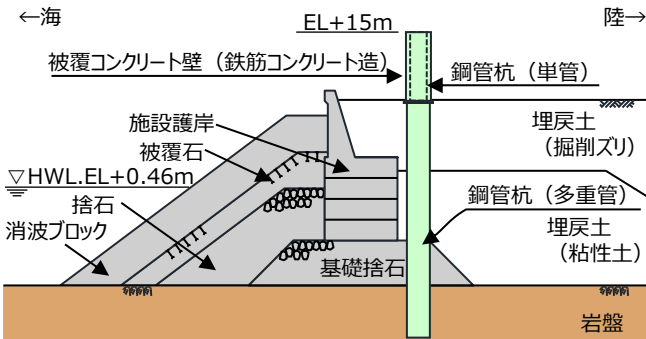
※ グラウンドアンカーの効果を期待しなくても, 耐震・耐津波安全性を担保している。

3. 防波壁の概要

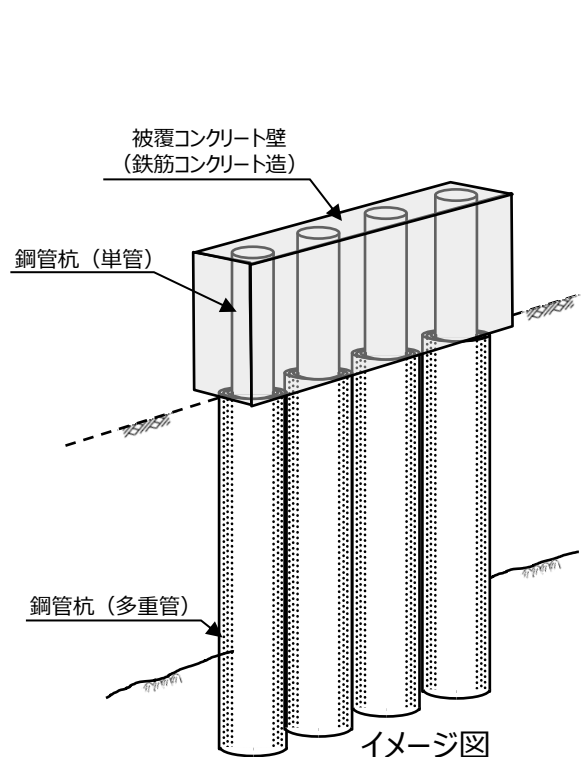
3.3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 構造概要（1/9）



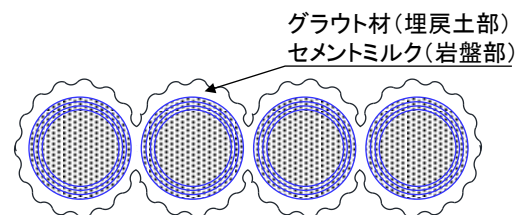
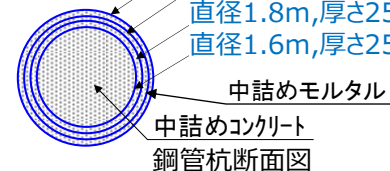
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、1，2号炉北側に配置し、鋼管杭を岩盤に打設した（根入れ深さ：5.0m程度）。
- 鋼管杭は、コンクリートで中詰めされた大口径管の多重構造を採用している。また、岩盤部では隣り合う多重鋼管杭間にセメントミルクを間詰めし、埋戻土部はグラウト材で間詰めた。
- 被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成される。鋼管杭6本程度を1ブロックの標準とした壁体を連続して設置した。このブロック間の境界には、止水性を保持するための止水目地（P49参照）を設置する。



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）断面図

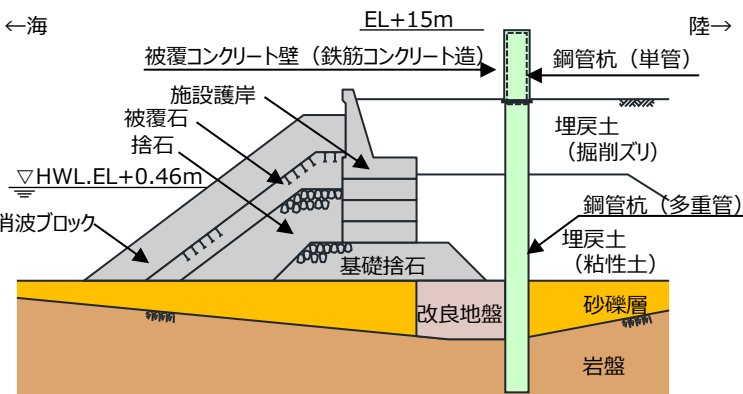


直径2.2m,厚さ25mm
 直径2.0m,厚さ25mm
 直径1.8m,厚さ25mm
 直径1.6m,厚さ25mm



イメージ図

地中部詳細平面図

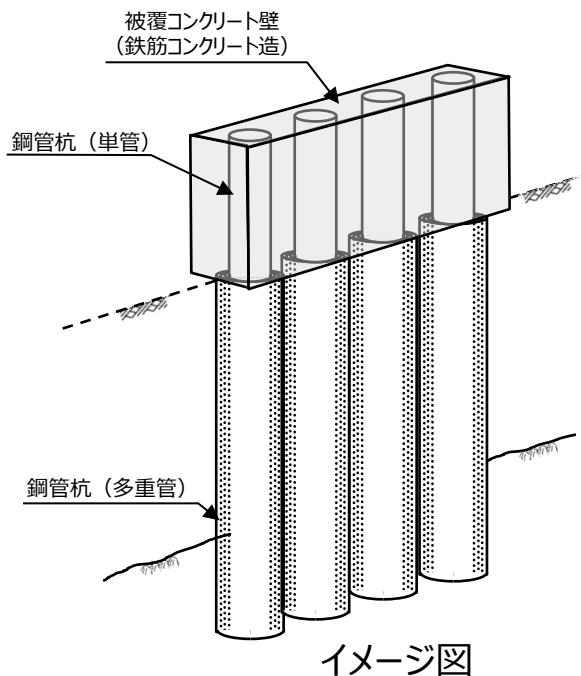


防波壁（多重鋼管杭式擁壁（改良地盤部））断面図

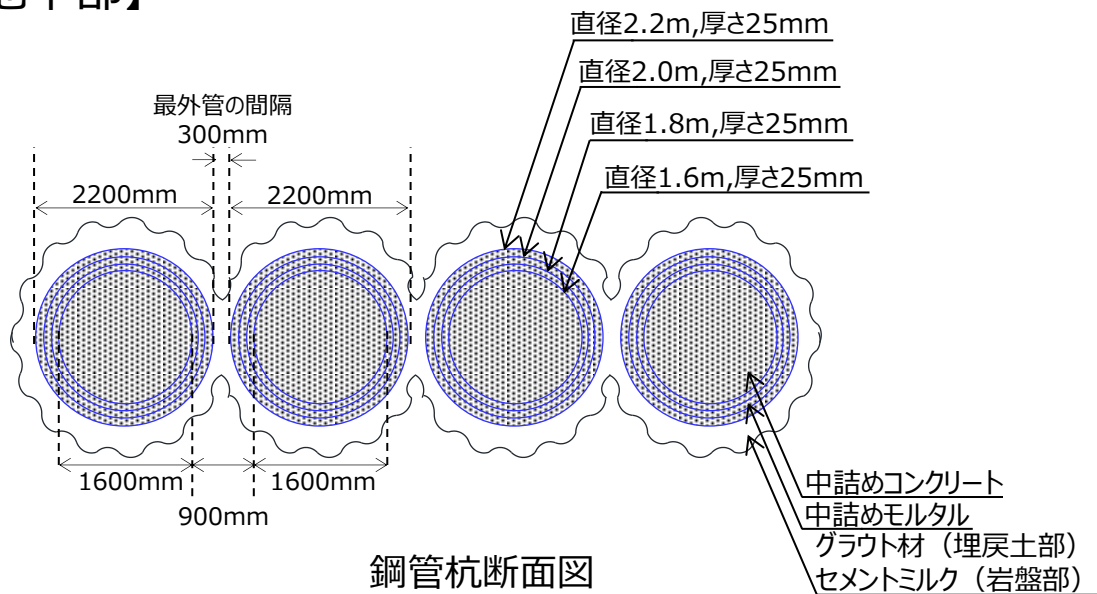
3. 防波壁の概要

3.3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 構造概要（2/9）

- 地中部の鋼管杭の最外管の間隔は約30cmであり，隣り合う多重鋼管杭間はセメントミルク（岩盤部）又はグラウト材（埋戻土部）で充填されている。



【地中部】

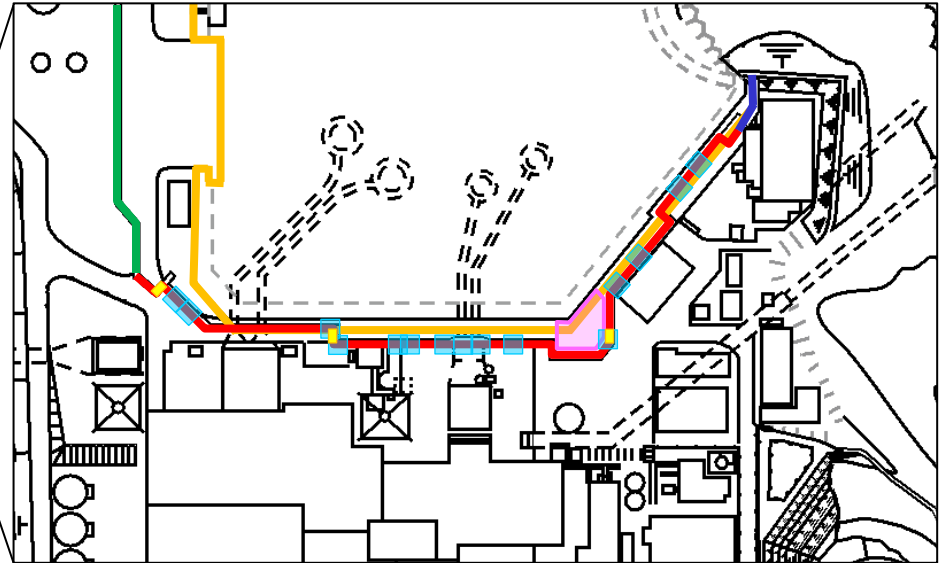
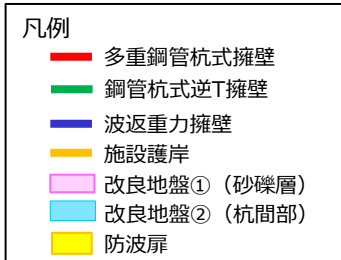
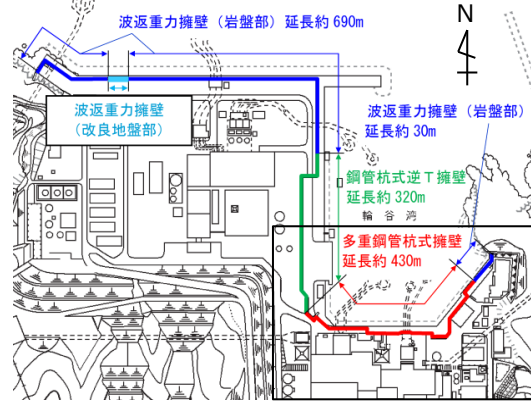


鋼管杭断面図

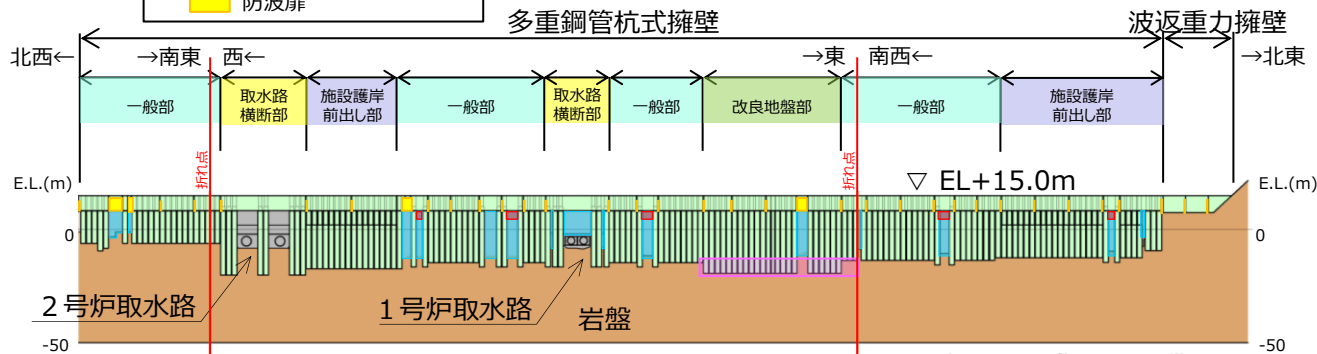
3. 防波壁の概要

3.3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 構造概要（3/9）

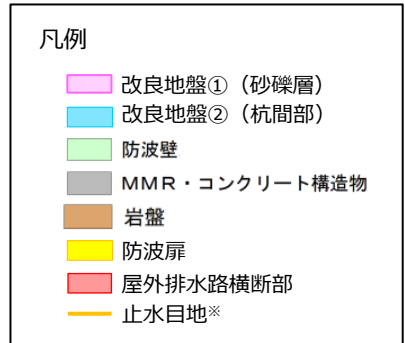
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）については、1, 2号炉北側全線にわたり多重鋼管杭を連続的に設置した。
- 岩盤上に砂礫層が堆積している範囲において防波壁前面で薬液注入工法（特殊スラグ系固化剤）により地盤改良を実施した（改良地盤①）。
- また、取水路及び屋外排水路設置箇所等で杭間隔が大きい区間については、側方の鋼管杭に支持された上部工が横断する構造としており、横断部の地中については、止水性を保持する観点から薬液注入工法（セメント系固化剤）により地盤改良を実施した（改良地盤②）。



防波壁平面図（多重鋼管杭式擁壁）



防波壁縦断図（多重鋼管杭式擁壁）

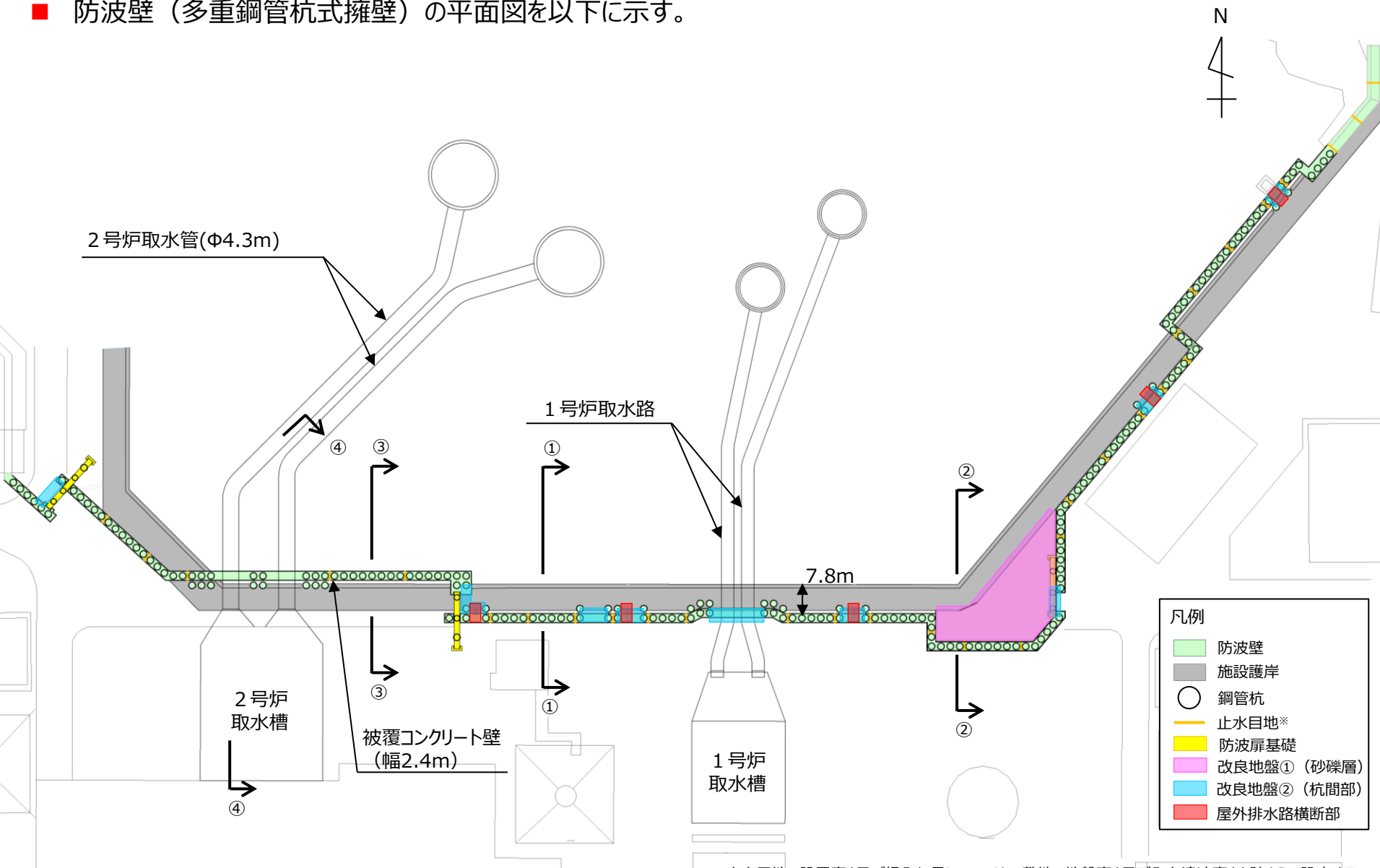


*止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

3. 防波壁の概要

3.3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 構造概要（4/9）

■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の平面図を以下に示す。

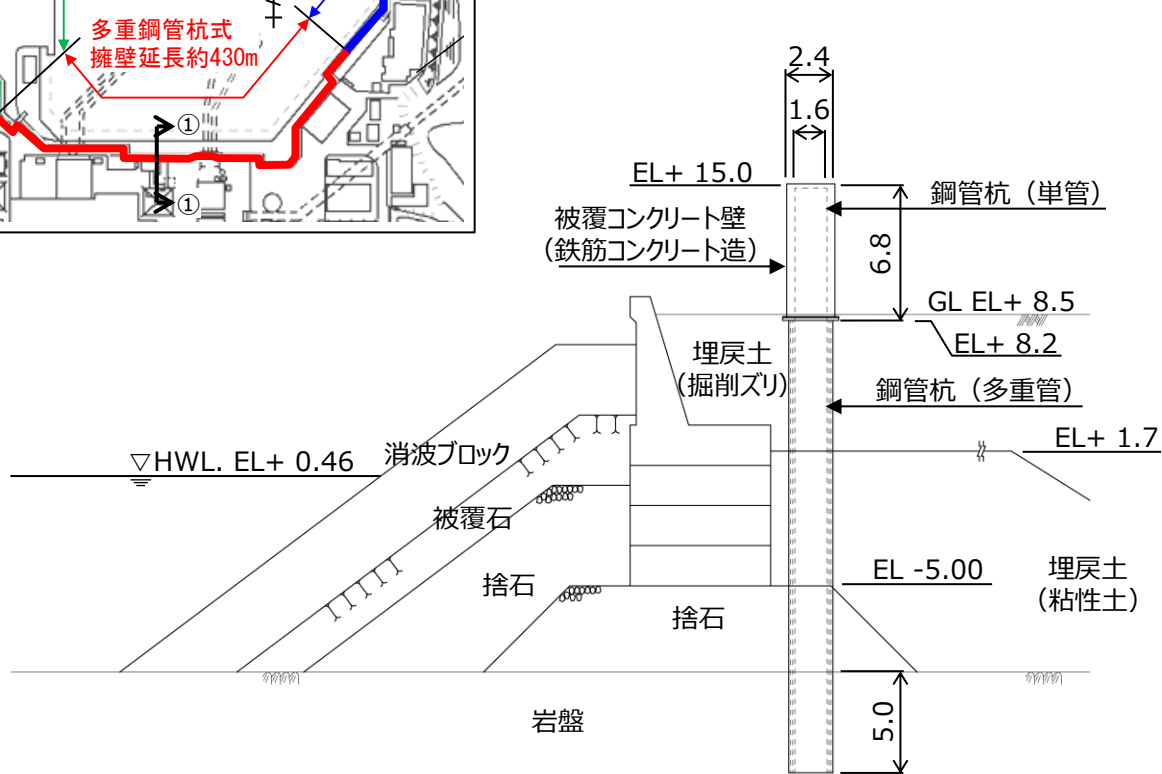
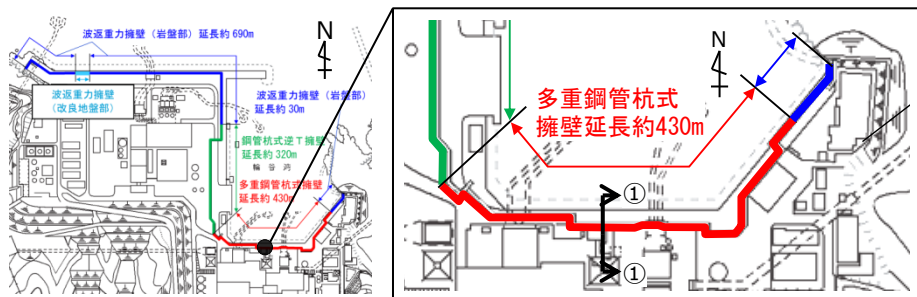


※止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

3. 防波壁の概要

3.3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 構造概要（5/9）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）一般部（①－①断面）については、施設護岸の南側（陸側）に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が配置される構造となっている。



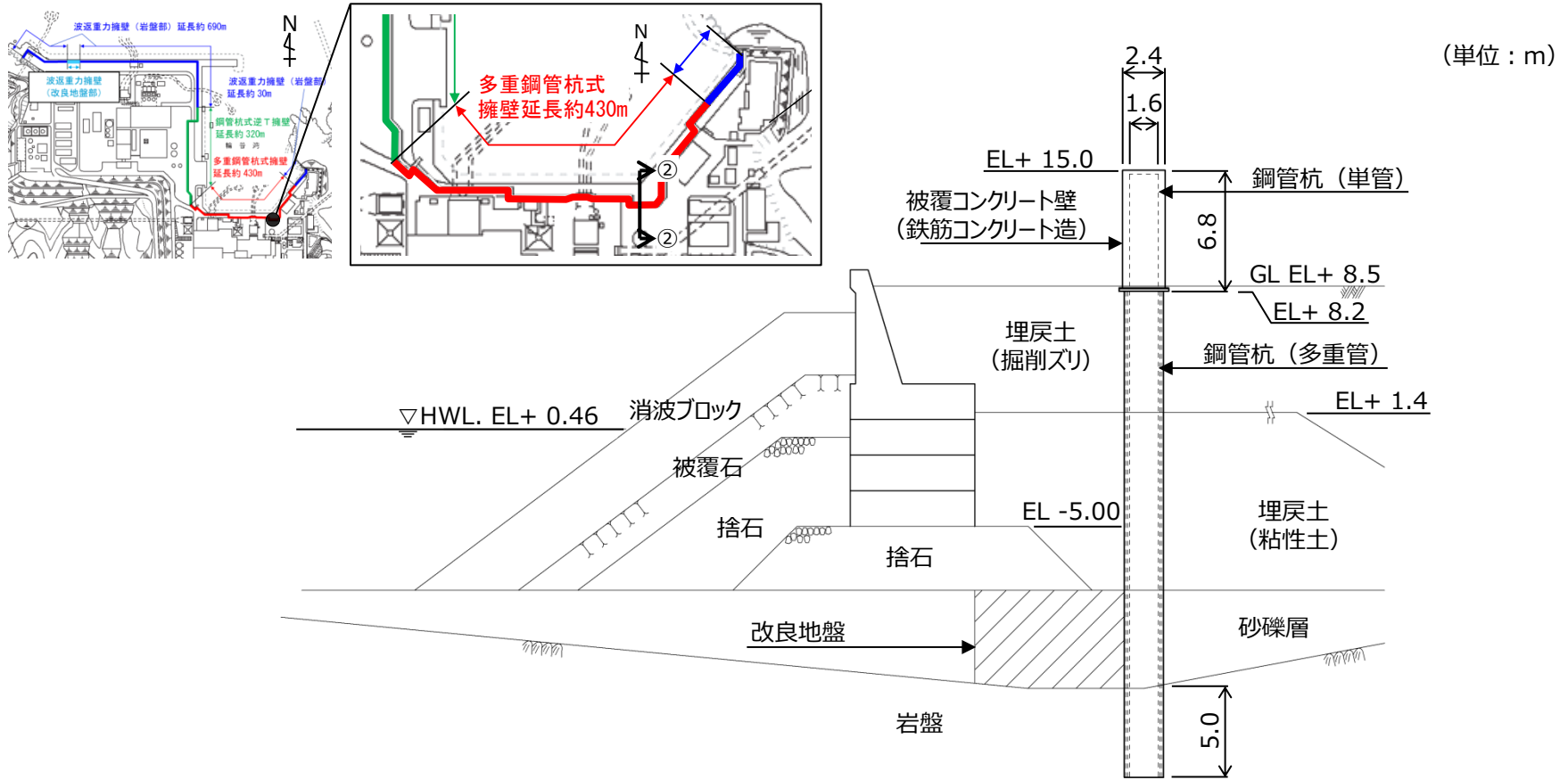
(単位 : m)

防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 一般部（①－①断面） 断面図

3. 防波壁の概要

3.3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 構造概要（6/9）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）改良地盤部（②－②断面）については，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の南東角部に位置し，支持地盤が深く，杭長が最も長い箇所である。周辺の砂礫層（海側）に対しては，薬液注入工法により地盤改良を実施した。

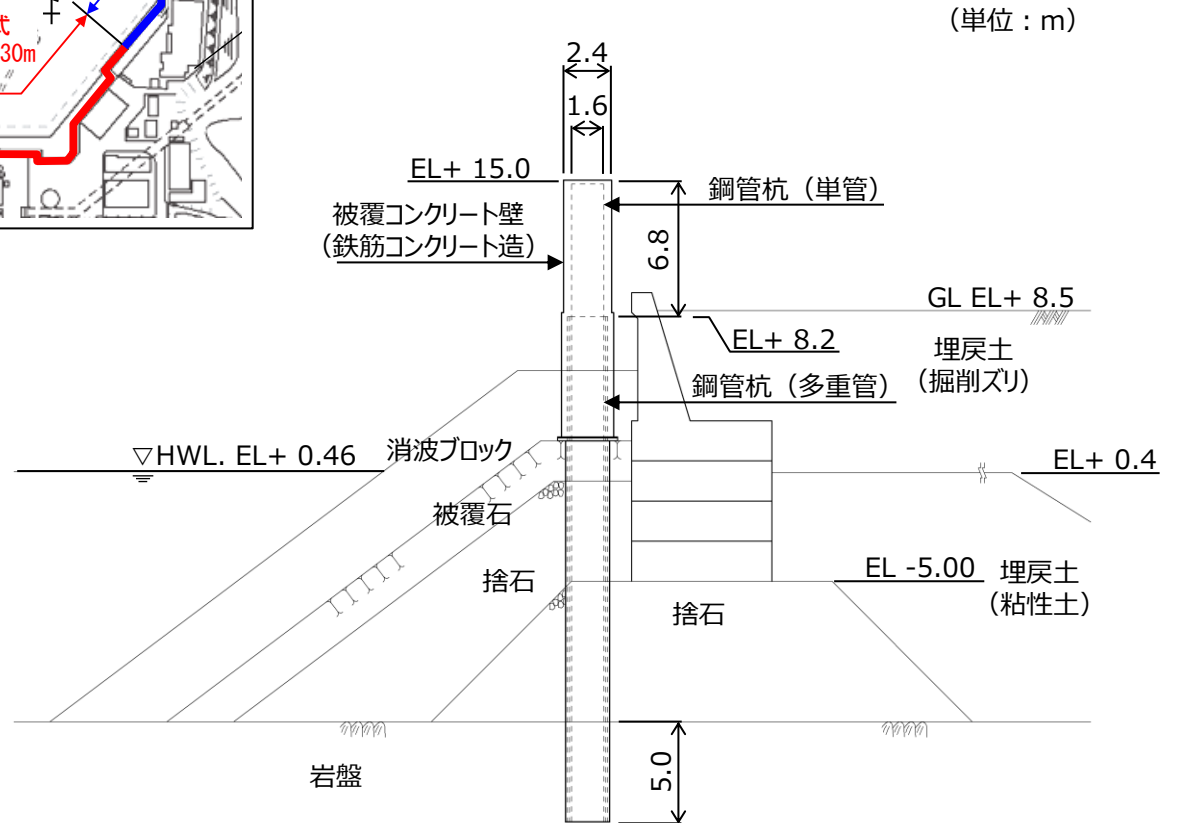
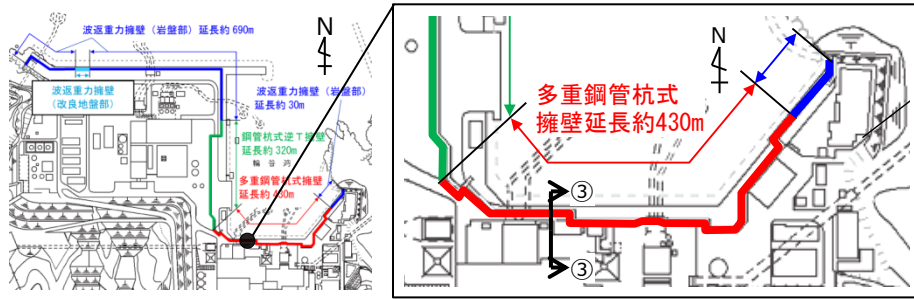


防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 改良地盤部（②－②断面） 断面図

3. 防波壁の概要

3.3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 構造概要（7/9）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）施設護岸前出し部（③－③断面）については，施設護岸の北側（海側）に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が配置される構造となっている。

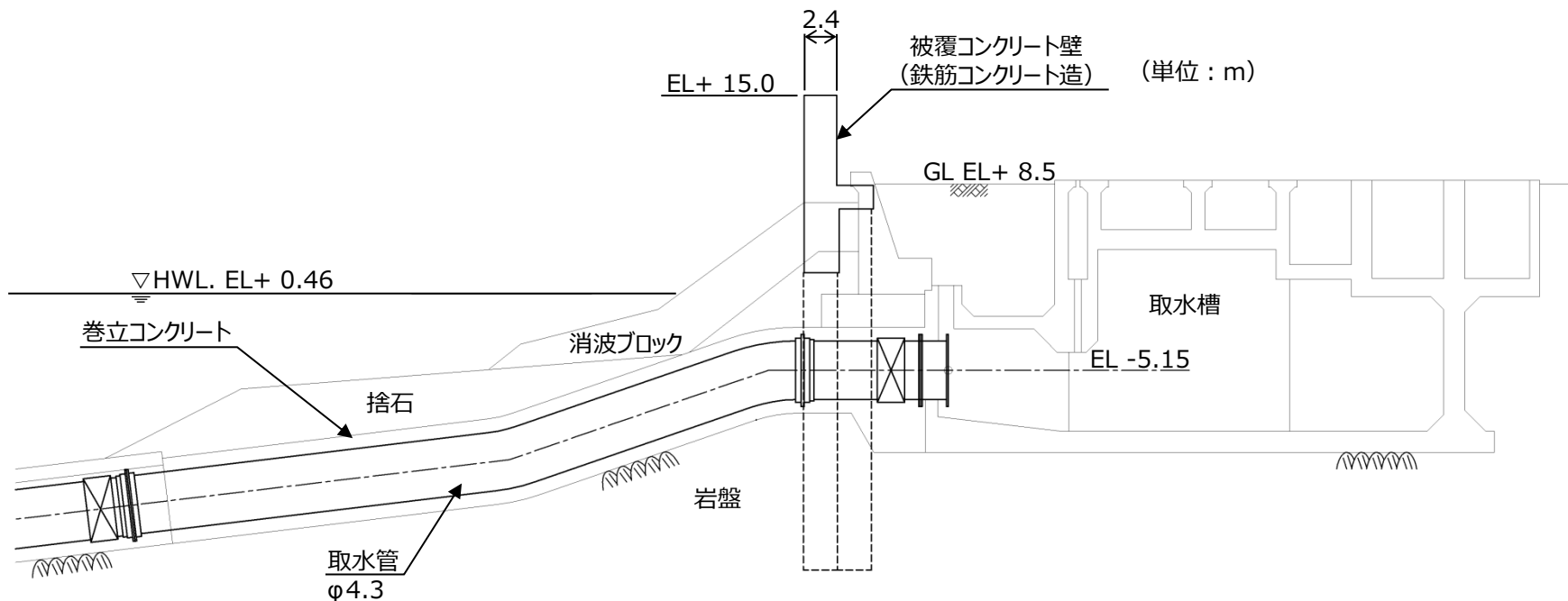
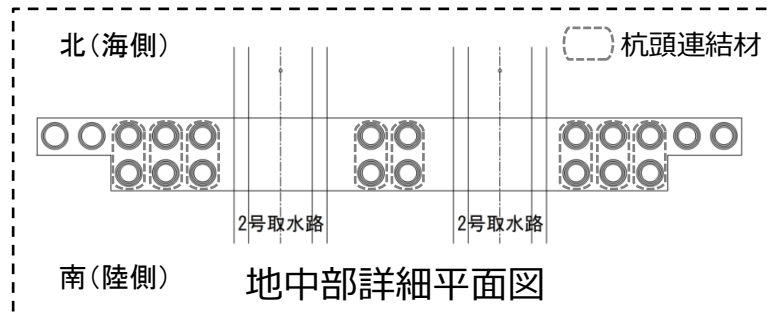
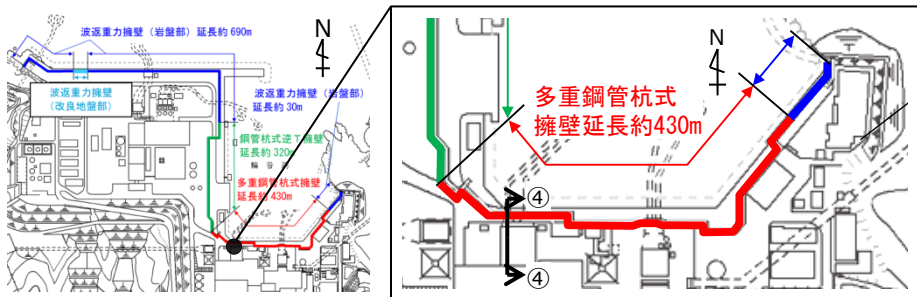


防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 施設護岸前出し部（③－③断面） 断面図

3. 防波壁の概要

3.3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 構造概要（8/9）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部（④－④断面）については、2号炉取水管（φ4.3m）を横断するため、側方の多重鋼管杭を南北方向に2列配置し、杭頭連結材を設置した（杭頭部の構造については別添.2-1参照）。



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部（④－④断面） 断面図

3. 防波壁の概要

3.3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 構造概要（9/9）

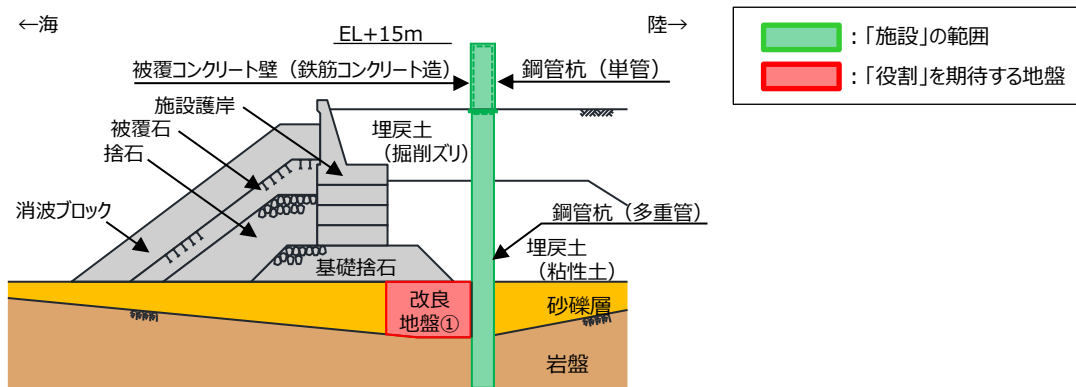
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）を構成する評価対象部位の役割及び施設の範囲を示す。

評価対象部位	役割	施設の範囲	備考
鋼管杭※	被覆コンクリート壁を支持	■	
被覆コンクリート壁※	止水目地を支持，遮水性の保持	■	
止水目地※	被覆コンクリート壁間の遮水性の保持	■	

【地盤】

セメントミルク	鋼管杭の変形を抑制，難透水性の保持	
改良地盤①（砂礫層）	鋼管杭の変形を抑制，難透水性の保持	薬液注入工法
改良地盤②（杭間部）	役割に期待しない	薬液注入工法
岩盤	鋼管杭を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与	基礎地盤
埋戻土（掘削ズリ），埋戻土（粘性土），砂礫層	地盤反力として寄与（土圧として作用）	
施設護岸，被覆石，捨石，基礎捨石	地盤反力として寄与（土圧として作用）	
消波ブロック	役割に期待しない	
グラウト材	役割に期待しない	薬液注入工法

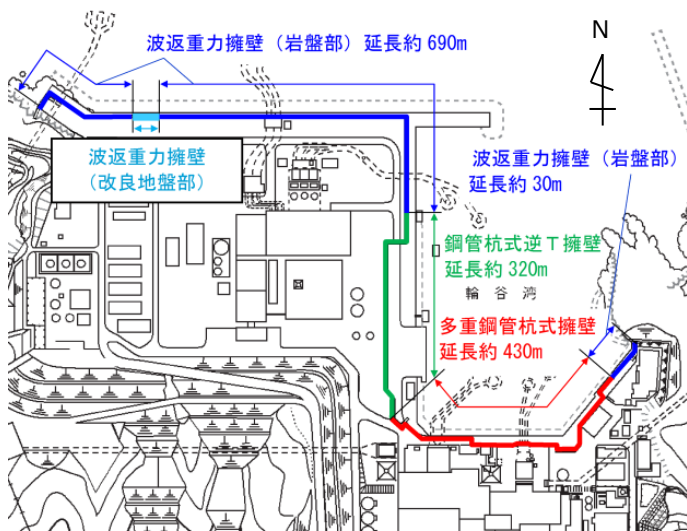
※ 鋼管杭，被覆コンクリート壁，止水目地を構造上のバウンダリとする。



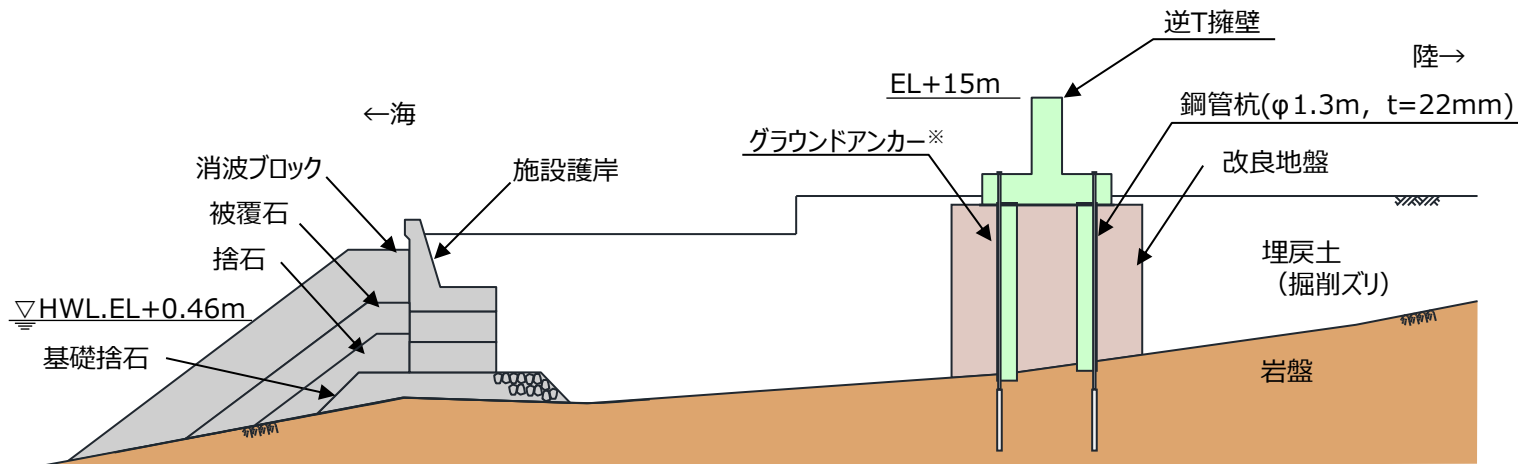
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（改良地盤部）における「施設」と「地盤」の区分

3. 防波壁の概要

3.4 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 構造概要（1/5）



- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、3号炉東側に配置し、鋼管杭を岩盤に打設した。「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編（平成14年3月）」に示される式によると、極限支持力が杭先端における単位面積当たりの極限支持力度と杭先端面積の積で表されることから、杭先端部全周を確実に支持させるため、岩盤不陸を考慮し、0.5m程度の根入れ深さを確保した。
- 逆T擁壁は、鋼管杭8本程度（横断方向に2列、縦断方向に4列）を1ブロックの標準とした壁体を連続して設置した（杭頭部の構造については別添.3-1参照）。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(P49参照)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、アンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波性を担保している。



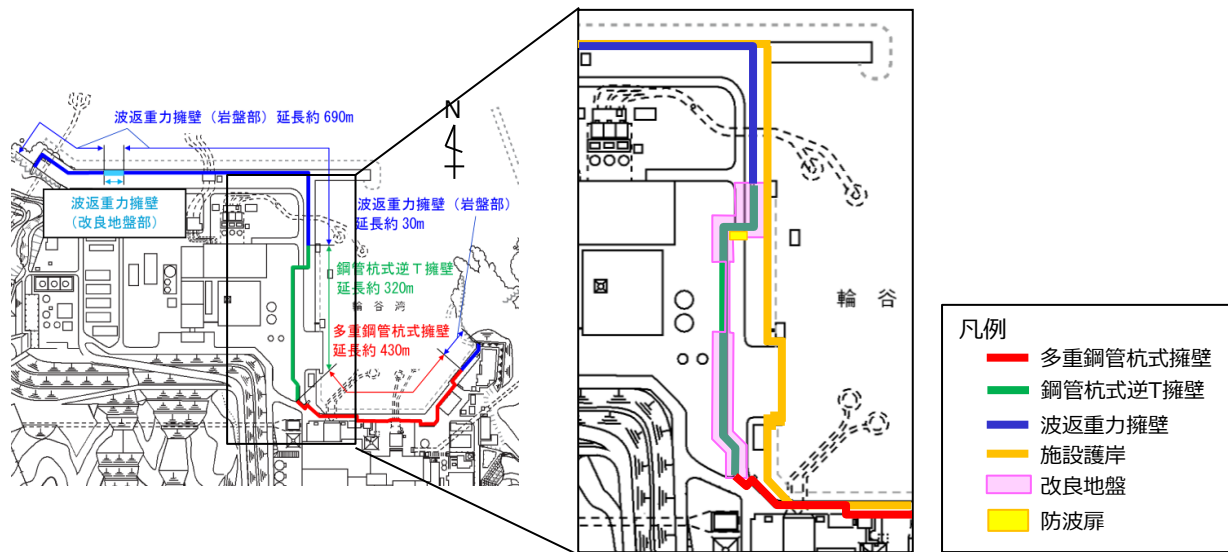
※ グラウンドアンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）断面図

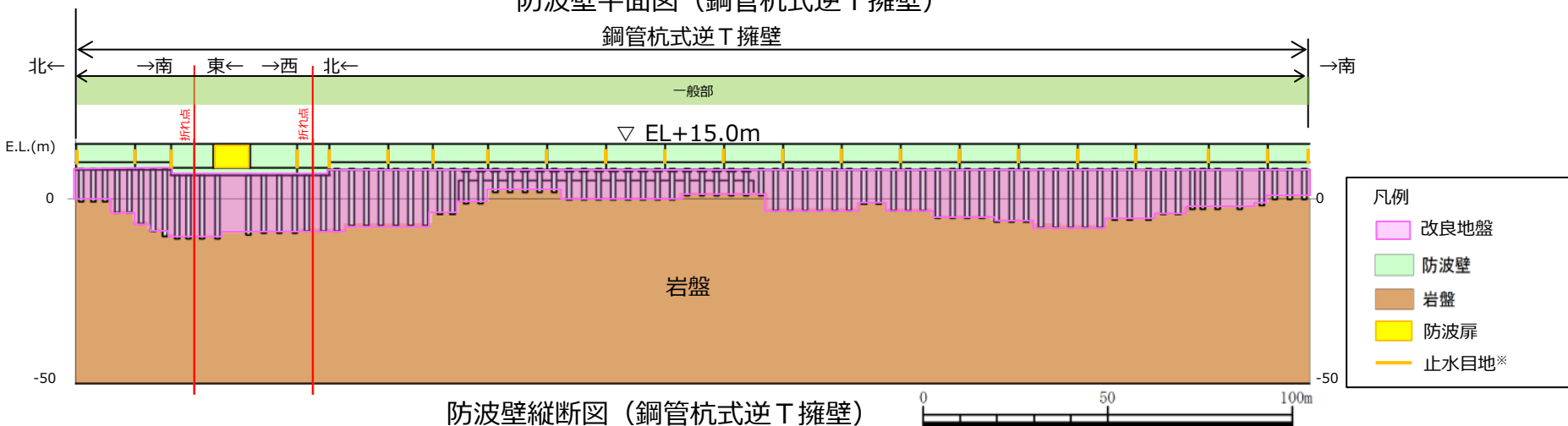
3. 防波壁の概要

3.4 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 構造概要（2/5）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）については、3号炉東側全線にわたり鋼管杭を約4m間隔で配置し、止水性の保持等の観点から杭間の埋戻土（掘削ズリ）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）



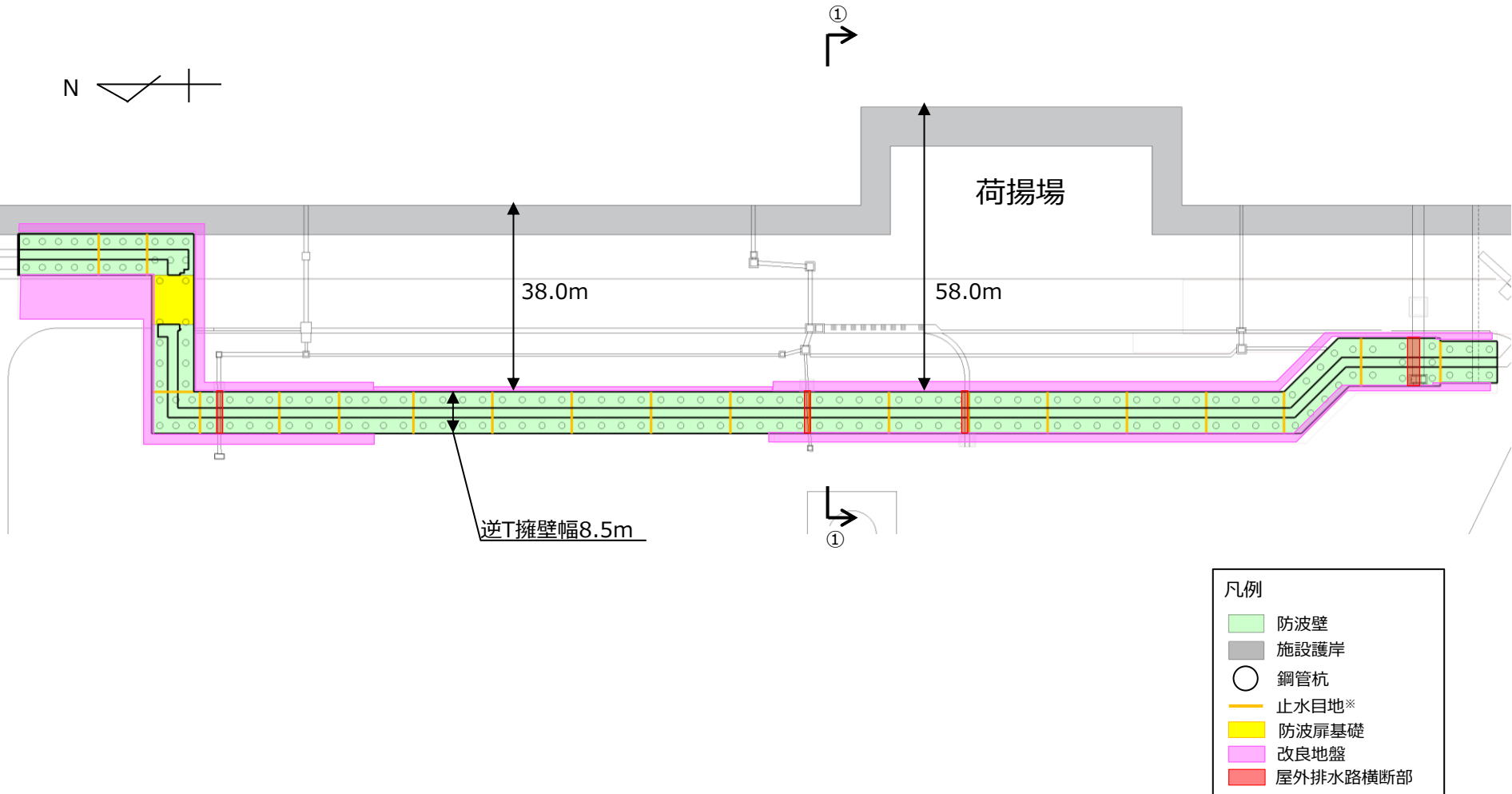
防波壁縦断図（鋼管杭式逆T擁壁）

※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。

3. 防波壁の概要

3.4 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 構造概要（3/5）

■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の平面図を以下に示す。

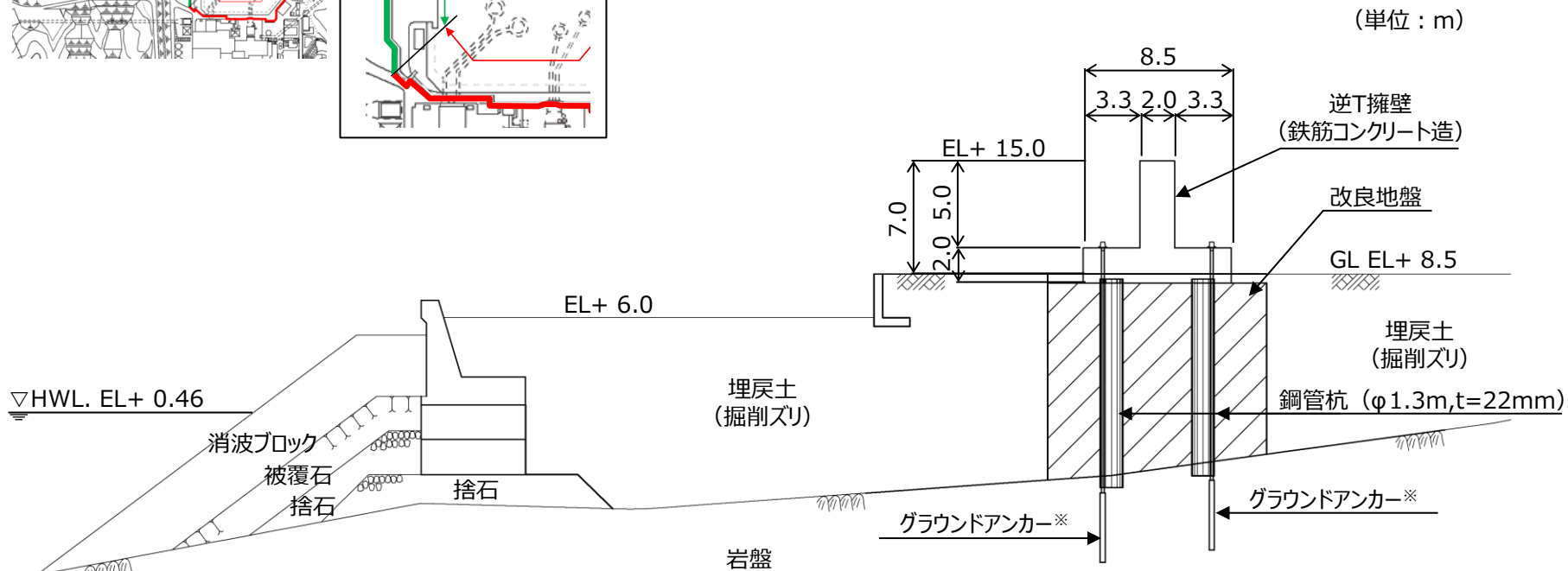
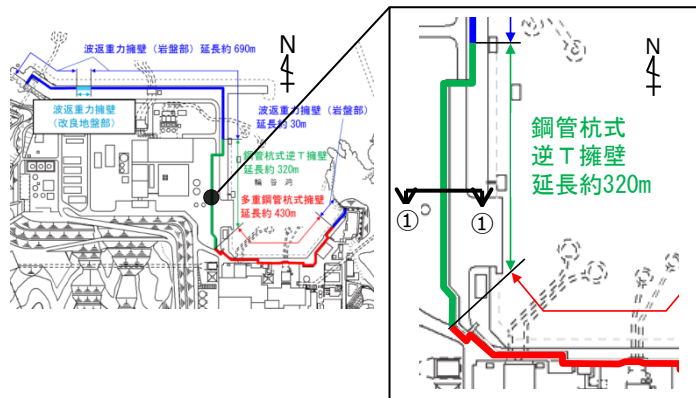


※止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

3. 防波壁の概要

3.4 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 構造概要（4/5）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）一般部（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。



※ 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（鋼管杭式逆T擁壁）一般部（①－①断面） 断面図

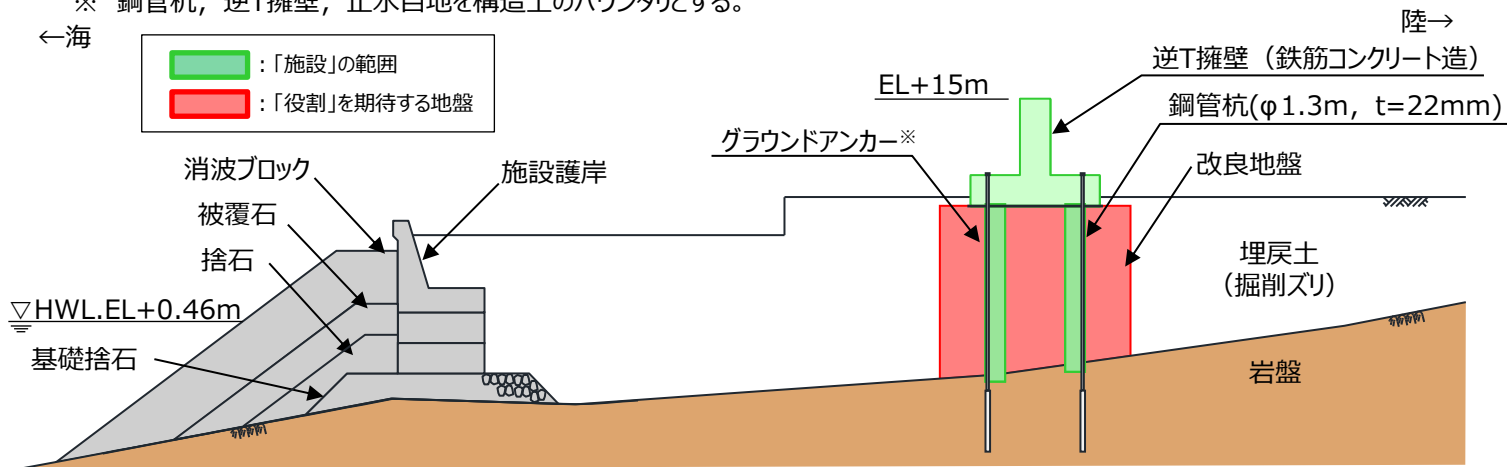
3. 防波壁の概要

3.4 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 構造概要（5/5）

■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）を構成する各部位の役割及び施設の範囲を下表に示す。

評価対象部位の役割		施設の範囲
評価対象部位	役割	備考
鋼管杭※	逆T擁壁を支持	
逆T擁壁※	止水目地を支持，遮水性の保持	
止水目地※	逆T擁壁間の遮水性の保持	
【地盤】		
改良地盤	鋼管杭の変形を抑制，難透水性の保持	周辺地盤 薬液注入工法
岩盤	鋼管杭を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与	基礎地盤
埋戻土（掘削ズリ）	地盤反力として寄与（土圧として作用）	
施設護岸，被覆石，捨石， 基礎捨石	地盤反力として寄与（土圧として作用）	
消波ブロック	役割に期待しない	

※ 鋼管杭，逆T擁壁，止水目地を構造上のバウンダリとする。

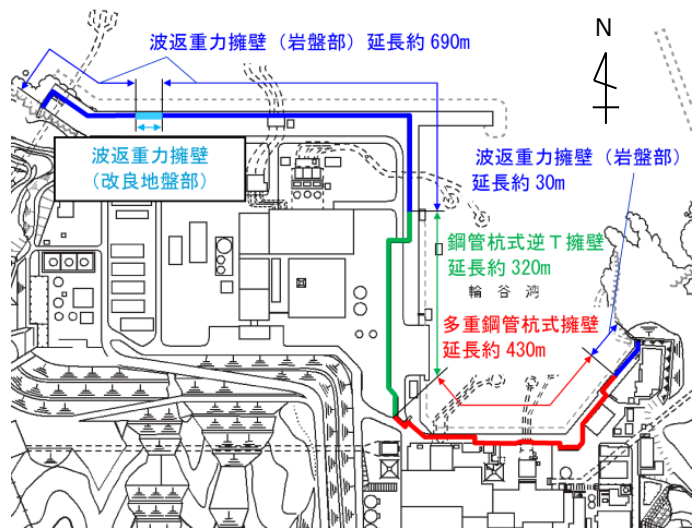


※ グラウンドアンカーの効果も期待しなくても，耐震・耐津波安全性を担保している。

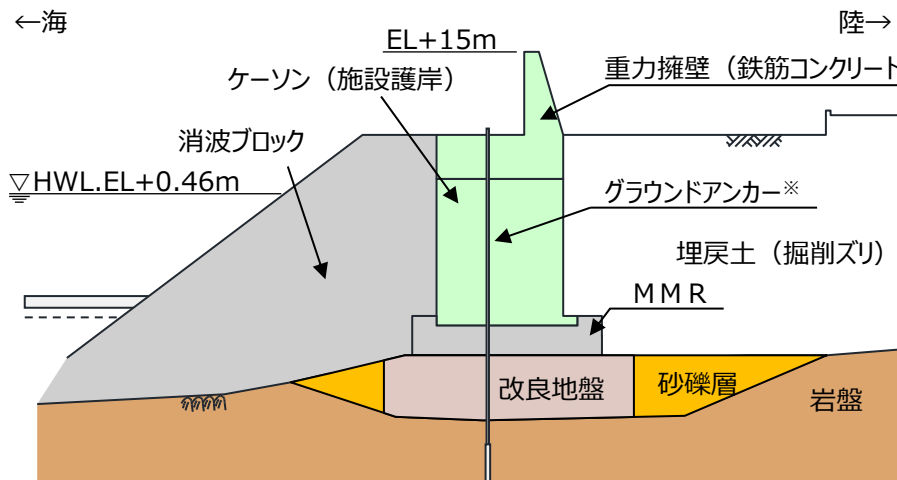
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（一般部）における「施設」と「地盤」の区分

3. 防波壁の概要

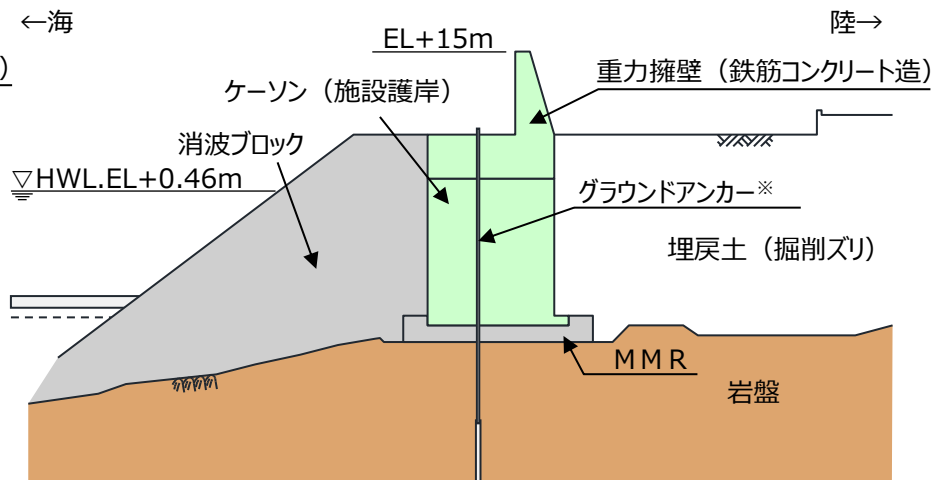
3.5 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（1/10）



- 防波壁（波返重力擁壁）は、3号炉北側及び防波壁両端部に配置した。3号炉北側についてはケーソン及びMMR（マンメイドロック）を介して岩盤上に設置し、防波壁両端部については堅硬な地山に直接設置した。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（ケー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(P49参照)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



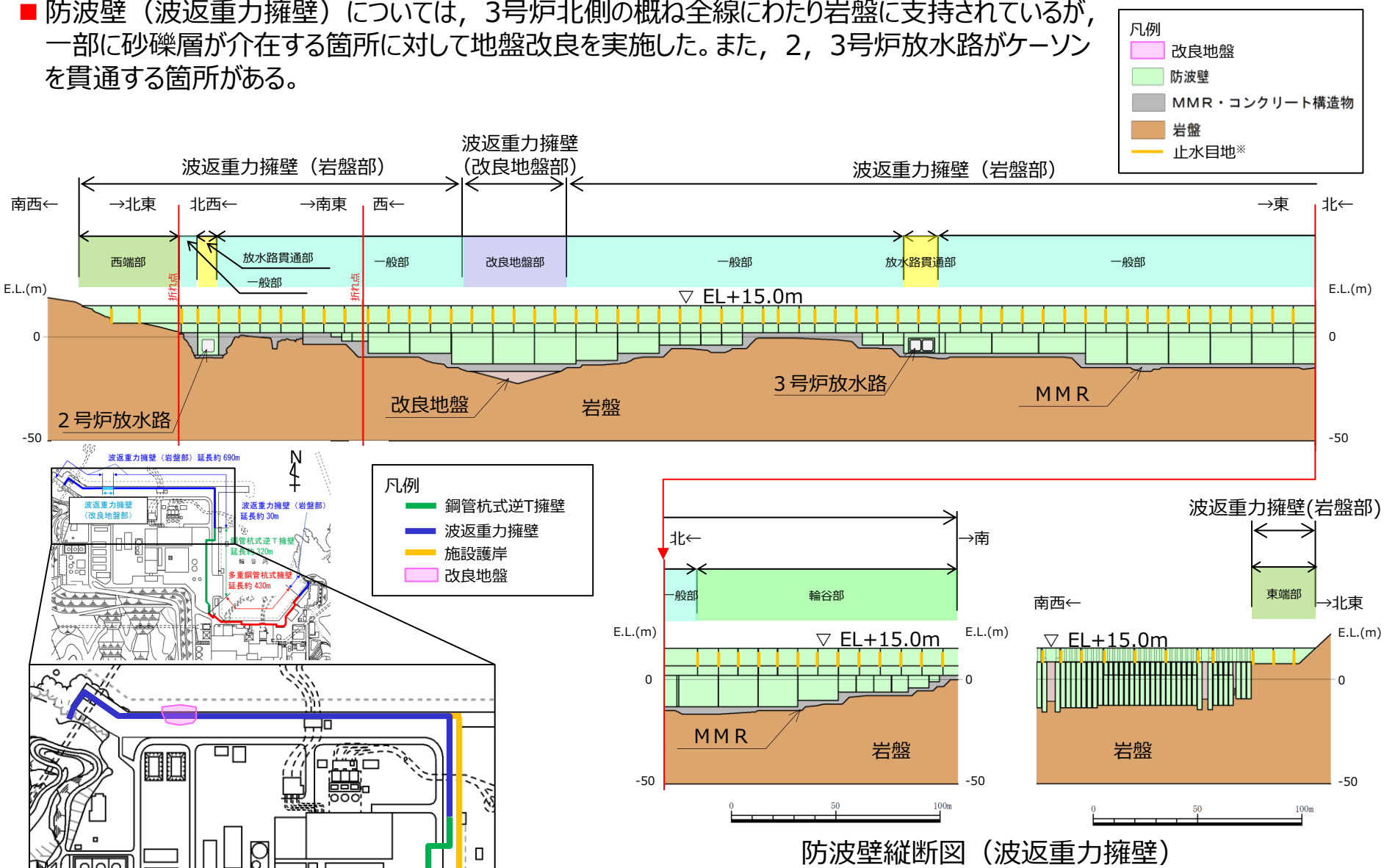
防波壁（波返重力擁壁）（岩盤部）断面図

※ 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。

3. 防波壁の概要

3.5 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（2/10）

■ 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。



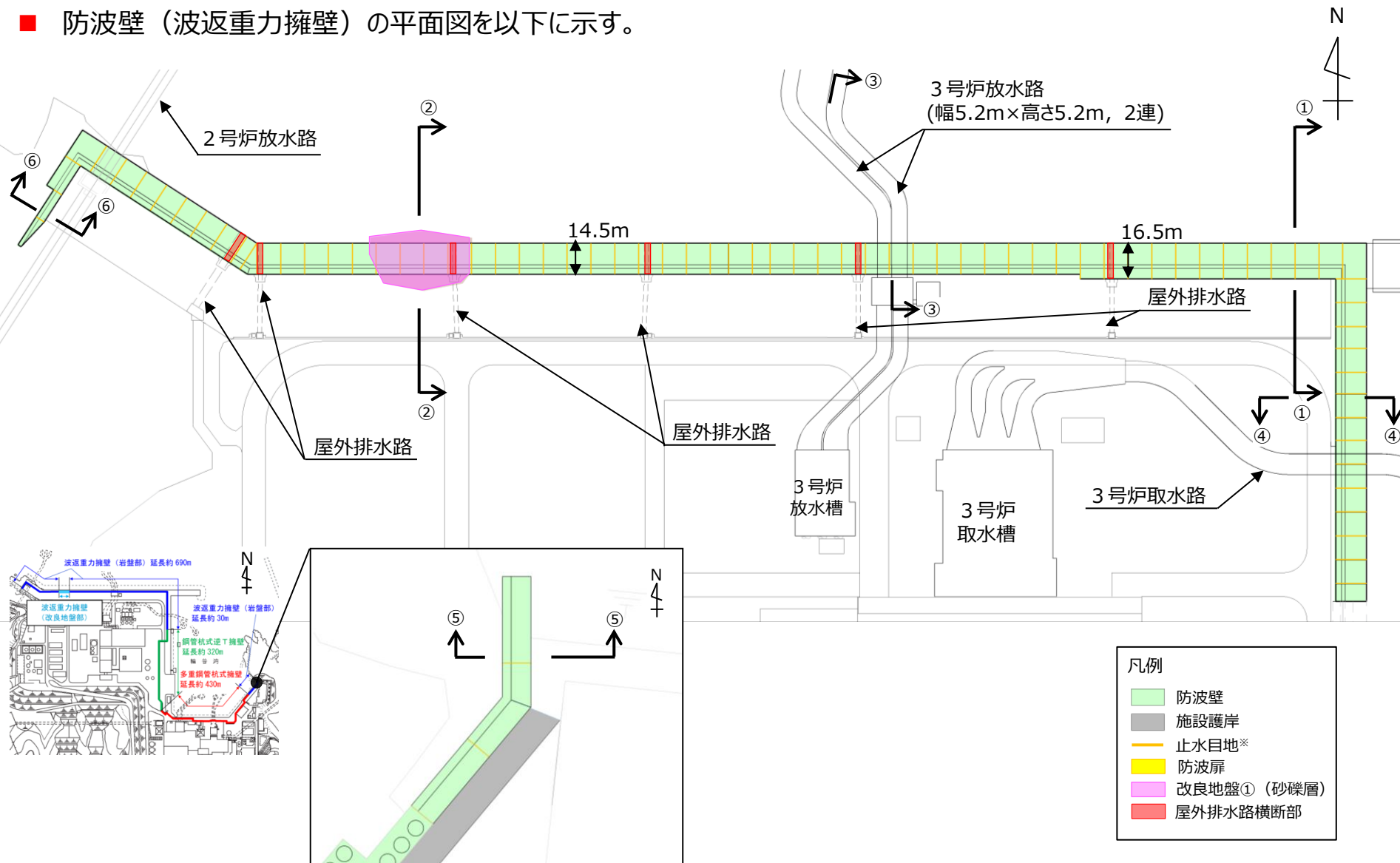
*止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

防波壁平面図（波返重力擁壁）

3. 防波壁の概要

3.5 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（3/10）

■ 防波壁（波返重力擁壁）の平面図を以下に示す。

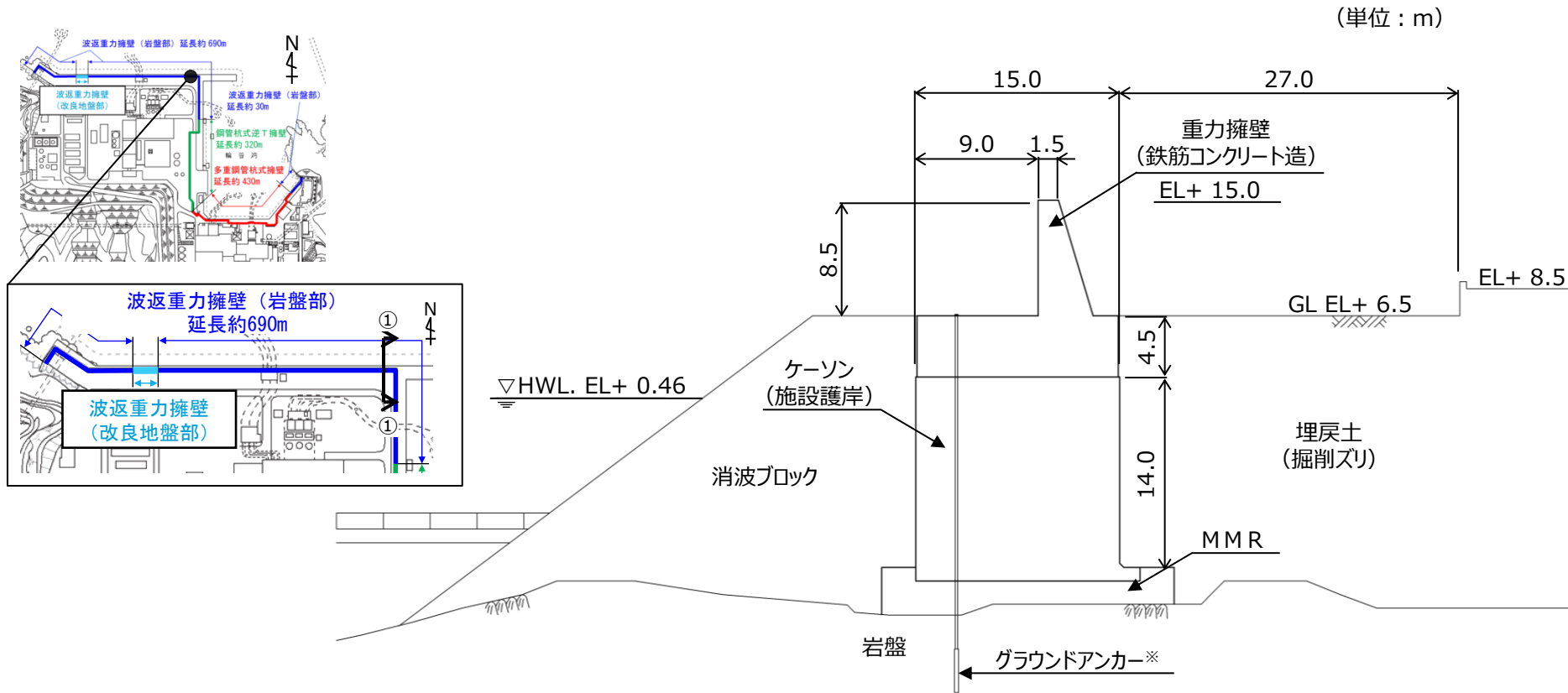


※止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

3. 防波壁の概要

3.5 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（4/10）

- 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。



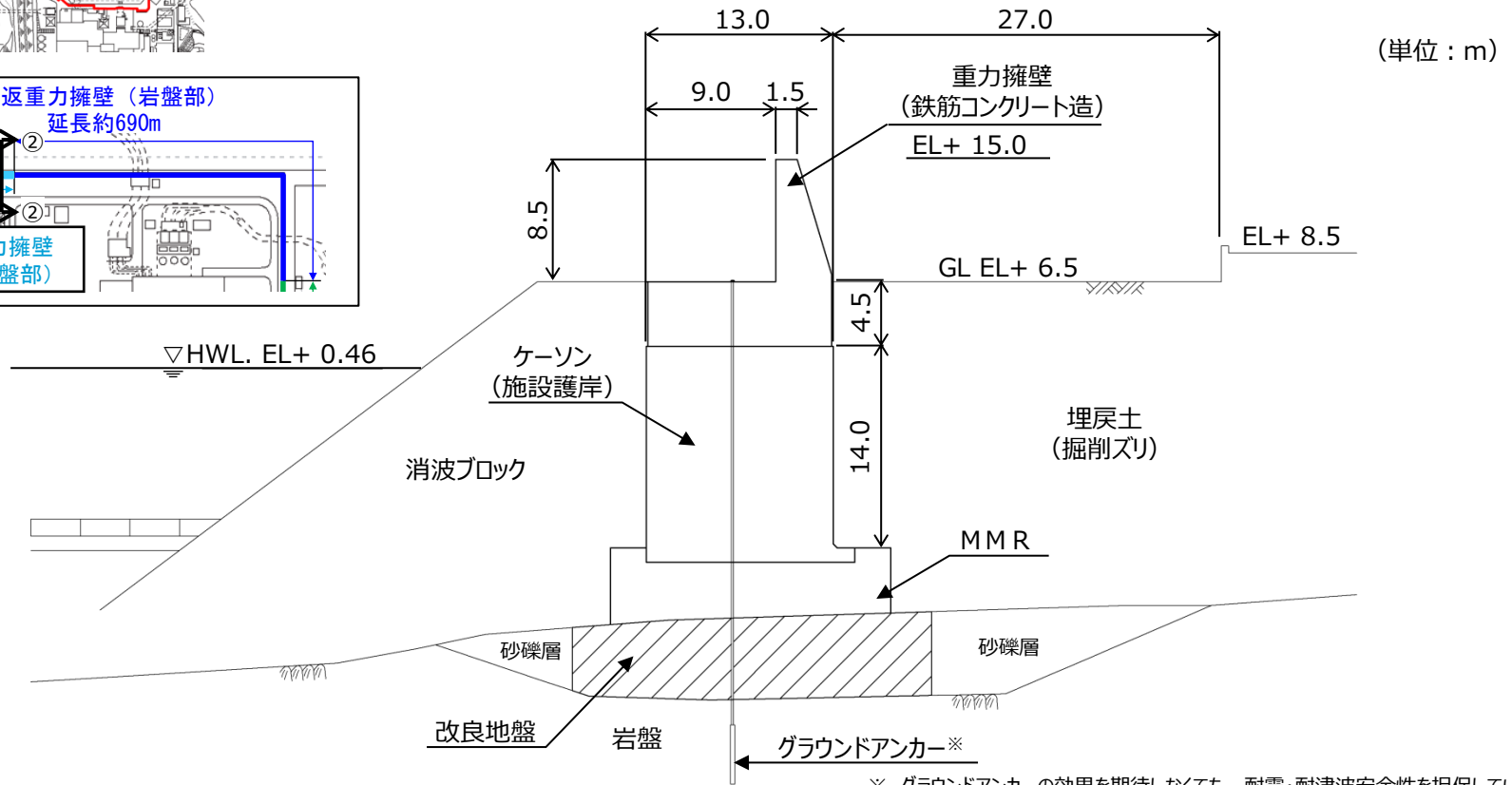
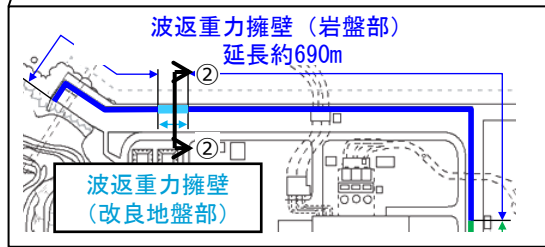
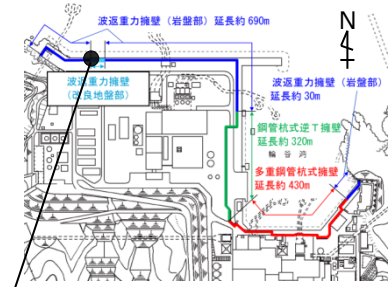
* グラウンドアンカーの効果を期待しなくても，耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁（波返重力擁壁）一般部（①－①断面） 断面図

3. 防波壁の概要

3.5 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（5/10）

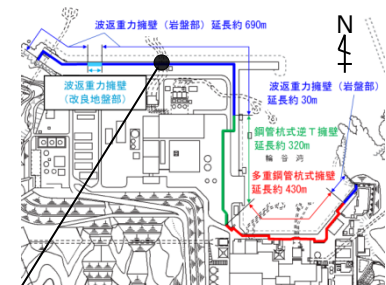
- 防波壁（波返重力擁壁）改良地盤部（②-②断面）については、ケーソン下部に砂礫層を介在していたことから、高圧噴射攪拌工法による地盤改良を実施した。



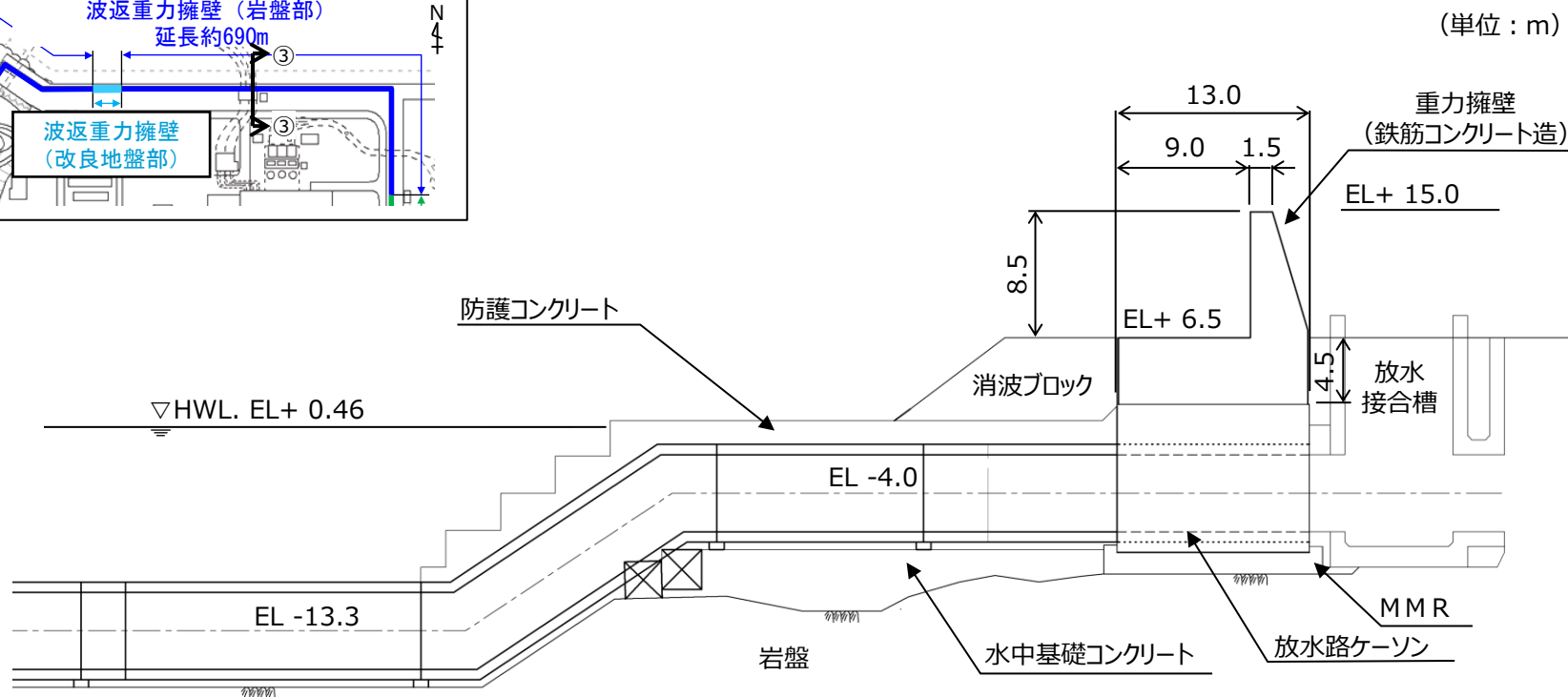
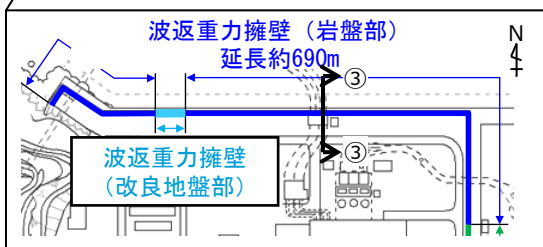
防波壁（波返重力擁壁）改良地盤部（②-②断面） 断面図

3. 防波壁の概要

3.5 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（6/10）



- 防波壁（波返重力擁壁）放水路貫通部（③－③断面）については、放水路（幅5.2m×高さ5.2m, 2連）が貫通するケーソン上に重力擁壁を設置した。
- 放水路貫通部の放水路（ケーソン）は重力擁壁を間接支持する構造物とする。

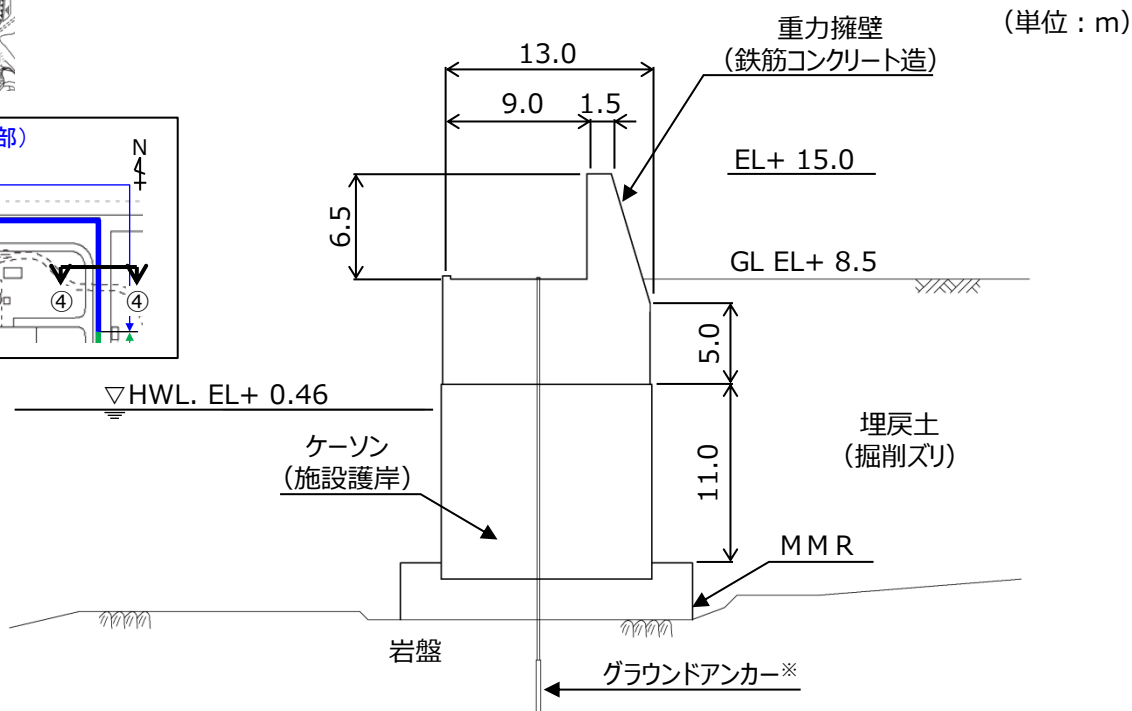
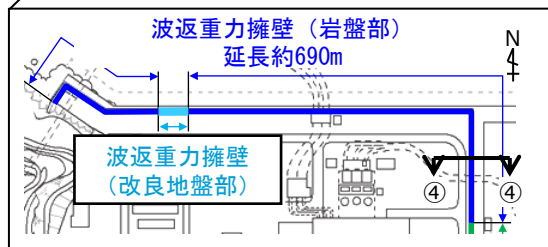
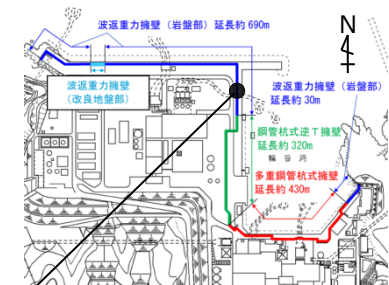


防波壁（波返重力擁壁）放水路貫通部（③－③断面） 断面図

3. 防波壁の概要

3.5 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（7/10）

- 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。

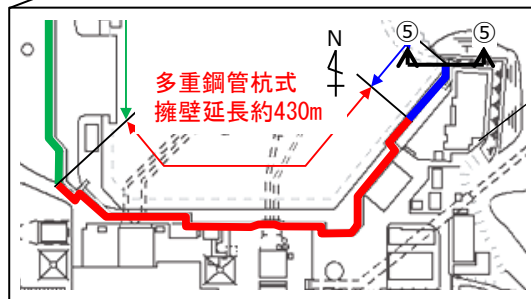
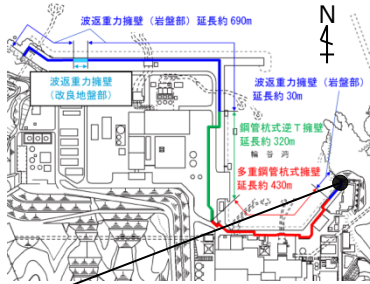


※ グラウンドアンカーの効果も期待しなくても，耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁（波返重力擁壁）輪谷部（④－④断面） 断面図

3. 防波壁の概要

3.5 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（8/10）



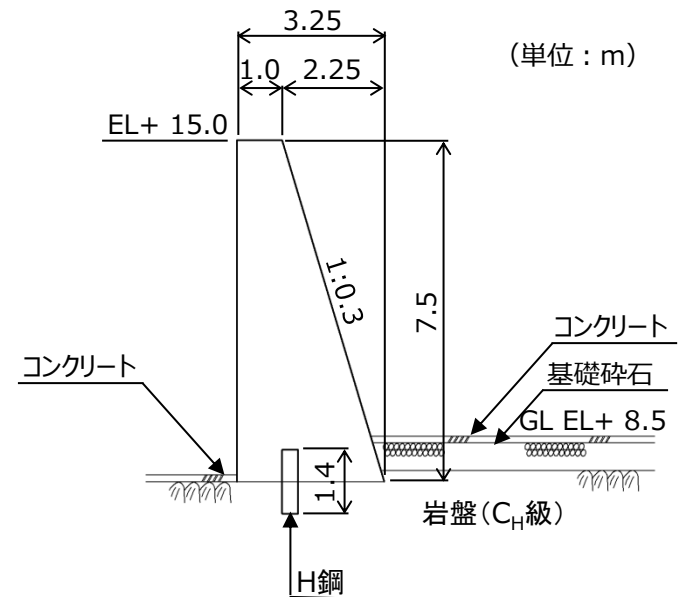
- 防波壁（波返重力擁壁）東端部（⑤－⑤断面）については、地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、H鋼（H-350×350×12×19）を1m間隔で打設し、重力擁壁を堅硬な地山に直接設置する設計とした。また、前面及び背面をコンクリートで被覆した。



防波壁東端部 外観写真



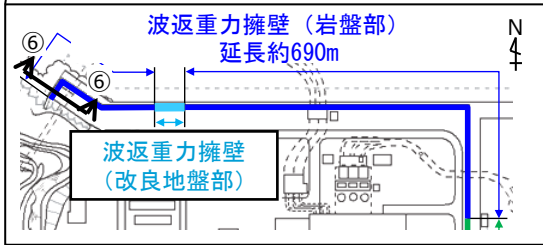
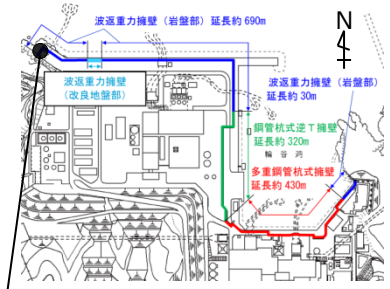
防波壁東端部 岩盤露出状況



防波壁（波返重力擁壁）東端部
（⑤－⑤断面） 断面図

3. 防波壁の概要

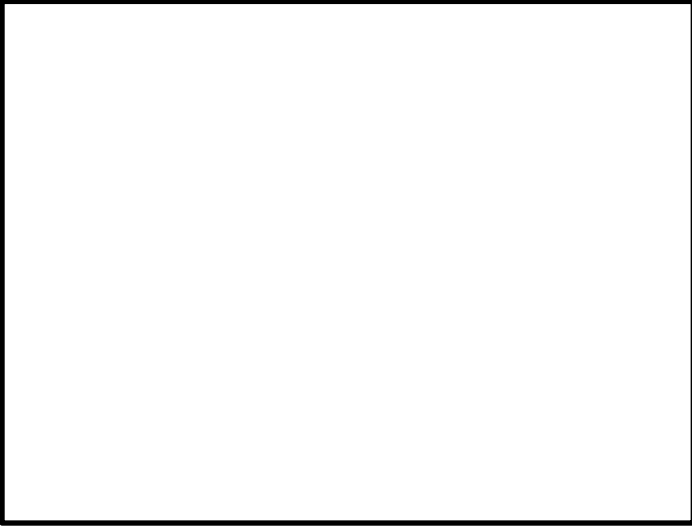
3.5 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（9/10）



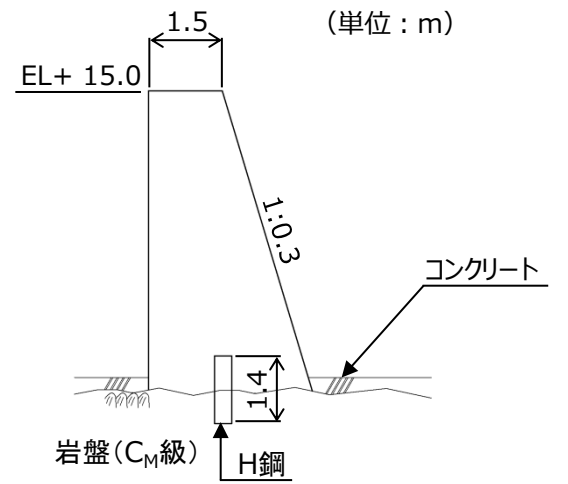
■ 防波壁（波返重力擁壁）西端部（⑥－⑥断面）については、東端部同様、地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、H鋼（H-350×350×12×19）を1m間隔で打設し、重力擁壁を堅硬な地山に直接設置する設計とした。また、前面及び背面をコンクリートで被覆した。



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

3. 防波壁の概要

3.5 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（10/10）

■ 防波壁（波返重力擁壁）を構成する各部位の役割及び施設の範囲を下表に示す。

評価対象部位の役割

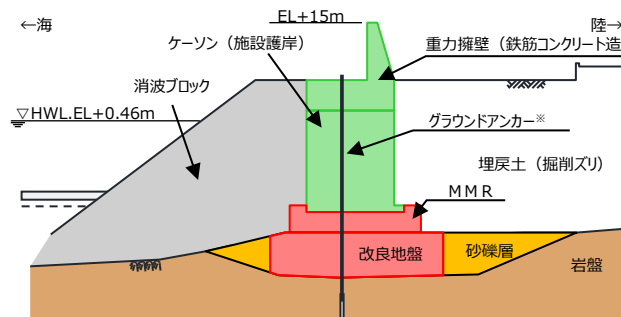
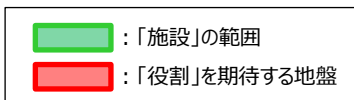
施設の範囲

評価対象部位	役割	備考
重力擁壁※	止水目地を支持，遮水性の保持	
止水目地※	重力擁壁間の遮水性の保持	
ケーソン※	重力擁壁を支持	

【地盤】

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

※ 重力擁壁，止水目地，ケーソンを構造上のバウンダリとする。



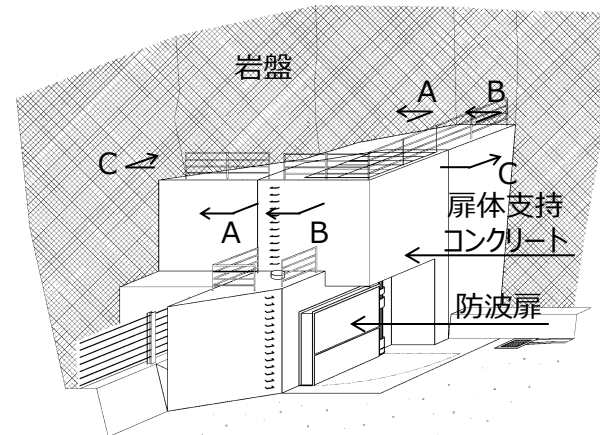
※ グラウンドアンカーの効果も期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁（波返重力擁壁）（地盤改良部）における「施設」と「地盤」の区分

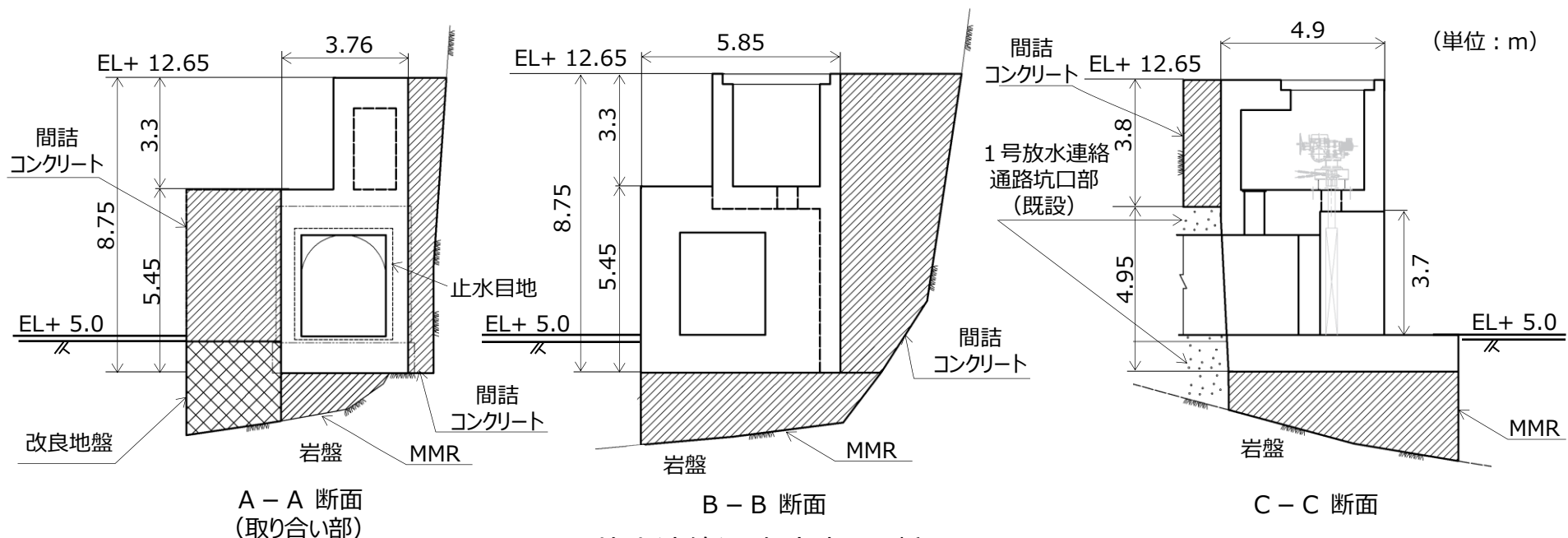
3. 防波壁の概要

3.6.1 その他の構造概要（1号放水連絡通路防波扉）（1/3）

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



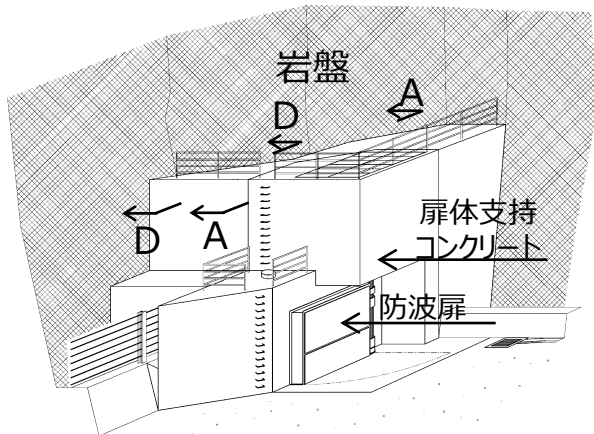
1号放水連絡通路防波扉 鳥瞰図



1号放水連絡通路防波扉 断面図

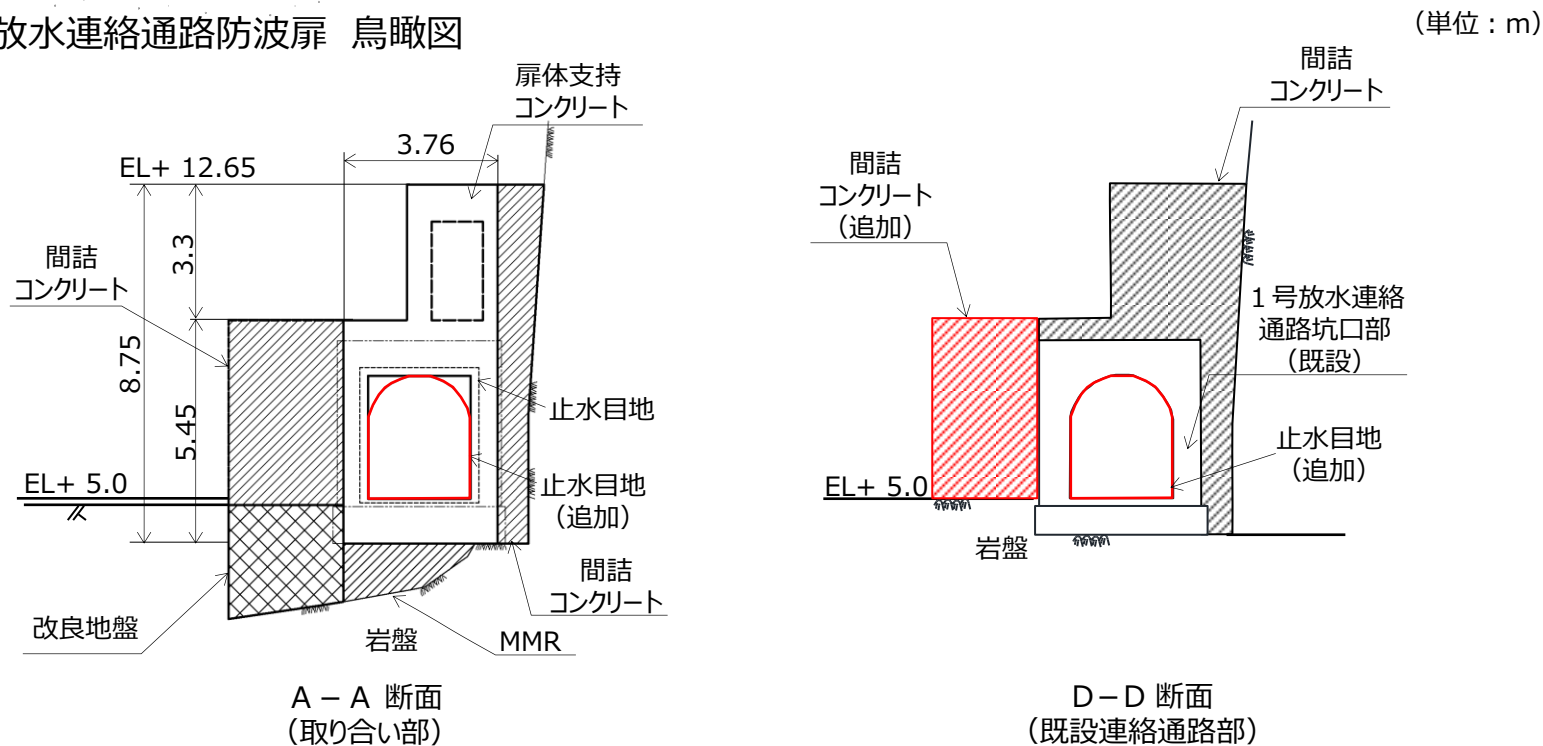
3. 防波壁の概要

3.6.1 その他の構造概要 (1号放水連絡通路防波扉) (2/3)



1号放水連絡通路防波扉 鳥瞰図

- 1号放水連絡通路坑口部 (既設) のうち、露出している区間について、変形の抑制を目的として間詰めコンクリートを追加打設する。
- 1号放水連絡通路坑口部 (既設) 及び取り合い部については、追加設置するコンクリートにより耐震・耐津波性を有する構造とするが、念のため変形・遮水性を保持する止水目地を追加で設置する。



1号放水連絡通路防波扉 断面図

3. 防波壁の概要

3.6.1 その他の構造概要（1号放水連絡通路防波扉）（3/3）

■ 1号放水連絡通路防波扉を構成する各部位の役割，施設の範囲及び仕様を下表に示す。

評価対象部位の役割 施設の範囲

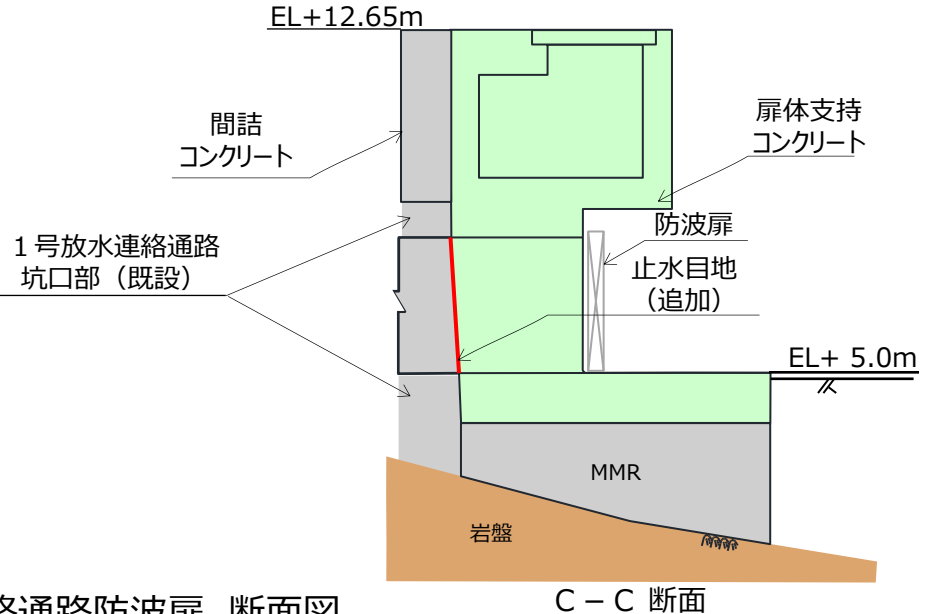
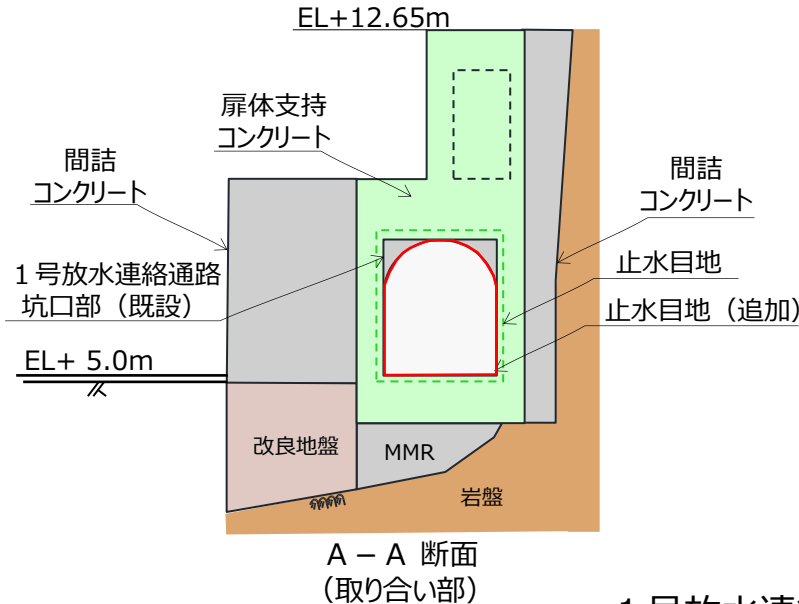
評価対象部位	役割	備考
扉体支持 コンクリート	防波扉（開閉機構含む）の支持，止水目地の支持，遮水性の保持	
止水目地 (追加)	1号炉放水連絡通路間の止水機能の保持	

【地盤】

MMR	扉体支持コンクリートを支持	基礎地盤
間詰コンクリート	扉体支持コンクリートの変形を抑制	
改良地盤	間詰コンクリートを支持	周辺地盤 表層改良工法
岩盤	扉体支持コンクリートを支持	基礎地盤

評価対象部位の仕様

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

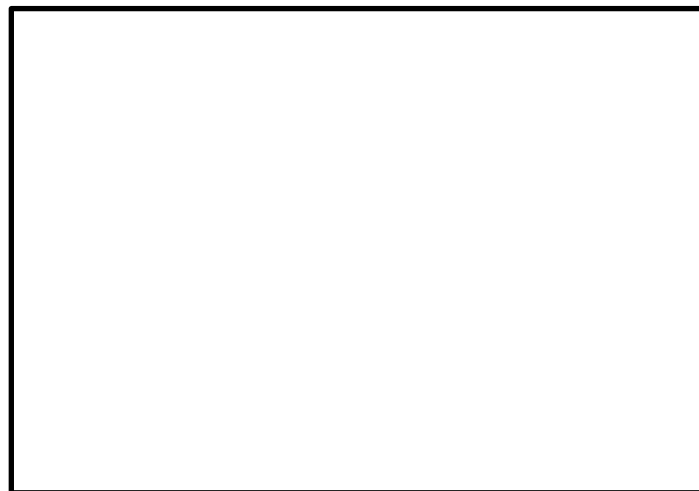
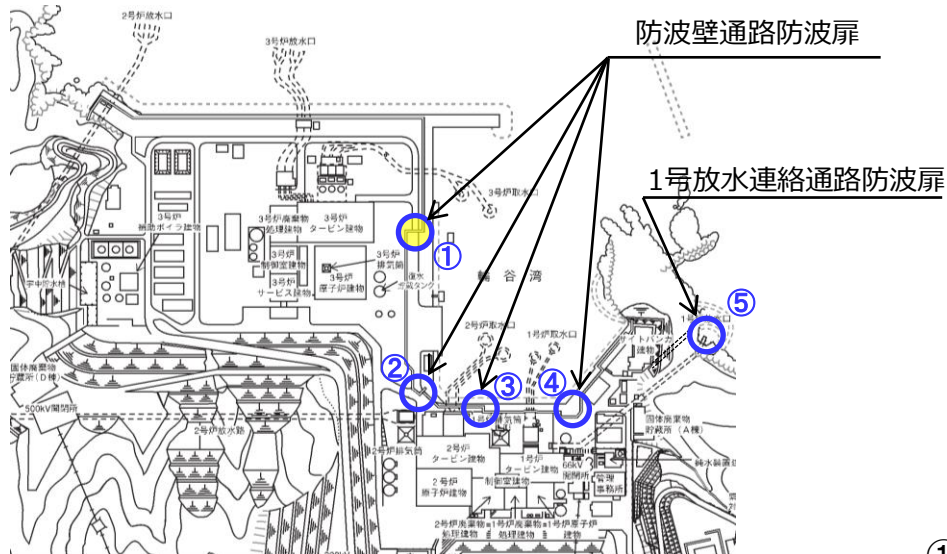


1号放水連絡通路防波扉 断面図

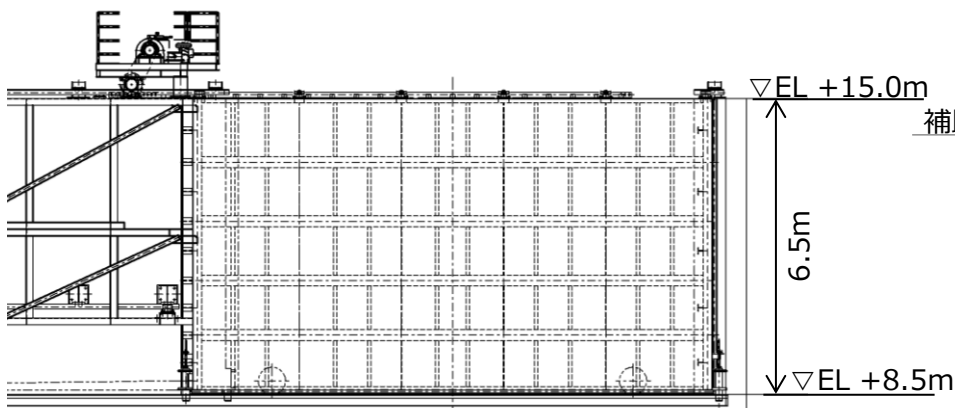
3. 防波壁の概要

3.6.2 その他の構造概要（防波扉）（1/6）

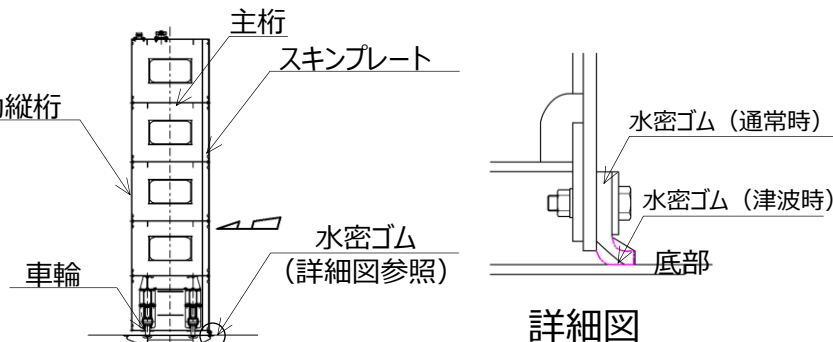
- 防波壁通路防波扉は、3号炉東側に1箇所、1、2号炉北側に3箇所、1号放水連絡通路に1箇所の計5箇所に設置しており、鋼製の主桁、補助縦桁及びスキムプレート等により構成される。
- 防波壁通路防波扉は津波荷重や地震荷重等に対して浸水防止機能を十分に保持できる設計とした。
- 3号炉東側の防波扉（①）及び1、2号炉北側の防波扉（②～④）は下部及び側部に設置した水密ゴムにより遮水性を確保している。防波扉下部に設置した水密ゴムは津波による水圧により扉に押し付けられる構造としている（防波扉断面図 詳細図参照）。



①防波壁通路防波扉（3号炉東側） 設置状況



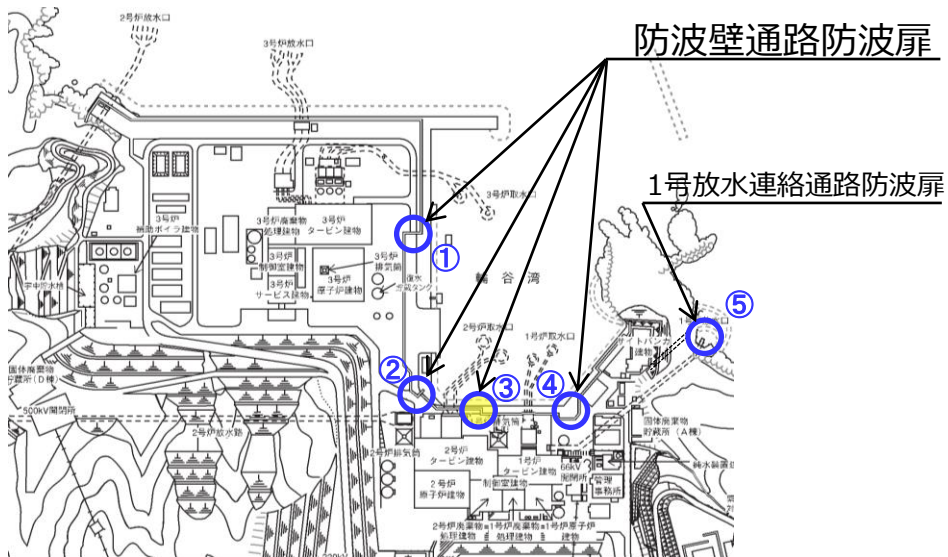
①防波壁通路防波扉（3号炉東側） 正面図



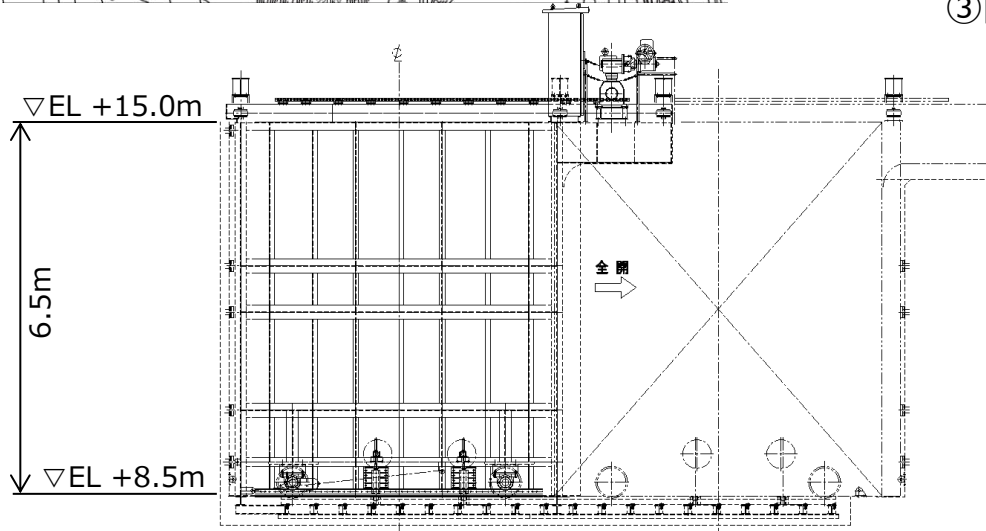
①防波壁通路防波扉（3号炉東側） 断面図

3. 防波壁の概要

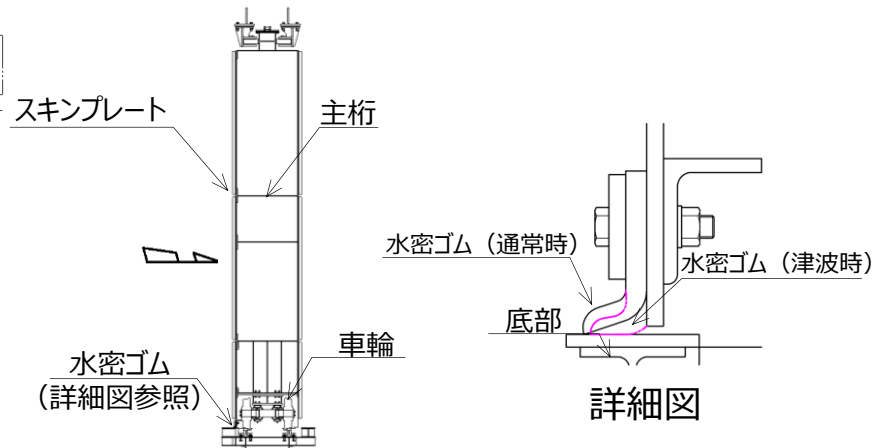
3.6.2 その他の構造概要（防波扉）（3/6）



③防波壁通路防波扉（1, 2号炉北側） 設置状況



③防波壁通路防波扉（1, 2号炉北側）
正面図

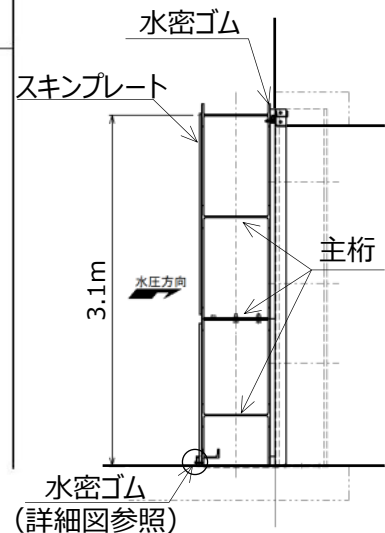
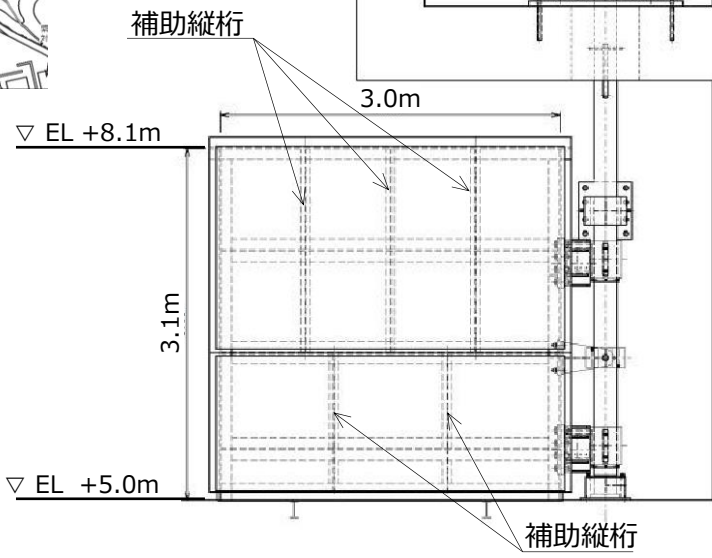
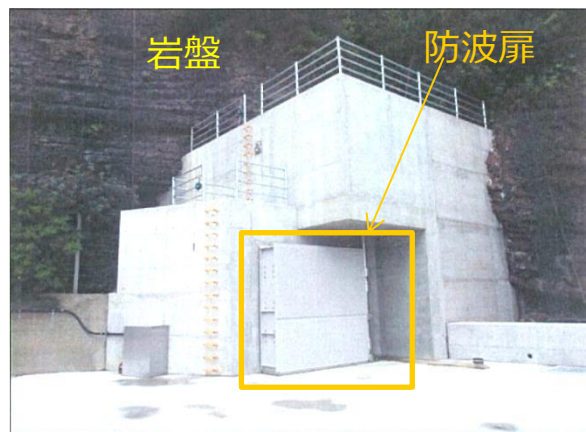
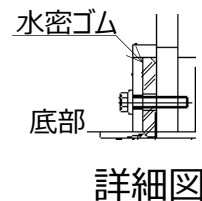
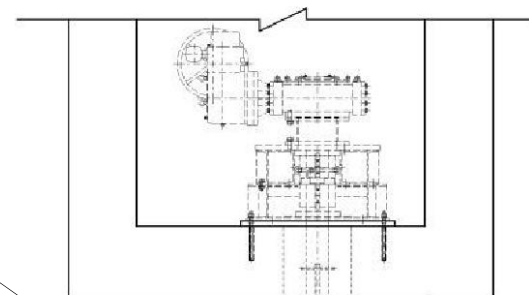
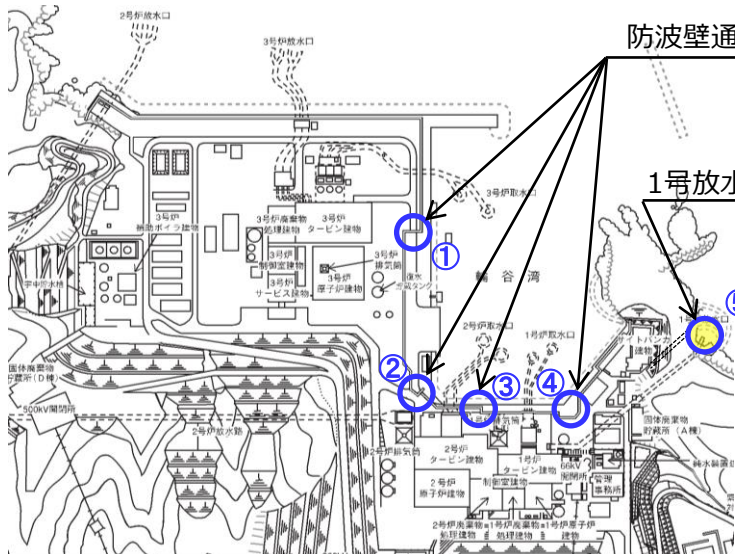


③防波壁通路防波扉（1, 2号炉北側）
断面図

3. 防波壁の概要

3.6.2 その他の構造概要 (防波扉) (5/6)

- 1号放水連絡通路防波扉 (⑤) は扉前面に設置した下部水密ゴム、背面に取り付けた側部及び上部水密ゴムにより遮水性を確保している。
- 1号放水連絡通路防波扉は開閉時に上昇・下降する機構となっており、下部水密ゴムは閉状態で押さえ板に押し付けられる構造としている。



⑤ 1号放水連絡通路防波扉 設置状況

⑤ 1号放水連絡通路防波扉 正面図

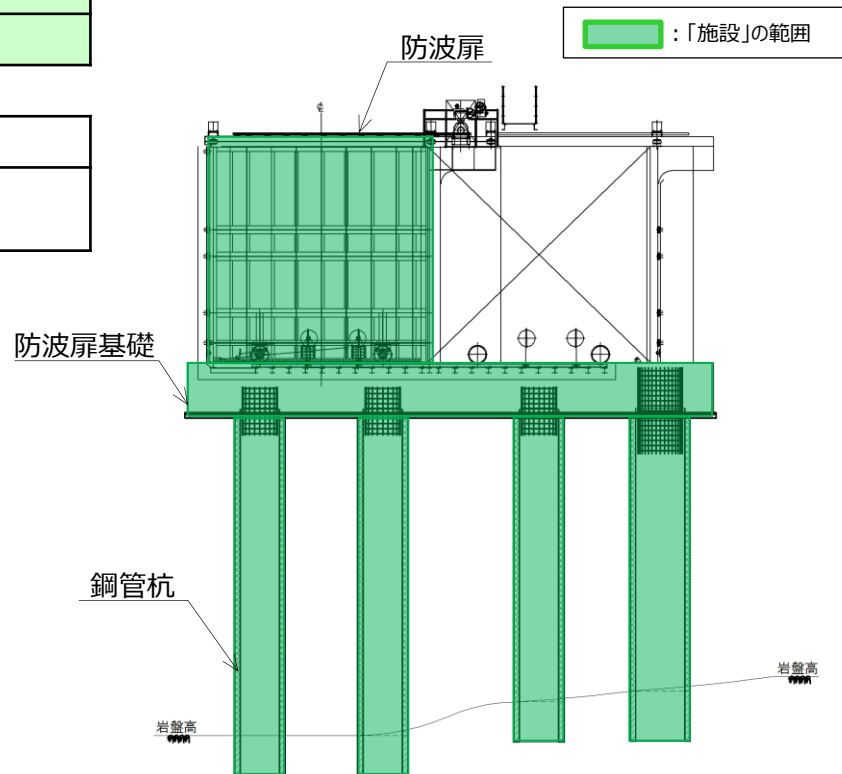
⑤ 1号放水連絡通路防波扉 断面図

3. 防波壁の概要

3.6.2 その他の構造概要（防波扉）（6/6）

■ 防波扉を構成する各部位の役割及び仕様を下表に示す。

評価対象部位の役割		施設の範囲
評価対象部位	役割	備考
防波扉	遮水性の保持	
防波扉基礎	防波扉を支持	
鋼管杭	防波扉を支持	
水密ゴム	遮水性の保持	
【地盤】		
改良地盤	鋼管杭の変形を抑制，難透水性の保持	
岩盤	鋼管杭を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与	

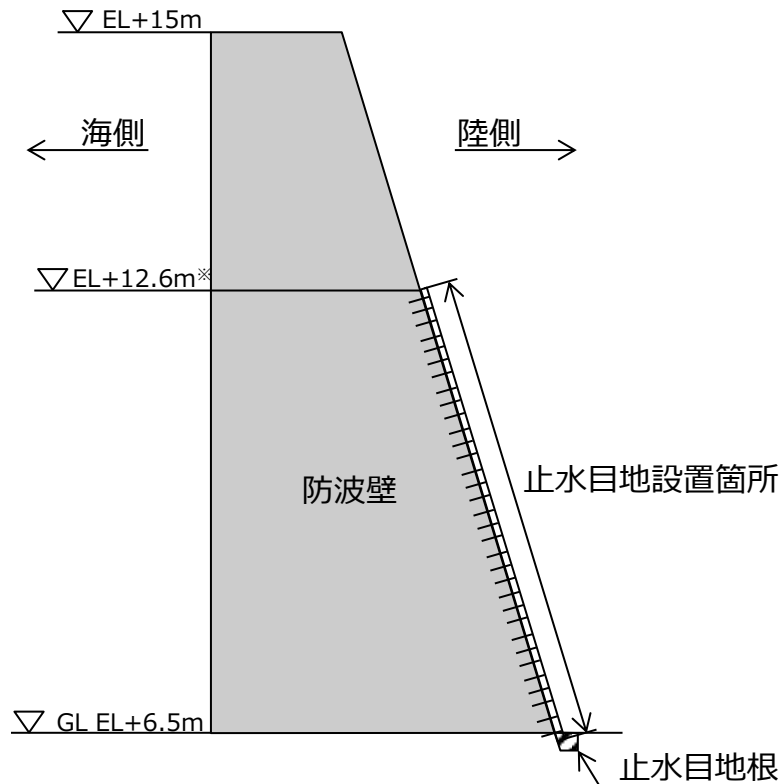


②防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）
正面図

3. 防波壁の概要

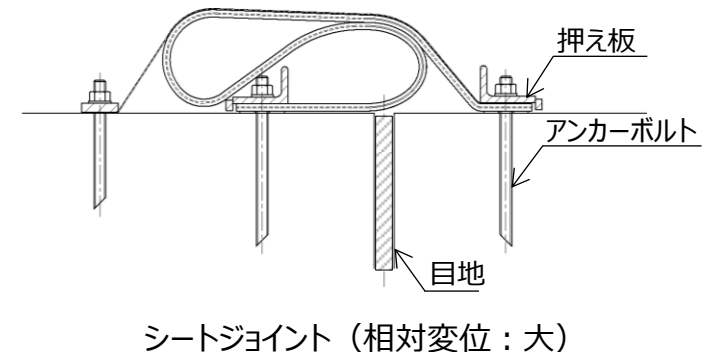
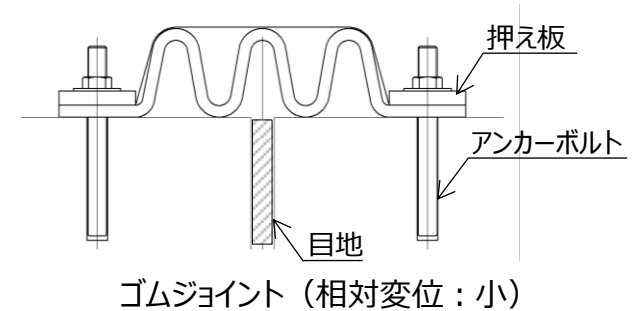
3.6.3 止水目地 構造の概要 (1/2)

- 防波壁の施工ブロック間の目地部からの津波の流入を防止するため、止水目地を設置する。
- 止水目地は、隣接する防波壁の施工ブロック間の地震時の相対変位に応じ、ゴムジョイント又はシートジョイントを採用する。また、遡上する津波波圧に対する耐津波性を有し、入力津波高さを踏まえた設計とする。
- ゴムジョイント及びシートジョイントは止水性を保持させるため、鋼製部材（押え板、アンカーボルト）で固定する。
- 止水目地の許容変形量、許容水圧及び耐久性は、メーカー規格及び基準並びに必要なに応じて実施する性能試験を参考に定める。
- 止水目地は、津波漂流物の衝突による損傷を防止するため、防波壁の陸側に設置する。



※ 止水目地の設置高さは入力津波高さ（11.8m）に参照する裕度（0.74m）を考慮した高さとした。

止水目地の設置箇所（例）（防波壁断面図（波返重力擁壁））

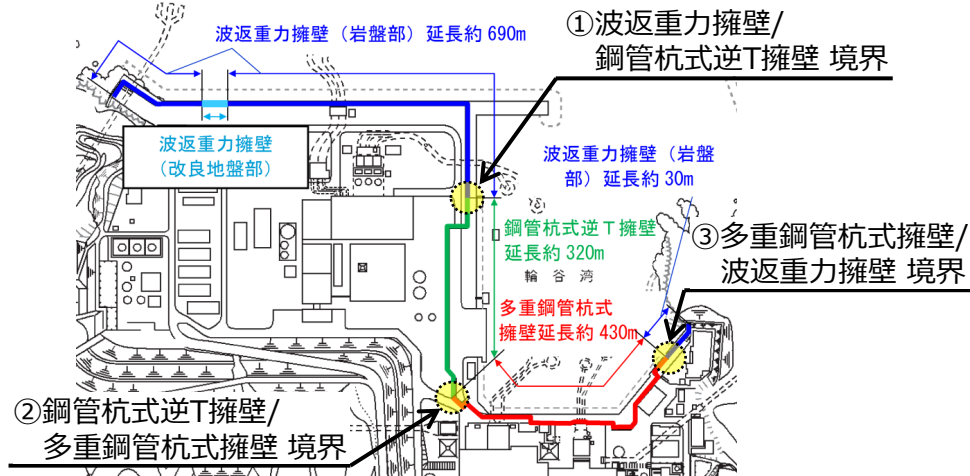


止水目地 概要図

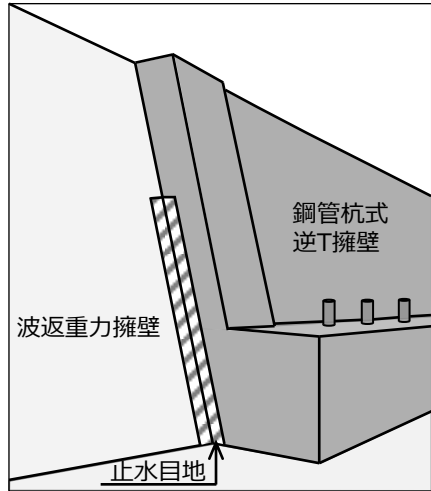
3. 防波壁の概要

3.6.3 止水目地 構造の概要 (2/2)

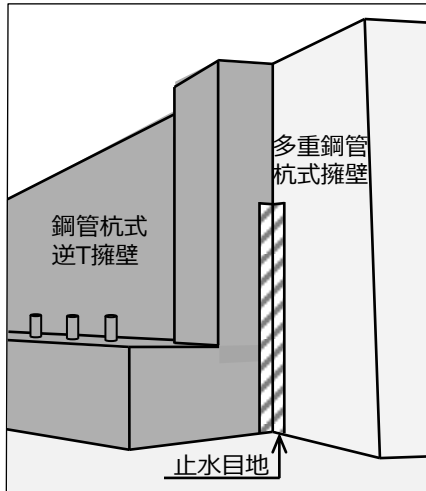
- 防波壁には異種構造型式の境界部が3箇所存在するため、構造を擦り付けることで離隔が生じないように設置した。
- 目地からの津波の流入を防止するため、境界に止水目地を設置する。止水目地は設置箇所の形状を考慮して設計する。



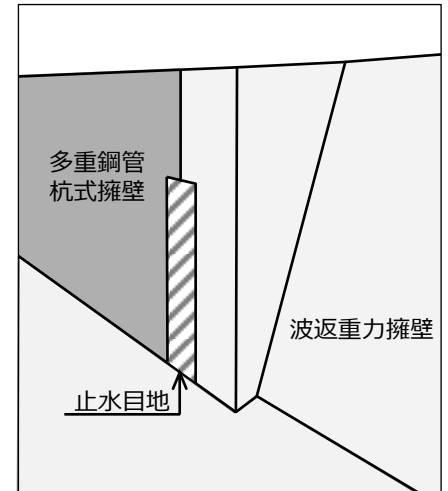
防波壁の異種構造型式 境界位置図



①波返重力擁壁/鋼管杭式逆T擁壁 境界



②鋼管杭式逆T擁壁/多重鋼管杭式擁壁 境界



③多重鋼管杭式擁壁/波返重力擁壁 境界

防波壁の異種構造型式 概要図

4. 設置許可基準規則への適合性について

4.1 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 (1/2)

- 防波壁に関する「実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(以下、設置許可基準規則という。)の条文と、各条文(第3条、第4条、第5条)に対する確認事項を以下のとおり整理した。
- 以下の事項を確認することにより、防波壁の各条文への適合性を確認する。

設置許可基準規則	各条文に対する確認事項	本資料の説明範囲
第3条 設計基準対象施設の地盤		
設計基準対象施設は、次条第二項の規定により算定する地震力が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有すること ・ 基準地震動による地震力が作用することによって弱面上のずれ等が発生しないことを含め、基準地震動による地震力に対する支持性能が確保されていること 	○ — (基礎地盤の安定性評価にて説明予定)
2 耐震重要施設は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み ・ 液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮しても、施設の安全機能が損なわれるおそれがないこと 	— (基礎地盤の安定性評価にて説明予定) ○
3 耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 岩盤にずれが生じないこと 	— (敷地の地質・地質構造にて説明済み)
第4条 地震による損傷の防止		
3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重等と基準地震動による地震力の組合せに対して、構造全体としての変形能力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を保持すること 	○

4. 設置許可基準規則への適合性について

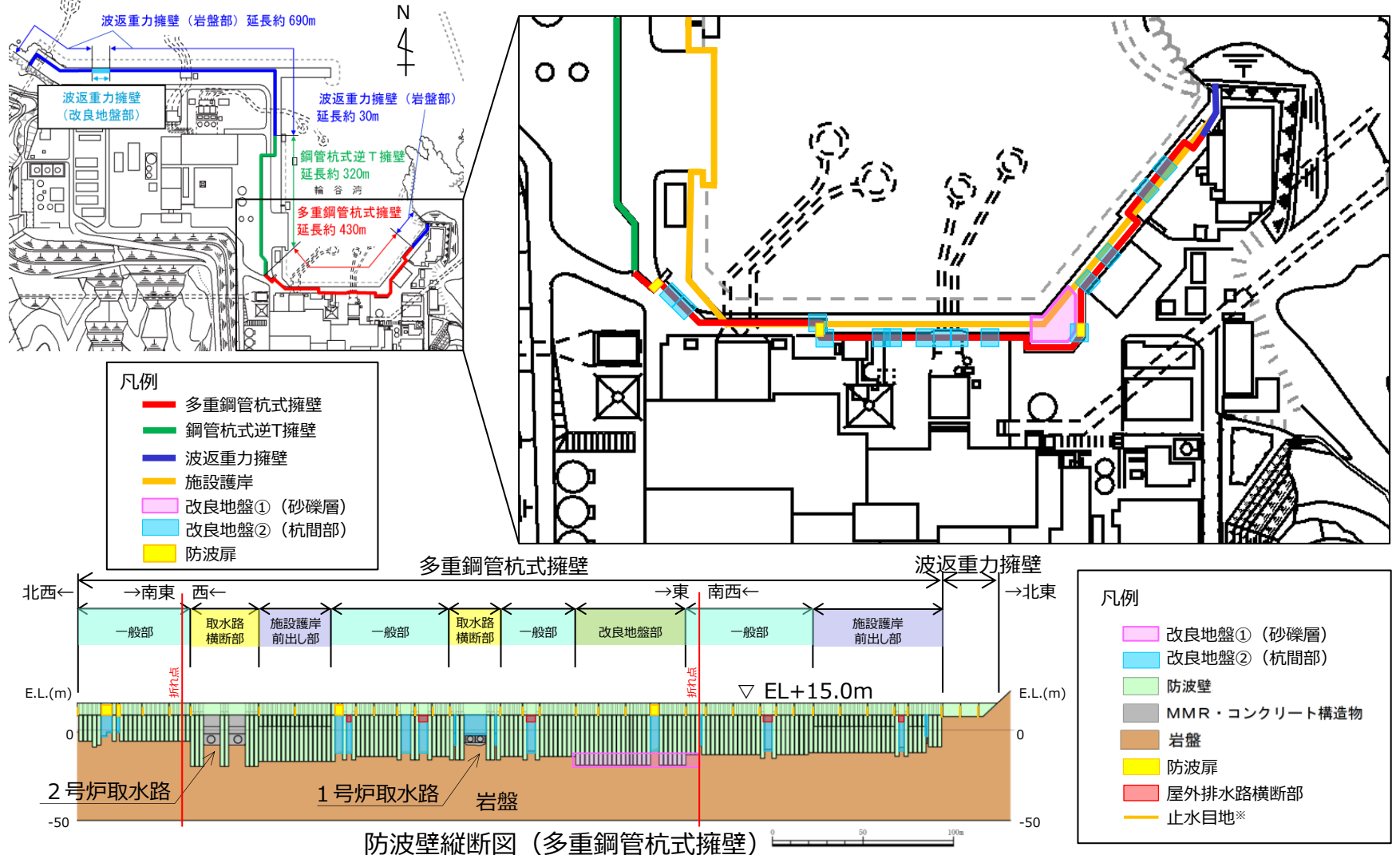
4.1 防波壁に関する設置許可基準規則と各条文に対する確認事項 (2/2)

設置許可基準規則	各条文に対する確認事項	本資料の説明範囲
第5条 津波による損傷の防止		
設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基準津波による遡上波を地上部から到達又は流入させないこと ・ スクラスに属する設備が基準津波による遡上波が到達する高さにある場合には、防潮堤等の津波防護施設及び浸水防止設備を設置すること 	○
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 遡上波の到達防止に当たっては、敷地及び敷地周辺の地形及びその標高、河川等の存在並びに地震による広域的な隆起・沈降を考慮して、遡上波の回込みを含め敷地への遡上の可能性を検討すること ・ 地震による変状又は繰り返し襲来する津波による洗掘・堆積により地形又は河川流路の変化等が考えられる場合は、敷地への遡上経路に及ぼす影響を検討すること 	— (耐津波設計方針にて説明予定)
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 入力津波に対して津波防護機能を保持できること ・ 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による浸食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能を十分に保持できるように設計すること ・ 津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において建物・構築物及び設置物等が破損、倒壊及び漂流する可能性がある場合には、防潮堤等の津波防護施設に波及的影響を及ぼさないよう、漂流防止装置又は津波防護施設への影響の防止措置を施すこと ・ 耐津波設計上の十分な裕度を含めるため、各施設・設備の機能損傷モードに対応した荷重（浸水高、波力・波圧、洗掘力及び波力等）について、入力津波から十分な余裕を考慮して設定すること。 ・ 余震の発生の可能性を検討した上で、必要に応じて余震による荷重と入力津波による荷重との組合せを考慮すること ・ 入力津波の時刻歴波形に基づき、津波の繰り返しの襲来による作用が津波防護機能へ及ぼす影響について検討すること 	○
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震による敷地の隆起・沈降、地震（本震及び余震）による影響、津波の繰り返しの襲来による影響及び津波による二次的な影響（洗掘、砂移動及び漂流物等）を考慮すること 	○
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波防護施設の設計に当たっては、入力津波による水位変動に対して朔望平均潮位を考慮して安全側の評価を実施すること。なお、その他の要因による潮位変動についても適切に評価し考慮すること。また、地震により陸域の隆起又は沈降が想定される場合、想定される地震の震源モデルから算定される、敷地の地殻変動量を考慮して安全側の評価を実施すること 	○

4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（1/6）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）については、1, 2号炉北側全線にわたり多重鋼管杭を連続的に設置した。
- 岩盤上に砂礫層が堆積している範囲において防波壁前面で薬液注入工法（特殊スラグ系固化剤）により地盤改良を実施した（改良地盤①）。
- また、構造物横断部等で杭間隔が大きい区間においても、薬液注入（セメント系固化剤）により地盤改良を実施した（改良地盤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。

4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

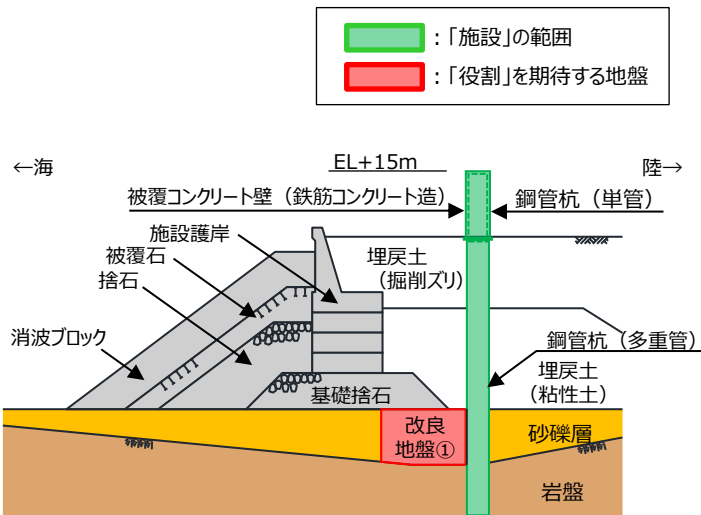
4.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（2/6）

- 新規性基準への適合性において、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を下表の通り整理した。

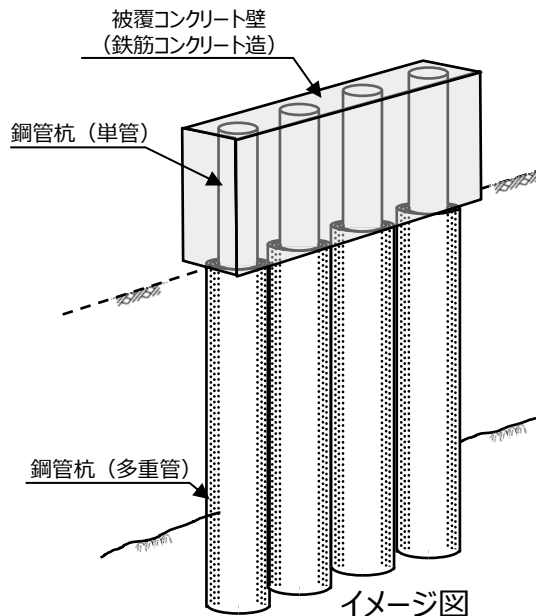
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における検討要旨

規則	検討要旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	・ 施設（鋼管杭）を支持する地盤を対象とし、地盤内にすべり線を想定し、安定性を確認する。
第4条（地震による損傷の防止）	・ 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮した上で、施設の耐震安全性を確認する。
第5条（津波による損傷の防止）	・ 地震（本震及び余震）による影響を考慮した上で、機能を保持できることを確認する。 ・ 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。

- 鋼管杭は、コンクリートで中詰めされた大口径管の多重構造を採用し、地中部では隣り合う多重鋼管杭間にセメントミルクを間詰めする。

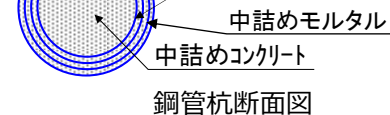


多重鋼管杭式擁壁の「施設」・「地盤」の範囲

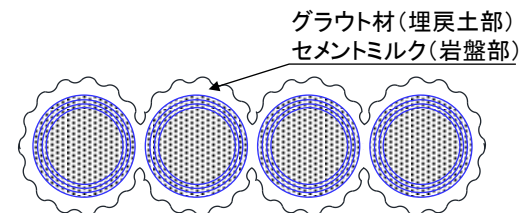


イメージ図

- 直径2.2m,厚さ25mm
- 直径2.0m,厚さ25mm
- 直径1.8m,厚さ25mm
- 直径1.6m,厚さ25mm



鋼管杭断面図



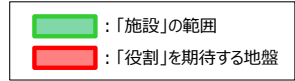
地中部詳細平面図

4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

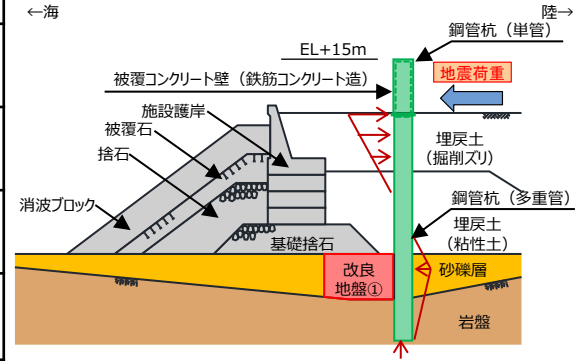
4.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（3 / 6）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』、材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし、これらを総称として『止水性』と整理する。
- 地震時において、埋戻土（掘削ズリ）及び施設護岸等は、地震荷重作用方向により、地盤反力として寄与する場合、土圧として荷重作用する場合があることから、適切にモデル化して地震応答解析を実施することにより、その影響を考慮する。一方で、津波時において、防波壁より陸側の埋戻土（掘削ズリ）等は、津波荷重に対して地盤反力として寄与することから、適切にモデル化して津波時解析を実施する。

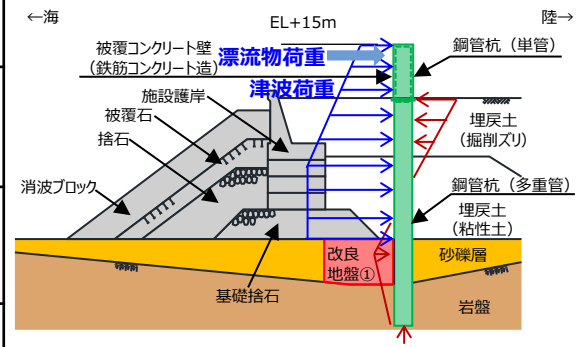
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の役割



	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鋼管杭	・被覆コンクリート壁を支持する。	・被覆コンクリート壁を支持する。
	被覆コンクリート壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・被覆コンクリート壁間の変位に追従する。	・被覆コンクリート壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
地盤	セメントミルク	・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤①（砂礫層）	・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤②（杭間部）	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。
	岩盤	・鋼管杭を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・鋼管杭を支持する。
	埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、砂礫層	・地震荷重の作用方向の反対方向に地盤反力として寄与する（一方で、その時防波壁反対側では、土圧として作用する）。	・防波壁より陸側については、津波荷重等に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸、基礎捨石、捨石、被覆石	・地震荷重の作用方向が海側方向の場合、地盤反力として寄与する（一方で、地震荷重の作用方向が陸側方向の場合、土圧として作用する）。	・役割に期待しない。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。
	グラウト材	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。



役割を期待する範囲（地震時）



役割を期待する範囲（津波時）

4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（4/6）

- 多重鋼管杭式擁壁において、セメントミルク及び改良地盤①（砂礫層）の具体的な役割を以下のとおり整理した。
- 側方地盤としての鋼管杭の変位抑制の役割を有するセメントミルク及び改良地盤①（砂礫層）は『地盤』と区別する。

凡例

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

各部位の具体的な役割

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

4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（5 / 6）

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

各部位の役割に対する性能目標

部位		性能目標…5,6,9章			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	健全性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	止水性 (透水性, 難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭	-	-	構造部材の健全性を保持するために, 鋼管杭が概ね弾性状態に留まること。	構造部材の健全性を保持するために, 鋼管杭が概ね弾性状態に留まること。
	被覆コンクリート壁			構造部材の健全性を保持するために, 被覆コンクリート壁が概ね弾性状態に留まること。	止水目地の支持機能を喪失して被覆コンクリート間から有意な漏えいを生じないために, 被覆コンクリート壁が概ね弾性状態に留まること。
	止水目地			被覆コンクリート壁から有意な漏えいを生じないために, 止水目地の変形性能を保持すること。	被覆コンクリート壁から有意な漏えいを生じないために, 止水目地の変形・遮水性能を保持すること。
地盤	セメントミルク	-	-	鋼管杭の変形を抑制するため, セメントミルクがすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するためセメントミルクがすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	改良地盤① (砂礫層)	-	-	鋼管杭の変形を抑制するため, 改良地盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するため改良地盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	岩盤	鋼管杭を鉛直支持するため, 十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため, 十分なすべり安全性を保持すること。	-	-

4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（6/6）

- 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。
- 液状化の影響については有効応力解析により考慮し埋戻土，砂礫層の変状に伴う施設評価への影響を検討する。
- また，液状化に伴う海側の埋戻土，砂礫層の変状により護岸形状が変化し，荷重伝達経路や津波波圧に影響する可能性があることから，詳細設計段階に影響の程度を検討する（詳細は9.3を参照）。
- なお，施設及び岩盤の各部位の役割や性能目標を長期的に維持していくために必要な保守管理方法を今後検討していく。

各部位の照査項目と許容限界（上段：照査項目，下段：許容限界）

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

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

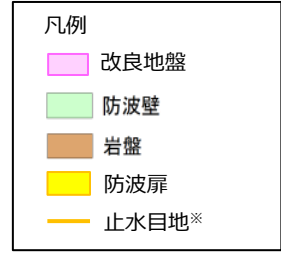
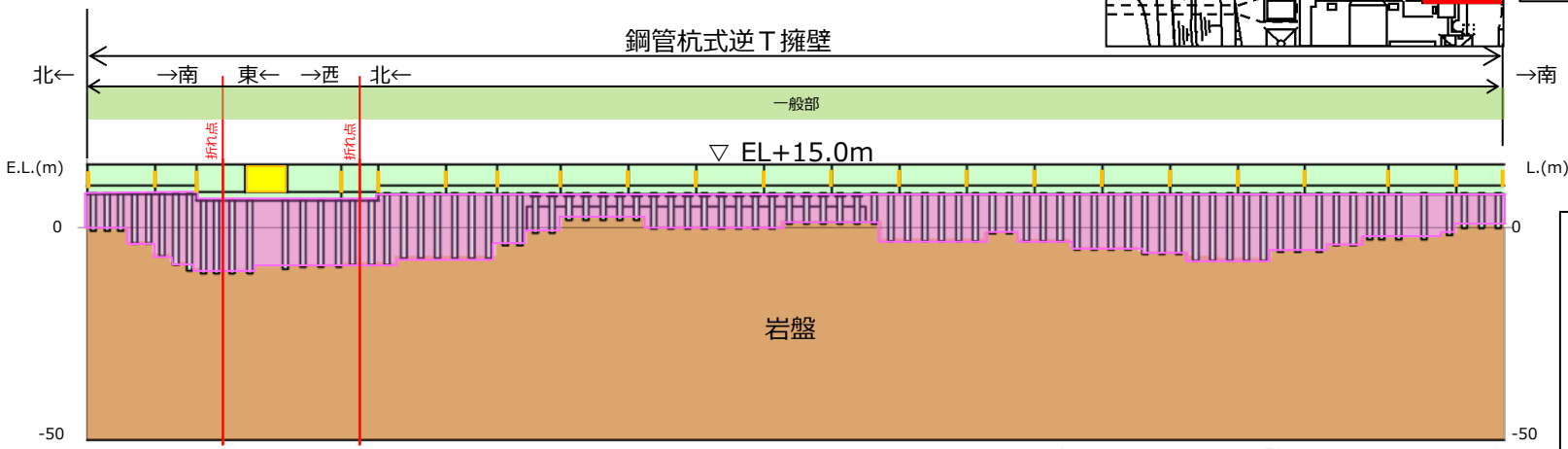
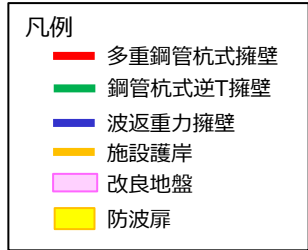
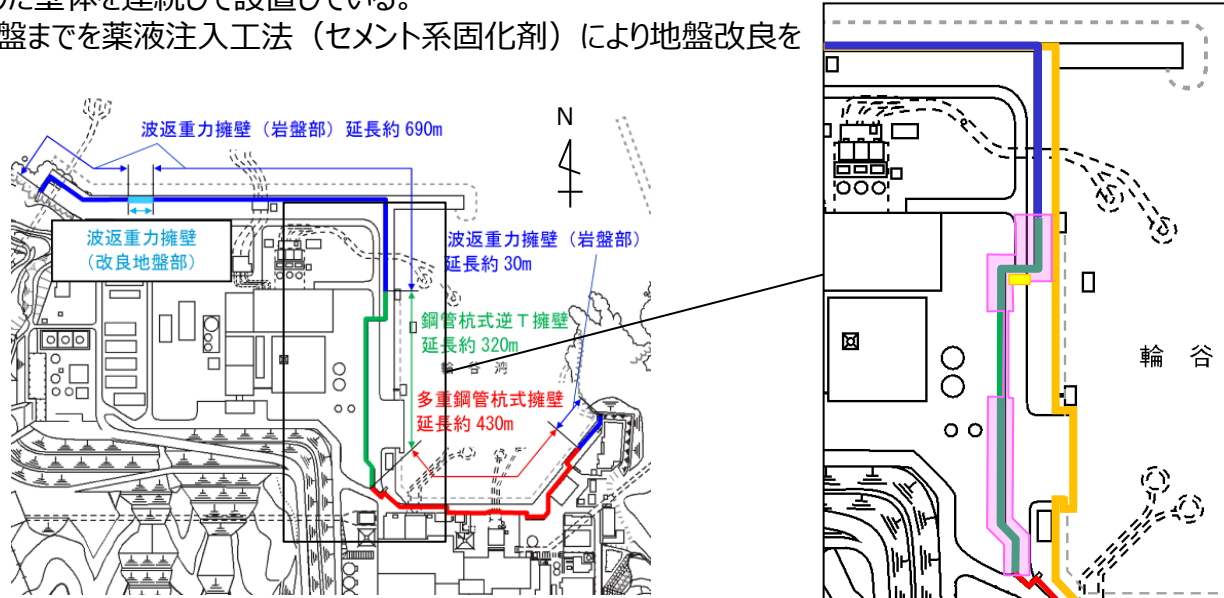
※2 第3条のすべり安全率は施設の外的安定の確認を目的としており，「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価結果に係る審査ガイド」に基づいて1.5以上を許容限界とする。

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

4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（1/6）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、3号炉東側に配置し、施工上の観点から鋼管杭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ている。
- 防波壁底面から岩盤までを薬液注入工法（セメント系固化剤）により地盤改良を実施する。



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。

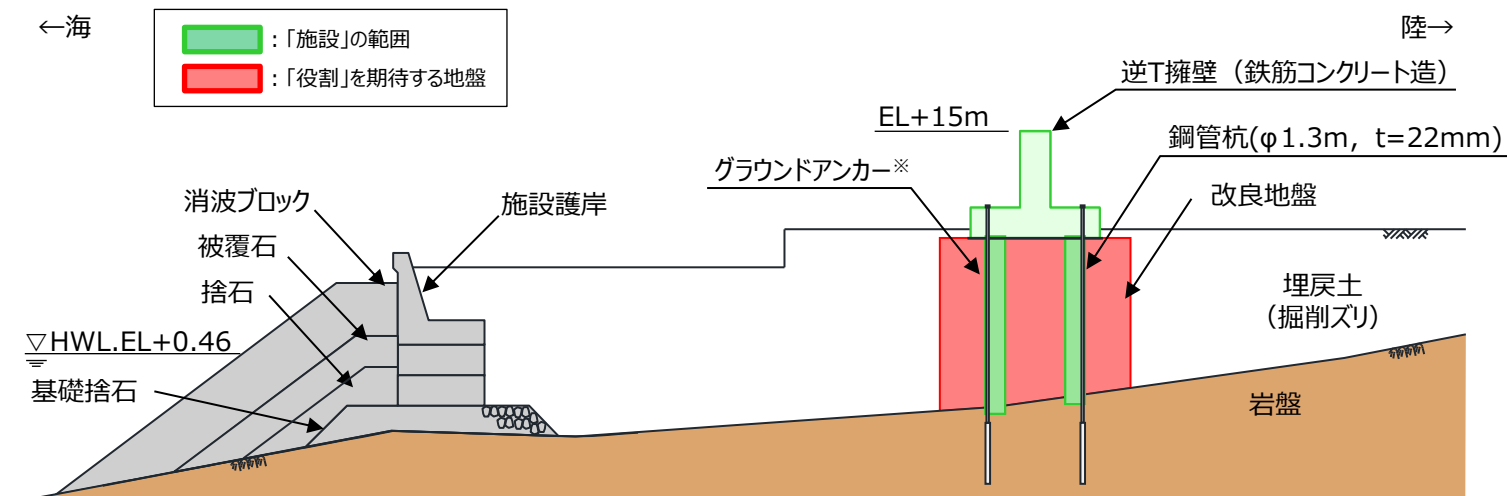
4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（2/6）

- 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。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における検討要旨

規則	検討要旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	・ 施設（鋼管杭）を支持する地盤を対象とし、地盤内にすべり線を想定し、安定性を確認する。
第4条（地震による損傷の防止）	・ 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮した上で、施設の耐震安全性を確認する。
第5条（津波による損傷の防止）	・ 地震（本震及び余震）による影響を考慮した上で、機能を保持できることを確認する。 ・ 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。



鋼管杭式逆T擁壁の「施設」・「地盤」の範囲

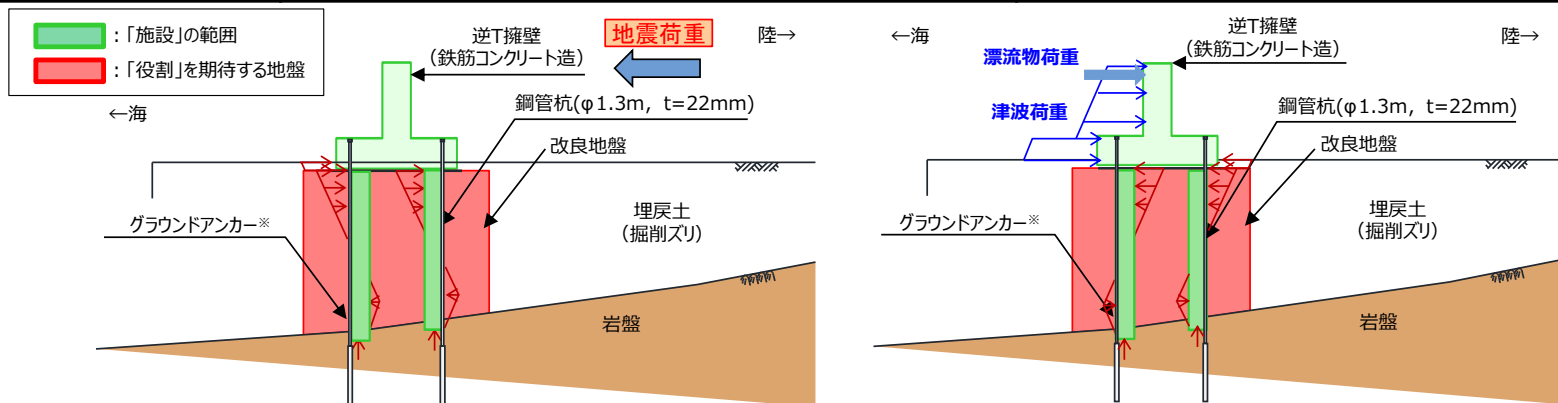
4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（3/6）

- 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。
- 地震時において、埋戻土（掘削ズリ）及び施設護岸等は、地震荷重作用方向により、地盤反力として寄与する場合、土圧として荷重作用する場合があることから、適切にモデル化して地震応答解析を実施することにより、その影響を考慮する。一方で、津波時において、防波壁より陸側の埋戻土（掘削ズリ）は、津波荷重に対して地盤反力として寄与することから、適切にモデル化して津波時解析を実施する。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鋼管杭	・逆T擁壁を支持する。	・逆T擁壁を支持する。
	逆T擁壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・逆T擁壁間の変位に追従する。	・逆T擁壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
地盤	改良地盤	・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を保持する。
	岩盤	・鋼管杭を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	鋼管杭を支持する。
	埋戻土（掘削ズリ）	・地震荷重の作用方向の反対方向に地盤反力として寄与する（一方で、その時防波壁反対側では、土圧として作用する）。	・防波壁より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸、基礎捨石 被覆石、捨石	・地震荷重の作用方向が海側方向の場合、地盤反力として寄与する（一方で、地震荷重の作用方向が陸側方向の場合、土圧として作用する）。	・役割に期待しない。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。



役割を期待する範囲（地震時・津波時）※ 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。

4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（4/6）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）において、改良地盤の具体的な役割を以下のとおり整理した。
- 側方地盤としての役割を有し、難透水性の保持の役割を持つことから改良地盤は『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	健全性 (鋼管杭の変形抑制)	止水性 (遮水性・難透水性)	
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭周辺に改良地盤を設置することで鋼管杭の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭周辺に改良地盤を設置することで鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を保持することで、遮水性を有する逆T擁壁、止水目地の下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。 	-	-	○	○	鋼管杭の変形抑制が主な目的であり、側方地盤に要求される役割と同様であること、難透水性の保持の役割を持つことから『地盤』と区分する。

4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（5/6）

- 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)	健全性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	止水性 (透水性, 難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭	-	-	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭が概ね弾性状態に留まること。	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭が概ね弾性状態に留まること。
	逆T擁壁			構造部材の健全性を保持するために、逆T擁壁が概ね弾性状態に留まること。	止水目地の支持機能を喪失して逆T擁壁間から有意な漏えいを生じないために、逆T擁壁が概ね弾性状態に留まること。
	止水目地			逆T擁壁から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	逆T擁壁から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形・遮水性能を保持すること。
地盤	改良地盤	-	-	鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと。 (内的安定を保持)	地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性を保持）するため改良地盤がすべり破壊しないこと。（内的安定を保持）
	岩盤	鋼管杭を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	-	-

4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（6/6）

- 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。
- 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)	健全性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	止水性※1 (透水性，難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭	-	-	曲げ・せん断 (降伏モーメント（曲げ）及びせん断応力度（せん断）)	
	逆T擁壁			曲げ・せん断 (短期許容応力度以下)	
	止水目地			変形 (許容変形量以下)	変形・水圧 (許容変形量・許容水圧以下)
地盤	改良地盤	-	-	すべり安全率※3 (1.2以上)	
	岩盤	支持力 (極限支持力度)	すべり安全率（基礎地盤）※2 (1.5以上)	-	-

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

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

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

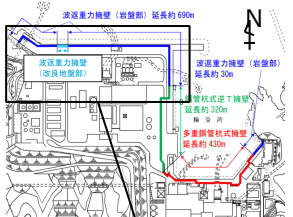
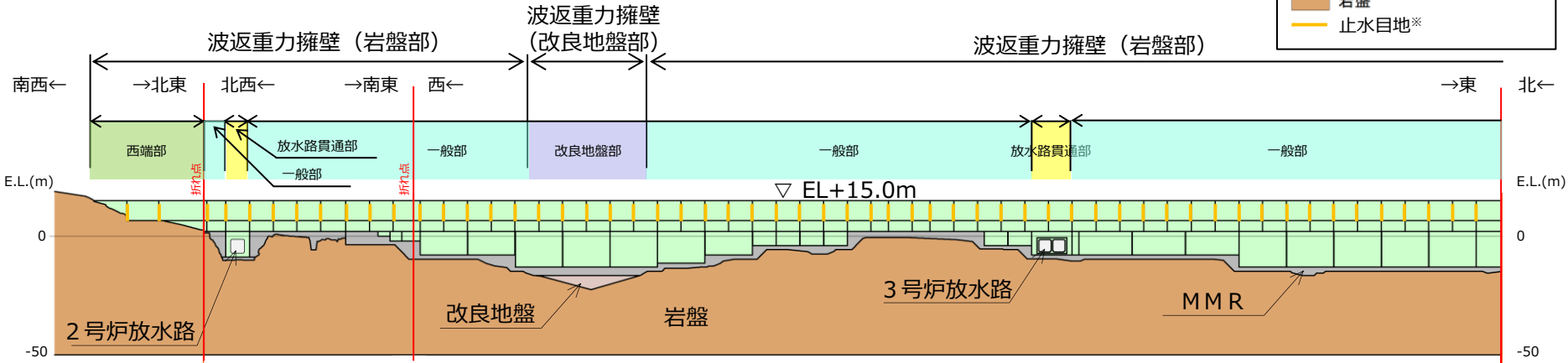
4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（1 / 6）

- 防波壁（波返重力擁壁）については、3号炉北側及び防波壁両端部に配置した。3号炉北側についてはケーソンを介して岩盤上に設置し、防波壁両端部は地山岩盤に直接設置した。
- 一部、砂礫層が介在する箇所に対して高圧噴射攪拌工法により地盤改良を実施した。

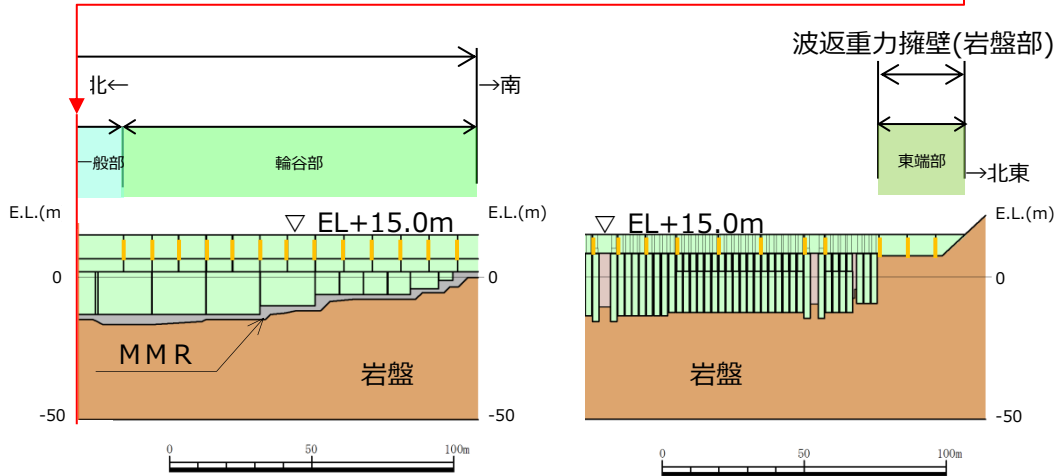
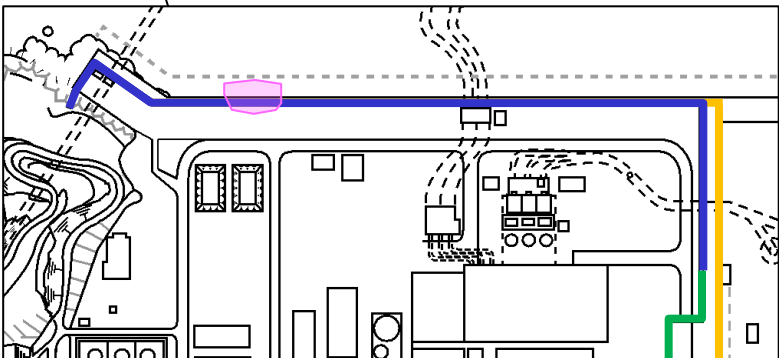
凡例

	改良地盤
	防波壁
	MMR・コンクリート構造物
	岩盤
	止水目地※



凡例

	鋼管杭式逆T擁壁
	波返重力擁壁
	施設護岸
	改良地盤



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。

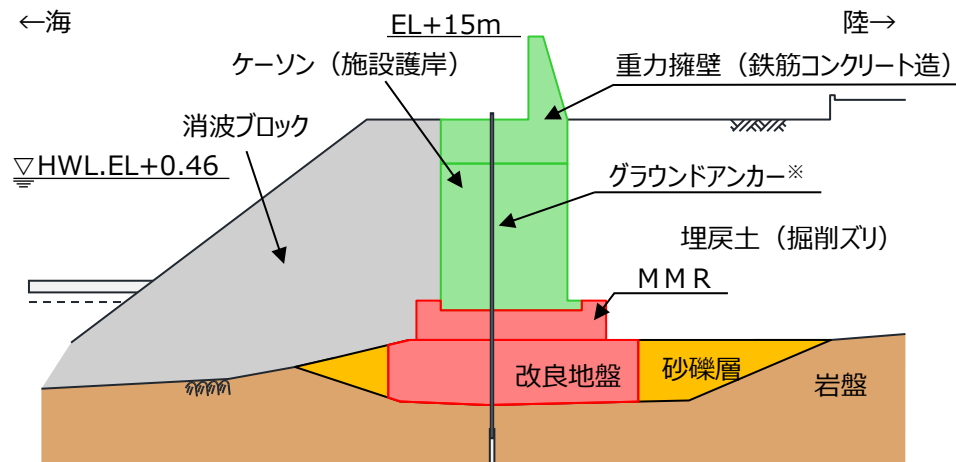
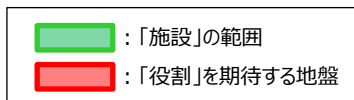
4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（2/6）

- 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。

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、地盤内にすべり線を想定し、安定性を確認する。
第4条（地震による損傷の防止）	<ul style="list-style-type: none"> 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮した上で、施設の耐震安全性を確認する。
第5条（津波による損傷の防止）	<ul style="list-style-type: none"> 地震（本震及び余震）による影響を考慮した上で、機能を保持できることを確認する。 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。



波返重力擁壁（改良地盤部）の「施設」・「地盤」の範囲

※ 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。

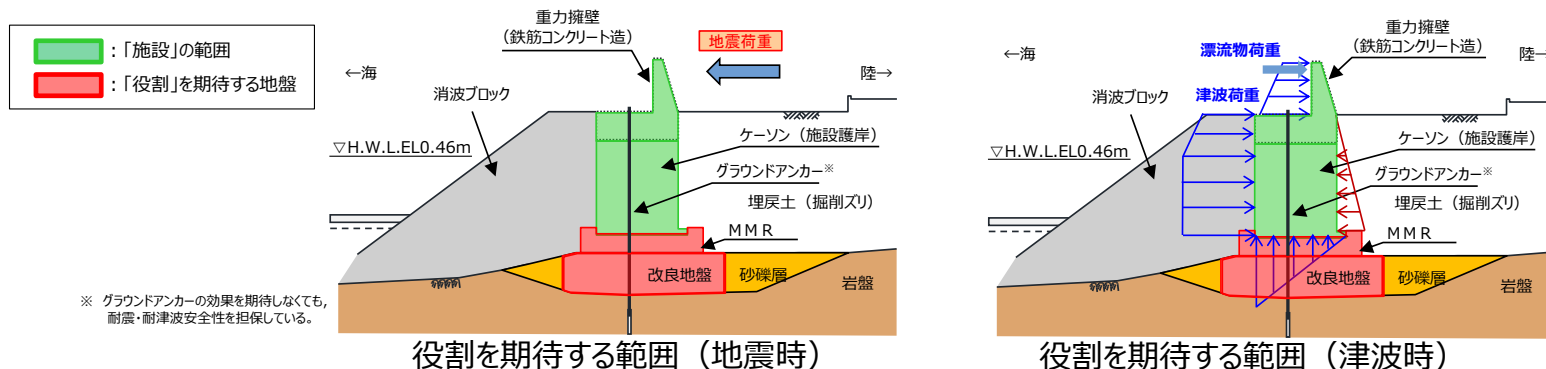
4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（3/6）

- 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。
- 地震時において、埋戻土（掘削ズリ）は、地震荷重作用方向により、地盤反力として寄与する場合、土圧として荷重作用する可能性があることから、適切にモデル化して地震応答解析を実施することにより、その影響を考慮する。一方で、津波時において、埋戻土（掘削ズリ）は、津波荷重に対して地盤反力として寄与することから、適切にモデル化して津波時解析を実施する。

防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	重力擁壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・重力擁壁間の変位に追従する。	・重力擁壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
	ケーソン	・重力擁壁を支持する。	・重力擁壁を支持する。
地盤	MMR	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	岩盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。
	埋戻土（掘削ズリ）、 砂礫層	・地震荷重の作用方向が陸側方向の場合、地盤反力として寄与する（一方で、地震荷重の作用方向が海側方向の場合、土圧として作用する）。	・津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。



4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（4/6）

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

4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（5/6）

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

4. 設置許可基準規則への適合性について 4.2 条文に対する検討要旨

4.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（6/6）

- 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。
- 「港湾構造物設計事例集（平成30年改訂版）（（一財）沿岸技術研究センター）」によると、護岸施設の地震応答解析において、ケーソン全体に対してコンクリートの解析用物性値（ヤング率等）を設定している。
- 島根2号炉ケーソンについても躯体を構築して中詰材（銅水砕スラグ等）を充填した後に蓋コンクリートで密閉する構造であることから、港湾構造物設計事例集におけるケーソンの躯体コンクリートと中詰材が一体挙動を示す考え方に準拠し、躯体コンクリート強度に応じた剛性でケーソン全体の解析用物性値を設定して地震応答解析を実施し、発生せん断応力度を算定する。ケーソンの津波防護施設としての健全性・止水性については発生せん断応力度が短期許容応力度以下であることにより確認する。これについては、先行炉と同様の考え方である。また、中詰材によるケーソンの剛性低下を考慮した場合についても、発生せん断応力度への影響は軽微であると判断した。
- なお、施設及び岩盤の各部位の役割や性能目標を長期的に維持していくために必要な保守管理方法を今後検討していく。

各部位の照査項目と許容限界（上段：照査項目、下段：許容限界）

部位		照査項目と許容限界			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	健全性 (第4条)	止水性※1 (透水性, 難透水性) (第5条)
施設	重力擁壁	-	-	曲げ・せん断 (短期許容応力度以下)	
	止水目地			変形 (許容変形量以下)	変形・水圧 (許容変形量・許容水圧以下)
	ケーソン			せん断 (短期許容応力度以下)	
地盤	MMR	支持力 (極限支持力度)	すべり安全率（基礎地盤）※2 (1.5以上)	すべり安全率※3	
	改良地盤			(1.2以上)	
	岩盤			-	

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

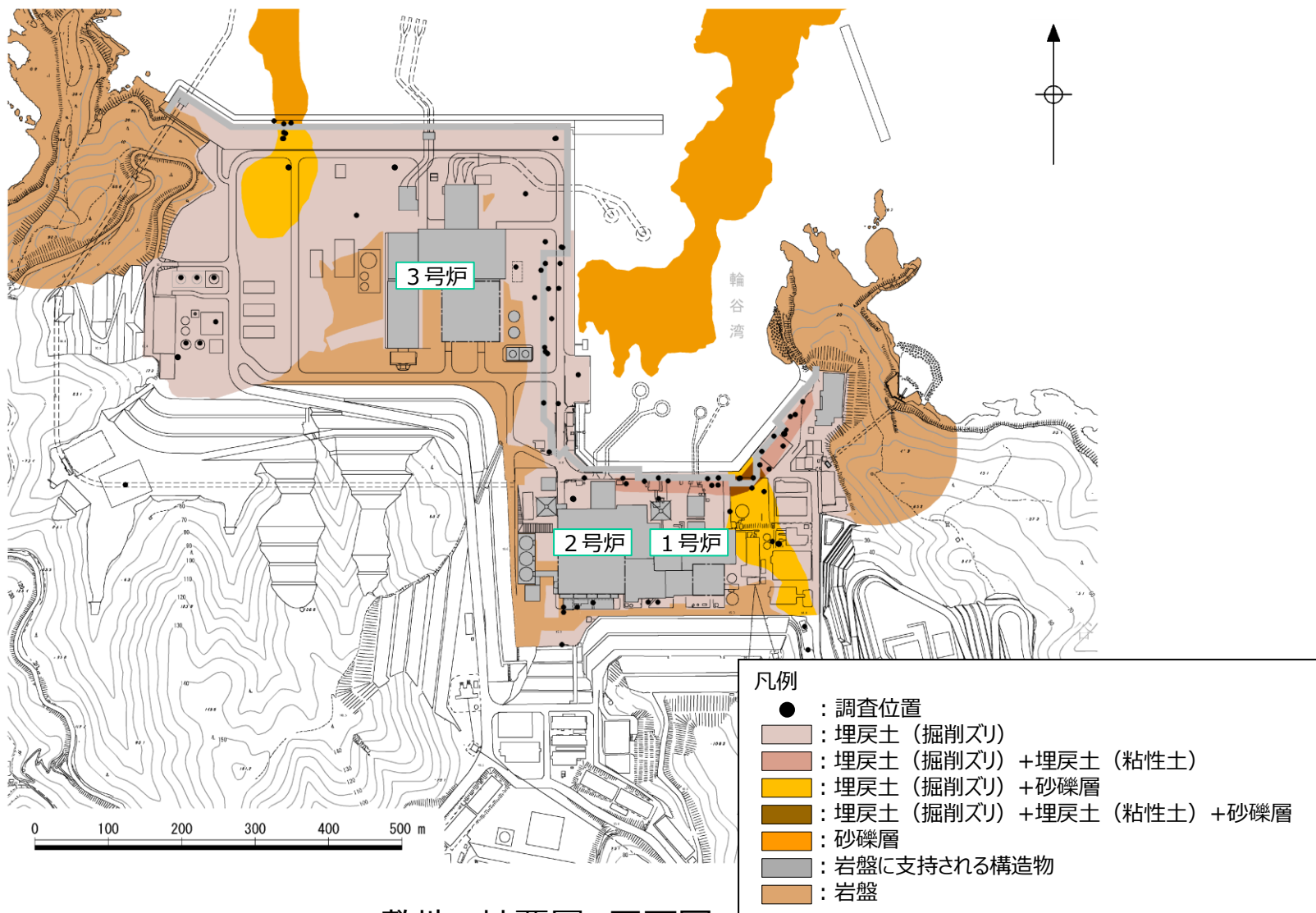
※2 第3条のすべり安全率は施設の外的安定の確認を目的としており、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価結果に係る審査ガイド」に基づいて1.5以上を許容限界とする。

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

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.1 敷地の地層分布状況について

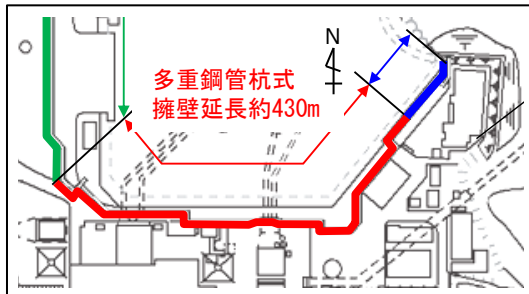
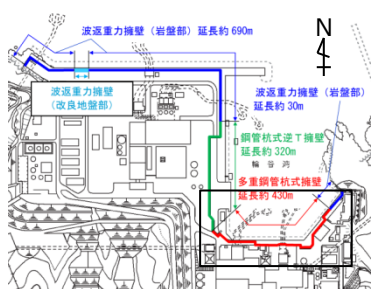
■ 防波壁周辺の被覆層の分布状況及び地山の岩盤の分布状況を以下に示す。



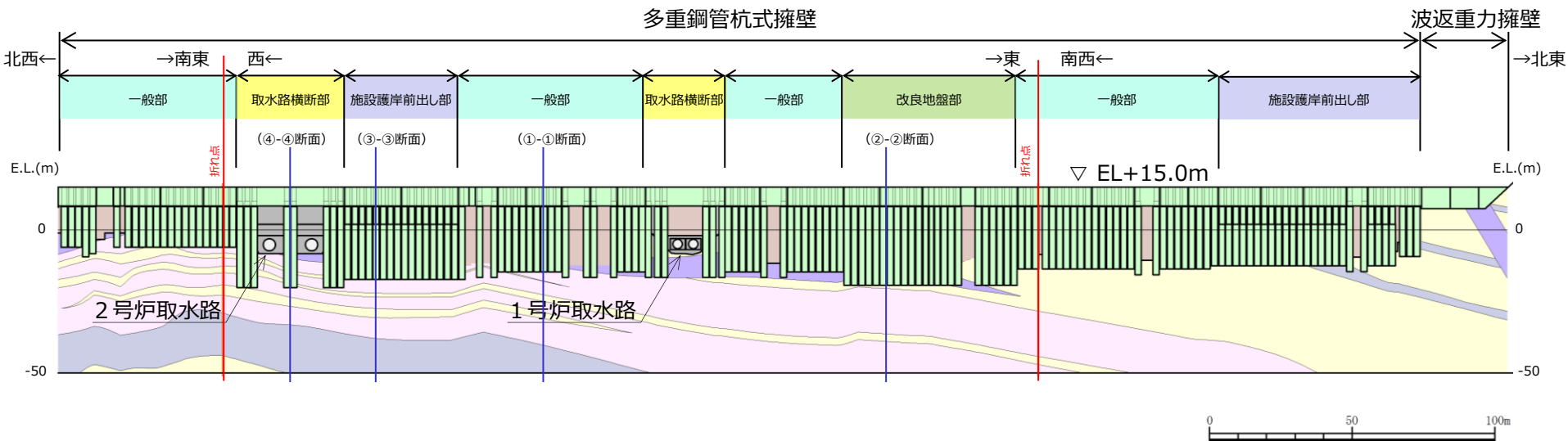
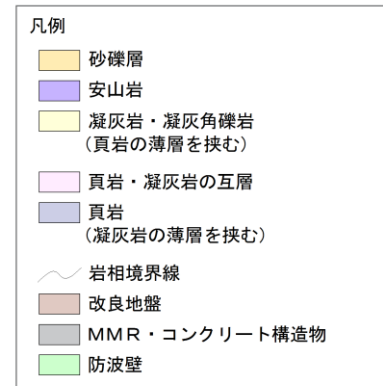
敷地の被覆層 平面図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（1/8）



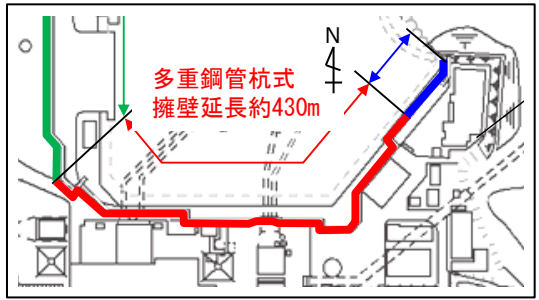
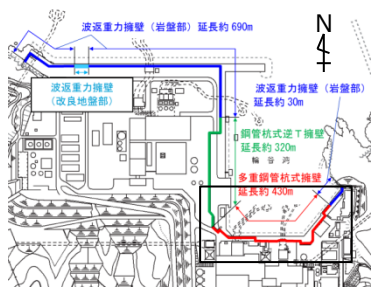
■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の岩相縦断図を以下に示す。



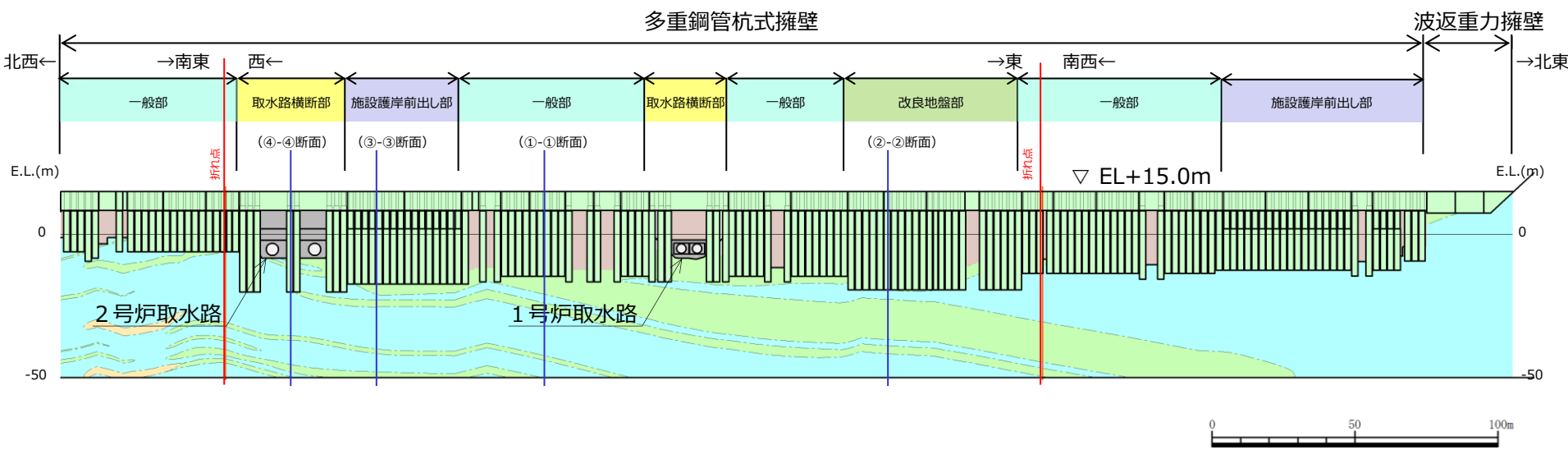
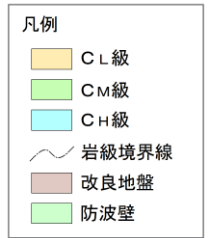
防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 岩相縦断図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（2/8）



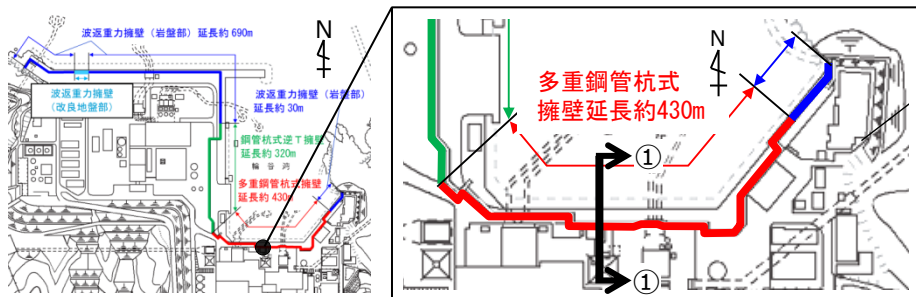
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の岩級縦断図を以下に示す。
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、杭を介して主にCM級及びCH級岩盤に支持されており、縦断方向に応じた地質変化部は存在しない。



防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 岩級縦断図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（3/8）

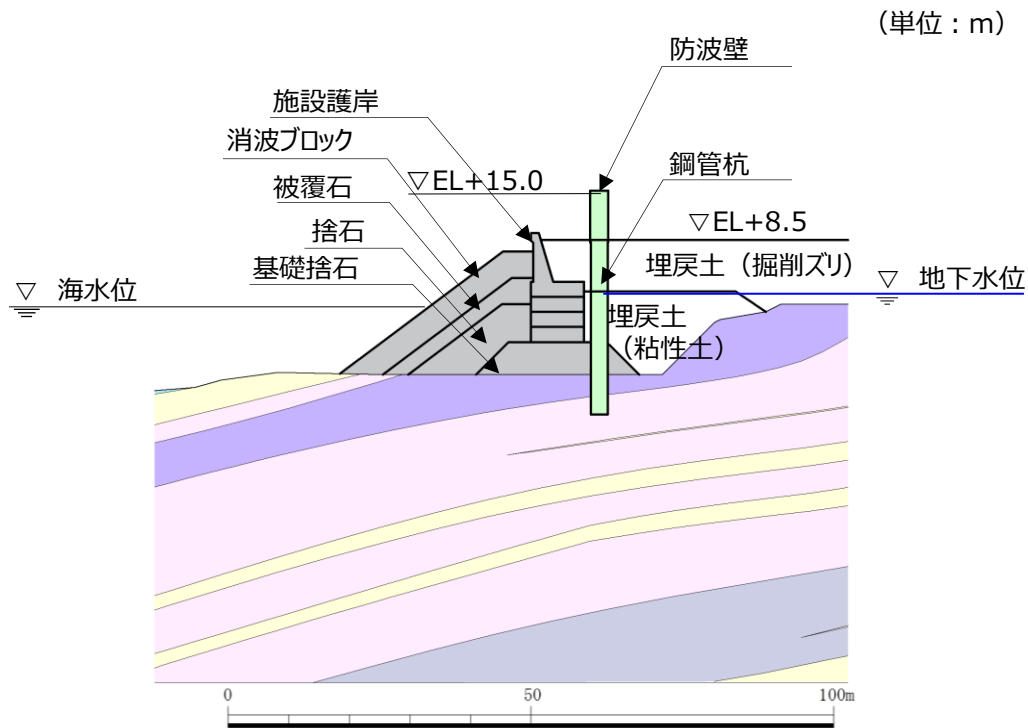


■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）一般部の地質断面図を以下に示す。

■ ①-①断面は、鋼管杭を岩盤に根入れする。また、周辺には埋戻土（掘削ズリ）等が分布している。

凡例

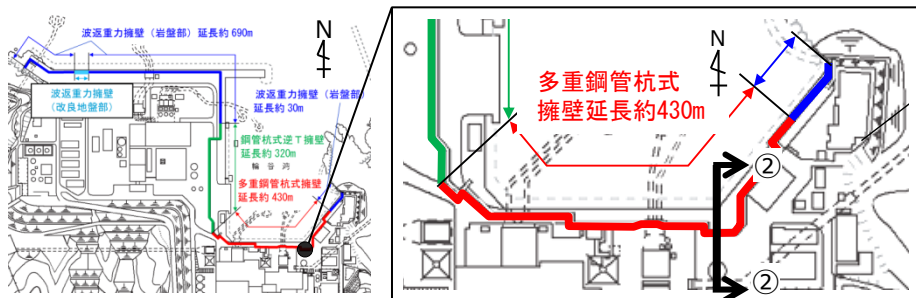
	埋戻土（掘削ズリ、粘性土）
	海底堆積物・風化岩
	安山岩
	凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)
	頁岩・凝灰岩の互層
	頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む)
	岩相境界線
	MMR・コンクリート構造物
	防波壁



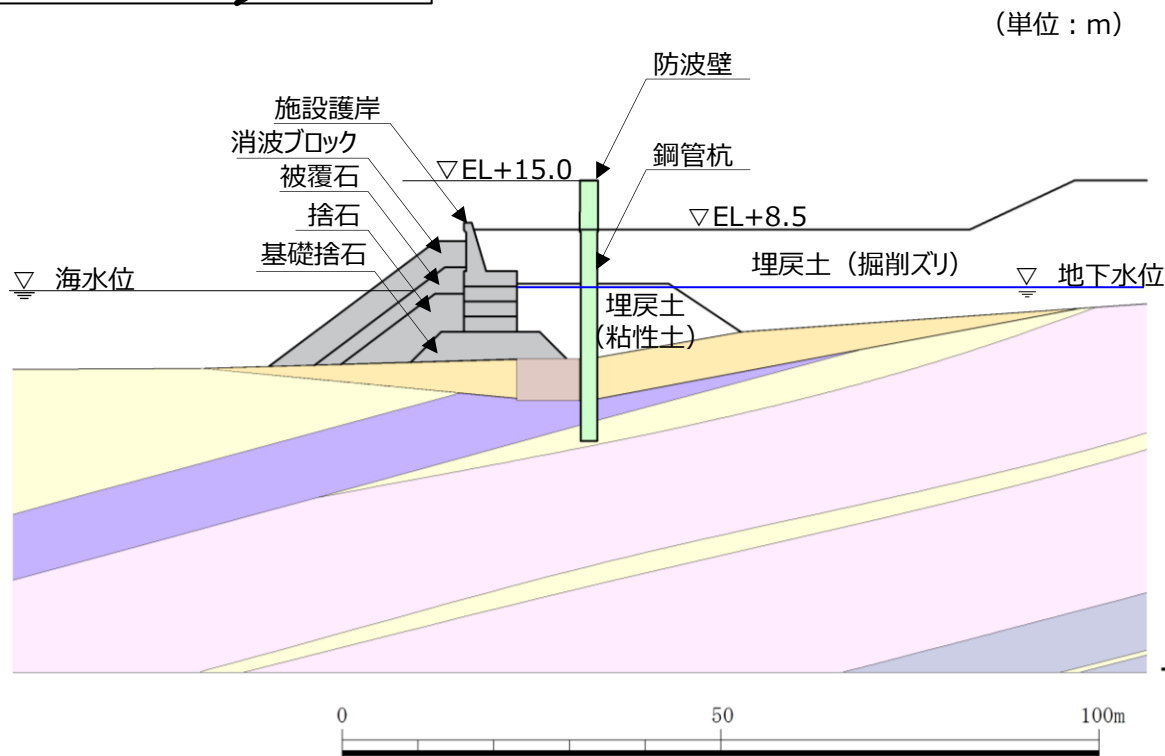
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）一般部（①-①断面）
地質断面図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（4/8）



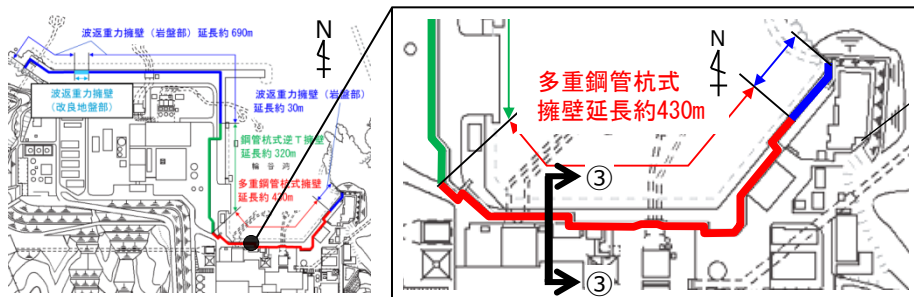
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）改良地盤部の地質断面図を以下に示す。
- ②-②断面は，鋼管杭を岩盤に根入れする。また，周辺には埋戻土（掘削ズリ），砂礫層等が分布している。



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）改良地盤部（②-②断面）
地質断面図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

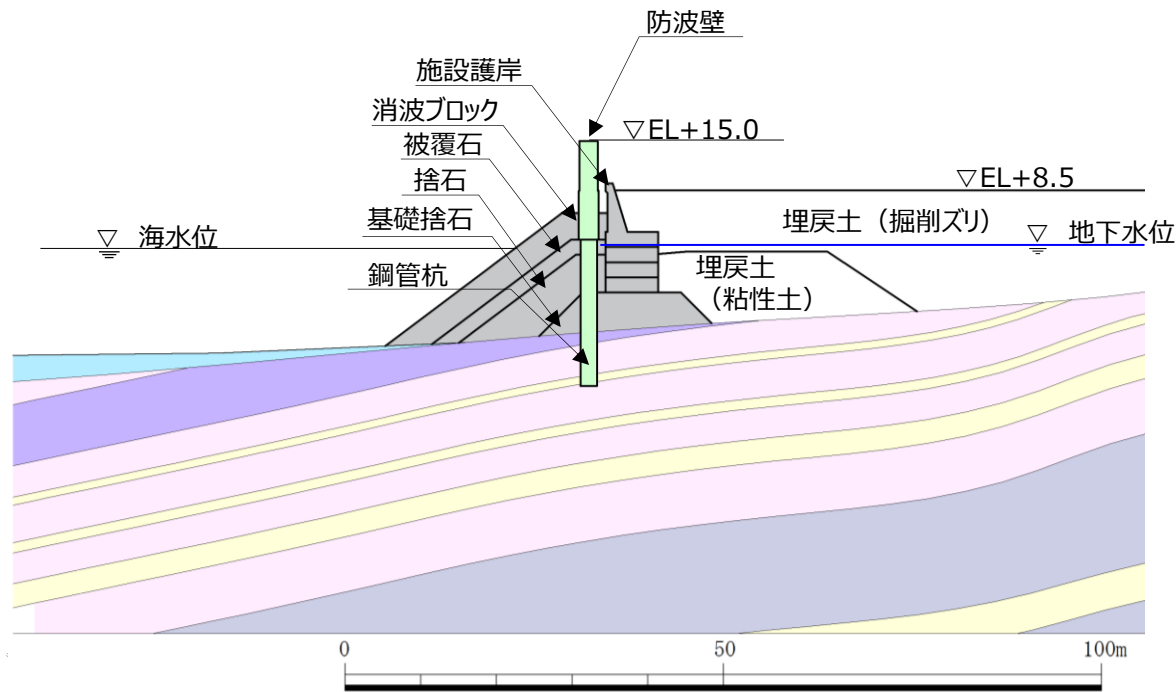
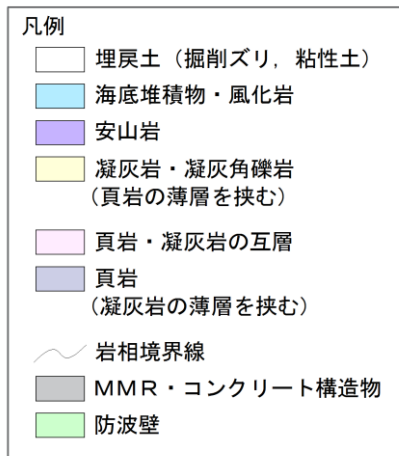
5.2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（5/8）



■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）施設護岸前出し部の地質断面図を以下に示す。

■ ③-③断面は、鋼管杭を岩盤に根入れする。また、周辺には埋戻土（掘削ズリ）等が分布している。

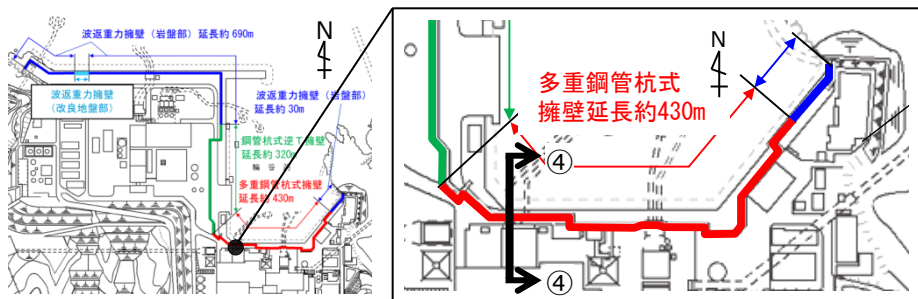
(単位：m)



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）施設護岸前出し部（③-③断面）
地質断面図

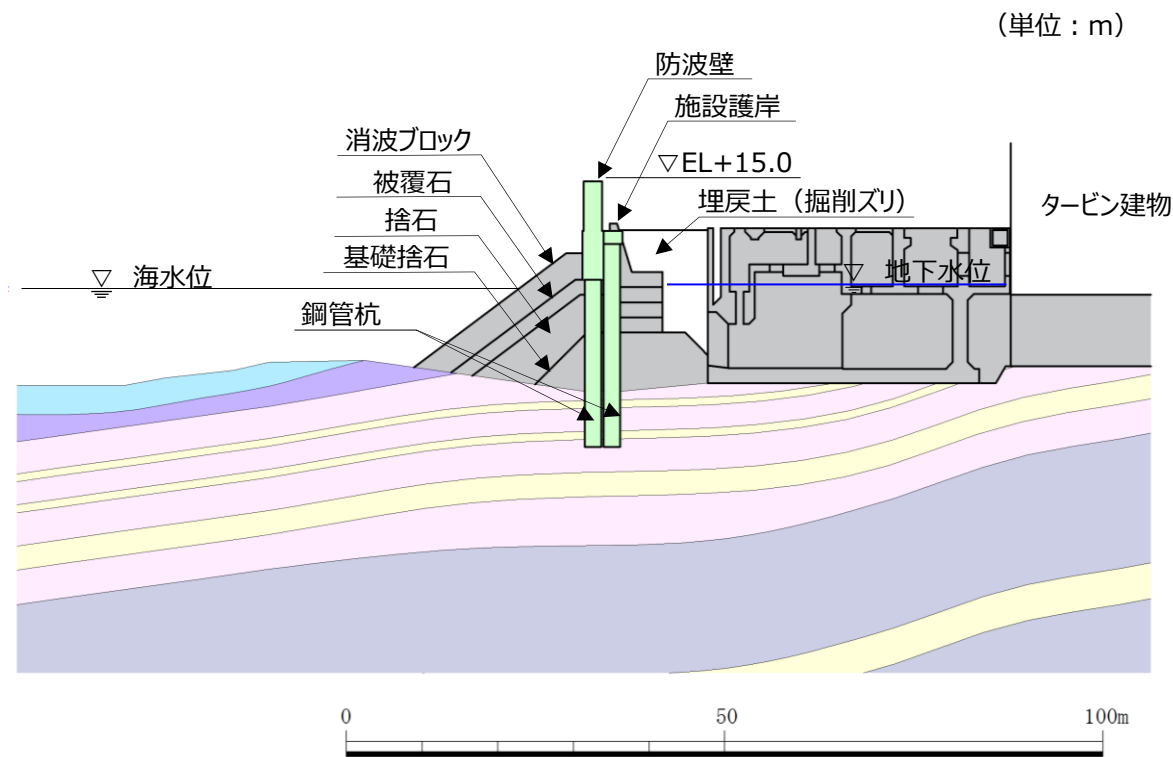
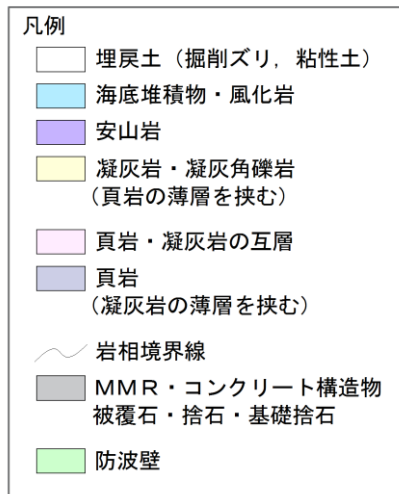
5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（6/8）



■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部の地質断面図を以下に示す。

■ ④-④断面は，鋼管杭を岩盤に根入れする。また，周辺には埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部（④-④断面）
地質断面図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（7/8）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）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。

耐震評価候補断面の整理（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））（1/2）

観点		防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	
		一般部（①-①断面）	改良地盤部（②-②断面）
要求機能		津波防護施設	津波防護施設
①間接支持する設備		・なし	・なし
②構造的特徴	形式	<ul style="list-style-type: none"> ・線状構造物 ・多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭4,5本程度を標準とした壁体を連続して設置している。 ・被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・線状構造物 ・多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭6本程度を標準とした壁体を連続して設置している。 ・被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成されている。
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> ・被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ6.80m ・鋼管杭：φ1.60～2.20m 	<ul style="list-style-type: none"> ・被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ6.80m ・鋼管杭：φ1.60～2.20m
③周辺状況	周辺地質	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にCM級岩盤に打設し、支持されている。 ・周辺地質は、埋戻土（掘削ズリ）及び埋戻土（粘性土）が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：18.1m 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にCM級岩盤に打設し、支持されている。 ・周辺地質は、埋戻土（掘削ズリ）及び埋戻土（粘性土）が分布し、基礎捨石の下側に改良地盤及び砂礫層が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：22.9m
	地下水位※	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。
	隣接構造物	・北側に施設護岸が隣接する。	・北側に施設護岸が隣接する。
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。	
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。	

※ 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。

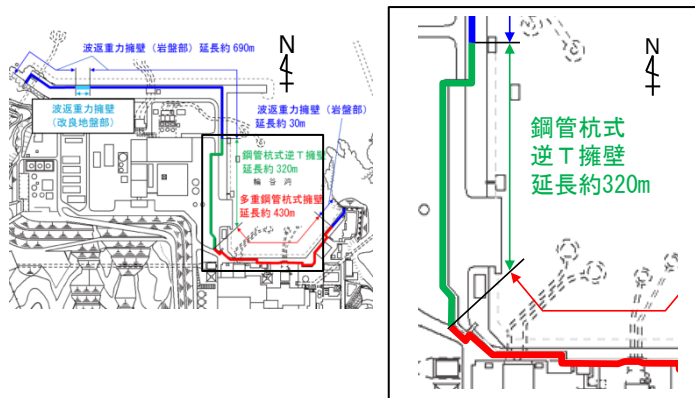
耐震評価候補断面の整理（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））（2/2）

観点		防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	
		施設護岸前出し部（③-③断面）	取水路横断部（④-④断面）
要求機能		津波防護施設	津波防護施設
①間接支持する設備		・なし	・なし
②構造的特徴	形式	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭8本程度を標準とした壁体を連続して設置している。 被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭16本程度による壁体を設置している。 被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成されている。
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ13.00m 鋼管杭：φ1.60～2.20m 	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ13.00m 鋼管杭：φ1.60～2.20m（海側、陸側に2列配置）
③周辺状況	周辺地質	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にCM級岩盤に打設し、支持されている。 周辺地質は、埋戻土（掘削ズリ）及び埋戻土（粘性土）が分布している。 地表面から岩盤までの深さ：20.8m 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を根入れ深さ7.0m程度で主にCM級及びCH級岩盤に打設し、支持されている。 周辺地質は、埋戻土（掘削ズリ）が分布している。 地表面から岩盤までの深さ：16.8m
	地下水位※	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。
	隣接構造物	・南側に施設護岸が隣接する。	・南側に施設護岸が隣接する。
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。	
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。	

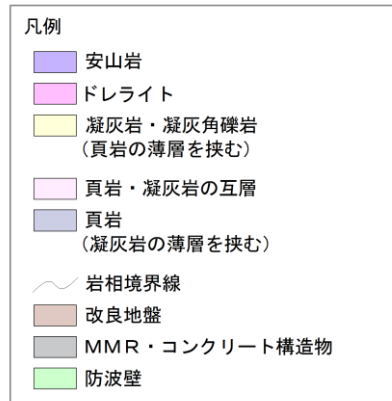
※ 地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえて詳細設計段階で設定する。

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

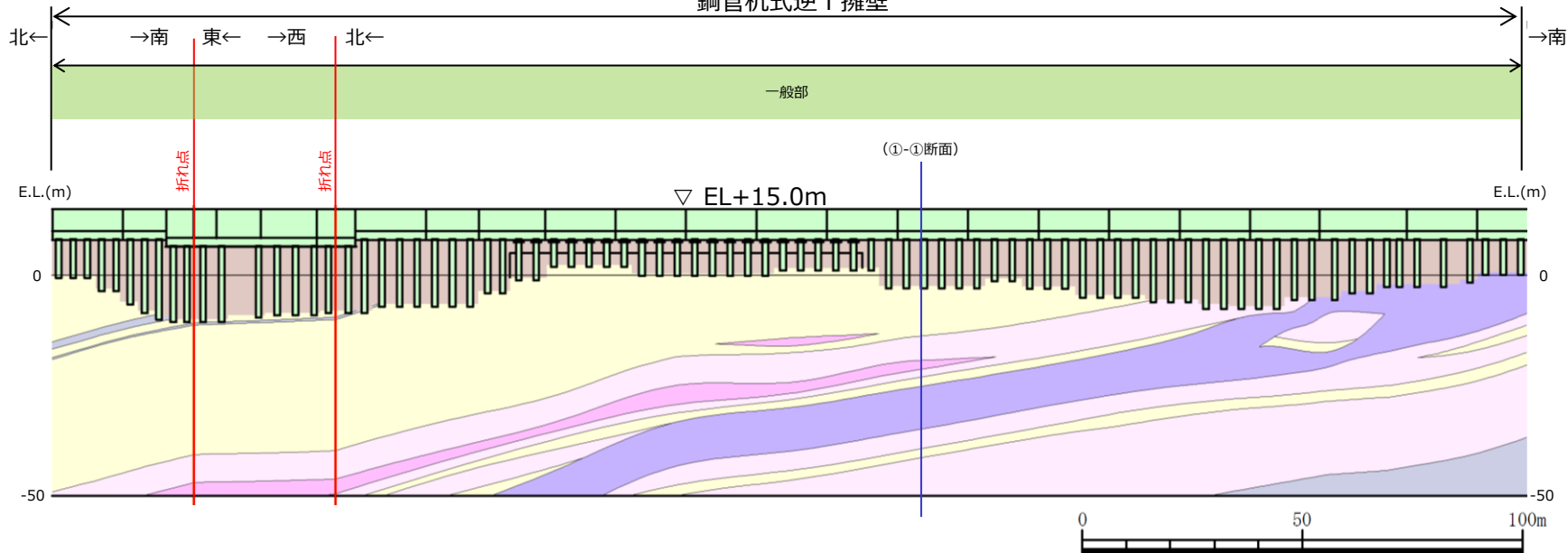
5.3 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（1/4）



■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の岩相縦断図を以下に示す。



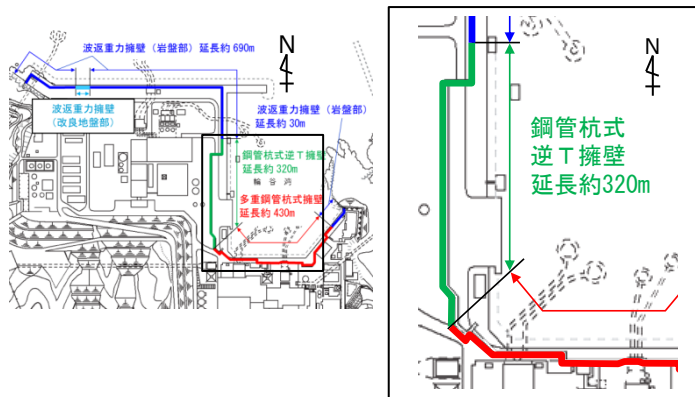
鋼管杭式逆T擁壁



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 岩相縦断図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

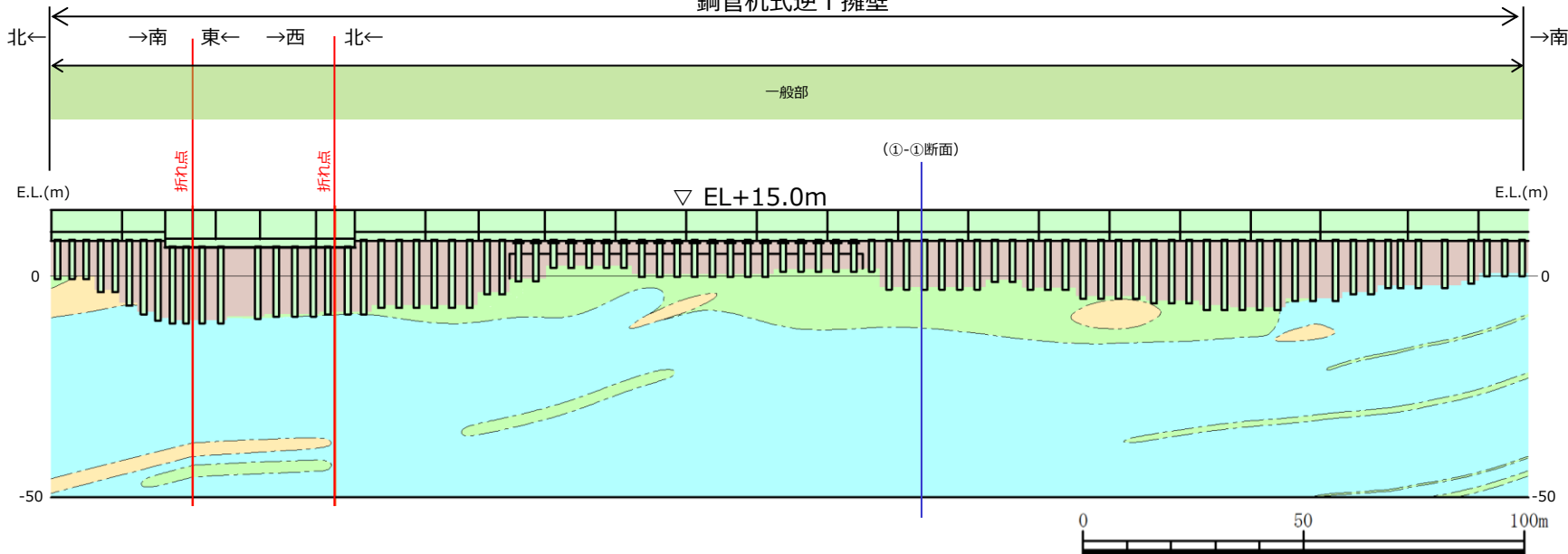
5.3 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（2/4）



- 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、杭を介して主にCM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。

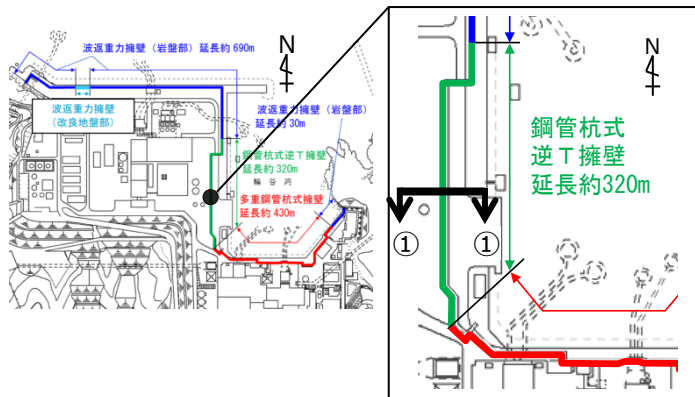


鋼管杭式逆T擁壁



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 岩級縦断面図

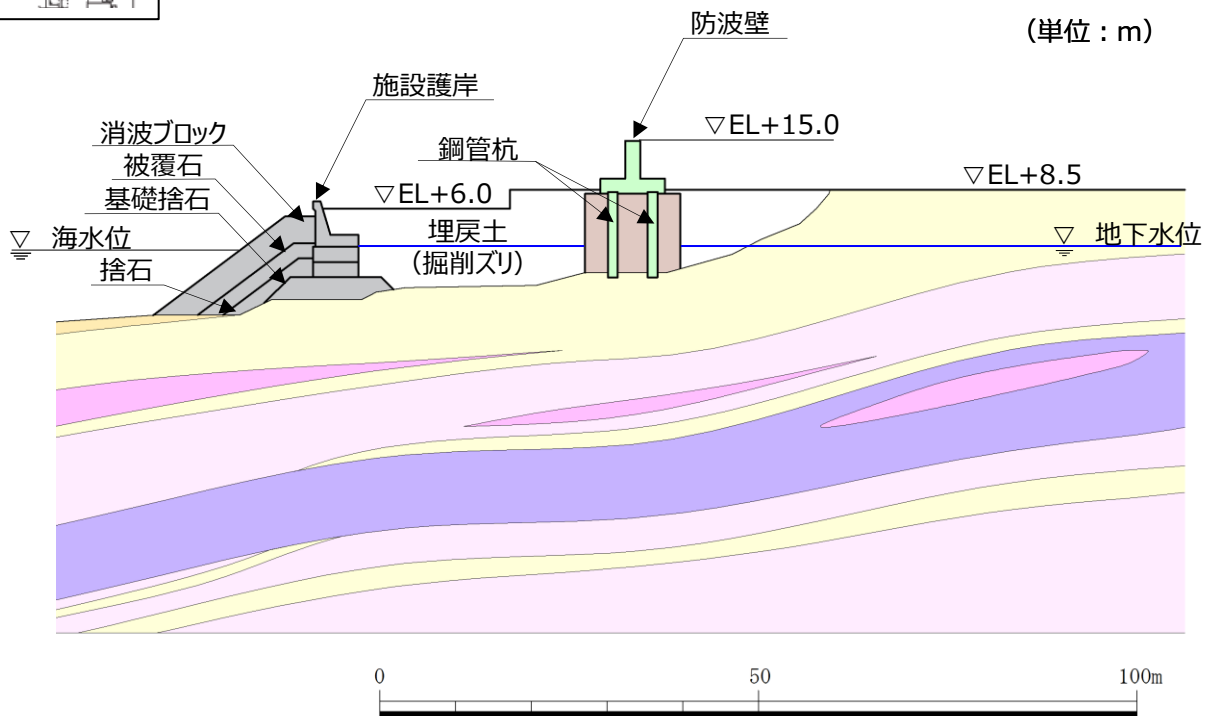
5.3 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（3/4）



- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）一般部の地質断面図を以下に示す。
- ①-①断面は、鋼管杭を岩盤に根入れする。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）一般部（①-①断面）
地質断面図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.3 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（4/4）

- 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。

耐震評価候補断面の整理（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））

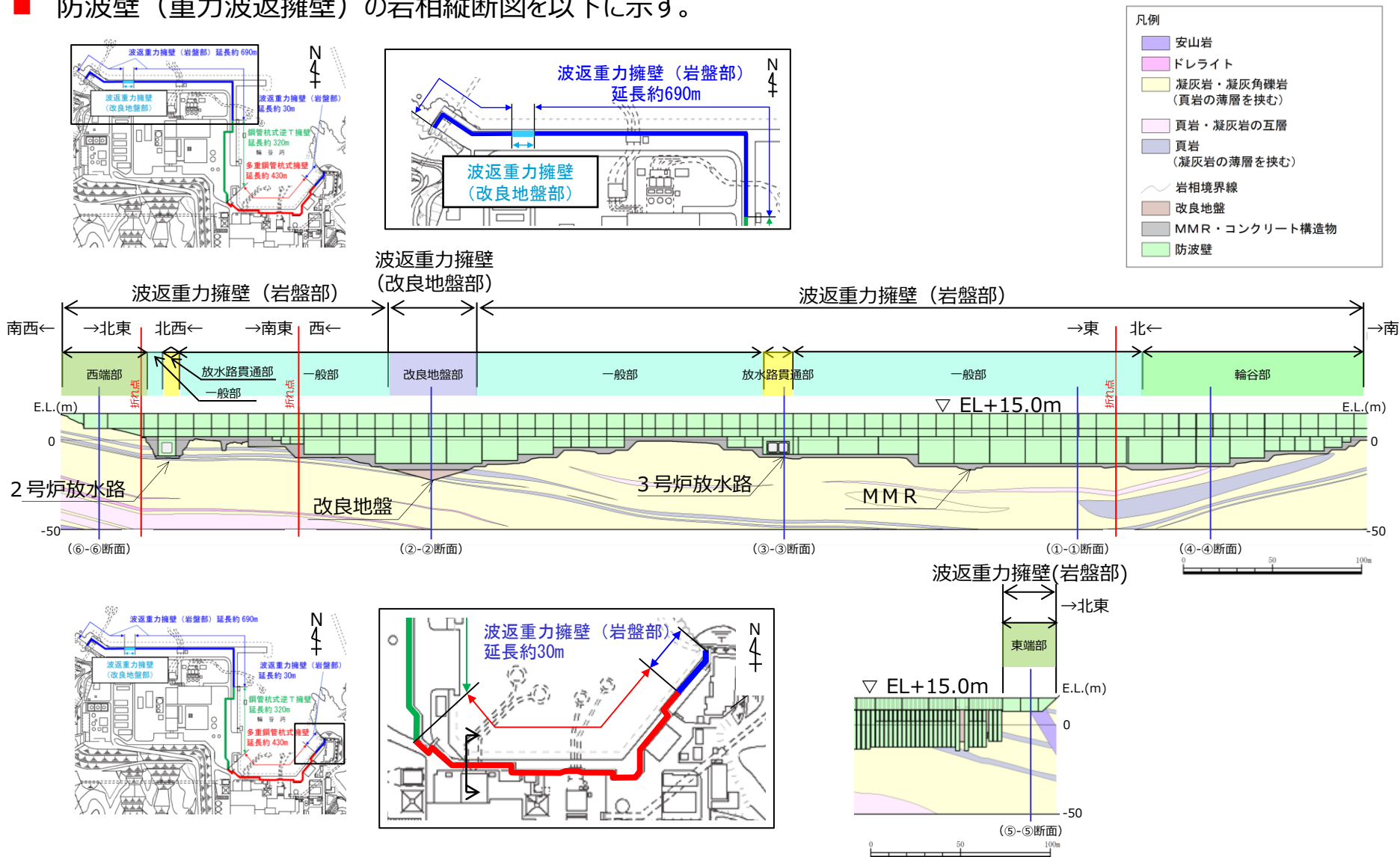
観点		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）
		一般部（①-①断面）
要求機能		津波防護施設
①間接支持する設備		・なし
②構造的特徴	形式	・線状構造物 ・鉄筋コンクリート構造物 ・鋼管杭6本又は10本を1ブロックとした壁体を連続して設置する。
	寸法	・逆T擁壁：幅8.5m，高さ7.0m ・鋼管杭：φ1.3m
③周辺状況	周辺地質	・鋼管杭を根入れ0.5m程度で主にCM級岩盤に対して打設し，支持されている。 ・周辺地質は埋戻土（掘削スリ）及び改良地盤が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：10.9m
	地下水位※	・解析結果等を踏まえて整理する。
	隣接構造物	・北側に施設護岸が隣接する。
④地震力特性		・観点③での整理のとおり，周辺地質の差はないため，観点④での断面選定は不要である。
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。

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

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.4 防波壁（波返重力擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（1/10）

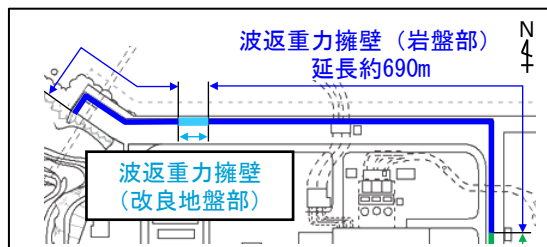
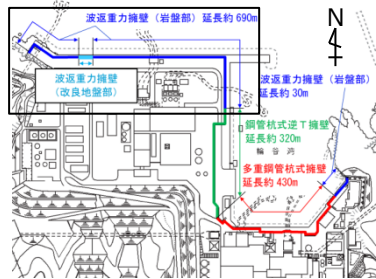
■ 防波壁（重力波返擁壁）の岩相縦断図を以下に示す。



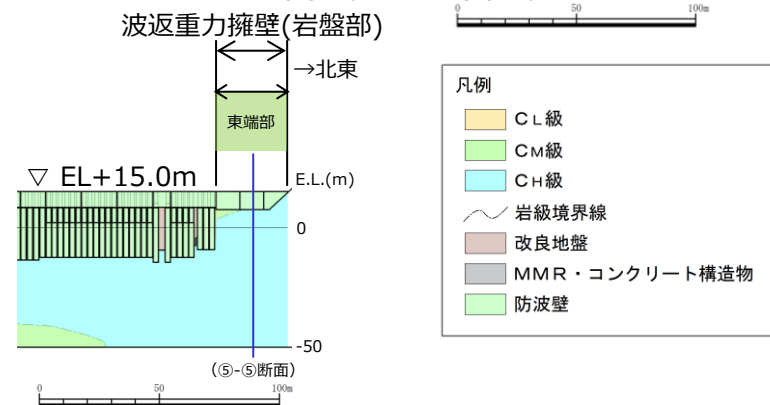
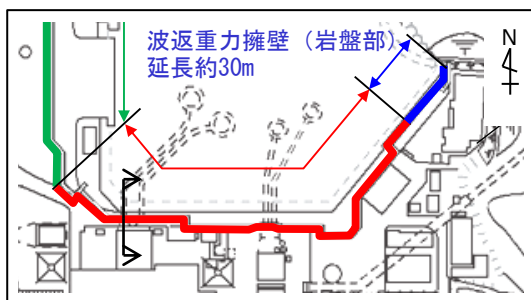
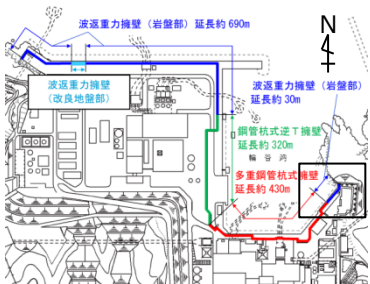
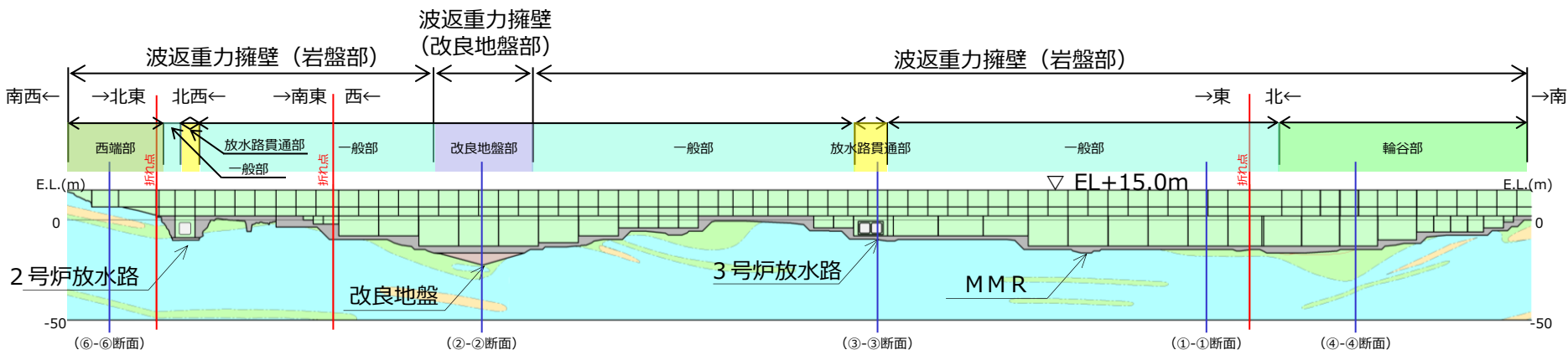
防波壁（波返重力擁壁）岩相縦断図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.4 防波壁（波返重力擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（2/10）



- 防波壁（重力波返擁壁）の岩級縦断図を以下に示す。
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、直接又はケーソンを介して主にCM級及びCH級岩盤に支持されており、縦断方向に応じた地質変化部は存在しない。



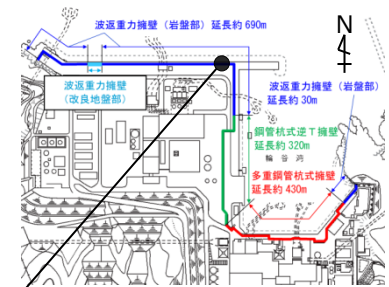
凡例

	C L 級
	C M 級
	C H 級
	岩級境界線
	改良地盤
	MMR・コンクリート構造物
	防波壁

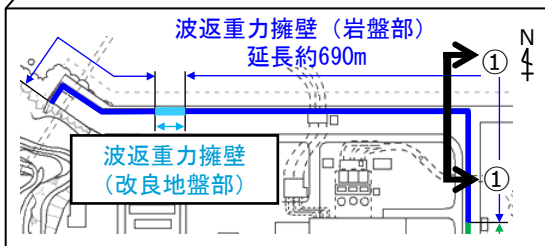
防波壁（波返重力擁壁）岩級縦断図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.4 防波壁（波返重力擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（3/10）

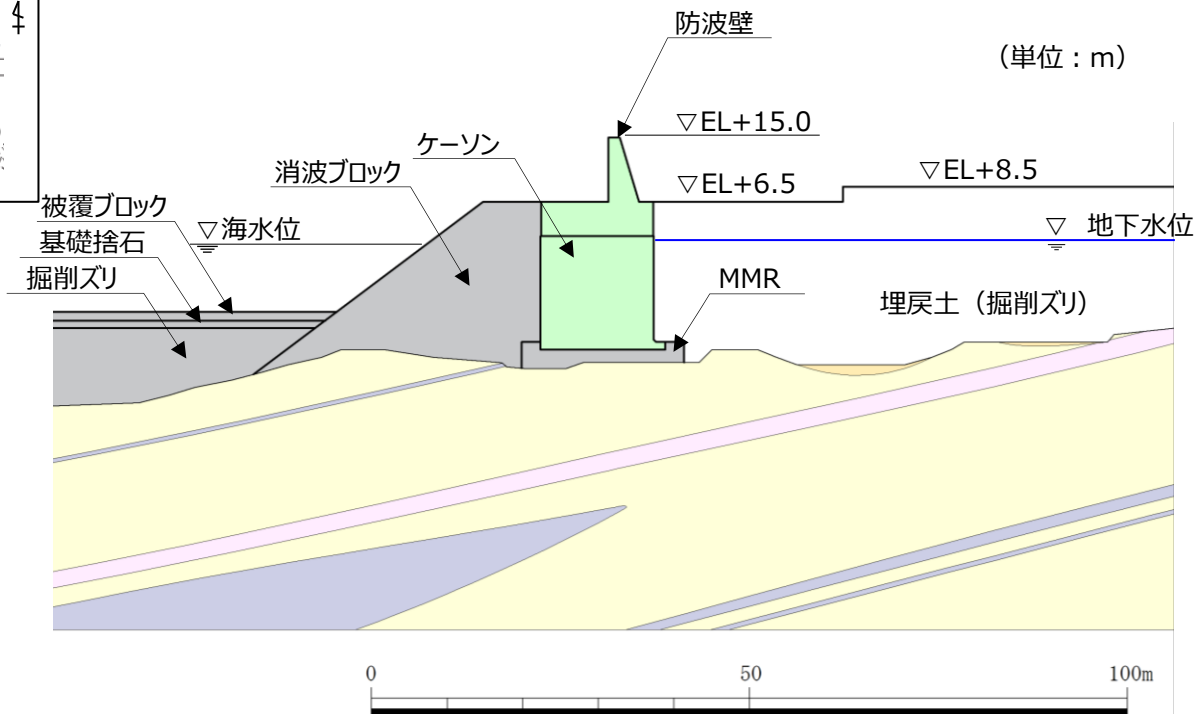


- 防波壁（重力波返擁壁）一般部の地質断面図を以下に示す。
- ①-①断面は、岩盤上にケーソンを介して重力擁壁を設置する。また、背面の周辺地盤には埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



凡例

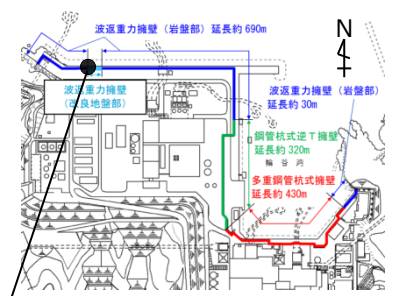
	埋戻土（掘削ズリ）
	砂礫層
	凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)
	頁岩・凝灰岩の互層
	頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む)
	岩相境界線
	MMR・コンクリート構造物
	防波壁



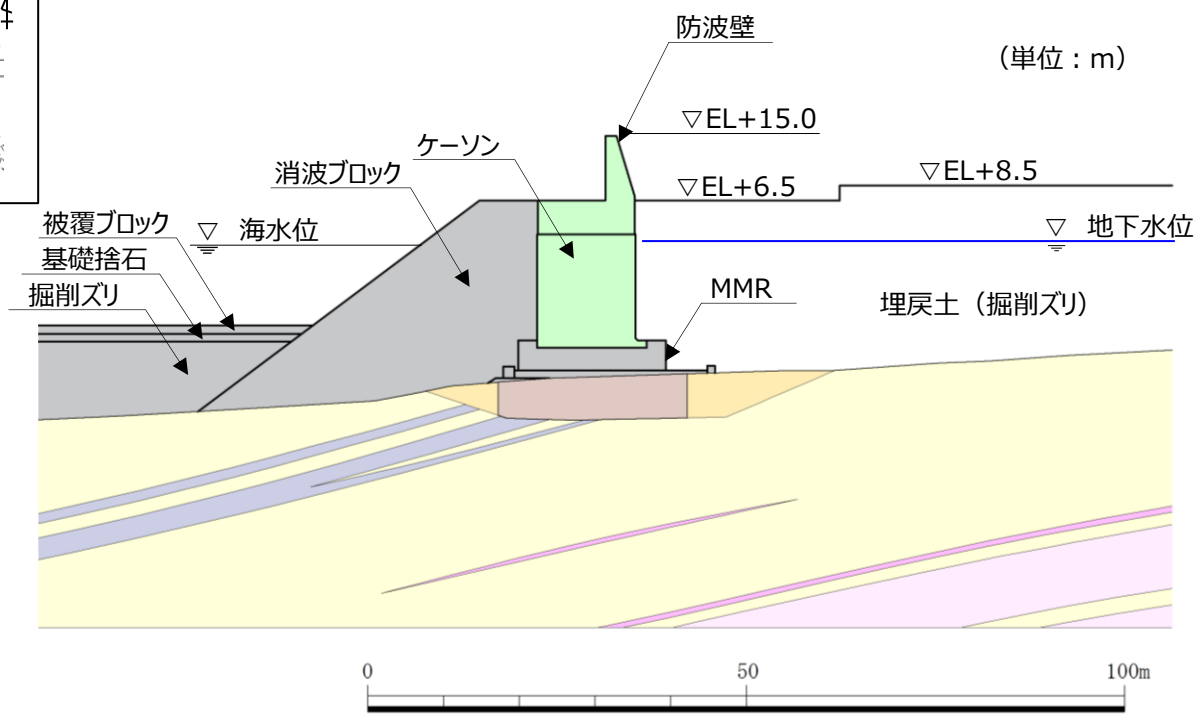
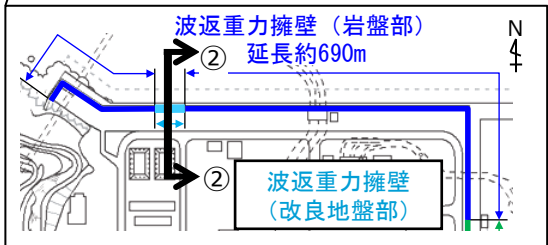
防波壁（波返重力擁壁）一般部（①-①断面）
地質断面図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.4 防波壁（波返重力擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（4/10）



- 防波壁（重力波返擁壁）改良地盤部の地質断面図を以下に示す。
- ②-②断面は、岩盤上の砂礫層を高圧噴射攪拌工法により地盤改良し、その上部にケーソンを介して重力擁壁を設置する。また、背面の周辺地盤には埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



防波壁（波返重力擁壁）改良地盤部（②-②断面）地質断面図

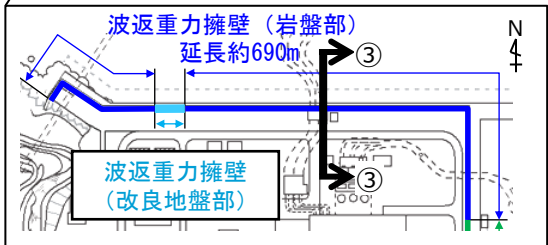
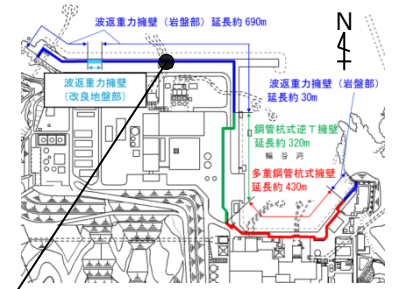
凡例

	埋戻土（掘削ズリ）
	砂礫層
	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
	防波壁

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

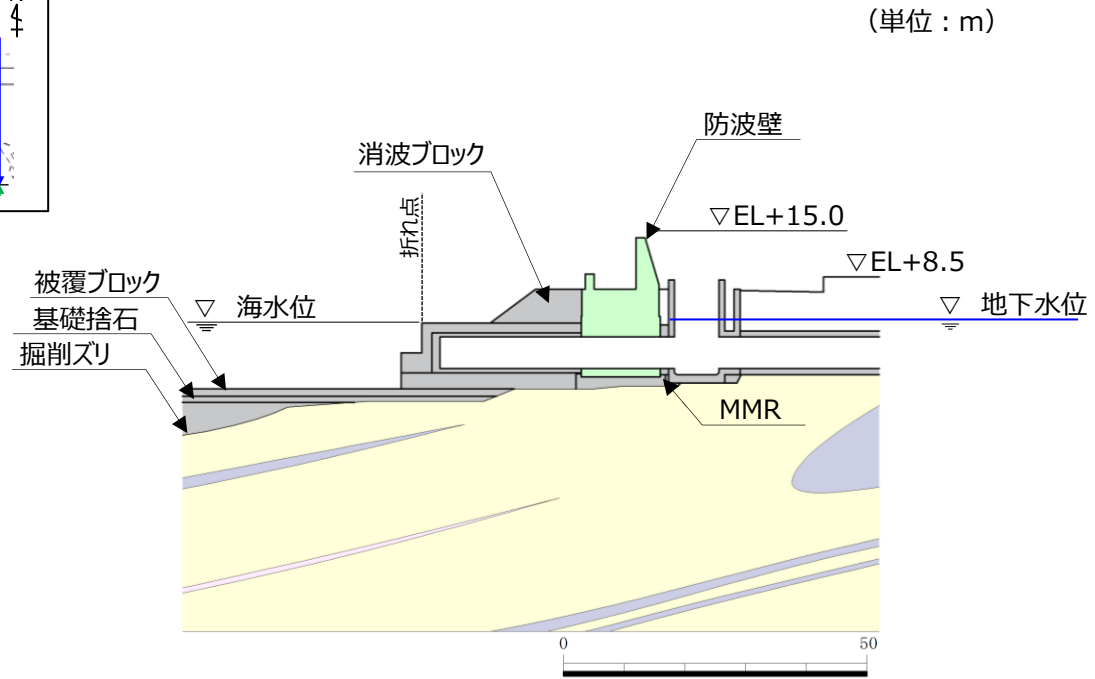
5.4 防波壁（波返重力擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（5/10）

- 防波壁（重力波返擁壁）放水路貫通部の地質断面図を以下に示す。
- ③-③断面は，防波壁下部のケーソンを3号炉放水路が貫通している。



凡例

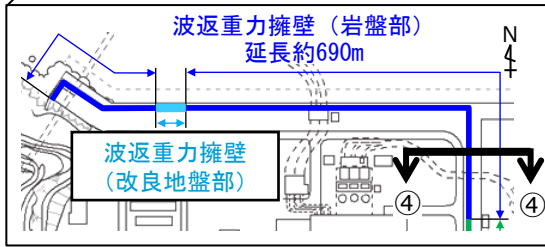
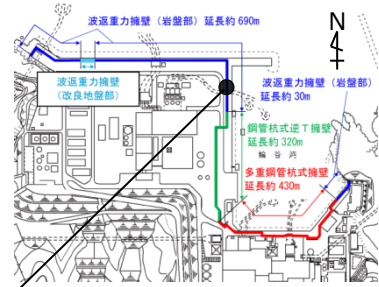
	凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)
	頁岩・凝灰岩の互層
	頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む)
	岩相境界線
	MMR・コンクリート構造物
	防波壁



防波壁（波返重力擁壁）放水路貫通部（③-③断面）
地質断面図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

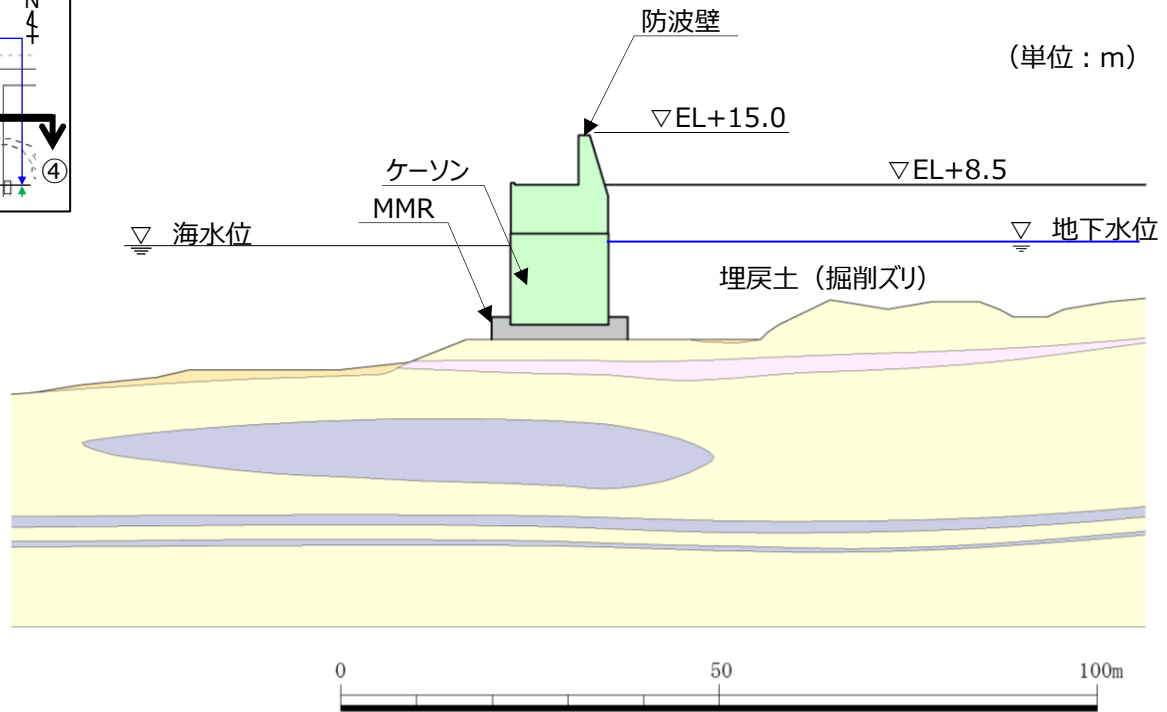
5.4 防波壁（波返重力擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（6/10）



凡例

	埋戻土（掘削ズリ）
	砂礫層
	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
	MMR・コンクリート構造物
	防波壁

- 防波壁（重力波返擁壁）輪谷部の地質断面図を以下に示す。
- ④－④断面は，岩盤上にケーソンを介して重力擁壁を設置する。また，背面の周辺地盤には埋戻土（掘削ズリ）が分布している。

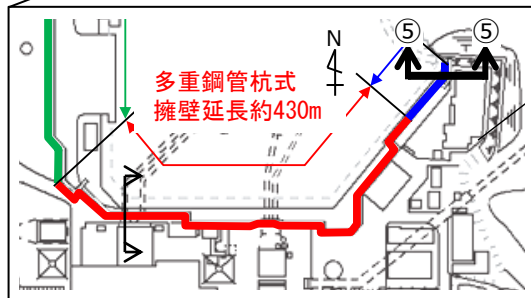
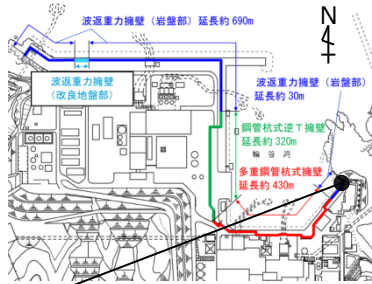


防波壁（波返重力擁壁）輪谷部（④-④断面）
地質断面図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

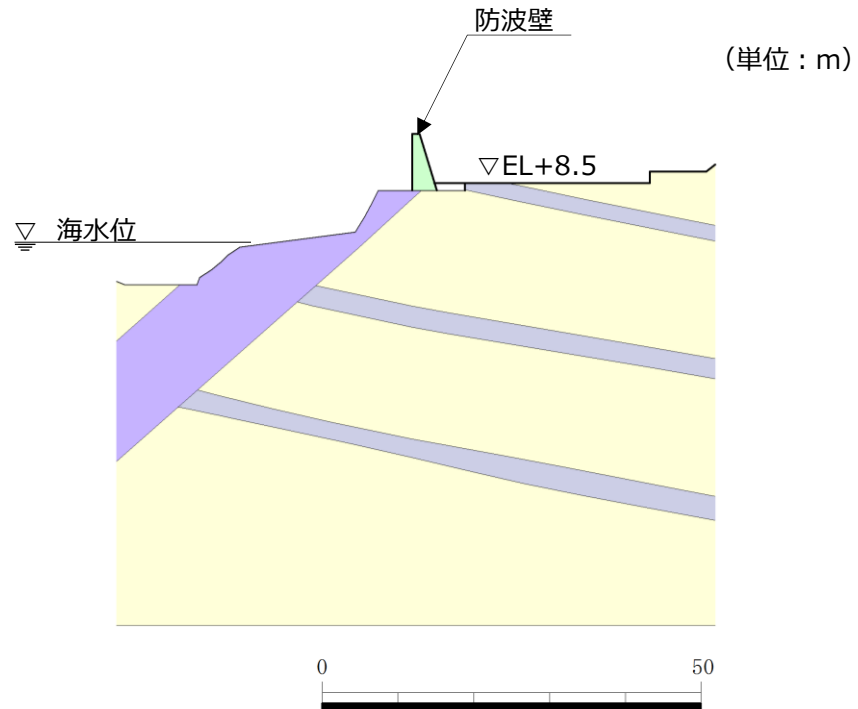
5.4 防波壁（波返重力擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（7/10）

- 防波壁（重力波返擁壁）東端部の地質断面図を以下に示す。
- ⑤-⑤断面は、岩盤上に直接、重力擁壁を設置する。



凡例

	埋戻土（掘削ズリ）
	安山岩
	凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)
	頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む)
	岩相境界線
	防波壁

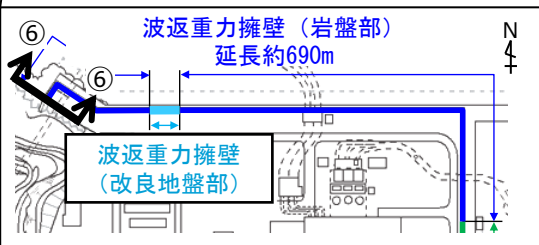
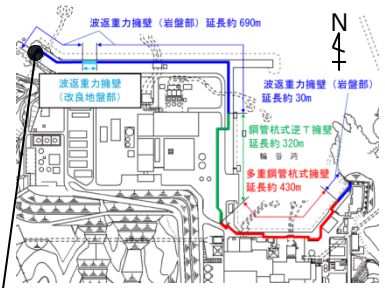


防波壁（波返重力擁壁）東端部（⑤-⑤断面）
地質断面図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

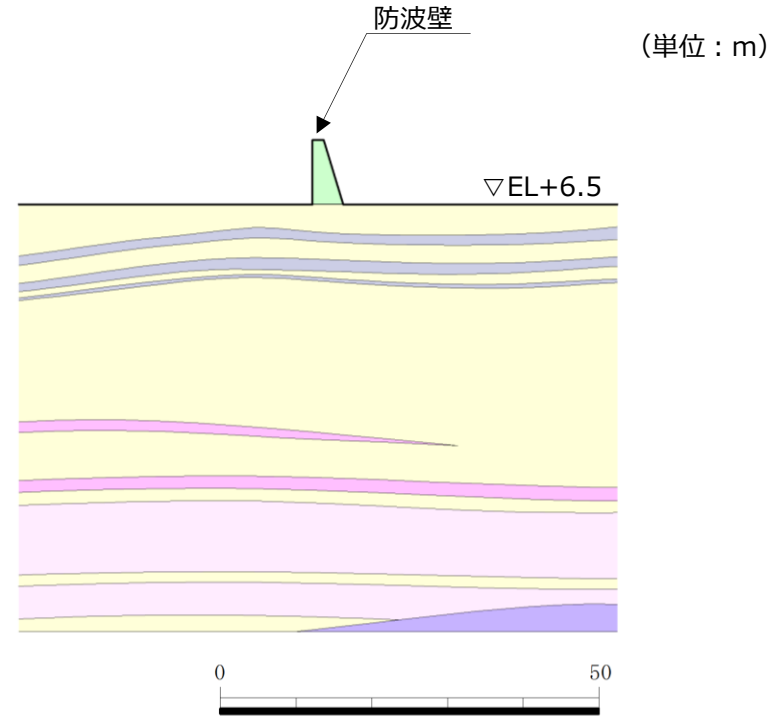
5.4 防波壁（波返重力擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（8/10）

- 防波壁（重力波返擁壁）西端部の地質断面図を以下に示す。
- ⑥-⑥断面は、岩盤上に直接、重力擁壁を設置する。



凡例

	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
	防波壁



防波壁（波返重力擁壁）西端部（⑥-⑥断面）
地質断面図

5. 防波壁の支持地盤・周辺地盤の地質

5.4 防波壁（波返重力擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（9/10）

- 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。

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（掘削ズリ）が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：21.2m	・高圧噴射攪拌工法により地盤改良を実施している改良地盤部が存在する。 ・ケーソンを介して主にCM級岩盤または改良地盤に支持される。 ・周辺地質は、埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：29.0m	・ケーソンを介して主にCH級岩盤に支持される。 ・周辺地質は、埋戻土（掘削ズリ）が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：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	・なし	・なし	・3号炉放水路が防波壁下部のケーソンを貫通する。
④地震力特性		・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。

5.4 防波壁（波返重力擁壁）の支持地盤・周辺地盤の地質（10/10）

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	・線状構造物 ・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置している。	・線状構造物 ・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置している。 ・端部にかけて岩盤に擦り付く。	・線状構造物 ・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置している。 ・端部にかけて岩盤に擦り付く。
	寸法	・幅1.50m ・高さ6.50m（地上部のみ）	・幅1.50m ・高さ7.50m	・幅1.00m ・高さ8.50m
③周辺状況	周辺地質	・ケーソンを介して主にCM級岩盤に支持される。 ・周辺地質は、埋戻土（掘削ズリ）が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：23.2m	・主にCH級岩盤に直接支持される。 ・地表面から岩盤までの深さ：0.0m	・CM級岩盤に直接支持される。 ・地表面から岩盤までの深さ：0.0m
	地下水位※	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。
	隣接構造物	・なし	・なし	・なし
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。		
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。		

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

6. 基本設計方針

6.1.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に関する要求機能と設計評価方針

- 津波防護に関する施設は、津波の発生に伴い、津波防護対象設備がその安全性又は重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないような設計とする。

赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

施設名	要求機能		機能設計			構造強度設計				設計に用いる許容限界																				
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計 (評価方針)	評価対象部位	応力等の状態	損傷モード																					
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	<p>基礎津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド 5.1津波防護施設的设计 津波防護施設については、その構造に及び、波力による侵食及び沈没に対する抵抗力を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるような設計とする。 (1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2)設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分に保持できる設計がなされていることの見直しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。 ①荷重組合せ a)余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ:常時+津波、常時+津波+地震(余震) ②荷重の設定 a)津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する短見(例えば、国交省の暫定指針等)及びその適用性。 b)余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、リザート)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体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、機能損傷に至る場合、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。)基礎地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド 6.3津波防護施設、浸水防止設備等津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること。</p>	<p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。</p>	<p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遊上波に対して、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計及び構造体の境界部等への止水処置により止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。</p>	<p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遊上波に対し、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+11.8mに余裕を考慮した天端高さEL+15.0m)の設定により、敷地前面に設置する設計とする。 ②防波壁の上部構造は、鋼管杭の周囲に設置する鉄筋コンクリート壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。 ③防波壁の杭周辺に改良地盤(薬液注入工)を構築することで杭の変位を抑制し、鉄筋コンクリート壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ④鉄筋コンクリート壁間は、波圧による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s に対し、 ⑤鋼製及びコンクリートの耐性を有する部材を使用することで止水性を保持する設計とする。 ⑥防波壁の杭周辺に、改良地盤(薬液注入工)を構築することで杭の変位を抑制し、鉄筋コンクリート壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ⑦鉄筋コンクリート壁間は、波圧による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。</p>	<p>・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、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場合においても、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ともに、鉄筋コンクリート壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏れを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s による地震時荷重に対し、鋼管杭及び鉄筋コンクリート壁で構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とともに、鉄筋コンクリート壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏れを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	<p>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場合においても、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とするため、構造部材である鉄筋コンクリート壁が、概ね弾性状態に留まることが確認する。</p>	鋼管杭	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編（平成14年3月）」を踏まえた降伏モーメント(曲げ)及びせん断応力度(せん断)とする。																				
											<p>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場合においても、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とするため、構造部材である鉄筋コンクリート壁が、概ね弾性状態に留まることが確認する。</p>	被覆コンクリート壁	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書、構造性能照査編、2002年制定」を踏まえた短期許容応力度とする。															
																<p>基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、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ともに、鉄筋コンクリート壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏れを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	止水目地	変形・水圧	有意な漏れに至る変形・水圧	メーカ規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づき許容変形量及び許容水圧以下とする。										
																					<p>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場合においても、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s による地震時荷重に対し、鋼管杭及び鉄筋コンクリート壁で構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とともに、鉄筋コンクリート壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏れを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	止水目地の鋼製部材	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。					
																										<p>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場合においても、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	セメントミルク	すべり安全率	すべり破壊し、変形抑制機能や難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。
<p>基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	改良地盤①(砂礫層)	すべり安全率	すべり破壊し、変形抑制機能や難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。																										

6. 基本設計方針

6.1.1 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）に関する要求機能と設計評価方針

赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

施設名	要求機能		機能設計			構造強度設計				設計に用いる許容限界			
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計 (評価方針)	評価対象部位	応力等の状態	損傷モード				
防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	<p>基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド 5.津波防護施設的设计 津波防護施設については、その構造に並び、波による侵食及び洗掘に対する抵抗性を並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、感流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計すること。 (1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2)設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの検証を得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。 ①荷重組合せ a)余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ:常時+津波、常時+津波+地震(余震) の荷重の設定 a)津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に加え、考慮する知見(例えば、国交省の鑑定指針等)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、ノースト)が設定される。 c)地震により周辺地盤に液状化が発生する場合、防溺堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。 ②許容限界 a)津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の变形能力(終局耐力時の变形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に及ぶ場合、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.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から建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運搬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、当該建築物、構築物耐力時の变形)に対し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、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、津波防護施設が損なわれぬように、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、津波による浸水及び漏水（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、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さ（浸水高さEL+1.8mに余裕を考慮した天端高さEL+15.0m）の設定により、敷地前面に設置する設計とする。 ②防波壁の上部構造は、鋼管杭の上部に設置する鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。 ③防波壁の杭周辺に改良地盤（薬液注入工）を構築することで杭の変位を抑制し、鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ④鉄筋コンクリート製逆T擁壁間には、液状による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。 ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、基準地震動 S sに対し、鋼製及びコンクリートの耐性のある部材を使用することで止水性能を保持する設計とする。 ⑥防波壁の杭周辺に、改良地盤（薬液注入工）を構築することで杭の変位を抑制し、鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。</p>	<p>・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さ（浸水高さEL+1.8mに余裕を考慮した天端高さEL+15.0m）の設定により、敷地前面に設置する設計とする。 ②防波壁の上部構造は、鋼管杭の上部に設置する鉄筋コンクリート製逆T擁壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。 ③防波壁の杭周辺に改良地盤（薬液注入工）を構築することで杭の変位を抑制し、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間には、液状による変形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とする。また、鉄筋コンクリート製逆T擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	<p>・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間から有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため、逆T式鉄筋コンクリート擁壁間に設置するゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地が有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する。 また、ゴムジョイント及びシートジョイントが止水性能を保持するための鋼製部材は、概ね弾性状態に留まることを確認する。</p>	<p>鋼管杭</p>	<p>曲げ・せん断</p>	<p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p>	<p>「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」を踏まえた降伏モーメント（曲げ）及びせん断応力度（せん断）とする。</p>				
										<p>逆T擁壁</p>	<p>曲げ・せん断</p>	<p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p>	<p>「コンクリート標準示方書、構造性能照査編、2002年制定）」を踏まえた短期許容応力度とする。</p>
										<p>止水目地の鋼製部材</p>	<p>曲げ・せん断</p>	<p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p>	<p>「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。</p>
<p>岩盤</p>	<p>支持力</p>	<p>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、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。</p>										
				<p>地盤</p>	<p>すべり安全率</p>	<p>すべり破壊し、変形抑制機能や透水性を喪失する状態</p>	<p>「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。</p>						

6. 基本設計方針

6.1.1 防波壁（波返重力擁壁）に関する要求機能と設計評価方針

赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

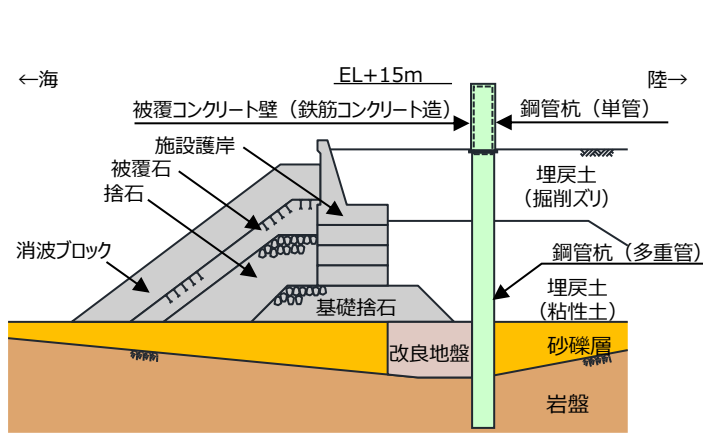
施設名	要求機能		機能設計			構造強度設計				設計に用いる許容限界
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計 (評価方針)	評価対象部位	応力等の状態	損傷モード	
防波壁 (波返重力擁壁)	<p>基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド</p> <p>5.1津波防護施設設計</p> <p>津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び沈没に対する抵抗性を並びに、越流時の耐性も配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるような設計すること。</p> <p>(1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。</p> <p>(2)設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見直しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。</p> <p>①荷重組合せ</p> <p>a)余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ:常時+津波、常時+津波+地震(余震)</p> <p>②荷重の設定</p> <p>a)津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する知見(例えば、国土省の暫定指針等)及びそれらの適用性。</p> <p>b)余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。</p> <p>c)地震により周辺地盤に液状化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。</p> <p>③許容限界</p> <p>a)津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の変形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修にある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。)</p> <p>基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド</p> <p>6.3津波防護施設、浸水防止設備等津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること</p>	<p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p> <p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。</p>	<p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さ(輪谷湾内浸水高さEL+11.8m、輪谷湾外浸水高さEL+10.6mに余裕を考慮した天端高さEL+15.0m)の設定により、敷地前面に設置する設計とする。</p> <p>②防波壁の上部構造は、施設護岸ケーソン上部に設置する重力擁壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。</p> <p>③重力擁壁間は、波圧による変形に追随する。止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。</p> <p>④コンクリートの耐性のある部材を使用することで止水性を保持する設計とする。</p> <p>⑤重力擁壁間は、地震による変形に追随する。止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。</p>	<p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））は、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とともに、重力擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））は、基準地震動 S s による地震時荷重に対し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とともに、重力擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））は、基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する設備圧が許容値以下にとどまることを確認する。</p> <p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））は、基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する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（波返重力擁壁（岩盤部））は、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするため、構造部材である重力擁壁が、概ね弾性状態に留まることを確認する。</p> <p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））は、津波時の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とするとともに、重力擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））は、基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とするとともに、重力擁壁間は、ゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置し、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））は、基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する設備圧が許容値以下にとどまることを確認する。</p> <p>・防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））は、基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する押し込み力が許容値以下に留まることを確認する。</p>	<p>重力擁壁</p> <p>ケーソン</p> <p>止水目地</p> <p>止水目地の鋼製部材</p> <p>MMR・改良地盤</p> <p>地盤</p> <p>岩盤</p>	<p>曲げ・せん断</p> <p>せん断</p> <p>変形・水圧</p> <p>曲げ・せん断</p> <p>支持力</p> <p>すべり安全率</p> <p>支持力</p>	<p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p> <p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p> <p>有意な漏えいに至る変形・水圧</p> <p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p> <p>鉛直支持性能を喪失する状態</p> <p>すべり破壊し、難透水性を喪失する状態</p> <p>支持機能を喪失する状態</p>	<p>「コンクリート標準示方書、構造性能照査編、2002年制定」を踏まえた短期許容応力度とする。</p> <p>2次元応答解析結果から得られる面内せん断に対して「コンクリート標準示方書、構造性能照査編、2002年制定」を踏まえた短期許容応力度とする。</p> <p>メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づき許容変形量及び許容水圧以下とする。</p> <p>「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。</p> <p>港湾基準を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。</p> <p>「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。</p> <p>「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>	

6. 基本設計方針

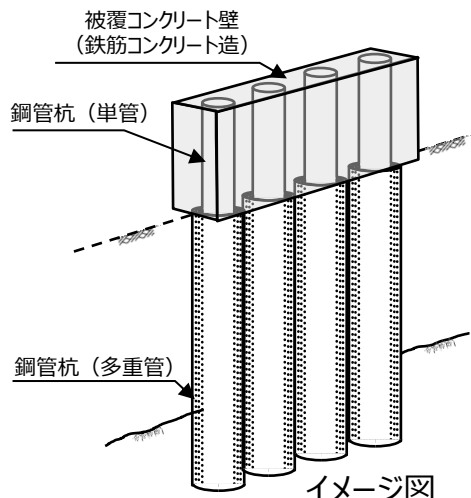
6.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）を構成する各部位の仕様

■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）を構成する各部位は以下の仕様とした。

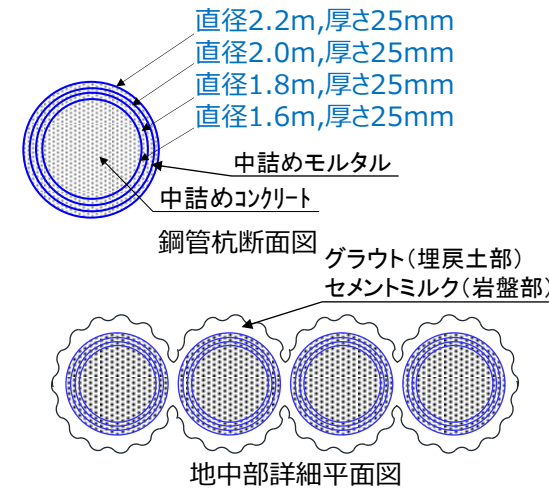
部位	仕様
【施設】	
鋼管杭	最内管：φ1600mm,t=25mm,SKK490 最内から2番目の管：φ1800mm,t=25mm,SKK490 最内から3番目の管：φ2000mm,t=25mm,SKK490 最外管：φ2200mm,t=25mm,SKK490又はSM490Y 杭底～地表面に中詰コンクリート（f'ck=18N/mm ² ）
被覆コンクリート壁	コンクリート：f'ck=24N/mm ² 鉄筋：SD345
止水目地	ゴムジョイント, シートジョイント：クロロプレンゴム
【地盤】	
セメントミルク	q _u =9.8N/mm ² 以上
改良地盤①（砂礫層）	薬液注入工法（特殊スラグ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



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）



イメージ図



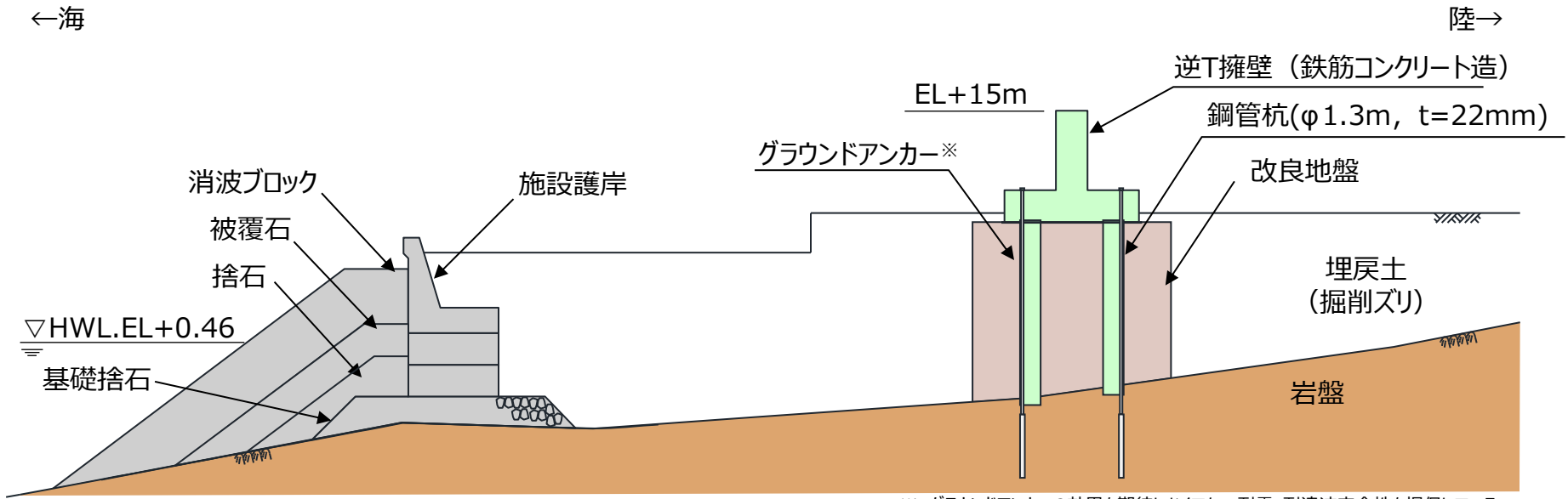
地中部詳細平面図

6. 基本設計方針

6.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）を構成する各部位の仕様

■ 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 : クロップレンゴム
【地盤】	
改良地盤	薬液注入工法 (セメント系固化材)



※ 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。

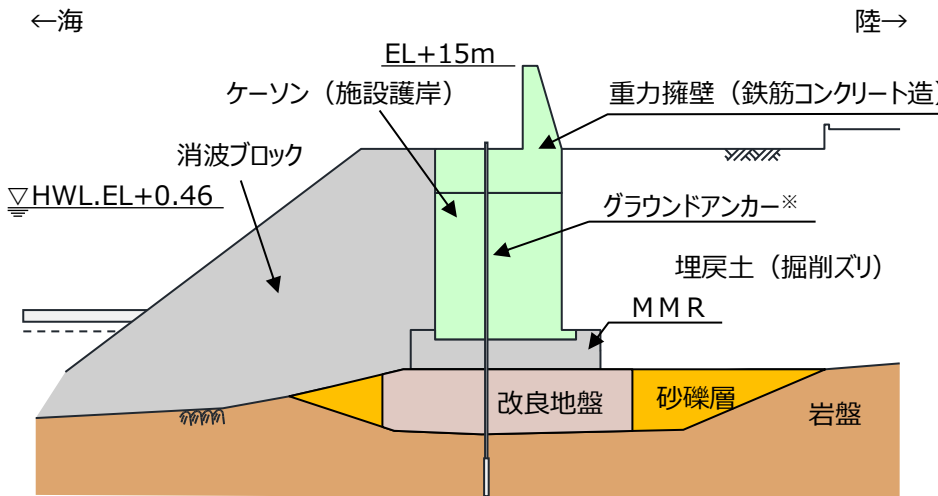
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）

6. 基本設計方針

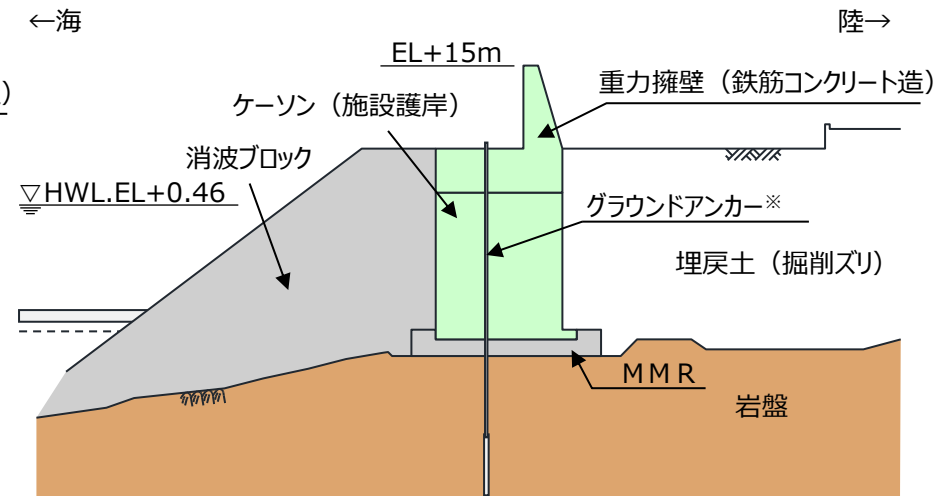
6.2.3 防波壁（波返重力擁壁）を構成する各部位の仕様

■ 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 : クロップレンゴム
ケーソン	-
【地盤】	
MMR	ケーソン架台に打設した基礎コンクリート, $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$
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（改良地盤部））断面図



※ 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（岩盤部））断面図

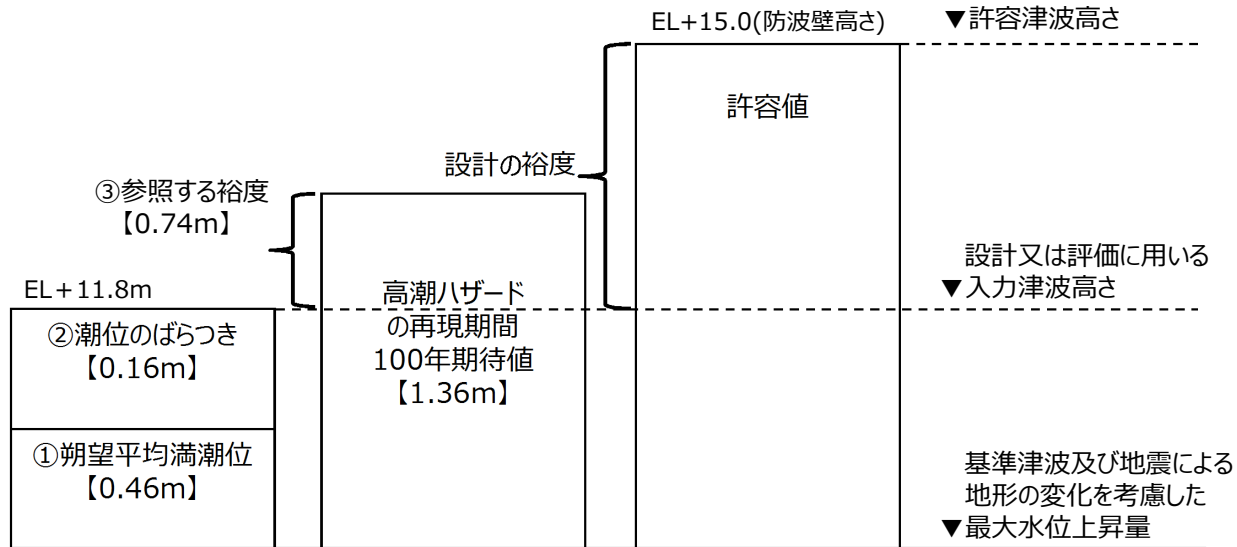
6. 基本設計方針

6.3 防波壁高さの設定方針

- 防波壁の高さは、設計に用いる津波高さ（入力津波高さ）に対して余裕を持って設定する。

入力津波高さと防波壁高さの関係

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



防波壁設計裕度のイメージ

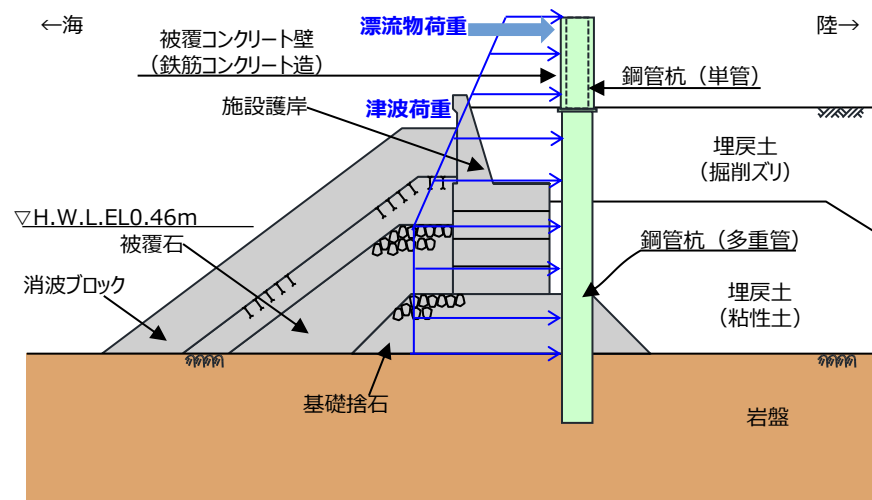
6. 基本設計方針

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

荷重	内容
常時荷重	構造物の自重, 土圧, 水圧, 積雪荷重及び風荷重
地震荷重	基準地震動 S_s を作用させる
津波荷重	入力津波高さと同防波壁前面の静水面高さ（朔望平均満潮位 $EL+0.46m$ ）の差の $1/2$ を入射津波高さとし、港湾基準に基づき谷本式により津波波力を算定し、作用させる
漂流物衝突荷重	漂流物、荷重算定式について詳細検討を行った上で防波壁天端高さに作用させる



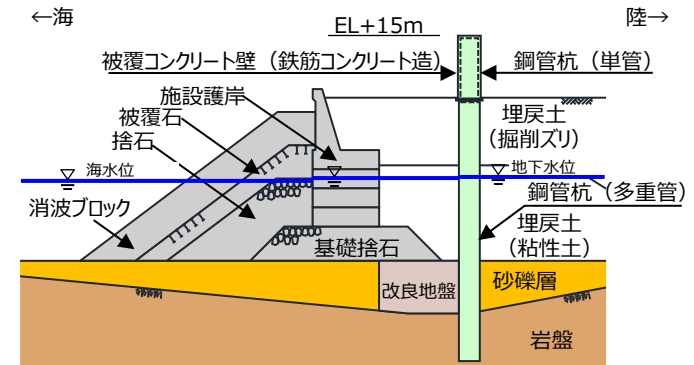
津波時荷重イメージ図（多重鋼管杭式擁壁）

6. 基本設計方針

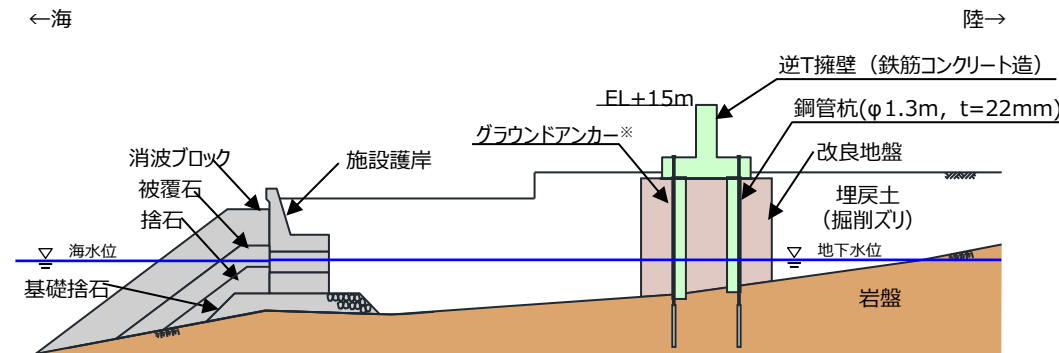
6.5.1 地下水位の設計方針（地震時）

- 地震時の地下水位については、護岸前面は朔望平均干潮位EL-0.02mとする。また、護岸より陸側の地下水位設定は港湾基準に準拠して残留水位とし、各護岸の止水状況を考慮し設定する。
- 地下水位の設定においては、地下水位低下設備の効果을期待しない地下水位を改めて設定する。
- 詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ、保守性を確認の上、設定する。

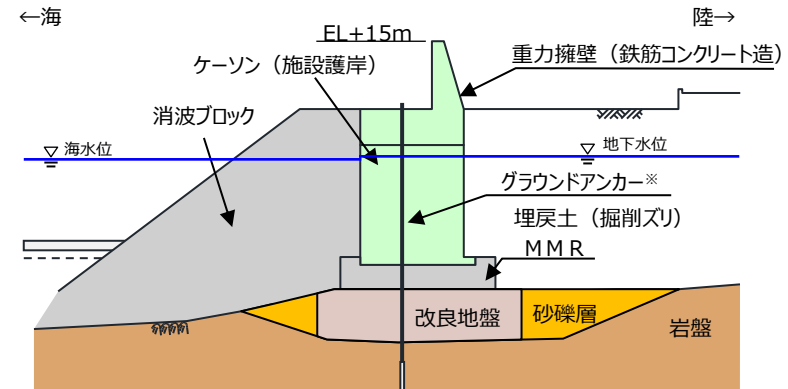
構造型式	水位
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁の陸側：EL+0.30m ・護岸陸側から防波壁まで：EL+0.14m ・護岸より海側：EL-0.02m
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸より陸側：EL+0.14m ・護岸より海側：EL-0.02m
防波壁（波返重力擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸より陸側：EL+0.30m ・護岸より海側：EL-0.02m



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）

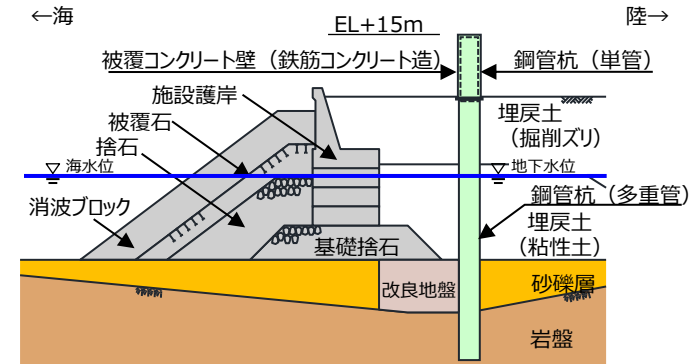
※ グラウンドアンカーの効果을期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

6. 基本設計方針

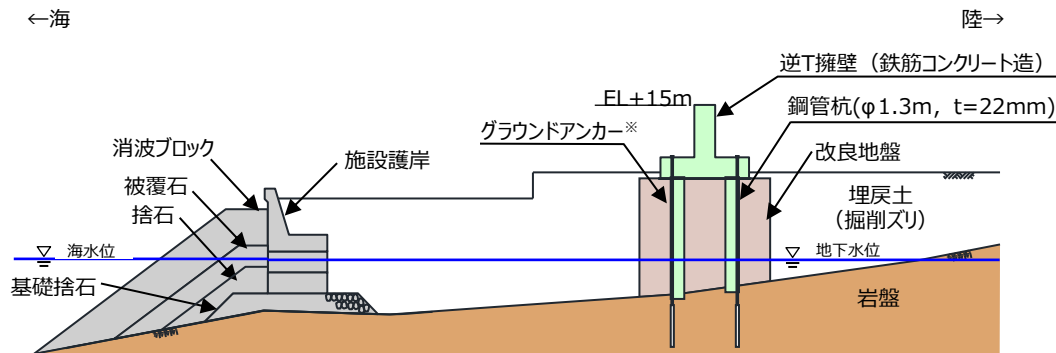
6.5.2 地下水位の設計方針（津波時）

- 設置許可段階における津波荷重の算定潮位は朔望平均満潮位（H.W.L.）とする。
- また、地下水位については、各護岸の止水状況を考慮し、朔望平均満潮位（H.W.L.）又は残留水位とする。
- 詳細設計段階においては、浸透流解析の結果を踏まえ、保守性を確認の上、設定する。

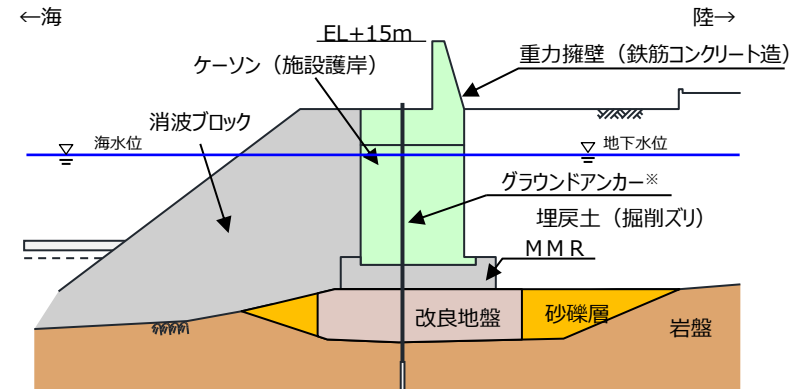
構造型式	水位
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸より陸側：EL+0.46m ・護岸より海側：EL+0.46m
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸より陸側：EL+0.14m ・護岸より海側：EL+0.46m
防波壁（波返重力擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸より陸側：EL+0.46m ・護岸より海側：EL+0.46m



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）

※ 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。

6. 基本設計方針

6.6.1 解析用物性値（地盤）（1/2）

材料種別				物理特性		強度特性			変形特性		
				単位体積重量		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	40.05	$\sigma'_m \sin 40.05^\circ$	$94550(\sigma'_m/98)^{0.5}$	0.33	0.24
			水中	20.7	10.6	0	39.18	$\sigma'_m \sin 39.18^\circ$	$72420(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
	防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	埋戻土（掘削スリ） T.P.+6.0m盤	気中	19.6	—	0	40.86	$\sigma'_m \sin 40.86^\circ$	$116700(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.07	$\sigma'_m \sin 39.07^\circ$	$69650(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
		埋戻土（掘削スリ） T.P.+8.5m盤	気中	19.6	—	0	40.54	$\sigma'_m \sin 40.54^\circ$	$107600(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	38.72	$\sigma'_m \sin 38.72^\circ$	$61240(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
	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	41.16	$\sigma'_m \sin 41.16^\circ$	$125100(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.23	$\sigma'_m \sin 39.23^\circ$	$73560(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
		埋戻土（掘削スリ） (地盤改良部) T.P.+6.5m盤	気中	19.6	—	0	41.44	$\sigma'_m \sin 41.44^\circ$	$133200(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.52	$\sigma'_m \sin 39.52^\circ$	$80890(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
		埋戻土（掘削スリ） (地盤改良部) T.P.+8.5m盤	気中	19.6	—	0	41.16	$\sigma'_m \sin 41.16^\circ$	$125100(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.27	$\sigma'_m \sin 39.27^\circ$	$74450(\sigma'_m/98)^{0.5}$		

※1 σ'_m は各要素における平均有効拘束圧

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

※3 せん断弾性係数の式は $G = G_{ma} (\sigma'_m / \sigma'_{ma})^{mG}$ 。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。

6. 基本設計方針

6.6.1 解析用物性値 (地盤) (2/2)

材料種別			物理特性		強度特性			変形特性		
			単位体積重量		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	38.48	σ' _m sin38.48°	55540(σ' _m /98) ^{0.5}	0.33
		砂礫層 (鋼管杭背面)		20.7	10.6	0	38.49	σ' _m sin38.49°	55760(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	—	20	35.00	20 cos35.00° +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	20	35.00	20 cos35.00° +σ' _m sin35.00°	180000(σ' _m /98) ^{0.5}		
	改良地盤 (上部) (気中)		19.6	—	628	38.00	628 cos38.00° +σ' _m sin38.00°	404600(σ' _m /98) ^{0.5}		
	改良地盤 (中部) (気中)		19.6	—	490	40.54	490 cos40.54° +σ' _m sin40.54°	327900(σ' _m /98) ^{0.5}		
	改良地盤 (下部) (気中)		19.6	—	1140		1140 cos40.54° +σ' _m sin40.54°	742900(σ' _m /98) ^{0.5}		
	防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	改良地盤 (水中)		20.7	10.6	1253	38.71	1253 cos38.71° +σ' _m sin38.71°	777300(σ' _m /98) ^{0.5}	0.24
		砂礫層		20.0	9.9	0	38.49	σ' _m sin38.49°	55870(σ' _m /98) ^{0.5}	
		改良地盤		20.0	9.9	500	0	500	93980(σ' _m /98) ^{0.5}	
防波壁 (波返重力擁壁)	砂礫層		20.0	9.9	0	38.49	σ' _m sin38.49°	55870(σ' _m /98) ^{0.5}	0.24	
	改良地盤		20.0	9.9	500	0	500	93980(σ' _m /98) ^{0.5}		
人工リーフ		20.0	9.9	20	35.00	20 cos35.00° +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。

6. 基本設計方針

6.6.2 解析用物性値（構造物）

材料種別			物理特性		強度特性			変形特性			
			単位体積重量		粘着力 C (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ_f (°)	せん断強度 T _f (kN/m ²)	ヤング率 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	最大減衰定数 h _{max}	
			飽和, 湿潤 γ _{sat} , γ _t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)							
構造物	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	埋戻土（掘削スリ） (施設護岸上部)	19.6	—	—	—	—	2.330×10 ⁷	0.20	—	
	防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	埋戻土（掘削スリ） (施設護岸上部)	19.6	—	—	—	—	2.330×10 ⁷			
	防波壁 (波返重力擁壁)	重力擁壁 (上部)	24.0	—	—	—	—	2.500×10 ⁷			
		重力擁壁 (下部)	22.6	—	—	—	—	2.200×10 ⁷			
		ケーソン (地盤改良部)	気中	22.9	—	—	—	—			2.500×10 ⁷
			水中	22.9	12.8	—	—	—			2.500×10 ⁷
		ケーソン (輪谷部)	気中	20.9	—	—	—	—			2.500×10 ⁷
			水中	20.9	10.8	—	—	—			2.500×10 ⁷
		MMR		24.0	13.9	—	—	—			2.500×10 ⁷
		埋戻土 (護岸上部)	気中	19.6	—	—	—	—			2.500×10 ⁷
			水中	20.7	10.6	—	—	—			2.500×10 ⁷
		テトラポット (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				

6. 基本設計方針

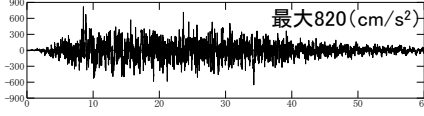
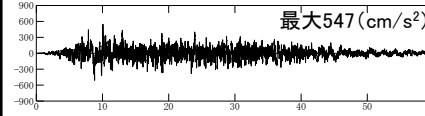
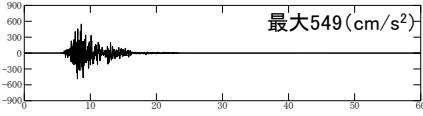
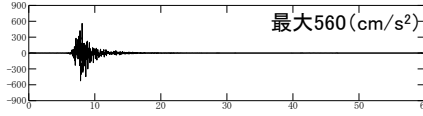
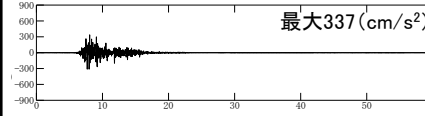
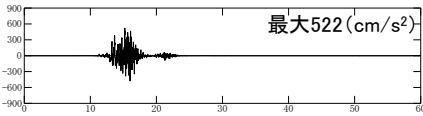
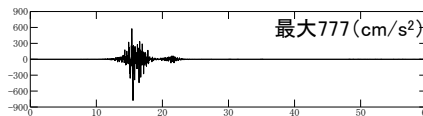
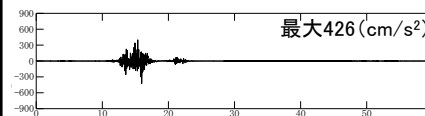
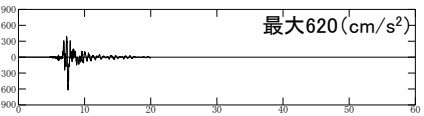
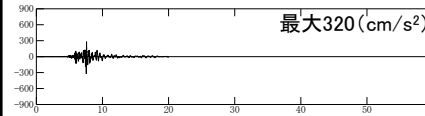
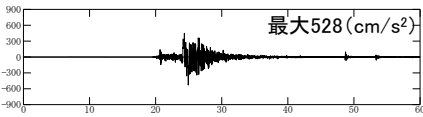
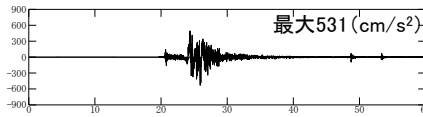
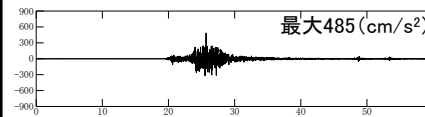
6.6.3 解析用物性値の準拠基準

- 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』および『コンクリート標準示方書(土木学会, 2002), p.29』に準拠し設定
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

6. 基本設計方針

6.7 基準地震動（加速度時刻歴波形）

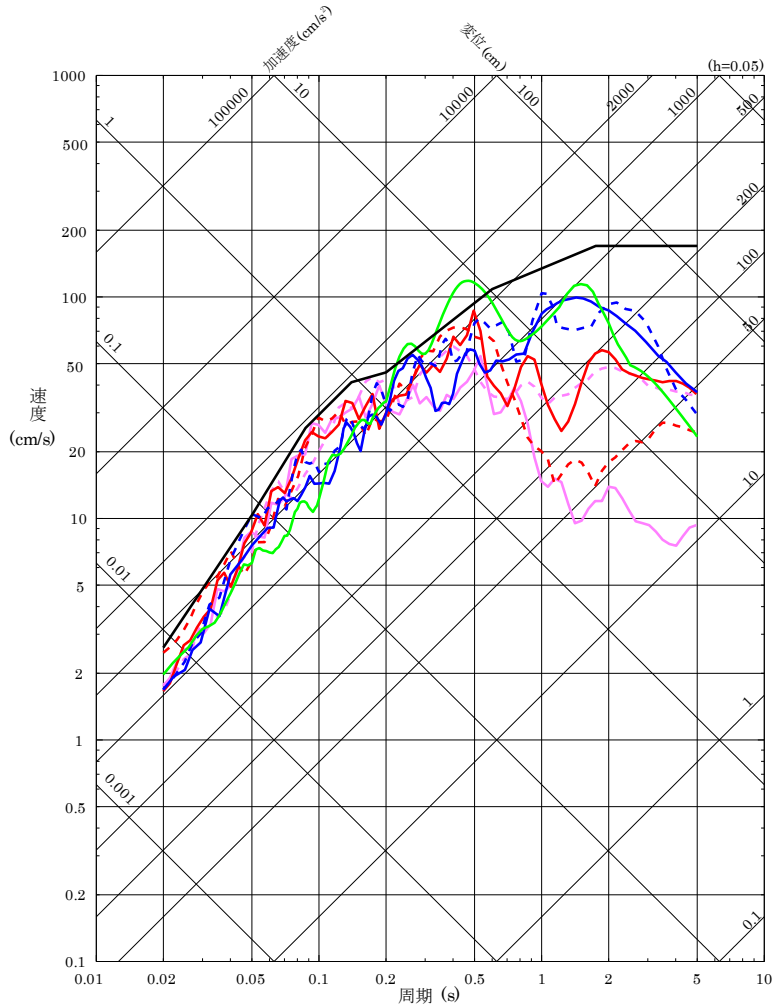
基準地震動		水平方向（NS成分）	水平方向（EW成分）	鉛直方向
S s - D	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 〔応答スペクトル手法による基準地震動〕			
S s - F 1	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 断層モデル手法による基準地震動 〔穴道断層による地震の中越沖地震の短周期レベルの不確かさ破壊開始点5〕			
S s - F 2	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 断層モデル手法による基準地震動 〔穴道断層による地震の中越沖地震の短周期レベルの不確かさ破壊開始点6〕			
S s - N 1	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 〔2004年北海道留萌支庁南部地震（K-NET港町）の検討結果に保守性を考慮した地震動〕			
S s - N 2	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 〔2000年鳥取県西部地震の賀狭ダム（監査廊）の観測記録〕			

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

6. 基本設計方針

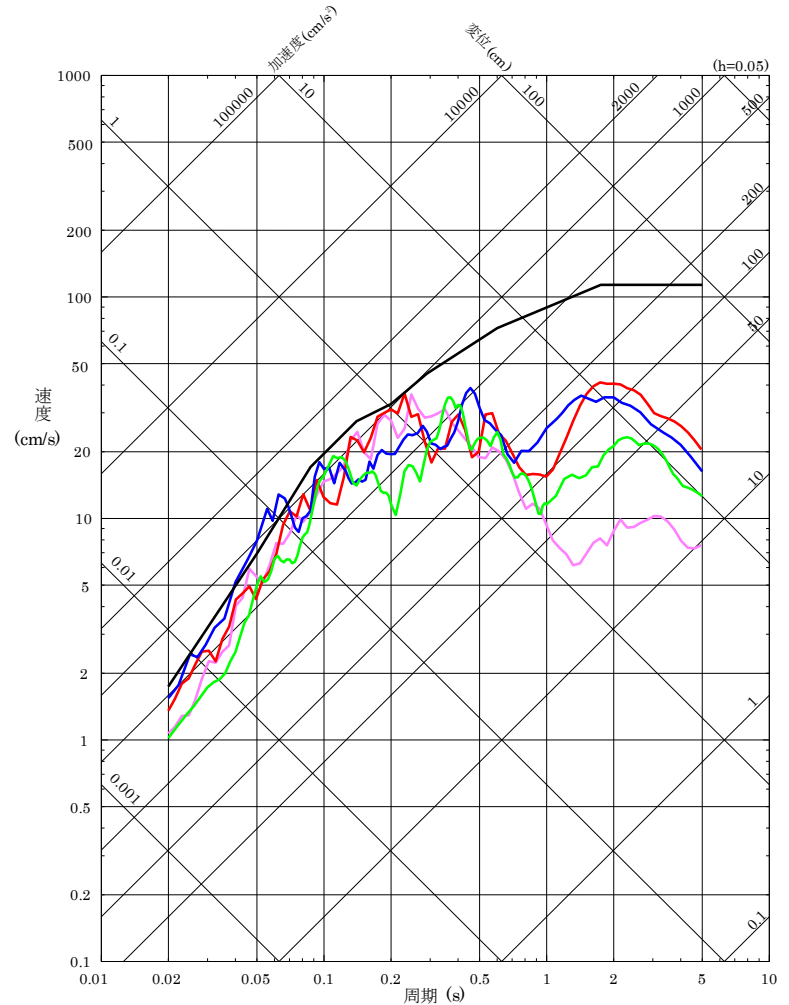
6.8 基準地震動（応答スペクトル）

- 基準地震動Ss-DH
- 基準地震動Ss-F1H (NS成分)
- - 基準地震動Ss-F1H (EW成分)
- 基準地震動Ss-F2H (NS成分)
- - 基準地震動Ss-F2H (EW成分)
- 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町) 保守性考慮した地震動 [基準地震動Ss-N1H]
- 2000年鳥取県西部地震 (賀祥ダム観測記録: NS成分) [基準地震動Ss-N2H (NS成分)]
- - 2000年鳥取県西部地震 (賀祥ダム観測記録: EW成分) [基準地震動Ss-N2H (EW成分)]



水平方向

- 基準地震動Ss-DV
- 基準地震動Ss-F1V
- 基準地震動Ss-F2V
- 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町) 保守性考慮した地震動 [基準地震動Ss-N1V]
- 2000年鳥取県西部地震 (賀祥ダム観測記録) [基準地震動Ss-N2V]



鉛直方向

7. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

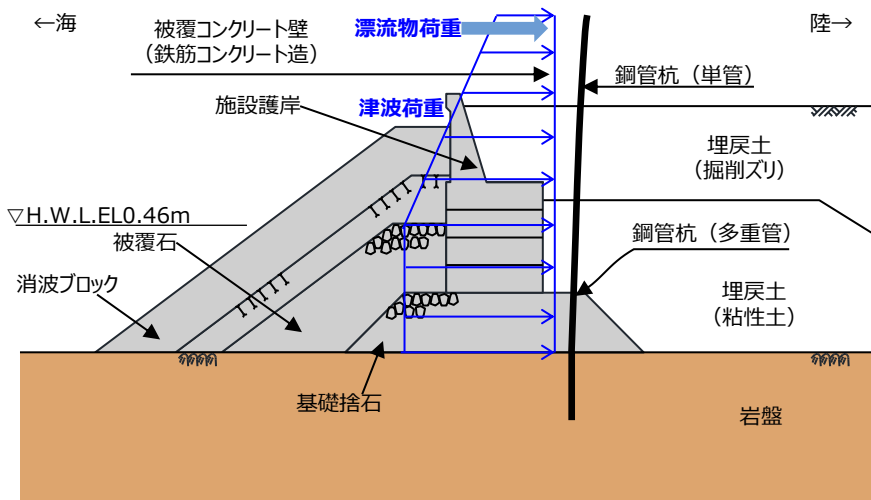
7.1 防波壁に作用する荷重と部位の役割の概要

- 防波壁の構造形式は、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の3つに分類される。
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）及び防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）については、鋼管杭を岩盤に打設し、岩盤に鉛直支持させる設計としている。
- 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、作用する荷重、構造体の変形モード及び各部位の役割について整理する。

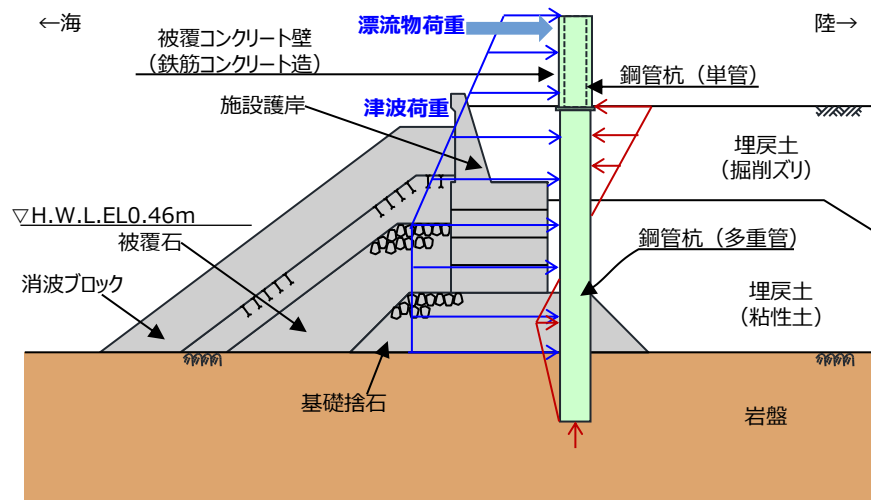
7. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

7.2.1 津波時 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)

■ 津波時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

7. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

7.2.1 津波時 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

- 津波時において、各部位は津波荷重及び漂流物荷重に対して、以下の役割を有する。

部位の名称	役割
鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁を支持する。
被覆コンクリート壁	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。

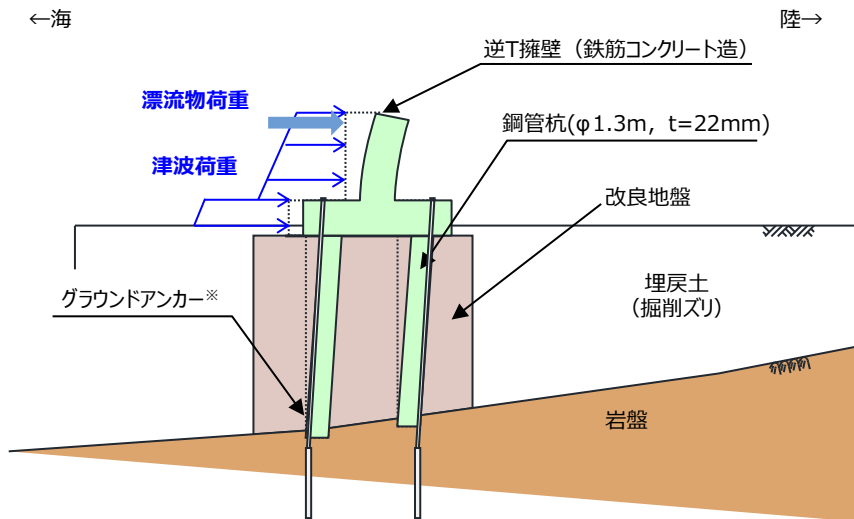
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
セメントミルク	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制する。 難透水性を保持する。
改良地盤①（砂礫層）	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制する。 難透水性を保持する。
改良地盤②（杭間部）	<ul style="list-style-type: none"> 難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を支持する。
埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、砂礫層	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁より陸側については、津波荷重等に対して地盤反力として寄与する。
施設護岸、被覆石、捨石、基礎捨石	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない。
消波ブロック	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない。
グラウト材	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない。

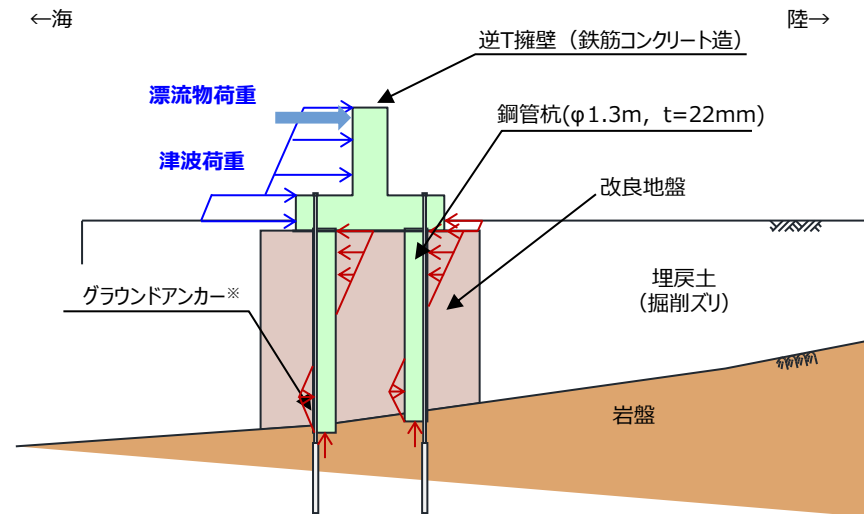
7. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

7.2.2 津波時 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（1/2）

■ 津波時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

※ 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. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

7.2.2 津波時 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（2/2）

- 津波時において、各部位は津波荷重及び漂流物荷重に対して、以下の役割を有する。

部位の名称	役割
鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 逆T擁壁を支持する。
逆T擁壁	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 逆T擁壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。

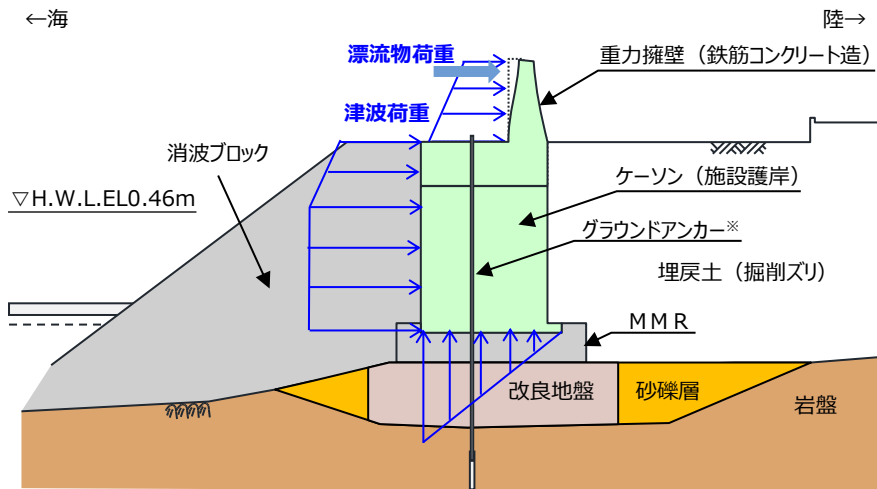
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制する。 難透水性を保持する。
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を支持する。
埋戻土（掘削ズリ）	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
施設護岸，被覆石，捨石，基礎捨石	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない。
消波ブロック	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない。

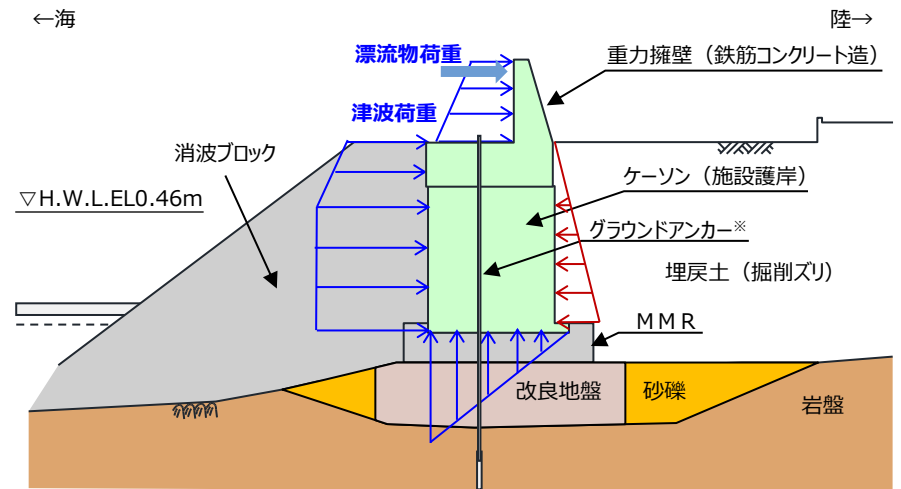
7. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

7.2.3 津波時 防波壁（波返重力擁壁）（1/2）

■ 津波時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

7. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

7.2.3 津波時 防波壁（波返重力擁壁）（2/2）

- 津波時において、各部位は津波荷重及び漂流物荷重に対して、以下の役割を有する。

部位の名称	役割
重力擁壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 重力擁壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
ケーソン	<ul style="list-style-type: none"> 重力擁壁を支持する。

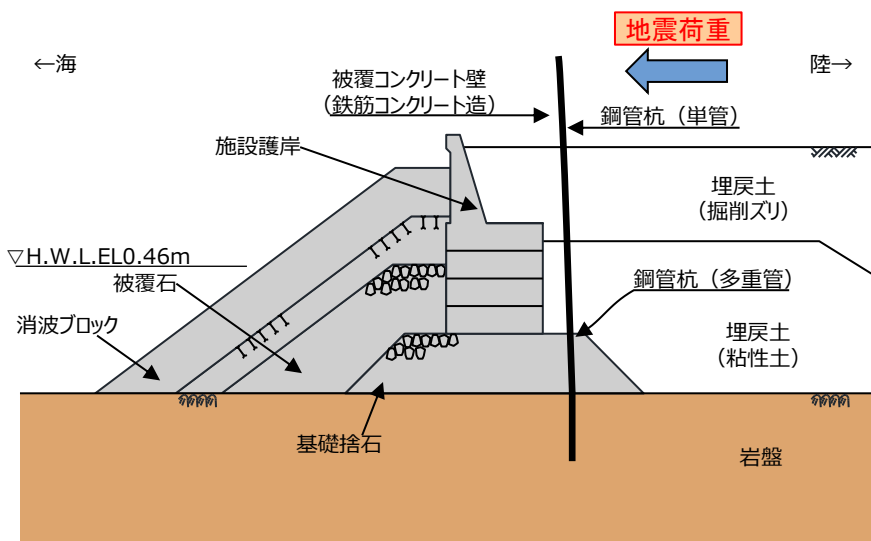
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
MMR	<ul style="list-style-type: none"> ケーソン及び重力擁壁を支持する。 難透水性を保持する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> ケーソン及び重力擁壁を支持する。 難透水性を保持する。
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> ケーソン及び重力擁壁を支持する。
埋戻土（掘削ズリ）、砂礫層	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない。

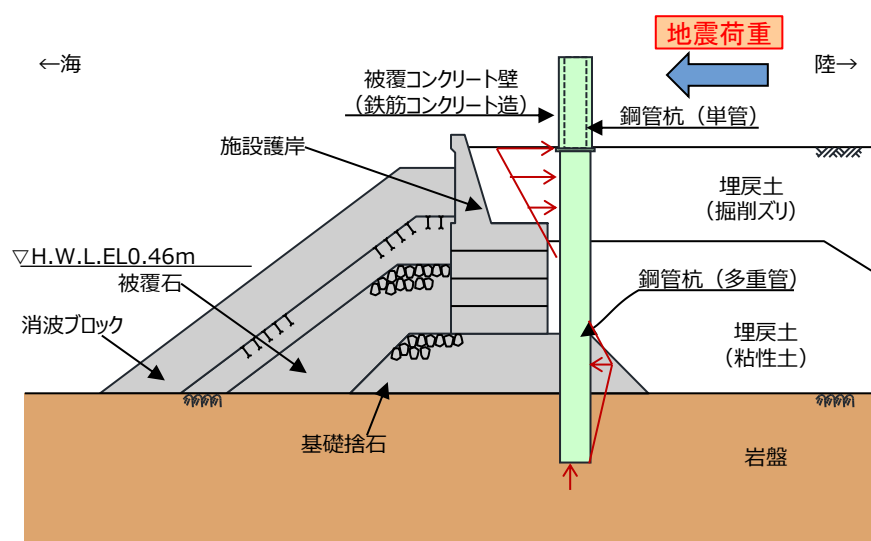
7. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

7.3.1 地震時 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) (1/2)

■ 地震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

7. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

7.3.1 地震時 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（2/2）

- 地震時において、各部位は地震荷重及び地震後に来る津波に対して防波壁の機能（津波に対する止水性）を維持するため、以下の役割を有する。

部位の名称	役割
鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁を支持する。
被覆コンクリート壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持する。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁間の変位に追従する。

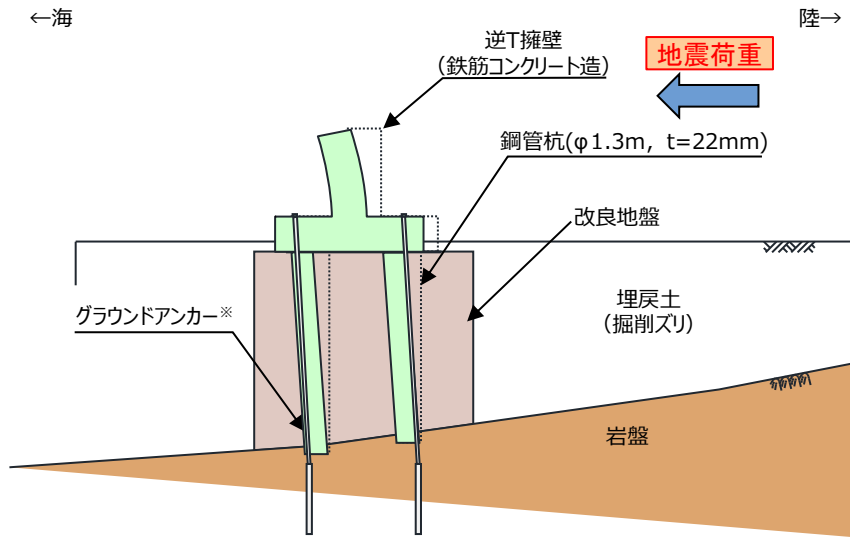
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
セメントミルク	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制する。
改良地盤①（砂礫層）	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制する。
改良地盤②（杭間部）	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない。
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、砂礫層	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重の作用方向の反対方向に地盤反力として寄与する（一方で、その時防波壁反対側では、土圧として作用する）。
施設護岸、被覆石、捨石、基礎捨石	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重の作用方向が海側方向の場合、地盤反力として寄与する（一方で、地震荷重の作用方向が陸側方向の場合、土圧として作用する）。
消波ブロック	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない。
グラウト材	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない。

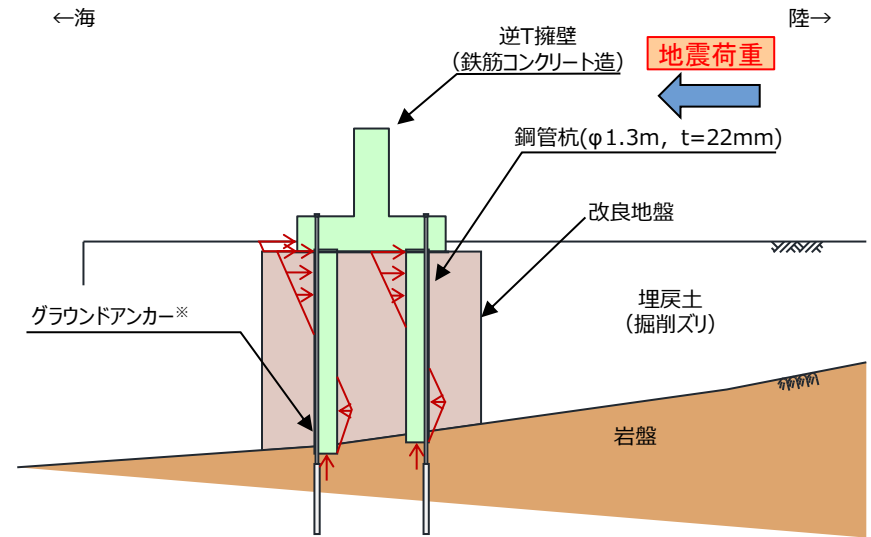
7. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

7.3.2 地震時 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（1/2）

■ 地震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

※ 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. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

7.3.2 地震時 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（2/2）

- 地震時において、各部位は地震荷重及び地震後に来る津波に対して防波壁の機能（津波に対する止水性）を維持するため、以下の役割を有する。

部位の名称	役割
鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 逆T擁壁を支持する。
逆T擁壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持する。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 逆T擁壁間の変位に追従する。

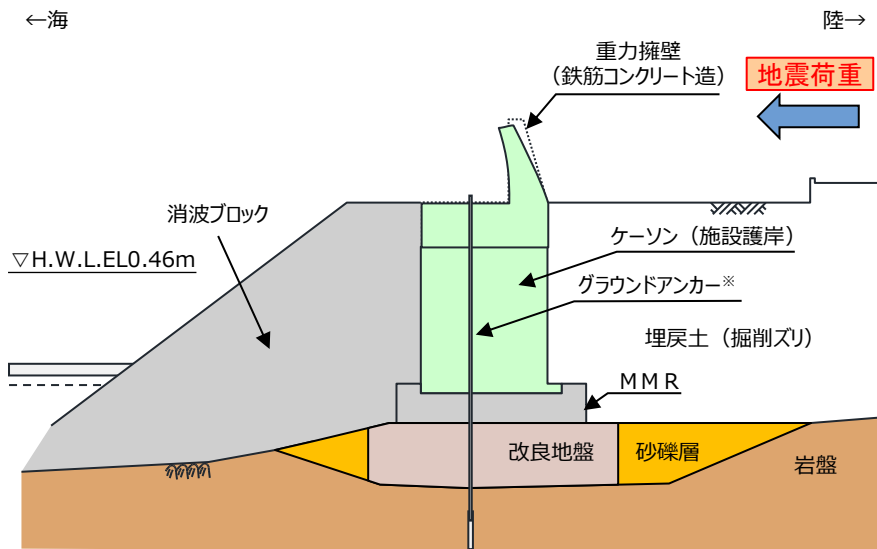
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制する。
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
埋戻土（掘削ズリ）	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重の作用方向の反対方向に地盤反力として寄与する（一方で、その時防波壁反対側では、土圧として作用する）。
施設護岸，被覆石，捨石，基礎捨石	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重の作用方向が海側方向の場合，地盤反力として寄与する（一方で，地震荷重の作用方向が陸側方向の場合，土圧として作用する）。
消波ブロック	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない。

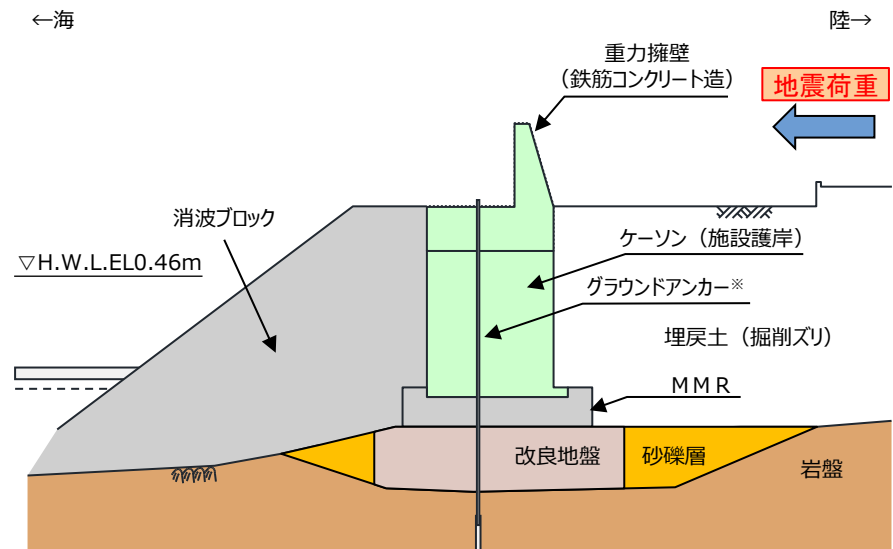
7. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

7.3.3 地震時 防波壁（波返重力擁壁）（1/2）

- 地震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

※ 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. 防波壁に作用する荷重と部位の役割

7.3.3 地震時 防波壁（波返重力擁壁）（2/2）

- 地震時において、各部位は地震荷重及び地震後に来る津波に対して防波壁の機能（津波に対する止水性）を維持するため、以下の役割を有する。

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

- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
MMR	<ul style="list-style-type: none"> ケーソン及び重力擁壁を支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> ケーソン及び重力擁壁を支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> ケーソン及び重力擁壁を支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
埋戻土（掘削ズリ）、砂礫層	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重の作用方向が陸側方向の場合、地盤反力として寄与する（一方で、地震荷重の作用方向が海側方向の場合、土圧として作用する）。
消波ブロック	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.1 サイト特性・制約条件を踏まえた構造の特異性

- 防波壁の設計方針についてサイト特性を踏まえた構造の特異性及び設計の保守性を整理した上で、地震時、津波時に、防潮堤が維持すべき機能を喪失し得る事象（損傷モード）を仮定し、その損傷モードに対し設計・施工上どのような配慮がなされているか整理した。

【防波壁設計から見たサイト特性・制約条件等】

- ・敷地が狭隘なため、近接施設が多い
- ・防波壁直下に埋戻土・砂礫層が分布している
- ・周辺に液状化検討対象層（埋戻土・砂礫層）が分布している

《制約条件等》

- ・取水路及び放水路を跨ぐ構造

【防波壁の構造の特異性】

《各構造共通》

- ・設計津波高さに対して十分な余裕を確保
- ・防波壁下部の改良地盤により鉛直支持、すべり安定性向上及び鋼管杭変位抑制対策を実施
- ・施工ブロック間には止水目地を設置し、止水する構造
- ・異種構造型式の境界部には止水目地を設置し止水する構造



- ・構造上の余裕確認
- ・改良地盤の支持力の確認
- ・止水目地に発生する変位の確認

《多重鋼管杭式擁壁》

- ・鋼管杭として多重管を採用
- ・鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した壁体を連続して設置する構造



- ・鋼管杭が一体挙動することを確認
- ・鋼管杭の健全性確認
- ・被覆コンクリートの健全性確認

《鋼管杭式逆T擁壁》

- ・鋼管杭で支持した逆T擁壁を連続して設置し、壁体間を目地で止水する構造
- ・鋼管杭周辺を地盤改良した構造
- ・杭頭部がヒンジ構造となっている



- ・鋼管杭の健全性確認

《波返重力擁壁》

- ・重力擁壁はケーソンを介して岩盤上に設置し、防波壁両端部では岩盤に直接設置する構造
- ・ケーソン上部に重力擁壁を設置し、一体化する構造



- ・ケーソン及び重力擁壁の健全性確認
- ・ケーソンと重力擁壁が一体化していることを確認

【特に確認すべき項目】

《各構造共通》

- ・地盤改良等の健全性
- ・遮水性の保持

《多重鋼管杭式擁壁》

- ・鋼管杭の一体挙動
- ・鋼管杭の健全性
- ・セメントミルクの健全性

《鋼管杭式逆T擁壁》

- ・鋼管杭の健全性

《波返重力擁壁》

- ・ケーソン及び重力擁壁の健全性
- ・ケーソンと重力擁壁の一体挙動

《異種構造型式の境界部》

- ・遮水性の保持

《関連する項目の例》

- ・液状化パラメータの設定
- ・荷重の組合せ
- ・地下水位の設定

注：[]はサイト特性・制約条件等との関連を示す。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（1/10）

■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）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、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 地震後や津波後の再使用性、津波時の影響（繰返し津波）を考慮して、被覆コンクリート壁や止水目地の変位を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭がおおむね弾性範囲であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により埋戻土－改良地盤間、改良地盤－岩盤間に相対変位が生じ、せん断力が鋼管杭に作用し、鋼管杭が損傷し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	①, ②		○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、単管と多重管の境界部で鋼管杭が損傷し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	①, ②		○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、杭頭連結部に応力が集中することで、杭頭連結部が破損し、被覆コンクリート壁が損傷するか、位置を保持できなくなり、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 杭頭連結部が損傷しないことを確認する。（杭頭連結材を設置している取水路横断部の構造については次頁以降参照） 	○
	<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、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	①	<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、被覆コンクリート壁や止水目地の変位を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭がおおむね弾性範囲であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 隣接するブロックからの荷重により、鋼管杭が損傷し被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	①	<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、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	②	<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"> 地震時又は津波時に施設護岸の一部が崩壊し、漂流物として被覆コンクリート壁に衝突することで鋼管杭が損傷し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	②	<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。 	—

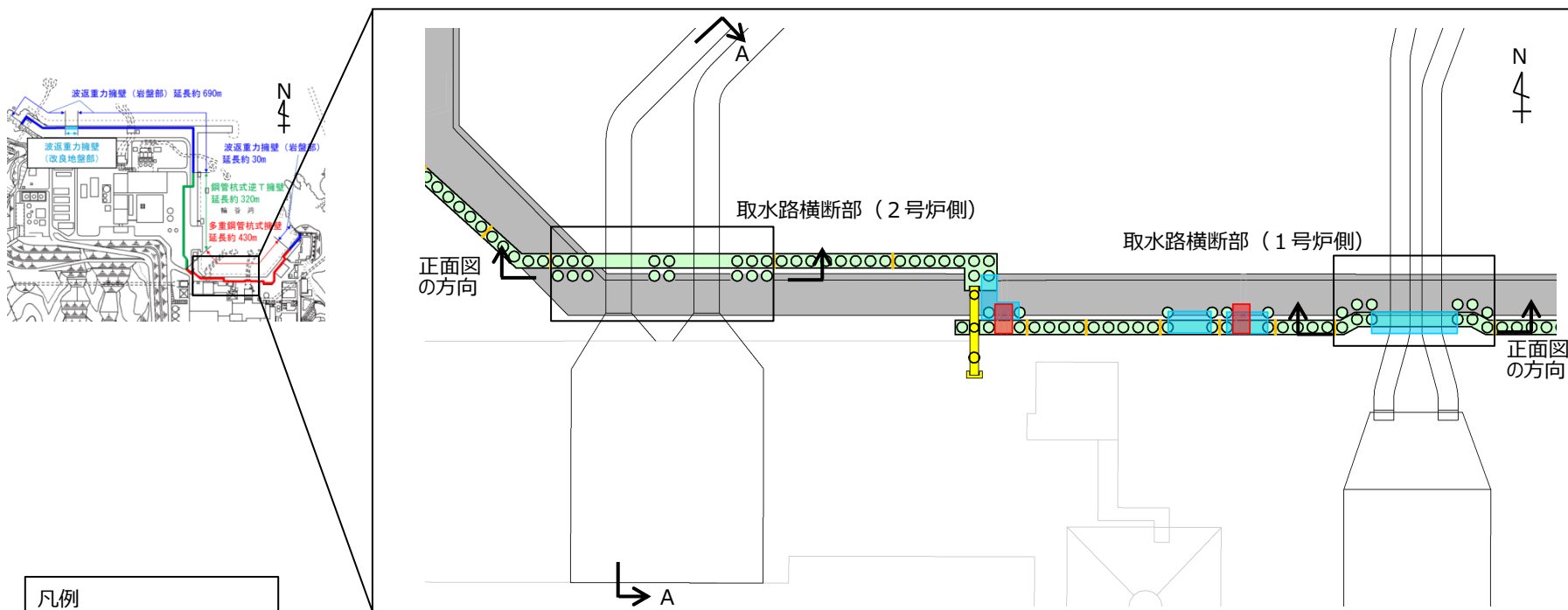
※1 ①地震時、②津波時

※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（－）。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（2/10）

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



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部平面図

凡例

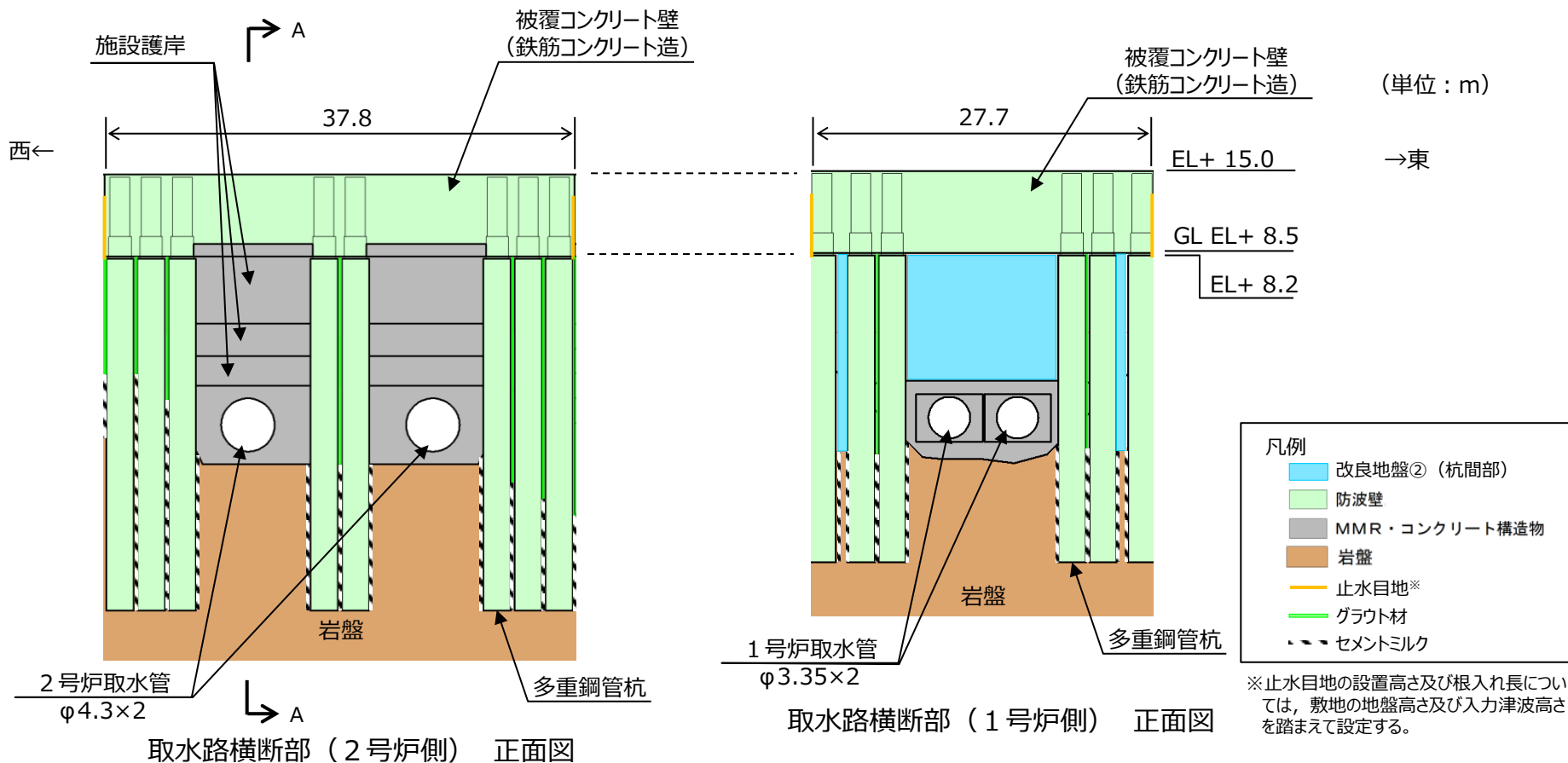
- 防波壁
- 施設護岸
- 鋼管杭
- 止水目地※
- 防波扉基礎
- 改良地盤①（砂礫層）
- 改良地盤②（杭間部）
- 屋外排水路横断部

※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。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（3/10）

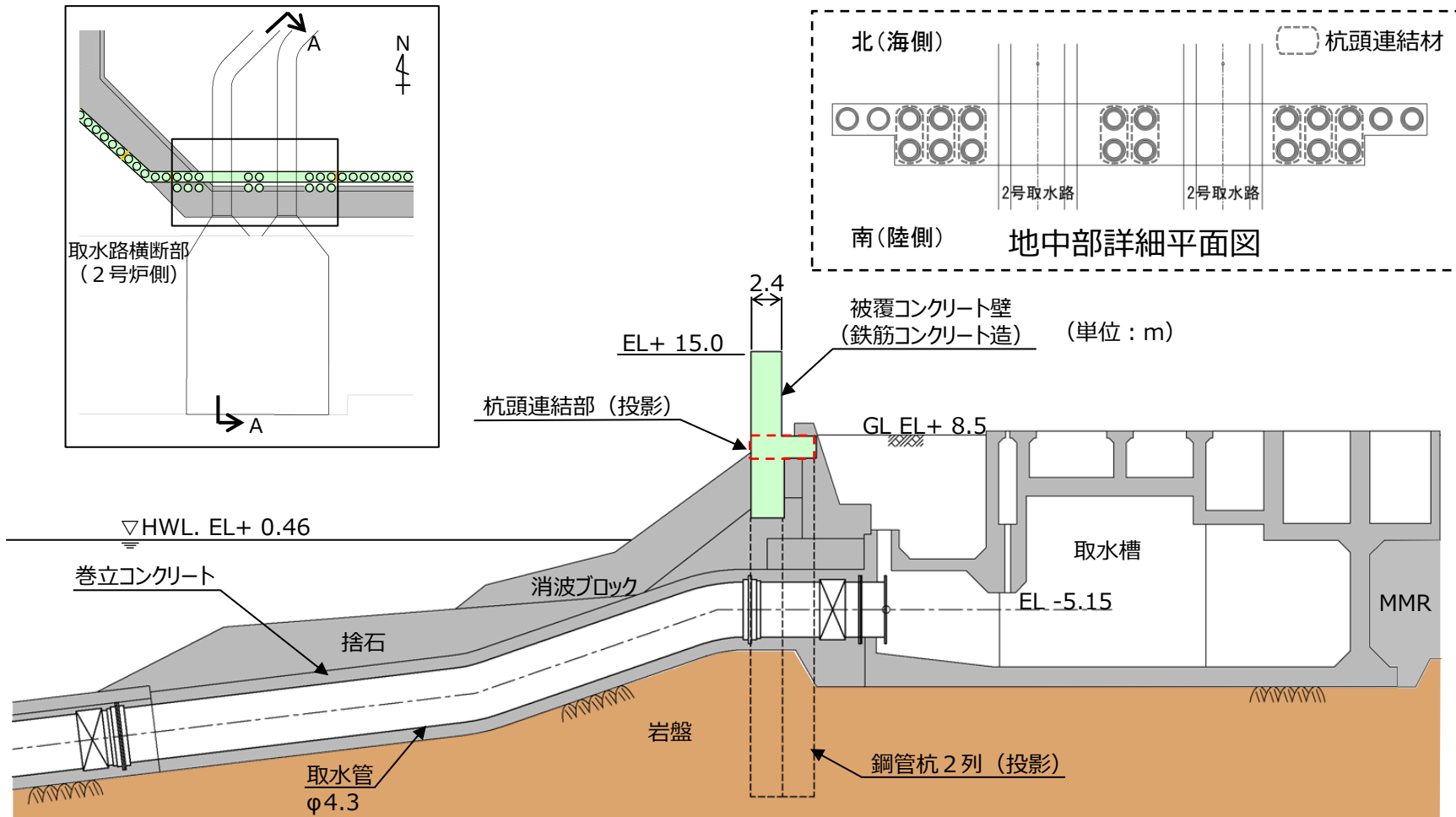
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部の正面図を以下に示す。
- 取水路横断部の耐震及び耐津波評価は、下図に示すとおり、2号炉側のスパンが1号炉側より大きく、部位の発生断面力が大きくなることから、2号炉側に代表させて行う。



8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（4/10）

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



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部（2号炉側，A-A断面） 断面図

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（5/10）

■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）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
被覆コンクリート壁	<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"> 被覆コンクリート壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、同一ブロック内で鋼管杭に相対変位が発生し、被覆コンクリート壁がねじれ、曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。 	①, ②		○
	<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はたつき、押抜きせん断破壊が生じる。 	②		○
	<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。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物荷重により、被覆コンクリート壁が損傷し、遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物荷重による被覆コンクリート壁の発生応力度が許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<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被覆コンクリート壁に衝突することで被覆コンクリート壁が損傷し、遮水性を喪失する。 	②	<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（－）。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（6/10）

■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）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位により、目地の許容変位量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 	○
	<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。 	—

※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(—)。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（7/10）

■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）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① (砂礫層)	<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、杭の横抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、被覆コンクリート壁を支持できなくなることで、被覆コンクリート壁の遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。 	○
	<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。 			
	<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。 			

※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(-)。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（8/10）

■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）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
セメントミルク	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、セメントミルクがせん断破壊し、地盤としての有効応力が喪失した状態で地下水や津波による浸透圧が作用することで、ボイリング・パイピング現象により土粒子が流出して水みちが形成される。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制するため、セメントミルクがすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。（多重鋼管杭間の地中部の構造については次頁以降参照） 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、セメントミルクがせん断破壊し、鋼管杭の変位を抑制できなくなることで、杭の変形量が大きくなり、被覆コンクリート壁を支持できなくなることにより、被覆コンクリート壁の遮水性を喪失する。 	①, ②		○
	<ul style="list-style-type: none"> 取水路からの漏水により改良地盤が洗掘され、難透水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 取水路（取水管）は、基準地震動に対して安全性を確保している。 取水路（取水管）の劣化等による漏水を防止する観点から保守管理を適切に実施している。 	—
岩盤	<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、杭が被覆コンクリート壁を支持できなくなることで、被覆コンクリート壁の遮水性を喪失する。 	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。 	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。 	○

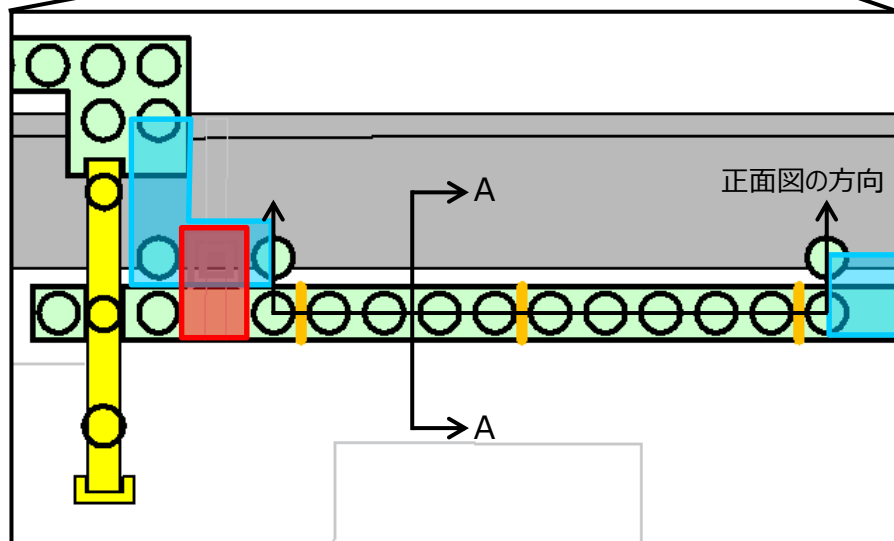
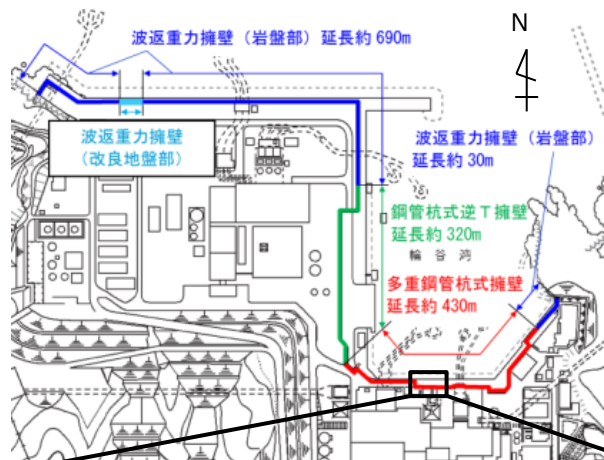
※1 ①地震時, ②津波時

※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（—）。

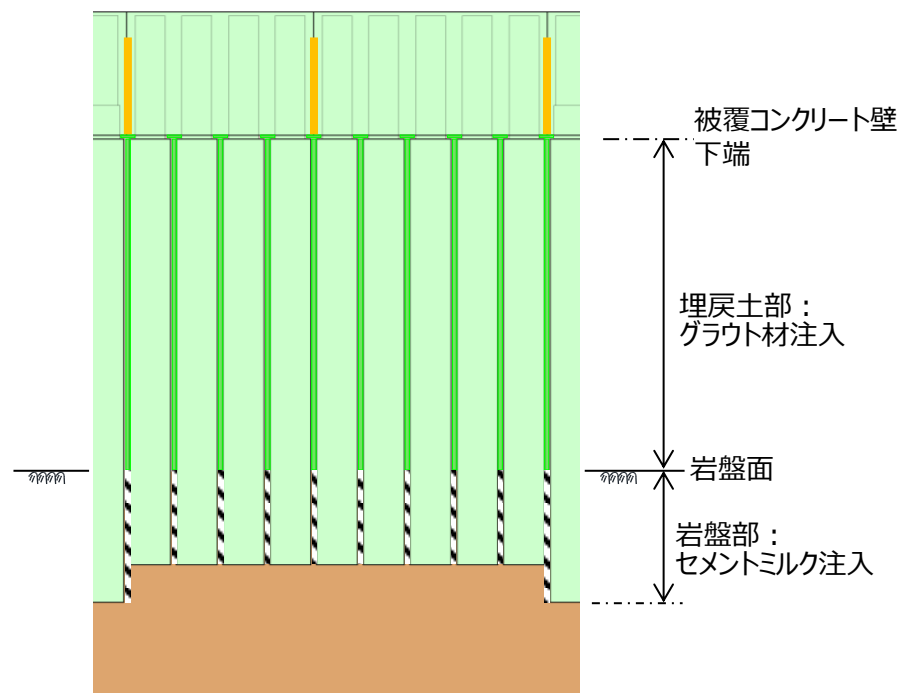
8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（9/10）

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



杭間部



防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 杭間部 正面図

凡例

被覆コンクリート壁	改良地盤①（砂礫層）
埋戻土部	改良地盤②（杭間部）
鋼管杭	屋外排水路横断部
止水目地※	セメントミルク
防波扉	グラウト材

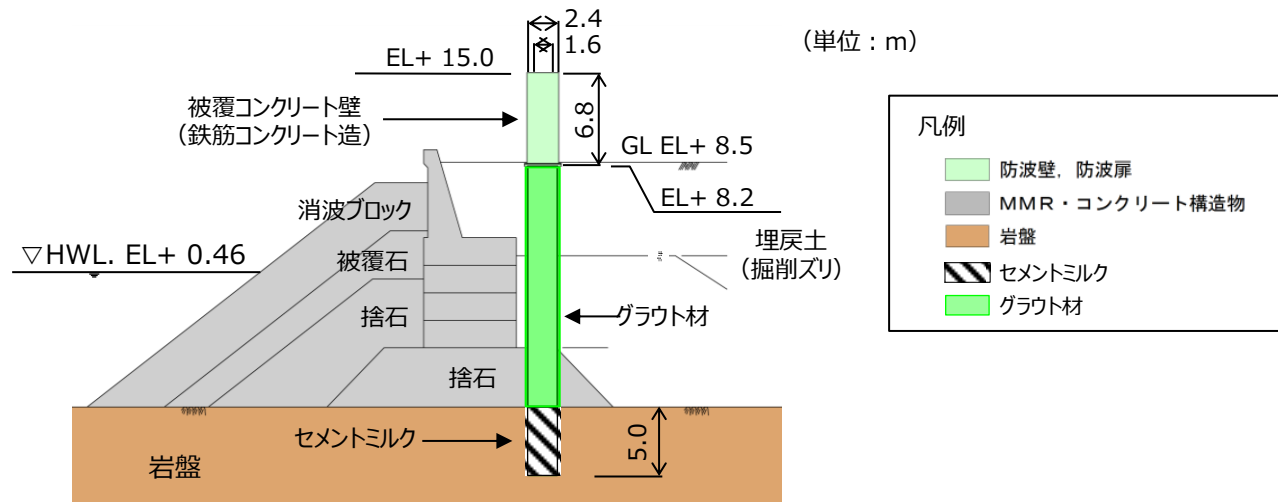
※止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（10/10）

■ セメントミルク及びグラウト材の設計上の役割等について下表のとおり整理した。

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



防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 杭間部（A-A断面） 断面図

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（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、逆T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"> 地震後や津波後の再使用性、津波時の影響（繰返しの津波）を考慮して、逆T擁壁や止水目地の変位を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭がおおむね弾性範囲であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により逆T擁壁－改良地盤間、改良地盤－岩盤間に相対変位が生じ、せん断力が鋼管杭に作用して鋼管杭が損傷することで、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	①, ②		○
	<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、逆T擁壁を支持できなくなり、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位を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭がおおむね弾性範囲であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 隣接するブロックからの荷重により、鋼管杭が損傷し逆T擁壁を支持できなくなり、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、逆T擁壁を支持できなくなり、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"> 地震時又は津波時に施設護岸の一部が崩壊し、津波により運ばれて逆T擁壁に衝突することで鋼管杭が損傷し、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	②	<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（－）。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（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短期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。 	—
	<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（－）。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（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位により、目地の許容変位量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 	○
	<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。 	—

※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（－）。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（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、杭の横抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、逆T擁壁を支持できなくなることで、逆T擁壁の遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。 	○
	<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。 			
	<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。 			

※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（-）。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（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、杭が逆T擁壁を支持できなくなることで、鋼製遮水壁の遮水性を喪失する。 	①	<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又は改良地盤が破壊し、鉛直支持機能を喪失する。 	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。 	○

※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（－）。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（1/7）

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

※1 ①地震時，②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（—）。

8.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（2/7）

■ 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位により、目地の許容変位量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に、汀線方向圧縮側の変形により遮水性を喪失する。 	①		○
	<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。 	—

※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（－）。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（3/7）

■ 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、ケーソンがせん断破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。 	①, ②		○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、ケーソンが滑動することで、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"> ケーソンの滑動の有無を確認する。

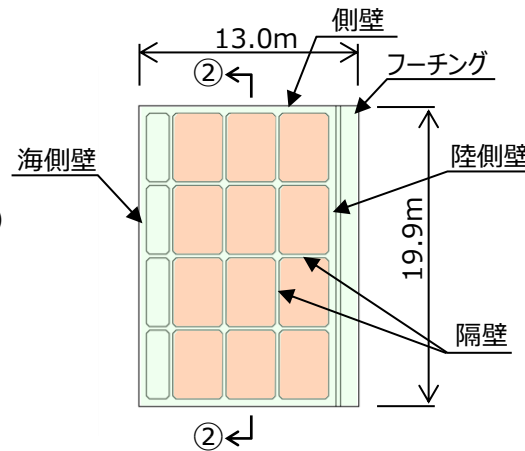
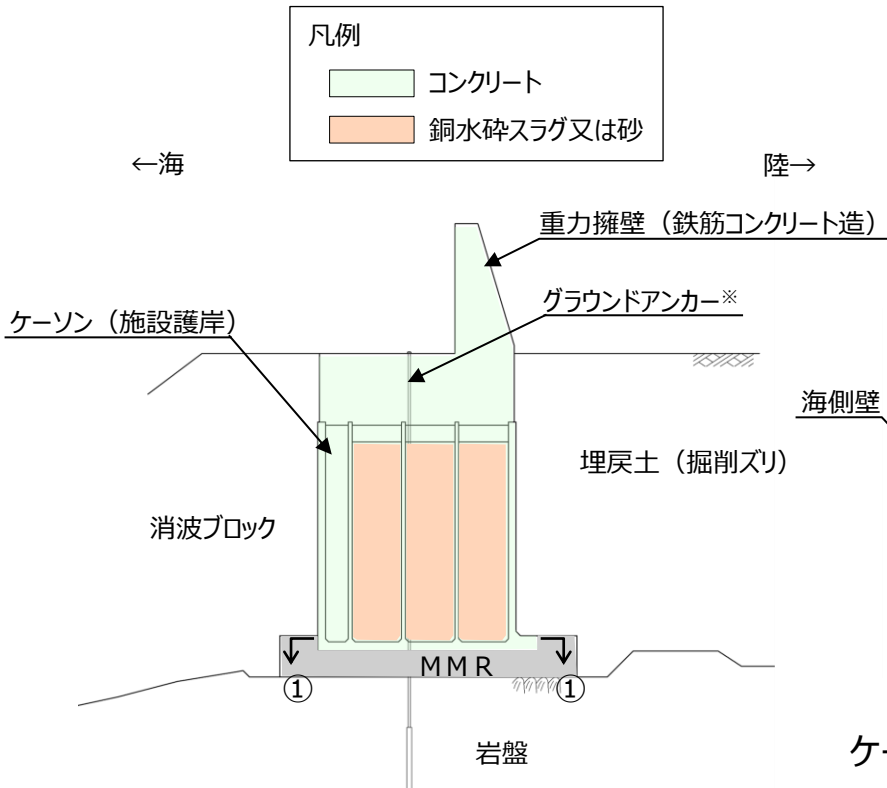
※1 ①地震時, ②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

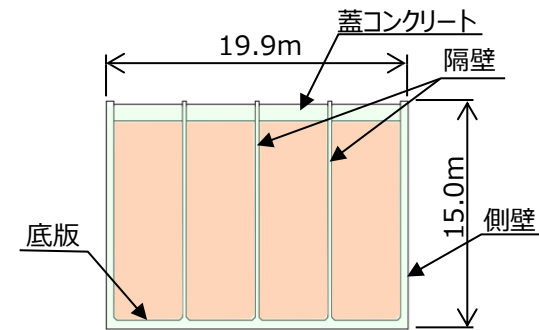
8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（4/7）

- ケーソンの構造を以下に示す。
- 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。

中詰材（銅水砕スラグ）充填状況
（蓋コンクリート打設前）

ケーソン構造図（①－①断面）



ケーソン構造図（②－②断面）

※ グラウンドアンカーの効果期待しなくても、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）

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（5/7）

■ 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(-)。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（6/7）

■ 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、MMRがすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。 	○
	<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（-）。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.3 防波壁（波返重力擁壁）（7/7）

■ 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及び改良地盤が破壊し、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（-）。

8. 防波壁の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.4 境界部

■ 境界部における、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
波返重力擁壁と鋼管杭式逆T擁壁の境界部	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により逆T擁壁と重力擁壁の間に相対変位が生じ、水みちとなり、波返重力擁壁と鋼管杭式逆T擁壁の境界部での遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 異種構造型式の境界部では構造をすりつけたうえ、止水目地を設置することで、遮水性に配慮する。 	—
鋼管杭式逆T擁壁と多重鋼管杭式擁壁の境界部	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により逆T擁壁と被覆コンクリート壁の間に相対変位が生じ、水みちとなり、鋼管杭式逆T擁壁と多重鋼管杭式擁壁の境界部での遮水性を喪失する。 			—
多重鋼管杭式擁壁と波返重力擁壁の境界部	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により被覆コンクリート壁と重力擁壁の間に相対変位が生じ、水みちとなり、多重鋼管杭式擁壁と波返重力擁壁の境界部での遮水性を喪失する。 			—
波返重力擁壁 西端・東端部	<ul style="list-style-type: none"> 地震により地山が崩壊して、高さが維持できなくなり、波返重力擁壁と端部地山の境界部での遮水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 地山斜面が崩壊しないことを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波により地山が洗掘され、高さが維持できなくなり、波返重力擁壁と端部地山の境界部での遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 硬固な岩盤であるため、洗掘されない。 	—

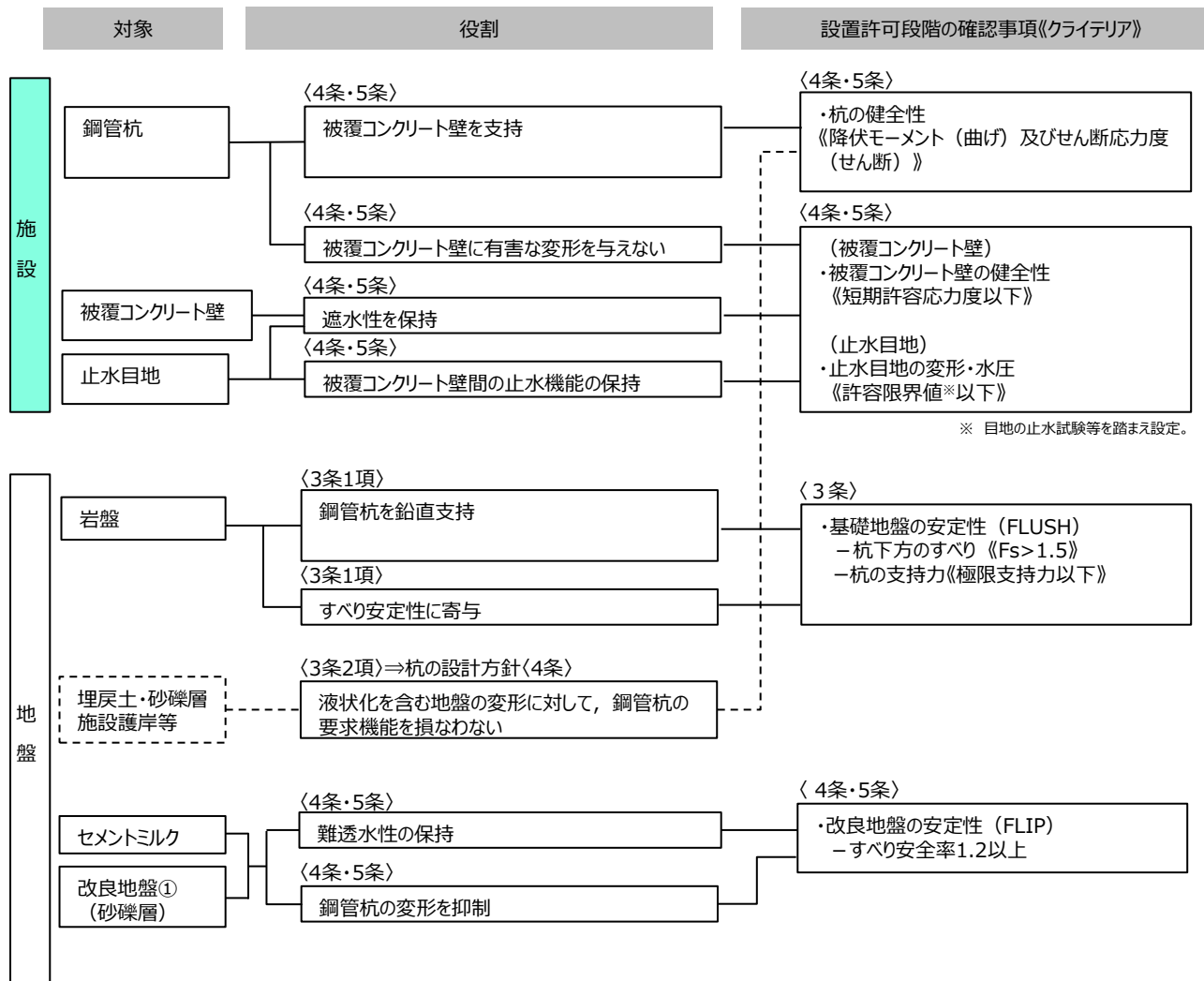
※1 ①地震時, ②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

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））

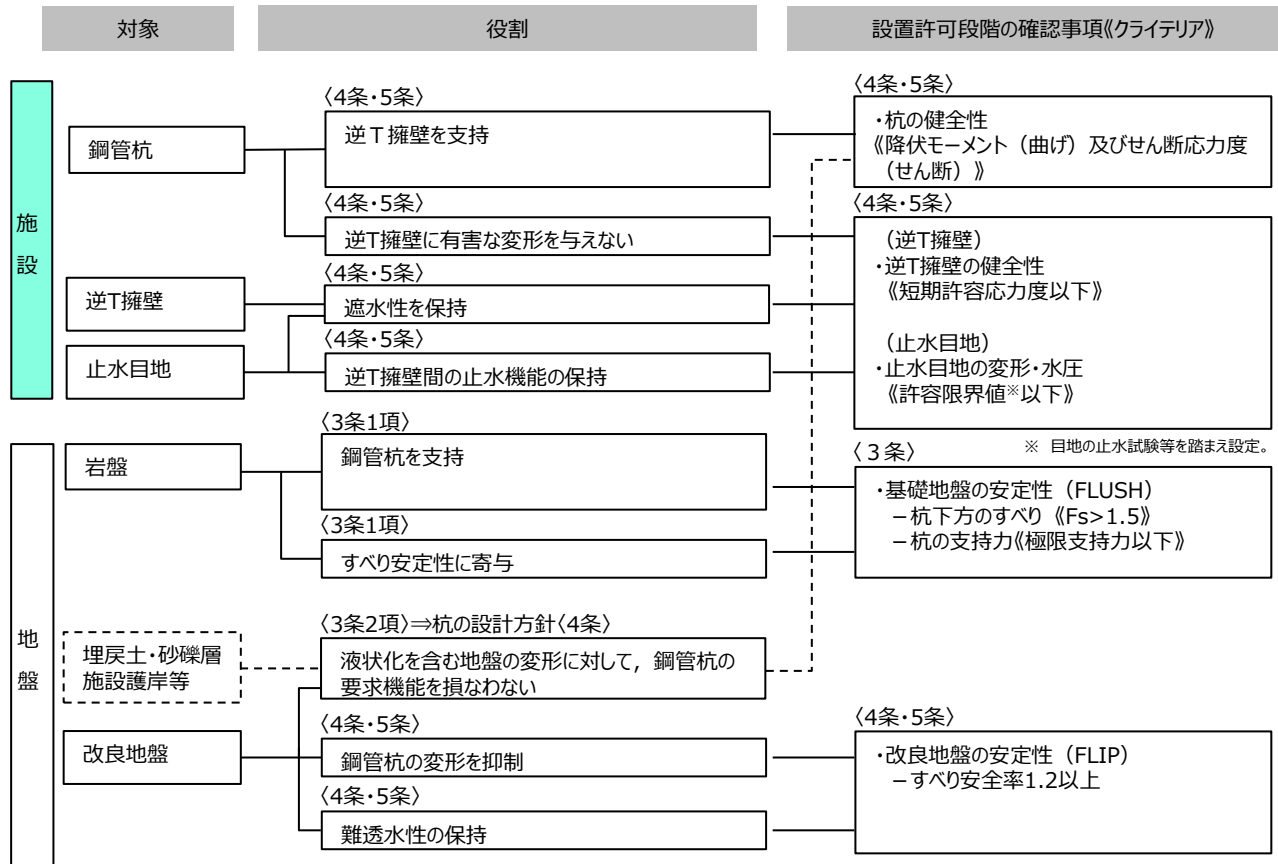
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における設置許可段階の確認項目を示す。
（規則第3条に対する地盤の確認項目を含む。規則第4,5条に対する設計内容は10.1.1及び10.2.1を参照）



9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

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））

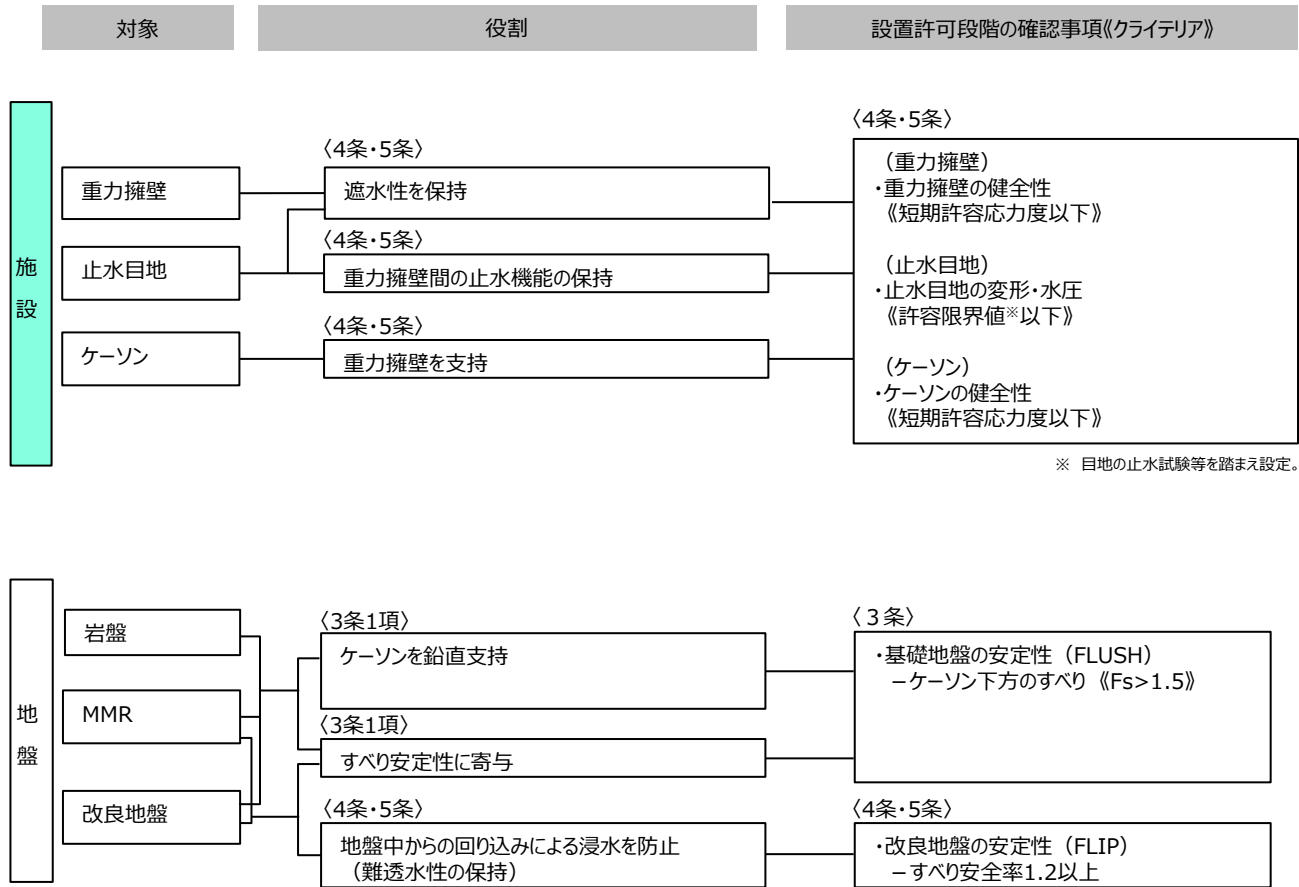
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における設置許可段階の確認項目を示す。
（規則第3条に対する地盤の確認項目を含む。規則第4,5条に対する設計内容は10.1.2及び10.2.2を参照）



9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

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））

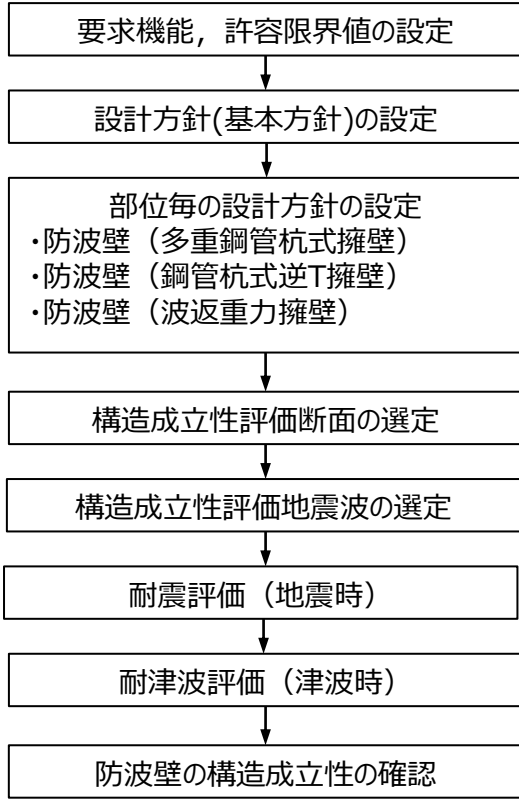
- 防波壁（波返重力擁壁）における設置許可段階の確認項目を示す。
 （規則第3条に対する地盤の確認項目を含む。規則第4,5条に対する設計内容は10.1.3及び10.2.3を参照）



9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

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構造成立性評価に係る基本方針

9.3 設置許可段階での提示内容（1/4）

- 設置許可段階と詳細設計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)	詳細設計段階※	本資料の説明範囲
対象断面	構造成立性 (4条・5条)	<p>[防波壁（多重鋼管杭式擁壁）]</p> <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。 	<ul style="list-style-type: none"> 構造成立性評価断面以外に、一次元地震応答解析結果等を参照し、必要に応じて検討対象断面を追加。 役割を期待しない埋戻土及び砂礫層については、その形状を適切にモデル化し、試験等で得られた物性値に基づく有効応力解析により挙動を評価することを基本とするが、変形・損傷によって施設の評価に影響する可能性を考慮して必要に応じて断面形状を変化させた検討を行う。 	○
		<p>[防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）]</p> <ul style="list-style-type: none"> 支持地盤が深く、鋼管杭の長さが最大となり、当該構造区間における応答が相対的に大きいと考えられる断面（1断面）を構造成立性評価断面として選定。 		
	<p>[防波壁（波返重力擁壁）]</p> <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)	<p>[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）]</p> <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)

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

9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

9.3 設置許可段階での提示内容 (2/4)

- 設置許可段階と詳細設計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)	詳細設計段階	本資料の説明範囲
対象地震波	構造成立性 (4条・5条)	<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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全基準地震動5波 	○
	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"> ・ 「10.部位ごとの設計方針」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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「10.部位ごとの設計方針」による ・ 必要に応じてより精緻な解析を実施する。 	○
		[防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)] <ul style="list-style-type: none"> ・ 「10.部位ごとの設計方針」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"> ・ 「10.部位ごとの設計方針」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. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

9.3 設置許可段階での提示内容 (3/4)

■ 設置許可段階と詳細設計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)		詳細設計段階※	本資料の説明範囲
地下水位※	防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	【地震時】 ・防波壁の陸側：EL+0.30m ・護岸陸側から防波壁まで： EL+0.14m ・護岸より海側：EL-0.02m 【津波時】 ・護岸より陸側：EL+0.46m ・護岸より海側：EL+0.46m	<ul style="list-style-type: none"> 3次元浸透流解析の結果を踏まえ、保守性を確認の上、設定する。 	○
	防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)	【地震時】 ・護岸より陸側：EL+0.14m ・護岸より海側：EL-0.02m 【津波時】 ・護岸より陸側：EL+0.14m ・護岸より海側：EL+0.46m		○
	防波壁(波返重力擁壁)	【地震時】 ・護岸より陸側：EL+0.30m ・護岸より海側：EL-0.02m 【津波時】 ・護岸より陸側：EL+0.46m ・護岸より海側：EL+0.46m		○
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。 		<ul style="list-style-type: none"> 有効応力解析による地震応答解析を実施し、液状化の有無のいずれが保守的となるかを確認する。その上で保守的となる解析を基本ケースとする。 有効応力解析で用いる液状化強度特性は、設置許可段階の設定を基本とする。 	—

※ 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。

9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

9.3 設置許可段階での提示内容 (4/4)

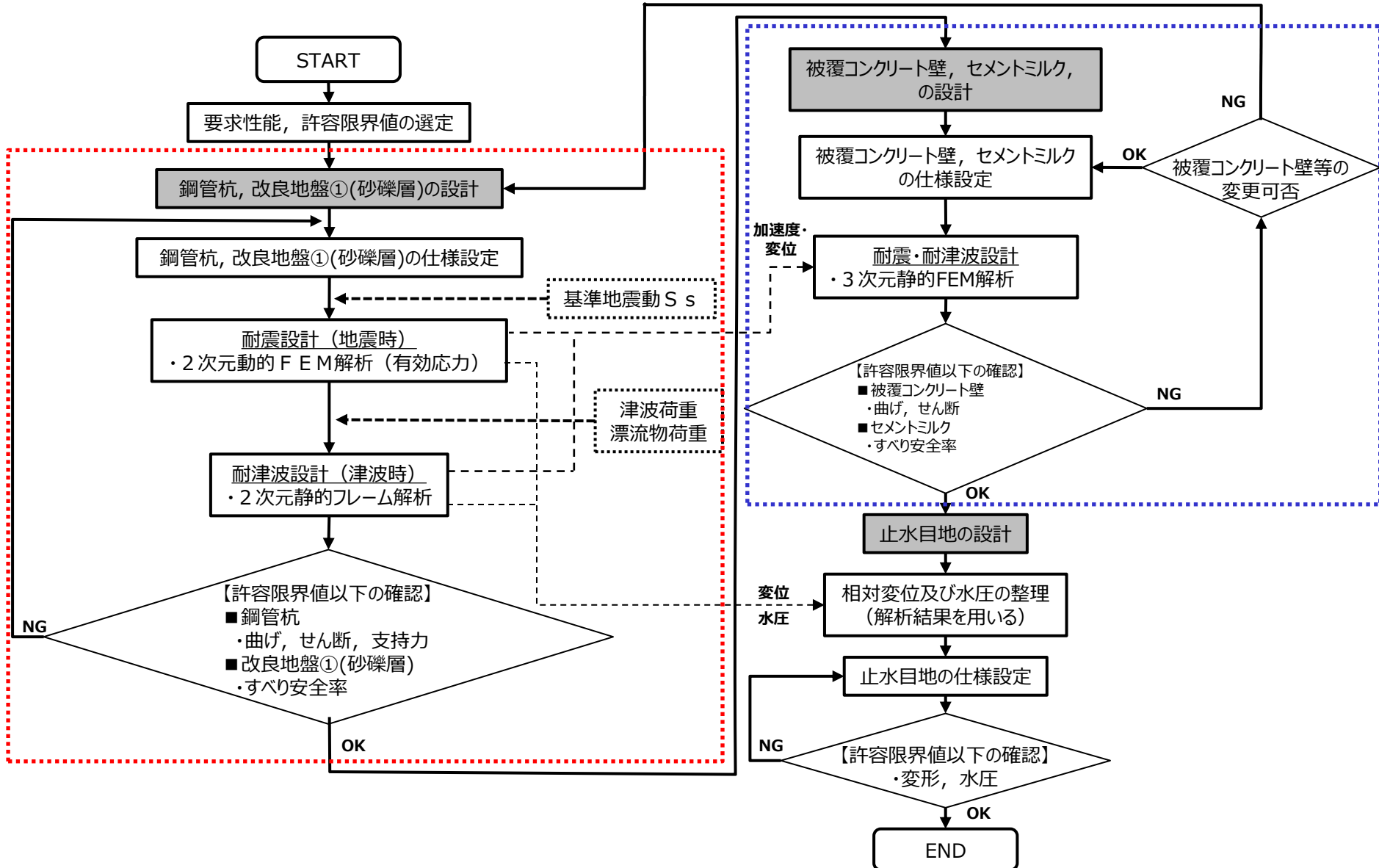
■ 設置許可段階と詳細設計段階における解析条件を整理した。

	設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)	詳細設計段階	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>	<p>各断面で地盤物性のばらつきを考慮した評価を行う。地盤物性のばらつき設定ケースは以下を基本として、基本物性における各部位の評価結果や裕度等を踏まえて具体的な解析実施ケースを検討する。</p> <p>[防波壁（多重鋼管杭式擁壁）] （剛性）解析用物性値, $\pm 1\sigma$</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭、被覆コンクリート壁及び止水目地については、地盤の土圧による影響が支配的となることから、埋戻土、改良地盤及び砂礫の剛性のばらつき ($\pm 1\sigma$) を考慮する。 <p>[防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）] （剛性）解析用物性値, $\pm 1\sigma$</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭、逆T擁壁及び止水目地については、地盤の土圧による影響が支配的となることから、埋戻土及び改良地盤の剛性のばらつき ($\pm 1\sigma$) を考慮する。 <p>[防波壁（波返重力擁壁）] （剛性）解析用物性値, $\pm 1\sigma$</p> <ul style="list-style-type: none"> ケーソン、重力擁壁及び止水目地については、地盤の土圧による影響が支配的となることから、埋戻土、改良地盤及び砂礫の剛性のばらつき ($\pm 1\sigma$) を考慮する。 	○

10. 部位ごとの設計方針

10.1.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計フロー（1/2）

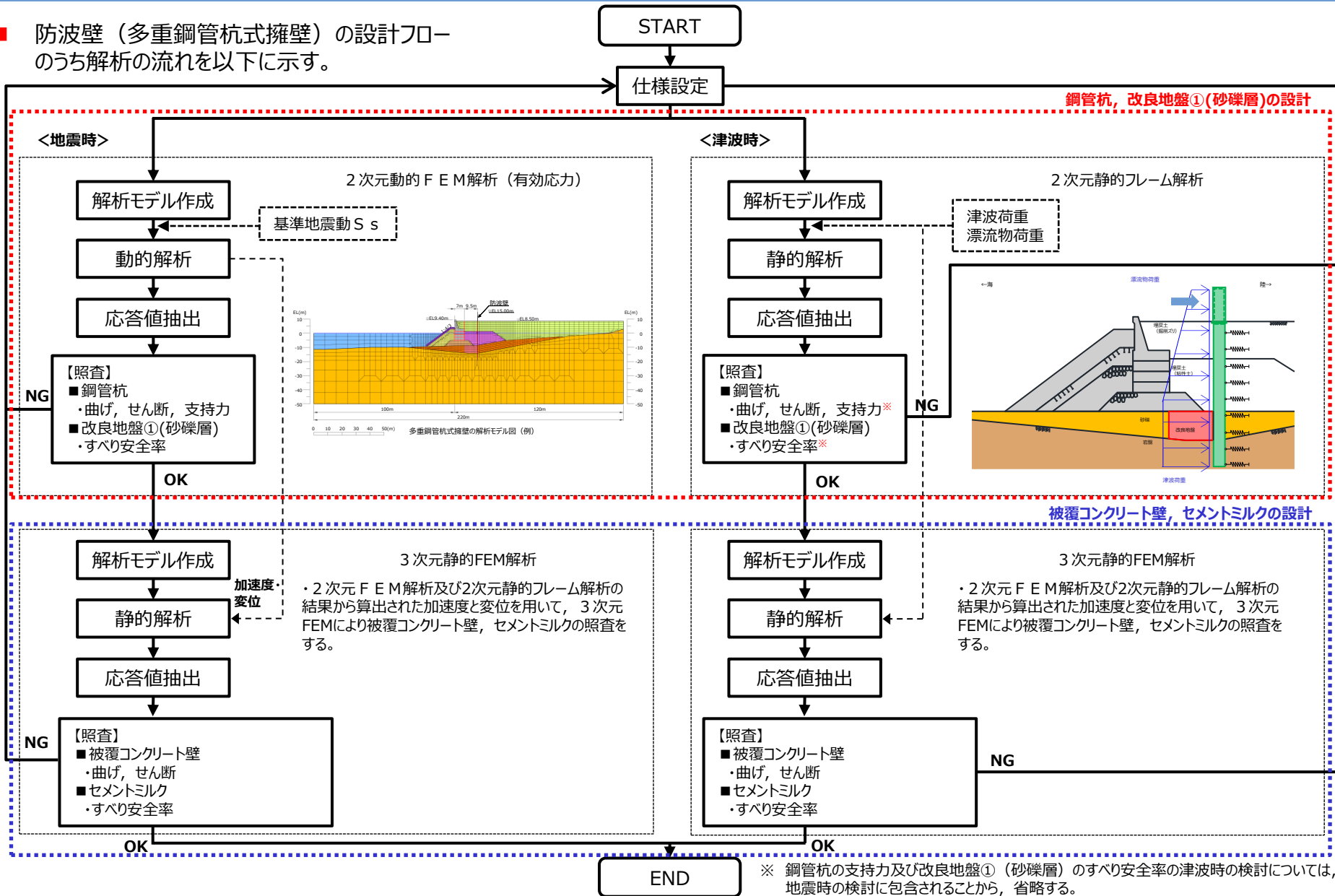
■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計フローを以下に示す。



10. 部位ごとの設計方針

10.1.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計フロー（2/2）

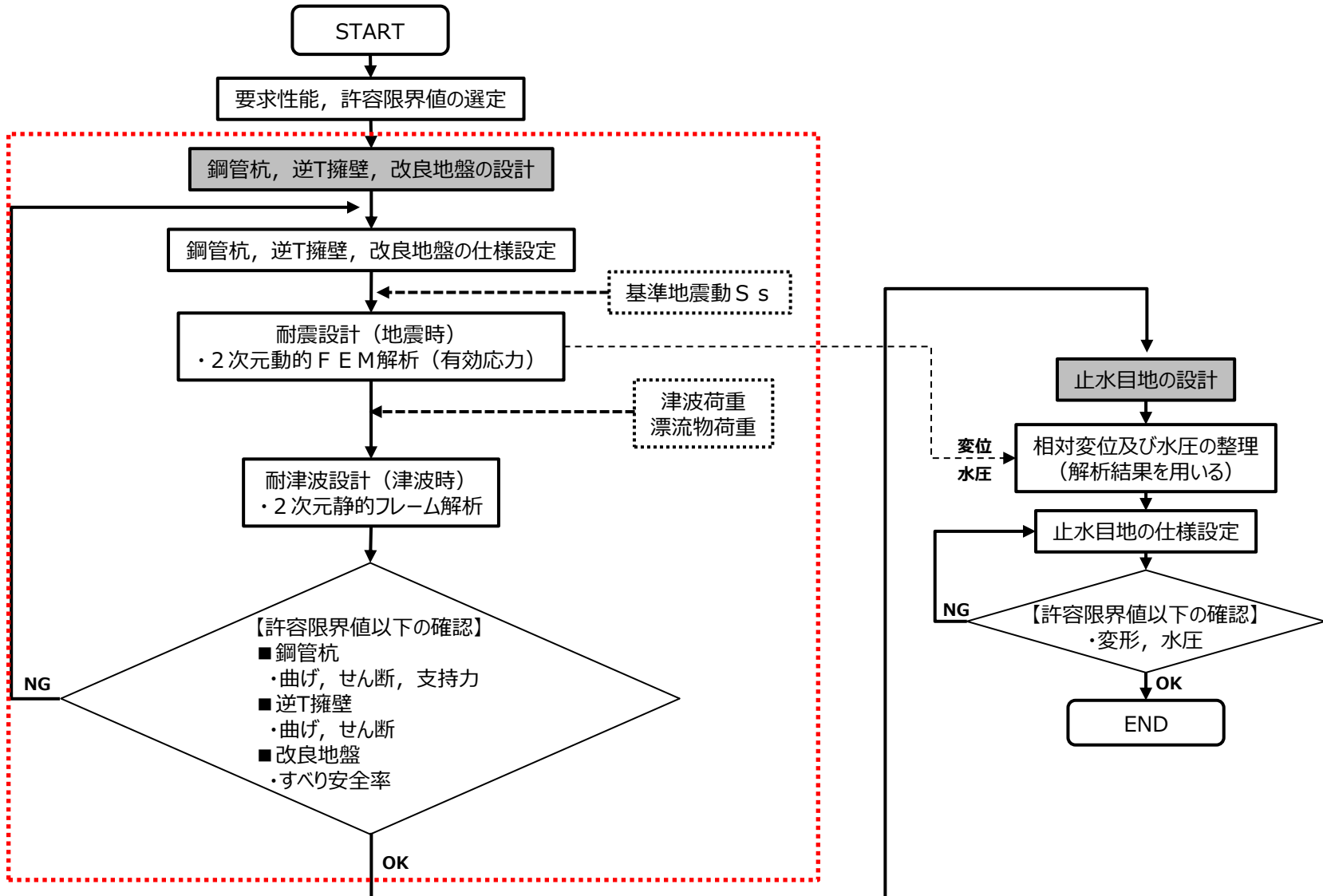
■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



10. 部位ごとの設計方針

10.1.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計フロー（1/2）

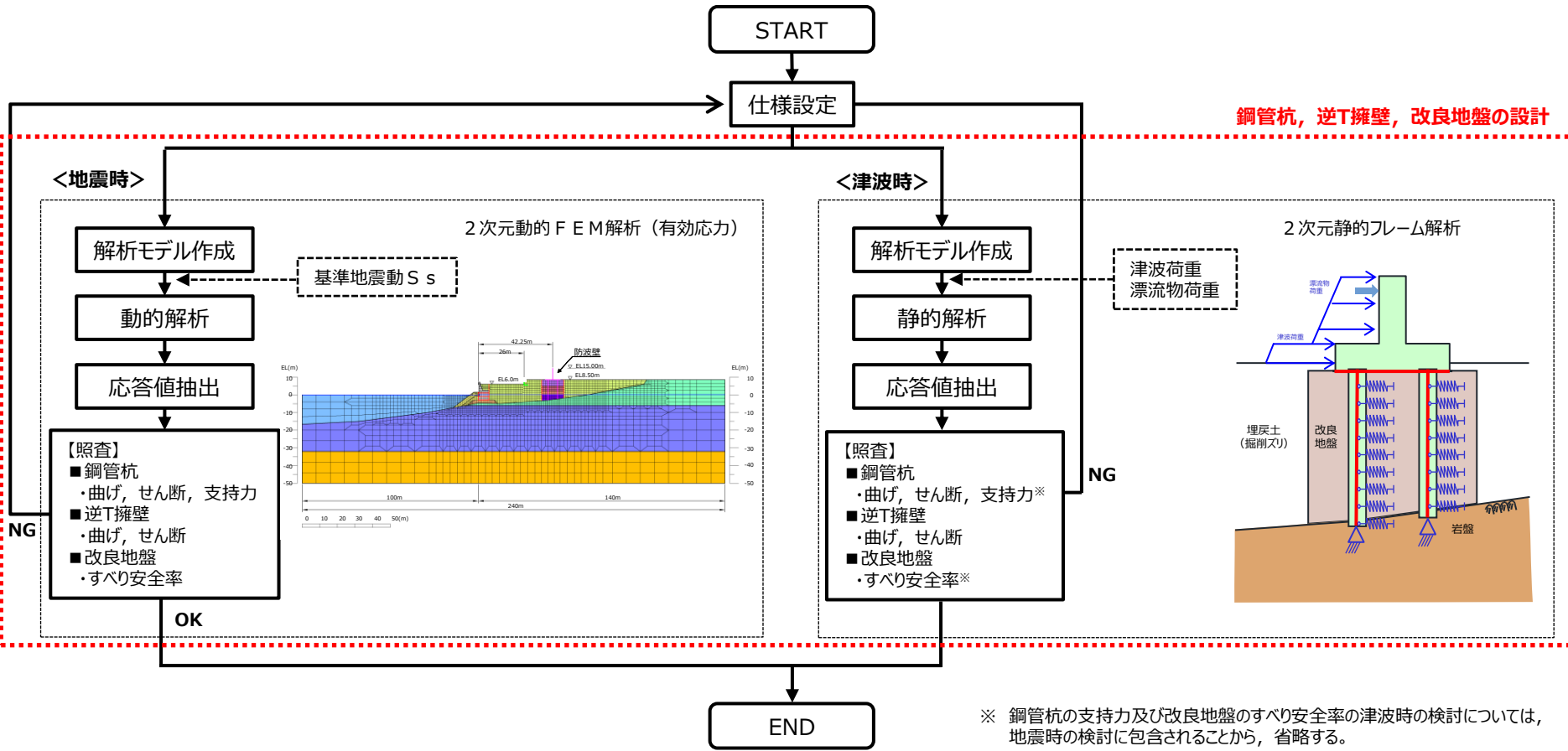
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計フローを以下に示す。



10. 部位ごとの設計方針

10.1.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計フロー（2/2）

- 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。

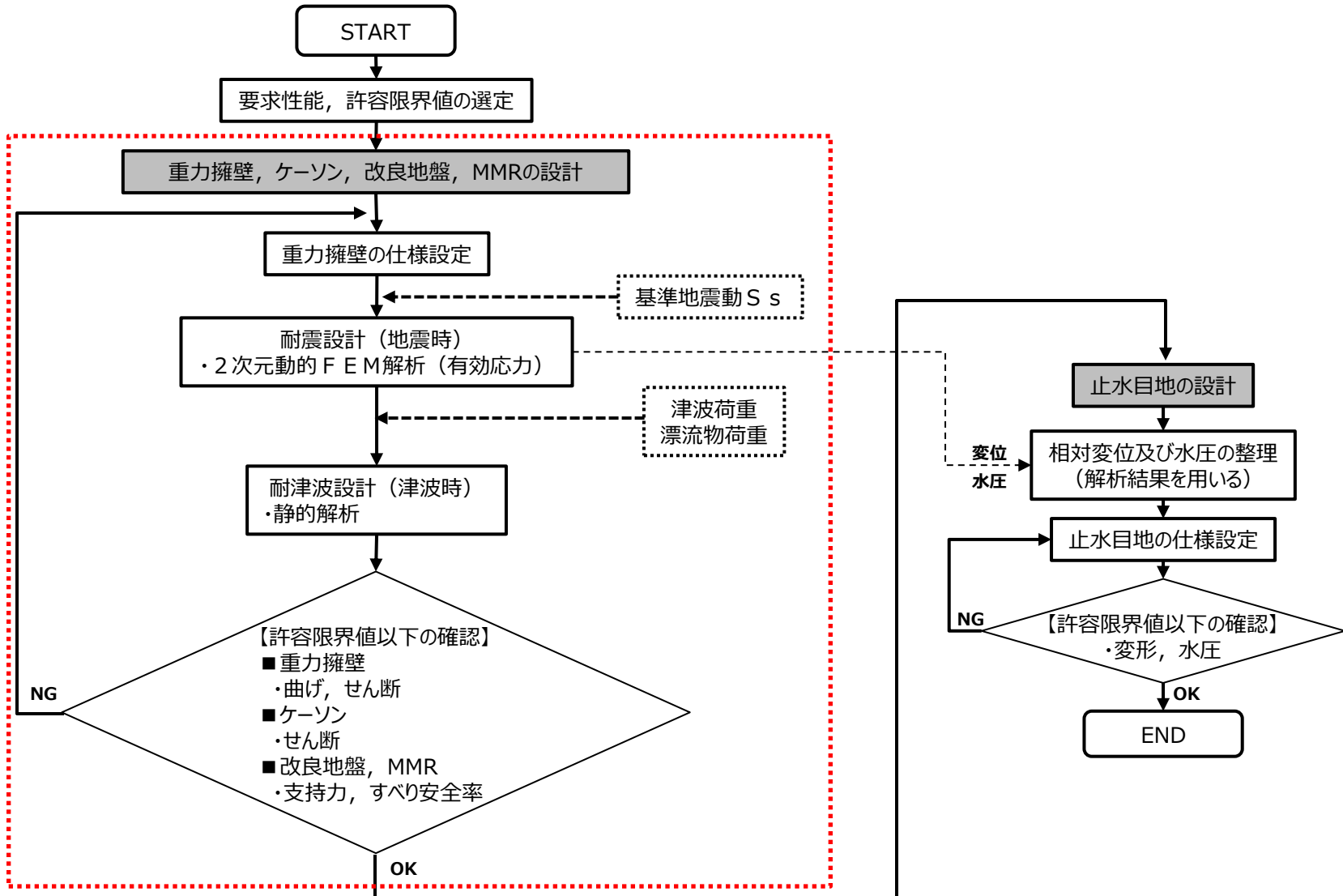


※ 鋼管杭の支持力及び改良地盤のすべり安全率の津波時の検討については、地震時の検討に含まれることから、省略する。

10. 部位ごとの設計方針

10.1.3 防波壁（波返重力擁壁）の設計フロー（1/2）

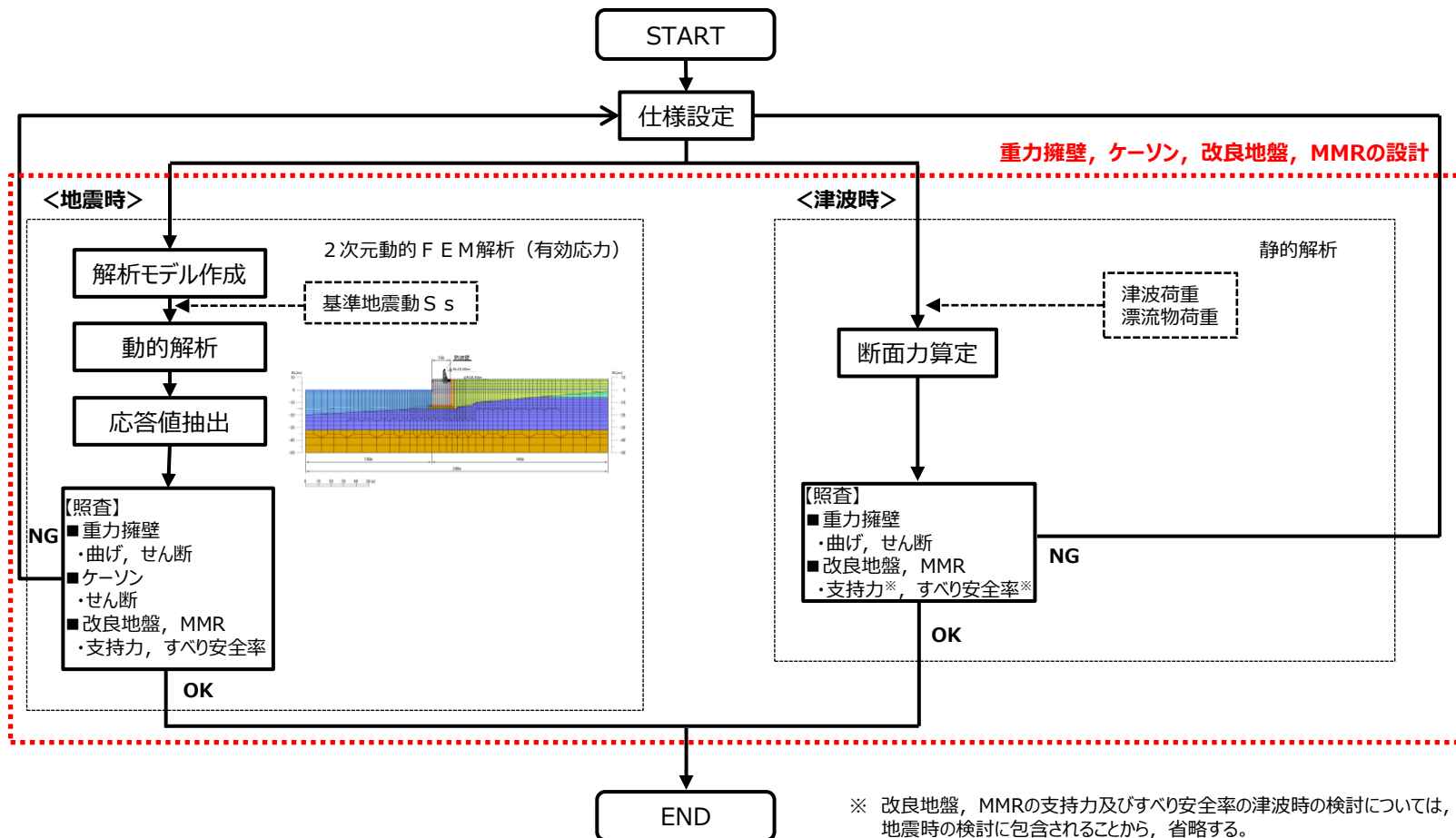
- 防波壁（波返重力擁壁）の設計フローを以下に示す。



10. 部位ごとの設計方針

10.1.3 防波壁（波返重力擁壁）の設計フロー（2/2）

- 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。



10. 部位ごとの設計方針

10.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針の概要（1/6）（鋼管杭）

鋼管杭の役割と設計方針概要

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

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

10. 部位ごとの設計方針

10.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針の概要（2/6）（被覆コンクリート壁）

被覆コンクリート壁の役割と設計方針概要

- 地震時，津波時の荷重に対して損傷せず，止水目地の支持機能及び遮水性を保持する。
- 2次元FEM解析及び2次元静的フレーム解析の結果から算出された加速度と変位を用いて，3次元FEMにより被覆コンクリート壁の照査をする。

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
被覆 コンクリート 壁	地震時	3次元静的FEM解析	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造性能照査編， 2002年制定
	津波時				

10. 部位ごとの設計方針

10.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針の概要（3/6）（止水目地）

止水目地の役割と設計方針概要

- 止水目地は、被覆コンクリート壁間の変位に追従し、損傷せず津波時の遮水性を保持する。
- 地盤と施設を連成した2次元 F E M解析及び2次元静的フレーム解析の結果の内、変形及び水圧を抽出して、止水目地の照査を実施する。また、止水ゴム等の取付け部の鋼製部材（アンカーボルト、押え板）に発生する応力が許容応力度以下であることを確認する。
- 2次元 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	メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。	
	津波時	2次元静的フレーム解析			
止水目地の 鋼製部材	地震時	—	曲げ・せん断	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。	
	津波時	—			

10. 部位ごとの設計方針

10.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針の概要（4/6）（岩盤）

地盤（岩盤）の役割と設計方針概要

- 岩盤は鋼管杭を鉛直支持し、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 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。

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次元静的フレーム解析			

※ 津波時の検討については、地震時の検討に含まれることから、省略する。

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の支持力は、岩盤の支持力試験から定めた極限支持力と地震応答解析により求められる杭先端の杭先端の最大軸力を比較することにより確認する。
- 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」に示される極限支持力の推定式によると、支持杭の軸方向支持力は杭先端支持力と周面摩擦力の和として表されるが、多重鋼管杭式擁壁の支持力評価に当たっては、周面摩擦力による抵抗に期待しない設計とする。

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

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

q_d : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度 (kN/m²)

A : 杭先端面積 (m²)

10. 部位ごとの設計方針

10.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針の概要（5/6）（改良地盤①（砂礫層））

改良地盤①（砂礫層）の役割と設計方針概要

- 改良地盤①（砂礫層）は鋼管杭の変位を抑制し、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 改良地盤①（砂礫層）は、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性の保持）。
- 地震時は、地盤と施設を連成した2次元 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。

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

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

10. 部位ごとの設計方針

10.2.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針の概要（6/6）（セメントミルク）

セメントミルクの役割と設計方針概要

- セメントミルクは、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性の保持）。
- 2次元FEM解析及び2次元静的フレーム解析の結果から算出された加速度と変位を用いて、3次元FEMによりセメントミルクの照査をする。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
セメントミルク	地震時	3次元静的FEM解析	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時				

鋼管杭の役割と設計方針概要

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

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

10. 部位ごとの設計方針

10.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針の概要（2/5）（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次元静的フレーム解析，地震時は液状化を精緻に評価するために2次元FEM解析により，逆T擁壁を照査する。
- 2次元FEM解析に当たっては，地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し，有効応力解析を用いる。

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

10. 部位ごとの設計方針

10.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針の概要（3/5）（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擁壁間の変位に追従し、損傷せず津波時の遮水性を保持する。
- 地盤と施設を連成した2次元FEM解析及び2次元静的フレーム解析の結果の内、変形及び水圧を抽出して、止水目地の照査を実施する。また、止水ゴム等の取付け部の鋼製部材（アンカーボルト、押え板）に発生する応力が許容応力度以下であることを確認する。
- 2次元FEM解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。

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

10. 部位ごとの設計方針

10.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針の概要（4/5）（岩盤）

地盤（岩盤）の役割と設計方針概要

- 岩盤は鋼管杭を鉛直支持し、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 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。

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次元静的フレーム解析			

※ 津波時の検討については、地震時の検討に包含されることから、省略する。

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の支持力は、岩盤の支持力試験から定めた極限支持力と地震応答解析により求められる杭先端の杭先端の最大軸力を比較することにより確認する。
- 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」に示される極限支持力の推定式によると、支持杭の軸方向支持力は杭先端支持力と周面摩擦力の和として表されるが、鋼管杭式逆T擁壁の支持力評価に当たっては、周面摩擦力による抵抗に期待しない設計とする。

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

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

q_d : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度 (kN/m²)

A : 杭先端面積 (m²)

10. 部位ごとの設計方針

10.2.2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針の概要（5/5）（改良地盤）

地盤（改良地盤）の役割と設計方針概要

- 改良地盤は鋼管杭の変位を抑制し、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 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。

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

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

10. 部位ごとの設計方針

10.2.3 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針の概要（1/5）（重力擁壁）

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。
- 津波時は静的解析，地震時は液状化を精緻に評価するために2次元 F E M解析により，重力擁壁を照査する。
- 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。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
重力擁壁	地震時	2次元動的 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	静的解析			

10. 部位ごとの設計方針

10.2.3 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針の概要（2/5）（ケーソン）

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を保持する。
- 津波時は静的解析，地震時は液状化を精緻に評価するために2次元 F E M解析により，ケーソンの断面力を照査する。
- 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。

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

10. 部位ごとの設計方針

10.2.3 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針の概要（3/5）（止水目地）

止水目地の役割と設計方針概要

- 止水目地は、重力擁壁間の変位に追従し、損傷せず津波時の遮水性を保持する。
- 地盤と施設を連成した2次元 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 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	メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。	
	津波時	静的解析			
止水目地の 鋼製部材	地震時	—	曲げ・せん断	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。	
	津波時	—			

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鉛直支持し，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 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。

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※	静的解析			

※ 津波時の検討については，地震時の検討に包含されることから，省略する。

10. 部位ごとの設計方針

10.2.3 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針の概要（5/5）（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FEM解析を実施する。
- 2次元FEM解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。

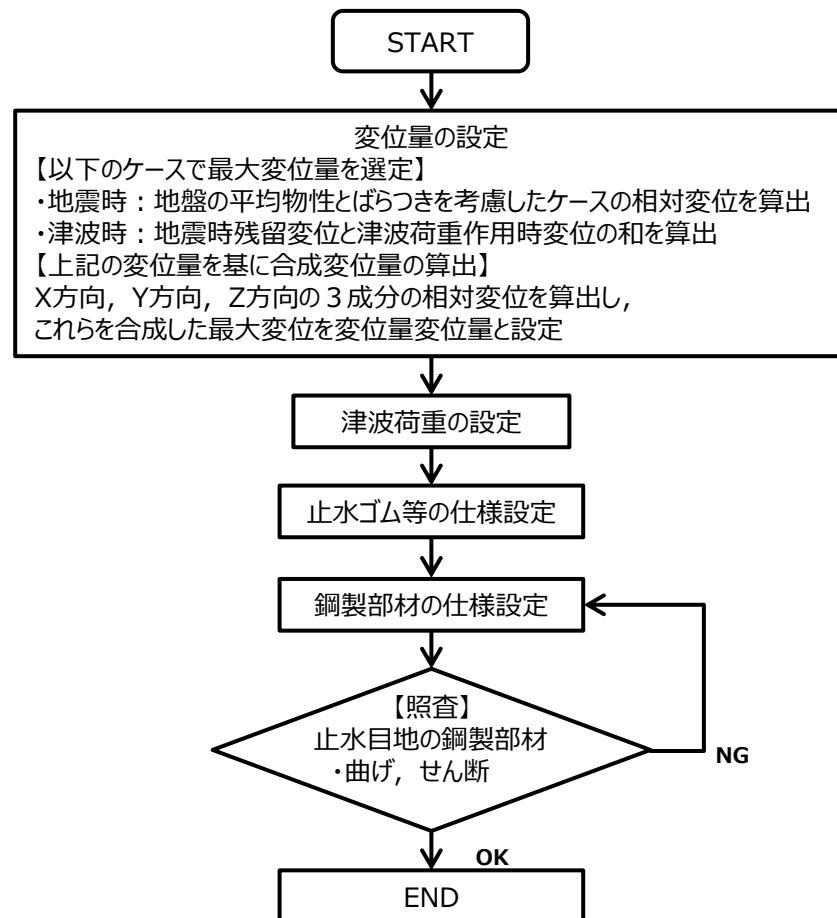
評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤 及び MMR	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	支持力	極限支持力	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成14年3月)
			すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時※	静的解析	支持力	極限支持力	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成14年3月)
			すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド

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

10. 部位ごとの設計方針

10.2.4 防波壁の設計方針の概要（止水目地）

- ・止水ジョイント部の構造成立性評価については、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析及び津波荷重を用いた静的フレーム解析により算出された変位量と、入力津波を用いて津波波圧算定式より算出した津波荷重に対して止水ゴム等の止水性が維持できる仕様であることを確認する。
- ・止水ゴム等の仕様設定は、性能試験（耐圧試験・引張変形試験）により津波荷重に耐え、止水機能を維持できる変形量となるよう設定するとともに、構造物間に生じる相対変位に対し追従可能な材料を選定する。
- ・止水ゴム等が取付け部の鋼製部材に発生する応力が許容応力度以下であることを確認する。



10.3.1 2次元動的有限要素解析（有効応力解析）による検討（1/4）

解析の目的

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

結果の利用

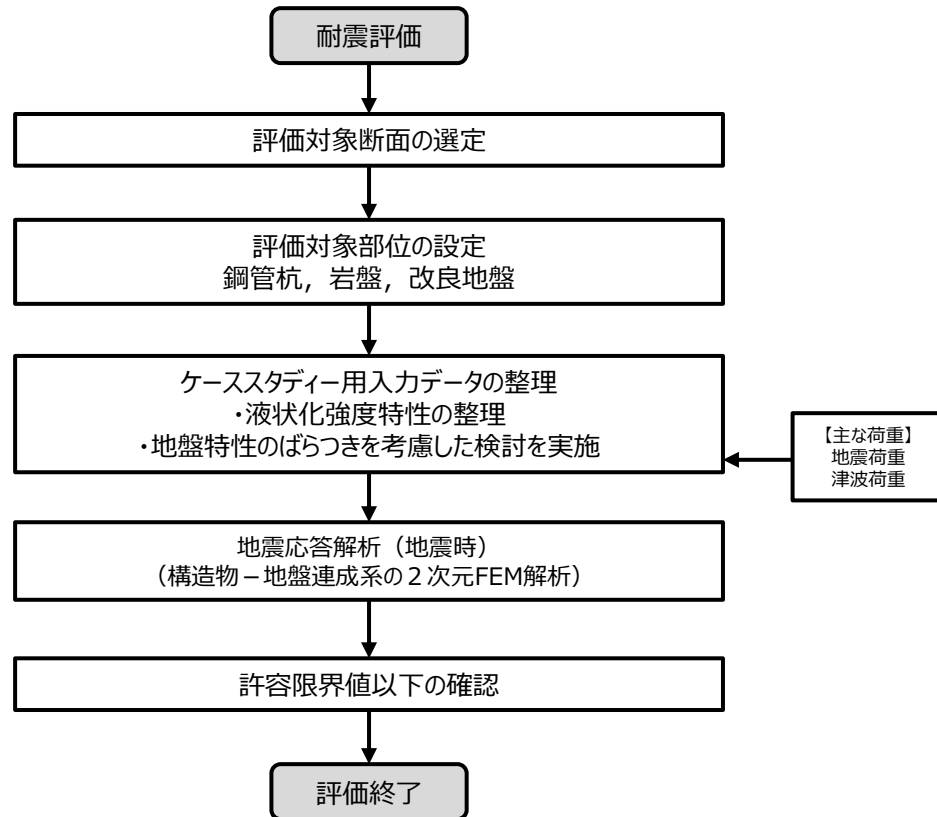
- 鋼管杭，逆T擁壁，波返重力擁壁及びケーソンの照査
- 地震時応答（変位を含む）

解析条件

- 地盤物性のばらつきを考慮する（詳細は9.3を参照）。

「代表断面選定の考え方」

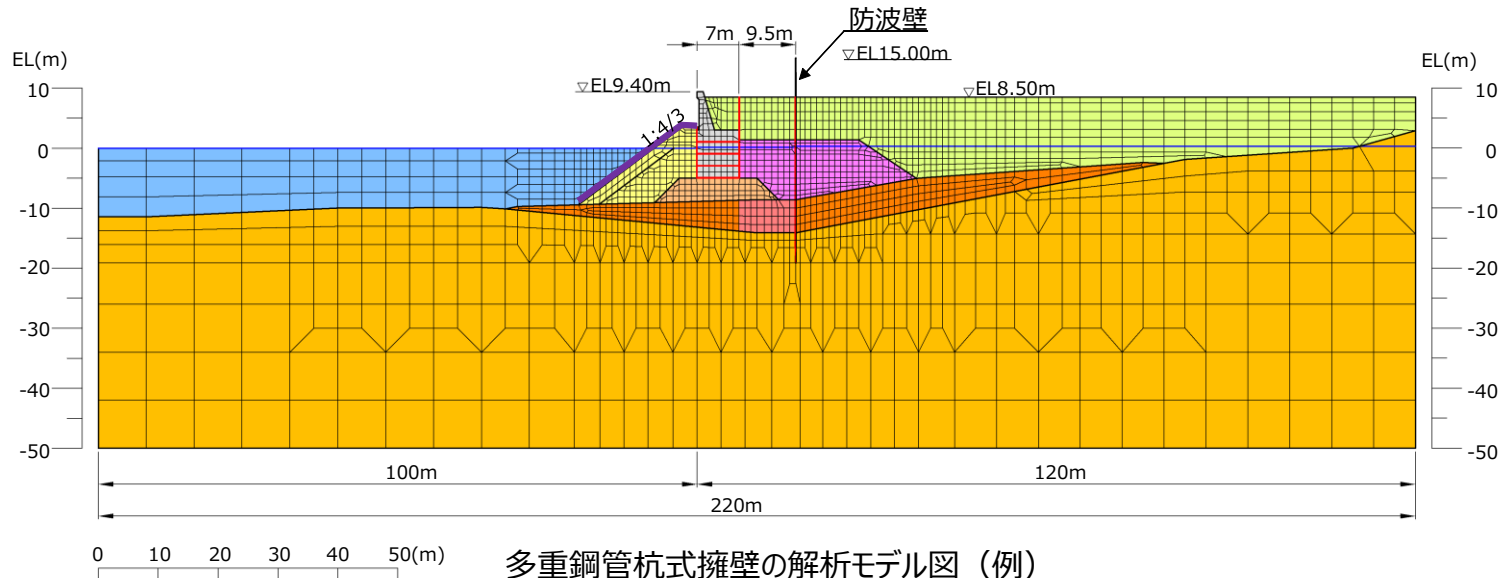
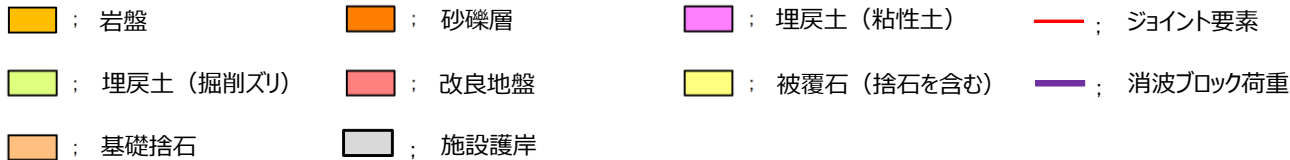
着目点	概要	代表断面の選定
地質分布	構造的特徴，周辺の地質分布を考慮して，代表断面を選定する。	詳細設計段階において，地震応答解析により耐震評価を行う上で，構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を選定する。



10.3.1 2次元動的有限要素解析（有効応力解析）による検討（2/4）

モデル化方針（多重鋼管杭式擁壁）

- 鋼管杭は線形はり要素でモデル化する（多重鋼管杭のモデル化に関しては別添5-1参照）。
- 岩盤及び施設護岸は線形平面要素でモデル化する。
- 埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、砂礫層、改良地盤、被覆石及び基礎捨石はマルチスプリング要素でモデル化する。消波ブロックは荷重で考慮する。
- 液状化評価対象層である埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層は液状化パラメータを設定する。
- 海水は流体要素でモデル化する。
- 防波壁と背後地盤など、要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素でモデル化する。

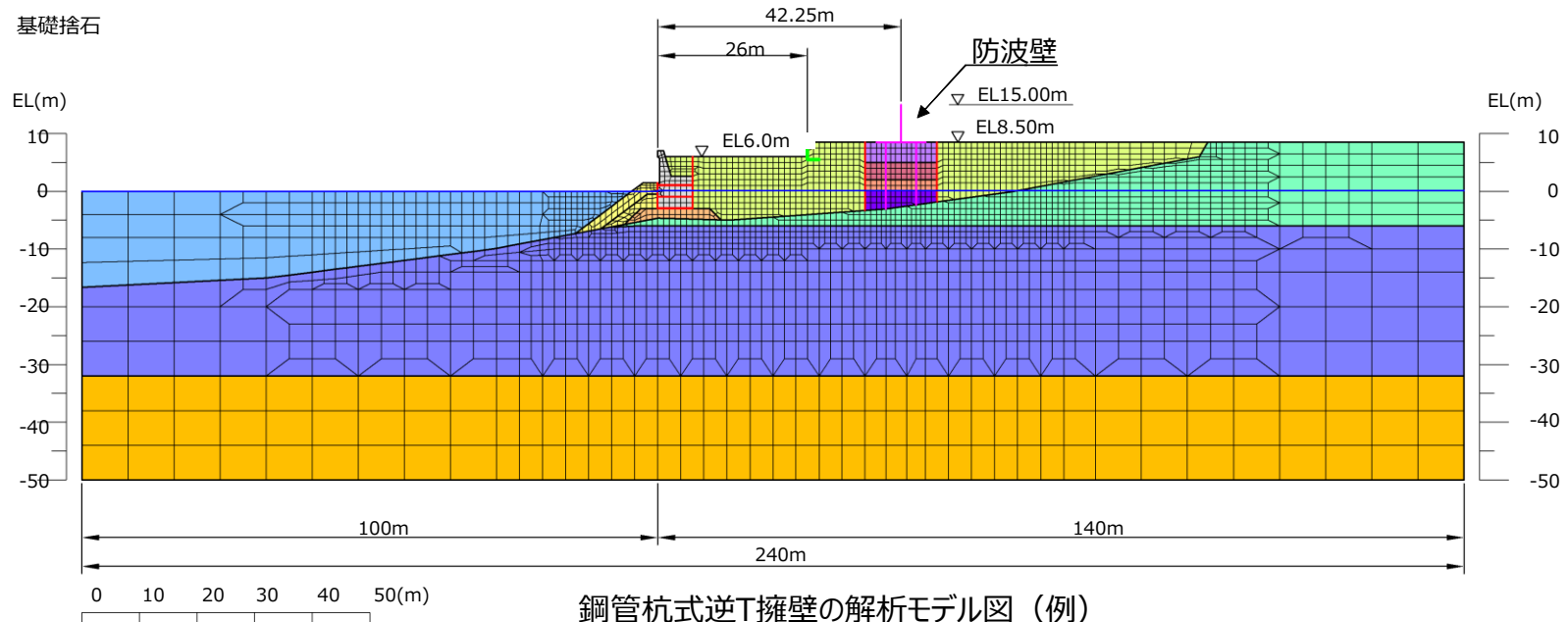
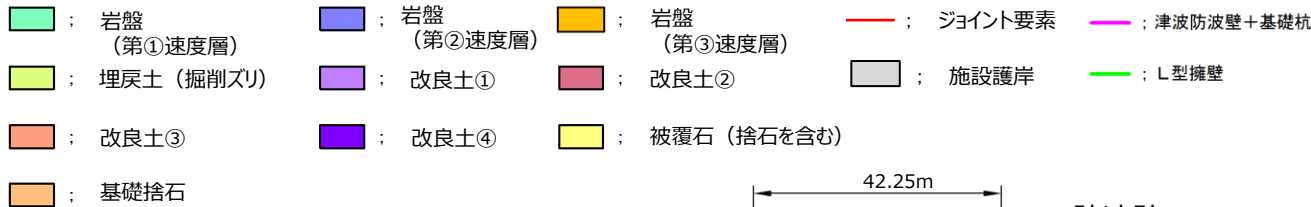


10. 部位ごとの設計方針

10.3.1 2次元動的有限要素解析（有効応力解析）による検討（3/4）

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



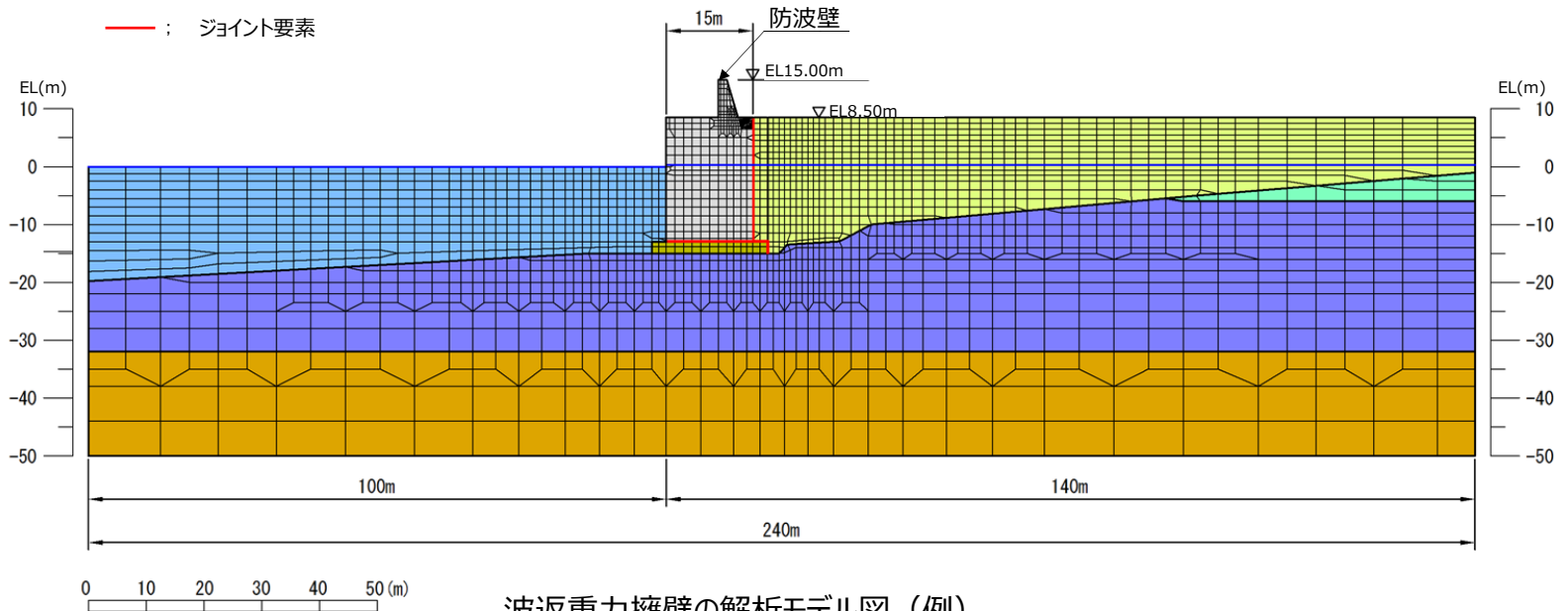
鋼管杭式逆T擁壁の解析モデル図（例）

10.3.1 2次元動的有限要素解析（有効応力解析）による検討（4/4）

モデル化方針（波返重力擁壁）

- 波返重力擁壁はケーソン護岸と一体化した構造のため線形平面要素でモデル化する。
- 岩盤及びMMRは線形平面要素でモデル化する。
- 埋戻土（掘削ズリ）、砂礫層、改良地盤はマルチスプリング要素でモデル化する。消波ブロックは荷重で考慮する。
- 液状化評価対象層である埋戻土（掘削ズリ）は液状化パラメータを設定する。
- 海水は流体要素でモデル化する。
- 防波壁と背後地盤など、要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素でモデル化する。

- : 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）

10. 部位ごとの設計方針

10.3.2 静的フレーム解析による検討

解析の目的

- 鋼管杭，逆T擁壁の挙動評価（津波時）

結果の利用

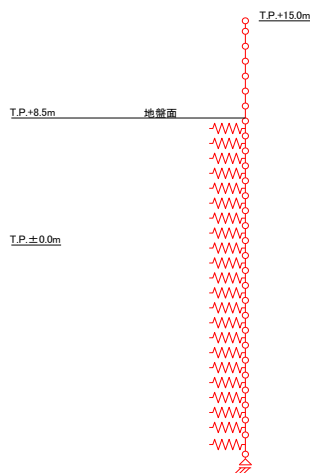
- 鋼管杭，逆T擁壁の照査
- 止水目地の変位量

モデル化方針

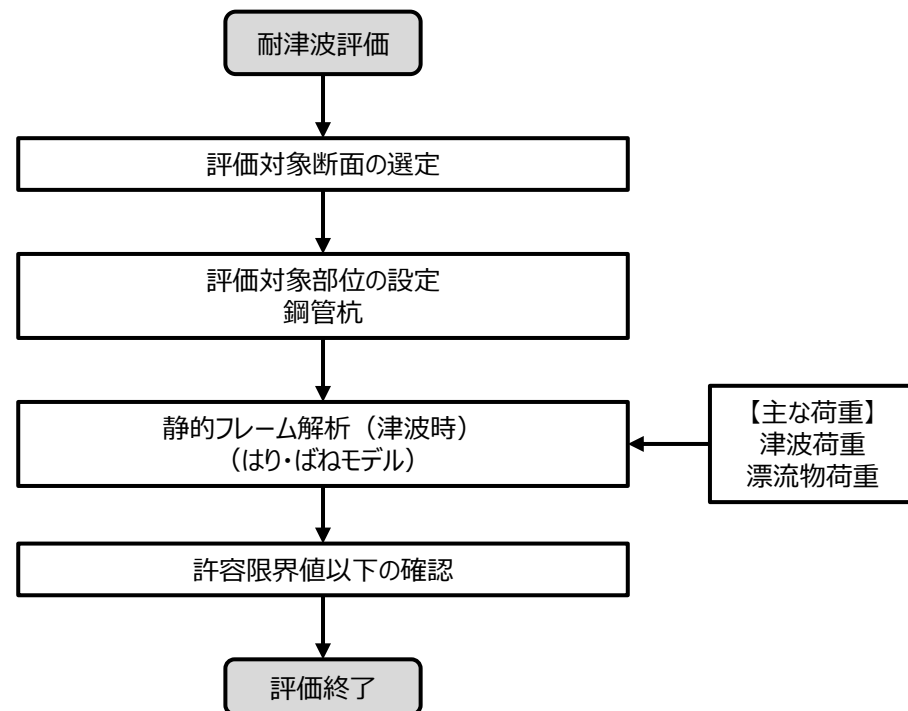
- 鋼管杭，逆T擁壁は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。
- 岩盤は地盤ばねでモデル化する。

解析条件

- 解析用物性値（静的物性）を用いる。

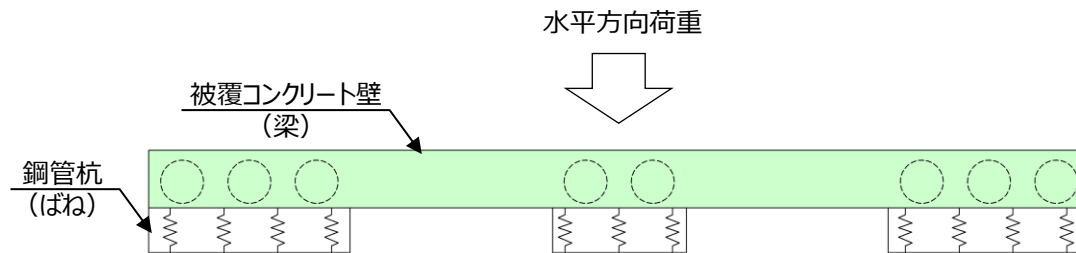


多重鋼管杭式擁壁 解析モデル図(例)

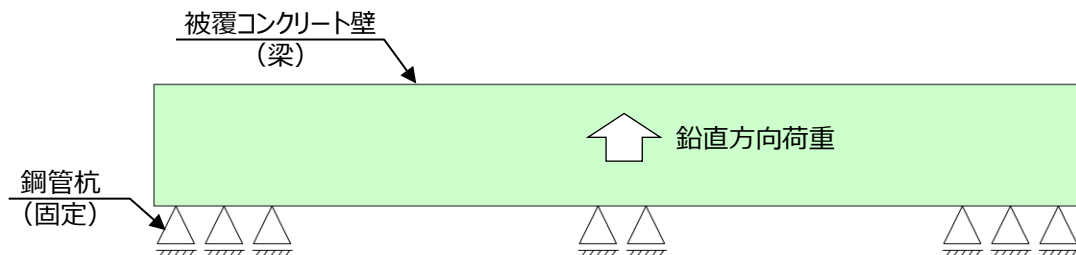


10.4 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部 設計方針（1/2）

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



(a) 水平方向荷重に対する解析モデル（平面図）



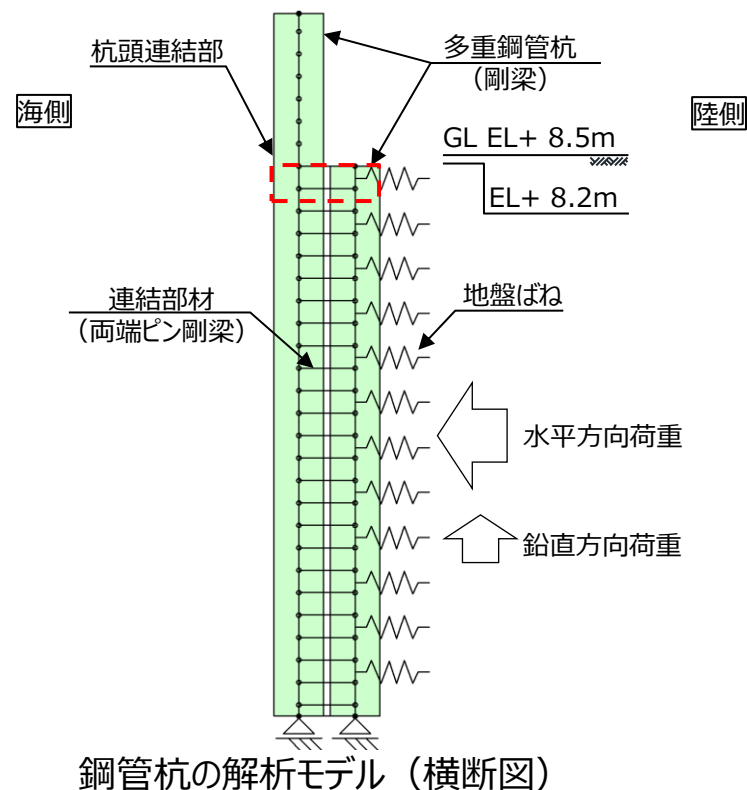
(b) 鉛直方向荷重に対する解析モデル（縦断図）

被覆コンクリート壁の解析モデル

10. 部位ごとの設計方針

10.4 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部 設計方針（2/2）

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



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」 別添資料

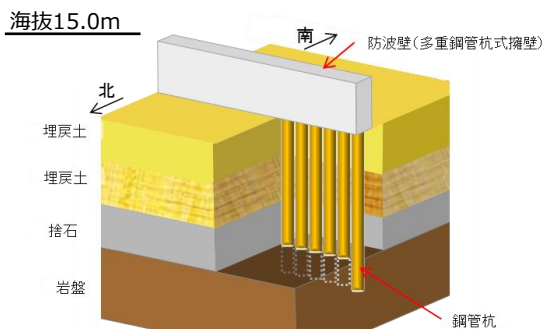
- 別添.1 島根防波壁の構造等に関する先行炉との比較
- 別添.2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要
- 別添.3 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造概要
- 別添.4 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要
- 別添.5 防波壁多重鋼管杭の設計方針
- 別添.6 1号放水連絡通路の構造概要
- 別添.7 津波+余震時の評価の省略

別添.1 防波壁の構造等に関する先行炉との比較

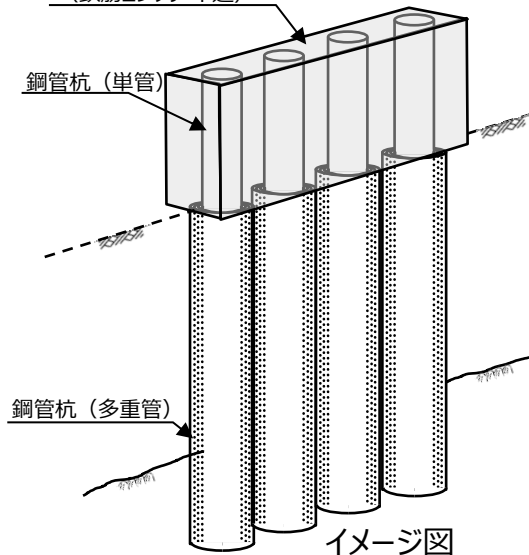
別添.1 - 1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造等に関する先行炉との比較（1/3）

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

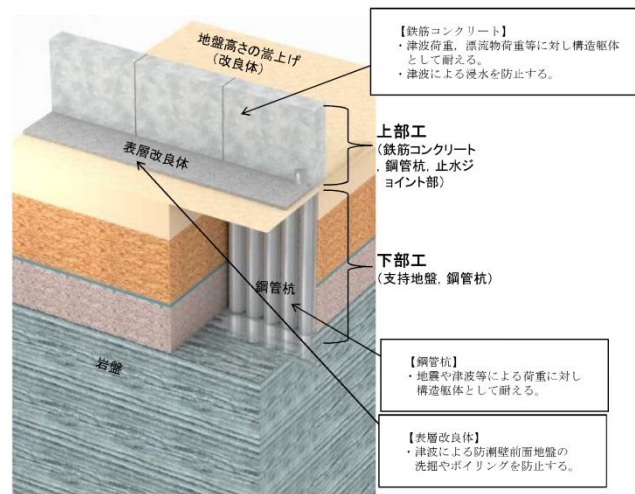
島根原子力発電所
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）



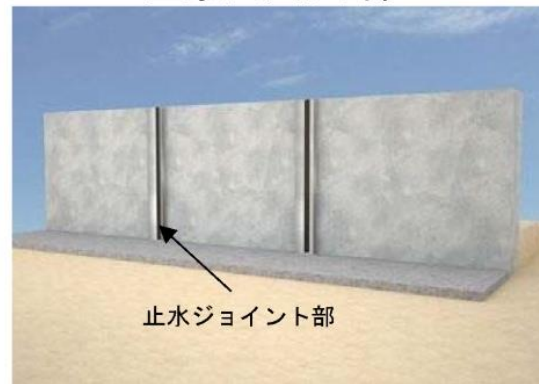
被覆コンクリート壁
(鉄筋コンクリート造)



東海第二発電所
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁



止水ジョイント部



別添.1 防波壁の構造等に関する先行炉との比較

別添.1-1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造等に関する先行炉との比較（2/3）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は港湾基準の自立矢板式護岸に準拠し設計を行う。
- 島根原子力発電所の防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造及び設計条件等に関する特徴を示すとともに、東海第二発電所の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁と比較を行い、類似点及び相違点を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。

評価項目	島根原子力発電所 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） の構造等	先行炉の構造等※	島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点を 踏まえた設計方針の 適用性	先行炉実績との相違点を 踏まえた設計への 反映事項
		日本原子力発電(株) 東海第二発電所 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	類似点	相違点		
防波壁の構造	・鋼管杭は岩盤に支持させる。	・鋼管杭は岩盤に支持させる。	・鋼管杭を岩盤に支持。	－	・同様の支持形態である。	－
	・上部工から伝達される荷重に耐える構造とするため、鋼管杭（多重鋼管杭）を採用する。	・鋼管杭（単管）を採用する。	－	・鋼管杭の構造の違い	－	・多重鋼管杭が一体として挙動することを、水平載荷実験により確認している。
	・鋼管杭の許容限界： （曲げ）降伏モーメント （せん断）せん断応力度	・鋼管杭の許容限界： 短期許容応力度	－	・鋼管杭の許容限界の違い	－	・鋼管杭の許容限界について、道路橋示方書・同解説（平成14年3月）に基づき、曲げについては降伏モーメント、せん断についてはせん断応力度をそれぞれ設定し、設計する。
	・遮水性保持のために、鋼管杭間にセメントミルクを充填するとともに、取水路横断部については、杭間で地盤改良を実施する。	・遮水性保持のために、海側にシートパイルを施工する。	－	・遮水性保持を期待する設備の違い	－	・今後、3次元FEM解析によりセメントミルク及び改良地盤の健全性を確認する。
上部工の構造	・鋼管杭間からの津波の浸水を防止する観点で、鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆する。 ・地震荷重並びに津波荷重は、鋼管で負担する設計としている。	・鋼管杭間からの津波の浸水を防止する観点で、鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆する。 ・地震荷重並びに津波荷重を全て鉄筋コンクリートで負担できる設計としている。	－	・遮水性を確保する部材の設計方針の違い	－	・今後、3次元FEM解析によりセメントミルク及び改良地盤の健全性を確認する。

※ 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。

別添.1 防波壁の構造等に関する先行炉との比較

別添.1 - 1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造等に関する先行炉との比較（3/3）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は港湾基準の自立矢板式護岸に準拠し設計を行う。
- 島根原子力発電所の防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造及び設計条件等に関する特徴を示すとともに、東海第二発電所の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁と比較を行い、類似点及び相違点を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。

評価項目	島根原子力発電所 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） の構造等	先行炉の構造等※	島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点を 踏まえた設計方針の 適用性	先行炉実績との相違点を 踏まえた設計への 反映事項
		日本原子力発電(株) 東海第二発電所 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	類似点	相違点		
止水対策	<ul style="list-style-type: none"> ・止水目地材として、相対変位に応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。 ・設置箇所：防波壁の陸側に設置する。 ・止水目地の許容限界： メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・止水目地材として、相対変位に応じ、シートジョイントを採用する。 ・設置箇所：防潮堤の堤内側と堤外側に設置する。 ・止水目地の許容限界： 許容変形量，許容引張強度 	<ul style="list-style-type: none"> ・同等の仕様の止水目地を採用している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・止水目地は、防波壁の陸側に設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・同様の止水目地材の採用であることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・止水目地取り換え時に一時的に遮水性が確保できなくなる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（掘削スリ、砂礫層））に対して、液状化試験結果及び有効応力解析（FLIP）の簡易設定法に基づき液状化強度特性を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・液状化検討対象層に対して、液状化試験結果を踏まえ、地盤を強制的に液状化させる条件（豊浦標準砂の考慮）も含めて保守的な液状化強度特性を設定する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> ・液状化強度特性の設定において、有効応力解析（FLIP）の簡易設定法を採用している。 	—	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易設定法による液状化強度比が、液状化強度試験に基づく液状化強度特性より保守的となっていることを確認している。 ・別途、「地盤の液状化強度特性」の審査において説明する。

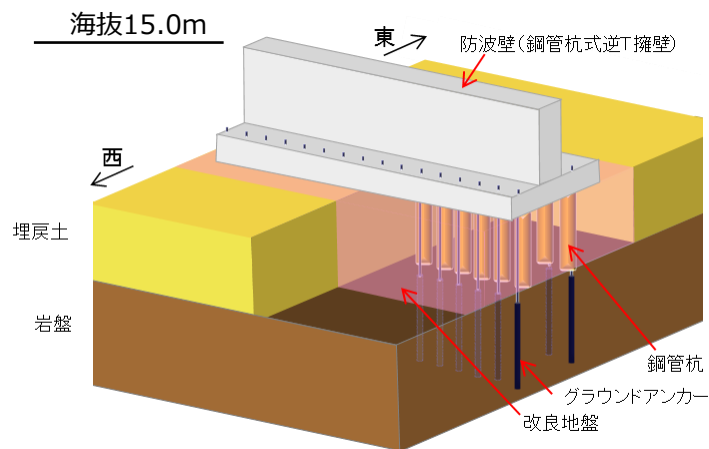
※ 先行炉の情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

別添.1 防波壁の構造等に関する先行炉との比較

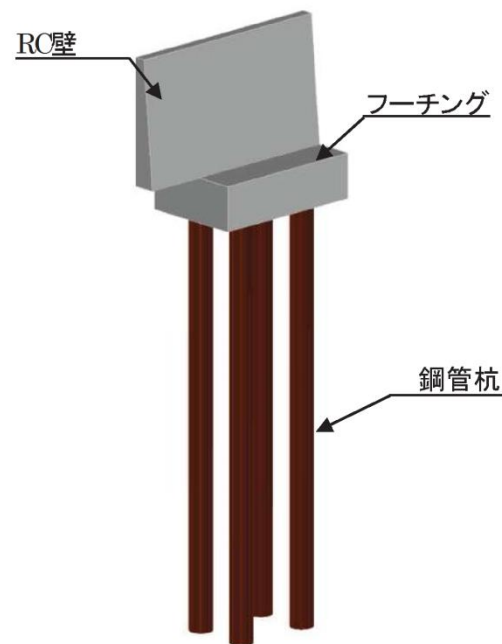
別添.1-2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造等に関する先行炉との比較（1/2）

- 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）



別添.1 防波壁の構造等に関する先行炉との比較

別添.1-2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造等に関する先行炉との比較（2/2）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は港湾基準の外郭施設（護岸）に準拠し設計を行う。
- 島根原子力発電所の防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造及び設計条件等に関する特徴を示すとともに、女川原子力発電所2号炉の防潮壁（RC遮水壁）と比較を行い、類似点及び相違点を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。 	<ul style="list-style-type: none"> 許容限界については、降伏強度に基づく考え方となっており、先行炉の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 杭頭を剛結とした場合についても成立性を確認する。 今後、模型実験により杭頭部の力学挙動を確認する。
	上部工の構造	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート製の逆T擁壁を地上部に設置する。 逆T擁壁（鉄筋コンクリート）の許容限界：短期許容応力度 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート製の遮水壁を地上部に設置する。 遮水壁の許容限： （曲げ）降伏耐力以下 （せん断）せん断耐力以下 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭に支持された鉄筋コンクリート壁を地上部に設置する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 同様の構造である。先行炉の上部工の設計方針が適用可能である。 	—
止水対策	止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変位に応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。 設置箇所：防波壁の陸側に設置する。 止水目地の許容限界： メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変位に応じ、シートジョイントを採用する。 設置箇所：防潮堤の堤内側と堤外側に設置する。 止水目地の許容限界： 許容変形量、許容引張強度 	<ul style="list-style-type: none"> 同等の仕様の止水目地を採用している。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地は、防波壁の陸側に設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 同様の止水目地材の採用であることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地取り換え時に一時的に遮水性が確保できなくなる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、地盤を強制的に液状化させる条件（豊浦標準砂の考慮）も含めて保守的な液状化強度特性を設定する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 液状化強度特性の設定において、有効応力解析（FLIP）の簡易設定法を採用している。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 簡易設定法による液状化強度比が、液状化強度試験に基づく液状化強度特性より保守的となっていることを確認している。 別途、「地盤の液状化強度特性」の審査において説明する。 	

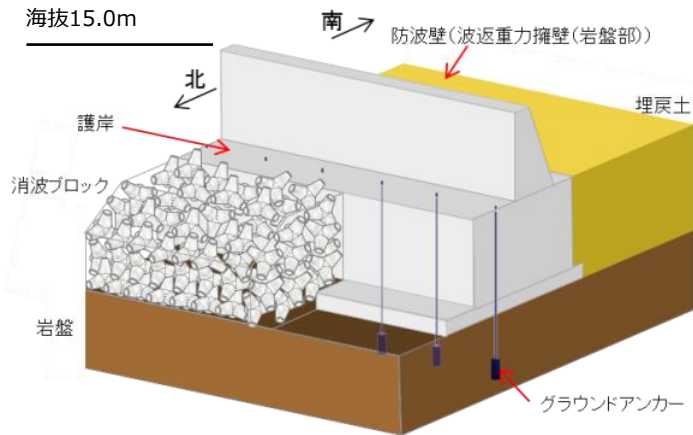
※ 先行炉の情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

別添.1 防波壁の構造等に関する先行炉との比較

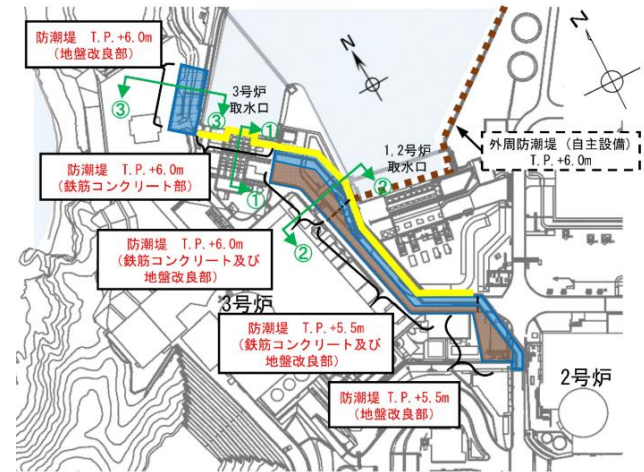
別添.1-3 防波壁（波返重力擁壁）の構造等に関する先行炉との比較（1/2）

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

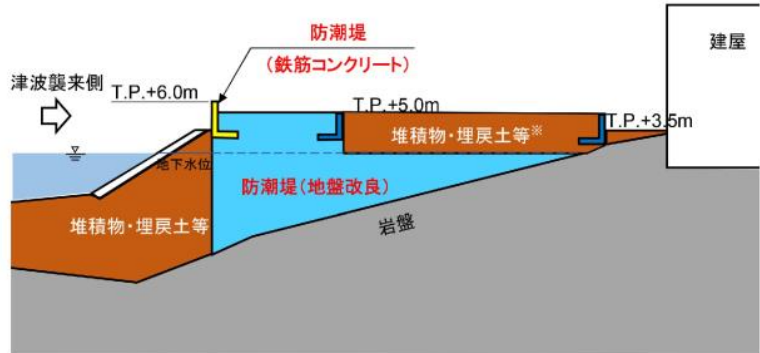
島根原子力発電所
防波壁（波返重力擁壁）



美浜発電所
防潮堤（鉄筋コンクリート及び地盤改良部）



位置図



②-②断面(鉄筋コンクリート及び地盤改良部)

参考：関西電力株式会社 美浜発電所3号炉 平成28年3月22日審査会合 資料1-1

別添.1 防波壁の構造等に関する先行炉との比較

別添.1-3 防波壁（波返重力擁壁）の構造等に関する先行炉との比較（2/2）

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

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

別添.2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要

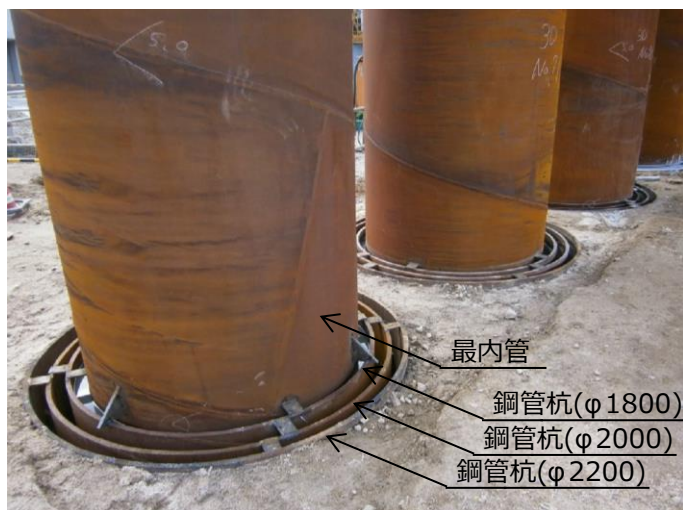
別添.2-1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）杭頭部の構造

【一般部】

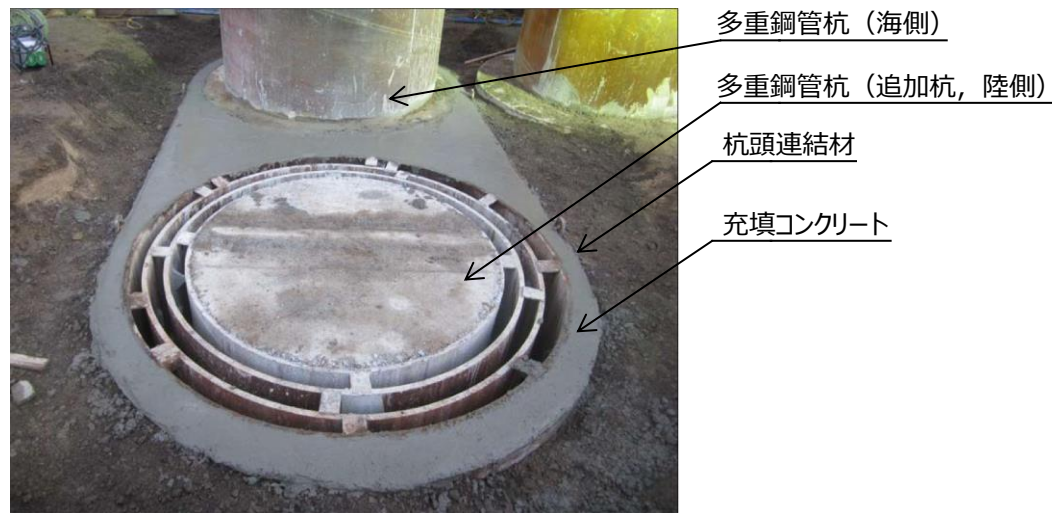
- ・4重管のうち、最内管のφ1600のみ地上部に突出させ、φ1800、φ2000、φ2200の杭頭上部からφ1600の杭頭まで、鉄筋コンクリートで被覆する構造としている。

【取水路横断部】

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



多重鋼管杭建込み状況
(間詰めコンクリート打設前)



杭頭連結材設置状況
(間詰めコンクリート打設前)

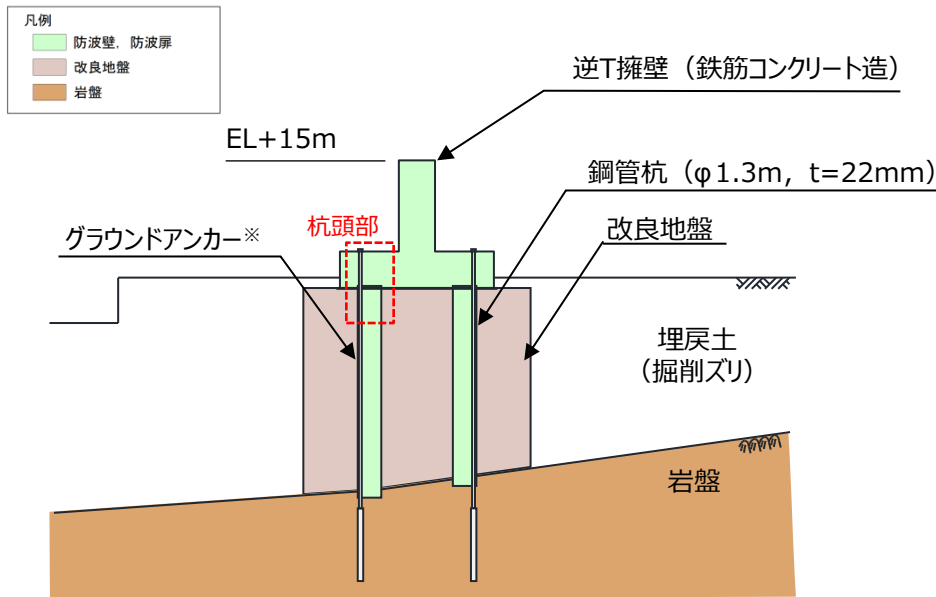
別添.3 - 1 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計の経緯

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

別添.3 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造概要

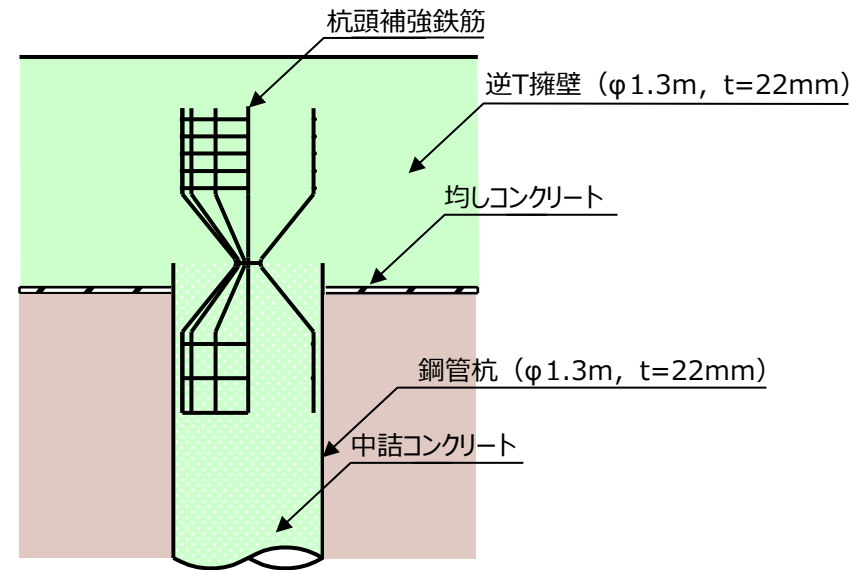
別添.3 - 2 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 杭頭部の構造

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



※ 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。

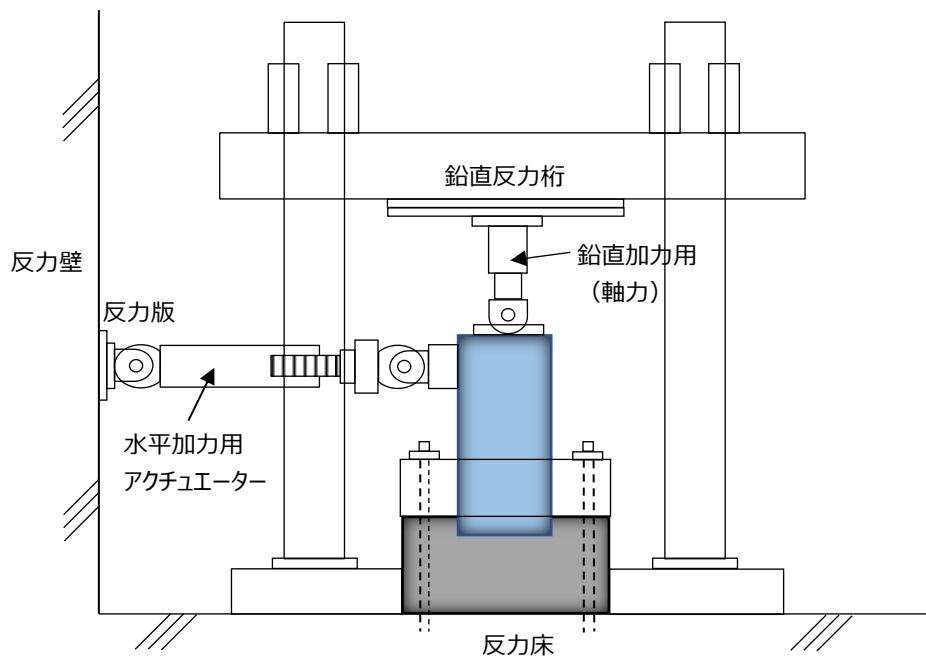
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）



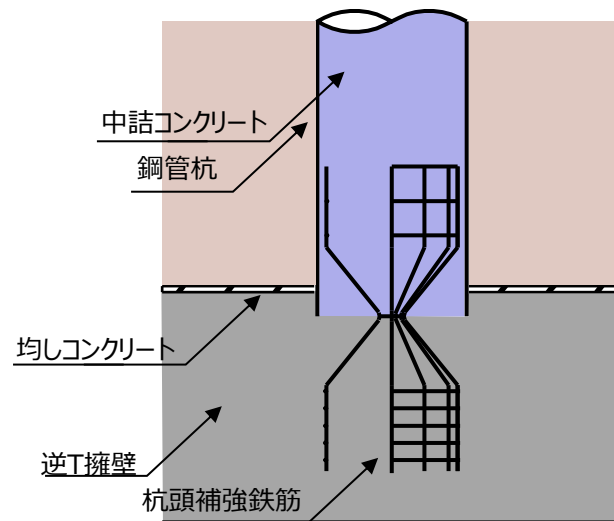
杭頭部 拡大図

別添.3 - 3 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 杭頭部の力学特性確認実験

- 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成29年11月）」では、杭とフーチングとの接合部について、原則として剛結としているが、剛結としない場合には、接合方法の力学特性等を実験等により検証したうえで、個別にモデル化等について検討する必要があるとしている。
- 上記を踏まえ、ヒンジ結合として設計・施工した防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の杭頭部について、模型実験により地震荷重もしくは津波荷重が作用した際の杭頭部の力学挙動を把握するとともに、杭頭部に発生する断面力が設計に与える影響について解析により確認した結果を詳細設計段階で説明する。



模型実験概要図



杭頭部 拡大図

別添.4 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要

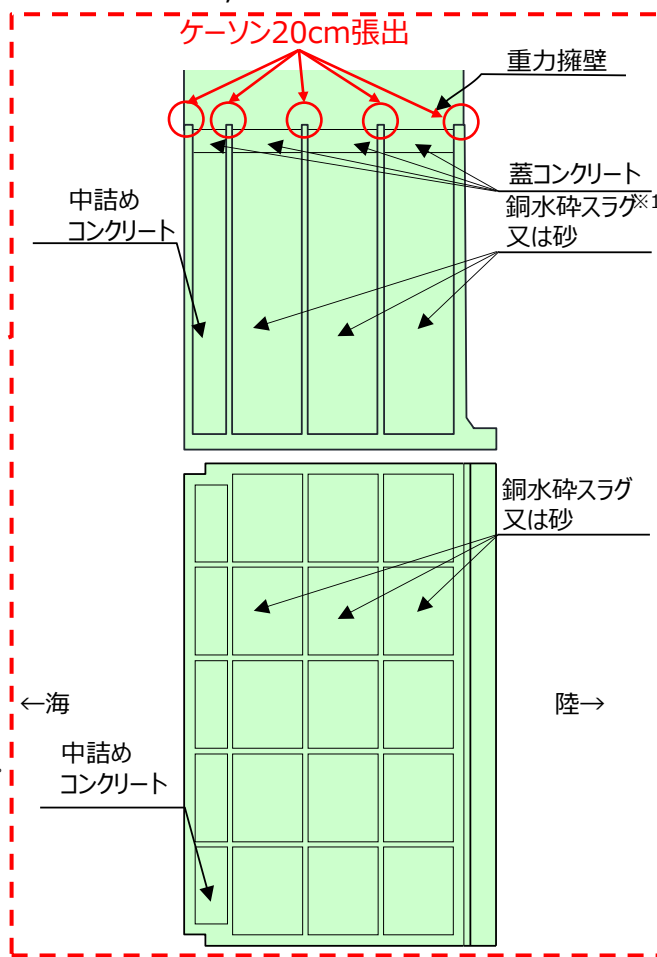
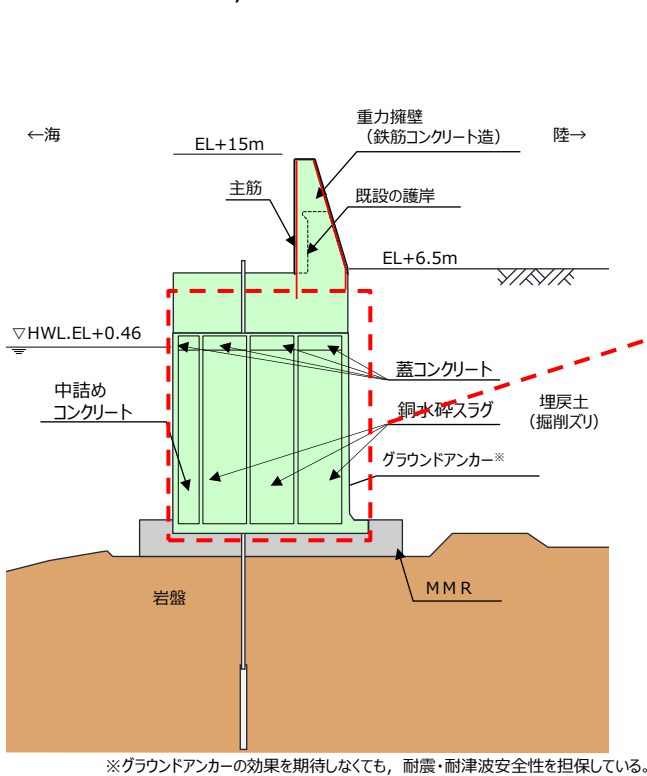
別添.4 - 1 防波壁（波返重力擁壁） 設置の経緯

3号造成時	申請時	改良地盤の追加
<p>※ 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。</p>	<p>※ 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。</p>	<p>※ 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。</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（波返重力擁壁）を設置する範囲には、3号機増設に伴い設置した岩着したケーソン式構造で安定性の高い護岸（T.P.+10m）が既に設置されている。 ・既設の護岸は、日本海の冬季波浪に耐える頑健性の高い構造としていた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を踏まえた安全対策として、津波による敷地内への浸水を防止するため既設の護岸を高上げ（T.P.+15m）した。 ・左記に示した既設の護岸の特徴を踏まえ、既設の護岸を流用した構造型式とすることが、施工上、構造上適切と判断した。 ・波返重力擁壁は既設の護岸の波返壁を巻き込む構造とすることから、相互の付着力が必要となるため、防波壁の施工前に、既存の護岸の波返壁表面に目荒らしを実施した。また、波返重力擁壁の主筋を既設の護岸に挿し込むことにより既設の護岸との一体化を図った。 	<ul style="list-style-type: none"> ・一部、砂礫層が介在する箇所に対して高圧噴射攪拌工法により地盤改良を実施した。
<p>天端高さ ∇T.P.+10m</p>	<p>天端高さ ∇T.P.+15m</p>	<p>天端高さ ∇T.P.+15m</p>

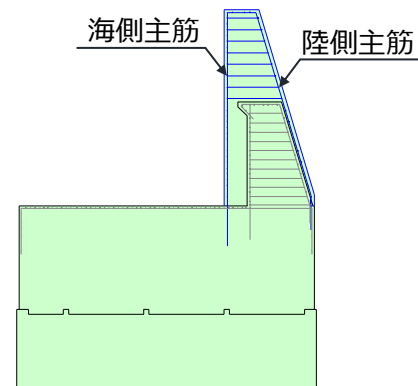
別添.4 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要

別添.4 - 2 防波壁（波返重力擁壁） ケーソンの構造

- 岩盤上に鋼製架台を設置し、ケーソンを据え付けた後、鋼製架台内に水中コンクリートを打設することにより、マンメイドロック（MMR）を構築している。
- ケーソン内はコンクリート、銅水砕スラグ又は砂により中詰めし、その上部に蓋コンクリート及び重力擁壁を打設している。ケーソンと重力擁壁の境界は、蓋コンクリート天端をケーソン天端から20cm下げて打設とすることで、一体構造としている。また、保守的にケーソンと重力擁壁の境界にジョイント要素を設定した解析モデルにより解析を実施した結果、有意な相対変位が発生していないことを確認した。
- 以上を踏まえ、構造成立性検討及び詳細設計段階においては、ケーソンと重力擁壁を一体構造として扱う。



蓋コンクリート打設状況



重力擁壁 配筋状況

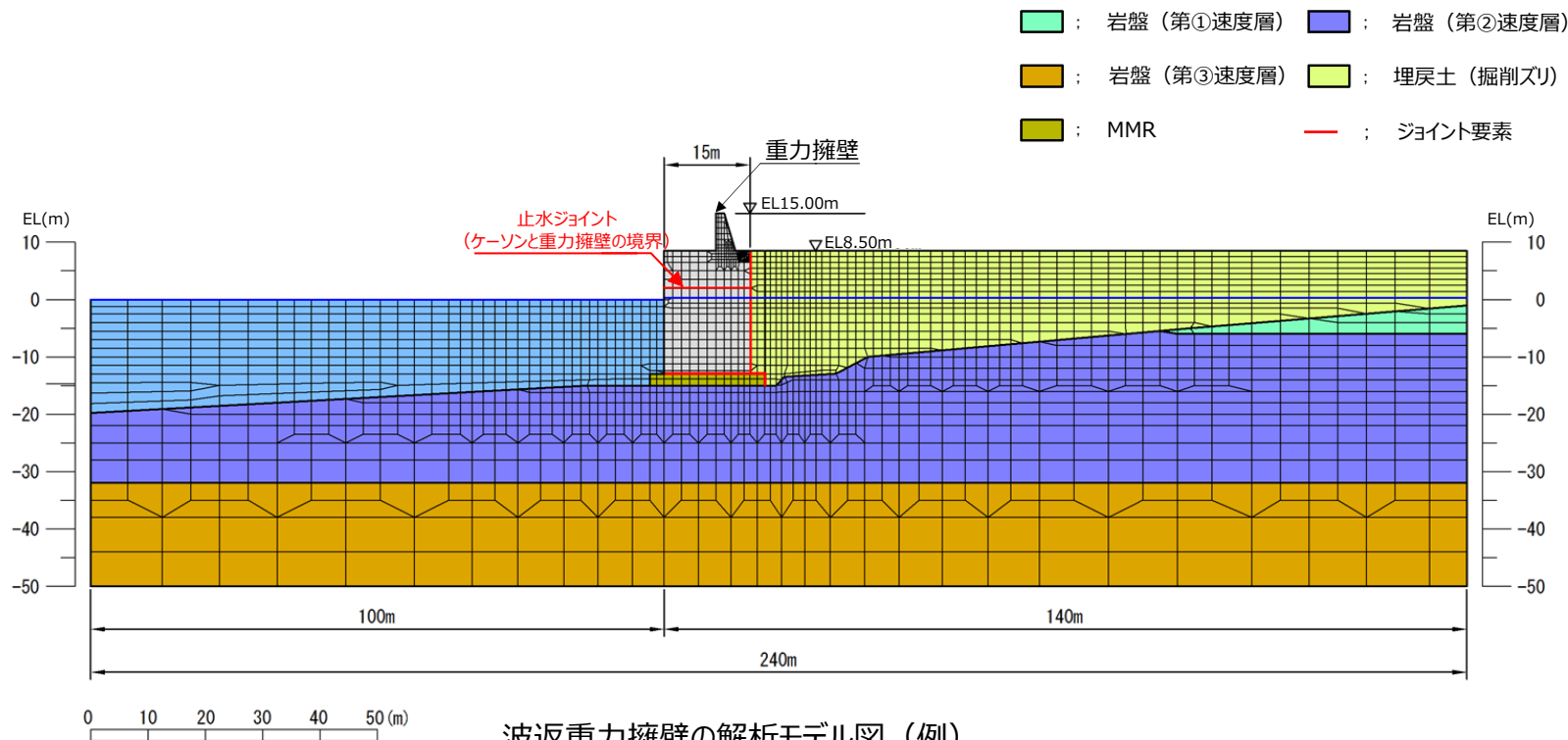
防波壁断面図（波返重力擁壁）

※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。

ケーソンの構造

別添.4 - 3 防波壁（波返重力擁壁） ケーソンと重力擁壁間の相対変位

- ケーソンと重力擁壁の境界は、蓋コンクリート天端をケーソン天端から20cm下げて打設とすることで、一体構造としているが、保守的にケーソンと重力擁壁との境界にジョイント要素を設定した解析モデルにより2次元FEM解析を実施し、基準地震動 S s -Dにより発生する相対変位について確認した。
- ジョイント要素については、港湾基準に示されるコンクリート同士の静止摩擦係数 $\mu=0.5$ として設定した。
- S s -Dによる地震応答解析の結果、ケーソンと重力擁壁との境界部における残留変位量は輪谷部断面において2mm、改良地盤部断面において0mmとなり、有意な変位は生じていない。

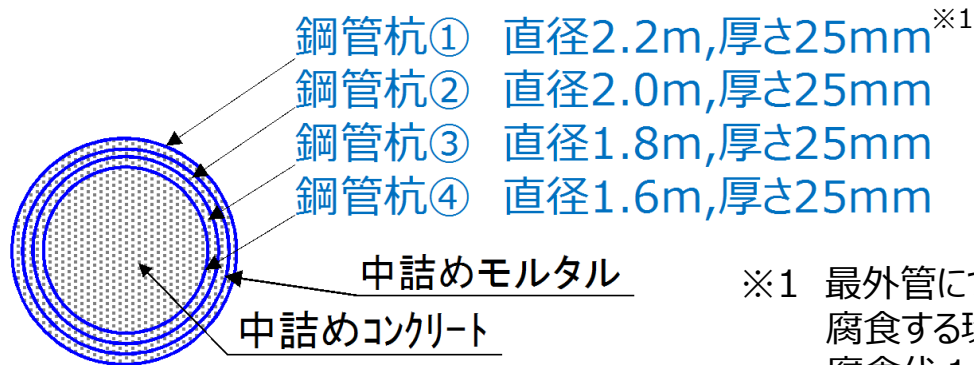


波返重力擁壁の解析モデル図（例）

別添.5 防波壁多重鋼管杭の設計方針

別添.5-1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）のモデル化

- 多重鋼管杭は、各鋼管を中詰めコンクリート及びモルタルで充填することにより、一体として挙動することで、荷重を分担できる構造とした。また、多重鋼管杭の挙動については実験により確認を行っている（水平載荷実験については別添.5-2参照）。
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の2次元動的FEM解析にあたっては、多重鋼管杭はビーム要素でモデル化し、単一の断面積及び断面二次モーメント（各管の断面二次モーメントの合計）を設定する。



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

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

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

※2 添え字は鋼管杭の番号

別添.5 防波壁多重鋼管杭の設計方針

別添.5-2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の水平載荷試験（1/3）

・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に対して実施した水平載荷試験の試験条件を示す。

[水平載荷試験の目的]

多重鋼管の一体挙動及び降伏荷重時の挙動の確認

「模型スケール」

1/4スケールの試験体により実験

検討フロー

① 1/4スケールの試験体による実験

4重管鋼管の効果、挙動の把握

- ・ 中詰めコンクリートの曲げ耐力向上への影響確認
- ・ 交番載荷の曲げ耐力への影響確認

本資料による
説明範囲

② 実験結果に基づく1/4スケールのFEM解析（再現解析）

- ・ 実験で得られた鋼管の荷重-変位関係および終局耐力時のひずみ応力分布をFEM解析により再現
- ・ 解析結果が実験で得られた鋼管の挙動と整合が取れているか検証し、必要であれば解析入力値を補正

③ 実物スケールでのFEM解析

- ・ FEM解析による実物スケールの鋼管実耐力の評価
- ・ 無次元化した1/4スケールおよび実物スケールの荷重-変位関係を比較し、スケール効果による影響を確認

実機と試験体の相似則

	試験体	現場実機	試験体/実機
鋼管径	φ 528	φ 2200	0.24
	φ 480	φ 2000	0.24
	φ 432	φ 1800	0.24
	φ 384	φ 1600	0.24
鋼管肉厚	6mm	25mm	0.24

実験ケース

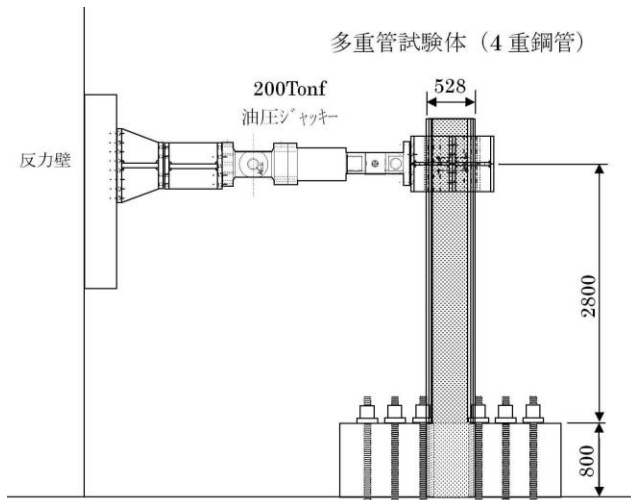
Case	鋼管構造	中詰めコンクリート	載荷方法
1	4重管 φ 528 φ 480 φ 432 φ 384	無	水平一方向載荷
2		有	水平一方向載荷
3		有	交番載荷後、水平一方向載荷

別添.5 防波壁多重鋼管杭の設計方針

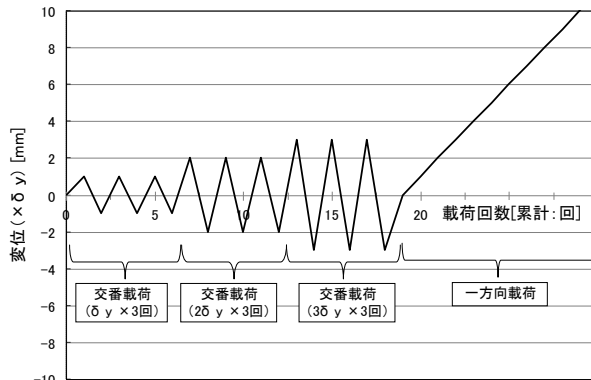
別添.5 - 2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の水平載荷試験（2/3）

[結果の概要（ケース1とケース2の比較）]

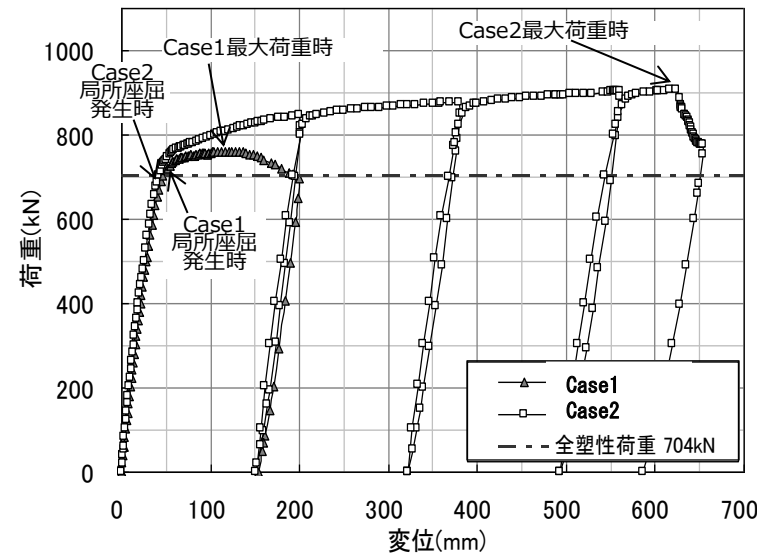
- Case1（4重管中詰無）の結果，最大荷重は多重管の全塑性荷重704kNに対して1.08倍であり，概ね一致している。
- Case2（4重管中詰有）の結果，最大荷重平均で1.29倍となった。
- Case1とCase2を比較すると，最外管の局部座屈発生までは同じ挙動を示すが，Case2はCase1と比較して最内側管がコンクリートで中詰めされていることにより，曲げ耐力が増加している。



実験装置概要図



交番水平載荷変位



Case 1 , Case 2 荷重変位関係

Case 1・Case 2 実験結果の比較

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

別添.5 防波壁多重鋼管杭の設計方針

別添.5 - 2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の水平載荷試験（3/3）

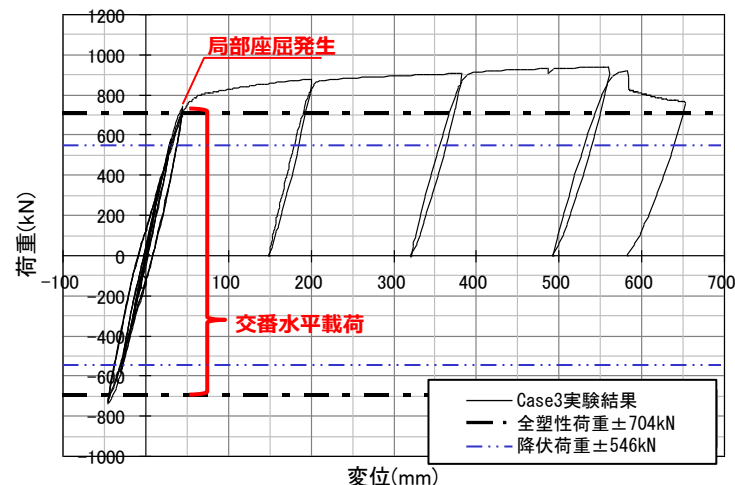
[結果の概要（ケース3の結果）]

- ・繰返し荷重を受けた後でもCase2と同様に荷重は緩やかに上昇している。
- ・水平荷重と変位の関係から、多重鋼管杭に対する水平載荷実験の荷重は、港湾基準より算定した各管の全塑性モーメントの合計値に達する時の全塑性荷重とおおむね一致している。
- ・実験後の試験体の観察の結果、圧縮側のモルタル・コンクリートにひび割れ等の損傷は見られない。また、圧縮側の鋼管杭の座屈による変形量は内側ほど小さいことから、外側から内側にかけて順番に座屈が発生したと考えられる。

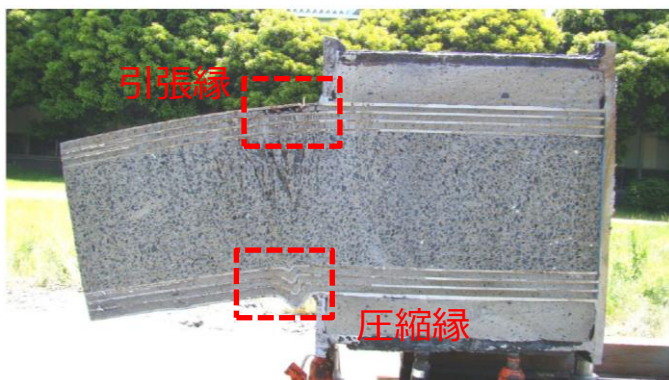
⇒多重鋼管杭は一体構造として挙動して荷重を分担しており、降伏荷重においても弾性挙動を示している。



最大荷重時座屈状況



水平荷重と変位の関係



管軸方向切断面



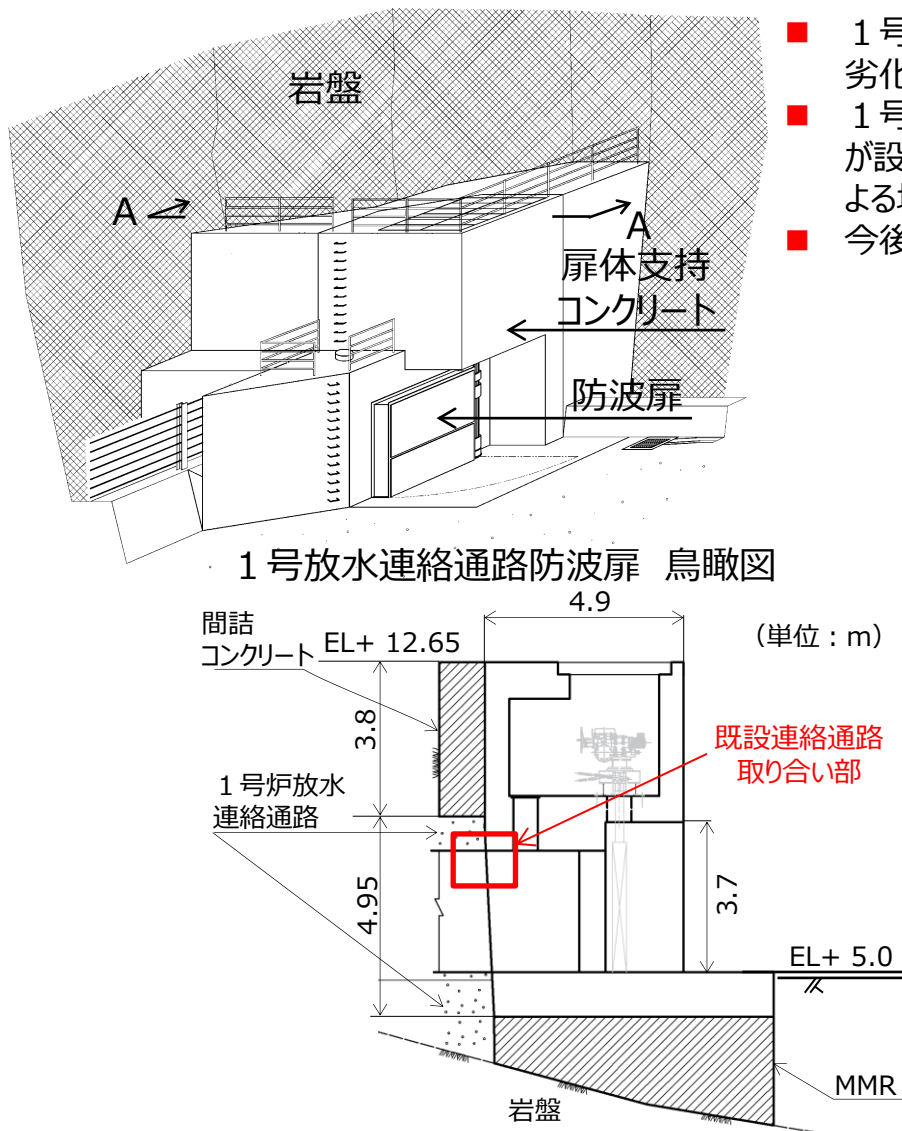
引張縁破断状況



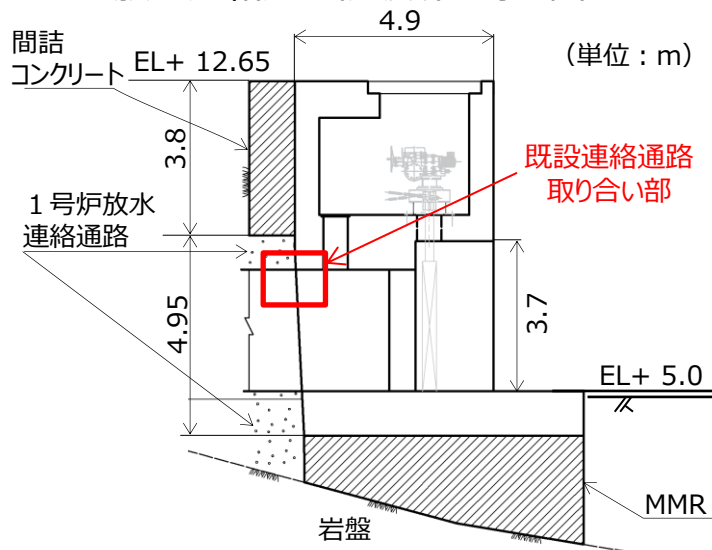
圧縮縁はらみ出し状況

別添. 6 1号放水連絡通路の構造概要

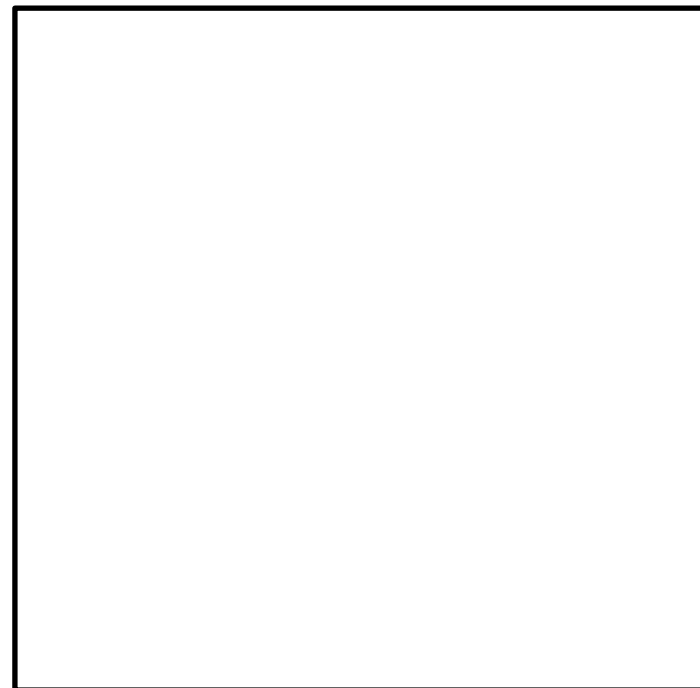
- 1号炉建設時に設置した1号炉放水連絡通路（既設）の坑口部に経年劣化によるクラックが認められる。
- 1号炉放水連絡通路（既設）の坑口部については、扉体支持コンクリートが設置される以前は露出されていたことから、飛来塩分の影響を受けたことによる塩害に起因する鉄筋腐食によるクラックと判断する。
- 今後実施予定の変状範囲の調査を踏まえ、修繕する。



1号放水連絡通路防波扉 鳥瞰図



A - A 断面
1号放水連絡通路防波扉 断面図



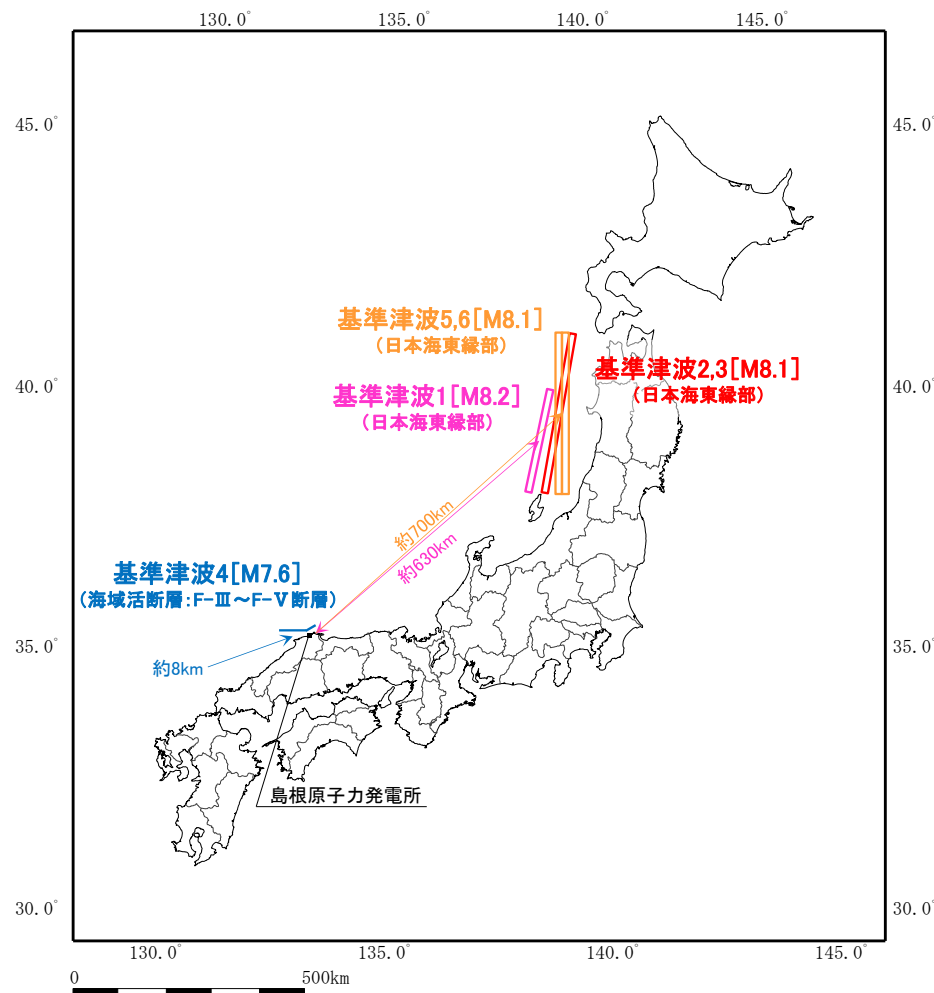
既設連絡通路取り合い部

別添.7 重畳時（津波＋余震時）の評価

- 基準津波の波源の活動に伴い発生する可能性がある津波および余震の影響を踏まえ、「重畳時（津波＋余震時）」の検討の要否について以下の通り、検討を行った。
- 「日本海東縁部に想定される地震による基準津波 1, 2, 3, 5 及び 6」の波源位置は、敷地から 600km以上の距離にあり、その波源の活動に伴う余震については、敷地への影響が明らかに小さい。
- 「海域活断層に想定される地震による基準津波 4」は、防波壁の敷地の壁体部（被覆コンクリート部等）には到達しないが、到達する部位については個別に評価を実施する。
- なお、詳細については、荷重の組合せの審査において説明する。



基準津波 4 の最大水位上昇量分布



島根原子力発電所と基準津波の波源