

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 6 月
中国電力株式会社

審査会合における指摘事項（1/6）

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33 (説18)</p> <p>EP-066改29 (説19)</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>31, 61～68, 89～91, 128～132, 147～149, 190～195, 212～213</p>

審査会合における指摘事項（2/6）

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
52	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。	76～88, 140～146, 204～211
		【防波壁（波返重力擁壁）】	
53		・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喪失モード及び機能喪失モードを踏まえた設計の考え方を説明すること。	201～211
54		・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。	214～219
55		・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。	221～222
		【防波壁（多重鋼管杭式擁壁）】	
56		・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。	45,60,62, 94～96, 101～103
57		・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。	60,62,102
58		・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。	47,88, 97～100
59	・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。	94～96	

審査会合における指摘事項（3/6）

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	R元.10.31	・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。	145, 150～156
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。	145, 151～154
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。	155～156
		【1号放水連絡通路防波扉】	
63		・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。	243～246
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上で、津波の侵入防止を確保する設計方針を説明すること。	243～246
		【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。	46～50, 114～118, 172～177
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。	65,130, 193, 233～237

審査会合における指摘事項（4/6）

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。 	36～43, 89～91, 105～111, 147～149, 161～169, 212～213, 238～241, 243～246
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。 	89～91, 147～149, 212～213
		【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後で，改めて詳細に説明すること。 	34～45, 60～71, 104～113, 127～135, 160～171, 188～199
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33 (説18) EP-066改29 (説19)

審査会合における指摘事項（5/6）

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
87	R2.2.25 (本日回答)	・防波壁に近接する施設護岸について、施設護岸を構成する各部位の解析用物性値の設定根拠、その妥当性及び適用性を示し、さらに耐震性の低い施設護岸の地震時における損傷状態を想定して、その損傷状態が受働抵抗の役割に与える影響を考慮した上で、防波壁に期待する役割の適用性を説明すること。また、地震時に想定する損傷状態を踏まえて波及的影響の評価対象施設としての位置づけを整理し、波及的影響の観点を踏まえてモデル化及び解析条件への反映等の評価方針を説明すること。	97～100, 263～276
88		・鋼管杭式逆T擁壁の改良幅が狭い区間の改良地盤について、鋼管杭の変形抑制の役割に期待せず構造成立する見込みの理由を明確にした上で、鋼管杭の変形に対する改良地盤の性能目標の考え方を説明すること。	109,115, 157
89		・改良地盤を埋戻土（掘削ズリ）とした二次元浸透流解析による評価について、改良幅が狭い区間の改良地盤の地震時の損傷状態を想定した上で、改良地盤を埋戻土とする解析が止水性の観点から保守的な評価となる根拠及び評価可能となる改良地盤の性能目標を説明すること。	157, EP-066改29 (説19) 89,90
90-1		・鋼管杭式逆T擁壁の模型実験のスケール効果を踏まえて、実機への適用に対する方針を説明すること。	155～156
91		・鋼管杭式逆T擁壁の杭頭部のヒンジ結合について、準拠する道路土工擁壁工指針の適用性を説明すること。	155～156
92		・波返重力擁壁のケーソンについて、港湾施設と原子炉施設のそれぞれに要求される各部位の性能、照査項目、許容限界等を整理し、準拠する港湾構造物設計事例集の当該ケーソンへの適用性を説明すること。	172～178, 190～191, 198～199, 223～230

審査会合における指摘事項（6/6）

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
93	R2.2.25 (本日回答)	・波返重力擁壁のケーソンについて、構造成立性及び止水性を保持するために概ね弾性状態に留める性能目標に対し、想定する損傷モードとしてせん断破壊に限定することの妥当性を説明すること。	176～178, 190～191, 191,226
94		・波返重力擁壁のケーソンについて、津波時の構造健全性の保持の確認方法を説明すること。	190～191, 199
95-1		・波返重力擁壁の壁体構造について、既設部分と新設部分の一体化を前提として設計する方針を明確にし、基準、指針類、事業者独自の管理基準等の適用により一体化と評価する方針であることを説明すること。	215～220
96		・波返重力擁壁の重力擁壁部とケーソン部との境界条件について、数値解析による評価を踏まえて、ケーソン上端の突起部及び津波防護施設としての要求機能への影響を説明すること。	221～222
97		・防波壁の耐震評価断面の選定について、防波壁自体の機能維持の観点に加えて、施工ブロック間の止水ジョイントの機能維持の観点から、選定方針を説明すること。	89～91, 147～149, 212～213
98		・防波壁の機能が喪失する損傷モードについて、止水ジョイントの損傷を含めて網羅的に抽出した上で、各損傷モードに応じた部位の役割、設計上の対応方針を整理して説明すること。	76～88, 140～146, 204～211
99		・波返重力擁壁の性能評価について、準拠する港湾基準に規定された評価項目を網羅的に検討した上で、津波防護施設として抽出すべき評価項目を整理して説明すること。	190～192, 198～199, 226
100		・波返重力擁壁の解析条件について、津波時の評価における静的解析の具体的な手法、モデル化条件を説明すること。	190
101		・止水目地の評価条件について、試験等を実施する判断根拠を説明すること。	233
—		R元.9.20 現地調査 (本日回答)	・1号放水連絡通路防波扉について、クラックの成因・対処方法、既設範囲と新設範囲並びに両者の接合部の取り合い等を説明すること。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.3,49】

■ 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，地山斜面との接続部等，局所的な箇所についても網羅的に整理した。（P34～45,52～59,104～113,120～126,160～171,179～187,）
- ・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。（P101～103,158～159,231～232）
- ・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29（説19）P62～87）
- ・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，応答特性も踏まえた断面選定の考え方について整理した。（P31,61～68,89～91,128～132,147～149,190～195,212～213）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.52～55】

■ 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喪失モード及び機能喪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、これに対する設計・施工上の配慮を整理した。また、併せて構造上の弱部となる箇所を抽出し、その構造的特徴を含む詳細構造を示すとともに、これに対する対策を整理した。この中で、多重鋼管杭式擁壁前面の施設護岸については、地震により損傷し、仮に無いものとした場合に、鋼管杭が露出した状態で津波が襲来することを検討した。津波の地盤中からの回り込みに対して万全を期すため、防波壁の背後に止水性を有する地盤改良を実施することにより対策を行うこととした。（P76～88,140～146,204～211）
（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荷重図及び発生断面力（応力状態）を踏まえ、要求機能を喪失する事象を網羅的に抽出するとともに、構造上の弱部を抽出した。また、機能喪失モードを踏まえ、設計・施工上において配慮する点についても整理した。（P201～211）
- ・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新設コンクリート主筋のコンクリート標準示方書に基づく基本定着長の確保により施設護岸との一体化を図り、耐震性及び耐津波性を確保する構造とした。しかしながら、詳細設計段階では、定着部について、「各種合成構造設計指針・同解説 日本建築学会」の第4編各種アンカーボルト設計指針に基づき、実験により許容耐力を確認して評価を行う。（P214～219）
- ・ケーソンと重力擁壁の境界については、蓋コンクリート天端をケーソン天端から20cm下げて打設する施工上の配慮を実施していることから、一体化しているものとして設計を行う。ケーソンと重力擁壁の境界部の一体化を確認するため、ケーソン側壁の蓋コンクリートからの張り出し部について、基準地震動Ss-Dによる重力擁壁の慣性力が作用した際の構造成立性を確認した。（P221～222）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.56～59】

■ 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、及び鋼管杭背面の地盤改良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、岩盤根入れ部（下端の5.0m）と周辺岩盤を一体化することで鋼管杭の変形抑制及び難透水性を期待するが、埋戻土部のグラウト材については、耐震・耐津波設計上、その役割に期待しないこととした。（P45,60,62,94～96,101～103）
- ・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形が発生し、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、詳細設計段階で3次元静的FEM解析により照査を実施する。（P60,62,102）
- ・施設護岸は、設置状況に応じて「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」）」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が、防波壁の前面に位置している施設護岸については、損傷による防波壁への影響が大きいと考えられるため、それが損傷した場合の防波壁の耐震性及び止水性への影響を確認した。確認にあたっては、保守的に、施設護岸が無いものと仮定した状態における構造成立性及び止水性を検討した。検討の結果、防波壁の背後に止水性を有する地盤改良を実施する対策を行うこととした。なお、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。（P47,88,97～100）
- ・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、降伏荷重においても弾性挙動を示すことから、設計に用いる照査項目及び許容限界は妥当と判断した。（P94～96）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.60~64】

■ 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上で、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、道路橋示方書・同解説 下部構造編（平成29年11月）によると、杭とフーチングとの接合部について、「原則として剛結とするが、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」と示されていることから、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検証し、モデル化の妥当性を確認する。（P145,150~156）
- ・「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、保守的な評価となるよう、周面摩擦力による抵抗に期待しない設計とする。また、現地試験を実施し、支持岩盤の支持力を直接確認する。（P145,151~154）
- ・「道路橋示方書・同解説 下部構造編（平成29年11月）」での杭とフーチングの接合部について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数値解析等により接合部の力的特性を確認する。（P155~156）

（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、MMR（マンメイドロック）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。（P243~246）
- ・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。（P243~246）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.65～68】

■ 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，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。（P46～50,114～118,172～177）
- ・止水目地部の仕様設定に当たっては，地震応答解析等により算出された変形量及び入力津波による津波荷重に基づき許容変位量，許容水圧等の許容値と設定するとともに，性能試験（耐圧試験・引張変形試験）結果を踏まえた材料を選定する。（P65,130,193,233～237）
- （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；6断面，鋼管杭式逆T擁壁；5断面，波返重力擁壁；6断面）を整理した。（P36～43,89～91,105～111,147～149,161～169,212～213,238～241,243～246）
- ・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。（P89～91,147～149,212～213）

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地震力特性

⑤床応答特性

審査会合における指摘事項に対する回答【No.69,70】

■ 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。（P34～45,60～71,104～113,127～135,160～171,188～199）
- 【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①，改良地盤③，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，改良地盤（鋼管杭前面），岩盤
- 波返重力擁壁（施設）；重力擁壁，止水目地，ケーソン，H鋼
（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）については，多重鋼管杭の水平載荷試験結果等で設計に反映する。また，相違点として抽出された遮水性保持の方法については，鋼管杭間（埋戻土部）に注入するグラウト材を耐震・耐津波設計上の役割に期待せず，防波壁背後に止水性を有する地盤改良（改良地盤③）を実施することで設計に反映する。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。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.87~89】

■ 指摘事項

【No.87,88,89（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（R2.2.25））

- 防波壁に近接する施設護岸について、施設護岸を構成する各部位の解析用物性値の設定根拠、その妥当性及び適用性を示し、さらに耐震性の低い施設護岸の地震時における損傷状態を想定して、その損傷状態が受働抵抗の役割に与える影響を考慮した上で、防波壁に期待する役割の適用性を説明すること。また、地震時に想定する損傷状態を踏まえて波及的影響の評価対象施設としての位置づけを整理し、波及的影響の観点を踏まえてモデル化及び解析条件への反映等の評価方針を説明すること。
- 鋼管杭式逆T擁壁の改良幅が狭い区間の改良地盤について、鋼管杭の変形抑制の役割に期待せず構造成立する見込みの理由を明確にした上で、鋼管杭の変形に対する改良地盤の性能目標の考え方を説明すること。
- 改良地盤を埋戻土（掘削ズリ）とした2次元浸透流解析による評価について、改良幅が狭い区間の改良地盤の地震時の損傷状態を想定した上で、改良地盤を埋戻土とする解析が止水性の観点から保守的な評価となる根拠及び評価可能となる改良地盤の性能目標を説明すること。

■ 回答

- ・地盤の解析用物性値は、原位置試験結果及び室内試験結果に基づき設定することを基本とするが、一部については、港湾基準等に準拠し、妥当性を確認の上、慣用値を用いる。なお、設置許可段階における構造成立性評価においては、施設護岸を構成する石材は港湾基準の引用文献に示されている石材の強度特性に係る実験値のばらつきを考慮し、見かけの粘着力 c については0と扱うこととし、内部摩擦角 ϕ については 35° とした。内部摩擦角については、独立行政法人土木研究所で行われている実験において安息角と内部摩擦角がほぼ同等となることを踏まえ、基礎捨石と同様の石材で安息角の現地試験を実施することにより解析用物性値として設定する内部摩擦角が妥当であることを確認した。また、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に近接する耐震性の低い施設護岸が防波壁の陸側及び海側に位置する断面について、地震により損傷して仮に施設護岸がないものとした場合の基準地震動 S_s による2次元FEM解析（有効応力解析）を実施し、防波壁へ及ぼす影響について確認した。その結果、防波壁の構造が成立することを確認した。なお、仮に施設護岸がないものとした場合に、鋼管杭が露出した状態で津波が襲来することを想定し、津波の地盤中からの回り込みに対して万全を期すため、防波壁の背後に止水性を有する地盤改良を実施することにより対策を行うこととした。また、防波壁への波及的影響の観点から、施設護岸については、隣接構造物として解析モデルに取り込み、構造物同士及び構造物と地盤の境界部での滑り・剥離を考慮するため、港湾基準に準拠してジョイント要素の静止摩擦係数を設定する等の解析条件について整理した。（P97~100,263~276）
- ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）のうち地盤改良幅が狭い区間（RC床板部）については、岩盤が浅く、杭が短いことから、地震時及び津波時の鋼管杭の変形量が小さいため、杭間の埋戻土（掘削ズリ）に対して地盤改良を実施していないが、津波による地盤中からの回り込みを防止することを目的として鋼管杭の海側に幅の狭い地盤改良を実施する。当該区間の海側の幅の狭い改良地盤は、地震時の鋼管杭の変形を抑制する役割には期待せず、津波時の難透水性を保持する設計とする。なお、地震時における構造成立性（内的安定性の確保）を確認した。（P109,115,157）
- ・難透水性の保持を目的として防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）RC床板部の海側に設置した改良地盤については、幅が狭いことから、地震時の損傷により貫通ひび割れが生じた際には、埋戻土よりも大きい透水係数となることも想定されるが、当該改良地盤は、地震時において内的安定性を確保する設計とすることから、浸透流解析の保守性は確保される。（P157,EP-066改29(説19)P89,90）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.90,91】

■ 指摘事項

【No.90-1,91（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（R2.2.25））

- 鋼管杭式逆T擁壁の模型実験のスケール効果を踏まえて、実機への適用に対する方針を説明すること。
- 鋼管杭式逆T擁壁の杭頭部のヒンジ結合について、準拠する道路土工擁壁工指針の適用性を説明すること。

■ 回答

- ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の杭頭結合部の模型実験はスケール効果による影響を小さくする観点から1/2スケールとし、解析により実スケールへの適用性を確認する方針を整理した。（P155～156）
- ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の杭頭部の構造については、道路橋示方書・同解説 下部構造編（平成29年11月）によると、杭とフーチングとの接合部について、「原則として剛結とするが、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」と示されている。したがって、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検証し、杭頭部の結合方式をヒンジ結合とするモデル化の妥当性を詳細設計段階において確認する。（P155～156）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.92~94】

■ 指摘事項

【No.92,93,94（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（R2.2.25））

- 波返重力擁壁のケーソンについて、港湾施設と原子炉施設のそれぞれに要求される各部位の性能、照査項目、許容限界等を整理し、準拠する港湾構造物設計事例集の当該ケーソンへの適用性を説明すること。
- 波返重力擁壁のケーソンについて、構造成立性及び止水性を保持するために概ね弾性状態に留める性能目標に対し、想定する損傷モードとしてせん断破壊に限定することの妥当性を説明すること。
- 波返重力擁壁のケーソンについて、津波時の構造健全性の保持の確認方法を説明すること。

■ 回答

- ・港湾基準における津波対策施設と新規制基準における津波防護施設の要求性能、性能目標、照査部位、照査項目及び許容限界を整理した。また、津波防護施設である防波壁（波返重力擁壁）のケーソンの照査に当たっては、要求性能及び性能目標を新規制基準に従い設定することとし、複数の隔壁を有することから3次元静的 F E M解析により全構造部材の照査を行う。（P172~178,190~191,198~199,223~230）
- ・防波壁（波返重力擁壁）のケーソンについては、想定する損傷モードとしてケーソン全体のせん断破壊に限定していたが、新規制基準を踏まえ、曲げ破壊及びせん断破壊について照査する。なお、ケーソンの構造部材の役割（止水性能及び支持性能）を踏まえ、許容限界を設定する。（P176~178,190~191,199,226）
- ・防波壁（波返重力擁壁）のケーソンの津波時の構造健全性の保持は、新規制基準の要求性能（「津波による浸水及び漏水を防止すること」）を踏まえ、施設の健全性確保の観点から、前壁、後壁及び側壁については止水性能について照査し、底版、隔壁及びフーチングについては、支持性能について照査する。なお、止水性能に対する目標性能は、「概ね弾性状態に留まること（短期許容応力度）」とする。（P190~191,199）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.95～98】

■ 指摘事項

【No.95-1,96,97,98（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（R2.2.25））

- 波返重力擁壁の壁体構造について、既設部分と新設部分の一体化を前提として設計する方針を明確にし、基準、指針類、事業者独自の管理基準等の適用により一体化と評価する方針であることを説明すること。
- 波返重力擁壁の重力擁壁部とケーソン部との境界条件について、数値解析による評価を踏まえて、ケーソン上端の突起部及び津波防護施設としての要求機能への影響を説明すること。
- 防波壁の耐震評価断面の選定について、防波壁自体の機能維持の観点に加えて、施工ブロック間の止水ジョイントの機能維持の観点から、選定方針を説明すること。
- 防波壁の機能が喪失する損傷モードについて、止水ジョイントの損傷を含めて網羅的に抽出した上で、各損傷モードに応じた部位の役割を説明すること。

■ 回答

- ・防波壁（波返重力擁壁）の既設コンクリートと新設コンクリートとの一体化の観点から、鉄筋の定着長及び付着強度について、「コンクリート標準示方書 構造性能照査編 2002制定」及び「表面保護工法設計施工指針（案）[工種別マニュアル編]」に準拠し、設計・施工する方針とする。新設コンクリートの主筋定着部については、同示方書に示される基本定着長の確保により定着性能が確保され、また、境界面の付着強度は同指針（案）に示される $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ に裕度を加えた $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ を確保していることから、一体化していると考え、詳細設計段階では、「各種合成構造設計指針・同解説 日本建築学会」の第4編各種アンカーボルト設計指針に基づき、実験により許容耐力を確認する。なお、地震荷重等により定着部に作用する力が、実験で確認した許容耐力以上となる場合や詳細設計段階における新設コンクリート及び既設コンクリートの照査で一体性について影響が生じる場合は、新設コンクリート部分の増設等の対策工を実施する。（P215～220）
- ・ケーソンと重力擁壁の境界部は、ケーソンの張出により一体化を図っており、重力擁壁の地震時（ S_s-D ）の慣性力がケーソン張出部に作用した際に、張出部が損傷しないことを確認した。（P221～222）
- ・防波壁に設置する止水ジョイントの機能維持の観点から、防波壁の構造形式の境界部、防波壁の隣接構造物及び地盤改良の位置を踏まえて断面を網羅的に提示（多重鋼管杭式擁壁；6断面、鋼管杭式逆T擁壁；5断面、波返重力擁壁；6断面）し、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、津波防護施設の耐震評価断面の選定を行った。（P89～91,147～149,212～213）
- ・防波壁の機能が喪失する損傷モードについては、「施設護岸の一部崩壊による漂流物の衝突」、「ケーソンの部材損傷による重力擁壁の支持力の喪失」及び「止水ジョイントの損傷」の観点で要求機能を喪失する事象（損傷モード）を追加で抽出するとともに、損傷した部位の機能喪失を踏まえた設計・施工上の配慮を整理した。（P76～88,140～146,204～211）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.99~101】

■ 指摘事項

【No.99,100,101 (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 (R2.2.25))

- 波返重力擁壁の性能評価について、準拠する港湾基準に規定された評価項目を網羅的に検討した上で、津波防護施設として抽出すべき評価項目を整理して説明すること。
- 波返重力擁壁の解析条件について、津波時の評価における静的解析の具体的な手法、モデル化条件を説明すること。
- 止水目地の評価条件について、試験等を実施する判断根拠を説明すること。

■ 回答

- ・波返重力擁壁の評価項目の抽出に当たっては、港湾基準に基づき、施設の安定性を確保する為に健全性を求められる部材との観点から、重力擁壁、ケーソン及びH鋼（地山擦り付け部）を構造部材として抽出し、評価項目を設定した。このうち、ケーソンについては、新規制基準における津波防護施設の要求性能とケーソンの構造部材の役割（止水性能及び支持性能）を踏まえ、ケーソンの全構造部材に対して、曲げ破壊及びせん断破壊について照査する。（P190~192,198~199,226）
- ・波返重力擁壁の津波時の評価においては、ケーソンが複数の隔壁を有しており、その影響を考慮する必要があることから、重力擁壁を含めた3次元モデルにより、静的解析にて耐震評価を行う。また、東端部及び西端部については岩盤上に重力擁壁が設置される構造であることから、2次元静的 F E Mモデルにより、押波の荷重作用時における波返壁の基部に発生する断面力を算定し、コンクリート及び鉄筋に発生する応力と許容応力度の比が1以下となることを確認する。（P190）
- ・止水目地の許容変形量、許容水圧、耐久性は、メーカー規格及び基準に基づく許容限界を基本とするが、施工ブロック間の地震時の相対変形及び津波波圧が許容限界を上回る場合は、性能試験を実施し、許容限界を再設定する方針とする。（P233）

現地調査における指摘事項に対する回答

■ 指摘事項

(現地調査 (R元.9.20))

○1号放水連絡通路防波扉について、クラックの成因・対処方法、既設範囲と新設範囲並びに両者の接合部の取り合い等を説明すること。

■ 回答

・既設範囲と新設範囲並びに両者の接合部の取り合い等を図で示した。1号放水連絡通路防波扉のクラックの発生要因は、新設コンクリート部の膨張・収縮、新設間詰コンクリートの荷重影響及び鉄筋腐食が考えられるが、坑口部が1号炉放水連絡通路防波扉設置まで長期間にわたり露出されていたことに伴う、飛来塩分を起因とした鉄筋腐食によるクラックと判断した。クラックの対処方法は、変状が確認された範囲を対象に修繕を実施する。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。(P243～249)

目次 (1/2)

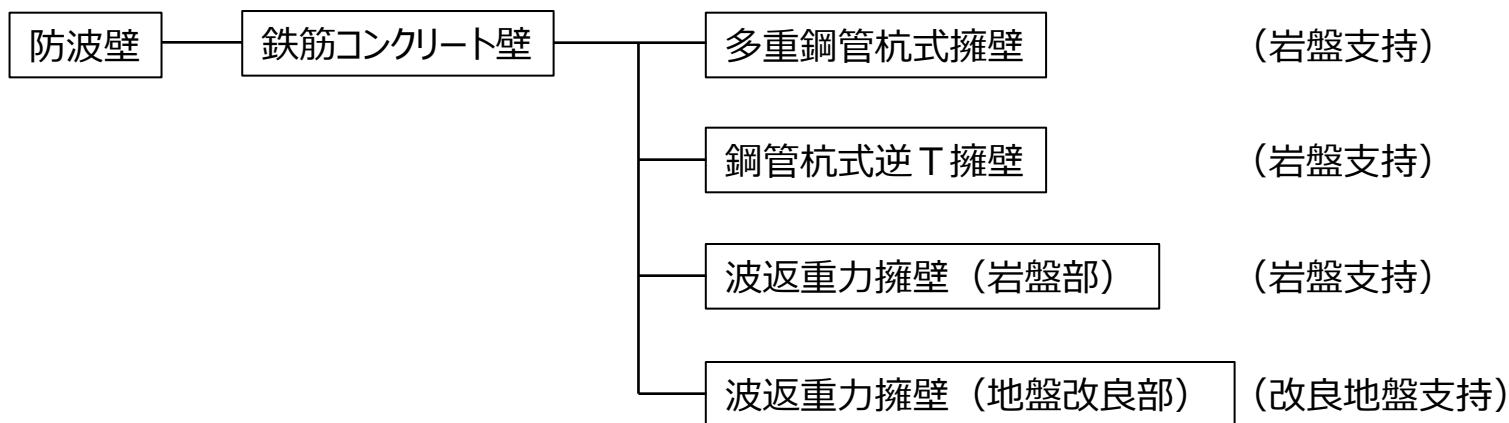
1. 概要	21
2. 津波防護対象施設	22
3. 防波壁に関する設置許可基準規則と各条文に対する確認事項	23
4. 防波壁設計に関する基本条件	25
4. 1 防波壁の概要	25
4. 2 防波壁（共通）の設計フロー	27
4. 3 基準地震動	28
4. 4 防波壁高さ及び設計に用いる津波高さ	30
4. 5 検討ケース及び荷重の組合せ	31
4. 6 重畳時（津波＋余震時）の評価	32
4. 7 解析用物性値	33
5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針	34
5. 1 構造概要	34
5. 2 規制における要求機能	46
5. 3 周辺地質	52
5. 4 設計方針	60
5. 5 個別論点	92

目次(2/2)

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針	104
6. 1 構造概要	104
6. 2 規制における要求機能	114
6. 3 周辺地質	120
6. 4 設計方針	127
6. 5 個別論点	150
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針	160
7. 1 構造概要	160
7. 2 規制における要求機能	172
7. 3 周辺地質	179
7. 4 設計方針	188
7. 5 個別論点	214
8. その他の構造概要	233
8. 1 止水目地	233
8. 2 防波壁通路防波扉	238
8. 3 1号放水連絡通路防波扉	243
9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価	250
9. 1 設置許可段階における確認項目	250
9. 2 構造成立性評価の方針	253
9. 3 設置許可段階での提示内容	254
9. 4 地下水位の設定方針	258
9. 5 解析用物性値	259

1. 概要

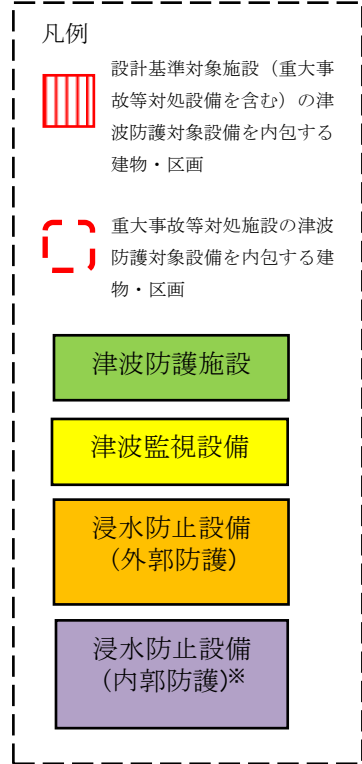
- 津波防護施設として防波壁に求められる要求機能は、繰り返しの襲来を想定した遡上波に対して浸水を防止すること、基準地震動 S_s に対し要求される機能を損なうおそれがないよう、構造全体として変形能力について十分な余裕を有することである。
- 上記の機能を確保するための性能目標は、基準津波による遡上波に対し余裕を考慮した防波壁高さを確保するとともに、構造体の境界部等の止水性を維持し、基準地震動 S_s に対し止水性を損なわない構造強度を有した構造物とすることである。
島根原子力発電所においては、入力津波に対して、高さEL+15mの防波壁を設置し、地震時の変位や変形を考慮しても十分な余裕を確保した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



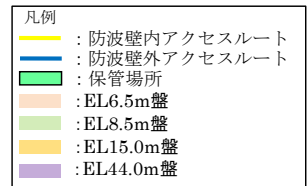
- 防波壁は、地震後及び津波後の再使用性と津波の繰り返し作用を考慮し、構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう設計する。設計においては、地盤の液状化の影響を考慮する。また、津波の検討においては地震による影響を考慮したうえで評価する。

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。



※ 配管（基準地震動Ssによる地震力に対してバウンダリ機能保持）を除く設備を示す



津波防護対象施設の平面配置

3. 防波壁に関する設置許可基準規則と各条文に対する確認事項（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 	○

3. 防波壁に関する設置許可基準規則と各条文に対する確認事項 (2/2)

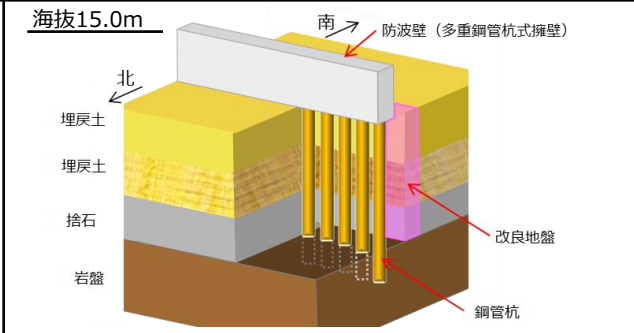
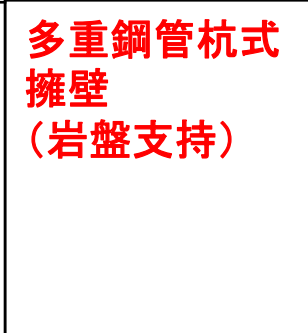
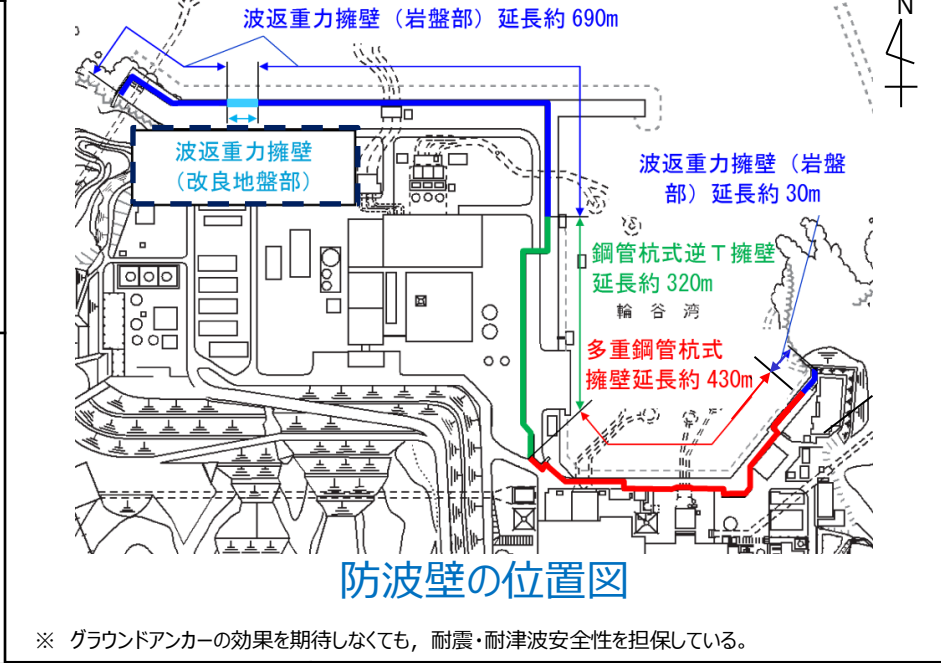
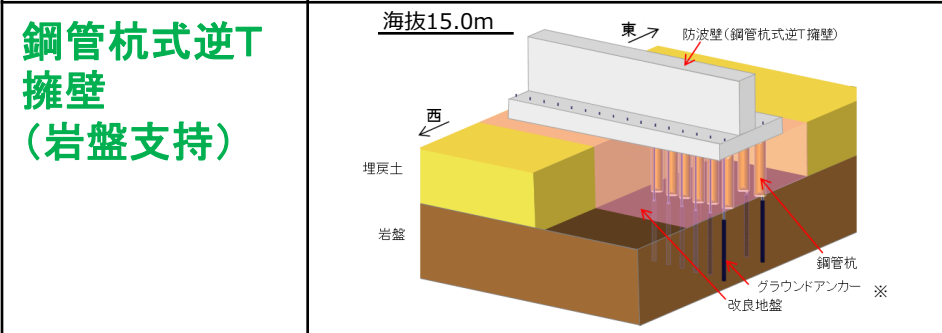
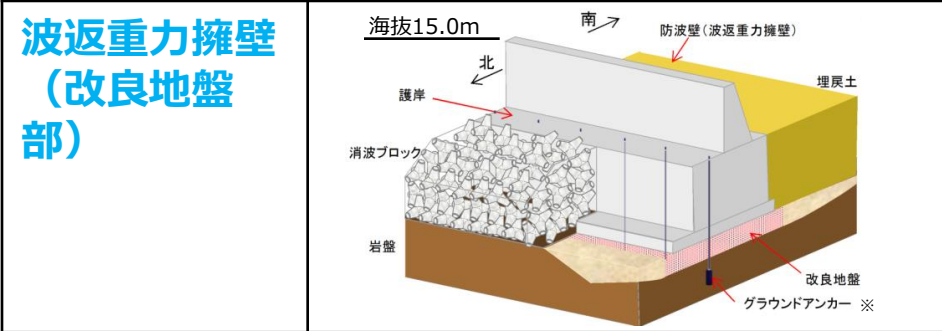
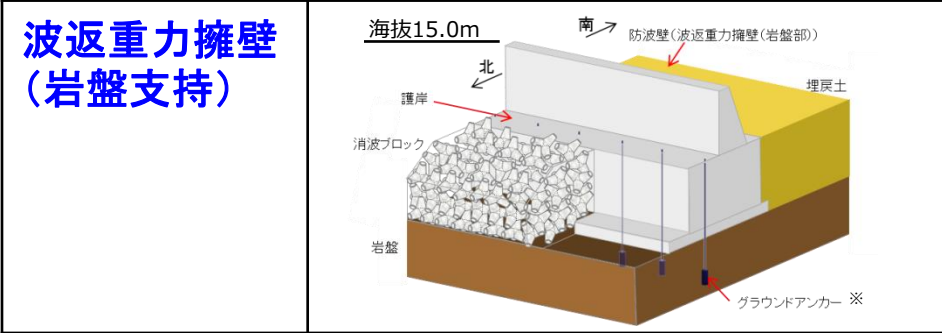
設置許可基準規則	各条文に対する確認事項	本資料の説明範囲
<p>第5条 津波による損傷の防止</p>		
<p>設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 基準津波による遡上波を地上部から到達又は流入させないこと Sクラスに属する設備が基準津波による遡上波が到達する高さにある場合には、防潮堤等の津波防護施設及び浸水防止設備を設置すること 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<p>— (耐津波設計方針にて説明予定)</p>
	<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. 防波壁設計に関する基本条件 4.1 防波壁の概要

第839回審査会合
資料1-1 P.14 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

4.1.1 防波壁の構造型式

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



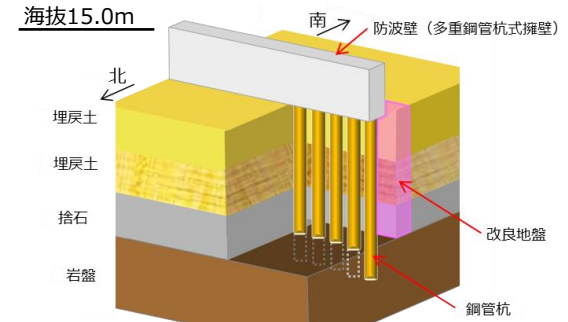
4. 防波壁設計に関する基本条件 4.1 防波壁の概要

4.1.2 防波壁の構造選定

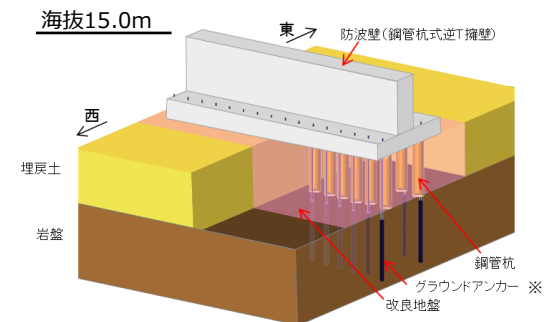
第839回審査会合
資料1-1 P.15 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

26

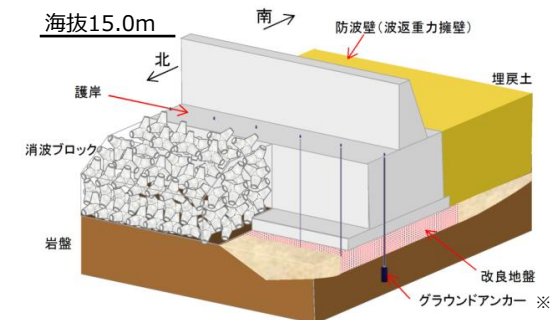
- 防波壁の構造選定の考え方を以下に示す。
- 多重鋼管杭式擁壁の構造選定
 - 1, 2号炉北側の施設護岸は基礎捨石上に設置しており, 1, 2号炉北側の施設護岸と発電所施設は近接し, 狭隘である。
 - 基礎を支持する岩盤の深さは, 最深約EL-14.5mである。
 - 敷地の制約と岩盤深さを考慮し, 鋼管杭による杭基礎構造を選定し, 設計した。なお, 上部工から伝達される荷重に耐える構造とするため, 大口径の鋼管杭を多重化した。
 - 上部工は下部から連続する鋼管杭 (最内管) を被覆する鉄筋コンクリート造とした。
- 鋼管杭式逆T擁壁の構造選定
 - 3号炉東側の一部の施設護岸は基礎捨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



多重鋼管杭式擁壁



鋼管杭式逆T擁壁



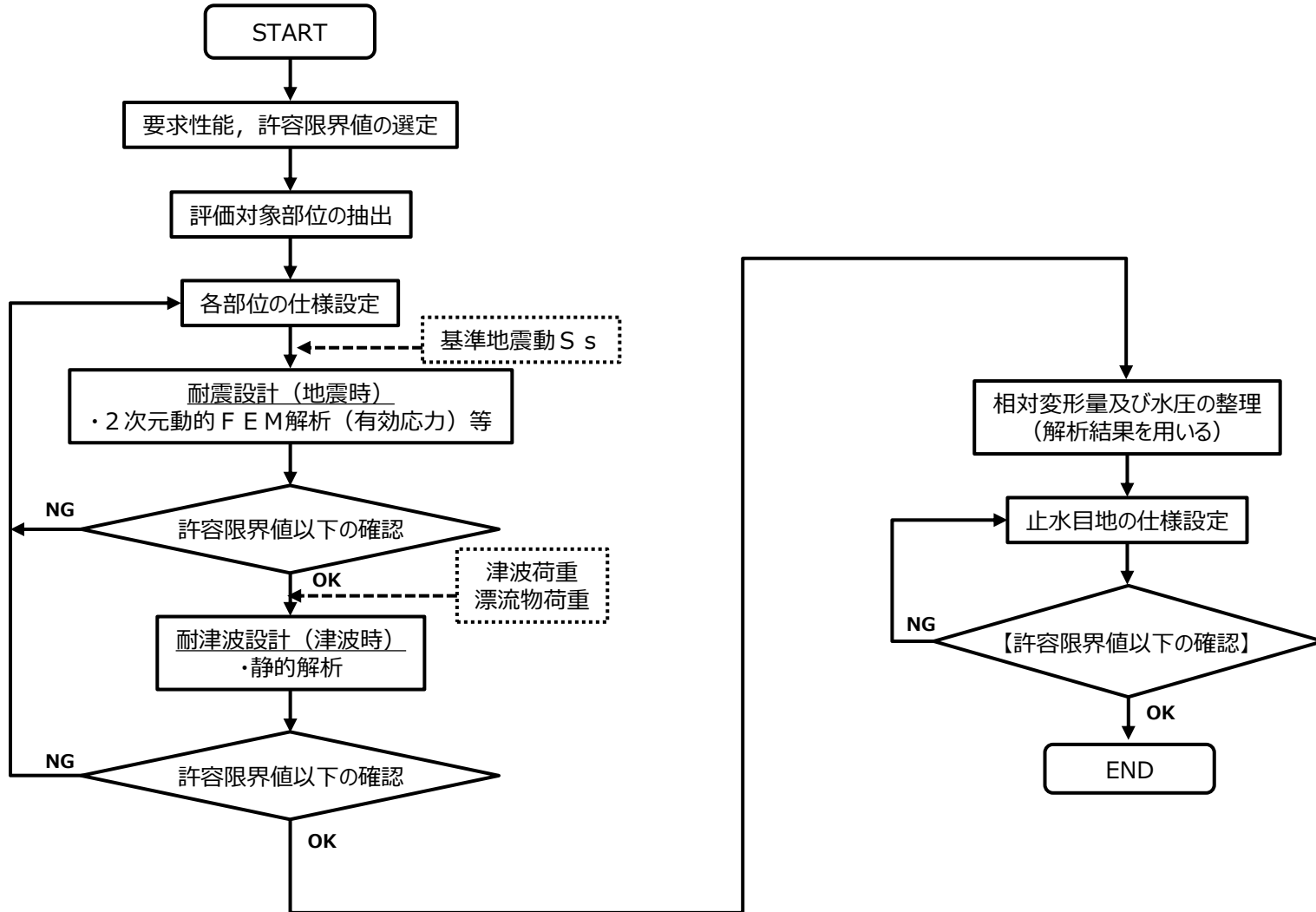
波返重力擁壁

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

4. 防波壁設計に関する基本条件

4.2 防波壁（共通）の設計フロー

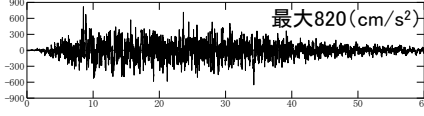
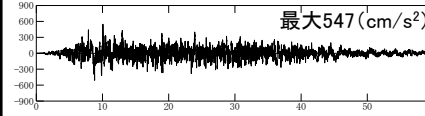
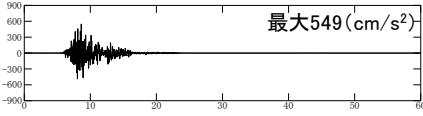
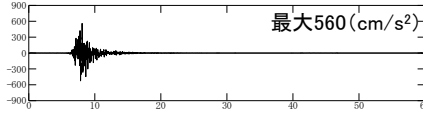
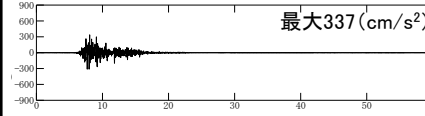
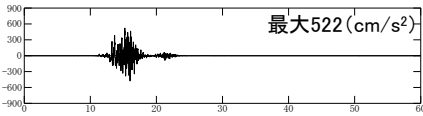
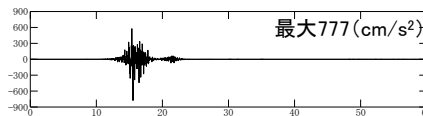
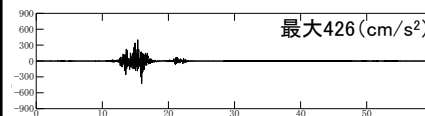
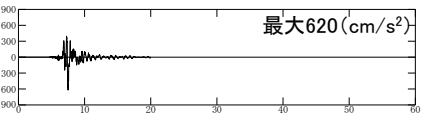
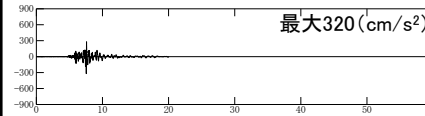
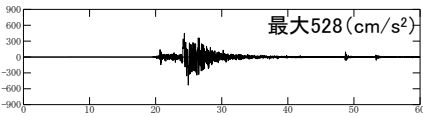
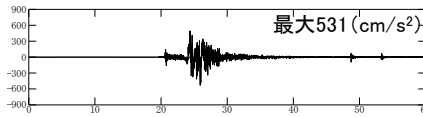
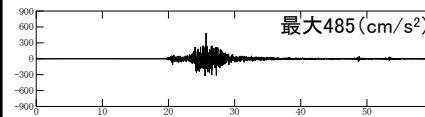
■ 防波壁の設計フローを以下に示す。



4. 防波壁設計に関する基本条件

4.3 基準地震動（加速度時刻歴波形）

第839回審査会合
資料1-1 P.108 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

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〕			

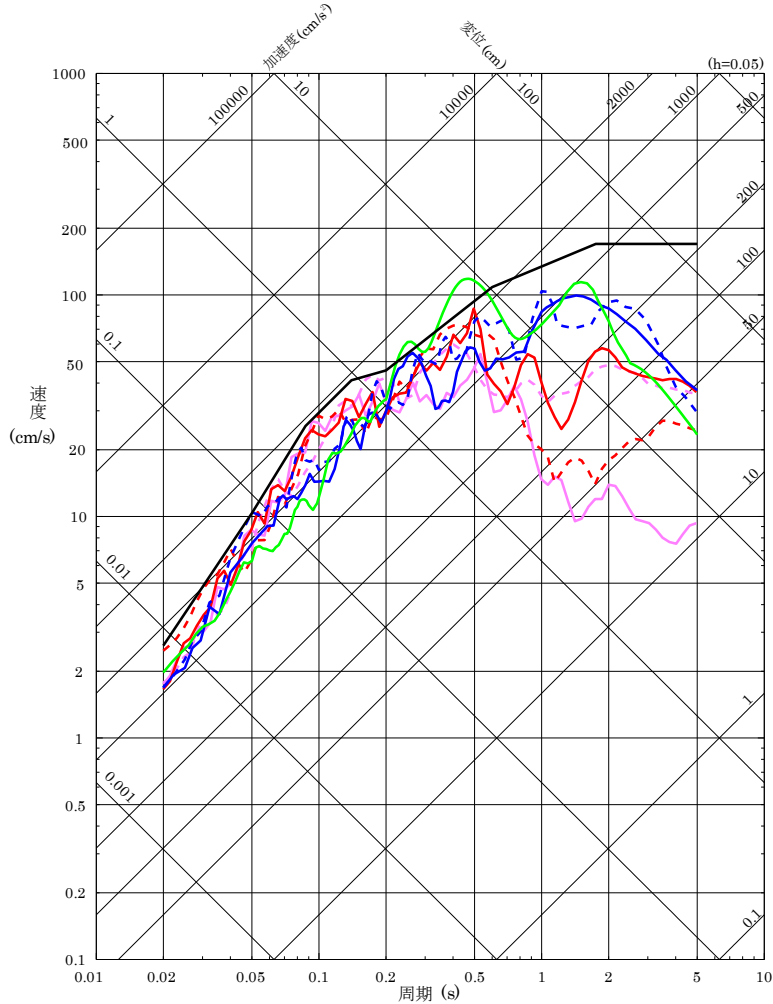
※ 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形〔縦軸：加速度（ cm/s^2 ）, 横軸：時間（s）〕

4. 防波壁設計に関する基本条件

4.3 基準地震動 (応答スペクトル)

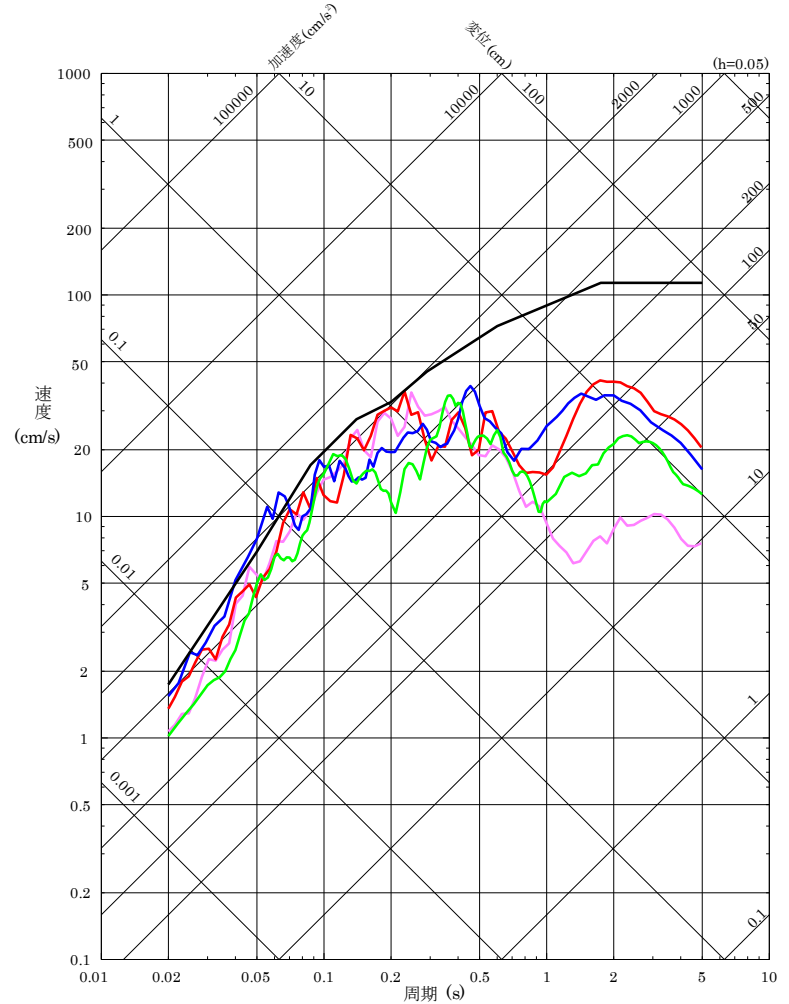
第839回審査会合
資料1-1 P.109 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

- 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

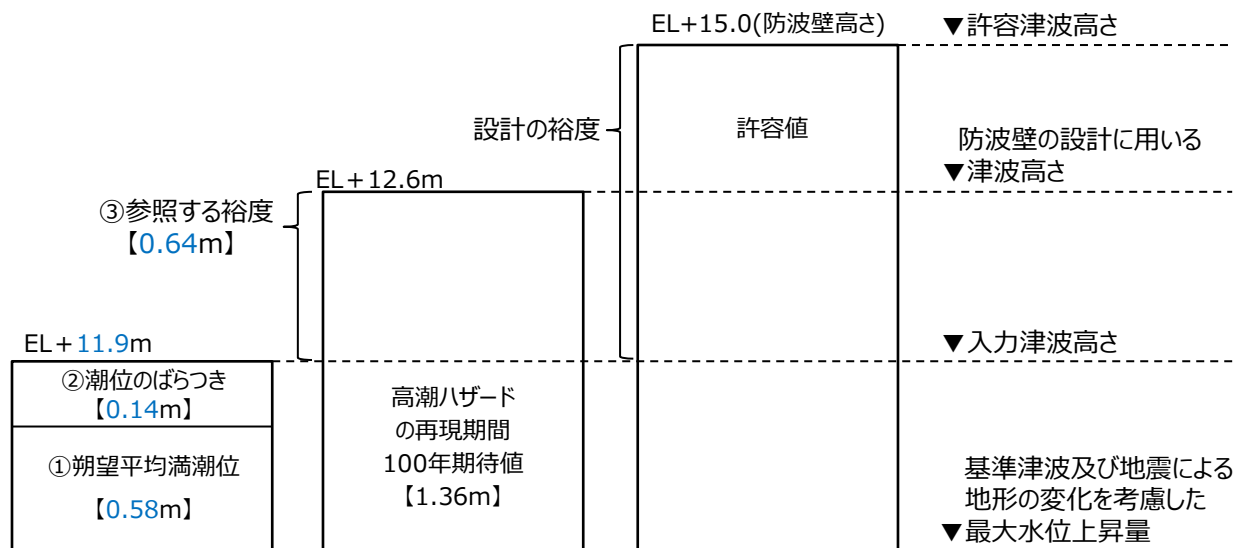
4. 防波壁設計に関する基本条件

4.4 防波壁高さ及び設計に用いる津波高さ

- 防波壁の設計には、高潮ハザードの裕度を参照した津波高さEL+12.6mを用いる。

設計に用いる津波高さと防波壁高さの関係

設計に用いる津波高さ (高潮ハザードの裕度を参照)	EL+12.6m
防波壁高さ	EL+15.0m
設計裕度	2.4m



防波壁設計裕度のイメージ

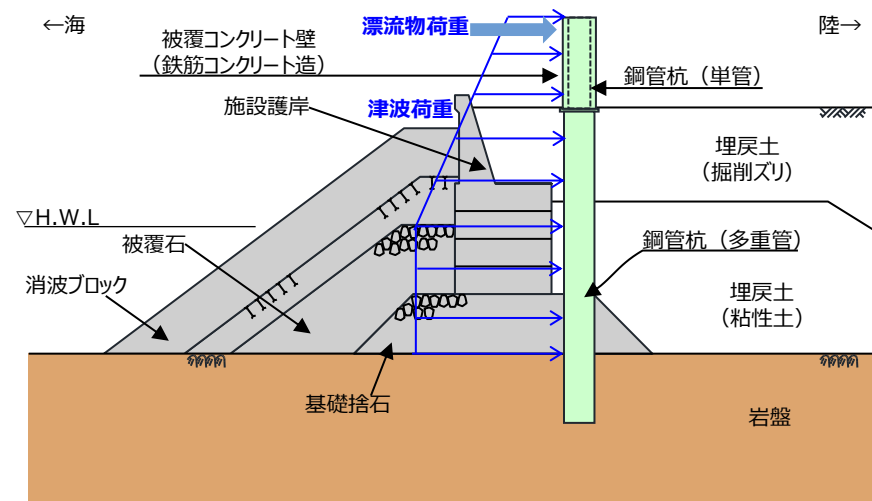
4. 防波壁設計に関する基本条件

4.5 検討ケース及び荷重の組合せ

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

検討ケース	荷重の組合せ
地震時	常時荷重 + 地震荷重
津波時	常時荷重 + 津波荷重 + 漂流物衝突荷重
重畳時 (津波 + 余震時)	常時荷重 + 津波荷重 + 余震荷重 ※ 海域活断層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。 (次頁参照)

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）の差の1/2を入射津波高さとし、「 港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年版） 」（以下、「 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



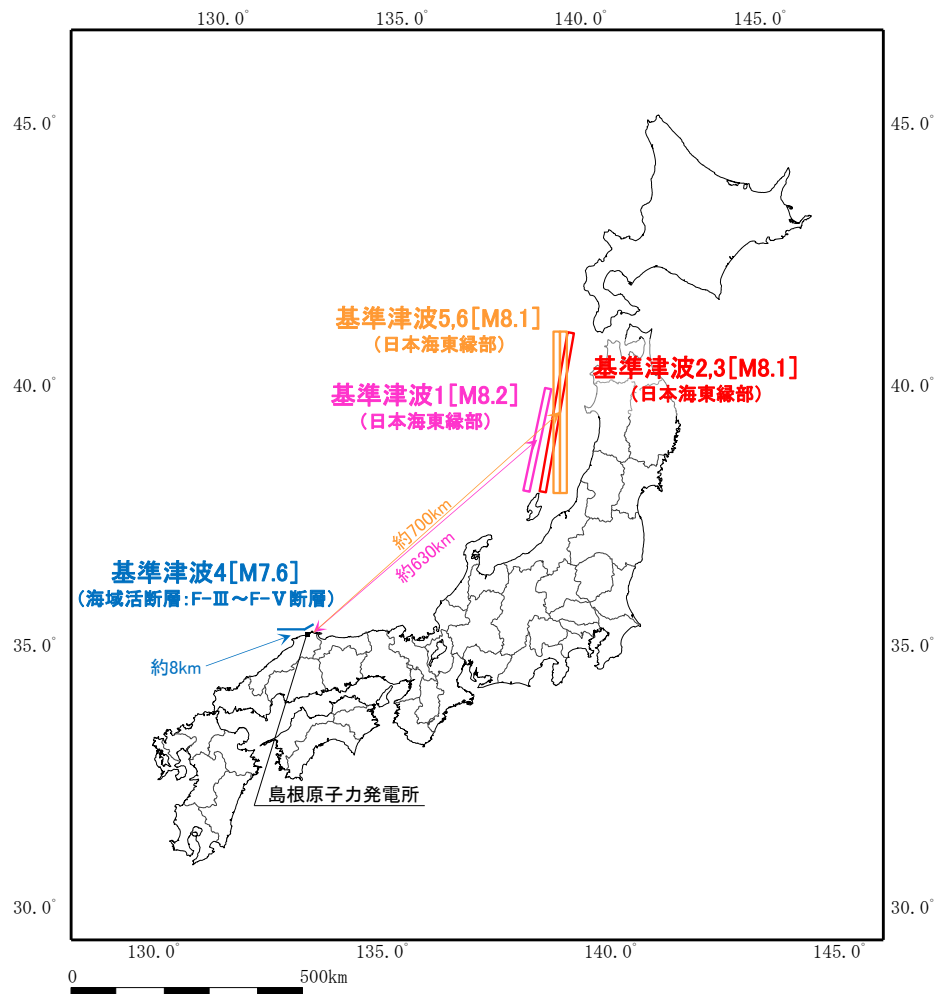
津波時荷重イメージ図（多重鋼管杭式擁壁）

4.6 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及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

4. 防波壁設計に関する基本条件

4.7 解析用物性値

- 防波壁の設計に用いる解析条件（解析用物性値等）の設定方針は、以下のとおりとする。

【施設・地盤の解析用物性値】

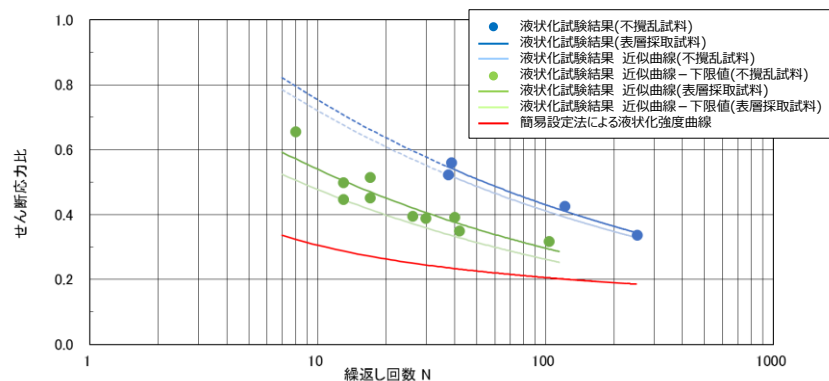
- ・施設の解析用物性値は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（社）土木学会，2002年制定」等に基づき設定する。
- ・地盤の解析用物性値は，原位置試験結果及び室内試験結果に基づき設定することを基本とするが，一部については，港湾基準等に準拠し，妥当性を確認の上，慣用値を用いる。

【設計地下水位】

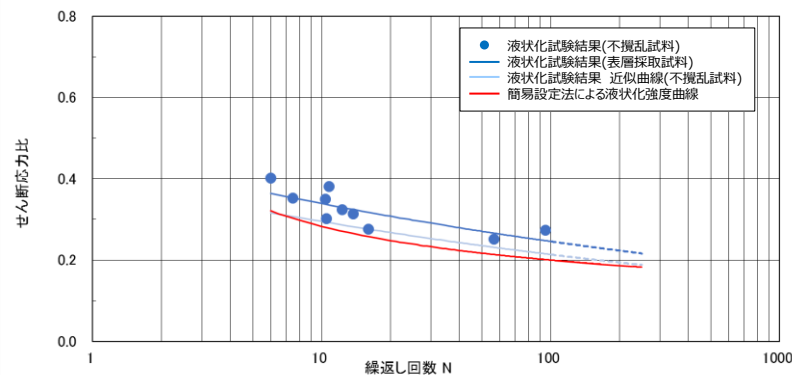
- ・詳細設計段階において，防波壁や改良地盤等をモデル化した浸透流解析を実施し，自然水位より保守的に設定した水位を設計地下水位として設定する。

【液状化強度特性】

- ・液状化評価対象層（埋戻土（掘削ズリ），砂礫層）に対して実施した液状化試験結果に基づく液状化強度特性よりも保守的な有効応力解析（FLIP）の簡易パラメータ設定法により液状化強度特性を設定する。



(a) 埋戻土（掘削ズリ）



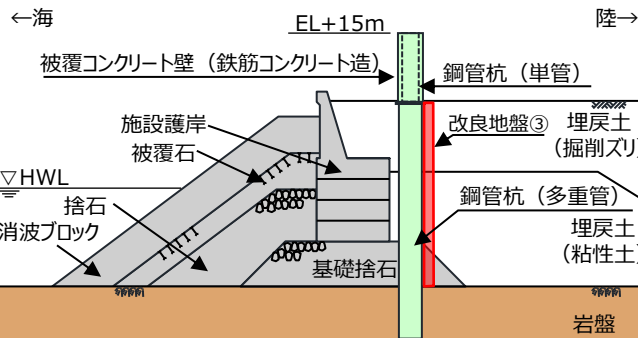
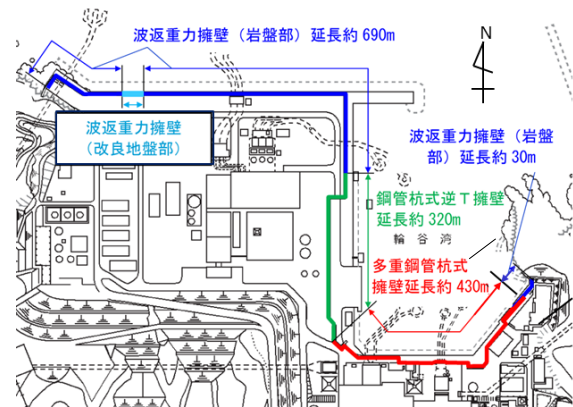
(b) 砂礫層

簡易設定法及び液状化試験結果による液状化強度曲線の比較

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

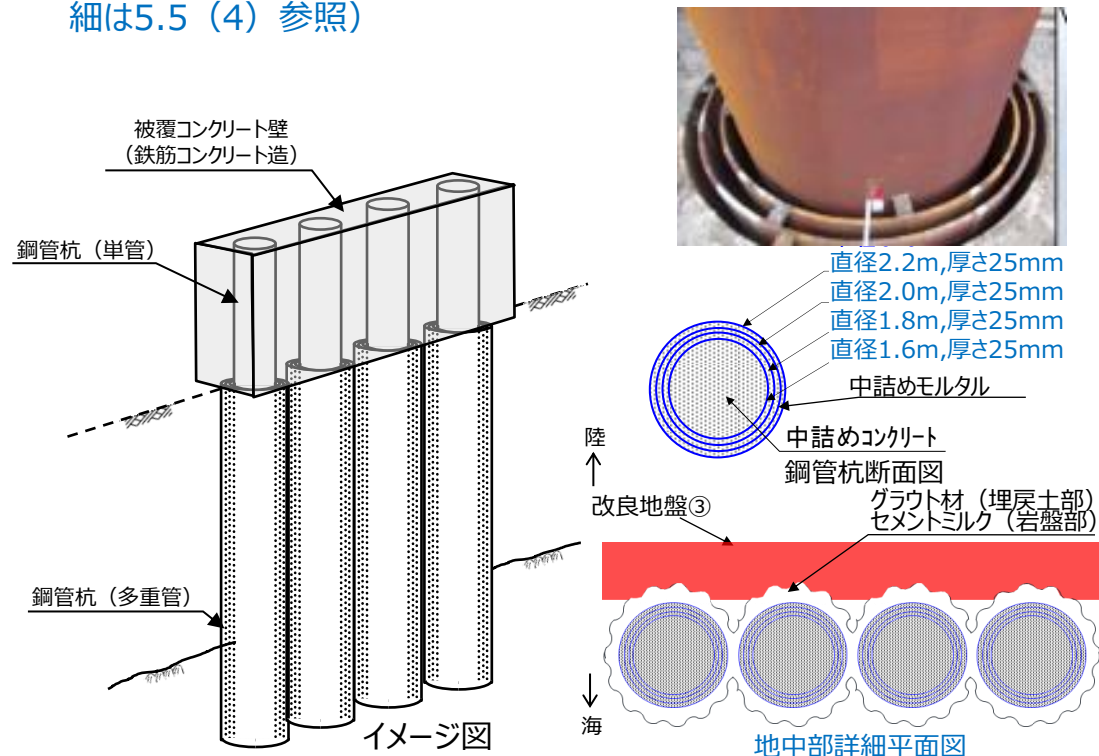
5.1 構造概要（1/12）

第839回審査会合
資料1-1 P.16 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）断面図

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要を示す。
- 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（8.1参照）を設置する。
- 防波壁の背後に止水性を有する地盤改良を実施する対策を行う。（詳細は5.5（4）参照）

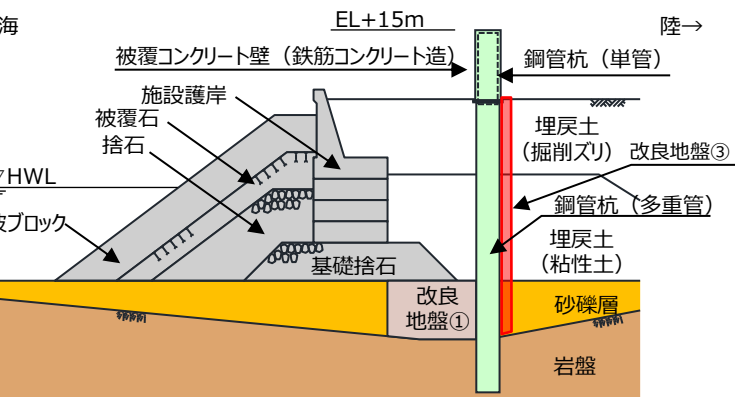


直径2.2m,厚さ25mm
直径2.0m,厚さ25mm
直径1.8m,厚さ25mm
直径1.6m,厚さ25mm

中詰めモルタル
中詰めコンクリート

グラウト材（埋戻土部）
セメントミルク（岩盤部）

地中部詳細平面図



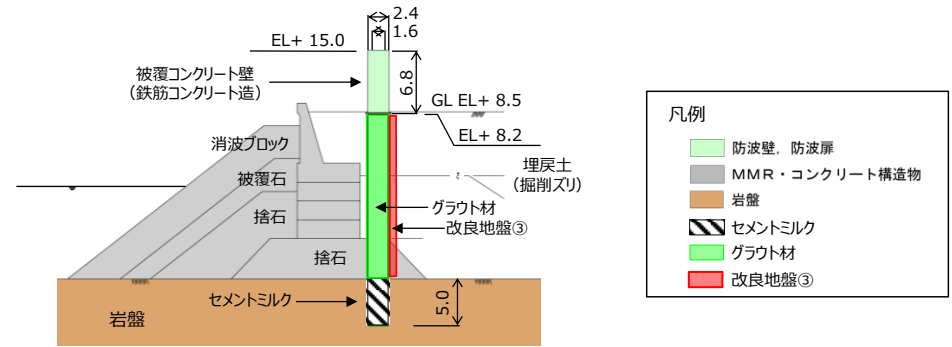
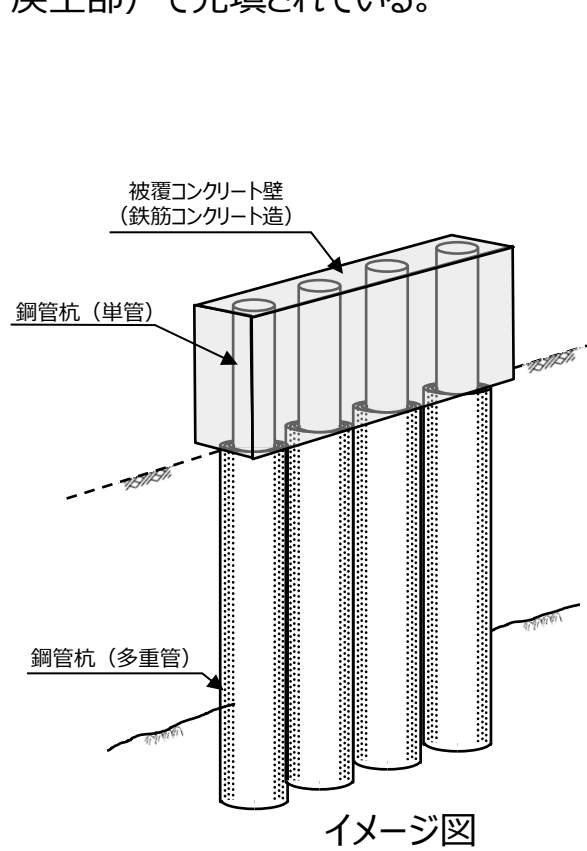
防波壁（多重鋼管杭式擁壁（改良地盤部））断面図

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.1 構造概要（2/12）

第839回審査会合
資料1-1 P.17 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

■ 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。

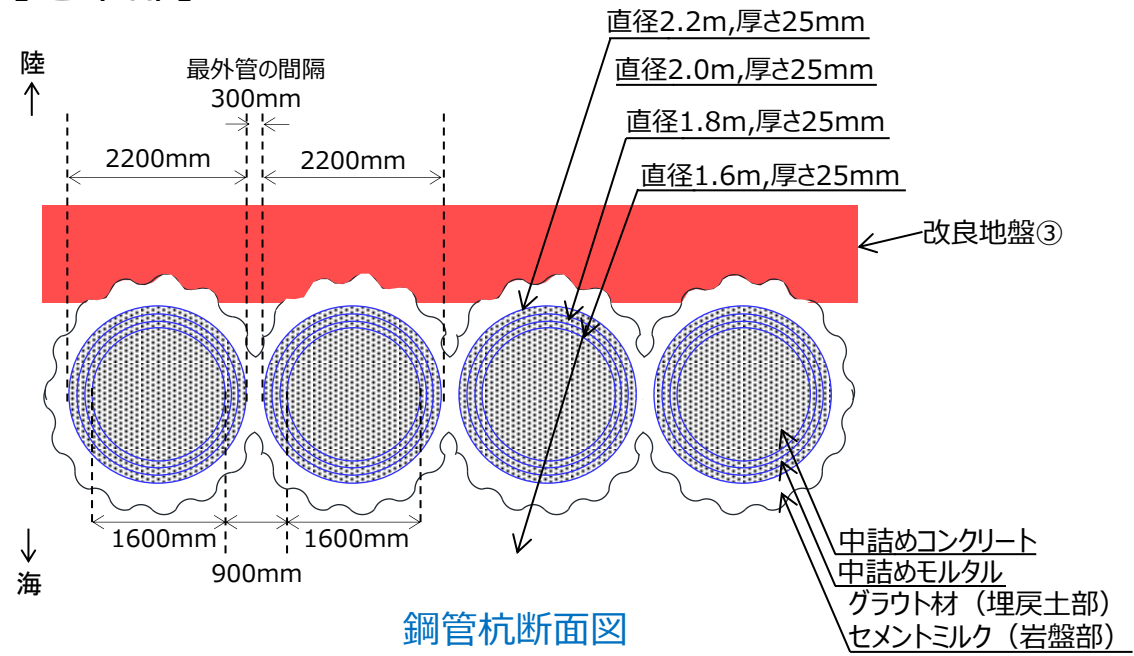


凡例

	防波壁、防波扉
	MMR・コンクリート構造物
	岩盤
	セメントミルク
	グラウト材
	改良地盤③

防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 杭間部 断面図

【地中部】



鋼管杭断面図

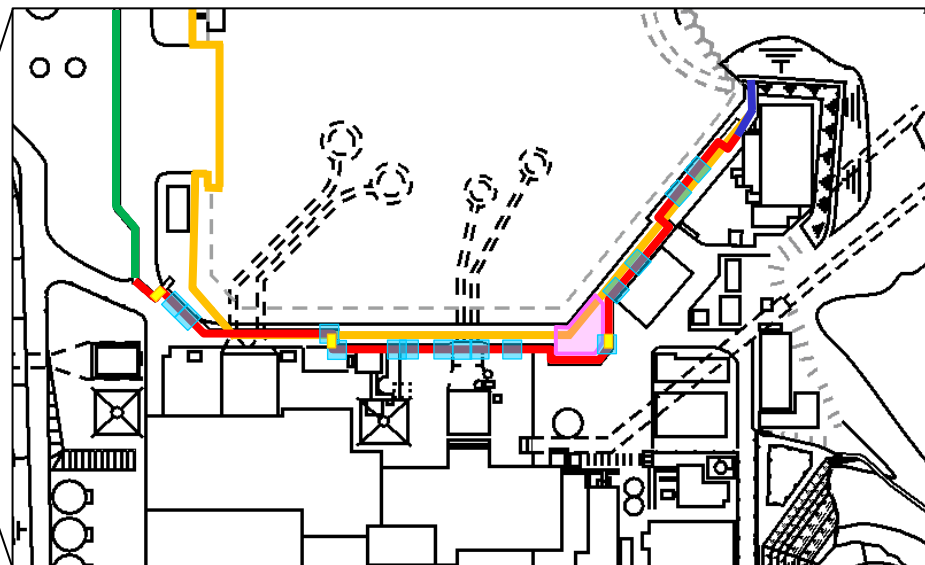
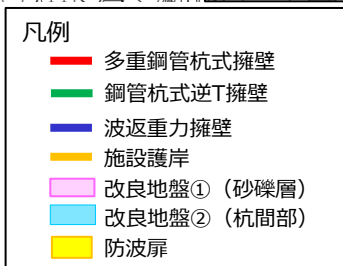
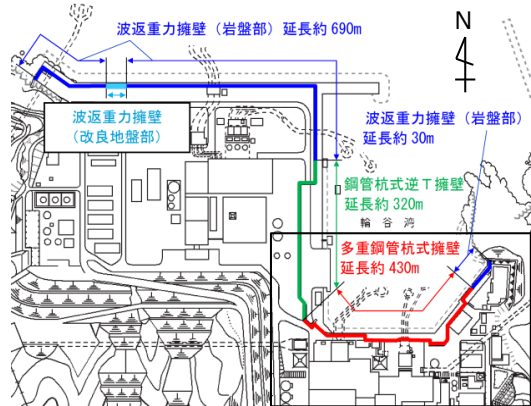
5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.1 構造概要（3/12）

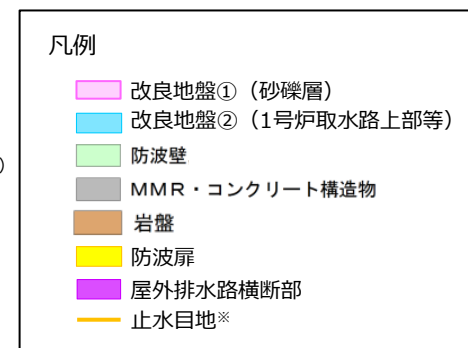
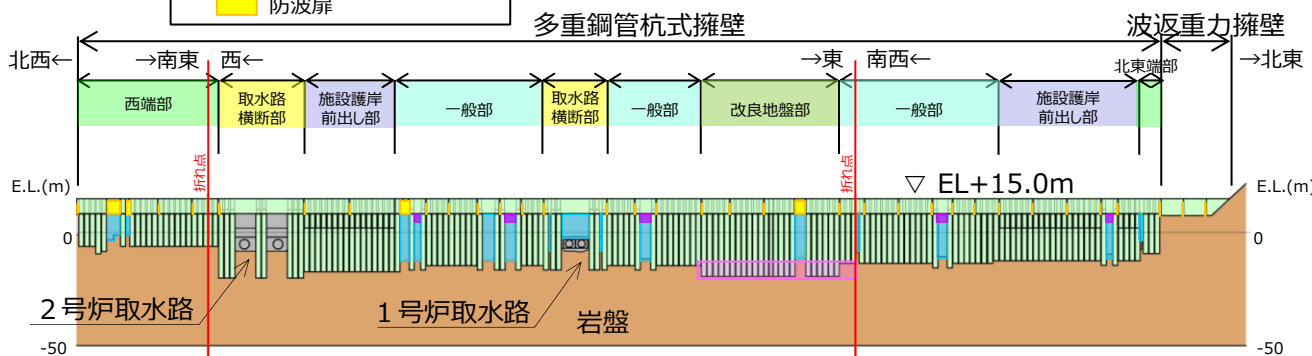
第839回審査会合
資料1-1 P.18 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

36

- 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（特殊スラグ系固化材）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（セメント系固化材）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。

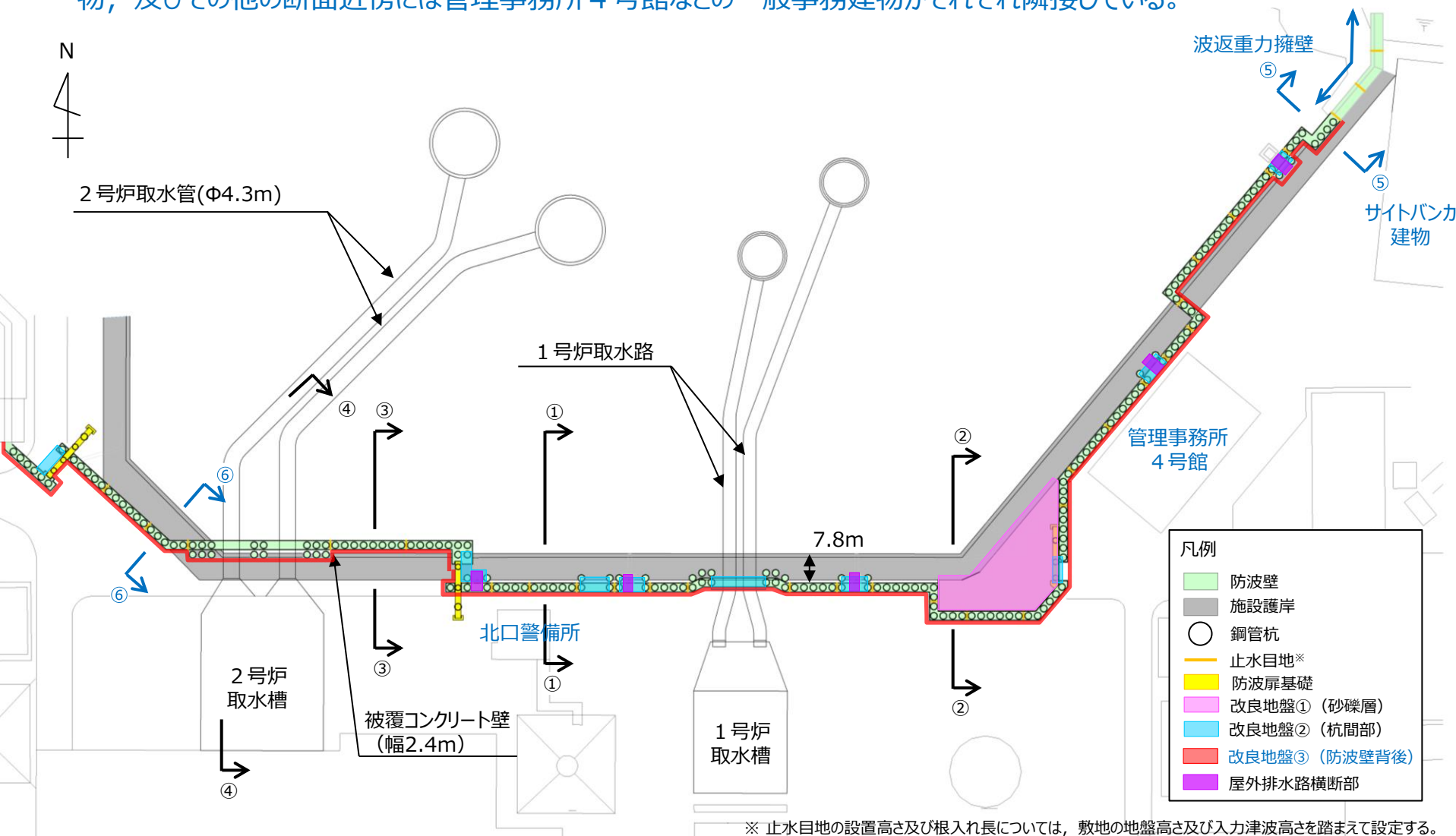
5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.1 構造概要（4/12）

第839回審査会合
資料1-1 P.19 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

37

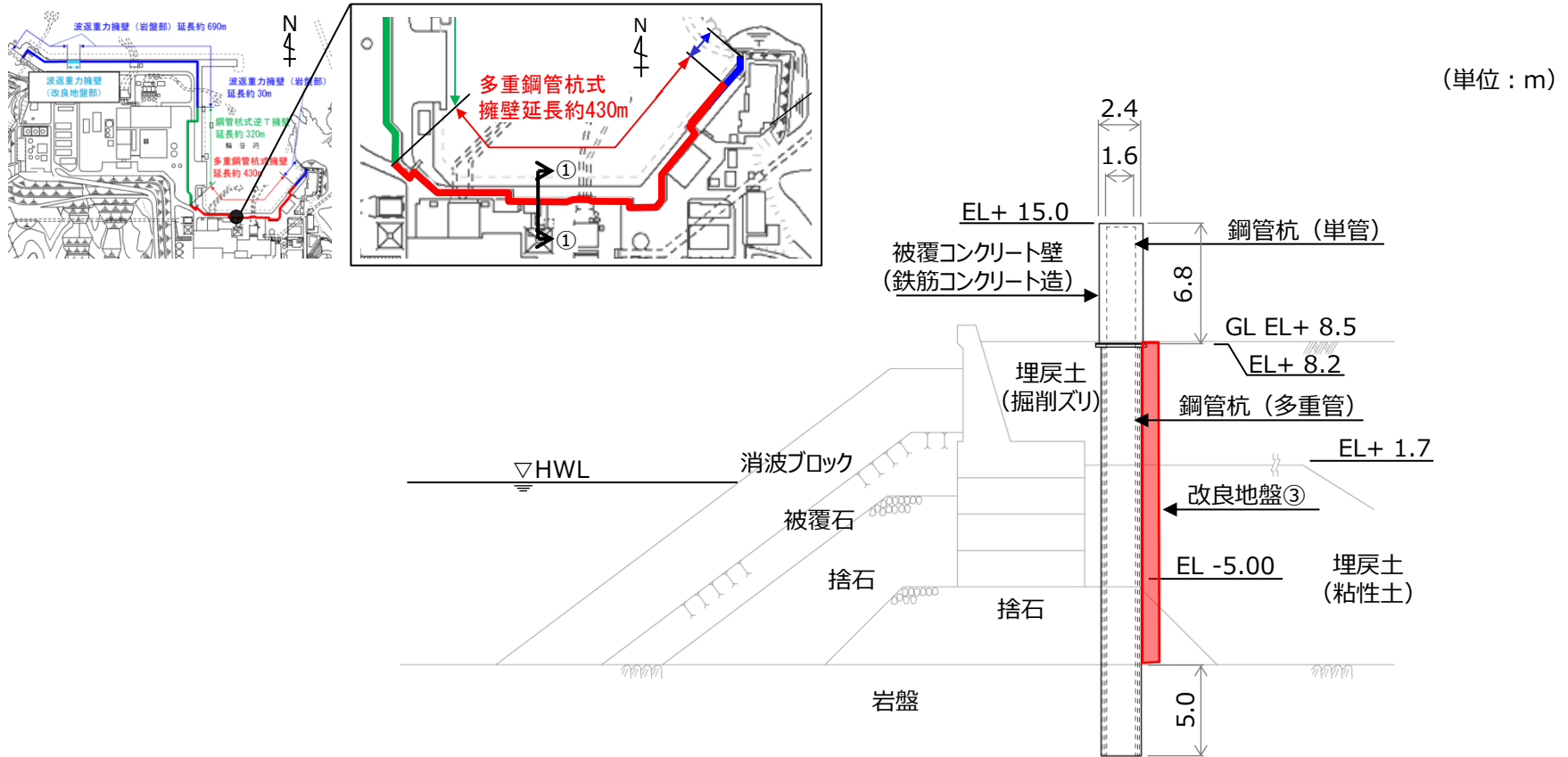
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）平面図（止水目地位置含む）を以下に示す。
- 防波壁取水路横断部（④－④断面）南側には2号炉取水槽，北東端部（⑤－⑤断面）東側にはサイトバンカ建物，及びその他の断面近傍には管理事務所4号館などの一般事務建物がそれぞれ隣接している。



5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.1 構造概要（5/12）

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



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）一般部（①－①断面）断面図

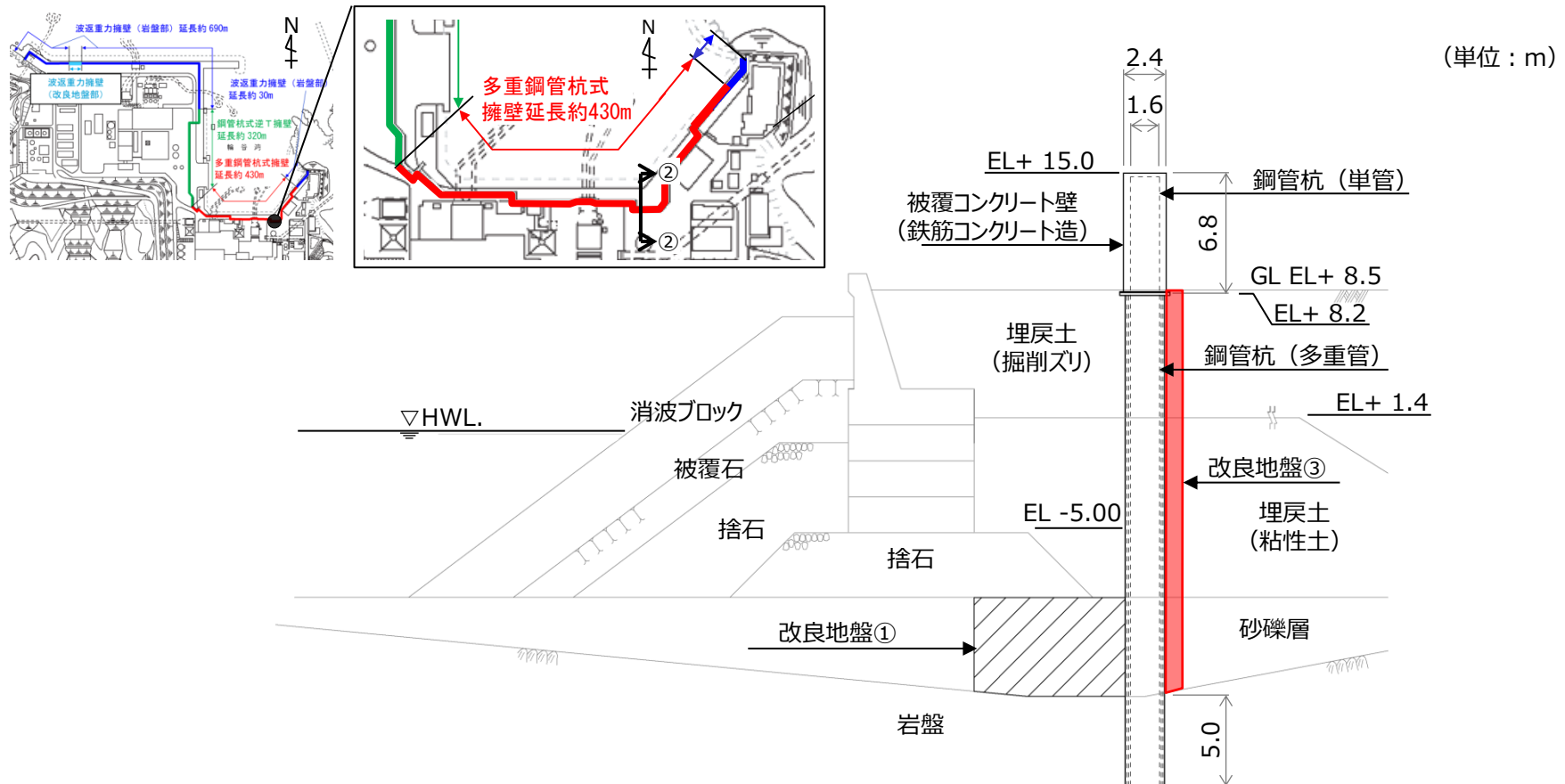
5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.1 構造概要（6/12）

第839回審査会合
資料1-1 P.21 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

39

- 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。

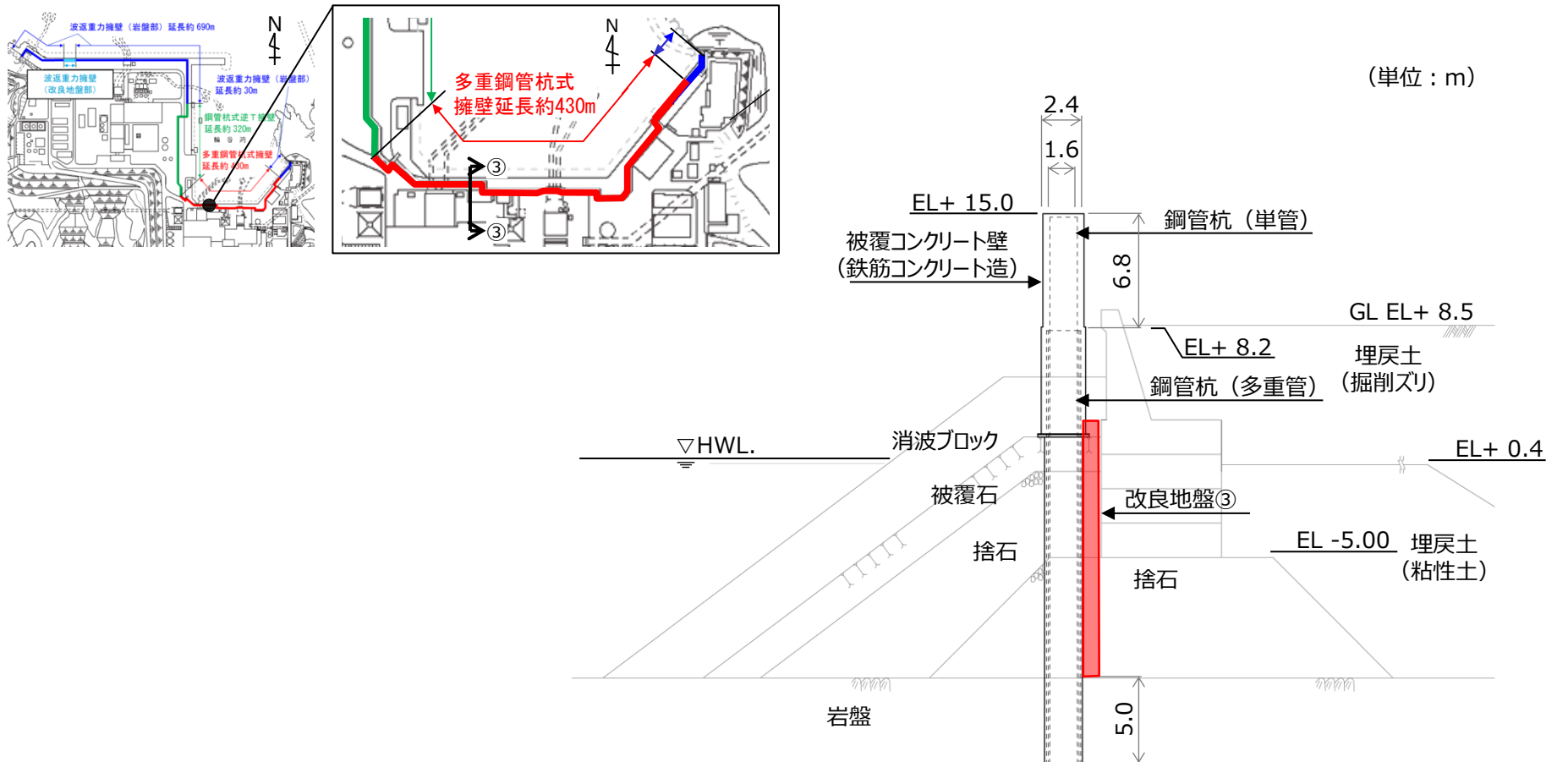


防波壁（多重鋼管杭式擁壁）改良地盤部（②-②断面）断面図

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.1 構造概要（7/12）

- 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。



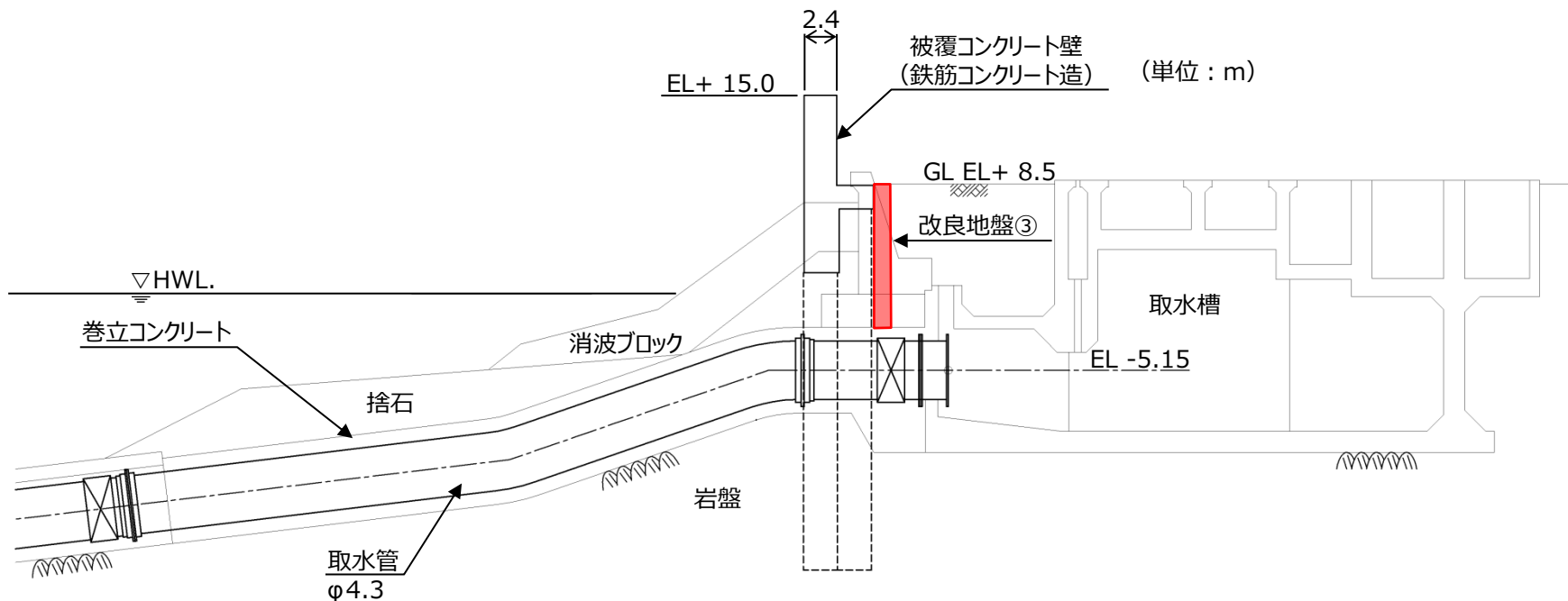
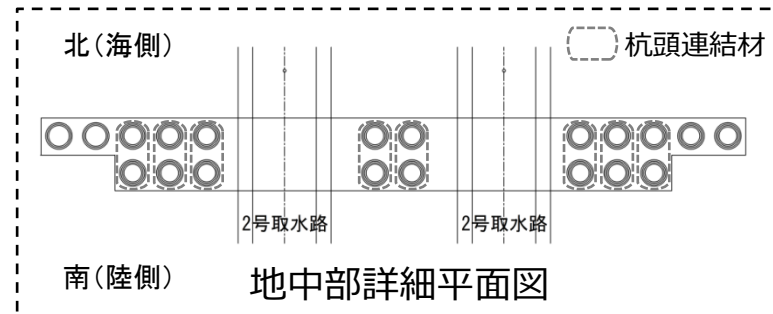
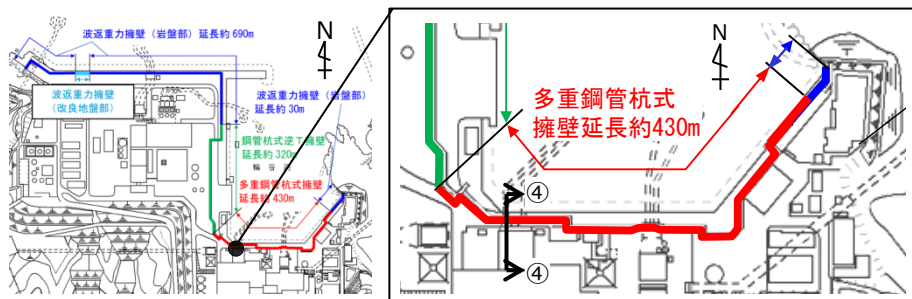
防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 施設護岸前出し部（③-③断面） 断面図

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.1 構造概要（8/12）

第839回審査会合
資料1-1 P.23 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）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5.5（1）参照）。

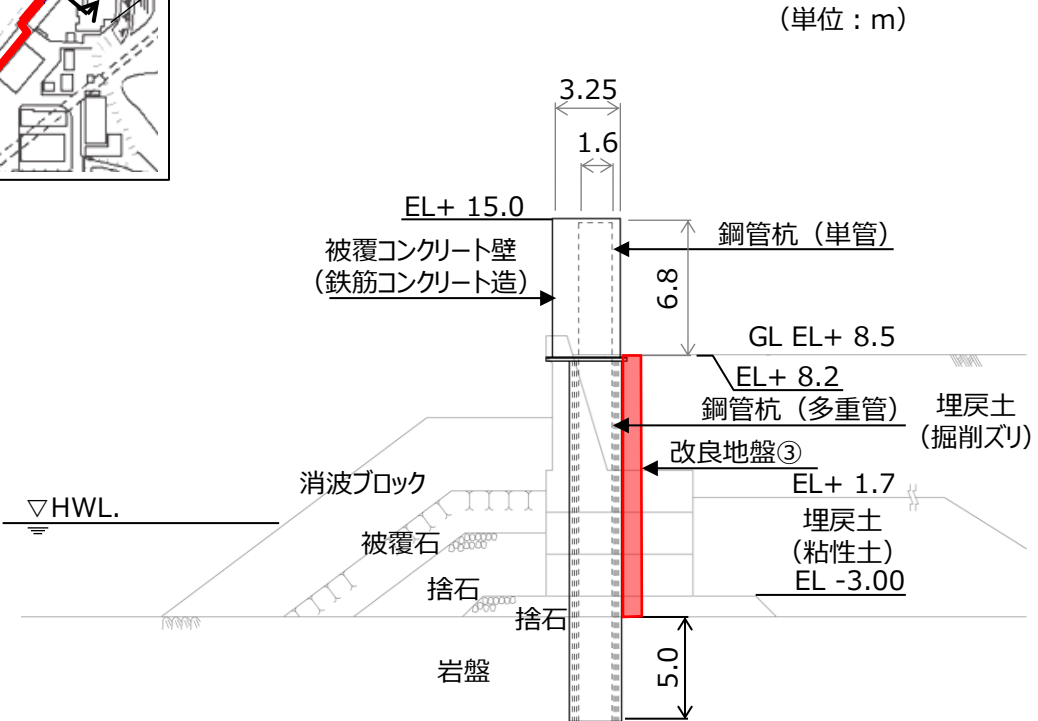
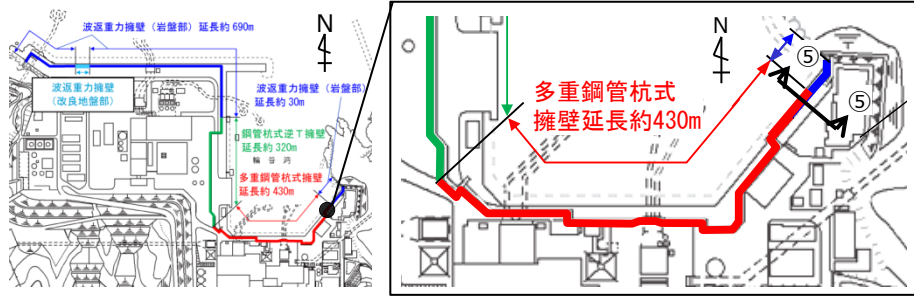


防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部（④－④断面） 断面図

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.1 構造概要（9/12）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）北東端部（⑤－⑤断面）については、施設護岸上に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が配置される構造となっている。

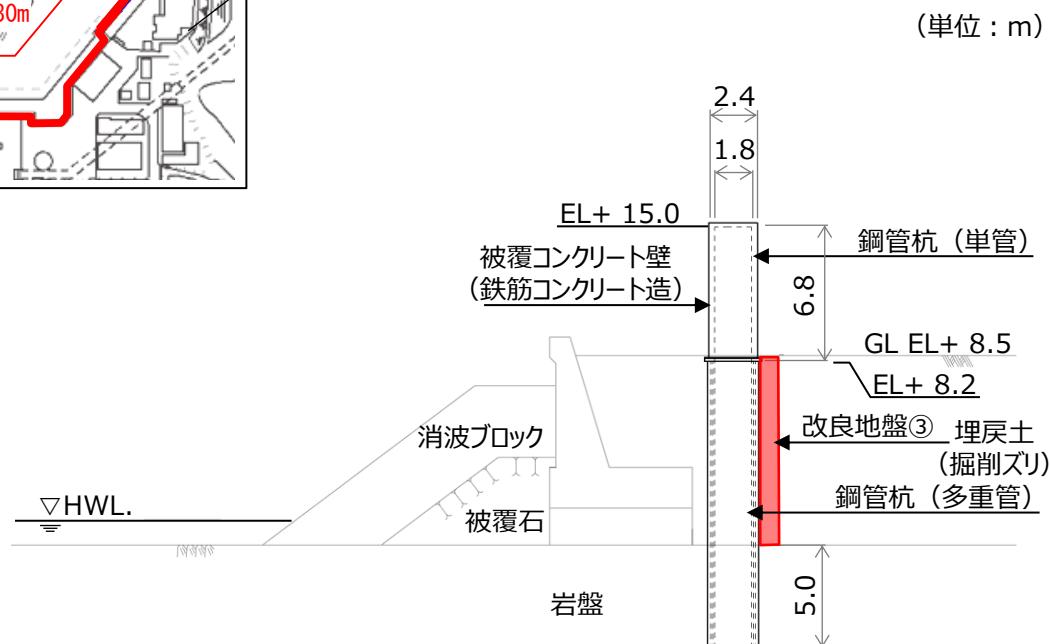
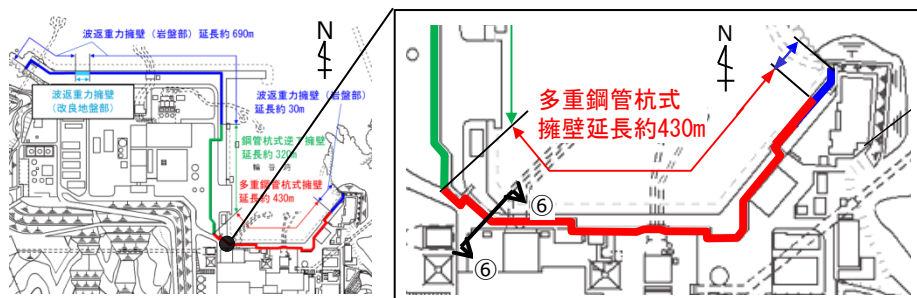


防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 北東端部（⑤－⑤断面） 断面図

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.1 構造概要（10/12）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）西端部（⑥－⑥断面）については，施設護岸の南西側（陸側）に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が配置される構造となっている。



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）西端部（⑥－⑥断面）断面図

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.1 構造概要（11/12）

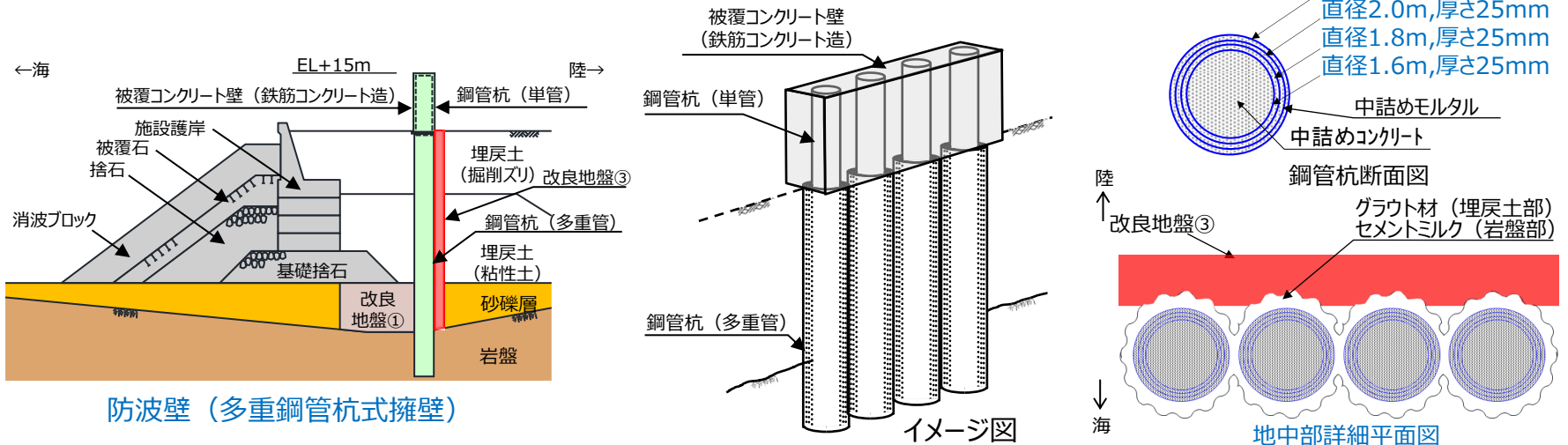
第839回審査会合
資料1-1 P.97 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

44

■ 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 中詰コンクリート（ $f'_{ck}=18\text{N/mm}^2$ ）
被覆コンクリート壁	コンクリート： $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 鉄筋：SD345
止水目地	ゴムジョイント，シートジョイント：クロロプレンゴム
【地盤】※	
セメントミルク	$q_u=9.8\text{N/mm}^2$ 以上
改良地盤①（砂礫層）	薬液注入工法（セメント系固化材，特殊スラグ系固化材）

※防波壁の背後に実施する地盤改良（改良地盤③）の仕様は詳細設計段階において説明する。



5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

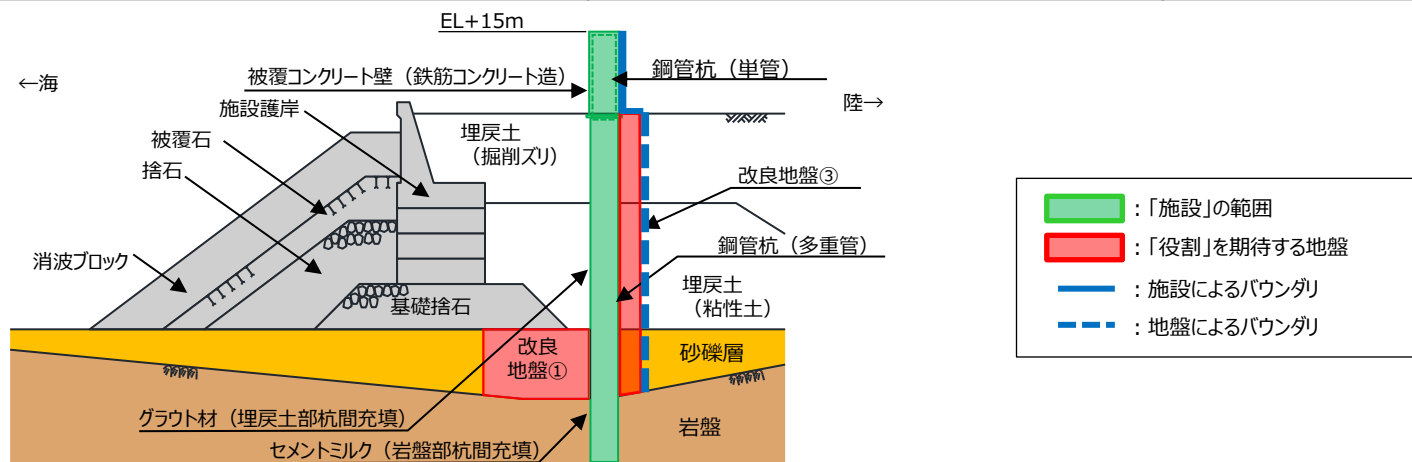
5.1 構造概要（12/12）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）を構成する評価対象部位及び構造上のバウンダリを示す。
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は被覆コンクリート壁及び止水目地を構造上のバウンダリとする。また、地中部の改良地盤③についても構造上のバウンダリとする。
- なお、設置許可基準規則を踏まえた評価対象部位の役割及び性能目標等について次頁以降で詳述する。

評価対象部位の役割

■ 施設の範囲 ■ 「役割」を期待する地盤

評価対象部位	役割	備考
鋼管杭	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	
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③（防波壁背後）	難透水性の保持	薬液注入工法（計画）
岩盤	鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与	基礎地盤
改良地盤②（1号炉取水路上部等），埋戻土（掘削ズリ），埋戻土（粘性土），砂礫層，施設護岸，被覆石，捨石，基礎捨石，消波ブロック，グラウト材	役割に期待しない	



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（改良地盤部）における構造上のバウンダリ

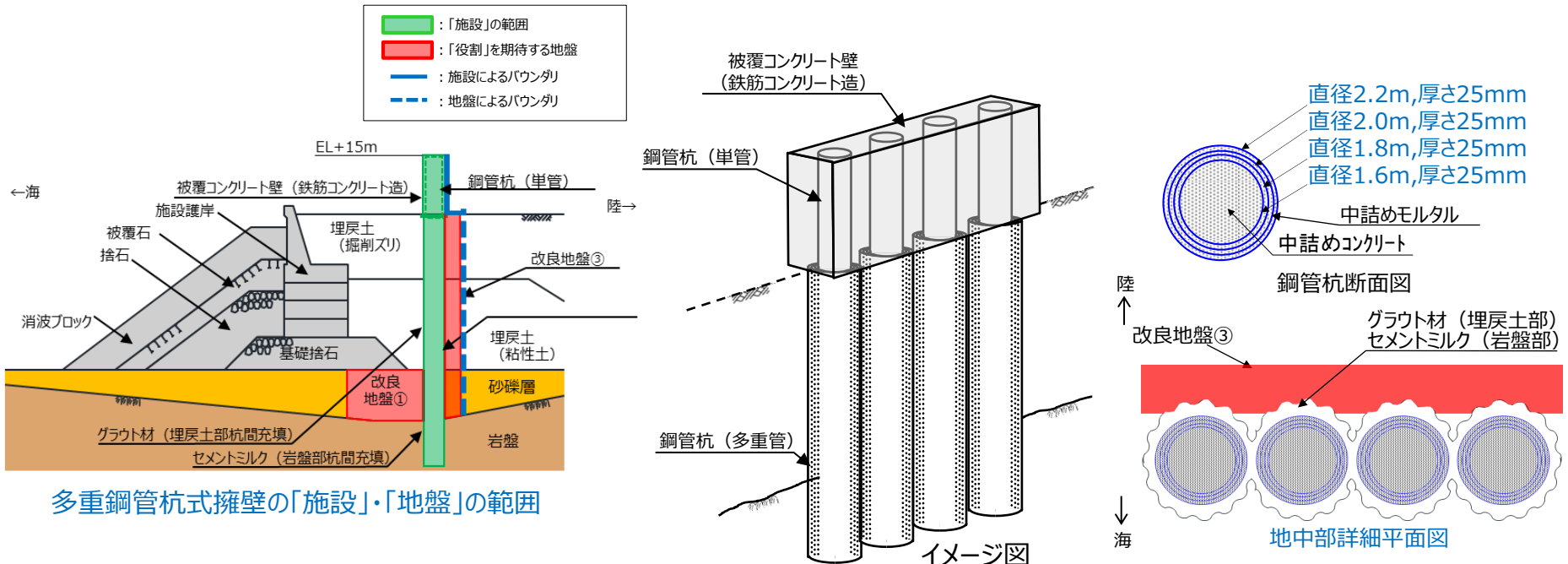
5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.2 規制における要求性能

5.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（1 / 5）

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

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における検討要旨

規則	検討要旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	・ 施設（鋼管杭）を支持する地盤を対象とし、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。



5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.2 規制における要求性能

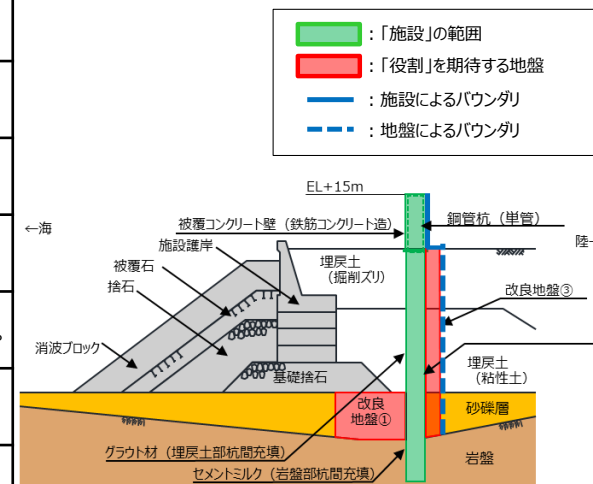
5.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（2 / 5）

第839回審査会合
資料1-1 P.55 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』、材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし、これらを総称として『止水性』と整理する。
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の周辺地盤及び施設護岸については、設置状況に応じて解析モデルに取り込むが、防波壁の前面に位置している施設護岸については、その損傷による防波壁への影響が大きいと考えられるため、それが損傷した場合の防波壁の耐震性への影響を確認する（5.5（4）参照）。
- 鋼管杭間を間詰めしているグラウト材及び改良地盤②は難透水性の地盤ではあるが、地震により施設護岸が損傷し、杭間に直接津波波圧が作用した場合には、止水性を担保することが困難であることから、津波の地盤中からの回り込みに対して万全を期すため、防波壁の背後に地盤改良（改良地盤③）を実施する（5.5（4）参照）。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鋼管杭	・被覆コンクリート壁を支持する。	・被覆コンクリート壁を支持する。
	被覆コンクリート壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・被覆コンクリート壁間の変形に追従する。	・被覆コンクリート壁間変形に追従し、遮水性を保持する。
地盤	セメントミルク	・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤① (砂礫層)	・鋼管杭の変形を抑制する。	・難透水性を保持する。
	改良地盤② (1号炉取水路上部等)	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。
	改良地盤③ (防波壁背後)	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する）。	・難透水性を保持する。
	岩盤	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。
	埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、砂礫層	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する）。	・防波壁より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸、基礎捨石、捨石、被覆石	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への波及的影響を考慮する）。	・役割に期待しない。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。
	グラウト材	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。



役割を期待する範囲

5.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（3 / 5）

- 多重鋼管杭式擁壁において、前頁の役割を有する改良地盤等について、具体的な役割を整理し、「施設」と「地盤」に区分する。
- 側方地盤としての鋼管杭の変形抑制を主な役割とするセメントミルク及び改良地盤①（砂礫層）、また、難透水性の保持を役割とする改良地盤③（防波壁背後）について、『地盤』と区別する。

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

各部位の具体的な役割

部位	具体的な役割						『施設』と『地盤』の区分の考え方
	地震時	津波時	鉛直支持	すべり安全率	(鋼管杭の変形抑制) 耐震性	(遮水性・難透水性) 耐津波性	
セメントミルク	・鋼管杭間にセメントミルクを設置することで、鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭間にセメントミルクを設置することで、鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を有するセメントミルクを鋼管杭間に連続的に設置することで、津波時の水みちを形成しない。	-	-	○	○	鋼管杭の変形抑制が主な役割であり、施設の側方地盤に要求される役割と同等であること、難透水性の保持の役割をもつことから『地盤』と区分する。
改良地盤① (砂礫層)	・鋼管杭の海側に改良地盤を設置することで鋼管杭の変形を抑制する。	・難透水性を保持することで、遮水性を有する被覆コンクリート壁、止水目地の下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。	-	-	○	○	鋼管杭の変形抑制が主な役割であり、施設の側方地盤に要求される役割と同等であること、難透水性の保持の役割をもつことから『地盤』と区分する。
改良地盤③ (防波壁背後)	・役割に期待しない。	・難透水性を保持することで、遮水性を有する被覆コンクリート壁、止水目地、下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。	-	-	-	○	難透水性の保持の役割をもつことから『地盤』と区分する。

5.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（4 / 5）

第839回審査会合
資料1-1 P.57 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

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

各部位の役割に対する性能目標

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

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.2 規制における要求性能

5.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（5 / 5）

第839回審査会合
資料1-1 P.58加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

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

各部位の照査項目と許容限界（上段：照査項目，下段：許容限界）

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

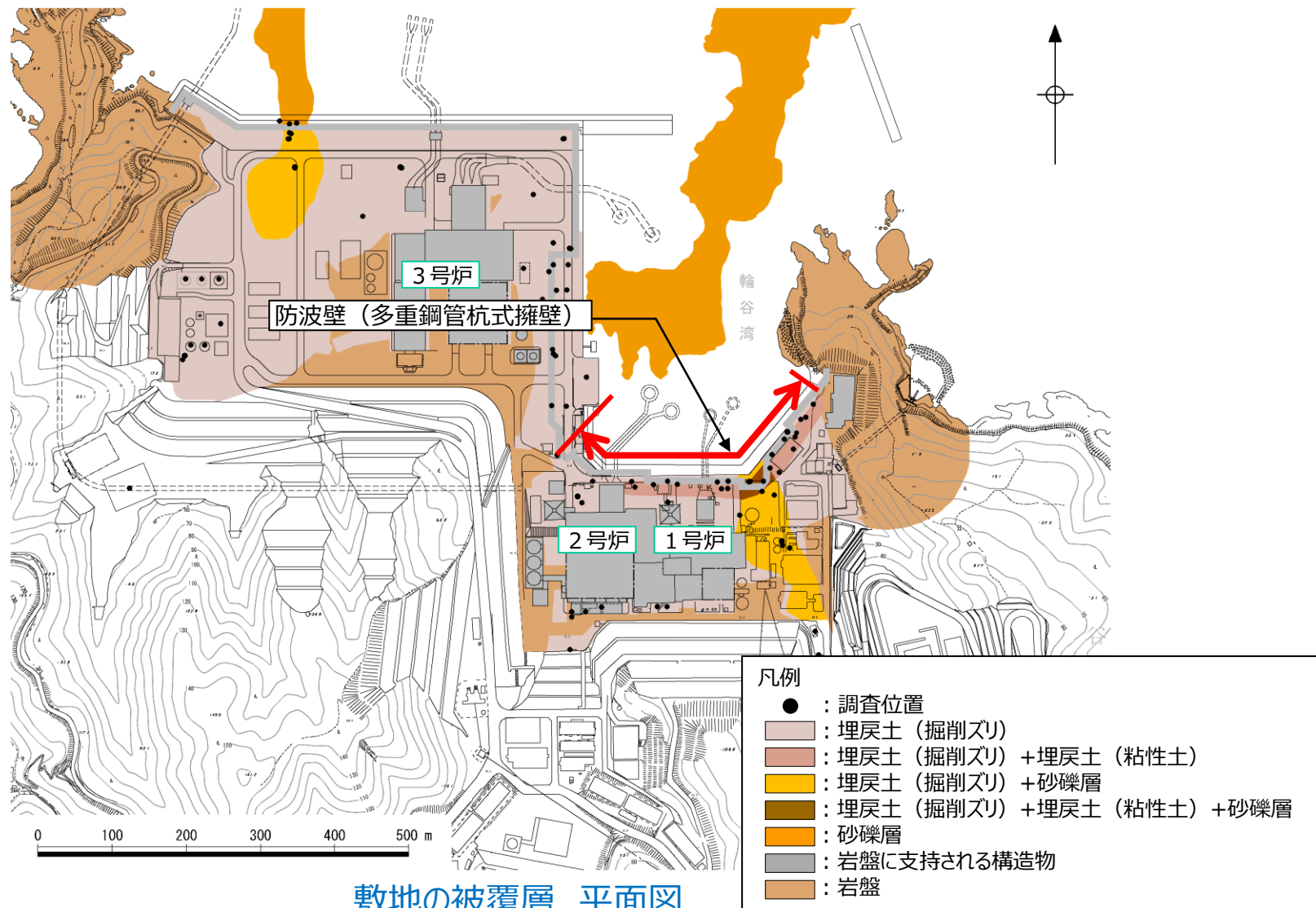
5.2.2 要求機能と設計評価方針

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

赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計				設計に用いる許容限界	
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計 (評価方針)	評価対象部位	応力等の状態		損傷モード
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	<p>基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド</p> <p>5.1津波防護施設の設計</p> <p>津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び転倒に対する抵抗性を並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計すること。</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>a) 荷重組合せ</p> <p>① 余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ: 常時+津波、常時+津波+地震(余震)</p> <p>② 荷重の設定</p> <p>a) 津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する知見(例えば、国交省の暫定指針等)及びその適用性。</p> <p>b) 余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。</p> <p>c) 地震により周辺地盤に液化が発生する場合、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、当該構造物全体の变形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修にある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。)</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变形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること。</p>	<p>・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び涌水を防止することが要求される。</p> <p>・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての变形能力(終局耐力時の変形)に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。</p>	<p>・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さの設定及び構造体の境界部等への止水処置により止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。</p> <p>・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は、基準地震動 S s に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。</p>	<p>・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対し、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。</p> <p>②防波壁の上部構造は、鋼管杭の周囲に設置する鉄筋コンクリート壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。</p> <p>③防波壁の杭周辺に改良地盤(薬液注入工)を構築することで杭の変形を抑制し、鉄筋コンクリート壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。</p> <p>④鉄筋コンクリート壁間には、波圧による変形に追従する、止水性を確認したゴムジョイント及びビードジョイントによる止水目地を設置することで止水処置を講ずる設計とする。</p> <p>・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は、基準地震動 S s に対し、①鋼製及びコンクリートの耐性のある部材を使用することで止水性能を保持する設計とする。</p> <p>②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形を抑制し、鉄筋コンクリート壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。</p> <p>③鉄筋コンクリート壁間には、地震による変形に追従する、止水性を確認したゴムジョイント及びビードジョイントによる止水目地を設置することで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波重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼管杭及び鉄筋コンクリート壁で構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とする。</p> <p>・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は、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波重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼管杭の変形を抑制し、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する設計とするため改良地盤①(砂曝層)がすべり破壊せずに津波が敷地に浸水しないことを確認する。</p>	<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波重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼管杭及び鉄筋コンクリート壁で構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とする。</p> <p>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波重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼管杭の変形を抑制し、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する設計とするため改良地盤①(砂曝層)がすべり破壊せずに津波が敷地に浸水しないことを確認する。</p> <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波重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼管杭の変形を抑制し、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する設計とするため改良地盤③(防波壁背後)がすべり破壊せずに津波が敷地に浸水しないことを確認する。</p> <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波重、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。
		被覆コンクリート壁	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書、構造性能照査編、2002年制定」を踏まえた短期許容応力度とする。					
		止水目地	変形・水圧	有意な漏れに至る変形・水圧	メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づき許容変形量及び許容水圧以下とする。					
		止水目地の鋼製部材	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。					
		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。					
		改良地盤①(砂曝層)	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。					
改良地盤③(防波壁背後)	すべり安全率	すべり破壊し、難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。							
岩盤	支持力	鉛直支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編(平成14年3月)」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力とする。							

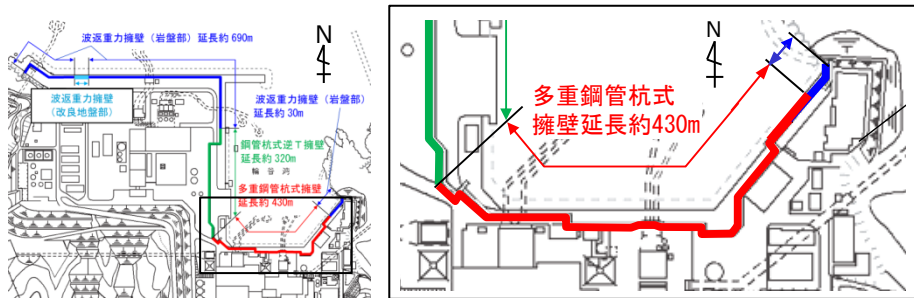
■ 防波壁周辺の被覆層の分布状況及び地山の岩盤の分布状況を以下に示す。



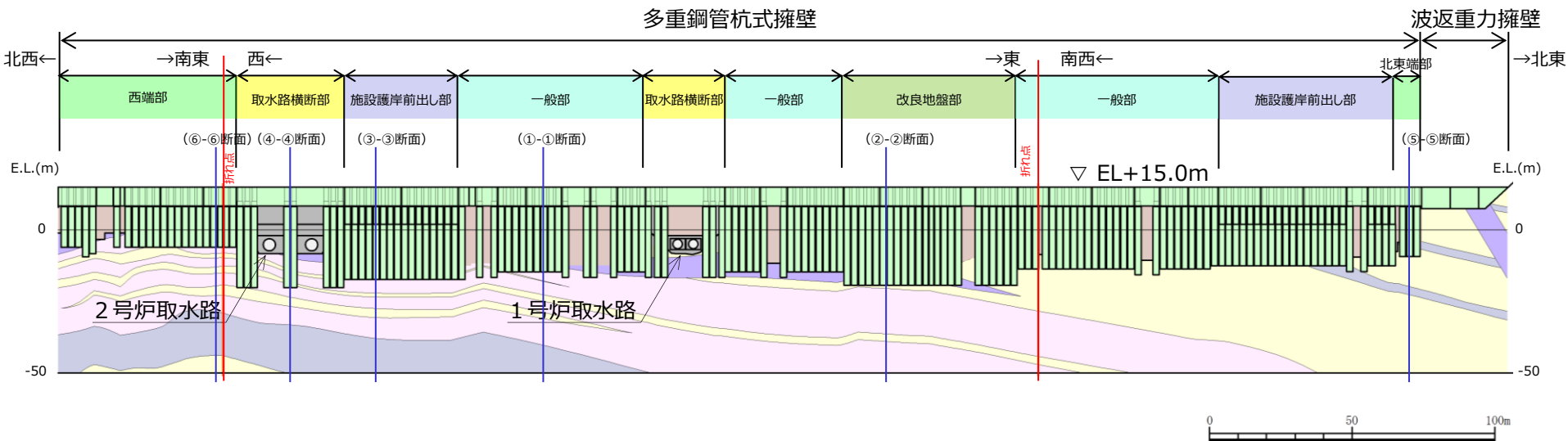
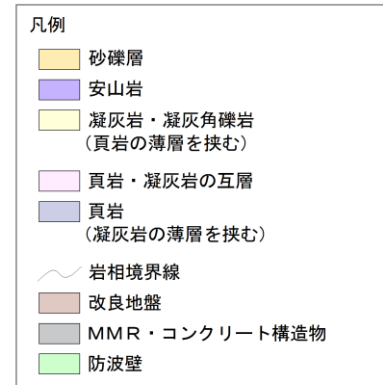
5. 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の設計方針

5.3 周辺地質 (2/8)

第839回審査会合
資料1-1 P.72 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す



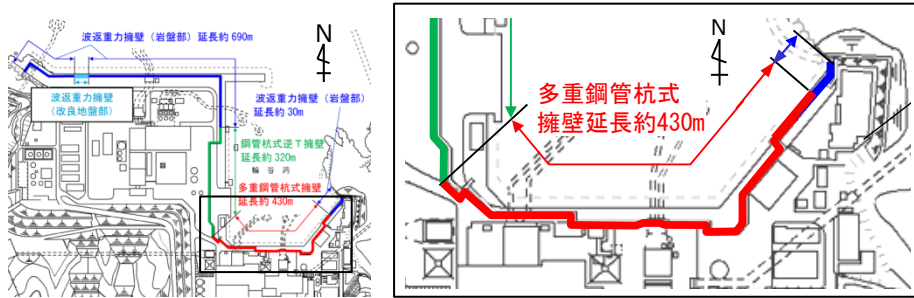
■ 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の岩相縦断図を以下に示す。



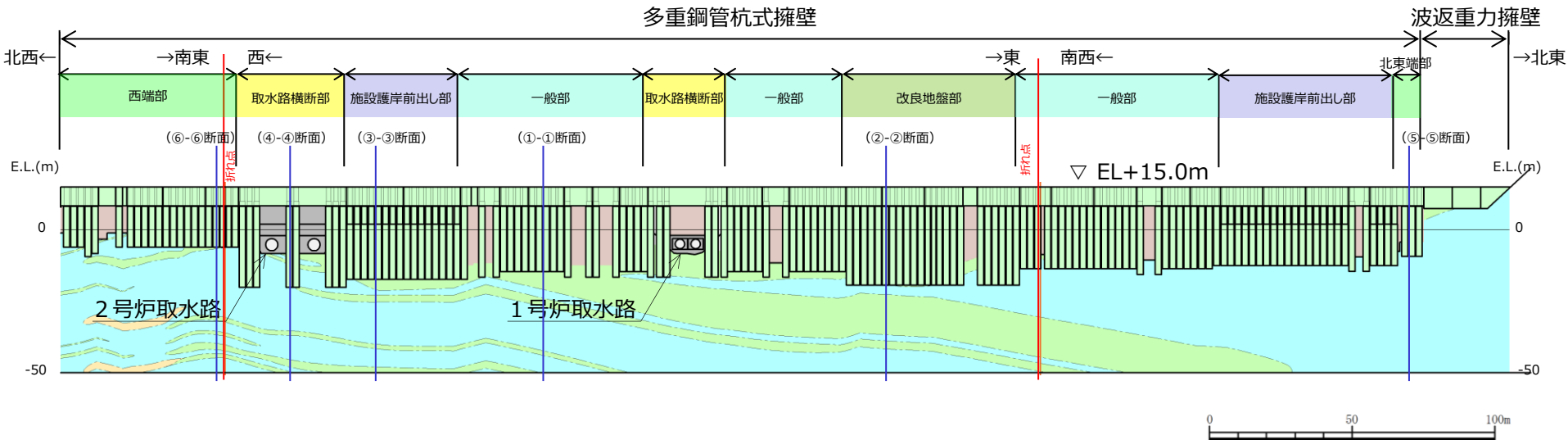
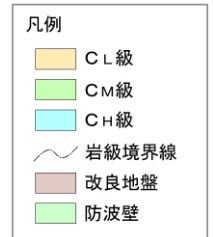
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 岩相縦断図

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.3 周辺地質（3/8）



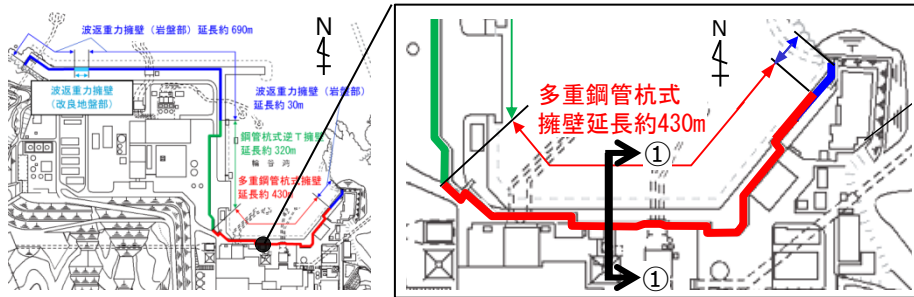
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の岩級縦断面図を以下に示す。
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、杭を介して主にCM級及びCH級岩盤に支持されており、縦断方向に応じた地質変化部は存在しない。



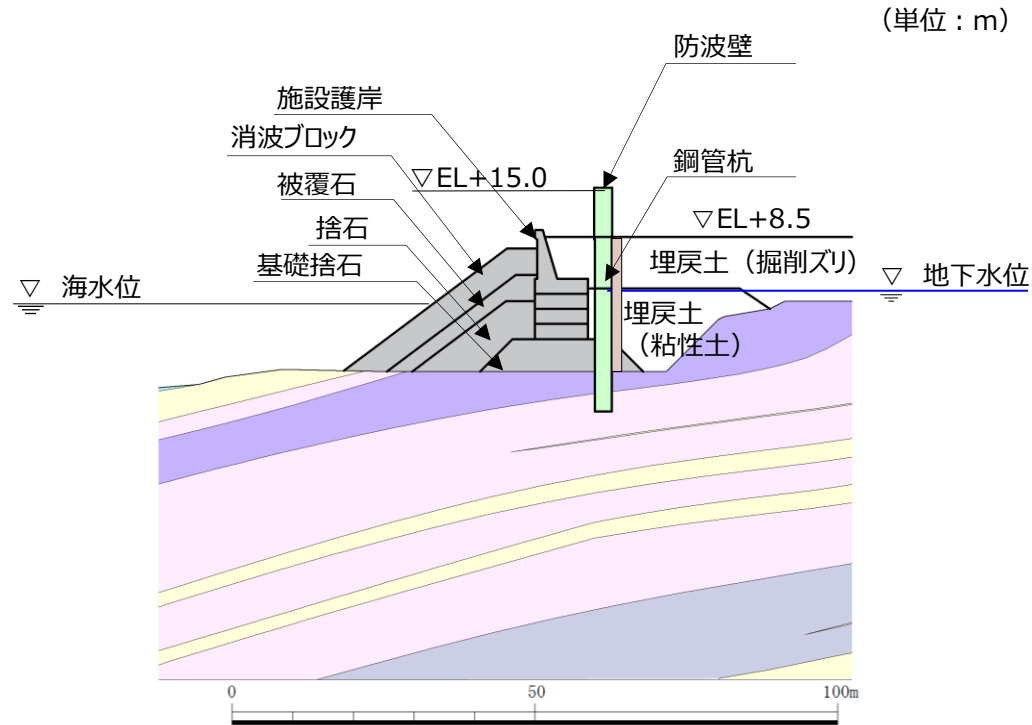
防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 岩級縦断面図

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.3 周辺地質（4/8）



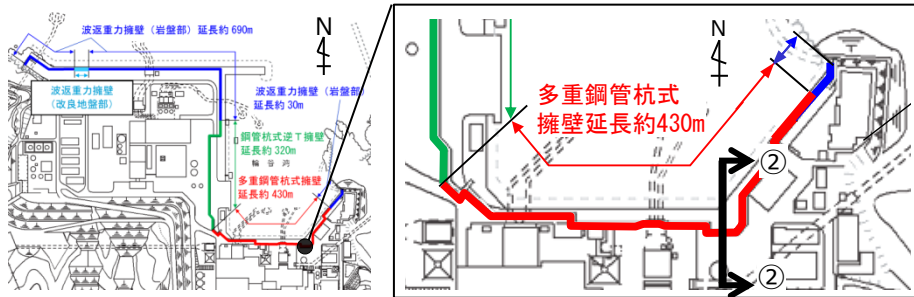
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）一般部の地質断面図を以下に示す。
- ①-①断面は、鋼管杭を岩盤に根入れする。また、周辺には埋戻土（掘削ズリ）等が分布している。



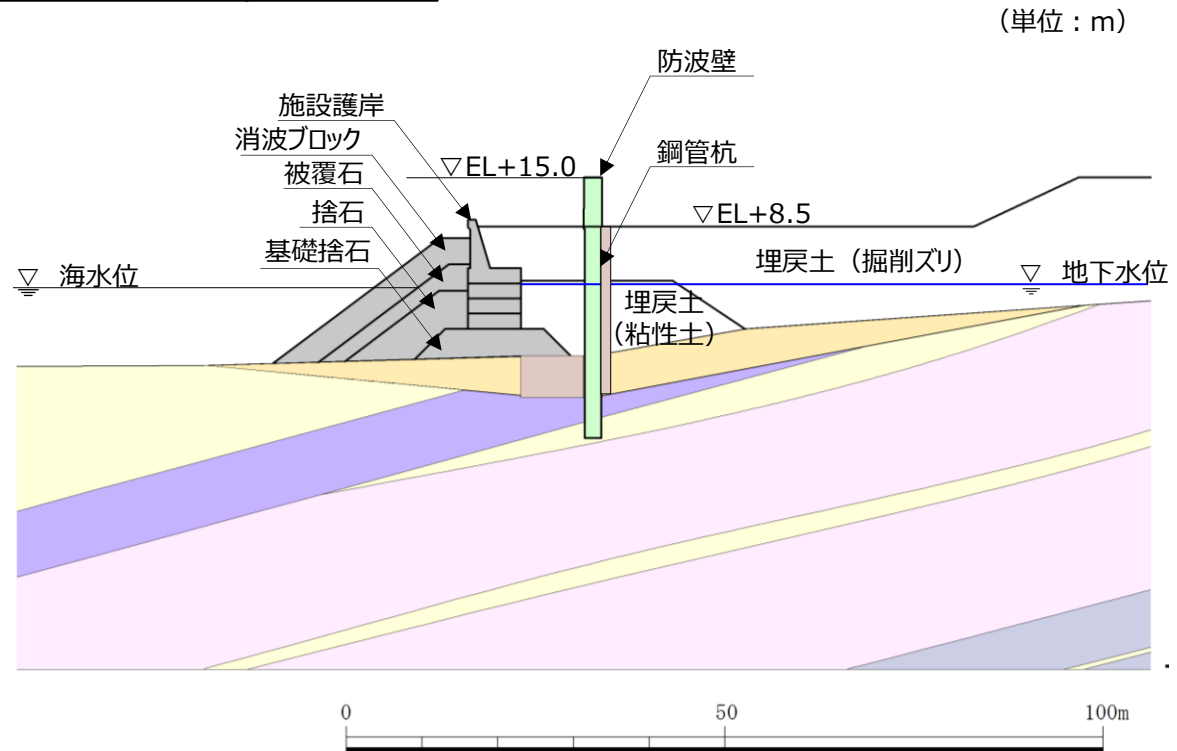
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）一般部（①-①断面）
地質断面図

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.3 周辺地質（5/8）



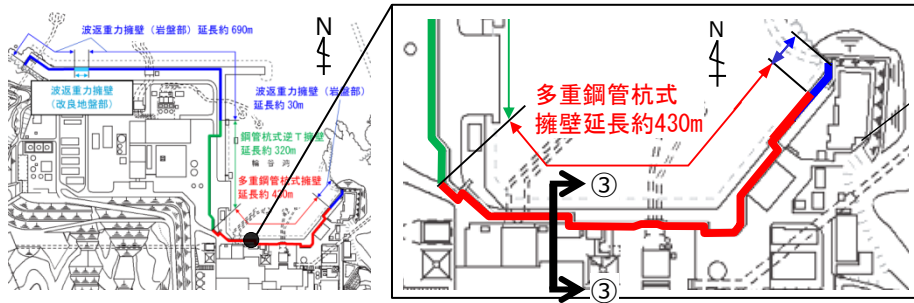
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）改良地盤部の地質断面図を以下に示す。
- ②-②断面は，鋼管杭を岩盤に根入れする。また，周辺には埋戻土（掘削ズリ），砂礫層等が分布している。



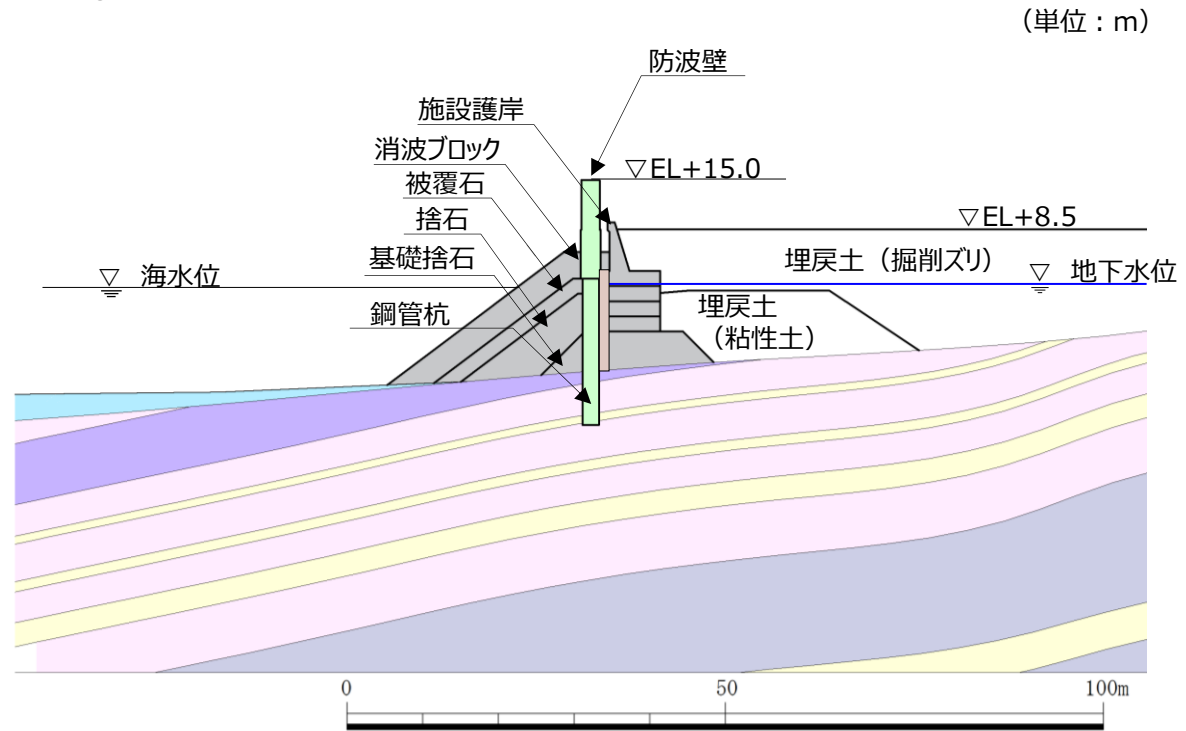
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）改良地盤部（②-②断面）
地質断面図

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.3 周辺地質（6/8）



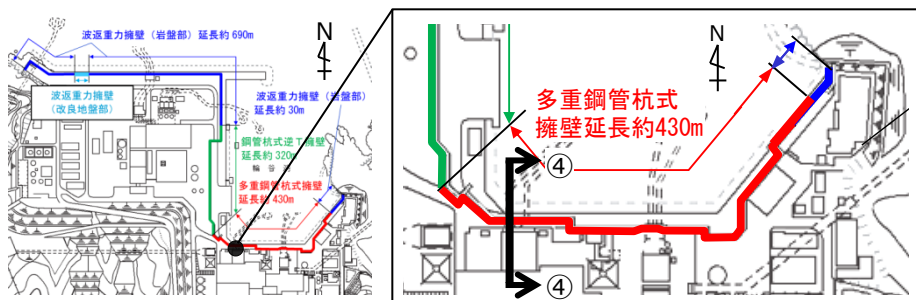
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）施設護岸前出し部の地質断面図を以下に示す。
- ③-③断面は、鋼管杭を岩盤に根入れする。また、周辺には埋戻土（掘削ズリ）等が分布している。



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

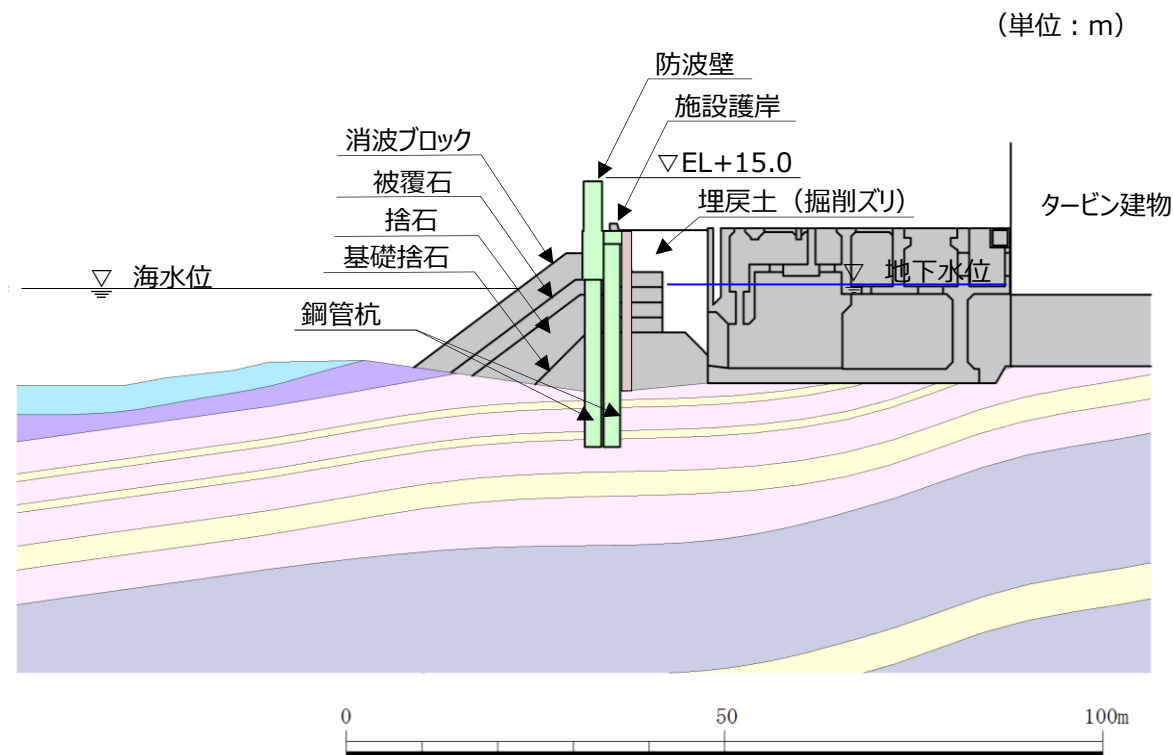
5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.3 周辺地質（7/8）



■ 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。

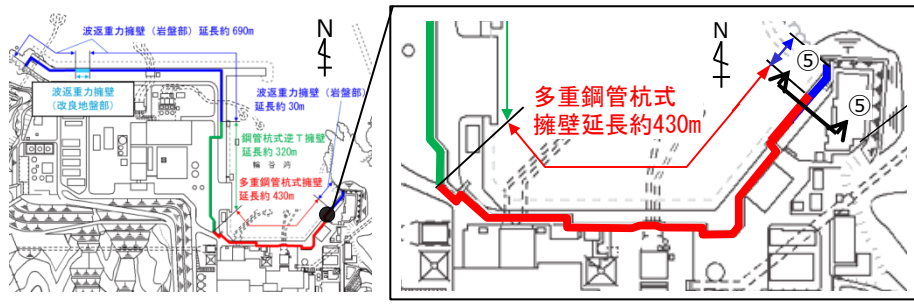
■ ④-④断面は、鋼管杭を岩盤に根入れする。また、周辺には埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



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（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

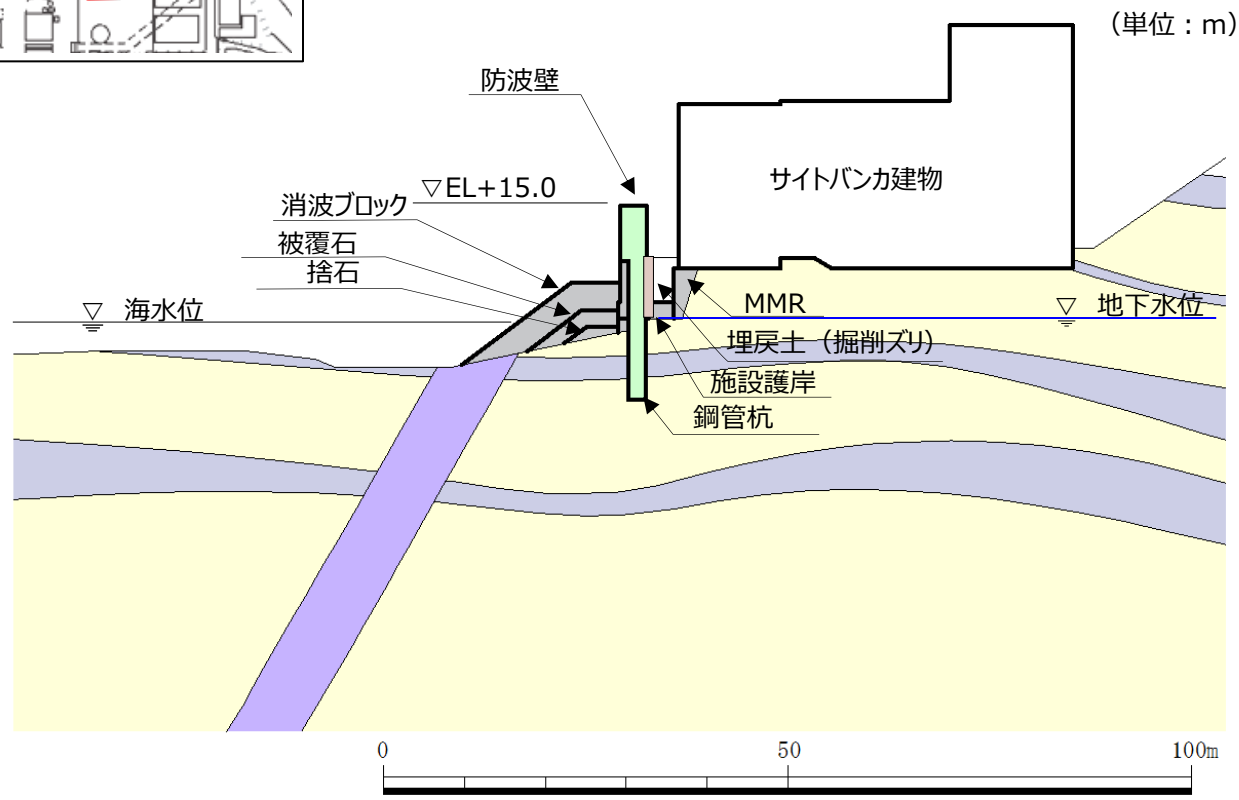
5.3 周辺地質（8/8）



- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）北東端部の地質断面図を以下に示す。
- ⑤-⑤断面は，鋼管杭を岩盤に根入れする。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）
	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
	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

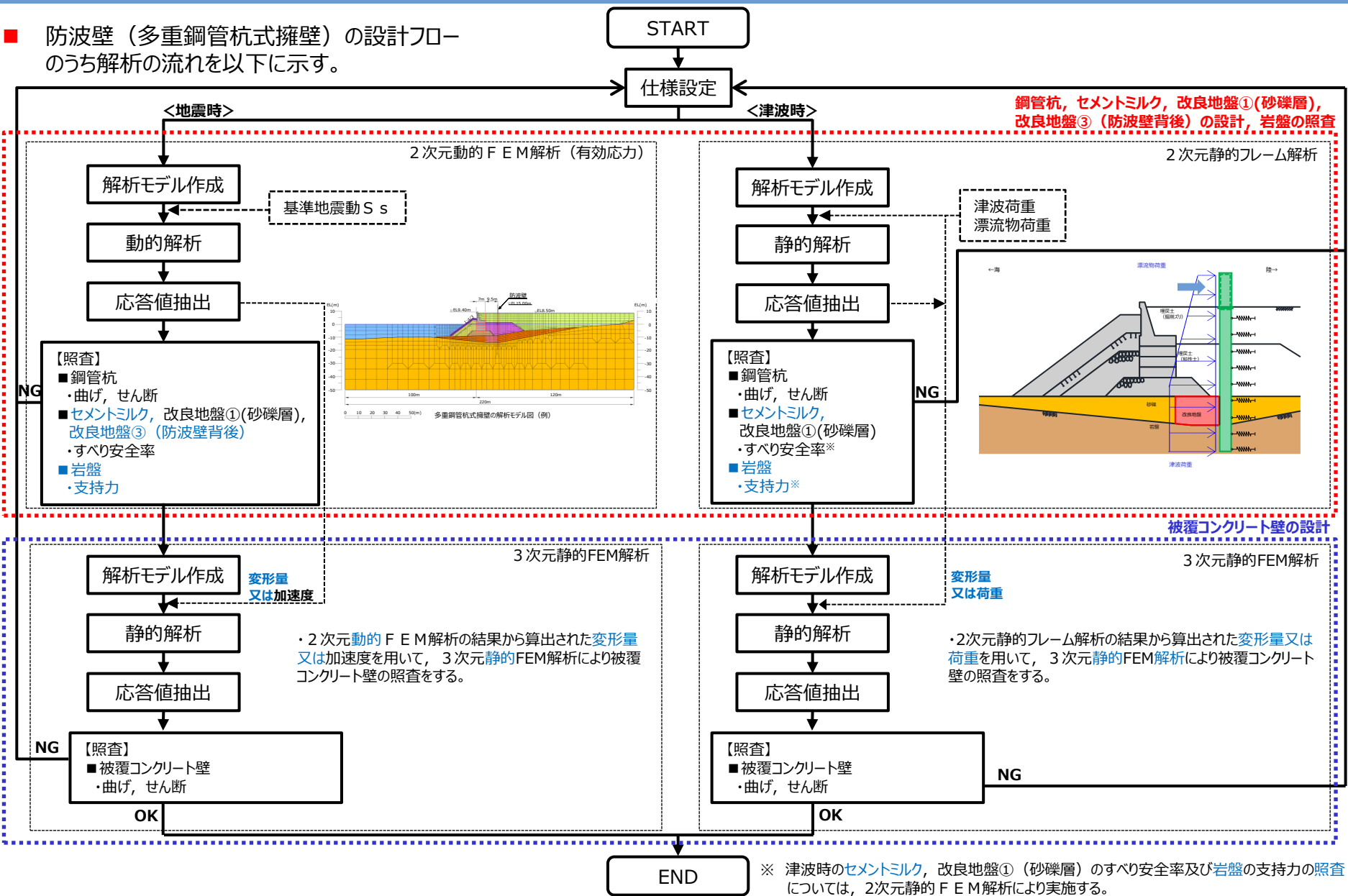


防波壁（多重鋼管杭式擁壁）北東端部（⑤-⑤断面）地質断面図

5.4.1 設計フロー

第839回審査会合
資料1-1 P.156 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

■ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



5.4.2 設計方針の概要（1）鋼管杭

鋼管杭の役割と設計方針概要

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

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

5.4.2 設計方針の概要（2）被覆コンクリート壁

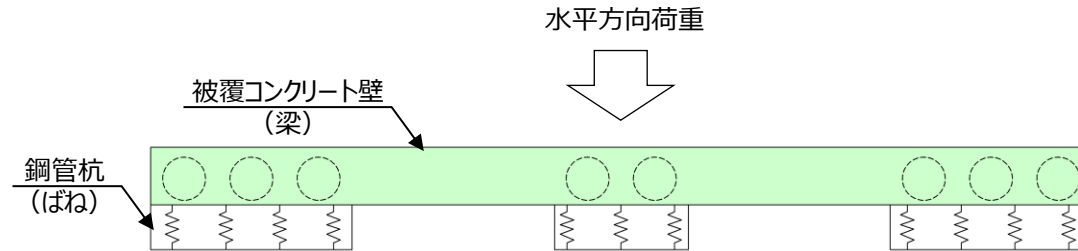
被覆コンクリート壁の役割と設計方針概要

- 地震時，津波時の荷重に対して損傷せず，止水目地の支持機能及び遮水性を保持する。
- 2次元動的 F E M解析及び2次元静的フレーム解析の結果から算出された加速度と変形量を用いて，3次元静的 F E M解析により被覆コンクリート壁の照査をする。また，取水路横断部の被覆コンクリート壁についても，前後2列に配置される鋼管杭を含む3次元的な挙動を精緻に評価するため，鋼管杭の配置を考慮した梁モデルによる静的解析から3次元静的 F E M解析による照査に見直す。
- 参考として，取水路横断部における当初の設計方針を次頁に示す。

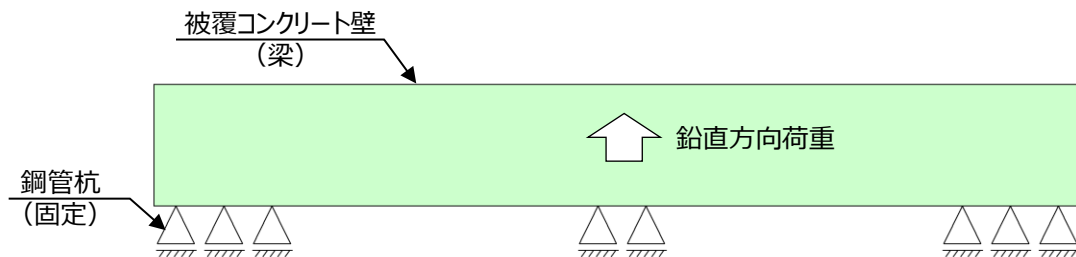
評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
被覆 コンクリート 壁	地震時	3次元静的FEM解析	曲げ せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書，構造性能照査編， 2002年制定
	津波時				

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針 (参考) 取水路横断部の方針 (1/2)

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



(a) 水平方向荷重に対する解析モデル（平面図）



(b) 鉛直方向荷重に対する解析モデル（縦断図）

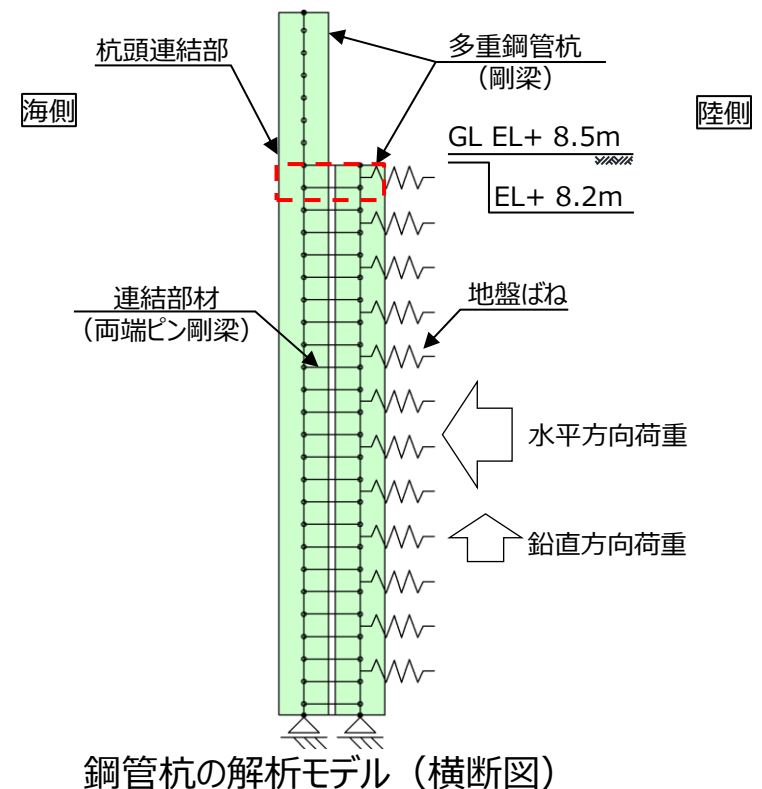
被覆コンクリート壁の解析モデル

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針 （参考）取水路横断部の方針（2/2）

第839回審査会合
資料1-1 P.184 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

64

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



5.4.2 設計方針の概要（3）止水目地

止水目地の役割と設計方針概要

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

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

5.4.2 設計方針の概要（4）岩盤

地盤（岩盤）の役割と設計方針概要

- 岩盤は鋼管杭を鉛直支持し、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 地震時は、地盤と施設を連成した2次元動的 F E M解析を実施する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 津波時は、地盤と施設を連成した2次元静的 F E M解析を実施する。
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の支持力は、岩盤の支持力試験から定めた極限支持力と地震応答解析により求められる杭先端の最大軸力を比較することにより確認する。
- 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」によると、極限支持力の推定式について以下の記載がされている。
 - ・支持杭の軸方向支持力は杭先端支持力と周面摩擦力の和として表されるが、多重鋼管杭式擁壁の支持力評価に当たっては、周面摩擦力による抵抗に期待しない設計とする。

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

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

q_d : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度 (kN/m²)

A: 杭先端面積 (m²)

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

5.4.2 設計方針の概要（5）改良地盤①（砂礫層）

改良地盤①（砂礫層）の役割と設計方針概要

- 改良地盤①（砂礫層）は鋼管杭の**変形**を抑制し、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 改良地盤①（砂礫層）は、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性の保持）。
- 地震時は、地盤と施設を連成した2次元**動的** F E M解析を実施する。
- 2次元**動的** F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 津波時は、地盤と施設を連成した2次元**静的** F E M解析を実施する。

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

改良地盤③（防波壁背後）の役割と設計方針概要

- 改良地盤③（防波壁背後）地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性の保持）。
- 地震時は、地盤と施設を連成した2次元**動的** F E M解析を実施する。
- 2次元**動的** F E M解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 津波時は、地盤と施設を連成した2次元**静的** F E M解析を実施する。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤③（防波壁背後）	地震時	2次元動的 F E M解析 (有効応力解析)	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的 F E M解析			

5.4.2 設計方針の概要（6）セメントミルク

セメントミルクの役割と設計方針概要

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

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

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

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

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

解析の目的

- 鋼管杭、被覆コンクリート壁、埋戻土、基礎捨石、砂礫層、改良地盤、施設護岸、岩盤等を含めた全体の動的挙動評価
- 地盤特性及び液状化を考慮した影響評価

結果の利用

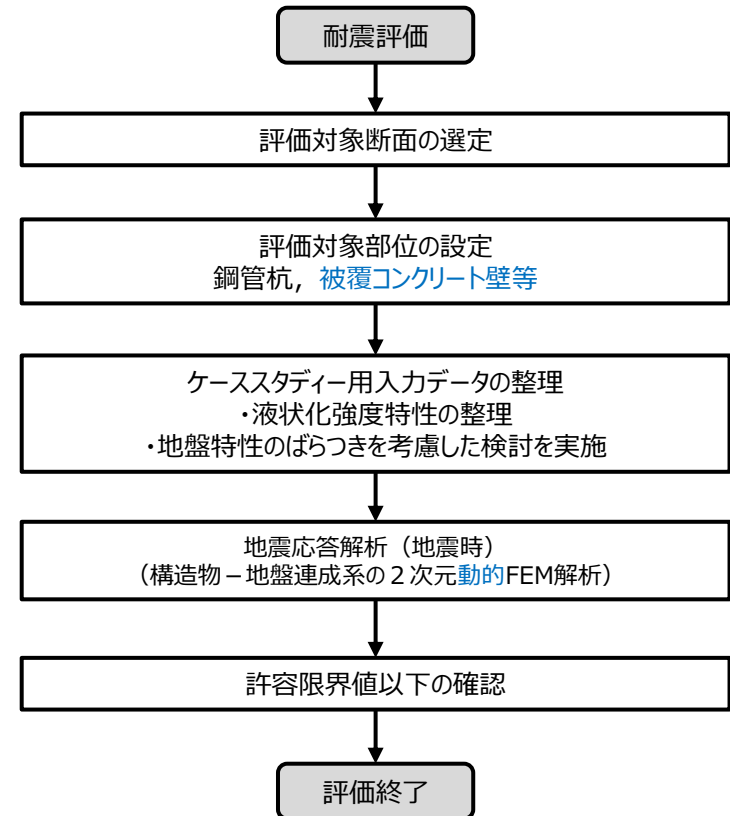
- 鋼管杭及び被覆コンクリート壁等の照査
- 止水目地の変形量
- 地震時応答（変形量を含む）

解析条件

- 地盤物性のばらつきを考慮する。

「代表断面選定の考え方」

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

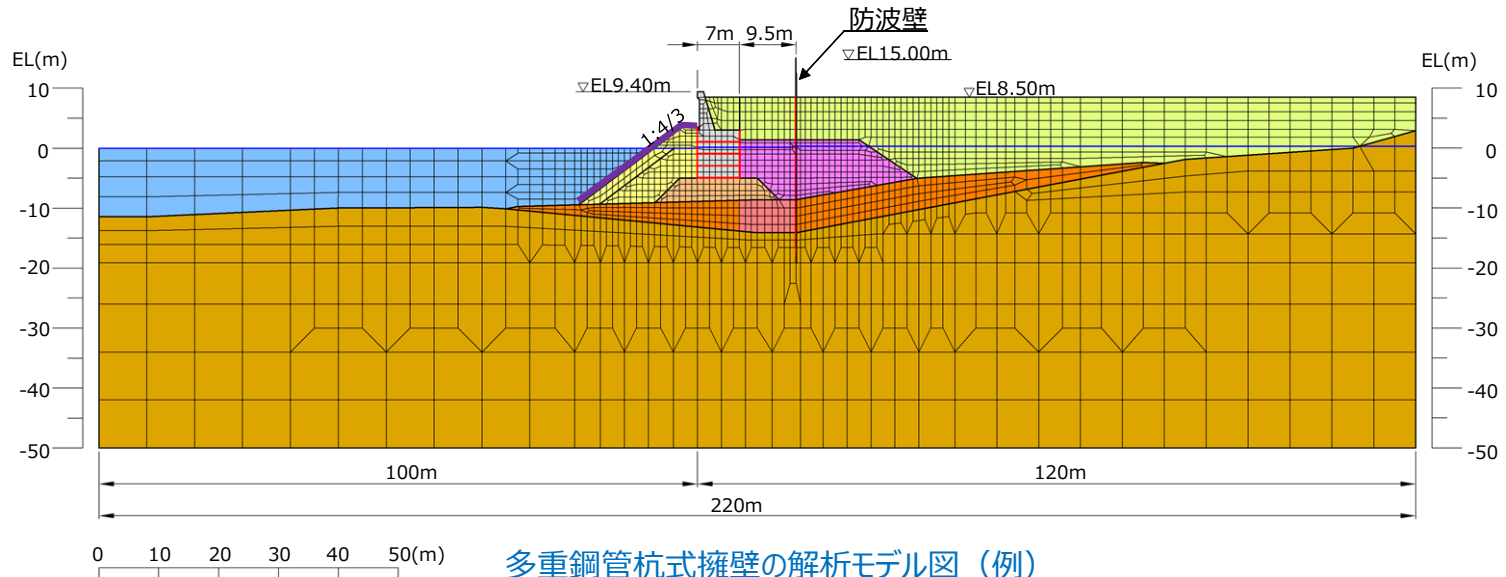
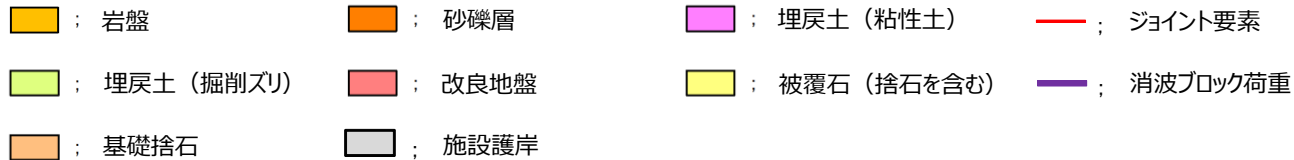


5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.2 設計方針の概要（7）地震時の検討（二次元動的有限要素解析（有効応力解析））（2/2）

モデル化方針（多重鋼管杭式擁壁）

- 鋼管杭は線形はり要素でモデル化する（多重鋼管杭のモデル化に関しては5.5（2）参照）。
- 岩盤及び施設護岸は線形平面要素でモデル化する。
- 埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、砂礫層、改良地盤、被覆石及び基礎捨石はマルチスプリング要素でモデル化する。消波ブロックは荷重で考慮する。
- 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。



多重鋼管杭式擁壁の解析モデル図（例）

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.2 設計方針の概要（8）津波時の検討（静的フレーム解析）

■ 津波時の検討は、静的フレーム解析にて行う。以下に、解析の概要を示す。

解析の目的

- 鋼管杭の挙動評価（津波時）

結果の利用

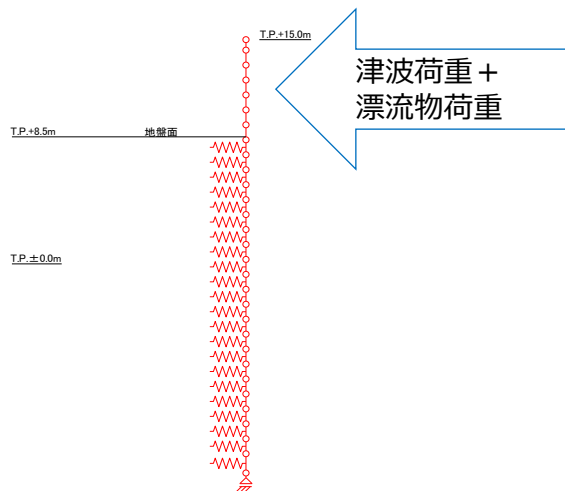
- 鋼管杭の照査
- 止水目地の変形量

モデル化方針

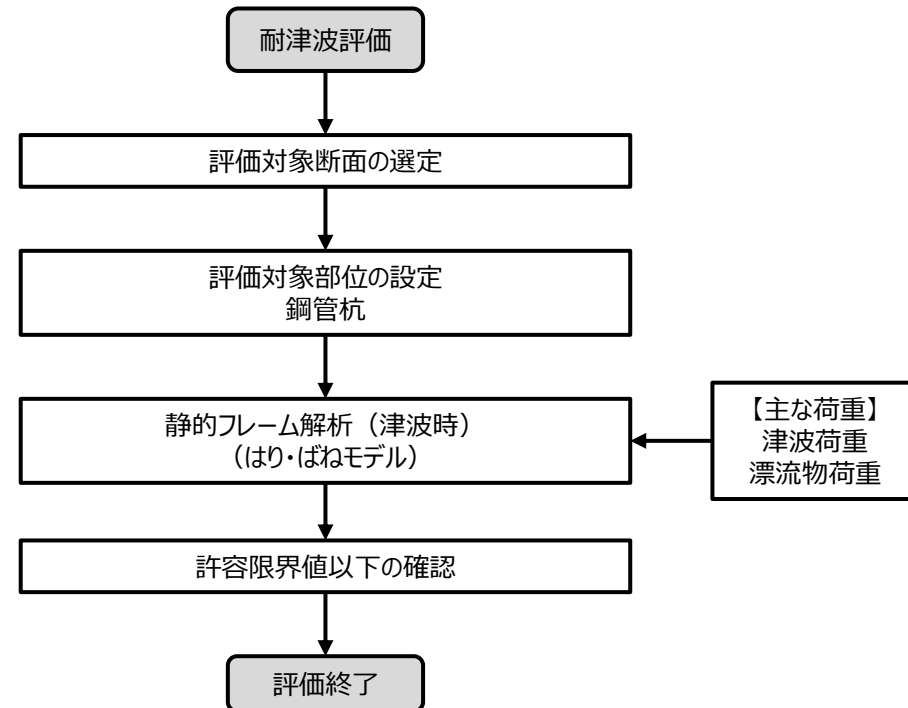
- 鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。
- 岩盤は地盤ばねでモデル化する。

解析条件

- 解析用物性値（静的物性）を用いる。



多重鋼管杭式擁壁 解析モデル図(例)



5.4.3 荷重と発生断面力の概要

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）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。
- 防波壁の構造成立性には、このような構造に作用する荷重に対し、各部位が所要の機能を発揮して安全であることが必要である。
- このような観点から、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に作用する荷重、構造体の発生断面力について整理する。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.3 荷重と発生断面力の概要（1）津波時

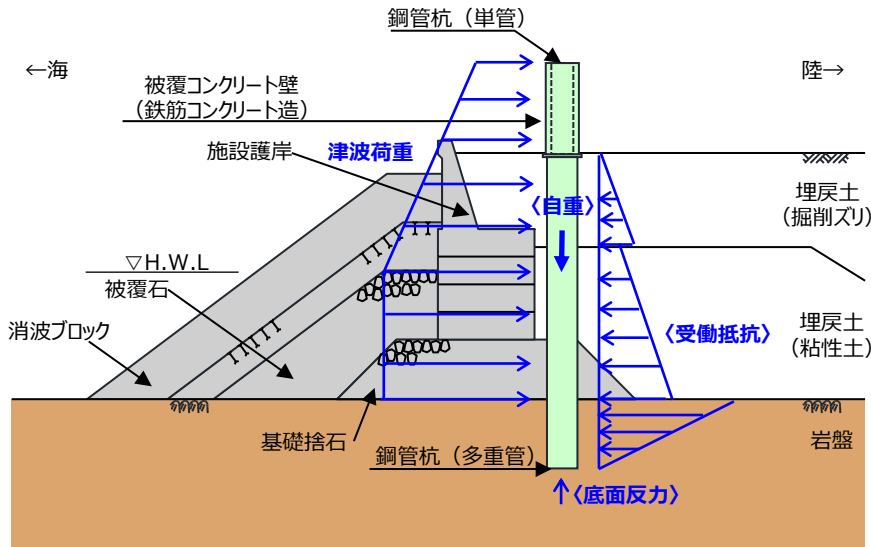
- 津波時の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

- 津波荷重に対して海側に位置する施設護岸及び埋戻土は考慮せず，津波荷重は防波壁に直接作用させる。
- 防波壁に作用する津波荷重は，防波壁を介して鋼管杭背後の岩盤及び埋戻土に伝わり，反力として受働抵抗が働く。

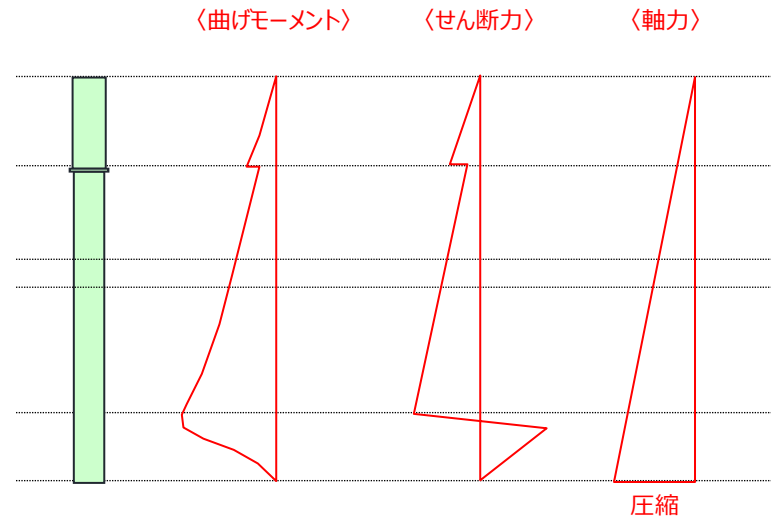
【発生断面力（応力状態）】

- 埋戻土と岩盤(根入れ部)の剛性差によって岩盤の受働抵抗が大きくなることから，せん断及び曲げモーメントは埋戻土と岩盤との境界に集中する。



※雪荷重，風荷重，衝突荷重は省略

荷重図



発生断面力

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.3 荷重と発生断面力の概要（2）地震時（1/2）

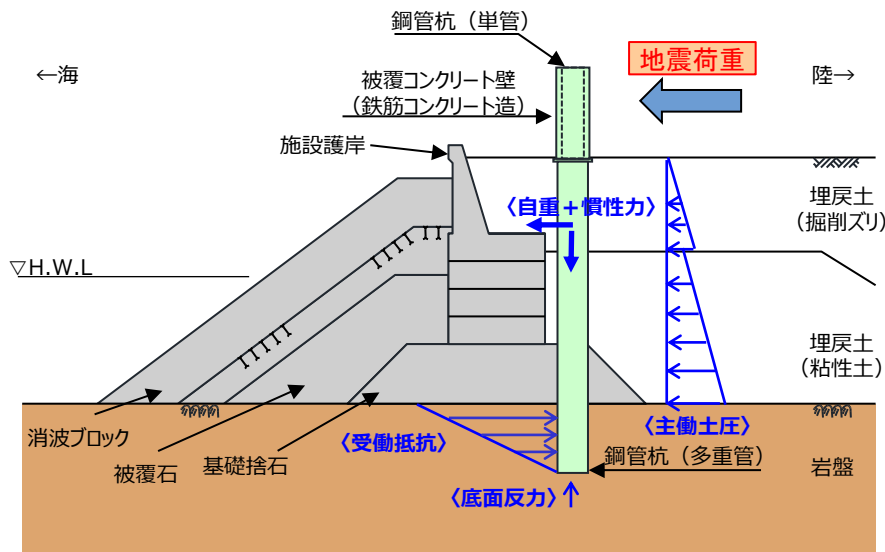
■ 地震時（海側方向）の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

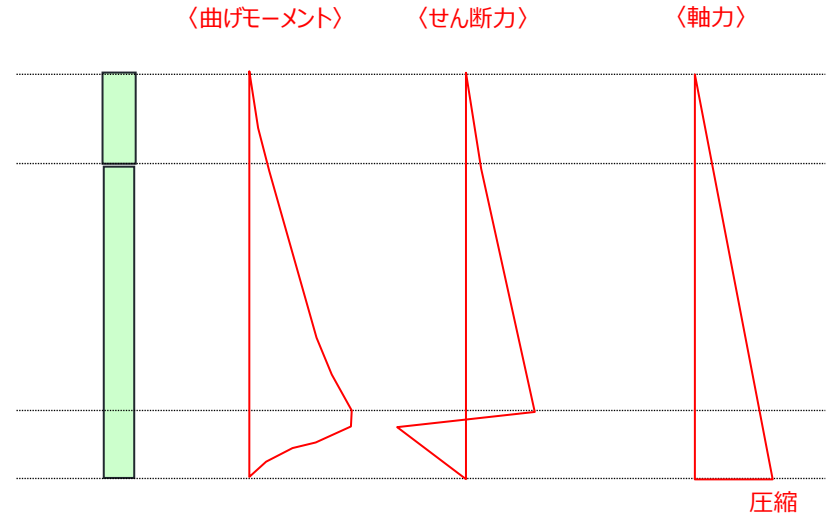
- 海側に位置する施設護岸及び埋戻土の受働抵抗は考慮しない。
- 防波壁に作用する地震力（慣性力及び主働土圧）は、防波壁を介して鋼管杭前面の岩盤に伝わり、反力として受働抵抗が働く。

【発生断面力（応力状態）】

- 発生断面力は基礎捨石と岩盤との境界に集中する。



荷重図



発生断面力

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.3 荷重と発生断面力の概要（2）地震時（2/2）

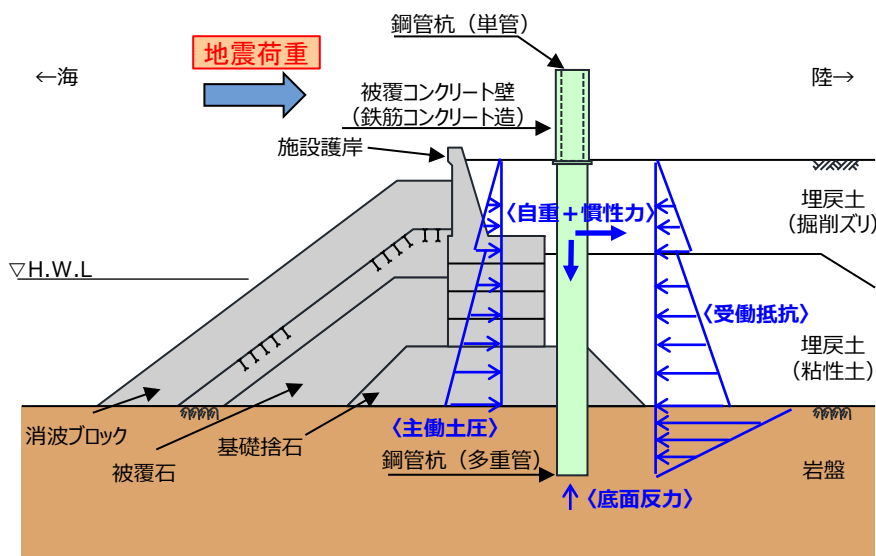
■ 地震時（陸側方向）の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

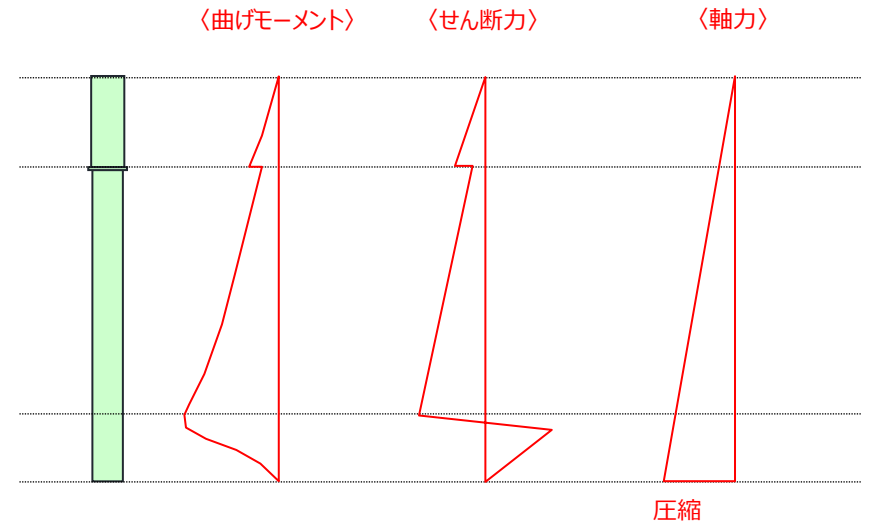
- 海側に位置する施設護岸及び埋戻土は、主働土圧として考慮する。
- 防波壁に作用する地震力（慣性力及び主働土圧）は、防波壁を介して鋼管杭背後の岩盤及び埋戻土に伝わり、反力として受働抵抗が働く。

【発生断面力（応力状態）】

- 基礎捨石と岩盤(根入れ部)の剛性差によって岩盤の受働抵抗が大きくなることから、せん断及び曲げモーメントは埋戻土と岩盤との境界に集中する。



荷重図



発生断面力

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

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

- 防波壁（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、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により埋戻土－改良地盤間，埋戻土－岩盤間，改良地盤－岩盤間に曲げモーメントが集中し，曲げ破壊することで，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。【損傷モードと弱部（2）】 	①，②	<ul style="list-style-type: none"> 地震後や津波後の再使用性，津波時の影響（繰返しの津波）を考慮して，被覆コンクリート壁や止水目地の変形を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために，鋼管杭の変形が概ね弾性範囲であることを確認する。 	○
	<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－岩盤間に相対変形が生じ，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。【損傷モードと弱部（2）】 	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。【損傷モードと弱部（2）】 	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"> 防波壁と干渉する取水路横断部において，鋼管杭のピッチが広いことから，地震又は津波荷重に対する十分な抵抗力が確保できず，遮水性を喪失する。【損傷モードと弱部（3）】 	①，②	<ul style="list-style-type: none"> 取水路横断部では，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"> 地震時に施設護岸が損傷し，鋼管杭に衝突すること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"> 施設護岸を適切にモデル化した2次元動的FEM解析（有効応力）により，鋼管杭の変形が概ね弾性範囲であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に施設護岸が損傷し，仮に施設護岸が無いものとした場合に，鋼管杭が露出した状態で津波が来襲し，鋼管杭間から津波が遡上する。【損傷モードと弱部（4）】 	②	<ul style="list-style-type: none"> 隣合う多重鋼管杭間について，地中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する。 仮に施設護岸が無いものとした場合に，鋼管杭間の止水性をより確実なものとするため，鋼管杭背面を地盤改良する。（5.5（4）参照） 	○
<ul style="list-style-type: none"> 地震時に施設護岸が損傷し，受働土圧が低下すること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。【損傷モードと弱部（4）】 	①，②	<ul style="list-style-type: none"> 施設護岸を適切にモデル化した2次元動的FEM解析（有効応力）により，鋼管杭の変形が概ね弾性範囲であることを確認する。 防波壁前面の施設護岸をモデル化しないケースにおいて，防波壁の構造成立性を確認する。（5.5（4）参照） 	○	

※1 ①地震時，②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（2/6）

- 防波壁（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、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 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形を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭の変形が概ね弾性範囲であることを確認する。 	○
	<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"> 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（－）。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

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

■ 防波壁（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、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
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形が発生し、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働き、押抜きせん断破壊が生じ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。【損傷モードと弱部（2）】 	①, 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、竜巻及びその随件事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 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（－）。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（4 / 6）

- 防波壁（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、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
止水目地 (支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波時により発生した施工ブロック間の相対変形により、目地の許容変形量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 異種構造形式の境界部、防波壁周辺の隣接構造物、改良地盤の有無を考慮して選定した断面について止水目地の相対変形量を算定し、許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物が衝突することにより、目地が損傷し遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地は、津波漂流物の衝突による損傷を防止するため、防波壁の陸側に設置する。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、止水目地が損傷し、遮水性を喪失する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 万一、竜巻及びその随伴事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。 	—

※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（－）。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

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

■ 防波壁（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、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
改良地盤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。 			
改良地盤③ (防波壁背後)	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性を保持）するため、改良地盤がすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。（5.5（4）参照） 	○
	<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（-）。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

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

- 防波壁（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、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
セメントミルク	<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、鋼管杭の変形を抑制できなくなることで、杭の変形量が大きくなり、被覆コンクリート壁を支持できなくなることで、被覆コンクリート壁の遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制するため、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。（多重鋼管杭間の岩盤部の構造については次頁以降参照） 	○
	<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。 	○

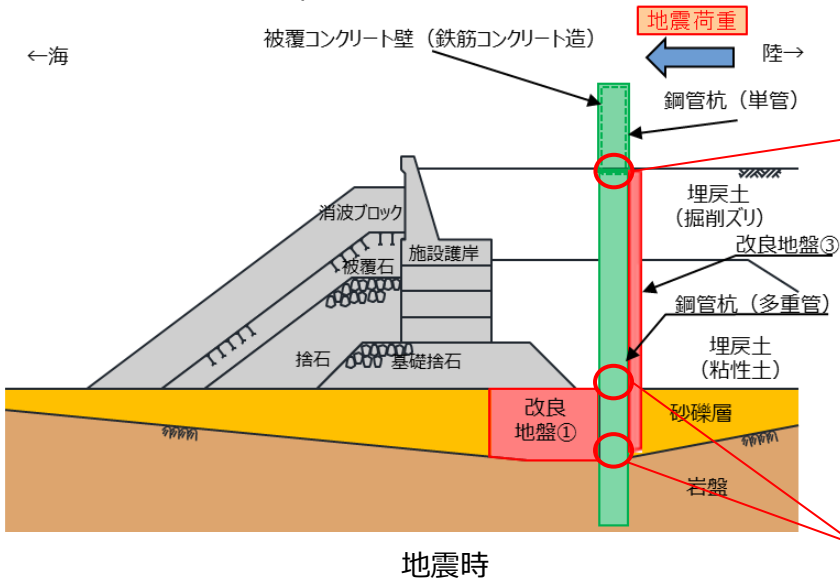
※1 ①地震時、②津波時

※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（－）。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

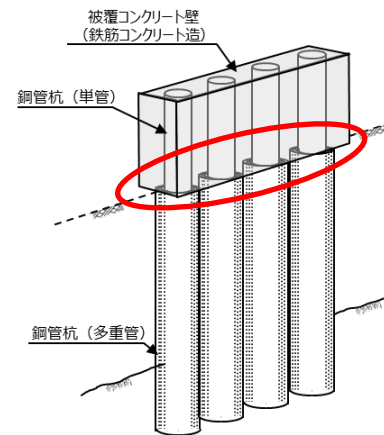
5.4.4 損傷モードと弱部（2）共通（地震時，津波時）

- 鋼管杭について，地震時及び津波時に局所的に応力が集中し，構造上の弱部となる箇所は以下の通り。



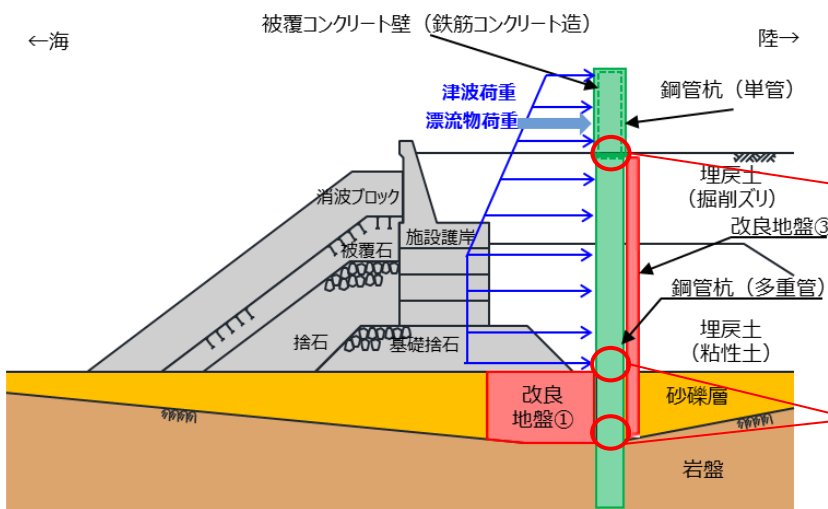
地震時

単管と多重管の境界部に応力が集中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。



埋戻土－改良地盤①間，改良地盤①－岩盤間※において，以下の場合に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。
 ・相対変位が生じ，せん断力が鋼管杭に作用し，鋼管杭が損傷する。
 ・曲げモーメントが集中し，曲げ破壊する。

※当該断面以外については，一部，埋戻土－岩盤間が存在する。



津波時

単管と多重管の境界部に応力が集中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。

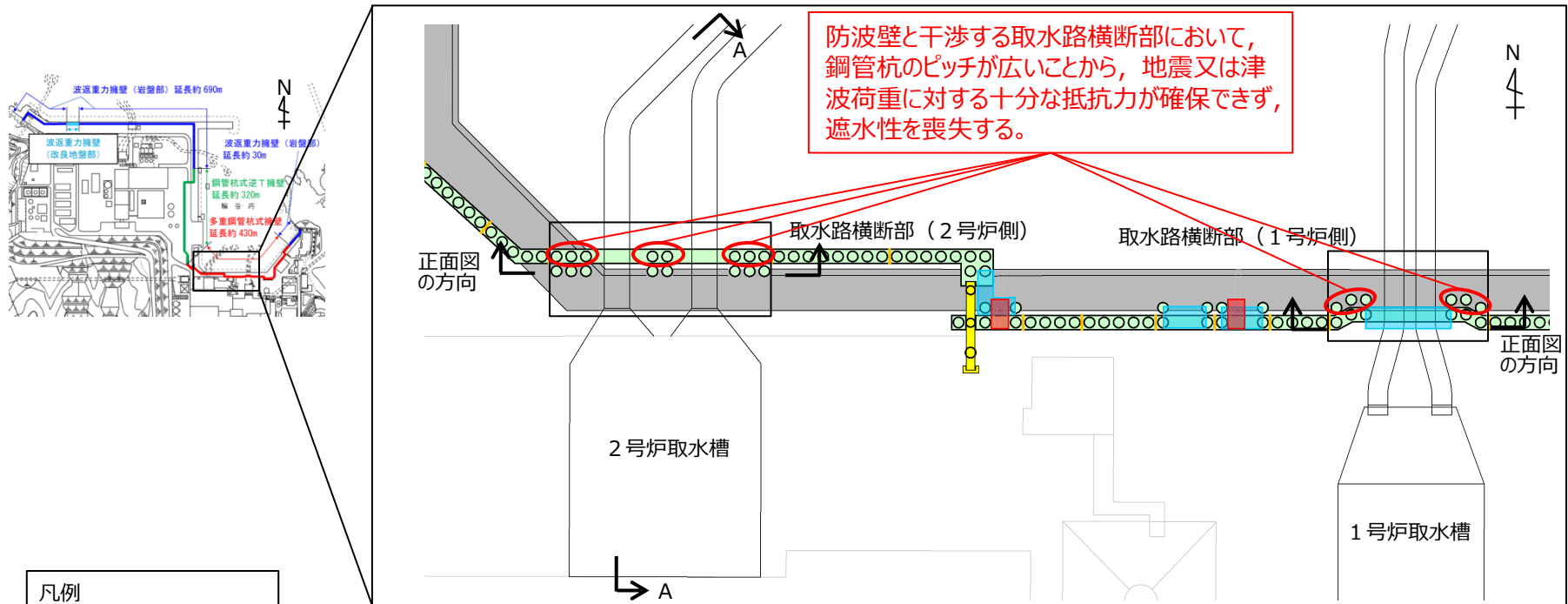
埋戻土－改良地盤①間，改良地盤①－岩盤間※において，以下の場合に被覆コンクリート壁を支持できなくなり，遮水性を喪失する。
 ・相対変位が生じ，せん断力が鋼管杭に作用し，鋼管杭が損傷する。
 ・曲げモーメントが集中し，曲げ破壊する。

※当該断面以外については，一部，埋戻土－岩盤間が存在する。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.4 損傷モードと弱部（3）取水路横断部（地震時，津波時）（1/3）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部の構造上の弱部となる箇所を以下に示す。
- 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，地震又は津波荷重に対する十分な抵抗力が確保できず，遮水性を喪失する可能性があることから，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

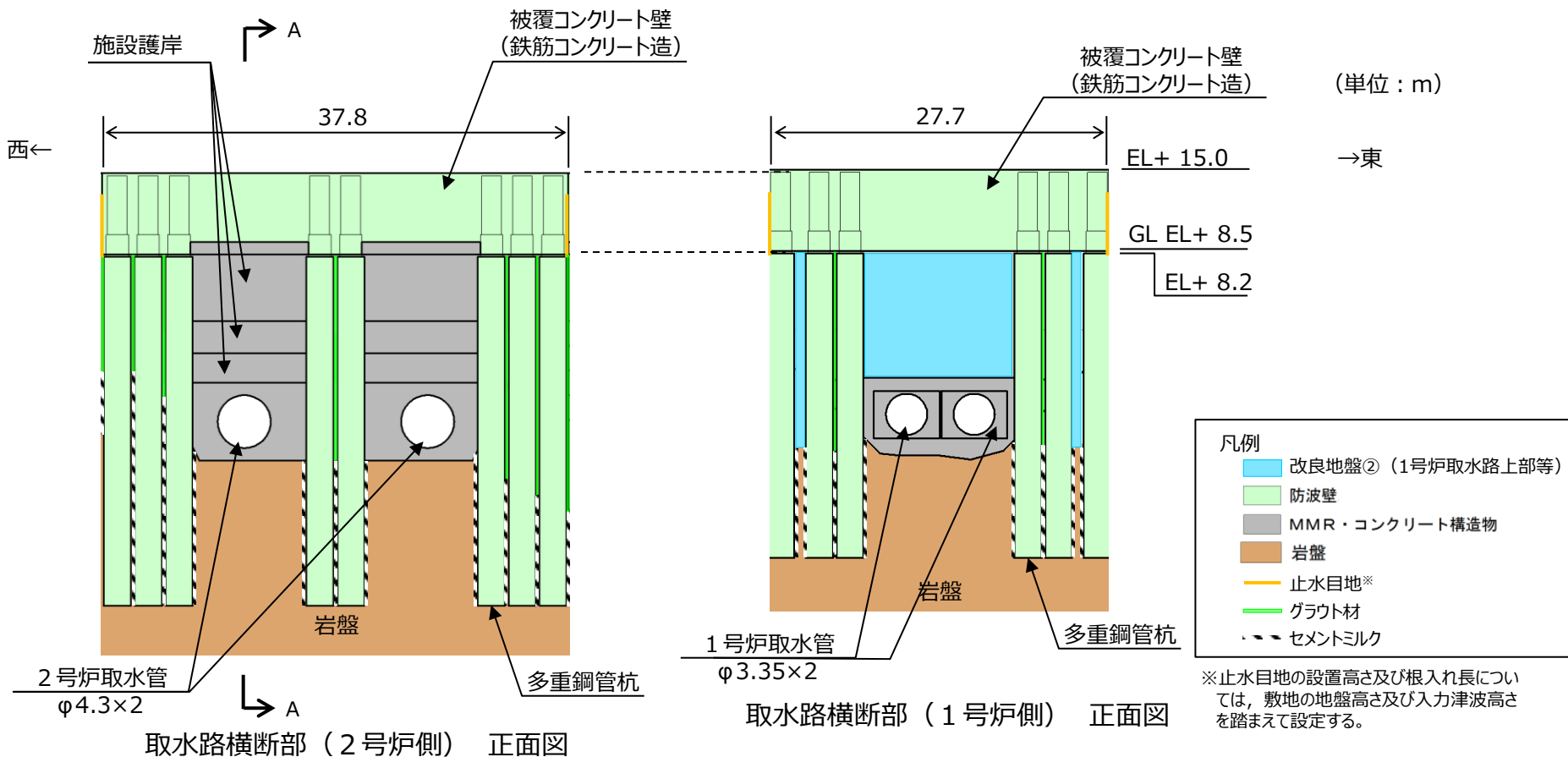
凡例	
	防波壁
	施設護岸
	鋼管杭
	止水目地※
	防波扉基礎
	改良地盤①（砂礫層）
	改良地盤②（杭間部）
	屋外排水路横断部

※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。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.4 損傷モードと弱部（3）取水路横断部（地震時，津波時）（2/3）

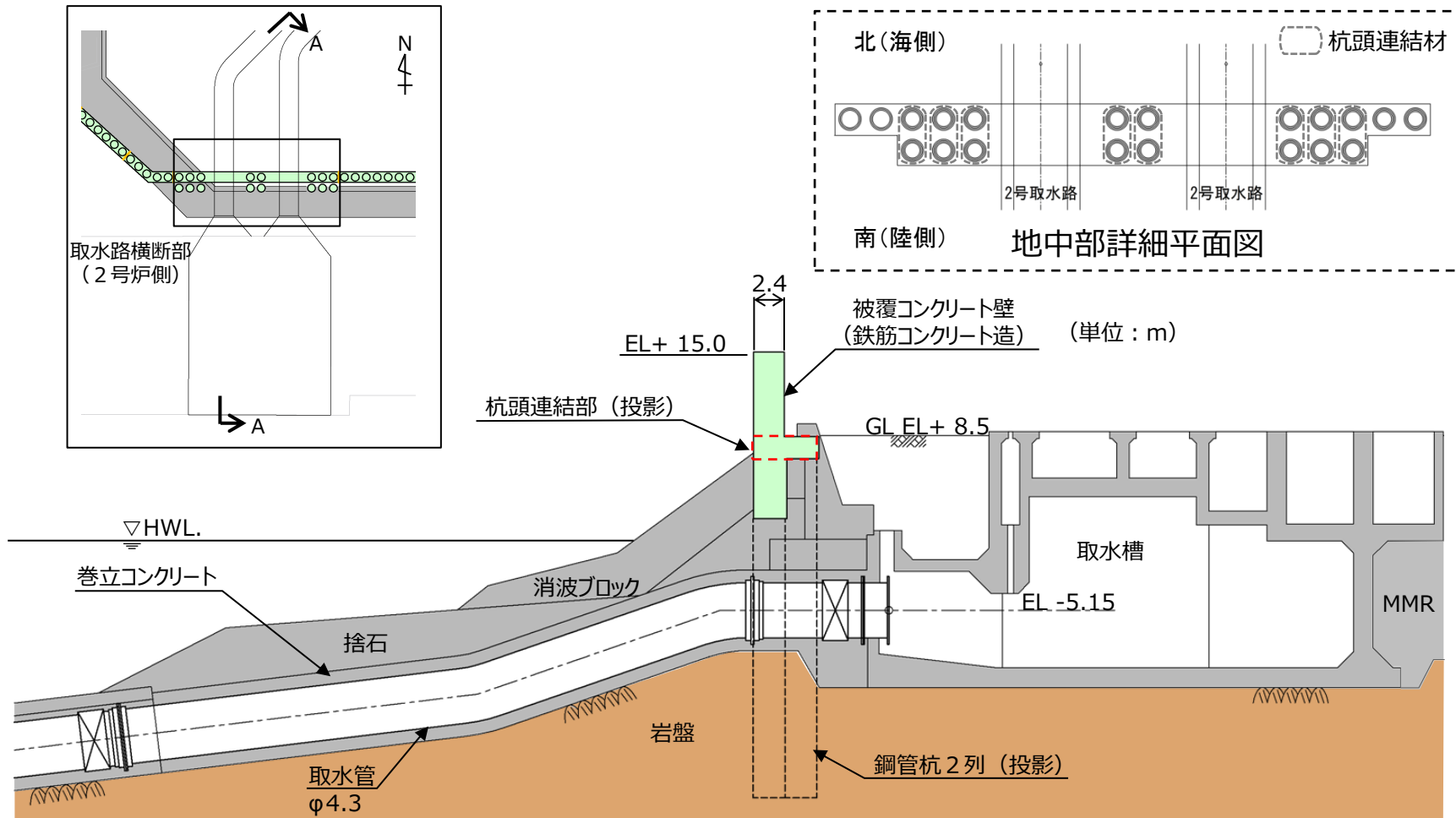
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部の正面図を以下に示す。
- 取水路横断部の耐震及び耐津波評価は，下図に示すとおり，2号炉側のスパンが1号炉側より大きく，**構造上の弱部**となる箇所での発生断面力が大きくなることから，2号炉側に代表させて行う。



5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.4 損傷モードと弱部（3）取水路横断部（地震時，津波時）（3/3）

- 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5.5（1）参照）。

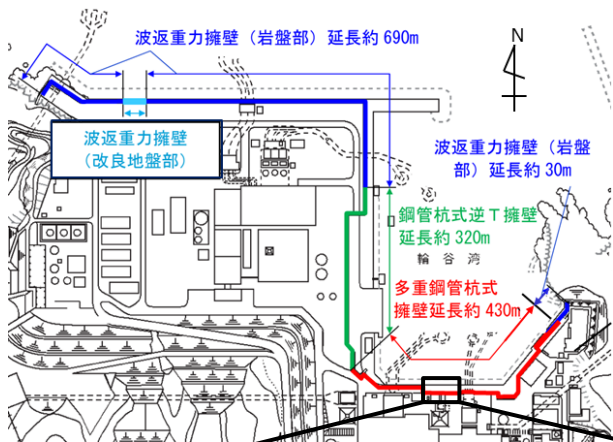


防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部（2号炉側，A-A断面） 断面図

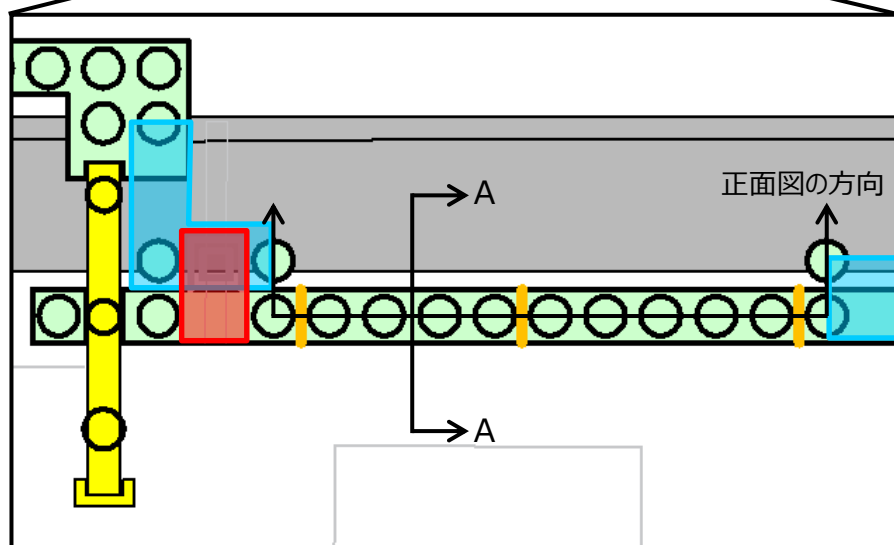
5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.4 損傷モードと弱部 (4) 施設護岸が損傷した場合の鋼管杭間の止水性（津波時）（1 / 2）

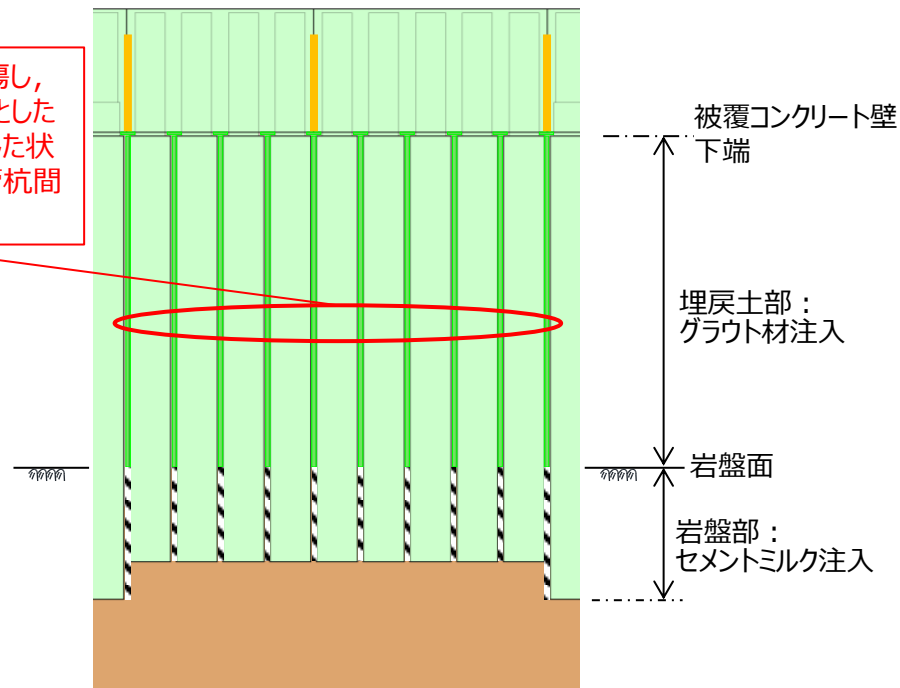
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）前面の施設護岸が地震により損傷し、鋼管杭が露出した状態で津波が襲来した場合、構造上の弱部となる杭間部の正面図を以下に示す。
- 隣り合う多重鋼管杭間について、地中部（岩盤部）はセメントミルク、岩盤面より上部はグラウト材を注入した。
- セメントミルク及びグラウトの設計上の役割等について次頁に示す。



地震時に施設護岸が損傷し、仮に施設護岸が無いものとした場合に、鋼管杭が露出した状態で津波が来襲し、鋼管杭間から津波が流入する。



杭間部



防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 杭間部 正面図

凡例			
	防波壁		改良地盤①（砂礫層）
	施設護岸		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

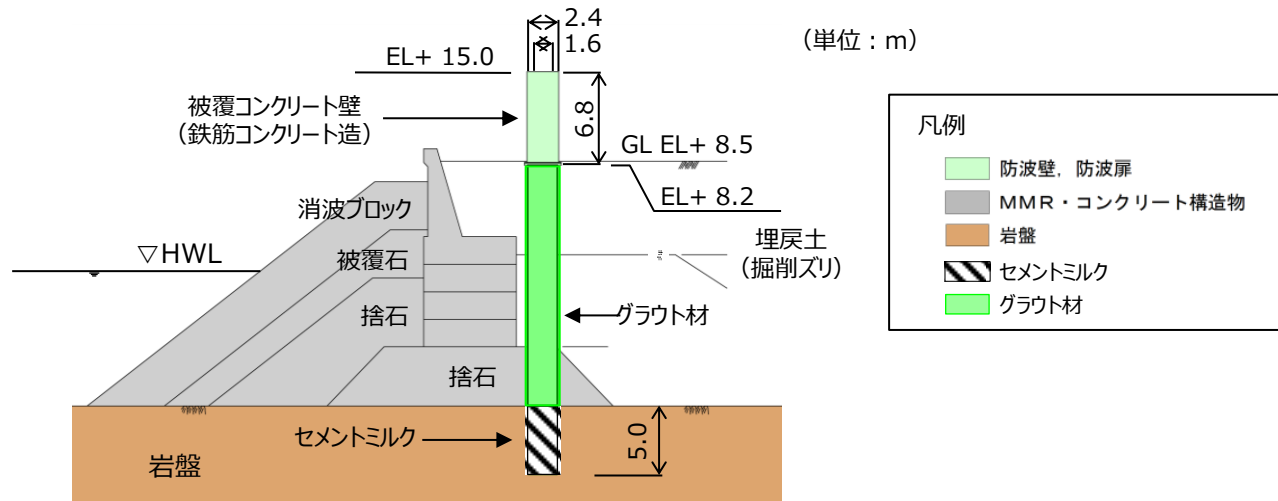
※止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.4 損傷モードと弱部（4）施設護岸が損傷した場合の鋼管杭間の止水性（津波時）（2 / 2）

■ 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

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

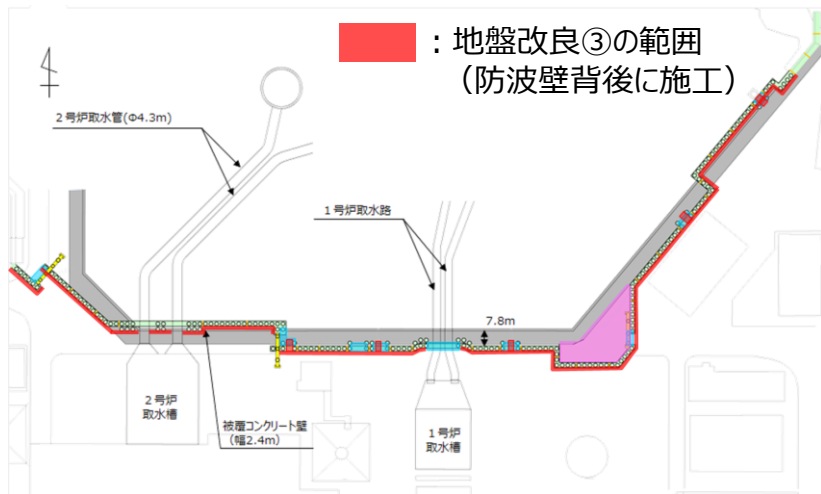
5.4.4 損傷モードと弱部（5）施設護岸が損傷した場合の鋼管杭の耐震性（地震時），鋼管杭間の止水性（津波時）

【地震時】

- 施設護岸が地震により損傷することによる防波壁への影響（耐震性）の検討は，防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合の解析を実施することにより行う。（詳細は5.5（4）参照）

【津波時】

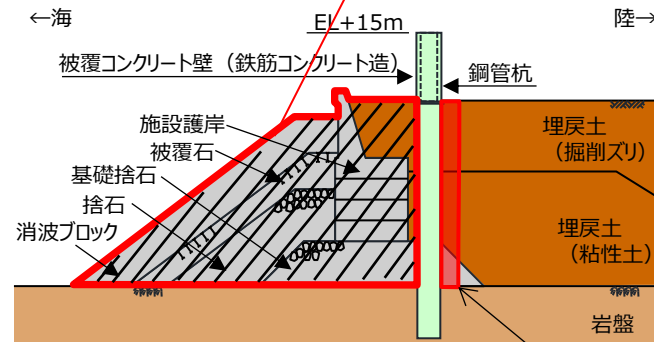
- 地震による施設護岸損傷後に，防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定し，鋼管杭が露出した状態で津波が襲来した場合において，津波の地盤中からの回り込みに対して万全を期すため，防波壁の背後に止水性を有する地盤改良を実施する対策を行う。（詳細は5.5（4）参照）



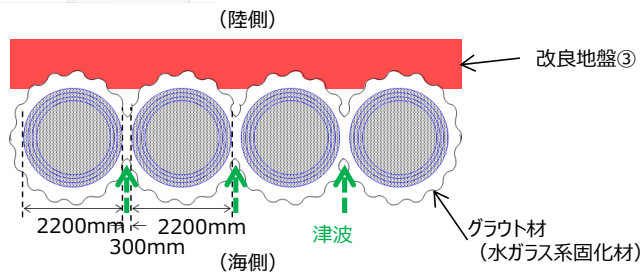
平面図

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

- ・地震時に施設護岸が損傷し，受働土圧が低下すること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。
- ・地震時に施設護岸が損傷し，仮に施設護岸が無いものとした場合に，鋼管杭が露出した状態で津波が来襲し，鋼管杭間から津波が遡上する。



一般部 (①-①断面)



断面図

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

追加改良地盤

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（1/3）

- 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。また、止水目地の機能維持の観点からも、異種構造物形式の境界部、防波壁周辺の隣接構造物、改良地盤の有無を考慮したうえで、防波壁の施工ブロック間の相対変形が最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。

耐震評価候補断面の整理（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））（1/3）

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	横断方向	<ul style="list-style-type: none"> ・北側に施設護岸が隣接する。 ・南側に埋戻土（掘削ズリ）上に直接基礎形式で設置された北口警備所が隣接する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・北側に施設護岸が隣接する。 ・北東側に埋戻土（掘削ズリ）上に直接基礎形式で設置された管理事務所4号館が隣接する。
		縦断方向	・なし	・なし
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。		
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。		

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

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（2/3）

耐震評価候補断面の整理（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））（2/3）

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	
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	横断 方向	・南側に施設護岸が隣接する。
縦断 方向		・なし	・なし
④地震力特性		・観点③での整理のとおり，周辺地質の差はないため，観点④での断面選定は不要である。	
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。	

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

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針 5.4 設計方針

5.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（3/3）

耐震評価候補断面の整理（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））（3/3）

観点		防波壁（多重鋼管杭式擁壁）		
		北東端部（⑤-⑤断面）	西端部（⑥-⑥断面）	
要求機能		津波防護施設		
①間接支持する設備		・なし		
②構造的 特徴	形式	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭4本を標準とした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。 	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭5本程度による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3.25m、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：φ1.80～2.20m 	
③周辺状況	周辺地質		<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主に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）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：12.7m 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を根入れ深さ5.0m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：9.5m
	地下水位※		・解析結果等を踏まえて整理する。	
	隣接 構造物	横断 方向	<ul style="list-style-type: none"> 施設護岸上に鋼管杭を設置している。 東側に岩盤上に直接基礎形式で設置されたサイトバンカ建物が隣接する。 	・北東側に施設護岸が隣接する。
		縦断 方向	・異種構造形式（波返重力擁壁）が隣接する。	・異種構造形式（鋼管杭式逆T擁壁）が隣接する。
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。		
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。		

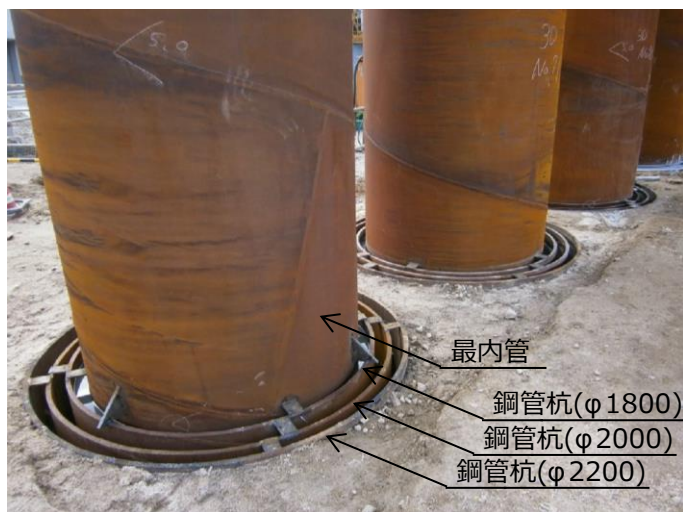
※ 地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえて詳細設計段階で設定する。

【一般部】

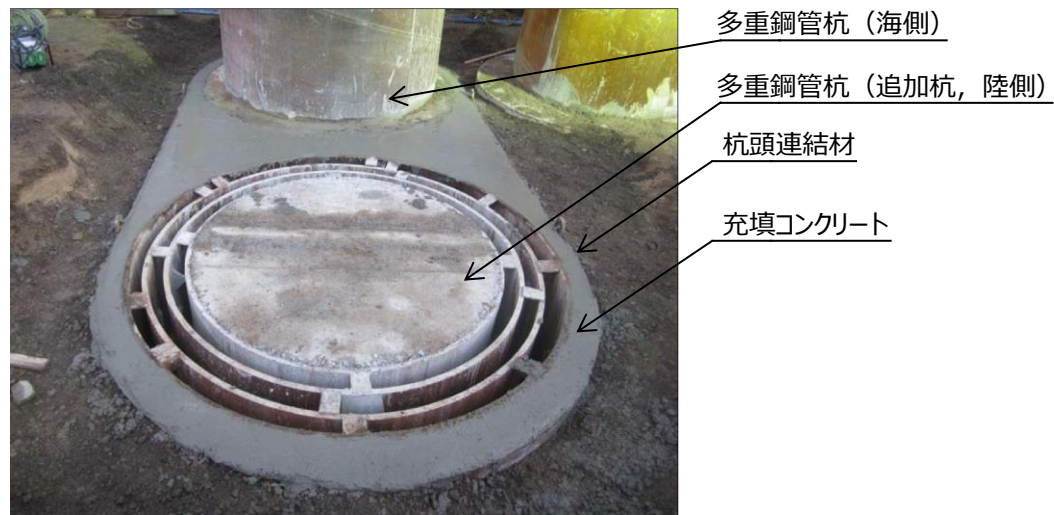
- ・4重管のうち、最内管のφ1600のみ地上部に突出させ、φ1800、φ2000、φ2200の杭頭上部からφ1600の杭頭まで、鉄筋コンクリートで被覆する構造としている。

【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)

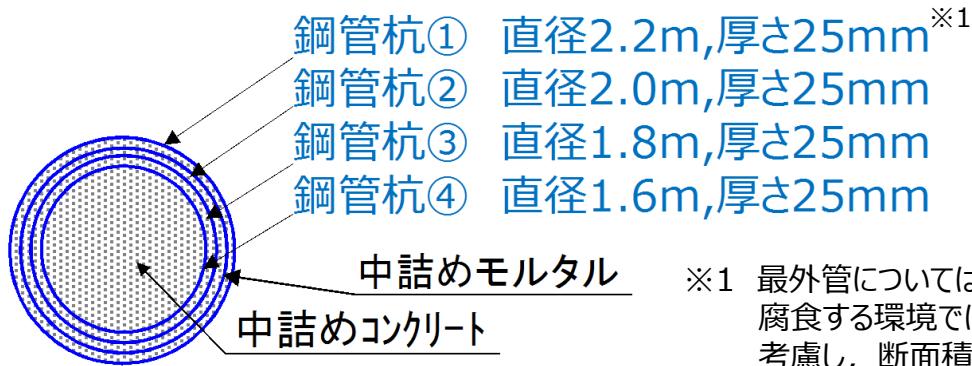


杭頭連結材設置状況
(間詰めコンクリート打設前)

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.5 個別論点（2）多重鋼管杭のモデル化

- 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次頁参照）。
- 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、セメントミルク及びグラウト材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

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.5 個別論点（3）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-変形関係及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スケール及び実物スケールの荷重-変形関係を比較し，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

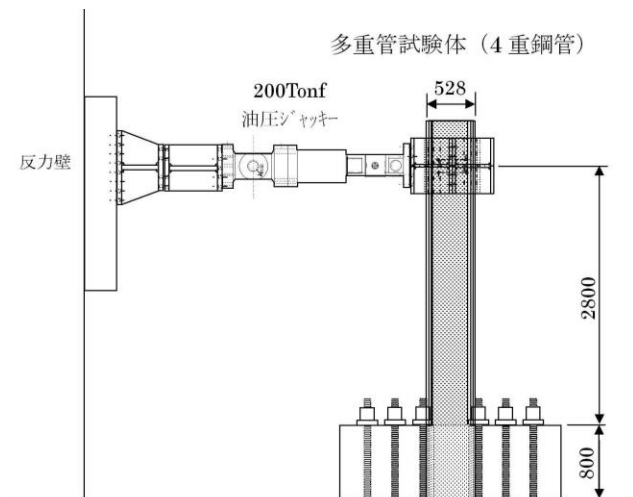
Case	鋼管構造	中詰めコンクリート	載荷方法
1	4重管 φ 528 φ 480 φ 432 φ 384	無	水平一方向載荷
2		有	水平一方向載荷
3		有	交番載荷後，水平一方向載荷

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

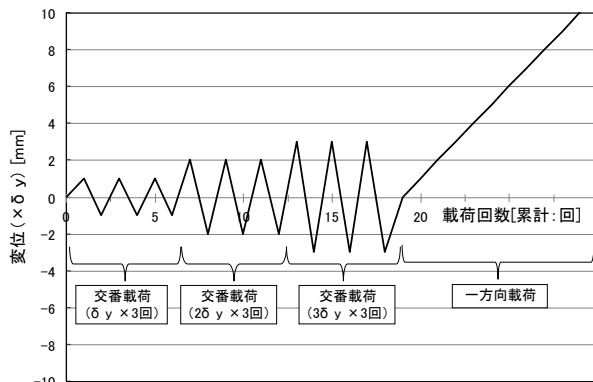
5.5 個別論点（3）水平載荷試験（2/3）

[結果の概要（ケース1とケース2の比較）]

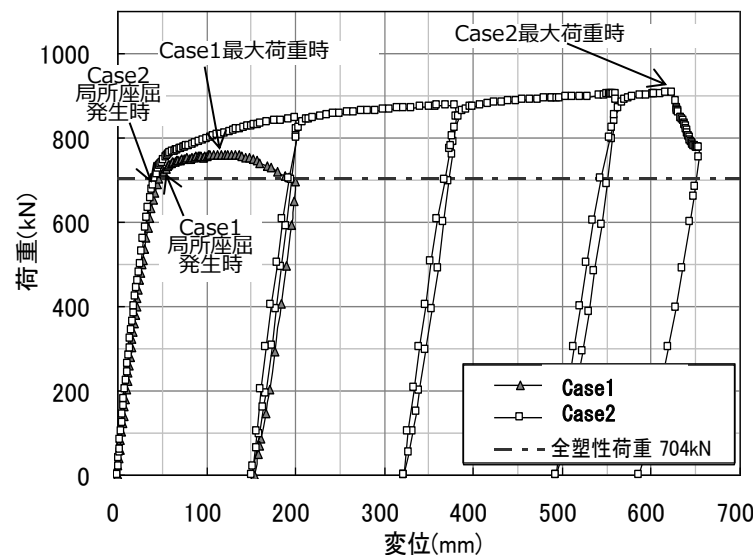
- Case1（4重管中詰無）の結果，最大荷重は多重管の全塑性荷重704kNに対して1.08倍であり，概ね一致している。
- Case2（4重管中詰有）の結果，最大荷重平均で1.29倍となった。
- Case1とCase2を比較すると，最外管の局部座屈発生までは同じ挙動を示すが，Case2はCase1と比較して最内側管がコンクリートで中詰めされていることにより，曲げ耐力が増加している。



実験装置概要図



交番水平載荷変形



Case 1 , Case 2 荷重変形関係

Case 1・Case 2 実験結果の比較

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

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.5 個別論点（3）水平載荷試験（3/3）

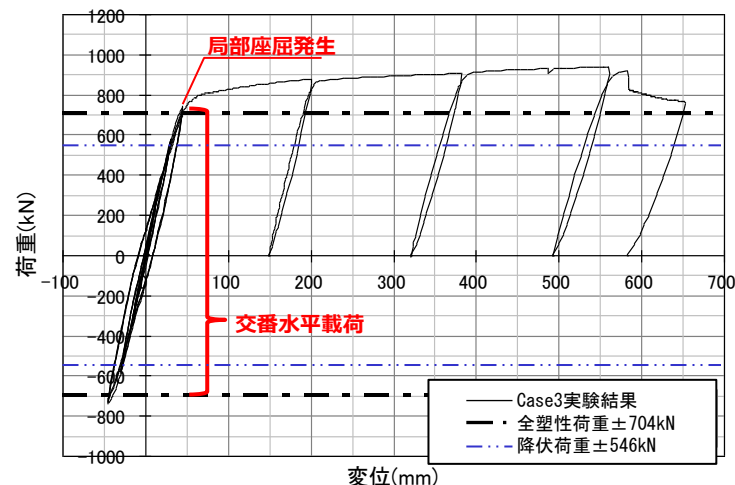
[結果の概要（ケース3の結果）]

- ・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。
- ・水平荷重と変形の関係から、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。

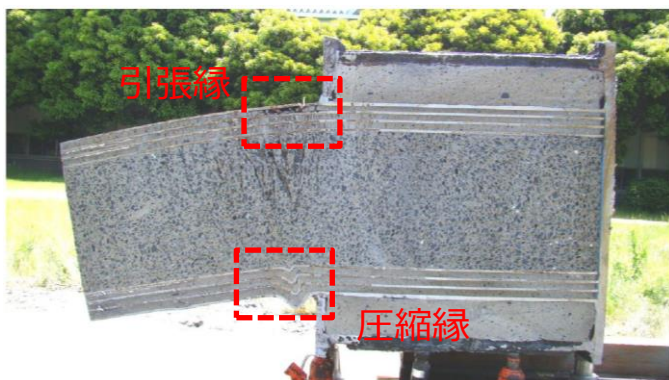
⇒多重鋼管杭は一体構造として挙動して荷重を分担しており、降伏荷重においても弾性挙動を示している。



最大荷重時座屈状況



変位(mm)
水平荷重と変形の関係



管軸方向切断面



引張縁破断状況

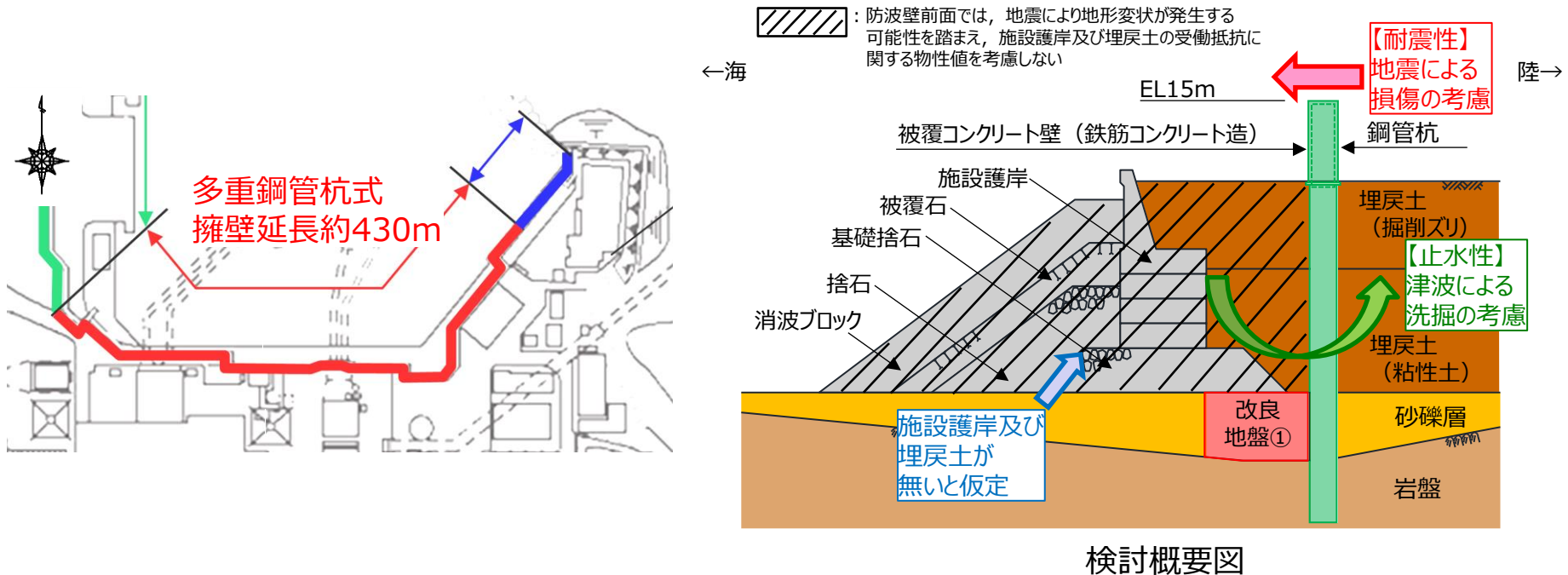


圧縮縁はらみ出し状況

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.5 個別論点（4）施設護岸による影響検討（1/4）

- 防波壁（多重鋼管杭式）の前面または背面には、施設護岸が近接して設置されている。地震時の検討においては、施設護岸はその形状を適切にモデル化し、有効応力解析により耐震性を評価する。これにより、防波壁への波及的影響を考慮する。また、津波時においては、防波壁の設置状況に応じた地盤ばねを設定し、津波波圧を作用させて静的フレーム解析により耐津波性を評価する。一方で、施設護岸については、耐震性が低く、その損傷による防波壁へ影響を及ぼす可能性が考えられることから、それが損傷した場合の防波壁への影響を確認する。
- ここでは、施設護岸が地震により損傷した場合の防波壁の「耐震性」、「耐津波性」及び「止水性」に与える影響を確認し、施設護岸の取り扱いを評価する。施設護岸の地震による損傷の程度を評価することが困難であることから、保守的に、施設護岸が無いものと仮定した状態における防波壁への影響（耐震性）及び地震による損傷後に津波が襲来した場合の津波の地盤中からの回り込みによる影響（止水性）について検討する。なお、「耐津波性」については、当初設計から施設護岸等が無いものとして津波波圧を作用させた検討を実施していることから、検討を省略する。



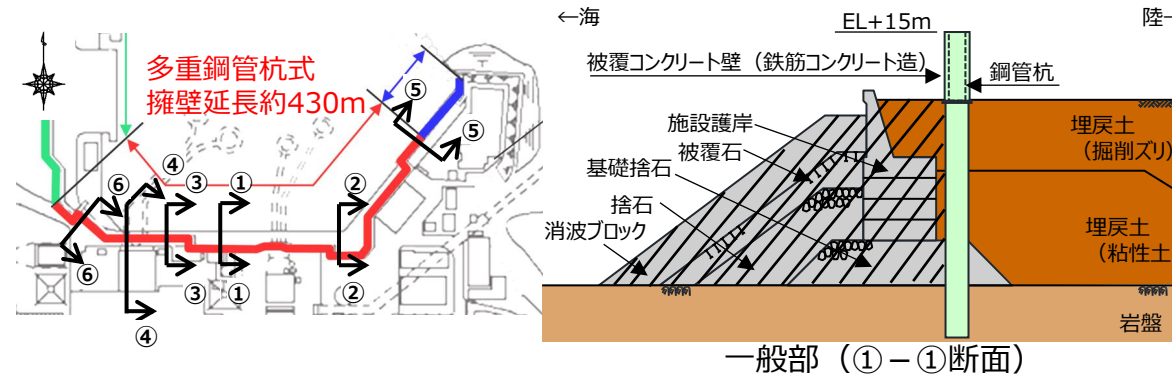
5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.5 個別論点（4）施設護岸による影響検討（2/4）

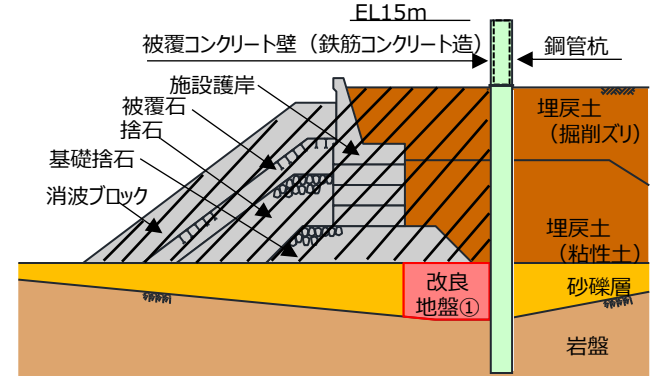
【耐震性（断面選定）】

- 施設護岸が地震により損傷することによる防波壁への影響（耐震性）の検討は、防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合の解析を実施することにより行う。
- 施設護岸等が無いと仮定した検討は、施設護岸が防波壁より海側及び陸側に位置する断面について実施する。施設護岸が防波壁より海側に位置する断面として、鋼管杭が長く埋戻土層厚が厚いことから、鋼管杭への影響が最も大きいと判断する「一般部（①－①断面）」及び施設護岸の下部に砂礫層が位置し、鋼管杭の前面に地盤改良を実施した「地盤改良部断面（②－②断面）」を選定する。また、施設護岸が防波壁より陸側に位置する断面として「施設護岸前出し部（③－③断面）」を選定する。
- なお、「取水路横断部（④－④断面）」、「北東端部（⑤－⑤断面）」及び「西端部（⑥－⑥断面）」については、下表に示すとおり、鋼管杭長及び周辺状況を踏まえ、地震時の鋼管杭への影響が最も大きいと考える①－①、②－②及び③－③断面の検討結果に包含されると判断した。

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

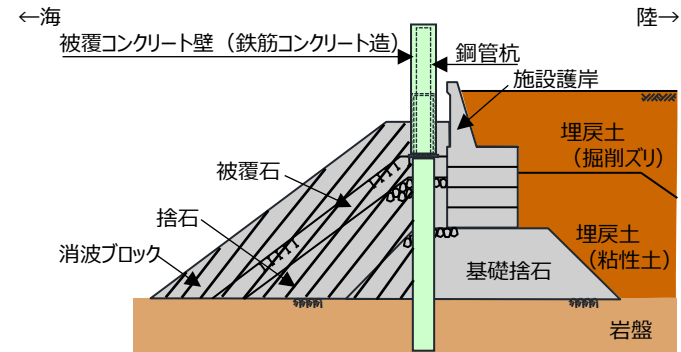


一般部（①－①断面）



地盤改良部断面（②－②断面）

施設護岸等が無いと仮定した検討対象断面の選定理由



施設護岸前出し部（③－③断面）

検討対象断面	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）	施設護岸前出し部（③-③断面）
類似断面	西端部（⑥-⑥断面）	-	取水路横断部（④-④断面），北東端部（⑤-⑤断面）
選定理由	<p>・①－①断面は、施設護岸が防波壁より海側に位置する断面であり、同様の周辺状況である⑥－⑥に比べて鋼管杭が長く埋戻土層厚が厚いことから、鋼管杭への影響が大きい①－①断面を検討対象断面に選定する。</p>	<p>・②－②断面は、鋼管杭の前面に改良地盤を実施した断面であり、①－①、③－③～⑥－⑥断面とは異なる周辺状況であることから、②－②断面を検討対象断面に選定する。</p>	<p>・③－③断面は、施設護岸が防波壁陸側に位置する断面である。同様の周辺状況である④－④断面は防波壁北側に2号炉取水槽が隣接しており、また、⑤－⑤断面は防波壁位置に施設護岸が配置されており、これらに比べて鋼管杭への地震時土圧が大きい③－③断面を検討対象断面に選定する。</p>

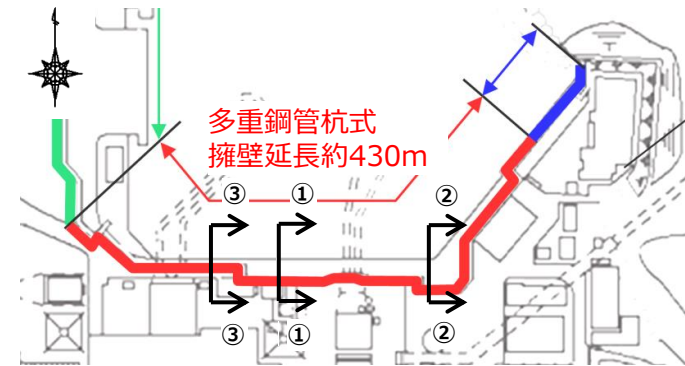
5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.5 個別論点（4）施設護岸による影響検討（3/4）

【耐震性（解析条件及び解析結果）】

■ 解析条件は以下のとおり。

- ・施設護岸及び埋戻土の剛性を低下させる（剛性を一律1/1000以下）。
⇒ 受働抵抗に関する物性値は考慮しないが、重量は考慮する。
- ・施設護岸の石材（基礎捨石、被覆石）の強度特性を $C=0(\text{kN/m}^2)$ 、 $\phi_f=35(\text{°})$ と設定する。
⇒ 港湾基準によると、粘着力 $C=20(\text{kN/m}^2)$ 、せん断抵抗角 $\phi_f=35(\text{°})$ とされているが、保守的に設定する（詳細は9.5.4を参照）。
- ・地震荷重は基準地震動 S_s-D とする。



- ##### ■ 解析結果を以下に示す。なお、ここでは鋼管杭の構造成立性検討において最も厳しい損傷モードである曲げにより照査を行った。鋼管杭の曲げに対する安全率は1以上となり、構造が成立することを確認した。

降伏モーメントに対する照査結果（最小安全率時）

断面	評価部位	最小安全率となる部位	地震動	最小安全率 (施設護岸がない場合)
一般部 (①-①断面)	鋼管杭	地中部※ 【4重管構造】	S_s-D	1.43
地盤改良部断面 (②-②断面)				1.82
施設護岸前出し部 (③-③断面)				1.61

※ 地中部【4重管構造】は、安全率が最も小さくなる外側から2つ目の鋼管杭 $\phi 2000(\text{SKK490})$ の数値を示す。

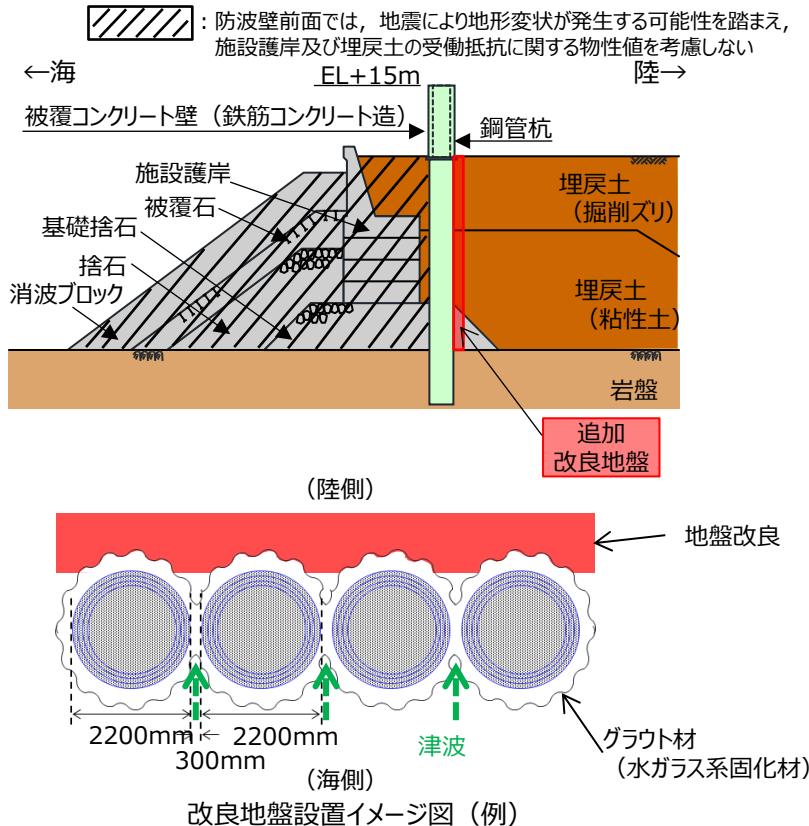
- ##### ■ 詳細設計段階では、施設護岸がある場合の防波壁の耐震性を評価し、これにより施設護岸の防波壁への波及的影響を確認する。また、施設護岸が地震により損傷する可能性を考慮し、施設護岸及び埋戻土が無いものと仮定した場合も評価する。それぞれの評価において、防波壁及び岩盤等の健全性を説明する。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.5 個別論点（4）施設護岸による影響検討（4/4）

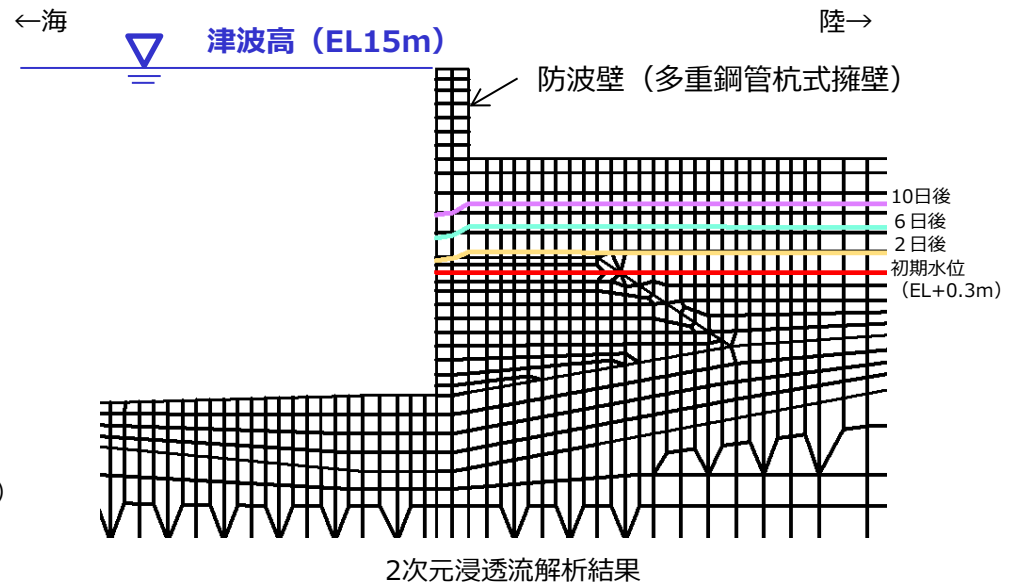
【止水性】

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）については、鋼管杭間をグラウト材（埋戻土部）（水ガラス系固化材）で充填しているが、施設護岸等が無いと仮定し、杭間に直接津波波圧が作用した場合の津波の地盤中からの回り込みに対して万全を期すため、防波壁の背後に止水性を有する地盤改良を実施する対策を行う。
- 防波壁背後の地盤改良後、防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合の浸透流解析を実施した。ここで、津波水位は保守的にEL15mとし、透水係数は下表のとおり設定した。
- 解析の結果、EL+15mに津波が滞留した状態においても、防波壁より敷地側に浸水は認められないことを確認した。
- なお、防波壁の背後に実施する地盤改良の仕様は詳細設計段階において説明する。



透水係数一覧

地盤材料	透水係数(m/s)	摘要
岩盤	1×10^{-5}	CL級岩盤と仮定
埋戻土	2×10^{-3}	
防波壁・改良地盤	1×10^{-7}	

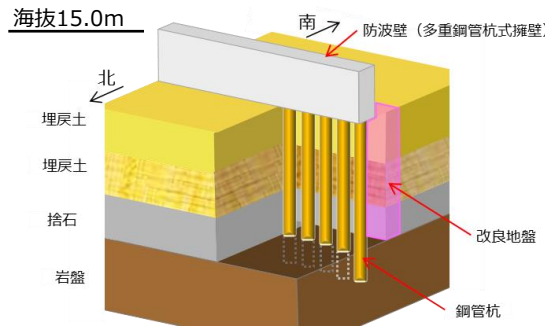


5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

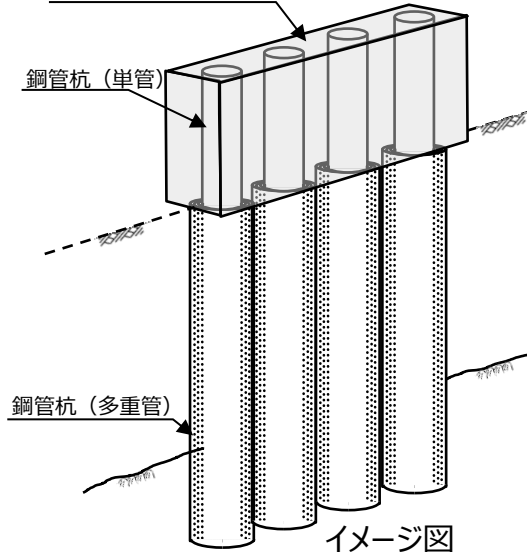
5.5 個別論点（5）構造等に関する先行炉との比較（1/3）

- 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。

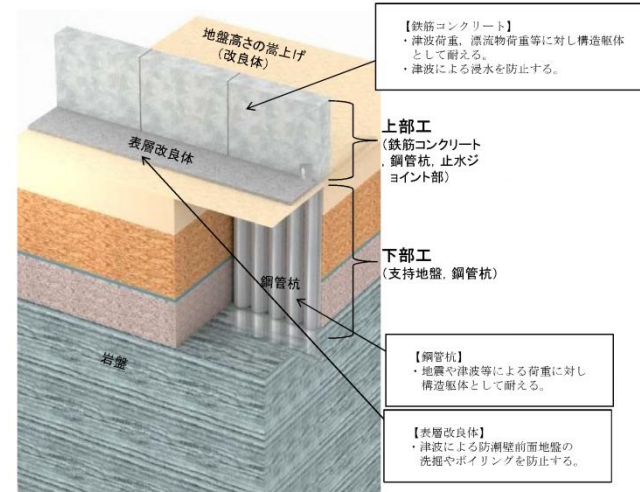
島根原子力発電所
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）



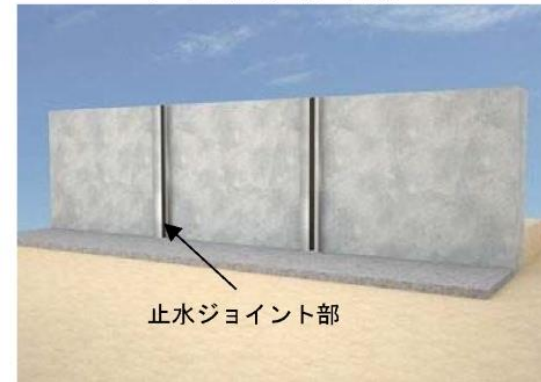
被覆コンクリート壁
（鉄筋コンクリート造）



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



5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.5 個別論点（5）構造等に関する先行炉との比較（2/3）

- 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、 防波壁背後 に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、 2次元動的 FEM 解析により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次元静的 FEM 解析により 被覆コンクリート壁 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。

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.5 個別論点（5）構造等に関する先行炉との比較（3/3）

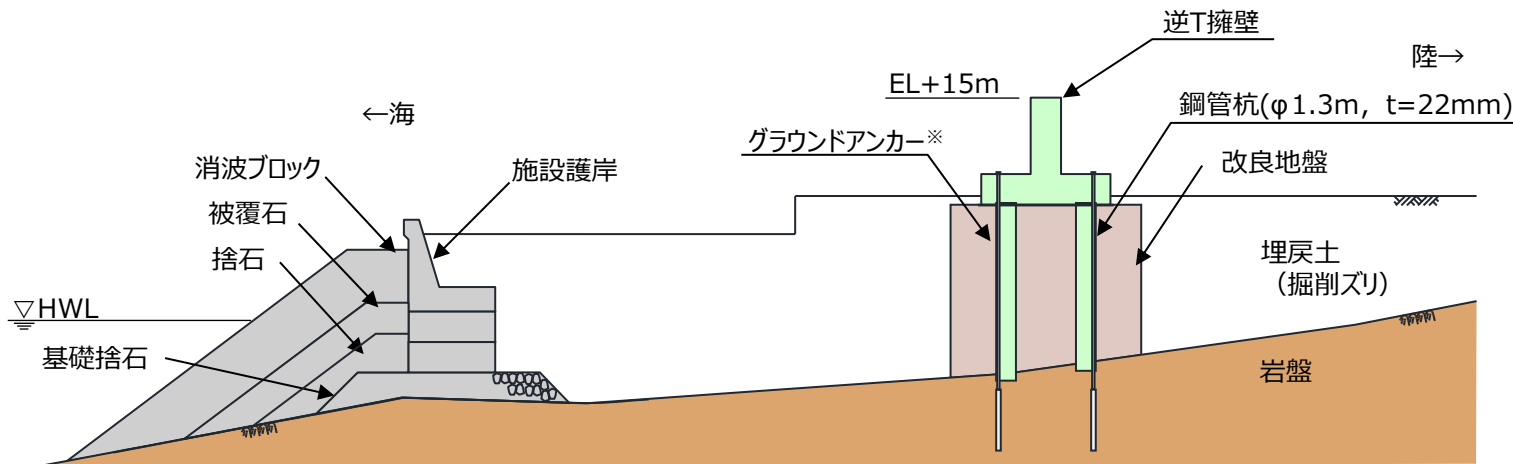
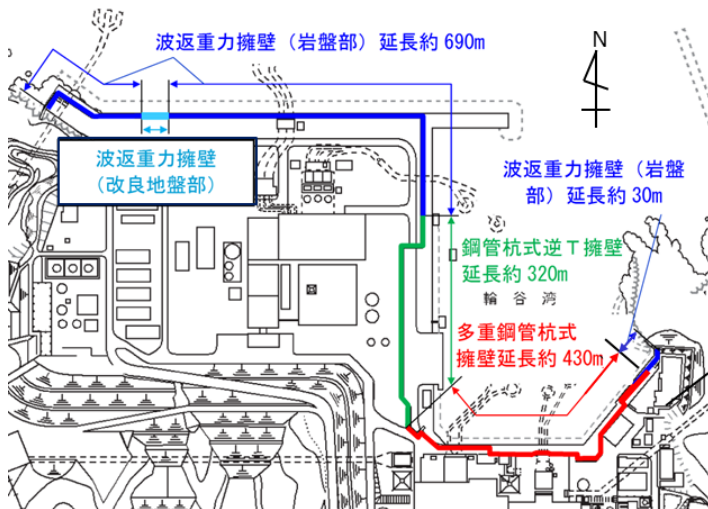
評価項目	島根原子力発電所 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） の構造等	先行炉の構造等※	島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点を 踏まえた設計方針の 適用性	先行炉実績との相違点を 踏まえた設計への 反映事項	
		日本原子力発電(株) 東海第二発電所 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	類似点	相違点			
止水対策	止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に応じ、シートジョイントを採用する。 設置箇所：防波壁の陸側に設置する。 止水目地の許容限界： メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に応じ、シートジョイントを採用する。 設置箇所：防潮堤の堤内側と堤外側に設置する。 止水目地の許容限界： 許容変形量，許容引張強度 	<ul style="list-style-type: none"> 同等の仕様の止水目地を採用している。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地は、防波壁の陸側に設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 同様の止水目地材の採用であることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地取り換え時に一時的に遮水性が確保できなくなることが懸念されるが、耐用年数が30年であり、経年劣化による取り換えは不要と考えられる。万一取り換えの必要が生じた場合については、津波襲来までの時間で取り換えを行うよう、今後運用面の手順を整備する。
液状化影響に関する設計への反映		<ul style="list-style-type: none"> 液状化検討対象層（埋戻土（掘削ズリ、砂礫層））に対して、液状化試験結果及び有効応力解析（FLIP）の簡易設定法に基づき液状化強度特性を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化検討対象層に対して、液状化試験結果を踏まえ、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。

※ 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。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（1/10）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、3号炉東側に配置し、鋼管杭を岩盤に打設した。
- 逆T擁壁は、鋼管杭8本程度（横断方向に2列、縦断方向に4列）を1ブロックの標準とした壁体を連続して設置した（杭頭部の構造については6.5（1）参照）。このブロック間の境界には、止水性を保持するための止水目地（8.1参照）を設置する。
- 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。



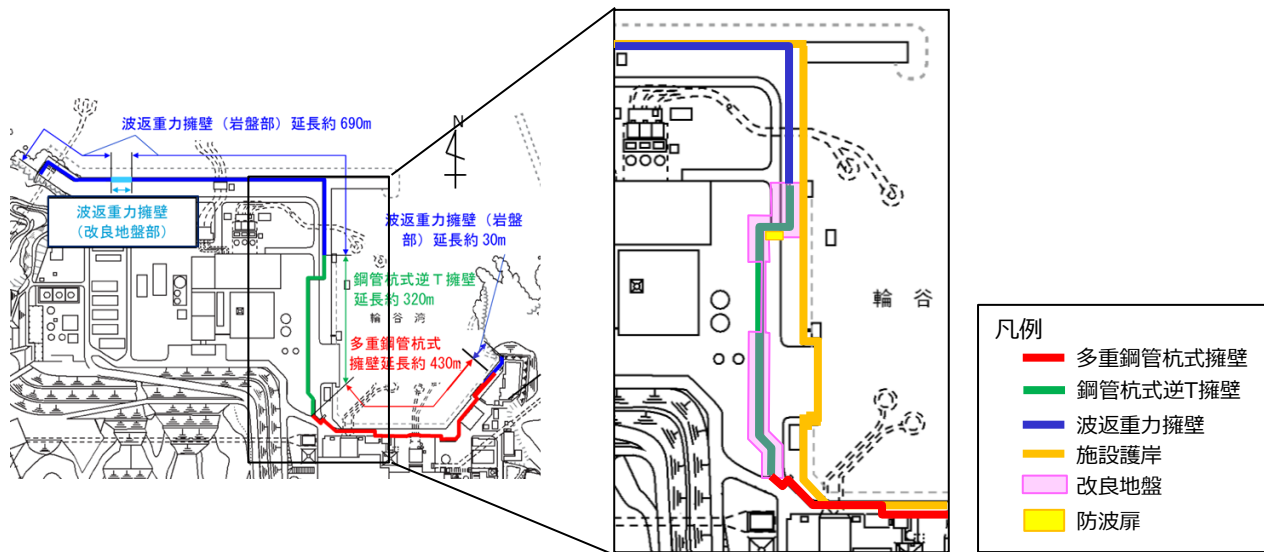
※ グラウンドアンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）断面図

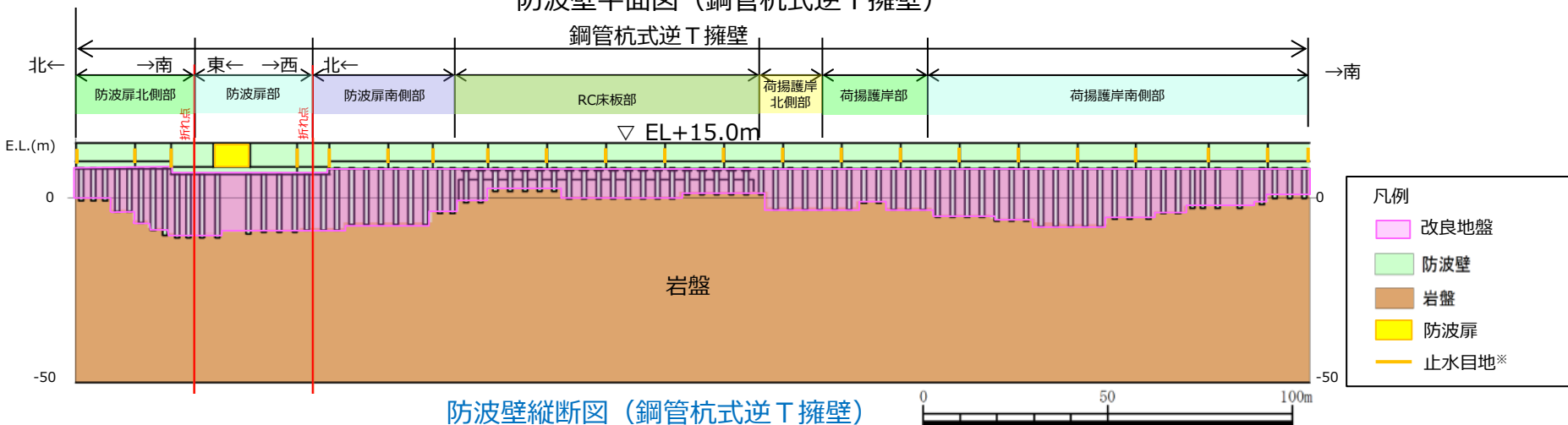
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（2/10）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）については、3号炉東側全線にわたり鋼管杭を約4m間隔で配置し、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。

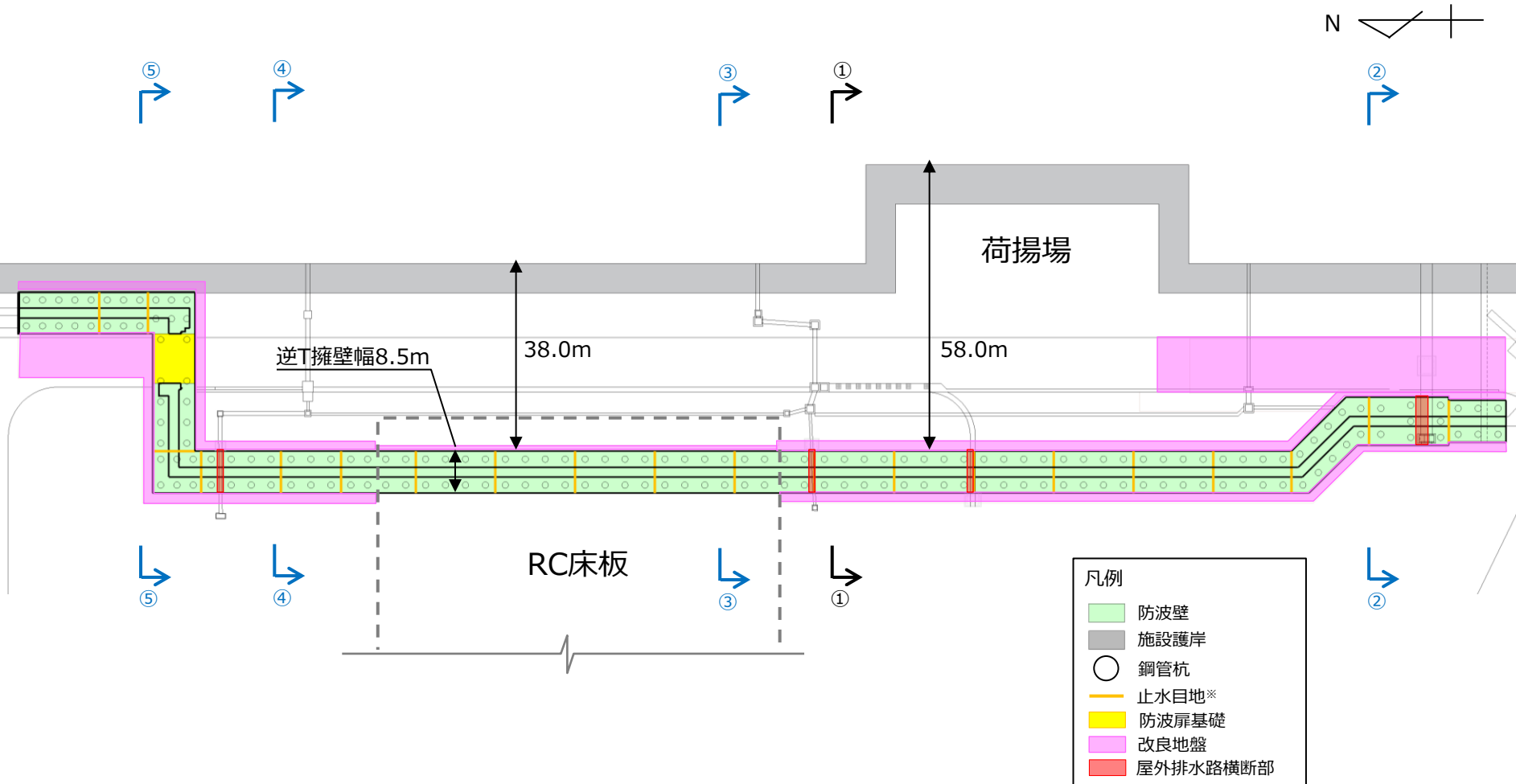
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（3/10）

第839回審査会合
資料1-1 P.27 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

106

■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の平面図（止水目地位置含む）を以下に示す。

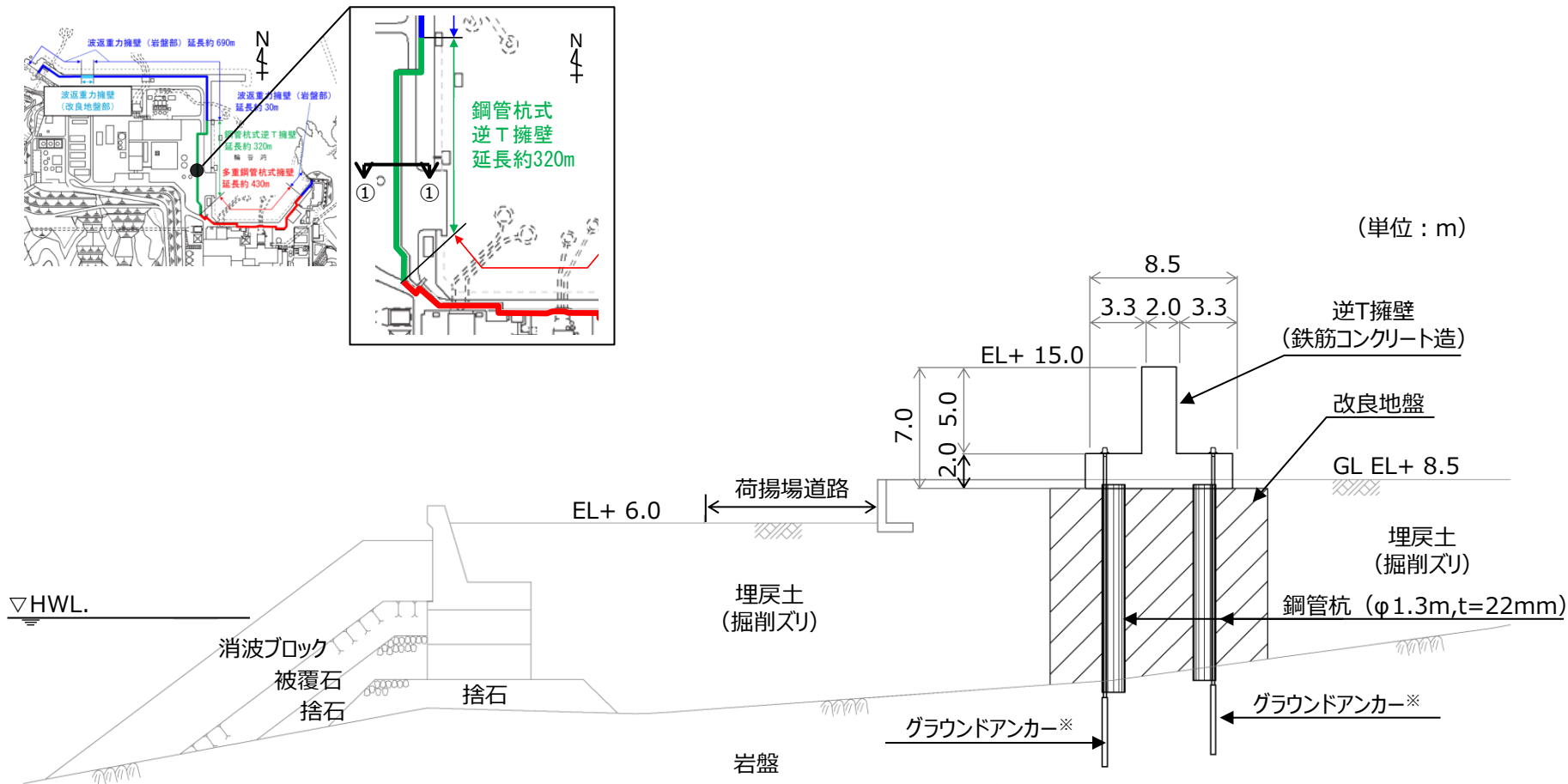


※止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（4/10）

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



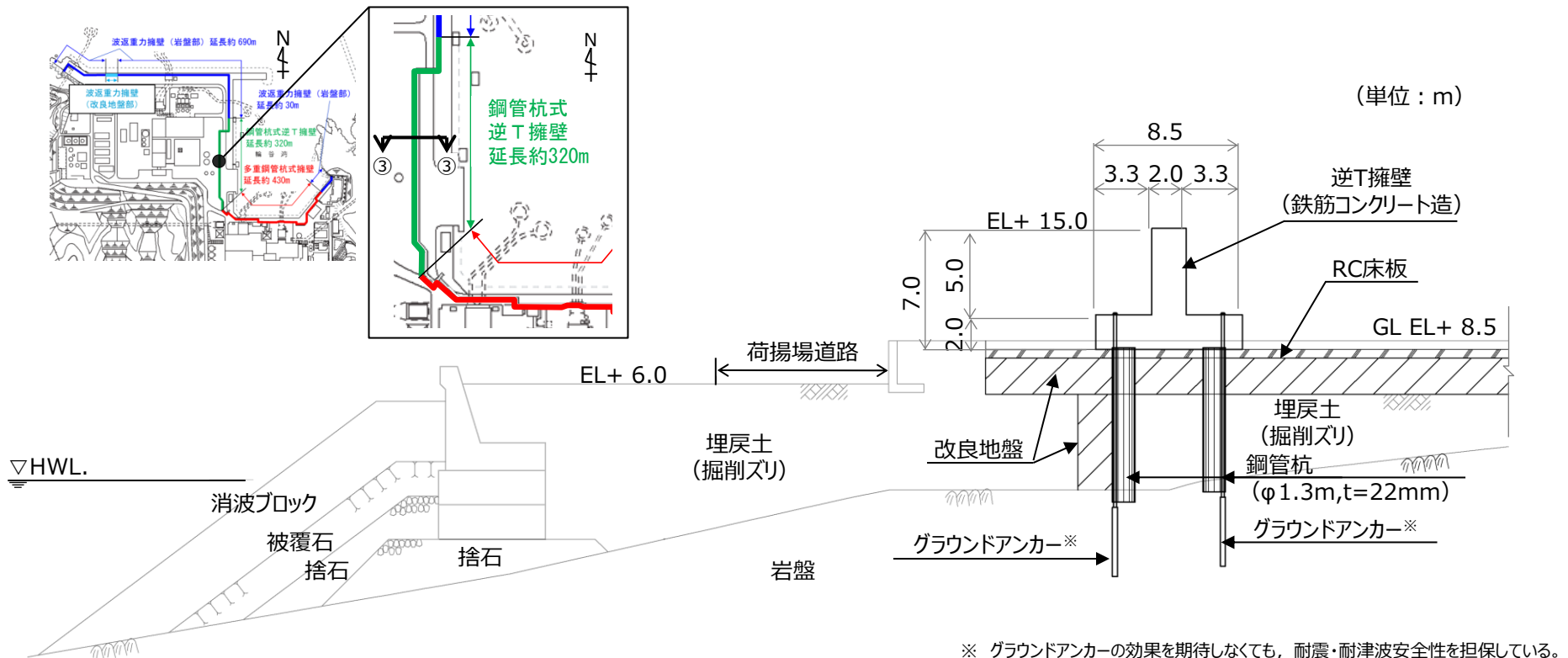
※ グラウンドアンカーの効果을期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）荷揚護岸北側部（①-①断面） 断面図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（6/10）

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

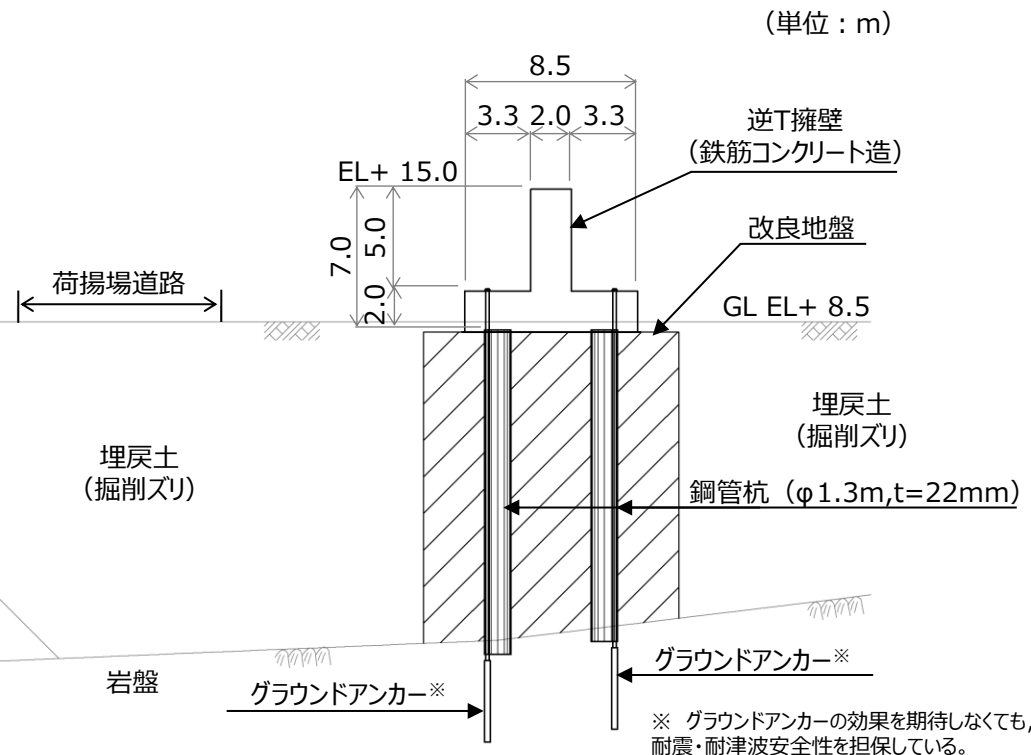
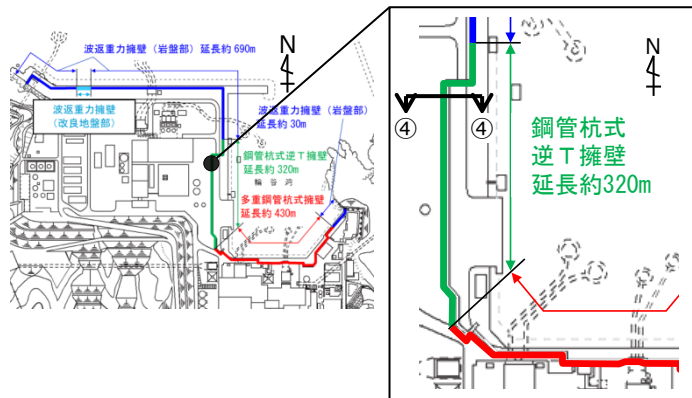


防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）RC床版部（③－③断面） 断面図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（7/10）

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

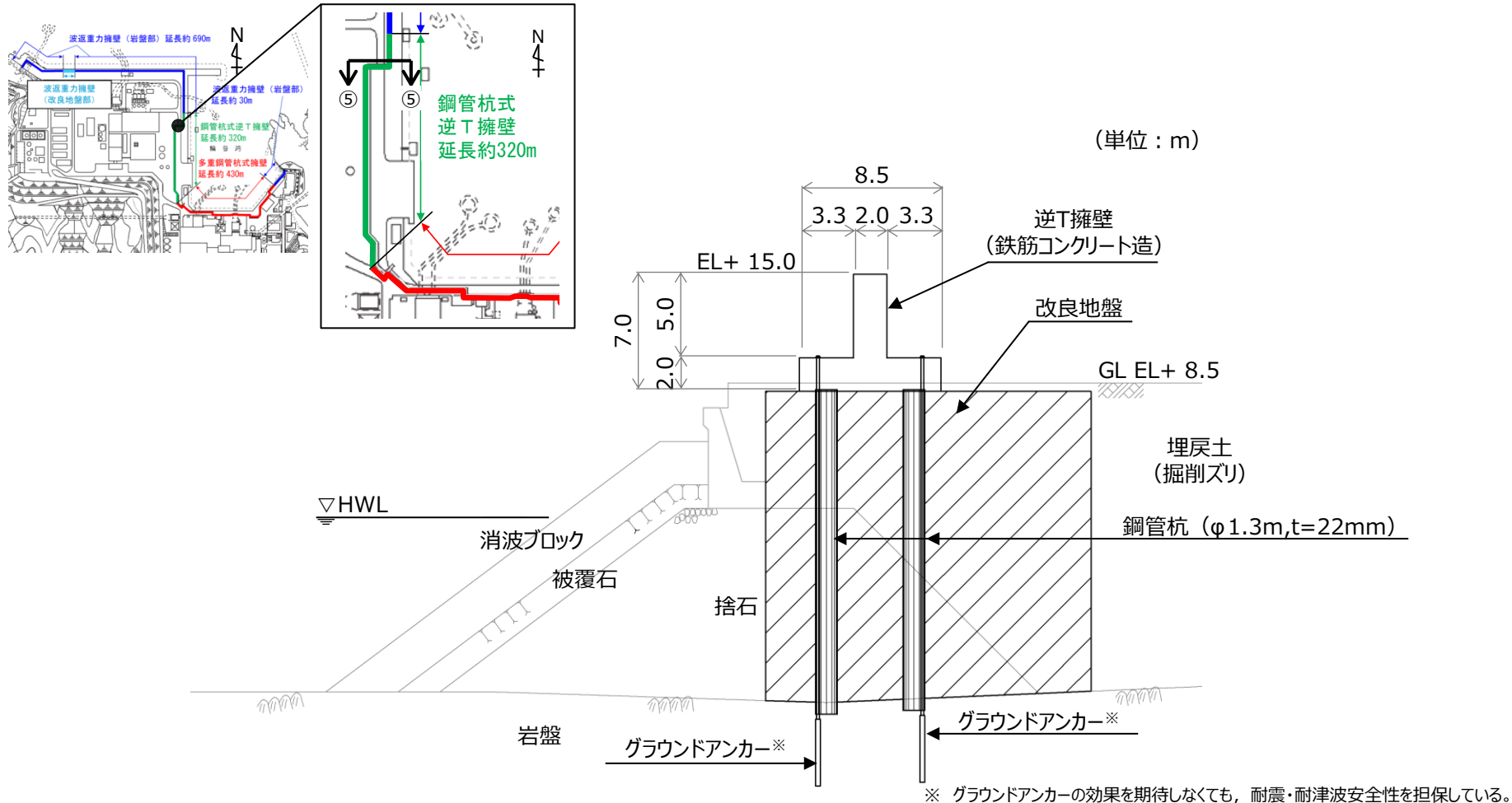


防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）防波扉南側部（④－④断面） 断面図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（8/10）

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



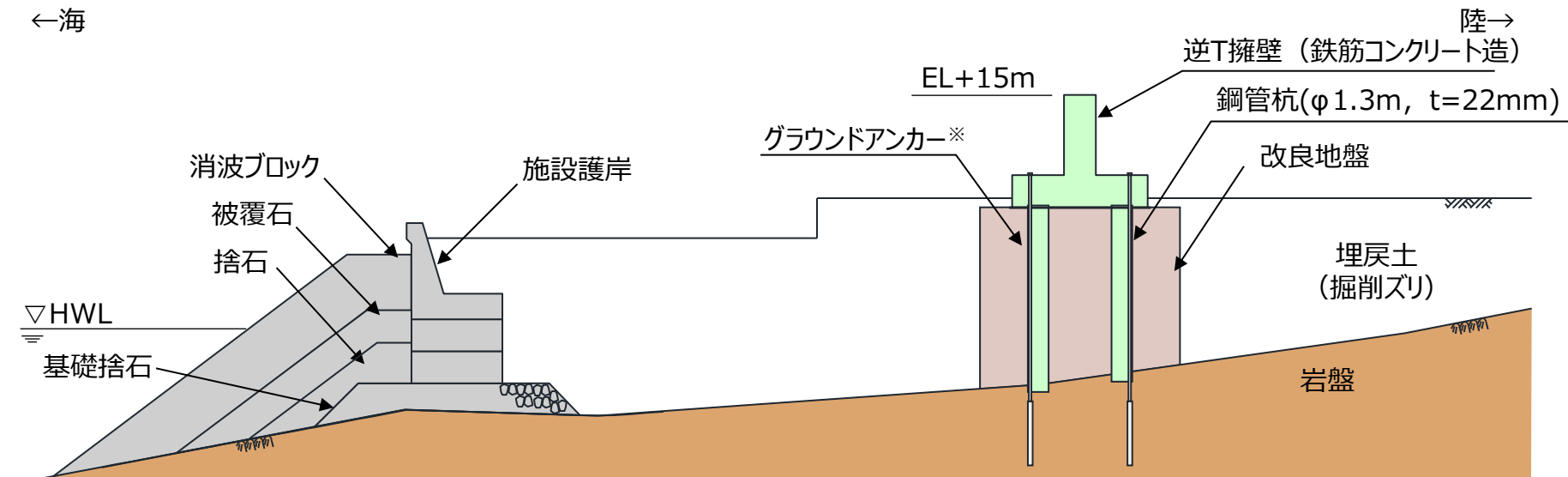
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）防波扉北側部（⑤－⑤断面）断面図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.1 構造概要（9/10）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）を構成する各部位は以下の仕様とした。

部位	仕様
【施設】	
鋼管杭	φ1300mm,t=22mm,SKK490
逆T擁壁	コンクリート：f'ck=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】	
改良地盤	薬液注入工法（セメント系固化材，特殊スラグ系固化材）， 表層改良工法（セメント系固化材）
改良地盤（鋼管杭前面）	薬液注入工法（セメント系固化材，特殊スラグ系固化材）



※ 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。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

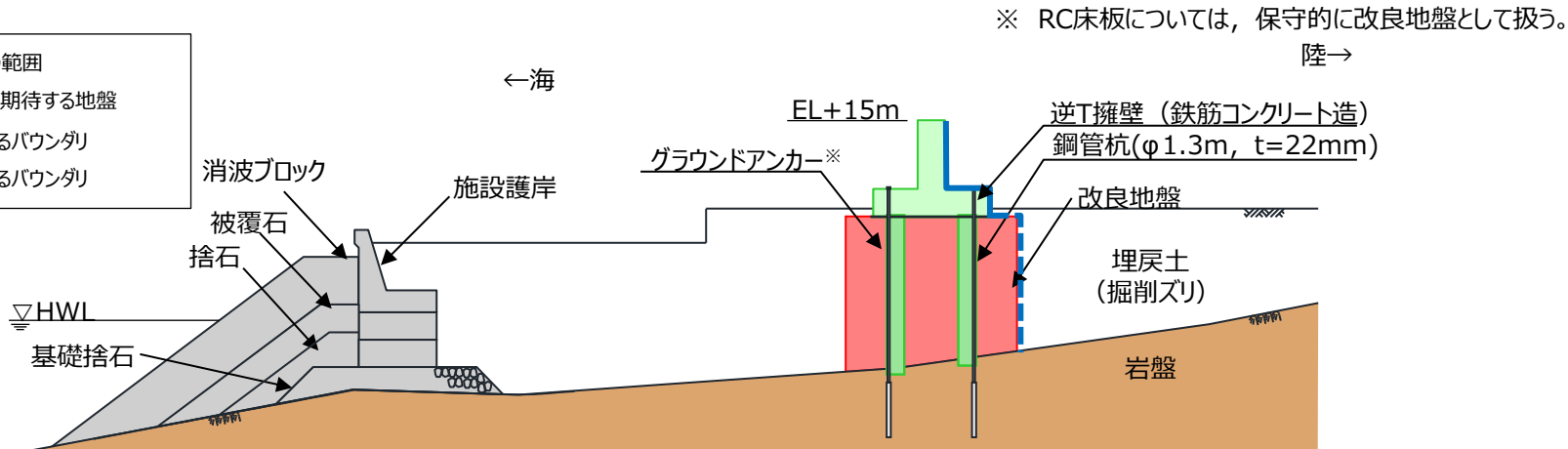
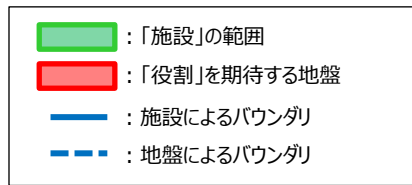
6.1 構造概要（10/10）

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

評価対象部位の役割

■ 施設の範囲 ■ 「役割」を期待する地盤

評価対象部位	役割	備考
鋼管杭	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	
改良地盤※	鋼管杭の変形を抑制、難透水性の保持	薬液注入工法、表層改良工法
改良地盤（鋼管杭前面）	難透水性の保持	薬液注入工法
岩盤	鋼管杭及び逆T擁壁を支持、基礎地盤のすべり安定性に寄与	基礎地盤
埋戻土（掘削ズリ）、施設護岸、被覆石、捨石、基礎捨石、消波ブロック	役割に期待しない	



※ 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。

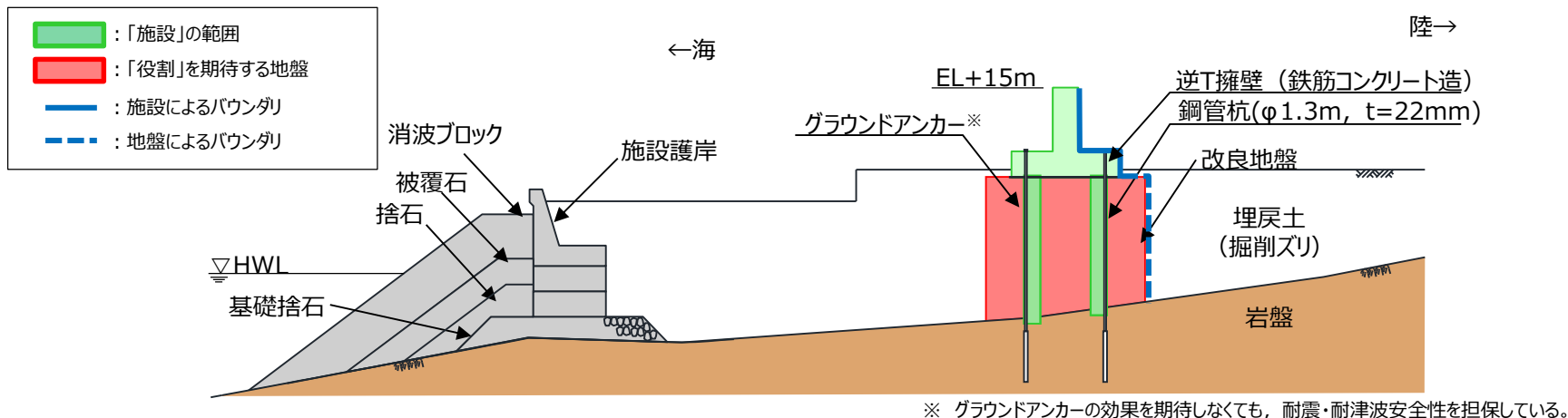
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（荷揚護岸北側部）における構造上のバウンダリ

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（1 / 5）

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

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における検討要旨

規 則	検 討 要 旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	・ 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。



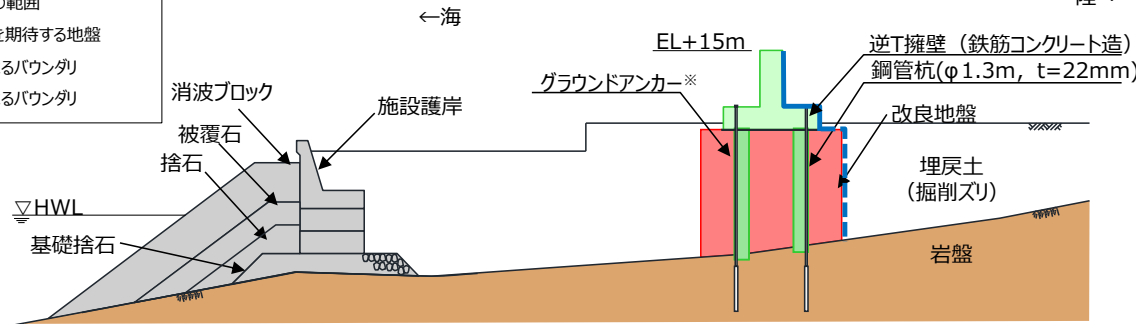
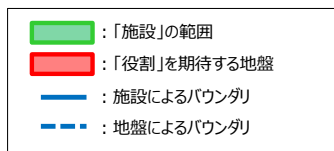
鋼管杭式逆T擁壁の「施設」・「地盤」の範囲

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（2 / 5）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』、材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし、これらを総称として『止水性』と整理する。
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の周辺地盤及び施設護岸については、設置状況に応じて解析モデルに取り込むが、防波壁の前面に位置している施設護岸については、その損傷による防波壁への影響が大きいと考えられるため、それが損傷した場合の防波壁の耐震性への影響を確認する。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）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擁壁間の変形に追従する。	・逆T擁壁間の変形に追従し、遮水性を保持する。
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。
	改良地盤（鋼管杭前面）	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する）。	・難透水性を保持する。
	岩盤	・鋼管杭及び逆T擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・鋼管杭及び逆T擁壁を支持する。
	埋戻土（掘削スリ）	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する）。	・防波壁より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸、基礎捨石 被覆石、捨石	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への波及的影響を考慮する）。	・役割に期待しない。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。



※ 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。

陸→ ※ RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

役割を期待する範囲（地震時・津波時）

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（3 / 5）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）において、前頁の役割を有する改良地盤等について、具体的な役割を整理し、「施設」と「地盤」に区分する。
- 側方地盤としての鋼管杭の変形抑制を主な役割とする改良地盤、また、難透水性の保持を役割とする改良地盤（鋼管杭前面）について、『地盤』と区別する。

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

各部位の具体的な役割

部位	具体的な役割					『施設』と『地盤』の区分の考え方	
	地震時	津波時	鉛直支持	すべり安全率	耐震性 (鋼管杭の変形抑制)		耐津波性 (遮水性・難透水性)
改良地盤※	・鋼管杭周辺に改良地盤を設置することで逆T擁壁を支持する鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭周辺に改良地盤を設置することで鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を保持することで、遮水性を有する逆T擁壁、止水目地の下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。	-	-	○	○	逆T擁壁を支持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。
改良地盤 (鋼管杭前面)	・役割に期待しない。	・難透水性を保持することで、遮水性を有する逆T擁壁、止水目地、下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。	-	-	-	○	難透水性の保持の役割をもつことから『地盤』と区分する。

※ RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（4 / 5）

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

部位		性能目標			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	耐震性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	耐津波性 (透水性, 難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭	-	-	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭が概ね弾性状態に留まること。	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭が概ね弾性状態に留まること。
	逆T擁壁			構造部材の健全性を保持するために、逆T擁壁が概ね弾性状態に留まること。	止水目地の支持機能を喪失して逆T擁壁間から有意な漏えいを生じないために、逆T擁壁が概ね弾性状態に留まること。
	止水目地			逆T擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	逆T擁壁から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形・遮水性能を保持すること。
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)
	改良地盤 (鋼管杭前面)	-	-	-	地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性を保持）するため改良地盤がすべり破壊しないこと。 (内的安定を保持)
	岩盤	鋼管杭を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	-	-

※ RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.2 規制における要求性能

6.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（5 / 5）

- 前頁で整理した性能目標を満足するための照査項目と許容限界を以下のとおり整理した。
- 液状化の影響については有効応力解析により考慮し、埋戻土の変状に伴う施設評価への影響を検討する。
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）RC床板部の海側に設置した改良地盤（鋼管杭前面）は「難透水性の保持」の役割を有するため、「内的安定の保持」を性能目標として、すべり安全率を1.2以上確保したうえで、止水性の観点から保守的に改良地盤を埋戻土として浸透流解析を実施する。
- また、液状化に伴う海側の埋戻土、砂礫層の変状により護岸形状が変化し、荷重伝達経路や津波波圧に影響する可能性があることから、詳細設計段階において影響の程度を検討する（詳細は9.3を参照）。
- なお、施設及び岩盤の各部位の役割や性能目標を長期的に維持していくために必要な保守管理方法を今後検討していく。

各部位の照査項目と許容限界（上段：照査項目、下段：許容限界）

部位		照査項目と許容限界			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	耐震性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	耐津波性 ^{※1} (透水性、難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭 ^{※4}	-	-	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 ^{※5}	-	-	すべり安全率 ^{※3} (1.2以上)	
	改良地盤 (鋼管杭前面)	-	-	-	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 鋼管杭の杭頭の水平変位量については、地盤改良を実施することにより変形を抑制していることから、許容限界は設定しない。

※5 RC床板については、保守的に改良地盤として扱う。

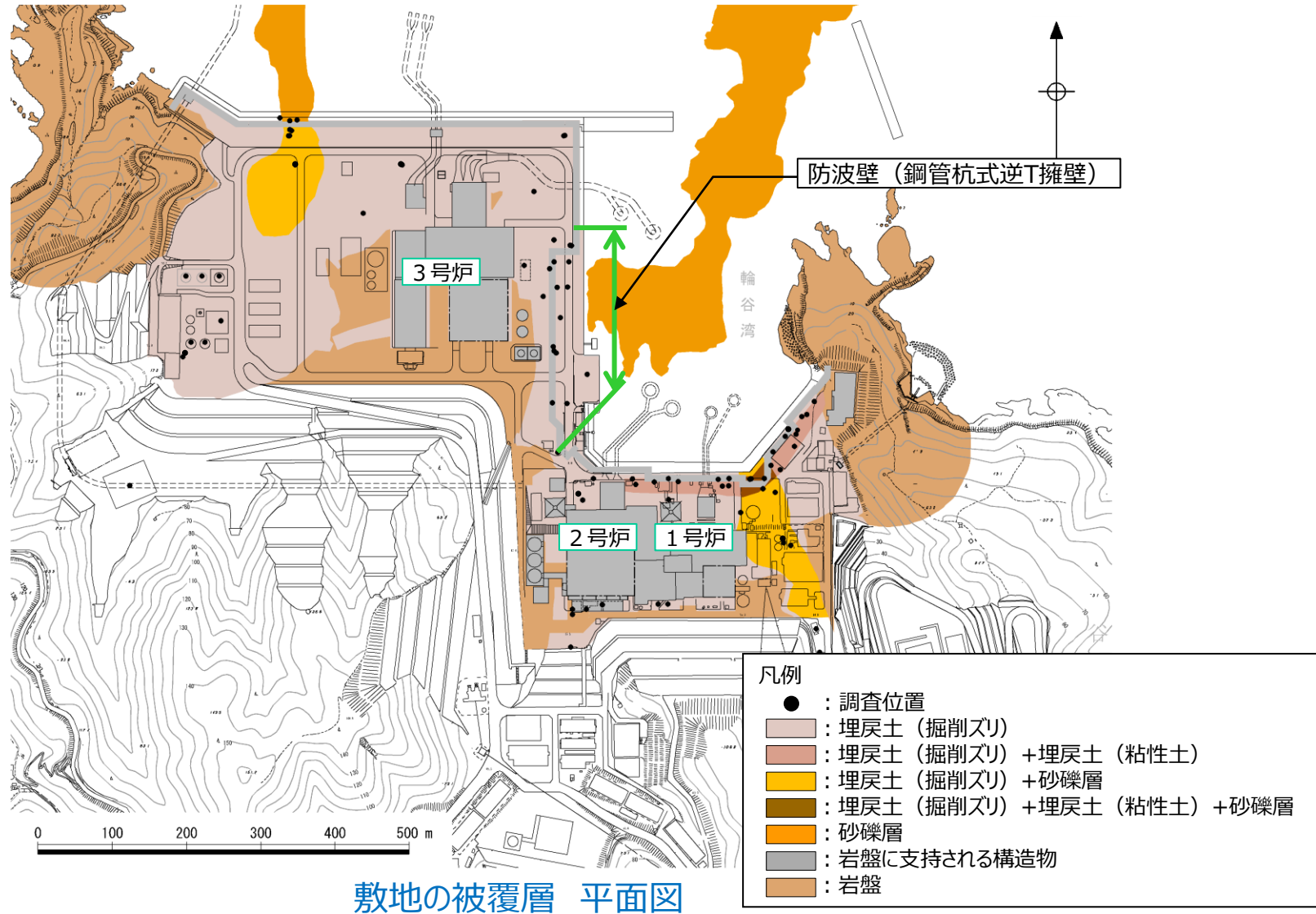
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.3 周辺地質（1/7）

第839回審査会合
資料1-1 P.71 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

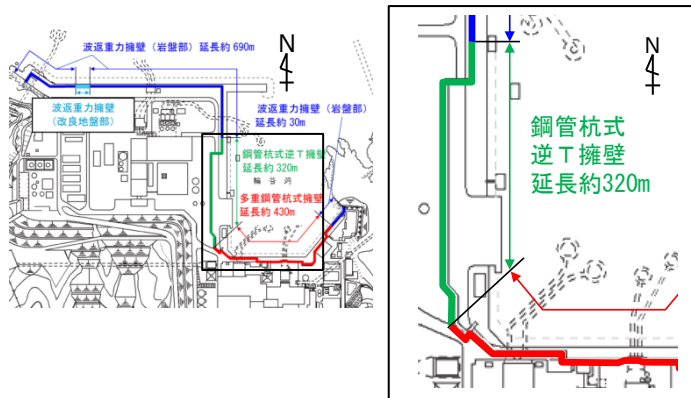
120

- 防波壁周辺の被覆層の分布状況及び地山の岩盤の分布状況を以下に示す。

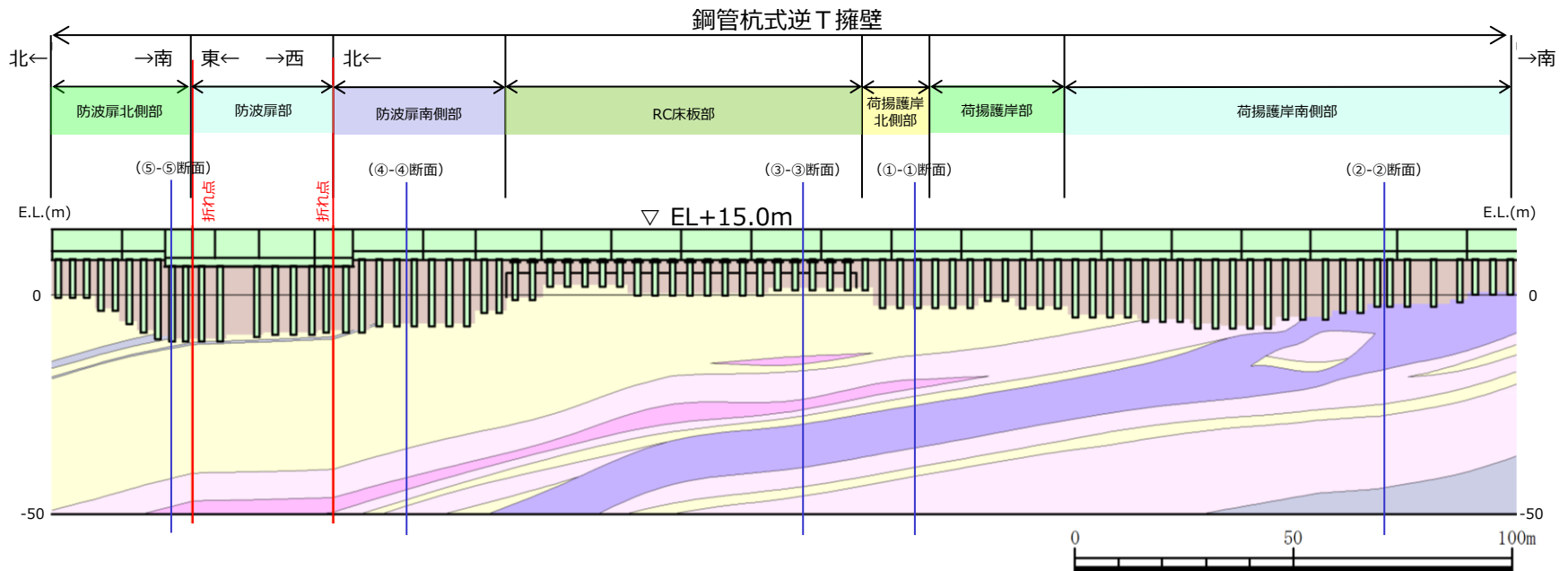
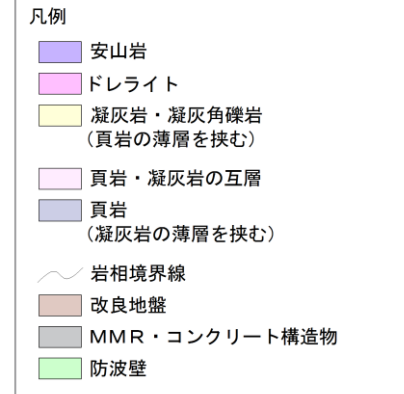


6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.3 周辺地質（2/7）



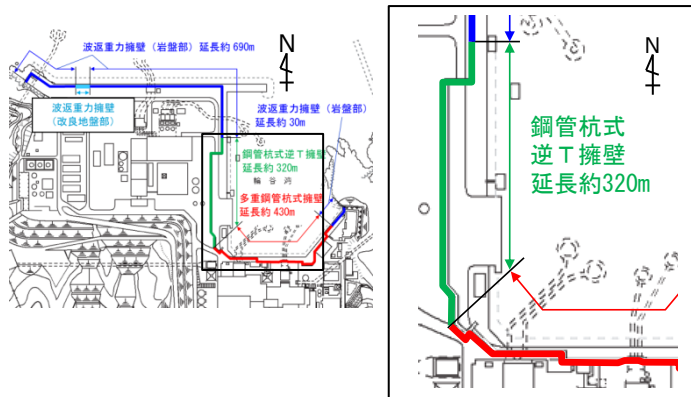
■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の岩相縦断図を以下に示す。



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 岩相縦断図

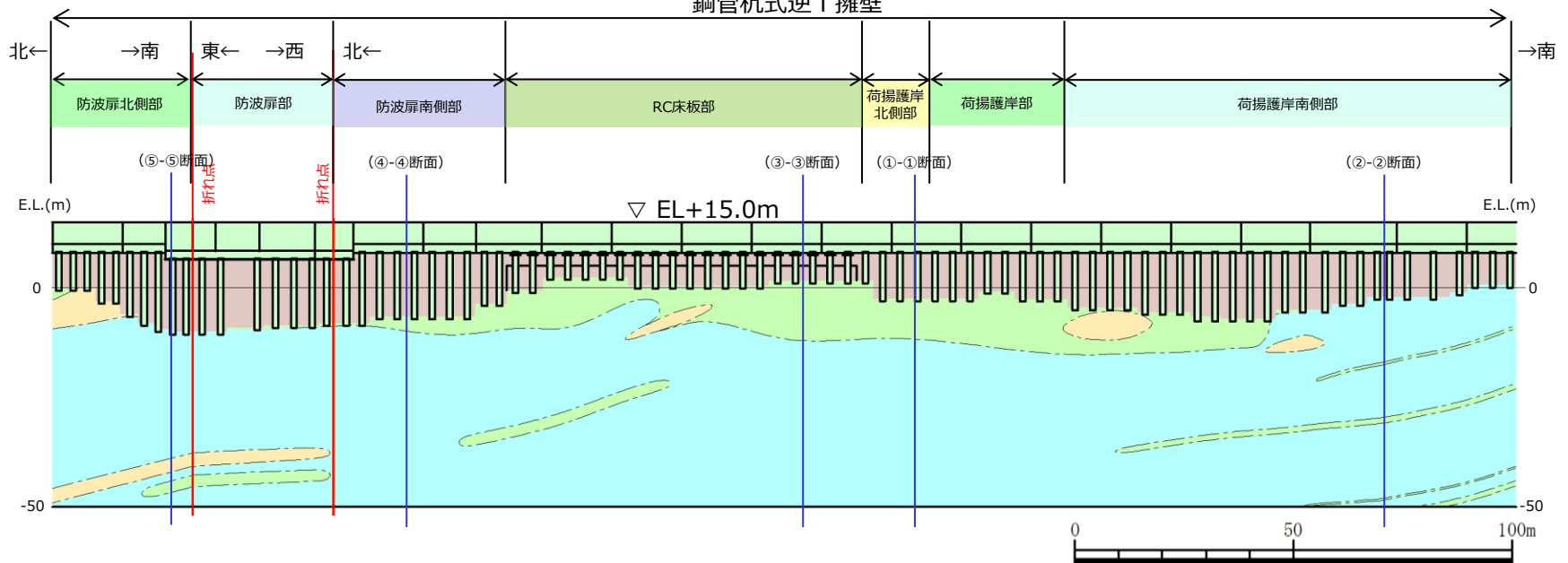
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.3 周辺地質（3/7）



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

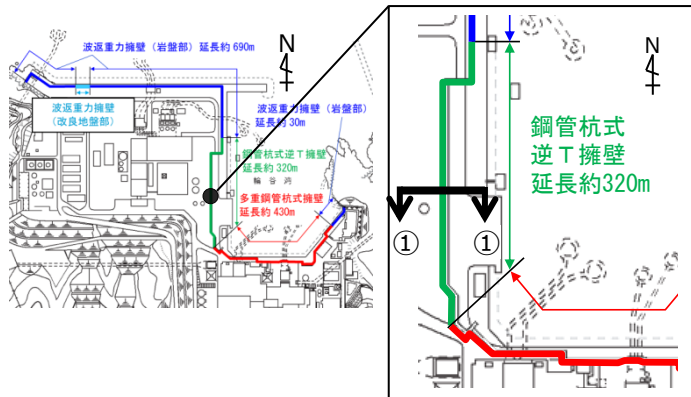
鋼管杭式逆T擁壁



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 岩級縦断面図

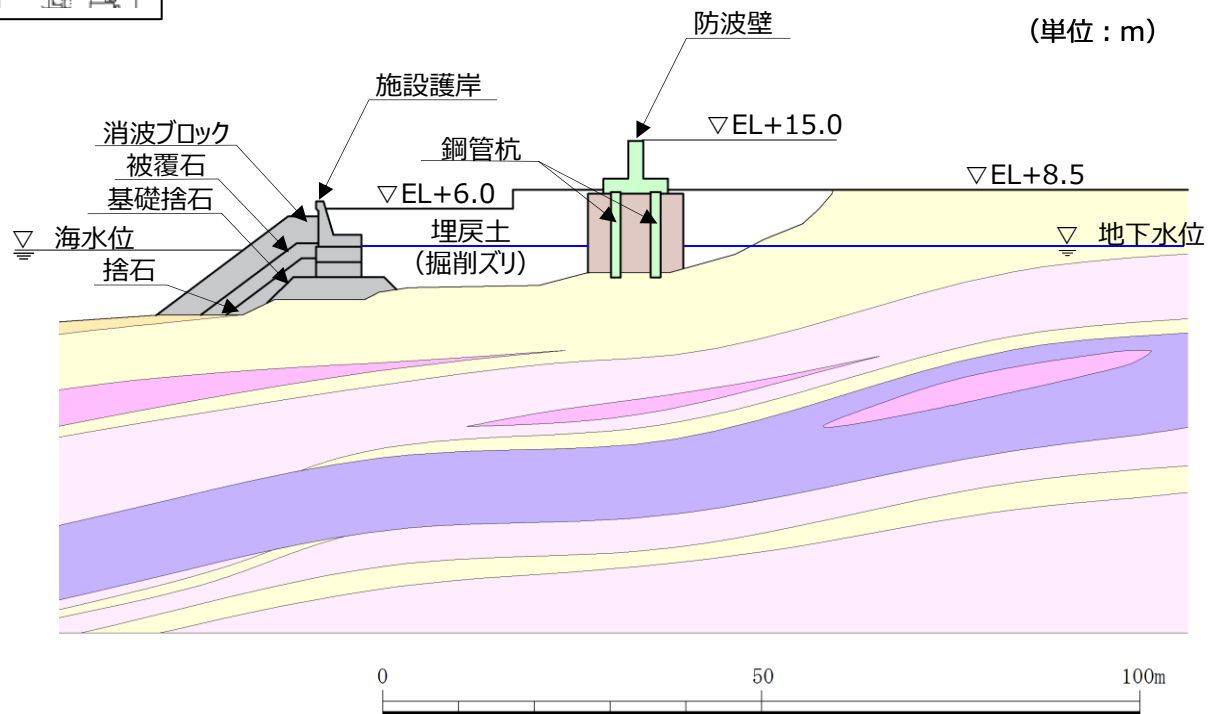
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.3 周辺地質（4/7）



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

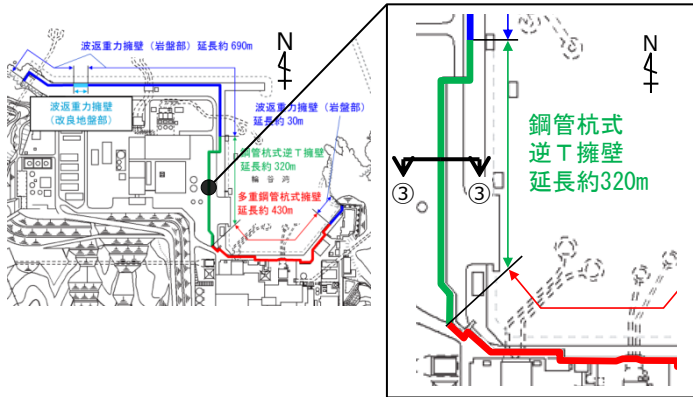
凡例	
	埋戻土（掘削ズリ）
	砂礫層
	安山岩
	ドレライト
	凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)
	頁岩・凝灰岩の互層
	岩相境界線
	改良地盤
	MMR・コンクリート構造物 被覆石・捨石・基礎捨石
	防波壁



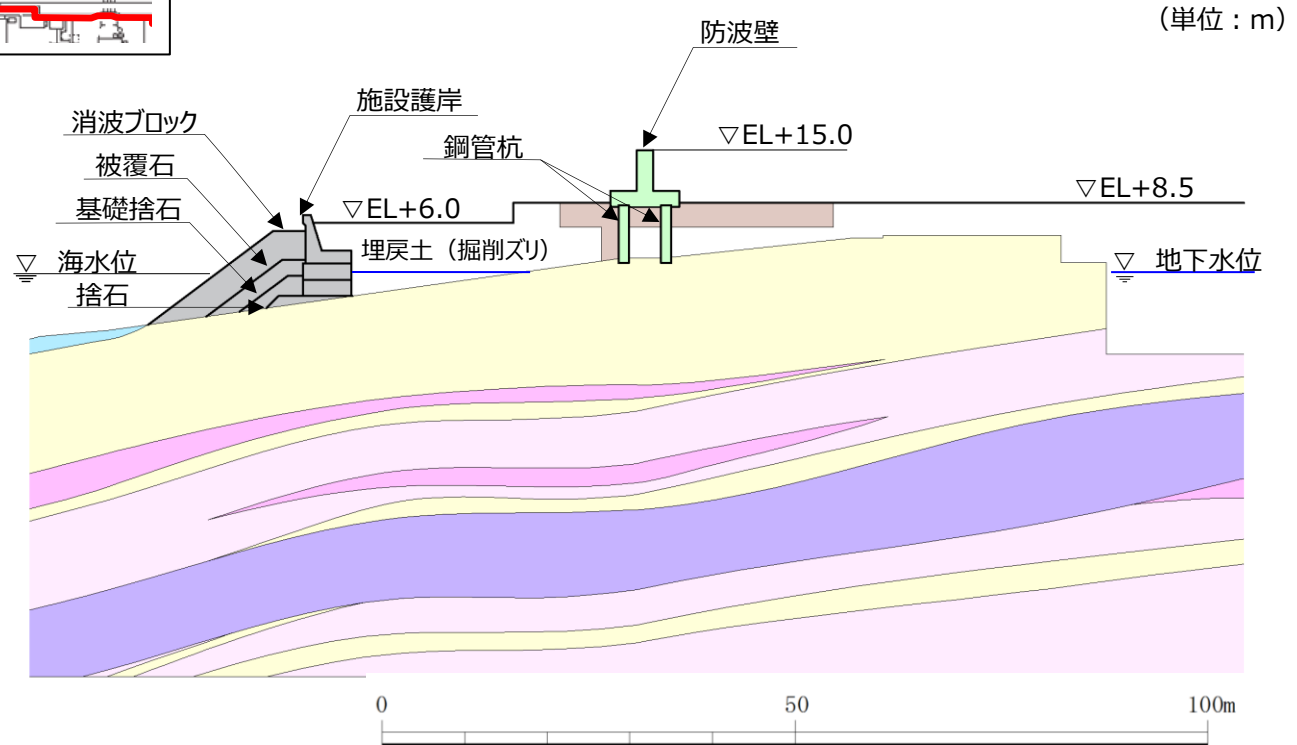
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）荷揚護岸北側部（①-①断面）
地質断面図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.3 周辺地質（5/7）



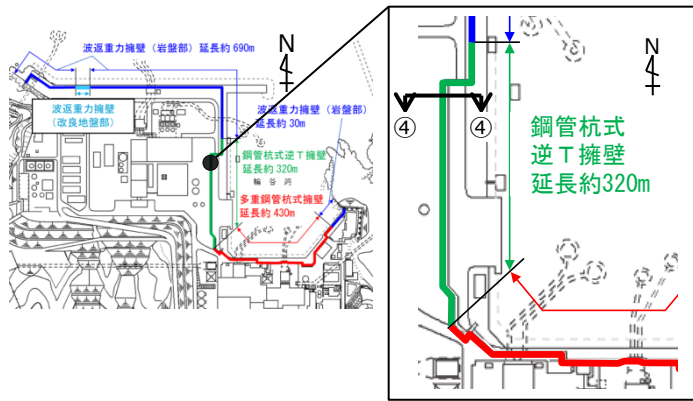
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）RC床板部の地質断面図を以下に示す。
- ③-③断面は、鋼管杭を岩盤に根入れする。また、周辺の埋戻土（掘削ズリ）を地盤改良している。



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）RC床板部（③-③断面）
地質断面図

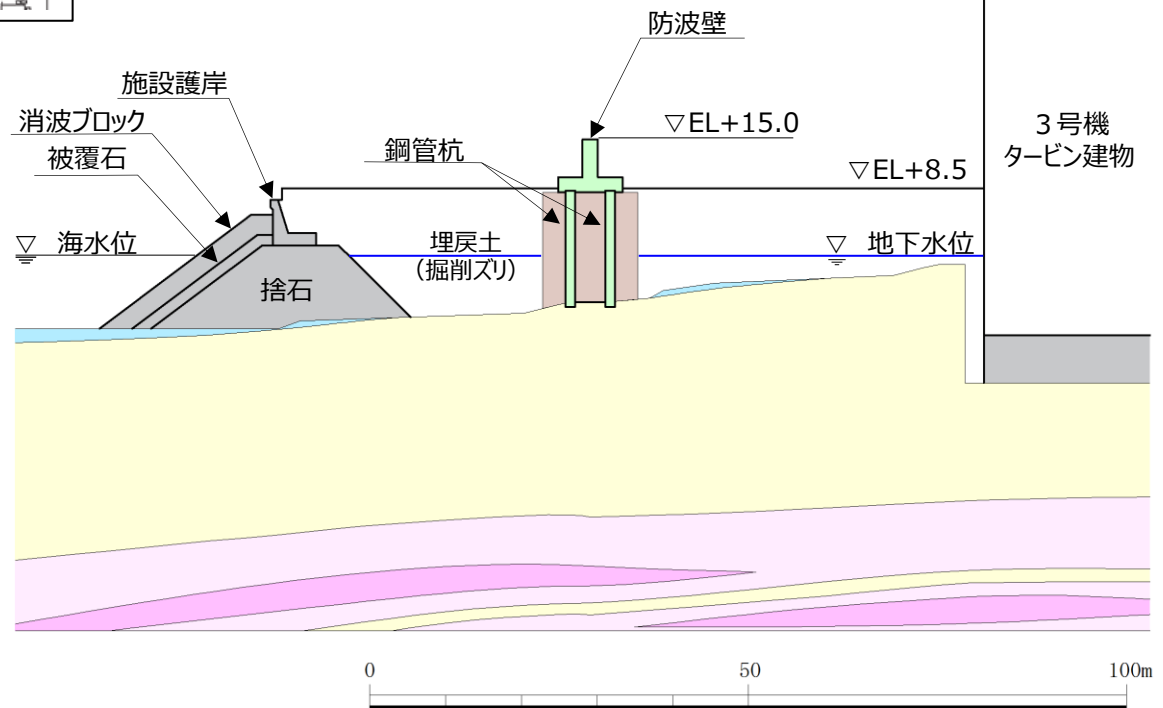
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.3 周辺地質（6/7）



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

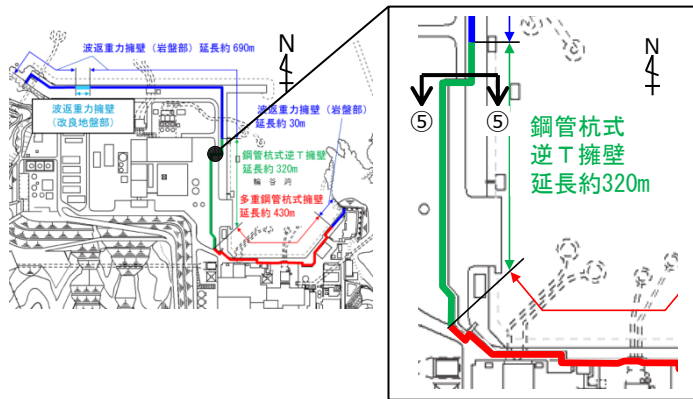
（単位：m）



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）防波扉南側部（④－④断面）地質断面図

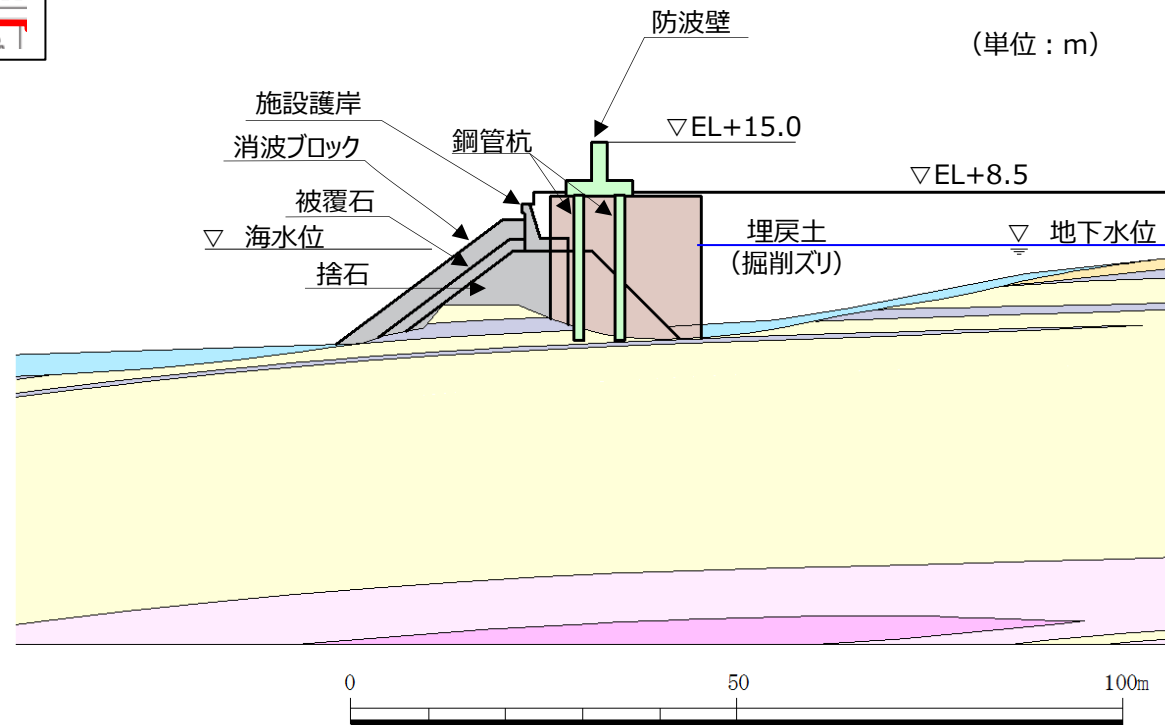
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.3 周辺地質（7/7）



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

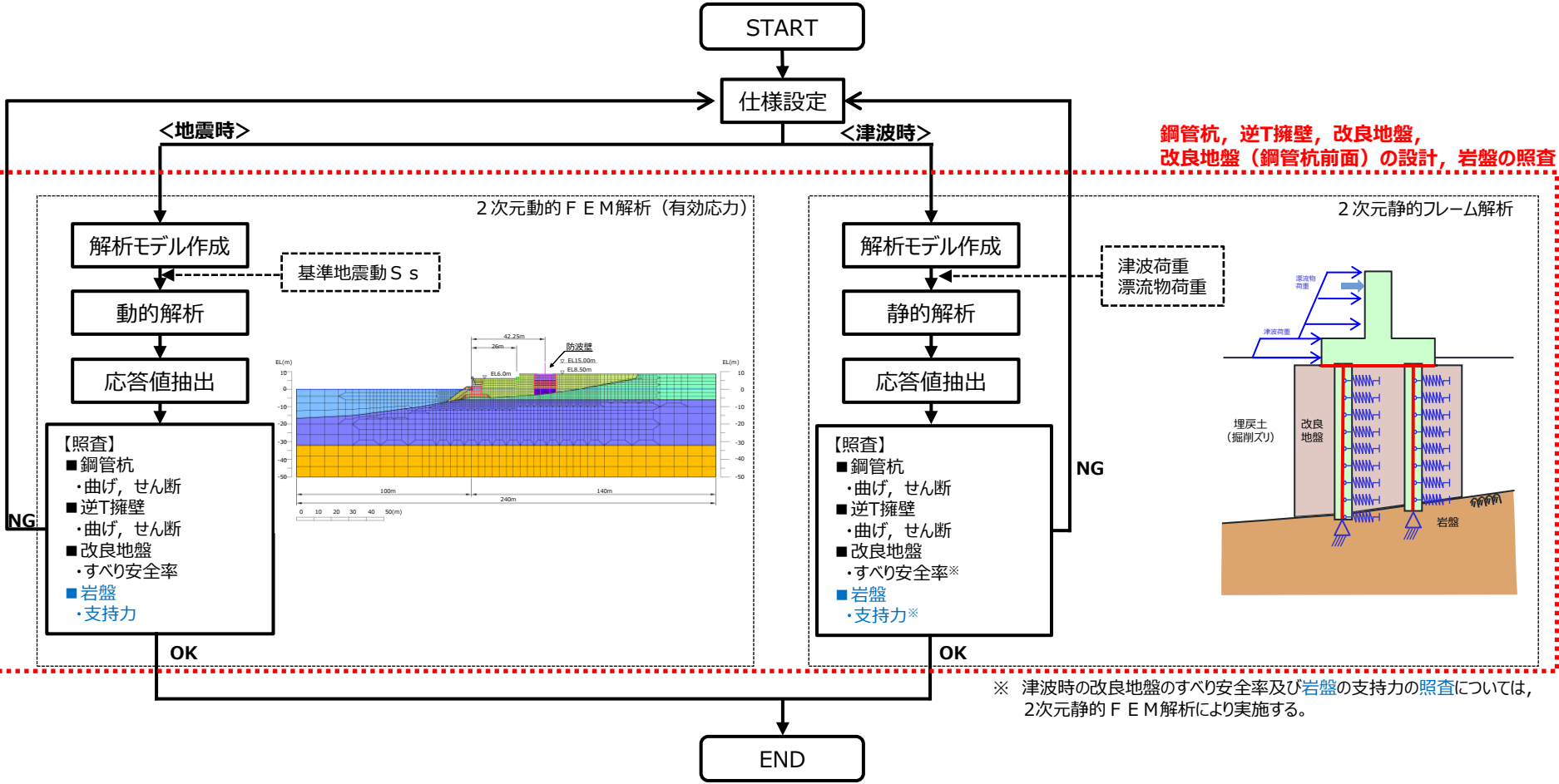
凡例	
	埋戻土（掘削ズリ）
	海底堆積物
	砂礫層
	ドレライト
	凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)
	頁岩・凝灰岩の互層
	頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む)
	岩相境界線
	改良地盤
	MMR・コンクリート構造物 被覆石・捨石
	防波壁



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）防波扉北側部（⑤-⑤断面）
地質断面図

6.4.1 設計フロー

■ 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



6.4.2 設計方針の概要（1）鋼管杭

鋼管杭の役割と設計方針概要

- 地震時，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次元動的 F E M解析により，杭の断面力を照査する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては，地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し，有効応力解析を用いる。

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

6.4.2 設計方針の概要（2）逆T擁壁

逆T擁壁の役割と設計方針概要

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

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

6.4.2 設計方針の概要（3）止水目地

止水目地の役割と設計方針概要

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

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

6.4.2 設計方針の概要（4）岩盤

地盤（岩盤）の役割と設計方針概要

- 岩盤は鋼管杭を鉛直支持し，基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 地震時は，地盤と施設を連成した2次元動的 F E M解析を実施する。
- 2次元動的 F E M解析に当たっては，地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し，有効応力解析を用いる。
- 津波時は，地盤と施設を連成した2次元静的 F E M解析を実施する。
- 防波壁（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最大軸力を比較することにより確認する。

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

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（5）改良地盤

地盤（改良地盤及び改良地盤（鋼管杭前面））の役割と設計方針概要

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

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

※ RC床板については、保守的に地盤改良として扱う。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（6）地震時の検討（2次元動的有限要素解析（有効応力解析））（1/2）

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

解析の目的

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

結果の利用

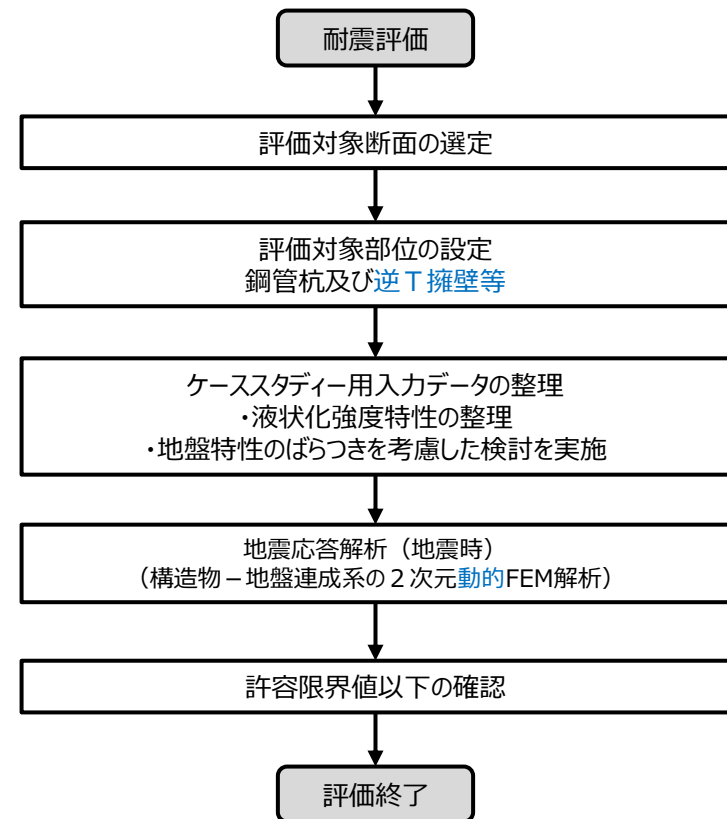
- 鋼管杭及び逆T擁壁等の照査
- 止水目地の変形量
- 地震時応答（変形量を含む）

解析条件

- 地盤物性のばらつきを考慮する。

「代表断面選定の考え方」

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

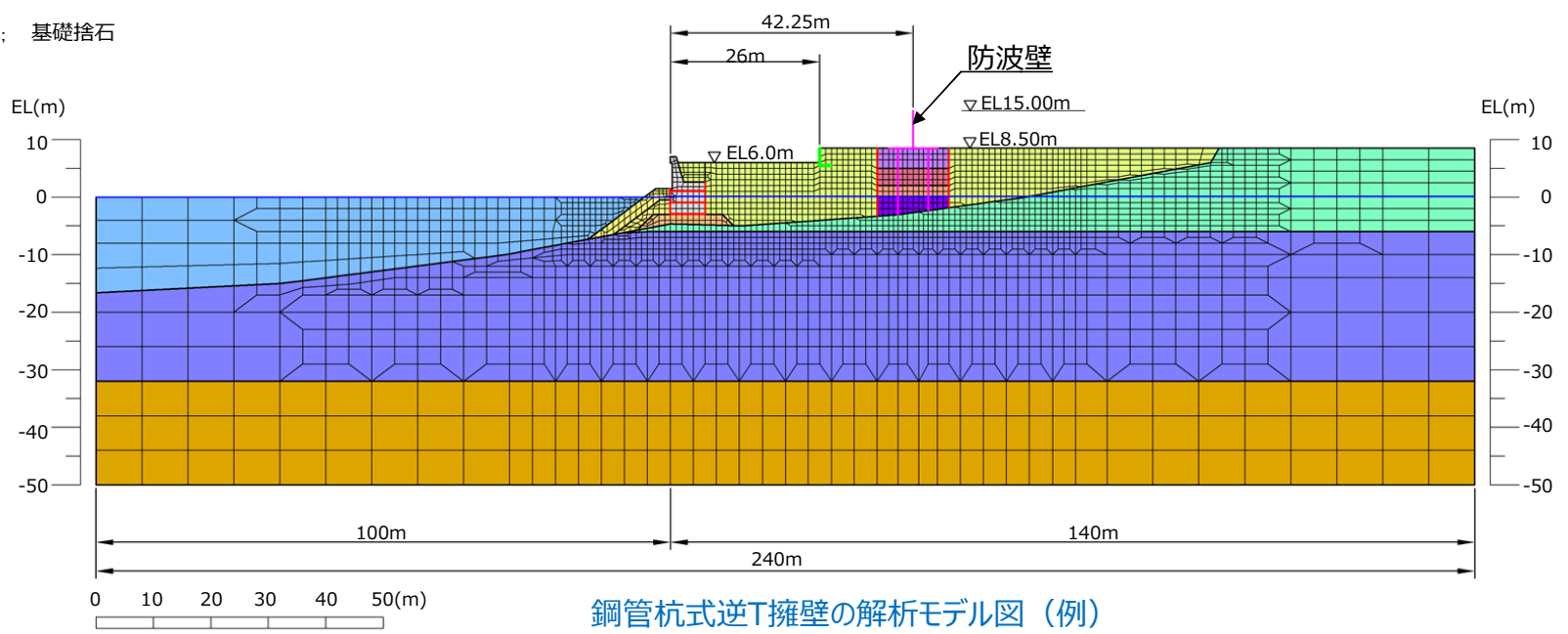


6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.2 設計方針の概要（6）地震時の検討（2次元動的有限要素解析（有効応力解析））（2/2）

モデル化方針（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）

6.4.2 設計方針の概要（7）津波時の検討（静的フレーム解析）

■ 津波時の検討は、静的フレーム解析にて行う。以下に、解析の概要を示す。

解析の目的

- 鋼管杭，逆T擁壁の挙動評価（津波時）

結果の利用

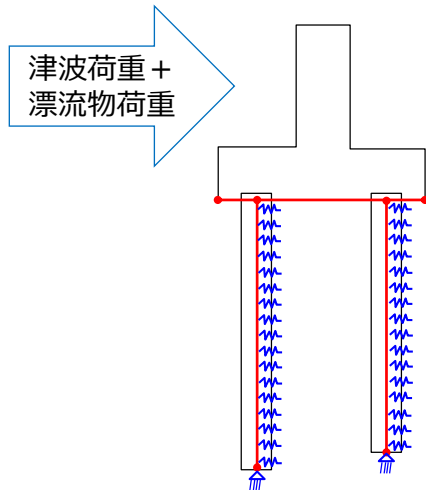
- 鋼管杭，逆T擁壁の照査
- 止水目地の変形量

モデル化方針

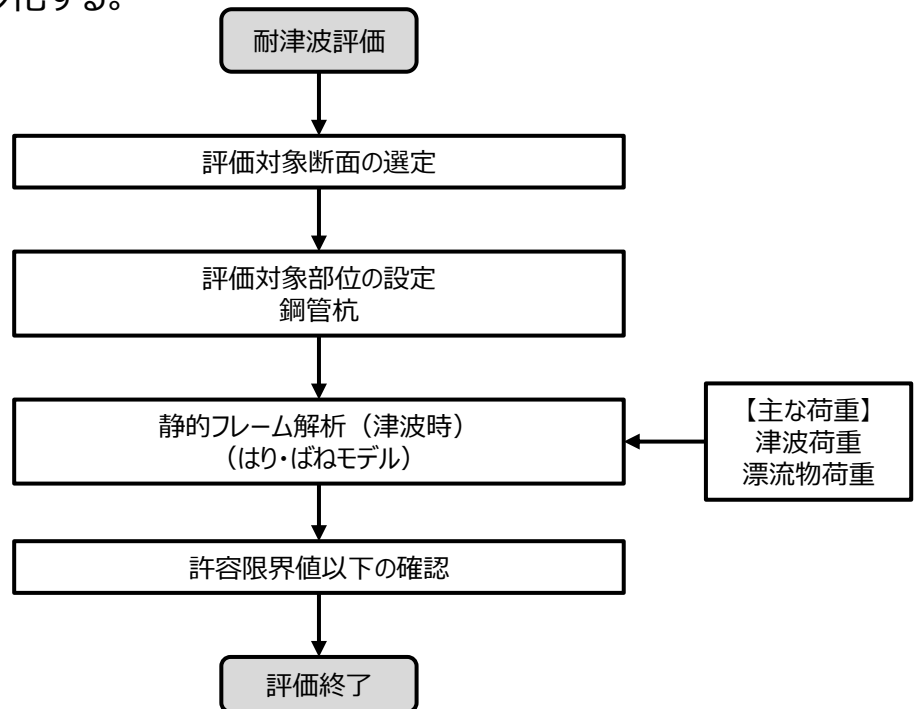
- 鋼管杭，逆T擁壁は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。
- 岩盤は地盤ばねでモデル化する。

解析条件

- 解析用物性値（静的物性）を用いる。



鋼管杭式逆T擁壁 解析モデル図(例)



6.4.3 荷重と発生断面力の概要

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）については，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。
- 防波壁の構造成立性には，このような構造に作用する荷重に対し，各部位が所要の機能を発揮して安全であることが必要である。
- このような観点から，防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）に作用する荷重，構造体の発生断面力について整理する。

6.4.3 荷重と発生断面力の概要（1）津波時

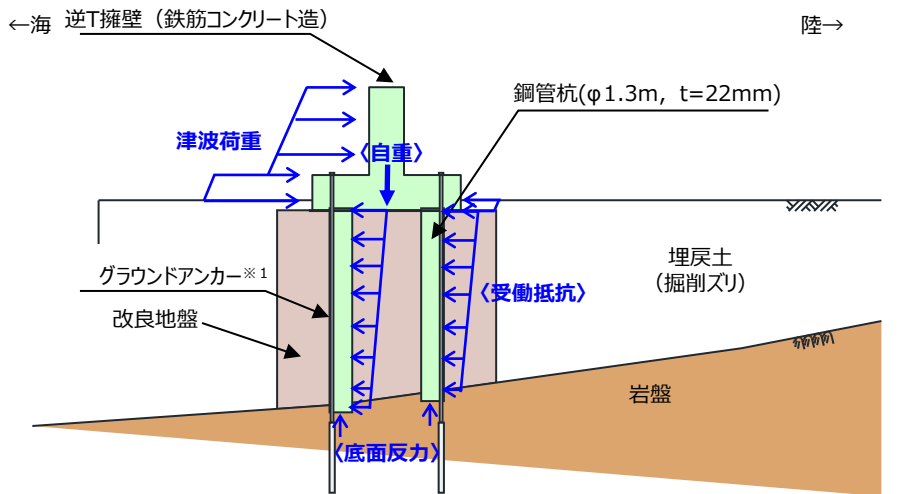
- 津波時の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

- 逆T擁壁に作用する津波荷重は、 縦壁・フーチング・鋼管杭を介して鋼管杭背後の改良地盤に伝わり、 反力として受働抵抗が働く。

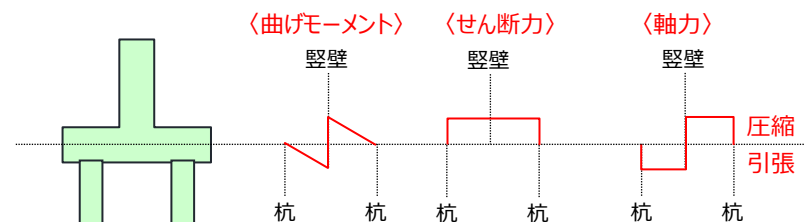
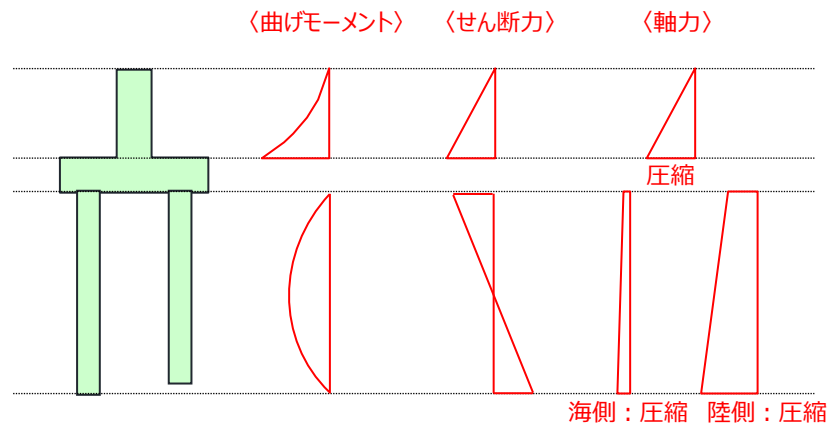
【発生断面力（応力状態）】

- 逆T擁壁の発生断面力は縦壁とフーチングとの接合部に集中する。また、 鋼管杭とフーチング及び岩盤との接合部がヒンジ構造であるため、 鋼管杭の曲げモーメントは鋼管杭中央付近、 せん断力は鋼管杭両端に集中する。



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

荷重図



発生断面力

6.4.3 荷重と発生断面力の概要（1）地震時（1/2）

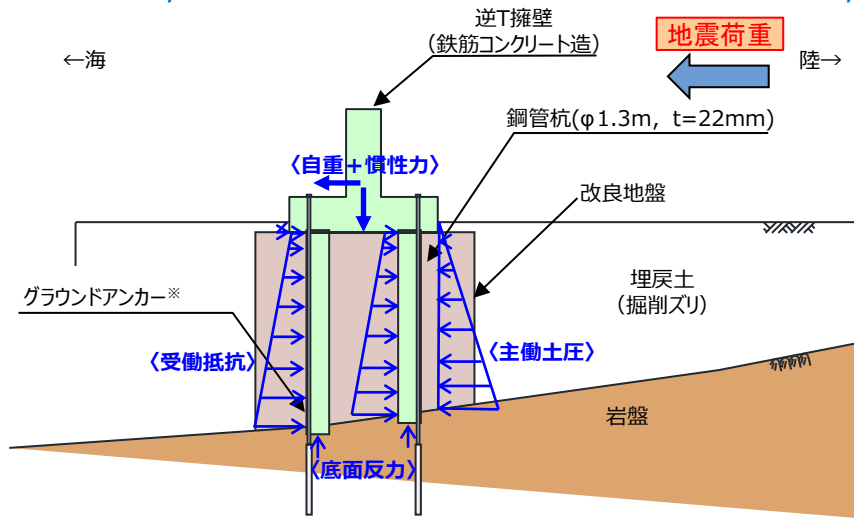
■ 地震時（海側方向）の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

■ 逆T擁壁及び鋼管杭に作用する地震力（慣性力及び主動土圧）は、 豎壁・フーチング・鋼管杭を介して鋼管杭前面の改良地盤に伝わり、反力として受働抵抗が働く。

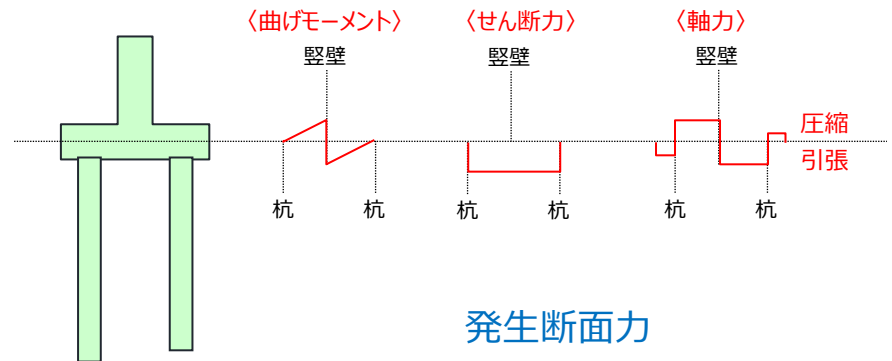
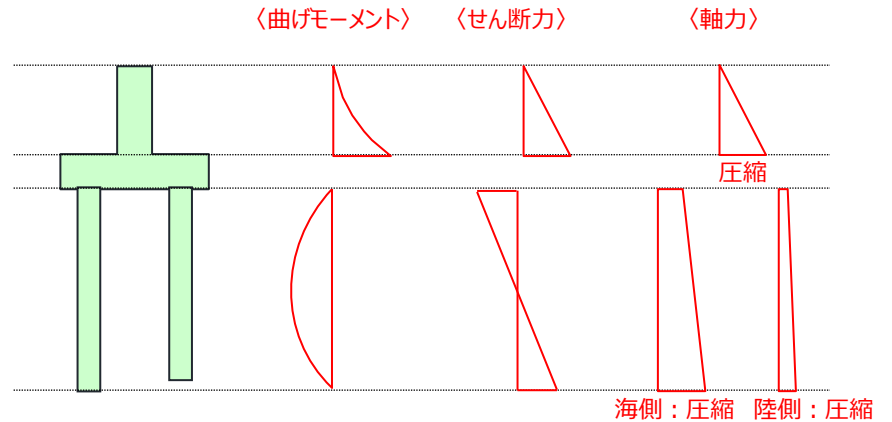
【発生断面力（応力状態）】

■ 逆T擁壁の断面力は豎壁とフーチングとの接合部に集中する。また、鋼管杭とフーチング及び岩盤との接合部がヒンジ構造であるため、鋼管杭の曲げモーメントは鋼管杭中央付近、せん断力は鋼管杭両端に集中する。



※ 1 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。
※ 2 雪荷重、風荷重は省略

荷重図



発生断面力

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.3 荷重と発生断面力の概要（1）地震時（2/2）

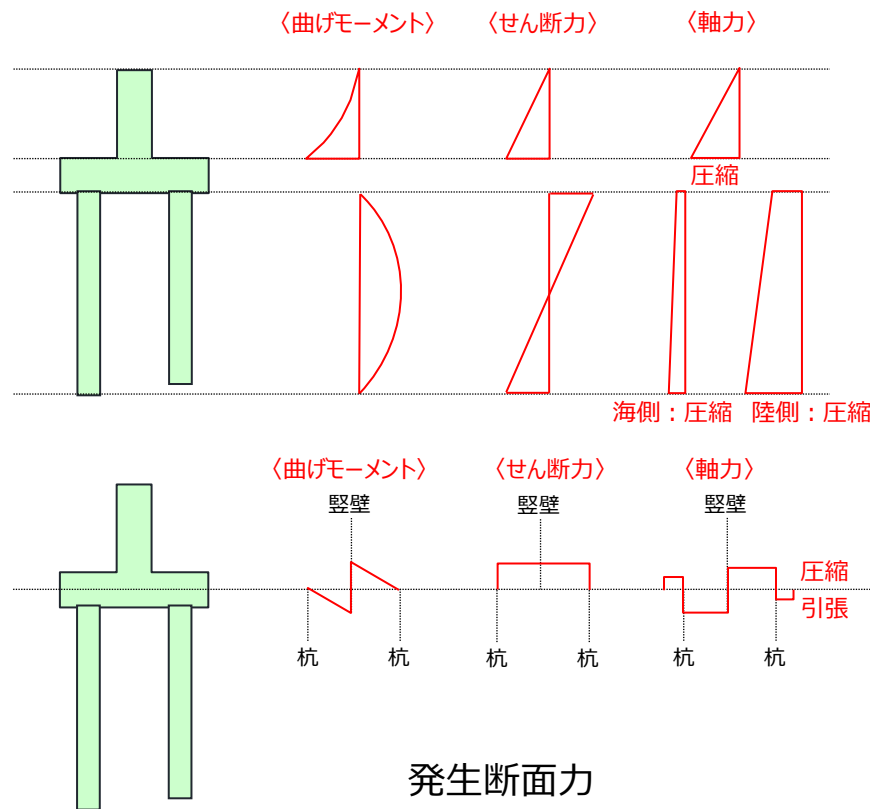
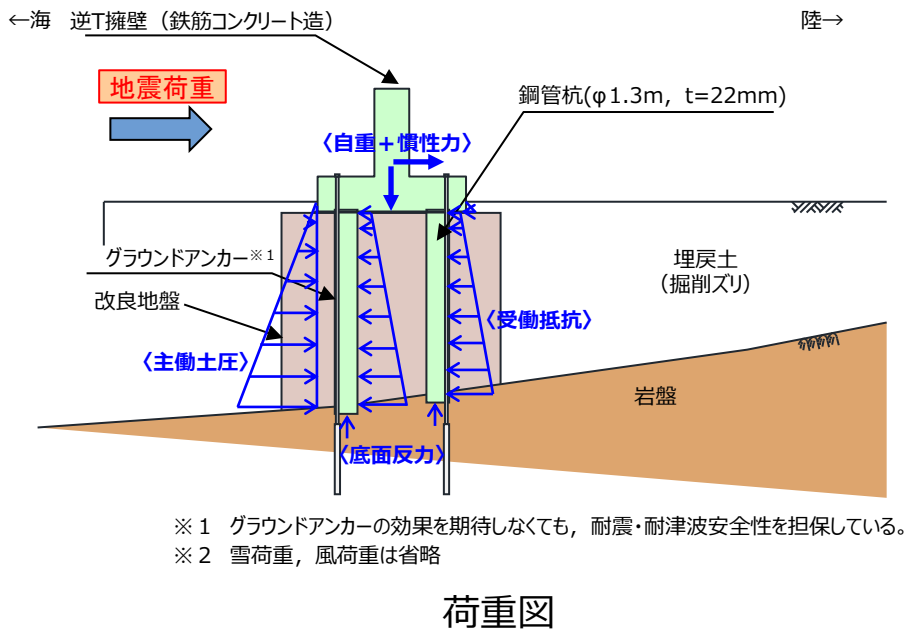
■ 地震時（陸側方向）の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

■ 逆T擁壁及び鋼管杭に作用する地震力（慣性力及び主動土圧）は、 豎壁・フーチング・鋼管杭を介して鋼管杭背後の改良地盤に伝わり、反力として受働抵抗が働く。

【発生断面力（応力状態）】

■ 逆T擁壁の断面力は豎壁とフーチングとの接合部に集中する。また、鋼管杭とフーチング及び岩盤との接合部がヒンジ構造であるため、鋼管杭の曲げモーメントは鋼管杭中央付近、せん断力は鋼管杭両端に集中する。



6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

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

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

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、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（繰返し津波）を考慮して、逆T擁壁や止水目地の変形を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭の変形が概ね弾性範囲であることを確認する。 	○
	<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－岩盤間に相対変形が生じ、せん断力が鋼管杭に作用して鋼管杭が損傷することで、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形を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭が概ね弾性範囲であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 隣接するブロックからの荷重により、鋼管杭が損傷し逆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"> 地震により杭頭部に曲げモーメントが集中し、曲げ破壊することで、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。【損傷モードと弱部（2）】 	①	<ul style="list-style-type: none"> 曲げモーメントが大きい設計荷重状態ではヒンジ結合として挙動すると考えているため、模型実験により杭頭部の力学的特性について確認するとともに、杭頭部に曲げモーメントが発生する剛結合による影響検討も行い、両ケースについて防波壁に損傷が発生しないことを確認する。（6.5（1）参照） 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に施設護岸の一部が損傷し、津波により運ばれて逆T擁壁に衝突することで鋼管杭が損傷し、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 地震時に施設護岸の一部が損傷し、受働抵抗が低下することにより鋼管杭が損傷し逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。【損傷モードと弱部（3）】 	①	<ul style="list-style-type: none"> 数値シミュレーションにより、護岸際は流速が小さいことを確認しているため、護岸構成部材は津波により漂流物とならないと判断する。 防波壁前面の施設護岸をモデル化しないケースにおいて、防波壁の構造成立性を確認する。 	—

※1 ①地震時、②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（－）。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

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

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

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
逆T擁壁	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 逆T擁壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、杭頭接合部に応力が集中することで、杭頭接合部が破損し、逆T擁壁が損傷するか、位置を保持できなくなり、遮水性を喪失する。 	①, ②		○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重により鋼管杭接続部に押抜きせん断応力が働き、押抜きせん断破壊が生じることで逆T擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。【損傷モードと弱部（2）】 	①, ②		○
	<ul style="list-style-type: none"> 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、竜巻及びその随件事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、逆T擁壁が転倒もしくは滑動により透水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 逆T擁壁の転倒及び滑りの有無を確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に施設護岸の一部が崩壊し、津波により運ばれて逆T擁壁に衝突することで逆T擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 数値シミュレーションにより、護岸際は流速が小さいことを確認しているため、護岸構成部材は津波により漂流物とならないと判断する。 	—

※1 ①地震時、②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（－）。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

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

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

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
止水目地 (支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波時により発生した施工ブロック間の相対変形により、目地の許容変形量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 異種構造形式の境界部、防波壁周辺の隣接構造物、改良地盤の有無を考慮して選定した断面について止水目地の相対変形量を算定し、許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物が衝突することにより、目地が損傷し遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地は、津波漂流物の衝突による損傷を防止するため、防波壁の陸側に設置する。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、止水目地が損傷し、遮水性を喪失する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 万一、竜巻及びその随伴事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。 	—

※1 ①地震時, ②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

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

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

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、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こと及び地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性を保持）するため、改良地盤がすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震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、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。 			
改良地盤 （鋼管杭前面）	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性を保持）するため、改良地盤がすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。 （6.5（4）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、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。 			

※1 ①地震時, ②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

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

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

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に鋼管杭下端底面のすべりが生じ、杭の変形量が大きくなり、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が破壊し、鉛直支持機能を喪失する。【損傷モードと弱部（2）】 	①	<ul style="list-style-type: none"> 杭先端部の最大軸力が地盤の極限支持力以下であることを確認する。（6.5（2）参照） 	○

※1 ①地震時，②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.4 損傷モードと弱部（2）共通（地震時・津波時）

- 鋼管杭及び逆T擁壁について、地震時及び津波時に局所的に応力が集中し、構造上の弱部となる箇所は以下の通り。

【鋼管杭】

・逆T擁壁－改良地盤間に相対変形が生じ、せん断力が鋼管杭に作用して鋼管杭が損傷することで、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。

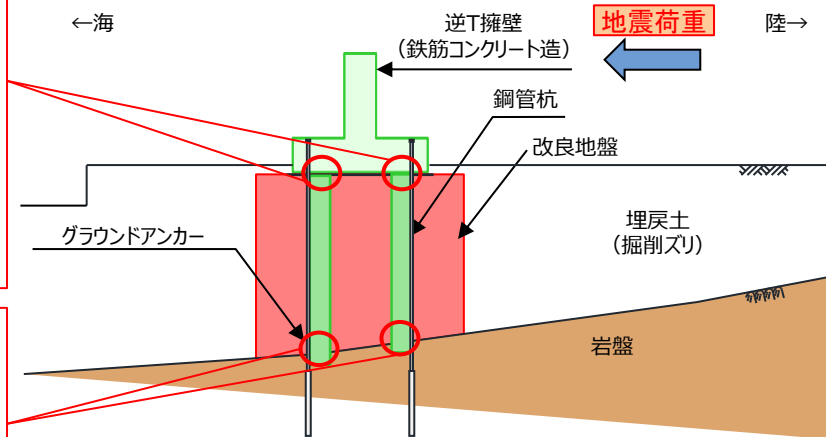
・杭頭部に曲げモーメントが集中し、曲げ破壊することで、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。

【逆T擁壁】

押し抜きせん断応力が働き、押し抜きせん断破壊が生じることで逆T擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。

【岩盤】

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ことで、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。



地震時

【鋼管杭】

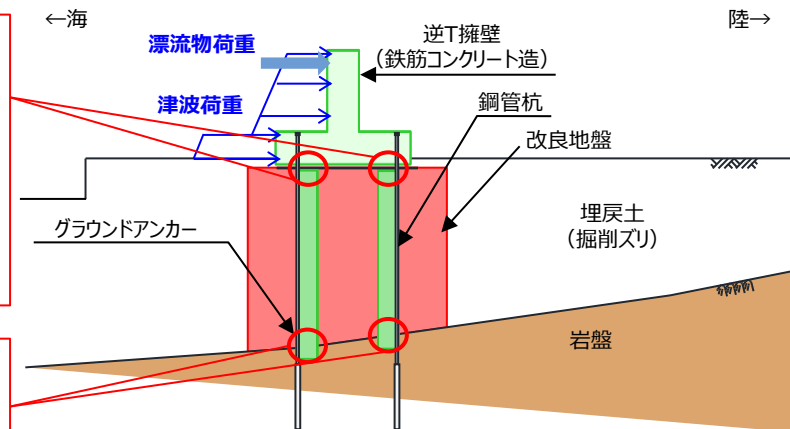
逆T擁壁－改良地盤間に相対変形が生じ、せん断力が鋼管杭に作用して鋼管杭が損傷することで、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。

【逆T擁壁】

押し抜きせん断応力が働き、押し抜きせん断破壊が生じることで逆T擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。

【岩盤】

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ことで、逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。

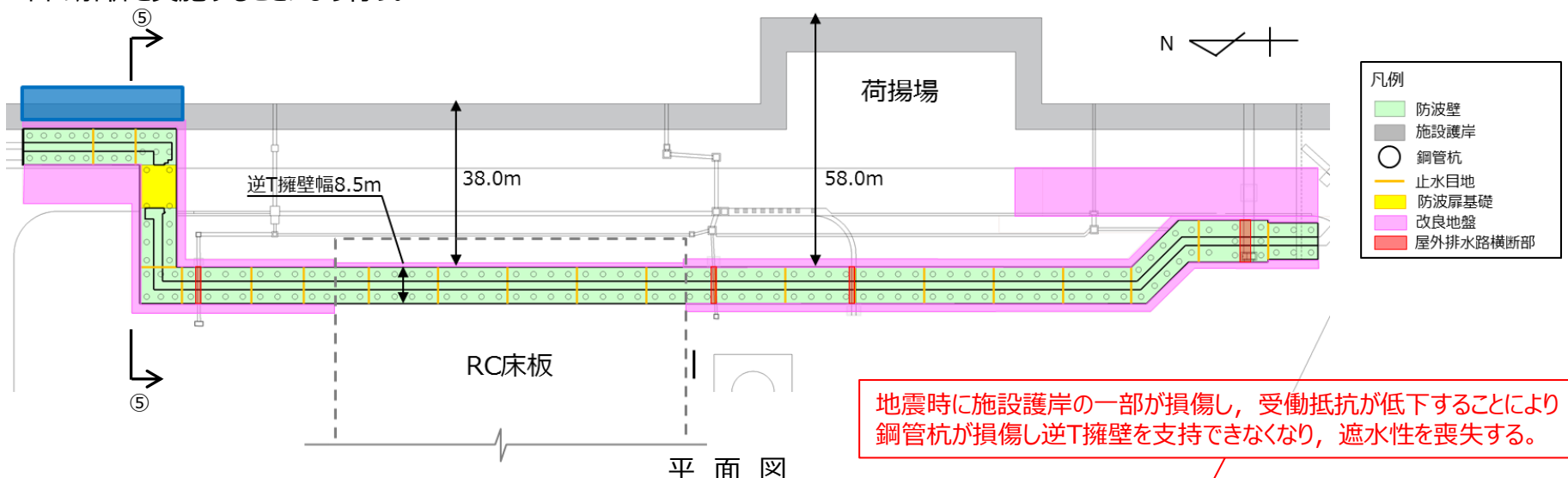


津波時

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

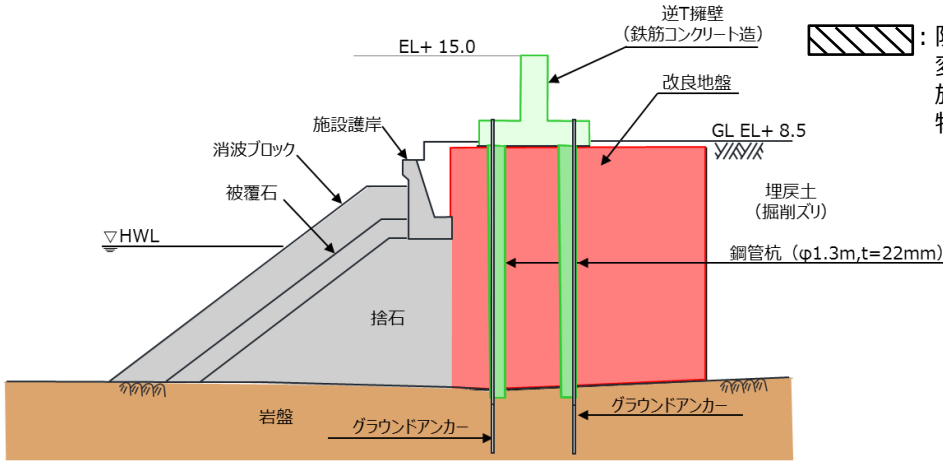
6.4.4 損傷モードと弱部（3）施設護岸が損傷した場合の鋼管杭の耐震性（地震時）

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



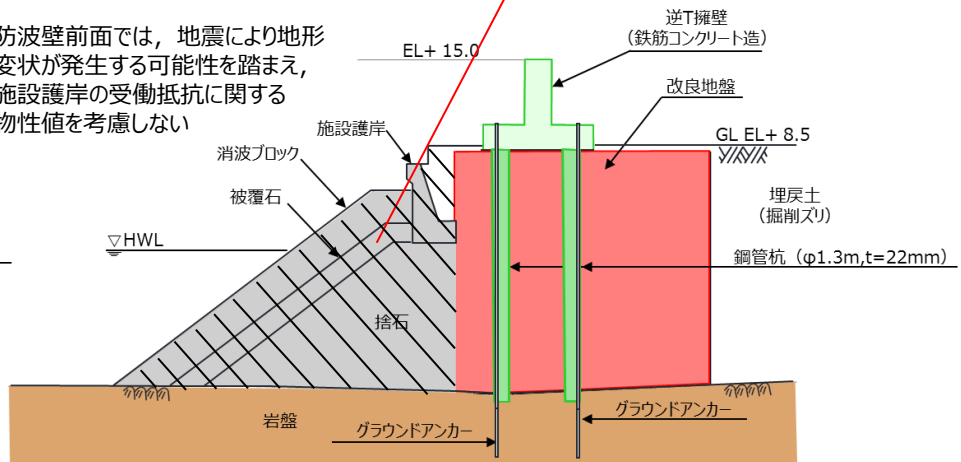
平面図

地震時に施設護岸の一部が損傷し、受働抵抗が低下することにより鋼管杭が損傷し逆T擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。



基本ケース

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



追加検討ケース（⑤-⑤断面）

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（1/3）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面の整理方針を以下の表に示す。
- 詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、上記の観点を考慮して断面を整理し、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。また、止水目地の機能維持の観点からも、異種構造物形式の境界部、防波壁周辺の隣接構造物、改良地盤の有無を考慮したうえで、防波壁の施工ブロック間の相対変形が最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。

耐震評価候補断面の整理（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））（1/3）

観点		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）		
		荷揚護岸北側部（①-①断面）	荷揚護岸南側部（②-②断面）	
要求機能		津波防護施設	津波防護施設	
①間接支持する設備		・なし	・なし	
②構造的 特徴	形式	<ul style="list-style-type: none"> ・線状構造物 ・鉄筋コンクリート構造物 ・鋼管杭8本を1ブロックとした壁体を連続して設置した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・線状構造物 ・鉄筋コンクリート構造物 ・鋼管杭6本又は8本を1ブロックとした壁体を連続して設置した。 	
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> ・逆T擁壁：幅8.5m，高さ7.0m ・鋼管杭：φ1.3m 	<ul style="list-style-type: none"> ・逆T擁壁：幅8.5m，高さ7.0m ・鋼管杭：φ1.3m 	
③周辺 状況	周辺地質	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭を根入れ0.5m程度で主にCM級岩盤に対して打設し、支持されている。 ・周辺地質は埋戻土（掘削ズリ）及び改良地盤が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：10.3m 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭を根入れ0.5m程度で主にCH級岩盤に対して打設し、支持されている。 ・周辺地質は埋戻土（掘削ズリ）及び改良地盤が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：10.0m 	
	地下水位※	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。	
	隣接 構造物	横断方向	・なし	・なし
		縦断方向	・なし	・異種構造形式（多重鋼管杭式擁壁）が隣接する。
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。		
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。		

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

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（2/3）

耐震評価候補断面の整理（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））（2/3）

観点		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）		
		RC床板部（③-③断面）	防波扉南側部（④-④断面）	
要求機能		津波防護施設		
①間接支持する設備		・なし		
②構造的 特徴	形式	<ul style="list-style-type: none"> ・線状構造物 ・鉄筋コンクリート構造物 ・鋼管杭8本を1ブロックとした壁体を連続して設置した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・線状構造物 ・鉄筋コンクリート構造物 ・鋼管杭6本又は8本を1ブロックとした壁体を連続して設置した。 	
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> ・逆T擁壁：幅8.5m，高さ7.0m ・鋼管杭：φ1.3m 	<ul style="list-style-type: none"> ・逆T擁壁：幅8.5m，高さ7.0m ・鋼管杭：φ1.3m 	
③周辺状況	周辺地質		<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭を根入れ0.5m程度で主にCM級岩盤に対して打設し，支持されている。 ・周辺地質は埋戻土（掘削ズリ）及び改良地盤が分布している。なお，一部岩盤が浅い区間において，防波壁前面のみ改良地盤を設置している。 ・地表面から岩盤までの深さ：6.3m 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭を根入れ0.5m程度で主にCM級岩盤に対して打設し，支持されている。 ・周辺地質は埋戻土（掘削ズリ）及び改良地盤が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：14.5m
	地下水位※		・解析結果等を踏まえて整理する。	
	隣接構造物	横断方向	・なし	
		縦断方向	・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. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針 6.4 設計方針

6.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（3/3）

耐震評価候補断面の整理（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））（3/3）

観点		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	
		防波扉北側部（⑤-⑤断面）	
要求機能		津波防護施設	
①間接支持する設備		・なし	
②構造的特徴	形式	<ul style="list-style-type: none"> ・線状構造物 ・鉄筋コンクリート構造物 ・鋼管杭6本又は10本を1ブロックとした壁体を連続して設置した。 	
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> ・逆T擁壁：幅8.5m，高さ8.5m ・鋼管杭：φ1.3m 	
③周辺状況	周辺地質	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭を根入れ0.5m程度で主にCM級岩盤に対して打設し，支持されている。 ・周辺地質は埋戻土（掘削ズリ）及び改良地盤が分布している。 ・捨石部の一部については，地盤改良を実施している。 ・地表面から岩盤までの深さ：16.5m 	
	地下水位※	・解析結果等を踏まえて整理する。	
	隣接構造物	横断方向	・東側に施設護岸が隣接する。
縦断方向		・異種構造形式（波返重力擁壁）が隣接する。	
④地震力特性		・観点③での整理のとおり，周辺地質の差はないため，観点④での断面選定は不要である。	
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。	

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

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.5 個別論点（1）設計の経緯

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

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.5 個別論点（2）岩盤支持力の確認（1/4）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は、十分な支持地盤（堅硬な岩盤）に鋼管杭を設置し、支持力評価においては、先端支持力のみを期待している。
- 鋼管杭の支持岩盤確認については、地盤調査の頻度による誤差を考慮し、事前ボーリング調査に加え、施工時のクローラードリルによる岩盤深さ確認等を念に実施した。また、その上で、鋼管杭を設置する際には、先端部の岩盤を採取して目視確認することで鋼管杭全周の岩盤支持をより確実なものとした。なお、支持岩盤の支持力については、2号炉原子炉設置許可申請時の平板載荷試験結果に基づき十分な支持力を有していると判断しているが、支持岩盤の支持力を直接確認するため、現地試験を実施する。
- 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成24年3月）」によると、杭基礎の多様な支持層（N値が20程度以上の粘性土層やN値が30程度以上の砂層、砂れき層等）に対する考え方が記載されている。
 - 杭基礎はその支持機構において杭先端の支持力を考慮するかどうかにより支持杭と摩擦杭とに大別される。長期的な基礎の変位を防止するためには一般的には支持杭とすることが望ましい。（中略）支持杭においては、杭の支持層への根入れ深さは一般に杭径程度以上確保するのがよい。
 - 地盤調査結果等に基づき設定した支持層の深さには、地盤調査の頻度や地盤の不均一性等による誤差が含まれていることを考慮し、杭長はある程度余裕を見込み、0.5m刻み程度で決定するのがよい。

$$R_u = q_d A + U \sum L_i f_i$$

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)

- 一般産業施設での設計事例については、「鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物（平成24年1月）」によると、鉄道の高架橋などにおける杭の根入れ深さについて、以下の記載がされている。

- 支持層が硬質粘性土または軟岩の場合の最小根入れ深さは、施工試験及び載荷試験結果等に基づき別途適切に設定するのがよいが、一般的に公称径の1/2程度としてよい。

$$q_{tk} = 5.1 c \leq 9000$$

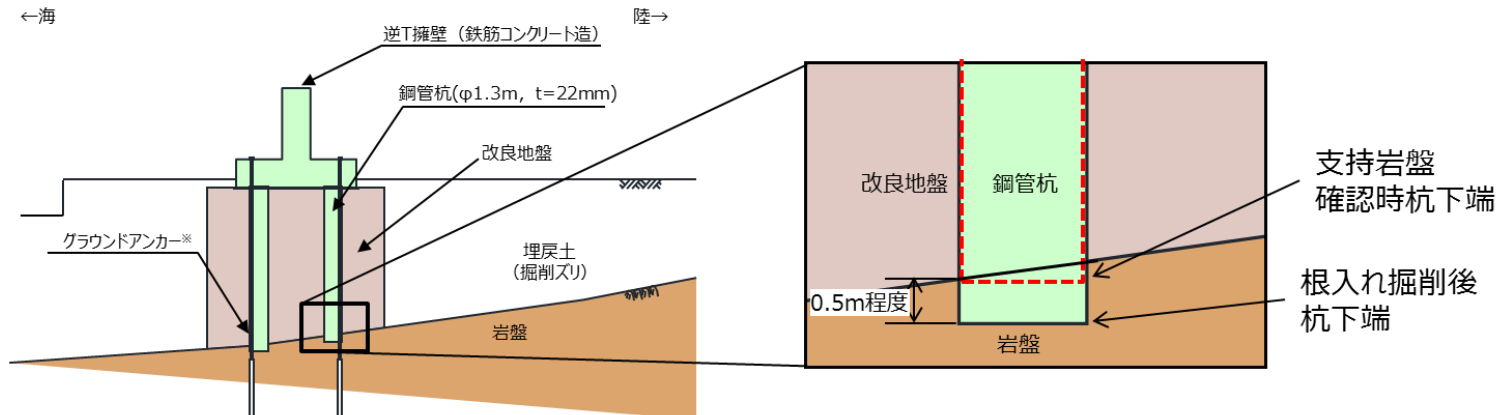
$$q_{tk} = 51 N \leq 9000$$

ここに、 q_{tk} : 杭の基準先端支持力度 (kN/m²) (場所打ち杭工法, 硬質粘性土または軟岩 (参考式))

N : 杭先端のN値 (N値50以上では換算N値としてよい)

杭先端から下方3Dの区間のN値 D : 杭の設計径

c : 地盤材料試験 (一軸圧縮試験等) により求めた粘着力度 (kN/m²)



※ 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。

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.5 個別論点（2）岩盤支持力の確認（2/4）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の鋼管杭は着岩判定後、支持岩盤の不陸を考慮し、施工上の配慮として0.5m程度（0.5d）の岩盤根入れ深さを確保した。以下に鋼管杭設置に係る施工手順を示す。
- ① 支持岩盤の深さは、既往のボーリング調査及び推定した岩盤線の変化点におけるクローラードリルによる調査から確認した。
 - ② 全旋回掘削機により掘削を行い、着岩予定深度の手前から約1m掘削を進める度に、掘削先端部の掘削土を採取した。また、施工時は全旋回掘削機の回転トルク値を確認し、支持岩盤の深度付近でのトルク値上昇を判断材料とした。
 - ③ 着岩手前では、採取した掘削土に埋戻土（掘削ズリ）が含まれるが、既往の調査から想定される着岩深度に達し、且つ、新鮮な堅岩が採取されることを目視確認することで、鋼管杭の全周が着岩したと判定した。なお、目視確認は、ボーリングデータを参考に、着岩深度で採取した岩塊が浸食等による丸みを帯びておらず、尖った形状であることなどを確認し、新鮮な堅岩であると判断した。（下部写真参照）
 - ④ 着岩判定後、支持岩盤の不陸を考慮し、鋼管杭全周を確実に岩盤支持させるため、更に0.5m程度（0.5d）掘削して掘削完了し、鋼管杭を設置した。



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）支持岩盤目視確認例

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

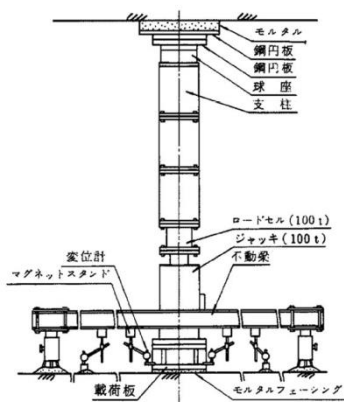
6.5 個別論点（2）岩盤支持力の確認（3/4）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の鋼管杭の支持岩盤は主にCM級～CH級岩盤であり、2号炉原子炉設置許可申請で実施した試掘坑での平板載荷試験結果に基づき、支持力照査にはCM級岩盤の極限支持力を用いることとしている。

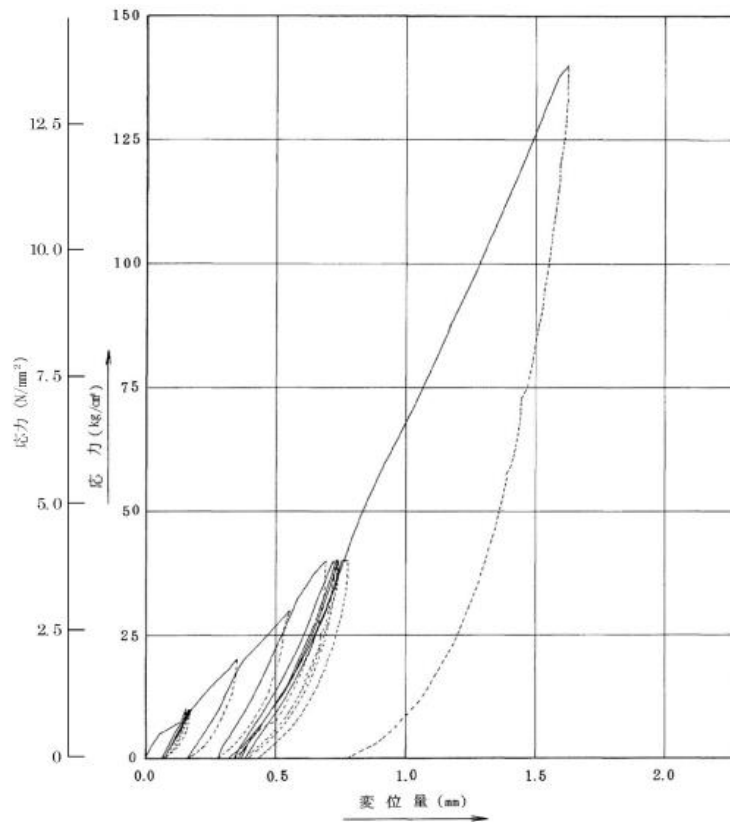


● : 試験位置

平板載荷試験位置図(2号試掘坑平面図)



平板載荷試験装置

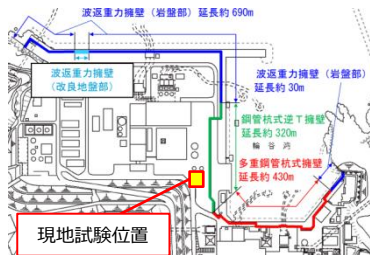


CM級の平板載荷試験結果

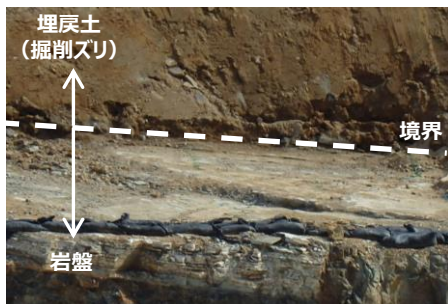
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.5 個別論点（2）岩盤支持力の確認（4/4）

- 現地試験方法について、防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の鋼管杭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していることから、先端支持力を直接計測できる「平板載荷試験」を選定した。
- 平板載荷試験について、防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の支持岩盤と同種の岩盤が出現するまで掘削し、実際の鋼管杭の根入れ深さと同様に、着岩から0.5m以内の深度で試験を実施した。なお、試験は地盤工学会の「JGS 1521：地盤の平板載荷試験方法」に基づいた方法とし、試験用荷重は地震時と津波時を包絡した鋼管杭（ $\Phi 1,300\text{mm}$, $t=22\text{mm}$ ）1本あたりの杭先端の設計支持力度に余裕を考慮した荷重とした（単位面積当たりの載荷条件 5.5N/mm^2 ）。
- 平板載荷試験の結果、最大荷重作用時において弾性挙動が確認された。以上より、支持岩盤については、極限支持力度が地震時及び津波時の設計支持力度以上であり、十分な強度を有している。



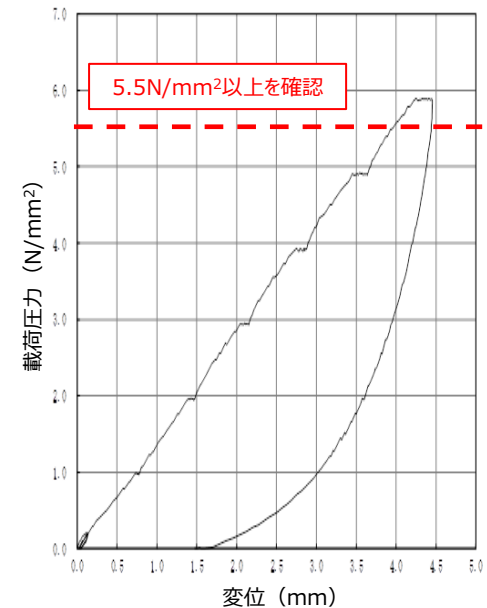
現地試験位置（平面位置）



現地試験位置（露岩状況）



試験状況（全景）

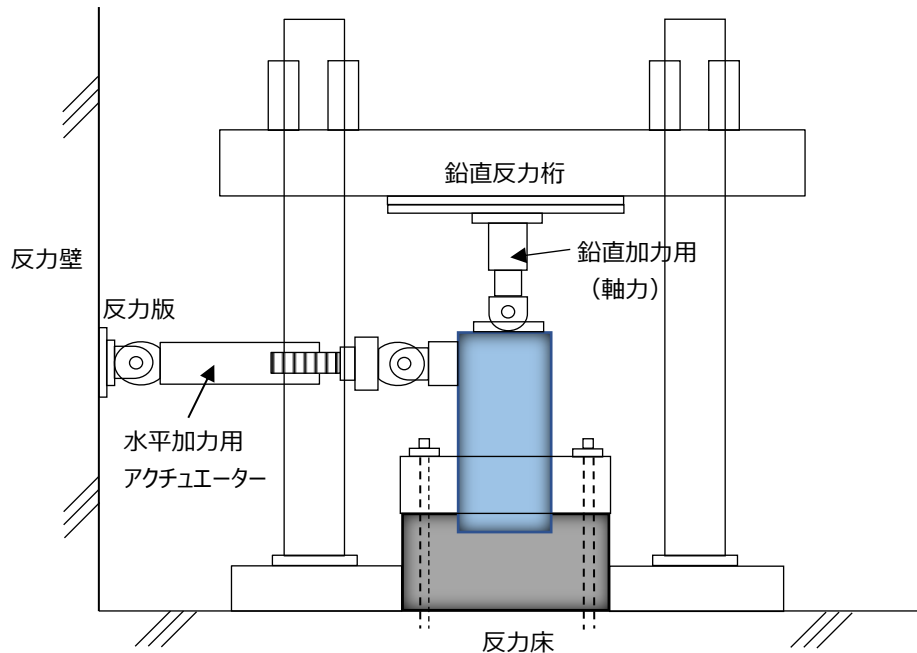


現地試験結果

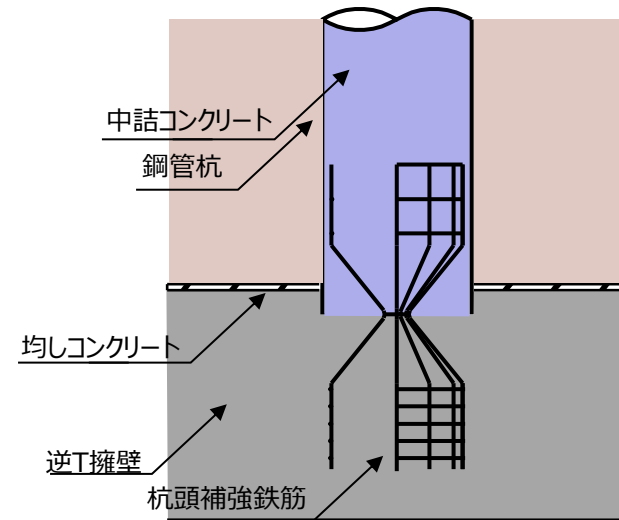
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.5 個別論点（3）杭頭部の力学特性確認実験（1/2）

- 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成29年11月）」によると、杭とフーチングとの接合部について、以下の記載がされている。
 - ・原則として剛結としているが、剛結としない場合には、接合方法の力学特性等を実験等により検証したうえで、個別にモデル化等について検討する必要がある。
- 上記を踏まえ、ヒンジ結合として設計・施工した防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の杭頭部について、模型実験により地震荷重もしくは津波荷重が作用した際の杭頭部の力学挙動が剛からヒンジへ移行することを確認する。
- 模型実験はスケール効果による影響を小さくする観点から出来るだけ実機に近いサイズでの実験となるよう、1/2の模型縮尺とする。



模型実験概要図



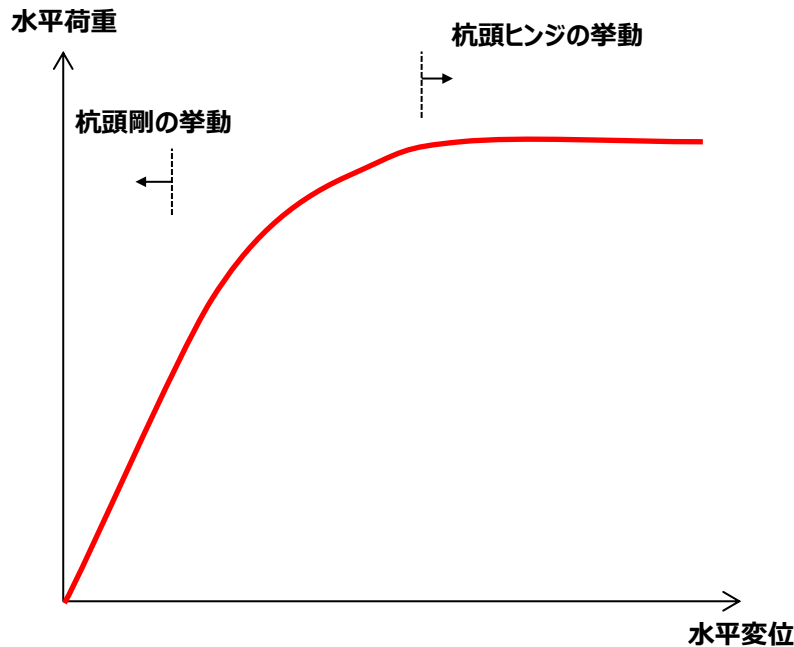
杭頭部 拡大図

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

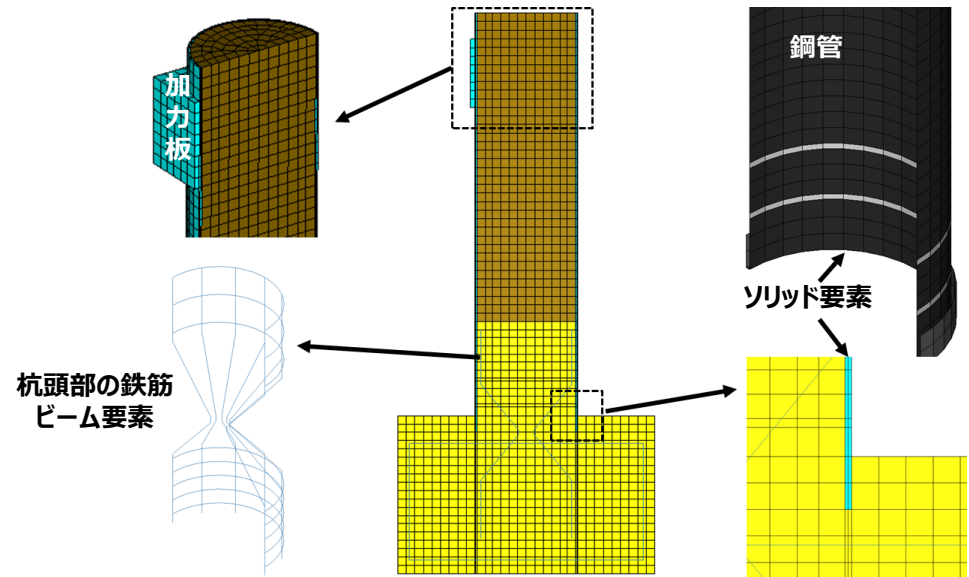
6.5 個別論点（3）杭頭部の力学特性確認実験（2/2）

詳細設計段階においては、以下の検討により、杭頭部の力学的挙動の確認を行う。

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



実験結果に基づく荷重－変位曲線（イメージ）



3次元静的FEM解析モデル概要図（イメージ）

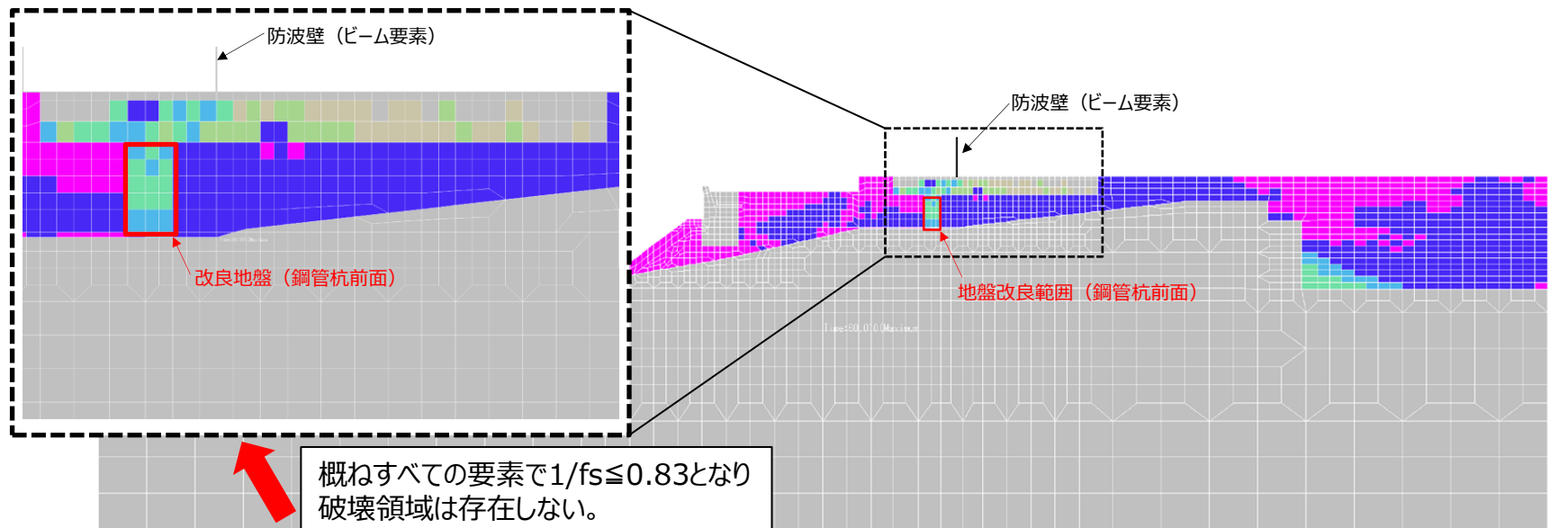
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.5 個別論点（4）RC床版部の改良地盤（鋼管杭前面）

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）RC床版部における改良地盤の地震時における全時刻での局所安全率の逆数($1/f_s$)の分布を以下に示す。
- 改良地盤は、局所安全率の逆数が概ね $1/f_s \leq 0.83$ ($f_s \geq 1.2$) となり、また、 $0.83 \leq 1/f_s \leq 1$ ($1 \leq f_s \leq 1.2$) となる領域はわずかとなっており、破壊領域が存在しないことを確認した。
- 上記を踏まえ、改良地盤（鋼管杭前面）の役割として期待する難透水性は保持されていることを確認した。

照査項目，許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
改良地盤 (鋼管杭前面)	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



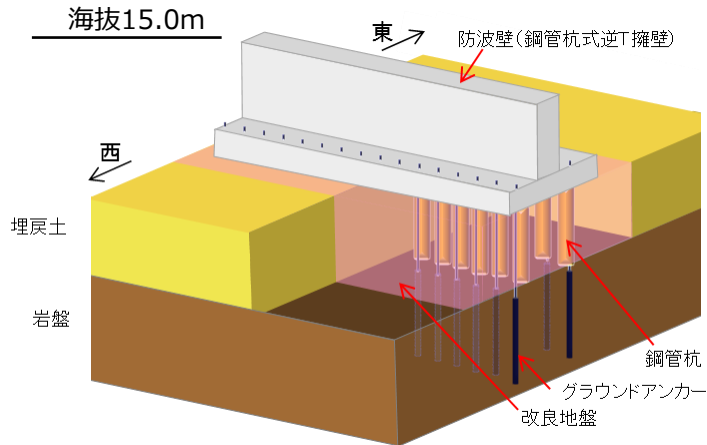
全時刻での局所安全率の逆数の分布

6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

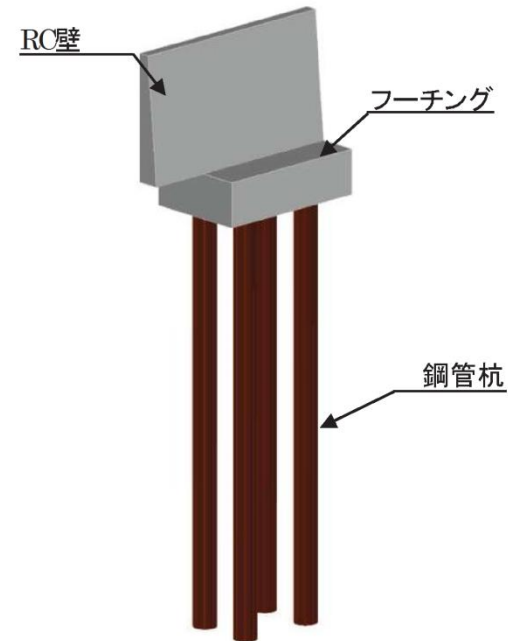
6.5 個別論点（5）構造等に関する先行炉との比較（1 / 2）

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

島根原子力発電所
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）



女川原子力発電所2号炉
防潮壁（RC遮水壁）



6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針

6.5 個別論点（5）構造等に関する先行炉との比較（2/2）

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

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

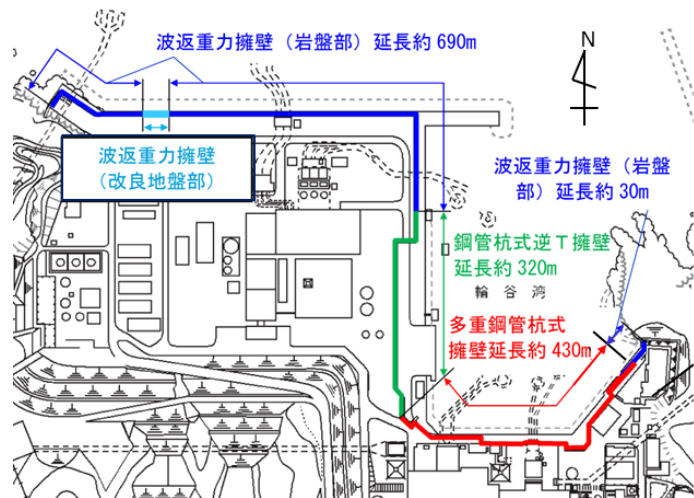
※ 先行炉の情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

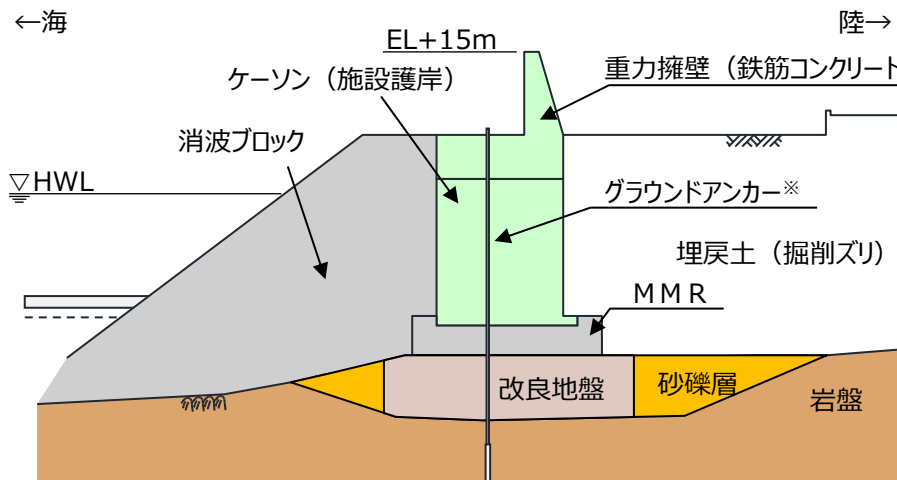
7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（1/12）

第839回審査会合
資料1-1 P.30 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

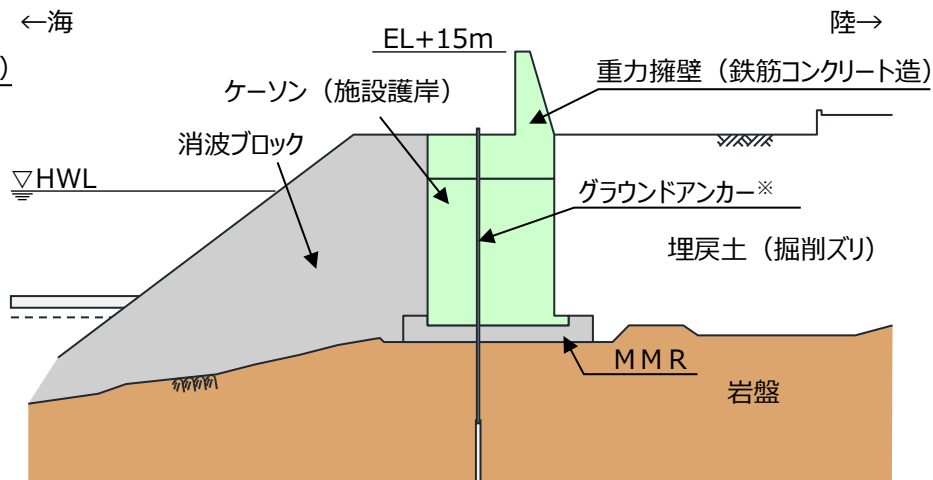
160



- 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(8.1参照)を設置する。
- グラウンドアンカー（永久アンカー）を設置しているが、アンカーの効果을期待しなくても、耐震・耐津波性を担保している。



防波壁（波返重力擁壁）（改良地盤部）断面図



防波壁（波返重力擁壁）（岩盤部）断面図

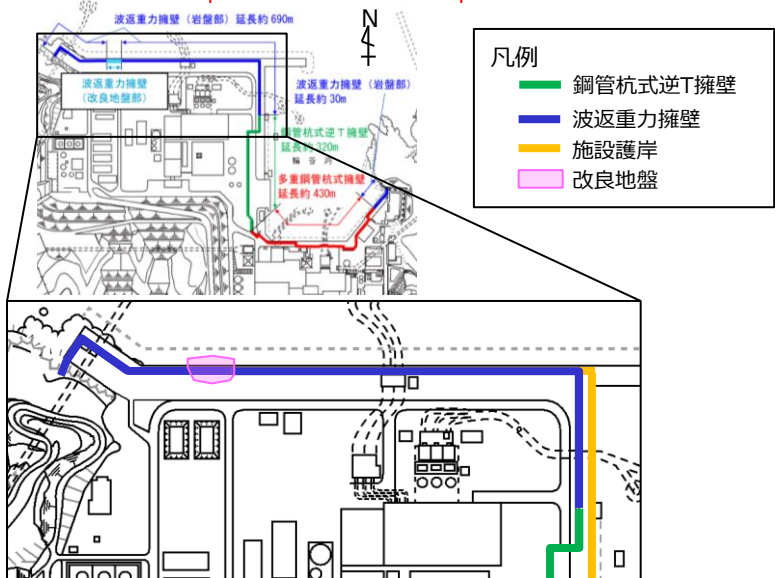
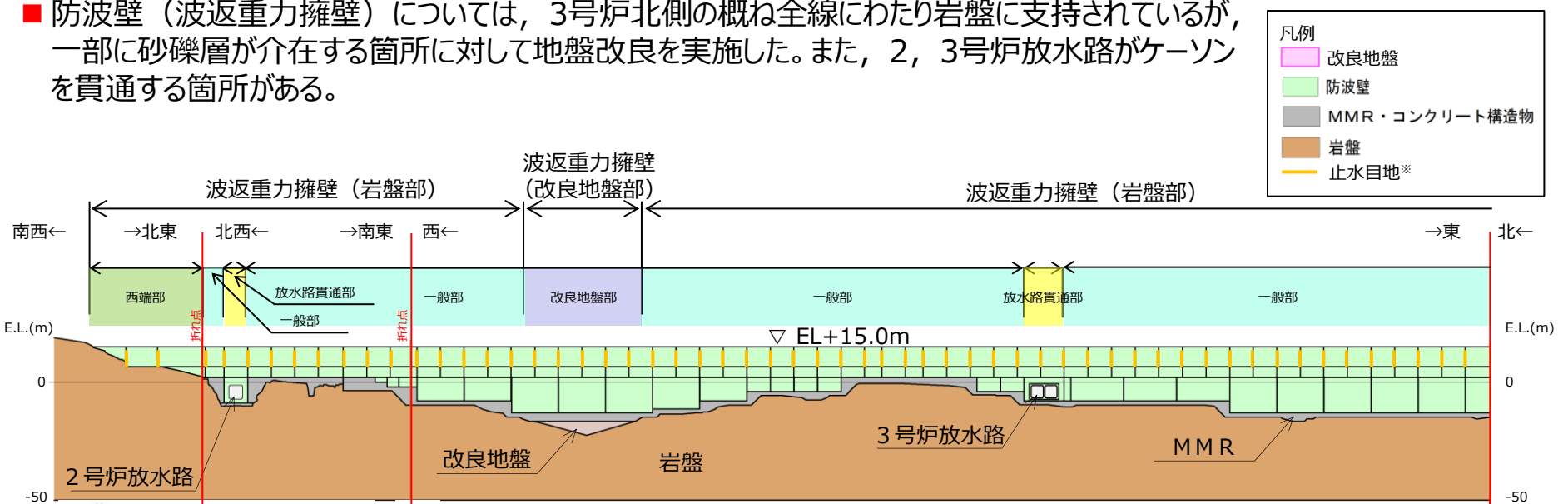
※ グラウンドアンカーの効果을期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

7. 防波壁 (波返重力擁壁) の設計方針

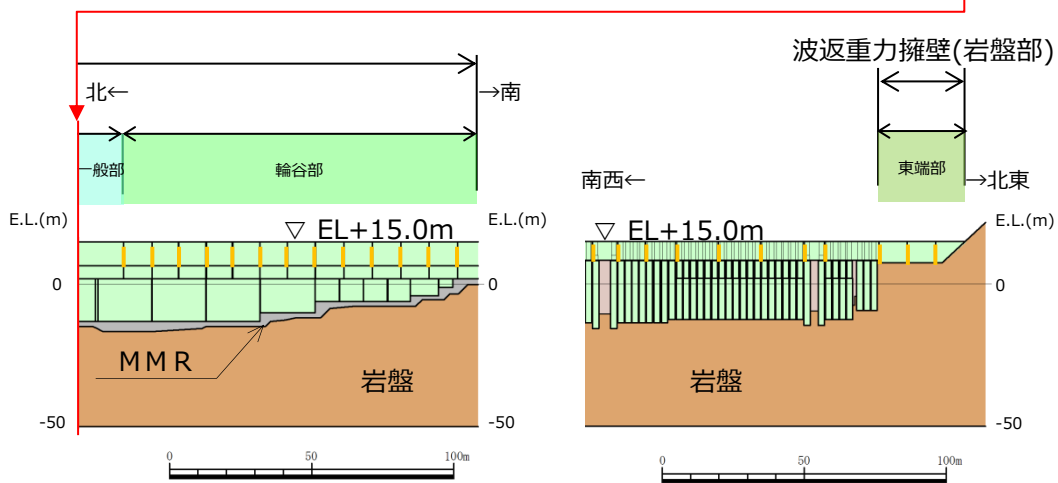
7.1 防波壁 (波返重力擁壁) 構造概要 (2/12)

第839回審査会合
資料1-1 P.31 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

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



防波壁平面図 (波返重力擁壁)



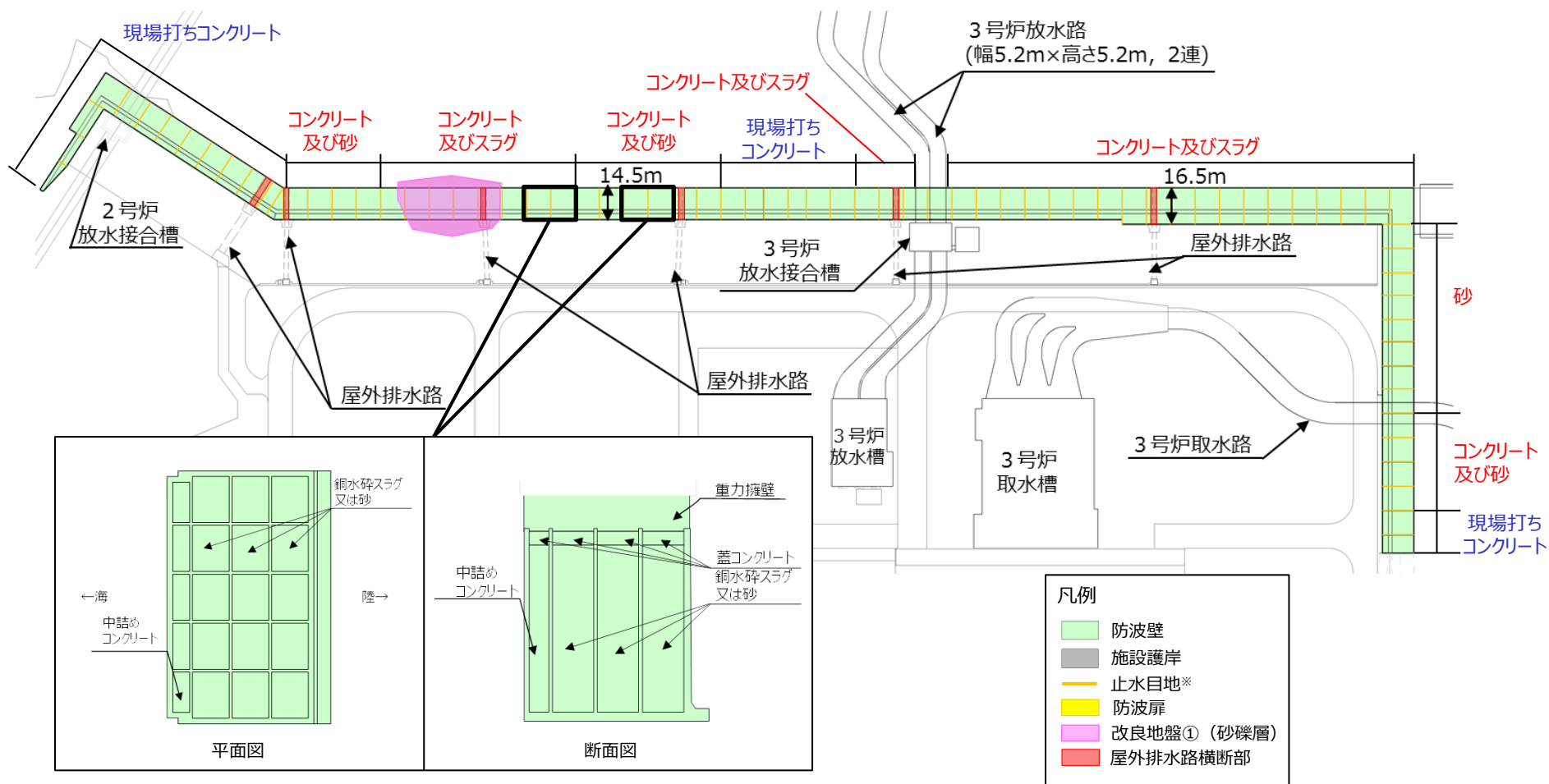
防波壁縦断図 (波返重力擁壁)

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

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（4/12）

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

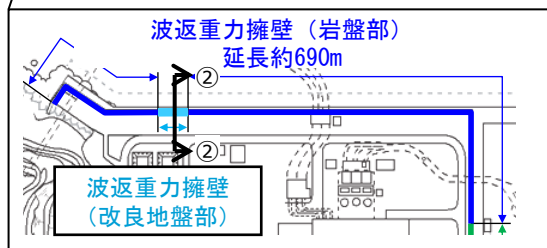
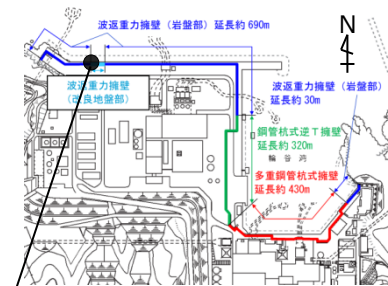


ケーソンの構造

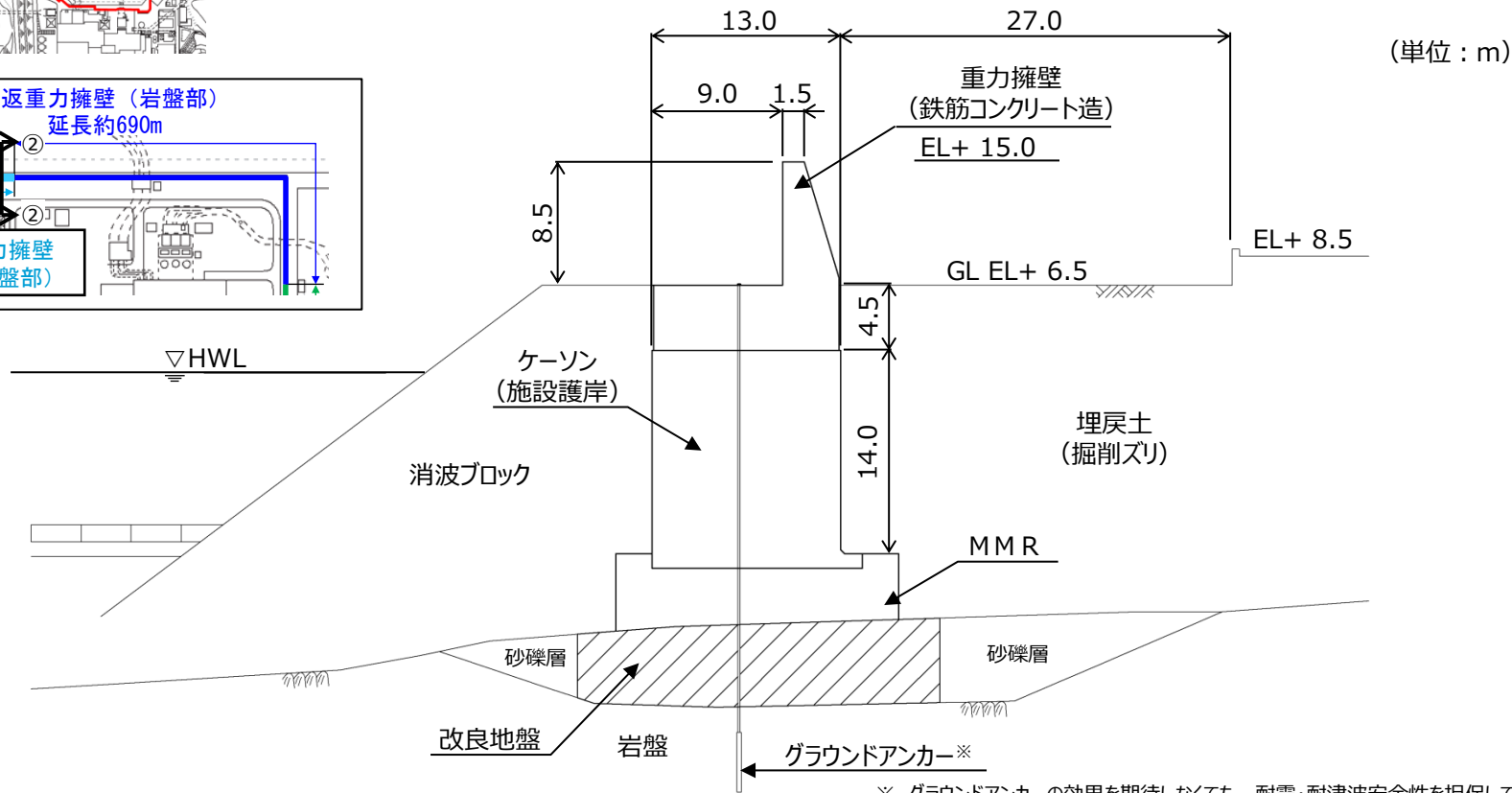
※止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁）構造概要（6/12）



- 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。



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

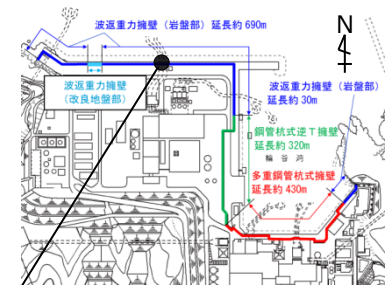
防波壁（波返重力擁壁）改良地盤部（②-②断面）断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

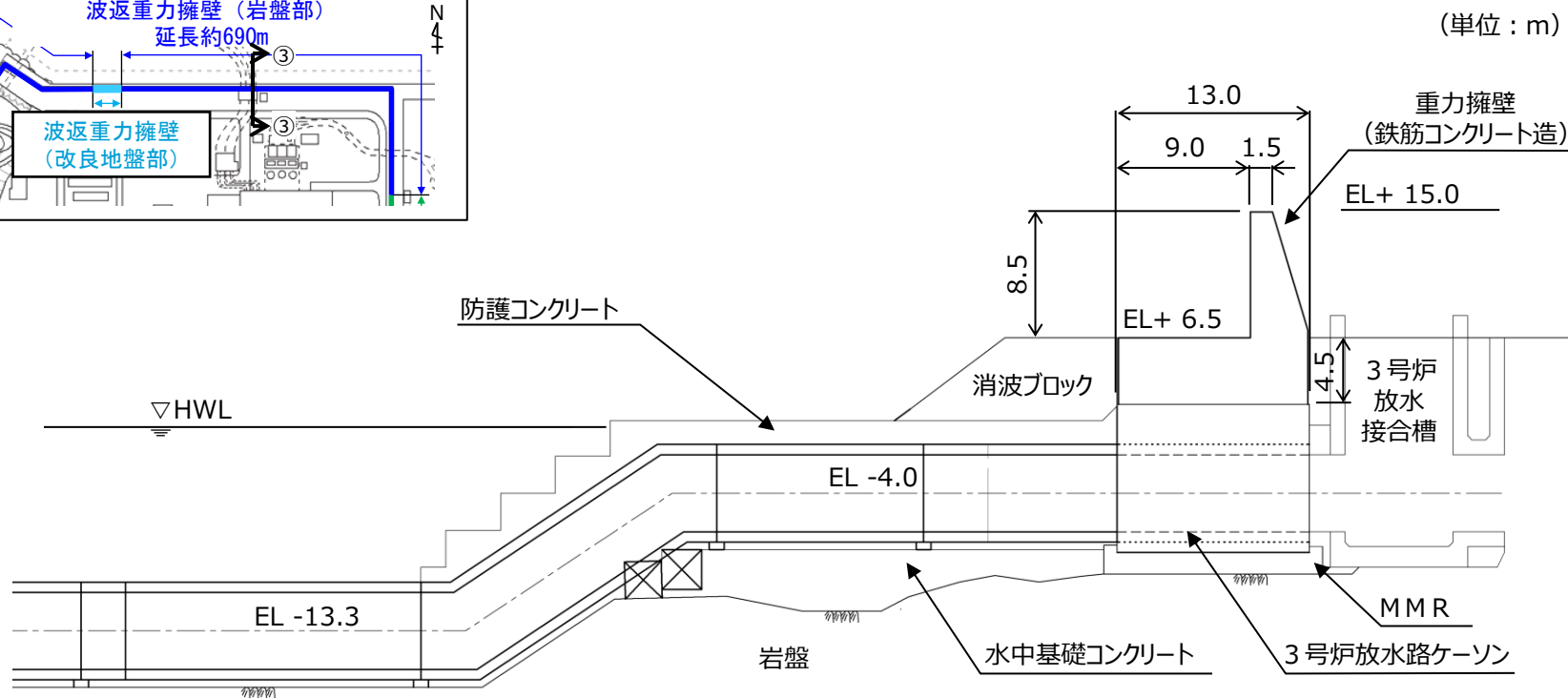
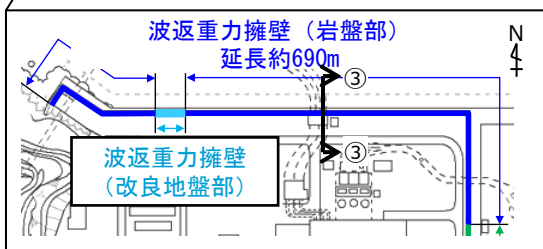
7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（7/12）

第839回審査会合
資料1-1 P.35加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

166



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

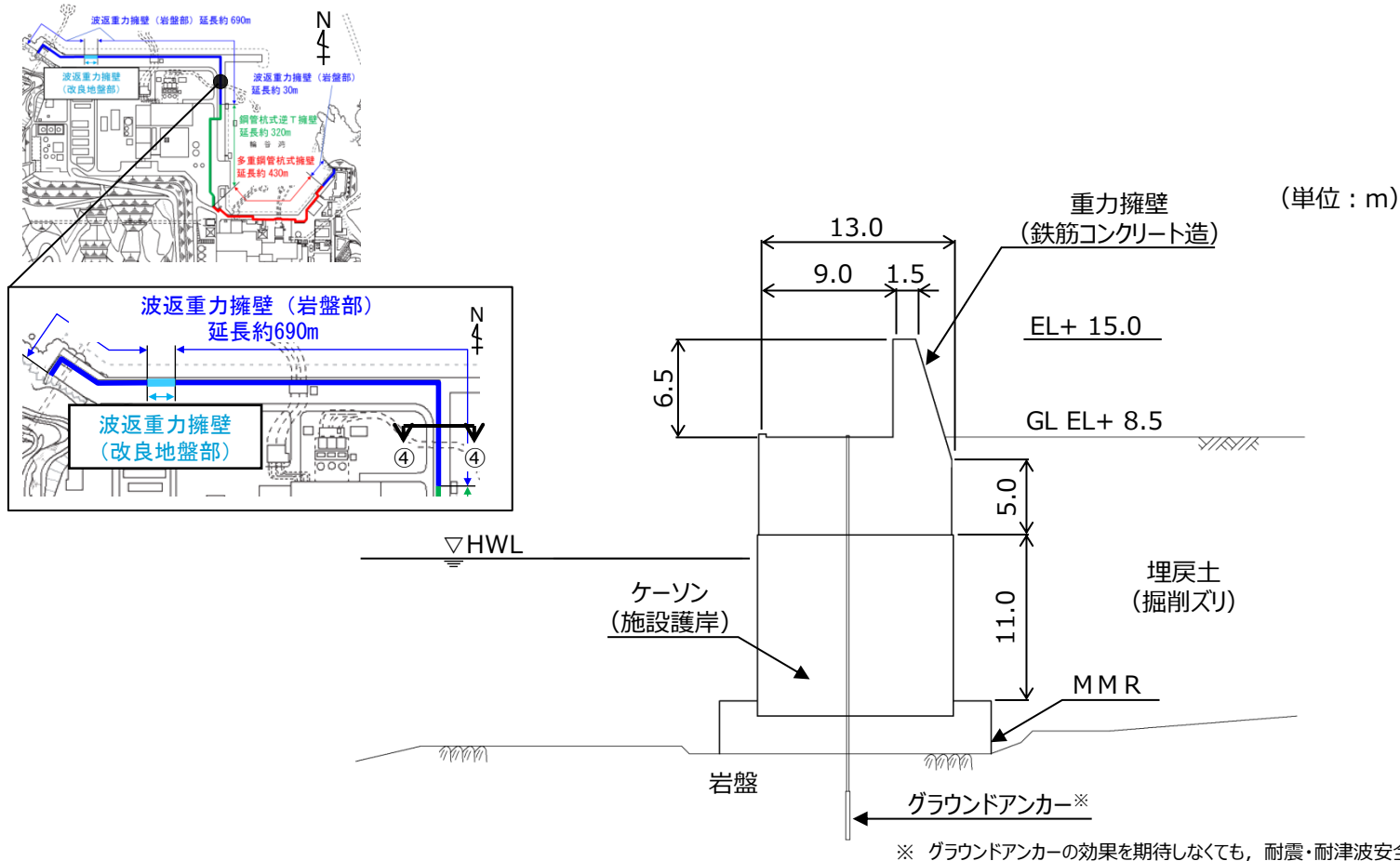


防波壁（波返重力擁壁）放水路貫通部（③－③断面） 断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁）構造概要（8/12）

- 防波壁（波返重力擁壁）輪谷部（④－④断面）については，防波壁（波返重力式擁壁）の東側に位置し，輪谷湾に面しており，防波壁の海側に消波ブロックを設置していない断面である。



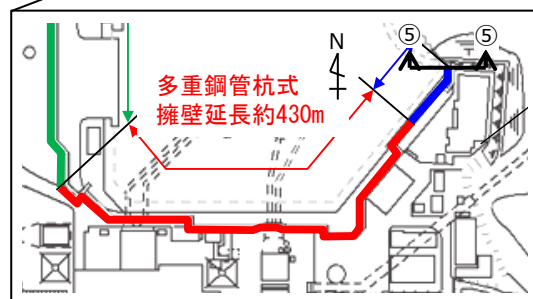
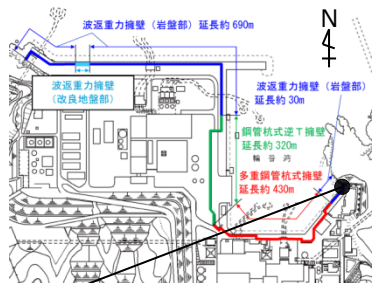
防波壁（波返重力擁壁）輪谷部（④－④断面） 断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

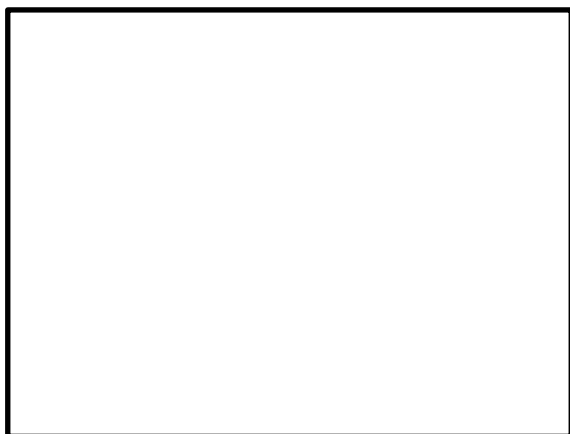
7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（9/12）

第839回審査会合
資料1-1 P.37 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

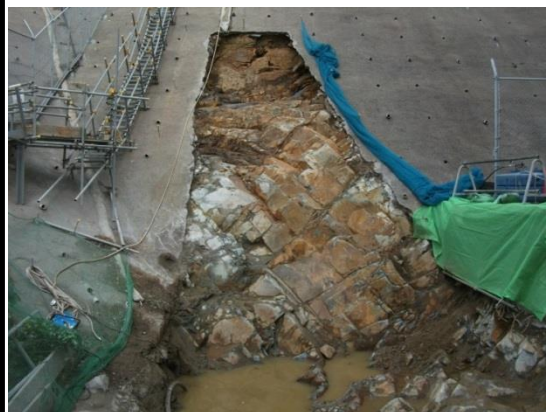
168



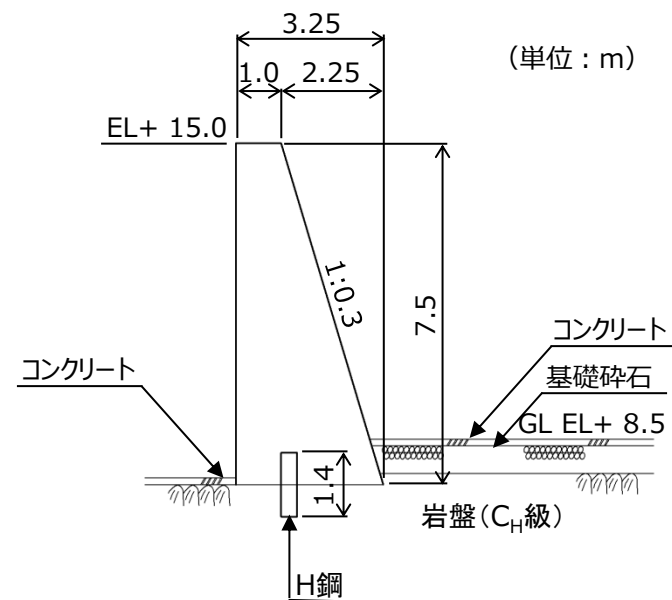
- 防波壁（波返重力擁壁）東端部（⑤-⑤断面）については、地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、H鋼（H-350×350×12×19）を1m間隔で打設し、重力擁壁を堅硬な地山に直接設置する設計とした。また、前面及び背面をコンクリートで被覆した。



防波壁東端部 外観写真



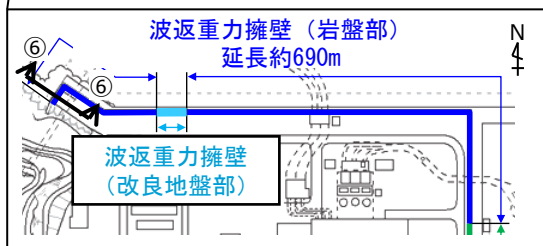
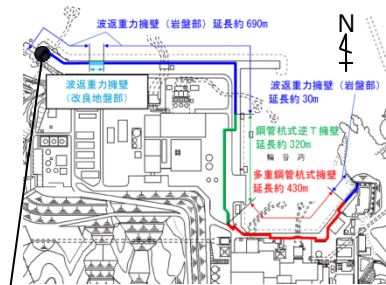
防波壁東端部 岩盤露出状況



防波壁（波返重力擁壁）東端部
（⑤-⑤断面） 断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（10/12）



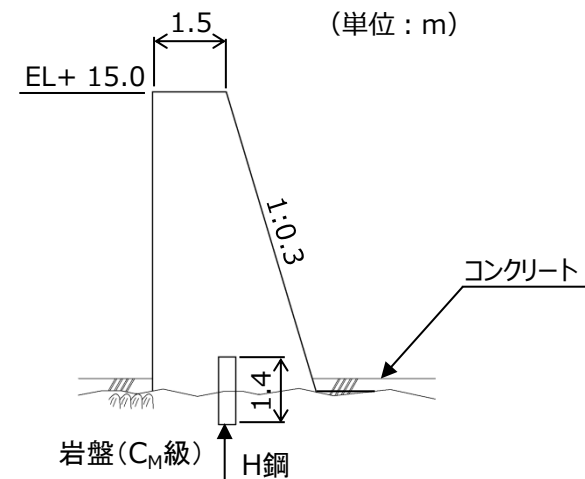
- 防波壁（波返重力擁壁）西端部（⑥－⑥断面）については，東端部同様，地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため，岩盤を露出させ，H鋼（H-350×350×12×19）を1m間隔で打設し，重力擁壁を堅硬な地山に直接設置する設計とした。また，前面及び背面をコンクリートで被覆した。



防波壁西端部 状況写真



防波壁西端部 岩盤露出状況



防波壁（波返重力擁壁）西端部
（⑥－⑥断面） 断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

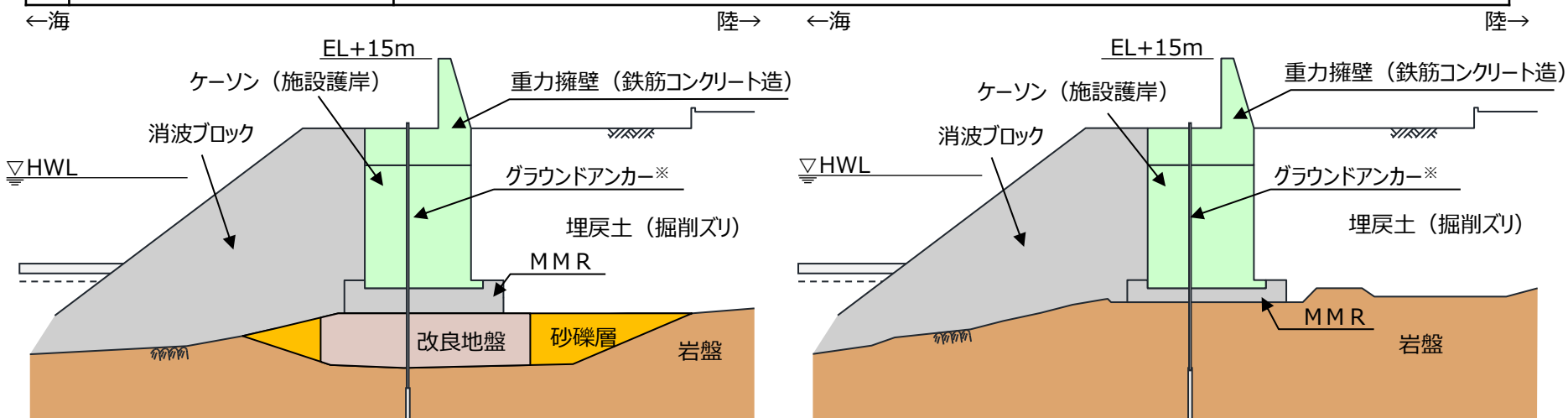
7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（11/12）

第839回審査会合
資料1-1 P.99 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

170

- 防波壁（波返重力擁壁）を構成する各部位は以下の仕様とした。

部位	仕様
【施設】	
重力擁壁	コンクリート： $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 鉄筋：SD345
止水目地	ゴムジョイント，シートジョイント：クロロプレンゴム
ケーソン	プレキャストコンクリート
H鋼	H-350×350×12×19，SM490
【地盤】	
MMR	ケーソン架台に打設した基礎コンクリート， $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$
改良地盤	高圧噴射攪拌工法（セメント系固化材）



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

防波壁（波返重力擁壁（改良地盤部））断面図

防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.1 防波壁（波返重力擁壁） 構造概要（12/12）

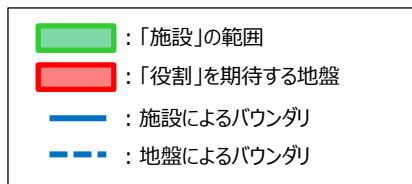
第839回審査会合
資料1-1 P.39加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

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

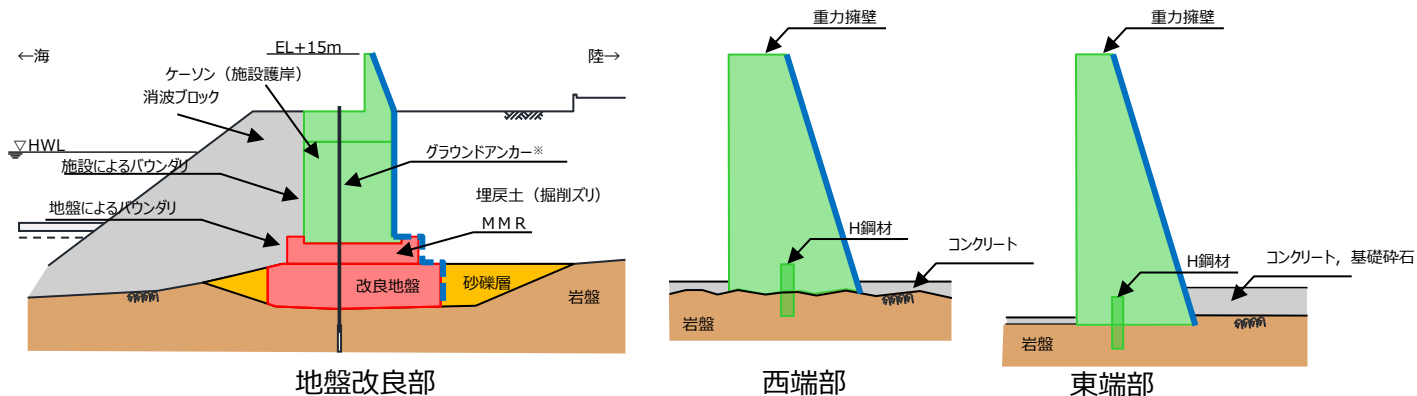
評価対象部位の役割

■ 施設の範囲 ■ 「役割」を期待する地盤

評価対象部位	役割	備考
重力擁壁	止水目地を支持，遮水性の保持	
止水目地	重力擁壁間の遮水性の保持	
ケーソン	重力擁壁を支持，遮水性の保持	
H鋼	重力擁壁の滑動を抑制	東端部，西端部に設置
MMR	ケーソン及び重力擁壁を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与，難透水性の保持	基礎地盤，24N/mm ²
改良地盤	ケーソン及び重力擁壁を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与，難透水性の保持	基礎地盤（ケーソン下面と岩盤上面の間に，砂礫層が介在している区間のみ），高圧噴射攪拌工法
岩盤	ケーソン及び重力擁壁を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与	基礎地盤
埋戻土（掘削ズリ），砂礫層，消波ブロック	役割に期待しない	



※ 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。



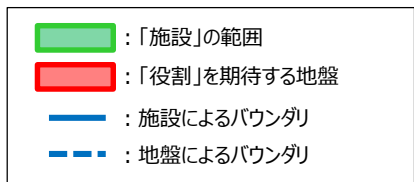
防波壁（波返重力擁壁）における構造上のバウンダリ

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（1 / 6）

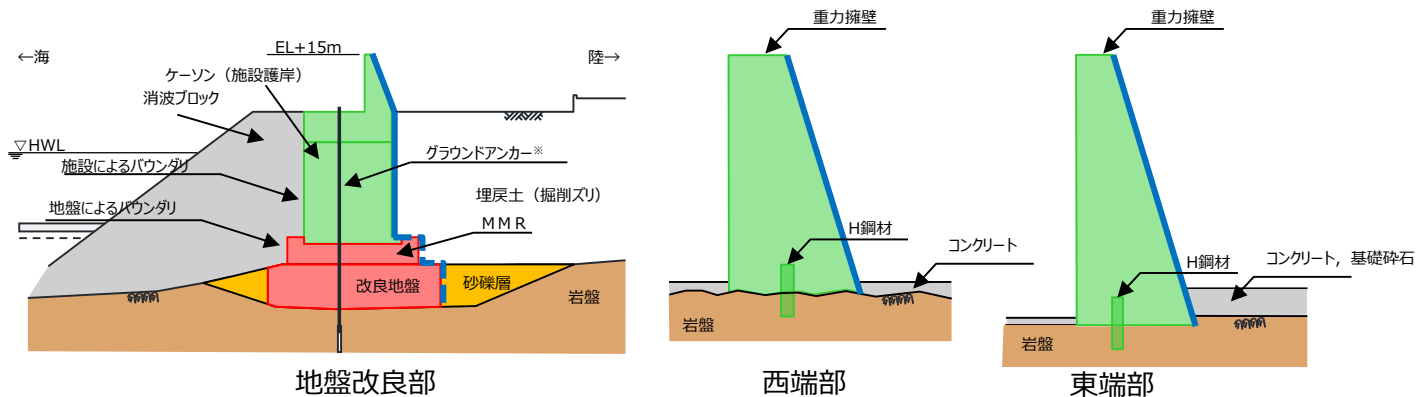
- 新規規制基準への適合性において、防波壁（波返重力擁壁）における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を下表の通り整理した。
- 以下の条文を確認することにより、防波壁（波返重力擁壁）の各条文への適合性を確認する。

防波壁（波返重力擁壁）における検討要旨

規則	検討要旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	<ul style="list-style-type: none"> 施設（重力擁壁、ケーソン）を支持する地盤を対象とし、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。



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



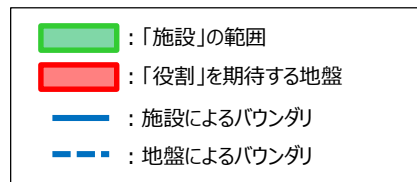
波返重力擁壁（改良地盤部）の「施設」・「地盤」の範囲

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（2 / 6）

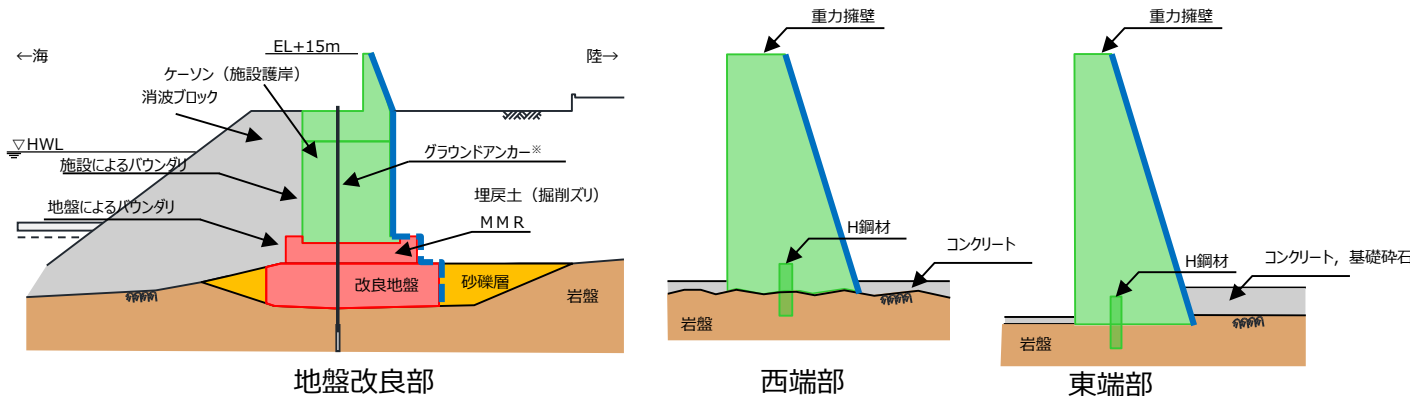
- 防波壁（波返重力擁壁）における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』，材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし，これらを総称として『止水性』と整理する。

防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割

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



※ 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。



役割を期待する範囲

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（3 / 6）

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

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

各部位の具体的な役割

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

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（4 / 6）

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

各部位の役割に対する性能目標

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

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.2 規制における要求性能

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（5 / 6）

- 前頁で整理した性能目標を満足するための照査項目と許容限界を以下のとおり整理した。
- 防波壁（波返重力擁壁）については、地上部である重力擁壁の性能照査に使用する応答値及び止水目地の変形量を算出するため、2次元動的FEM解析（有効応力）による地震応答解析を実施する。
- ケーソン重量算定の考え方については港湾基準に準拠する。ケーソン重量の算定にあたっては、中詰材（銅水砕スラグ※1又は砂）を考慮することにより適切に設定する。中詰材で使用する銅水砕スラグは、砂状で粒子密度が砂よりも大きい材料であり、解析で考慮する重量については工事記録や土質試験により得られた結果を用いることにより適切に評価する。
- 港湾基準によると、護岸施設の地震応答解析において、ケーソン全体に対してコンクリートの解析用物性値（ヤング率等）を設定しているが、島根2号炉ケーソンについては中詰材の剛性を考慮せずに、ケーソンの躯体のコンクリート強度と構造に応じた剛性を考慮した解析用物性値を設定して地震応答解析を実施する。なお、中詰材の重量は、銅水砕スラグ又は砂の施工状況に応じて付加質量として考慮する。
- ケーソンの照査項目は、曲げ及びせん断とする。（詳細は、7.4.2（1）及び（2）参照）
- なお、施設及び岩盤の各部位の役割や性能目標を長期的に維持していくために必要な保守管理方法を今後検討していく。

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

各部位の照査項目と許容限界（上段：照査項目，下段：許容限界）

部位		照査項目と許容限界				
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	耐震性 (第4条)	耐津波性※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 (前壁、後壁、側壁)			曲げ・せん断 (短期許容応力度以下)		
	ケーソン (底板、隔壁、フーチング)			曲げ・せん断 (限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ以下・せん断耐力以下)		
	H鋼			せん断 (せん断応力度以下)		
地盤	MMR	支持力	すべり安全率（基礎地盤）※2	-	すべり安全率※3	
	改良地盤	(極限支持力度)			(1.5以上)	(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。

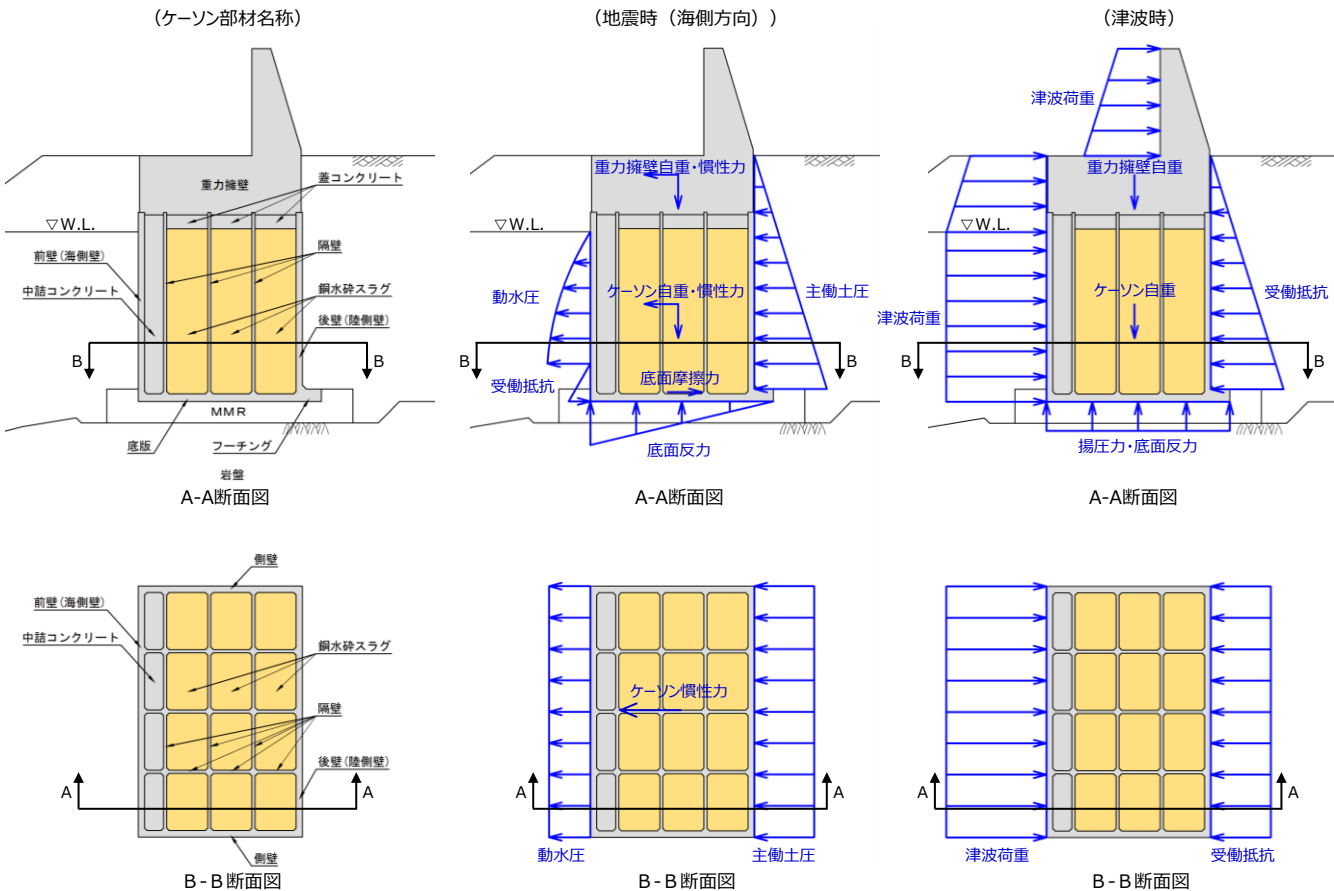
※2 第3条のすべり安全率は施設の外的安定の確認を目的としており、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価結果に係る審査ガイド」に基づいて1.5以上を許容限界とする。

※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。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.2 規制における要求性能

7.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項（6 / 6）

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



ケーソンの各部材に期待する役割

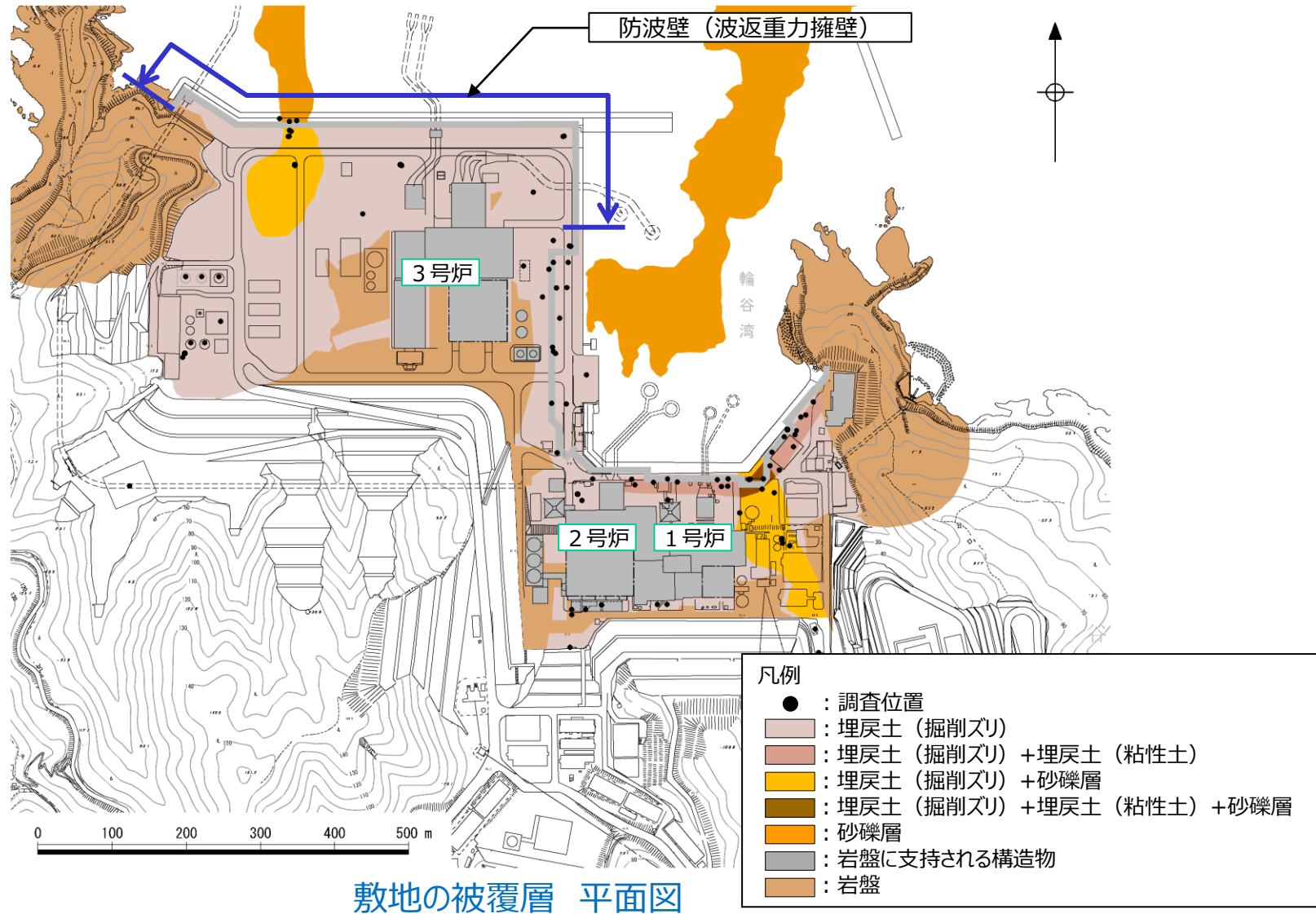
名称	地震時及び津波時の役割
・前壁 ・後壁 ・側壁	・重力擁壁を支持する ・遮水性を保持する
・底版	・前壁、後壁、側壁、隔壁を支持する
・隔壁	・重力擁壁を支持する ・前壁、後壁、側壁、底版の変形を抑制する
・フーチング	・滑動、転倒に対して安定性を確保する

ケーソンに作用する荷重図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.3 周辺地質（1/9）

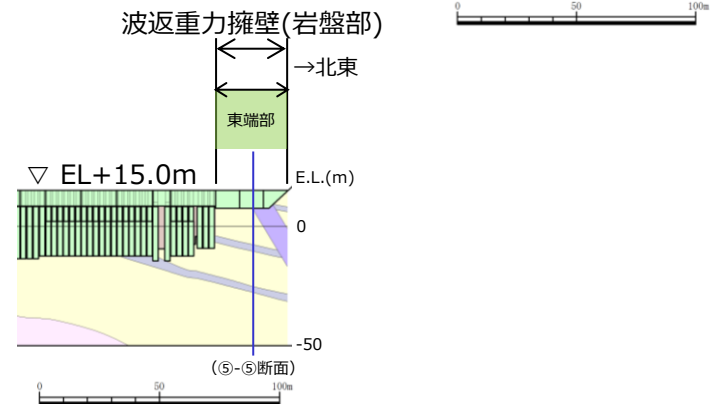
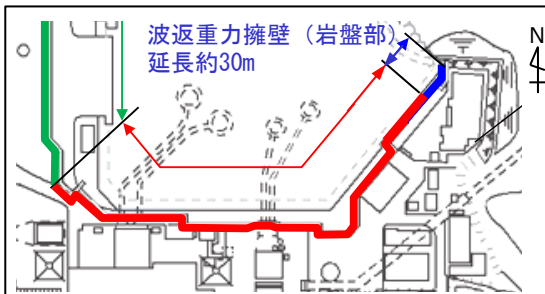
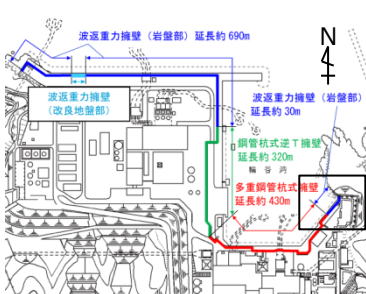
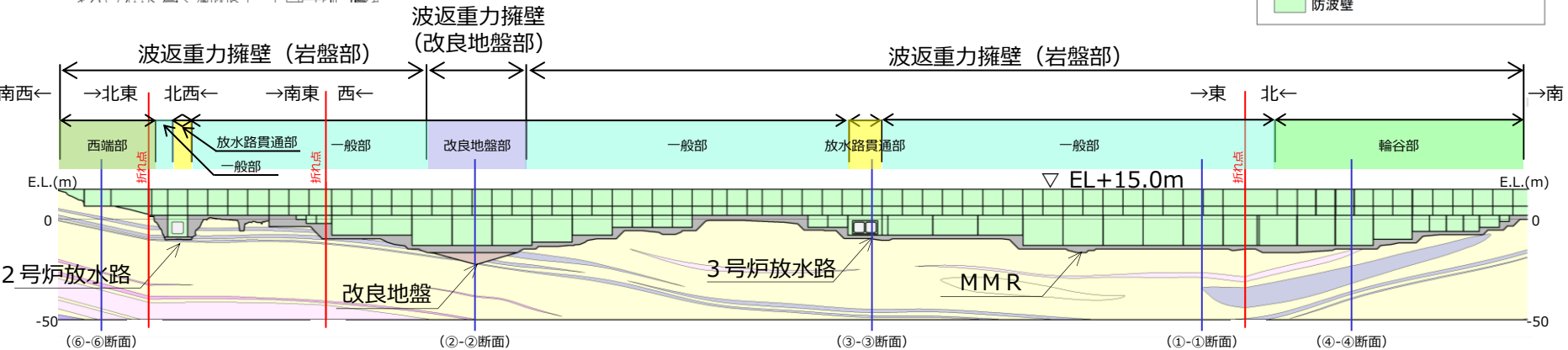
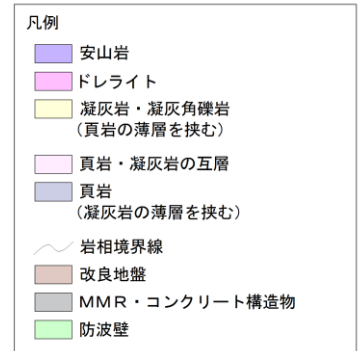
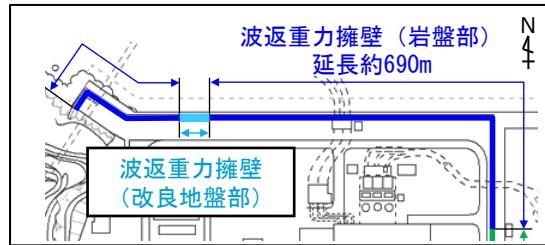
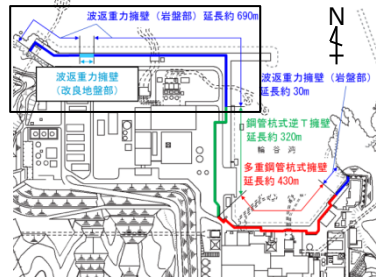
■ 防波壁周辺の被覆層の分布状況及び地山の岩盤の分布状況を以下に示す。



7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.3 周辺地質（2/9）

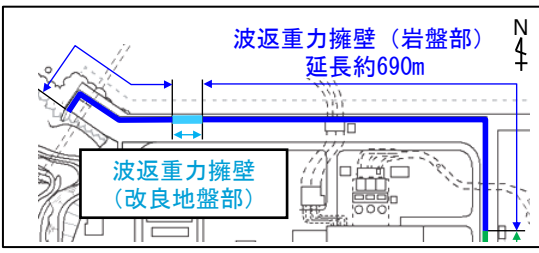
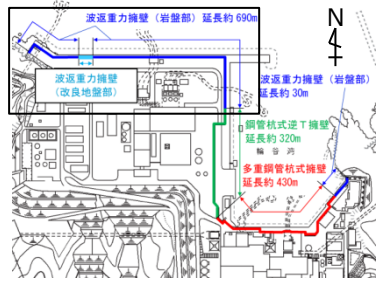
■ 防波壁（波返重力擁壁）の岩相縦断図を以下に示す。



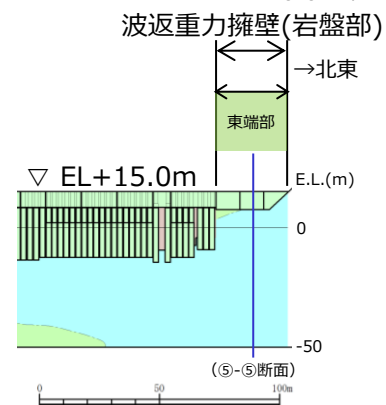
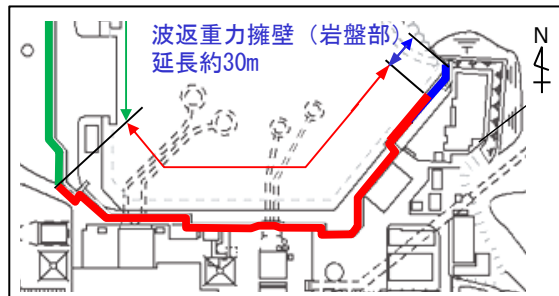
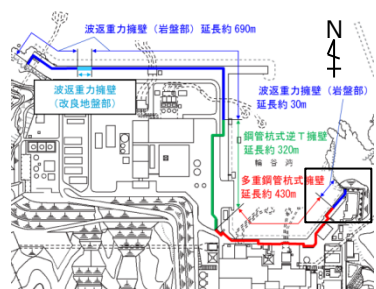
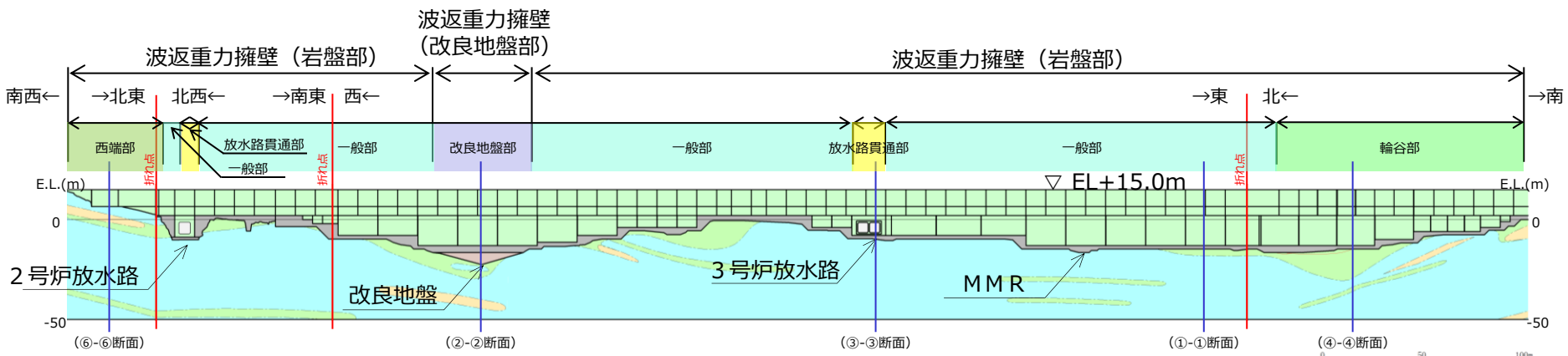
防波壁（波返重力擁壁）岩相縦断図

7. 防波壁 (波返重力擁壁) の設計方針

7.3 周辺地質 (3/9)



- 防波壁 (波返重力擁壁) 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。



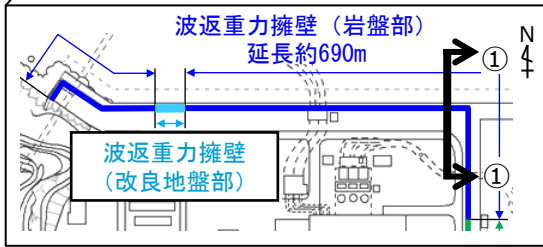
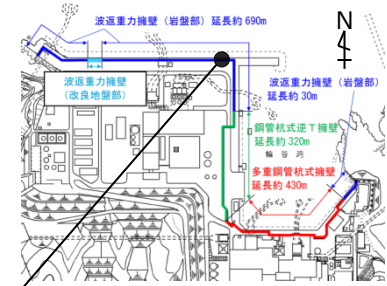
凡例

	C L 級
	CM 級
	CH 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

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

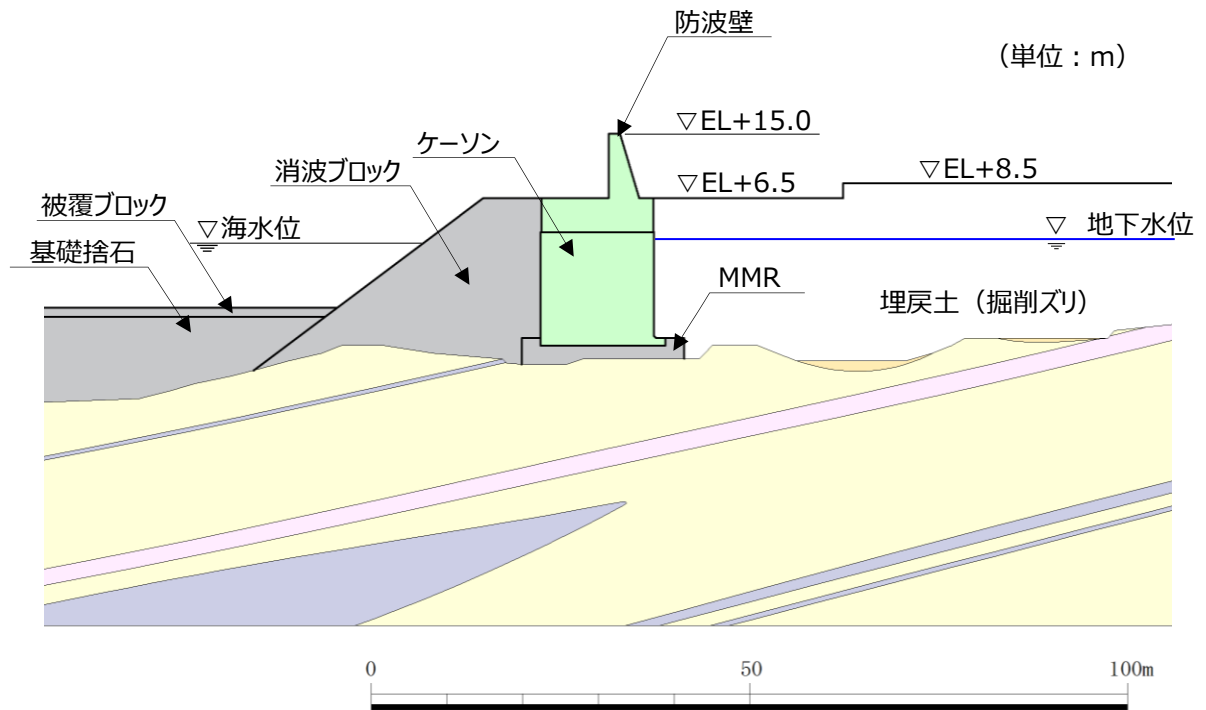
7.3 周辺地質（4/9）



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
基礎捨石
- 防波壁

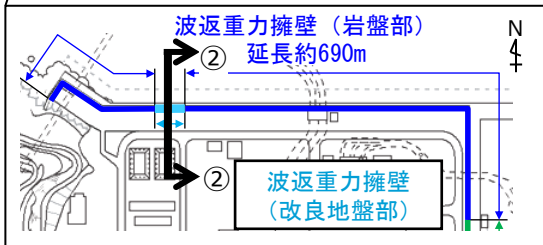
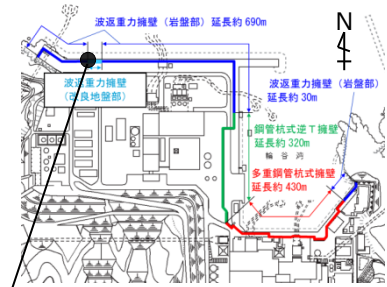
- 防波壁（波返重力擁壁）一般部の地質断面図を以下に示す。
- ①－①断面は、岩盤上にケーソンを介して重力擁壁を設置した。また、背面の周辺地盤には埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



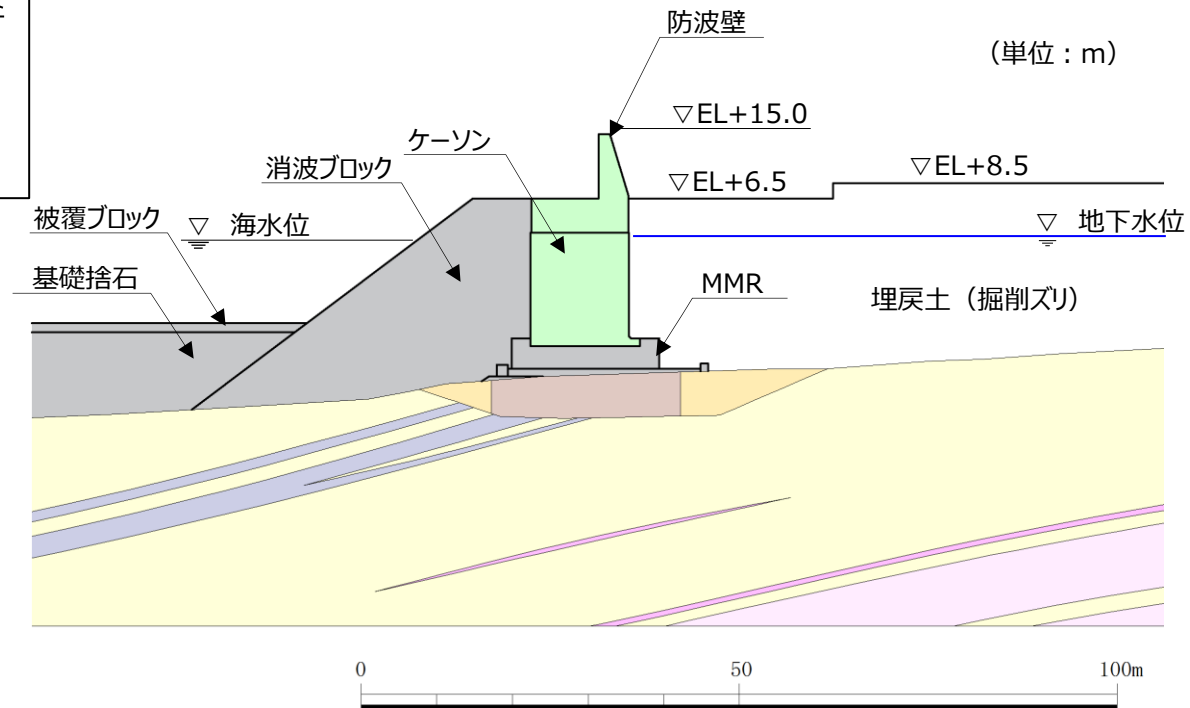
防波壁（波返重力擁壁）一般部（①-①断面）
地質断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.3 周辺地質（5/9）



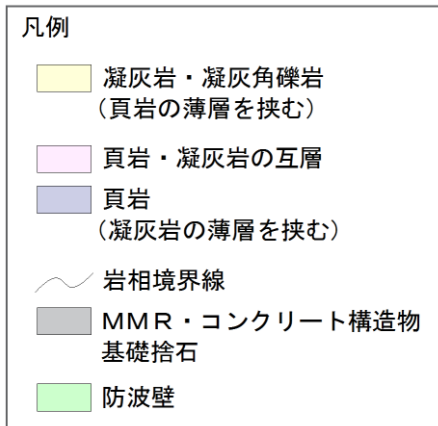
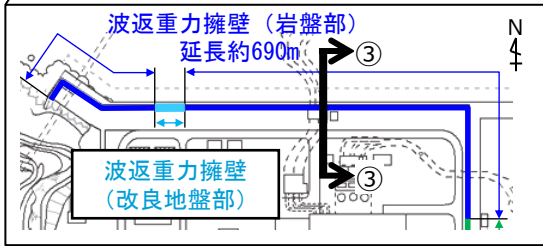
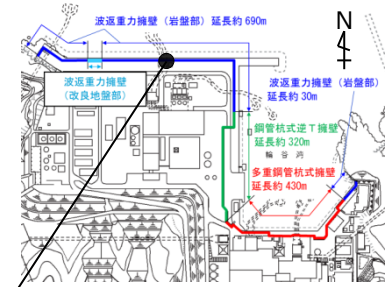
- 防波壁（波返重力擁壁）改良地盤部の地質断面図を以下に示す。
- ②-②断面は、岩盤上の砂礫層を高圧噴射攪拌工法により地盤改良し、その上部にケーソンを介して重力擁壁を設置した。また、背面の周辺地盤には埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



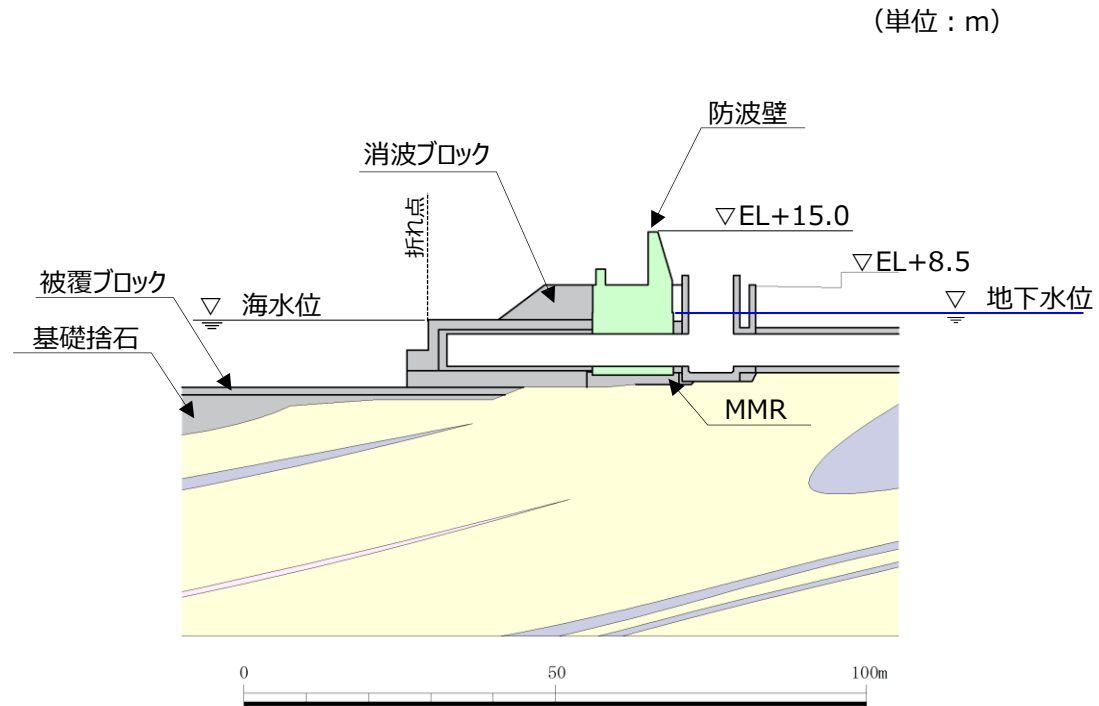
防波壁（波返重力擁壁）改良地盤部（②-②断面）
地質断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.3 周辺地質（6/9）



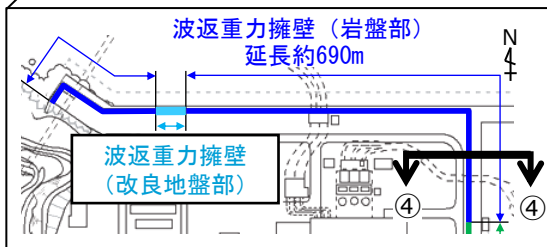
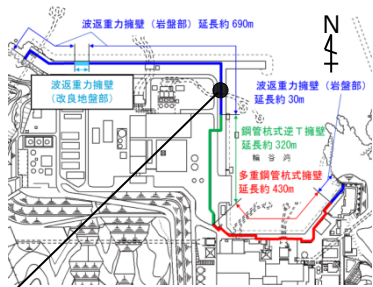
- 防波壁（波返重力擁壁）放水路貫通部の地質断面図を以下に示す。
- ③-③断面は，防波壁下部のケーソンを3号炉放水路が貫通している。



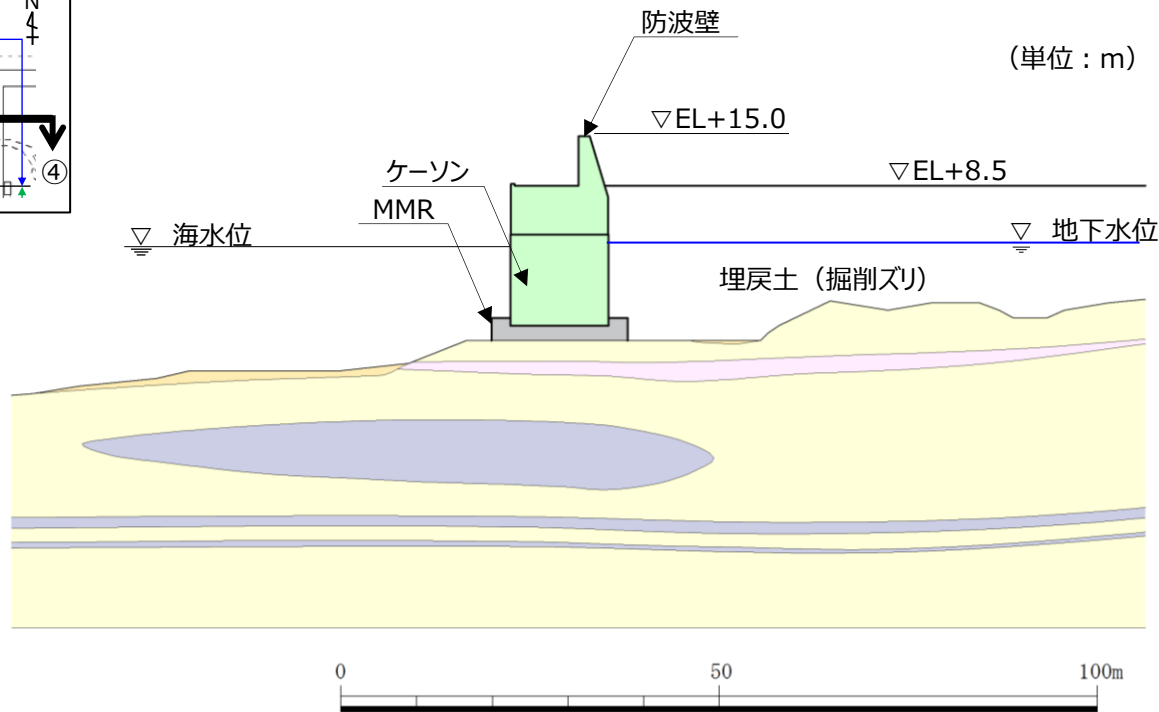
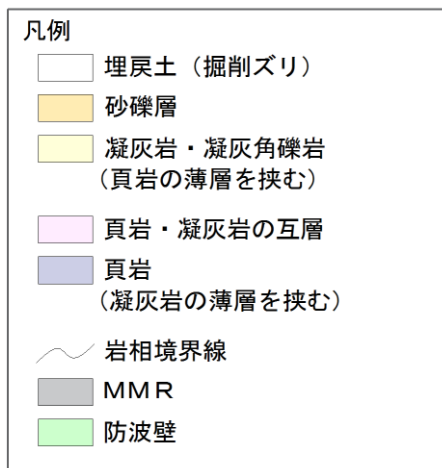
防波壁（波返重力擁壁）放水路貫通部（③-③断面）
地質断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.3 周辺地質（7/9）



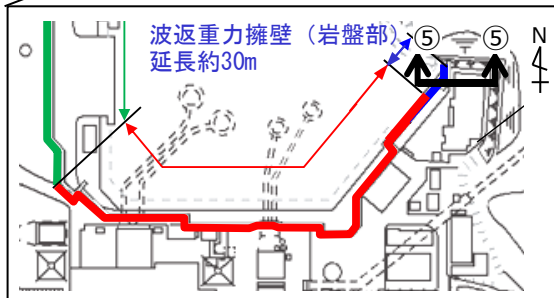
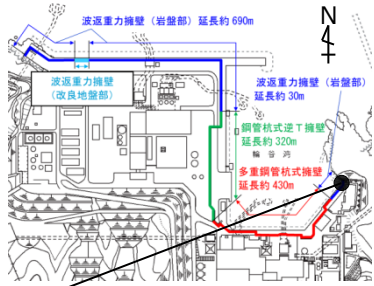
- 防波壁（波返重力擁壁）輪谷部の地質断面図を以下に示す。
- ④－④断面は，岩盤上にケーソンを介して重力擁壁を設置した。また，背面の周辺地盤には埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



防波壁（波返重力擁壁）輪谷部（④-④断面）
地質断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

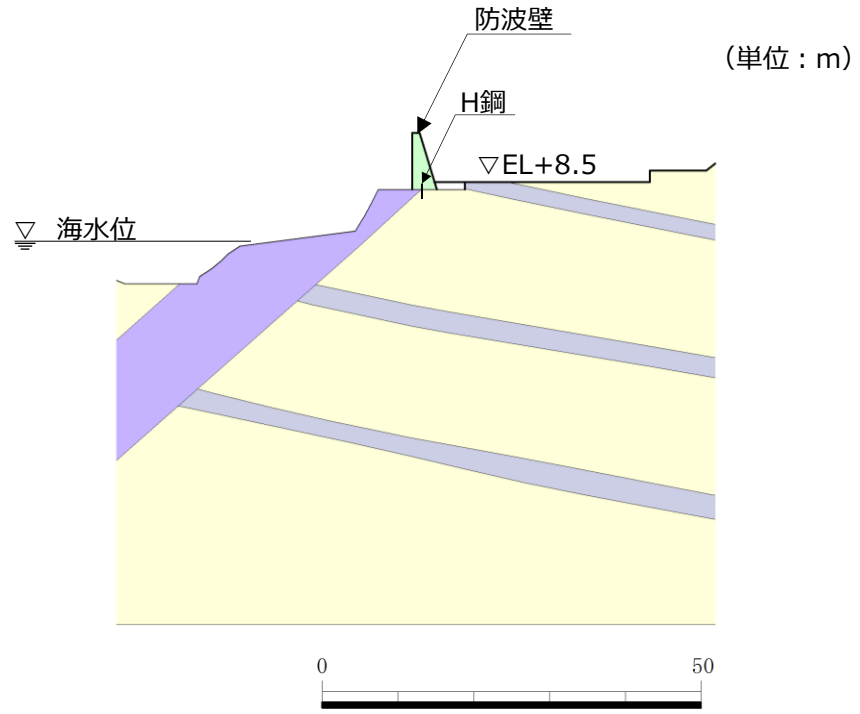
7.3 周辺地質（8/9）



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

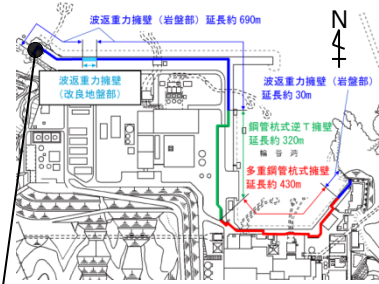
- 防波壁（波返重力擁壁）東端部の地質断面図を以下に示す。
- ⑤－⑤断面は、岩盤上に直接、重力擁壁を設置した。



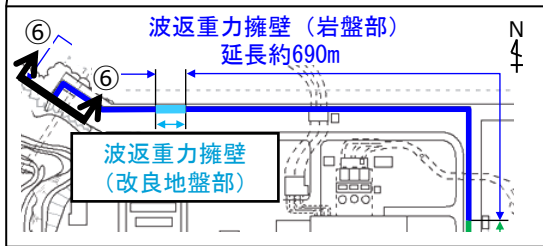
防波壁（波返重力擁壁）東端部（⑤-⑤断面）
地質断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.3 周辺地質（9/9）

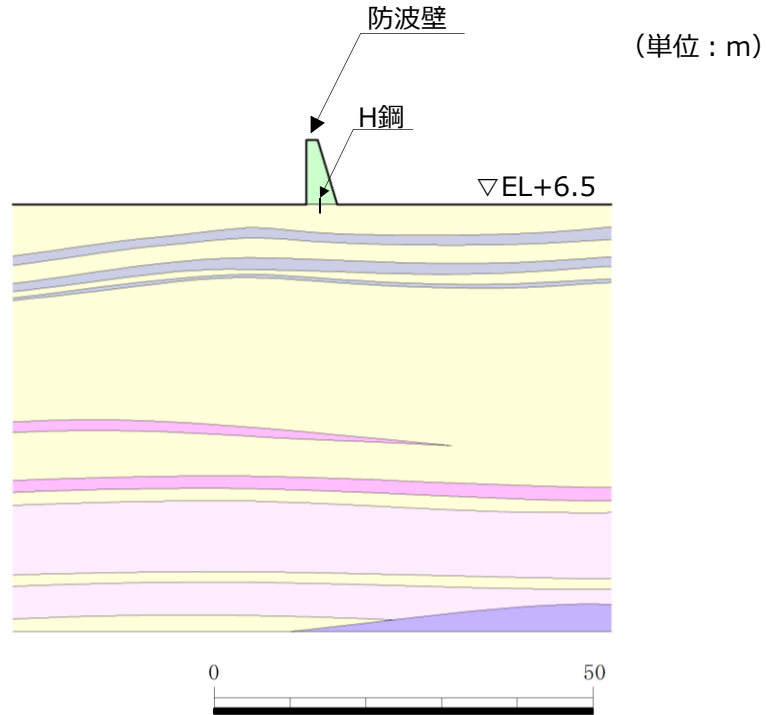


- 防波壁（波返重力擁壁）西端部の地質断面図を以下に示す。
- ⑥-⑥断面は、岩盤上に直接、重力擁壁を設置した。



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

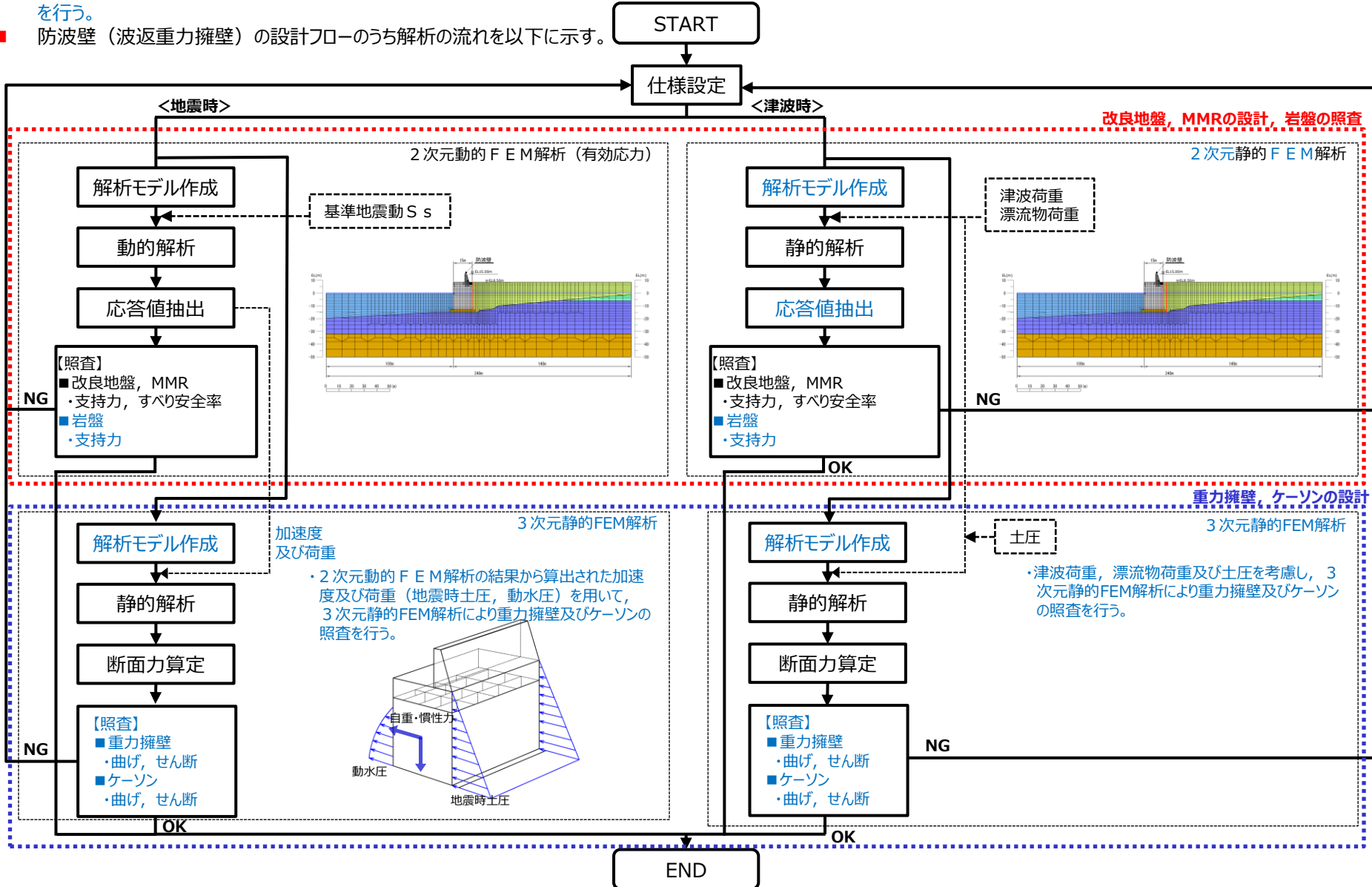


防波壁（波返重力擁壁）西端部（⑥-⑥断面）
地質断面図

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.1 設計フロー（1/2）

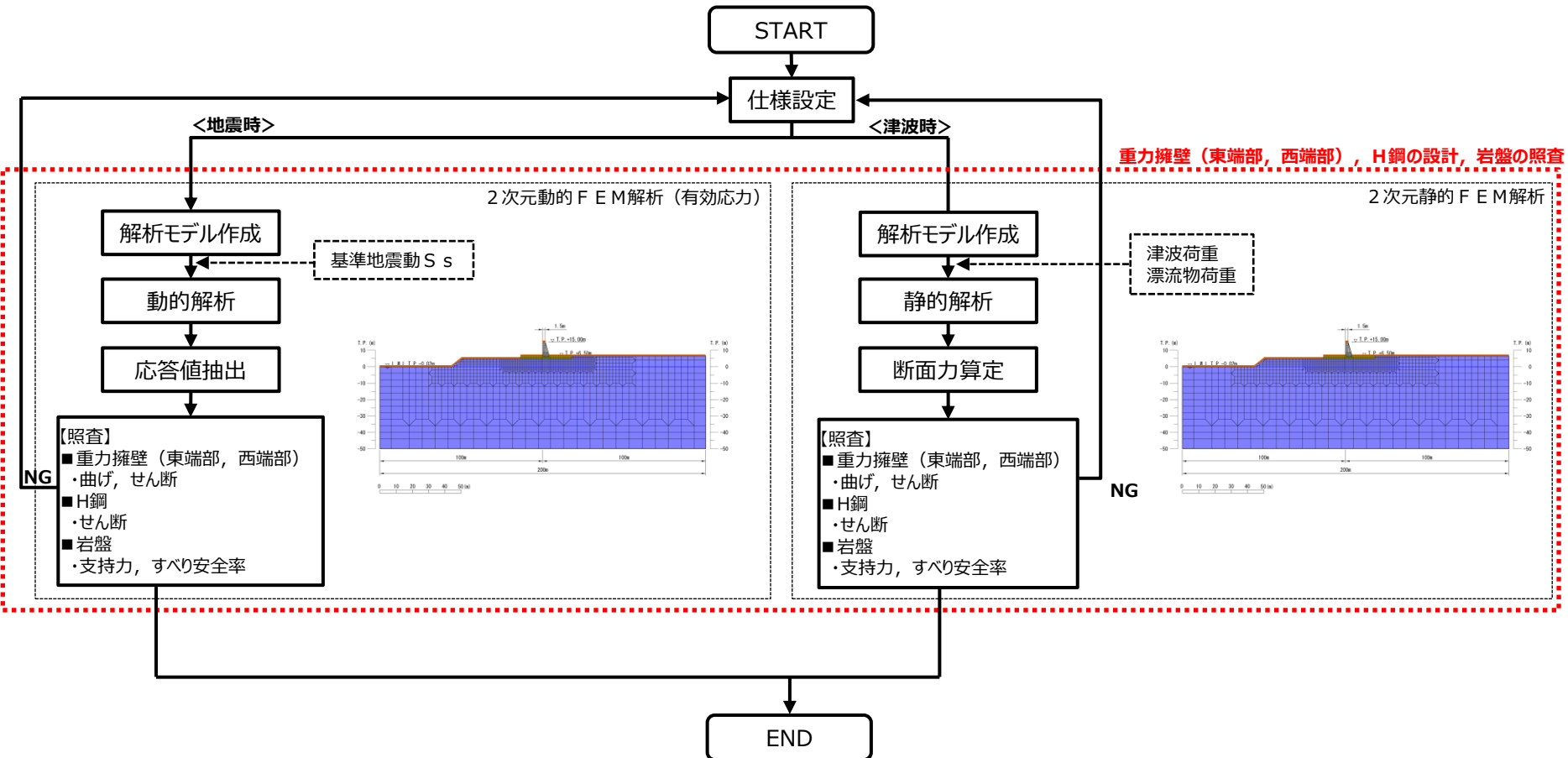
- 防波壁（波返重力擁壁）を構成するケーソンは、複数の隔壁を有しており、その影響を考慮する必要があることから、重力擁壁を含めた3次元モデルにより、耐震評価を行う。
- 防波壁（波返重力擁壁）の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.1 設計フロー（2/2）

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



重力擁壁（東端部，西端部），H鋼の設計，岩盤の照査

津波荷重
漂流物荷重

2次元静的 F E M解析

2次元動的 F E M解析 (有効応力)

基準地震動 S s

NG

NG

END

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.2 設計方針の概要（1）重力擁壁，ケーソン

重力擁壁の役割と設計方針概要

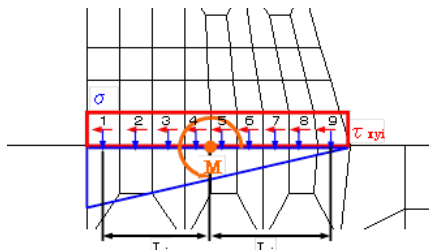
- 地震時，津波時の荷重に対して損傷せず，止水目地の支持機能及び遮水性を保持する。
- 重力擁壁は，ケーソンを含めてモデル化した3次元静的FEM解析により，地震時及び津波時の照査を行う。なお，東端部及び西端部は，地震時は2次元動的FEM解析により，津波時は2次元静的FEM解析により照査を行う。

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

〔2次元動的FEM解析における重力擁壁のモデル化及び断面力算定方法〕

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

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



2次元動的FEM解析モデル図

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

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

ケーソンの役割と設計方針概要

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

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
ケーソン (前壁，後壁，側壁)	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				
ケーソン (底板，隔壁，フーチング)	地震時	3次元静的 FEM解析	曲げ せん断	曲げ：限界層間変形角又は 圧縮縁コンクリート限界ひずみ せん断：せん断耐力	原子力発電所屋外重要土木構造物 の耐震性能照査指針・マニュアル， 2005年
	津波時				

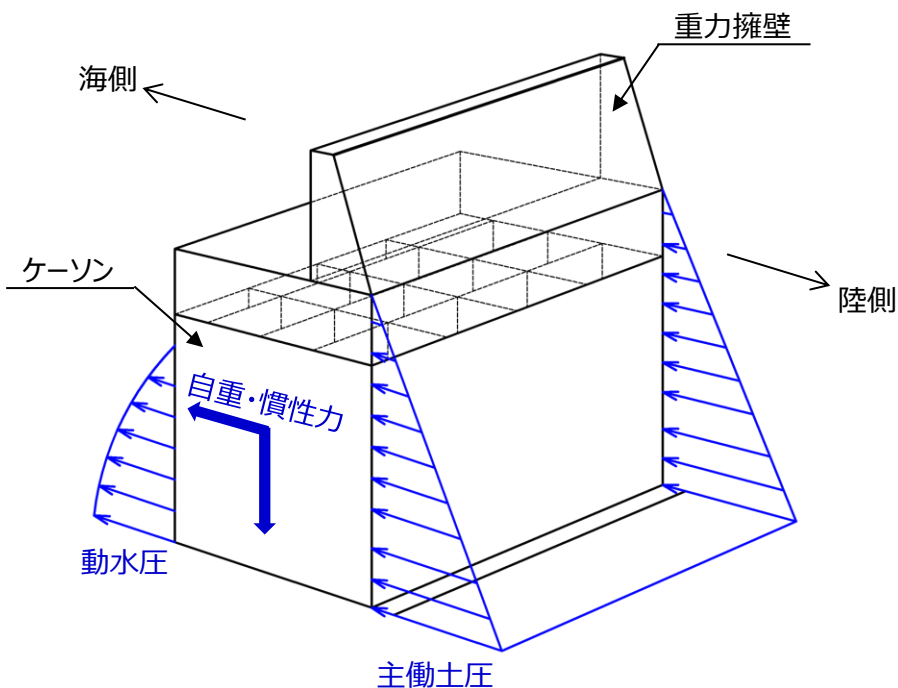
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.2 設計方針の概要（2）ケーソン部材評価方針

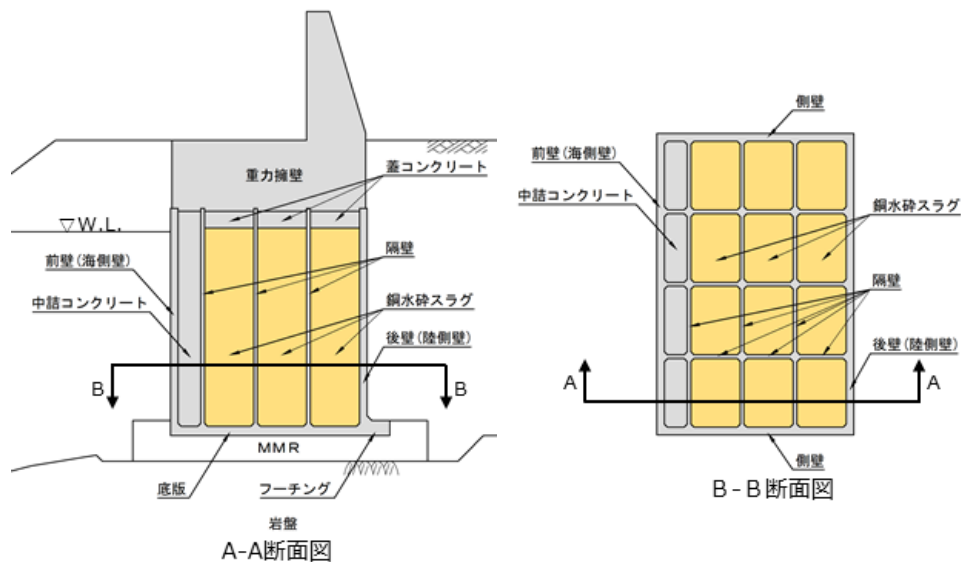
■ ケーソンは長辺方向及び短辺方向に配置された隔壁を有することから、各部材の照査は3次元モデルによる静的FEM解析により行う。

ケーソンの各部材の要求性能と許容限界

名称	要求性能	許容限界	
		曲げ	せん断
・前壁 ・後壁 ・側壁	止水性能 支持性能	短期許容応力度	
・隔壁 ・底板 ・フーチング	支持性能	限界層間変形角 又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ	せん断耐力



モデル化の例（地震時（海側方向））



ケーソン部材名称

7.4.2 設計方針の概要（3）H鋼

H鋼の役割と設計方針概要

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

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

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.2 設計方針の概要（4）止水目地

止水目地の役割と設計方針概要

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

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

7.4.2 設計方針の概要（5）岩盤

地盤（岩盤）の役割と設計方針概要

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

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

7.4.2 設計方針の概要（6）改良地盤及びMMR

地盤（改良地盤及びMMR）の役割と設計方針概要

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

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

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

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

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

解析の目的

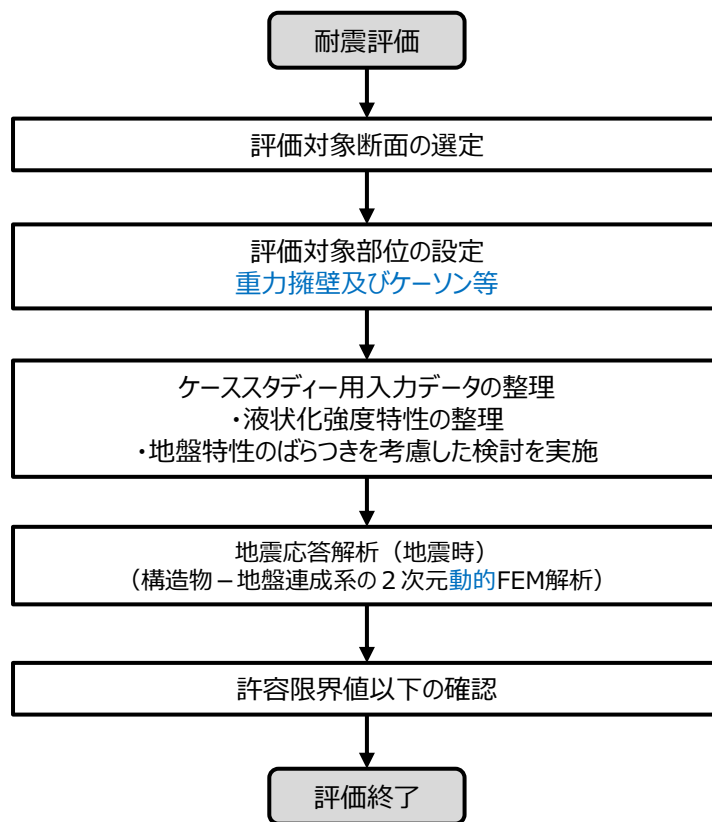
- 重力擁壁、ケーソン、埋戻土、基礎捨石、砂礫層、改良地盤、施設護岸、岩盤等を含めた全体の動的挙動評価
- 地盤特性及び液状化を考慮した影響評価

結果の利用

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

解析条件

- 地盤物性のばらつきを考慮する。



「代表断面選定の考え方」

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

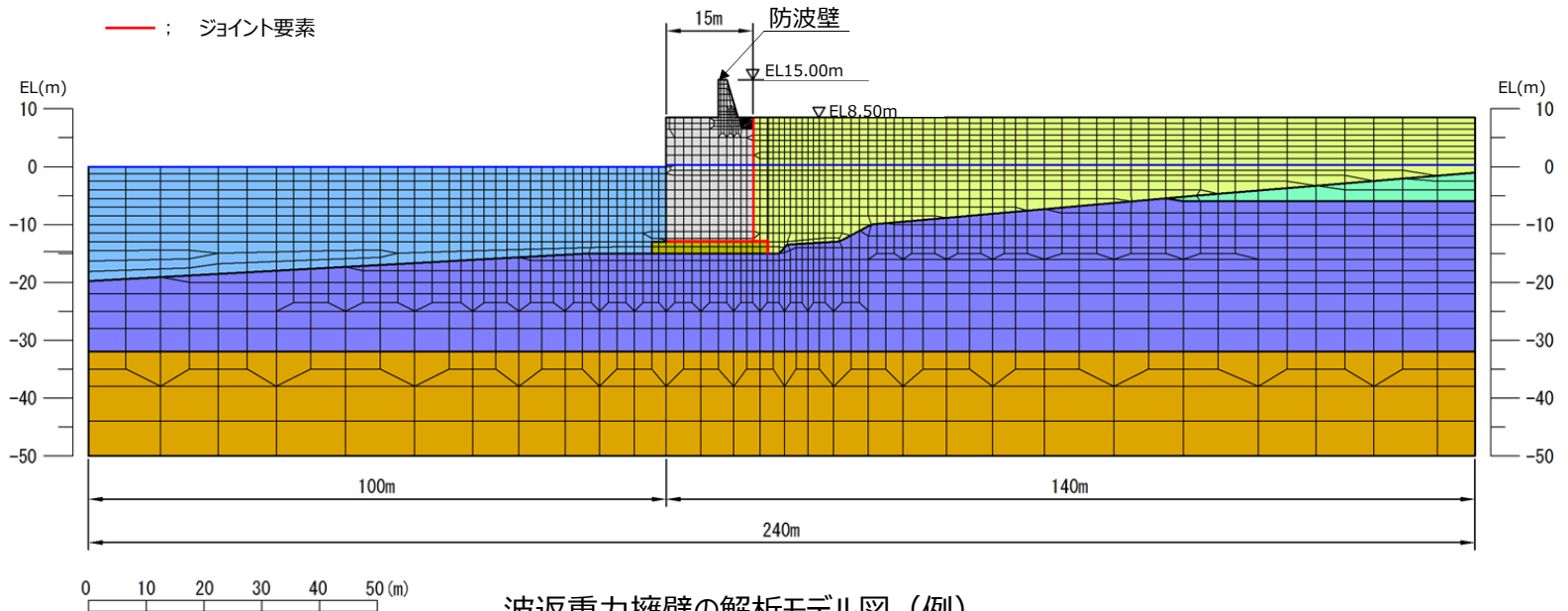
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.2 設計方針の概要（7）地震時の検討（二次元動的有限要素解析（有効応力解析））（2/2）

モデル化方針（波返重力擁壁）

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

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



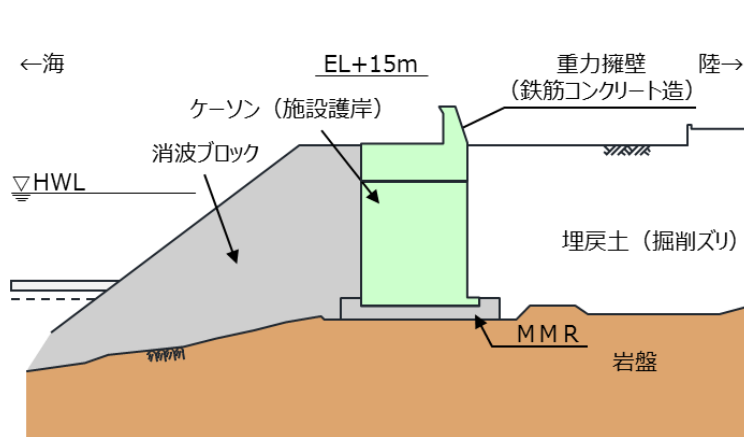
波返重力擁壁の解析モデル図（例）

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

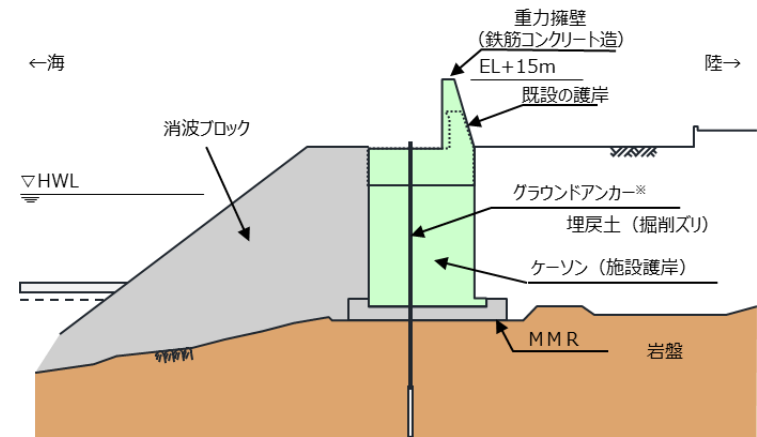
7.4.2 設計方針の概要（8）ケーソン設計方針（既設の護岸の構造変更に係る主な経緯）

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

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



3号増設時



※ 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）断面図

申請時

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

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

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

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

7.4.3 荷重と発生断面力の概要

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

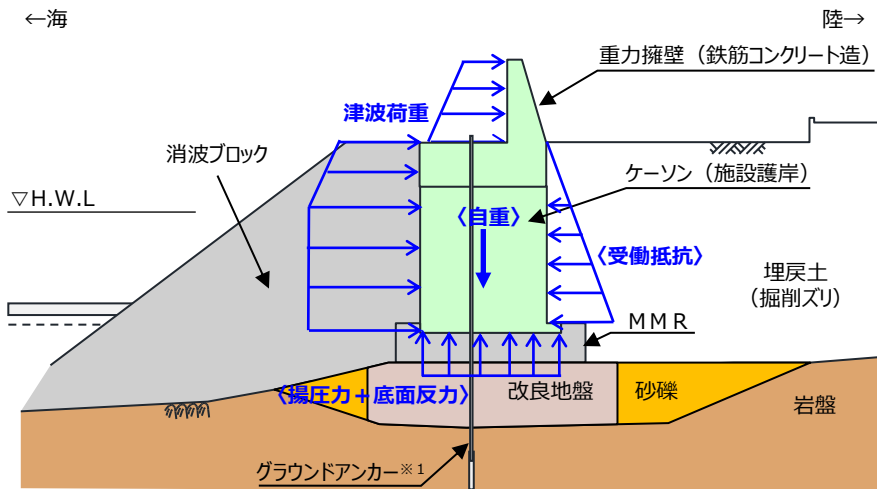
- 津波時の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

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

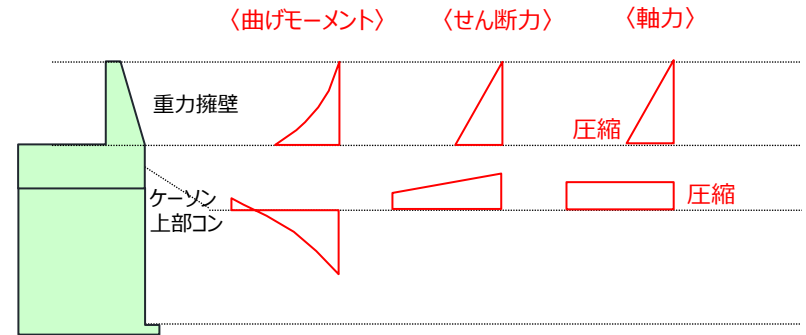
【発生断面力（応力状態）】

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



※ 1 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。
 ※ 2 雪荷重、風荷重、衝突荷重は省略

荷重図



発生断面力

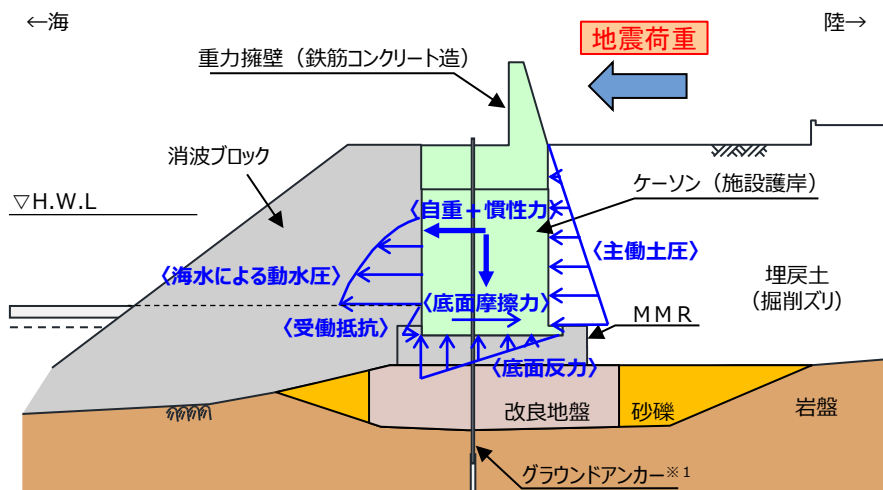
■ 地震時（海側方向）の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

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

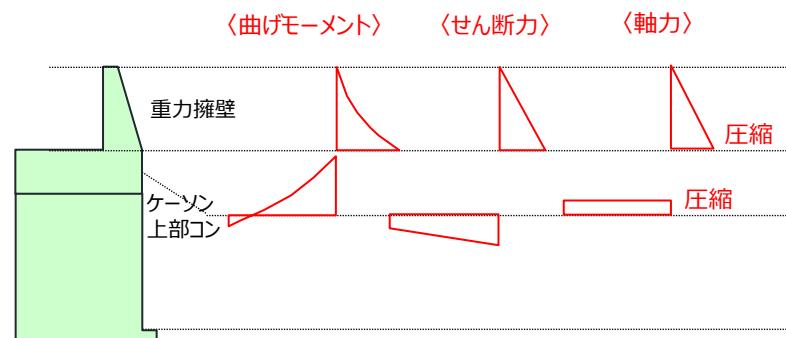
【発生断面力（応力状態）】

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



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

荷重図



発生断面力

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.3 荷重と発生断面力の概要（2）地震時（2/2）

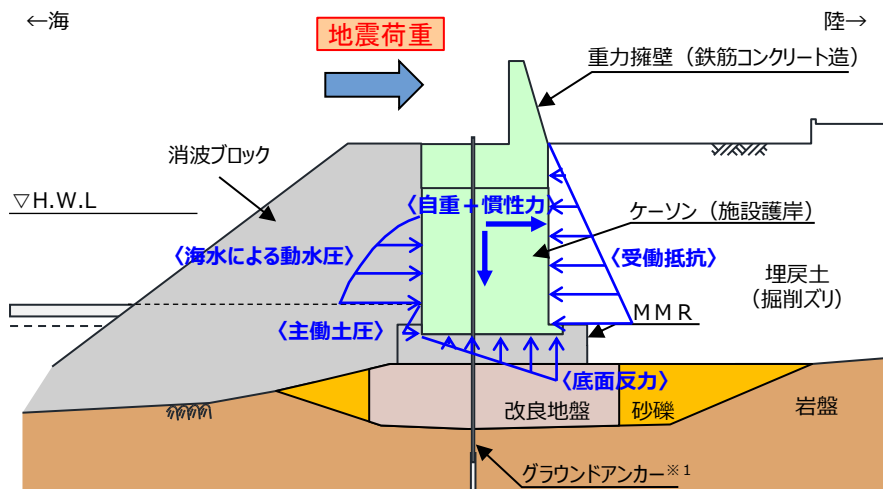
■ 地震時（陸側方向）の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を以下のとおり示す。

【荷重伝達メカニズム】

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

【発生断面力（応力状態）】

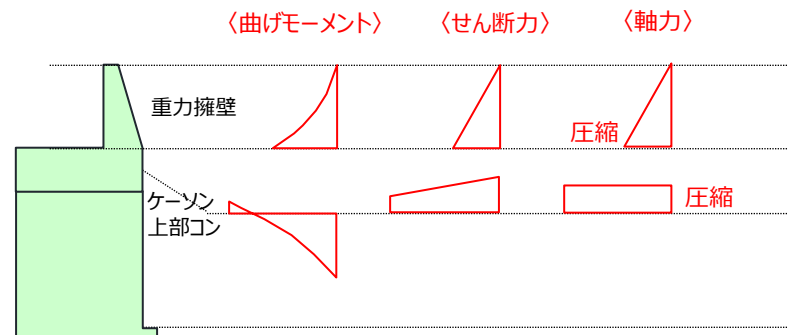
■ 重力擁壁には受働抵抗が作用しないため、重力擁壁の発生断面力は重力擁壁付け根に集中する。



※ 1 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。

※ 2 雪荷重, 風荷重は省略

荷重図



発生断面力

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（1/6）

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

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
重力擁壁	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 重力擁壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物荷重により、重力擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物荷重による重力擁壁の発生応力度が許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、重力擁壁が損傷する、あるいは止水目地を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 万一、竜巻及びその随件事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重により、重力擁壁が滑動し、ケーソンと重力擁壁の境界に水みちが形成されることで、遮水性を喪失する。【損傷モードと弱部（2）】 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> ケーソンと重力擁壁の境界は、蓋コンクリート天端をケーソン天端から20cm下げて打設することで、一体構造としている。ケーソンと重力擁壁の境界部であるケーソン張出部の健全性を確認し、遮水性を確保することを確認する。（7.5（3）参照） 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、重力擁壁の既設コンクリートと新設コンクリートの取合い部が損傷し、遮水性を喪失する。【損傷モードと弱部（3）】 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 既設コンクリートの表面は目荒らしを実施し、必要な付着強度を確保している。また、嵩上げた重力擁壁は、海側及び陸側に新たに鉛直鉄筋を主筋として配置し、この鉄筋を施設護岸に定着させ、一体化させた構造としている。（7.5（2）参照） 	○
<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に施設護岸の一部が崩壊し、津波により運ばれて重力擁壁に衝突することで重力擁壁が損傷し、遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 数値シミュレーションにより、護岸際は流速が小さいことを確認しているため、護岸構成部材は津波により漂流物とならないと判断する。 	—	

※1 ①地震時，②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

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

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

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
止水目地 (支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波時により発生した施工ブロック間の相対変形により、目地の許容変形量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 異種構造形式の境界部、防波壁周辺の隣接構造物、改良地盤の有無を考慮して選定した断面について止水目地の相対変形量を算定し、許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物が衝突することにより、目地が損傷し遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地は、津波漂流物の衝突による損傷を防止するため、防波壁の陸側に設置する。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、止水目地が損傷し、遮水性を喪失する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 万一、竜巻及びその随伴事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施する。 	—

※1 ①地震時，②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（－）。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

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

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

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
ケーソン	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、ケーソンが曲げ及びせん断破壊し、重力擁壁を支持できなくなることで、重力擁壁の遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> ケーソンの各部材の層間変形角又は圧縮縁コンクリートひずみが限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ以下であることを確認する。 ケーソンの各部材のせん断力がせん断耐力以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、放水路貫通部のケーソンが曲げ及びせん断破壊し、重力擁壁を支持できなくなることで、重力擁壁の遮水性を喪失する。 	①, ②		○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、ケーソンが曲げ及びせん断破壊し、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> ケーソン（前壁、後壁、側壁）の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、ケーソンが滑動及び転倒することで、重力擁壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> ケーソンの滑動及び転倒の有無を確認する。 	○
H鋼	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、H鋼のせん断破壊又は周辺岩盤のすべり破壊により、重力擁壁を支持できなくなることで重力擁壁の遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> H鋼の発生応力度がせん断応力度以下であることを確認する。 	○

※1 ①地震時, ②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.4 損傷モードと弱部（1）要求機能を喪失する事象の抽出（4 / 6）

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

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
MMR	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重によりMMRがすべり破壊し、ケーソン及び重力擁壁を支持できなくなるにより遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> すべり安全率が許容値以上であることを確認する。(3条で確認) 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、MMRがせん断破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。 	②		○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波時に重力擁壁及びケーソンに伝わる荷重によりMMRが破壊し、ケーソンを支持できなくなる。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁直下またはケーソン直下の地盤の鉛直圧縮応力が極限支持力以下であることを確認する。 	○

※1 ①地震時, ②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

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

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

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性を保持）するため、改良地盤がすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、地盤としての有効応力を喪失した状態で地下水や津波による浸透圧が作用することで、ポイリング・パイピング現象により土粒子が流出して水みちが形成される。 			
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により改良地盤がすべり破壊し、安定性を喪失して防波壁の高さを維持できなくなり、重力擁壁の遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> すべり安全率が許容値以上であることを確認する。（3条で確認） 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に重力擁壁及びケーソンに伝わる荷重により改良地盤が破壊し、ケーソンを支持できなくなる。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁直下またはケーソン直下の地盤の鉛直圧縮応力が極限支持力以下であることを確認する。 	○

※1 ①地震時, ②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

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

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

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により岩盤がすべり破壊し、安定性を喪失して防波壁の高さを維持できなくなり、重力擁壁の遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> すべり安全率が許容値以上であることを確認する。(3条で確認) 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に重力擁壁及びケーソンに伝わる荷重により岩盤が破壊し、重力擁壁又はケーソンを支持できなくなる。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁直下またはケーソン直下の地盤の鉛直圧縮応力が極限支持力以下であることを確認する。 	○

※1 ①地震時, ②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

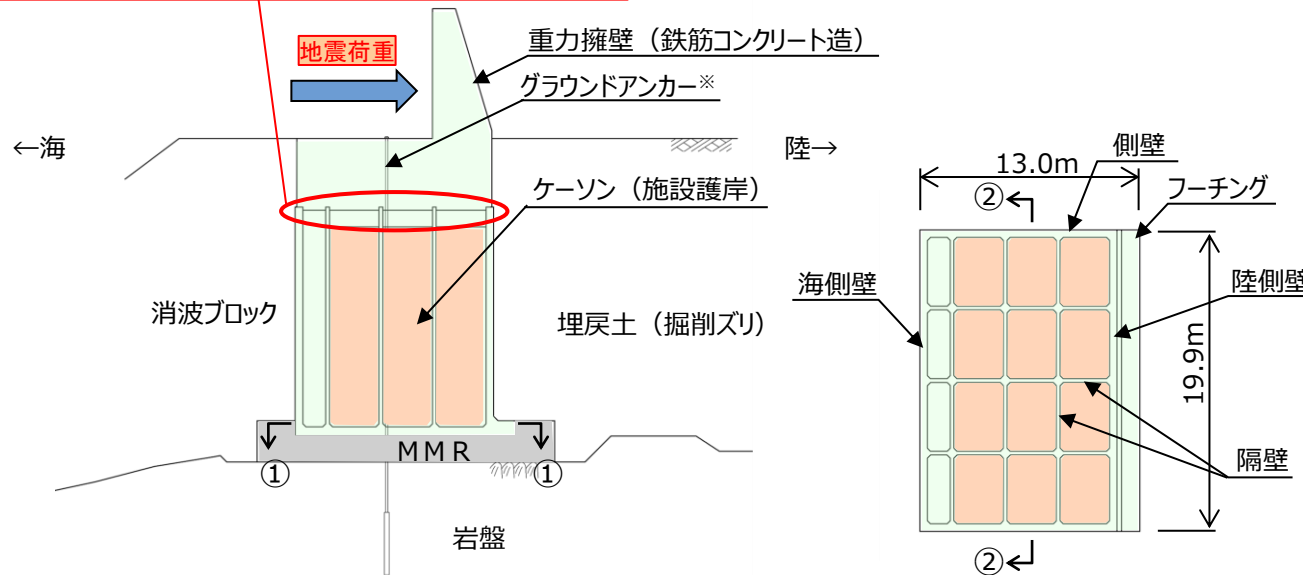
7.4.4 損傷モードと弱部（2） 共通（地震時）

- ケーソンの構造及び地震時に局所的に応力が集中し、構造上の弱部となる箇所を以下に示す。
- ケーソンは鉄筋コンクリート製であり、隔壁で仕切られたケーソン内は、中詰材（コンクリート、銅水砕スラグ又は砂）で充填されており、中詰材の流出を防止するため、中詰材の上部に蓋コンクリートを打設している。
- 中詰材は銅水砕スラグ又は砂を使用しており、これらの飽和単位体積重量は、 22.6kN/m^3 、 20.0kN/m^3 である。
- ケーソンと重力擁壁の境界は、蓋コンクリート天端をケーソン天端から20cm下げて打設することで、一体構造としている。ケーソンと重力擁壁の境界部のケーソン張出部の健全性を確認し、遮水性を確保することを確認した（詳細は7.5(3)参照）。



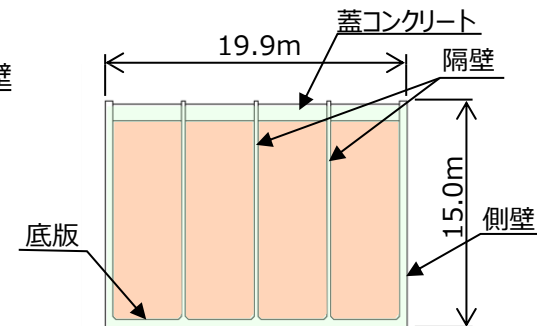
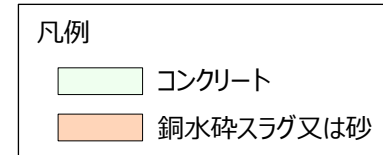
中詰材（銅水砕スラグ）充填状況
（蓋コンクリート打設前）

重力擁壁が滑動し、ケーソンと重力擁壁の境界に水みちが形成されることで、遮水性を喪失する。



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

防波壁断面図（波返重力擁壁）



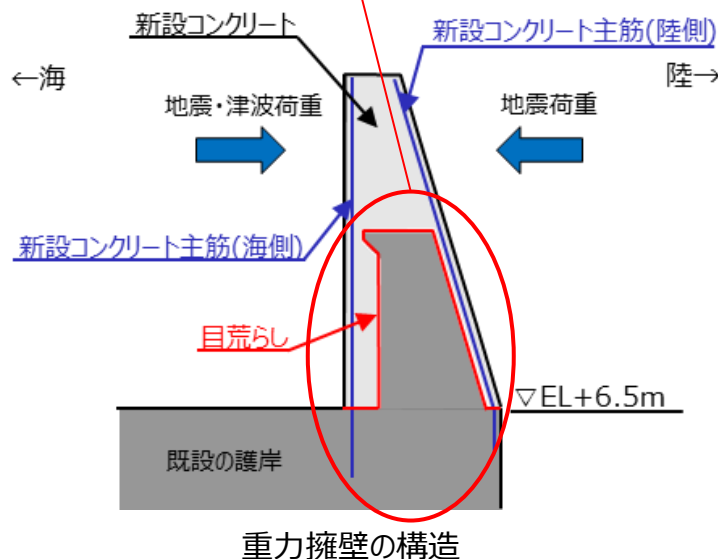
ケーソン構造図（①-①断面） ケーソン構造図（②-②断面）

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.4 損傷モードと弱部（3）共通（地震時，津波時）

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

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



陸側鉄筋組立状況



目荒らし施工状況

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（1/2）

- 防波壁（波返重力擁壁）について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面の整理方針を以下の表に示す。
- 詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、上記の観点を考慮して断面を整理し、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。また、止水目地の機能維持の観点からも、異種構造物形式の境界部、防波壁周辺の隣接構造物、改良地盤の有無を考慮したうえで、防波壁の施工ブロック間の相対変形が最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。

耐震評価候補断面の整理（防波壁（波返重力擁壁））（1/2）

観点		防波壁（波返重力擁壁）			
		一般部（①-①断面）	改良地盤部（②-②断面）	放水路貫通部（③-③断面）	
要求機能		津波防護施設	津波防護施設	津波防護施設	
①間接支持する設備		・なし	・なし	・なし	
②構造的特徴	形式	・線状構造物 ・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置している。	・線状構造物 ・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置している。	・線状構造物 ・約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置している。	
	寸法	・幅1.50m ・高さ8.50m（地上部のみ）	・幅1.50m ・高さ8.50m（地上部のみ）	・幅1.50m ・高さ8.50m（地上部のみ）	
③周辺状況	周辺地質	・ケーソンを介して主にCM級岩盤に支持される。 ・周辺地質は、埋戻土（掘削スリ）が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：21.2m	・高圧噴射攪拌工法により地盤改良を実施している改良地盤部が存在する。 ・ケーソンを介して主にCM級岩盤または改良地盤に支持される。 ・周辺地質は、埋戻土（掘削スリ）及び砂礫層が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：29.0m	・ケーソンを介して主にCH級岩盤に支持される。 ・周辺地質は、埋戻土（掘削スリ）が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：16.3m	
	地下水位※	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。	
	隣接構造物	横断方向	・なし	・なし	・南北両側に3号炉放水路が隣接する。 ・南側に放水接合槽が隣接する。
		縦断方向	・なし	・なし	・なし
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。			
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。			

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

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 7.4 設計方針

7.4.5 耐震評価候補断面の整理方針（2/2）

耐震評価候補断面の整理（防波壁（波返重力擁壁））（2/2）

観点		防波壁（波返重力擁壁）		
		輪谷部（④-④断面）	東端部（⑤-⑤断面）	西端部（⑥-⑥断面）
要求機能		津波防護施設	津波防護施設	津波防護施設
①間接支持する設備		・なし	・なし	・なし
②構造的 特徴	形式	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置している。 下端部にH鋼（H-350×350×12×19）を1m間隔で設置している。 	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置している。 端部にかけて岩盤に擦り付く。 下端部にH鋼（H-350×350×12×19）を1m間隔で設置している。 	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 約10mを1ブロックとした鉄筋コンクリート造の壁体を連続で設置している。 端部にかけて岩盤に擦り付く。 下端部にH鋼（H-350×350×12×19）を1m間隔で設置している。
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> 幅1.50m 高さ6.50m（地上部のみ） 	<ul style="list-style-type: none"> 幅1.00m 高さ7.50m 	<ul style="list-style-type: none"> 幅1.50m 高さ8.50m
③周辺 状況	周辺地質	<ul style="list-style-type: none"> ケーソンを介して主にCM級岩盤に支持される。 周辺地質は、埋戻土（掘削スリ）が分布している。 地表面から岩盤までの深さ：23.2m 	<ul style="list-style-type: none"> 主にCH級岩盤に直接支持される。 地表面から岩盤までの深さ：0.0m 	<ul style="list-style-type: none"> CM級岩盤に直接支持される。 地表面から岩盤までの深さ：0.0m
	地下水位※	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。
	隣接構 造物	横断 方向	・なし	・東側に岩盤上に直接基礎形式で設置されたサイトバンカ建物が隣接する。
縦断 方向		・異種構造形式（鋼管杭式逆T擁壁）が隣接する。	・異種構造形式（多重鋼管杭式擁壁）が隣接する。	・なし
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。		
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。		

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

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（1）設置の経緯

■ 防波壁（波返重力擁壁）における重力擁壁の設置の経緯を以下に示す。

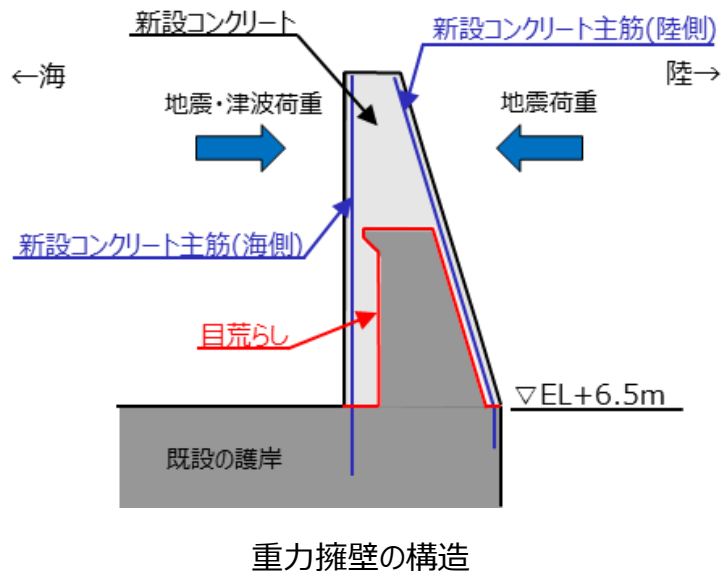
3号造成時	申請時	改良地盤の追加
<p>※ グラウンドアンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。</p>	<p>※ グラウンドアンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。</p>	<p>※ グラウンドアンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（波返重力擁壁）を設置する範囲には、3号機増設に伴い設置した岩着したケーソン式構造で安定性の高い護岸（T.P.+10m）が既に設置されている。 ・既設の護岸は、日本海の冬季波浪に耐える頑健性の高い構造としていた。 	<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>

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（2）重力擁壁の既設と新設の一体性検討（1 / 5）

【重力擁壁の構造について】

- 重力擁壁は、津波による敷地内への浸水を防止するため、既設の護岸を嵩上げた構造としている。
- 新設コンクリートは、既設の護岸の重力擁壁表面に目荒らしを行い、既設コンクリートを巻き込むように打設し、新設コンクリートに配置する鉄筋を既設の護岸に定着することにより、既設コンクリートと新設コンクリートの一体化を図っている。
- したがって、設置許可段階においては、新設コンクリート主筋の既設の護岸への定着長と新設コンクリートの付着強度について確認する。
- 新設コンクリート主筋定着部の定着長と付着強度確認試験結果について次頁に示す。



陸側鉄筋組立状況



目荒らし施工状況

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（2）重力擁壁の既設と新設の一体性検討（2/5）

【主筋定着部の定着長について】

- 新設コンクリートの主筋は、「コンクリート標準示方書」に示される引張鉄筋の基本定着長に基づき定着長を算定し、既設の護岸に定着させている。

$$l_d = \alpha \frac{f_{yd}}{4f_{bod}} \phi$$

ここで、

ϕ : 主鉄筋の直径

f_{yd} : 鉄筋の設計引張降伏強度

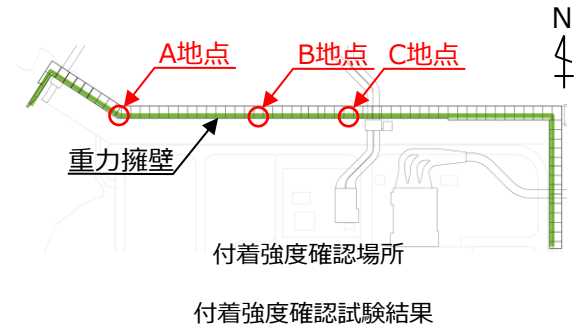
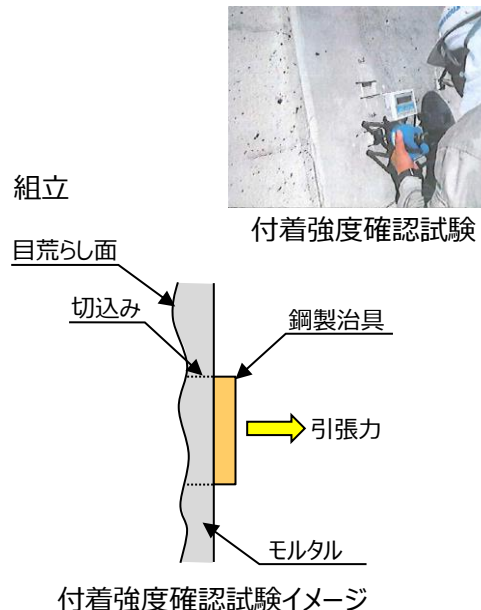
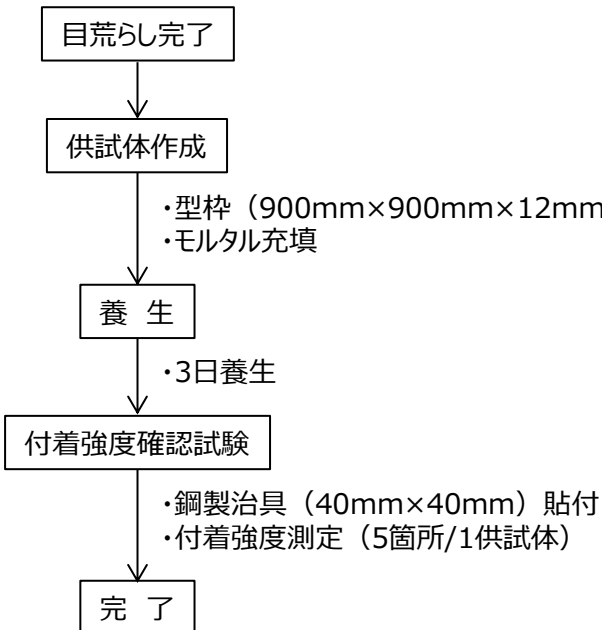
f_{bod} : コンクリートの設計付着強度

α : 係数

コンクリート標準示方書に示される引張鉄筋の基本定着長の算定式

【付着強度確認試験結果について】

- 新設コンクリートの付着力を高め、既設と新設の一体化を確実なものとするため、既設コンクリート表面の目荒らしを実施している。
- 目荒らしについては、目標とする付着強度を「表面保護工法 設計施工指針（案）[工種別マニュアル編] 土木学会 断面修復工マニュアル p221」を参考に設定し、同指針（案）で示されている $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ に裕度を加えた $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ を管理基準とした。
- 付着強度については、事前に付着強度確認試験を実施し、目荒らし後の付着強度が $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であることを確認した。付着強度確認試験の試験手順及び試験結果を以下に示す。



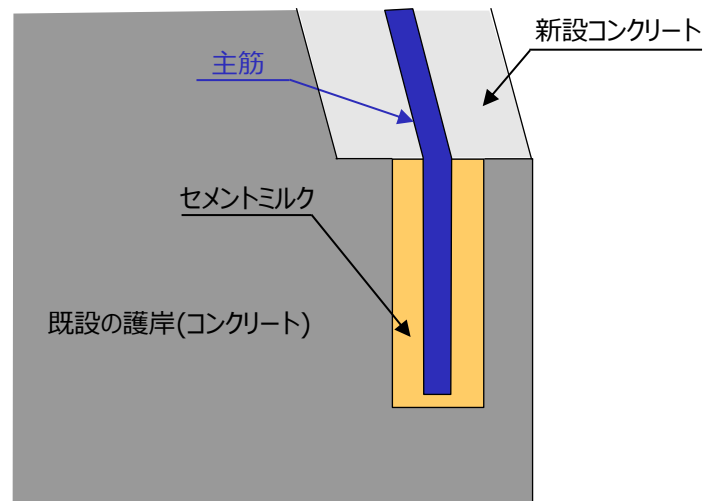
供試体 NO	試験場所		
	A地点	B地点	C地点
1	1.71	1.78	1.76
2	1.61	1.66	1.72
3	1.72	1.88	1.66
4	1.74	1.63	1.84
5	1.60	1.99	1.58

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（2）重力擁壁の既設と新設の一体性検討（3 / 5）

【主筋定着部の評価方法について】

- 主筋定着部の施工は、コアドリル又はパーカッションドリルを使用して既設の護岸のコンクリートを削孔し、主筋建込後、周囲にセメントミルクを注入する手順としている。
- 「各種合成構造設計指針・同解説 日本建築学会」においては、上記の施工手順で施工されたアンカーボルトは、「その他のアンカーボルト」のうち、「型抜きアンカー」に該当すると判断できる。型抜きアンカーの許容耐力については、「実験等により確認し、使用条件及び施工条件を考慮し、本指針に準じて適切な安全率を見込んだ許容耐力をきめる」とあることから、詳細設計段階において、島根2号炉の重力擁壁の施工条件を考慮した模型実験を行い、コーン状破壊や付着破壊について確認し、適切な許容耐力による評価を実施する。なお、試験実施に当たっては、（一社）日本建築あと施工アンカー協会が定めた試験方法を参考とする（次頁参照）。
- しかしながら、津波荷重や地震荷重により定着部に作用する力が、実験で確認した許容耐力以上となる場合は、新設コンクリート部分の増設等の対策工を実施する。



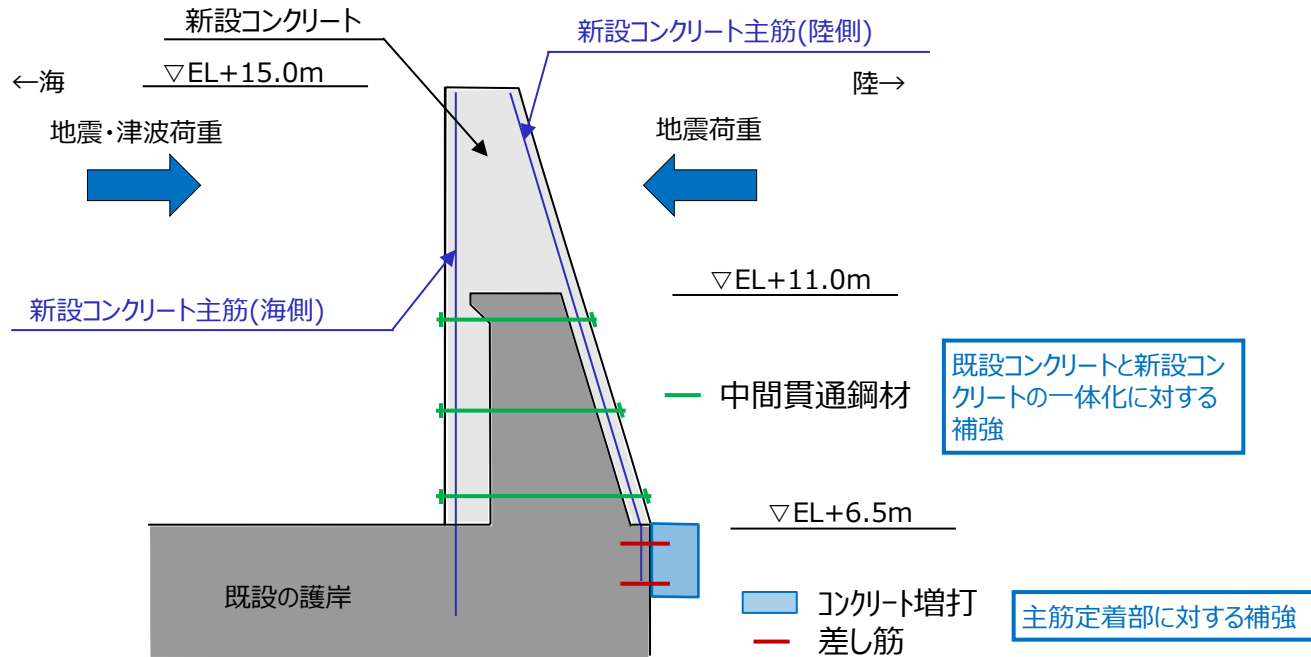
定着部の構造イメージ（陸側主筋）

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（2）重力擁壁の既設と新設の一体性検討（5 / 5）

【対策工について】

- 津波荷重や地震荷重により新設コンクリートの主筋定着部に作用する力が、実験で確認した許容耐力以上となる場合は、新設コンクリート部分の増設等の対策工を実施することにより、重力擁壁の損傷を防止する。
- 詳細設計段階において、新設コンクリートと既設コンクリートの照査をそれぞれ行い、一体性について影響が生じる場合は、対策工を実施することにより、重力擁壁の損傷を防止する。
- 対策工の構造例を以下に示す。



対策工の構造例

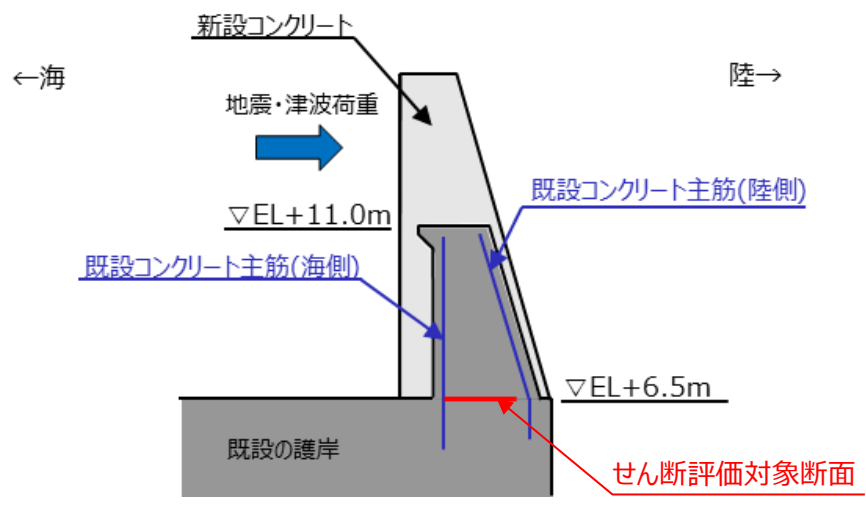
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針 (参考) 重力擁壁のせん断破壊に対する評価

【参考：重力擁壁のせん断破壊に対する評価について】

- 嵩上げた重力擁壁は、既設と新設が一体化しているものとして耐震や耐津波の評価を行う方針であるが、仮に新設コンクリート部分には期待せず、既設コンクリート部分のみを対象とした場合のせん断破壊による評価を実施した。
- 重力擁壁は、地震時に土圧が作用しないので、検討ケースは津波時とした。
- 以下に示す結果より、津波荷重により発生するせん断力に対して既設コンクリート部分のみで所定の安全率が確保できている。

津波時における既設コンクリートでのせん断破壊に対する評価結果

確認項目	許容せん断応力度 (N/mm ²)	発生せん断応力度 (N/mm ²)	最小安全率 (許容せん断応力度 / 発生せん断応力度)	判定 (> 1.0)
せん断	0.9	0.30	3.00	OK

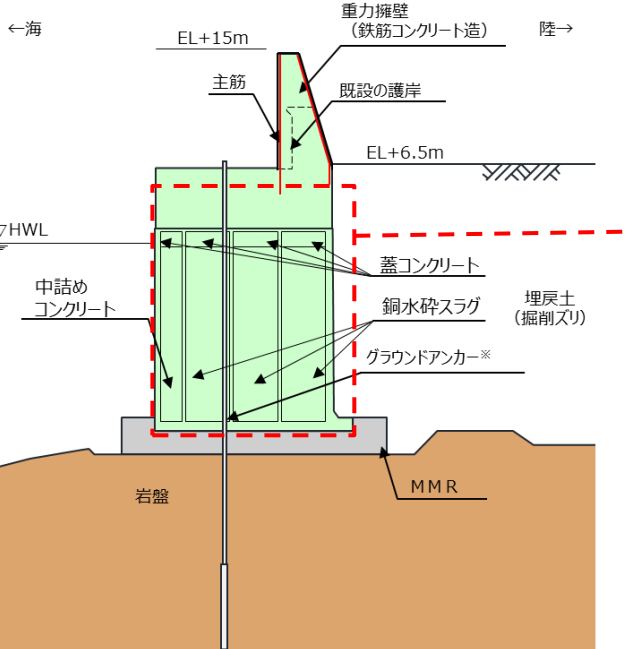


海側からの荷重に対するせん断破壊に対する評価イメージ

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（3）ケーソンと重力擁壁間の一体挙動（1/2）

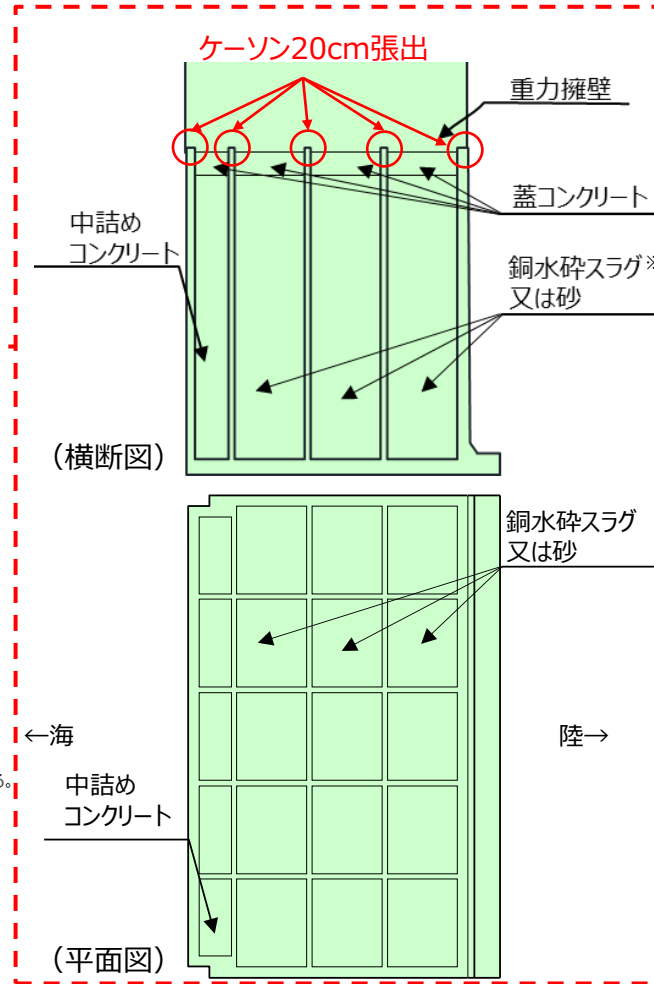
- 岩盤上に鋼製架台を設置し、ケーソンを据え付けた後、鋼製架台内に水中コンクリートを打設することにより、MMRを構築している。
- ケーソン内はコンクリート、銅水砕スラグ又は砂により中詰めし、その上部に蓋コンクリート及び重力擁壁を打設している。ケーソンと重力擁壁の境界は、蓋コンクリート天端をケーソン天端から20cm下げて打設とすることで、一体構造としている。
- 以上を踏まえ、構造成立性検討及び詳細設計段階においては、ケーソンと重力擁壁を一体構造として扱う。



※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)

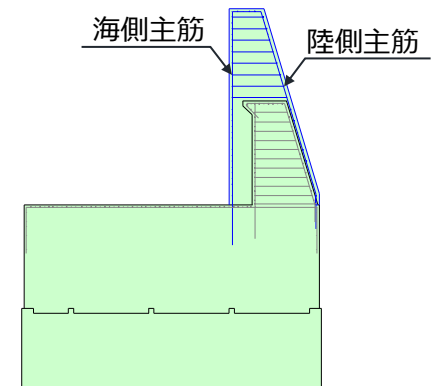
※1 銅の精錬過程で発生するスラグを水で細かく砕いた砂状の物質で一般の砂に比べ密度が大きい。



ケーソンの構造



蓋コンクリート打設状況

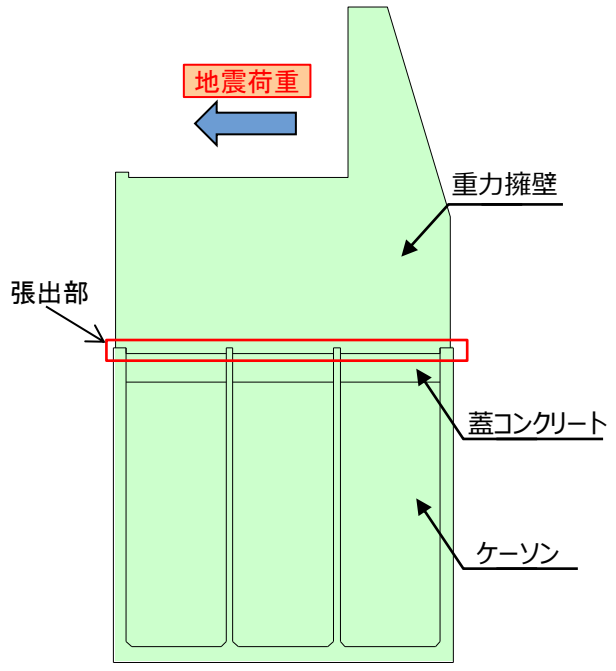


重力擁壁 配筋状況

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（3）ケーソンと重力擁壁間の一体挙動（2/2）

- ケーソンと重力擁壁を一体構造として扱うことについて、境界部が仮に平坦とした場合の相対変形量により確認していたが、今回、地震時及び津波時におけるケーソン上端の張出部の健全性を評価することで確認する。ただし、津波時及び地震時（海側から陸側への荷重作用）は、防波壁（波返重力擁壁）の背後に地盤があることから、検討に当たっては、地震時（陸側から海側への荷重作用）における張出部の健全性を確認する。
- ケーソンと重力擁壁の境界部における、2次元動的FEM解析（有効応力解析）から算定される重力擁壁の基準地震動 S_s-D による荷重をケーソンの張出部に作用させ、張出部が損傷しないことを確認する。なお、ケーソンと重力擁壁の境界部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 $\mu=0.5$ として設定する。
- 検討の結果、張出部のせん断について、コンクリートのせん断耐力のみで照査した場合でも、せん断耐力を下回ることから、ケーソンと重力擁壁は一体挙動し、境界部における遮水性が確保されることを確認した。



防波壁（波返重力擁壁）輪谷部
断面図

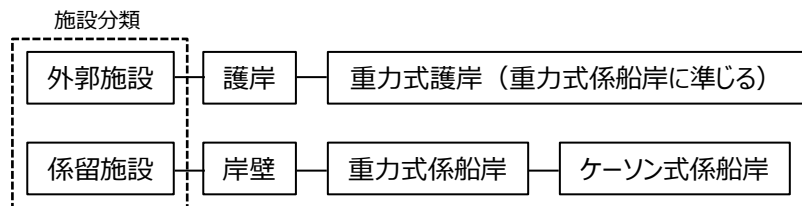
照査結果

	せん断力 (kN)	せん断耐力 (kN)	安全率
張出部	813	896	1.1

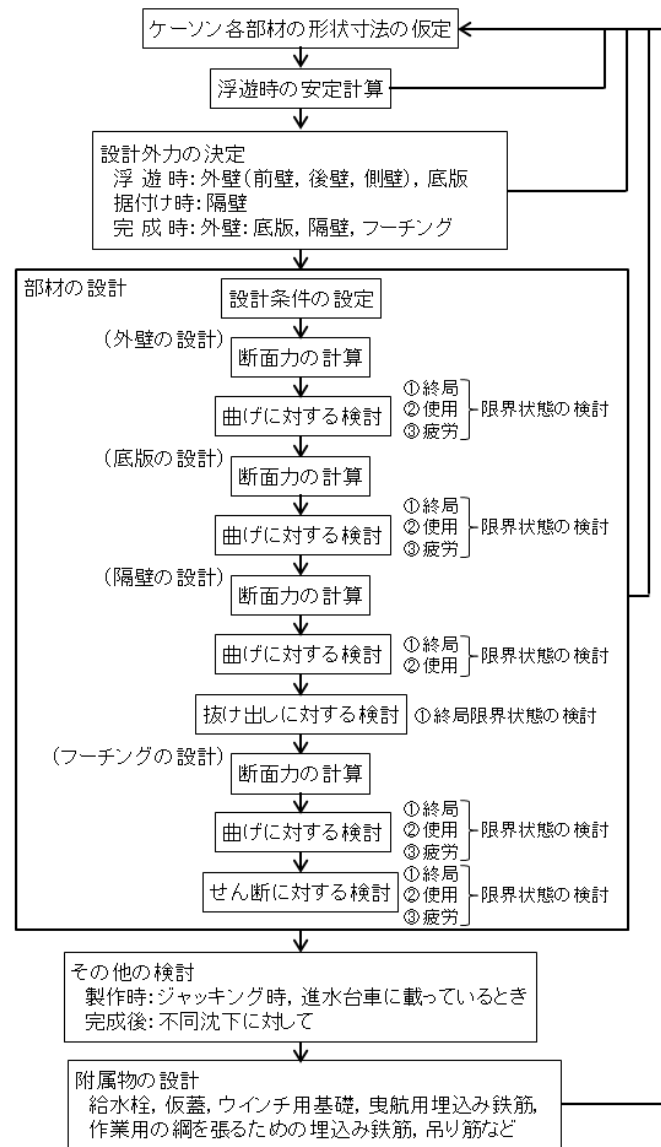
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（4）港湾基準による整理（1/8）

- 既設の護岸は、JEAG4601-1987では「その他土木構造物（港湾施設）」に分類され、耐震設計において参考とする基準、指針等として、「港湾基準（昭和55年度版）」が示されている。3号増設時の港湾基準の最新版は平成11年度版であり、既設の護岸はこれに基づいて耐震設計を実施した。
- 港湾基準（平成11年4月）では、「護岸の構造は、仮土留めを除き、重力式係船岸、矢板式係船岸、鋼矢板セル式係船岸等の構造形式と類似しているので、設計に当たっては、係留施設の関連部分を参照することができる」としている。護岸の安定計算は係留施設の「重力式係船岸」を参照し、プレキャストコンクリート部材であるケーソンについては、港湾基準（平成11年4月）に従い照査した。以下に、港湾基準に基づき作成した港湾施設における施設分類を示す。
- 設計状態としては、供用時のレベル1地震動及び変動波浪の変動状態に加え、施工中の浮遊時及び冬季波浪時等の厳しい状態を考慮した設計を行っている。



港湾施設における施設分類（港湾基準（平成11年4月）に基づき作成）



ケーソンの設計順序（港湾基準（平成11年4月）に基づき作成）

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（4）港湾基準による整理（2/8）

- 以下に、港湾基準で示されたケーソンの各部位に関する性能規定及び設計状態に関する設定を示す。ここでは、「7.5 個別論点（4）港湾基準による整理（7/8）」で示した供用時（完成時）の検討対象部材である底板及びフーチングと側壁について示す。
- 表で示される使用性とは、使用上の不都合を生じずに施設等を使用できる性能のことであり、作用に対して想定される施設の構造的な応答においては、損傷の可能性が十分に低いこと、又はわずかな修復により速やかに所要の機能が発揮できる程度の損傷に留まることである。なお、基準省令では、使用性の規定を、原則として「作用による損傷等が、当該施設の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと」と表記している。

ケーソンの底板及びフーチングに関する性能規定及び設計状態（主たる作用が自重の永続状態）に関する設定

要求性能	設計状態			照査項目	限界値を定める標準的な指標
	状態	主たる作用	従たる作用		
使用性	永続	自重	水圧、地盤反力、 載荷重、土圧	底板及びフーチングの断面破壊	設計断面耐力（終局限界状態）
				底板及びフーチングの断面の使用性	曲げひび割れ幅の制限値（使用限界状態）
				底板及びフーチングの隔壁からの 抜け出し（鉄筋の降伏）	設計降伏応力度

ケーソンの底板及びフーチングに関する性能規定及び設計状態（主たる作用が変動波浪の変動状態）に関する設定

要求性能	設計状態			照査項目	限界値を定める標準的な指標
	状態	主たる作用	従たる作用		
使用性	変動	変動波浪※ ¹	自重、水圧、地盤 反力、載荷重、土 圧	底板及びフーチングの断面破壊	設計断面耐力（終局限界状態）
				底板の隔壁からの抜け出し（鉄筋の降伏）	設計降伏応力度
		変動波浪※ ²		底板及びフーチングの断面の使用性	曲げひび割れ幅の制限値（使用限界状態）
		波浪の繰返し作用※ ³		底板及びフーチングの疲労破壊	設計疲労強度（疲労限界状態）

※1 ここでの波浪は、この告示第八条第一項第一号に定めている波浪のうち、当該施設の構造の安定性の性能照査に用いたものとする。

※2 ここでの波浪は、この告示第八条第一項第二号に定めている波浪のうち、設計供用期間にそれ以上の波高の波が来襲する回数が 10^4 回程度のものとするを標準とする。

※3 ここでの波浪は、この告示第八条第一項第二号に定めている波浪のうち、設計供用期間に生じる波浪の波高と周期に関する出現回数に応じた適切なものを設定する必要がある。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（4）港湾基準による整理（3/8）

ケーソンの底版及びフーチングに関する性能規定及び設計状態（主たる作用が浮遊時の水圧及びレベル1地震動の変動状態）に関する設定

要求性能	設計状態			照査項目	限界値を定める標準的な指標
	状態	主たる作用	従たる作用		
使用性	変動	L1地震動	自重, 水圧, 地盤反力	底版及びフーチングの断面破壊	設計断面耐力（終局限界状態）
				底版の隔壁からの抜け出し（鉄筋の降伏）	設計降伏応力度

ケーソンの側壁に関する性能規定及び設計状態（偶発状態を除く）に関する設定

要求性能	設計状態			照査項目	限界値を定める標準的な指標
	状態	主たる作用	従たる作用		
使用性	永続	内部土圧	内部水圧	側壁の断面の使用性	曲げひび割れ幅の制限値（使用限界状態）
				側壁の隔壁からの抜け出し（鉄筋の降伏）	設計降伏応力度
	変動	変動波浪※1 変動波浪※3 波浪の繰返し作用※4	内部水圧, 内部土圧	側壁の断面破壊※2	設計断面耐力（終局限界状態）
				側壁の断面の使用性	曲げひび割れ幅の制限値（使用限界状態）
				側壁の疲労破壊※2	設計疲労強度（疲労限界状態）
		L1地震動	内部水圧, 内部土圧	側壁の断面破壊	設計断面耐力（終局限界状態）

※1 ここでの波浪は、この告示第八条第一項第一号に定めている波浪のうち、当該施設の構造の安定性の性能照査に用いたものとする。

※2 波浪の影響を受ける側壁の場合に限る。

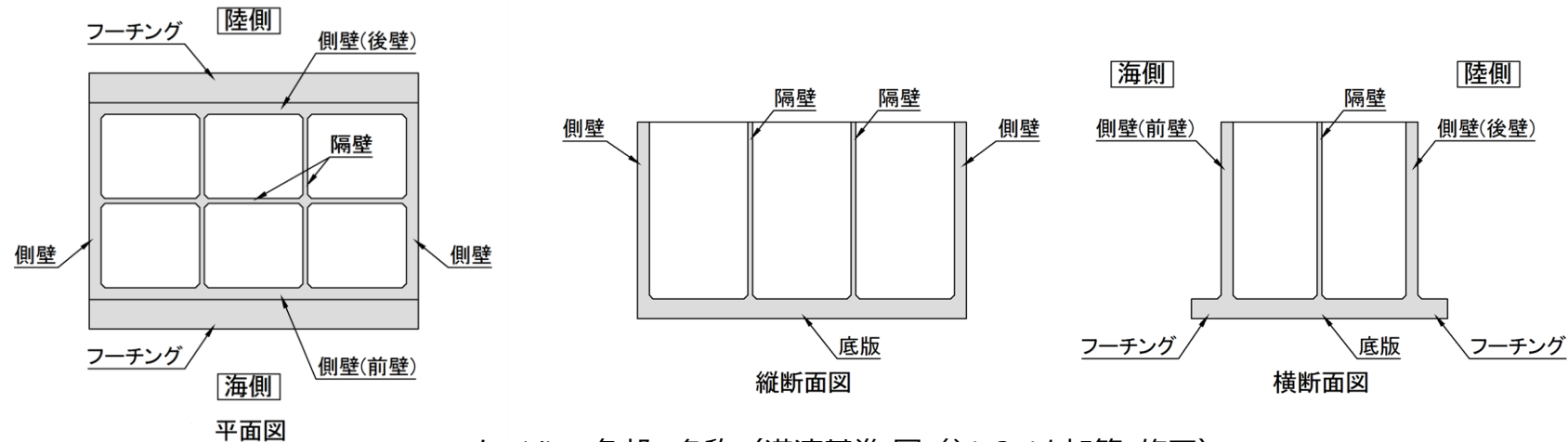
※3 ここでの波浪は、この告示第八条第一項第二号に定めている波浪のうち、設計供用期間にそれ以上の波高の波が来襲する回数が 10^4 回程度のものとするを標準とする。

※4 ここでの波浪は、この告示第八条第一項第二号に定めている波浪のうち、設計供用期間に生じる波浪の波高と周期に関する出現回数に応じた適切なものを設定する必要がある。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（4）港湾基準による整理（4/8）

- 以下に，一般的な形状のケーソン各部の名称を示し，構成部材と役割等について整理する。



ケーソンの各部の名称（港湾基準 図-参1.2.1を加筆・修正）

ケーソン構成部材の役割，照査要否，及び照査方法

構成部材	供用時の主な役割	港湾基準		新規制基準	
		供用時の照査要否	照査項目 (許容限界)	供用時の照査要否	照査項目 (許容限界)
・前壁 ・後壁 ・側壁	・重力擁壁を支持する ・遮水性を保持する	要	断面破壊(設計断面耐力) 使用性 (曲げひび割れ幅の制限値) 抜け出し(設計降伏応力度)	要	曲げ破壊，せん断破壊 (短期許容応力度)
・底版	・前壁，後壁，側壁，隔壁を支持する	要		要	
・隔壁	・重力擁壁を支持する ・前壁，後壁，側壁，底版の変形を抑制する	否	—	要	曲げ破壊，せん断破壊 (曲げ：限界層間変形角又は 圧縮縁コンクリート限界ひずみ， せん断：せん断耐力)
・フーチング	・滑動，転倒に対して安定性を確保する	要	断面破壊(設計断面耐力) 使用性 (曲げひび割れ幅の制限値) 抜け出し(設計降伏応力度)	要	

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（4）港湾基準による整理（5/8）

- 港湾基準において、津波対策施設の要求性能は、使用性に加えて、津波、レベル2地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復による当該施設の機能の回復に影響を及ぼさないこと（修復性）が追加される。以下に、港湾基準における該当箇所を示す。
- 津波対策施設を構成する部材については、主たる作用が津波又はレベル2地震動である偶発状態に対して、作用による損傷の程度が限界値以下であることとされている。

【港湾の施設の技術上の基準を定める省令 第七条 第2項 第二号】

津波から当該施設の背後地を防護する必要がある施設を構成する部材の要求性能にあつては、津波、レベル2地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復による当該施設の機能の回復に影響を及ぼさないこと。

【港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示 第二十二條 第1項 第二号】

津波から背後地を防護する必要がある施設を構成する部材にあつては、主たる作用が津波又はレベル2地震動である偶発状態に対して、作用による損傷の程度が限界値以下であること。

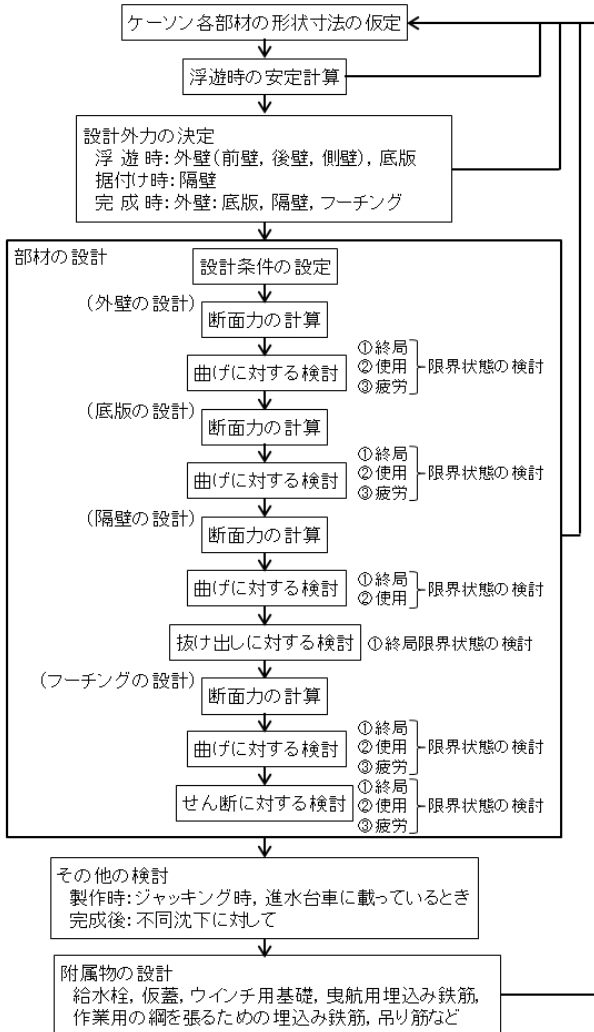
津波対策施設の構造部材に共通する性能規定及び設計状態（偶発状態に限る）に関する設定

省令			告示			要求性能	設計状態		照査項目	標準的な限界値の指標	
条	項	号	条	項	号		状態	主たる作用			従たる作用
7	2	2	22	1	2	修復性	偶発	津波 (L2地震動)	—	損傷	—

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（4）港湾基準による整理（6/8）

- 港湾基準（平成11年4月）に準じて設計した3号増設時のケーソン設計における設計順序及び検討ケースの例を以下に示す。
- なお、港湾基準で「側壁」と記載されている部材は、港湾基準（平成11年4月）では「外壁」として表記されている。



ケーソン性能照査における検討ケース（標準部①（地盤改良部）ケーソンの例）

			終局限界状態				使用限界状態				疲労限界状態			
			底版	外壁	隔壁	フーチング	底版	外壁	隔壁	フーチング	底版	外壁	隔壁	フーチング
製作時			○											
進水時 浮遊時			○	○		○	○		○					
注水時					○				○					
中詰コンクリート打設前					○				○					
据付け後	施工時	波の山※1	○	○		○								
		波の谷※2	○	○		○								
	完成時	波の山※1	○	○		○	○		○	○	○		○	
		波の谷※2	○	○		○	○		○	○	○		○	
		地震時	○	○		○								

※1 波浪に関する変動状態における波の山作用時であり、作用の方向は外部からの作用である。
 ※2 波浪に関する変動状態における波の谷作用時であり、作用の方向は内部からの作用である。

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（4）港湾基準による整理（7/8）

- 以下に、護岸の作用の組合せと荷重係数の一覧表を示す。本表は港湾基準に記載されている「岸壁」の作用の組合せと荷重係数の一覧表を引用したものである。
- 供用時（完成時）の検討対象部材は、底版及び側壁と示されている。

作用の組合せと荷重係数（港湾基準 p.498表-1.2.1より引用）

・護岸（岸壁）

状態	設計状態	自重	静水圧	内部水圧	内部土圧	底版反力	上載荷重	動水圧	地震動作用時の底版反力	施工時荷重		備考	
										据付時	静水時		
供用時	自重に関する永続状態	0.9 (1.0)	1.1 (1.0)			1.1 (1.0)	0.8 (0.5)					底版（上載荷重は底版反力分）	
	内部土圧に関する永続状態			1.1 (1.0)	1.1 (1.0)							側壁	
	レベル1地震動に関する変動状態	1.0 (-)	1.0 (-)				1.0 (-)		1.0 (-)				底版（上載荷重は地震動作用時）
				1.0 (-)	1.0 (-)			1.0 (-)					側壁
施工時	浮遊時の水圧に関する変動状態	0.9 (0.5)									1.1 (0.5)	底版（浮遊時）	
											1.1 (0.5)	側壁（浮遊時）	
	据付時の水圧に関する変動状態									1.1 (0.5)		隔壁（据付時）	

・下段の（ ）内は、使用限界状態検討時の荷重を示している。

・なお、偶発状態においては、荷重係数を1.0としてよい。

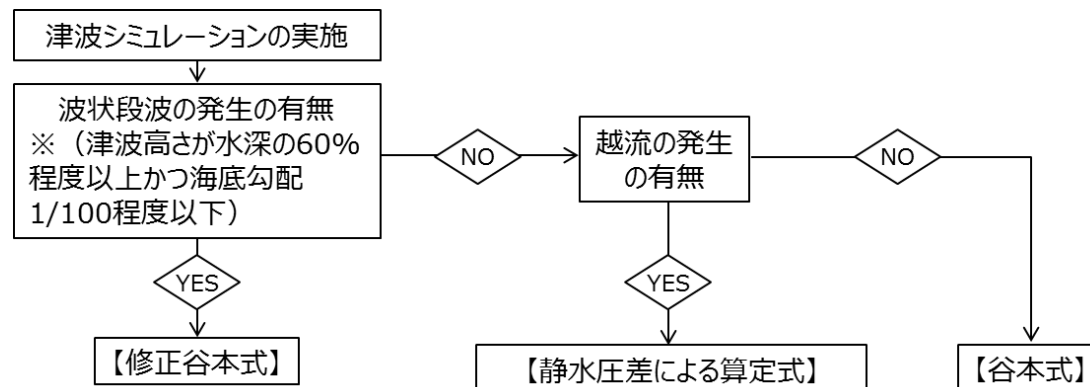
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（4）港湾基準による整理（8/8）

- 港湾基準の最新版は平成30年度版であり、護岸や重力式係船岸に係る平成19年度版からの改訂内容は、生産性の向上の推進に向けた規定の拡充として、「荷重抵抗係数アプローチによる部分係数法の導入」と防災・減災対策の強化に係る規定の拡充として、「防波堤における津波作用時の波力式の改訂」である。
- 「荷重抵抗係数アプローチによる部分係数の導入」では、設計の効率化を図るため、従来の部分係数法（個々のパラメータに部分係数を乗じる方法）から、作用の項及び抵抗の項に集約した部分係数を乗じる方法を導入している。また、「防波堤における津波作用時の波力式の改訂」では、平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を踏まえて、津波波圧算定に関する記載が追加されている。ケーソン各部位の照査においては、これらの改訂内容を反映した照査を行うものとする。
- 港湾基準（平成19年7月）では津波の波力として、海中の防波堤等の直立壁に作用する津波波圧算定式である谷本式が示されていたが、港湾基準（平成30年5月）では、海中の直立壁に作用する津波波力については、東北地方太平洋沖地震後に作成された「防波堤の耐津波設計ガイドライン※¹」に基づき、波状段波や越流の発生の有無を考慮した津波波力の算定手順が示されている。また、陸上の直立壁に作用する津波波力については、「津波を考慮した胸壁の設計の考え方（暫定版）※²」に従って、越流の発生の有無を考慮した波力算定式が示されている。
- 島根2号炉における津波波圧は、港湾基準（平成30年5月）に基づき算定することを基本とするが、3次元津波シミュレーション解析等の方法により、ソリトン分裂や砕波の影響を確認し、適切な津波波圧算定式により津波波力を算定することとする。

※1 国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン，2015

※2 水産庁漁港漁場整備部防災漁村課・国土交通省港湾局海岸・防災課：津波を考慮した胸壁の設計の考え方，2015



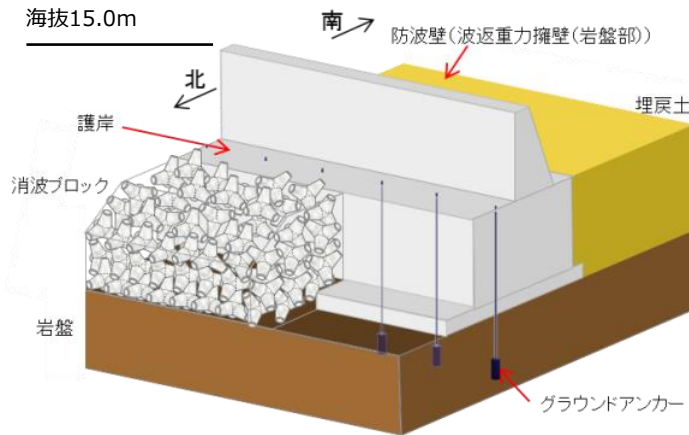
防波堤に対する津波波力算定手順
（港湾基準（平成30年5月）より抜粋）

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

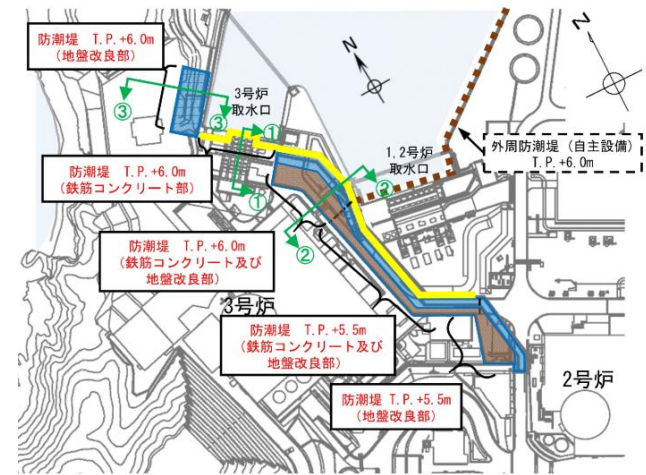
7.5 個別論点（5）構造等に関する先行炉との比較（1/2）

- 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。

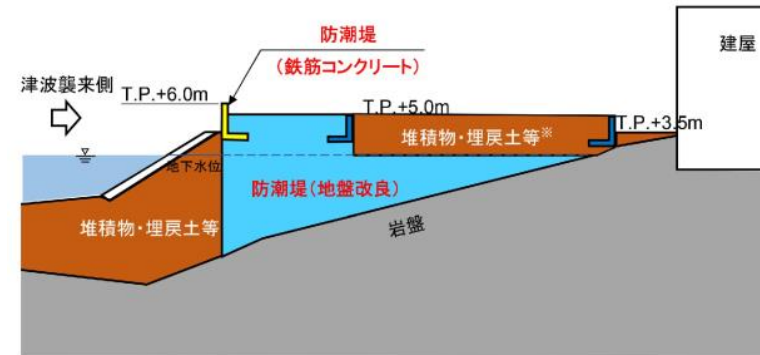
島根原子力発電所
防波壁（波返重力擁壁）



美浜発電所 3号炉
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)

7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針

7.5 個別論点（5）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3号炉の防潮堤（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。

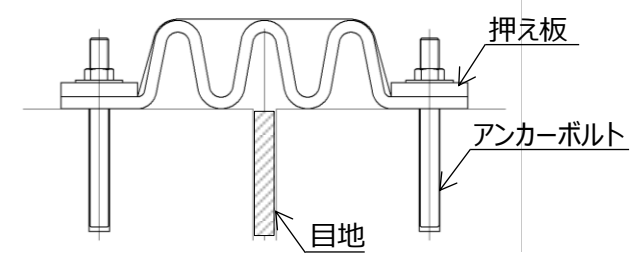
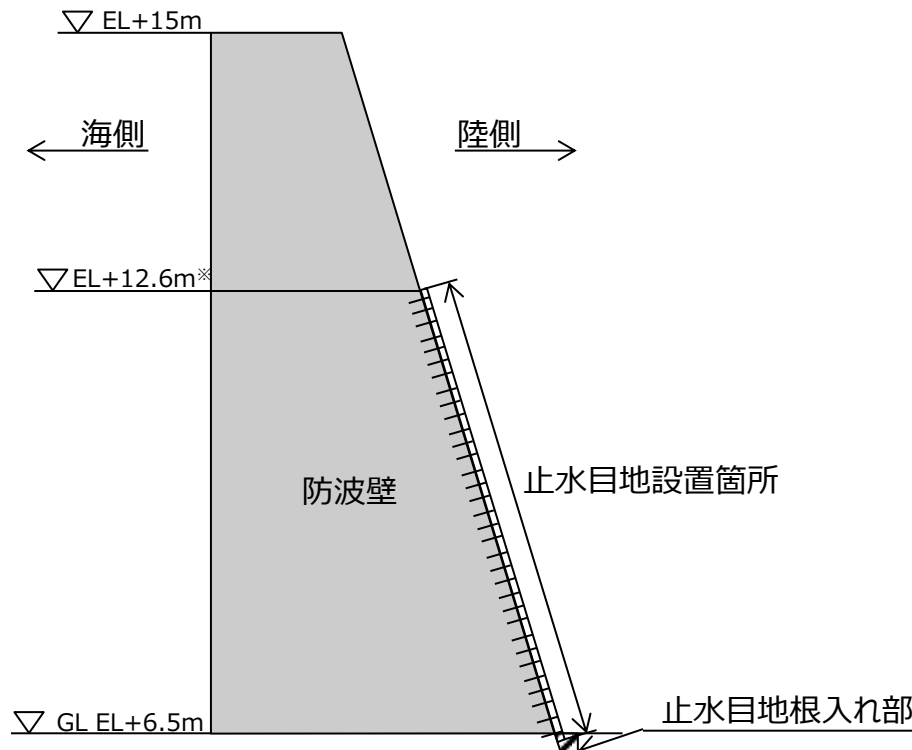
項目	島根原子力発電所 防波壁（波返重力擁壁）	先行炉の構造*		島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点を 踏まえた設計方針の 適用性	先行炉実績との相違点を 踏まえた設計への 反映事項
		関西電力(株) 美浜発電所3号炉 防潮堤 (鉄筋コンクリート及び地盤改良部)	類似点	相違点			
防波壁の構造	下部工の構造	・下部工（ケーソン）は、岩盤若しくは改良地盤に支持させる。なお、上部工（重力擁壁）を直接岩盤若しくはMMRに支持させる箇所がある。	・下部工（改良地盤）は、岩盤に支持させる。	・下部工（コンクリート構造物若しくは改良体）を岩盤に支持させる設計とする。	・下部工（ケーソン）は、鉄筋コンクリート製であり、複数の隔壁を有する構造である。	・同様の支持形態であることから、岩盤の支持機能の照査においては先行炉の下部工の設計方針が適用可能である。	・下部工（ケーソン）の構造を踏まえ、3次元モデルにより各部位の照査を行う。
	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、相対変形量に応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。 ・設置箇所：防波壁の陸側に設置する。 ・止水目地の許容限界：メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。	・止水目地材として、相対変形量に応じ、シートジョイントを採用する。 ・設置箇所：防潮堤の堤内側と堤外側に設置する。 ・止水目地の許容限界：許容変形量、許容引張強度	・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懸念されるが、耐用年数が30年であり、経年劣化による取り換えは不要と考えられる。万一取り換えの必要が生じた場合については、津波襲来までの時間で取り換えを行うよう、今後運用面の手順を整備する。
液状化影響に関する設計への反映		・液状化検討対象層（埋戻土（掘削ズリ、砂礫層））に対して、液状化試験結果及び有効応力解析（FLIP）の簡易設定法に基づき液状化強度特性を設定する。	・液状化検討対象層に対して、液状化試験結果を踏まえ、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。

※ 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。

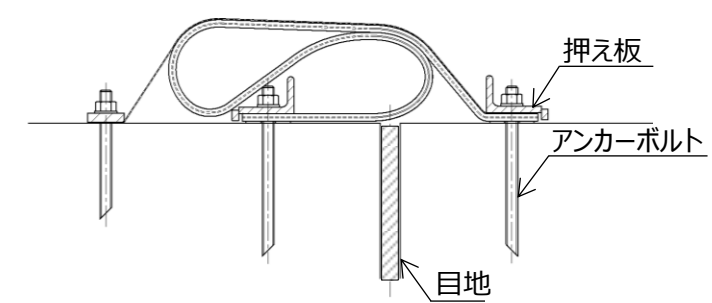
8. その他の構造概要 8.1 止水目地

8.1.1 構造概要 (1/3)

- 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。なお、防波壁の縦断方向に地形の急変部はないことから、隣合う施工ブロック同士の地震時の変形量及び位相は概ね一致するが、保守的に位相が逆向きになったことを考慮して、最大相対変形量を2倍して算出（絶対値和に保守性を考慮）し、それに応じて決定した仕様を、同一構造型式内のすべての止水目地に採用する。（詳細は8.1.3参照）
- 止水目地は、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を参考に定める。また、施工ブロック間の地震時の相対変形及び津波波圧に対して、メーカー規格及び基準と比較し、上回る場合は性能試験を実施し、許容限界を再設定する。
- 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。



ゴムジョイント (相対変形：小)



シートジョイント (相対変形：大)

止水目地 概要図

※ 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））

8. その他の構造概要 8.1 止水目地

8.1.1 構造概要 (2/3)

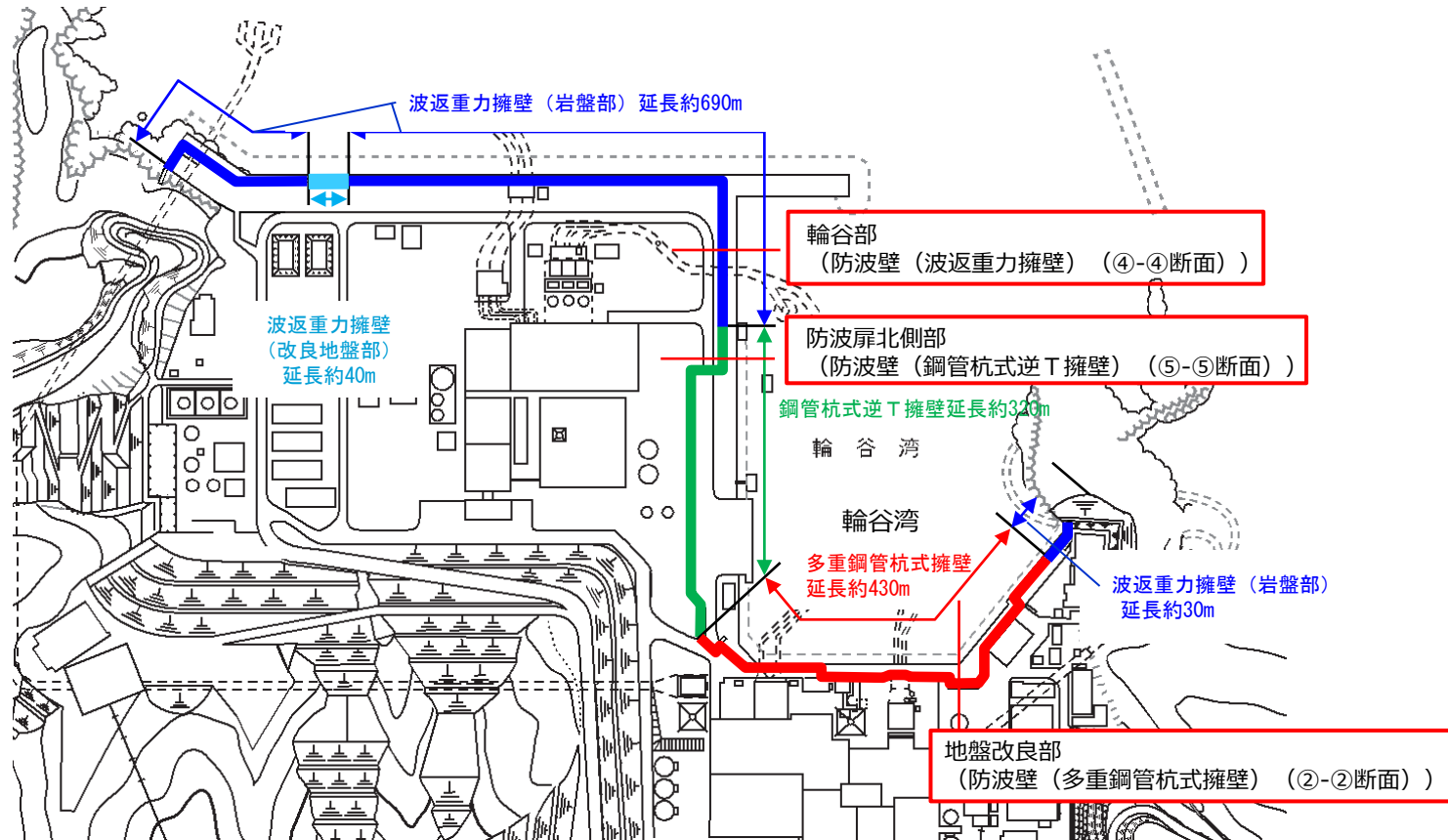
■ 各構造形式の防波壁において、最も相対変形が大きくなる断面は以下のとおり。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）：岩盤が最も深部に位置し、かつ基礎捨石の下側に改良地盤及び砂礫層が存在する「②-②断面」

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）：岩盤が最も深部に位置する「⑤-⑤断面」

防波壁（波返重力擁壁）：輪谷湾に面し、岩盤が最も深部に位置する「④-④断面」

■ なお、詳細設計段階において決定する地下水位に基づき、地震時及び津波時の解析を実施し、最も相対変形が大きくなる断面位置と最終変形量を確定する。

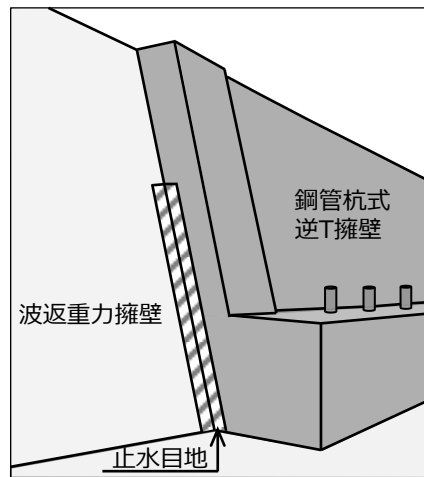
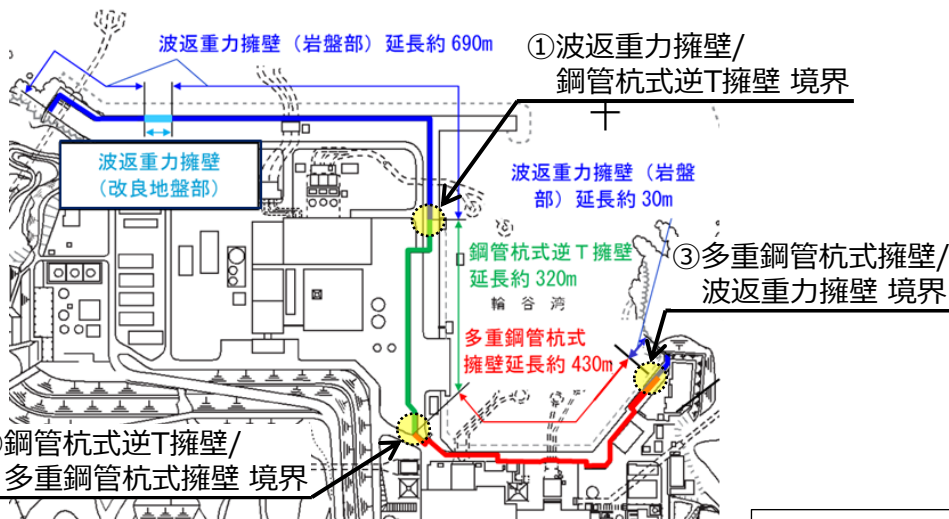


各構造形式において最大相対変形が生じる断面位置

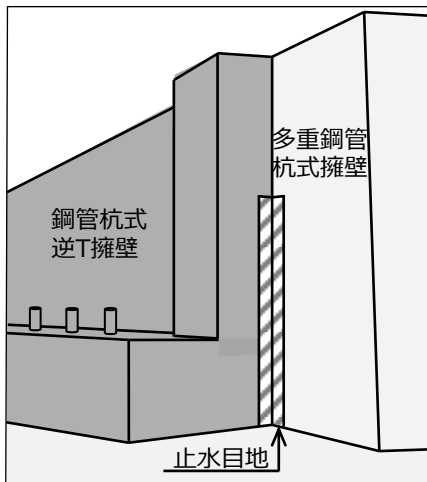
8. その他の構造概要 8.1 止水目地

8.1.1 構造概要 (3/3)

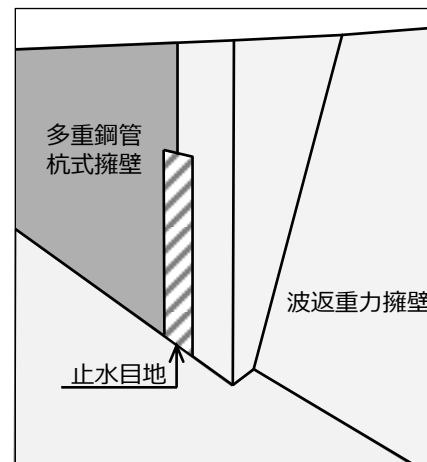
- 防波壁には異種構造型式の境界部が3箇所存在するため、構造を擦り付けることで離隔が生じないように設置した。
- 目地からの津波の流入を防止するため、境界に止水目地を設置する。異種構造形式間の止水目地は、隣合う構造形式のそれぞれの最大変形量に位相差を考慮して最大相対変形量を算出し、それに応じて決定した仕様を採用する。



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



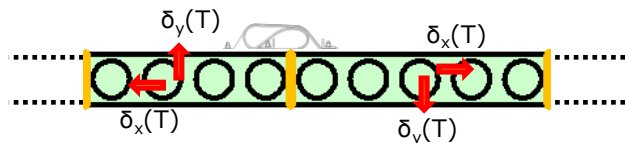
③多重鋼管杭式擁壁/波返重力擁壁 境界

防波壁の異種構造型式 境界位置図

防波壁の異種構造型式 概要図

8.1.2 設計方針の概要

- 止水目地の構造成立性評価については、基準地震動Ss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形量と、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形に対し追従可能な材料を選定する。
- 止水目地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。



地震時の相対変形概念図
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の例

【同一構造形式間の合成変形量の算出方法】

X方向の相対変位 δ_x : $\delta_x = \text{abs}\{\delta_x(T) \times 2\}$

y方向の相対変位 δ_y : $\delta_y = \text{abs}\{\delta_y(T) \times 2\}$

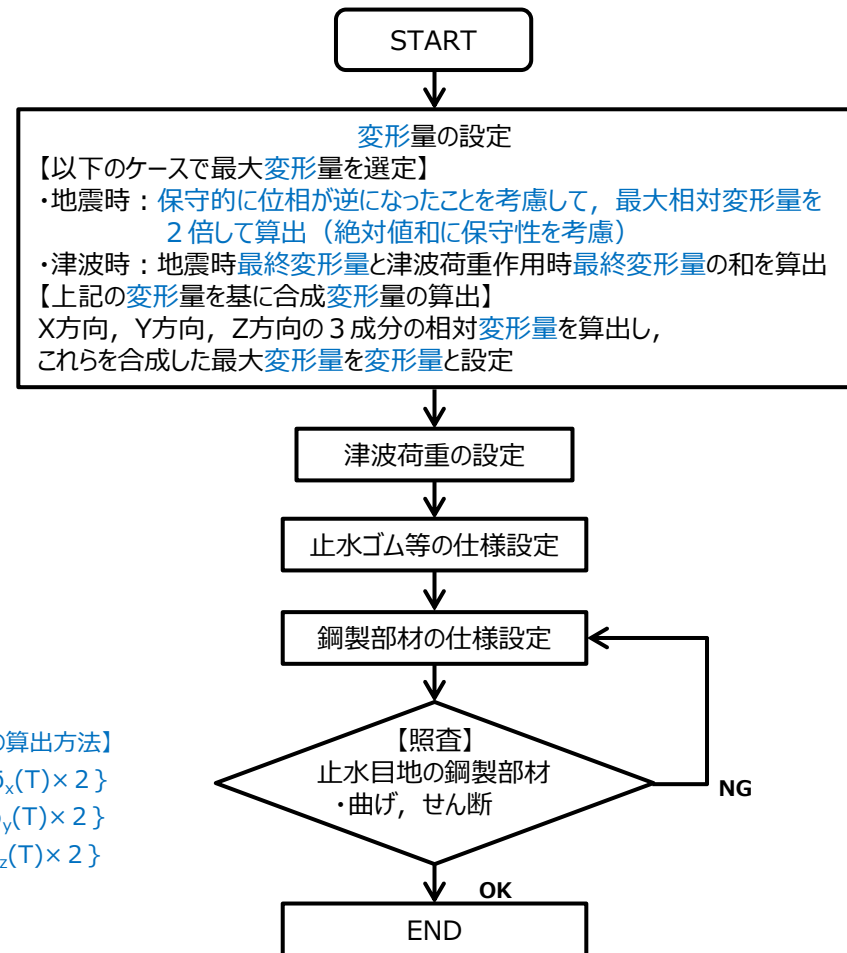
z方向の相対変位 δ_z : $\delta_z = \text{abs}\{\delta_z(T) \times 2\}$

$\delta_x(T)$: X方向の最大相対変位

$\delta_y(T)$: y方向の最大相対変位

$\delta_z(T)$: z方向の最大相対変位

合成方向変位（3方向合成） $\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$



変形量の設定
【以下のケースで最大変形量を選定】

- 地震時：保守的に位相が逆になったことを考慮して、最大相対変形量を2倍して算出（絶対値和に保守性を考慮）
- 津波時：地震時最終変形量と津波荷重作用時最終変形量の和を算出【上記の変形量を基に合成変形量の算出】

X方向、Y方向、Z方向の3成分の相対変形量を算出し、これらを合成した最大変形量を変形量と設定

8.1.3 損傷モード

■ 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、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。

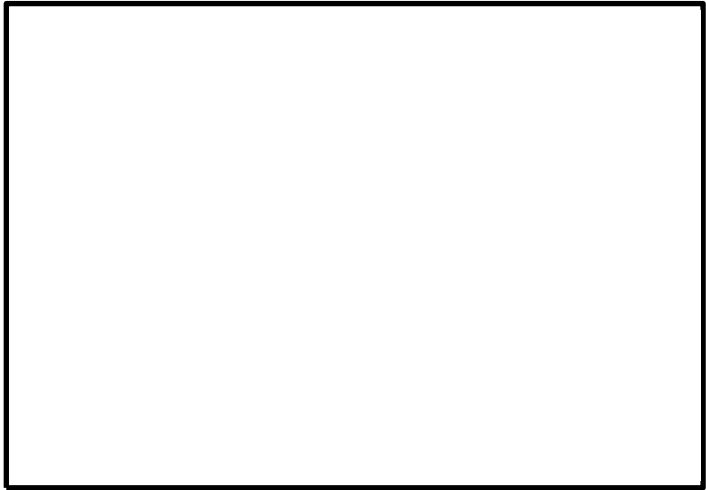
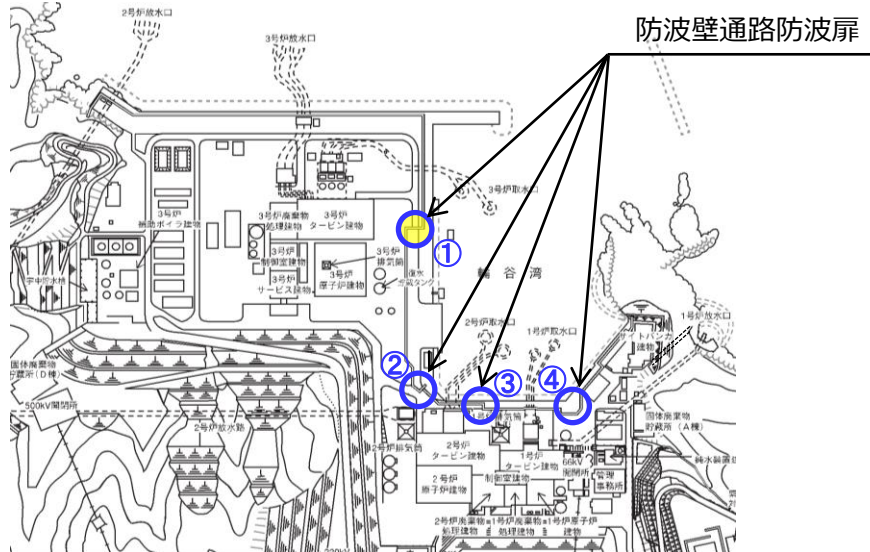
部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
波返重力擁壁と鋼管杭式逆T擁壁の境界部	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により逆T擁壁と重力擁壁の間に相対変形が生じ、水みちとなり、波返重力擁壁と鋼管杭式逆T擁壁の境界部での遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 異種構造型式の境界部では構造をすりつけたうえ、止水目地を設置することで、遮水性に配慮する。 メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 	○
鋼管杭式逆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形が生じ、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形が生じ、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

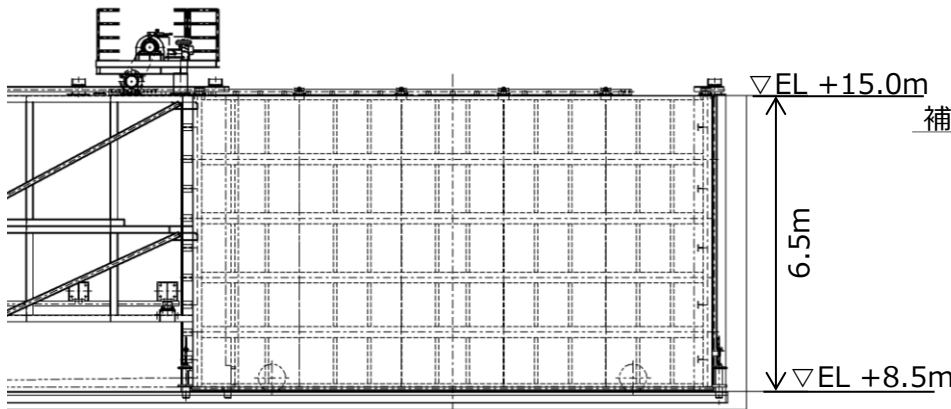
※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

8.2 防波壁通路防波扉 構造概要 (1/5)

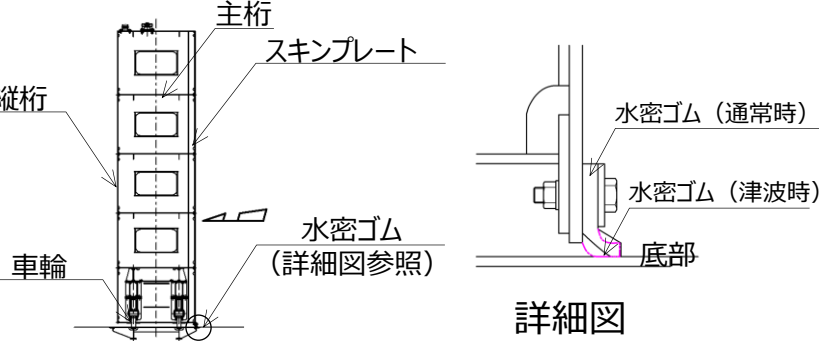
- 防波壁通路防波扉は、3号炉東側に1箇所、1、2号炉北側に3箇所の計4箇所に設置しており、鋼製の主桁、補助縦桁及びスキンプレート等により構成される。
- 防波壁通路防波扉は津波荷重や地震荷重等に対して浸水防止機能を十分に保持できる設計とした。
- 3号炉東側の防波扉（①）及び1、2号炉北側の防波扉（②～④）は下部及び側部に設置した水密ゴムにより遮水性を確保している。防波扉下部に設置した水密ゴムは津波による水圧により扉に押し付けられる構造としている（防波扉断面図 詳細図参照）。



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

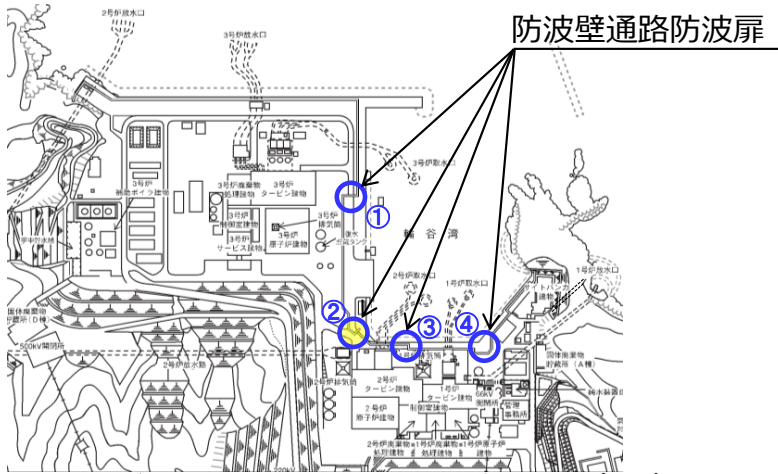


①防波壁通路防波扉（3号炉東側） 断面図

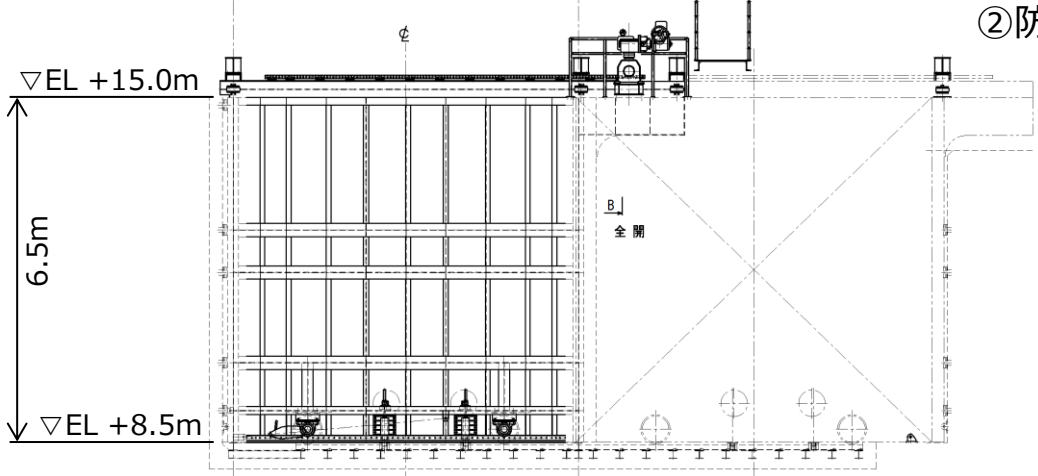
8.2 防波壁通路防波扉 構造概要 (2/5)

第839回審査会合
資料1-1 P.44 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

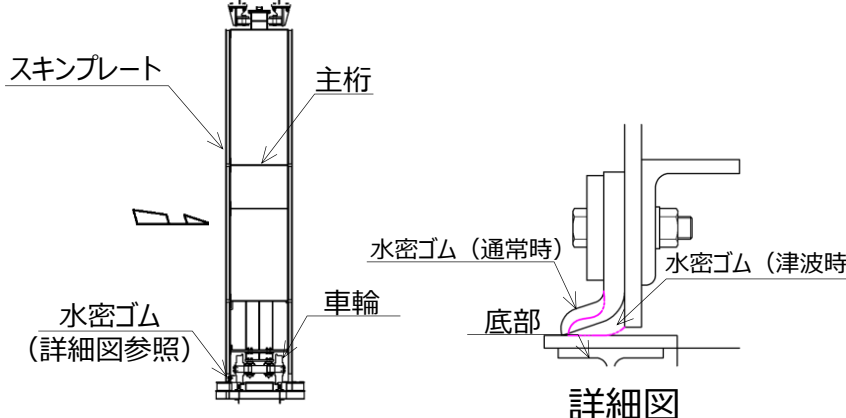
■ 防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）の設置状況及び構造図を以下に示す。



②防波壁通路防波扉（1，2号炉北側） 設置状況



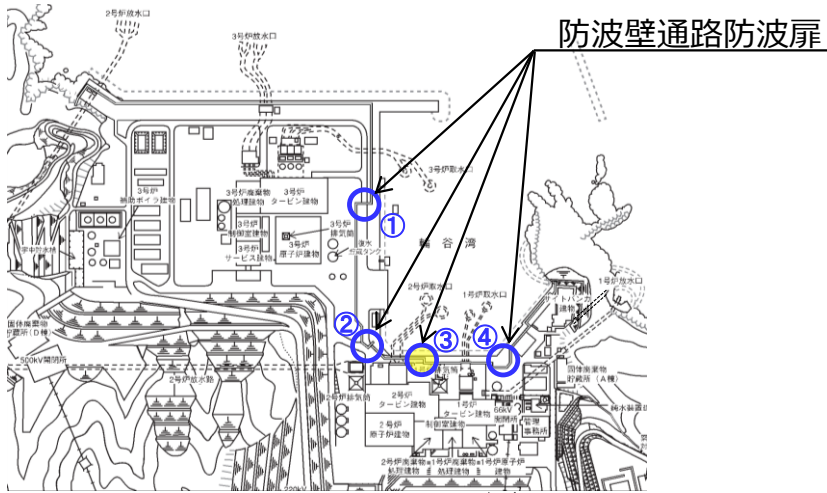
②防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）
正面図



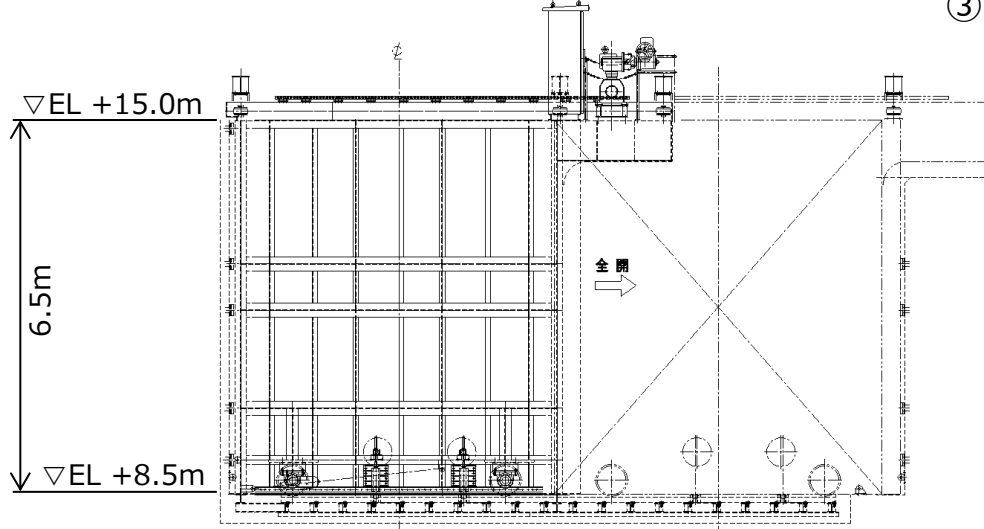
②防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）
断面図

8.2 防波壁通路防波扉 構造概要 (3 / 5)

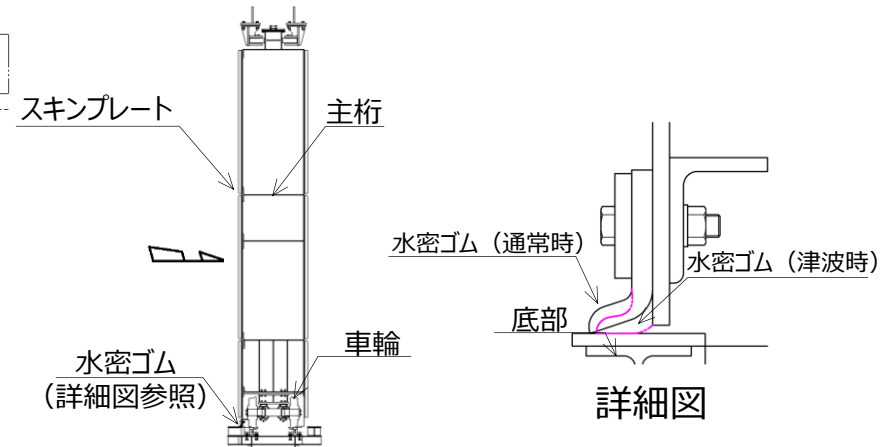
■ 防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）の設置状況及び構造図を以下に示す。



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

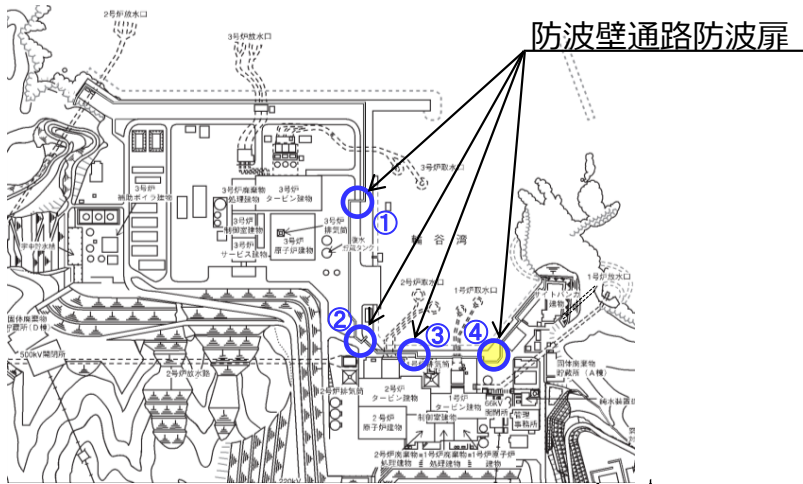


③防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）
断面図

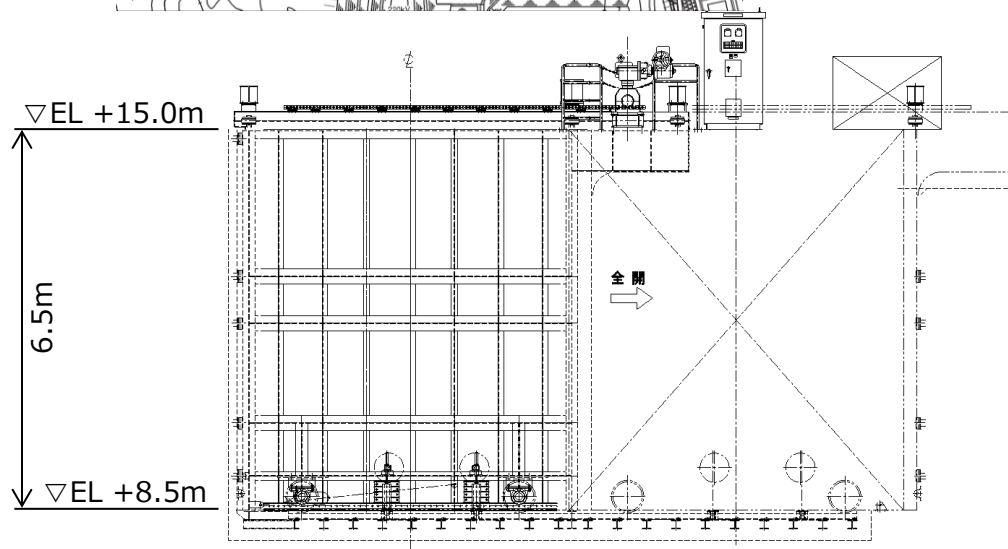
8.2 防波壁通路防波扉 構造概要 (4/5)

第839回審査会合
資料1-1 P.45 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

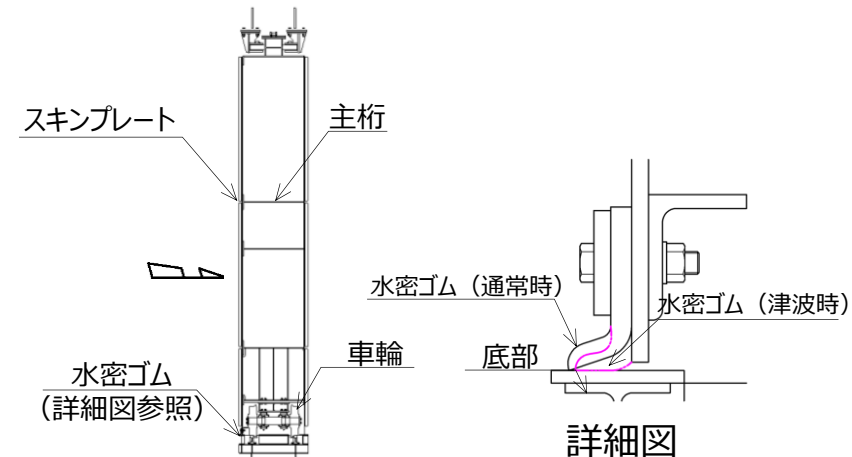
■ 防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）の設置状況及び構造図を以下に示す。



④防波壁通路防波扉（1，2号炉北側） 設置状況



④防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）
正面図



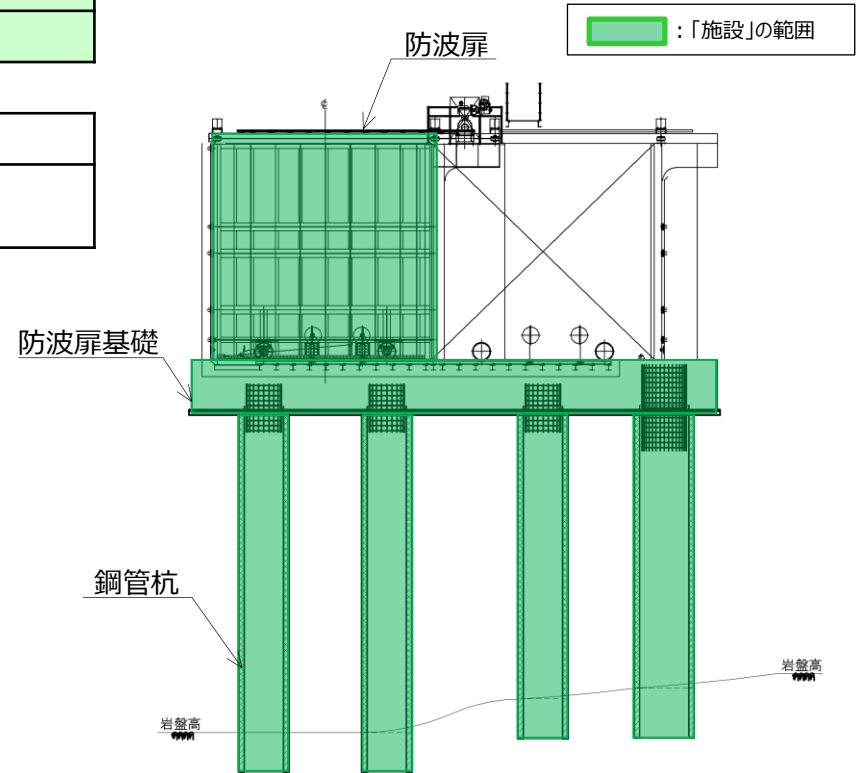
④防波壁通路防波扉（1，2号炉北側）
断面図

8.2 防波壁通路防波扉 構造概要 (5 / 5)

■ 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

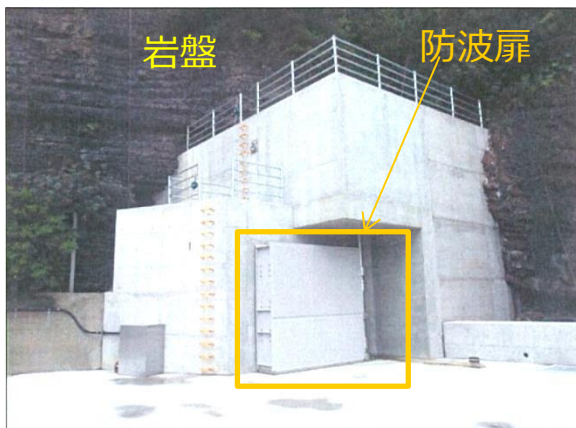
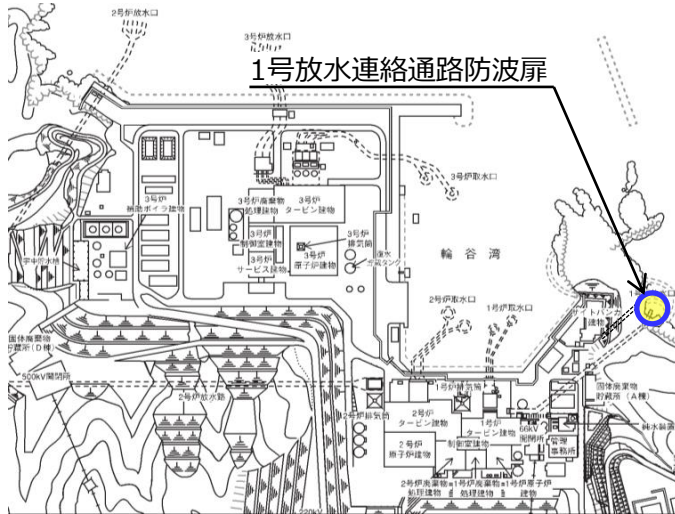
8. その他の構造概要 8.3 1号放水連絡通路防波扉

8.3.1 1号放水連絡通路防波扉 構造概要 (1/4)

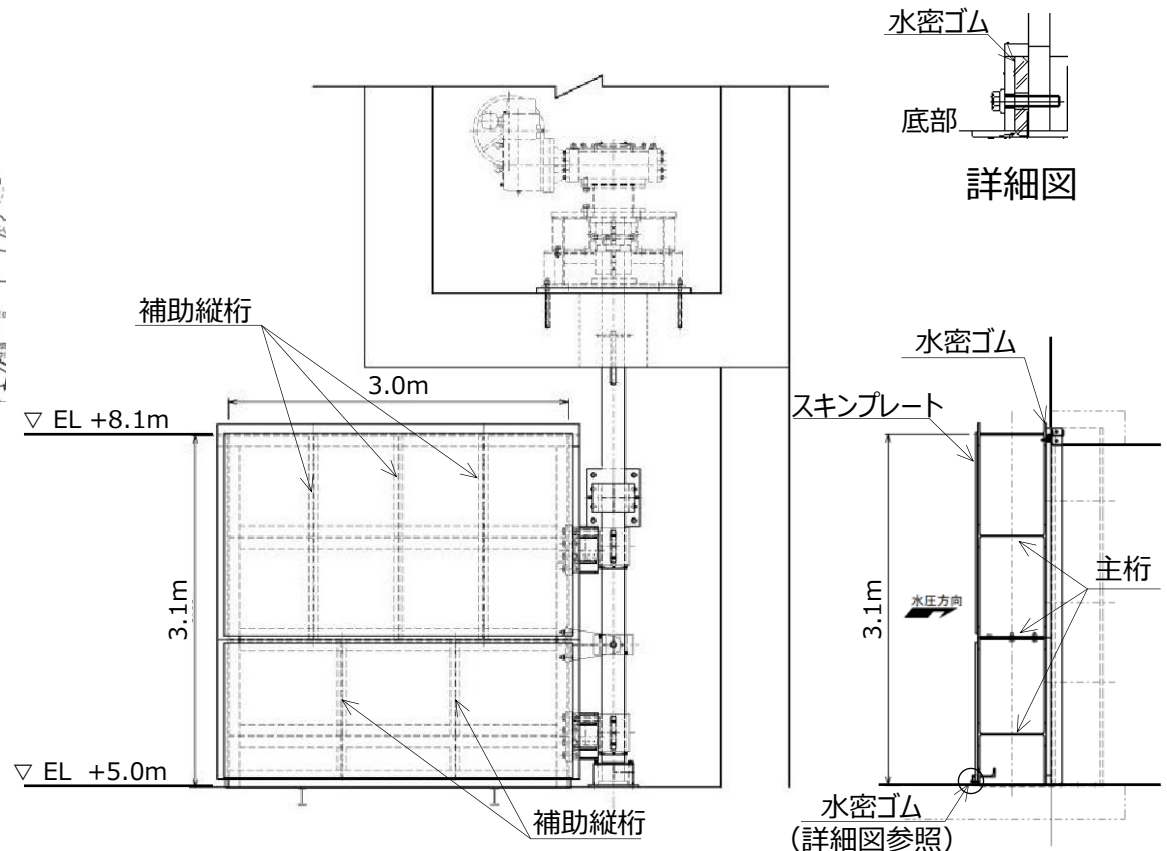
第839回審査会合
資料1-1 P.47 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

243

- 1号放水連絡通路防波扉は鋼製の主桁、補助縦桁及びスキムプレート等により構成され、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。
- 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。
- 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。



1号放水連絡通路防波扉 設置状況

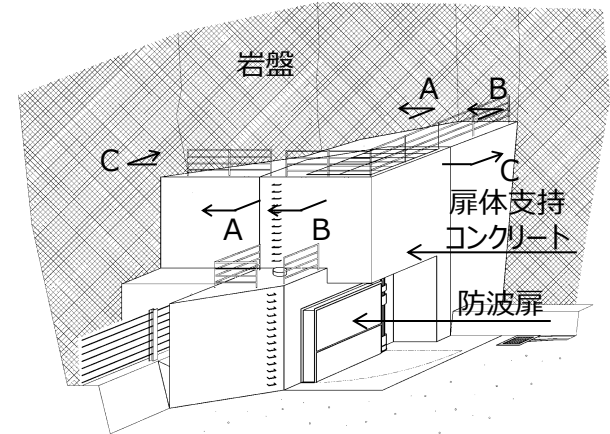


1号放水連絡通路防波扉
正面図

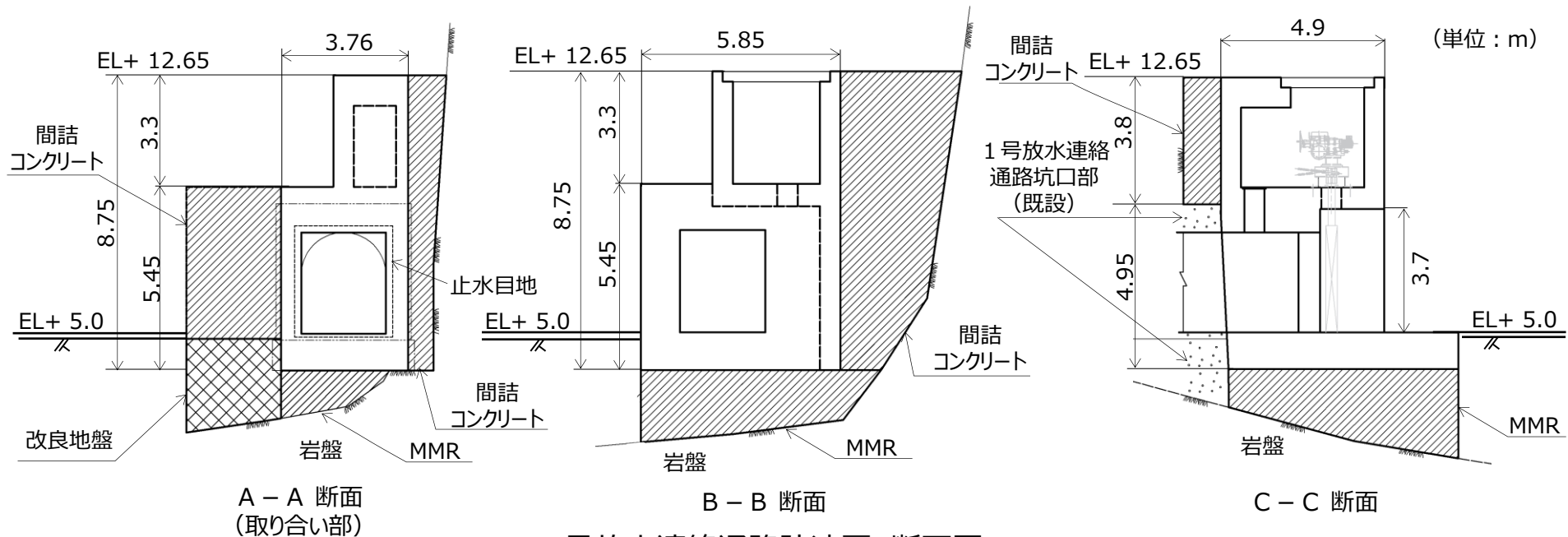
1号放水連絡通路防波扉
断面図

8.3.1 1号放水連絡通路防波扉 構造概要 (2/4)

- 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。

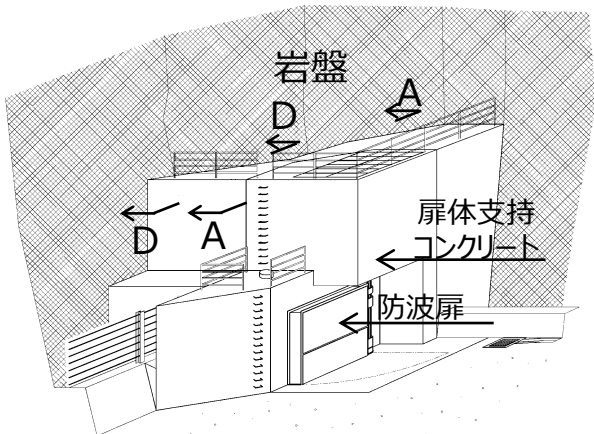


1号放水連絡通路防波扉 鳥瞰図



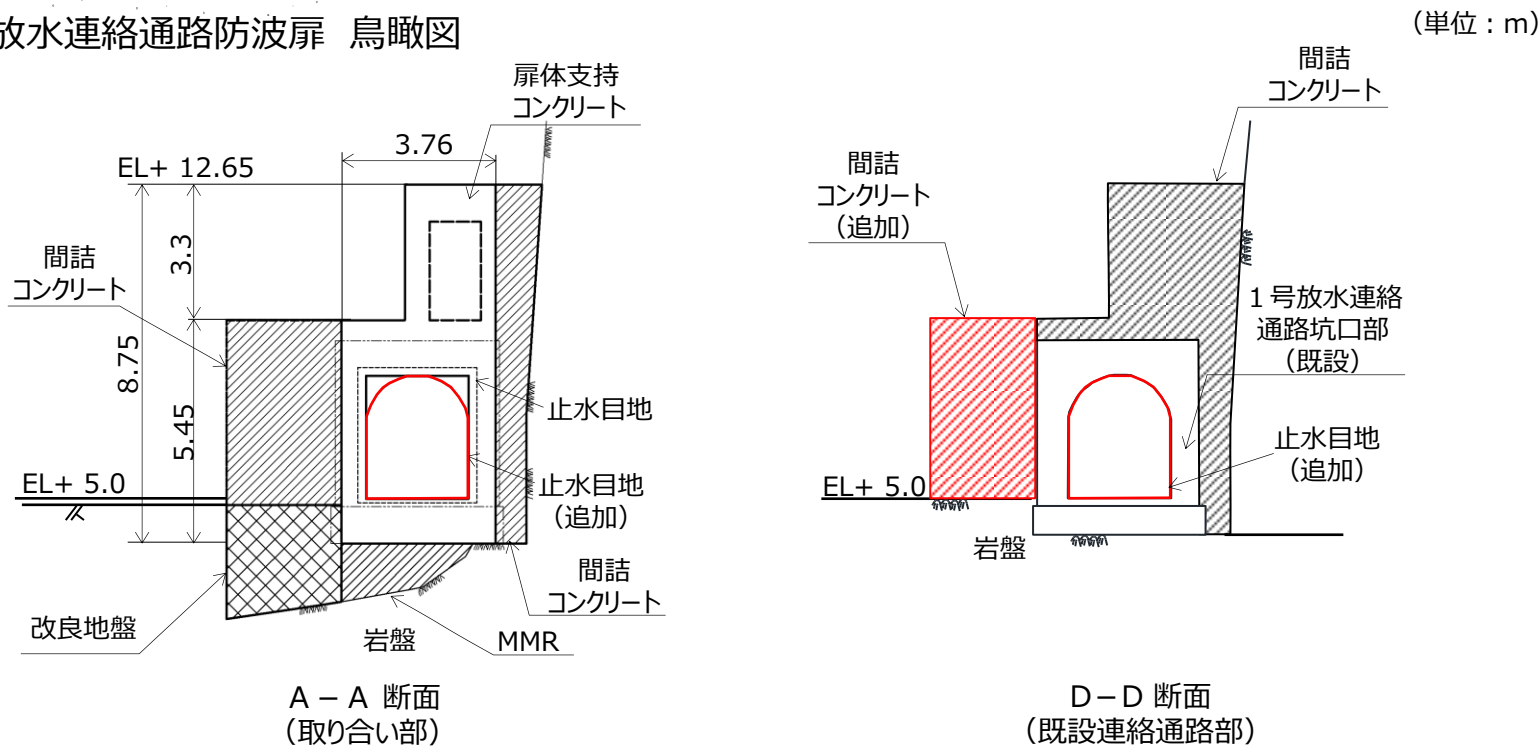
1号放水連絡通路防波扉 断面図

8.3.1 1号放水連絡通路防波扉 構造概要 (3/4)



- 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 鳥瞰図



1号放水連絡通路防波扉 断面図

8.3.1 1号放水連絡通路防波扉 構造概要 (4/4)

第839回審査会合
資料1-1 P.42 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

■ 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

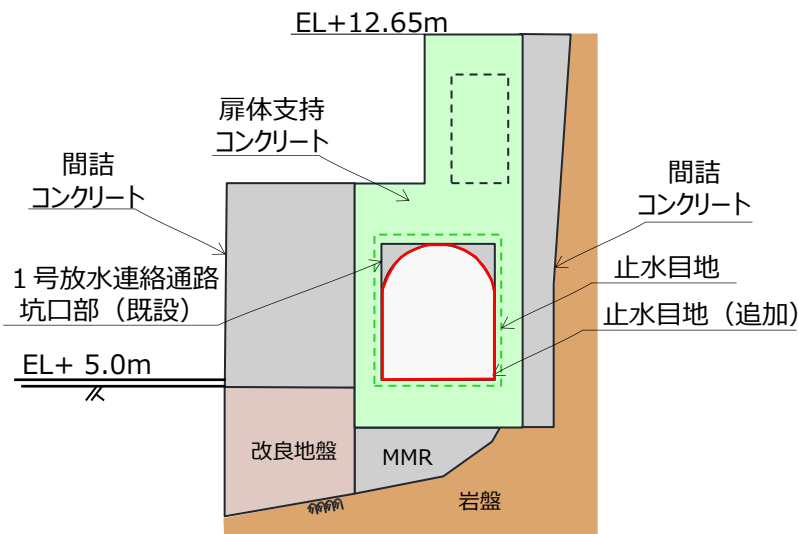
評価対象部位	役割	備考
防波扉	遮水性の保持	
扉体支持コンクリート	防波扉（開閉機構含む）の支持，止水目地の支持，遮水性の保持	
止水目地（追加）	1号炉放水連絡通路間の止水機能の保持	

【地盤】

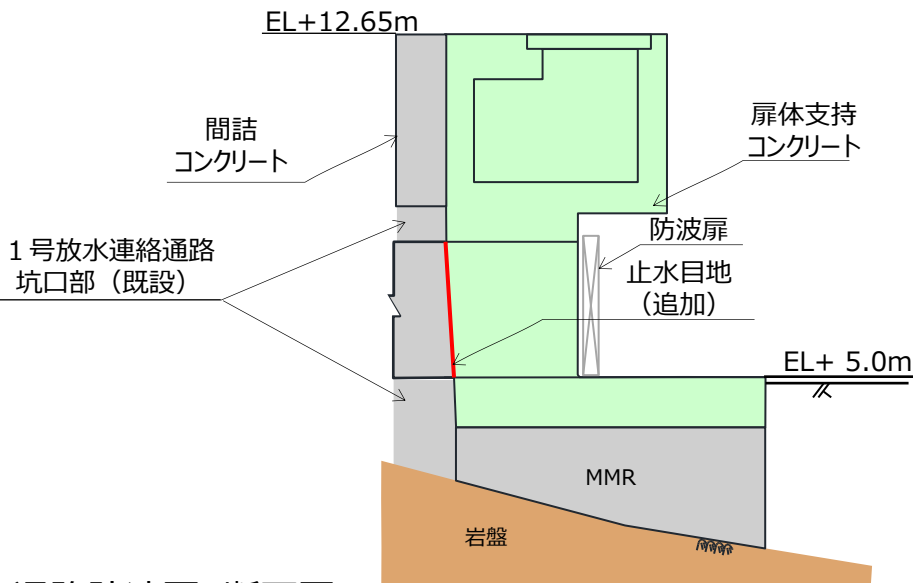
MMR	防波扉及び扉体支持コンクリートを支持	基礎地盤
間詰コンクリート	扉体支持コンクリートの変形を抑制	
改良地盤	間詰コンクリートを支持	周辺地盤 表層改良工法
岩盤	防波扉及び扉体支持コンクリートを支持	基礎地盤

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



A-A 断面
(取り合い部)



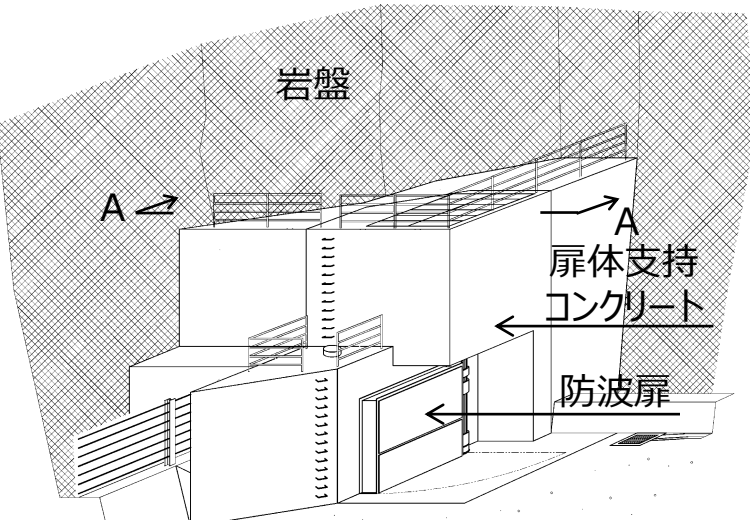
1号放水連絡通路防波扉 断面図

C-C 断面

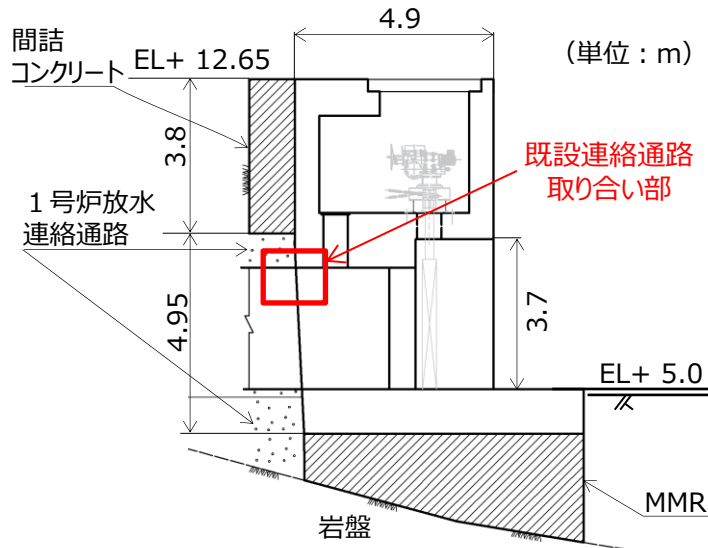
8. その他の構造概要 8.3 1号放水連絡通路防波扉

8.3.2 1号放水連絡通路（既設）坑口部 クラックの成因・対処方法（1/3）

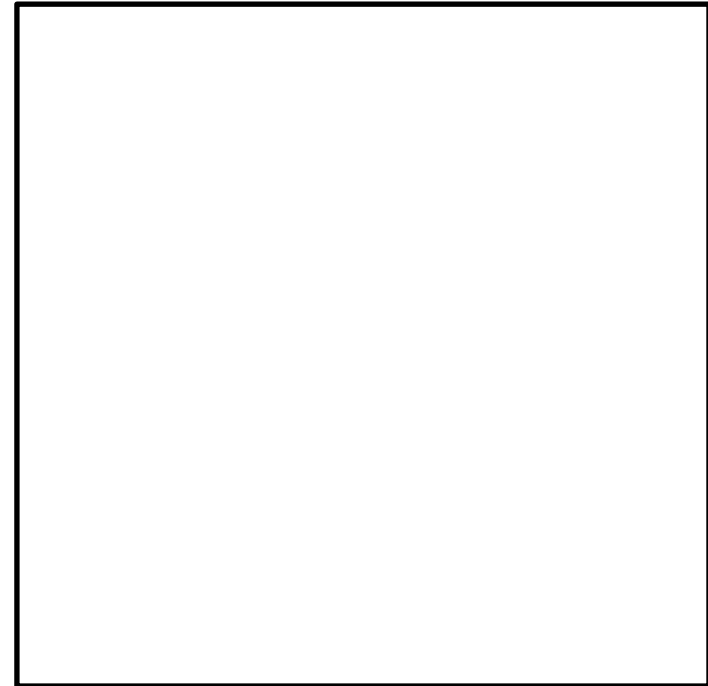
- 1号炉建設時に設置した1号炉放水連絡通路（既設）の坑口部に経年劣化によるクラックが認められる。
- 1号炉放水連絡通路（既設）の坑口部については、塩化物イオン量試験の結果より、扉体支持コンクリートが設置される以前は露出されていたことから、飛来塩分の影響を受けたことによる塩害に起因する鉄筋腐食によるクラックと判断する（次頁参照）。
- 1号炉放水連絡通路（既設）の坑口部において変状が確認された範囲を対象に修繕を実施する。



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

8. その他の構造概要 8.3 1号放水連絡通路防波扉

8.3.2 1号放水連絡通路（既設）坑口部 クラックの成因・対処方法（2/3）

- 1号放水連絡通路（既設）坑口部のクラックの発生要因について検討する。
- 1号放水連絡通路（既設）坑口部前面には防波扉設置を目的とした扉体支持コンクリートを、坑口部上部には間詰めコンクリートを追加で設置していることから、新設部位による既設コンクリートへの影響（要因①及び②）が挙げられる。
- また、1号放水連絡通路防波扉設置以前は、1号炉放水連絡通路（既設）の坑口部が長期間にわたり露出されていたことを踏まえ、飛来塩分に起因する塩害の影響（要因③）が挙げられる。

クラックの発生要因

	変状要因	内容
要因①	新設コンクリート部の膨張・収縮	既設部の前面に設置した新設コンクリートの膨張・収縮が生じたため
要因②	新設間詰めコンクリートの荷重影響	既設部の上部に設置した新設間詰めコンクリートに対する耐力が無かったため
要因③	鉄筋腐食	飛来塩分に起因する塩害や中性化により鉄筋が腐食・膨張したため

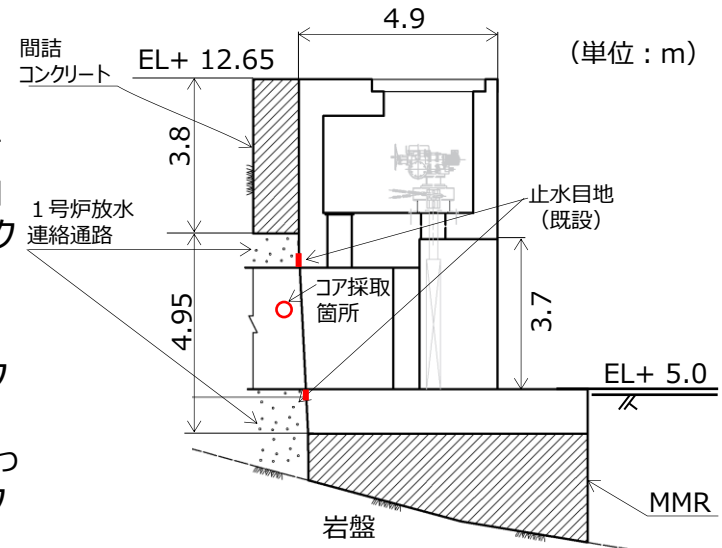
- クラックの発生要因の検討結果を以下に示す。

《要因① 新設コンクリート部の膨張・収縮》

- 新設扉体支持コンクリートと既設部の間には止水目地（既設）が設置されており、止水目地（既設）は健全であることが確認できたことから、新設部のコンクリートの膨張・収縮による変位が既設部に与える影響が小さいため、クラック発生要因ではないと判断した。

《要因② 新設間詰めコンクリートの荷重影響》

- 1号放水連絡通路（既設）上部に打設した間詰めコンクリートの影響によりクラックが発生する場合には、トンネルのアーチ天端部に縦軸方向のクラックが発生すると想定されるが、アーチ天端部にクラックは確認されずトンネル坑口に沿ったクラックのみが発生しているため、間詰めコンクリートの追加打設に起因するクラックではないと判断した。

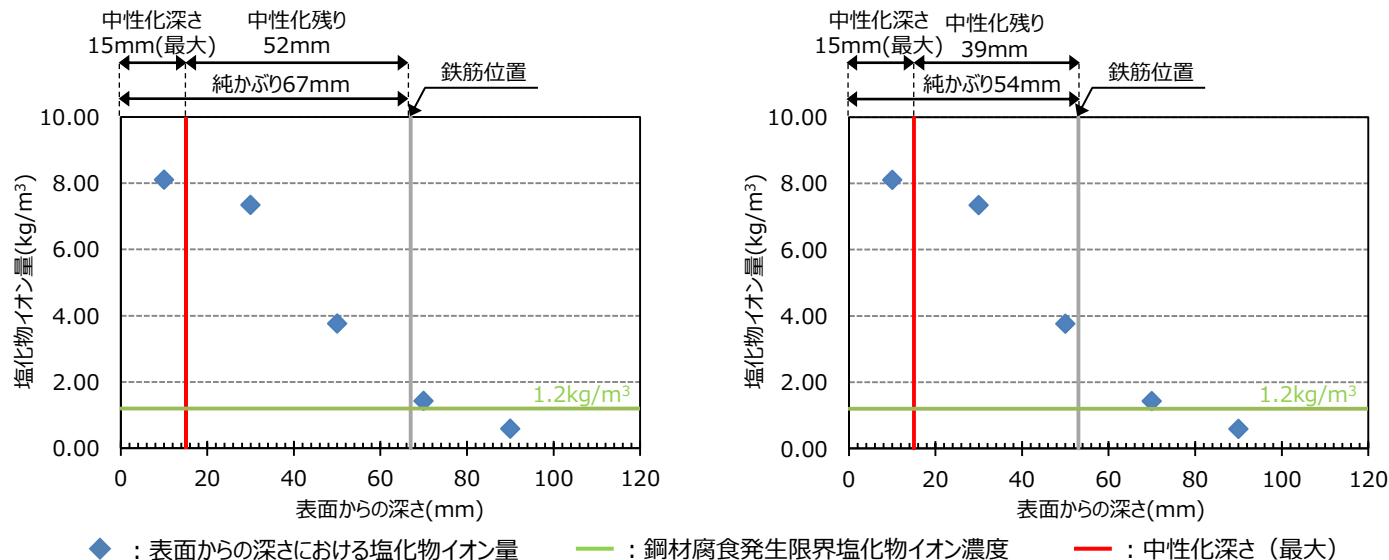


8. その他の構造概要 8.3 1号放水連絡通路防波扉

8.3.2 1号放水連絡通路（既設）坑口部 クラックの成因・対処方法（3/3）

《要因③ 鉄筋腐食》

- 外観調査結果から、鉄筋腐食に起因する剥離・剥落が発生していることを確認したため、中性化試験及び塩化物イオン量試験を実施した。
 - ・中性化試験 : クラック発生箇所において鉄筋が確認できる深さまでコンクリートをはつり、はつり箇所の表面にフェノールフタレイン溶液を噴霧することにより中性化深さを確認した。
 - ・塩化物イオン量試験 : クラック発生箇所における塩分浸透状況を確認するため、クラック発生箇所の近傍において採取したコアをスライスし各スライス片の塩化物イオン量を測定した。
- 中性化試験及び塩化物イオン量試験の結果を以下に示す。中性化試験の結果、「独立行政法人土木研究所 非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル（平成15年10月）」に示される塩害環境下における中性化による評価基準である中性化残り25mm以上を有していることを確認した。一方で、鉄筋位置における塩化物イオン量は、「コンクリート標準示方書、維持管理編、2007年制定」に示される鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度 1.2kg/m^3 を上回っていることを確認した。



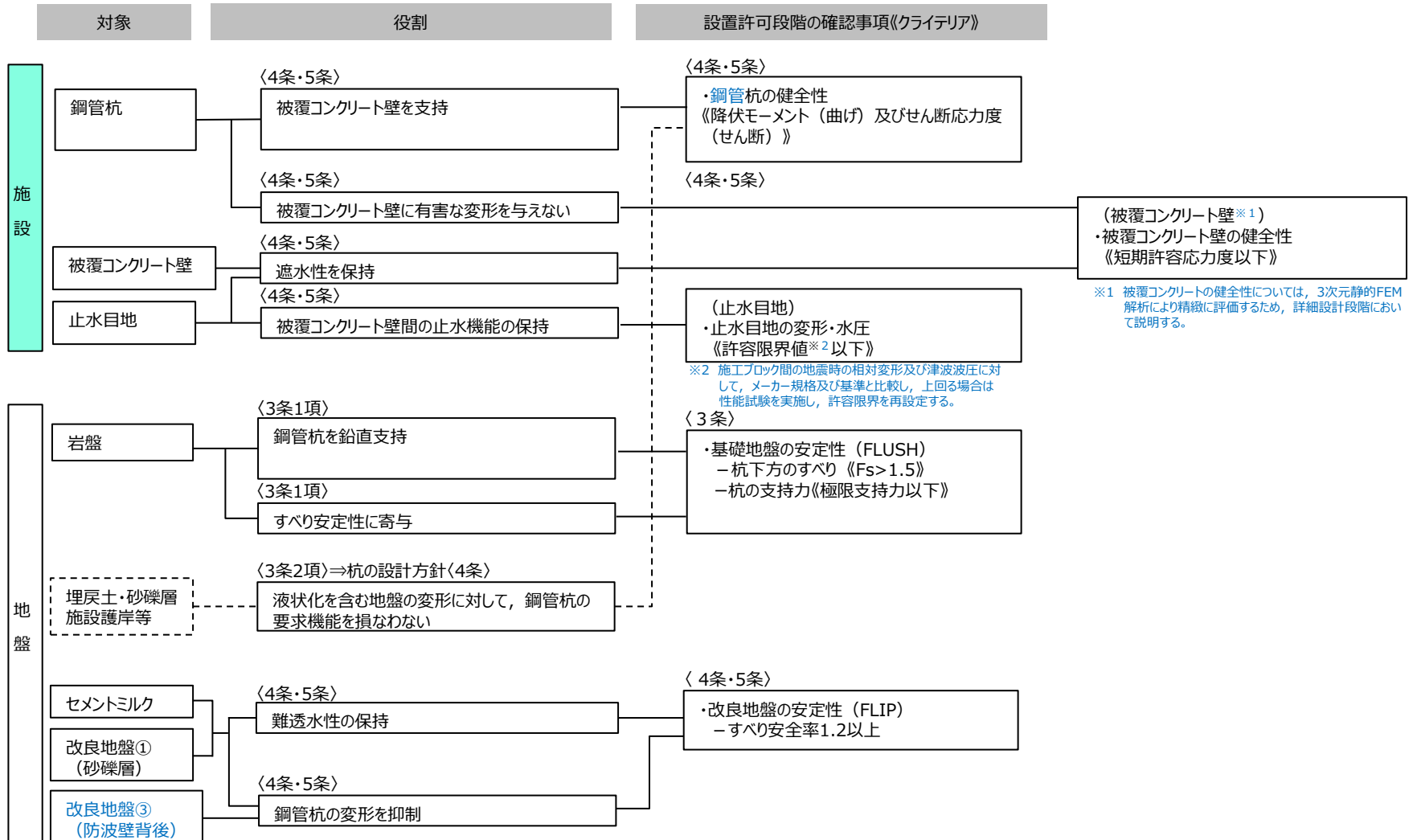
中性化試験及び塩化物イオン量試験の結果（左図：縦筋、右図：横筋）

- 以上より、1号炉放水連絡通路（既設）の坑口部に発生したクラックは、坑口部が1号炉放水連絡通路防波扉設置まで長期間にわたり露出されていたことに伴う、飛来塩分に起因する塩害により発生したクラックと判断した。

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

9.1.1 設置許可段階における確認項目（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））

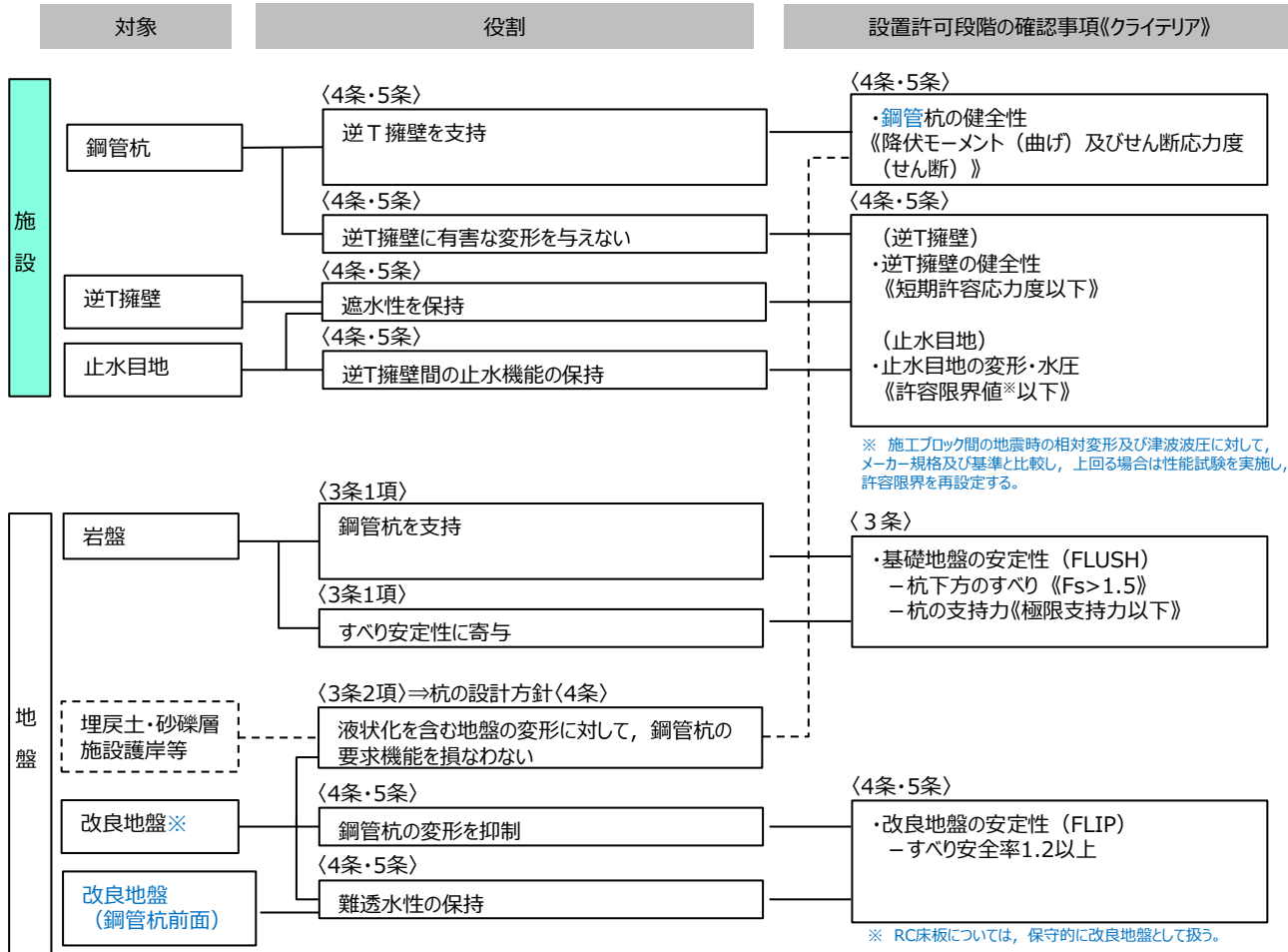
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における設置許可段階の確認項目を示す。
 （規則第3条に対する地盤の確認項目を含む。規則第4,5条に対する設計内容は4.2, 5.4.1及び5.4.2を参照）



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

9.1.2 設置許可段階における確認項目（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））

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



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

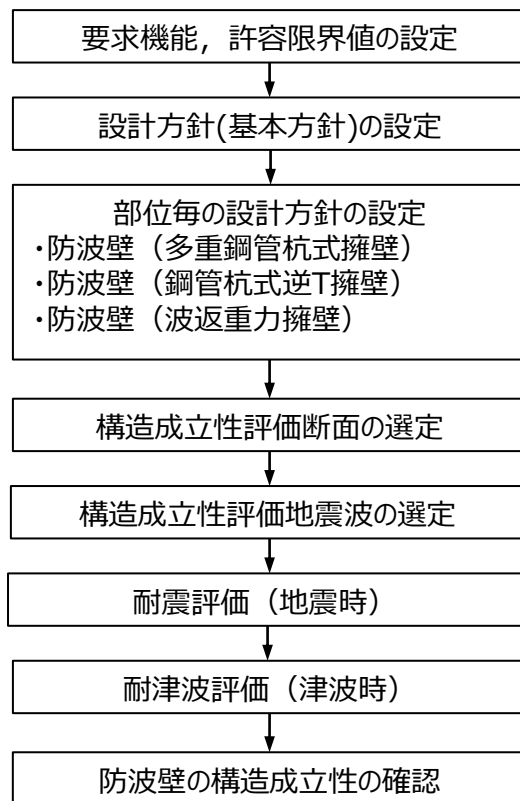
9.1.3 設置許可段階における確認項目（防波壁（波返重力擁壁））

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



9.2 構造成立性評価の方針

- 防波壁の構造成立性を確認するため、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」等に基づき、基準地震動 S_s 及び基準津波による荷重等に対して、防波壁の施設としての構造部材が十分な余裕があること、補強により対策可能であること等を確認する。
- なお、詳細設計段階に万一余裕が確保できなくなった場合には、追加の余裕向上対策(地盤改良範囲の拡大等)の実施により対応する。



防波壁の構造成立性評価の流れ

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価

9.3 設置許可段階での提示内容 (1/4)

- 設置許可段階において提示する内容のうち、対象断面について整理した。

		設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)	本資料の説明範囲
対象断面	構造成立性 (4条・5条)	[防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)] <ul style="list-style-type: none"> 支持岩盤が深く、鋼管杭の長さが最大となり、また、砂礫層、埋戻土 (掘削ズリ) 埋戻土 (粘性土) 及び改良地盤が分布しており、当該構造区間における応答が相対的に大きいと考えられる断面 (1 断面) を構造成立性評価断面として選定。 	○
		[防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)] <ul style="list-style-type: none"> 支持地盤が深く、鋼管杭の長さが最大となり、当該構造区間における応答が相対的に大きいと考えられる断面 (1 断面) を構造成立性評価断面として選定。 	
		[防波壁 (波返重力擁壁)] <ul style="list-style-type: none"> 支持岩盤が深く、擁壁高さが高くなり、砂礫層、埋戻土 (掘削ズリ) 、改良地盤が分布しており、当該構造区間における応答が相対的に大きいと考えられる断面 (2 断面) を構造成立性評価断面として選定。 	
	地盤安定性 (3条)	[防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)] ・ 防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁) ・ 防波壁 (波返重力擁壁)] <ul style="list-style-type: none"> 照査項目であるすべり安全率が、地質状況等から最も小さくなると考えられる断面を代表断面 (各 1 断面) として選定。 	— (基礎地盤の安定性評価にて説明予定)

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価

9.3 設置許可段階での提示内容 (2/4)

- 設置許可段階において提示する内容のうち、解析方法について整理した。

		設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)	本資料の説明範囲
対象地震波	構造成立性 (4条・5条)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造物への影響が大きい地震波(1波)を構造成立性評価地震波として選定。 	○
	地盤安定性 (3条)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全基準地震動5波 	— (基礎地盤の安定性評価にて説明予定)
解析方法		[防波壁(多重鋼管杭式擁壁)] <ul style="list-style-type: none"> ・ 「5.4 設計方針」を基本とし、9.2項に示すフローにより、構造成立性を確認する。 	○
		[防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)] <ul style="list-style-type: none"> ・ 「6.4 設計方針」を基本とし、9.2項に示すフローにより、構造成立性を確認する。 	
		[防波壁(波返重力擁壁)] <ul style="list-style-type: none"> ・ 「7.4 設計方針」を基本とし、9.2項に示すフローにより、構造成立性を確認する。 	

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価

9.3 設置許可段階での提示内容 (3/4)

- 設置許可段階における解析条件を整理した。

	設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)		本資料の説明範囲
地下水位	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁から陸側：EL+0.30m 施設護岸から防波壁まで：EL+0.14m 施設護岸から海側：EL-0.02m 	○
	防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁から陸側：地表面 施設護岸から防波壁まで：EL+0.14m 施設護岸から海側：EL-0.02m 	○
	防波壁 (波返重力擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁から陸側：地表面 防波壁から海側：EL-0.02m 	○
液状化 (液状化 強度特性)	<ul style="list-style-type: none"> 液状化検討対象層(埋戻土(掘削ズリ, 砂礫層))に対して, 液状化試験結果及び有効応力解析 (FLIP) の簡易設定法により設定する。なお, 簡易設定法より設定された液状化強度特性は, 液状化試験結果下限値の液状化強度特性よりも保守的であることを確認する。 		—

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価

9.3 設置許可段階での提示内容 (4/4)

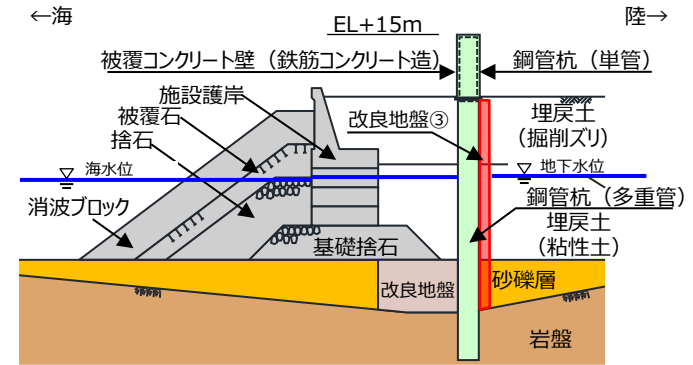
- 設置許可段階における解析条件を整理した。

	設置許可段階(設計方針と構造成立性評価)	本資料の説明範囲
地盤物性のばらつき	<p>各断面で解析用物性値（基本物性）に基づいた評価を行い、構造成立性が確保できる見通しであることを確認する。</p> <p>[防波壁（多重鋼管杭式擁壁）] （剛性）解析用物性値 （強度）解析用物性値</p> <p>[防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）] （剛性）解析用物性値 （強度）解析用物性値</p> <p>[防波壁（波返重力擁壁）] （剛性）解析用物性値 （強度）解析用物性値</p>	○

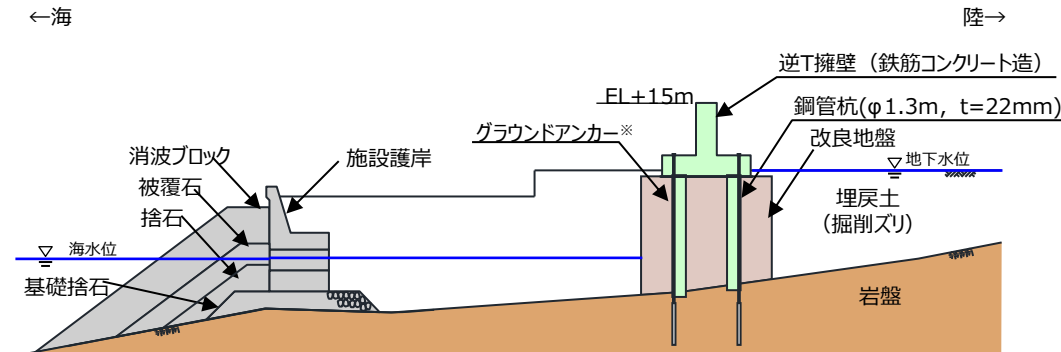
9.4 地下水位の設定方針

- 地下水位については、護岸前面はEL-0.02mとする。また、**施設護岸**より陸側の地下水位設定は港湾基準に準拠して残留水位とする。なお、3号炉エリアの防波壁より陸側については、**保守的に地表面とする。**

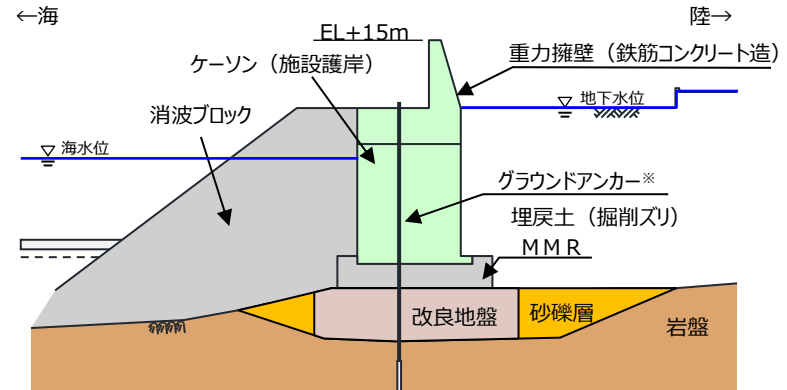
構造型式	水位
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁から陸側：EL+0.30m ・施設護岸から防波壁まで：EL+0.14m ・施設護岸から海側：EL-0.02m
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁から陸側：地表面 ・施設護岸から防波壁まで：EL+0.14m ・施設護岸から海側：EL-0.02m
防波壁（波返重力擁壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁から陸側：地表面 ・防波壁から海側：EL-0.02m



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）



防波壁（波返重力擁壁）

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

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.1 解析用物性値 (地盤) (1/2)

第839回審査会合
資料1-1 P.104 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

材料種別				物理特性		強度特性			変形特性			
				単位体積重量		粘着力 C (kN/m ²)	せん断 抵抗角 Φ _f (°)	せん断強度 T _f *1, 2 (kN/m ²)	せん断弾性係数 G*1, 3, 4 (kN/m ²)	ポアソン比 ν	最大 減衰定数 h _{max}	
				飽和, 湿潤 γ _{sat} , γ _t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)							
地盤	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	埋戻土 (掘削スリ)	気中	19.6	—	0	40.05	σ' _m sin40.05°	94550(σ' _m /98) ^{0.5}	0.33	0.24	
			水中	20.7	10.6	0	39.18	σ' _m sin39.18°	72420(σ' _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	σ' _m sin40.86°	116700(σ' _m /98) ^{0.5}			
			水中	20.7	10.6	0	39.07	σ' _m sin39.07°	69650(σ' _m /98) ^{0.5}			
		埋戻土 (掘削スリ) T.P.+8.5m盤	気中	19.6	—	0	40.54	σ' _m sin40.54°	107600(σ' _m /98) ^{0.5}			
			水中	20.7	10.6	0	38.72	σ' _m sin38.72°	61240(σ' _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	σ' _m sin41.16°			125100(σ' _m /98) ^{0.5}
				水中	20.7	10.6	0	39.23	σ' _m sin39.23°			73560(σ' _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	σ' _m sin41.44°	133200(σ' _m /98) ^{0.5}			
			水中	20.7	10.6	0	39.52	σ' _m sin39.52°	80890(σ' _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	σ' _m sin41.16°	125100(σ' _m /98) ^{0.5}			
			水中	20.7	10.6	0	39.27	σ' _m sin39.27°	74450(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。

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.1 解析用物性値 (地盤) (2/2)

第839回審査会合
資料1-1 P.105 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

材料種別			物理特性		強度特性			変形特性			
			単位体積重量		粘着力 C (kN/m ²)	せん断 抵抗角 Φ _f (°)	せん断強度 T _f ^{※1,2} (kN/m ²)	せん断弾性係数 G ^{※1,3,4} (kN/m ²)	ポアソン比 ν	最大 減衰定数 h _{max}	
			飽和, 湿 潤 γ _{sat} , γ _t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)							
地盤	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	埋戻土 (粘性土) ^{※5} (施設護岸~鋼管杭間)	気中	16.7	—	0	30.00	σ' _m sin30.00°	12750(σ' _m /112.3) ^{0.5}	0.20	
			水中	16.7	6.6	0	30.00	σ' _m sin30.00°	12750(σ' _m /141.8) ^{0.5}		
		埋戻土 (粘性土) ^{※5} (鋼管杭背面)	気中	16.7	—	0	30.00	σ' _m sin30.00°	12750(σ' _m /111.3) ^{0.5}		
			水中	16.7	6.6	0	30.00	σ' _m sin30.00°	12750(σ' _m /140.2) ^{0.5}		
		砂礫層 (施設護岸~鋼管杭間)		20.7	10.6	0	38.48	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	—	0	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	0	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}			
	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		
	防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)		改良地盤		20.0	9.9	0	38.49		σ' _m sin38.49°	55870(σ' _m /98) ^{0.5}
	防波壁 (波返重力擁壁)		改良地盤		20.0	9.9	500	0		500	93980(σ' _m /98) ^{0.5}
基礎捨石 (水中)			20.0	9.9	0	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。

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.2 解析用物性値 (構造物)

第839回審査会合
資料1-1 P.106加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

材料種別			物理特性		強度特性			変形特性			
			単位体積重量		粘着力 C (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ_f (°)	せん断強度 T _f (kN/m ²)	ヤング率 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	最大減衰定数 h _{max}	
			飽和, 湿潤 γ _{sat} , γ _t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)							
構造物	防波壁 (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
		消波ブロック (空隙率=50%)		11.3	6.3	—	—	—			1.100×10 ⁷
	共通 防波壁(鋼管杭式逆T 擁壁, 多重鋼管杭式 擁壁)	施設護岸 (パラペット)	24.0	—	—	—	—	2.330×10 ⁷			
		施設護岸 (上部コンクリート)	22.6	—	—	—	—	2.040×10 ⁷			
		施設護岸 (セルラーブロック) (コンクリート詰)	気中	23.0	—	—	—	—			2.330×10 ⁷
水中			23.0	12.9	—	—	—	2.330×10 ⁷			
施設護岸 (セルラーブロック) (栗石詰)		22.0	11.9	—	—	—	2.330×10 ⁷				

9.5.3 解析用物性値の準拠基準

■ 各解析用物性値の準拠基準を以下に示す。

解析用物性値		準拠基準
物理特性	単位体積重量	飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m^3)
	水中 γ' (kN/m^3)	<ul style="list-style-type: none"> 埋戻土(掘削ズリ), 砂礫層, 改良地盤(多重鋼管杭式擁壁, 鋼管杭式逆T擁壁): 現地調査結果により設定 埋戻土(粘性土), 石材(基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ), 砂礫層(波返重力擁壁), 改良地盤(波返重力擁壁): 『港湾基準』に準拠し設定 構造物: 『港湾基準, p.415』及びコンクリート標準示方書(土木学会, 2002), p.29』に準拠し設定
強度特性	粘着力 C (kN/m^2)	<ul style="list-style-type: none"> 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章, p.1-69』に準拠し, 埋戻土(掘削ズリ, 粘性土): 0 (kN/m^2), 石材(基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ): 20 (kN/m^2) 『浸透固化処理工法技術マニュアル, p.26』に準拠し, 改良地盤(多重鋼管杭式擁壁, 鋼管杭式逆擁壁): $qu / (2 \times \tan(45^\circ + \phi/2))$ 『ジェットグラウト工法 技術資料(第23版), p.21』に準拠し, 改良地盤(波返重力擁壁): 500kN/m^2
	せん断抵抗角 Φ_f ($^\circ$)	<ul style="list-style-type: none"> 埋戻土(掘削ズリ): 液状化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(Ver.3.0.1) により算定 石材(基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ): 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章, p.1-65』に準拠し設定 35° 改良地盤(多重鋼管杭式擁壁, 鋼管杭式逆擁壁): 原地盤(埋戻土(掘削ズリ)) 相当の値を設定 改良地盤(波返重力擁壁): 攪拌系の改良である高圧噴射攪拌工法による改良のため, 安全側である 0° に設定 埋戻土(粘性土): 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章, p.1-65』に準拠し設定 30°
	せん断強度 T_f (kN/m^2)	<ul style="list-style-type: none"> 『FLIP取扱説明書, p.8-1』に示された定義式 ($\tau = \sigma_m \sin \Phi_f + C \cos \Phi_f$) に基づき設定
変形特性	せん断弾性係数 G (kN/m^2)	<ul style="list-style-type: none"> 液状化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(Ver.3.0.1) により基準せん断弾性係数G_{ma}を算出し, 『FLIP取扱説明書, p.8-2』に示された定義式に基づき設定
	ポアソン比 ν	<ul style="list-style-type: none"> 地盤: 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章, p.1-61』に準拠し設定 0.33 構造物: 『コンクリート標準示方書(土木学会, 2002), p.29』に準拠し設定 0.20
	最大減衰定数 H _{max}	<ul style="list-style-type: none"> 国土技術政策総合研究所HP公開の『一次元FLIP入力データ作成プログラム1D-MAKER 操作マニュアル, p.14,19』に準拠し設定 埋戻土(掘削ズリ), 石材(基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ): 0.24, 埋戻土(粘性土): 0.20

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.4 解析用物性値（石材）の設定方針

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

(6) マウンド材及び基礎地盤の強度定数

① マウンド材

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

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

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.5 解析用物性値（石材）の設定根拠（1/4）

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

表-5 実験ケース

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

文献①の三軸圧縮実験ケース

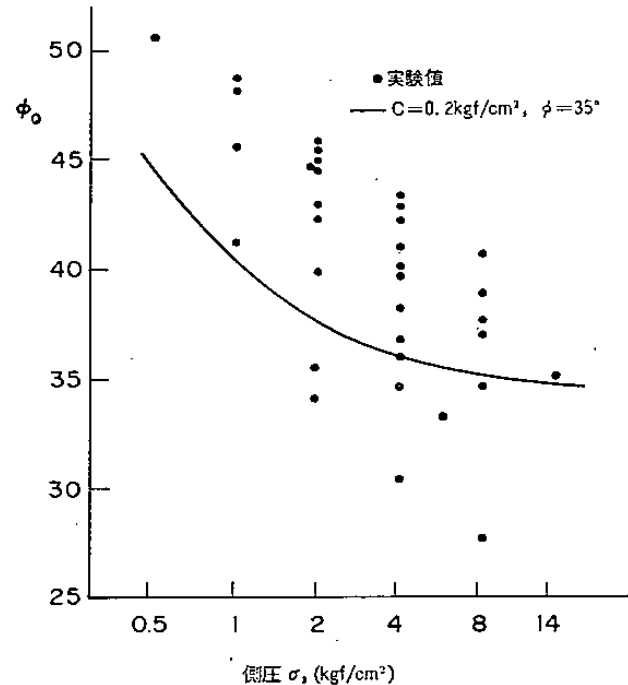


図-49 見掛けの粘着力を考慮した場合の ϕ_0 と σ_3 の関係

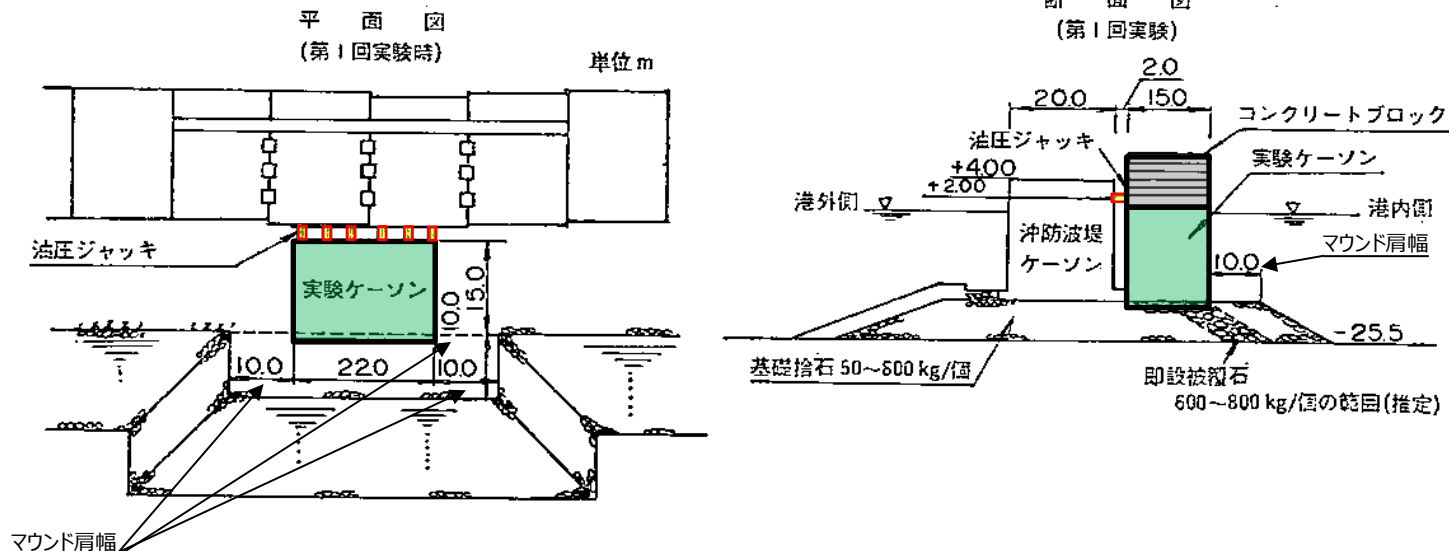
文献①の三軸圧縮実験結果

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.5 解析用物性値（石材）の設定根拠（2/4）

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

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



小名浜港現地試験概要図

(文献①「港湾技術研究所報告 捨石マウンドの支持力の新しい計算法 (1987.6)」より引用)

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.5 解析用物性値（石材）の設定根拠（3/4）

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

表-3 砕石母岩の材料特性

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

表-4 特殊モルタル試料の材料特性

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

文献②の三軸圧縮実験ケース

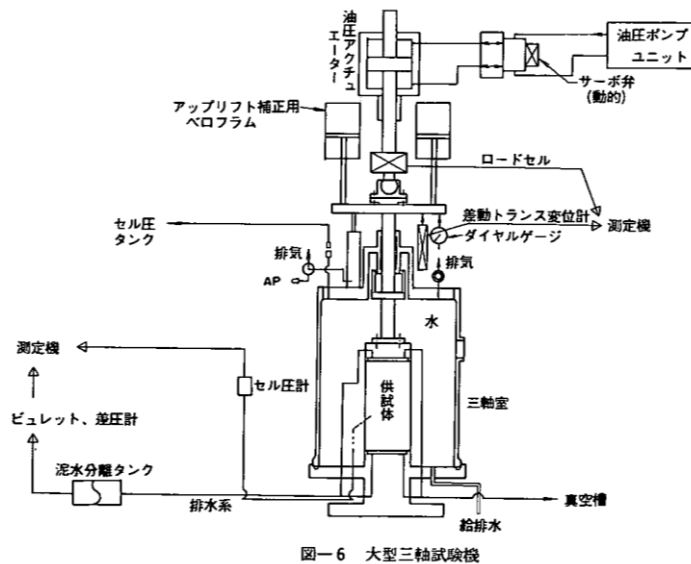
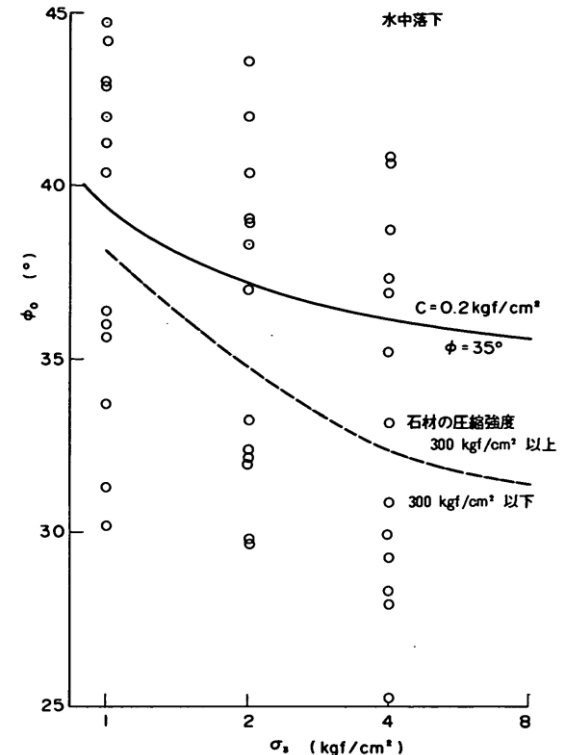


図-6 大型三軸試験機



文献②の三軸圧縮実験結果

図表は文献②「港湾技研資料 マウンド用石材の大型三軸試験による強度特性（1991.3）」より引用

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

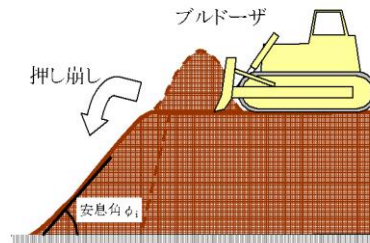
9.5.5 解析用物性値（石材）の設定根拠（4/4）

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

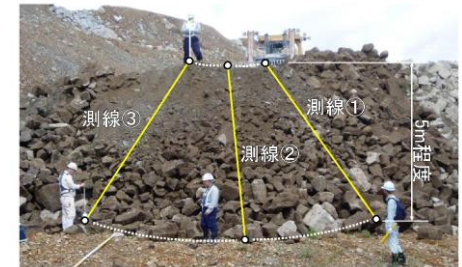
原位置表層すべり試験結果（押し崩し試験による安息角）

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

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



押し崩し試験の概要



押し崩し試験の安息角計測イメージ

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

安息角試験 試験値一覧表

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



試料塊作成（ダンプアップ）



安息角試験写真（計測全景）

まとめ

島根原子力発電所の石材は $D_{max}=200\text{mm}\sim 250\text{mm}$ であり、一軸圧縮強度は30（N/mm²）を有することから、港湾基準に示される $C=20$ （kN/m²）、 $\phi_f=35$ （°）を適用できると判断した。

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

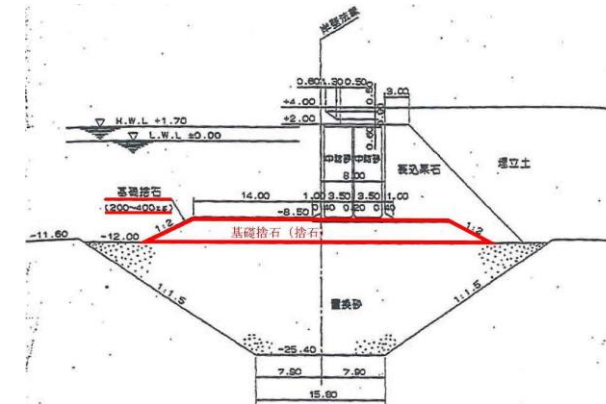
9.5.6 解析用物性値（石材）の動的評価への適用性（1/4）

- 文献①及び文献②については、捨石マウンド上の港湾施設に対する静的な安定性評価に関する内容であるので、ここでは島根での適用性を目的として、地震時（動的）の検討で用いられている捨石の物性値について、文献調査を行った。
- 捨石の動的挙動に関して検討している文献「捨石のモデル化に関する検討報告書（FLIP研究会 企画委員会捨石作業部会、平成13年5月）」（以下「捨石のモデル化に関する検討報告書」という）によると、捨石の強度定数に、文献①で提案されていた標準的な値である、粘着力 $C=20$ (kN/m²)、せん断抵抗角 $\phi=35$ (°) が用いられた事例検証が行われている。
- 事例検証は1995年兵庫県南部地震における六甲アイランドRF3岸壁及び神戸港第7防波堤の被災事例と、1993年釧路沖地震における釧路港北埠頭の被災事例を対象に行われており、「解析による残留変位量は観測値と適合性が良い」とされている。

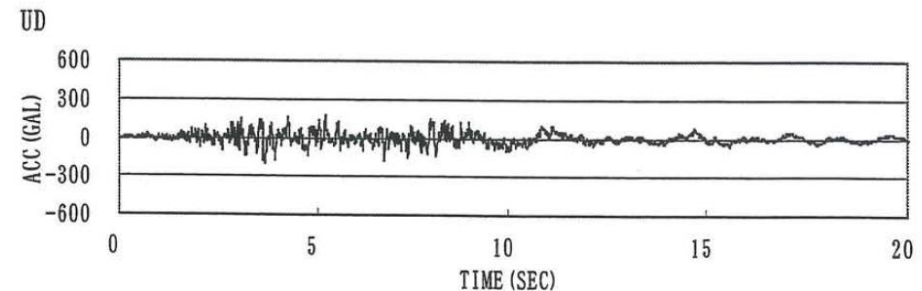
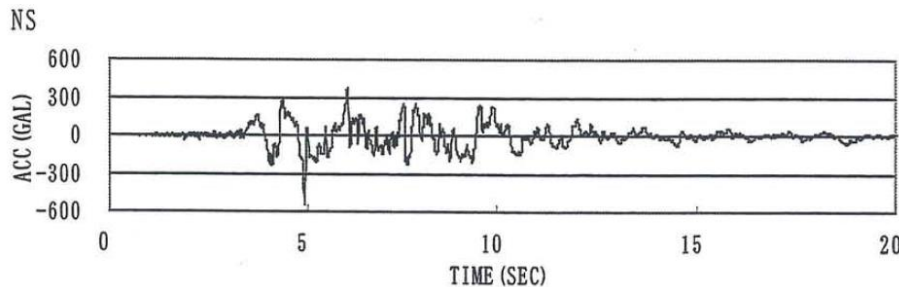
事例検証① 六甲アイランドRF3岸壁※捨石は主に200kg～400kg/個程度

検討ケース	せん断強度特性		残留変位量			備考
	C(kN/m ²)	ϕ (°)	水平 (m)	鉛直 (m)	傾斜 (°)	
CASE3	0	40	6.10	2.11	10.6	従来方法
CASE4	20	35	4.33	2.00	4.69	提案方法
観測値			4.1～4.6	1.7～2.0	4.1～5.1	

※結果は捨石強度特性のみが異なるCASE3（従来方法）とCASE4(提案方法)のみ抜粋している。



検討対象断面(六甲アイランドRF3岸壁)



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

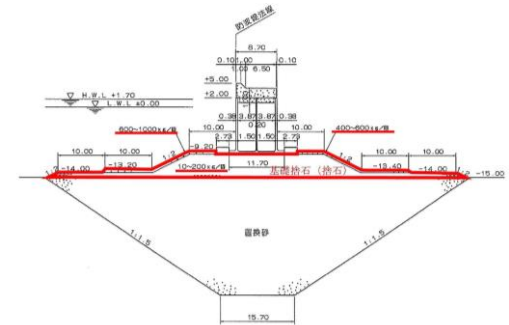
9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.6 解析用物性値（石材）の動的評価への適用性（2/4）

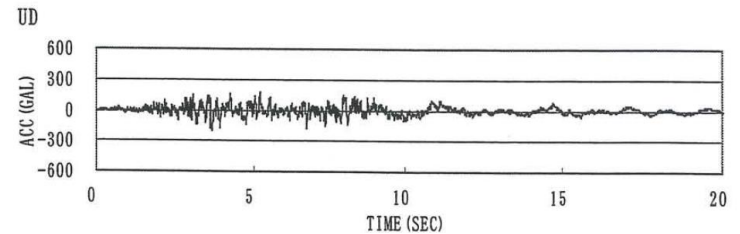
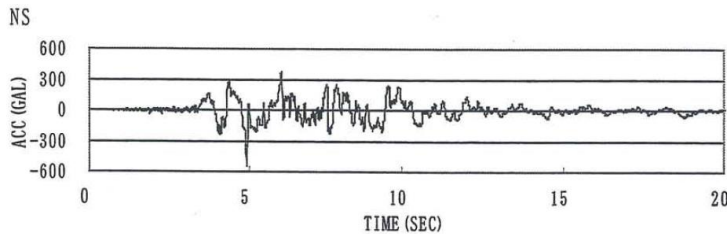
事例検証② 神戸港第七防波堤※捨石は主に10kg~200kg/個程度

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

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



検討対象断面（神戸港第七防波堤）

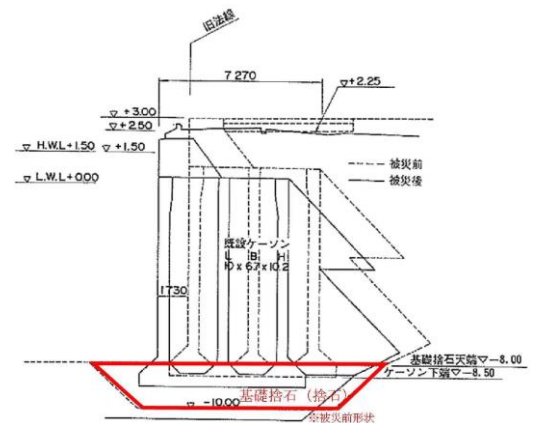


検討用地震動_ポートアイランド鉛直アレー地震観測網のGL-32mに設置の加速度計による1995兵庫県南部地震の際の観測記録

事例検証③ 釧路港北埠頭岸壁

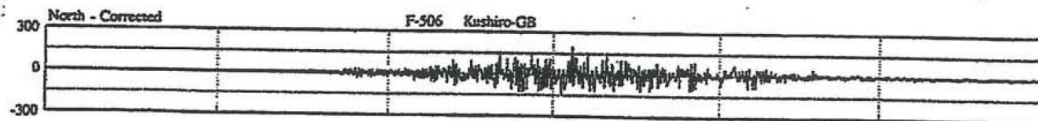
検討ケース※	せん断強度特性		残留変位量		備考
	C(kN/m ²)	Φ (°)	水平 (m)	鉛直 (m)	
CASE1	0	40	0.89	0.21	従来方法
CASE3	20	35	1.28	0.22	提案方法
観測値			0.8~1.6	0.2~0.5	

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



検討対象断面（釧路港北埠頭岸壁）

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



検討用地震動

各図表は「捨石のモデル化に関する検討報告書」から引用

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.6 解析用物性値（石材）の動的評価への適用性（3/4）

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

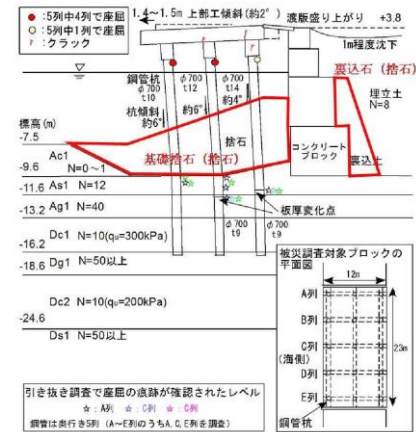
被災事例の再現解析① 神戸港T桟橋

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

FLIPIにおける解析用物性値（神戸港T桟橋）

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

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



断面図（神戸港T桟橋）

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

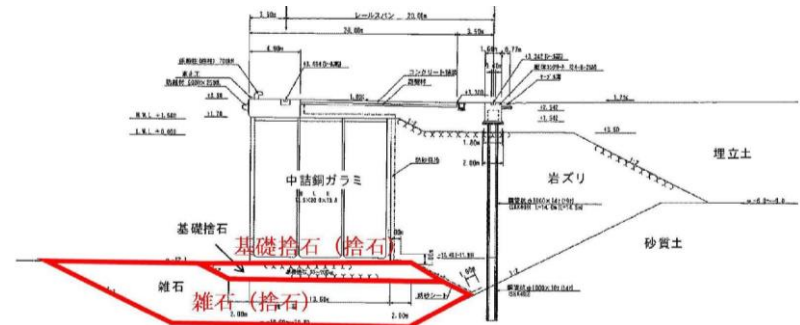
被災事例の再現解析② 小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁

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

FLIPIにおける解析用物性値（小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁）

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

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



断面図（小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁）

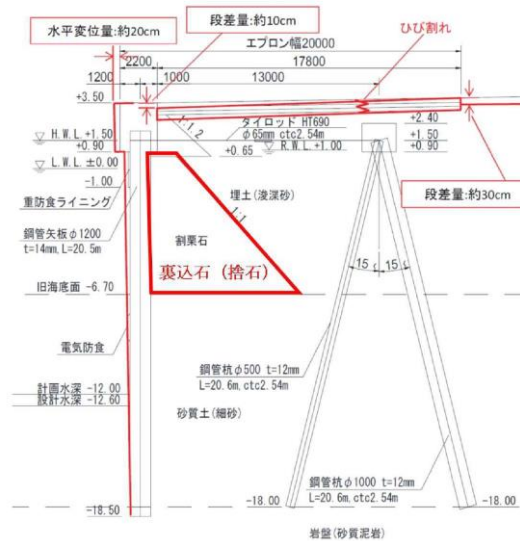
「2011年東北地方太平洋沖地震において地震動により被災した小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁（-12m）の再現解析（2014）」から引用

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.6 解析用物性値（石材）の動的評価への適用性（4/4）

被災事例の再現解析③ 相馬港2号埠頭-12m岸壁

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



断面図（相馬港2号埠頭-12m岸壁）

「相馬港2号埠頭-12m岸壁を対象とした事例解析（2012年度）」から引用

FLIPにおける解析用物性値（相馬港2号埠頭-12m岸壁）

記号	土質	ρ (t/m ³)	σ_{ma} (kN/m ²)	V_s (m/s)	G_{ma} (kN/m ²)	m_G	K_{ma} (kN/m ²)	m_K	c (kN/m ²)	ϕ_f	h_{max}	n	E (kN/m ²)
B	埋土（浚渫砂）	1.80	98	162	75246	0.5	196230	0.5	0.0	39.38	0.24	0.45	
		2.00											
As	砂質土（細砂）	2.00	98	269	125095	0.5	326228	0.5	0.0	41.33	0.24	0.45	
R	岩盤（砂質泥岩）	1.73											1392000
	裏込石	2.00	98		101300	0.5	264000	0.5	20.00	35.00	0.24	0.45	

「相馬港2号埠頭-12m岸壁を対象とした事例解析（2012年度）」から引用

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.7 解析用物性値（石材）の設定方針 まとめ

(1) 文献調査結果

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

(2) 島根原子力発電所への適用性

- 岩石試験結果参照より、島根原子力発電所で使用されている石材（基礎捨石・被覆石）の一軸圧縮強度は $30 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ を有している。
- 島根原子力発電所の施設護岸の工事で使用した基礎捨石は、 30 kg 以上/個程度（ 200 mm ～ 250 mm ）であり、「捨石のモデル化に関する検討報告書」で事例検証が行われている捨石の質量（六甲アイランドRF3 岸壁の捨石は主に 200 kg ～ 400 kg /個程度、神戸港第七防波堤の捨石は主に 10 kg ～ 200 kg /個程度）の範囲内となっている。
- 以上のことから、島根の石材（基礎捨石・被覆石）においても港湾基準に示される $C=20 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ 、 $\Phi_f=35 \text{ (}^\circ\text{)}$ を適用できると判断した。

(3) 設置許可段階における構造成立性評価

- 島根の石材の解析用物性値は上述のとおり考えているが、設置許可段階においては、保守的に $C=0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ 、 $\Phi_f=35 \text{ (}^\circ\text{)}$ と設定した場合の構造成立性評価について確認する。

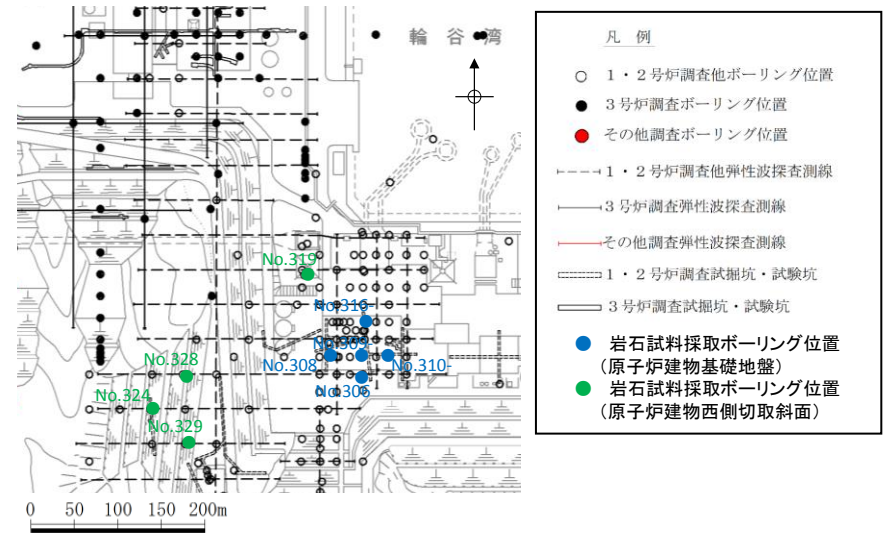
9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

(参考) 岩石試験結果

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

試験概要

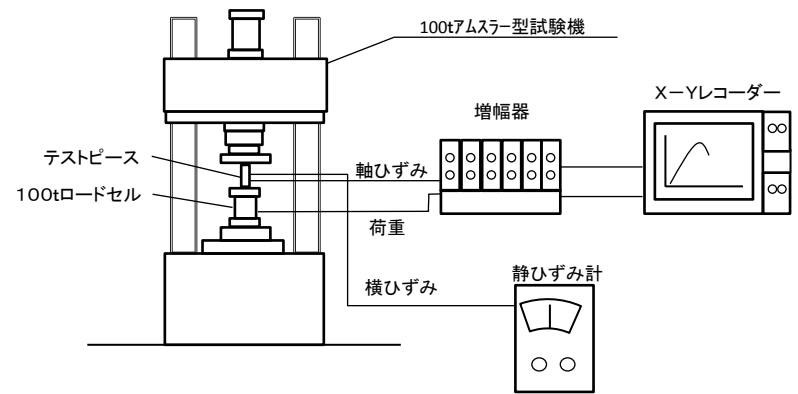
供試体サイズ		直径：50 (mm) 高さ：100 (mm)
最大能力		980kN(100t)
原子炉建物 基礎地盤	試料採取ボーリング	306,308,309,310,316
	試験個数	18個
	一軸圧縮強度	82.57 (N/mm ²)
原子炉建物 西側切取斜面	試料採取ボーリング	324,319,328,329
	試験個数	10個
	一軸圧縮強度	122.98 (N/mm ²)



岩石試料採取位置図



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



一軸圧縮試験装置図

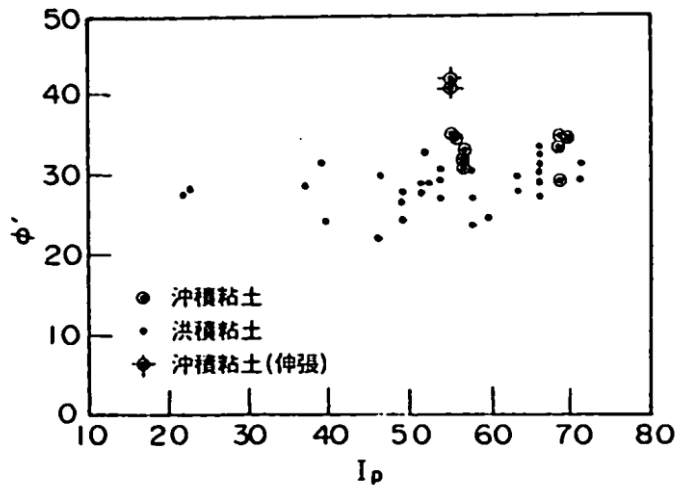
9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.8 解析用物性値（粘性土）の設定根拠

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

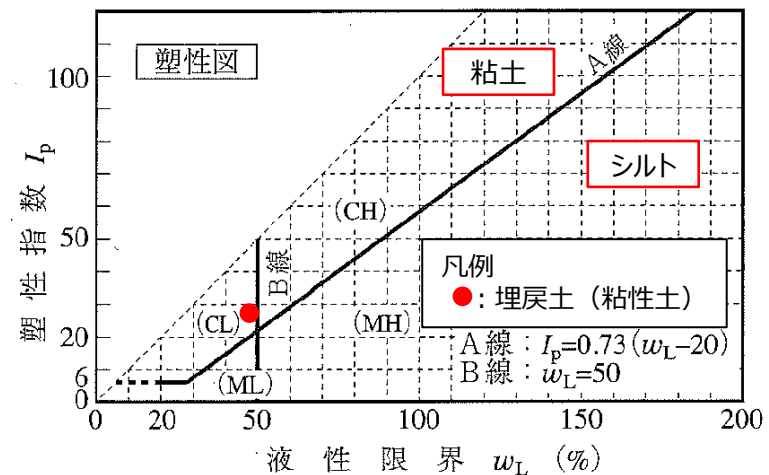
埋戻土（粘性土）の液性限界・塑性限界試験結果

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



正規圧密時の内部摩擦角と塑性指数の関係

「三軸試験による自然粘性土地盤の強度設定法に関する研究（土田，1990）」より引用



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

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.9 解析用物性値（セルラーブロック）の設定根拠（1/2）

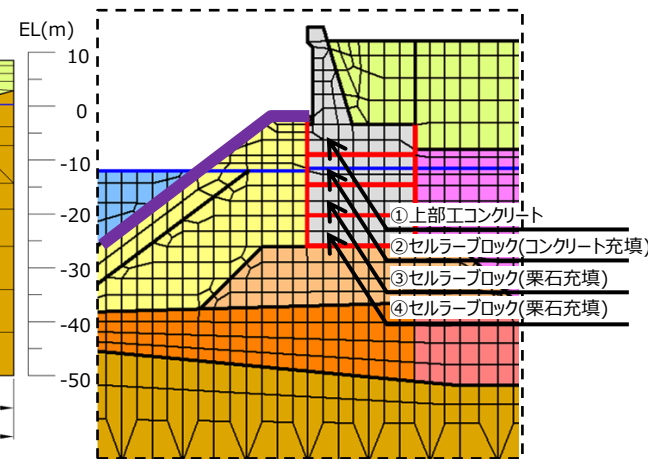
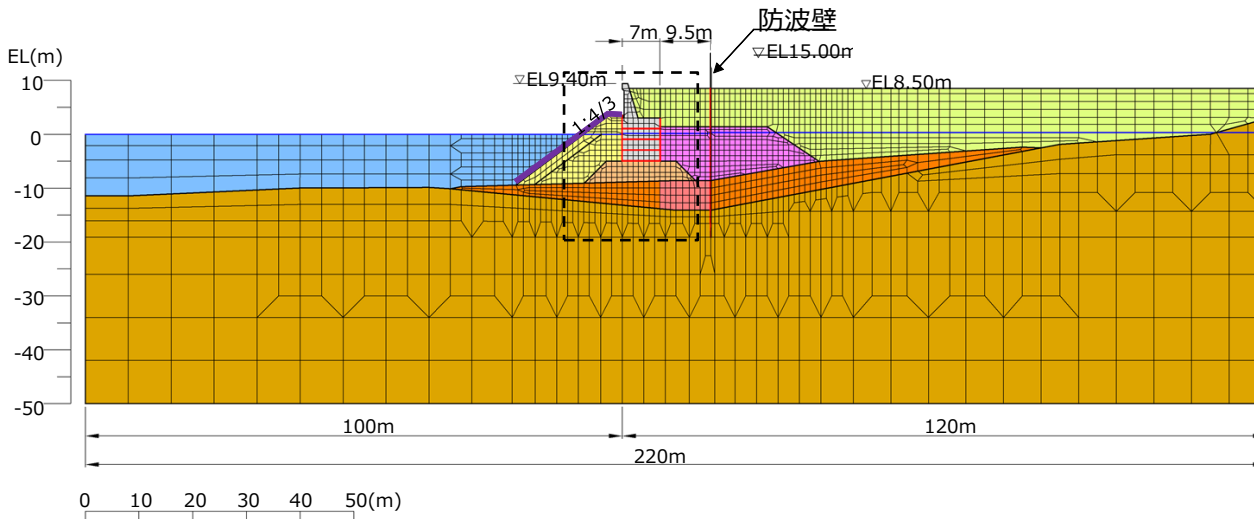
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に近接する施設護岸を構成する上部工コンクリート及びセルラーブロックのモデル化にあたっては、要素間の滑り・剥離を考慮するため、ジョイント要素でモデル化している。また、セルラーブロックの中詰材の剛性は考慮しない。
- せん断抵抗角は港湾基準に準拠し、以下に示す摩擦係数の考え方を踏まえ設定した。

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

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

静止摩擦係数の値
(港湾基準より引用)

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

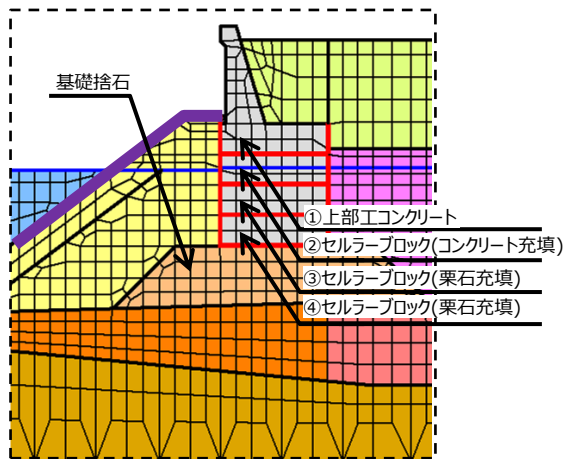


施設護岸部 拡大図

9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価 9.5 解析用物性値

9.5.9 解析用物性値（セルラーブロック）の設定根拠（2/2）

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



施設護岸部 拡大図

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

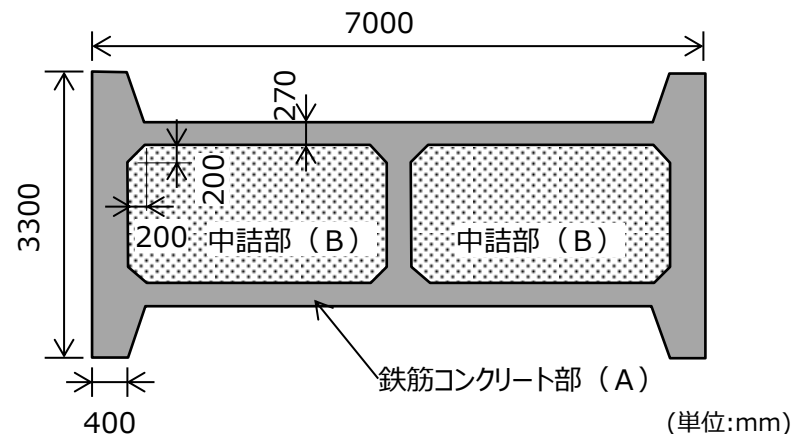
静止摩擦係数の値

(港湾基準より引用)

【摩擦係数算定の考え方】

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

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



セルラーブロック断面図（例）