

女川原子力発電所2号炉 防潮堤の設計方針について

平成31年1月15日
東北電力株式会社

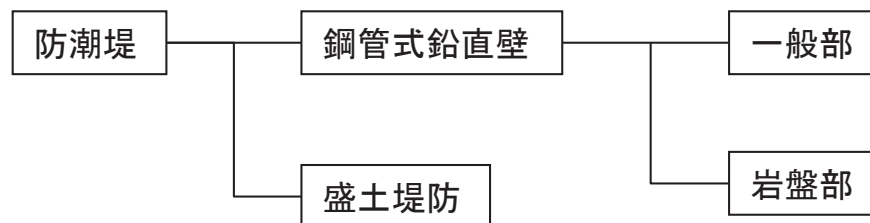
防護上の観点又は機密に係わる事項を含む為、公開できません

1.	概要	2
2.	設置許可基準規則への適合性について	4
3.	津波防護対象施設	17
4.	防潮堤の概要	19
5.	基本設計方針	40
6.	防潮堤に作用する荷重と部位の役割	58
7.	防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮	78
8.	設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針	93
9.	部位ごとの設計方針	102

参考文献

1. 概要

- 第548回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(平成30年2月13日)において、防潮堤直下の盛土・旧表土の沈下対策を行うことを説明した。
- また、今回の説明内容は、第589回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(平成30年6月19日)において説明した内容から、その後の検討を踏まえ、置換コンクリートの一部をセメント改良土に変更した結果を反映している。
- この対策により鋼管式鉛直壁(一般部)は沈下しない構造となることから、岩盤部と同様の挙動となる。また、盛土堤防も改良地盤・岩盤に直接支持される構造となる。設計変更を実施した目的・理由と期待される効果を補足説明資料8に示す。
- 津波防護施設として防潮堤に求められる要求機能は、繰返しの襲来を想定した遡上波に対して浸水を防止すること、基準地震動 S_s に対し要求される機能を損なうおそれがないよう、構造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潮堤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。
- 本資料は、防潮堤の沈下対策後の構造における設計方針について説明する。なお、設置許可段階において提示する構造成立性評価の方針を第8章で説明し、評価結果については別資料にて説明する。
- 防潮堤の構造形式は、鋼管式鉛直壁及び盛土堤防に分類され、鋼管式鉛直壁は、更に一般部と岩盤部に分類される。



- 防潮堤は、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。
- なお、防潮堤の設計においては、2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴う約1mの沈降を考慮する。

2. 設置許可基準規則への適合性について

2. 設置許可基準規則への適合性について

2.1 防潮堤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)

- 防潮堤に関する「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、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、防潮堤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 	○

2.1 防潮堤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 <ul style="list-style-type: none"> 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 	— (耐津波設計方針にて説明予定)
	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して津波防護機能を保持できること <ul style="list-style-type: none"> 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能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、漂流防止措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、洗掘力及び浮力等)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 	○

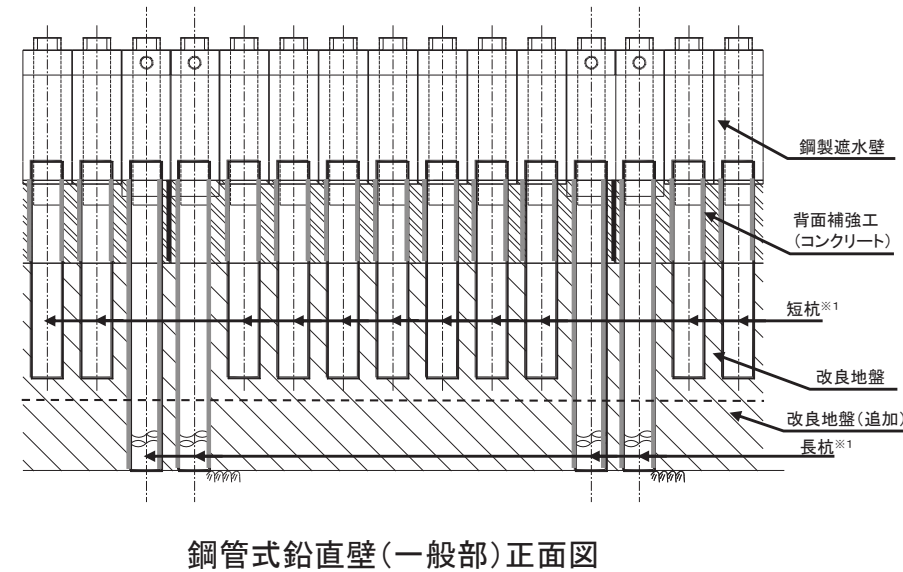
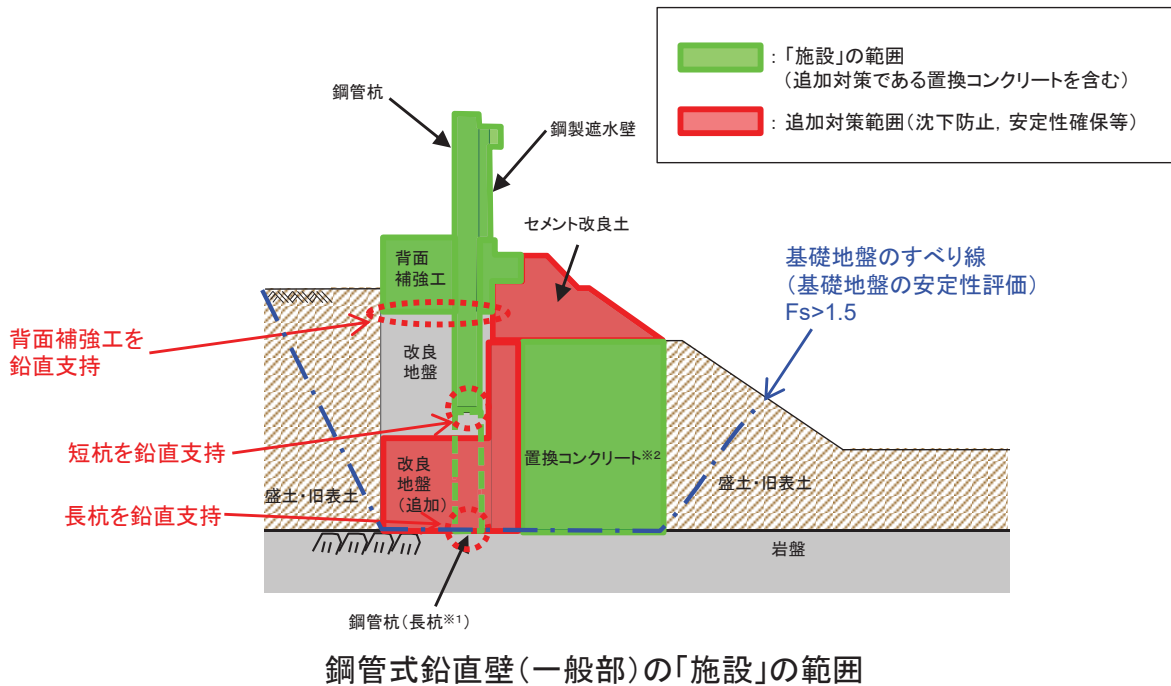
2. 設置許可基準規則への適合性について 2.2 条文に対する検討要旨

2.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/5)

- 新規制基準への適合性において、防潮堤直下の盛土・旧表土は沈下対策として地盤改良を行うことを踏まえ、鋼管式鉛直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。

鋼管式鉛直壁における検討要旨

規則	検討要旨
第3条(設計基準対象施設の地盤)	<ul style="list-style-type: none"> 施設(鋼管杭、鋼製遮水壁、背面補強工及び置換コンクリート)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。



※1: 「長杭」, 「短杭」は、鋼管式鉛直壁(一般部)を構成する2種類の長さの鋼管杭に対して設計図書の中で付けた名称。

※2: **CM**級以上の岩盤に設置(3章以降についても同様)。

8

2. 設置許可基準規則への適合性について 2.2 条文に対する検討要旨

2.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(2/5)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)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、これらを総称して『止水性』と整理する。

鋼管式鉛直壁(一般部)の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割※1	津波時の役割※1
施設	鋼管杭(長杭)	・ 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持する。	・ 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持する。
	鋼管杭(短杭)	・ 鋼製遮水壁を支持する。	・ 鋼製遮水壁を支持する。
	鋼製遮水壁	・ 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	・ 鋼製遮水壁間の変位に追従する。	・ 鋼製遮水壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
	背面補強工	・ 長杭・短杭の変形を抑制する。	・ 遮水性を保持する。 ・ 長杭・短杭の変形を抑制する。
	置換コンクリート	・ コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。 ・ 長杭・短杭の変形を抑制する(斜面形状による海側への変形が卓越)。	・ 長杭・短杭の変形を抑制する。 ・ 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
	頂部はり※2	—	—
地盤	セメント改良土	・ 長杭・短杭の変形を抑制する(斜面形状による海側への変形が卓越)。	・ 長杭・短杭の変形を抑制する。 ・ 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。 ・ 津波荷重を置換コンクリート等を介して岩盤に伝達する。
	改良地盤	・ 短杭及び背面補強工を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 ・ 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 ・ 長杭・短杭の変形を抑制する(斜面形状による海側への変形が卓越)。	・ 短杭及び背面補強工を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 ・ 長杭・短杭の変形を抑制する。 ・ 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
	岩盤	・ 長杭・短杭、背面補強工及び置換コンクリートを(改良地盤を介して)鉛直支持する。 ・ 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ 長杭・短杭、背面補強工及び置換コンクリートを(改良地盤を介して)鉛直支持する。

役割を期待する範囲(地震時)

役割を期待する範囲(津波時)

※1: 津波+余震時は地震時及び津波時の両方の役割を参照する。

※2: 沈下時に機能を期待していたが、沈下しない設計に変更したため、役割を期待しない。

※3: 海側の盛土・旧表土の斜面部は、斜面形状により津波荷重の一部を岩盤に分散させるが、液状化に伴う流動により斜面形状が変化し、荷重伝達経路や津波波圧に影響する可能性が考えられることから、これらの影響の程度を詳細設計時(工認段階)に検討することとし、本表の整理から除外する(詳細は8.3参照)。

2. 設置許可基準規則への適合性について 2.2 条文に対する検討要旨

2.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(3/5)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)において、背面補強工、置換コンクリート、改良地盤及びセメント改良土の具体的な役割を以下のとおり整理した。
- 要求機能を満たすために設計上必要な項目を持つ部位として、背面補強工は津波時に鋼製遮水壁や止水目地とともに止水性(第5条)として遮水性を保持すること、置換コンクリートは地震時にすべり安定性確保(第3条)の役割を主体的に果たすことから、『施設』と区分する。
- 支持地盤や側方地盤としての役割を有する改良地盤及びセメント改良土は『地盤』と区分する。

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とする)
○	施設の役割を維持するために設計に反映する項目
△	他の部位の役割に対して付随的な役割を持つ項目
—	設計上考慮しない項目

※:鉛直支持については岩盤が、健全性(鋼管杭の変形抑制)については鋼管杭が、それぞれ主体的に役割を果たす。

各部位の具体的な役割

部位…4章	具体的な役割…5, 6章				『施設』と『地盤』の区分の考え方		
	地震時	津波時	鉛直支持 ※	すべり安定性 ※		(鋼管杭の変形抑制) 健全性 ※	(遮水性・難透水性) 止水性
背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の周囲を剛性の高いコンクリートとすることで鋼管杭の変形を抑制するとともに、鋼管杭の突出長を短縮することで鋼管杭の断面力を低減する。 	<ul style="list-style-type: none"> 遮水性を有するコンクリートを鋼製遮水壁や止水目地と連続配置することで、津波時の水みちを形成しない。 鋼管杭の周囲を剛性の高いコンクリートとすることで鋼管杭の変形を抑制するとともに、鋼管杭の突出長を短縮することで鋼管杭の断面力を低減する。 	—	—	○	◎	津波時に鋼製遮水壁や止水目地とともに遮水性の役割を果たすことから、『施設』と区分する。
置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して置換範囲を設計することで、基礎地盤のすべり安定性を確保する(第3条)。 斜面形状による海側への変形が卓越する損傷モードに対して、鋼管杭の海側に必要な強度を有するコンクリートを設置することで改良地盤の変形や発生応力を低減し、鋼管杭の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の海側に必要な強度を有するコンクリートを設置することで改良地盤の変形や発生応力を低減し、鋼管杭の海側への変形に抵抗する。 難透水性を保持することで、遮水性を有する鋼製遮水壁・止水目地・背面補強工の下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。 	—	◎	○	△	地震時にすべり安定性確保の役割を主体的に果たすことから、『施設』と区分する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭(短杭)及び背面補強工の下方の盛土・旧表土を地盤改良(沈下防止)することで、防潮堤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。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭(短杭)及び背面補強工の下方の盛土・旧表土を地盤改良(沈下防止)することで、防潮堤を鉛直支持する。 難透水性を保持することで、遮水性を有する鋼製遮水壁・止水目地・背面補強工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もつことから、『地盤』と区分する。
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 斜面形状による海側への変形が卓越する損傷モードに対して、鋼管杭の海側にセメント改良土を設置することで鋼管杭の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の海側にセメント改良土を設置することで鋼管杭の海側への変形を抑制する。 遮水性を有する鋼製遮水壁・止水目地・背面補強工の周囲で難透水性を保持することで、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様であること、難透水性の保持の役割をもつことから、『地盤』と区分する。

2. 設置許可基準規則への適合性について 2.2 条文に対する検討要旨

2.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(4/5)

- 鋼管式鉛直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…4章		性能目標…5, 6, 9章			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	健全性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	止水性 (遮水性, 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、鋼管杭がおおむ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、鋼管杭がおおむね弾性状態に留まること。
	鋼製遮水壁			構造部材の健全性を保持するために、鋼製遮水壁がおおむ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鋼製遮水壁間から有意な漏えいを生じないために、鋼製遮水壁がおおむね弾性状態に留まること。
	止水目地			鋼製遮水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。	鋼製遮水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。
	背面補強工			鋼管杭の変形を抑制するため、背面補強工がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。	背面補強工内に鋼管杭を横断する水みちが形成されて有意な漏洩を生じないために、背面補強工がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。
	置換コンクリート			基礎地盤のすべり安定性を確保するため、コンクリートの強度を維持し、すべり抵抗を保持すること。	鋼管杭の変形を抑制するため、置換コンクリートがすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。
地盤	岩盤	鋼管杭、背面補強工及び置換コンクリート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、置換コンクリートのすべり抵抗も考慮した上で、十分なすべり安定性を保持すること。	-	-
	改良地盤	鋼管杭及び背面補強工を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。		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)。
	セメント改良土	-	-	鋼管杭の変形を抑制するため、セメント改良土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、セメント改良土がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。

2.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(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、盛土・旧表土の変状に伴う施設評価への影響を検討する。
- また、液状化に伴う海側の盛土・旧表土斜面部の変状により斜面形状が変化し、荷重伝達経路や津波波圧に影響する可能性があることから、詳細設計時(工認段階)に影響の程度を検討する(詳細は8.3を参照)。
- なお、施設及び地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。
- 各部位の概要、役割、照査項目及び許容限界の詳細については、次章以降に示す(対応する章を表中に明示)。

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…4章		照査項目と許容限界…5, 9章			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	健全性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	止水性 ^{※1} (遮水性, 難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭	-	-	曲げ, せん断 (短期許容応力度以下)	
	鋼製遮水壁			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)
	背面補強工			すべり安全率 ^{※4, 5} (1.2以上)	
	置換コンクリート			すべり安全率 ^{※4, 5} (1.2以上)	
地盤	岩盤	支持力 (極限支持力以下)	すべり安全率 ^{※3} (基礎地盤)	-	-
	改良地盤	支持力 (極限支持力以下)	(1.5以上)	すべり安全率 ^{※4} (1.2以上)	
	セメント改良土	-	-	すべり安全率 ^{※4} (1.2以上)	

※1: 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、置換コンクリート、改良地盤及びセメント改良土の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。
 ※2: 置換コンクリートがすべり破壊しないことを第4・5条で確認するため、第3条においては、岩盤及び改良地盤を通るすべり線のすべり安全率を確認する。
 ※3: 第3条のすべり安全率は施設の外的安定の確認を目的としており、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に基づいて1.5以上を許容限界とする。
 ※4: 第4条・第5条のすべり安全率は各部位の内的安定の確認を目的としており、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用して1.2以上を許容限界とする。
 ※5: 地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う(詳細は9.2.1を参照)。

2. 設置許可基準規則への適合性について 2.2 条文に対する検討要旨

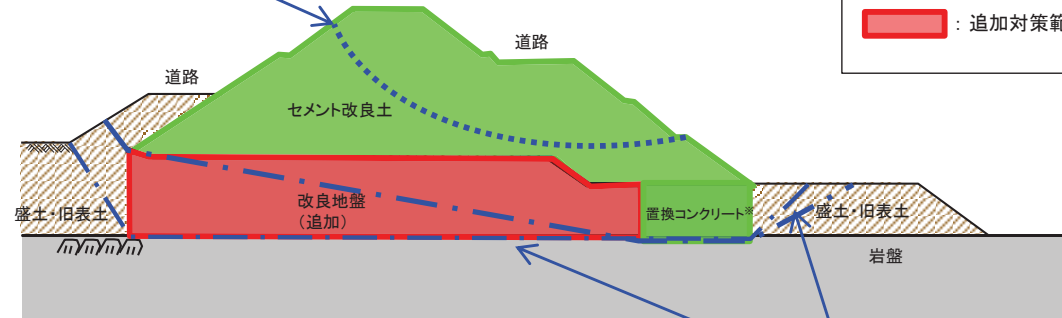
2.2.2 盛土堤防(1/5)

- 新規制基準への適合性において、防潮堤直下の盛土・旧表土は沈下対策として地盤改良を行うことを踏まえ、盛土堤防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。

盛土堤防における検討要旨

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

防潮堤本体のすべり線
(耐津波設計に係る工認審査ガイドに基づく安定性評価)
 $F_s > 1.2$



: 「施設」の範囲
 (追加対策である置換コンクリートを含む)
 : 追加対策範囲(沈下防止, 安定性確保等)

基礎地盤のすべり線
(基礎地盤の安定性評価)
 $F_s > 1.5$

[参考] 耐津波設計に係る工認審査ガイドの記載

4.4 許容限界

- 盛土による防潮堤や河川堤防等の盛土・地山斜面については、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に準じ、周辺斜面の評価に用いるすべり安全率による評価基準値を許容限界値としていることを確認する。

盛土堤防の「施設」の範囲

※: CM級以上の岩盤に設置(3章以降についても同様)。

2.2.2 盛土堤防(2/5)

- 盛土堤防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。
- セメント改良土については、堤体として本体部分と海側の道路部分を一体的に構築しており、津波荷重も全体で受けることから、海側の道路部分も含めたセメント改良土全体を施設として評価する。

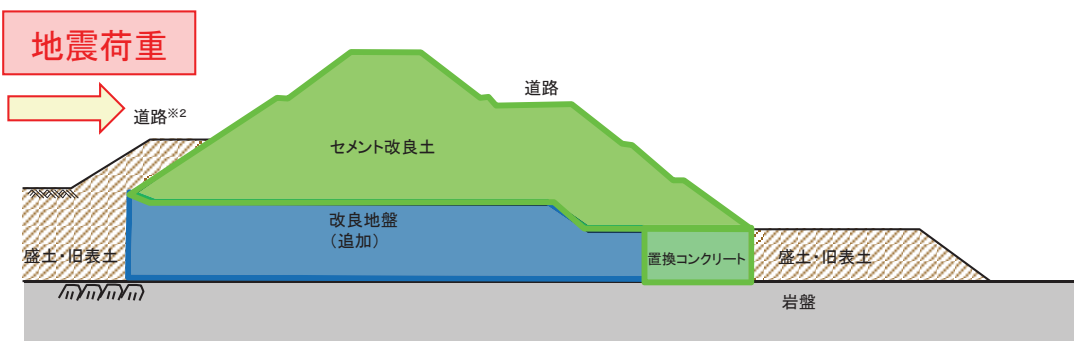
盛土堤防の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割※1	津波時の役割※1
施設	セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 難透水性を有し、堤体により止水性を維持する。
	置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
地盤	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。

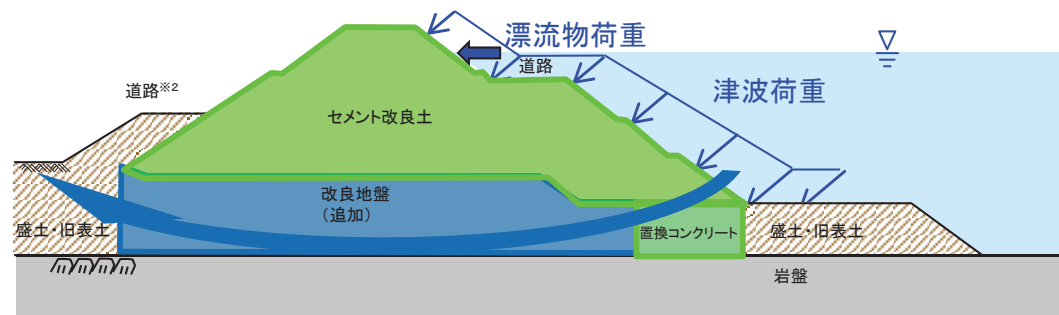
※1:津波+余震時は地震時及び津波時の両方の役割を参照する。

※2:セメント改良土の陸側の道路部分(盛土・旧表土)は、セメント改良土とは異種材料で別々に構築し、構造的にも一体化していない。荷重に対する抵抗力等の具体的な役割は期待していないが、適切にモデル化して施設への影響を評価する。

: 施設
 : 「役割」を期待する地盤



役割を期待する範囲(地震時)



役割を期待する範囲(津波時)

2.2.2 盛土堤防(3/5)

- 盛土堤防において、セメント改良土、置換コンクリート及び改良地盤の具体的な役割を以下のとおり整理した。
- 要求機能を満たすために設計上必要な項目を持つ部位として、セメント改良土は堤体本体としての高さ維持(第4・5条)、止水性維持(第5条)の役割を主体的に果たすこと、置換コンクリートは地震時にすべり安定性確保(第3条)の役割を主体的に果たすことから、『施設』と区分する。
- 支持地盤としての役割を有する改良地盤は『地盤』と区分する。

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とする)
○	施設の役割を維持するために設計に反映する項目
△	他の部位の役割に対して付随的な役割を持つ項目
—	設計上考慮しない項目

各部位の具体的な役割

※:鉛直支持については岩盤が主体的に役割を果たす。

部位…4章	具体的な役割…5, 6章				『施設』と『地盤』の区分の考え方
	地震時	津波時	鉛直支持 [※]	すべり安定性 健全性 (難透水性) 止水性	
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 強度・剛性の高いセメント改良土を大断面で設置することで、入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体本体としての高さを維持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 強度・剛性の高いセメント改良土を大断面で設置することで、入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 難透水性を有し、堤体本体としての止水性を保持することで、津波時の水みちを形成しない。 	—	— ◎	堤体本体として、高さ・止水性維持の役割を主体的に果たすことから、『施設』と区分する。
置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して置換範囲を設計することで、基礎地盤のすべり安定性を確保する(第3条)。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土の周囲で難透水性を保持することで、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。 	—	◎ ○ △	地震時にすべり安定性確保の役割を主体的に果たすことから、『施設』と区分する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土の下方の盛土・旧表土を地盤改良(沈下防止)することで、防潮堤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。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土の下方の盛土・旧表土を地盤改良(沈下防止)することで、防潮堤を鉛直支持する。 セメント改良土の周囲で難透水性を保持することで、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もつことから、『地盤』と区分する。

2.2.2 盛土堤防(4/5)

- 盛土堤防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…4章		性能目標…5, 6, 9章			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	健全性 (第4条)	止水性 (難透水性) (第5条)
施設	セメント改良土	—	—	セメント改良土の健全性を保持して、入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持するために、堤体内部にすべり破壊が生じないこと(内的安定を保持)。	セメント改良土を横断する水みちが形成されて有意な漏洩を生じないために、堤体内部にすべり破壊が生じないこと(内的安定を保持)。
	置換コンクリート	—	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、コンクリートの強度を維持し、すべり抵抗を保持すること。	コンクリートの強度を維持するため、置換コンクリート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、置換コンクリートがすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。
地盤	改良地盤	セメント改良土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、置換コンクリートのすべり抵抗も考慮した上で、十分なすべり安定性を保持すること。	—	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、改良地盤がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。
	岩盤	セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。		—	—

2.2.2 盛土堤防(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、盛土・旧表土の変状に伴う施設評価への影響を検討する。
- また、セメント改良土の陸側の盛土・旧表土(道路)については、荷重に対する抵抗力として期待せず、適切にモデル化して施設への影響を評価する。
- なお、施設及び地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。
- 各部位の概要、役割、照査項目及び許容限界の詳細については、次章以降に示す(対応する章を表中に明示)。

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…4章		照査項目と許容限界…5, 9章			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	健全性 (第4条)	止水性*1 (難透水性) (第5条)
施設	セメント改良土	—	—	すべり安全率*4, 5 (1.2以上)	
	置換コンクリート	—	—*2	すべり安全率*4, 5 (1.2以上)	
地盤	岩盤	支持力 (極限支持力以下)	すべり安全率*3 (基礎地盤)	—	—
	改良地盤	支持力 (極限支持力以下)	(1.5以上)	—	すべり安全率*4 (1.2以上)

※1:施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、置換コンクリート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敷地に浸水しないことを確認する。

※2:置換コンクリートがすべり破壊しないことを第4・5条で確認するため、第3条においては、岩盤及び改良地盤を通るすべり線のすべり安全率を確認する。

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

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

※5:地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う(詳細は9.2.1を参照)。




3. 津波防護対象施設

3. 津波防護対象施設

- 設置許可基準規則第5条及び第40条の対象となる「津波防護対象施設」を以下に示す。



凡例

-  : 設計基準対象施設及び常設重大事故等対処施設の津波防護対象設備を内包する建屋及び区画
-  : 常設重大事故等対処施設の津波防護対象設備を内包する建屋及び区画
-  : 可搬型重大事故等対処施設の津波防護対象設備を内包する建屋及び区画

※1: O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74m。

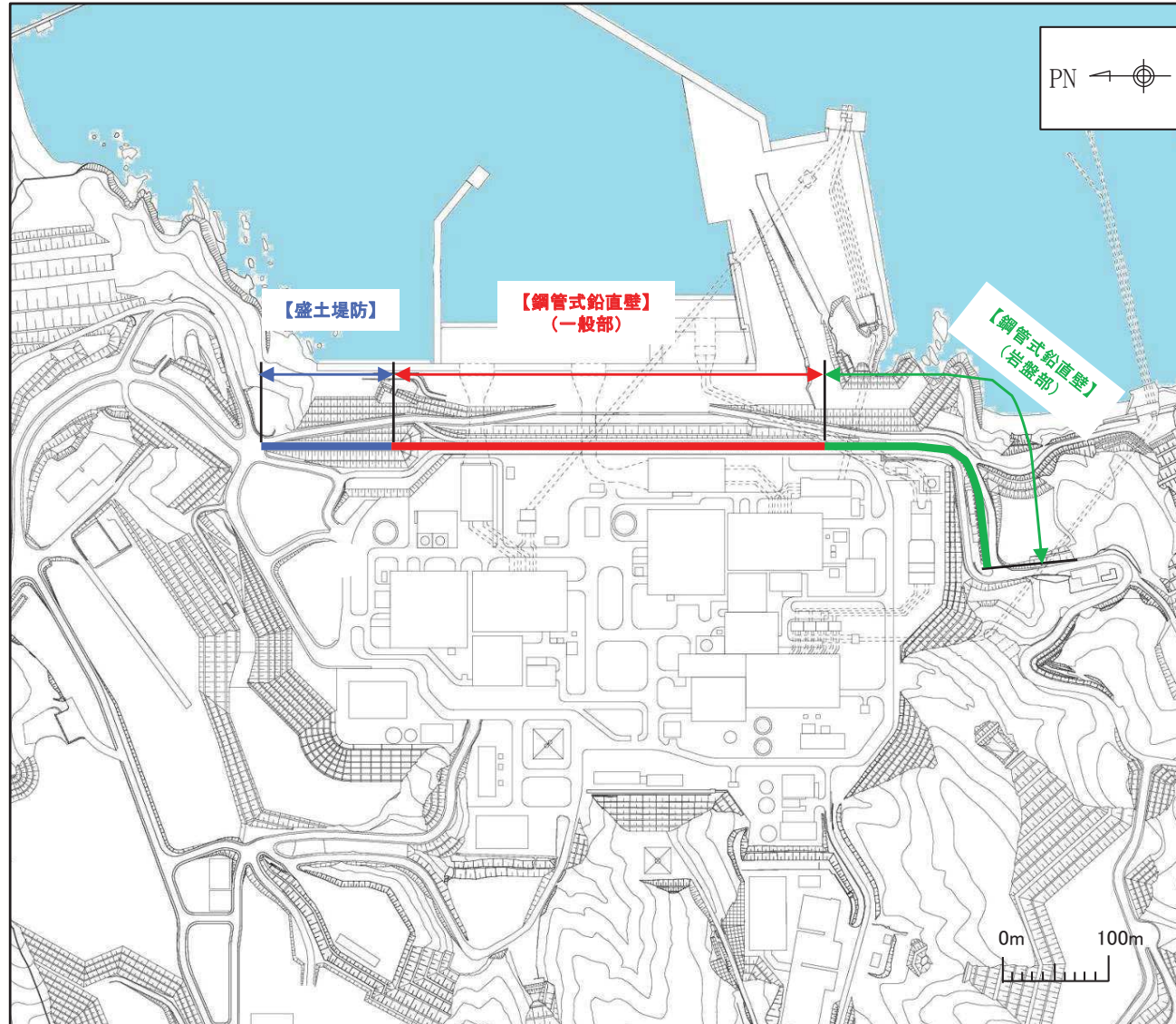
※2: 津波防護設計においては、2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、一様に約1mの沈降が発生したことを考慮した値を用いる。

4. 防潮堤の概要

4. 防潮堤の概要

4.1 防潮堤の構造形式

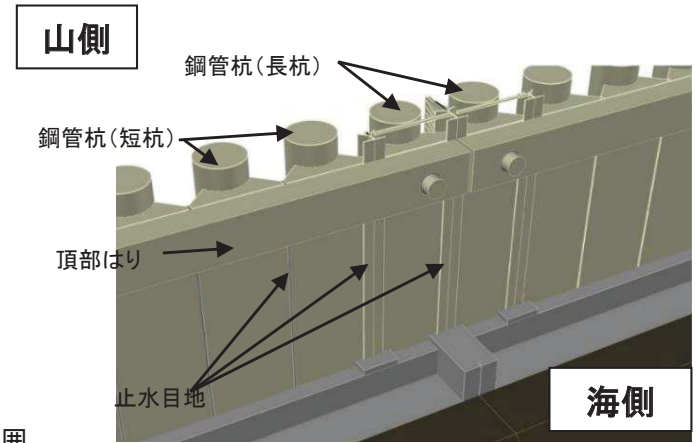
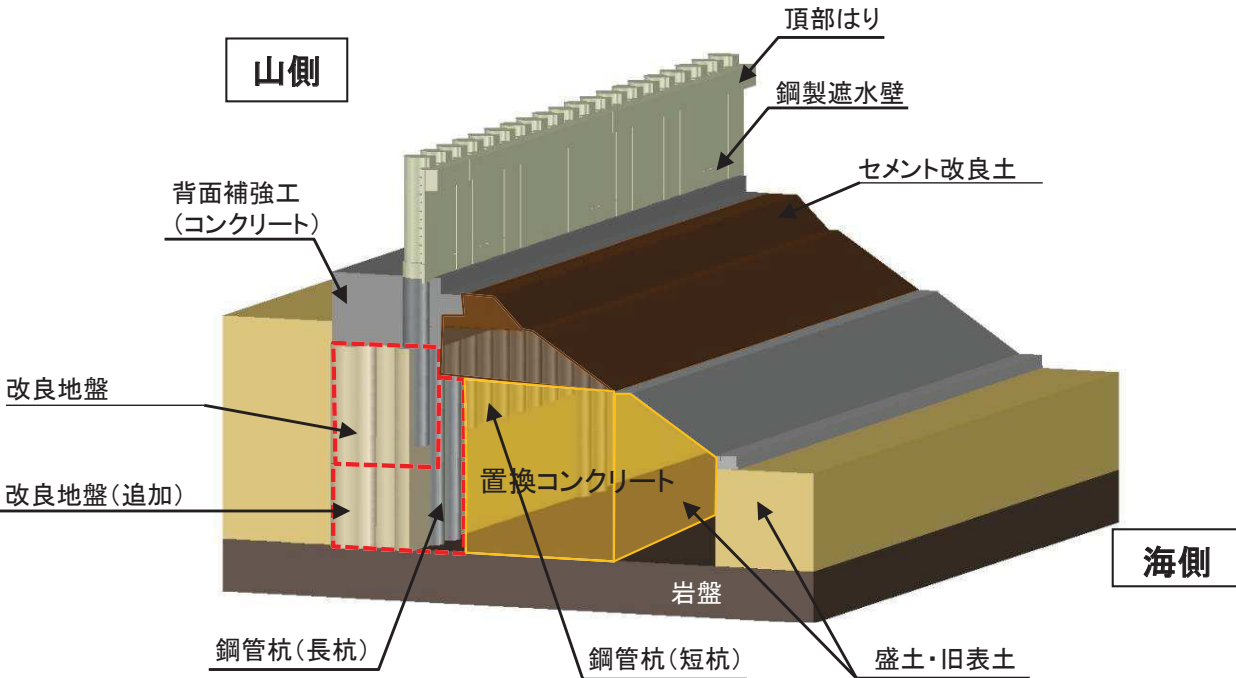
- 防潮堤の構造形式は、鋼管式鉛直壁と盛土堤防の2つに分類され、鋼管式鉛直壁は、更に一般部と岩盤部に分類される。



4. 防潮堤の概要

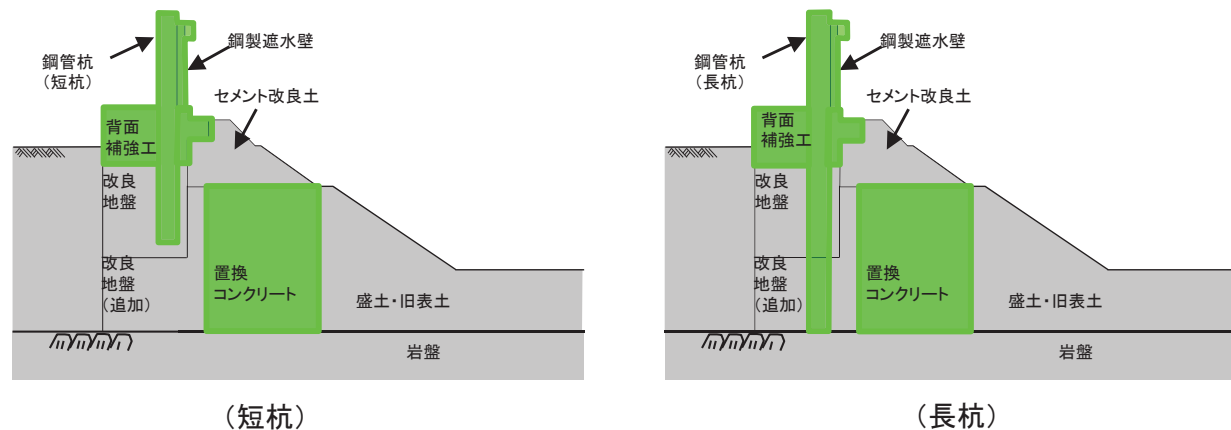
4.2 鋼管式鉛直壁(一般部) 構造の概要(1/3)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の構造, 評価対象部位と主な役割並びに施設の範囲を示す。



評価対象部位		主な役割
鋼管杭	長杭	鋼製遮水壁及び頂部はりを支持
	短杭	鋼製遮水壁を支持
鋼製遮水壁		止水目地を支持, 遮水性の保持
止水目地		鋼製遮水壁間の遮水性の保持
背面補強工		遮水性の保持, 長杭・短杭の変形抑制
置換コンクリート		基礎地盤のすべり安定性の確保, 長杭・短杭の変形抑制, 難透水性の保持
頂部はり		—※

【地盤】 ※: 沈下時に機能を期待していたが, 沈下しない設計に変更したため, 役割を期待しない。



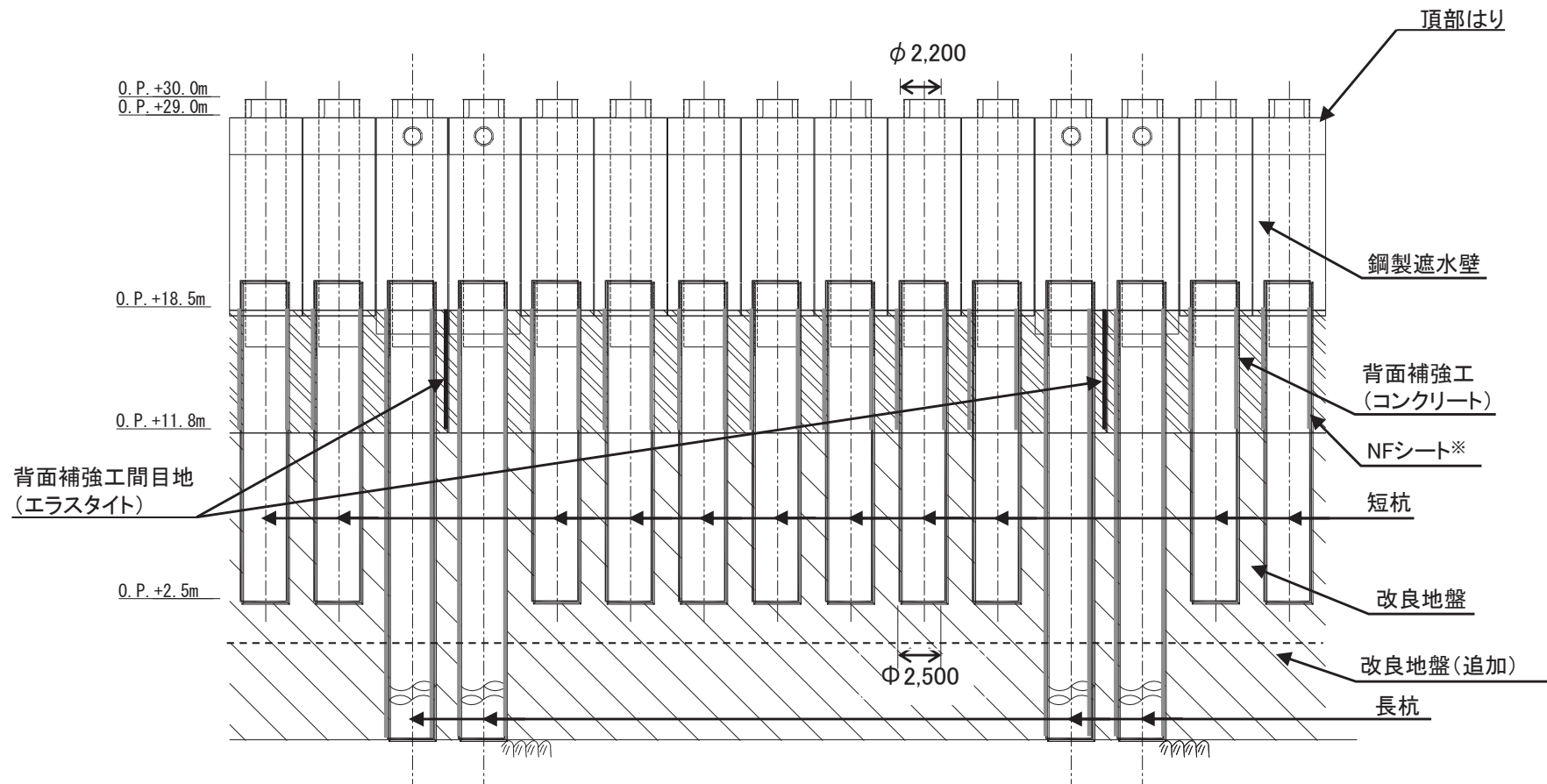
鋼管式鉛直壁(一般部)における施設と地盤の区分

岩盤	長杭・短杭, 背面補強工及び置換コンクリートの鉛直支持, 基礎地盤のすべり安定性に寄与
改良地盤	短杭及び背面補強工の鉛直支持(下方の岩盤に荷重を伝達), 基礎地盤のすべり安定性に寄与, 長杭・短杭の変形抑制, 難透水性の保持
セメント改良土	長杭・短杭の変形抑制, 難透水性の保持, 津波荷重の伝達
盛土・旧表土	—

4. 防潮堤の概要

4.2 鋼管式鉛直壁(一般部) 構造の概要(2/3)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の鋼管杭は、長杭(岩盤に支持される杭)と長杭の中間に配置する短杭(改良地盤に支持される杭)から構成される。



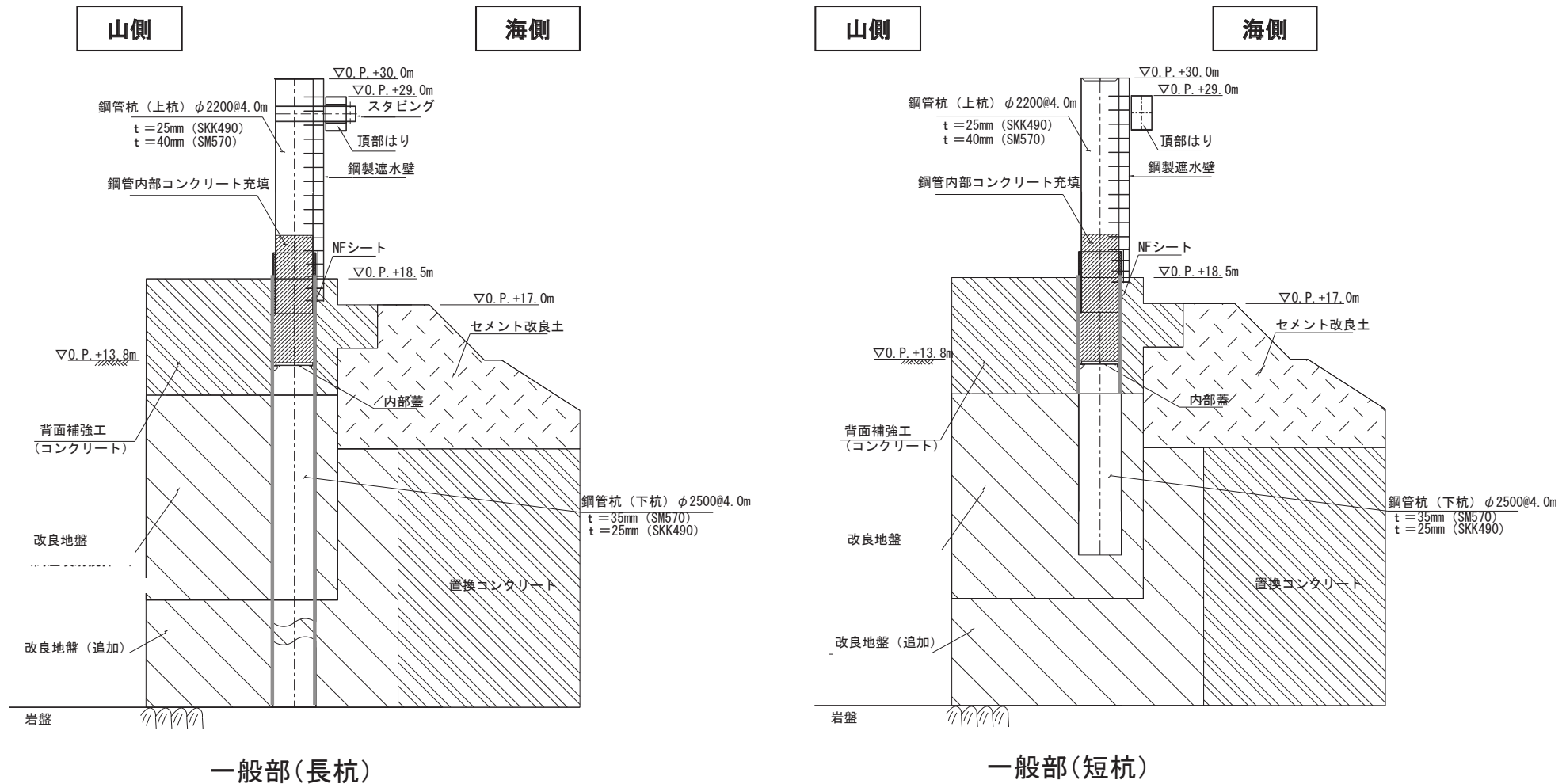
鋼管式鉛直壁(一般部)正面図

※: アスファルトをシートに成形したものであり、本資料では『NFシート』と呼ぶ。ネガティブフリクション対策として施工したが、沈下しない設計に変更したため、役割を期待しない。

4. 防潮堤の概要

4.2 鋼管式鉛直壁(一般部) 構造の概要(3/3)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の鋼管杭は、長杭(岩盤に支持される杭)と、長杭の中間に配置する短杭(改良地盤に支持される杭)から構成される。
- 長杭・短杭いずれも、施工性のため上杭(φ2,200mm)と下杭(φ2,500mm)に分けて施工しており、接続部周辺をコンクリートで充填している。

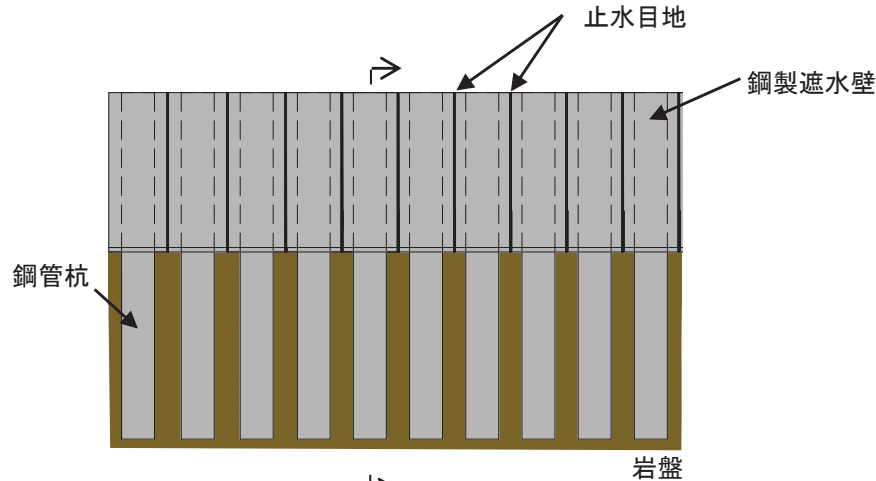


鋼管式鉛直壁(一般部)断面図

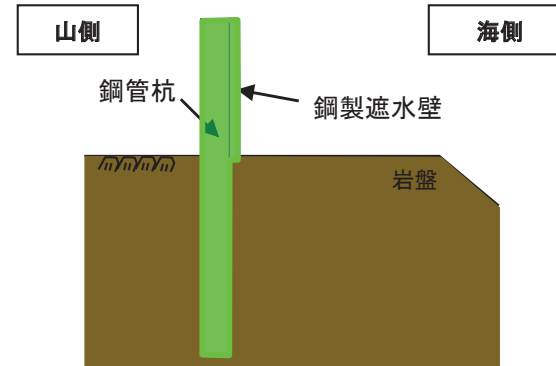
4. 防潮堤の概要

4.3 鋼管式鉛直壁(岩盤部) 構造の概要(1/3)

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の構造, 評価対象部位と主な役割並びに施設の範囲を以下に示す。



鋼管式鉛直壁(岩盤部)正面図



断面図

■ 施設の範囲

評価対象部位	主な役割
鋼管杭	鋼製遮水壁を支持
鋼製遮水壁	止水目地を支持 遮水性の保持
RC遮水壁	
止水目地	鋼製遮水壁間の遮水性の保持

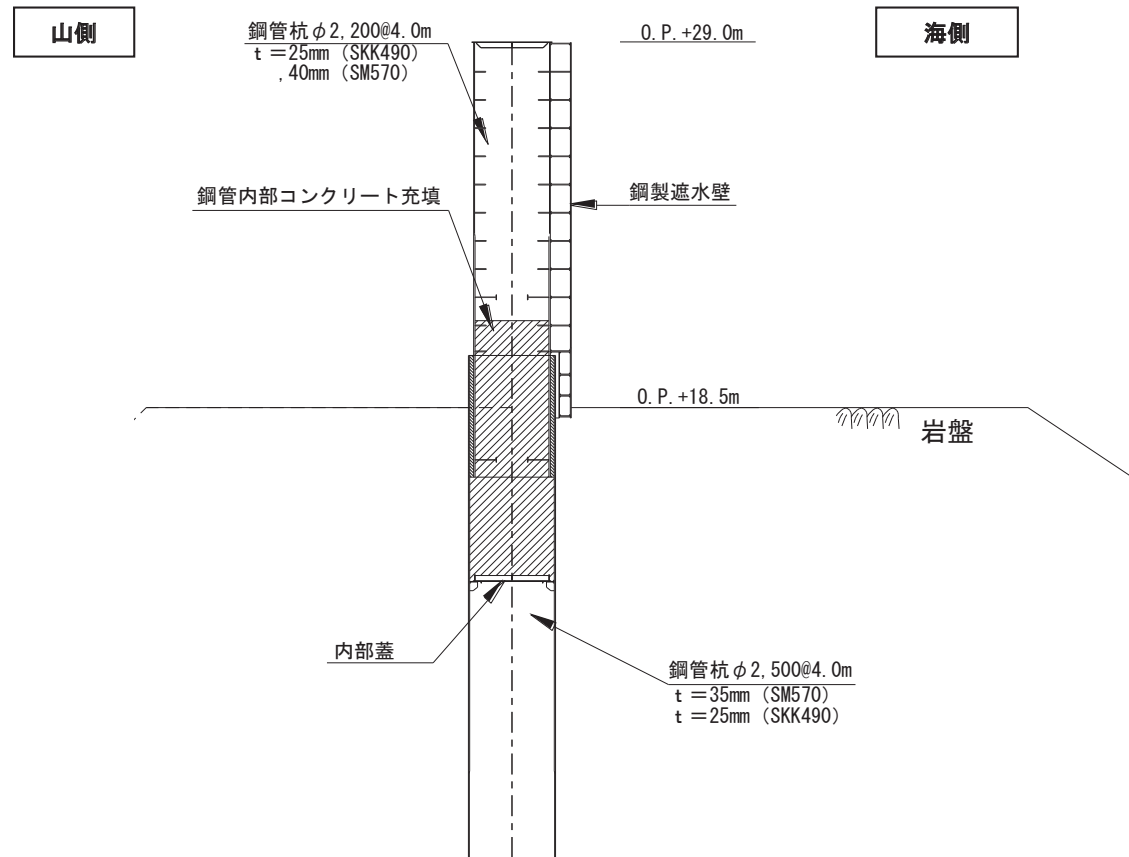
【地盤】

岩盤	鋼管杭の鉛直支持 基礎地盤のすべり安定性に寄与 鋼管杭の変形抑制
----	--

4. 防潮堤の概要

4.3 鋼管式鉛直壁(岩盤部) 構造の概要(2/3)

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、岩盤に支持される鋼管杭と、鋼管杭の前面に設置した鋼製遮水壁で構成される。

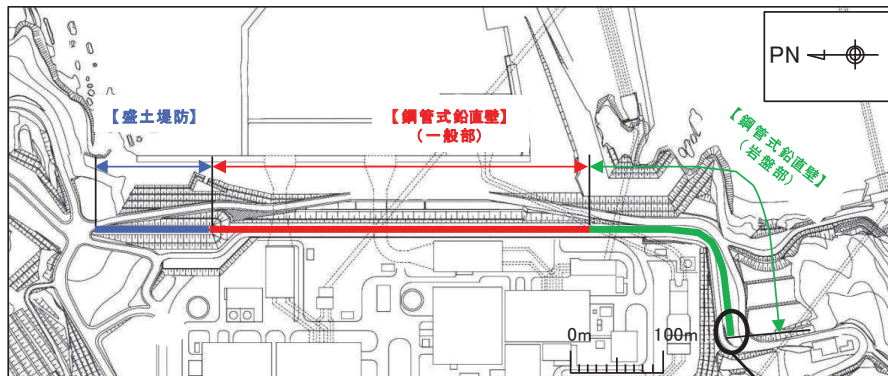


鋼管式鉛直壁(岩盤部)断面図

4. 防潮堤の概要

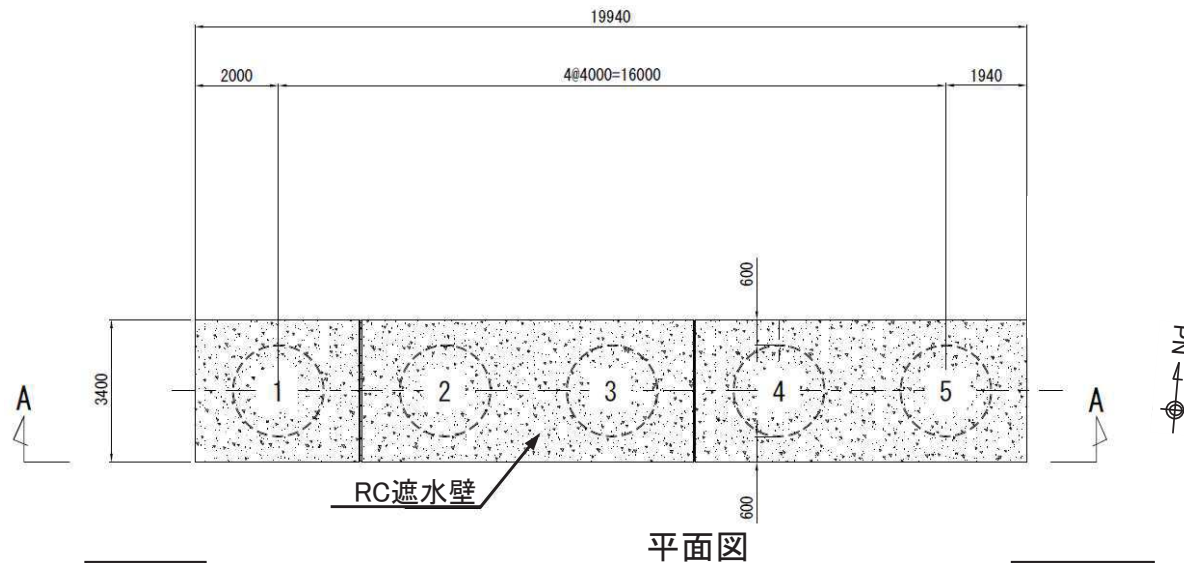
4.3 鋼管式鉛直壁(岩盤部) 構造の概要(3/3)

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の南側取付部の構造を以下に示す。



位置図

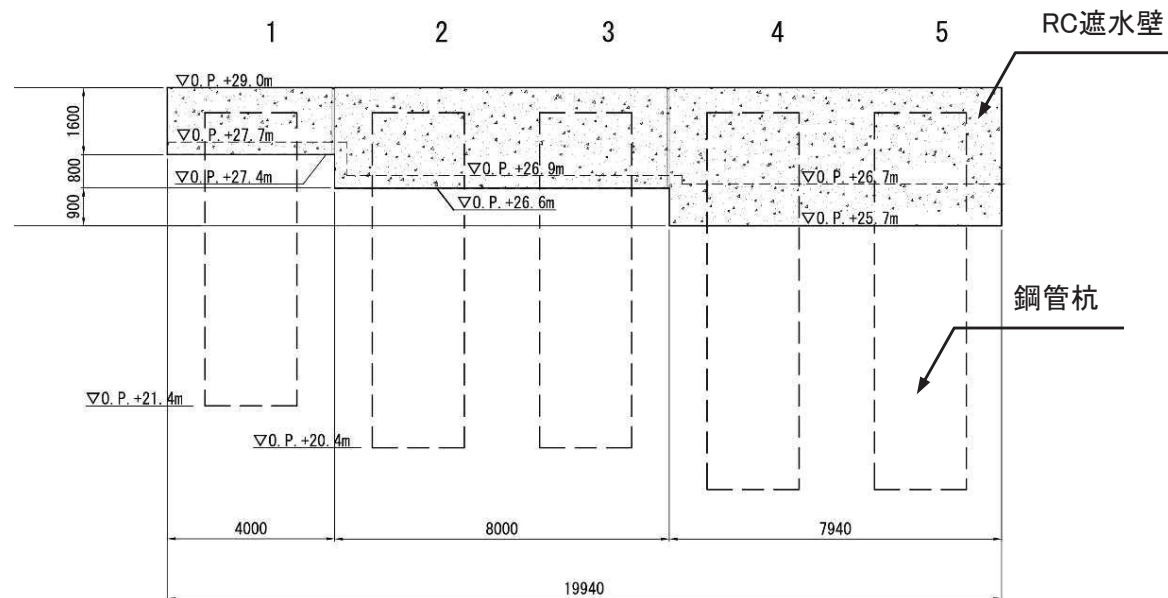
南側取付部



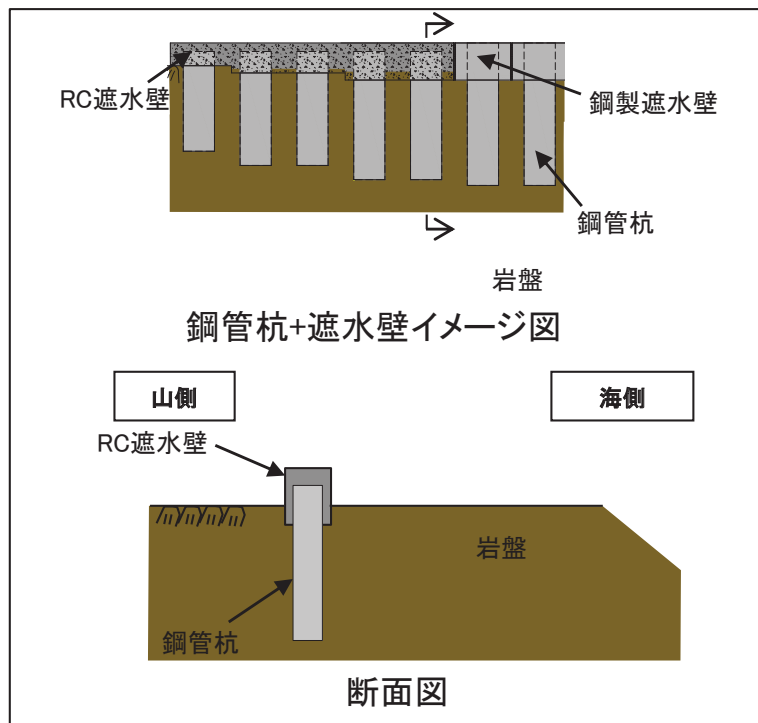
平面図

西側

東側



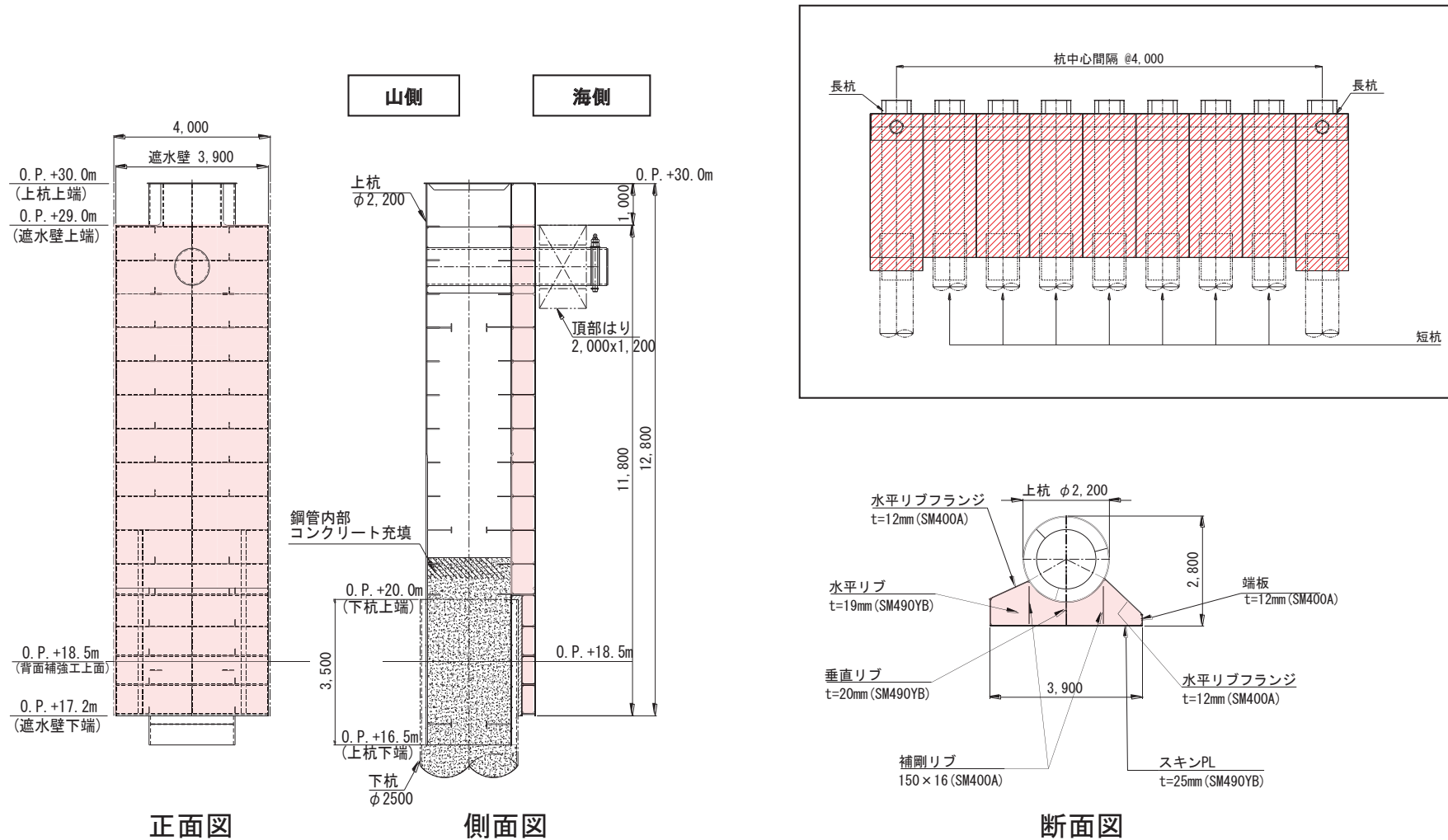
A-A 縦断面図



4. 防潮堤の概要

4.4 鋼管式鉛直壁 鋼製遮水壁の概要

- 津波波圧を受ける鋼製遮水壁は、各鋼管杭の前面に設置する。
- 鋼製遮水壁の間は、地震時等に発生する鋼製遮水壁間の変位に追従できる止水目地を設置する。

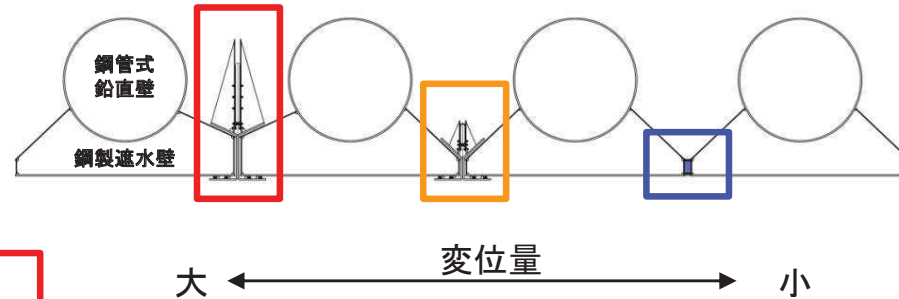


鋼製遮水壁詳細図(鋼管式鉛直壁(一般部:長杭))

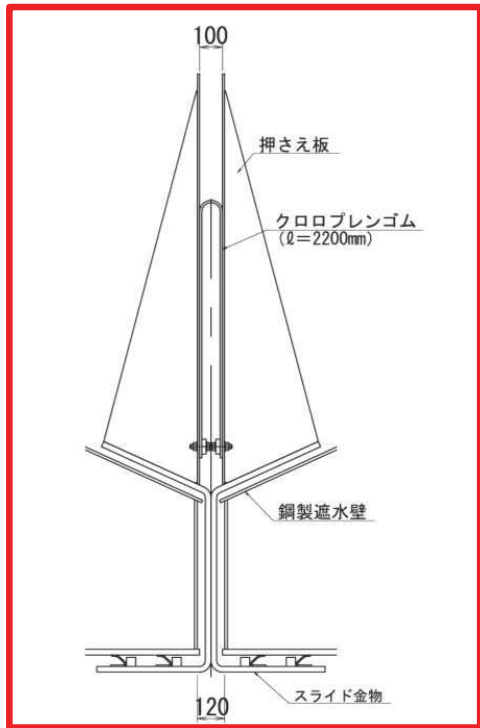
4. 防潮堤の概要

4.5 鋼管式鉛直壁 止水目地の概要

- 鋼製遮水壁間の止水目地は想定される変位量に応じ選択する。
- ここで示す止水目地の例は、沈下対策を実施しない場合の設計例を示したものであり、沈下対策により止水目地に要求される変位量は大幅に小さくなることから、適用する止水目地の仕様及び保守・点検の方針については今後の詳細設計において決定していく。



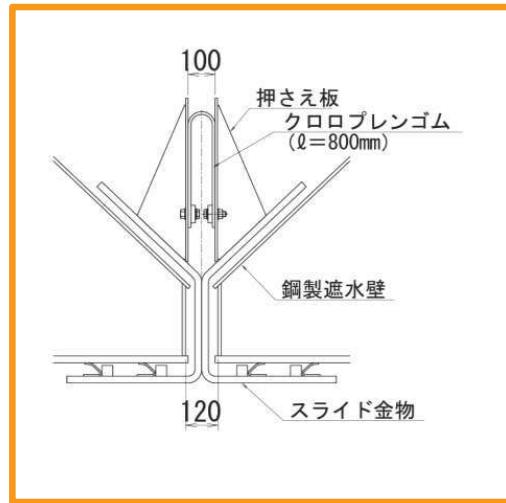
海側からの津波荷重に対し、敷地側に抜けないよう鋼製遮水壁の突起が抵抗する。津波荷重に対する抵抗性は、試験にて確認する。



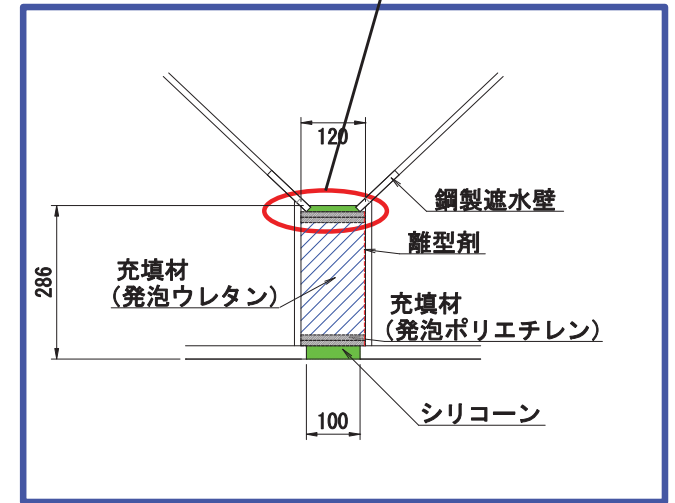
止水目地①(大)



止水目地①(大)
変形イメージ図



止水目地①(小)



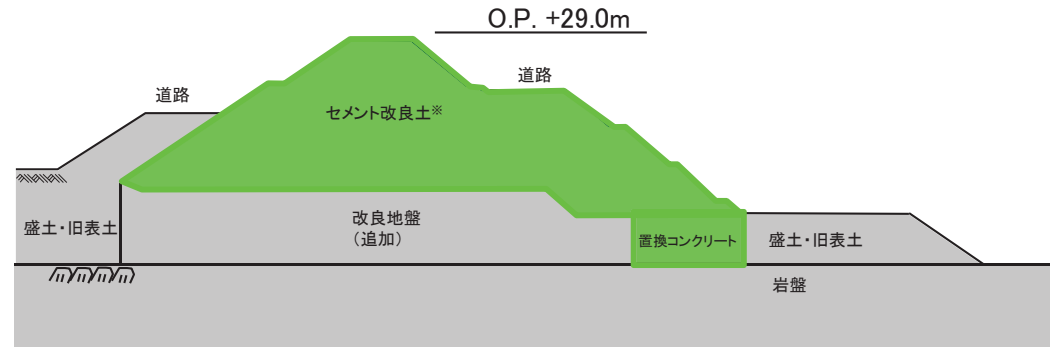
止水目地②

止水目地の設定例

4. 防潮堤の概要

4.6 盛土堤防 構造の概要

- 盛土堤防の構造, 評価対象部位と主な役割並びに施設の範囲を以下に示す。



盛土堤防における施設と地盤の区分

■ 施設の範囲

評価対象部位	主な役割
セメント改良土	堤体高さの維持 難透水性を有し, 堤体による止水性の維持
置換コンクリート	基礎地盤のすべり安定性の確保, 難透水性の保持

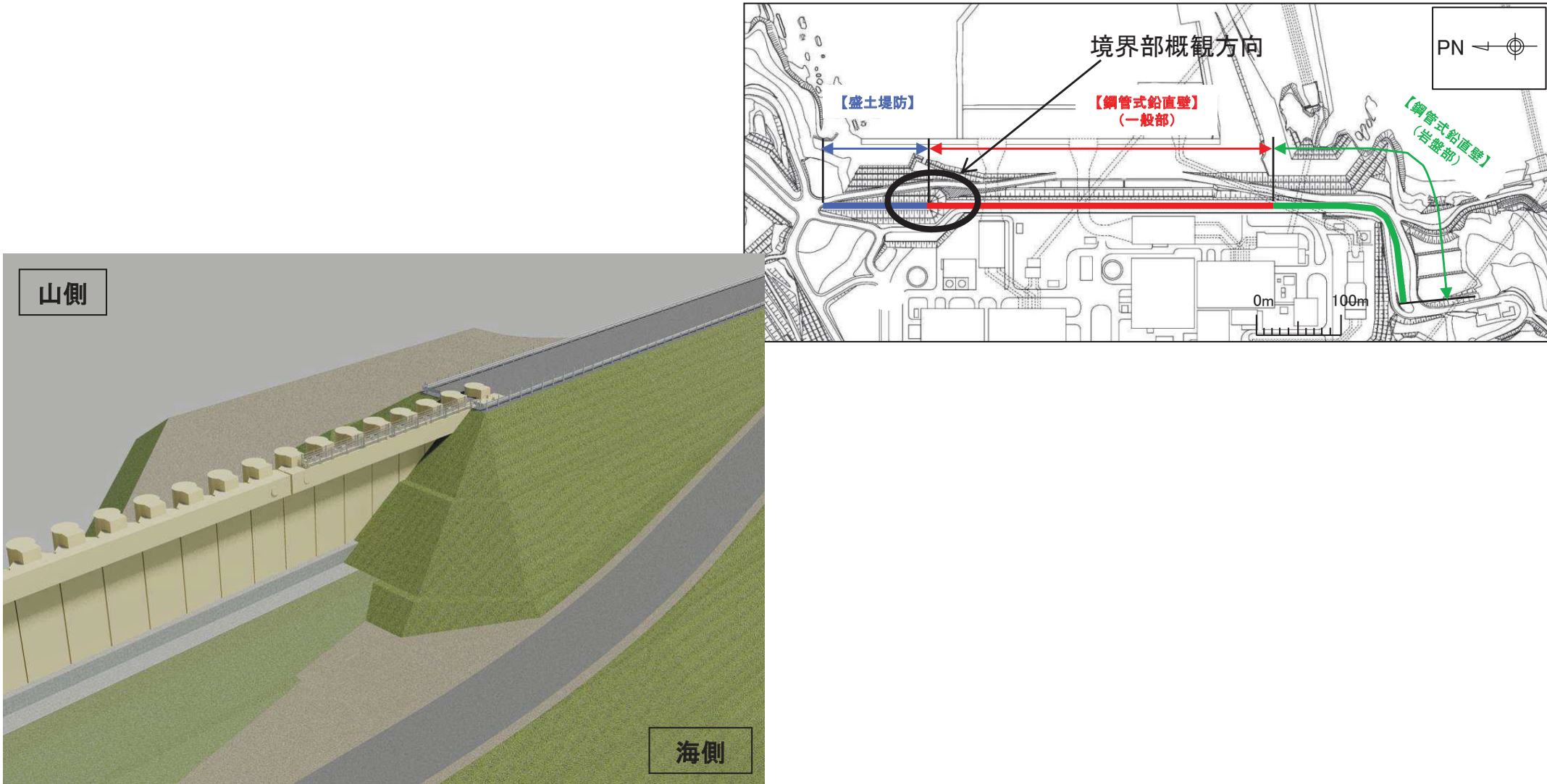
【地盤】

岩盤	セメント改良土及び置換コンクリートの鉛直支持, 基礎地盤のすべり安定性に寄与
改良地盤	セメント改良土の鉛直支持(下方の岩盤に荷重 を伝達), 基礎地盤のすべり安定性に寄与, 難 透水性の保持
盛土・旧表土	—

※:セメント改良土について, 堤体として本体部分と海側の道路部分を一体的に構築しており, 津波荷重も全体で受けることから, 海側の道路部分も含めたセメント改良土全体を施設として評価する。

4.7 盛土堤防と鋼管式鉛直壁の境界部 構造の概要

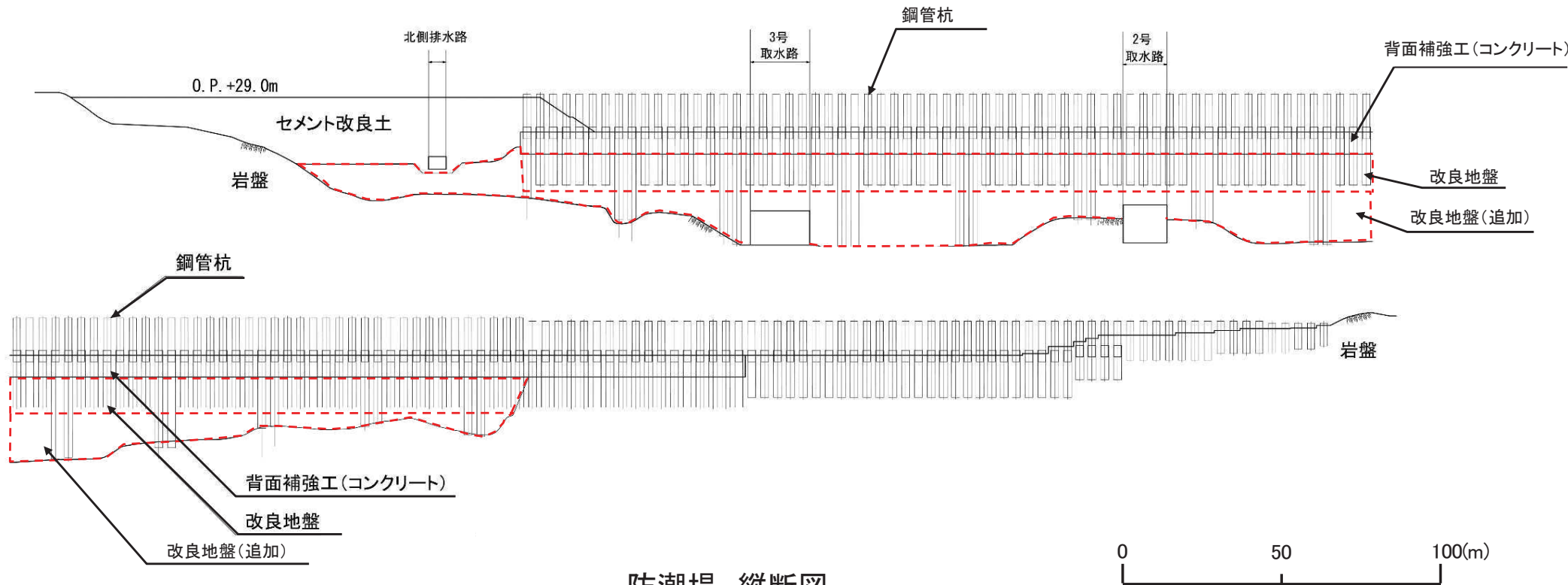
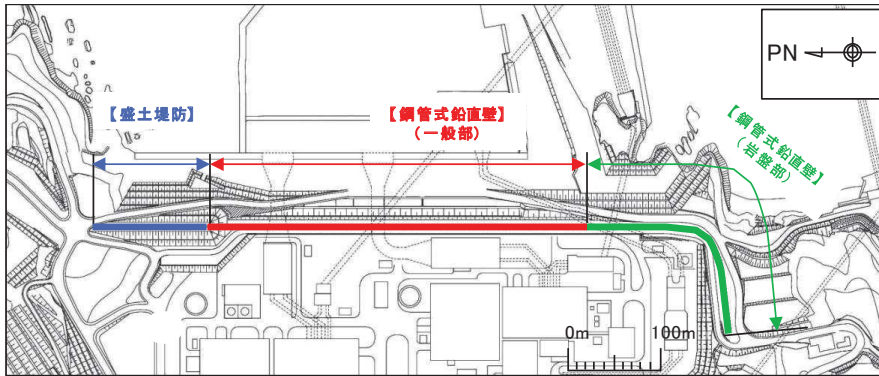
- 盛土堤防と鋼管式鉛直壁の境界部は、鋼管式鉛直壁の構造に盛土堤防が重なる構造とする。



盛土堤防と鋼管式鉛直壁の境界部概観図

4.8 防潮堤設置位置の地質構造(1/9)

- 防潮堤縦断方向の地質構造の分布を以下に示す。

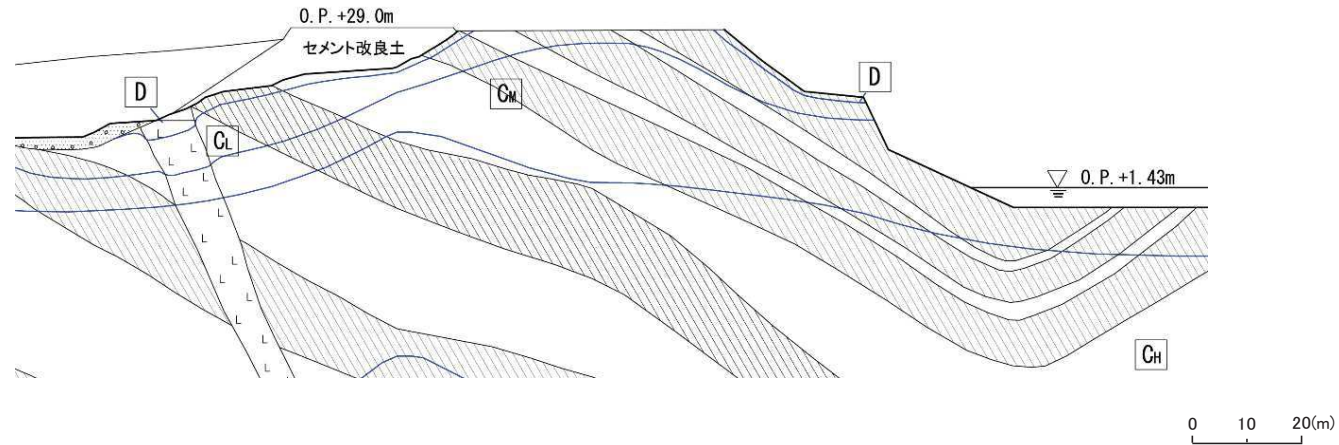
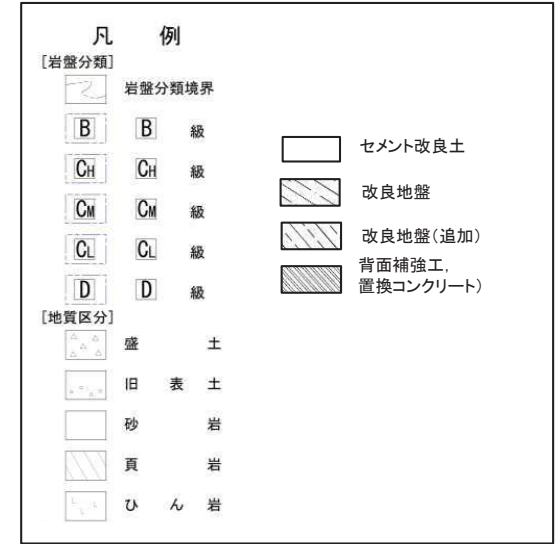
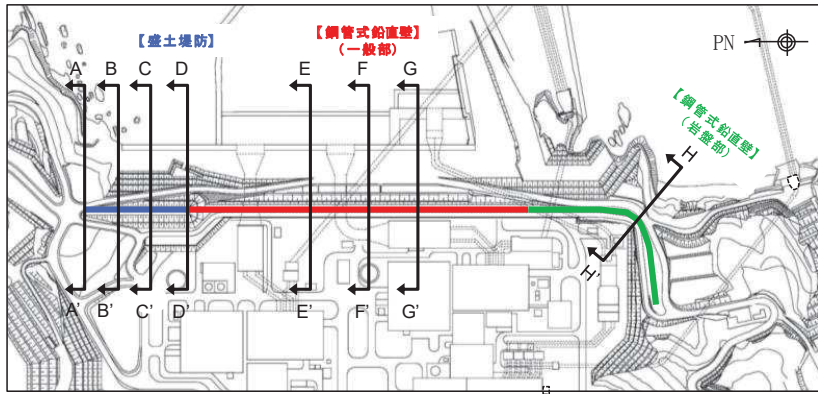


防潮堤 縦断図

4. 防潮堤の概要

4.8 防潮堤設置位置の地質構造(2/9)

- 盛土堤防A-A'断面の地質断面図を以下に示す。

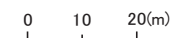
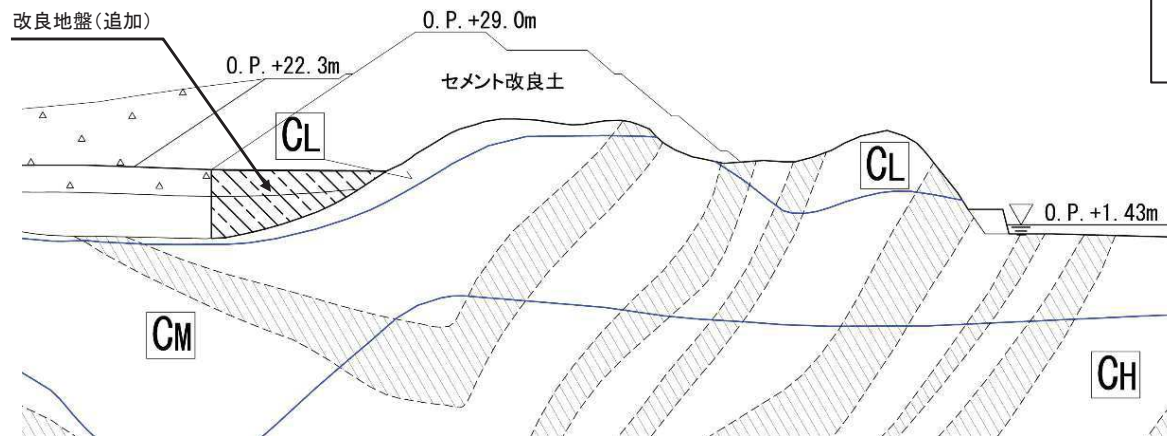
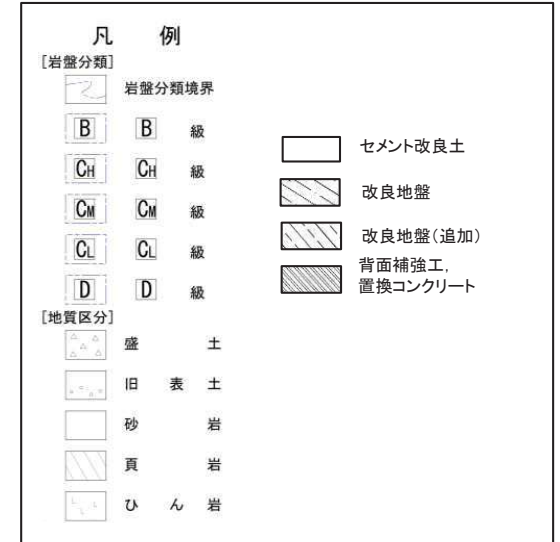
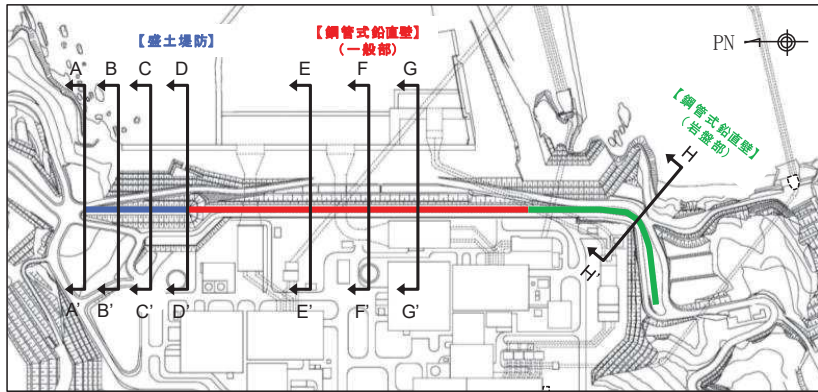


防潮堤 盛土堤防 横断面図(A-A')

4. 防潮堤の概要

4.8 防潮堤設置位置の地質構造(3/9)

- 盛土堤防B-B'断面の地質断面図を以下に示す。

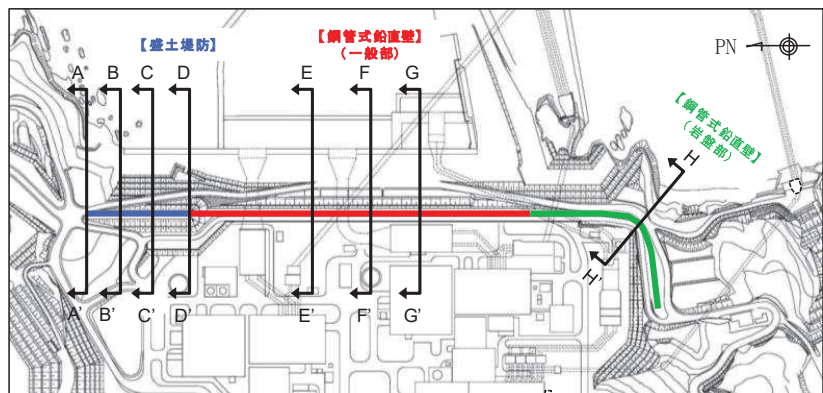


防潮堤 盛土堤防 横断図(B-B')

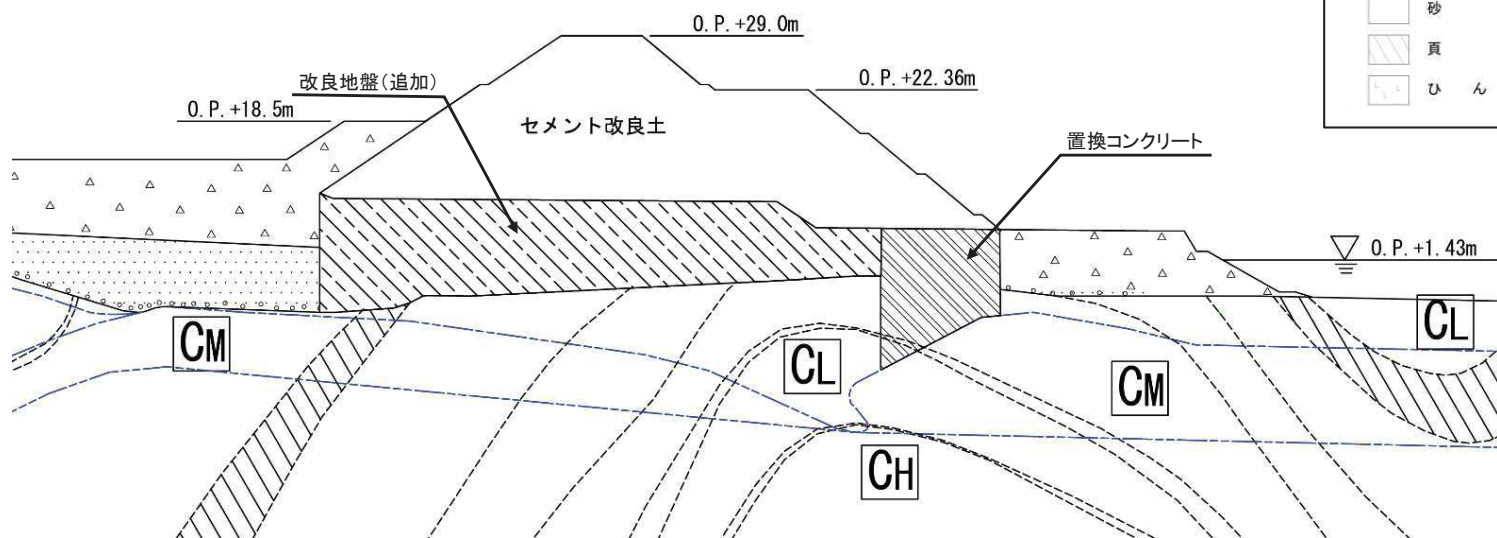
4. 防潮堤の概要

4.8 防潮堤設置位置の地質構造(4/9)

- 盛土堤防C-C' 断面の地質断面図を以下に示す。



凡 例	
[岩盤分類]	
	岩盤分類境界
	B 級
	CH 級
	CM 級
	CL 級
	D 級
[地質区分]	
	盛 土
	旧 表 土
	砂 岩
	頁 岩
	ひ ん 岩
	セメント改良土
	改良地盤
	改良地盤(追加)
	背面補強工、置換コンクリート



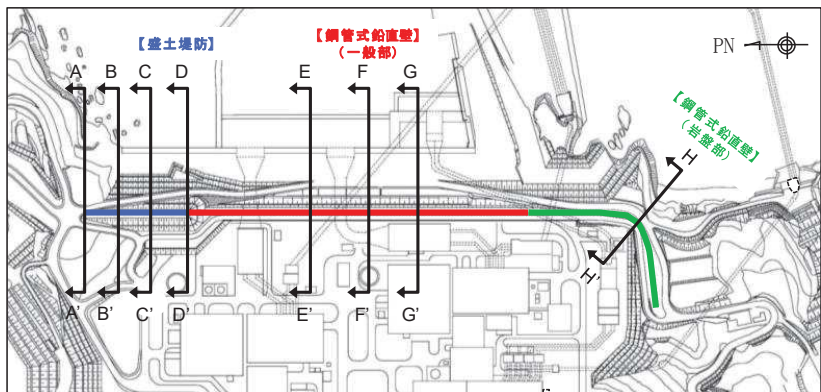
防潮堤 盛土堤防 横断面図(C-C')

0 10 20(m)

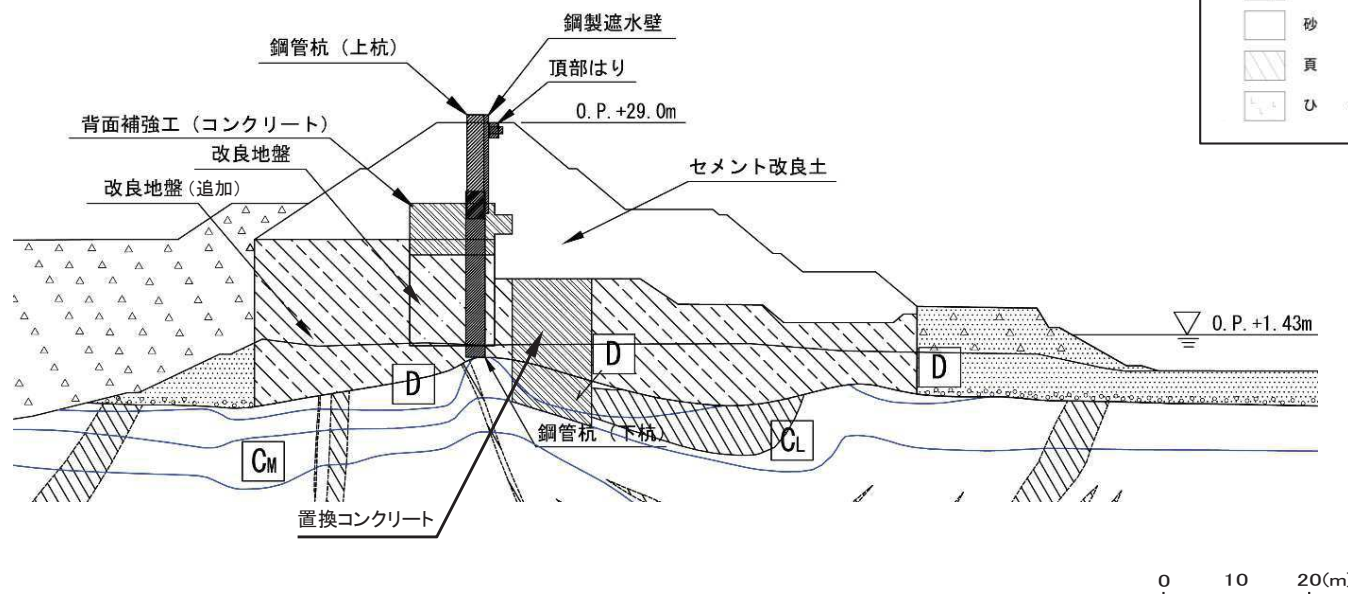
4. 防潮堤の概要

4.8 防潮堤設置位置の地質構造(5/9)

- 盛土堤防及び鋼管式鉛直壁(一般部)の境界部D-D'断面の地質断面図を以下に示す。



凡 例	
[岩盤分類]	
	岩盤分類境界
	B 級
	CH 級
	CM 級
	CL 級
	D 級
[地質区分]	
	盛 土
	旧 表 土
	砂
	頁 岩
	ひ ん 岩
	セメント改良土
	改良地盤
	改良地盤(追加)
	背面補強工、置換コンクリート

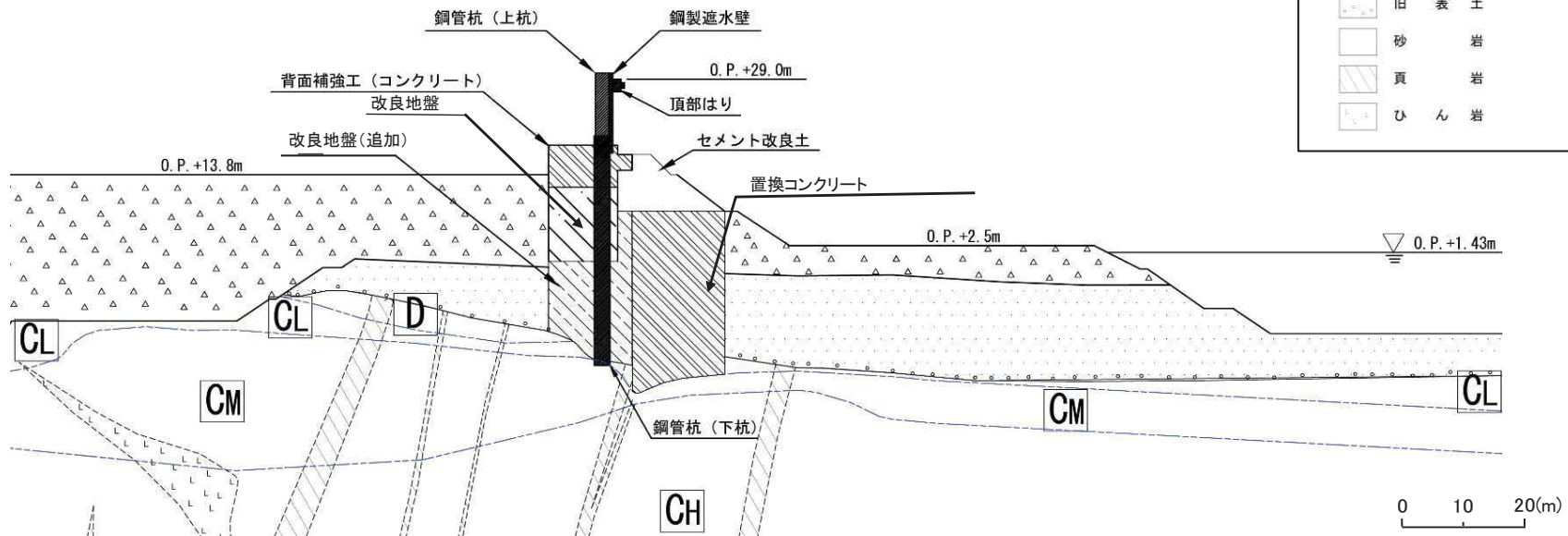
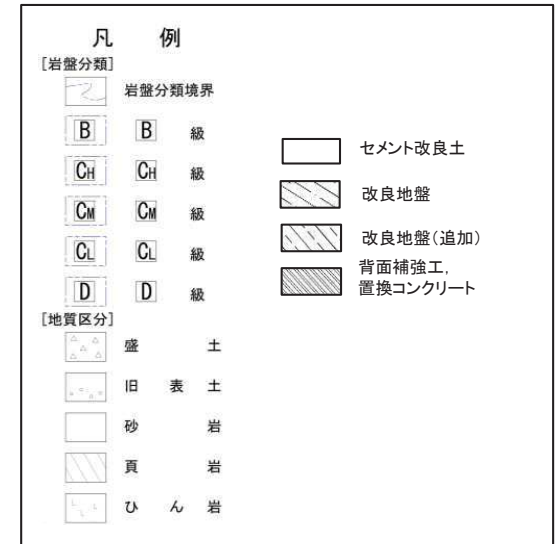
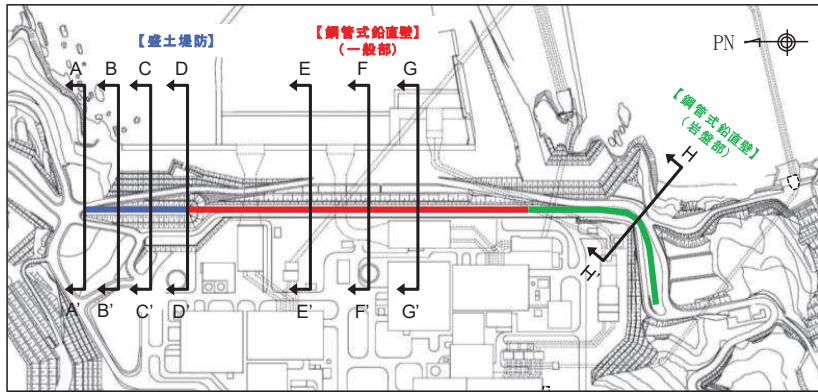


防潮堤 盛土堤防及び鋼管式鉛直壁 横断面図(D-D')

4. 防潮堤の概要

4.8 防潮堤設置位置の地質構造(6/9)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)E-E' 断面の地質断面図を以下に示す。

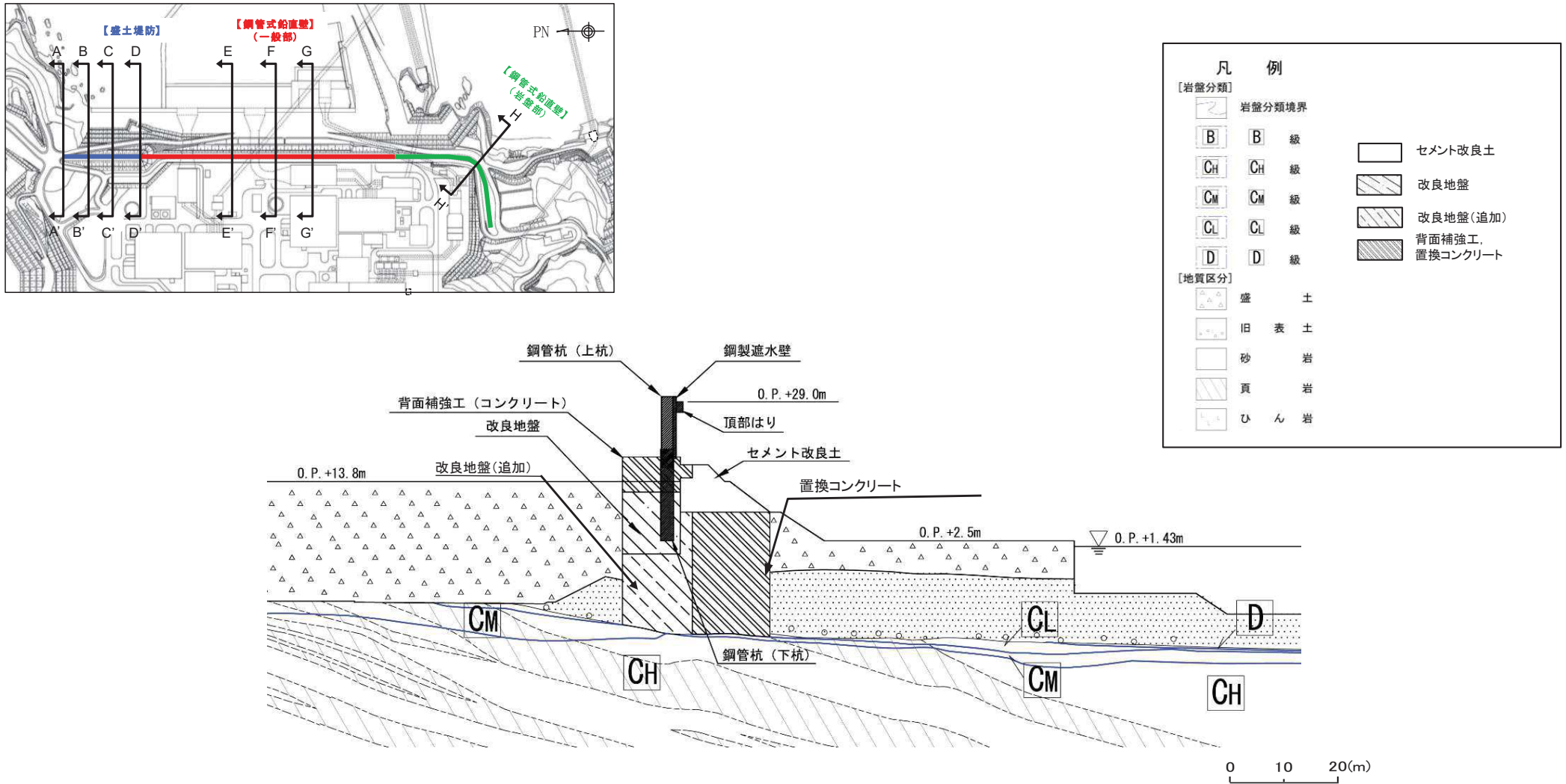


防潮堤 鋼管式鉛直壁 横断図(E-E')

4. 防潮堤の概要

4.8 防潮堤設置位置の地質構造(7/9)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)F-F' 断面の地質断面図を以下に示す。

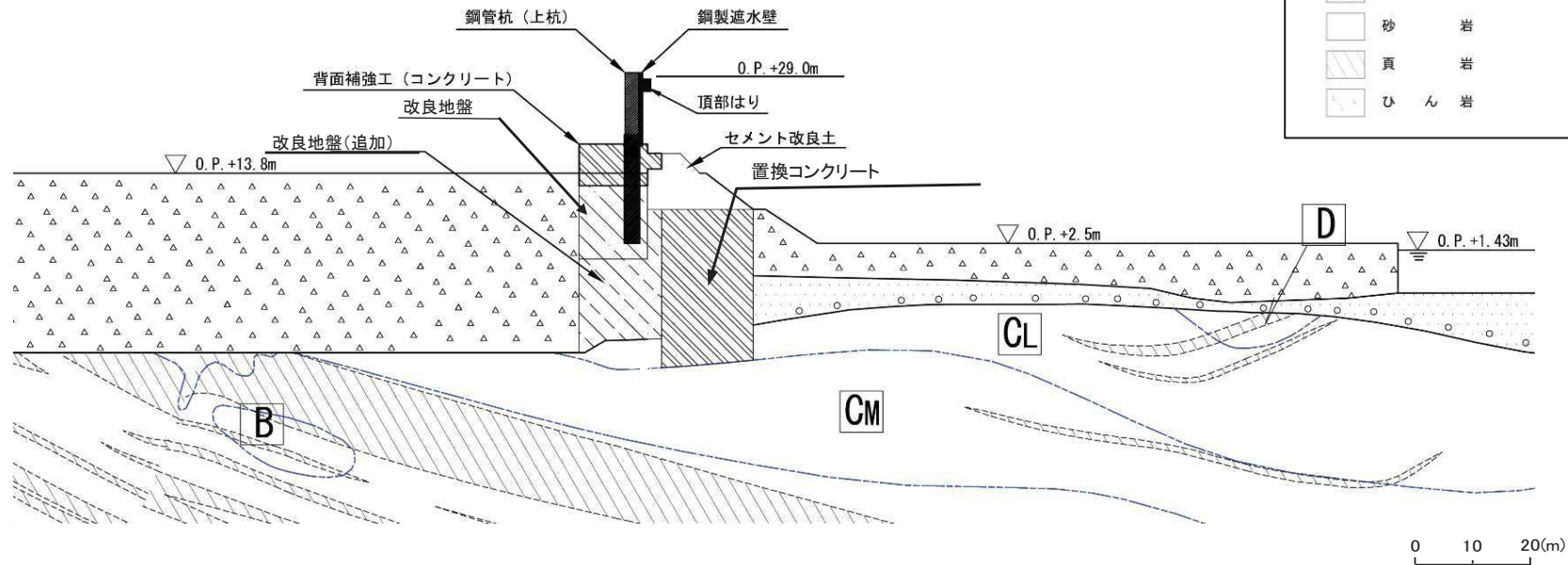
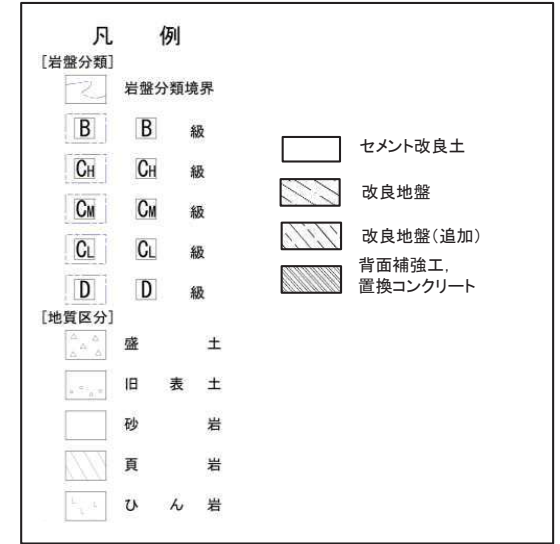
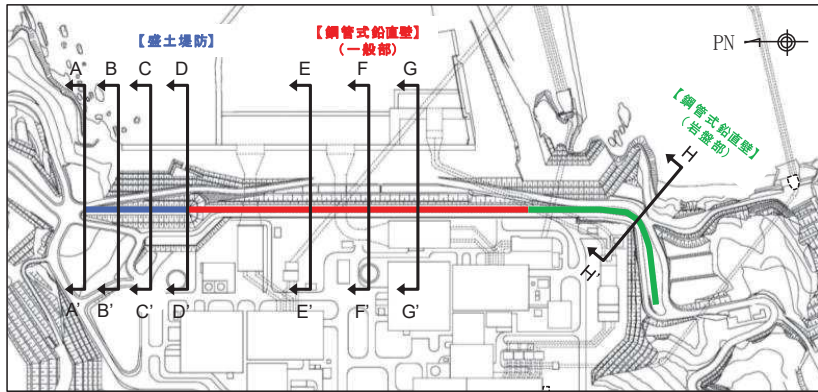


防潮堤 鋼管式鉛直壁 横断面図(F-F')

4. 防潮堤の概要

4.8 防潮堤設置位置の地質構造(8/9)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)G-G' 断面の地質断面図を以下に示す。

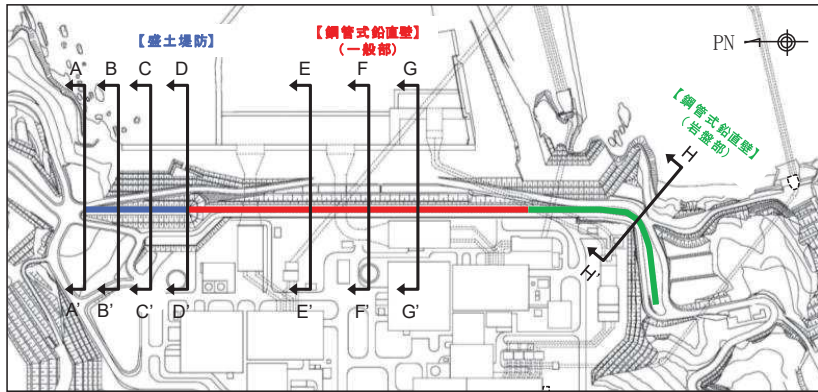


防潮堤 鋼管式鉛直壁 横断面図(G-G')

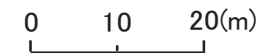
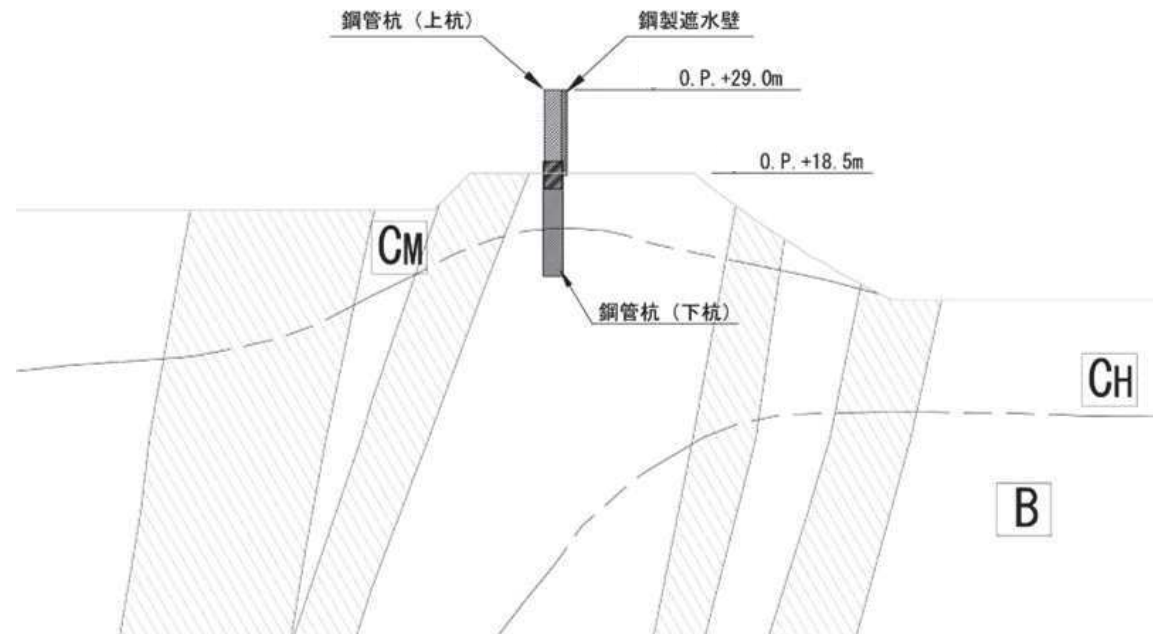
4. 防潮堤の概要

4.8 防潮堤設置位置の地質構造(9/9)

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)H-H' 断面の地質断面図を以下に示す。



凡 例	
[岩盤分類]	
	岩盤分類境界
	B 級
	CH 級
	CM 級
	CL 級
	D 級
[地質区分]	
	盛 土
	旧 表 土
	砂 岩
	頁 岩
	ひ ん 岩



防潮堤 鋼管式鉛直壁 横断面図(H-H')

5. 基本設計方針

5. 基本設計方針

5.1.1 防潮堤(鋼管式鉛直壁)(一般部)に関する要求機能と設計評価方針

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

赤字: 荷重条件
緑字: 要求機能
青字: 対応方針

施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計		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		
防潮堤 鋼管式鉛直壁 (一般部)	<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 津波防護施設的设计</p> <p>津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐久性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計すること。</p> <p>(1) 要求事項に適合する設計方針であることを確認する。</p> <p>(2) 設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見通しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。</p> <p>① 荷重組合せ</p> <p>a) 余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ：常時+津波、常時+津波+地震(余震)</p> <p>② 荷重の設定</p> <p>a) 津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する知見(例えば、国交省の暫定指針等)及びそれらの適用性。</p> <p>b) 余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。</p> <p>c) 地震により周辺地盤に液状化が発生する場合、防潮堤基礎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(終局耐力時の变形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修にある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。)</p>	<p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、地震後の繰返しの変来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能が損なわれないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p> <p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、基準地震動 Ss に対し、津波防護施設が要求される機能を損なわないよう、構造物全体としての变形能力(終局耐力時の变形)に対し、十分な構造強度を有していることが要求される。</p>	<p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、地震後の繰返しの変来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波高さに余裕を考慮した設定及び構造体の境界部等への止水処置により止水性(遮水性・難透水性)を保持することを機能設計上の性能目標とする。</p> <p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、基準地震動 Ss に対し、主要な構造部材の健全性を維持するとともに、津波時の止水性(遮水性・難透水性)を保持することを機能設計上の性能目標とする。</p>	<p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、地震後の繰返しの変来を想定した週上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、①想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さ(入力津波高さ0.P.+24.4mに余裕を考慮した天端高さ0.P.+29.0m)の設定により、敷地前面に設置する設計とする。</p> <p>②防潮堤の上部構造は、鋼管杭の前面に設置する鋼製遮水壁、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の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>③鋼管式鉛直壁(一般部)は、長杭2本と長杭の中間に配置する短杭から構成され、防潮堤の高さを入力津波高さに対して十分な余裕を確保できる設計とする。</p> <p>④防潮堤の杭直下、周辺及び背面に、剛性の高い背面補強工(コンクリート)、改良地盤(高圧噴射攪拌工)、置換コンクリート及びセメント改良土を構築することで杭の変形を抑制し、鋼製遮水壁、止水目地、背面補強工、改良地盤、置換コンクリート及びセメント改良土による止水性(遮水性・難透水性)を保持する設計とする。</p> <p>⑤鋼製遮水壁間は、波圧による変形に追随する、止水ゴム、シリコーン等による止水目地を設置することで遮水性を保持する設計とする。</p> <p>⑥津波の波力による侵食や洗掘、地盤中からの回り込みによる浸水に対しては、十分に透水係数の低い地盤により難透水性を保持する設計とする。</p>	<p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、地震後の繰返しの変来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼管杭及び鋼製遮水壁の上部構造で構成し、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の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とともに、鋼製遮水壁間は、止水ゴムやシリコーン等による止水目地を設置し、有意な漏えいを生じない設計とする。</p> <p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの変来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、背面補強工がすべり破壊しないことを確認する。</p>	<p>基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの変来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重を確認する。</p> <p>基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの変来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼製遮水壁間から有意な漏えいを生じない設計とするため、鋼製遮水壁間に設置する止水ゴム、シリコーン等による止水目地が有意な漏えいを生じない変形・水圧以下であることを確認する。</p> <p>基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの変来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、背面補強工から有意な漏えいを生じさせず、鋼管杭(長杭・短杭)の変形を抑制する設計とするため、背面補強工がすべり破壊しないことを確認する。</p> <p>基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの変来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、コンクリート強度により基礎地盤のすべり安定性を確保し、鋼管杭(長杭・短杭)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、置換コンクリートがすべり破壊せず、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 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの変来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する接地圧が許容値以下に留まることを確認する。</p> <p>基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの変来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼管杭(長杭・短杭)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、すべり破壊せず、津波が敷地に浸水しないことを確認する。</p>	<p>鋼管杭 (長杭・短杭)</p> <p>鋼製遮水壁</p> <p>止水目地</p> <p>背面補強工</p> <p>置換コンクリート^{※2}</p> <p>地盤</p> <p>岩盤及び改良地盤</p> <p>改良地盤及びセメント改良土^{※2}</p>	<p>曲げ・せん断</p> <p>曲げ・せん断</p> <p>変形・水圧</p> <p>すべり安全率</p> <p>すべり安全率</p> <p>支持力</p> <p>すべり安全率</p>	<p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p> <p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p> <p>有意な漏えいに至る変形・水圧</p> <p>すべり破壊し、鋼管杭を横断する水みちが形成され、遮水性を喪失する状態</p> <p>すべり破壊し、変形抑制機能を喪失する状態</p> <p>すべり破壊し、基礎地盤のすべり安定性を喪失する状態</p> <p>すべり破壊し、変形抑制機能や難透水性を喪失する状態</p> <p>鉛直支持機能を喪失する状態</p> <p>すべり破壊し、変形抑制機能や難透水性を喪失する状態</p>	<p>「道路橋示方書・解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。</p> <p>「道路橋示方書・解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。</p> <p>メーカー規格及び基準並びに必要な応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容水圧以下とする。</p> <p>「耐津波設計に係る工器審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。^{※1}</p> <p>「耐津波設計に係る工器審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。^{※1}</p> <p>「道路橋示方書・解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえ、適切な安全余裕を考慮した極限支持力以下とする。</p> <p>「耐津波設計に係る工器審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。</p>	

※1: 地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う。

※2: 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、当該部位の透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水期間中に敷地に浸水しないことを確認する。

5. 基本設計方針

5.1.2 防潮堤(鋼管式鉛直壁)(岩盤部)に関する要求機能と設計評価方針

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

赤字: 荷重条件
 緑字: 要求機能
 青字: 対応方針

施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計				設計に用いる許容限界	
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計(評価方針)	評価対象部位	応力等の状態		損傷モード
防潮堤 鋼管式鉛直壁(岩盤部)	<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 津波防護施設的设计</p> <p>津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性を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>① 荷重組合せ</p> <p>a) 余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ：常時+津波、常時+津波+地震(余震)</p> <p>② 荷重の設定</p> <p>a) 津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する知見(例えば、国交省の暫定指針等)及びそれらの適用性。</p> <p>b) 余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。</p> <p>c) 地震により周辺地盤に液状化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。</p> <p>③ 許容限界</p> <p>a) 津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の变形能力(終局耐力時の变形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修にある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。)</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(終局耐力時の变形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること</p>	<p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さの設計及び構造体の境界部等への止水処置により止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。</p> <p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p> <p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p> <p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p>	<p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、地震後の繰返しの襲来を想定した週上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さの設計とする。</p> <p>防潮堤の上部構造は、鋼管杭及び止水目地により遮水性を保持する設計とする。</p> <p>鋼製遮水壁間は、波圧による変形に追随する、止水ゴム、シリコン等による止水目地を設置することで遮水性を保持する設計とする。</p> <p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、基準地震動 S s に対し、④防潮堤の上部構造は、鋼管杭の前面に設置する鋼製遮水壁及び止水目地により遮水性を保持する設計とする。</p> <p>鋼製遮水壁間は、波圧による変形に追随する、止水ゴム、シリコン等による止水目地を設置することで遮水性を保持する設計とする。</p> <p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、基準地震動 S s による地震時荷重に対し、鋼管杭、鋼製遮水壁の上部構造で構成し、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とする。とともに、鋼製遮水壁間は、止水ゴムやシリコン等による止水目地を設置し、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、基準地震動 S s による地震時荷重に対し、鋼管杭、鋼製遮水壁の上部構造で構成し、津波時においても主要な構造部材の健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とする。とともに、鋼製遮水壁間は、止水ゴムやシリコン等による止水目地を設置し、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	<p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、地震後の繰返しの襲来を想定した週上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さ(入力津波高さ 0.P.+24.4m に余裕を考慮した天端高さ 0.P.+29.0m)の設定により、敷地前面に設置する設計とする。</p> <p>防潮堤の上部構造は、鋼管杭及び止水目地により遮水性を保持する設計とする。</p> <p>鋼製遮水壁間は、波圧による変形に追随する、止水ゴム、シリコン等による止水目地を設置することで遮水性を保持する設計とする。</p> <p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、基準地震動 S s に対し、④防潮堤の上部構造は、鋼管杭の前面に設置する鋼製遮水壁及び止水目地により遮水性を保持する設計とする。</p> <p>鋼製遮水壁間は、波圧による変形に追随する、止水ゴム、シリコン等による止水目地を設置することで遮水性を保持する設計とする。</p> <p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、基準地震動 S s による地震時荷重に対し、鋼管杭、鋼製遮水壁の上部構造で構成し、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とする。とともに、鋼製遮水壁間は、止水ゴムやシリコン等による止水目地を設置し、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	<p>基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対するために、構造部材である鋼管杭が、おおむね弾性状態に留まることを確認する。</p> <p>基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の健全性を保持する設計とするために、構造部材である鋼管杭が、おおむね弾性状態に留まることを確認する。</p> <p>基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とするために、構造部材である鋼製遮水壁が、おおむね弾性状態に留まることを確認する。</p> <p>基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼製遮水壁間から有意な漏えいを生じない設計とするため、鋼製遮水壁間に設置する止水ゴム、シリコン等による止水目地が有意な漏えいを生じない変形・水圧以下であることを確認する。</p> <p>基準地震動 S s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対するために、作用する接地圧が許容値以下に留まることを確認する。</p>	鋼管杭	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説(I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。	
							鋼製遮水壁	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説(I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
							止水目地	変形・水圧	有意な漏えいに至る変形・水圧	メーカー規格及び基準並びに必要に応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容水圧以下とする。
							地盤 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(I 共通編・IV 下部構造編)」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力以下とする。

5. 基本設計方針

5.1.3 防潮堤(盛土堤防)に関する要求機能と設計評価方針

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

赤字: 荷重条件
 緑字: 要求機能
 青字: 対応方針

施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計				設計に用いる許容限界		
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計(評価方針)	評価対象部位	応力等の状態		損傷モード	
防潮堤 盛土堤防	<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 津波防護施設的设计</p> <p>津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計すること。</p> <p>(1) 要求事項に適合する設計方針であることを確認する。</p> <p>(2) 設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見通しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。</p> <p>① 荷重組合せ</p> <p>a) 余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ：常時+津波、常時+津波+地震(余震)</p> <p>② 荷重の設定</p> <p>a) 津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する知見(例えば、国交省の暫定指針等)及びそれらの適用性。</p> <p>b) 余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な角度、荷重レベルが設定される。</p> <p>c) 地震により周辺地盤に液化化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。</p> <p>③ 許容限界</p> <p>a) 津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の变形能力(終局耐力時の变形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修にある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。)</p> <p>基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド</p> <p>6.3 津波防護施設、浸水防止設備等</p> <p>津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての变形能力(終局耐力時の变形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること</p>	<p>防潮堤盛土堤防は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p> <p>・防潮堤盛土堤防は、基準地震動 Ss に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての变形能力(終局耐力時の变形)に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。</p>	<p>・防潮堤盛土堤防は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さ(入力津波高さ O.P.+24.4m に余裕を考慮した天端高さ O.P.+29.0m)の設定により、敷地前面に設置する設計とする。</p> <p>② 防潮堤の堤体は、セメント改良土で構成され、十分に透水性を保持する設計とする。</p> <p>③ 防潮堤の堤体及び置換コンクリートにより止水性を保持する設計とする。</p> <p>④ 津波の波力による侵食や洗掘、地盤中からの回り込みによる浸水に対しては、十分に透水係数の低い地盤により難透水性を保持する設計とする。</p> <p>・防潮堤盛土堤防は基準地震動 Ss に対し、 ⑤ 地震時に置換コンクリート及びセメント改良土が滑動・内部すべりを起こさない幅や強度を確保することで、津波時における難透水性を保持する設計とする。</p>	<p>・防潮堤盛土堤防は、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、セメント改良土で堤体を構成し、津波後の再使用性を考慮し、セメント改良土の健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する岩盤及び改良地盤に設置する設計とともに、十分に低い透水性の材料とすることにより、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>・防潮堤盛土堤防は、基準地震動 Ss による地震時荷重に対し、セメント改良土で堤体を構成し、津波時においてもセメント改良土の健全性を保持する設計とするとともに、十分に低い透水性の材料とすることにより、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	<p>基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、セメント改良土の健全性を保持し、有意な漏えいを生じない設計とするため、堤体内部にすべり破壊が生じないことを確認する。</p>	セメント改良土	すべり安全率	すべり安全率	すべり破壊する状態 すべり破壊し、堤体を横断する水みちが形成され、有意な漏えいに至る状態	「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。 ^{※1}	
						<p>・防潮堤盛土堤防は、基準地震動 Ss による地震時荷重に対し、セメント改良土で堤体を構成し、津波時においてもセメント改良土の健全性を保持する設計とするとともに、十分に低い透水性の材料とすることにより、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	置換コンクリート ^{※2}	すべり安全率	すべり安全率	すべり破壊し、基礎地盤のすべり安定性を喪失する状態 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。 ^{※1}
						<p>基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する接地圧が許容値以下に留まることを確認する。</p>	岩盤及び改良地盤	支持力	支持力	鉛直支持機能を喪失する状態	「道路標示方書・同解説(I 共通編・IV 下部構造編)」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力以下とする。
						<p>基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、セメント改良土の下方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、すべり破壊せずに、津波が敷地に浸水しないことを確認する。</p>	改良地盤 ^{※2}	すべり安全率	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。

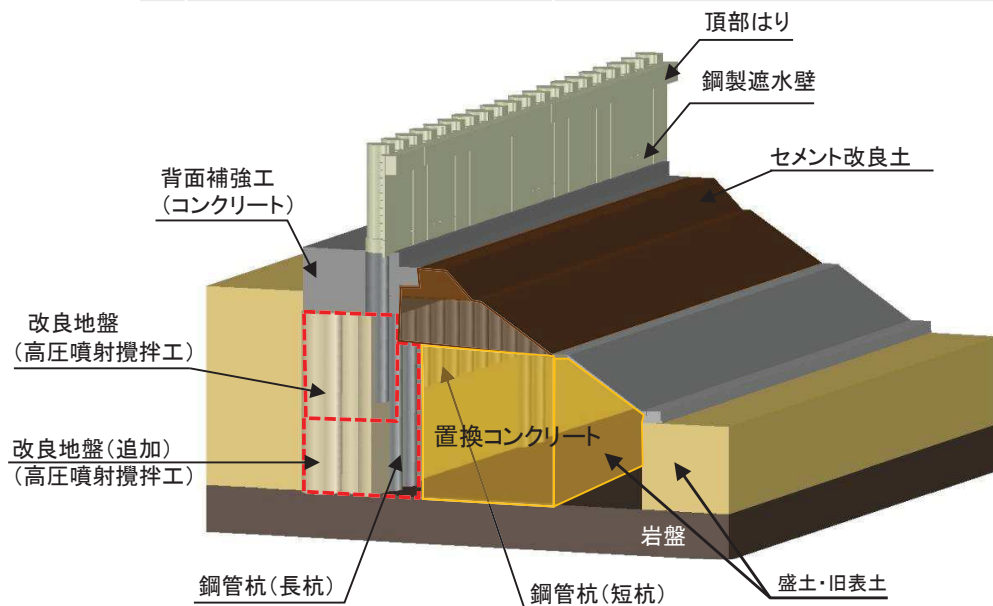
※1: 地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う。
 ※2: 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、当該部位の透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水期間中に敷地に浸水しないことを確認する。

5. 基本設計方針

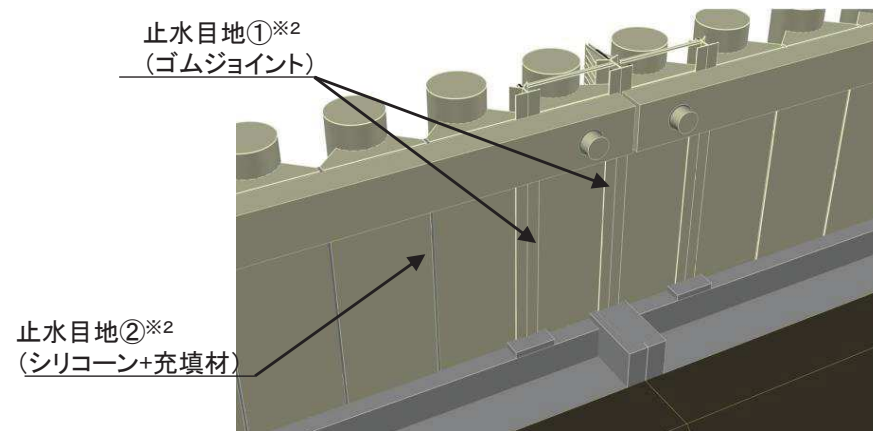
5.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)を構成する各部位の仕様

- 鋼管式鉛直壁(一般部)を構成する各部位は以下の仕様とした。

	部位	仕様
1	鋼管杭	上杭: $\phi 2,200\text{mm}$ $t=25\text{mm}$ (SKK490), $t=40\text{mm}$ (SM570) 下杭: $\phi 2,500\text{mm}$ $t=25\text{mm}$ (SKK490), $t=35\text{mm}$ (SM570)
2	鋼製遮水壁	SM570, SM490YB, SM490YA, SM400A
3	止水目地①	クロロプレンゴム
4	止水目地②	シリコーン, 充填材(発泡ウレタン, 発泡ポリエチレン)
5	頂部はり	SM520C-H, SM490YB, SM490YA, SM400A
6	背面補強工	コンクリート : $f'_{ck}=30\text{N}/\text{mm}^2$ 鉄筋※1 : SD345
7	置換コンクリート	コンクリート : $f'_{ck}=30\text{N}/\text{mm}^2$
【地盤】		
8	改良地盤	高圧噴射攪拌工法
9	セメント改良土	セメント混合処理土 : $q_u=2.7\text{N}/\text{mm}^2$



※1: ひび割れ防止を目的に念のため配置(照査においては考慮しない)。

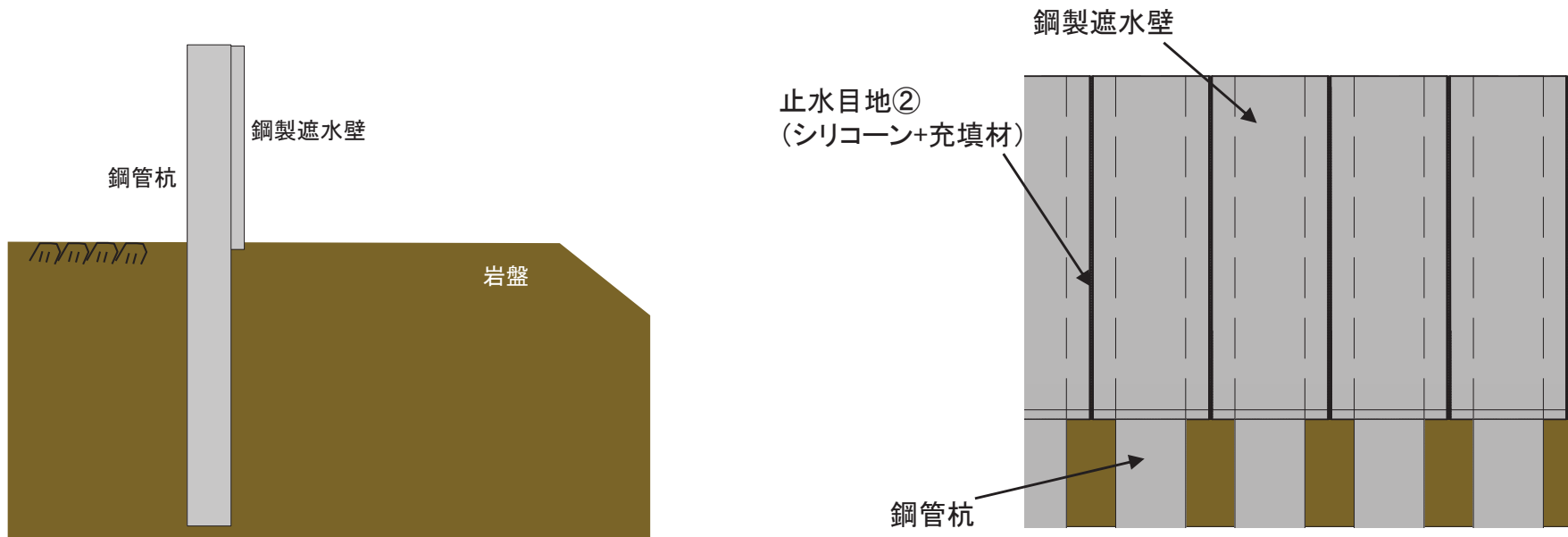


※2: 止水目地の仕様については今後の詳細設計において決定。

5.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)を構成する各部位の仕様

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)を構成する各部位は以下の仕様とした。

	部位	仕様
1	鋼管杭	上杭: $\phi 2,200\text{mm}$, $t=25\text{mm}$ (SKK490), $t=40\text{mm}$ (SM570) 下杭: $\phi 2,500\text{mm}$, $t=25\text{mm}$ (SKK490), $t=35\text{mm}$ (SM570)
2	鋼製遮水壁 (下記RC遮水壁以外の区間)	SM570, SM490YB, SM490YA, SM400A
3	RC遮水壁 (南端より1本目~5本目の鋼管杭の区間)	コンクリート : $f'_{ck}=40\text{N}/\text{mm}^2$ 鉄筋 : SD345
4	止水目地②	シリコーン 充填材(発泡ウレタン, 発泡ポリエチレン)

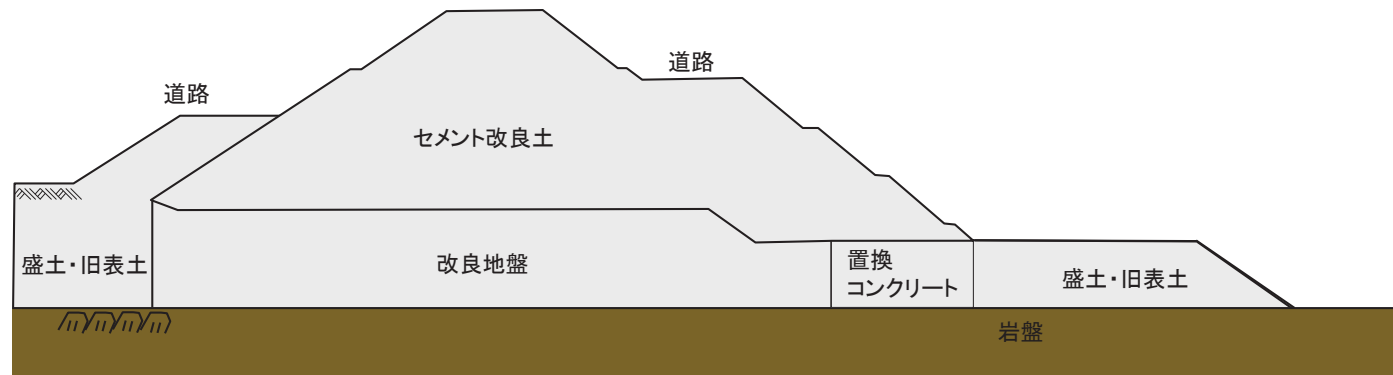


5. 基本設計方針

5.2.3 盛土堤防を構成する各部位の仕様

- 盛土堤防を構成する各部位は以下の仕様とした。

	部位	仕様
1	セメント改良土	セメント混合処理土 $q_u=2.7\text{N/mm}^2$
2	置換コンクリート	コンクリート : $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$
【地盤】		
3	改良地盤	高圧噴射攪拌工法



盛土堤防断面図

5. 基本設計方針

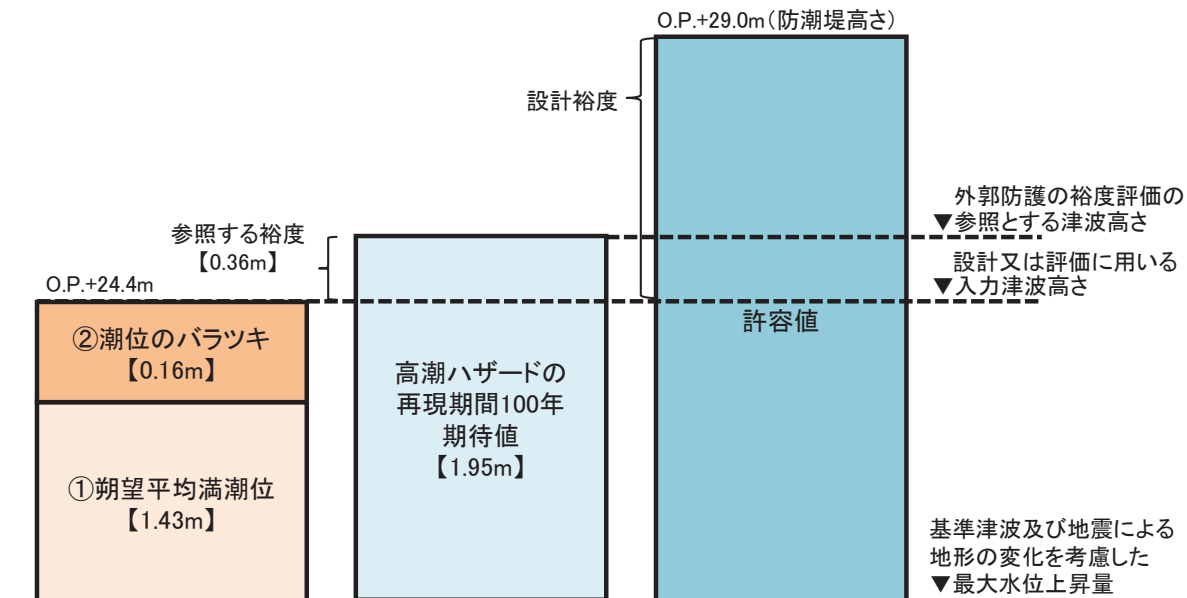
5.3 防潮堤高さの設定方針

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

入力津波高さと防潮堤高さの関係

設計又は評価に用いる入力津波高さ(①+②)	O.P.+24.4m
防潮堤高さ	O.P.+29.0m
設計裕度	4.6m

防潮堤設計裕度のイメージ

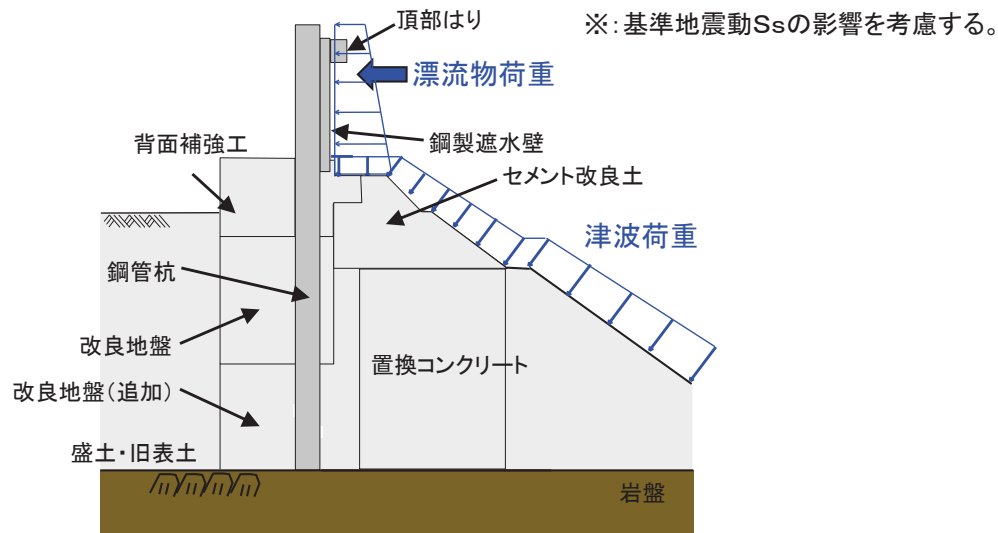


5. 基本設計方針

5.4 検討ケース及び荷重の組合せ

- 検討ケースは、荷重の組合せを考慮し、以下のケースを実施する。防潮堤は、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。
- 津波時の検討においては、基準地震動 S_s による影響を考慮した上、評価する。
- 具体的には、津波時の検討において、基準地震動 S_s 後の応力状態及び残留過剰間隙水圧による地盤の剛性低下を考慮する。

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 + 基準津波荷重 + 漂流物荷重
重畳時* (津波+余震時)	常時荷重 + 基準津波荷重(静水圧) + 余震荷重



例: 津波荷重+漂流物荷重
(鋼管式鉛直壁(一般部))

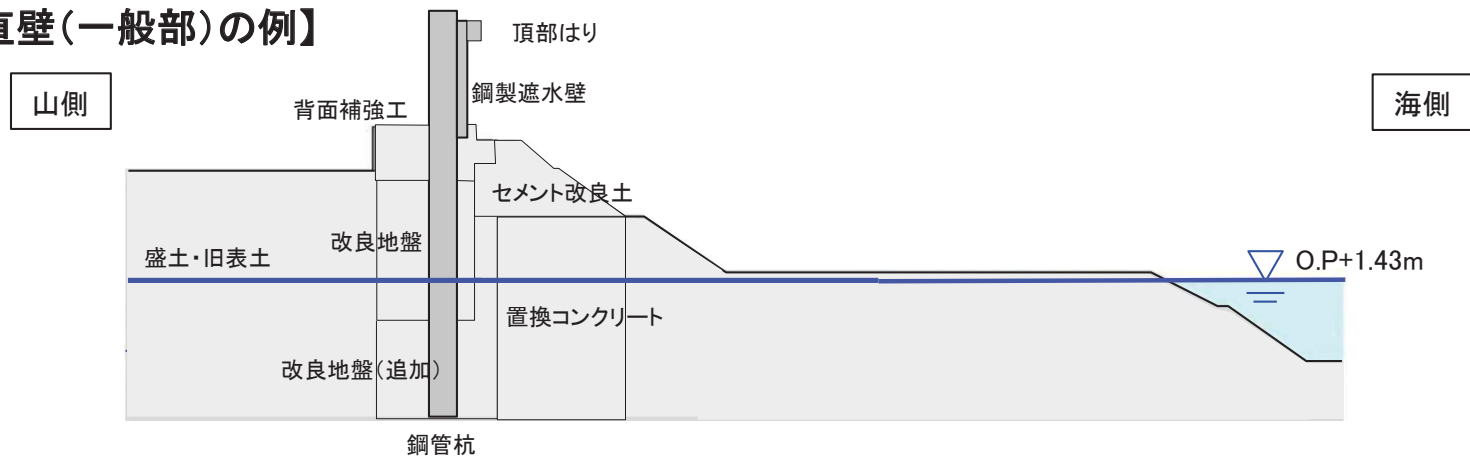
荷重	内容
常時荷重	構造物の自重, 積雪荷重及び風荷重
地震荷重	基準地震動 S_s を作用させる
基準津波荷重	入力津波高さと防潮堤前面の地盤高さ(O.P.+2.5m)の差の1/2を津波浸水深とし、朝倉式より津波波力を算定し、作用させる
漂流物荷重	漂流物, 荷重算定式について詳細検討を行った上で入力津波高さに作用させる
余震荷重	防潮堤前面に入力津波高さに相当する液体要素を設定したうえで余震の地震動を作用させる
基準津波荷重 (重畳時)	余震作用時に、防潮堤前面に入力津波高さの海水が滞留していることを想定して、静水圧を作用させる

5.5 地下水位の設定方針

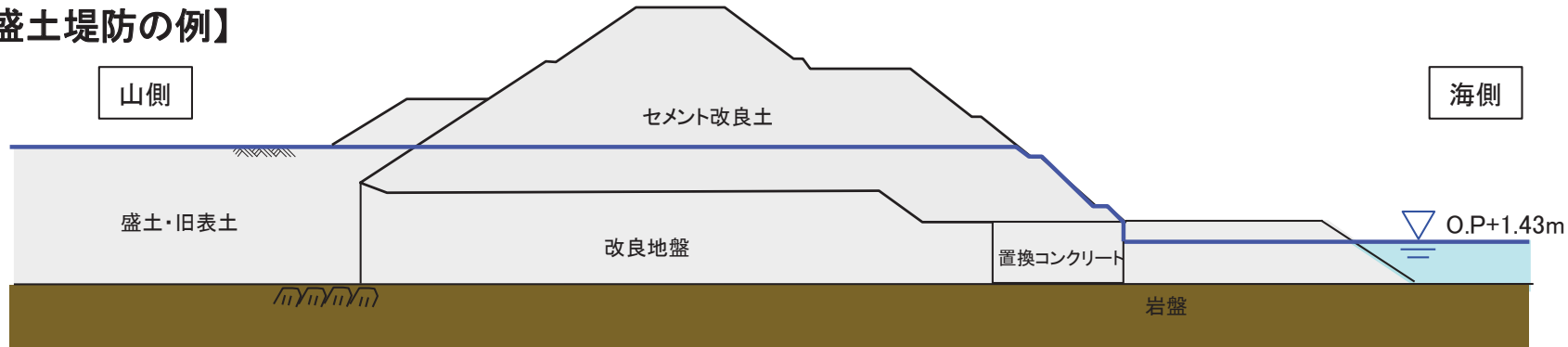
- 設置許可段階における地下水位については、以下のとおり設定する。
- 地下水位設定においては地下水位低下設備の効果を検討しており、その信頼性については別途説明する。
- 工認段階においては、三次元浸透流解析の結果を踏まえ保守性を確認の上、設定する。

鋼管式鉛直壁(一般部)	朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)として設定
鋼管式鉛直壁(岩盤部)	地表面に設定
盛土堤防	防潮堤の海側: 朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)として設定 防潮堤の山側: 下図のとおり設定

【鋼管式鉛直壁(一般部)の例】



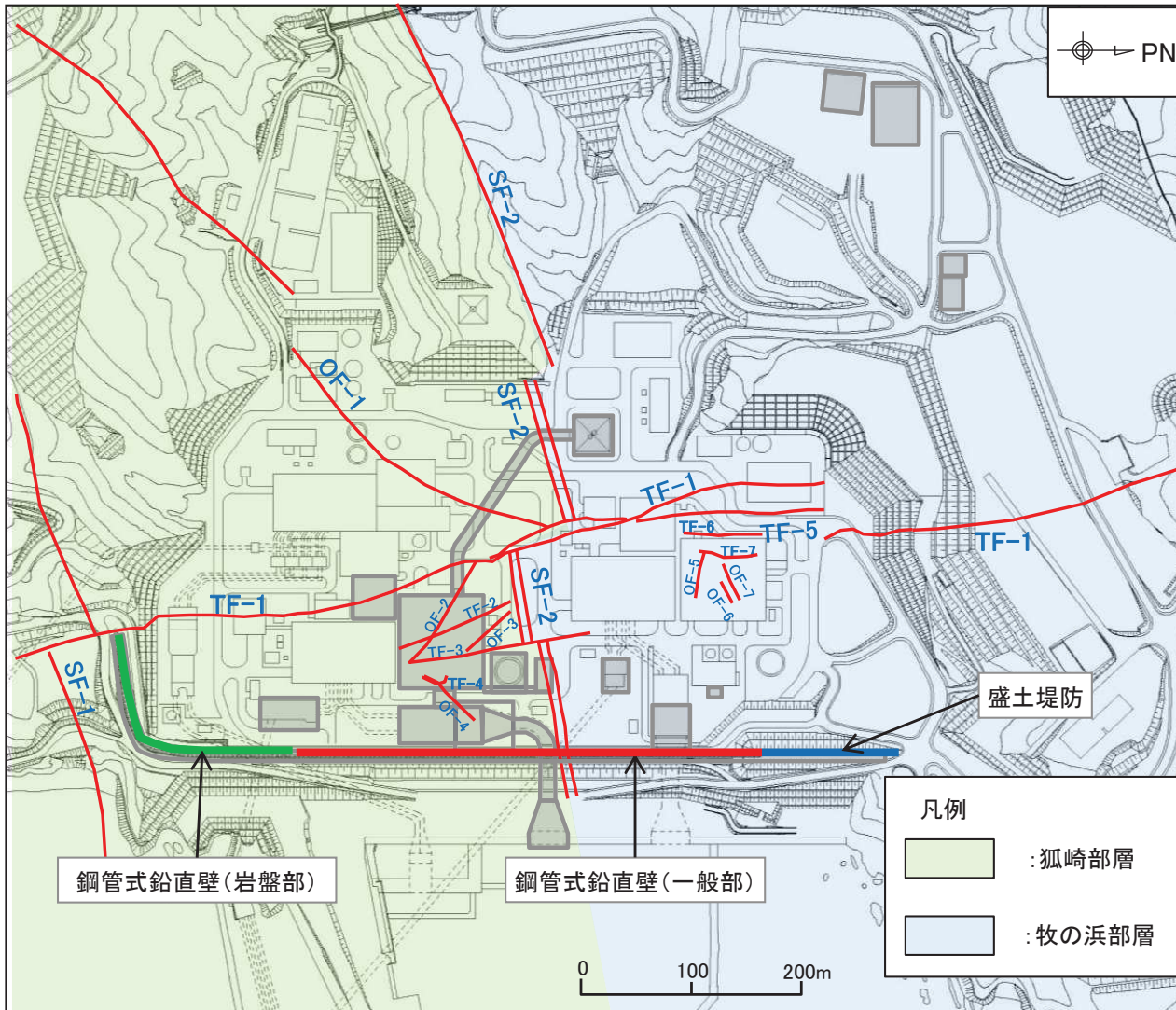
【盛土堤防の例】



5. 基本設計方針

5.6.1 解析用物性値の考え方

- 敷地には、中生界ジュラ系の牡鹿層群荻の浜累層が分布するが、防潮堤の設置位置には狐崎部層及び牧の浜部層が分布する。
- 両部層間で力学特性に大差はないものの、それぞれの部層に対する試験結果に基づき物性値を設定した。
- D級岩盤及び旧表土、盛土の物性値は、地層の部層の相違による影響が小さいこと等から、狐崎部層と牧の浜部層を同一の物性値としている。



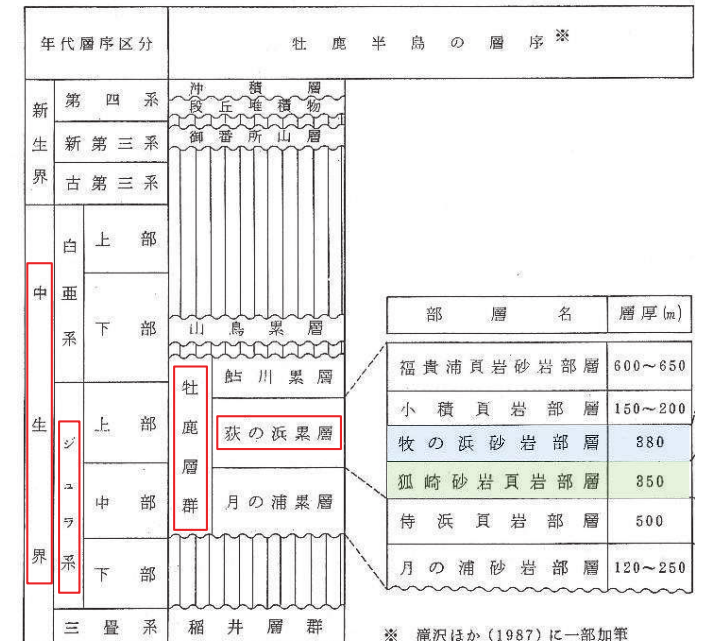
一軸圧縮強度の比較 (単位: N/mm²)

岩盤分類		狐崎部層※1	牧の浜部層※2
砂岩	C _H	153.0	150.2
	C _M	40.0	47.4

※1: 2号試験坑内供試体

※2: 3号試験坑内供試体

敷地の地質層序表



5.6.2 解析用物性値(狐崎部層)

岩級	物理特性	変形特性			
		静的特性		動的特性	
	単位体積重量 (kN/m ³)	静弾性係数 E _s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν _s	動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d
B級	26.4	1,770	0.25	下表参照	0.03
C _H 級	26.2	1,770	0.24		0.03
C _M 級	25.2	980	0.26		0.03
C _L 級	24.1	400	0.31		0.03

岩級	速度層	動的変形特性	
		動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d
B級 及び C _H 級	第2速度層	1.5 × 10 ³	0.44
	第3速度層	5.9 × 10 ³	0.40
	第4速度層	13.2 × 10 ³	0.36
	第5速度層	16.5 × 10 ³	0.35

岩級	速度層	動的変形特性	
		動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d
C _M 級	第1速度層	0.2 × 10 ³	0.48
	第2速度層	1.5 × 10 ³	0.44
	第3速度層	5.7 × 10 ³	0.40
	第4速度層	12.7 × 10 ³	0.36
	第5速度層	15.8 × 10 ³	0.35
C _L 級	第1速度層	0.2 × 10 ³	0.48
	第2速度層	1.4 × 10 ³	0.44
	第3速度層	5.5 × 10 ³	0.40
D級	第1速度層	解析用物性値 (敷地全体) 参照	0.48
	第2速度層		0.44

5.6.2 解析用物性値(牧の浜部層)

岩級	物理特性	変形特性			
		静的特性		動的特性	
	単位体積重量 (kN/m ³)	静弾性係数 E _s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν _s	動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d
B 級	26.4	4,100	0.21	下表参照	0.03
C _H 級	26.2	1,900	0.19		0.03
C _M 級	25.5	1,200	0.24		0.03
C _L 級	23.1	250	0.26		0.03

岩級	速度層	動的変形特性	
		動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d
B 級 及び C _H 級	第2速度層	1.2 × 10 ³	0.45
	第3速度層	4.7 × 10 ³	0.41
	第4速度層	11.5 × 10 ³	0.34
	第5速度層	16.8 × 10 ³	0.33

岩級	速度層	動的変形特性	
		動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d
C _M 級	第1速度層	0.2 × 10 ³	0.48
	第2速度層	1.2 × 10 ³	0.45
	第3速度層	4.7 × 10 ³	0.41
	第4速度層	11.5 × 10 ³	0.34
	第5速度層	16.8 × 10 ³	0.33
C _L 級	第1速度層	0.2 × 10 ³	0.48
	第2速度層	1.2 × 10 ³	0.45
	第3速度層	4.7 × 10 ³	0.41
D 級	第1速度層	解析用物性値 (敷地全体) 参照	0.48
	第2速度層		0.45

5.6.2 解析用物性値(敷地全体)

岩種・岩級		物理特性	強度特性			変形特性				
			静的・動的特性			静的特性		動的特性 (γ:せん断ひずみ)		
			単位体積重量 (kN/m ³)	せん断強度 τ ₀ (N/mm ²)	内部摩擦角 φ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E _s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν _s	動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d
D級		20.2	—※1	—※1	—※1	78	0.38	G ₀ =255.4σ ^{0.26} G _d /G ₀ =1/(1+119γ ^{0.63})	解析用物性値(狐崎部層・牧の浜部層)参照	h=0.085γ/(0.00026+γ)+0.028
旧表土	地下水位以浅	18.4	0.00	38.7	σtan38.7°	302σ ^{0.80}	0.40	G ₀ =211σ ^{0.42} G _d /G ₀ =1/(1+γ/0.00087) ^{※2}	0.46	γ<3×10 ⁻⁴ h=0.125+0.020logγ
	地下水位以深	19.0	0.08	26.2	0.08+σtan26.2°			G ₀ =211σ ^{0.42} G _d /G ₀ =1/(1+γ/0.00087)		3×10 ⁻⁴ ≤γ<2×10 ⁻² h=0.374+0.091logγ
盛土	地下水位以浅	18.6	0.10	33.9	0.10+σtan33.9°	198σ ^{0.60}	0.40	G ₀ =382σ ^{0.71} G _d /G ₀ =1/(1+γ/0.00036) ^{※2}	0.48	h=0.183γ/(γ+0.000261)
	地下水位以深	20.6	0.06	30.0	0.06+σtan30.0°					
セメント改良土 ^{※3, 4}		21.6 ^{※5}	0.65	44.3	0.21+σtan40.9°	690	0.26	G ₀ =1670 G _d /G ₀ =1/(1+γ/0.00085)	0.36	γ<3.8×10 ⁻⁵ h=0.014 3.8×10 ⁻⁵ ≤γ h=0.151+0.031logγ
改良地盤 ^{※3}	地下水位以浅	19.6	1.39	22.1	0.51+σtan34.6°	4480	0.19	G ₀ =1840 G _d /G ₀ =1/(1+γ/0.00136)	0.35	γ<1.2×10 ⁻⁴ h=0.031
	地下水位以深	20.6						G ₀ =1940 G _d /G ₀ =1/(1+γ/0.00136)		1.2×10 ⁻⁴ ≤γ<5.2×10 ⁻³ h=0.227+0.050logγ
背面補強工 ^{※3, 4}		24.0	6.00	—※6	—※6	28000	0.20	E _d =28000	0.20	0.03
置換コンクリート ^{※3, 4}		22.5								

※1: 防潮堤の設計(4・5条関係)においては参照しない。

※2: 残存剛性率(G_d/G₀)が小さい領域は次式で補間 G₀=E_s/2(1+ν_s), G_d/G₀=1/(1+γ/γ_m), γ_m=τ_f/G₀

※3: 引張強度を設定[セメント改良土0.35N/mm²(試験), 改良地盤0.45N/mm²(試験), 背面補強工・置換コンクリート2.22N/mm²(設定方法次頁)]

※4: 施設として整理しているが, 二次元動的FEM解析においては, 平面ひずみ要素としてモデル化し物性値を考慮。

※5: 地下水位以浅でも飽和度が大きく, 湿潤密度と飽和密度が同程度となることから, 地下水位以浅と地下水位以深の単位体積重量を統一して湿潤密度により設定。

※6: 内部摩擦角及び残留強度は保守的に考慮しない。

5. 基本設計方針

5.6.2 解析用物性値[参考:コンクリートの物性値設定]

- コンクリート(背面補強工, 置換コンクリート)のせん断強度について, コンクリート標準示方書((公社)土木学会, 2013年制定・ダムコンクリート編)における記載を参考に設定する。
- コンクリートの内部摩擦角 ϕ については, 保守的に考慮しないこととする。
- コンクリートの引張強度はコンクリート標準示方書((公社)土木学会, 2017年制定, 設計編)に準拠し設定する。
- なお, コンクリートのせん断強度は, 詳細設計時に試験施工及び力学試験を実施し, 設置許可段階での設定の妥当性を確認することとする。

【コンクリートのせん断強度】

コンクリートのせん断強度は, コンクリート標準示方書(2013年制定, ダムコンクリート編)に基づき算出する*。

ダムコンクリートのせん断強度は, ダムコンクリートが等方体と考えられる場合には, 設計計算上必要なパラメータとされないが, 水平打継目におけるせん断摩擦安全率を検討する場合には, 水平打継目のせん断強度が必要となる。水平打継目のせん断強度は打継目処理の方法によって大きく変化するが, 丁寧な打継目処理を施した場合, 水平打継目のせん断強度はダムコンクリート自身のせん断強度とほぼ等しい値を示す。この値はダムコンクリートの圧縮強度のおよそ 1/5 である。



$$\tau_0 = 1/5q_u = 1/5 \times 30 \text{ (N/mm}^2\text{)} = 6.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

τ_0 : コンクリートのせん断強度

q_u : コンクリートの圧縮強度

*: コンクリートのせん断強度の妥当性は, 詳細設計時に試験施工及び力学試験により確認。

【コンクリートの引張強度】

コンクリートの引張強度は, コンクリート標準示方書(2017年制定, 設計編)に基づき算出する。

下式は $f'_{ck} < 80 \text{ N/mm}^2$ 程度となるコンクリートが対象であるのに対し, 背面補強工及び置換コンクリートの $f'_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ であることから, 適用可能と判断した。

$$f_{tk} = 0.23f'_{ck}{}^{2/3} = 0.23 \times 30^{2/3} = 2.22 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

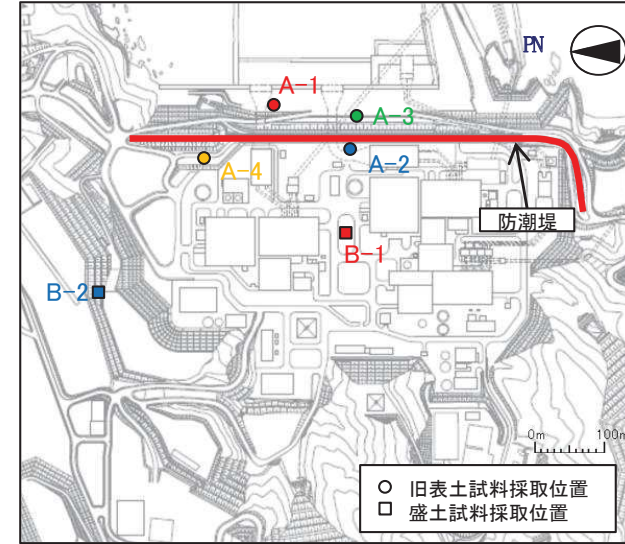
f_{tk} : コンクリートの引張強度

f'_{ck} : コンクリートの設計基準強度

5. 基本設計方針

5.7 液状化強度特性の設定方針

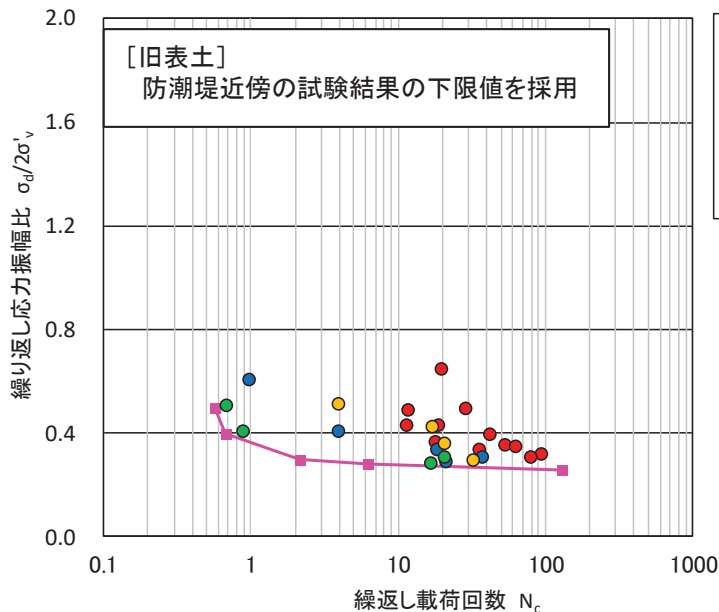
- 設置許可段階での防潮堤の耐震性評価においては、有効応力解析により液状化の影響を確認することとし、有効応力解析に用いる旧表土の液状化強度特性は、防潮堤近傍の液状化強度試験結果に基づき、盛土の液状化強度特性は、敷地全体の液状化強度試験結果に基づき、下図のとおり下限値を基本に保守的に設定する。
- 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性については、補足説明資料6. に示す。
- 工認段階においては、全応力解析及び有効応力解析による地震応答解析等を実施し、液状化の有無のいずれが保守的となるかを確認する。その上で、保守的となる解析を基本ケースとする。
- 有効応力解析で用いる液状化強度特性は、設置許可段階の設定を基本とする。
- なお、盛土については、防潮堤近傍において液状化強度試験の追加実施を検討し、信頼性のある試験結果が得られた場合において、液状化強度特性を見直すこととする。



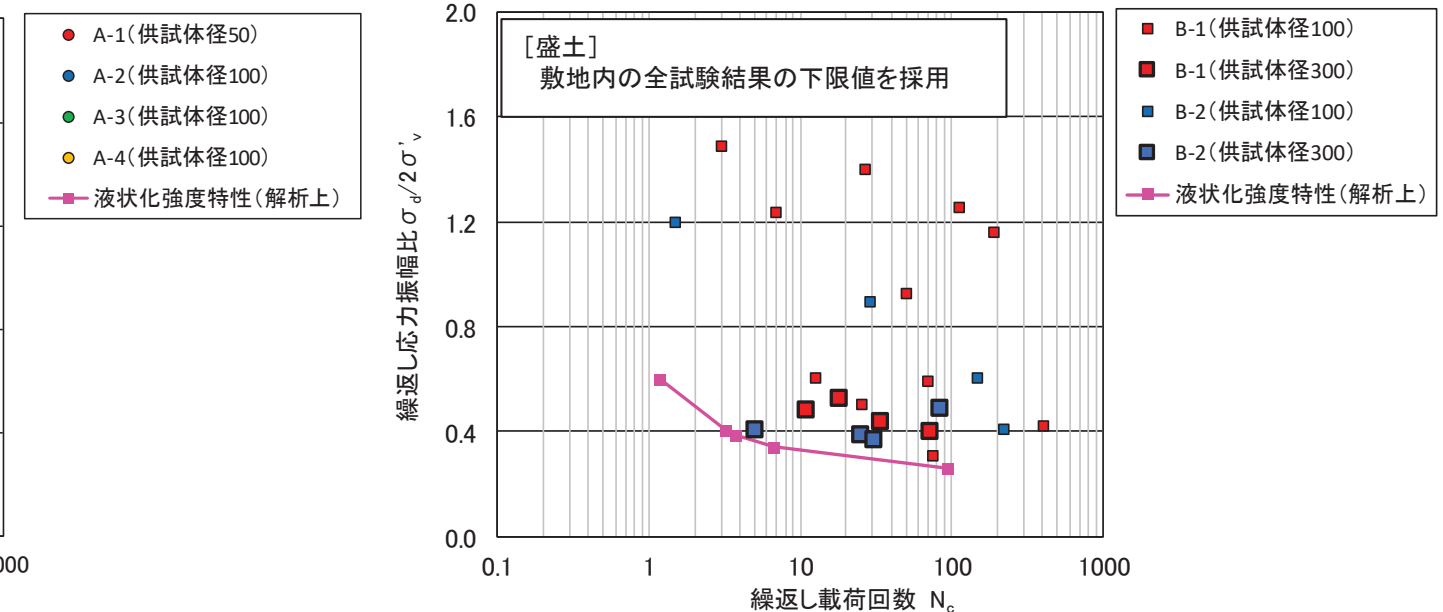
試料採取位置

盛土・旧表土の液状化パラメータ

	$\phi_p (^{\circ})$	W1	p1	p2	c1	s1
旧表土	28	1.3	1.2	0.8	2.75	0.005
盛土	28	14	1.0	0.6	2.8	0.005

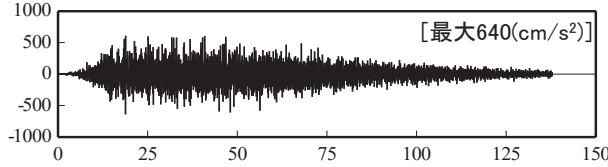
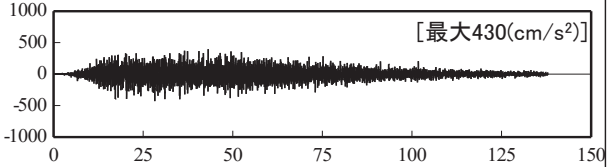
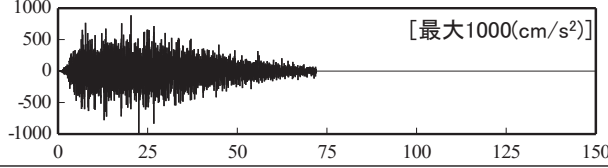
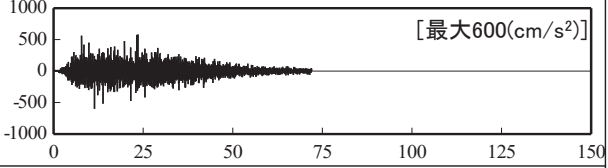
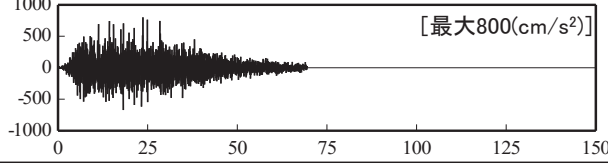
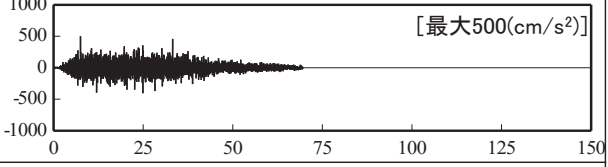
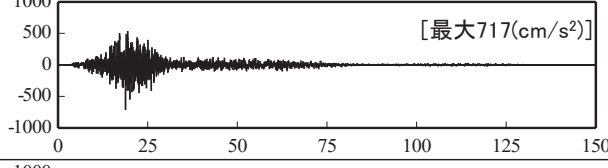
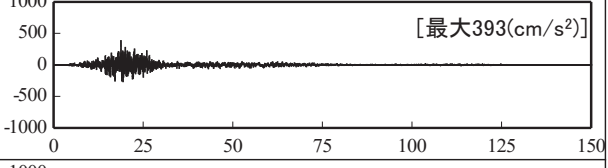
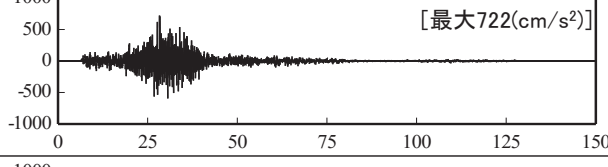
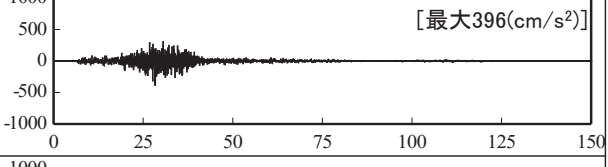
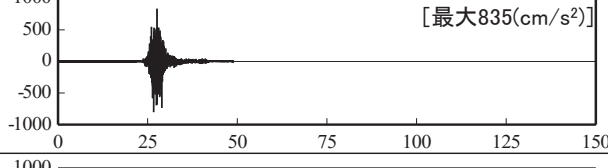
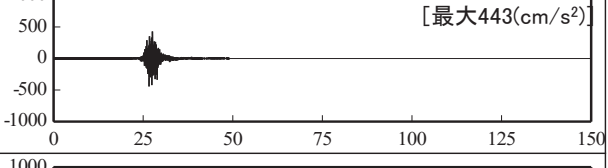
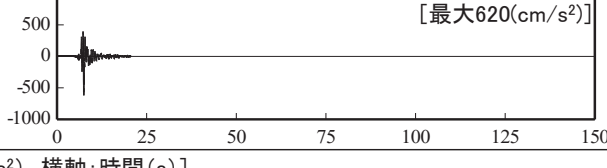
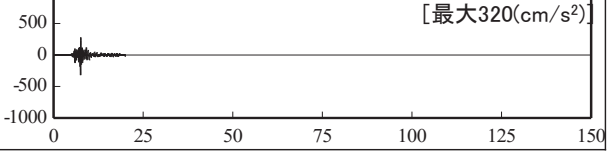


(旧表土)



(盛土)

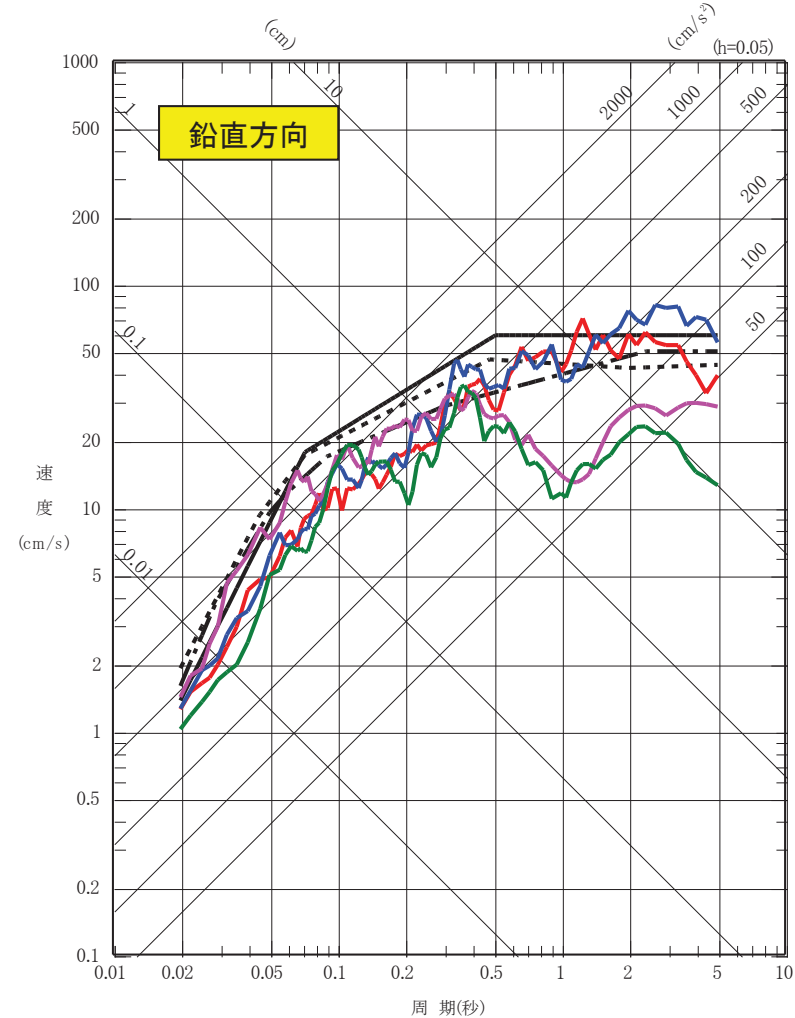
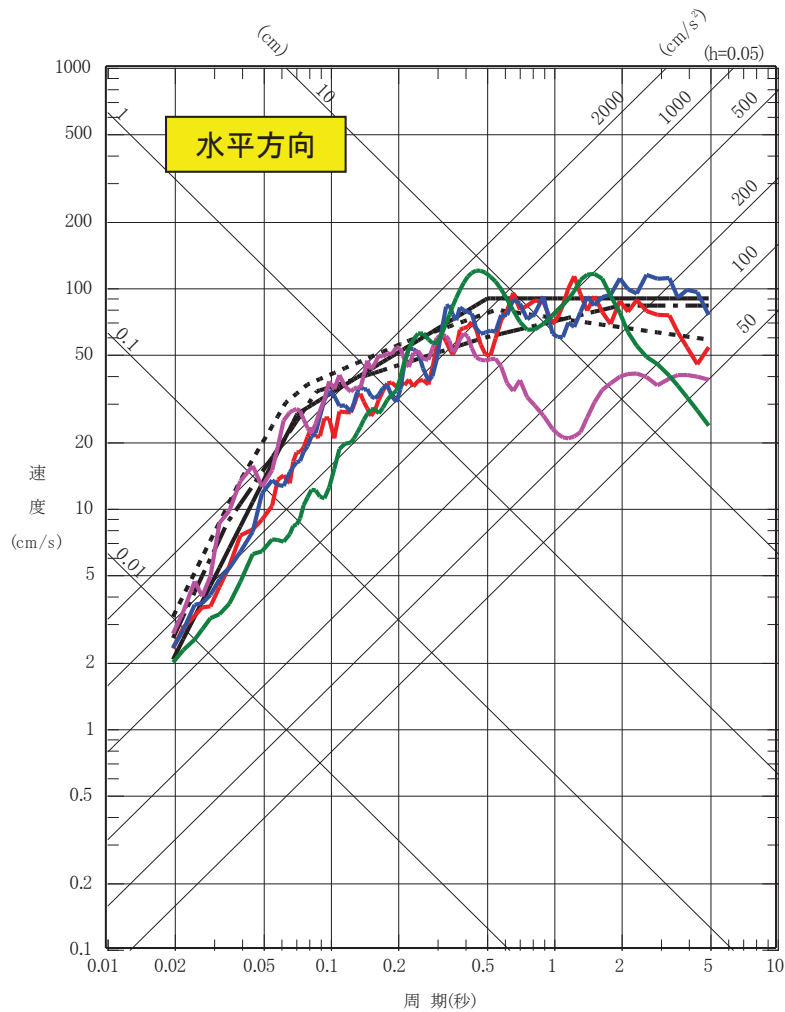
液状化強度試験結果に基づく液状化強度曲線

基準地震動		水平方向	鉛直方向
Ss-D1	プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動	 [最大640(cm/s ²)]	 [最大430(cm/s ²)]
Ss-D2	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動	 [最大1000(cm/s ²)]	 [最大600(cm/s ²)]
Ss-D3	海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動	 [最大800(cm/s ²)]	 [最大500(cm/s ²)]
Ss-F1	プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [応力降下量(短周期レベル)の不確かさ]	 [最大717(cm/s ²)]	 [最大393(cm/s ²)]
Ss-F2	プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳]	 [最大722(cm/s ²)]	 [最大396(cm/s ²)]
Ss-F3	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動 (SMGAマントル内集約)	 [最大835(cm/s ²)]	 [最大443(cm/s ²)]
Ss-N1	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	 [最大620(cm/s ²)]	 [最大320(cm/s ²)]

注1: 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸: 加速度 (cm/s²), 横軸: 時間 (s)]

注2: 断層モデルによる基準地震動のSs-F1, Ss-F2及びSs-F3については, 3.11地震, 4.7地震の観測記録との整合性を確認したシミュレーションでの手法(統計的グリーン関数法, 放射特性一定)を用いていることから水平方向としている。

- 基準地震動Ss-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- - - 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震 (SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- · - 基準地震動Ss-D3 [海洋プレート内地震 (SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基準地震動Ss-F1 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(応力降下量(短周期レベル)の不確かさ)]
- 基準地震動Ss-F2 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳)]
- 基準地震動Ss-F3 [海洋プレート内地震 (SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動(SMGAマントル内集約)]
- 基準地震動Ss-N1 [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]



6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

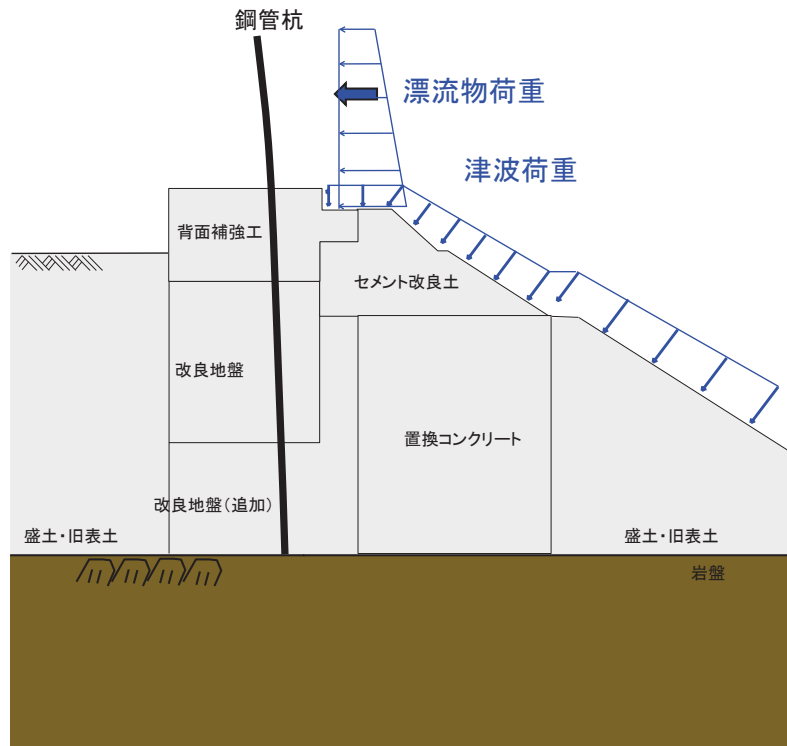
6.1 防潮堤に作用する荷重と部位の役割の概要

- 防潮堤は、鋼管式鉛直壁(一般部)、鋼管式鉛直壁(岩盤部)及び盛土堤防の3つの構造形式に分かれている。
- 鋼管式鉛直壁(一般部)については、長杭及び短杭の2つの杭仕様があり、岩盤又は改良地盤に鉛直支持させるとともに、置換コンクリートの強度によってすべりに対する安定性を確保する設計としている。
- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)については、岩盤に鉛直支持させる設計としている。
- 盛土堤防はセメント改良土で構築し、岩盤又は改良地盤に鉛直支持させるとともに、置換コンクリートの強度によってすべりに対する安定性を確保する設計としている。
- 防潮堤の構造成立性には、このような構造に作用する荷重に対し各部位が所要の機能を発揮して安全であることが必要である。
- このような観点から、作用する荷重、構造体の変形モード及び各部位の役割について整理する。

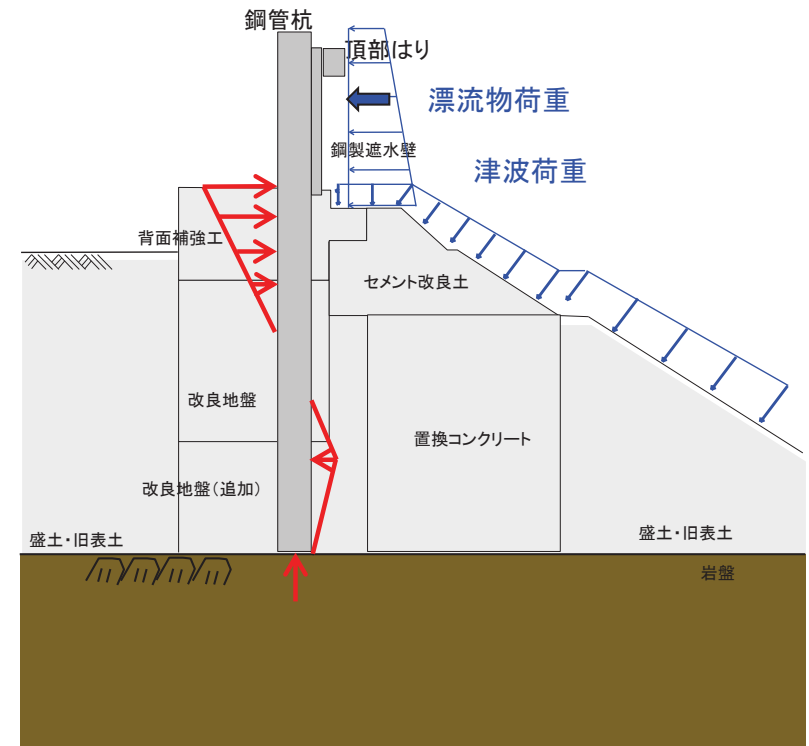
6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.2.1 津波時 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/2)

- 津波時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.2.1 津波時 鋼管式鉛直壁(一般部)(2/2)

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

部位の名称	役割
鋼管杭(長杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持する。
鋼管杭(短杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持する。
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 遮水性を保持する。 長杭・短杭の変形を抑制する。
置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
頂部はり	—※1

※1:沈下時に機能を期待していたが、沈下しない設計に変更したため、役割を期待しない。

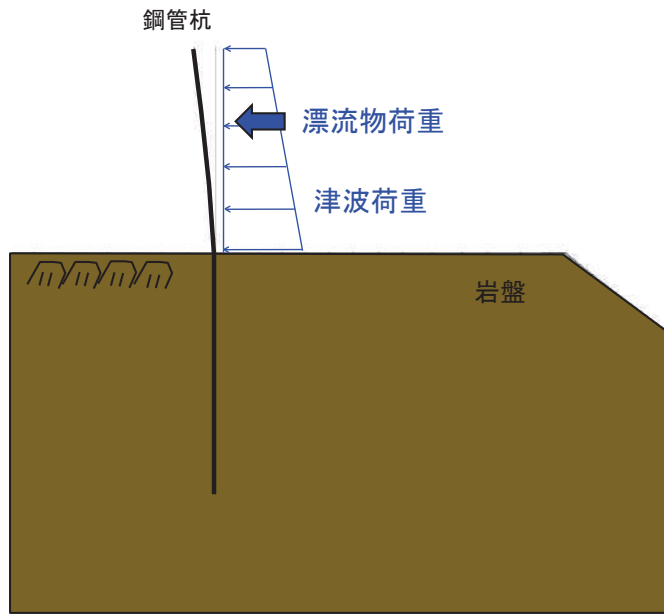
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭、背面補強工及び置換コンクリートを(改良地盤を介して)鉛直支持する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 短杭及び背面補強工を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 長杭・短杭の変形を抑制する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。 津波荷重を置換コンクリート等を介して岩盤に伝達する。
盛土・旧表土	—

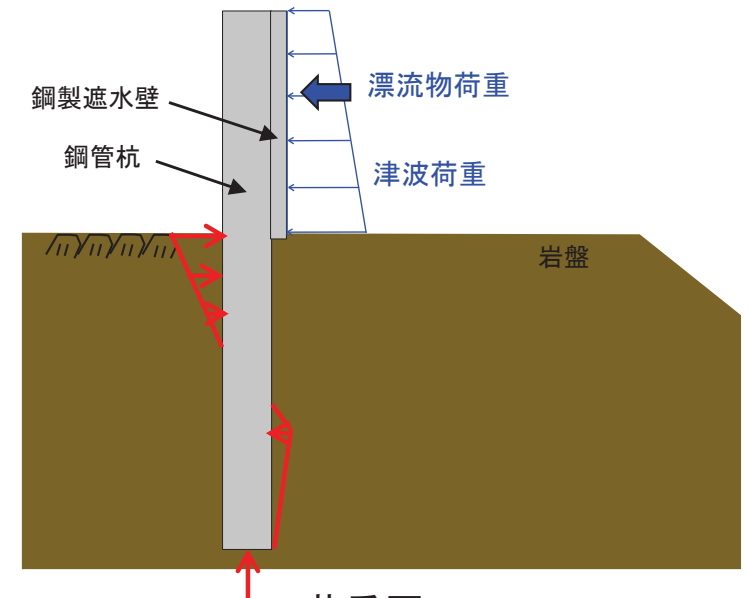
6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.2.2 津波時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(1/2)

- 津波時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.2.2 津波時 鋼管式鉛直壁(岩盤部) (2/2)

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

部位の名称	役割
鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持する。
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
RC遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の遮水性を保持する。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。

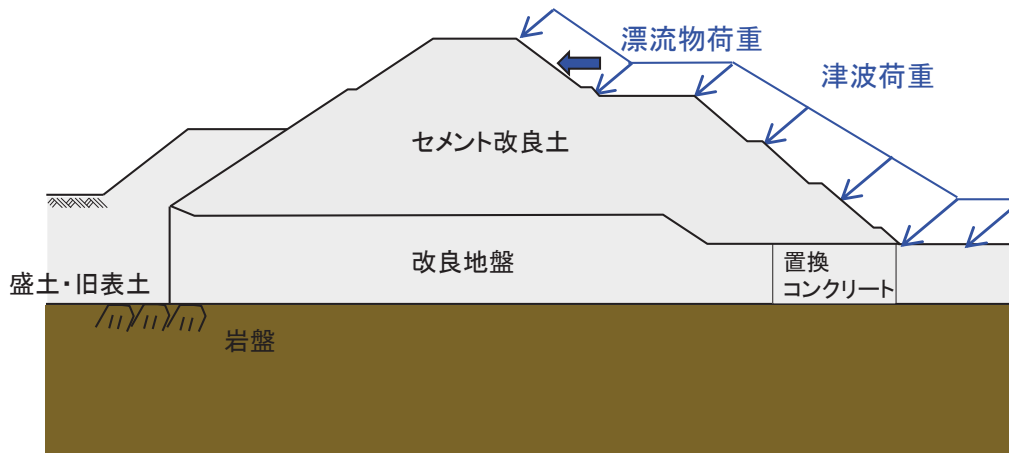
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を鉛直支持する。 鋼管杭の変形を抑制する。

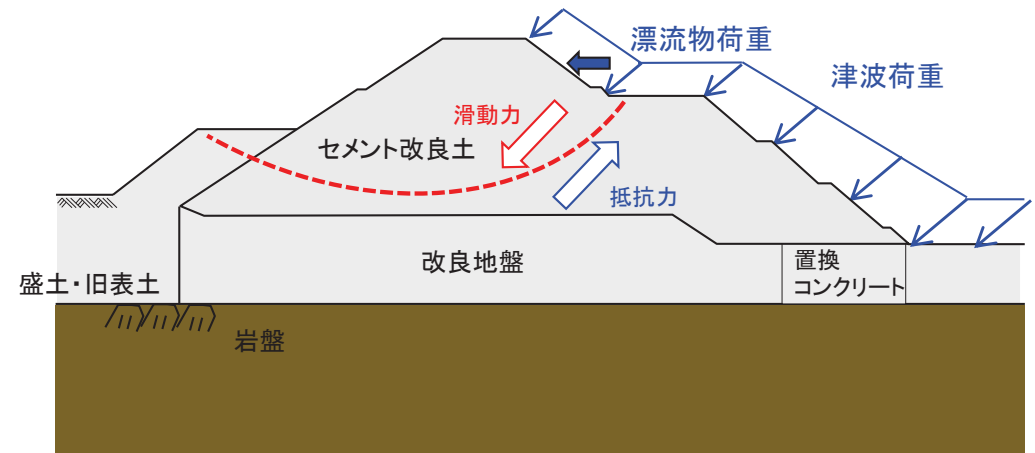
6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.2.3 津波時 盛土堤防(1/2)

- 津波時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.2.3 津波時 盛土堤防(2/2)

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

部位の名称	役割
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 難透水性を有し、堤体により止水性を維持する。
置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。

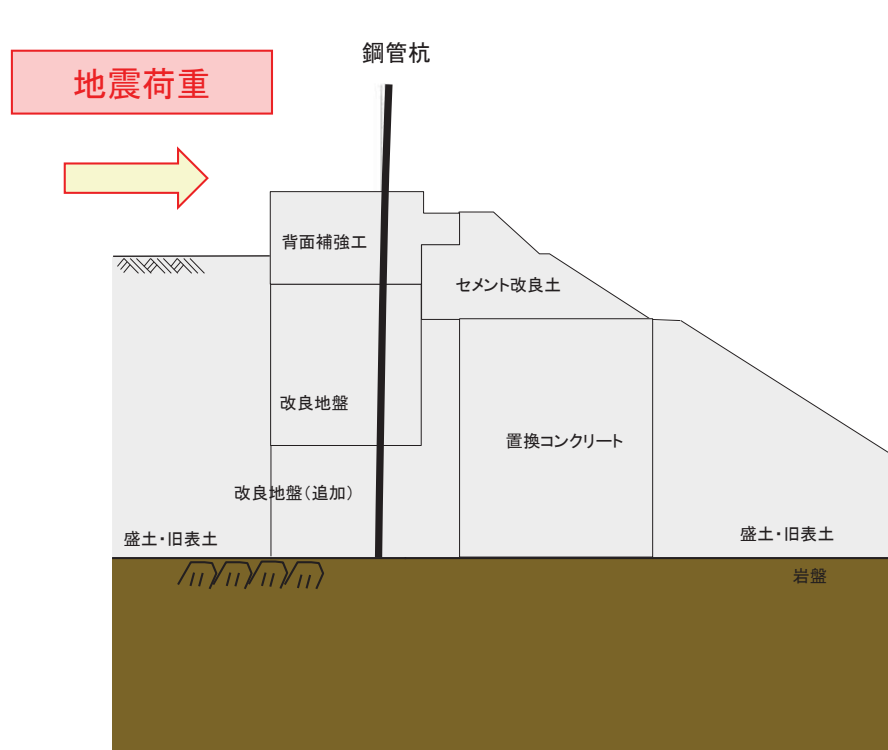
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
盛土・旧表土	—

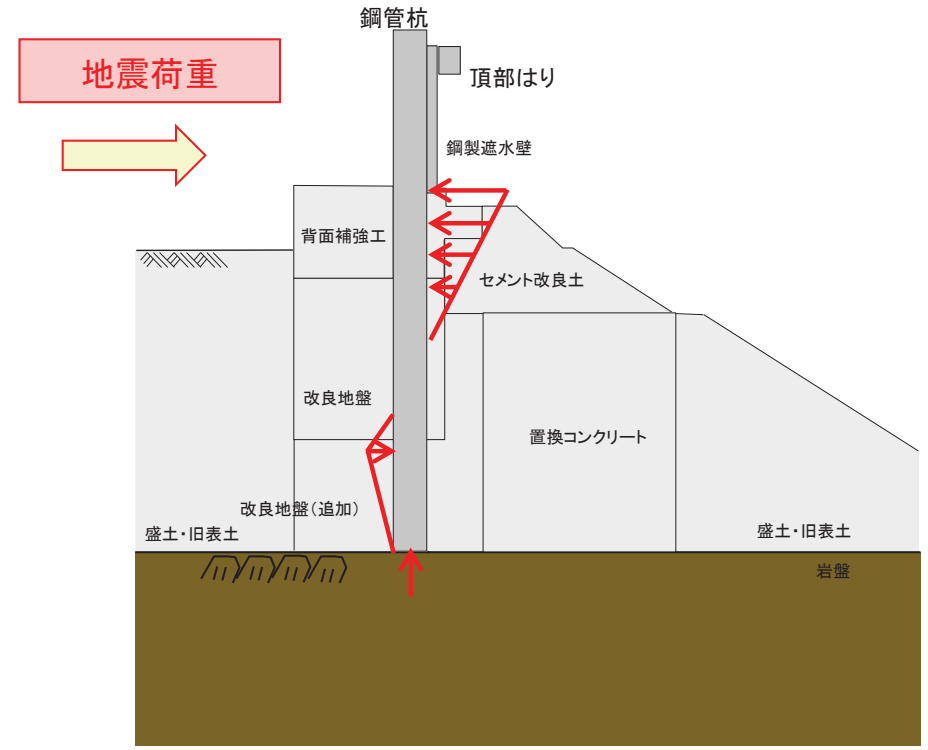
6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.3.1 地震時 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/2)

- 地震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.3.1 地震時 鋼管式鉛直壁(一般部)(2/2)

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

部位の名称	役割
鋼管杭(長杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持する。
鋼管杭(短杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持する。
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持する。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁間の変位に追従する。
背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する。
置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。 長杭・短杭の変形を抑制する(斜面形状による海側への変形が卓越)。
頂部はり	—※1

※1:沈下時に機能を期待していたが、沈下しない設計に変更したため、役割を期待しない。

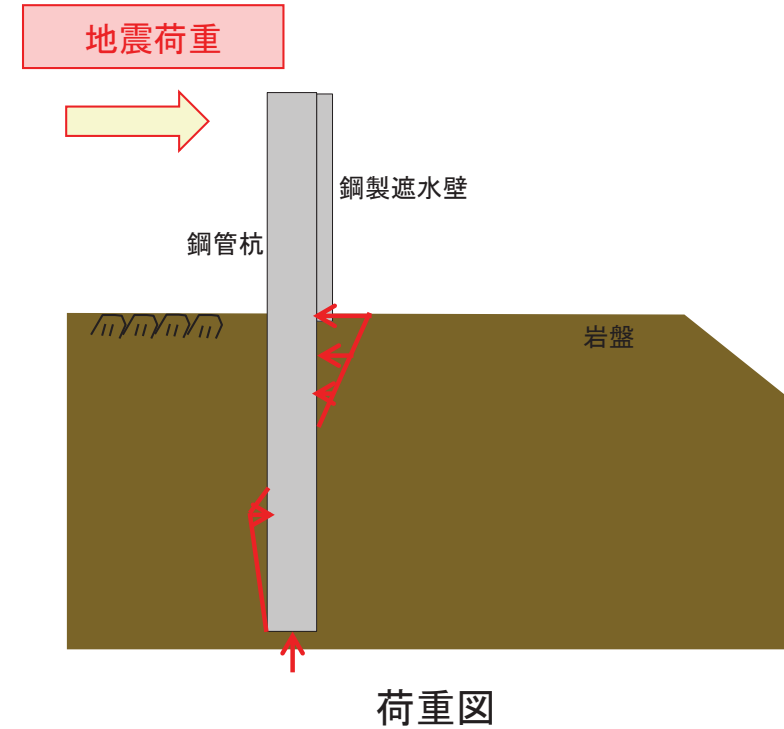
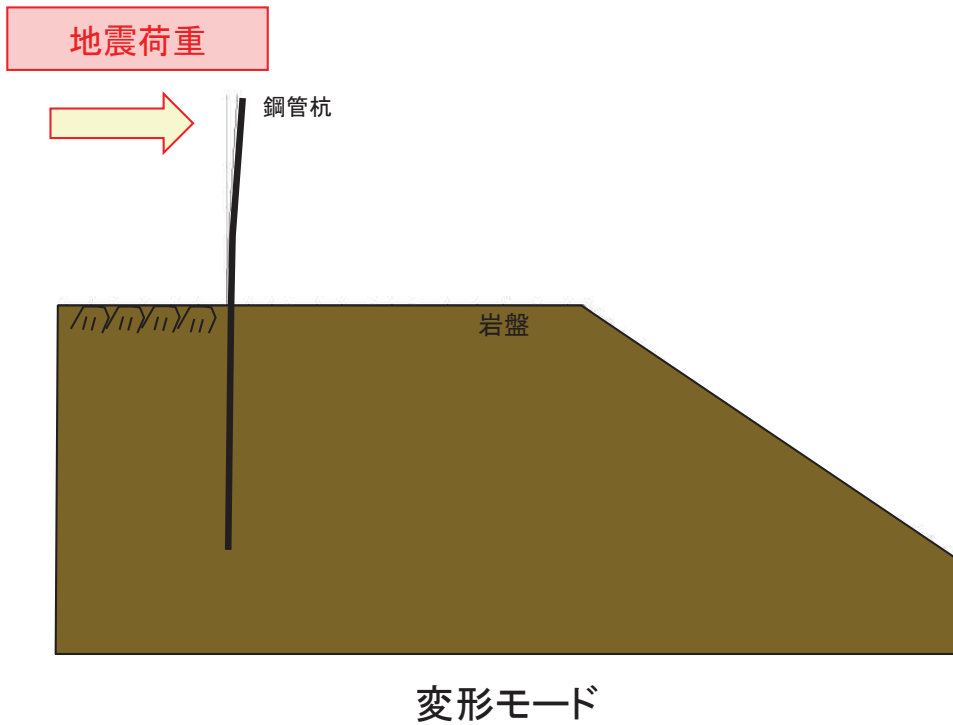
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭、背面補強工及び置換コンクリートを(改良地盤を介して)鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 短杭及び背面補強工を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 長杭・短杭の変形を抑制する(斜面形状による海側への変形が卓越)。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する(斜面形状による海側への変形が卓越)。
盛土・旧表土	—

6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.3.2 地震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(1/2)

- 地震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.3.2 地震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(2/2)

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

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

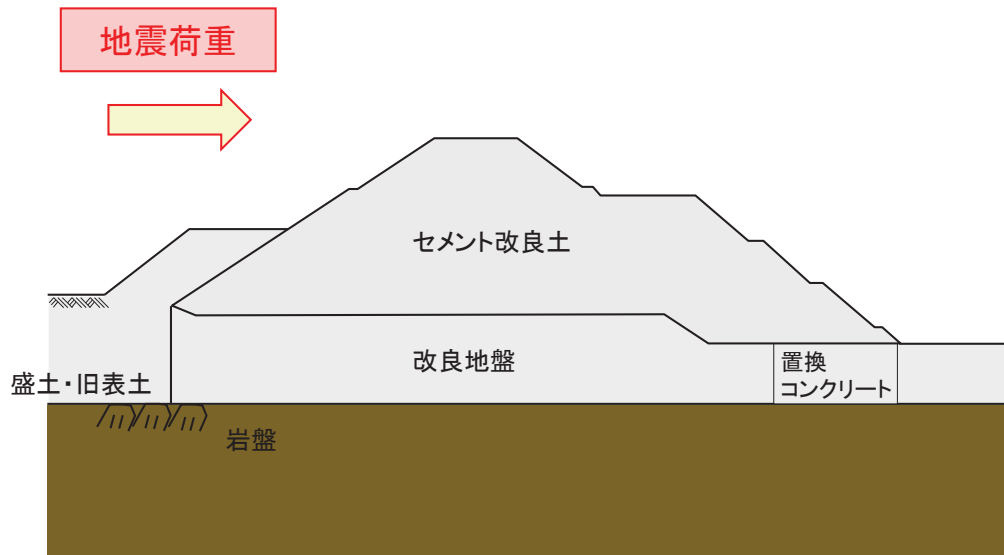
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 鋼管杭の変形を抑制する。

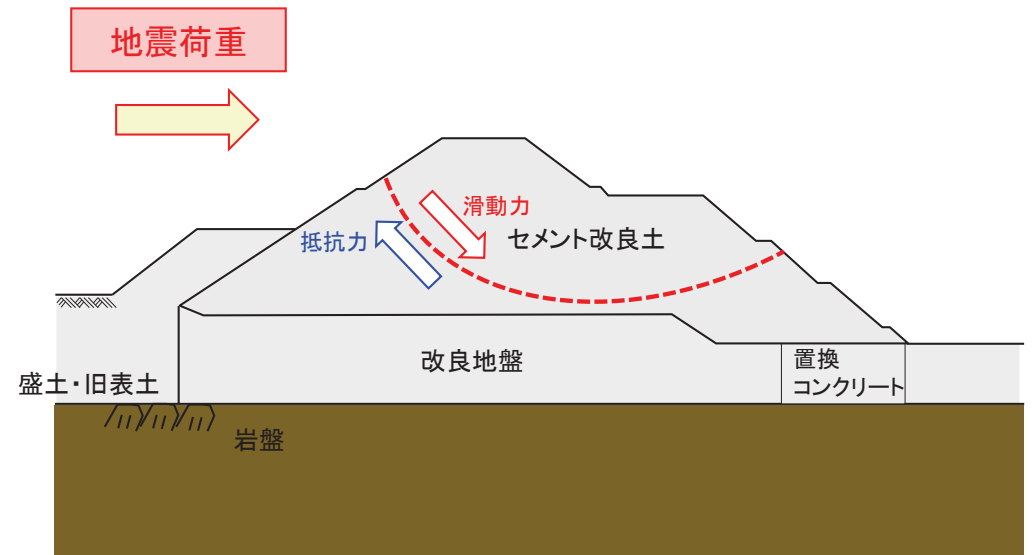
6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.3.3 地震時 盛土堤防(1/2)

- 地震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.3.3 地震時 盛土堤防(2/2)

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

部位の名称	役割
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。
置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。

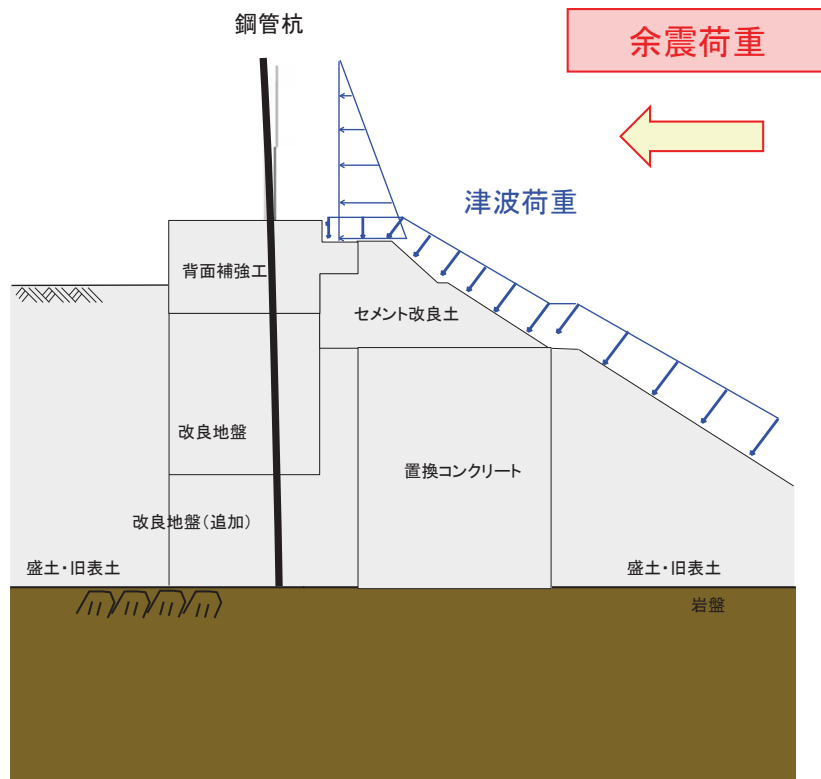
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
盛土・旧表土	—

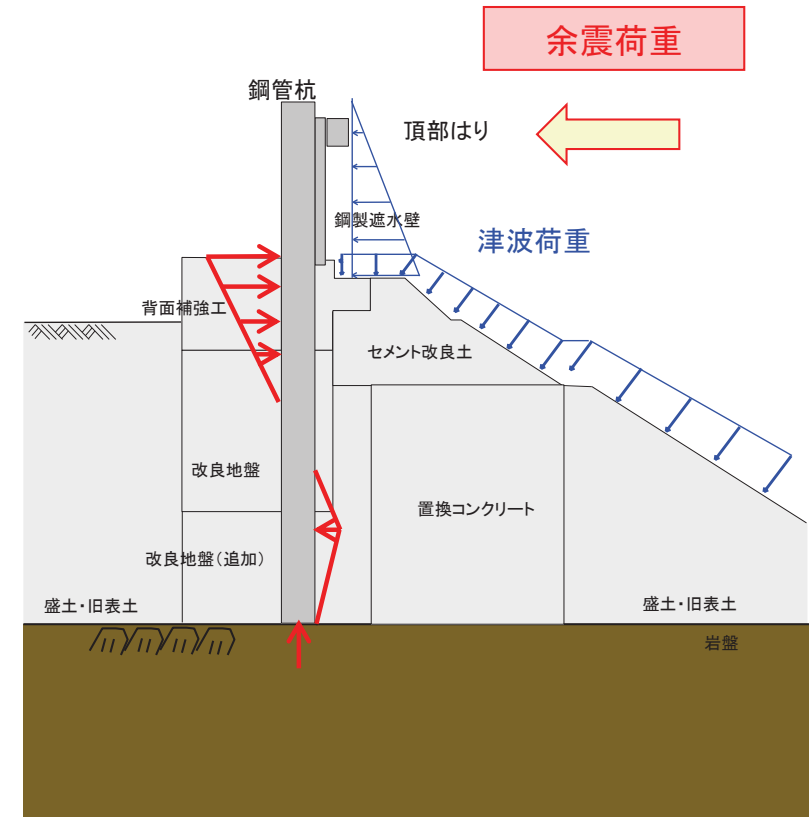
6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.4.1 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/2)

- 津波+余震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.4.1 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(一般部)(2/2)

- 津波+余震時において、各部位は津波荷重及び余震荷重に対して、以下の役割を有する。

部位の名称	役割
鋼管杭(長杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持する。
鋼管杭(短杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持する。
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 遮水性を保持する。 長杭・短杭の変形を抑制する。
置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。 長杭・短杭の変形を抑制する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
頂部はり	—※1

※1: 沈下時に機能を期待していたが、沈下しない設計に変更したため、役割を期待しない。

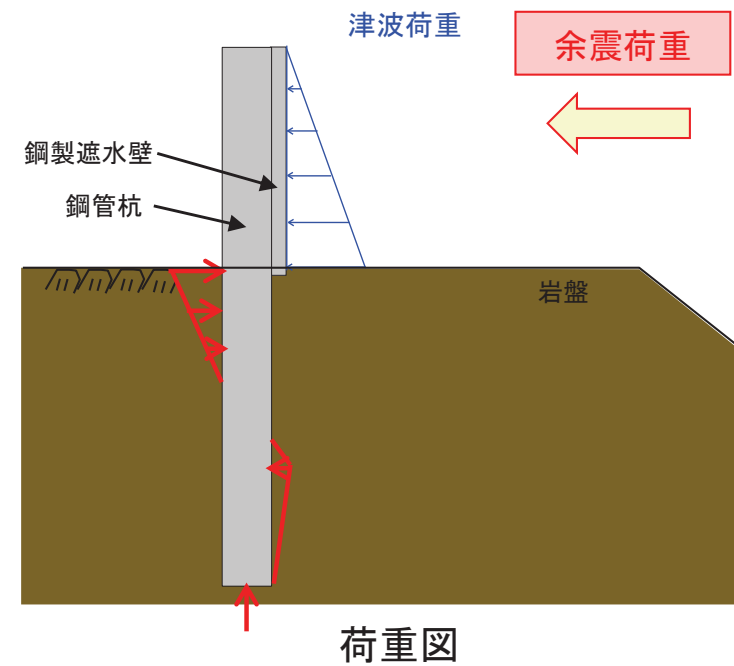
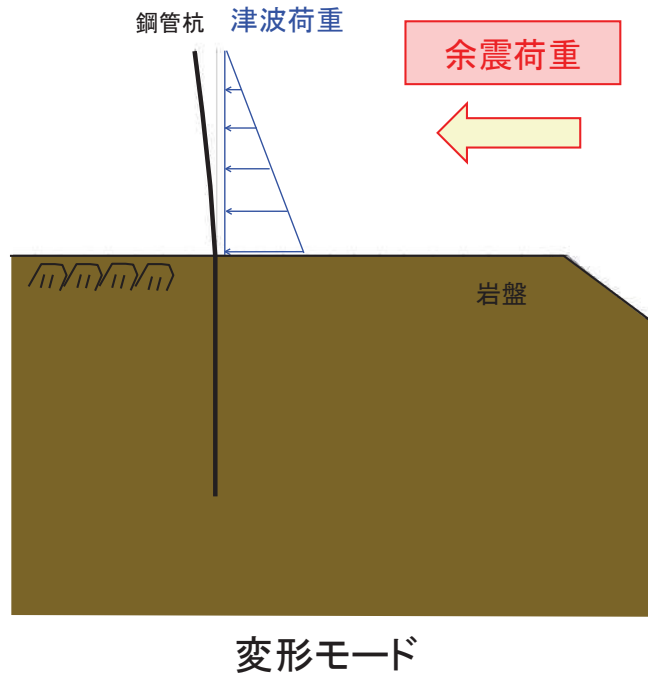
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭、背面補強工及び置換コンクリートを(改良地盤を介して)鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 短杭及び背面補強工を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 長杭・短杭の変形を抑制する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。 津波荷重を置換コンクリート等を介して岩盤に伝達する。
盛土・旧表土	—

6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.4.2 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(1/2)

- 津波+余震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.4.2 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(2/2)

- 津波+余震時において、各部位は津波荷重及び余震荷重に対して、以下の役割を有する。

部位の名称	役割
鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持する。
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
RC遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の遮水性を保持する。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。

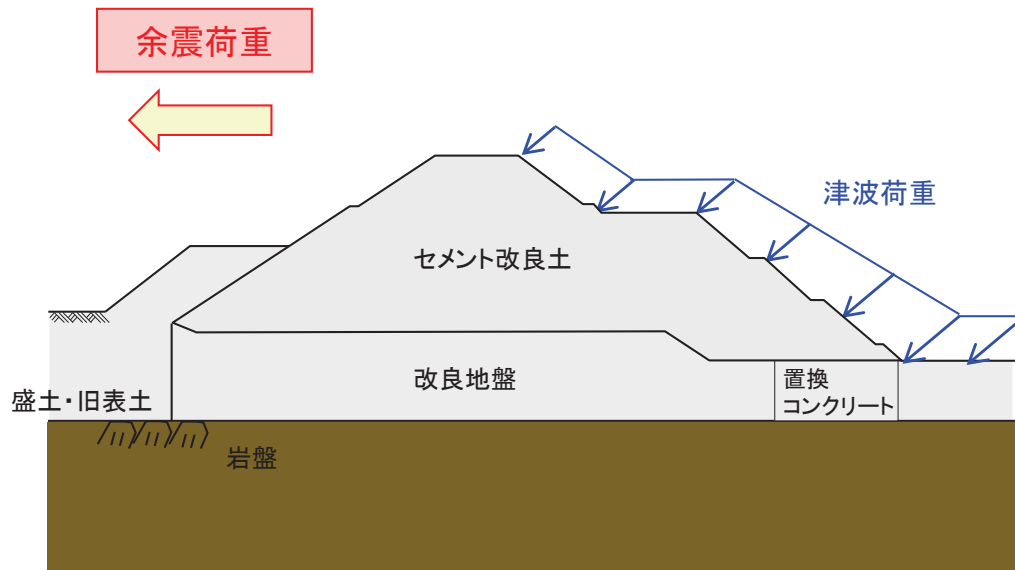
- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 鋼管杭の変形を抑制する。

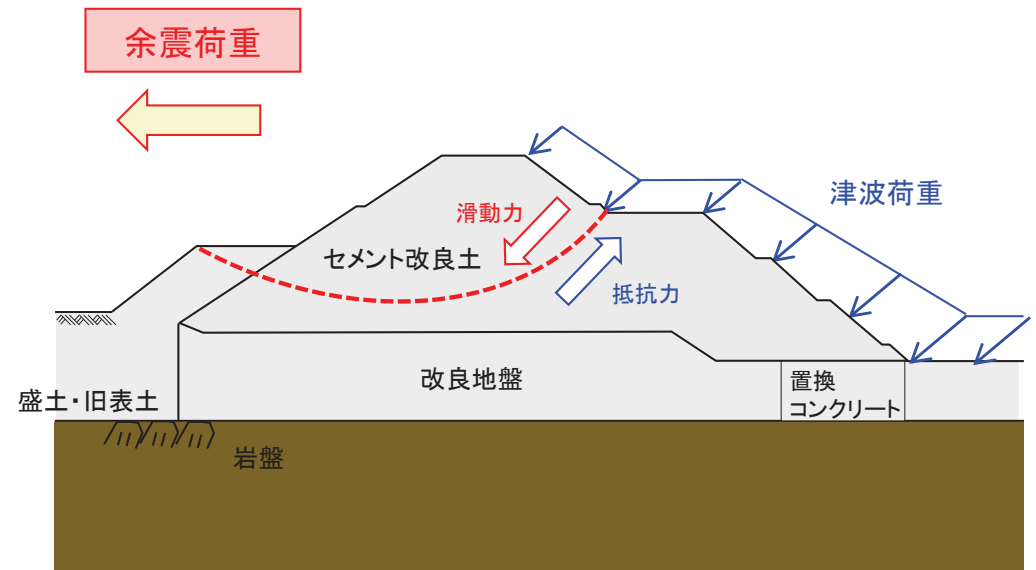
6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.4.3 津波+余震時 盛土堤防(1/2)

- 津波+余震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。



変形モード



荷重図

6. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

6.4.3 津波+余震時 盛土堤防(2/2)

- 津波+余震時において、各部位は津波荷重及び余震荷重に対して、以下の役割を有する。

部位の名称	役割
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 難透水性を有し、堤体により止水性を維持する。
置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。

- 地盤については、以下の役割を有する。

地盤	役割
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
盛土・旧表土	—

7. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.1 概要

- 防潮堤は、鋼管式鉛直壁(一般部)、鋼管式鉛直壁(岩盤部)及び盛土堤防の3つの構造形式に分かれている。
- 鋼管式鉛直壁(一般部)については、長杭及び短杭の2つの杭仕様があり、岩盤又は改良地盤に鉛直支持させるとともに、置換コンクリートの強度によってすべりに対する安定性を確保する設計としている。
- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)については、岩盤に鉛直支持させる設計としている。
- 盛土堤防はセメント改良土で構築し、岩盤又は改良地盤に鉛直支持させるとともに、置換コンクリートの強度によってすべりに対する安定性を確保する設計としている。
- ここでは、防潮堤の設計方針についてサイト特性を踏まえた構造の特異性及び設計の保守性を整理した上で、地震時、津波時及び重畳時(津波＋余震時)に、防潮堤が維持すべき機能を喪失し得る事象(損傷モード)を仮定し、その損傷モードに対し設計・施工上どのような配慮がなされているか整理した。

7. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.2.1 サイト特性・制約条件を踏まえた構造の特異性

【防潮堤設計から見たサイト特性・制約条件等】

《サイト特性》

- ・津波高さが高い [a]
- ・敷地が狭隘なため近接施設が多い [b]
- ・敷地レベルが高い(2段整地) [c]
- ・周辺に液状化検討対象層(盛土・旧表土)が分布 [d]
- ・防潮堤直下に盛土・旧表土が分布 [e]

《制約条件等》

- ・海側へのアクセス性確保 [f]
- ・取水路を跨ぐ構造 [g]

【防潮堤の構造の特異性】

《各構造共通》

- ・設計津波高さに対して十分な余裕を確保 [a]
 - ・防潮堤下部・周辺の地盤改良(改良地盤・置換コンクリート)により鉛直支持・すべり安定性向上対策を実施 [d, e]
- ↓
- ・構造上の余裕確認
 - ・改良地盤の支持力の確認
 - ・置換コンクリートの強度によるすべり安定性の確認

《鋼管式鉛直壁(一般部)》

- ・斜面上に設置 [a, b, c]
 - ・長杭と短杭の混合 [c, g]
 - ・独立する杭一本一本に鋼製遮水壁を設置し、遮水壁間を目地で止水する構造 [b, g]
 - ・背面補強工(コンクリート)及び置換コンクリートの設置 [a, b, c]
- ↓
- ・止水目地に発生する変位の確認
 - ・鋼管杭の健全性確認

《盛土堤防》

- ・改良地盤の上にセメント改良土を構築 [c]
- 《鋼管式鉛直壁と盛土堤防の境界部》
- ・鋼管杭構造～盛土構造接続部の存在 [b, c, f]
- ↓
- ・盛土堤防のすべり安定性の確認
 - ・境界部の遮水性の確認

【特に確認すべき項目】

《各構造共通》

- ・改良地盤・置換コンクリートの健全性

《鋼管式鉛直壁(一般部)》

- ・鋼管杭の健全性
- ・遮水性の保持(止水目地に生じる変位等)

《盛土堤防》

- ・すべり安定性

《鋼管式鉛直壁と盛土堤防の境界部》

- ・盛土堤防の挙動による鋼管式鉛直壁への影響
- ・遮水性の保持

《関連する項目の例》

- ・液状化パラメータの設定
- ・荷重の組合せ
- ・地下水位の設定

注: []はサイト特性・制約条件等との関連を示す。

7. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.2.2 設計の保守性

【津波高さに対する裕度】

- 入力津波高さO.P.+24.4mに対しO.P.+29mの高さの防潮堤を設置しており、十分な裕度を有する設計
- 防潮堤天端高さにまで津波が遡上したとしても、防潮堤の健全性が維持できる構造上の裕度を確保

【想定を超える事象に対する配慮】

- 鋼管式鉛直壁(一般部)について、改良地盤、置換コンクリート及びセメント改良土の透水係数を保守的に盛土・旧表土相当と仮定した場合でも津波の滞水時間中に敷地に浸水しないよう配慮
- 鋼管式鉛直壁(一般部)と周辺地盤の境界部に隙間が生じた場合でも、背面補強工前面のコーベル状の形状(鰻止め)により、浸水しにくい形状
- 鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防の境界部に隙間が生じた場合でも、水みちとなる経路に可撓性目地シール材(ケーソンシール)を設置し、浸水しないよう配慮
- 想定を上回り防潮堤を越波した場合でも、防潮堤背面の背面補強工(コンクリート)により侵食対策を配慮

7. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/6)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼管杭 (長杭・短杭 共通)	<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、鋼製遮水壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 地震後や津波後の再使用性、津波時の影響(繰返しの津波)を考慮して、鋼製遮水壁や止水目地の変位を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭がおおむね弾性範囲であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により背面補強工-改良地盤間、改良地盤-岩盤間に相対変位が生じ、せん断力が鋼管杭に作用し、鋼管杭が損傷し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。 	①, ②		○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、上杭と下杭の接合部で破損し、鋼管杭が損傷し、鋼製遮水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"> 上杭と下杭の接合部は、複合構造標準示方書(土木学会)に準拠したソケット方式の接合とし、接合部の安全性照査は、隣接する一般部に対して1.2倍の裕度を確保する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 汀線方向の地震荷重により、曲げ・せん断破壊し、鋼製遮水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、鋼製遮水壁や止水目地の変位を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭がおおむね弾性範囲であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、鋼管杭が損傷し、鋼製遮水壁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。ただし、施設の重要性に鑑み、機能維持のための自主的な配慮を行う。 	—
	<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、鋼製遮水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"> 汀線方向の検討を行い、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、鋼製遮水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。 	○
鋼管杭 (短杭)	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に頂部はりとの接触により、想定以上の荷重が発生し、杭が損傷し、鋼製遮水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"> 鋼管杭(短杭)と頂部はりとの間には100mmの離隔を有することとし、地震時においても接触しないよう配慮する。 	—

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時はすべての事象を想定。

※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. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(2/6)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定 ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼製遮水壁	• 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し, 遮水性を喪失する。	①, ②	• 許容応力度以下であることを確認する。	○
	• 地震又は津波荷重により, 鋼管杭への取り付け部に応力が集中し, 取り付け部が破損し, 鋼製遮水壁が損傷するか, 位置を保持できなくなり, 遮水性を喪失する。	①, ②	• 鋼管杭への取付部については道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編に従って, 局部的な変形を防止し, 円滑な応力の伝達を図れる設計とする。	○
	• 地震又は津波荷重により, 鋼製遮水壁の背面補強工に根入れしている部分で損傷し, 遮水性を喪失する。	①, ②	• 遮水壁は片持ちばりによる検討を実施し, 2辺固定の場合でも十分余裕がある設計とする。	—
	• 津波時の漂流物荷重により, 鋼製遮水壁が損傷し, 遮水性を喪失する。	②	• 漂流物荷重による鋼製遮水壁の発生応力度が許容応力度以下であることを確認する。	○
	• 竜巻の風荷重や飛来物荷重により, 鋼製遮水壁が損傷する, あるいは止水目地を支持できなくなり, 遮水性を喪失する。	—	• 万一, 竜巻及びその随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。ただし, 施設の重要性に鑑み, 機能維持のための自主的な配慮を行う。	—

※1: ①地震時, ②津波時, なお津波+余震時はすべての事象を想定。

※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. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(3/6)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
止水目地 (支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時の汀線直交方向の杭変位量のばらつきにより, 目地の許容変位量を超える変形が生じ, 遮水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び基準並びに必要な応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 【杭間の相対変位の考え方】 杭間の変位量は, 盛土・旧表土の地盤改良により変更になるため, 今後の設計により確認していく。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に, 汀線方向圧縮側の変形により遮水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 杭間の変位量は, 盛土・旧表土の地盤改良により変更になるため, 今後の設計により確認していく。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物が目地に衝突し, 目地が破損若しくは変形に追従できず, 遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地の幅を十分に小さくし, 遮水壁よりも海側には設置しないことにより, 漂流物が直接止水目地に衝突しない設計とする。 鋼材に漂流物が衝突することにより止水目地が損傷しないことを確認するため, 鋼材の変形を確認して止水目地に影響がないことを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物荷重により鋼管杭の回転が生じ, 目地・目地金物が破損若しくは変形に追従できず, 遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物荷重を考慮した場合の杭の回転について荷重と抵抗を確認し, 回転しないことを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻の風荷重や飛来物荷重により, 止水目地が損傷し, 遮水性を喪失する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 万一, 竜巻及びその随件事象により損傷した場合には, 津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。ただし, 施設の重要性に鑑み, 機能維持のための自主的な配慮を行う。 	—

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時はすべての事象を想定。

※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. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(4/6)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

地盤の名称	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
背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、背面補強工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、鋼製遮水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"> 鋼管杭の変形を抑制するため、背面補強工がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認する。※3 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、背面補強工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"> 背面補強工内に鋼管杭を横断する水みちが形成されて有意な漏えいを生じないため、背面補強工がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認する。※3 	
	<ul style="list-style-type: none"> 施工時の乾燥収縮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"> 遮水性の観点から適切に補修を行い、水みちが形成されないよう配慮する。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 地震により背面補強工間目地及び地盤との目開きが発生し、遮水を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤の縦断方向に連なる構造であるため、背面補強工間目地が目開きしたとしても、その目開き量は僅かであり、また、目開きする側と反対側は閉じる挙動となるが、海側から敷地側まで貫通するような目開きは生じない設計とする。 背面補強工の形状により、遮水性に配慮する。 	—
置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、置換コンクリート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、鋼製遮水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, ②	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制するため、置換コンクリートがすべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認する。※3 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。 改良地盤の施工上の配慮については、補足説明資料7. に示す。 置換コンクリートの施工上の配慮については、補足説明資料10. に示す。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、置換コンクリート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、置換コンクリート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, なお津波+余震時はすべての事象を想定。

※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(—)。

※3: 地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う。

7. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(5/6)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 地盤の変状により要求機能を喪失する事象を抽出した。

地盤の名称	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, 鋼製遮水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, 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。 改良地盤の施工上の配慮については, 補足説明資料7. に示す。 	○
	<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。 			
	<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, 杭が鋼製遮水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"> 取水路からの漏水により改良地盤が洗堀され, 難透水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 取水路は, 基準地震動に対して安全性を確保している。 構造目地には止水ジョイントを設置して漏水を防止している。 コンクリートの劣化, ひび割れ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。 なお, 防潮堤を横断する構造物の取扱いについて, 補足説明資料4に示す。 	—

※1: ①地震時, ②津波時, なお津波+余震時はすべての事象を想定。

※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. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(6/6)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 地盤の変状により要求機能を喪失する事象を抽出した。

地盤の名称	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
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に, セメント改良土がせん断破壊し, 背面補強工の横抵抗を喪失し, 杭の変形量が大きくなり, 鋼製遮水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, ②	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制するため, セメント改良土がすべり破壊しないことを(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, セメント改良土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, セメント改良土がせん断破壊し, 津波荷重を岩盤に伝達できなくなる。 			
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, 杭が鋼製遮水壁を支持できなくなることで, 鋼製遮水壁の遮水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> すべり安全率が許容値以上であることを確認する。(3条で確認)。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に鋼管杭に伝わる荷重により岩盤又は改良地盤が破壊し, 鉛直支持機能を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 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, なお津波+余震時はすべての事象を想定。

※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. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.3.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)における, 各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
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, 鋼製遮水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"> 許容応力度以下であることを確認する。 	○
鋼製遮水壁 RC遮水壁	<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"> 許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 杭の平面位置が曲線となる区間において, 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"> 許容応力度以下であることを確認する。 曲部の影響が出ないように直線部と同様の設計とする。 	○

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)における, 地盤の変状により要求機能を喪失する事象を抽出した。

地盤の名称	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"> 地震荷重により, 周辺岩盤が受働崩壊, すべり破壊等を生じ, 杭の受働抵抗を喪失し, 杭の変形量が大きくなり, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 鋼製遮水壁の遮水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制するため, 岩盤がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認する。 	○
	<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, 杭の変形量が大きくなり, 杭を支持できなくなり, 鋼製遮水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"> 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, なお津波+余震時はすべての事象を想定。

※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(ー)。

7. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.3.3 盛土堤防(1/2)

- 盛土堤防における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重によりすべり破壊し、堤体高さが維持できなくなり、難透水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 堤体内部に想定したすべり線に対して、すべり線上の応力状態を考慮したすべり安全率が妥当な安全裕度を有していることを確認する。 	○
	<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。 	②	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を横断する水みちが形成されて有意な漏えいを生じないために、堤体内部にすべり破壊が生じないこと(内的安定を保持)を確認する。※3 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波によりセメント改良土が洗掘され、難透水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土は、津波時の洗掘・侵食に対して十分な耐性をもつことを確認する(補足説明資料3に詳細を記載)。 	—
置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、置換コンクリート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。 	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、置換コンクリート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、置換コンクリート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, なお津波+余震時はすべての事象を想定。

※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(—)。

※3: 地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う。

7. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.3.3 盛土堤防(2/2)

- 盛土堤防における、地盤の変状により要求機能を喪失する事象を抽出した。

地盤の名称	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。 	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岩盤、置換コンクリート、改良地盤がすべり破壊し、安定性を喪失して防潮堤の高さを維持できなくなり、セメント改良土の難透水性を喪失する。 	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"> 地震時に盛土堤防に伝わる荷重により改良地盤が破壊し、鉛直支持機能を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 極限支持力以下であることを確認する。 	○
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により岩盤、置換コンクリート、改良地盤がすべり破壊し、安定性を喪失して防潮堤の高さを維持できなくなり、セメント改良土の難透水性を喪失する。 	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"> 地震時に盛土堤防に伝わる荷重により岩盤及び改良地盤が破壊し、鉛直支持機能を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 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, なお津波+余震時はすべての事象を想定。

※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(ー)。

7. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.3.4 境界部(1/2)

- 境界部における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼管式鉛直壁(岩盤部)と端部地山の境界部 (南側取付部)	地震により地山が崩壊して、鋼管杭に衝突し、鋼管式鉛直壁(岩盤部)と端部地山との境界部での遮水性を喪失する。	①	緩やかな丘状であり、崩壊するような斜面ではないと考えているが、鋼管杭の地上部はRC遮水壁(コンクリート)で保護する配慮をする。	—
	地震又は津波荷重により地山が崩壊して、高さが維持できなくなり、鋼管式鉛直壁(岩盤部)と端部地山との境界部での遮水性を喪失する。	①, ②	入力津波高さよりも高い位置にあり、入力津波の防護に対しては影響ない設計とする。	—
鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防の境界部 (杭-盛土接合部)	地震又は津波荷重により盛土堤防のすべり等が生じ、鋼管杭及び鋼製遮水壁に荷重が作用し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、鋼製遮水壁の遮水性を喪失する。	①, ②	盛土堤防のラップ部を考慮した検討により、盛土の荷重を考慮した上で、鋼管式鉛直壁(一般部)と同様に各部位の健全性を確認する。	○
	地震時に、盛土堤防が鋼管式鉛直壁側にすべり、鋼製遮水壁に損傷が生じ、鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防の境界部での遮水性を喪失する。	①	堤体内部に想定したすべり線に対して、すべり線上の応力状態を考慮したすべり安全率が妥当な安全裕度を有していることを確認する。	○
	地震又は津波荷重により鋼管杭と盛土堤防の間に、相対変位が生じ、水みちとなり、鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防の境界部での遮水性を喪失する。	①, ②	鋼製遮水壁と盛土堤防の境界面には十分なラップ長を確保したうえで、さらに可撓性目地シール材(ケーソンシール)を施工することで遮水性に配慮する。	—
盛土堤防と端部地山の境界部 (北側取付部)	地震により地山が崩壊して、高さが維持できなくなり、盛土堤防と端部地山の境界部での遮水性を喪失する。	①	盛土堤防の代表断面は、静的震度を用いた分割法を実施して地山斜面も含めて選定し、代表断面の安定性を確認することにより地山斜面の安定性についても確認する。	—
	津波により地山が洗掘され、高さが維持できなくなり、盛土堤防と端部地山の境界部での遮水性を喪失する。	②	岩盤斜面とし洗掘されない設計とする。	—

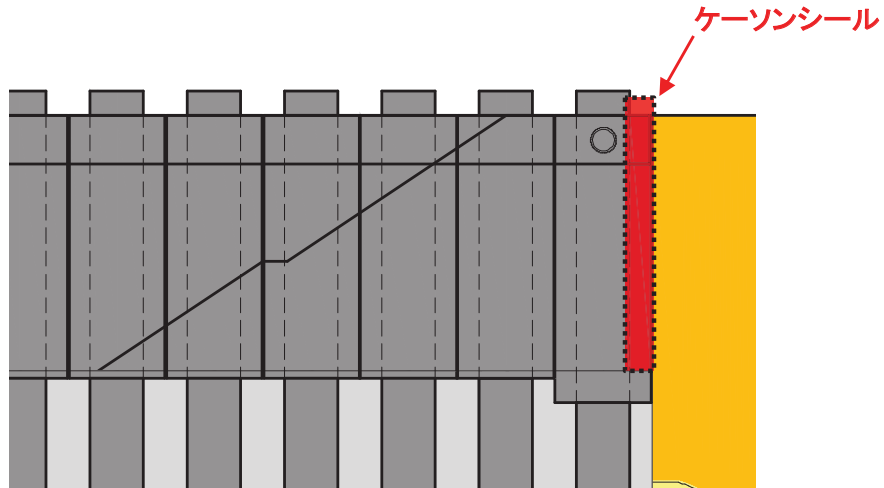
※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時はすべての事象を想定。

※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. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

7.3.4 境界部(2/2)

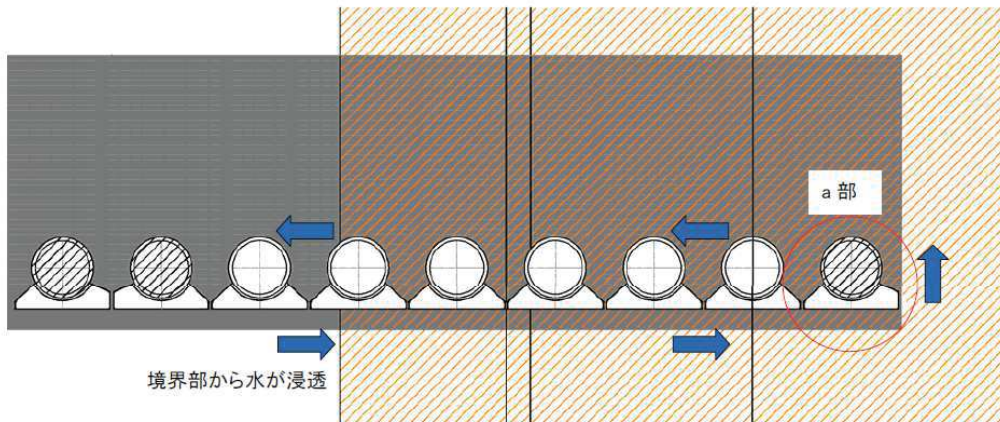
- 鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防の境界部に, 遮水性確保の配慮として可撓性目地シール材(ケーソンシール)を設置する。



縦断面図

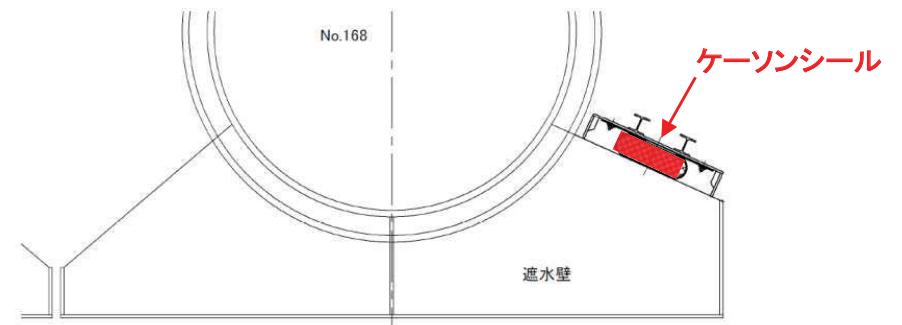


可撓性目地シール材(ケーソンシール)



平面図

※:斜線表記の鋼管杭は長杭を示す。



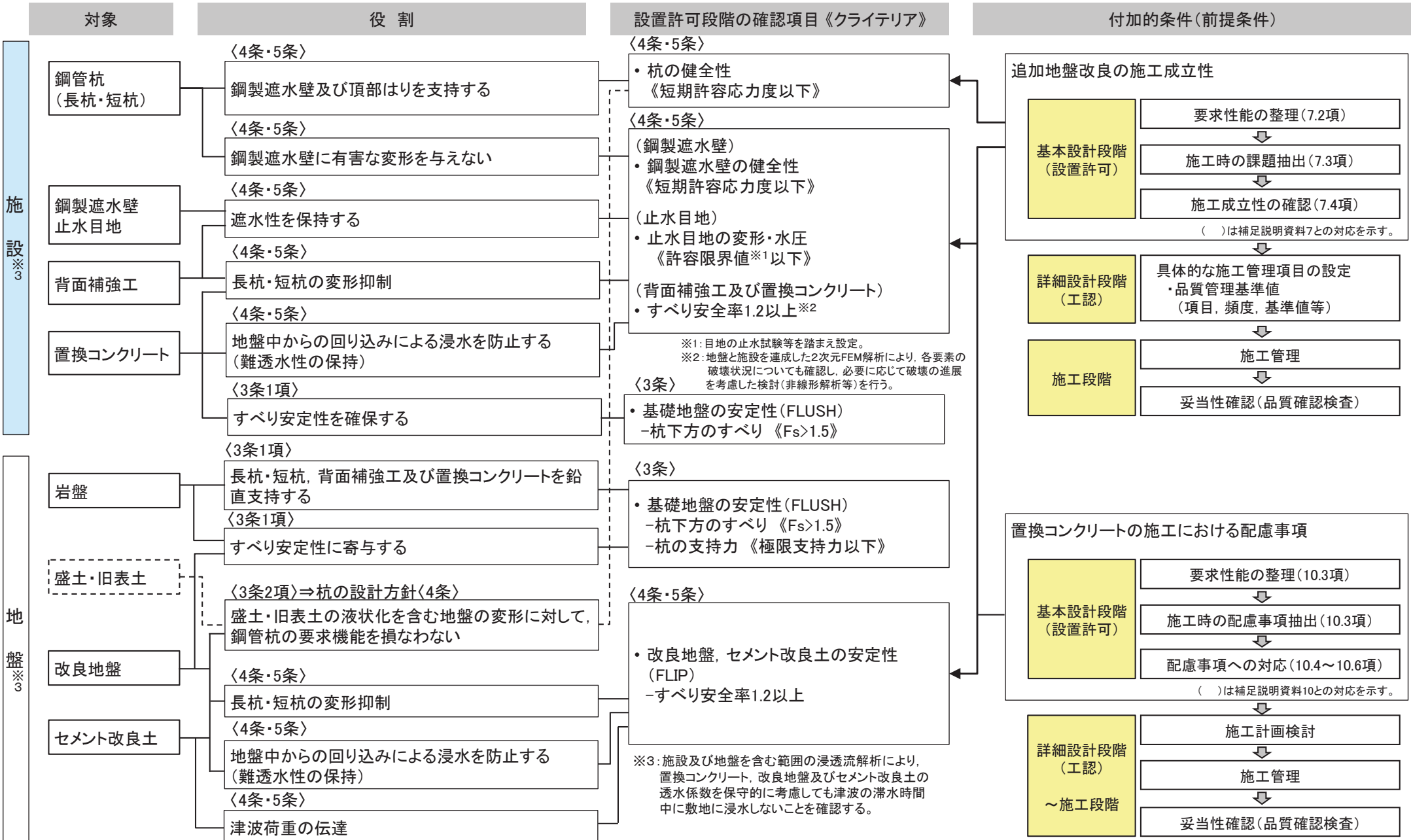
a部詳細図

8. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

8. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

8.1.1 設置許可段階における確認項目（鋼管式鉛直壁（一般部））

- 鋼管式鉛直壁（一般部）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9.1.1及び9.2.1を参照）



8. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

8.1.2 設置許可段階における確認項目（鋼管式鉛直壁（岩盤部））

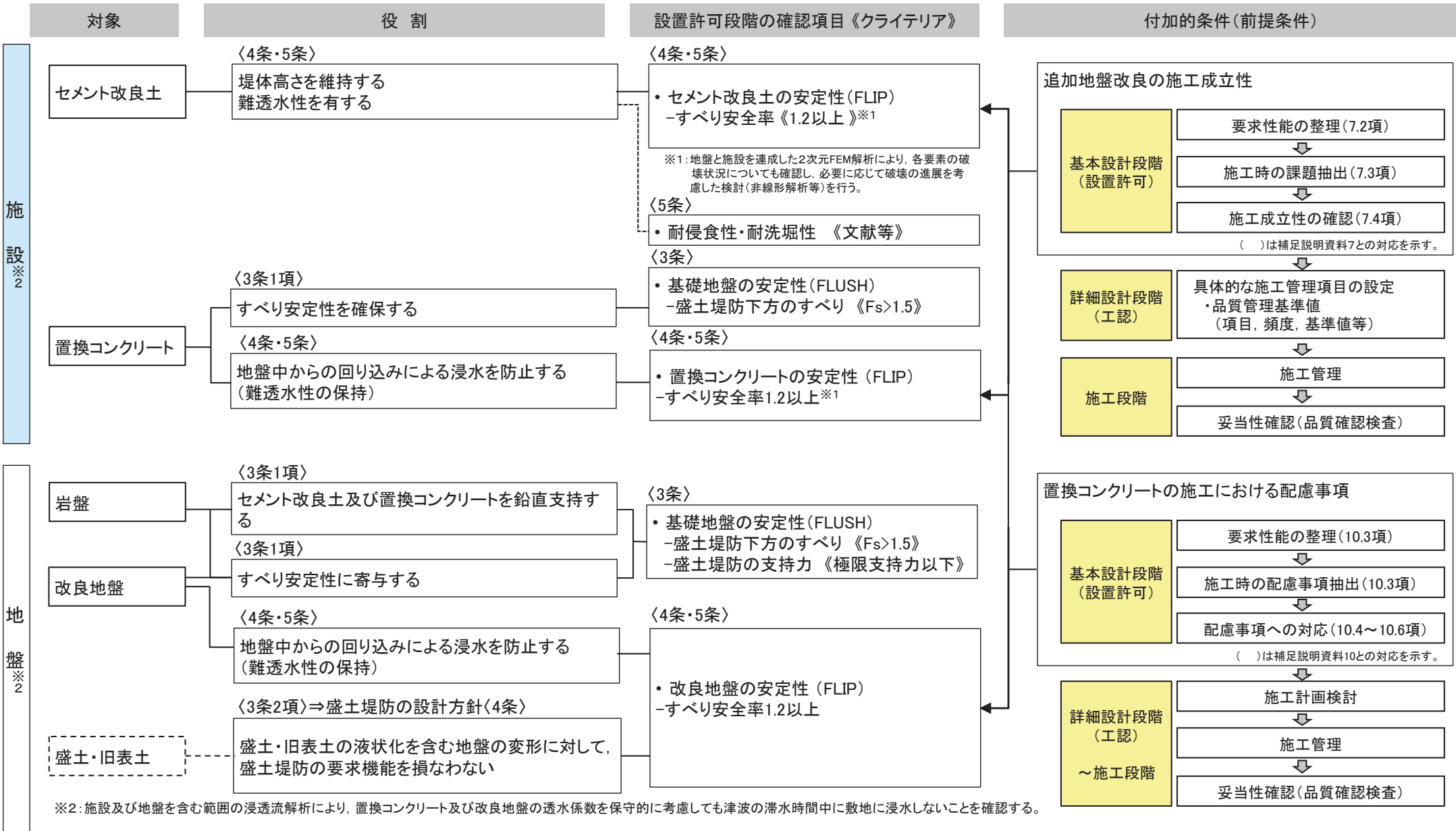
- 鋼管式鉛直壁（岩盤部）における設置許可段階の確認項目を示す。
（規則第3条に対する地盤の確認項目を含む。規則第4, 5条に対する設計内容は9.1.2及び9.2.2を参照）

対象	役割	設置許可段階の確認項目《クライテリア》	付加的条件(前提条件)
施設	鋼管杭	〈4条・5条〉 鋼製遮水壁を支持する	〈4条・5条〉 ・杭の健全性 《短期許容応力度以下》
		〈4条・5条〉 鋼製遮水壁に有害な変形を与えない	〈4条・5条〉 (鋼製遮水壁) ・鋼製遮水壁の健全性 《短期許容応力度以下》
	鋼製遮水壁 RC遮水壁 止水目地	〈4条・5条〉 遮水性を保持する	(止水目地) ・止水目地の変形・水圧 《許容限界値※1以下》 <small>※1: 目地の止水試験等を踏まえ設定。</small>
地盤	岩盤	〈3条1項〉 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	〈3条〉 ・基礎地盤の安定性(FLUSH) -杭下方のすべり 《 $F_s > 1.5$ 》 -杭の支持力 《極限支持力以下》

8. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

8.1.3 設置許可段階における確認項目（盛土堤防）

- 盛土堤防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9.1.3及び9.2.3を参照）



8. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

8.2 構造成立性評価の方針

- 防潮堤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Ss及び基準津波による荷重等に対して、防潮堤の施設としての構造部材である鋼管杭・鋼製遮水壁・止水目地（鋼管式鉛直壁）及び盛土堤防が十分な裕度があること、補強により対策可能であること等を確認する。
- なお、詳細設計時に万一裕度が確保できなくなった場合には、追加の裕度向上対策（置換コンクリート幅の拡大、背面補強工のかさ上げ等）の実施により対応する。

要求性能、許容限界値の設定

設計方針（基本方針）の設定

部位毎の設計方針の設定
・鋼管式鉛直壁（一般部）
・盛土堤防

構造成立性評価断面の選定

構造成立性評価地震波の選定

耐震評価（地震時）

耐津波評価
（津波時，津波＋余震時）

・荷重増分要因に対し十分な裕度があること、
補強により対策可能であること等※1

防潮堤の構造成立性の確認※4

※1：鋼管式鉛直壁（一般部）の構造成立性見直し確認方針※2

現状構造での安全率評価	裕度向上対策による安全率評価	詳細設計時の荷重増分要因による安全率評価	構造成立性見直しの確認
第589回審査会合で提示した、 <u>頂部はり</u> 「有」における構造成立性評価結果	地震・津波・重畳（津波＋余震）時共通 頂部はりを撤去した場合の安全率	・漂流物荷重 ・物性ばらつき ・水平2方向 等※3	詳細設計時の荷重増分要因を考慮した場合における裕度の確認
	津波時 津波荷重の現実的評価		

※2：止水性については、施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、置換コンクリート、改良地盤及びセメント改良土の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。

※3：この他の荷重増分要因として地下水位の変動や盛土・旧表土の液状化に伴う変状の影響等が考えられることから詳細設計時に影響を確認。

※4：上記の整理により、今後の工認段階における詳細設計内容を踏まえても構造成立性が確保されることを確認。

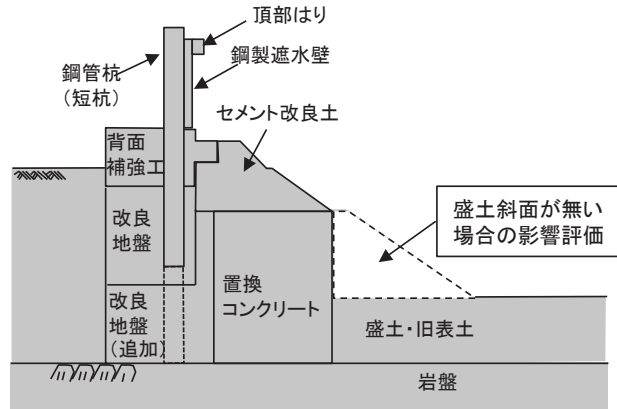
防潮堤の構造成立性評価の流れ

8. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

8.3 設置許可段階での提示内容 (1/4)

- 設置許可段階と工認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)	工認段階※	本資料の説明範囲
対象断面	構造成立性 (4条, 5条)	<p>[鋼管式鉛直壁(一般部)]</p> <ul style="list-style-type: none"> 改良地盤の層厚が大きく、鋼管杭(長杭)の長さが最大となり、当該構造区間における応答が相対的に大きいと考えられる断面(1断面)を構造成立性評価断面として選定。 <p>[盛土堤防]</p> <ul style="list-style-type: none"> 改良地盤及びセメント改良土の層厚が大きく、当該構造区間における応答が相対的に大きいと考えられる断面(1断面)を構造成立性評価断面として選定。 	<ul style="list-style-type: none"> 構造成立性評価断面以外に、一次元地震応答解析結果等を参照し、必要に応じて検討対象断面を追加。 鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防部の境界部の断面を追加。 改良地盤を介してSF-2断層と接していることから、断層の変形による影響を検討。 役割を期待しない盛土・旧表土については、その形状を適切にモデル化し、試験等で得られた物性値に基づく有効応力解析により挙動を評価することを基本とするが、変形・損傷によって施設の評価に影響する可能性を考慮して、必要に応じて断面形状等を変化させた検討を行う。 <p>[鋼管式鉛直壁(一般部)]</p> <p>一防潮堤海側の盛土斜面は、液状化に伴う流動で斜面形状が変化し、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、盛土斜面が変状した場合の施設への影響を保守的に検討するため、盛土斜面が無い場合の影響を評価する(イメージを左図に示す)。</p> <p>※: 斜面の変状を考慮した津波波圧への影響検討は「耐津波設計方針」にて説明。</p>	○
	地盤安定性 (3条)	<p>[鋼管式鉛直壁(一般部)・盛土堤防]</p> <ul style="list-style-type: none"> 照査項目であるすべり安全率が、地質状況等から最も小さくなると考えられる断面を代表断面(各1断面)として選定。 	—	— (基礎地盤の安定性評価にて説明予定)



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

8. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

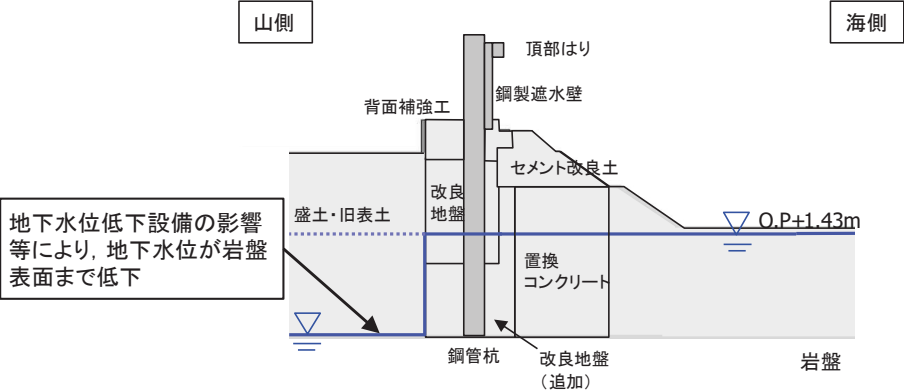
8.3 設置許可段階での提示内容 (2/4)

- 設置許可段階と工認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)	工認段階	本資料の説明範囲
対象地震波	構造成立性 (4条, 5条)	<ul style="list-style-type: none"> 構造物への影響が大きい地震波(2波)を構造成立性評価地震波として選定。 	<ul style="list-style-type: none"> 全基準地震動 7波 	○
	地盤安定性 (3条)	<ul style="list-style-type: none"> 全基準地震動 7波 	—	— (基礎地盤の安定性評価にて説明予定)
解析方法		<p>[鋼管式鉛直壁(一般部)]</p> <ul style="list-style-type: none"> 「9. 部位ごとの設計方針」を基本とし, 8.2項に示すフローにより, 構造成立性を確認する。 対策工(地盤改良)実施により沈下しない構造となり, 縦断方向の不連続な挙動が解消される。 対策工実施前に想定していた「特に留意すべき損傷モード①②(平成30年1月18日審査会合資料)」について, 対策工実施後は3次元的な挙動の影響は小さくなることから, 横断方向の二次元解析にて成立性を確認していく。 津波時の解析は, 保守的にS_s直後の応力状態及び過剰間隙水圧上昇による地盤の剛性低下を考慮した解析を行う。 背面補強工及び置換コンクリートの照査について, すべり安全率1.2以上であることを確認する。 <p>[鋼管式鉛直壁(岩盤部)]</p> <ul style="list-style-type: none"> 構造成立性評価は一般部で代表させることとする。 <p>[盛土堤防]</p> <ul style="list-style-type: none"> 「9. 部位ごとの設計方針」による。 盛土堤防について, すべり安全率1.2以上であることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 「9. 部位ごとの設計方針」による。 津波時の解析は, S_sによる応力状態及び過剰間隙水圧の上昇による地盤の剛性低下を考慮した評価, 及びS_sによる地盤の剛性低下を考慮しない評価(S_sを載荷せずに直接津波荷重を作用)を検討する。 施設の照査について, すべり安全率1.2以上であることを確認するとともに, 各要素の破壊状況についても確認し, 必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う。 必要に応じて, より精緻な解析を実施する。 	○

8. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針
 8.3 設置許可段階での提示内容 (3/4)

- 設置許可段階と工認段階における解析条件を整理した。

	設置許可段階(設計方針と見通し)		工認段階	本資料の説明範囲
地下水位	一般部	(海側) 朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)として設定 (山側) 同上	<ul style="list-style-type: none"> 三次元浸透流解析の結果を踏まえ保守性を確認の上, 設定する。 地下水位低下設備の影響等により, 山側の地下水位が岩盤表面まで低下して, 防潮堤前後での水位差が大きくなった場合の影響を検討する。(イメージを下図に示す) 	○
	岩盤部	(海側) 地表面に設定 (山側) 同上		○
	盛土堤防	(海側) 朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)として設定 (山側) 地表面(盛土堤防内部はO.P.+13.8m)に設定		○
液状化 (液状化 強度特性)	[盛土]	<ul style="list-style-type: none"> 全試験データの下限值を採用 	<ul style="list-style-type: none"> 全応力解析及び有効応力解析による地震応答解析等を実施し, 液状化の有無のいずれが保守的となるかを確認する。その上で, 保守的となる解析を基本ケースとする。 有効応力解析で用いる液状化強度特性は, 設置許可段階の設定を基本とする。 なお, 盛土については, 防潮堤近傍において液状化強度試験の追加実施を検討し, 信頼性のある試験結果が得られた場合において, 液状化強度特性を見直すこととする。 	○
	[旧表土]	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤近傍の全試験データの下限值を採用 		

8. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

8.3 設置許可段階での提示内容 (4/4)

- 設置許可段階と工認段階における解析条件を整理した。

	設置許可段階(設計方針と見通し)	工認段階	本資料の説明範囲
地盤物性のばらつき	<p>各断面で解析用物性値(基本物性)に基づいた評価を行い、工認段階の荷重増分要因である地盤物性のばらつきを考慮しても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>[鋼管式鉛直壁(一般部)] (剛性) 解析用物性値 (強度) 解析用物性値</p> <p>[鋼管式鉛直壁(岩盤部)] (剛性) 解析用物性値 (強度) 解析用物性値</p> <p>[盛土堤防] (剛性) 解析用物性値 (強度) 解析用物性値</p>	<p>各断面で地盤物性のばらつきを考慮した評価を行う。地盤物性のばらつき設定ケースは以下を基本とし、基本物性における各部位の評価結果や裕度等を踏まえて具体的な解析実施ケースを検討する。</p> <p>[鋼管式鉛直壁(一般部)] (剛性) 解析用物性値, $\pm 1\sigma$※¹ (強度) 解析用物性値, -1σ※²</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭, 鋼製遮水壁及び止水目地については, 地盤の土圧による影響が支配的となることから, 盛土・旧表土, D級岩盤, 改良地盤及びセメント改良土の初期剛性のばらつき($\pm 1\sigma$)を考慮する。 改良地盤及びセメント改良土については, すべり安全率による照査を行うことから, 強度のばらつき(-1σ)による影響を確認する。 <p>[鋼管式鉛直壁(岩盤部)] (剛性) 解析用物性値, $\pm 1\sigma$ (強度) 解析用物性値</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭, 鋼製遮水壁, RC遮水壁及び止水目地については, 岩盤の変形による影響が支配的となることから, C₁級以上の岩盤の動せん断弾性係数のばらつき($\pm 1\sigma$)を考慮する。 <p>[盛土堤防] (剛性) 解析用物性値※¹ (強度) 解析用物性値, -1σ※²</p> <ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び改良地盤については, すべり安全率による照査を行うことから, 強度のばらつき(-1σ)を考慮する。 	○

※1: 背面補強工及び置換コンクリートは, 鋼管式鉛直壁(一般部)及び盛土堤防の地震時応答に支配的でないこと, 土中は湿潤状態で乾燥収縮によるひび割れの影響が小さいことから, 剛性のばらつき($\pm 1\sigma$)は考慮しない。

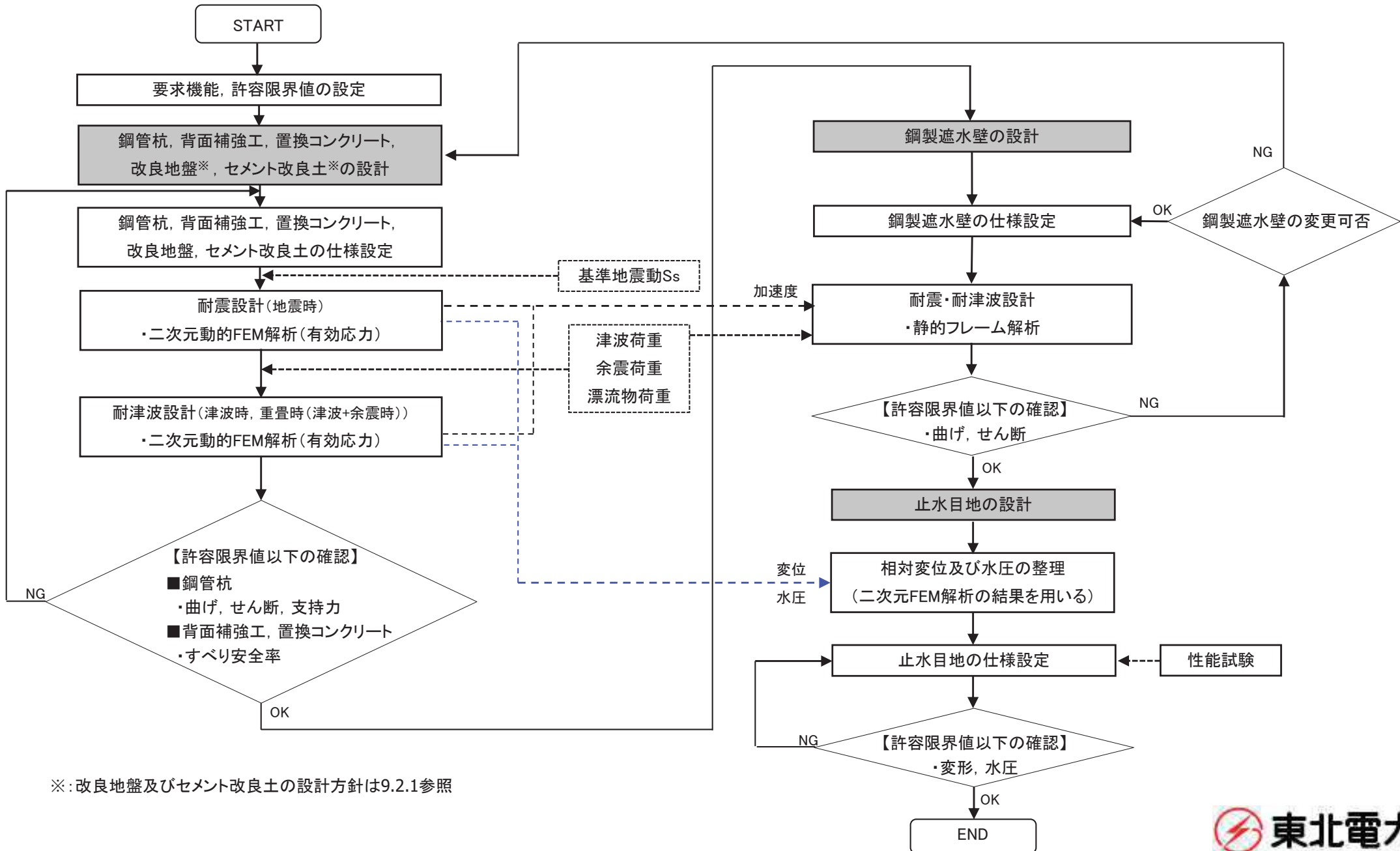
※2: 背面補強工及び置換コンクリートは, 解析用物性値以上の強度を確保する配合設計・品質管理を行うことから, 強度のばらつき(-1σ)は考慮しない。

9. 部位ごとの設計方針

9. 部位ごとの設計方針

9.1.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計フロー(1/2)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計フローを以下に示す。

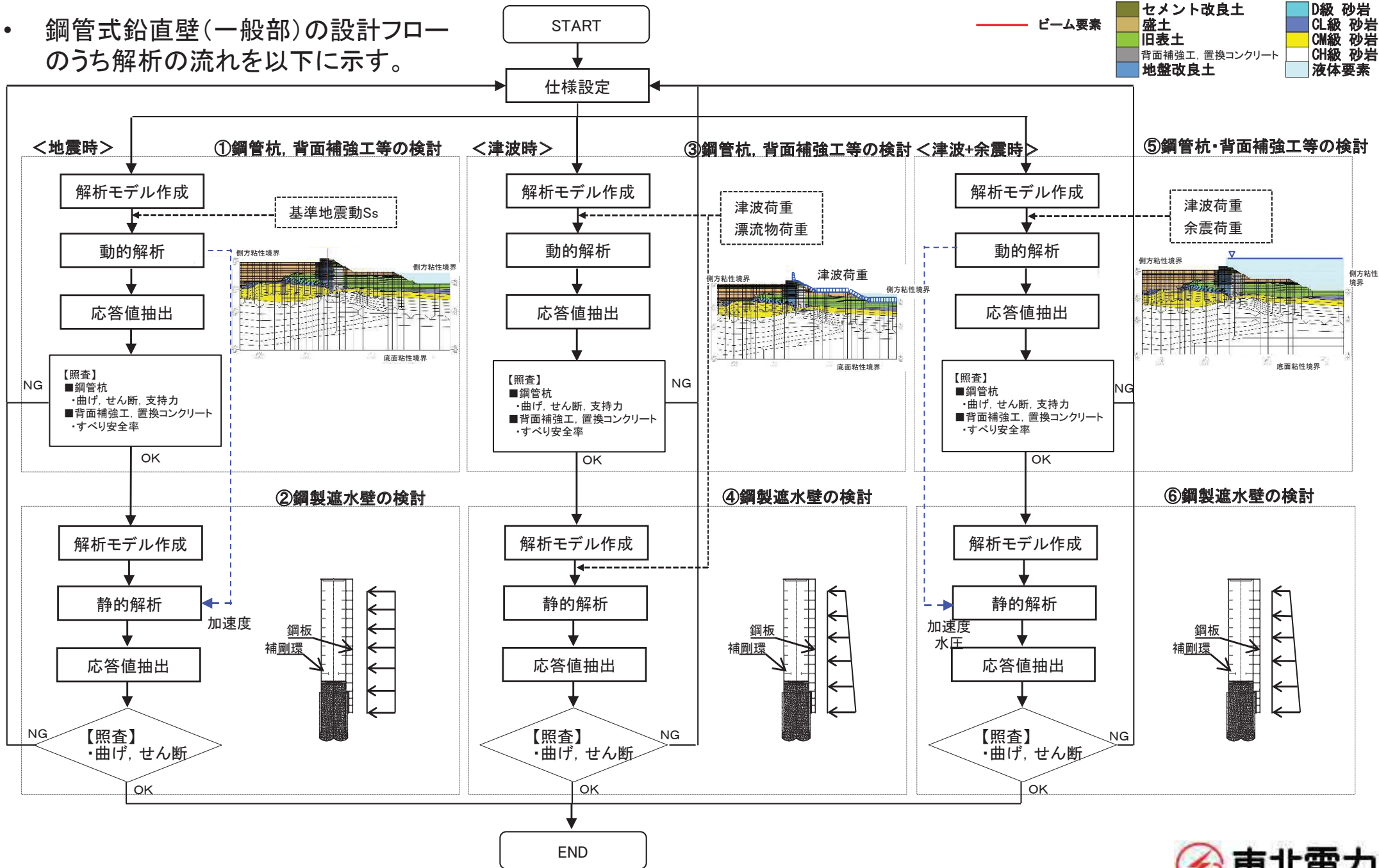


※:改良地盤及びセメント改良土の設計方針は9.2.1参照

9. 部位ごとの設計方針

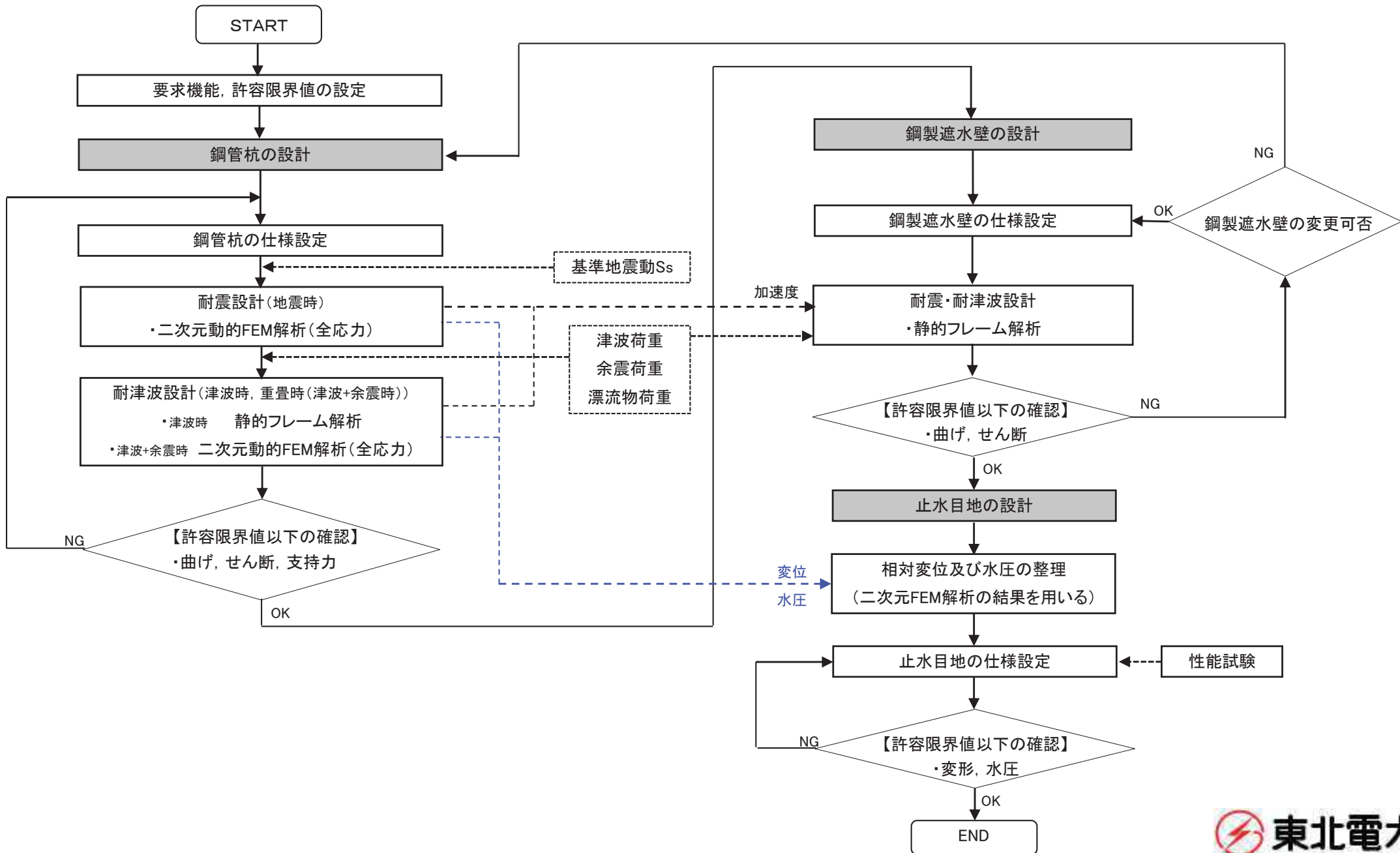
9.1.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計フロー(2/2)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



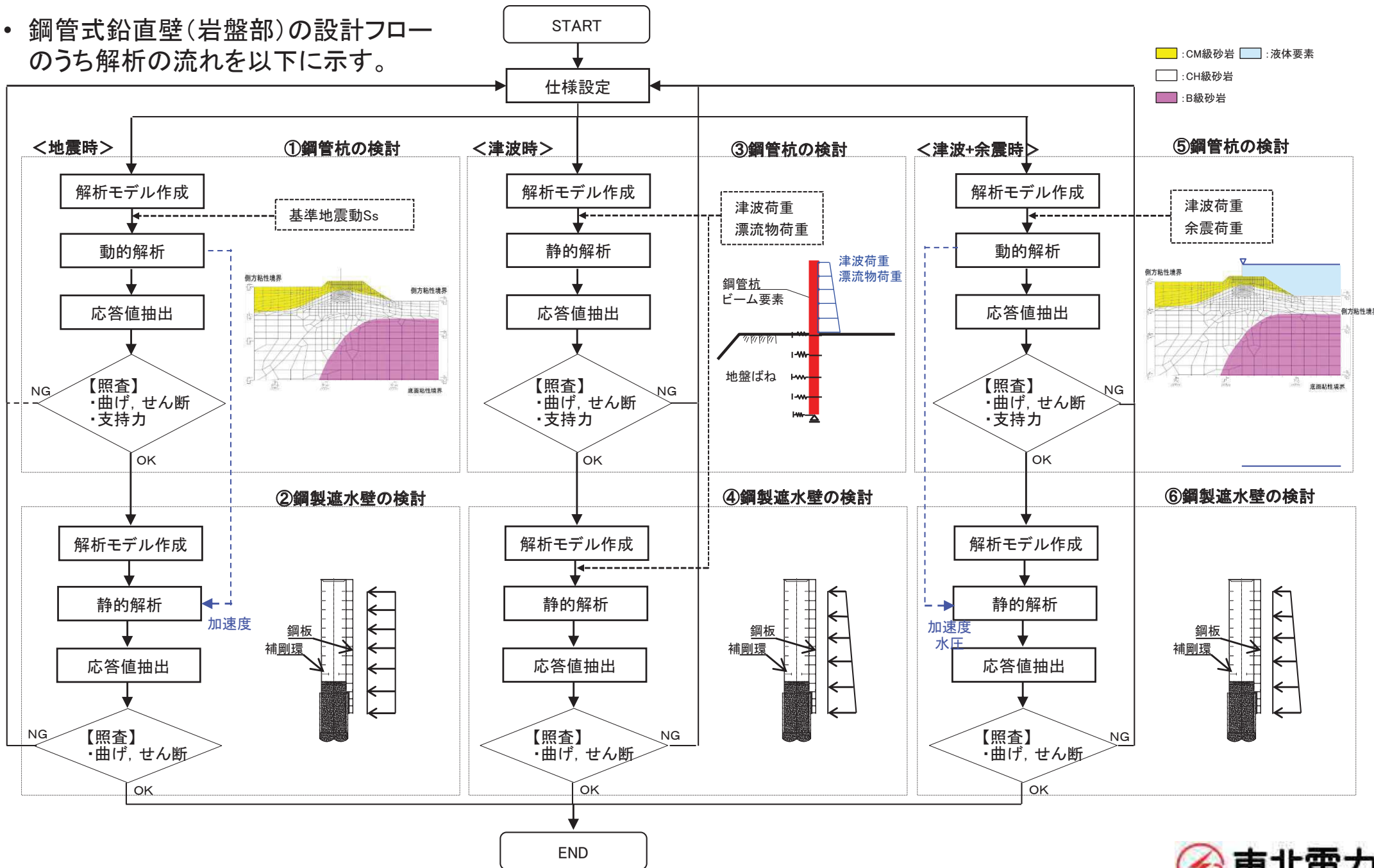
9.1.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計フロー(1/2)

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計フローを以下に示す。



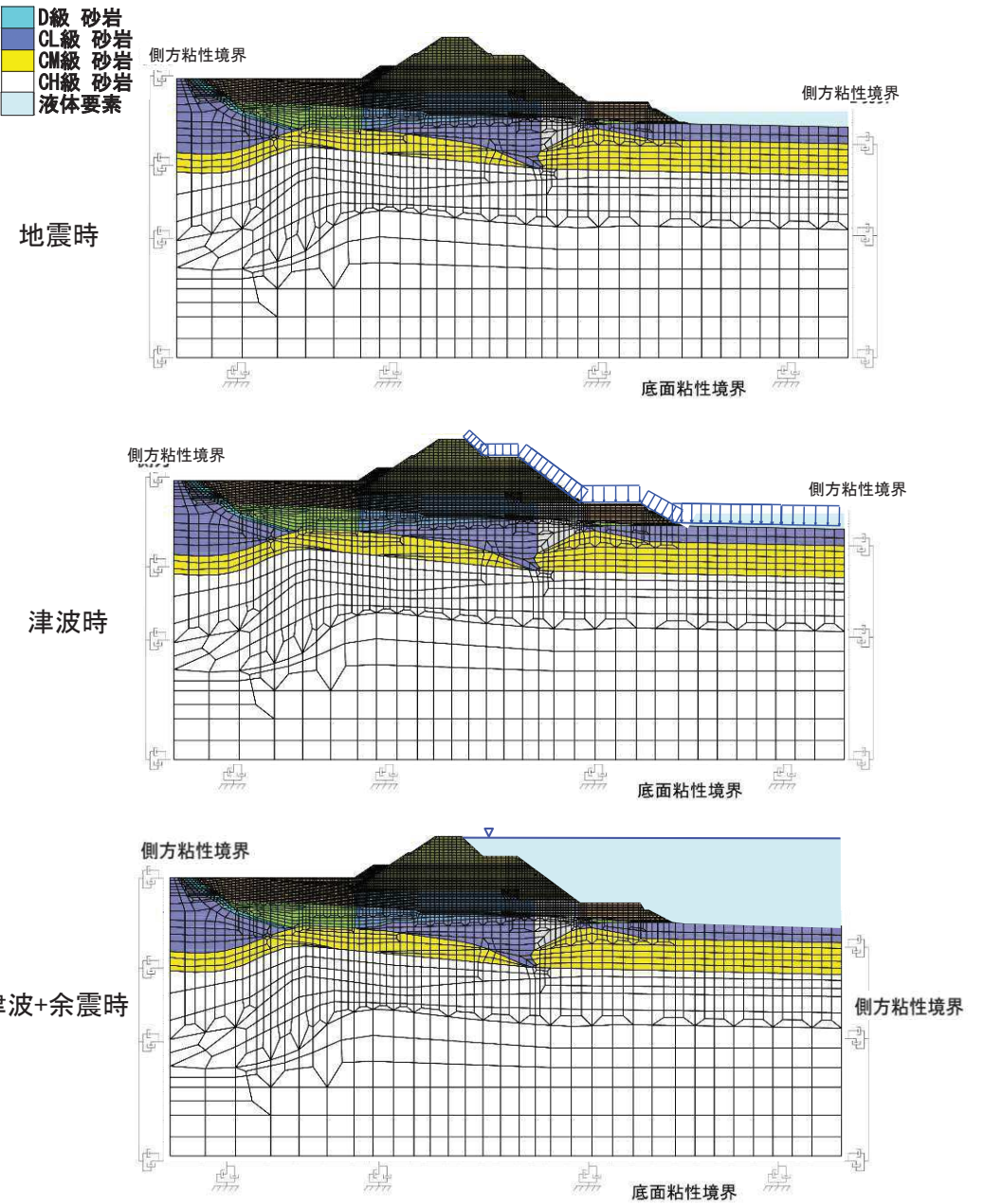
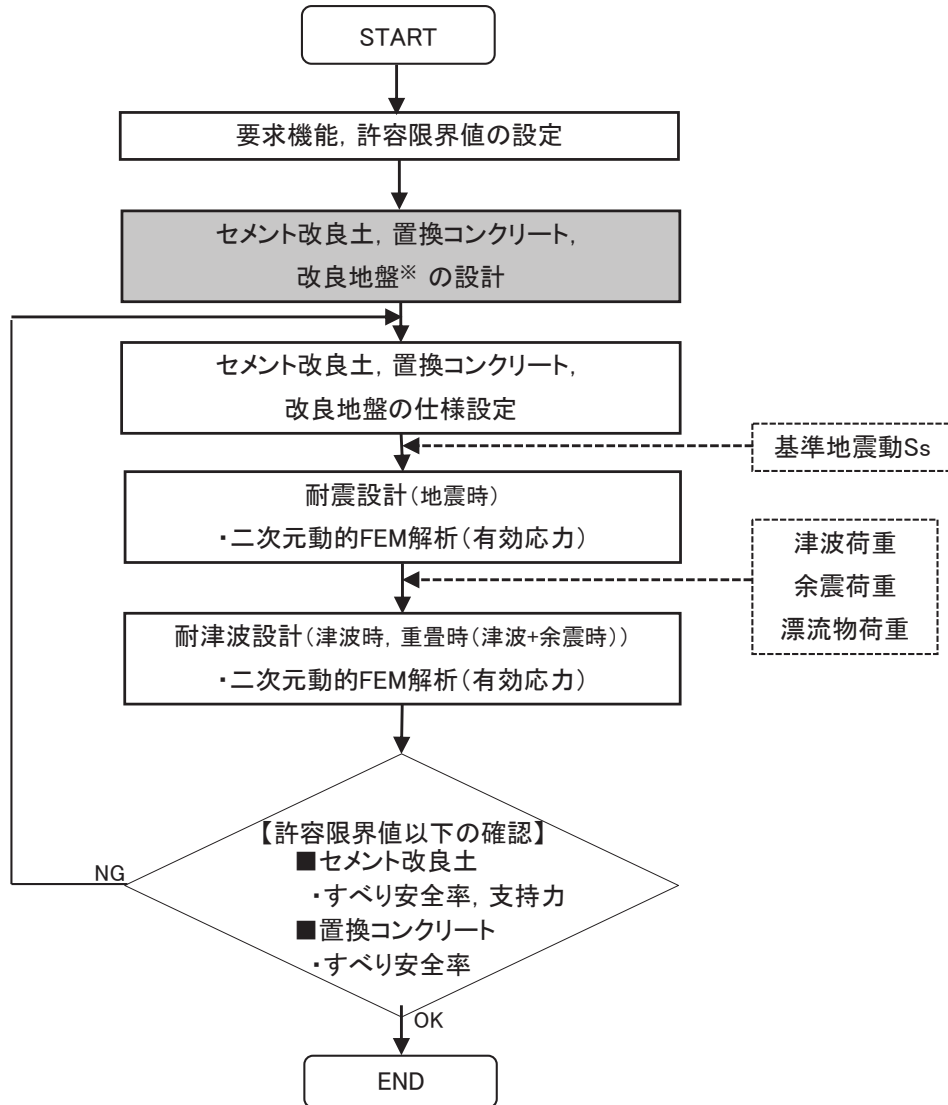
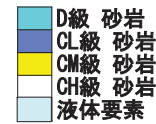
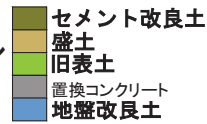
9.1.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計フロー(2/2)

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



9.1.3 盛土堤防の設計フロー

- 盛土堤防の設計フロー及び解析モデルのイメージを以下に示す。



盛土堤防 解析モデル図

※: 改良地盤の設計方針は9.2.3参照

9. 部位ごとの設計方針

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計方針の概要(1/6) (鋼管杭(長杭・短杭))

鋼管杭(長杭・短杭)の役割と設計方針概要

- 地震時, 津波時, 重畳時(津波+余震時)の荷重に対して損傷せず, 鋼製遮水壁の支持機能を保持する。
- 地盤と施設を連成した2次元FEM解析により, 杭の断面力を照査する。
- 2次元FEM解析に当たっては, 地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し, 有効応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭 (長杭・短杭)	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	曲げ せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅳ下部構造編)
	津波時		曲げ せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅳ下部構造編)
	重畳時 (津波+余震時)		曲げ せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅳ下部構造編)

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計方針の概要(2/6) (鋼製遮水壁)

鋼製遮水壁の役割と設計方針概要

- 地震時, 津波時, 重畳時(津波+余震時)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。
- 地盤と施設を連成した2次元FEM解析の結果の内, 加速度と津波荷重を用いて, 静的フレーム解析を実施して, 鋼製遮水壁を照査する。
- 設置許可段階における構造成立性評価においては, 保守性を考慮した上で簡易的な評価を行うが, 工認段階では必要に応じて精緻な解析を実施する。

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
鋼製遮水壁	地震時	静的フレーム解析	曲げ, せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編・Ⅳ 下部構造編)
	津波時				
	重畳時 (津波+余震時)				

9. 部位ごとの設計方針

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計方針の概要(3/6) (止水目地)

止水目地の役割と設計方針概要

- 止水目地は、鋼製遮水壁間の変位に追従し、損傷せず津波時の遮水性を保持する。
- 地盤と施設を連成した2次元FEM解析の結果の内、変形及び水圧を抽出して、止水目地の照査を実施する。
- 2次元FEM解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
止水目地	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	変形・水圧	メーカー規格及び基準並びに必要なに応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容水圧以下とする。	
	津波時				
	重畳時 (津波+余震時)				

9. 部位ごとの設計方針

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計方針の概要(4/6) (背面補強工)

背面補強工の役割と設計方針概要

- 背面補強工は、津波時の遮水性を保持する。
- 背面補強工は、鋼管杭の変形を抑制する。
- 地盤と施設を連成した2次元FEM解析を実施する。
- 2次元FEM解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
背面補強工	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				
	重畳時 (津波+余震時)				

※:地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う。

9. 部位ごとの設計方針

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計方針の概要(5/6) (置換コンクリート)

置換コンクリートの役割と設計方針概要

- 置換コンクリートは、コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。
- 置換コンクリートは、鋼管杭の変形を抑制する。
- 置換コンクリートは、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)。
- 地盤と施設を連成した2次元FEM解析を実施する。
- 2次元FEM解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、当該部位の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。

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
置換 コンクリート	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析), 2次元浸透流解析	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				
	重畳時 (津波+余震時)				

※:地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う。

9. 部位ごとの設計方針

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計方針の概要(6/6) (地盤)

地盤(岩盤, 改良地盤及びセメント改良土)の役割と設計方針概要

- 岩盤は鋼管杭(長杭)及び置換コンクリートを鉛直支持し, 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 改良地盤は鋼管杭(短杭)及び背面補強工を鉛直支持し, 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 改良地盤及びセメント改良土は, 鋼管杭の変形を抑制する。
- 改良地盤及びセメント改良土は, 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)。
- セメント改良土は, 津波荷重を置換コンクリート等を介して岩盤に伝達する。
- 地盤と施設を連成した2次元FEM解析を実施する。
- 2次元FEM解析に当たっては, 地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し, 有効応力解析を用いる。
- 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により, 当該部位の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。

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, 改良地盤及びセメント改良土	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析), 2次元浸透流解析	支持力※1	極限支持力以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編)
	津波時		すべり安全率※2	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
	重畳時 (津波+余震時)				

※1: 岩盤及び改良地盤。

※2: 改良地盤及びセメント改良土。

9.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計方針の概要(1/4) (鋼管杭)

鋼管杭の役割と設計方針概要

- 地震時, 津波時, 重畳時(津波+余震時)の荷重に対して損傷せず, 鋼製遮水壁の支持機能を保持する。
- 荷重伝達を評価するため, 地震時及び重畳時は地盤と施設を連成した2次元FEM解析により, 杭の断面力を照査し, 津波時はフレームモデルを用いた静的解析により, 杭の断面力を照査する。
- 2次元FEM解析に当たっては, 岩盤部の検討であり, 液状化を考慮する必要がないため, 地震時及び重畳時は全応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭	地震時	2次元動的FEM解析 (全応力解析)	曲げ, せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編・Ⅳ 下部構造編)
	津波時	静的フレーム解析			
	重畳時 (津波+余震時)	2次元動的FEM解析 (全応力解析)			

9. 部位ごとの設計方針

9.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計方針の概要(2/4) (鋼製遮水壁)

鋼製遮水壁の役割と設計方針概要

- 地震時, 津波時, 重畳時(津波+余震時)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。
- 地盤と施設を連成した2次元FEM解析の結果の内, 加速度と津波荷重を用いて, 静的フレーム解析を実施して, 鋼製遮水壁を照査する。
- 設置許可段階における構造成立性評価においては, 保守性を考慮した上で簡易的な評価を行うが, 工認段階では必要に応じて精緻な解析を実施する。

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
鋼製遮水壁	地震時	静的フレーム解析	曲げ, せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編)
	津波時				
	重畳時 (津波+余震時)				

9.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計方針の概要(3/4) (止水目地)

止水目地の役割と設計方針概要

- 止水目地は、遮水壁間の変位に追従し、損傷せず津波時の遮水性を保持する。
- 地盤と施設を連成した2次元FEM解析の結果の内、変形及び水圧を抽出して、止水目地の照査を実施する。
- 2次元FEM解析に当たっては、岩盤部の検討であり、液状化を考慮する必要がないため、地震時及び重畳時は全応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
止水目地	地震時	2次元動的FEM解析 (全応力解析)	変形・水圧	設計で用いる許容限界	適用基準
	津波時	静的フレーム解析			
	重畳時 (津波+余震時)	2次元動的FEM解析 (全応力解析)			
					メーカー規格及び基準並びに必要なに応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容水圧以下とする。

9. 部位ごとの設計方針

9.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計方針の概要(4/4) (岩盤)

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。
- 岩盤は、鋼管杭の変形を抑制する。
- 地震時及び重畳時は地盤と施設を連成した2次元FEM解析を実施する。
- 2次元FEM解析に当たっては、岩盤部の検討であり、液状化を考慮する必要がないため、地震時及び重畳時は全応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
岩盤	地震時	2次元動的FEM解析 (全応力解析)	支持力	極限支持力以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編)
	津波時	静的フレーム解析			
	重畳時 (津波+余震時)	2次元動的FEM解析 (全応力解析)			

9. 部位ごとの設計方針

9.2.3 盛土堤防 の設計方針の概要(1/3)(盛土堤防)

セメント改良土の役割と設計方針概要

- セメント改良土は、想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さを維持し、地震時、津波時、重畳時(地震+余震時)の荷重に対して損傷せず難透水性を有する。
- 地盤と施設を連成した2次元FEM解析を実施する。
- 2次元FEM解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
セメント改良土	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				
	重畳時 (津波+余震時)				

※:地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う。

9. 部位ごとの設計方針

9.2.3 盛土堤防の設計方針の概要(2/3)(置換コンクリート)

置換コンクリートの役割と設計方針概要

- 置換コンクリートは、コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。
- 置換コンクリートは、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)。
- 地盤と施設を連成した2次元FEM解析を実施する。
- 2次元FEM解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、当該部位の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。

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
置換コンクリート	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析), 2次元浸透流解析	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				
	重畳時 (津波+余震時)				

※:地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う。

9. 部位ごとの設計方針

9.2.3 盛土堤防の設計方針の概要(3/3)(地盤)

地盤(岩盤及び改良地盤)の役割と設計方針概要

- 岩盤はセメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持し、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。
- 改良地盤はセメント改良土を鉛直支持し、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)。
- 地盤と施設を連成した2次元FEM解析を実施する。
- 2次元FEM解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。
- 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、当該部位の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。

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
岩盤及び改良地盤	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析), 2次元浸透流解析	支持力※1	極限支持力以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編)
	津波時		すべり安全率※2	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
	重畳時 (津波+余震時)				

※1: 岩盤及び改良地盤。

※2: 改良地盤

9.3.1 2次元動的有限要素解析(有効応力解析)による検討(1/2)

解析の目的

- 鋼管杭, 背面補強工, 改良地盤, 置換コンクリート, セメント改良土, 盛土・旧表土及び岩盤を含めた全体の動的挙動評価
- 地盤物性及び液状化を考慮した影響評価

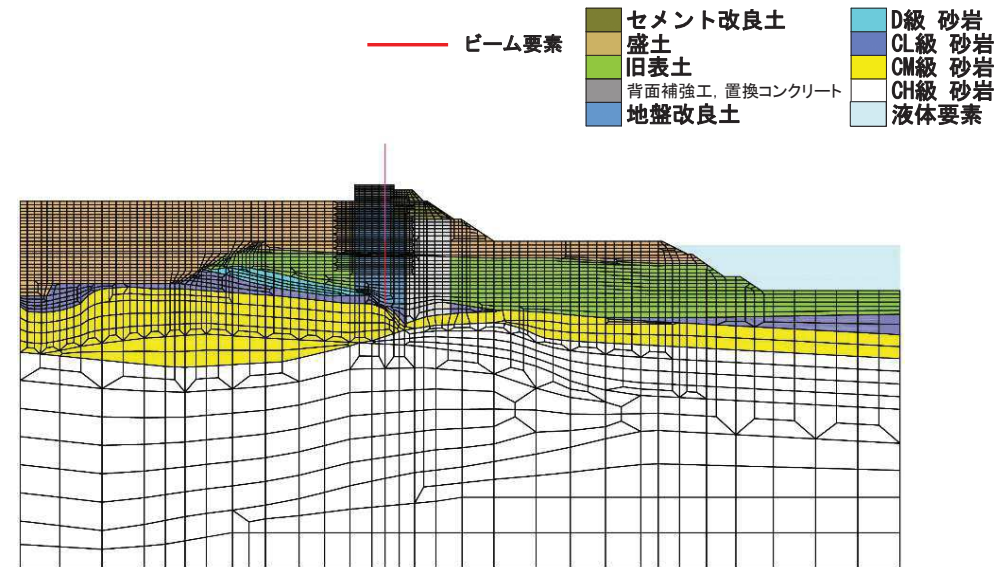
結果の利用

- 鋼管杭及び盛土堤防の照査
- 地震時応答(変位を含む)

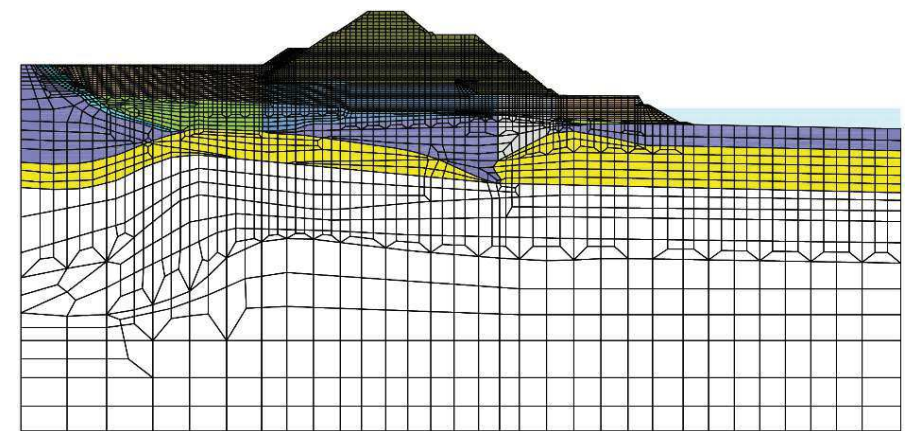
モデル化方針

- 鋼管杭は線形はり要素(ビーム要素※)でモデル化する。
- D級を除く岩盤, 背面補強工, 置換コンクリートは線形要素でモデル化する。
- D級岩盤, 改良地盤, セメント改良土及び盛土・旧表土はマルチスプリング要素でモデル化する。
- 液状化検討対象層である盛土・旧表土は, 液状化パラメータを設定する。
- 海水は液体要素でモデル化する。

※:ビーム要素について, 鋼管杭の剛性を考慮する。
重量は鋼管杭及び鋼製遮水壁の重量を節点重量として考慮する。



鋼管式鉛直壁(一般部) 解析モデル図(地震時)

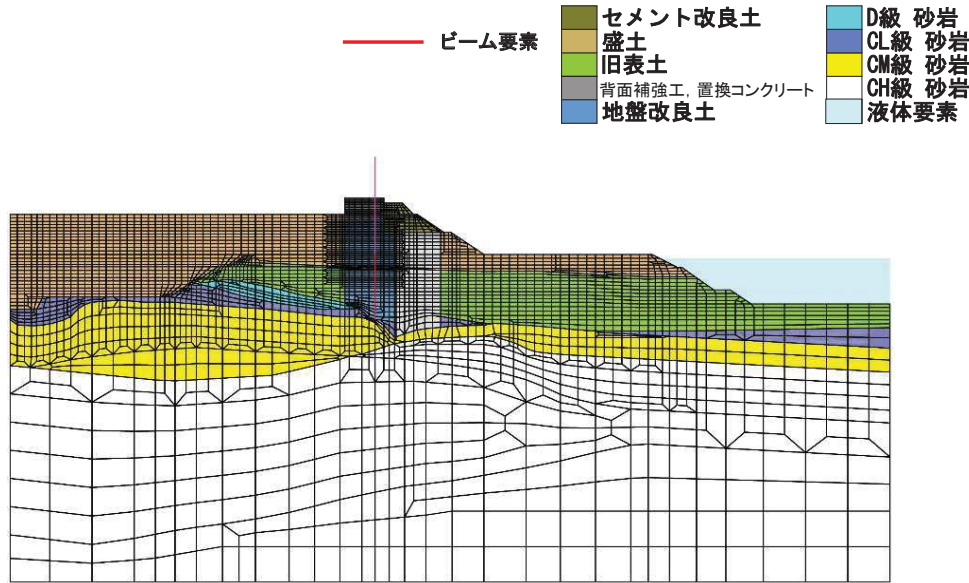


盛土堤防 解析モデル図(地震時)

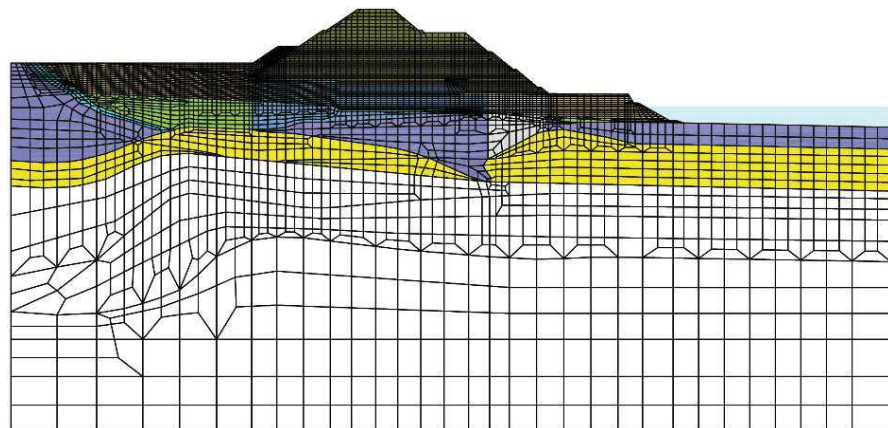
9.3.1 2次元動的有限要素解析(有効応力解析)による検討(2/2)

解析条件

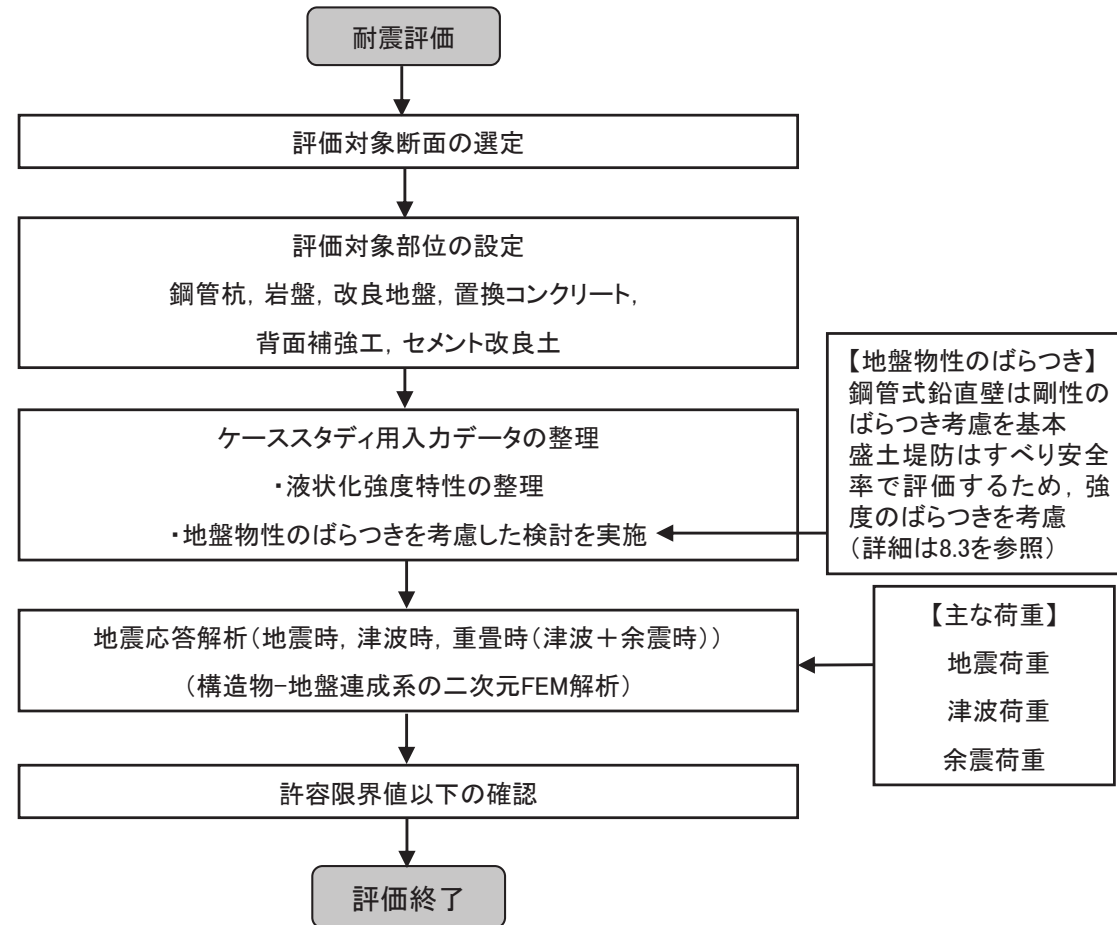
- 地盤物性のばらつきを考慮する(詳細は8.3を参照)。



鋼管式鉛直壁(一般部) 解析モデル図(地震時)



盛土堤防 解析モデル図(地震時)



「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	周辺の地質分布を考慮して, 代表断面を選定する。	改良地盤の層厚が大きく, 鋼管杭(長杭)の長さ又はセメント改良土+改良地盤の合計厚さも最大となる断面を選定する。

9. 部位ごとの設計方針

9.3.2 2次元動的有限要素解析(全応力解析)による検討

解析の目的

- 鋼管杭の動的挙動評価 (地震時, 津波+余震時)

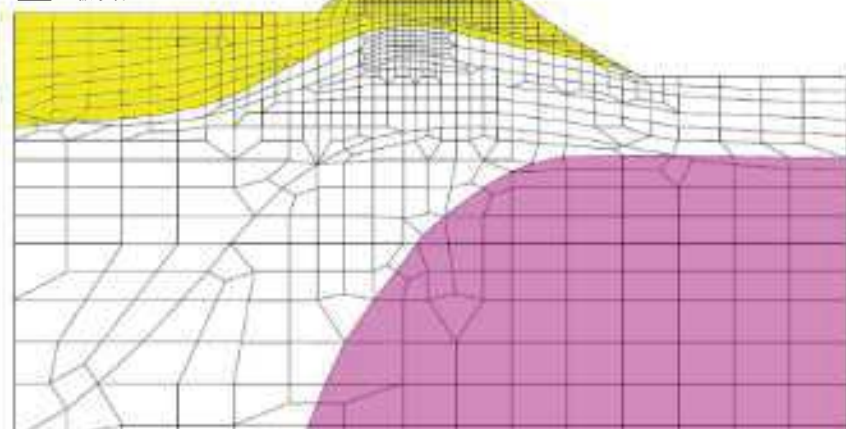
結果の利用

- 鋼管杭の照査
- 地震時応答(変位を含む)

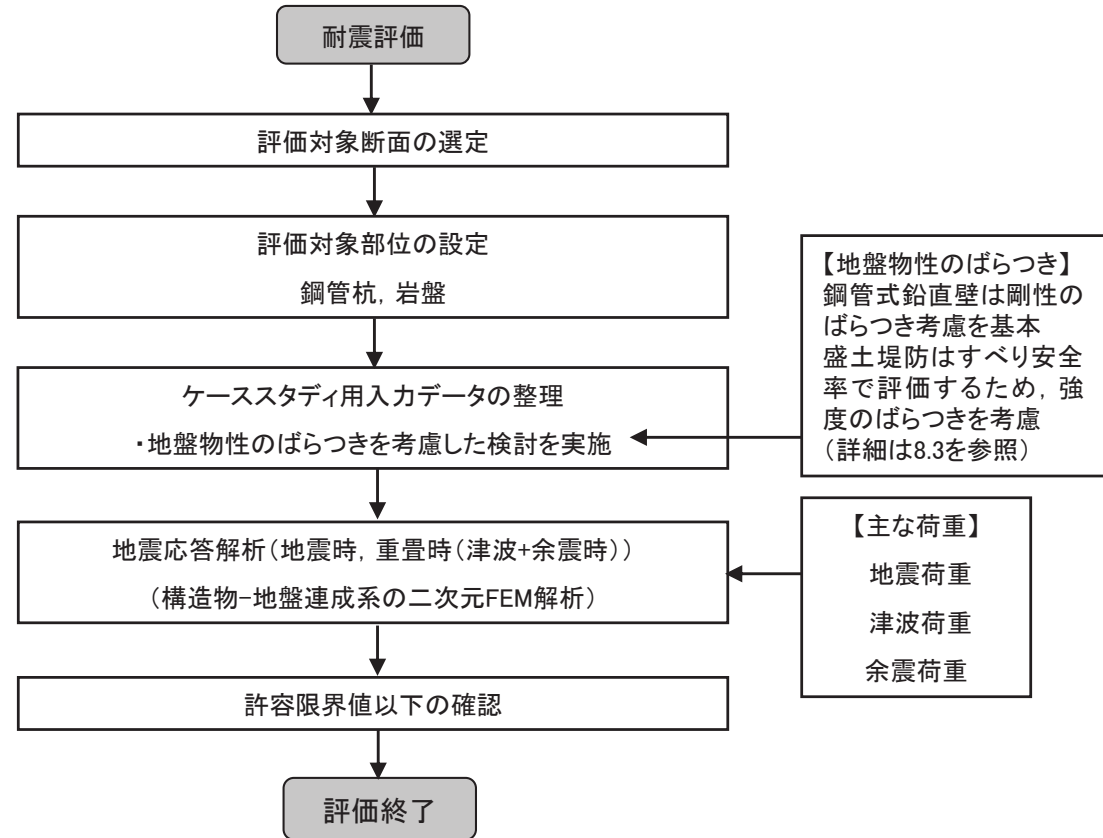
モデル化方針

- 鋼管杭は線形はり要素(ビーム要素)でモデル化する。
- 岩盤は線形要素でモデル化する。
- 海水は液体要素でモデル化する。

- CM級砂岩
- CH級砂岩
- B級砂岩



鋼管式鉛直壁(岩盤部) 解析モデル図



《代表断面選定の考え方》

着目点	概要	代表断面の設定
地形	周辺の地形を考慮して, 代表断面を選定する。	杭の突出長が最大となり, 敷地側の岩盤が狭く海側の自然斜面が急な断面を選定する。

解析条件

- 地盤物性のばらつきを考慮する(詳細は8.3を参照)。

9. 部位ごとの設計方針

9.3.3 静的フレーム解析による検討

解析の目的

- 鋼管杭の静的挙動評価（津波時）

結果の利用

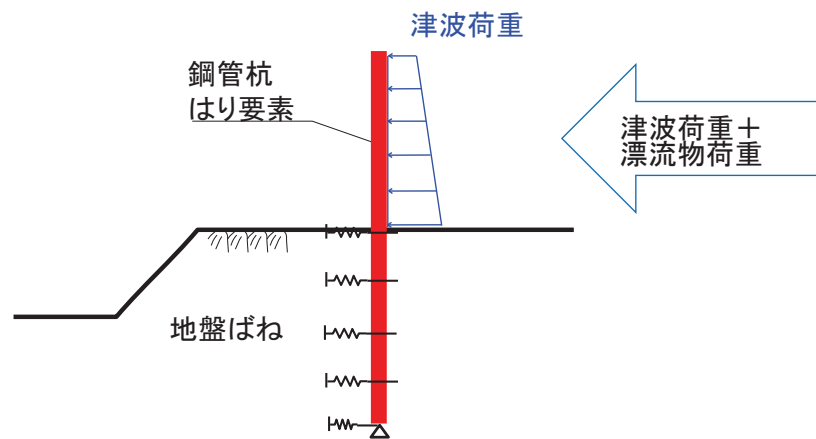
- 鋼管杭の照査
- 止水目地の変位量

モデル化方針

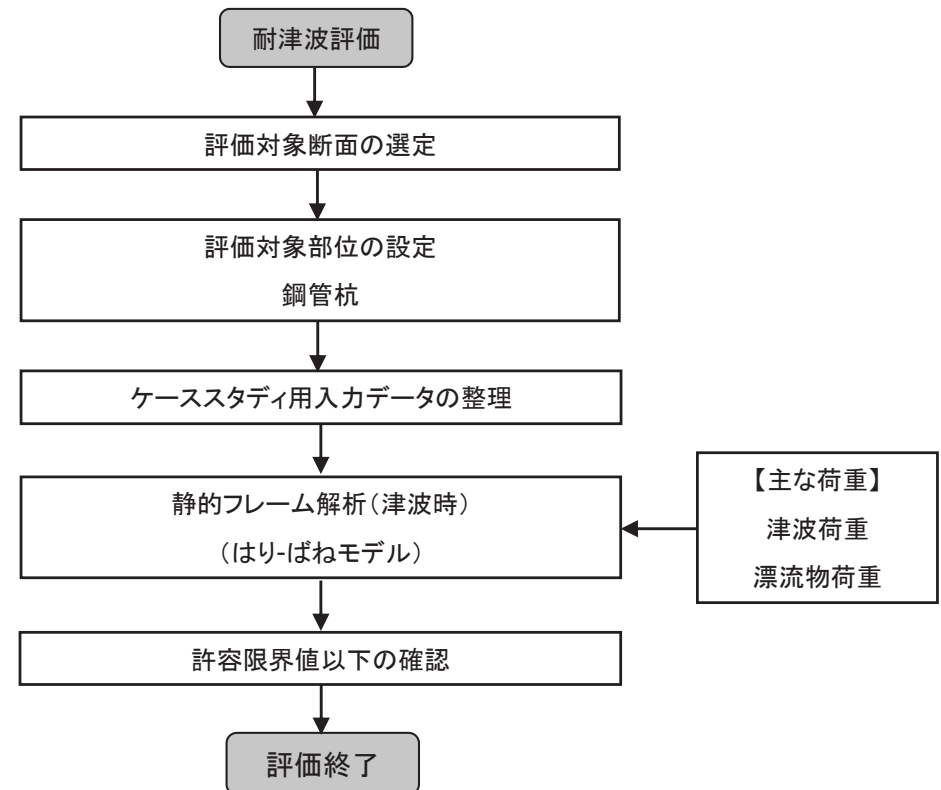
- 鋼管杭は線形はり要素(ビーム要素)でモデル化する。
- 岩盤は地盤ばねでモデル化する。

解析条件

- 解析用物性値(静的物性)を用いる。



鋼管式鉛直壁(岩盤部) 解析モデル図



9. 部位ごとの設計方針

9.3.4 鋼製遮水壁の検討

解析の目的

- 鋼製遮水壁の各部材の健全性評価（地震時，津波時，重畳時（津波＋余震時））

結果の利用

- 鋼製遮水壁（スキンPL，リブ，補剛環，補強桁）の応力度照査

モデル化方針

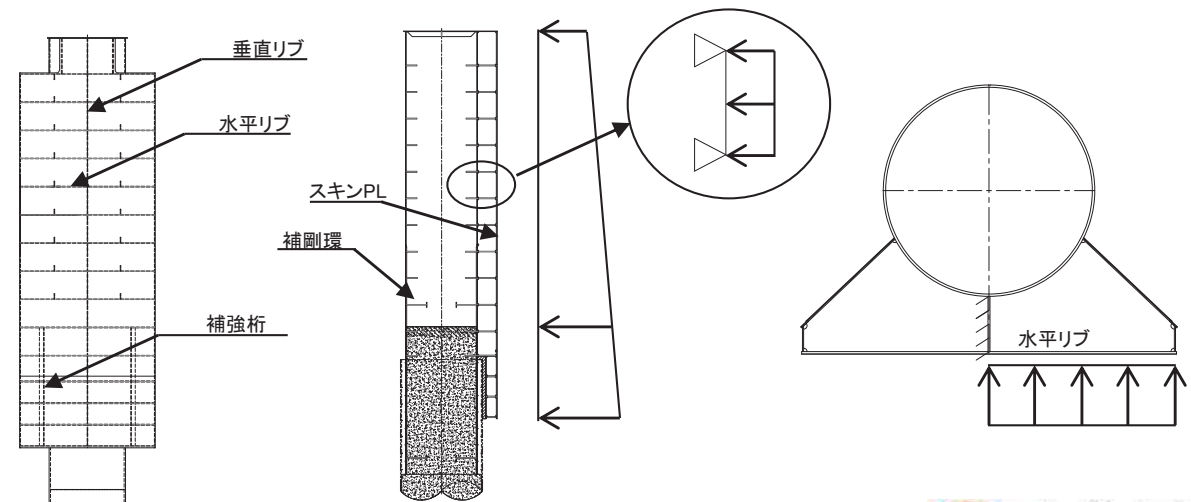
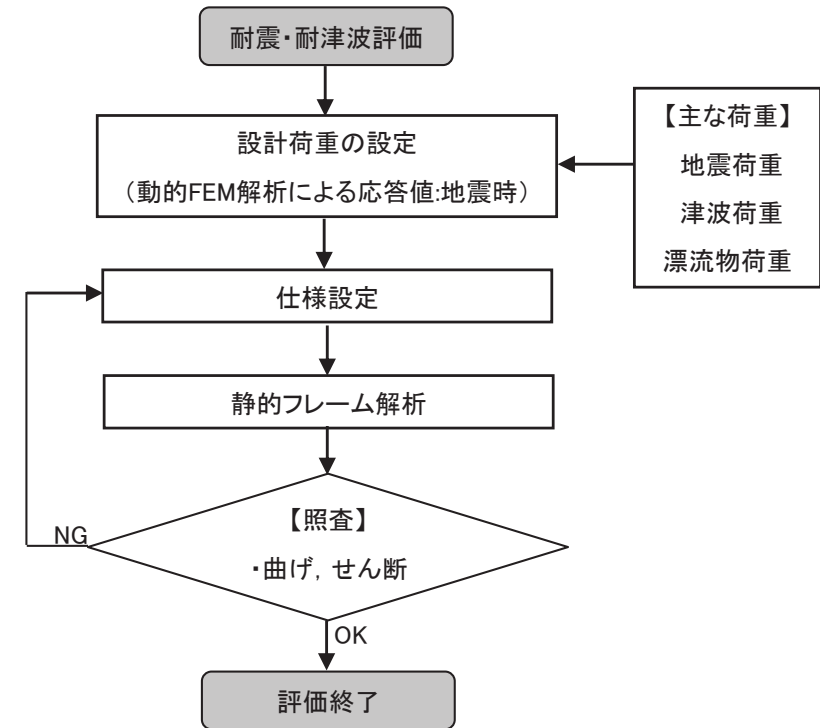
- 鋼製遮水壁は，単純ばり若しくは片持ちばりの線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。

解析条件

- 津波荷重，地震荷重及び漂流物荷重ははり要素に作用させる。
- 鋼製遮水壁については，津波荷重が支配的であることから汀線方向の検討は省略する。

工認段階での解析

- 工認段階では必要に応じて，より精緻な解析を実施する。



鋼製遮水壁の解析モデル概念図

1. (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説(Ⅰ 共通編, Ⅱ 鋼橋編, Ⅳ 下部構造編), 平成14年3月
2. (公社)土木学会:複合構造標準示方書, 2014年制定
3. 朝倉良介, 岩瀬浩二, 池谷 毅, 高尾 誠, 金戸俊道, 藤井直樹, 大森政則, 護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.911-915, 2000
4. (公社)土木学会:コンクリート標準示方書, ダムコンクリート編, 2013年制定
5. (公社)土木学会:コンクリート標準示方書, 設計編, 2017年制定
6. 滝沢文教・久保和也・猪木幸男:寄磯地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 1987