

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	O2-他-F-01-0060_改1
提出年月日	2021年7月12日

女川原子力発電所第2号機 漂流物防護工の追加, 防潮堤の詳細設計結果について

2021年7月12日
東北電力株式会社

1. 本日のご説明内容
2. 防潮堤の設計方針
3. 漂流物防護工の追加
4. 止水ジョイントの設計
5. その他の評価条件
6. 防潮堤の耐震・強度評価結果
7. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)
8. まとめ

(参考資料)

- 参考1 防潮堤に関する新規制基準への適合性
- 参考2 防潮堤の評価対象断面
- 参考3 防潮堤の強度評価における荷重作用図
- 参考4 止水ジョイントのねじれ変位を考慮する場合の保守性について
- 参考5 浸透流解析による地盤中からの回り込み防止の確認

1. 本日のご説明内容

- 第876回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合(令和2年7月14日)において説明した主要説明項目における『詳細設計段階における設計変更内容No.1-1 漂流物防護工の追加』及び『詳細設計申請事項No.2-8 防潮堤の詳細設計結果』について説明する。

詳細設計段階における設計変更内容(第876回審査会合資料抜粋)

詳細設計申請事項(第876回審査会合資料抜粋)

No.	項目	変更内容
1-1	漂流物防護工の追加	防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の詳細設計の結果を踏まえて、施設前面に漂流物防護工を追加設置する。 【設置変更許可申請書 添付書類八(浸水防護設備)関連】

No.	項目	概要
2-8	防潮堤の詳細設計結果	設置許可段階において、構造成立性及び詳細設計段階における設計方針を説明している防潮堤について、断層横断部の影響や、地盤物性のばらつき影響評価等の詳細設計の結果を説明する。

- 本資料の構成を以下に示す。防潮堤の設計方針及び設計結果を2章～6章において説明し、その中の3章において漂流物防護工の詳細を説明する。また、7章において屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)について説明する。
- 本資料では、先行プラントと比較して特異性のある、漂流物防護工の設計及び漂流物防護工の設置による鋼管杭への影響並びに止水ジョイントのうち変位の小さい箇所使用するウレタンシリコン目地について、重点的に説明する。

【2】 防潮堤の設計方針	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 防潮堤の設計概要 ✓ 設計・評価の流れ
-----------------	--

【3】 漂流物防護工の追加	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 漂流物防護工設置の考え方 ✓ 漂流物防護工の荷重伝達経路・役割・性能目標 ✓ 漂流物防護工の損傷モード ✓ 漂流物防護工の評価方法 ✓ 漂流物防護工設置による防潮堤への影響
------------------	--

【4】 止水ジョイントの設計	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 止水ジョイント部材の設置位置 ✓ ゴムジョイントの構造 ✓ ウレタンシリコン目地の構造 ✓ ウレタンシリコン目地の各部位の役割、荷重伝達 ✓ 止水ジョイント部材設計相対変位量の算出方法
-------------------	--

【5】 その他の評価条件	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 詳細設計段階における評価条件 ✓ 評価対象断面 ✓ 解析手法及び解析モデル ✓ 荷重及び荷重の組合せ、許容限界 ✓ 地盤物性のばらつき考慮 ✓ 断層横断部の影響
-----------------	---

【6】 防潮堤の耐震・強度評価結果	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 地盤物性のばらつきを踏まえた評価結果 ✓ 断層横断部の影響確認結果 ✓ 止水性の確認
----------------------	--

【7】 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 漂流物防護工の追加設置を踏まえた全体構造 ✓ 漂流物防護工の設置の考え方 ✓ 漂流物防護工の役割、性能目標及び評価方法
---------------------------	---

【 】内は章番号を示す。

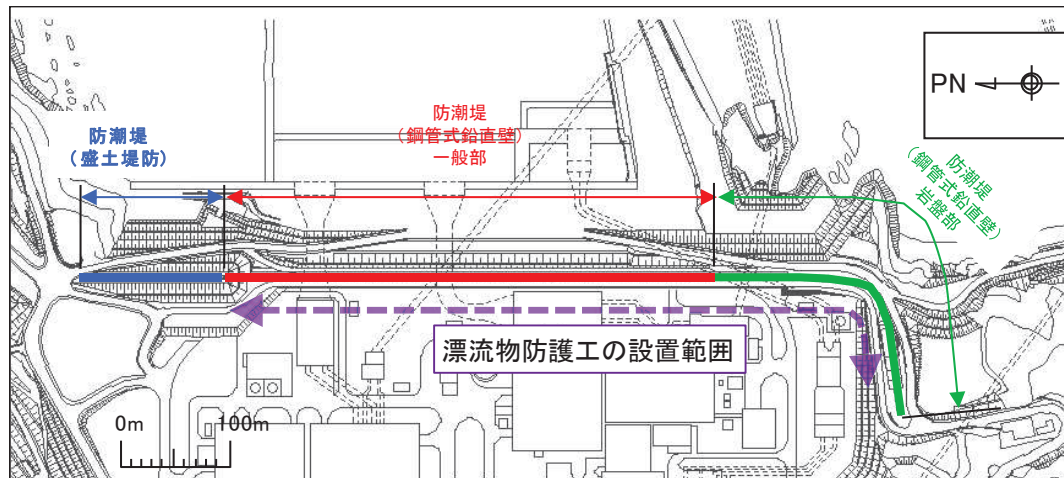
2. 防潮堤の設計方針

防潮堤の設計概要

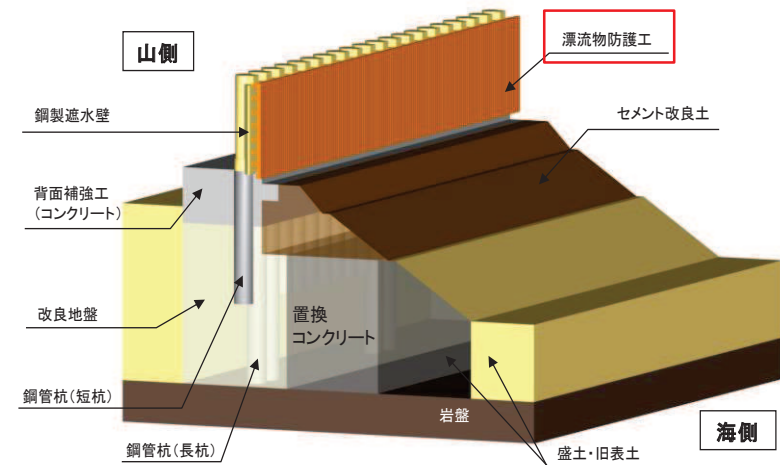
- 津波による遡上波が敷地に到達，流入することを防止するため，入力津波による浸水高さ(O.P.+24.4m*1)に対して余裕を考慮した天端高さ(O.P.+29.0m*1)の防潮堤(津波防護施設)を敷地前面に設置する。
- 防潮堤は，構造形式により鋼管式鉛直壁(一般部)，鋼管式鉛直壁(岩盤部)及び盛土堤防に分類される。
- 設置許可段階において示した構造成立性評価では，津波時に漂流物衝突荷重に対して鋼製遮水壁の裕度が小さく，必要に応じて漂流物防護工を設置することとしていた。詳細設計段階では，漂流物衝突荷重(2000kN)*2に対して十分耐えるよう，鋼管式鉛直壁(一般部)及び鋼管式鉛直壁(岩盤部)の鋼製遮水壁前面に漂流物防護工の部位(架台及び防護工)を追加設置する。
- なお，設置許可段階において部位の一つであった頂部はりについては撤去し，漂流物防護工の追加によって防潮堤の全体重量が増加しない設計とする。

注記*1: 防潮堤を含む耐津波設計においては，平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い，牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生していることを考慮した設計とし，本資料中では地盤沈下を考慮した地盤高さや施設高さ等を記載する。

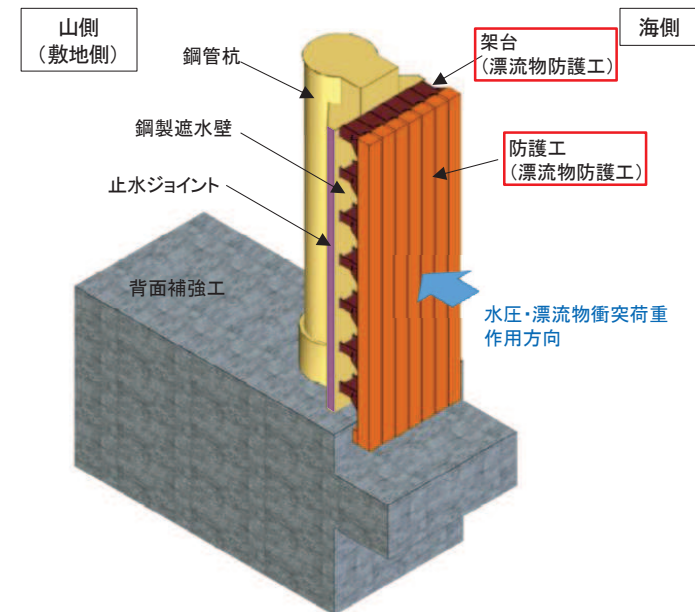
*2: 第988回審査会合において説明。



防潮堤配置図



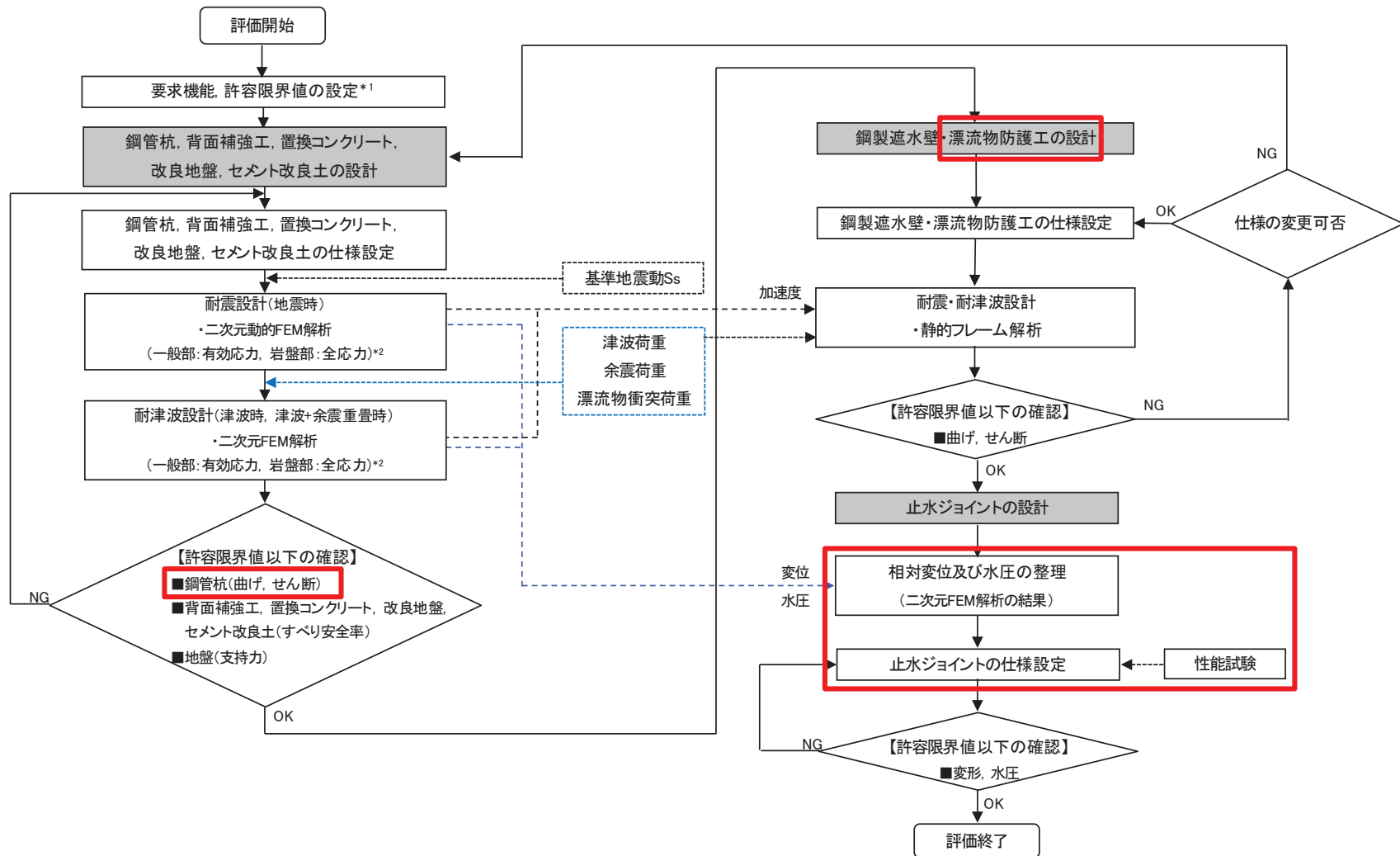
防潮堤(鋼管式鉛直壁)のうち一般部の構造概要図



漂流物防護工の構造概要

2. 防潮堤の設計方針 設計・評価の流れ

- 防潮堤の耐震・強度評価は、下記フローに基づき実施する。本資料では、先行プラントと比較して特異性のある、漂流物防護工の設計及び漂流物防護工の設置による鋼管杭への影響並びに止水ジョイントのうち変位の小さい箇所に使用するウレタンシリコン目地について重点的に説明する(下図赤枠)。

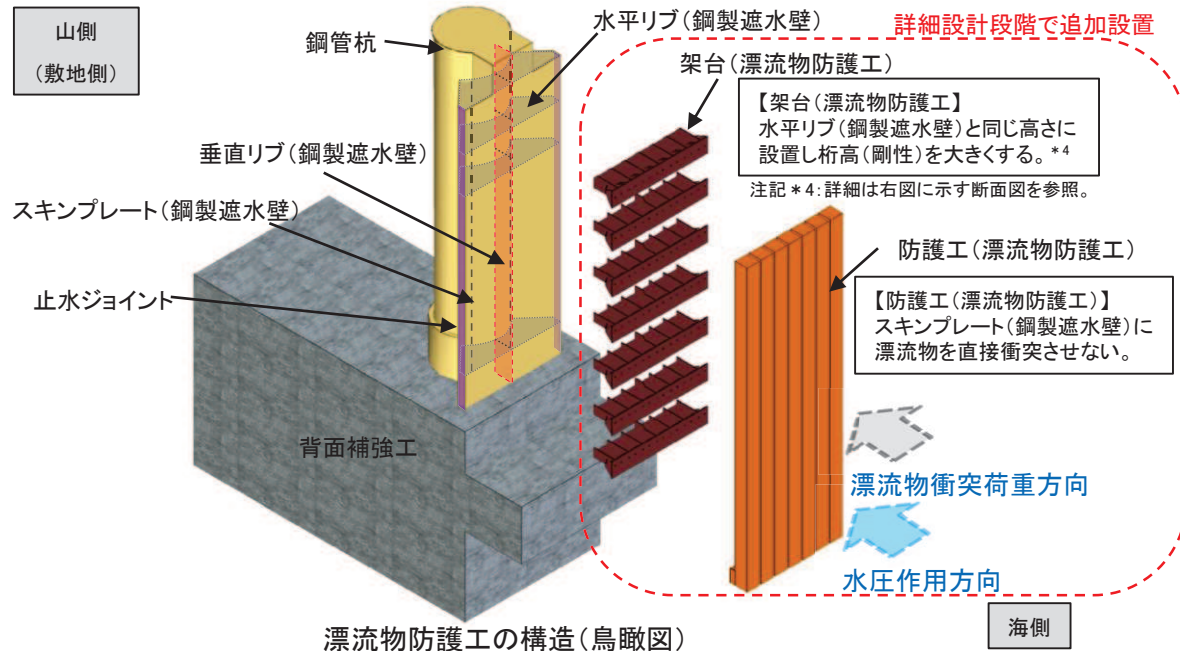


注記*1: 漂流物防護工の要求機能, 許容限界値については3章に示す。すべての部位については参考1に示す。
*2: 評価対象断面及び解析手法の選定, 解析モデル, 荷重及び荷重の組合せ, 解析ケース並びに許容限界については5章に示す。

3. 漂流物防護工の追加 漂流物防護工設置の考え方

- 設置許可段階における構造成立性評価では、津波時の漂流物衝突荷重を73.6kNと設定して評価を実施した。
- 詳細設計段階では漂流物衝突荷重を2000kNと設定*1し、設置許可段階の構造成立性評価において裕度が小さかったスキンプレート(鋼製遮水壁)と水平リブ(鋼製遮水壁)の裕度を確保するため、防潮堤の一部として漂流物防護工を設置することとした。
- 設計のコンセプトとしては、集中荷重として考慮する漂流物荷重に対して以下3点を満足する構造とした。
 - 繰返しの変来を想定した遡上波に対して機能を損なわないことを目的とするため、おおむね弾性範囲に収まる設計(許容限界:許容応力度)とする。
 - スキンプレートの前面に防護工を設置することで、漂流物を直接衝突させず、津波荷重のみが作用する構造とする(防護工の設置)。
 - 水平リブと同じ高さに追加リブを設け、桁高(剛性)を大きくすることで、裕度を向上させる構造とする(架台の設置)。

注記*1:「直近海域」の巡視用点検車両(2.15t)に「FEMA(2012)」を適用し算出した最大衝突荷重から、保守的に設定した設計用衝突荷重(第988回審査会合において説明)。

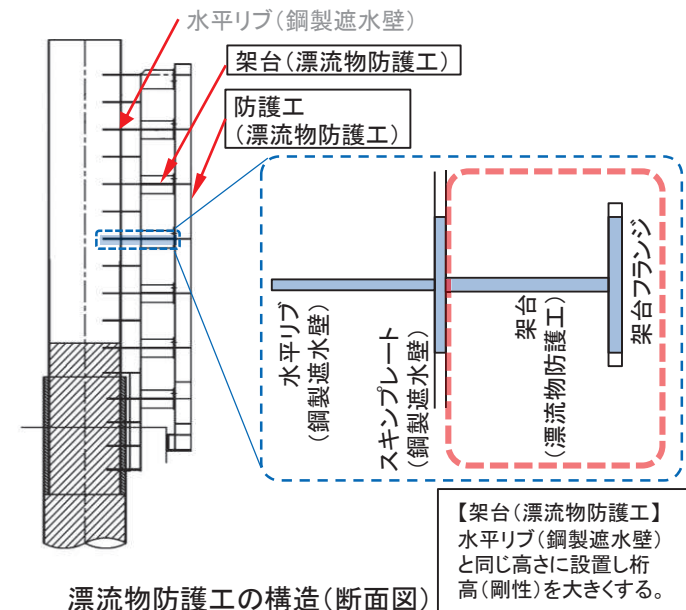


【構造成立性評価において裕度が小さい部位(津波時)】

項目		設置許可段階 (構造成立性評価)	詳細設計 段階
評価条件	津波高さ	O.P.+29.0m	O.P.+25.0m
	漂流物 衝突荷重	73.6kN*2	2000kN*1
評価結果	スキンプレート (曲げ)	安全率*3	1.14
	水平リブ (曲げ)		1.62
		裕度を確保するために漂流物防護工を設置	

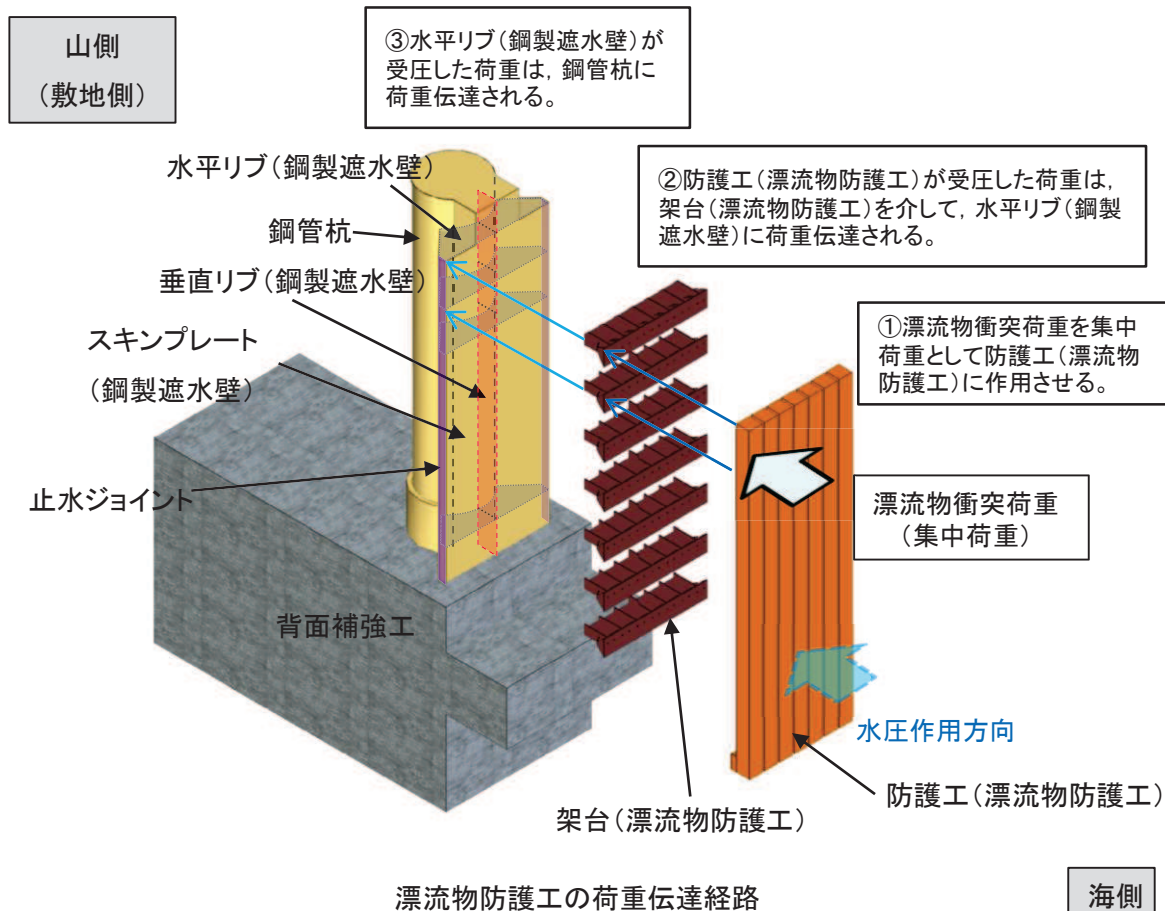
注記*2:道路橋示方書式に基づき、漁船15t(排水トン)、流速5m/sの条件で算定した。

*3:評価基準値は安全率 ≥ 1.0 。



3. 漂流物防護工の追加 漂流物防護工の荷重伝達経路・役割・性能目標

- 漂流物防護工の荷重伝達経路を下図に示す。
- 漂流物衝突荷重を防護工（漂流物防護工）で受け、防護工（漂流物防護工）で受圧した荷重は架台（漂流物防護工）を介して水平リブ（鋼製遮水壁）へ伝達する。水平リブ（鋼製遮水壁）が受圧した荷重は、鋼管杭へ荷重伝達される。
- 荷重伝達経路を踏まえた役割及び性能目標を以下に示す。



【漂流物防護工の役割】

- 漂流物防護工は、防護工及び架台で構成されており、防護工は架台に取り付け、架台はスキンプレート（鋼製遮水壁）を挟んで水平リブ（鋼製遮水壁）と同じ高さに取り付けることとしている。
- 津波時において、漂流物防護工は漂流物による衝突を直接受けて、水平リブ（鋼製遮水壁）及び鋼管杭に荷重を伝達することで、スキンプレート（鋼製遮水壁）及び止水ジョイントに漂流物を直接衝突させない構造となっている。

【漂流物防護工の性能目標及び評価方法】

- 防潮堤全体の健全性及び止水性を保持するために、漂流物防護工はおおむね弾性状態にとどまることを性能目標とする。
- また、上記性能目標を満足するため、曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界（短期許容応力度）以下であることを確認する。

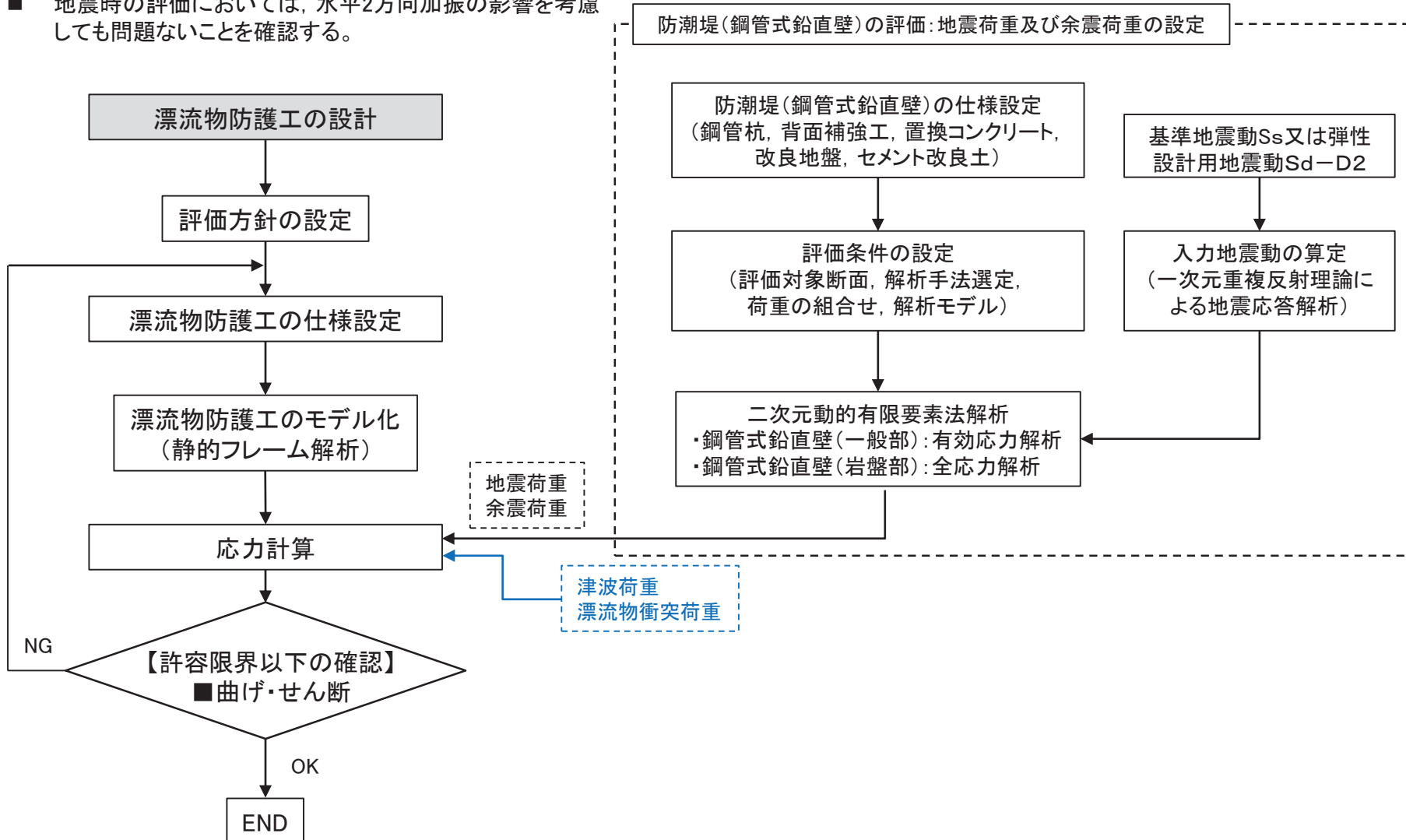
3. 漂流物防護工の追加 漂流物防護工の損傷モード

- 漂流物防護工の損傷モードと設計・施工上の配慮を示す。

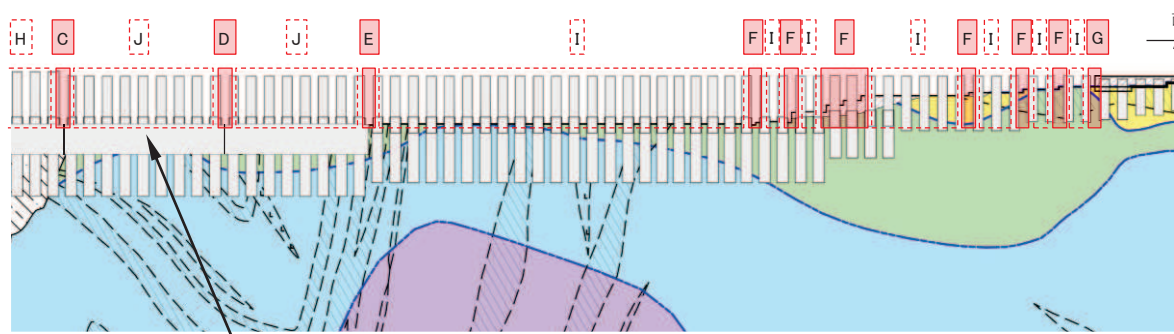
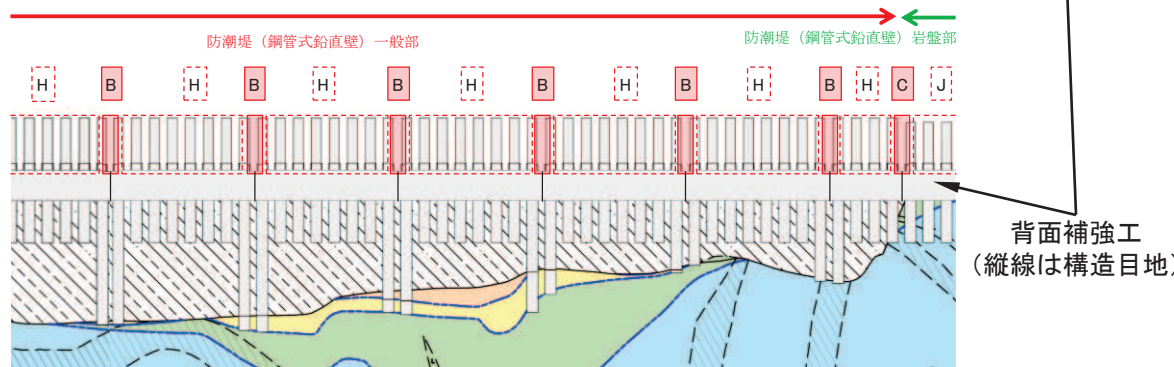
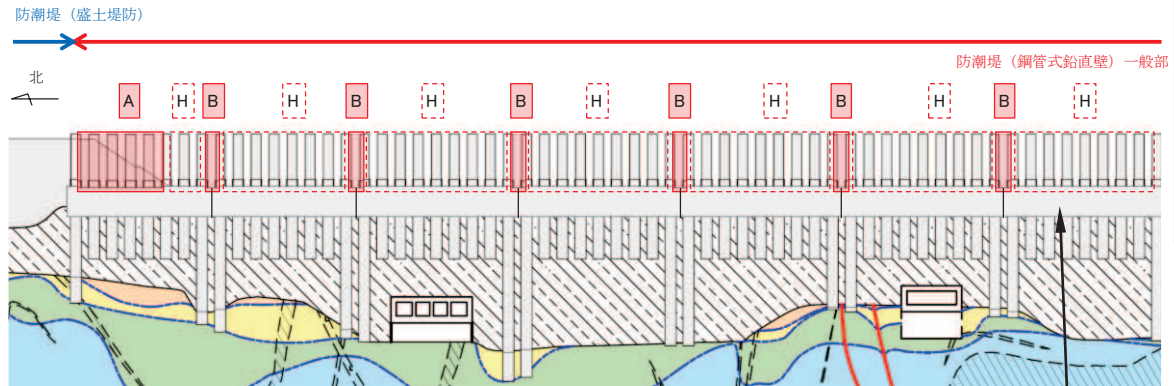
部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース	設計・施工上の配慮
架台 (漂流物防護工)	<ul style="list-style-type: none">地震時荷重又は津波時の漂流物荷重により架台(漂流物防護工)が損傷し、防護工(漂流物防護工)を支持できなくなり、鋼製遮水壁に直接漂流物が衝突することで遮水性を喪失する。	地震時 津波時 津波+余震 重畳時	<ul style="list-style-type: none">許容限界以下であることを確認する。 (照査対象とする)
防護工 (漂流物防護工)	<ul style="list-style-type: none">地震時荷重又は津波時の漂流物荷重により防護工(漂流物防護工)が損傷し、鋼製遮水壁に直接漂流物が衝突することで遮水性を喪失する。	地震時 津波時 津波+余震 重畳時	<ul style="list-style-type: none">許容限界以下であることを確認する。 (照査対象とする)

3. 漂流物防護工の追加 漂流物防護工の評価方法

- 漂流物防護工の評価フローを示す。
- 地震荷重及び余震荷重については、二次元動的有限要素法解析の応答結果を用いて静的フレーム解析に入力する。津波荷重については、分布荷重として考慮する。漂流物衝突荷重は集中荷重として考慮する。
- 地震時の評価においては、水平2方向加振の影響を考慮しても問題ないことを確認する。



4. 止水ジョイントの設計 止水ジョイント部材の設置位置

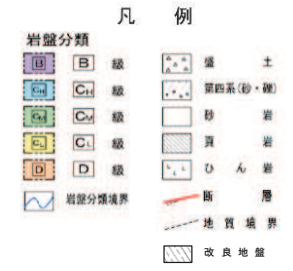


背面補強工 (縦線は構造目地)

止水ジョイント部材の設置位置図

- 止水ジョイント部材は、ゴムジョイントとウレタンシリコン目地の2種類あり、比較的変位量が大きくなる構造境界部にゴムジョイント、変位量がほとんど生じない構造同一部にはウレタンシリコン目地を設置する。
- 設計相対変位量については、耐震評価及び強度評価でそれぞれ考慮する荷重の特徴を踏まえ、保守的になるよう算出する。

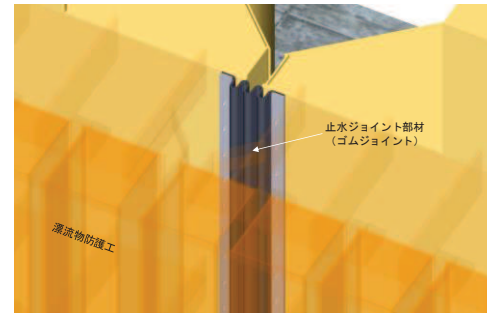
記号 (区間)	
構造境界部 (ゴムジョイント)	A (一般部のうち突出長変化部)
	B (一般部のうち背面補強工間)
	C (一般部と岩盤部の境界)
	D (岩盤部のうち背面補強工間)
	E (岩盤部のうち背面補強工端部)
	F (岩盤部のうち突出長変化部)
	G (岩盤部のうちRC壁との境界)
構造同一部 (ウレタンシリコン目地)	H (一般部のうち背面補強工内)
	I (岩盤部のうち突出長同一部)
	J (岩盤部のうち背面補強工内)



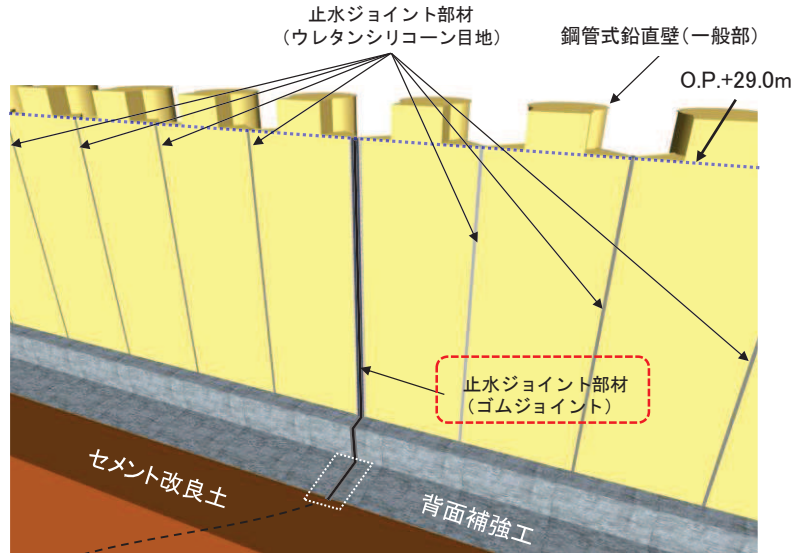
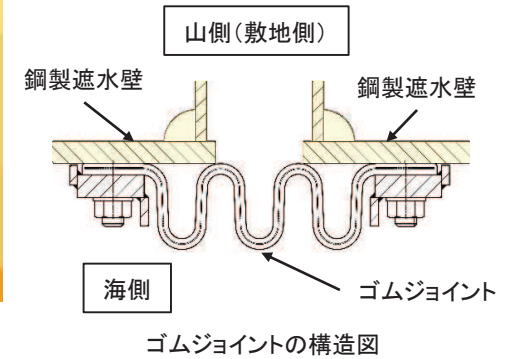
* : 鋼管杭下方のC₂級岩盤部はMMRにより置換。

4. 止水ジョイントの設計 ゴムジョイントの構造

- 構造境界部となる鋼製遮水壁間及び背面補強工間には、ゴムジョイントを設置することにより遮水性を確保する。
- ゴムジョイントは鋼製遮水壁間及び背面補強工間に設置されるため、漂流物に対しては漂流物防護工により防護される。
- ゴムジョイントの構造、漂流物に対する防護の考え方を示す。

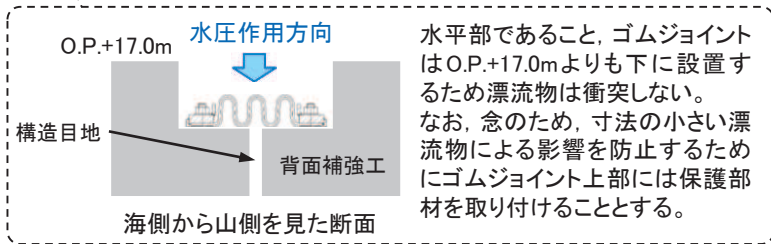


ゴムジョイント部材の設置イメージ(拡大)

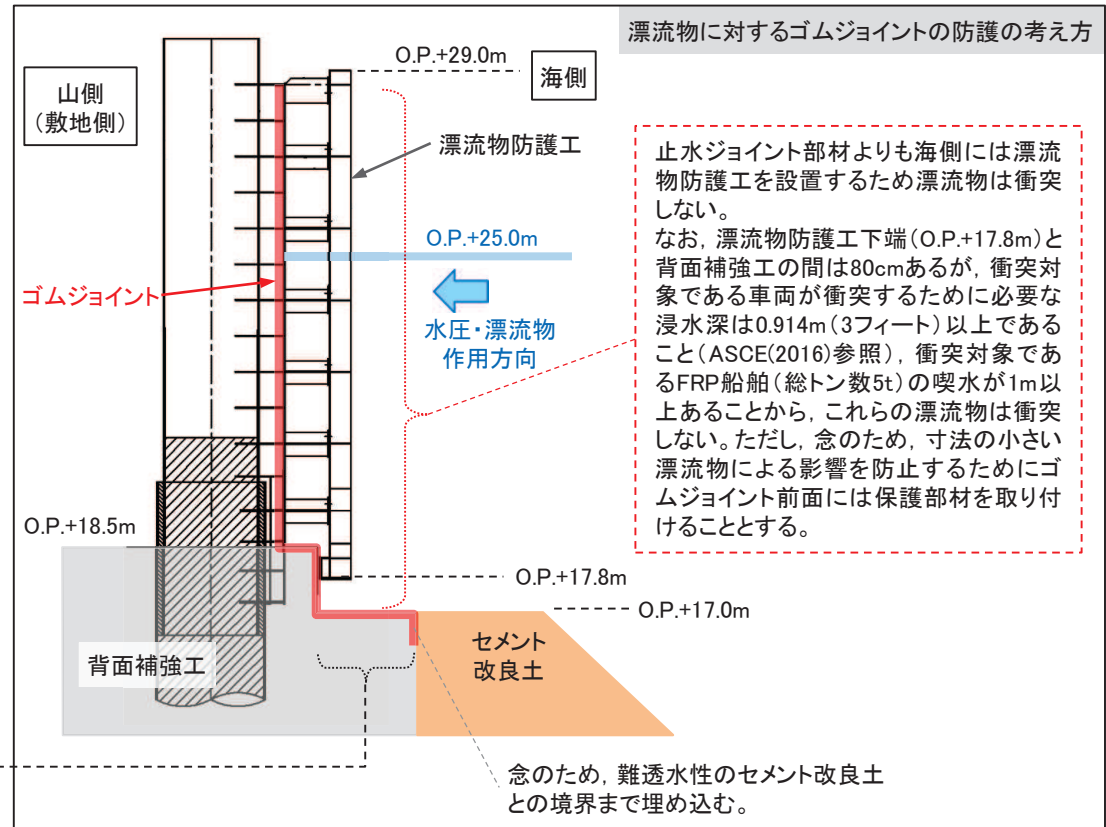


止水ジョイント部材の設置イメージ*

注記*: 止水ジョイント部材は漂流物防護工により防護されているが、止水ジョイント部材の設置イメージを示すため、漂流物防護工がない状態で示している。



水平部であること、ゴムジョイントはO.P.+17.0mよりも下に設置するため漂流物は衝突しない。なお、念のため、寸法の小さい漂流物による影響を防止するためにゴムジョイント上部には保護部材を取り付けることとする。



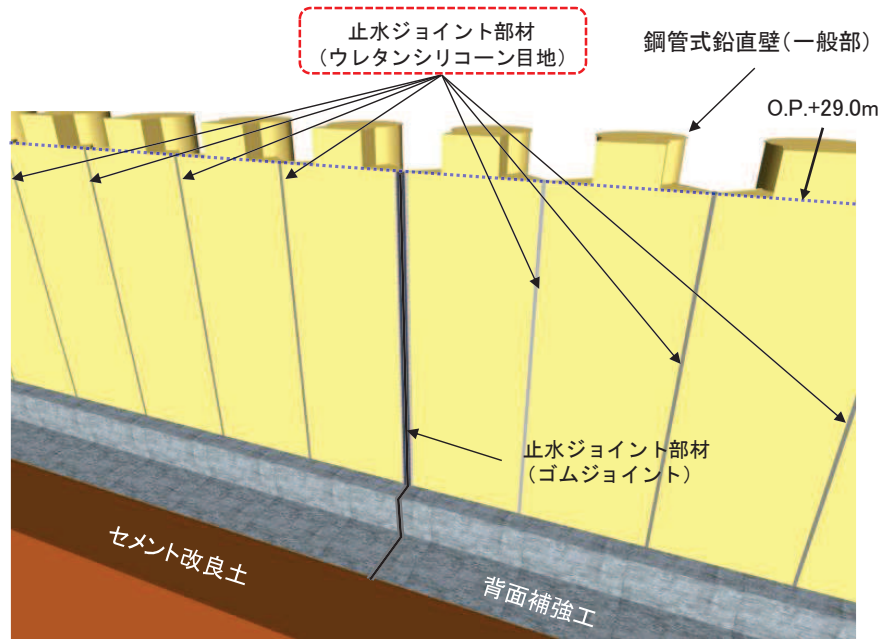
漂流物に対するゴムジョイントの防護の考え方

止水ジョイント部材よりも海側には漂流物防護工を設置するため漂流物は衝突しない。なお、漂流物防護工下端(O.P.+17.8m)と背面補強工の間は80cmあるが、衝突対象である車両が衝突するために必要な浸水深は0.914m(3フィート)以上であること(ASCE(2016)参照)、衝突対象であるFRP船舶(総トン数5t)の喫水が1m以上あることから、これらの漂流物は衝突しない。たまた、念のため、寸法の小さい漂流物による影響を防止するためにゴムジョイント前面には保護部材を取り付けることとする。

念のため、難透水性のセメント改良土との境界まで埋め込む。

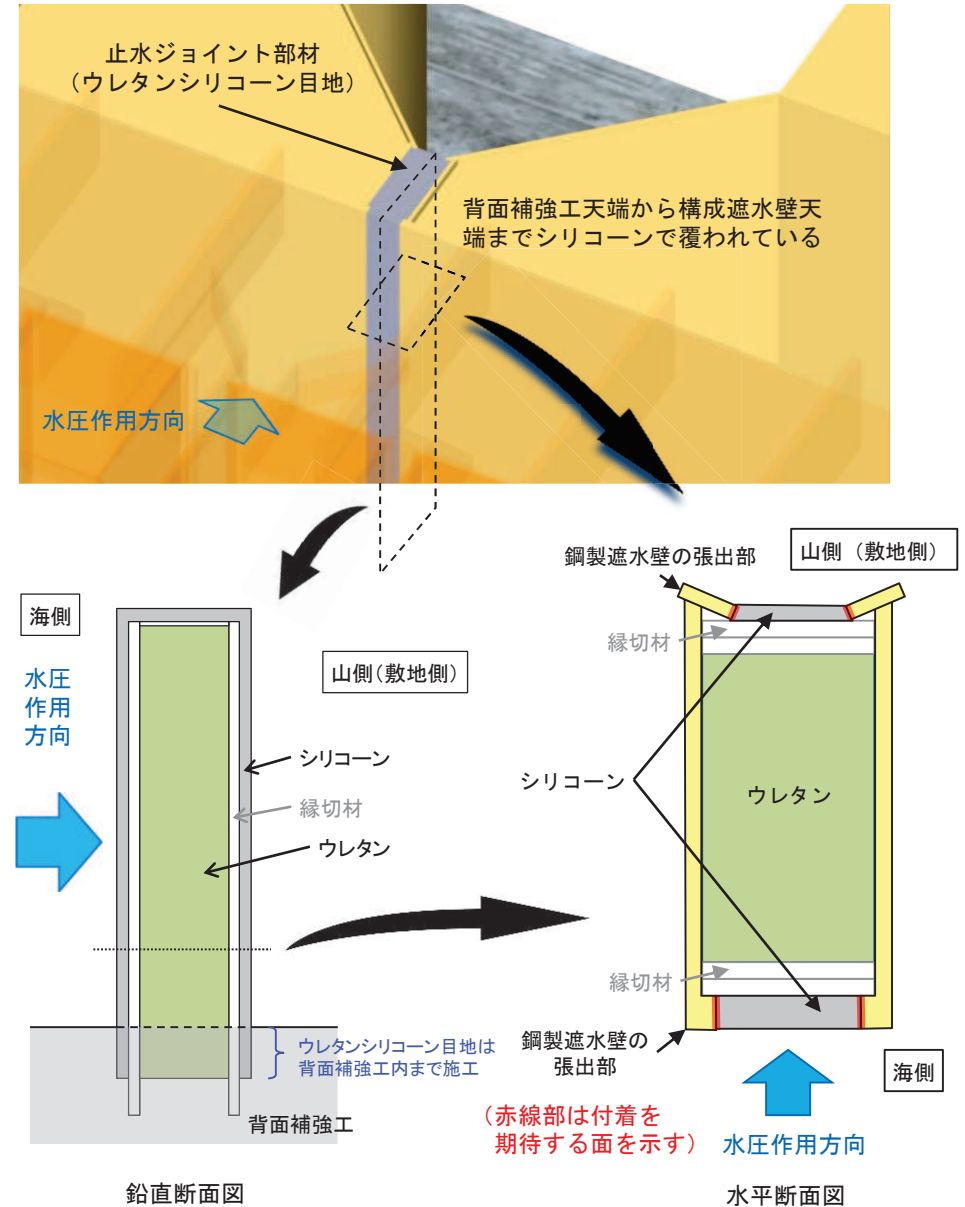
4. 止水ジョイントの設計 ウレタンシリコーン目地の構造

- 構造同一部となる鋼製遮水壁間には、ウレタンシリコーン目地を設置することにより遮水性を確保する。
- ウレタンシリコーン目地はシリコーン、ウレタン及び縁切材で構成されている。構造の詳細を下図に示す。なお、ウレタンシリコーン目地は鋼製遮水壁間のみを設置されるため、漂流物に対しては漂流物防護工により防護される。
- ウレタンシリコーン目地の許容限界については、実物を模擬した試験体による変形試験及び耐圧試験による確認をもとに設定する。



止水ジョイント部材の設置イメージ*

注記*：止水ジョイント部材は漂流物防護工により防護されているが、止水ジョイント部材の設置イメージを示すため、漂流物防護工がない状態で示している。



鉛直断面図

水平断面図

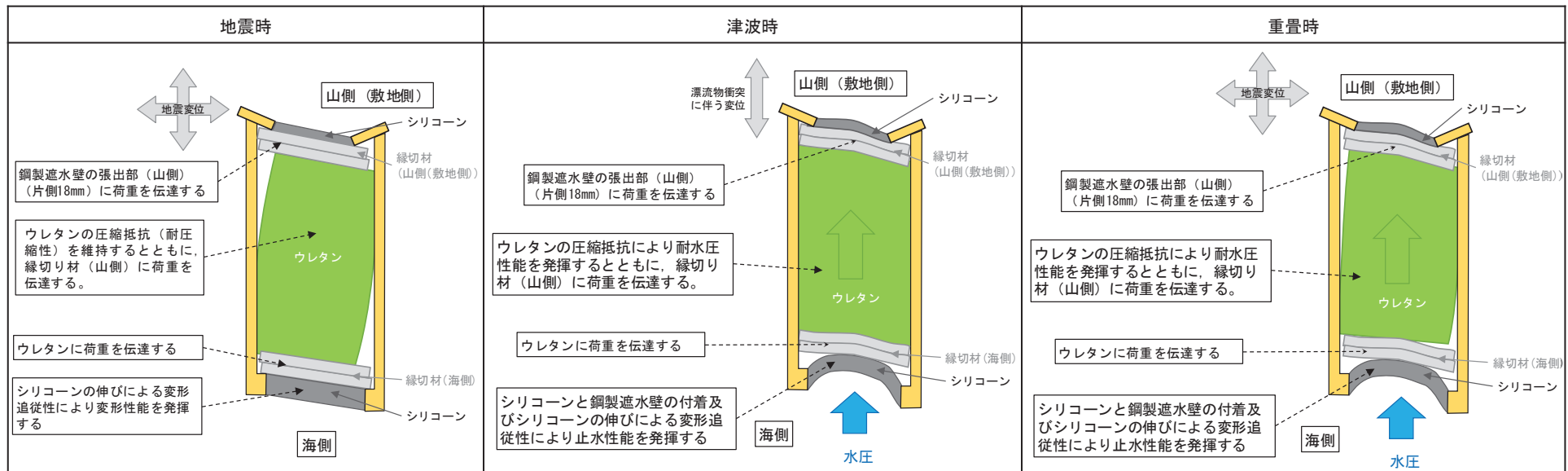
4. 止水ジョイントの設計 ウレタンシリコン目地の各部位の役割, 荷重伝達

■ ウレタンシリコン目地の各部位の役割, 荷重伝達及び止水機能を発揮するメカニズムを示す。

ウレタンシリコン目地の各部位の役割

構成部位	地震時	津波時	重畳時
シリコン (海側)	鋼製遮水壁の張出部 (海側) に生じる地震変位に対して, シリコンの変形性能を維持する。	津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部 (海側) に生じる漂流物衝突に伴う変位に対して, シリコンと鋼製遮水壁の付着及びシリコンの伸びによる変形追従性により止水性能を発揮する。 止水機能に対して直接的な役割を担う。	津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部 (海側) に生じる地震変位に対して, シリコンと鋼製遮水壁の付着及びシリコンの伸びによる変形追従性により止水性能を発揮する。 止水機能に対して直接的な役割を担う。
縁切材 (海側)	鋼製遮水壁の張出部 (海側) に生じる地震変位をウレタンに伝達する。	シリコンから伝達される津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部 (海側) に生じる漂流物衝突に伴う変位をウレタンに伝達する。 止水機能に対して間接的な役割を担う。	シリコンから伝達される津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部 (海側) に生じる地震変位をウレタンに伝達する。 止水機能に対して間接的な役割を担う。
ウレタン	縁切材 (海側) から伝達される荷重に対して, ウレタンの圧縮抵抗 (耐圧縮性) を維持するとともに, 縁切材 (山側) に荷重を伝達する。	縁切材 (海側) から伝達される荷重に対して, ウレタンの圧縮抵抗により耐水圧性能を発揮するとともに, 縁切材 (山側) に荷重を伝達する。 止水機能に対して間接的な役割を担う。	縁切材 (海側) から伝達される津波の荷重に対して, ウレタンの圧縮抵抗により耐水圧性能を発揮するとともに, 縁切材 (山側) に荷重を伝達する。 止水機能に対して間接的な役割を担う。
縁切材 (山側(敷地側))	ウレタンから伝達される荷重を鋼製遮水壁の張出部 (山側) に伝達する。	ウレタンから伝達される荷重を鋼製遮水壁の張出部 (山側) に伝達する。 止水機能に対して間接的な役割を担う。	ウレタンから伝達される荷重を鋼製遮水壁の張出部 (山側) に伝達する。 止水機能に対して間接的な役割を担う。
シリコン (山側(敷地側))	鋼製遮水壁の張出部 (山側) に生じる地震変位に対して, シリコンの変形性能を維持する。	鋼製遮水壁の張出部 (山側) に生じる漂流物衝突に伴う変位に対して, シリコンの変形性能を維持する。	鋼製遮水壁の張出部 (山側) に生じる地震変位に対して, シリコンの変形性能を維持する。

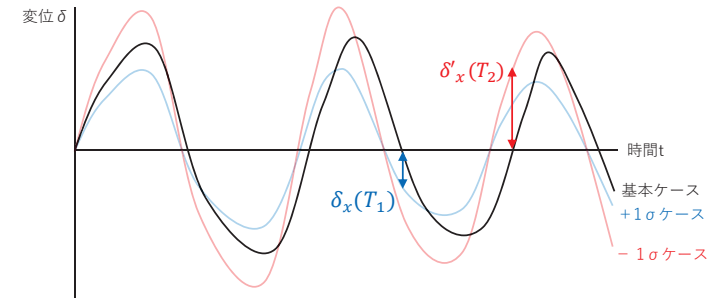
荷重伝達の概要及び止水性能発揮のメカニズム



4. 止水ジョイントの設計

止水ジョイント部材設計相対変位量の算出方法(1/2)

- ウレタンシリコン目地を設置する構造同一部は、背面補強工内等の変位が生じにくい箇所であるため、右図のように基本ケースと地盤物性のばらつきを考慮したケースの相対変位を基本とする。
 - ✓ 地震時は、基準地震動Ssによる基本ケースと地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大時刻歴相対変位を考慮する。
 - ✓ 津波時は、衝突荷重に対して、基本ケースと地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大相対変位に、基準地震動Ssによる最終変位を加えた変位量を考慮する。
 - ✓ 津波+余震重畳時は、弾性設計用地震動Sd-D2による基本ケースと地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大時刻歴相対変位に、基準地震動Ssによる最終変位を加えた変位量を考慮する。



地盤物性のばらつきを考慮した時刻歴相対変位のイメージ

構造同一部の設計相対変位量の算出方法

	地震時	津波時	津波+余震重畳時
変位イメージ			
変位算出方法	<p>構造同一部の横断方向の設計用の相対変位δ_x :</p> $\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2)\}$ <p>$\delta_x(T_1)$: 基本ケースと地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(+1σ)を考慮した解析ケースの時刻歴相対変位</p> <p>$\delta_x'(T_2)$: 基本ケースと地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケースの時刻歴相対変位</p>	<p>構造同一部の横断方向の設計用の相対変位δ_x :</p> $\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2), \delta_x''(T_3)\} + \text{abs}\{\delta_{finx}\}$ <p>$\delta_x(T_1)$: 基本ケースの相対変位(衝突荷重のみ作用)</p> <p>$\delta_x'(T_2)$: 地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(+1σ)を考慮した解析ケースの相対変位(衝突荷重のみ作用)</p> <p>$\delta_x''(T_3)$: 地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケースの相対変位(衝突荷重のみ作用)</p> <p>δ_{finx} : 地震時最終変位</p>	<p>構造同一部の横断方向の設計用の相対変位δ_x :</p> $\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2)\} + \text{abs}\{\delta_{finx}\}$ <p>$\delta_x(T_1)$: 基本ケースと地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(+1σ)を考慮した解析ケースの時刻歴相対変位</p> <p>$\delta_x'(T_2)$: 基本ケースと地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケースの時刻歴相対変位</p> <p>δ_{finx} : 地震時最終変位</p>

4. 止水ジョイントの設計

止水ジョイント部材設計相対変位量の算出方法(2/2)

- ゴムジョイントを設置する構造境界部の設計相対変位は以下のとおり算出する。
 - ✓ 地震時は、基準地震動Ssによる基本ケースと地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大相対変位の2倍を考慮する。
 - ✓ 津波時は、衝突荷重及び遡上津波荷重に対して、基本ケースと地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大相対変位に、基準地震動Ssによる最終変位を2倍した変位を加えた変位量を考慮する(なお、遡上津波荷重は一方向に一樣に作用することから、遡上津波荷重によって構造物間に相対変位は生じないが、構造境界部であることを踏まえ、保守的に考慮する)。
 - ✓ 津波+余震重畳時は、弾性設計用地震動Sd-D2による基本ケースと地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大相対変位に、基準地震動Ssによる最終変位を2倍した変位を加えた変位量を考慮する(なお、弾性設計用地震動Sd-D2による山側から海側の変位は、遡上津波荷重の作用方向と逆であるため、考慮しない)。

構造境界部の設計相対変位量の算出方法

	地震時	津波時	津波+余震重畳時
変位イメージ			
変位算出方法	<p>構造境界部の横断方向の設計用の相対変位δ_x :</p> $\delta_x = 2 \times \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2), \delta_x''(T_3)\}$ <p>$\delta_x(T_1)$: 基本ケースの最大相対変位</p> <p>$\delta_x'(T_2)$: 地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケースの最大相対変位</p> <p>$\delta_x''(T_3)$: 地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケースの最大相対変位</p>	<p>構造境界部の横断方向の設計用の相対変位δ_x :</p> $\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2), \delta_x''(T_3)\} + 2 \times \text{abs}\{\delta_{finx}\}$ <p>$\delta_x(T_1)$: 基本ケースの相対変位 (衝突荷重及び遡上津波荷重を作用)</p> <p>$\delta_x'(T_2)$: 地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケースの相対変位 (衝突荷重及び遡上津波荷重を作用)</p> <p>$\delta_x''(T_3)$: 地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケースの相対変位 (衝突荷重及び遡上津波荷重を作用)</p> <p>δ_{finx} : 地震時最終変位</p>	<p>構造境界部の横断方向の設計用の相対変位δ_x :</p> $\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2), \delta_x''(T_3)\} + 2 \times \text{abs}\{\delta_{finx}\}$ <p>$\delta_x(T_1)$: 基本ケースの最大相対変位</p> <p>$\delta_x'(T_2)$: 地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケースの最大相対変位</p> <p>$\delta_x''(T_3)$: 地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケースの最大相対変位</p> <p>δ_{finx} : 地震時最終変位</p>

5. その他の評価条件 詳細設計段階における評価条件

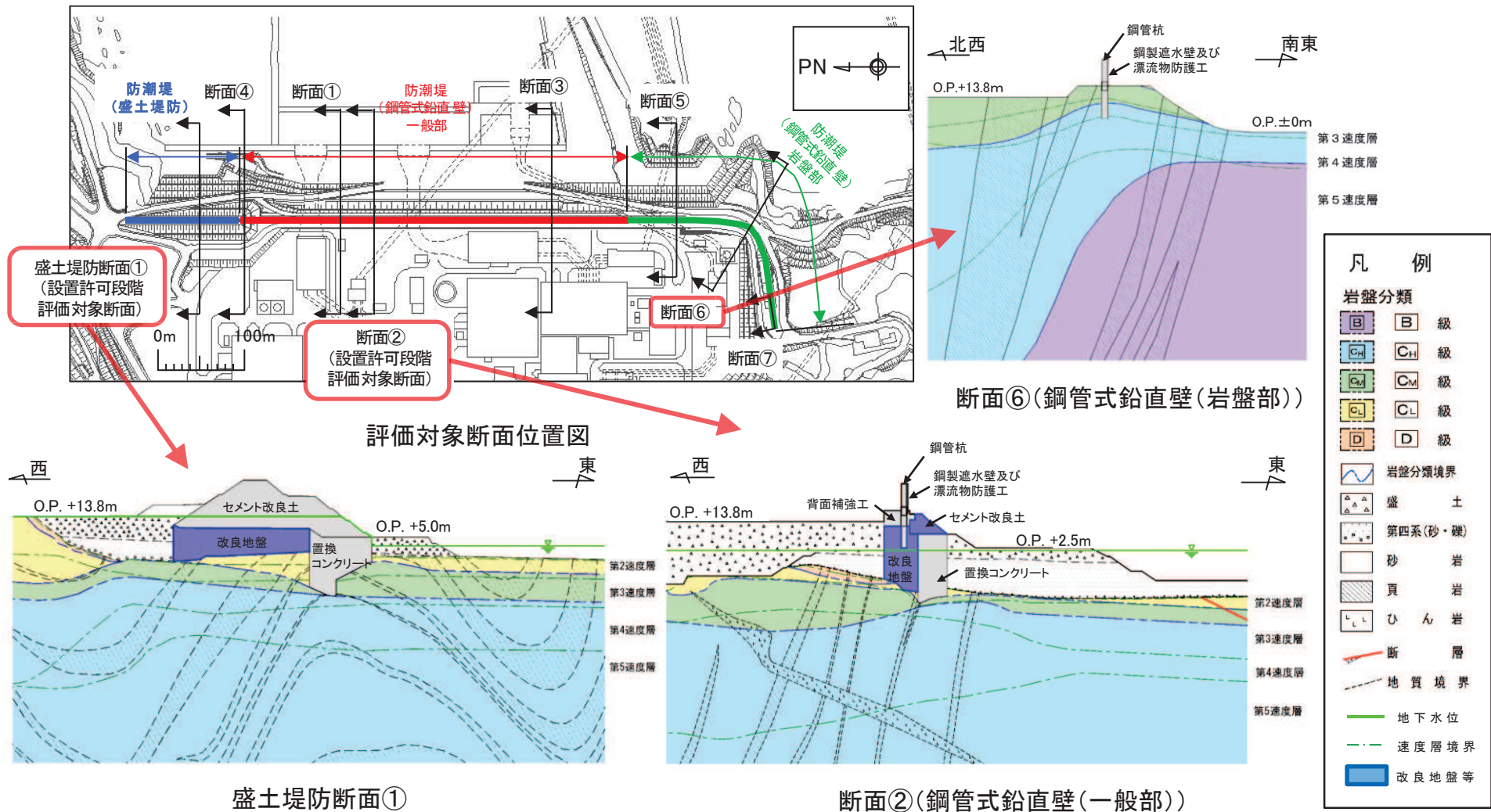
- 防潮堤の耐震・強度評価に当たり、詳細設計段階における評価条件を以下に示す(赤字は設置許可段階で示した構造成立性評価からの追加反映事項を示す)。

項目	設置許可段階	詳細設計段階
評価対象断面*	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 鋼管式鉛直壁(一般部):1断面 ➢ 鋼管式鉛直壁(岩盤部):- (解析方針のみ) ➢ 盛土堤防:1断面 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 鋼管式鉛直壁(一般部):1+3断面 ➢ 鋼管式鉛直壁(岩盤部):3断面 ➢ 盛土堤防:1断面
解析手法*	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 鋼管式鉛直壁(一般部)及び盛土堤防:二次元FEMによる有効応力解析を実施 ➢ 鋼管式鉛直壁(岩盤部):全応力解析を実施する方針の説明 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 鋼管式鉛直壁(一般部)及び盛土堤防:二次元動的有限要素法解析による有効応力解析を実施 ➢ 鋼管式鉛直壁(岩盤部):二次元動的有限要素法解析及び質点系モデルによる全応力解析を実施
設計用地下水位*	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 鋼管式鉛直壁(一般部):朔望平均満潮位(O.P.+1.43m) ➢ 鋼管式鉛直壁(岩盤部):地表面(解析方針のみ) ➢ 盛土堤防:海側は朔望平均満潮位(O.P.+1.43m), 山側は地表面 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 鋼管式鉛直壁(一般部):朔望平均満潮位(O.P.+1.43m) ➢ 鋼管式鉛直壁(岩盤部):地表面 ➢ 盛土堤防:海側は朔望平均満潮位(O.P.+1.43m), 山側は地表面
評価対象地震動	<p>(地震時)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 基準地震動S_s(7波)のうち、構造物への影響が大きい地震動(2波)を構造成立性評価地震動として選定 <p>(余震重畳時)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 弾性設計用地震動S_d-D2を構造成立性評価地震動として選定 	<p>(地震時)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 基準地震動S_s7波(位相反転考慮) <p>(余震重畳時)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 弾性設計用地震動S_d-D2(位相反転考慮)
解析ケース	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 地盤物性のばらつき係数(0.9)を設定し、裕度を確認 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 地盤物性ばらつきとして、剛性のばらつき(平均値$\pm 1\sigma$)による影響評価を実施 ➢ 断層横断部の影響評価を実施
評価方法	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 解析に基づき算定した発生応力より、設定した許容限界以下であることを確認 ➢ 止水ジョイントについては、詳細設計段階で確定する方針 ➢ 止水性については、各部位の健全性を確認した上で、異種材料間に貫通した水みちが形成されないことを確認 ➢ また、地盤中からの回り込みについて、透水係数を保守的に設定した二次元浸透流解析により、敷地に津波が流入しないことを確認 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 解析に基づき算定した発生応力より、設定した許容限界以下であることを確認 ➢ 止水ジョイントについて、構造同一部と構造境界部に区分した上で、地震時・津波時・津波+余震重畳時で最大相対変位を算定し、許容限界以下であることを確認 ➢ 止水性については、詳細設計の結果を反映して各部位の健全性を確認した上で、異種材料間に貫通した水みちが形成されないことを確認 ➢ また、地盤中からの回り込みについて、透水係数を保守的に設定した二次元浸透流解析により、敷地に津波が流入しないことを確認

注記*: 第979回審査会合において説明

5. その他の評価条件 評価対象断面

- 評価断面は、第979回審査会合における説明のとおり、構造的特徴、周辺地盤状況、地下水位等を考慮し、耐震・強度評価上最も厳しくなると考えられる断面を選定する。
- 設置許可段階における2断面(鋼管式鉛直壁(一般部)1断面、盛土堤防1断面)を含め、評価対象断面位置図に示す鋼管式鉛直壁(一般部)4断面、鋼管式鉛直壁(岩盤部)3断面及び盛土堤防1断面の計8断面を選定。断面図の例を下図に示す(全断面については、参考2に示す)。



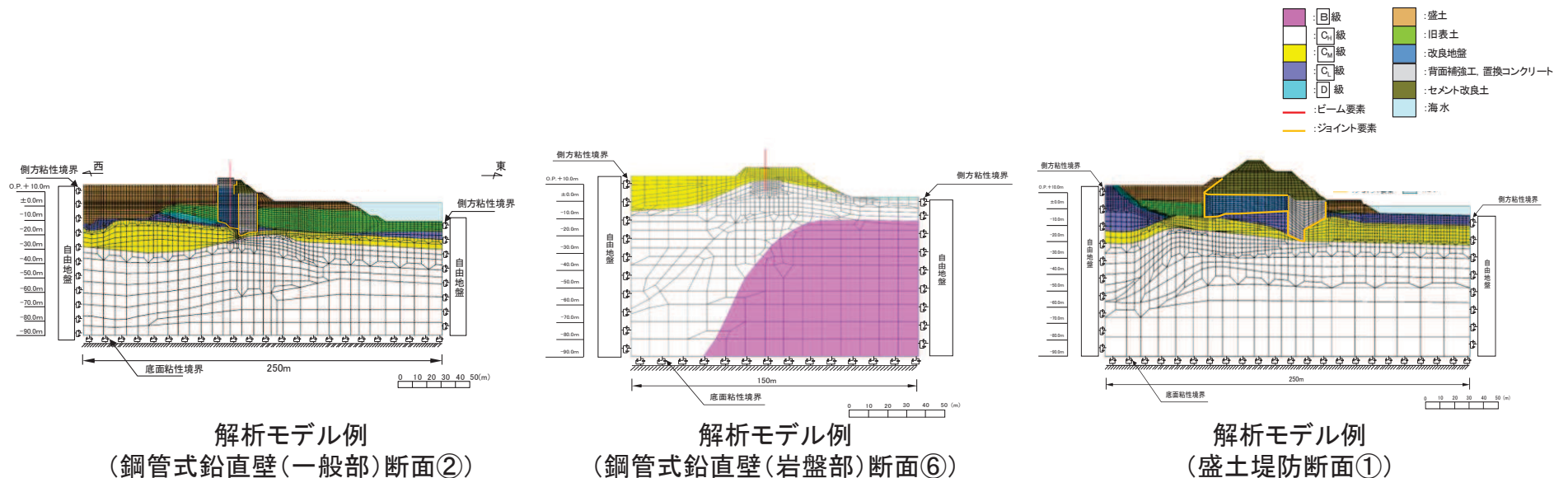
5. その他の評価条件 解析手法及び解析モデル

【解析手法】

- 防潮堤は、周辺の地盤状況により地震時及び津波時(余震重畳時を含む)の応答及び評価が影響を受けることから、地震時及び津波時ともに、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元有限要素法により解析を行うことを基本とする。
- 解析は、第979回審査会合における説明のとおり、液状化による側方流動の影響を受ける可能性がある鋼管式鉛直壁(一般部)及び盛土堤防については有効応力解析により実施する。また、岩盤内に設置されており液状化の影響を受けない鋼管式鉛直壁(岩盤部)については全応力解析により評価を実施する。

【解析モデル】

- 地震応答解析モデルは、境界条件の影響が構造物及び地盤の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。解析モデルの例を下図に示す。



5. その他の評価条件 荷重及び荷重の組合せ，許容限界

【荷重の組合せ】

- 考慮する荷重は以下のとおり。強度評価（津波時及び津波＋余震重畳時）の荷重作用図を参考3に示す。

	固定荷重	積載荷重 (積雪荷重を 含む)	風荷重	地震荷重 (基準地震動 Ss)	遡上津波荷重*	漂流物 衝突荷重 (2000kN)	余震荷重 (弾性設計用 地震動 Sd-D2)
地震時	○	○	○	○	—	—	—
津波時	○	○	○	—	○	○	—
津波＋余震重畳時	○	○	○	—	○	—	○

注記*：津波荷重は入力津波水位O.P.+24.4mに余裕を考慮してO.P.+25.0mの水位として算定する。

【許容限界】

- 許容限界は，各部位の役割を踏まえて整理した性能目標に基づき，以下のように設定する。各部位の役割，性能目標及び許容限界の整理については参考1に示す。

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること 止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	鋼管杭 鋼製遮水壁 漂流物防護工	曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が 許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		背面補強工 置換コンクリート 改良地盤 セメント改良土	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を 確認	すべり安全率1.2以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下で あることを確認	極限支持力
	構造物の変形性	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを 確認	有意な漏えいが生じないこと を確認した変形量

5. その他の評価条件 地盤物性のばらつき考慮

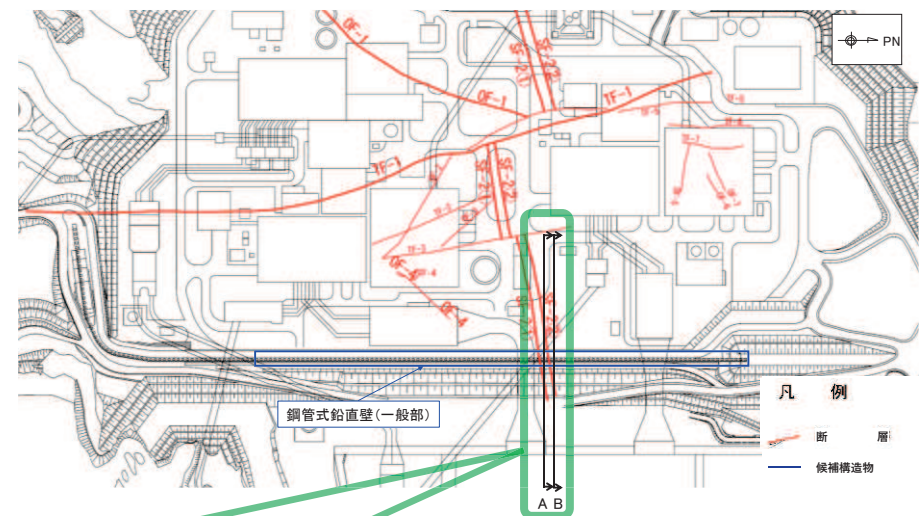
【地盤物性のばらつき】

- 耐震評価及び強度評価においては、地盤物性のばらつきを考慮し、以下のケースの解析を実施する。

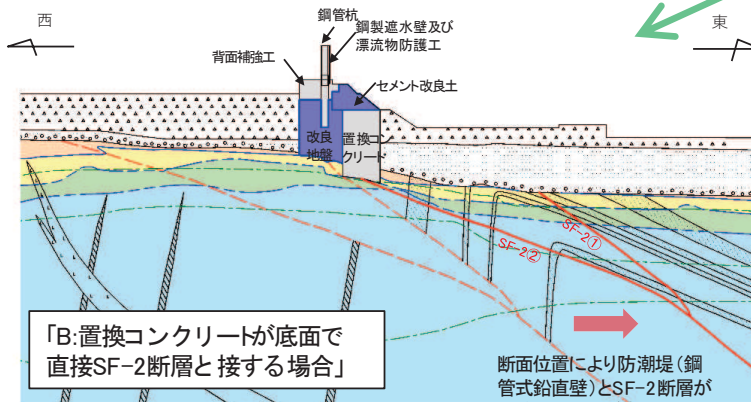
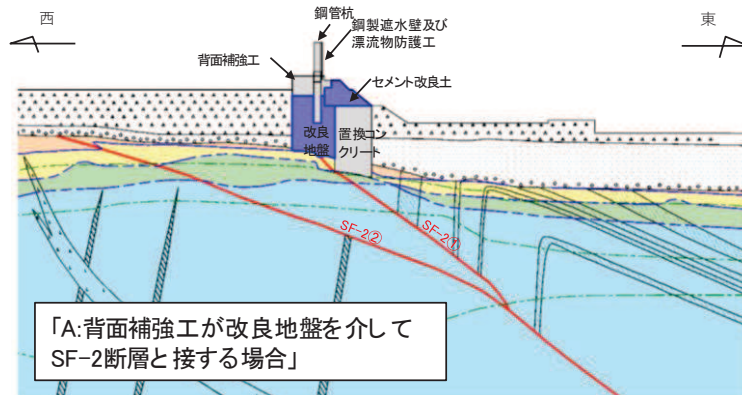
解析ケース	ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき(+1 σ)を考慮した解析ケース
地盤物性	平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ
地震時	基準地震動Ss7波 (位相反転考慮)	基本ケースにおいて照査値が最も厳しい地震動	
津波時	○	○	○
津波+余震重畳時	弾性設計用地震動Sd-D2 (位相反転考慮)	基本ケースにおいて照査値が最も厳しい地震動	

5. その他の評価条件 断層横断部の影響

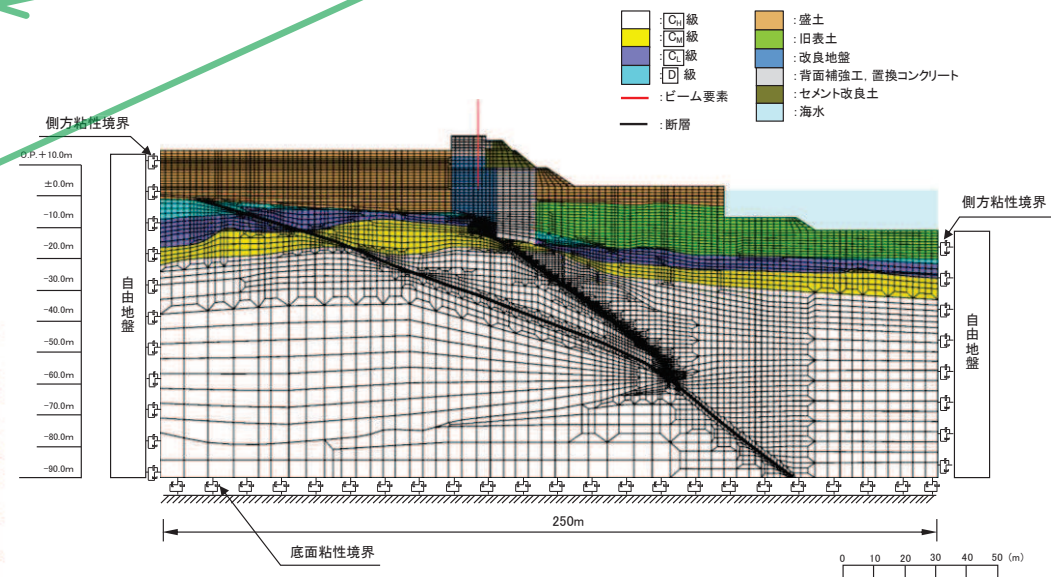
- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)をSF-2断層が横断するため、耐震評価に与える影響を確認する。
- 断面位置により防潮堤(鋼管式鉛直壁)とSF-2断層が交差する位置が漸次的に変化するため、「A:背面補強工が改良地盤を介してSF-2断層と接する場合(断面A)」及び「B:置換コンクリートが底面で直接SF-2断層と接する場合(断面B)」に分類される。
- それぞれのパターンにおいて、SF-2断層をモデル化し、改良地盤や置換コンクリートのすべり安全率等の防潮堤(鋼管式鉛直壁)の耐震性に与える影響を確認する。



防潮堤と断層の位置関係



防潮堤(鋼管式鉛直壁)とSF-2断層の交差イメージ



解析モデル例

(断面A, 背面補強工が改良地盤を介してSF-2断層と接する場合)

6. 防潮堤の耐震・強度評価結果 地盤物性のばらつきを踏まえた評価結果(漂流物防護工)

- 漂流物防護工の評価結果(地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大値)を示す。
- 漂流物防護工に発生する応力は許容限界以下であることを確認した。なお、地震時の照査値はいずれも小さく、水平2方向同時加振を考慮したとして評価結果に問題はない。

【漂流物防護工の評価結果】

検討ケース	部材	材質	応力成分	応力度* (a)	許容限界 (b)	照査値* (a/b)
地震時	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	21	315	0.07
			せん断応力度 (N/mm ²)	13	180	0.08
			合成応力度	0.01	1.20	0.01
	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	3	382	0.01
			せん断応力度 (N/mm ²)	2	217	0.01
			合成応力度	0.01	1.20	0.01
津波時	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	169	315	0.54
			せん断応力度 (N/mm ²)	68	180	0.38
			合成応力度	0.43	1.20	0.36
	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	275	382	0.72
			せん断応力度 (N/mm ²)	179	217	0.83
			合成応力度	0.68	1.20	0.57
重畳時	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	59	315	0.19
			せん断応力度 (N/mm ²)	38	180	0.22
			合成応力度	0.09	1.20	0.08
	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	19	382	0.05
			せん断応力度 (N/mm ²)	13	217	0.06
			合成応力度	0.01	1.20	0.01

注記* : 応力度及び照査値は地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大値を示す。

6. 防潮堤の耐震・強度評価結果

地盤物性のばらつきを踏まえた評価結果(止水ジョイント)

- 止水ジョイントの評価結果(地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大値)を示す。
- なお、津波時に漂流物衝突荷重を防護工の端部に作用させて、鋼管杭のねじれを考慮した場合として、保守的に軸直交方向の変位を防護工に垂直に衝突荷重を作用させた場合と同じにし、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の剛性を無視したとしても許容値内に収まっていることを確認した。^{*1}

【止水ジョイントの評価結果】

検討ケース		止水ジョイント種類	評価区間 ^{*2}	設計相対変位量 ^{*3} (mm)	許容限界 (mm)
地震時		ゴムジョイント	B区間及びC区間	209.5	350
		ウレタンシリコーン目地	H区間	18.8	30
津波時	ねじれを考慮しない場合	ゴムジョイント	B区間及びC区間	125.0	350
		ウレタンシリコーン目地	H区間	22.6	30
	ねじれを保守的に考慮した場合 ^{*1}	ゴムジョイント	B区間及びC区間	130.6	350
		ウレタンシリコーン目地	H区間	28.2	30
津波+余震重畳時		ゴムジョイント	B区間及びC区間	168.5	350
		ウレタンシリコーン目地	H区間	18.9	30

注記^{*1}: 保守性の詳細は参考4に示す。

^{*2}: 評価区間の詳細はp.10に示す。

^{*3}: 設計相対変位量算出の詳細はp.14~15に示す。

6. 防潮堤の耐震・強度評価結果

地盤物性のばらつきを踏まえた評価結果(鋼管式鉛直壁)

- 鋼管式鉛直壁の耐震・強度評価(地盤物性のばらつきを考慮)の結果, すべての断面・部位において許容値を満足することを確認した。例として断面②の照査結果を示す。

検討ケース	部位	照査項目	応力度* ¹	許容限界	照査値* ¹
地震時	鋼管杭	曲げ・軸力	151(N/mm ²)	247(N/mm ²)	0.62* ²
		せん断	101(N/mm ²)	217(N/mm ²)	0.47* ²
	背面補強工	すべり安全率	(最小すべり安全率)		20.3
	置換コンクリート	すべり安全率	(最小すべり安全率)		4.6
	改良地盤	すべり安全率	(最小すべり安全率)		2.6
	セメント改良土	すべり安全率	(最小すべり安全率)		3.4
	基礎地盤	接地圧	1.5(N/mm ²)	11.4(N/mm ²)	0.14
津波時	鋼管杭	曲げ・軸力	261(N/mm ²)	382(N/mm ²)	0.69* ³
		せん断	121(N/mm ²)	217(N/mm ²)	0.60* ^{2, 4}
	背面補強工	すべり安全率	(最小すべり安全率)		12.1
	置換コンクリート	すべり安全率	(最小すべり安全率)		24.7
	改良地盤	すべり安全率	(最小すべり安全率)		4.9
	セメント改良土	すべり安全率	(最小すべり安全率)		41.3
津波+余震重畳時	鋼管杭	曲げ・軸力	288(N/mm ²)	382(N/mm ²)	0.76* ³
		せん断	104(N/mm ²)	217(N/mm ²)	0.48* ³
	背面補強工	すべり安全率	(最小すべり安全率)		10.9
	置換コンクリート	すべり安全率	(最小すべり安全率)		12.6
	改良地盤	すべり安全率	(最小すべり安全率)		2.8
	セメント改良土	すべり安全率	(最小すべり安全率)		15.1
	基礎地盤* ⁵	接地圧	1.1(N/mm ²)	11.4(N/mm ²)	0.10

(偏心の影響を考慮しない場合)

(0.52)

(0.31)

(0.49)

注記*¹: 応力度及び照査値は地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大値を示す。

*²: 漂流物防護工の偏心による影響を考慮。

*³: 漂流物防護工の偏心による影響は小さいため非考慮。

*⁴: 偏心の影響を考慮するため、照査値が最も厳しい断面⑤の結果を記載。

*⁵: 津波+余震重畳時の基礎地盤評価は津波時を包含する。

6. 防潮堤の耐震・強度評価結果

地盤物性のばらつきを踏まえた評価結果(盛土堤防)

- 盛土堤防の耐震・強度評価(地盤物性のばらつきを考慮)の結果, すべての部位において許容値を満足することを確認した。盛土堤防断面①の照査結果を示す。

検討ケース	部位	照査項目	応力度*1	許容限界	照査値*1
地震時	セメント改良土	すべり安全率	(最小すべり安全率)		3.0
	置換コンクリート	すべり安全率	(最小すべり安全率)		6.3
	改良地盤	すべり安全率	(最小すべり安全率)		3.4
	基礎地盤	接地圧	2.8(N/mm ²)	11.4(N/mm ²)	0.25
津波時	セメント改良土	すべり安全率	(最小すべり安全率)		5.7
	置換コンクリート	すべり安全率	(最小すべり安全率)		35.7
	改良地盤	すべり安全率	(最小すべり安全率)		13.0
津波+余震 重畳時	セメント改良土	すべり安全率	(最小すべり安全率)		5.5
	置換コンクリート	すべり安全率	(最小すべり安全率)		12.8
	改良地盤	すべり安全率	(最小すべり安全率)		5.2
	基礎地盤*2	接地圧	2.1(N/mm ²)	11.4(N/mm ²)	0.19

注記*1: 発生値及び照査値は地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大値を示す。

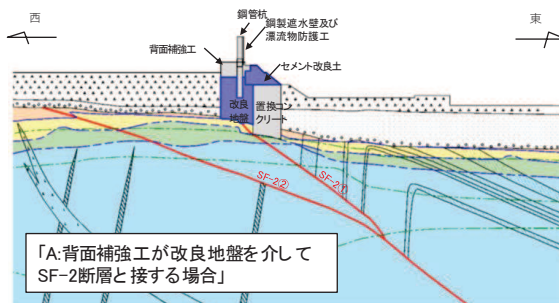
*2: 津波+余震重畳時の基礎地盤評価は津波時を包含する。

6. 防潮堤の耐震・強度評価結果 断層横断部の影響確認結果

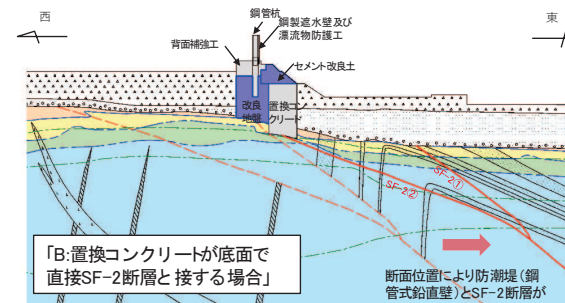
- 断層横断部の影響確認結果について、鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊、置換コンクリート及び改良地盤に対する照査結果を示す。
- 断層横断部の影響確認断面である断面A及び断面Bの照査値よりも、評価対象断面(構造的特徴、周辺地盤状況、地下水位等を考慮し、耐震・強度評価上厳しくなると考えられる断面)における照査値の方が厳しい。
- このことより、断層横断部が防潮堤(鋼管式鉛直壁)の耐震性に及ぼす影響(鋼管杭の地震応答、改良地盤及び置換コンクリートのすべり安全率等)は小さいことを確認した。

部位	断面	地震動(位相)		応力度	許容限界	照査値
鋼管杭 (曲げ・軸力)	A	Ss-D2	(++)	99(N/mm ²)	247(N/mm ²)	0.41*
	B	Ss-D2	(++)	102(N/mm ²)	247(N/mm ²)	0.42*
	断面②	Ss-D2	(++)	116(N/mm ²)	247(N/mm ²)	0.47*
置換 コンクリート	A	Ss-N1	(++)	(最小すべり安全率)		4.2
	B	Ss-N1	(++)	(最小すべり安全率)		4.5
	断面①	Ss-N1	(++)	(最小すべり安全率)		4.2
改良地盤	A	Ss-F2	(++)	(最小すべり安全率)		3.1
	B	Ss-F2	(++)	(最小すべり安全率)		3.0
	断面①	Ss-F1	(++)	(最小すべり安全率)		2.9

注記* : 漂流物防護工の偏心の影響を考慮しない場合。



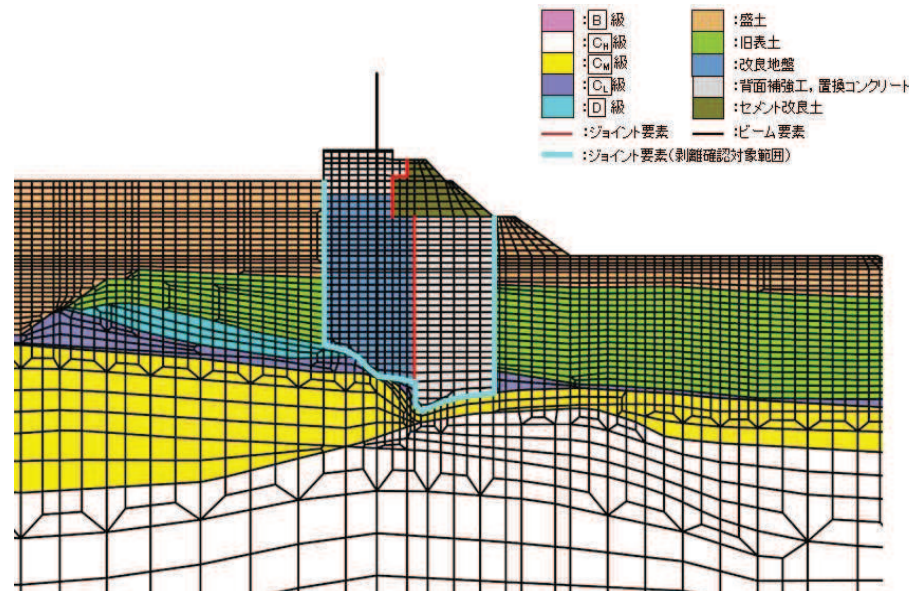
(断面A)



(断面B)

6. 防潮堤の耐震・強度評価結果 止水性の確認(1)

- 防潮堤の止水性については、鋼製遮水壁、背面補強工及び止水ジョイントで遮水性を担保し、改良地盤、置換コンクリート及びセメント改良土で地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性の保持)することとしており、これらの部位の遮水性又は難透水性については、それぞれの部位の健全性により確認できている。
- また、置換コンクリート、改良地盤及びセメント改良土について透水係数を保守的に設定した浸透流解析により、津波の滞留時間中に地盤中からの回り込みによる浸水が防止されることを確認している(詳細を参考5に示す)。
- ここでは、部位間の構造境界部の剥離状況を確認し、構造境界部に水みちが発生して津波が敷地に流入しないことを確認する。
- 具体的には、解析において部位間には材料と施工状況を考慮した上で剥離を考慮できるジョイント要素を設定しており、その剥離状況を確認する。検討対象断面は、水みちの発生に対する厳しさを考慮して、p.17に示す評価対象断面のうち置換コンクリート及び改良地盤の幅の小さい断面①、②、③、⑤とする。例として、断面②の解析モデル及びジョイント要素の配置図を示す。

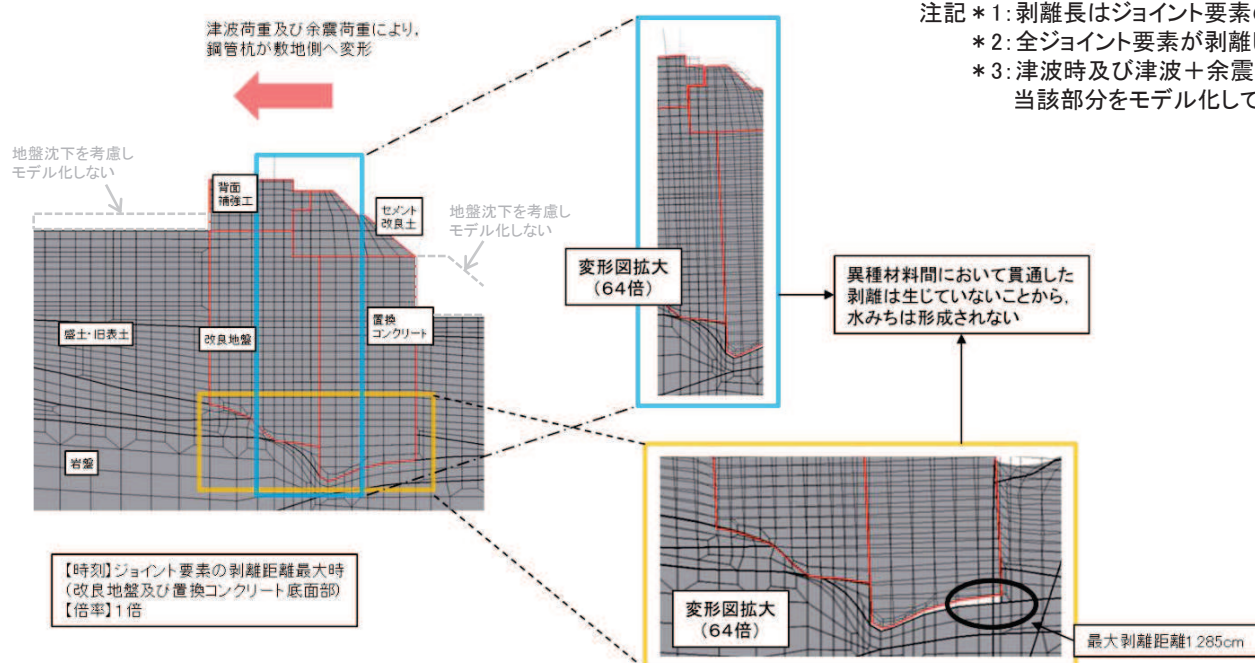


断面②の解析モデル及びジョイント要素の配置図

6. 防潮堤の耐震・強度評価結果 止水性の確認(2)

- 代表として、断面②における地震時、津波時及び津波＋余震重畳時の剥離状況を示す。
- 以下に示すとおり、地震時(最終ステップ)、津波時及び津波＋余震重畳時にいずれにおいても剥離は貫通しておらず、水みちは発生していないことを確認した。

断面	検討ケース		最大剥離長		剥離貫通 ^{*2} の有無	最大剥離要素数	
	事象	地震動(位相)	時刻(s)	剥離長 ^{*1} (cm)		時刻(s)	要素数 ^{*3}
断面②	地震時	Ss-N1(-+)	最終ステップ	0.482	無	最終ステップ	59/176
	津波時	-	-	0.016	無	-	27/138
	津波＋余震重畳時	Sd-D2(++)	25.55	1.240	無	25.54	59/138
		Sd-D2(-+)	25.35	1.168	無	17.80	60/138
		Sd-D2(+)	25.54	1.285	無	7.87	67/138
	Sd-D2(--)	25.35	1.216	無	8.48	60/138	

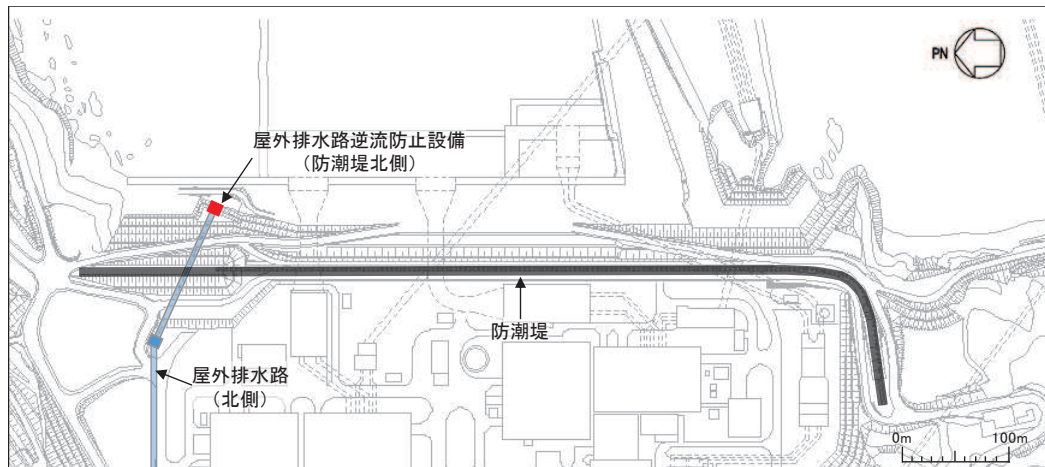


- 注記 *1: 剥離長はジョイント要素の鉛直方向の剥離長(変位)を示したものの。
 *2: 全ジョイント要素が剥離した場合、剥離貫通と判断する。
 *3: 津波時及び津波＋余震重畳時には、地盤の沈下を考慮し、当該部分をモデル化していないため、要素数が変化している。

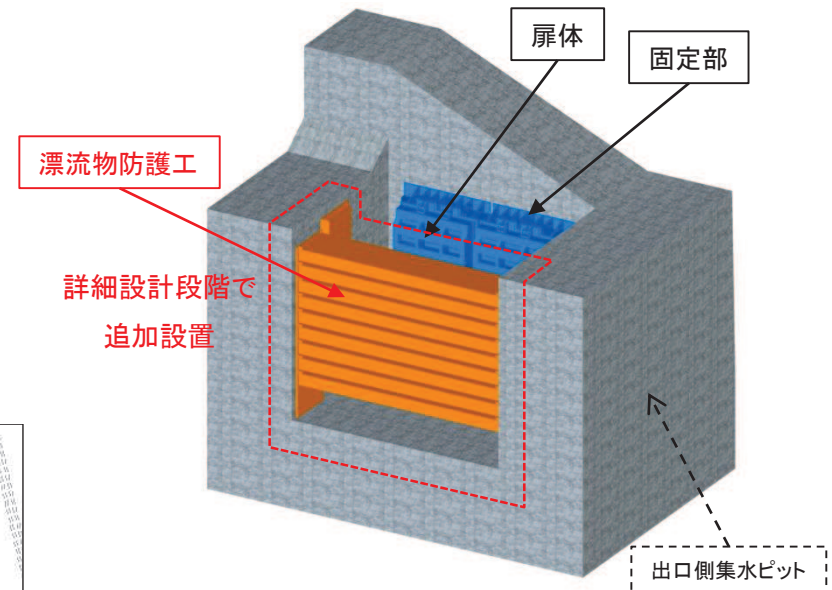
変形図(断面②, 重畳時, Sd-D2(+), t=25.54)

7. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側) 漂流物防護工の追加設置を踏まえた全体構造

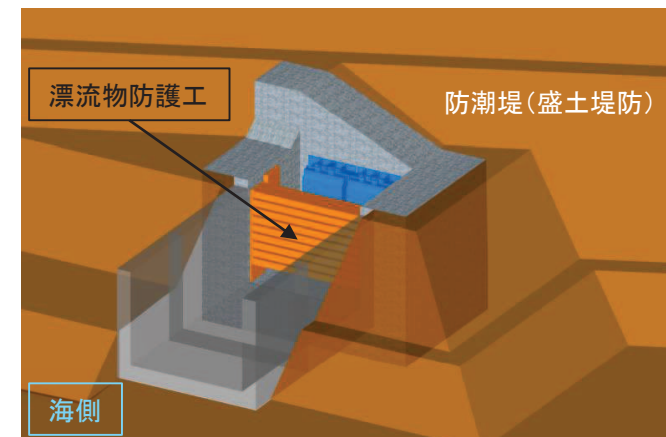
- 防潮堤(盛土堤防)を横断する屋外排水路(北側)の海側出口には、津波の流入を防止するため屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)(浸水防止設備)を設置する。
- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の前面は、海に面した構造であるため、屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の部位の一部として漂流物防護工を設置し、扉体等に漂流物が衝突しない構造とする。
- なお、漂流物防護工を含む屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)は間接支持構造物である出口側集水ピットに支持される。



屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)配置図



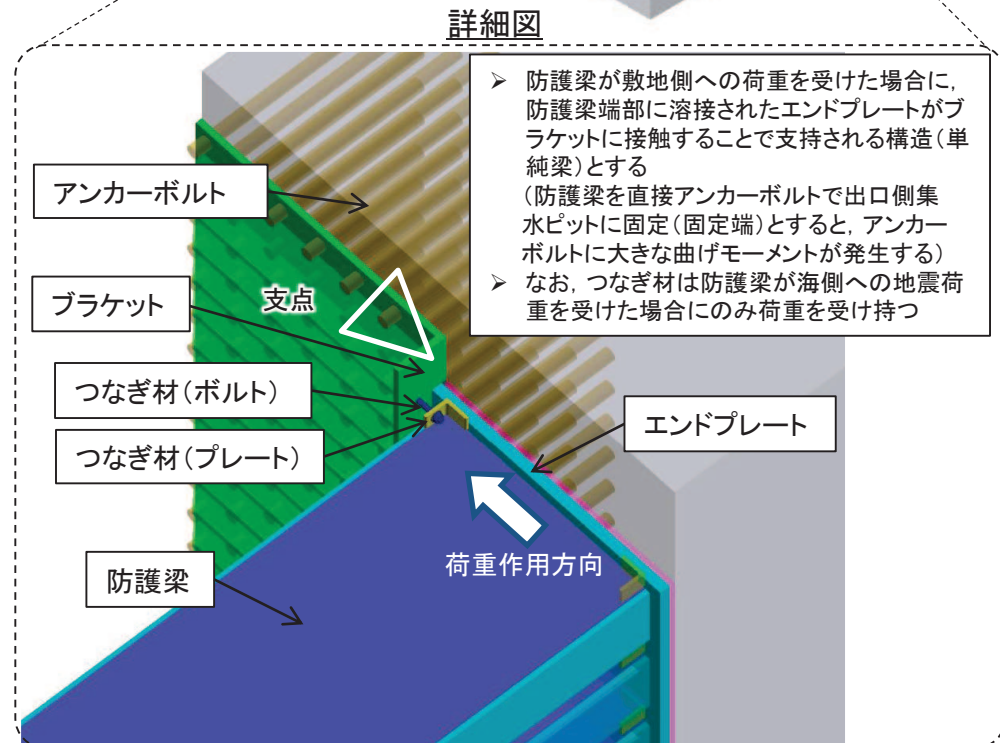
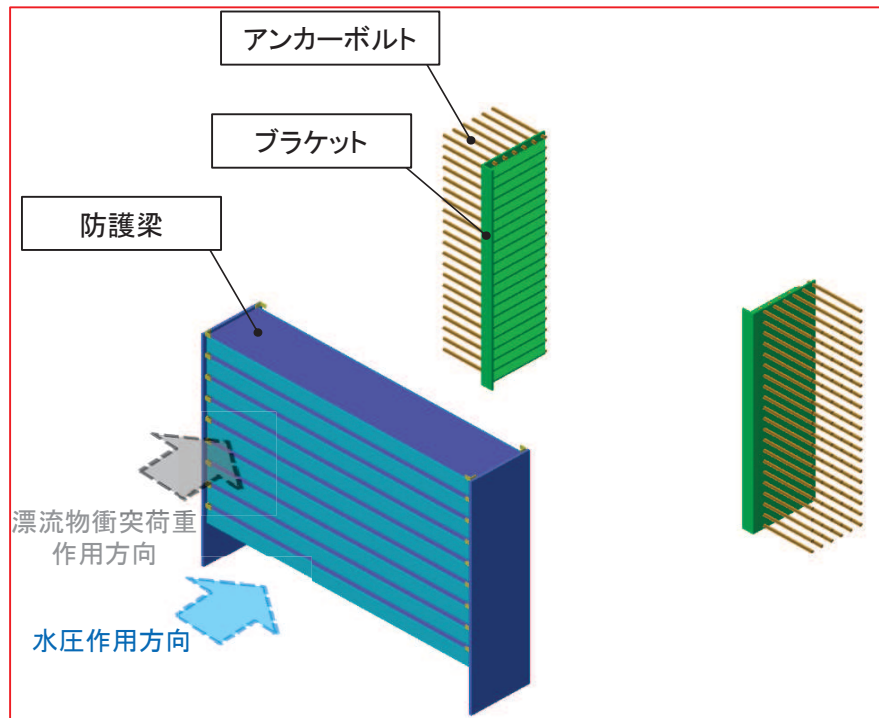
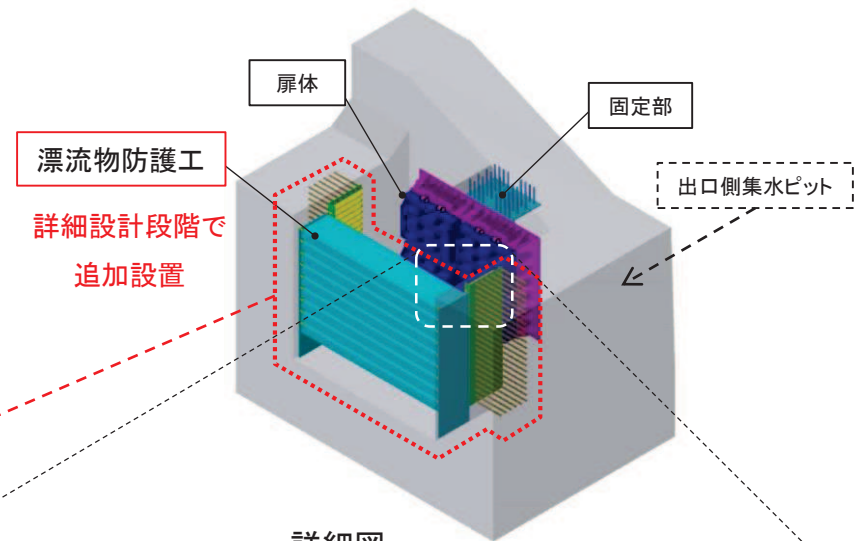
屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の構造イメージ



屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の外観イメージ

7. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側) 漂流物防護工の設置の考え方

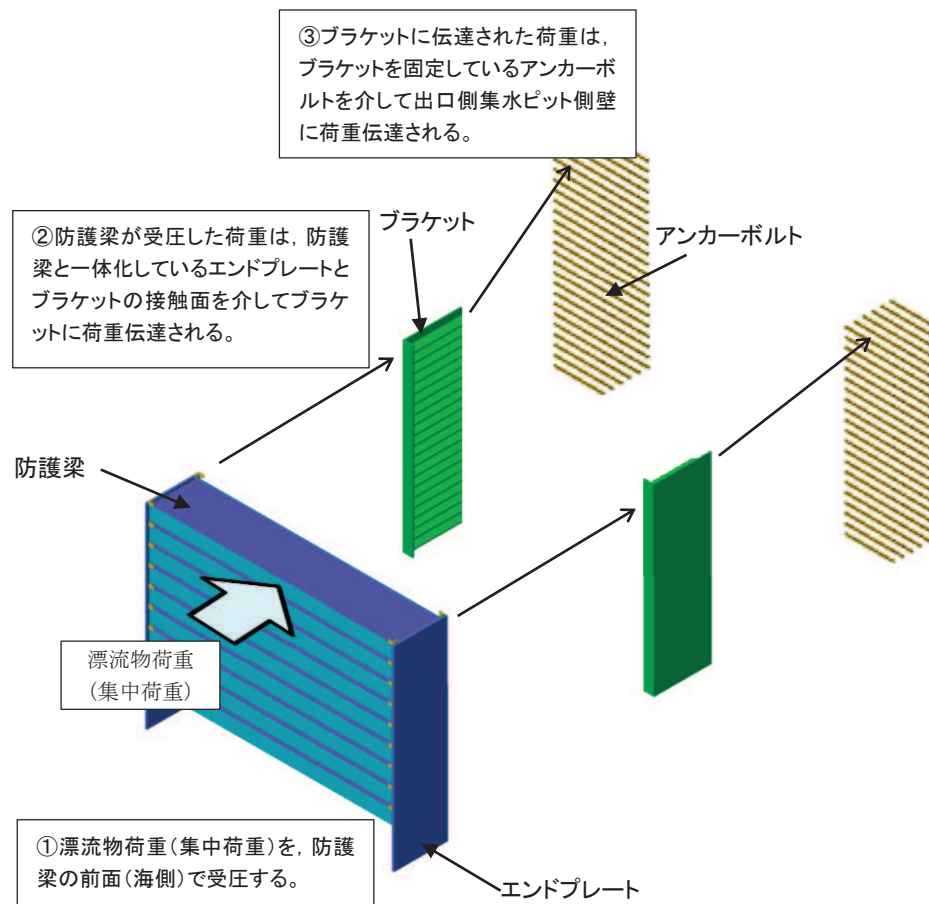
- 設計のコンセプトとしては、集中荷重として考慮する漂流物荷重に対して以下3点を満足する構造とした。
 - ✓ 繰返しの襲来を想定した遡上波に対して機能を損なわないことを目的とするため、おおむね弾性範囲に収まる設計(許容限界:許容応力度)とする。
 - ✓ 扉体及び固定部に漂流物を直接衝突させず、津波荷重のみが作用する構造とする(防護梁の設置)。
 - ✓ 防護梁の両端の固定方法について、アンカーボルト及び出口側集水ピットの健全性確保の観点から、防護梁が単純梁として支持される構造とすることで、アンカーボルトに発生する応力(曲げモーメント)が小さい構造とする(ブラケットの設置)。



屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の構造

7. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側) 漂流物防護工の役割, 性能目標及び評価方法

- 漂流物防護工の荷重伝達経路を下図に示す。
- 漂流物荷重を防護梁で受け, 防護梁で受圧した荷重は防護梁端部のエンドプレートを通じてブラケットへブラケットが受圧した荷重は, アンカーボルトを介して間接支持構造物である出口側集水ピットへ荷重伝達される。
- 荷重伝達経路を踏まえた役割及び性能目標を以下に示す。



漂流物防護工の荷重伝達経路

【漂流物防護工の役割】

- 漂流物防護工は, 防護梁, ブラケット等で構成し, 扉体及び固定部に漂流物を直接衝突させないように扉体よりも海側に設置する。
- そのため, 津波時において, 防護梁が漂流物による衝突を直接受けて, 漂流物防護工の各部に荷重を伝達し, 最終的には間接支持構造物の出口側集水ピットの側壁に荷重を伝達する。

【漂流物防護工の性能目標及び評価方法】

- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の健全性を保持するために, 漂流物防護工はおおむね弾性状態にとどまることを性能目標とする。
- また, 上記性能目標を満足するため, 曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界(短期許容応力度)以下であることを確認する。

【漂流物防護工の評価結果】

- 漂流物衝突荷重を考慮する津波時において, 漂流物防護工は許容限界以下であることを確認した。
- また, 地震時及び重畳時においても, 漂流物防護工は許容限界以下であることを確認した。

【漂流物防護工の追加】

- 漂流物衝突荷重(2000kN)に十分耐えるように、防潮堤(鋼管式鉛直壁)の鋼製遮水壁前面に漂流物防護工を設置し、漂流物防護工がおおむね弾性範囲に収まる設計とした。
- 同様に、屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)にも漂流物防護工を設置した。

【防潮堤の詳細設計結果】

- 漂流物防護工の設置による鋼管杭への影響を踏まえて、地盤物性のばらつきによる影響や断層横断部の影響についても考慮して耐震・強度評価を行い、各部位の健全性を確認した。
- また、先行プラントと比較して特異性のある、漂流物防護工及び止水ジョイントのうち変位の小さい箇所に使用するウレタンシリコン目地について、健全性を確認した。
- 加えて、防潮堤の要求機能である止水性について、地盤中からの回り込みによる浸水を含めて津波の侵入を防止できることを確認した。
- 以上から、防潮堤は基準津波及び基準地震動に対して要求機能を満足できることを確認した。

【参考資料】

- 参考1 防潮堤に関する新規制基準への適合性
- 参考2 防潮堤の評価対象断面
- 参考3 防潮堤の強度評価における荷重作用図
- 参考4 止水ジョイントのねじれ変位を考慮する場合の保守性について
- 参考5 浸透流解析による地盤中からの回り込み防止の確認

【防潮堤の要求機能】

- 防潮堤は、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が要求される。
- また、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無いよう、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が要求される。

【部位の役割】

- 防潮堤は多種の部位から構成されるため、各部位の地震時及び津波時の役割について整理する。各部位の役割について鋼管式鉛直壁(一般部)を例*に示す。

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持する。 	<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"> 漂流物防護工及び止水ジョイントを支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物防護工及び止水ジョイントを支持するとともに、遮水性を保持する。
	漂流物防護工	—	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁及び止水ジョイントに漂流物を直接衝突させない。 漂流物衝突荷重を鋼製遮水壁及び鋼管杭に伝達する。
	止水ジョイント	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁間の変位に追従する。 	<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"> 鋼管杭の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 遮水性を保持する。 鋼管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。 鋼管杭の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管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)。
地盤	セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管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	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭(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。 鋼管杭の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭(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)。 鋼管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	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭、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。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭、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。

注記* : 第670回審査会合資料一部修正

【部位の性能目標】

- 部位の役割を踏まえた性能目標について整理する。各部位の性能目標について鋼管式鉛直壁(一般部)を例*に示す。

	部位	鉛直支持	すべり安定性	健全性	止水性
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とどまること。	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とどまること。
	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とどまること。	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とどまること。
	漂流物防護工			構造部材の健全性を保持するために、漂流物防護工がおおむね弾性状態にとどまること。	構造部材の健全性を保持するために、漂流物防護工がおおむね弾性状態にとどまること。
	止水ジョイント			有意な漏えいを生じないために、止水ジョイントの性能を保持すること。	有意な漏えいを生じないために、止水ジョイントの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)。	水みちが形成されて有意な漏えいを生じないために、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	セメント改良土	-	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。	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)。
	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)。
	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。		-	-

注記* : 第670回審査会合資料一部修正

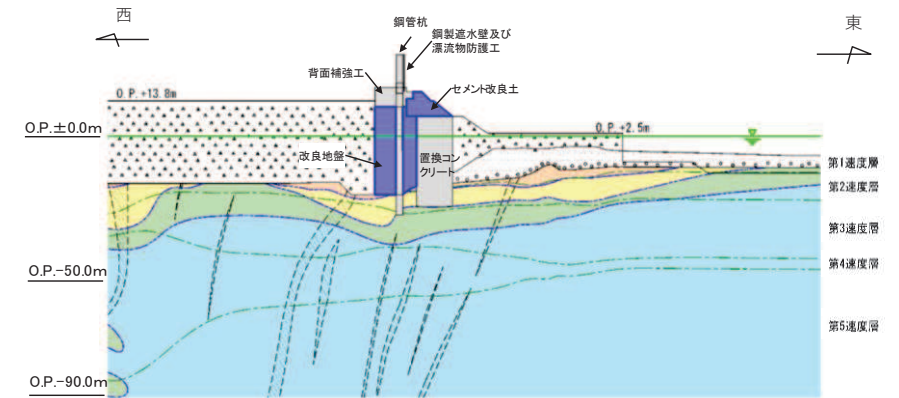
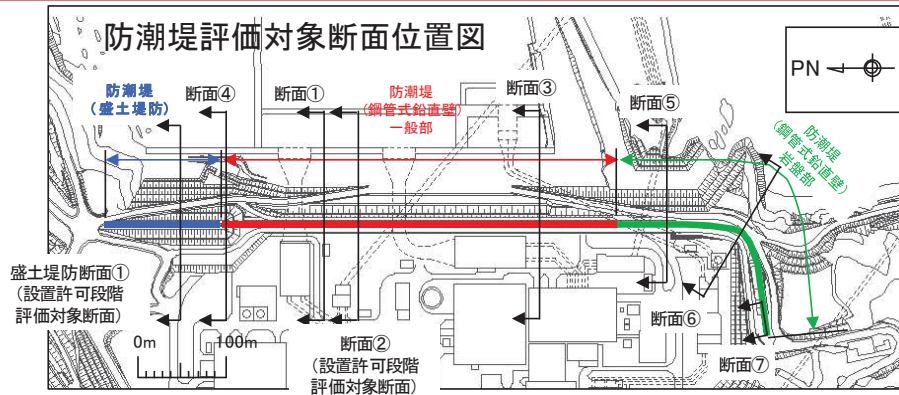
【部位の照査項目と許容限界】

- 部位の性能目標を踏まえた照査項目と許容限界について整理する。各部位の照査項目と許容限界について鋼管式鉛直壁(一般部)を例*に示す。

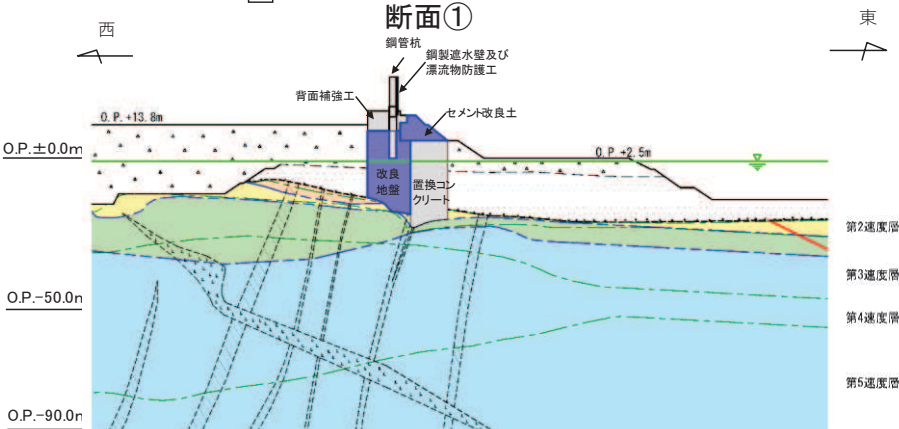
評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること 止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	鋼管杭	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製遮水壁	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物防護工	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		背面補強工	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率1.2以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率1.2以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率1.2以上
		セメント改良土	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率1.2以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力
構造物の変形性	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量	

注記* : 第670回審査会合資料一部修正

【参考2】防潮堤の評価対象断面(1/2)



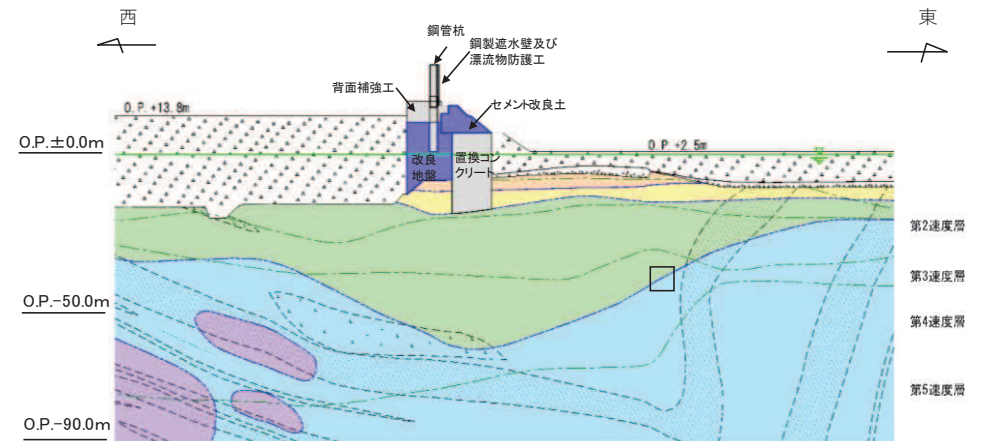
*: 鋼管杭下方のC₁級岩盤部はMMRにより置換。



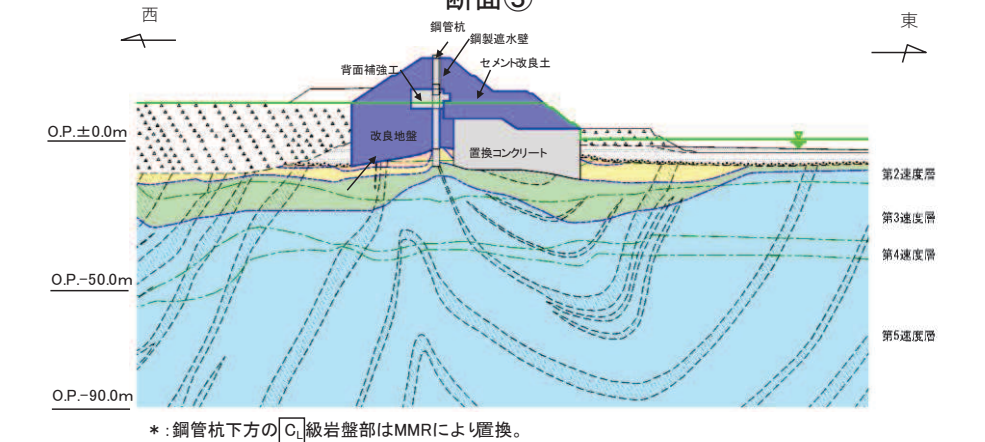
断面②

凡例

岩盤分類		凡例	
B級	盛土	盛土	盛土
C ₁ 級	第四系(砂・礫)	砂	砂
C ₂ 級	砂	真岩	真岩
C ₃ 級	砂	ひん岩	ひん岩
D級	ひん岩	断層	断層
岩盤分類境界		地質境界	地質境界
地下水		改良地盤等	改良地盤等



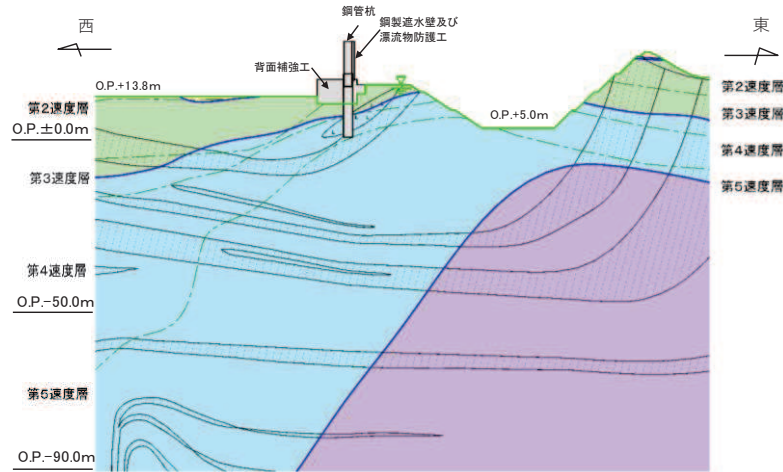
断面③



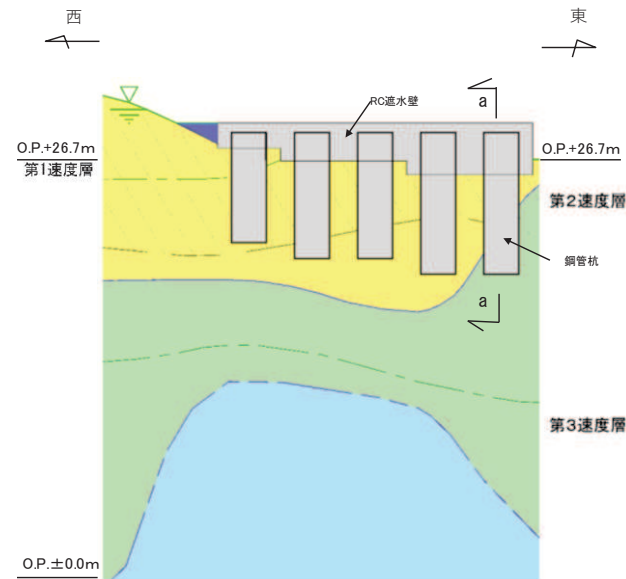
断面④

*: 鋼管杭下方のC₁級岩盤部はMMRにより置換。

【参考2】防潮堤の評価対象断面(2/2)



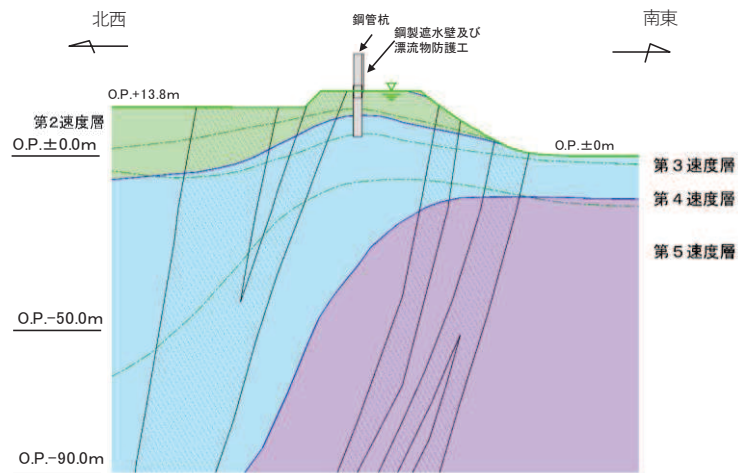
断面⑤



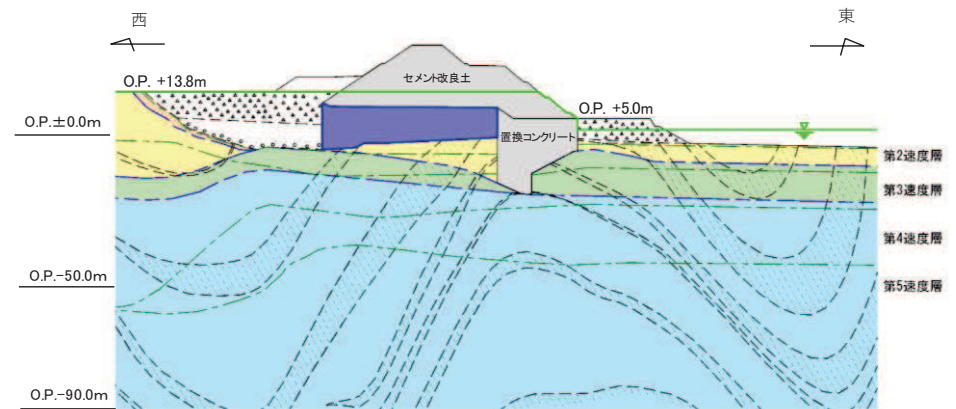
断面⑦

凡例

岩盤分類		凡例	
B	級	盛土	
C ₁	級	第四系(砂・礫)	
C ₂	級	砂岩	
C ₃	級	頁岩	
C ₄	級	ひん岩	
D	級	断層	
		地質境界	
		改良地盤等	
		地下水位	

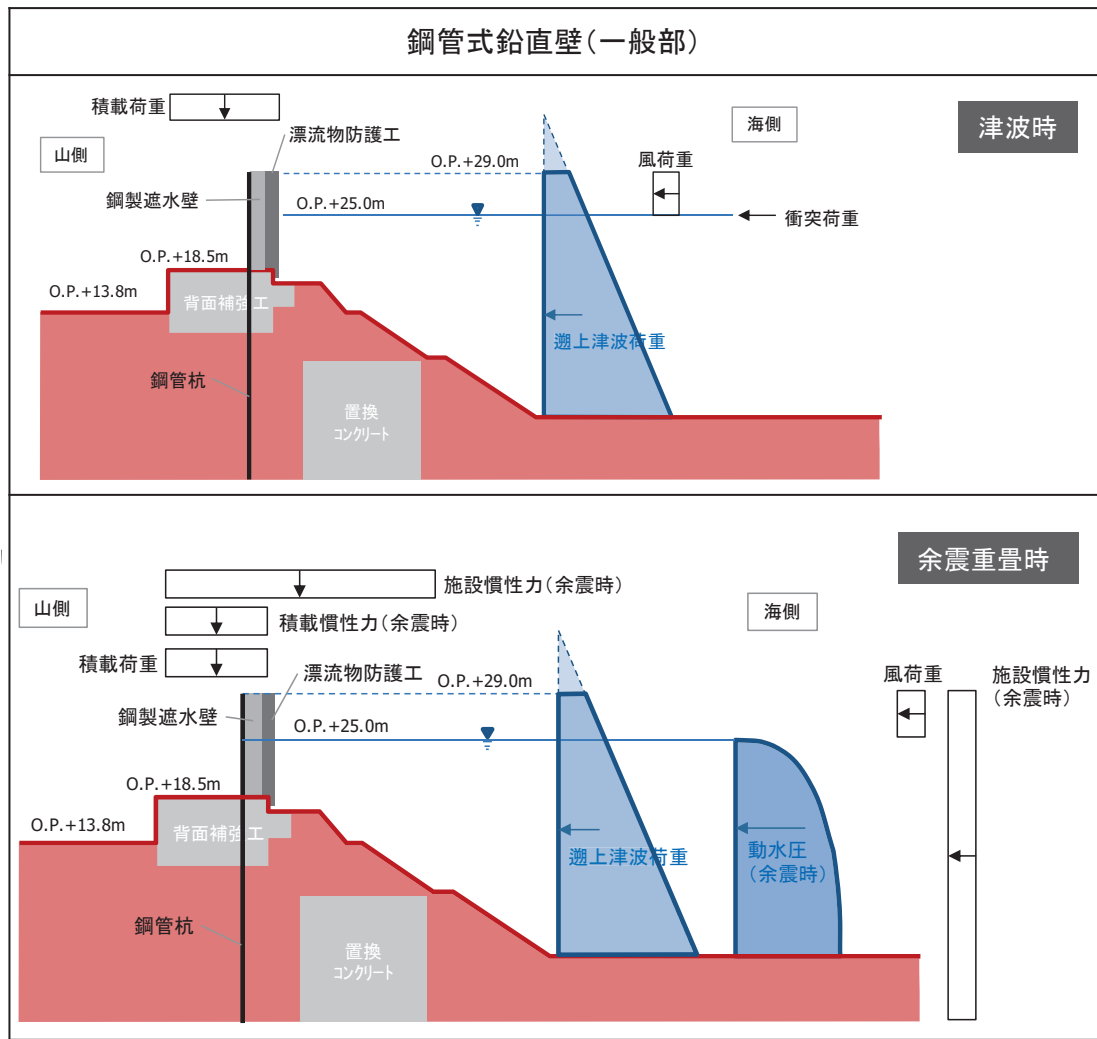


断面⑥



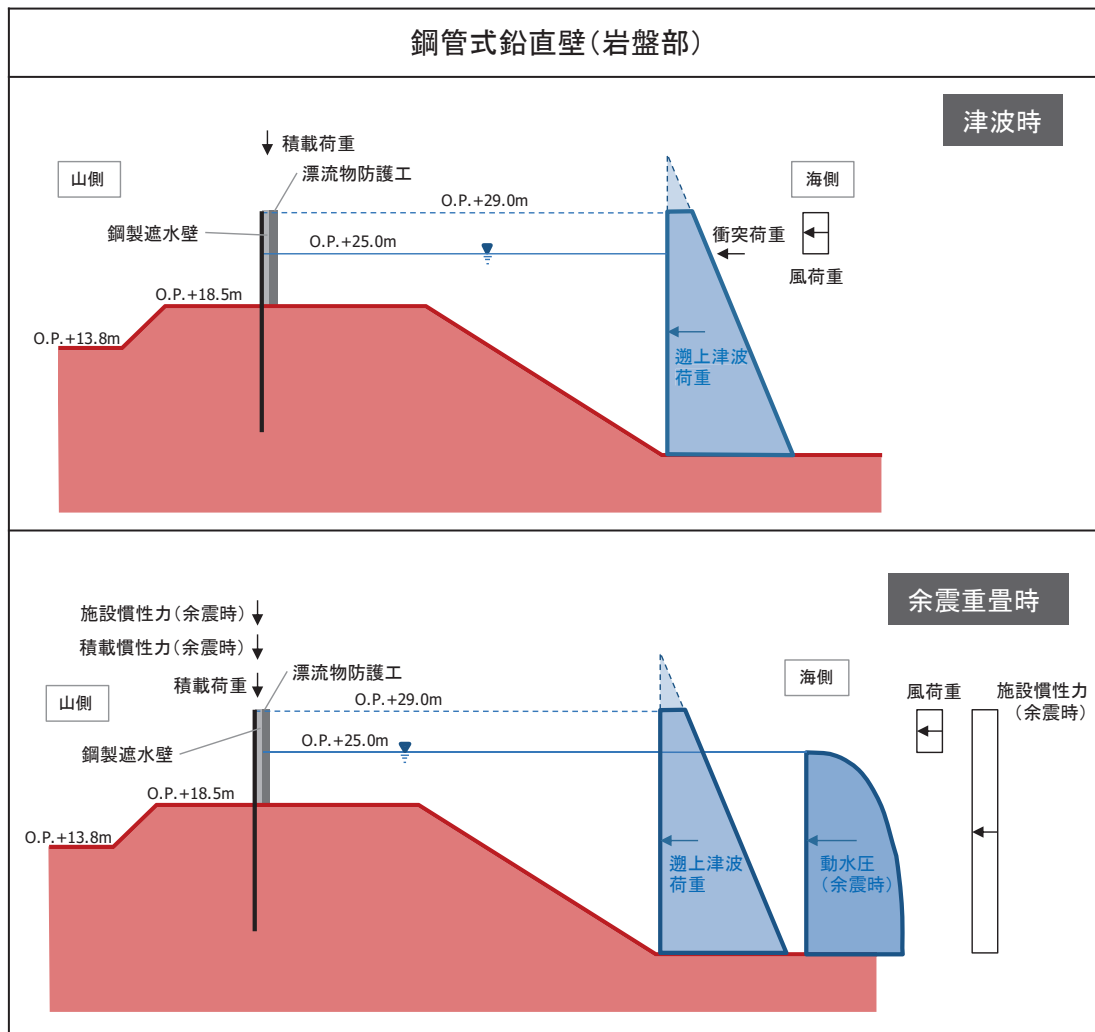
盛土堤防断面①

■ 鋼管式鉛直壁(一般部)の荷重作用図(津波時及び余震重畳時)を示す。



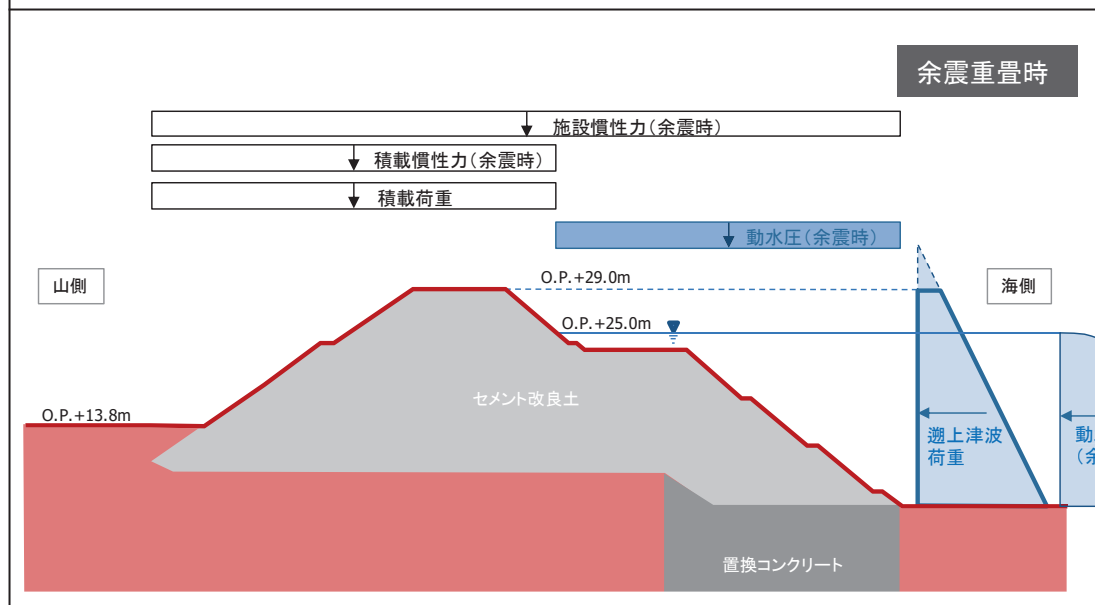
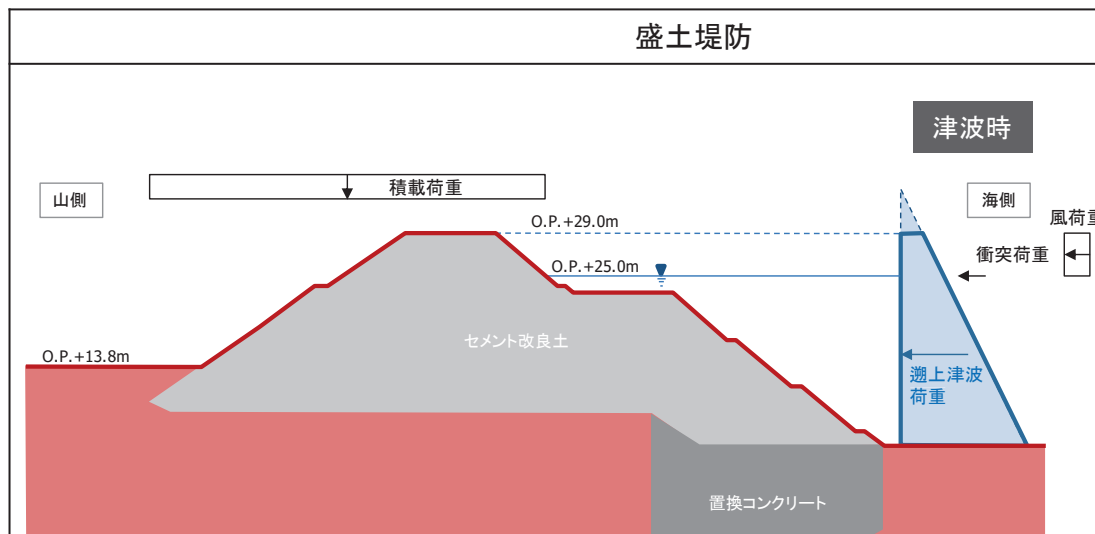
荷重	詳細
固定荷重	躯体自重を考慮する。
積載荷重	積雪荷重を含めて地表面に4.9kN/m ² を考慮する。
積雪荷重	発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに20N/m ² の積雪荷重が作用することを考慮する。
風荷重	敷地側から海側に作用する場合は遡上津波荷重を打ち消す側に荷重が作用するため、海側から敷地側の方向で津波水位から防潮堤天端までに作用することを考慮する。
遡上津波荷重	遡上津波荷重については、風荷重を含めた荷重とするため、防潮堤前面における入力津波水位O.P.+24.4mに余裕を考慮した津波水位O.P.+25.0mを用いることとし、その標高と防潮堤前面の地盤標高の差分の1/2倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その3倍を考慮して算定する。
衝突荷重	2.15tの車両を対象に「FEMA(2012)」式による漂流物荷重に余裕を考慮して2000kNを津波水位O.P.+25.0m位置に考慮する。
余震荷重	弾性設計用地震動Sd-D2による地震力及び動水圧を考慮する。

■ 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の荷重作用図(津波時及び余震重畳時)を示す。



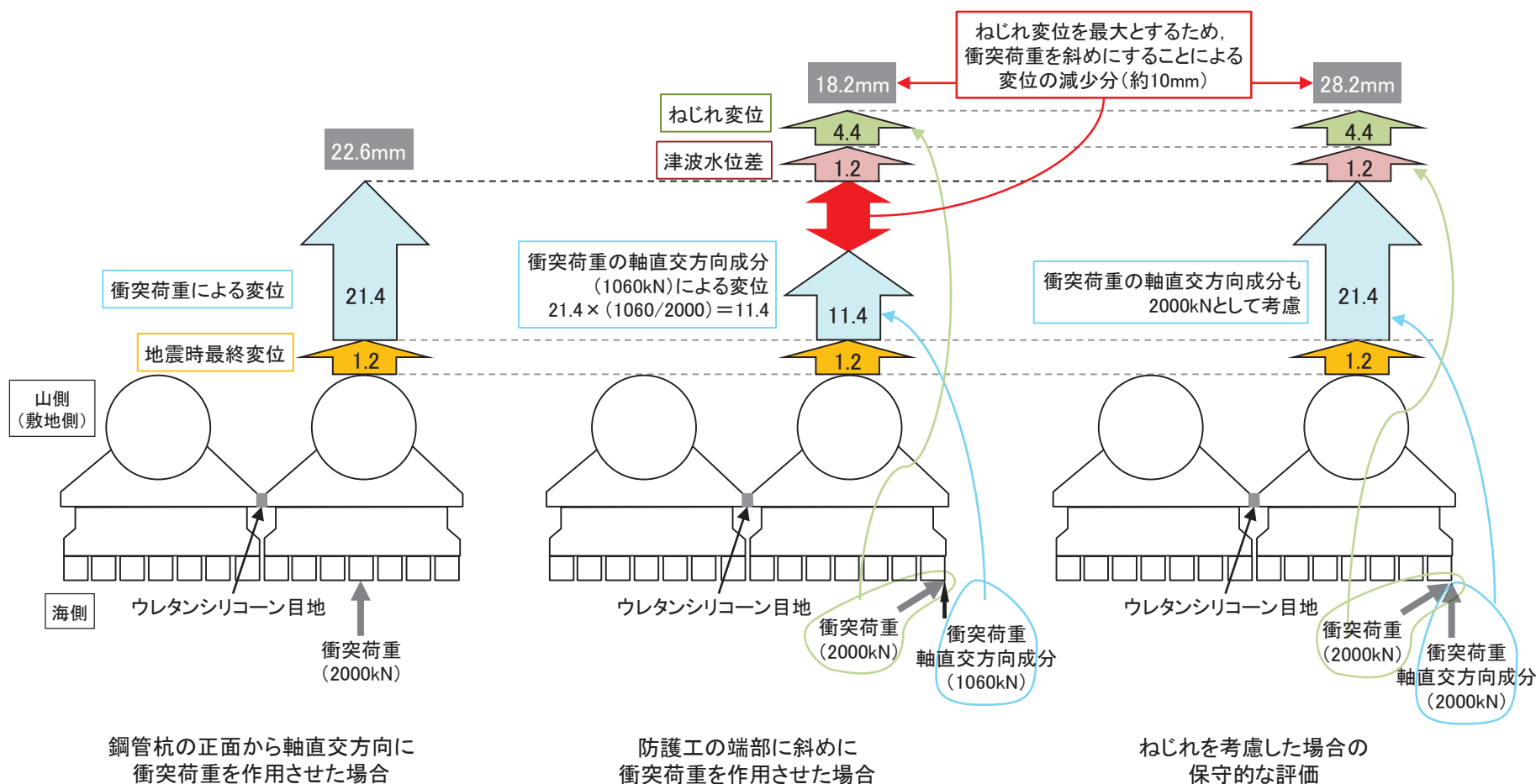
荷重	詳細
固定荷重	躯体自重を考慮する。
積載荷重	積雪荷重を含めて地表面に4.9kN/m ² を考慮する。
積雪荷重	発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに20N/m ² の積雪荷重が作用することを考慮する。
風荷重	敷地側から海側に作用する場合は遡上津波荷重を打ち消す側に荷重が作用するため、海側から敷地側の方向で津波水位から防潮堤天端までに作用することを考慮する。
遡上津波荷重	遡上津波荷重については、風荷重を含めた荷重とするため、防潮堤前面における入力津波水位O.P.+24.4mに余裕を考慮した津波水位O.P.+25.0mを用いることとし、その標高と防潮堤前面の地盤標高の差分の1/2倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その3倍を考慮して算定する。
衝突荷重	2.15tの車両を対象に「FEMA(2012)」式による漂流物荷重に余裕を考慮して2000kNを津波水位O.P.+25.0m位置に考慮する。
余震荷重	弾性設計用地震動S _d -D2による地震力及び動水圧を考慮する。

■ 盛土堤防の荷重作用図(津波時及び余震重畳時)を示す。



荷重	詳細
固定荷重	躯体自重を考慮する。
積載荷重	積雪荷重を含めて地表面に4.9kN/m ² を考慮する。
積雪荷重	発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに20N/m ² の積雪荷重が作用することを考慮する。
風荷重	敷地側から海側に作用する場合は遡上津波荷重を打ち消す側に荷重が作用するため、海側から敷地側の方向で津波水位から防潮堤天端までに作用することを考慮する。
遡上津波荷重	遡上津波荷重については、風荷重を含めた荷重とするため、防潮堤前面における入力津波水位O.P.+24.4mに余裕を考慮した津波水位O.P.+25.0mを用いることとし、その標高と防潮堤前面の地盤標高の差分の1/2倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その3倍を考慮して算定する。
衝突荷重	2.15tの車両を対象に「FEMA(2012)」式による漂流物荷重に余裕を考慮して2000kNを津波水位O.P.+25.0m位置に考慮する。
余震荷重	弾性設計用地震動Sd-D2による地震力及び動水圧を考慮する。

- ウレタンシリコン目地を例に、ねじれ変位を考慮する場合の保守性の考え方を示す。
- ねじれ変位を最大とするため衝突荷重を斜めに作用させており、衝突荷重による軸直交方向の変位は減少すると想定されるが、保守的に防護工に垂直に衝突荷重を作用させた場合と同じにしている。
- なお、剛性には鋼管杭のみ考慮しており、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の剛性を考慮していないことから、変位も大きめに評価している。



- 地盤中からの回り込みにより敷地に津波が流入しないことを、二次元浸透流解析によって確認する。解析条件を下表に示す。

止水性確認のための二次元浸透流解析における解析条件概要

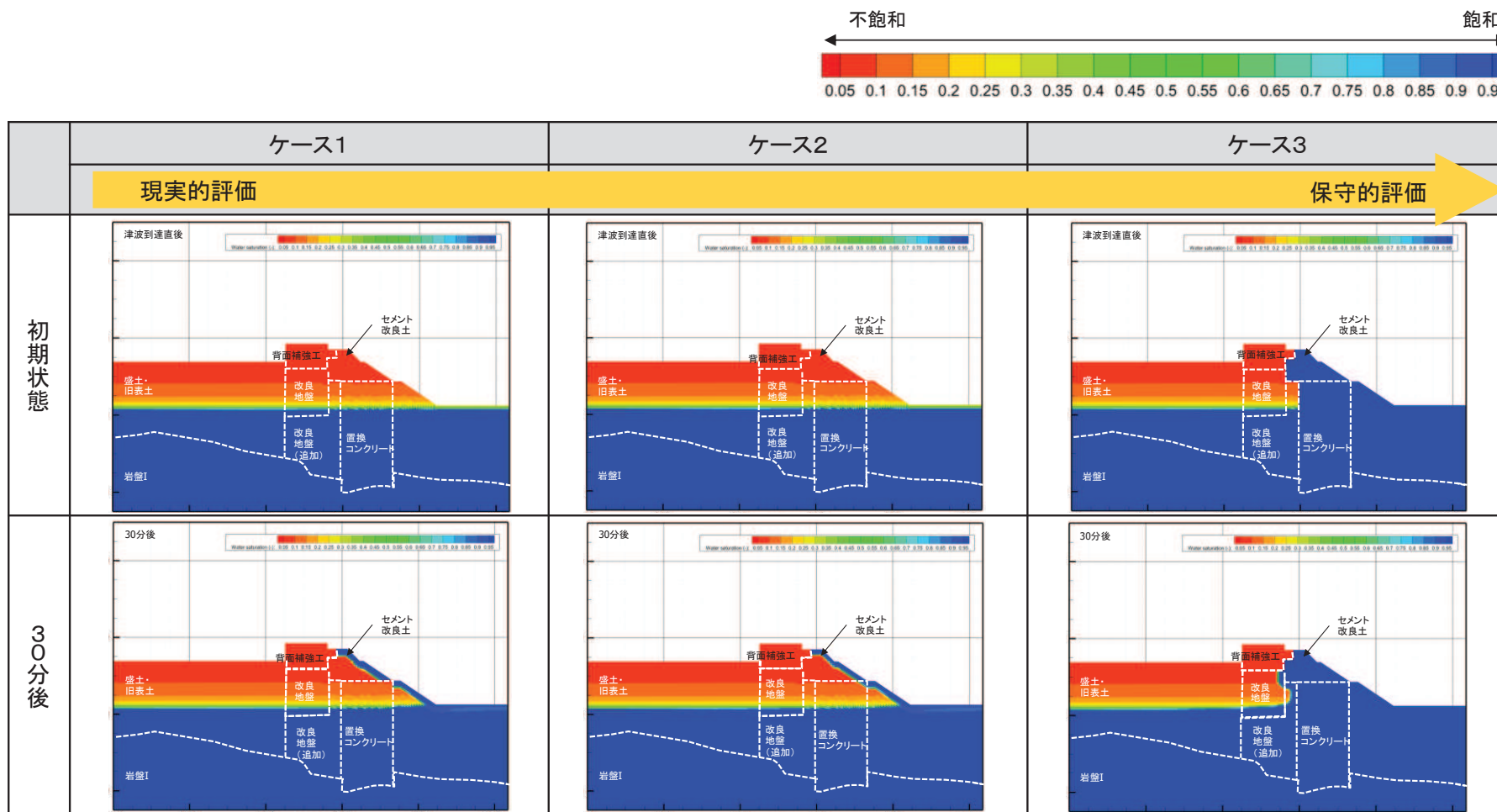
検討ケース	津波水位	初期水位	遮水壁	継続時間
ケース1 対策工を忠実にモデル化	防潮堤高さ (O.P.+29.0m)	HWL一定 (O.P.+1.43m)	考慮 しない	30分*
ケース2 改良地盤・置換コンクリート、セメント改良土の透水係数＝盛土・旧表土相当と仮定				
ケース3 背面補強工及び改良地盤とセメント改良土及び置換コンクリート間の水みち形成を想定し、背面補強工と改良地盤のすぐ海側に一律O.P.+29.0mの海水が滞水と仮定				

注記* : 基準津波の半周期が約10分であることを踏まえ、10分以上を基本とし、保守的に30分とした。

止水性確認のための二次元浸透流解析における検討ケース

ケース1	ケース2	ケース3
現実的評価		保守的評価
(解析上の前提条件)	(保守的となる条件)	(保守的となる条件)
<ul style="list-style-type: none"> 背面補強工－改良地盤間は、改良地盤上面を清掃の上で背面補強工を施工しており、浸水経路化しない。 改良地盤(既設)－改良地盤(新設)間は、空隙が残らないよう施工することから、浸水経路化しない。 前章までの二次元有効応力解析で改良地盤、置換コンクリート及びセメント改良土に破壊領域が広範囲に連続しないことを確認済 	<ul style="list-style-type: none"> 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盛土・旧表土相当と仮定。(前章までの二次元有効応力解析で当該地盤に破壊領域が広範囲に連続しないことを確認済) 	<ul style="list-style-type: none"> 改良地盤の透水係数を盛土・旧表土相当と仮定。(前章までの二次元有効応力解析で当該地盤に破壊領域が広範囲に連続しないことを確認済) 背面補強工及び改良地盤とセメント改良土及び置換コンクリート間に水みちが出来ることを想定し、背面補強工と改良地盤のすぐ海側に海水が滞水すると仮定。(地震時の残留変形図にて、背面補強工及び改良地盤とセメント改良土及び置換コンクリート間に水みちとなるような空隙が発生していないことを確認しているが、念のための検証)

- 各検討ケースにおける二次元浸透流解析結果(初期状態及び津波30分継続後)を下図に示す。
- 津波来襲より30分後の浸透(飽和)範囲は限定的であり、防潮堤敷地側については、初期状態からの水位上昇は見られない。以上のことから、地盤中からの回り込みによる浸水が防止されることを確認した。



二次元浸透流解析結果(飽和度)