

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2
提出年月日	2021年7月14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14日  
東北電力株式会社

# 目次

---

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(防潮堤)
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. 漂流物防護工の追加(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 第876回審査会合資料抜粋
- 参考2 防潮堤に関する新規制基準への適合性
- 参考3 ウレタンシリコーン目地の補足説明
- 参考4 防潮堤の評価対象断面
- 参考5 防潮堤の強度評価における荷重作用図
- 参考6 止水ジョイントのねじり変位を考慮する場合の保守性について
- 参考7 浸透流解析による地盤中からの回り込み防止の確認
- 参考8 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の漂流物防護工の耐震・強度評価結果

# 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『詳細設計申送り事項No.2-8 防潮堤の詳細設計結果』について説明する。

注記\* : 第876回審査会合資料抜粋を参考1に示す。漂流物防護工の追加に関する要目表, 図面, 耐震計算書等については, 2020年5月・9月・11月に工事計画認可申請(補正)済み。

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)

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、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】

詳細設計申送り事項(第876回審査会合資料抜粋)

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。

# 1. 本日のご説明内容

- 本資料の構成を以下に示す。2章～6章において防潮堤の設計方針及び設計結果について説明し、その中の3章において防潮堤への漂流物防護工の追加について説明する。また、7章において屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)への漂流物防護工の追加について説明する。
- 防潮堤の設計方針及び設計結果では、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ーン目地について、重点的に説明する。

<b>【2】</b> 防潮堤の設計方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 防潮堤の設計概要</li> <li>✓ 設計・評価の流れ</li> </ul>	<b>【6】</b> 防潮堤の耐震・強度評価結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 地盤物性のばらつきを踏まえた評価結果</li> <li>✓ 断層横断部の影響確認結果</li> <li>✓ 止水性の確認</li> </ul>
<b>【3】</b> 漂流物防護工の追加(防潮堤)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 漂流物防護工設置の考え方</li> <li>✓ 漂流物防護工の荷重伝達経路・役割・性能目標</li> <li>✓ 漂流物防護工の評価方法</li> <li>✓ 漂流物防護工設置による鋼管杭への影響</li> </ul>	<b>【7】</b> 漂流物防護工の追加(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 漂流物防護工の追加設置を踏まえた全体構造</li> <li>✓ 漂流物防護工設置の考え方・荷重伝達経路・役割・性能目標・評価方法</li> </ul>
<b>【4】</b> 止水ジョイントの設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 止水ジョイント部材の設置位置</li> <li>✓ ゴムジョイントの構造</li> <li>✓ ウレタンシリコーン目地の構造</li> <li>✓ ウレタンシリコーン目地の止水性能発揮のメカニズム</li> <li>✓ 止水ジョイント部材設計相対変位量の算出方法</li> </ul>	<b>【 】</b> 内は章番号を示す。	
<b>【5】</b> その他の評価条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 詳細設計段階における評価条件</li> <li>✓ 評価対象断面</li> <li>✓ 解析手法及び解析モデル</li> <li>✓ 荷重及び荷重の組合せ、許容限界</li> <li>✓ 地盤物性のばらつき影響</li> <li>✓ 断層横断部の影響</li> </ul>		

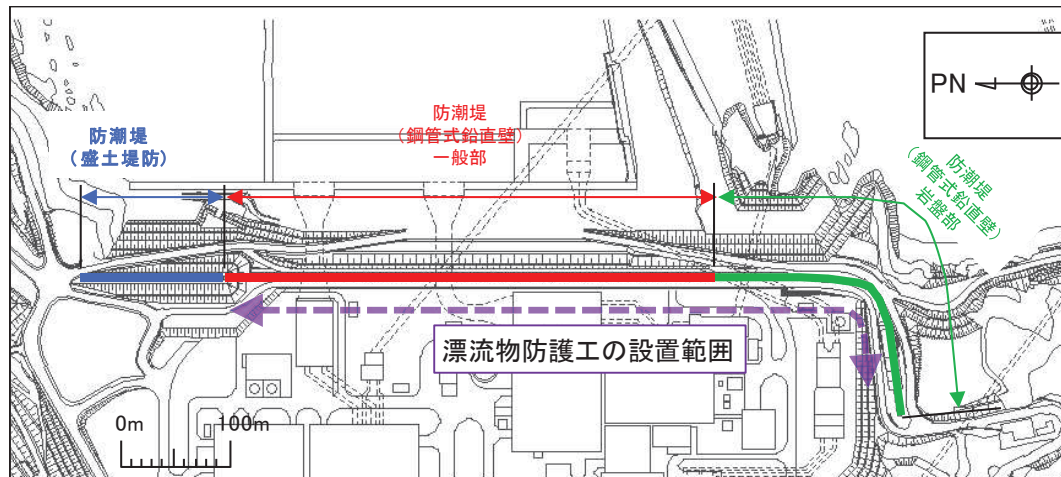
## 2. 防潮堤の設計方針

### 防潮堤の設計概要

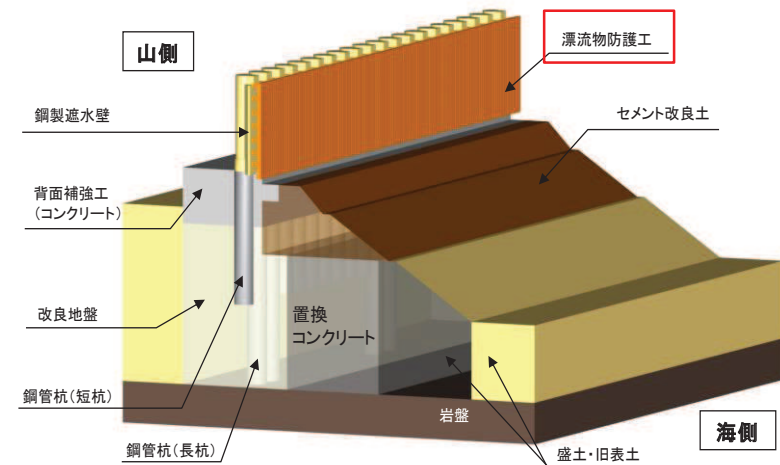
- 津波による遡上波が敷地に到達，流入することを防止するため，入力津波による浸水高さ(O.P.+24.4m\*1)に対して余裕を考慮した天端高さ(O.P.+29.0m\*1)の防潮堤(津波防護施設)を敷地前面に設置する。
- 防潮堤は，構造形式により鋼管式鉛直壁(一般部)，鋼管式鉛直壁(岩盤部)及び盛土堤防に分類される。
- 設置許可段階において示した構造成立性評価では，津波時に漂流物衝突荷重に対して鋼製遮水壁の裕度が小さく，必要に応じて漂流物防護工を設置することとしていた。詳細設計段階では，漂流物衝突荷重(2000kN\*2)に対して十分耐えるよう，鋼管式鉛直壁(一般部)及び鋼管式鉛直壁(岩盤部)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。

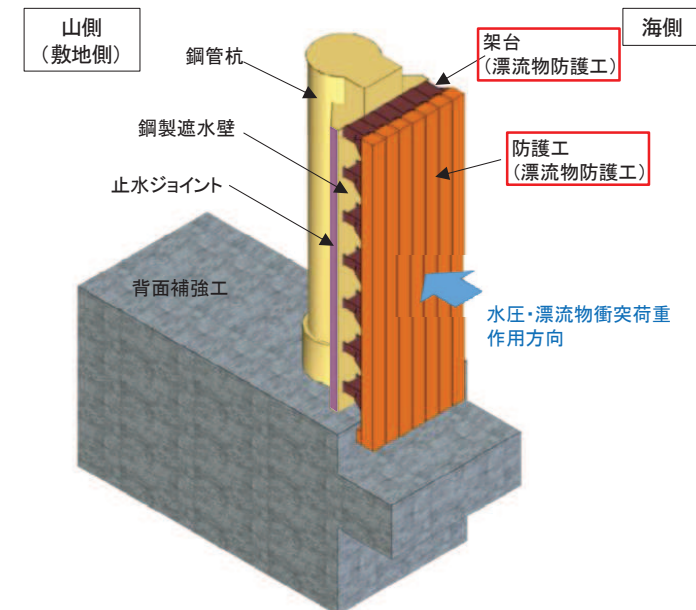
\*2: 第988回審査会合において説明。



防潮堤配置図



鋼管式鉛直壁(一般部)の構造概要図

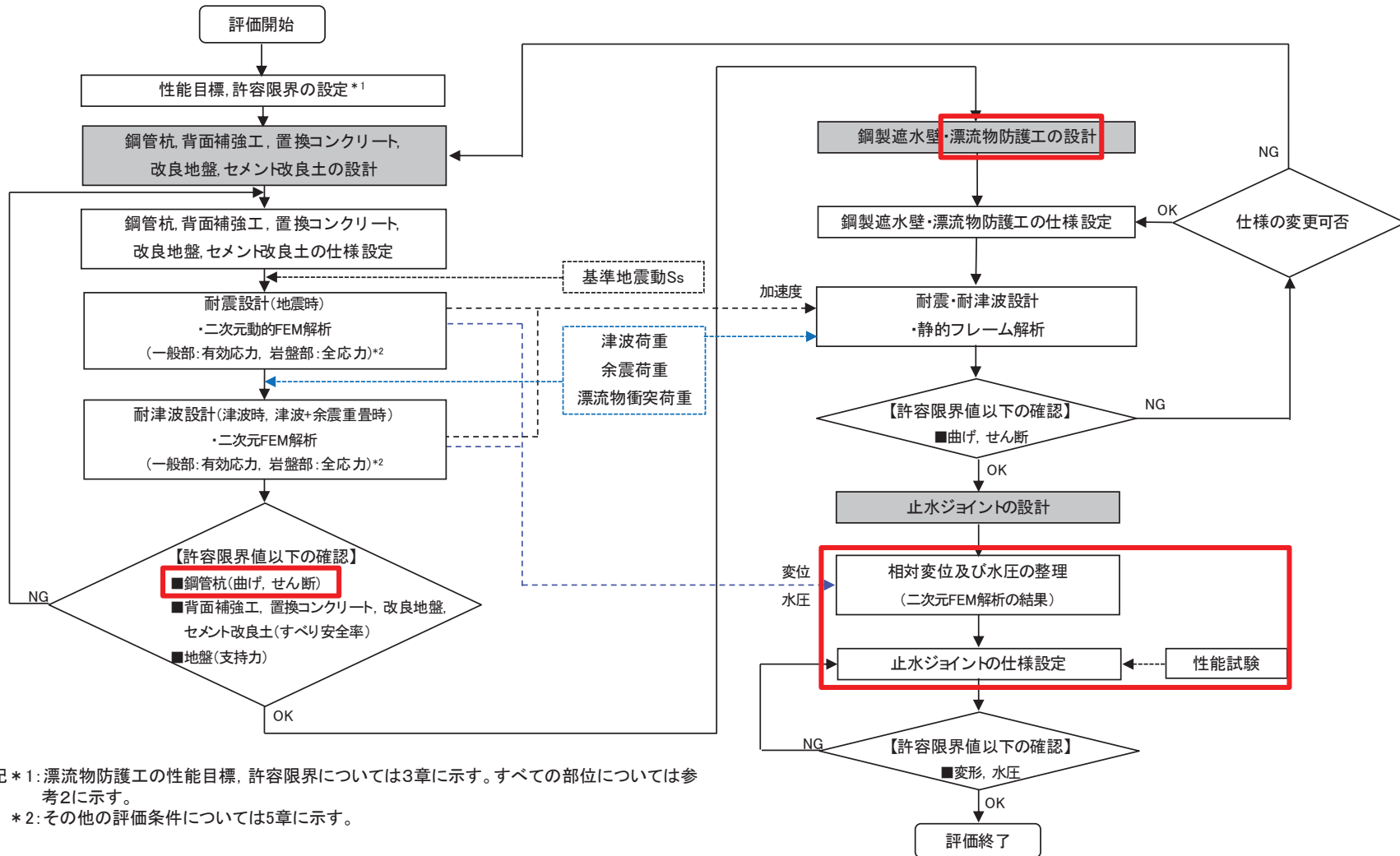


漂流物防護工の構造概要図

## 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、下図のようなフローに基づき実施する。本資料では、詳細設計の結果として、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(下図赤枠)。

耐震・強度評価フロー(鋼管式鉛直壁の例)



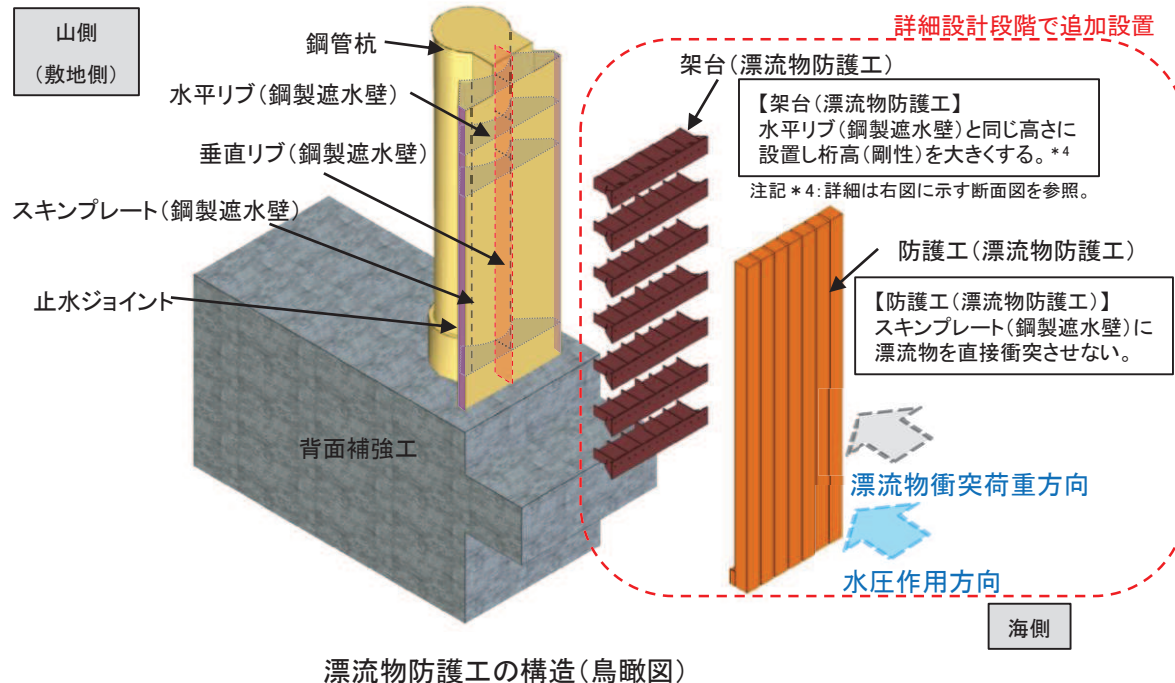
注記 \* 1: 漂流物防護工の性能目標, 許容限界については3章に示す。すべての部位については参考2に示す。

\* 2: その他の評価条件については5章に示す。



### 3. 漂流物防護工の追加(防潮堤) 漂流物防護工設置の考え方

- 詳細設計段階では漂流物衝突荷重を $2000\text{kN}^*$ と設定し、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衝突荷重に対して以下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。
  - スキンプレート及び止水ジョイントの前面に防護工を設置することで、漂流物をスキンプレート及び止水ジョイントに直接衝突させず、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)。



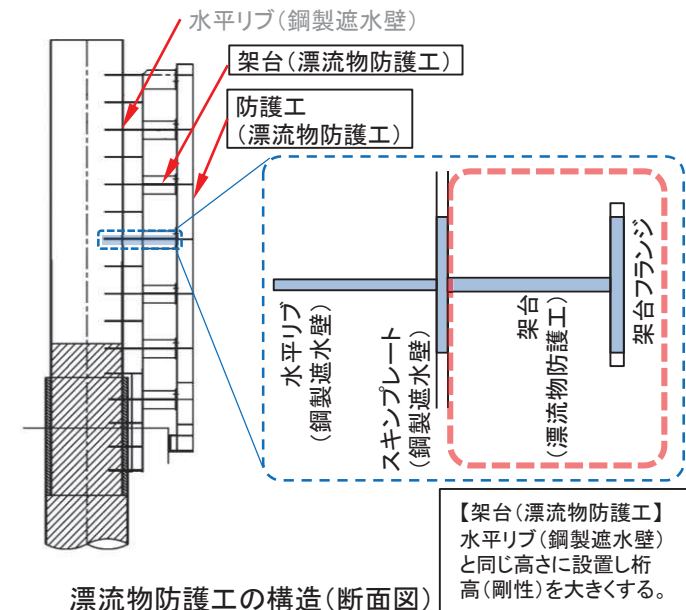
【構造成立性評価において裕度が小さい部位(津波時)】

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 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\*1: 「FEMA(2012)」を適用し車両(2.15t)から算定した衝突荷重に基づいた設計用衝突荷重(第988回審査会合において説明)。

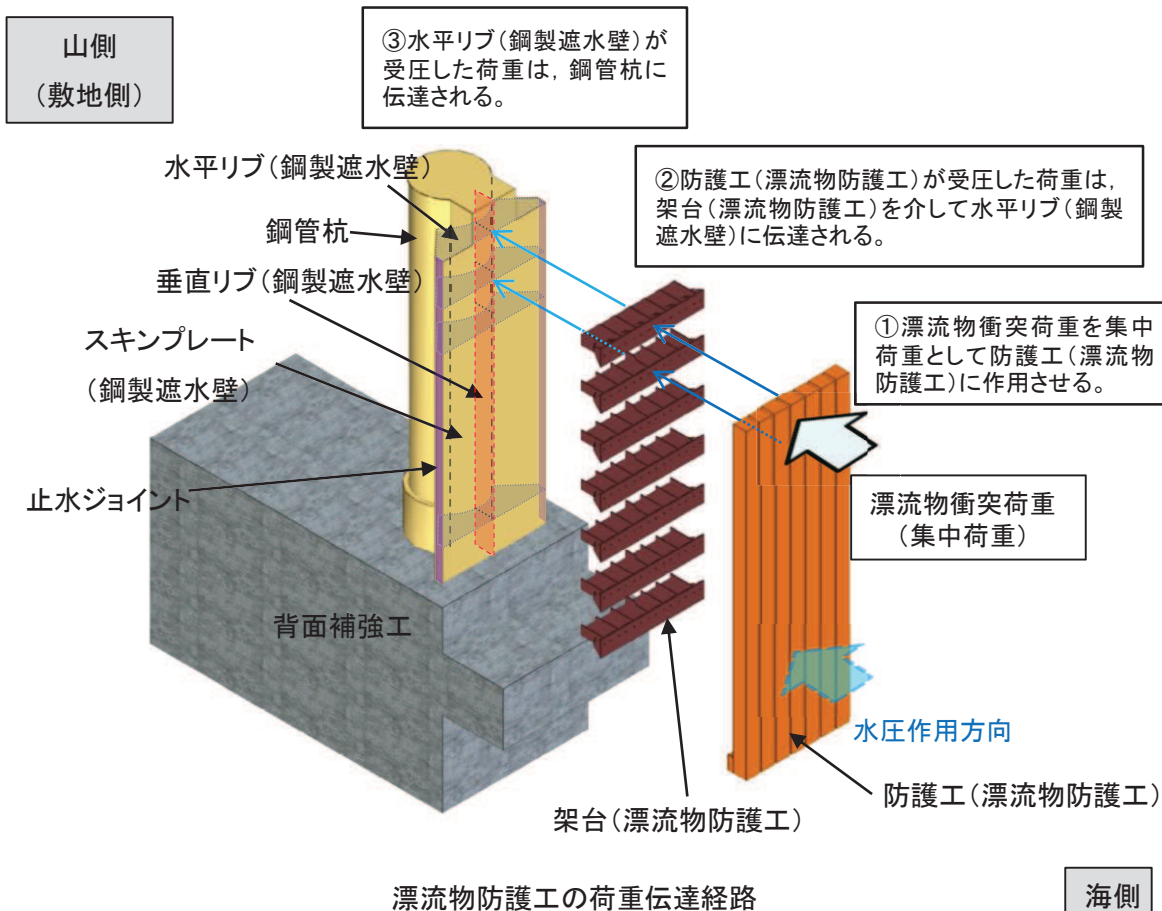
\*2: 道路橋示方書式を適用し、漁船から算定した。

\*3: 評価基準値は安全率 $\geq 1.0$ 。



### 3. 漂流物防護工の追加(防潮堤) 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】

- 津波が繰返し襲来することを考慮した上で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(防潮堤) 漂流物防護工の評価方法(損傷モード)

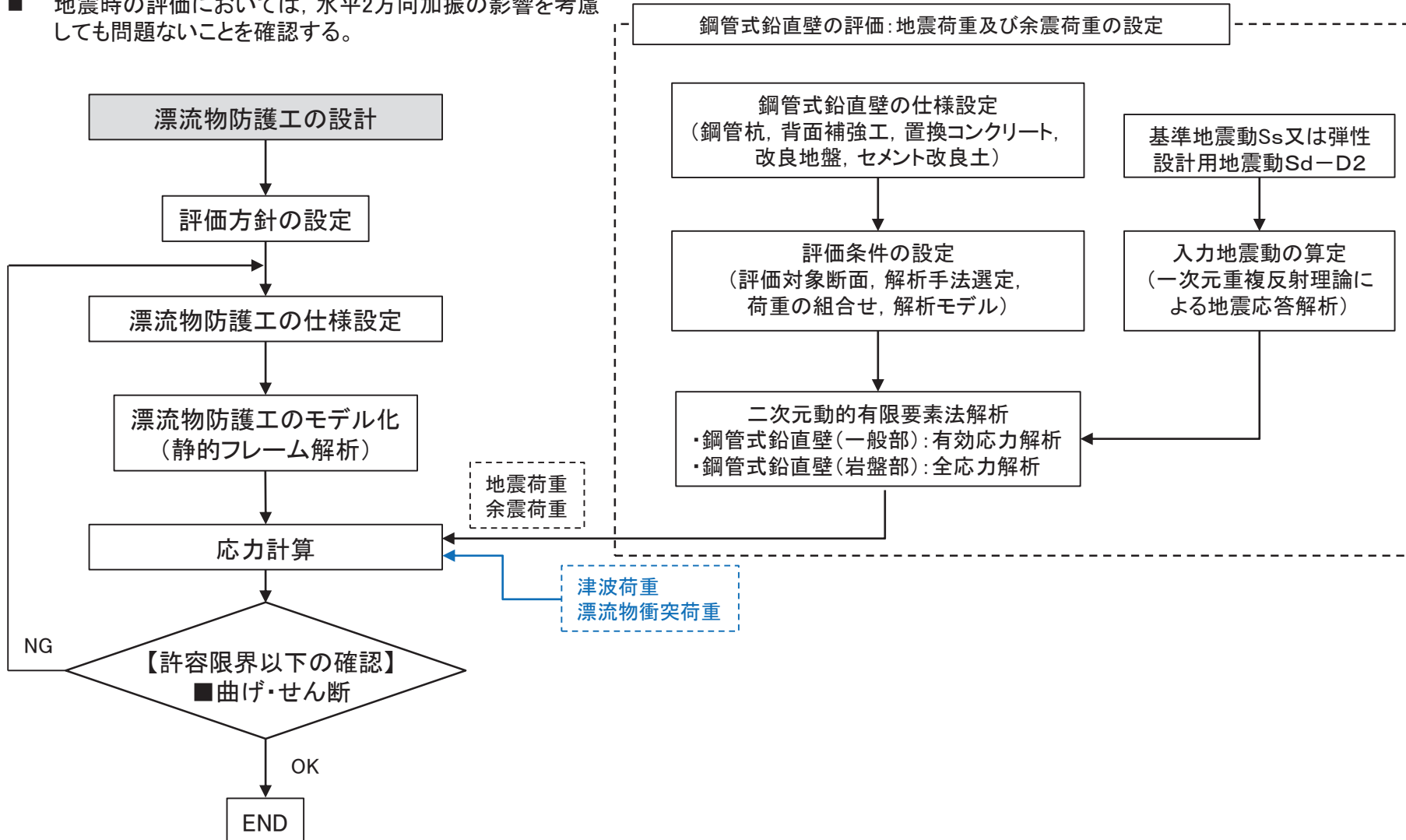
- 漂流物防護工の損傷モードと損傷モードを踏まえた許容限界を示す。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース	許容限界
架台 (漂流物防護工)	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震時荷重又は津波による漂流物衝突荷重*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。</li> </ul>	地震時 津波時 津波+余震 重畳時	<ul style="list-style-type: none"> <li>短期許容応力度*以下であることを確認する。</li> </ul>
防護工 (漂流物防護工)	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震時荷重又は津波による漂流物衝突荷重*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。</li> </ul>	地震時 津波時 津波+余震 重畳時	<ul style="list-style-type: none"> <li>短期許容応力度*以下であることを確認する。</li> </ul>

注記\* : 漂流物衝突荷重による損傷を想定すること及び許容限界を短期許容応力度とすることについては、津波が繰返し襲来することを考慮。

### 3. 漂流物防護工の追加(防潮堤) 漂流物防護工の評価方法(評価フロー)

- 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。

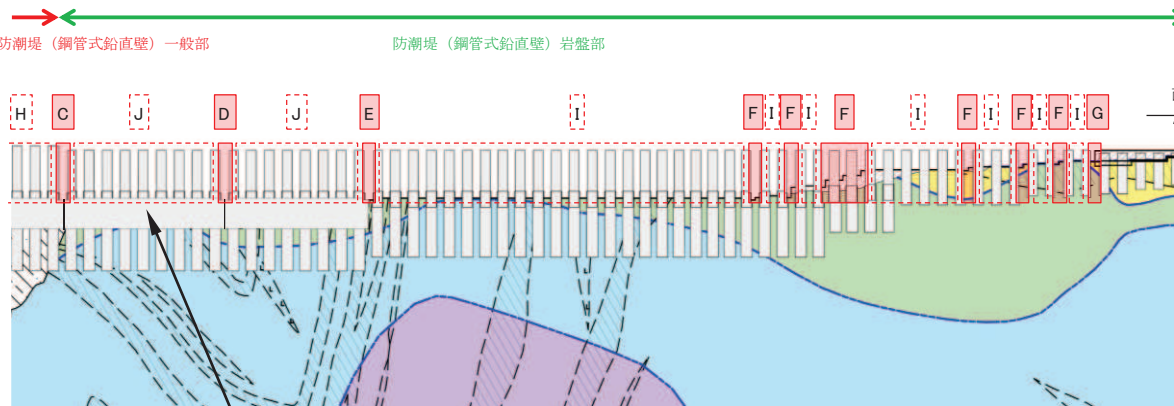
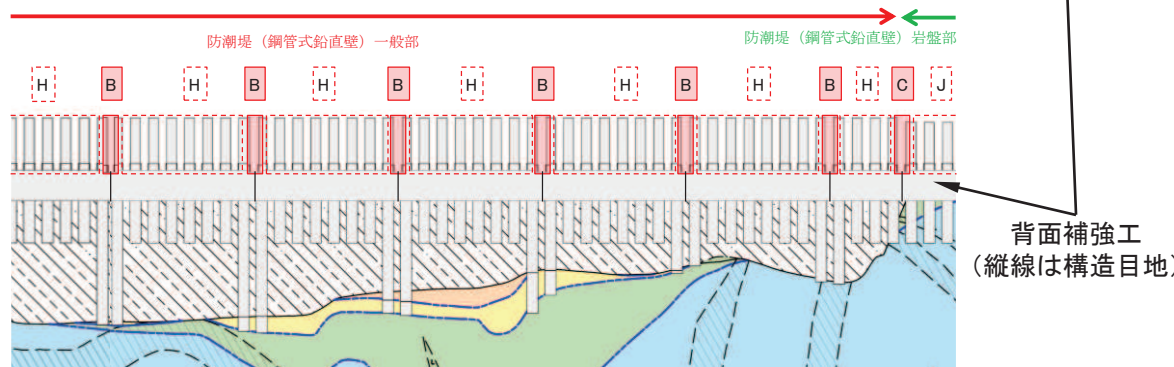
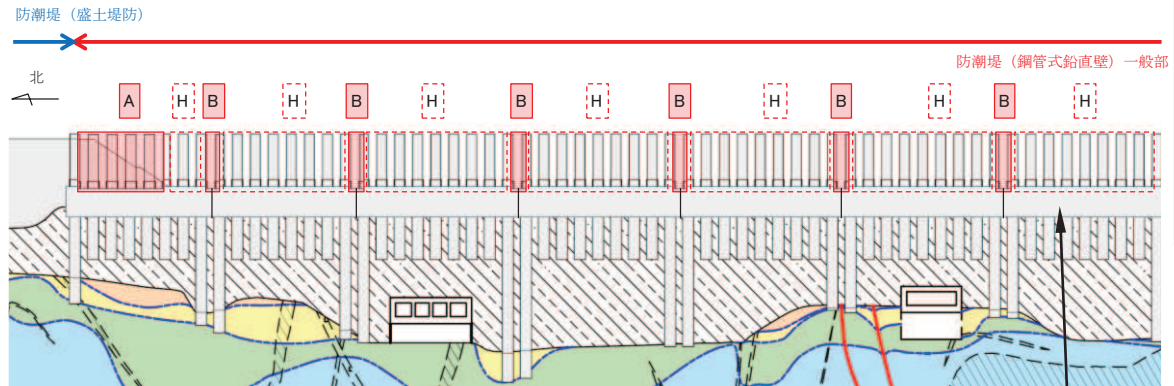


### 3. 漂流物防護工の追加(防潮堤) 漂流物防護工設置による鋼管杭への影響

- 漂流物防護工は鋼管杭の前面に張り出した構造となるため、設置による偏心の影響が考えられる。偏心の影響は、漂流物防護工及び鋼製遮水壁が取り付けられる鋼管杭が最も大きいと考えられるため、以下の影響を考慮する。なお、鋼管杭以外の背面補強工等については、鋼管杭全体の重量が地震時応答への影響が大きいと考えられ、重量には漂流物防護工を考慮する。
  - ✓ 地震時には、常時荷重及び鉛直加振により、鋼管杭に海側への偏心モーメントが発生するため、この偏心モーメントを考慮して評価する(地震時の影響その1)。なお、津波時及び津波+余震重畳時には、荷重を打ち消す方向に働くため考慮しない。
  - ✓ また、地震時には漂流物防護工が張り出す方向と直交する方向の成分の加振(防潮堤の縦断方向加振)により、鋼管杭にねじり応力が発生するため、このねじり応力を考慮して評価する(地震時の影響その2)。
  - ✓ 津波による漂流物衝突時に、漂流物が防護工の端に衝突した場合には鋼管杭にねじり応力が発生するため、このねじり応力を考慮して評価する(津波(漂流物衝突)時の影響)。

	地震時の影響(その1)	地震時の影響(その2)	津波(漂流物衝突)時の影響
発生応力イメージ			
発生応力算出方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・二次元動的有限要素法解析によって得られる鋼管杭の曲げモーメントに、漂流物防護工の偏心モーメントを加算して評価する。</li> <li>・偏心モーメントの算出方法は下式のとおり。  <math display="block">M_e = (1 + k_v) \cdot w_1 \cdot e_1</math>                     ここで、  <math>M_e</math>: 偏心モーメント     <math>w_1</math>: 漂流物防護工重量  <math>k_v</math>: 鉛直震度     <math>e_1</math>: 偏心距離                 </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・二次元動的有限要素法解析(弱軸である横断方向加振)によって得られる鋼管杭のせん断応力に、漂流物防護工のねじり応力を加算して評価する。</li> <li>・ねじり応力の算定方法は下式のとおり。  <math display="block">M_T = (L_2 \cdot w_2 + L_3 \cdot w_3) \cdot k_h</math>                     ここで、  <math>M_T</math>: ねじり応力     <math>w_2</math>: 漂流物防護工重量  <math>L_2</math>: 漂流物防護工のねじりアーム長     <math>w_3</math>: 鋼製遮水壁重量  <math>L_3</math>: 鋼製遮水壁のねじりアーム長     <math>k_h</math>: 水平震度 *                 </li> </ul> <p>注記*: 保守的に弱軸である横断方向の鋼管杭の加速度から算出</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・二次元有限要素法解析によって得られる鋼管杭のせん断応力に、漂流物衝突によるねじり応力を加算して評価する。</li> <li>・ねじり応力の算定方法は以下のとおり。  <math display="block">M_T = L \cdot P_o</math>                     ここで、  <math>M_T</math>: ねじり応力  <math>L</math>: ねじりアーム長  <math>P_o</math>: 漂流物衝突荷重                 </li> </ul>

# 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



- 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)

凡 例

岩盤分類		凡 例	
B級	硬土	砂	土
C <sub>1</sub> 級	第四系(砂・礫)	砂	岩
C <sub>2</sub> 級	砂	砂	岩
C <sub>3</sub> 級	質岩	砂	岩
D級	ひん岩	砂	岩
岩盤分層境界	断層	断層	層
	地質境界	断層	層
	改良地盤	断層	層

\* : 鋼管杭下方のC<sub>2</sub>級岩盤部はMMRにより置換。

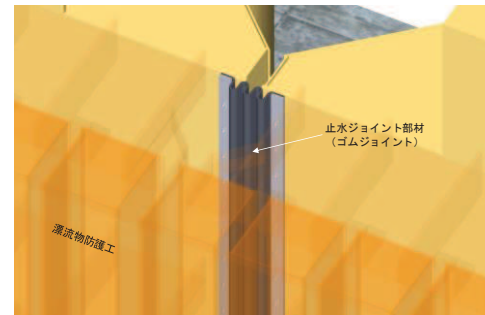
背面補強工 (縦線は構造目地)

止水ジョイント部材の設置位置図

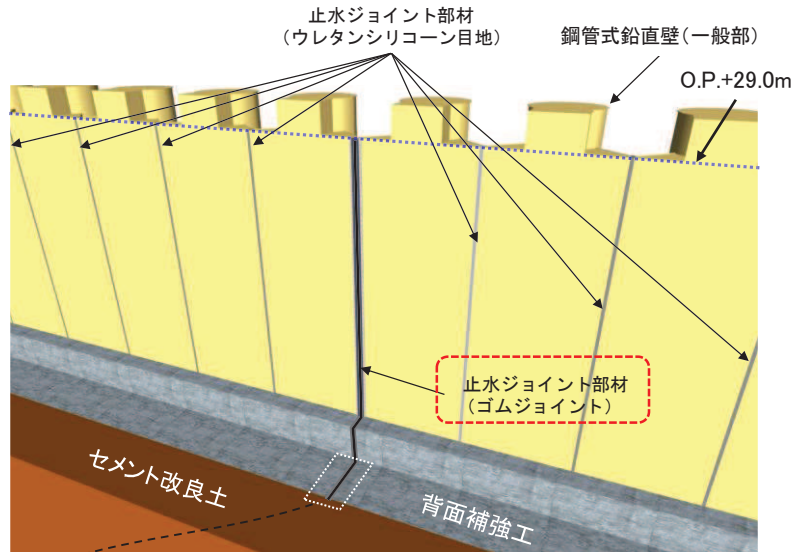
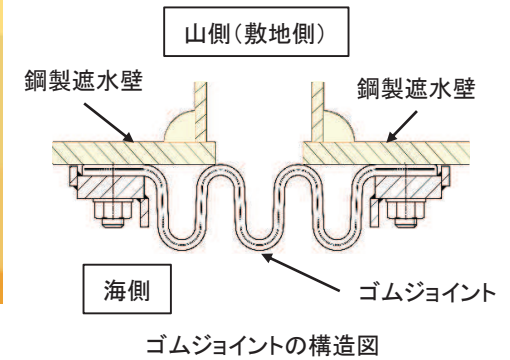


# 4. 止水ジョイントの設計 ゴムジョイントの構造

- 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。

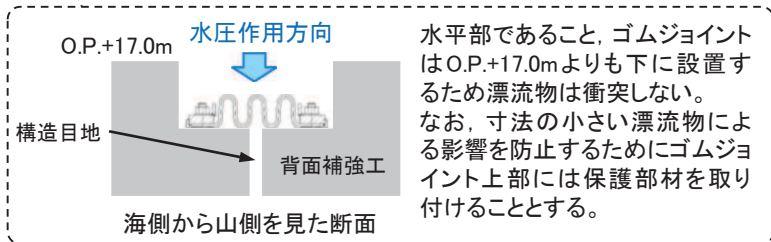


ゴムジョイント部材の設置イメージ(拡大)

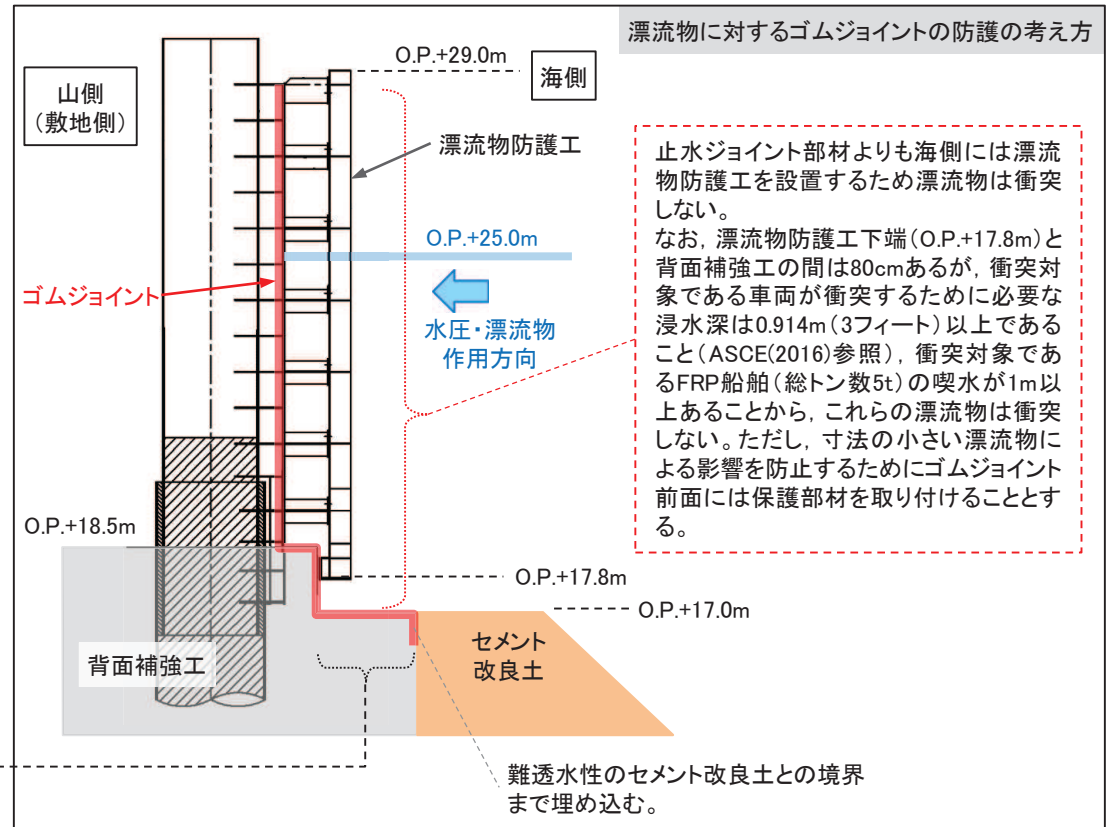


止水ジョイント部材の設置イメージ\*

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、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

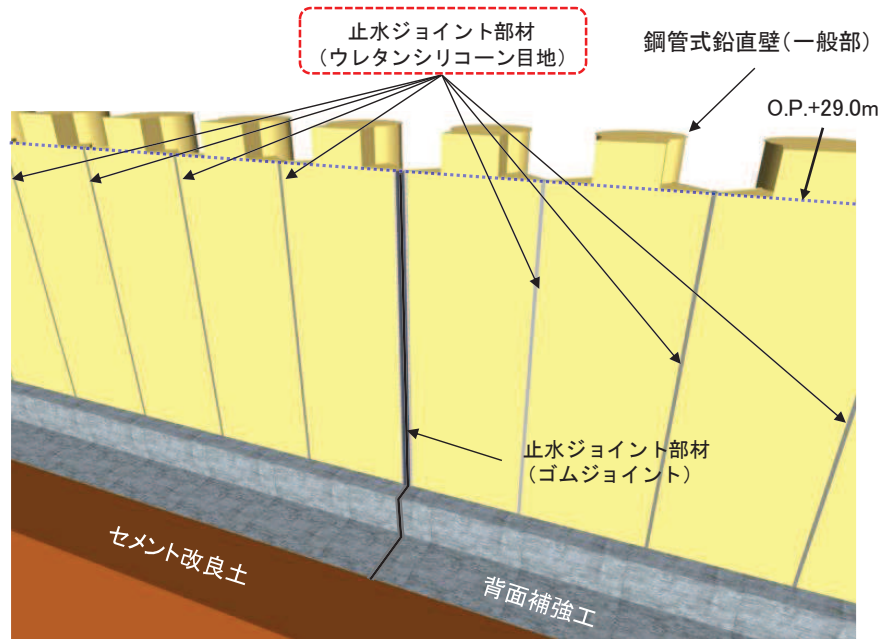
止水ジョイント部材よりも海側には漂流物防護工を設置するため漂流物は衝突しない。  
 なお、漂流物防護工下端(O.P.+17.8m)と背面補強工の間は80cmあるが、衝突対象である車両が衝突するために必要な浸水深は0.914m(3フィート)以上であること(ASCE(2016)参照)、衝突対象であるFRP船舶(総トン数5t)の喫水が1m以上あることから、これらの漂流物は衝突しない。ただし、寸法の小さい漂流物による影響を防止するためにゴムジョイント前面には保護部材を取り付けることとする。

難透水性のセメント改良土との境界まで埋め込む。



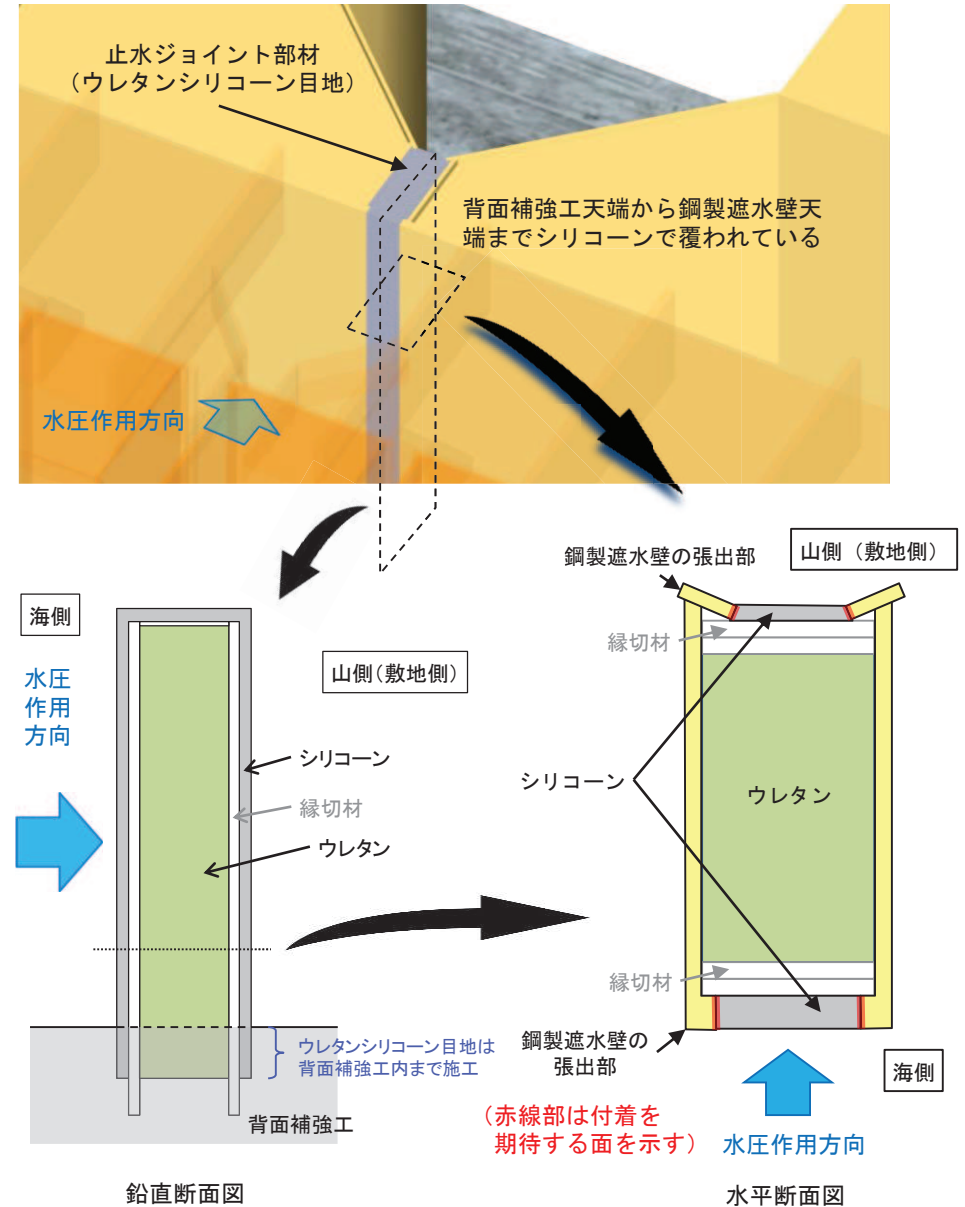
## 4. 止水ジョイントの設計 ウレタンシリコン目地の構造

- 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。
- ウレタンシリコン目地は鋼製遮水壁間だけに設置されるため、漂流物に対しては漂流物防護工により防護される。
- ウレタンシリコン目地はシリコン、ウレタン及び縁切材で構成されており、構造の詳細を下図に示す。



止水ジョイント部材の設置イメージ\*

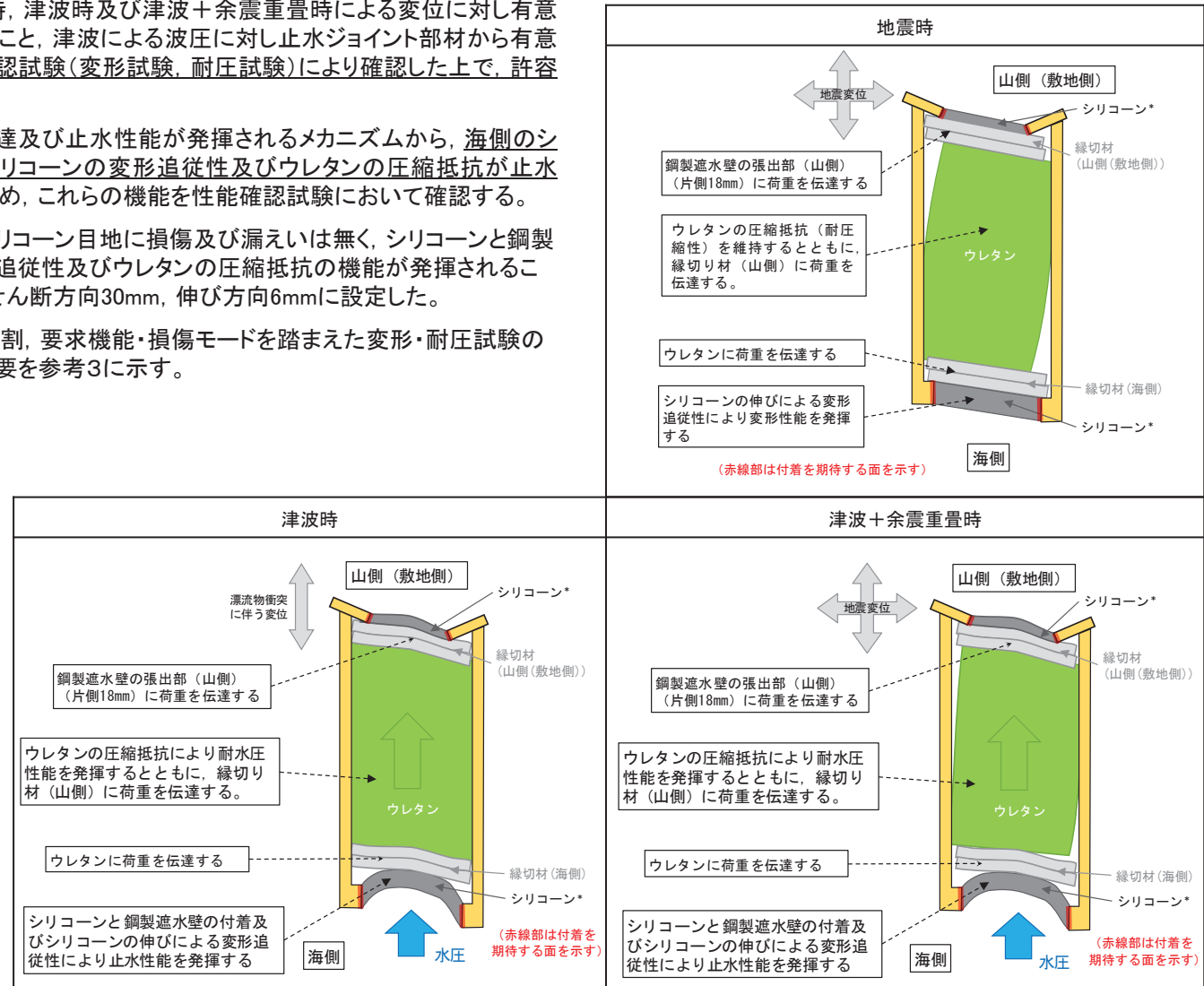
注記\*: 止水ジョイント部材は漂流物防護工により防護されているが、止水ジョイント部材の設置イメージを示すため、漂流物防護工がない状態で示している。



# 4. 止水ジョイントの設計 ウレタンシリコーン目地の止水性能発揮のメカニズム

- ウレタンシリコーン目地は、地震時、津波時及び津波＋余震重畳時による変位に対し有意な漏えいを生じない変形に留まること、津波による波圧に対し止水ジョイント部材から有意な漏えいが生じないことを性能確認試験(変形試験、耐圧試験)により確認した上で、許容限界(変位量)を設定する。
- ウレタンシリコーン目地の荷重伝達及び止水性能が発揮されるメカニズムから、海側のシリコーンと鋼製遮水壁の付着、シリコーンの変形追従性及びウレタンの圧縮抵抗が止水性能を発揮する上で重要となるため、これらの機能を性能確認試験において確認する。
- 性能確認試験の結果、ウレタンシリコーン目地に損傷及び漏えいは無く、シリコーンと鋼製遮水壁の付着、シリコーンの変形追従性及びウレタンの圧縮抵抗の機能が発揮されることを確認した。また、許容限界はせん断方向30mm、伸び方向6mmに設定した。
- なお、ウレタンシリコーン目地の役割、要求機能・損傷モードを踏まえた変形・耐圧試験の確認事項及び性能確認試験の概要を参考3に示す。

荷重伝達の概要及び止水性能発揮のメカニズム

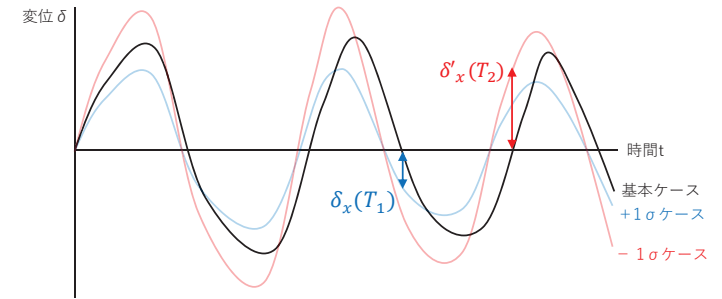


注記\* :シリコーンはウレタン及び縁切材を覆っているため、止水性能以外にウレタン及び縁切材の主たる劣化要因である紫外線を遮断する「耐久性の保持」の役割も有している。

# 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<math>\delta_x</math> :</p> $\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2)\}$ <p><math>\delta_x(T_1)</math> : 基本ケースと地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(+1<math>\sigma</math>)を考慮した解析ケースの時刻歴相対変位</p> <p><math>\delta_x'(T_2)</math> : 基本ケースと地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(-1<math>\sigma</math>)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<math>\delta_x</math> :</p> $\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2), \delta_x''(T_3)\} + \text{abs}\{\delta_{finx}\}$ <p><math>\delta_x(T_1)</math> : 基本ケースの相対変位(衝突荷重のみ作用)</p> <p><math>\delta_x'(T_2)</math> : 地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(+1<math>\sigma</math>)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><math>\delta_x''(T_3)</math> : 地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(-1<math>\sigma</math>)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><math>\delta_{finx}</math> : 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<math>\delta_x</math> :</p> $\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2)\} + \text{abs}\{\delta_{finx}\}$ <p><math>\delta_x(T_1)</math> : 基本ケースと地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(+1<math>\sigma</math>)を考慮した解析ケースの時刻歴相対変位</p> <p><math>\delta_x'(T_2)</math> : 基本ケースと地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(-1<math>\sigma</math>)を考慮した解析ケースの時刻歴相対変位</p> <p><math>\delta_{finx}</math> : 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)。

注記\*：構造境界部であることを踏まえ逆位相となることを考慮。

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<math>\delta_x</math>：</p> $\delta_x = 2 \times \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2), \delta_x''(T_3)\}$ <p><math>\delta_x(T_1)</math>：基本ケースの最大相対変位  <math>\delta_x'(T_2)</math>：地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(+1<math>\sigma</math>)を考慮した解析ケースの最大相対変位  <math>\delta_x''(T_3)</math>：地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(-1<math>\sigma</math>)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<math>\delta_x</math>：</p> $\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2), \delta_x''(T_3)\} + 2 \times \text{abs}\{\delta_{finx}\}$ <p><math>\delta_x(T_1)</math>：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)  <math>\delta_x'(T_2)</math>：地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(+1<math>\sigma</math>)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)  <math>\delta_x''(T_3)</math>：地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(-1<math>\sigma</math>)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)  <math>\delta_{finx}</math>：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<math>\delta_x</math>：</p> $\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2), \delta_x''(T_3)\} + 2 \times \text{abs}\{\delta_{finx}\}$ <p><math>\delta_x(T_1)</math>：基本ケースの最大相対変位  <math>\delta_x'(T_2)</math>：地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(+1<math>\sigma</math>)を考慮した解析ケースの最大相対変位  <math>\delta_x''(T_3)</math>：地盤の物性値(せん断剛性)のばらつき(-1<math>\sigma</math>)を考慮した解析ケースの最大相対変位  <math>\delta_{finx}</math>：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)。

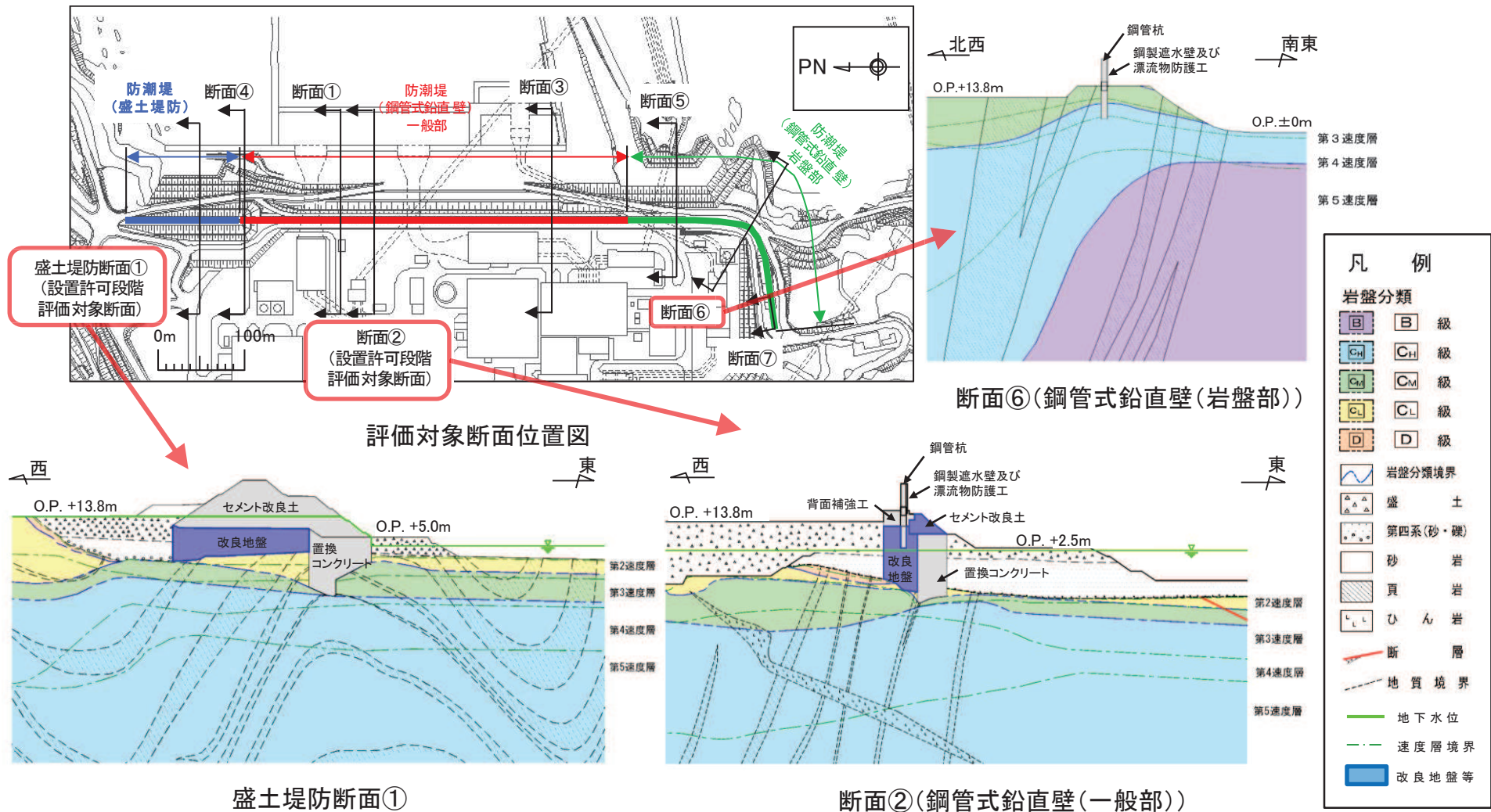
項目	設置許可段階	詳細設計段階
評価対象断面*	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 鋼管式鉛直壁(一般部):1断面</li> <li>➢ 鋼管式鉛直壁(岩盤部):- (解析方針のみ)</li> <li>➢ 盛土堤防:1断面</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 鋼管式鉛直壁(一般部):1+3断面</li> <li>➢ 鋼管式鉛直壁(岩盤部):3断面</li> <li>➢ 盛土堤防:1断面</li> </ul>
解析手法*	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 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</li> <li>➢ 鋼管式鉛直壁(岩盤部):全応力解析を実施する方針の説明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 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</li> <li>➢ 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</li> </ul>
設計用地下水位*	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 鋼管式鉛直壁(一般部):朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)</li> <li>➢ 鋼管式鉛直壁(岩盤部):地表面(解析方針のみ)</li> <li>➢ 盛土堤防:海側は朔望平均満潮位(O.P.+1.43m), 山側は地表面</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 鋼管式鉛直壁(一般部):朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)</li> <li>➢ 鋼管式鉛直壁(岩盤部):地表面</li> <li>➢ 盛土堤防:海側は朔望平均満潮位(O.P.+1.43m), 山側は地表面</li> </ul>
評価対象地震動	<p>(地震時)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 基準地震動<math>S_s</math>(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</li> </ul> <p>(余震重畳時)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 弾性設計用地震動<math>S_d-D2</math>を構造成立性評価地震動として選定</li> </ul>	<p>(地震時)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 基準地震動<math>S_s</math>7波(位相反転考慮)</li> </ul> <p>(余震重畳時)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 弾性設計用地震動<math>S_d-D2</math>(位相反転考慮)</li> </ul>
解析ケース	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 地盤物性のばらつき係数(0.9)を設定し, 裕度を確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 地盤物性ばらつきとして, 剛性のばらつき(平均値<math>\pm 1\sigma</math>)による影響評価を実施</li> <li>➢ 断層横断部の影響評価を実施</li> </ul>
評価方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 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</li> <li>➢ 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</li> <li>➢ 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</li> <li>➢ 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 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</li> <li>➢ 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</li> <li>➢ 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</li> <li>➢ 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</li> </ul>

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4に示す)。



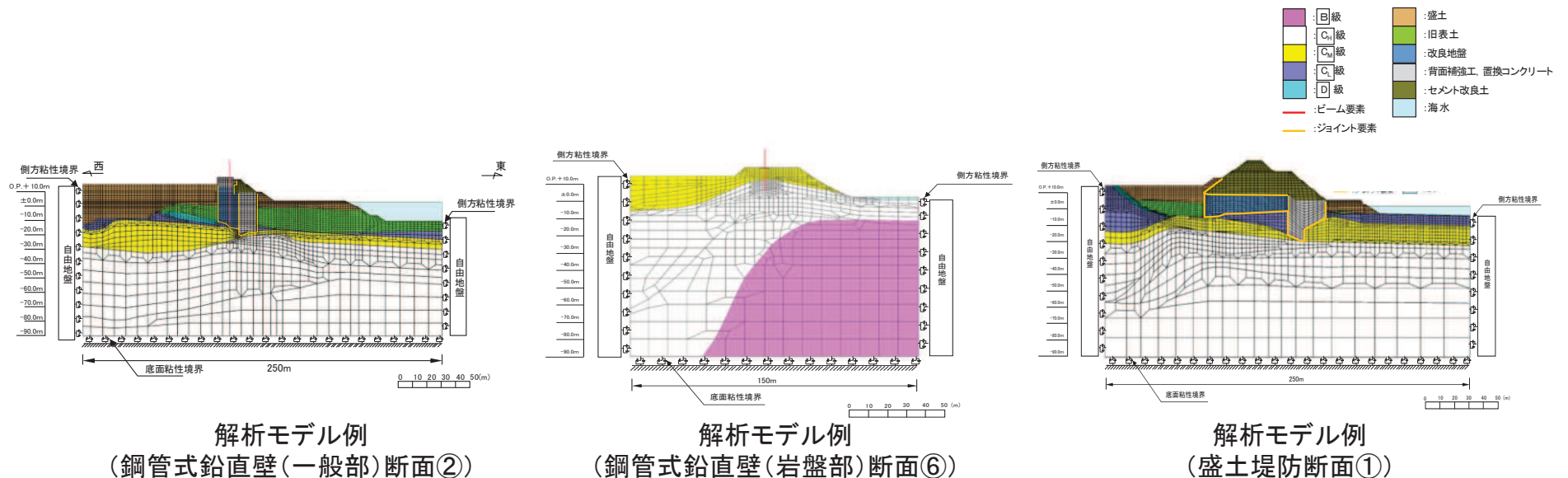
## 5. その他の評価条件 解析手法及び解析モデル

### 【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5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*1	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	○	○	○	—	○	—*2	○

注記\*1: 遡上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。

\*2: 遡上津波荷重，余震荷重及び漂流物衝突荷重の重畳についても，津波により最大水位で浸水している状態（静水圧）での余震荷重及び漂流物衝突荷重が作用することを想定するが，津波時又は津波＋余震重畳時の評価に包絡されることを確認している。

### 【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2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影響

### 【地盤物性のばらつき】

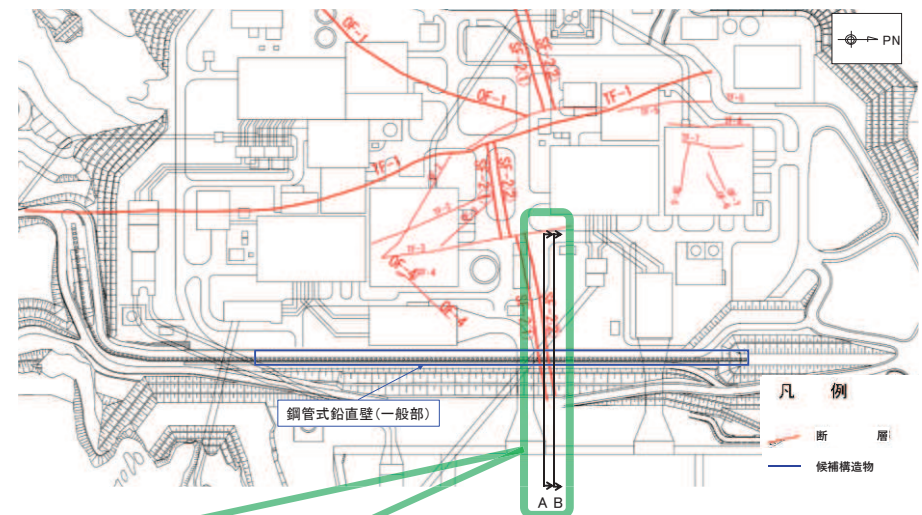
- 耐震評価及び強度評価においては、地盤物性のばらつきを考慮し、以下のケースの解析を実施する。

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 $\sigma$ )を考慮した解析ケース
地盤物性	平均値	平均値+1 $\sigma$	平均値-1 $\sigma$
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	

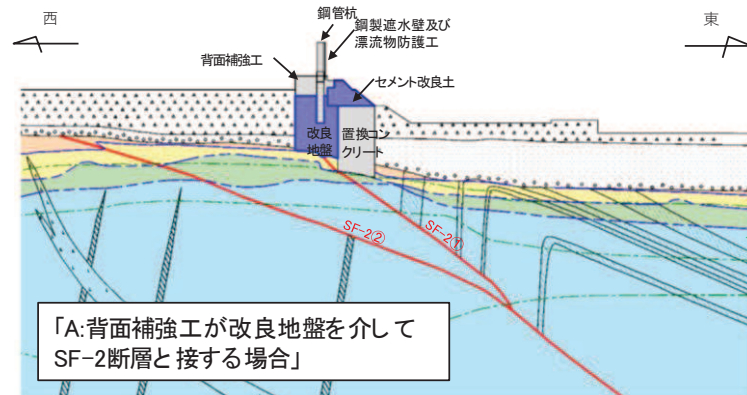


## 5. その他の評価条件 断層横断部の影響

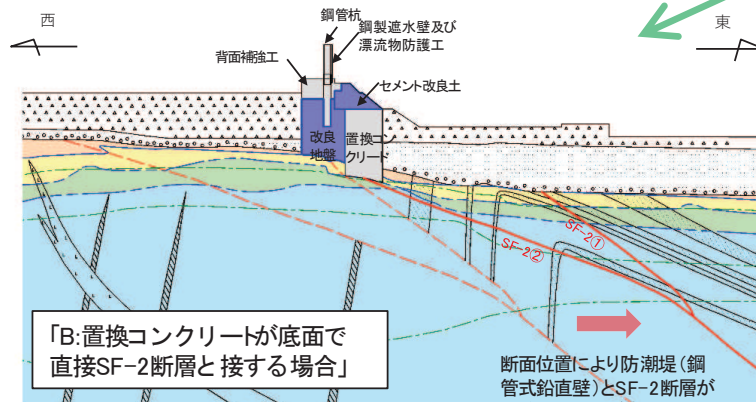
- 鋼管式鉛直壁（一般部）をSF-2断層が横断するため、耐震評価に与える影響を確認する。
- 断面位置により鋼管式鉛直壁（一般部）とSF-2断層が交差する位置が漸次的に変化するため、「A:背面補強工が改良地盤を介してSF-2断層と接する場合（断面A）」及び「B:置換コンクリートが底面で直接SF-2断層と接する場合（断面B）」に分類される。
- それぞれのパターンにおいて、SF-2断層をモデル化し、改良地盤や置換コンクリートのすべり安全率等、鋼管式鉛直壁（一般部）の耐震性に与える影響を確認する。



鋼管式鉛直壁（一般部）と断層の位置関係



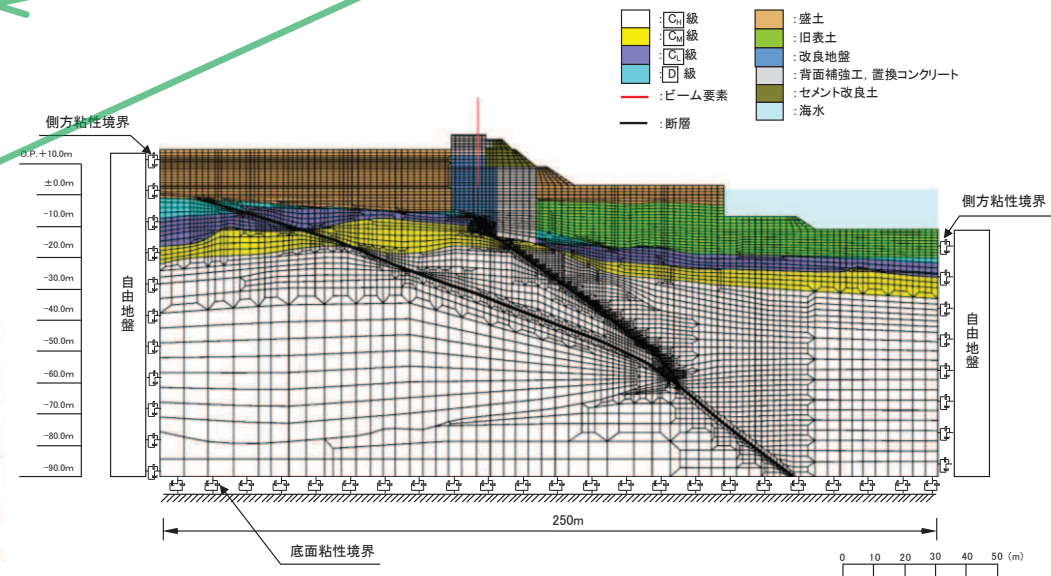
「A:背面補強工が改良地盤を介してSF-2断層と接する場合」



「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変化する

鋼管式鉛直壁（一般部）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。
- 漂流物防護工の地震時の照査値はいずれも十分な裕度があり、水平2方向同時加振を考慮したとしても耐震性に影響を及ぼすものではない。

【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 <sup>2</sup> )	21	315	0.07
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	3	382	0.01
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	169	315	0.54
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	275	382	0.72
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	179	217	0.83
			合成応力度	0.68	1.20	0.57
津波+余震 重畳時	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	59	315	0.19
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	19	382	0.05
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	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。
- 止水ジョイントの設計相対変位量は許容限界以下であることを確認した。
- 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りを考慮した場合として、軸直交方向の変位を、保守的に衝突荷重を防護工に垂直に作用させた場合と同じとし、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。<sup>\*1</sup>

【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 <sup>*2</sup>	設計相対変位量 <sup>*3</sup> (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	ねじりを考慮しない場合	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
	ねじりを保守的に考慮した場合 <sup>*1</sup>	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6に示す。

\*2:評価区間の詳細はp.11に示す。

\*3:設計相対変位量算出の詳細はp.15~16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・部位において許容限界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。

#### 【鋼管杭の評価結果】

検討ケース	部位	照査項目	応力度* <sup>1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値* <sup>1</sup>
地震時	鋼管杭	曲げ・軸力	151	247	0.62* <sup>2,6</sup>
		せん断	101	217	0.47* <sup>2,6</sup>
津波時		曲げ・軸力	261	382	0.69* <sup>3</sup>
		せん断	121	217	0.60* <sup>2,4</sup>
津波+余震 重畳時		曲げ・軸力	288	382	0.76* <sup>3</sup>
		せん断	104	217	0.48* <sup>3</sup>

(偏心の影響を考慮しない場合)

(0.52)

(0.31)

(0.49)

#### 【背面補強工, 置換コンクリート, 改良地盤, セメント改良土の評価結果】

検討ケース	部位	照査項目	許容限界	最小すべり 安全率* <sup>1</sup>
地震時	背面補強工	すべり安全率	すべり安全率 ≥1.2	20.3
	置換コンクリート			4.6
	改良地盤			2.6
	セメント改良土			3.4
津波時	背面補強工			12.1
	置換コンクリート			24.7
	改良地盤			4.9
	セメント改良土			41.3
津波+余震 重畳時	背面補強工			10.9
	置換コンクリート			12.6
	改良地盤			2.8
	セメント改良土			15.1

#### 【基礎地盤の支持性能の評価結果\*<sup>5</sup>】

検討ケース	照査項目	応力度* <sup>1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値* <sup>1</sup>
地震時	接地圧	1.5	11.4	0.14
津波+余震 重畳時		1.1	11.4	0.10

注記\*<sup>1</sup>: 応力度, 照査値及び最小すべり安全率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。

\*<sup>2</sup>: 漂流物防護工の偏心による影響を考慮。

\*<sup>3</sup>: 漂流物防護工の偏心による影響は小さいため非考慮。

\*<sup>4</sup>: 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。

\*<sup>5</sup>: 津波時の基礎地盤の支持性能評価は津波+余震重畳時に包含される。

\*<sup>6</sup>: 偏心による影響について, 鋼管杭の曲げ及びねじりせん断を含めた合成応力を考慮しても照査値は0.83であり, 健全性は確保される(断面は同様であるものの, 曲げ・軸力及びせん断それぞれの照査値最大ケース・照査値最大位置から求めているため, 保守的な検討としている)。

## 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(鋼製遮水壁)

- 鋼製遮水壁の評価結果(地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大値)を示す。
- 鋼製遮水壁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十分な裕度があり、水平2方向同時加振を考慮したとしても耐震性に影響を及ぼすものではない。

【鋼製遮水壁の評価結果】

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	スキムプレート	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	24	315	0.08
	垂直リブ		圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	6	190	0.04
	水平リブ		曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	27	315	0.09
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	13	180	0.08
			合成応力度	0.02	1.20	0.02
津波時	スキムプレート	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	144	315	0.46
	垂直リブ		圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	34	190	0.18
	水平リブ		曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	221	315	0.71
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	68	180	0.38
			合成応力度	0.63	1.20	0.53
津波+余震 重畳時	スキムプレート	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	284	315	0.91
	垂直リブ		圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	67	190	0.36
	水平リブ		曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	77	315	0.25
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	38	180	0.22
			合成応力度	0.12	1.20	0.10

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(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限界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。

【セメント改良土, 置換コンクリート, 改良地盤の評価結果】

検討ケース	部位	照査項目	許容限界	最小すべり安全率*1
地震時	セメント改良土	すべり安全率	すべり安全率 $\geq$ 1.2	3.0
	置換コンクリート			6.3
	改良地盤			3.4
津波時	セメント改良土			5.7
	置換コンクリート			35.7
	改良地盤			13.0
津波+余震重畳時	セメント改良土			5.5
	置換コンクリート			12.8
	改良地盤			5.2

【基礎地盤の支持性能の評価結果\*2】

検討ケース	照査項目	応力度*1 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値*1
地震時	接地圧	2.8	11.4	0.25
津波+余震重畳時	接地圧	2.1	11.4	0.19

注記\*1: 最小すべり安全率, 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: 津波時の基礎地盤の支持性能評価は津波+余震重畳時に包含される。

## 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く、断層横断部が防潮堤の耐震性に及ぼす影響は小さい。
- 断層横断部の影響を考慮しても、防潮堤の耐震性に影響を及ぼさないことを確認した。

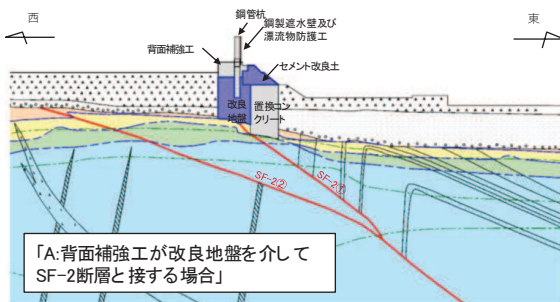
### 【鋼管杭の評価結果】

部位	断面	地震動(位相)		照査項目	応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値*
鋼管杭	断面A	Ss-D2	(++)	曲げ・軸力	99	247	0.41
	断面B	Ss-D2	(++)		102	247	0.42
	断面②	Ss-D2	(++)		116	247	0.47

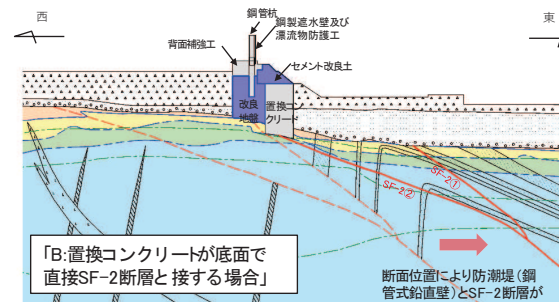
### 【置換コンクリート及び改良地盤の評価結果】

部位	断面	地震動(位相)		照査項目	許容限界	最小すべり 安全率
置換 コンクリート	断面A	Ss-N1	(++)	すべり安全率	すべり安全率 $\geq$ 1.2	4.2
	断面B	Ss-N1	(++)			4.5
	断面①	Ss-N1	(++)			4.2
改良地盤	断面A	Ss-F2	(++)			3.1
	断面B	Ss-F2	(++)			3.0
	断面①	Ss-F1	(++)			2.9

注記\*: 漂流物防護工の偏心の影響を考慮しない場合。



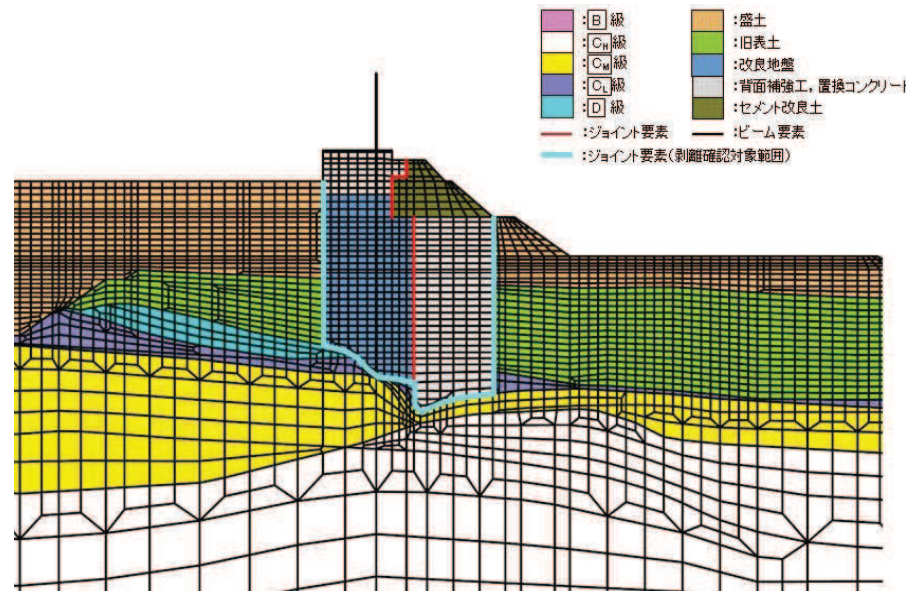
(断面A)



(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7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.18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)

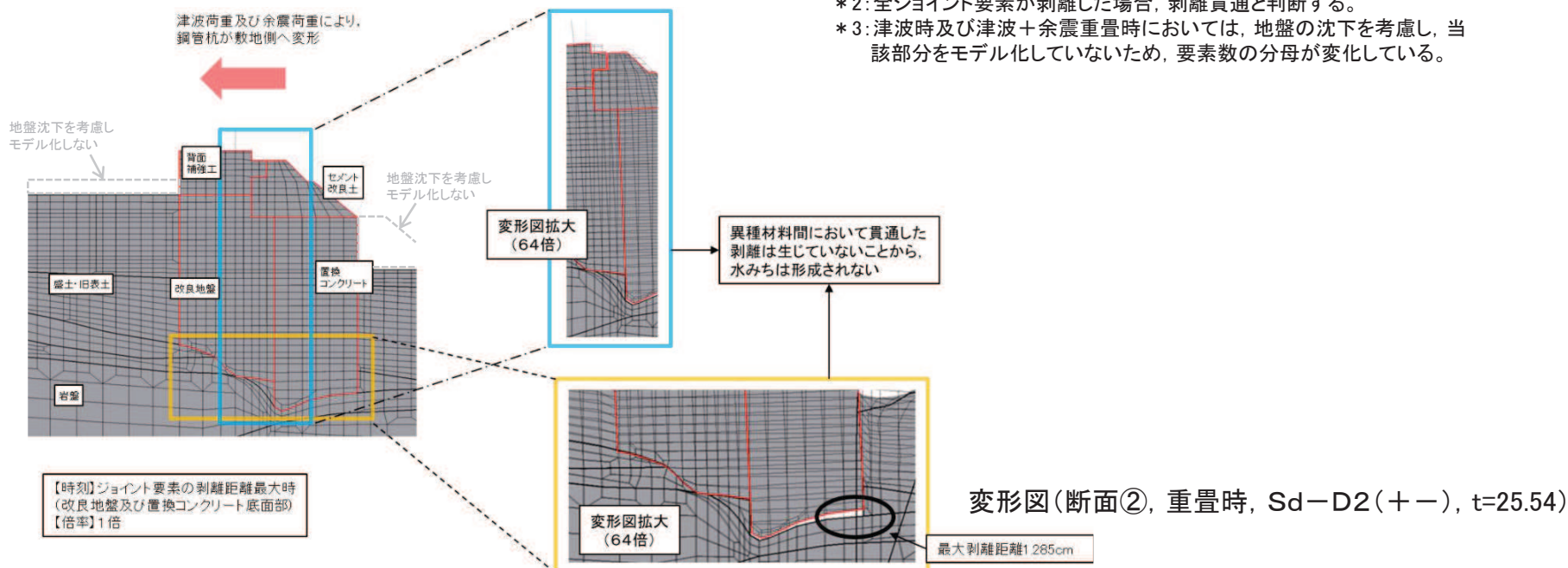
- 代表として、断面②における地震時、津波時及び津波＋余震重畳時の剥離状況を示す。
- 以下に示すとおり、地震時(最終ステップ)、津波時及び津波＋余震重畳時のいずれにおいても剥離は貫通しておらず、水みちは発生していないことを確認した。
- 構造境界部に水みちは発生せず、防潮堤の止水性が維持できていることを確認した。

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。

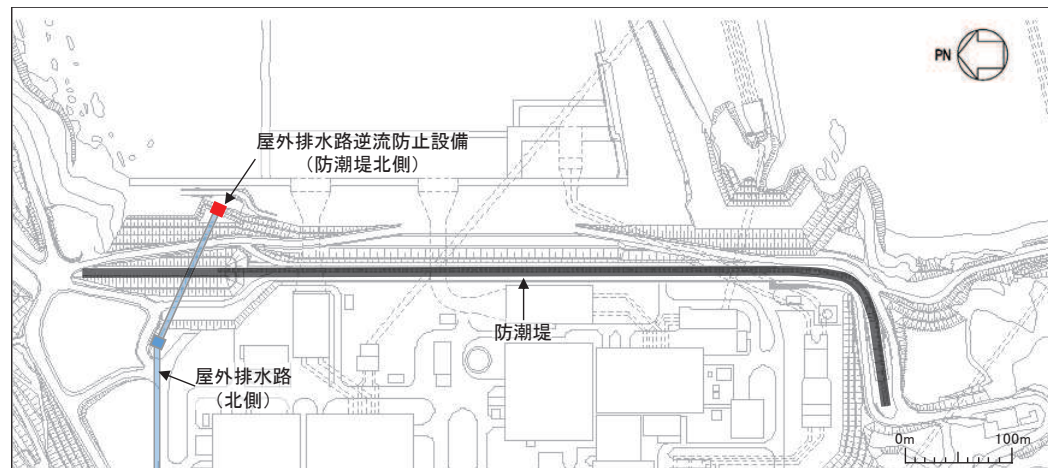
\*3: 津波時及び津波＋余震重畳時においては、地盤の沈下を考慮し、当該部分をモデル化していないため、要素数の分母が変化している。



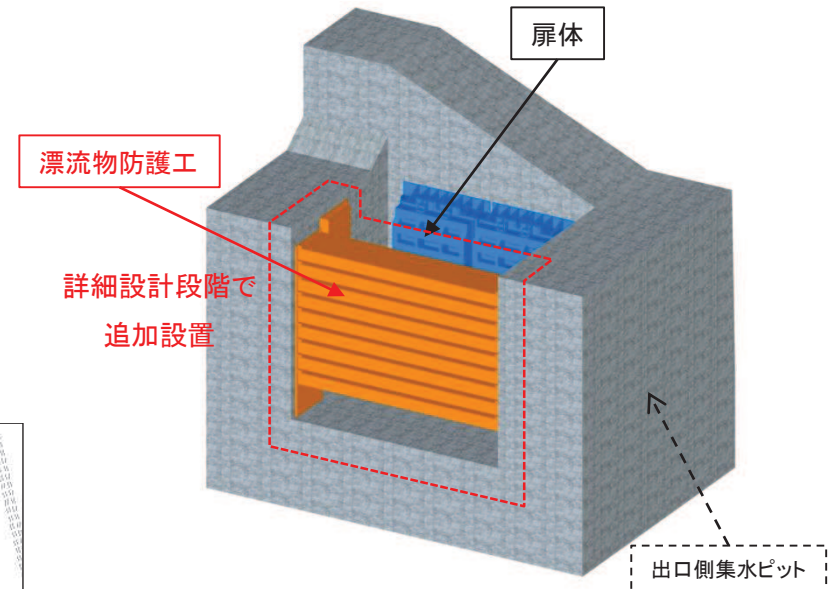


## 7. 漂流物防護工の追加(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)) 漂流物防護工の追加設置を踏まえた全体構造

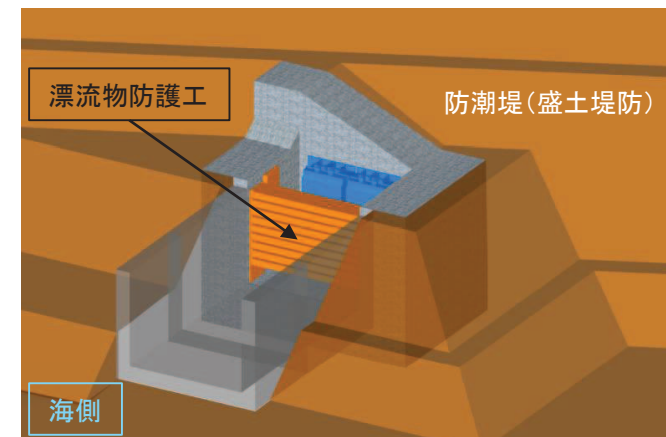
- 盛土堤防を横断する屋外排水路(北側)の海側出口には、津波の流入を防止するため屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)を設置する。
- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の前面は、海に面した構造であるため、屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の部位の一部として漂流物防護工を設置し、扉体等に漂流物が衝突しない構造とする。
- なお、漂流物防護工を含む屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)は間接支持構造物である出口側集水ピットに支持される。



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



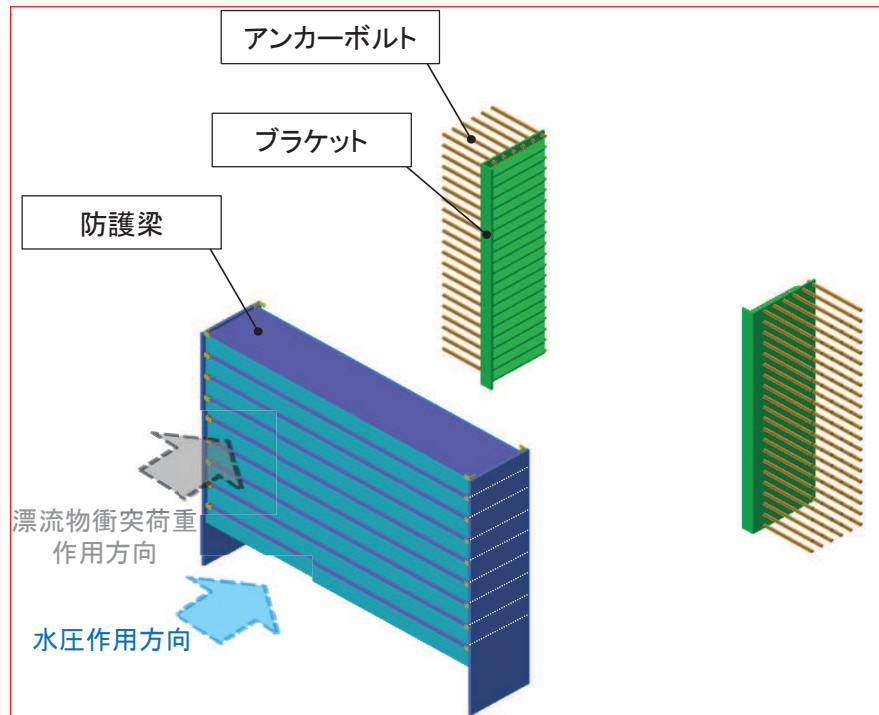
屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の外観イメージ



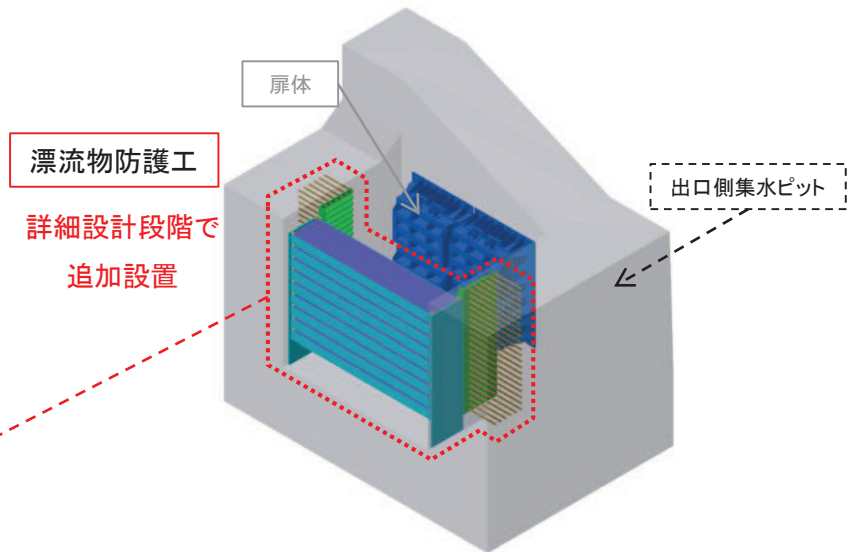
## 7. 漂流物防護工の追加(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))

### 漂流物防護工設置の考え方・荷重伝達経路・役割・性能目標・評価方法

- 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。
  - ✓ 扉体に漂流物を直接衝突させず、扉体に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



#### 【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、扉体に漂流物を直接衝突させないよう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】

- 津波が繰返し襲来することを考慮した上で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(確認結果を参考8に示す)。

**【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、漂流物防護工がおおむね弾性範囲に収まる設計とした。

**【防潮堤の詳細設計結果】**

- 断層横断部の影響や地盤物性のばらつきによる影響を考慮して耐震・強度評価を行い、各部位の健全性を確認した。
- また、詳細設計の結果として、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ーン目地について、健全性を確認した。
- 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、断層横断部の影響や、地盤物性のばらつき影響評価等を考慮した詳細設計の結果として、防潮堤が機能維持できることを確認した。

## 【参考資料】

- 参考1 第876回審査会合資料抜粋
- 参考2 防潮堤に関する新規制基準への適合性
- 参考3 ウレタンシリコーン目地の補足説明
- 参考4 防潮堤の評価対象断面
- 参考5 防潮堤の強度評価における荷重作用図
- 参考6 止水ジョイントのねじり変位を考慮する場合の保守性について
- 参考7 浸透流解析による地盤中からの回り込み防止の確認
- 参考8 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の漂流物防護工の耐震・強度評価結果

## 【1-1】漂流物防護工の追加

### 1. 概要

- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)について、漂流物衝突荷重に対する安全性向上のため、施設前面に漂流物防護工を設置する。

※: 防潮堤の鋼管杭(長杭)間に設置していた頂部はりを撤去することで、漂流物防護工の設置に伴い防潮堤の全体重量が増加しない設計とする。

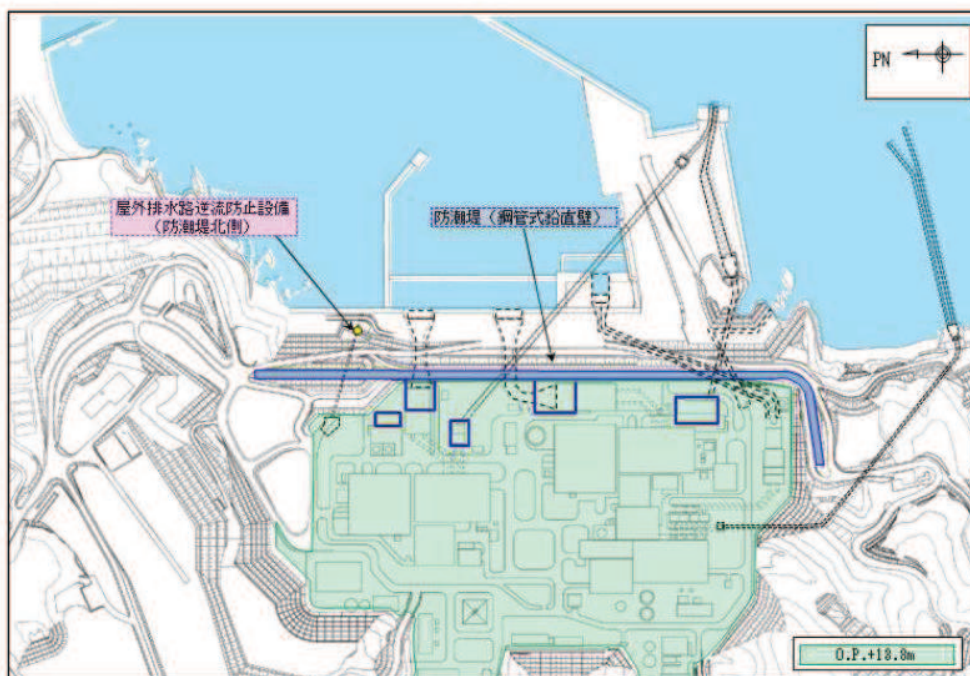


図1 漂流物防護工の追加位置  
(防潮堤(鋼管式鉛直壁), 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))

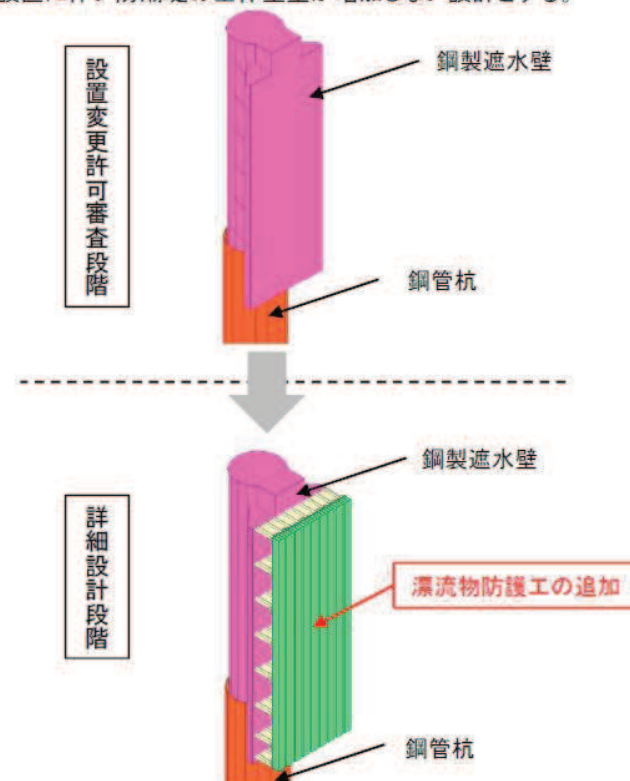


図2 防潮堤(鋼管式鉛直壁)鋼製遮水壁 イメージ図

### 2. 今後の説明予定

- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)及び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について、2020年5月提出の要目表、図面等にて概要説明予定。なお、2020年9月(防潮堤)、2020年11月(逆流防止設備)提出の耐震計算書等にて詳細説明予定。



【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"> <li>鋼製遮水壁を支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製遮水壁を支持する。</li> </ul>
	鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> <li>漂流物防護工及び止水ジョイントを支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>
	漂流物防護工	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>漂流物衝突荷重を鋼製遮水壁及び鋼管杭に伝達する。</li> </ul>
	止水ジョイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製遮水壁間の変位に追従する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製遮水壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。</li> </ul>
	背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭の変形を抑制する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遮水性を保持する。</li> <li>鋼管杭の変形を抑制する。</li> </ul>
	置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>鋼管杭の変形を抑制する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭の変形を抑制する。</li> <li>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)。</li> </ul>
地盤	セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭の変形を抑制する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼管杭の変形を抑制する。</li> <li>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)。</li> <li>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。</li> </ul>
	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)。</li> <li>基礎地盤のすべり安定性に寄与する。</li> <li>鋼管杭の変形を抑制する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)。</li> <li>鋼管杭の変形を抑制する。</li> <li>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)。</li> </ul>
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>基礎地盤のすべり安定性に寄与する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>

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3】ウレタンシリコーン目地の補足説明

### (各部位の役割, 要求機能・損傷モードを踏まえた変形・耐圧試験の確認事項)

- ウレタンシリコーン目地の各部位の役割を表1に, 要求機能・損傷モードを踏まえた変形・耐圧試験の確認事項を表2に示す。

表1 ウレタンシリコーン目地の各部位の役割

構成部位	地震時	津波時	重畳時
シリコーン* (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, シリコー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, <u>シリコーンと鋼製遮水壁の付着及びシリコーンの伸びによる変形追従性</u> により止水性能を発揮する。	津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部(海側)に生じる地震変位に対して, <u>シリコーンと鋼製遮水壁の付着及びシリコーンの伸びによる変形追従性</u> により止水性能を発揮する。
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。	シリコー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 <u>ウレタンに伝達</u> する。	シリコー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 <u>ウレタンに伝達</u> する。
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し, <u>シリコーンの伸びを抑制</u> 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し, <u>シリコーンの伸びを抑制</u> するとともに, 縁切材(山側)に荷重を伝達する。
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( <u>山側</u> )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( <u>山側</u> )に伝達する。
シリコーン* (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, シリコー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, シリコー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, シリコーンの変形性能を維持する。

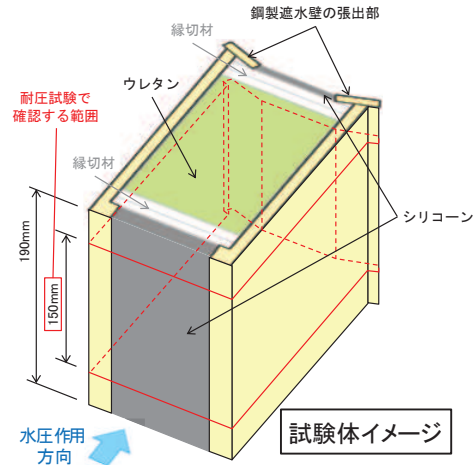
注記\* : シリコーンはウレタン及び縁切材を覆っているため, 止水性能以外にウレタン及び縁切材の主たる劣化要因である紫外線を遮断する「耐久性の保持」の役割も有している。

表2 ウレタンシリコーン目地の要求機能・損傷モードを踏まえた変形・耐圧試験の確認事項

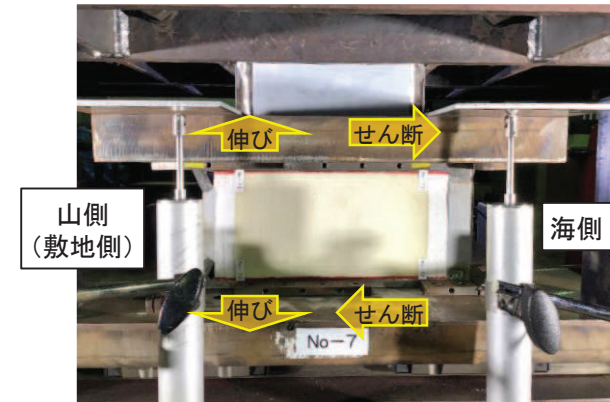
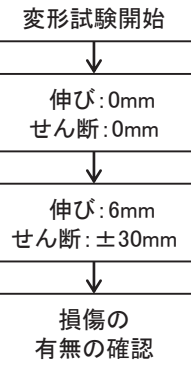
要求機能	機能損傷モード	試験での着目点	試験での確認事項
変形追従性	(作用する変位により)シリコーンが切れて変形追従性を喪失する。	シリコーンが切れていないか。	変形試験から, シリコーンが切れていないことを確認する。
止水性	(作用する変位又は水圧により)シリコーンが切れて止水性を喪失する。	シリコーンが切れていないか。 ウレタンに割れが生じていないか。	耐圧試験から, シリコーンが切れていないことを確認する。 変形試験及び耐圧試験から, ウレタンが割れていないことを確認する。
	(作用する変位又は水圧により)シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれて止水性を喪失する。	シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないか。	変形試験及び耐圧試験から, シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないことを確認する。
	(作用する変位又は水圧により)鋼製遮水壁の張出し部からウレタン(縁切材)が外れて止水性を喪失する。	鋼製遮水壁の張出し部からウレタン(縁切材)が外れないか。	変形試験及び耐圧試験から, 鋼製遮水壁の張出し部からウレタン(縁切材)が外れていないことを確認する。

## 【参考3】ウレタンシリコン目地の補足説明 (変形・耐圧試験の概要)

- 性能確認試験(変形試験, 耐圧試験)では, 右のような実機と同じサイズの試験体を用いて行う。
- なお, 実際の施工ではウレタン及び縁切材は, シリコンに覆われているため, 試験体の上部及び下部からそれぞれ20mm内側の150mmの範囲を試験の適用範囲とする。

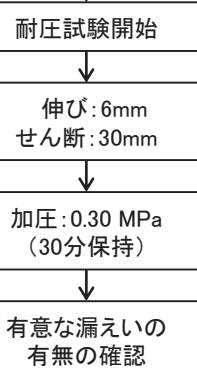


### 変形試験

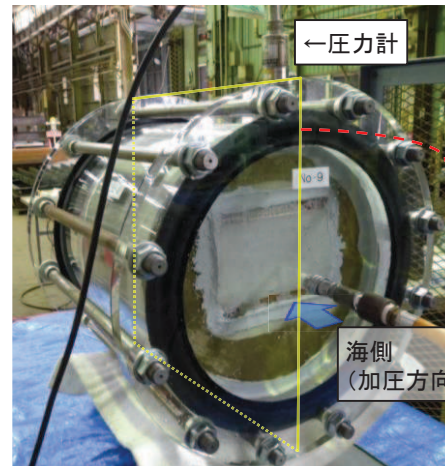


変形試験概要

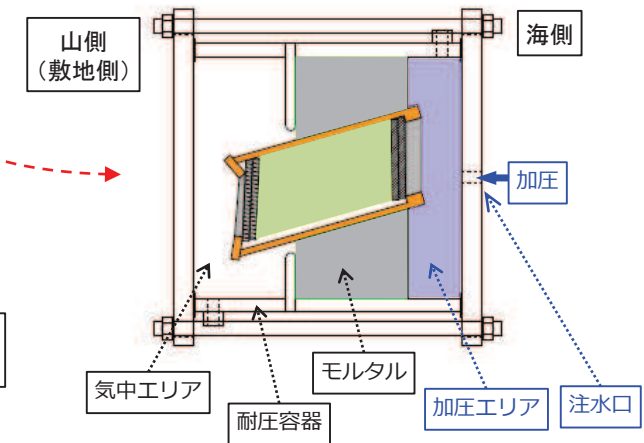
### 耐圧試験



耐圧試験では, 地震後の津波の襲来及び津波+余震重畳時を想定し, 変形試験での変位(伸び及びせん断)を保持した状態で耐圧容器内に固定し, 海側のシリコンから加圧する。



耐圧試験概要



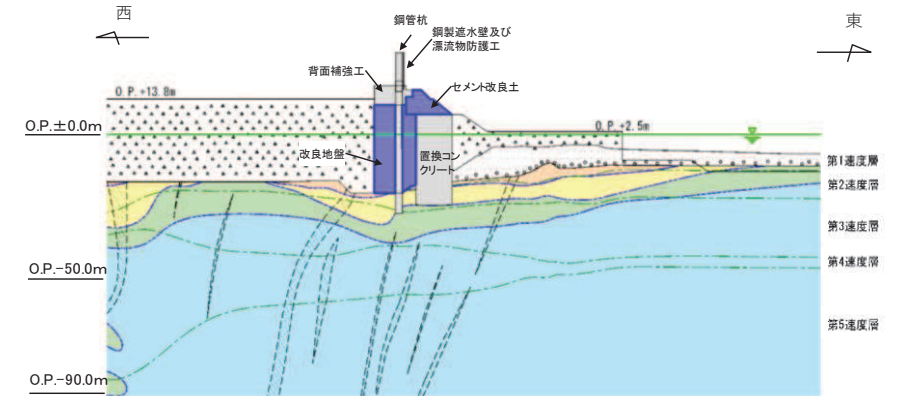
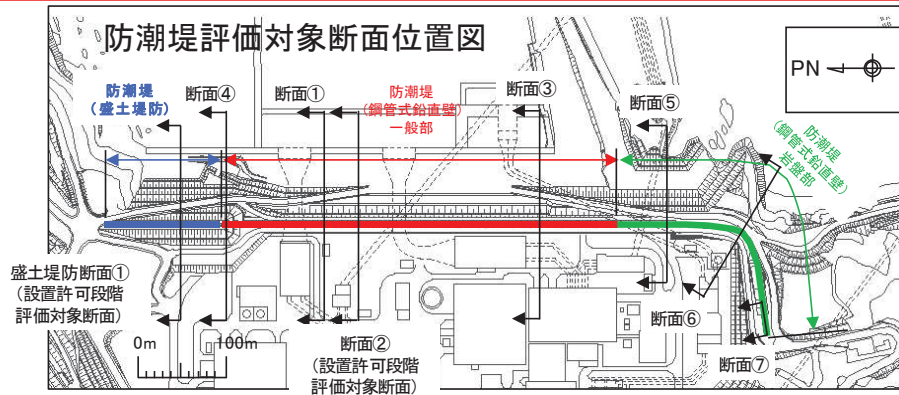
### 試験結果

試験終了

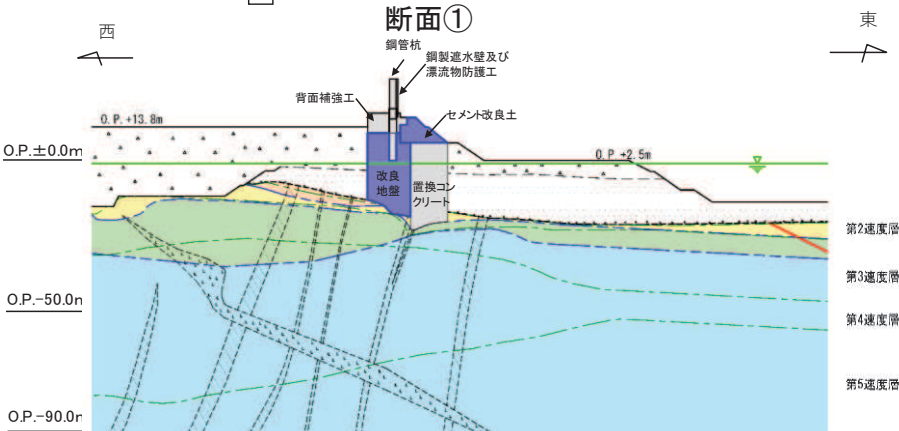
- ✓ 試験体2体について, 所定の変位(伸び6mm, せん断30mm)を与えた上で, 津波による波圧を上回る水圧0.30MPaを10分以上(加圧時間: 30分間)加圧した結果, 損傷及び漏えいが無く, シリコンと鋼製遮水壁の付着, シリコンの変形追従性, ウレタンの圧縮抵抗及び各部材の荷重伝達の機能が発揮されることを確認した。
- ✓ 許容限界を伸び方向6mm, せん断方向30mmに設定する。



# 【参考4】防潮堤の評価対象断面(1/2)



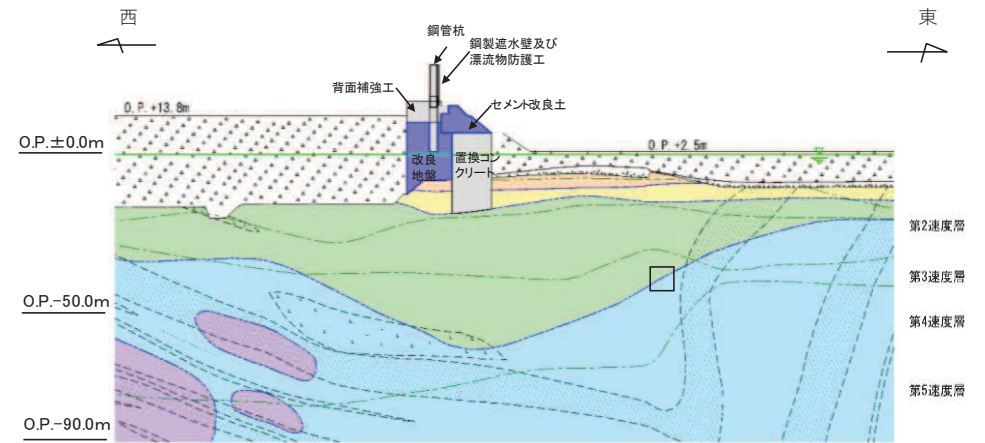
\* : 鋼管杭下方のC<sub>1</sub>級岩盤部はMMRにより置換。



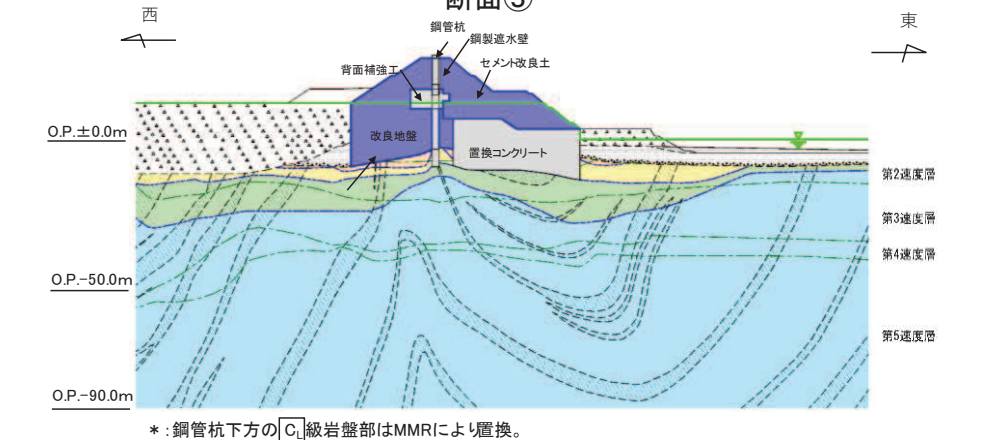
断面②

凡例

岩盤分類	B級	盛土
	C <sub>1</sub> 級	第四系(砂・礫)
	C <sub>2</sub> 級	砂
	C <sub>3</sub> 級	質岩
	D級	ひん岩
岩盤分類境界		断層
地下水位		地質境界
		改良地盤等



断面③

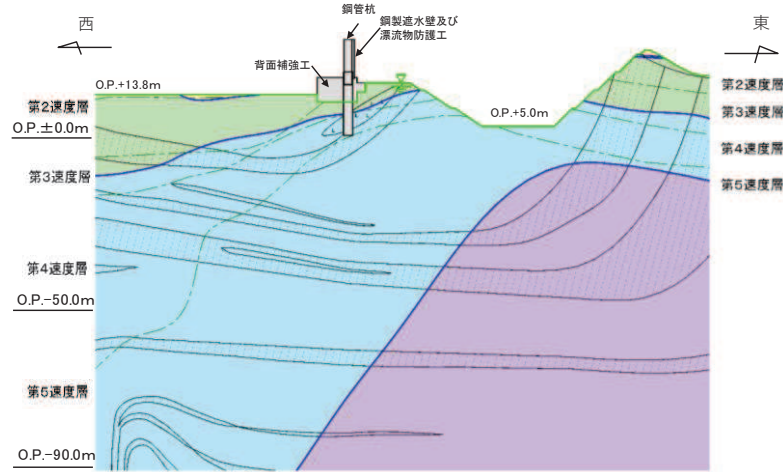


断面④

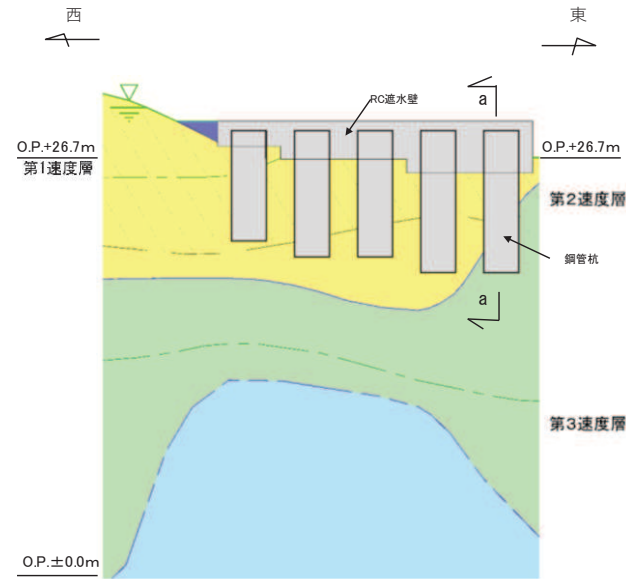
\* : 鋼管杭下方のC<sub>1</sub>級岩盤部はMMRにより置換。



# 【参考4】防潮堤の評価対象断面(2/2)



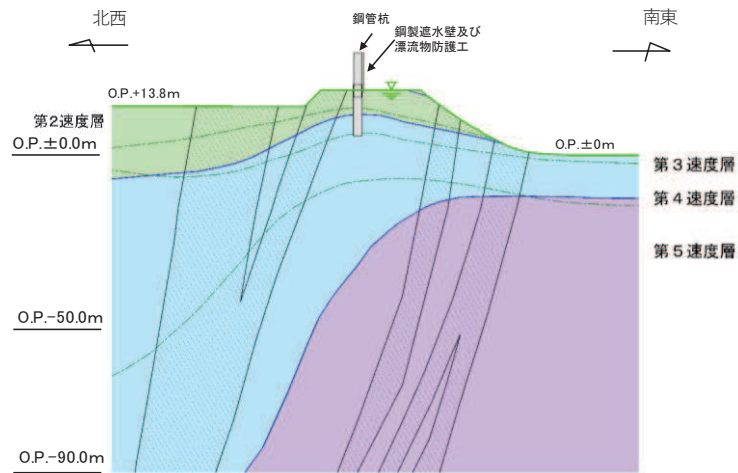
断面⑤



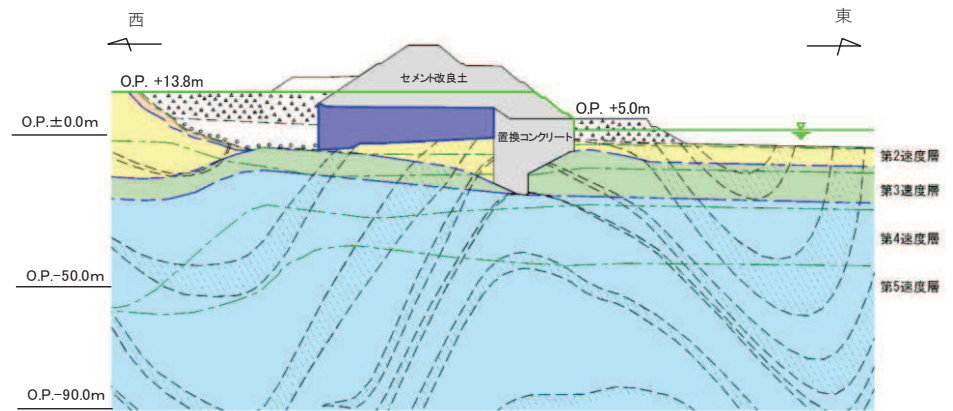
断面⑦

凡例

岩盤分類		凡例	
[Symbol]	B級	[Symbol]	盛土
[Symbol]	C <sub>1</sub> 級	[Symbol]	第四系(砂・礫)
[Symbol]	C <sub>2</sub> 級	[Symbol]	砂岩
[Symbol]	C <sub>3</sub> 級	[Symbol]	頁岩
[Symbol]	D級	[Symbol]	ひん岩
[Symbol]	岩盤分層境界	[Symbol]	断層
[Symbol]	地下水位	[Symbol]	地質境界
		[Symbol]	改良地盤等

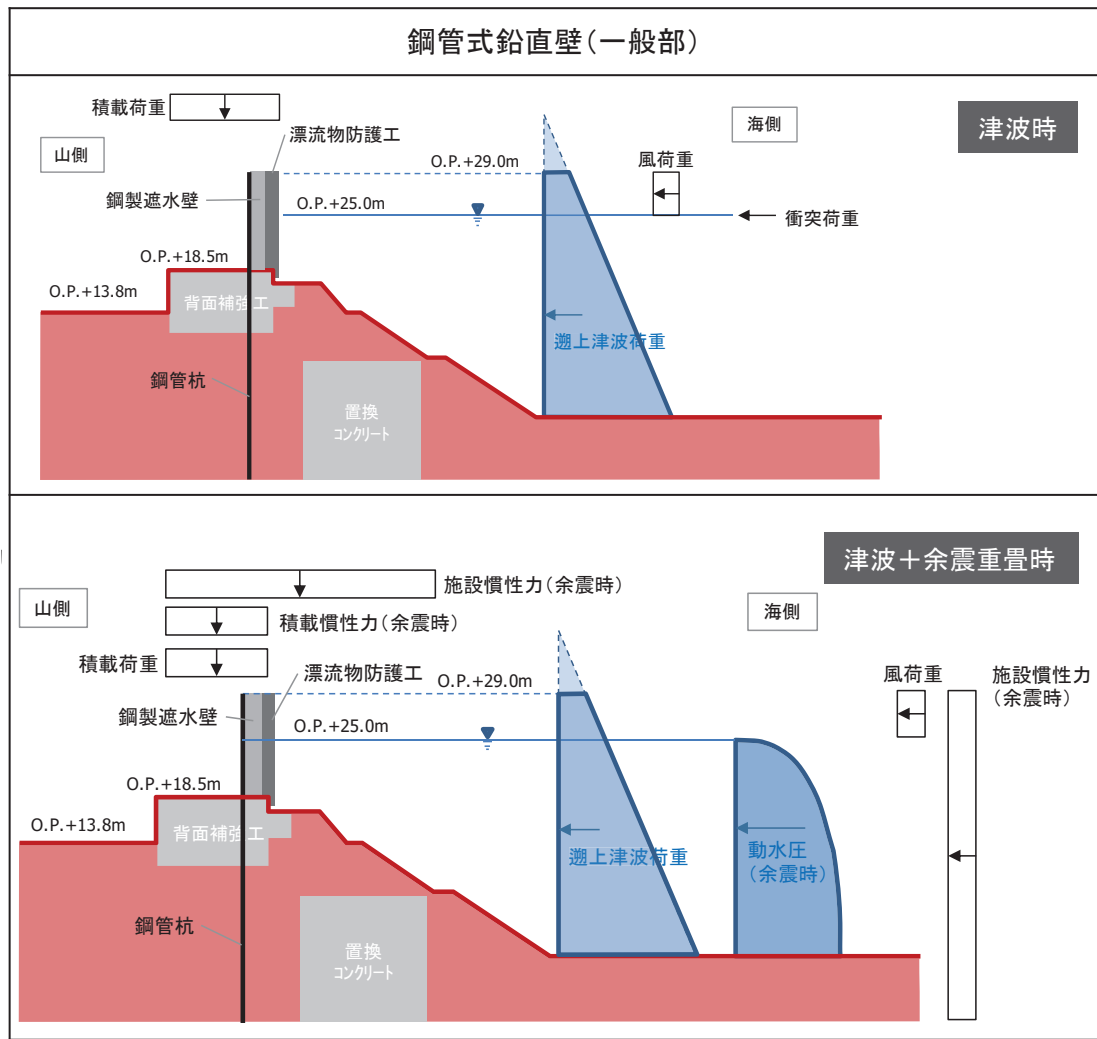


断面⑥



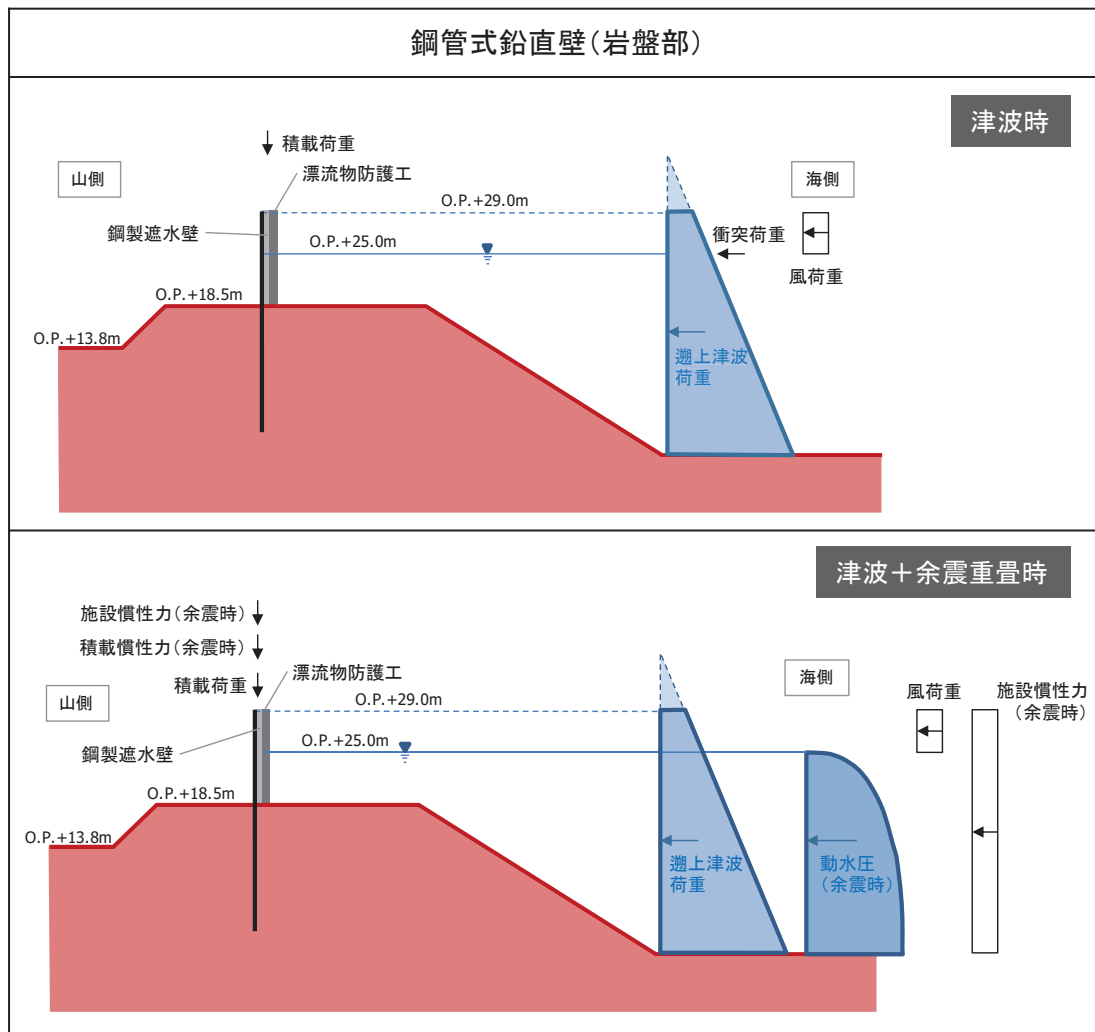
盛土堤防断面①

■ 鋼管式鉛直壁(一般部)の荷重作用図(津波時及び津波+余震重畳時)を示す。



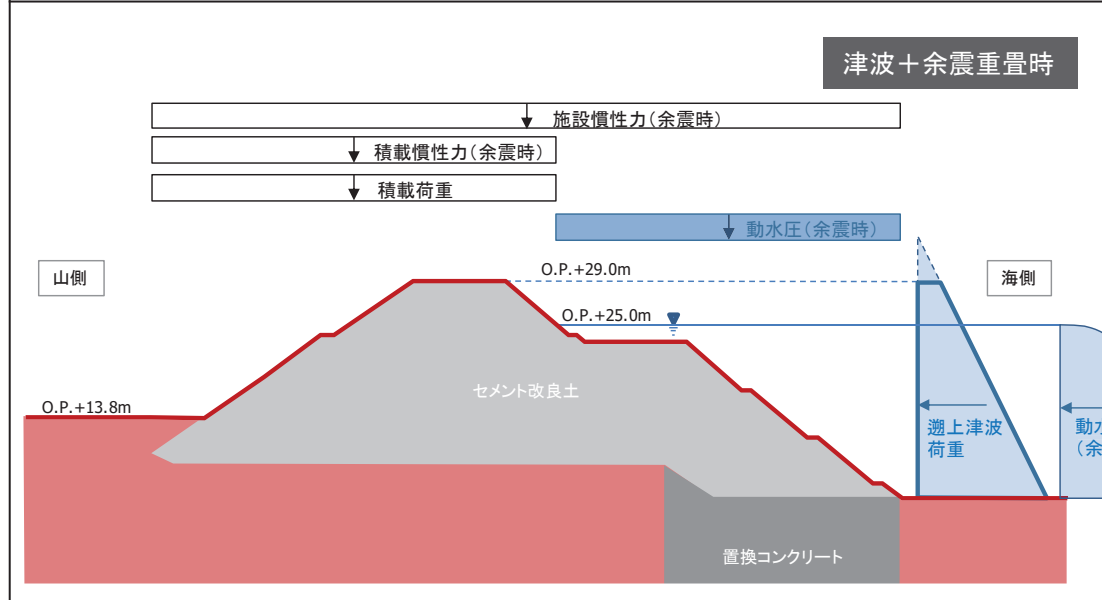
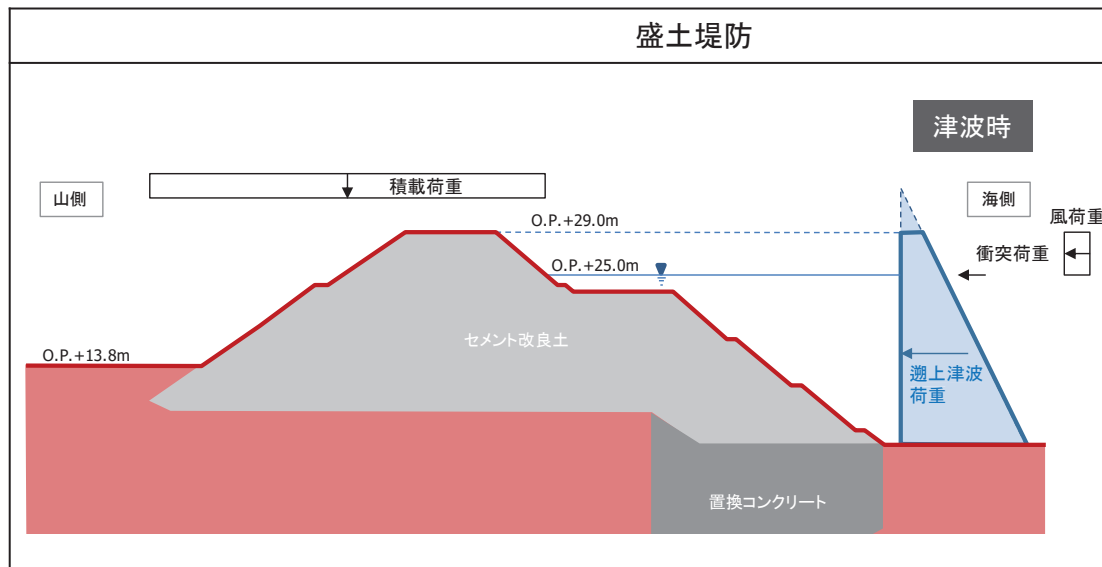
荷重	詳細
固定荷重	躯体自重を考慮する。
積載荷重	積雪荷重を含めて地表面に4.9kN/m <sup>2</sup> を考慮する。
積雪荷重	発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに20N/m <sup>2</sup> の積雪荷重が作用することを考慮する。
風荷重	敷地側から海側に作用する場合は遡上津波荷重を打ち消す側に荷重が作用するため、海側から敷地側の方向で津波水位から防潮堤天端までに作用することを考慮する。
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(津波時及び津波+余震重畳時)を示す。



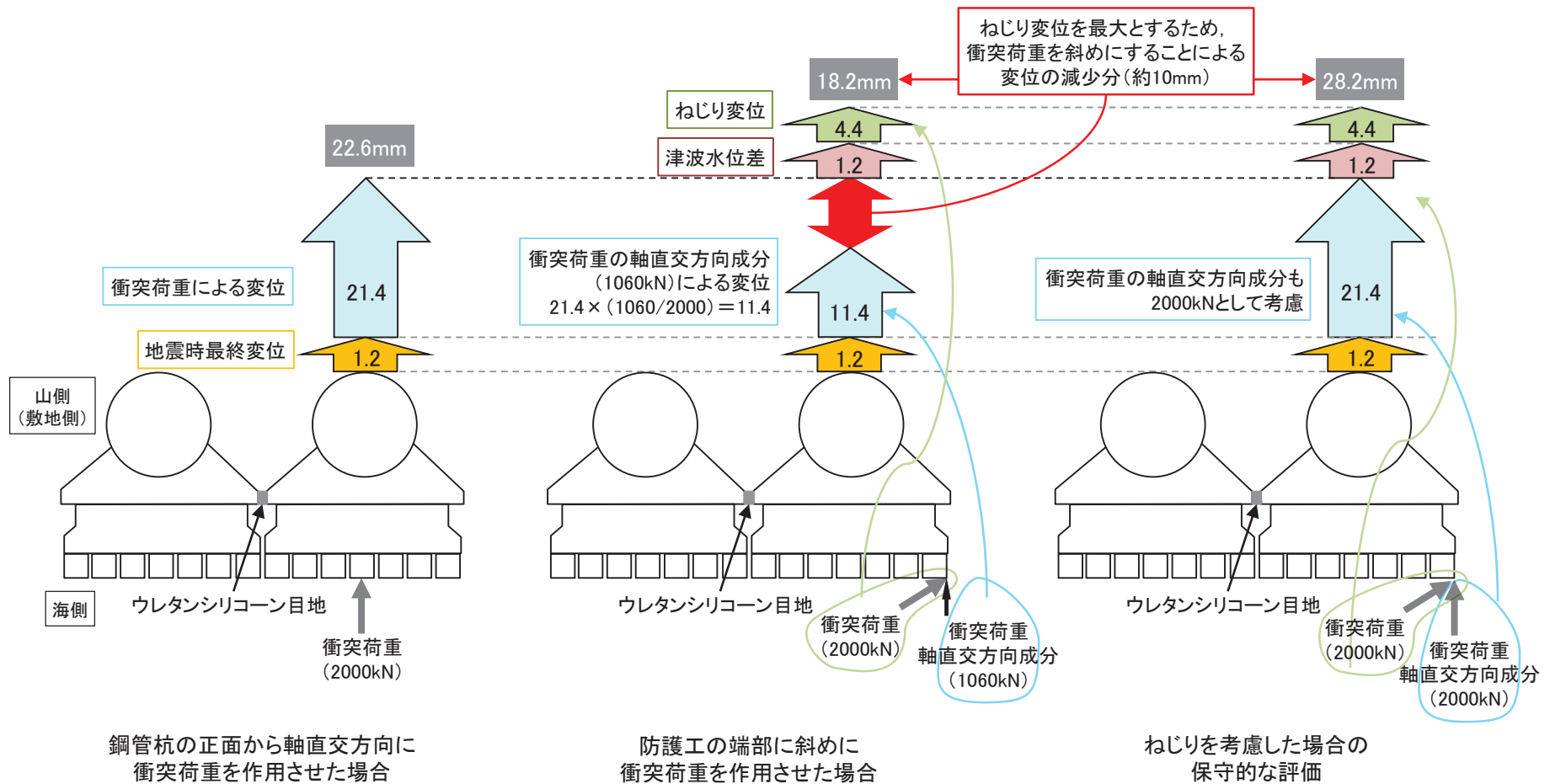
荷重	詳細
固定荷重	躯体自重を考慮する。
積載荷重	積雪荷重を含めて地表面に4.9kN/m <sup>2</sup> を考慮する。
積雪荷重	発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに20N/m <sup>2</sup> の積雪荷重が作用することを考慮する。
風荷重	敷地側から海側に作用する場合は遡上津波荷重を打ち消す側に荷重が作用するため、海側から敷地側の方向で津波水位から防潮堤天端までに作用することを考慮する。
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。

■ 盛土堤防の荷重作用図(津波時及び津波+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 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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、ねじり変位を考慮する場合の保守性の考え方を示す。
- ねじりを考慮した場合の保守的な評価は、ねじり変位を最大とするため衝突荷重を斜めに作用させている。
- その場合、衝突荷重の軸直交方向成分は小さくなり、変位も小さくなることが予想される(▲10mm)が、保守的に2000kNを防護工に垂直に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

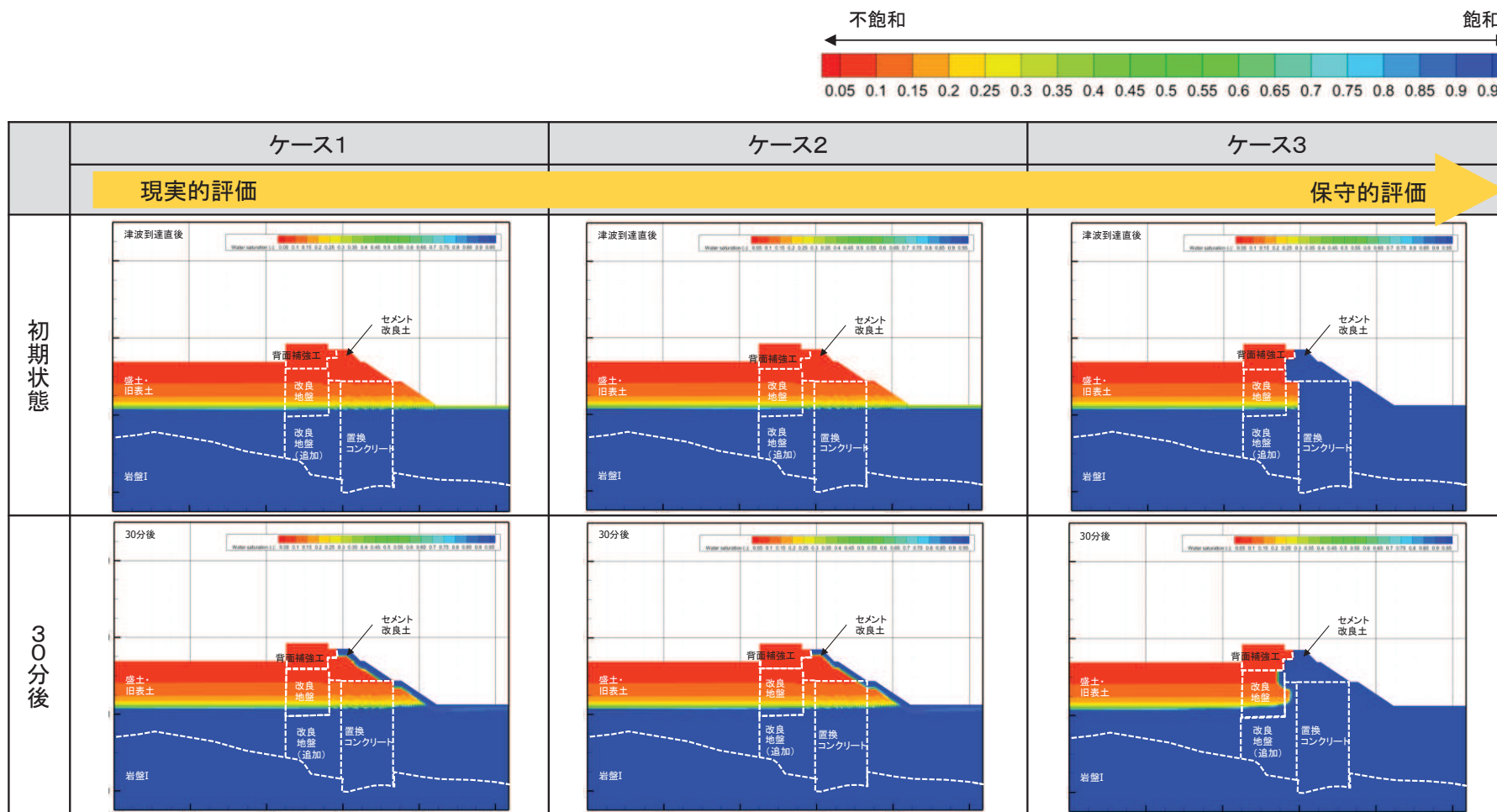
検討ケース		津波水位	初期水位	遮水壁	継続時間
ケース1	対策工を忠実にモデル化	防潮堤高さ (O.P.+29.0m)	HWL一定 (O.P.+1.43m)	考慮 しない	30分*
ケース2	改良地盤・置換コンクリート、セメント改良土の透水係数＝盛土・旧表土相当と仮定				
ケース3	背面補強工及び改良地盤とセメント改良土及び置換コンクリート間の水みち形成を想定し、背面補強工と改良地盤のすぐ海側に一律O.P.+29.0mの海水が滞水と仮定				

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)
<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>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)</li> </ul>	

- 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)

屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)のうち漂流物防護工の評価結果

評価部位	評価応力	地震時			津波時			重畳時		
		発生応力 a(N/mm <sup>2</sup> )	許容応力 b(N/mm <sup>2</sup> )	照査値 a/b	発生応力 a(N/mm <sup>2</sup> )	許容応力 b(N/mm <sup>2</sup> )	照査値 a/b	発生応力 a(N/mm <sup>2</sup> )	許容応力 b(N/mm <sup>2</sup> )	照査値 a/b
防護梁	曲げ応力度	41	382	0.11	242	382	0.64	34	382	0.09
	せん断応力度	2	217	0.01	139	217	0.65	20	217	0.10
	合成応力度	0.02	1.2	0.02	0.81	1.2	0.68	0.02	1.2	0.02
ブラケット	曲げ応力度	1	210	0.01	6	210	0.03	1	210	0.01
	せん断応力度	1	120	0.01	41	120	0.35	6	120	0.05
	合成応力度	0.01	1.2	0.01	0.12	1.2	0.1	0.01	1.2	0.01
アンカー ボルト	評価項目	発生値 a(kN)	許容値 b(kN)	照査値 a/b	発生値 a(kN)	許容値 b(kN)	照査値 a/b	発生値 a(kN)	許容値 b(kN)	照査値 a/b
	引張	1	105	0.01	14	105	0.14	5	105	0.05
	せん断	2	85	0.03	71	85	0.84	24	85	0.29
	合成	0.01	1.2	0.01	0.71	1.2	0.60*	0.09	1.2	0.08*

注記\* : 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。