

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-01-0087_改4
提出年月日	2021年9月17日

女川原子力発電所第2号機 漂流物防護工の追加について (指摘事項に対する回答)

2021年9月17日
東北電力株式会社

1. 本日のご説明内容
2. 漂流物による影響要因の整理
 2. 1 基準津波の特徴
 2. 2 漂流物による衝突荷重の主たる方向
 2. 3 各施設・設備の構造的特徴を踏まえた漂流物による影響確認方針
 2. 4 まとめ
3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計
 3. 1 漂流物防護工の構造選定
 3. 2 詳細設計の方針
 3. 3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法
 3. 4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割
 3. 5 損傷モードを踏まえた評価の考え方
 3. 6 各部材の評価方法
 3. 7 構造成立性(評価結果)
4. 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設計
 4. 1 漂流物防護工の構造選定
 4. 2 詳細設計の方針
 4. 3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法
 4. 4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割
 4. 5 損傷モードを踏まえた評価の考え方
 4. 6 各部材の評価方法
 4. 7 構造成立性(評価結果)
5. まとめ

(参考資料)

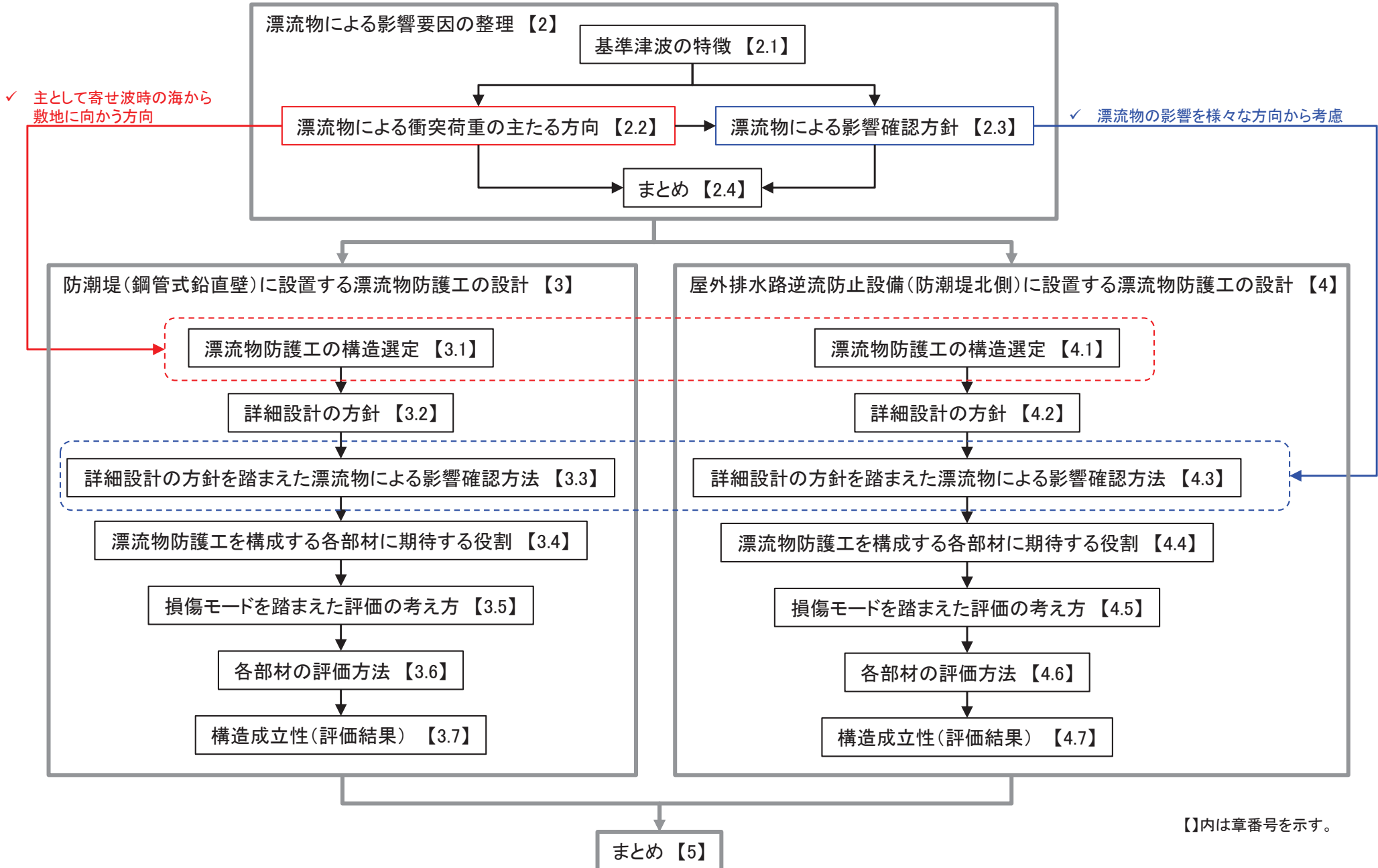
- 第993回審査会合(令和3年7月29日)において、主要説明項目(第876回審査会合(令和2年7月14日)にて説明:参考1)のうち詳細設計段階における設計変更内容「No.1-1 漂流物防護工の追加」について説明し、以下の指摘があったことから、指摘事項に対する回答内容を説明する。

審査会合	指摘事項
第993回審査会合 (令和3年7月29日)	防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に対する漂流物の影響要因を整理した上で、漂流物防護工の構造選定の考え方、構成する各部材に期待する役割、損傷モードを踏まえた評価の考え方及び構造成立性を説明すること。



指摘事項の詳細	回答方針	該当する章
漂流物の影響要因を整理	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 基準津波の特徴を踏まえ、漂流物による衝突荷重の主たる作用方向を海から敷地に向かう方向(寄せ波)として整理する。 ✓ 漂流物防護工の構造成立性においては、衝突荷重の作用位置が影響を及ぼすと考えられることから、想定される衝突荷重の作用位置を網羅的に整理する。 ✓ また、屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)については、設置位置の特徴から、引き波時における漂流物の影響についても確認項目として整理する。 	2章
漂流物防護工の構造選定の考え方	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 海から敷地に向かう衝突荷重に抵抗する構造の漂流物防護工を防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の前面(海側)に設置することとし、発電所の運用上の観点、現状構造の活用の観点、施工実現性の観点等から構造を選定する。 ✓ 選定した構造に対して詳細設計の方針を設定するとともに、衝突荷重の作用位置や引き波時の影響の確認方法を設定する。 	3. 1~3. 2章 4. 1~4. 2章
構成する各部材に期待する役割	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 漂流物の影響及び漂流物防護工の構造的特徴を踏まえ、漂流物防護工に作用する力の伝達を整理し、漂流物防護工の各部材に期待する役割を設定する。 	3. 3~3. 6章 4. 3~4. 6章
損傷モードを踏まえた評価の考え方	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 漂流物防護工の各部材に期待する役割から、各部材の損傷モードを踏まえた評価の考え方の整理を行い、地震時、津波時及び余震重畳時において考慮する荷重を示す。 	
構造成立性	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 以上を踏まえ、耐震及び強度評価を行い、漂流物防護工の構造が成立することを確認する。 	3. 7章 4. 7章 5章

➤ 指摘事項に対する回答の検討フローを以下に示す。

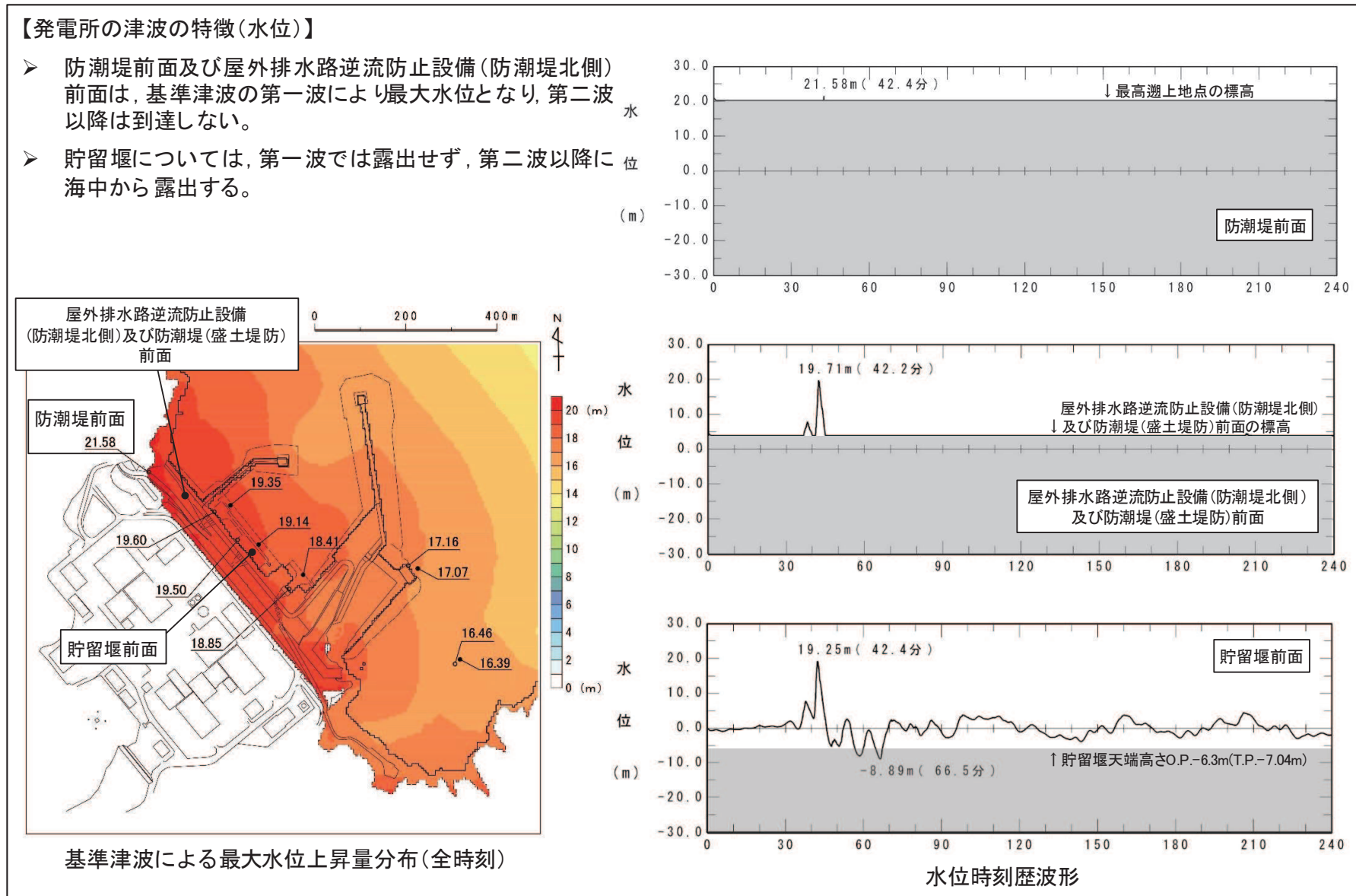


【】内は章番号を示す。

2. 漂流物による影響要因の整理

2.1 基準津波の特徴

- 防潮堤前面及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)前面には、基準津波の第二波以降は到達しない(第970回審査会合にて説明)ため、漂流物による衝突荷重(以下「衝突荷重」という。)は基準津波の第一波において考慮する。

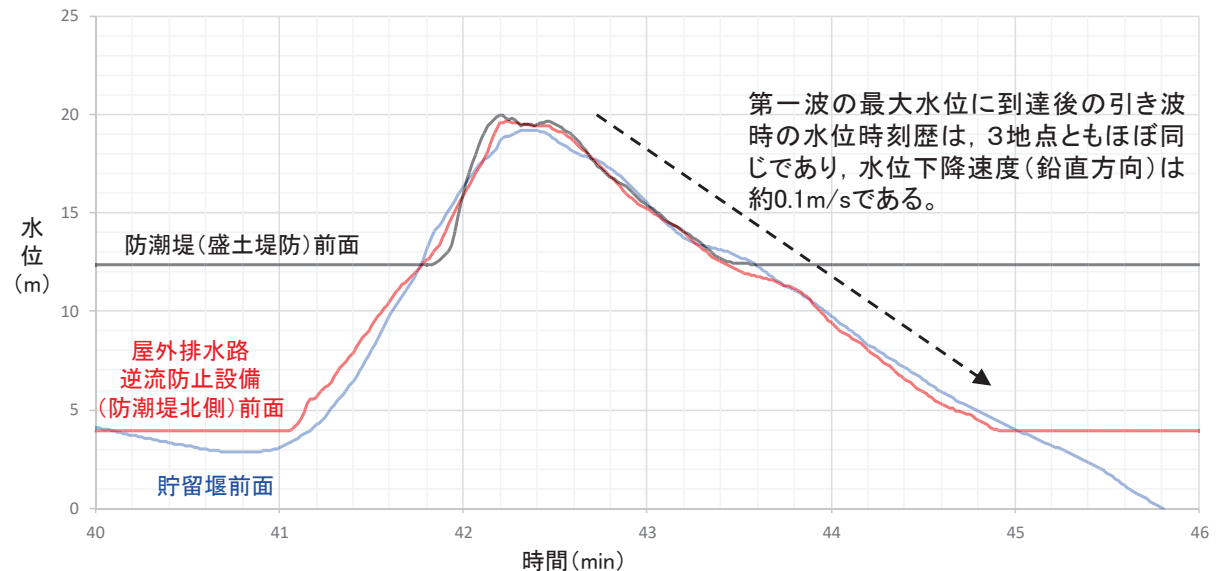


2. 漂流物による影響要因の整理

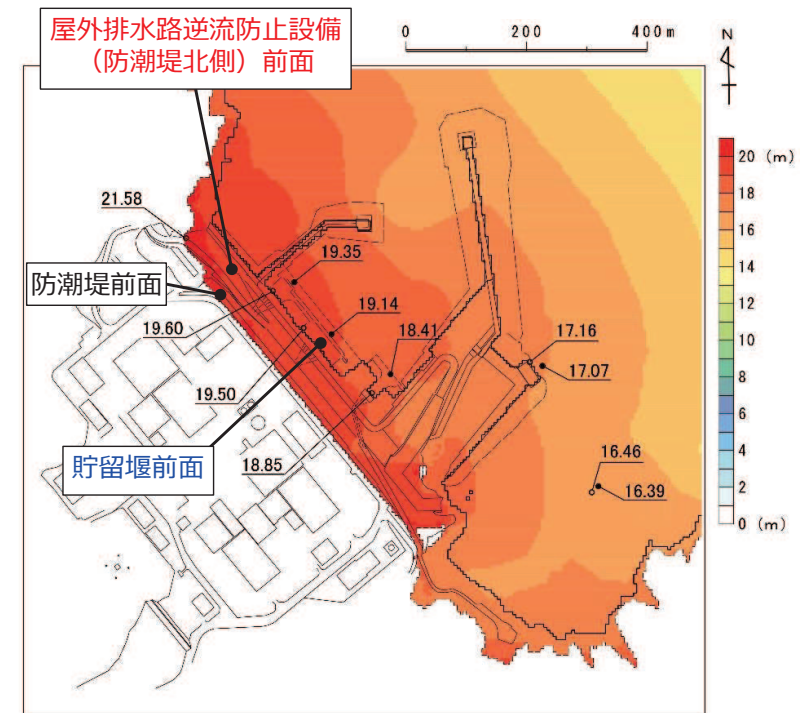
2.2 漂流物による衝突荷重の主たる方向

- 前頁のとおり，漂流物による衝突荷重は基準津波第一波において考慮し，寄せ波時の津波荷重と重畳させることとしている。
- 一方，引き波時の漂流物の挙動は以下のとおりであり，その影響は小さいものの，防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の設置位置の特徴を踏まえ，評価することとする。
 - ✓ 第一波来襲後の引き波時において，防潮堤（盛土堤防），屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰前面での水位時刻歴はほぼ同じで，その下降速度は約0.1m/sであることから，この周辺では一様に水位が下がる特徴を有している。
 - ✓ そのため，第一波で敷地に到達する漂流物（車両及びFRP製船舶）は，引き波時に上記の下降速度で津波水位とともに緩やかに下降する。

漂流物による衝突荷重は，津波荷重とともに基準津波第一波の寄せ波時（海から敷地に向かう方向）に作用することから，主に寄せ波時の荷重に抵抗するよう漂流物防護工の構造を検討する



基準津波第一波(40~46分)の水位時刻歴波形



基準津波による最大水位上昇量分布

2. 漂流物による影響要因の整理

2.3 各施設・設備の構造的特徴を踏まえた漂流物による影響確認方針

- 寄せ波時の衝突荷重では、設計用津波水位 (O.P.+25.0m) 又は設備の上部位置に作用することを基本とするが、各施設の構造的特徴を踏まえ、衝突荷重の作用位置については鉛直方向及び水平方向に対して安全側の設計となるよう設定することとする。
- また、屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) は、防潮堤よりも海側に設置されていることから、基準津波第一波の寄せ波による津波荷重及び衝突荷重が作用した後に、一旦没水し、その後の引き波により再び露出することになる。そのため、屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) は寄せ波に加えて引き波の影響についても検討することとする。

漂流物による影響確認方針	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)
<p>鉛直方向 (引き波時を含む)</p> <p>基本とする衝突位置よりも水圧が高い下側への衝突を考慮</p>	<p>山側 (敷地側)</p> <p>海側</p> <p>O.P.+29.0m</p> <p>O.P.+25.0m</p> <p>漂流物防護工</p> <p>津波波圧</p> <p>基本</p> <p>安全側の設定</p> <p>衝突荷重 (2000kN)</p> <p>背面補強工</p> <p>背面補強工の構造目地に設置する止水ジョイントの一部は、寸法の小さな漂流物による影響の可能性がある。</p>	<p>山側 (敷地側)</p> <p>海側</p> <p>O.P.+29.0m</p> <p>津波来襲方向 (寄せ波)</p> <p>(引き波・水位下降)</p> <p>衝突荷重 (2000kN)</p> <p>基本</p> <p>安全側の設定</p> <p>屋外排水路</p> <p>屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側)</p> <p>漂流物防護工</p>
<p>水平方向*</p> <p>部材の端部に衝突することを考慮</p>	<p>山側 (敷地側)</p> <p>海側</p> <p>漂流物防護工</p> <p>衝突荷重 (2000kN)</p> <p>基本</p> <p>安全側の設定</p>	<p>山側 (敷地側)</p> <p>海側</p> <p>扉体</p> <p>扉体</p> <p>出口側集水ピット</p> <p>漂流物防護工</p> <p>衝突荷重 (2000kN)</p> <p>基本</p> <p>安全側の設定</p> <p>扉体の開閉のために漂流物防護工との間に空間 (約2m×約4.8m) が必要となることから、引き波時にこの空間に寸法の小さな漂流物 (がれき類) が取り残される可能性がある。</p>

注記* : 防潮堤の水平方向において、被衝突物に対して直角方向からの衝突を考慮する (斜め方向からの衝突は直角方向よりも衝突荷重が小さくなるため、参考3に示すとおり影響確認として実施する)。

2. 漂流物による影響要因の整理

2.4 まとめ

- 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)に対する漂流物の影響要因を整理した結果を下表に示す。
- この整理結果を踏まえ、漂流物防護工の構造選定、構成する各部材に期待する役割及び損傷モードを検討する(3章, 4章)。

		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)
基準津波の特徴		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)には基準津波第一波のみが到達する。 ⇒ 衝突荷重(2000kN)は基準津波第一波において考慮する。	
漂流物による衝突荷重の主たる方向		【寄せ波】衝突荷重(2000kN)は津波荷重と重畳する。 【引き波】基準津波の水位下降速度は約0.1m/sであり、非常に緩やかである。 ⇒ 衝突荷重(2000kN)は、津波荷重とともに基準津波第一波の寄せ波時(海から敷地に向かう方向)に作用することから、主に寄せ波時の荷重に抵抗するよう漂流物防護工の構造を検討する。	
漂流物による影響確認方針	寄せ波	衝突荷重は設計津波水位(O.P.+25.0m)に作用することを基本とし、漂流物防護工の各部材に対して安全側の設計となる作用位置を設定する。 ✓ 鉛直方向及び水平方向の作用位置を設定【3.3】 ✓ なお、鋼管杭及び防護工取付けボルトへの影響検討として、斜め方向を設定【参考3】 漂流物防護工で防護できない箇所への寸法の小さな漂流物の影響を検討する。【参考4】	屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)は設計津波水位(O.P.+25.0m)よりも低い位置に設置するため、衝突荷重は漂流物防護工最上部に作用することを基本とし、漂流物防護工の各部材に対して安全側の設計となる作用位置を設定する。 ✓ 鉛直方向及び水平方向の作用位置を設定【4.3】
	引き波	— (基準津波の来襲に対して、防潮堤で敷地への浸水を防止するため、引き波による影響はない。)	防潮堤よりも海側に設置されていることから、基準津波第一波の寄せ波による津波荷重及び衝突荷重が作用した後に、一旦没水し、その後の引き波により再び露出することになる。そのため、引き波での漂流物の影響について、安全側の設計となるよう条件を設定する。 ✓ 津波水位の下降速度が非常に緩やかであるため、漂流物防護工の上部に漂流物が残置されることを想定(鉛直方向の荷重を考慮)【4.3】 ✓ 扉体が開閉するための空間(扉体と漂流物防護工の間の空間)に漂流物が取り残されることを想定(寄せ波と逆方向から静水圧、流体力、寸法の小さな漂流物の影響を考慮)【4.3】

3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計

1. 本日のご説明内容
2. 漂流物による影響要因の整理
 - 2.1 基準津波の特徴
 - 2.2 漂流物による衝突荷重の主たる方向
 - 2.3 各施設・設備の構造的特徴を踏まえた漂流物による影響確認方針
 - 2.4 まとめ
3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計
 - 3.1 漂流物防護工の構造選定
 - 3.2 詳細設計の方針
 - 3.3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法
 - 3.4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割
 - 3.5 損傷モードを踏まえた評価の考え方
 - 3.6 各部材の評価方法
 - 3.7 構造成立性(評価結果)
4. 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設計
 - 4.1 漂流物防護工の構造選定
 - 4.2 詳細設計の方針
 - 4.3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法
 - 4.4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割
 - 4.5 損傷モードを踏まえた評価の考え方
 - 4.6 各部材の評価方法
 - 4.7 構造成立性(評価結果)
5. まとめ

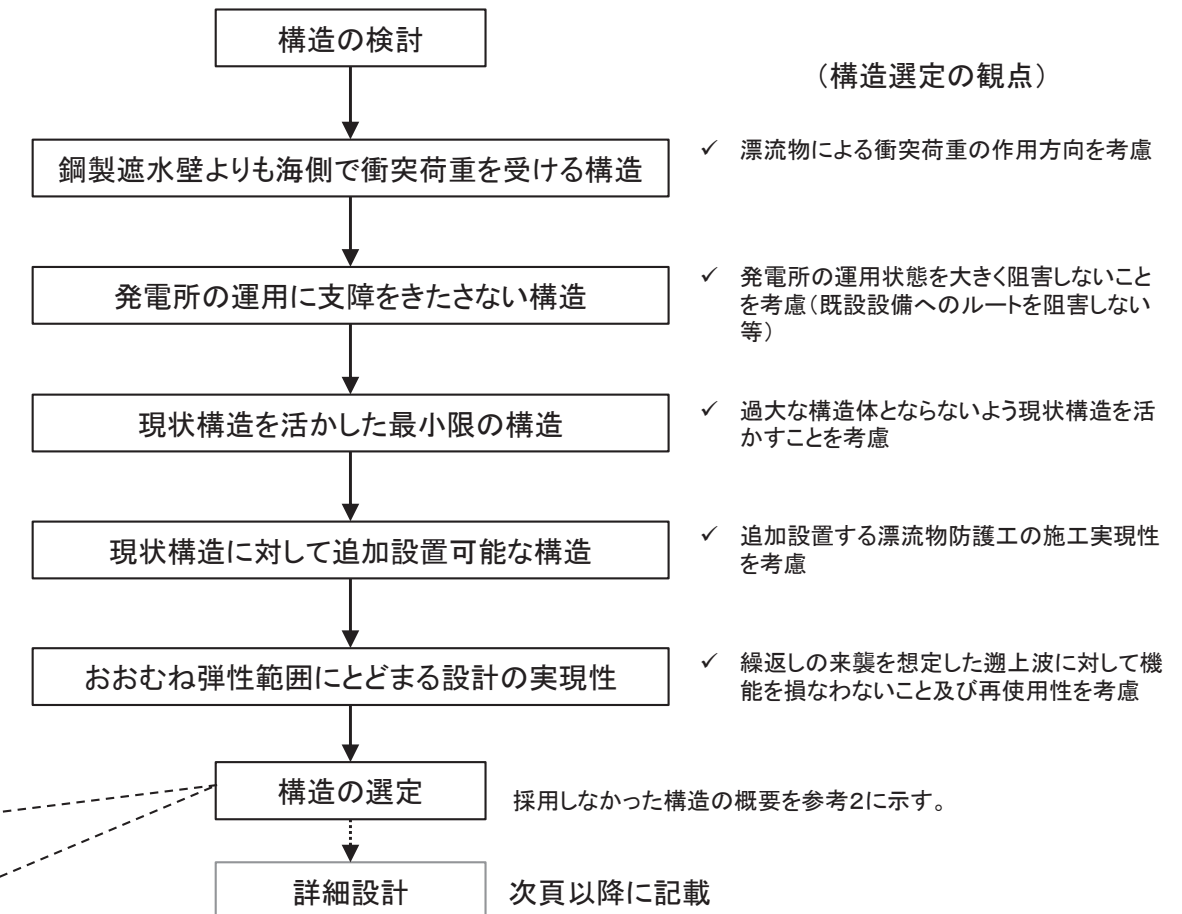
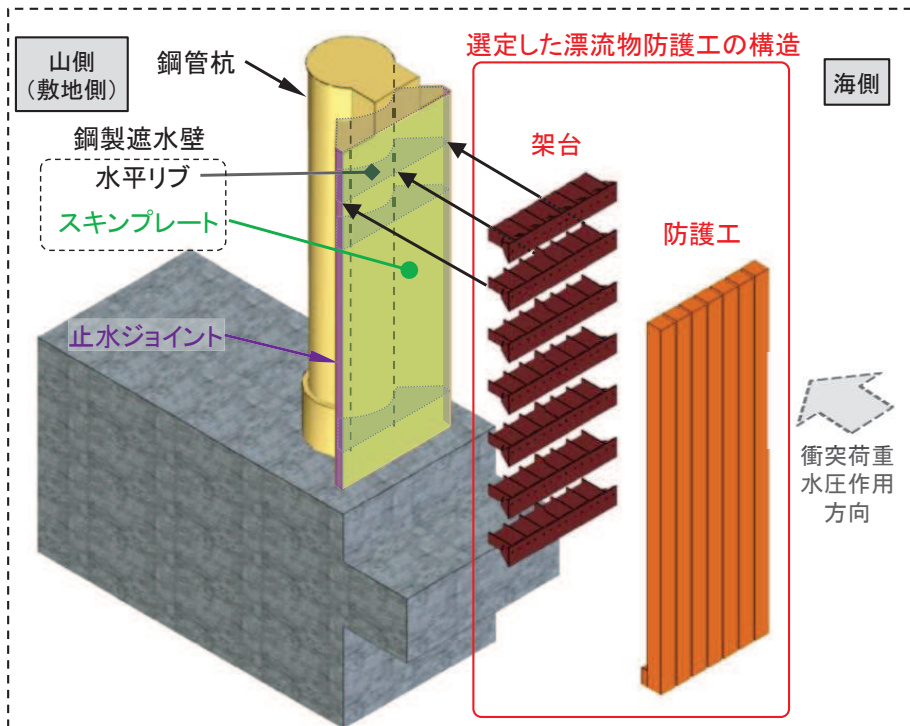
(参考資料)

3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計

3.1 漂流物防護工の構造選定(選定フロー)

- 基準津波第一波の寄せ波時において、漂流物による衝突荷重は海から敷地に向かう方向に作用し、この衝突荷重と重畳させる津波荷重も作用方向は同じである。
- そのため、追加設置する漂流物防護工は、主として海から敷地に向かう方向の荷重に抵抗する構造となるよう設計する。
- 追加設置する漂流物防護工は、右に示すフローのとおり制約条件を設けて、構造選定を行った。

各制約条件を踏まえ、下に示す構造を選定した。



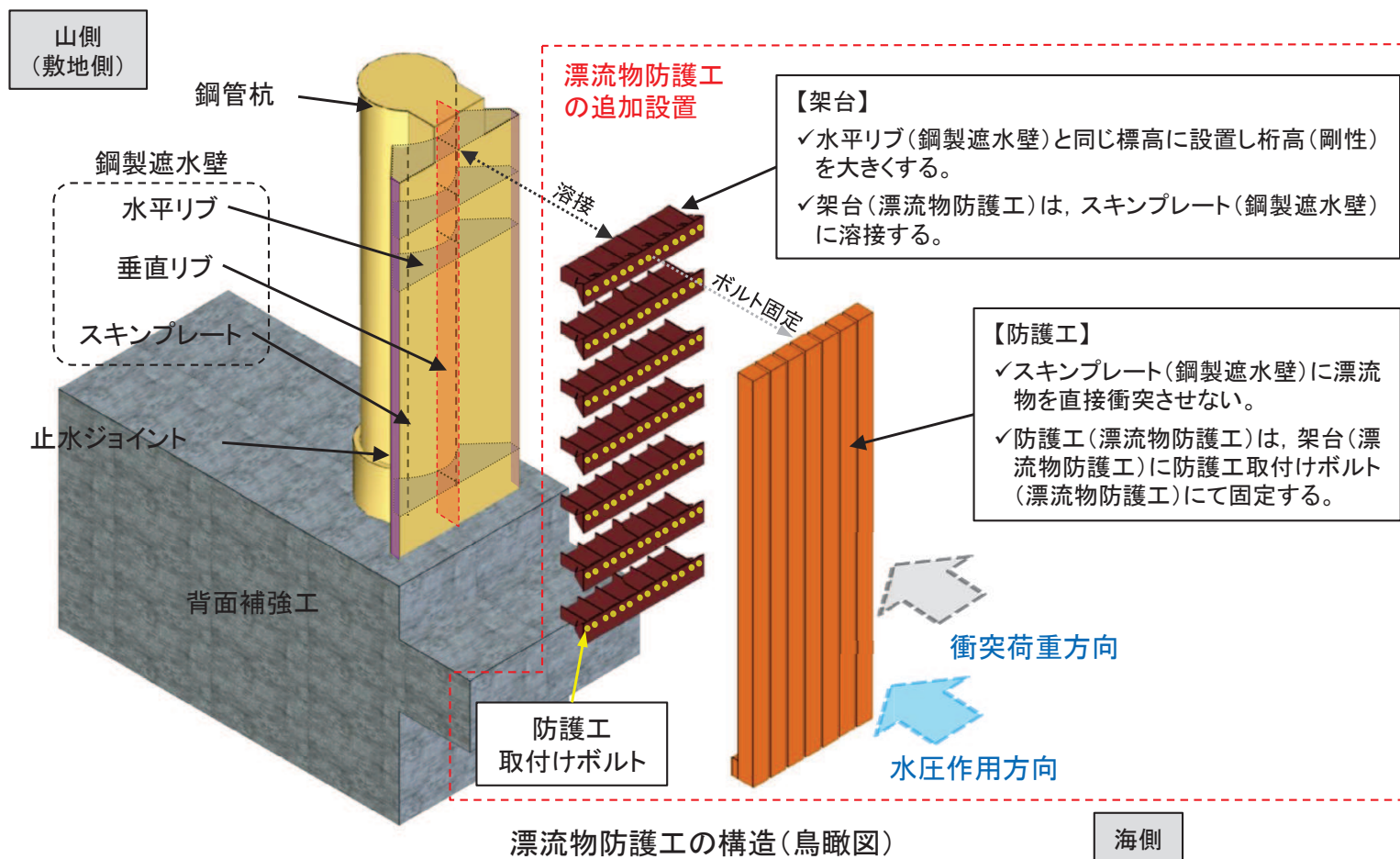
【構造の特徴】

- スキンプレート(鋼製遮水壁)前面に漂流物防護工を追加設置するため、スキンプレート及び止水ジョイントに漂流物は直接衝突しない(漂流物防護工よりも下部に設置する止水ジョイント(背面補強工の構造目地部)の漂流物による影響については参考4に示す)。
- 水平リブ(鋼製遮水壁)と同じ標高に、追加リブとなる架台(漂流物防護工)を追加設置するため、桁高(剛性)が大きくなり、水平リブ(鋼製遮水壁)の裕度が向上する(詳細設計で確認)。
- 追加設置する漂流物防護工は比較的軽量であるため、漂流物防護工の重量増による鋼管杭への影響(地震時及び余震重畳時)を考慮しても、構造が成立する見通しである(詳細設計で確認)。
- 追加設置する漂流物防護工は鋼管杭前面に張り出した構造となるため、偏心の影響を評価に反映する必要がある(詳細設計で確認)。

3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計

3.2 詳細設計の方針(1/2)

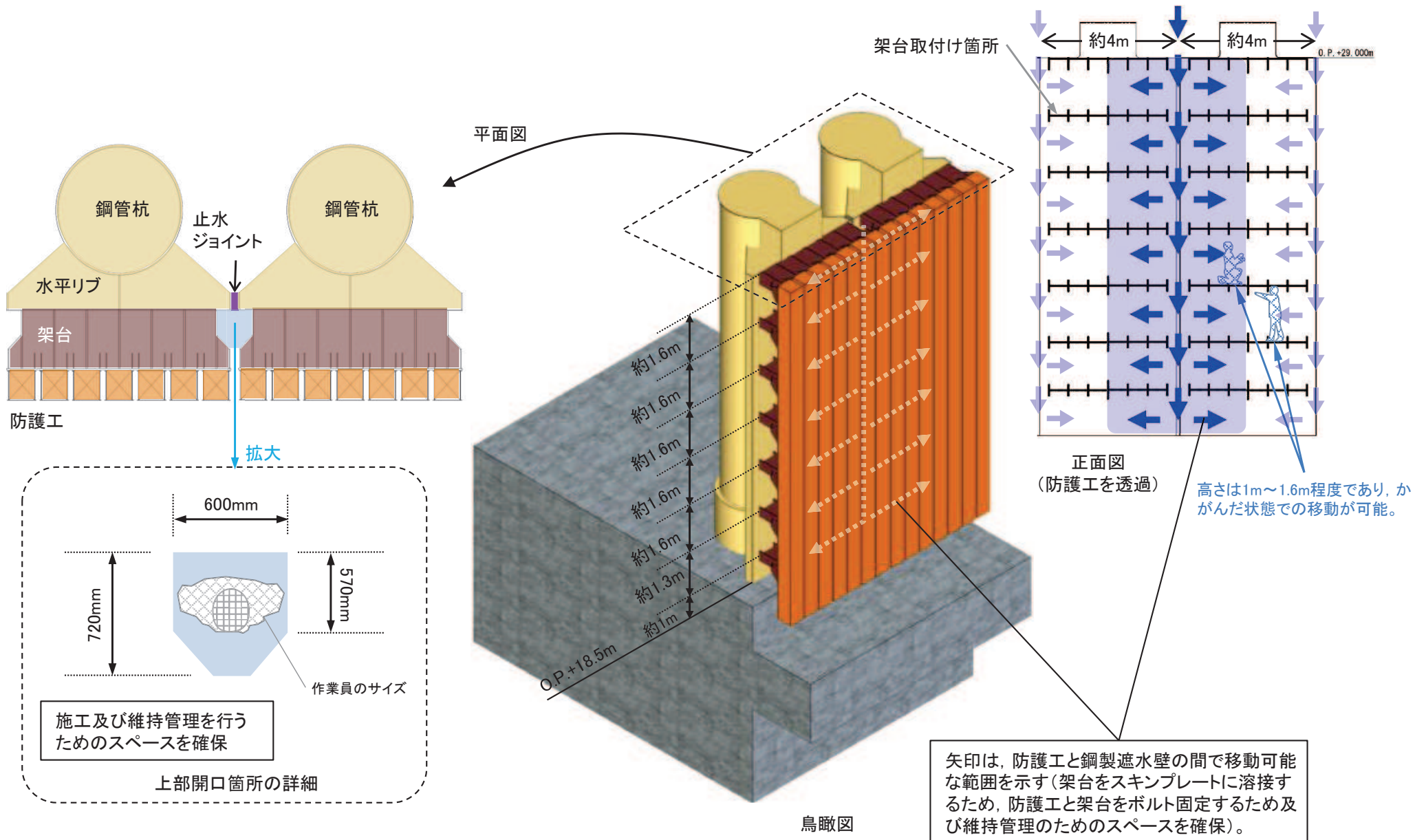
- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に追加設置する漂流物防護工は、地震後、津波後の再使用性及び繰返しの来襲を想定した遡上波に対して機能を損なわないために、おおむね弾性範囲にとどまる設計(許容限界:短期許容応力度)とする。
- 追加設置する漂流物防護工は、架台、防護工及び防護工取付けボルトで構成され、架台はスキンプレート(鋼製遮水壁)に溶接にて固定し、防護工は架台と防護工取付けボルトにより固定する。
- 追加設置する漂流物防護工のうち防護工はスキンプレートから約1m海側に張り出した架台に、10cm以下の間隔で密に海側に設置することで漂流物による衝突荷重を防護工で受け、架台を伝達して水平リブ及び鋼管杭に伝える構造としている。そのため、防護工よりも山側(敷地側)のスキンプレートには漂流物による衝突荷重は作用しない(防護工よりも下部に設置する止水ジョイント(背面補強工の構造目地部)の漂流物による影響については参考4に示す)。
- なお、スキンプレートの板厚は25mmであり、設計用津波水位(O.P.+25m)の3倍波圧に対して健全性を維持できる部材である。



3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計

3.2 詳細設計の方針(2/2)

- 漂流物防護工の形状を決めるに当たっては、施工性及びメンテナンス性を考慮し、空間を設けることとした。
- 下図のように、隣同士の架台及び上下の架台間に空間を設け、施工時及びメンテナンス時において作業することが可能な構造とした。



3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計

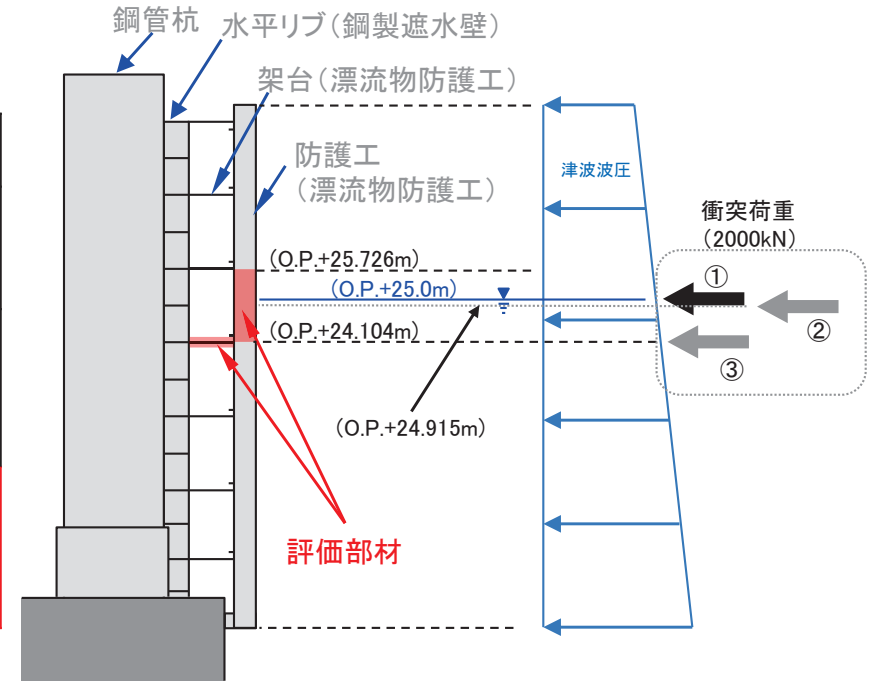
3.3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法

- 追加設置する漂流物防護工の詳細設計を踏まえ、各部材に対して評価が厳しくなるよう作用位置は安全側の設定を行う。
- 衝突荷重の作用位置は、設計用津波水位(O.P.+25.0m)を基本として考慮するが、各部材にとって最も厳しい条件となるように鉛直方向及び水平方向の作用位置を設定する(防護工:②, 架台:③')。
- なお、鋼管杭を評価対象とした場合の衝突荷重の作用方法については参考3に示す。

防護工, 架台を対象とした衝突荷重の作用方法(鉛直方向)

検討項目	検討結果	考慮の有無
① 津波水位O.P.+25.0mと同じ位置に衝突	防護工の中心又は架台位置と異なることから、これらの評価としては最も厳しい条件とはならない。	—
② 防護工の中心位置(O.P.+24.915m)に衝突	漂流物の形状の不確かさを考慮し、設計用津波水位O.P.+25.0mに近い位置である防護工の中心(O.P.+24.915m)に作用させた場合であり、防護工を対象とした場合、最も厳しい荷重条件となる。	○
③ 架台位置(O.P.+24.104m)に衝突	漂流物の形状の不確かさを考慮し、設計用津波水位O.P.+25.0mよりも下方*の架台位置(O.P.+24.104m)に作用させた場合であり、架台を対象とした場合、最も厳しい荷重条件となる。	○

注記*: 上方の架台とした場合には津波波圧が小さくなるため、下方の架台を選定した。

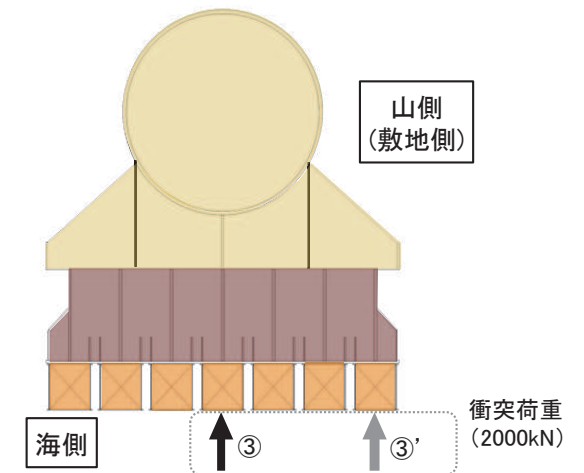


架台を対象とした衝突荷重の作用方法(水平方向)

検討項目	検討結果	考慮の有無
③ 鋼管杭中心に衝突	架台を、鋼管杭中心線を固定端とした片持ちばり*と仮定した場合、固定端に荷重が作用することになり、評価としては最も厳しい条件とはならない。	—
③' 防護工端部に衝突	架台を、鋼管杭中心線を固定端とした片持ちばり*と仮定した場合、自由端側に荷重が作用することになり、最も厳しい条件となる。	○

注記*: 鋼管杭中心線を固定端とした片持ちばりの詳細はp17を参照。

水平方向の作用位置も検討



3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計

3.4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割

➤ 漂流物防護工を構成する防護工、架台及び防護工取付けボルトについて、設計上期待する役割を下表に示す。

部材	防護工	架台	防護工取付けボルト
支持	—	防護工を支持	防護工を支持 (引張荷重又はせん断荷重発生時)
主に受け持つ荷重	衝突荷重が直接作用	防護工からの荷重が作用	防護工からの引張荷重又はせん断荷重が作用
設計上期待する役割 (部材を設置した目的)	<ul style="list-style-type: none"> 防護工の剛性により衝突荷重を架台に伝達し、スキムプレート及び止水ジョイントに漂流物を衝突させない。 	<ul style="list-style-type: none"> 防護工が受けた荷重を水平リブ(鋼製遮水壁)に伝達する。 鋼管杭中心を固定端とした片持ち梁を考えたときに、桁高を大きくすることで断面係数を大きくし、裕度を向上させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 防護工が受けた引張荷重又はせん断荷重を架台に伝達する。
荷重伝達のイメージ			<p>防護工は角型鋼管の形状をしているが、4枚の板材を工場にて溶接製作するものであり、架台側の板材に防護工取付けボルトを固定するナットを設置した上で防護工は製作されている。</p>

3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計

3.5 損傷モードを踏まえた評価の考え方

- 漂流物防護工を構成する防護工、架台及び防護工取付けボルトの損傷モードと損傷モードを踏まえた評価の考え方を下表に示す。
- なお、漂流物防護工は衝突荷重に抵抗する目的で設置するものであるが、地震時及び余震重畳時においても、構造健全性を確認する必要があることから、これらの事象に対する評価の考え方も整理した。

部材	要求機能を喪失する事象(損傷モード)	損傷モードを踏まえた評価の考え方	想定する事象において考慮する主な荷重		
			地震時	津波時	余震重畳時
防護工	<ul style="list-style-type: none"> 防護工に作用する荷重により防護工が損傷し、鋼製遮水壁に漂流物が衝突することで鋼製遮水壁の遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> 防護工に荷重が作用するいずれの事象においても、防護工が短期許容応力度以下であることを確認する。 	風荷重 地震荷重 【参考5】*1	津波荷重 衝突荷重 【3.6】*1	津波荷重 余震荷重 【参考5】*1
架台	<ul style="list-style-type: none"> 架台に作用する荷重により架台が損傷して防護工を支持できなくなり、鋼製遮水壁に漂流物が衝突することで鋼製遮水壁の遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> 架台に荷重が作用するいずれの事象においても、防護工が短期許容応力度以下であることを確認する。 	風荷重 地震荷重 【参考5】*1	津波荷重 衝突荷重 【3.6】*1	津波荷重 余震荷重 【参考5】*1
防護工取付けボルト	<ul style="list-style-type: none"> 防護工取付けボルトに作用する引張力又はせん断力により防護工取付けボルトが損傷して防護工を支持できなくなり、鋼製遮水壁に漂流物が衝突することで鋼製遮水壁の遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> 防護工取付けボルトに荷重が作用するいずれの事象においても、防護工が短期許容応力度以下であることを確認する。 	地震荷重 【参考5】*1	— *2	— *3

注記*1:【】内は評価方法の記載箇所を示す。

*2: 衝突荷重が斜めから作用する場合には、影響検討として評価を行う。

*3: 津波遡上荷重と余震荷重の動水圧は防護工を押し付ける方向に作用するため無視でき、 S_d-D2 よりも S_s の地震力の方が大きいため、地震時評価に包絡されるとした。

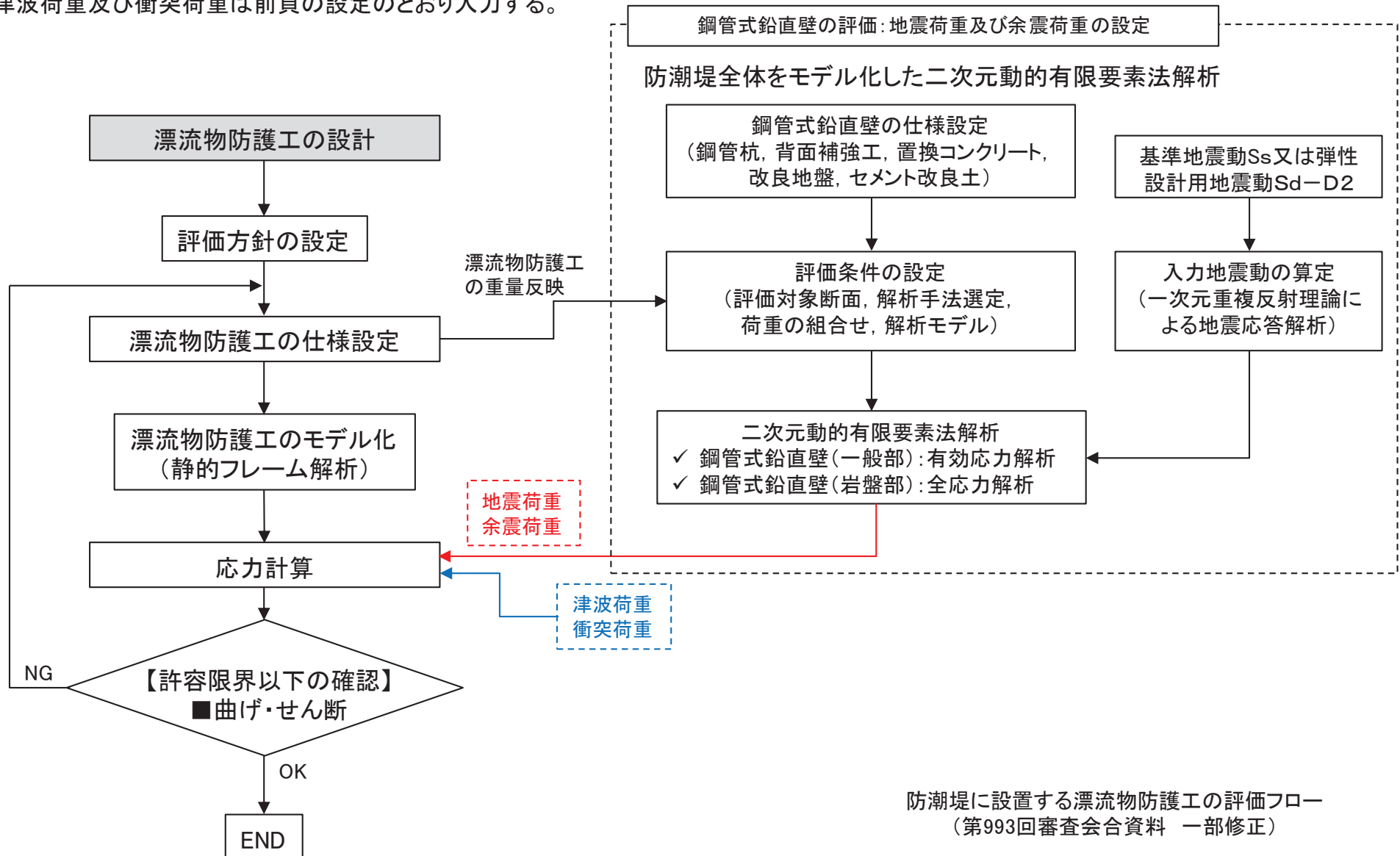
考慮する荷重の詳細

荷重の種類	荷重の内容
風荷重	設計基準風速を30m/sとし、建築基準法に基づき算定する。
地震荷重	基準地震動 S_s による荷重を考慮する。
津波荷重	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、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。

3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計

3.6 各部材の評価方法

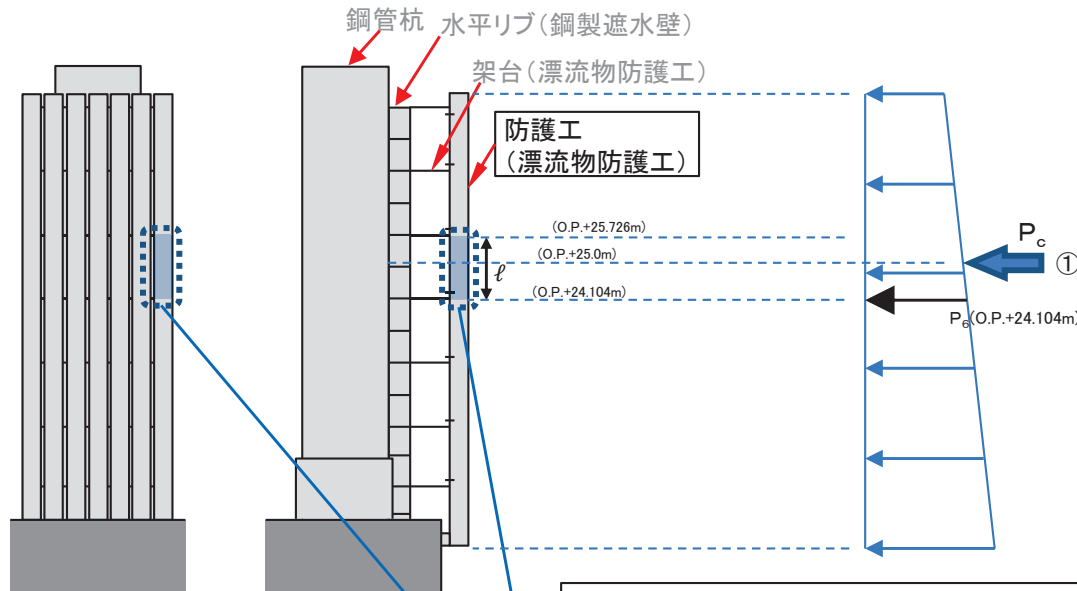
- 各部材に期待する役割及び損傷モードを踏まえ、各部材の評価方法を設定する。
- 防潮堤に設置する漂流物防護工の評価フローを下図に示す。
- 漂流物防護工の評価に考慮する地震荷重及び余震荷重については、防潮堤全体をモデル化した二次元動的有限要素法解析の応答結果を用いて算定し、漂流物防護工の静的フレーム解析に入力する。
- 津波荷重及び衝突荷重は前頁の設定のとおり入力する。



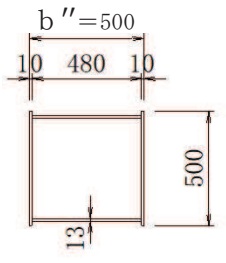
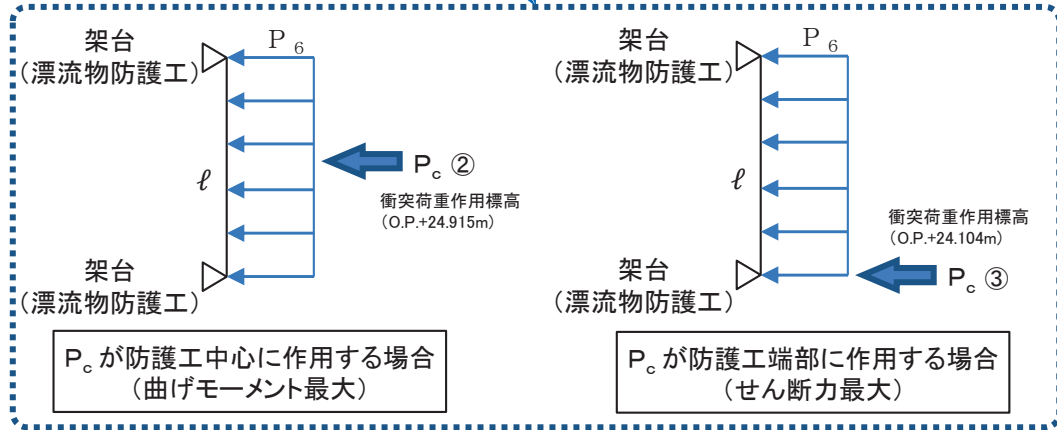
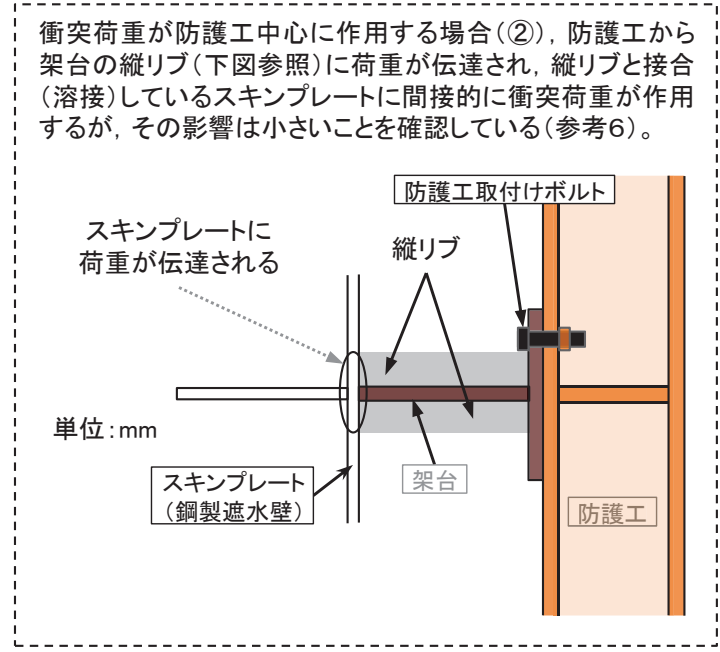
3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計

3.6 各部材の評価方法(防護工:津波時)

- 衝突荷重を考慮する津波時において、防護工は架台を支点とする単純ばりでモデル化し、衝突荷重は「3.3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法」で整理したとおり、防護工に対して安全側の設定を行い、評価を行う(下図参照)。
- なお、防護工の地震時及び余震重畳時における評価方法は参考5に示す。



評価対象の防護工に作用する津波波圧は、台形の分布荷重となるが、保守的に評価対象の防護工下端(O.P.+24.104m)に作用する津波波圧 P_6 を等分布荷重として考慮する。



*: 防護工の照査では外側1mmを腐食代として考慮する。

P_6 : 水平リブ及び架台に作用する津波波圧
 P_c : 衝突荷重
 l : 架台間隔

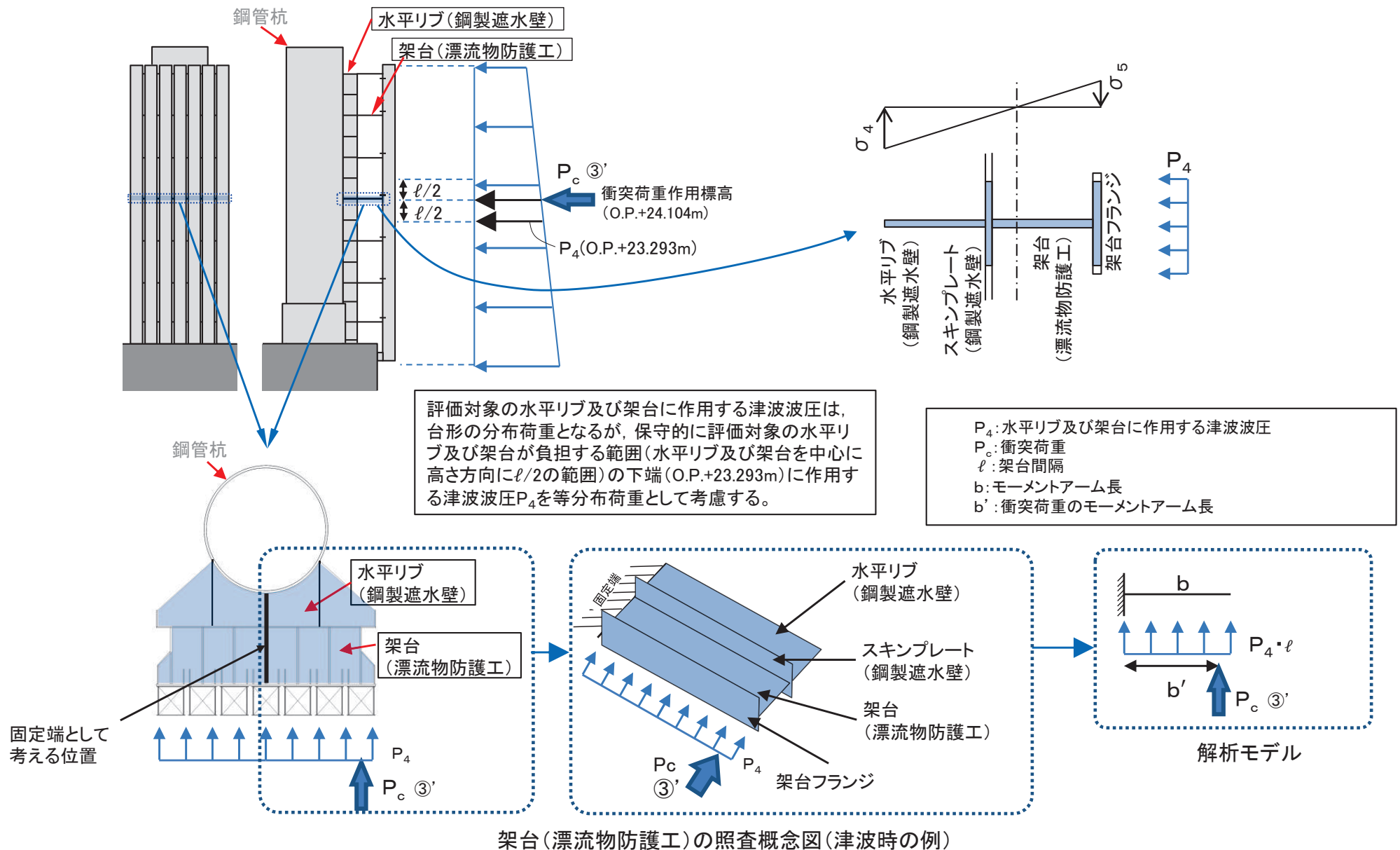
解析モデル

防護工(漂流物防護工)の照査概念図(津波時の例)

3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計

3.6 各部材の評価方法(架台:津波時)

- 衝突荷重を考慮する津波時において、架台は水平方向の鋼管杭中心線上を固定端とする片持ちばりでモデル化し、水平リブ(鋼製遮水壁)と一体構造として評価を行う。衝突荷重は、「3.3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法」で整理したとおり、架台に対して安全側の設定を行う。
- なお、架台の地震時及び余震重畳時における評価方法は参考5に示す。



3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計

3.7 構造成立性(津波時の評価結果)

- 衝突荷重を考慮する津波時の漂流物防護工の各部材の評価結果を下表に示す。なお、地震時及び余震重畳時の各部材の評価結果は参考7に示す。
- 漂流物防護工の各部材は、いずれの事象においても発生する応力が許容限界以下であることを確認した。

防潮堤(鋼管式鉛直壁)のうち漂流物防護工の評価結果

部材		材質	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
津波時	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	275	382	0.71
			せん断応力度 (N/mm ²)	179	217	0.83
			合成応力度*	0.68	1.20	0.57
	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

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。

4. 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設計

1. 本日のご説明内容
2. 漂流物による影響要因の整理
 2. 1 基準津波の特徴
 2. 2 漂流物による衝突荷重の主たる方向
 2. 3 各施設・設備の構造的特徴を踏まえた漂流物による影響確認方針
 2. 4 まとめ
3. 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工の設計
 3. 1 漂流物防護工の構造選定
 3. 2 詳細設計の方針
 3. 3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法
 3. 4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割
 3. 5 損傷モードを踏まえた評価の考え方
 3. 6 各部材の評価方法
 3. 7 構造成立性(評価結果)
4. 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設計
 4. 1 漂流物防護工の構造選定
 4. 2 詳細設計の方針
 4. 3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法
 4. 4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割
 4. 5 損傷モードを踏まえた評価の考え方
 4. 6 各部材の評価方法
 4. 7 構造成立性(評価結果)

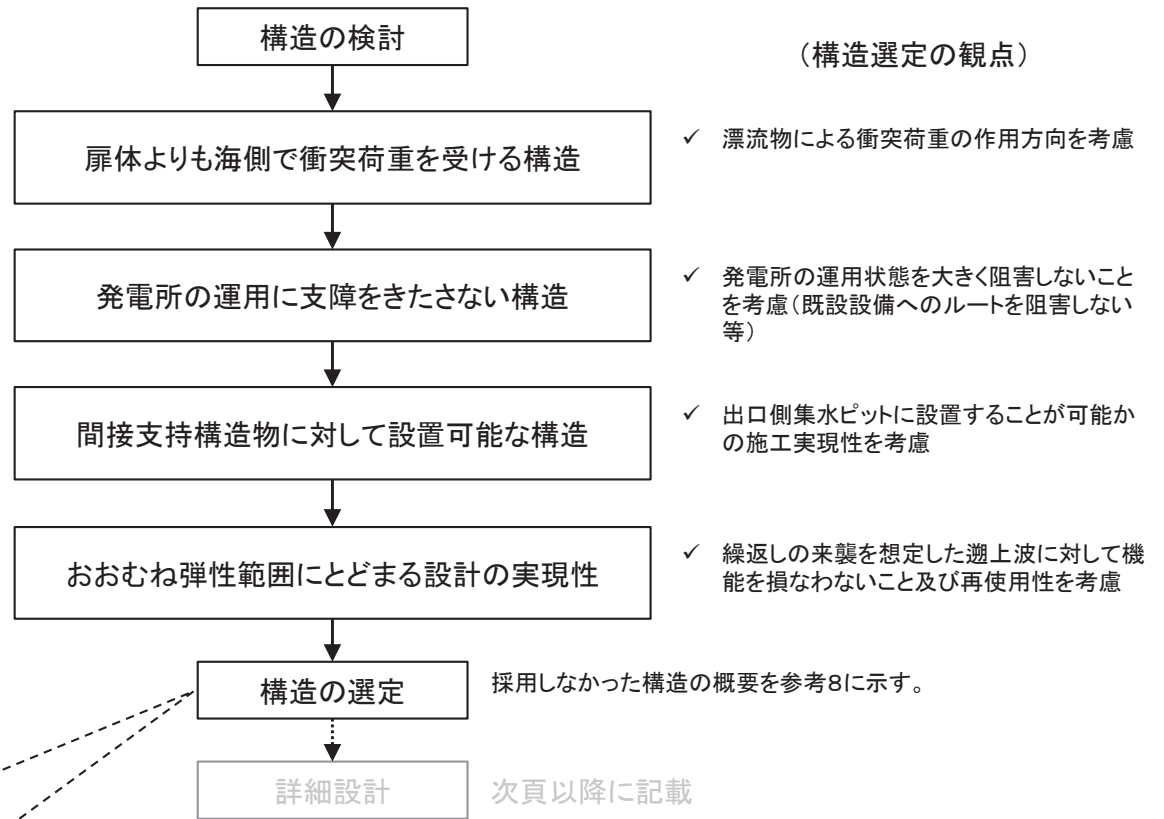
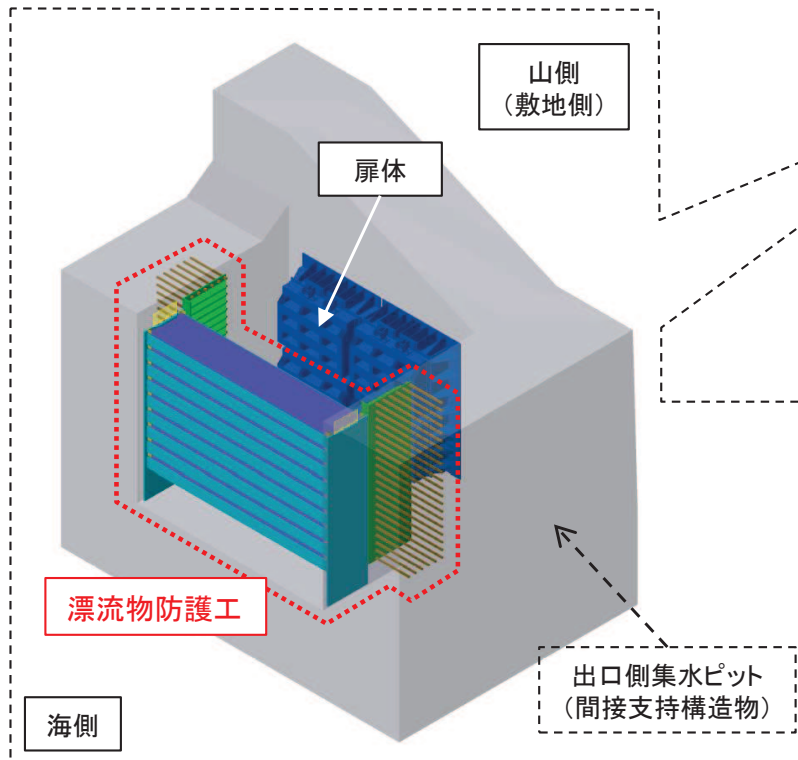
5. まとめ

(参考資料)

4.1 漂流物防護工の構造選定(選定フロー)

- 基準津波第一波の寄せ波時において、漂流物による衝突荷重は海から敷地に向かう方向に作用し、この衝突荷重と重畳させる津波荷重も作用方向は同じである。
- そのため、屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の漂流物防護工は、主として海から敷地に向かう方向の荷重に抵抗する構造となるよう設計する。
- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)漂流物防護工は、右に示すフローのとおり制約条件を設けて、構造選定を行った。

各制約条件を踏まえ、下に示す構造を選定した。

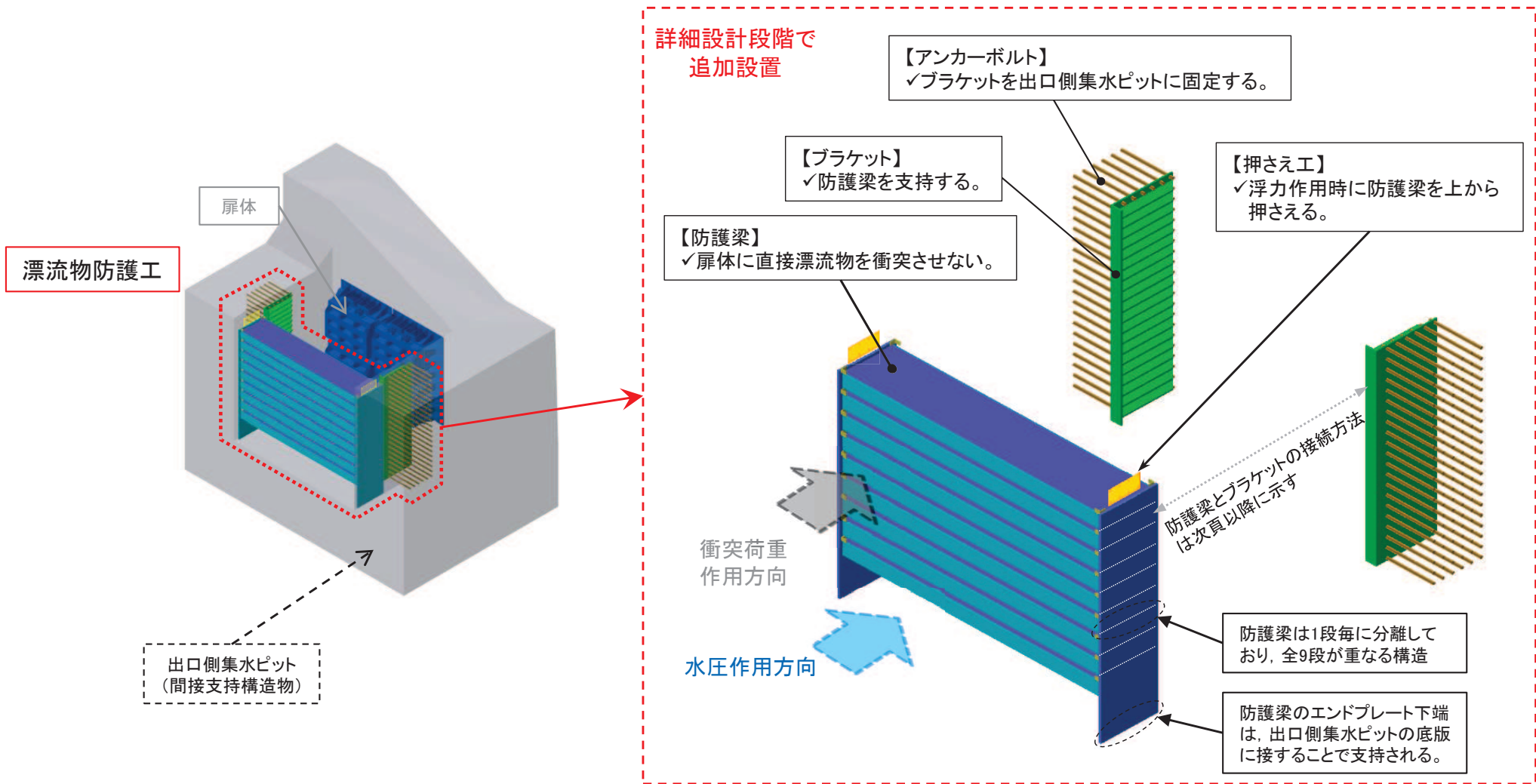


【構造の特徴】

- 扉体前面に漂流物防護工を設置するため、漂流物防護工以外の部位に衝突荷重は作用しない。
- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)は防潮堤(盛土堤防)よりも海側にあり、漂流物防護工は扉体の開閉を阻害しないように扉体から約2m海側に設置するため、漂流物防護工の山側(敷地側)から基準津波第一波の引き波による影響を評価する必要がある。

4.2 詳細設計の方針(1/2)

- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に追加設置する漂流物防護工は、地震後、津波後の再使用性及び繰返しの来襲を想定した遡上波に対して機能を損なわないために、おおむね弾性範囲にとどまる設計(許容限界:短期許容応力度)とする。
- 漂流物防護工は、主に防護梁及びブラケットで構成され、ブラケットはアンカーボルトで間接支持構造物である出口側集水ピットに固定される。また、防護梁とブラケットの接続詳細は次頁以降に示す。



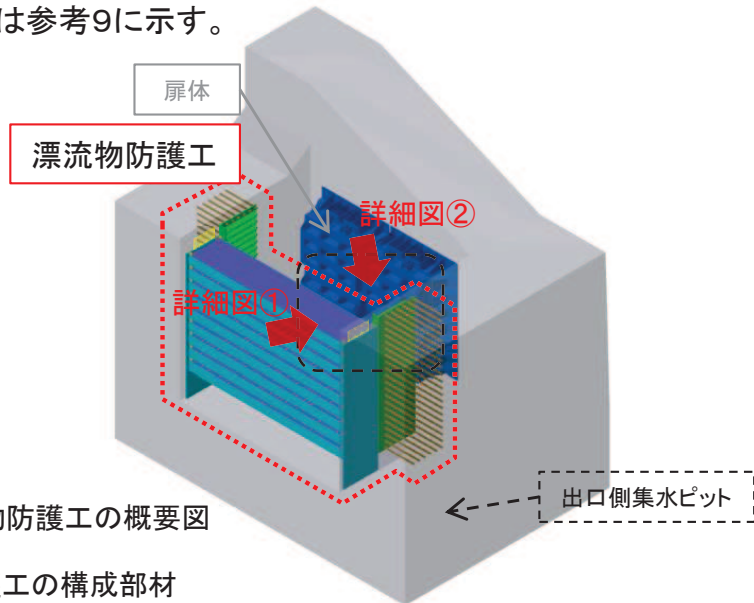
4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

4.2 詳細設計の方針(2/2)

- 防護梁は主たる荷重である津波荷重(海→山方向)を受けた場合に、防護梁端部のエンドプレートがブラケットと接触することで支持される。一方、防護梁が山→海方向の荷重を受けた場合には、つなぎ材(ボルト)にてブラケットに支持される。

(つなぎ材(ボルト)は圧縮方向(海→山方向の荷重)にはフリーとなる構造であり、防護梁が海側への荷重を受けた場合にのみ荷重を受け持つ。)

- 評価においては、寄せ波時と引き波時で耐力が異なることに留意する。
- 各部材の詳細は参考9に示す。

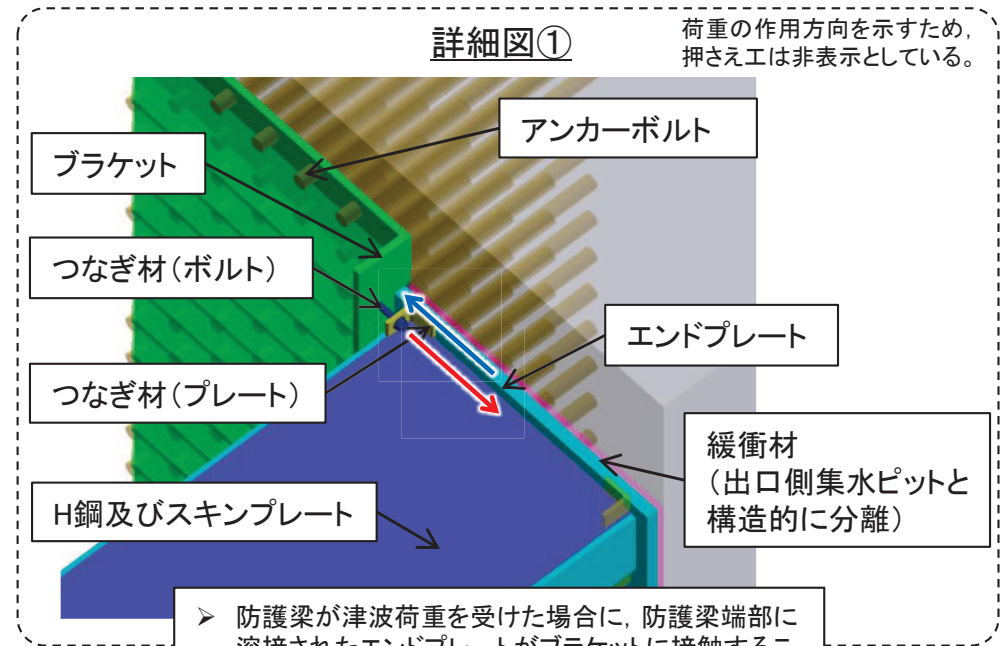


漂流物防護工の構成部材

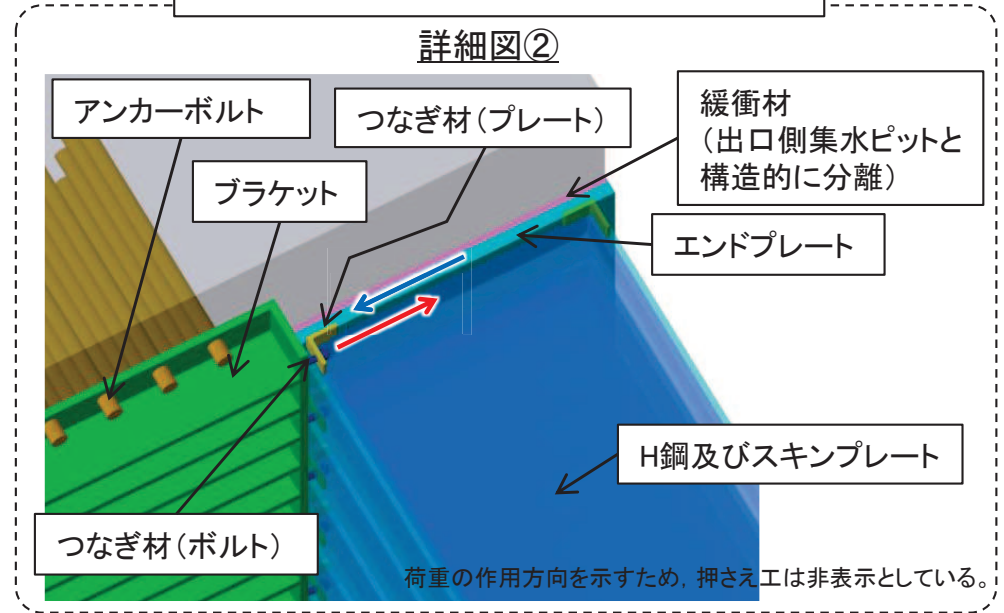
部位	部材	
漂流物防護工	防護梁*1	H鋼
		スキンプレート*2
		エンドプレート
		つなぎ材(プレート)
	ブラケット	
	つなぎ材(ボルト)	
	アンカーボルト	
押さえ工*1		

注記*1: 防護梁はH鋼、スキンプレート及びエンドプレートによって中空構造となることから、浮き上がり防止への配慮として、押さえ工を設置する。(詳細は参考9に示す)

*2: 通常排水時の整流板としての配慮として設置するため、照査には考慮しない。



- 防護梁が津波荷重を受けた場合に、防護梁端部に溶接されたエンドプレートがブラケットに接触することで支持される構造(単純梁)とする(青矢印)。
- つなぎ材は圧縮方向にはボルトがフリーとなる構造となっており、防護梁が海側への荷重を受けた場合にのみ荷重を受け持つ(赤矢印)。

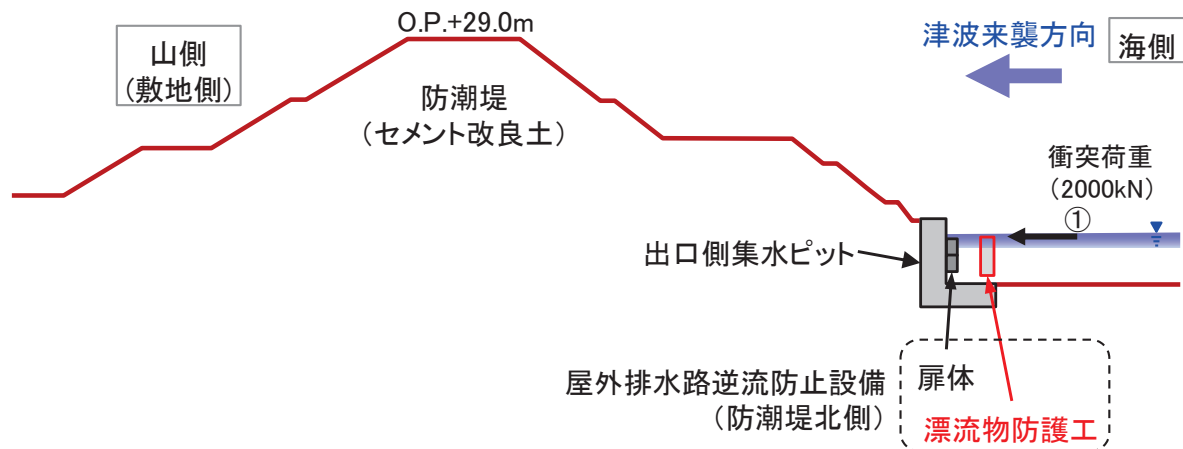


荷重の作用方向を示すため、押さえ工は非表示としている。

4. 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設計

4.3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法(寄せ波時)

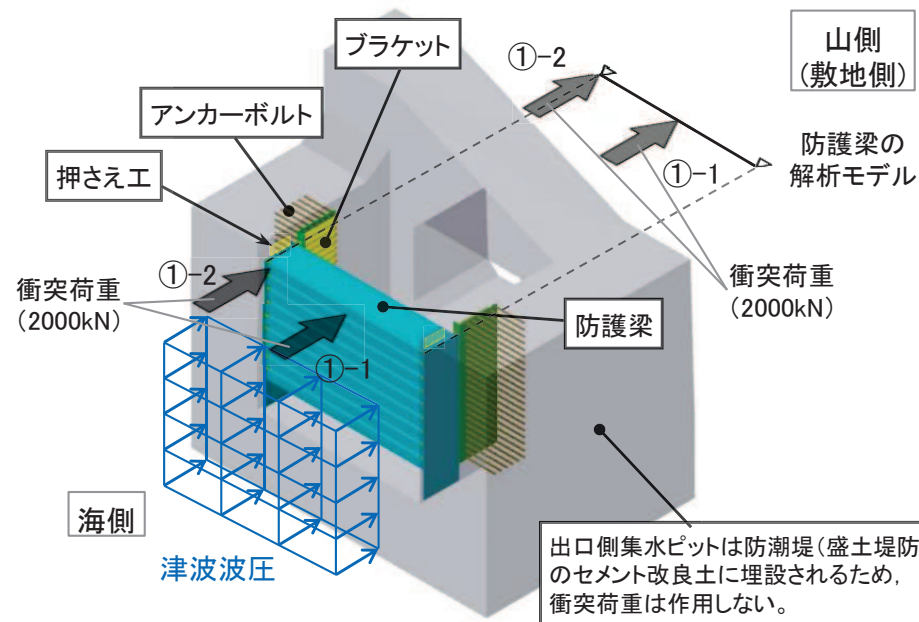
- 漂流物防護工を構成する各部材の評価において、それぞれの部材に対して評価が厳しくなるよう作用位置は安全側の設定を行うこととし、防護梁は衝突荷重が作用する水平位置によって評価が異なることから、最も厳しい条件になるように作用位置を設定する(①-1, ①-2)。
- 以下に、寄せ波時の衝突荷重の作用方法を示す。



寄せ波時の衝突荷重の作用方法(防護梁水平位置*)

検討項目	検討結果	考慮の有無
①-1 防護梁の中央に衝突	防護梁の中央位置に衝突荷重を作用させた場合であり、防護梁の曲げモーメントが最大となる。	○
①-2 防護梁の端部に衝突	防護梁の端部に衝突荷重を作用させた場合であり、防護梁のせん断応力が最大となる。	○

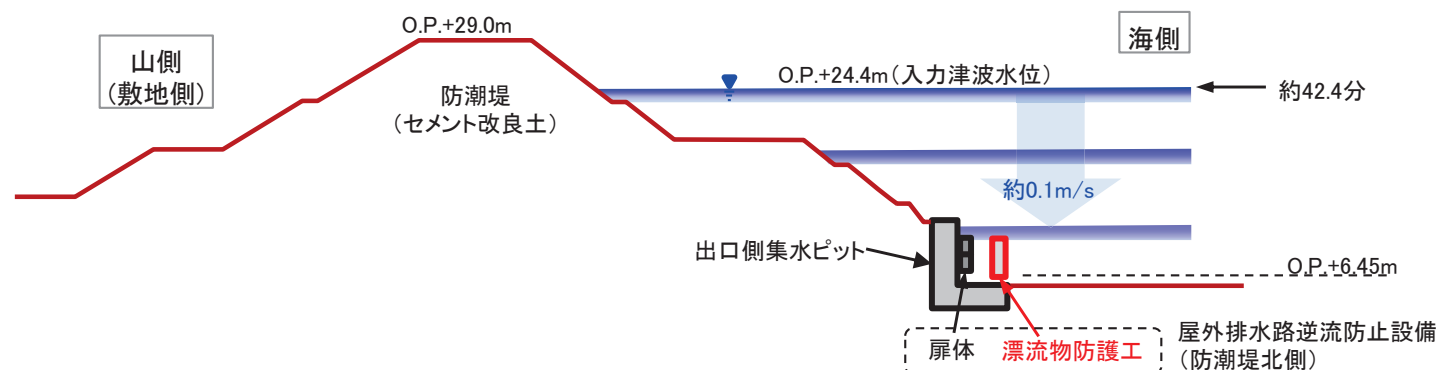
注記* : 鉛直位置については、同時に考慮する津波荷重が最大となるように、最上段に衝突することを想定。



4. 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設計

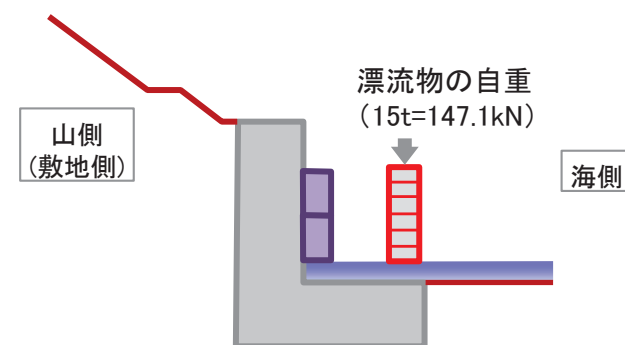
4.3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法(引き波時①)

- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)周辺における引き波時の水位下降イメージは右図のとおりである。
- この引き波の特徴を踏まえ、以下の検討を行うこととする。
- なお、防護梁については、影響検討内容①及び②を同時に考慮した二軸応力状態の評価についても行う。



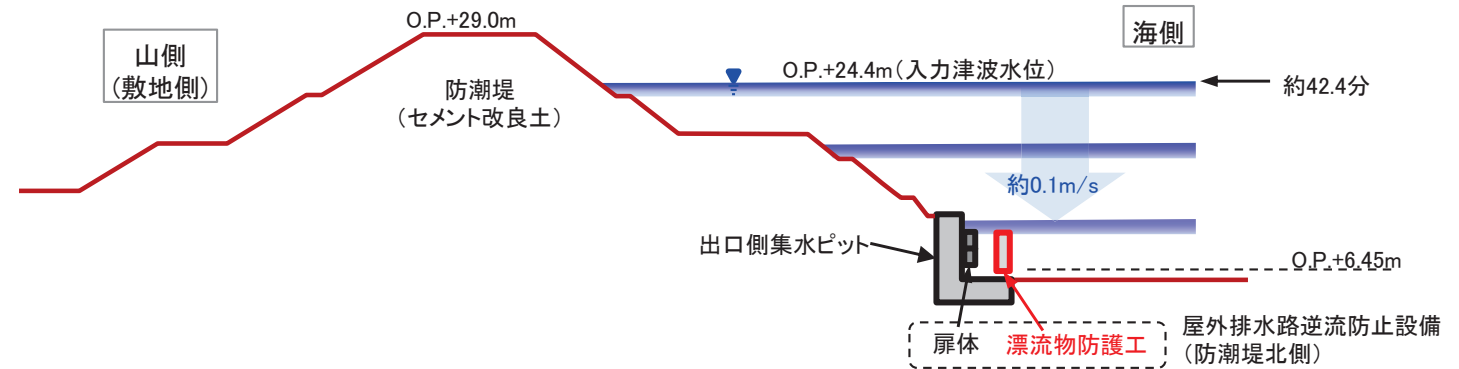
引き波時の影響検討内容①

- 基準津波の第一波で防潮堤付近まで到達した漂流物は、その後の引き波(海方向への流れ)によって、屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)付近を通過する可能性があるが、「1. 漂流物による影響要因の整理」のとおり、引き波時の下降速度は約0.1m/sで非常に緩やかであり、津波水位が下降する間に屋外排水路逆流防止設備の上方を通過してしまうことから衝突しない。
- 一方、引き波時の水位の下降に伴い防護梁の上部に瞬間的ではあるが漂流物の自重が作用する可能性を考慮し、第一波で敷地に到達する漂流物の中から、最大の重量であるFRP製船舶(総トン数5t(排水トン数15t))の自重を考慮した場合の影響を確認する(右図: 引き波時の影響検討内容①)。
- ただし、漂流物の自重が防護梁に作用するのは瞬間的であること、及び余震が作用した場合には防護梁上にとどまり続けることは考えられないことから、余震との重畳は考慮しない。



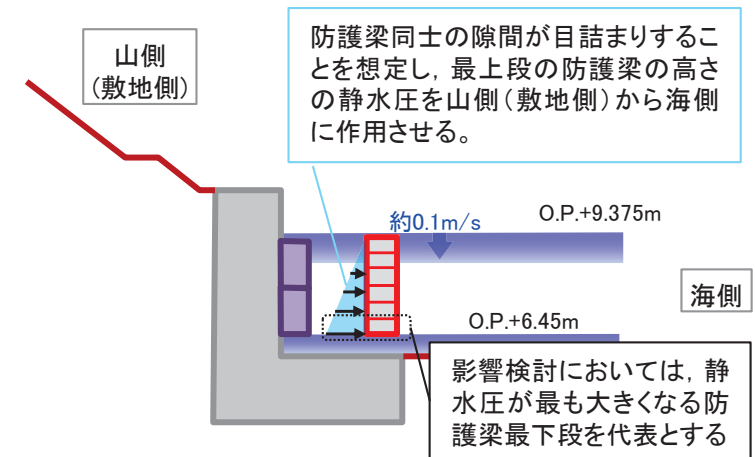
4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

4.3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法(引き波時②)



引き波時の影響検討内容②

- 第一波来襲後の引き波時は、水位の下降速度が約0.1m/sで非常に緩やかであること、防護梁同士は鉛直方向に隙間を設けて設置することから、防護梁の隙間から海水は海側に流出し、防護梁の山側と海側では水位差はほとんど生じない。そのため、防護梁に山側(敷地側)からの水圧はほとんど作用しない。
- また、第一波来襲後の引き波時に、防護梁の山側(出口側集水ピット内)には寸法の小さな漂流物(がれき類)が取り込まれる可能性があるが、防護梁の山側と海側ではほとんど水位差がないため、漂流物が防護梁に影響を及ぼすことはない。
- ただし、防護梁の山側に取り込まれたがれき類が防護梁同士の隙間に挟まる可能性を考慮し、防護梁の隙間がすべてがれき類で目詰まりすることを想定して最上段の防護梁から最下段の防護梁までの高さの静水圧を山側(敷地側)から作用させた場合の影響について確認する(右図:引き波時の影響検討内容②)。
- なお、検討に当たっては、静水圧が最も大きくなる防護梁最下段を代表とし、他の段も同じ設計とする。
- また、静水圧を作用させた状態に余震重畳を考慮した場合についても検討する。
- さらに、寸法の小さな漂流物による荷重が防護梁の山側(出口側集水ピット内側)から作用した場合の影響も確認することとし、引き波による流体力とともに考慮して検討する。



4. 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設計

4.4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割(寄せ波時)

➤ 寄せ波時に、漂流物防護工を構成する各部材について、設計上期待する役割を下表に示す。

部材	防護梁	ブラケット	アンカーボルト
	H鋼及びエンドプレート		
支持	—	防護梁を支持	ブラケットを支持
主に受け持つ荷重	<ul style="list-style-type: none"> 衝突荷重が直接作用 	防護梁(エンドプレート)からの荷重が作用	ブラケットからの荷重が作用
設計上期待する役割(部材を設置した目的)	<ul style="list-style-type: none"> 防護梁の剛性により衝突荷重をブラケットに伝達し、扉体に漂流物を衝突させない。 鉛直方向荷重を出口側集水ピットに伝達する。 	<ul style="list-style-type: none"> ブラケットの剛性によりエンドプレートからの荷重をアンカーボルトに伝達する。 	<ul style="list-style-type: none"> アンカーボルトの剛性によりブラケットからの荷重を出口側集水ピットに伝達する。
荷重伝達のイメージ	<p>【寄せ波時】</p> <p>平面図</p>		
	<p>【浮力作用時】</p> <p>正面図</p> <p>出口側集水ピット</p>		

注記*: つなぎ材(ボルト)は圧縮方向にフリーとなる構造のため、寄せ波時には荷重が作用しない。

4. 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設計

4.4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割(引き波時)

- 引き波時に、漂流物防護工を構成する各部材について、設計上期待する役割を下表に示す。
- なお、ブラケット及びアンカーボルトは寄せ波時に示す役割と同様であるため、記載を省略する(荷重作用方向は逆向きとなる)。

部材	防護梁		つなぎ材(ボルト)
	H鋼及びエンドプレート	つなぎ材(プレート)	
支持	—	H鋼及びエンドプレートを支持 (山→海方向荷重(地震時又は引き波時) 作用時)	防護梁を支持 (山→海方向荷重(地震時又は引き波時) 作用時)
主に受け持つ荷重	<ul style="list-style-type: none"> 引き波時の水圧が作用 	H鋼及びエンドプレートからの荷重が作用	防護梁からの荷重が作用
設計上期待する役割 (部材を設置した目的)	<ul style="list-style-type: none"> 引き波時の荷重をつなぎ材(プレート)に伝達する。 鉛直方向荷重を出口側集水ピットに伝達する。 	<ul style="list-style-type: none"> つなぎ材(プレート)の剛性によりH鋼及びエンドプレートからの荷重をつなぎ材(ボルト)に伝達する。 	<ul style="list-style-type: none"> ボルトの剛性によりつなぎ材(プレート)からの荷重をブラケットに伝達する。
荷重伝達のイメージ	<p>【引き波時】</p> <p>平面図</p>		
	<p>【漂流物自重(引き波時)】</p> <p>正面図</p> <p>出口側集水ピット</p>		

4. 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設計

4.5 損傷モードを踏まえた評価の考え方(1/2)

- 漂流物防護工を構成する防護梁, ブラケット, つなぎ材(ボルト), アンカーボルト及び押さえ工の損傷モードと損傷モードを踏まえた評価の考え方を以下に示す。

部材	要求機能を喪失する事象(損傷モード)	損傷モードを踏まえた評価の考え方	想定する事象において考慮する主な荷重				
			地震時	津波時 (寄せ波)	津波時 (引き波)	余震重畳時 (寄せ波)	余震重畳時 (引き波)
防護梁	<ul style="list-style-type: none"> 防護梁に作用する荷重により防護梁が損傷し, 扉体に漂流物が衝突することで遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> 防護梁に荷重が作用するいずれの事象においても, 防護梁が短期許容応力度以下であることを確認する。 	風荷重 地震荷重 【参考10】*1	津波荷重 衝突荷重 【4.6】*1	引き波荷重①② 【4.6】*1	津波荷重 余震荷重 【参考10】*1	引き波荷重② 余震荷重 【4.6】*1.4
ブラケット	<ul style="list-style-type: none"> ブラケットに作用する荷重によりブラケットが損傷し, 防護梁を支持できなくなり, 扉体に漂流物が衝突することで遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> ブラケットに荷重が作用するいずれの事象においても, ブラケットが短期許容応力度以下であることを確認する。 	風荷重 地震荷重 【参考10】*1	津波荷重 衝突荷重 【4.6】*1	引き波荷重② 【4.6】*1	津波荷重 余震荷重 【参考10】*1	引き波荷重② 余震荷重 【4.6】*1.4
つなぎ材 (ボルト)	<ul style="list-style-type: none"> つなぎ材(ボルト)に作用する荷重によりつなぎ材が損傷し, 防護梁を支持できなくなり, 扉体に漂流物が衝突することで遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> つなぎ材(ボルト)に荷重が作用するいずれの事象においても, つなぎ材(ボルト)が短期許容応力度以下であることを確認する。 	地震荷重 【参考10】*1	— *2	引き波荷重② 【4.6】*1	— *3	引き波荷重② 余震荷重 【4.6】*1.4
アンカー ボルト	<ul style="list-style-type: none"> アンカーボルトに作用する荷重によりアンカーボルトが損傷し, ブラケット及び防護梁を支持できなくなり, 扉体に漂流物が衝突することで遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> アンカーボルトに荷重が作用するいずれの事象においても, アンカーボルトが短期許容応力度以下であることを確認する。 	風荷重 地震荷重 【参考10】*1	津波荷重 衝突荷重 【4.6】*1	引き波荷重② 【4.6】*1	津波荷重 余震荷重 【参考10】*1	引き波荷重② 余震荷重 【4.6】*1.4
押さえ工	<ul style="list-style-type: none"> 押さえ工(出口側集水ピットに固定するアンカーボルトを含む)に作用する荷重により押さえ工が損傷し, 防護梁に浮力が作用したときに押さえられなくなり, つなぎ材(ボルト)に想定外の力が働くことで損傷して防護梁を支持できなくなり, 扉体に漂流物が衝突することで遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> 押さえ工(出口側集水ピットに固定するアンカーボルトを含む)に荷重が作用するいずれの事象においても, 押さえ工が短期許容応力度以下であることを確認する。 	地震荷重 【参考10】*1	—	—	浮力 余震荷重 【参考10】*1	

注記 * 1: 【】内は評価方法の記載個所を示す。

* 2: つなぎ材(ボルト)は圧縮方向にフリーとなる構造のため, 寄せ波時には荷重が作用しない。

* 3: 津波遡上荷重が支配的であり, 防護梁が押し付ける方向に作用するため, つなぎ材(ボルト)には荷重が作用しないことから, 評価を省略する。

* 4: 引き波荷重①については, 4.3に示すとおり, 引き波と余震の重畳は考慮しない。

考慮する荷重の詳細は次頁

4.5 損傷モードを踏まえた評価の考え方(2/2)

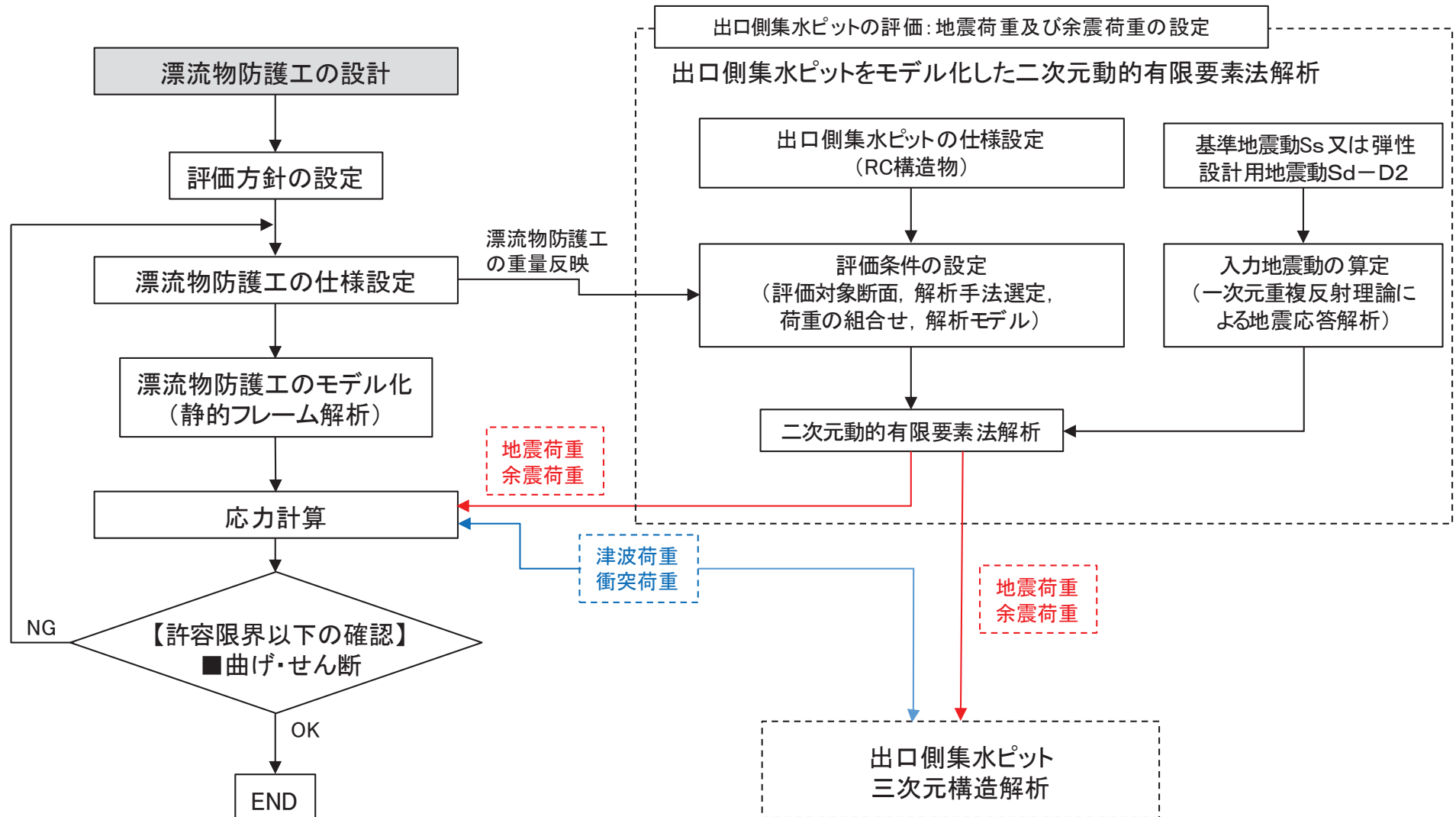
➤ 漂流物防護工の設計において、考慮する荷重の内容を以下に示す。

荷重の種類	荷重の内容
風荷重	設計基準風速を30m/sとし、建築基準法に基づき算定する。
地震荷重	基準地震動Ssによる荷重を考慮する。
津波荷重	津波荷重については、衝突荷重との重畳を考慮するため、津波水位O.P.+9.9mを用いることとし、朝倉式に基づき、その3倍を考慮して算定する。余震重畳時の津波荷重については、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、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。
引き波荷重	①FRP製船舶の自重(15t)、②山側(敷地側)→海側への静水圧を考慮する。

4. 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設計

4.6 各部材の評価方法(評価フロー)

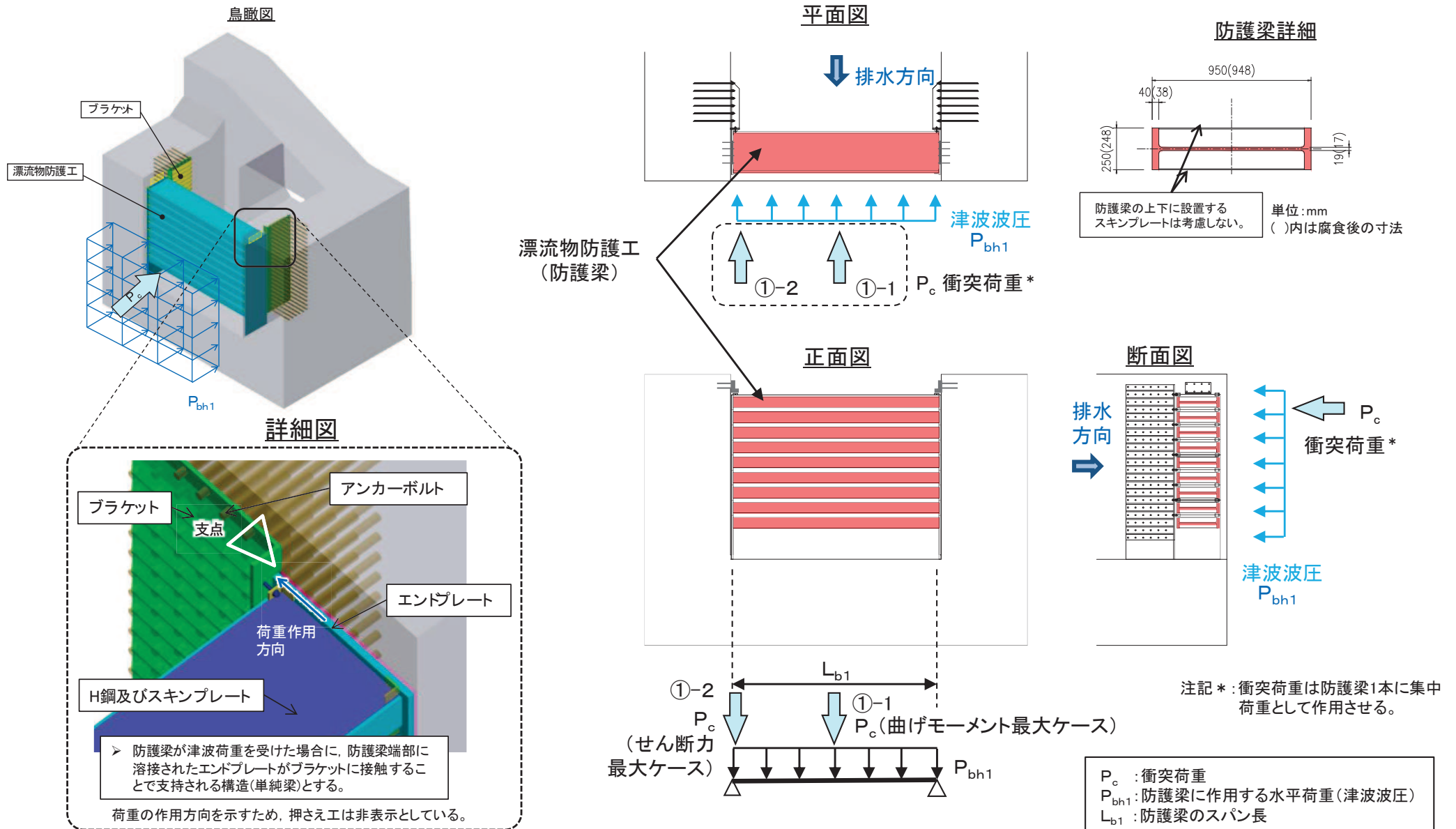
- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の評価フローを下図に示す。
- 漂流物防護工の評価に考慮する地震荷重及び余震荷重については、出口側集水ピットをモデル化した二次元動的有限要素法解析の応答結果を用いて算定し、漂流物防護工の静的フレーム解析に入力する。
- 津波荷重及び衝突荷重は前頁の設定のとおり入力する。



4. 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設計

4.6 各部材の評価方法(防護梁:津波時)

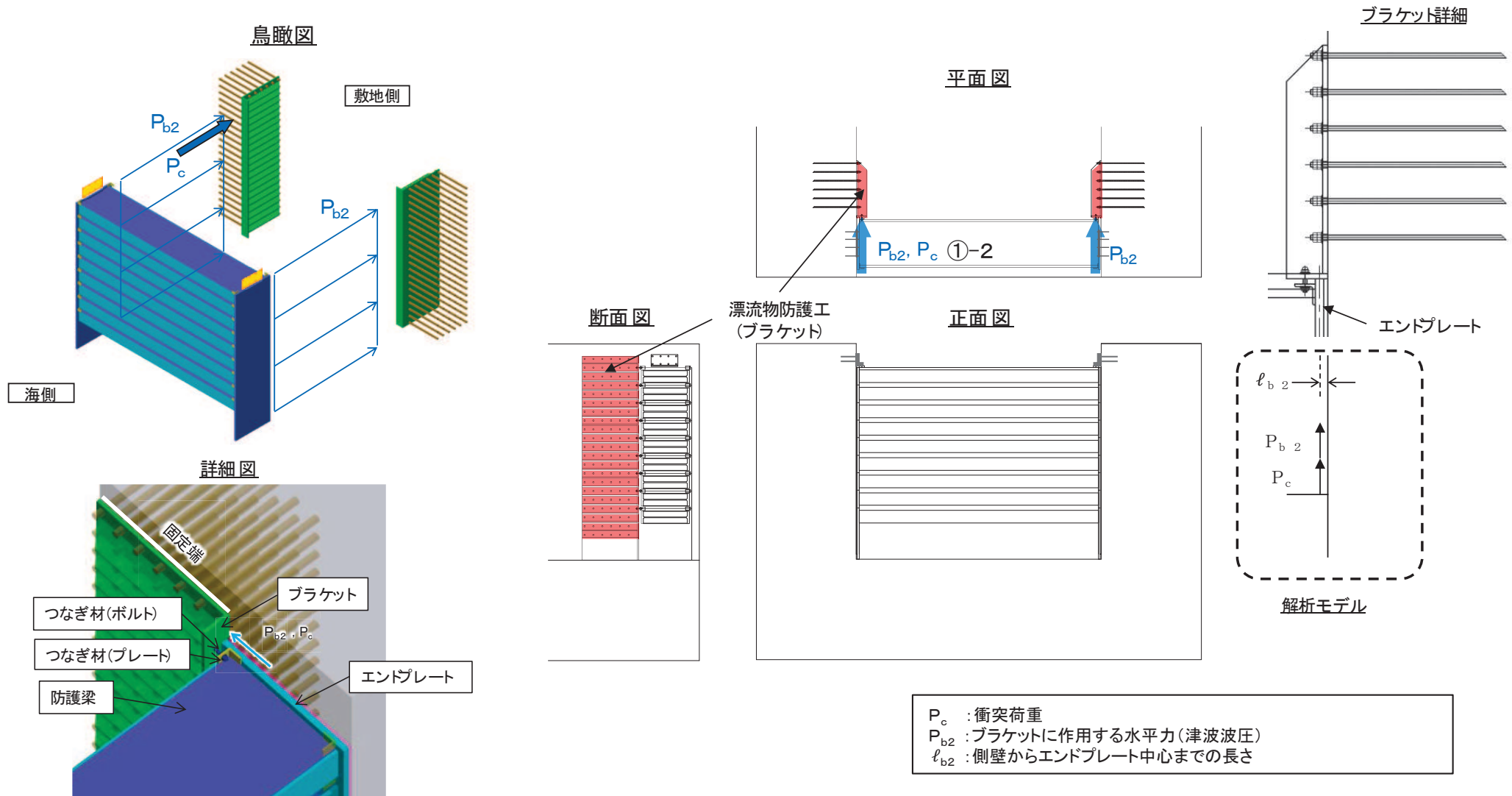
- 衝突荷重を考慮する津波時において、防護梁は防護梁の両端のエンドプレートがブラケットに接触し支持されるため、単純梁としてモデル化し、衝突荷重は「4.3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法」で整理したとおり、防護梁に対して安全側の設定を行い、評価を行う(下図参照)。
- なお、防護梁の地震時及び余震重畳時における評価方法は参考10に示す。



4. 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設計

4.6 各部材の評価方法(ブラケット:津波時)

- 衝突荷重を考慮する津波時において、ブラケットはアンカーボルトを固定端として支持される構造であり、片持ち梁としてモデル化し、衝突荷重は「4.3 詳細設計の方針を踏まえた漂流物による影響確認方法」で整理したとおり、ブラケットに対して安全側の設定を行い、評価を行う(下図参照)。
- なお、ブラケットの地震時及び余震重畳時における評価方法は参考10に示す。

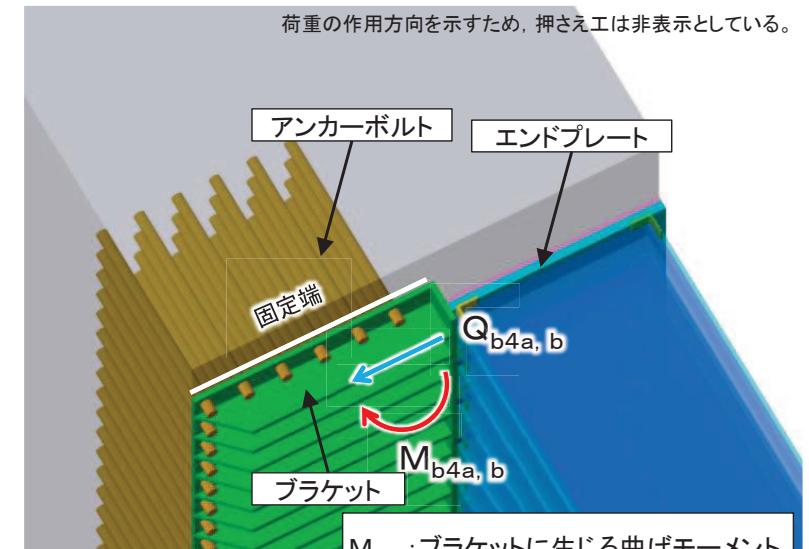


荷重の作用方向を示すため、押さえ工は非表示としている。

4. 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設計

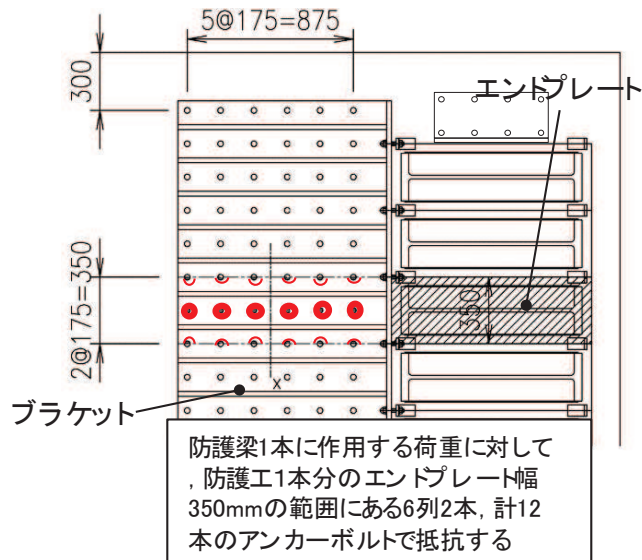
4.6 各部材の評価方法(アンカーボルト:津波時)

- アンカーボルトは出口側集水ピットに埋め込むことによって、ブラケットを支持する構造である。
- 津波時の津波荷重に対して、アンカーボルトはエンドプレート幅350mmの範囲にある6本2列、計12本のアンカーボルトで抵抗する(下図(左))。
- 津波時の衝突荷重(集中荷重)に対して、防護梁1本に作用するため、エンドプレート幅350mmから45°の荷重伝達を考慮して6本5列計30本で抵抗するものとする(下図(右))。
- なお、アンカーボルトの地震時及び余震重畳時における評価方法は参考10に示す。

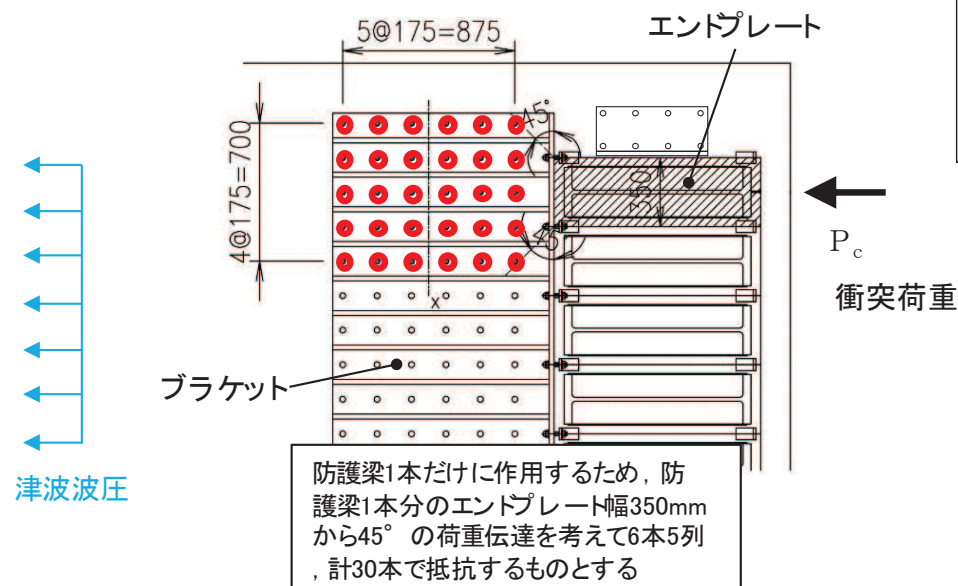


M_{b4a} : ブラケットに生じる曲げモーメント (衝突荷重以外)
 M_{b4b} : ブラケットに生じる曲げモーメント (衝突荷重)
 Q_{b4a} : ブラケットに生じるせん断力 (衝突荷重以外)
 Q_{b4b} : ブラケットに生じるせん断力 (衝突荷重)

【津波荷重に対するアンカーボルトの抵抗範囲】



【漂流物荷重に対するアンカーボルトの抵抗範囲】



津波波圧

P_c
 衝突荷重

4.7 構造成立性(評価結果)(1/4)

- 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寄せ波時の強度評価結果を示す。なお、地震時及び余震重畳時の各部材の評価結果は参考11に示す。
- 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。
- 引き波時の荷重に対する強度評価結果は次頁に示す。

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強度評価結果(津波時(寄せ波時))

部材		材質	応力成分	発生応力 a(N/mm ²)	許容応力 b(N/mm ²)	照査値 (a/b)	
津波時 (寄せ波時)	防護梁	H鋼 (水平)	SM570	曲げ応力度	242	382	0.64
				せん断応力度	139	217	0.65
				合成応力度*	0.81	1.2	0.68
	ブラケット		SM570	曲げ応力度	6	382	0.02
				せん断応力度	41	217	0.19
				合成応力度*	0.12	1.2	0.1
	アンカーボルト		SD345	応力成分	発生値 a(kN)	許容値 b(kN)	照査値 (a/b)
				引張	14	105	0.14
				せん断	71	85	0.84
				合成*	0.71	1.2	0.60

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。

4. 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設計

4.7 構造成立性(評価結果)(2/4)

- 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引き波時の影響評価結果を示す。
- 影響検討内容①(漂流物の自重)は, FRP製船舶自重(147.1kN)を防護梁上部中央に作用させることで評価した。
- 影響検討内容②(引き波による静水圧)は, 最下端の防護梁に作用する静水圧(29.5424kN/m²)を作用させることで評価した。

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影響評価結果(津波時(引き波時))

部材			材質	応力成分	発生応力 a(N/mm ²)	許容応力 b(N/mm ²)	照査値 (a/b)	
津波時 (引き波時)	影響検討 内容① (漂流物の 自重)	防護梁	H鋼(水平)	SM570	曲げ応力度	246	382	0.65
					せん断応力度	9	217	0.05
					合成応力度* ¹	0.42	1.2	0.35
		エンド プレート	SM570	圧縮応力度	6	231* ³	0.03	
	防護梁	H鋼	SM570	二軸応力* ²	0.42	1.2	0.35	
	影響検討 内容② (引き波によ る静水圧)	防護梁	H鋼(水平)	SM570	曲げ応力度	3	382	0.01
					せん断応力度	2	217	0.01
					合成応力度* ¹	0.01	1.2	0.01
			つなぎ材 (プレート)	SM570	曲げ応力度	128	382	0.34
					せん断応力度	12	217	0.06
					合成応力度	0.12	1.2	0.10
		ブラケット	SM570	曲げ応力度	122	382	0.32	
		つなぎ材(ボルト)	強度区分4.6	引張応力度	73	210	0.35	
		アンカーボルト	SD345	評価項目	発生値 a(kN)	許容値 b(kN)	照査値 (a/b)	
				引張	1	105	0.01	
				せん断	2	85	0.03	
合成* ¹				0.01	1.2	0.01		

注記*1: 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。

*2: 引き波時の影響検討内容①と②を同時に考慮した場合の二軸応力状態の評価。

*3: 局部座屈を考慮した許容応力度。

4.7 構造成立性(評価結果)(3/4)

- 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引き波時における寸法の小さい漂流物の影響評価結果を示す。
- 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。

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影響評価結果(寸法の小さい漂流物の影響)

部材				材質	応力成分	発生応力 a(N/mm ²)	許容応力 b(N/mm ²)	照査値 (a/b)	
津波時 (引き波時)	影響検討 内容② (引き波に よる寸法 の小さい 漂流物の 影響)	防護梁	H鋼	水平	SM570	曲げ応力度	3	382	0.01
						せん断応力度	2	217	0.01
						合成応力度*	0.01	1.2	0.01
			つなぎ材 (プレート)	SM570	曲げ応力度	171	382	0.45	
					せん断応力度	16	217	0.08	
					合成応力度*	0.21	1.2	0.18	
		ブラケット		SM570	曲げ応力度	162	382	0.43	
		つなぎ材(ボルト)		強度区分4.6	引張応力度	97	210	0.47	
		アンカーボルト	SD345	評価項目	発生値 a(kN)	許容値 b(kN)	照査値 (a/b)		
				引張	2	105	0.01		
				せん断	2	85	0.03		
				合成*	0.01	1.2	0.01		

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。

4.7 構造成立性(評価結果)(4/4)

- 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余震重畳時(引き波時)の影響評価結果を示す。
- 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。

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影響評価結果(余震重畳時(引き波時))

部材				材質	応力成分	発生応力 a(N/mm ²)	許容応力 b(N/mm ²)	照査値 (a/b)			
余震重畳時 (引き波時)	影響検討 内容② (引き波による静水圧)	防護梁	H鋼	水平	SM570	曲げ応力度	5	382	0.02		
						せん断応力度	3	217	0.02		
						合成応力度*	0.01	1.2	0.01		
			鉛直	SM570		曲げ応力度	43	382	0.12		
						せん断応力度	2	217	0.01		
						合成応力度*	0.02	1.2	0.02		
			—	SM570		二軸応力	0.02	1.2	0.02		
						つなぎ材 (プレート)	SM570	曲げ応力度	283	382	0.75
								せん断応力度	26	217	0.12
		合成応力度*	0.57	1.2	0.48						
		ブラケット		SM570	曲げ応力度	269	382	0.71			
		つなぎ材(ボルト)		強度区分4.6	引張応力度	162	210	0.78			
		アンカーボルト	SD345	評価項目	発生値 a(kN)	許容値 b(kN)	照査値 (a/b)				
				引張	2	105	0.02				
				せん断	4	85	0.05				
				合成*	0.01	1.2	0.01				

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。

【漂流物の影響要因の整理】

- 漂流物の影響要因と影響要因を考慮した検討について以下の整理を行った。
 - ✓ 漂流物による衝突荷重は、津波荷重とともに基準津波第一波の寄せ波時(海から敷地に向かう方向)に作用することから、主に寄せ波時の荷重に抵抗するよう漂流物防護工の構造を検討する。
 - ✓ 漂流物防護工の成立性に衝突荷重の作用位置が影響を及ぼすと考えられることから、想定される衝突荷重の作用位置について、各施設・設備の構造的特徴を踏まえ、鉛直方向及び水平方向に対して安全側の設計となるよう設定する。
 - ✓ 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)については、防潮堤よりも海側に設置されているという設置位置の特徴から、引き波時における漂流物の影響についても検討する。また、引き波時には、出口側集水ピット内に寸法の小さな漂流物を取り込まれる可能性があるため、その影響について検討する。

①防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工(その1)

【漂流物防護工の構造選定の考え方】

- 以下の観点から検討を行い、構造を選定した。
 - ✓ 海から敷地に向かう衝突荷重に対して、鋼製遮水壁よりも海側で衝突荷重を受け、スキンプレート及び止水ジョイントを守る構造⇒鋼製遮水壁前面に設置
 - ✓ 既設設備へのルートを阻害する等、発電所の運用に支障をきたすようなことがない構造⇒道路を塞がない
 - ✓ 既に設置済みの構造を活かし、過大な設計とならない構造⇒現状構造に追加
 - ✓ 現状構造に対して追加設置が可能な構造(施工実現性)⇒防護工と鋼製遮水壁間、架台間にスペースを確保
 - ✓ おおむね弾性範囲にとどまる設計の実現性⇒鋼製遮水壁の水平リブと同じ標高に架台を設置することにより裕度確保
- 選定した構造に対して、各部材に対して評価が厳しくなるよう、衝突荷重の作用位置を、防護工に対しては鉛直方向中心位置及び架台位置、架台に対しては鉛直方向架台位置かつ水平方向には防護工端部に作用させるケースを検討する。

①防潮堤(鋼管式鉛直壁)に設置する漂流物防護工(その2)

【構成する各部材に期待する役割】

- 漂流物防護工に作用する力の伝達を整理した上で、漂流物防護工の各部材に期待する役割を設定した。架台については、断面係数を大きくすることにより裕度を向上させるという役割を設定した。

【損傷モードを踏まえた評価の考え方】

- 漂流物防護工の各部材が損傷すると、鋼製遮水壁に漂流物が衝突することで遮水性を喪失するという損傷モードを想定し、各部材が短期許容応力度以下であることを確認することとした。
- 併せて、地震時、津波時及び余震重畳時において考慮する荷重を設定した。

【構造成立性】

- 以上を踏まえた検討により、漂流物による衝突荷重を含む外力に対して、漂流物防護工の構造が成立することを確認した。

②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(その1)

【漂流物防護工の構造選定の考え方】

- 以下の観点から検討を行い、構造を選定した。
 - ✓ 海から敷地に向かう衝突荷重に対して、扉体よりも海側で衝突荷重を受け、扉体を守る構造⇒扉体前面に設置
 - ✓ 既設設備へのルートを阻害する等、発電所の運用に支障をきたすようなことがない構造⇒道路を塞がない
 - ✓ 間接支持構造物に対して追加設置が可能な構造(施工実現性)⇒出口側集水ピットに支持が可能
 - ✓ おおむね弾性範囲にとどまる設計の実現性⇒前面の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の裕度確保
- 漂流物の影響要因の整理のとおり、引き波時における漂流物の影響を考慮することし、漂流物の自重が防護梁に作用する影響、出口側集水ピット内側の水圧が防護梁に作用する影響及び寸法の小さな漂流物が防護梁の山側から及ぼす影響について検討する。検討に当たっては、防護梁を単純梁として支持することにより、寄せ波時と引き波時で耐力が異なることに留意する。
- 防護梁が中空構造となることから、浮力に対する検討を行う。
- 衝突荷重の作用位置を防護梁の中央及び端部に作用させるケースを検討する。

②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(その2)

【構成する各部材に期待する役割】

- 漂流物防護工に作用する力の伝達を，寄せ波時と引き波時で耐力が異なることを踏まえて整理した上で，漂流物防護工の各部材がどのように荷重を伝達するかという役割を設定した。

【損傷モードを踏まえた評価の考え方】

- 漂流物防護工の各部材が損傷すると，扉体に漂流物が衝突することで遮水性を喪失するという損傷モードを想定し，各部材が短期許容応力度以下であることを確認することとした。
- 寄せ波時及び引き波時において出口側集水ピット内側から水圧が作用する場合については余震重畳も考慮することとし，地震時，津波時及び余震重畳時において考慮する荷重を整理した。

【構造成立性】

- 以上を踏まえた検討により，漂流物による衝突荷重を含む外力に対して，漂流物防護工の構造が成立することを確認した。
- また，防護梁に作用する浮力を考慮しても構造上問題ないことを確認した。

(参考資料)

- 参考1 第876回審査会合資料(抜粋)
- 参考2 漂流物防護工(防潮堤)の構造選定の詳細
- 参考3 漂流物防護工(防潮堤)に作用する衝突荷重について
- 参考4 漂流物防護工(防潮堤)下部の止水ジョイントに関する漂流物の影響検討
- 参考5 漂流物防護工(防潮堤)の評価方法
- 参考6 漂流物防護工(防潮堤)の架台縦リブのスキンプレートへの影響
- 参考7 漂流物防護工(防潮堤)の構造成立性
- 参考8 漂流物防護工(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))の構造選定の詳細
- 参考9 漂流物防護工(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))の詳細構造
- 参考10 漂流物防護工(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))の評価方法
- 参考11 漂流物防護工(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))の構造成立性

【1-1】漂流物防護工の追加

6

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。

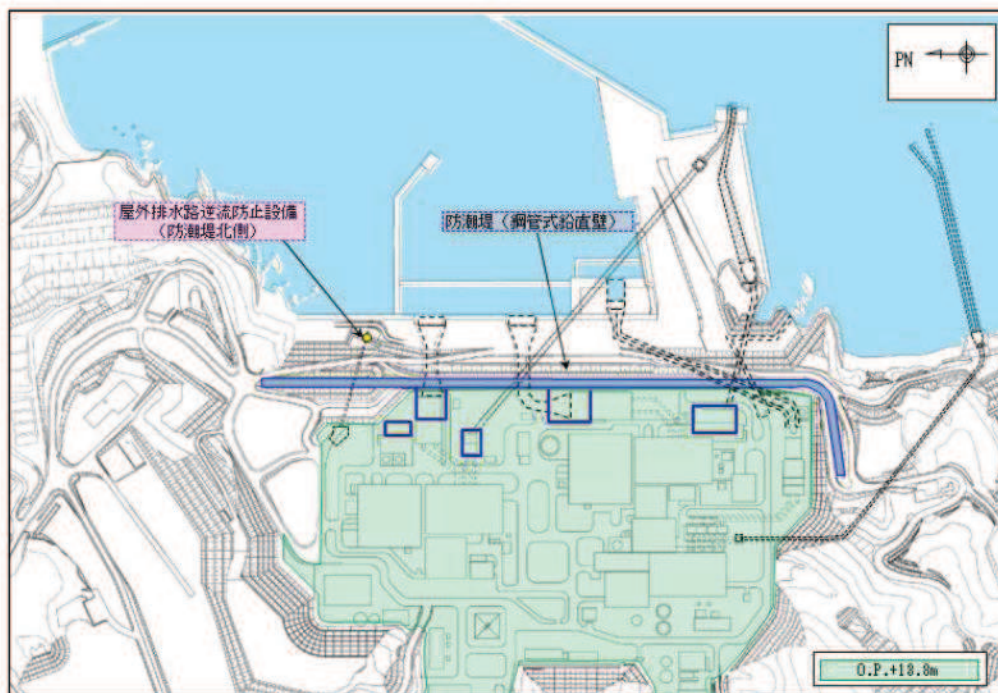


図1 漂流物防護工の追加位置
(防潮堤(鋼管式鉛直壁)、屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))

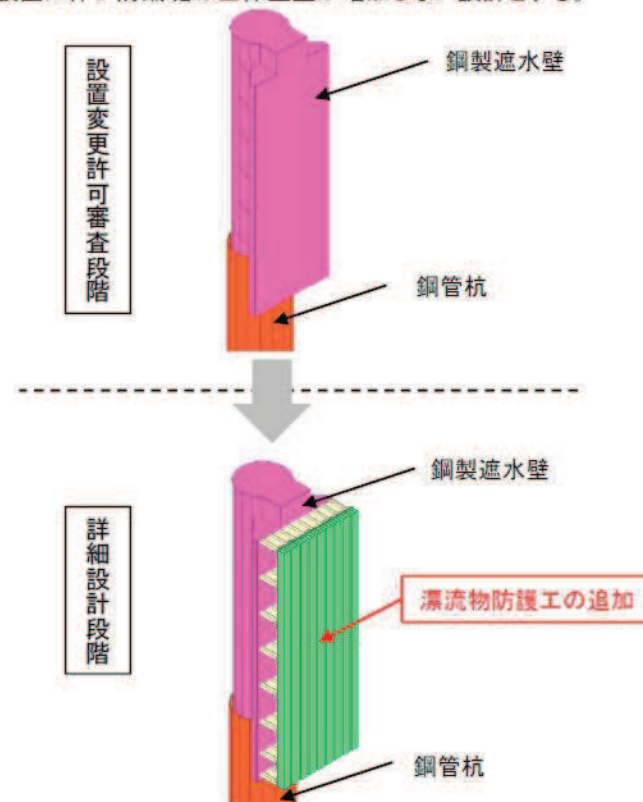


図2 防潮堤(鋼管式鉛直壁)鋼製遮水壁 イメージ図

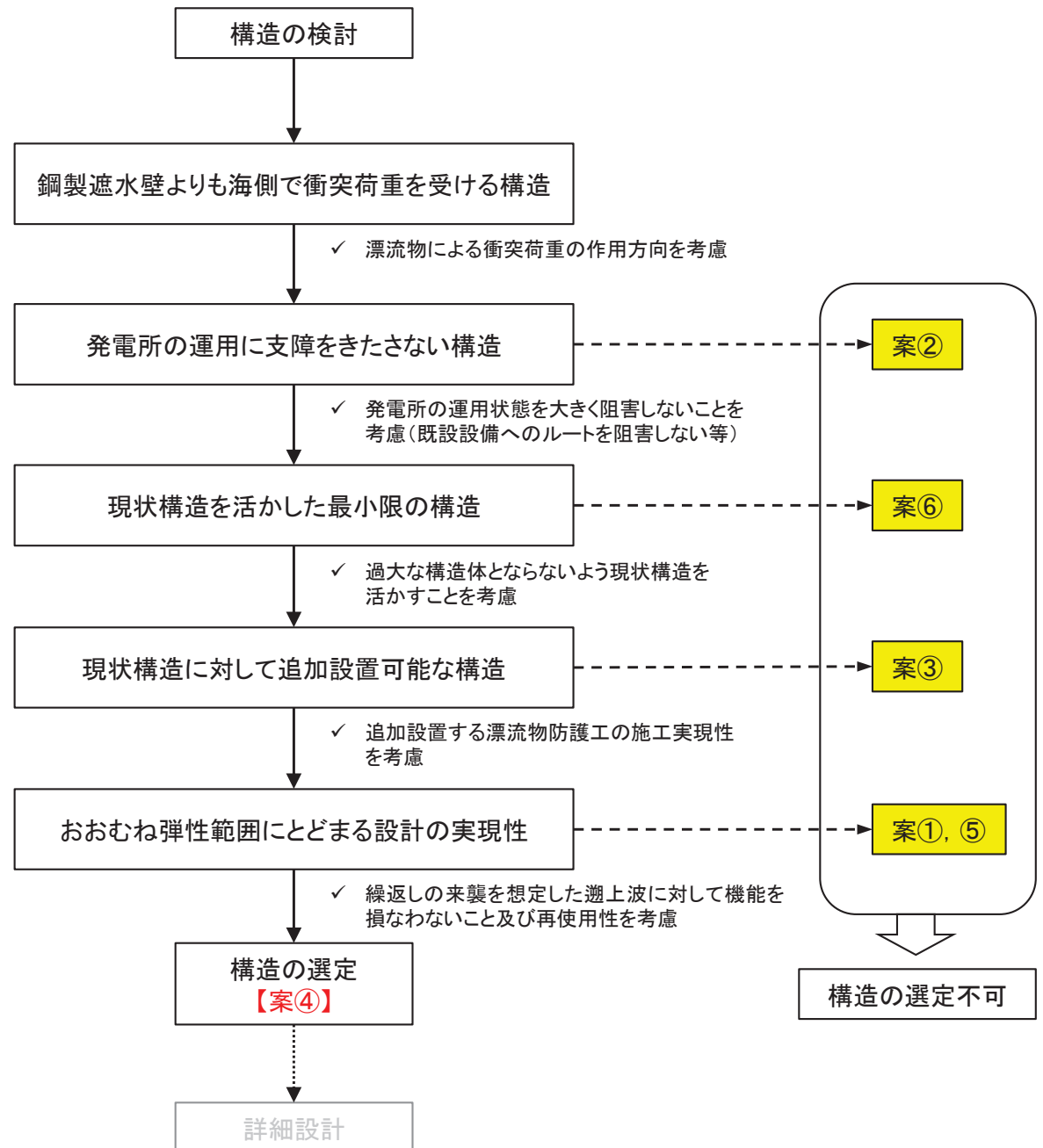
2. 今後の説明予定*

- 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。

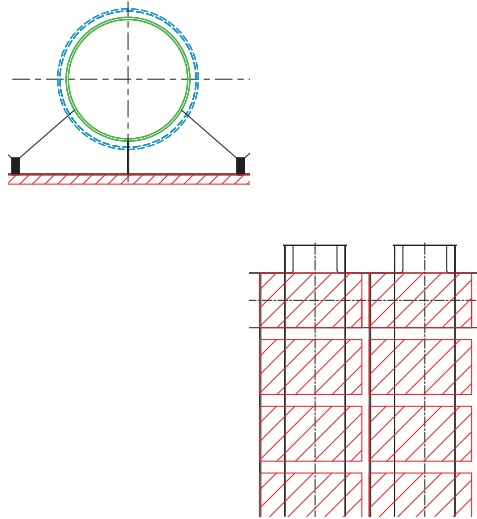
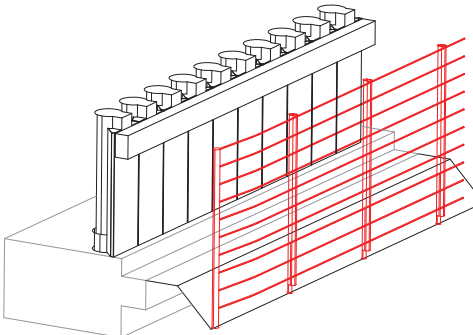
注記*:「2. 今後の説明予定」には各図書の提出予定を記載したもの。なお、本項目については当初計画どおり2020年5月・9月・11月に工事計画認可申請(補正)済み。

- 基準津波第一波の寄せ波時において、漂流物による衝突荷重は海から敷地に向かう方向に作用し、この衝突荷重と重畳させる津波荷重も作用方向は同じである。
- そのため、追加設置する漂流物防護工は、主として海から敷地に向かう方向の荷重に抵抗する構造となるよう設計する。
- 追加設置する漂流物防護工は、右に示すフローのとおり制約条件を設けて、構造選定を行った上で、詳細設計することとした。

ここでは、選定した案④の他に、選定されなかった構造案を次頁に示す。

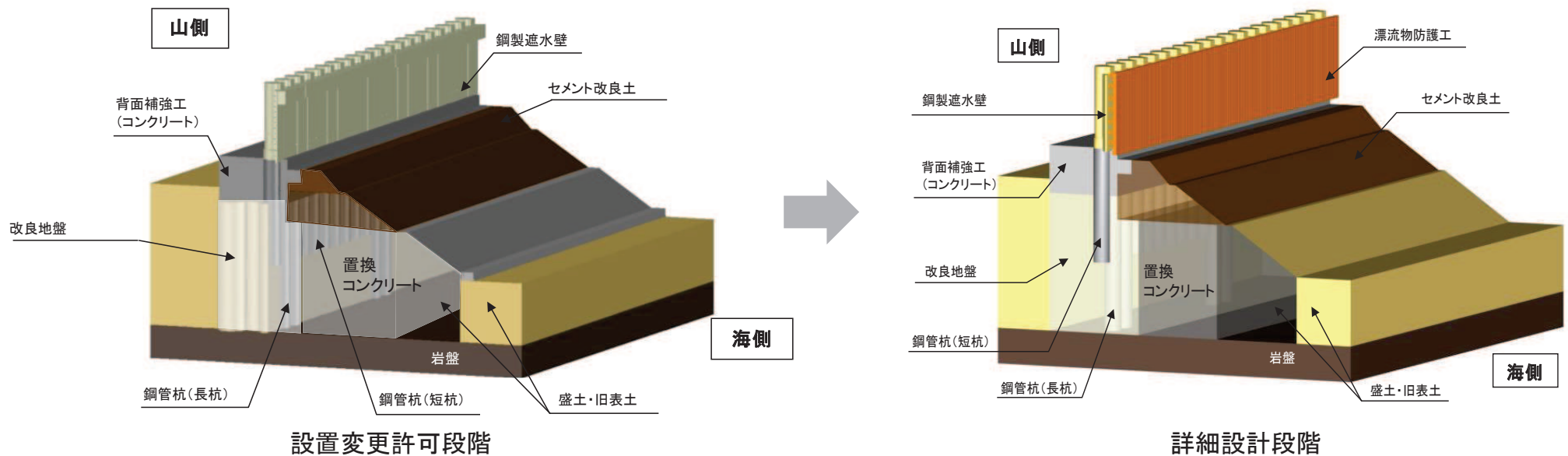


案	案①(コンクリート+補強リブ)	案②(セメント改良土追加)	案③(スキンPL増厚+補強リブ)	(採用案)案④(防護工追加)
構造概要				
設計コンセプト	<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲にとどまる設計。 ▶ スキンプレート及び止水ジョイント前面に鉄筋コンクリートを設置し、スキンプレート及び止水ジョイントに漂流物を衝突させない。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲にとどまる設計。 ▶ 防潮堤前面にセメント改良土を設置し、スキンプレート及び止水ジョイントに漂流物を衝突させない。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲にとどまる設計。 ▶ スキンプレートを溶接等で増厚し、漂流物による衝突荷重に抵抗させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲にとどまる設計。 ▶ スキンプレート及び止水ジョイント前面に防護工を設置し、スキンプレート及び止水ジョイントに漂流物を衝突させない。 ▶ 水平リブと同じ高さに追加リブ(架台)を設置し、桁高(剛性)を大きくすることで、水平リブの裕度を向上させる。
発電所の運用	▶ 特に問題なし。 ○	▶ 防潮堤前面の敷地を塞ぐため、発電所運用上問題あり。 ×	▶ 特に問題なし。 ○	▶ 特に問題なし。 ○
現状構造の活用	▶ 現状構造を活用した構造。 ○	▶ 現状構造を活用した構造。 ○	▶ 現状構造を活用した構造。 ○	▶ 現状構造を活用した構造。 ○
施工実現性	▶ 水平リブの補強が必要であり、施工性に課題がある。 △	▶ 特に問題なし。 ○	▶ 大断面のスキンプレートを溶接又はボルトで固定することは困難。(×) ▶ 水平リブの補強が必要であり、施工性に課題がある。(△) ×	▶ 部材が多くなり、現場溶接等の現場施工量が多くなる。 △
設計実現性	▶ コンクリートの設置により鋼管杭の自重が大きくなり、鋼管杭を弾性範囲にとどめることが困難。 ×	▶ セメント改良土からの荷重により鋼管杭を弾性範囲にとどめることが困難。 ×	▶ 止水ジョイント防護のための対策が別途必要。 △	▶ 鋼管杭前面に張り出す構造について影響考慮が必要。 △
採否	×	×	×	○

案	案⑤(緩衝材設置)	案⑥(前面に防護ロープ設置)	
構造概要			
設計コンセプト	<ul style="list-style-type: none"> スンプレート前面に荷重緩衝材を設置し、荷重を分散させるか衝撃を緩和することにより、荷重に抵抗させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 支柱を設置し、その支柱に衝突防護ロープを設置して、漂流物の衝突エネルギーを吸収させる。 	
発電所の運用	<ul style="list-style-type: none"> 特に問題なし。 	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤前面に構造物を設置するため、若干の影響あり。 	○ △
現状構造の活用	<ul style="list-style-type: none"> 現状構造を活用した構造。 	<ul style="list-style-type: none"> 支柱を地震荷重及び津波荷重に耐えられる仕様とする必要があり、現状構造の他に同規模の施設を設置することになる。 	○ ×
施工実現性	<ul style="list-style-type: none"> 特に問題なし。 	<ul style="list-style-type: none"> 特に問題なし。 	○ ○
設計実現性	<ul style="list-style-type: none"> 2000kNという漂流物による衝突荷重に対する設計方法として先行実績がなく、設計、性能試験等に長期間を要する。(×) 止水ジョイント防護のための対策が別途必要。(△) 	<ul style="list-style-type: none"> 特に問題なし。 	× ○
採否	×	×	

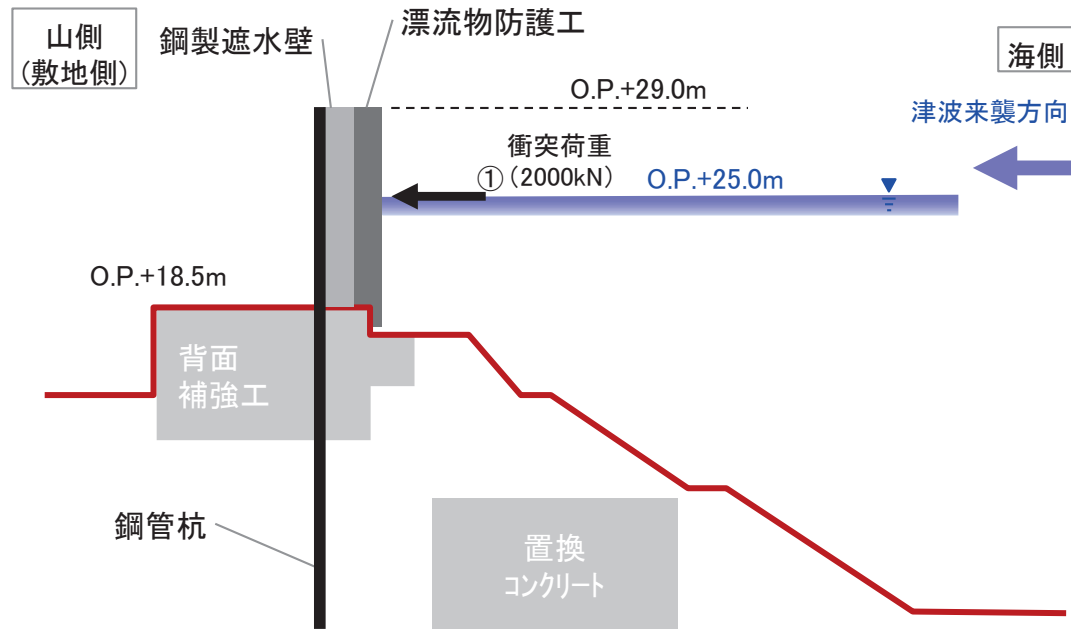
【防潮堤(鋼管式鉛直壁)一般部の構造の変更について(頂部はりの撤去)】

- 設置変更許可申請時においては、鋼管杭(短杭)を支持する改良地盤の下方に未改良の盛土・旧表土が存在し、地震時に盛土・旧表土の不等沈下が発生したとしても、岩盤に支持させる鋼管杭(長杭)と鋼管杭(長杭)に支持させる頂部はりにより止水性を確保する設計としていた。
- 設置変更許可の審査の中で、不等沈下が発生した場合の鋼管杭(短杭)の挙動の不確実性及び防潮堤の上部構造と盛土・旧表土との間に隙が生じ津波の流入経路となる可能性について指摘があり、止水性及び構造成立性の確実性を高めるため、防潮堤直下の盛土・旧表土を地盤改良することにより、不等沈下をしない構造とした。
- その結果、頂部はりは役割を失うこととなったが、設置変更許可段階において示した構造成立性評価では、頂部はりを含んだ構造での構造成立性を説明した。
- 詳細設計段階では、漂流物による衝突荷重を2000kNと設定したことに伴い、鋼製遮水壁前面に漂流物防護工を設置することとした。漂流物防護工設置の支障となる頂部はりには撤去することとし、新たに設置する漂流物防護工の重量を、撤去する頂部はりの重量(設計上考慮していた重量)以下とすることにより、防潮堤の耐震設計及び耐津波設計への影響を最小限に抑えることとした。



参考3. 漂流物防護工(防潮堤)に作用する衝突荷重について(1/2)

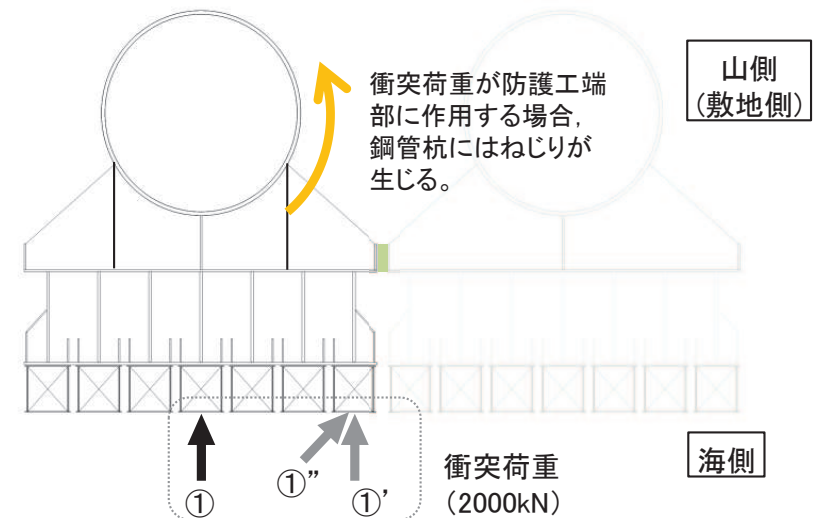
➤ 鋼管杭を評価対象とした場合の衝突荷重の作用方法を以下に示す。



鋼管杭を対象とした衝突荷重の作用方法

検討項目	検討結果	考慮の有無
① 鋼管杭中心に衝突	防護工に作用する衝突荷重が架台及び水平リブを伝達して鋼管杭を大きく変形させる。	○
①' 防護工端部に衝突	防護工の端部に作用する衝突荷重が架台及び水平リブを伝達して鋼管杭を変形させるとともに、鋼管杭にはねじり応力が発生する。	○*

注記* : 念のため、防護工取付けボルトのせん断及び鋼管杭のねじり応力が最大となるように衝突荷重2000 (kN) を斜め方向から作用させた場合についても影響検討を行う(①'')。



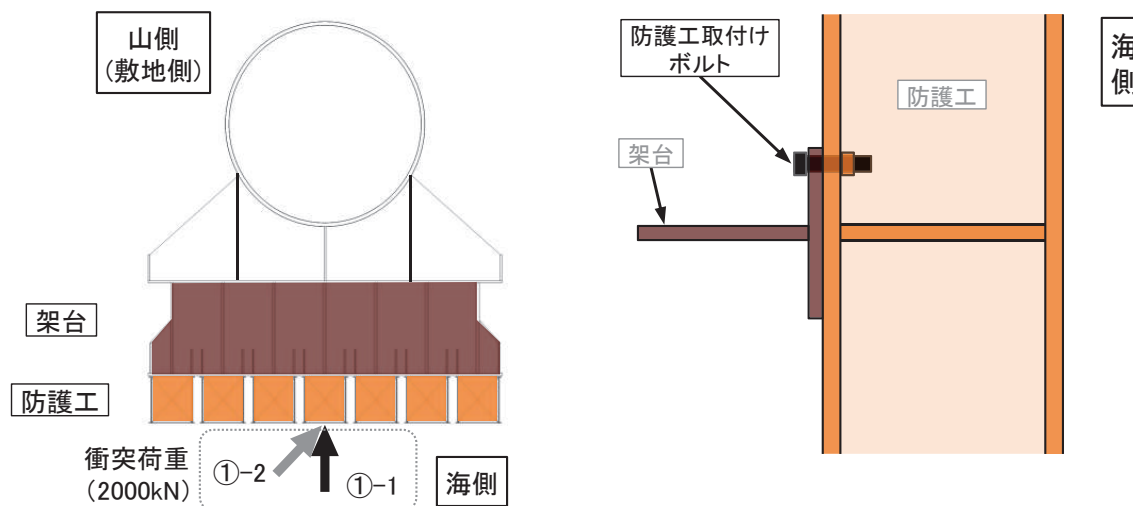
参考3. 漂流物防護工(防潮堤)に作用する衝突荷重について(2/2)

- 追加設置する漂流物防護工の構造特徴を踏まえ、各部材に対して評価が厳しくなるよう作用位置は安全側の設定を行う。
- 防護工取付けボルトに対しては、斜めからの衝突荷重が作用することを考慮する。

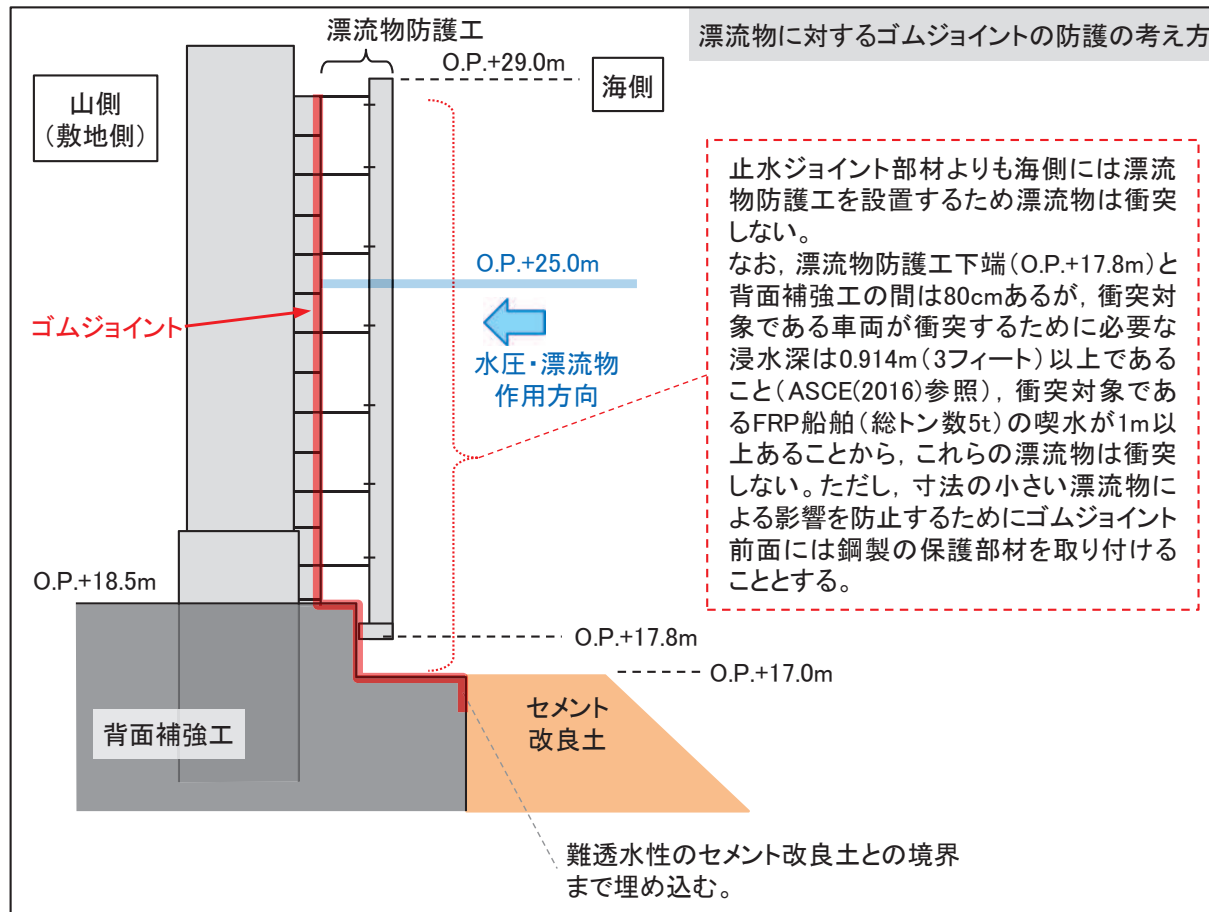
防護工取付けボルトを対象とした衝突荷重の作用方法

検討項目	検討結果	考慮の有無
①-1 防護工に対して 垂直に衝突	防護工及び架台には大きな荷重が伝達されるが、防護工取付けボルトには荷重が作用しない。	—
①-2 防護工に対して 斜めに衝突	防護工及び架台に伝達される荷重は①-1よりも小さくなるが、防護工取付けボルトにも荷重が作用する	○*

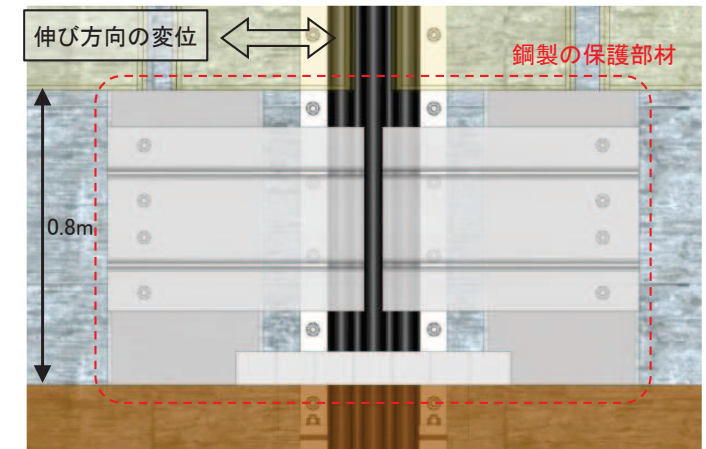
注記* : 鋼管杭及び止水ジョイントに対する評価としては、衝突荷重を防護工の端部(斜め含む)に作用させた場合の検討も行う(前頁)。



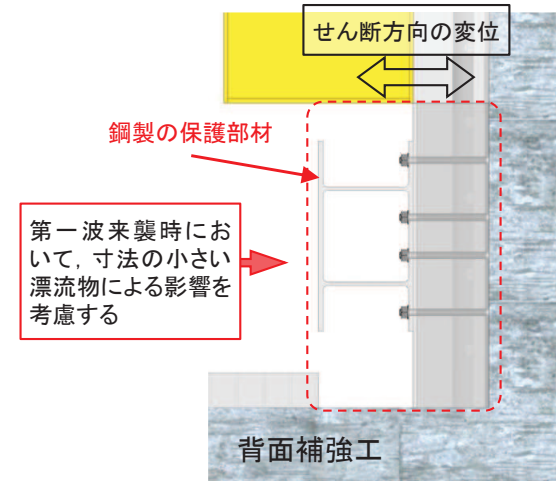
- 下図のように、防潮堤(鋼管式鉛直壁)に追加設置する漂流物防護工よりも下部に、背面補強工の構造目地の止水ジョイント(ゴムジョイント)の一部があることから、この部分に関する漂流物の影響について示す。
- 漂流物防護工が設置されない区間は、漂流物防護工下端(O.P.+17.8m)と背面補強工の間の80cmであるが、衝突対象である車両が衝突するために必要な浸水深は0.914m(3フィート)以上であること(ASCE(2016)参照)、衝突対象であるFRP船舶(総トン数5t)の喫水が1m以上あることから、これらの漂流物は衝突しない。ただし、この80cmの区間では寸法の小さい漂流物がゴムジョイントに影響を及ぼす可能性があるため、鋼製の保護部材を取り付けることとする。
- ゴムジョイントの前面に設置する鋼製の保護部材のイメージを右下に示す。



第993回審査会合資料に一部加筆



鋼製の保護部材の正面イメージ



鋼製の保護部材の断面イメージ

- ゴムジョイントの前面に設置する鋼製の保護部材の設計において考慮する寸法の小さい漂流物は、下図のとおり直近陸域及び直近海域からの漂流物うち、がれきを対象に選定を行う。
- なお、これらのがれきについては、2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波で漂流したがれきを参照する。

3. 衝突荷重として考慮する漂流物の選定

3.2 漂流物の初期配置(6/6)

20

➤ 以上を踏まえ、衝突する可能性のある漂流物の初期配置を下表のとおり整理した。

➤ なお、敷地外からの漂流物の特徴及び流向流速の観点からの検討については参考2に示す。

範囲	漂流物	重量等	到達形態			
敷地内	陸域	角落し	約7t	滑動		
		第3号機モニタリング架台	—*1	滑動		
		車両系重機・燃料等輸送車	2.7~41.2t	滑動		
		PC板(カーテンウォール)	約8t	滑動		
		キュービクル類	約5t	滑動		
		がれき	—*2	浮遊		
敷地外	小屋取地区	海域	巡視点検用車両	2.15t	浮遊	
		海域	ゴムボート	1t未満	浮遊	
	小屋取地区以外	海域	小型漁船(FRP)	総トン数5t (排水トン数:15t)	浮遊	
		陸域	がれき	—*2	浮遊	
	敷地外	小屋取地区以外	陸域	がれき	—*2	浮遊
			陸域	車両	—*3	浮遊
			陸域	がれき	—*2	浮遊
		小屋取地区以外	海域	漁船(FRP)	総トン数19t (排水トン数:57t)	浮遊
			陸域	がれき	—*2	浮遊
			陸域	車両	—*3	浮遊
陸域	コンテナ・ユニットハウス	約30t	浮遊			
陸域	タンク	22t以下(約200kl)	浮遊			

「直近陸域」(滑動)からの漂流物に選定する。最も重量のある車両系重機(41.2t)を代表漂流物とする。

「直近陸域」(浮遊)からの漂流物に選定する。最も重量のある巡視点検用車両(2.15t)を代表漂流物とする。

「直近海域」からの漂流物に選定する。最も重量のある小型漁船(FRP, 排水トン数15t)を代表漂流物とする。

「前面海域」からの漂流物に選定する。最も重量のある漁船(FRP, 排水トン数57t)を代表漂流物とする。

「直近陸域」及び「直近海域」からの漂流物のうち、がれきを対象に選定を行う。

注記 *1: 第3号機モニタリング架台はその形状から車両系重機の41.2tよりも軽いと評価。
 *2: がれきは、3.11地震に伴う津波で漂流したがれきを踏まえ、巡視点検用車両の2.15tよりも軽いと評価。
 *3: 敷地外の車両は、漁船の57tよりも軽いと評価。

- 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、敷地内に漂着した漂流物のうち、がれきとして整理される漂流物は、木片、混合ごみ、流木及び漁具である。
- 木片、混合ごみ、流木及び漁具の中で、ゴムジョイントの前面に設置する鋼製の保護部材に影響を及ぼす可能性のあるものは、剛性が最も高いと考えられる木片又は流木である。
- そのため、ゴムジョイントの前面に設置する鋼製の保護部材は、木片又は流木が漂流物として衝突することを想定して、その荷重に対して健全性を維持できる設計とする。
- なお、木片又は流木の寸法は、敷地内に漂着したものを踏まえ直径5cmを想定し、長さは1m前後のものが大半であるが、保守的に長さ2mとする。衝突速度については、基準津波の最大流速である13m/sを適用し、荷重の算定式にはFEMA(2012)、松富(1999)及び有川(2010)を採用する。最も大きく算定される荷重に対して、安全側の評価となるよう十分な余裕を考慮する。

- 鋼製の保護部材は、上記のとおり、寸法の小さな漂流物がゴムジョイントに影響を及ぼさないために設置するが、ゴムジョイントを設置する背面補強工には地震荷重等により相対変位が生じるため、その影響を受けないように保護部材の中央に5cmの隙間を設けることとしている。
- この隙間を通過する漂流物としては、アスファルト舗装の骨材が想定される(防潮堤よりも海側の敷地の表層は地盤改良されているか、アスファルト舗装となっており、アスファルト舗装の一般的な骨材粒径が(1.3~2.0cm)の骨材が津波により流されることを想定)。
- ただし、ゴムジョイントは耐圧試験により0.4(MPa)(400kN/m²)の水圧に十分耐える性能を有していることを確認していることから、5cmの隙間を通過する骨材の影響はない。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 32~35)(14/47)

第663回審査会合(H30.12.18) 資料3-1-2 p71 修正 61

②検討対象施設・設備の抽出

【東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物の特徴及び実績の把握(敷地内)】

- 敷地内で確認された東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物は下表のとおりであり、これらの漂流物による取水性への影響はなく、作業船等により撤去している。
- これらのうち、タンクについては撤去済みであるため、今後、漂流物とはならない。
- また、鉄骨造の建物自体は漂流していないが、壁材等が漂流物となっていることから、鉄骨造の壁材等は漂流物となる可能性がある。
- その他の漂流物については、今後も漂流物となる可能性がある。
- RC造及び鉄骨造の建物は、それ自体漂流していないが、開口部(扉、窓等)はいずれも破損して、建物の気密性は失われていた。また、車両については内空を保持したまま漂流していたことから、基準津波襲来時においても同様の状態を想定する。

【東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物】

漂流物	記事	漂流元【移動距離】	備考
小型船舶	船外機	不明	津波の数日後に漂着
車両	約1~2t	敷地内(O.P.+6m)の駐車場	遡上域から駐車場を撤去
水槽	約0.3t	敷地内(O.P.+10m)【約20m】	工事用の仮設備
タンク	重油タンク 重油残量約600kl	敷地内(O.P.+2.5m)【約20m】	重油タンクは撤去済み
木片・混合ごみ・流木	約370m ³	一部敷地内(O.P.+2.5m)	建屋壁材、屋根材等
漁具	プラスチック等	不明	大型土嚢120袋分



岸壁の漂流物状況(平成23年3月22日撮影)



混合ごみ



木片・流木



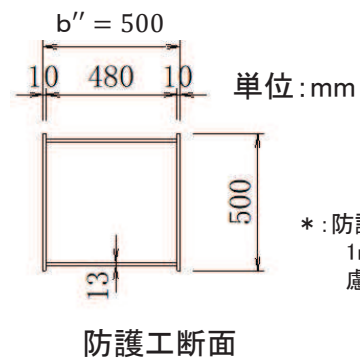
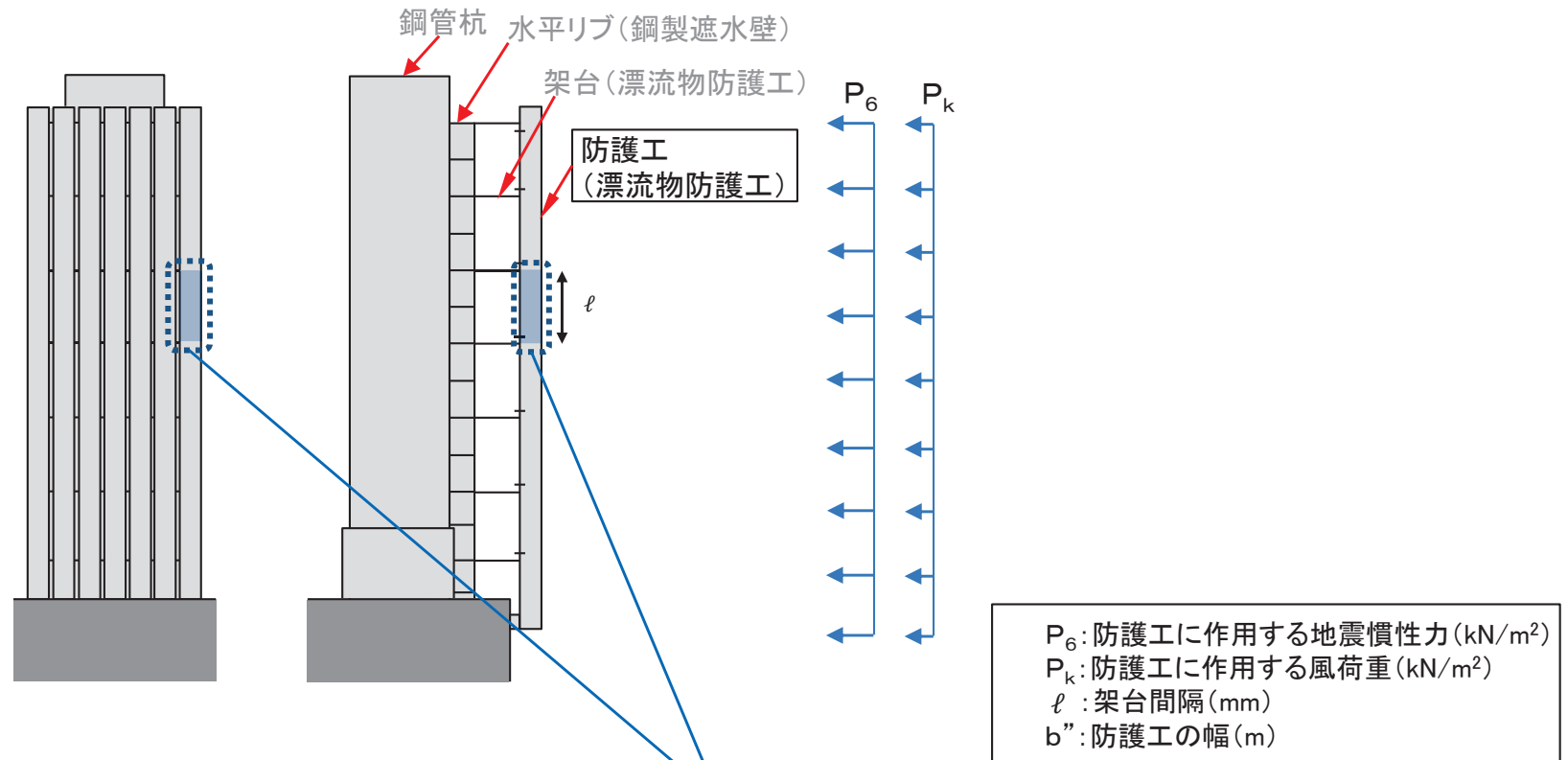
建屋壁材の剥がれ状況



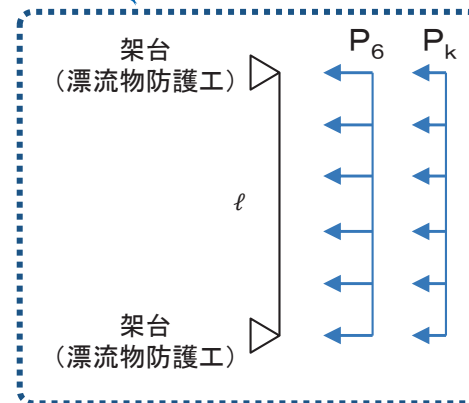
廃プラ・漁具類(大型土嚢)

参考5. 漂流物防護工(防潮堤)の評価方法(防護工:地震時)

- 漂流物防護工のうち防護工の地震時の評価方法を示す。
- 防護工(漂流物防護工)は架台を支点とする単純ばりでモデル化する。



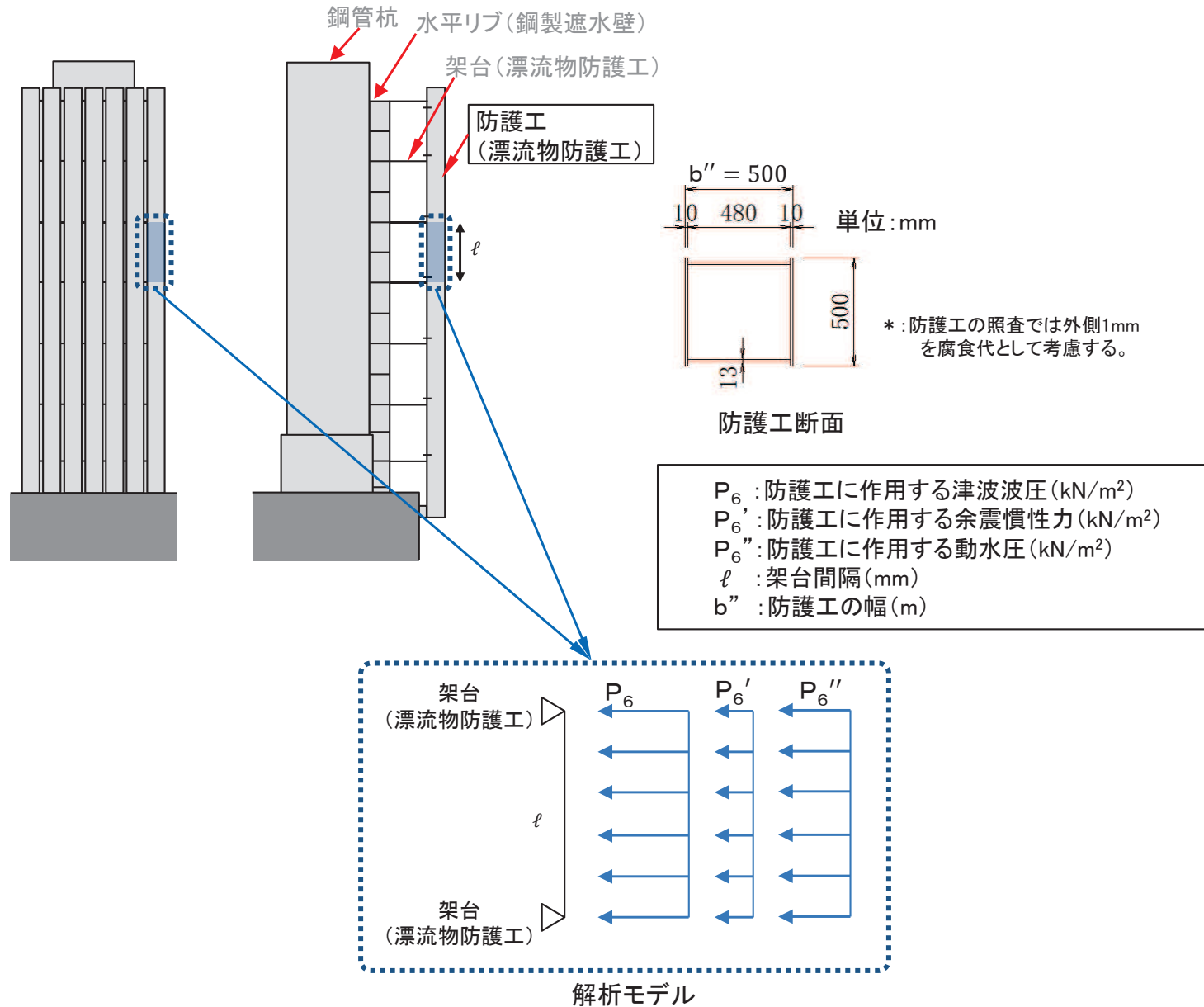
*: 防護工の照査では外側1mmを腐食代として考慮する。



防護工(漂流物防護工)の照査概念図 解析モデル

参考5. 漂流物防護工(防潮堤)の評価方法(防護工:余震重畳時)

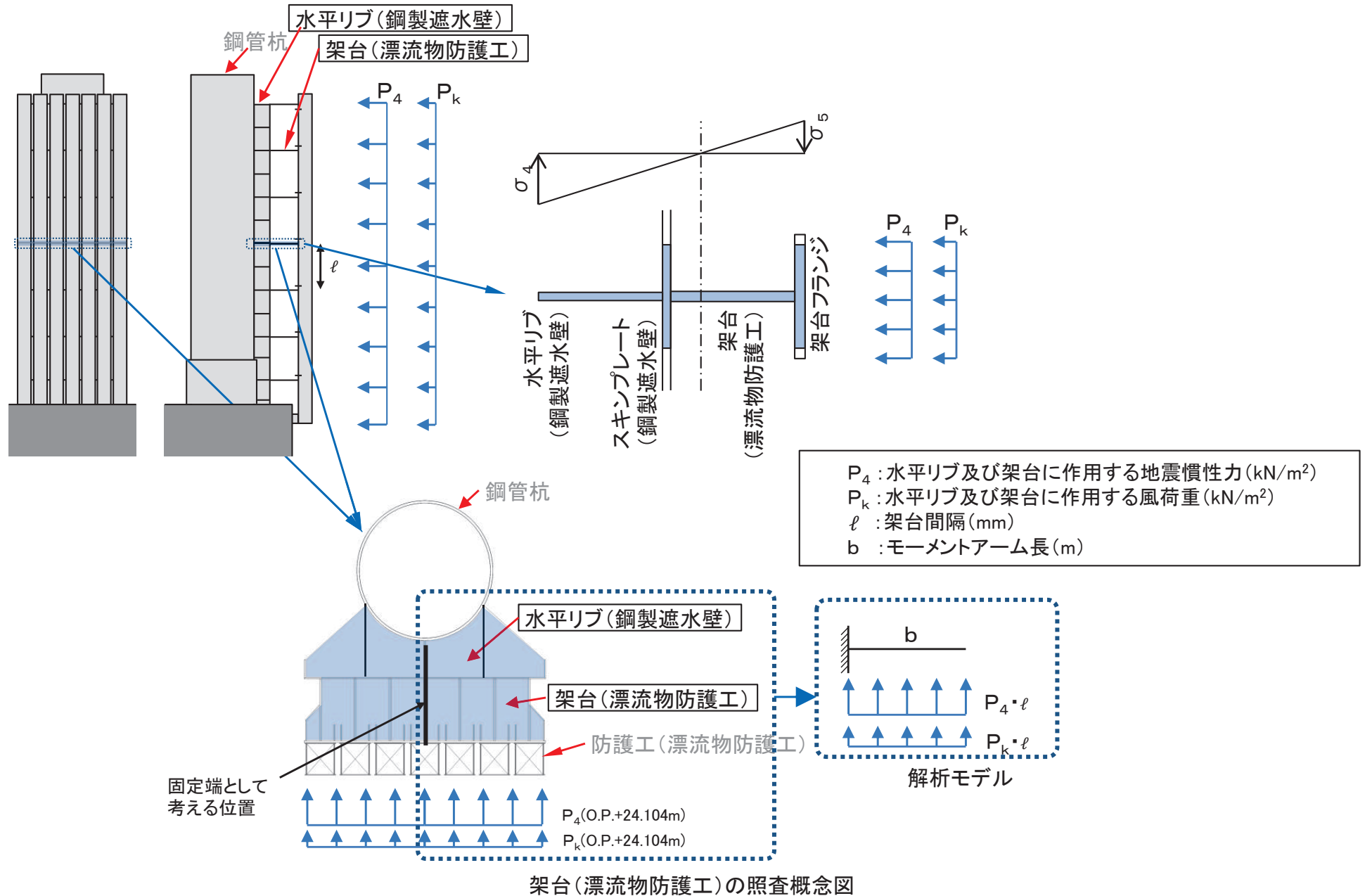
- 漂流物防護工のうち防護工の余震重畳時の評価方法を示す。
- 防護工(漂流物防護工)は架台を支点とする単純ばりでモデル化する。



防護工(漂流物防護工)の照査概念図

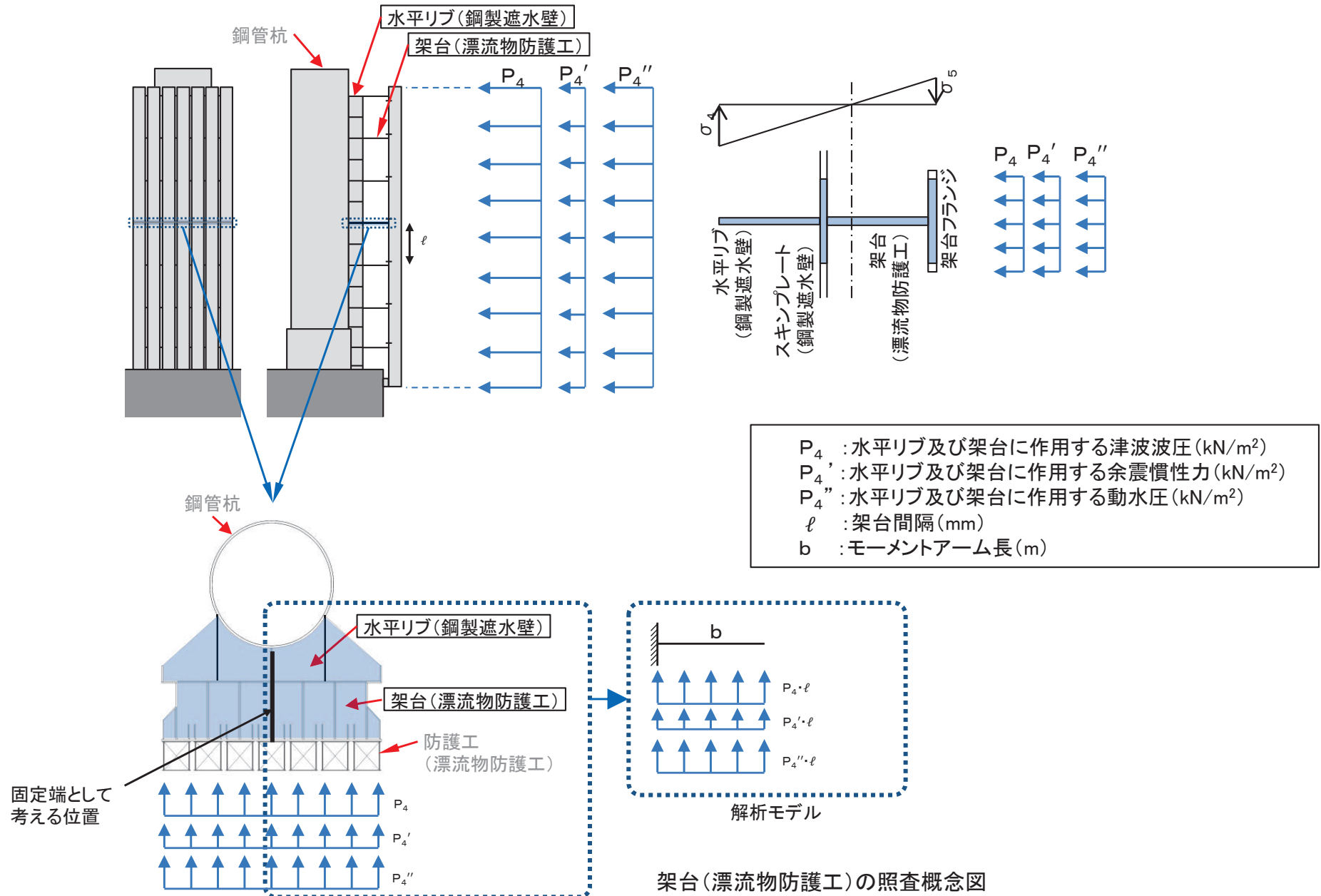
参考5. 漂流物防護工(防潮堤)の評価方法(架台:地震時)

- 漂流物防護工のうち水平リブ及び架台の地震時の評価方法を示す。
- 架台(漂流物防護工)は水平リブ(鋼製遮水壁)と一体として評価することとし、鋼管杭中心線上を固定端とする片持ちばりでモデル化する。



参考5. 漂流物防護工(防潮堤)の評価方法(架台:余震重畳時)

- 漂流物防護工のうち水平リブ及び架台の余震重畳時の評価方法を示す。
- 架台(漂流物防護工)は水平リブ(鋼製遮水壁)と一体として評価することとし、鋼管杭中心線上を固定端とする片持ちばりでモデル化する。



参考6. 漂流物防護工(防潮堤)の架台縦リブのスキンプレートへの影響(1/6)

- 架台は、道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編の垂直補剛材の配置及びその間隔の規定によれば、フランジ純間隔(スキンプレートとフランジの距離)に対して板厚が十分厚いことから垂直補剛材は不要とされている(右図参照)ものの、座屈に対して十分な安全性を確保する観点から垂直補剛材として縦リブを設置する。なお、「3.6 評価方法」で示す片持ちばりの照査において、この縦リブは断面係数に考慮しない。
- また、架台は、上記のように垂直補剛材が不要と規定されていることから分かるように、板厚が十分に厚く剛性が大きいため架台の変形も小さいと判断できることから、縦リブがスキンプレート(鋼製遮水壁)に及ぼす影響は小さい。
- なお、衝突荷重のような集中荷重として考慮する荷重によって、縦リブとスキンプレート(溶接接合)の端部に応力集中が発生することが懸念されたため、漂流物防護工を含む防潮堤の一部をモデル化して、荷重の伝達を詳細に確認した結果、スキンプレートには応力集中が発生していないことを確認した。

10.4.3 垂直補剛材の配置及びその間隔

(1) 上下両フランジの純間隔が表-10.4.2の値をこえる場合は、腹板には垂直補剛材を設けるものとする。

計算せん断応力度が許容せん断応力度に比べて小さい場合は、表-10.4.2の値を $\sqrt{\text{許容せん断応力度} / \text{計算せん断応力度}}$ 倍することができる。ただし、1.2倍をこえてはならない。

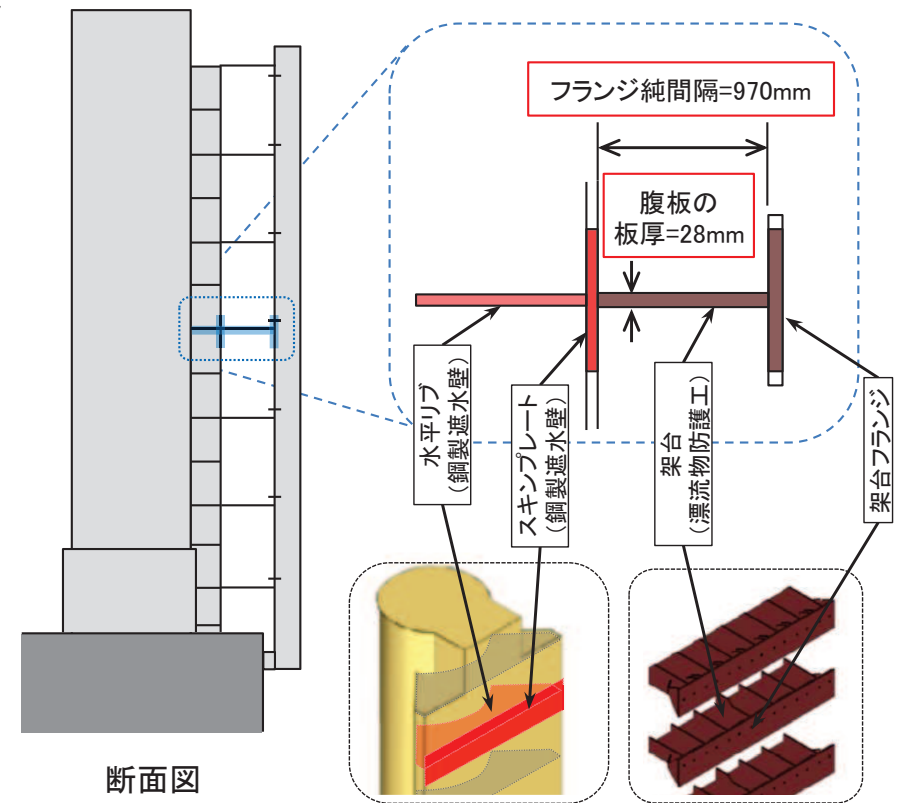
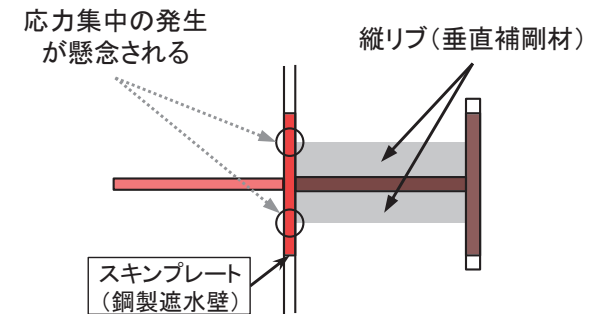
表-10.4.2 垂直補剛材を省略しうるフランジ純間隔の最大値

鋼種	SS400	SM490	SM490Y	SM570
	SM400		SM520	SMA570W
	SMA400W		SMA490W	SMA570W
上下両フランジ純間隔	70t	60t	57t	50t

ここに、 t : 腹板の板厚

道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編抜粋

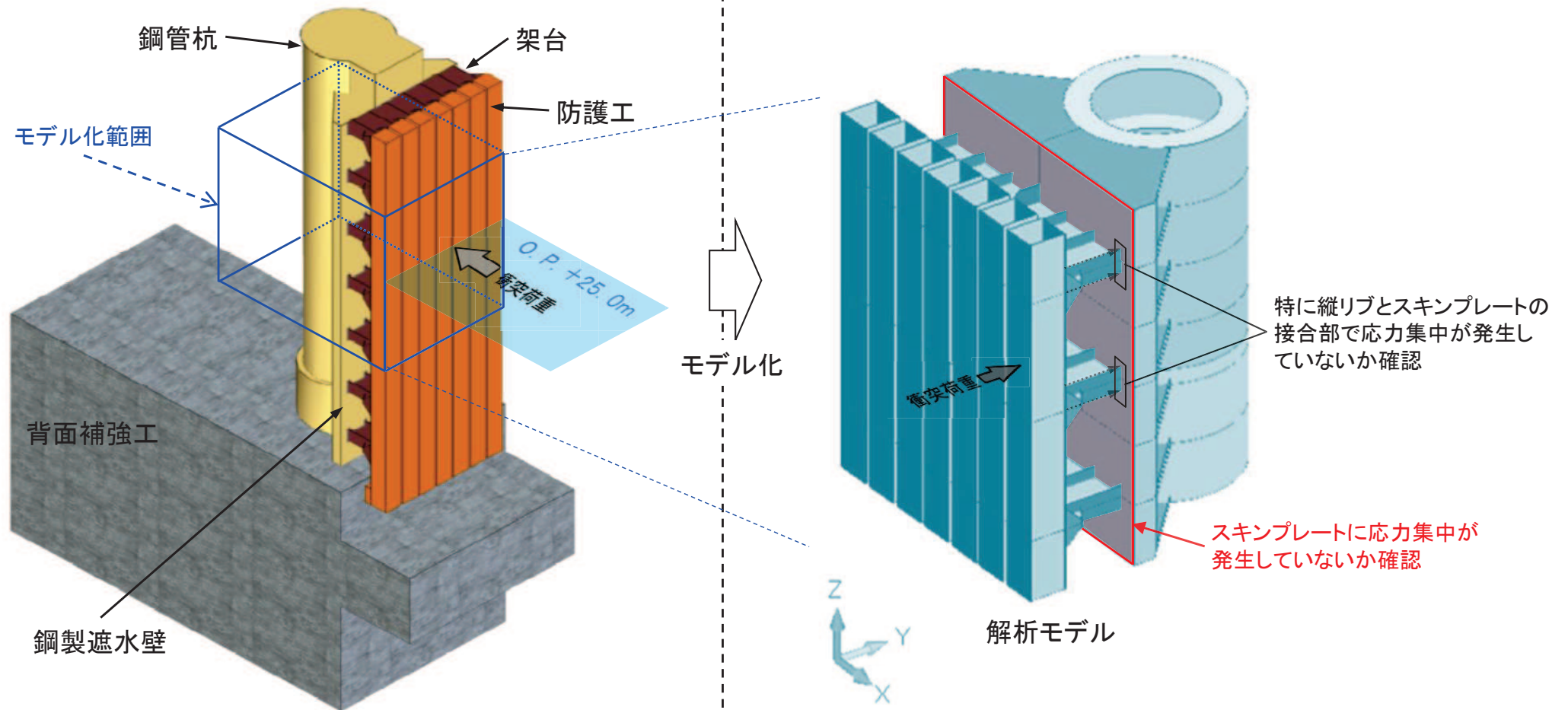
- ✓ 垂直補剛材を省略しうるフランジ純間隔の最大値
 $57t = 57 \times 28\text{mm} = 1596\text{mm} > 970\text{mm}$ (フランジ純間隔)



フランジ純間隔及び腹板の板厚のイメージ図

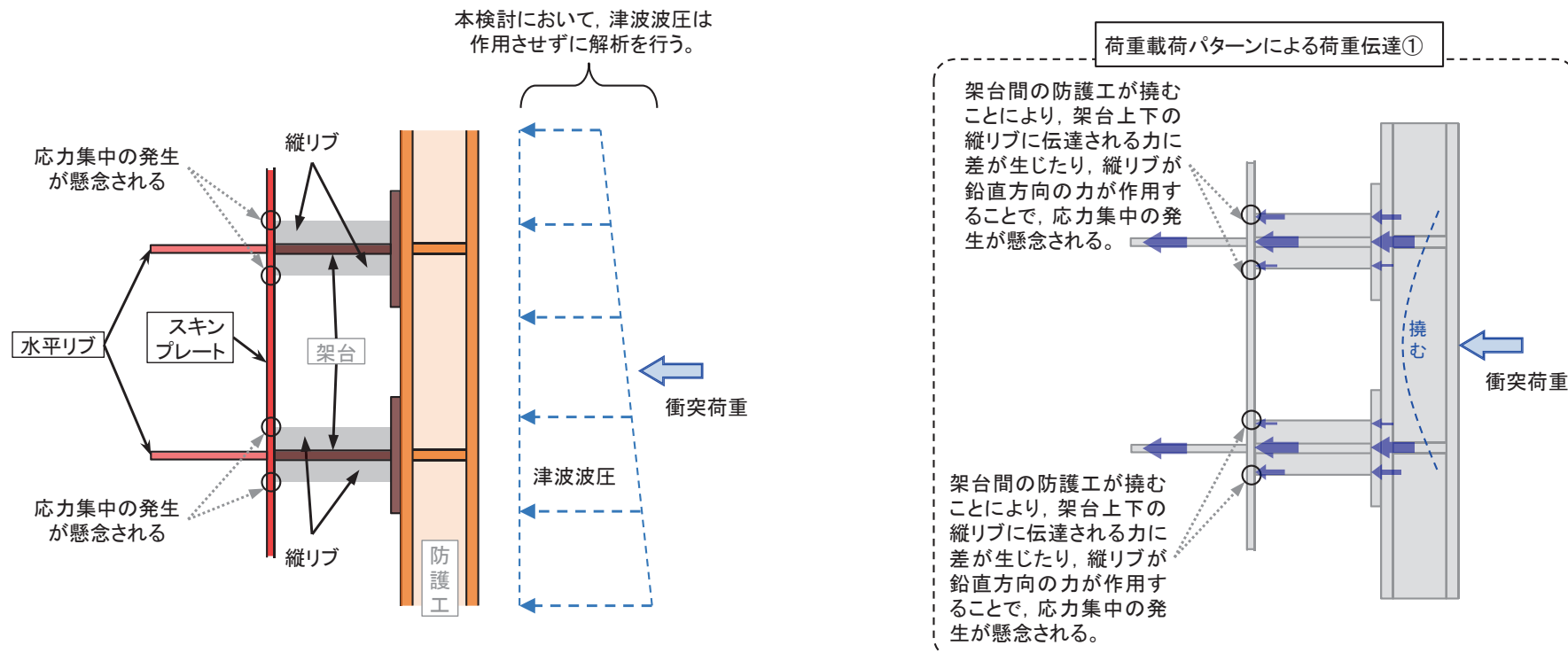
- 衝突荷重(2000kN)のような非常に大きな集中荷重が作用することによって、縦リブとスキンプレート(溶接接合)の端部に応力集中が発生することが懸念されたため、下図に示す設計津波水位(O.P.+25.0m)を中心に架台3段分の三次元モデルを作成し、海側から衝突荷重(2000kN)を静的に作用させてスキンプレートの応力状態を確認した。

- 解析モデルを下図に示す。
- 解析で考慮する荷重については、衝突荷重(2000(kN))のみを作用させることとする(詳細を次頁以降に示す)。

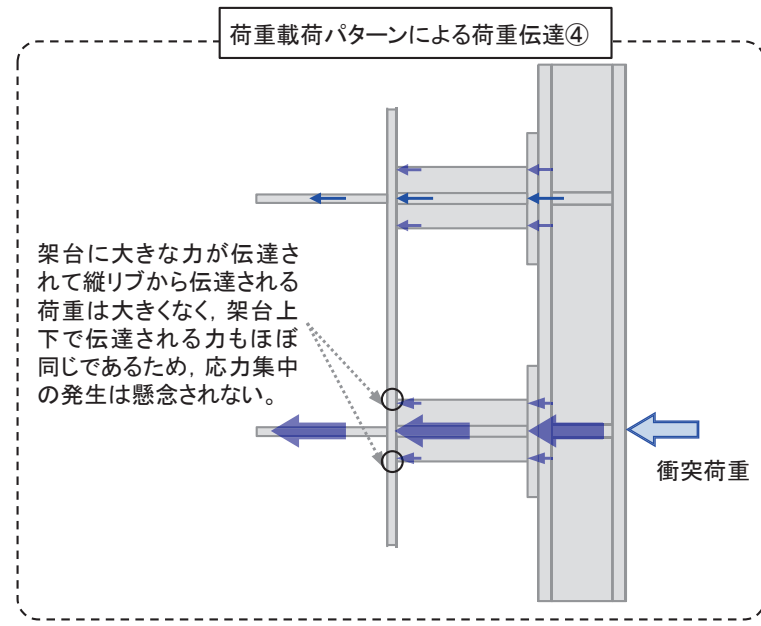
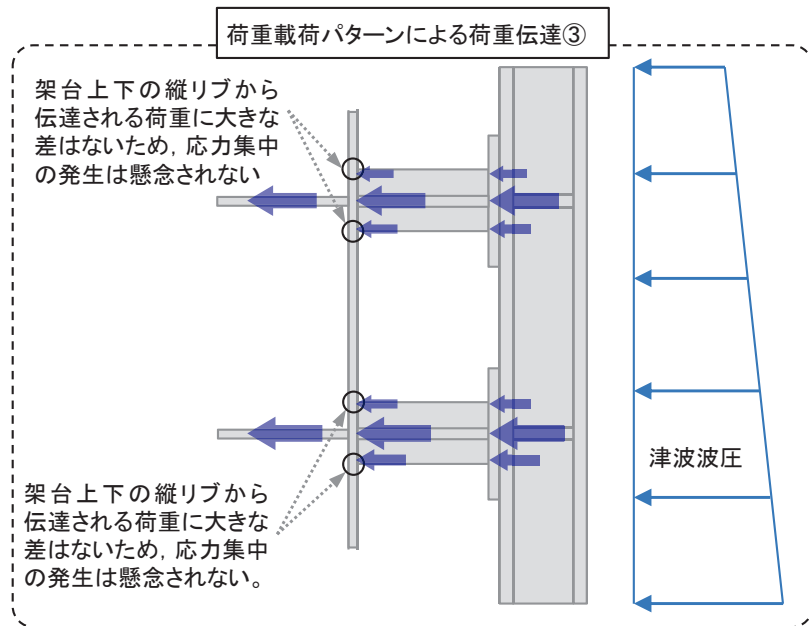
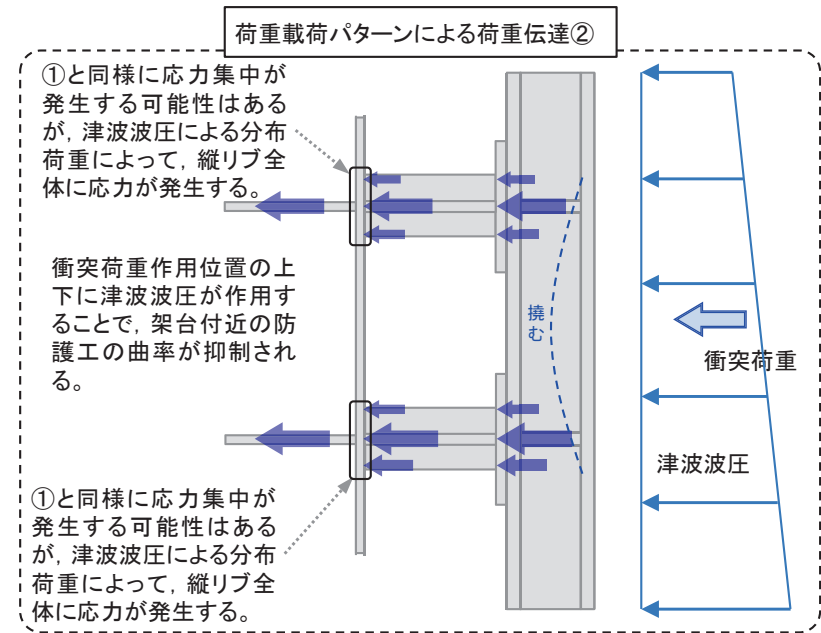


参考6. 漂流物防護工(防潮堤)の架台縦リブのスキンプレートへの影響(3/6)

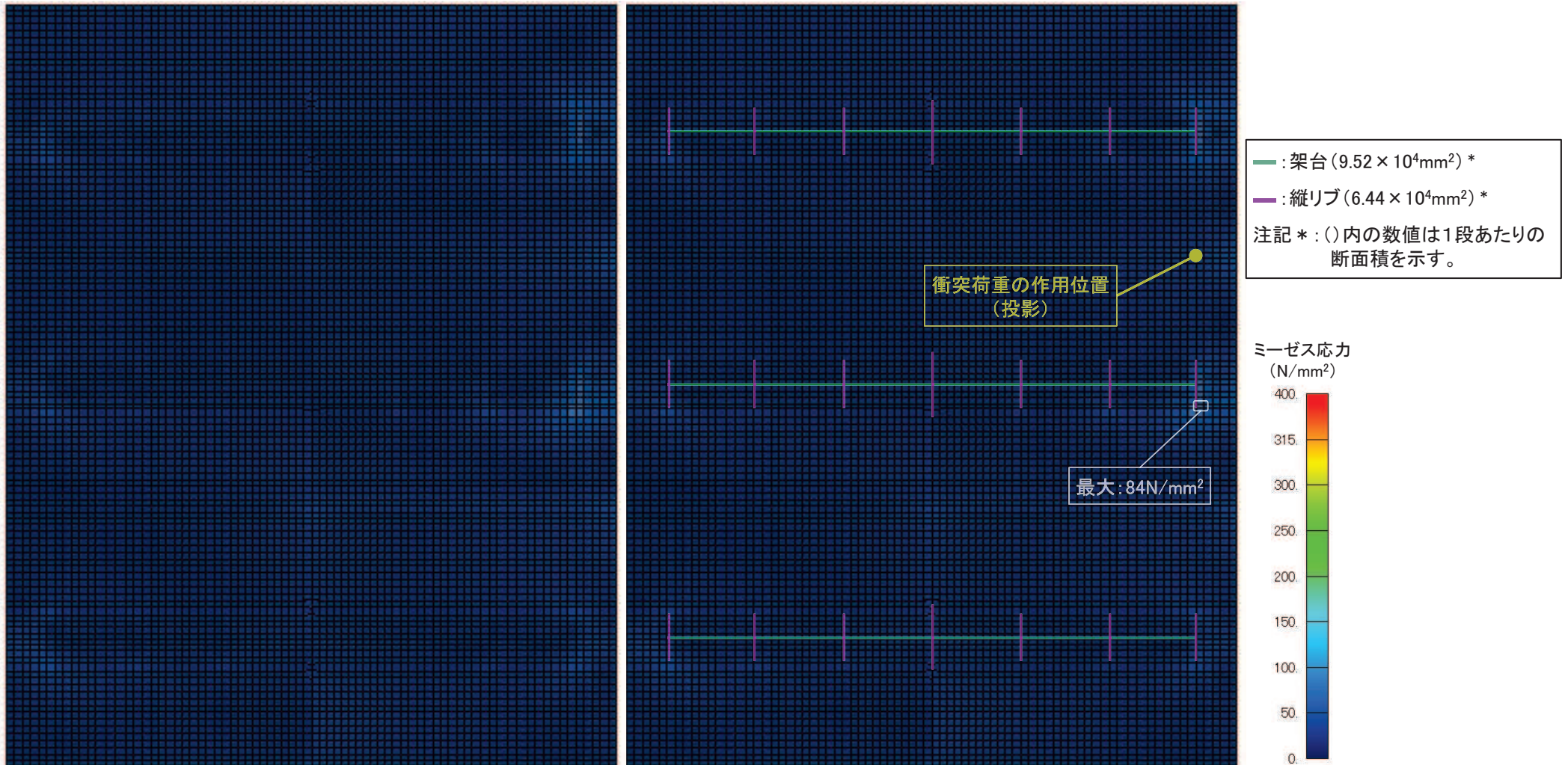
- 解析で考慮する荷重については、以下の点を踏まえて、スキンプレートに応力集中が発生しやすい荷重条件として衝突荷重のみを作用させることとする。
 - ✓ 今回の検討では、縦リブとスキンプレートの接合部に極端な応力集中が発生しないことを確認することが目的である。
 - ✓ 衝突荷重は2000(kN)という非常に大きな荷重を集中荷重として考慮するため、架台と架台の中央に相当する防護工にこの荷重を作用させた場合には、縦リブの鉛直方向に荷重伝達の差が生じ、縦リブ端部のスキンプレートに応力集中が発生させる可能性がある(右下の図)。
 - ✓ 衝突荷重を考慮する場合には津波波圧も重畳させて強度評価を行っているが、津波波圧は分布荷重として作用するため、縦リブにはほぼ均等に荷重が伝達され、縦リブ端部のスキンプレートには応力集中が発生する可能性は低い(次頁参照)。



- 解析で考慮する荷重については、縦リブ端部のスキンプレートに応力集中が発生しやすい荷重条件として衝突荷重のみを作用させる。
- 図に示す3つの荷重パターンについては、荷重伝達の検討を踏まえ、縦リブ端部のスキンプレートに応力集中は発生しにくいと評価した。



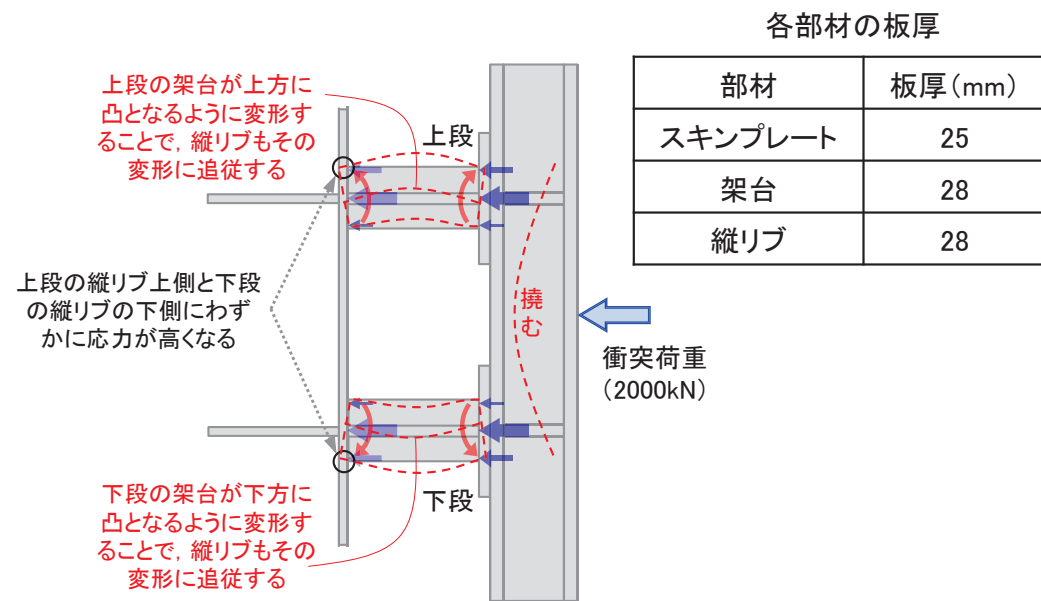
- 解析の結果、スキンプレートの発生応力は最大でも84N/mm²程度(純引張)であり、その周辺にも連続的に応力が発生していることが確認されることから、縦リブ端部のスキンプレートに応力集中が発生している状況ではないと判断した。
- なお、スキンプレートの許容軸方向引張応力度は315N/mm²であるため、今回確認した縦リブによるスキンプレートへの影響を考慮してもスキンプレートの健全性に影響を与えるものではないことを確認した。



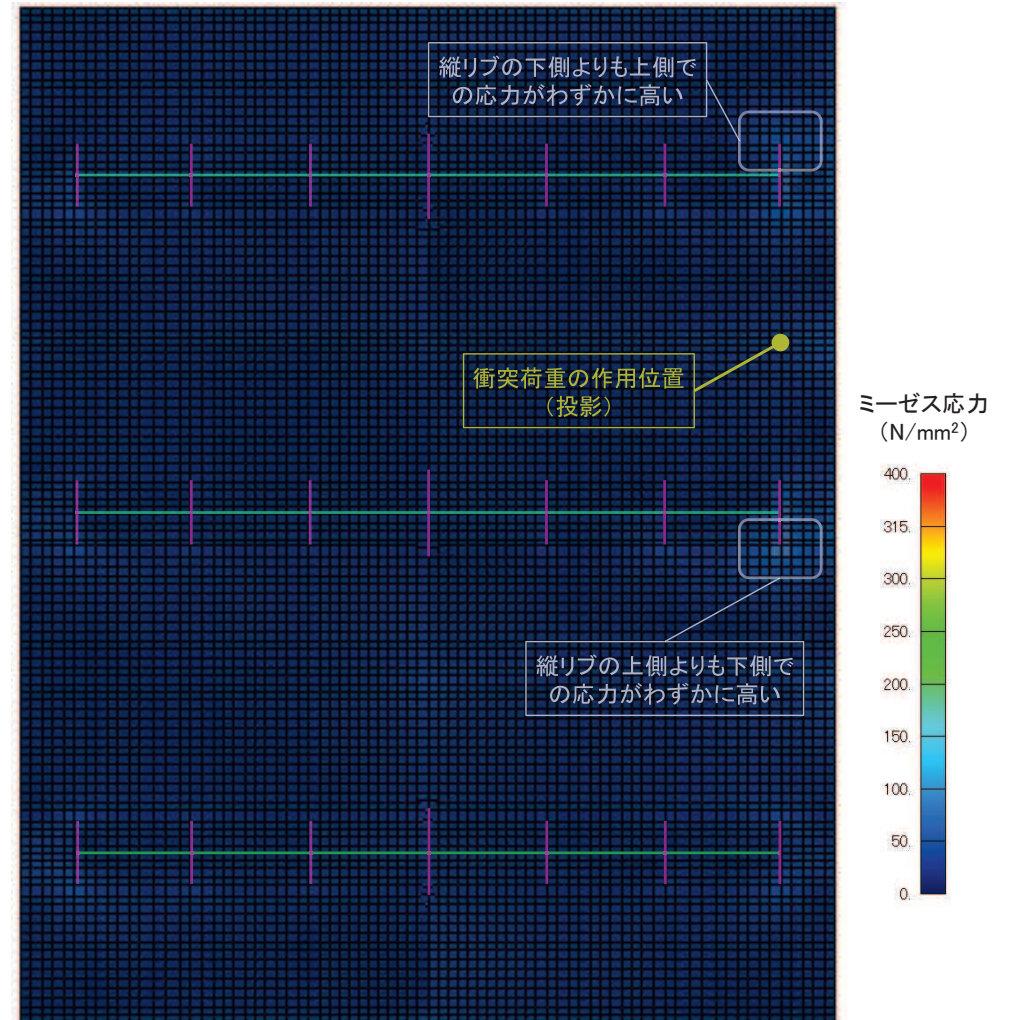
スキンプレートのミーゼス応力分布図(荷重:衝突荷重)
 (架台及び縦リブ設置位置表示なし)

スキンプレートのミーゼス応力分布図(荷重:衝突荷重)
 (架台及び縦リブ設置位置表示あり)

- 解析の結果、衝突荷重を作用させた位置の上段の縦リブでは下側よりも上側のスキンプレートでわずかに応力が大きくなっている。逆に、下段の縦リブでは上側よりも下側のスキンプレートでわずかに応力が大きくなっていることが確認された。
- これは、衝突荷重が作用した際に、下図のような変形状態となり生じたものと考えられる。
- ただし、架台、縦リブ及びスキンプレートの板厚はいずれも十分に厚いため、架台の変形が小さく、架台上下でわずかにスキンプレートに生じる応力に差が生じたものと推察される。
- また、スキンプレートを挟んで縦リブの反対側に部材が無いこと、スキンプレートに接続する部材の端部は縦リブとなっていること、架台1段当たりの架台断面積($9.52 \times 10^4 \text{mm}^2$)と縦リブ断面積($6.44 \times 10^4 \text{mm}^2$)は3:2の比率で、架台断面積に対して縦リブの断面積が近いことから、縦リブ周辺のスキンプレートに応力が発生したものと考えられる。



変形のイメージ図



— : 架台 ($9.52 \times 10^4 \text{mm}^2$) *
 — : 縦リブ ($6.44 \times 10^4 \text{mm}^2$) *
 注記 * : () 内の数値は1段あたりの断面積を示す。

ミーゼス応力分布図
 (架台及び縦リブ設置位置表示あり)

参考7. 漂流物防護工(防潮堤)の構造成立性(評価結果:地震時及び余震重畳時)

- 地震時及び余震重畳時の各部材の評価結果を下表に示す。
- 漂流物防護工の各部材は、地震時及び余震重畳時においても発生する応力が許容限界以下であることを確認した。

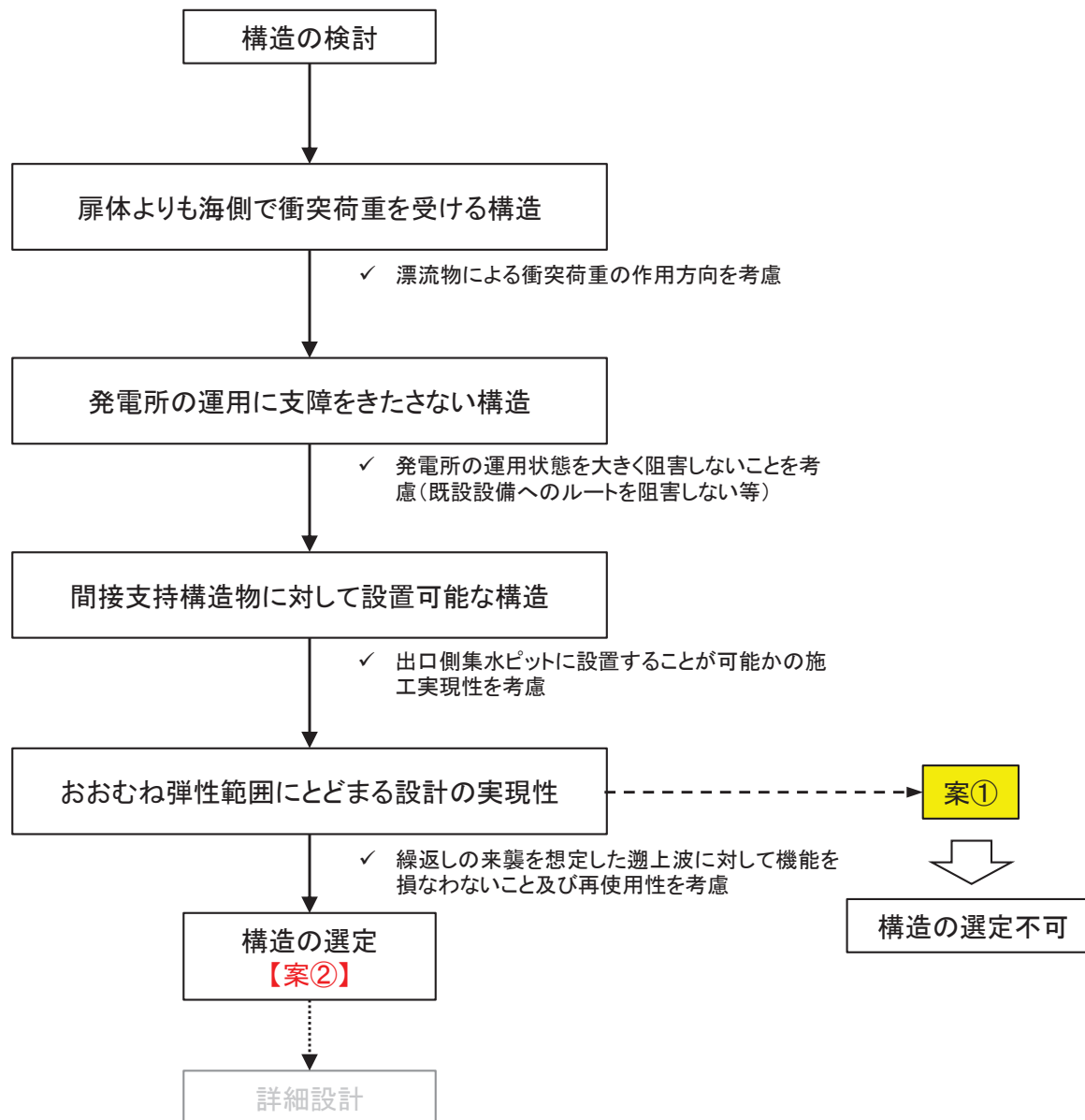
防潮堤のうち漂流物防護工の評価結果

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	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
	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	21	315	0.08
			せん断応力度 (N/mm ²)	13	180	0.08
			合成応力度*	0.01	1.20	0.01
	防護工取付け ボルト	強度区分8.8	引張応力度 (N/mm ²)	52	540	0.10
			せん断応力度(N/mm ²)	18	300	0.06
	余震重畳時	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	19	382
せん断応力度 (N/mm ²)				13	217	0.06
合成応力度*				0.01	1.20	0.01
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

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。

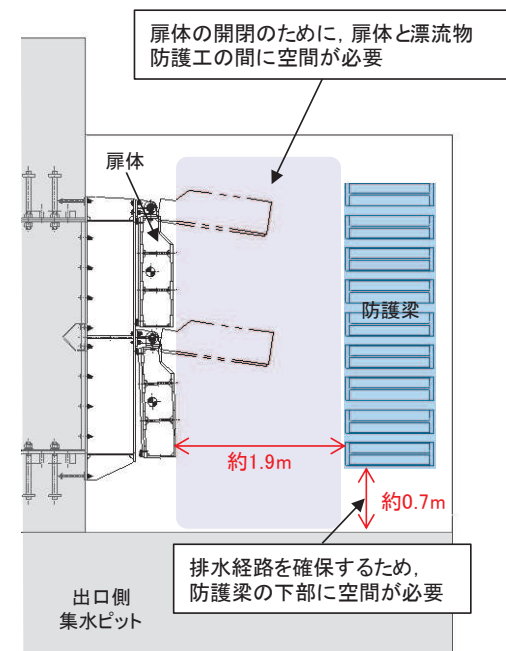
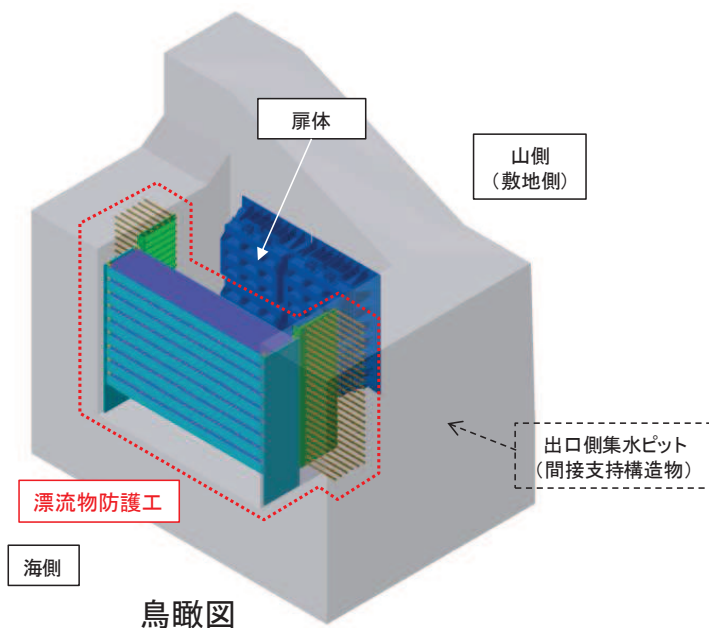
- 基準津波第一波の寄せ波時において、漂流物による衝突荷重は海から敷地に向かう方向に作用し、この衝突荷重と重畳させる津波荷重も作用方向は同じである。
- そのため、追加設置する漂流物防護工は、主として海から敷地に向かう方向の荷重に抵抗する構造となるよう設計する。
- 追加設置する漂流物防護工は、以下に示す制約条件を設けて、構造選定を行った上で、詳細設計することとした。

ここでは、選定した案②の他に、選定されなかった構造案を次頁に示す。

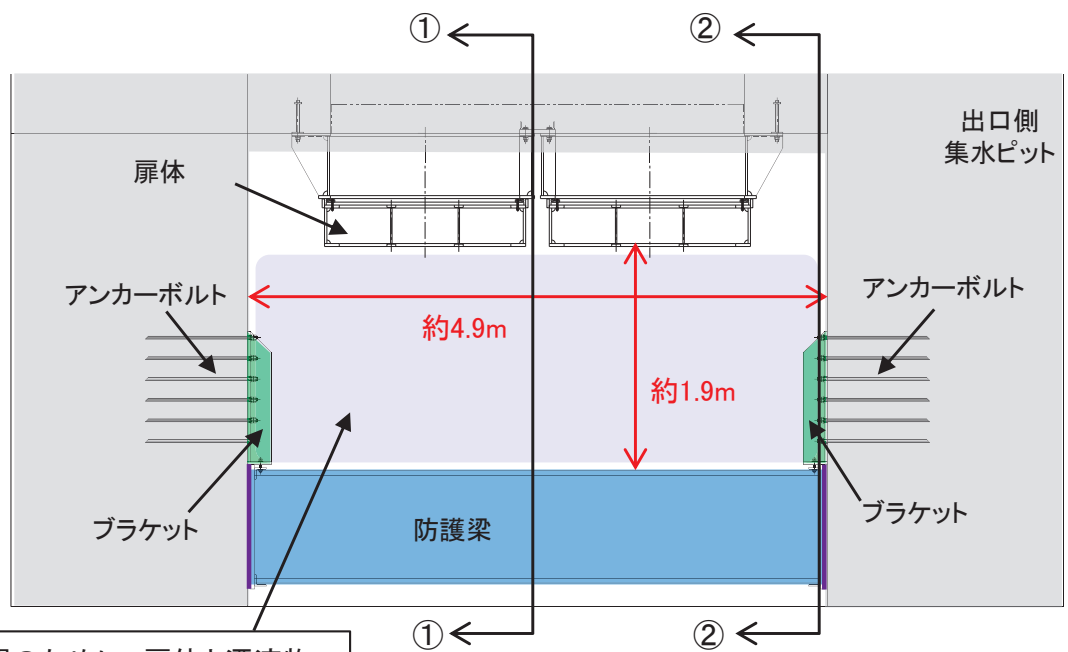


案	案①(防護梁を直接出口側集水ピットで支持)		(採用案)案②(防護梁をブラケットを介して出口側集水ピットで支持)	
構造概要				
設計コンセプト	<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲にとどまる設計。 ▶ 扉体前面に防護梁を設置し、扉体に漂流物を衝突させない。 ▶ 防護梁はアンカーボルトで出口側集水ピットに直接固定。 		<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲にとどまる設計。 ▶ 扉体前面に防護梁を設置し、扉体に漂流物を衝突させない。 ▶ 防護梁はブラケットを介してアンカーボルトで出口側集水ピットに固定。 	
発電所の運用	▶ 特に問題なし。	○ ▶ 特に問題なし。	○	
施工実現性	▶ 特に問題なし。	○ ▶ 特に問題なし。	○	
設計実現性	▶ 配置可能な本数でのアンカーボルトでは裕度が確保できない。	× ▶ 案①より部材が増える。	△	
採否	×		○	

- 漂流物防護工の形状を決めるに当たっては、扉体の開閉を考慮し、扉体と漂流物防護工の間に空間を設けることとした。
- 排水経路を確保するために、防護梁下部に空間を設けることとした。
- 津波来襲時に防護梁海側が浮き上がろうとして傾く挙動が生じる可能性を踏まえ、その配慮として押さえ工を設けることとした。

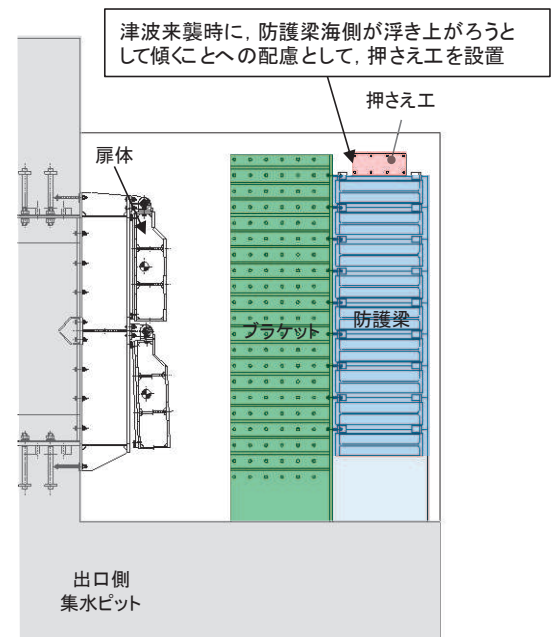


①-①断面図



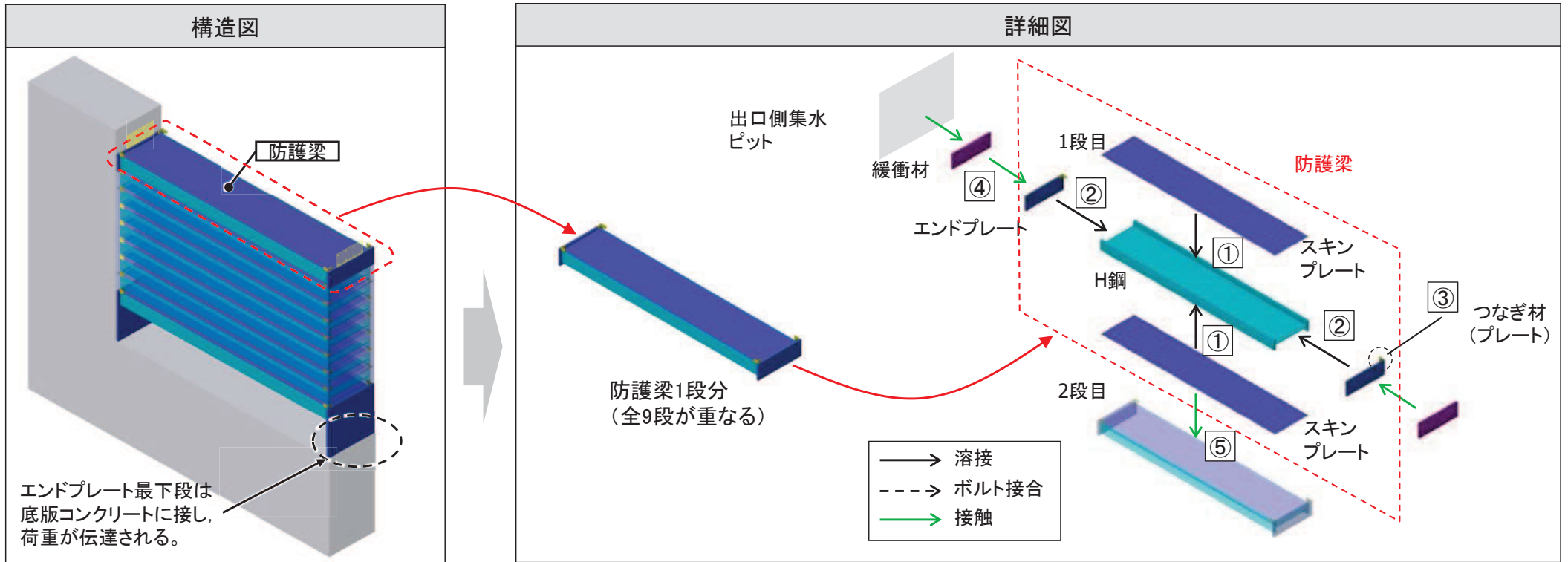
扉体の開閉のために、扉体と漂流物防護工の間に空間が必要

平面図

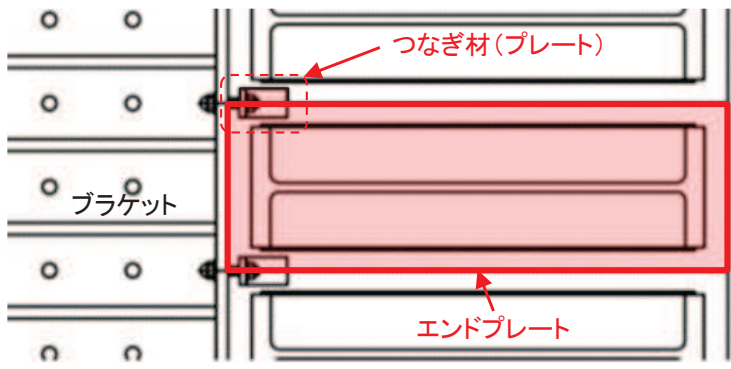


②-②断面図

参考9. 漂流物防護工(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))の詳細構造 (防護梁)

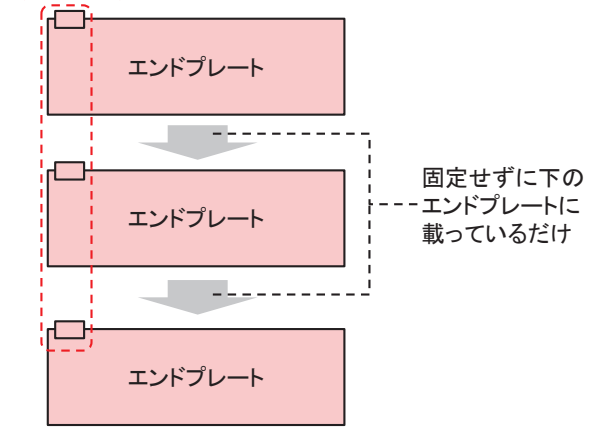


つなぎ材(プレート)とエンドプレートの接続詳細(③の詳細)



エンドプレートの上部にのみ、つなぎ材(プレート)が溶接されており、このつなぎ材(プレート)は、上のエンドプレートと固定されておらず、接触しているのみである。

つなぎ材(プレート)



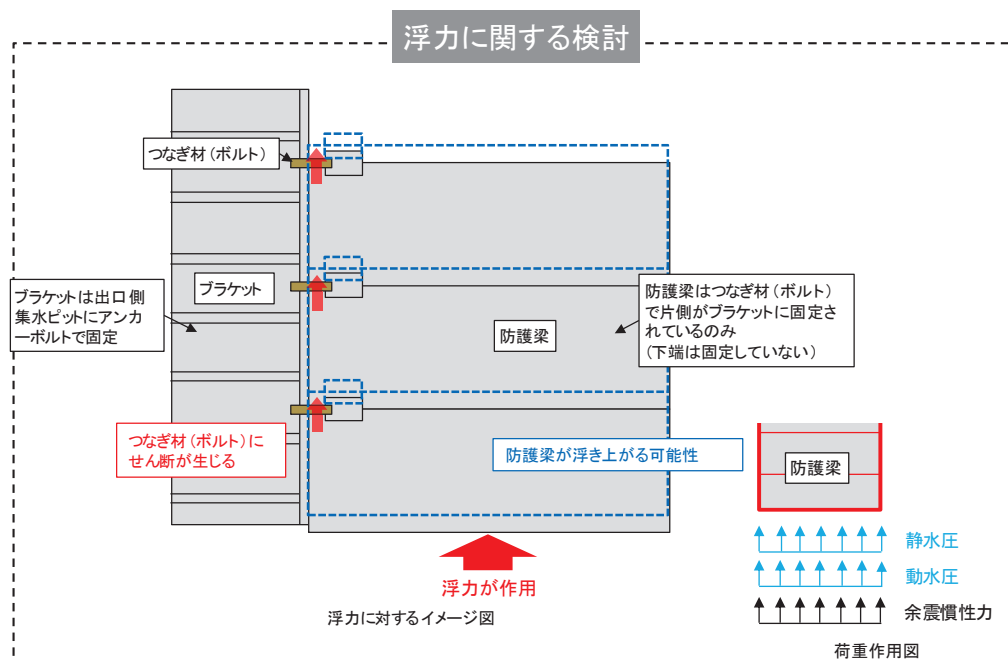
エンドプレート同士の接続イメージ

接合方法詳細

番号	詳細
①	H鋼とスキンプレートは溶接にて接合する。
②	H鋼とエンドプレートは溶接にて接合する。
③	エンドプレートはつなぎ材(プレート)の下半分の面を溶接にて接合する。
④	防護梁と出口側集水ピットは、構造的に分離させるため、緩衝材を介して接触させる。
⑤	防護梁間(エンドプレート間)は溶接やボルト接合等を行わず、接触にて重ねる。(全9段。最下段は出口側集水ピットに接するようにエンドプレートを延長する)

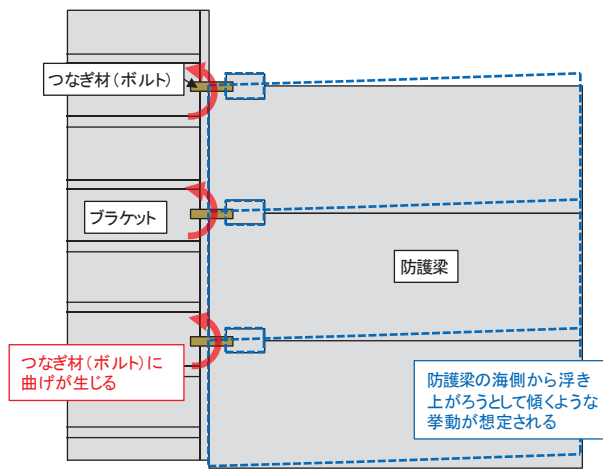
参考9. 漂流物防護工(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))の詳細構造 (押さえ工)

- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の漂流物防護工のうち防護梁は中空構造であるため、浮力に関する検討を行った。
- 入力津波水位(O.P.+24.4m)となった状態では、屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)は海中に没水する。この状態で余震荷重が作用した場合を想定し、防護梁の下部に静水圧+動水圧+余震慣性力を考慮した検討を実施した。
- その結果、上記の外力に対して防護梁を固定するつなぎ材(ボルト)は健全であり、防護梁が浮かないことを確認した。
- 上記により防護梁は浮き上がらないものの、津波来襲時に防護梁海側が浮き上がろうとして傾くような挙動が生じる可能性があることから、その配慮として、押さえ工を取り付ける。

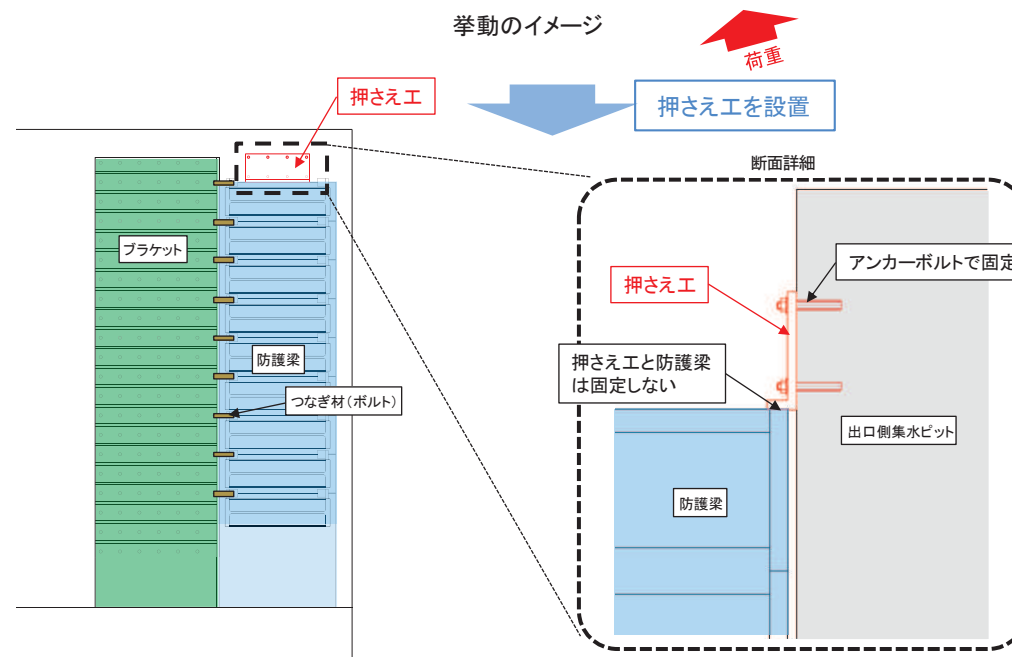


浮力に対する評価結果

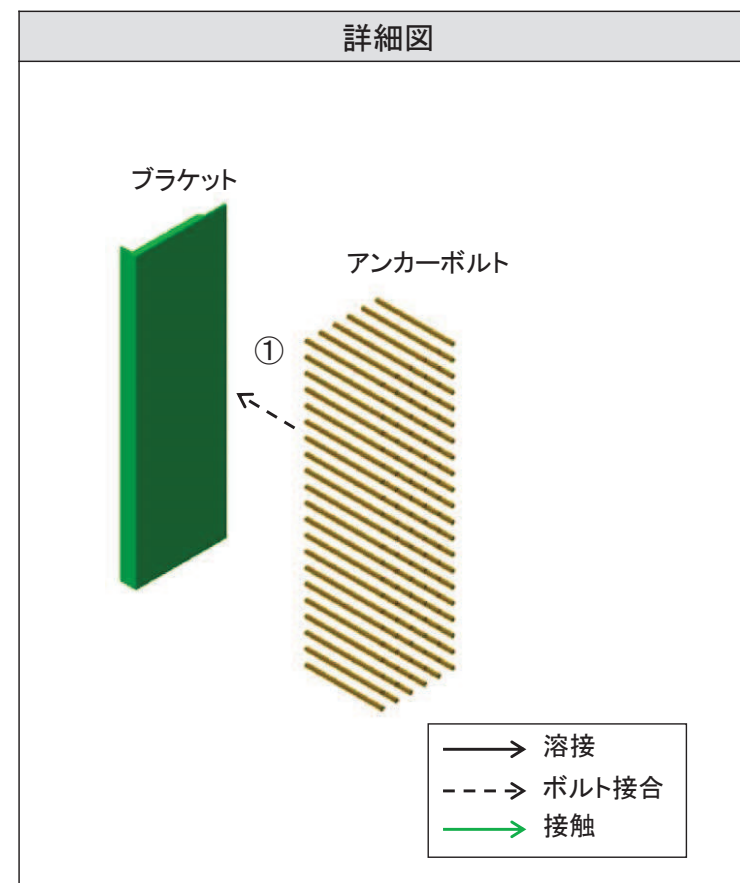
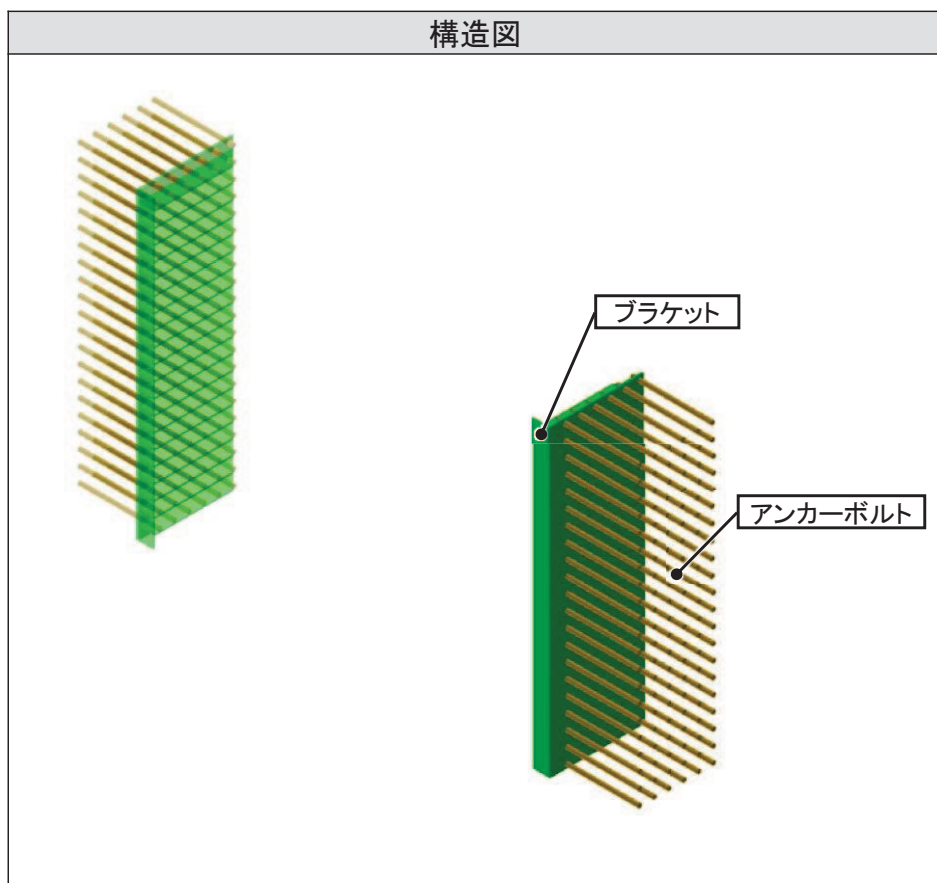
照査部材	発生値	許容値	照査値	備考
つなぎ材(ボルト)の健全性	81.6 (N/mm ²)	135 (N/mm ²)	0.61	つなぎ材(ボルト)は健全であるため、防護梁は浮かない。



挙動のイメージ



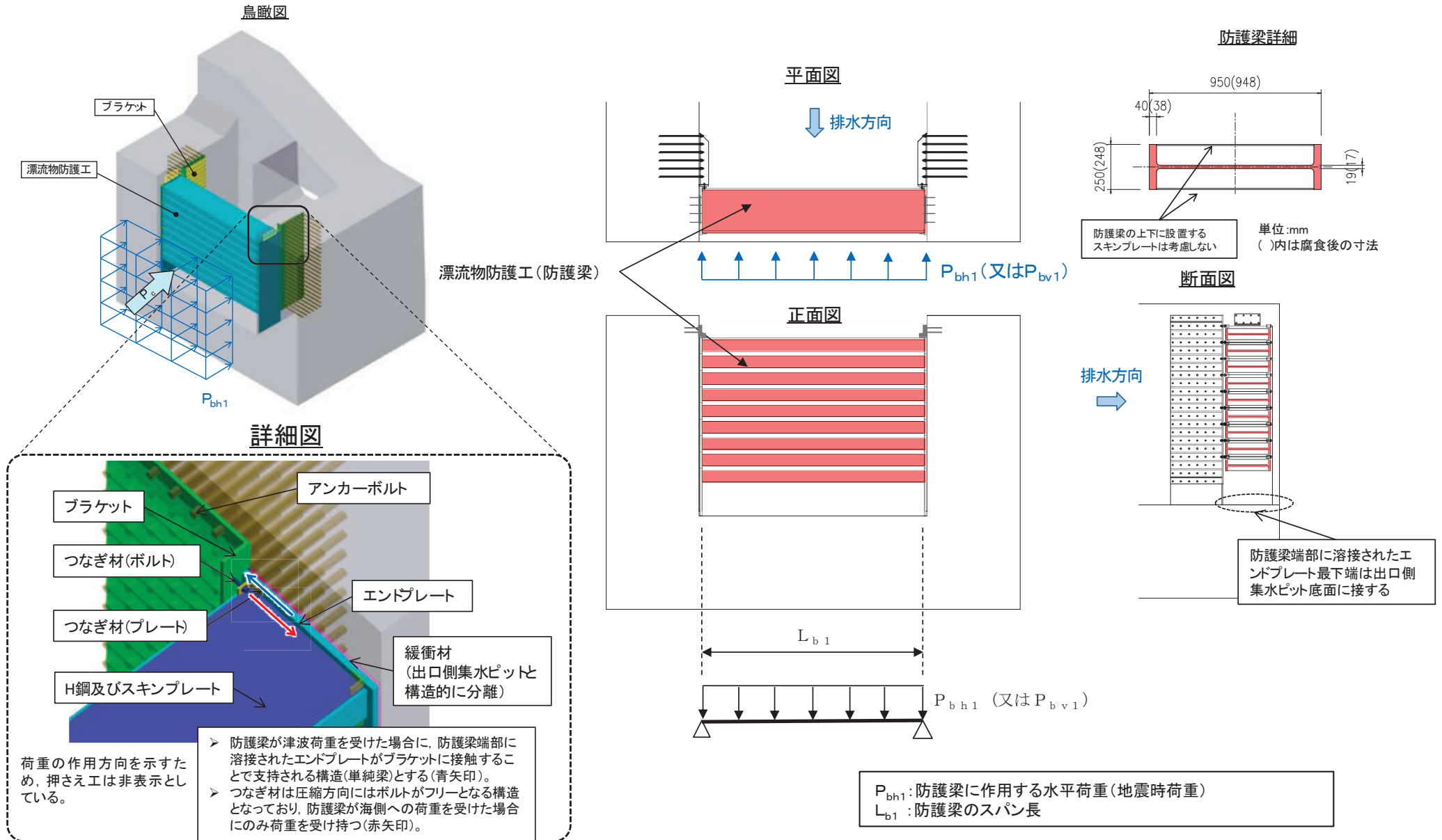
押さえ工のイメージ



接合方法詳細

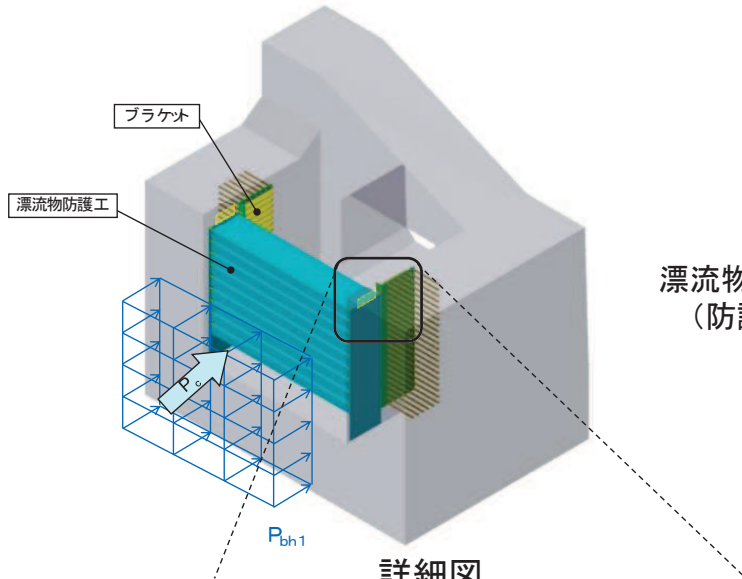
番号	詳細
①	ブラケットとアンカーボルトはボルトにて接合する

- 防護梁は、海側→山側方向への荷重作用時は両端のエンドプレートがブラケットに接触し支持され、山側→海側方向への荷重作用時はつなぎ材(ボルト)を介してブラケットに支持されるため、単純梁としてモデル化する。

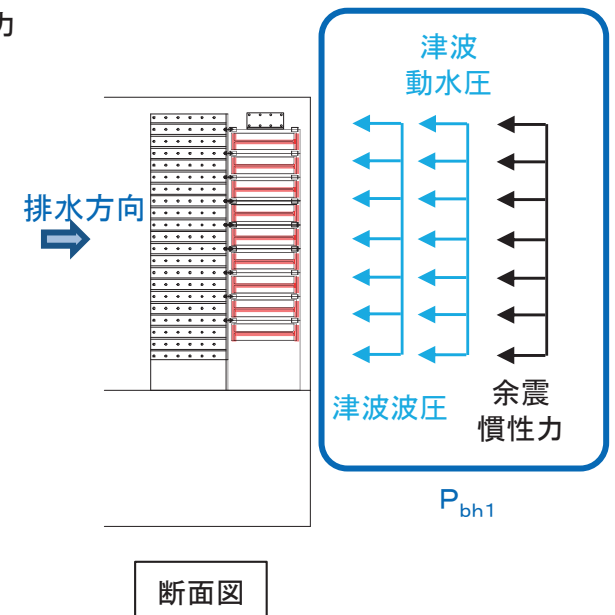
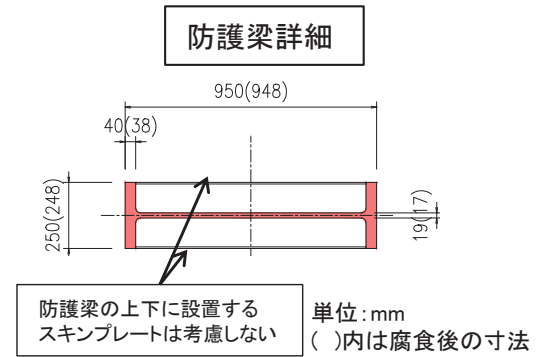
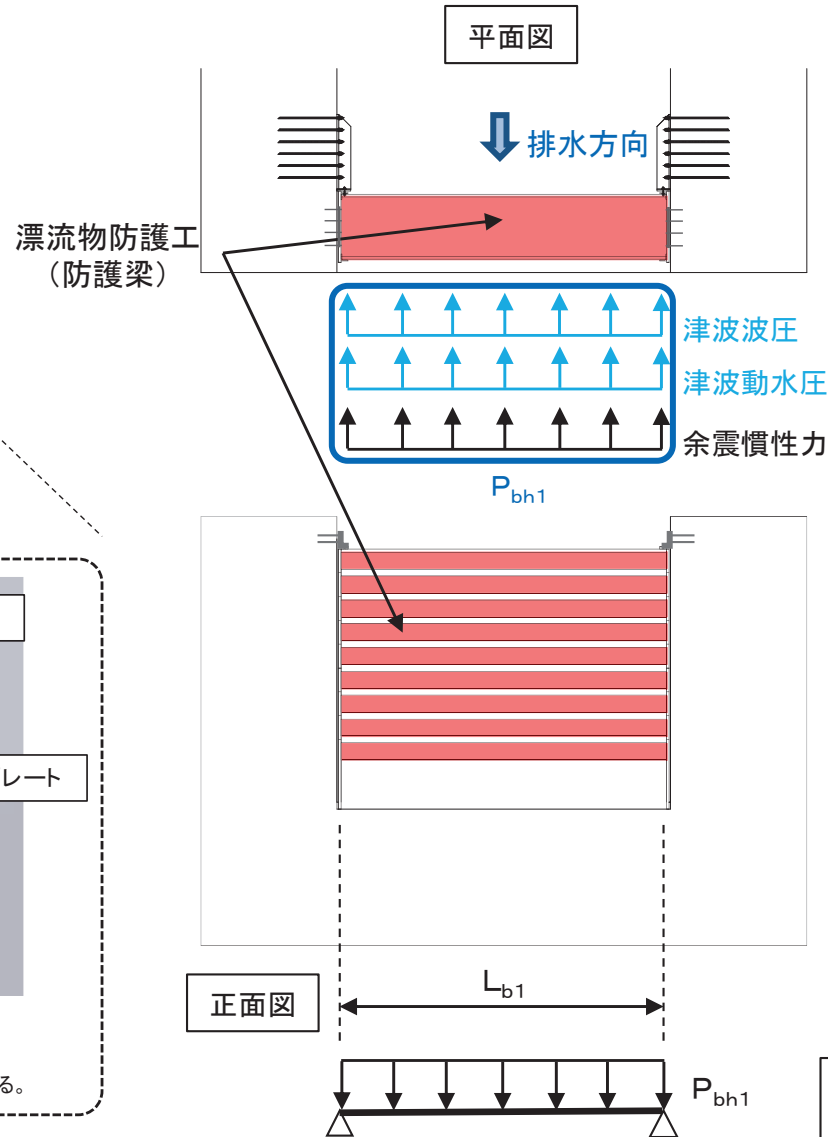
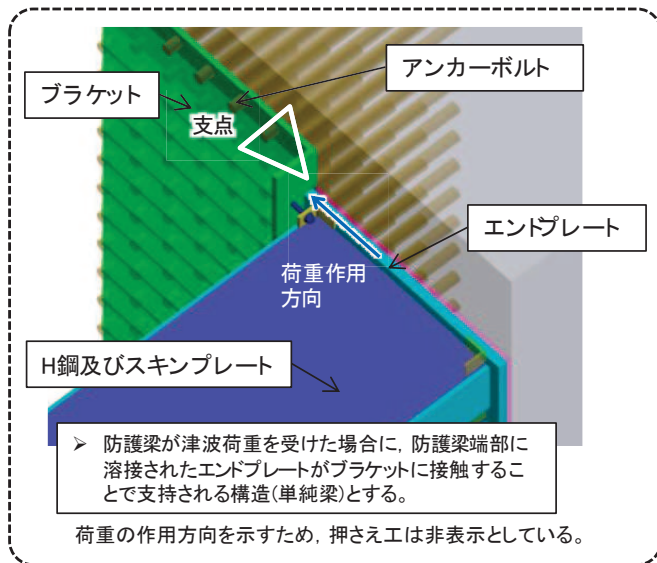


- 防護梁は、両端のエンドプレートがブラケットに接触し支持されるため、単純梁としてモデル化する。
- 評価対象の防護梁に作用する津波波圧は、台形の分布荷重となるが、保守的に漂流物防護工の下端に作用する津波波圧を等分布荷重として考慮する。

鳥瞰図

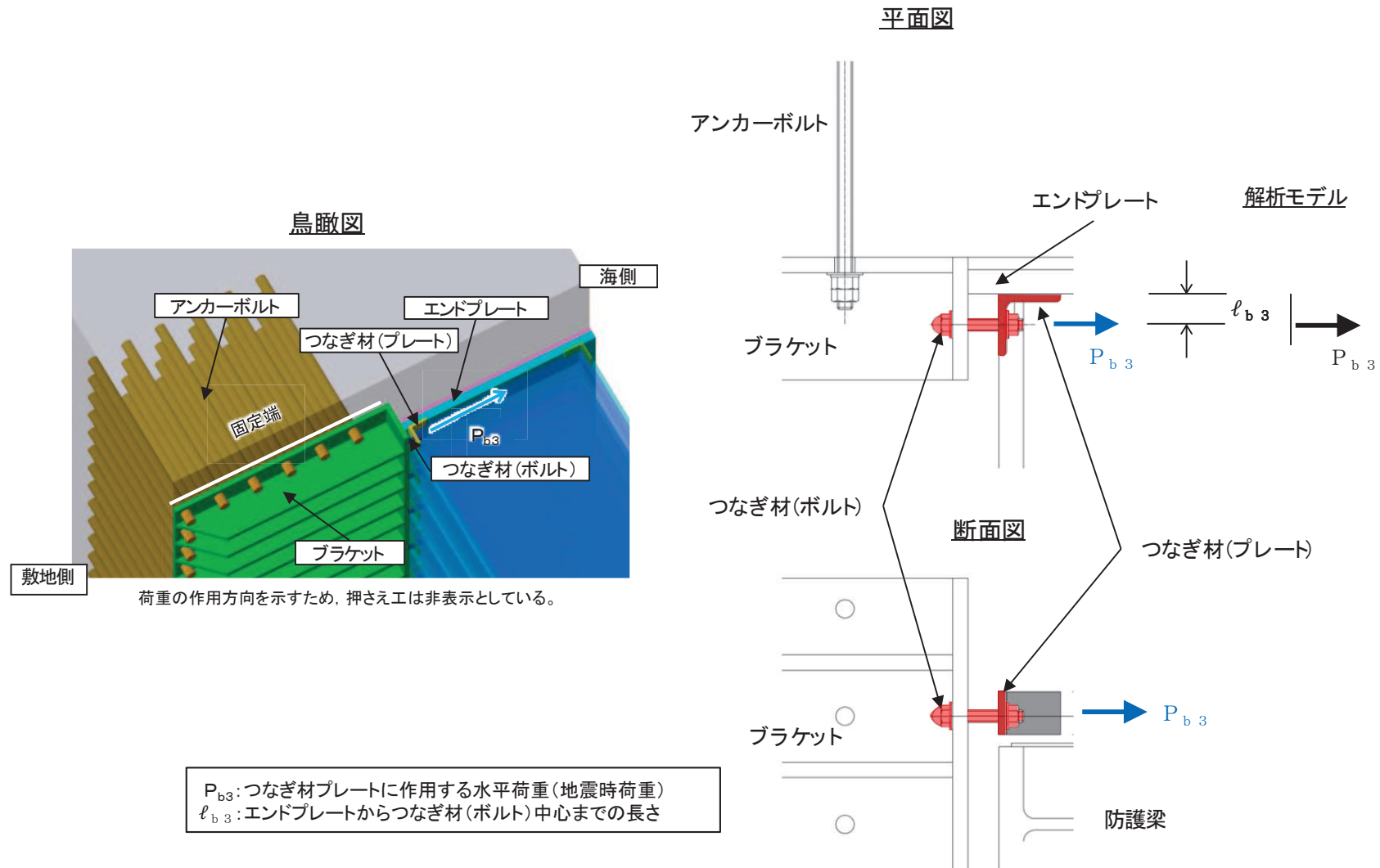


詳細図

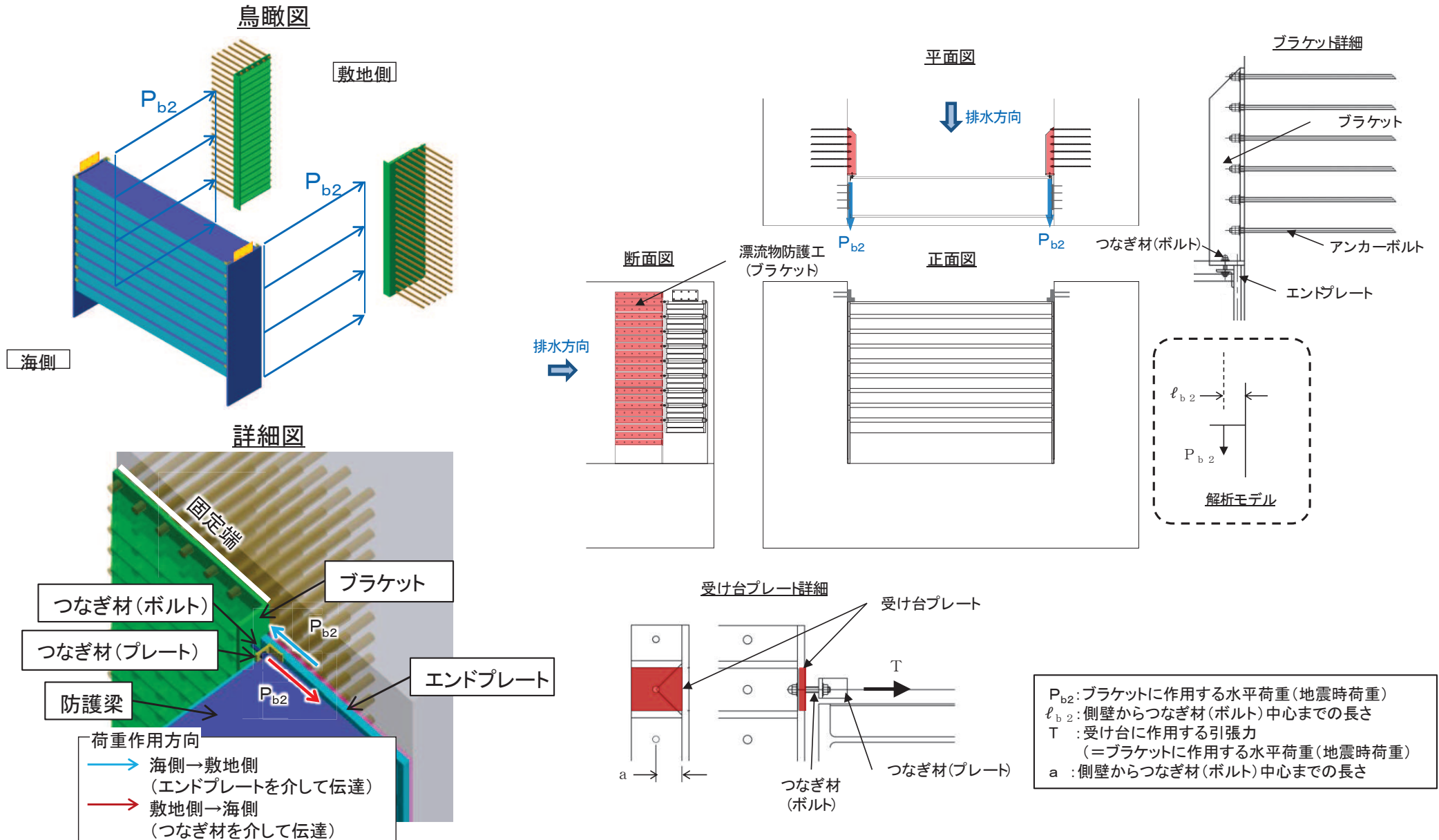


P_c : 衝突荷重
 P_{bh1} : 防護梁に作用する水平荷重(津波波圧)
 L_{b1} : 防護梁のスパン長

- つなぎ材(プレート)は、エンドプレートに溶接されていることから、エンドプレートを固定端とした片持ち梁でモデル化する。
- つなぎ材(ボルト)は、山側→海側への荷重に対して、ボルトに生じる引張力の照査を行う。

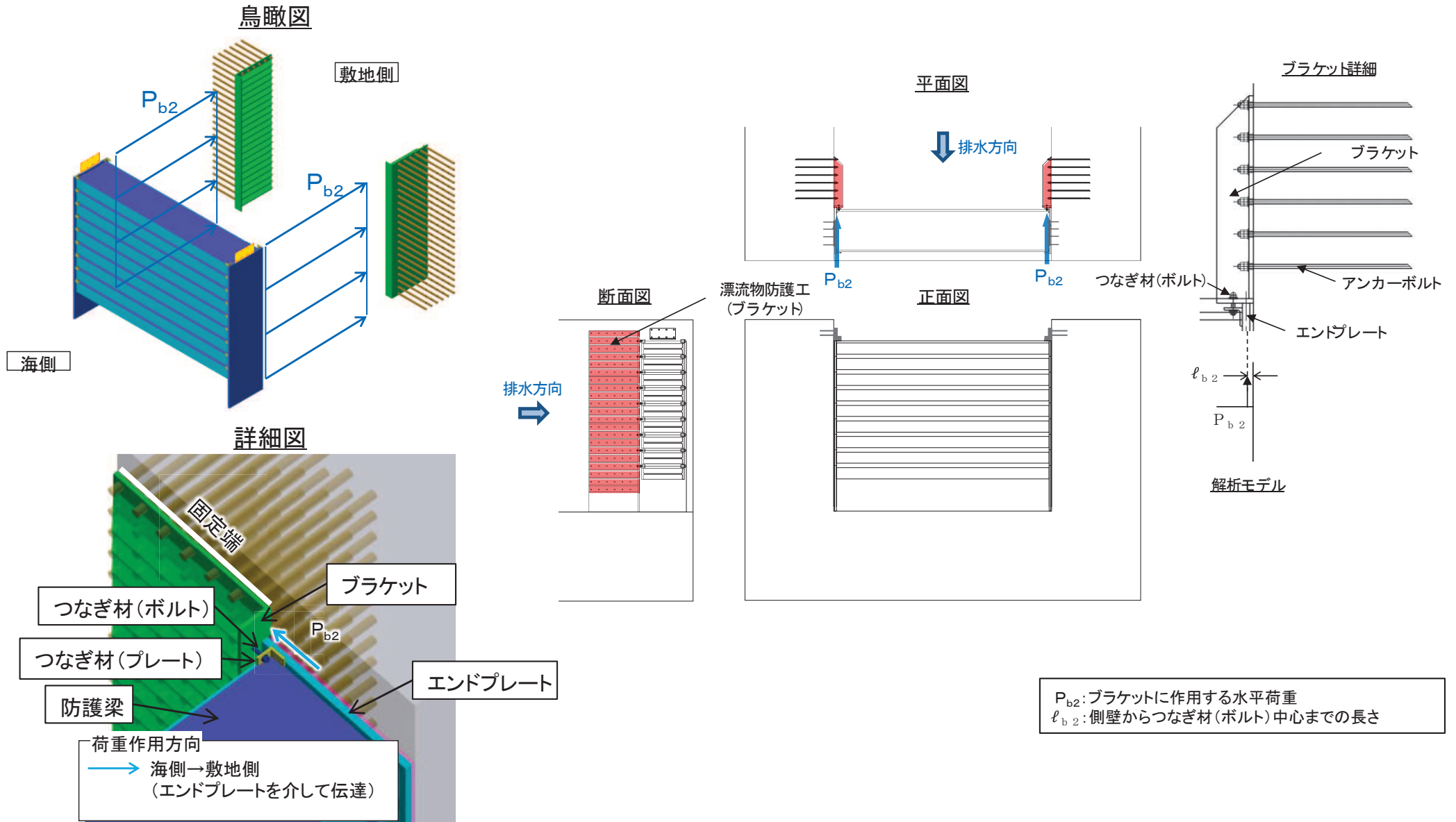


- ▶ ブラケットは、出口側集水ピット側壁に埋め込まれたアンカーボルトを固定端として支持される構造であることから、片持ち梁としてモデル化する。



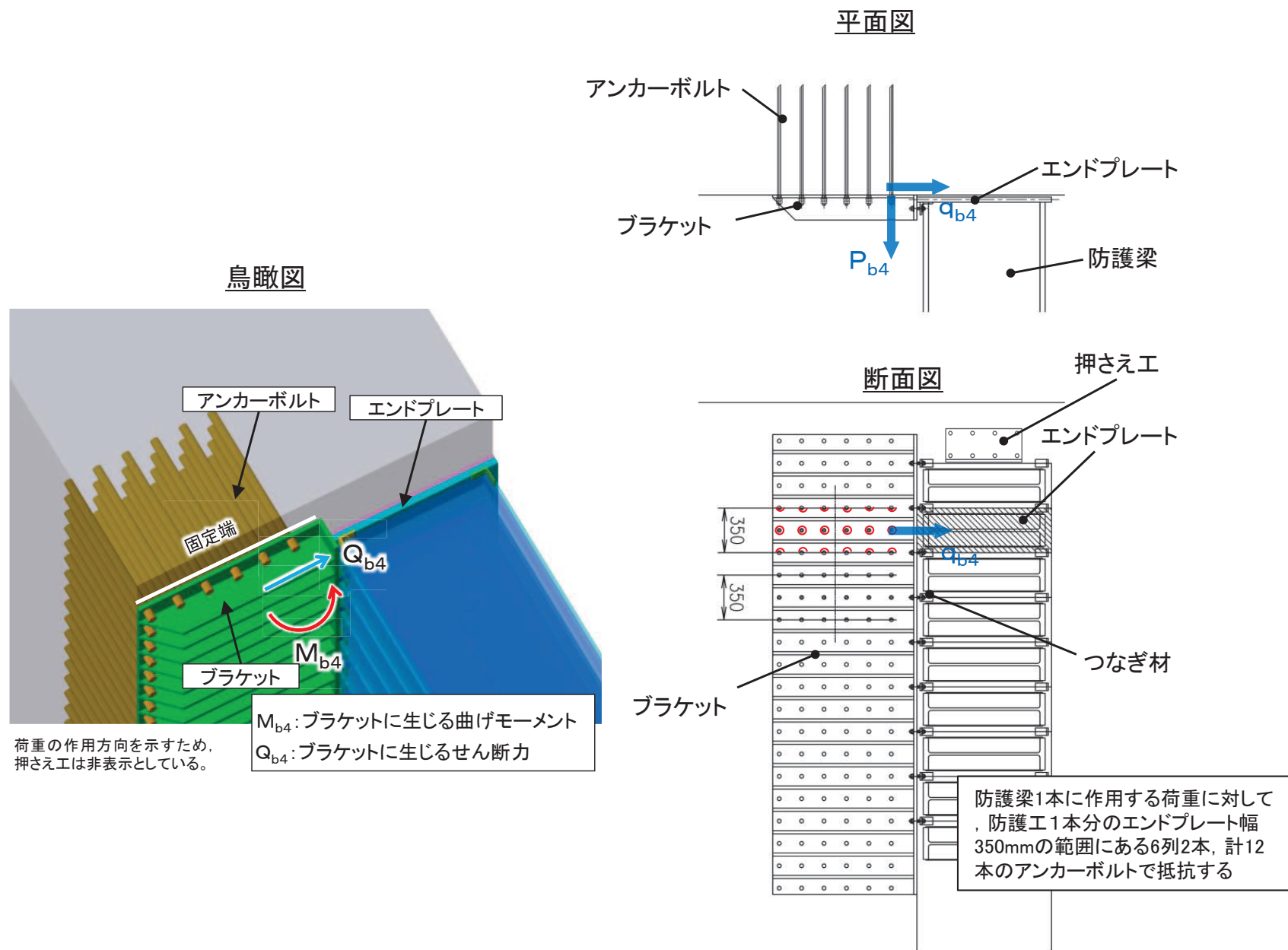
P_{b2} : ブラケットに作用する水平荷重(地震時荷重)
 l_{b2} : 側壁からつなぎ材(ボルト)中心までの長さ
 T : 受け台に作用する引張力
 (=ブラケットに作用する水平荷重(地震時荷重))
 a : 側壁からつなぎ材(ボルト)中心までの長さ

- ▶ ブラケットは、出口側集水ピット側壁に埋め込まれたアンカーボルトを固定端として支持される構造であることから、片持ち梁としてモデル化する。

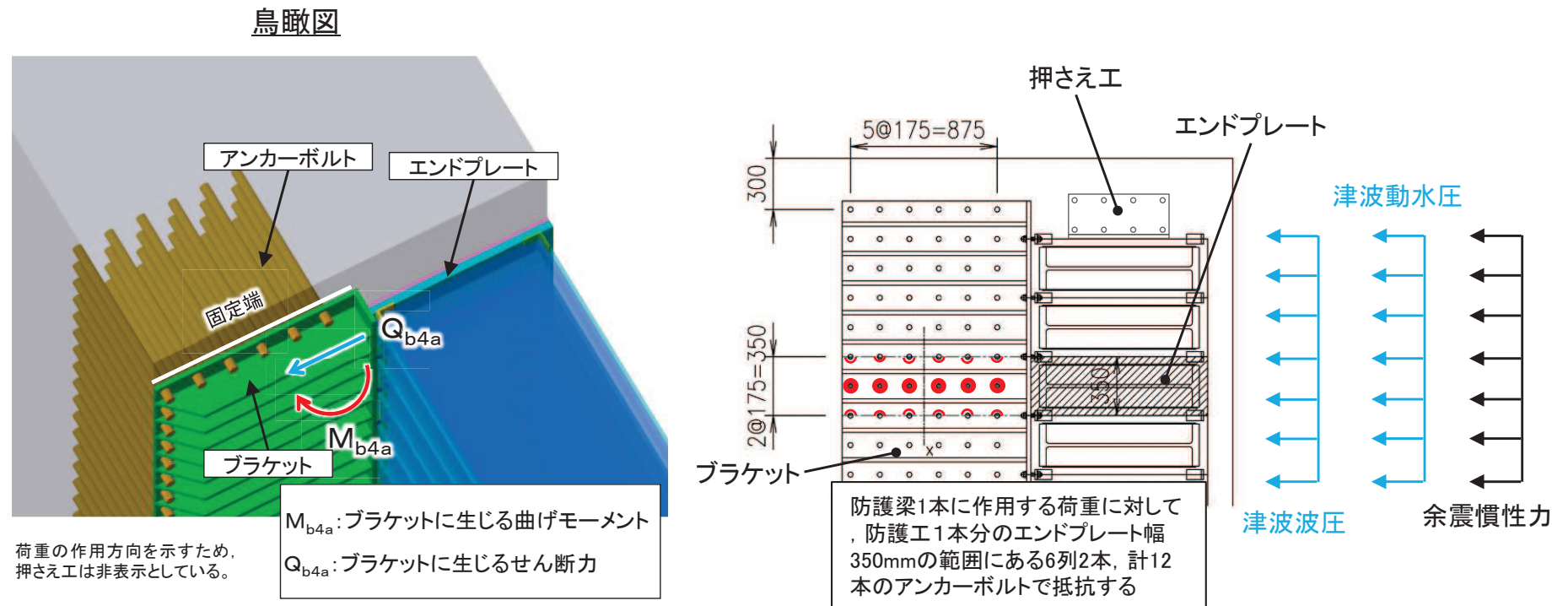


荷重の作用方向を示すため、押さえ工は非表示としている。

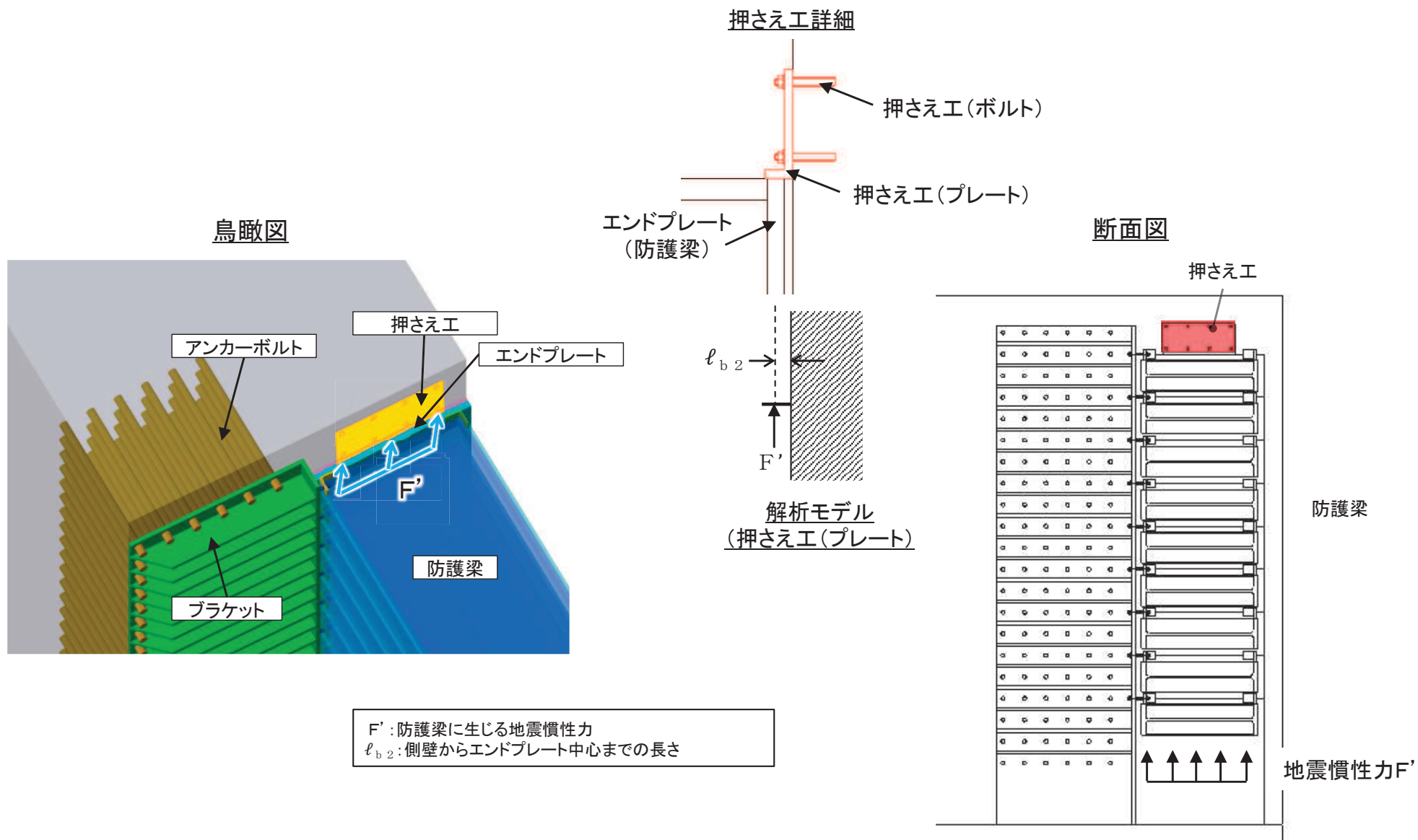
- アンカーボルトは、ブラケットに発生した曲げモーメント及びせん断力に対して照査を行う。



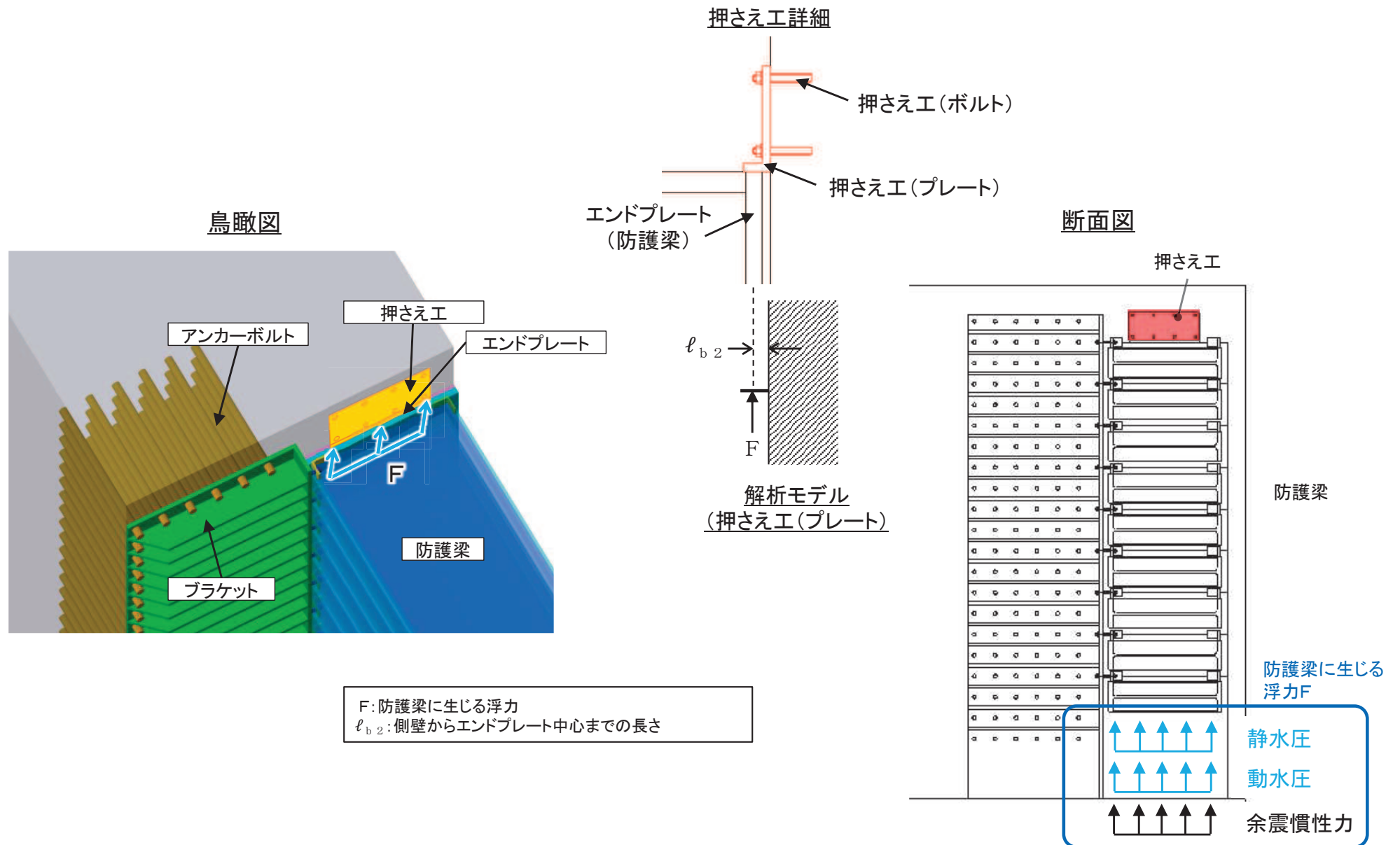
- アンカーボルトは、ブラケットに発生した曲げモーメント及びせん断力に対して照査を行う。



- 押さえ工(プレート)は防護梁のエンドプレートから受ける曲げ及びせん断力, 押さえ工(ボルト)は押さえ工(プレート)に発生する曲げモーメント及びせん断力に対して照査を行う。



- 押さえ工(プレート)は防護梁のエンドプレートから受ける曲げ及びせん断力, 押さえ工(ボルト)は押さえ工(プレート)に発生する曲げモーメント及びせん断力に対して照査を行う。



- 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耐震評価結果を下表に示す。
- 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, 押さえ工については, 他の部材と同様, 許容限界(短期許容応力度)以下となるよう設計する。

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耐震評価結果

部材		地震力方向	材質	応力成分	発生応力 a(N/mm ²)	許容応力 b(N/mm ²)	照査値 (a/b)	
地震時	防護梁	水平	水路縦断方向	曲げ応力度	2	382	0.01	
				せん断応力度	2	217	0.01	
				合成応力度*	0.01	1.2	0.01	
		鉛直		鉛直方向	曲げ応力度	41	382	0.11
					せん断応力度	2	217	0.01
					合成応力度*	0.02	1.2	0.02
	—	水路縦断方向 鉛直方向	二軸応力	0.02	1.2	0.02		
	ブラケット		水路縦断方向	SM570	曲げ応力度	111	382	0.30
	つなぎ材 (プレート)	水路縦断方向	SM570	曲げ応力度	117	382	0.31	
				せん断応力度	11	217	0.06	
				合成応力度*	0.10	1.2	0.09	
	アンカーボルト	水路縦断方向	SD345	せん断応力度	20	217	0.10	
				応力成分	発生値 a(kN)	許容値 b(kN)	照査値 (a/b)	
				引張	1	105	0.01	
				せん断	2	85	0.03	
				合成*	0.01	1.2	0.01	

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。

- 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余震重畳時(寄せ波時)の強度評価結果を下表に示す。
- 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、押さえ工については、他の部材と同様、許容限界(短期許容応力度)以下となるよう設計する。

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強度評価結果(余震重畳時(寄せ波時))

部材		地震力方向	材質	応力成分	発生応力 a(N/mm ²)	許容応力 b(N/mm ²)	照査値 (a/b)	
余震重畳時 (寄せ波時)	防護梁	水平	水路縦断方向	SM570	曲げ応力度	35	382	0.10
					せん断応力度	20	217	0.10
					合成応力度*	0.02	1.2	0.02
		鉛直	鉛直方向		曲げ応力度	43	382	0.12
					せん断応力度	2	217	0.01
					合成応力度*	0.02	1.2	0.02
	—	水路縦断方向 鉛直方向	二軸応力	0.02	1.2	0.02		
	ブラケット	水路縦断方向	SM570	曲げ応力度	1	382	0.01	
				せん断応力度	6	217	0.03	
				合成応力度*	0.01	1.2	0.01	
	アンカーボルト	水路縦断方向	SD345	応力成分	発生値 a(kN)	許容値 b(kN)	照査値 a/b	
				引張	5	105	0.05	
				せん断	25	85	0.30	
				合成*	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。