

本資料の内容は、「補足-140-1【津波への配慮に関する説明書の補足説明資料】」の「6.1防潮堤に関する補足説明 6.1.10漂流物防護工の評価について」及び「6.5.1逆流防止設備に関する補足説明 6.5.1.7漂流物防護工の評価について」として反映予定。

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-24-0017_改0
提出年月日	2021年8月25日

漂流物防護工の設計について

【第993回審査会合における指摘事項】

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。

➤ 本資料の構成を以下に示す。

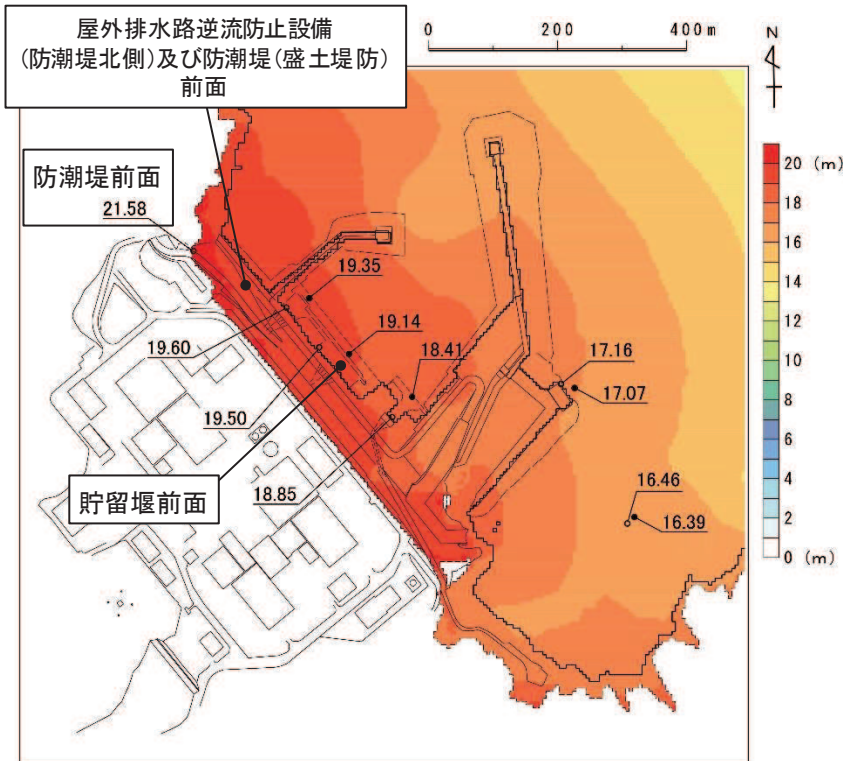
章構成	説明内容
1. 漂流物による影響要因の整理	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に対して、想定する漂流物の挙動と漂流物が設計に及ぼす影響を整理する。
2. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計	<ul style="list-style-type: none"> (1)構造選定 <ul style="list-style-type: none"> 現状構造及び他の構造の比較によりメリット・デメリットを整理し、現状の構造を採用した考え方を説明する。 (2)詳細設計 <ul style="list-style-type: none"> (1)で選定した構造について、詳細設計の考え方を説明する。 (3)構成する各部位に期待する役割 <ul style="list-style-type: none"> 各部位が受け持つ荷重及び各部位の設置によりどのような効果を期待するかを含めた役割を説明する。 (4)損傷モードを踏まえた評価の考え方 <ul style="list-style-type: none"> 各部位の損傷モードを想定した上で、各部位の許容限界を設定する。 (5)荷重の作用方法 <ul style="list-style-type: none"> 漂流物衝突荷重を各部位にどのように作用させるかを説明する。 (6)各部位の評価方法 <ul style="list-style-type: none"> 各部位の固定状況及び荷重の作用状況を考慮してどのような評価を行うかを説明する。 (7)評価結果 <ul style="list-style-type: none"> 各部位の耐震評価及び強度評価の結果を示す。
3. 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. 漂流物による影響要因の整理

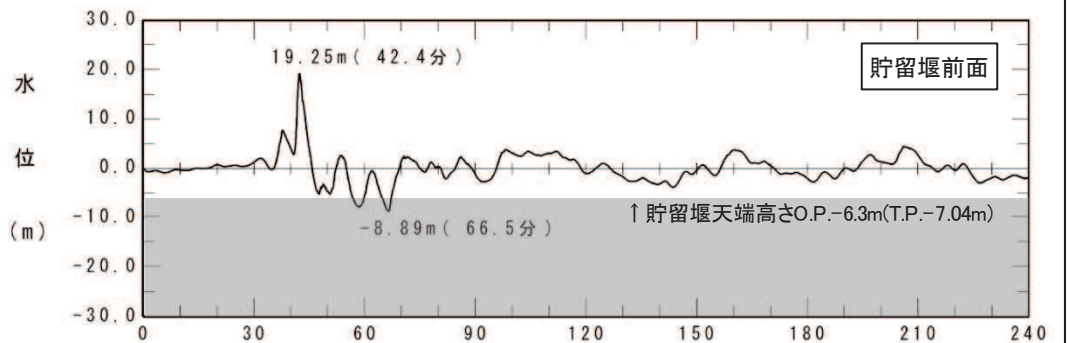
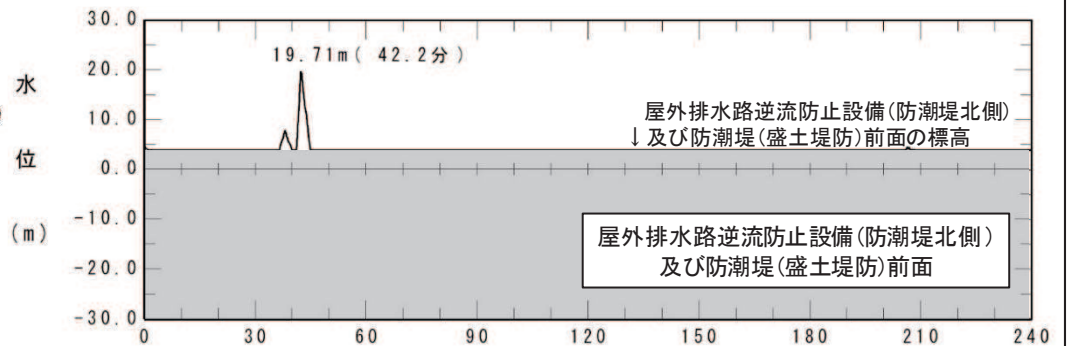
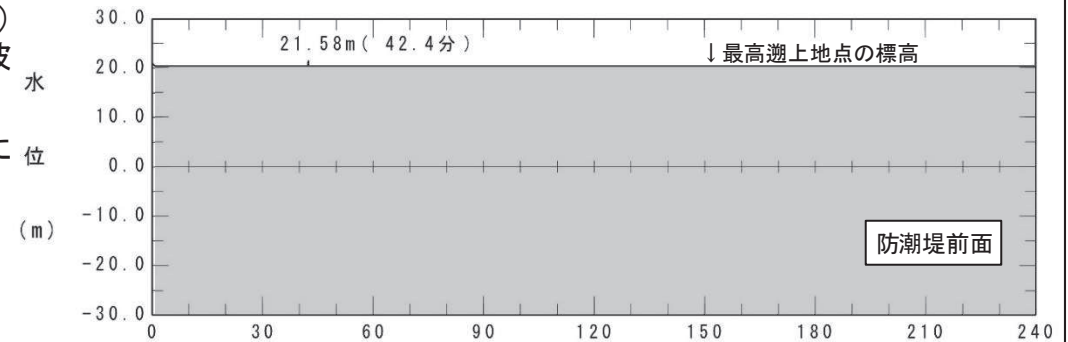
- 防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)への漂流物の影響を整理する。
- 防潮堤前面及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)前面には、基準津波の第二波以降は到達しない(第970回審査会合にて説明)ため、漂流物による衝突荷重は基準津波の第一波において考慮する。

【発電所の津波の特徴(水位)】

- 防潮堤前面及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)前面は、基準津波の第一波により最大水位となり、第二波以降は到達しない。
- 貯留堰については、第一波では露出せず、第二波以降に海中から露出する。



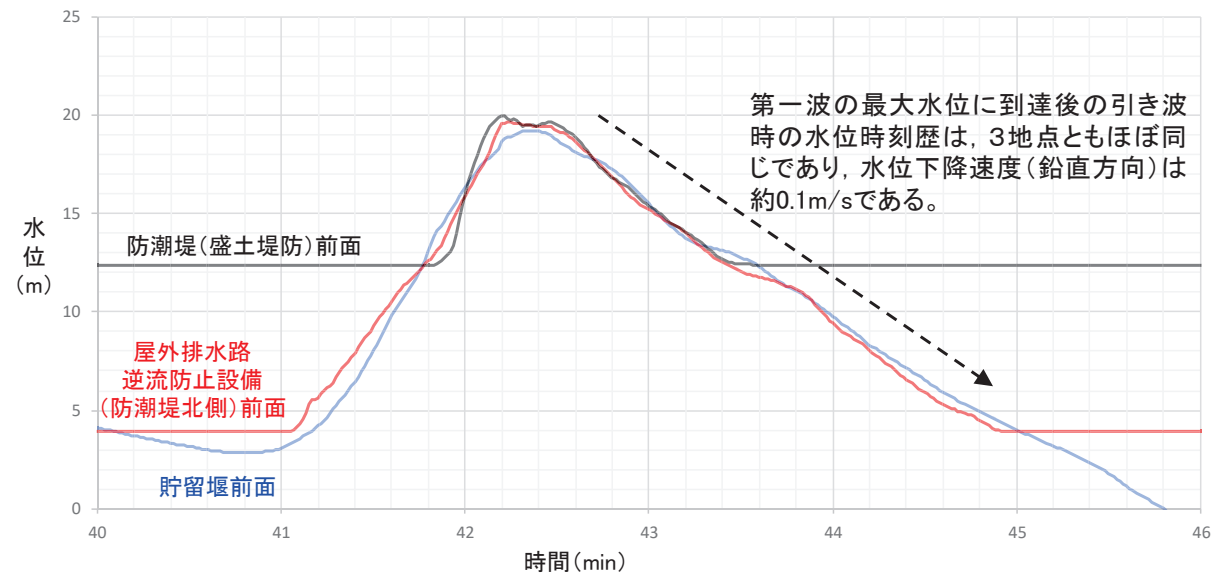
基準津波による最大水位上昇量分布(全時刻)



水位時刻歴波形

1. 漂流物による影響要因の整理

- 前頁のとおり，漂流物による衝突荷重は基準津波の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。
 - ✓ 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。
 - ✓ 以上より，漂流物による衝突荷重は主として第一波の寄せ波において防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に影響を及ぼすことから，以下のとおり検討を行う。



(1) 防潮堤

- 漂流物防護工を追加設置する防潮堤（鋼管式鉛直壁）は，津波が直接敷地に到達，流入することを防止できるように設置するため，津波第一波来襲時（寄せ波時）に衝突荷重を考慮する。
- したがって，寄せ波時の防潮堤前面からの漂流物衝突荷重に対し，比較的裕度が小さい鋼製遮水壁のスキンプレート及び水平リブを防護できるように漂流物防護工の構造を検討する。

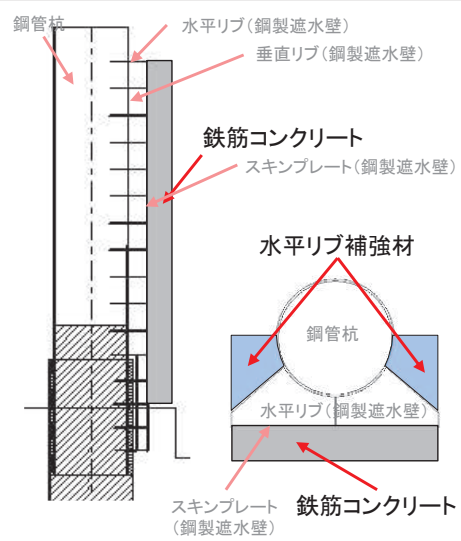
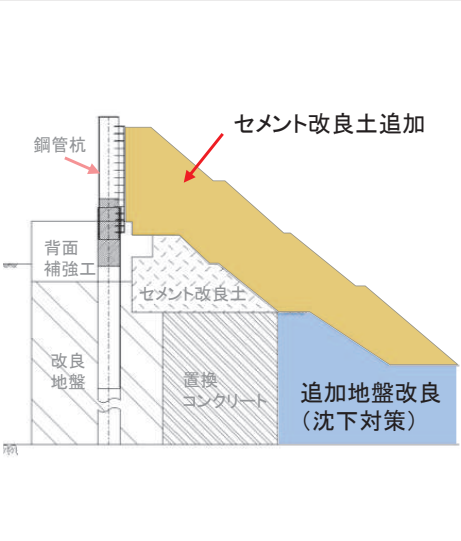
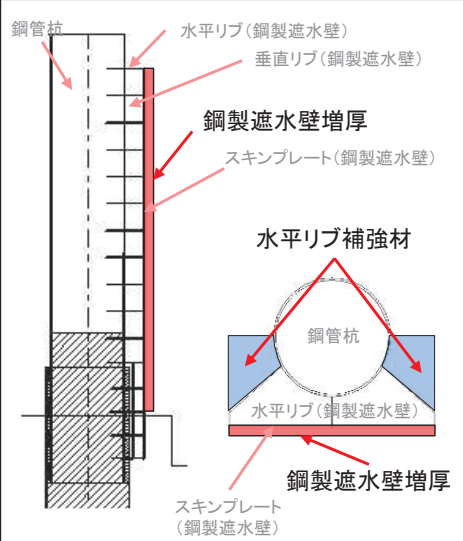
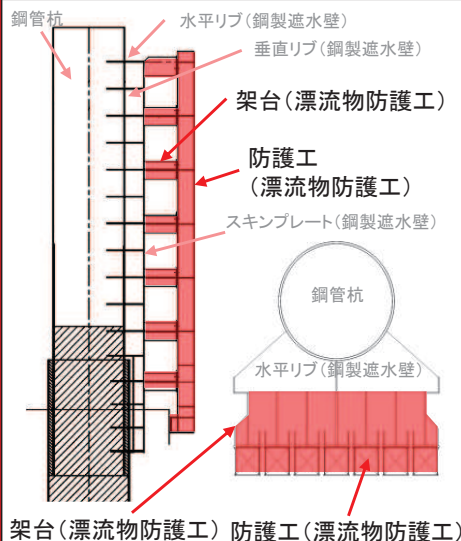
(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）

- 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）については，防潮堤（盛土堤防）を横断する屋外排水路を経路とした津波の流入を防止するために防潮堤よりも海側に設置する。
- そのため，津波第一波来襲時（寄せ波時）に衝突荷重を考慮するとともに，第一波の引き波時においても衝突の可能性を検討する。
- したがって，大きな荷重が作用する寄せ波時に，逆流防止設備前面からの漂流物衝突荷重に対して，扉体を防護できるように漂流物防護工の構造を検討するとともに，引き波時にも構造健全性を保持できることを確認する。

2. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

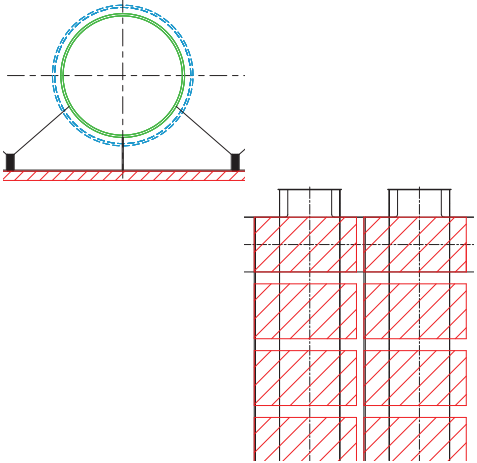
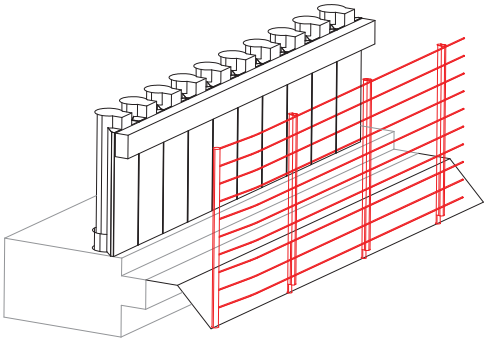
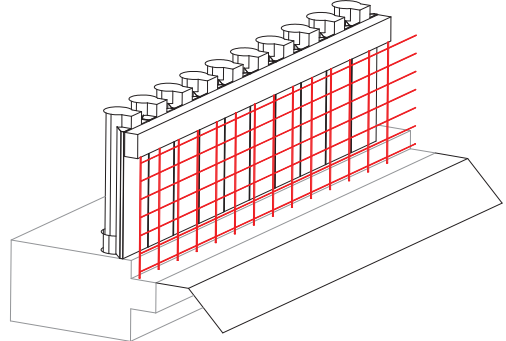
(1) 構造選定①

▶ 漂流物衝突荷重に対して鋼製遮水壁のスキンプレート及び水平リブを防護するための方策について整理した結果を示す。

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収まる設計。 ▶ 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。 ▶ スキンプレートと一体化させた鉄筋コンクリートとの合成構造で漂流物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収まる設計。 ▶ 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。 ▶ セメント改良土により漂流物衝突荷重を分散させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲に収まる設計。 ▶ スキンプレートを溶接等で増厚し、漂流物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収まる設計。 ▶ 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。
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 鉄筋コンクリートにより、漂流物に対して止水ジョイントを防護できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ セメント改良土により、漂流物に対して止水ジョイントを防護できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 漂流物防護工の重量は比較的軽量であり、地震時及び重畳時に、鋼管杭の発生応力に及ぼす影響は他案と比較して小さい。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 漂流物防護工の重量は比較的軽量であり、地震時及び重畳時に、鋼管杭の発生応力に及ぼす影響は他案と比較して小さい。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ▶ コンクリート設置により鋼管杭の自重が大きくなり、地震時及び重畳時の発生応力が大きくなることで、鋼管杭の裕度が確保できなくなることが想定される。 ▶ 設置許可時の構造成立性評価で裕度が小さかった水平リブの裕度が確保できなくなり、水平リブに補強材の設置が必要。 ▶ 水平リブ背面は狭隘かつ、溶接数量が多く、施工性に問題がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ セメント改良土設置により、鋼管杭にセメント改良土の土圧が作用することから、鋼管杭の発生応力が大きくなり、鋼管杭の裕度が確保できなくなることが想定される。 ▶ セメント改良土が沈下しないための追加地盤改良が必要となる。 ▶ 防潮堤前面のO.P.+3.5m盤を塞ぐため、発電所運用上問題があり、かつ岩盤部で施工不可の箇所もある。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 大断面のスキンプレートを溶接で増厚すること又はボルト締めすることは施工上困難。 ▶ 設置許可時の構造成立性評価で裕度が小さかった水平リブの裕度が確保できなくなり、水平リブに補強材の設置が必要。 ▶ 水平リブ背面は狭隘かつ、溶接数量が多く、施工性に問題がある。 ▶ 漂流物に対して止水ジョイントを防護するための対策が別途必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 鋼管杭前面に張り出した構造となるため、設置による偏心影響が考えられることから、評価に反映する必要がある。
採否	×	×	×	○

2. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

(1)構造選定②

案	案⑤(緩衝材設置)	案⑥(前面に防護ロープ設置)	案⑦(頂部はりに防護ロープ設置)
構造概要			
設計コンセプト	<ul style="list-style-type: none"> スクリ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。(緩衝材の仕様は未定) 	<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。 	<ul style="list-style-type: none"> 頂部はりと地盤に衝突防護ロープを設置し、漂流物の衝突エネルギーを吸収させる。
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 他案と比較して施工量が比較的小さくなると想定される。 	<ul style="list-style-type: none"> 既設計構造への影響が無い。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工量は案⑤よりも小さい。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 静的荷重として与えられる漂流物衝突荷重に対する設計方法が未確立。 	<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、支柱の構造がかなり大規模なものになることが想定される。 	<ul style="list-style-type: none"> 衝撃を遮水壁とロープの遊間だけでは吸収できず、遮水壁に衝突する可能性がある。 頂部はりへの衝突に対して別途補強が必要となる。 頂部はりが無い岩盤部において、別途衝突防護ロープを固定する設備が必要となる。
採否	×	×	×

➤ 裕度の小さい鋼製遮水壁のスクリンプレート及び水平リブを防潮堤前面からの漂流物から防護した上で防潮堤全体(特に鋼管杭)の構造健全性を維持するという設計上の観点及び施工実現性の観点から検討した結果、案④『防護工追加』を採用することとした。

2. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

(3)構成する各部位に期待する役割

部位	支持	主に受け持つ荷重	設計上期待する役割 (部位を設置した目的)
防護工	—	漂流物衝突荷重が直接作用	<ul style="list-style-type: none"> 防護工の剛性により漂流物衝突荷重を架台に伝達し、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。
架台	防護工を支持	防護工からの荷重を水平リブ(鋼製遮水壁)に伝達	<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。
防護工 取付けボルト	防護工を支持 (引張荷重又はせん断荷重発生時)	防護工からの引張荷重又はせん断荷重を架台に伝達	<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。

(4)損傷モードを踏まえた評価の考え方

部位	要求機能を喪失する事象	想定ケース	許容限界
防護工	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	地震時 津波時 津波+余震重畳時	<ul style="list-style-type: none"> 短期許容応力度*以下であることを確認する。
架台	<ul style="list-style-type: none"> 地震時荷重又は津波による漂流物衝突荷重*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。 	地震時 津波時 津波+余震重畳時	<ul style="list-style-type: none"> 短期許容応力度*以下であることを確認する。
防護工 取付けボルト	<ul style="list-style-type: none"> 地震時荷重により取付けボルトに作用する引張力又はせん断力により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。 	地震時 (津波+余震重畳時)	<ul style="list-style-type: none"> 短期許容応力度*以下であることを確認する。

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、津波が繰返し来襲することを考慮。

2. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

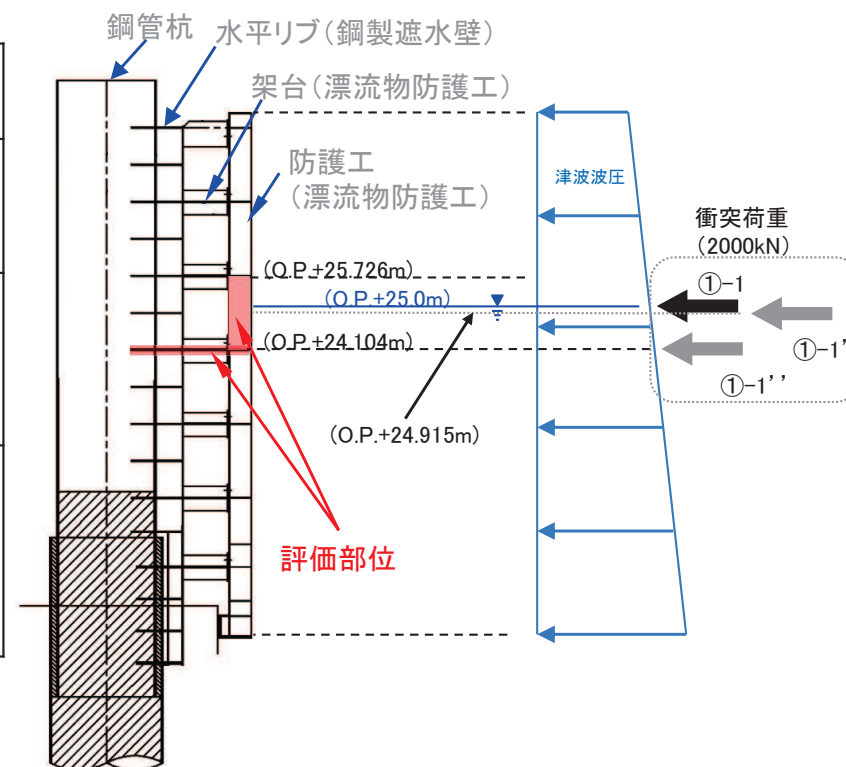
(5)荷重の作用方法

- ▶ 漂流物防護工を構成する防護工と架台の評価において、それぞれの部位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。
- ▶ 漂流物の作用位置は、設計用津波水位 (O.P.+25.0m) を基本として考慮するが、各部位にとって最も厳しい条件となるように作用位置を設定する(防護工:①-1', 架台及び水平リブ:①-1'')。
- ▶ 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1に示す。

防護工, 架台及び水平リブ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 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。	—
①-1' 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。	○
①-1'' 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、架台及び水平リブを対象とした場合、最も厳しい荷重条件となる。	○

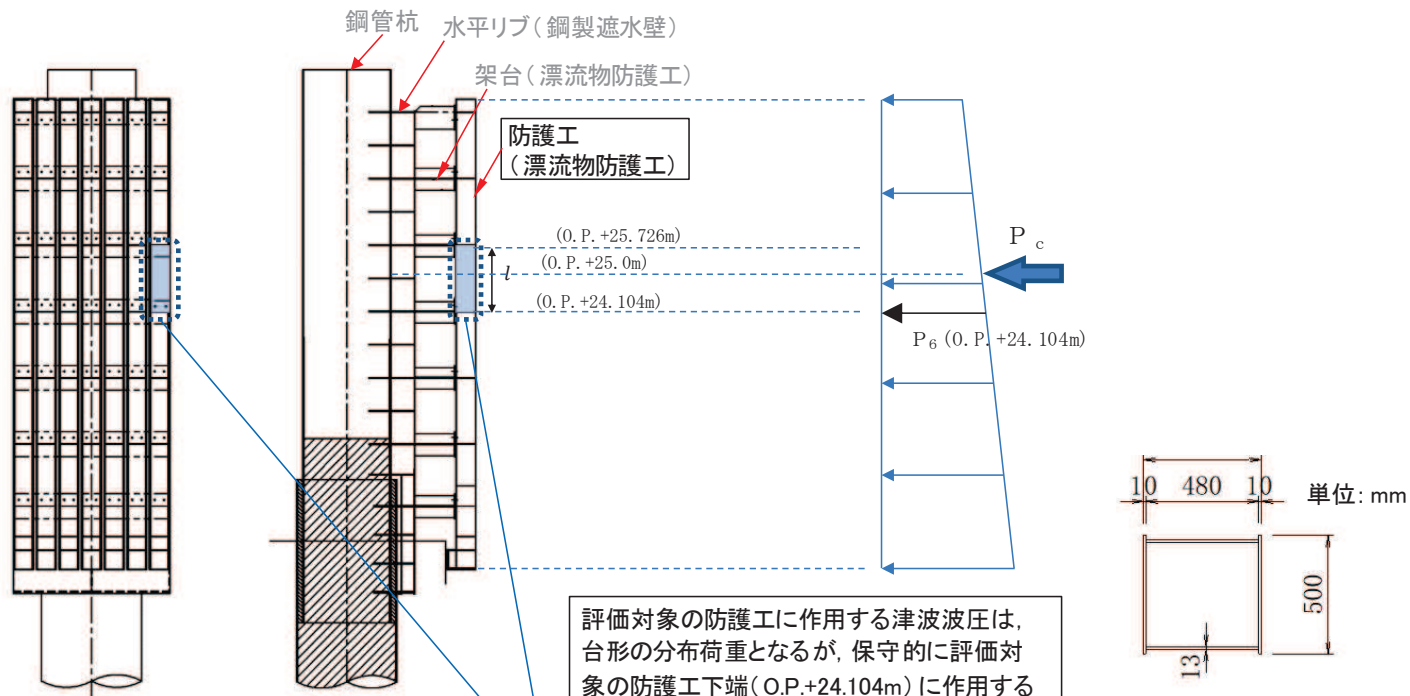
注記* : 上方の架台とした場合には、津波波圧が小さくなるため、下方の架台を選定した。



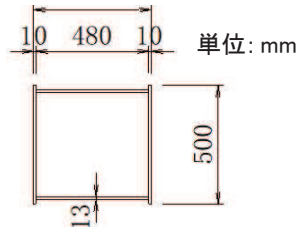
2. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

(6)各部位の評価方法

- 防護工は架台を支点とする単純ばりでモデル化する。

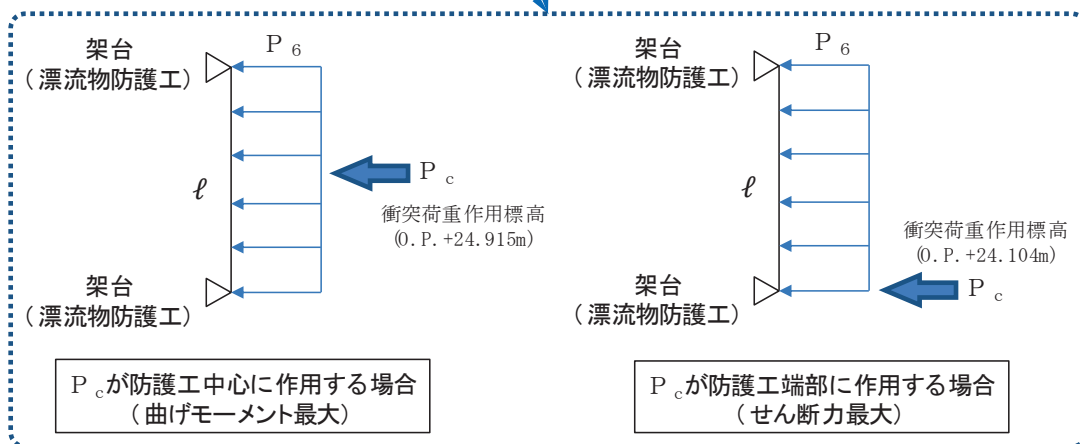


評価対象の防護工に作用する津波波圧は、台形の分布荷重となるが、保守的に評価対象の防護工下端(O.P.+24.104m)に作用する津波波圧 P_6 を等分布荷重として考慮する。



防護工断面

*: 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 : 漂流物衝突荷重
 l : 架台間隔

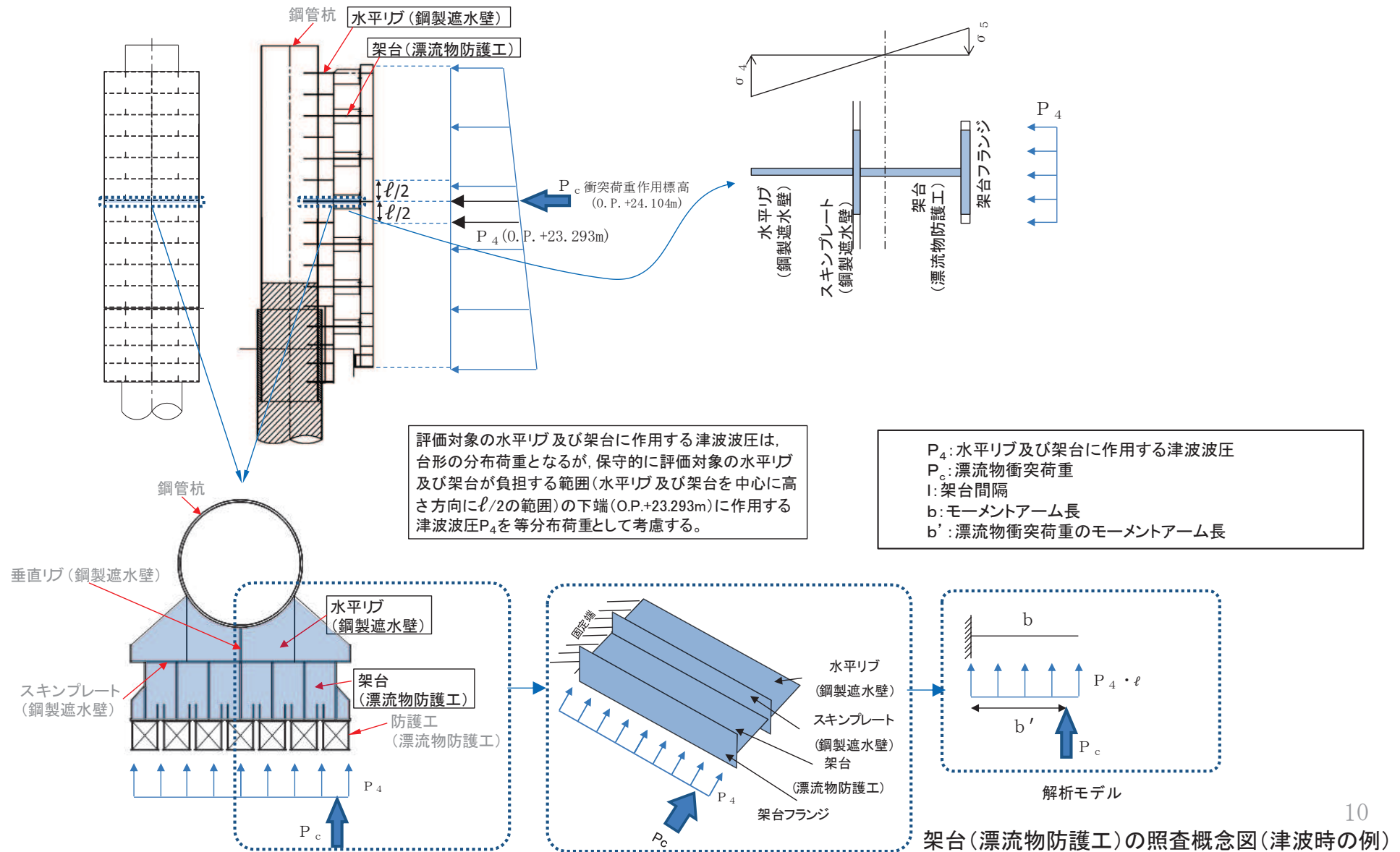
解析モデル

防護工(漂流物防護工)の照査概念図(津波時の例)

2. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

(6)各部位の評価方法

- 架台は、鉛直方向には同じ構造が連続していることから、水平方向の鋼管杭中心線を固定始点とする片持ちばりでモデル化する。また、水平リブ(鋼製遮水壁)と一体として評価する。
- 津波時に水平リブ及び架台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水平リブ及び架台が負担する範囲(水平リブ及び架台を中心に高さ方向に $\ell/2$ の範囲)の下端(O.P.+23.293m)に作用する津波波圧 P_4 を等分布荷重として考慮する。



- 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(スキム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(下図参照)ものの、座屈に対して十分な安全性を確保する観点から縦リブを設置する。なお、前頁片持ちばりの照査において、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、縦リブがスキムプレート(鋼製遮水壁)に及ぼす影響は小さい。

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。

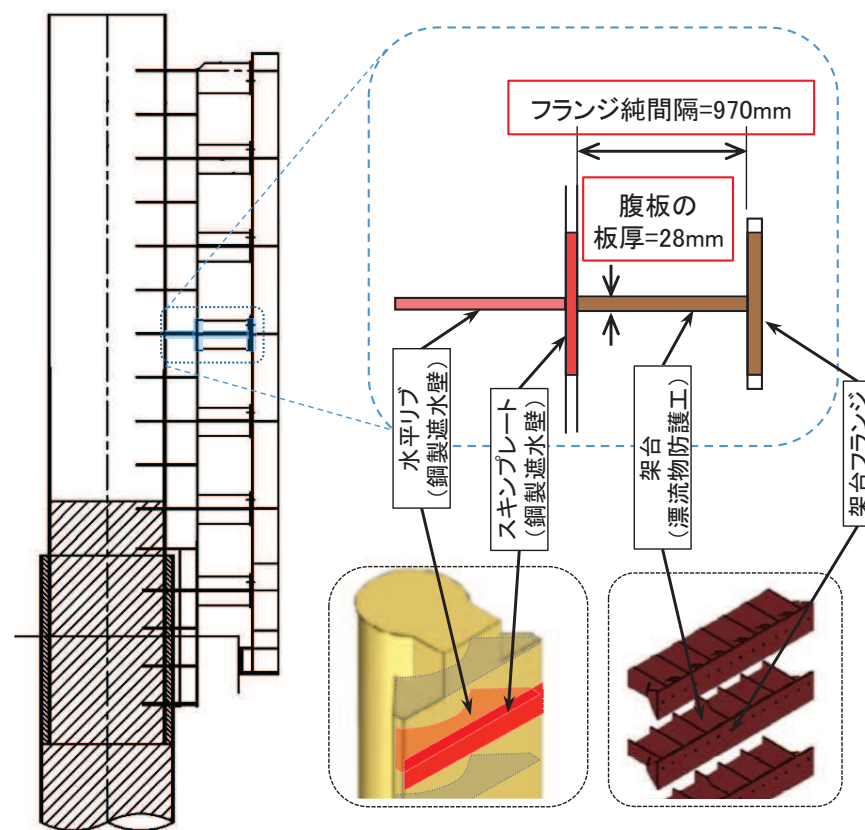
表-10.4.2 垂直補剛材を省略しうるフランジ純間隔の最大値

鋼種	SS400	SM490	SM490Y	SM570
	SM400 SMA400W		SM520 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

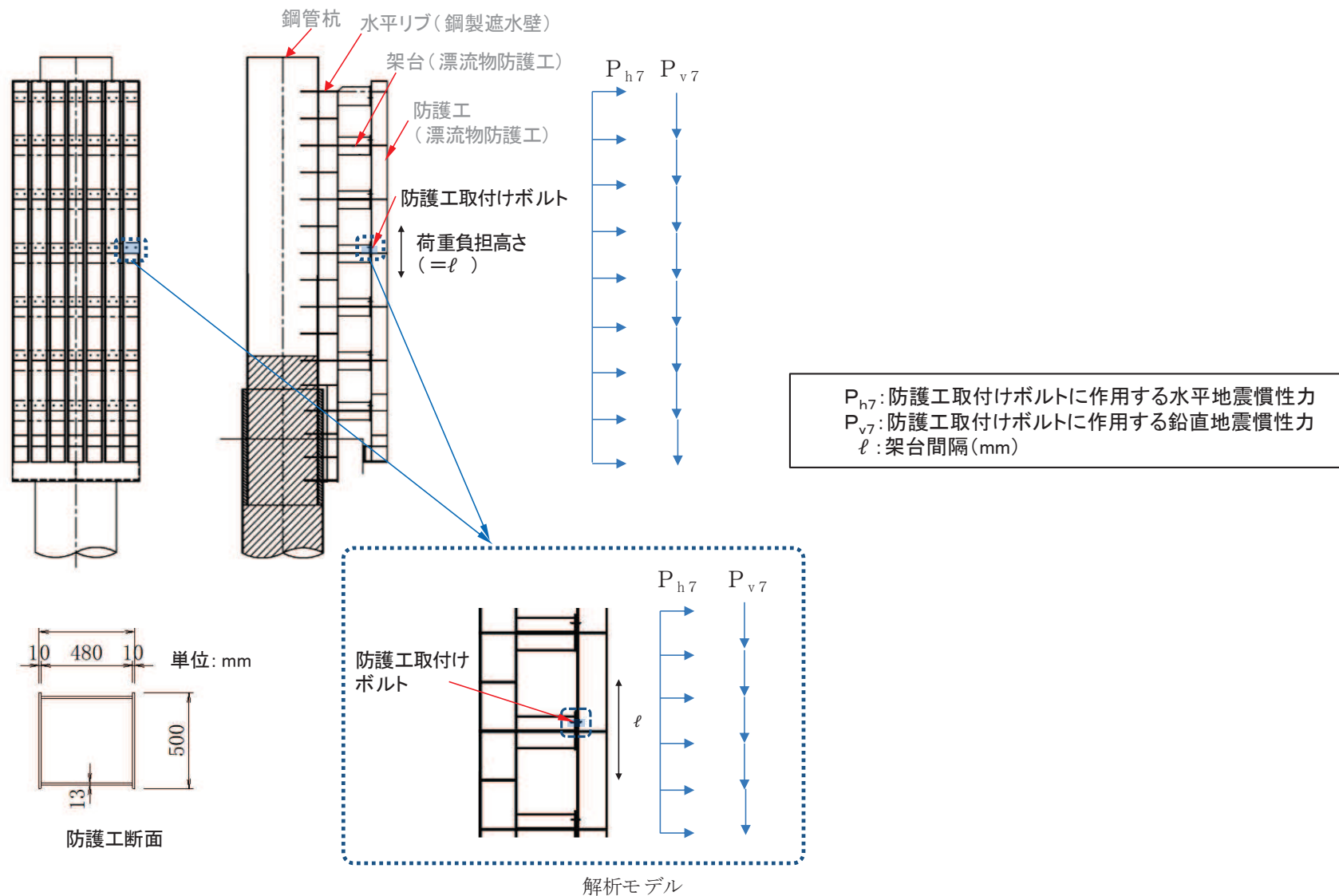
✓ 垂直補剛材を省略しうるフランジ純間隔の最大値
 $57t = 57 \times 28\text{mm} = 1596\text{mm} > 970\text{mm}$ (フランジ純間隔)



断面図

フランジ純間隔及び腹板の板厚のイメージ図

- 防護工取付けボルト(漂流物防護工)は、地震時の水平地震慣性力により発生する引張力及び鉛直地震慣性力により発生するせん断力に対して評価する。
- 津波時については、作用荷重(津波波圧及び漂流物衝突荷重)が圧縮方向(海→山方向)であるため、引張及びせん断力は発生しないことから評価を省略する。ただし、漂流物が斜めから衝突することで、せん断力が生じた場合を想定し、影響確認を行う。
- 重畳時について、水平方向の作用荷重は、圧縮方向(海→山方向)の津波波圧が支配的であること、鉛直方向の慣性力は地震時慣性力に包絡されることから、評価を省略する。



防護工取付けボルト(漂流物防護工)の照査概念図(地震時)

2. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

(7)評価結果

- 漂流物防護工の評価結果を示す。
- 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。

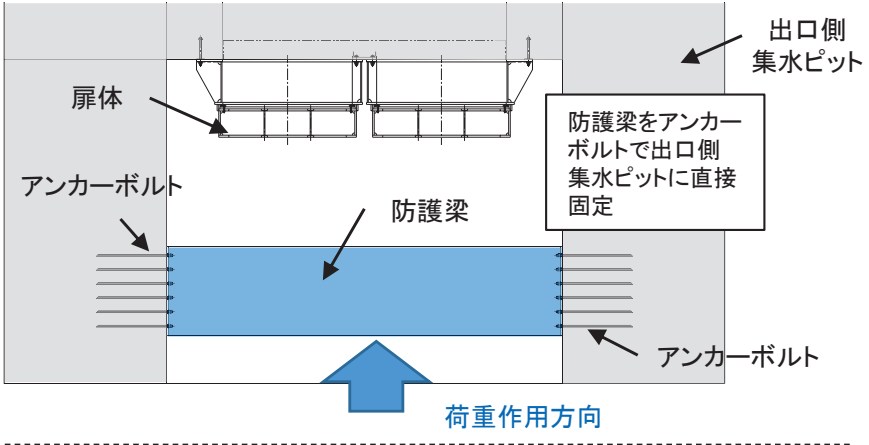
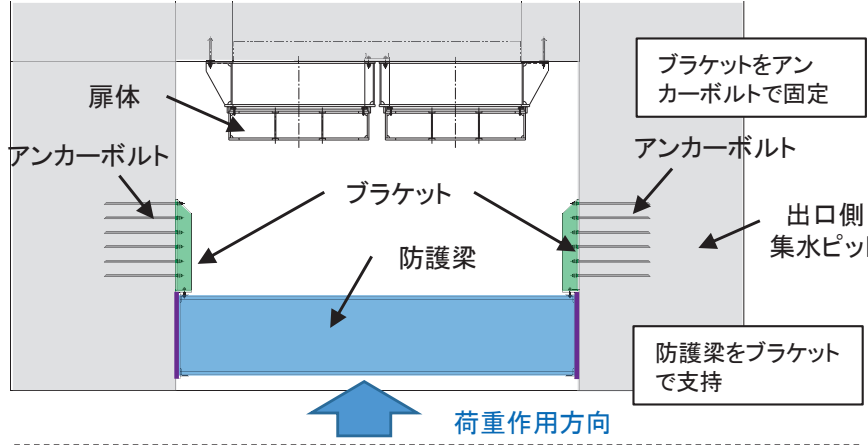
【漂流物防護工の評価結果】

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
	津波時	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	275	382
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
津波+余震 重畳時	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	19	382	0.05
			せん断応力度 (N/mm ²)	13	217	0.06
			合成応力度	0.01	1.20	0.01
	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

3. 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

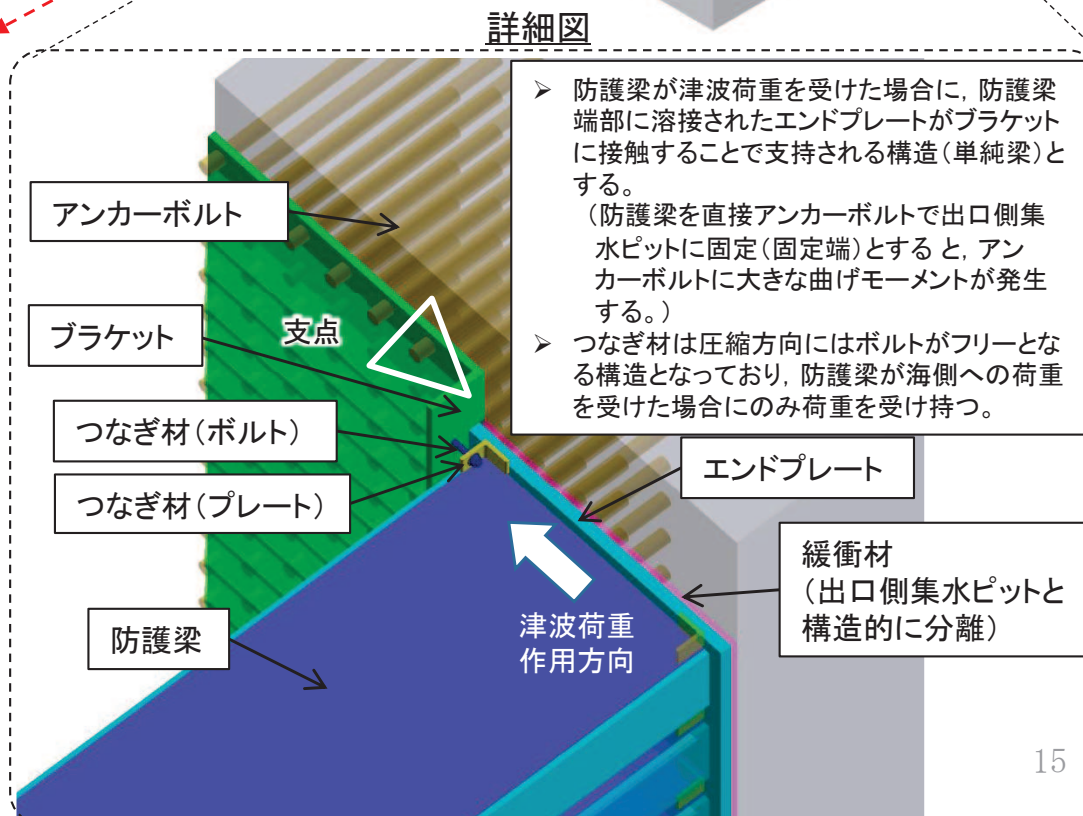
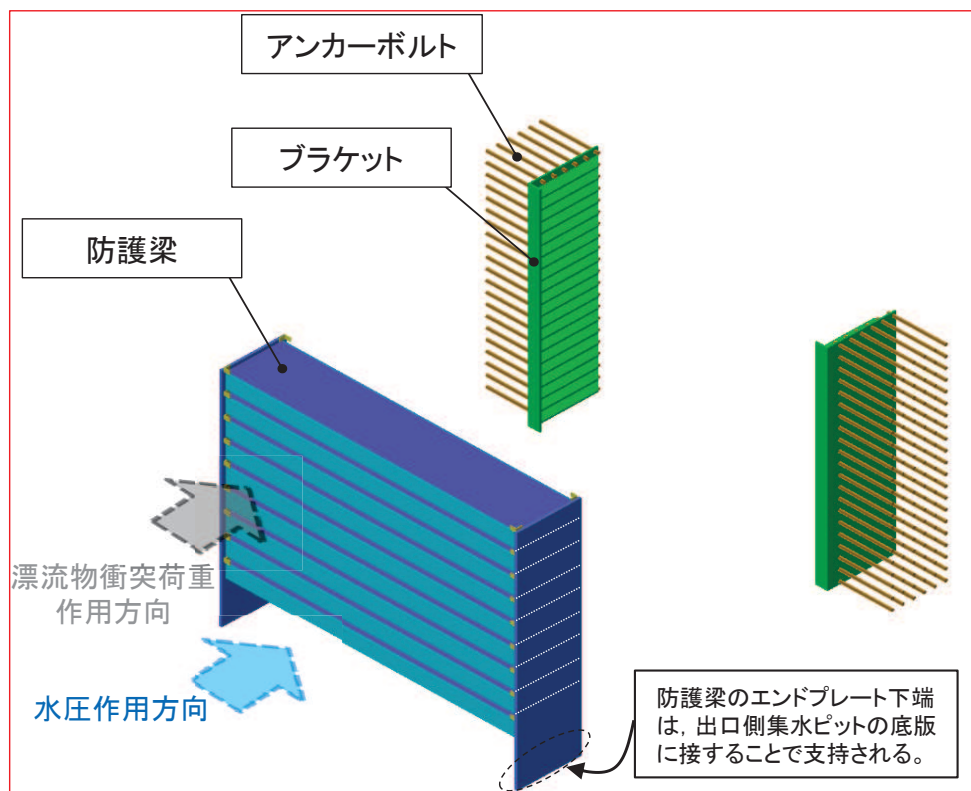
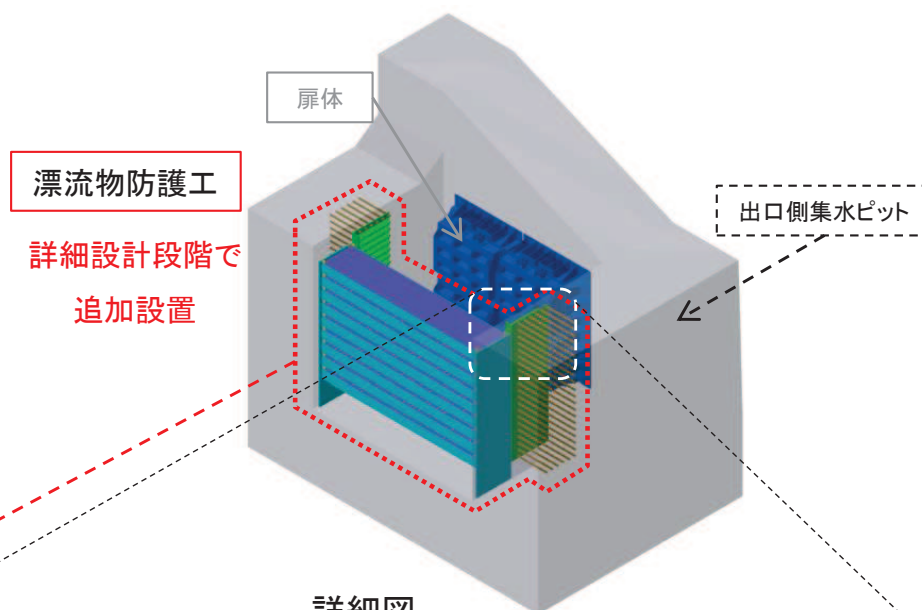
(1)構造選定

- 大きな荷重が作用する寄せ波時の逆流防止設備前面からの漂流物衝突荷重に対して扉体を防護するための方策について整理した結果を示す。

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	 <p>出口側集水ピット</p> <p>扉体</p> <p>アンカーボルト</p> <p>防護梁</p> <p>防護梁をアンカーボルトで出口側集水ピットに直接固定</p> <p>アンカーボルト</p> <p>荷重作用方向</p> <p>曲げモーメント</p> <p>防護梁</p> <p>荷重作用方向</p> <p>防護梁端部に大きな曲げモーメントが生じ、施工実現性のある本数のアンカーボルトでは裕度が確保できない</p>	 <p>扉体</p> <p>アンカーボルト</p> <p>防護梁</p> <p>出口側集水ピット</p> <p>アンカーボルト</p> <p>防護梁をアンカーボルトで固定</p> <p>アンカーボルト</p> <p>出口側集水ピット</p> <p>防護梁をブラケットで支持</p> <p>荷重作用方向</p> <p>曲げモーメント</p> <p>防護梁</p> <p>荷重作用方向</p> <p>防護梁が単純梁としてブラケットに支持される構造とすることで、ブラケット端部の曲げモーメントが小さくなり、アンカーボルトが負担する荷重を小さくできる</p>
設計コンセプト	<ul style="list-style-type: none"> ➤ おおむね弾性範囲に収まる設計。 ➤ 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収まる設計。 ➤ 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。
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 単純な構造形式となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 前面からの荷重に対して、防護梁が単純梁としてブラケットに支持される構造とすることで、ブラケットを支持するアンカーボルトが負担する荷重を小さくできる。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 施工実現性のある本数でのアンカーボルトでは裕度が確保できない。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 案①より部材が増える。
採否	×	○

➤ 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として採用した『防護工追加』案の詳細設計の考えについて示す。

- 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の点を満足する構造とした。
 - ✓ 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:短期許容応力度)とする。
 - ✓ 扉体に漂流物を衝突させず、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)。
 - ✓ なお、集水ピット上部を開口とすることで、防護梁下方から漂流物が侵入した場合でも、漂流物が集水ピット内に滞留しない構造とする。



3. 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

(3)構成する各部位に期待する役割

部位	支持	主に受け持つ荷重	設計上期待する役割 (部位を設置した目的)
防護梁	—	漂流物衝突荷重が直接作用	<ul style="list-style-type: none"> 防護梁の剛性により漂流物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。
ブラケット	防護梁を支持	防護梁からの荷重(漂流物衝突荷重からの圧縮荷重又はつなぎ材を介した引張荷重)をアンカーボルトに伝達*	<ul style="list-style-type: none"> 防護梁が受けた荷重をアンカーボルトを介して出口側集水ピットに伝達する。
つなぎ材 (ボルト, プレート)	防護梁を支持	防護梁が海側への荷重を受けたときの荷重を引張荷重としてブラケットに伝達*	<ul style="list-style-type: none"> 防護梁が受けた海側への荷重をブラケット及びアンカーボルトを介して出口側集水ピットに伝達する。
アンカーボルト	ブラケットを支持	ブラケットからの荷重を出口側集水ピット(間接支持構造物)に伝達	<ul style="list-style-type: none"> ブラケットを介して伝達された防護梁が受けた荷重にアンカーボルトのせん断耐力で抵抗し、出口側集水ピットに伝達する。

注記* : 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いるため、海側→山側方向の荷重の場合は、防護梁からつなぎ材を介さずに圧縮荷重が直接ブラケットのみに伝達される。逆に、山側→海側方向の荷重の場合は、防護梁からの引張荷重をつなぎ材を介してブラケットに伝達される。

3. 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)損傷モードを踏まえた評価の考え方

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
防護梁	✓ 地震時荷重により防護梁が損傷する又は津波時の漂流物荷重*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。	地震時 津波時 津波+余震 重畳時	✓ 短期許容応力度*以下であることを確認する。
ブラケット	✓ 地震時荷重によりブラケットが損傷する又は津波時の漂流物荷重*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。	地震時 津波時 津波+余震 重畳時	✓ 短期許容応力度*以下であることを確認する。
つなぎ材 (ボルト, プレート)	✓ 地震時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。	地震時	✓ 短期許容応力度*以下であることを確認する。
アンカーボルト	✓ 地震時荷重によりアンカーボルトが損傷する又は津波時の漂流物荷重*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。	地震時 津波時 津波+余震 重畳時	✓ 短期許容応力度*以下であることを確認する。

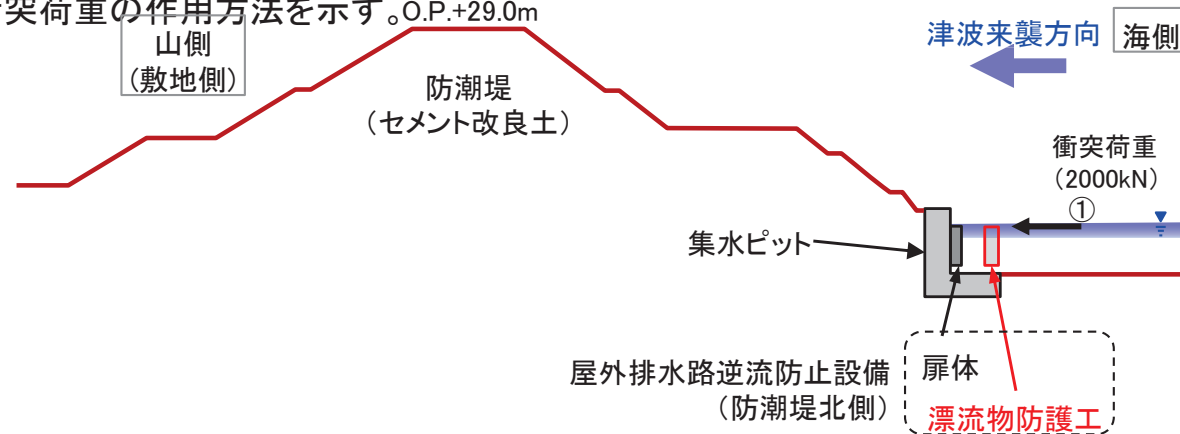
注記* : 漂流物衝突荷重による損傷を想定すること及び許容限界を短期許容応力度とすることについては、津波が繰返し来襲することを考慮。

3. 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

(5)荷重の作用方法(寄せ波時)

- 漂流物防護工を構成する各部位の評価において、それぞれの部位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、防護梁は漂流物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)。

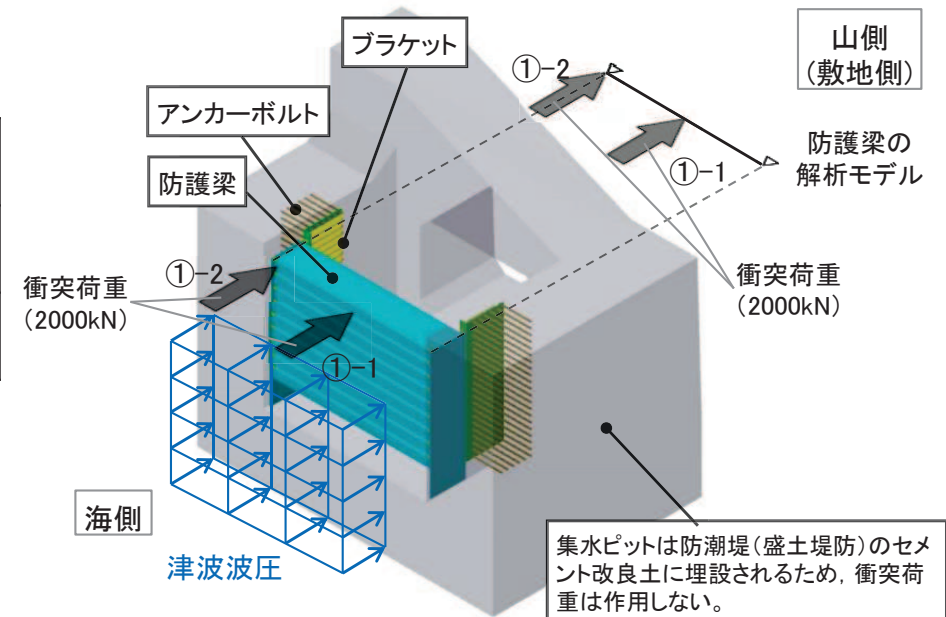
- 以下に、寄せ波時の衝突荷重の作用方法を示す。O.P.+29.0m



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。	○

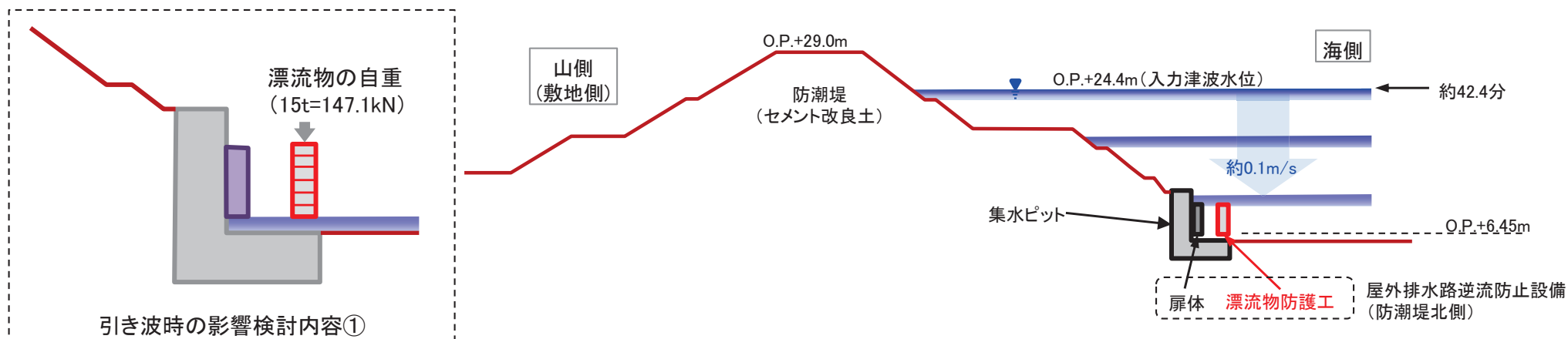
注記* : 鉛直位置については、同時に考慮する津波荷重が最大となるように、最上段に衝突することを想定。



3. 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

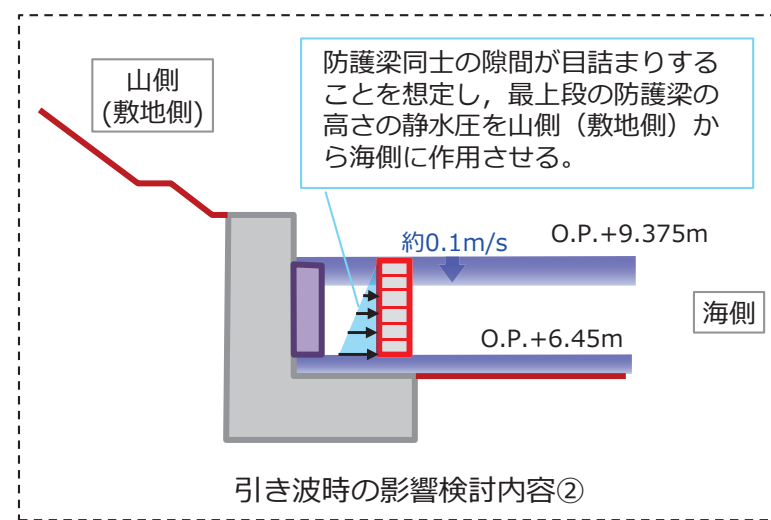
(5)荷重の作用方法(引き波時)

- 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、敷地側から屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の漂流物防護工に衝突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。
- ただし、引き波時の水位の下降に伴い防護梁の上部に漂流物が残置される可能性は否定できないため、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(下図:引き波時の影響検討内容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

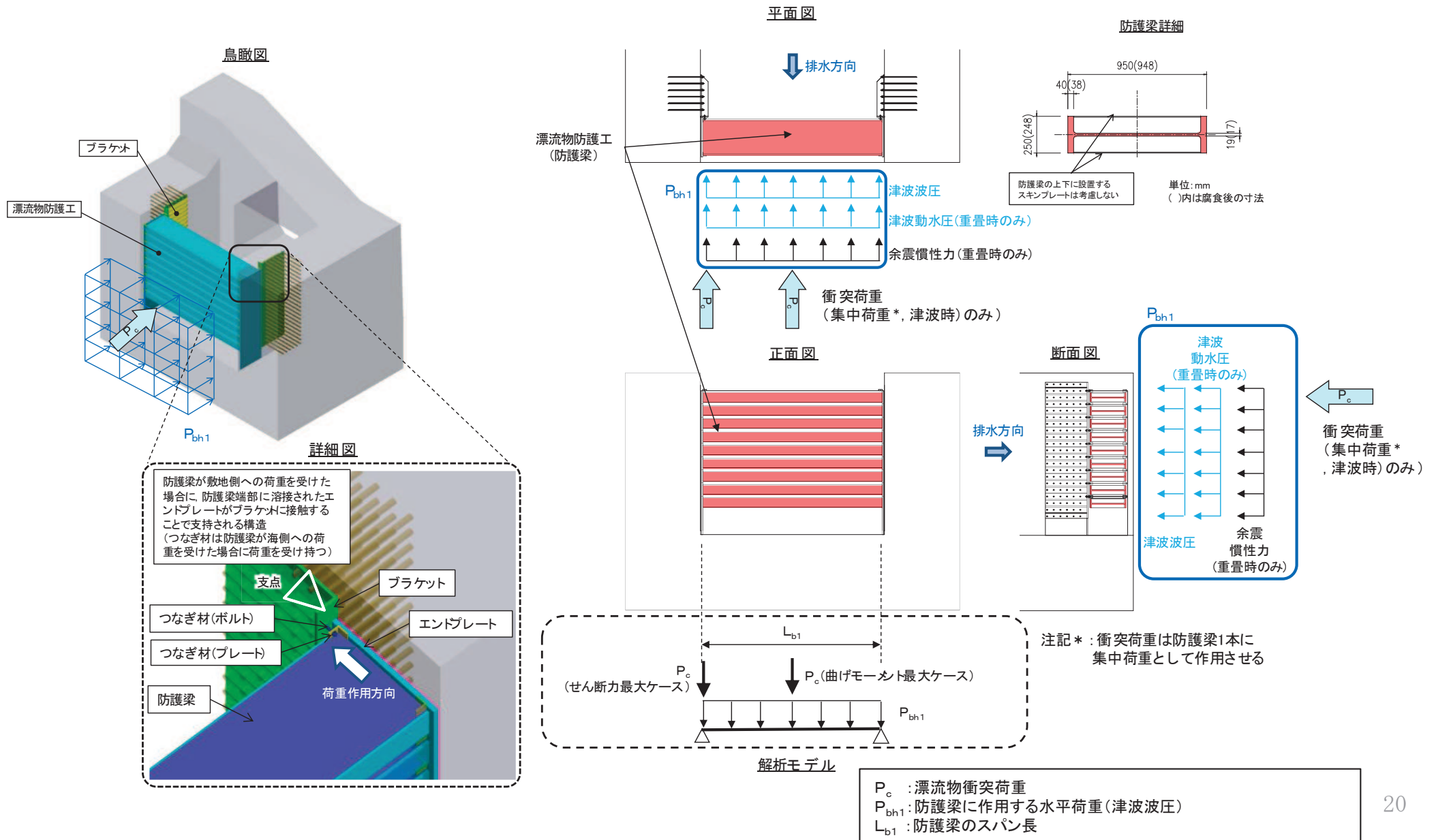
- 第一波来襲後の引き波時は、水位の下降速度が約0.1m/sで非常に緩やかであること、防護梁同士は鉛直方向に隙間を設けて設置することから、防護梁の隙間から海水は海側に流出し、防護梁の山側と海側では水位差はほとんど生じない。
- そのため、防護梁に山側(敷地側)からの水圧はほとんど作用しない。
- また、第一波来襲後の引き波時に、防護梁の山側(出口側集水ピット内)にはがれきを取り込まれる可能性があるが、防護梁の山側と海側ではほとんど水位差がないため、荷重として山側から防護梁に影響を及ぼすことはない。
- ただし、防護梁の山側に取り込まれたがれきが防護梁同士の隙間に挟まる可能性は否定できないため、防護梁の隙間がすべて目詰まりすることを想定し、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)。



3. 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

(6)各部位の評価方法

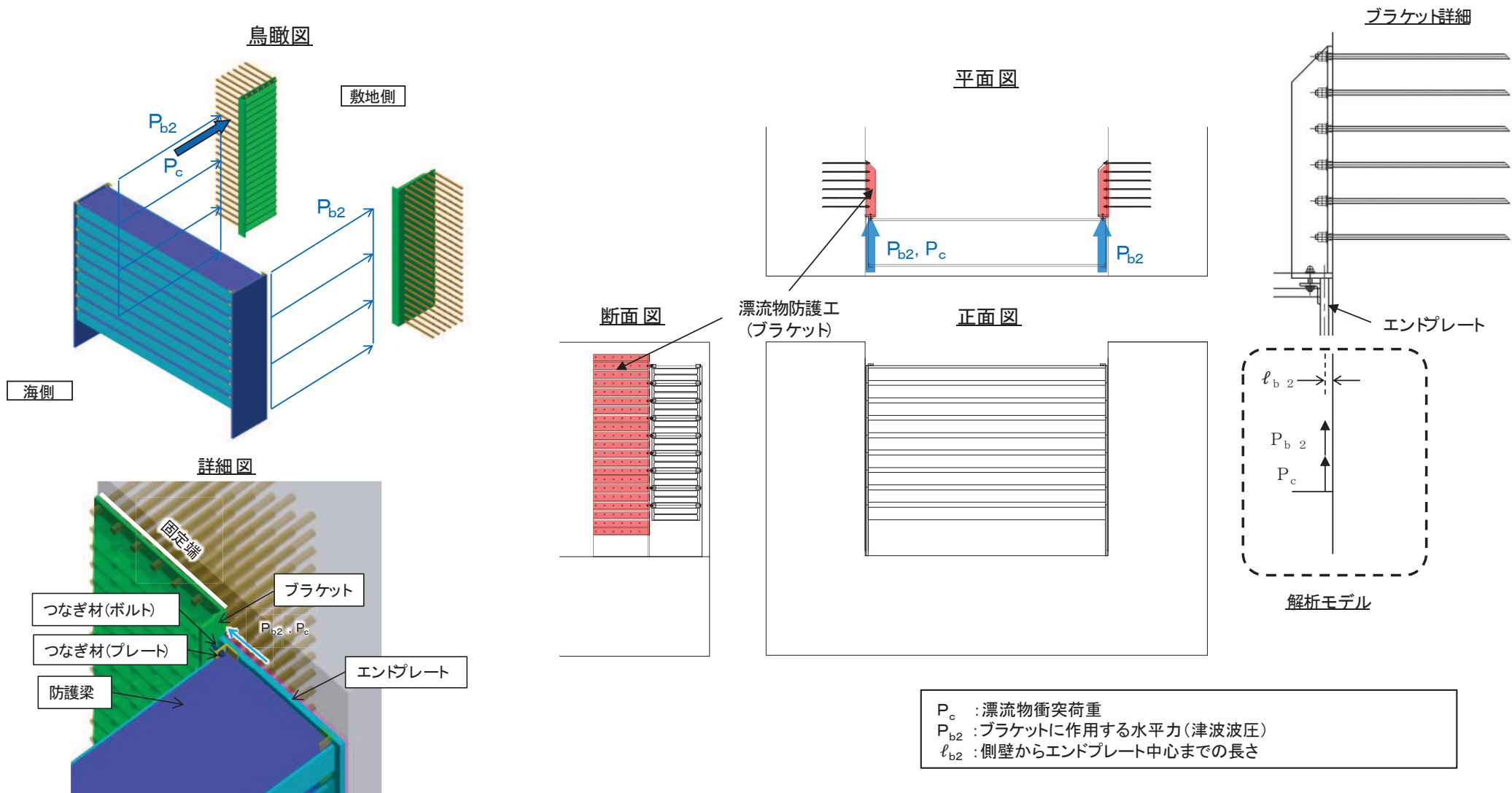
- 防護梁は、両端のエンドプレートがブラケットに接触し支持されるため、単純梁としてモデル化する。
- 評価対象の防護梁に作用する津波波圧は、台形の分布荷重となるが、保守的に漂流物防護工の下端に作用する津波波圧を等分布荷重として考慮する。



3. 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

(6)各部位の評価方法

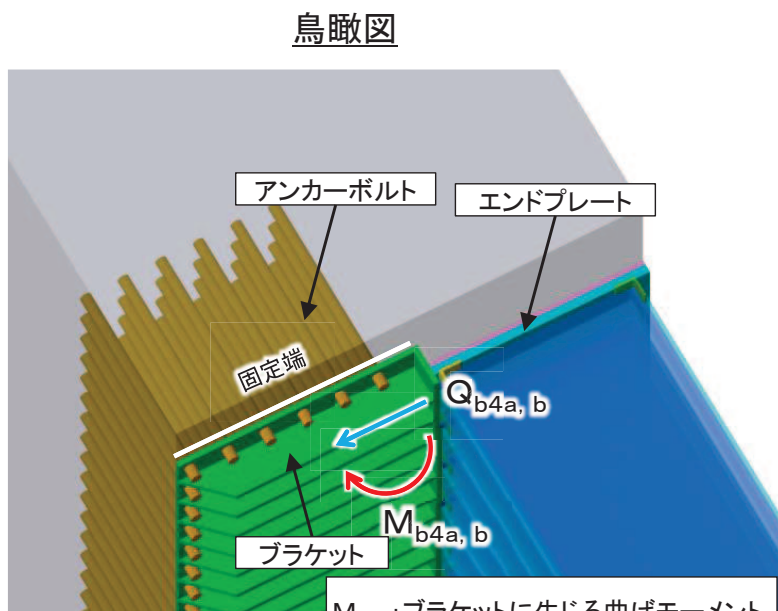
- ブラケットは、アンカーボルトを固定端として支持される構造であり、片持ち梁としてモデル化する。
- 評価対象の防護梁作用する津波波圧は、台形の分布荷重となるが、保守的に漂流物防護工の下端に作用する津波波圧を等分布荷重として考慮する。



3. 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

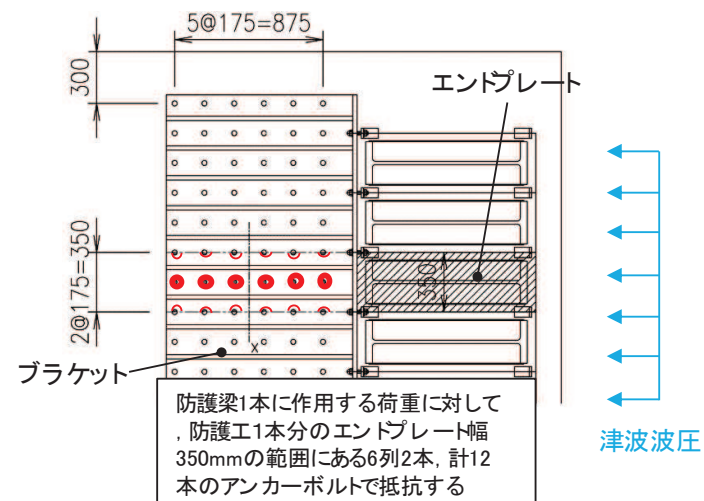
(6)各部位の評価方法

- 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。
- 津波荷重に対しては、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。
- 集中荷重として考慮する漂流物衝突荷重に対しては、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。

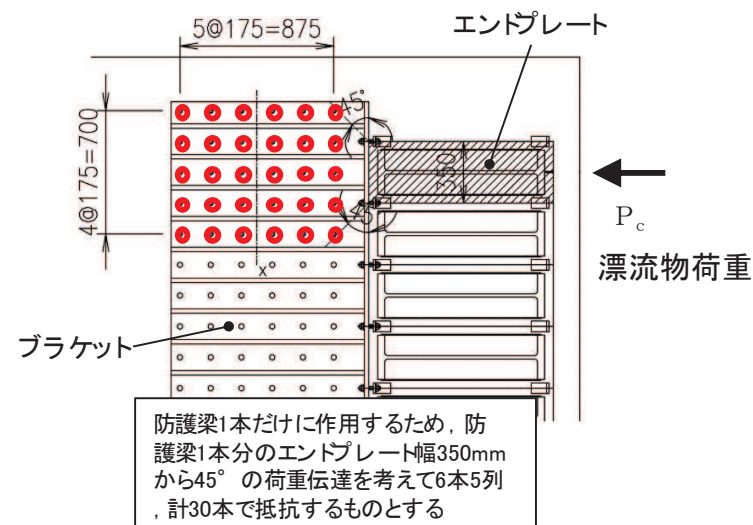


- M_{b4a} : ブラケットに生じる曲げモーメント (衝突荷重以外)
- M_{b4b} : ブラケットに生じる曲げモーメント (衝突荷重)
- Q_{b4a} : ブラケットに生じるせん断力 (衝突荷重以外)
- Q_{b4b} : ブラケットに生じるせん断力 (衝突荷重)

【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】



3. 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

(7)評価結果

- 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耐震評価結果

評価部位		地震力方向	評価応力	発生応力 a(N/mm ²)	許容応力 b(N/mm ²)	照査値 a/b	
漂流物 防護工	防護梁	水路縦断方向 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	
			二軸応力	0.02	1.2	0.02	
	ブラケット		水路縦断方向	曲げ応力度	111	210	0.53
	つなぎ材	(プレート)	水路縦断方向	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
			水路横断方向	せん断応力度	20	217	0.10
	アンカーボルト		水路縦断方向	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				0.01	1.2	0.01	

3. 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

(7)評価結果

- 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。
- 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

評価部位		評価応力	津波時			津波+余震重畳時		
			発生応力 a(N/mm ²)	許容応力 b(N/mm ²)	照査値 a/b	発生応力 a(N/mm ²)	許容応力 b(N/mm ²)	照査値 a/b
漂流物 防護工	防護梁	曲げ応力度	242	382	0.64	35	382	0.10
		せん断応力度	139	217	0.65	20	217	0.10
		合成応力度*	0.81	1.2	0.68	0.02	1.2	0.02
	ブラケット	曲げ応力度	6	210	0.03	1	210	0.01
		せん断応力度	41	120	0.35	6	120	0.05
		合成応力度*	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
		引張	14	105	0.14	5	105	0.05
		せん断	71	85	0.84	25	85	0.30
		合成*	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。

3. 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

(7)評価結果

- 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。
- 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引き波時の影響評価結果(影響検討内容①)

評価部位		評価応力	引き波時		
			発生応力a(N/mm ²)	許容応力b(N/mm ²)	照査値a/b
漂流物 防護工	防護梁	曲げ応力度	246	382	0.65
		せん断応力度	9	217	0.05
		合成応力度*	0.42	1.2	0.35

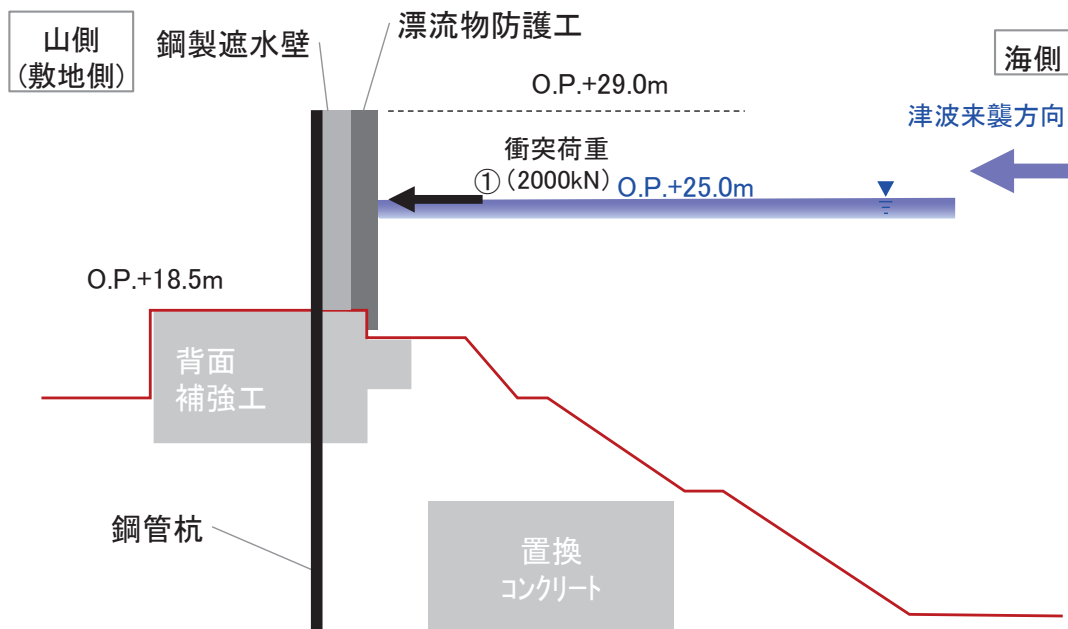
屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)のうち漂流物防護工の引き波時の影響評価結果(影響検討内容②)

評価部位		評価応力	引き波時			
			発生応力a(N/mm ²)	許容応力b(N/mm ²)	照査値a/b	
漂流物 防護工	防護梁	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	
	ブラケット	曲げ応力度	122	210	0.59	
	つなぎ材	(ボルト)	引張応力度	73	210	0.35
		(プレート)	曲げ応力度	134	382	0.36
			せん断応力度	12	217	0.06
			合成応力度	0.13	1.2	0.11
	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
		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。

【参考1】防潮堤(鋼管式鉛直壁)の漂流物防護工に作用する衝突荷重について

➤ 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
①-1 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。	○
①-2 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、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(①-2')。

