

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-24-0005_改0
提出年月日	2021年4月7日

# 女川原子力発電所第2号機 津波漂流物の衝突荷重について

---

2021年4月7日  
東北電力株式会社

- 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「詳細設計送り事項 No.2-5 津波漂流物の衝突荷重」を説明する。

12

## 【2-5】津波漂流物の衝突荷重

1. 概要

詳細設計段階で設定することとしていた津波漂流物の衝突荷重について、浸水防護施設のうち漂流物の衝突荷重を考慮する防潮堤、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰を対象とした衝突荷重の設定の妥当性を説明する。

- 女川のサイト特性から、防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）には、津波の第一波のみが到達するため、津波第一波により漂流するものが衝突することを説明する。また、貯留堰は、海中に設置していることから、引き波によって貯留堰が露出した後の押し波によって漂流物が衝突することを説明する。
- 既往の研究論文の漂流物荷重算定式を整理した結果、漂流物荷重には道路橋示方書及びFEMA(2019)に従いASCE(2016)を適用することを説明する。

2. 今後の説明予定

サイト特性、津波の水位・流速・流向の特徴、衝突を考慮する漂流物の選定、衝突荷重算定式の整理について、2020年5月提出の津波への配慮に関する説明書等にて説明予定。

図1 津波漂流物の衝突荷重を考慮する施設の配置図

工認審査ガイドより、基準津波に伴う漂流物に対し、以下の設計を行う必要がある。

- 基準津波に伴う漂流物により、非常用海水冷却系の通水性が損なわれないこと(取水性評価)。
- 基準津波に伴う漂流物の波及的影響により、津波防護施設、浸水防止設備が機能喪失しないこと(衝突評価)。

## 【工認審査ガイド(抜粋)】

### 3.6.2 津波の二次的な影響による非常用海水冷却系の機能保持確認

#### 【確認内容】

- (3) 基準津波に伴う取水口付近の漂流物については、(3.1.2)の遡上解析結果における取水口付近を含む敷地前面及び遡上域の寄せ波及び引き波の方向、速度の変化を分析した上で、漂流物の可能性を検討し、漂流物により取水口が閉塞しないこと、又は閉塞防止措置を施していることを確認する。

### 3.7 津波防護施設、浸水防止設備の設計・評価に係る検討事項

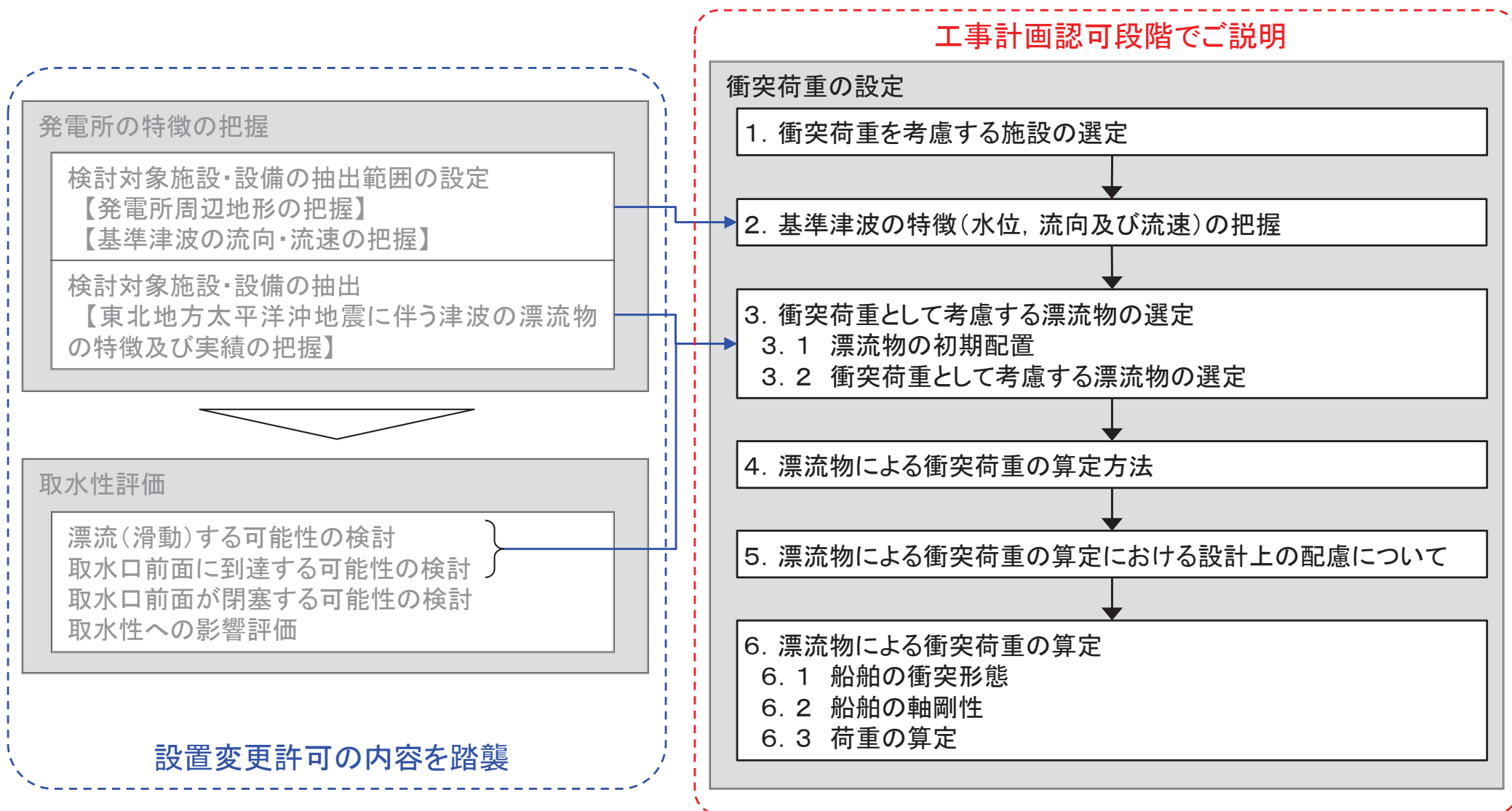
#### 3.7.1 漂流物による波及的影響の検討

#### 【規制基準における要求事項等】

津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において建物・構築物、設置物等が破損、倒壊、漂流する可能性について検討すること。

上記の検討の結果、漂流物の可能性がある場合には、防潮堤等の津波防護施設、浸水防止設備に波及的影響を及ぼさないよう、漂流防止措置または津波防護施設、浸水防止設備への影響防止措置を施すこと。

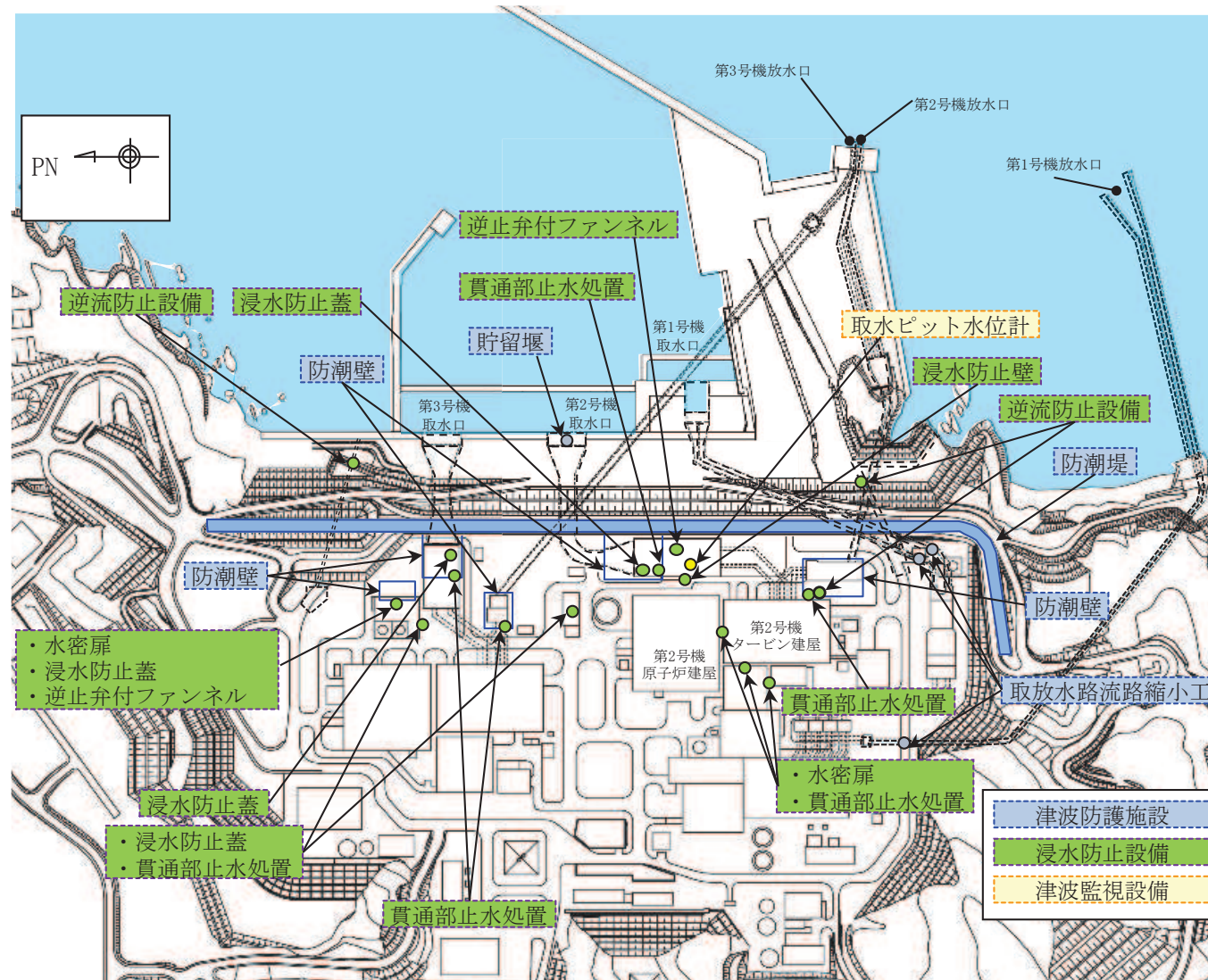
- 漂流物に対する要求事項に対して、工事計画認可では、設置変更許可における「発電所の特徴の把握」及び「取水性評価」を踏襲し、それらを踏まえた衝突評価を行うための衝突荷重を設定する。





# 1. 衝突荷重を考慮する施設の選定(1/2)

- 漂流物による影響を検討する津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備の配置は下図のとおり。



津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備の配置図

# 1. 衝突荷重を考慮する施設の選定(2/2)

➤ 漂流物による衝突荷重を考慮する施設については、各施設の設置位置を踏まえて、防潮堤、屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)及び貯留堰を選定した。

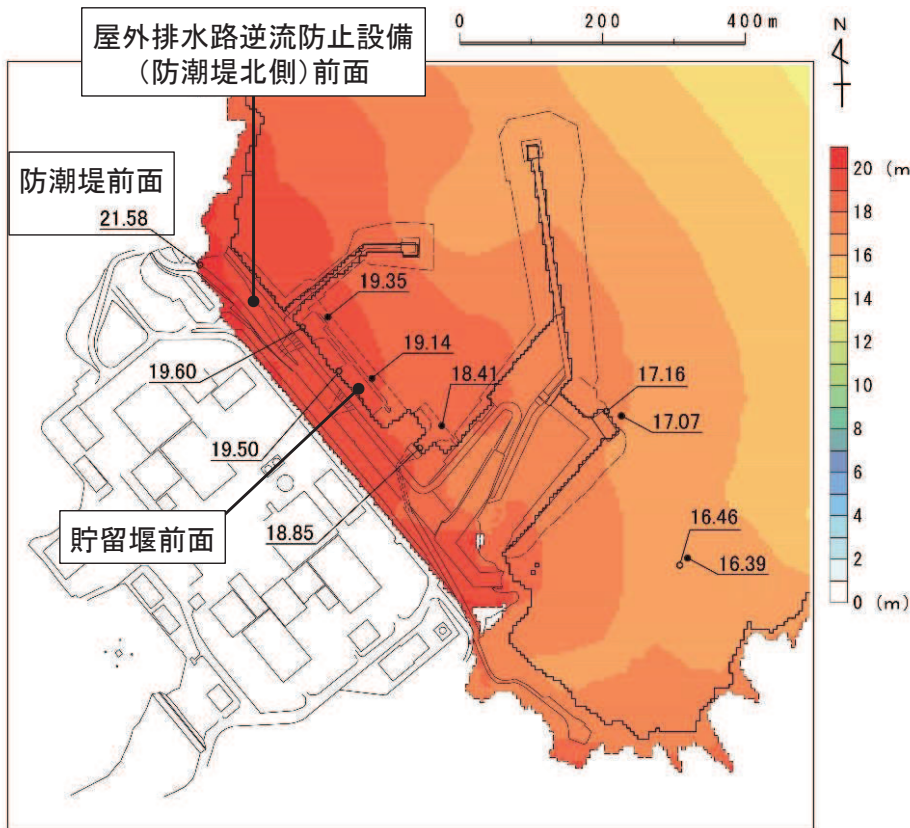
施設・設備		防潮堤よりも海側に設置されているか	地上(海中含む)に設置されているか	評価 (衝突荷重の考慮)	
津波防護施設	防潮堤	鋼管式鉛直壁	—	地上(露出部下端標高O.P.+17.0m)	考慮する
		盛土堤防	—	地上(下端標高O.P.+5.0m)	考慮する
	防潮壁		敷地側	— *	考慮しない
	取放水路流路縮小工		敷地側	— *	考慮しない
	貯留堰		海側	海中(天端標高O.P.-6.3m)	考慮する
浸水防止設備	逆流防止設備	屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)	海側	地上(下端標高O.P.+5.7m)	考慮する
		屋外排水路逆流防止設備(防潮堤南側)	海側	地中	考慮しない
		補機冷却海水系放水路逆流防止設備	敷地側	— *	考慮しない
	浸水防止蓋		敷地側	— *	考慮しない
	浸水防止壁		敷地側	— *	考慮しない
	水密扉		敷地側	— *	考慮しない
	逆止弁付ファンネル		敷地側	— *	考慮しない
	貫通部止水処置		敷地側	— *	考慮しない
津波監視設備	取水ピット水位計		敷地側	— *	考慮しない

注記 \* : 防潮堤よりも敷地側に設置されており、漂流物は衝突しないため、評価不要。

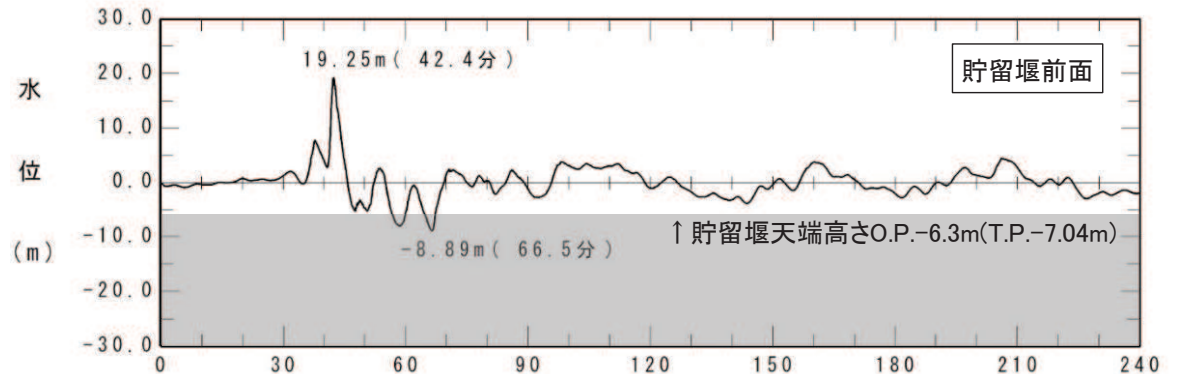
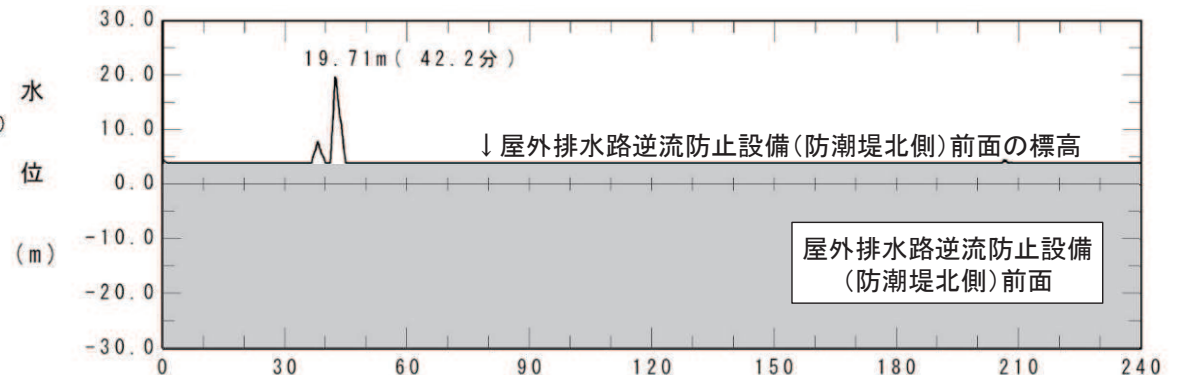
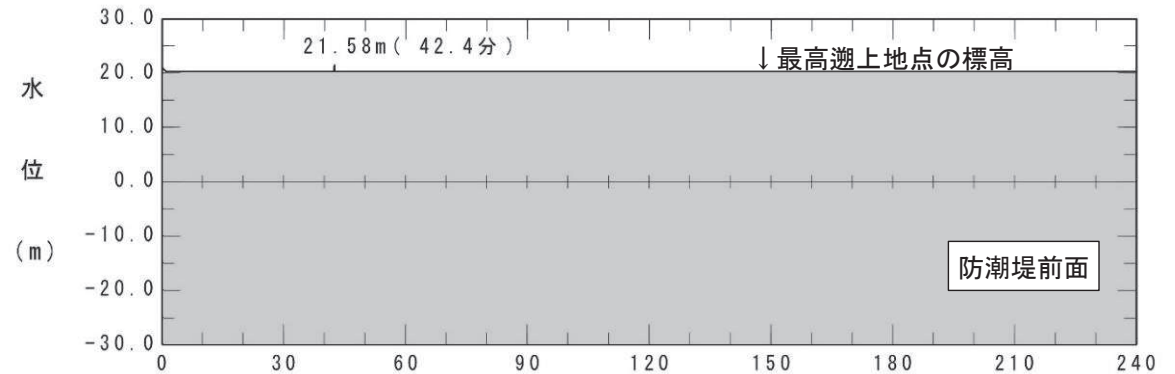
## 2. 基準津波の特徴(水位, 流向及び流速)の把握(1/2)

### 【水位の特徴】

- 防潮堤前面及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)前面は、基準津波の第一波により最大水位となる。
- 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  
(防波堤あり, 基準地震動 $S_s$ による地盤沈下なし, 全時刻)

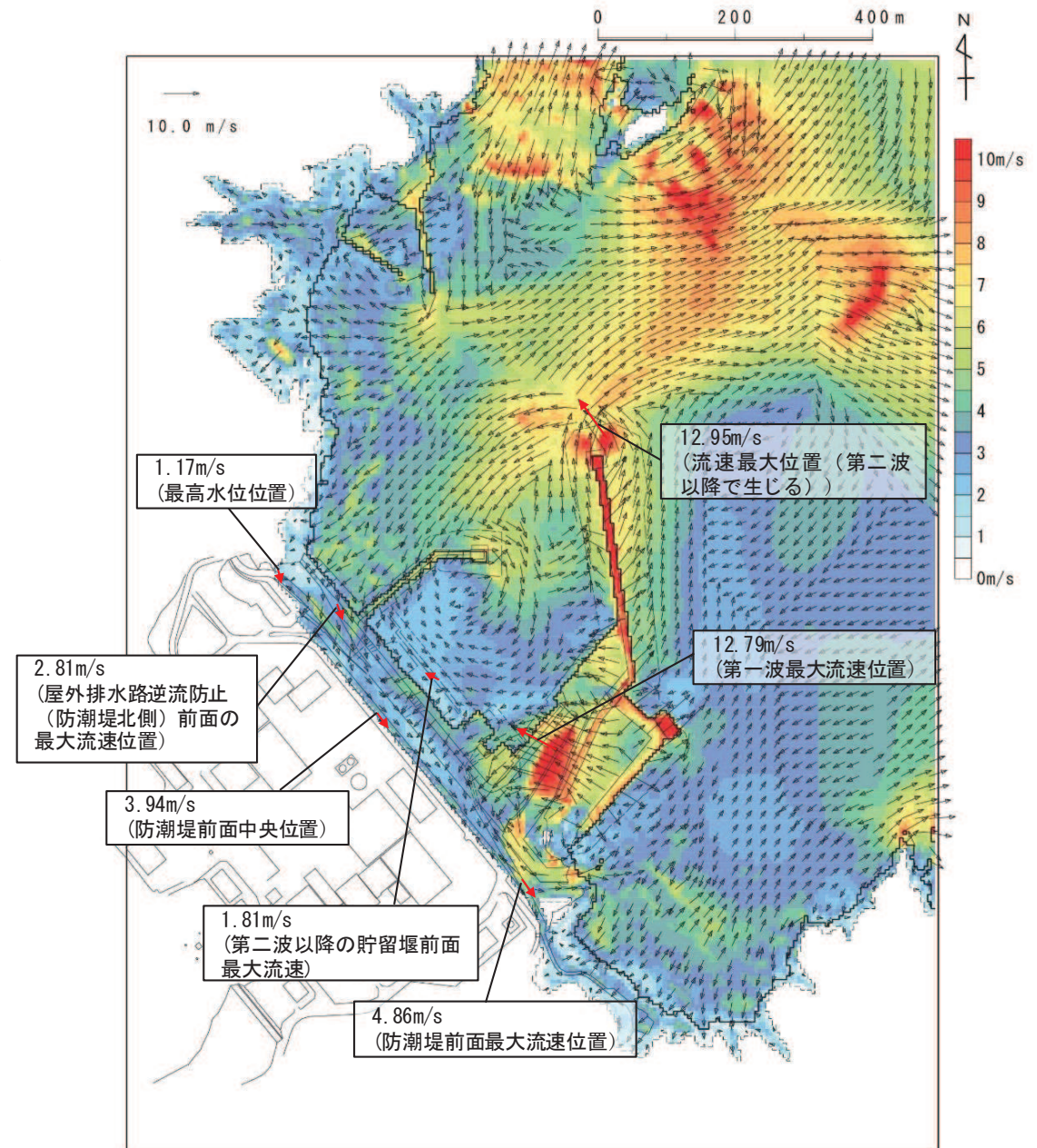


水位時刻歴波形



### 【流向・流速の特徴】

- 敷地前面域での最大流速は, 第二波以降の防波堤付近で, 12.95m/sとなっているが, 発電所から離れる方向である。
- 第一波での最大流速は12.79m/sとなっており, 敷地に近づく方向である。
- 防潮堤前面及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)前面における最大流速は, いずれも第一波で生じ, それぞれ4.86m/s及び2.81m/sであり, 各設備に対して沿うような方向となっている。
- 貯留堰前面の最大流速は1.81m/sであり, 貯留堰に対して沿うような方向となっている。

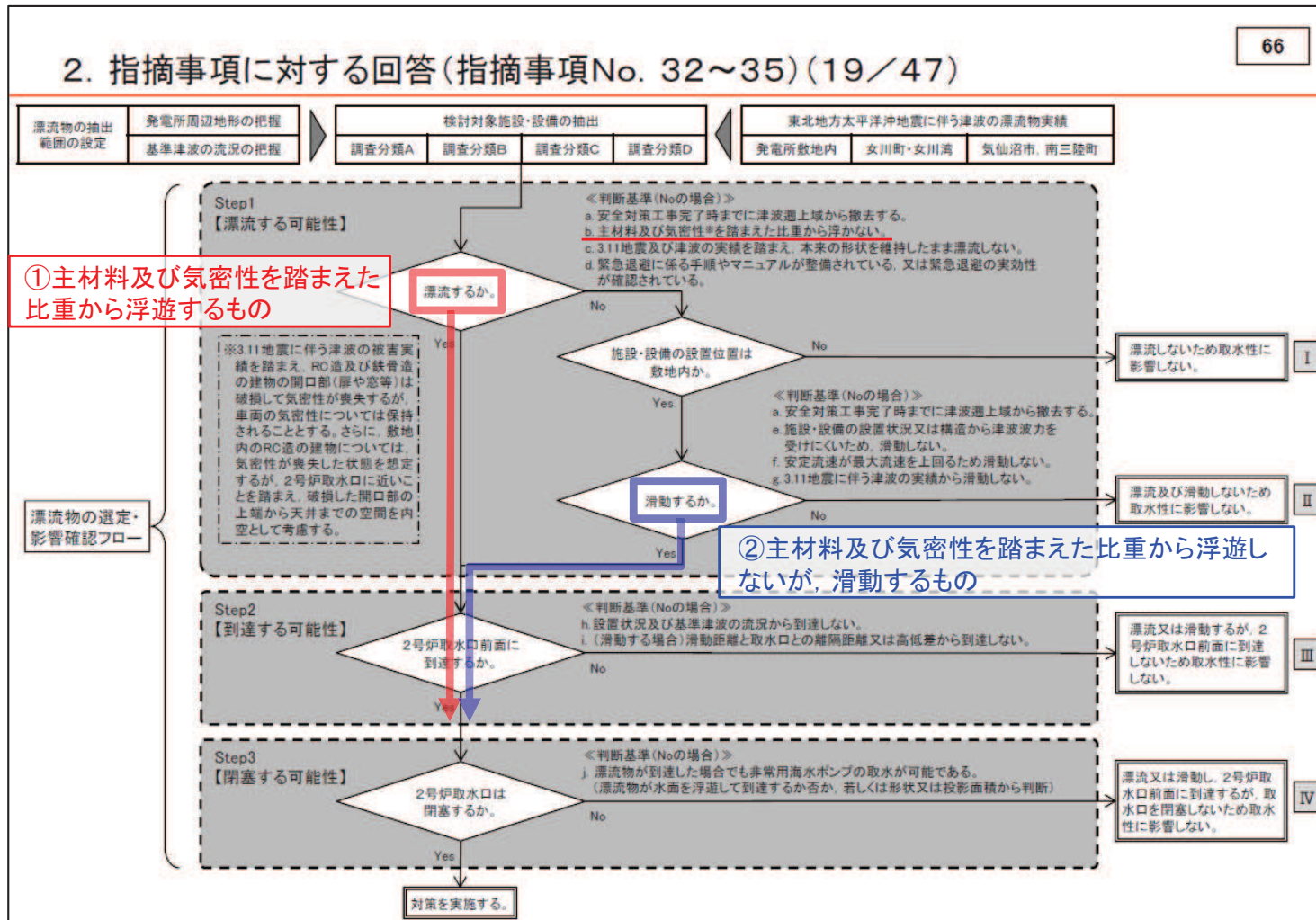


基準津波における最大流速分布図  
(防波堤あり, 基準地震動 $S_s$ による地盤沈下なし, 全時刻)



# 3. 衝突荷重として考慮する漂流物の選定(1/2)

- 設置変更許可の取水性評価において「取水口前面に到達する可能性のある漂流物」として整理した漂流物は、防潮堤、屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)及び貯留堰に衝突する可能性がある。
- 「取水口前面に到達する可能性のある漂流物」は、主材料及び気密性を踏まえた比重から、①浮遊するものと②浮遊しないが滑動するものに分けられる。

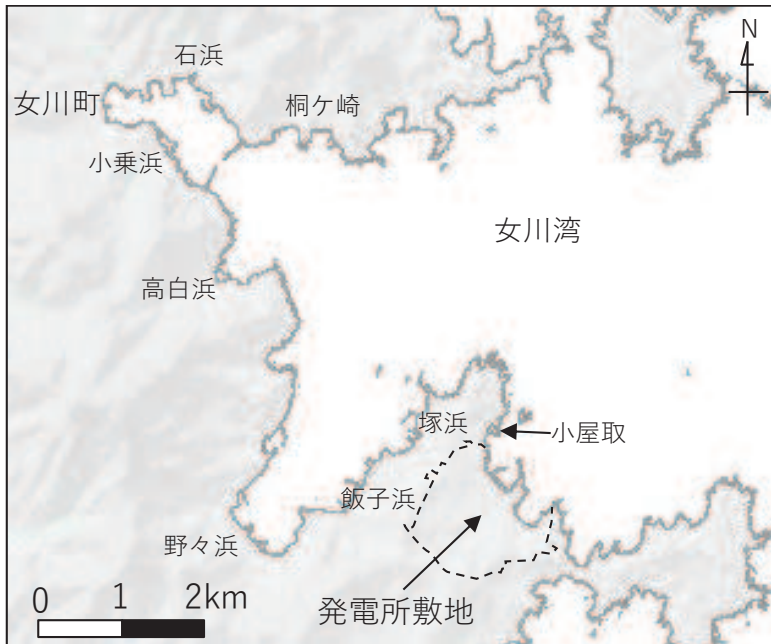


### 3. 衝突荷重として考慮する漂流物の選定(2/2)

- 設置変更許可で「取水口前面に到達する可能性のある漂流物」として整理したものは右表のとおり。
- これらの漂流物を、防潮堤、屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)及び貯留堰に衝突する可能性がある漂流物とする。
- 衝突荷重は初期配置に影響すると考えられるため、各漂流物の初期配置を検討した(次頁以降に示す)。

取水口前面に到達する可能性のある漂流物(設置変更許可で整理)

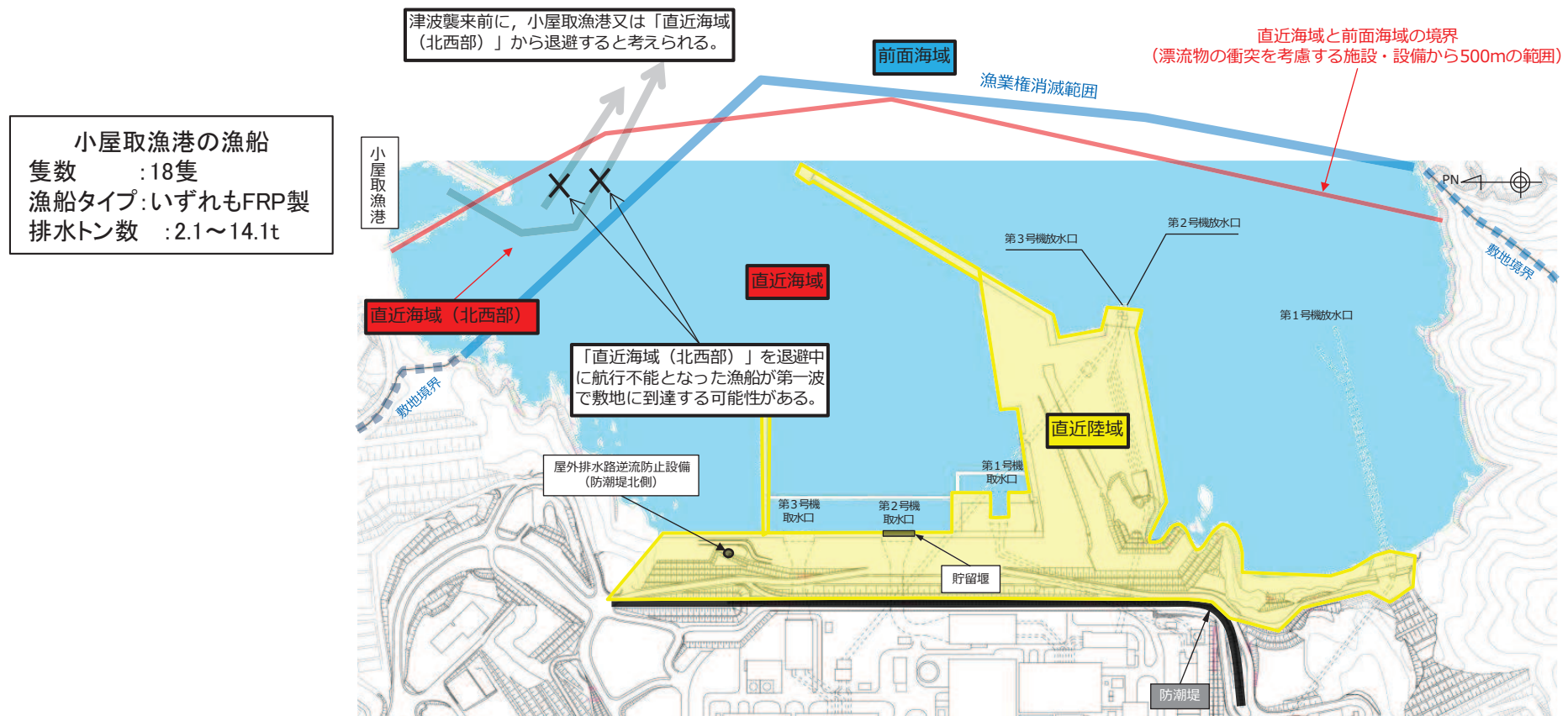
範囲		取水口へ到達する漂流物	重量等	取水口への到達形態	
敷地内	陸域 (主にO.P.+2.5m~ O.P.+4.0m)	角落し	約7t	滑動	
		第3号機モニタリング架台	—	滑動	
		車両系重機・燃料等輸送車	2.7~41.2t	滑動	
		PC板(カーテンウォール)	約8t	滑動	
		キュービクル類	約5t	滑動	
		がれき	—	浮遊	
		巡視点検用車両	2.15t	浮遊	
海域		ゴムボート	1t未満	浮遊	
敷地外	小屋取地区	海域	小型漁船(FRP)	排水トン数:15t	浮遊
		陸域	がれき	—	浮遊
			がれき	—	浮遊
	小屋取地区以外	陸域	車両	—	浮遊
		海域	がれき	—	浮遊
			漁船(FRP)	排水トン数:57t	浮遊
		陸域	がれき	—	浮遊
			車両	—	浮遊
			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



女川原子力発電所周辺

## 3.1 漂流物の初期配置(1/2)

- 漂流物の初期配置については、流向・流速の特徴及び漂流物の衝突を考慮する施設からの距離を踏まえ、「直近陸域」、「直近海域」及び「前面海域」の3つに区分した。
- 敷地内からの漂流物は「直近陸域」に整理し、「前面海域」は女川湾内の漁船(漁又は航行している漁船)が退避中に航行不能となることを想定し、女川湾内の漁船(FRP製)を整理した。
- 「直近海域」では一部漁業権消滅範囲ではない範囲がある。この範囲は、発電所及び小屋取漁港の航路となっていることから漁をしている可能性は極めて低いと考えられるが、念のため漁をしていることを考慮し、退避時に航行不能となる小屋取漁港の漁船(FRP製)を「直近海域」に整理する。



「直近陸域」、「直近海域」及び「前面海域」の区分



## 3.1 漂流物の初期配置(2/2)

➤ 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。

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

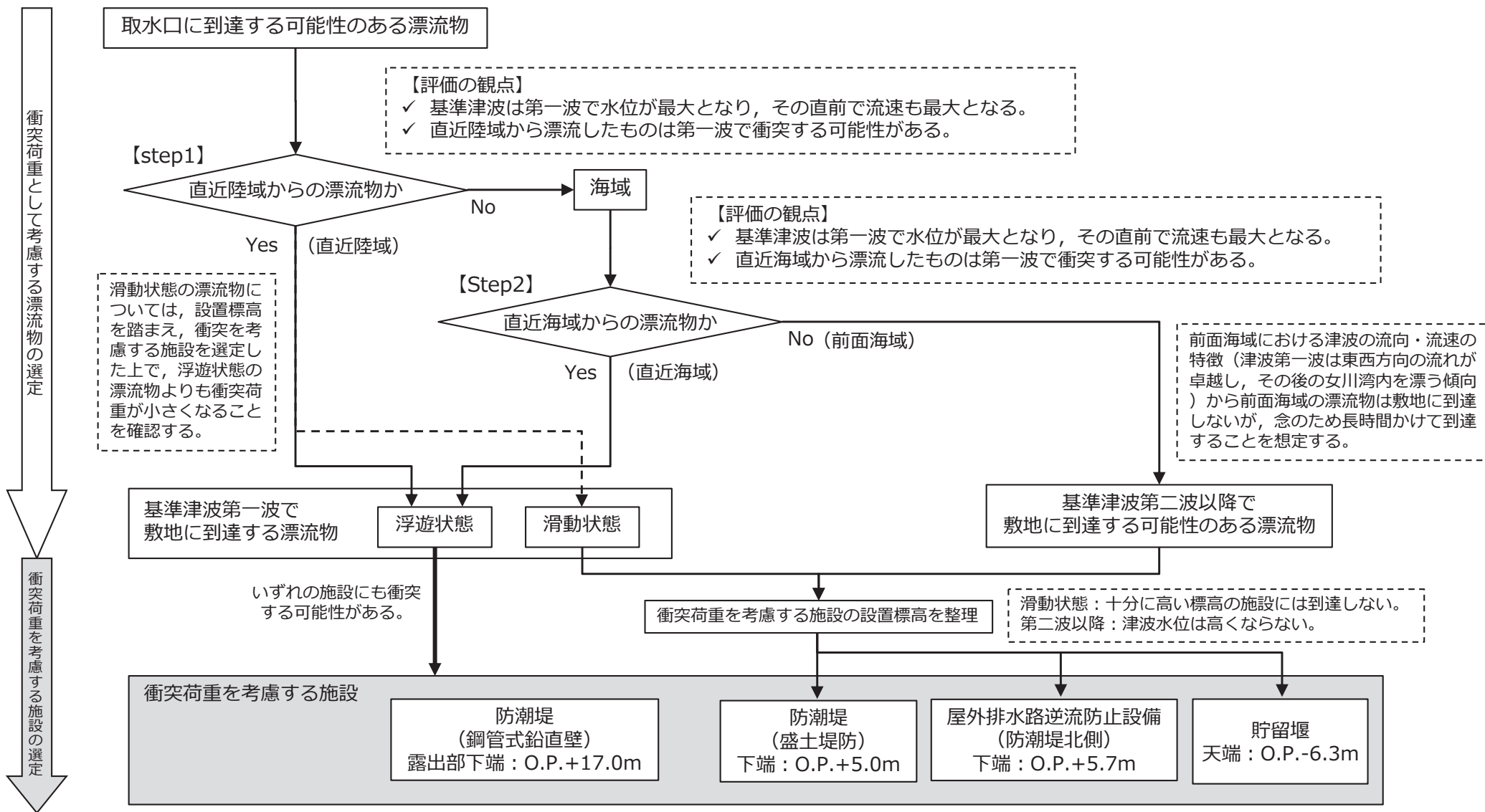
注記 \*1: 第3号機モニタリング架台はその形状から車両系重機の41.2tよりも軽いと評価

\*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

# 3.2 衝突荷重として考慮する漂流物の選定(1/2)

- 基準津波の特性, 漂流形態(滑動, 浮遊), 漂流物の初期配置区分, 衝突を考慮する施設の設置標高の観点から, 下図の選定フローに従って各施設に対して衝突する可能性のある漂流物の選定を行った。
- また, 各漂流物の重量の大小関係から, 荷重算定に用いる代表漂流物を選定した。



## 3.2 衝突荷重として考慮する漂流物の選定(2/2)

- 荷重算定に用いる代表漂流物を選定した結果を下表に示す。

荷重算定に用いる代表漂流物の選定結果

衝突する可能性のある漂流物	重量等	到達形態	初期配置区分	衝突荷重を考慮する施設			
				防潮堤 (鋼管式鉛直壁)	防潮堤 (盛土堤防)	屋外排水路 逆流防止設備 (防潮堤北側)	貯留堰
車両系重機	41.2t	滑動	直近陸域	— *	○	○	○
巡視点検用車両	2.15t	浮遊	直近陸域	○	○	○	○
小型漁船(FRP)	排水トン数:15t	浮遊	直近海域	○	○	○	○
漁船(FRP)	排水トン数:57t	浮遊	前面海域	— *	○	○	○

注記 \* : 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の設置標高(露出部下端O.P.+17.0m)から、滑動するもの及び前面海域からの漂流物は衝突しないため、評価対象外



# 4. 漂流物による衝突荷重の算定方法

- 既往の漂流物衝突荷重算定式の導出にあたって実施した実験の条件に加え、前述で整理した衝突荷重を算定する漂流物の種類及び初期位置を踏まえ、各式の適用性を以下のとおり整理した。

既往の漂流物衝突荷重算定式の適用性整理結果

No.	出典	種類	概要	適用性
①	松富ほか(1999)	流木	円柱形状の流木が縦向きに衝突する場合の衝突荷重算定式を提案。 水理模型実験及び気中衝突実験において、流木を被衝突体の前面に配置した状態で衝突させている。	個別の流木(丸太)の種類等に応じて、実現象を再現するようなパラメータを適切に定める必要があるという課題はあるものの、「直近陸域」又は「直近海域」からの流木に対して適用可能と判断する。
②	池野・田中(2003)	流木	円柱、角柱及び球の形状をした木材による漂流物の衝突荷重算定式を提案。 衝突体を被衝突体の前面に配置した状態で衝突させている。	流木を対象とした算定式であるが、実験の模型縮尺(1/100)を考慮すると、原子力発電所における漂流物衝突事象への適用は困難と判断する。
③	道路橋示方書(2002)	流木等	橋(橋脚)に自動車、流木あるいは船舶等が衝突する場合の漂流物の衝突荷重算定式を提案。 漂流物が流下(漂流)してきた場合に、表面流速を与えることで漂流流速に対する荷重が算定可能。	漂流物が流下(漂流)して来た場合に、表面流速(津波流速)を与えることで漂流流速に対する荷重を算定できるため、「前面海域」からの漂流物に対して適用可能と判断する。
④	FEMA(2012)	流木 コンテナ	非減衰系の振動方程式に基づき導出した荷重算定式を提案。 適用にあたっては、個別の漂流物に対して軸剛性を適切に定める必要がある。	個別の漂流物に対して、実現象を再現するような軸剛性を適切に定める必要があるという課題はあるものの、「直近陸域」又は「直近海域」からの漂流物に対して適用可能と判断する。
⑤	水谷ほか(2005)	コンテナ	漂流するコンテナによる漂流物の衝突荷重を提案。 コンテナを被衝突体の前面に配置した状態で衝突させている。	エプロン上にコンテナを設置して衝突力を求めるという特殊な実験により得られた式であることに留意する必要があるものの、「直近陸域」からのコンテナに対して適用可能と判断する。
⑥	有川ほか(2007,2010)	流木 コンテナ	鋼製構造物(コンテナ等)による漂流物の衝突荷重を提案。 コンテナを被衝突体の前面に配置した状態で衝突させている。	剛性に係るk値を適切に定める必要があり、実験で直接確認されている流木以外への適用は困難と判断する。 したがって、「直近陸域」又は「直近海域」からの流木に対して適用可能と判断する。

### ① 漂流物による衝突荷重算定用の流向

漂流物が被衝突物に対して法線方向に作用する際に衝突荷重は大きくなると考えられるため、設計上の配慮として、漂流物は被衝突物に対して法線方向から衝突させる。

### ② 漂流物による衝突荷重算定用の流速

衝突する速度が大きくなれば衝突荷重としても大きくなるため、設計上の配慮として、被衝突物に漂流物が衝突する際の流速については発電所港湾を含めた敷地前面域から全ての方向の流速ベクトルを含めた中での最大流速(12.79m/s)の数値を切り上げ、13.0 m/sとする。

### ③ 漂流物による衝突荷重と津波荷重との重畳

津波と漂流物による最大荷重が同時に作用する可能性は小さいと考えられるが、津波による最大荷重(最大波高時における波力)と漂流物による最大荷重(最大流速時における漂流物による衝突荷重)を重畳させる。

## 6. 漂流物による衝突荷重の算定

- 規格・基準類及び既往の研究論文の衝突荷重算定式の適用性を考慮し、「直近陸域」の車両(2.15t)と「直近海域」の船舶(排水トン数15t)は「FEMA(2012)」、 「前面海域」の船舶(排水トン数57t)は道路橋示方書式を適用して衝突荷重を算定することとした。
- また、p1に示すとおり第876回審査会合において、漂流物衝突荷重算定式に道路橋示方書式及びFEMA(2019)に従いASCE(2016)を適用する方針としていたが、先行サイトの適用実績及びFEMA(2012)を適用した方が保守的な評価となること(p21に示す)を踏まえ、浮遊状態で衝突する可能性のある「直近陸域」の車両及び「直近海域」の船舶にはFEMA(2012)を適用することとした。
- 「FEMA(2012)」を適用する車両及び船舶については、軸剛性を設定する必要がある。車両については甲斐田・木原(2017)から $2.8 \times 10^6$ (N/mm<sup>2</sup>)を用いるが、船舶についてはFRP製であることを踏まえ、材質を考慮した上で保守的な軸剛性となるよう設定する(次頁以降に示す)。

漂流物による衝突荷重算定条件

衝突する可能性のある漂流物	重量	到達形態	流速 (衝突速度)	初期配置 区分	適用式	衝突荷重を考慮する施設			
						防潮堤 (鋼管式 鉛直壁)	防潮堤 (盛土堤防)	屋外排水路 逆流防止設備 (防潮堤北側)	貯留堰
車両系重機*	41.2 t	滑動	13 m/s	直近陸域	ASCE(2016)	—	○	○	○
巡視点検用車両	2.15 t	浮遊	13 m/s	直近陸域	FEMA(2012)	○	○	○	○
小型漁船	排水トン数 15 t	浮遊	13 m/s	直近海域	FEMA(2012)	○	○	○	○
漁船	排水トン数 57 t	浮遊	13 m/s	前面海域	道路橋示方書	—	○	○	○

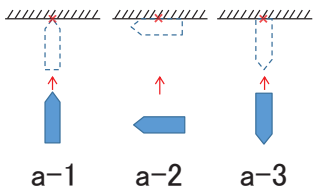
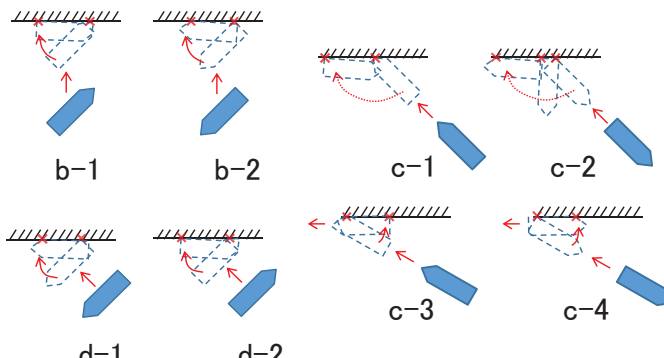
注記\* : 滑動状態で衝突を考慮する車両系重機(41.2t)は、「ASCE(2016)」を参考に、衝突荷重を算定することとした。



## 6.1 船舶の衝突形態

- 船舶が衝突する際の挙動は複雑であることから、衝突形態に関する検討を行い、衝突評価として保守的になるような衝突形態を想定する。
- 検討の結果、船首(a-1)及び船尾(a-3)で衝突する場合に施設に対する衝突評価は厳しくなると考えられることから、船首及び船尾から衝突した場合の衝突解析を実施した。
- 衝突解析の結果から、船首及び船尾から衝突した場合、両者に有意な差はないことを確認したため、本評価では、津波は直角方向に襲来し、船首方向から衝突するパターンを想定することとする。

船舶の衝突パターンと衝突形態の特徴

衝突パターン	衝突形態の特徴
 <p>a-1      a-2      a-3</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 船首(又は船側, 船尾)の1箇所衝突する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の幅は、衝突を考慮する船舶の長さの半分以下であり、海側に張出した構造ではないため、a-2では衝突することはない。</li> <li>✓ 防潮堤(鋼管式鉛直壁)は1本の杭が支持する漂流物防護工の幅が4mであることから、a-1又はa-3で衝突する場合は衝突面積が小さいため、衝突荷重を1本の杭で受け持つこととなるが、a-2で衝突する場合は船舶の長さが4m以上であるため、2本以上の杭で衝突荷重を受け持つこととなり、杭1本あたりで負担する衝突荷重は小さくなる。</li> <li>✓ 貯留堰についても、防潮堤(鋼管式鉛直壁)と同様に、a-2で衝突する場合に負担する衝突荷重は小さくなる。</li> </ul> </li> </ul>
 <p>b-1      b-2      c-1      c-2</p> <p>d-1      d-2      c-3      c-4</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 船首(又は船尾)付近で衝突した後で、逆側の船尾(船首)側も衝突するため、2箇所以上で衝突が生じて荷重が分散されてしまう。</li> <li>➤ Ikeno et al(2016)では木材(丸太)の気中衝突実験を行っており、縦衝突に対して斜め衝突にした場合に衝突力は小さくなることが示されており、特に衝突角度20度を越えた場合には最大で半分程度の衝突力になることが示されている。</li> </ul>

## 6.2 船舶の軸剛性(1/3)

- 「直近海域」から衝突する可能性のある小型漁船はいずれもFRP製であることから、船舶の軸剛性に材質を考慮できる「土木学会(1994)」の設定方法を用いることとする。
- 「土木学会(1994)」では、船舶の圧壊荷重(船首強度) $P_c$ について、以下に示す平板の座屈応力度の算定式から座屈強度 $\sigma_c$ を算出し、船首形状寸法等を乗じることで求められるとしている。求められる圧壊荷重 $P_c$ を対応する変位量(船首傾斜部の長さ) $L_{sf}$ で除すことで、船舶の軸剛性 $k_c$ が算出される。
- FRPの材質として用いるヤング率及びポアソン比については、軸剛性が大きくなるよう、それぞれ保守的な設定とし、船舶の構造に係る条件は「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)」の設定方法を基本に、鋼船を基にした「土木学会(1994)」の設定方法でも確認し、軸剛性が大きくなる方法を選定することとした。

$$\sigma_c = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left( \frac{t}{b} \right)^2$$

$$P_c = 2Dt(\cos\theta)\sigma_c$$

$$k_c = \frac{P_c}{L_{sf}}$$

$\sigma_c$  : 座屈強度 (tf/m<sup>2</sup>)

$k_c$  : 軸剛性 (tf/m)

$\nu$  : ポアソン比

$k$  : 座屈係数  $((b/a + a/b)^2)$

$t$  : 船側外板厚 (mm)

$L_{sf}$  : 船首傾斜部の長さ (m)

$P_c$  : 圧壊荷重(船首強度) (tf)

$E$  : ヤング率 (tf/m<sup>2</sup>)

$a$  : 横肋骨心距 (mm)

$b$  : 縦肋骨心距 (mm)

$D$  : 船の深さ (m)

$2\theta$  : 船首角度 (°) (35° ~ 70°)

## 6.2 船舶の軸剛性(2/3)

- 算定に用いた材質に係る条件(FRPのヤング率及びポアソン比)は下表のとおり。
- ヤング率及びポアソン比は、大きい方が軸剛性も大きくなることから、文献で確認される最大値又はそれを上回る値に設定した。

軸剛性算出に用いた材質に係る条件

記号の説明	設定値	引用文献	引用文献の値
E:ヤング率	最大値である12(GPa)を採用 ( $=1.22 \times 10^6 \text{tf/m}^2$ )	「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018年)」の曲げ弾性係数	$6.86 \times 10^3 (\text{N/mm}^2)$
		「漁港・漁場の施設の設計参考図書(水産庁, 2015年)」のハンドレイアップ成形法の曲げ弾性率	9~ <u>12</u> (GPa)
		「非金属材料データブック プラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス[改訂2版](日本規格協会, 1985年)」のハンドレイアップ用ガラス繊維基材のGRPとしての力学的特性(標準)の曲げ弾性率	1050~1140(kgf/mm <sup>2</sup> )
		「船舶海洋工学シリーズ⑥ 船体構造 構造編(藤久保昌彦・吉川孝男・深沢塔一・大沢直樹・鈴木英之, 2012年)」	10.7(kN/mm <sup>2</sup> )
ν:ポアソン比	最大となる0.358を採用するが、 保守的に0.4に設定	「3相森・田中平均化手法のハイブリッドFRP梁への応用(土木学会, 2014)」	0.308
		「非金属材料データブック プラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス[改訂2版](日本規格協会, 1985年)」のハンドレイアップ用ガラス繊維基材のGRPとしての力学的特性(標準)	0.320~ <u>0.358</u>

## 6.2 船舶の軸剛性(3/3)

- 算定に用いた船舶の構造に係る条件は右表のとおり。
- 船舶の構造に係る条件は、船舶の長さから算出されるものが多いため、船舶の長さについて「強化プラスチック船規則解説(日本海事協会会誌, 1978年)」の12.8mと「漁港・漁場の施設の設計参考図書(水産庁, 2015年)」の11mを比較し、保守的な設定となるよう大きい方の12.8mをそれぞれの設定方法に適用した。
- 以上の条件から船舶の軸剛性を算出すると、右下の表のとおりとなり、「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)」では  $0.59 \times 10^5$  N/m, 「土木学会(1994)」では  $1.81 \times 10^5$  N/mとなった。そのため、軸剛性が大きい  $1.81 \times 10^5$  N/mを採用することとする。

軸剛性算出に用いた船舶の構造に係る条件

記号の説明	船体構造を「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018年)」を基にした設定内容	船体構造を(「土木学会(1994)」(鋼製の船舶)を基にした設定内容
k: 座屈係数	4 $((b/a + a/b)^2$ から算出	4.15 「土木学会(1994)」から算出
t: 船側外板厚	5.89mm 「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018年)」から算出	5.22mm 「土木学会(1994)」から算出
a: 横肋骨心距	500mm 「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018年)」から設定	472mm 「土木学会(1994)」から算出
b: 縦肋骨心距	500mm 「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018年)」から設定	572mm 「土木学会(1994)」から算出
D: 船の深さ	1.01m 「強化プラスチック船規則解説(日本海事協会会誌, 1978年)」から設定	0.88m 「土木学会(1994)」から算出
$2\theta$ : 船首角度 ( $35^\circ \sim 70^\circ$ )	$35^\circ$ 保守的になるよう設定	$35^\circ$ 「土木学会(1994)」から設定
$L_{sf}$ : 船首傾斜部の長さ	1.28m 「小型漁船のインベントリ分析に関する研究-A: モデル船の建造・運航状況調査(海上技術安全研究所報告 第3巻 第5号(平成15年))」及び「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018年)」より換算	0.256m 「土木学会(1994)」から算出

船舶の軸剛性の比較

記号の説明	船体構造を「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018年)」を基にした設定内容	船体構造を(「土木学会(1994)」(鋼製の船舶)を基にした設定内容
$k_c$ : 軸剛性	$0.59 \times 10^5$ N/m	$1.81 \times 10^5$ N/m



## 6.3 荷重の算定

- 漂流物による衝突荷重を算出した結果、漂流物による最大衝突荷重は、巡視点検用車両(2.15t)の1855kNとなった。これに対して、より質量も重い船舶(排水トン数15t)の衝突荷重が小さくなっているのは、船舶がFRP製であり、軸剛性が低いことが要因である。
- 以上のことから、設計用衝突荷重としては保守的に2000kNとする。
- なお、設置変更許可時において漂流物の最大重量として選定した船舶(排水トン数57t)を考慮しても、設計用衝突荷重2000kNに包絡されることを確認した。

漂流物による衝突荷重一覧(防潮堤(鋼管式鉛直壁))

種類	質量(t)	流速(m/s)	適用式	軸剛性(N/mm <sup>2</sup> )	衝突荷重(kN) *1	設計用衝突荷重(kN)
巡視点検用車両 (直近陸域)	2.15	13	FEMA(2012)	$2.8 \times 10^6$	1855【1.07】	2000
			【参考】ASCE(2016)(FEMA(2019))	$2.8 \times 10^6$	1261【1.58】	
船舶(直近海域)	15	13	FEMA(2012)	$1.81 \times 10^5$	1245【1.60】	
【参考】船舶(前面海域)	57	13	道路橋示方書	—	727【2.75】	

注記\*1:【】内は衝突荷重に対する設計用衝突荷重の割合

漂流物による衝突荷重一覧(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)

種類	質量(t)	流速(m/s)	適用式	軸剛性(N/mm <sup>2</sup> )	衝突荷重(kN) *1	設計用衝突荷重(kN)
巡視点検用車両 (直近陸域)	2.15	13	FEMA(2012)	$2.8 \times 10^6$	1855【1.07】	2000
			【参考】ASCE(2016)(FEMA(2019))	$2.8 \times 10^6$	1261【1.58】	
船舶(直近海域)	15	13	FEMA(2012)	$1.81 \times 10^5$	1245【1.60】	
船舶(前面海域)	57	13	道路橋示方書	—	727【2.75】	
車両系重機【滑動】	41.2	13	ASCE(2016)	—	624*2【3.20】	

注記\*1:【】内は衝突荷重に対する設計用衝突荷重の割合

\*2:「ASCE(2016)」の例示を参考に衝突荷重を算出

- 船舶の衝突荷重算定は、「土木学会(1994)」を基にした場合の軸剛性 $1.81 \times 10^5$  N/mを採用し、「FEMA(2012)」により算出したが、船舶の衝突荷重の保守性を確認する観点から、下表のとおり不確かさ及びばらつき要因として考えられる条件を変えることで、その影響について確認した(朱書き部がケースAから変えた条件)。
- その結果、各条件が衝突荷重に与える影響の程度を確認するとともに、前述で示したケース(A)の設定条件が保守的であり、衝突荷重が最も大きくなることを確認した。

ケース	船舶の構造による不確かさ			材料物性のばらつき		衝突荷重 (kN)	ケースAにおける 保守性の確認
	船舶の長さ (m)	船首傾斜部 の長さ(m)	それ以外の条件 (p20の条件)	ヤング率 (tf/m <sup>2</sup> )	ポアソン比		
A (評価ケース)	12.8	0.256	土木学会(1994)から設定	$1.22 \times 10^6$	0.4	1245	ケースBの1.75倍 ケースCの2.23倍 ケースDの1.34倍 ケースEの1.04倍 ケースFの1.05倍
B	12.8	<u>1.28</u> * <sup>2</sup>	<u>強化プラスチック船規則 (日本海事協会, 2018年)</u> から設定	$1.22 \times 10^6$	0.4	708	—
C	12.8	<u>1.28</u> * <sup>2</sup>	土木学会(1994)から設定	$1.22 \times 10^6$	0.4	556	—
D	12.8	0.256	土木学会(1994)から設定	<u><math>0.70 \times 10^6</math></u> * <sup>3</sup>	0.4	940	—
E	12.8	0.256	土木学会(1994)から設定	$1.22 \times 10^6$	<u>0.308</u> * <sup>3</sup>	1197	—
F	<u>11.0</u> * <sup>1</sup>	0.256	土木学会(1994)から設定	$1.22 \times 10^6$	0.4	1177	—

注記 \*1:「漁港・漁場の施設の設計参考図書(水産庁, 2015年)」より総トン数5tの船舶の長さ

\*2:強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018年)から算出

\*3:p19の最小値