

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 漂流物に係る論点整理について

TEPCO

2020年6月17日
東京電力ホールディングス株式会社

枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

1. 概要
2. 漂流物に関する検討事項の整理
 - 2.1 漂流物に対する要求事項
 - 2.2 検討対象及び検討内容
3. 津波に関するサイト特性
4. 取水性評価
 - 4.1 取水性評価対象漂流物の選定
 - 4.2 通水性への影響評価
5. 漂流物衝突評価
 - 5.1 被衝突体の特性の整理
 - 5.2 衝突影響評価対象漂流物の整理
 - 5.3 既往の漂流物衝突荷重算定式の適用性の整理
 - 5.4 漂流物の初期配置に関する整理
 - 5.5 漂流物衝突荷重の算定結果

1. 概要

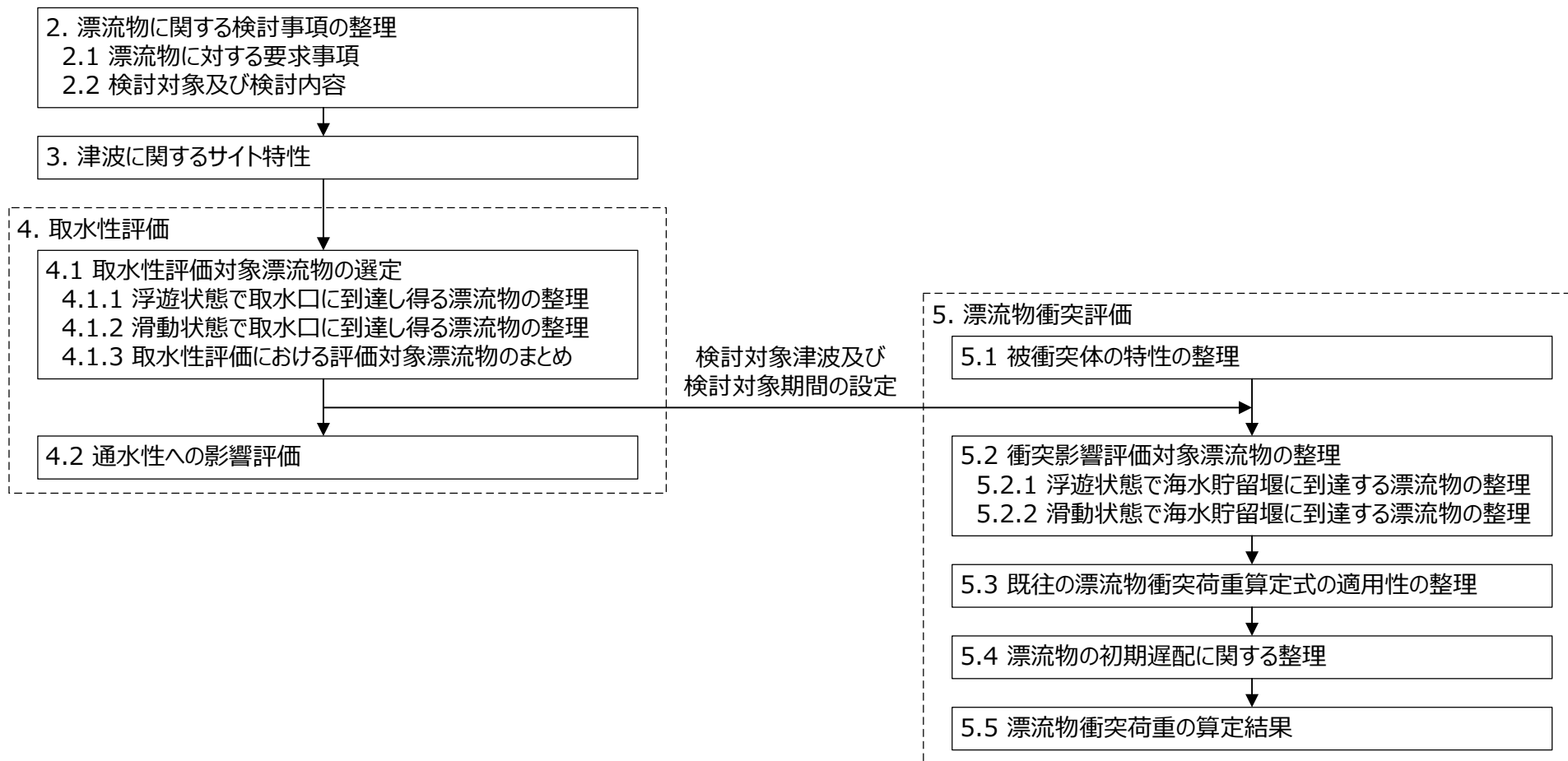


図1-1: 漂流物に関する検討の流れ

2. 漂流物に関する検討事項の整理

2.1 漂流物に対する要求事項

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と整理

- 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。

2.2 検討対象及び検討内容

【取水性評価】

- 取水口に到達し得る漂流物を抽出し、それらにより通水性が損なわれない（取水口が閉塞しない）ことを確認
- 漂流物の抽出にあたっては、漂流の他、滑動も考慮し取水口への到達有無を判断
- また、後述する津波に関するサイト特性（津波の繰返し性）も考慮し保守的となるよう漂流物を抽出

【漂流物衝突評価】

- 表2-1に示す整理を実施し、被衝突体として海水貯留堰を選定
- 海水貯留堰に衝突し得る漂流物を抽出し、それらの衝突により海水貯留機能が喪失しないことを確認
- 漂流物の抽出にあたっては、【取水性評価】において考慮する漂流物をベースとするが、後述する被衝突体に関する特性（海水貯留堰の使命時間）を考慮し、検討対象とする基準津波及び検討対象期間を設定し、再整理を実施
- 衝突荷重の算定にあたっては、漂流物の衝突モードを考慮し、適切な荷重算定式を適用

表2-1：被衝突体に関する整理

津波防護施設及び浸水防止設備	範囲内／外※	漂流物衝突評価対象	対象外とする理由
7号機海水貯留堰	範囲内	○	—
6号機海水貯留堰	範囲内	○	—
取水槽閉止板	範囲内	×	取水路最奥の補機冷却用海水取水槽に設置するものであり、漂流物が到達しないため
水密扉	範囲外	×	基準津波が直接到達する範囲外に設置されるため
床ドレンライン閉止治具	範囲外	×	基準津波が直接到達する範囲外に設置されるため
貫通部止水処置	範囲外	×	基準津波が直接到達する範囲外に設置されるため

※ 基準津波が直接到達する範囲内に設置されるか、範囲外に設置されるか

3. 津波に関するサイト特性

3. 津波に関するサイト特性

(1) 基準津波の選定

- 敷地前面（港湾内）の最高水位を与える津波として基準津波 1（日本海東縁部；2 領域モデル）を選定
- 敷地前面（港湾内）の最低水位を与える津波として基準津波 2（日本海東縁部；2 領域モデル）を選定
- 敷地高さが低い荒浜側敷地への遡上影響を評価するため，荒浜側防潮堤前面敷地（防潮堤健全状態）における最高水位を与える津波として基準津波 3（海域の活断層；5 断層連動モデル）を選定

(2) 津波の繰返し性

- 中国大陸，佐渡島あるいは能登半島からの反射波の影響で，津波の繰返しが比較的長時間継続
- 第一波が最高（最低）水位とならない場合もある
- ただし一部例外はあるものの，全体傾向としては一定時間経過後は時間の経過とともに津波の振幅は減衰

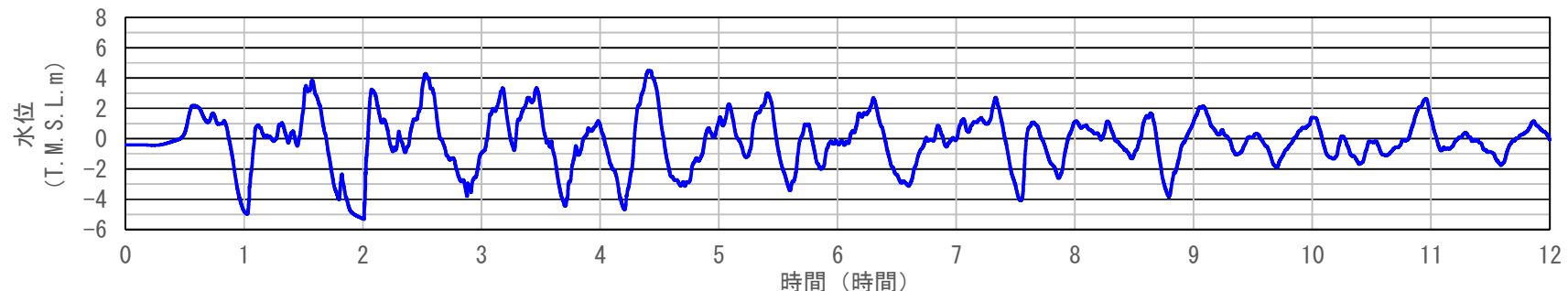


図3-1：基準津波時刻歴波形（基準津波 2，7号機海水貯留堰前面，防波堤無しを例示）

(3) 海底露出

- 引き波時の一部で港湾内の広範囲の海底が露出する。

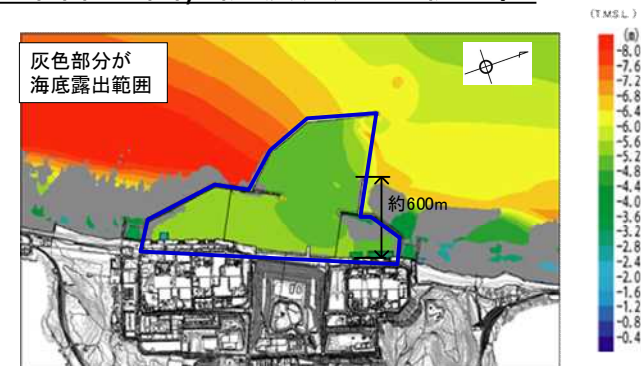


図3-2：港湾内海底の露出範囲

4. 取水性評価

- 「津波の繰返し性」を踏まえ、水位変動がある程度収まる地震発生後12時間までの期間に取水口に到達し得る漂流物を取水性評価対象漂流物として抽出する。
- 抽出する漂流物は、浮遊状態で到達し得るものに加え、滑動状態で到達し得るものについても抽出する。

- 「浮遊状態」で到達し得るものについて、以下のSTEPで整理
 - STEP1：漂流物化防止対策を実施しない場合に、取水口に到達する漂流物を抽出
 - STEP2：漂流物化防止対策により、漂流物化させない設備を除外

- 「滑動状態」で到達し得るものについて、以下のSTEPで整理
 - STEP1：津波遡上域に設置・仮置きされる施設・設備等について、設置状況及び施設・設備等の形状等を考慮し、大まかに滑動が想定される施設・設備等を抽出
 - STEP2：施設・設備等の密度並びに設置位置における浸水深及び津波流速を考慮した詳細評価を実施し、滑動しないと評価できる設備を除外

(1) 構外 (海域・陸域)

- 基準津波 1～3 について、流向・流速の検討に加え、軌跡シミュレーションを実施し12時間の間で海水貯留堰に到達し得る漂流物を整理 (検討内容は追而)
- 検討の結果、初期配置が沖合1.5kmの港湾口近傍の漂流物について海水貯留堰に到達する可能性が示された
- 発電所近傍に海上設置物は無く、沖合1.5kmの港湾口近傍に存在し得る漂流物は航行不能船舶のみであるため、航行不能船舶を浮遊状態で到達し得る漂流物として整理

(2) 構内 (海域)

- 港湾内に入港する、燃料等輸送船、浚渫作業関連船舶及びその他作業船について、浮遊状態で到達し得る漂流物として整理

(3) 構内 (陸域)

- 荒浜側防潮堤内敷地に設置・仮置きされる施設・設備等については、護岸部に残存する防潮堤が障害となり、基本的には海域に流出することはない。
- 荒浜側海岸線に設置・仮置きされる施設・設備等については、検討対象期間が12時間と比較的長期間であることを考慮し、基本的には浮遊するものは到達し得る漂流物として整理。ただし、浮遊時間が10分程度に限定される車両については、120分間の流向・流速・軌跡シミュレーションを考慮し、到達しないと整理
- 大湊側海岸線に設置・仮置きされる施設・設備等については、浮遊するものは到達し得る漂流物として整理

4.1.1 浮遊状態で取水口に到達し得る漂流物の整理 (STEP1) (2/2)

(4) 抽出結果まとめ (STEP1)

表4-1：浮遊状態漂流物の整理 (STEP1)

設置場所情報			種類	内容・名称・構造等	重量
海域/陸域	構内/構外	場所			
海域	構外	発電所周辺	船舶	発電所近傍で航行不能となった漁船	15t 未満
	構内	発電所港湾内		燃料等輸送船	総トン数 約5,000t
				浚渫作業関連船舶	総トン数 約500t
				港湾設備保守点検作業船 (大湊側港湾内のゴムボート含む。)	30t 未満
				海洋環境監視調査作業船	30t 未満
再整理実施中					15t 未満
陸域	構外				—
	構内	大湊側海岸線	車両	対象：軽自動車，乗用車，中型／大型トラック，ユニック，パキューム車，小型／大型建設用車両	約0.7t～約45t
			資機材	ユニットハウス	1t 未満
				角材，足場板，ホース，カラーコーン	数kg
		一般構築物	監視カメラ，拡声器，標識	数kg	
		荒浜側海岸線	タンク	LLW輸送容器	約1.2t
				LLW輸送容器を積載した車両	約19t
			資機材	ユニットハウス	1t 未満
				角材，足場板，ホース，カラーコーン	数kg
		植生	保安林	約140kg※2	
一般構築物		監視カメラ，拡声器，標識	数kg		
荒浜側防潮堤内敷地	—	対象無し	—		

- 漂流物衝突のリスクが大きい、「船舶」、「車両」及び「タンク」について以下のとおり漂流物化防止対策を実施

(1) 船舶

- 燃料等輸送船は退避する。
- 浚渫作業関連船舶（浚渫船、揚錨船、曳船及び土運船）については、係留等により漂流防止を図る。
- その他作業船についても基本は退避する。ただし、大湊側港湾内で作業を実施する場合は退避不可となる状況を想定し、ゴムボートのみ利用可能とする使用制限を行う。

(2) 車両

- 軽車両については浮遊し、到達し得るものと整理
- 密度評価を実施し、 1.05t/m^3 を超える物は浮遊しないと整理
- 軽車両以外の車両で、密度が 1.05t/m^3 以下となるものは、代替車両（軽自動車か密度が 1.05t/m^3 を超える車両）を利用するか、浮遊しないよう退避時気相部開放運用を適用する。

(3) タンク (LLW輸送容器)

- LLW輸送容器については、LLW輸送車両への固縛、重りの積載等により密度が 1.05t/m^3 を超える状態となるような運用とする。

4.1.1 浮遊状態で取水口に到達し得る漂流物の整理 (STEP2) (2/2)

(4) 整理結果まとめ (STEP 2)

表4-2：浮遊状態漂流物の整理 (STEP2)

設置場所情報			種類	内容・名称・構造等	重量	
海域/陸域	構内/構外	場所				
海域	構外	発電所周辺	船舶	発電所近傍で航行不能となった漁船	15t 未満	
	構内	発電所港湾内		港湾設備保守点検作業船 (ゴムボート)	1t 未満	
				温排水水温調査作業船 (ゴムボート)	1t 未満	
陸域	構外	発電所周辺	—	対象無し	—	
	構内	再整理実施中				約0.7t～約45t
		大湊側海岸線	資機材	角材, 足場板, ホース, カラーコーン	数kg	
			一般構築物	監視カメラ, 拡声器, 標識	数kg	
		荒浜側海岸線	資機材	ユニットハウス	1t 未満	
				角材, 足場板, ホース, カラーコーン	数kg	
			植生	保安林	約140kg ^{※2}	
			一般構築物	監視カメラ, 拡声器, 標識	数kg	
		荒浜側防潮堤内敷地	—	対象無し	—	

4.1.2 滑動状態で取水口に到達し得る漂流物の整理

表4-3：滑動状態漂流物の整理（STEP1）

設置場所情報			種類	内容・名称・構造等	重量
海域/陸域	構内/構外	場所			
海域	構内	発電所港湾内			
陸域	構外	発電所周辺	—		
	構内	大湊側海岸線	—	整理中	
			一般構築物		
		荒浜側海岸線	—		
		荒浜側防潮堤内敷地	—		

表4-4：滑動状態漂流物の整理（STEP2）

設置場所情報			種類	内容・名称・構造等	重量
海域/陸域	構内/構外	場所			
海域	構内	発電所港湾内			
陸域	構外	発電所周辺	—		
	構内	大湊側海岸線	—	整理中	
			一般構築物		
		荒浜側海岸線	—		
		荒浜側防潮堤内敷地	—		

4.1.3 取水性評価における評価対象漂流物のまとめ

(1) 漂流状態で到達し得るもの

表4-5：漂流状態で到達する漂流物整理表

設置場所情報			種類	内容・名称・構造等	重量
海域/陸域	構内/構外	場所			
海域	構外	発電所周辺	船舶	発電所近傍で航行不能となった漁船	15t 未満
	構内	発電所港湾内		港湾設備保守点検作業船（ゴムボート）	1t 未満
				温排水水温調査作業船（ゴムボート）	1t 未満
陸域	構内	大湊側海岸線	車両	軽自動車	約0.7t～約45t
			整理中	角材, 足場板, ホース, カラーコーン	1t 未満
				一般構築物	監視カメラ, 拡声器, 標識
		荒浜側海岸線	資機材	ユニットハウス	1t 未満
				角材, 足場板, ホース, カラーコーン	数kg
			植生	保安林	約140kg ^{※2}
			一般構築物	監視カメラ, 拡声器, 標識	数kg
荒浜側防潮堤内敷地	—	対象無し	—		

(2) 滑動状態で到達し得るもの

表4-6：滑動状態で到達する漂流物整理表

設置場所情報			種類	内容・名称・構造等	重量
海域/陸域	構内/構外	場所			
海域	構内	発電所港湾内			
陸域	構外	発電所周辺	整理中		
	構内	大湊側海岸線		資機材	
				一般構築物	
		荒浜側海岸線		—	
	荒浜側防潮堤内敷地	—			

4.2 通水性への影響評価

- 「浮遊状態」で到達し得る施設・設備等のうち、最も水面下断面積が大きい「発電所付近で航行不能となった船舶」を代表として通水性への影響を評価（図4-1参照）
- 「滑動状態」で到達し得る施設・設備等のうち、最も断面積が大きい「■■■」を代表として通水性への影響を評価（図4-2参照）

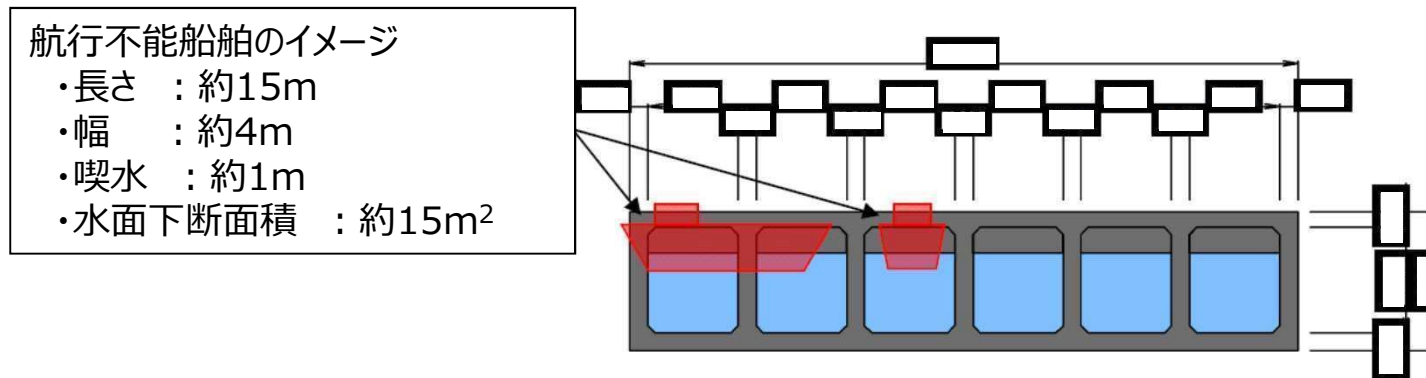


図4-1：航行不能船舶と取水口呑口との関係（イメージ）

追 而

図4-2：■■■と取水口呑口との関係（イメージ）

5. 漂流物衝突評価

5.1 被衝突体の特性の整理 (1/2)

(1) 被衝突体

- 海水貯留堰

(2) 設置目的

- 引き波時の水位が、原子炉補機冷却海水ポンプの設計取水可能水位 (T.M.S.L.-4.92m) を下回っている間でもポンプの取水が可能となるよう海水の貯留機能を有する海水貯留堰を設置

(3) 位置・構造・仕様等

- 6号及び7号機のそれぞれの取水口前面に鋼管矢板を接続する形で設置
- 天端高さはT.M.S.L.-3.5m (海底面高さはT.M.S.L.-5.5m) であり、**通常時は海中に没水**

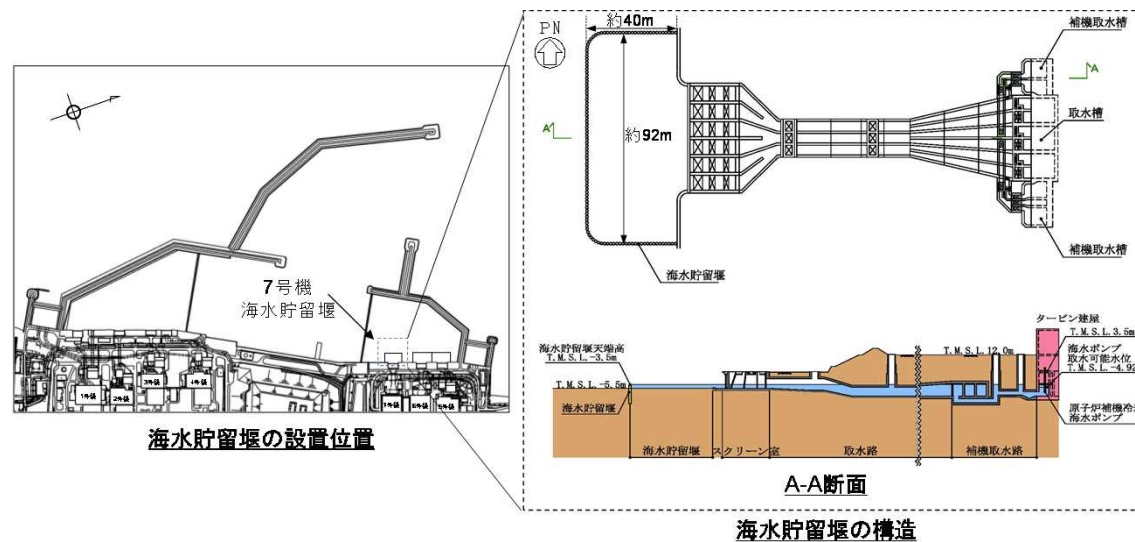


図5-1：海水貯留堰の位置及び構造（7号機を代表として記載）

5.1 被衝突体の特性の整理 (2/2)

(4) 設置形態を考慮した衝突モード

- 天端がT.M.S.L.-3.5mであるため、漂流物の喫水等を考慮すると、基本的には引き波により水位が低下した後の押波時に衝突事象が発生
- 衝突し得る漂流物としては、海水貯留堰前面の海域に存在する漂流物に加え、背面の護岸部 (T.M.S.L.+3.0m) に設置・仮置き等される施設・設備等が護岸部遡上波により漂流・滑動し、海水貯留堰前面の海域に移動する事象も考慮の必要有り

(5) 必要機能を考慮した使命期間

- 海水貯留堰の必要機能は、水位が原子炉補機冷却海水ポンプの設計可能取水水位 (T.M.S.L.-4.92m) を下回っている期間における海水確保
- 必要機能を考慮すると、使命期間は海水位がT.M.S.L.-4.92mを下回る事象が確認されるまでの間

5.2 衝突影響評価対象漂流物の整理

被衝突体及びサイトの特性を踏まえた検討対象津波及び検討対象時間の設定

- 図5-2に示すとおり、基準津波 1 及び 3 の240分までの最低水位はそれぞれ、T.M.S.L.-3.1m、T.M.S.L.-2.6mであり、原子炉補機冷却海水ポンプの設計可能取水水位（T.M.S.L.-4.92m）を下回ることはない
- 基準津波 2 の場合は、水位がT.M.S.L.-4.92mを下回る時間帯があるが、それは約2時間後まで

⇒ 基準津波 2 の 2 時間後までを海水貯留堰の使命期間と整理し、この間に海水貯留堰に到達する可能性のある漂流物を衝突影響評価対象漂流物として再整理する。

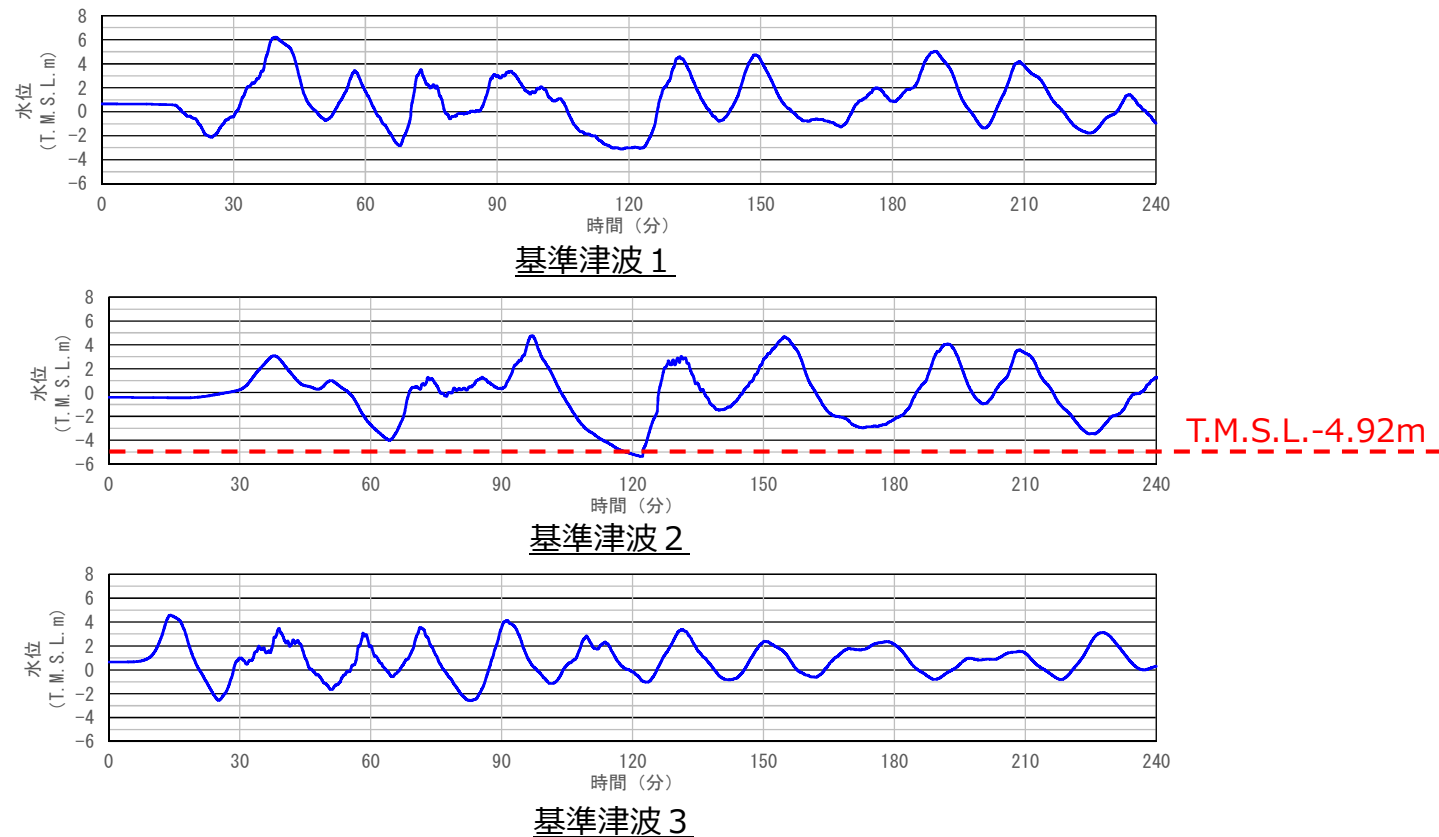


図5-2：基準津波の時刻歴波形（7号機海水貯留堰前面位置）

5.2.1 浮遊状態で海水貯留堰に到達する漂流物の整理

- 基準津波 1 ～ 3 について，地震発生後12時間までの期間に取水口に到達し得る漂流物は表4-5に示すとおり。
- 浮遊状態の漂流物に関しては，前頁に示す通り検討対象期間を限定することが可能。
- 検討対象期間を限定することにより，「航行不能船舶」及び「流木」について基準津波 2 の130分の流向・流速検討により，海水貯留堰に到達しないことを確認
⇒ 「航行不能船舶」及び「流木」については衝突評価対象物から除外

航行不能船舶及び流木に関する
流向・流速検討結果を追而

図5-3：発電所周辺海域における軌跡シミュレーションの結果

5.2.2 滑動状態で海水貯留堰に到達する漂流物の整理

- 基準津波 2 における大湊側護岸部の流向・流速の時系列の一例を図5-4に記載（今後、算出地点等を明示した精緻な評価結果を追而）
- 図5-4より、海域方向には比較的大きな流速は出ておらず、陸域方向への移動が支配的になると考えられる。
- 今後、各漂流物の滑動限界流速を算定し、滑動限界流速以上となる期間の軌跡シミュレーション等を実施することにより、滑動状況を整理予定

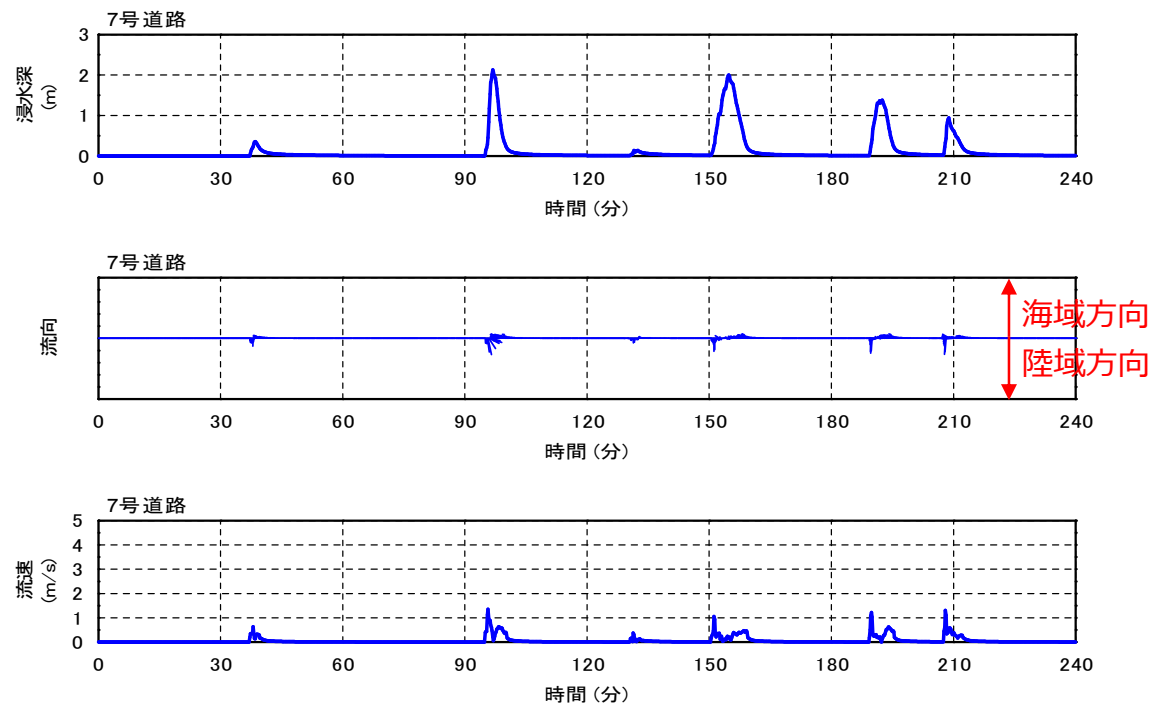


図5-4：大湊側護岸部における浸水深，流向及び流速の時系列（基準津波 2）

5.3 既往の漂流物衝突荷重算定式の適用性の整理

- 既往の漂流物衝突荷重算定式について、各式導出にあたって実施した実験の条件に加え、前記で整理した衝突荷重を算定する衝突物の種類、初期配置等を踏まえ、各式の適用性を以下のとおり整理

表5-1：既往の漂流物衝突荷重算定式及び適用性の整理

出典	種類	記載概要	適用性
松富ほか (1999)	流木	<ul style="list-style-type: none"> 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 水理模型実験及び空中衝突試験において、流木を被衝突体の前面に設置した状態で衝突させている。 	実現象を再現する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。
池野・田中 (2003)	流木	<ul style="list-style-type: none"> 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設 	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。
道路橋 示方書 (2002)	流木 等	<ul style="list-style-type: none"> 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を算定可能 	漂流物流下（漂流）してきた場合を想定している算定式であり、「前面海域」からの漂流物に対して適用可能と判断する。
FEMA (2012)	流木 コンテナ	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	実現象を再現する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。
水谷ほか (2005)	コンテナ	<ul style="list-style-type: none"> 漂流するコンテナによる漂流物の衝突荷重算定式を提案 被衝突体の直近のエプロン上にコンテナを設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り、柏崎刈羽原子力発電所において想定している状況と異なるため、適用は困難と判断する。
有川ほか (2007, 2010)	流木 コンテナ	<ul style="list-style-type: none"> 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設置した状態で衝突させている。 	剛性に係る「k」値を設定することが困難であるため、「k」値が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し、「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。

5.4 漂流物の初期配置に関する整理

- 図5-5に示す通り、基準津波2の130分までの間に、引き波から押波に変わる瞬間は主に2度（60分付近と120付近）確認される。
- この時の衝突影響評価対象漂流物の配置を図5-6及び図5-7に示す。

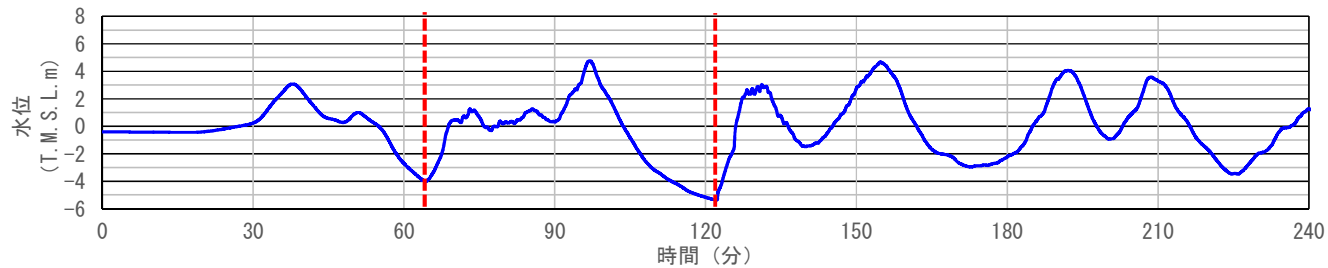


図5-5：基準津波2の時刻歴波形

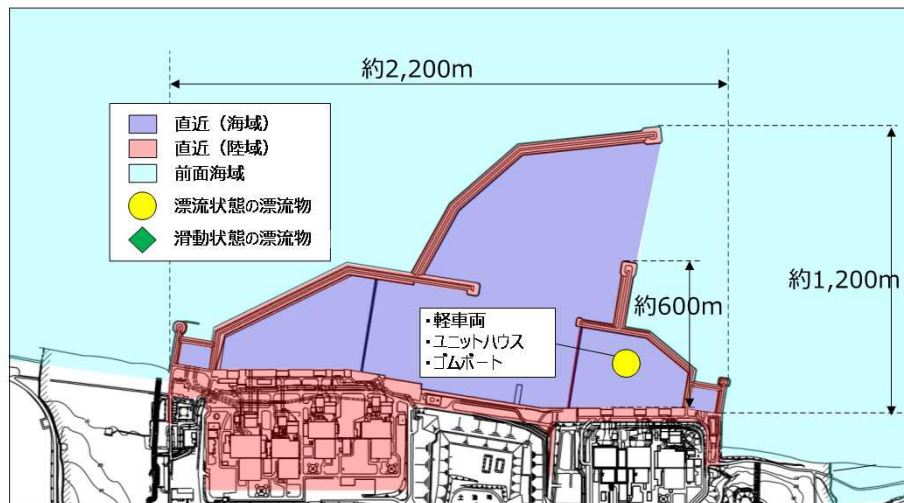


図5-6：基準津波2の60分時点の初期配置

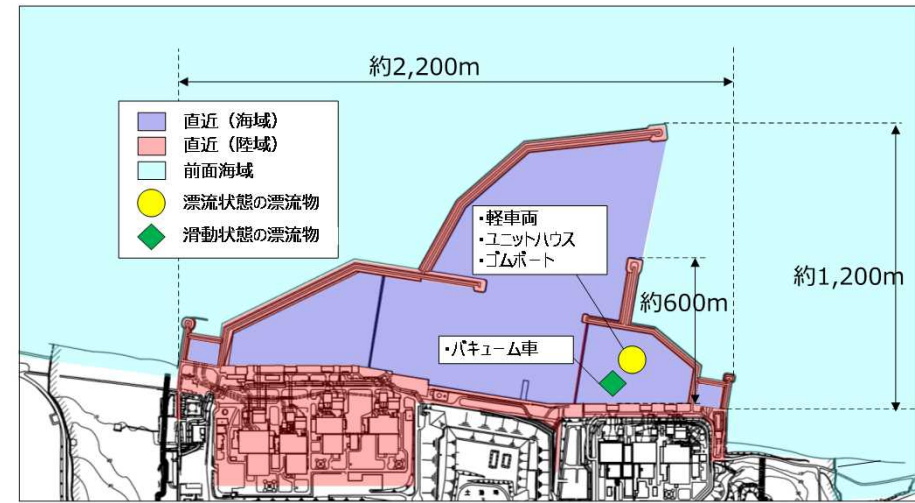


図5-7：基準津波2の120分時点の初期配置

5.5 漂流物衝突荷重の算定結果

表5-2：漂流状態で衝突する漂流物の衝突荷重算定結果

整理中

種類	内容・名称	重量	初期配置	適用式	漂流物衝突荷重[kN]
船舶	作業船（ゴムボート）	1.0t 未満	直近	FEMA（2012）	軽車両に包含
	航行不能船舶	15t 未満	－	－	－
資機材	ユニットハウス	1.0t 未満	直近	FEMA（2012）	軽車両に包含
車両	軽自動車	1.0t 以下	直近	FEMA（2012）	499
直性	流木	140kg	－	－	－

← 到達しないと整理予定

← 到達しないと整理予定

表5-3：滑動状態で衝突する漂流物の衝突荷重算定結果

整理中

種類	内容・名称	重量	状態	適用式	漂流物衝突荷重[kN]
車両	バキューム車	約14t	滑動	FEMA（2019）	〇〇※
...					

← 滑動による到達有無評価中だが、届くと仮定して記載

- ※
- FEMA（2019）では、FEMA（2012）において、3.11津波の知見が見反映であることや、過度に保守的な漂流物衝突荷重であることを踏まえ、最新のASCE7の知見に基づき漂流物衝突荷重算定式が見直されているものである。
 - これによると、流速4m/sの条件下で石材・コンクリート殻（2,270kg）が海底を滑動する際の衝突力の最大値として、 $F_i = 36I_{tsu} = 36 \times 1.25 = 45$ （kN）が示されている。
 - 仮に、一例としてFEMA（2019）の考え方を参考に、バキューム車が海底を滑動する際の衝突力を試算すると、下記のとおりと想定される。
 - $F = 45 \times \left(\frac{6}{4}\right) \times \sqrt{\left(\frac{14,000}{2,270}\right)} = 168$ （kN）（適用する津波流速：6m/s、衝突物重量：14t の場合）