

海水貯留堰等の設計において考慮する 津波による荷重等について

TEPCO

2020年7月22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。

▶ 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合の指摘事項に対する回答

No.	実施日	指摘事項
1	令和2年6月9日 第866回 審査会合	衝突荷重の算定における一連のプロセスの中で、基準津波の押し波や引き波が長時間繰り返し襲来する状況、評価対象物が海水貯留堰である等の柏崎の特異性を踏まえ、選定時刻等の前提条件、衝突物選定の網羅性、抽出された衝突物の初期配置を踏まえた衝突荷重の算定式の適用性等を明確化し、代表性及び保守性を有した衝突荷重の算定となっていることを説明すること。また、衝突物の選定プロセスを踏まえ、取水口に到達する漂流物の選定プロセスとの差異が明確になるように整理した上で説明すること。
2	令和2年6月9日 第866回 審査会合	衝突物の選定について、軌跡解析の評価結果に加えて経時的な津波の流向及び流速を併せた評価結果を説明すること。また、基準津波 1 から基準津波 3 の防波堤の有無等の条件ごとに網羅的に評価結果を説明すること。
3	令和2年6月9日 第866回 審査会合	大湊側護岸部に停車する可能性がある車両について、津波が繰り返し遡上することにより、車両が滑動することを踏まえ、取水口への到達評価及び海水貯留堰への到達評価の結果を説明すること。また、到達する場合には、運用による防止措置又は影響評価の結果を併せて説明すること。
4	令和2年6月9日 第866回 審査会合	津波波力の設定について、実際には海水貯留堰に動水圧が作用することを踏まえ、越流前及び越流時の海水貯留堰に対する圧力分布を解析等で評価した上で、防波堤の耐津波設計ガイドラインを適用することの適用性及び保守性を説明すること。

1. 漂流物による影響について
 - 1.1 概要
 - 1.2 漂流物に関する検討事項の整理
 - 1.2.1 漂流物に対する要求事項
 - 1.2.2 津波に関するサイト特性
 - 1.2.3 検討対象及び検討内容
 - 1.3. 取水性評価
 - 1.3.1 取水性評価対象漂流物の選定
 - 1.3.2 通水性への影響評価
 - 1.4. 漂流物衝突評価
 - 1.4.1 被衝突体の特性の整理
 - 1.4.2 衝突荷重評価対象漂流物の整理
 - 1.4.3 衝突荷重算定式の適用性の整理
 - 1.4.4 衝突荷重の算定方法（浮遊状態の漂流物）
 - 1.4.4 衝突荷重の算定方法（滑動状態の漂流物）
 - 1.4.6 漂流物衝突荷重の算定結果
2. 海水貯留堰の設計において考慮する波力について

1. 漂流物による影響について

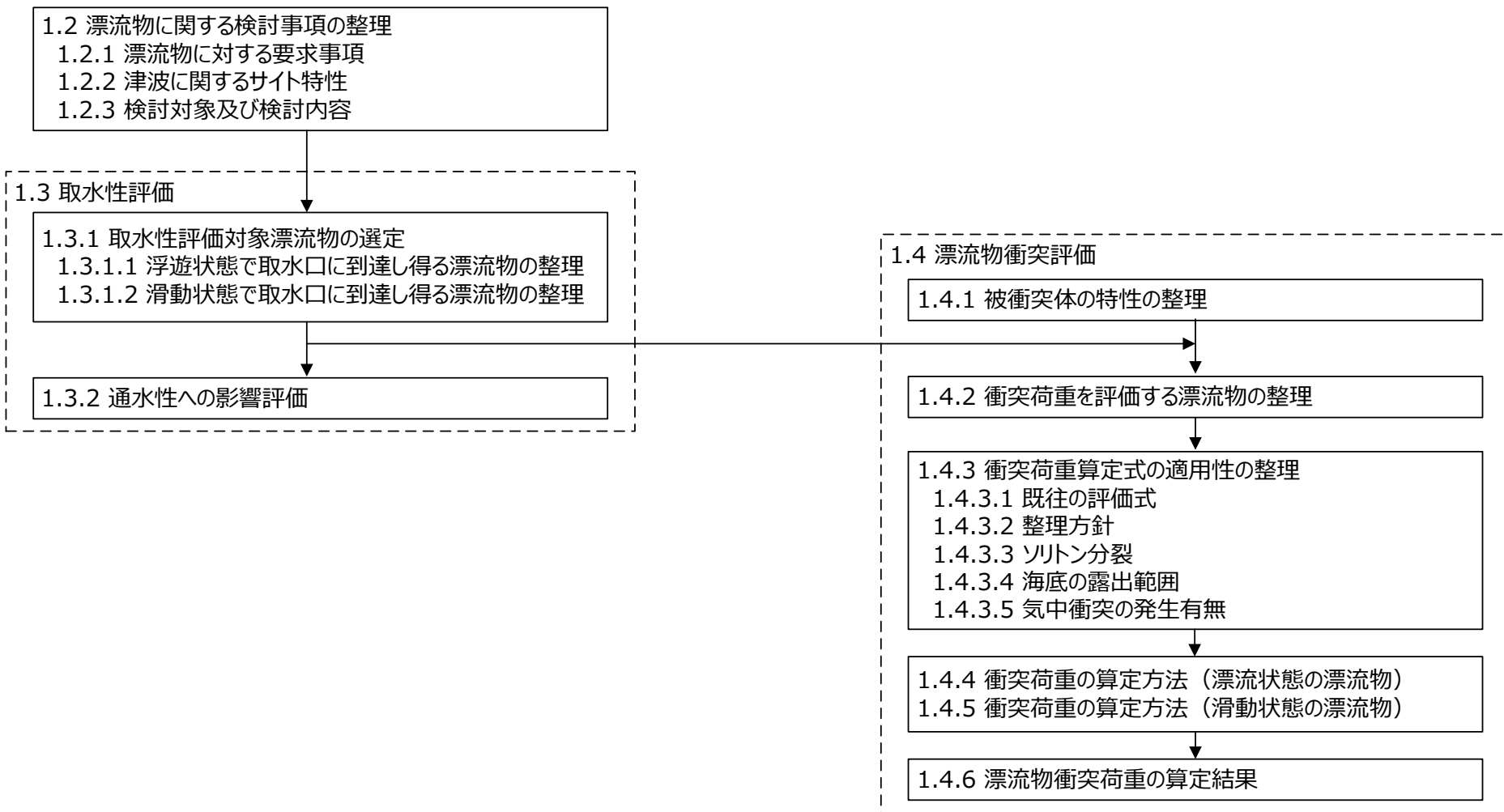


図1.1 -1：漂流物に関する検討の流れ

1.2 漂流物に関する検討事項の整理

1.2.1 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。

1.2.2 津波に関するサイト特性 (1/2)

(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（津波波形は次頁参照）

- 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

(3) 汀線方向の敷地の広がり

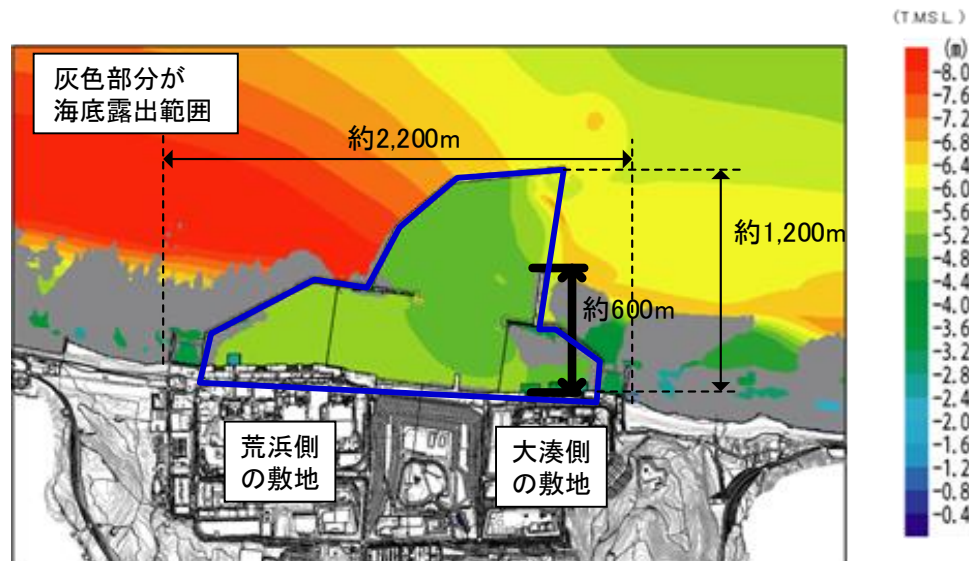
- 発電所の敷地は汀線方向に2km以上の広がりを有している。
- 漂流物に関する検討にあたっては，6号及び7号機の海水貯留堰を設置する大湊側の敷地のみならず，荒浜側の敷地に設置される施設・設備等についても考慮する必要がある。

(4) ソリトン分裂の発生有無

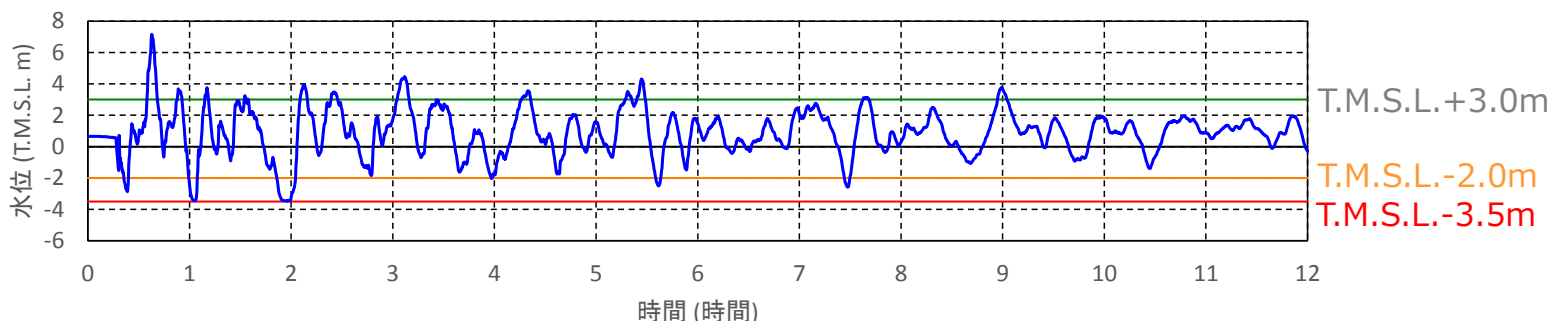
- 基準津波1～3において，ソリトン分裂及び碎波発生しない。

(5) 海底露出

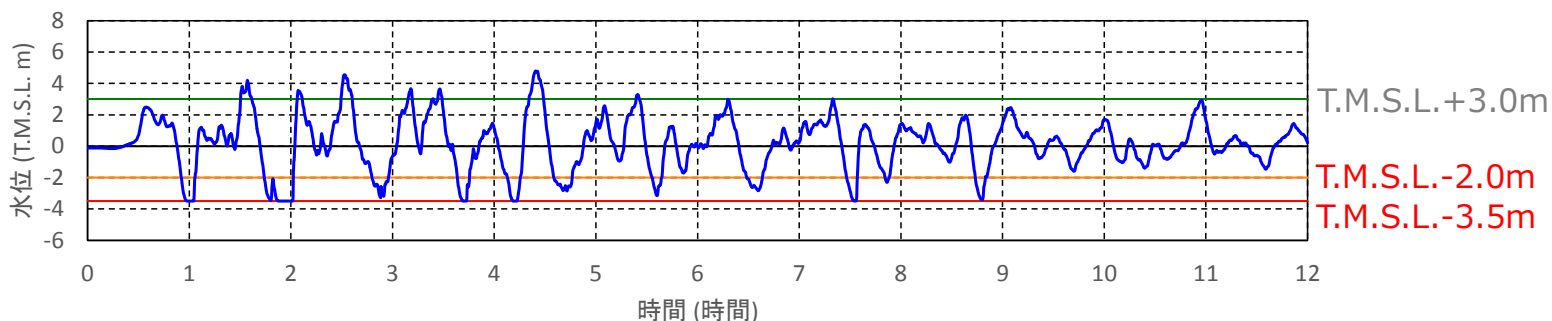
- 引き波時の一部で港湾内の広範囲の海底が露出する。



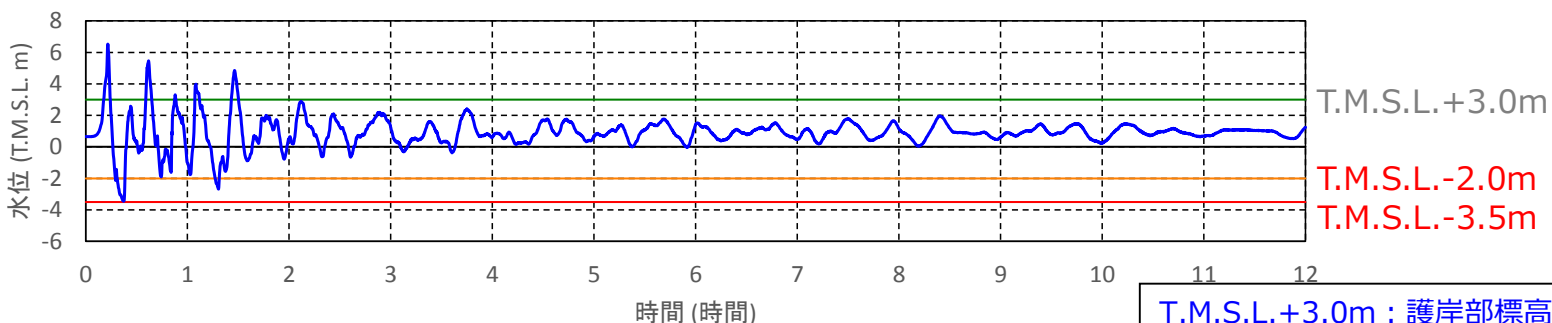
1.2.2 津波に関するサイト特性 (2/2)



<基準津波1, 7号機取水口前面, 防波堤無し>



<基準津波2, 7号機取水口前面, 防波堤無し>



<基準津波3, 7号機取水口前面, 防波堤無し>

図1.2-2 : 基準津波1~3の時刻歴波形

T.M.S.L.+3.0m : 護岸部標高
T.M.S.L. -2.0m : 漂流状態の漂流物(喫水1m)
が衝突し得る水位 (上限)
T.M.S.L. -3.5m : 海水貯留堰天端標高

1.2.3 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、前述の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6号及び7号機海水貯留堰を選定
- 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を考慮し、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1.2-1：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

1.3 取水性評価

1.3.1 取水性評価対象漂流物の選定

- 「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、以下の観点で整理

- 滑動という事象の特性を踏まえ、構内（海域・陸域）のうち、施設・設備等の滑動有無を評価する対象範囲を設定
- 評価対象物の特性を踏まえ、滑動有無を評価

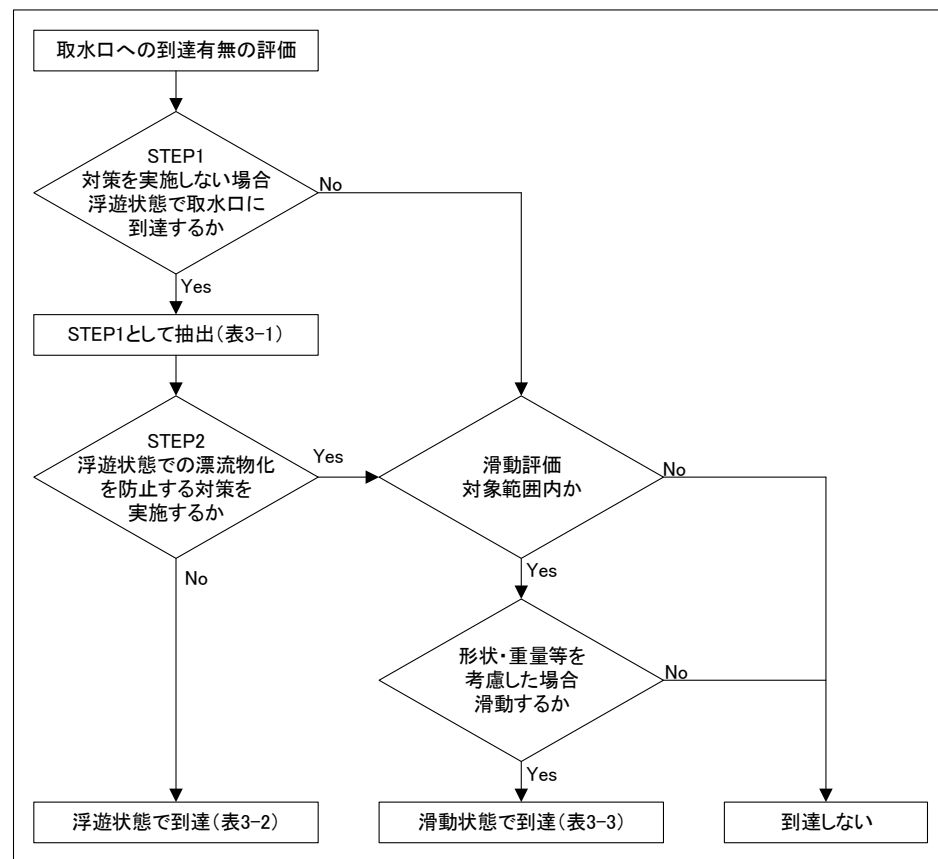


図1.3-1：取水口への到達有無の評価フロー

STEP1の整理概要

(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時間の間で取水口に到達し得る漂流物を整理
- 検討の結果、津波発生時に港湾口付近に漂流物が存在した場合、取水口に到達する可能性が示されたことから、航行不能船舶を到達し得る漂流物と整理

(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)

- 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
- 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
- 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。

STEP1の整理概要

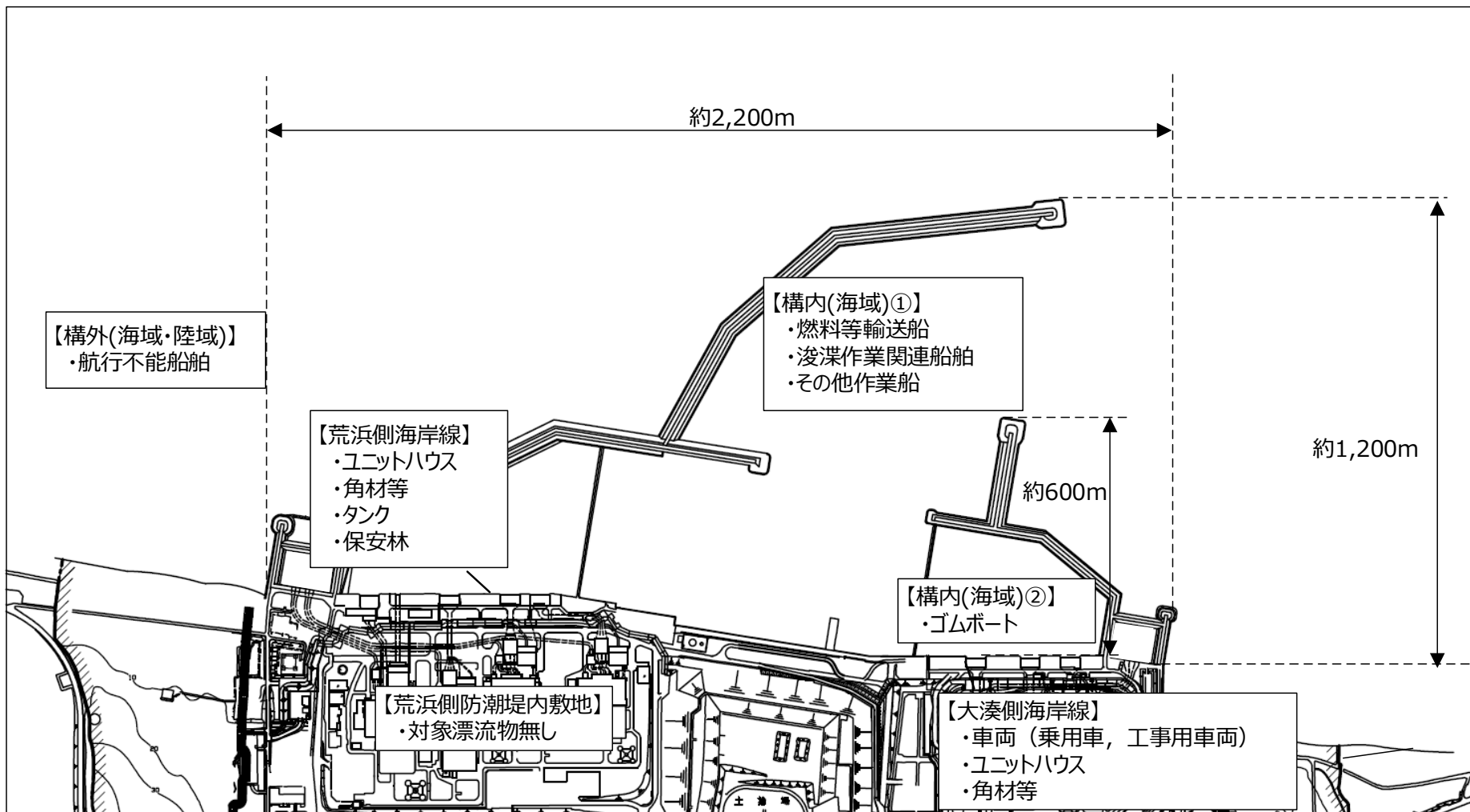
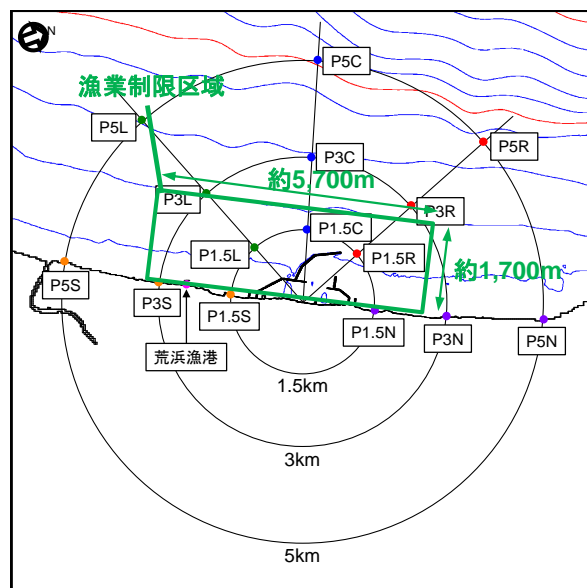


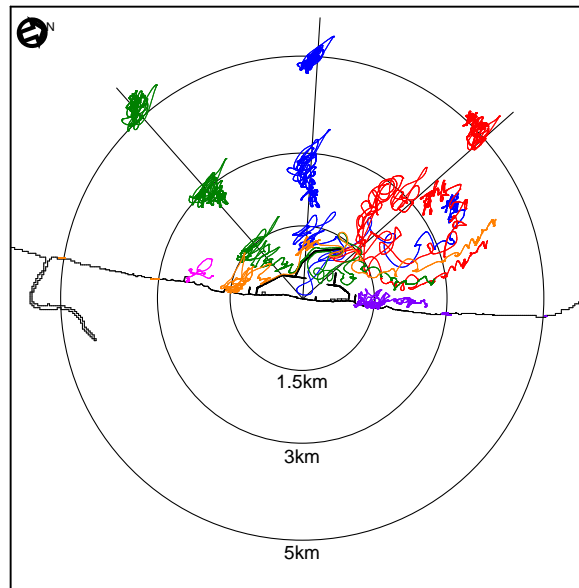
図1.3-2 : STEP1で抽出される漂流物の概略配置

STEP1 <構外（海域・陸域）の評価詳細>

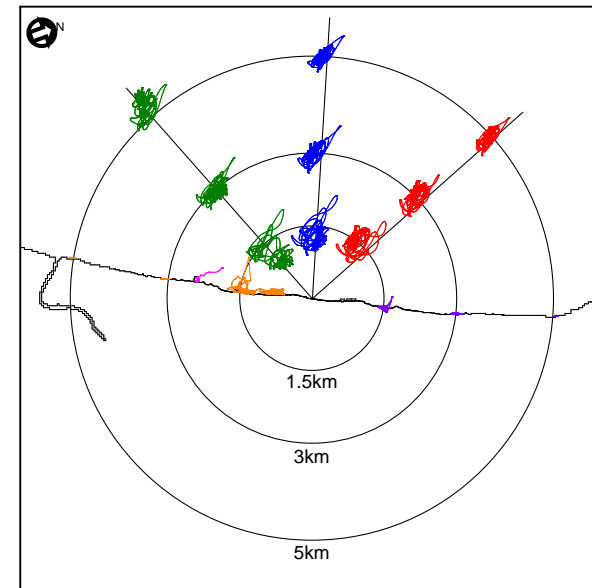
- 基準津波 1～3 について，流向・流速の検討に加え，軌跡シミュレーションを実施し **12時間の間で海水貯留堰に到達し得る漂流物** を整理
- 検討の結果，初期配置が港湾口近傍の漂流物について海水貯留堰に到達する可能性が示された
- 発電所近傍に海上設置物は無く，発電所周辺に定期航路は無いが，航行不能となった船舶が津波時に港湾口近傍に存在する場合，取水口に到達する可能性があるため，**航行不能船舶** を抽出
- なお，発電所近傍に位置する荒浜漁港に停泊する船舶については，発電所に到達しないことを確認



<初期配置>



<基準津波 2, 防波堤健全, 12時間>



<基準津波 2, 防波堤無し, 12時間>

図1.3-3：構外（海域・陸域）を初期配置とした軌跡シミュレーション

STEP1 <荒浜側防潮堤内敷地の評価詳細>

- 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。
 - 一方で，荒浜側防潮堤内敷地には，漂流時の影響が大きいタンク類が設置される。
 - タンクに係る詳細評価として荒浜側防潮堤内敷地の各点を起点とした軌跡シミュレーションを実施した。
- ⇒ 図1.3-5より，荒浜側防潮堤が無いと仮定してもタンク類が海域に流出し，取水口に到達することはないことを確認

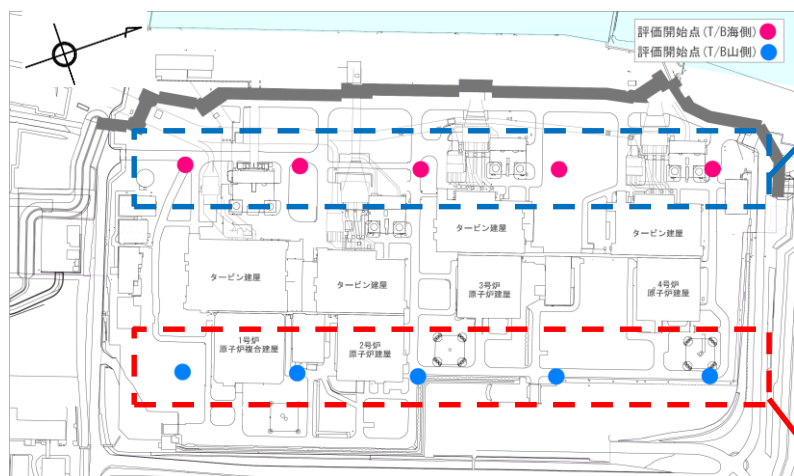


図1.3-4：軌跡シミュレーションの初期配置

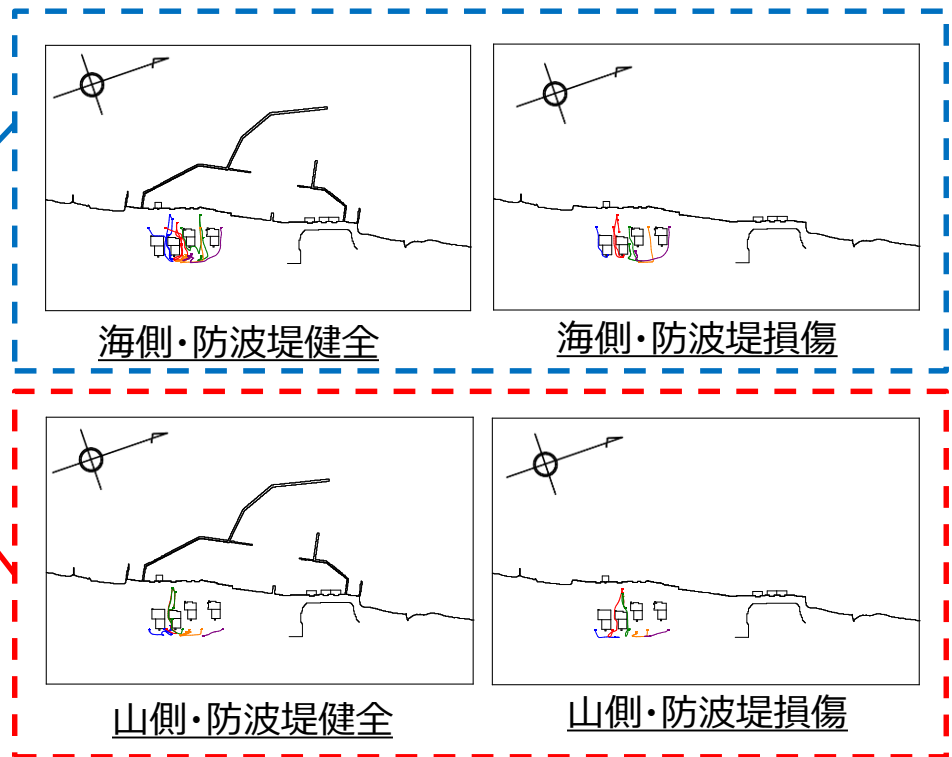


図1.3-5：荒浜側防潮堤内敷地各地点を起点とした軌跡シミュレーション結果（基準津波1を代表として記載）

- 注1) 地震発生から12時間を評価
- 注2) 浸水深50cmで漂流開始とした。
- 注3) 基準津波2及び3の場合でも，同様の結果となることを確認

1.3.1.1 浮遊状態で取水口に到達し得る漂流物の整理 (5/7)

STEP1 <整理結果>

表1.3-1：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船舶	約15t
	構内	発電所港湾内	船舶	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
				温排水水温調査作業船（大湊側港湾内のゴムボート含む。）	15t 未満
陸域	構外	発電所周辺	—	対象無し	—
	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，バキューム車，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，排水用ホース，カラーコーン		数kg	
		荒浜側海岸線 (護岸部)	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，排水用ホース，カラーコーン		数kg	
		荒浜側海岸線 (護岸部外)	植生	保安林	約140kg
		荒浜側防潮堤内敷地	—	対象無し	—

STEP2 <整理方針>

- 表3-1に示す漂流物のうち、「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し、取水口に到達しない設計（運用）とする。

(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、大湊側港湾内及び荒浜側港湾内（カーテンウォールより内側）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。

STEP2 <整理結果>

表1.3-2：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船舶	約15t
	構内	発電所港湾内	船舶	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	大湊側海岸線	車両	軽自動車	約1t
			資機材	ユニットハウス	1t 未満
		資機材		角材, 排水用ホース, カラーコーン	数kg
			荒浜側海岸線 (護岸部)	資機材	ユニットハウス
		角材, 排水用ホース, カラーコーン			数kg
		荒浜側海岸線 (護岸部外)	植生	保安林	約140kg
荒浜側防潮堤内敷地	—	対象無し	—		

1.3.1.2 滑動状態で取水口に到達し得る漂流物の整理 (1/2)

整理方針

- 図1.3-4に示す通り，大湊側港湾内は海底標高がT.M.S.L.-5.5mであるのに対し，その南側の海底標高は約T.M.S.L.-10m（一部約T.M.S.L.-13m）であることから，仮に荒浜側敷地等に設置される施設・設備等が滑動により海域に流出したとしても海水貯留堰に到達することはないため，**滑動評価の対象は，大湊側港湾内及び大湊側敷地の津波遡上範囲**に設置・仮置きされる施設・設備等とする。
(浮遊状態で到達し得る漂流物は除く。)
- 上記滑動評価の対象について，形状・重量・構成部材等を考慮し，滑動有無を評価

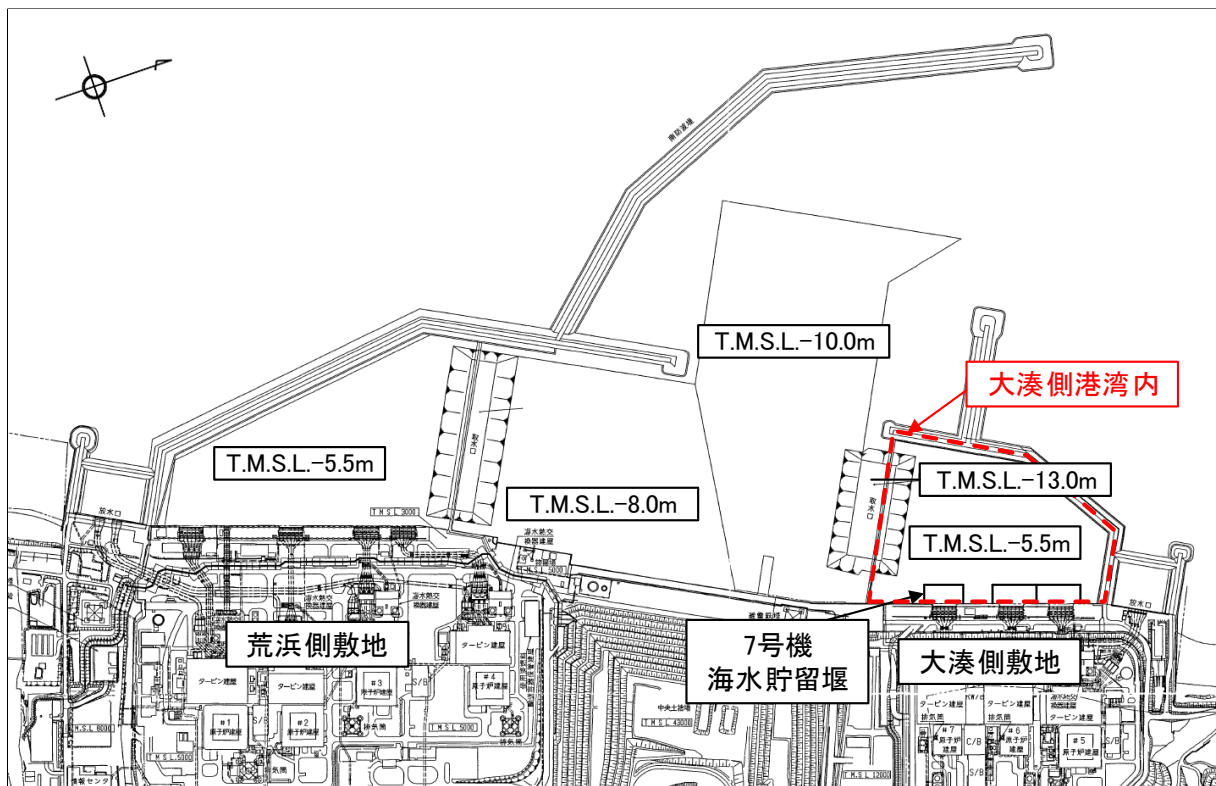


図1.3-6：港湾内海底標高



＜鋼製角落し＞



＜角ホルダー＞

図1.3-7：滑動しないと評価する設備の例

1.3.1.2 滑動状態で取水口に到達し得る漂流物の整理 (2/2)

整理結果

表1.3-3：滑動状態漂流物の整理

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	—	対象無し	—
	構内	発電所港湾内	防波堤	捨石・砕石	約100kg
陸域	構外	発電所周辺	—	対象無し	—
	構内	大湊側海岸線	車両	乗用車，中型／大型トラック，ユニック，バキューム車，小型建設用車両	最大約14t
			資機材	足場板，角パイプ，工具収納棚，単管パイプ，洗浄機，二輪車，水中ポンプ，単管バリケード，脚立，仮設電源・動力・分電盤，ハウジングカバー（バー回転式スクリーン，トラベリングスクリーン），スクリーン点検用架台・治具，開口部養生板・治具，渉り歩廊，仮設作業床，台車乗り上げ台，仮設手摺，工具箱，受け架台，発電機	1.0t未満
		一般構築物	監視カメラ，拡声器，標識，鉄骨（小片），コンクリート（小片），海水放射能モニタ	100kg以下	

1.3.2 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「発電所近傍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1.3-8参照）
- 「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「バキューム車」を代表として通水性への影響を評価（図1.3-9参照）

航行不能船舶のイメージ

- ・長さ : 約15m
- ・幅 : 約4m
- ・喫水 : 約1m
- ・水面下断面積 : 約15m²



図1.3-8：航行不能船舶と取水口呑口との関係（イメージ）

バキューム車のイメージ

- ・長さ : 約10.0m
- ・高さ : 約3.5m



図1.3-9：バキューム車と取水口呑口との関係（イメージ）

1.4 漂流物衝突評価

1.4.1 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**

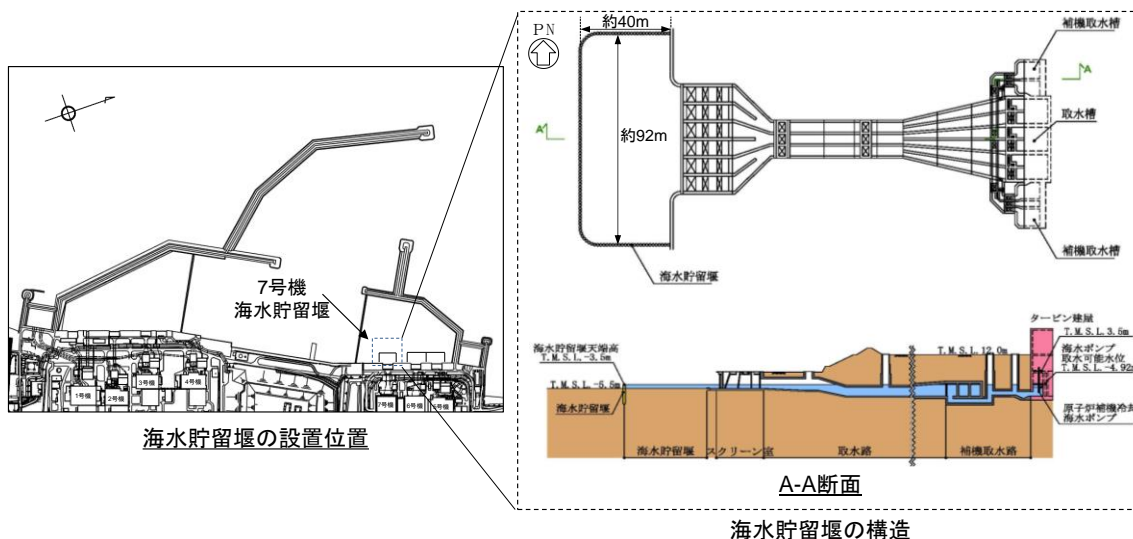


図1.4-1：海水貯留堰の位置及び構造（7号機を代表として記載）

(4) 設置形態を考慮した衝突モード

- 取水口に到達し得る漂流物はすべて海水貯留堰にも到達し衝突すると想定
- 浮遊状態で漂流する漂流物が海水貯留堰に気中衝突する事象は、水位がT.M.S.L.-3.5mを下回る期間のみ発生する。
- 基準津波1～3の水位時刻歴より、水位がT.M.S.L.-3.5mを下回る期間は、表1.4-1のとおり整理される。

表1.4-1：海水貯留堰の天端が露出する期間

基準津波	防波堤の状況	海水貯留堰の天端が露出する期間 (7号機取水口前面水位がT.M.S.L.-3.5mを下回る期間)
1	健全	無し
	1m沈下	無し
	2m沈下	無し
	無し(消失)	地震発生後2時間まで
2	健全	地震発生後2時間まで
	1m沈下	地震発生後2時間まで
	2m沈下	地震発生後2時間まで
	無し(消失)	地震発生後9時間まで
3	健全	無し
	1m沈下	無し
	2m沈下	無し
	無し(消失)	地震発生後1時間まで

1.4.2 衝突荷重評価対象漂流物の整理

- 衝突荷重を評価する漂流物は表3-2及び表3-3に整理する取水性評価の対象漂流物と同様とし、両者を合わせて表1.4-2に整理する。

表1.4-2：衝突荷重を評価する漂流物（取水性評価対象漂流物と同様）

状態	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					
浮遊	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船舶	約15t		
		構内	発電所港湾内	船舶	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1t		
				資機材	ユニットハウス 角材, 排水用ホース, カラーコーン	1t 未満 数kg		
			荒浜側海岸線	資機材	ユニットハウス 角材, 排水用ホース, カラーコーン	1t 未満 数kg		
				植生	保安林	約140kg		
			海域	構内	発電所港湾内	防波堤	捨石・砕石	約100kg
			滑動	陸域	構内	大湊側海岸線	車両	乗用車, 中型/大型トラック, ユニック, バキューム車, 小型建設用車両
資機材	足場板, 角パイプ, 工具収納棚, 単管パイプ, 洗浄機, 二輪車, 水中ポンプ, 単管バリケード, 脚立, 仮設電源・動力・分電盤, ハウジングカバー（バー回転式スクリーン, トラベリングスクリーン）, スクリーン点検用架台・治具, 開口部養生板・治具, 涉水歩廊, 仮設作業床, 台車乗り上げ台, 仮設手摺, 工具箱, 受け架台, 発電機	1.0t未満						
一般構築物	監視カメラ, 拡声器, 標識, 鉄骨（小片）, コンクリート（小片）, 海水放射能モニタ	100kg以下						

1.4.3.1 衝突荷重算定式の適用性の整理 ～既往の評価式～

- 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1.4-3：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。 	<p>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、「直近海域」からの流木に対して適用可能と判断する。</p>
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置した状態で衝突させている。 	<p>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。</p>
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 	<p>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。</p>
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。 	<p>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。</p>
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。 	<p>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、「直近海域」からの漂流物に対して適用可能と判断する。</p>
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。 	<p>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、「直近海域」からの漂流物に対して適用可能と判断する。</p>
FEMA (2019)	流木 乗用車 石材・コンクリート コンテナ 船舶・台船	<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。 先行版では、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ASCE7-16の知見に基づき漂流物荷重算定式が見直されているものである。 ASCE7-16によれば、海底を滑動する際の衝突荷重が例示されている。 	<p>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、「直近海域」からの漂流物に対して適用可能と判断する。</p>

- 柏崎刈羽原子力発電所の津波に関するサイト特性及び被衝突体の特性を踏まえ、既往の評価式の適用性を以下の観点で整理する。
 - ソリトン分裂及び砕波の発生有無
 - ⇒ 分裂波又は砕波の発生位置よりも陸側に漂流物が侵入する場合、表1.4-3における「直近海域からの漂流物」に該当すると整理
 - 海底露出の範囲
 - ⇒ 港湾内の海底が露出する際に、露出範囲内に漂流物が存在する場合、表1.4-3における「直近海域からの漂流物」に該当すると整理
 - 気中衝突の有無
 - ⇒ 海水貯留堰の天端が露出する際（取水口前面水位がT.M.S.L.-3.5mとなる際に、海水貯留堰の直近に漂流物が存在する場合、表1.4-3における「直近海域からの漂流物」に該当すると整理

1.4.3.3 衝突荷重算定式の適用性の整理 ～ソリトン分裂～

- 分裂波又は砕波の発生位置よりも陸側に漂流物が侵入する場合、「波の先端に乗り、気中衝突のような形で衝突する場合」に該当するものと考えられる。
- 数値解析により、以下のとおりソリトン分裂及び砕波発生有無を評価する。

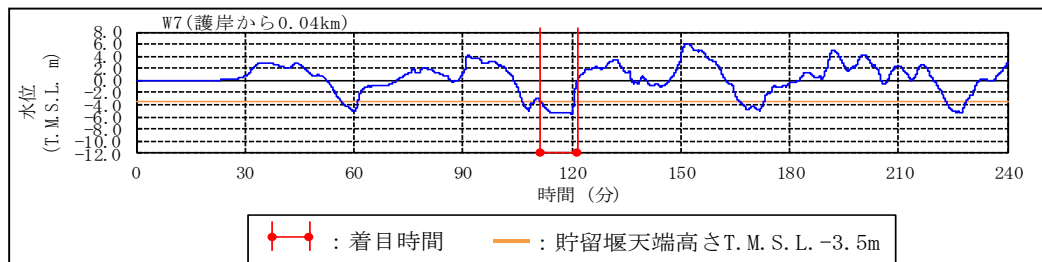


図1.4-2：最大水面勾配が確認された時刻（基準津波2，118分）

➤ 基準津波の波形等から砕波が発生するような段波形状は見られない。

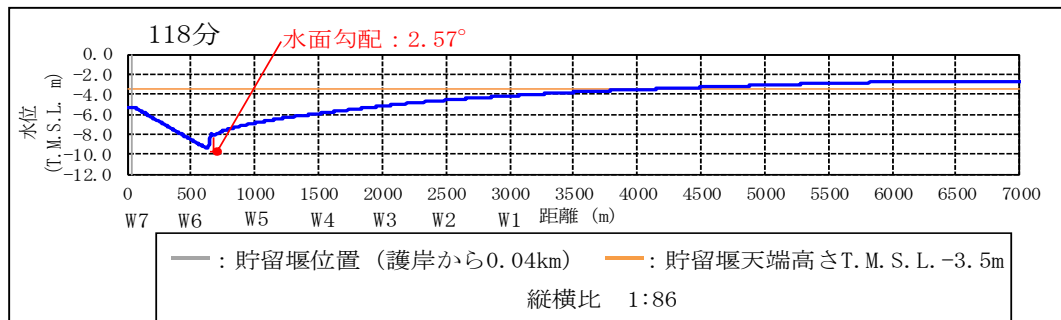


図1.4-3：最大水面勾配が確認された時刻の津波波形（空間分布）

➤ 水面勾配は最大で 2.57° であり、松山ら（2005）における水面勾配の砕波限界 $30^\circ \sim 40^\circ$ に比べ十分小さい。

- 上記評価より、ソリトン分裂及び砕波のいずれも発生しないと整理
- 柏崎刈羽原子力発電所においては、ソリトン分裂及び砕波のような観点では、「直近海域からの漂流物」に該当しないと判断

1.4.3.4 衝突荷重算定式の適用性の整理 ～海底の露出範囲～

- 引き波時に港湾内の海底が露出する事象が確認されるが、その範囲は沖合約600m程度までであり、確認される条件は、基準津波2の地震発生後2時間程度となる。
- 表1.4-2に示す浮遊状態の漂流物のうち、「航行不能船舶」及び「保安林」以外の漂流物は基準津波2の地震発生後2時間の時点で海底露出範囲に存在する可能性があるため、「直近海域からの漂流物」に該当するものと整理する。
- 一方で、「航行不能船舶」及び「保安林」については基準津波2の地震発生後2時間の時点で港湾内露出範囲に侵入しないことが確認されたため、海底露出範囲の観点では、「直近海域からの漂流物」に該当しないと整理する。

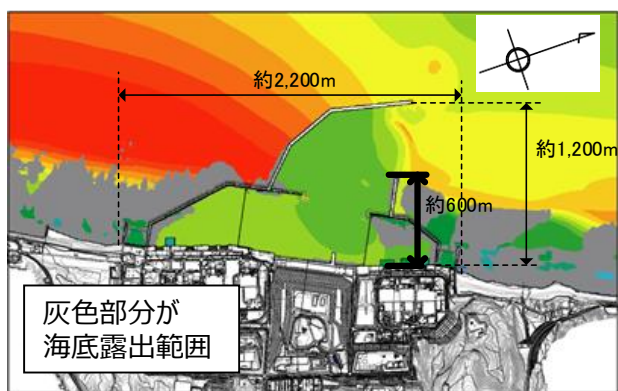


図1.4-4：引き波による港湾内海底の露出範囲
(基準津波2)

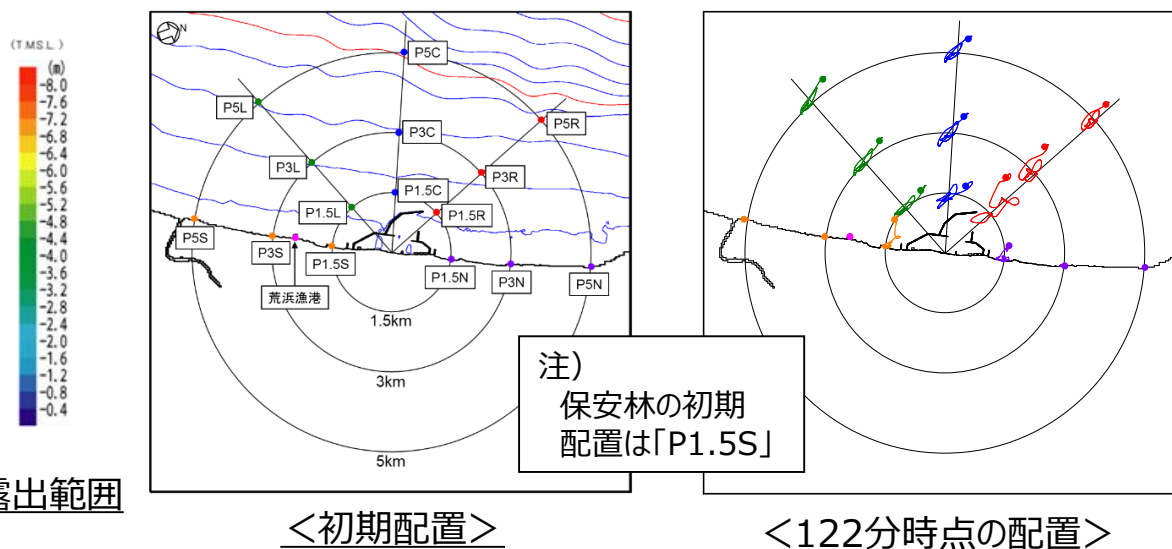


図1.4-5：港湾内海底の露出時の航行不能船舶及び保安林の配置

1.4.3.5 衝突荷重算定式の適用性の整理 ～気中衝突の発生有無～(1/6) **TEPCO**

- 取水口前面水位が海水貯留堰の天端高さT.M.S.L.-3.5mまで低下する期間に漂流物が海水貯留堰直近に存在した場合、気中衝突が発生する可能性がある。
- 「航行不能船舶」及び「保安林」について、表1.4-1に記載する、取水口前面水位がT.M.S.L.-3.5mを下回るケースにおける挙動を確認し、気中衝突の発生有無を評価する。
- 気中衝突有無の判定にあたっては、前記の港湾内の露出範囲を保守的に海水貯留堰の近傍として取り扱い、汀線から600mまでの港湾内を「直近」、それ以外を「前面海域」とする。
- 地震発生後から取水口前面水位がT.M.S.L.-3.5mまで低下しなくなるまでの期間において、上記「直近」に侵入する場合は、**「直近海域からの漂流物」に該当する**ものと整理する。

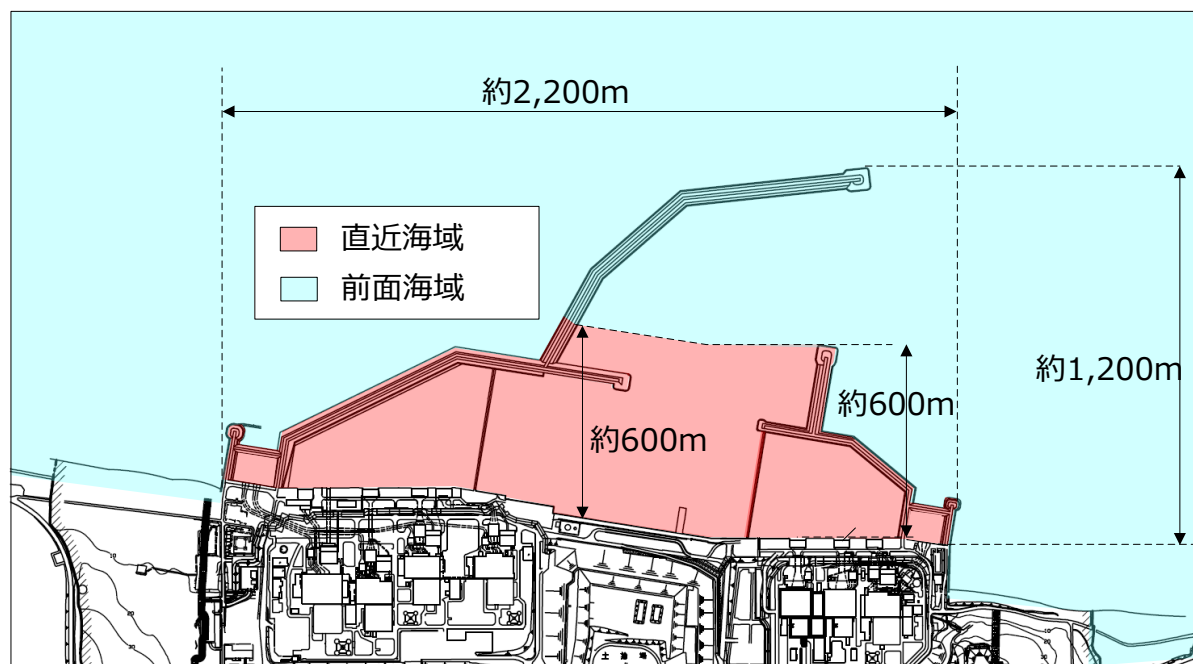


図1.4-6：気中衝突評価有無の評価における「直近」の整理

1.4.3.5 衝突荷重算定式の適用性の整理 ～気中衝突の発生有無～(2/6) **TEPCO**

- 基準津波1～3の防波堤あり／なしのケースについて、12時間の取水口前面水位時刻歴と軌跡シミュレーション結果を確認した。

【防波堤あり】

- 基準津波1,3では取水口前面水位がT.M.S.L.-3.5mまで低下しない。
- 基準津波2では取水口前面水位がT.M.S.L.-3.5mまで低下し、また、軌跡シミュレーション結果によれば、いずれかの時間帯に「直近海域」に浸入する。

【防波堤なし】

- 基準津波1～3で取水口前面水位がT.M.S.L.-3.5mまで低下する。
- 軌跡シミュレーション結果によれば、基準津波1～3とも「直近海域」には浸入しない。
- 上記より、基準津波2（防波堤ありケース）において、取水口前面水位がT.M.S.L.-3.5mまで低下している期間において、漂流物が「直近海域」に浸入するかを確認する。

1.4.3.5 衝突荷重算定式の適用性の整理 ～気中衝突の発生有無～(3/6) **TEPCO**

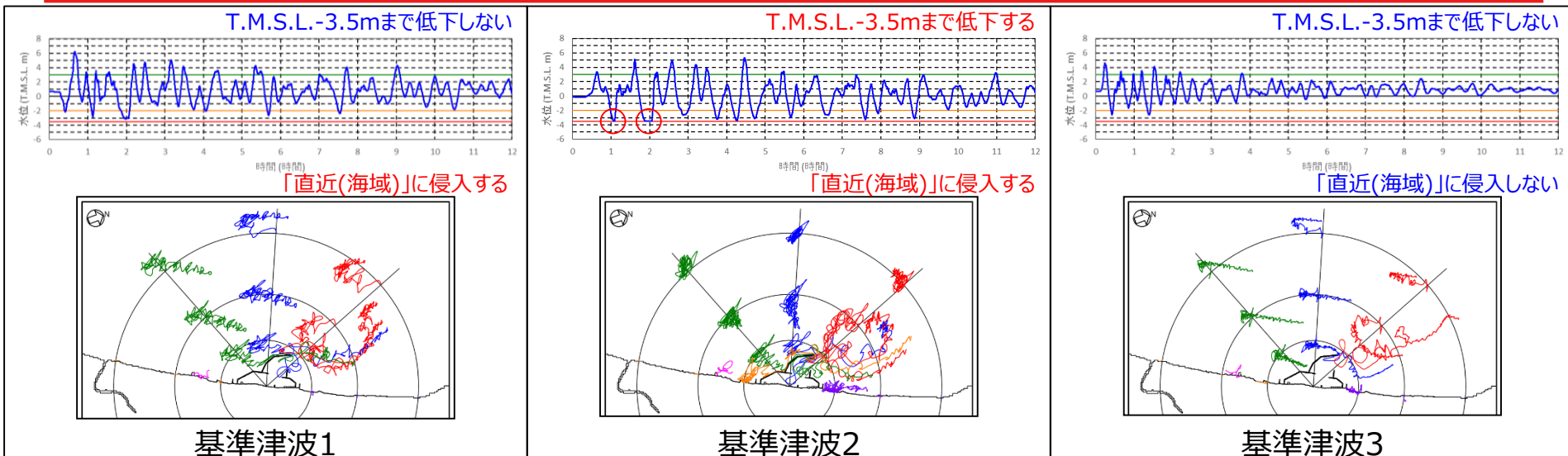


図1.4-7：7号機取水口前面水位と軌跡シミュレーション結果（防波堤あり）

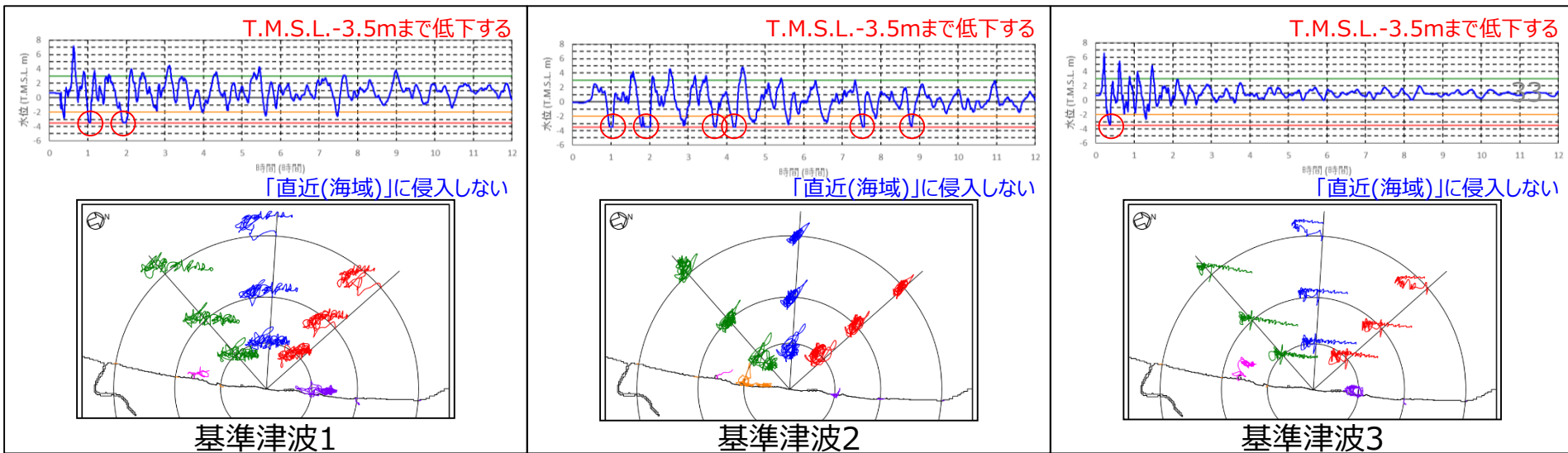


図1.4-8：7号機取水口前面水位と軌跡シミュレーション結果（防波堤なし）

1.4.3.5 衝突荷重算定式の適用性の整理 ～気中衝突の発生有無～(4/6) **TEPCO**

- 基準津波2（防波堤ありケース）において、取水口前面水位がT.M.S.L.-3.5mまで低下する期間は、地震発生後2時間頃までに限定され、それ以降はT.M.S.L.-3.5mまで低下しない。
- 地震発生後2時間頃までの軌跡シミュレーション結果によれば「直近(海域)」への浸入は確認されない。
- よって気中衝突は発生しないと判断される。

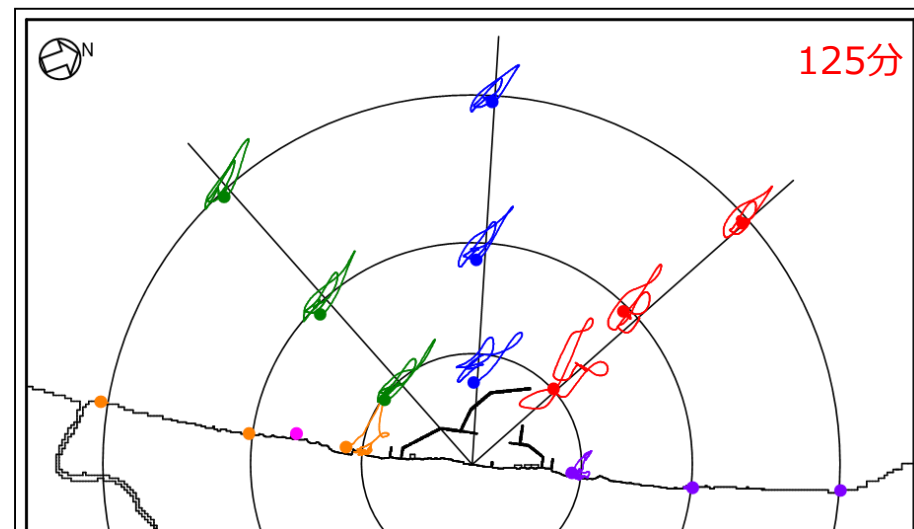
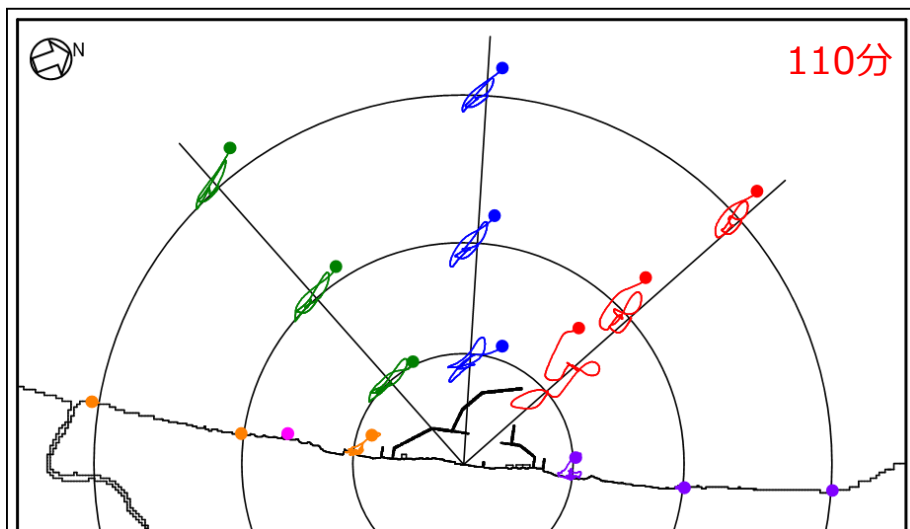
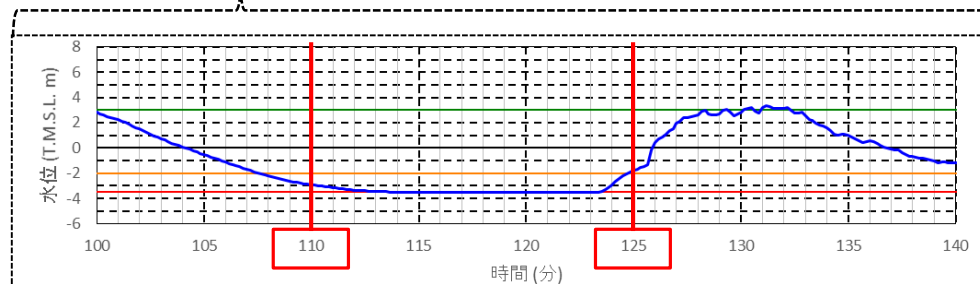
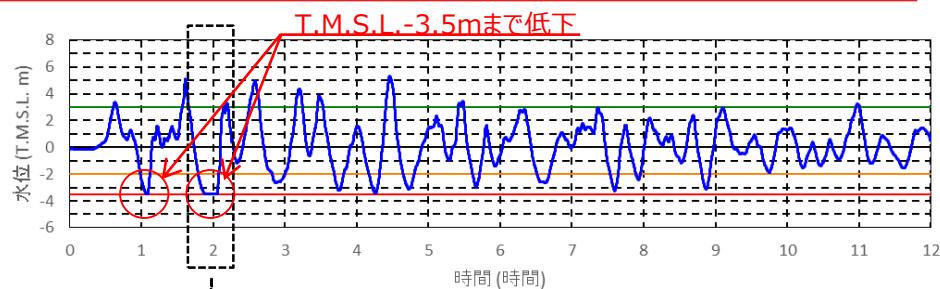


図1.4-9：7号機取水口前面水位がT.M.S.L.-3.5mまで低下している期間の漂流物位置の確認
(基準津波2, 防波堤あり)

1.4.3.5 衝突荷重算定式の適用性の整理 ～気中衝突の発生有無～(5/6) **TEPCO**

- 基準津波2（防波堤ありケース）の地震発生後2時間頃までの軌跡シミュレーション結果について、津波の経時的な流向・流速を用いて考察した。
- 発電所前面海域の主たる流れは、津波第二波後の引き波、津波第三波による押し波・引き波に応じて変化し、長期間一様な流れとなっていないことが確認された。

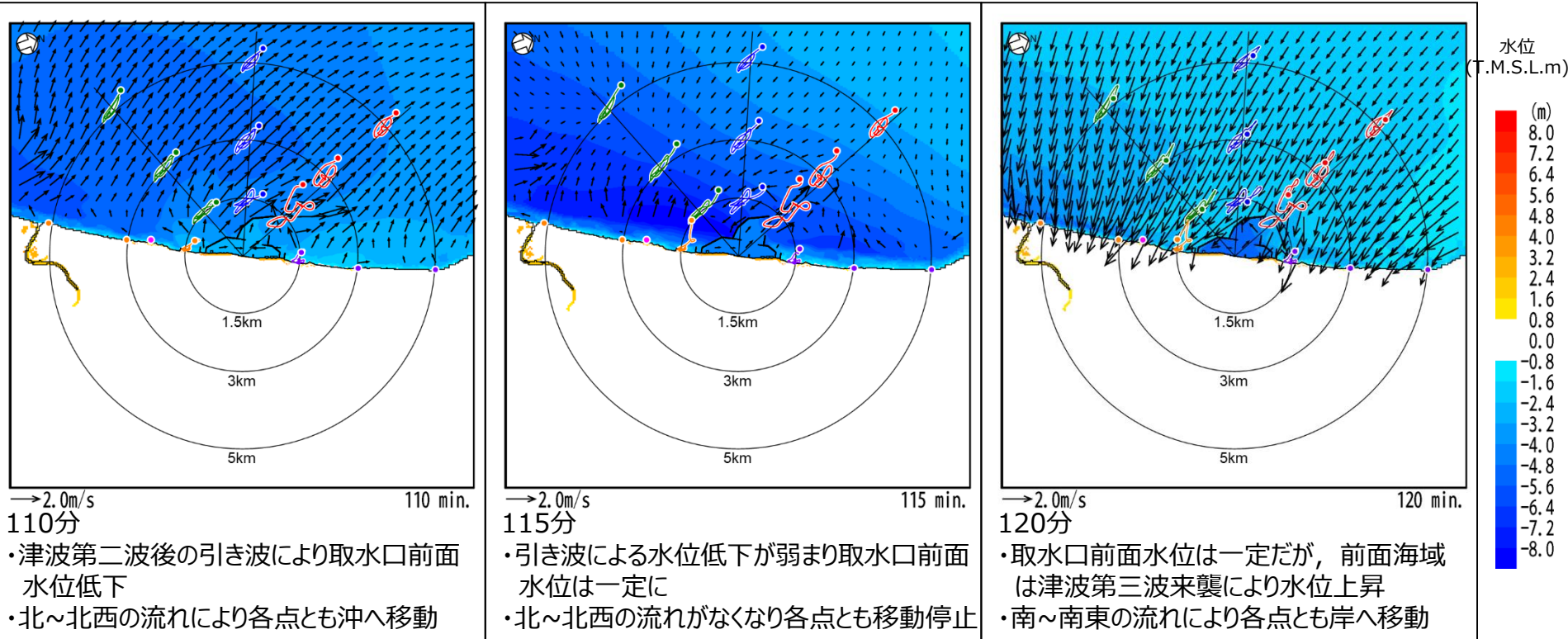
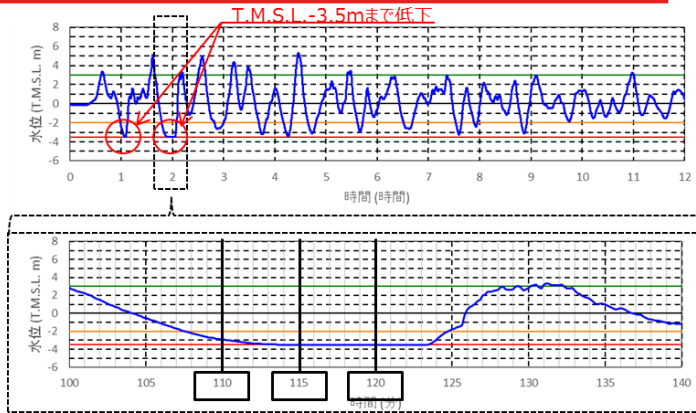


図1.4-10：経時的な流向・流速を用いた軌跡シミュレーションの考察（基準津波2，防波堤あり）

1.4.3.5 衝突荷重算定式の適用性の整理 ～気中衝突の発生有無～(6/6) **TEPCO**

- また、港口付近（赤点）についても、津波第二波後の引き波、津波第三波による押し波・引き波に応じて変化することが確認された。
- 港口付近への移動は主に津波来襲により生じる流れにより生じており、この際、取水口前面水位が上昇し、高い状態となっている。

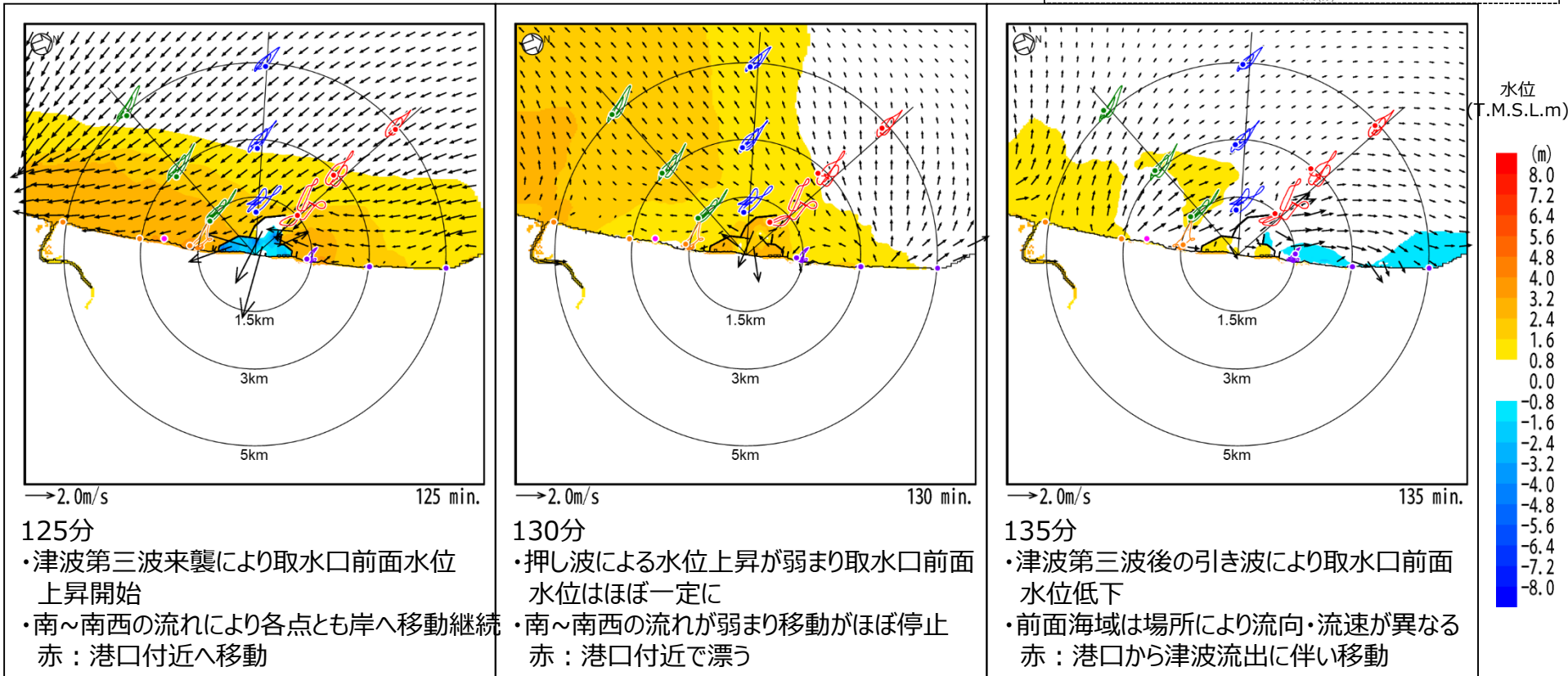
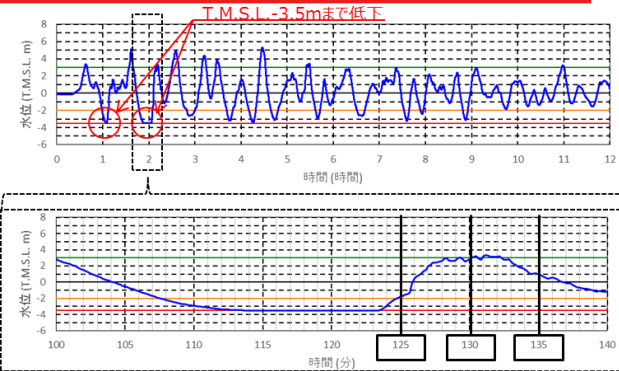


図1.4-11：経時的な流向・流速を用いた軌跡シミュレーションの考察（基準津波2，防波堤あり）

1.4.4 衝突荷重の算定方法（浮遊状態の漂流物）

- 以上の検討を踏まえ、漂流物の初期配置及び種類・材質等による包含関係を考慮し、具体的に衝突荷重を算定する浮遊状態の漂流物と適用式を表1.4-4のとおり整理

表1.4-4：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	漂流物の存在位置	包含関係	算出対象	適用式
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船舶	約15t	前面海域	－	○	道路橋示方書(2002)
	構内	発電所港湾内	船舶	作業船（ゴムボート）	1t 未満	直近	軽自動車に包含	×	－
陸域	構内	大湊側海岸線	車両	軽自動車	約1t	直近	－	○	FEMA(2012)
			資機材	ユニットハウス	1t 未満	直近	軽自動車に包含	×	－
				角材, ホース, カラーコーン	数kg	直近	軽自動車に包含	×	－
		荒浜側海岸線	資機材	ユニットハウス	1t 未満	直近	軽自動車に包含	×	－
				角材, ホース, カラーコーン	数kg	直近	軽自動車に包含	×	－
			植生	保安林	約140kg	前面海域	－	○	道路橋示方書(2002)

<滑動状態での衝突について>

- 海底を滑動するものの衝突荷重算定式は、比較的少ない。
- FEMA（2019）によれば、漂流物の衝突に関して、最新のASCE/SEI 7-16（米国土木学会基準、2016）に従うように記載されている。
- ASCE/SEI 7-16によれば、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荷重が以下のとおり例示されている。重要度係数 I_{tsu} は、津波のリスク分類に応じて1.0~1.25が適用されるが、ここでは $I_{tsu} = 1.25$ とする。

$$F_i = 36 \times I_{tsu} = 36 \times 1.25 = 45 \text{ (kN)} \quad (\text{ここで, } F_i : \text{設計衝突力, } I_{tsu} : \text{重要度係数})$$

- 参考としてASCE/SEI 7-16の例示に基づき、バキューム車（14t）が海底を滑動した場合の衝突荷重を算定すると、下記のとおりとなり、FEMA（2012）より算定した軽自動車の衝突荷重（499 kN）に包含される。

$$F_i = 36 \times 1.25 \times (6/4) \times (14,000/2,270)^{0.5} = 168 \text{ (kN)} \quad (\text{流速 : 6m/s, 衝突物重量 : 14tで補正})$$

- 車両の有効軸剛性は石材・コンクリート殻が塊として有する剛性に比べ小さいと想定される。したがって、車両の有効軸剛性を精緻に考慮して衝突荷重を算定すると、上記で算定したものより小さくなるものと考えられる。
- なお、その他滑動状態で衝突する可能性があるものとして、資機材（ハウジングカバー等）や一般構築物（監視カメラ等）が挙げられるが、それらの重量は1.0t以下であるため、バキューム車の荷重に包含される。

<海水貯留堰への直接落下について>

- 引き波時に大湊側護岸部を滑動する車両等が海水貯留堰の護岸接続部直上から海域に落下し、海水貯留堰に直接衝突する事象について検討した。
- 引き波時に車両等が護岸部を滑動するには護岸部に一定程度の水深が必要だが、海水貯留堰が露出する時刻には護岸部の海水はほとんど残らず滑動が停止しているため、直接衝突することはない。
- また、護岸部で滑動し落下の可能性がある時間帯は、取水口前面海域の水位が海水貯留堰の天端標高 T.M.S.L-3.5mよりも数m以上高く、気中落下衝突のような衝撃的な荷重は発生しない。
- **なお、海水貯留堰の終局鉛直支持力は3,280kN程度であり、直接落下に対して地震時の最大鉛直力21kNを考慮しても十分な裕度を有している。**

※ 基準津波(1,2,3), 防波堤(有り,無し), 護岸部沈下(無し, 2m沈下)でパラメータスタディを実施。
基準津波2・防波堤あり・護岸沈下2mのケースを例示。

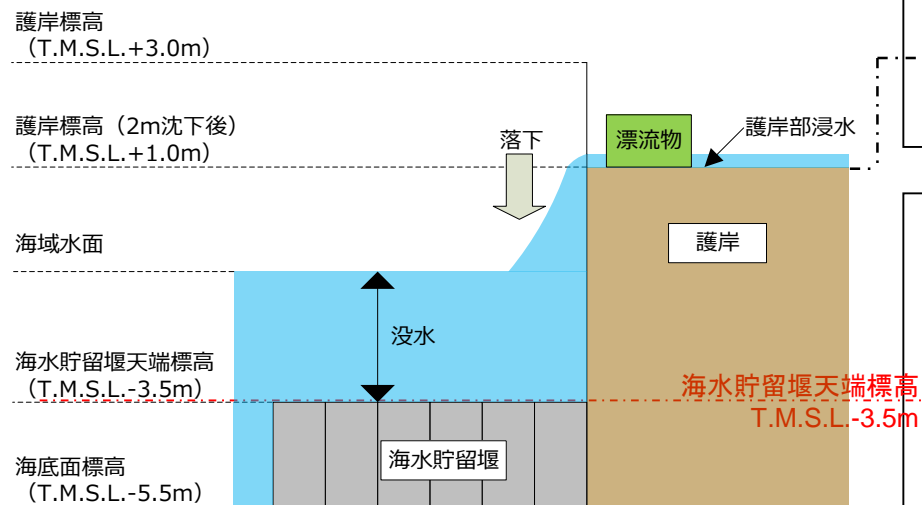
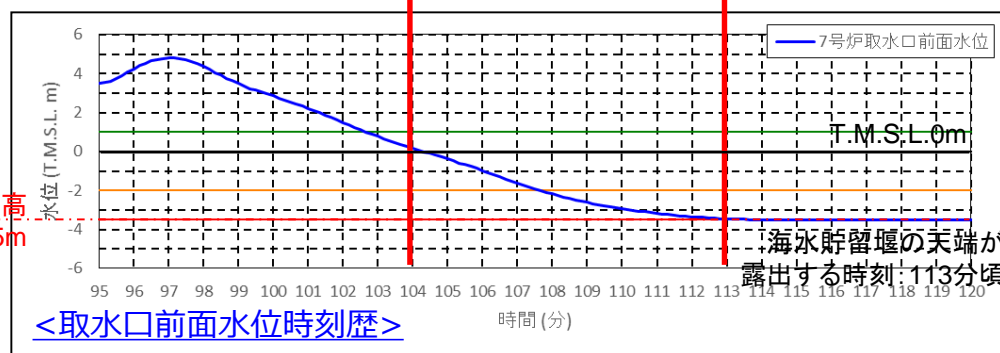
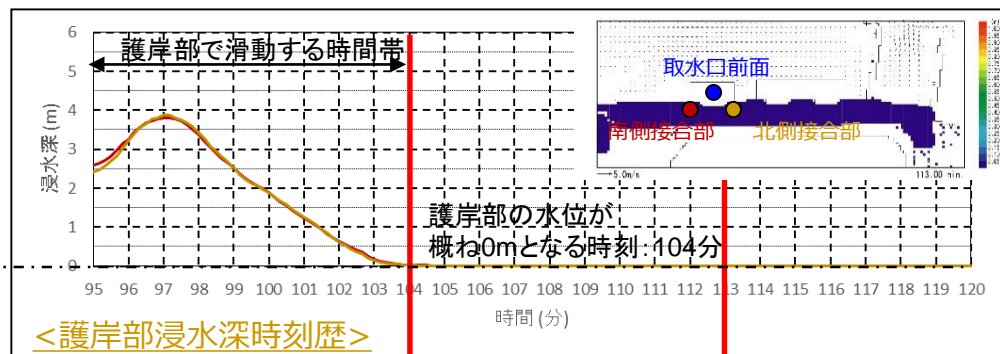


図1.4-12 : 直接落下時の状況

1.4.5 衝突荷重の算定方法 (滑動状態の漂流物) (3/3)

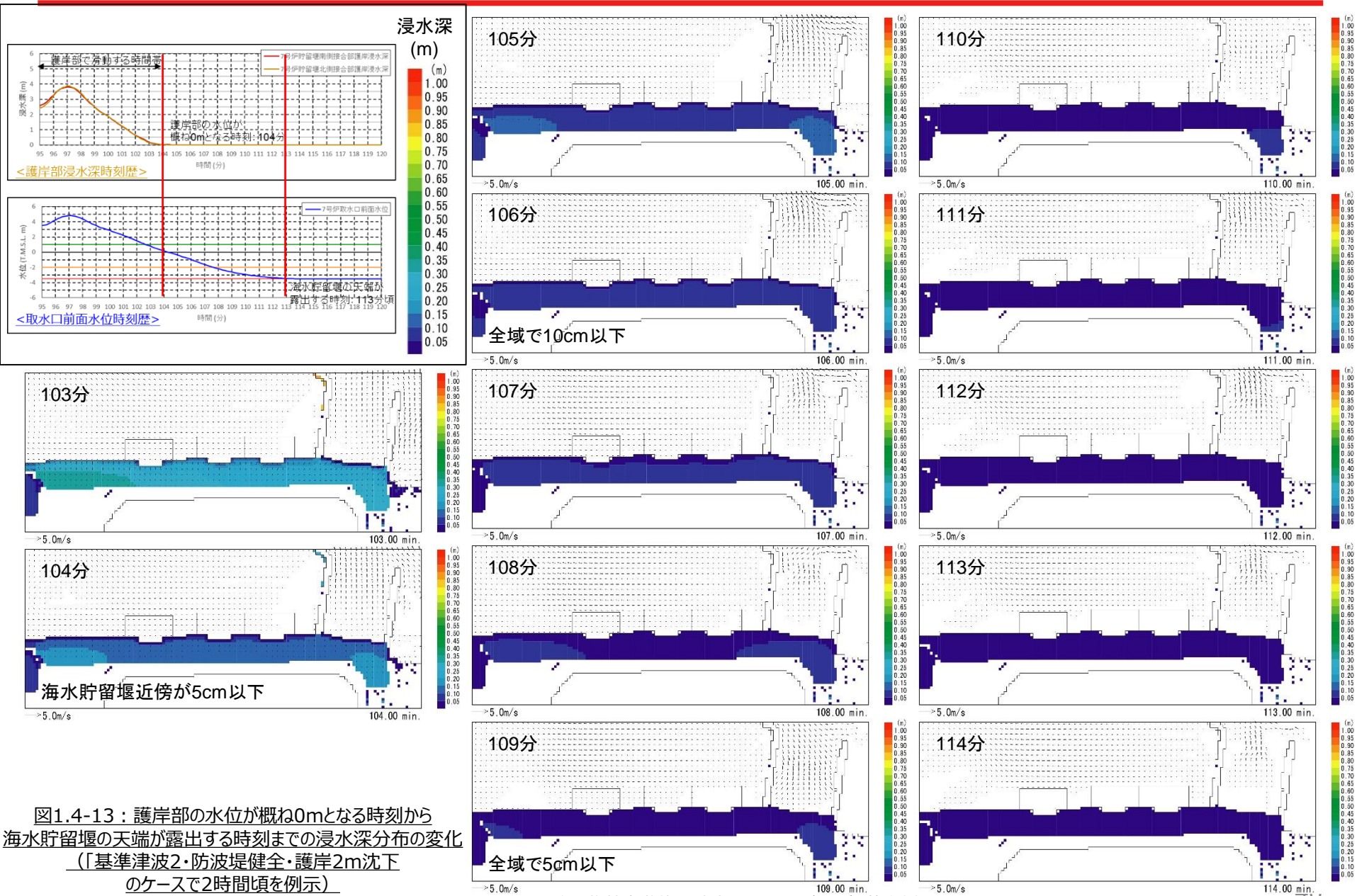


図1.4-13：護岸部の水位が概ね0mとなる時刻から海水貯留堰の天端が露出する時刻までの浸水深分布の変化 (「基準津波2・防波堤健全・護岸2m沈下」のケースで2時間頃を例示)

1.4.6 漂流物衝突荷重の算定結果

表1.4-5：漂流状態で衝突する漂流物の衝突荷重算定結果

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	航行不能船舶	15t	前面海域	道路橋示方書（2002）	89
車両	軽自動車	1.0t 以下	直近	FEMA（2012）	499
流木	保安林	約140kg	前面海域	道路橋示方書（2002）	1
				FEMA（2012）	（参考値※）143
				松富ほか（1999）	（参考値※）424
				有川ほか（2010）	（参考値※）274

※ 保安林については前述のとおり初期配置が「前面海域」と整理できるため道路橋示方書にて衝突荷重を算定。ただし、基準津波発生時に、既に港湾内に流木（津波由来のものではない。）が存在する可能性を考慮し、参考として流木の重量を保安林の重量と同等と仮定し、FEMA(2012)等による算定値を記載。それらの荷重はいずれも軽自動車に包絡される。

表1.4-6：滑動状態で衝突する漂流物の衝突荷重算定結果

種類	内容・名称	重量	状態	荷重算定方法	漂流物衝突荷重[kN]
車両	バキューム車等	14t	滑動	4.5.1参照	（参考値）168

2. 海水貯留堰の設計において 考慮する波力について

2.1 海水貯留堰における津波波力設定方針について

【1.はじめに】

- 海水貯留堰に作用する津波波力にあたっては、「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局）」に基づいて、静水圧差による津波波力を考慮している。
- 柏崎刈羽原子力発電所の敷地前面海域では、ソリトン分裂は認められないことから、非線形長波理論に基づいた平面2次元解析の結果を用いて津波波力を算定することは妥当であると考えられる。
- また、襲来する津波は、水面勾配が最大で2.57°と緩やかであり、ゆっくりとした水位上昇と下降を繰り返す特性を有することから、海水貯留堰の内外の静水圧差より津波波力を算定することは妥当であると考えられる。
- 本検討では、津波の特性を踏まえ、平面2次元解析から得られる水深と流速を用いて作用する流体力を算定し、流体力と静水圧差による津波波力とを比較することにより、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づく静水圧による津波波力の算定方法の適用性を確認する。

【2.検討方針】

- 図2-1に示す検討フローに従って検討を行う。

【3.流体力算定式】

- 本検討では、FEMA(2012) による算定式を適用する。
- FEMA (2012) の算定では、水深 h と流速 u の2乗の積を流束とし、流束の時刻歴最大値を適用していることから、津波シミュレーション結果より流束の最大値を抽出した上で、流体力を算定する。

$$F_D = (1/2) \times C_D \times \rho_s \times B \times (hu^2)_{\max}$$

ここで、 F_D ：流体力 C_D ：抗力係数
 ρ_s ：堆積物を含む流体密度
 B ：構造物の幅 h ：浸水深さ
 u ：構造物位置での流速

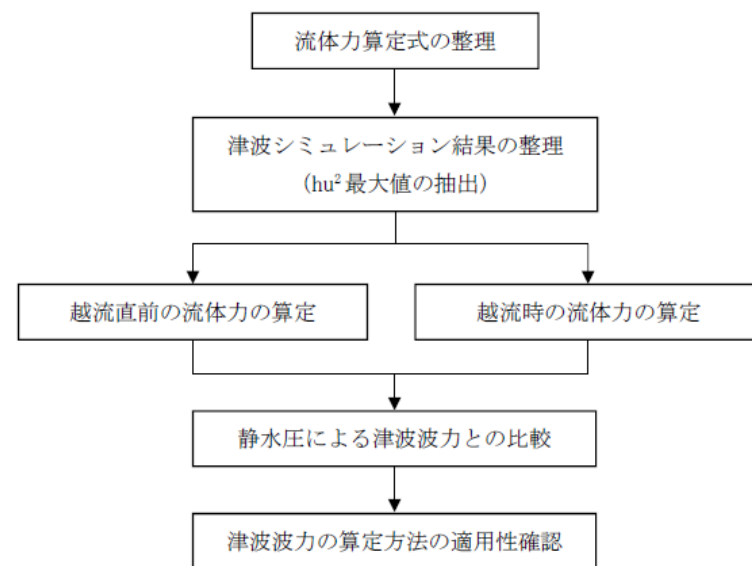


図2-1：検討フロー

2.2 海水貯留堰における津波波力設定方針について

【4. 流体力算定で用いる流速と水深】

- 海水貯留堰に作用する流体力の算定にあたっては、海水貯留堰前面の水位が最も低くなることや海水貯留堰の最大内外水位差が最も大きくなることを考慮し、基準津波2の結果を抽出する。
- 津波の流速及び水深の抽出にあたっては、図2-2に示す海水貯留堰外側の各格子における流速と水深の時刻歴を算出し、全時刻歴における流速と水深により求められる流束 hu^2 の最大値を確認する。
- 越流直前及び越流時ともに、防波堤なしのケースでの6号機海水貯留堰西側前面で流束 hu^2 の最大値を確認した（図2-3）。

hu^2 最大値抽出位置（越流直前及び越流時共通）

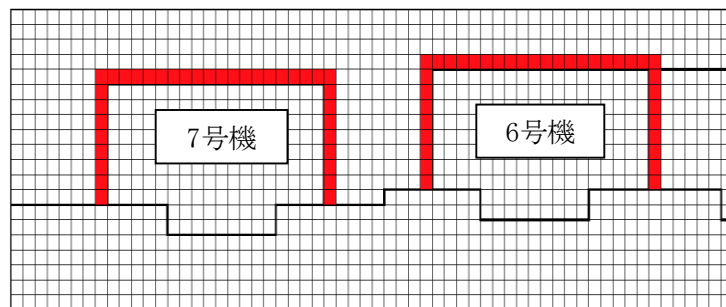


図2-2：流速及び水深の評価位置

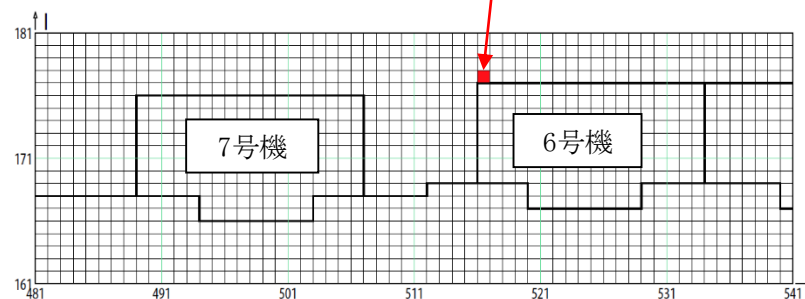


図2-3：流束 hu^2 最大値抽出位置

【5. 流体力と津波波力との比較結果】

- 流体力と津波波力の比較を表2-4に示す。

【6. まとめ】

- 津波による流体力と海水貯留堰の設計で考慮している津波波力を比較した結果、越流直前および越流時のいずれの場合も、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づく静水圧による津波波力が大きくなることから、その適用性を確認した。

表2-4：流体力と津波波力の比較

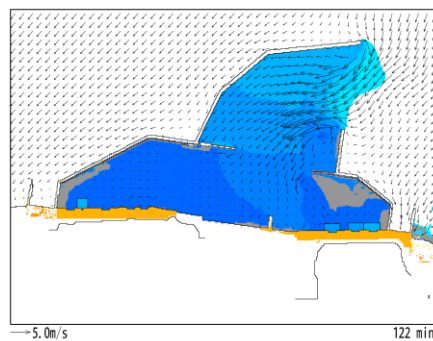
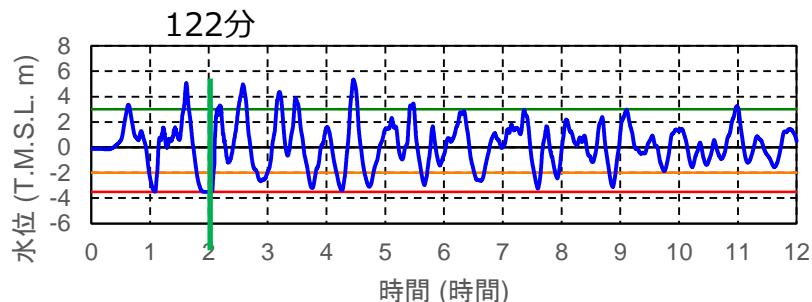
	津波による 流体力 (kN/m)	海水貯留堰の設計 で考慮している津波波力 (kN/m)
越流直前	29.5	80.8
越流時	36.1	40.4

参考資料

【参考1】 港湾内の海底の露出が確認される時刻

■ 図参1-1に示すとおり、港湾内が広く露出するのは基準津波2の120分付近に限定される。

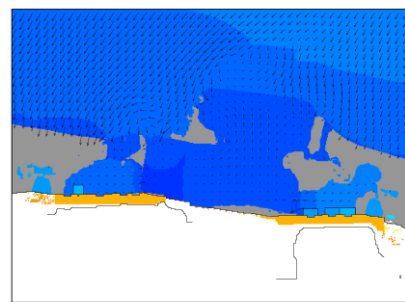
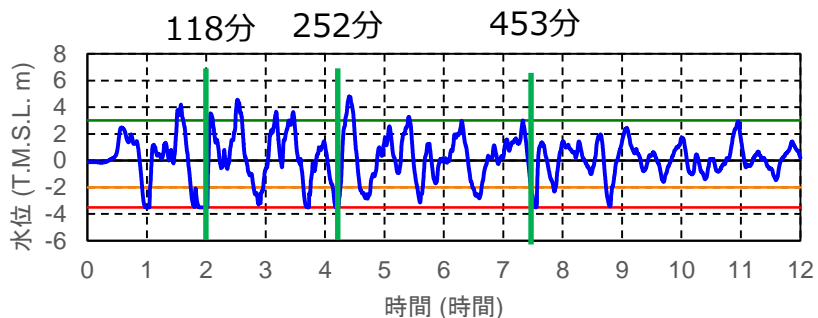
<基準津波2 防波堤有り>



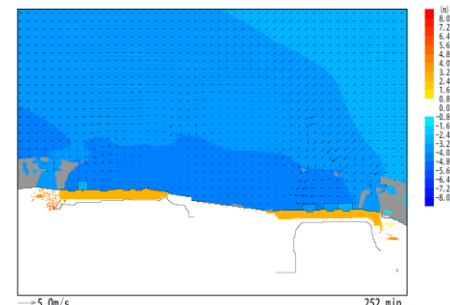
122分時点の海底露出範囲

以降T.M.S.L.-3.5m
となる期間無し

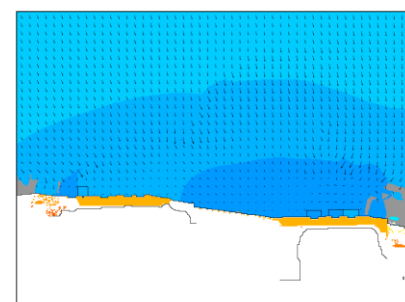
<基準津波2 防波堤無し>



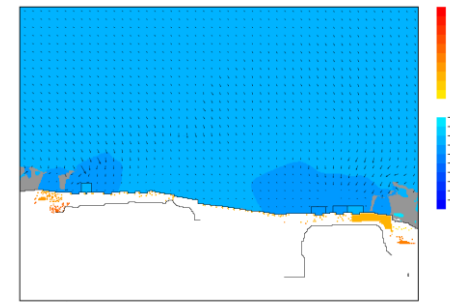
118分時点の海底露出範囲



252分時点の海底露出範囲



453分時点の海底露出範囲



528分時点の海底露出範囲

図参1-1 : 港湾内海底露出時刻に係る整理

- 自主設備である荒浜側防潮堤については、設置変更許可の審査の過程において、基準地震動Ssに対する耐震評価の見直し検討を実施した（設置変更許可 5条まとめ資料 別添1 添付4）。
- 見直し検討では、中越沖地震後に取得した砂層の液状化試験に基づいて設定した地盤物性値を用いて、工認と同様に有効応力解析FLIPにより、基準地震動Ssに対する耐震評価を実施した。
- 見直し検討の結果、基準地震動Ssに対して、基礎部の鋼管杭の支持性能は評価基準値を下回っており、基準適合できていないものの、上部の鉄筋コンクリート躯体はおおむね弾性範囲に留まる見直しとなることを確認した。

表参2-1：鋼管杭の曲げに対する評価結果

	評価値			判定
	海側杭	中央杭	山側杭	
杭頭部	4.12	3.42	4.35 (94.03s)	終局曲率を超える
地層境界部	3.19	3.15	3.38 (98.66s)	終局曲率を超える
杭先端部	0.06	0.04	0.05	終局曲率を下回る

表参2-2：鋼管杭のせん断に対する評価結果

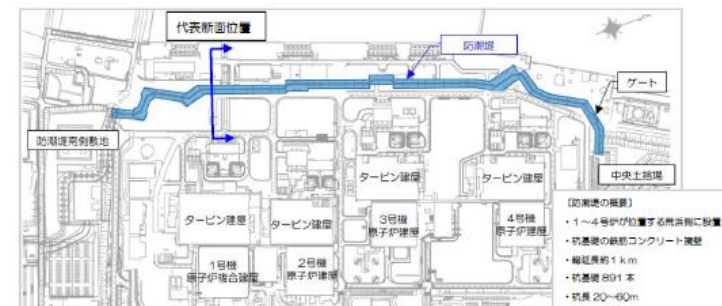
	評価値			判定
	海側杭	中央杭	山側杭	
杭頭部	0.26	0.27	0.28	短期許容応力度を下回る
地層境界部	0.16	0.16	0.21	短期許容応力度を下回る
杭先端部	0.14	0.07	0.11	短期許容応力度を下回る

表参2-3：躯体の曲げに対する評価結果

	評価値	判定
擁壁部	0.25	短期許容応力度を下回る
底版部	0.48	短期許容応力度を下回る

表参2-4：躯体のせん断に対する評価結果

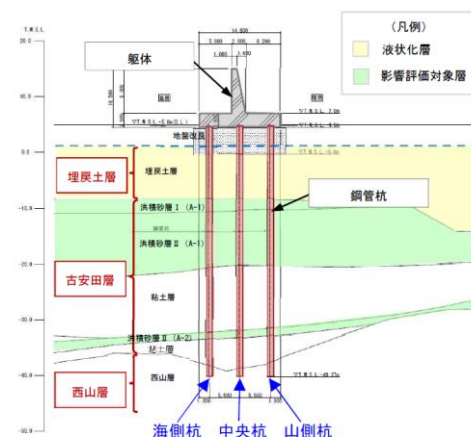
	評価値	判定
擁壁部	0.19	短期許容応力度を下回る
底版部	0.53	短期許容応力度を下回る



第1図 荒浜側防潮堤の概要

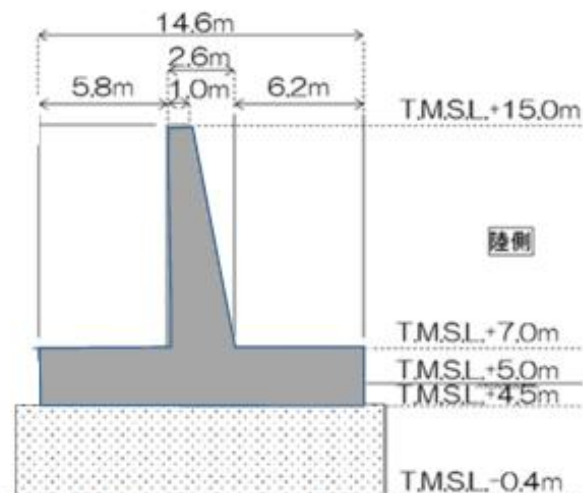
図参2-1：荒浜側防潮堤の概要

(西 海側) (東 山側)



図参2-2：荒浜側防潮堤の代表断面

- また、自主設備である荒浜側防潮堤については、設置変更許可の審査の過程において、基準津波に対する漂流価の見直し検討を実施した（設置変更許可 5条まとめ資料 別添1 添付4）。
- 見直し検討では、基準地震動Ssに対して、基礎部の鋼管杭の支持機能を確保できないものの、上部の鉄筋コンクリート躯体はおおむね弾性範囲に留まっていることから、鋼管杭がないものと仮定し、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年）」を参考に、基準津波によって、荒浜側防潮堤の漂流物化の可能性について見直し検討を実施した。
- 見直し検討の結果、津波により漂流物化しない安定質量は12.1 tとなり、荒浜側防潮堤全体で最も軽いブロックの質量約1200 tに対して十分小さいことから、荒浜側防潮堤は漂流物化しないことを確認した。



図参2-3：荒浜側防潮堤断面図例

表参2-5：荒浜側防潮堤の1ブロック当りの質量

位置	断面積 (m ²) ①	延長 (m) ②	容積(m ³) ③=①×②	質量 (kN) ④=③×24 (kN/ m ³)	質量 (t) ⑤=④/9.8
最軽量ブロック*	46.7	11.2	523	約 12,500	約 1,200
(参考) 代表断面位置	50.9	13.6	692	約 16,600	約 1,600

表参2-6：安定質量の試算結果

材料	密度 ρ _r (t/m ³)	水に対する比重 Sr (=ρ _r /1.03)	安定質量 M (t)
鉄筋コンクリート	2.40	2.33	12.1