

柏崎刈羽原子力発電所 第7号機
海水貯留堰等の設計において考慮する
津波による荷重について

TEPCO

2020年5月26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. はじめに
2. 津波漂流物の衝突荷重(海水貯留堰)

1. はじめに

- 第769回 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(令和元年9月10日)において示した主な説明事項のうち、「津波漂流物の衝突荷重(海水貯留堰)」について説明する。

【3-1】津波漂流物の衝撃荷重 (海水貯留堰) TEPCO

1. 概要

津波防護施設である海水貯留堰について、漂流物衝突荷重の設定の妥当性を説明する。

- 海水貯留堰は海面が通常水位 (T.M.S.L.0m程度) では海中に設置される構造であるため、漂流物の衝突形態としては、海水貯留堰の前面海域に浮遊する漂流物が押し波とともに衝突するという形態が基本となることを説明する。
- 既往の研究論文の漂流物衝突荷重算定式を整理した結果、上記のような漂流物衝突には道路橋示方書を適用することを説明する。

図1 海水貯留堰配置図

A-A断面
図2 海水貯留堰断面図

2. 今後の説明予定

- 衝突形態の説明, 衝突荷重算定式の整理, 代表漂流物の選定, その他サイト特性について, 津波への配慮に関する説明書及びその補足説明資料にて説明予定【資料提出済】

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

24

第769回 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合説明資料抜粋

2. 津波漂流物の衝突荷重(海水貯留堰)

2.1 概要

- 海水貯留堰の設計において考慮する漂流物の衝突荷重は、柏崎刈羽原子力発電所における基準津波の特徴、漂流物の特徴等を考慮し、以下のフローに従い算定する。

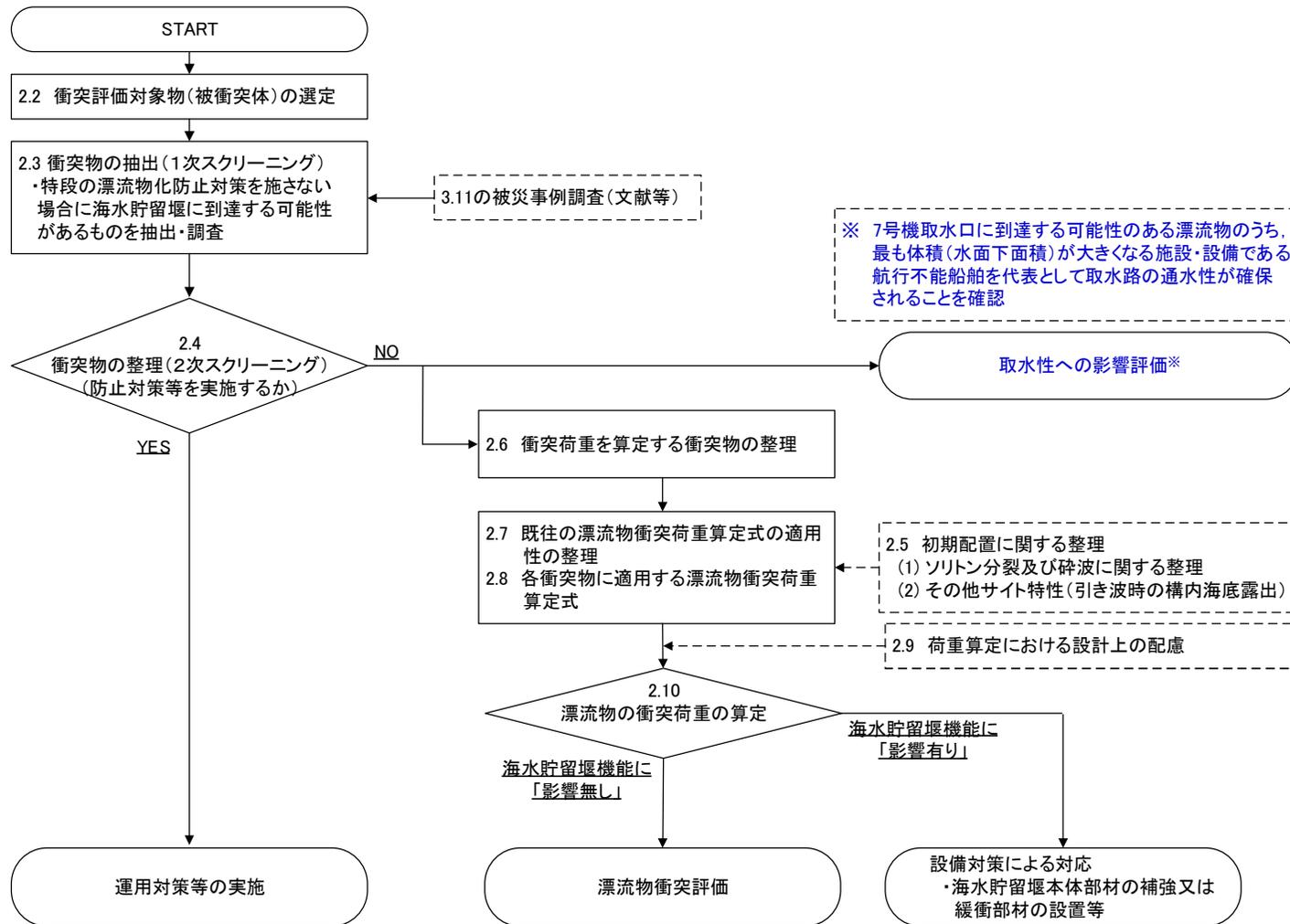


図1：漂流物衝突を考慮した津波防護施設の設計に係る検討フロー

2.2 衝突評価対象物(被衝突体)の選定

- 7号機取水口前面に設置する海水貯留堰については、津波が直接到達し、漂流物が衝突する可能性があることから、衝突評価対象物(被衝突体)として選定する。

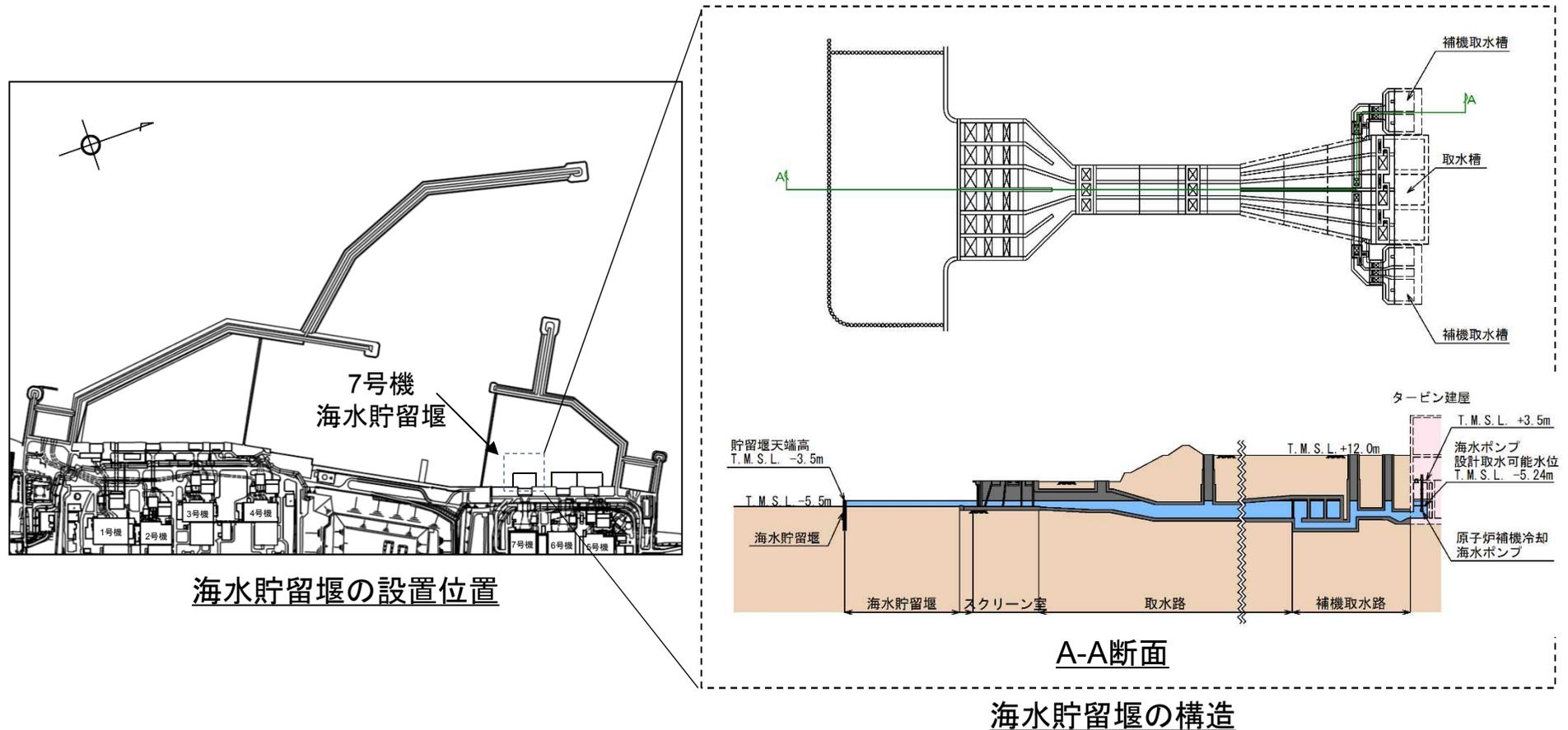
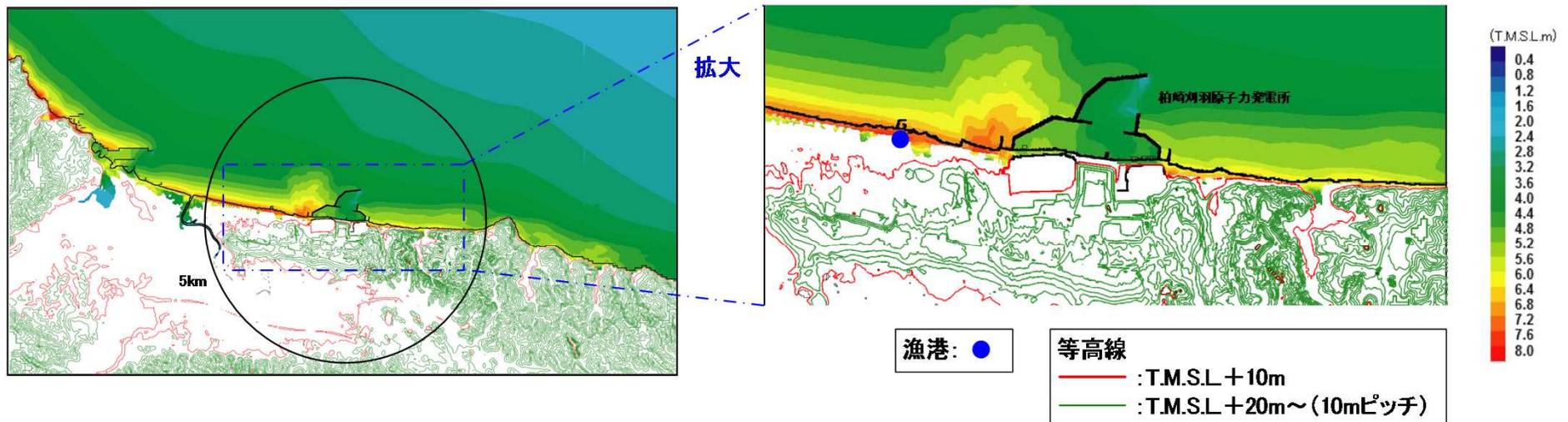


図2: 海水貯留堰の設置位置及び構造

2.3 衝突物の抽出(1次スクリーニング) ～漂流物の調査～

- 基準津波の水位, 流向, 流速を考慮し, 漂流物の調査範囲を発電所周辺5kmに設定 (陸域については, 5km圏内の海岸線に沿った標高10m以下の範囲)
- 1次スクリーニングでは, 上記範囲内に存在する施設・設備等のうち, 特段の漂流物化防止対策を施さない場合, 海水貯留堰に到達する可能性があるものを調査・抽出
- 「発電所の構内/構外」及び「海域/陸域」に区分して調査・抽出を実施
- 各区分における調査・抽出結果を次頁以降に記載



2.3 衝突物の抽出(1次スクリーニング) ～構外海域～

- 図4に示すとおり, 発電所周辺海域における軌跡シミュレーションを実施し、初期配置が沖合3km及び5kmの場合は、初期配置付近を漂う状況を確認
- 初期配置が沖合1.5kmで、港湾口の近傍の場合、港湾内に移動する可能性有り

⇒ 保守的に、漁船や発電所近傍の海岸線に退避した作業船舶(詳細は後述)が発電所付近(沖合1.5kmの港湾口付近)で航行不能になると仮定し、衝突物として抽出

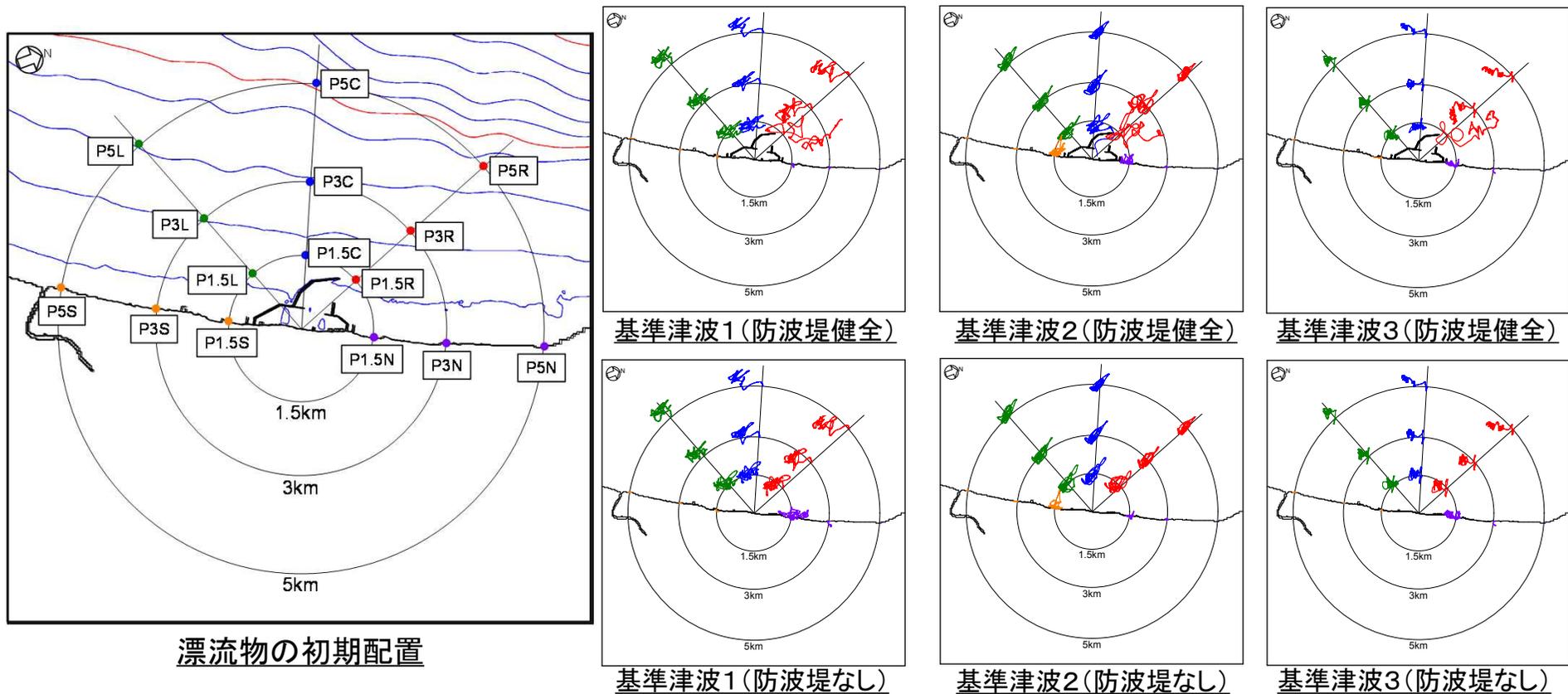


図4: 発電所周辺海域における軌跡シミュレーションの結果

2.3 衝突物の抽出(1次スクリーニング) ～構内海域～

- 港湾内に定期的に来航する船舶としては、燃料等輸送船が来航し、物揚場に停泊する。
- 港湾の入り口付近では、浚渫作業関連船舶(浚渫船, 土運船, 揚錨船及び曳船)が浚渫作業を実施する。
- その他には、港湾設備保守点検, 海洋環境監視調査及び温排水水温調査のための作業船が作業内容に応じて港湾内にて作業を実施する。

⇒ 上記船舶は、退避や係留等の対策を実施しない場合, 海水貯留堰に到達する可能性があることから、1次スクリーニングにおいて衝突物として抽出

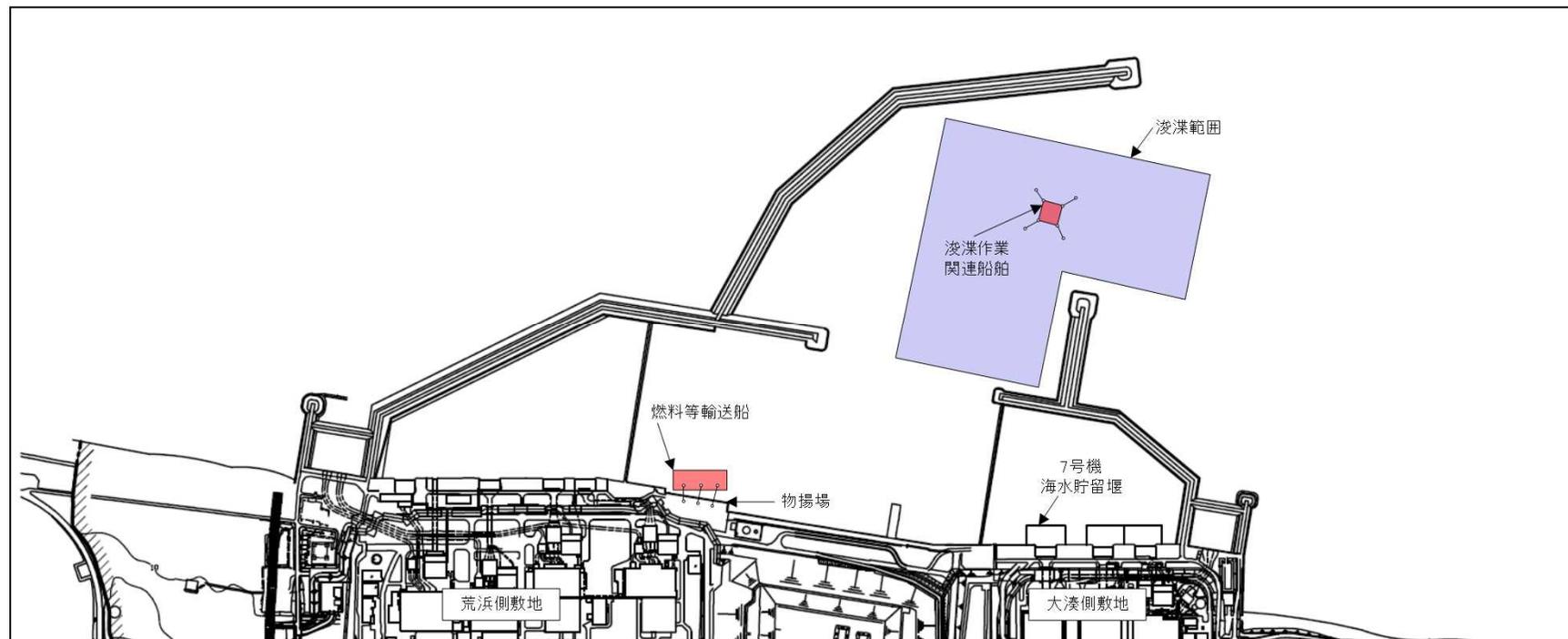


図5: 燃料等輸送船及び浚渫作業関連船舶の概略配置

2.3 衝突物の抽出(1次スクリーニング) ～構外陸域～

- 家屋等建築物や電柱等構築物の多くは、設置方法や重量等により漂流物化することはないと考えられる。
- 軽量の(比重が小さい)ものが漂流物化した場合でも、図4に示した「発電所周辺海域における軌跡シミュレーション」を参考とすれば、海水貯留堰に到達する漂流物とはならないと言える。

⇒構外陸域の施設・設備等は、海水貯留堰の機能に影響を与える衝突物とはならないと整理

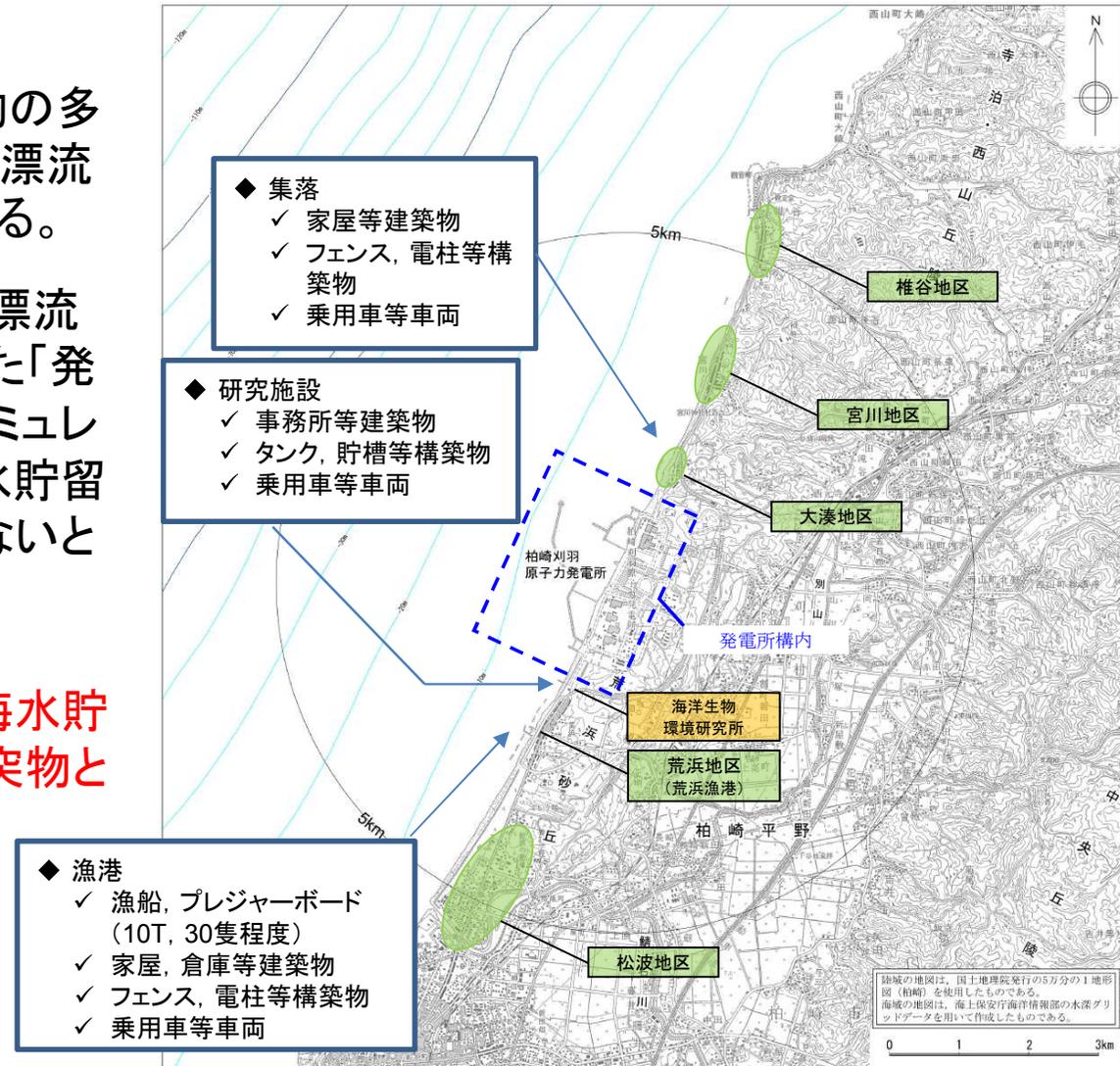


図6: 構外陸域の漂流物調査結果

2.3 衝突物の抽出(1次スクリーニング) ～構内陸域①～

- 構内の陸域については、基準津波の遡上域となる範囲(図7及び図8において遡上域として示す範囲)を漂流物の調査範囲として設定
- 調査にあたっては、構内陸域を「大湊側海岸線」、「荒浜側海岸線」及び「荒浜側防潮堤内敷地(荒浜側防潮堤の損傷を想定した際の遡上域)」に区分して整理
- 各区分における施設・設備等を、「建屋」、「機器類」等に分類して、海水貯留堰への衝突有無を整理
- 整理結果を次頁以降に記載

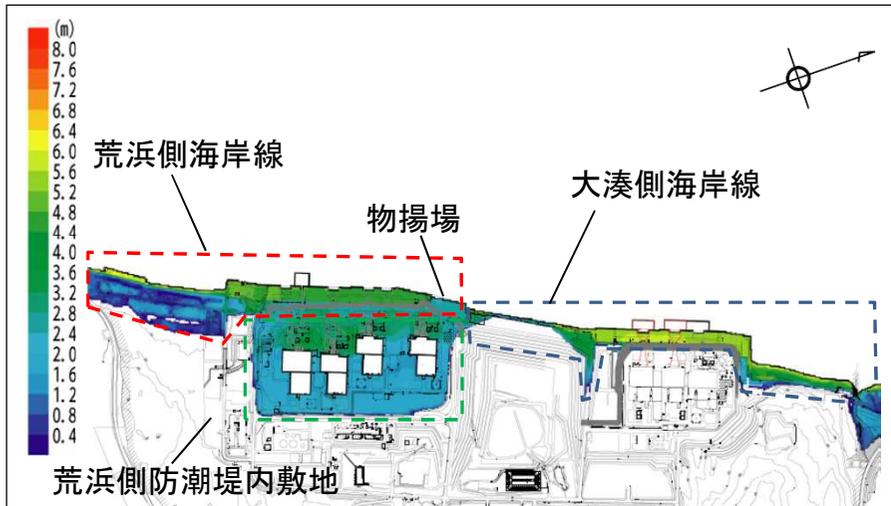


図7: 発電所全体遡上域の最高水位を
与える津波による浸水深分布

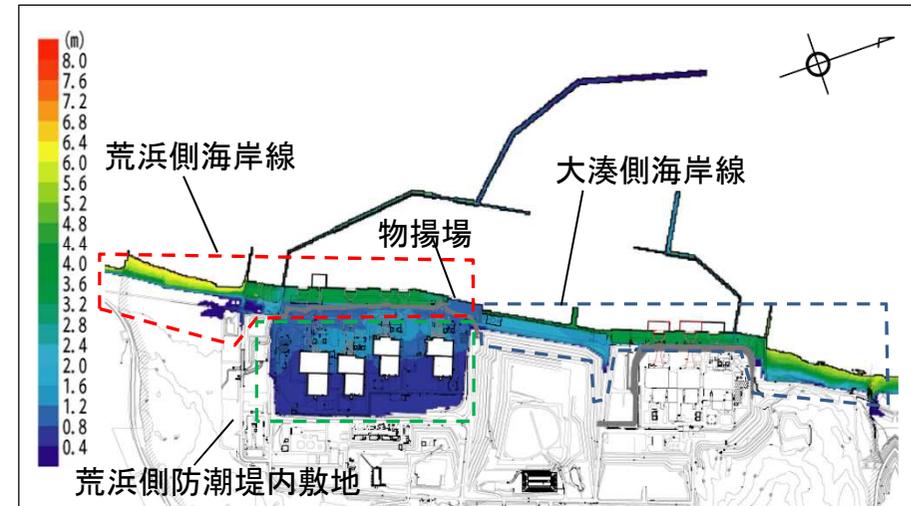


図8: 荒浜側防潮堤内敷地の最高水位を
与える津波による浸水深分布

2.3 衝突物の抽出(1次スクリーニング) ～構内陸域②～

表1:「大湊側海岸線」における施設・設備等の海水貯留堰への到達有無の整理

No.	種類		到達有無	理由
①	建屋	鉄筋コンクリート建屋	無	東日本大震災時に数十m移動した事例があるが、密度評価を実施し、漂流しないと整理(参考1参照)
②		鉄骨造建屋	無	水密性が無く大きな浮力が発生しないため、建屋の形で漂流しない
③	機器類	タンク	無	大湊側海岸線にタンクは存在しない
④		タンク以外	無	該当設備はクレーン、電気・制御盤等であるが、水密性が無く漂流物とならない
⑤	車両		有	対策を施さない場合10分程度漂流するものと考えられるため、到達可能性が有ると整理 (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)
⑥	資機材		有	軽量の、ユニットハウス(仮設ハウス)、足場板等については到達可能性が有ると整理
⑦	植生		無	大湊側海岸線に植生は存在しない
⑧	その他一般構築物		有	監視カメラ, 拡声器, 標識等について到達可能性が有ると整理

表2:「荒浜側海岸線」における施設・設備等の海水貯留堰への到達有無の整理

No.	種類		到達有無	理由
①	建屋	鉄筋コンクリート建屋	無	軌跡シミュレーションの結果より到達しない(次頁参照)
②		鉄骨造建屋	無	水密性が無く大きな浮力が発生しないため、建屋の形で漂流しない
③	機器類	タンク	無	荒浜側海岸線にタンクは存在しない、タンク類似物として輸送中のキャスクが存在するが、密度より漂流しない
			有	タンク類似物として輸送中のLLW輸送容器が存在する
④	タンク以外		無	該当設備はクレーン、電気・制御盤等であるが、水密性が無く漂流物とならない
⑤	車両※1		無	軌跡シミュレーションの結果より到達しない(次頁参照)
⑥	資機材		有	軽量の、ユニットハウス(仮設ハウス)、足場板等については到達可能性が有ると整理
⑦	植生		有	敷地南側境界付近に保安林が存在する
⑧	その他一般構築物		有	監視カメラ, 拡声器, 標識等について到達可能性が有ると整理

※1 使用済燃料輸送車両及びLLW輸送車両を含む。ただし各車両にキャスク又はLLW輸送容器が締結される状態はタンクとして取り扱う。

2.3 衝突物の抽出(1次スクリーニング) ～構内陸域③～

- 荒浜側護岸部の車両及び資機材の海水貯留堰への到達有無を軌跡シミュレーションにより確認
- 基準津波1～3いずれのケースでも海水貯留堰に到達する様子は確認されない
- 津波の流向も長期間一様に海水貯留堰に向かう流れではなく、海水貯留堰に到達しないと整理

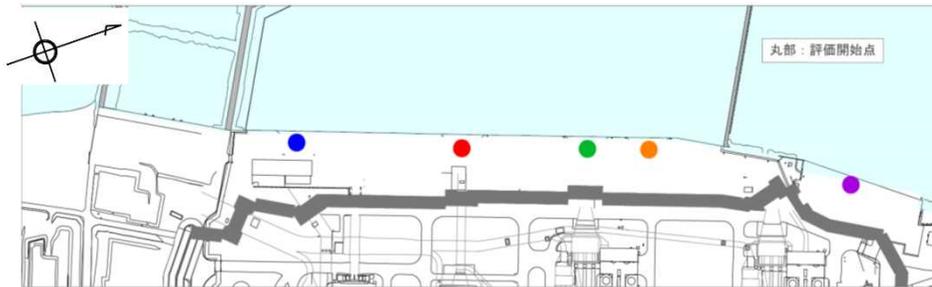
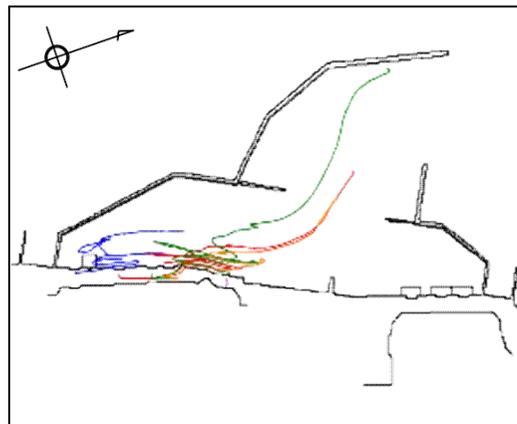


図9:軌跡シミュレーションの初期配置

注1) 地震発生から120分間を評価

注2) 浸水深10cmで漂流開始とした。

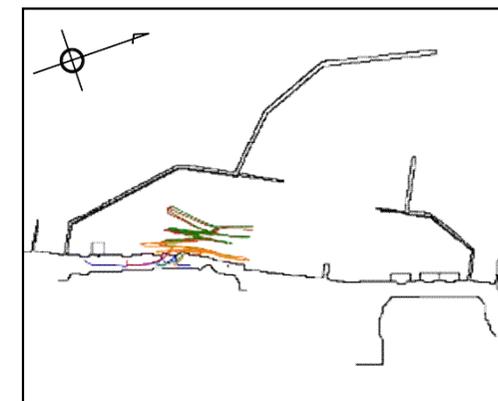
注3) 斜面崩壊・地盤変状の有無, 荒浜側防潮堤の有無、防波堤の有無のパラスタを実施し、同様の結果となることを確認



基準津波1



基準津波2



基準津波3

図10: 荒浜側護岸部各地点を起点とした軌跡シミュレーション結果
(「斜面崩壊・地盤変状;無, 防潮堤;有, 防波堤;有」を代表ケースとして記載)

2.3 衝突物の抽出(1次スクリーニング) ～構内陸域④～

表3 :「荒浜側防潮堤内敷地」における施設・設備等の海水貯留堰への到達有無の整理

No.	種類		到達有無	理由
①	建屋	鉄筋コンクリート建屋	無	護岸部に残存する防潮堤が障害となり海域に流出することは考え難い。 参考として軌跡シミュレーションを実施し海水貯留堰に到達しないことを確認(次頁参照)
②		鉄骨造建屋	無	水密性が無く大きな浮力が発生しないため、建屋の形で漂流しない
③	機器類	タンク	無	護岸部に残存する防潮堤が障害となり海域に流出することは考え難い。 参考として軌跡シミュレーションを実施し海水貯留堰に到達しないことを確認(次頁参照)
④		タンク以外	無	該当設備はクレーン、電気・制御盤等であるが、水密性が無く漂流物とならない
⑤	車両		無	護岸部に残存する防潮堤が障害となり海域に流出することは考え難い。 参考として軌跡シミュレーションを実施し海水貯留堰に到達しないことを確認(次頁参照)
⑥	資機材		無	護岸部に残存する防潮堤が障害となり海域に流出することは考え難い。 参考として軌跡シミュレーションを実施し海水貯留堰に到達しないことを確認(次頁参照)
⑦	植生		無	荒浜側防潮堤内敷地に植生は存在しない
⑧	その他一般構築物		無	護岸部に残存する防潮堤が障害となり海域に流出することは考え難い。 参考として軌跡シミュレーションを実施し海水貯留堰に到達しないことを確認(次頁参照)

2.3 衝突物の抽出(1次スクリーニング) ～構内陸域⑤～

- 荒浜側防潮堤内敷地の施設・設備が漂流物となった場合の海水貯留堰への到達有無を軌跡シミュレーションにより確認
- 基準津波1～3いずれのケースでも海水貯留堰に到達する様子は確認されない
- 津波の流向も長期間一様に海水貯留堰に向かう流れではないため、海水貯留堰に到達しないと整理

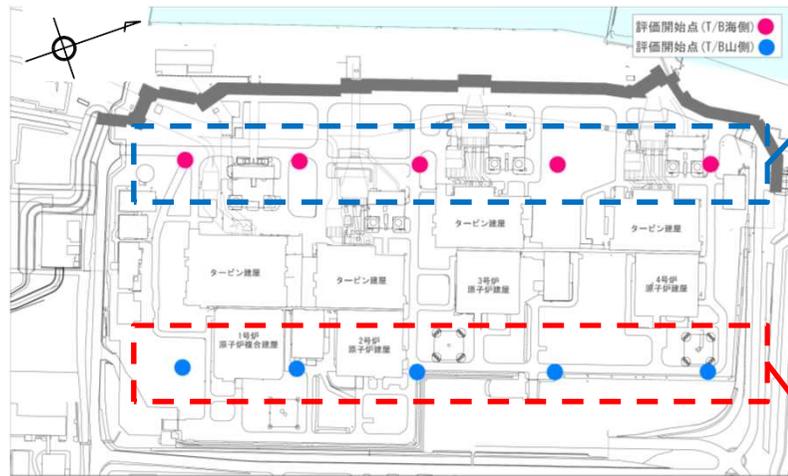


図11:軌跡シミュレーションの初期配置

- 注1) 地震発生から120分間を評価
- 注2) 保守的に浸水深10cm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

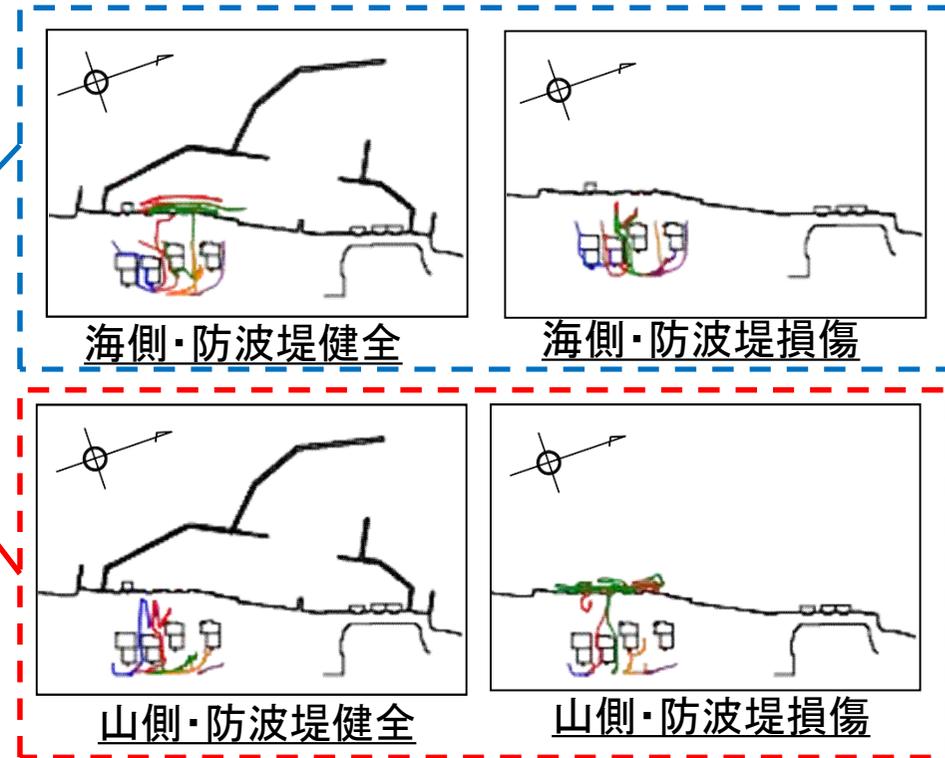


図12:荒浜側防潮堤内敷地各地点を起点とした軌跡シミュレーション結果
(基準津波1を代表として記載)

2.3 衝突物の抽出(1次スクリーニング) ～結果まとめ～

- 1次スクリーニングの結果, 表4に示す漂流物を海水貯留堰への衝突物として抽出
- 表4において, 「2次スクリーニング対象」とした漂流物について, 運用等の詳細を踏まえ海水貯留堰への到達有無を再評価する(必要に応じて新たな運用対策を実施)。

表4: 1次スクリーニング結果まとめ

設置場所情報			種類	内容・名称・構造等	重量	2次スクリーニング対象※1	
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	○	
				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	構内	大湊側護岸部	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, 足場板, ホース, カラーコーン	数kg	○	
		荒浜側護岸部	一般構築物	監視カメラ, 拡声器, 標識	数kg	○	
			タンク	LLW輸送容器	約1.2t	○	
		敷地南側境界	植生	一般構築物	監視カメラ, 拡声器, 標識	数kg	○
				流木	約140kg※2	—	

※1 「○」は2次スクリーニング対象を示し, 「△」は一部設備・施設等が2次スクリーニング対象となることを示す。

※2 構内陸上遡上域の植生調査結果(平均直径17.0 cm, 平均樹高7.4m)を元に, 建築空間の緑化手法(1985)の算定式により設定

2.4 衝突物の整理(2次スクリーニング) ～船舶①～

- 表4に示す衝突物について、「漂流物防止対策」及び「衝突影響」の観点から2次スクリーニングを実施し、衝突荷重を算定する衝突物の整理を実施する。
- 構内海域に存在する、「燃料等輸送船」、「浚渫作業関連船舶」及び「その他作業船」について以下のとおり漂流物化防止対策を実施する。

【燃料等輸送船】

- 襲来までに時間的な余裕がある津波(基準津波1及び2)に対しては緊急退避が可能
- 時間的な余裕がない津波(基準津波3)に対しては、津波発生時に「荷役」行程中であった場合、緊急退避ができない可能性があるが、以下の理由から航行不能とはならず、第一波経過後に退避が可能
 - 津波高さとの関係から、岸壁を超えない。
 - 岸壁に接触しても防げん材を有しているとともに、二重船殻構造等十分な船体強度を有する。
 - 船舶内に人員が常駐している。

⇒ 燃料等輸送船は海水貯留堰に到達しないと整理

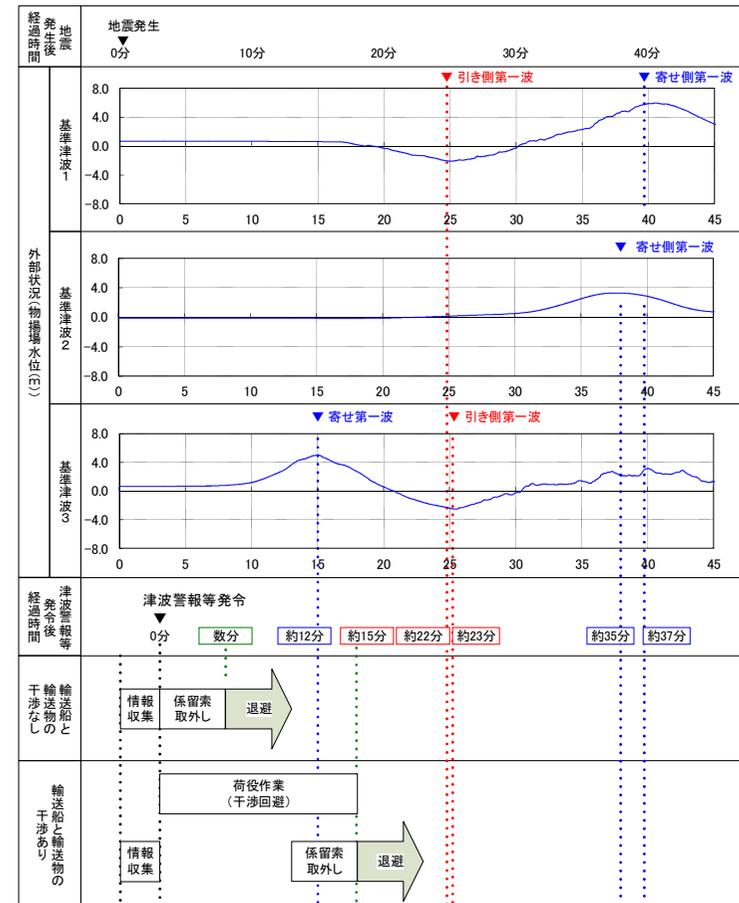


図13: 燃料等輸送船の退避に係る時系列

2.4 衝突物の整理(2次スクリーニング) ～船舶②～

【浚渫作業関連船舶】

- 浚渫作業関連船舶としては、「浚渫船」、「揚錨船」、「曳船」及び「土運船」が該当
- 「浚渫船」はストックアンカーにて係留
- 「揚錨船」及び「曳船」は状況に応じて退避するか、浚渫船に係船
- 「土運船」については、基本的に「浚渫船」に係船
- 海象条件が悪い場合は、土運船が港湾内で単独で待機している状況があるが、その際は、土運船は、事前に海中に沈めた重りに係留

⇒ 浚渫作業関連船舶は海水貯留堰に到達しないと整理

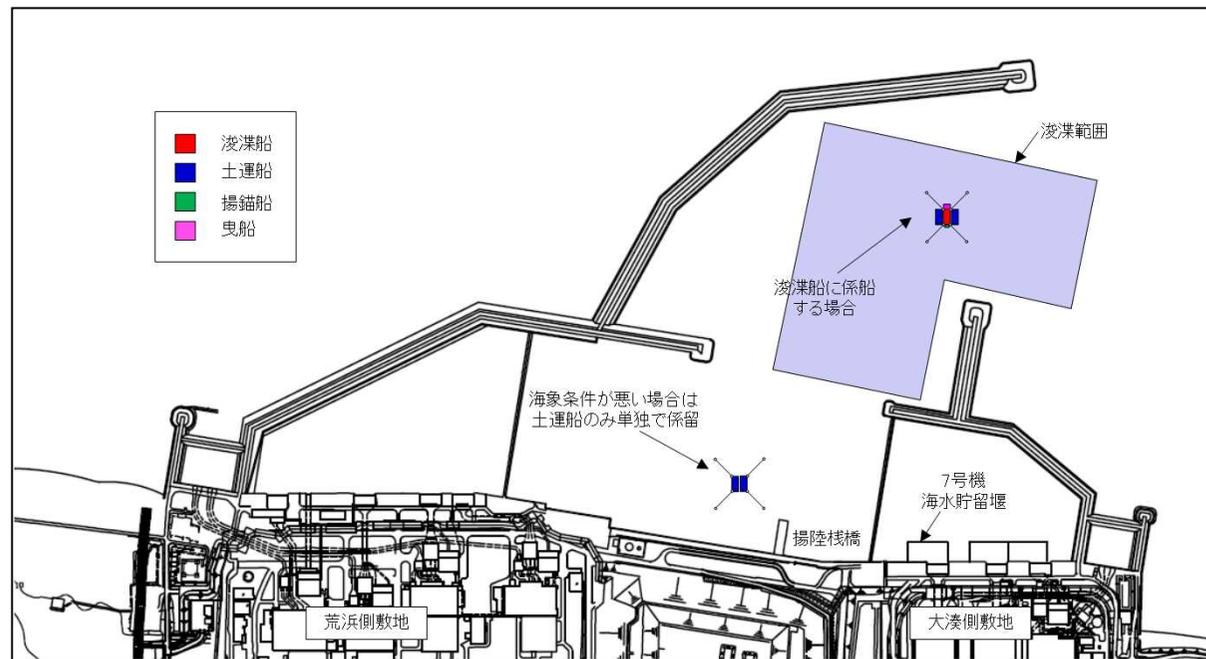


図14: 浚渫作業関連船舶の津波時の配置

2.4 衝突物の整理(2次スクリーニング) ～船舶③～

漂流物衝突によるリスクを低減するため、港湾内作業船に対して以下の対策を実施

- 港湾内の作業船舶は、「大湊側港湾内」、「発電所全体港湾内又は「港湾外(発電所付近)」で作業を実施(図16参照)
- 「発電所全体港湾内」又は「港湾外(発電所付近)」で作業する船舶は、到達が早い基準津波3に対しても沖合1.5kmまで(あるいは構外の海岸に)退避可能であるため(図17参照), 津波時には港湾内から退避する運用とする。
- 「大湊側港湾内」で作業する船舶は退避できない可能性を考慮し, 剛性が小さいゴムボートを使用する運用とする。

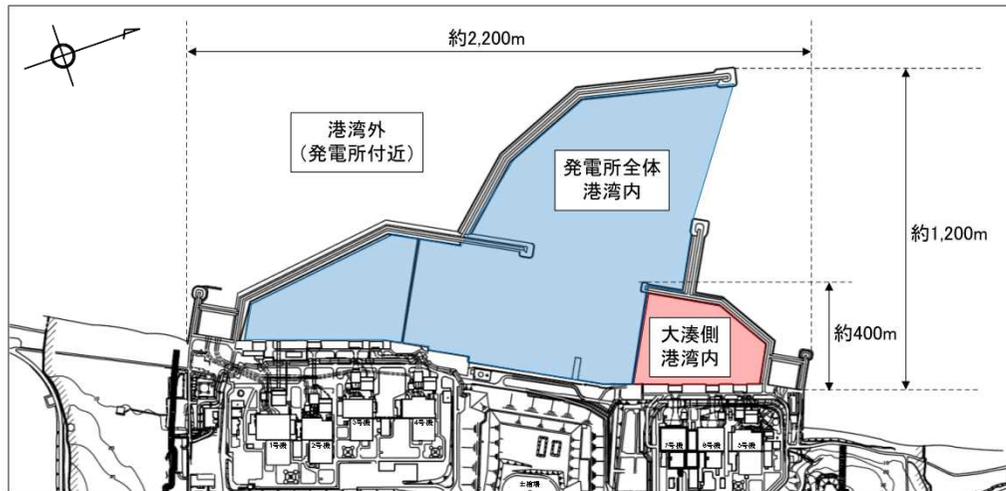


図15: 港湾内作業船の作業エリア分類

⇒ 「大湊側港湾内」で作業するゴムボートのみ衝突するものとして抽出

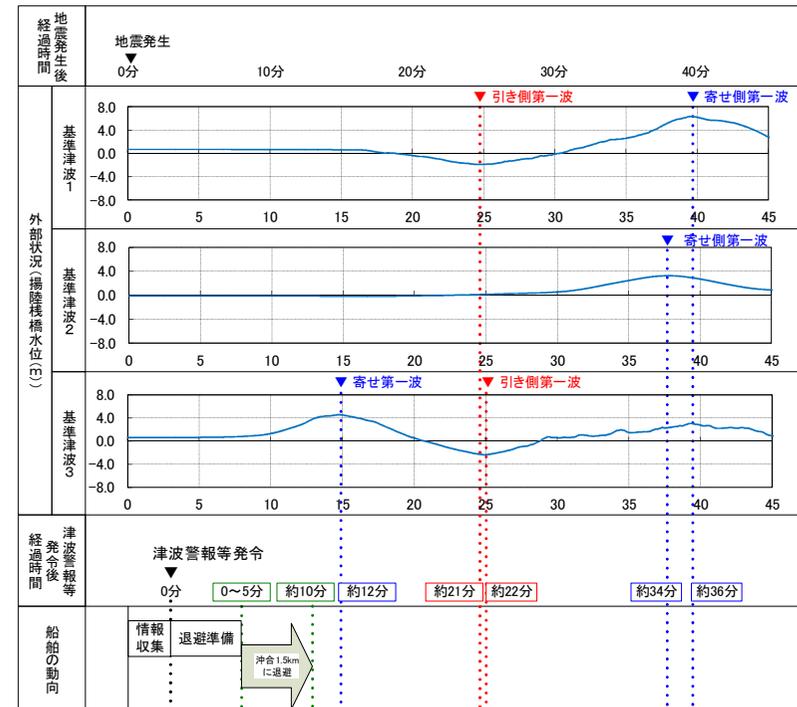


図16: 港湾内作業船の退避に係る時系列

2.4 衝突物の整理(2次スクリーニング) ～車両①～

- 構内遡上域(図7, 8)及び荒浜側護岸部を起点とした軌跡シミュレーション結果(図9, 10)を考慮し, 図18に示す範囲に駐停車する車両を抽出
- 当該範囲に駐停車する車両について, 以下に示す運用を選択的に定め, 漂流物衝突によるリスク低減を図る。(各車種に対していずれの運用を選択するかは次頁に示す。)

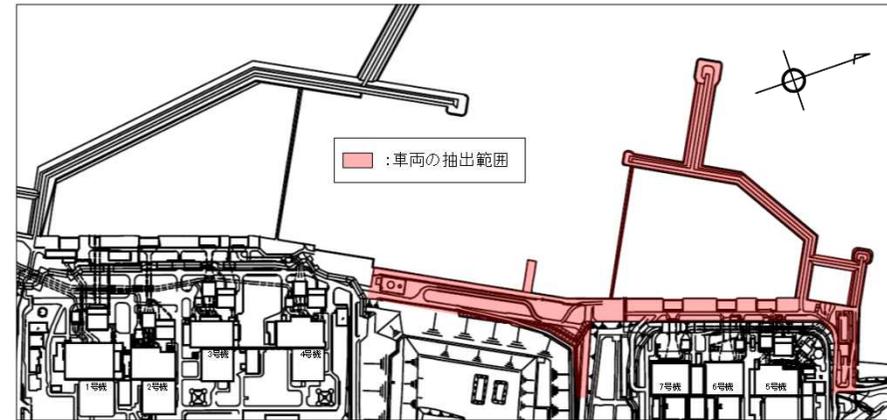


図17: 車両の抽出範囲

表5: 大湊側護岸部に駐停車する車両に対して定める運用

No.	運用名称	運用詳細
①	密度評価	車両密度評価を実施し, 密度が $1.05\text{t}/\text{m}^3$ *より大きいことを確認する。
②	衝突荷重評価	保守的となる衝突荷重算定式を選択した上で衝突荷重評価を実施し, 海水貯留堰の機能に影響が無いことを確認する。
③	代替車両の利用	分類No.①又は②で整理される車両で代替する。
④	退避時気相部開放	津波警報発令時に, 気相部を開放(窓, 扉及びタンクを開放)した上で人員が退避する。 (運用詳細については参考2-1, 2-2参照)
⑤	停車時間制限	人員及び機材の積み下ろし時のみ図18の範囲に停車を可とする。

*津波時の浮遊砂濃度を保守的に1%と設定した場合の海水密度

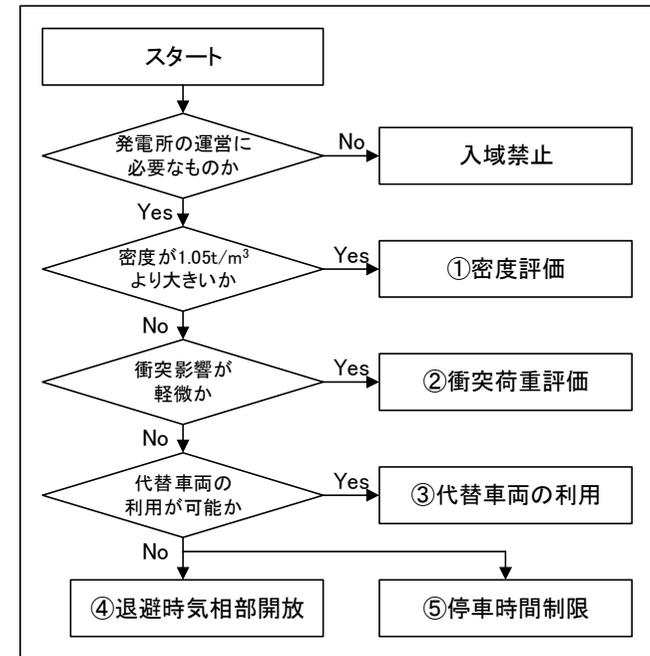


図18: 車両運用選択フロー

2.4 衝突物の整理(2次スクリーニング) ～車両②～

表6:大湊側護岸部に駐停車する車両の抽出結果(車種ごとの代表例)及び適用する運用の一覧

車種	用途	適用する運用の分類	車両重量[t]	気相部開放無し時の密度[t/m ³]	気相部開放有り時の密度[t/m ³]
小型建設用車両 (スキッドローダー, 高所作業車等)	汚泥集積	①密度評価	1.07	3.26	不要
軽自動車	人員/資機材運搬	②衝突荷重評価	0.83	0.25	選択しない
乗用車	人員運搬	③代替車両(軽自動車)の利用 (困難な場合は⑤停車時間制限)	2.00	0.28	選択しない
中型トラック	資機材運搬	③代替車両(軽自動車又は大型トラック)の利用 (困難な場合は④退避時気相部開放)	4.02	0.80	2.55
ユニック	設備吊り上げ	③代替車両(大型建設用車両)の利用 (困難な場合は④退避時気相部開放)	5.11	0.97	2.81
大型トラック(トレーラー含む)	資機材運搬	①密度評価	9.70	1.36	不要
バキューム車	汚泥集積	③代替車両(大型建設用車両)の利用 (困難な場合は④退避時気相部開放)	6.18	0.51	1.37
大型建設用車両 (クレーン, 高所作業車等)	設備吊り上げ等	①密度評価	7.32	1.18	不要

※ 大湊側護岸部の主要作業(取水路等点検作業)の至近実績から縦軸をリストアップ

- ⇒ ・軽自動車以外は, 密度評価あるいは運用対策の実施により海水貯留堰に衝突しないものと整理
- ・軽自動車のみ海水貯留堰に衝突する可能性があるものとして抽出

2.4 衝突物の整理(2次スクリーニング) ～タンク及びその他資機材～ **TEPCO**

【タンク(LLW輸送容器)】

- ▶ LLW輸送容器については、空や内容物が軽量の場合は漂流物となる可能性があるため、LLW輸送車両と固縛し、空の容器の場合であれば4t以上の重りを積載する。地震後の周辺地盤の変状等の理由でやむを得ず車両を残置する場合は、車両の窓をあけて退避することで、漂流物化させない運用を実施する。

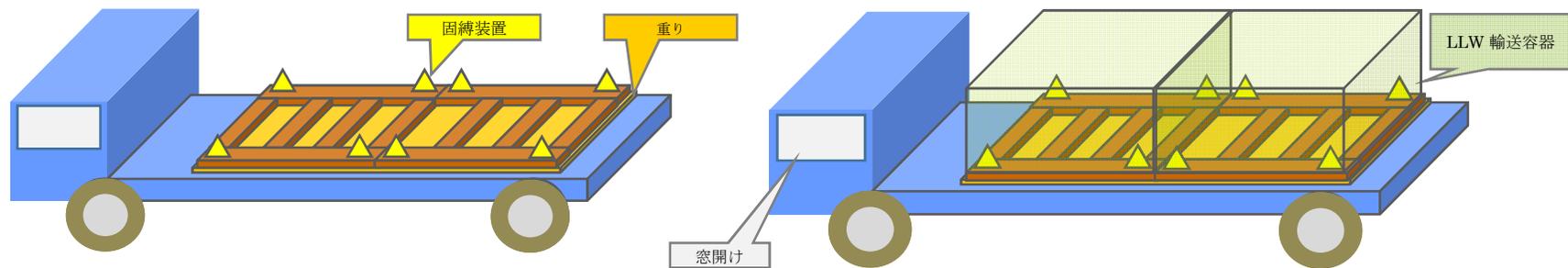


図19:LLW輸送車両の漂流物化防止対策イメージ図

【その他資機材, 一般構築物】

- ▶ 海水貯留堰に衝突する可能性があるその他資機材として、ユニットハウス, 角材, 足場板, ホース及びカラーコーンに加え、一般構築物として、監視カメラ, 拡声器及び標識が挙げられる。
- ▶ ユニットハウス以外の設備については、重量が数kg程度であり、重量及び大きさ共にユニットハウスに包含される。

⇒その他資機材, 一般構築物としては、「ユニットハウス」を代表として衝突荷重を評価する。

2.5 初期配置に関する整理 ～ソリトン分裂～

- 漂流物が碎波のような特殊な形態の波に乗った場合、衝突荷重が大きくなる可能性がある。
- 発電所のサイト特性を踏まえ、津波が上記のような特殊な形態となる範囲を「ソリトン分裂の発生位置」及び「引き波時の港湾内海底露出範囲」を考慮して設定
- 各漂流物について、その初期配置と上記範囲の関係を整理

【ソリトン分裂及び碎波に関する整理】

- 基準津波の波形等から碎波が発生するような段波形状は見られない。
- 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碎波限界 $30^\circ \sim 40^\circ$ に比べ十分小さい
- 上記より、ソリトン分裂及び碎波は発生しないものと整理
(詳細については参考3-1～3-4参照)

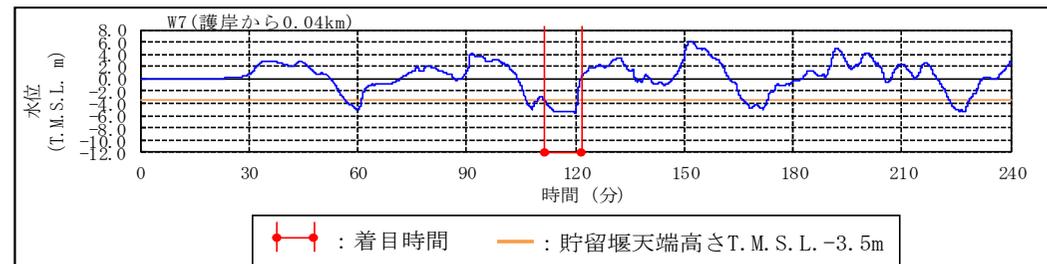


図20:最大水面勾配が確認された時刻(基準津波2, 118分)

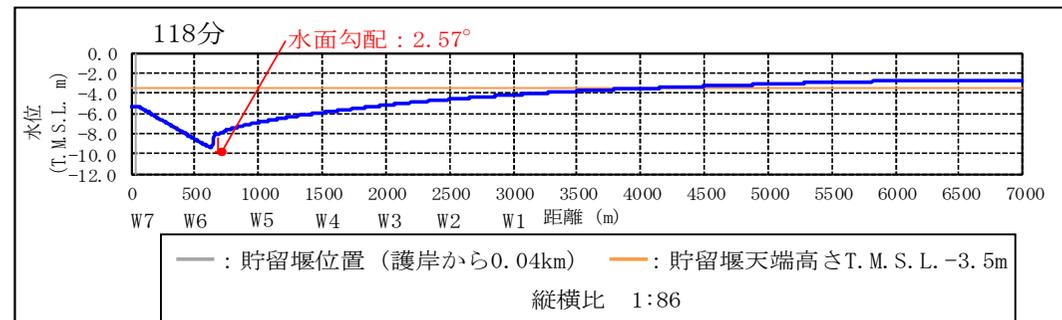


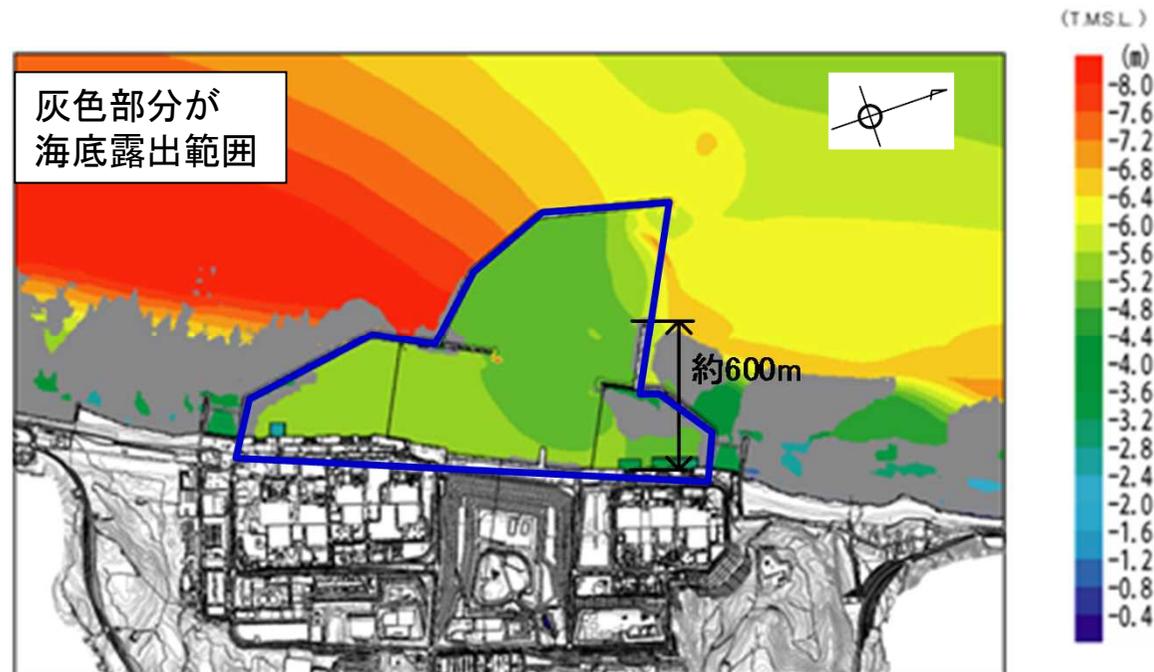
図21:最大水面勾配が確認された時刻の津波波形(空間分布)

2.5 初期配置に関する整理 ～その他サイト特性～

【その他サイト特性(引き波時の港湾内海底露出)】

- 柏崎刈羽原子力発電所の基準津波の特徴として、引き波時に港湾内の海底が露出する。
- 漂流物の初期配置が上記港湾内の露出域であった場合、特殊な形態の波に乗った状況となり、各種文献で被衝突体の直近に漂流物を設置し、段波を作用させる状況と同様となる可能性がある。
- 引き波時の海底露出域は沖合約600m程度まで確認される。

⇒ 港湾内の露出域の範囲が各種文献における直近に対応すると考えられるが、港湾設備の位置関係を踏まえ、保守的に発電所港湾内を特殊な形態の波により漂流物が移動する範囲として設定



2.6 衝突荷重を算定する衝突物の整理

- 前述の衝突物の特性を考慮し、衝突荷重を算定する衝突物を以下のとおり整理
- 初期配置に関する分類については、護岸部津波遡上域を「直近(陸域)」, 発電所全体港湾内を「直近(海域)」, 港湾外を「前面海域」と整理

表7: 衝突荷重を算定する
衝突物整理表

種類	内容・名称	重量	初期配置
船舶	作業船 (ゴムボート)	1.0t 未満	直近 (海域)
	航行不能 船舶	15t 未満	前面 海域
資機材	ユニットハウス	1.0t 未満	直近 (陸域)
車両	軽自動車	1.0t 以下	直近 (陸域)
植生	流木	約 140kg	前面 海域

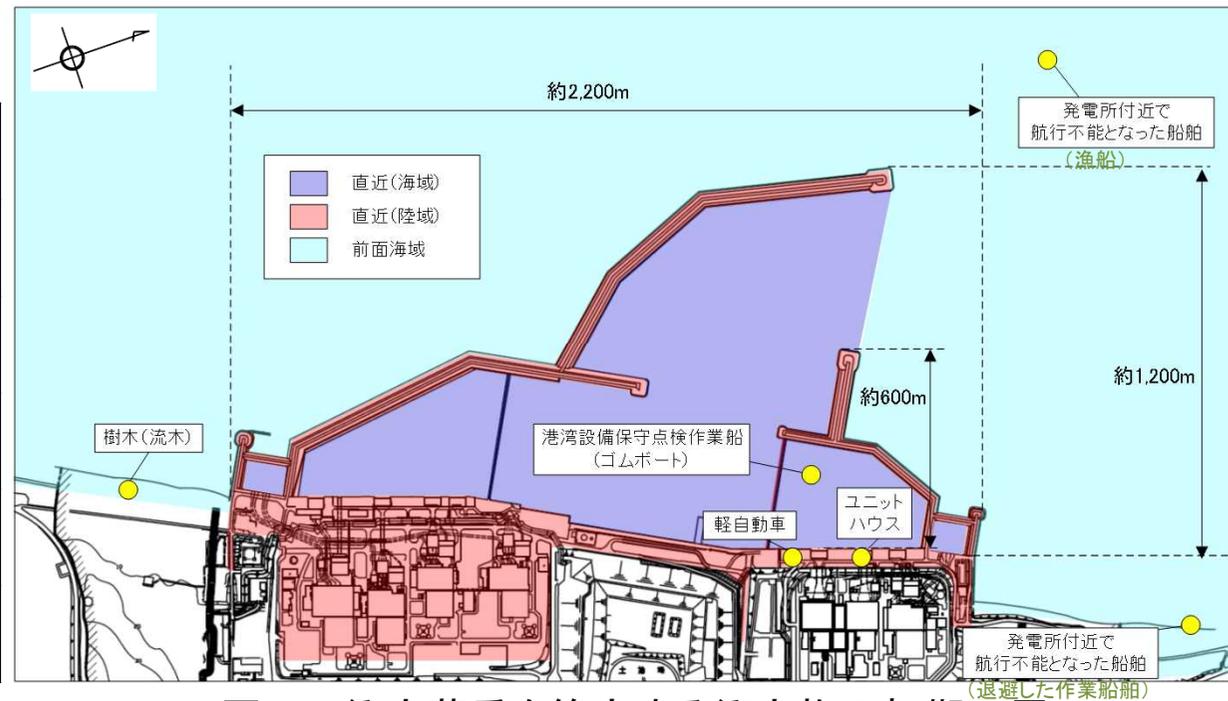


図23: 衝突荷重を算定する衝突物の初期配置

2.7 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8: 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置した状態で衝突させている。 	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さだめる必要がある。 	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t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。

2.8 各衝突物に適用する漂流物衝突荷重算定式

■ 各衝突物に適用する衝突荷重算定式を以下のとおり整理

【船舶】

- ・港湾設備保守点検作業船(ゴムボート)
⇒「直近(海域)」からの漂流物であるため, FEMA(2012)を適用
- ・発電所付近で航行不能となった船舶
⇒「前面海域」からの漂流物であるため, 道路橋示方書(2002)を適用

【資機材】

- ・ユニットハウス
⇒「直近(陸域)」からの漂流物であるため, FEMA(2012)を適用

【車両】

- ・軽自動車
⇒「直近(陸域)」からの漂流物であるため, FEMA(2012)を適用

【植生】

- ・流木
⇒「前面海域」からの漂流物であるため, 道路橋示方書(2002)を適用

2.9 荷重算定における設計上の配慮

- ① 漂流物衝突速度
⇒大湊側港湾内全域における海水貯留堰方向の最大流速5.64m/sを切り上げ6.0m/s
- ② 衝突荷重を作用させる標高
⇒最も厳しくなる海水貯留堰天端に衝突荷重を作用させる
- ③ 津波荷重と漂流物衝突荷重の組合せ
⇒保守的に津波の最大荷重(越流直前の波力)と漂流物による最大荷重が同時に作用と仮定

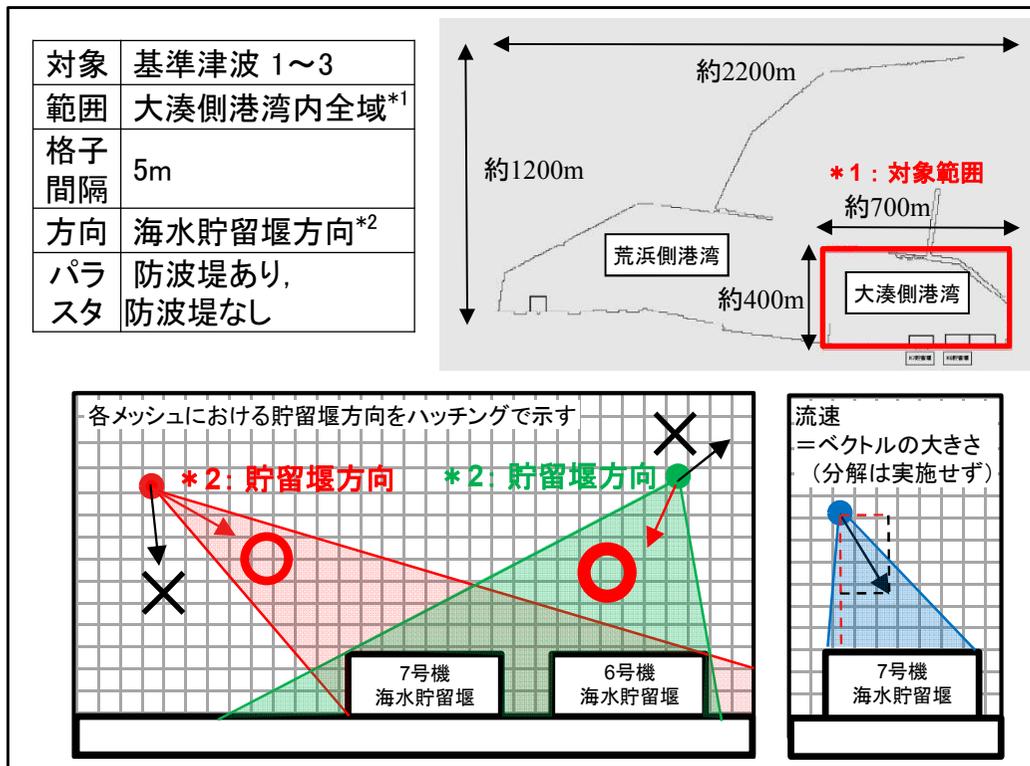


図24: 津波流速設定条件

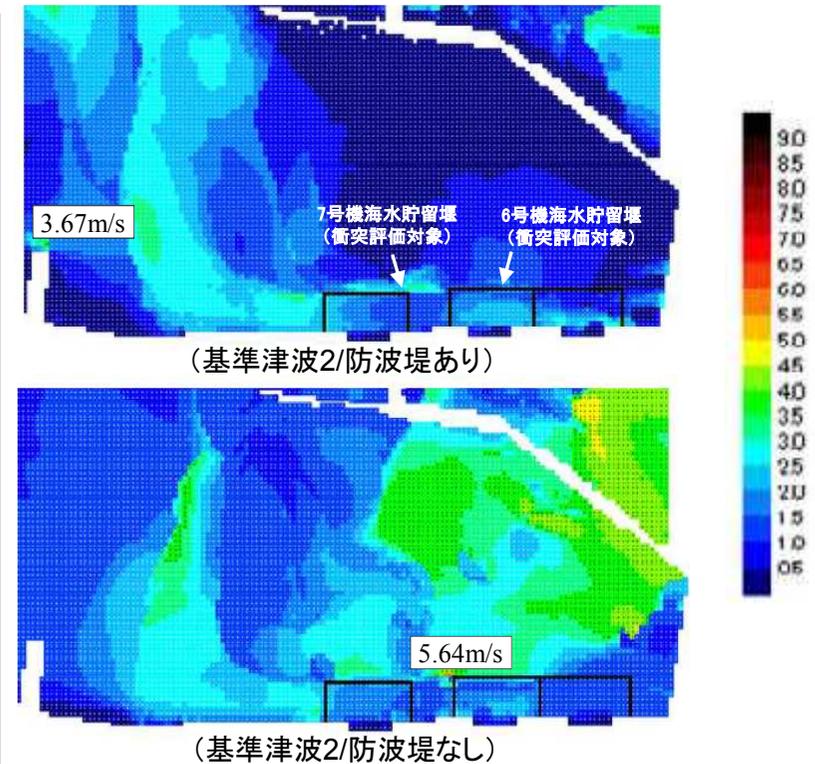


図25: 大湊側港湾内最大流速分布(基準津波2)

*対象とする基準津波1~3のうち、最大流速を抽出した基準津波2の最大流速分布を示す

2.10 漂流物衝突荷重の算定

- 前述の方針に従い算出した衝突荷重は以下のとおり。
- 荷重が最大となる、「軽自動車－FEMA(2012) ; 499 kN」を海水貯留堰の設計に用いる漂流物衝突荷重とする。

表9: 漂流物衝突荷重の算定結果

種類	内容・名称・構造	重量	初期配置	適用式	漂流物衝突荷重 [kN]
船舶	港湾設備保守点検作業船 (ゴムボート)	1.0 t 未満	直近(海域)	FEMA (2012)	—※1
	発電所近傍で航行不能と なった船舶	15 t	前面海域	道路橋示方書 (2002)	89
資機材	ユニットハウス	1.0 t 未満	直近(陸域)	FEMA (2012)	—※2
車両	軽自動車	1.0 t	直近(陸域)	FEMA (2012)	499
植生	樹木(流木)	140 kg	前面海域	道路橋示方書 (2002)	1
				FEMA (2012)	(参考値)143※3

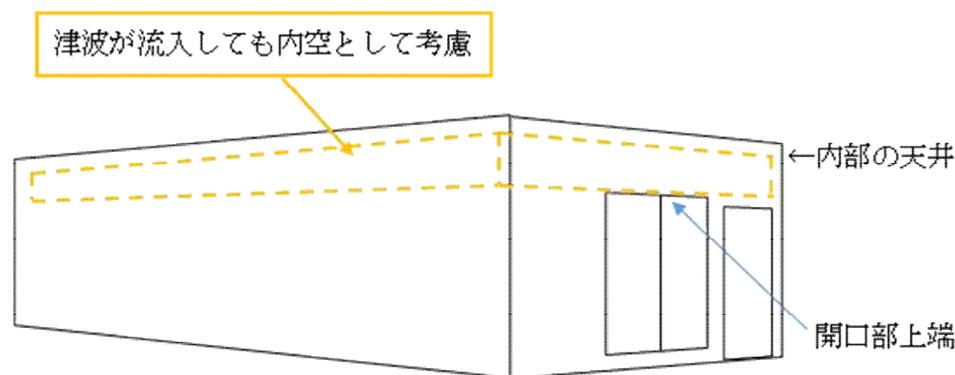
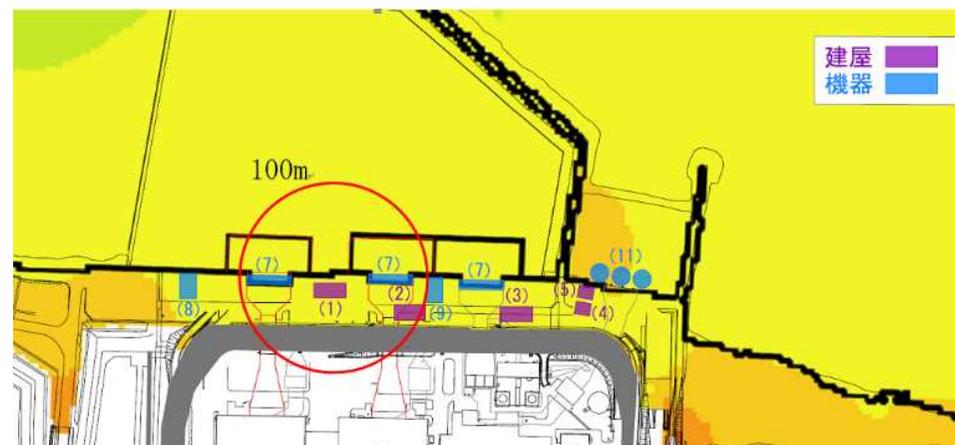
※1 ゴムボートの軸剛性が不明であるが、軽自動車よりも剛性が小さいと考えられるとともに、重量も軽自動車より小さいため、軽自動車の評価結果に包含されると整理

※2 ユニットハウスの軸剛性が不明であるが、軽自動車よりも剛性が小さいと考えられるとともに、重量も軽自動車より小さいため、軽自動車の評価結果に包含されると整理

※3 参考として、FEMA(2012)を適用した場合の荷重を記載

参考資料

- 鉄筋コンクリート建屋については、東北地方太平洋沖地震に伴う津波の事例から、保守的に取水口位置から100mの範囲の鉄筋コンクリート建屋について漂流物化の検討を行った。
- 抽出された6/7号機取水電源室は、図9に示すようにドアや窓等の開口部の上端から天井までの空間に空気の層が残り、浮力として作用することを考慮したとしても、密度は 1.2t/m^2 以上となり、**漂流物とはならないことを確認した。**



図参考1-1:鉄筋コンクリート建屋の漂流物化検討

【参考2-1】退避時気相部開放運用の実効性について

【運用の概要】

大湊側護岸部に車両を駐停車する場合であって、津波警報発令時に車両による退避が困難な場合は、気相部開放措置（窓を全開にする、ドアを開放する、タンク蓋を開放する。）した上で人員が退避すること。

【適用可能な対象車両】

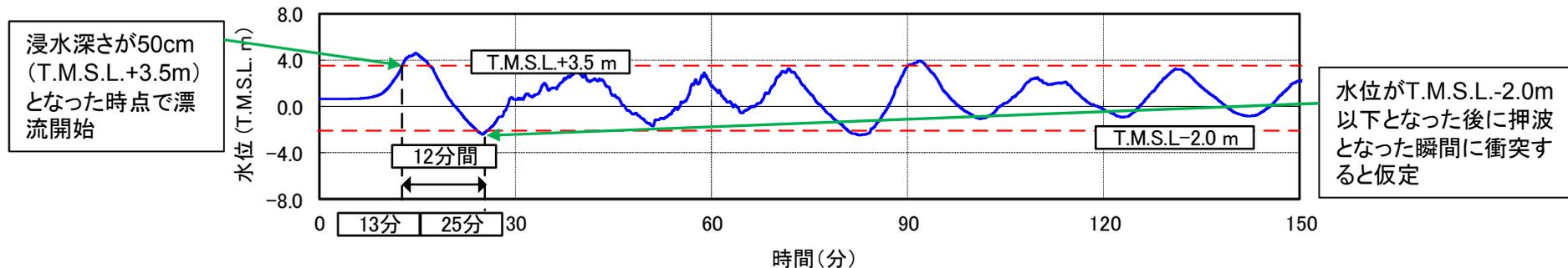
中型トラック, ユニック, バキューム車

【運用の前提条件】

本運用を適用する場合は、気相部開放措置を実行可能な作業者を常に車両の付近に配置する体制とする。（ただし、車両操作等との兼務は可とする。）

【車両の水没時間と衝突時間の関係】

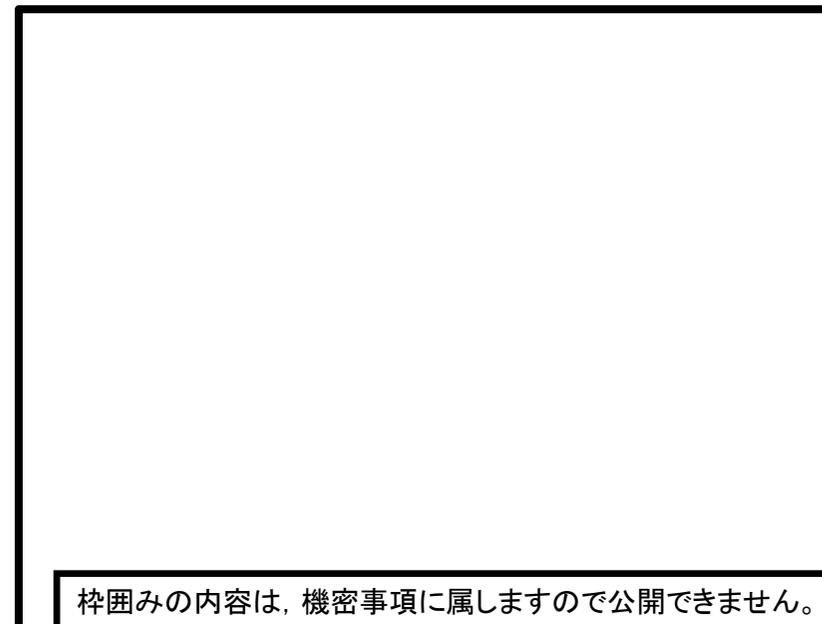
- JAFの実施した試験映像より、気相部開放運用を適用した場合、遅くとも浸水後7分経過時点で車両は水没する。
- 基準津波波形より、押波により車両が漂流し、引き波で海域に流出し、次の押波で海水貯留堰に衝突するまでは少なくとも12分間は要する。
- 気相部開放運用を実施することにより、貯留堰に衝突するまでに車両を水没させることが可能となる。



図参考2-1: 衝突時間の整理 (基準津波3の揚陸栈橋における時刻歴波形を代表として記載)

【参考2-2】バキューム車の退避時気相部開放運用について

- バキューム車については、退避時気相部開放運用として、タンクカバーの開放も実施
- タンクカバー開放完了までに要する時間は約5分であり、完了後に退避するとしても、津波の到達までに十分な時間余裕がある。



- <タンクカバー開放手順> ---
- ① (C) カバー手動ロックを解除
 - ② 運転席にてPTOスイッチオン
 - ③ (D) カバー開放レバー操作
- ※開放完了まで約5分

図参考2-2:バキューム車の退避時気相部開放運用イメージ

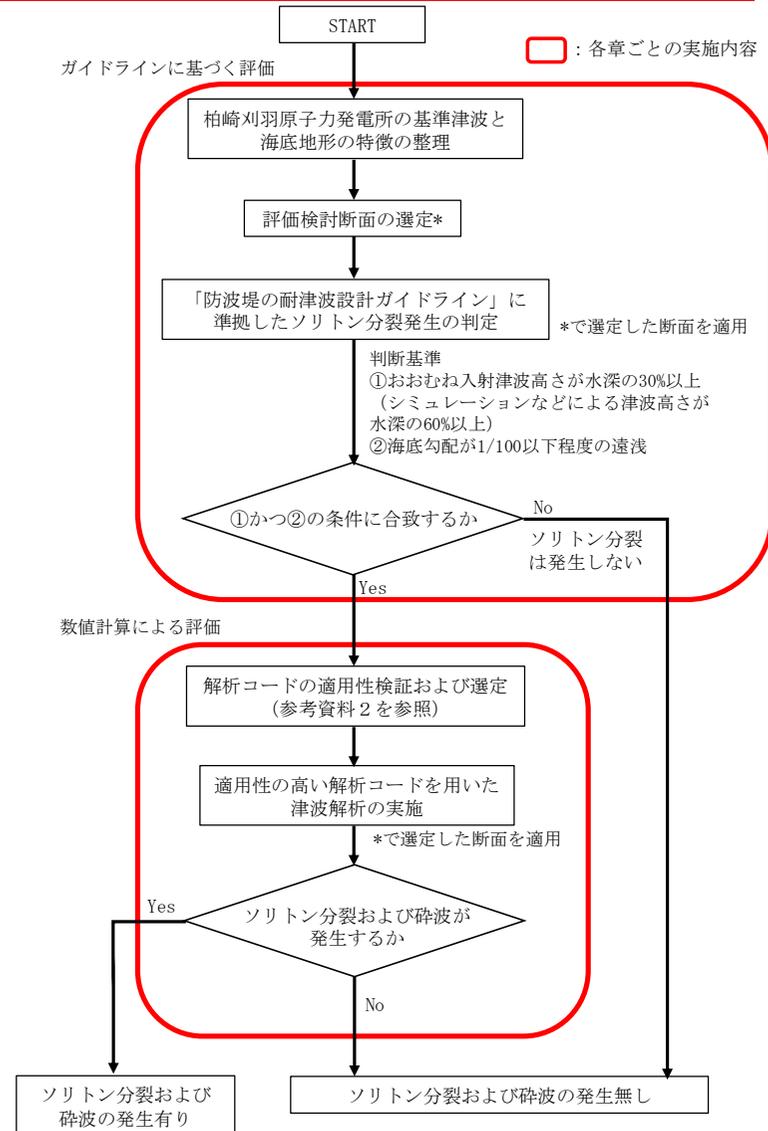
【参考3-1】ソリトン分裂に係る検討 ～概要・検討方針～

【概要】

- 漂流物が分裂波または砕波が発生するような波に乗った場合、漂流物の衝突荷重に影響を及ぼす可能性があることから、津波による分裂波及び砕波の発生の有無を確認する。
- 過去の事例では、日本海側では日本海中部地震（1983）の際に、海底勾配1/200程度の遠浅海岸で、ソリトン分裂が発生したとしている。
- 柏崎刈羽原子力発電所敷地周辺の海域については、ソリトン分裂波は観測されていない。

【検討方針】

- 図29の検討フローに従って、検討を行う。
- 第一ステップとして、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づく評価を実施する。
なお、ガイドラインでは、津波と海底地形の特徴からその発生有無を判定する方法が示されている。
- ガイドラインに基づく評価により、ソリトン分裂が発生する可能性がある場合や局所的に海底勾配が緩やかであることが認められる場合については、数値計算による評価を実施する。



図参考3-1: 検討フロー

【参考3-2】ソリトン分裂に係る検討 ～ガイドラインに基づく評価～

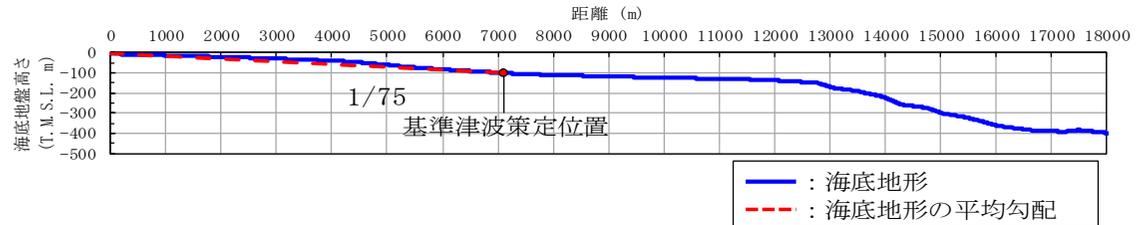
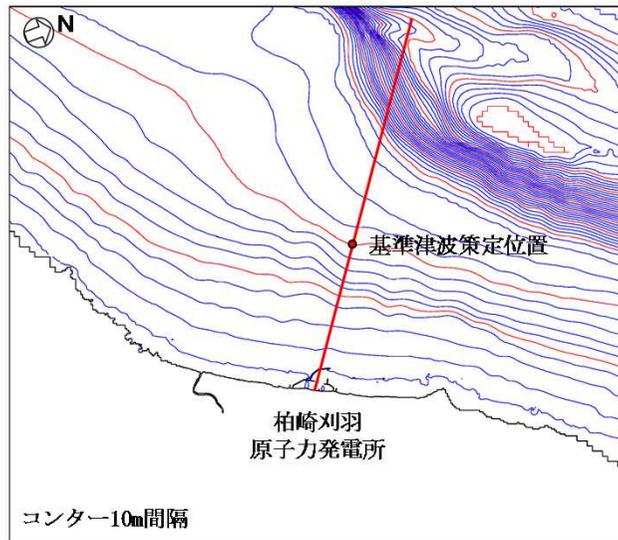
【検討概要】

■ 以下の2つの条件について当てはまるか否かを検討する。

- ① おおむね入射津波高さが水深の30%以上（シミュレーション等による津波高さが水深の60%以上）
- ② 海底勾配が1/100以下程度の遠浅

表参考3-1: 7号機取水口前面における津波高さと水深の関係

	a 海底地盤高さ	b 潮位	c シミュレーションによる津波水位	(c-b)/(b-a) %
基準津波1	T.M.S.L. -5.5m	T.M.S.L. 0.65m	T.M.S.L. 7.2m	107
基準津波2	T.M.S.L. -5.5m	T.M.S.L. -0.12m	T.M.S.L. 5.2m	99
基準津波3	T.M.S.L. -5.5m	T.M.S.L. 0.65m	T.M.S.L. 6.6m	97



図参考3-2: 敷地前面の海底勾配

【判定結果】

- 表10より, ①の条件に合致する。
- 図30より, 基準津波策定位置から護岸位置までの平均的な海底勾配は約1/75である。
- しかしながら, 局所的に海底勾配が1/100を下回る箇所があることから, ②の条件に合致しないとはいえない。
- 以上より, 数値計算による評価を実施する。

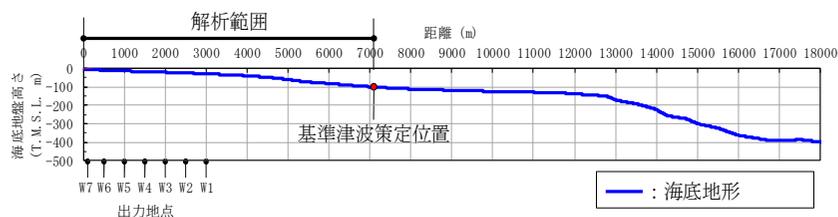
【参考3-3】ソリトン分裂に係る検討 ～数値計算による評価～

【検討概要】

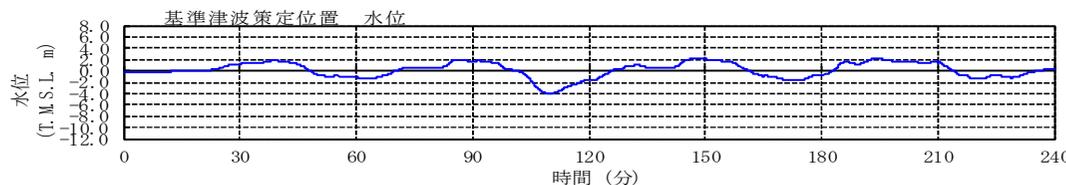
- 海底地形条件が基準津波策定位置から護岸までの区間において、局所的に1/100を下回る箇所があることを踏まえ、数値計算による評価を実施する。

【検討方針】

- 数値計算による評価にあたっては、ソリトン分裂および砕波の発生の再現性及び柏崎刈羽原子力発電所における基準津波を用いた検討に対する適用性を確認。
- 押波と引波が繰り返し到達した場合においても、護岸からの反射波等による影響が小さく、ソリトン分裂および砕波の発生有無を判断することのできる解析コード「BSNSQ」を用いて検討する。



図参考3-3: 解析モデル



図参考3-4: 入力波形(基準津波2)

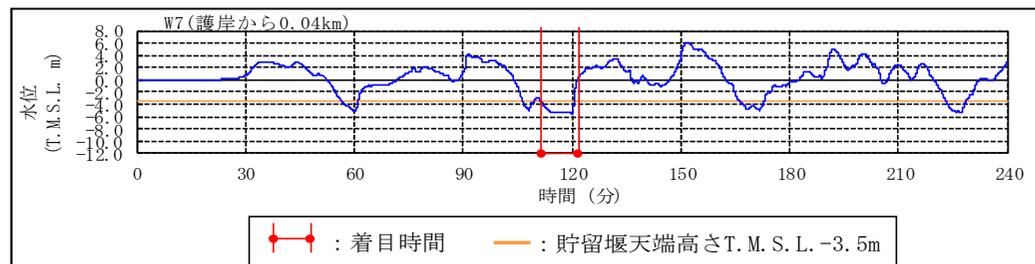
【解析モデル・入力波形】

- 計算格子間隔は、設置変更許可申請書5条まとめ資料と同様に、津波シミュレーションの最小格子サイズ5mとした。図31に、解析モデルを示す。
- 基準津波策定位置から護岸までのモデル化においては、一様に最小格子サイズ5mとした。
- 入力波形は、設置変更許可申請書に示した基準津波1~3を対象とし、基準津波策定位置を入力位置とした。図32に入力波形(基準津波2)を示す。

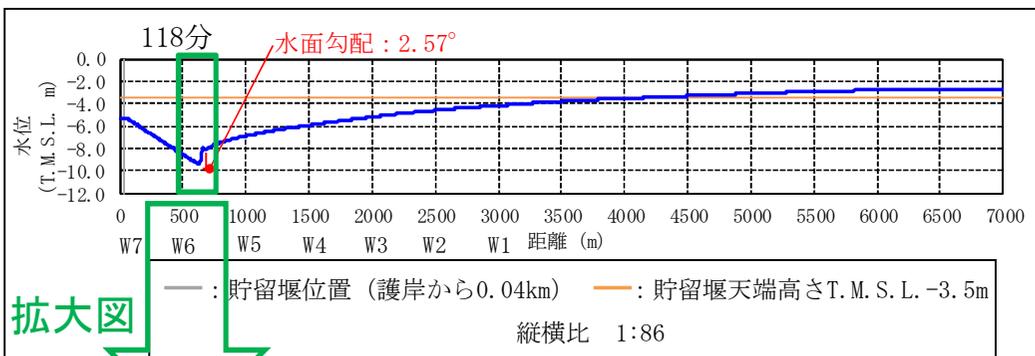
【参考3-4】ソリトン分裂に係る検討 ～分裂波発生に関する検討まとめ～ **TEPCO**

【数値解析結果とまとめ】

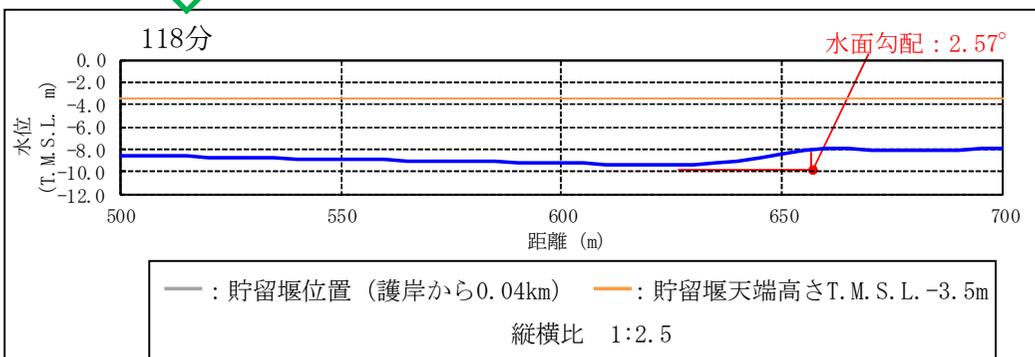
- 津波の水位時刻歴波形および空間分布にソリトン分裂現象と考えられる挙動は認められない。
- 水面勾配は、最大で 2.57° であり、松山ら(2005)における水面勾配の碎波限界 $30^\circ \sim 40^\circ$ に比べ十分小さい。
- 過去の事例では、日本海側では日本海中部地震(1983)の際に、海底勾配1/200程度の遠浅海岸で、ソリトン分裂が発生したとしているが、柏崎刈羽原子力発電所敷地周辺海域の海底地形とは異なっており、その他に当該サイト周辺海域で観測された事例もない。
- 以上より、柏崎刈羽原子力発電所の敷地前面では、ソリトン分裂及び碎波は発生しない。



図参考3-5: 最大水面勾配が確認された時刻(基準津波2, 118分)



図参考3-6: 最大水面勾配が確認された時刻の津波波形(空間分布)



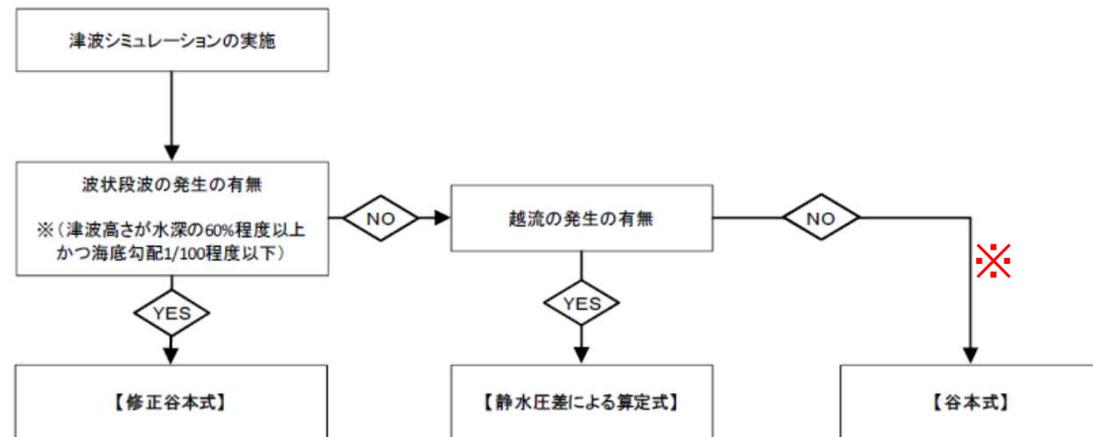
図参考3-7: 水位の空間分布と最大水面勾配(空間分布拡大図)

【参考4-1】海水貯留堰における津波波力の設定方針について

【設定方針】

- 海水貯留堰は、常時没水している構造物であることから、海水貯留堰に津波波力が作用するのは、引き波により海水貯留堰が海面から露出し、その後押し波が海水貯留堰に作用してから越流するまでの間に限定される。
- 「防波堤の耐津波設計ガイドライン(国土交通省港湾局)」によると、津波が構造物を越流する場合の津波荷重の算定については、若干越流している状態に静水圧差による算定式を適用する場合は、それより水位の低い越流直前の状態の方が高い波力となる可能性があるため、両者を比較して高い方を採用する必要があるとしている。
- このため、【越流直前の波力】と【越流時の波力】のうち、保守的なものを適用する。

- 【参考3】より、ソリトン分裂および碎波は発生しないと整理
- 越流の発生の有無にあたっては、海水貯留堰は常時没水している構造物であることから、引き波後の押し波により瞬時に越流する。荷重算定では、静水圧差による算定式を用いる。
- 越流時より水位の低い越流直前の状態においては、引き波により海水貯留堰前面の海底が水中から完全に露出することを想定し、遡上波と考える。



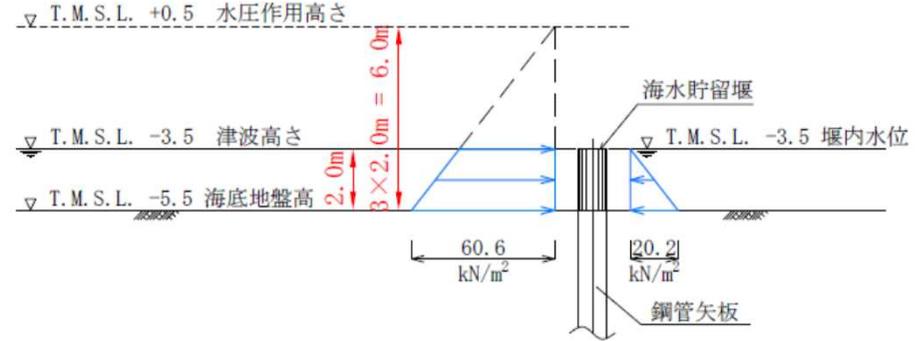
※海水貯留堰に津波波力が作用するのは、引き波により海水貯留堰が海面から露出し、その後押し波が海水貯留堰に作用してから越流するまでの間に限定されることから、遡上波として取り扱う。

図参考4-1:防波堤に対する津波荷重算定手順

【参考4-2】海水貯留堰における津波波力の設定方針について

(1) 越流直前の津波波力

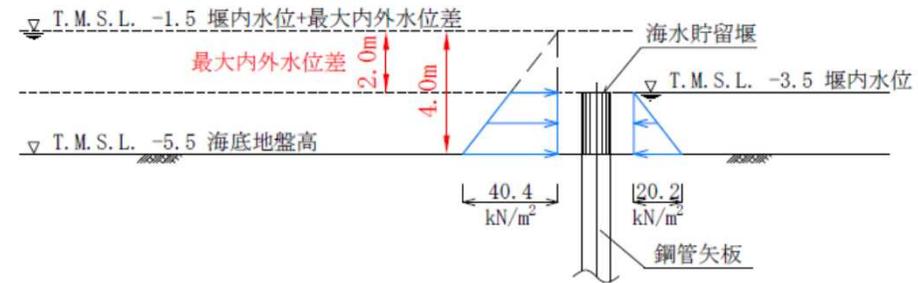
- 基準津波2における最低水位分布より、海水貯留堰前面は若干水位があるが、周囲の海域は海底面が露出している。
- 引き波時に、海底が露出したと想定し、その後の押し波を**遡上波**と考え**津波波力**を設定する。
- 「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」の考え方に従って、**津波高さの3倍の高さ**までの静水圧荷重を考慮する。



図参考4-2:越流直前の津波波力作用イメージ

(2) 越流時の津波波力

- 引き波後に到達する津波が海水貯留堰を越流する際、内外での水位差はつきにくいですが、**海水貯留堰内外水位差が最も大きくなるものを選定**する。
- 基準津波2において、最大内外水位差が最も大きく、**約1.9m**の水位差が発生する。
- 津波高さとしては、**海水貯留堰天端から2m**の越流を考慮して津波荷重を算定する。



図参考4-3:越流時の津波波力作用イメージ

⇒ 両者を比較すると、越流直前の波力の方が上回ることから、海水貯留堰における津波波力として、保守的に越流直前の波力を考慮することとする。

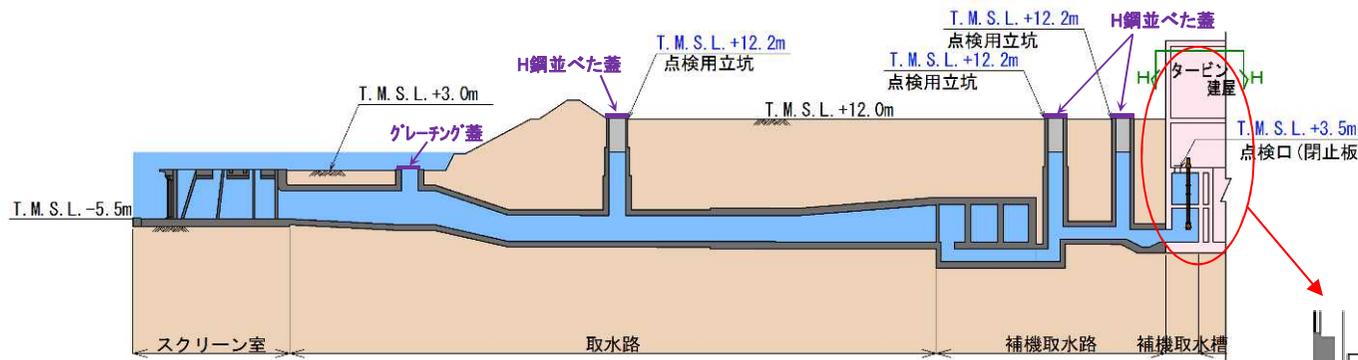
【参考5-1】原子炉補機冷却海水ポンプへの津波波力影響(取水路側)



(1) 取水路側の影響

取水路並びに補機取水路への津波浸入時、図参考5-1に示す点検用立坑があり、開口部蓋はグレーチング又はH鋼並べた蓋で通気性を有し、津波の押し波時の圧力を逃がせる構造である。また、図参考5-2に示すタービン建屋際の補機取水槽天井部(ポンプ設置床面)にも圧力を逃がす補機取水槽ベント管が敷設されており、補機取水槽内も空気圧縮による過大な圧力が上昇しづらい構造である。

原子炉補機冷却海水ポンプへの津波波力への強度評価の結果(表参考5-1)、許容応力を満足していること確認。



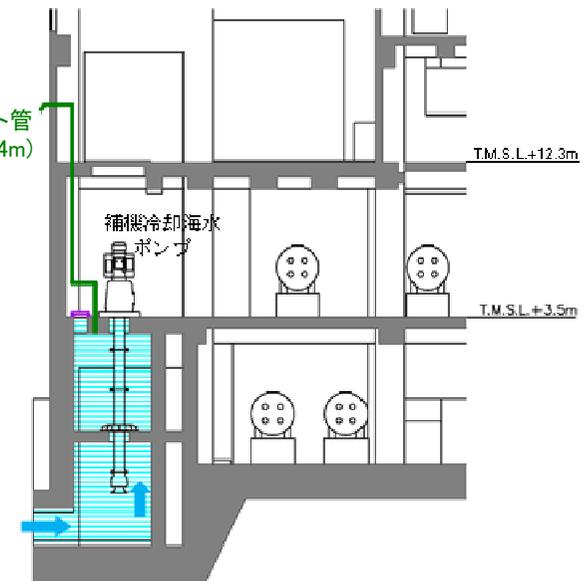
図参考5-1: 取水路(断面図)

※管路解析の結果、点検用立坑やベント管から津波による漏水は発生しない。

表参考5-1: ポンプへの波力の強度評価条件および結

評価条件	数値	備考			
流速	1.5m/s	管路解析値1.2m/sを切り上げ			
流向	鉛直・水平	構造上鉛直の流れだが、水平も同様の流速を仮定			
評価部位	材料	項目	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
津波荷重 (鉛直)	ポンプ基礎ボルト	SUS304	引張り	8	153
	ポンプ取付ボルト	SUS304	引張り	5	153
津波荷重 (横方向)	サポート部基礎ボルト	SUS316	せん断	10	118
	ポンプコラムパイプ	SUS316L	曲げ	4	169
津波波圧 (鉛直)	ポンプ内部	津波波圧0.06[N/mm ²] < 耐圧試験圧1.17[N/mm ²]			

補機取水槽ベント管 (T.M.S.L.+14.4m)



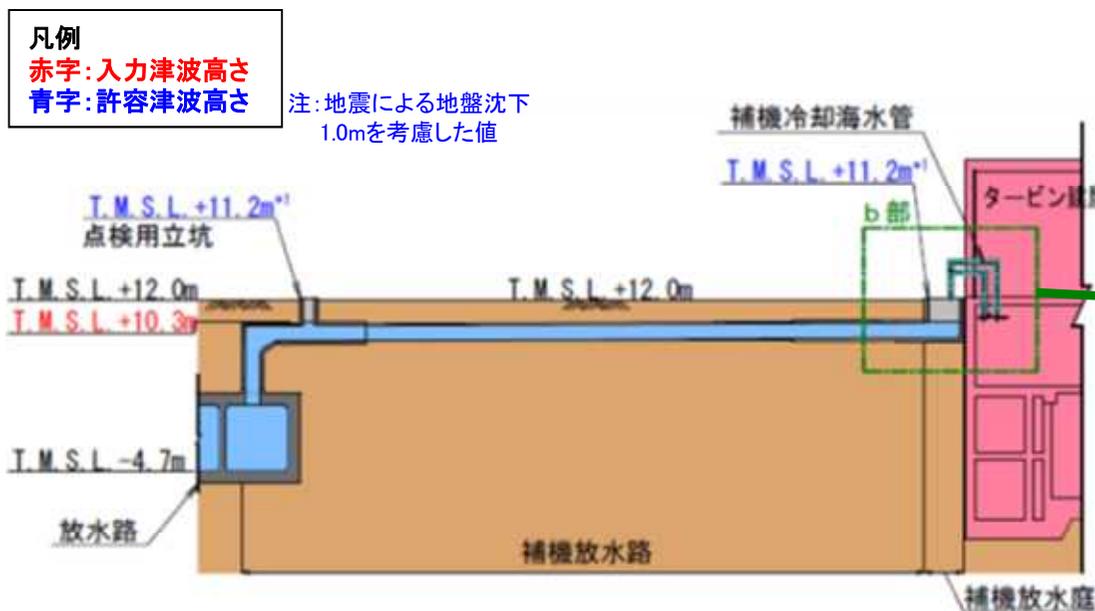
図参考5-2: 補機取水槽(断面図)

【参考5-2】原子炉補機冷却海水ポンプへの津波波力影響(放水路側)

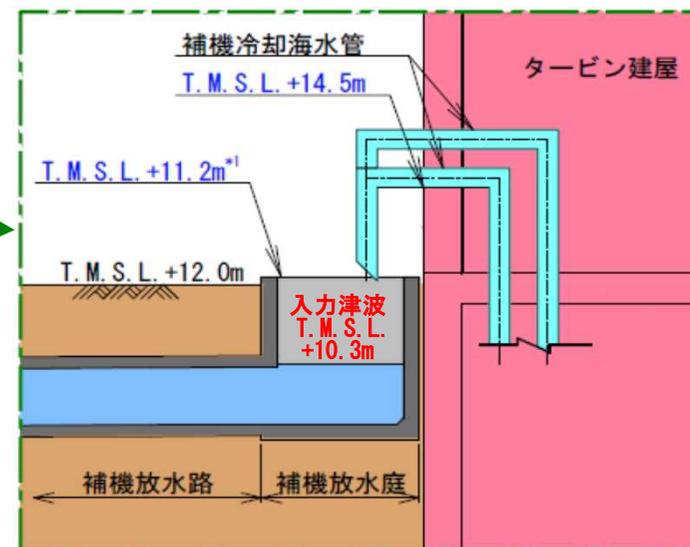
(2) 放水路側の影響

原子炉補機冷却海水系の配管出口は、図参考5-4に示すとおり大気開放していること、並びに放水路側の津波浸入高さが当該配管に到達しないことから、原子炉補機冷却海水ポンプに対して当該系統配管内に津波逆流で過大な圧力をあたえることはない。

補機放水庭津波高さT.M.S.L.+10.3m < 配管出口T.M.S.L.約+12m



図参考5-3: 補機放水路(断面図)



図参考5-4: 補機放水庭(断面図)

【参考】コメント対応表

ページ	コメント内容	対応方針
P5	取水性への影響を評価する漂流物と、衝突影響を考慮する漂流物の関係性を整理すること。	船舶と車両について、取水性と衝突評価で同様のものを考慮する整理としました(補足説明資料4.07)併せてP5のフローに追記しました。
P8	汀線における軌跡解析結果を示し、海岸線に退避する航行不能船舶の位置付けを整理すること。	P8に汀線における軌跡解析の結果を追加しました。結果として、汀線付近を漂う状況であることを確認しました。
P8, P25	P25で海岸線に退避する船舶を航行不能船舶として扱うならば、P8で漁船に限定しない記載とすること。	P8の記載について、漁船に限定しない記載に見直しました。
P12	車両について、LLW輸送車両、車両とタンクの関係が分かる記載とすること。	注記にて車両の中にLLW輸送車両が含まれ、LLW輸送容器を背負った状態はタンクとして扱う旨追記しました。
P12, P16	1次スクリーニングの段階で、ゴムボートと軽自動車を登場させること。	1次スクリーニングの段階で、ゴムボートと軽自動車が登場する記載としました。。
P16	2次スクリーニングで車両全てをスクリーニングアウトするわけではないことが分かるようにすること。	表中の記載を「詳細評価対象」に変更し、運用等を踏まえて到達有無を再評価するという位置づけであることを記載しました。
P21	代替車両について、何で代替するつもりか分かるようにすること。	「③代替車両の利用」を適用する各車両について、どの車両で代替するか追記しました。
P24	直近(海域)と前面海域の中間的な距離にあるものの適用の考え方(保守的に直近(海域)として設定していること)について記載すること。	直近(海域)の範囲を保守的に設定していることを追記しました。
参考資料	海水ポンプへの津波揚圧力の影響についての説明を参考として追加すること。	海水ポンプへの津波揚圧力影響について参考資料として追記しました。
参考資料	波力の設定の考え方等について参考に追加すること。	波力の設定方針について参考資料として追記しました。