

島根原子力発電所 2号炉 審査資料	
資料番号	EP-066 改 56
提出年月日	令和3年3月1日

島根原子力発電所 2号炉

津波による損傷の防止

令和3年3月

中国電力株式会社

第5条：津波による損傷の防止

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置、構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.3 気象等
 - 1.4 設備等（手順等含む）
2. 津波による損傷の防止
（別添資料1）
島根原子力発電所2号炉 耐津波設計方針について
3. 運用、手順説明
（別添資料2）
島根原子力発電所2号炉 運用、手順説明 津波による損傷の防止
4. 現場確認を要するプロセス
（別添資料3）
島根原子力発電所2号炉 耐津波設計における現場確認を要するプロセスについて

下線は、今回の提出資料を示す。

島根原子力発電所 2 号炉 耐津波設計方針について

目 次

I. はじめに

II. 耐津波設計方針

1. 基本事項

- 1.1 津波防護対象の選定
- 1.2 敷地及び敷地周辺における地形及び施設の配置等
- 1.3 基準津波による敷地周辺の遡上・浸水域
- 1.4 入力津波の設定
- 1.5 水位変動，地殻変動の考慮
- 1.6 設計または評価に用いる入力津波

2. 設計基準対象施設の津波防護方針

- 2.1 敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
- 2.2 敷地への浸水防止（外郭防護1）
- 2.3 漏水による重要な安全機能への影響防止（外郭防護2）
- 2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）
- 2.5 水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響防止
- 2.6 津波監視

3. 重大事故等対処施設の津波防護方針

- 3.1 敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
- 3.2 敷地への浸水防止（外郭防護1）
- 3.3 漏水による重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止
（外郭防護2）
- 3.4 重大事故等に対処するために必要な機能を有する施設の隔離（内郭防護）
- 3.5 水位変動に伴う取水性低下による重大事故等に対処するために必要な
機能への影響防止
- 3.6 津波監視

4. 施設・設備の設計・評価の方針及び条件

- 4.1 津波防護施設の設計
- 4.2 浸水防止設備の設計
- 4.3 津波監視設備の設計
- 4.4 施設・設備等の設計・評価に係る検討事項

(添付資料)

1. 基準津波に対して機能を維持すべき設備とその配置
2. 津波シミュレーションに用いる数値計算モデルについて
3. 地震時の地形等の変化による津波遡上経路への影響について
4. 日本海東縁部に想定される地震による発電所敷地への影響について
5. 港湾内の局所的な海面の励起について
6. 管路計算の詳細について
7. 入力津波に用いる潮位条件について
8. 入力津波に対する水位分布について
9. 津波防護対策の設備の位置付けについて
10. 内郭防護において考慮する溢水の浸水範囲、浸水量について
11. 浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策の設置位置、実施範囲及び施工例
12. 基準津波に伴う砂移動評価について
13. 島根原子力発電所周辺海域における底質土砂の分析結果について
14. 海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について
15. 津波漂流物の調査要領について
16. 燃料等輸送船の係留索の耐力について
17. 燃料等輸送船の喫水高さと津波高さとの関係について
18. 漂流物の評価において考慮する津波の流速・流向について
19. 津波監視設備の監視に関する考え方
20. 耐津波設計において考慮する荷重の組合せについて
21. 基準類における衝突荷重算定式及び衝突荷重について
22. 耐津波設計における余震荷重と津波荷重の組合せについて
23. 水密扉の運用管理について
24. 審査ガイドとの整合性（耐津波設計方針）
25. 防波壁の設計方針及び構造成立性評価結果について
26. 防波壁及び防波扉における津波荷重の設定方針について
27. 浸水防護重点化範囲内に設置する海域と接続する低耐震クラス機器及び配管の津波流入防止対策について
28. タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）及び取水槽循環水ポンプエリアに設置する耐震Sクラスの設備に対する浸水影響について
29. 1号炉取水槽流路縮小工について
30. 取水槽除じん機エリア防水壁及び取水槽除じん機エリア水密扉の設計方針及び構造成立性の見通しについて
31. 施設護岸の漂流物評価における遡上域の範囲及び流速について
32. 海水ポンプの実機性能試験について
33. 海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回る範囲について
34. 水位変動・流向ベクトルについて
35. 荷揚場作業に係る車両・資機材の漂流物評価について

36. 構外海域の漂流物が施設護岸及び取水口へ到達する可能性について
37. 津波発生時の運用対応について
38. 地震後の荷揚場の津波による影響評価について
39. 防波壁通路防波扉の設計及び運用対応について
40. 浸水防止設備のうち機器・配管系の基準地震動 S_s に対する許容限界について
41. 1号炉放水連絡通路の閉塞について
42. 総トン数10トン以上のイカ釣り漁船の操業禁止区域について
43. 島根原子力発電所の周辺海域で操業する漁船について
44. 基礎底面の傾斜による防波壁の構造成立性について

(参考資料)

- － 1 島根原子力発電所における津波評価について
- － 2 島根原子力発電所2号炉内部溢水の影響評価について(別添資料1第9章)
- － 3 島根原子力発電所2号炉内部溢水の影響評価について(別添資料1第10章)
- － 4 島根原子力発電所2号炉内部溢水の影響評価について(別添資料1補足説明資料30)
- － 5 津波防護上の地山範囲における地質調査 柱状図及びコア写真集(第762回審査会合 机上配布資料, 第802回審査会合 机上配布資料, 第841回審査会合 机上配布資料)

下線は、今回の提出資料を示す。

基準類における衝突荷重算定式及び衝突荷重について

1. はじめに

島根原子力発電所において考慮する漂流物の衝突荷重の算定に当たり、島根原子力発電所における基準津波の津波特性を平面二次元津波シミュレーションより確認し、「2.5.2 (3) 基準津波に伴う取水口付近の漂流物に対する取水性確保」に示す取水口に対する漂流物の影響の評価プロセスより、漂流物衝突荷重の設定に考慮する漂流物を抽出するとともに、既往の衝突荷重の算定式とその根拠について整理した。

2. 基準類における衝突荷重算定式について

耐津波設計に係る工認審査ガイドにおいて挙げられている参考規格・基準類のうち、漂流物の衝突荷重又は衝突エネルギーについて記載されているものは、「道路橋示方書・同解説 I 共通編（平成 14 年 3 月）」と「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（平成 26 年）」であり、それぞれ以下のように適用範囲・考え方、算定式を示している。

①道路橋示方書・同解説 I 共通編（(社) 日本道路協会，平成 14 年 3 月）

○適用範囲・考え方：

橋（橋脚）に自動車、流木あるいは船舶等が衝突する場合の衝突荷重を算定する式である。

○算定式：

$$\text{衝突力 } P = 0.1 \times W \times v$$

ここに、P：衝突力（kN）

W：流送物の重量（kN）

v：表面流速（m/s）

②津波漂流物対策施設設計ガイドライン（沿岸技術研究センター，寒地研究センター，平成 26 年）

○適用範囲・考え方：

「漁港・漁場の施設の設計の手引き（全国漁港漁場協会 2003 年版）」の接岸エネルギーの算定方法に準じて設定されたものであり、漁船の他、車両・流木・コンテナにも適用されるが、支柱及び漂流物捕捉スクリーンの変形でエネルギーを吸収させることにより漂流物の進入を防ぐための津波漂流物対策施設の設計に適用される式である。

○算定式：

$$\text{船舶の衝突エネルギー} E = E_0 = W \times V^2 / (2g)$$

(船の回転により衝突エネルギーが消費される (1/4 点衝突) 場合

$$E = E' = W \times V^2 / (4g)$$

ここに、 $W = W_0 + W' = W_0 + (\pi / 4) \times (D^2 L \gamma_w)$

W：仮想重量 (kN)

W_0 ：排水トン数 (kN)

W' ：付加重量 (kN)

D：喫水 (m)

L：横付けの場合は船の長さ，縦付けの場合は船の幅 (m)

γ_w ：海水の単位体積重量 (kN/m³)

これは，鋼管杭等の支柱の変形及びワイヤーロープの伸びにより衝突エネルギーを吸収する考え方であり，弾性設計には適さないものである。

3. 漂流物の衝突荷重算定式の適用事例

安藤ら(2006)^{*1}によれば，南海地震津波による被害を想定して高知港を対象に，平面二次元津波数値シミュレーション結果に基づいた被害予測手法の検討を行い，特に漂流物の衝突による構造物の被害，道路交通網等アクセス手段の途絶について検討を行い，港湾全体における脆弱性評価手法を検討している。この中で荷役設備・海岸施設の漂流物による被害を検討するに当たって，漂流物の衝突力を算定しており，船舶に対しては道路橋示方書を採用している。

※1 地震津波に関する脆弱性評価手法の検討，沿岸技術研究センター論文集，No.6 (2006)

表－1 各施設の許容漂流速度

		選 定 式	対象施設		
			クレーン	水門	倉庫
車両		陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究 ⁴⁾	4.8 m/s	1.5 m/s	1.5 m/s
コンテナ	20ft	陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究 ⁴⁾	4.9 m/s	1.5 m/s	1.5 m/s
	40ft	陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究 ⁴⁾	4.7 m/s	1.5 m/s	1.5 m/s
船舶	小型	衝突荷重 (道路橋示方書)	5.0m/s超	5.0m/s超	5.0m/s超
	大型	衝突荷重 (道路橋示方書)	5.0m/s超	1.8 m/s	1.8 m/s
木材		陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究 ⁴⁾	5.0m/s超	1.7 m/s	1.7 m/s

4. 漂流物による衝突力評価式に関する既往の研究論文

道路橋示方書等の基準類以外でも、漂流物による衝突力評価に対する研究が複数存在している。以下に、これらの研究概要を例示するが、木材やコンテナ等を対象とした事例が多く、船舶の衝突を考慮した事例は少ない。

○適用範囲・考え方：

「平成 23 年度建築基準整備促進事業 40. 津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」（東京大学生産技術研究所(2011)）では、「漂流物の衝突による建築物への影響の評価については、研究途上の段階であり、また、被害調査においても、被害をもたらした漂流物の詳細な情報を得ることは難しいため、既往の知見の検証は困難であった」としている。また、津波による漂流物が建築物に衝突する際の衝突力に関する研究を以下に示しているが、「対象としている漂流物は (a), (b), (d), (e)」が流木, (c), (d), (e) がコンテナである ((e) は任意の漂流物を対象としているものの実質流木とコンテナしか算定できない。)としている。

島根原子力発電所における漂流物としては、船舶を想定していることから評価式(a)～(e)については、その他の衝突荷重の算定式の適用性も踏まえて今後検討する。

○算定式(a) :

(a) 松富の評価式^{※2}

津波による円柱形上の流木が縦向きに衝突する場合の衝突力を次式のとおり提案している。

$$F_m = 1.6 \cdot C_{MA} \cdot \{ v_{A0} / (gD)^{0.5} \}^{1.2} \cdot (\sigma_f / \gamma L)^{0.4} \cdot (\gamma D^2 L)$$

ここに, F_m : 衝突力

C_{MA} : 見かけの質量係数

(段波・サージでは 1.7, 定常流では 1.9)

v_{A0} : 流木の衝突速度

D : 流木の直径

L : 流木の長さ

σ_f : 流木の降伏応力

γ : 流木の単位体積重量

g : 重力加速度

※2 松富英夫(1999) 流木衝突力の実用的な評価式と変化特性, 土木学会論文集, No621, pp. 111-127

○算定式(b) :

(b) 池野らの評価式^{※3}

円柱以外にも角柱, 球の形状をした木材による衝突力を次式のとおり提案している。

$$F_H = S \cdot C_{MA} \cdot \{ (V_H / (g^{0.5} D^{0.25} L^{0.25})) \}^{2.5} \cdot (gM)$$

ここに, F_H : 漂流物の衝突力 (kN)

S : 係数 (5.0)

C_{MA} : 見かけの質量係数

(円柱横向き : 2.0 (2次元), 1.5 (3次元),

角柱横向き : 2.0~4.0 (2次元), 1.5 (3次元),

円柱縦向き : 2.0程度, 球 : 0.8程度)

V_H : 段波速度 (m/s)

D : 漂流物の代表高さ (m)

L : 漂流物の代表長さ (m)

M : 漂流物の質量 (t)

g : 重力加速度

※3 池野正明・田中寛好(2003) 陸上遡上波と漂流物の衝突力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 721-725

○算定式(c) :

(c) 水谷らの評価式^{※4}

津波により漂流するコンテナの衝突力を次式のとおり提案している。

$$F_m = 2 \rho_w \eta_m B_c V_x^2 + (WV_x / gdt)$$

ここに, F_m : 漂流衝突力 (kN)

dt : 衝突時間 (s)

η_m : 最大遡上水位 (m)

ρ_w : 水の密度 (t/m^3)

B_c : コンテナ幅 (m)

V_x : コンテナの漂流速度 (m/s)

W : コンテナ重量 (kN)

g : 重力加速度

※4 水谷法美・高木祐介・白石和睦・宮島正悟・富田孝史 (2005) エプロン上のコンテナに作用する津波波力と漂流衝突力に関する研究, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp. 741-745

○算定式(d) :

(d) 有川らの評価式^{※5}

コンクリート構造物に鋼構造物 (コンテナ等) が漂流衝突する際の衝突力を次式のとおり提案している。

$$F = \gamma_p \chi^{2/5} \{(5/4)m\}^{3/5} v^{6/5}$$

$$\chi = \{4\sqrt{a/3\pi}\} \{1/(k_1+k_2)\}$$

$$k = (1 - \nu^2) / (\pi E)$$

$$m = (m_1 m_2) / (m_1 + m_2)$$

ここに, F : 衝突力

a : 衝突面半径の 1/2 (コンテナ衝突面の縦横長さの平均の 1/4)

E : ヤング率 (コンクリート板)

ν : ポアソン比

m : 質量

v : 衝突速度

γ_p : 塑性によるエネルギー減衰効果 (0.25)

m や k の添え字は衝突体と被衝突体を示す。

※5 有川太郎・大坪大輔・中野史丈・下迫健一郎・石川信隆 (2007) 遡上津波によるコンテナ漂流力に関する大規模実験, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp. 846-850

○算定式(e)：

(e) FEMA の評価式^{※6}

漂流物による衝突力を正確に評価するのは困難としながら、以下の式を一例として示している。

$$F_i = 1.3u_{\max}\sqrt{\{km(1+c)\}}$$

ここに、 F_i ：衝突力(kN)

u_{\max} ：最大流速(m/s)

m ：漂流物の質量

c ：付加質量係数

k ：漂流物の有効剛性(kN/m²)

※6 FEMA (2012) Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646.

5. 基準津波の特性(流向・流速)

漂流物の衝突荷重算定に用いる流速は、津波の流速に支配されることから、漂流物の漂流速度として津波の流速を用いる。

平面二次元津波シミュレーション結果より、島根原子力発電所の津波防護施設に対して、日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波1）及び海域活断層から想定される地震による津波（基準津波4）における津波高さ及び流況（流向・流速）を確認した。

日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波1）に対して入力津波高さはE L. +11.9m、海域活断層から想定される地震による津波（海域活断層上昇側最大ケース^{*}）に対して入力津波高さはE L. +4.2mである。

ここで、施設護岸港湾内及び港湾外の防波壁前面における、最大流速発生時の流況確認結果を表-2に示す。

※海域活断層上昇側最大ケースの津波は、基準津波4が水位下降側の津波として策定したものであることを踏まえ、津波の到達有無を評価したうえで、津波荷重と余震荷重の組合せの要否を判断するために設定したものであり、施設護岸又は防波壁において海域活断層から想定される地震による津波の最大水位を示す。

表-2 最大流速発生時の流況

	対象箇所 ^{※1}	基準津波 ^{※1}	流向 ^{※1}	最大流速 ^{※1}	発生時刻
日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波1）	施設護岸港湾外防波壁前面	基準津波1（防波堤あり）	南	9.0m/s	181分27.10秒
	施設護岸港湾内防波壁前面	基準津波1（防波堤なし）	南東	9.0m/s	192分40.85秒
海域活断層から想定される地震による津波（基準津波4）	施設護岸港湾外防波壁前面	基準津波4（防波堤あり）	南西	3.3m/s	5分47.25秒
	施設護岸港湾内防波壁前面	基準津波4（防波堤なし）	東・南東 ^{※2}	2.4m/s	7分22.30秒

※1 5条-別添1-添付18「漂流物の評価において考慮する津波の流速・流向について」参照

※2 代表として流向が東のケースについて、水位分布と流向・流速ベクトル図及び流速分布図を示す。

表-2に示す各対象箇所の最大流速発生時刻近傍（最大時刻，最大時刻前後30秒）における水位分布と流向・流速ベクトル図，及び最大流速発生時刻における流速分布図を図-1～16に示す。

【基準津波1（防波堤あり）_施設護岸港湾外防波堤前面】

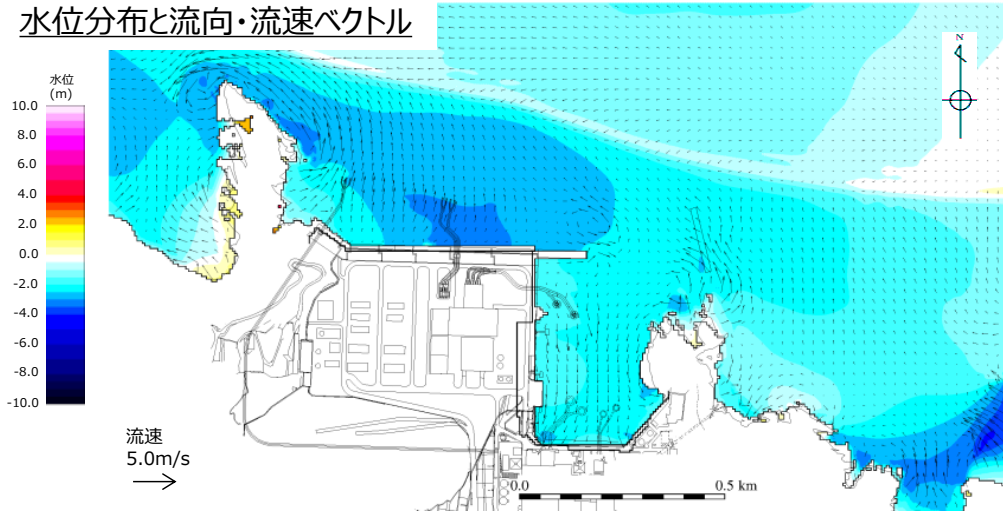


図-1 水位分布と流向・流速ベクトル(180分57.10秒：最大流速発生時刻-30秒)

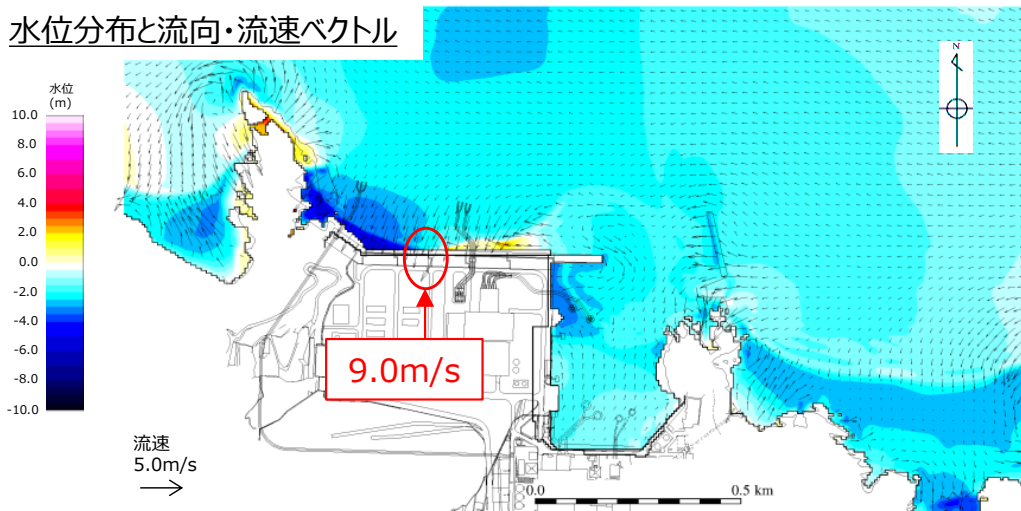


図-2 水位分布と流向・流速ベクトル(181分27.10秒：最大流速発生時刻)

水位分布と流向・流速ベクトル

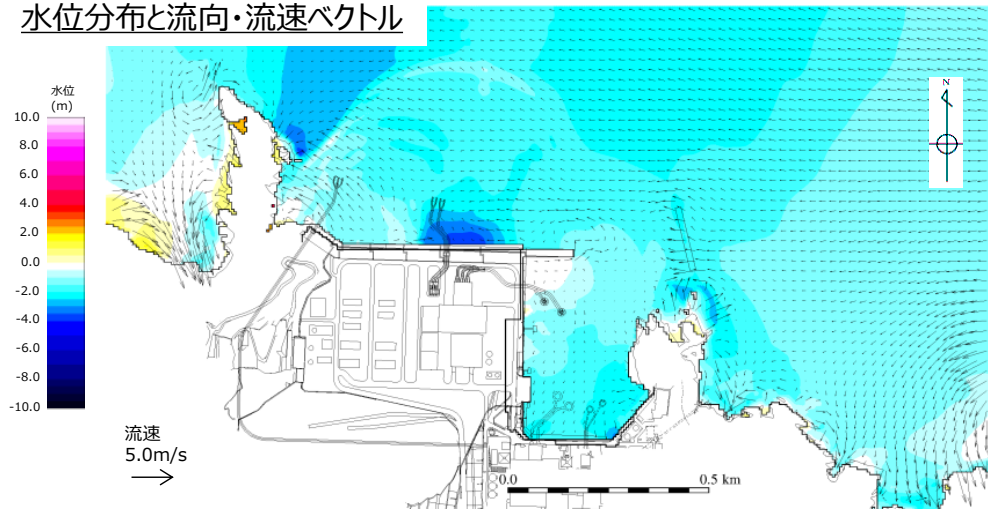


図-3 水位分布と流向・流速ベクトル(181分57.10秒：最大流速発生時刻+30秒)

流速分布

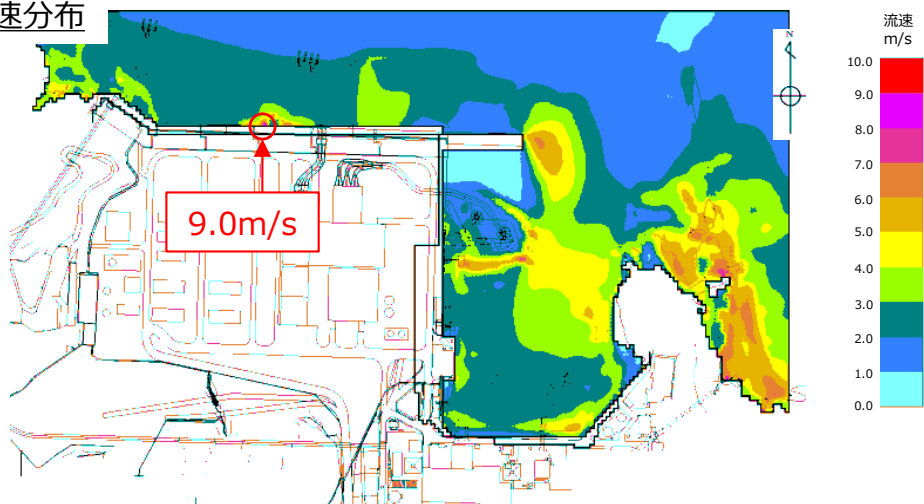


図-4 流速分布_南方向(181分27.10秒：最大流速発生時刻)

【基準津波1(防波堤なし)_施設護岸港湾内防波壁前面】

水位分布と流向・流速ベクトル

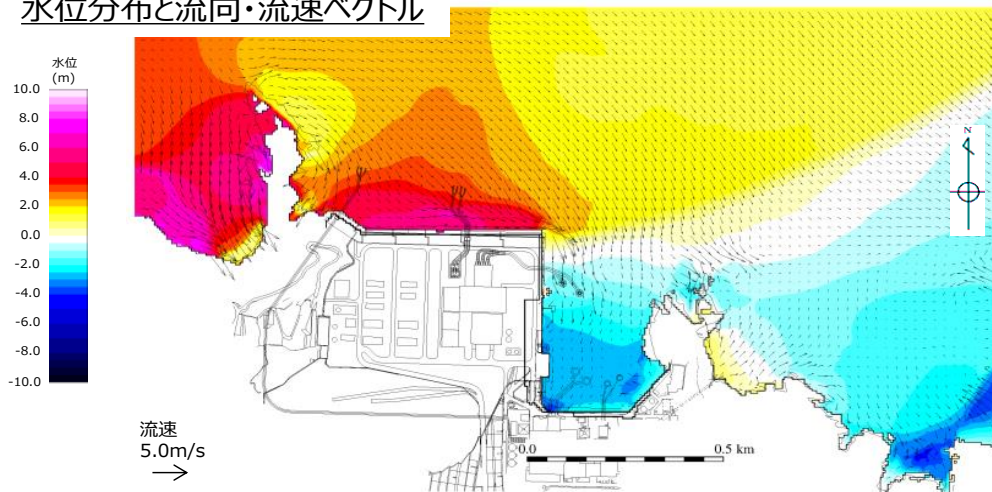
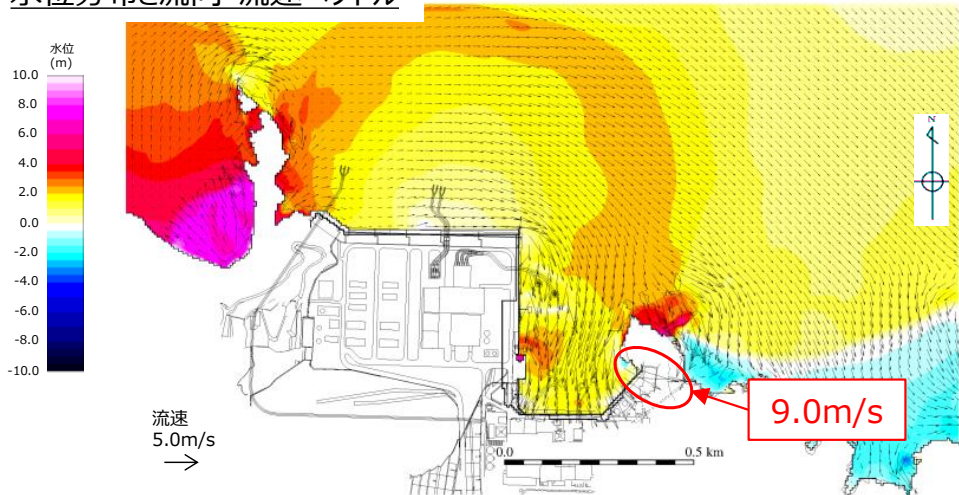


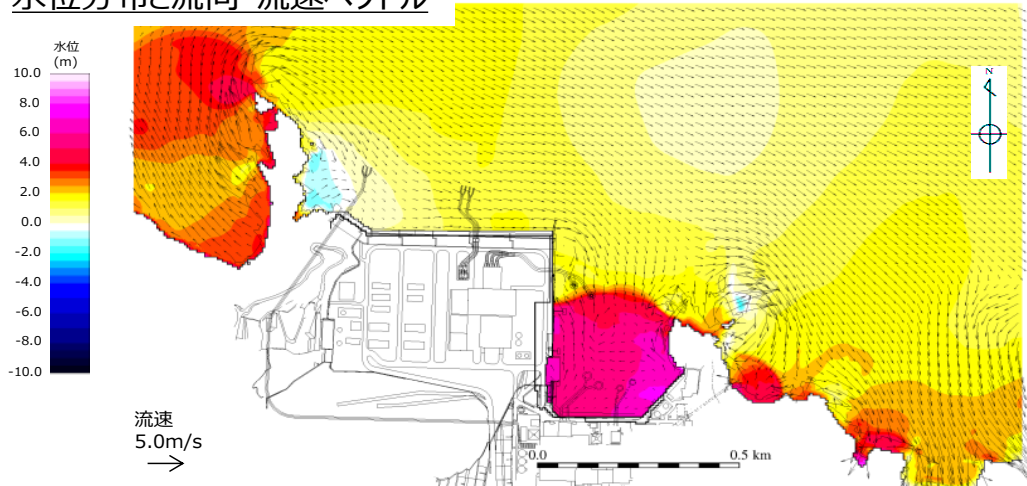
図-5 水位分布と流向・流速ベクトル(192分10.85秒：最大流速発生時刻-30秒)

水位分布と流向・流速ベクトル



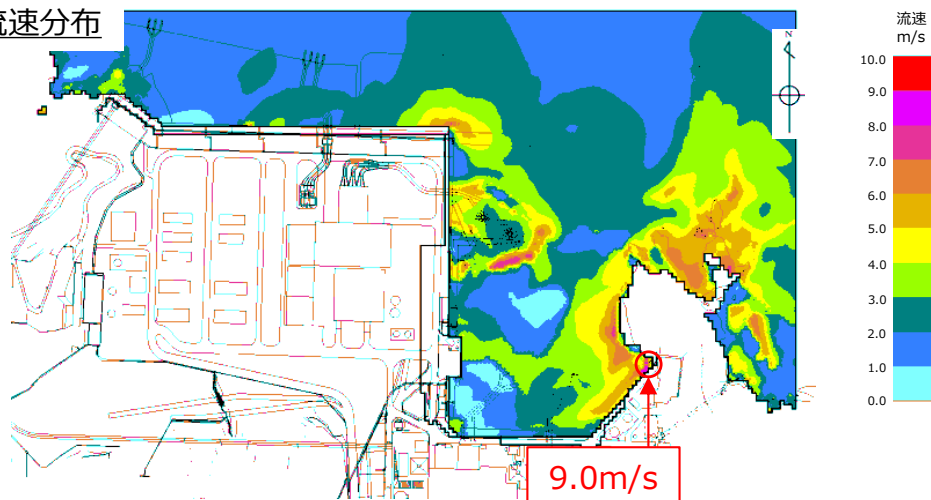
図－6 水位分布と流向・流速ベクトル(192分 40.85秒：最大流速発生時刻)

水位分布と流向・流速ベクトル



図－7 水位分布と流向・流速ベクトル(193分 10.85秒：最大流速発生時刻+30秒)

流速分布



図－8 流速分布_南東方向(192分 40.85秒：最大流速発生時刻)

【基準津波 4(防波堤あり)_施設護岸港湾外防波壁前面】

水位分布と流向・流速ベクトル

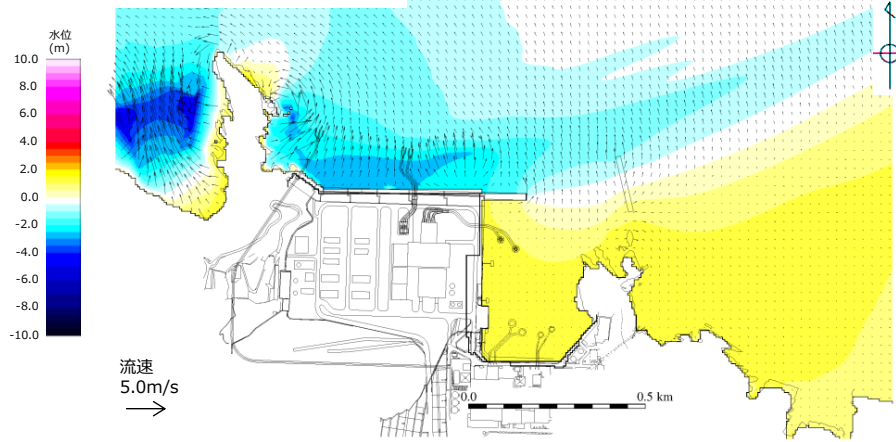


図-9 水位分布と流向・流速ベクトル(5分 17.25 秒 : 最大流速発生時刻-30 秒)

水位分布と流向・流速ベクトル

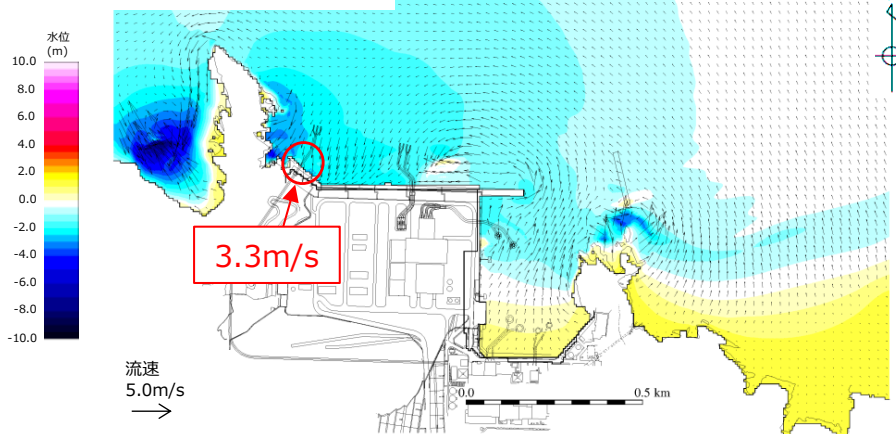


図-10 水位分布と流向・流速ベクトル(5分 47.25 秒 : 最大流速発生時刻)

水位分布と流向・流速ベクトル

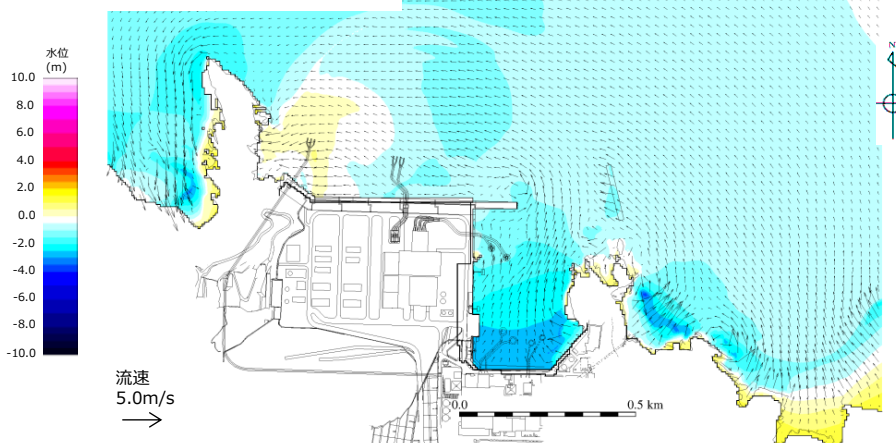
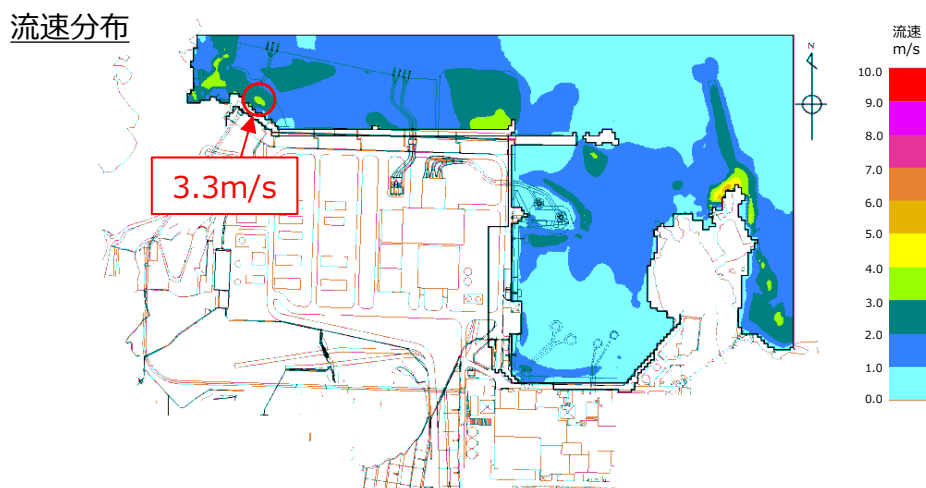
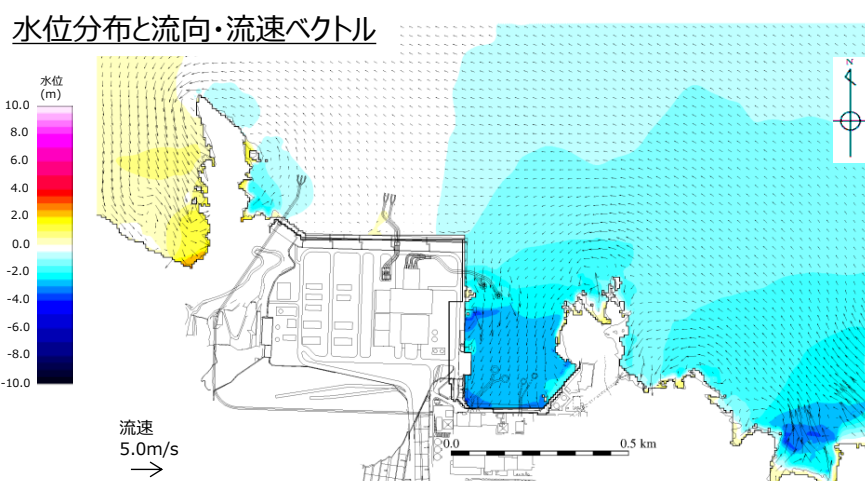


図-11 水位分布と流向・流速ベクトル(6分 17.25 秒 : 最大流速発生時刻+30 秒)

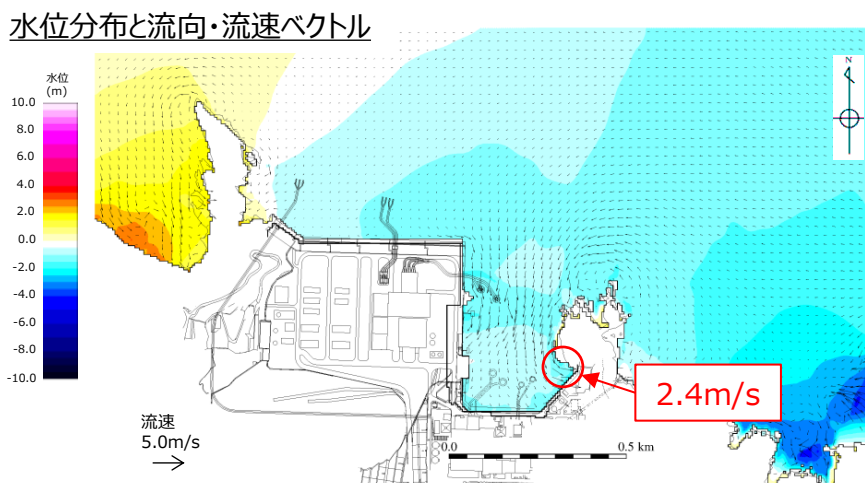


図一 1 2 流速分布_南西方向(5分 47.25秒 : 最大流速発生時刻)

【基準津波 4(防波堤なし)_施設護岸港湾内防波壁前面】

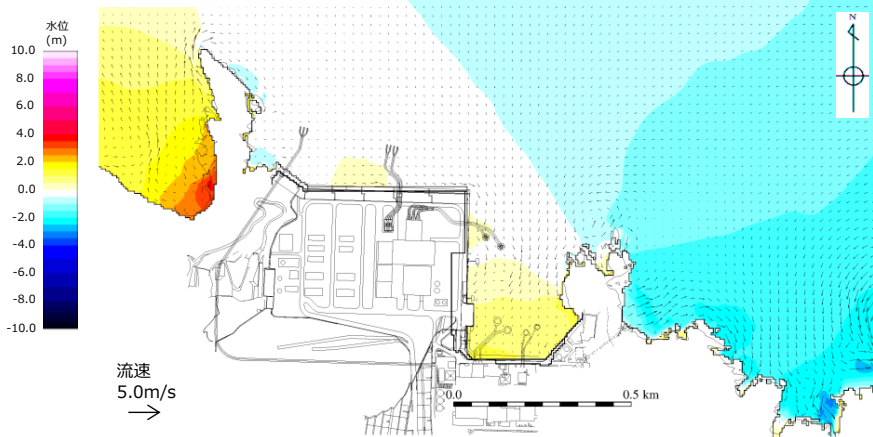


図一 1 3 水位分布と流向・流速ベクトル(6分 52.30秒 : 最大流速発生時刻-30秒)



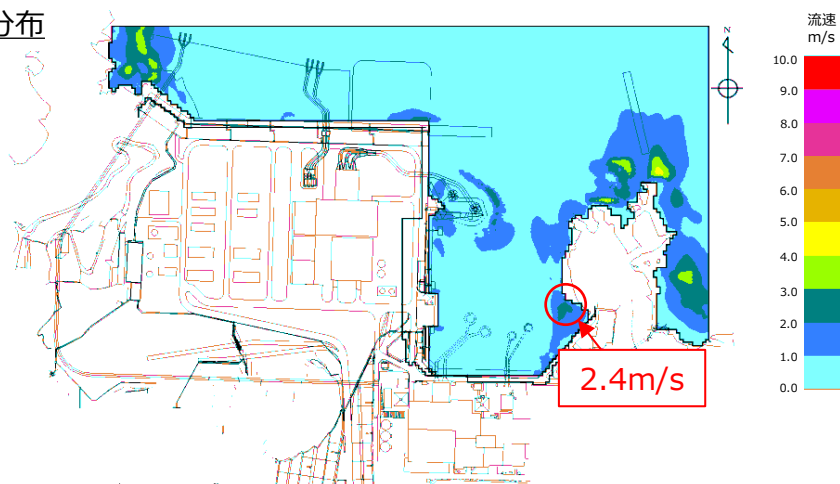
図一 1 4 水位分布と流向・流速ベクトル(7分 22.30秒 : 最大流速発生時刻)

水位分布と流向・流速ベクトル



図一 1 5 水位分布と流向・流速ベクトル(7分 52.30 秒 : 最大流速発生時刻+30 秒)

流速分布

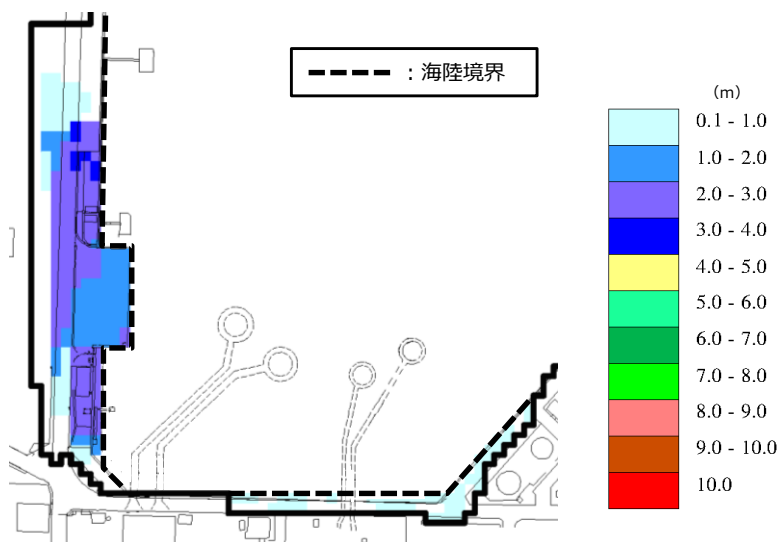


図一 1 6 流速分布_東方向(7分 22.30 秒 : 最大流速発生時刻)

また、日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波1）に対して、保守的に荷揚場周辺を沈下（防波壁前面を一律1 m沈下させる）させた場合の荷揚場付近の最大浸水深分布*を図-17に示す。

荷揚場周辺における流速評価結果を表-3に示しており、遡上域における最大流速を示す地点における8.0m/sを超える時間は極めて短い（1秒以下である）が、最大流速は11.9m/s*が確認された。

※5条-別添1-添付31「施設護岸の漂流物評価における遡上域の範囲及び流速について」参照

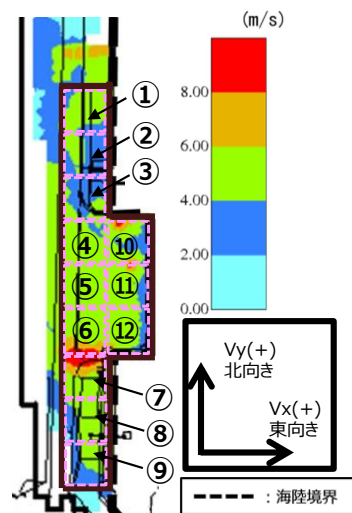


基準津波1（防波堤無し）

図-17 荷揚場付近の最大浸水深分布

表-3 荷揚場周辺における流速評価結果

地点	Vx方向 最大流速 (m/s)	Vy方向 最大流速 (m/s)	全方向最大流速(m/s)		
			Vx方向 流速	Vy方向 流速	全方向流速 ($\sqrt{Vx^2+Vy^2}$)
1	-4.2	2.1	-4.2	1.9	4.6
2	-4.0	2.5	-4.0	1.4	4.2
3	-6.7	2.1	-6.7	-0.8	6.8
4	-3.6	3.7	-3.2	3.4	4.6
5	-3.6	3.8	-3.6	3.7	5.1
6	-5.5	4.1	-5.5	2.7	6.1
7	-11.8	3.4	-11.8	1.1	11.9
8	-5.3	1.5	-5.3	1.3	5.4
9	-5.9	1.9	-5.9	1.6	6.1
10	4.8	-7.6	4.8	-7.6	9.0
11	-8.9	2.5	-8.9	-1.2	9.0
12	-2.7	5.1	-1.4	5.1	5.3



(切上げの関係で値があわない場合がある)

6. 対象漂流物の配置位置及び種類等

日本海東縁部に想定される地震による津波及び海域活断層から想定される地震による津波に対する津波防護施設の評価において、基本とする設計条件として設定する対象漂流物とその配置及び船舶の操業エリアを表-4、表-5、図-18及び図-19に示す。また、津波防護施設における漂流物配置を図-20に示す。

対象漂流物のうち漁船については、基本とする設計条件に加え、島根原子力発電所周辺海域で操業する漁船の漁業法の制限等を踏まえて漁船の総トン数、操業区域及び航行の不確かさを考慮し、津波防護施設の評価に総トン数19トンの漁船を対象とする。また、施設護岸から500m以遠で操業及び航行する漁船については、漂流物となった場合においても、施設護岸から500m位置における流速が1m/s程度と小さいこと等から施設護岸に到達する可能性は十分に小さいが、仮に500m以遠から津波防護施設に衝突する場合の影響について確認する。

漂流物の津波防護施設への到達可能性については、「2.5.2 (3) 基準津波に伴う取水口付近の漂流物に対する取水性確保」参照。

表-4 津波防護施設に考慮する漂流物について

津波防護施設	基本とする設計条件として設定する対象漂流物		不確かさを考慮した設計条件として設定する対象漂流物(漁船)	
	日本海東縁部に想定される地震による津波	海域活断層から想定される地震による津波	日本海東縁部に想定される地震による津波	海域活断層から想定される地震による津波
輪谷湾内に面する津波防護施設 対象：波返重力擁壁（輪谷部） 逆T擁壁 多重鋼管杭式擁壁 防波壁通路防波扉	対象：キャスク取扱収納庫 ^{※1,2} 3トン漁船 種類：鋼製構造物（鋼製） 船舶（FRP製） 質量：約4.3t×2基、約9t	対象：10トン作業船 ^{※1} 3トン漁船 種類：船舶（FRP製） 質量：約30t、約9t	対象：19トン漁船 種類：船舶（FRP製） 質量：約57t	
外海に面する津波防護施設 対象：波返重力擁壁（北側）	対象：10トン漁船 種類：船舶（FRP製） 質量：約30t	対象：10トン作業船 ^{※1} 10トン漁船 種類：船舶（FRP製） 質量：約30t		

※1：詳細設計段階において、キャスク取扱収納庫の撤去や作業船の変更等の対策を踏まえ、対象漂流物を選定
 ※2：2基が隣接して設置されているため、2基分の衝突を考慮

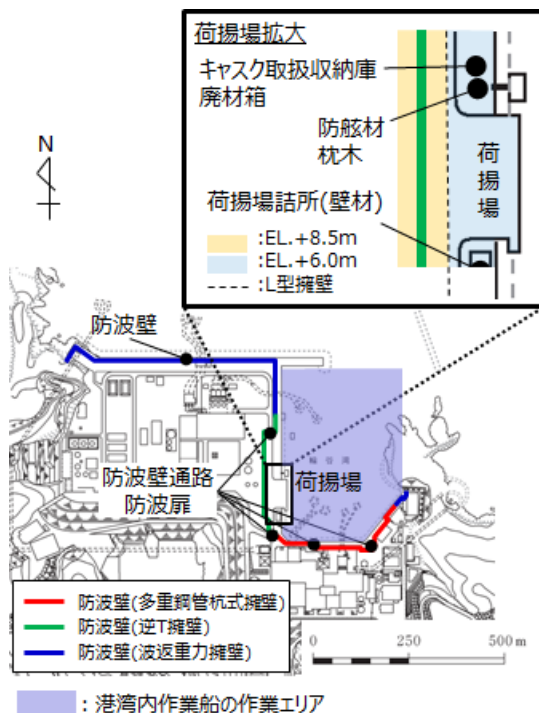


図-18 漂流物の配置（港湾内に面する津波防護施設に考慮する）

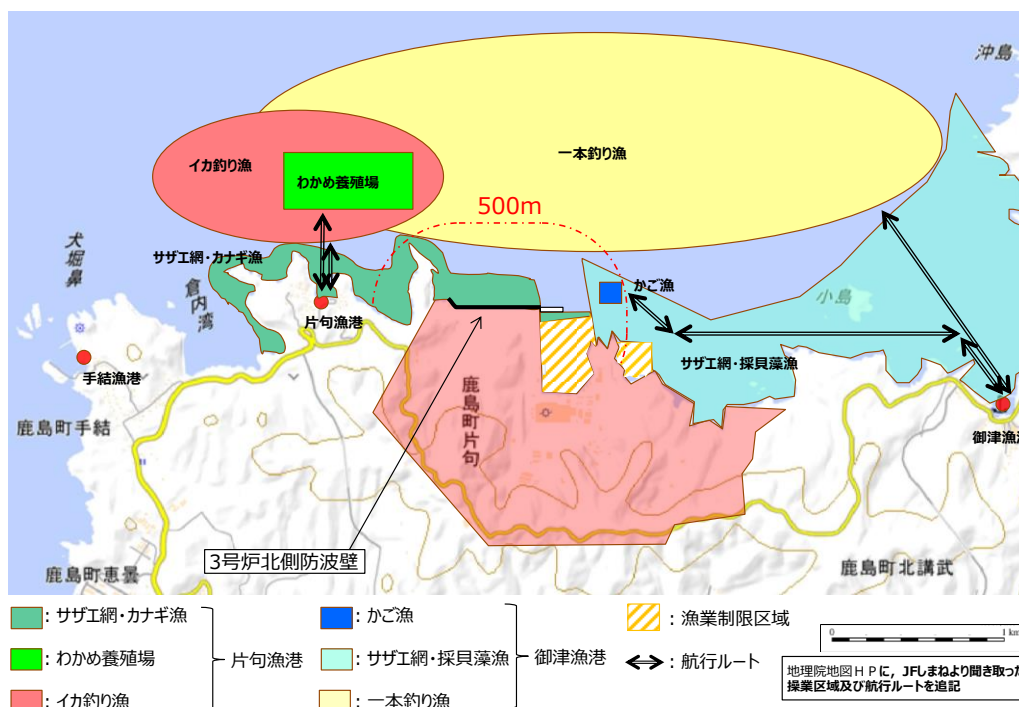
表－５（１） 発電所沿岸で操業する漁船^{※1}

名称	施設護岸からの距離	目的	漁港	総トン数(質量)	数量(隻)
漁船	約500m以内 ^{※3}	サザエ網・カナギ漁 ^{※2}	片句漁港	1トン未満(3t未満)	13
		サザエ網・採貝藻漁	御津漁港	1トン未満(3t未満)	18
		一本釣り漁		2トン未満(6t未満)	6
		かご漁		1トン未満(3t未満)	13
	約500m以遠 ^{※3}	わかめ養殖	片句漁港	3トン未満(9t未満)	1
		イカ釣り漁		1トン未満(3t未満)	7
				5トン未満(15t未満)	7
				8トン未満(24t未満)	3
		10トン未満(30t未満)		3	

※1 漂流物調査は、まとめ資料別添1 添付資料15「津波漂流物の調査要領について」に基づき実施。

※2 輪谷湾内で総トン数0.4～0.7トンの漁船が年5回程度操業する。

※3 施設護岸から500m程度離れた位置では流速が1m/s程度と小さいことを踏まえ、施設護岸から約500m以内と以遠の2つに区分した。



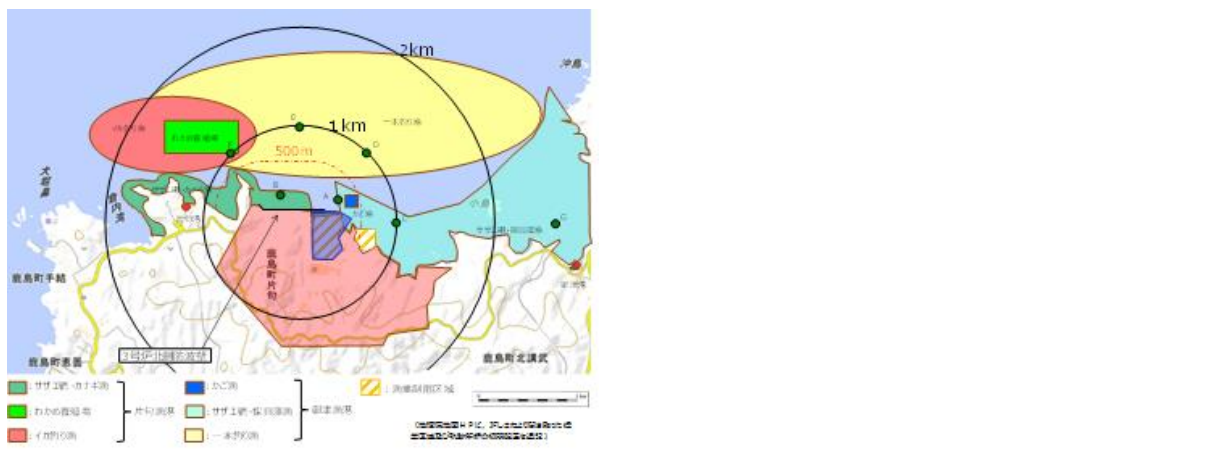
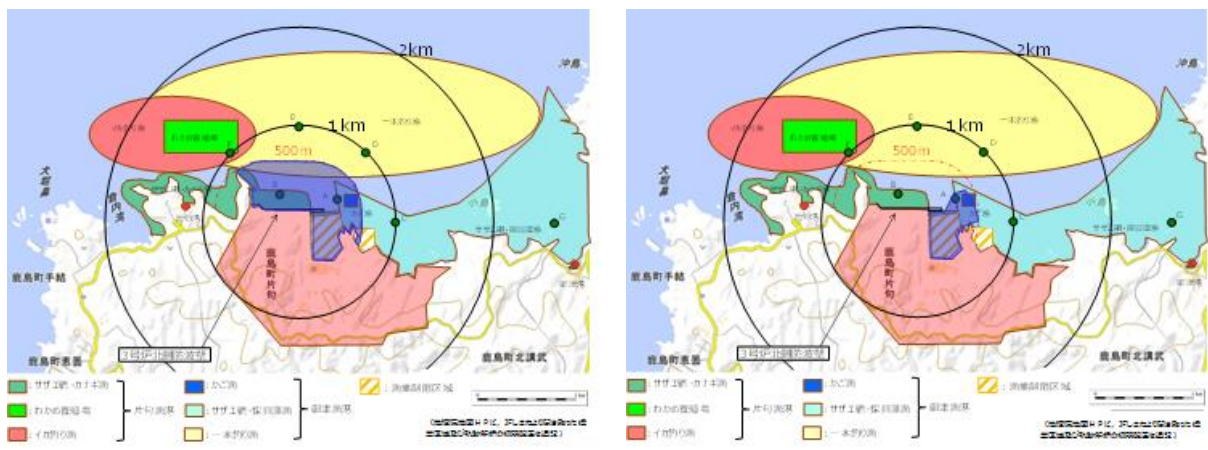
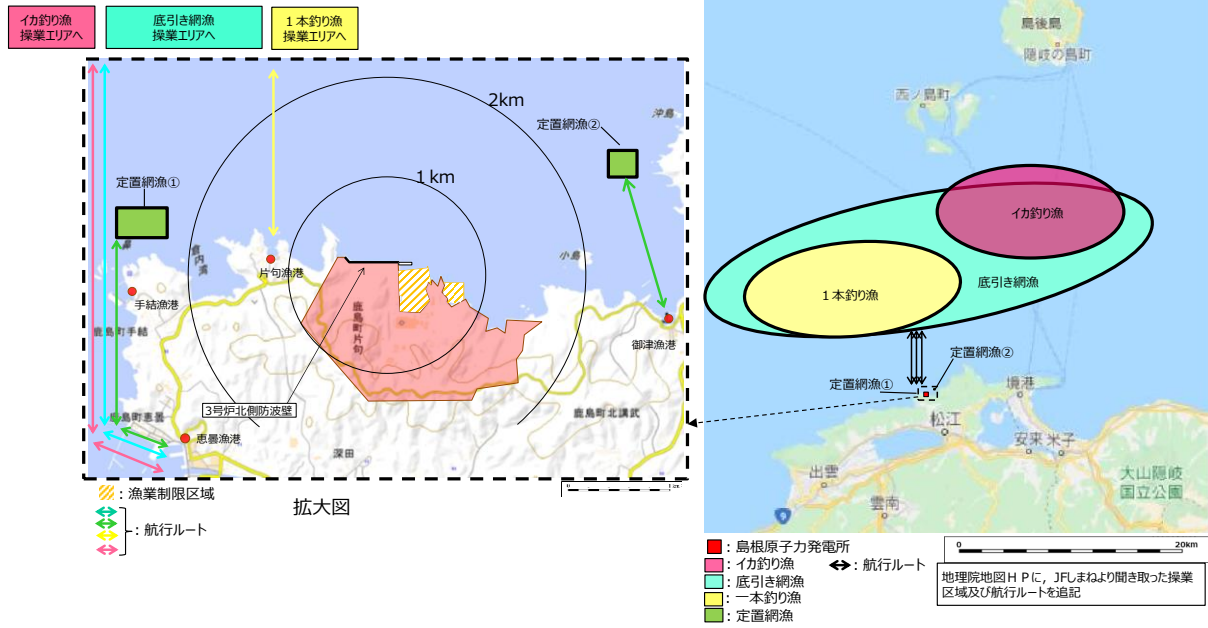
図－１９（１） 発電所沿岸で操業する漁船の操業エリア

表－５（２） 発電所沖合で操業する漁船（総トン数10トン以上）^{※1}

名称	目的	漁港	総トン数(質量)	数(隻)
漁船	イカ釣り漁 ^{※2}	恵曇漁港	約19トン(約57t)	2
	底引き網漁	恵曇漁港	約15トン(約45t)	2
	1本釣り漁	片句漁港	約10トン(約30t)	3
	定置網漁①	恵曇漁港	約10トン(約30t)	1
			約19トン(約57t)	1
定置網漁②	御津漁港	約12トン(約36t)	1	

※1 漂流物調査は、まとめ資料別添1 添付資料15「津波漂流物の調査要領について」に基づき実施。

※2 島根県漁業調整規則に基づき、島根県知事が総トン数10トン以上の漁船によるイカ釣り漁業の操業禁止区域（最大高潮時海岸線から10海里(約18km)内における操業を禁止）を定めている。（漁業調整規則：漁業法等に基づき、各都道府県知事が定める規則）



■ : 津波防護施設から500mの範囲

図-20 津波防護施設における漂流物配置

7. 既往の漂流物荷重算定式の整理

漂流物荷重算定式は、運動量理論に基づく推定式や実験に基づく推定式等があり、対象漂流物の種類や仕様により適用性が異なるため、既往の荷重算定式を整理した。ここで、表－6に算定式のまとめ一覧を示す。

表－6 漂流物荷重算定式のまとめ

	出典	種類	概要	算定式の根拠（実験条件）
①	松富ほか (1999)	流木	津波による流木の衝突力を提案している。本式は円柱形状の流木が縦向きに衝突する場合の衝突力評価式である。	「実験に基づく推定式」 ・見かけの質量係数に関する水路実験 ・衝突荷重に関する空中での実験 水理模型実験及び空中衝突実験において、流木(植生林ではない丸太)を被衝突体の前面(2.5m以内)に設置した状態で衝突させている。
②	池野・田中 (2003)	流木	円柱以外にも角柱,球の形状をした木材による衝突力を提案している。	「実験に基づく推定式」(縮尺1/100の模型実験)受圧板を陸上構造物と想定し,衝突体を受圧板前面80cm(現地換算80m)離れた位置に設置した状態で衝突させた実験である。模型縮尺(1/100)を考慮した場合,現地換算で直径2.6~8mの仮定となる。
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衝突力を定めている。	漂流物が流下(漂流)してきた場合に,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。
④	津波漂流物対策施設設計ガイドライン (2014)	漁船等	漁船の仮想重量と漂流物流速から衝突エネルギーを提案している。	「漁港・漁場の施設の設計の手引」(2003)に記載されている,接岸エネルギーの算定式に対し,接岸速度を漂流物速度とすることで,衝突エネルギーを算定。
⑤	FEMA (2012)	流木・コンテナ	漂流物による衝突力を正確に評価するのは困難としながら,一例として評価式を示している。	「運動方程式に基づく衝突力方程式」非減衰系の振動方程式に基づいており,衝突体及び被衝突体の両方とも完全弾性体としている。
⑥	水谷ほか (2005)	コンテナ	津波により漂流するコンテナの衝突力を提案している。	「実験に基づく推定式」(縮尺1/75の模型実験)使用コンテナ:長さを20ftと40ft,コンテナ重量:0.2N~1.3N程度遡上流速:1.0m/s以下,材質:アクリル
⑦	有川ほか (2007)	流木・コンテナ	コンクリート構造物に鋼製構造物(コンテナ等)が漂流衝突する際の衝突力を提案している。	「接触理論に基づく推定式」(縮尺1/5の模型実験)使用コンテナ:長さ1.21m,高さ0.52m,幅0.49m衝突速度:1.0~2.5m/s程度,材質:鋼製

8. 詳細設計段階における漂流物衝突荷重の設定方針

漂流物衝突荷重（以下、衝突荷重）については、漂流物が津波と遭遇する位置や漂流物の種類・仕様が衝突荷重の大きさに関係することから、詳細設計段階において以下のとおり検討する。

- 津波防護施設の評価において、基本とする設計条件として設定する対象漂流物は、漂流物評価結果及び対策等を踏まえて決定する。
- 衝突荷重の算定に当たっては、漂流物の位置、種類、仕様、ソリトン分裂波・砕波の発生の有無等に応じて、既往の衝突荷重の算定式や非線形構造解析を適切に選定する。
- 衝突荷重の主な影響因子として、「対象漂流物、衝突速度、衝突位置、荷重組合せ」を抽出した。衝突荷重の評価に当たっては、表－7のとおり設計上の考慮を行う。

表－7 詳細設計段階における設計上の考慮

影響因子	詳細設計段階における設計上の考慮
対象漂流物	・対象漂流物のうち漁船については、基本とする設計条件に加え、島根原子力発電所周辺海域で操業する漁船の漁業法の制限等を踏まえた漁船の総トン数、操業区域及び航行の不確かさを考慮して、総トン数19トンの漁船を対象とする（表－4参照）。
衝突速度	・衝突荷重算定に用いる衝突速度は、津波防護施設に対する直交方向の最大流速より設定する。日本海東縁部に想定される地震による津波では、最大流速（0.4m/s～9.0m/s）から最大値9.0m/sを抽出し、全線にわたり安全側に10.0m/sとする。なお、荷揚場周辺においては、遡上する津波の継続時間や流向等を考慮して11.9m/sを用いる。また、海域活断層から想定される地震による津波では、最大流速（0.1m/s～3.3m/s）から最大値3.3m/sを抽出し、全線にわたり安全側に4.0m/sとする（表－2,3参照参照）。
衝突位置（標高）	・衝突荷重が作用する位置は、津波防護施設全線において安全側に最大津波高さ（入力津波高さに高潮ハザードの裕度を加えた高さ含む）を用いる。なお、海域活断層から想定される地震による津波においては、入力津波高さより深の防波壁の部位においても漂流物が衝突するものとして照査する。
荷重組合せ	・不確かさを考慮した漂流物についても、最大津波流速と津波高さを組合せて衝突荷重を算定する。 ・衝突荷重と津波荷重の最大荷重が同時に作用する組合せとする。

- また、施設護岸から500m以遠で操業及び航行する漁船については、漂流物となった場合においても施設護岸に到達する可能性は十分に小さいが、仮に500m以遠から津波防護施設に衝突する場合の影響について確認する。
- 衝突荷重の影響を踏まえ、津波防護施設の各部位の照査の結果、津波防護施設本体の性能目標を維持することを確認し、維持できない場合は漂流物対策を講じる。

漂流物対策工の役割及び設計方針概要を以下に示す。

- ▶津波防護施設本体の性能目標である「概ね弾性状態に留まること」を確保するため、津波防護施設への漂流物の衝突を防止する、又は漂流物衝突荷重を軽減・分散させる漂流物対策工を設置することとし、漂流物対策工の設置位置に応じて表－８のとおり位置付ける。

表－８ 漂流物対策工の各構造形式における位置付け

設置位置	漂流物対策工の位置付け
津波防護施設に設置	津波防護施設の一部
津波防護施設の前面に設置	津波防護施設への影響防止装置

- ▶漂流物対策工を設置する場合は、漂流物衝突荷重を受け持つこと、又は漂流物衝突荷重を軽減・分散させること等が可能な構造とする。
- ▶漂流物対策工に期待する効果及び効果を発揮するためのメカニズムを表－９、各構造形式における漂流物衝突荷重の荷重伝達イメージ（例）を図－２１に示す。

表－９ 漂流物対策工に期待する効果及び効果を発揮するためのメカニズム

期待する効果	効果を発揮するためのメカニズム	部材(材質)	漂流物対策工の構造形式
・漂流物の衝突荷重を軽減する	・漂流物が衝突した際に、変形することにより衝突エネルギーを吸収する。	・鋼材	①
・漂流物衝突荷重を受け持つ	・漂流物対策工を構成する部材が、漂流物の衝突荷重を受衝することで、漂流物対策工のみで衝突荷重を受け持つ。	・鋼材(ワイヤロープ含む) ・コンクリート	①、②
・漂流物衝突荷重を分散して伝達する	・漂流物対策工を構成する部材が、漂流物の衝突荷重を受衝することで、漂流物対策工の構成部材により分散した荷重を背後の津波防護施設本体に伝達する。	・鋼材 ・コンクリート	①
・漂流物衝突による津波防護施設の局所的な損傷を防止する	・漂流物を漂流物対策工が受衝することで、津波防護施設まで到達・貫入しない。	・鋼材(ワイヤロープ含む) ・コンクリート	①、②

漂流物対策工の構造形式：①防波壁の擁壁と一体型構造，②防波壁の擁壁と分離型構造

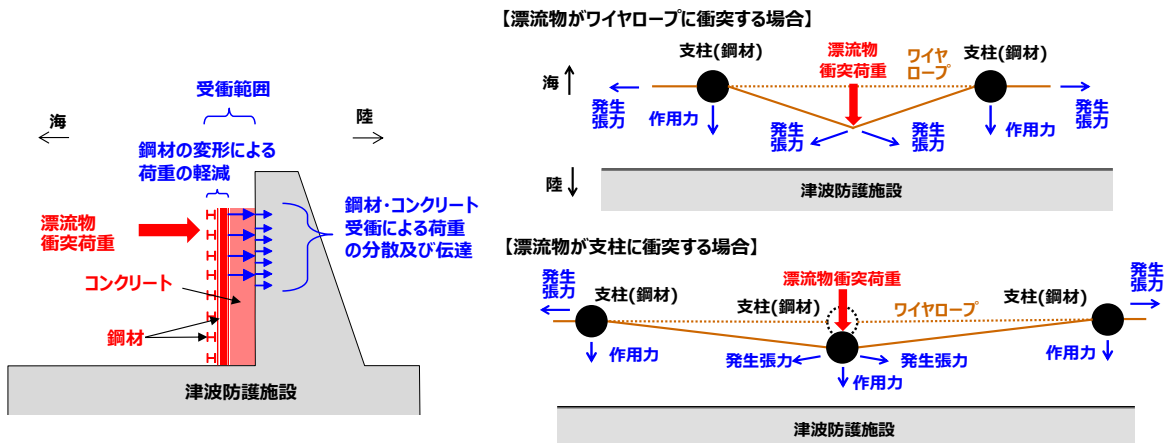


図-21 各構造形式における漂流物衝突荷重の荷重伝達イメージ

- 鋼材（ワイヤロープ含む）の性能目標として鋼材が破断しないこと、またコンクリートの性能目標としてコンクリート全体がせん断破壊しないこととする。
- 検討ケースは、荷重の組合せを考慮し、表-10のとおり実施する。

表-10 漂流物対策工の検討ケース

検討ケース	荷重の組合せ※
地震時	常時荷重+地震荷重
津波時	常時荷重+津波荷重+漂流物衝突荷重 (海域活断層から想定される地震による津波においては入力津波高さ以深の防波壁の部位や漂流物対策工においても漂流物が衝突するものとして照査を実施する。)
重畳時 (津波+余震時)	常時荷重+津波荷重+余震荷重 (海域活断層から想定される地震による津波が到達する防波壁(波返重力擁壁)のケーソンや漂流物対策工等については、海域活断層から想定される地震による津波に対する評価を実施する)

※自然現象による荷重（風荷重及び積雪荷重）は設備の設置状況、構造（形状）等の条件を含めて適切に組み合わせを考慮する

- 詳細設計段階において、津波防護施設本体の性能目標を維持できるよう、漂流物衝突荷重を考慮して漂流物対策工の構造形式及び仕様を決定する。

漂流物衝突時の漂流物対策工の非線形性を考慮するために、3次元FEMモデル等による非線形構造解析を実施する。

3次元FEMモデルによる漂流物衝突評価の適用性について、審査実績を有する先行サイト（伊方3号炉、美浜3号炉）における衝突評価との比較を行った結果、表-11に示すとおり、解析手法及び衝突物の質量等に有意な差異はないことから、適用性があると判断する。

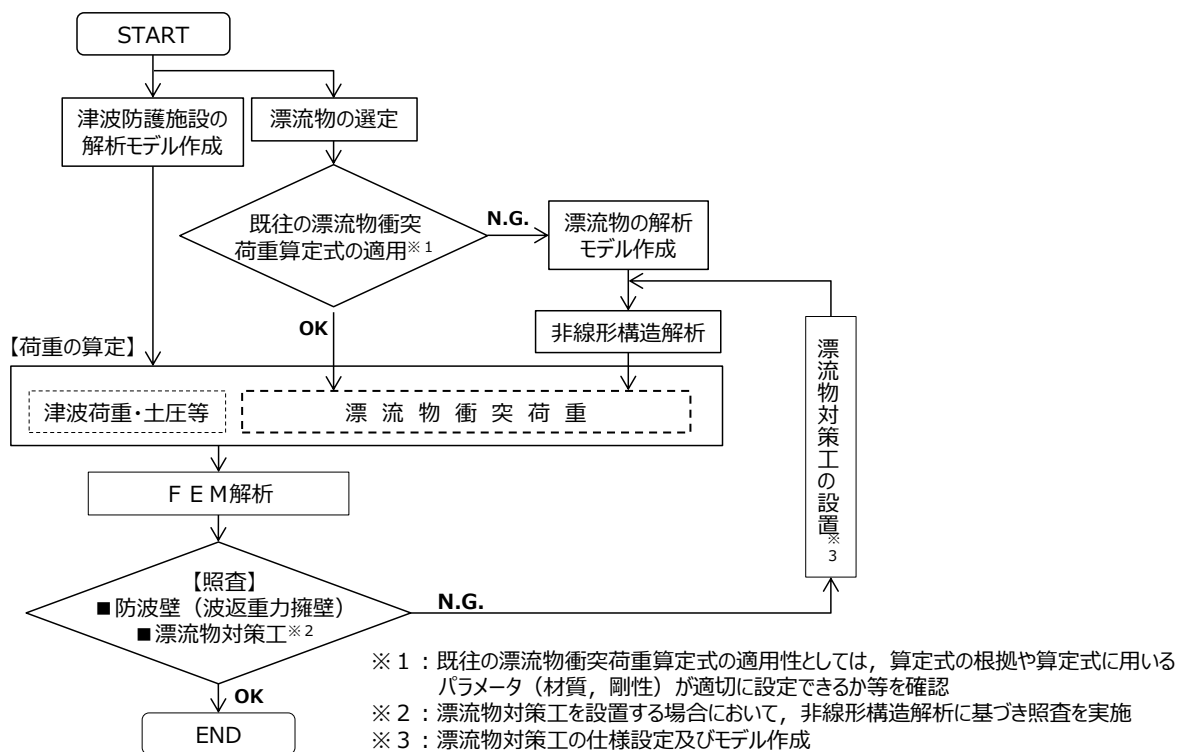
表-11 先行サイトとの比較結果

項目	島根2号炉 漂流物対策工	伊方3号炉 重油タンク	美浜3号炉 海水ポンプエリア 止水壁	先行サイトと島根2号炉との差異 及び島根2号炉への適用性	
				先行サイトと島根2号炉との差異	適用性
対象とする事象	津波時における 漂流物衝突検討	竜巻時における飛来 物衝突検討	地震時における移動 式クレーンブーム折損 による衝突検討	事象は異なるものの、衝突荷重による影響検討のため、差異はない。	○
解析手法	非線形構造解析	非線形構造解析 (LS-DYNA)	非線形構造解析 (LS-DYNA)	同様な解析手法を用いるため、差異はない。	○
被衝突物	津波防護施設 及び漂流物対策工 (鋼製及びコンクリート)	重油タンク (鋼製)	止水壁架構 (鋼製)	被衝突物の材質が一部異なるものの、使用する解析手法は、鋼材だけでなくコンクリートにも適用性があることから、島根2号炉への適用性はあると判断する。	○
衝突物	船舶 (FRP)	鋼製材 (SS400)	クレーンブーム (WEL- TEN950RE)	衝突物の材質は異なるものの、使用する解析手法は、鋼材だけでなく樹脂にも適用性があることから、島根2号炉への適用性はあると判断する。	○
衝突物の質量	約30t	135kg	36.2t	審査実績を有する衝突物の質量の範囲内に収まっており、島根2号炉への適用性はあると判断する。	○
衝突物の速度	10m/s	57m/s,38m/s	約30m/s	審査実績を有する衝突物の速度の範囲内に収まっており、島根2号炉への適用性はあると判断する。	○

※先行サイトの情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

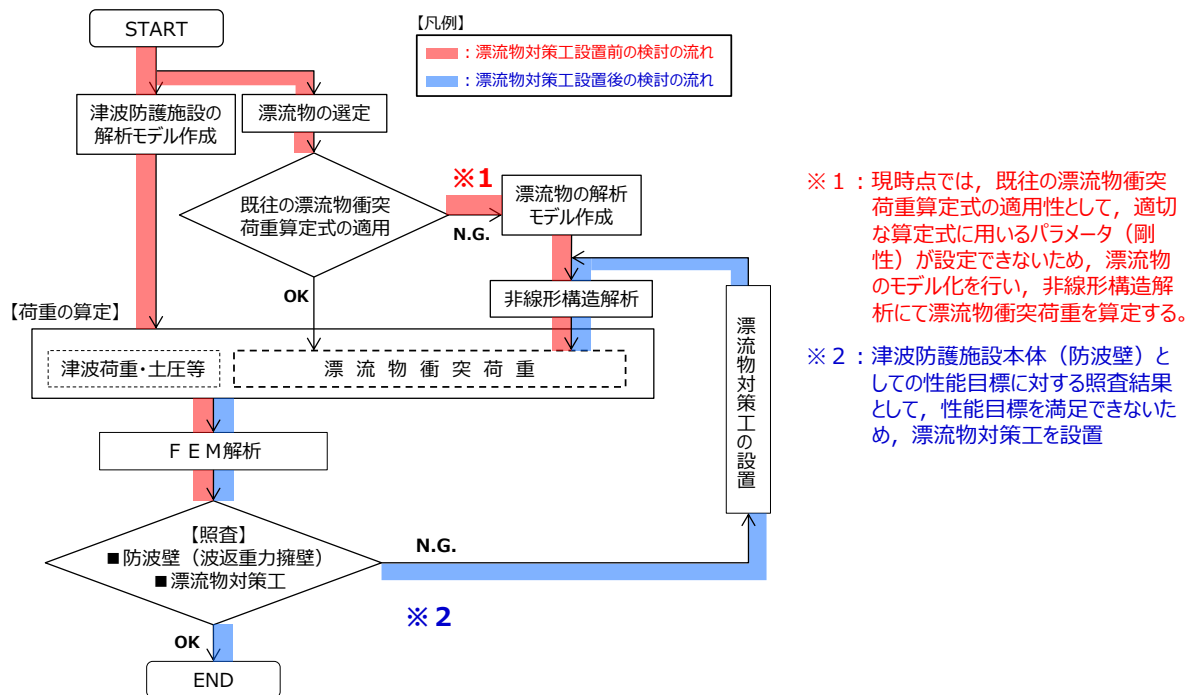
漂流物衝突荷重は、対象となる漂流物の位置・仕様及び必要に応じ対策等を踏まえて、既往の漂流物衝突荷重の算定式、又は非線形構造解析を適切に選定して算出し、津波時における静的解析により津波防護施設の照査を実施する。津波防護施設（防波壁：波返重力擁壁）における津波時の検討フロー（例）を図－22に示す。

なお、漂流物対策工は、基準地震動 S_s に対して、構造強度を有することを確認する。



図－22 津波防護施設（防波壁：波返重力擁壁）における津波時の検討フロー（例）

津波防護施設（防波壁：波返重力擁壁）における漂流物対策工の設計例として、不確かさを考慮した総トン数 19 トンの漁船に対しては、漂流物対策工が必要となると考えており、検討の流れを図－23に示す。



図－23 （例）津波防護施設（防波壁:波返重力擁壁）における漂流物対策工に係る検討の流れ

9. 漂流物衝突荷重の設定方針のまとめ

津波防護施設の評価において、外海に面する津波防護施設に対しては作業船（総トン数 10 トン）及び漁船（総トン数 10 トン）を、輪谷湾内に面する津波防護施設に対しては、入力津波高さを考慮し、荷揚場設備（キャスク取扱収納庫約 4.3t×2 基）、作業船（総トン数 10 トン）及び漁船（総トン数 3 トン）を基本とする設計条件として設定する対象漂流物とする。

なお、対象漂流物のうち漁船については、基本とする設計条件に加え、島根原子力発電所周辺海域で操業する漁船の漁業法の制限等を踏まえて漁船の総トン数、操業区域及び航行の不確かさを考慮し、総トン数 19 トンの漁船を対象とする。

日本海東縁部に想定される地震による津波の津波特性として、施設護岸港湾内及び港湾外の防波壁前面で最大流速 9.0m/s(流向:南東・南)が確認されたことから、津波防護施設における津波による漂流物衝突荷重の評価には、安全側に流速 10.0m/s を用いる。また、荷揚場周辺の遡上時に最大流速 11.9m/s が確認されたことから、遡上する津波の継続時間や流向等を考慮し、最大流速が発生する荷揚場周辺の津波防護施設における漂流物衝突荷重の評価には、流速 11.9m/s を用いる。

海域活断層から想定される地震による津波の津波特性として、施設護岸港湾内の防波壁前面で最大流速 2.4m/s (流向:東・南東)、港湾外の防波壁前面で最大流速 3.3m/s (流向:南西) となることを確認した。以上より、津波防護施設における津波による漂流物衝突荷重の評価には、安全側に流速 4.0m/s を用いる。

漂流物衝突荷重について、道路橋示方書を含む既往の算定式とその根拠について整理した。漂流物衝突荷重は、詳細設計段階において、対象となる漂流物の位置・仕様及び必要に応じ対策等を踏まえて、既往の漂流物衝突荷重の算定式、又は非線形構造解析（漂流物衝突評価）にて算定し、津波時における静的解析により津波防護施設の照査を実施する。

漂流物衝突荷重の影響を踏まえ、津波防護施設の各部位の照査の結果、津波防護施設本体の性能目標を維持することを確認し、津波防護施設本体の性能目標を維持できない場合は漂流物対策を講じる。

津波防護施設における詳細設計段階では、漂流物衝突荷重の算定に当たり、漂流物衝突荷重の主な影響因子（対象漂流物、衝突速度、衝突位置、荷重組合せ）に対して、設計上の考慮を行う。

また、施設護岸から 500m 以遠で操業及び航行する漁船については、漂流物となった場合においても施設護岸から 500m 位置における流速が 1m/s 程度と小さいこと等から施設護岸に到達する可能性は十分に小さいが、仮に 500m 以遠から津波防護施設に衝突する場合の影響について確認する。

漂流物調査範囲内の人工構造物（漁船を含む）については、基準適合性維持の観点から漂流物調査を定期的（1 回／定期事業者検査）に実施するとともに、津波防護施設への影響評価を実施し、必要に応じて対策を実施する。

(参考1) 漂流物対策工の仕様 (例)

漂流物対策工の仕様 (例) を図-24に示す。なお、詳細設計段階において、津波防護施設本体の性能目標を維持できるように、漂流物衝突荷重を踏まえて漂流物対策工の仕様を決定する。

	防波壁の擁壁と一体型構造	防波壁の擁壁と分離型構造
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)		
防波壁 (逆T擁壁)		
防波壁 (波返重力擁壁)		

図-24 漂流物対策工の仕様 (例)

(参考2) 支柱及びワイヤーロープにより構成された漂流物対策工の設計例

支柱及びワイヤーロープにより構成された漂流物対策工は、実用発電用原子炉での適用事例はないが、一般港湾施設での設計例があり、設計条件として漁船（排水トン数：約20トン）や普通自動車を対象とした事例がある。

【設計例1】 えりも港の漂流物対策工

えりも港：漂流物対策工の設計条件

条件	内容
対象地震	十勝沖・釧路沖地震(M8.1前後)
対象漂流物	漁船(総トン数5~20トン)、普通自動車
構造形式	鋼管杭(支柱)+ワイヤーロープ
施設延長	50.0m
ワイヤー設置間隔	0.7m間隔(高さ方向)
支柱高さ	D.L.+5.90m
衝突速度	0.8m/s(普通自動車のみ)

出典：津波漂流物対策施設設計ガイドライン（平成26年3月）
：港湾・漁港における津波漂流物対策に関する研究



えりも港：漂流物対策工の設置状況

※適用事例に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に整理したものです。

図一 25 えりも港の漂流物対策工

【設計例 2】 釧路港の漂流物対策工

釧路港：漂流物対策工の設計条件

条 件	内 容
対象地震	根室沖・釧路沖地震(M8.3前後)
対象漂流物	漁船(総トン数5,10トン),普通自動車
構造形式	鋼管杭(支柱)+ワイヤロープ
施設延長	137.0m
ワイヤ設置間隔	0.55m間隔 (高さ方向)
支柱高さ	G.L.+2.10m
衝突速度	4.5m/s

出典：津波漂流物対策施設設計ガイドライン（平成26年3月）



釧路港：漂流物対策工の設置状況

※適用事例に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に整理したものです。

図－26 釧路港の漂流物対策工

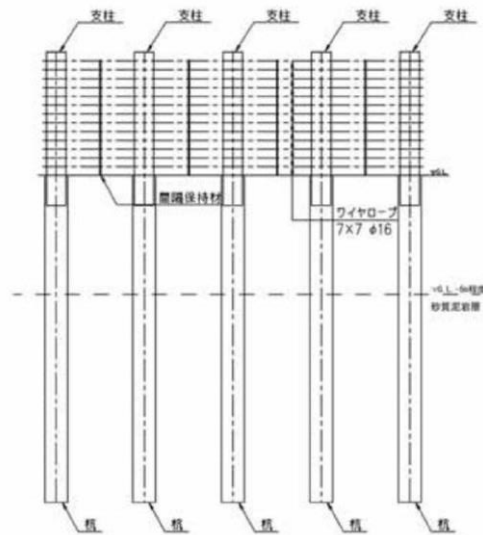
【設計例3】核燃料サイクル工学研究所再処理施設における津波漂流物防護柵

核燃料サイクル工学研究所再処理施設において津波漂流物防護柵の設計例がある。当該施設では、設計津波の津波防護施設である建家外壁の周辺には、船舶等の重量物が建家外壁に衝突した場合の影響が大きいと考えられる大型の漂流物の影響を軽減するため津波漂流物防護柵の設置を計画していることから、津波漂流物防護柵を漂流物の影響防止施設と位置付けられている。

津波漂流物防護柵の設計条件

条件	内容
対象津波	設計津波
対象漂流物	小型船舶(総トン数19トン) 水素タンク(約30t) 中型バス(約9.7t)
構造形式	鋼管杭(支柱)+ワイヤロープ

出典：東海再処理施設における漂流物防護対策について（令和2年4月27日）
：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所再処理施設に係る廃止措置計画変更認可申請書の一部補正について（令和2年5月29日）



津波漂流物防護柵構造概要図（例）

※適用事例に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に整理したものです。

図－27 核燃料サイクル工学研究所再処理施設における津波漂流物防護柵