

本資料のうち、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。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-019-2 改5
提出年月日	2020年4月3日

資料2

津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料

2020年4月

東京電力ホールディングス株式会社

補改5-1

補足説明資料目次

I. はじめに

今回提出範囲：

1. 入力津波の評価

- 1.1 潮位観測記録の評価について
- 1.2 遡上・浸水域の評価の考え方について
- 1.3 港湾内の局所的な海面の励起について
- 1.4 管路解析のモデルについて
- 1.5 入力津波の不確かさの考慮について
- 1.6 遡上解析のモデルについて

2. 津波防護対象設備

- 2.1 津波防護対象設備の選定及び配置について

3. 取水性に関する考慮事項

- 3.1 砂移動による影響確認について
- 3.2 原子炉補機冷却海水ポンプの波力に対する強度評価について
- 3.3 除塵装置の取水性への影響について
- 3.4 常用海水ポンプ停止手順について

4. 漂流物に関する考慮事項

- 4.1 設計に用いる遡上波の流速について
- 4.2 漂流物による影響確認について
- 4.3 燃料等輸送船の係留索の耐力について
- 4.4 燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係について
- 4.5 浚渫船の係留可能な限界流速について
- 4.6 漂流物の衝突荷重算定式の適用性について
- 4.7 漂流物の衝突荷重について

5. 浸水防護施設の設計における補足説明
 - 5.1 耐津波設計における現場確認プロセスについて
 - 5.2 津波監視設備の設備構成及び電源構成について
 - 5.3 スロッシングによる海水貯留堰貯水量に対する影響評価について
 - 5.4 浸水防護施設の漏えい試験について
 - 5.5 津波による溢水に対して浸水対策を実施する範囲の考え方について

6. 工事計画変更認可後の変更手続き
 - 6.1 工事計画変更認可後の変更手続きの要否について

1.4 管路解析のモデルについて

1.4 管路解析のモデルについて

(1) はじめに

海洋から取水路及び放水路を経て各評価地点までの水路の水理特性を考慮した管路解析（解析コード「SURGE」）を実施した。取水路は、敷地前面の港湾内（取水口前面）における最大ケース（基準津波 1）及び最小ケース（基準津波 2）を入力波形として解析を実施した。なお、影響評価として、防波堤の損傷を考慮した管路解析を実施した。

(2) 管路解析に基づく評価

管路解析を行う上での不確かさの考慮として、表 1.4-1 に示す各項目についてパラメータスタディを実施し、入力津波の選定及び津波水位への影響を確認した。

管路解析の解析条件を表 1.4-2 に、貝代を考慮する範囲を図 1.4-1 に示す。取水路及び放水路の構造図を図 1.4-2、図 1.4-3 に示す。

表 1.4-1 条件設定

	計算条件
1	スクリーン損失の有無*
2	貝付着の有無
3	補機冷却海水ポンプ稼働の有無

注記*：取水路のみ

表 1.4-2 管路解析における解析条件 (1/2)

計算領域	取水口～スクリーン室～取水路～取水槽～取水路分岐～補機取水路～補機取水槽		
計算時間間隔 Δt	0.005 秒 (取水路) 0.001 秒 (放水路)		
潮位のバラツキ	+0.16m (上昇側), -0.15m (下降側)		
地殻変動	-0.29m (下降側)		
取水条件		ポンプ種類	ポンプ稼働条件
	6 ・ 7 号 機	CWP (循環水ポンプ)	0 (m ³ /h) *
		RSW (原子炉補機冷却海水ポンプ)	1,800 (m ³ /h/台) x6 台 =10,800 (m ³ /h)
		TSW (タービン補機冷却海水ポンプ)	0 (m ³ /h)
	5 号 機	CWP (循環水ポンプ)	0 (m ³ /h) *
		RSW (原子炉補機冷却海水ポンプ)	2,500 (m ³ /h/台) x4 台 =10,000 (m ³ /h)
		TSW (タービン補機冷却海水ポンプ)	2,700 (m ³ /h/台) x3 台 =8,100 (m ³ /h)
		HPSW (高圧炉心スプレィディーゼル補機冷却海水ポンプ)	400 (m ³ /h)
放水条件	取水条件で記載した取水量がそのまま放水されるものとして設定		
ポンプ停止条件	全ポンプ 0 (m ³ /h)		
摩擦損失係数 (マニングの粗度係数)	n=0.02m ^{-1/3} ・s (貝付着あり) n=0.015m ^{-1/3} ・s (貝付着なし)		
貝の付着代	貝代 10cm を考慮		

注記* : 非常用海水冷却系の海水ポンプ (原子炉補機冷却海水ポンプ) の取水源を確保することを目的に、取水口前面には海水貯留堰を設置し、津波による水位低下時には循環水ポンプを停止する運用とすることから、管路解析の前提として「循環水ポンプ停止」とした。

表 1.4-2 管路解析における解析条件 (2/2)

局所損失係数	電力土木技術協会(1995) : 火力・原子力発電所土木構造物の設計—増補改訂版— 千秋信一(1967) : 発電水力演習, 土木学会(1999) : 水理公式集 [平成 11 年版] による
スクリーン有無	局所損失係数 16.8 (スクリーンあり) 局所損失係数 0.0 (スクリーンなし)
貯留堰	遡上解析の数値計算モデルに反映
基準津波	基準津波 1 : 日本海東縁部 (2 領域モデル) + 地すべり (LS-2) 基準津波 2 : 日本海東縁部 (2 領域モデル)
初期水位	上昇側 : 朔望平均満潮位 (T. M. S. L. +0.49m) 下降側 : 朔望平均干潮位 (T. M. S. L. +0.03m)
計算時間	地震発生から 4 時間

基礎方程式を下記に示す。

管路解析では、非定常の開水路及び管路流れの連続式・運動方程式を用いた。

【開水路】

・運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

・連続式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

【管路】

・運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

・連続式

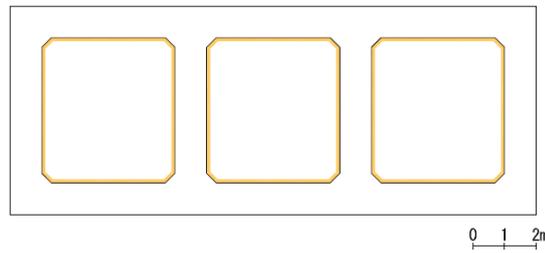
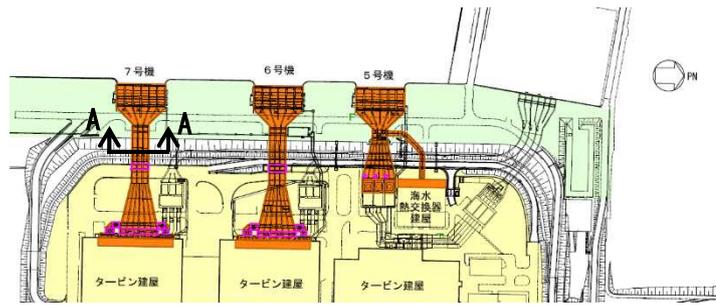
$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

ここに、 t : 時間 Q : 流量 v : 流速 x : 管底に沿った座標
 A : 流水断面積
 H : 圧力水頭+位置水頭 (管路の場合), 位置水頭 (開水路の場合)
 z : 管底高 g : 重力加速度
 n : マニングの粗度係数 R : 径深
 Δx : 管路の流れ方向の長さ f : 局所損失係数

【水槽及び立坑部】

$$A_p \frac{dH_p}{dt} = Q_s$$

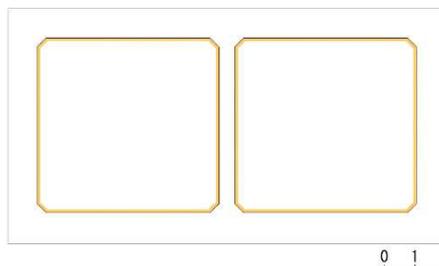
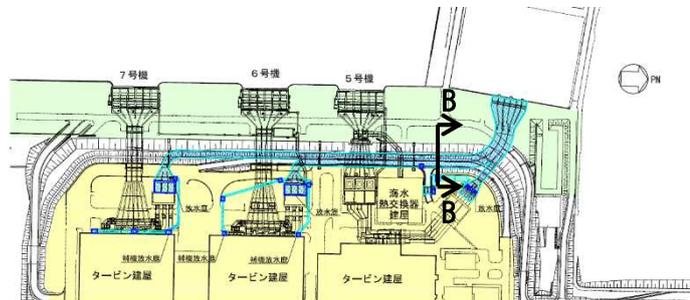
ここに A_p : 水槽の平面積 (水位 の関数となる) H_p : 水槽水位
 Q_s : 水槽へ流入する流量 の総和 t : 時間



— 貝代付着考慮範囲

0 1 2m

図 1.4-1 (1) 貝代考慮範囲 (7号機取水路 A-A断面図)



— 貝代付着考慮範囲

0 1 2m

図 1.4-1 (2) 貝代考慮範囲 (6・7号機放水路 B-B断面図)

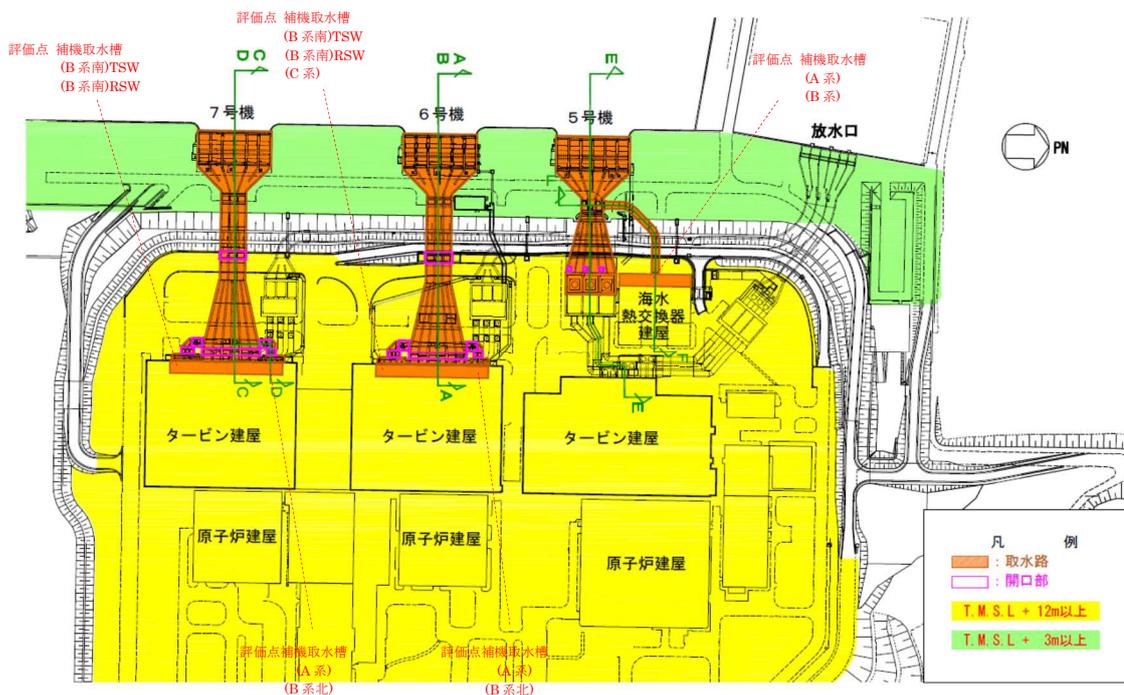


図 1.4-2 (1) 大湊側取水路配置平面図

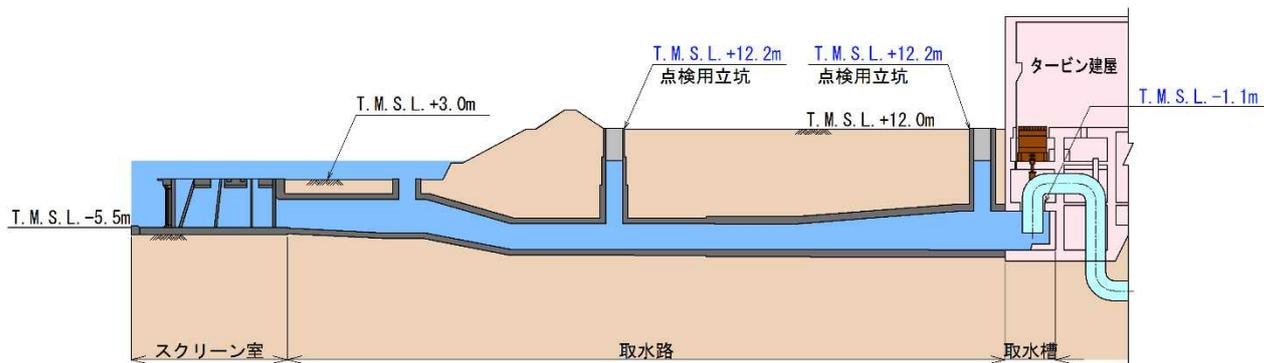


図 1.4-2 (2) 6号機取水路 (A-A 断面)

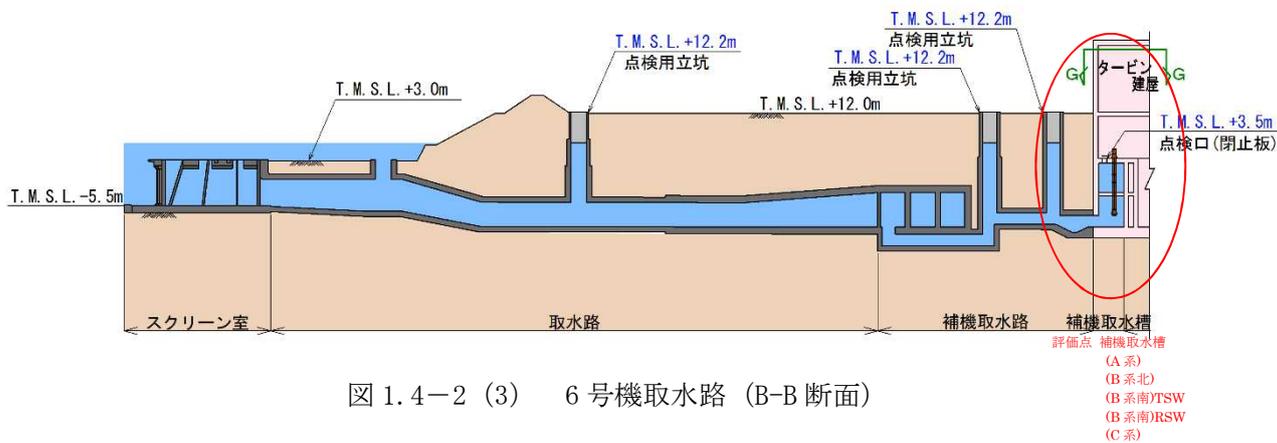


図 1.4-2 (3) 6号機取水路 (B-B 断面)

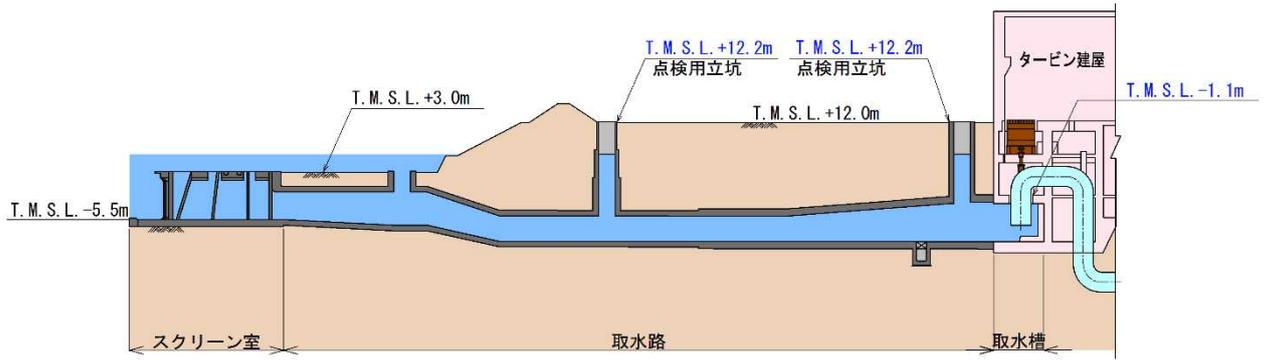


図 1.4-2 (4) 7号機取水路 (C-C 断面)

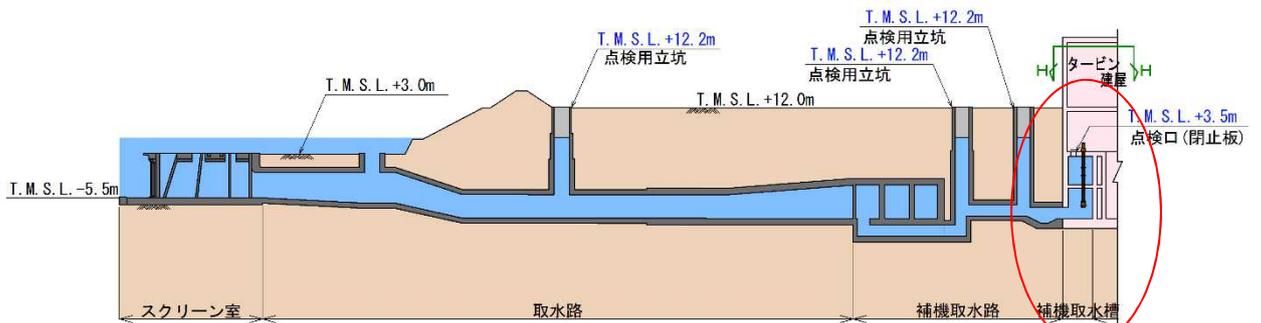


図 1.4-2 (5) 7号機取水路 (D-D 断面)

評価点 補機取水槽
(A系)
(B系北)
(B系南)TSW
(B系南)RSW
(C系)

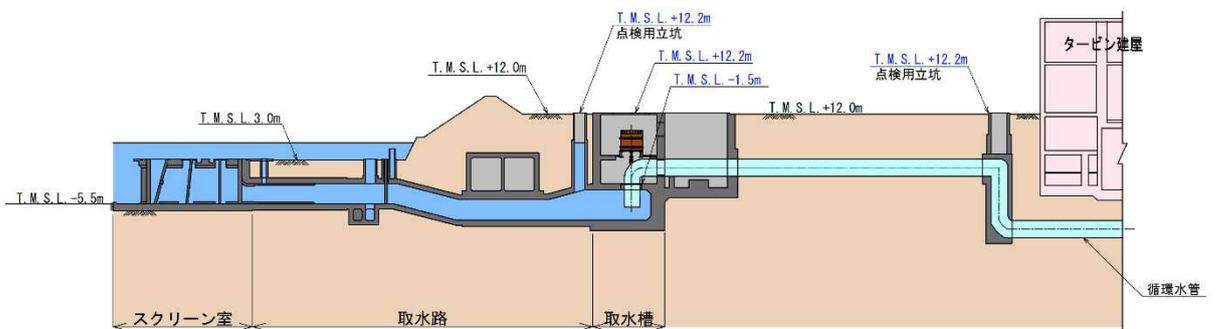


図 1.4-2 (6) 5号機取水路 (E-E 断面)

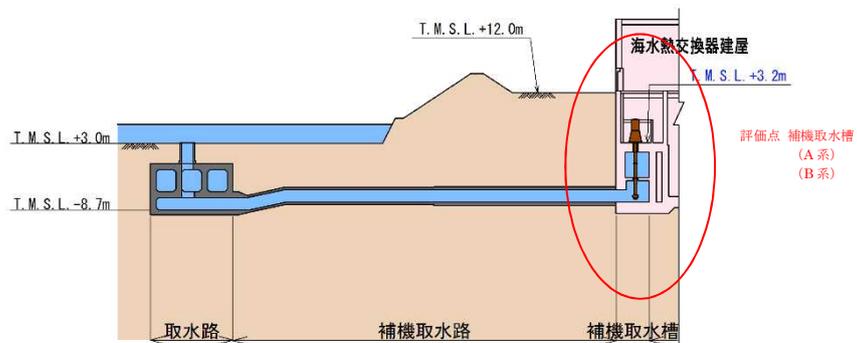


図 1.4-2 (7) 5号機取水路 (F-F 断面)

評価点 補機取水槽
(A系)
(B系)

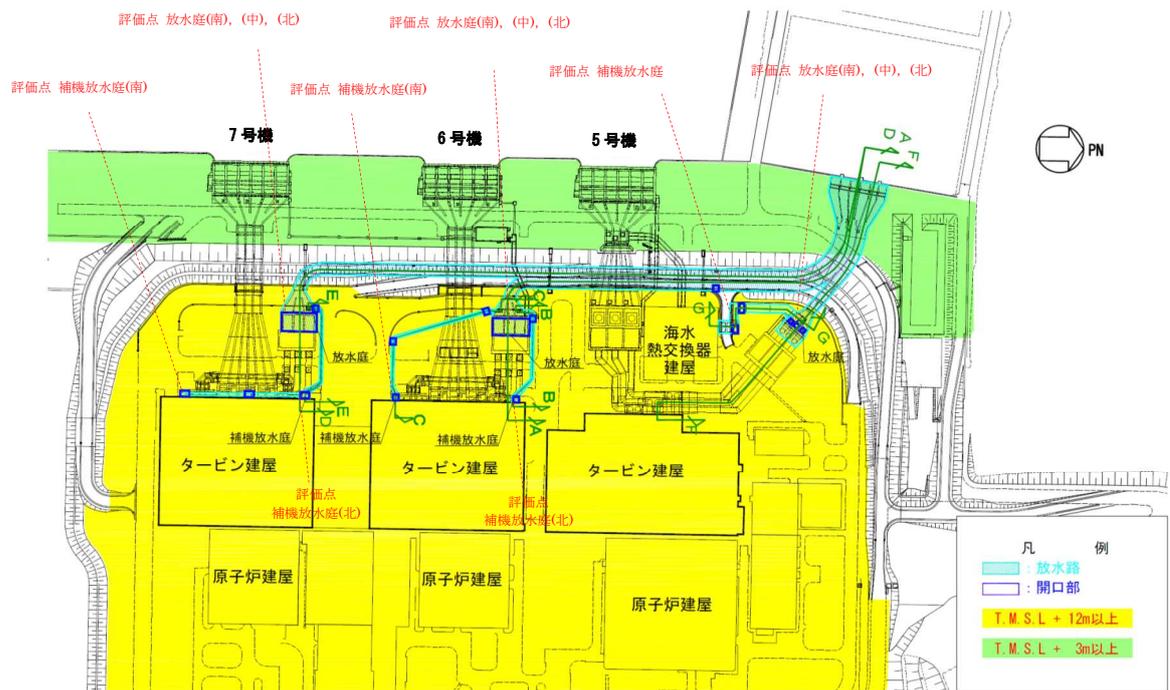


図 1.4-3 (1) 大湊側放水路配置平面図

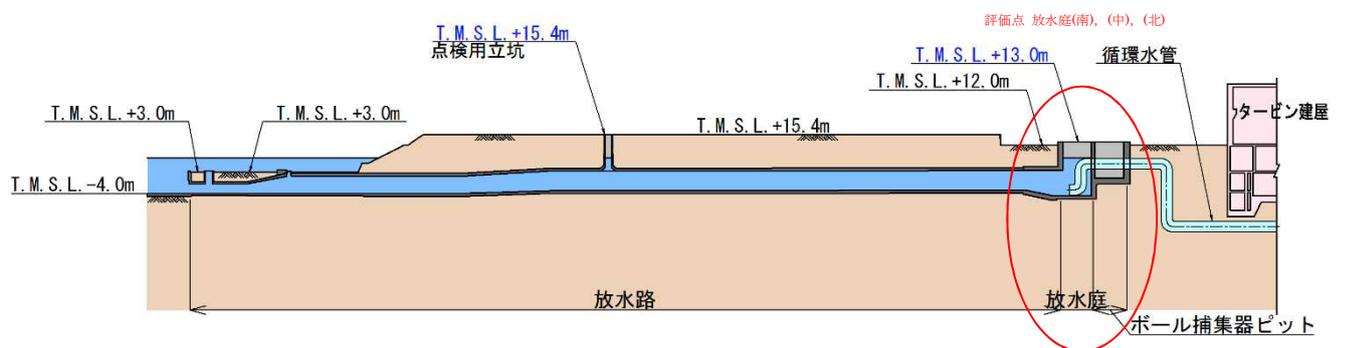


図 1.4-3 (2) 6号機放水路 (A-A 断面)

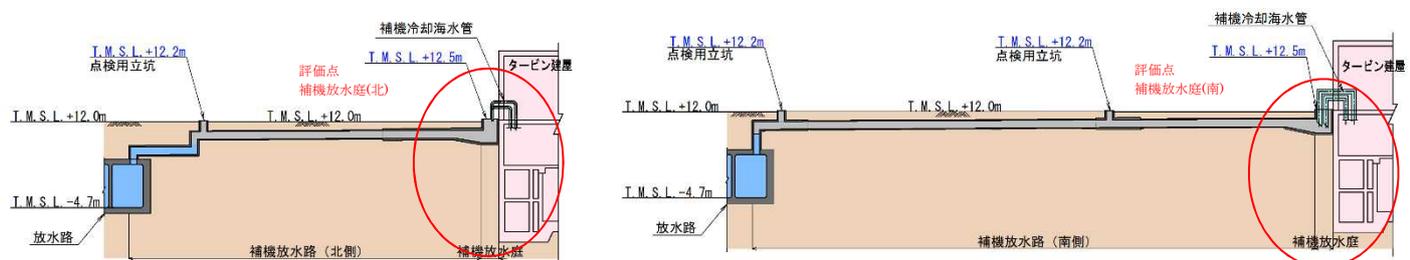


図 1.4-3 (3) 6号機放水路 (左: B-B 断面, 右: C-C 断面)

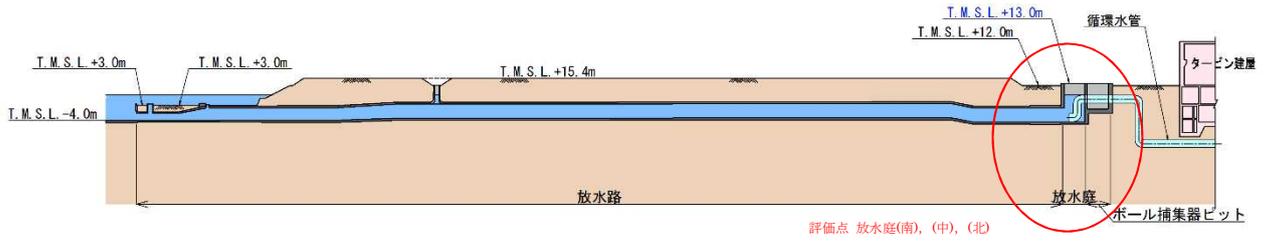


図 1.4-3 (4) 7号機放水路 (D-D 断面)

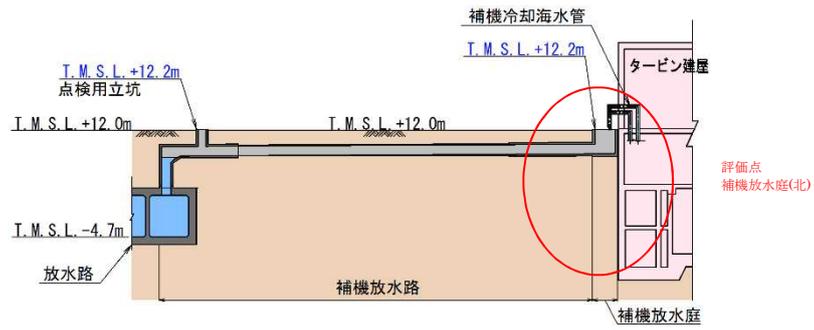


図 1.4-3 (5) 7号機放水路 (E-E 断面)

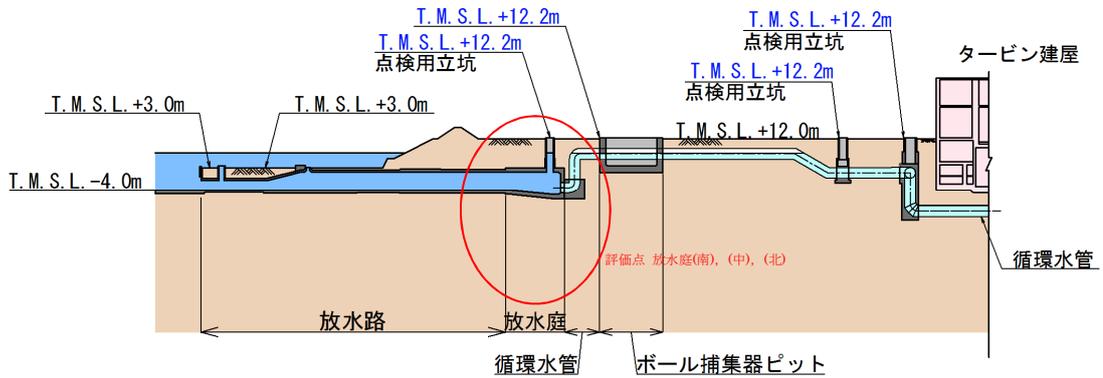


図 1.4-3 (6) 5号機放水路 (F-F 断面)

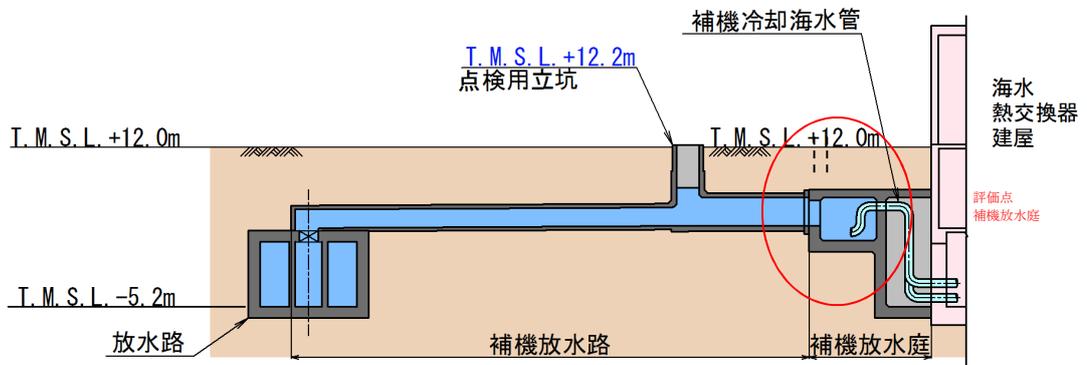


図 1.4-3 (7) 5号機放水路 (G-G 断面)

1.6 遡上解析のモデルについて

1.6 遡上解析のモデルについて

遡上解析に用いる数値計算モデルについては、平面二次元モデルを用いており、基礎方程式は非線形長波（浅水理論）に基づく。基礎方程式及び計算条件を図 1.6-1 に示す。なお、解析には基準津波の評価において妥当性を確認した遡上解析プログラム（解析コード「TSUNAMI」）を用いた。

計算領域については、対馬海峡付近から間宮海峡付近までの日本海全域である。東西方向約 1,100km、南北方向約 2,100km を設定した。

計算格子間隔については、土木学会(2016)を参考に、敷地に近づくにしたがって最大 1,440m から最小 5.0m まで徐々に細かい格子サイズを用い、津波の挙動が精度よく計算できるよう適切に設定した。敷地近傍及び敷地については、海底・海岸地形、敷地の構造物等の規模や形状を考慮し、格子サイズ 5.0m でモデル化している。なお、文献^{(1),(2)}によると「最小計算格子間隔は 10m 程度より小さくすることを目安とする」との記載があることから、格子サイズ 5.0m は妥当である。

地形のモデル化にあたっては、最新の地形データを用いることとし、海域では一般財団法人日本水路協会(2011)、一般財団法人日本水路協会(2008～2011)、深淺測量等による地形データを用い、陸域では、国土地理院(2013)等による地形データ等を用いた(表 1.6-1)。また、取水路・放水路等の諸元及び敷地標高については、発電所の竣工図等を用いた。なお、遡上域において実地形とモデル化した地形の比較を行い、実地形に概ね一致したモデル化が行われていることを確認している(図 1.6-2)。

遡上解析に用いた計算領域とその水深及び計算格子分割を図 1.6-3 に示し、津波水位評価地点の位置を図 1.6-4 に示す。

防波堤の越流および陸上の遡上を考慮し、防波堤については、水位がその天端を超える場合に本間公式(1940)を用い、発電所の護岸を遡上する場合については、相田公式(1977)を用いた。各計算方法について、図 1.6-5 に示す。

津波伝播計算の初期条件となる海底面の鉛直変位については、Mansinha and Smylie(1971)の方法によって計算した。

遡上解析のフローを図 1.6-6 に、地殻変動量の考慮について概念図を図 1.6-7 に示す。図 1.6-6 及び図 1.6-7 に示すとおり、潮位は初期条件として考慮し、地殻変動も地形に反映して遡上解析を実施している。

上記を用いた遡上解析手法及び数値解析プログラムについては、土木学会(2016)に基づき、既往津波である 1964 年新潟地震津波及び 1983 年日本海中部地震津波の再現性を確認し、津波の痕跡高と遡上解析による津波高との比から求める幾何平均 K 及び幾何標準偏差 κ が、再現性の指標である $0.95 < K < 1.05$ 、 $\kappa < 1.45$ を満足していることから妥当なものと判断した(図 1.6-8、図 1.6-9)。

■ 基礎方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - K_b \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) + \gamma_b^2 \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - K_b \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) + \gamma_b^2 \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} = 0$$

t : 時間 x, y : 平面座標
 η : 静水面から鉛直上方にとった水位変動量
 M : x 方向の線流量 N : y 方向の線流量
 h : 静水深 D : 全水深 ($D = h + \eta$) g : 重力加速度
 K_b : 水平渦動粘性係数
 γ_b^2 : 摩擦係数 ($=gn^2/D^{1.3}$), n : マニングの粗度係数

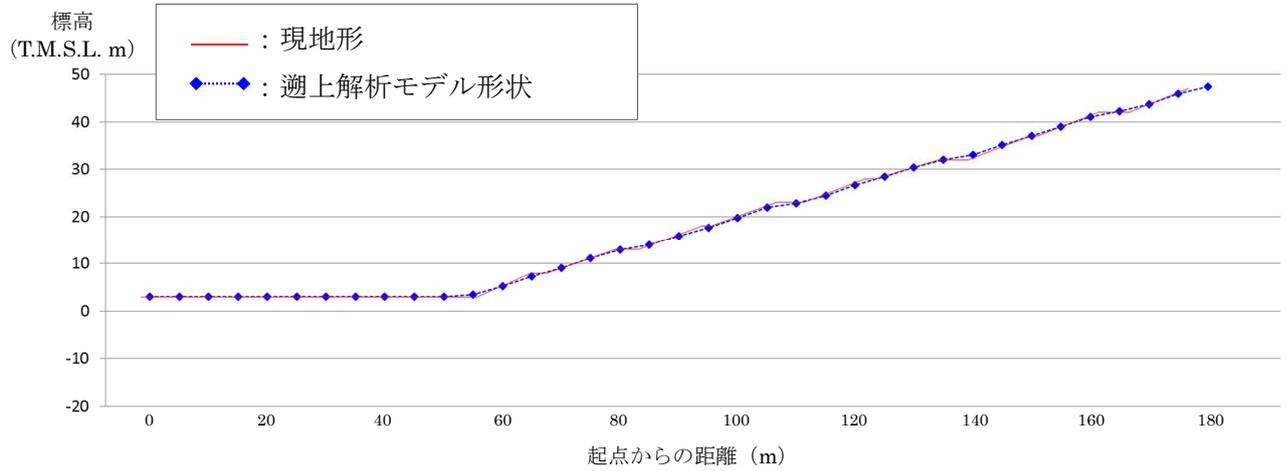
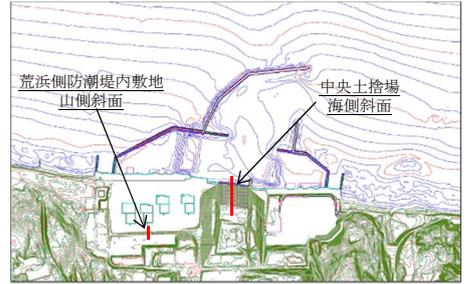
■ 計算条件

項目	計算条件
計算時間間隔	C.F.L.条件を満たすように0.1秒に設定
潮位条件	朔望平均満潮位に潮位のぼらつきを考慮
基礎方程式及び数値計算スキーム	非線形長波理論(浅水理論)に基づく後藤・小川(1982)の方法
沖側境界条件	後藤・小川(1982)の自由透過の条件
陸側境界条件	敷地周辺:(計算格子間隔80m~5m)の領域は小谷ほか(1998)の陸上遊上境界条件 それ以外は完全反射条件
越流境界条件	越流は本間公式(1940)や相田公式(1977)で考慮
海底摩擦係数	マンニングの粗度係数($n=0.03m^{-1/3}s$):土木学会(2016)
陸上摩擦係数	マンニングの粗度係数($n=0.03m^{-1/3}s$):土木学会(2016)
水平渦動粘性係数	考慮していない($K_h=0$)
初期条件	Manshinha and Smylie(1971)の方法により海底面の鉛直変位分布を求めて初期水位として与える。
計算時間	4時間(第一波が到達してから十分な時間)

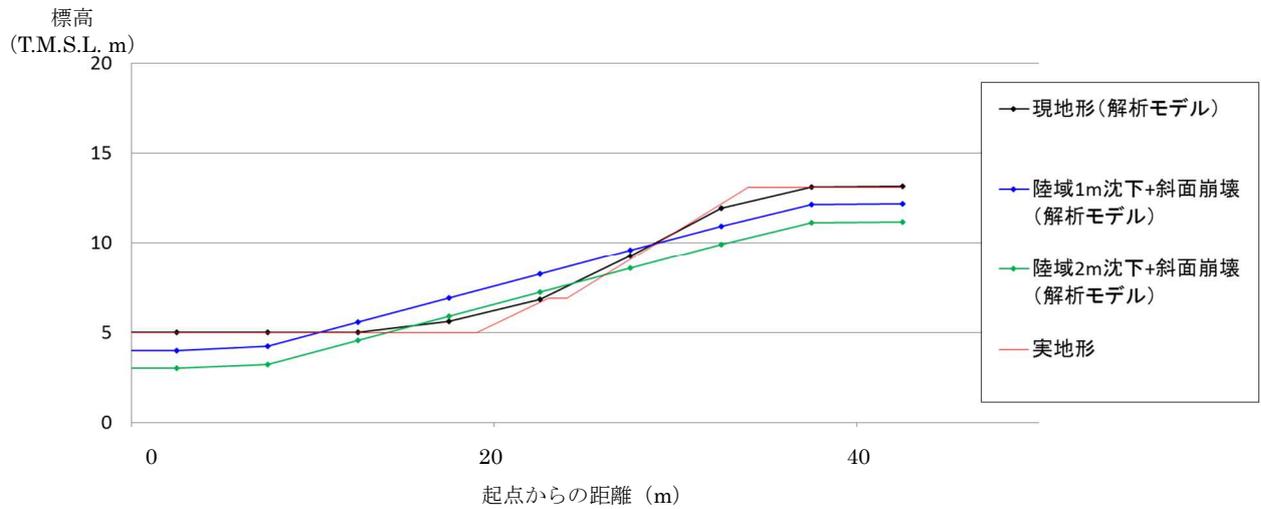
図 1.6-1 基礎方程式及び計算条件

表 1.6-1 地形データ

項目	データ
広域 海底地形	<ul style="list-style-type: none"> ➢ JTOP030v2 (2011.8) : 一般財団法人 日本水路協会 ➢ GEBCO_08 (2009.11) : IOC, IHO ➢ M7000シリーズ* (2008~2011) : 一般財団法人 日本水路協会
陸域, 発電所近傍, 港湾内	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 基盤地図5mメッシュ(2013.7) : 国土地理院 ➢ 深浅測量(2014.4) ➢ 防波堤標高測量 (2013.10) ➢ 海水貯留堰の追加



(1) 中央土捨場 海側斜面



(2) 荒浜側防潮堤内敷地 山側斜面

図 1.6-2 実地形とモデル化した地形の比較

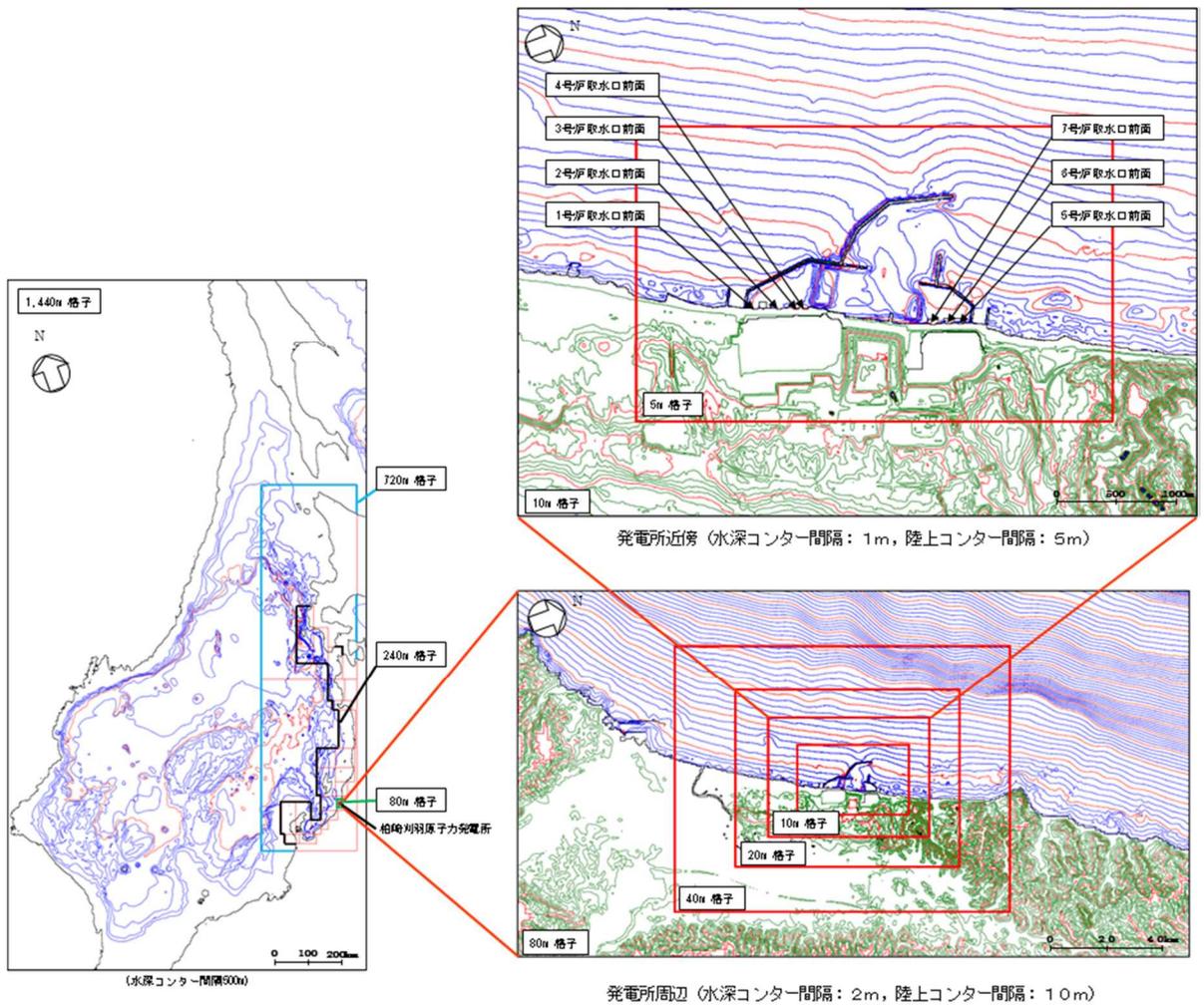


図 1.6-3 水深と計算格子分割図



図 1.6-4 津波水位評価地点

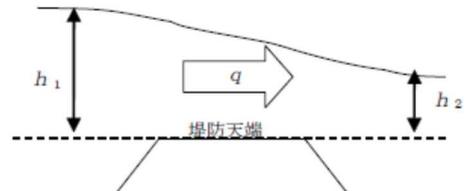
■本間公式（本間(1940)）

防波堤については、水位がその天端を超える場合に本間公式を用いて越流量を計算する。天端高を基準とした堤前後の水深を h_1 , h_2 ($h_1 > h_2$) としたとき、越流量 q は下記のとおりである。

$$q = \mu h_1 \sqrt{2gh_1} \quad h_2 \leq \frac{2}{3} h_1$$

(潜り越流)

$$q = \mu' h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad h_2 > \frac{2}{3} h_1$$



ここに、 $\mu = 0.35$, $\mu' = 2.6\mu$, 重力加速度 g

■相田公式（相田(1977)）

発電所の護岸を遡上する場合については、相田公式を用いて越流量を計算する。流量係数 C_1 を用いて、護岸内側への越流量 q は下記のとおりである。

$$q = C_1 H_1 \sqrt{g\Delta H}$$

ここに、 H_1 : 護岸上面からの水位
 ΔH : 不連続箇所での水位差
 $C_1 = 0.6$

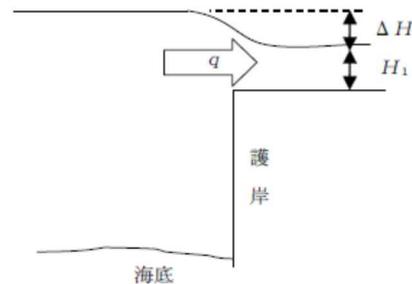


図 1.6-5 本間公式及び相田公式

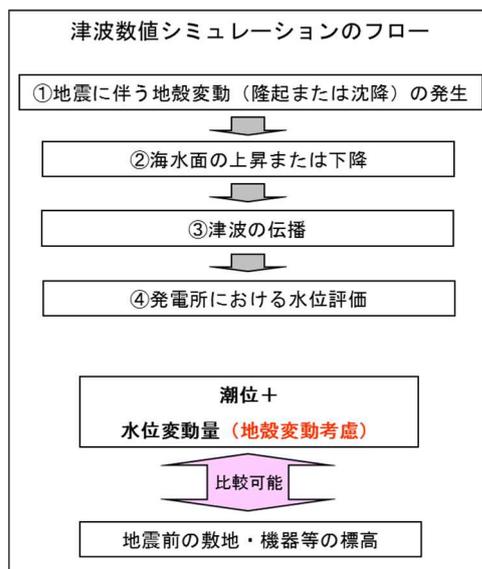
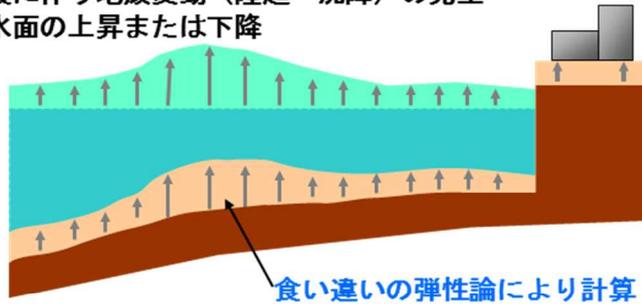


図 1.6-6 遡上解析のフロー図

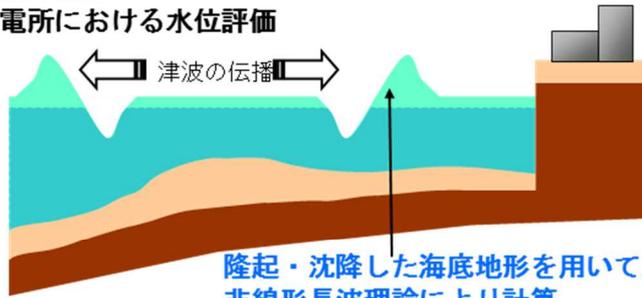
- ①地震に伴う地殻変動（隆起・沈降）の発生
- ②海水面上昇または下降



食い違いの弾性論により計算

Mansinha and Smylie(1971)

- ③津波の伝播
- ④発電所における水位評価



隆起・沈降した海底地形を用いて、
非線形長波理論により計算
浅水変形や回折も考慮

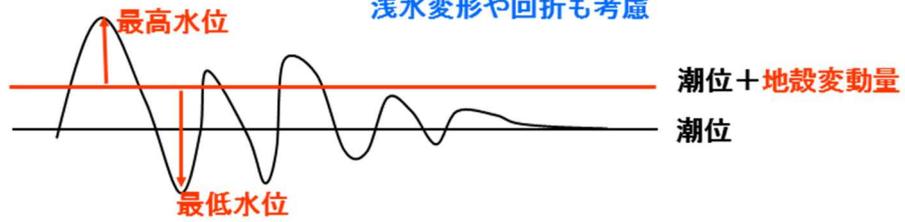
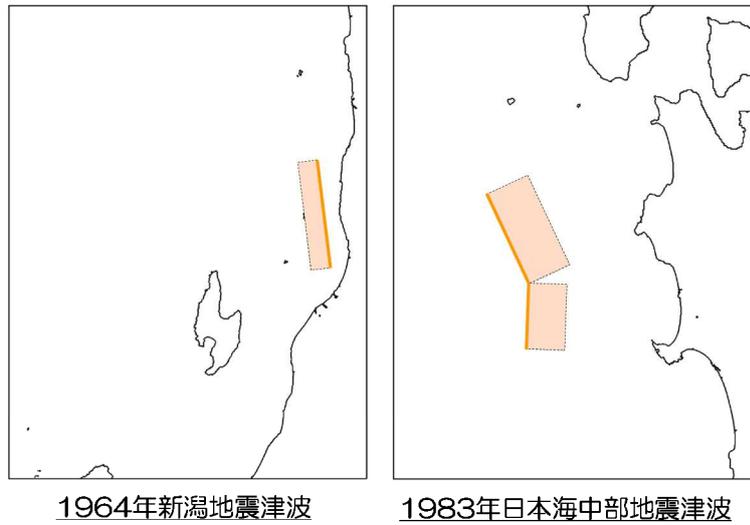


図 1.6-7 地殻変動量の概念図



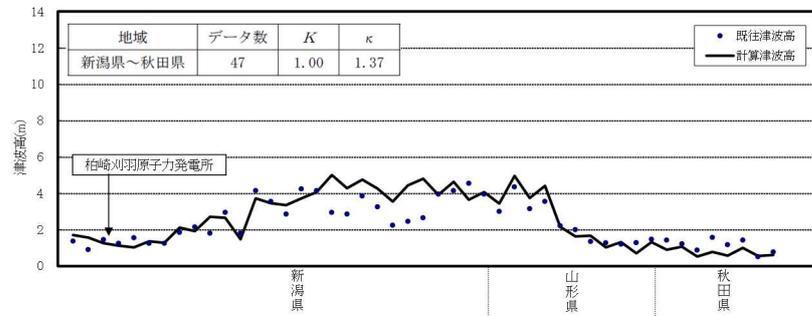
1964年新潟地震津波

1983年日本海中部地震津波

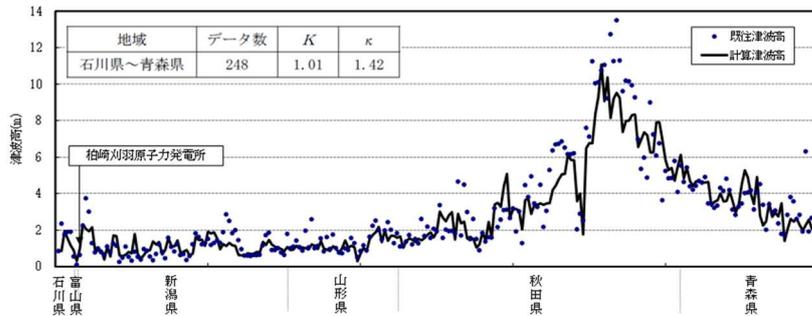
既往地震の断層モデル

	Mw	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	すべり量 D (m)	上縁深さ d (km)	走向 θ (°)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)	備考
1964年 新潟地震	7.43	65	20	3.85	0.0	194	56	90	東電 オリジナル モデル
1983年 日本海 中部地震	7.74	40	30	7.60	2.0	22	40	90	相田 (1984) Model-10
		60	30	3.05	3.0	355	25	80	

図 1.6-8 既往地震の断層モデル



1964年新潟地震津波



1983年日本海中部地震津波

図 1.6-9 既往津波の再現性

参考文献

- (1) 独立行政法人原子力安全基盤機構（2014）：確率論的手法に基づく基準津波算定手引き.
- (2) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室他（2012）：津波浸水想定の設定の手引き.

3.2 原子炉補機冷却海水ポンプの波力に対する強度評価について

3.2 原子炉補機冷却海水ポンプの波力に対する強度評価について

地震に伴う津波発生時の津波を受けた際の原子炉補機冷却海水ポンプの健全性を評価する。

(1) 評価条件

- a. 基準津波のうち、取水路の管路解析により算出された補機冷却用海水取水槽（以下「補機取水槽」という。）の流速 1.2m/s を基に、保守的に 1.5m/s と流速を設定し、原子炉補機冷却海水ポンプに作用する流体力（抗力）を算出する。
- b. 原子炉補機冷却海水ポンプに作用する流体力は、補機取水槽の位置、構造から鉛直上向きに津波荷重がポンプに作用すると仮定して、発生荷重を評価する。
- c. 流木、がれき等の影響は想定しないものとする。
- d. 原子炉補機冷却海水ポンプの建屋内設置部（据付フランジ部より上の部分）津波防護対象設備を内包する建屋及び区画として津波から防護されているため、ポンプの中で流体力を受ける範囲として、据付フランジ下部が流体力を受けるものとして評価を実施する。
- e. コラムパイプ（揚水管）については鉛直方向の津波荷重を受けにくい形状をしているため、津波荷重を考慮しない。
- f. 放水路からの津波については、補機放水庭の津波高さを考慮しても原子炉補機冷却海水系排水配管が大気開放される構造となっており、影響がないため考慮しない。

(2) 評価部位

基礎ボルト、ポンプ取付ボルトに発生する荷重及び応力を評価する。

(3) 津波による原子炉補機冷却海水ポンプに発生する流体力

据付フランジより下部に津波が影響することを想定し、流体力を検討した。原子炉補機冷却海水ポンプのポンプ取付基礎部の開口断面積で津波を受けるものと仮定し、流速を抑制する構造物（コンクリート躯体等）は無視して評価を行う。

津波発生時に作用する津波荷重は以下の式により求める。

$$q = (\rho \cdot g \cdot (h - z) + 0.5 \cdot C_d \cdot \rho \cdot u^2) / 10^6$$

q : 津波波圧 (N/mm²)

C_d : 抗力係数 (1.0)

ρ : 密度 (1026kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²) (9.80665)

h : 津波高さ (m)

z : 据付フランジの高さ (m)

u : 流速 (m/s)

津波がポンプ取付基礎部の開口断面積 A_f に生じた際の津波荷重 F_f は次式より求める。

$$F_f = q \cdot A_f$$

F_f : 津波荷重 (突き上げ) (N)

A_f : 開口断面積(mm²)

図 3.2-1 に示すようにポンプ取付基礎部の開口断面に津波荷重が作用するとして評価する。

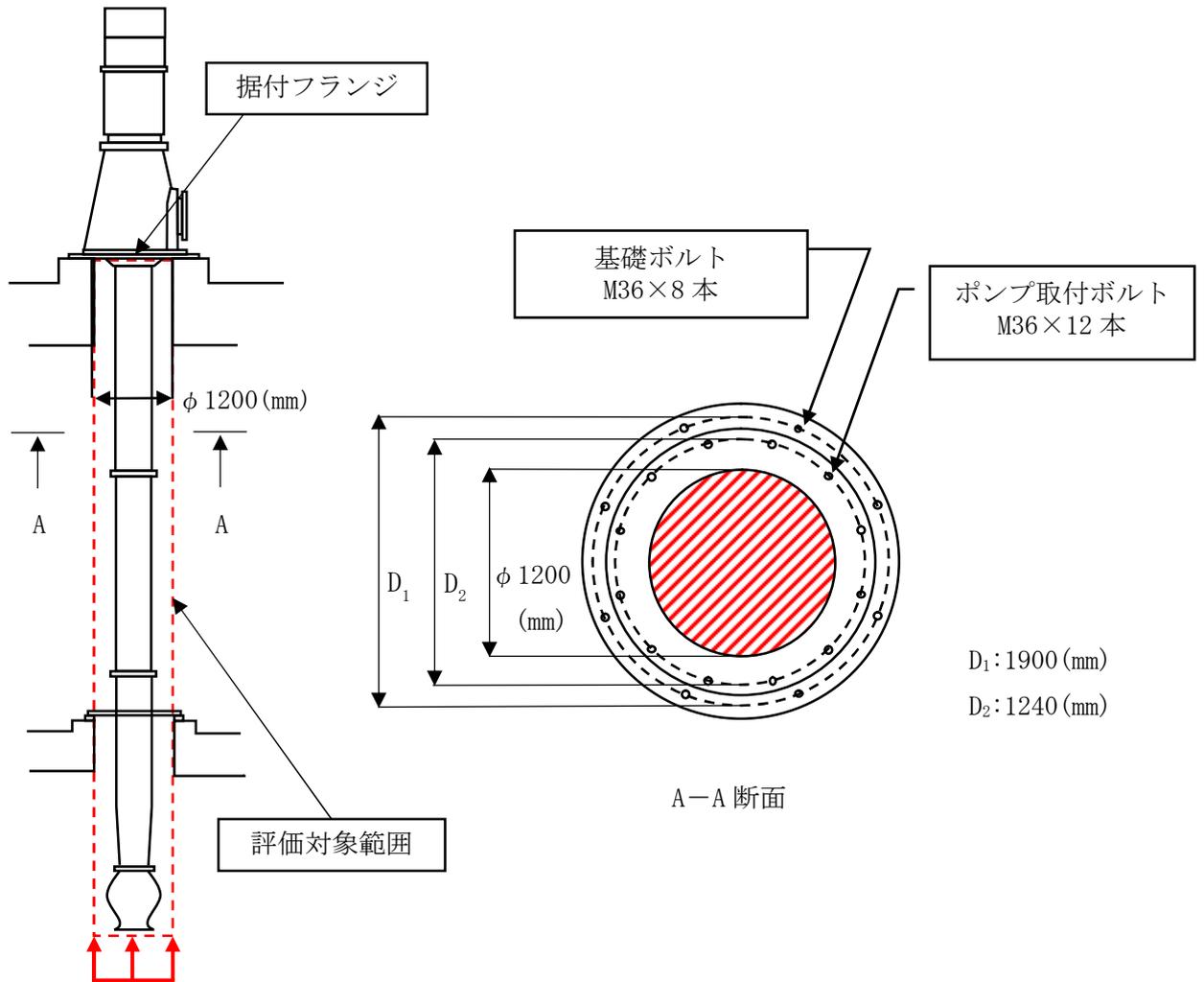


図 3.2-1 ポンプへの津波作用範囲

(4) 評価対象に作用する荷重と応力

ポンプ取付基礎部に津波時の流速 1.5m/s で流体力（抗力）が作用する場合の津波荷重 F_f は表 3.2-1 となる。

$$F_f = (1026 \times 9.80665 \times (9.000 - 3.950) + 0.5 \times 1.0 \times 1026 \times 1.5^2) / 10^6 \times 1130973 \\ = 58772 \text{ (N)}$$

表 3.2-1 津波襲来時発生する抗力（突き上げ）

開口断面積 A_f (mm ²)	1130973
津波荷重（突き上げ） F_f (N)	58772

(5) 据付フランジ部に発生する荷重

原子炉補機冷却海水ポンプの据付フランジ部は基礎ボルト，ポンプ取付ボルトによって建屋床面に固定されている。そのため，評価条件を以下の通りとし，評価を行う。

a. 据付フランジ部の基礎ボルトの評価

据付フランジ部に鉛直上向きの津波荷重を受けた際の据付フランジ部の基礎ボルトの引張り応力を算出する。基礎ボルトは図 3.2-2 に示すように円周上に配置されてるため，8本のボルトで荷重を受け持つものとして発生応力を算出する。

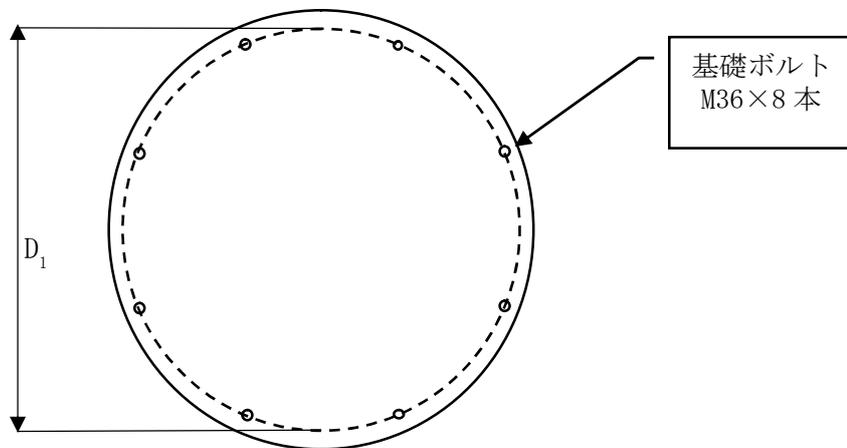


図 3.2-2 原子炉補機冷却海水ポンプ基礎ボルト配置

基礎ボルトに発生する引張り応力 σ_1 は次式で求める。

$$\sigma_1 = F_f / Ab_1$$

A : 基礎ボルト断面積 (mm²)

b₁ : 基礎ボルト本数

基礎ボルトは M36, ボルト本数 8 本であり, 引張り応力 σ_1 は以下となる。

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= 58772 / ((\pi / 4) \times 36^2 \times 8) \\ &\approx 7.3 \text{ (MPa)} \rightarrow 8.0 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

表 3.2-2 据付フランジ部の基礎ボルト 1 本あたりに発生する引張り応力

基礎ボルト材質	
基礎ボルトに発生する引張り応力 (MPa)	8

b. 据付フランジ部のポンプ取付ボルトの評価

据付フランジ部に鉛直上向きの津波荷重を受けた際の据付フランジ部のポンプ取付ボルトの引張り応力を算出する。ポンプ取付ボルトは図 3.2-3 に示すように円周上に配置されるため, 12 本のボルトで荷重を受け持つものとして発生応力を算出する。

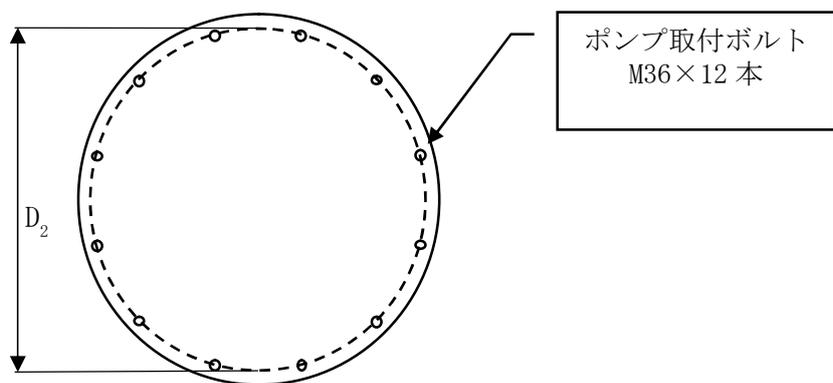


図 3.2-3 原子炉補機冷却海水ポンプ, ポンプ取付ボルト配置

ポンプ取付ボルトに発生する引張り応力 σ_2 は次式で求める。

$$\sigma_2 = F_f / Ab_2$$

A : ポンプ取付ボルト断面積 (mm²)

b₂ : ポンプ取付ボルト本数

ポンプ取付ボルトは M36, ボルト本数 12 本であり, 引張り応力 σ_2 は以下となる。

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= 58772 / ((\pi / 4) \times 36^2 \times 12) \\ &\approx 4.9 \text{ (MPa)} \quad \rightarrow \quad 5.0 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

表 3.2-3 据付フランジ部のポンプ取付ボルト 1 本あたりに発生する引張り応力

ポンプ取付ボルト材質	
ポンプ取付ボルトに発生する引張り応力 (MPa)	5

(6) 評価概要

鉛直上向きの津波荷重 (流速 1.5m/s) において, 原子炉補機冷却海水ポンプに発生する応力は許容応力以下であり, ポンプの健全性は確保されると評価する。評価結果を表 3.2-4 に示す。

表 3.2-4 評価結果一覧

評価部位	材料	項目	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
基礎ボルト		引張り	8	
ポンプ取付ボルト		引張り	5	

津波浸入時の原子炉補機冷却海水ポンプへの圧力緩和と補機取水槽内の海水流向について

(1) 取水路並びに補機取水路への津波浸入時、図 3.2-参 1-1 に示すとおり点検用立坑があり、津波の押し波時の圧力を逃がせる構造である。また、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。更に、ポンプコラムパイプ（揚水管）は引き波時にも海水貯留堰設置により、図 3.2-参 1-2 に示すとおりポンプコラムパイプ呑口を海水水位が下回ることがないことから、ポンプ内へ津波浸入に伴う過大な圧縮空気が混入しづらい構造である。

取水口から補機取水槽まで全長 150m 以上あり、津波浸入時の管路解析結果は補機取水槽部において流速 1.2m/s と比較的緩やかであること。また、海水水位がポンプ呑口を下回らないことから、津波で押し込まれた際は補機取水槽内の水面が上昇し、ポンプに対して鉛直上向きに作用することから、ポンプコラムパイプ（揚水管）へ横からの津波荷重を考慮する必要はない。

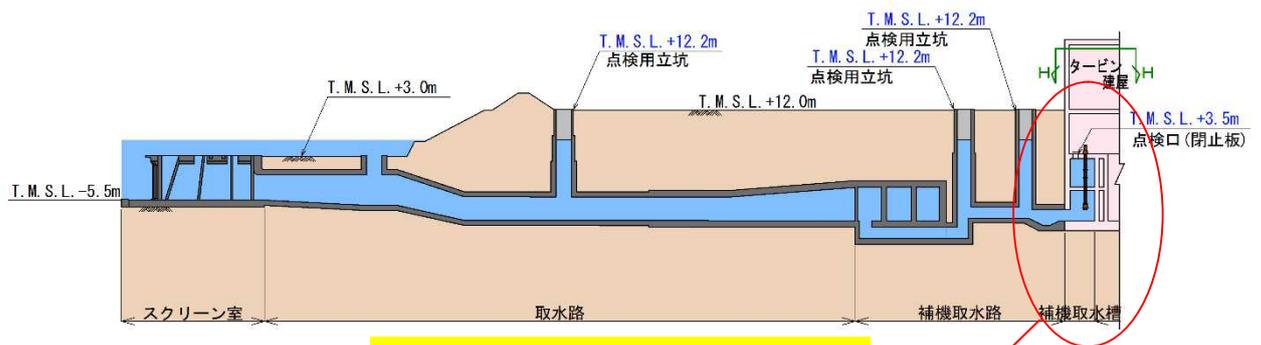


図 3.2-参 1-1 7号機取水路（断面）

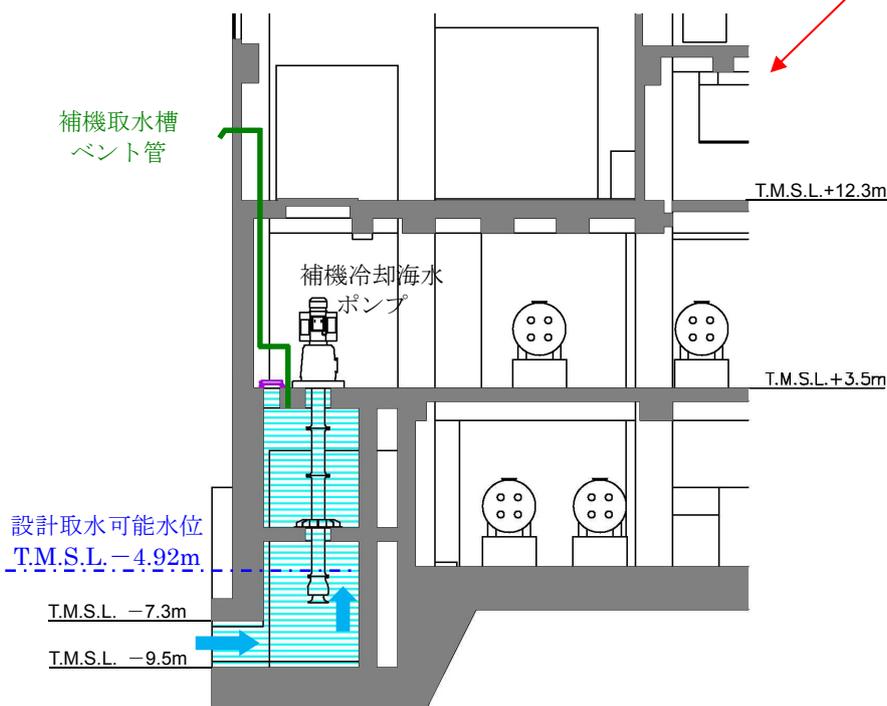


図 3.2-参 1-2 7号機補機取水槽（断面）

4.2 漂流物による影響確認について

4.2 漂流物による影響確認について

(1) 取水口付近の漂流物に対する通水性確保

基準津波により漂流物となる可能性がある施設・設備等が，取水口あるいは取水路を閉塞させ，非常用海水冷却系（原子炉補機冷却海水系）に必要な通水性に影響を及ぼす可能性について確認した。確認のフローを図 4.2-1 に，また確認の結果を以降に示す。

なお，確認の条件として，漂流物化の検討等の対象範囲（津波の遡上域）や漂流物の漂流の様相（漂流の向き，速度等）に有意な影響を与える可能性が考えられる防波堤及び荒浜側防潮堤の状態については，津波影響軽減施設あるいは津波防護施設として位置付けているものではないことから，健全な状態に加え，それらの存在が非保守側の効果を持つ可能性が想定される場合には，地震等により損傷した状態も考慮した。

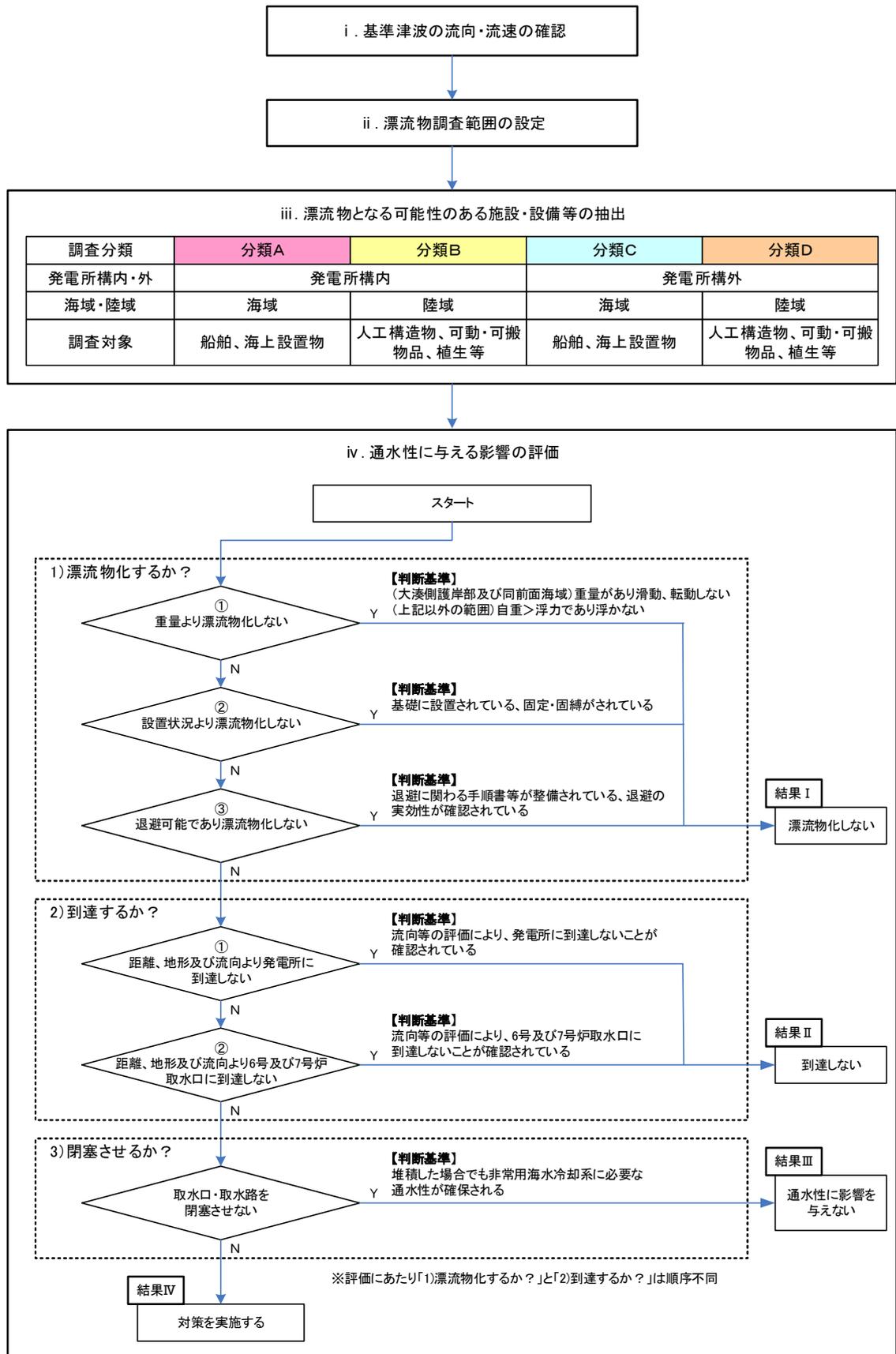


図 4.2-1 漂流物影響確認フロー

a. 基準津波の流向及び流速の確認

基準津波 1～3 の波源を図 4.2-2 に、流向及び流速を図 4.2-3 に示す。

「日本海東縁部に想定される地震に伴う津波」と「敷地周辺の海底地すべりに伴う津波」の「重畳津波」である基準津波 1 は、発電所の西方より襲来し、地震発生約 15 分後に敷地前面に到達する。港湾内へは、まず北西の港湾口より引き波として進入し、約 9 分後（地震発生約 24 分後）に寄せ波に転じ、その約 15 分後（地震発生約 39 分後）に再び引き波に転ずる。

「日本海東縁部に想定される地震に伴う津波」である基準津波 2 は、発電所の北西より襲来し、地震発生約 30 分後に敷地前面に到達する。港湾内へは、港湾口より寄せ波として進入し、約 9 分後（地震発生約 39 分後）に引き波に転じ、その約 27 分後（地震発生約 66 分後）に再び寄せ波に転ずる。

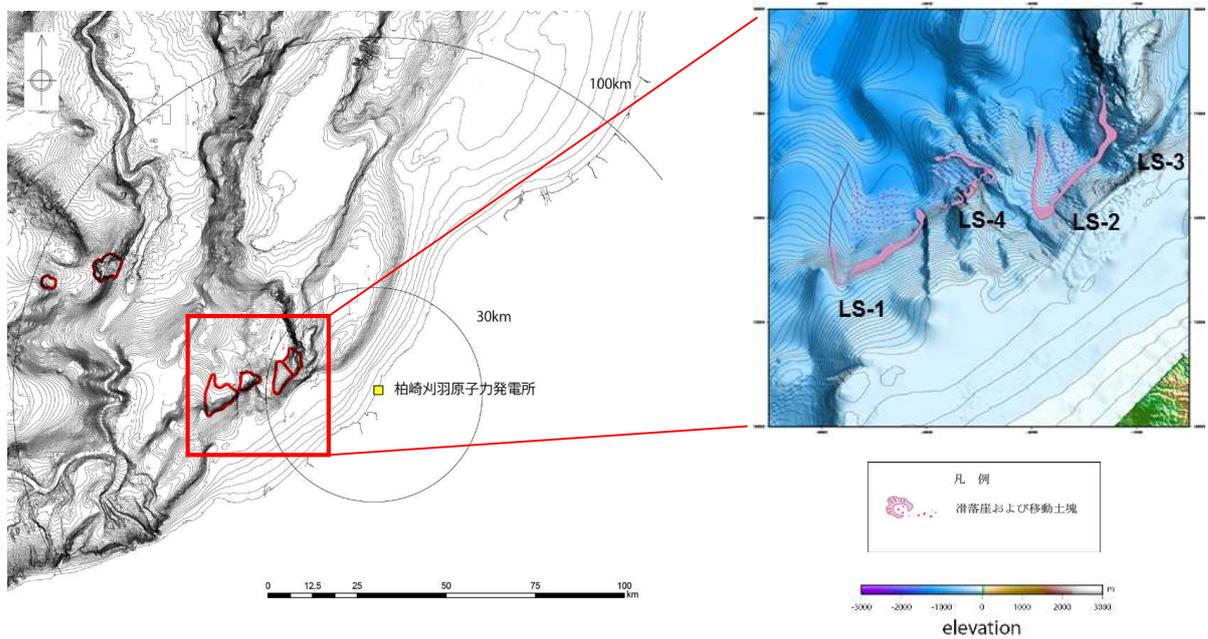
また、「海域活断層に想定される地震に伴う津波」と「敷地周辺の海底地すべりに伴う津波」の「重畳津波」である基準津波 3 は、発電所の西方より襲来し、地震発生約 9 分後に敷地前面に到達する。港湾内へは、港湾口より寄せ波として進入し、約 6 分後（地震発生約 15 分後）に引き波に転じ、その約 12 分後（地震発生約 27 分後）に再び寄せ波に転ずる。

港湾内の主たる流れは基準津波 1～3 でいずれも、港湾口からの寄せ波時の海水の流入、引き波時の流出に応じ、1 号～4 号機が設置された荒浜側と 5 号～7 号機が設置された大湊側で方向の異なる二つの渦が生じる形となる。

なお、以上に示した流向及び流速は、発電所港湾施設である防波堤が健全という条件下で得られたものであり、後段に示す「通水性に与える影響の評価」では前述のとおり、防波堤の存在が非保守側の効果を持つ可能性が想定される場合には、地震等による防波堤の損傷を考慮した影響確認を行っている。

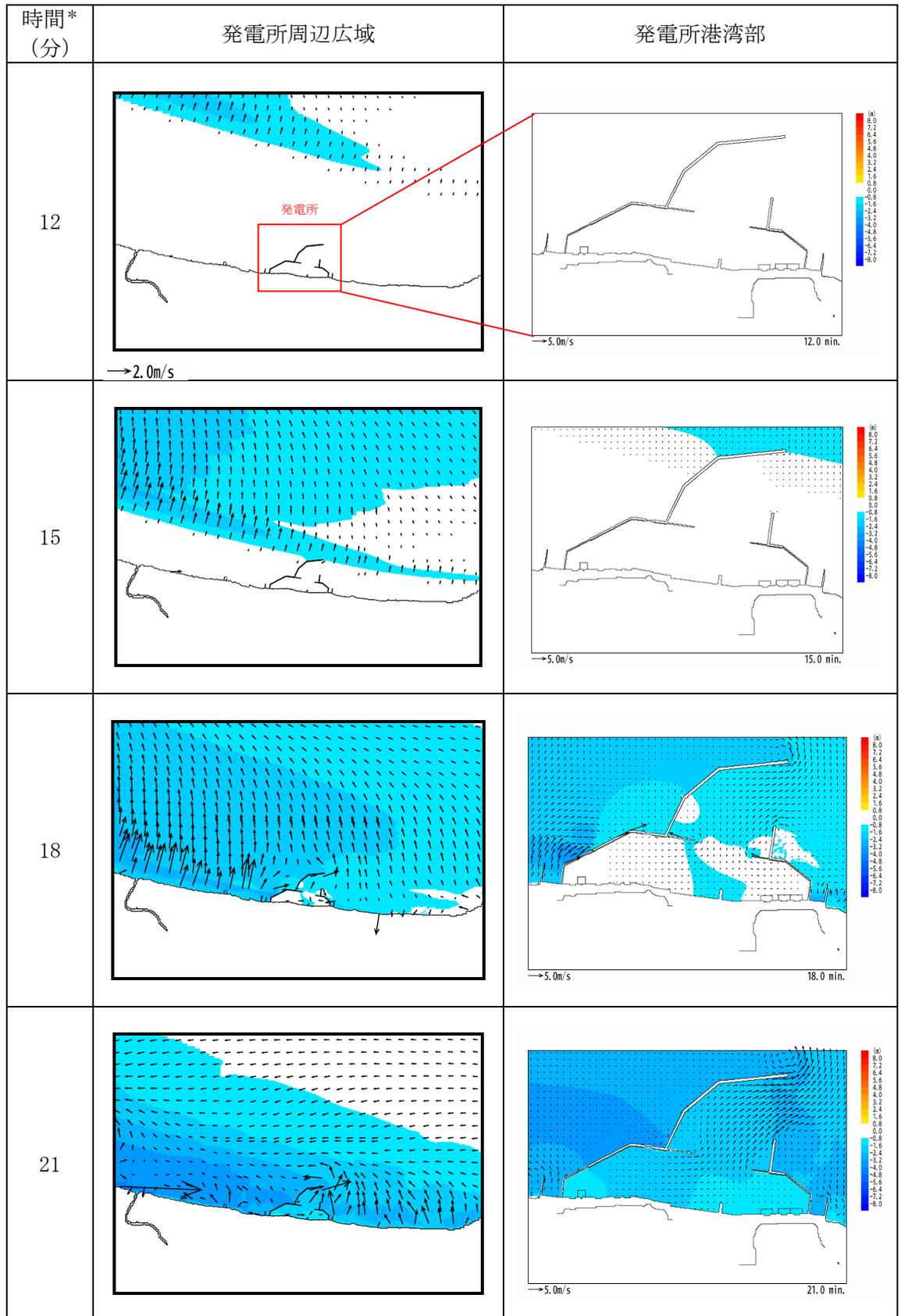


基準津波の想定波源図



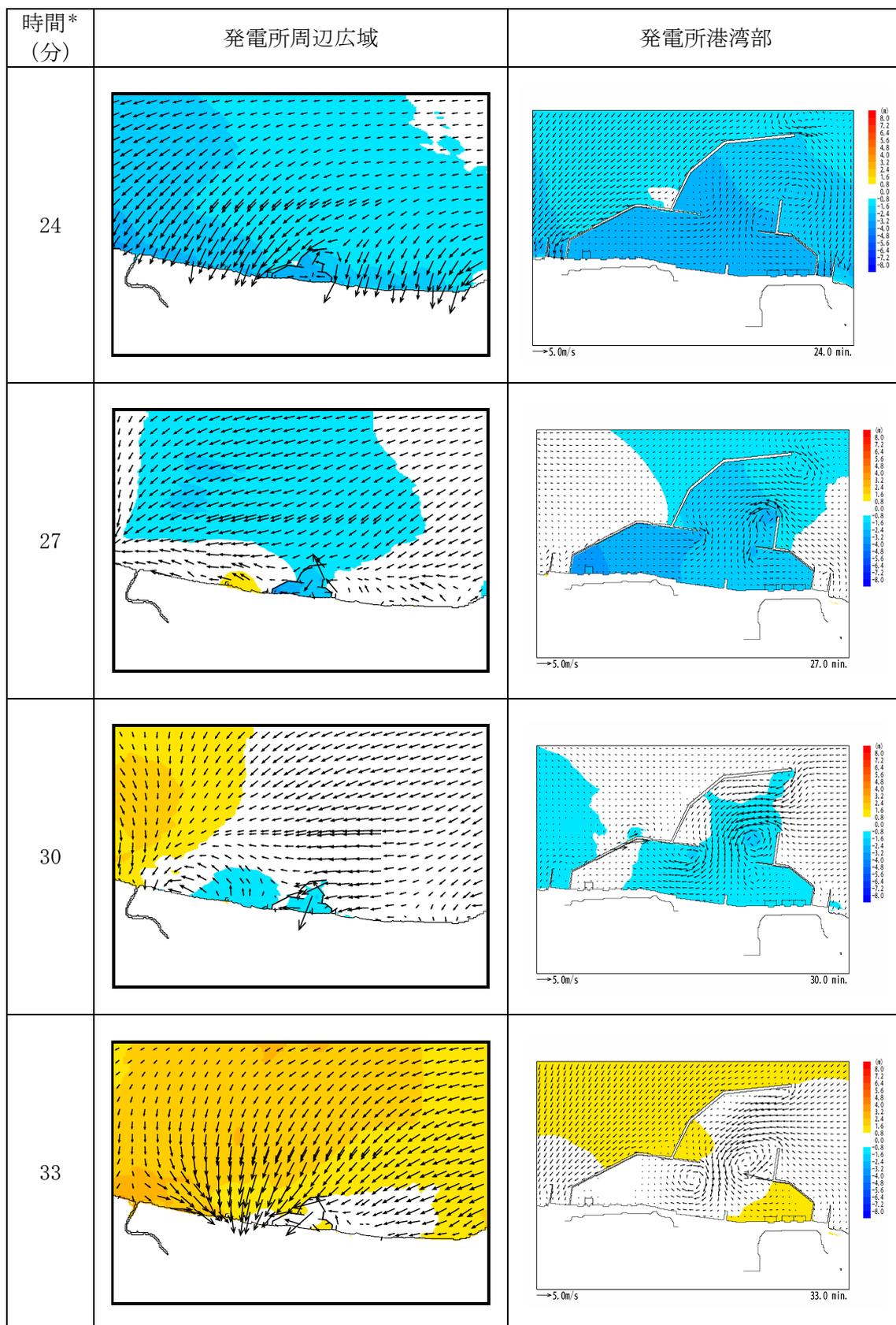
海底地すべり地形の位置図

図 4.2-2 基準津波の波源



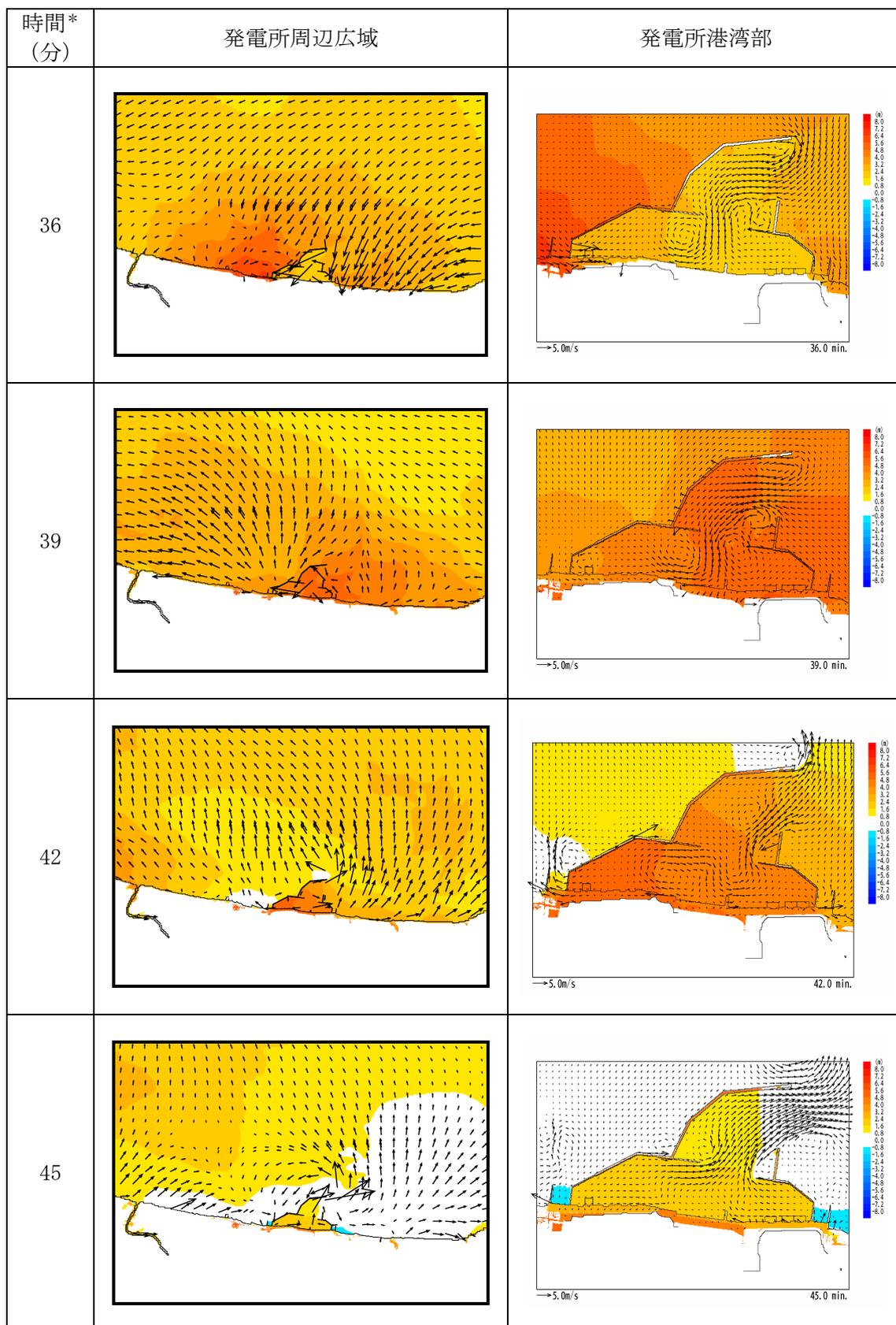
注記*：津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-3 基準津波の流速ベクトル（基準津波 1）



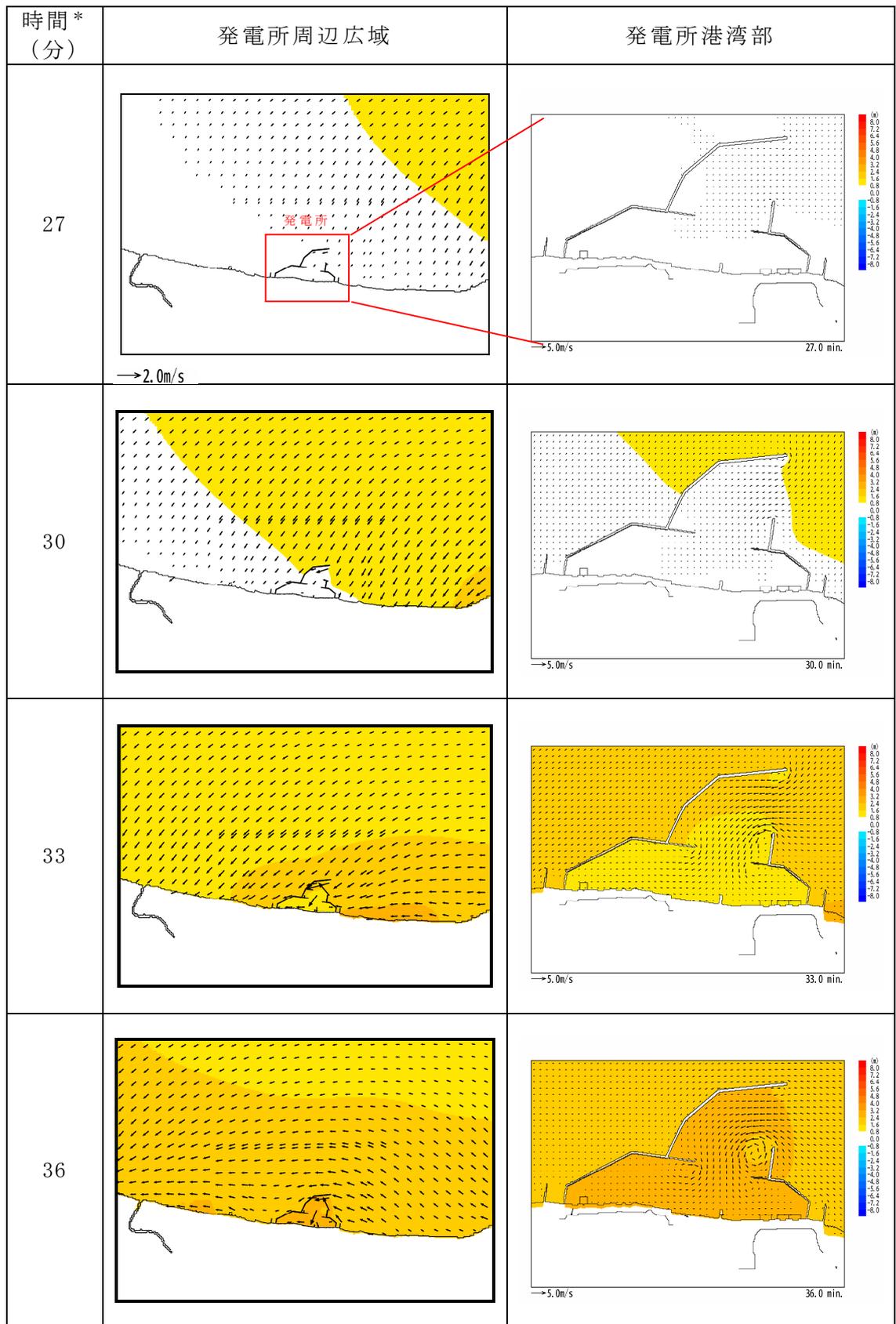
注記*：津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-3 基準津波の流速ベクトル（基準津波 1）



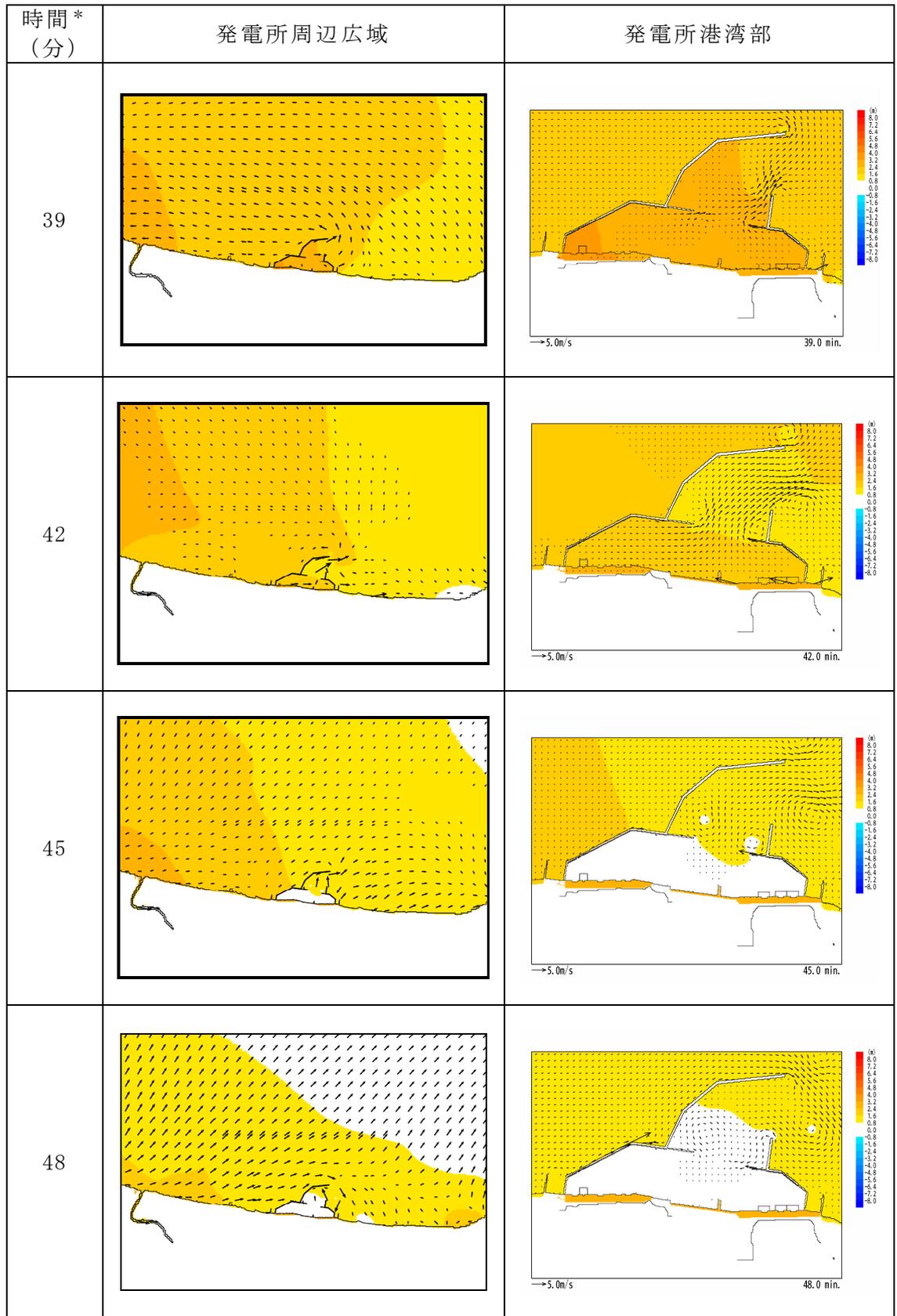
注記*：津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-3 基準津波の流速ベクトル（基準津波 1）



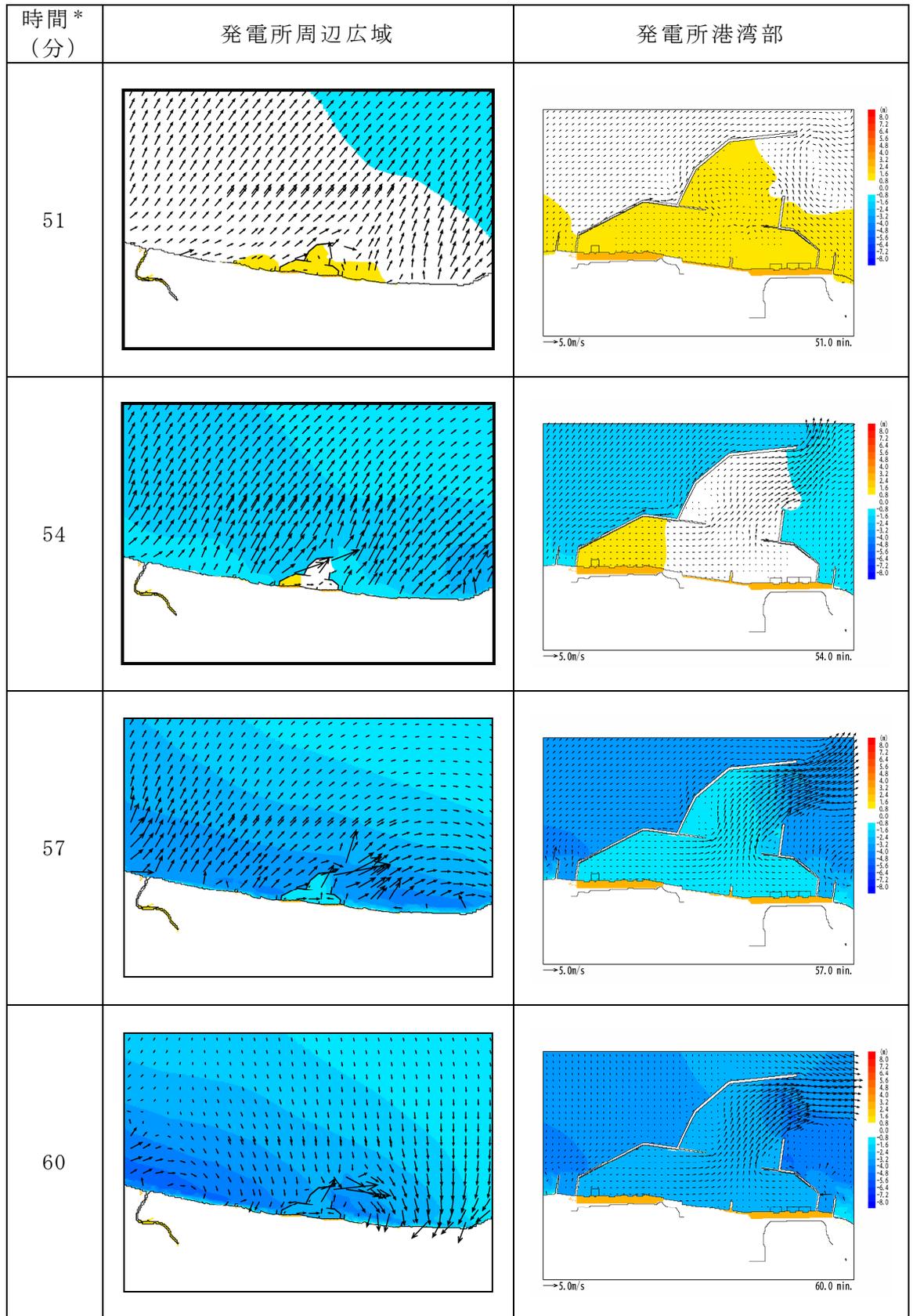
注記*：津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-3 基準津波の流速ベクトル（基準津波 2）



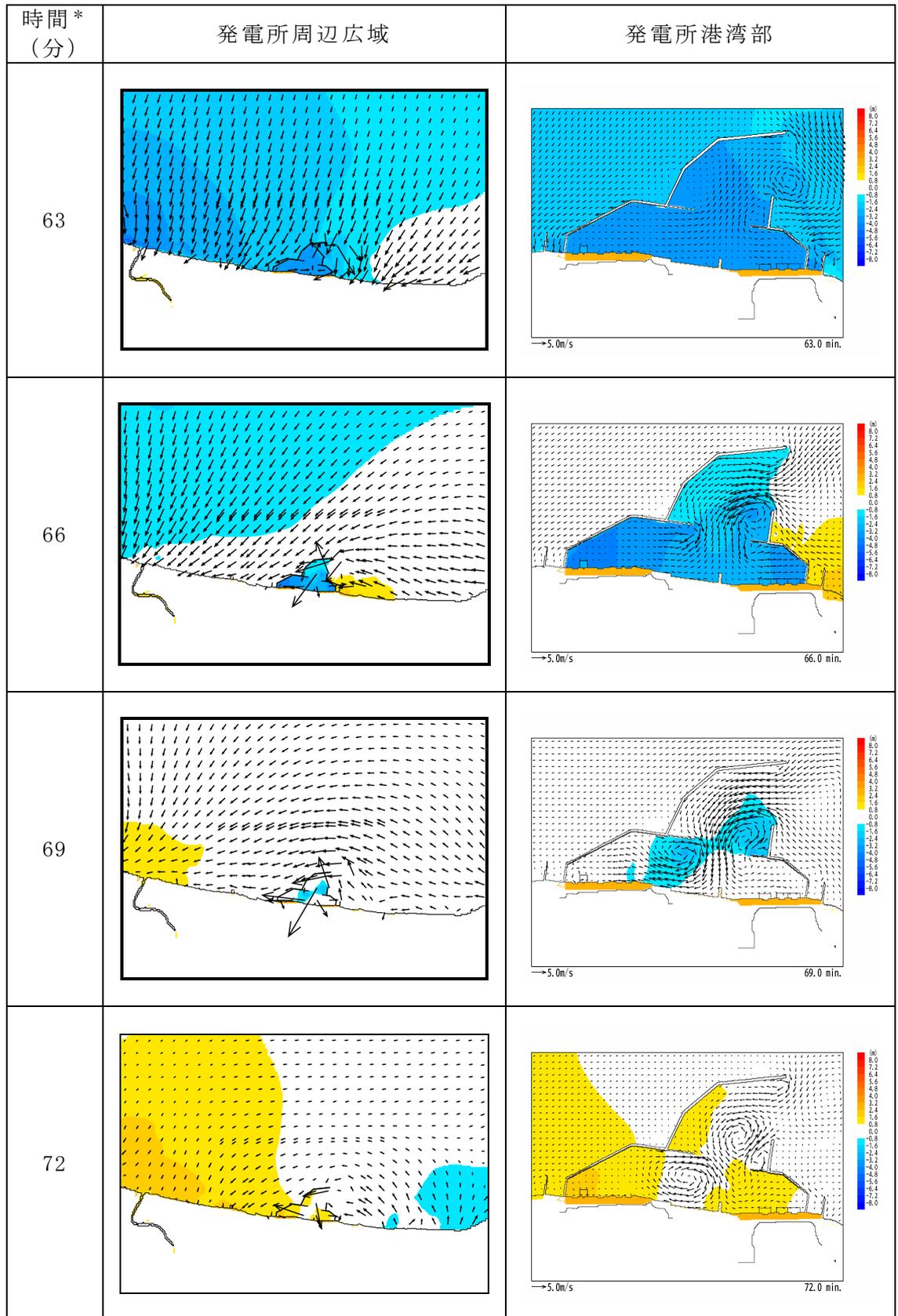
注記* : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-3 基準津波の流速ベクトル (基準津波 2)



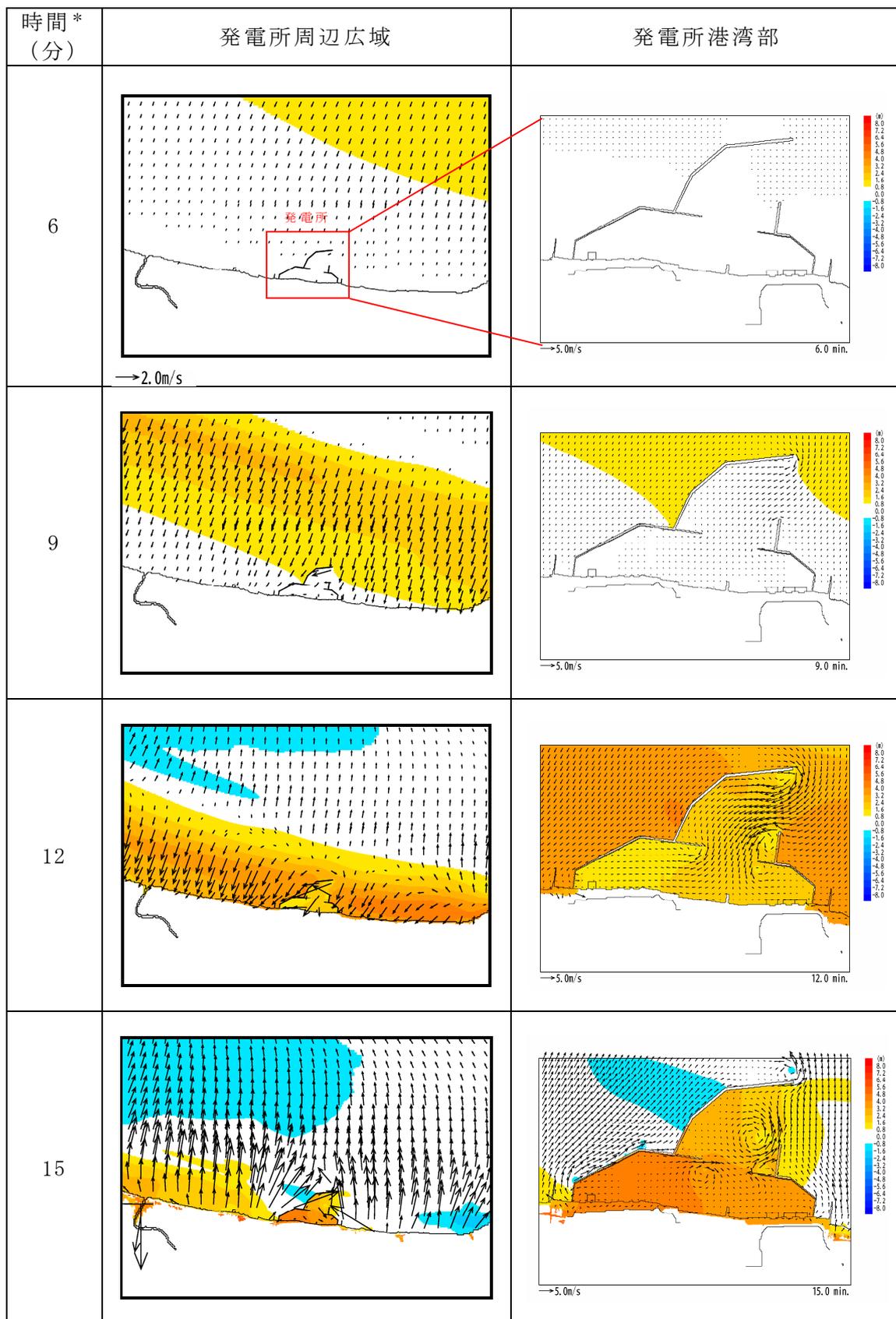
注記* : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-3 基準津波の流速ベクトル (基準津波 2)



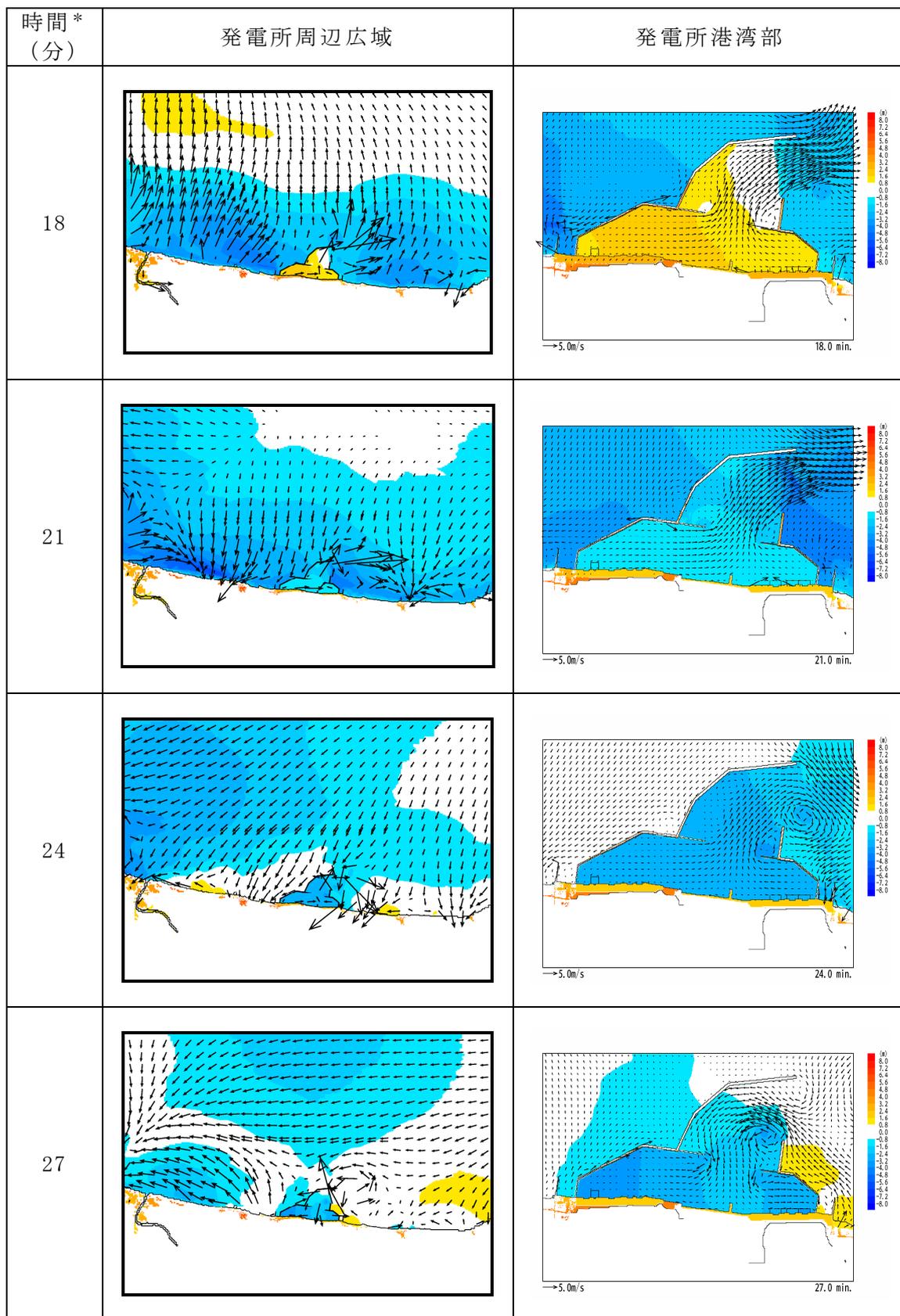
注記* : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-3 基準津波の流速ベクトル (基準津波 2)



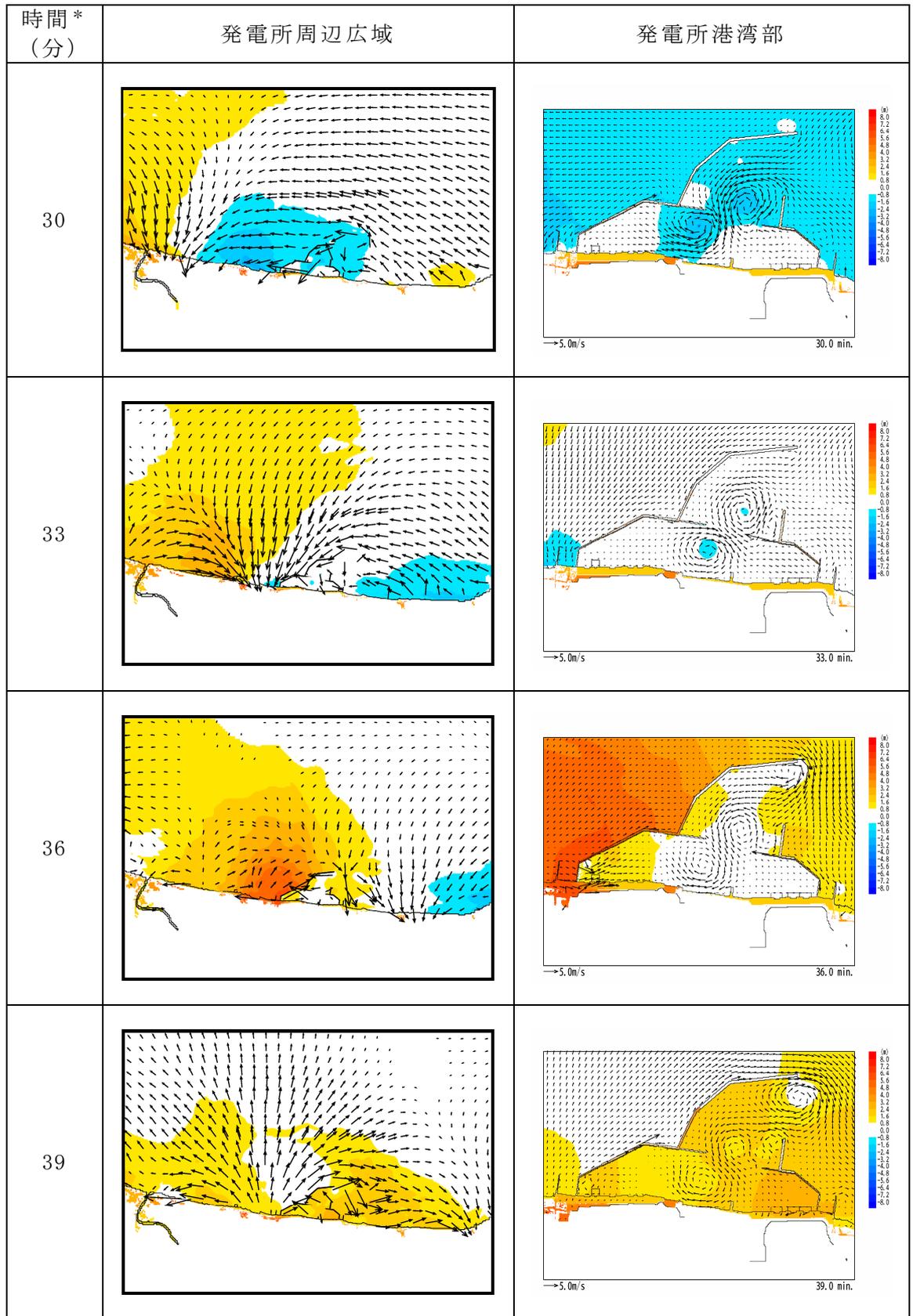
注記*：津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-3 基準津波の流速ベクトル（基準津波 3）



注記* : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-3 基準津波の流速ベクトル (基準津波 3)



注記* : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-3 基準津波の流速ベクトル (基準津波 3)

b. 漂流物調査範囲の設定

基準津波 1～3 について、図 4.2-4 に示す沿岸域の 6 地点及び汀線の 4 地点において、水位、流向、流速の時系列データを抽出した。結果を図 4.2-5 に示す。

図 4.2-5 より、基準津波 3 の第二波を除き、津波流速は最大で 2.0m/s 程度、流向は寄せ波と引き波とではほぼ向きが反転し、その反転の周期は最長で 20 分程度である。一方、基準津波 3 の第二波は、最大流速は 3m/s 程度であるが、反転の周期は 8 分程度である。したがって、津波の（寄せ波）1 波による水の移動量は、基準津波 3 の第二波を除く津波の最大流速が保守的に最長となる反転の周期の間継続すると仮定することにより、最大で約 2.4km ($2.0\text{m/s} \times 20 \text{分}$) と評価できる。また、沿岸部における汀線方向の流向、流速についても確認を行っているが、結果は上記の評価に包含されている。(図 4.2-6)

海域における漂流物調査範囲は、保守的な想定として、引き波による反対方向の流れを考慮せず、寄せ波の 2 波分が最大流速で一定方向に流れるものとし、この際の移動量 4.8km を安全側に切り上げた発電所周辺 5km 圏内と設定した。また陸域については、基準津波の遡上域を考慮し、この 5km 圏内における海岸線に沿った標高 10m 以下 (図 4.2-7) の範囲と設定した (発電所構内は、荒浜側防潮堤の地震による損傷の可能性も想定し、同防潮堤の内側も含む)。

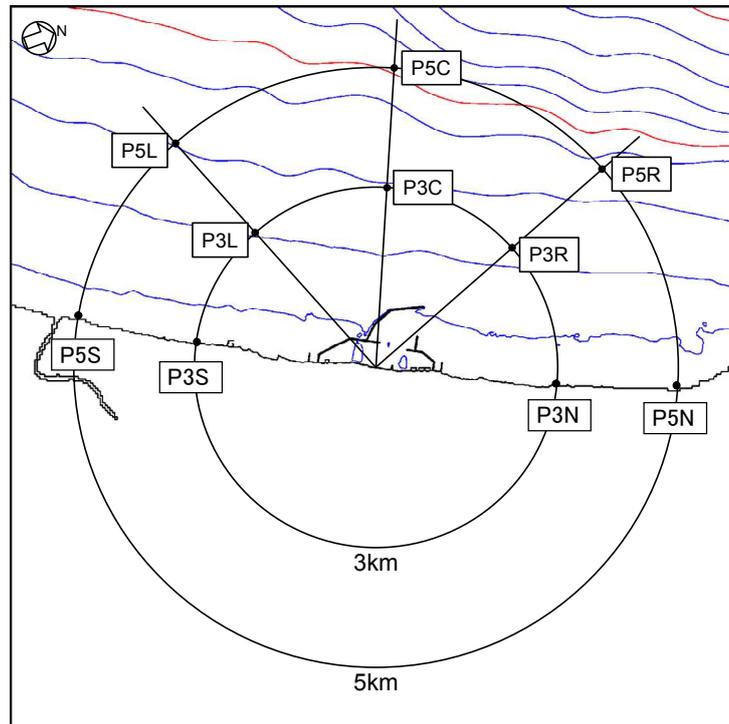


図 4.2-4 水位、流向、流速の抽出地点

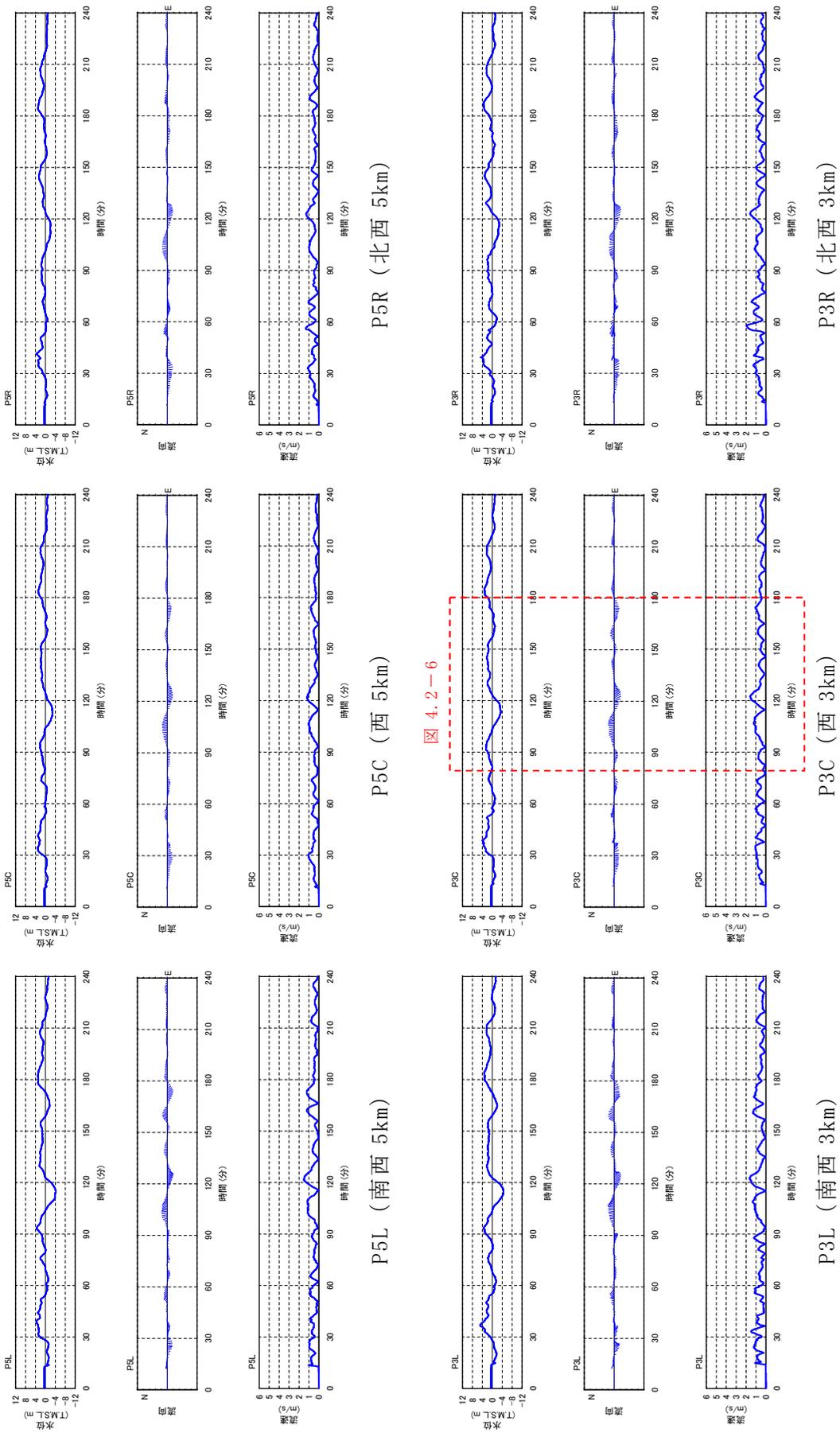


図 4.2-5 抽出地点における水位，流向，流速（基準津波 1）

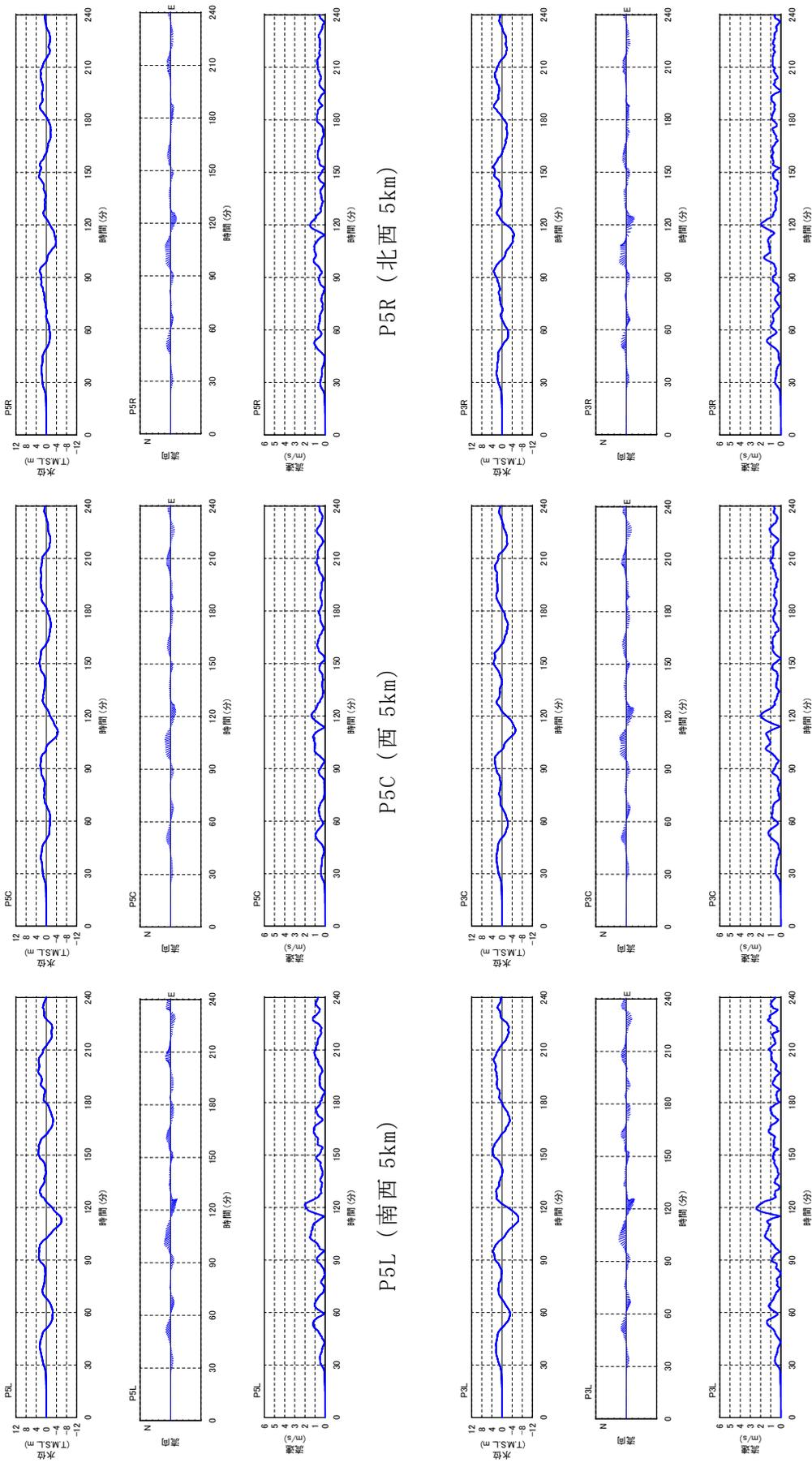


図 4.2-5 抽出地点における水位，流向，流速（基準津波 2）

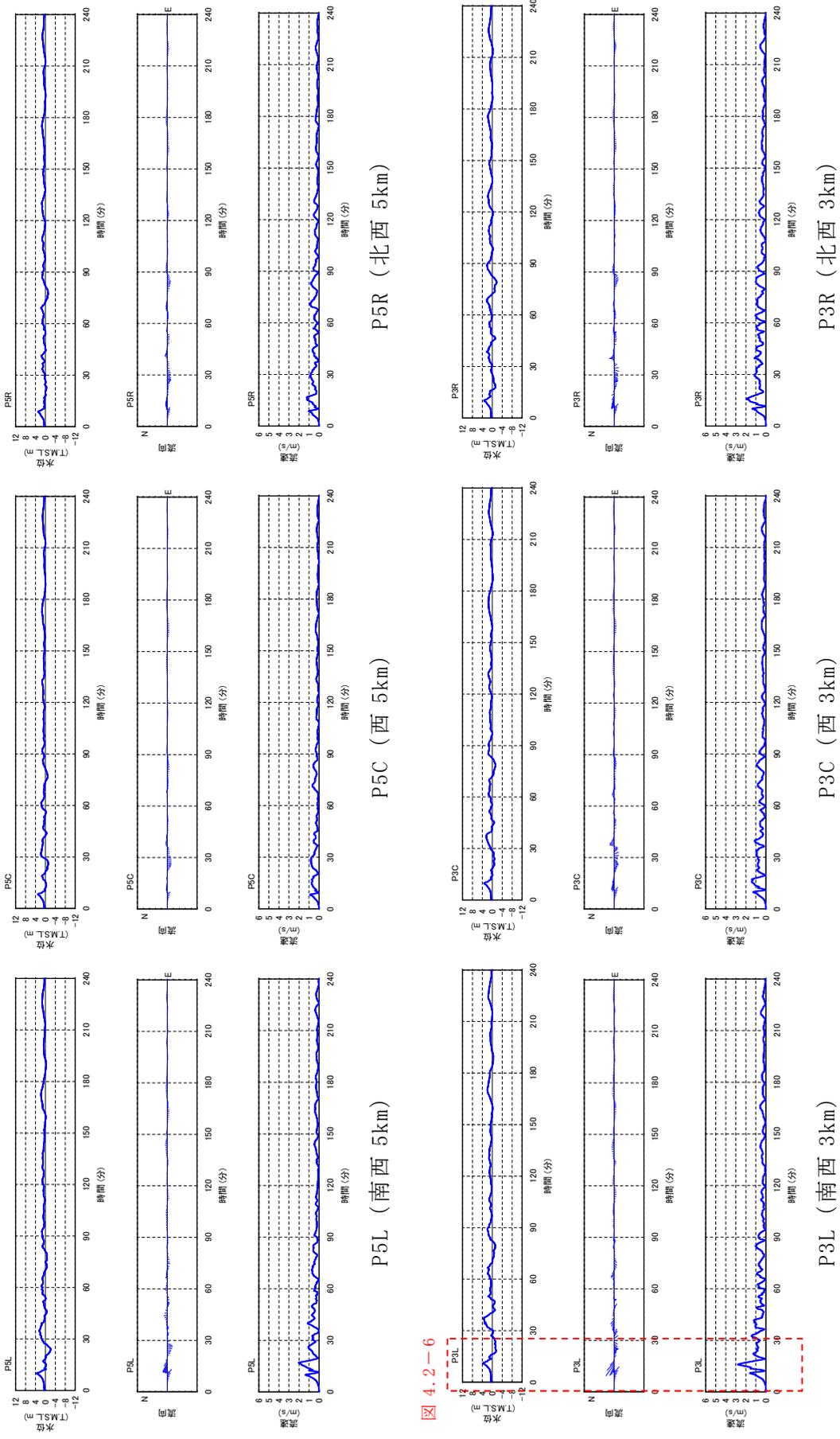
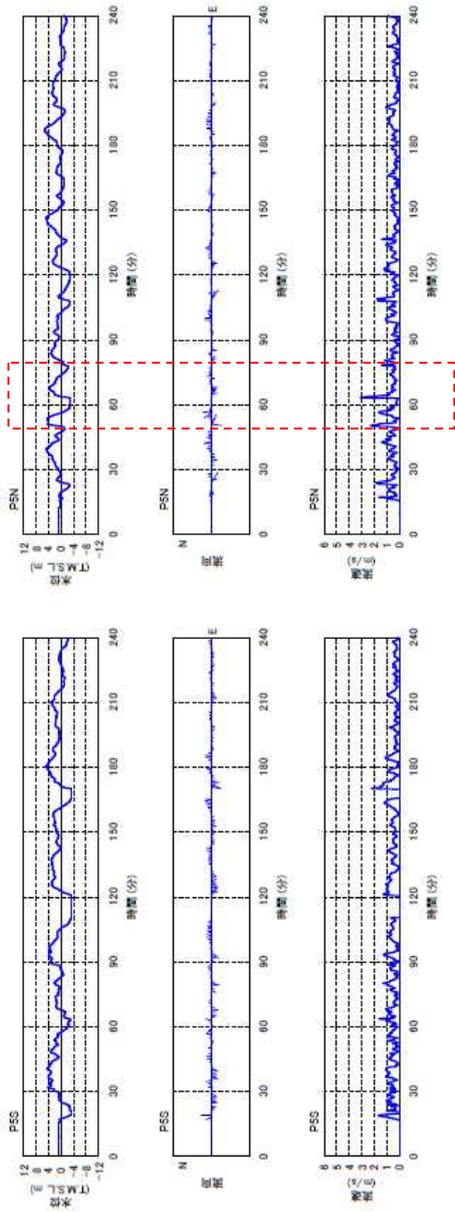


図 4.2-6

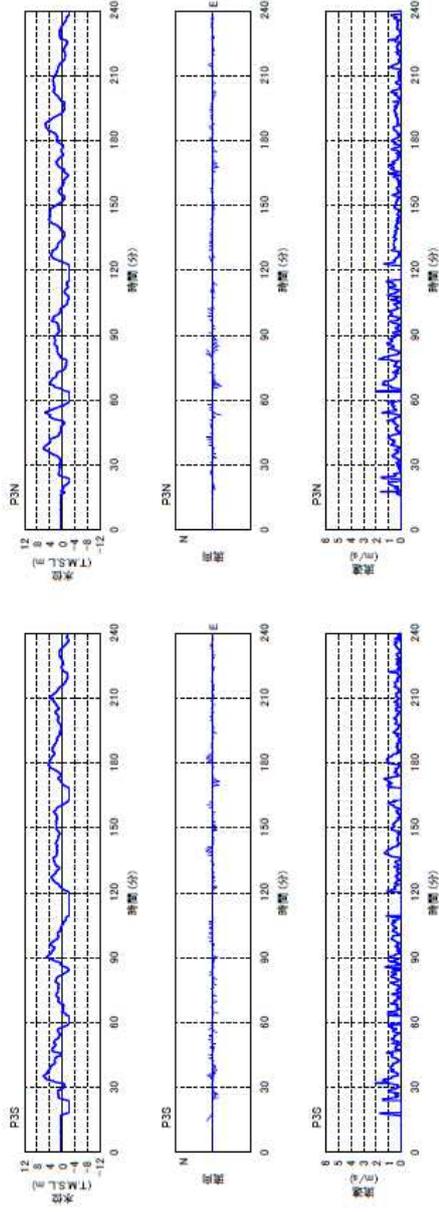
図 4.2-5 抽出地点における水位，流向，流速（基準津波 3）

図 4.2-6



P5S (南 5km)

P5N (北 5km)



P3S (南 3km)

P3N (北 3km)

図 4.2-5 抽出地点における水位、流向、流速 (基準津波 1 における沿岸部汀線方向)

図 4.2-6

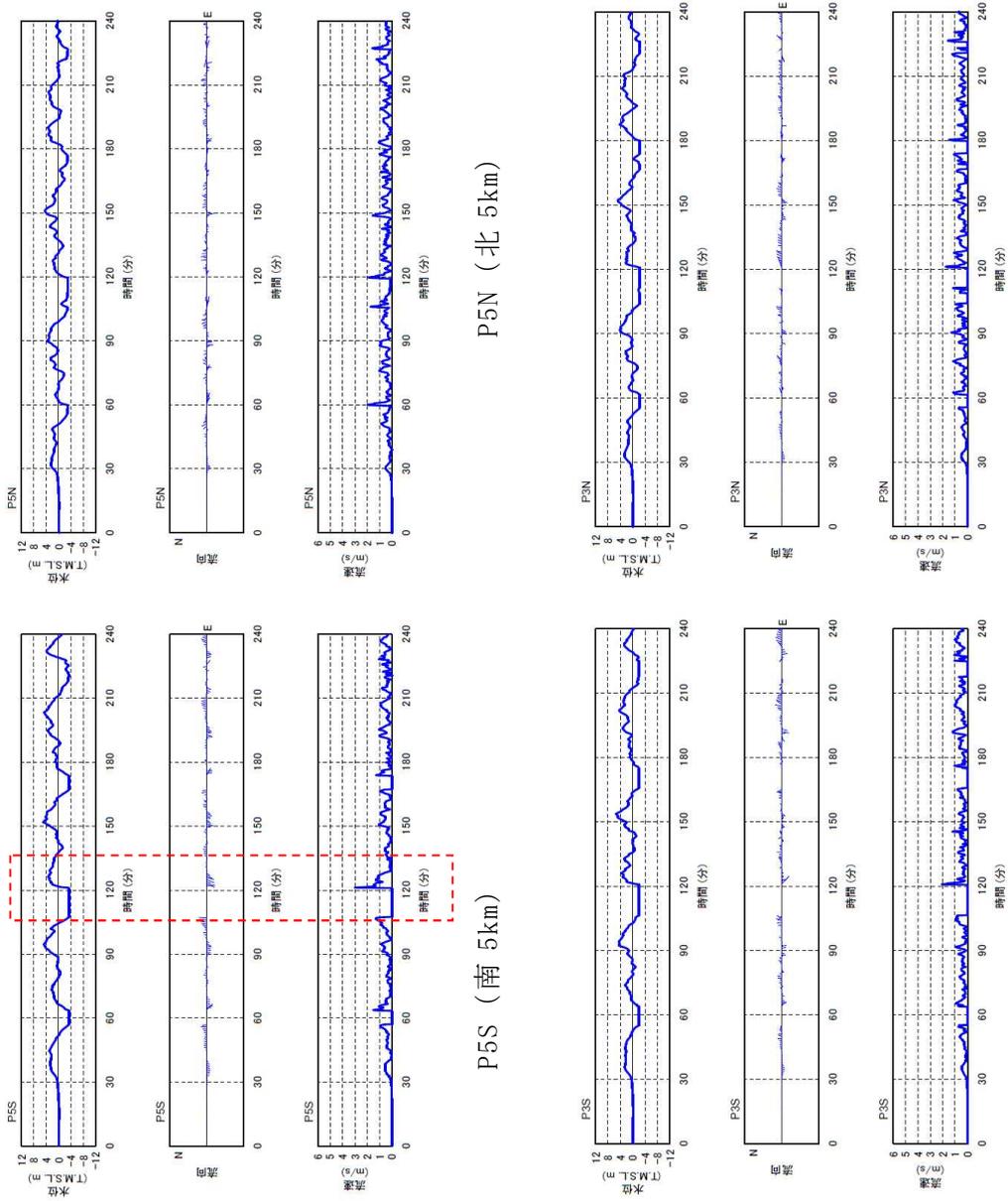
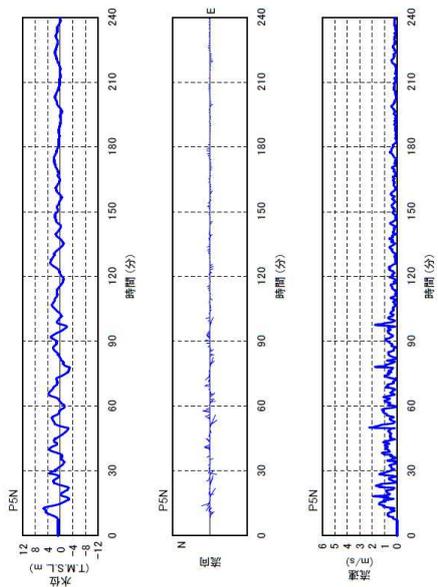
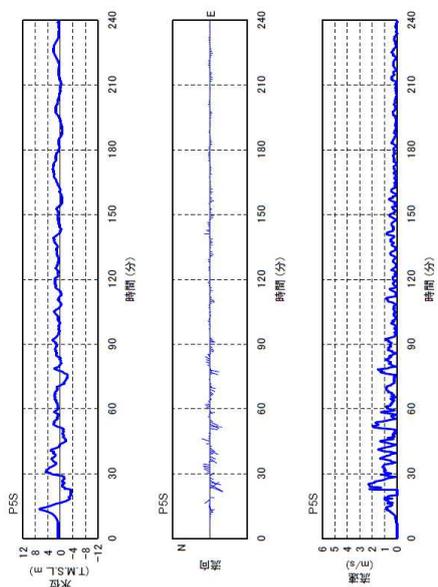


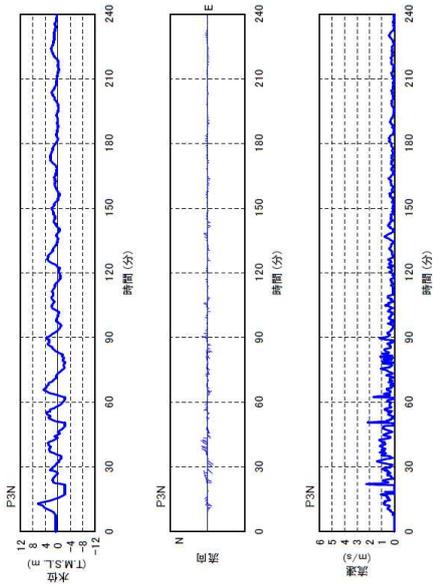
図 4.2-5 抽出地点における水位，流向，流速（基準津波 2 における沿岸部汀線方向）



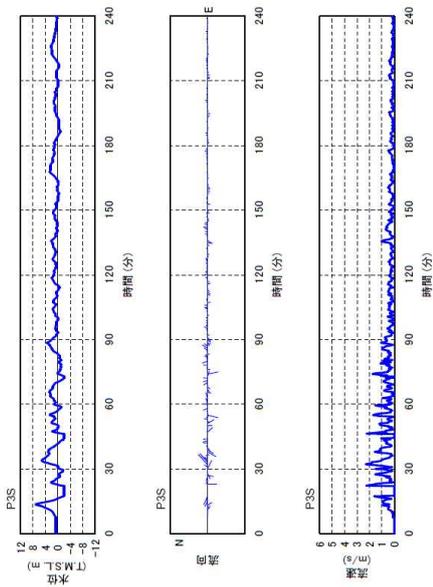
P5N (北 5km)



P5S (南 5km)

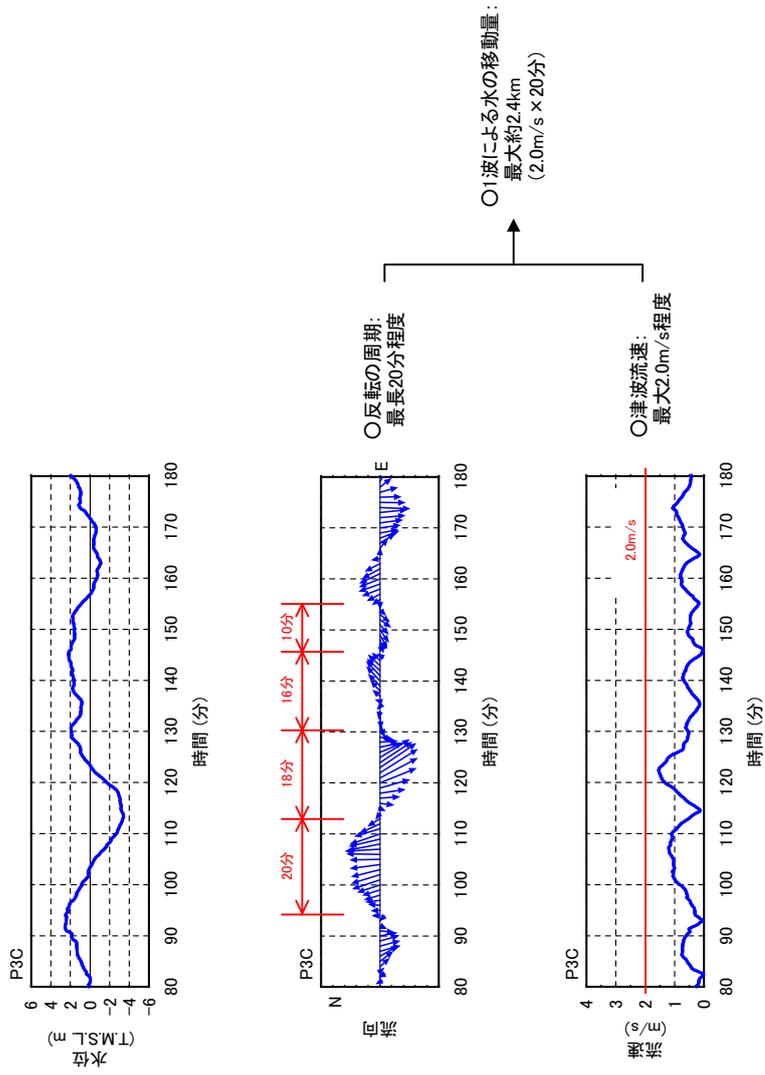


P3N (北 3km)



P3S (南 3km)

図 4.2-5 抽出地点における水位、流向、流速（基準津波 3 における沿岸部汀線方向）



基準津波1 地点P3C(代表例)

図 4.2-6 基準津波による水の移動量 (その 1)

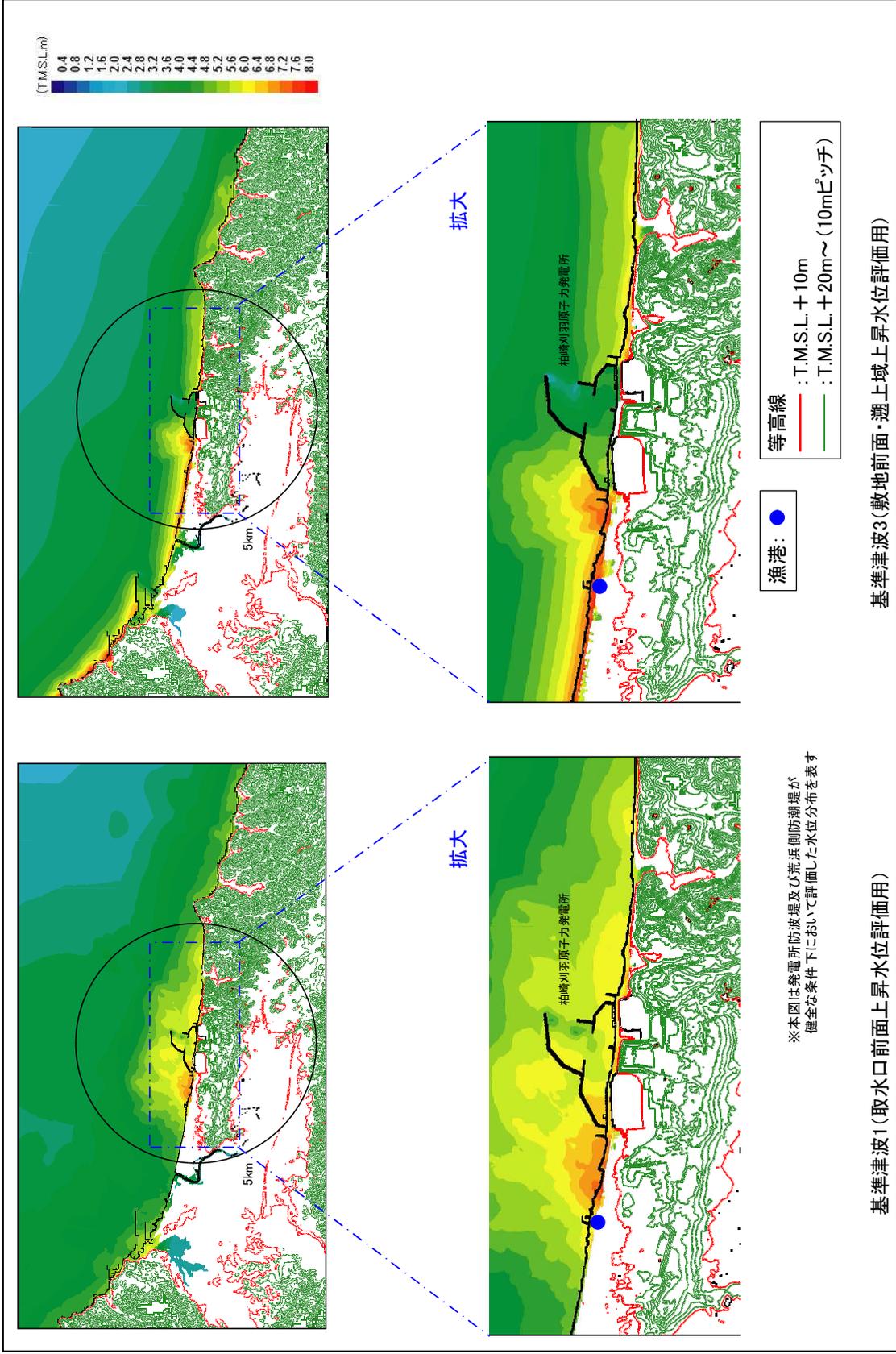


図 4.2-7 発電所周辺標高図及び最高水位分布

c. 漂流物となる可能性のある施設・設備等の抽出

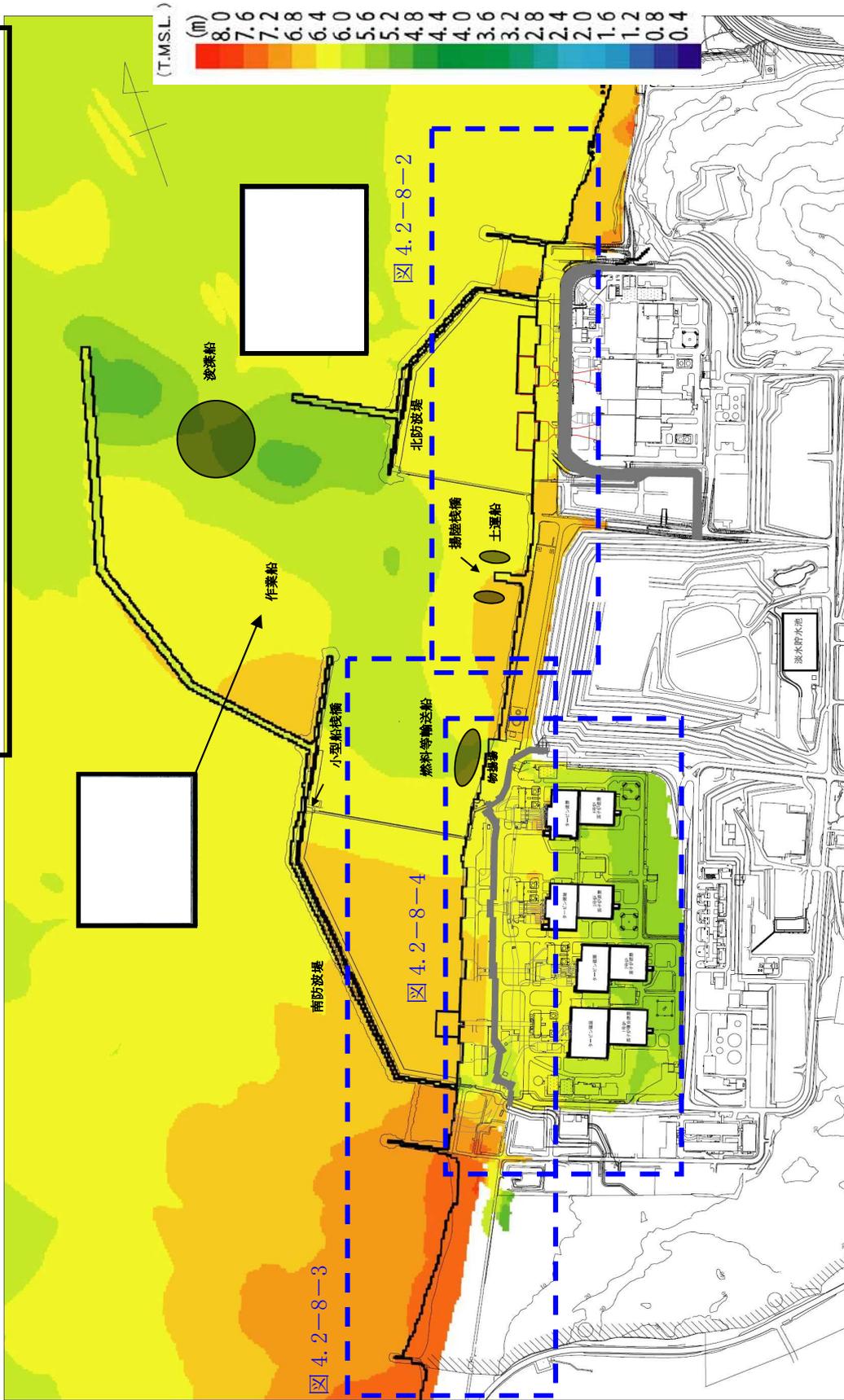
設定した漂流物調査範囲について、発電所の構内と構外、また海域と陸域とに分類して調査を実施し、漂流物となる可能性のある施設・設備等の抽出を行った。各分類における調査の対象、調査の方法及び調査の実施時期を表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1 漂流物の調査方法

調査分類	調査範囲		調査対象	調査方法	調査実施時期
	発電所 構内・構外	海域・陸域			
A		海域	<ul style="list-style-type: none"> 船舶 海上設置物 	資料調査	・H27. 12. 02～ H27. 12. 08
				聞き取り調査	・H27. 12. 02～ H28. 01. 29
				現場調査	・H27. 12. 02
B	発電所 構内	陸域	<ul style="list-style-type: none"> 人工構造物 可動/可搬物品 植生等 	資料調査	・H27. 12. 01 ・H28. 11. 14～ H28. 11. 17
				現場調査	・H27. 12. 02 ・H28. 04. 27 ・H28. 04. 28 ・H28. 11. 18
				聞き取り調査	・H27. 12. 02～ H28. 01. 29 ・H28. 04. 27～ H28. 05. 13 ・H28. 12. 9～ H28. 12. 15
C	発電所 構外	海域	<ul style="list-style-type: none"> 船舶 海上設置物 	<ul style="list-style-type: none"> 現場調査 聞き取り調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・H26. 09. 09 ・H27. 12. 03 ・H27. 12. 04
D		陸域	<ul style="list-style-type: none"> 人工構造物 可動/可搬物品 植生等 	<ul style="list-style-type: none"> 図上調査 現場調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・H27. 12. 04 ・H26. 09. 08 ・H26. 09. 09

調査結果を、発電所構内について図 4.2-8 に、発電所構外について図 4.2-9 及び表 4.2-2 にそれぞれ示す。ここで、図 4.2-8 中には、参考として基準津波 1' の遡上波による最高水位分布を併せて示している。

黒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。



注：参考として基準津波1'の遡上波による最高水位分布を合わせて図示する

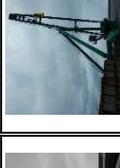
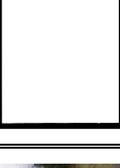
図 4.2-8-1 漂流物調査結果（発電所構内全体）

No.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
名称	607号タービン駆動川 ポンプハウズ	617号機取水電源室	5号機取水電源室	5号機放水ポンプラインダング建屋	本溪湖の東危険物廃棄庫	避雷鉄塔	除塵装置	タービン駆動川 閉鎖タービン	タービン駆動川 閉鎖タービン
外観									
備考									
No.	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
名称	電気・制御盤	海水対策能モニタ	資機材 (常時保管)	資機材 (常時保管)	資機材 (一時貯入)	車両	その他一般建築物	その他一般建築物	その他一般建築物
外観									
備考	・代表を仰示	・代表を仰示	・代表を仰示 (細取角落とし)	・代表を仰示 (仮設 ハウス)	・代表を仰示 (電源)	・代表を仰示	・代表を仰示 (グレーチング)	・代表を仰示 (外灯)	・代表を仰示 (良汚泥集揚水槽)

黒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。



図 4.2-8-2 漂流物調査結果 (発電所構内大湊側護岸部詳細)

No.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
名称	水道用ポンプ室	海象観測小屋	海水放射能モニター建屋	海水放射能モニター建屋 (屋外放射線監視 CVCF 用シールドタワー)	緊急時少量危険物保管庫①	緊急時少量危険物保管庫②	1号機前置水ポンプ建屋	1/2号機取水電源室	1号機前機スクリーン電源室
外観									
備考									
No.	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
名称	処理大型機線が検出建屋	3/4号機取水電源室	物揚揚電源室	重油移送ポンプ室	避雷鉄塔	除塵装置	スクリーン取込用門型クレーン	スクリーン取込用門型クレーン	物揚揚 (吊壁) 150t デリッククレーン
外観									
備考									
No.	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	
名称	No. 1 重油貯蔵タンク	No. 2 重油貯蔵タンク	海水放射能モニター	電気・制御室	資機材 (常時保管)	資機材 (常時保管)	・1号及び2号機用 その他一般機用薬物	・3号及び4号機用 その他一般機用薬物	
外観									
備考	・運用停止済み	・運用停止済み	・代表を例示	・代表を例示	・代表を例示 (角落とし、角ホルダー)	・代表を例示 (仮設ハウス)	・代表を例示 (フェンス、グレーチング)	・代表を例示 (防潮堤昇降架台)	

黒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。

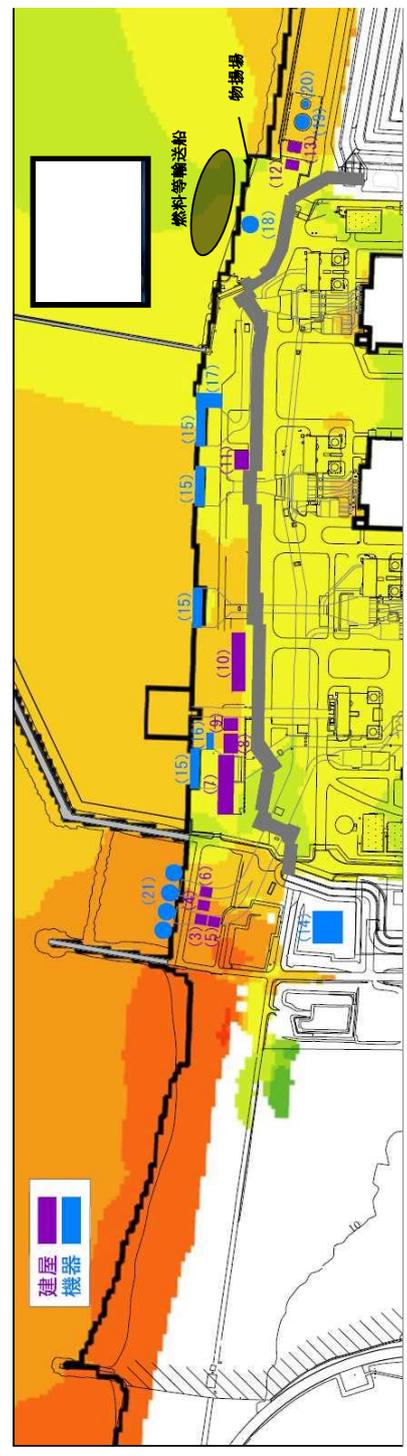


図 4.2-8-3 漂流物調査結果 (発電所構内荒浜側護岸部詳細)

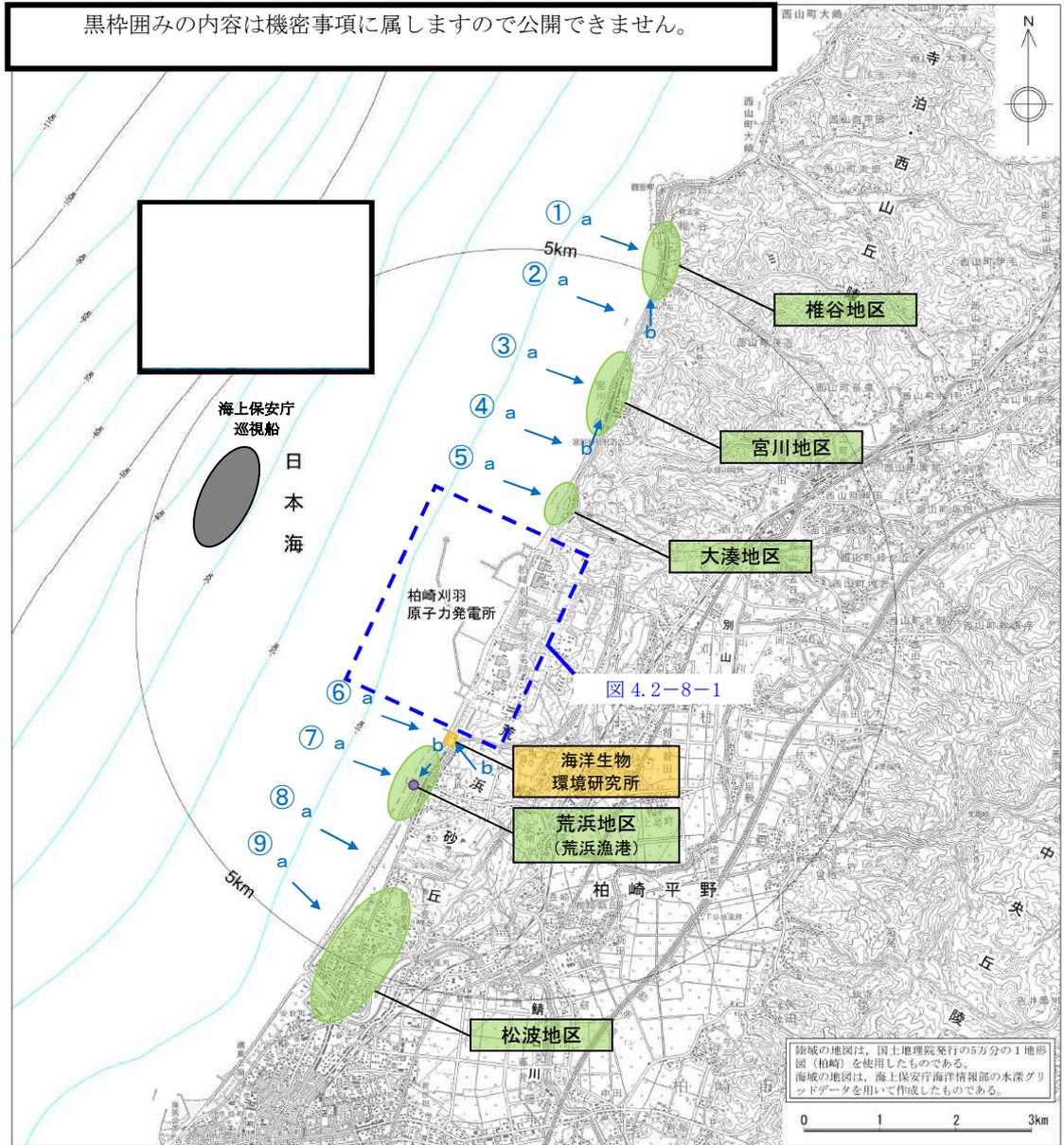
No.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
名称	海水熱交換器建屋	循環水ポンプ建屋	ボール補償器 ピット上屋	ポンプ建屋	自然海水ポンプ室	1号機温海水ポンプ室	海水淡化装置制御室	雑固体廃棄物 焼却設備建屋(荒浜側)	荒浜側洗滌設備建屋
外観									
備考	・1号機海水機器建屋を含む ・代表を例示	・代表を例示	・代表を例示	・代表を例示			・1号機海水機器建屋と一体 構造		
No.	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
名称	ボイラー建屋	旧出入り管理所	主排気モニター建屋	第二無線局	連絡通路	車庫	自衛消防センター	防塵本部建屋	使用済燃料容器(キャスク) 保管施設
外観									
備考	・代表を例示		・代表を例示			・代表を例示			
No.	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
名称	水素トレーラ建屋	液酸タンク建屋、 液化酸素タンク	電気計装室 ・脱水ポンプ室	SPIサージタンク	変圧器	所内ボイラー排気筒	NSD収集処理装置	窒素ガス供給装置	チラー設備
外観									
備考			・代表を例示						・代表を例示
No.	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)			
名称	軽油タンク	泡消火設備	計測機器	資機材(常時保管)	資機材(常時保管)	その他一般構造物			
外観									
備考	・代表を例示		・代表を例示(施設 変動観測装置)	・代表を例示(仮設 ハウス、鋼材)	・代表を例示(予備品)	・代表を例示(防制場昇降架 台)			

黒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。

図 4.2-8-4-1 漂流物調査結果 (発電所構内荒浜側防潮堤内敷地詳細)



図 4.2-8-4-2 漂流物調査結果 (発電所構内荒浜側防潮堤内敷地詳細)



※図中“a→”，“b→”は図4.2-2表中の写真の撮影方向(矢視)を示す

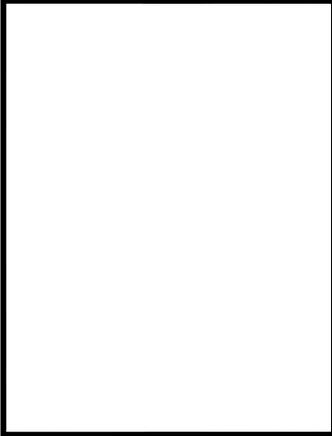
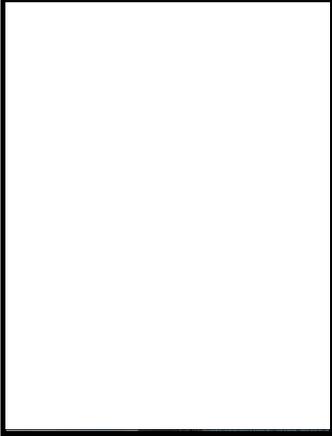
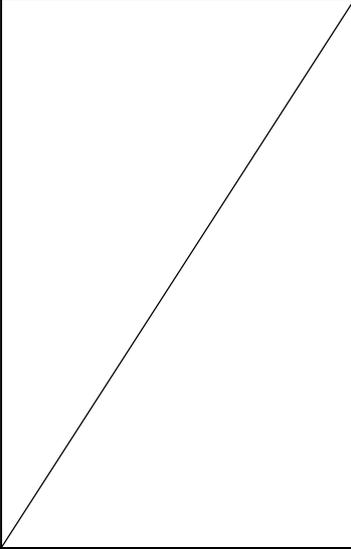
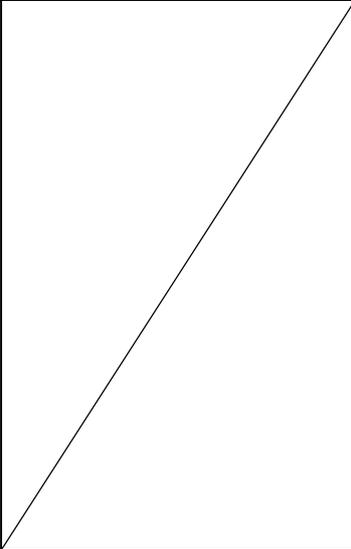
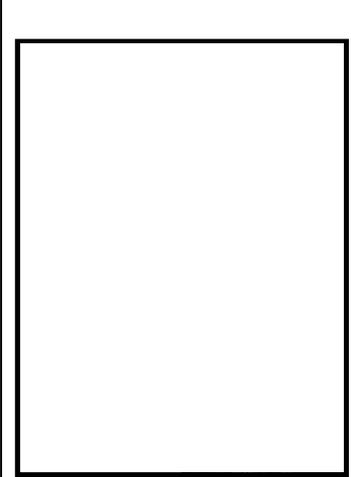
図 4.2-9 漂流物調査結果(発電所構外)

表 4.2-2 漂流物調査結果（発電所構外）（1/3）

		①【椎谷地区】	②	③【宮川地区】
調査エリア	矢視 a			
	矢視 b			
外観	海域	なし	なし	なし
	陸域	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋等建築物 ・フェンス, 電柱等構造物 ・乗用車等車両 	なし	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋等建築物 ・フェンス, 電柱等構造物 ・乗用車等車両
調査結果		調査分類 C	調査分類 D	

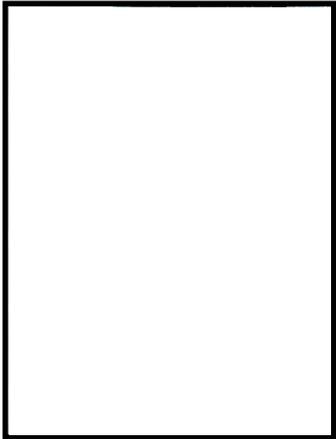
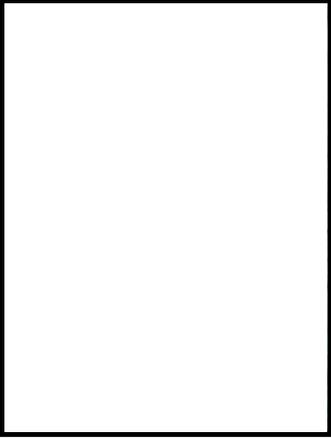
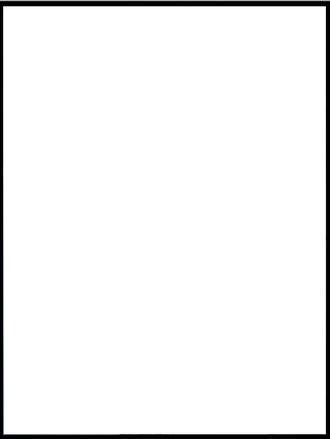
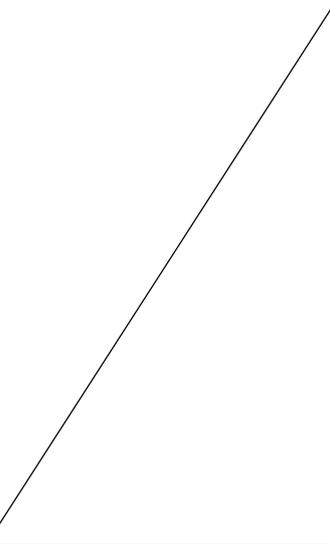
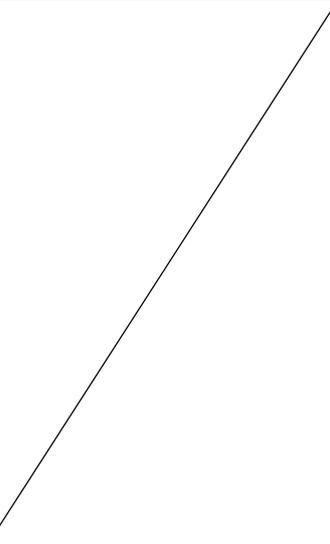
黒枠囲みの内容は個人情報に属しますので公開できません。

表 4.2-2 漂流物調査結果 (発電所構外) (2/3)

		④	⑤【大湊地区】	⑥【海洋生物環境研究所】
調査エリア	矢視 a			
	矢視 b			
外観	調査分類 C	なし	なし	なし
	調査分類 D	なし	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋等建築物 ・フェンス, 電柱等構造物 ・乗用車等車両 	<ul style="list-style-type: none"> ・事務所等建築物 ・タンク, 貯槽等構造物 ・乗用車等車両
調査結果				

黒枠囲みの内容は個人情報に属しますので公開できません。

表 4.2-2 漂流物調査結果（発電所構外）（3/3）

調査エリア		⑦【荒浜地区（荒浜漁港）】	⑧	⑨【松波地区】
外観	矢視 a			
	矢視 b			
調査結果	調査分類 C 海域	<ul style="list-style-type: none"> ・漁船 ・プレジャーボート 	なし	なし
	調査分類 D 陸域	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋、倉庫等建築物 ・フェンス、電柱等構造物 ・乗用車等車両 	なし	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋等建築物 ・フェンス、電柱等構造物 ・乗用車等車両

黒枠囲みの内容は個人情報に属しますので公開できません。

d. 通水性に与える影響の評価

調査により抽出された漂流物となる可能性のある施設・設備等に対して、「漂流物化の可能性」、「取水口への到達の可能性」、「取水口・取水路の閉塞の可能性」の観点より、以下のフローに従い6号及び7号機の取水口及び取水路の通水性に与える影響評価を行った。

ここで、「漂流」は施設・設備等の比重が大きい（浮力よりも自重が大きい）場合には生じることはないが、6号及び7号機の取水口近傍の大湊側護岸部とその前面海域にある施設・設備等については、比重がある程度大きい場合でも津波による流圧力によって滑動や転動により流され、取水口に接近し、取水口・取水路の通水性に影響を及ぼす可能性が考えられる。このため、本評価では、大湊側護岸部とその前面海域の施設・設備等に対しては、この「滑動、転動」も「漂流」に含めて取り扱った。

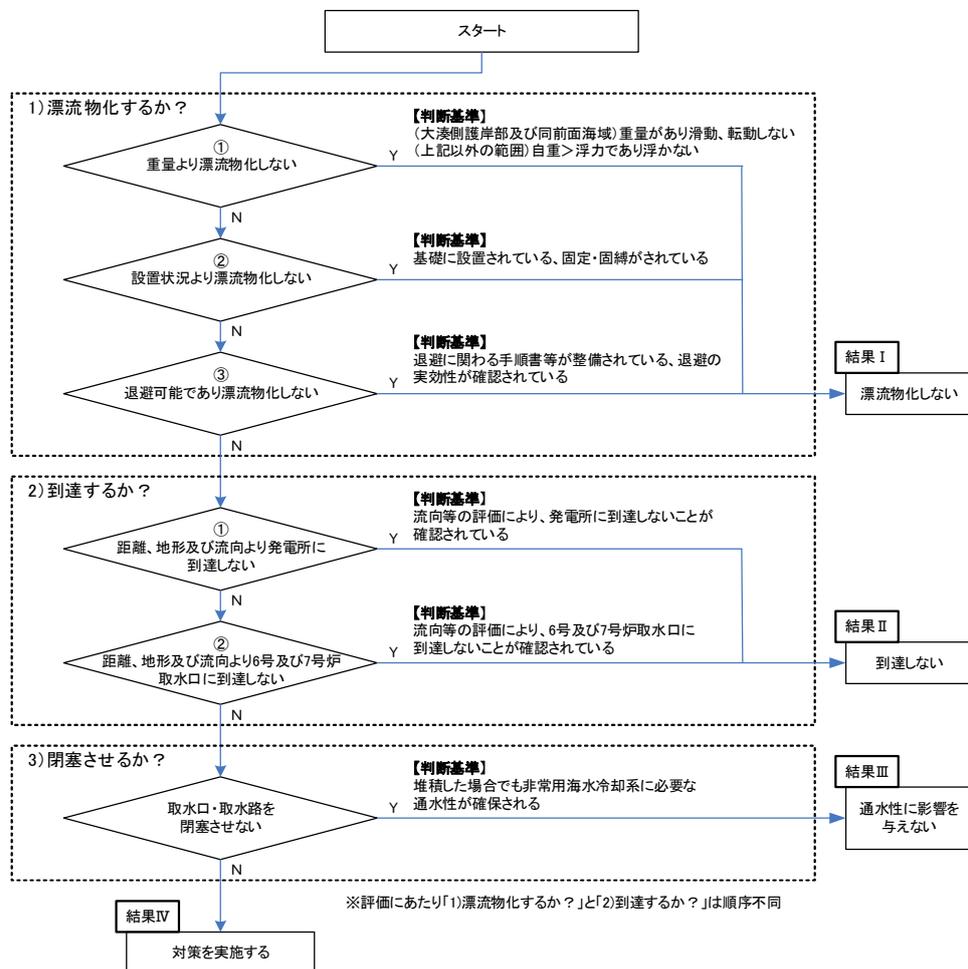


図 4.2-10 通水性に与える影響評価フロー

調査により抽出された漂流物となる可能性のある施設・設備等の詳細及びそれらに対する影響評価の結果を調査分類ごとに以下に示す。

なお、漂流物による影響について設置許可基準規則では「取水口及び取水路の通水性に与える影響」の他に、津波防護施設、浸水防止設備に衝突することによる影響（波及的影響）の検討が求められている。同影響の検討の対象とする漂流物及び衝突速度については本項で抽出、設定するものとし、項末に結果を整理して示す。

分類A（構内・海域）

発電所の構内（港湾内）にある港湾施設としては、6号及び7号機の取水口の南方約800mの位置に物揚場が、また、南方約350mの位置に揚陸棧橋、南防波堤内側に小型船棧橋がある。港湾周辺及び港湾内に定期的に来航する船舶としては、燃料等輸送船（総トン数約5,000t）が年に数度来航し、物揚場に停泊する。また、港湾の入口に1～数年に一度、2～3ヶ月程度の期間、浚渫作業のために浚渫船（総トン数約500t）及び土運船（総トン数約500t）が来航・停泊し、土運船は土砂の揚陸作業のため揚陸棧橋にも停泊する。他には、港湾設備保守点検、海洋環境監視調査等のための作業船（総トン数5t未満～約20t）が港湾の周辺及び港湾内に定期的に来航し、必要に応じ港湾施設にも停泊する。以上の他には発電所の港湾付近に定期的に来航する船舶はなく、また、発電所の港湾内には港湾口部の浮標を除き海上設置物もない。（図4.2-8）

抽出された以上の船舶に対して図4.2-10に示したフローにより6号及び7号機の取水口及び取水路の通水性に与える影響評価を実施した。

なお、発電所港湾の境界を形成する防波堤については地震、津波時の健全性が確認されたものではないため、地震、津波による損傷を想定すると、損傷した構成要素が滑動、転動により流される可能性は否定できず、北防波堤については6号及び7号機の取水口前面に位置するため、その通水性に影響を及ぼす可能性が考えられる（図4.2-8）。このため、本分類ではその影響についても合わせて評価を実施した。

以上の評価結果を以下に示す。また評価結果の一覧を表4.2-3に示す。

① 燃料等輸送船

燃料等輸送船の主な輸送行程を図 4.2-11 に示す。

津波警報等発令時には、燃料等輸送船は原則、緊急退避（離岸）することとしており、東日本大震災以降に、図 4.2-12 に示すフローを取り込んだマニュアルを整備している。

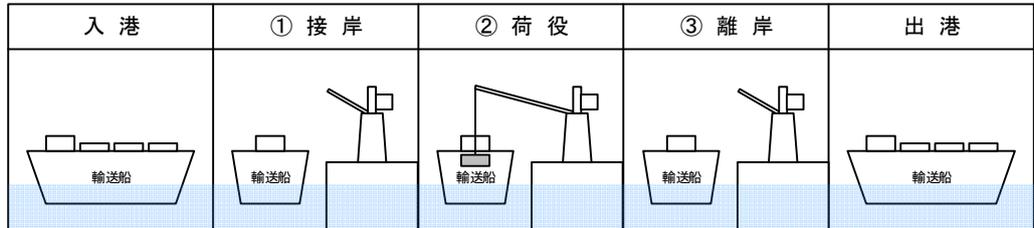


図 4.2-11 主な輸送行程

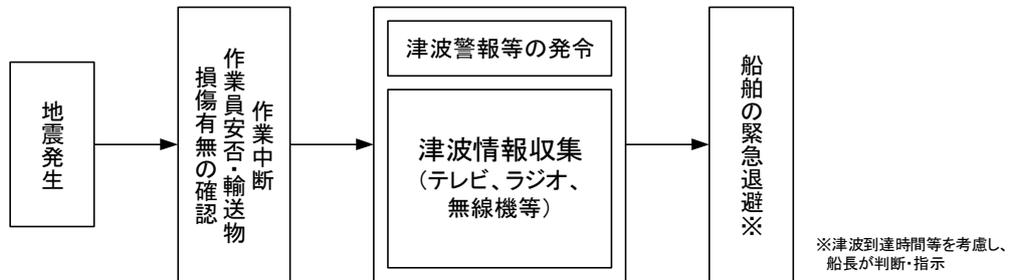
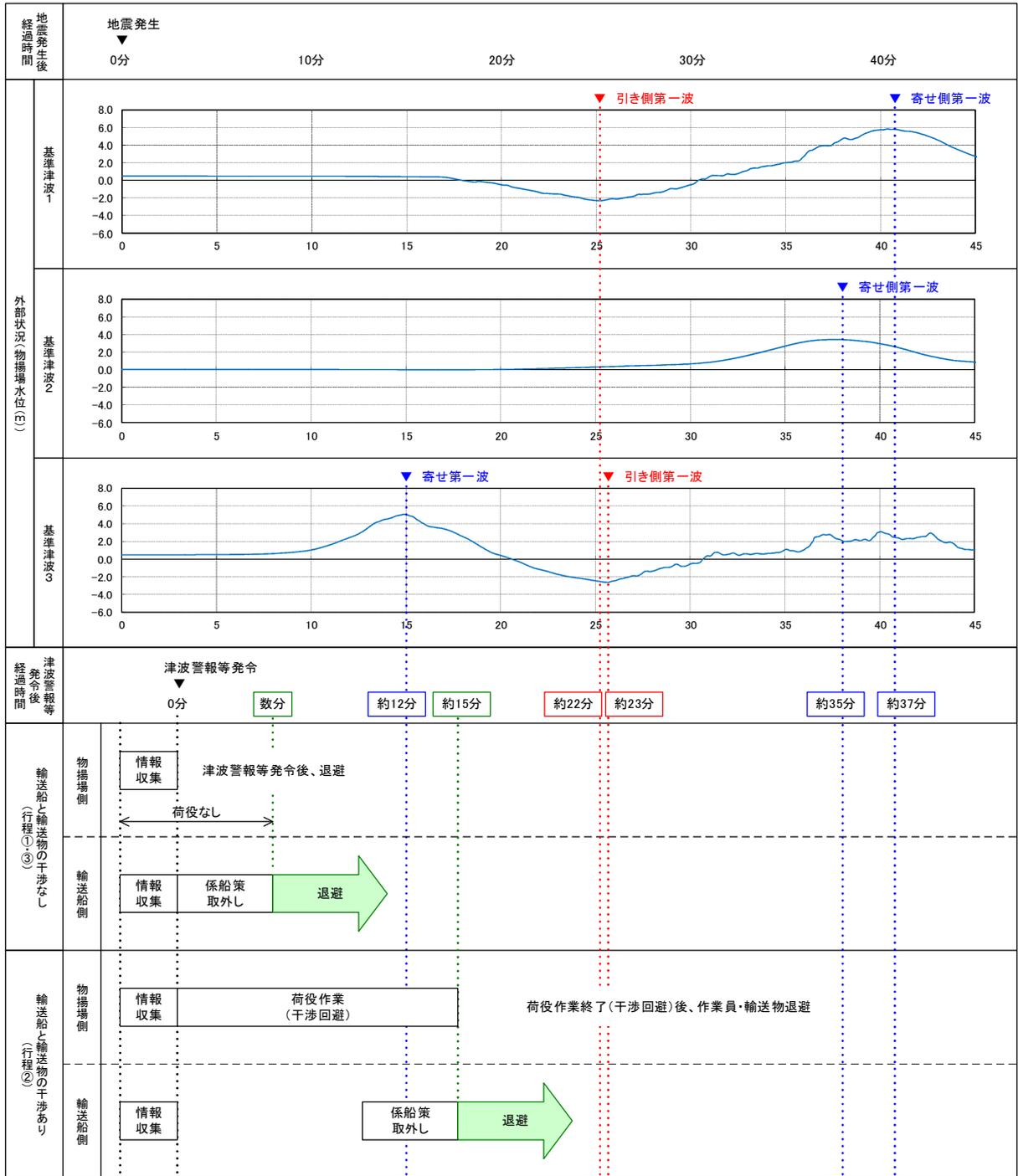


図 4.2-12 緊急退避フロー図（例）

このマニュアルに沿って実施した訓練実績では、輸送船と輸送物の干渉がある「荷役」行程において津波警報等が発令した場合でも、警報発令後の 30 分程度で退避が可能であった。また、この実績に基づき、設備保全のための作業等を省略した緊急時に必要な最小限の作業のみの積み上げを行った結果、警報発令後の 15 分程度で緊急退避が可能であることを確認した。なお、全輸送行程の大部分は輸送船と輸送物の干渉のない「荷役」以外の行程であり、実績より、この場合には津波警報等発令後の数分で緊急退避が可能であることを確認している。

以上を踏まえ、津波の到達と緊急退避に要する時間との関係を示すと図 4.2-13 のとおりとなる。



注1：津波警報等発令後経過時間は、地震発生後の3分後(気象庁HPIに記載の発表目標時間)に津波警報等が発令するものとして記載
 注2：津波の到達時間は、引き側及び寄せ側ともピークの到達時間を記載
 注3：本図の津波水位は、それぞれ以下の数値を予め含めて評価した結果を示している
 ・基準津波1：期望平均満潮位(T.M.S.L.+0.49m)、地殻変動量(0.21m)
 ・基準津波2：期望平均干潮位(T.M.S.L.+0.03m)、地殻変動量(0.20m)
 ・基準津波3：期望平均満潮位(T.M.S.L.+0.49m)、地殻変動量(0.29m)
 注4：輸送船の退避とは、物揚場から離岸することを示す

図 4.2-13 津波の到達と燃料等輸送船の緊急退避に要する時間

図 4.2-13 より、燃料等輸送船は、柏崎刈羽原子力発電所に襲来が想定される津波のうち、襲来までに時間的な余裕がある基準津波に対しては緊急退避が可能と考えられるが、時間的な余裕がない津波（津波警報等発令から 12 分程度で到達する基準津波 3）に対しては、津波発生時に「荷役」行程中であった場合、津波襲来時には離岸のための荷役作業（干渉回避）中となり緊急退避ができない可能性がある。しかしながら、この場合も以下の理由から輸送船は航行不能となることは考えられず、漂流物になることはないと考えられる。

【結果 I】

- 輸送船は岸壁に係留されている。
- 津波高さと喫水高さの関係から、輸送船は岸壁を越えない。
- 岸壁に接触しても防げん材を有しており、かつ通達（海査第 520 号：照射済核燃料等運搬船の取扱いについて）に基づく二重船殻構造等十分な船体強度を有する。

また、図 4.2-13 より、緊急退避が可能であった場合でも、退避中に港湾内で引き波による水位低下に遭う可能性のあることが考えられるが、この際に一時的に着底することがあったとしても、輸送船は二重船殻構造等十分な船体強度を有しているため、水位回復後に航行の再開が可能であり、緊急退避に支障はないと考えられる。**【結果 I】**

なお、以上の評価に関わる、津波に対する係留索の耐力評価を補足説明資料 4.3 に、岸壁への乗り上げ及び着底並びに着底に伴う座礁及び転覆の可能性に関する喫水と津波高さとの関係を補足説明資料 4.4 に示す。

以上より、燃料等輸送船は非常用海水冷却系に必要な 6 号及び 7 号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物とはならないものと評価する。

なお、燃料等輸送船の緊急退避は輸送事業者・船会社（以下、船会社）と協働で行うことになるが、その運用における当社と船会社の関係を示すと図 4.2-14 のとおりとなる。すなわち、地震・津波が発生した場合には、速やかに作業を中断するとともに、船会社からの輸送船緊急退避の決定連絡を受け、当社にて輸送船と輸送物の干渉回避や係船索取り外し等の陸側の必要な措置を実施し、また陸側作業員・輸送物の退避を決定するなど、両者で互いに連絡を取りながら協調して緊急退避を行う。ここで、電源喪失時にも物揚場のクレーンを使用して上記の対応ができるように、同クレーンには非常用電源を用意している。

これら一連の対応を行うため、当社では、当社－船会社間の連絡体制を整備するとともに前述の地震・津波発生時の緊急時対応マニュアルを定めており、その上で船会社との間で互いのマニュアルを共有した上で、合同で緊急退避訓練を実施することにより、各々のマニュアルの実効性を確認している。

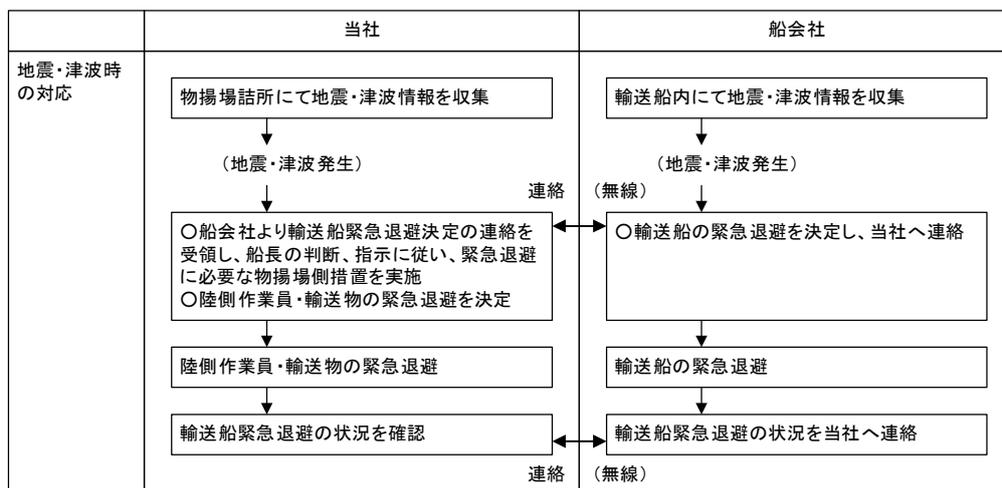


図 4.2-14 輸送船緊急退避時の当社と船会社の関係性

② 浚渫船・土運船

浚渫作業の主な作業工程を図 4.2-15 に示す。

工程	ケース 1 (構外に排土)	ケース 2 (構内に排土)
1	曳船・投錨作業 曳船により浚渫船 (非航式) を、近隣の柏崎港から港湾内の所定の位置まで曳船し、揚錨船でアンカーを投錨し、浚渫船を固定する	
2	係船・浚渫作業 曳船により土運船を浚渫船に横付けし、もやいロープで係船した後、浚渫作業を実施する (2 台の土運船を浚渫船の両側に係船する)	
3	土運船曳船～排土作業 土運船に浚渫土が一定量積み込まれたら、もやいロープを取外し、曳船で還元区域 (港湾外) まで曳船し、排土する	土運船接岸作業 土運船に浚渫土が一定量積み込まれたら、もやいロープを取外し、曳船で揚陸棧橋まで曳船し、接岸する
4	—	揚陸～積み込み作業 土運船の土砂をバックホウでダンプトラックに積み込みを行う

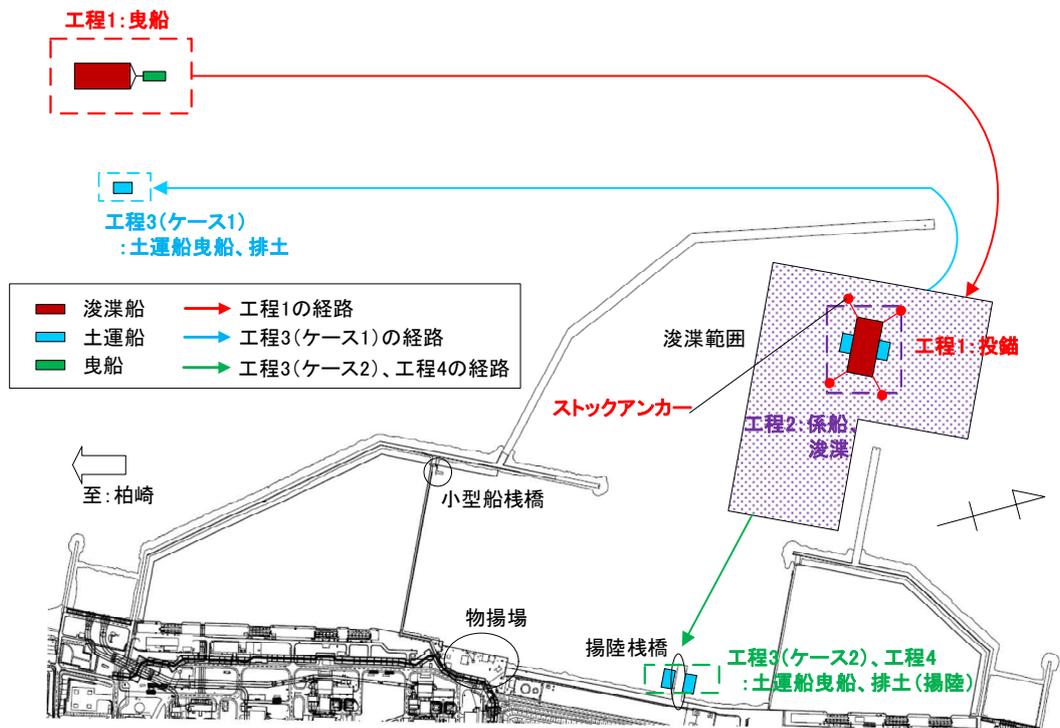
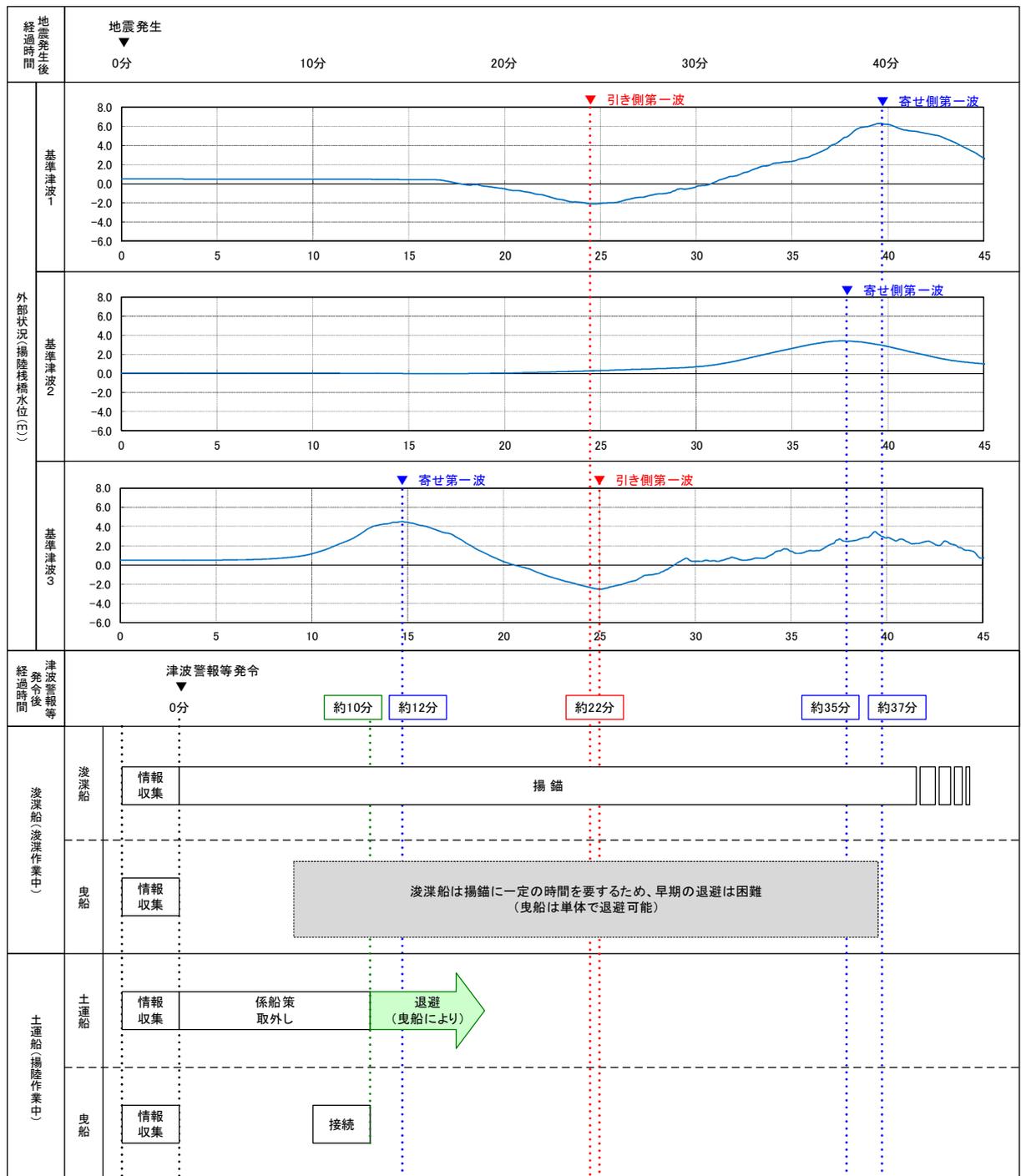


図 4.2-15 主な浚渫作業工程

津波警報等発令時には、予め施工者が定めて当社が承認した安全計画書に基づき、原則として作業を中止して即時に退避を行うが、時間的な余裕がなく緊急退避が困難な場合には、施工者の判断により係留により津波に備える。

ここで、浚渫船及び土運船のそれぞれについて、緊急退避までに最も時間を要する浚渫作業中、揚陸作業中に基準津波が発生する状況を想定し、この際の津波の到達と緊急退避に要する時間との関係を示すと図 4.2-16 のとおりとなる。



注1: 津波警報等発令後経過時間は、地震発生の3分後(気象庁HPIに記載の発表目標時間)に津波警報等が発令するものとして記載
 注2: 津波の到達時間は、引き側及び寄せ側ともピークの到達時間を記載
 注3: 本図の津波水位は、それぞれ以下の数値を予め含めて評価した結果を示している
 ・基準津波1: 朔望平均満潮位(T.M.S.L.+0.49m)、地殻変動量(0.21m)
 ・基準津波2: 朔望平均干潮位(T.M.S.L.+0.03m)、地殻変動量(0.20m)
 ・基準津波3: 朔望平均満潮位(T.M.S.L.+0.49m)、地殻変動量(0.29m)
 注4: 退避とは、揚陸棧橋から離岸することを示す

図 4.2-16 津波の到達と浚渫船、土運船の緊急退避に要する時間

これより、浚渫船については、浚渫作業中に基準津波が発生した場合には緊急退避が困難であることから、作業現場において係留で津波に備えることになる。

基準津波により生じる港湾内の津波流速の最大値を示すとそれぞれ図 4.2-17 となり、浚渫船が係留される港湾口の最大流速は 8~9m/s 程度であるが、これに対し、錨の把駐力より評価した係留可能な限界流速は 2.5m/s 程度である。このため、浚渫船は基準津波の寄せ波や引き波のピークの際には走錨する可能性がある。

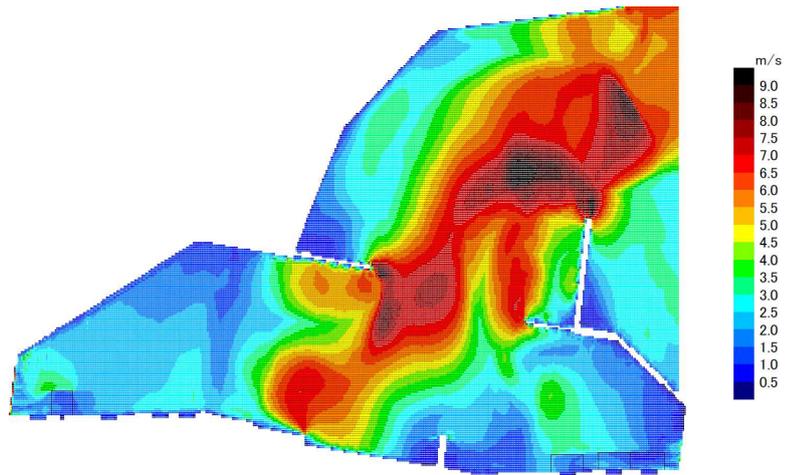
しかしながら、浚渫船で使用する錨は安定性のよいストックアンカーであり、また港湾内の海底は砂地であり錨への泥の付着等が生じにくいことから、一度、走錨した場合でも流速が低下した後には錨の再かきこみにより把駐力が回復することにより、浚渫船はピーク外（限界流速以下程度）ではその場に留まるものと考えられる。

ここで、港湾内の複数位置における流速の時刻歴を示すと図 4.2-19 となるが、これより港湾口付近（位置 D3）では流速のピーク値は大きいものの限界流速を超える時間は限定的であること、また、港湾口から離れるに従いピーク値が下がり、位置 D1, DE1 では概ね限界流速以下となっていることがわかる。

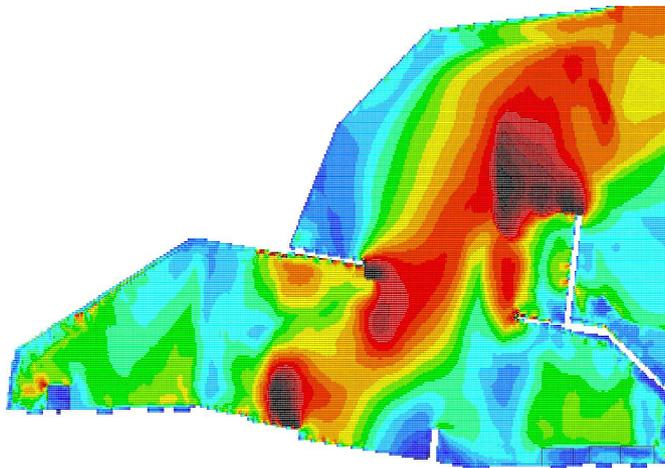
以上より、浚渫船は津波襲来時に係留位置から一時的に流され移動する可能性は考えられるものの、港湾内を漂う漂流物になることはないものと考えられる。【結果 I】

なお、防波堤の損傷を模擬した条件（防波堤がない条件）における基準津波による港湾内の津波流速の最大値を評価すると図 4.2-18 に示すとおりとなり、防波堤が存在する場合より流速は小さい結果となった。津波襲来下における港湾内の流向・流速（流況）は防波堤の影響を強く受けるものと考えられ、港湾口部の津波流速に関しては、防波堤の存在により流れが集中し、流速が増大しているものと考えられる。

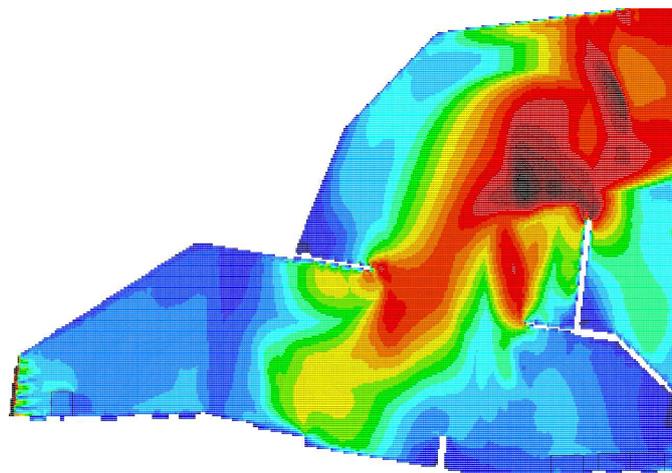
これより、本評価については、津波の原因となる地震等により防波堤が損傷する状況を想定した場合でも、その結果は、上記の防波堤が健全な状況における結果に包含されるものと考えられる。



基準津波 1

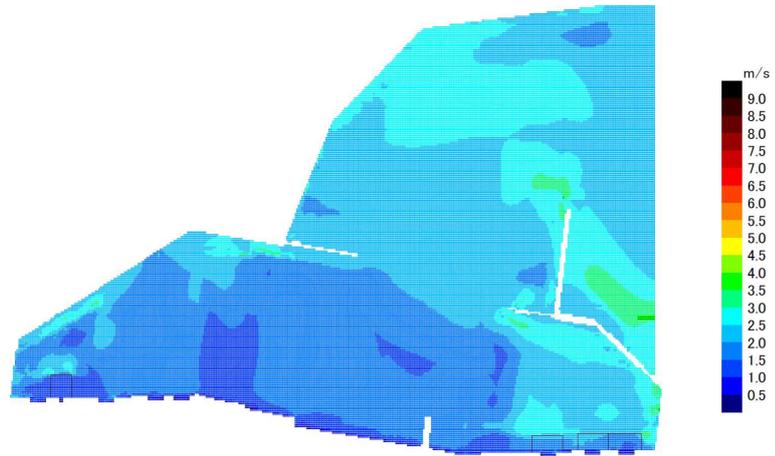


基準津波 2

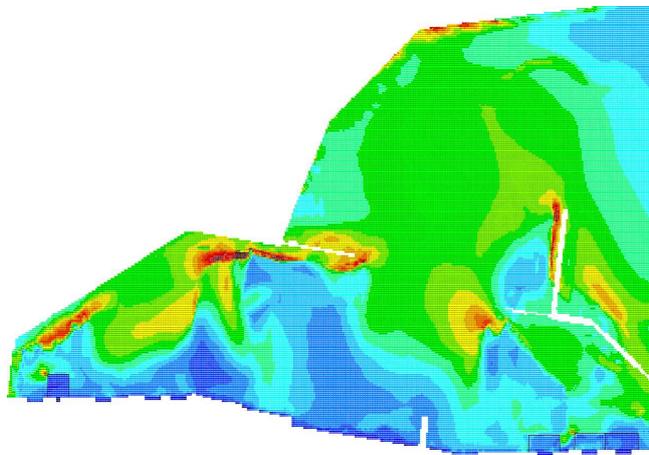


基準津波 3

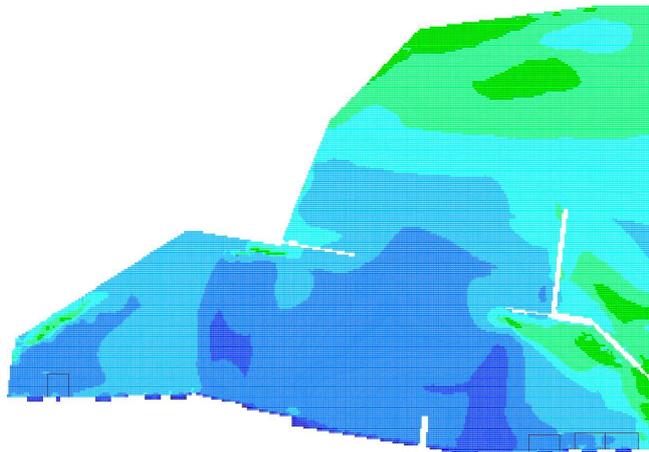
図 4.2-17 基準津波により生じる最大流速分布



基準津波 1



基準津波 2



基準津波 3

図 4.2-18 防波堤の地震等による損傷を考慮した影響評価

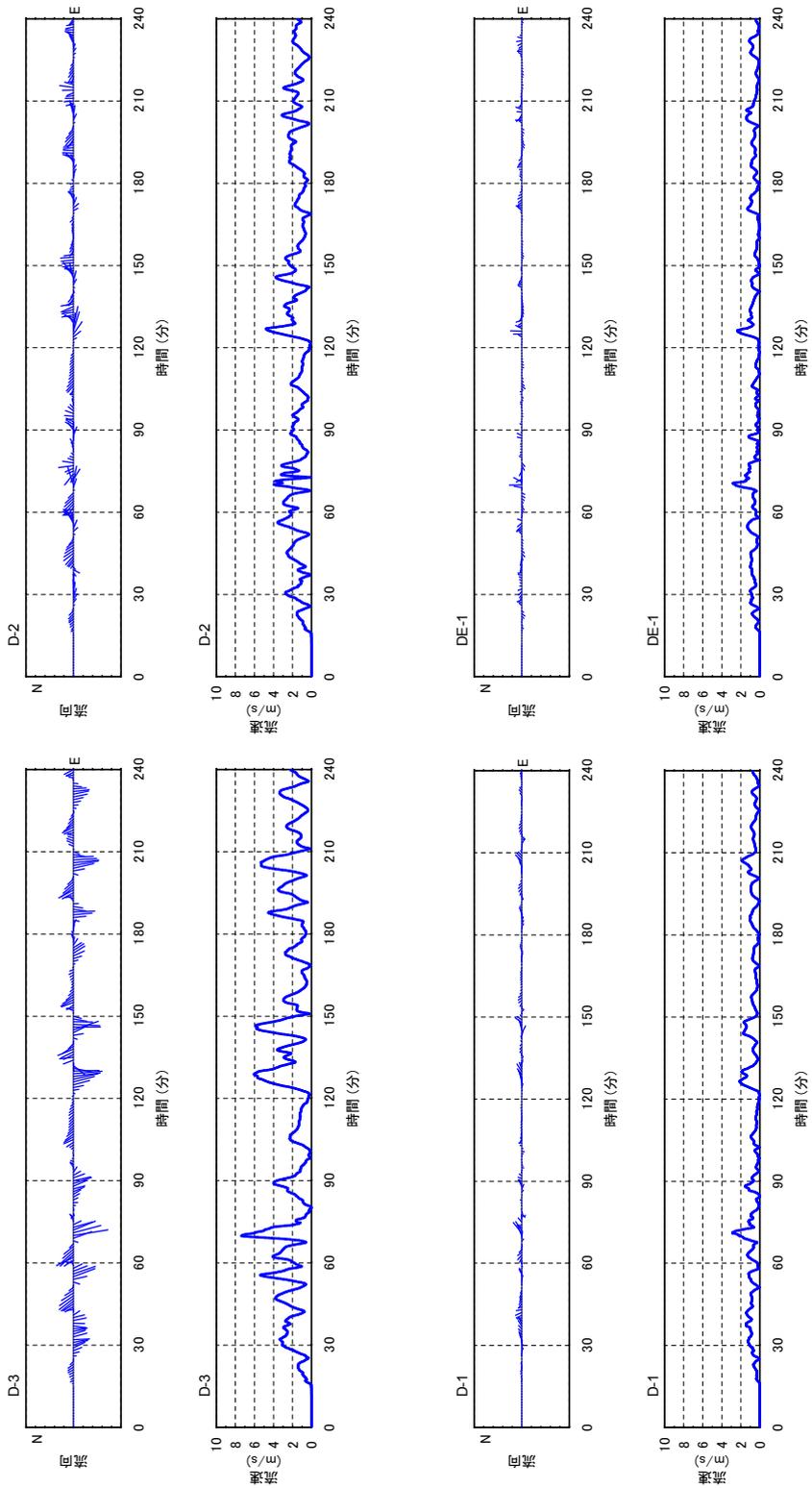
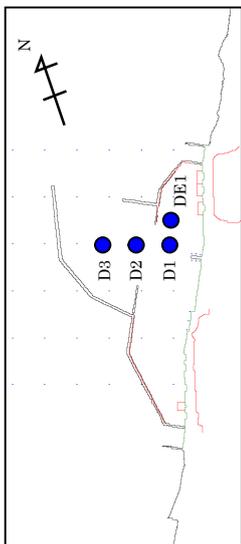


図 4.2-19 発電所港湾内における津波流速時刻歴(基準津波 1)

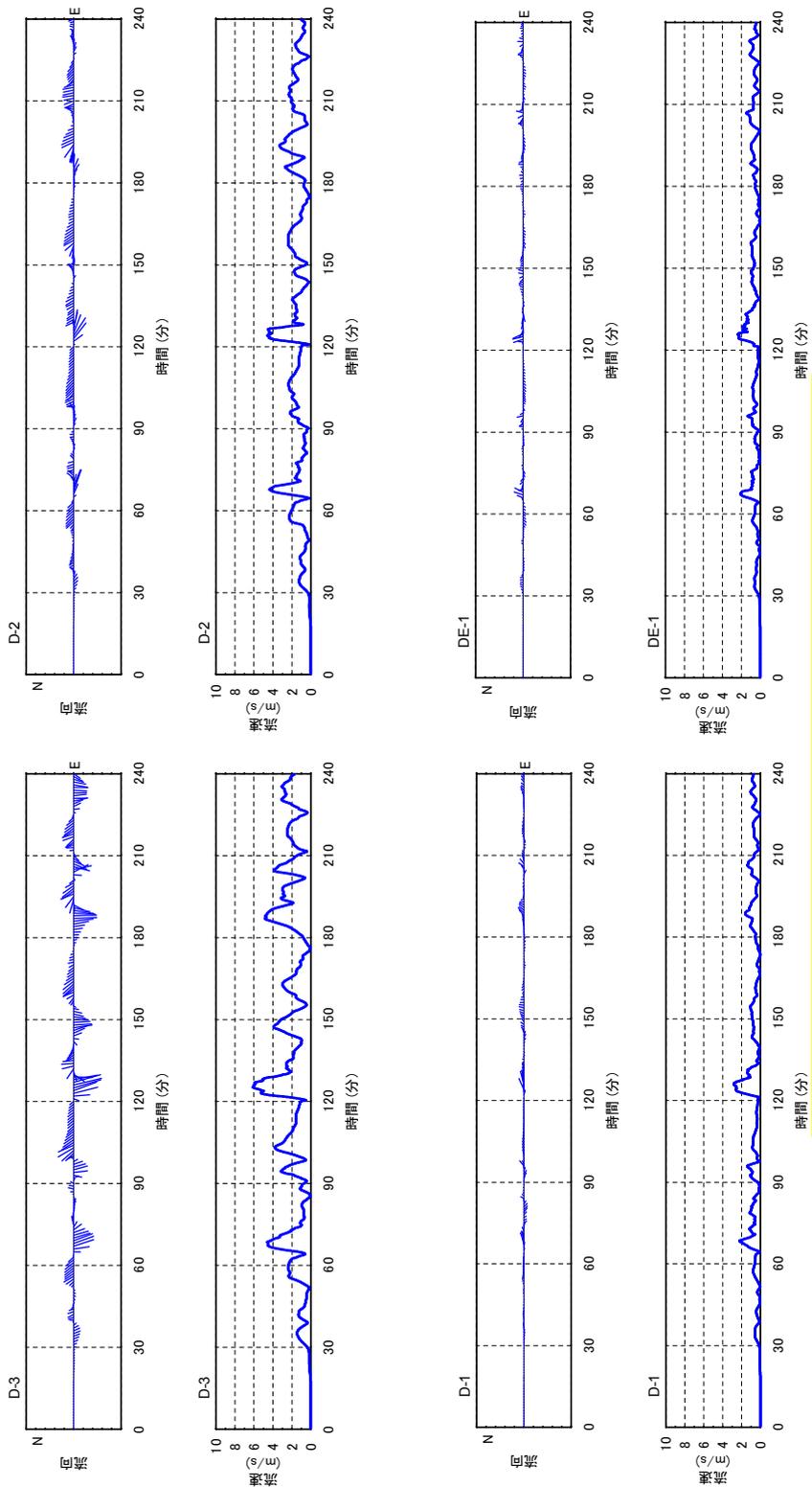
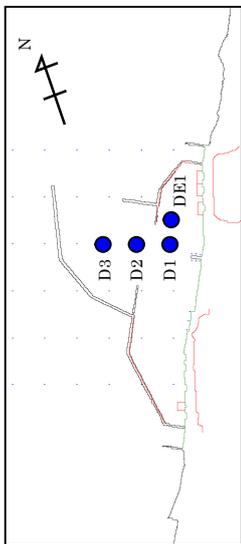


図 4.2-19 発電所港湾内における津波流速時刻歴(基準津波 2)

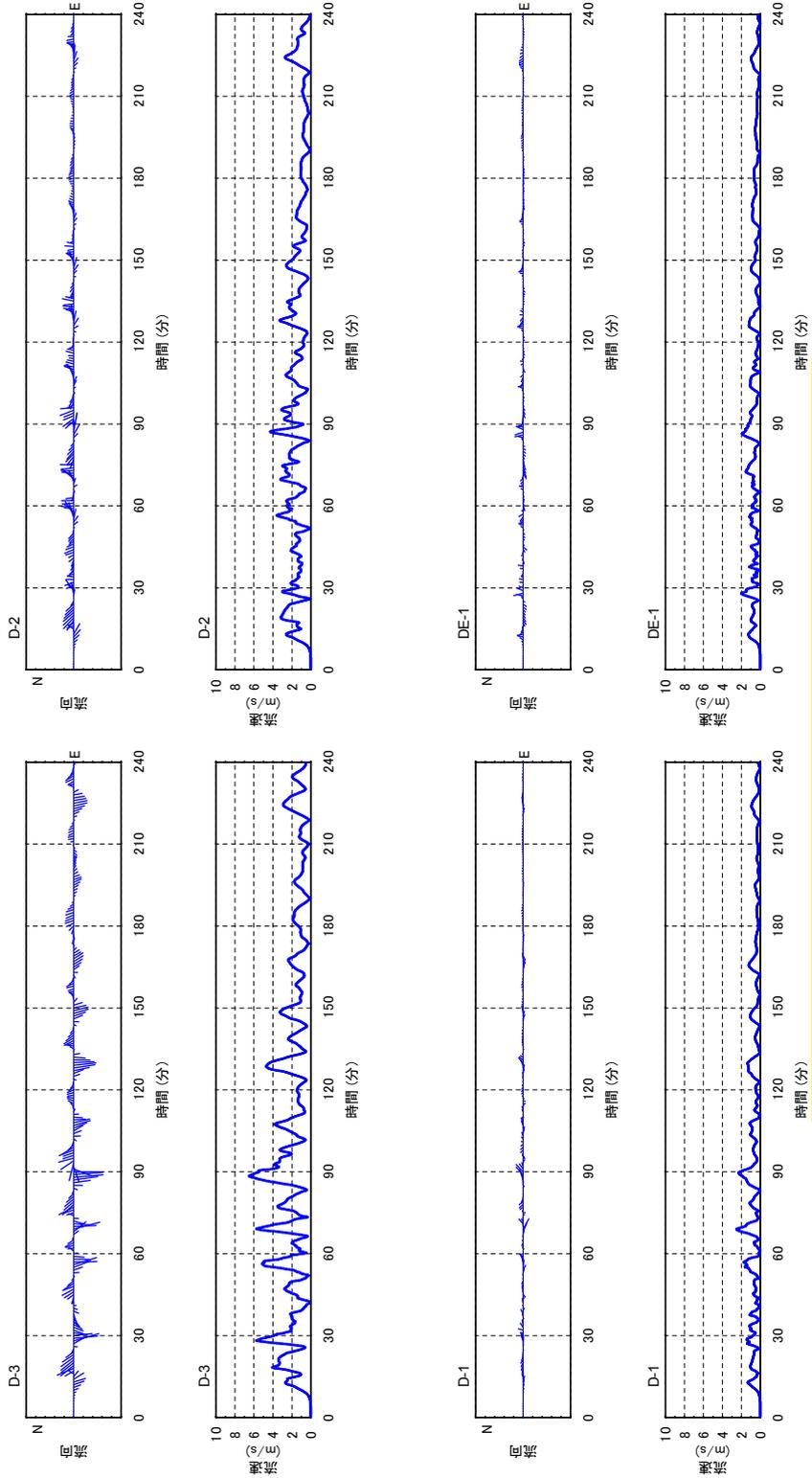
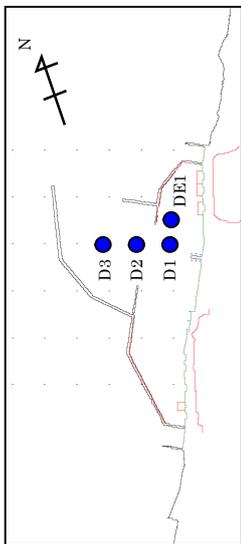


図 4.2-19 発電所港湾内における津波流速時刻歴(基準津波 3)

土運船については、揚陸作業中に津波が発生した場合、襲来までに時間的余裕がある津波（基準津波 1, 2）に対しては緊急退避が可能である。

【結果 I】

一方、襲来までに時間的余裕がない津波（基準津波 3）では緊急退避が困難となることが考えられ、この際は、①で示した燃料等輸送船のケースとは異なり、船体の損傷等により航行不能となり漂流物となる可能性が考えられる。しかしながら、この場合も図 4.2-3 における揚陸栈橋付近の津波の流向を考慮すると 6 号及び 7 号機の取水口に接近する可能性はないものと考えられる。

これを確認するため、漂流物化した際の土運船の挙動について軌跡のシミュレーション評価を実施した。初期配置を揚陸栈橋の位置とし、基準津波 3 の襲来下における地震発生から 240 分間の軌跡のシミュレーションを実施したところ図 4.2-20 の結果となった。

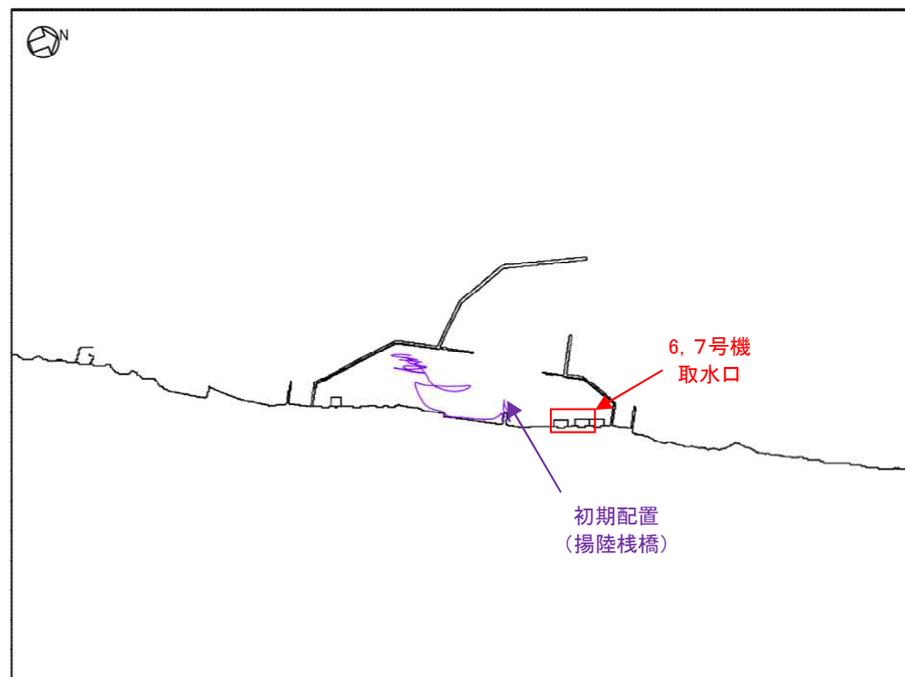
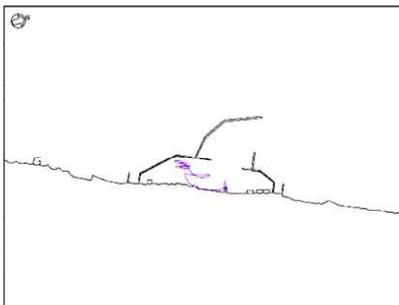


図 4.2-20 基準津波 3 の襲来下における土運船の挙動

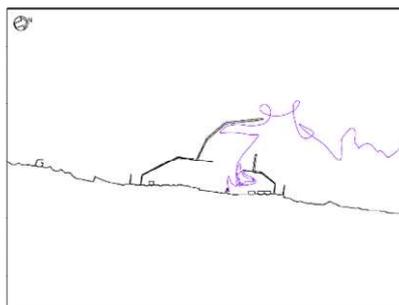
以上の評価は水粒子の軌跡のシミュレーションであり、厳密には漂流物の挙動と水粒子の軌跡は一致するものではないが、流向（移動の方向）については同様の傾向を示すものと考えられ、図 4.2-20 より、土運船は、緊急退避できずに漂流物となった場合でも、6 号及び 7 号機の取水口へ接近する可能性はないものと考えられる。

【結果 II】

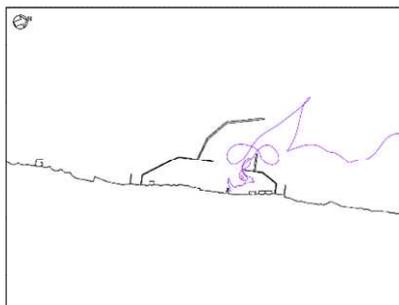
なお、前述のとおり津波襲来下における港湾内の流向・流速（流況）は防波堤の影響を強く受けるものと考えられるが、以上の評価については、防波堤の損傷を模擬した影響確認（防波堤が 1m 沈降した状況、2m 沈降した状況及び参考として防波堤がない状況における評価）を行っており、津波の原因となる地震等による防波堤の損傷を想定した場合でも、結論が変わるものではないことを確認している（図 4.2-21）。



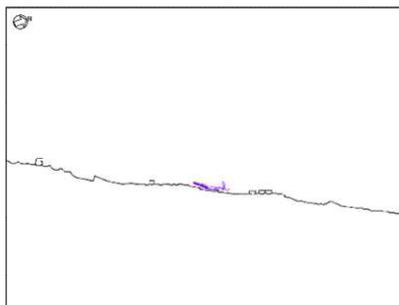
防波堤健全



防波堤 1m 沈降



防波堤 2m 沈降



防波堤なし (参考)

図 4.2-21 防波堤の地震等による損傷を考慮した影響評価

浚渫船及び土運船に伴う曳船及び揚錨船については、非航式の浚渫船及び土運船とは異なり津波警報等が発令された際には速やかな起動が可能であり、速力が 10 ノット（約 5.1m/s）程度であることから、襲来までに時間的な余裕がない基準津波 3 の場合であっても、到達時（津波警報発令後約 12 分）には港湾を抜け、3.5km 程度の沖合まで退避が可能である。したがって、曳船及び揚錨船は津波時には退避が可能であり、漂流物となることはない。【結果 I】

以上より、浚渫船及び土運船は非常用海水冷却系に必要な 6 号及び 7 号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物とはならないものと評価する。

③ その他作業船

港湾の周辺及び港湾内への船舶の来航を伴う作業のうち港湾内設備保守点検では、総トン数 5t 未満～10t の作業船が、また温排水や放射線の環境への影響を確認するための海洋環境監視調査でも同様に総トン数 5t 未満～10t の作業船が港湾内外で作業を実施する。これらの作業のうち北側防波堤内で実施する保守点検作業等においては、到達が早い津波の際には原則として作業員は陸域に避難することになるため、作業船が漂流物化し 6 号及び 7 号機の取水口に接近する可能性が考えられる。しかしながら、この場合でも、以下に示す取水口呑口の断面寸法並びに非常用海水冷却系に必要な取水路の通水量及び作業船の寸法から、その接近により取水口が閉塞し、非常用海水冷却系に必要な通水性が損なわれることはないものと考えられる。

【結果Ⅲ】

<作業船の取水路通水性に与える影響に関わる諸元>

○取水口呑口断面寸法 (図 4.2-22)

- ・高さ : (平均潮位下)
- ・幅 :
- ・平均潮位下断面積 :

○非常用海水冷却系必要通水量

- ・通常時 (循環水系) の 5% 未満

注：循環水系の定格流量約 5,300m³/分に対して非常用海水冷却系の定格流量は 180m³/分 (ポンプ全台 (6 台) 運転)

○作業船寸法 (総トン数約 10t の作業船代表例)

- ・長さ : 約 10m
- ・幅 : 約 4m
- ・喫水 : 約 1.5m
- ・水面下断面積 : 約 15m² (長手方向)

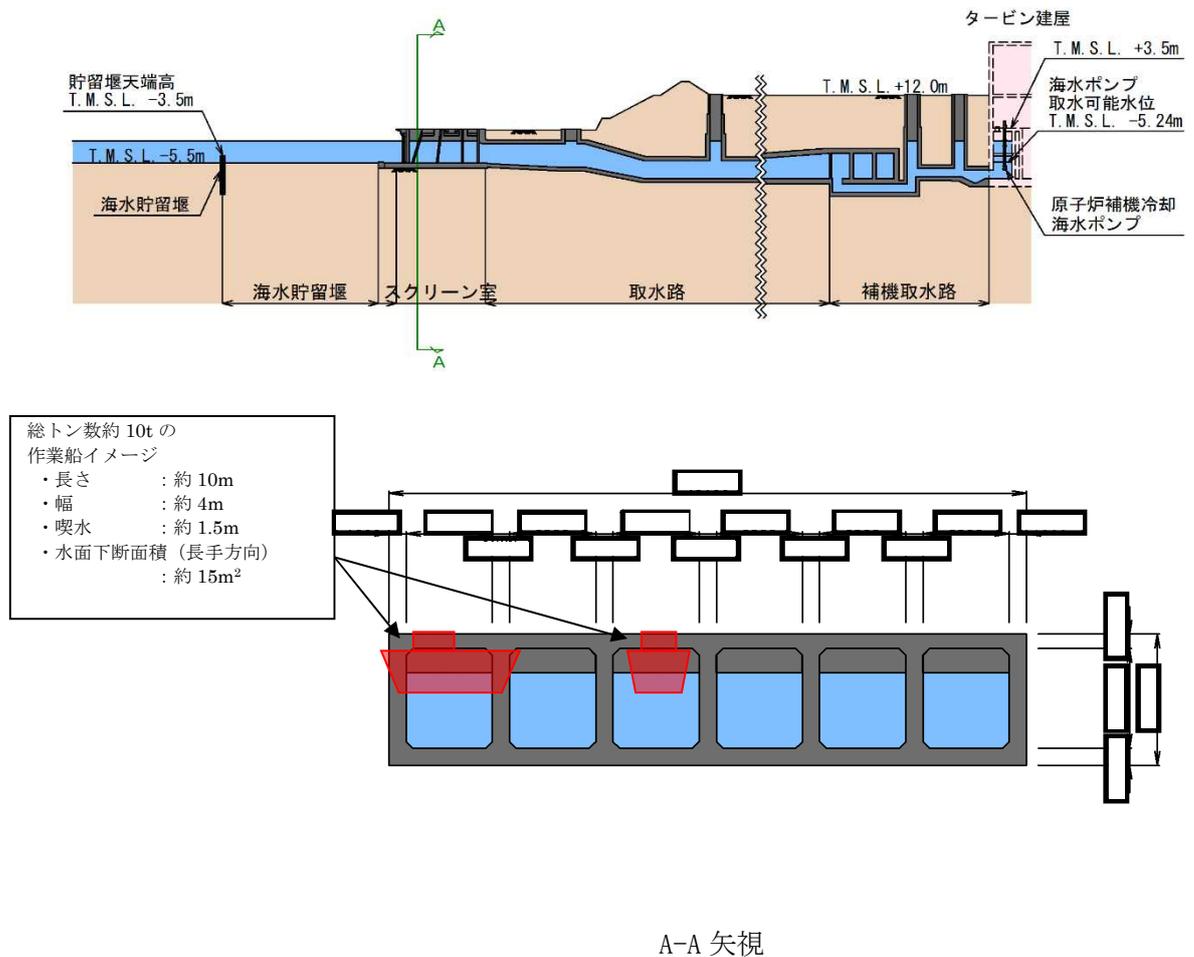


図 4.2-22 取水口呑口断面 (6号機の例)

他には、温排水の水温調査のため総トン数 5t 未満の作業船が港湾内外で作業を実施し、また放水口沖の流況・水温調査のため総トン数 5t 未満～20t の作業船が港湾外 (放水口沖) で作業する。

このうち前者については上記の作業船と同等であり、評価も同様となる。【結果Ⅲ】

また、後者については津波時には退避可能と考えられ、仮に漂流物化した場合も、後述する「分類C (構外・海域)」の「① 漁船, プレジャーボート」の評価に包含され、航行不能船舶の軌跡シミュレーション (図 4.2-31 参照) に示されるとおり津波の流向より発電所に接近する (港湾内に侵入する) ことはない。

【結果Ⅱ】

以上より、その他の作業船は非常用海水冷却系に必要な 6 号及び 7 号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物とはならないものと評価する。

④ 防波堤

防波堤の配置及び構造概要を図 4.2-23 に示す。

図に示されるとおり、防波堤は北防波堤と南防波堤とから成り、ともに混成傾斜堤とケーソン式混成堤とケーソン式混成堤により構成されている。6号及び7号機の取水口との位置関係としては、取水口前面（海水貯留堰）から最短約 200m の位置に北防波堤の混成傾斜堤が配置されている。

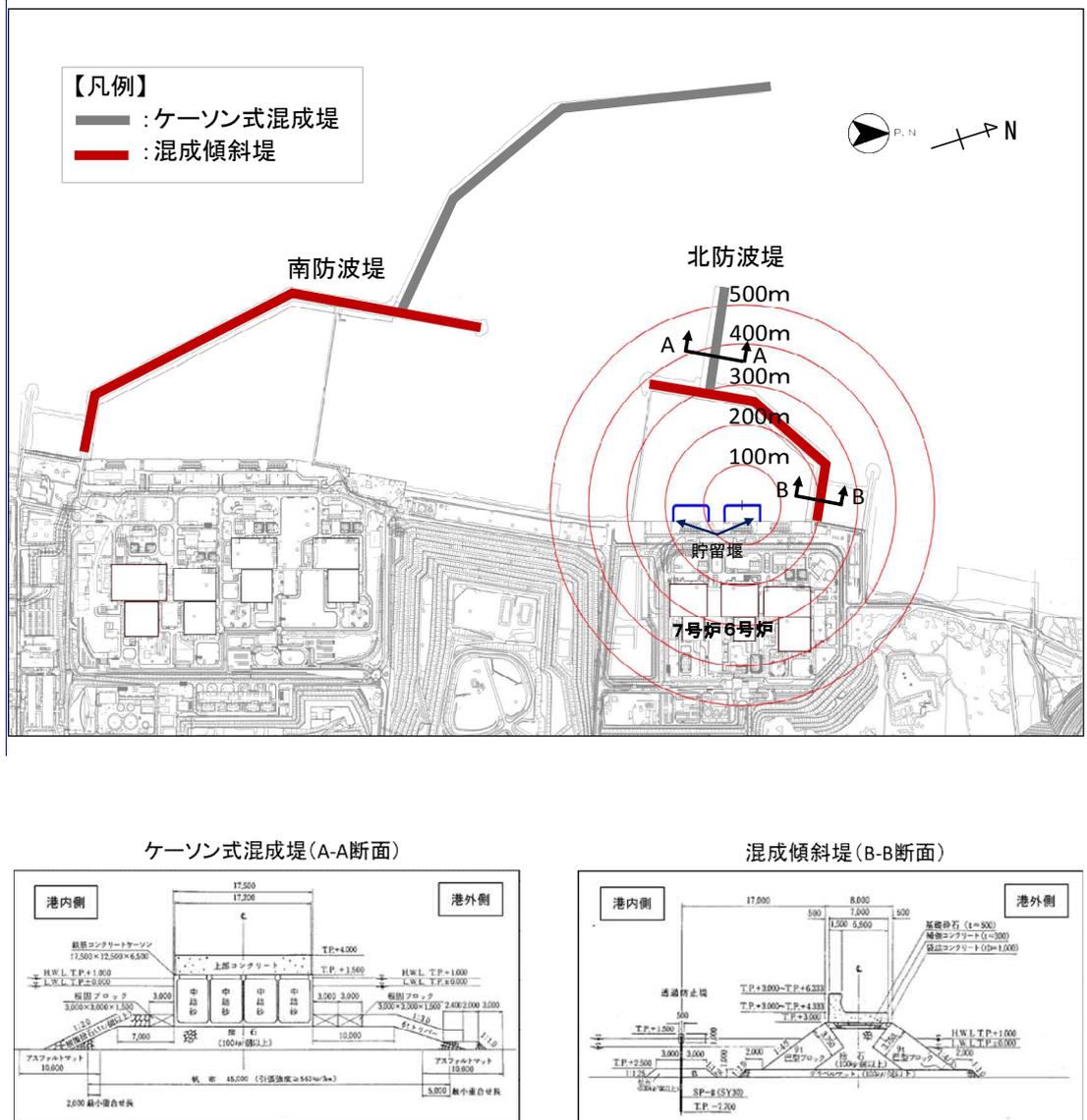


図 4.2-23 防波堤の配置及び構造概要

防波堤は津波影響軽減施設として設計しているものではないため、地震や津波波力、津波時の越流による洗掘により横転等が生じ「移動」する可能性が考えられる。しかしながら上述のとおり、防波堤と6号及び7号機の取水口の間には最短で約 200m の距離があることから、損傷した防波堤が、この「移動」により取水口に到達することはない。【結果Ⅱ】また、損傷した状態で津波による流圧力を受けることにより、滑動や転動による「漂流」

が生じる可能性が考えられるが、北防波堤部の津波流速に対して次頁に示す安定質量の評価を行うと、コンクリートの安定質量は約 900kg と算定される。これに対し、図 4.2-23 に示す防波堤の主たる構成要素である本体（上部コンクリート）、巴型ブロック等はいずれも 1t 以上の重量があることから、損傷した防波堤は、「漂流」によっても 6 号及び 7 号機の取水口に到達することはない。【結果Ⅱ】

なお、1t よりも軽量なものとしては 100kg 程度の捨石等があるが、これは巴型ブロック等の下層に敷かれていること、6 号及び 7 号機の取水口との間に距離があることを考えると、津波により滑動、転動し、取水口に到達する可能性は小さいと考えられ、仮に到達するものがあっても、「③ その他作業船」に前述した取水口呑口の断面寸法と非常用海水冷却系に必要な取水路の通水量を考慮すると、非常用海水冷却系に必要な通水性を損なうことはないものと考えられる。

【結果Ⅲ】

以上より、防波堤は地震あるいは津波により損傷した場合においても、非常用海水冷却系に必要な 6 号及び 7 号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼすことはないものと評価する。

＜安定質量の試算＞

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾の流れに対する被覆材の所要質量の評価手法に基づき、北防波堤近傍の津波流速の条件（図 4.2-23 より最大約 4m/s）における安定質量を算定すると下表の結果となる。これより、コンクリート塊については、質量が 900kg 程度あれば安定することが分かる。

なお、本手法は石を別の石の上に乗せた状態における流圧力と摩擦力の釣り合い式及び流圧力と重力によるモーメントの釣り合い式から導出されている²⁾。津波により損傷した防波堤は本手法の想定状態と類似していると考えられ、本手法を適用できる。

港湾の施設の技術上の基準・同解説（抜粋）

1. 7. 3 流れに対する被覆石及びブロックの所要質量

(1) 一般

水の流れに対するマウンドの捨石等の被覆材の所要質量は、一般的に、適切な水理模型実験又は次式によって算定することができる。式中において、記号 γ はその添字に関する部分係数であり、添字 k 及び d はそれぞれ特性値及び設計用値を示す。

$$M_d = \frac{\pi \rho_r U_d^6}{48 g^3 (\gamma_d)^6 (S_r - 1)^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3} \quad (1.7.18)$$

ここに、

- M : 捨石等の安定質量 (t)
- ρ_r : 捨石等の密度 (t/m³)
- U : 捨石等の上面における水の流れの速度 (m/s)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- γ : イスバッシュ(Isbash)の定数(埋め込まれた石にあつては 1.20, 露出した石にあつては 0.86)
- S_r : 捨石等の水に対する比重
- θ : 水路床の軸方向の斜面の勾配 (°)

- 条件：①津波流速 U : 4m/s
- ②重力加速度 g : 9.8m/s²
- ③イスバッシュの定数 γ : 0.86
- ④斜面の勾配 : 0.0°

材料	ρ (t/m ³)	S_r (= $\rho / 1.03$)	M(kg)
コンクリート	2.3	2.23	871

参考文献

- 1) (社) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（下巻），pp. 561, 2007.
- 2) 三井順，松本朗，半沢稔：イスバッシュ式の導出過程と防波堤を越流する津波への適用性，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 71, No. 2, pp. I_1063-I_1068, 2015.

表 4.2-3 漂流物評価結果 (調査分類A : 構内・海域)

評価番号	分類	内容	状況	場所	数量	重量	結果
①	船舶	燃料等輸送船	航行/停泊	・発電所港湾内 ・物揚場	1	約 5,000t (総トン数)	I
②		浚渫船	航行/停泊	・発電所港湾内 ・港湾口	1	約 500t (総トン数)	I
		土運船	航行/停泊	・発電所港湾内 ・揚陸棧橋	2	約 500t (総トン数)	I, II
		曳船	航行/停泊	・発電所港湾内 ・揚陸棧橋	2	約 100t (総トン数)	I
		揚錨船	航行/停泊	・発電所港湾内 ・揚陸棧橋	2	約 10t (総トン数)	I
③		港湾設備 保守点検 作業船	航行/停泊	・発電所港湾内外 ・物揚場 ・揚陸棧橋 ・小型船棧橋	~4 程度	5t 未満~ 約 10t (総トン数)	III
		海洋環境 監視調査 作業船	航行/停泊	・発電所港湾内外 ・物揚場 ・揚陸棧橋 ・小型船棧橋	~4 程度	5t 未満~ 約 10t (総トン数)	III
		温排水 水温調査 作業船	航行/停泊	・発電所港湾内外 ・物揚場 ・揚陸棧橋 ・小型船棧橋	~10 程度	5t 未満 (総トン数)	III
		温排水 流況・水温 調査作業船	航行/停泊	・発電所港湾外	~2 程度	約 5t~ 約 20t (総トン数)	II
④		防波堤	本体 (上部コンクリート), 巴型ブロック等	設置・ 直置き	・発電所港湾内	—	約 10t~
	捨石		直置き	・発電所港湾内	—	約 100kg~	III

注1:「数量」は同時に来航し得る数を記載する

注2:①及び②の「(総トン数)」は同種の船舶の中で最大のものを記載する

分類B（構内・陸域）

本調査範囲（構内・陸域）は大きく、「大湊側護岸部」、「荒浜側護岸部（物揚場を含む。以下同じ。）」及び荒浜側防潮堤の損傷を想定した際の遡上域である「荒浜側防潮堤内敷地」とから成る。

本調査範囲については6号及び7号機の取水口との位置関係の観点から、上記の三つの範囲に区分した上で、このサブ分類ごとに取水口及び取水路の通水性に与える影響評価を実施した。なお、図4.2-8に示した本調査範囲にある漂流物となる可能性のある施設・設備等は、大別すると表4.2-4のように分類でき、評価はこの施設・設備等の分類ごとに行った。

評価結果をそれぞれ以下に、また評価結果の一覧を後出の表4.2-11に示す。

表4.2-4 漂流物となる可能性のある施設・設備等の分類

種類		備考	
①	建屋	鉄筋コンクリート建屋	—
②		鉄骨造建屋，補強コンクリートブロック造建屋	—
③	機器類	タンク	—
④		タンク以外	—
⑤	車両	—	
⑥	資機材	一時的に持ち込む可能性がある資機材を含む	
⑦	その他一般構築物，植生	マンホール，グレーチング，チェッカープレート，外灯，監視カメラ，フェンス，シルトフェンス固定治具等の金属鋼材を主な材料とする一般構築物，樹木等	

■分類B-1：大湊側護岸部

大湊側護岸部における評価対象（図4.2-8-2）について、表4.2-4に示した施設・設備等の分類ごとに図4.2-10に示したフローにより影響評価を実施した。結果を以下に示す。

① 鉄筋コンクリート建屋

鉄筋コンクリート建屋は、被災地調査に関する報告書等によると新耐震基準（昭和 56 年 6 月 1 日に導入された耐震基準）で設計された建物は、津波による主体構造の被害はほとんどないことが確認されているが、仮に波力、あるいは津波の原因となる地震により損壊した場合でも、水密性がなく大きな浮力が発生することがないため、建屋の形で漂流物となることはないと考えられる。

【結果Ⅰ】

また、大湊側護岸部については 6 号及び 7 号機の取水口の近傍であることから、損壊により生じたコンクリート片や鉄筋等が引き波時に流圧力により滑動、転動し、取水口前面に到達する可能性が考えられるが、次頁に示す安定質量の評価より、滑動、転動が生じ得る限界重量はコンクリートで約 900kg、鋼材で約 20kg であり、取水口前面に堆積し得るものは、これと同程度以下のものに限られる。

同程度の小片については仮に取水口前面に堆積した場合でも、「分類 A（構内・海域）」の「③ その他作業船」に前述した取水口呑口の断面寸法と非常用海水冷却系に必要な取水路の通水量を考慮すると、非常用海水冷却系に必要な通水性を損なうことはないものと考えられる。

【結果Ⅲ】

以上より、鉄筋コンクリート建屋は非常用海水冷却系に必要な 6 号及び 7 号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物にならないものと評価する。

＜安定質量の試算＞

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾の流れに対する被覆材の所要質量の評価手法に基づき、大湊側護岸部で想定される引き波時の津波流速の条件（図 4.2-24 より 4m/s 未満程度）における安定質量を算定すると下表の結果となる。これより、コンクリート塊であれば 900kg 程度、鋼材であれば 20kg 程度で安定することが分かる。

なお、本手法は石を別の石の上に乗せた状態における流圧力と摩擦力の釣り合い式及び流圧力と重力によるモーメントの釣り合い式から導出されている²⁾。津波により損傷した建屋の破損片は本手法の想定状態と類似していると考えられ、本手法を適用できる。

港湾の施設の技術上の基準・同解説（抜粋）

1. 7. 3 流れに対する被覆石及びブロックの所要質量

(1) 一般

水の流れに対するマウンドの捨石等の被覆材の所要質量は、一般的に、適切な水理模型実験又は次式によって算定することができる。式中において、記号 γ はその添字に関する部分係数であり、添字 k 及び d はそれぞれ特性値及び設計用値を示す。

$$M_d = \frac{\pi \rho_r U_d^6}{48 g^3 (\gamma_d)^6 (S_r - 1)^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3} \quad (1.7.18)$$

ここに、

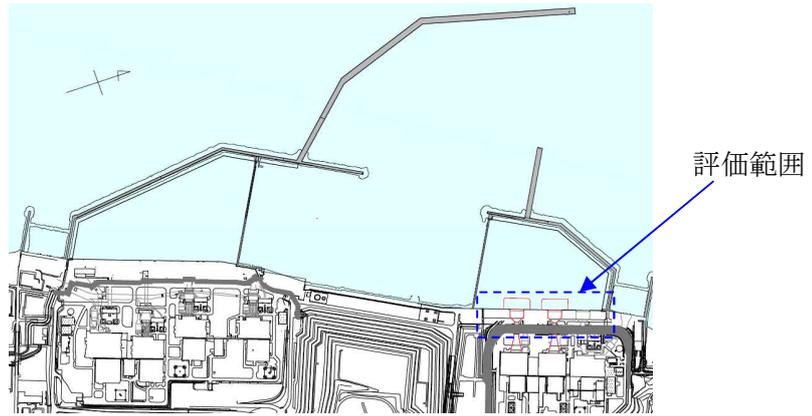
- M : 捨石等の安定質量 (t)
- ρ_r : 捨石等の密度 (t/m³)
- U : 捨石等の上面における水の流れの速度 (m/s)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- γ : イスバッシュ(Isbash)の定数(埋め込まれた石にあつては 1.20,露出した石にあつては 0.86)
- S_r : 捨石等の水に対する比重
- θ : 水路床の軸方向の斜面の勾配 (°)

- 条件：①津波流速 U : 4m/s
- ②重力加速度 g : 9.8m/s²
- ③イスバッシュの定数 γ : 0.86
- ④斜面の勾配 : 0.0°

材料	ρ (t/m ³)	S_r (= $\rho/1.03$)	M(kg)
コンクリート	2.3	2.23	871
SS, SUS	7.9	7.67	18.8

参考文献

- 1) (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（下巻），pp.561，2007.
- 2) 三井順，松本朗，半沢稔：イスバッシュ式の導出過程と防波堤を越流する津波への適用性，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.71，No.2，pp.I_1063-I_1068，2015.



(Key Plan)

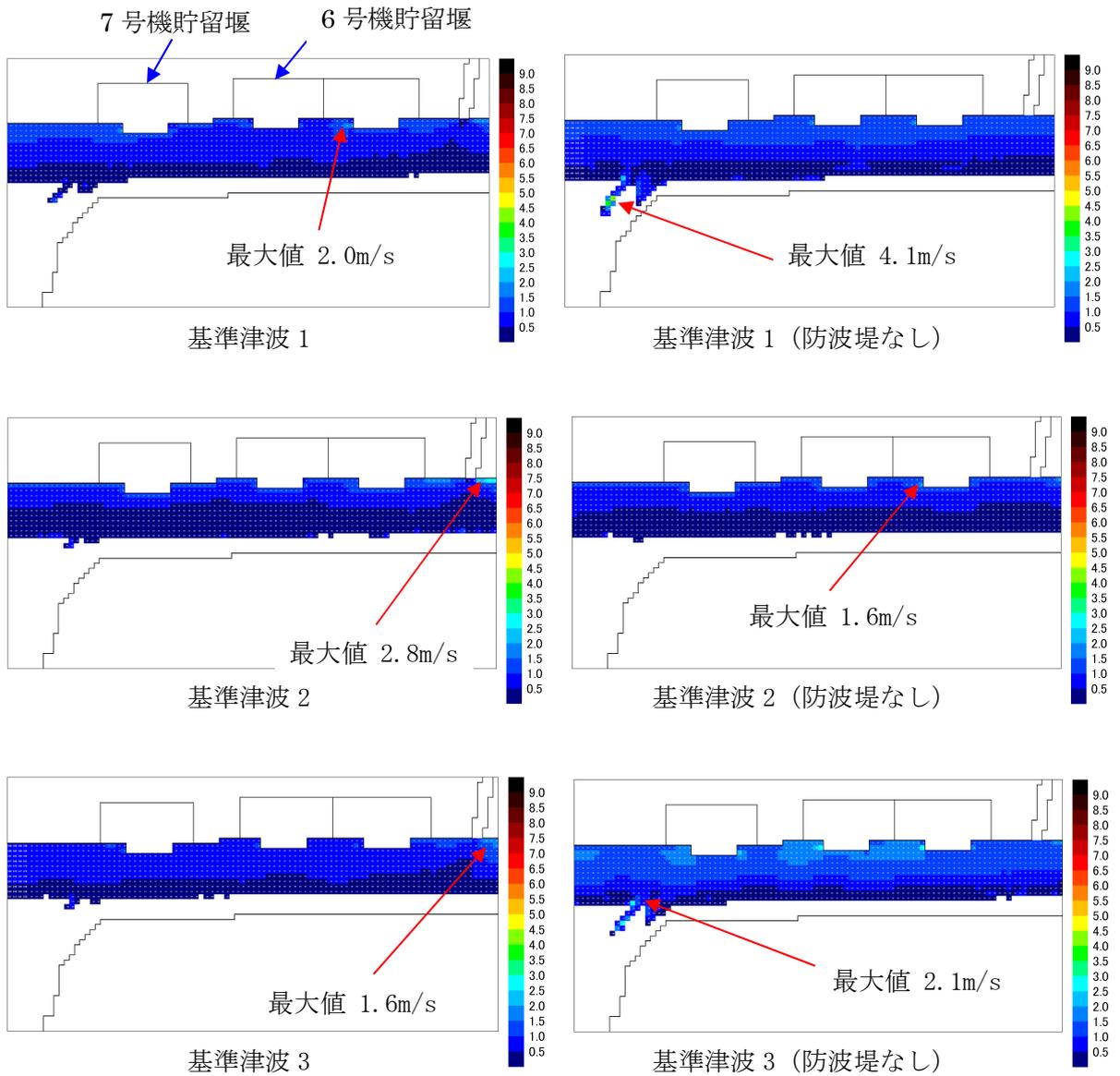


図 4.2-24 大湊側護岸部における海域方向最大流速

② 鉄骨造建屋

鉄骨造建屋は津波の原因となる地震もしくは津波による波力で損壊する可能性が考えられるが、水密性がなく大きな浮力が発生することがないため、建屋の形で漂流物となることはないと考えられる。

【結果 I】

損壊により生じ得る鉄骨についても、その重量から津波に流されることはなく、その場に留まるものと考えられるが、建屋外装材については、浮力あるいは滑動により漂流物となる可能性が考えられる。しかしながら、6号及び7号機の取水口周辺に配置されている鉄骨造建屋は図4.2-8-2に示したとおり「K6/7スクリーン点検用テントハウス」のみであり、この外装材である基布は、鉄骨に堅固に固縛されていることから、津波により鉄骨と分離することはなく、漂流物となることはないと考えられる。

【結果 I】

なお、「K6/7スクリーン点検用テントハウス」の建屋内包物に対する評価は「⑥ 資機材」に分類し説明する。

以上より、鉄骨造建屋は非常用海水冷却系に必要な6号及び7号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物にならないものと評価する。

③ 機器類（タンク）

大湊側護岸部には本分類に該当する機器類は存在しない。

④ 機器類（タンク以外）

大湊側護岸部にある機器類としてはクレーン、電気・制御盤、避雷鉄塔等がある。これらについては津波の原因となる地震もしくは津波による波力による破損・変形等の可能性が考えられるが、いずれも金属製であり、水密性もなく大きな浮力が発生することもないため、漂流物となることはないと考えられる。

【結果 I】

なお、機器類のうち除塵装置については「(b) 取水スクリーンの破損による通水性への影響」において説明する。

以上より、機器類のうちタンク以外については非常用海水冷却系に必要な6号及び7号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物にならないものと評価する。

⑤ 車両

車両のうち、普通乗用車や軽自動車、軽量なトラック等は漂流物となる可能性があるが、取水設備の点検作業等の際に車両を乗り入れる場合においては、大津波警報により退避する手順を定めており、その実効性についても確認を行っている。このため、津波により車両が漂流物となることはないと考えられる。

【結果 I】

以上より、車両については非常用海水冷却系に必要な6号及び7号機の取水口及び取水

路の通水性に影響を及ぼす漂流物にならないものと評価する。

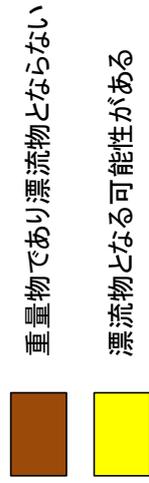
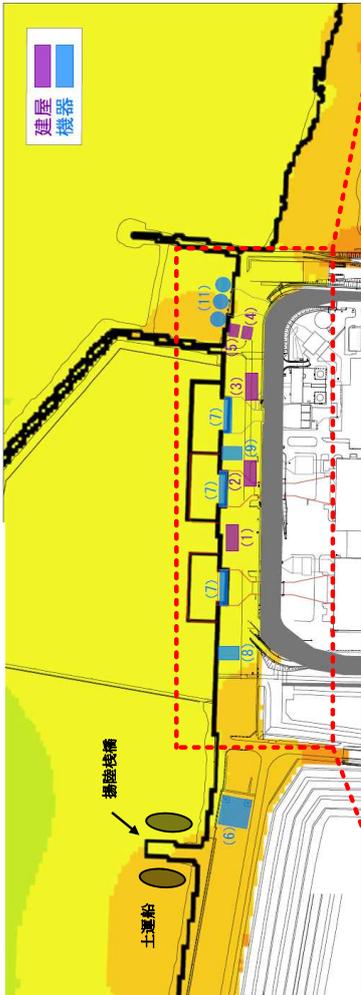
⑥ 資機材

資機材としては現場に常時保管されているものと一時的に持ち込む可能性があるものがあるが、前者のうちスクリーンやスクリーン点検架台・治具、角落とし、また後者のうち発電機や動力盤など、鋼製あるいはコンクリート製の物品については重量物であり、漂流物となることはない。【結果 I】

一方、軽量な（比重が小さく浮く、あるいは滑動，転動し得る）資機材としては仮設ハウス類や足場板等があり、これらについても固縛する運用とするため漂流物となる可能性は小さいと考えられるが、番線固縛等において品質が一定でない可能性も考慮し、ここでは保守的に、津波により固縛部が損傷し、仮設ハウス等自体あるいはその内包物が漂流物化することを想定するものとする。

大湊側護岸部について、常時保管されている、あるいは一時的に持ち込む可能性のある資機材（重量物を含む）の詳細を示すと図 4.2-25 及び表 4.2-5 のとおりとなり、このうち漂流物化する可能性がある軽量物を抽出すると表 4.2-6 となる。

大湊側護岸部 (図 4.2-8-2)



大湊側護岸部拡大図

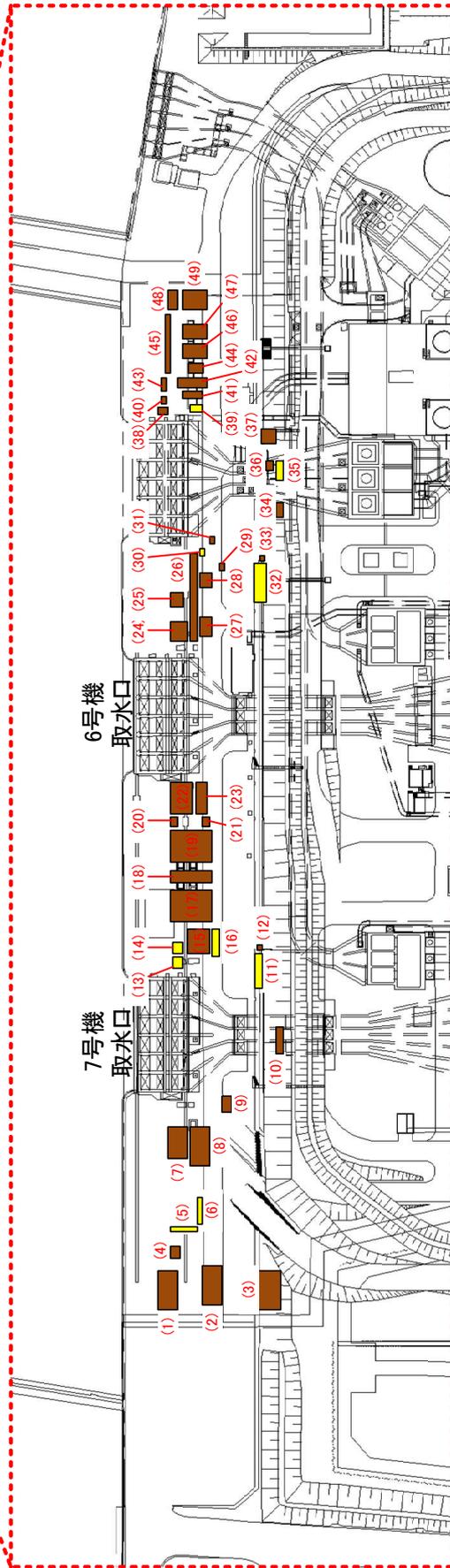


図 4.2-25 大湊側護岸部における資機材の詳細

表 4.2-5 大湊側護岸部における資機材の詳細

配置番号	項目	数量	材質	漂流物化有無 ○:無/x:有	備考
1	ハウジングカバー(バー回転式スクリーン)	1	FRP	○	架台に固定される
2	ハウジングカバー(トラベリングスクリーン)	1	FRP	○	架台に固定される
3	ハウジングカバー用架台	3	鋼製	○	
4	角差とし	1式	鋼製	○	
5	角ホルダー	1	鋼製	○	
6	本体フレーム受け台	26	鋼製	○	
7	角パイプ	~30	鋼製	x	
8	角材	~30	鋼製	x	
9	角材	16	木製	x	
10	バスケット(バー回転式スクリーン)	38	鋼製	○	
11	バスケット(トラベリングスクリーン)	37	鋼製	○	
12	リフトインジビーム	1	鋼製	○	
13	仮設電源・動力・分電盤	1	-	○	固定又は固縛されている
14	仮設ハウス	1	-	x	
15	仮設ハウス	1	-	x	
16	仮設電源・動力・分電盤	1	-	○	固定又は固縛されている
17	工具収納棚	1	-	x	
18	仮設ハウス	1	-	x	
19	角材	~50	木製	x	
20	ハウジング本体(バー回転式スクリーン)	1式	鋼製	○	
21	ハウジング本体(トラベリングスクリーン)	1式	鋼製	○	
22	脚管パイプ	~150	鋼製	x	
23	足場板	~50	FRP	○	
24	角パイプ	~50	鋼製	x	
25	スクリーン点検用架台・治具	~20	鋼製	○	
26	開口部養生板・治具	~30	鋼製	○	
27	渡り歩廊	1	鋼製	○	
28	スクリーン(バー回転式スクリーン)	1式	鋼製	○	
29	スクリーン(トラベリングスクリーン)	1式	鋼製	○	
30	渡り歩廊	~150	鋼製	○	
31	角差とし	1式	鋼製	○	
32	仮設作業床	1	鋼製	○	
33	仮設作業床	1	鋼製	○	
34	台車乗り上げ台	3	鋼製	○	
35	安全スクリーン	1	鋼製	○	
36	リフトインジビーム	2	鋼製	○	
37	固定バー	2	鋼製	○	
38	ハウジング本体(バー回転式スクリーン)	1式	鋼製	○	
39	ハウジング本体(トラベリングスクリーン)	1式	鋼製	○	
40	キャンピングチェーン	1式	-	○	
41	本体フレーム(バー回転式スクリーン)	1式	鋼製	○	
42	本体フレーム(トラベリングスクリーン)	1式	鋼製	○	
43	高所作業車	1	-	○	
44	洗浄機	2	-	x	
45	仮設電源・動力・分電盤	2	-	○	固定又は固縛されている

配置番号	項目	数量	材質	漂流物化有無 ○:無/x:有	備考
32	仮設ハウス	5	-	x	
	車管パイプ	~100	鋼製	x	
	足場板	~50	アルミ	x	
	二輪車	2	-	x	
	水中ポンプ用配管	3	鋼製	○	
33	仮設電源・動力・分電盤	1	-	○	固定又は固縛されている
34	リフトインジビーム	1	鋼製	○	
35	排水用ホース	4	-	x	
36	仮設電源・動力・分電盤	2	-	○	固定又は固縛されている
37	タミーフレーム	2	鋼製	○	
38	仮設手摺	28	鋼製	○	
39	仮設電源・動力・分電盤	2	-	○	固定又は固縛されている
40	洗浄機	2	-	x	
41	ハウジングカバー用架台	2	鋼製	○	
42	点検架台	2	鋼製	○	
43	バスケット予備機(バー回転式スクリーン)	38	鋼製	○	
44	バスケット予備機(トラベリングスクリーン)	38	鋼製	○	
45	リフトインジビーム	1	鋼製	○	
46	本体フレーム受け台	18	鋼製	○	
47	固定バー受け台	6	鋼製	○	
48	スクリーン点検用架台	~10	鋼製	○	
49	ハウジングカバー(バー回転式スクリーン)	2	FRP	○	架台に固定される
50	ハウジングカバー(トラベリングスクリーン)	2	FRP	○	架台に固定される
51	本体フレーム(バー回転式スクリーン)	1式	鋼製	○	
52	本体フレーム(トラベリングスクリーン)	1式	鋼製	○	
53	工具箱	2	鋼製	○	ウェイト等を内包する重量物
54	ハウジング本体(バー回転式スクリーン)	1式	鋼製	○	
55	ハウジング本体(トラベリングスクリーン)	1式	鋼製	○	
56	水中ポンプ(預け込み)	~4	-	x	設置・使用場所が固定されない
57	カラコーン	~10	-	x	設置・使用場所が固定されない
58	車管パイプ	~20	鋼製	x	設置・使用場所が固定されない
59	脚立	~10	アルミ	x	設置・使用場所が固定されない

表 4.2-6 大湊側における軽量資機材一覧

番号	項目	数量	材質	寸法 (長さ×幅×高さm)	質量 (kg)	備考
5	角パイプ	~30	鋼製	-	-	
	角材	~30	木製	-	-	
	角材	16	木製	-	-	
11	仮設ハウス	2	-	5.44×2.30×2.60	1000	工具類、机・イス等を 収納
				3.60×1.84×2.60	800	
13	工具収納棚	1	-	1.00×1.80×1.70	300	工具類を収納
				5.44×2.30×2.60	1000	
14	角材	~50	木製	-	-	
	単管パイプ	~150	鋼製	-	-	
	足場板	~50	アルミ	-	-	
16	角パイプ	~50	鋼製	-	-	
	洗浄機	2	-	1.05×0.60×0.80	150	
	仮設ハウス	5	-	4.63×2.46×2.14	840	工具類、机・イス等を 収納
32	単管パイプ	~100	鋼製	-	-	
	足場板	~50	アルミ	-	-	
	二輪車	2	-	-	-	
35	排水用ホース	4	-	-	-	
39	洗浄機	2	-	1.05×0.60×0.80	150	
	水中ポンプ (投げ込み)	~4	-	-	-	
その他	カラコーン	~10	-	-	-	
	単管バリケード	~20	鋼製	-	-	
	脚立	~10	アルミ	-	-	

漂流物化し6号及び7号機の取水口前面に堆積した場合における通水性に与える影響は、容積（水面下断面積）の大きさに依存して大きくなることから、表4.2-6より、通水性に対する主要な影響因子は仮設ハウス類であることが分かる。図4.2-25に示した配置より、これらが漂流物化した際に一箇所に集中して堆積することはないものと考えられるが、保守的な想定として6号機取水口付近の計5個、あるいは7号機取水口付近の計5個の仮設ハウス類がすべて各取水口前面に選択的に集中して堆積することを仮定しても、図4.2-22に示した取水口呑口の断面積より、取水口が閉塞することはない。したがって、前述した取水口呑口の断面寸法と非常用海水冷却系に必要な取水路の通水量を考慮すると、これらの堆積により非常用海水冷却系に必要な通水性が損なわれることはないものと考えられる。なお、仮設ハウス類が破損した場合にはその内包物である工具類等が流出することになるが、この場合には比重が大きいものは沈降し、また小さいものは取水口上部の海面に浮遊するため、取水口に対する閉塞効果は、仮設ハウス類が形状を保ち取水口前面に堆積るとした上記の条件に包含される。また、仮設ハウス類以外の資機材についても同様であり、その閉塞効果は、積算的な効果も含め、上記の仮設ハウス類が「選択的に集中する」とした保守的な想定に包含される。

【結果Ⅲ】

以上より、資機材は非常用海水冷却系に必要な6号及び7号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物にならないものと評価する。

⑦ その他一般構築物、植生

その他一般構築物のうち、マンホール、チェッカープレート、鋼製階段等は重量物であり漂流物となることはないと考えられる。

【結果Ⅰ】

他には監視カメラや拡声器、標識類等があり、これらも基礎等に設置されている、あるいは固縛されているが、津波の原因となる地震や津波の波力により損壊あるいは転倒し、分離して漂流物となる可能性が考えられる。しかしながら、これらが漂流物化した場合でも、引き波時に6号及び7号機の取水口付近に接近するものは同取水口周辺に設置されたものに限られ、かついずれも容積（断面積）が小さいことから、その評価は「⑥ 資機材」における仮設ハウス類が「選択的に集中する」とした保守的な想定に包含される。【結果Ⅲ】

なお、大湊側護岸部を含め、6号及び7号機の周辺には植生はないため、津波により通水性に影響を及ぼす程度の多量の流木が6号及び7号機の取水口に到達することはないものと考えられる。

【結果Ⅱ】

以上より、その他一般構築物、植生については非常用海水冷却系に必要な6号及び7号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物にならないものと評価する。

■分類B-2：荒浜側護岸部

荒浜側護岸部における評価対象（図4.2-8-3）のうち、種類や設置・運用状況において、

前項で示した大湊側護岸部における評価対象に包含されないものとしては次の三点が挙げられる。

- ② 鉄骨造建屋及び補強コンクリートブロック造建屋

大湊側護岸部にある鉄骨造建屋は堅固に固縛した基布を外装材としたもののみであるが、荒浜側護岸部にある鉄骨造建屋には耐酸アクリル被覆鋼板等の金属板を外装材としたものがある。

また、大湊側護岸部には補強コンクリートブロック造建屋は存在しないが、荒浜側護岸部には同構造の市水道用ポンプ室がある。

- ③ 機器類（タンク）

大湊側護岸部には該当する機器類が存在しないが、荒浜側護岸部には重油貯蔵タンク 2 基が設置されている。

- ⑤ 車両

大湊側護岸部では作業等で乗り入れる車両は津波時には退避するが、荒浜側護岸部では、物揚場における作業等において一定期間、駐車され得る車両が存在する。

このうち、鉄骨造建屋の金属製の外装材（津波の原因となる地震や津波の波力による損壊により生じ得る分離片）については、津波により滑動する可能性はあるが、重量（比重）より沈降するため、荒浜側の護岸部から大湊側の 6 号及び 7 号機取水口に到達するような漂流物となることはない。また、補強コンクリートブロック造の建屋については、津波により損壊し、損壊により生じたコンクリート片が津波により滑動する可能性はあるが、これらのコンクリート片は重量（比重）より沈降するため、荒浜側の護岸部から大湊側の 6 号及び 7 号機取水口に到達するような漂流物となることはない。

重油貯蔵タンク 2 基については、いずれも運用を停止し空状態で保管されており、6 号及び 7 号機の起動前に撤去する計画としているため、非常用海水冷却系に必要な取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物となることはない。一方、車両については、漂流物となる可能性が考えられる。

上記の三点以外については、表 4.2-4 に示した①～⑦のいずれの分類の施設、設備等についても、前項で示した大湊側護岸部における種類や設置・運用状況に包含される。

これより、荒浜側護岸部において漂流物化する可能性がある施設、設備等を整理すると、表 4.2-7 となる。

表 4.2-7 漂流物化する可能性のある施設、設備等（荒浜側護岸部）

種類			漂流物化する可能性のある施設、設備等
①	建屋	鉄筋コンクリート建屋	なし 注：地震・津波による損壊により生じ得るコンクリート片等は重量（比重）より沈降するため、荒浜側護岸部から大湊側の6号及び7号機取水口に到達するような漂流物とならない
②		鉄骨造建屋，補強コンクリートブロック造建屋	なし 注：地震・津波による損壊により生じ得るコンクリート片等は重量（比重）より沈降するため、荒浜側護岸部から大湊側の6号及び7号機取水口に到達するような漂流物とならない
③	機器類	タンク	なし
④		タンク以外	なし
⑤	車両		車両
⑥	資機材		仮設ハウス類，角材，カラーコーン等 注：自重よりも浮力が大きいものに限る
⑦	その他一般構築物，植生		監視カメラ，拡声器，標識類等 注：自重よりも浮力が大きいものに限る

これらの施設、設備等のうち、比較的容積（水面下断面積）が大きい仮設ハウス類及び車両については、6号及び7号機の取水口に到達した場合には、取水口・取水路の通水性に影響を及ぼす可能性があるが、これらについてはある程度の水密性を有する車両であっても海域に流出すると10分程度で浸水が生じ沈降する¹⁾。このため、取水口まで700mを超える距離があること及び図4.2-3に示される津波襲来下における港湾内の流向・流速（流況）において荒浜側から大湊側に向かう継続した流れが生じていないことを考慮すると、仮設ハウス類や車両は取水口に到達することなく水没するものと考えられる。

これを確認するため、保守的な想定として、これらが60分間水没せずに漂流し続けた上で、その際の挙動の軌跡シミュレーション評価を実施した。評価条件を表4.2-8の条件とし、図4.2-26に示す護岸部の複数位置を初期配置とした際の軌跡のシミュレーションを実施したところ図4.2-27の結果となった。

表 4.2-8 軌跡シミュレーションの評価条件（荒浜側護岸部）

項目	評価条件	備考	
評価時間	地震発生から 120 分間	○到達までに時間を要する基準津波 1, 2 の第一波到達時間(地震発生から約 40 分)と保守的に想定した漂流継続時間 60 分にさらに裕度を加味して設定。	
漂流開始条件	浸水深 10cm 時点	○普通乗用車の場合であれば浸水深 50cm 以上で車体が漂流する可能性があることが確認されている ²⁾ など、実際は浸水深がある程度の深さにならないと漂流は開始しないが、保守的に、わずかでも浸水が生じた時点（解析上の取り扱いとして浸水深 10cm）で漂流が開始するものとする。	
地形 モデル	斜面崩壊・ 地盤変状	健全状態	○荒浜側護岸部の沈下について、影響評価として確認する。
	荒浜側 防潮堤	健全状態	○損傷状態について、影響評価として確認する。
	防波堤	健全状態	○損傷状態について、影響評価として確認する。

参考文献

- 1) 野島和也，櫻庭雅明，小園裕司：水没を考慮した実務的な津波漂流物による被害リスク算定，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.70，No.2，pp. I-261-I_265，2014.
- 2) 戸田圭一，石垣泰輔，尾崎平，西田知洋，高垣裕彦：氾濫時の車の漂流に関する水理実験，河川技術論文集，第 18 巻，pp. 499-504，2012.

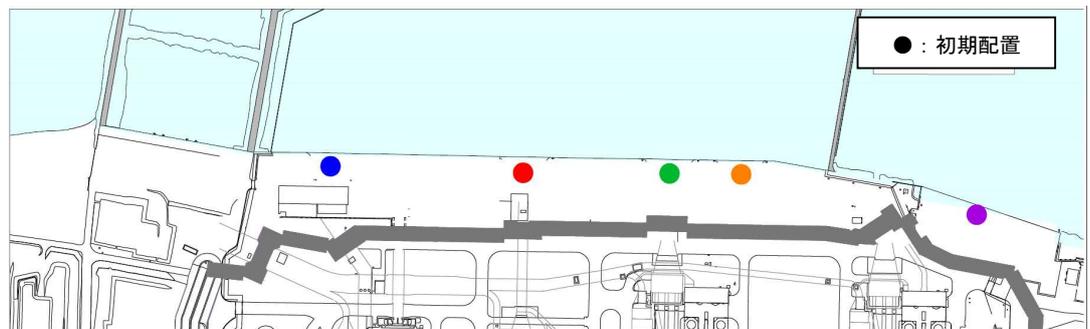


図 4.2-26 漂流物軌跡評価の初期配置（荒浜側護岸部）

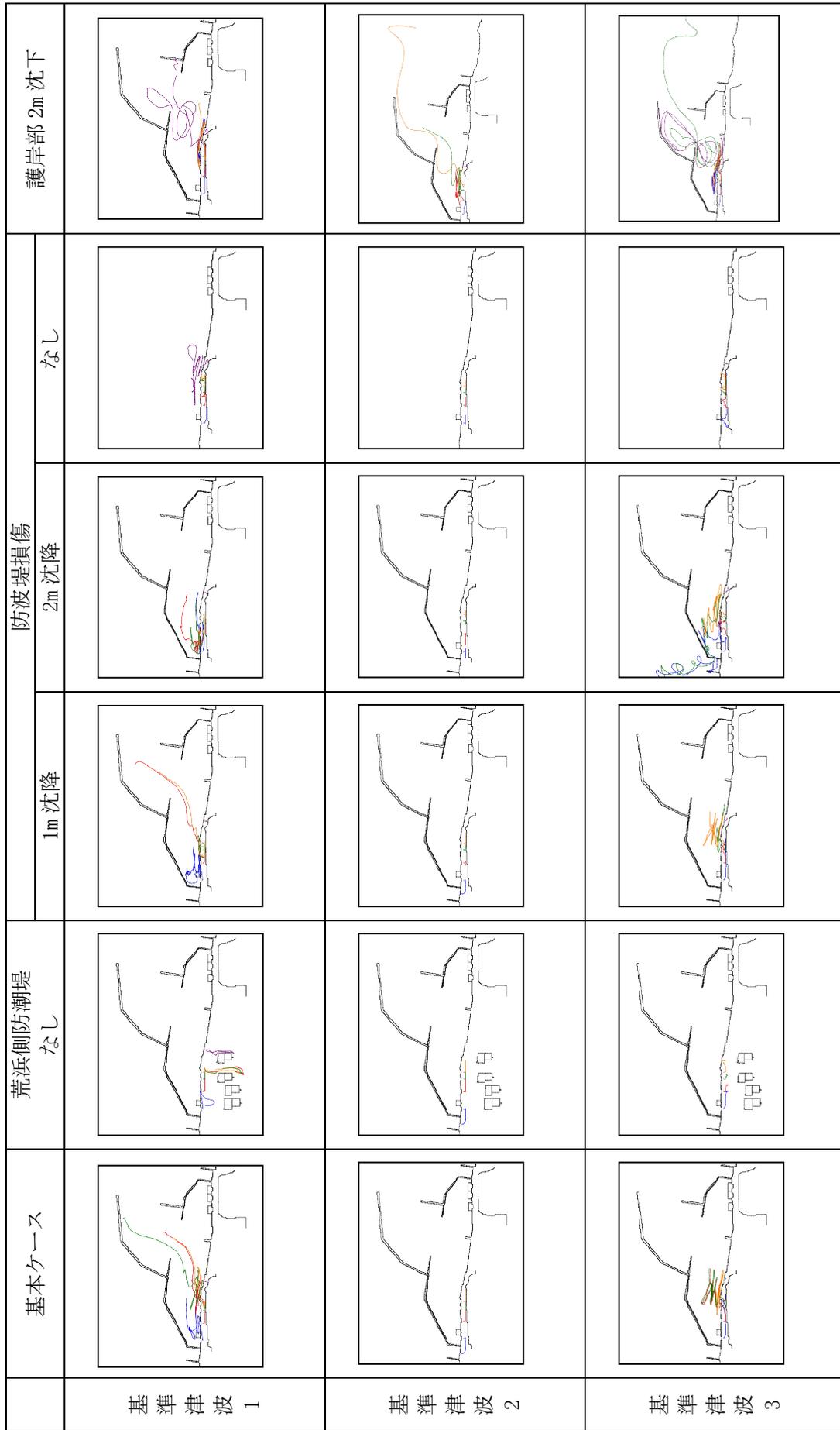


図 4.2-27 荒浜側護岸部で発生した漂流物の挙動

以上の結果において、いずれのケースにおいても軌跡が6号及び7号機の取水口に到達する様子は見られておらず、これより荒浜側護岸部で漂流物化した仮設ハウス類、車両が大湊側の6号及び7号機の取水口に到達し、取水口前面に堆積することはないものと考えられる。

【結果Ⅱ】

なお、以上の評価において、荒浜側防潮堤については護岸部に置かれた施設、設備等の海域への流出という観点で保守側の効果を持つと考えられるが、図4.2-27に示した防潮堤の損傷を模擬した条件（防潮堤がない条件）における評価結果より、結論が変わるものではないことを確認している。また、津波の原因となる地震により防波堤が損傷する可能性も考慮し、防波堤の損傷を模擬した条件（1m沈降、2m沈降及び防波堤がない条件）における影響評価及び液状化等による地盤の沈下の可能性も考慮し、これを模擬した条件（2m沈下）における影響評価も実施しており、その結果を図4.2-27に示している。同図より、これらの影響を考慮しても結論が変わるものではないことを確認している。

一方、表4.2-7に示した荒浜側護岸部で漂流物化する可能性のある施設、設備等のうち、容積（水面下断面積）が小さいものの中には角材やカラーコーン等、仮設ハウス類や車両とは異なり、沈降せずに漂流を続けるものがある可能性が考えられる。しかしながら、これらについても図4.2-3に示した港湾内の流向・流速（流況）より、基準津波襲来下において一様に大湊側の6号及び7号機の取水口に向かうことは考え難い。図4.2-27に示した軌跡シミュレーション結果においても、120分間の評価時間より長い時間を考慮すると6号及び7号機の取水口に接近するものがあることは考えられるが、軌跡が一様に取水口に向かうような傾向は見られていない。よって、仮に取水口に到達するものがある場合でもその量は限定的であり、評価は「分類B-1：大湊側（護岸部）」の「⑥ 資機材」における仮設ハウス類が「選択的に集中する」とした保守的な想定に包含されるものと考えられる。

【結果Ⅲ】

以上より、荒浜側護岸部における漂流物となる可能性のある施設・設備等については、非常用海水冷却系に必要な6号及び7号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物にならないものと評価する。

なお、以上の評価において、沈降しない漂流物については、基準津波の主要波が過ぎた後も港湾内で漂流を続ける可能性があるため、津波後の中長期的な対応までを考えたときは、前述の大湊側護岸部（分類B-1）、また後述の荒浜側防潮堤内敷地（分類B-3）で発生するものがあることも踏まえると、徐々に6号及び7号機の取水口前面に集積が進み、時間とともに通水性を悪化させる可能性が考えられる。この場合でも、これらの漂流物は取水口上部の海面に浮遊するため、取水口を閉塞させることはないと考えられるが、非常用海水冷却系の取水性を安定的に確保する観点から、津波が襲来した後には、補機取水槽の水位の変動傾向や現場状況に基づき、必要な場合には取水口前面の集積物の除去を行う運用を定めることとする。

■分類B－3：荒浜側防潮堤内敷地

荒浜側防潮堤内敷地における評価対象（図4.2-8-4）のうち、種類や設置・運用状況において、前項までに示した大湊側護岸部、荒浜側護岸部における評価対象に包含されないものとしては次の点が挙げられる。

● ③ 機器類（タンク）

大湊側護岸部、荒浜側護岸部には、今後も継続して置かれる該当機器類が存在しないが、荒浜側防潮堤内敷地には次の機器類が存在する。

- ・1号～4号機 軽油タンク（各2基）
- ・1号～4号機 泡原液貯蔵タンク（泡消火設備）
- ・1号～4号機 NSD 収集タンク（NSD 収集処理装置）
- ・SPH サージタンク
- ・液化窒素貯槽（窒素ガス供給装置）
- ・液化酸素タンク

● ⑤ 車両

大湊側護岸部、荒浜側護岸部には駐車場はないが、荒浜側防潮堤内敷地には駐車場があり、津波襲来時にも駐車されている車両が存在し得る。

これらについては、漂流物となる可能性が考えられる。

一方、上記以外については、表4.2-4に示した①～⑦のいずれの分類の施設、設備等についても、前項までに示した大湊側護岸部、荒浜側護岸部における種類や設置・運用状況に包含される。

これより、荒浜側防潮堤内敷地において漂流物化する可能性がある施設、設備等を整理すると、表4.2-9となる。

表 4.2-9 漂流物化する可能性のある施設、設備等
(荒浜側防潮堤内敷地)

種類		漂流物化する可能性のある施設、設備等
①	建屋	鉄筋コンクリート建屋 なし 注：地震・津波による損壊により生じ得るコンクリート片等は重量（比重）より沈降するため、荒浜側護岸部から大湊側の6号及び7号機取水口に到達するような漂流物とならない
②		鉄骨造建屋，補強コンクリートブロック造建屋 なし 注：地震・津波による損壊により生じ得るコンクリート片等は重量（比重）より沈降するため、荒浜側護岸部から大湊側の6号及び7号機取水口に到達するような漂流物とならない
③	機器類	タンク 軽油タンク，泡原液貯蔵タンク，NSD 収集タンク，SPH サージタンク，液化窒素貯槽，液化酸素タンク
④		タンク以外 なし
⑤	車両	車両
⑥	資機材	仮設ハウス類，角材，カラーコーン等 注：自重よりも浮力が大きいものに限る
⑦	その他一般構築物，植生	監視カメラ，拡声器，標識類等 注：自重よりも浮力が大きいものに限る

荒浜側防潮堤内敷地については、地震により荒浜側防潮堤の津波防護機能が喪失し津波が流入するような状況でも、現実的には重量物である同防潮堤の上部工等が津波により流されて大きく位置を変えるようなことは生じない。このため、仮に敷地部で漂流物化するものがあつた場合でも、護岸部との境界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。

また、6号及び7号機の取水口・取水路の通水性の観点で影響が大きい比較的容積が大きい軽油タンクやSPHサージタンクについては、内包物を含めた自重や据付ボルト類、堰や遮蔽壁等の周辺状況より、漂流物化することはないものと考えられる。加えて、仮に漂流物化し海域に流出するものがあると仮定した場合でも、その後の挙動は分類B-2の荒浜側護岸部に対する評価で示されたのと同様の傾向を示すと考えられ、評価も分類B-2に対する評価に包含されると考えられる。

以上より、荒浜側防潮堤内敷地における漂流物となる可能性のある施設・設備等については、6号及び7号機の取水口に到達することは考え難く、非常用海水冷却系に必要な取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物にならないものと評価する。【結果 I，II】

なお、以下では参考として、荒浜側防潮堤内敷地上における漂流物の挙動の把握を目的として、表 4.2-10 に示す保守的な条件により軌跡のシミュレーション評価を実施した。

表 4.2-10 軌跡シミュレーションの評価条件
(荒浜側防潮堤内敷地)

項目		評価条件	備考
漂流開始条件		浸水深 10cm 時点	○施設、設備等の設置状況や周辺状況（ボルトによる固定、堰の存在等）に依らず、保守的に、わずかでも浸水が生じた時点（解析上の取り扱いとして浸水深 10cm）で漂流が開始するものとする。
地形 モデル	斜面崩壊・ 地盤変状	荒浜側護岸部・ 防潮堤内敷地 2m 沈下	○地盤変状（2m 沈下）が敷地における浸水範囲、浸水深を増大させ、引き波時の海域への流出を促すと考えられるため、評価条件として地盤変状を考慮する。
	荒浜側防潮堤	なし	○海域への流出にあたり障害となる防潮堤の存在は考慮しない。
	荒浜側敷地 建屋	主要建屋を 考慮	○建屋の存在が漂流物の海域への流出の阻害要因となる可能性を考慮し、主要建屋（1~4 号機原子炉建屋、タービン建屋）のみを考慮する。
	防波堤	健全状態	○損傷状態について、影響評価として確認する。

図 4.2-28 に示す敷地部のタービン建屋（T/B）の海側と山側の複数位置を初期配置として、地震発生から 120 分間の軌跡のシミュレーションを実施したところ図 4.2-28 の結果となった。

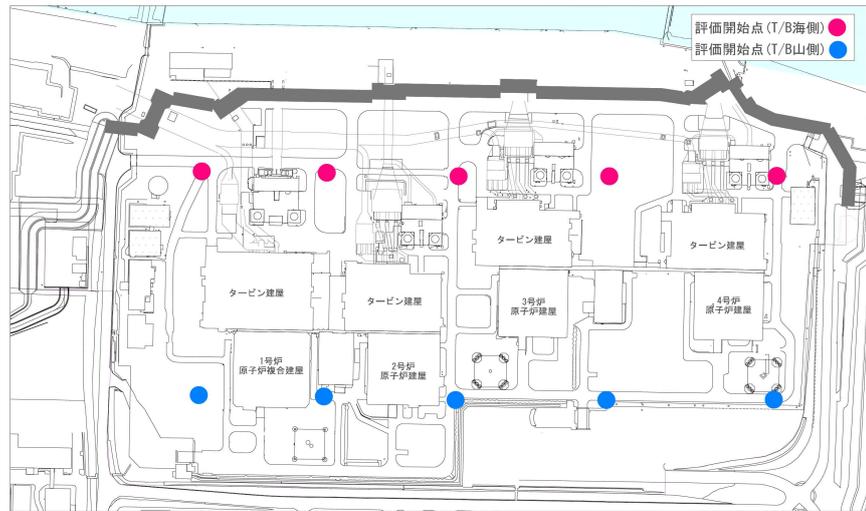


図 4.2-28 漂流物軌跡評価の初期配置（荒浜側防潮堤内敷地）

この結果において、ほとんどのケースにおいて軌跡は海域に流出してない。また、津波の原因となる地震により防波堤が損傷する可能性も考慮し、防波堤の損傷を模擬した条件（防波堤がない条件）における影響を評価した結果を図 4.2-29 に合わせて示すが、これについても結論が変わるものではないことを確認している。

これより、荒浜側防潮堤内敷地における漂流物となる可能性のある施設・設備等については、漂流物化や海域への流出に関して保守的な仮定をおいた場合でも、海域に流出する可能性は低いものと考えられる。

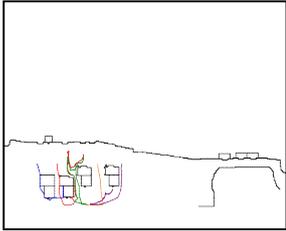
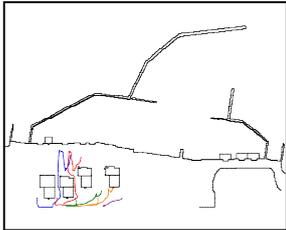
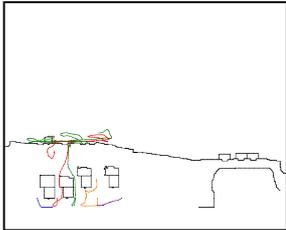
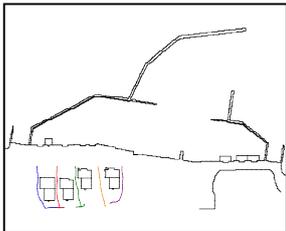
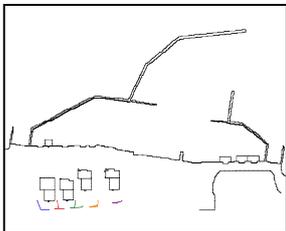
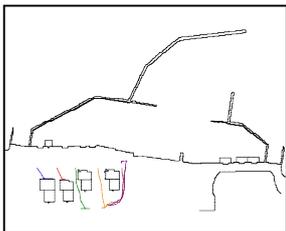
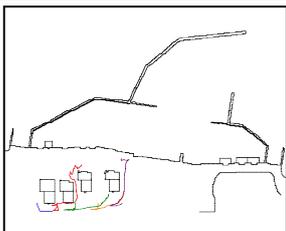
津波	漂流開始点	防波堤状態	
		健全	なし
基準津波 1	T/B 海側		
	T/B 山側		
基準津波 2	T/B 海側		
	T/B 山側		
基準津波 3	T/B 海側		
	T/B 山側		

図 4.2-29 荒浜側防潮堤内敷地で発生した漂流物の挙動

表 4.2-11 漂流物評価結果 (調査分類 B : 構内・陸域) (1/5)

評価番号	場所	種類	名称	状態	仕様		数量	評価結果
					主要構造/材質	寸法・容量		
①		建屋	6/7号機取水電源室	設置	鉄筋コンクリート建屋	建築面積約 182m ²	1	I, III
			5号機取水電源室	設置		建築面積約 84m ²	1	
			5号機放水口サンプリング建屋	設置		建築面積約 53m ²	1	
			大湊側少量危険物保管庫	設置		建築面積約 59m ²	1	
②			K6/7スクリーン点検用デントハウ ス	設置	鉄骨造建屋	建築面積約 250m ²	1	I
④	大湊側護岸部	機器類 (タンク以外)	スクリーン装置用門型クレーン (5 号機用)	設置	鉄骨構造	スパン 20.5m/ リフト 23m	1	I
			スクリーン装置用門型クレーン (6 号及び7号機用)	設置	鉄骨構造	スパン 20.5m/ リフト 23m	1	
			電気・制御盤	設置	鋼材・鋼板	—	多数	
			避雷鉄塔	設置	鉄骨構造	高さ 149.5m	1	
			海水放射能モニタ (5号~7号機用)	設置	鋼材	—	1/炉	
⑤		車両	除塵装置 (5号~7号機用)	設置	鋼材	—	一式 /炉	注:「(b)取水スクリーン の破損による通水性へ の影響」で説明
⑥		資機材	車両	—	—	—	—	I
			スクリーン本体・予備機, スクリー ン点検用架台, 角落とし・角ホルダ ー, クレーン点検用荷重等, 仮設電 源・動力・分電盤等	設置・直置き	鋼材・鋼板, コンクリート	—	—	—
⑦		その他 一般構築物, 植生	仮設ハウス, 工具収納棚, 単管パイプ, 足場板等	固定・固縛	—	—	—	III
			マンホール, グレーチング, チェッ カーブプレート, 外灯, フェンス, コ ンクリート蓋等	設置・固定・固 縛	—	—	多数	I
			監視カメラ, 拡声器, 標識等	固定・固縛	—	—	多数	III
			樹木 (流木等)	—	—	—	—	II

表 4.2-11 漂流物評価結果 (調査分類 B : 構内・陸域) (2/5)

評価番号	場所	種類	名称	状態	仕様		数量	評価結果	
					主要構造/材質	寸法・容量			
①	荒浜側護岸部 (物揚場を含む)	建屋	海象観測小屋	設置	鉄筋コンクリート建屋	建築面積約 21m ²	1	I	
			海水放射能モニター建屋	設置		建築面積約 18m ²	1		
			荒浜側少量危険物保管庫①	設置		建築面積約 83m ²	1		
			荒浜側少量危険物保管庫②	設置		建築面積約 72m ²	1		
			1/2号機取水電源室	設置		建築面積約 137m ²	1		
			1号機補機スクリーン電源室	設置		建築面積約 14m ²	1		
			3/4号機取水電源室	設置		建築面積約 140m ²	1		
			物揚場電源室	設置		建築面積約 48m ²	1		
			市水道用ポンプ室	設置		補強コンクリートブロック建屋	建築面積約 25m ²		1
			海水放射能モニター建屋 (屋外放射線装置 CVCF 用シールドター)	設置		鉄骨造建屋	建築面積約 7m ²		1
②			1号機循環水ポンプ建屋	設置		建築面積約 1,301m ²	1	I	
			貝処理大型機器点検用建屋	設置		建築面積約 1,173m ²	1		
③		機器類 (タンク)	重油移送ポンプ室	設置		建築面積約 160m ²	1	-	
			No.1 重油貯蔵タンク	設置		3000kL	1		
④		機器類 (タンク以外)	No.2 重油貯蔵タンク	設置		320kL	1	注:撤去する	
			スクリーン装置用門型クレーン (1号及び2号機用)	設置		スパン 20.5m/リフト 23m	1		
			スクリーン装置用門型クレーン (3号及び4号機用)	設置		スパン 20.5m/リフト 23m	1		
			物揚場 (岸壁) 150t デリッククレーン	設置		揚程 (作業半径 15m 時, 20.85m)	1		
⑤	車両	車両	電気・制御盤	設置		-	多数	I	
			避雷鉄塔	設置		高さ 149.5m	1		
			海水放射能モニター (1号~4号機用)	設置		-	1/炉		
			除塵装置 (1号~4号機用)	設置		-	一式/炉	注:「(b)取水スクリーンの破損による通水性への影響」で説明	
			車両	-		-	-	II	

表 4.2-11 漂流物評価結果 (調査分類 B : 構内・陸域) (3/5)

評価 番号	場所	種類	名称	状態	仕様		数量	評価結果
					主要構造/材質	寸法・容量		
⑥	荒浜側護岸部 (物揚場を含む)	資機材	スクリーン本体・予備機, スクリン点検用架台, 角落とし・角ホルダー, クレーン点検用荷重等, 仮設電源・動力・分電盤等	設置・直置き	鋼材・鋼板, コンクリート	—	—	I
			仮設ハウス, 工具収納棚, 単管パイプ, 足場板等	固定・固縛	—	—	—	II, III
⑦		その他 一般構築物, 植生	マンホール, グレーチング, チェックカーブプレート, 外灯, フェンス, コンクリート蓋等	設置・固定・固縛	—	—	多数	I
			監視カメラ, 拡声器, 標識等	固定・固縛	—	—	多数	II, III
			樹木 (流木等)	—	—	—	—	II

表 4.2-11 漂流物評価結果 (調査分類 B : 構内・陸域) (4/5)

評価番号	場所	種類	名称	状態	仕様		数量	評価結果
					主要構造/材質	寸法・容量		
①	荒浜側防 潮堤内 敷地	建屋	ポンベ建屋 (1号~4号機用)	設置	鉄筋コンクリート建屋	—	建築面積 約 23~144m ²	I
			自然海水ポンプ室	設置			建築面積約 96m ²	
			1号機温海水ポンプ室	設置			建築面積約 64m ²	
			海水淡水化装置制御室	設置			1号機海水機器建屋を含む	
			雑固体廃棄物焼却設備建屋 (荒浜側)	設置			建築面積 約 1,142m ²	
			荒浜側洗濯設備建屋	設置			建築面積 約 1,018m ²	
			旧出入り管理所	設置			建築面積約 344m ²	
			主排気モニター建屋 (1号~4号機用)	設置			建築面積 約 61~180m ²	
			第二無線局	設置			建築面積約 177m ²	
			連絡通路	設置			—	
			3/4号サービス建屋車庫	設置			建築面積約 46m ²	
			自衛消防センター	設置			建築面積約 503m ²	
			防護本部建屋	設置			建築面積約 1507m ²	
			電気計装室・散水ポンプ室	設置			建築面積約 32m ²	
①,②			使用済燃料容器 (キヤスク) 保管施設	設置	鉄骨造建屋+ 鉄筋コンクリート建屋	建築面積約 2187m ²	1	I
			1号機海水機器建屋	設置	建築面積 約 743~870m ²	1/炉		
②			海水熱交換器建屋 (2号~4号機用)	設置	鉄骨造建屋	建築面積 約 729~805m ²	1/炉	I
			循環水ポンプ建屋 (2号~4号機用)	設置		建築面積 約 238~242m ²	1/炉	
			ボール捕集ピット上屋 (2号~4号機用)	設置		建築面積 約 797~1,411m ²	2	
			ボイラー建屋	設置		建築面積 約 343~345m ²	2	
			荒浜側直員車庫	設置		建築面積約 331m ²	1	
			水素トレーバ建屋	設置		建築面積約 136m ²	1	

表 4.2-11 漂流物評価結果 (調査分類 B : 構内・陸域) (5/5)

評価番号	場所	種類	名称	状態	仕様		数量	評価結果
					主要構造/材質	寸法・容量		
③		機器類 (タンク)	SPH サージタンク	設置	鋼材・鋼板	4100m ³	1	I, II
			NSD 収集処理装置 (1号~4号機用)	設置	FRP・鋼材	7m×7m×H3m (タンク)	4	
			軽油タンク	設置	鋼材・鋼板	344kl	2/炉	
			窒素ガス供給装置	設置	鋼材・鋼板	122kl (内槽)	1/炉	
			泡消火設備	設置	鋼材・鋼板	1200L (タンク)	1/炉	
			液化酸素タンク	設置	鋼材・鋼板	30008L	1	
④	荒浜側防潮堤内敷地	機器類 (タンク以外)	所内ボイラー排気筒	設置	鋼材, 耐火物	Φ1.7m×29.7m	1	I
			変圧器	設置	鋼材・鋼板	15.3m×13.6m× 11.1m (最大)	多数	
			チラー設備	設置	鋼材・鋼板	-	多数	
			電気・制御盤	設置	鋼材・鋼板	-	多数	
			計測機器	設置	鋼材・鋼板	-	多数	
⑤		車両		-	-	-	II	
⑥		資機材	角落とし・角ホルダー, 仮設電源・動力・分電盤, バックホー等	設置・直置き	鋼材・鋼板, コンクリート	-	-	I
			仮設ハウス, 工具収納棚, 単管パイプ, 足場板, サイロ, コンプレッサ等	固定・固縛	-	-	-	II
⑦		その他 一般構築物, 植生	マンホール, グレーチング, チェックアッププレート, 外灯, フェンス, コンクリート蓋等	設置・固定・固縛	-	-	多数	I
			監視カメラ, 拡声器, 標識等	固定・固縛	-	-	多数	II
			樹木 (植生等)	-	-	-	-	II

分類C（構外・海域）

調査範囲内にある港湾施設としては、6号及び7号機の取水口の南方約3kmに荒浜漁港がある。同漁港には、防波堤、栈橋が整備されており、小型の漁船及びプレジャーボート（総トン数5t未満）が約30隻停泊している。この他に調査範囲内に来航し得る船舶としては海上保安庁の巡視船（総トン数約3,000t）がある。

一方、調査範囲内には定置網等の固定式漁具、浮筏、浮栈橋、浮体式標識灯等の海上設置物はない。

なお、発電所周辺の海域を航行する定期船としては直江津と小木、寺泊と赤泊、新潟と敦賀との間を就航する旅客船等があるが、航路上の最も近接する位置でも発電所から30km程度の距離があり、調査範囲内を航行するものはない。

抽出された以上の船舶に対して図4.2-10に示したフローにより6号及び7号機の取水口及び取水路の通水性に与える影響評価を実施した。評価結果を以下に示す。また評価結果の一覧を表4.2-12に示す。

① 漁船、プレジャーボート

図 4.2-3 に示したとおり敷地周辺の流向ベクトルは数分～数十分ごとに変化しており、発電所に向かう連続的な流れは生じていない。荒浜漁港に停泊する漁船及びプレジャーボートについては係留されているため漂流物化する可能性は小さいと考えられるが、仮に漂流物化したとしても、距離、地形及び以上に示した津波の流向から発電所に対する漂流物となることはないと考えられる。【結果Ⅱ】

また、航行中の漁船等の船舶については退避可能と考えられるが、保守的な想定として発電所近傍で航行不能となることも考慮し、その際の挙動について軌跡のシミュレーション評価を実施した。

柏崎刈羽原子力発電所の漁業制限区域は発電所沖約 1.7km、幅約 5.8km の範囲であることからこの境界までは船舶が近づき得るものとし、図 4.2-30 に示す発電所沖 1.5km の地点並びに参考として 3km 及び 5km の地点を初期配置とし、地震発生から 240 分間の軌跡のシミュレーションを実施したところ図 4.2-31 の結果となった。

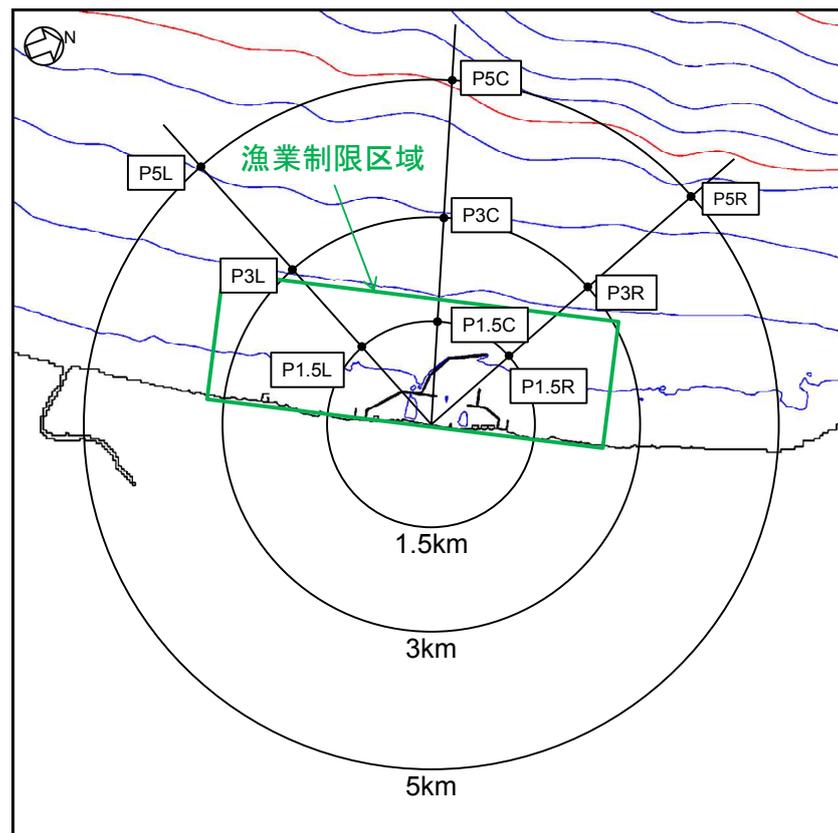
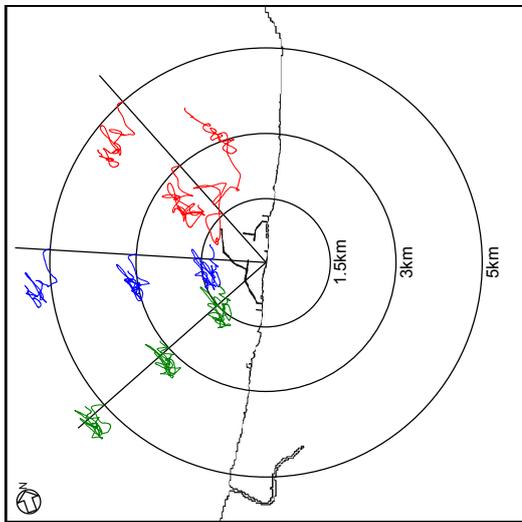
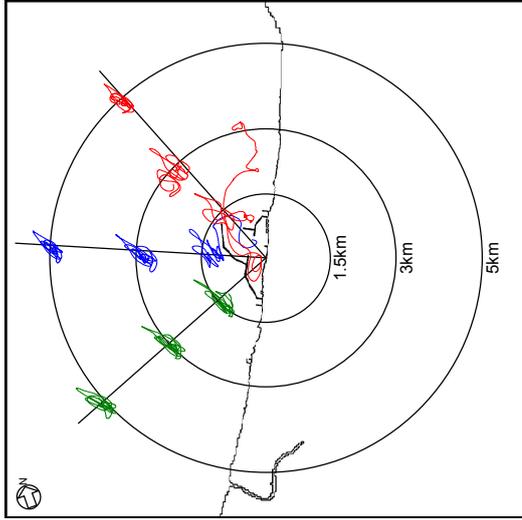


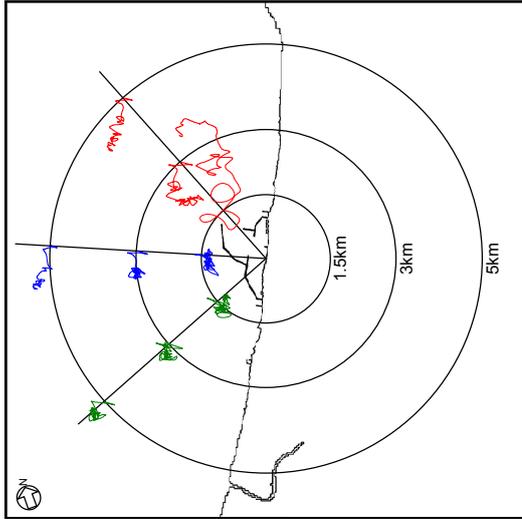
図 4.2-30 航行不能船舶軌跡シミュレーションの初期配置



基準津波 1



基準津波 2



基準津波 3

図 4.2-31 基準津波による航行不能船舶の軌跡

この結果、初期配置が P1.5C 及び P1.5R 以外のケースについては発電所の港湾内に侵入しないが、P1.5C 及び P1.5R のケースに該当するような港湾口のごく近傍で航行不能となる場合には港湾内に侵入する可能性が示された。なお、以上の評価については、津波の原因となる地震により防波堤が損傷する可能性を考慮し、防波堤が 1m 沈降した状況、2m 沈降した状況（及び参考として防波堤がないケース）を模擬した影響評価を行い、結論が変わるものではないことを確認している（図 4.2-32）。

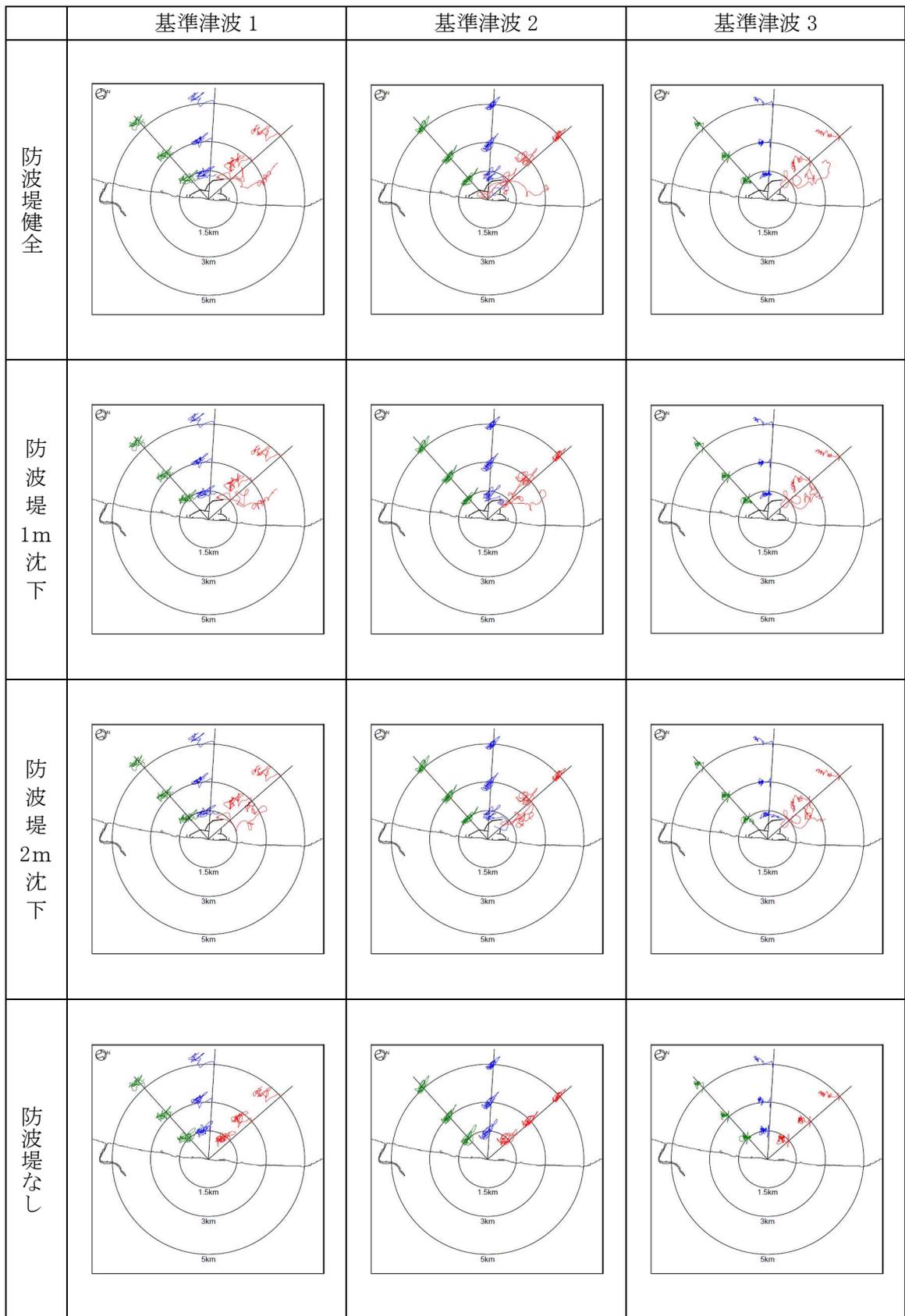


図 4.2-32 防波堤の地震等による損傷を考慮した影響評価

発電所の港湾口近傍で航行不能となり港湾内に侵入する船舶については、仮に6号機あるいは7号機の取水口に接近するものがあつた場合でも、その仕様（総トン数5t未満）が「分類A（構内・海域）」における「③ その他作業船」と同等であることから、その評価は、同船舶（「分類A（構内・海域）」における「③ その他作業船」）の評価に包含される。すなわち、取水口呑口の断面寸法と非常用海水冷却系に必要な取水路の通水量と船舶の寸法とから、その接近により取水口が閉塞し、非常用海水冷却系に必要な通水性が損なわれることはないものと考えられる。【結果Ⅲ】

以上より、漁船及びプレジャーボートは非常用海水冷却系に必要な6号及び7号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物にならないものと評価する。

② 巡視船

巡視船については津波襲来時には退避可能と考えられることから、非常用海水冷却系に必要な6号及び7号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物にならないものと評価する。【結果Ⅰ】

表 4.2-12 漂流物調査結果（調査分類C：構外・海域）

評価番号	分類	内容	状況	場所	数量	総トン数	結果
①	船舶	・漁船 ・プレジャーボート(小型動力船, 手漕ぎボート)	停泊	荒浜漁港	約 30	5t 未満	Ⅱ
			航行	発電所周辺			Ⅱ, Ⅲ
②		・巡視船	航行/停泊	発電所周辺	1	約 3,000t	Ⅰ

分類D（構外・陸域）

調査範囲内には発電所の南側に集落として荒浜地区及び松波地区が、また北側に大湊地区、宮川地区及び椎谷地区があり、家屋や倉庫等の建築物、フェンスや電柱等の構築物、乗用車等の車両がある。また、他には6号及び7号機の取水口の南方約2.5kmに研究施設があり、事務所等の建築物、タンクや貯槽等の構築物がある。これらについて、図4.2-10に示したフローにより取水口及び取水路の通水性に与える影響評価を実施した。

なお、調査においては上記（具体的には表4.2-2）に示すものの他に、浜辺に保管されたプレジャーボート類や植生も確認されたが、これらについては分類C（構外・海域）における船舶や分類B（構内・陸域）における植生に対する評価に包含されると考えられるため、記載を割愛した。

結果は表4.2-13に示すとおりであり、設置方法や重量等により多くは海域に流出し漂流物化することはないと考えられるが、建屋の外装材等の軽量の（比重が小さい）ものの中に漂流物化するものがあつた場合でも、設置位置を考慮すると、図4.2-3に示した津波の流向及び図4.2-31に示した基準津波下における航行不能船舶の挙動より、発電所に対する漂流物にはならないと考えられる。よって、発電所構外の陸域における施設・設備等は非常用海水冷却系に必要な6号及び7号機の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物にならないものと評価する。【結果Ⅰ，Ⅱ】

表4.2-13 漂流物調査結果（調査分類D：構外・陸域）

場所	内容	状況	重量	結果
<ul style="list-style-type: none"> ・荒浜地区（荒浜漁港） ・松波地区 ・大湊地区 ・宮川地区 ・椎谷地区 	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋等建築物 ・フェンス，電柱等構築物 	設置	—	I，Ⅱ
	<ul style="list-style-type: none"> ・乗用車等車両 	駐車	—	I，Ⅱ
<ul style="list-style-type: none"> ・海洋生物環境研究所 	<ul style="list-style-type: none"> ・事務所等建築物 ・タンク，貯槽等構築物 	設置	—	I，Ⅱ
	<ul style="list-style-type: none"> ・乗用車等車両 	駐車	—	I，Ⅱ

以上に述べた6号及び7号機の取水口付近の漂流物に対する通水性の確認結果をまとめると表4.2-14となる。これより、基準津波により漂流物となる可能性がある施設・設備等について、非常用海水冷却系に必要な取水口及び取水路の通水性に影響を与えることがないことを確認した。

表 4.2-14 漂流物調査結果 (まとめ) (1/3)

調査 分類	調査範囲		場所	分類・種類	内容・名称・構造等	数量	重量 (総トン数)	結果	海水貯留庫への波及的影響 (衝突)の可能性有無 ○(なし)/×(あり)
	構内・構外	海域・陸域							
A	発電所 構内	海域	① 発電所港湾内 ・物揚場 ・発電所港湾内 ・港渡口 ・発電所港湾内 ・揚陸棧橋 ・揚陸棧橋 ② 発電所港湾内 ・物揚場 ・発電所港湾内 ・揚陸棧橋 ・揚陸棧橋 ③ 発電所港湾内外 ・物揚場 ・物揚場 ・揚陸棧橋 ・小型船桟橋 ・発電所港湾内外 ・物揚場 ・物揚場 ・揚陸棧橋 ・小型船桟橋 ・発電所港湾外 ・発電所港湾内 ・発電所港湾内	燃料等輸送船	1	約5000t (総トン数)	I	緊急退避可能、また緊急退避ができない場合も係留され、船体強度を有する等より漂流物化しない。	○(なし)
				渡来船	1	約500t (総トン数)	I	備込しており、走離する可能性はあるものの漂流物化することはない。	○(なし)
				土運船	2	約500t (総トン数)	I, II	到達の早い津波で漂流物化する可能性があるが、6号及び7号炉取水口に到達しない。	○(なし)
				曳船	2	約100t (総トン数)	I	退避可能であり漂流物化しない。	○(なし)
				揚船	2	約10t (総トン数)	I	退避可能であり漂流物化しない。	○(なし)
				港湾設備保守点検作業船	~4程度	5t未満~約10t (総トン数)	III	漂流物化する可能性があるが、通水性に影響を与えない。	×(あり)
				海洋環境監視調査作業船	~4程度	5t未満~約10t (総トン数)	III	漂流物化する可能性があるが、通水性に影響を与えない。	×(あり)
				温排水水温調査作業船	~10程度	5t未満 (総トン数)	III	漂流物化する可能性があるが、通水性に影響を与えない。	×(あり)
				温排水流況・水温調査作業船	~2程度	約5t~約20t (総トン数)	II	発電所に到達しない。	○(なし)
				本体(上部コンクリート)、巴型ブロック等	-	約10t~	II	津波により損傷する可能性はあるが、距離や重量から、6号及び7号炉取水口まで到達する距離があることから6号及び7号炉取水口まで到達する可能性は小さいが、仮に到達しても通水性に影響を与えない。	○(なし)
B	陸域	大湊側護岸部	④ 捨石 鉄筋コンクリート建屋 鉄骨造建屋 スクリーン装置用門型クレーン(5号炉用) スクリーン装置用門型クレーン(6号及び7号炉用) 電気・制御盤 遮音鉄壁 海水放射能モニタ(5号~7号炉用) 除塵装置(5号~7号炉用) 車面 スクリーン本体・予備機、スクリーン点検用架台、角柱とし、角バルダー、クレーン点検用荷重等、仮設電源・動力・分電盤等 仮設ハウス、工具収納棚、単管パイプ、足場板等 マンホール、グレーチング、チェーンプレート、外灯、フェンス、コンクリート蓋等 監視カメラ、拡声器、構内等 樹木(流木等)	防波堤	-	約100kg~	III	重量物であり、また建屋外装材は固縛されており漂流物化しない。	○(なし)
				建屋	4	-	I, III	重量物であり漂流物化しない。損傷により生じた小片は、漂流物化しても通水性に影響を与えない。	○(なし)
				機器類 (タンク以外)	1	-	I	重量物であり漂流物化しない。	○(なし)
				車面	1	-	I	重量物であり漂流物化しない。	○(なし)
				資機材	多数	-	I	重量物であり漂流物化しない。	○(なし)
				資機材	多数	-	III	漂流物化する可能性があるが、通水性に影響を与えない。	×(あり)
				資機材	多数	-	I	重量物であり漂流物化しない。	○(なし)
				資機材	多数	-	III	漂流物化する可能性があるが、通水性に影響を与えない。	×(あり)
				資機材	多数	-	III	漂流物化する可能性があるが、通水性に影響を与えない。	×(あり)
				資機材	多数	-	II	漂流物化する可能性があるが、6号及び7号炉取水口に到達しない。	○(なし)

表 4.2-14 漂流物調査結果 (まとめ) (2/3)

調査 分類	調査範囲		場所	分類・種類	内容・名称・構造等	数量	重量 (総トン数)	結果	海水貯留圏への波及的影響 (衝突)の可能性有無 ○(なし) / ×(あり)	
	発電所 構内・構外	海域・陸域								
B	発電所 構内	陸域	荒浜側護岸部 (物揚場を含む)	漂流物	鉄筋コンクリート建屋	8	-	I	重量物であり漂流物化しない。	○(なし)
					補強コンクリートブロック建屋	1	-	I	重量物であり漂流物化しない。	○(なし)
					鉄骨造建屋	4	-	-	※撤去する	-
					No.1重油貯蔵タンク	1	-	-	※撤去する	-
					No.2重油貯蔵タンク	1	-	-	-	-
					スクリーン装置用門型クレーン(1号及び2号炉用)	1	-	I	重量物であり漂流物化しない。	○(なし)
					スクリーン装置用門型クレーン(3号及び4号炉用)	1	-	-	-	-
					物揚場(岸壁)150tフリッククレーン	1	-	-	-	-
					電氣・制御盤	多数	-	-	-	-
					避雷鉄塔	1/炉	-	-	-	-
					海水放射能モニタ(1号~4号炉用)	一式/炉	-	-	-	-
					除塵装置(1号~4号炉用)	-	-	-	-	-
					車両	-	-	-	-	-
					資機材	-	-	-	-	-
スクリーン本体・予備機、スクリーン点検用架台、角落とし・角ホルダー、クレーン点検用荷重等、仮設電源・動力・分電盤等	-	-	-	-	-					
仮設ハウス、工具収納棚、単管パイプ、足場板等	-	-	-	-	-					
マンホール、グレーチング、チェッカープレート、外灯、フェンス、コンクリート蓋等	多数	-	-	-	-					
監視カメラ、拡声器、構識等	多数	-	-	-	-					
樹木(流木等)	-	-	-	-	-					
鉄筋コンクリート建屋	19	-	-	-	-					
鉄骨造建屋・鉄筋コンクリート建屋	1	-	-	-	-					
鉄骨造建屋	16	-	-	-	-					
SPHサージタンク	1	-	-	-	-					
NSD収集処理装置(1号~4号炉用)	4	-	-	-	-					
軽油タンク	8	-	-	-	-					
窒素ガス供給装置	1	-	-	-	-					
泡消火設備	4	-	-	-	-					
液化酸素タンク	1	-	-	-	-					
所内ボイラー排気筒	1	-	-	-	-					
変圧器	多数	-	-	-	-					
チラー設備	多数	-	-	-	-					
電氣・制御盤	多数	-	-	-	-					
計測機器	多数	-	-	-	-					
車両	-	-	-	-	-					
角落とし・角ホルダー、仮設電源・動力・分電盤、バックホー等	-	-	-	-	-					
仮設ハウス、工具収納棚、単管パイプ、足場板、サイロ、コンプレッサ等	-	-	-	-	-					
マンホール、グレーチング、チェッカープレート、外灯、フェンス、コンクリート蓋等	多数	-	-	-	-					
監視カメラ、拡声器、構識等	多数	-	-	-	-					
樹木(流木等)	-	-	-	-	-					

表 4.2-14 漂流物調査結果 (まとめ) (3/3)

調査 分類	調査範囲		場所	分類・種類	内容・名称・構造等	数量	重量 (総トン数)	結果	海水貯留圏への波及的影響 (衝突の可能性有無) ○(なし)/×(あり)	
	発電所 構内・構外	海域・陸域								
C		海域	荒浜漁港 ・発電所周辺 発電所周辺	船舶	停泊中、または、航行中の以下の船舶 ・漁船 ・プレジャーボート(小型動力船、手漕ぎボート) 発電所近傍で航行不能となった以下の船舶 ・漁船 ・プレジャーボート(小型動力船、手漕ぎボート) ・巡視船	約30	5t未満 (総トン数)	II	漂流物化する可能性があるが、6号及び7号岸取水口に到達しない。	○(なし)
								II, III	漂流物化する可能性があるが、通水性に影響を与えない。	
D	発電所 構外	陸域	荒浜地区(荒浜漁港) ・松浜地区 ・大浜地区 ・宮川地区 ・権谷地区	家屋等建築物 ・フェンス、電柱等構築物 乗用車等車両 事務所等建築物 ・タンク、貯槽等構築物 ・乗用車等車両		1	約3,000t (総トン数)	I	退避可能であり漂流物化しない。	○(なし)
								I, II		
								I, II	重量物であり漂流物化しない。漂流物化しても発電所に到達しない。	
								I, II		

なお、漂流物による影響としては前述のとおり他に「津波防護施設、浸水防止設備に衝突することによる影響（波及的影響）」があり、6号及び7号機における同影響を考慮すべき津波防護施設及び浸水防止設備としては、基準津波が到達する範囲内に設置される海水貯留堰が挙げられる。

この海水貯留堰に対して衝突による影響評価を行う対象漂流物及びその衝突速度は、本項における「取水口及び取水路の通水性に与える影響」の評価プロセスを踏まえ、それぞれ次のとおり設定する。表4.2-14には、この設定結果も合わせて示している。

- 対象漂流物

影響評価のプロセスにおいて、6号及び7号機の取水口に到達し得るとされたものを対象とし、この中で最も重量の大きい総トン数10tの船舶を代表とする。

- 衝突速度

海水貯留堰の設置位置における津波流速に基づき6m/sとする。

4.3 燃料等輸送船の係留索の耐力について

4.3 燃料等輸送船の係留索の耐力について

(1) 概要

燃料等輸送船（以下、「輸送船」という。）は、津波警報等発令時、原則、緊急退避するが、津波流向及び物揚場と取水口との位置関係を踏まえ、短時間に津波が襲来する場合を考慮し、係留索の耐力について評価を実施する。

係留索については、船舶の大きさから一定の算式によって計算される数値（艀装数）に応じた仕様（強度、本数）を有するものを備えることが、日本海事協会（NK）の鋼船規則において定められている。

本書では、輸送船が備えている係留索の係留力及び津波による流圧力を石油会社国際海事評議会 OCIMF (Oil Companies International Maritime Forum) 刊行“Mooring Equipment Guidelines”の手法を用いて算出し、耐力評価を行う。なお、同書は船舶の係留方法・係留設備に関わる要求事項を規定するものであり、流圧力の評価については大型タンカーを主たる適用対象とするものであるが、輸送船は大型タンカーと同じ1軸船であり、水線下の形状が類似しているため、同評価を輸送船に適用することは可能と考える。

(2) 評価

a. 輸送船, 係留索, 係船柱

輸送船, 係留索, 係船柱の仕様を表 4.3-1 に, 配置を図 4.3-1 に示す。

表 4.3-1 輸送船, 係留索, 係船柱の仕様

項目		仕様
輸送船	総トン数	約 5,000 トン
	載貨重量トン	約 3,000 トン
	喫水	約 5m
	全長	100.0m (垂線間長: 94.4m)
	型幅	16.5m
	形状	(図 4.3-1 参照)
係留索	直径	60mm (ノミナル値)
	素材種別	Polyethylene Rope Grade 1
	破断荷重	279kN (キロニュートン) =28.5tonf
	係船機ブレーキ力	28.5tonf × 0.7 ≒ 20.0tonf
係船柱	ビット数, 位置	(図 4.3-1 参照)
	係留状態	(図 4.3-1 参照)
	強度	25t, 50t

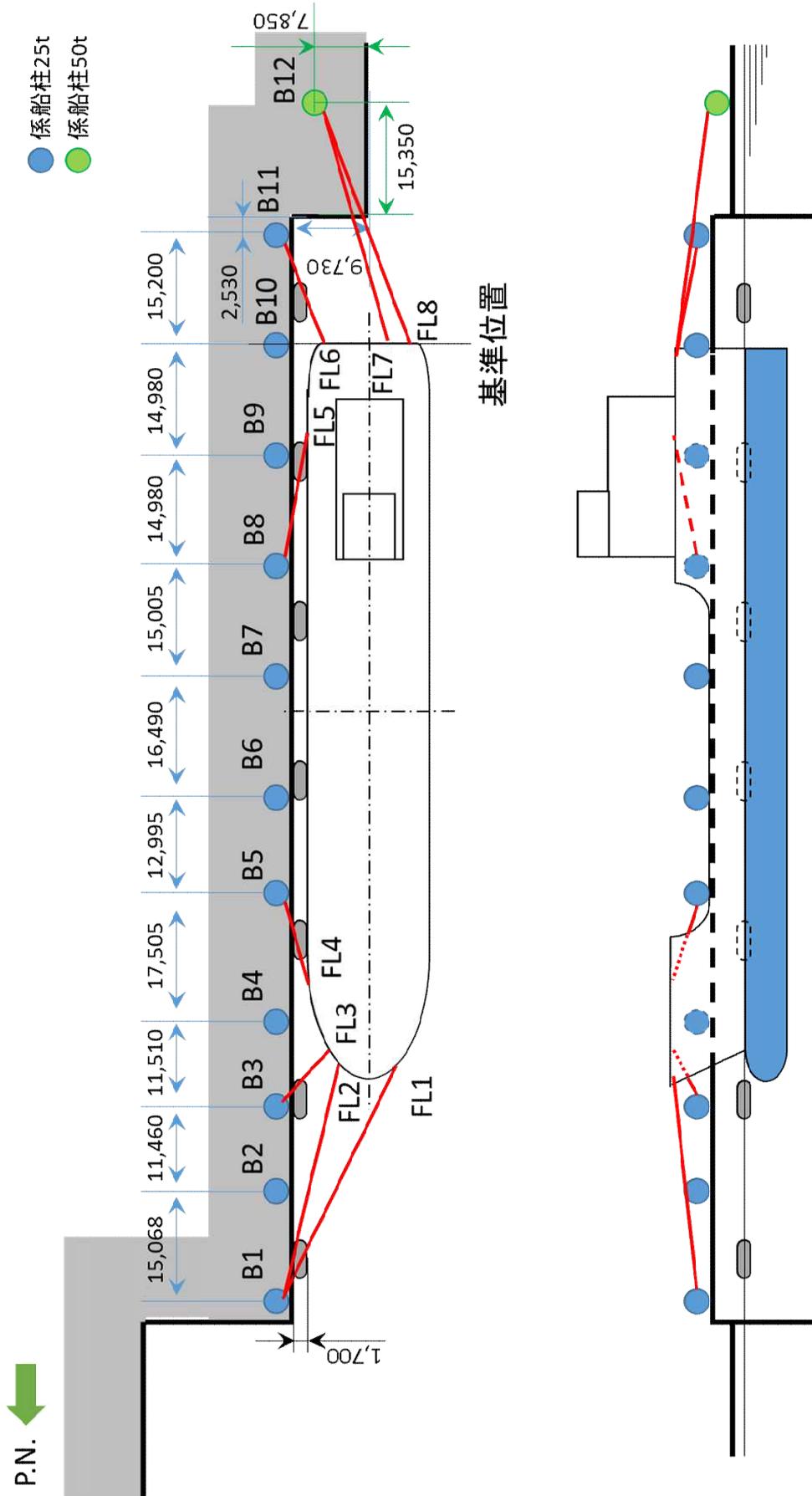


図 4.3-1 輸送船, 係留索, 係船柱の配置

b. 津波条件（流向，水位，流速）

襲来までに時間的余裕がなく，輸送船を離岸できない可能性がある基準津波 3 を評価条件とする。

基準津波 3 による物揚場近傍の流向は，図 4.3-2 に例示するとおり物揚場に対する接線方向の成分が支配的となる。これに対し，輸送船は物揚場（コンクリート製）と平行して接岸されることから，評価は輸送船の船首及び船尾方向の流圧力に対する係留索の耐力について実施する。

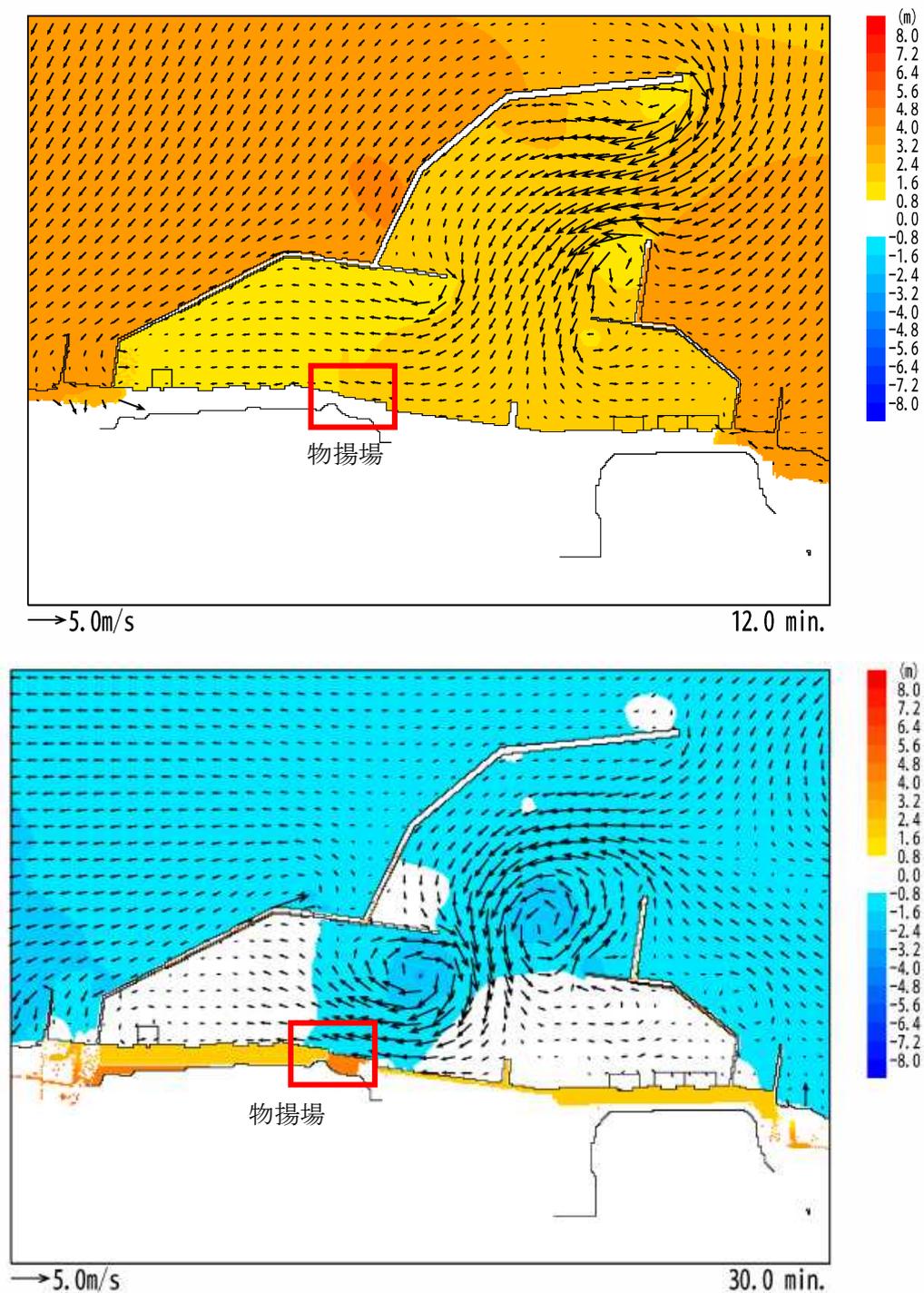


図 4.3-2 基準津波 3 の流向

一方、基準津波3の物揚場位置における水位及び接線方向成分の流速は、図4.3-3-1のとおりとなる。

図4.3-3-1に示すとおり地震発生後15分で第一波の最高점에達する。その後、引き波が発生し、流速は地震発生後30分に最大の3.2m/sに達する。

緊急退避時間との関係から、津波が最大流速に到達する前に輸送船は退避できると考えられるものの、今回は係留により対応することを仮定し、最大流速3.2m/sで生じる流圧力に対する係留力を評価する。

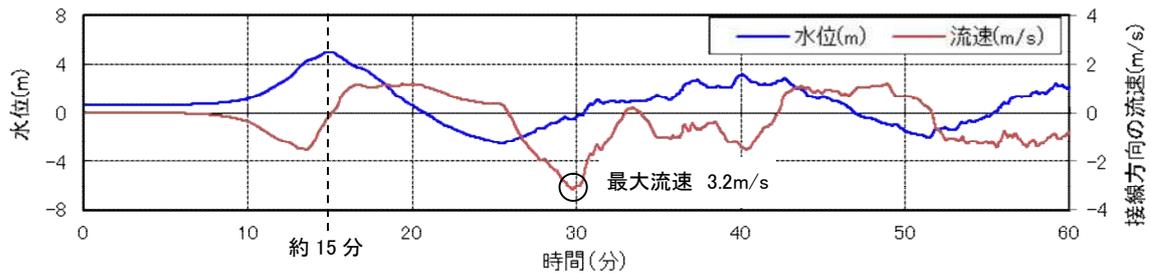


図4.3-3-1 基準津波3の水位・流速（物揚場前面）

なお、地震等により防波堤の損傷を想定した場合（防波堤なしの条件）でも、接線方向成分の流速は、図4.3-3-2に示すとおり防波堤健全時（図4.3-3-1）よりも小さいため、流速条件は健全状態における流速に包含される。

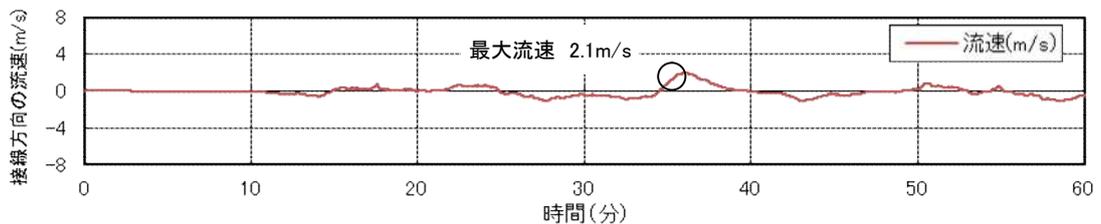
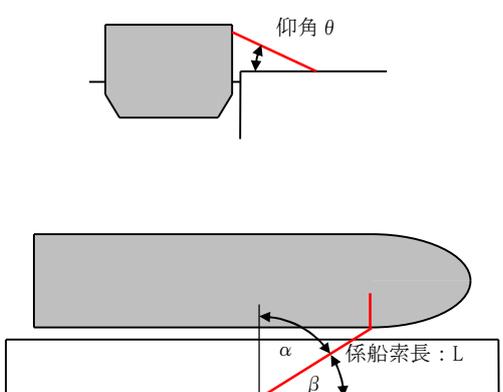


図4.3-3-2 防波堤損傷時における基準津波3の流速（物揚場前面）

c. 係留力

係留力の計算方法を表 4.3-2 に、計算結果を表 4.3-3、図 4.3-4 及び図 4.3-5 に示す。

表 4.3-2 係留力の計算方法¹⁾

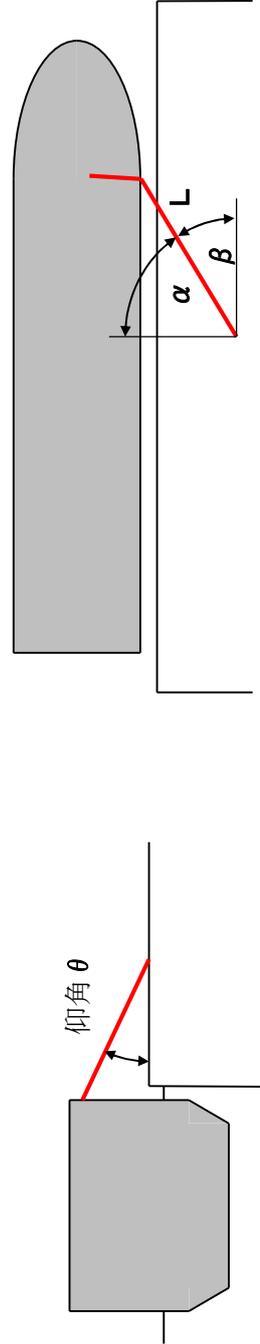
<p>【各索の係留力計算式】</p> $R_x = T \times ((\cos^2 \beta \times \cos \theta^2) / L) \times (L_c / (\cos \beta_c \times \cos \theta_c))$	
<p>R_x : 前後係留力 (tonf) (前方は添字 f, 後方は添字 a) T : 係留索 1 本に掛けることができる最大張力 (tonf) β : 係留索水平角 (物揚場平行線となす角度) (deg) θ : 係留索の仰角 (deg) L : 係留索の長さ (船外+船内) (m) β_c : 各グループ*で最も負荷の大きい係留索の係留索水平角 (物揚場平行線となす角度) (deg) θ_c : 各グループ*で最も負荷の大きい係留索の仰角 (deg) L_c : 各グループ*で最も負荷の大きい係留索の長さ (船外+船内) (m) 注記* : 係留索の機能別グループ (前方係留力または後方係留力)</p>	

参考文献

1) 日本タンカー協会 : 係留設備に関する指針 第 2 版, pp. 167, 2002.

表 4.3-3 係留力 (図 4.3-1) の計算結果

フェア リーダ	索種類	係船柱	係船索長さ[m]		係留角		索張力 T [tonf]	係留力 前後 [tonf]	Bitt Performance [tonf]			
			船外		θ	β			Bitt Load	合計	係船柱強度	
FL1	Line1	B1	36.9		5.1	-24.3	20.0	-6.91	7.31	15.96	25	
FL2	Line2	B1	34.2		5.5	-10.4	20.0	-8.60	8.65			
FL3	Line3	B3	10.5		18.1	-31.8	20.0	-16.16	20.00	20.00	25	
								-31.67				
FL4	Line4	B5	13.7		13.7	11.9	20.0	19.01	20.00	20.00	25	
								19.01				
FL5	Line5	B8	25.0		6.8	7.3	20.0	-19.70	20.00	20.00	25	
								-19.70				
FL6	Line6	B11	16.6		10.3	21.0	20.0	18.37	20.00	20.00	25	
FL7	Line7	B12	34.8		8.2	15.9	20.0	10.56	10.90	21.39	50	
FL8	Line8	B12	35.8		8.0	21.0	20.0	9.70	10.49			
								38.62				
								前後(+) 計				
								57.63				
								前後(-) 計				
								-51.37				



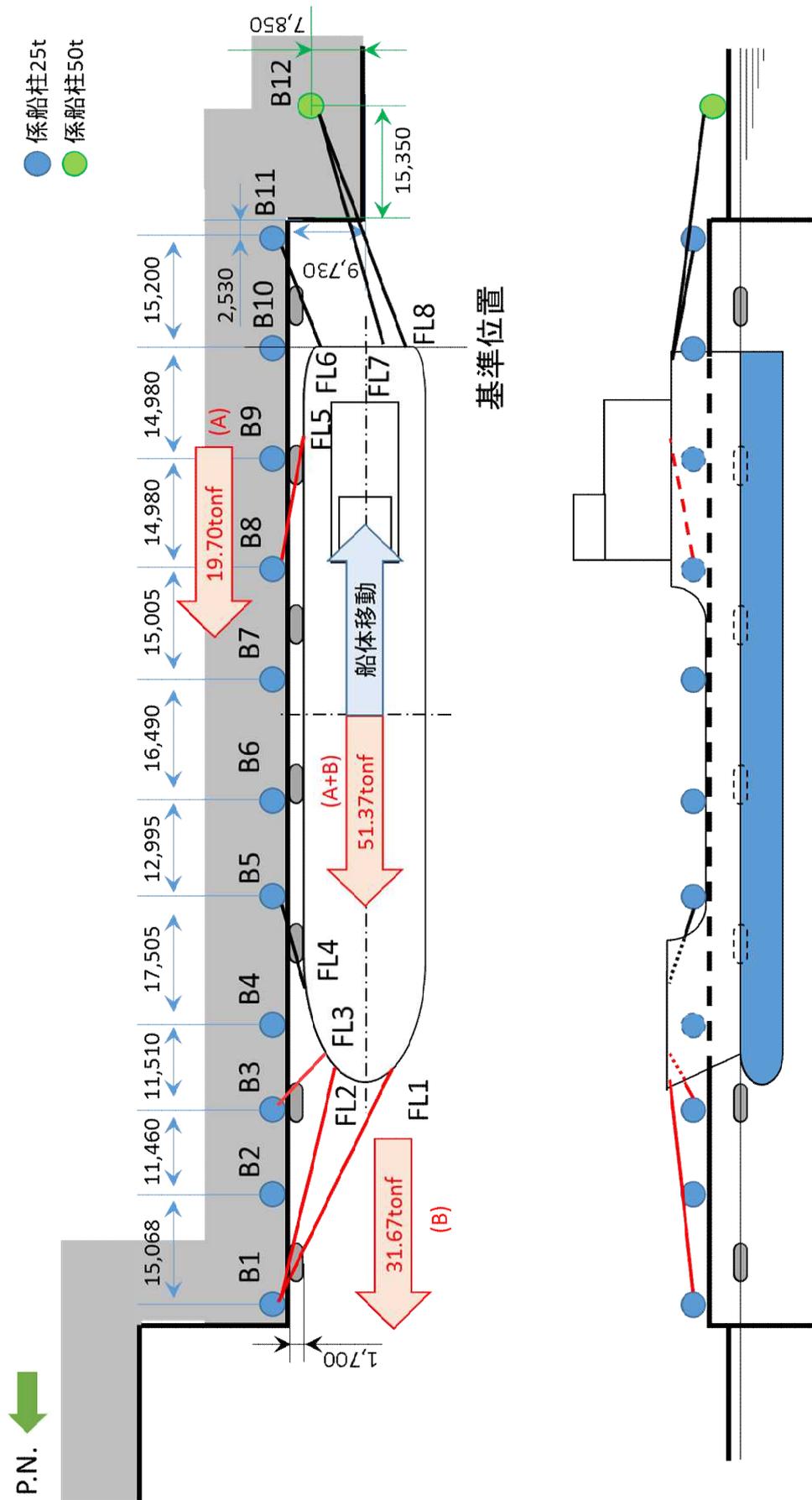


図 4.3-4 船尾方向への移動に対する船首方向係留力

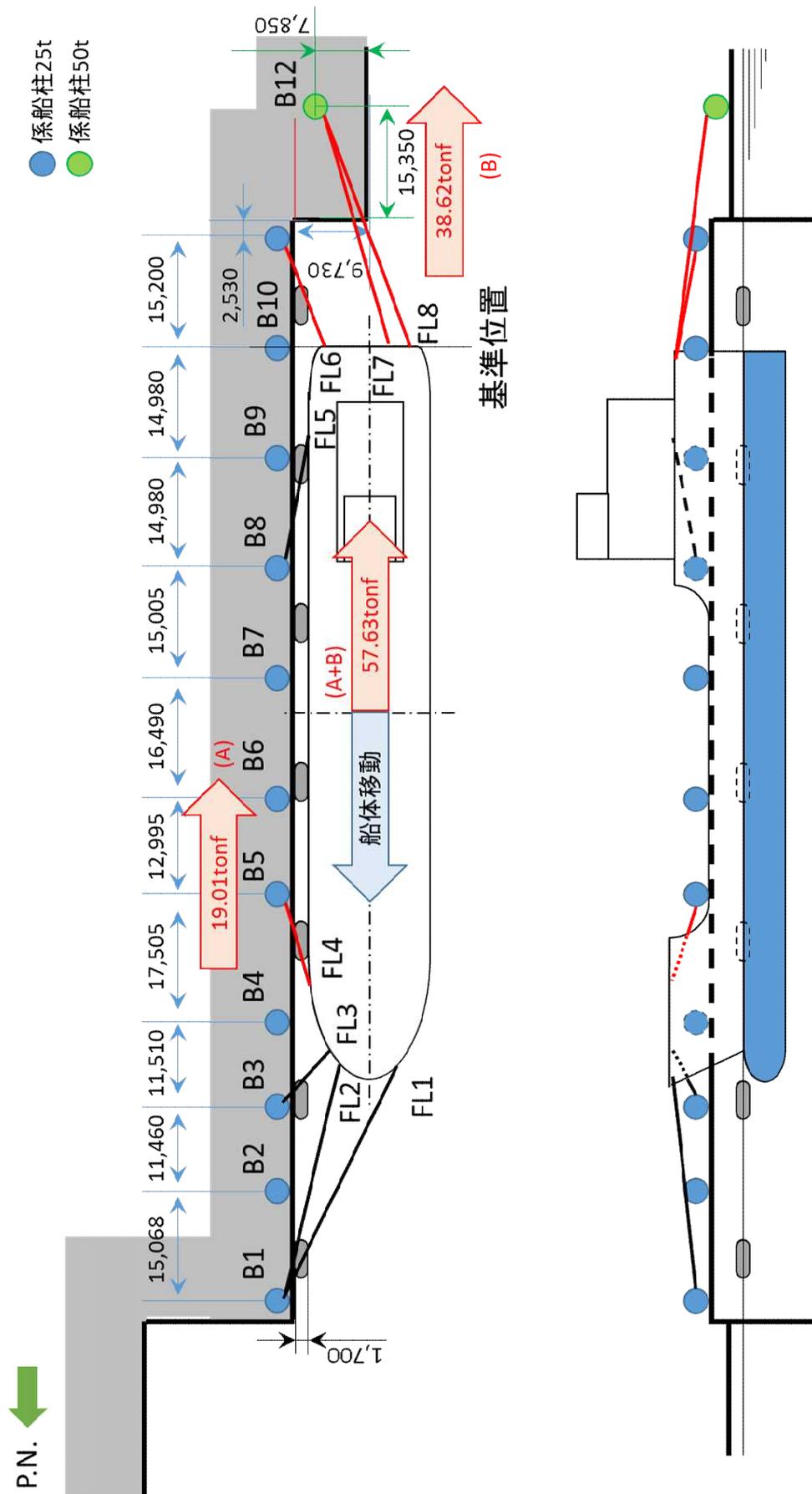


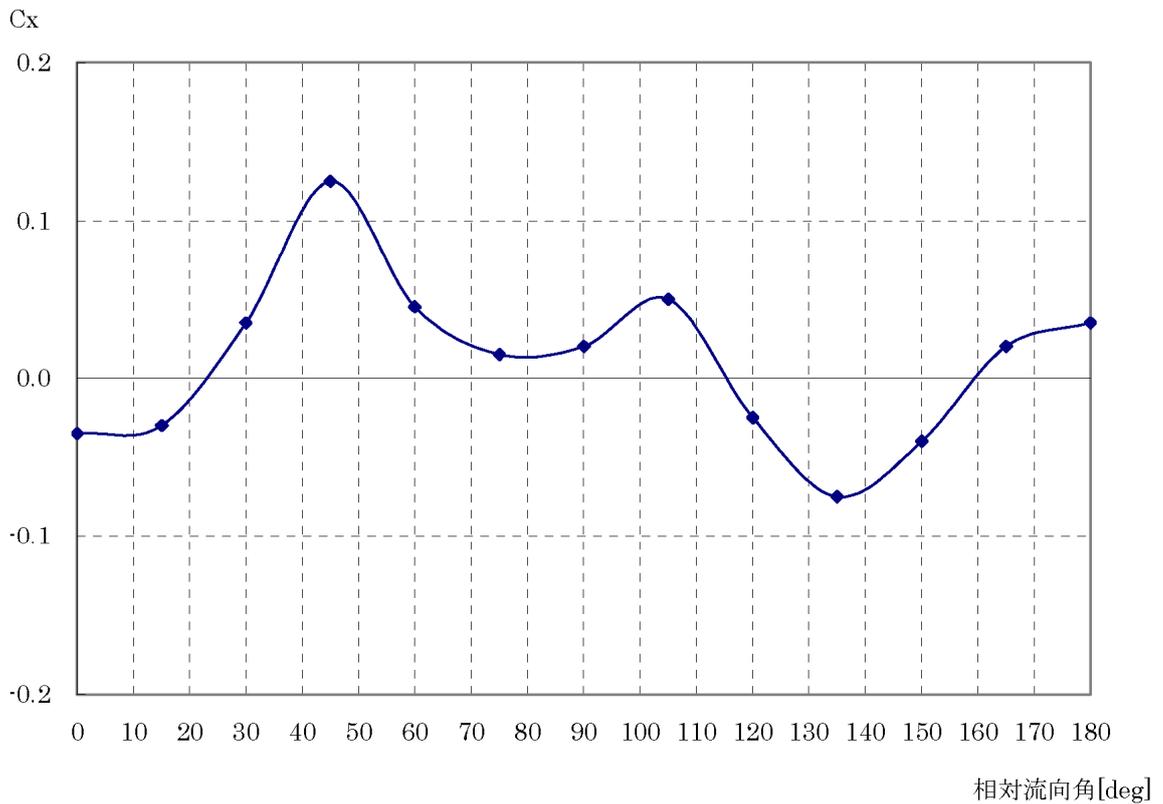
図 4.3-5 船首方向への移動に対する船尾方向係留力

d. 流圧力

流圧力の計算方法を表 4.3-4 に、係留力との比較結果を図 4.3-6 に示す。

表 4.3-4 流圧力の計算方法¹⁾

<p>【流圧力計算式】</p> $F_{Xc} = 1/2 \times C_{Xc} \times \rho_c \times V_c^2 \times L_{PP} \times d$	<p>F_{Xc} : 縦方向流圧力 (kgf) C_{Xc} : 縦方向流圧力係数 V_c : 流速 (m/s) L_{PP} : 垂線間長 (m) d : 喫水 (m) ρ_c : 水密度 (kgf・sec²/m⁴) (=104.7kgf・sec²/m⁴)</p>
--	---



参考文献

1) OCIMF : Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition, pp.178, pp.187, pp.202, 2008.

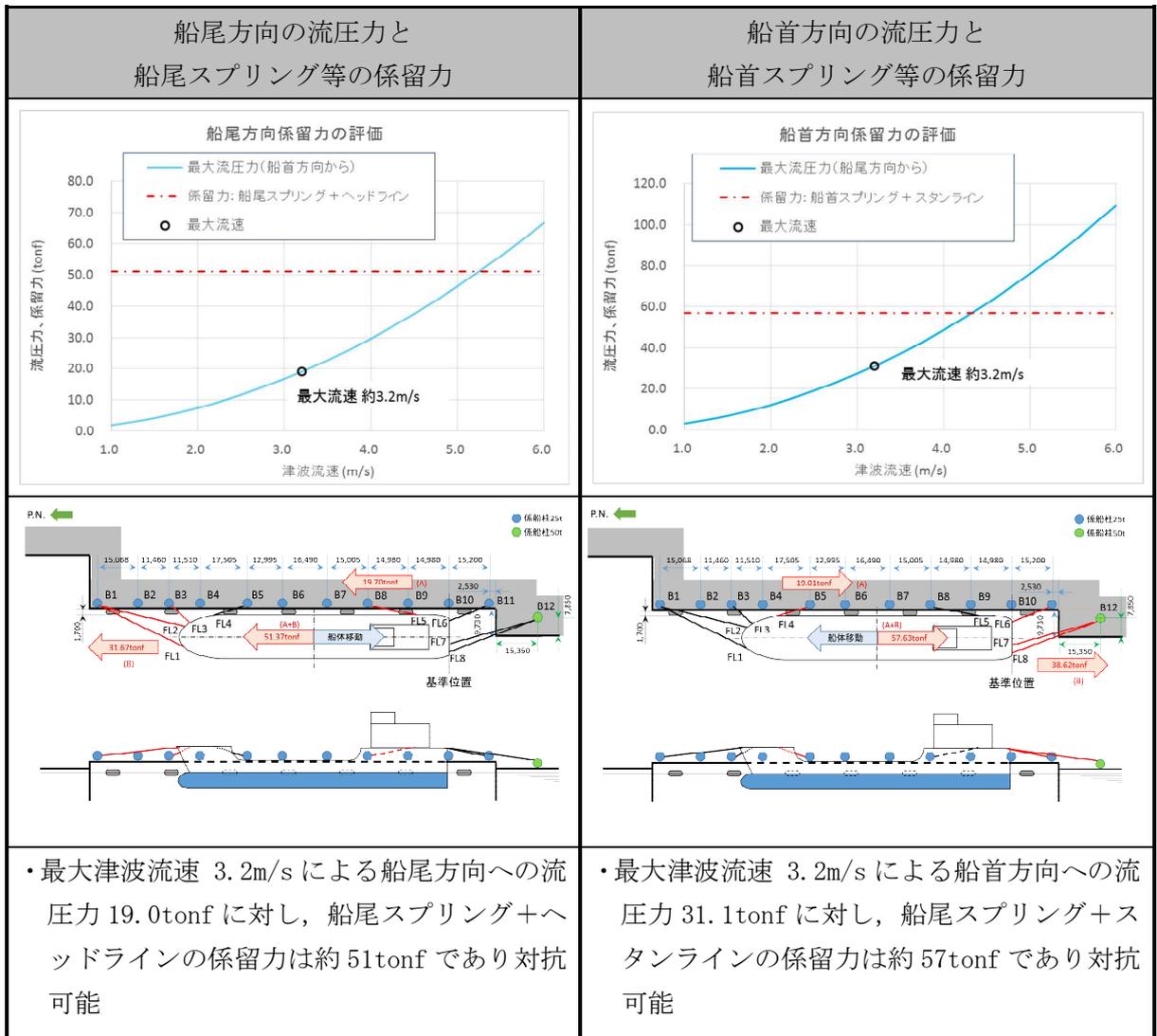


図 4.3-6 流圧力と係留力の比較

(3) 結論

津波(最大流速 3.2m/s: 図 4.3-3 参照)による流圧力に対し、係留力(約 51tonf, 約 57tonf)が上回ることを確認した。

したがって、津波に対し、輸送船が係留によって対応すると仮定した場合においても係留力により物揚場に留まり続けることができる。

燃料等輸送船の係留時における係船柱について

(1) 概要

「補足 4.2 (1) d. 通水性に与える影響の評価」に示しているように、燃料等輸送船は襲来までに時間的な余裕がある基準津波に対しては緊急退避が可能と考えられるが、時間的な余裕がない津波（津波警報等発令から 12 分程度で到達する基準津波 3）に対しては、津波発生時に「荷役」行程中であった場合、津波襲来時には離岸のための荷役作業（干渉回避）中となり緊急退避ができない可能性がある。そのため、「補足 4.3 燃料等輸送船の係留索の耐力について」で到達が早い津波に対しては係留により漂流物化しないことを確認している。

本参考資料では、基準地震動 S_s に対する係船柱の係留機能について検討を行った。

(2) 設備構成

柏崎刈羽原子力発電所の物揚場における係船柱は 50t 係船柱と 25t 係船柱があり、コンクリート基礎又は鋼矢板式護岸の上部コンクリートに取り付けられている。図 4.3-参 1-1 に係船柱の配置と燃料等輸送船の係留イメージ図とそのコンクリート基礎を示す。

(3) 基準地震動 S_s に対する係船柱の係留機能について

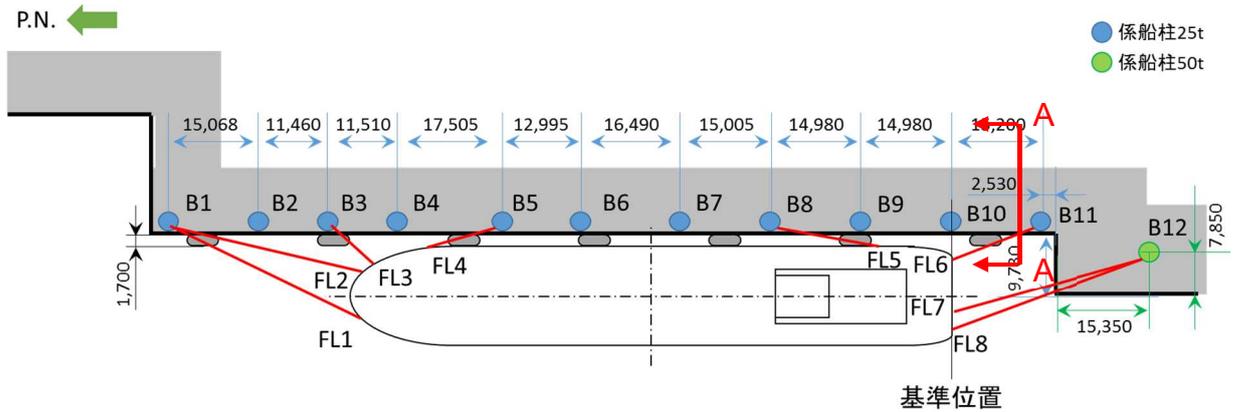
基準地震動 S_s が発生した場合、係船柱の設置されている物揚場は、地震による周辺地盤の変状等が想定される。また、鋼矢板式護岸を構成する前面鋼矢板、上部コンクリート、タイ材及び控え工は、地震により損傷し、健全性が確保できないことから、構成する部材ごと係船柱が海中へ落下することが想定される。

仮に、上部コンクリート基礎ごと係船柱が海中へ落下しても、その自重と海底面との摩擦力により係留機能はある程度保持され、地震後の津波時に燃料等輸送船が完全な漂流物となることは無いと考えられる。また、軌跡のシミュレーションからも短時間で海水貯留堰付近に接近することも考えられない。

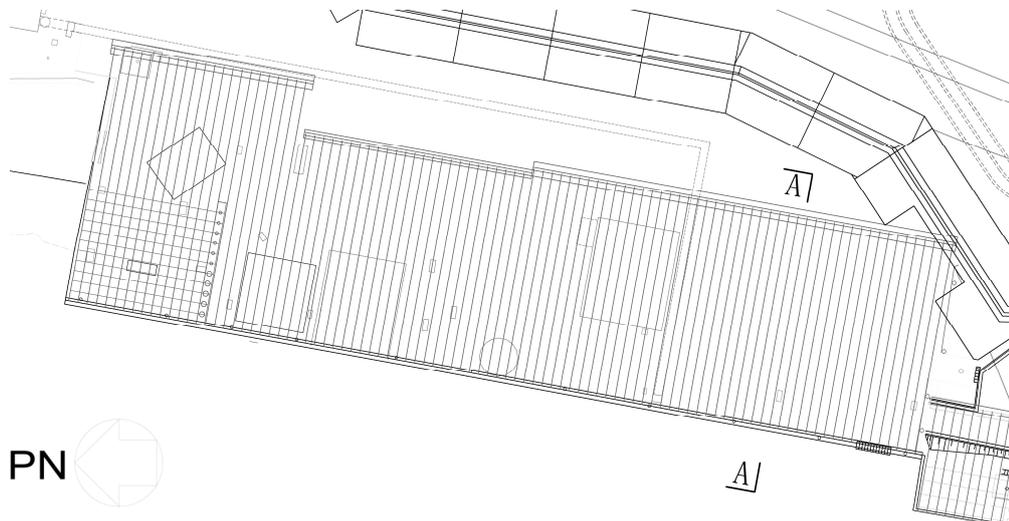
(4) 津波来襲時の対応について

燃料等輸送船は、キャスクの荷役の際に物揚場に係留し、作業を実施する。物揚場は立入制限区域となるため、乗組員は上陸できず、常に船内に待機している状態となっており、荷役については荷役作業員が行っている。

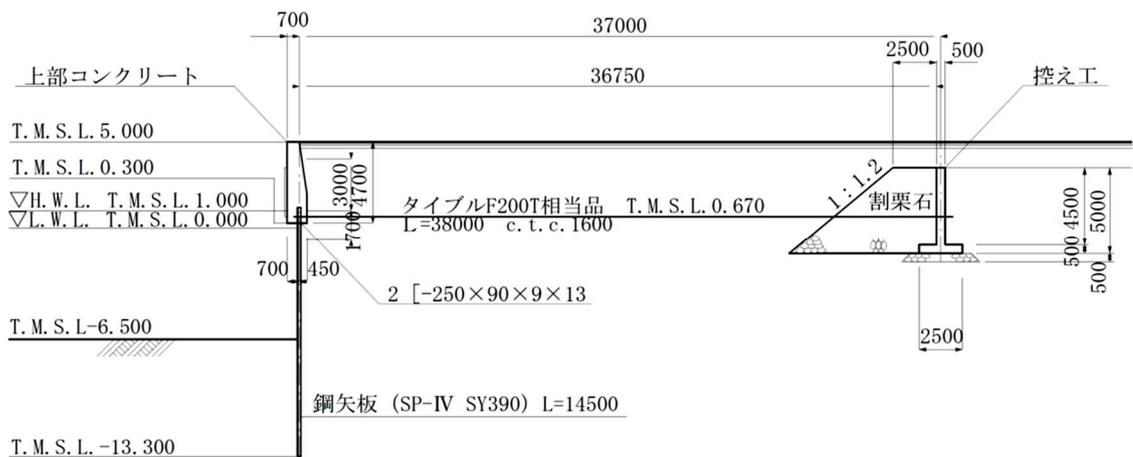
津波警報等の発令を受けた際は燃料等輸送船に常駐している乗組員は、緊急退避の準備を行う。係留索、係船柱の状態を確認しそのままとどまるか、沖合へ退避するか判断するが、時間的な余裕がない津波以外の津波に対しては、原則は津波時により安全な沖合に退避する。なお、係留索は船内から切断可能である。



(1) 係船柱の配置と燃料等輸送船の係留イメージ



(2) 物揚場平面図



(3) 物揚場断面図 (A-A 断面)

図 4.3-参 1-1 係船柱とその基礎について

4.4 燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係について

4.4 燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係について

(1) はじめに

燃料等輸送船は、津波警報等発令時、原則、緊急退避するが、津波の襲来までに時間的な余裕がなく緊急退避が困難な場合について、燃料等輸送船の喫水と津波高さとの関係に基づき、寄せ波に対して物揚場に乗り上げることのないこと、引き波に対して座礁及び転覆するおそれのないことを確認する。また、緊急退避が可能であった場合についても、退避中に引き波により、座礁及び転覆するおそれのないことを確認する。

(2) 確認条件

燃料等輸送船は、津波警報等発令時、原則、緊急退避する。輸送行程（「物揚場への接岸」～「荷役」～「物揚場からの離岸」）において、輸送船と輸送物の干渉がない「荷役」以外の行程においては、津波警報等の発令から数分程度で緊急退避が可能であるが、輸送船と輸送物が干渉し得る「荷役」行程では、緊急退避に15～30分程度を要する場合がある。

柏崎刈羽原子力発電所で襲来が想定される津波の到達時間と緊急退避に要する時間との関係を示すと図4.4-1のとおりとなる。

これを踏まえ、以下の3ケースを確認ケースとする。なお、図4.4-1より、40分程度の時間があれば緊急退避が十分可能であることから、確認の範囲は津波警報等の発令後、40分の期間とした。

ケース1：寄せ波による物揚場への乗り上げ評価

緊急退避できずに基準津波3の寄せ波第一波（*1）を受ける

注記*1：最高水位 T.M.S.L. +4.08m（発生時刻：地震後約15分）

ケース2：引き波による座礁及び転覆評価（緊急退避不能時）

緊急退避できずに基準津波3の引き波第一波（*2～3）を受ける

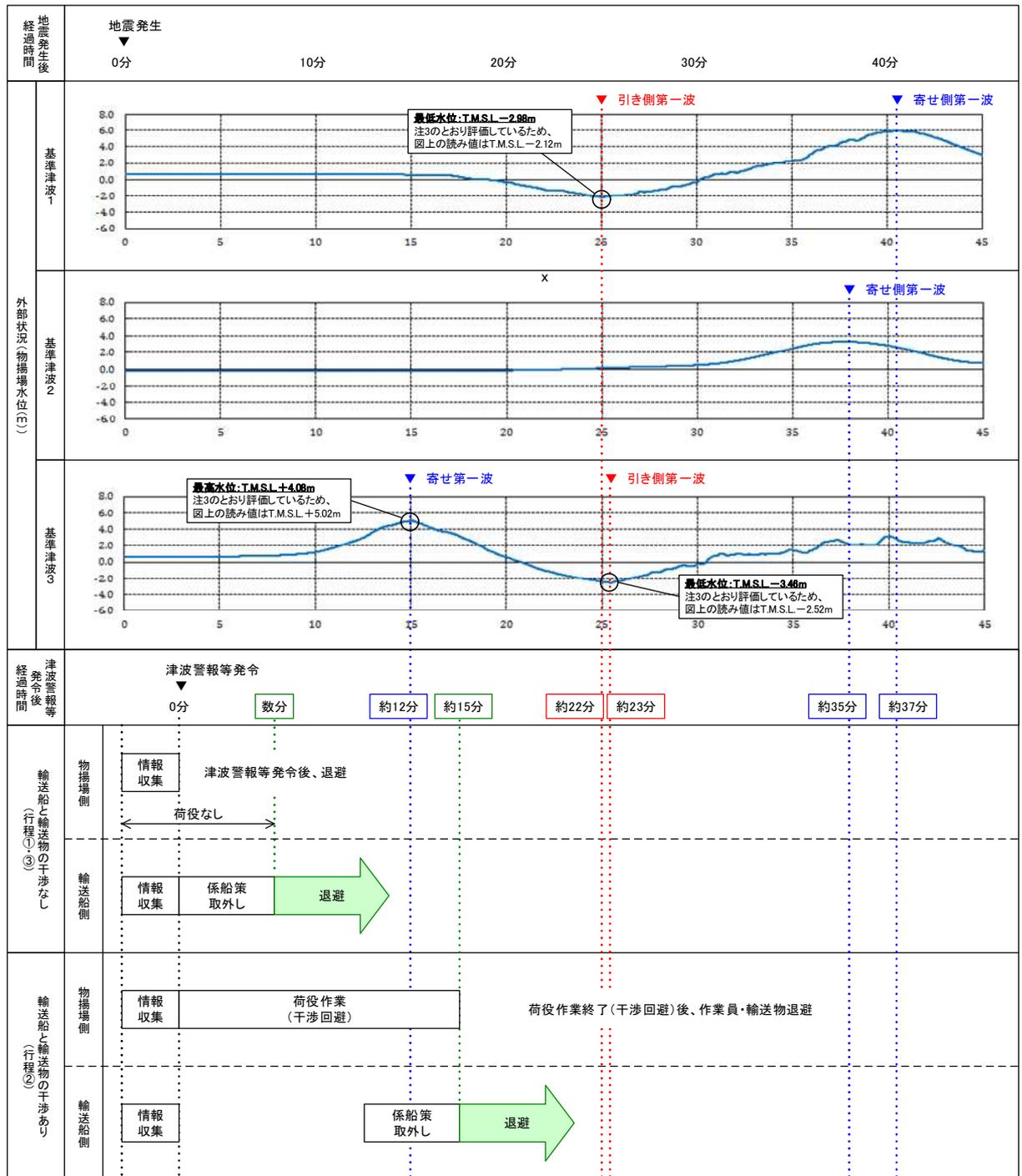
注記*2：最低水位 T.M.S.L. -3.46m（発生時刻：地震後約26分）

注記*3：基準津波1の引き波第一波は本ケースに包含される

ケース3：引き波による座礁及び転覆評価（退避中）

緊急退避中に基準津波3の引き波第一波（*4）を受ける

注記*4：ケース2と同条件



注1：津波警報等発令後経過時間は、地震発生の3分後(気象庁HPに記載の発表目標時間)に津波警報等が発令するものとして記載
 注2：津波の到達時間は、引き側及び寄せ側ともピークの到達時間を記載
 注3：本図の津波水位は、それぞれ以下の数値を予め含めて評価した結果を示している
 ・基準津波1：朔望平均満潮位(T.M.S.L.+0.49m)、潮位のバラつき(上昇側0.16m)、地殻変動量(0.21m)
 ・基準津波2：朔望平均干潮位(T.M.S.L.+0.03m)、潮位のバラつき(下降側0.15m)、地殻変動量(0.20m)
 ・基準津波3：朔望平均満潮位(T.M.S.L.+0.49m)、潮位のバラつき(上昇側0.16m)、地殻変動量(0.29m)
 注4：輸送船の退避とは、物揚場から離岸することを示す
 注5：行程①は「物揚場への接岸」、行程②は「荷役」、行程③は「物揚場からの離岸」を示す

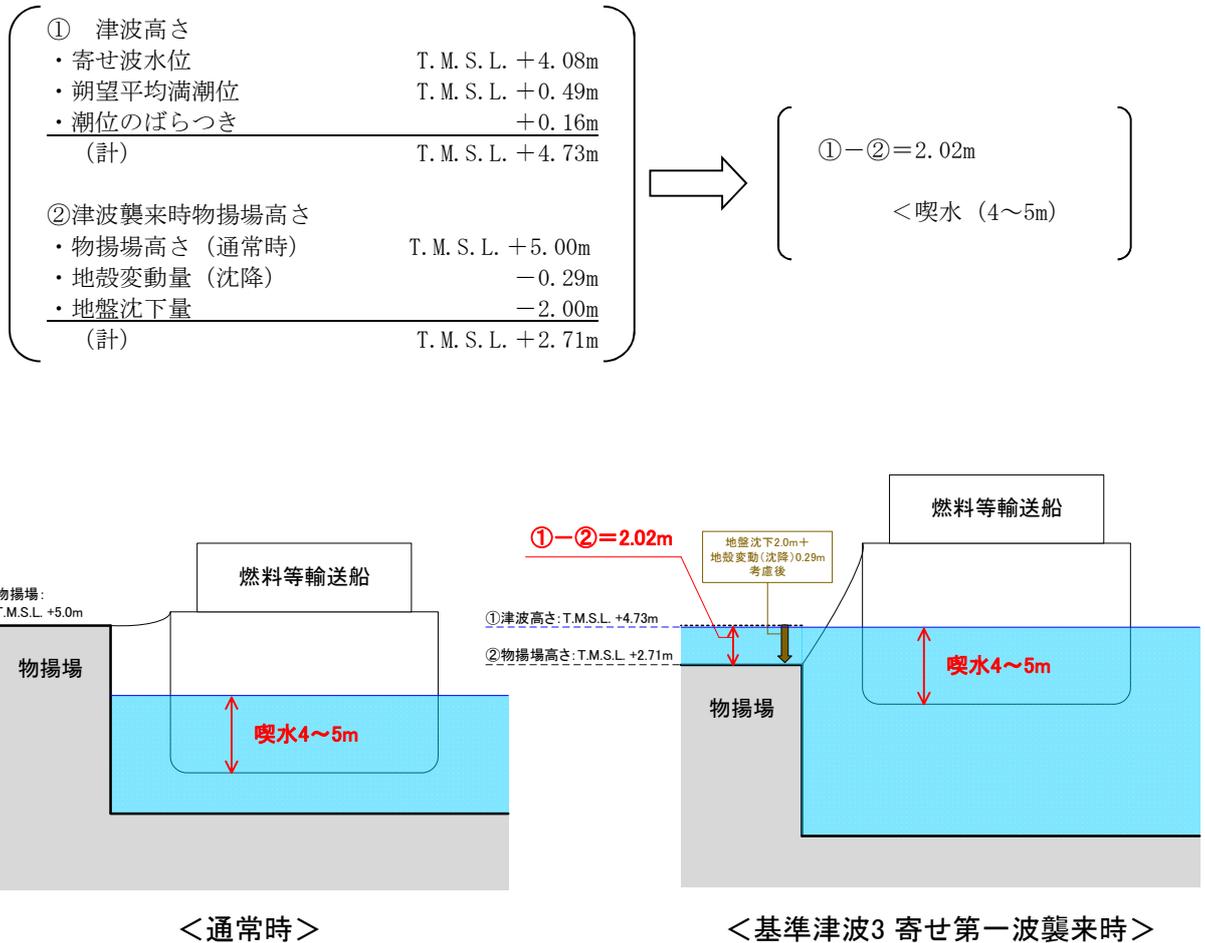
図 4.4-1 津波の到達と燃料等輸送船の緊急退避に要する時間

(3) 確認結果

a. ケース 1：寄せ波による物揚場への乗り上げ評価

寄せ波による津波高さと喫水の関係を図 4.4-2 に示す。

これより、燃料等輸送船は物揚場に乗り上げることはないことを確認した。



(備考)

- 津波の原因となる地震による地殻変動 (0.29m 沈降) を考慮した。
- 地盤変状について、基準地震動による地盤沈下を保守的に評価した値 (2.0m 沈下) を考慮しても、燃料等輸送船は物揚場に乗り上げることはない。
- なお、燃料等輸送船の喫水は、積荷、バラスト水等で変動するが、積荷なしでも過去の実績よりおよそ 4m 以上である。

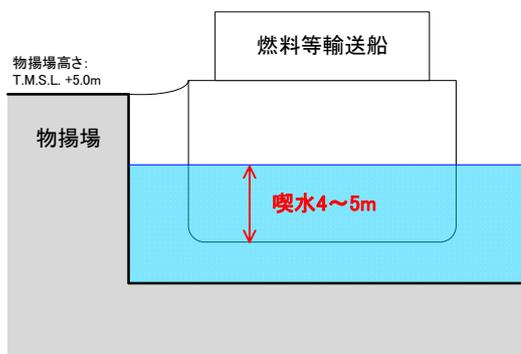
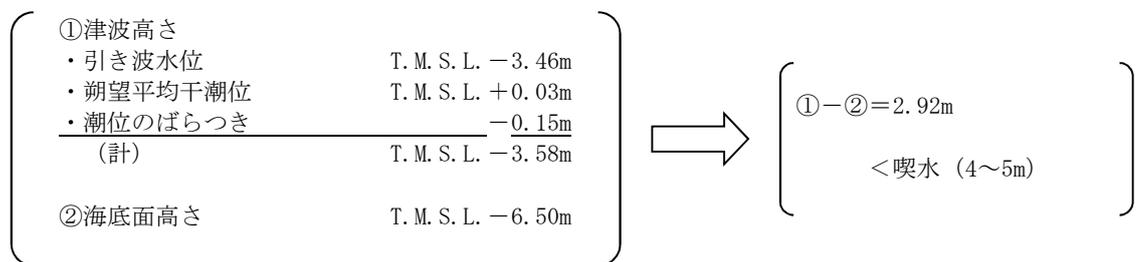
図 4.4-2 寄せ波による津波高さと喫水の関係

b. ケース 2：引き波による座礁及び転覆評価（緊急退避不能時）

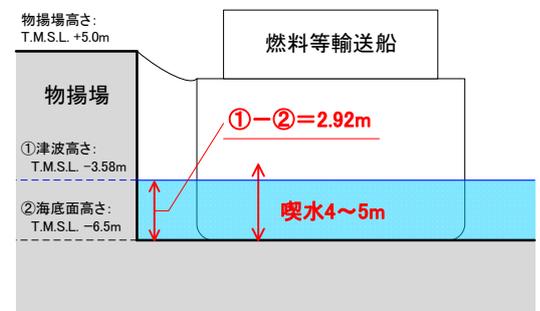
引き波による津波高さと喫水の関係を図 4.4-3 に示す。

これより、燃料等輸送船は引き波のピークの際には一時的に着底し得ることが示されるが、この場合も、以下の理由より座礁及び転覆することはない（漂流物とならない）。

- 一時的な着底があったとしても、輸送船は二重船殻構造等、十分な船体強度を有しており、水位回復後に退避が可能である。
- また、着底後の引き波による流圧力、あるいは水位回復時の寄せ波による流圧力に対する転覆の可能性については、輸送船の重量及び扁平な断面形状より、その可能性はない。なお、転覆の可能性に関わる具体的な評価を別紙に示す。



<通常時>



<基準津波3 引き第一波襲来時>

(備考)

○津波の原因となる地震による地殻変動及び地盤変状は、海底との距離が大きくなる方向に寄与するため、保守的に考慮していない。

図 4.4-3 引き波による津波高さと喫水の関係

c. ケース 3：引き波による座礁及び転覆評価（退避中）

柏崎刈羽原子力発電所の港湾内の海底面高さは、港湾内でほぼ一定であるため、本ケースにおける引き波高さと喫水との関係はケース 2 における図 4.4-3 と同等である。

したがって、図より燃料等輸送船は、退避中、引き波のピークの際には一時的に着底し得ることが示されるが、この場合も、前述と同様、輸送船の船体強度、重量及び形状より、離岸後の輸送船は、座礁及び転覆することなく、退避可能（漂流物とならない）と判断できる。

d. 結論

朔望平均満潮位・干潮位等の保守的な条件を考慮した場合でも、燃料等輸送船は、津波高さと喫水高さの関係から寄せ波により物揚場に乗り上げることはなく、また、緊急退避ができない場合及び退避中に引き波により一時的に着底した場合でも、座礁及び転覆しない（漂流物とならない）ことを確認した。

燃料等輸送船の着底時の転覆の可能性について

本別紙では、燃料等輸送船が物揚場における停泊時及び港湾内で緊急退避中に引き波により着底することを想定し、その際の転覆の可能性について評価する。

1. 評価条件

(1) 燃料等輸送船の仕様・形状

燃料等輸送船の仕様を表1に、外形図を図1及び図2に示す。転覆評価では、排水量について少ない方が保守的な評価となるため、空荷状態で評価を行った。

表1 燃料等輸送船の仕様

項目	仕様
排水量	満載状態：約7,000トン (空荷状態：4,000トン)
載貨重量トン	約3,000トン
喫水	約5m
全長	100.0m (垂線間長：94.4m)
型幅	16.5m

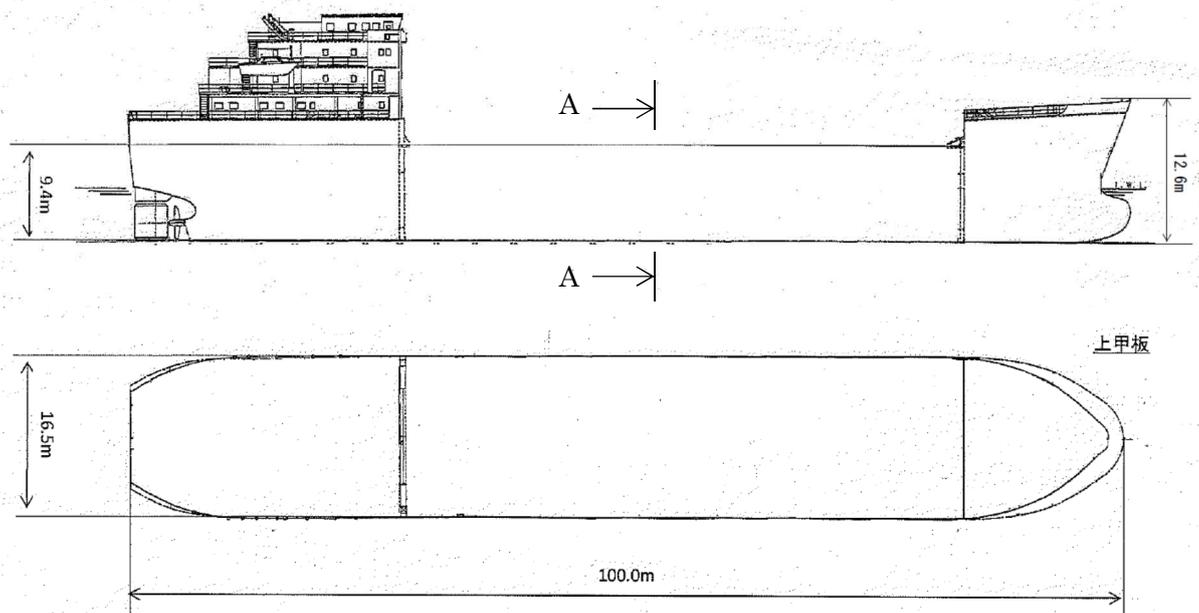


図1 燃料等輸送船外形図

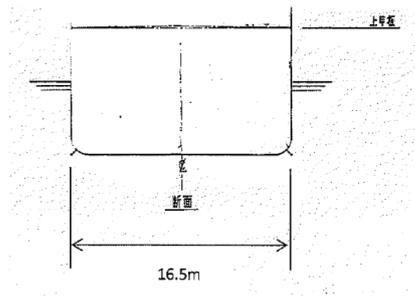


図2 燃料等輸送船外形図 (A-A 矢視)

(2) 転覆モード

小型の船舶の場合、丸型やV型の船底を有しているものがある。このような船舶の場合、図3に示すとおり引き波により着底した際には傾きが発生し、この状態で津波による流圧力を受けると転覆する可能性が考えられる。

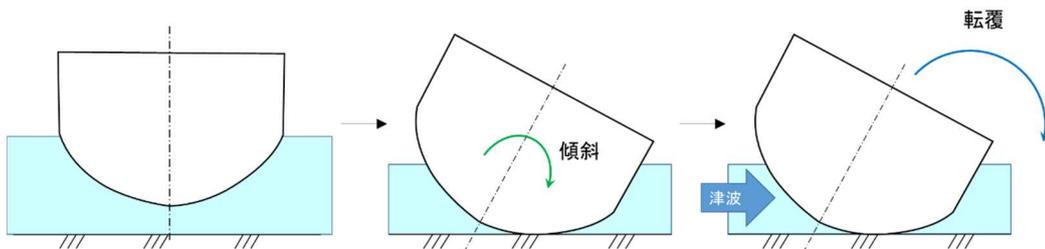


図3 丸型の船底を有する船舶の着底状態

一方、燃料等輸送船は一般のタンカーなどと同様に図2で示したとおり、断面形状が扁平であり船底が平底型である。このため、引き波により着底した場合にも傾くことなく安定していると考えられるが、ここでは保守的に、図4に示すように燃料等輸送船が津波を受けた際に船底の端部が海底に引っ掛かり、船底端部周りに回転する状況を想定し、転覆可能性の評価を行うものとする。

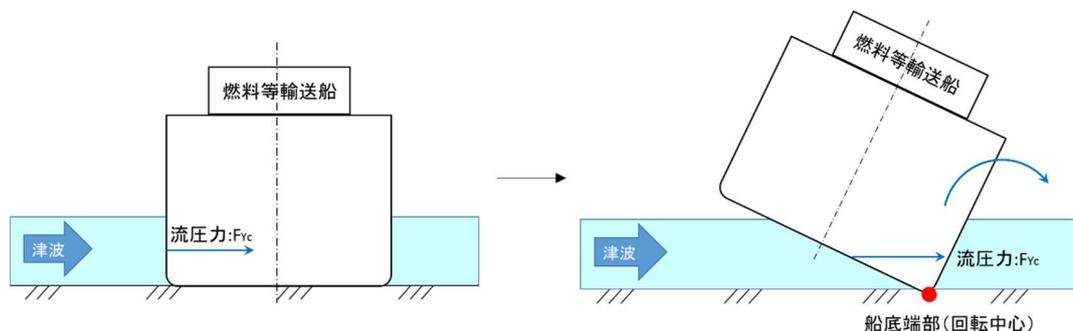


図4 想定転覆モード

2. 転覆評価

図4の転覆モードにおいて燃料等輸送船に働く力とモーメントを図5に示す。

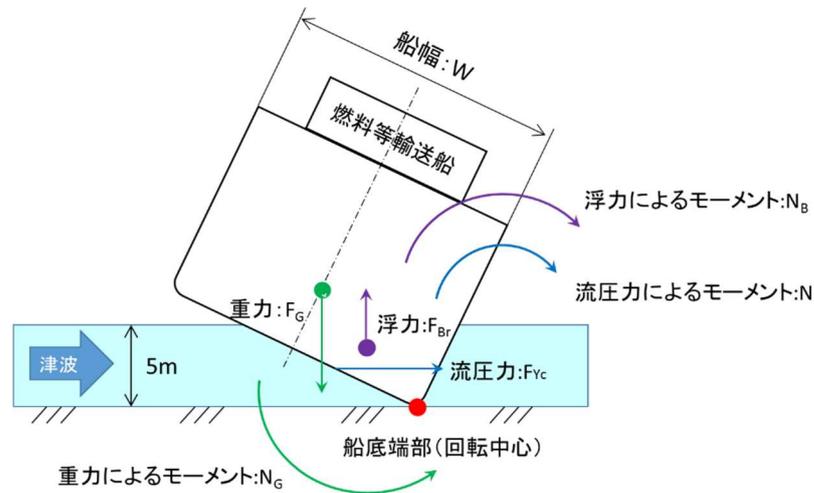


図5 燃料等輸送船に働く力とモーメント

津波を受けると流圧力 F_{Yc} によるモーメント N が発生し、船底端部を中心に燃料等輸送船を回転させる。また、浮力 F_{Br} によるモーメント N_B も流圧力によるモーメント N と同じ方向に発生する。一方、重力 F_G によるモーメント N_G がこれらのモーメントと逆方向に発生し燃料等輸送船の傾きを戻す。この際、流圧力及び浮力によるモーメントにより傾きが増大し、重心位置が回転中心の鉛直線上を超える場合には転覆する。

重心位置が回転中心の鉛直線上にあるときの傾きは約 48° であるため、ここでは傾きを 24° と仮定し、流圧力によるモーメント N と浮力によるモーメント N_B の和と重力によるモーメント N_G とのモーメントの釣り合いから転覆しないことを確認する。

重力によるモーメント N_G は次式のとおりとなる。

$$\begin{aligned} N_G &= F_G \times X(\text{GR}) \\ &= 4000 \times 4.5 \\ &= 18000 (\text{tonf} \cdot \text{m}) \end{aligned}$$

N_G : 重力によるモーメント (tonf・m)

F_G : 燃料等輸送船 (空荷状態) の重量 (tonf) (=4000)

$X(\text{GR})$: 重心と回転中心の水平方向距離 (m) (≈ 4.5)

次に流圧力によるモーメント N は次式にて計算できる。

$$N = F_{Yc} \times W \div 2$$

$$= F_{Yc} \times d \div 2$$

N : 流圧力によるモーメント (tonf・m)

F_{Yc} : 流圧力 (tonf)

W : 水位 (m)

d : 喫水 (m) (=5)

ここで、流圧力は受圧面積が最大ときに最も大きくなり、かつ、流圧力によるモーメントは流圧力の作用点と回転中心との距離が最大ときに最も大きくなるため、本評価における水位は喫水と同等とした。

また、横方向の流圧力 F_{Yc} を表 2 に示す方法で計算する。

表 2 横方向流圧力の計算方法¹⁾

<p>【流圧力計算式】</p> $F_{Yc} = 1/2 \times C_{Yc} \times \rho_c \times V_c^2 \times L_{PP} \times d$	<p>F_{Yc} : 横方向流圧力 (kgf)</p> <p>C_{Yc} : 横方向流圧力係数</p> <p>V_c : 流速 (m/s)</p> <p>L_{PP} : 垂線間長 (m) (=94.4)</p> <p>d : 喫水 (m) (=5)</p> <p>ρ_c : 水密度 (kgf・sec²/m⁴) (=104.7kgf・sec²/m⁴)</p>
---	--

このとき、流速は図 6-1 に示す早く襲来する津波の最大流速 3.2m/s を適用し、横方向流圧力係数を図 7 より 10 と仮定する。

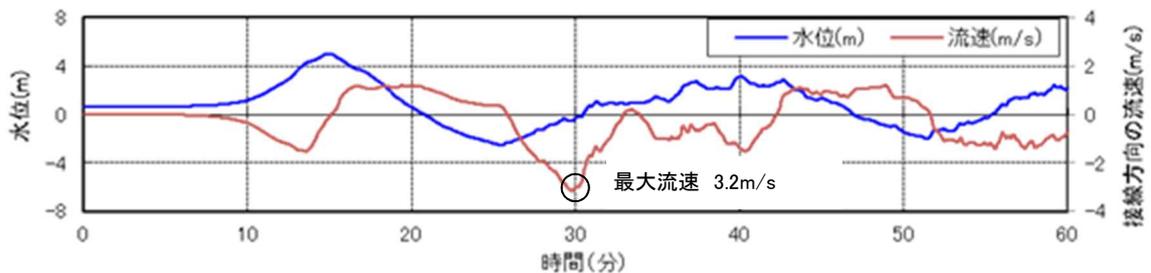


図 6-1 基準津波 3 の水位・流速 (物揚場前面)

なお、地震等により防波堤が損傷した場合でも、流速は図 6-2 に示すとおり防波堤健全時

(図 6-1) よりも小さいため、流速条件は防波堤健全時における流速に包含される。

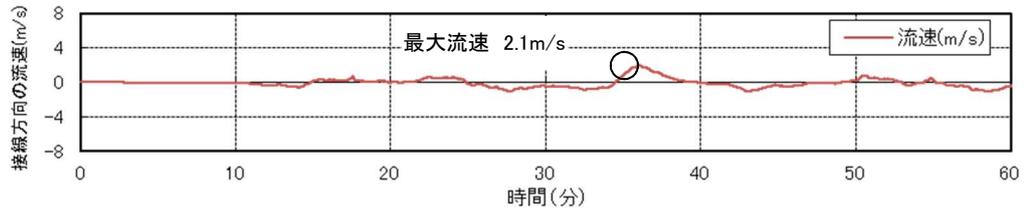


図 6-2 防波堤損傷時における基準津波 3 の流速 (物揚場前面)

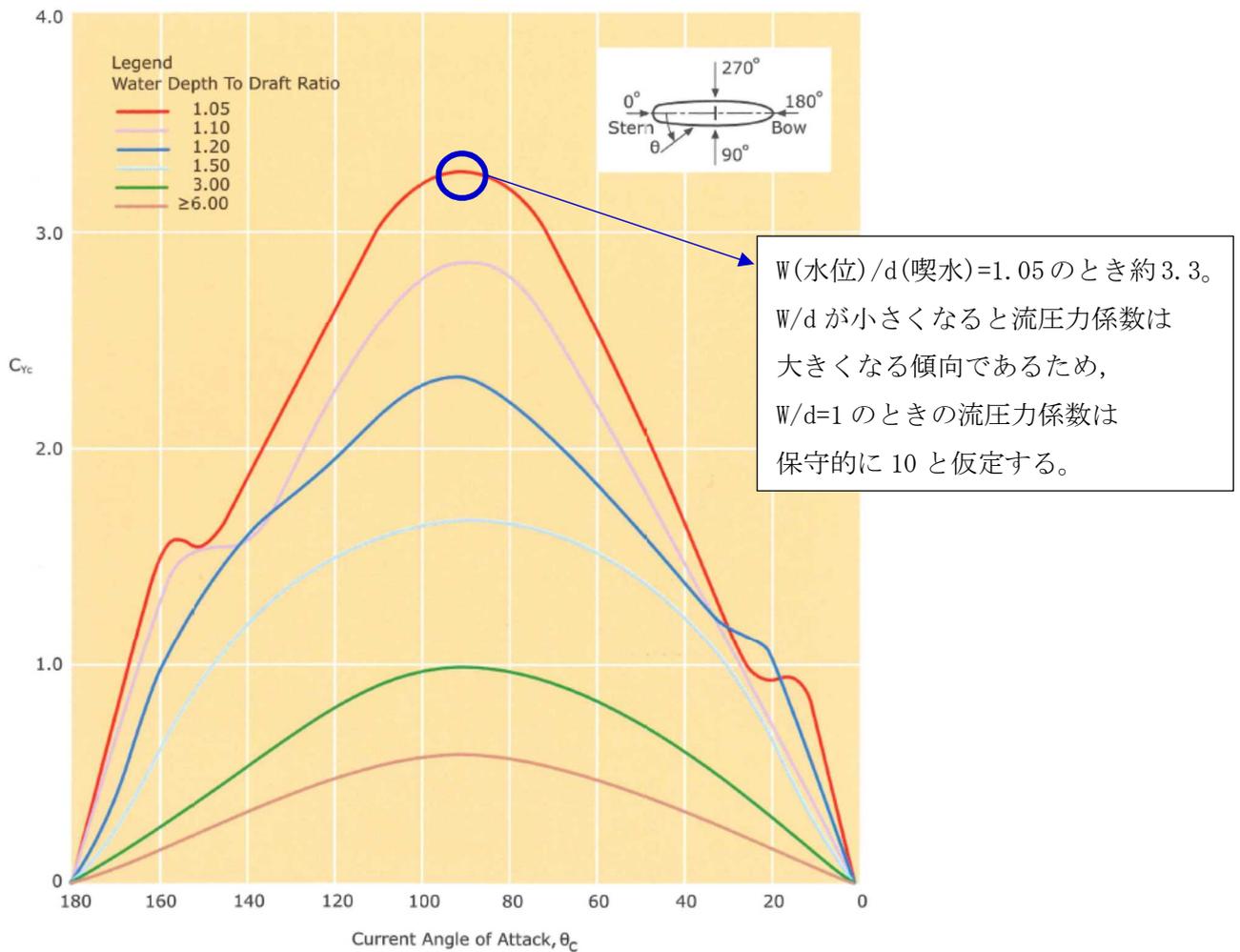


図 7 横方向の流圧力係数¹⁾

参考文献

1) OCIMF : Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition, pp.178, pp.190, pp.202, 2008.

上記の表 2 により F_{Yc} は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} F_{Yc} &= 1 \div 2 \times 10 \times 104.7 \times 3.2^2 \times 94.4 \times 5 \\ &\simeq 2531000 \text{ (kgf)} \\ &= 2531 \text{ (tonf)} \end{aligned}$$

従って、流圧力によるモーメントは以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} N &= F_{Yc} \times d \div 2 \\ &= 2531 \times 5 \div 2 \\ &\simeq 6328 \text{ (tonf} \cdot \text{m)} \end{aligned}$$

最後に浮力によるモーメント N_B は次式にて評価する。

$$\begin{aligned} N_B &= F_{Br} \times X(BR) \\ &= 1700 \times 3.0 \\ &\simeq 5100 \text{ (tonf} \cdot \text{m)} \end{aligned}$$

N_B : 浮力によるモーメント (tonf·m)
 F_{Br} : 傾いた際の燃料等輸送船の浮力 (tonf) ($\simeq 1700$)
 $X(BR)$: 浮心と回転中心の水平方向距離 (m) ($\simeq 3.0$)

以上の結果をまとめると、以下に示すとおり重力によるモーメント N_G は流圧力によるモーメントと浮力によるモーメントの和より大きくなるため、燃料等輸送船は転覆することはない。

$$\begin{aligned} N + N_B &= 6328 + 5100 \\ &= 11428 \text{ (tonf} \cdot \text{m)} < N_G = 18000 \text{ (tonf} \cdot \text{m)} \end{aligned}$$

3. 結論

燃料等輸送船は着底後に津波による流圧力を受けてもその形状から通常の状態であれば転覆することはない。また、保守的に船底の一部が固定されるような状態を想定した場合であっても転覆しないことを確認した。