

海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について

1. 海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について

海水ポンプからの取水時に、海水中に含まれる浮遊砂が軸受潤滑水として混入する可能性があるが、図-1 に示すとおり、異物逃がし溝（ゴム軸受:約 5.5mm、テフロン軸受:約 4.2mm）での連続排出により、海水ポンプの取水機能は維持できる設計となっている。これまでの運転実績においても、浮遊砂混入による軸受損傷トラブルは発生していないが、発電所周辺の細かな砂粒径約 0.3mm 程度のものが軸受に混入した場合の軸受耐性について評価する。

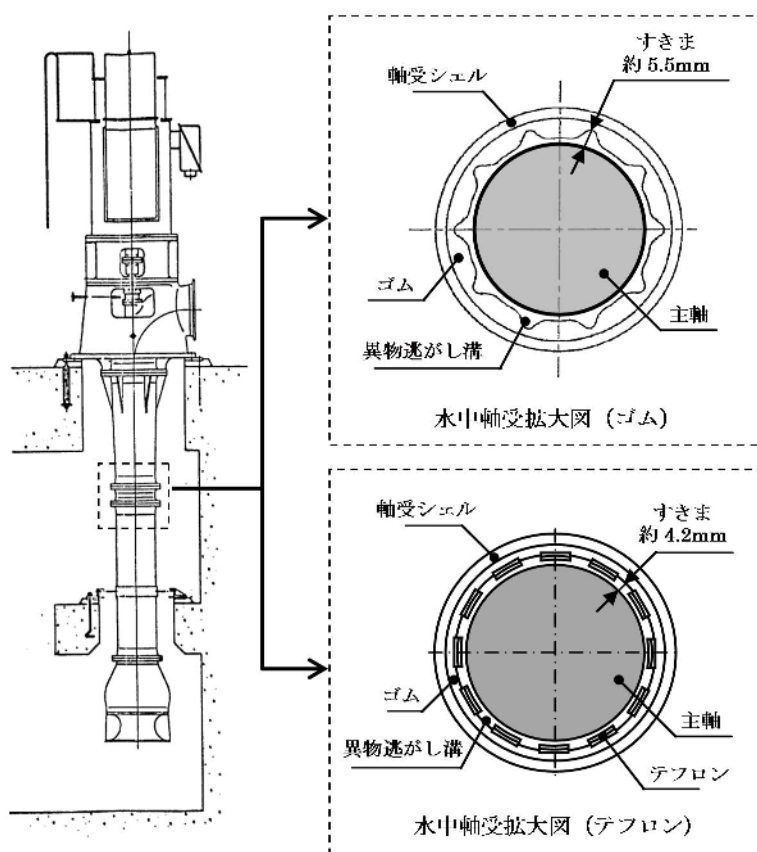


図-1 海水ポンプ軸受構造図

(1) メーカーにおける軸受摩耗試験結果

実機海水ポンプを模擬し、浮遊砂濃度 (4×10^{-3} , 2×10^{-2} wt%) 連続注入時における運転試験を実施して、軸受の摩耗量を測定した。表-1 に試験条件、図-2 に海水ポンプ軸受摩耗試験装置を示す。

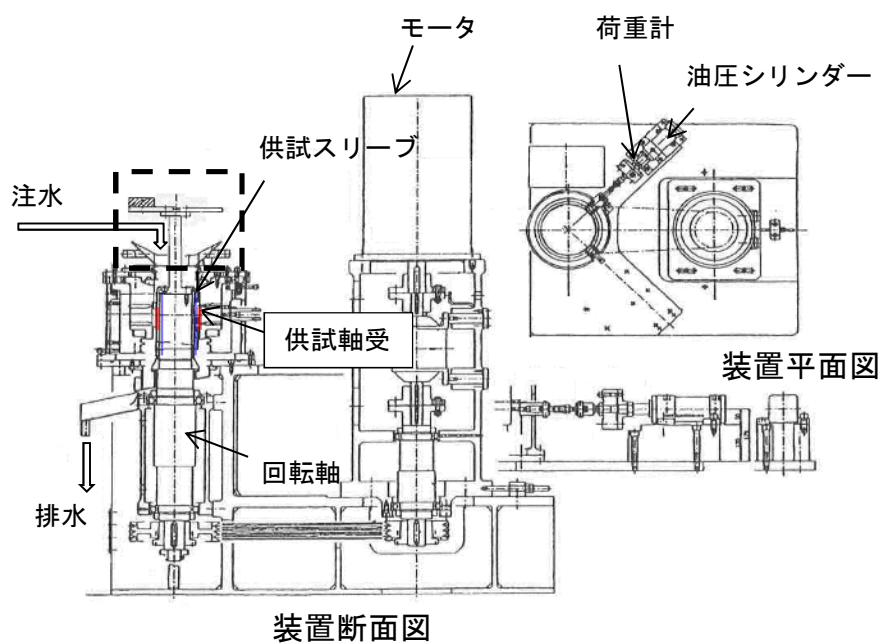


図-2 海水ポンプ軸受摩耗試験装置

この摩耗量の測定結果を用いて比摩耗量 K_f を評価し、①の寿命評価式を用いて評価した結果、浮遊砂濃度 2×10^{-2} wt% の場合のゴム軸受の寿命時間は約 6200 時間、テフロン軸受の寿命時間は約 3000 時間となる。計算条件を表-2 に示す。

軸受寿命評価式（機械工学便覧参照）

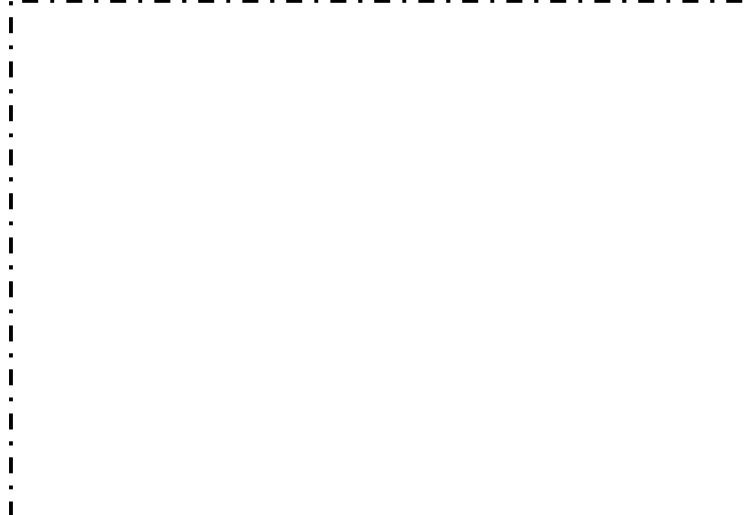
$$T_1 = \frac{\sigma}{PVK_1} \quad \dots \textcircled{1}$$

K_1 : 浮遊砂濃度 2×10^{-2} % 時の比摩耗量 [mm²/kgf]
 σ : 許容摩耗量 [mm]
 P : 軸受面圧 [kgf/mm²]
 V : 周速 [mm/s]
 T_1 : 浮遊砂濃度 2×10^{-2} % 時の寿命時間 [s]

表-1 海水ポンプ軸受摩耗試験条件 [浮遊砂濃度 4×10^{-3} , 2×10^{-2} wt%]

項目	試験条件
回転数 [rpm]	716
面圧 [MPa]	0.05
砂粒径 [mm]	0.3
軸受材料	ゴム軸受 テフロン軸受

表-2 海水ポンプ軸受寿命評価条件 [浮遊砂濃度 2×10^{-2} wt%]



一点鎖線の範囲は機密に係る事項ですので、公開することはできません。

(2) 基準津波時の砂移動評価結果からの寿命評価

基準津波時における砂移動評価結果から海水ポンプ室前の浮遊砂濃度は、 1.3×10^{-1} wt%となる（別紙）。前項のメーカー試験の比摩耗量とこの結果を用いて津波時の浮遊砂濃度 1.3×10^{-1} wt%における比摩耗量を評価する。

比摩耗量の②式は、公開文献「立軸ポンプ用セラミックス軸受に関する研究」から引用している。この公開文献では、200～3000ppmのスラリー濃度の軸受摩耗量を測定しており、比摩耗量とスラリー濃度との間には相関関係があると結論づけられており、この知見を参考とした。

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \left(\frac{C_\omega}{C_0}\right)^{0.9} \quad \dots \textcircled{2}$$

ω_0 (K_1) : 200ppmにおける比摩耗量

ω (K_2) : 種々のスラリー濃度における比摩耗量

C_0 、 C_ω : スラリー濃度

比摩耗量を計算した結果を図-3 に示す。この結果から寿命評価をした結果、運転可能時間はゴム軸受:約 1150 時間、テフロン軸受:約 560 時間となる。計算条件を表-3 に示す。

以上より、海水ポンプ軸受は津波時の浮遊砂に対して十分な耐性がある。

表-3 海水ポンプ軸受寿命計算条件[浮遊砂濃度 1.3×10^{-1} wt%]



一点鎖線の範囲は機密に係る事項ですので、公開することはできません。



図-3 海水ポンプ軸受比摩耗量評価結果

出典：立軸ポンプ用セラミックス軸受に関する研究、湧川ほか
(日本機械学会論文集 (B 編) 53 巻 491 号 (昭 62-7)、pp. 2094-2098 に追記)

(3) 評価結果

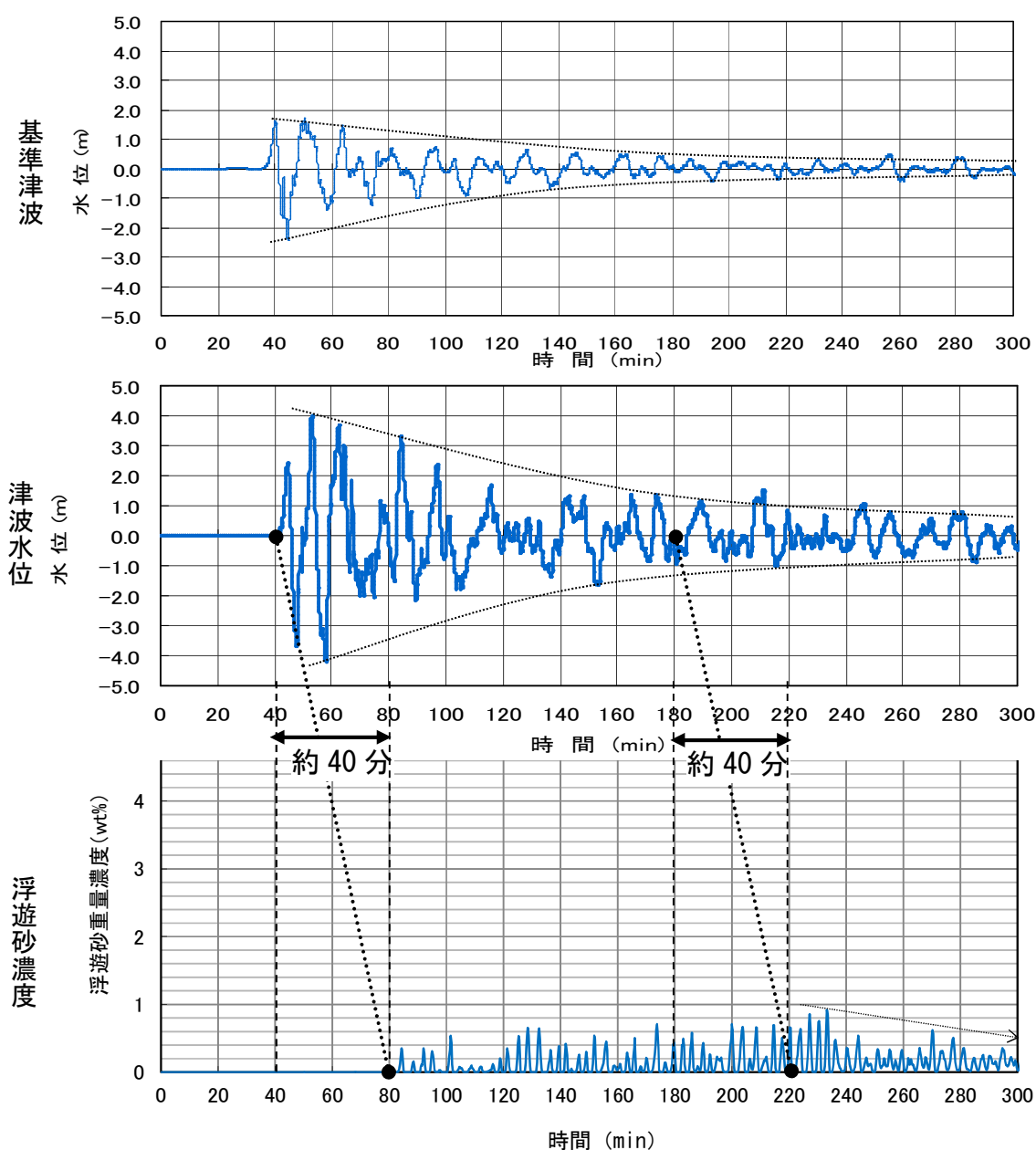
津波襲来時に海水ポンプ軸受部に細かな砂が混入したとしても海水ポンプ軸受耐性は十分にあり、取水性に問題がないと評価する。また、万一、運転中の海水ポンプ軸受に問題が生じたとしても、待機 2 台(定格流量 100%×2 台)を保有していることから、待機ポンプを起動し、機能を継続することが出来る。

一点鎖線の範囲は機密に係る事項ですので、公開することはできません。

海水ポンプ室砂濃度について

基準津波の水位波形および津波評価での取水口における津波水位波形並びに浮遊砂濃度評価での海水ポンプ室における浮遊砂濃度を以下に示す。

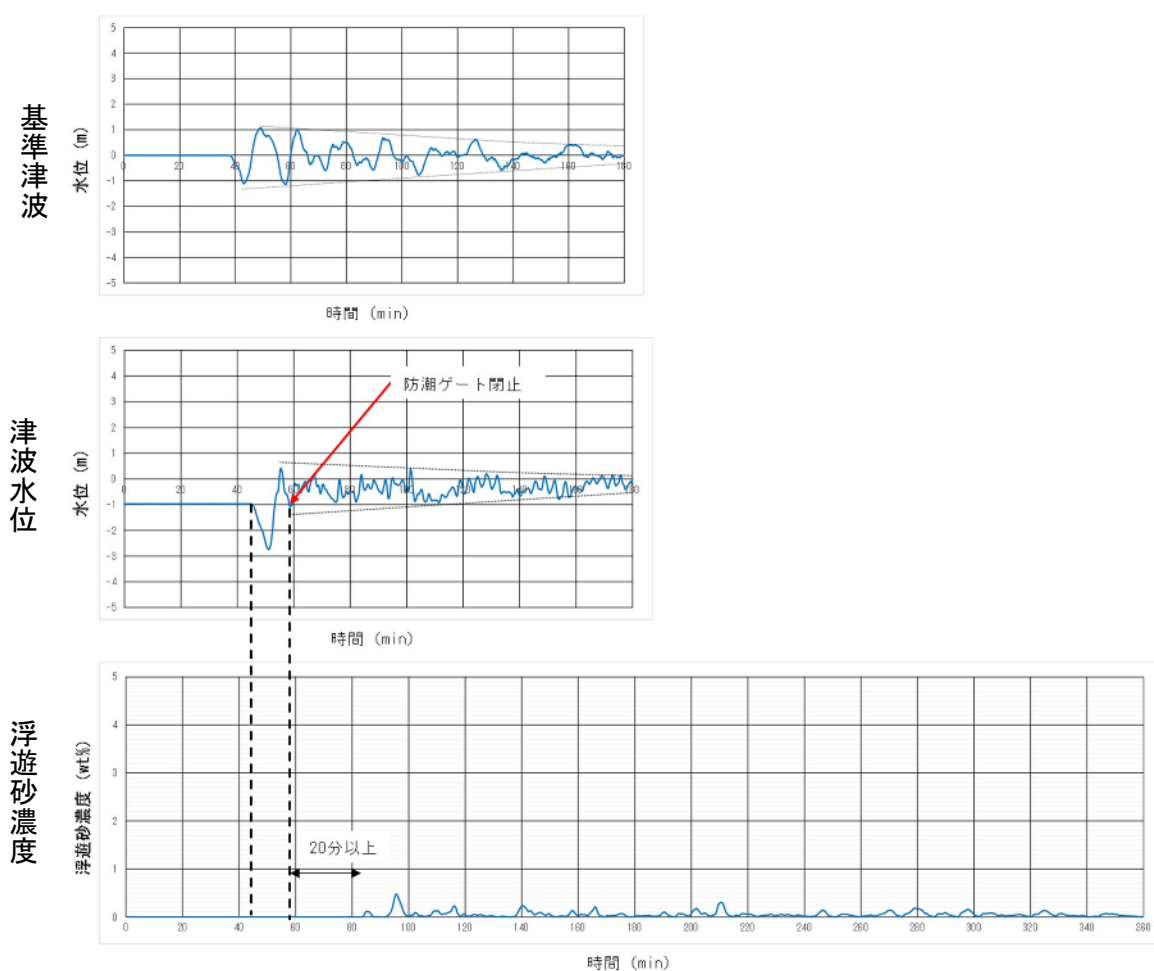
津波水位の変化が現れる時間と、砂移動に伴い海水ポンプ室の浮遊砂濃度に変化が現れる時間では約 40 分の時間差がある。基準津波および取水口における津波水位変化は、ほぼ 180 分で津波が収束傾向を示していることから、砂移動評価においては津波水位評価 180 分にこの時間差約 40 分を加え、更に 220 分以降の砂濃度の減少傾向を加味し、80 分から 260 分までの砂平均濃度を用いることとする。



「基準津波 1 (若狭海丘列付近断層と隠岐トラフ海底地すべり (エリアB))
高橋ほか (1999) の手法による海水ポンプ室評価結果」

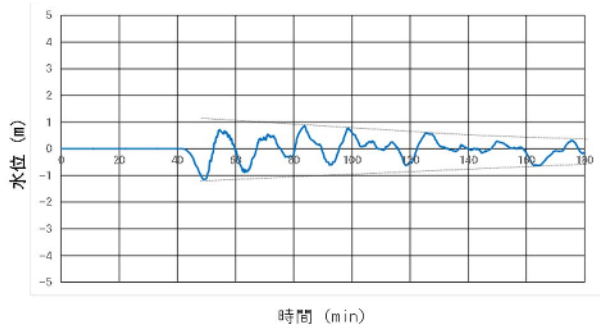
(参考) 基準津波 3 及び基準津波 4 による浮遊砂濃度について

基準津波 3 及び基準津波 4 について津波水位の変化が現れる時間と、砂移動に伴い海水ポンプ室の浮遊砂濃度に変化が現れる時間を比較したところ、浮遊砂濃度の変化は取水路防潮ゲートが閉止してから 20 分以上時間が経過している。また、浮遊砂の濃度についても基準津波 1 の半分程度となっていることから、浮遊砂濃度の評価について基準津波 1 による値を用いることは妥当であると判断できる。

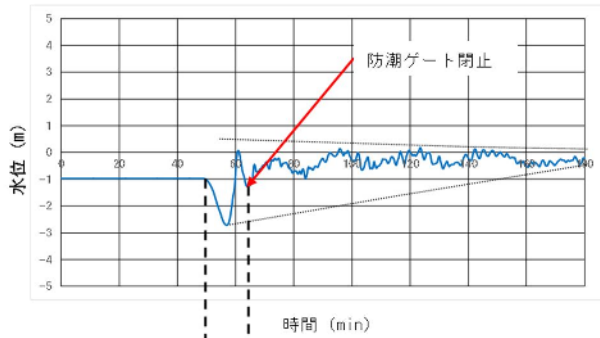


参考図 1 基準津波 3 (隠岐トラフ海底地すべり (エリアB))
高橋ほか (1999) の手法による海水ポンプ室評価結果

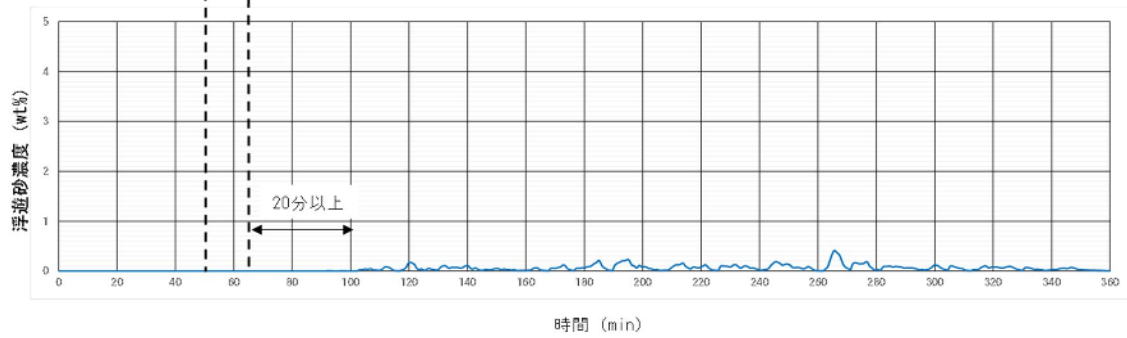
基準津波



津波水位



浮遊砂濃度



参考図2 基準津波4（隠岐トラフ海底地すべり（エリアC））
高橋ほか（1999）の手法による海水ポンプ室評価結果

燃料等輸送船の係留索の耐力について
（高浜発電所 津波警報が発表されない
可能性がある津波に対する評価）

1. 概要

燃料等輸送船（以下、「輸送船」という。）は、津波警報等発表時、原則、緊急退避を行うが、退避準備に 20 分間を要するため、この間に襲来する早期襲来津波に対して輸送船への影響評価を実施している。一方、津波警報が発表されない可能性がある津波（海底地すべり津波）が発生した場合は、発電所構外において津波と想定される潮位を観測し、その連絡を受け緊急退避を行うが、輸送船の荷役時に襲来した場合は 20 分以内に緊急退避できない可能性がある。従って、津波連絡後 20 分以降に到達する津波も含む津波全体を対象として輸送船への影響評価を行い、係留状態が維持できることを確認する。

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。

今回、輸送船が備えている係留索の係留力および海底地すべり単独による津波の流圧力について石油会社国際海事評議会 OCIMF（Oil Companies International Maritime Forum）の手法を用いて算出し、係留索の耐力評価を行う。

2. 海底地すべり津波の評価

（1）輸送船、係留索、係船柱

輸送船、係留索、係船柱の仕様を表-1に、配置を図-1に示す。

表-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 5[m]
	全長	100.0[m]（垂線間長：94.4[m]）
	型幅	16.5[m]
	形状	（図1参照）
係留索	直径	60[mm]（ノミナル値）
	素材種別	Polyethylene Rope Grade 1
	破断荷重	279[kN（キロニュートン）] =28.5[tonf]
	係船機ブレーキ力	28.5[tonf] × 0.7 ≒ 20.0[tonf]
係船柱	形状	（図1参照）
	ビット数、位置	（図1参照）
	係留状態	（図1参照）
	強度	50[t]

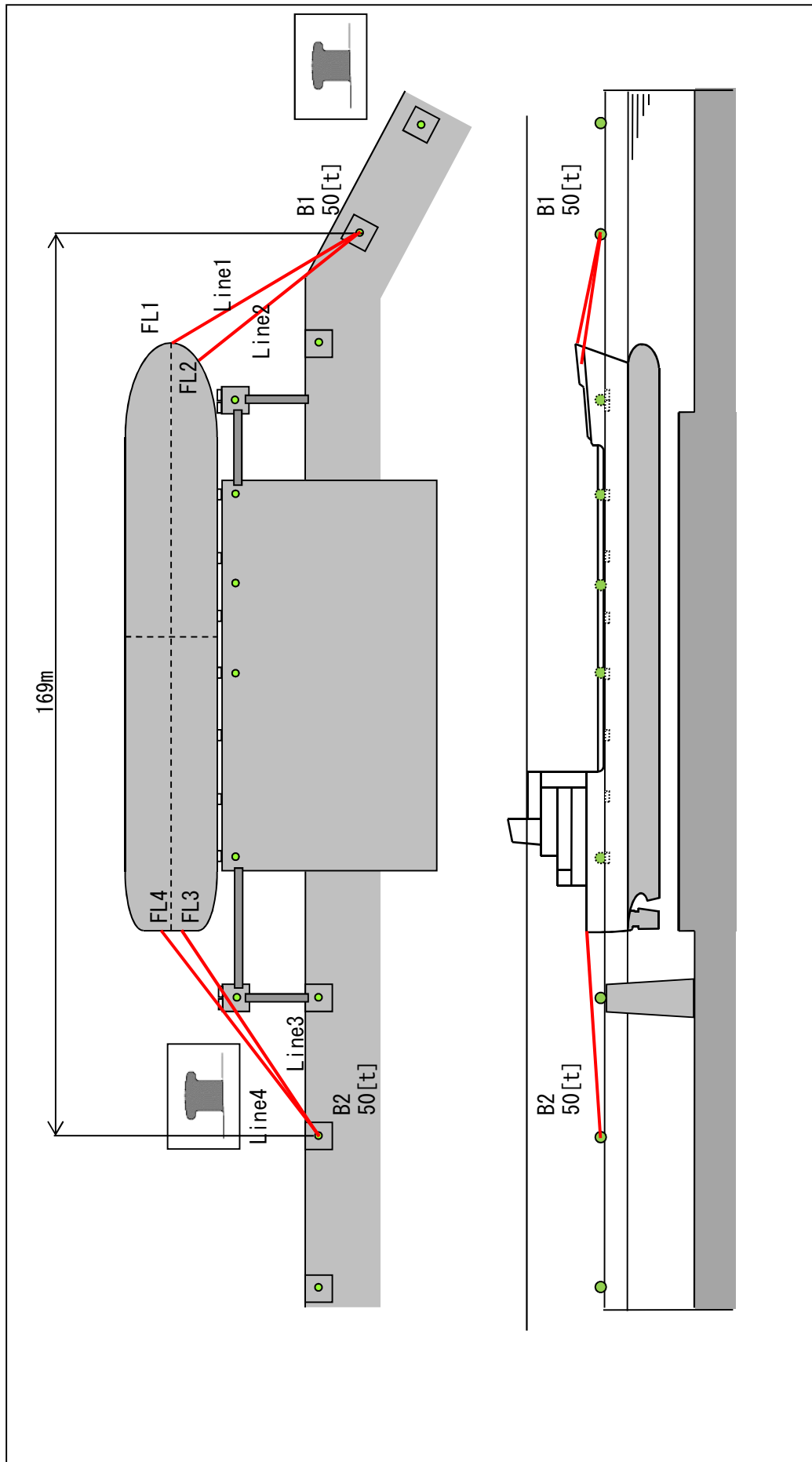


図-1 輸送船、係留索、係船柱の配置※イメージ

※接岸時は通常、6本程度以上で係留する。この評価においては、保守的にを行うことを目的に鋼船規則上の最低本数（4本）を仮定。

(2) 各波源モデルによる津波流速

表-2に各波源モデルによる最大流速を示す。この中から、最大流速となる波源モデルを選定し、その最大流速により評価を実施する。

【選定結果】

① 最大流速（水位上昇側）：1.1[m/s]

評価に使用する最大流速（水位上昇側）は表-2のとおり、①エリアB Kinematicモデルの結果から、流速1.1[m/s]を選定する。

なお、1.1[m/s]は、計算値1.05[m/s]を保守的に切上げた値である。

(参考)

エリアB Kinematicモデルの水位下降側においても最大流速1.1[m/s]があるが、詳細は1.01[m/s]を保守的に切上げた値である。

表-2 各波源モデルによる最大流速

表中の水位単位はT.P.(m)、流速単位は(m/s)

波源モデル			水位上昇		水位下降	
			放水口 前面		放水口 前面	
			最高水位	最大流速	最低水位	最大流速
地震 以外に 起因する 津波	エリアA	Watts他の予測式	0.6	0.1	-0.1	0.1
		Kinematicモデル による方法	1.6	0.4	-0.7	0.4
	エリアB	Watts他の予測式	1.9	0.4	-1.6	0.4
		Kinematicモデル による方法	3.7	1.1	-5.4	1.1
	エリアC	Watts他の予測式	1.1	0.4	-0.8	0.4
		Kinematicモデル による方法	3.7	0.7	-4.0	0.7

(3) 最大流速の波源モデルによる波形

図-2に最大流速の波源モデルによる津波の流速を示す。

また、図-3に津波流向（イメージ）を示す。

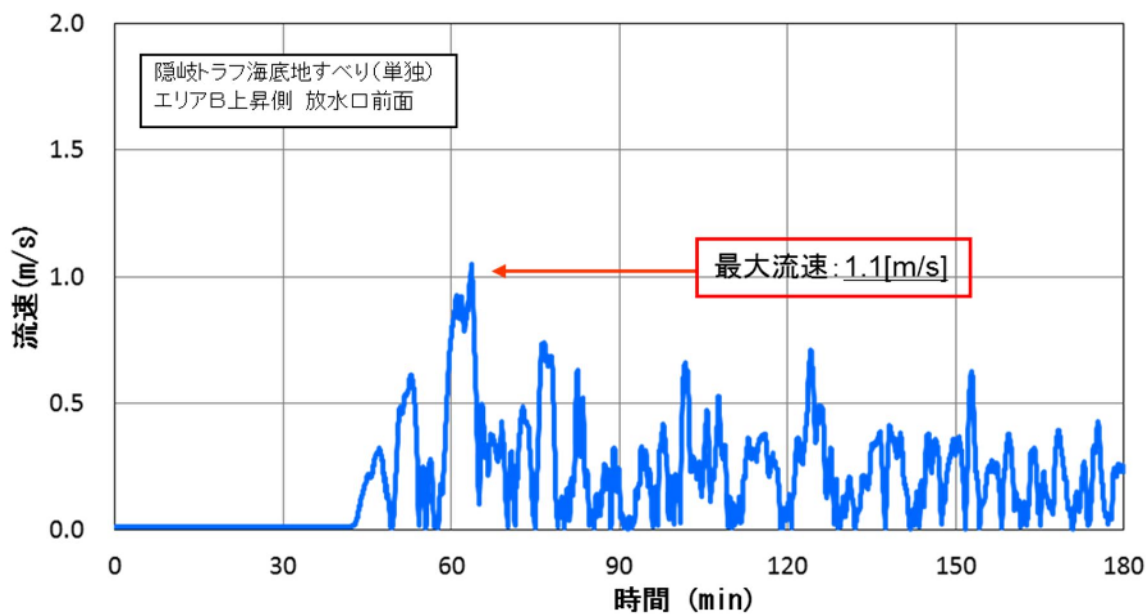


図-2 ①エリアB Kinematic モデル上昇側の流速－放水口前面－

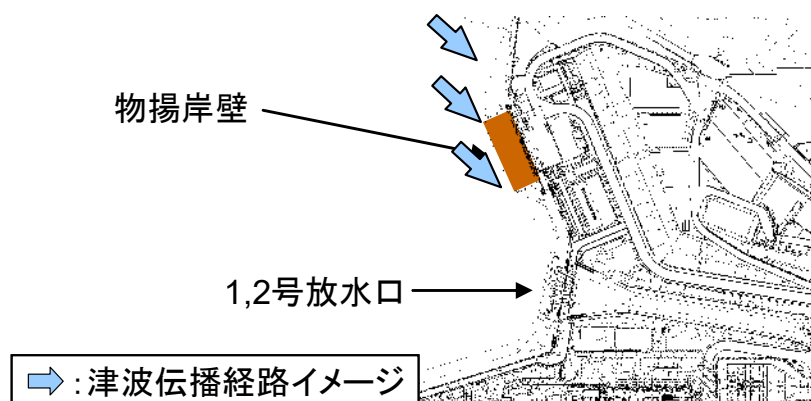
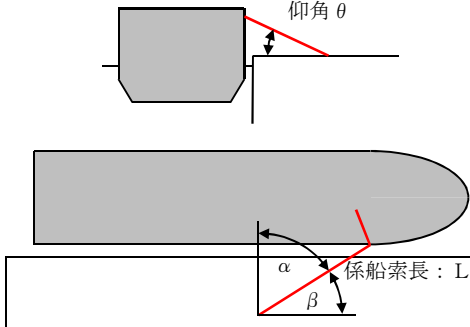


図-3 津波流向（イメージ）

(4) 係留力

係留力の計算方法を表-3に、計算結果を表-4、図-4、5に示す。

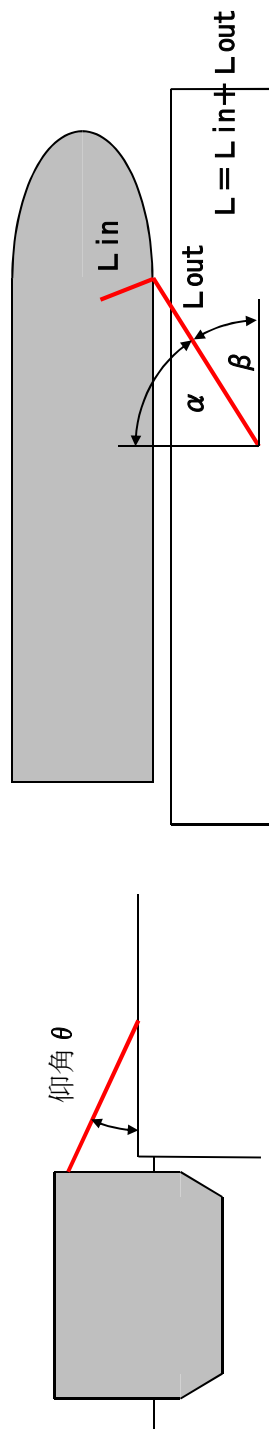
表-3 係留力の計算方法

<p>【各索の係留力計算式】</p> $R_x = T \times \left(\frac{\cos^2 \beta \times \cos^2 \theta}{L} \right) \times \left(\frac{L_c}{\cos \beta_c \times \cos \theta_c} \right)$	
<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 (岸壁平行線となす角度) [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 (岸壁平行線となす角度) [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] ※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>	

(出典：係留設備に関する指針 OCIMF 刊行)

表-4 係留力 (図-1) の計算結果

フェア リーダ	索種類		ビット	係船索長さ [m]		係留角 [deg]		索張力 T [tonf]	係留力 前後 [tonf]	Bitt Performance [tonf]	
	Line1	Line2		船外	船内	θ	β			Bitt Load	合計
FL1	ヘッド		B1	36.7	14.2	-61.7	20.0	-5.98	16.92	Σ 36.92	50
FL2	ライン		B1	34.6	15.1	-53.5	20.0	-11.49	20.0		
								-17.47			
FL3	スタン		B2	41.9	11.2	31.3	20.0	16.76	20.0	Σ 39.60	50
FL4	ライン		B2	44.4	10.6	36.4	20.0	14.37	19.60		
								31.13			
前後 (+) 計									31.13		
前後 (-) 計									-17.47		



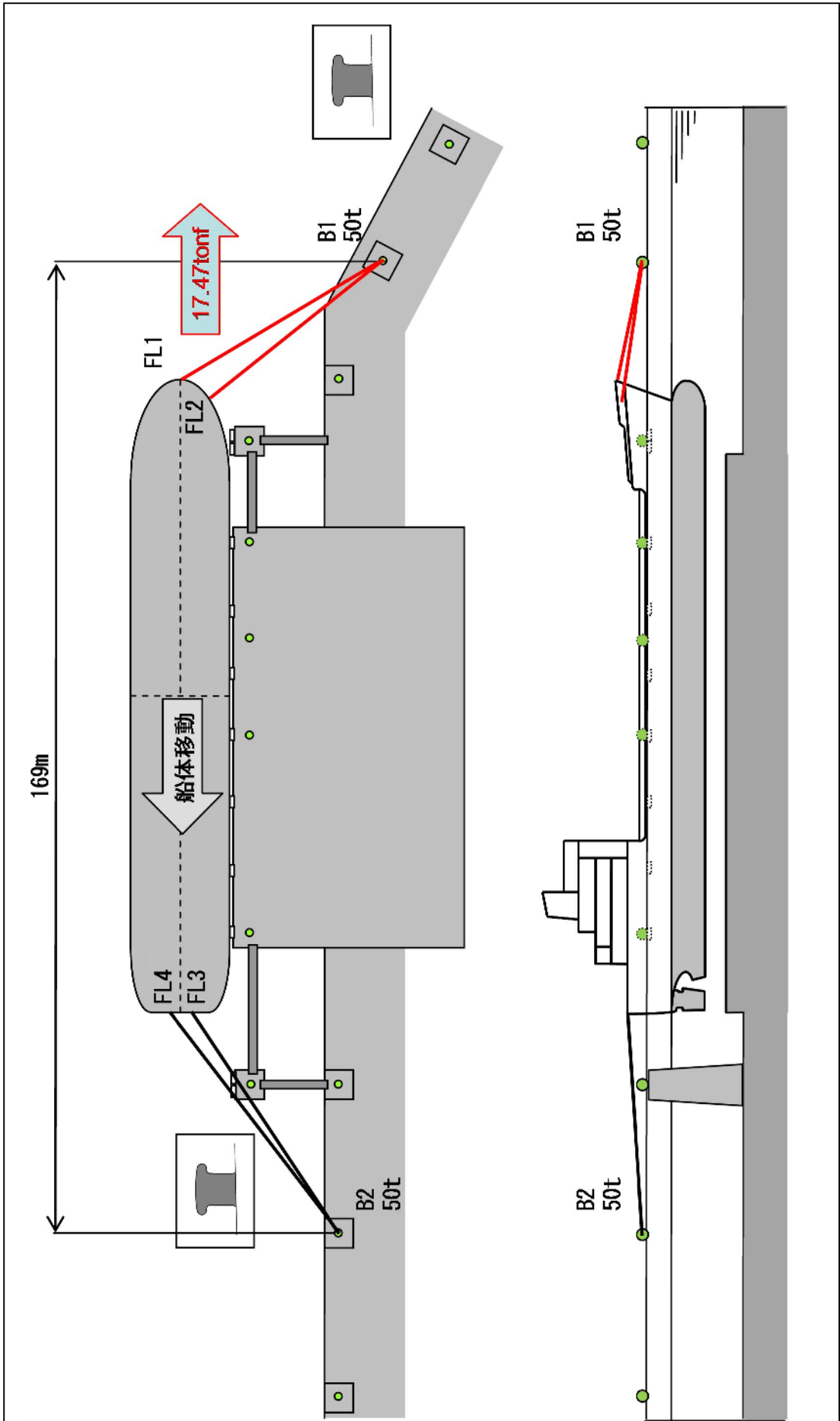


図-4 船尾方向への移動に対する船首方向係留力

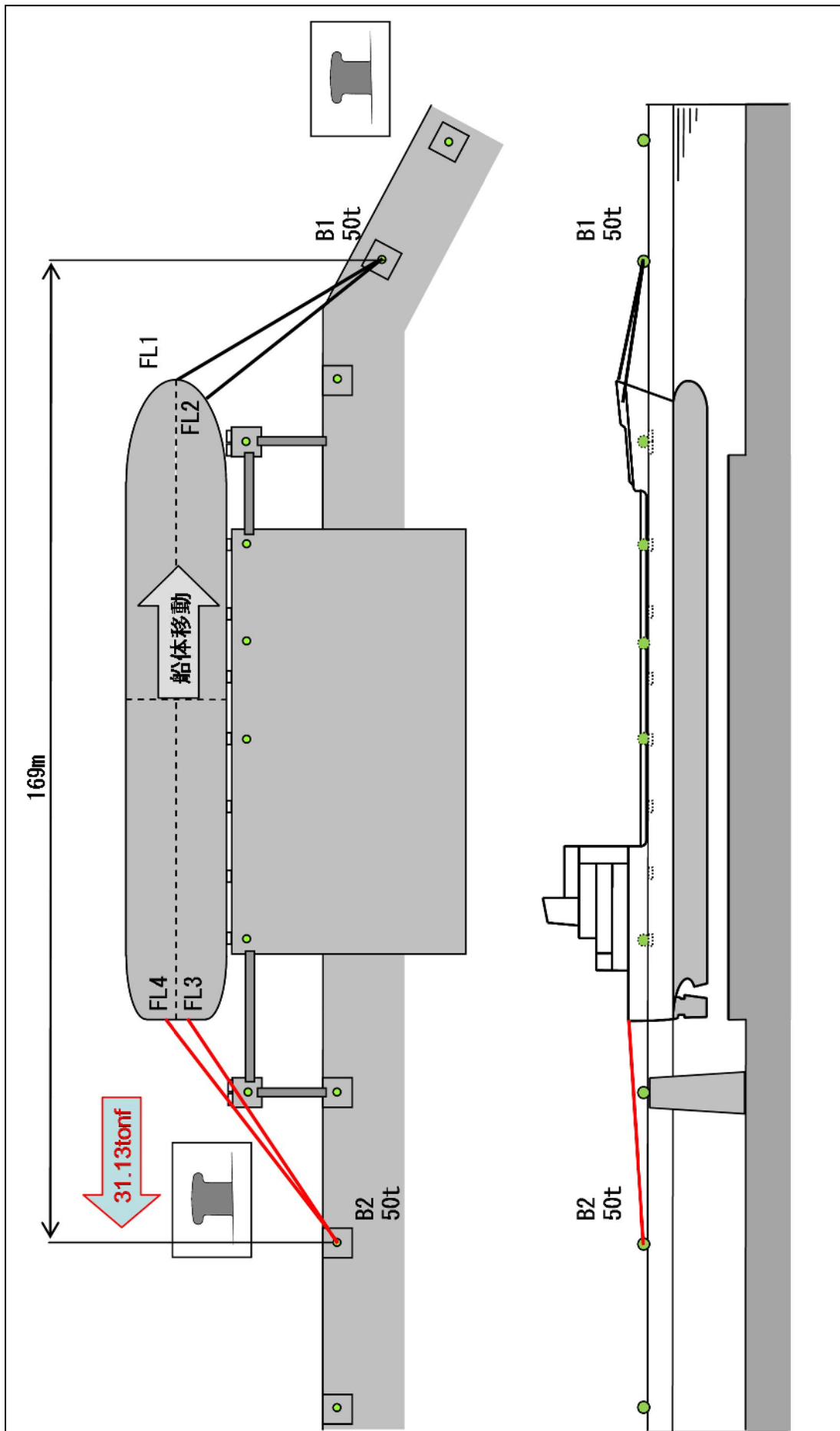


図-5 船首方向への移動に対する船尾方向係留力

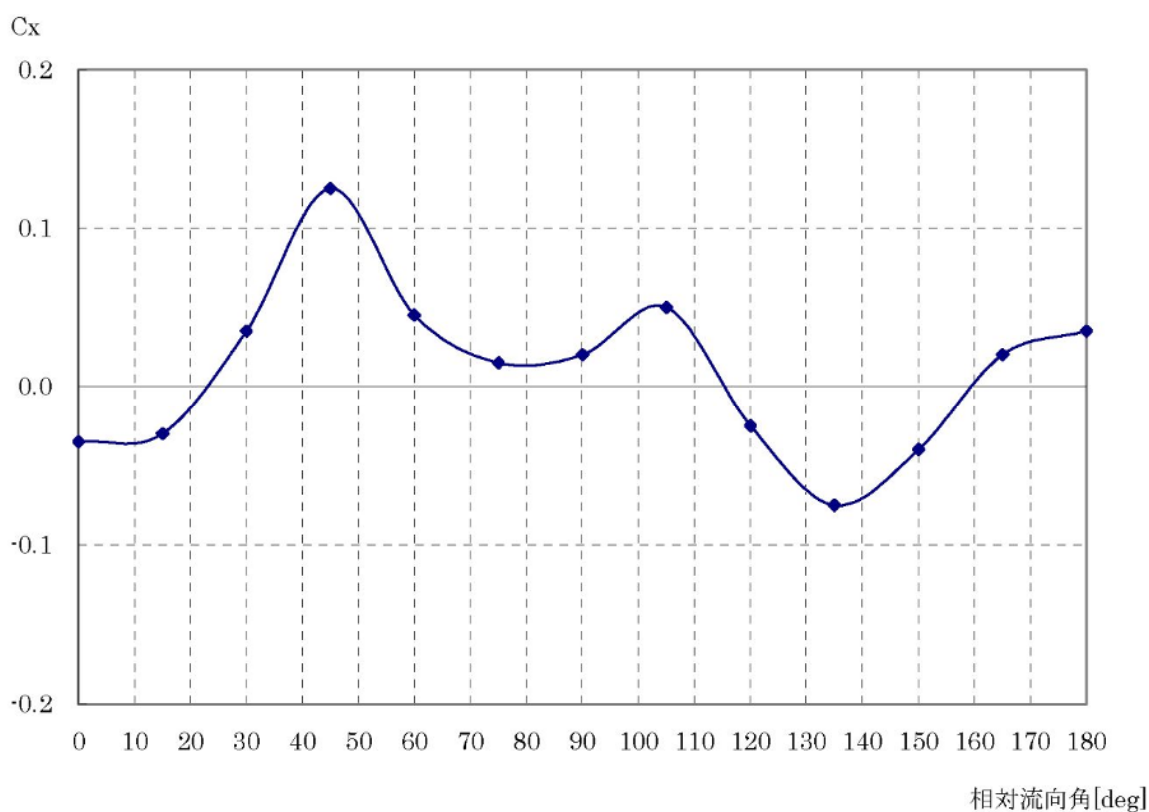
(5) 流圧力

流圧力の計算方法を表-5に示す。計算結果について、前項で求めた係留力との比較結果を図-6に示す。

表-5 流圧力の計算方法

<p>【流圧力計算式】</p> $F_{Xc} = \frac{1}{2} \times C_{Xc} \times \rho_c \times V_c^2 \times L_{PP} \times d$	<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 [kg・sec²/m⁴] (=104.5kg・sec²/m⁴)</p>
---	---

(出典：係留設備に関する指針 OCIMF 刊行)



(出典：VLCCにおける風圧及び流圧の予測 OCIMF 刊行)

縦方向流圧力係数[C_x]

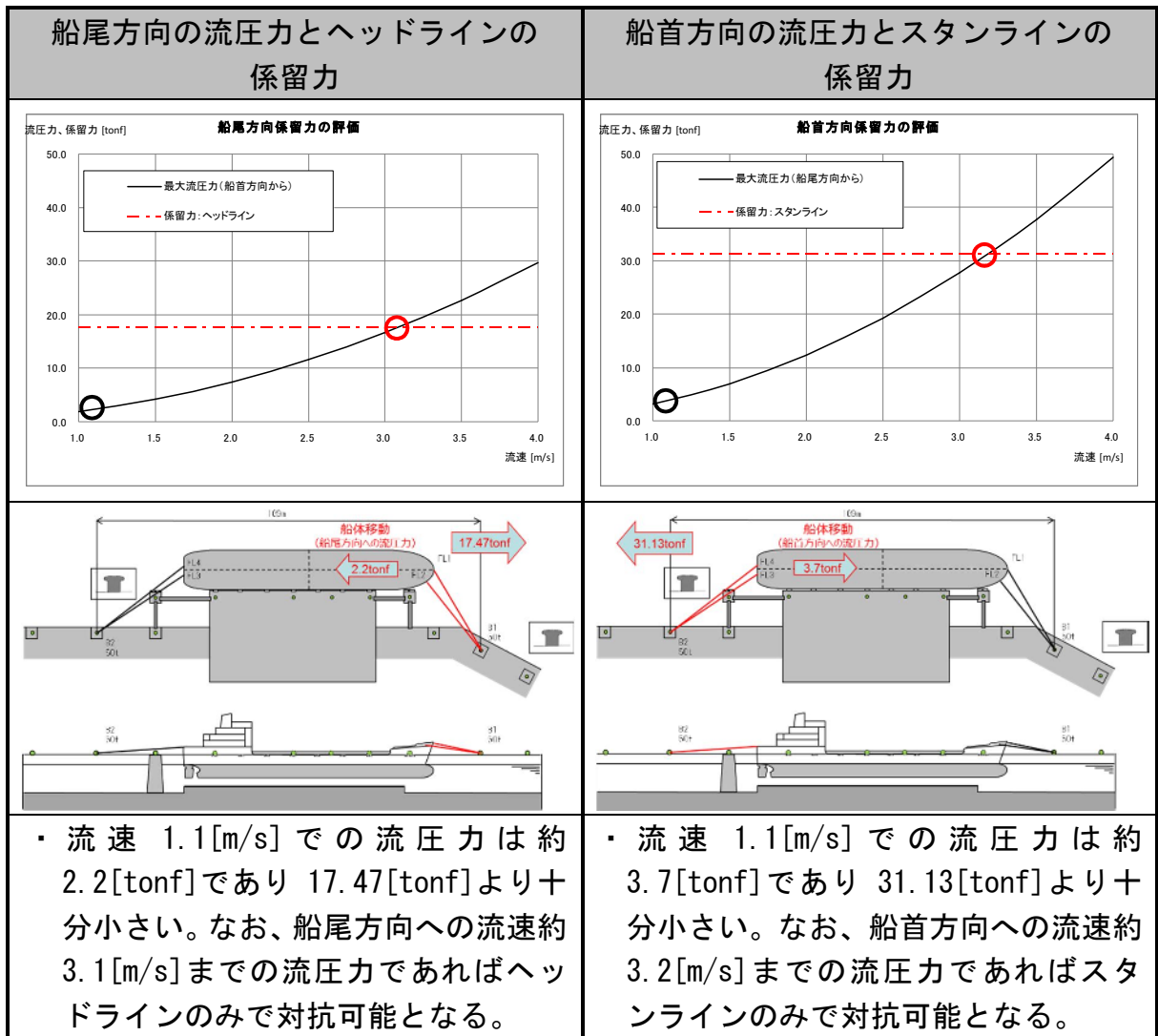


図-6 流圧力と係留力の比較

3. まとめ

海底地すべり津波の最大流速となる波源モデル（流速 1.1[m/s]：図-2 参照）による流圧力（約 2.2～3.7[tonf]：図-6 参照）に対し、係留力（約 17～31[tonf]：表-4 参照）が上回ることを確認した。

したがって、輸送船係留時に海底地すべり津波が襲来した場合でも、係留状態を維持することは可能である。

以上

燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係について

(高浜発電所 津波警報が発表されない

可能性がある津波に対する評価)

1. 概要

燃料等輸送船（以下、「輸送船」という。）は、津波警報等発表時、原則、緊急退避を行うが、退避準備に 20 分間を要するため、この間に襲来する早期襲来津波に対して輸送船への影響評価を実施している。一方、津波警報が発表されない可能性がある津波（海底地すべり津波）が発生した場合は、発電所構外において津波と想定される潮位を観測し、その連絡を受け緊急退避を行うが、輸送船の荷役時に襲来した場合は 20 分以内に緊急退避できない可能性があることから、津波連絡後 20 分以降に到達する津波も含む津波全体を対象として輸送船への影響評価を行い、岸壁に乗り上がらないことや航行不能となり漂流物にならないことを確認する。

2. 海底地すべり津波の評価

(1) 各波源モデルによる最高水位および最低水位

表-1 に各波源モデルによる津波の最高水位および最低水位を示す。この中から、最高水位および最低水位となる波源モデルを選定し、その最高水位および最低水位により評価を実施する。

表-1 各波源モデルによる最高水位および最低水位

表中の水位単位はT.P.(m)、流速単位は(m/s)

波源モデル				水位上昇		水位下降	
				放水口 前面		放水口 前面	
				最高水位	最大流速	最低水位	最大流速
地震 以外に 起因する 津波	海底 地すべり	エリアA	Watts他の予測式	0.6	0.1	-0.1	0.1
			Kinematicモデル による方法	1.6	0.4	-0.7	0.4
	エリアB	Watts他の予測式	1.9	0.4	-1.6	0.4	
		Kinematicモデル による方法	3.7 ^①	1.1	-5.4 ^②	1.1	
	エリアC	Watts他の予測式	1.1	0.4	-0.8	0.4	
		Kinematicモデル による方法	3.7	0.7	-4.0	0.7	

【選定結果】

①評価用の最高水位：T. P. +3.85[m]

評価用の最高水位は、表-1 ①の T. P. +3.7[m]（朔望平均満潮位 T. P. +0.49[m] を考慮）に+0.15[m]（潮位ばらつき）を加えた T. P. +3.85[m]とする。

(参考)

エリアC Kinematic モデルの水位上昇側においても最高水位 T. P. +3.7[m]があるが、詳細はエリアB Kinematic モデルは T. P. +3.69[m]、エリアC Kinematic モデルは T. P. +3.65[m] を保守的に切上げた値である。

②評価用の最低水位 : T. P. -5.57[m]

評価用の最底水位は、表-1 ②の T. P. -5.4[m] (期望平均干潮位 T. P. -0.01[m] を考慮) に-0.17[m] (潮位ばらつき) を加えた T. P. -5.57[m]とする。

(2) 選定した波源モデルの波形

図-1 ~ 3 に波源モデルによる最高水位、最低水位および最大流速を示す。

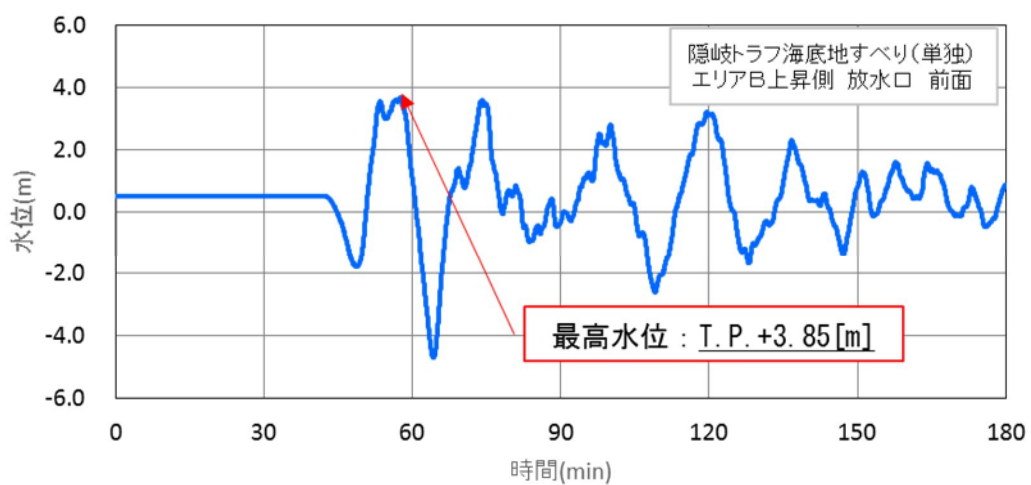


図-1 ①エリアB Kinematic モデル上昇側の津波水位—放水口前面—

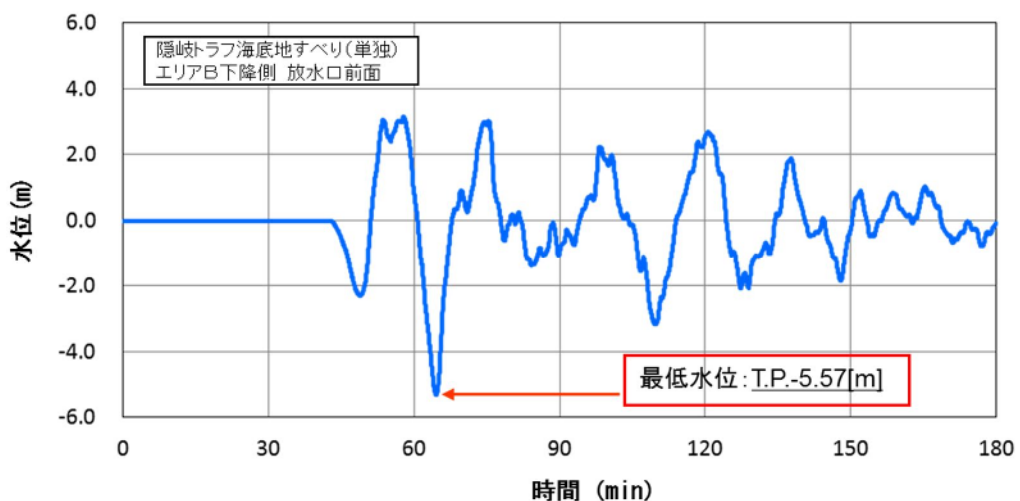


図-2 ②エリアB Kinematic モデル下降側の津波水位—放水口前面—

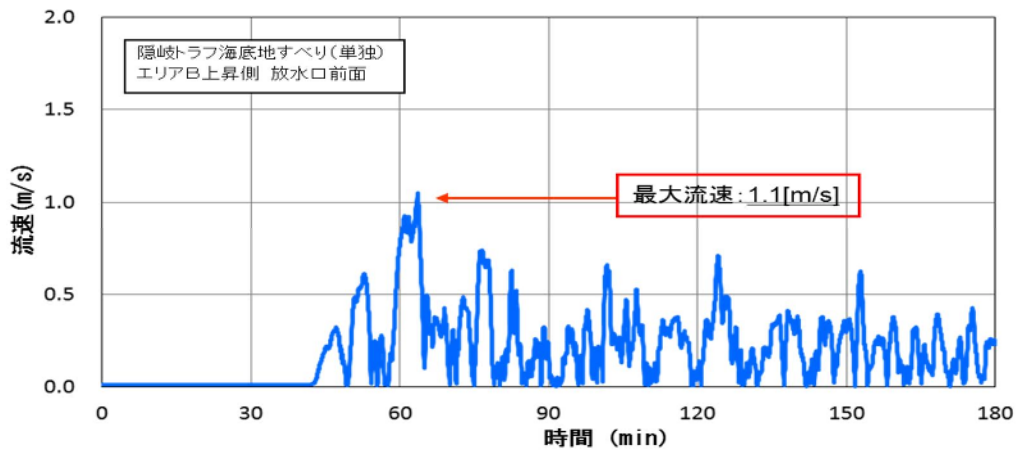


図-3 エリアB Kinematic モデル上昇側の流速（絶対値）－放水口前面－

(3) 係留時の輸送船評価

a. 最高水位における輸送船の評価（係留時）

最高水位と輸送船の喫水高さの関係を図-4に示す。

評価は、岸壁係留中に津波が最高水位 T. P. +3.85[m]（図-1 参照）となった状態を前提とする。

- | | | |
|-----------|-------------------|------------------------------|
| ・ 最高水位解析値 | : T. P. +3.70[m]※ | ※ 朔望平均満潮位 T. P. +0.49[m] を考慮 |
| ・ 潮位のバラツキ | : +0.15[m] | |
| 評価用の最高水位 | : T. P. +3.85[m] | |

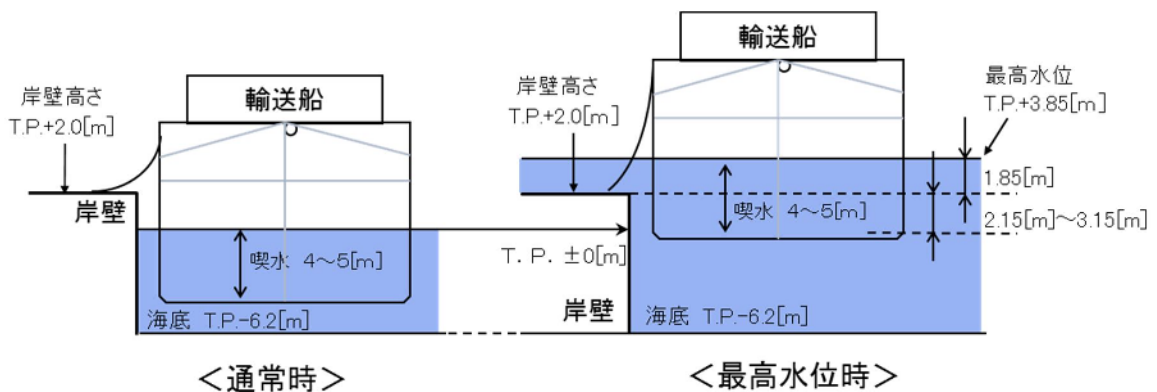


図-4 係留時における最高水位と輸送船の喫水高さ

【評価】

図-1 のとおり、最初の引き波で水位は下降するが、その後最高水位 T. P. +3.85[m] まで上昇する。この時の輸送船の船底は、岸壁高さより 2.15[m] ~ 3.15[m] 下側にあるため、輸送船が岸壁に乗り上がり航行不能になることはない（図-4 参照）。

また、輸送船の性能は、津波の最大流速 1.1[m/s]（図-3 参照）を上回っているため、緊急退避においても適切な操船で退避可能であることから漂流物になることはない。

b. 最低水位における輸送船の評価（係留時）

最低水位と輸送船の喫水高さの関係を図-5に示す。

評価は、岸壁係留中に津波が最低水位 T.P. -5.57[m]（図-2 参照）なった状態を前提とする。

・ 最低水位解析値	: T.P. -5.4 [m] [※]	※ 朔望平均干潮位 T.P. -0.01[m] を考慮
・ 潮位のバラツキ	: -0.17[m]	
評価用の最低水位 : T.P. -5.57[m]		

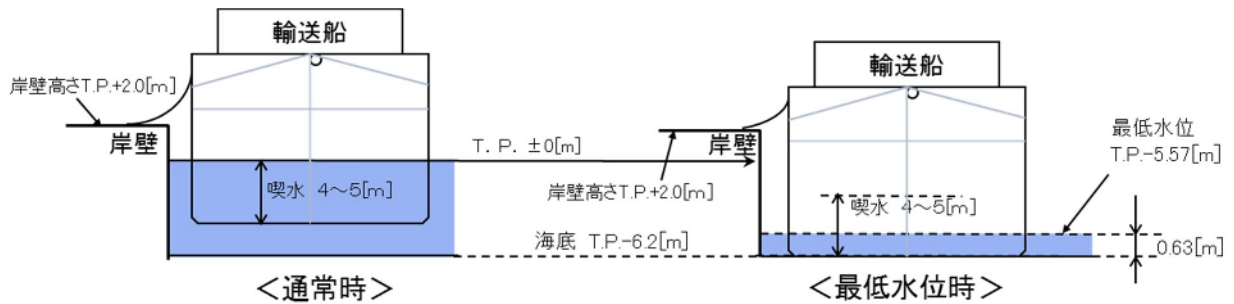


図-5 係留時における最低水位と輸送船の喫水高さ

【評価】

図-2のとおり、最低水位は T.P. -5.57[m]であり、輸送船は海底に着底する可能性がある（図-5 参照）。着底による輸送船への影響としては、岸壁付近の海底が平坦であること、水位変動が緩やかであること、二重船殻構造で十分な船体強度を有していることから、輸送船が損傷し航行不能になることはない。また、水位は数分で上昇するため、水位回復後輸送船は退避可能である。

なお、輸送船の性能は、津波の最大流速 1.1[m/s]（図-3 参照）を上回っているため、緊急退避する場合においても適切な操船で退避可能であることから、漂流物になることはない。

(4) 係留時以外の輸送船評価

a. 最低水位における輸送船の評価（係留時以外）

最低水位と輸送船の喫水高さの関係を図-6に示す。

輸送船の評価は、岸壁に係留されていない状態（接岸直前や離岸直後を想定）、津波水位は最低水位 T.P. -5.57[m]（図-2 参照）を前提とする。

・ 最低水位解析値	: T.P. -5.4 [m] [※]	※ 朔望平均干潮位 T.P. -0.01[m] を考慮
・ 潮位のバラツキ	: -0.17[m]	
評価用の最低水位 : T.P. -5.57[m]		

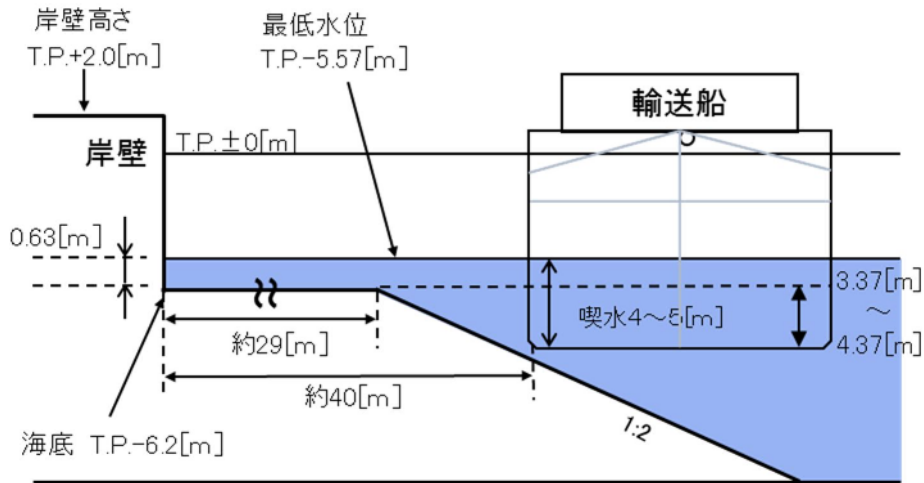


図-6 係留時以外における最低水位と輸送船の喫水高さ

【評価】

図-6のとおり、岸壁付近の海底は平坦な部分が約 29[m]、その外側に傾斜部分（1:2 勾配）があり、最低水位において輸送船が海底に接触する範囲は、岸壁から約 40[m]の範囲となる。

この範囲を含めた岸壁付近での輸送船の移動速度は、接岸や離岸に伴い、非常に慎重な速度（数 cm/s～数十 cm/s 程度）で操船される。この時、引き波で最低水位となった場合、船底が一時的に着底する可能性があるが、船速が非常に遅く、水位の低下速度もゆっくりであることから、輸送船の船底が損傷し航行不能になることはない。また、水位は数分で上昇するため、水位回復後輸送船は退避可能である。なお、輸送船の性能は、津波の最大流速 1.1[m/s]（図-3 参照）を上回っているため、緊急退避する場合においても適切な操船で退避可能であることから、漂流物になることはない。

更に、海底の傾斜部分（1:2 勾配で傾斜角度は約 27°）は輸送船の重心位置による横転角度（約 48°）に比べて十分余裕があることから、仮に輸送船が傾斜部分に着底したとしても、輸送船が横転することはない。

3. まとめ

海底地すべり津波が襲来した場合でも、津波高さと輸送船の喫水高さの関係から、岸壁に乗り上がることはなく、引き波により船底が海底に着底しても十分な船体強度を有していること等から航行不能となることはない。また、輸送船は水位回復後退避可能であること、輸送船の性能は、津波の最大流速（1.1[m/s]）/添付-1 参照）を上回っているため、緊急退避する場合においても適切な操船で退避可能であり、漂流物となることはない。

以上

燃料等輸送船の着底時の転覆の可能性について

1. 概要

燃料等輸送船（以下「輸送船」という。）の物揚岸壁における停泊中およ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。

2. 評価条件

(1) 輸送船の仕様・形状

輸送船の仕様を表-1に、外形図を図-1、図-2に示す。

表-1 輸送船の仕様

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

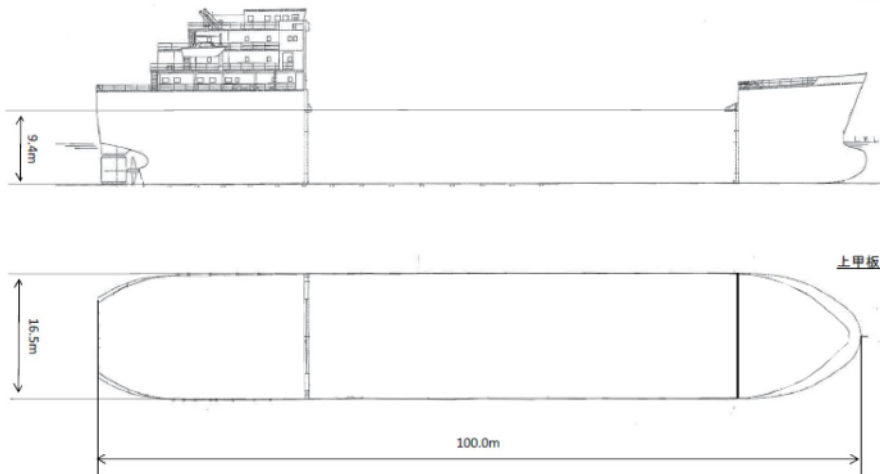


図-1 輸送船外形図（側面・上面）

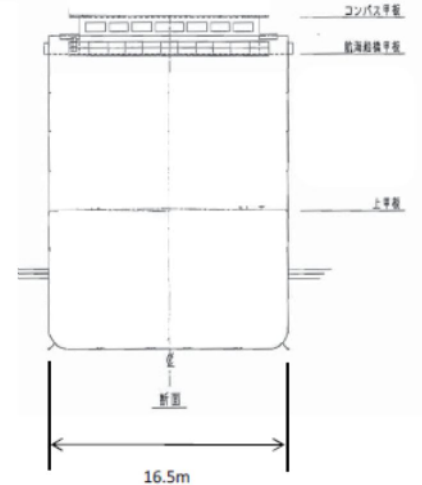


図-2 輸送船外形図（正面）

(2) 転覆モード

一般の船舶の場合、丸型やV型の船底を有しているものがあるが、輸送船は図-2に示すとおり、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-3に示すように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。

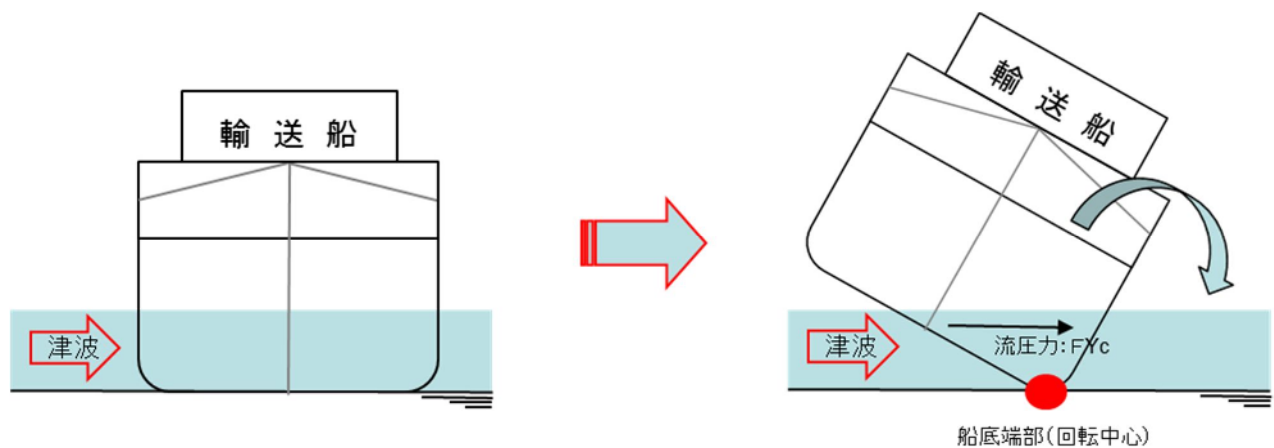


図-3 想定転覆モード

3. 転覆評価

図-3の想定転覆モードにおいて輸送船に働く力とモーメントを図-4に示す。

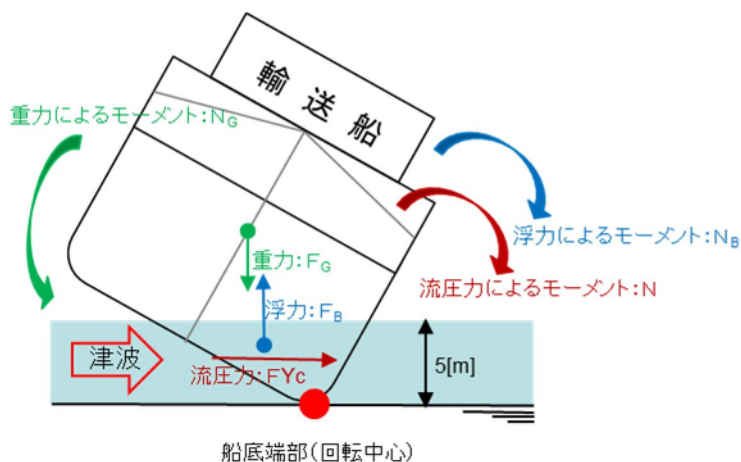


図-4 輸送船に働く力とモーメント

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、船底端部を中心に輸送船を回転させる。また、浮力 F_B 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輸送船の傾きを戻す。この際、流圧力およ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。

$$\begin{aligned} N_G &= F_G \times X \text{ (GR)} \\ &= 4,000 \times 4.5 \\ &= 18,000 \text{ [tonf}\cdot\text{m]} \end{aligned}$$

N_G : 重力によるモーメント [tonf·m]

F_G : 輸送船 (空荷状態) の重量 [tonf] ($\doteq 4,000$)

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

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の際に最も大きくなり、且つ、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の際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

<p>【流圧力計算式】</p> $F_{Yc} = \frac{1}{2} \times C_{Yc} \times \rho_c \times V_c^2 \times L_{pp} \times d$	<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]</p> <p>d : 喫水 [m]</p> <p>ρ_c : 水密度 [kg・sec²/m⁴] (=104.5kg・sec²/m⁴)</p>
--	---

(出典：係留設備に関する指針 OCIMF 刊行)

このとき、流速は図-5に示す最低水位となる津波の最大流速 1.1[m/s]を適用し、横方向流圧力係数を図-6により 10 と仮定する。

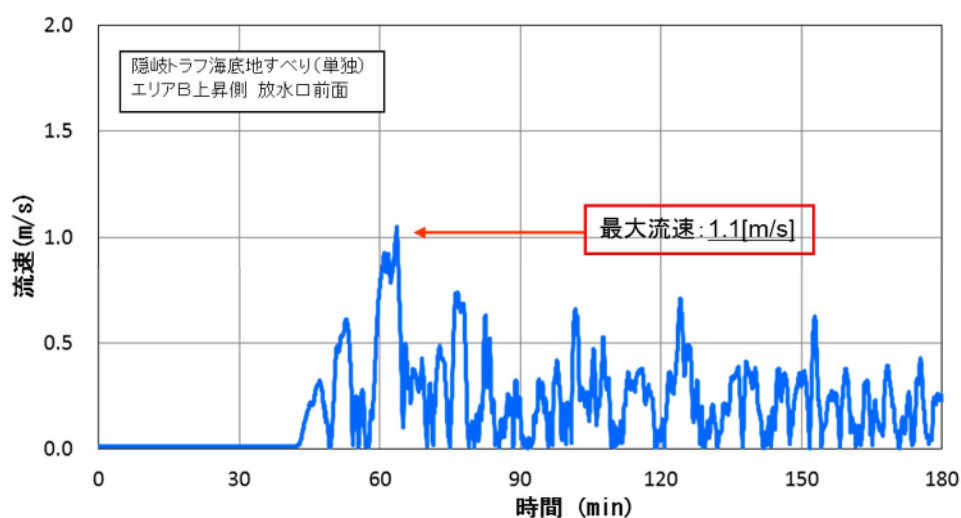


図-5 最大流速

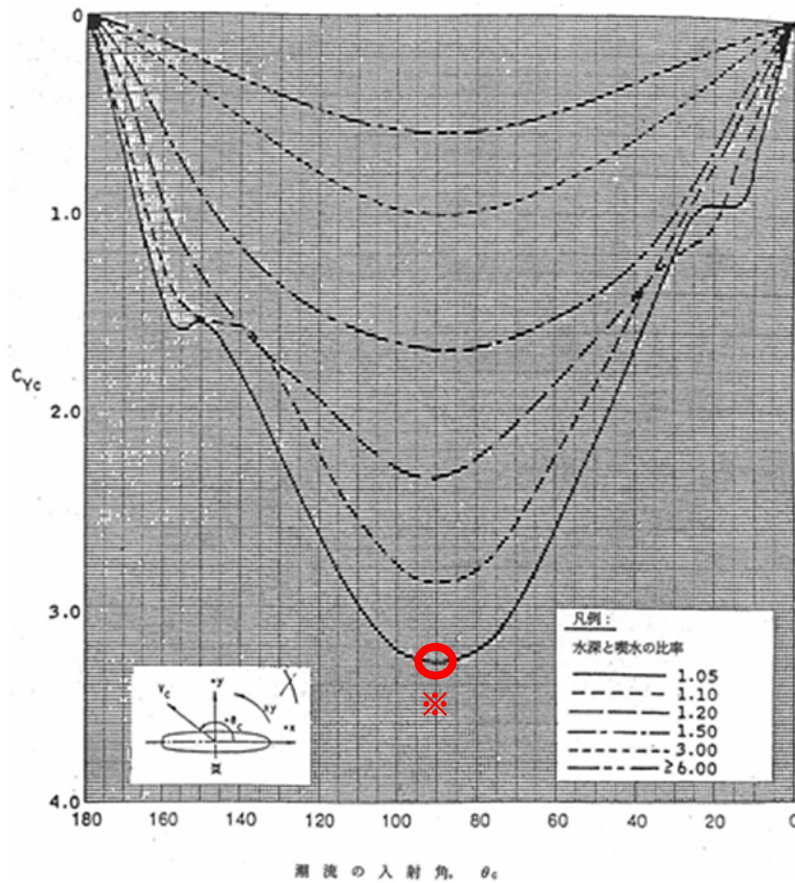


図-6 横方向流圧力係数（出典：VLCCにおける風圧及び流圧の予測 OCIMF 刊行）

表-2により F_{YC} は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}
 F_{YC} &= 1 \div 2 \times 10 \times 104.5 \times 1.1^2 \times 94.4 \times 5 \\
 &= 298,410 \text{ [kgf]} \\
 &\doteq 300 \text{ [tonf]}
 \end{aligned}$$

したがって、流圧力によるモーメント N は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}
 N &= Y_{FC} \times d \div 2 \\
 &= 300 \times 5 \div 2 \\
 &= 750 \text{ [tonf}\cdot\text{m]}
 \end{aligned}$$

最後に浮力によるモーメント N_B は次式にて評価する。

$$\begin{aligned}
 N_B &= F_B \times X \text{ (BR)} \\
 &= 1,700 \times 3.0 \\
 &= 5,100 \text{ [tonf}\cdot\text{m]}
 \end{aligned}$$

N_B : 浮力によるモーメント [tonf·m]

F_B : 傾いた際の輸送船の浮力 [tonf] ($\doteq 1,700$)

$X \text{ (BR)}$: 浮心と回転中心の水平方向距離 [m] ($\doteq 3.0$)

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、輸送船は転覆することはない。

$$\begin{aligned} N + N_B &= 750 + 5,100 \\ &= 5,850 [\text{tonf}\cdot\text{m}] < N_G (= 18,000) [\text{tonf}\cdot\text{m}] \end{aligned}$$

4. まとめ

輸送船の着底後に海底地すべり津波による流圧を受けても船底と海底の形状から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。

以上

津波シミュレーションに用いる数値計算モデルについて

津波伝播計算手法及び計算条件

基準津波の選定において、津波に伴う水位変動の評価は、非線形長波理論に基づき、差分スキームとして Staggered Leap-frog 法を採用した平面二次元モデルによる津波シミュレーションプログラムを用いて実施した。

津波シミュレーションに用いる数値計算モデルについては、各海水ポンプ室までの水理特性を考慮した詳細格子分割の数値計算モデル（以下「詳細数値計算モデル」という。）を基本とし、パラメータスタディや津波ハザード評価の計算には、取水口及び放水口の前面で完全反射条件とした概略数値計算モデルを用いた。

計算上考慮している水深分布図を図-1に、概略数値計算モデルの計算条件及び計算モデルを表-1と図-2に、詳細数値計算モデルの計算条件及び計算モデルを表-2と図-3に示す。また、津波シミュレーションによる津波水位評価点の位置を図-4に示す。

また、取水路内に設置した取水路防潮ゲート及び放水路付近の敷地を囲むように設置した防潮堤を計算モデルに反映したほか、取水口及び放水口付近の陸側境界条件について陸上遡上を考慮し、取水口及び放水口のカーテンウォールについては、本間公式及び土木研究所（1996）による計算式から、越流量及び開口部通過流量を計算した（図-5、6）。

さらに防潮ゲートについては、遠隔操作によるゲート閉止に必要な時間を考慮して、閉止時間前に第1波のピークが到達する津波に対しては、1号、2号、3号及び4号炉共用の取水路防潮ゲートA系列及びB系列開放（以下、「防潮ゲート「開」」という。）の条件を設定した。また、構内の2台の潮位計による観測潮位が10分以内に0.6m以上下降し、その後、最低潮位から10分以内に0.6m以上上昇すること、若しくは10分以内に0.6m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.6m以上下降した場合には、防潮ゲート「開→閉」とする条件を設定した。なお、防潮ゲート「開」時の開口部より上部については、計算上カーテンウォールとして取り扱った。

3, 4号炉海水ポンプ室の取水経路の一部である海水路及び海水取水トンネルについては、平面二次元モデルによる津波シミュレーションに仮想スロットモデルによる一次元不定流計算を接続して検討を行った（図-7）。

表-1 津波シミュレーションの概略計算手法および計算条件

設定項目		設定値	
津波計算	基礎方程式	非線形長波理論式及び連続式(後藤他(1982) ⁽⁹⁾)	
	変数配置および差分スキーム	Staggered Leap-frog法	
計算条件等	計算領域	対馬海峡から間宮海峡に至る東西方向約1,500km、 南北方向約2,000km	
	空間格子間隔	1,350m→450m→150m→50m→25m→12.5m	
	時間格子間隔	0.3秒 安定条件(CFL条件)を十分満足するように設定	
	初期条件	断層モデルを用いて、Mansinha et al.(1971) ⁽¹⁰⁾ の方法により計算される海底面の鉛直変位分布を初期条件とする	
	境界条件	沖側境界	特性曲線法をもとに誘導される自由透過の条件(後藤他(1982) ⁽⁹⁾)
		陸域境界	完全反射条件
	海底摩擦	マンニングの粗度係数 $n=0.030$ (土木学会(2002) ⁽⁹⁾)	
	水平渦動粘性係数	$0\text{m}^2/\text{s}$	
	計算時間	3.0時間 (日本海東縁部のケースは6.0時間)	
評価潮位	T.P.±0.0m		
津波水位評価		cmを切り上げ、10cm単位で評価	

表-2 津波シミュレーションの詳細計算手法および計算条件

設定項目		設定値	
津波計算	基礎方程式	非線形長波理論式及び連続式(後藤他(1982) ⁽⁹⁾)	
	変数配置および差分スキーム	Staggered Leap-frog法	
計算条件等	計算領域	対馬海峡から間宮海峡に至る東西方向約1,500km, 南北方向約2,000km	
	空間格子間隔	1,350m→450m→150m→50m→25m→12.5m→6.25m→3.125m	
	時間格子間隔 [*]	地震	0.05秒
		海底地すべり	0.05秒
		陸上地すべり	0.025秒
	初期条件	地震	断層モデルを用いて、Mansinha et al.(1971) ⁽¹⁰⁾ の方法により計算される海底面の鉛直変位分布を初期条件とする
		海底地すべり	(Watts他の方法) Watts他の方法により計算される初期水位分布を初期条件とする。
			(Kinematicモデルによる方法) Kinematicモデルによる方法を用いて算出される時刻あたり地形変化量が、海面水位と海底地形にそのまま反映されるものとする。
	陸上地すべり	(Watts他の方法) Fritz他による波源振幅予測式を用いたWatts他の予測式により計算される初期水位分布を初期条件とする。	
		(運動学的手法) 土砂崩壊シミュレーションによる時刻あたり地形変化量が、海面水位と海底地形にそのまま反映されるものとする。	
	境界条件	沖側境界	特性曲線法をもとに誘導される自由透過の条件(後藤他(1982) ⁽⁹⁾)
		陸域境界	完全反射条件(発電所敷地については遡上境界)
	海底摩擦	マニングの粗度係数 $n=0.030$ (土木学会(2002) ⁽⁹⁾)	
水平渦動粘性係数	0m ² /s		
計算時間	3.0時間(日本海東縁部のケースは6.0時間)		
評価潮位	水位上昇側T.P.+0.49m、水位下降側T.P.-0.01m 気象庁・舞鶴検潮所のデータによる(2007年1月～2011年12月の5周年)		
津波水位評価	cmを切り上げ、10cm単位で評価		

※安定条件(CFL条件)を十分満足するように設定

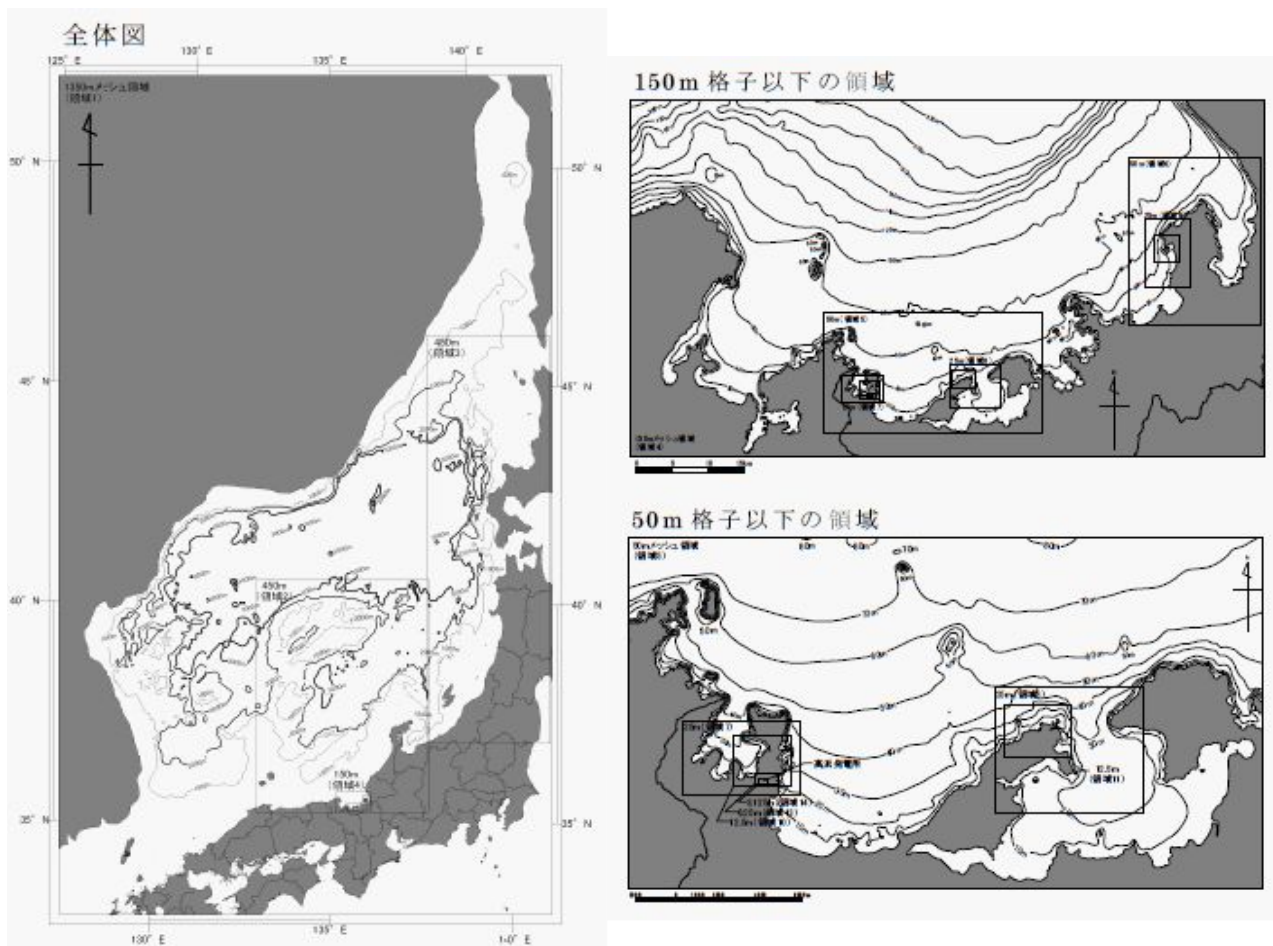


図-1 水深分布図



領域番号	空間格子間隔 $\Delta x(\text{m})$	最大水深 $h_{\text{max}}(\text{m})$	CFL条件を満たす $\Delta t(\text{sec})^{*1}$
1	1350	3800	4.95
2,3	450	3700	1.67
4	150	240	2.19
5,6	50	90	1.19
7,8,9	25	80	0.63
10,11,12	12.5	60	0.36

*1)

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{\text{max}}}}$$

ここに、
 Δx : 空間格子間隔
 Δt : 時間格子間隔
 h_{max} : 最大水深
 g : 重力加速度

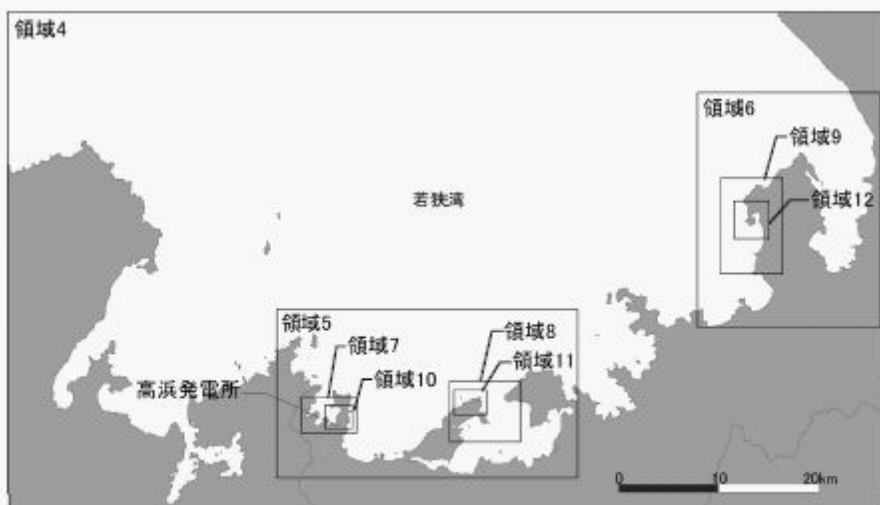


図-2 概略津波計算モデル（津波伝播計算領域及び空間格子間隔）



領域番号	空間格子間隔 Δx (m)	最大水深 h_{max} (m)	CFL条件を満たす Δt (sec)※1
1	1350	3800	4.95
2,3	450	3700	1.67
4	150	240	2.19
5,6	50	90	1.19
7or7'※2,8,9	25	80	0.63
10or10'※2,11,12	12.5	60	0.36
13	6.25	10	0.44
14	3.125	10	0.22

※1)

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh}}$$

ここに、
 Δx : 空間格子間隔
 Δt : 時間格子間隔
 h_{max} : 最大水深
 g : 重力加速度

※2) PO-A~PO-B断層~箱川断層、陸上地すべりの計算時には7'及び10' (領域パターン2) を用いている。

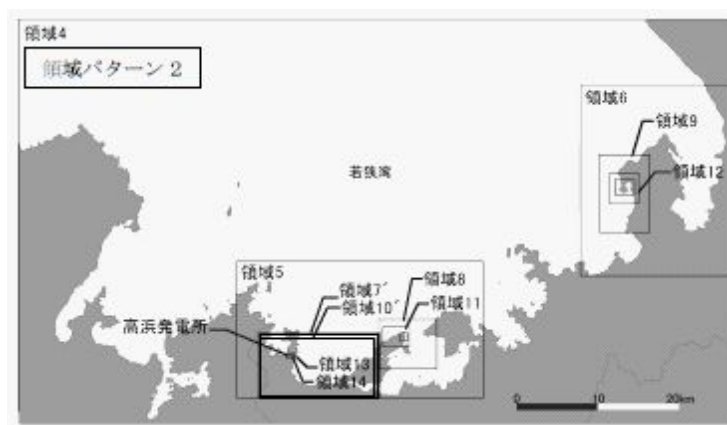
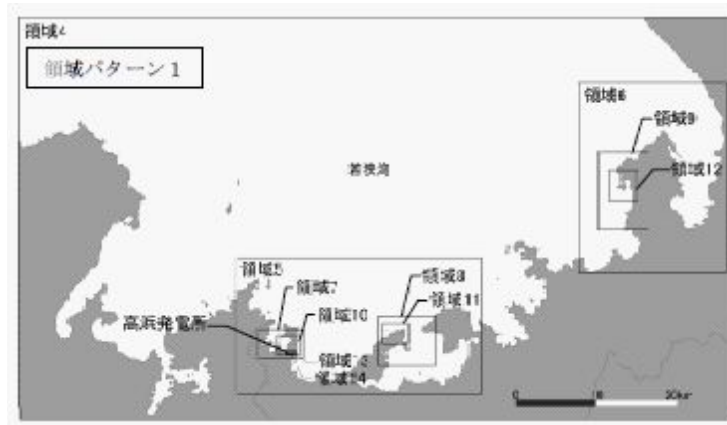
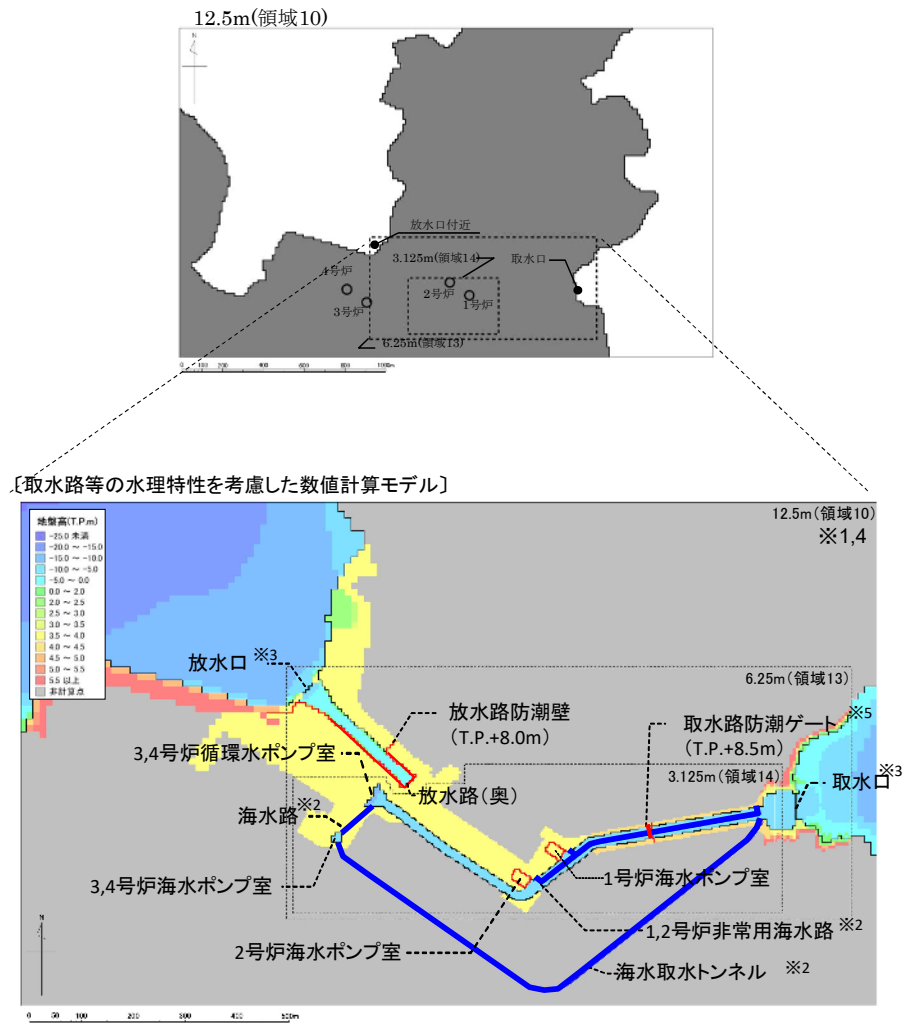


図-3 詳細津波計算モデル (津波伝播計算領域及び空間格子間隔)

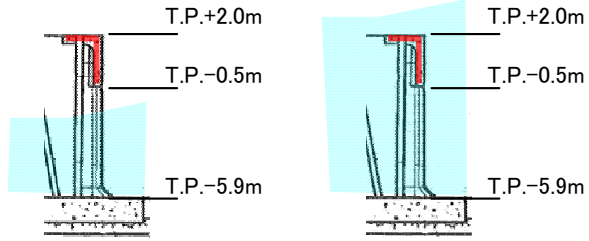


- ※1 本計算範囲は12.5m、6.25m及び3.125m格子であり、非線形長波理論式及び連続式で計算
- ※2 海水路、海水取水トンネル(管路)、1,2号炉非常用海水路は、仮想スロットモデルにより一次元不定流の連続式及び運動方程式で計算
- ※3 取放水口のカーテンウォールは、本間公式および土木研究所(1996)による計算式から、越流量および開口部通過流量を計算
- ※4 灰色の着色部を除くメッシュで遡上計算が可能
- ※5 取水路防潮ゲートは津波到達時間により「開」「閉」の条件を設定

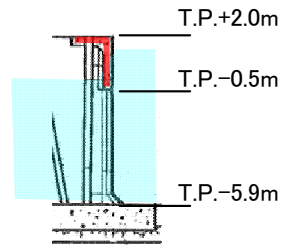
図-4 詳細津波計算モデル (敷地内)

取水口の計算条件

越流量の計算方法
(本間公式)



カーテンウォールの通過流量の計算方法
(土木研究所(1996)の計算式)



越流量の計算方法(本間公式)

- 高浜発電所の構造物(カーテンウォール、隔壁、角落し)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防波堤前後の水深を H_1 、 H_2 ($H_1 > H_2$) としたとき、線流量 Q は次式に示すとおりである。

$$Q = 0.35 H_1 \sqrt{2gH_1} \quad ; \quad H_2 \leq 2H_1/3 \quad (\text{完全越流})$$

$$Q = 0.91 H_1 \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad ; \quad H_2 > 2H_1/3 \quad (\text{もぐり越流})$$

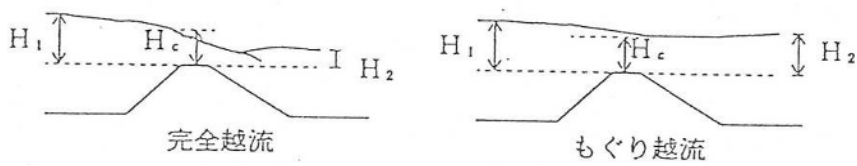
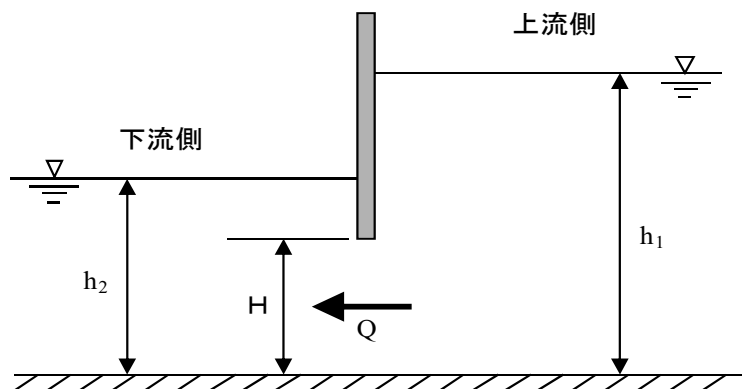


図-5 取水口及び放水口のカーテンウォール(1/2)

カーテンウォールの通過流量の計算方法(土木研究所(1996)の計算式)

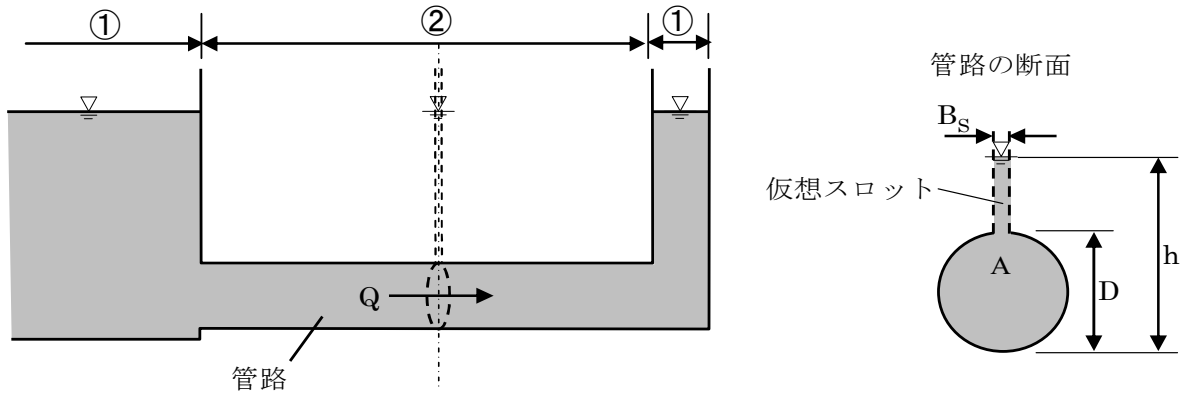
- 高浜発電所のカーテンウォールを通過する流量は、ゲートからの流出量算定式として、一般によく用いられる土木研究所(1996)の計算式により求めるものとする。
- なお、津波がカーテンウォールの天端を超える場合には、本間公式から求まる越流量を加算する。

	水位の関係		計算式	流量 係数 C
①	$h_2 \geq H$	$h_1 < \frac{3}{2}H$	自由流出： $Q = CBh_2\sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ ただし、 $\frac{h_1}{h_2} \geq \frac{3}{2}$ の場合は $h_2 = \frac{2}{3}h_1$ とする	0.79
②		$h_1 \geq \frac{3}{2}H$	中間流出： $Q = CBH\sqrt{2gh_1}$	0.51
③	$h_2 < H$		潜り流出： $Q = CBH\sqrt{2g(h_1 - h_2)}$	0.75



h_1, h_2 : 施設前後の水位 (m) H : 開口部高さ (m) Q : 流量 (m^3/s)
 B : 開口幅 (m) C : 流量係数 g : 重力加速度 (m/s^2)

図-6 取水口及び放水口のカーテンウォール(2/2)



管路部の計算条件

計算条件	条件設定
スクリーン損失	・海水ポンプ室内のスクリーン損失については考慮しない
貝付着	・貝の付着を考慮した粗度係数を採用 (粗度係数: $n=0.02$)
海水ポンプの 運転条件	・水位上昇側: 海水ポンプの取水なし ・水位下降側: 海水ポンプの取水あり

図-7 仮想スロットモデルによる一次元不定流計算手法 (1/2)

①開水路の連続式及び運動方程式

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

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + f_c \frac{MQ}{D^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + f_c \frac{NQ}{D^2} = 0$$

ここに、 η : 水面の鉛直変位量,
 $D = \eta + h$, h : 静水深,
 $M = uD$, $N = vD$, (u, v) : (x, y) 方向の流速,
 $Q = \sqrt{M^2 + N^2}$, g : 重力加速度,
 $f_c = gn^2 D^{-1/3}$, n : マニングの粗度係数

②管路の連続式及び運動方程式

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + g \frac{\partial M}{\partial x} = gA(s_0 - s_f)$$

ここに、 $A = A_0 + B_s(h - D)$, $B_s = \frac{gA_0}{a^2}$, $M = \frac{Q^2}{gA} + h_G A \cos \theta$, $S_0 = -\sin \theta = -dz/dx$, $S_f = \frac{n^2 Q |Q|}{R^{4/3} A^2}$,

A : 流水断面積,
 Q : 流量,
 D : 管径 (円形の場合),
 B_s : 仮想スロット幅,
 h : 水深 (圧力水頭),
 A_0 : 管断面積 (円形の場合 $\pi D^2 / 4$),
 g : 重力加速度,
 a : 圧力伝播速度,
 M : 比力,
 S_0 : 水路底勾配,
 S_f : 摩擦勾配,
 n : マニングの粗度係数,
 R : 径深,
 h_G : 水面から図心までの距離

図-7 仮想スロットモデルによる一次元不定流計算手法 (2/2)

補足資料 7.

発電所周辺の湾内の局所的な海面の励起について

入力津波の設定に当たって、評価地点における局所的な海面の励起が生じているかどうかを確認するため、基準津波 1、2、3 及び 4 による最大水位上昇量分布を図 1~4 に、取水口側及び放水口側での時刻歴波形の地点別比較を図 5~13 に示す。

図 1~4 より発電所周辺での最大水位上昇量や水位の分布傾向に大きな差異はなく、取・放水口近傍の局所的な励起は生じていない。

次に、図 5~13 は津波の伝播経路を考慮し、基準津波 1、3 及び 4 については①取水口前面→②取水路防潮ゲート前面、及び①'放水口前面→②'放水路（奥）の時刻歴波形をそれぞれ重ね合わせている。また、基準津波 2 については①取水口前面→②3, 4号機循環水ポンプ室前面、及び①'放水口前面→②'放水路（奥）の時刻歴波形をそれぞれ重ね合わせている。

基準津波 1、2、3 及び 4 とともに、外海に面した①、①' と開水路最奥部となる②、②' の時刻歴波形を比較した結果、①、①' に比べて全振幅が若干大きくなる程度で、周期特性や時間の経過に伴う津波の減衰傾向に大差はなく、湾内の固有周期との共振による特異な増幅は生じていない。

また、3, 4号機海水ポンプ室前面については、管路（海水取水トンネル及び海水路）を通じて取水経路とつながっていることから他の評価点と水理特性が異なるが、基準津波 2 の時刻歴波形について、3, 4号機循環水ポンプ室前面とほぼ同様の傾向を示すことを確認している。

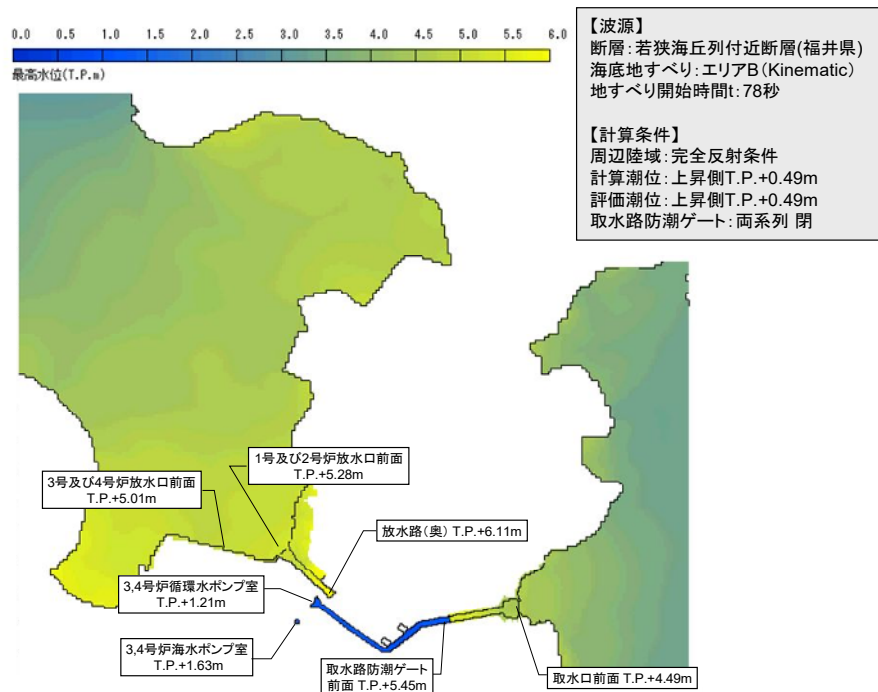


図1 最大水位上昇量分布図 (基準津波1)

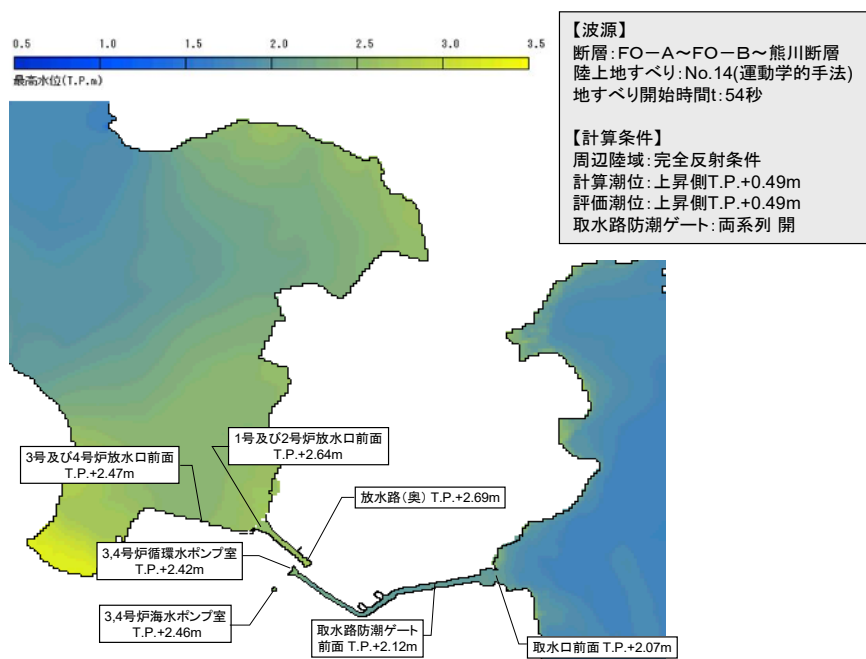


図2 最大水位上昇量分布図 (基準津波2)

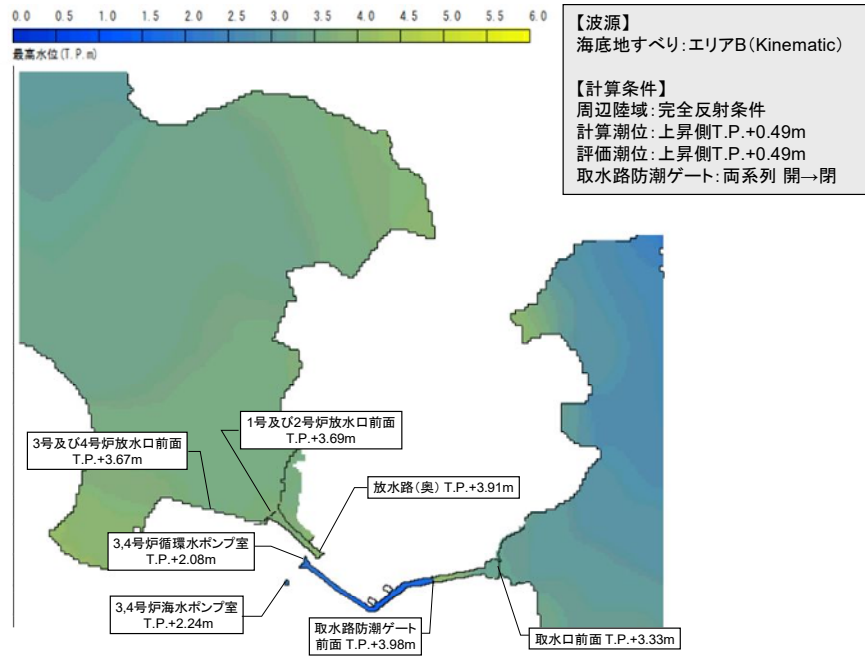


図3 最大水位上昇量分布図 (基準津波3)

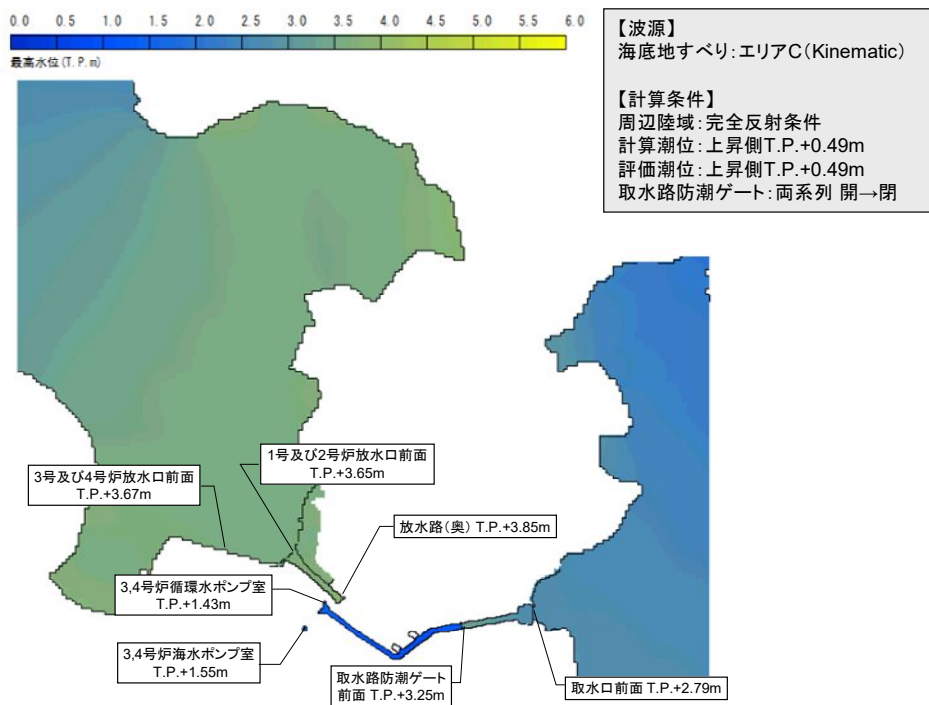


図4 最大水位上昇量分布図 (基準津波4)

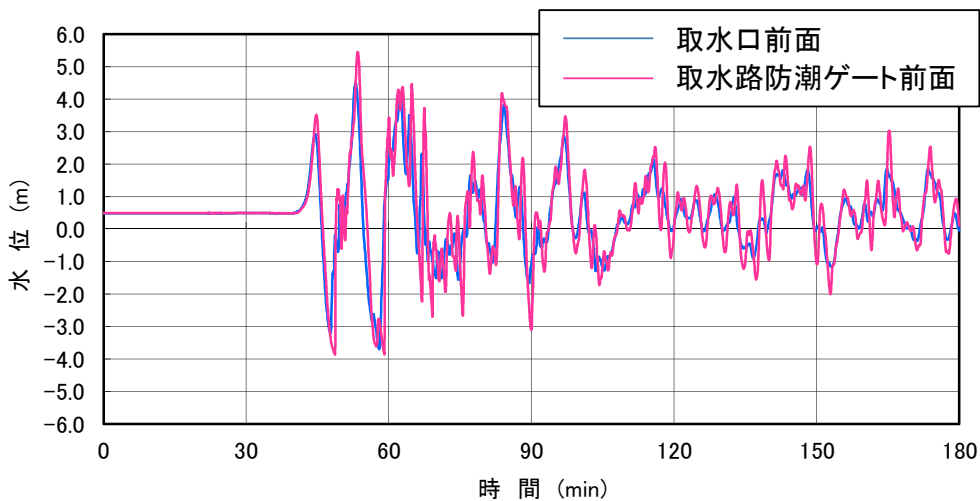


図5 基準津波1における取水口前面及び取水路防潮ゲート前面の時刻歴波形

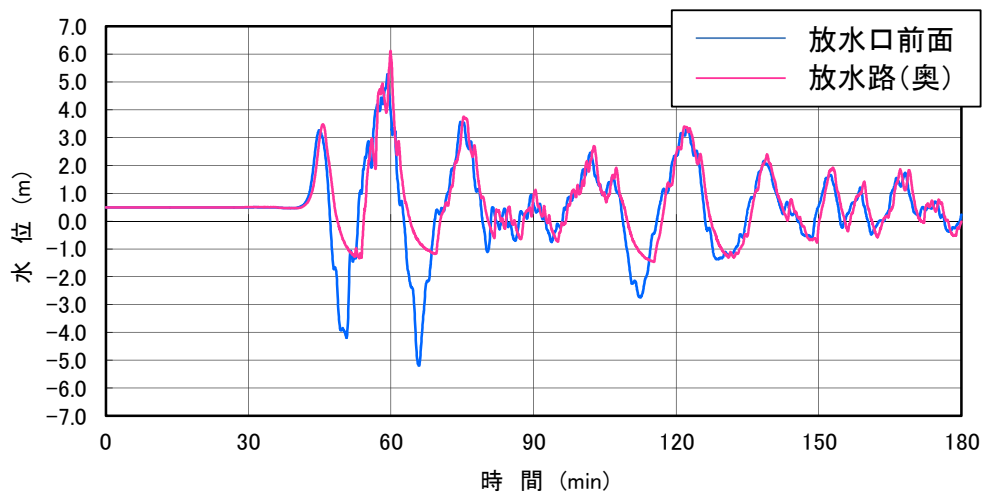


図6 基準津波1における放水口前面と放水路（奥）の時刻歴波形

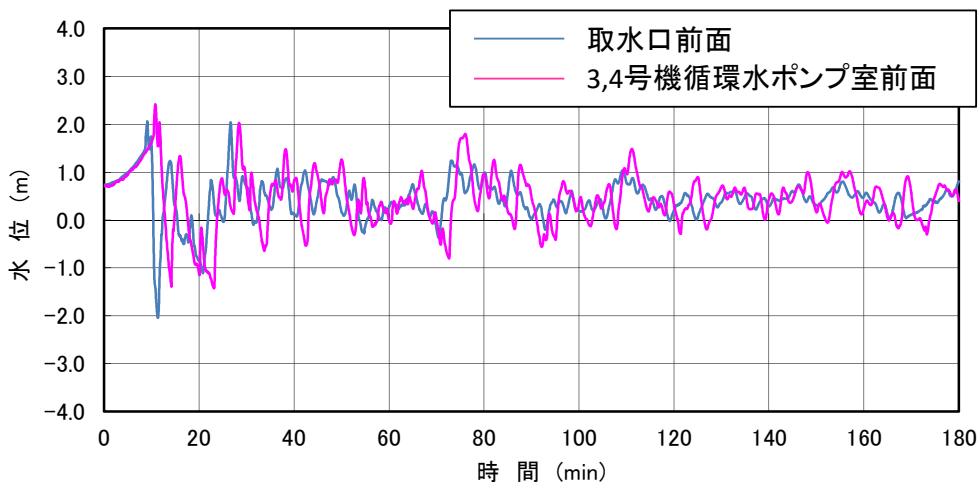


図7 基準津波2における取水口前面及び3,4号機循環水ポンプ室前面の時刻歴波形

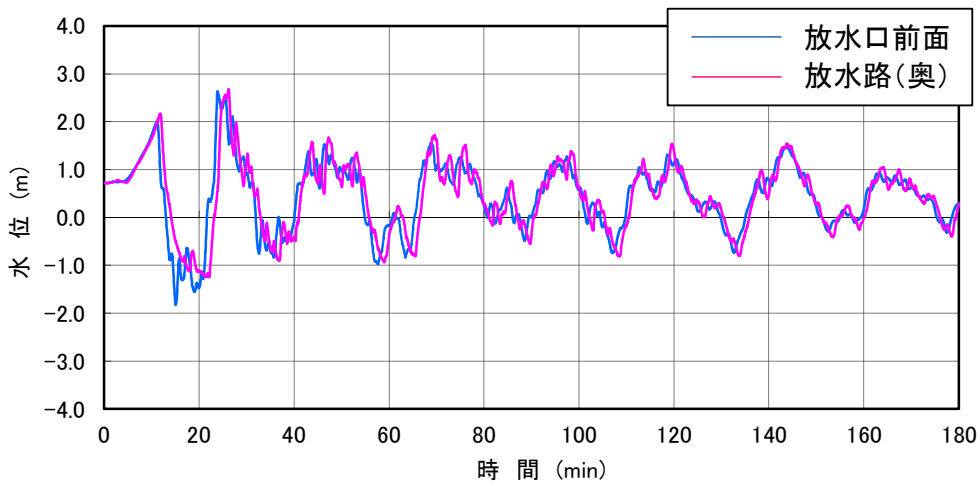


図8 基準津波2における放水口前面と放水路奥の時刻歴波形

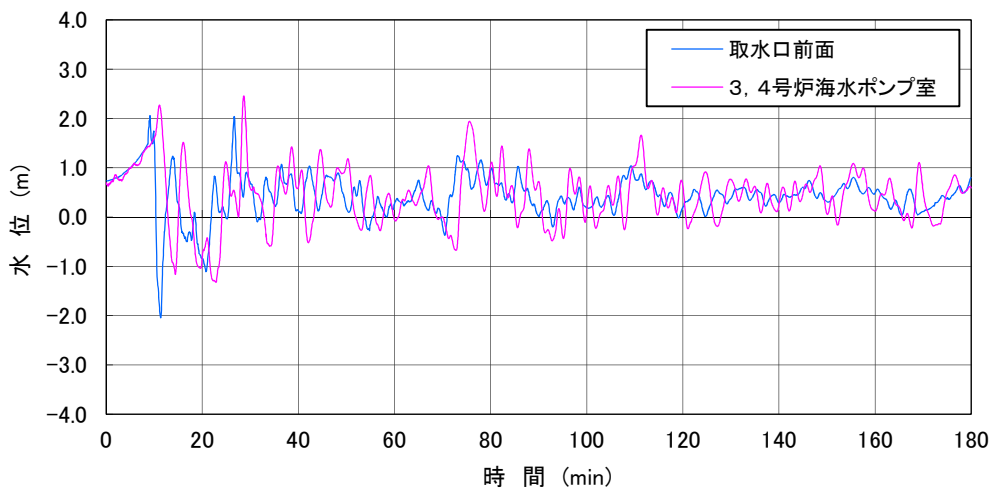


図9 基準津波2における取水口前面及び3, 4号機海水ポンプ室前の時刻歴波形

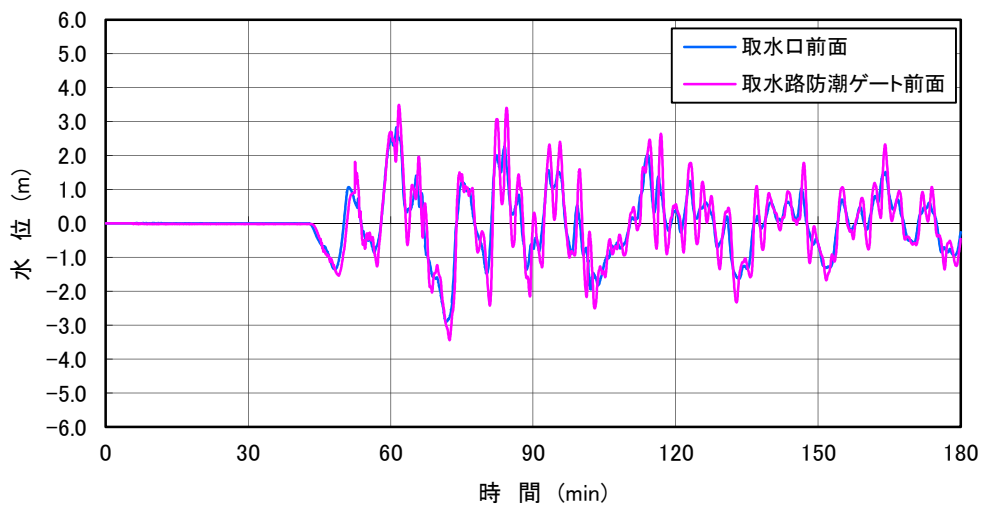


図10 基準津波3における取水口前面及び取水路防潮ゲート前面の時刻歴波形

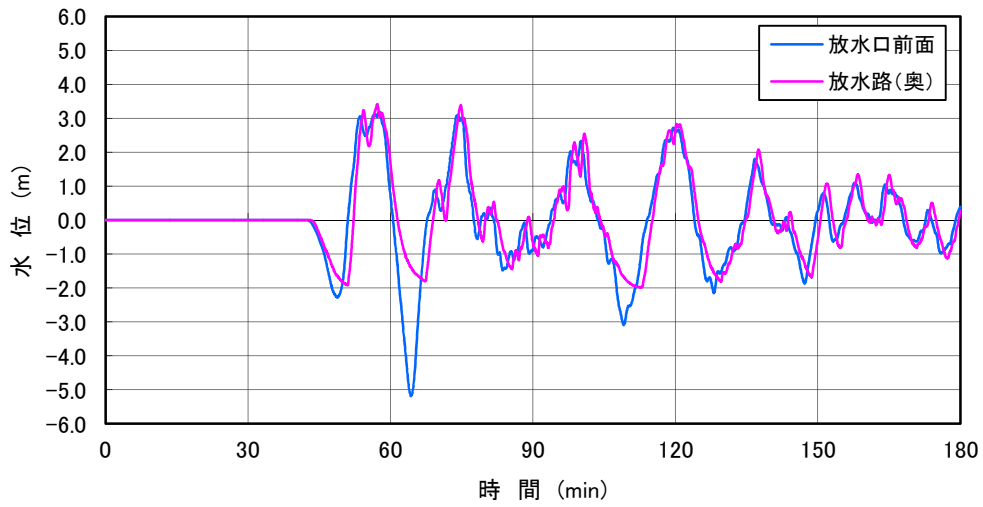


図 11 基準津波 3 における放水口前面と放水路（奥）の時刻歴波形

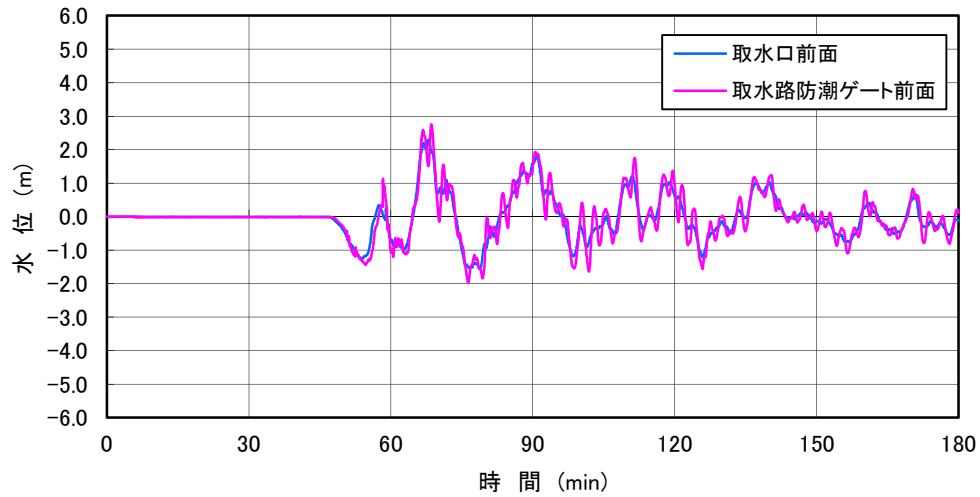


図 12 基準津波 4 における取水口前面及び取水路防潮ゲート前面の時刻歴波形

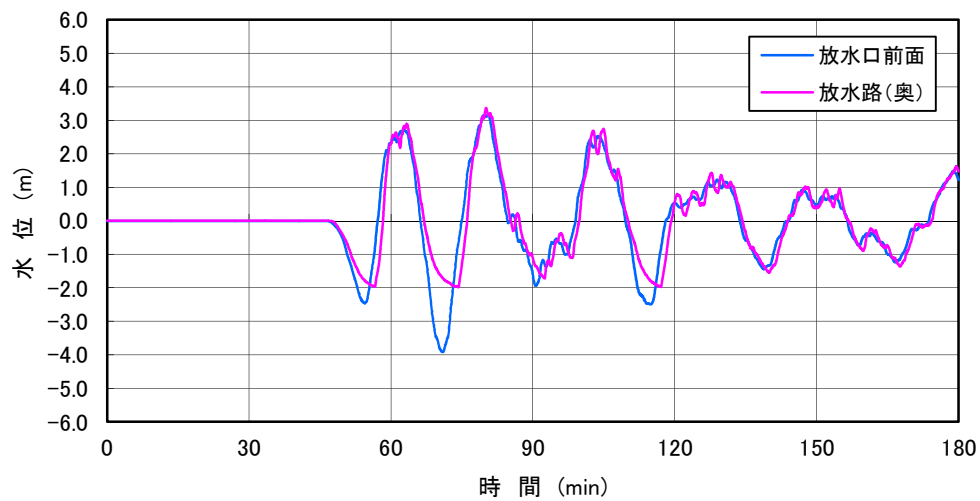


図 13 基準津波 4 における放水口前面と放水路（奥）の時刻歴波形

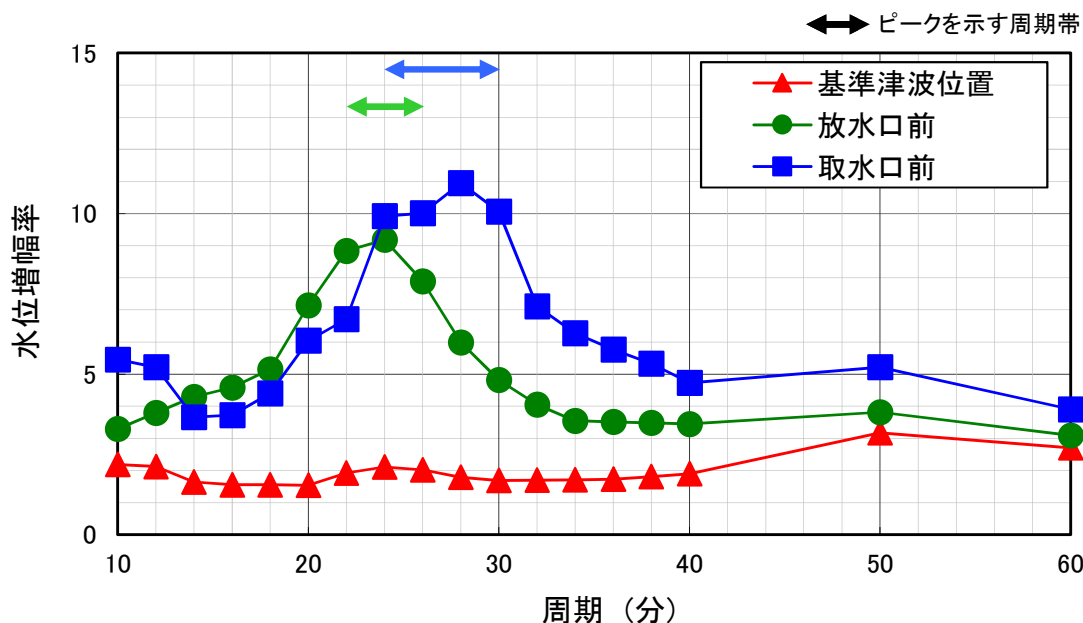
なお、津波周期の違いが基準津波定義位置、取水口前、放水口前の水位に及ぼす影響を確認するために、若狭湾沖合から正弦波（3波長）を入力させた概略計算を実施した。その際、正弦波の振幅は1mで固定し、周期は10分から40分まで2分ピッチ、50分、60分のケースで検討した。また、計算領域及び空間格子間隔は下図のとおりとした。



図 14 正弦波入力による検討概要（計算領域及び空間格子間隔）

この結果、入力波に対する水位増幅率を見ると、基準津波定義位置では明瞭なピークが確認できなかったが、取水口前・放水口前ではそれぞれ 24-30 分、20-26 分程度の周期に水位増幅するピークが確認された。

地形を単純化したメリアンの式による固有周期とは、ピークを示す周期帯が完全には一致しないが、取水口側の方が放水口側よりも卓越する周期が長くなる傾向は一致している。



	正弦波（3波長）を入力させた検討においてピークを示す周期帯	（参考）メリアンの式による固有周期
基準津波定義位置	明瞭なピークは確認できない	36-71分（若狭湾）
取水口前	24-30分	23-36分（高浜湾）
放水口前	22-26分	14分（内浦湾）

図 15 正弦波入力による検討結果（固有周期）

また、入力波に対する水位増幅率が比較的小さい周期 14 分と、増幅率が高い周期 24 分について、時刻歴波形を比較したところ、周期 14 分としたケースでは、各評価点ともに入力波数と同じ第 3 波目まではほぼ均等な水位振幅が見られ、その後は大きく減衰する様子が見られた。

一方、周期 24 分としたケースでは、基準津波定義位置では顕著な増幅傾向は見られなかったが、取水口・放水口前においては、入力波数と同じ第 3 波目まで徐々に振幅が大きくなり、その後も波が繰り返して減衰しにくい様子が見られた。

以上より、取水口側・放水口側において、正弦波による入力波の周期が湾の固有周期と一致し、共振により増幅する影響をきちんとシミュレーションできていることが確認された。

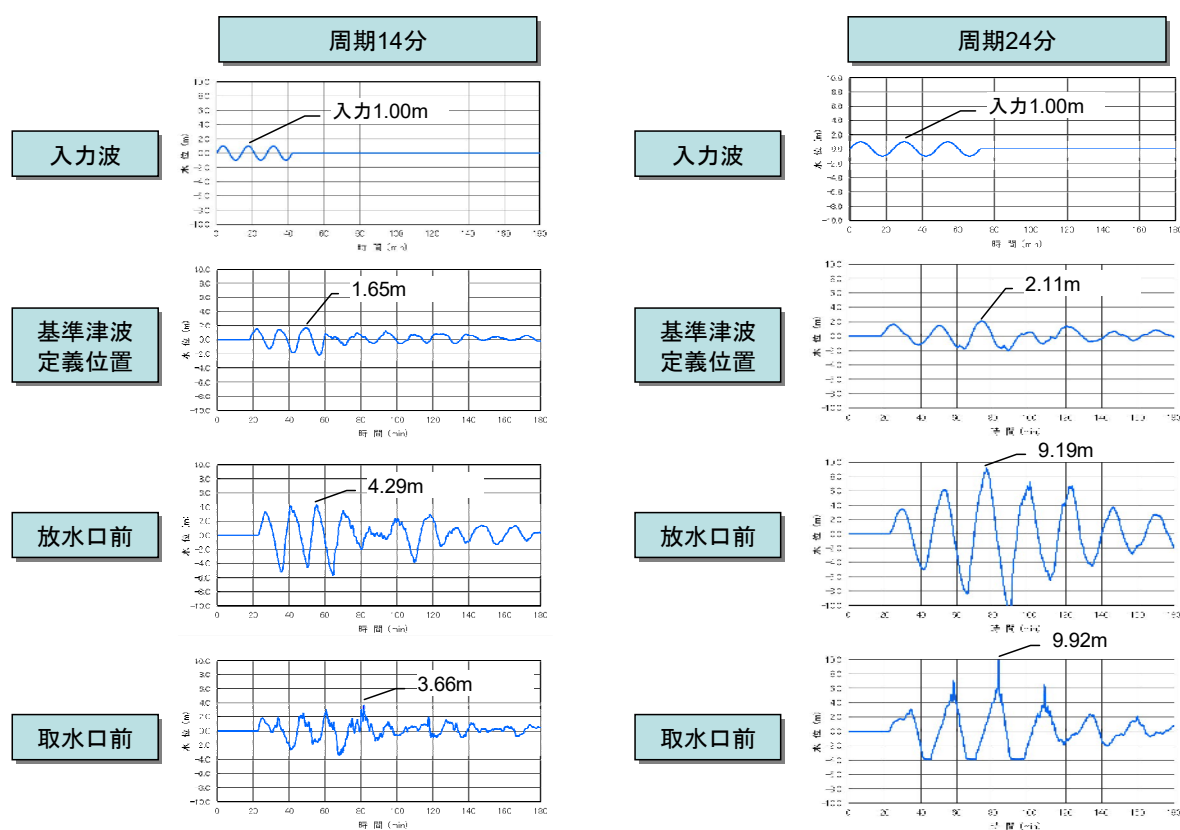


図 16 正弦波入力による水位増幅率の確認

津波防護施設・津波監視設備の運用方針について

津波警報が発表されない津波への対応として、高浜 1・2 号炉共用設備の潮位計及び高浜 3・4 号炉共用設備の潮位計を 1～4 号炉共用設備とすることに対する運用方針（情報収集、運転操作等）について、責任分担を含めて整理した。

1. 津波防護施設・津波監視設備の運用変更の有無の整理

		1～4 号炉申請時	今回申請時	運用方針
＜津波防護施設＞				
取水路防潮ゲート		1～4 号炉共用	1～4 号炉共用	○
放水口側防潮堤				×
防潮扉				○
屋外排水路逆流防止設備				×
1号及び2号炉放水ピット止水板				×
＜津波監視設備＞				
津波監視カメラ		1～4 号炉共用	1～4 号炉共用	×
潮位計	1・2 号炉	1・2 号炉共用	1～4 号炉共用	○
	3・4 号炉	3・4 号炉共用	1～4 号炉共用	○

○：変更・追加あり
×：変更なし

2. 運用方針の変更について（下線部が変更点）

	1～4 号炉申請時	今回申請時
取水路防潮ゲート	<p>平常時は、1・2 号炉当直課長が電気系統等に異常が無いことを確認し、3・4 号炉当直課長に報告</p> <p>大津波警報発信時に、</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 1・2 号炉及び 3・4 号炉当直課長が情報収集 ◆ 1・2 号炉当直課長が防潮ゲートの閉止を判断 ◆ 1・2 号炉当直課長が 3・4 号炉当直課長に防潮ゲート閉止する旨連絡 ◆ 1・2 号炉及び 3・4 号炉当直課長が循環水ポンプ・原子炉を停止 ◆ 3・4 号炉当直課長が 1・2 号炉当直課長に循環水ポンプ及び原子炉の停止を連絡 ◆ 1・2 号炉当直課長が防潮ゲートを閉止操作 	<p>平常時は、1・2 号炉当直課長が電気系統等に異常が無いことを確認し、3・4 号炉当直課長に報告</p> <p>大津波警報発信時に、</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 1・2 号炉及び 3・4 号炉当直課長が情報収集 ◆ 1・2 号炉当直課長が防潮ゲートの閉止を判断 ◆ 1・2 号炉当直課長が 3・4 号炉当直課長に防潮ゲート閉止する旨連絡 ◆ 1・2 号炉及び 3・4 号炉当直課長が循環水ポンプ・原子炉を停止 ◆ 3・4 号炉当直課長が 1・2 号炉当直課長に循環水ポンプ及び原子炉の停止を連絡 ◆ 1・2 号炉当直課長が防潮ゲートを閉止操作 <p><u>津波警報が発表されない津波来襲の兆候を検知した場合に、</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ <u>1・2 号炉及び 3・4 号炉当直課長が情報収集</u> ◆ <u>1・2 号炉当直課長が通常の潮汐とは異なる潮位変動を把握した場合、防潮ゲート</u>

		<p><u>の閉止を判断</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ <u>1・2号炉当直課長が3・4号炉当直課長に防潮ゲート閉止する旨連絡</u> ◆ <u>1・2号炉及び3・4号炉当直課長が循環水ポンプ・原子炉を停止</u> ◆ <u>3・4号炉当直課長が1・2号炉当直課長に循環水ポンプ及び原子炉の停止を連絡</u> ◆ <u>1・2号炉当直課長が防潮ゲートを閉止操作</u>
防潮扉	<p>平常時に、扉開閉表示装置の警報が発信した場合は、3・4号炉当直課長が扉開閉状態の確認及び閉止操作</p> <p>津波警報等発信時に、</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 3・4号炉当直課長が防潮扉の閉止状態を確認する。(実質的な変更は無いが、1・2号炉運転に伴い責任箇所を明確にする。) 	<p>平常時に、扉開閉表示装置の警報が発信した場合は、3・4号炉当直課長が扉開閉状態の確認及び閉止操作</p> <p>津波警報等発信時 <u>又は通常の潮汐とは異なる潮位変動を把握した場合に、</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 3・4号炉当直課長が防潮扉の閉止状態を確認する。(実質的な変更は無いが、1・2号炉運転に伴い責任箇所を明確にする。)

	1～4号炉申請時	今回申請時
津波監視カメラ	◆ 1・2号炉中央制御室及び3・4号炉中央制御室にて監視する。	◆ 1・2号炉中央制御室及び3・4号炉中央制御室にて監視する。
潮位計 (1・2号炉)	◆ 1・2号炉中央制御室において、潮位計による監視を実施する。	<p><u>津波が発生した場合</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ <u>1・2号炉中央制御室及び3・4号炉中央制御室</u>において、潮位計による監視を実施する。 <p><u>通常の潮汐とは異なる潮位変動を把握するため</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ <u>1・2号炉中央制御室及び3・4号炉中央制御室</u>において、潮位計による監視を実施する。
潮位計 (3・4号炉)	◆ 3号炉および4号炉中央制御室において、潮位計による監視を実施する。	<p><u>津波が発生した場合</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ <u>1・2号炉中央制御室及び3・4号炉中央制御室</u>において、潮位計による監視を実施する。 <p><u>通常の潮汐とは異なる潮位変動を把握するため</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ <u>1・2号炉中央制御室及び3・4号炉中央制御室</u>において、潮位計による監視を実施する。

通常の潮汐と異なる潮位変動が観測された場合の 取水路防潮ゲート閉止について

1号炉～4号炉の4プラント運転時において、取水路防潮ゲートは両系列(4門)を常時開としており、津波警報が発表されない可能性のある海底地すべりによる津波(以下「警報なし津波」という。)に対しては、潮位計において通常の潮汐と異なる潮位変動^{※1}が観測された場合(判断基準に到達)、循環水ポンプ停止及びユニットトリップ操作が完了した後、中央制御室からの遠隔操作により、1分間で全門を閉止する運用としている。通常の潮汐と異なる潮位変動が観測された場合の取水路防潮ゲート閉止の流れを図1に示す。

本資料は潮位計による通常の潮汐と異なる潮位変動の観測及び取水路防潮ゲートを1分間で閉止する運用について示すものである。なお、循環水ポンプ停止とユニットトリップ操作については、既許可の運用と同様である。

なお、取水路防潮ゲートに係る保守点検時においては、一時的に上記運用と異なる場合が生じる可能性があるが、いずれの場合においても、安全性への影響はないことを確認している。

※1 潮位計(1号炉海水ポンプ室:1台、2号炉海水ポンプ室:1台、3,4号炉海水ポンプ室:2台)のうち、2台の観測潮位が10分以内に0.6m以上下降し、その後、最低潮位から10分以内に0.6m以上上昇すること、若しくは10分以内に0.6m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.6m以上下降すること。

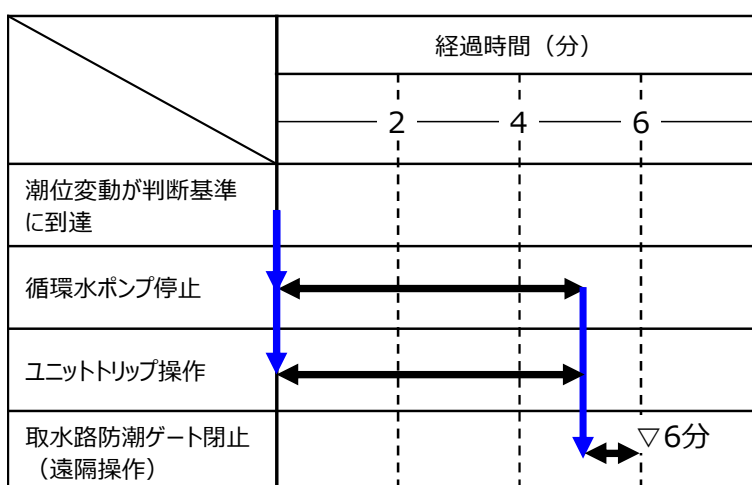


図1(1/3) 通常の潮汐と異なる潮位変動が観測された場合の
取水路防潮ゲート閉止の流れ

(津波襲来判断の例)

1号炉海水ポンプ室

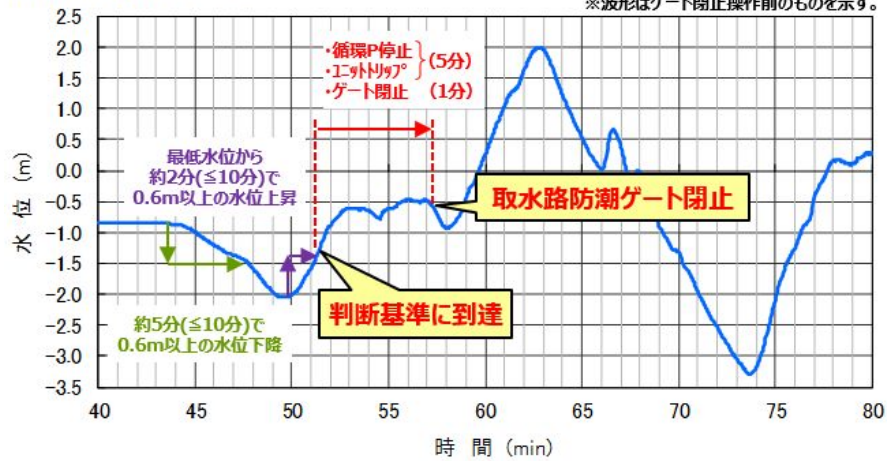


図 1 (2/3) 通常の潮汐と異なる潮位変動が観測された場合の取水路防潮ゲート閉止の流れ

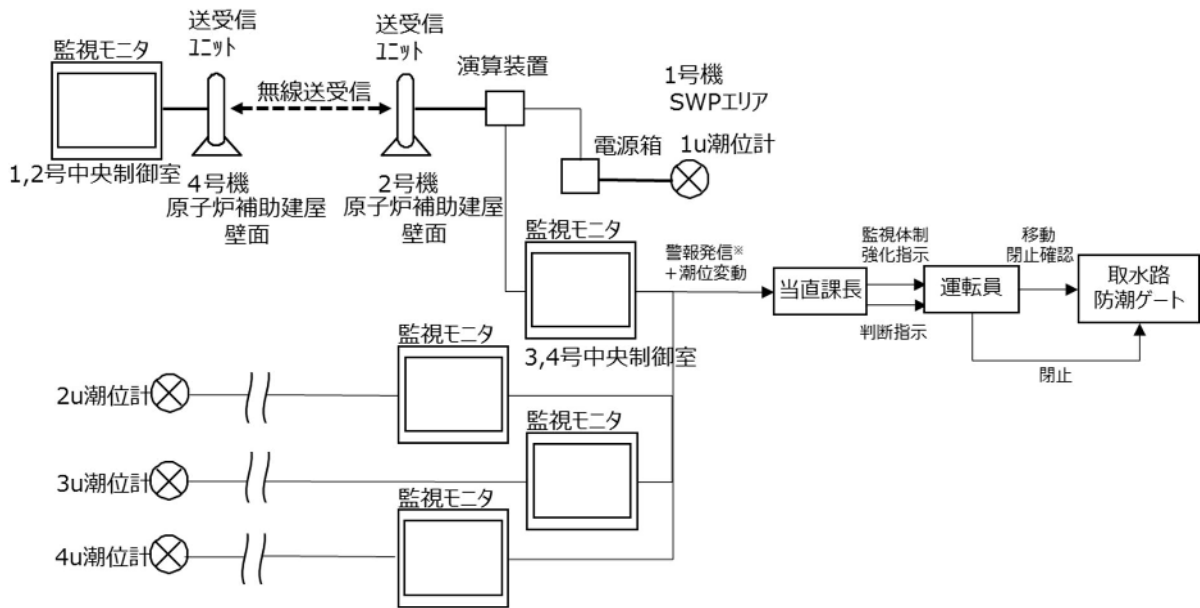


図 1 (3/3) 通常の潮汐と異なる潮位変動が観測された場合の取水路防潮ゲート閉止の流れ

(1) 潮位計による通常の潮汐と異なる潮位変動の観測について

津波警報が発表されない可能性のある海底地すべり津波に対しては、潮位計において通常の潮汐と異なる潮位変動が観測された場合、中央制御室からの遠隔操作により、潮位変動観測後6分で取水路防潮ゲートを閉止する。

ここでは、通常の潮汐と異なる潮位変動が観測され、判断基準に到達するまでの対応について説明する。

(a) 判断基準となる津波の選定

通常の潮汐と異なる潮位変動として、観測潮位が10分以内に0.6m以上下降し、その後、最低潮位から10分以内に0.6m以上上昇した場合、若しくは10分以内に0.6m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.6m以上下降することを判断基準としている。

ここでは、保守的に判断基準が厳しいT34海水ポンプ室前の津波を選定する。選定した津波は下表のとおり。

表1 各エリアにおける潮位変動開始から判断基準に到達するまでの所要時間

		敷地内		
		1号炉海水ポンプ室前	2号炉海水ポンプ室前	3, 4号炉海水ポンプ室前
下げ側	最初の0.5m※	2.55分 (43.35分~45.90分)	2.50分 (43.55分~46.05分)	1.95分 (44.25分~46.20分)
	最初の0.6m	2.90分 (43.35分~46.25分)	2.80分 (43.55分~46.35分)	2.15分 (44.25分~46.40分)
	全体	6.00分 (43.35分~49.35分)	6.10分 (43.55分~49.65分)	6.30分 (44.25分~50.55分)
上げ側	最初の0.6m	1.05分 (49.35分~50.40分)	0.85分 (49.65分~50.50分)	0.85分 (50.55分~51.40分)

※：観測潮位が0.5m下降した時点、または0.5m上昇した時点で中央制御室に情報（警報）が発信

(b) 判断基準に到達するまでの対応

(a)で選定した津波襲来時の警報発信から判断基準に到達するまでの対応について説明する。まず、潮位計において、潮位が0.5m下降、若しくは上昇した時点で中央制御室に警報が発信する。この時点で、運転員は潮位の継続的な重点監視を行うとともに、2台の観測潮位が10分以内に0.6m以上下降し、最低潮位から0.6m上昇した時点、若しくは10分以内に0.6m以上上昇し、最高潮位から0.6m下降した時点で防潮ゲート閉止等の操作を行うことを当直課長が運転員へ指示する。

潮位計における警報発信から防潮ゲート閉止の判断基準到達までに最短期間でも約5分の対応時間を有している。

潮位変動の観測および判断基準の確認について、上記の対応時間より運転員は十分対応できることを確認している。

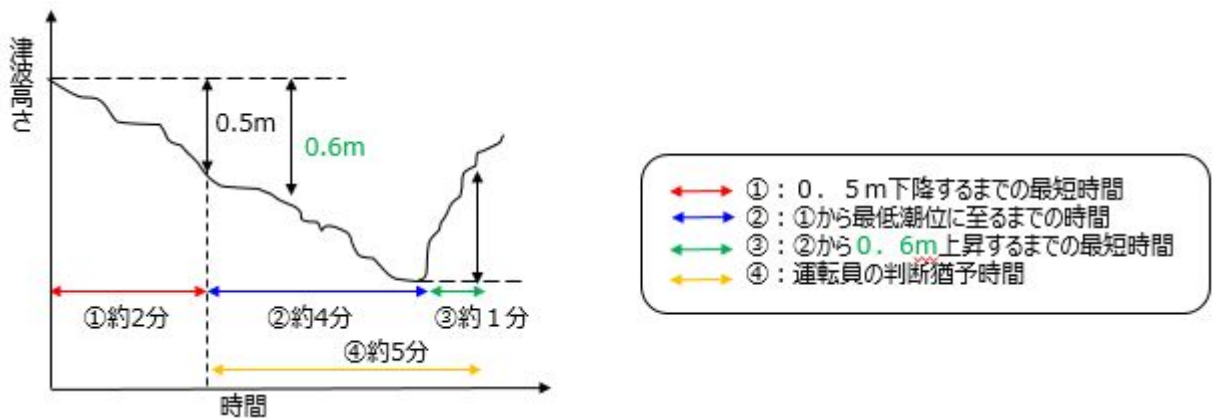


図 2 潮位変動開始から判断基準に到達するまでの対応イメージ
(T34海水ポンプ室前)

(c) 計測誤差の影響

潮位計のループ誤差は最大で±約 5cm であり、計装誤差による検知の遅れ時間は最大約 30 秒であるが、図 2 のとおり、津波襲来の判断基準に到達するまでに、最短でも約 5 分の対応時間を有しており、これに比べ時間遅れは十分に小さいことから計測誤差による影響はない。

(d) 潮位の判断基準の考え方

過去の潮位データを確認した結果、平常時において 10 分間で 0.10m 程度の潮位変動があった。

したがって、津波検知の判断基準値は、施設影響が生じる津波を網羅的に検知できる 1 波目の水位変動量 0.70m に、平常時における短時間の潮位のゆらぎ 0.10m を考慮し、0.60m に設定する。

判断基準値に対しては、計装誤差 (0.05m) を考慮し、実機のセット値は 0.55m とする。

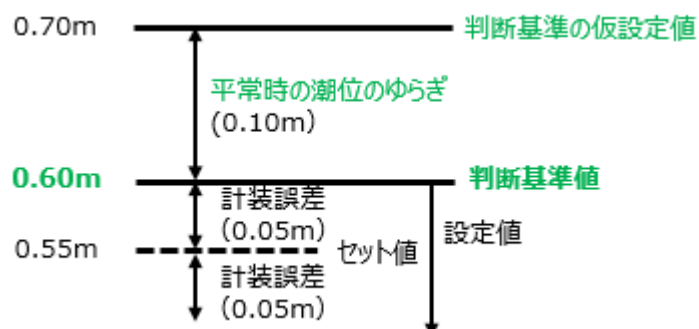


図 3 潮位計の判断基準値の概念図

(2) 取水路防潮ゲートを1分で閉止する運用について

図1に示すとおり、潮位変動が判断基準に到達し、循環水ポンプ停止及びユニットトリップ操作完了後、取水路防潮ゲートを1分で閉止する運用としている。1号炉～4号炉の4プラント運転時における取水路防潮ゲートの状況を図4及び図5に示す。取水路防潮ゲートは防潮壁、ゲート扉体、ゲート落下機構等で構成されており、ゲート扉体はラック棒によりゲート落下機構に固定されている。

ゲート扉体の落下距離は6mであるが、短尺ラック棒の場合、ゲート落下機構を通過する区間（以下「区間①」という。）は1mである。区間①においては、ゲート扉体はゲート落下機構に落下速度を制限された状態で落下し、その後の5m区間（以下「区間②」という。）については自由落下となる。区間①及び区間②の落下時間を以下に示す。

(a) 区間①の落下時間

区間①は、ラック棒がゲート落下機構を通過する区間であり、ゲート扉体は落下速度を制限された状態で落下する。ラック棒がゲート落下機構を通過する速度については、大津波警報が発表された場合の検討において、閉止速度3m/分であることを検査等により確認していることから、前半1m区間の落下時間は、1mのラック棒がゲート落下機構を通過する時間である20秒（3mを1分で落下するため、1mの落下時間は20秒）と算定できる。

なお、閉止速度3m/分は、静水中のゲート閉止を前提としているものであり、前半1m区間の落下時にはすでに津波が到達していることから、津波による流水抵抗を受ける可能性がある。ただし、ゲート落下機構による落下速度制限に落下時間は支配されることから、津波による流水抵抗によって、閉止時間3m/分には変わりはないものとする。

(b) 区間②の落下時間

区間②の落下時においても、すでに津波が到達していることから、津波による流水抵抗等を考慮した条件で落下時間を算定した結果、区間②の落下時間は2秒程度と算定できる。区間②の落下時間算定の詳細を図6に示す。

(a)及び(b)より、取水路防潮ゲートを閉止（ゲート扉体が6m落下）するまでに要する時間は20秒程度と算定できるものの、余裕を考慮して1分と評価している。

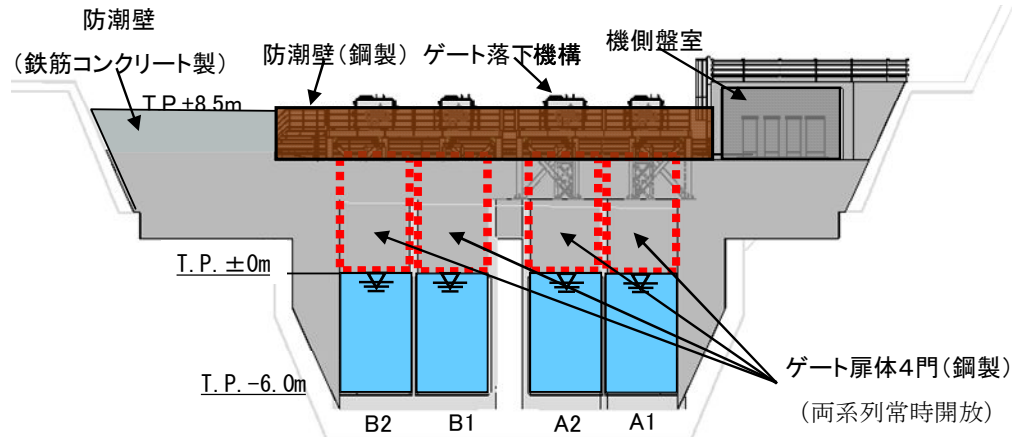


図 4 4 プラント運転時における取水路防潮ゲートの状況（正面図）

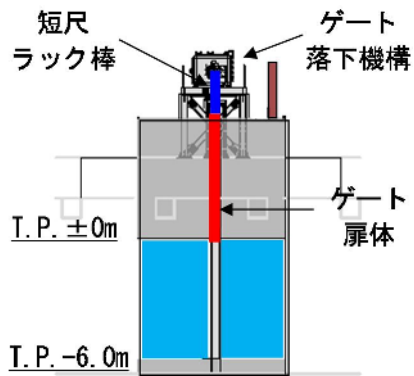


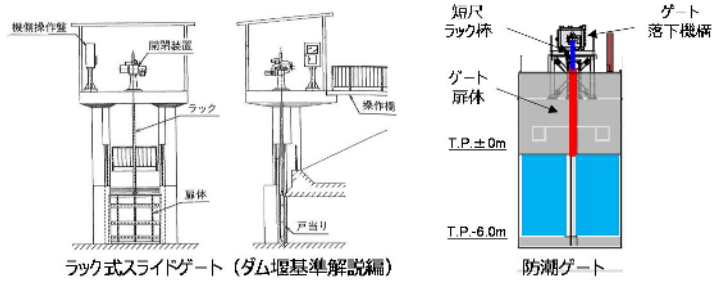
図 5 4 プラント運転時における取水路防潮ゲートの状況（断面図）

○ダム堰・堰施設技術基準（案）基準解説編の適用性について

今回の防潮ゲート閉操作は津波が襲来している状況下での操作となる。一般のゲートにおいても流水時にゲート閉操作を実施することがあるため、今回想定している状況と同じであると考え。

また、防潮ゲートの支承部は戸当たりと平面で摺動しながら開閉される形式であり、右図のようなスライドゲートの形式をとっている。

したがって、ダム・堰施設技術基準（案）基準解説編（ダム・堰施設技術協会、平成28年10月）（以下、「ダム堰基準解説編」という。）に記載されている開閉荷重を適切に考慮することで、津波襲来時の防潮ゲート閉操作にかかる荷重を設定することができるものとする。



○開閉荷重について

ダム堰基準解説編では水門扉の扉体の開閉荷重として考慮する荷重は、扉体の自重、支承・水密ゴムおよび堆泥の摩擦力、浮力、越流水による上・下向力、下端放流水による上・下向力、その他の荷重とされている。

上記を踏まえ、開閉荷重の組み合わせは水門扉の形式ごとに例示されており、今回の防潮ゲートに類似した形式として、スライドゲートの閉操作時における開閉荷重の組み合わせを下表に示す。

【ダム堰基準解説編に示す開閉荷重の組合せ】 スライドゲート閉操作時（ダム堰基準解説編 P.189）

形式	開閉荷重	扉体の自重	支承部摩擦力	水密部摩擦力	浮力	越流水による上・下向力	下端放流水による上・下向力	波(風波浪)による荷重	閉鎖時の水の抵抗力
スライドゲート		○	○	○	○	△	△	△	

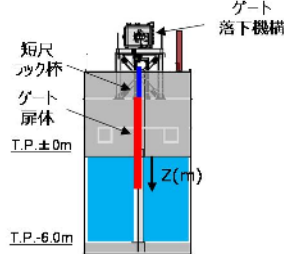
【防潮ゲートに考慮する開閉荷重の組合せ】

防潮ゲート		○	○	—※1	○	—※2	—※3	—※4	○※5
-------	--	---	---	-----	---	-----	-----	-----	-----

※1 支承部に水密ゴムはないため考慮不要。 ※2 越流が発生しないため考慮不要。 ※3 下向きダウンフローが発生するが、保守的に考慮しない。
 ※4 外海に面していない取水路内の流れ場であり、風波浪による影響は軽微と考えられるため考慮しない。 ※5 落下時にゲート底面に作用する水の抵抗力を考慮。

○区間②の落下時間の算定について（1/3）

- ゲート扉体に作用する荷重を考慮した運動方程式により落下加速度を求め、落下時間を算定する。



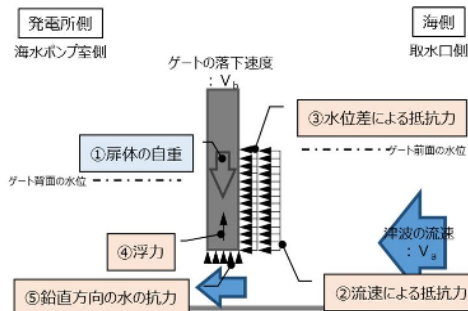
$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = F(\downarrow) - F(\uparrow)$$

ここで、 m : ゲート扉体質量 (t)
 z : ゲート扉体の落下距離 (m)
 $F(\downarrow)$: 下向きに作用する力 (kN)
 $F(\uparrow)$: 上向きに作用する力 (kN)

- ダム堰基準解説編を参照し、防潮ゲートの開閉時の検討に考慮する荷重として下表の荷重を考慮する。（ダム堰基準解説編P.189参照）

形式	扉体の自重	支承部摩擦力	水密部摩擦力	浮力	越流水による上・下向力	下端放流水による上・下向力	波(風波浪)による荷重	閉鎖時の水の抵抗力
防潮ゲート	①	②、③	—	④	—	—	—	⑤

○開閉荷重の作用イメージ図



下向きの力	①扉体の自重
上向きの力	②流速による抵抗力※、③水位差による抵抗力※ ※②、③は水平方向の力となり、これによる摩擦力を上向きに考慮 ④浮力、⑤鉛直方向の水の抵抗力

図6 区間②の落下時間の算定（1/3）

○区間②の落下時間の算定について (2/3)

- 前ページでの荷重の整理結果を踏まえた運動方程式は以下のとおりとなる。

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = \underbrace{mg}_{①} - \underbrace{\mu Fa}_{②} - \underbrace{\mu Fb}_{③} - \underbrace{Fc}_{④} - \underbrace{Fd}_{⑤}$$

ここで、 m : ゲート扉体質量 (t)
 z : ゲート扉体の落下距離 (m)
 Fa : 流速による抵抗力 (kN)
 Fb : 水位差による抵抗力 (kN)
 Fc : 浮力 (kN)
 Fd : 鉛直方向の水の抗力 (kN)
 μ : 摩擦抵抗
 (=0.4 ※ダム堰基準解説編 P.182)

① 扉体の自重

ゲート扉体質量7.133tによる自重を考慮する。

② 流速による抵抗力

以下の式により流速による抵抗力を算定する。(ダム・堰施設技術基準(案)水門扉・放流管・付属施設設計マニュアル(ダム・堰施設技術協会,平成23年7月)(以下、「ダム堰マニュアル編」という。)P.597)
 下図のとおり、ゲート閉止時の流速は0.1~0.7m/s程度であるが、抵抗力を保守的に評価するため、流速3.0m/sを考慮する。

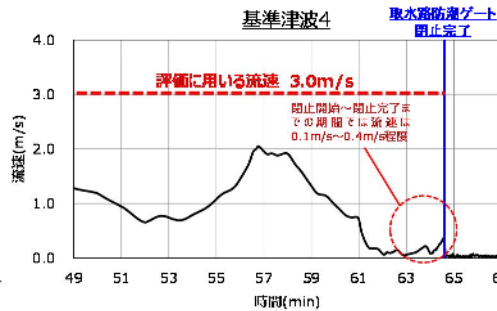
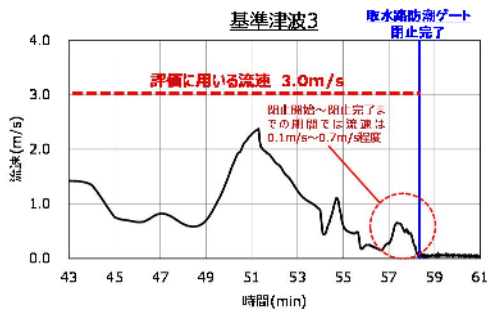
$$Fa = 1/2 \times \rho_0 \times v_a^2 \times C \times B \times z$$

$$= 1/2 \times 1.03 \times 3^2 \times 1.0 \times 3.9 \times z$$

$$= 18.077 \times z \text{ (kN)}$$

※ $z=6m$ では $Fa=108.5$ (kN)

ここで、 v_a : 流速 (3.0m/s)
 C : 水に対する抵抗係数 (=1.0)
 ※ダム堰マニュアル編 P.597
 B : 作用幅 (3.9m)
 z : 落下距離 (m)



※津波シミュレーションでは、閉止完了時刻まではゲート開、閉止完了時刻以降はゲート全開となる条件としている。全方向流速(絶対値)を示している。

③ 水位差による抵抗力

以下の式により水位差による抵抗力を算定する。(ダム堰基準解説編 P.181)

$$Fb = P \times B \times z$$

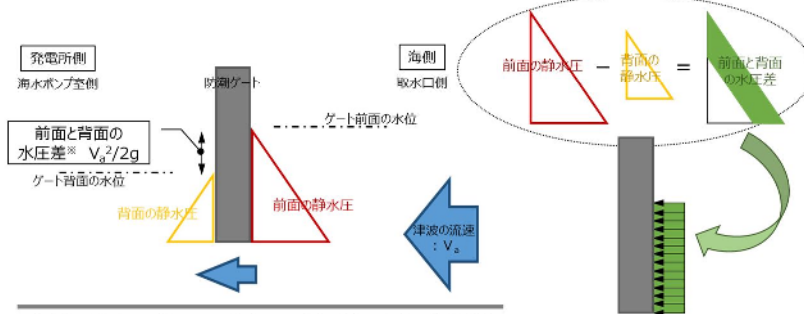
$$= 1.03 \times 9.80665 \times 0.459 \times 3.9 \times z$$

$$= 18.082 \times z \text{ (kN)}$$

※ $z=6m$ では $Fb=108.5$ (kN)

ここで、 P : 水位差による水圧 (評価に用いる流速3.0m/sが作用した場合の、ゲート前面の水位上昇による水位差を考慮する。 $h=v_a^2/2g=0.459m$ より、 $P=\rho_0gh$ (kN/m²) を扉体に作用させる。)
 B : 作用幅 (3.9m)
 z : 落下距離 (m)

※③水位差による抵抗力については、防潮ゲート前面と背面における静水圧の差分を考慮する。



※ゲート前面と背面の水圧差については、ゲートにあたる津波の速度水頭をすべて、ゲート前面でゼロになると仮定し、ゲート前面の水位上昇を考慮する。

④ 浮力

以下の式により浮力を算定する。(ダム堰基準解説編 P.181)

$$Fc = \rho_0 \times g \times V \times z / 6$$

$$= 1.03 \times 9.80665 \times 0.847 \times z / 6$$

$$= 1.426 \times z \text{ (kN)}$$

※ $z=6m$ では $Fc=8.56$ (kN)

ここで、 V : 扉体の体積 (0.847m³)
 z : 落下距離 (m)

※扉体はスキンプレート(片面)をH鋼等で補強している構造であり、落下時に鋼材間の空気は水と入れ替わることから、扉体に作用する浮力は鋼材体積から算定した浮力とする。



【取水路下流側から見えたゲート扉体】

図6 区間②の落下時間の算定 (2/3)

○区間②の落下時間の算定について (3/3)

⑤ 鉛直方向の水の抗力

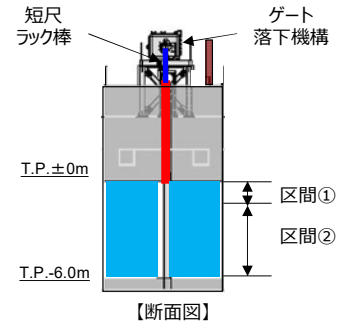
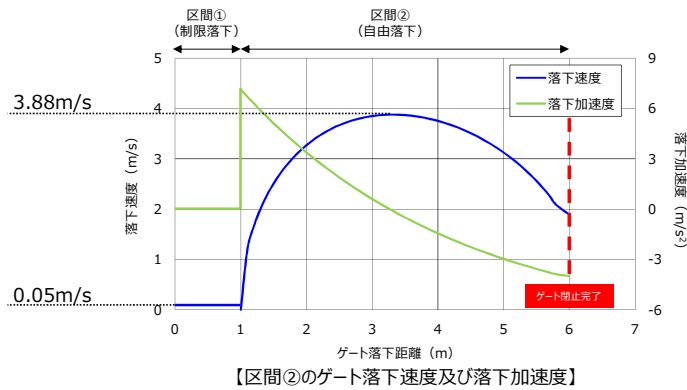
以下の式により鉛直方向の水の抗力を算定する。(ダム堰マニュアル編 P.597)

$$F_d = 1/2 \times \rho_0 \times v_b^2 \times C \times A$$

$$= 1/2 \times 1.03 \times v_b^2 \times 1.0 \times 2.125$$

$$= 1.0944 \times v_b(z)^2 \text{ (kN)}$$

ここで、 $v_b(z)$: z (m)地点の落下速度 (m/s) ※落下距離に応じた速度を考慮する
 C : 水に対する抵抗係数 (=1.0) ※ダム堰マニュアル編 P.597
 A : ゲート底面積 (2.125m²)
 z : 落下距離 (m)



①～⑤より、運動方程式は以下のとおりとなる。

$$m \frac{d^2z}{dt^2} = mg - \mu Fa - \mu Fb - Fc - Fd$$

$$7.133 \times \frac{d^2z}{dt^2} = 7.133 \times 9.80665 - 0.4 \times 18.077 \times z - 0.4 \times 18.082 \times z - 1.426 \times z - 1.0944 \times \left(\frac{dz}{dt}\right)^2$$

保守的な評価として、区間②における自由落下開始時の速度を0m/sとすると、**区間② (5m) の落下時間は約1.79秒**となる。

図 6 区間②の落下時間の算定 (3/3)

漂流物影響評価における津波の流速・流向について

1. はじめに

高浜発電所敷地は取水路側及び放水路側の 2 方向が海に面していることから、津波による漂流物はそれぞれにおいて検討している。具体的には発電所に対する漂流物となるものについて、取水路側は取水路防潮ゲートにて、放水路側は放水口側防潮堤及び防潮扉によって取水性への影響がないような設計としている。本資料では、これらの漂流物の検討事項のうち漂流物の動向に影響を与える津波の流況・流向について詳細を説明するものである。

2. 各基準津波の流向・流速についての確認

漂流物の影響については、押し波で最も大きな津波高さとなり、遡上域が大きくなる基準津波 1（若狭海丘列付近断層+隠岐トラフ海底地すべり（エリア B）、Kinematic）を代表として評価している。しかしながら、今回新たに追加した基準津波 3（隠岐トラフ海底地すべり（エリア B、Kinematic）及び基準津波 4（隠岐トラフ海底地すべり（エリア C、Kinematic））については、津波警報等の発表がない条件で襲来する可能性があることから、基準津波 1 の傾向と比較することで漂流物の評価において基準津波 1 を用いることの妥当性を確認した。

確認した結果を図 1～図 5 に示す。基準津波 3 については津波の襲来開始時に差があるものの、70 分以降の津波周期に大きな違いはない。基準津波 4 については基準津波に比べて水位の変動周期が大きいが基準津波 1 と傾向は変わらないことを確認している。

以上より、基準津波 3 及び基準津波 4 は基準津波 1 と発電所近傍の流速及び流向について内容にほぼ相違がないことから、漂流物の評価において基準津波 1 を用いることとする。

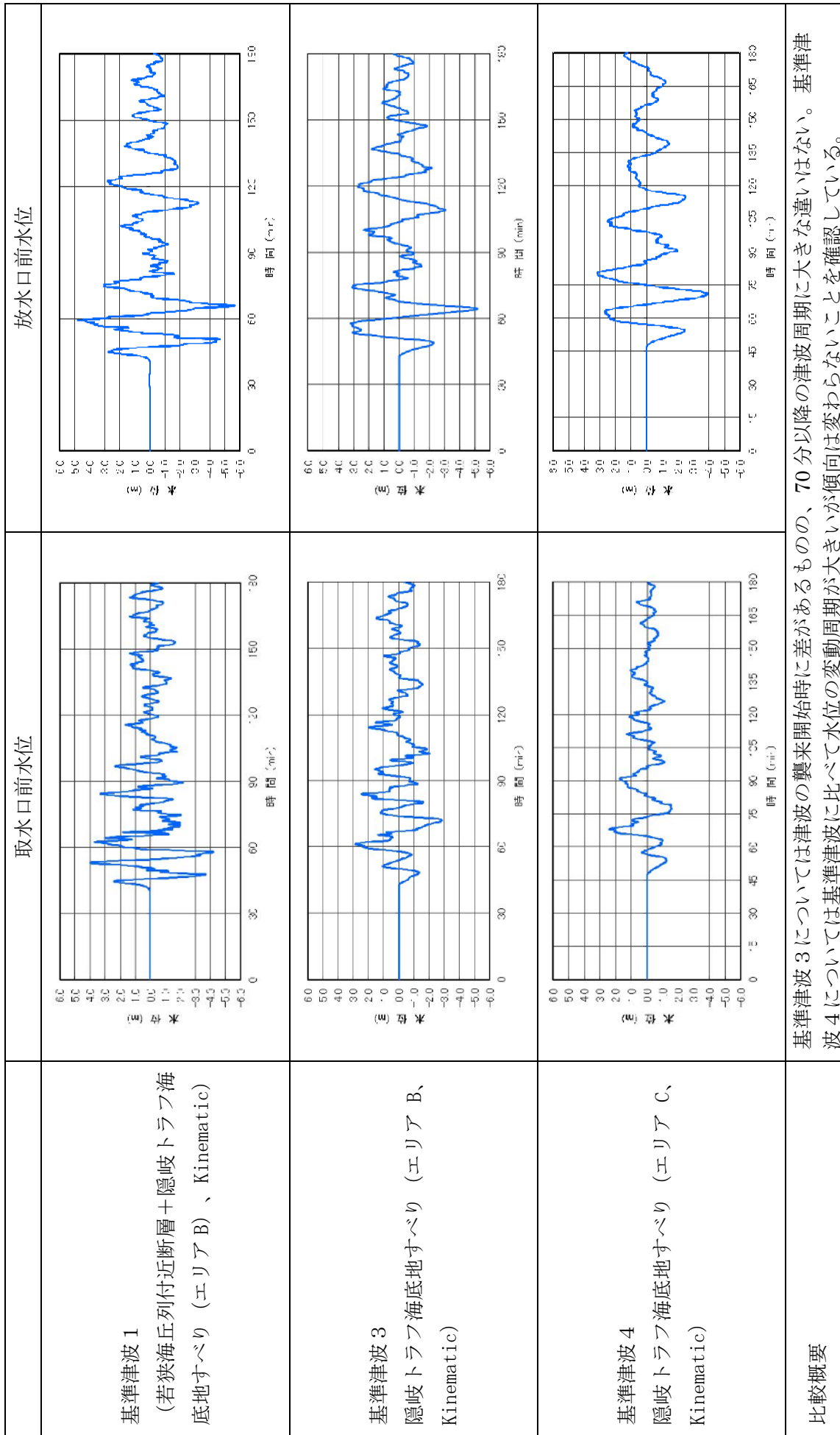


図 1 基準津波の波形の比較

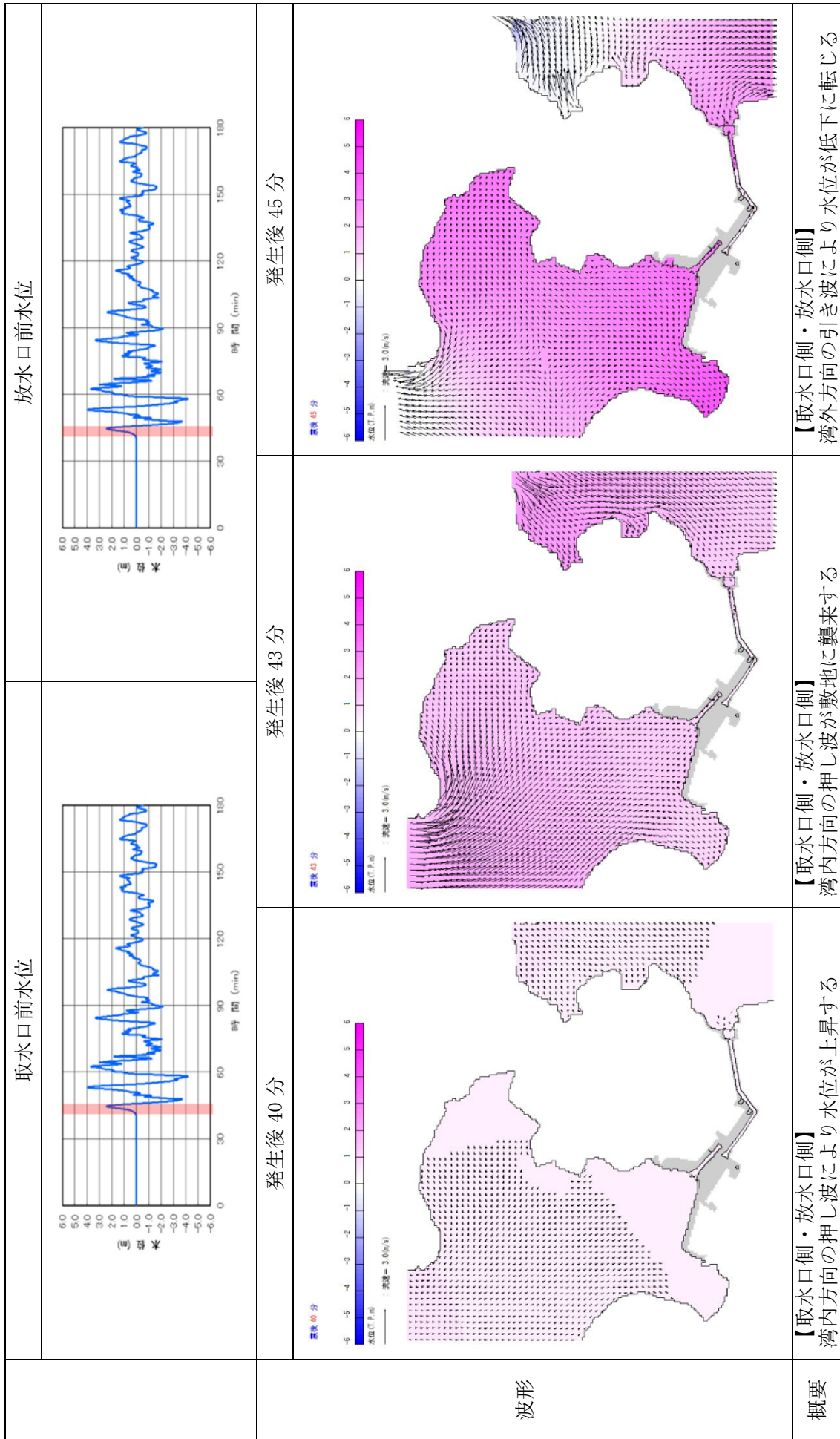


図 2 (1/3) 基準津波 1 の流向・流速の概要

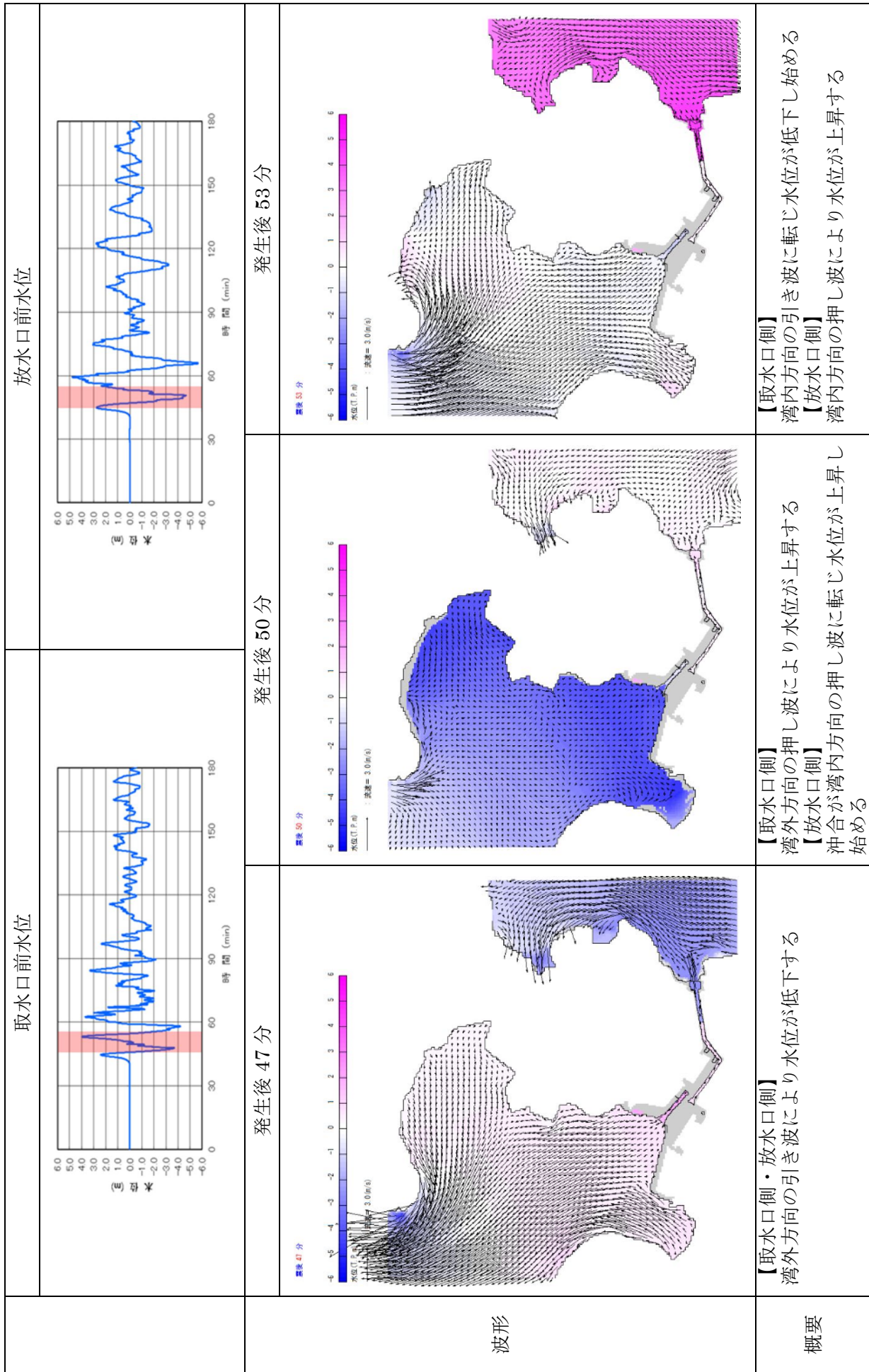


図 2 (2/3) 基準津波 1 の流向・流速の概要

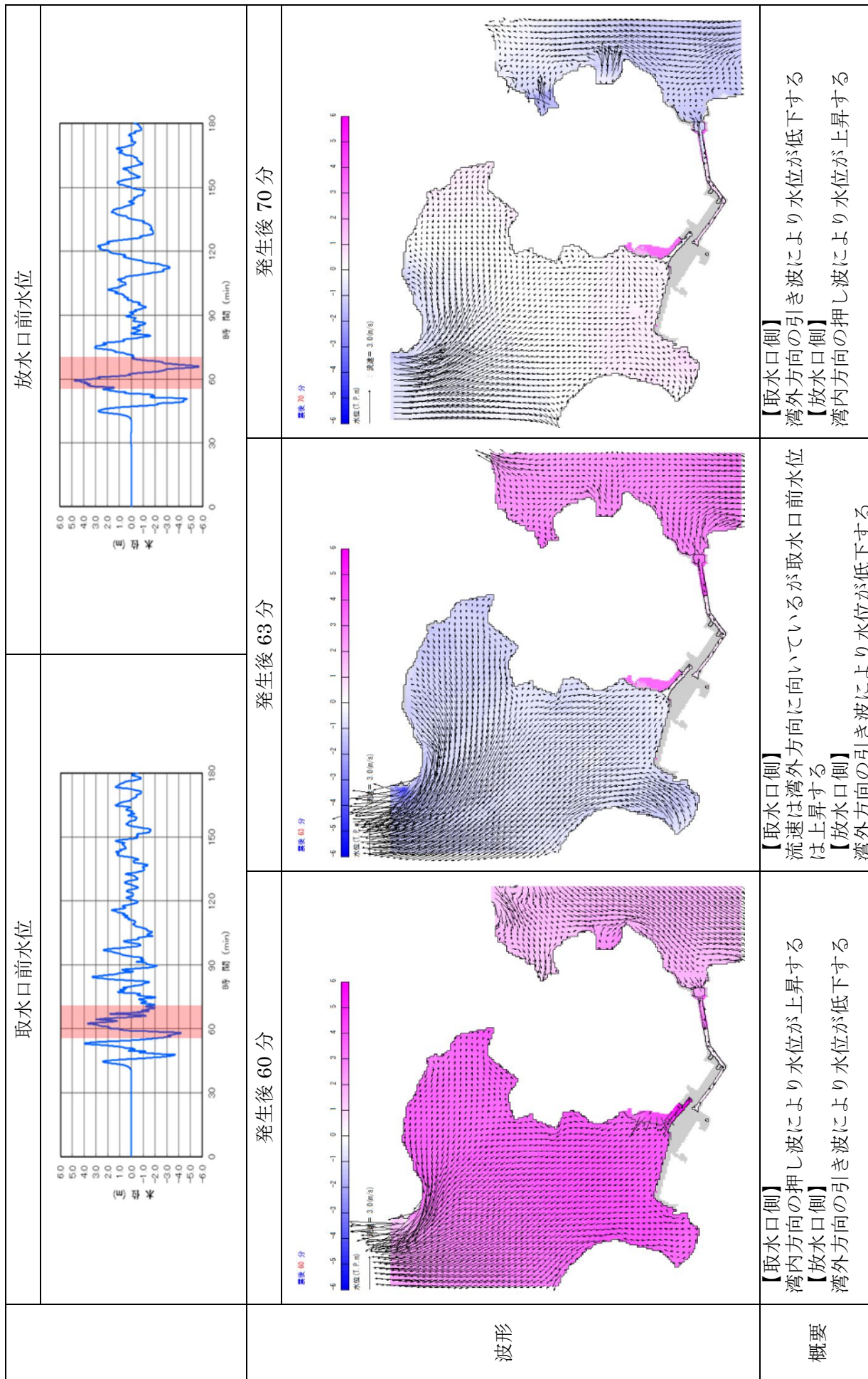


図 2 (3/3) 基準津波 1 の流向・流速の概要

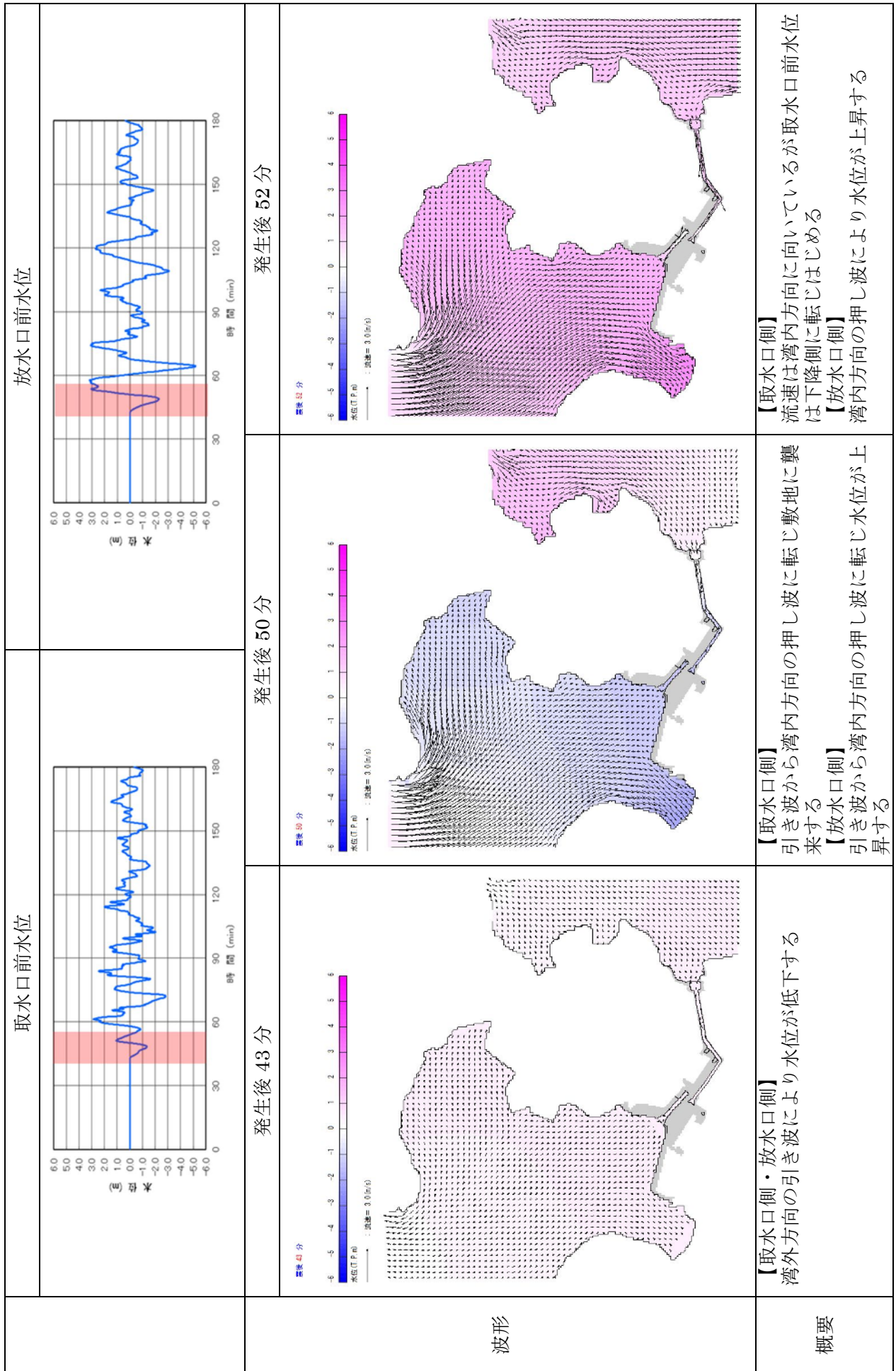


図 3 (1/4) 基準津波 3 の流向・流速の概要

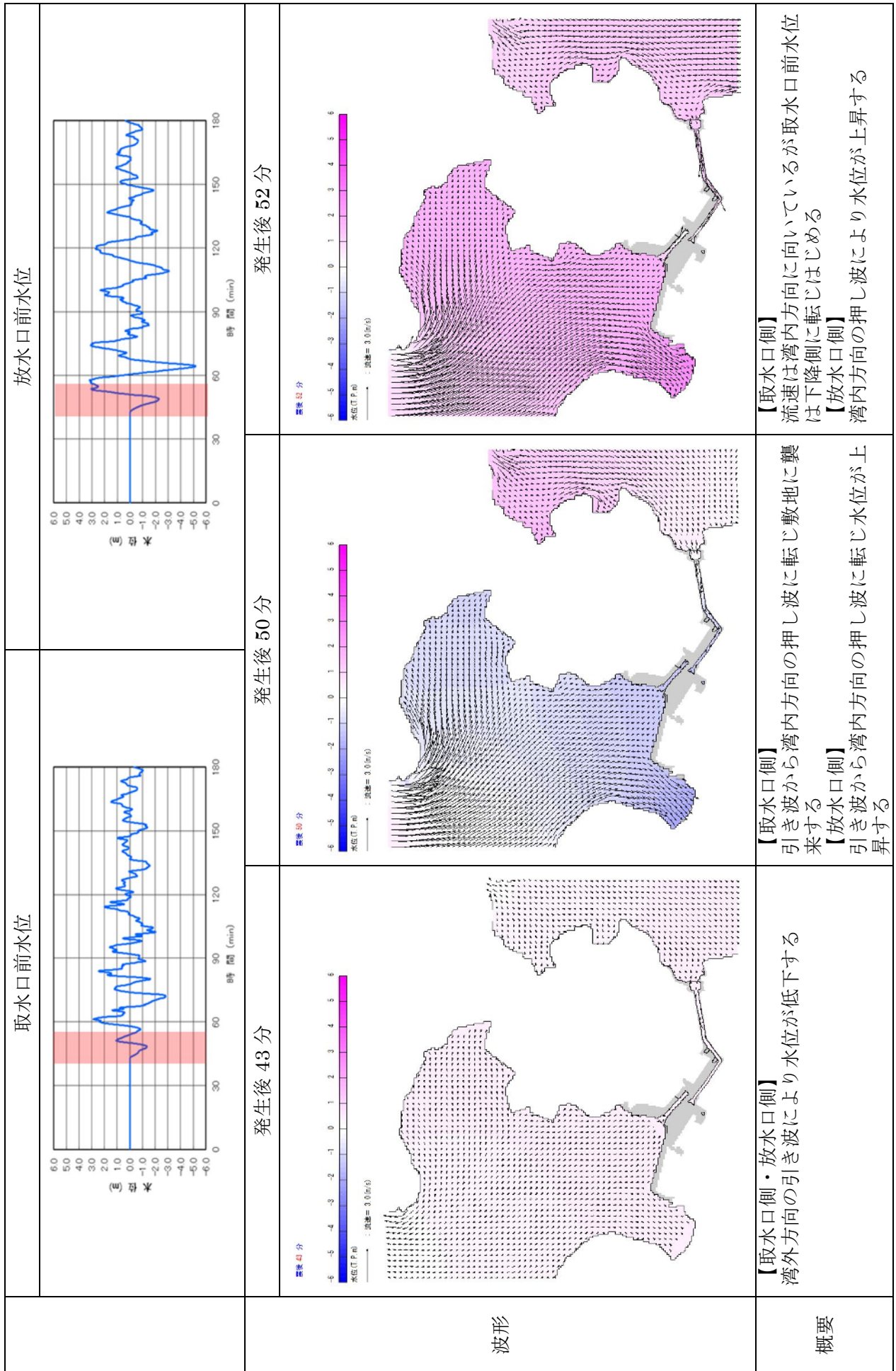


図 3 (2/4) 基準津波 3 の流向・流速の概要

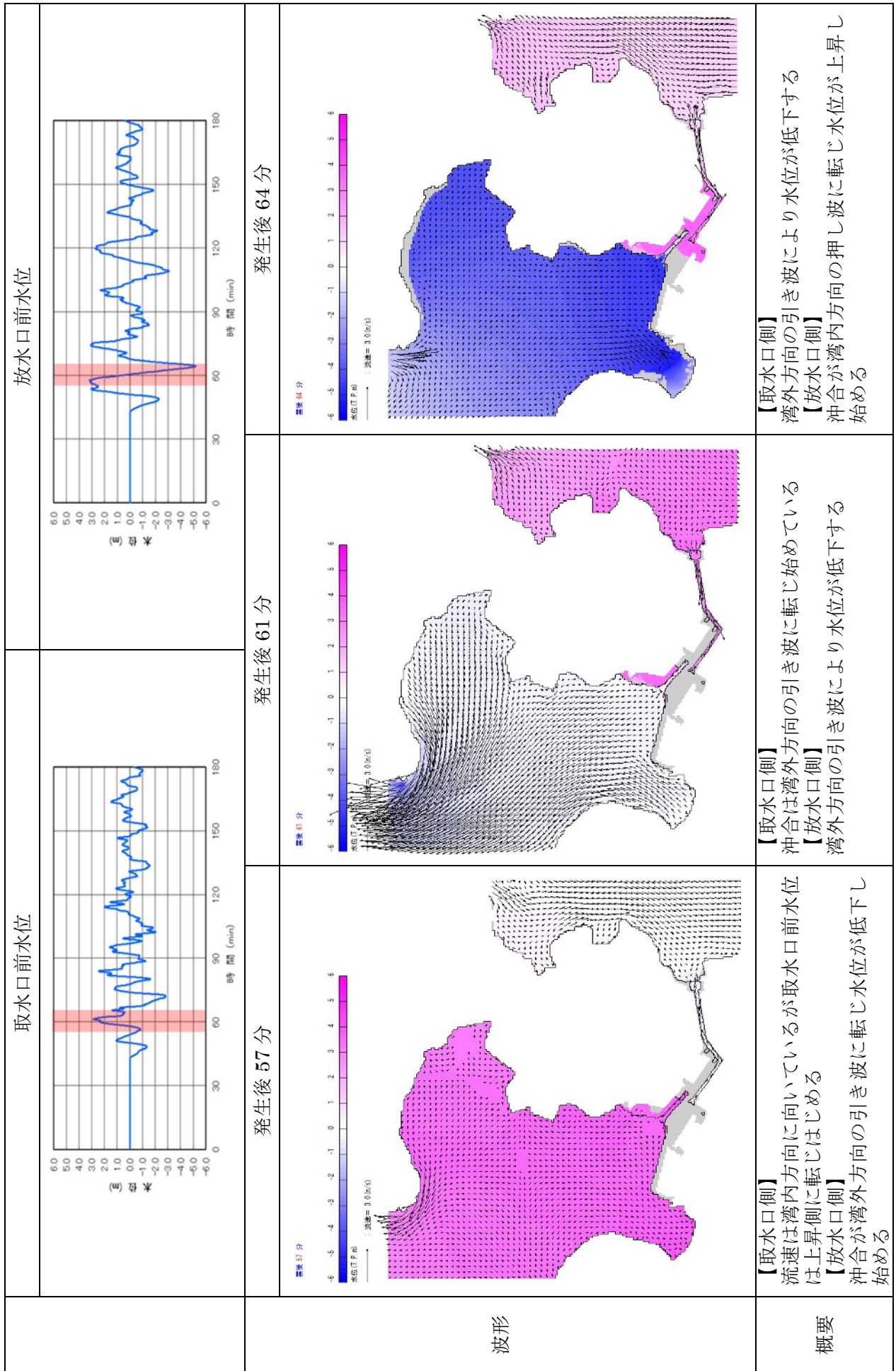


図 3 (3/4) 基準津波 3 の流向・流速の概要

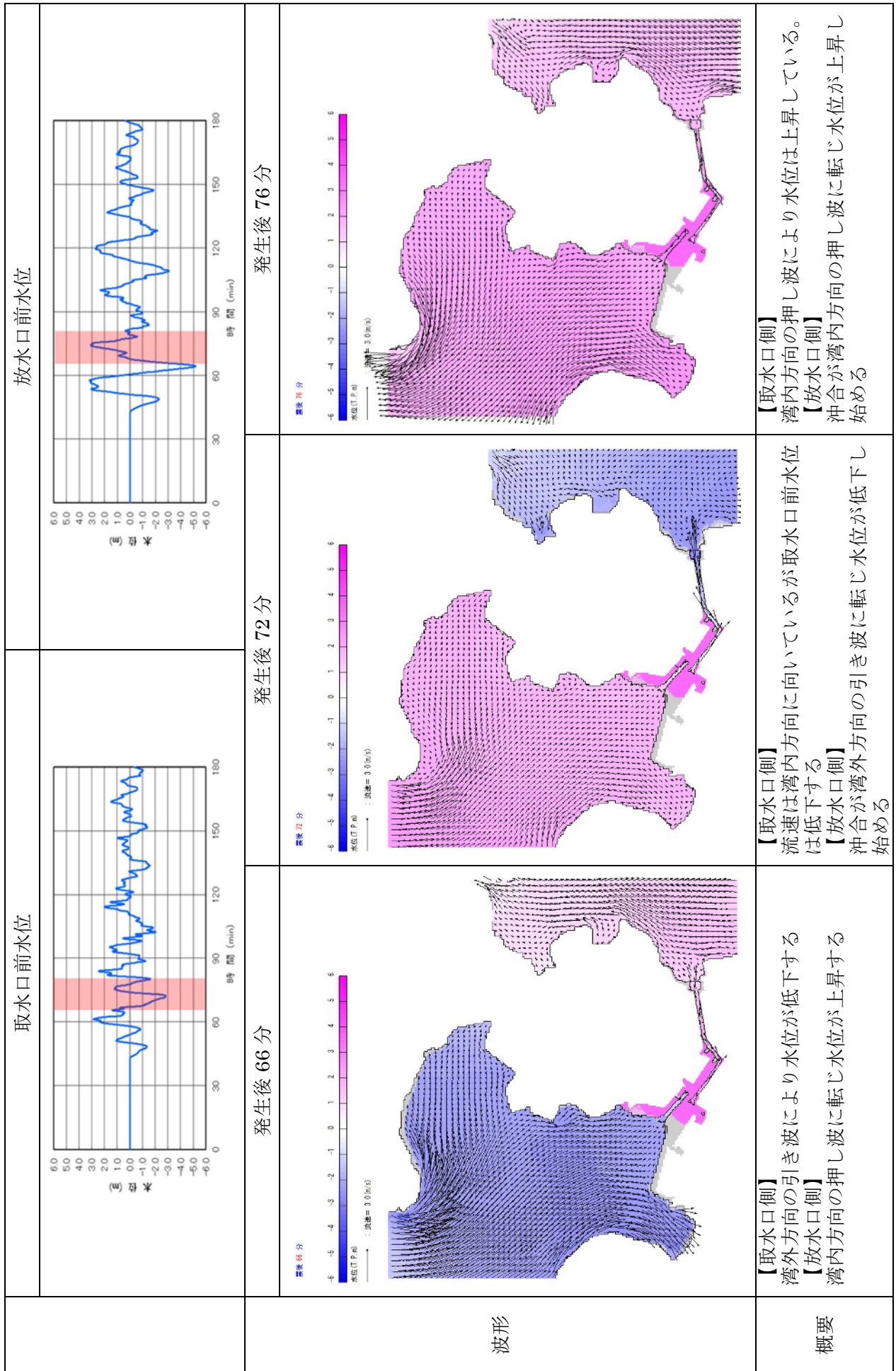


図 3 (4/4) 基準津波 3 の流向・流速の概要

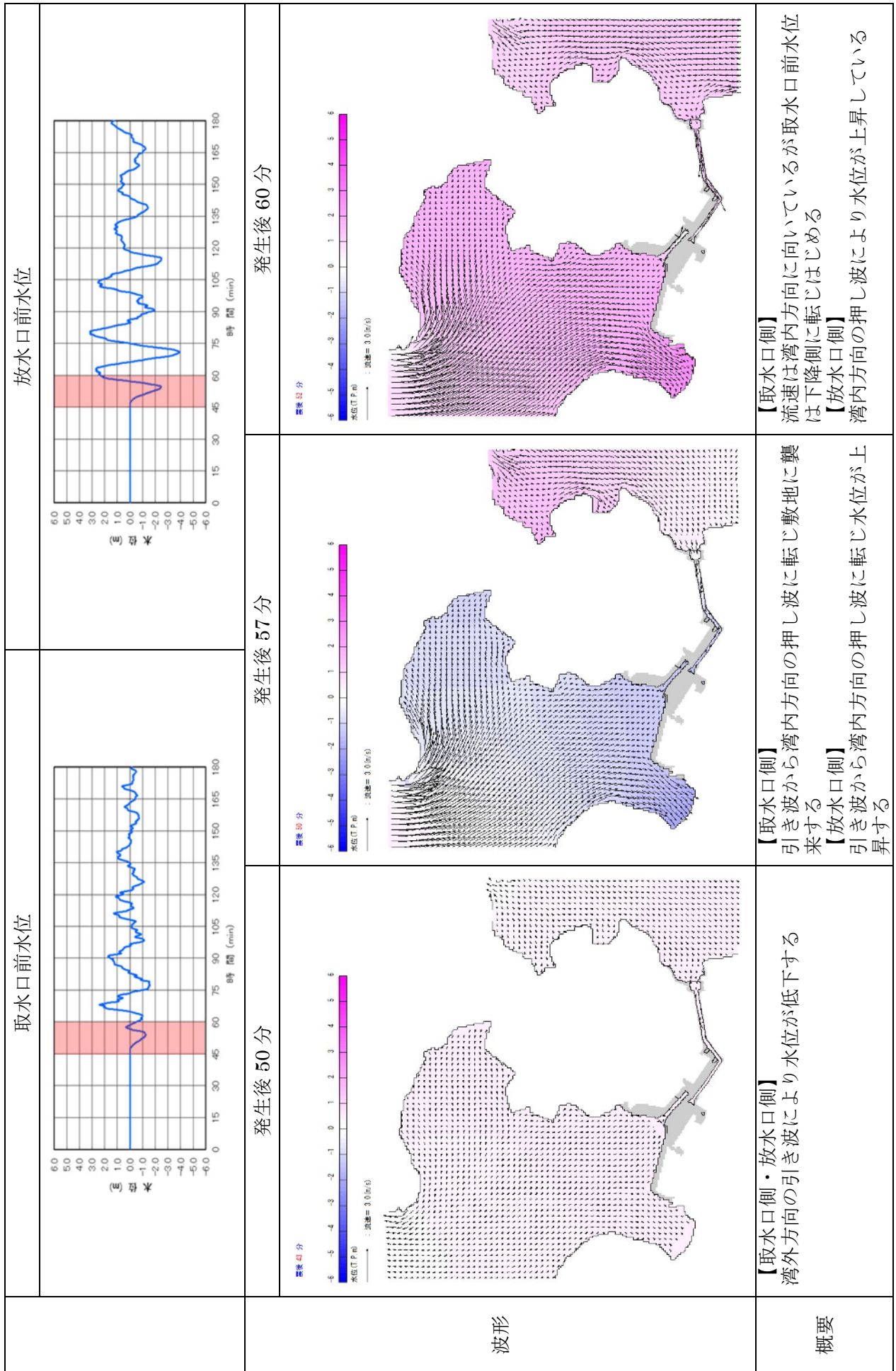


図 4 (1/2) 基準津波 4 の流向・流速の概要

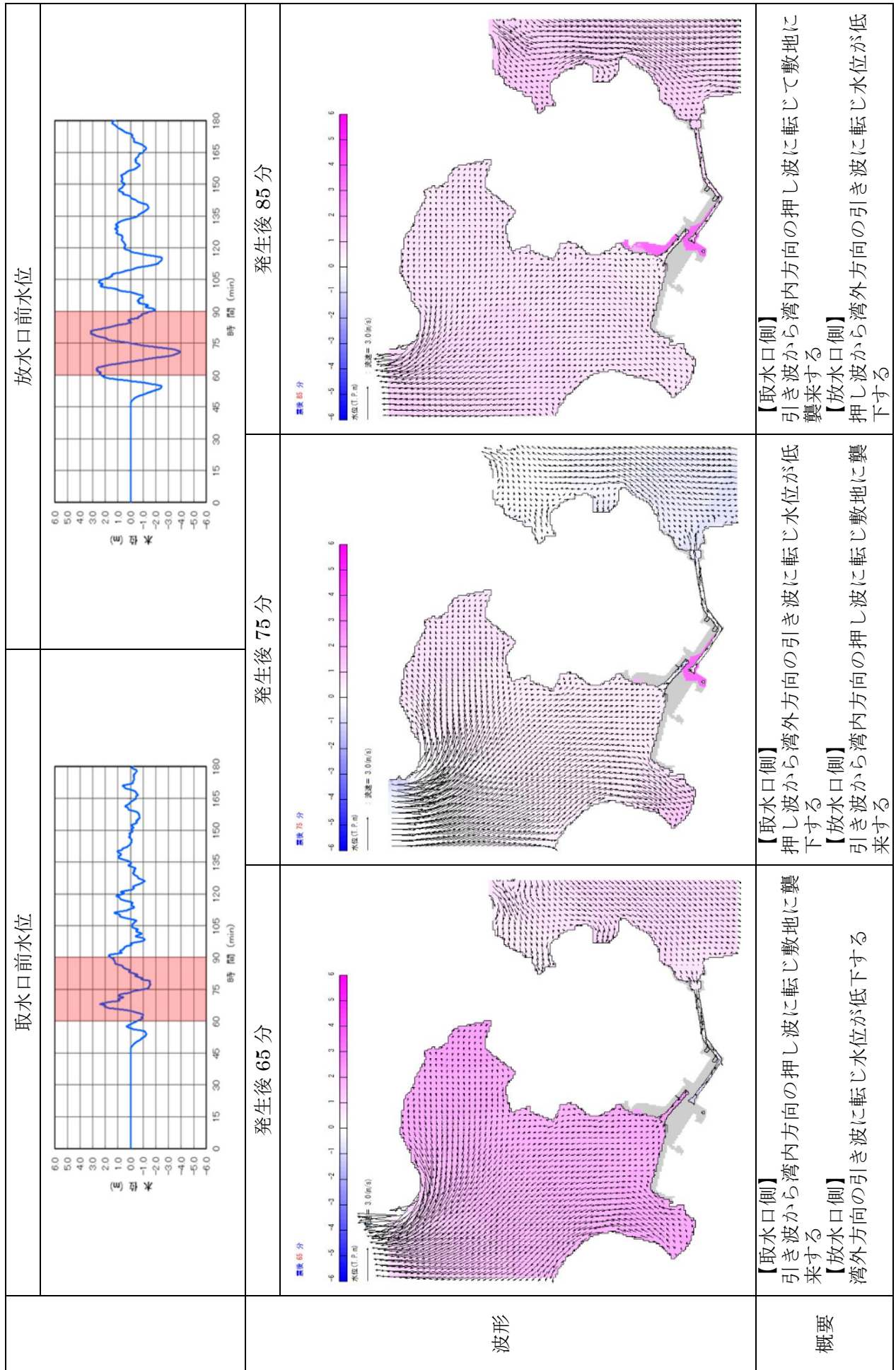
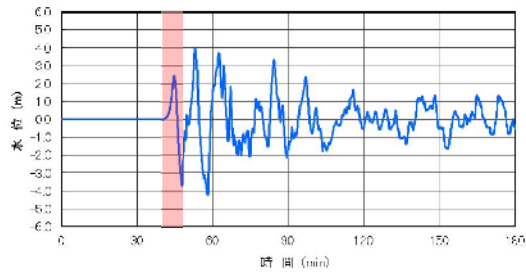


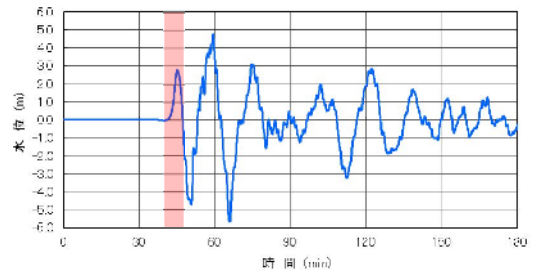
図 4 (2/2) 基準津波 4 の流向・流速の概要

3. 基準津波の流速および流向の詳細確認

水位上昇側である基準津波 1（若狭海丘列付近断層と隠岐トラフ海底地すべりエリア B の一体計算）は、地震発生後約 40 分後に敷地前面に到達し、地形に沿って少しずつ向きを変えながら、約 43 分後に湾内に真直ぐ侵入する向きを主流として敷地に襲来する。基準津波 1 の流速及び流向について詳細に確認したものを図 5 に示す。



基準津波 1 (取水口前面)



基準津波 1 (1号及び2号炉放水口前面)

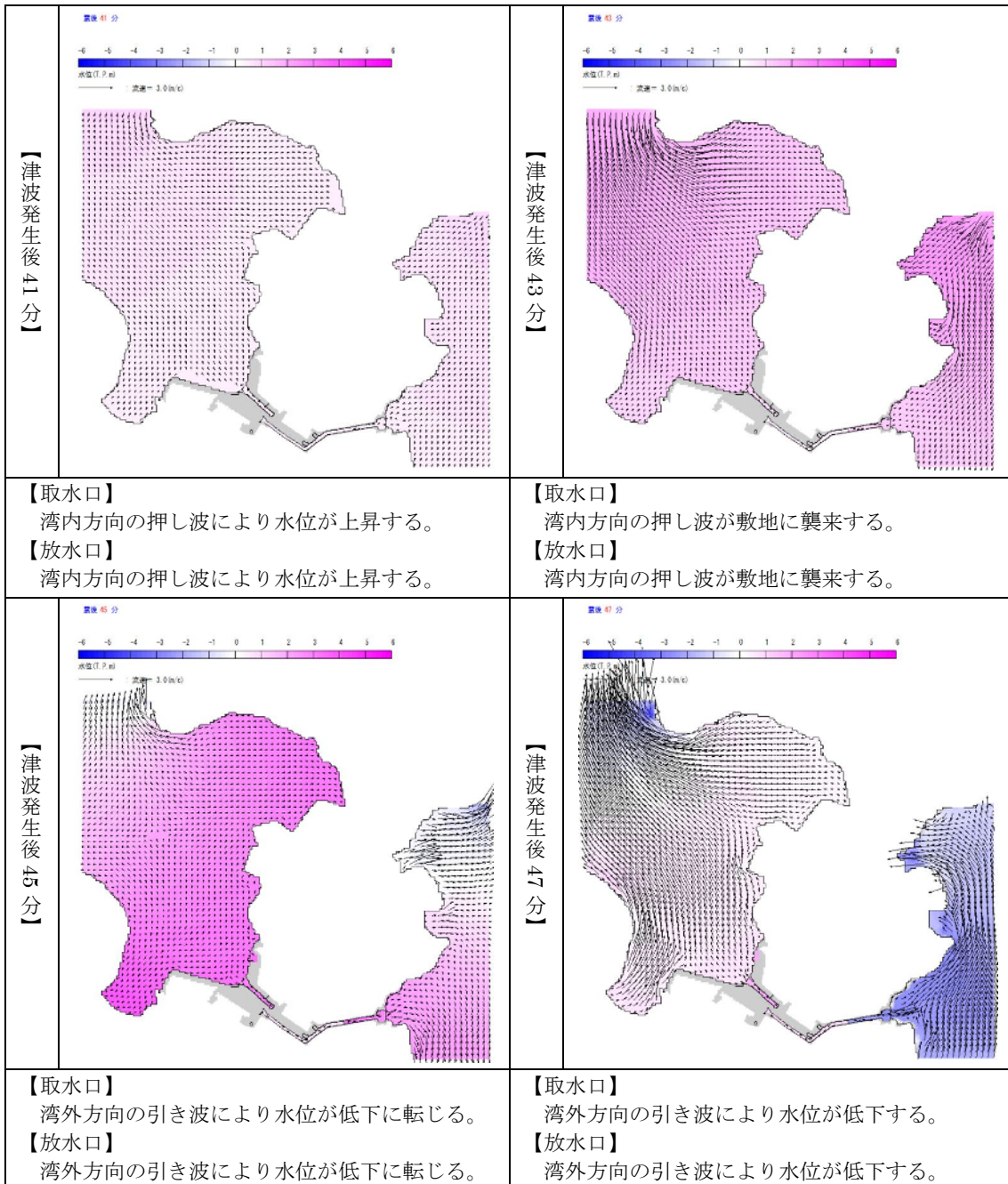
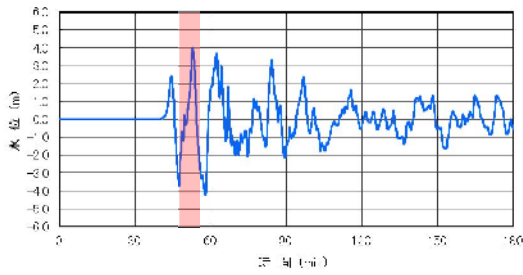
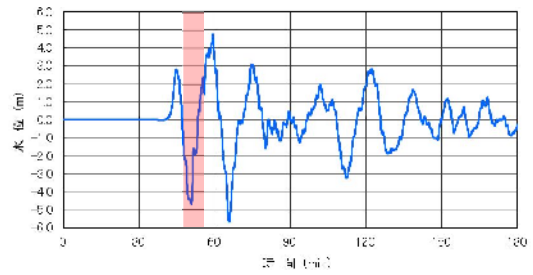


図 5 (1/6) 基準津波 1 の流速及び流向



基準津波 1 (取水口前面)



基準津波 1 (1号及び2号炉放水口前面)

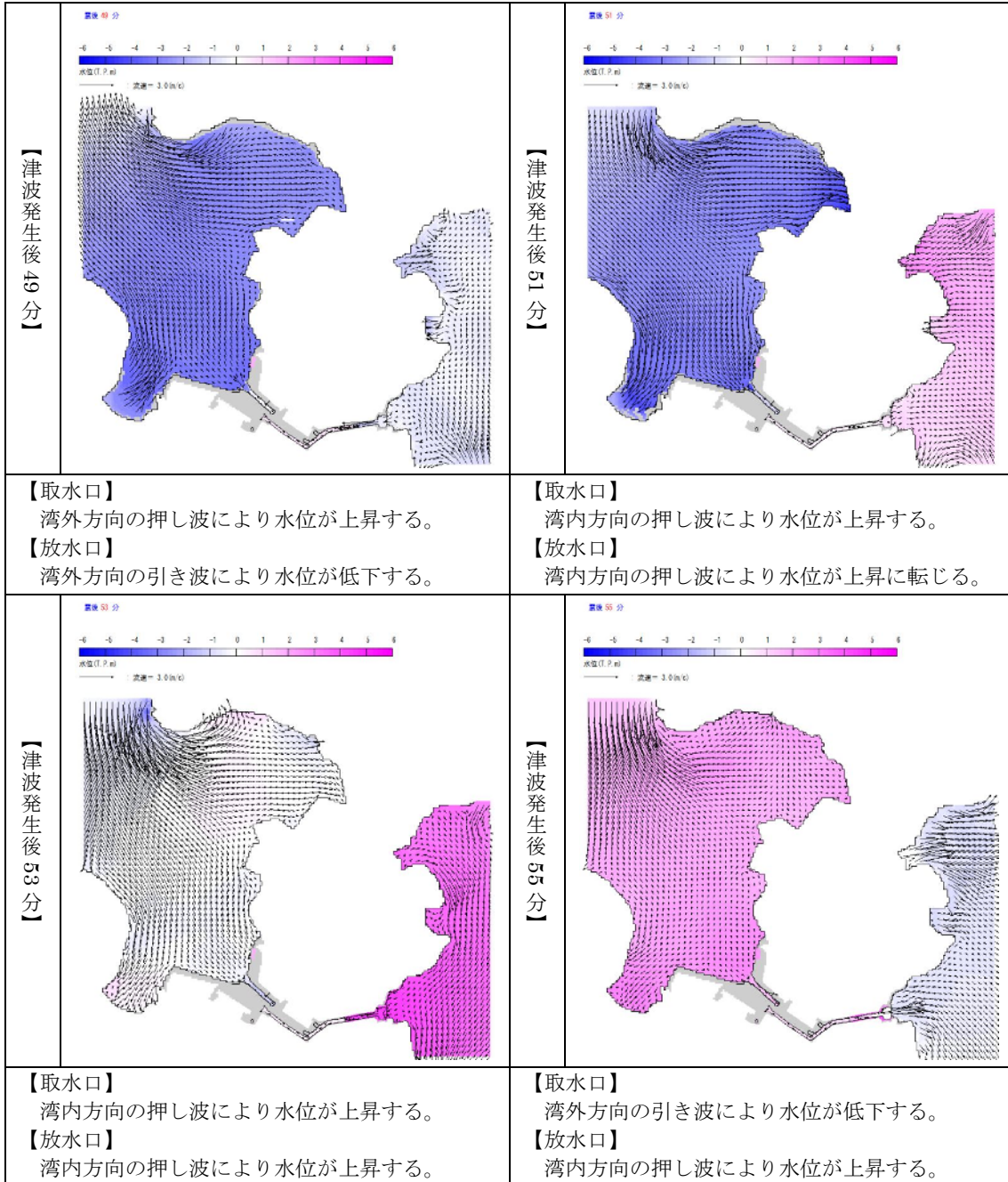
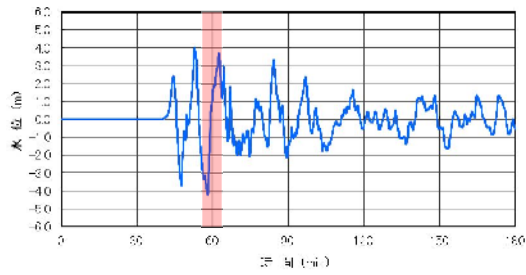
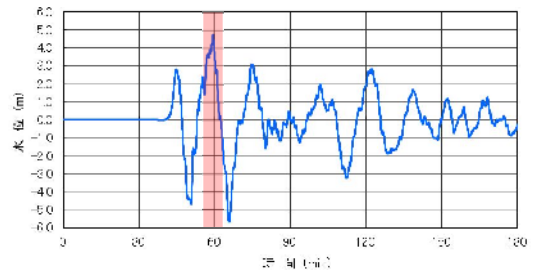


図 5 (2/6) 基準津波 1 の流速及び流向



基準津波 1 (取水口前面)



基準津波 1 (1号及び2号炉放水口前面)

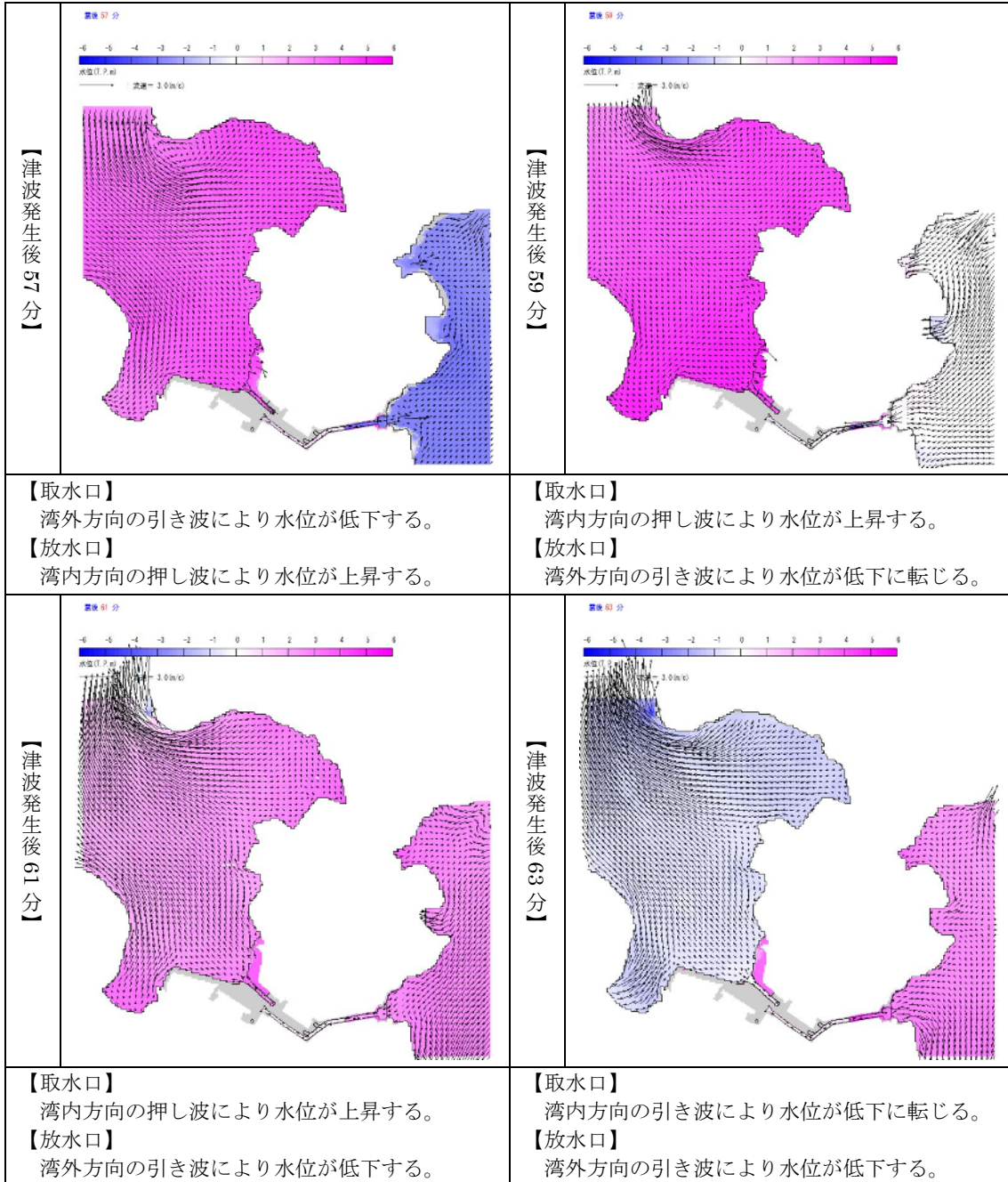
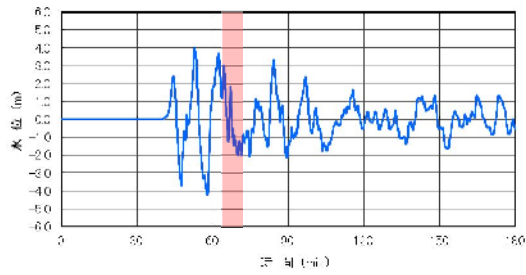
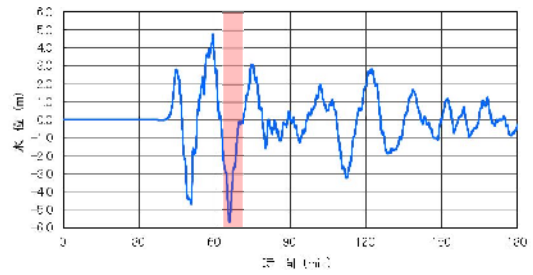


図 5 (3/6) 基準津波 1 の流速及び流向



基準津波 1 (取水口前面)



基準津波 1 (1号及び2号炉放水口前面)

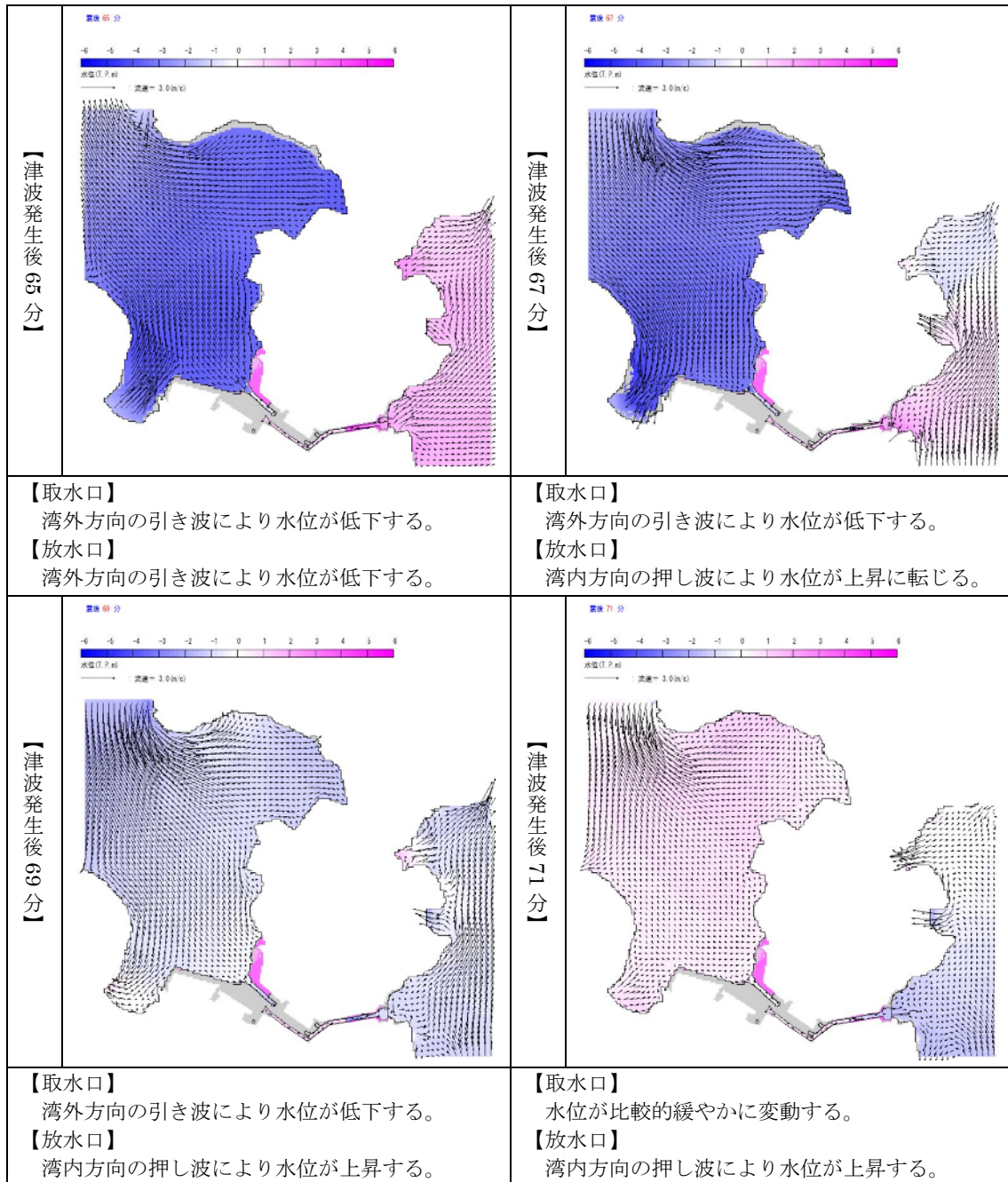
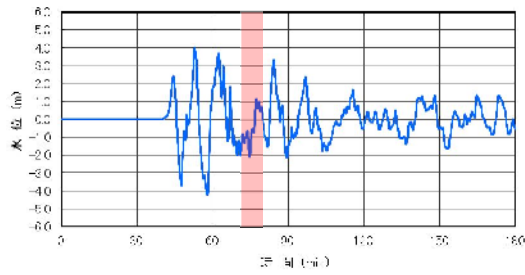
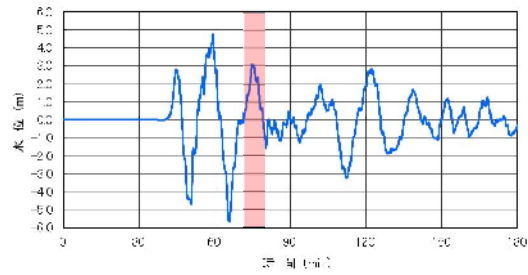


図 5 (4/6) 基準津波 1 の流速及び流向



基準津波 1 (取水口前面)



基準津波 1 (1号及び2号炉放水口前面)

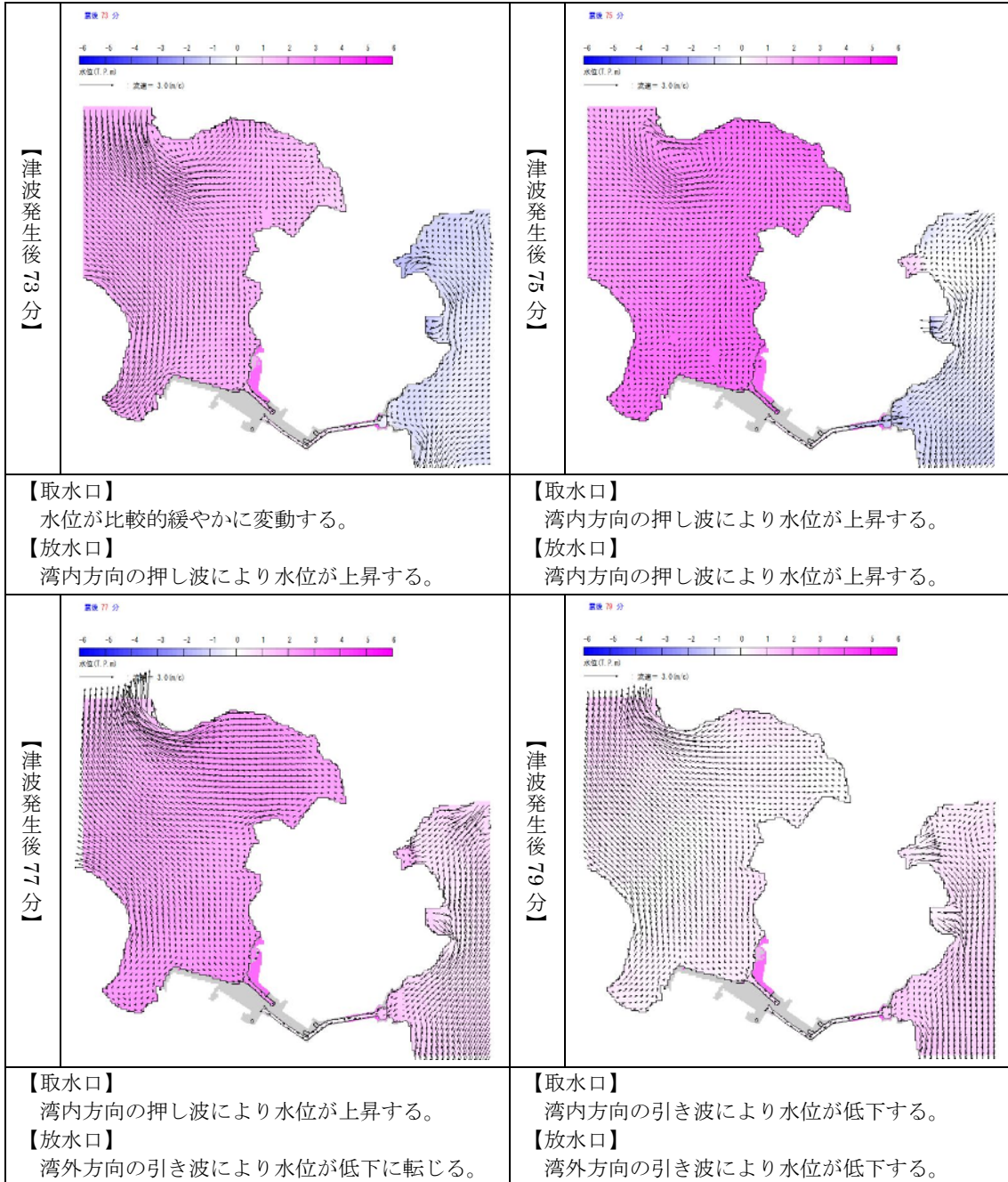
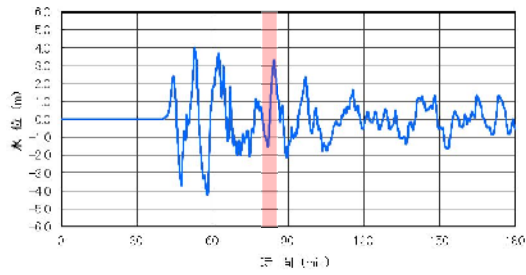
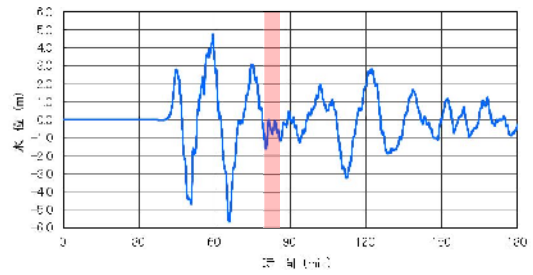


図 5 (5/6) 基準津波 1 の流速及び流向



基準津波 1 (取水口前面)



基準津波 1 (1号及び2号炉放水口前面)

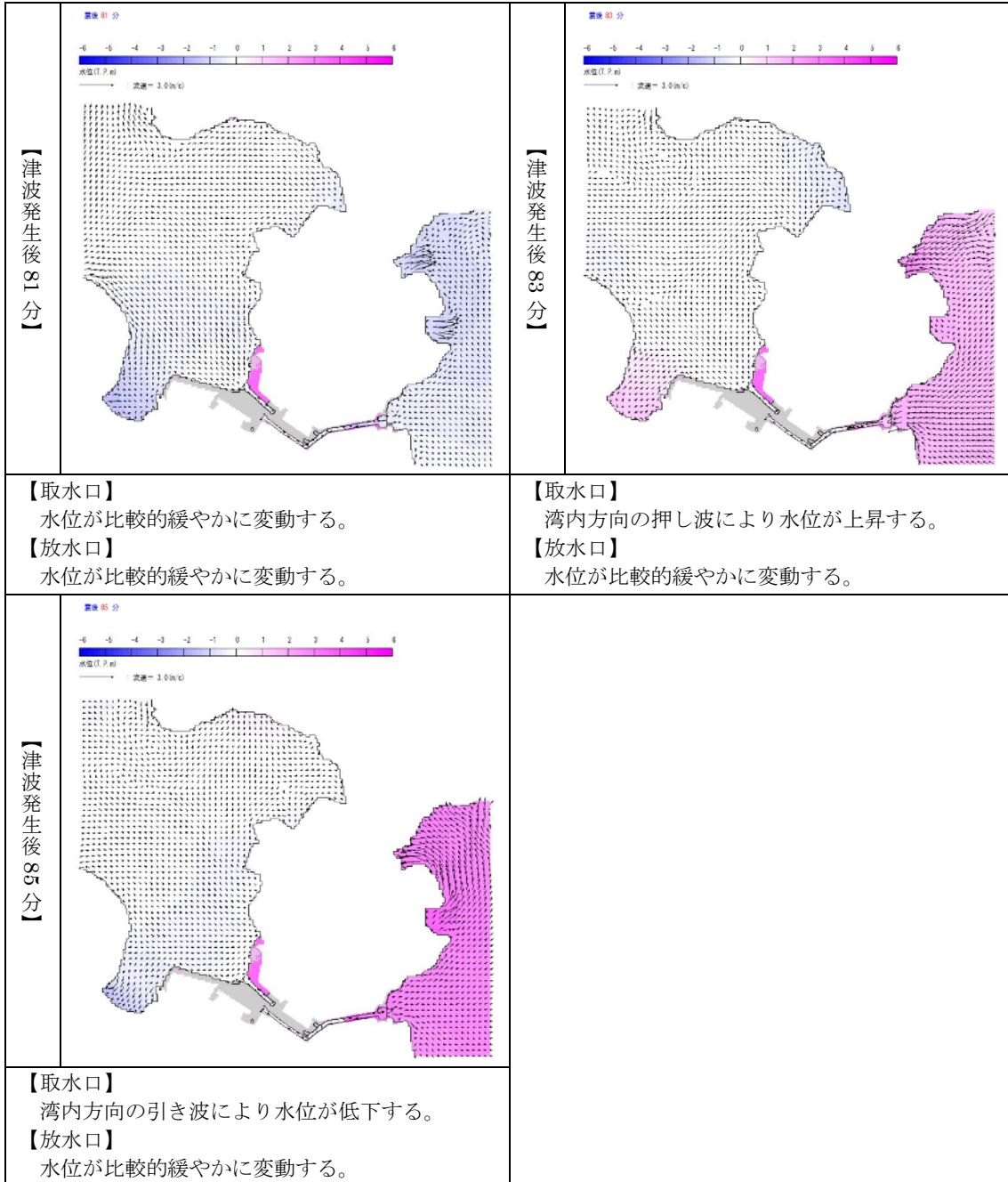


図 5 (6/6) 基準津波 1 の流速及び流向

取水路防潮ゲートの保守作業時の対応について

1. 概要

防潮ゲートについては、ゲート落下機構への遠隔閉止信号によりゲートが落下できること（以下、遠隔閉止機能という。）を運転上の制限としている。防潮ゲートの一部の保守作業においては、遠隔閉止機能が停止する期間が生じることから、当該期間中において津波警報が発表されない津波が襲来した場合及び大津波警報が発表された場合の対応について説明するものである。

2. 対象となる保守作業の概要

遠隔閉止機能が停止する期間が生じる作業は、防潮ゲートの直下清掃及び防潮ゲートの取替えである。

防潮ゲートの直下清掃は、潜水作業員により水路内の海生生物等を除去する作業である。潜水作業員の安全確保の観点で、図-1 のとおり、清掃作業中は休止ピンとストッパーを挿入することでゲートが落下しない処置を講じるため、遠隔閉止機能が停止する。一方、防潮ゲートの取替えについては、図-2 のとおり、ゲート落下機構を取り外して、クレーンによりゲートを取替える作業であるため、遠隔閉止機能が停止する。

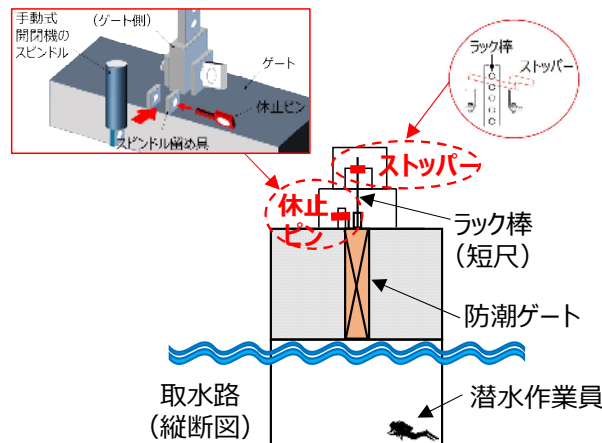


図-1 防潮ゲート直下清掃時の概要図

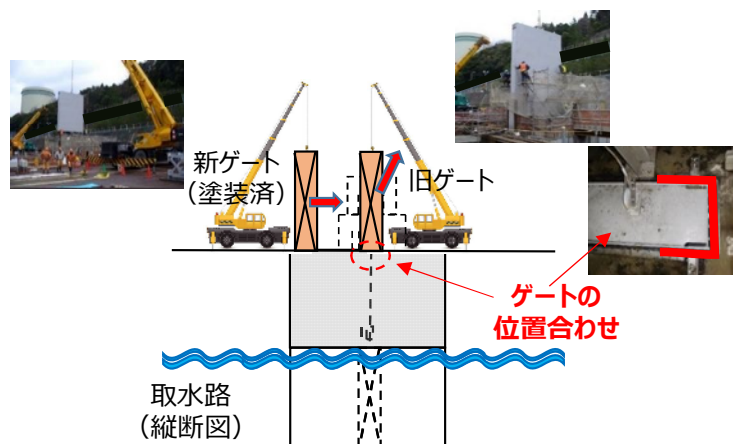


図-2 防潮ゲート取替え時の概要図

3. 津波警報が発表されない津波襲来時の対応について

3.1 対応方針について

上記の保守作業時において、津波警報が発表されない津波が襲来した場合は以下のとおり対応する。

(i) 作業は、天候や波浪状況が安定していること、及び敷地外の潮位計で欠測がなく、潮位の確認が出来る状態で実施する。万が一、作業中に敷地外の潮位の確認が出来ない状態となった場合には、直ちに作業を中断し、作業前の状態に復旧する。

(ii) 敷地外の潮位計にて情報発信された場合は、中央制御室から現場作業員へ連絡し、作業中断の上、津波襲来までに作業前のゲート開閉状態に復旧する。

これらの対応を図ることにより発電所の安全性に影響はない。また、津波襲来前に作業員が退避可能であるため、作業安全性の確保が可能である。

本運用は、保安規定に反映することとし、内容としては、予防保全を目的とした点検・保守を実施する設備に防潮ゲートを追加、および添付2の津波の項に作業実施時には、体制を確保し、維持すること等を規定する。

3.2 対応手順及び所要時間について

防潮ゲートの直下清掃時及び防潮ゲートの取替え時における対応手順及び所要時間を図-3、図-4に示す。敷地外の潮位計にて情報発信された後、同図に示す手順で対応することにより、高浜発電所に津波が到達する前に、作業前のゲート開閉状態に復旧することが可能である。

具体的には、防潮ゲートの直下清掃時については、敷地外の潮位計にて情報発信された後、中央制御室から現場作業員に連絡し、休止ピンとストッパーを解除することにより、作業前のゲート開閉状態に復旧可能である。

また、防潮ゲートの取替え時については、敷地外の潮位計にて情報発信された後、中央制御室から現場作業員に連絡したタイミングが、「ゲートが位置合わせにはめ込んでいる状態（ケース①）」であれば、そのままゲートを閉止し、「旧ゲートを取り外した後（ケース②）」であれば、新ゲートを位置合わせにはめ込んだ後に新ゲートを閉止することで、作業前のゲート開閉状態に復旧可能である。なお、リスク回避の観点から旧ゲートを引き抜く前には、敷地外の潮位データを確認し、異常がないことを判断して作業を行う。

		「隠岐トラフ海底地すべり」による津波発生からの経過時間（分）		青旗作業中の対応	
				時間	説明
中央制御室	高浜発電所における潮位変動が判断基準に到達	▽潮位変動が判断基準に到達			-
	連絡体制に基づき作業関係者への連絡	▽敷地外の観測地点に津波到達31分		2分	-
	循環水ポンプ停止			5分	-
	ユニットトリップ操作	高浜発電所に津波到達43分▽			-
	防潮ゲート閉止（遠隔閉止）	判断連絡時間含む		1分	高浜発電所における潮位変動が判断基準に到達して、6分後に防潮ゲート閉止
	敷地外の潮位計にて情報発信				-
現地	直下清掃時	潜水作業員退避		1分	-
	防潮ゲート	防潮ゲート落下防止処置（休止ピン、ストッパー）の解除		1分	-

図-3 防潮ゲートの直下清掃に係る津波襲来時の対応手順及び所要時間
（津波警報が発表されない津波襲来時）

		「隠岐トラフ海底地すべり」による津波発生からの経過時間（分）		青旗作業中の対応	
				時間	説明
中央制御室	高浜発電所における潮位変動が判断基準に到達	▽潮位変動が判断基準に到達			-
	連絡体制に基づき作業関係者への連絡	▽敷地外の観測地点に津波到達31分		2分	-
	循環水ポンプ停止			5分	-
	ユニットトリップ操作	高浜発電所に津波到達43分▽			-
	防潮ゲート閉止（遠隔閉止）	判断連絡時間含む		1分	高浜発電所での潮位変動が判断基準に到達し、6分後にゲート閉止
	敷地外の潮位計にて情報発信				-
現地	ケース①	クレーンによる防潮ゲート閉止		1分	ゲート降下距離6m、クレーン巻上フック速度約10m/分より1分と評価
	ケース②	クレーンによる防潮ゲート据付け・閉止		11分	ゲート設置時の実績から10分以内で据付け可能 ゲート降下距離12m、クレーン巻上フック速度約10m/分より2分と評価

図-4 防潮ゲートの取替え時の対応手順及び所要時間
（津波警報が発表されない津波襲来時）

4. 大津波警報発表時の対応について

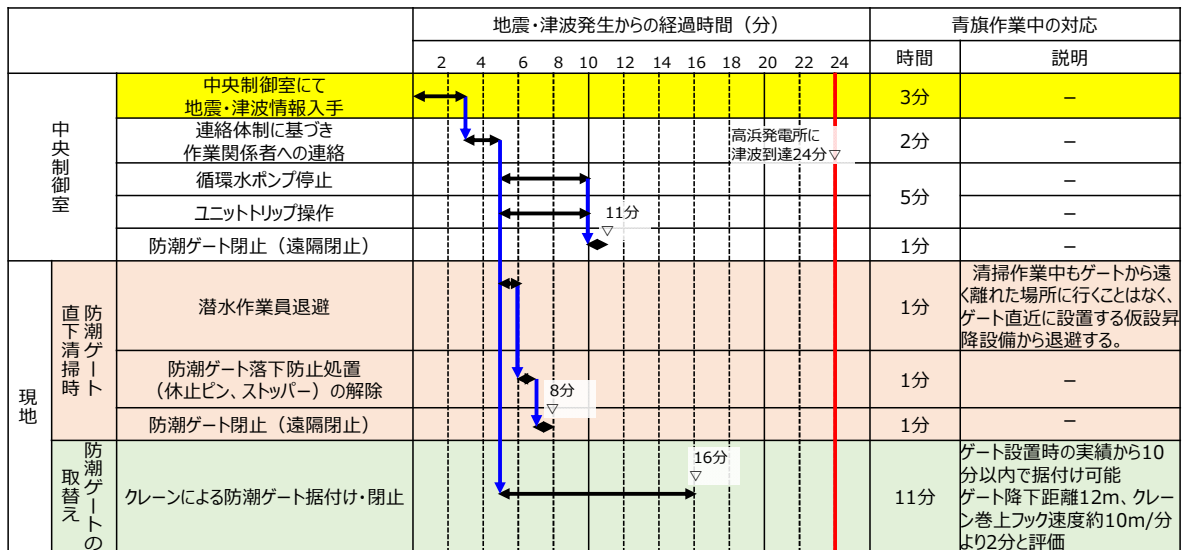
4.1 対応方針について

大津波警報が発表された場合は、中央制御室から現場作業員へ連絡し、作業中断の上、津波襲来までに防潮ゲートを閉止することにより、発電所の安全性に影響はない。また、津波襲来前に作業員が退避可能であるため、作業安全性の確保が可能である。

なお、本運用についても、津波警報が発表されない津波襲来時と同様に、保安規定に反映することとし、内容としては、予防保全を目的とした点検・保守を実施する設備に防潮ゲートを追加、および添付2の津波の項に作業実施時には、体制を確保し、維持すること等を規定する。

4.2 対応手順及び所要時間について

対応手順と所要時間を図-5に示す。同図に示す手順で対応することにより、高浜発電所に津波が到達するまでに防潮ゲートの閉止が可能である。



※既許可の基準津波評価において、防潮ゲート閉条件の場合、「大陸棚外縁～B～野坂断層」を波源とする津波が高浜発電所に最も早く津波が到達するため、その到達時間である24分を指標としている。

図-5 防潮ゲート保守作業に係る対応手順及び所要時間
（大津波警報発表時）

補足資料11.

関連条文の整理

関係性欄の凡例

今回申請での関係条文	○
今回申請での無関係の条文	×

既許可変更有無欄の凡例

既許可変更有り	○
既許可変更無し	×

条文 (設置許可基準)		関係性	既許可 変更有無	備考
第1条	適用範囲	×	×	適用する基準（法令）についての説明であり、要求事項ではないため、関係条文ではない。
第2条	定義	×	×	言葉の定義であり、要求事項ではないため、関係条文ではない。
第3条	設計基準対象施設の地盤	×	×	本申請においては、本条文に關係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、設計基準対象施設の地盤に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第4条	地震による損傷の防止	×	×	本申請においては、本条文に關係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、地震による損傷の防止に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第5条	津波による損傷の防止	○	○	本条文は設計基準対象施設に關しての津波に係る条文であり、本申請に伴い、設置許可申請書の記載を変更する。
第6条	外部からの衝撃による損傷の防止	×	×	本申請においては、本条文に關係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、外部からの衝撃による損傷の防止に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第7条	発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	○	×	本条文は発電用原子炉全般に關するが、本申請においては、本条文に關係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第8条	火災による損傷の防止	×	×	本申請においては、本条文に關係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、火災による損傷の防止に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第9条	溢水による損傷の防止等	×	×	本申請においては、本条文に關係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、溢水による損傷の防止等に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第10条	誤操作の防止	×	×	本申請においては、本条文に關係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、誤操作の防止に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。

条文 (設置許可基準)		関係性	既許可 変更有無	備考
第 11 条	安全避難通路等	○	×	本条文は発電用原子炉全般に関係するが、本申請においては、本条文に係る設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、安全避難通路等に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 12 条	安全施設	○	○	本申請において、潮位計の安全機能について明記することから、設置許可申請書の記載を変更する。
第 13 条	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止	×	×	本申請においては、本条文に係る設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 14 条	全交流動力電源喪失対策設備	×	×	本申請においては、本条文に係る設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、全交流動力電源喪失対策設備に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 15 条	炉心等	×	×	本申請においては、本条文に係る設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、炉心等に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 16 条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	×	×	本申請においては、本条文に係る設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 17 条	原子炉冷却材圧力バウンダリ	×	×	本申請においては、本条文に係る設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、原子炉冷却材圧力バウンダリに係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 18 条	蒸気タービン	×	×	本申請においては、本条文に係る設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、蒸気タービンに係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 19 条	非常用炉心冷却設備	×	×	本申請においては、本条文に係る設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、非常用炉心冷却設備に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 20 条	一次冷却材の減少分を補給する設備	×	×	本申請においては、本条文に係る設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、一次冷却材の減少分を補給する設備に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。

条文 (設置許可基準)		関係性	既許可 変更有無	備考
第 21 条	残留熱を除去することができる設備	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、残留熱を除去することができる設備に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 22 条	最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備	○	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 23 条	計測制御系統施設	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、計測制御系統施設に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 24 条	安全保護回路	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、安全保護回路に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 25 条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、反応度制御系統及び原子炉停止系統に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 26 条	原子炉制御室等	○	○	本申請に伴い、外部状況を把握する設備としての潮位計に関する記載を変更することから、設置許可申請書の記載を変更する。
第 27 条	放射性廃棄物の処理施設	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、放射性廃棄物の処理施設に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 28 条	放射性廃棄物の貯蔵施設	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、放射性廃棄物の貯蔵施設に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 29 条	工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 30 条	放射線からの放射線業務従事者の防護	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、放射線からの放射線業務従事者の防護に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。

条文 (設置許可基準)		関係性	既許可 変更有無	備考
第 31 条	監視設備	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、監視設備に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 32 条	原子炉格納施設	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、原子炉格納施設に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 33 条	保安電源設備	○	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、保安電源設備に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 34 条	緊急時対策所	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、緊急時対策所に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 35 条	通信連絡設備	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、通信連絡設備に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 36 条	補助ボイラー	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、補助ボイラーに係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 37 条	重大事故等の拡大の防止等	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、有効性評価に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 38 条	重大事故等対処施設の地盤	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、重大事故等対処施設に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 39 条	地震による損傷の防止	×	×	同上
第 40 条	津波による損傷の防止	○	○	本条文は重大事故等対処施設及び特定重大事故等対処施設に関しての津波に係る条文であり、本申請に伴い、設置許可申請書の記載を変更する。
第 41 条	火災による損傷の防止	×	×	本申請においては、本条文に関係する設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、重大事故等対処施設に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。

条文 (設置許可基準)		関係性	既許可 変更有無	備考
第 42 条	特定重大事故等 対処施設	○	×	本申請においては、本条文に係る設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、重大事故等対処施設に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 43 条	重大事故等対処 設備	○	×	同上
第 44 条	緊急停止失敗時 に発電用原子炉 を未臨界にする ための設備	○	×	同上
第 45 条	原子炉冷却材圧 力バウンダリ高 圧時に発電用原 子炉を冷却する ための設備	○	×	同上
第 46 条	原子炉冷却材圧 力バウンダリを 減圧するための 設備	○	×	同上
第 47 条	原子炉冷却材圧 力バウンダリ低 圧時に発電用原 子炉を冷却する ための設備	○	×	同上
第 48 条	最終ヒートシン クへ熱を輸送す るための設備	○	×	同上
第 49 条	原子炉格納容器 内の冷却等のた めの設備	○	×	同上
第 50 条	原子炉格納容器 の過圧破損を防 止するための設 備	○	×	同上
第 51 条	原子炉格納容器 下部の熔融炉心 を冷却するた めの設備	○	×	同上
第 52 条	水素爆発による 原子炉格納容器 の破損を防止す るための設備	○	×	同上
第 53 条	水素爆発による 原子炉建屋等の 損傷を防止す るための設備	○	×	同上
第 54 条	使用済燃料貯蔵 槽の冷却等のた めの設備	○	×	同上
第 55 条	工場等外への放 射性物質の拡散 を抑制するた めの設備	×	×	同上

条文 (設置許可基準)		関係性	既許可 変更有無	備考
第 56 条	重大事故等の収束に必要となる水の供給設備	○	×	本申請においては、本条文に係る設備に変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、重大事故等対処施設に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。
第 57 条	電源設備	○	×	同上
第 58 条	計装設備	○	×	同上
第 59 条	運転員が原子炉制御室にとどまるための設備	○	×	同上
第 60 条	監視測定設備	○	×	同上
第 61 条	緊急時対策所	○	×	同上
第 62 条	通信連絡を行うために必要な設備	○	×	同上

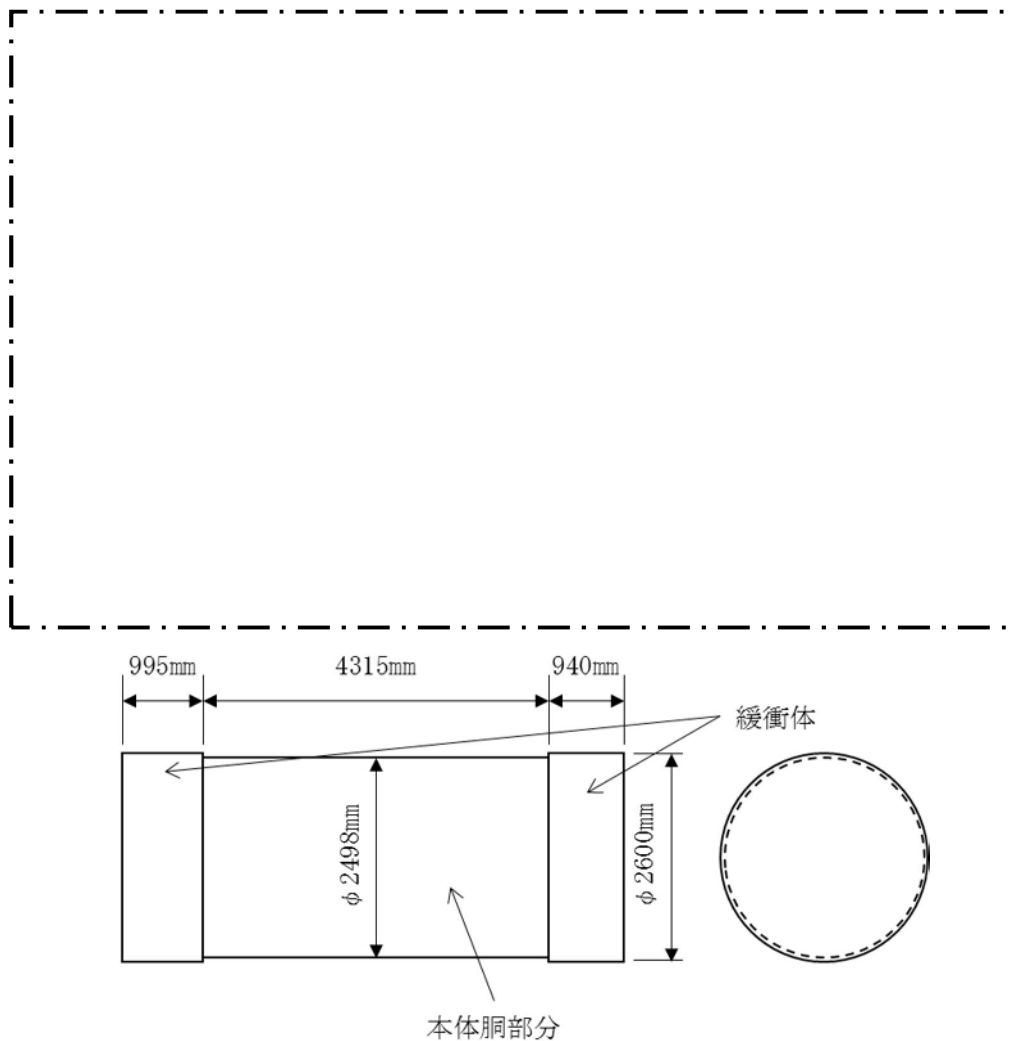
輸送物及び輸送車両の漂流物評価について

燃料等輸送船による輸送時の、陸側にある輸送物及び輸送車両の漂流物評価について以下の通り示す。

1. 燃料輸送

(1) 使用済燃料輸送容器

高浜発電所において使用する使用済燃料輸送容器であるNFT-14P型を評価対象とし、図1のように寸法を設定した。表1に輸送容器総重量を示す。



- ・ 本体胴部分の外径については、保守的にフィンの外径値を使用している
- ・ 緩衝体については中央に穴が開いた形状をしているが、保守的に円柱とする
- ・ 架台（10.0t 以下）については体積に含まない

図1 体積計算に用いた使用済燃料輸送容器の模式図

一点鎖線の範囲は機密に係る事項ですので、公開することはできません。

表 1 輸送容器総重量

輸送容器各部名称	重 量 (tf)
A. 本 体	82.2 以下
B. 蓋	5.3 以下
C. バスケット	6.7 以下
D. 緩 衝 体	
① 上部緩衝体 (近接防止金網を含む)	3.5 以下
② 下部緩衝体 (近接防止金網を含む)	3.5 以下
輸送容器総重量 A + B + C + D	101.2 以下

a. 評価結果

(a) 重量

表 1 輸送容器総重量 (101.2 tf) より、保守的に 100 tf と設定。

(b) 体積

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h \\
 &= \frac{\pi}{4} \cdot (2.600)^2 \cdot (0.995) + \frac{\pi}{4} \cdot (2.498)^2 \cdot (4.315) + \frac{\pi}{4} \cdot (2.600)^2 \cdot (0.940) \\
 &= 31.421 \text{ [m}^3\text{]}
 \end{aligned}$$

(c) 浮力

$$\rho \cdot V = 1.03^* \times 31.421 = 32.4 \text{ [tf]} \text{ (小数点第 2 位切り上げ)}$$

*: 海水の比重を 1.03 t/m³ とした

(a) 重量 > (c) 浮力より、使用済燃料輸送容器は、漂流物とはならない。

(2) 使用済燃料輸送車両

使用済燃料輸送容器の輸送に使用する多軸自走車(150t積載)を評価対象とする。体積については、図2のように使用済燃料輸送車両を構成する部位を9つに分割して体積を求め、これらの積算により算出した。

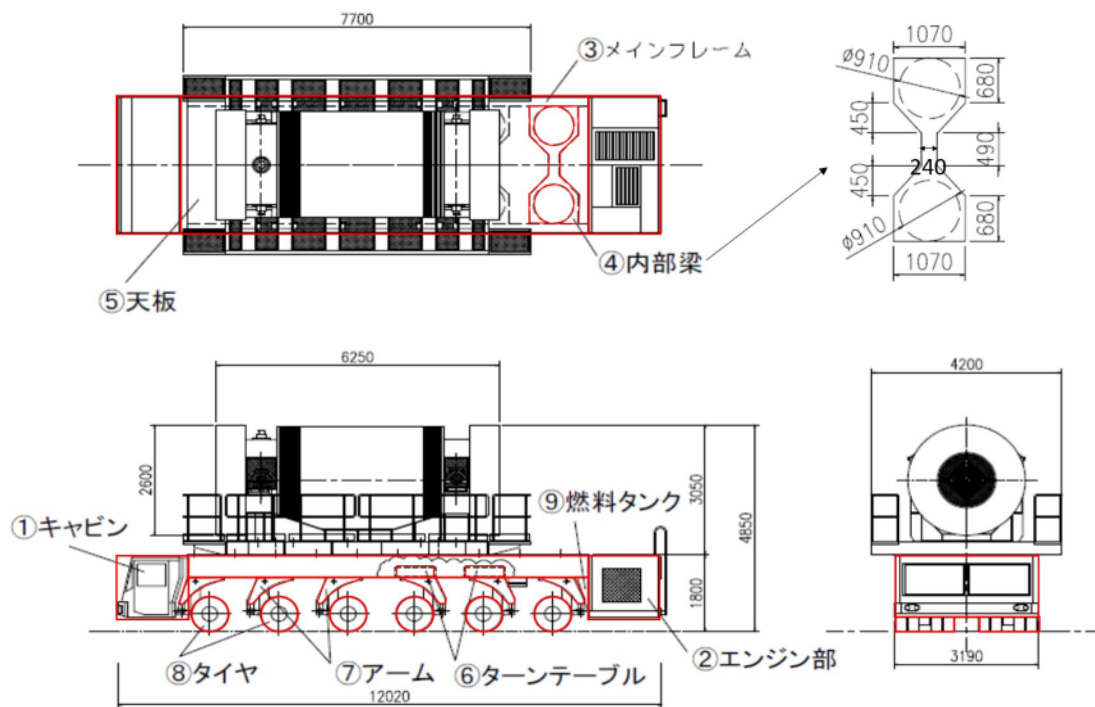


図2 体積計算に用いた使用済燃料輸送車両の模式図

a. 評価結果

(a) 重量

車両重量：33.8 tf（使用する車両の諸元値を使用）より保守的に 33 tf と設定。

(b) 体積

No.	部位名	L[m]	W[m]	H[m]	数量	体積[m ³]	備 考
①	キャビン	1.530	3.190	1.440	1	7.028	
②	エンジン部	1.510	3.190	1.440	1	6.936	
③	メインフレーム	8.905	0.220	0.525	2	2.057	
④	内部梁（シャーシ）	1.070	2.750	0.310	6	1.602	左記のL,Wの寸法は最大寸法を記載。 体積は、内部梁の詳細図から、以下の計算式により求めた。 $((1.07 \times 0.68 + (1.07 + 0.24) \times 0.45 \times 0.5 - 0.455^2 \times \pi)) \times 2 + 0.49 \times 0.24) \times 0.31 \times 6$
⑤	天板（シャーシ）	8.905	3.190	0.010	1	0.284	
⑥	ターンテーブル	φ0.9		0.210	12	1.603	円柱
⑦	アーム	1.020	0.870	0.240	12	2.556	
⑧	タイヤ		0.240	φ0.825	48	6.158	
⑨	燃料タンク			300ℓ		0.300	
	合計					28.526	

(c) 浮力

$$\rho \cdot V = 1.03^{**} \times 28.526 = 29.4 \text{ [tf]} \text{ (小数点第2位切り上げ)}$$

**：海水の比重を 1.03 t/m³ とした

(a) 重量 > (c) 浮力より、使用済燃料輸送車両は、漂流物とはならない。

2. LLW輸送

(1) LLW輸送容器

LLW輸送に使用するLLW-2型輸送容器を評価対象とし、図3のように上部隅金具、下部隅金具を含めた最大寸法にて寸法を設定した。表2に輸送容器重量を示す。

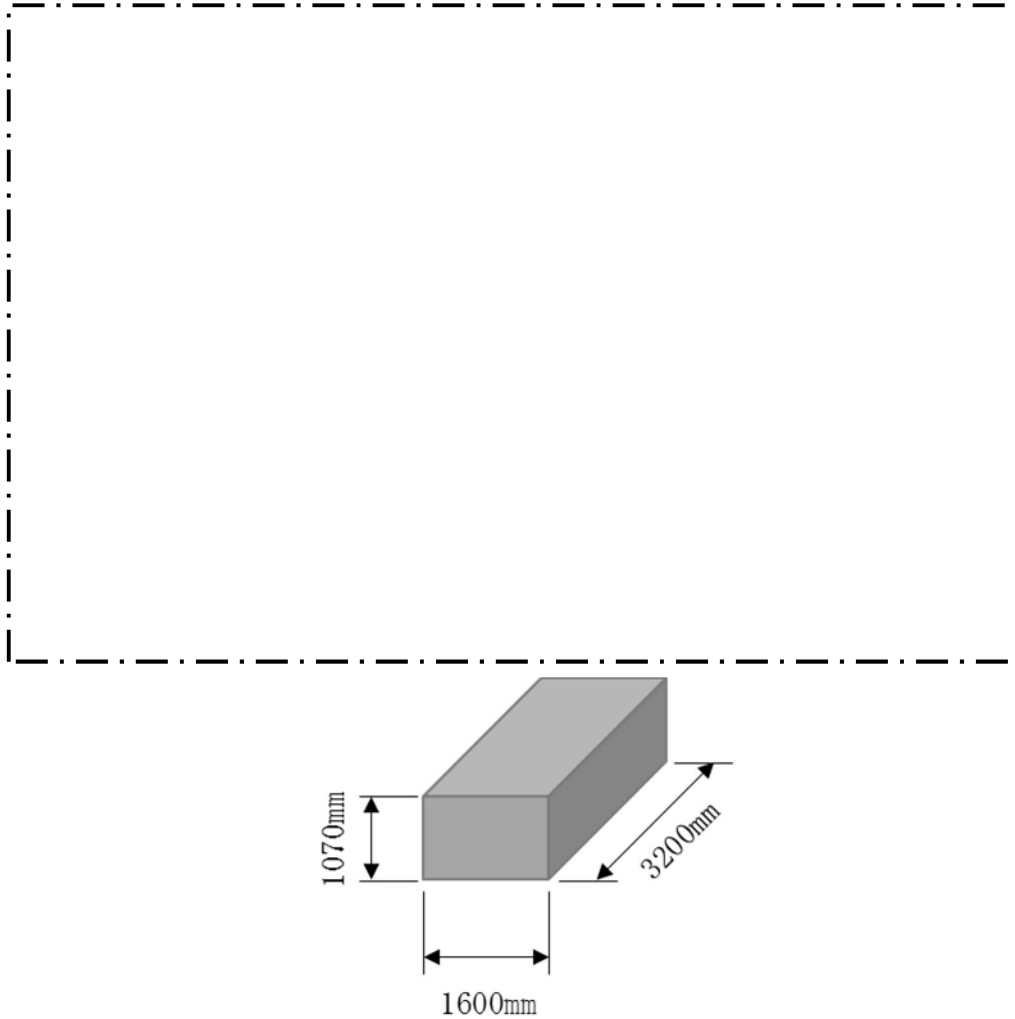


図3 体積計算に用いたLLW輸送容器の模式図

表2 LLW輸送容器質量及び寸法

主要寸法	(長さ) 約 3.2m (幅) 約 1.6m (高さ) 約 1.1m
輸送容器重量	約 1.2tf (空重量)

一点鎖線の範囲は機密に係る事項ですので、公開することはできません。

a. 評価結果

(a) 重量

表 2 より、1.2 tf と設定。

(b) 体積

$$\begin{aligned} V &= 3.2 \times 1.6 \times 1.1 \\ &= 5.632 \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned}$$

(c) 浮力

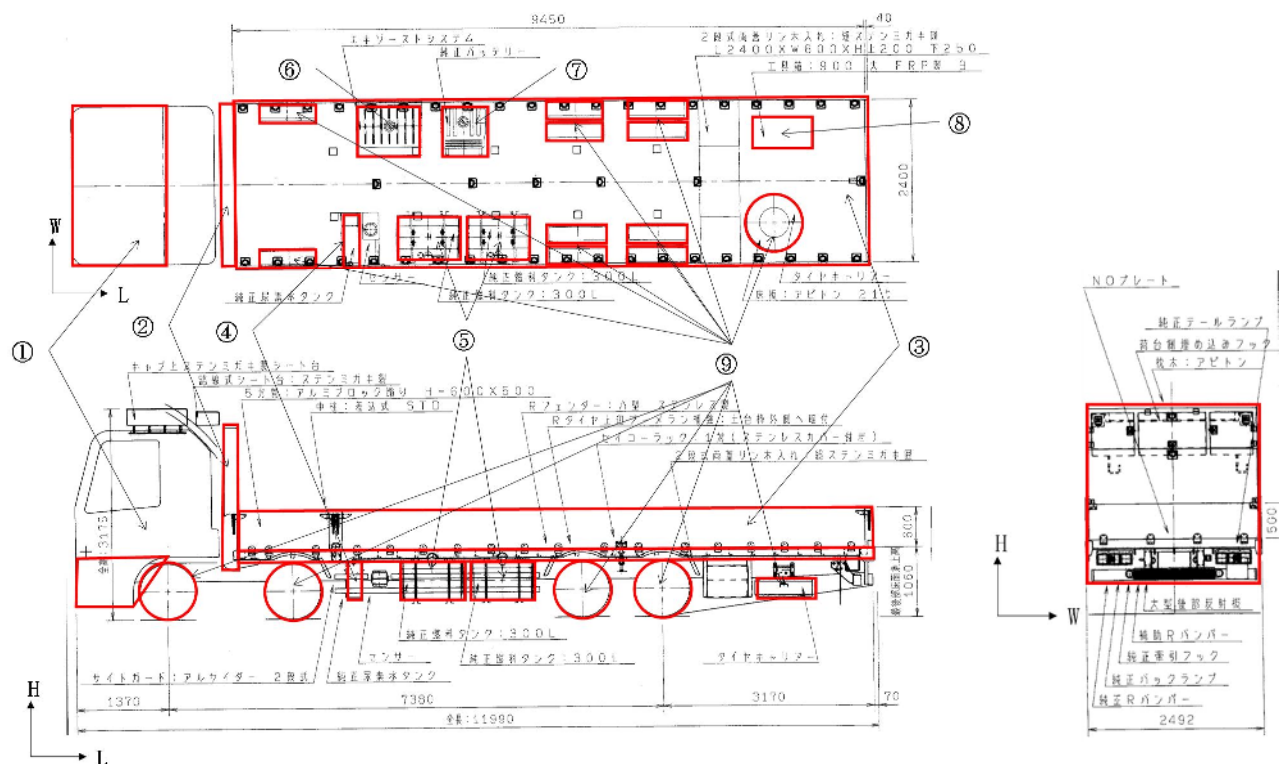
$$\rho \cdot V = 1.03^{*} \times 5.632 = 5.9 \text{ [tf]} \text{ (小数点第 2 位切り上げ)}$$

※：海水の比重を 1.03 t/m³ とした

(a) 重量 < (c) 浮力となるが、LLW 輸送容器は、LLW 輸送車両に固縛して
いるため、漂流物とはならない。

(2) LLW輸送車両

LLW輸送容器の輸送に使用するトラックを評価対象とする。体積については、図4のようにLLW輸送車両を構成する部位を9つに分割して体積を求め、これらの積算により算出した。なお、キャビンについては、窓を開ける運用とし、気密性がないため体積には加えない。



- ①車体、②シャーシ（連結部）、③シャーシ（上部・下部）、④タンク1、⑤タンク2、⑥排気システム、⑦バッテリー、⑧工具箱、⑨タイヤ

図4 体積計算に用いたLLW輸送車両の模式図

a. 評価結果

(a) 重量

車両重量：10.8 tf（使用する車両の諸元値を使用）

(b) 体積

No.	L[m]	W[m]	H[m]	個数	体積[m ³]*	備考
①	(上底)0.875	2.400	0.759	1	2.019	
	(下底)1.341					
②	0.221	2.493	0.034	1	0.019	
③	9.450	2.400	0.100	1	2.859	
	9.450	0.047	0.600	2		
	0.040	2.400	0.600	1		
④	0.234	0.587	0.528	1	0.073	
⑤	0.933	0.700	0.584	2	0.763	
⑥	0.996	0.820	0.615	1	0.503	
⑦	0.671	0.700	0.198	1	0.093	
⑧	0.984	0.493	0.001	2	0.003	
	0.984	0.447	0.001	2		
	0.493	0.447	0.001	2		
⑨	φ 0.861	0.293	φ 0.861	13	2.217	
合計					8.549	

※小数点第4位切り上げ

(c) 浮力

$$\rho \cdot V = 1.03^{**} \times 8.549 = 8.9[t] \text{ (小数点第2位切り上げ)}$$

※：海水の比重を 1.03 t/m³とした

(a) 重量 > (c) 浮力より、LLW 輸送車両は、漂流物とはならない。

3. 輸送容器を積載した状態でのLLW輸送車両に関する影響評価について

LLW輸送車両は漂流物とはならないが、これに、最も浮力が大きくなるLLW輸送容器の空容器を2個積載した場合、車両総重量（約13.2t）に対し、浮力（約20.7t）の方が大きい。また、廃棄体を収納したLLW輸送容器をLLW輸送車両へ積載した場合においても、車両総重量に対し浮力のほうが大きくなることが否定できない。

このため、LLW輸送容器をLLW輸送車両に固縛し、浮力を上回るようウェイトを積載する対策^{※1}を実施することで、漂流物とはしない方針とする。

なお、LLW輸送車両へのLLW輸送容器の固縛については、LLW輸送容器をLLW輸送車両の固縛装置により行う（図5参照）。また、固縛装置については、固縛装置は車両固縛部等によりLLW輸送車両に固縛し、LLW輸送容器は固縛装置のツイストロックで固縛装置に固縛する。

※1：あらかじめ浮力を上回るようウェイトを積載したLLW輸送車両を使用する。

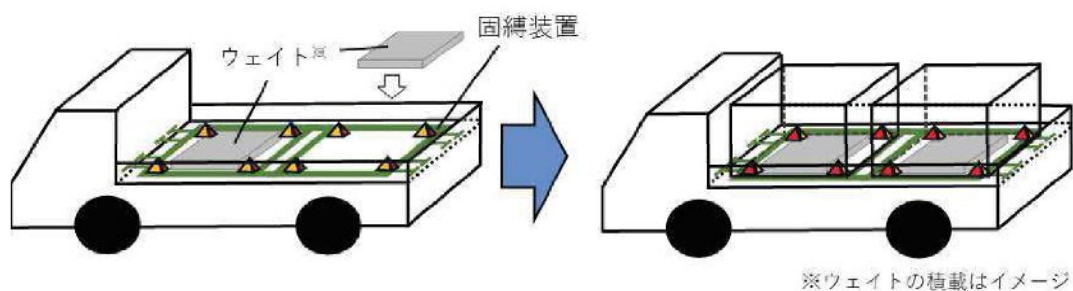


図5 LLW輸送容器等の積載・固縛方法

(参考)

輸送物及び輸送車両の退避について

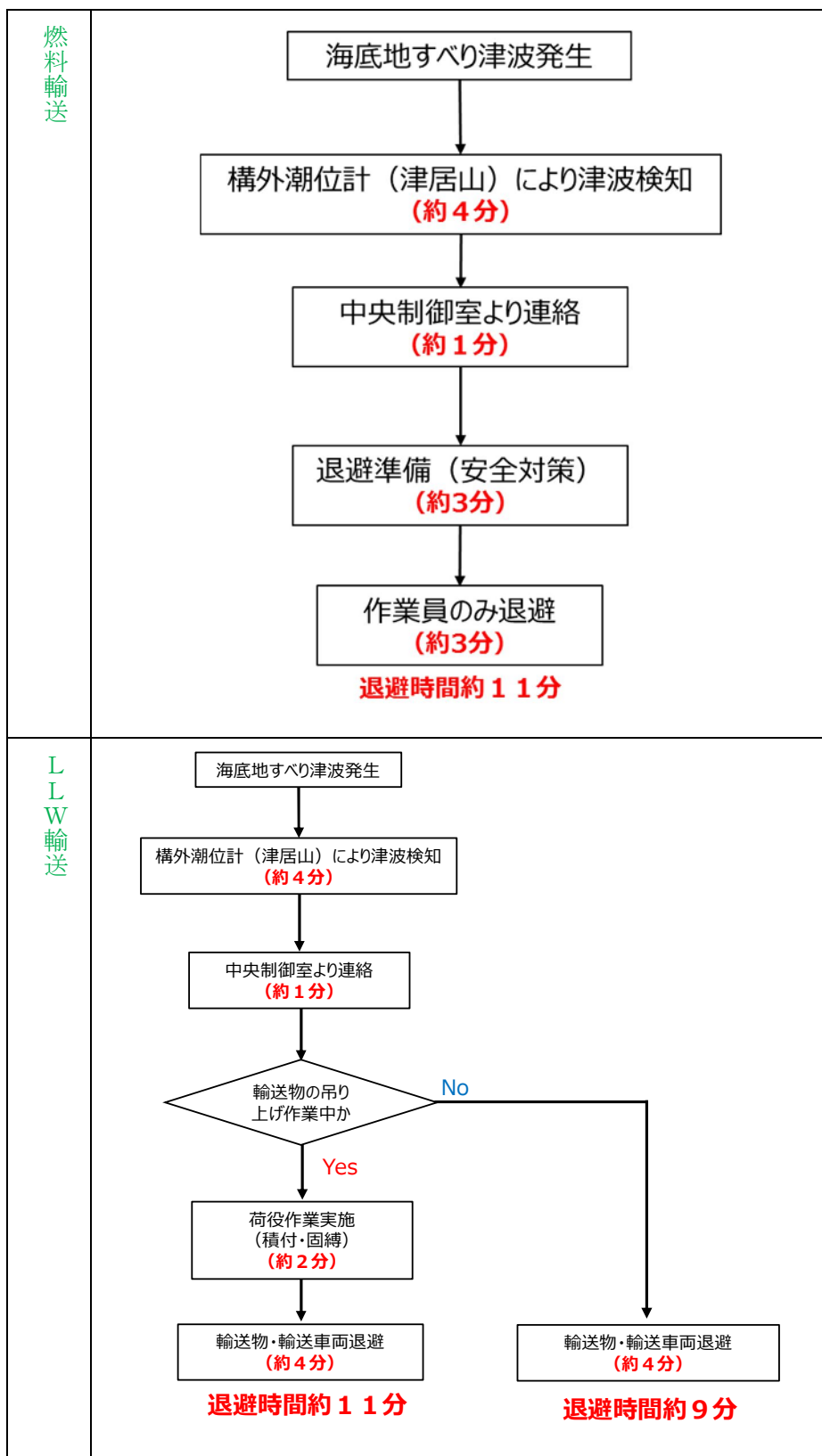
燃料等輸送船による輸送時の、陸側にある輸送物及び輸送車両は原則として、当社敷地内の津波が到達しない場所へ退避する。参考図 1 に警報が発表されない津波襲来時の陸側にある輸送物の退避の考え方を示す。

津居山の潮位変化を検知すると中央制御室に情報が伝達され、その後現場作業員に伝達される。高浜発電所への津波の到達は、津居山への津波到達後約 12 分である。

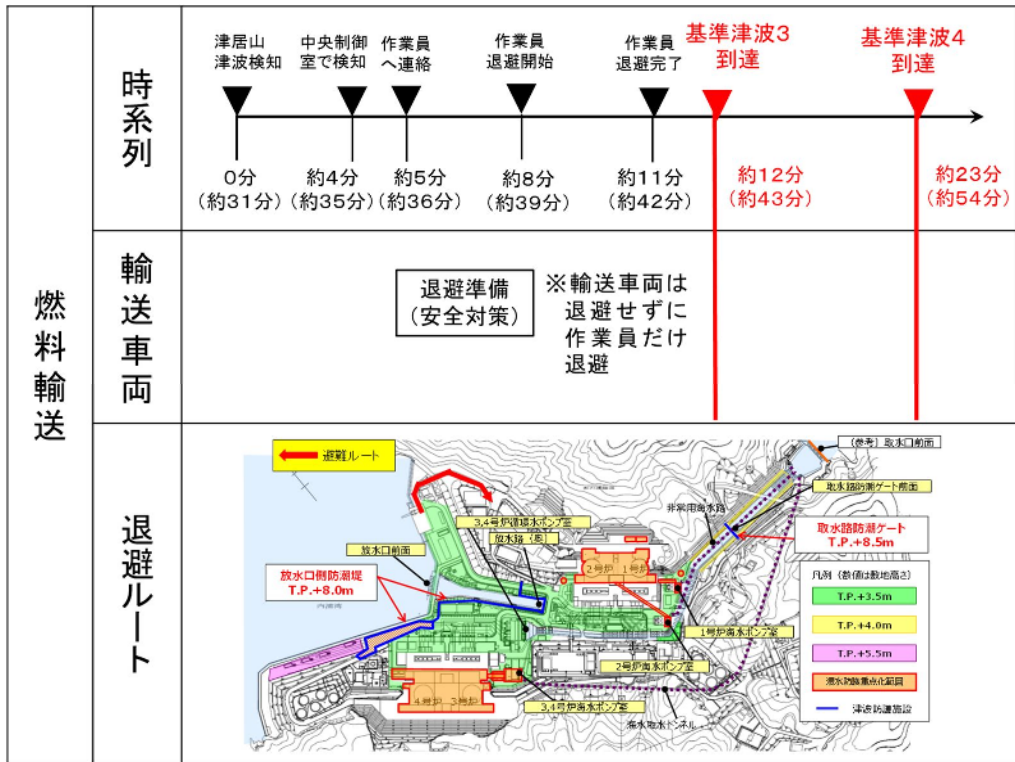
燃料輸送車両は、津居山に津波が到達してから退避まで 12 分以上の時間が必要となるため、作業員のみ退避する。なお、燃料の輸送容器（約 100t：空状態）及び輸送車両（約 33t）は重量物であり、津波を受けても漂流物とはならない（輸送容器の浮力は 32.4t、輸送車両の浮力は 29.4t）。

LLW 輸送車両は、輸送物の釣り上げ作業中でも津居山に津波が到達してから 11 分で退避が完了することから、津波到達よりも早く退避が可能である。なお、LLW の輸送容器（約 1.2t：空状態）は LLW 輸送車両に固縛されており、LLW 輸送容器が固縛された輸送車両（約 13.2t）はウェイトを積載する対策により、津波を受けても漂流物とはならない。

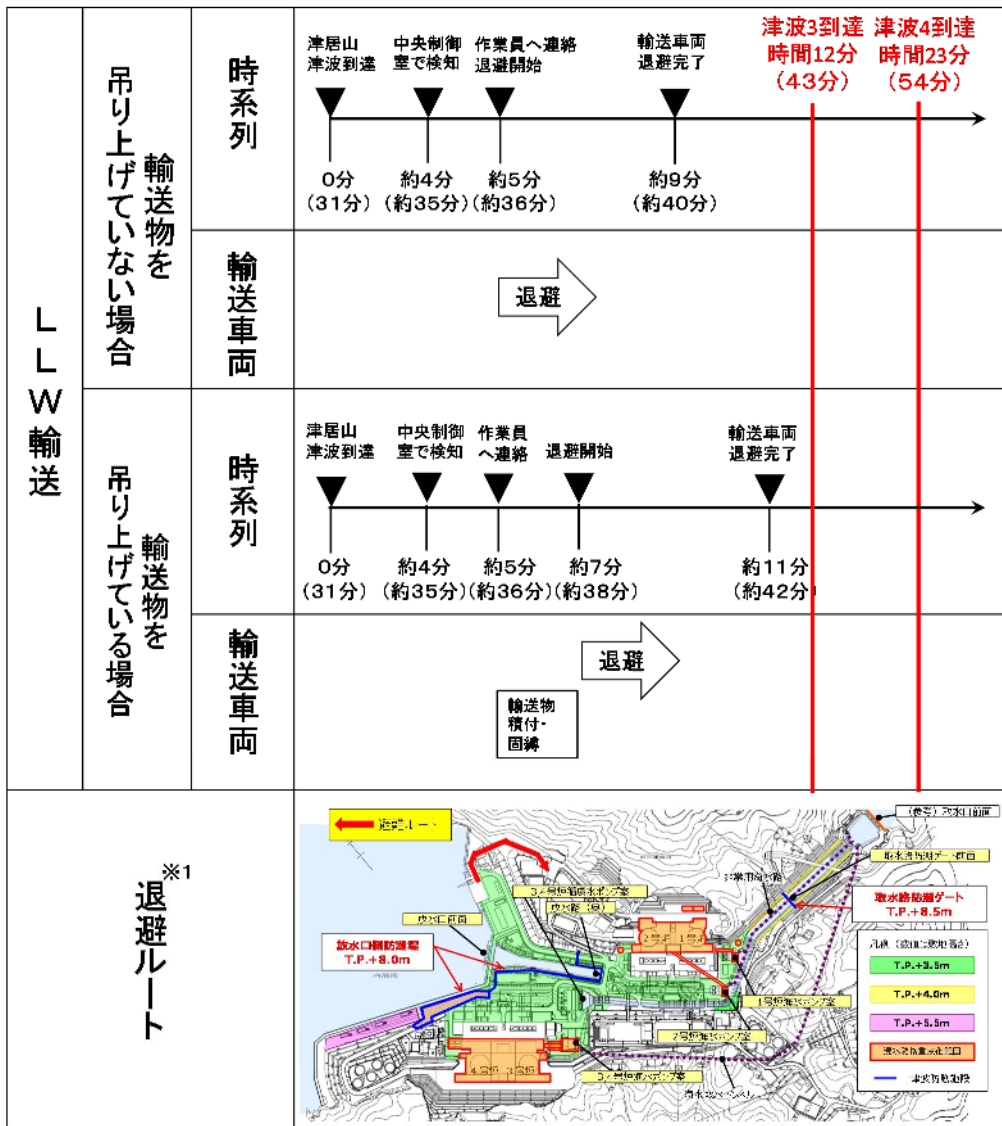
参考図 2 に輸送車両等の退避時間を示す。



参考図 1 陸側にある輸送物の退避の考え方



参考図 2(1/2) 津波襲来と退避時間 (輸送車両等)



※1 退避ルートの距離は約 300m であり、車両走行速度 10km/h (167m/min) としても、約 4 分間で車両の退避は十分可能である。

参考図 2(2/2) 津波襲来と退避時間 (輸送車両等)

構内潮位計を用いた津波襲来判断基準の
妥当性・網羅性について

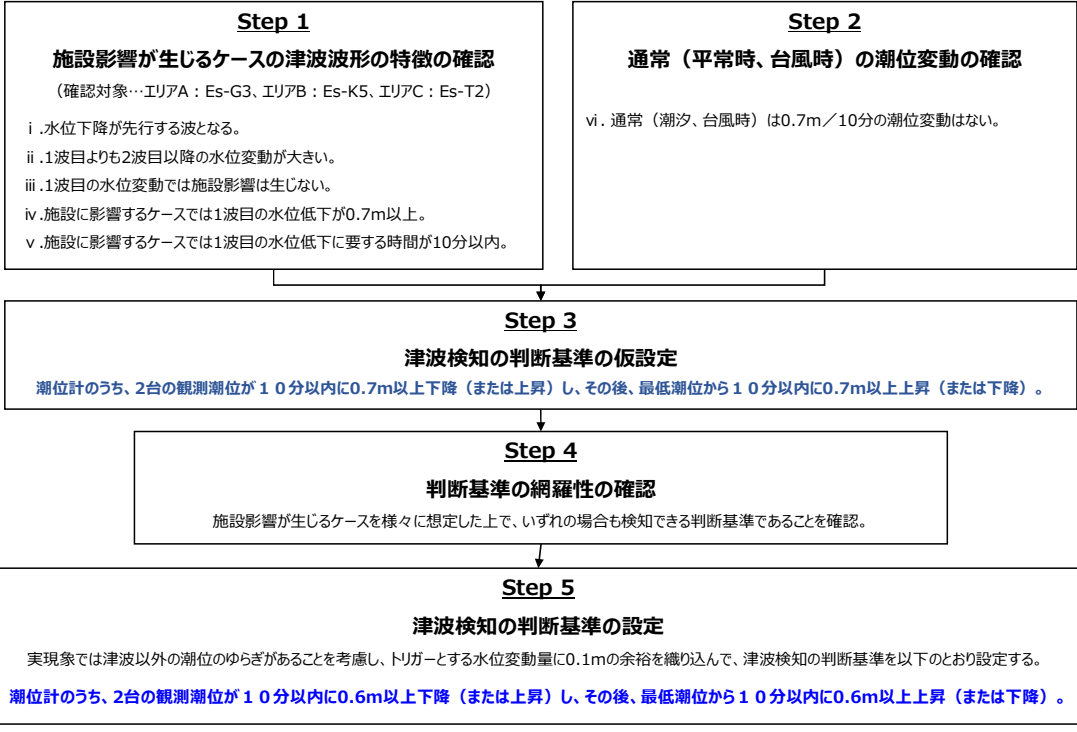
警報が発表されない可能性のある津波に対しては、潮位計（1号炉海水ポンプ室：1台、2号炉海水ポンプ室：1台、3,4号炉海水ポンプ室：2台）のうち、2台の観測潮位が10分以内に0.6m以上下降し、その後、最低潮位から10分以内に0.6m以上上昇すること、若しくは10分以内に0.6m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.6m以上下降すること（以下、「通常の潮汐とは異なる潮位変動」という。）を把握した場合に、津波襲来と判断し、循環水ポンプ停止・ユニット停止・取水路防潮ゲート閉止の操作を行う手順としている。

通常の潮汐とは異なる潮位変動を判断基準とすることの妥当性・網羅性については、以下の通り確認している。

- (1) 施設影響が生じるケースの津波波形の特徴の確認
- (2) 通常（平常時・台風時）の潮位変動の確認
- (3) 津波検知の判断基準の仮設定
- (4) 判断基準の網羅性確認
- (5) 津波検知の判断基準の設定

確認した結果については次ページ以降に示す。

【トリガー（判断基準）の設定の考え方】



【Step 1：施設影響が生じるケースの津波波形の特徴の確認】

- 基準津波の選定において評価した海底地すべり（エリアA（Es-G3）、エリアB（Es-K5）、エリアC（Es-T2））による津波について、警報が発表されない場合に施設への影響が生じるケースを確認する。
- 施設への影響は、津波水位計算結果に潮位のばらつき及び高潮の裕度を考慮した場合の水位で確認する。

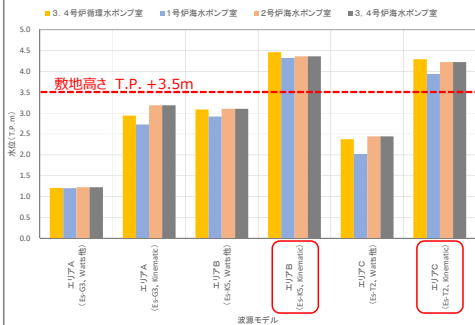
●海底地すべりによる津波の水位計算結果

数字は、T.P.(m)

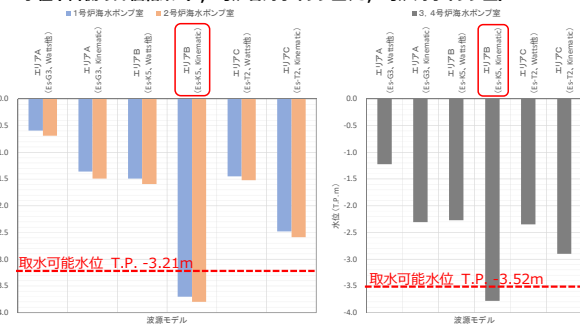
海底地すべり（警報なし）	取水路防波ゲート	水位上昇							水位下降			
		取水路防波ゲート前面	3,4号炉循環水ポンプ室	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室	3,4号炉海水ポンプ室	放水口前面	放水路（奥）	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室	3,4号炉海水ポンプ室	
エリアA	Watts他の予測式	開	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.5	-0.6	-1.1
	Kinematicモデルによる方法	開	2.0	2.3	2.1	2.2	2.6	1.6	1.8	-1.2	-1.4	-2.2
エリアB	Watts他の予測式	開	2.2	2.5	2.3	2.4	2.5	1.9	2.1	-1.4	-1.5	-2.1
	Kinematicモデルによる方法	開	3.6	3.9	3.7	3.8	3.8	3.7	4.0	-3.6	-3.7	-3.7
エリアC	Watts他の予測式	開	1.4	1.8	1.4	1.6	1.8	1.1	1.4	-1.3	-1.4	-2.2
	Kinematicモデルによる方法	開	3.2	3.7	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	-2.4	-2.5	-2.8

潮位のばらつき（上昇側+0.15m、下降側-0.17m）及び高潮の裕度（上昇側+0.49m）を考慮

●水位上昇側の評価結果（各ポンプ室）



●水位下降側の評価結果（1,2号炉海水ポンプ室、3,4号炉海水ポンプ室）

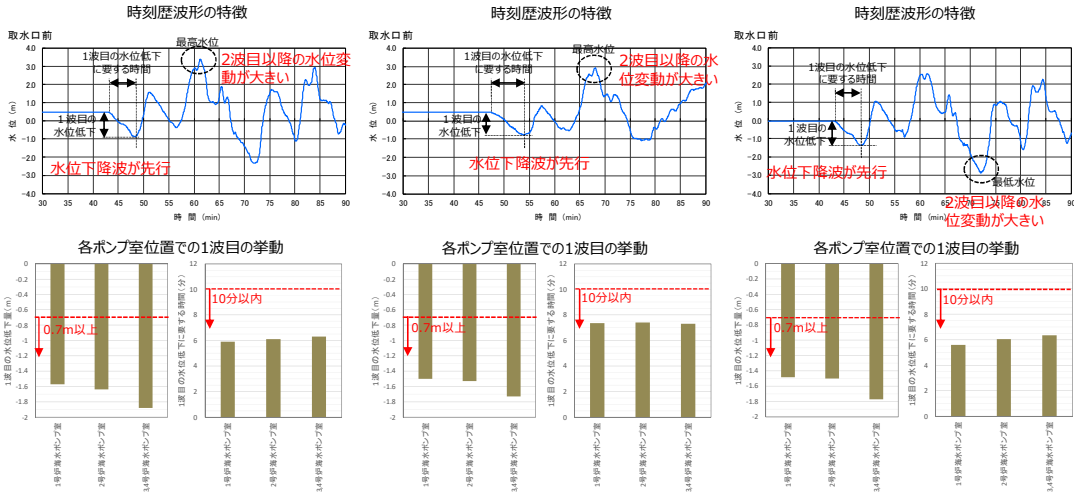


施設に影響するケースは、水位上昇側ではエリアB（Es-K5、Kinematicモデル）及びエリアC（Es-T2、Kinematicモデル）、水位下降側ではエリアB（Es-K5、Kinematicモデル）である。

図1(1/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 1：施設影響が生じるケースの津波波形の特徴の確認】

●水位上昇側：エリアB（Es-K5、Kinematic） ●水位上昇側：エリアC（Es-T2、Kinematic） ●水位下降側：エリアB（Es-K5、Kinematic）



海底地すべりエリアA～C（Kinematicモデル、Watts他の予測式）の時刻歴波形から、以下の特徴が確認された。

- i. 水位下降が先行する波となる。
- ii. 1波目よりも2波目以降の水位変動が大きい。
- iii. 1波目の水位変動では施設影響は生じない。
- iv. 施設に影響するケースでは1波目の水位低下が0.7m以上。
- v. 施設に影響するケースでは1波目の水位低下に要する時間が10分以内。

【Step 2：通常（平常時、台風時）の潮位変動の確認】

●過去7年間の潮位変動を調査した結果、作業と判明しなかった件数は以下のとおり。

() は潮位変動の全件数

1波目が下げ波の場合

判断基準	10分以内に0.7m以上下降	10分以内に0.7m以上下降し、その後、最低潮位から10分以内に0.7m以上上昇
潮位計1台が変動	0件 (64件)	0件 (24件)
潮位計2台が変動	0件 (6件)	0件 (2件)

- ・ 潮位変化は、すべて作業によるものであった。
- ・ 作業による潮位変化のうち、2つの潮位計が同時に10分以内に0.7m以上低下し、その後、最低潮位から10分以内に0.7m以上上昇するケースが最も少なかった。

1波目が上げ波の場合

判断基準	10分以内に0.7m以上上昇	10分以内に0.7m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.7m以上下降
潮位計1台が変動	96件 (147件)	52件 (74件)
潮位計2台が変動	0件 (3件)	0件

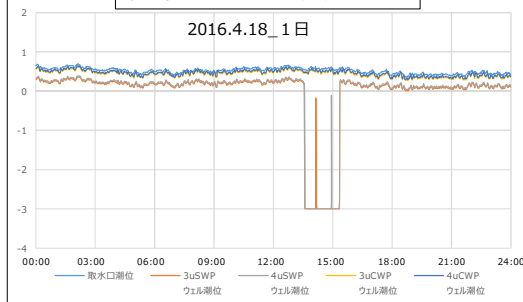
- ・ 潮位変化は、作業によるものに加え、クラゲ襲来時の取水路への排水により、4号海水ポンプ室潮位計のみ、影響を受けるケースがあった。
- ・ 作業要因及び排水要因による潮位変化のうち、2つの潮位計が同時に10分以内に0.7m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.7m以上下降するケースはなかった。
- ・ 潮位計1台が10分以内に0.7m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.7m以上下降に該当するものが排水要因として52件あったが、潮位変化の特徴として、通常潮位から、一旦潮位上昇後、上昇前の潮位に戻る傾向であった。

過去の潮位変動の調査結果より、「潮位計のうち、2台の観測潮位が10分以内に0.7m以上下降し、その後、最低潮位から10分以内に0.7m以上上昇すること、若しくは10分以内に0.7m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.7m以上下降すること。」を判断基準とした場合に誤検知の防止が可能である。

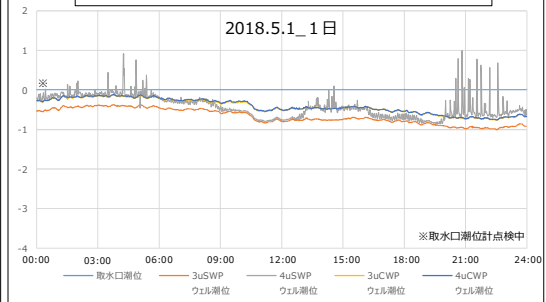
図1(2/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 2：通常（平常時、台風時）の潮位変動の確認】

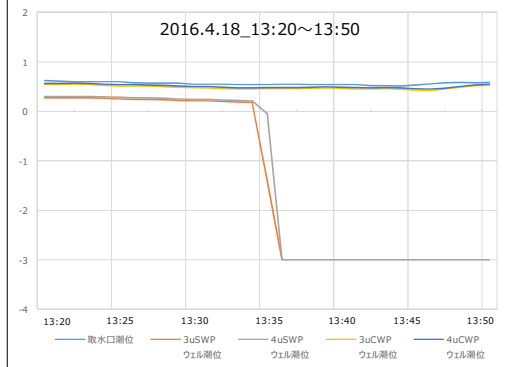
作業による潮位変動の例



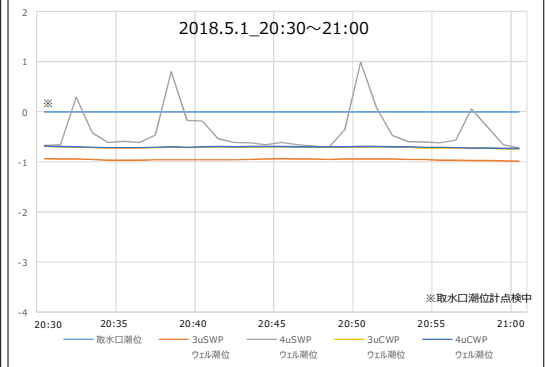
クラゲ来襲時の排水による変動の例



2016.4.18_13:20~13:50



2018.5.1_20:30~21:00



【Step 2：通常（平常時、台風時）の潮位変動の確認】

●通常の潮汐による潮位変動

高浜発電所の潮位計で潮位を計測しているが、瞬時値としてデータ保存されているのは、2019年8月から現在までの値であり、過去3か月間データを確認したが、平常時の潮汐の変動は10分間で約10cm程度である。

通常時の潮汐の変動 ■ 2019年9月 瞬時値（5秒）（3, 4号炉プラント稼動中）

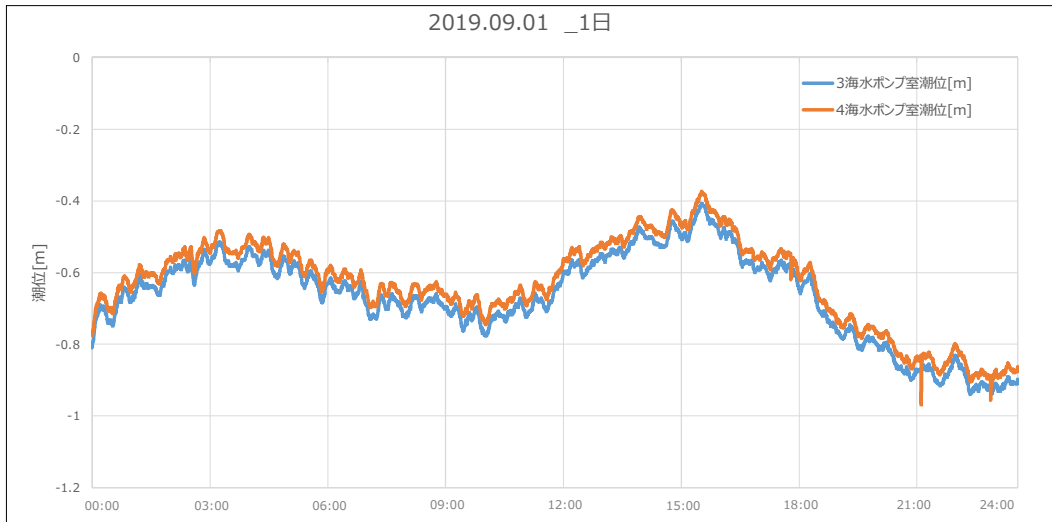
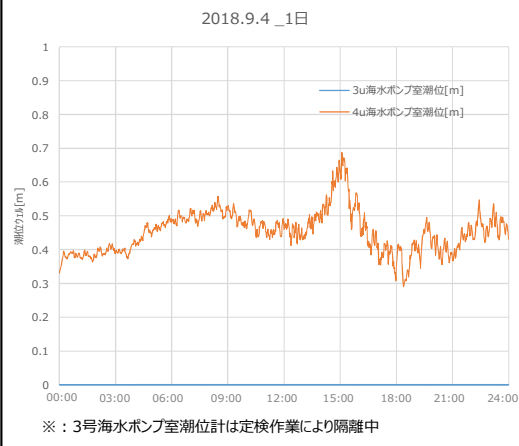


図 1(3/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

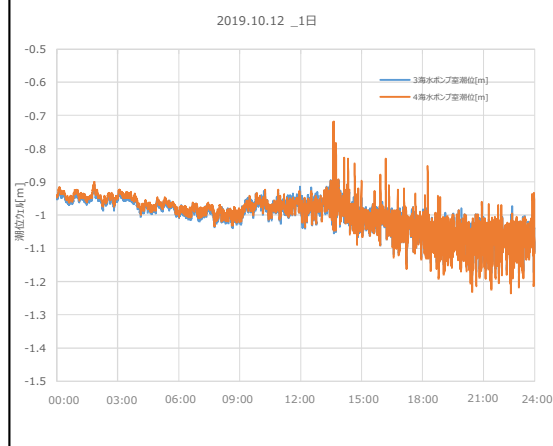
【Step 2：通常（平常時、台風時）の潮位変動の確認】

台風などの異常時の潮汐変動について、代表として若狭湾周辺の潮汐の変動が大きいと想定される2018年の台風21号（中心気圧950hPa）及び2019年の台風19号（中心気圧955hPa）時の潮汐変動を確認した。潮汐の変動は大きいところで10分間で30cm程度である。

【2018年の台風21号の潮位データ(1分間平均値)】

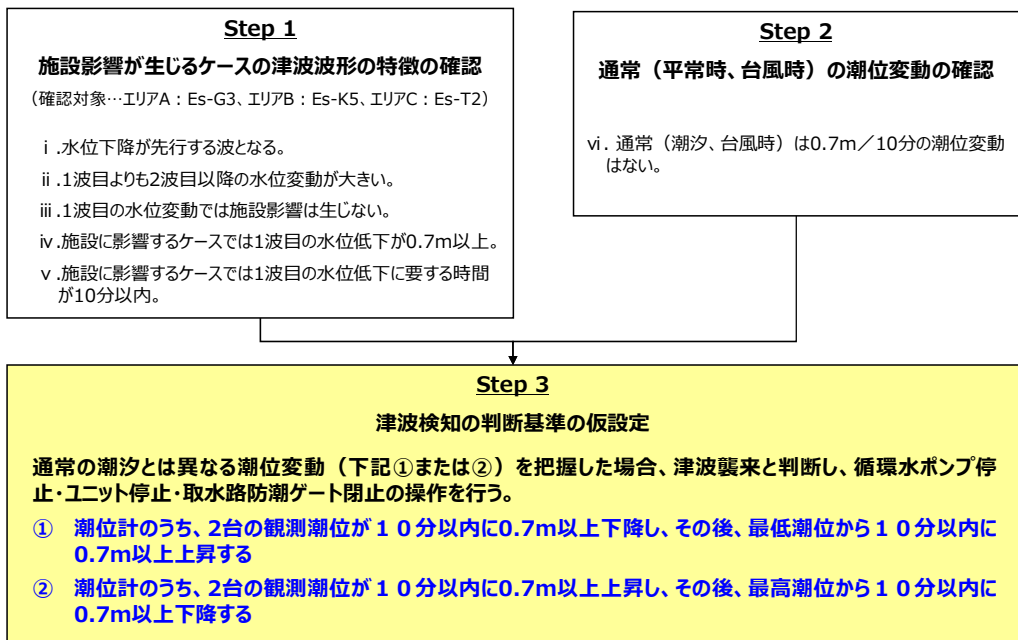


【2019年の台風19号の潮位データ（瞬時値 5秒）】



- 通常の潮汐の干満差では、海水ポンプ室において0.7m以上の潮位変動が生じることはない。
- 台風時においても、海水ポンプ室において0.7m以上の潮位変動が生じることはない。
したがって、今回設定した津波検知の判断基準は通常の潮汐とは大きく異なる津波による潮位変動を検知するものとなっていると考えられる。

【Step 3：津波検知の判断基準の仮設定】



Step 1及びStep 2の検討結果に基づき、上記のとおり津波検知の判断基準を仮設定する。

図 1 (4/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4：判断基準の網羅性の確認】

判断基準の網羅性確認の考え方

海底地すべりによる津波のうち、施設影響が生じる様々なケースに対して、いずれの場合も検知できる判断基準となっていることを確認する。

① 海底地すべりの波源特性に関するパラメータスタディ

隠岐トラフ海底地すべりのうち、生じる津波が施設に影響する海底地すべりを全て抽出し、それらのパラメータスタディを実施することによって、生じる津波波形の不確かさを踏まえても、施設に影響するケースを網羅的に検知できる判断基準となっていることを確認する。

①-1 施設に影響する海底地すべりの抽出

位置・向き・規模の特性を踏まえて複数の海底地すべりを選定し、発生する津波によって施設影響が生じるものを抽出する。

①-2 崩壊規模のパラメータスタディ

- 基本ケースでは確認された地すべり跡に基づいて崩壊規模を設定していることから、崩壊規模を徐々に小さくしたパラメータスタディを実施する。
- 施設に影響するケースについて、設定した判断基準で検知できることを確認する。

①-3 破壊伝播速度のパラメータスタディ

- 基本ケースでは破壊伝播速度を最大値で設定していることから、破壊伝播速度を徐々に小さくしたパラメータスタディを実施する。
- 施設に影響するケースについて、設定した判断基準で検知できることを確認する。

② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ

振幅・周期を様々に変えた正弦波を用いて津波水位計算を実施し、1波目と2波目以降の関係について以下を確認する。

- 「1波目よりも2波目以降の水位変動が大きい」という津波波形の特徴が津波波形の一般的な傾向であることを確認する。
- 2波目以降の増幅の程度や影響する周期について、波源特性のパラメータスタディと異なる傾向がないか確認する。

【Step 4 ①：海底地すべりの波源特性に関するパラメータスタディ】

検討方法（「基準津波評価」と「判断基準の網羅性の検討」の差異）

		海底地すべりの波源特性		
		位置・向きの特性 (38の海底地すべり)	崩壊特性	
			【静的】 崩壊の規模 (崩壊断面積)	【動的】 崩壊の進展速度 (破壊伝播速度)
基準津波評価での設定	<目的> 最大規模の津波波源の選定。	エリア毎のチャンピオンを選定 隠岐トラフ海底地すべりを位置・向きによりエリアA～Cに分類し、各エリアで最大規模のものを選定。	最大値で設定 複数回の斜面崩壊で形成されたとされるものも含め、一度に全て崩壊するものとして最大規模で評価。	最大値で設定 Kinematicモデルにおける破壊伝播速度は最大値で評価。(Watts他の予測式による海底地すべりの速度の最大値)
施設に影響するケースを網羅的に検知できることを確認するために検討を充実化				
判断基準の網羅性の検討	<目的> 施設に影響する津波波源の網羅的な確認。	施設影響が生じるケースを抽出 (①-1) 隠岐トラフ海底地すべりを位置・向きによりエリアA～Cに分類し、各エリアで規模1位～3位のものを選定。 エリアに関わらず、発電所方向に崩壊するものを選定。 ⇒これらの津波計算結果から、施設影響が生じるケースを抽出。(各地すべりの崩壊規模・破壊伝播速度は最大値で設定)	パラメータスタディを実施 (①-2) 地すべりの進展が途中で止まる場合を考慮し、Kinematicモデルにおける崩壊規模を徐々に小さくしたパラメータスタディを実施。	パラメータスタディを実施 (①-3) 地すべりの進展が比較的に遅い場合を考慮し、Kinematicモデルにおける破壊伝播速度を徐々に小さくしたパラメータスタディを実施。
本検討では、波源の「位置・向き」及び「崩壊特性」の観点から、施設に影響するケースを網羅的に抽出し、判断基準での検知可否を確認する。				

図 1 (5/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4：①-1 施設に影響する海底地すべりの抽出】

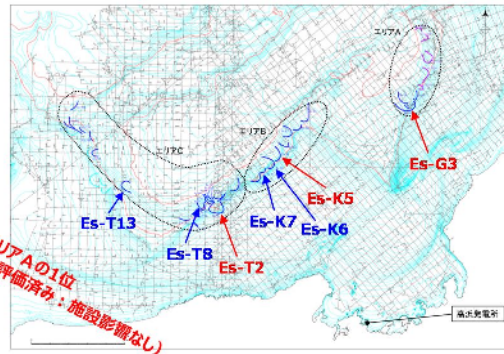
各エリアで規模が1位～3位の地すべりの選定

●地すべり地形の規模の算出結果（断面積上位20個）

第314号関係委員会
資料1-4-2、P.77抜粋

手続の 順位	地すべり 地号	エリア	測線	地すべり 長さ(m)	地すべり 厚さ(m)	土すべり量 × 長さ(m ²)
1	Es-K5	B	K-120	7,135	128	913,324
2	Es-T2	C	GA-23	8,592	97	833,402
3	Es-T8	C	GA-22	4,374	150	656,141
4	Es-K7	B	K-118	3,618	160	578,850
5	Es-T13	C	GA-20	4,968	118	578,038
6	Es-K6	B	K-120	5,420	103	558,225
7	Es-T14	C	GA-15	8,970	61	547,200
8	Es-K8	B	K-118	6,557	76	498,312
9	Es-K4	B	K-120	4,418	81	367,855
10	Es-K3	B	K-121	7,598	45	341,838
11	Es-T6	C	GA-21	5,343	62	331,267
12	Es-T17	C	GA-11	1,979	158	312,678
13	Es-K2	B	K-120	4,482	67	298,932
14	Es-T15	C	GA-13	8,326	33	274,765
15	Es-K1	B	K-121	5,188	52	270,276
16	Es-G3	A	K-115	8,858	29	198,822
17	Es-G103	A	K-118	6,172	30	185,161
18	Es-T12	C	GA-T	6,284	29	182,237
19	Es-G104	A	K-51	3,584	48	164,878
20	Es-G102	A	K-118	4,413	36	158,864

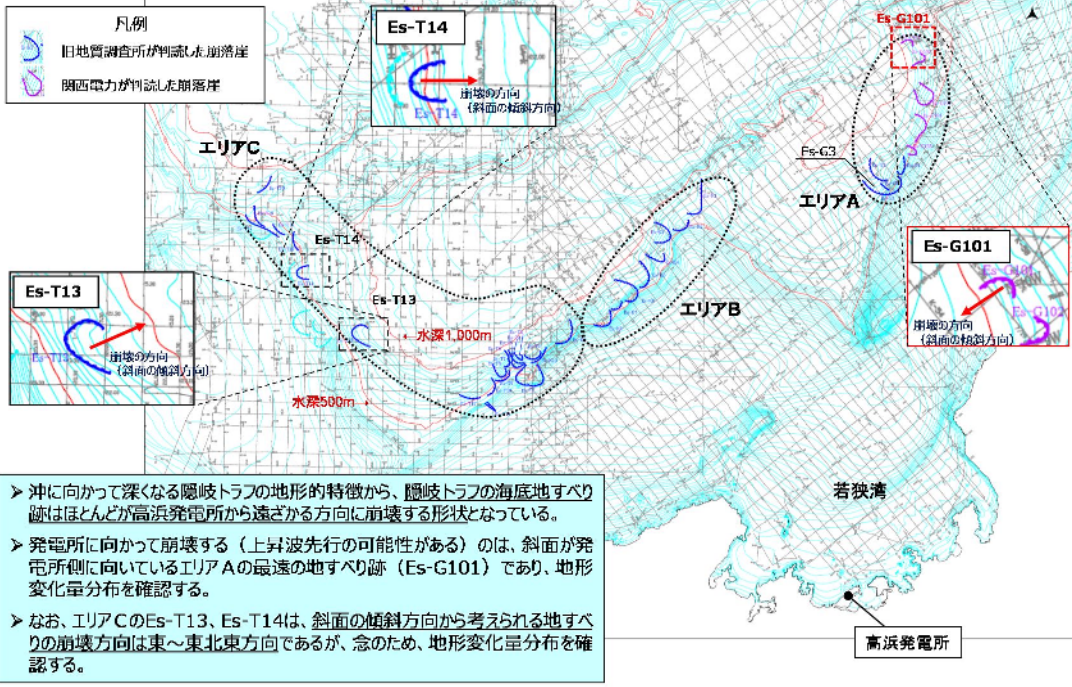
- ←エリアBの1位（評価済み：施設影響あり）
- ←エリアCの1位（評価済み：施設影響あり）
- ←エリアCの2位（追加評価：施設影響の有無を確認する）
- ←エリアBの2位（追加評価：施設影響の有無を確認する）
- ←エリアCの3位（追加評価：施設影響の有無を確認する）
- ←エリアBの3位（追加評価：施設影響の有無を確認する）



- ▶ エリアA～Cの最大規模であるEs-G3、Es-K5、Es-T2については評価済みであり、Es-K5及びEs-T2で施設影響が生じることを確認している。
- ▶ エリアBの規模2位・3位のEs-K7及びEs-K6、エリアCの規模の2位・3位のEs-T8及びEs-T13を選定し、施設影響の有無を確認する。
- ▶ エリアAは最大規模のEs-G3でも施設影響が生じないことから、規模の2位・3位の地すべりの評価は行わない。

【Step 4：①-1 施設に影響する海底地すべりの抽出】

発電所方向に崩壊する地すべりの選定



- ▶ 沖に向かって深くなる隠岐トラフの地形的特徴から、隠岐トラフの海底地すべり跡はほとんどが高浜発電所から遠ざかる方向に崩壊する形状となっている。
- ▶ 発電所に向かって崩壊する（上昇波先行の可能性はある）のは、斜面が発電所側に向いているエリアAの最遠の地すべり跡（Es-G101）であり、地形変化量分布を確認する。
- ▶ なお、エリアCのEs-T13、Es-T14は、斜面の傾斜方向から考えられる地すべりの崩壊方向は東～東北東方向であるが、念のため、地形変化量分布を確認する。

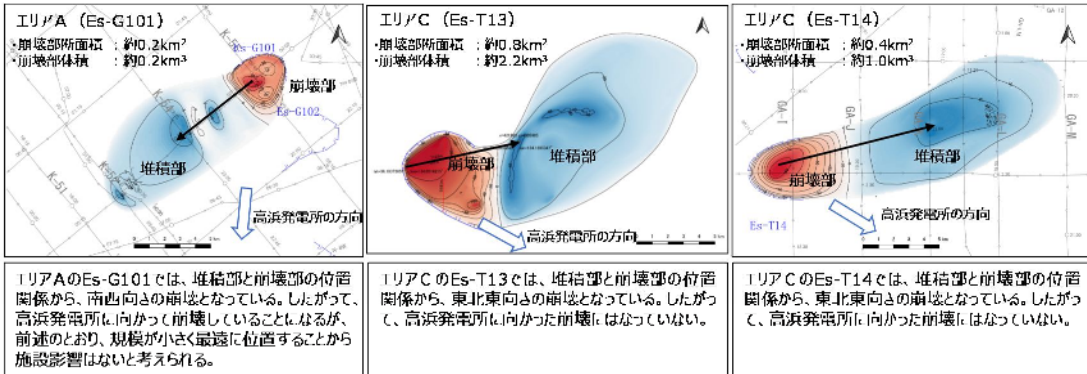
図1(6/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4 : ①-1 施設に影響する海底地すべりの抽出】

発電所方向に崩壊する地すべりの選定

● 隠岐トラフ海底地すべりの向き・位置

- ・ 前頁で高浜発電所に向かって崩壊する地すべりとして確認したエリアAのEs-G101について、海上音波探査記録に基づく詳細な地形判読を行い、崩壊部・堆積部の地形変化量分布を確認する。
- ・ また、東向きの崩壊と考えられるエリアCのEs-T13及びEs-T14についても同様に崩壊部・堆積部の地形変化量分布を確認する。

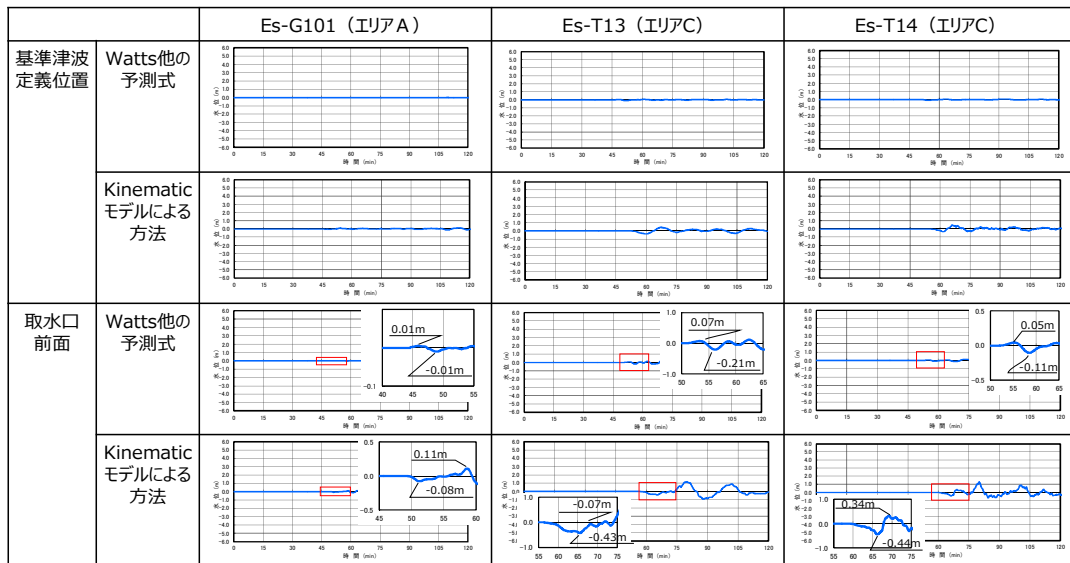


- 地形変化量分布の確認結果から、発電所方向に崩壊する地すべりはEs-G101のみと考えられる。ただし、隠岐トラフ海底地すべりの網羅性を確認する観点から、今回着目したEs-G101、Es-T13、Es-T14の3か所について、施設影響の有無を確認する。
- 隠岐トラフでは地形的にほとんどの地すべりが発電所とは逆方向に崩壊していることから、隠岐トラフ海底地すべりの波源特性を踏まえると、水位下降波先行という前提は妥当と考えられるが、発電所方向に崩壊する可能性のある地すべりとして、Es-G101、Es-T13、Es-T14の3か所については1波目の波形の形状を確認する。

【Step 4 : ①-1 施設に影響する海底地すべりの抽出】

発電所方向に崩壊する地すべりの1波目の波形

上昇波が先行する可能性のある3つの波源（エリアAのEs-G101、エリアCのEs-T13、エリアCのEs-T14）について津波波形を確認した。基準津波定義位置及び取水口前面における水位変動量を以下に示す。（水位変動の確認の観点から、計算潮位面をグラフ上の0mとして表記）



Watts他の予測式を用いた評価で上昇波先行の波形となっており、上昇波が先行する波源もあることを確認したものの、津波高さは小さく、「水位下降が先行する波となる」という前提を変更する必要はないと考える。

図1(7/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4：①-1 施設に影響する海底地すべりの抽出】

津波水位計算結果

エリアA～Cの各エリアの規模1位～3位の地すべり及びエリアに関わらず発電所方向に崩壊する地すべりによる津波水位計算結果を示す。
 (崩壊規模及び破壊伝播速度は最大値で設定している。)

数字は、T.P.(m)

海底地すべり（警報なし）	取水路防濁ゲート	水位上昇							水位下降				
		取水路防濁ゲート前面	3,4号炉循環水ポンプ室	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室	3,4号炉海水ポンプ室	放水口前面	放水路(奥)	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室	3,4号炉海水ポンプ室		
エリアA Es-G3 (規模1位)	Watts他の予測式	開	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.5	-0.6	-1.1	
	Kinematicモデルによる方法	開	2.0	2.3	2.1	2.2	2.6	1.6	1.8	-1.2	-1.4	-2.2	
Es-G101 (発電所方向)	Watts他の予測式	開	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.4	-0.5	-1.1	
	Kinematicモデルによる方法	開	0.9	1.0	0.9	0.9	1.1	0.8	0.9	-0.6	-0.7	-1.3	
エリアB Es-K5 (規模1位)	Watts他の予測式	開	2.2	2.5	2.3	2.4	2.5	1.9	2.1	-1.4	-1.5	-2.1	
	Kinematicモデルによる方法	開	3.6	3.9	3.7	3.8	3.8	3.7	4.0	-3.6	-3.7	-3.7	
	Es-K7 (規模2位)	Watts他の予測式	開	1.4	1.7	1.5	1.5	1.7	1.1	1.2	-0.9	-1.0	-1.6
	Kinematicモデルによる方法	開	2.1	2.3	2.1	2.2	2.6	2.2	2.4	-1.5	-1.6	-2.4	
	Es-K6 (規模3位)	Watts他の予測式	開	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	-0.7	-0.8	-1.3
	Kinematicモデルによる方法	開	2.0	2.3	2.1	2.1	2.3	1.7	1.9	-1.4	-1.5	-2.2	
エリアC Es-T2 (規模1位)	Watts他の予測式	開	1.4	1.8	1.4	1.6	1.8	1.1	1.4	-1.3	-1.4	-2.2	
	Kinematicモデルによる方法	開	3.2	3.7	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	-2.4	-2.5	-2.8	
	Es-T8 (規模2位)	Watts他の予測式	開	1.3	1.7	1.2	1.3	1.6	0.9	1.1	-1.0	-1.0	-1.7
	Kinematicモデルによる方法	開	1.8	2.1	1.9	2.0	2.1	2.4	2.5	-1.7	-1.9	-2.6	
	Es-T13 (規模3位、発電所方向)	Watts他の予測式	開	0.9	1.2	0.9	1.0	1.3	0.9	0.9	-0.6	-0.7	-1.3
	Kinematicモデルによる方法	開	1.8	2.0	1.8	1.8	2.1	2.3	2.4	-1.5	-1.6	-2.3	
	Es-T14 (発電所方向)	Watts他の予測式	開	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	-0.6	-0.7	-1.2
	Kinematicモデルによる方法	開	2.0	2.4	2.1	2.2	2.4	1.9	2.0	-1.5	-1.6	-2.1	

津波水位計算の結果、各評価点における水位変動は、エリアBのEs-K5（Kinematicモデル）が最も大きく、規模2位・3位の地すべりや発電所方向に崩壊する地すべりではこれを上回る水位変動は生じない。

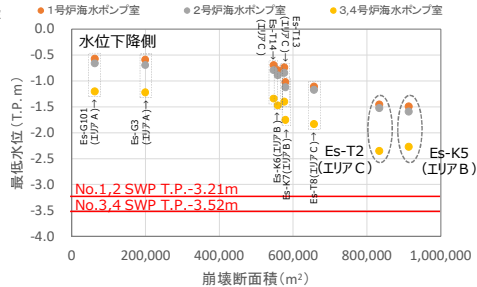
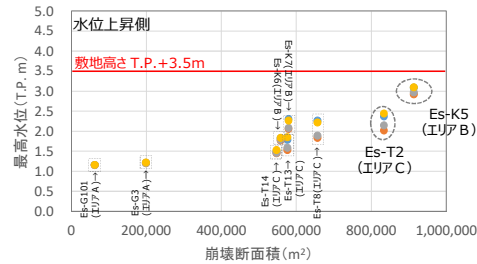
【Step 4：①-1 施設に影響する海底地すべりの抽出】

施設影響が生じるケースの確認

施設影響を確認するため、崩壊断面積と水位（上昇側：ばらつき+0.15m及び高潮裕度+0.49m考慮、下降側：ばらつき-0.17m考慮）の関係を整理した。

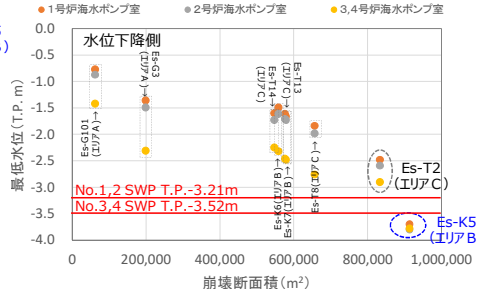
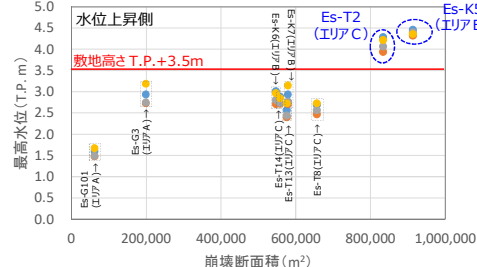
● Watts他の予測式

● 3,4号炉循環水ポンプ室 ● 1号炉海水ポンプ室 ● 2号炉海水ポンプ室 ● 3,4号炉海水ポンプ室



● Kinematicモデルによる方法

● 3,4号炉循環水ポンプ室 ● 1号炉海水ポンプ室 ● 2号炉海水ポンプ室 ● 3,4号炉海水ポンプ室



- エリアの違いや崩壊の向きによる傾向の差異は見られず、崩壊断面積が大きいほど最高水位は高く、最低水位は低くなっている。
- 施設影響が生じるのは、水位上昇側ではEs-K5（Kinematicモデル）とEs-T2（Kinematicモデル）、水位下降側ではEs-K5（Kinematicモデル）である。

図 1(8/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

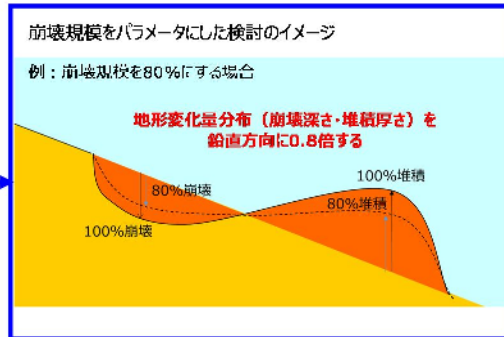
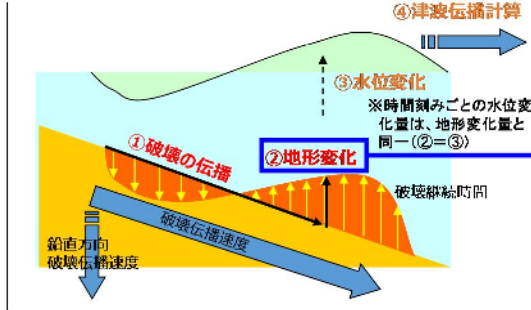
【Step 4：①-2 崩壊規模のパラメータスタディ】

崩壊規模のパラメータスタディ方法

- 施設に影響する海底地すべりの抽出時には、複数回の斜面崩壊で形成されたとされるものも含め、一度に全て崩壊するものとして崩壊規模を最大値で設定している。
- 地すべりによって発生する津波の波形の不確かさを確認する観点から、Kinematicモデルにおいて地すべりの進展が途中で止まる場合を考慮し、崩壊規模を徐々に小さくしたパラメータスタディ（下表・下図参照）を実施する。
- パラメータスタディの対象は、施設に影響する海底地すべりとして抽出したEs-K5（水位上昇側、水位下降側）及びEs-T2（水位上昇側）とする。
- パラメータスタディ結果に基づき、施設影響が生じるケースを検知できる判断基準となっていることを確認する。

海底地すべり	崩壊規模のパラメータスタディケース	
	水位上昇側	水位下降側
Es-K5（エリアB）	100%（基本ケース）、80%、70%、60%、50%、40%	100%（基本ケース）、80%
Es-T2（エリアC）	100%（基本ケース）、80%、60%、50%、45%	

Kinematicモデルによる海底地すべり計算の概念図



【Step 4：①-2 崩壊規模のパラメータスタディ】

崩壊規模のパラメータスタディ結果（時刻歴波形）

（水位変動の確認の観点から、計算潮位面をグラフ上の0mとして表記）

●水位上昇側（Kinematicモデル）
Es-K5（エリアB）

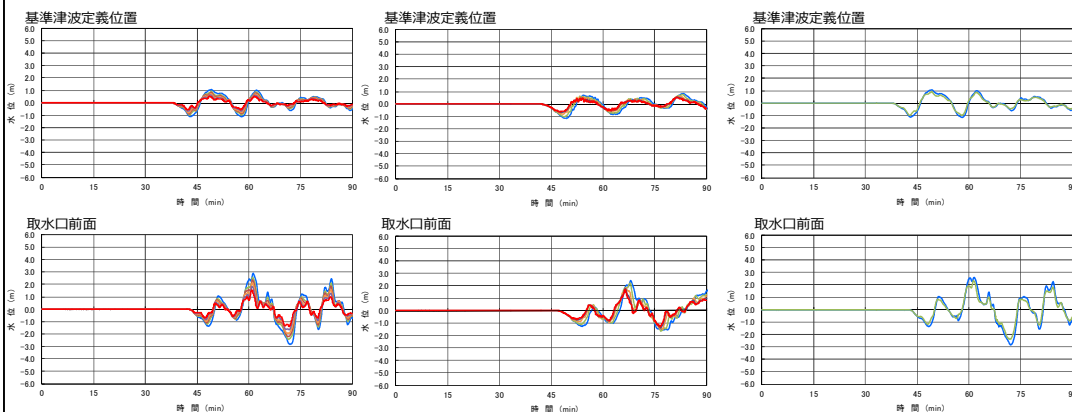
- 崩壊規模 = 100%
- 崩壊規模 = 80%
- 崩壊規模 = 70%
- 崩壊規模 = 60%
- 崩壊規模 = 50%
- 崩壊規模 = 40%

Es-T2（エリアC）

- 崩壊規模 = 100%
- 崩壊規模 = 80%
- 崩壊規模 = 60%
- 崩壊規模 = 50%
- 崩壊規模 = 45%*

●水位下降側（Kinematicモデル）
Es-K5（エリアB）

- 崩壊規模 = 100%
- 崩壊規模 = 80%



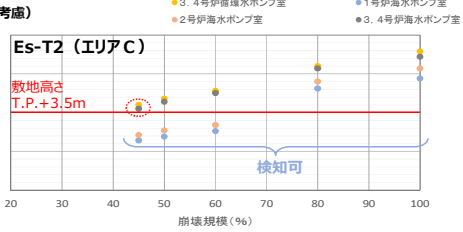
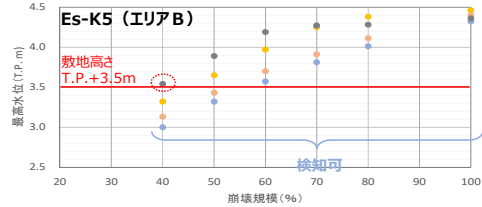
振幅：崩壊規模が小さくなるほど、振幅は小さくなる。
 周期：崩壊規模が小さくても、周期に顕著な違いは見られない。
 2波目以降の増幅：崩壊規模に関わらず、1波目の水位変動に対して2波目以降の水位変動が増幅する。

図 1 (9/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4 : ①-2 崩壊規模のパラメータスタディ】

崩壊規模のパラメータスタディ結果（施設影響の確認）

●水位上昇側（Kinematicモデル、最高水位には潮位のばつつき+0.15m及び高潮裕度+0.49mを考慮）



●水位下降側（Kinematicモデル、最低水位には潮位のばつつき-0.17mを考慮）



◆判断基準（0.7m/10分）による検知可否（施設影響あり：赤 検知可能：青 検知不能：緑）

水位上昇側：Es-K5（エリアB）		最高水位には潮位のばつつき+0.15m及び高潮裕度+0.49mを考慮		40%		50%		60%		70%		80%		100%	
ポンプ室	1号	2号	3.4号	1号	2号	3.4号	1号	2号	3.4号	1号	2号	3.4号	1号	2号	3.4号
水位低下量(m)	0.74	0.73	0.89	1.01	1.15	1.17	1.21	1.41	1.25	1.23	1.50	1.38	1.38	1.63	1.57
0.7m低下時間(分)	4.8	4.8	4.6	4.3	4.3	4.5	3.7	3.8	2.5	4.0	2.4	3.9	3.7	2.4	3.1
検知可否	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

水位上昇側：Es-T2（エリアC）		最高水位には潮位のばつつき+0.15m及び高潮裕度+0.49mを考慮		45%		50%		60%		80%		100%		
ポンプ室	1号	2号	3.4号	1号	2号	3.4号	1号	2号	3.4号	1号	2号	3.4号	1号	2号
水位低下量(m)	0.75	0.80	0.88	0.85	0.89	0.98	1.07	1.11	1.19	1.32	1.36	1.50	1.50	1.53
0.7m低下時間(分)	4.6	4.5	3.8	4.5	4.4	3.7	4.3	4.3	3.6	4.3	4.2	3.6	4.2	3.6
検知可否	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

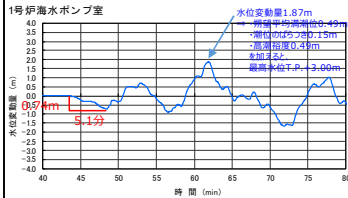
水位下降側：Es-K5（エリアB）		最低水位には潮位のばつつき-0.17mを考慮		80%		100%	
ポンプ室	1,2号	3,4号	1,2号	3,4号	1,2号	3,4号	1,2号
水位低下量(m)	-3.42	-3.42	-3.80	-3.78	-3.80	-3.78	-3.78
0.7m低下時間(分)	2.8	3.8	3.2	2.9	3.3	2.9	2.9
検知可否	○	○	○	○	○	○	○

- 水位上昇側・下降側ともに、崩壊規模が小さくなるほど水位変動も小さくなることを確認した。
- 「施設影響あり」のケースの中で、各波源で最も水位変動が小さいものは、Es-K5（上昇側、崩壊規模40%）、Es-T2（上昇側、崩壊規模45%）、Es-K5（下降側、崩壊規模80%）であった。その中で、1波目の水位低下量の最小値は0.73m、0.7mの水位低下に要する時間の最大値は4.8分であり、設定した判断基準（0.7m/10分）によって施設影響が生じるケースを全て検知できることを確認した。
- 1波目の水位低下量が最小の0.73mのケースは最高水位に高潮裕度（0.49m）を足すことによって「施設影響あり」になっている振幅の小さいケースであり、最高水位に高潮裕度を考慮しない場合（0.49mを引いた場合）に「施設影響あり」となるケースの1波目の水位低下量の最小値は1.17mである。したがって、本検討における最高水位に対する高潮裕度の考慮は、本質的には1波目の水位低下量に対する裕度の考慮であり、裕度を含めても1波目の水位低下量は全て判断基準の0.7m以上となっている。

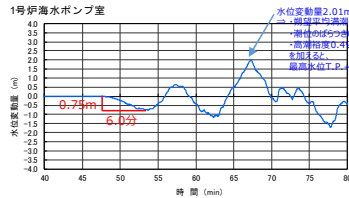
【Step 4 : ①-2 崩壊規模のパラメータスタディ】

崩壊規模のパラメータスタディ結果（判断基準による検知可否の確認）

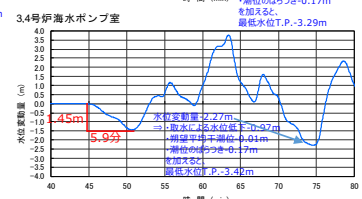
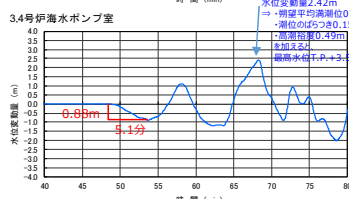
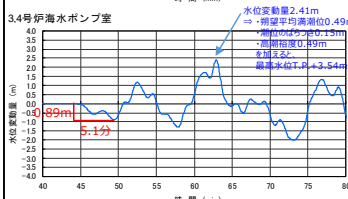
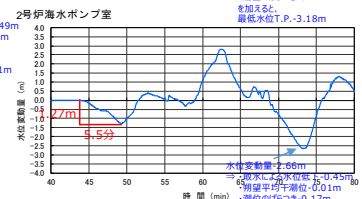
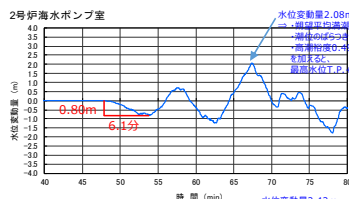
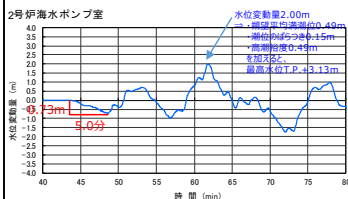
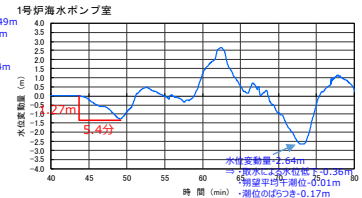
●水位上昇側：Es-K5（エリアB）崩壊規模40%



●水位上昇側：Es-T2（エリアC）崩壊規模45%



●水位下降側：Es-K5（エリアB）崩壊規模80%



- パラメータスタディ結果のうち、施設影響があるケースの中で各波源で最も水位変動が小さい3ケースの時刻歴波形を確認した。
- いずれも i ~ v の条件を満たしており、設定した判断基準で津波検知が可能であることを確認した。（i. 水位下降が先行する波となる。 ii. 1波目より2波目以降の水位変動が大きい。 iii. 1波目の水位変動では施設影響は生じない。 iv. 施設に影響するケースでは1波目の水位低下が0.7m以上。 v. 施設に影響するケースでは1波目の水位低下に要する時間が10分以内。）

図 1(10/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

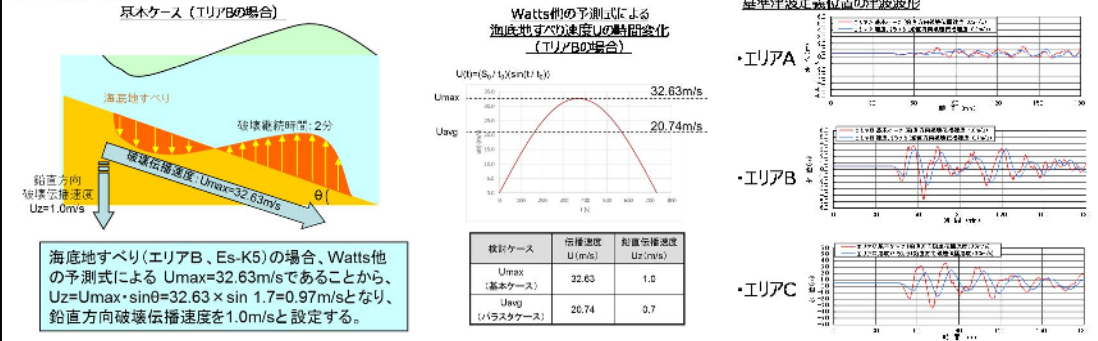
【Step 4：①-3 破壊伝播速度のパラメータスタディ】

破壊伝播速度のパラメータスタディ方法

- 破壊伝播速度については、既許可時の検討より、破壊伝播速度が大きいほど振幅が大きくなり周期が短くなることを確認している。（下図参照）
- 施設に影響する海底地すべりの抽出時には、破壊伝播速度としてWatts他の予測式による海底地すべりの速度の最大値 U_{max} を採用している。
- 地すべりによって発生する津波の波形の不確かさを確認する観点から、Kinematicモデルにおいて地すべりの進展が比較的遅い場合を考慮し、破壊伝播速度を徐々に小さくしたパラメータスタディ（下表参照）を実施する。
- パラメータスタディの対象は、施設に影響する海底地すべりとして抽出したEs-K5（水位↑昇側、水位↓降側）及びEs-T2（水位↑昇側）とする。
- パラメータスタディ結果に基づき、施設影響が生じるケースを絞りこめる判断基準となつていくことを確認する。

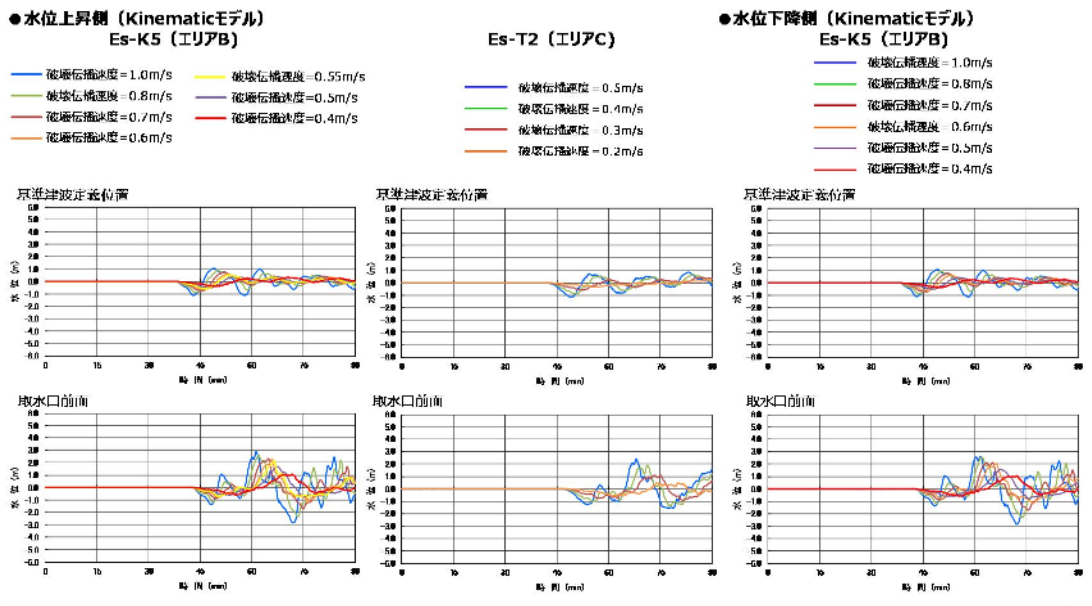
海底地すべり	破壊伝播速度（鉛直方向）のパラメータスタディケース	
	水位上昇側	水位下降側
Es-K5 (エリアB)	1.0m/s（基本ケース）、0.8m/s、0.7m/s、0.6m/s、0.55m/s、0.5m/s、0.4m/s	1.0m/s（基本ケース）、0.8m/s、0.7m/s、0.6m/s、0.5m/s、0.4m/s
Es-T2 (エリアC)	0.5m/s（基本ケース）、0.4m/s、0.3m/s、0.2m/s	

（参考）既許可時の検討



【Step 4：①-3 破壊伝播速度のパラメータスタディ】

破壊伝播速度のパラメータスタディ結果（時刻歴波形）（水位変動の確認の観点から、計算断面をグラフ上の00mとして表記）



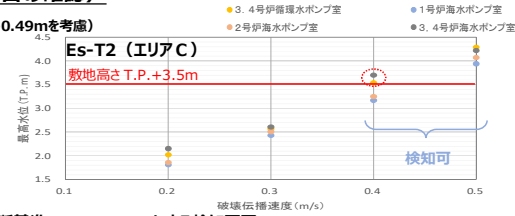
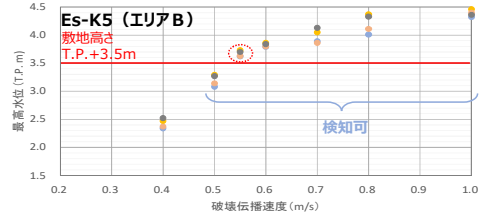
振幅：破壊伝播速度が小さくなるほど、振幅は小さくなる。
 周期：破壊伝播速度が小さくなるほど、周期は長くなる。
 2波目以降の増幅：破壊伝播速度に関わらず、1波目の水位変動に対して2波目以降の水位変動が増幅する。

図 1(11/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4 : ①-3 破壊伝播速度のパラメータスタディ】

破壊伝播速度のパラメータスタディ結果（施設影響・検知可否の確認）

●水位上昇側（Kinematicモデル、最高水位には潮位のぼらつき+0.15m及び高潮裕度+0.49mを考慮）



◆判断基準（0.7m/10分）による検知可否（施設影響あり：赤 検知可能：青 検知不能：緑）

水位上昇側：Es-K5（エリアB）最高水位には潮位のぼらつき+0.15m及び高潮裕度+0.49mを考慮

破壊伝播速度	0.4m/s	0.5m/s	0.55m/s	0.6m/s	0.7m/s	0.8m/s	1.0m/s
最低水位 [T.P. (m)]	2.52	3.29	3.73	3.86	4.13	4.37	4.46
ポツ室	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号
水位低下量 (m)	0.67 0.69 0.81	0.70 0.81 0.90	0.71 0.71 0.89	0.72 0.76 0.93	0.92 0.94 1.12	1.25 1.28 1.58	1.57 1.64 1.88
0.7m低下時間(分)	11.1 9.2 8.5	8.1 10.1 9.0	7.5 7.2 6.7	5.4 4.3 3.6	4.2 3.1 2.4	2.4 2.1 1.7	1.5 1.2 1.0
検知可否	× × ×	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○

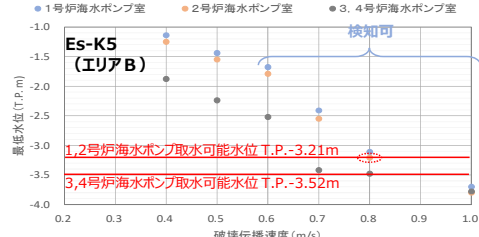
水位上昇側：Es-T2（エリアC）最高水位には潮位のぼらつき+0.15m及び高潮裕度+0.49mを考慮

破壊伝播速度	0.2m/s	0.3m/s	0.4m/s	0.5m/s
最低水位 [T.P. (m)]	2.15	2.61	3.70	4.29
ポツ室	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号
水位低下量 (m)	0.60 0.64 0.70	0.64 0.68 0.81	0.85 0.98 1.14	1.27 1.50 1.53 1.73
0.7m低下時間(分)	13.6	9.6 6.6 5.9	4.5 4.2 3.6	2.9 2.3 2.0
検知可否	× × ×	× × ×	○ ○ ○	○ ○ ○

水位下降側：Es-K5（エリアB）最低水位には潮位のぼらつき-0.17mを考慮

破壊伝播速度	0.4m/s	0.5m/s	0.6m/s	0.7m/s	0.8m/s	1.0m/s
最低水位 [T.P. (m)]	1.2号	-1.88	-1.55	-1.79	-2.55	-3.21
ポツ室	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号
水位低下量 (m)	0.60 0.56 0.73	0.62 0.64 0.77	0.80 0.82 0.99	0.92 0.93 1.14	1.25 1.47 1.48	1.50 1.77
0.7m低下時間(分)	-- 12.3	-- 8.4 6.3 6.7	6.4 5.4 5.4	4.6 4.5 4.2	2.9 3.3 2.9	2.0
検知可否	× × ×	× × ×	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○

●水位下降側（Kinematicモデル、最低水位には潮位のぼらつき-0.17mを考慮）

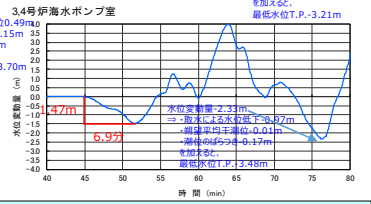
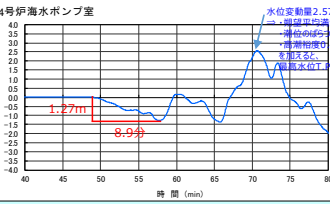
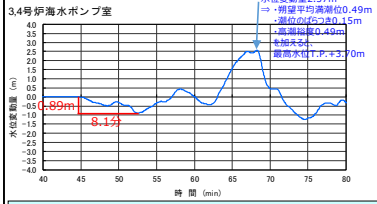
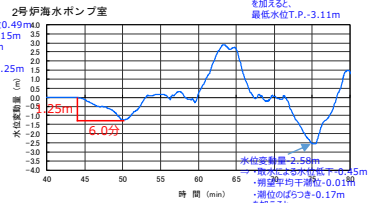
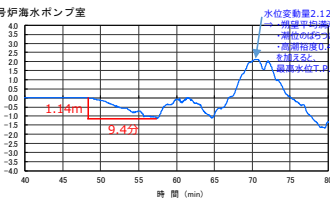
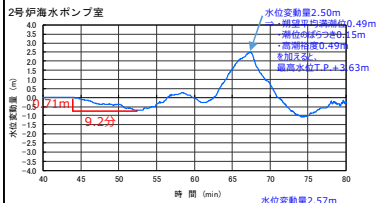
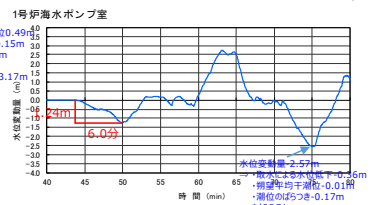
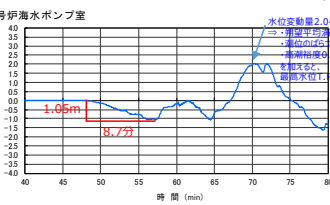
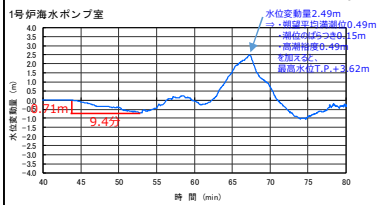


- 水位上昇側・下降側ともに、破壊伝播速度が小さくなるほど水位変動も小さくなることを確認した。
- 「施設影響あり」のケースの中で、各波源で最も水位変動が小さいものは、Es-K5（上昇側、破壊伝播速度0.55m/s）、Es-T2（上昇側、破壊伝播速度0.4m/s）、Es-K5（下降側、破壊伝播速度0.8m/s）であった。その中で、1波目の水位低下量の最小値は0.71m、0.7mの水位低下に要する時間の最大値は9.1分であり、設定した判断基準（0.7m/10分）による施設影響が生じるケースを全て検知できることを確認した。
- 1波目の水位低下量が最小の0.71mのケースは最高水位に高潮裕度（0.49m）を足すことにより施設影響ありになっている振幅の小さいケースであり、最高水位に高潮裕度を考慮しない場合（0.49mを引いた場合）に「施設影響あり」となるケースの1波目の水位低下量の最小値は0.92mである。したがって、本検討における最高水位に対する高潮裕度の考慮は、本質的には1波目の水位低下量に対する裕度の考慮であり、裕度を含めると1波目の水位低下量は全て判断基準の0.7m以上となっている。
- Es-K5（上昇側）の破壊伝播速度0.5m/s～0.6m/sでは、1波目の水位低下量の大きさが破壊伝播速度の大小と整合していない。この間での1波目の水位低下量は概ね同程度で0.8m程度であるところ、取水路周辺の詳細地形の影響等で水位変動がやや増減しているものと考えられるが、施設影響が生じない破壊伝播速度0.5m/sのケースも含めるといずれも水位低下量が0.7m以上であり、検知可能であることを確認している。

【Step 4 : ①-3 破壊伝播速度のパラメータスタディ】

破壊伝播速度のパラメータスタディ結果（水位変動が小さいケースの検知可否の確認）

●水位上昇側：Es-K5（エリアB）破壊伝播速度0.55m/s ●水位上昇側：Es-T2（エリアC）破壊伝播速度0.4m/s ●水位下降側：Es-K5（エリアB）破壊伝播速度0.8m/s



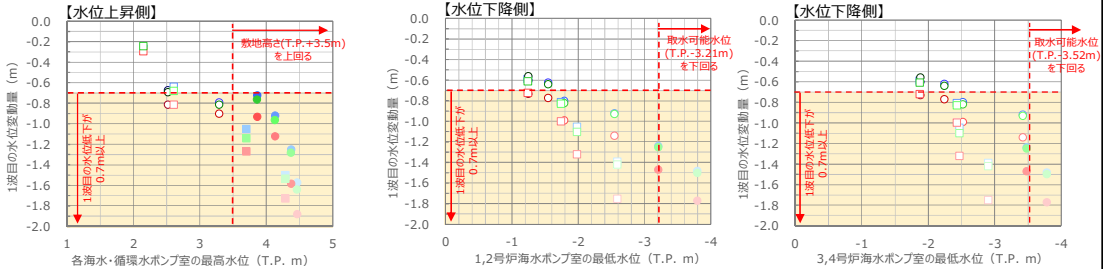
- パラメータスタディ結果のうち、施設影響があるケースの中で各波源で最も水位変動が小さい3ケースの時刻歴波形を確認した。
- いずれも i ~ v の条件を満たしており、設定した判断基準で津波検知が可能であることを確認した。（i. 水位下降が先行する波となる。 ii. 1波目より2波目以降の水位変動が大きい。 iii. 1波目の水位変動では施設影響は生じない。 iv. 施設に影響するケースでは1波目の水位低下が0.7m以上。 v. 施設に影響するケースでは1波目の水位低下に要する時間が10分以内。）

図 1(12/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

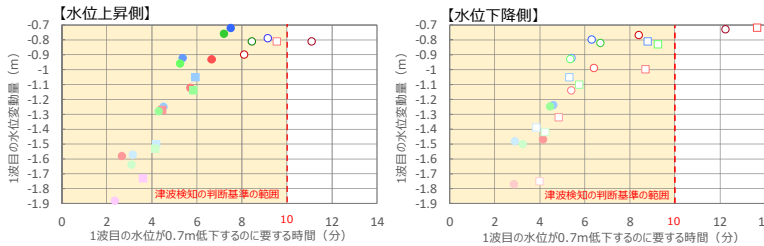
【Step 4：①-3 破壊伝播速度のパラメータスタディ】

破壊伝播速度のパラメータスタディ結果（全ケース※1の検知可否の確認） ※1：参考としてEs-T2の水位下降側の結果も記載

●1波目の水位変動量と最高水位・最低水位の関係（最高水位は潮位のばらつき及び高潮裕度を考慮した値、最低水位は潮位のばらつきを考慮した値）



●1波目の水位変動量と0.7m低下に要する時間の関係（1波目の水位低下が0.7m以上のケースのみをプロット）



【凡例（塗りつぶし：施設影響あり^{0.2}、白抜き：施設影響なし）】

評価点	EJ7B Es-K5 (Kinematic)					EJ7C Es-T2 (Kinematic)				
	破壊伝播速度 [m/s]					破壊伝播速度 [m/s]				
	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2
水位上昇側	No.1 SWP	●	●	●	●	○	○	○	○	○
	No.2 SWP	●	●	●	●	○	○	○	○	○
	No.3,4 SWP	●	●	●	●	○	○	○	○	○
水位下降側	No.1 SWP	●	●	●	●	○	○	○	○	○
	No.2 SWP	●	●	●	●	○	○	○	○	○
	No.3,4 SWP	●	●	●	●	○	○	○	○	○

※2：第823回審査会合時にはEJ7Bの水位下降側・0.8m/sのケースを施設影響なしとしていたが、No.2 SWPの水位が取水可能水位のT.P.-3.21mと同値であることから、保守的に当該ケースを施設影響ありに変更する。

- 1波目の水位変動量と最高水位・最低水位の関係
 - 1波目の水位低下が大きいかほど、最高水位は高く、最低水位は低い。
 - 1波目の水位低下が0.7m未満のケースでは施設影響はない（敷地高さを上回らない/取水可能水位を下回らない）。
- 1波目の水位変動量と0.7m低下に要する時間の関係
 - 1波目の水位低下が大きいかほど、0.7m低下に要する時間は短い。
 - 1波目の水位低下が0.7m以上のケースのうち、0.7m低下に要する時間が10分超のケースでは施設影響はない。

【Step 4：① 海底地すべりの波源特性に関するパラメータスタディ】

波源特性に関する検討のまとめ

		波源特性			津波検知の判断基準（0.7m/10分）の妥当性確認
		地すべりの位置・向き（38の海底地すべり） ⇒複数の地すべりを対象に津波水位計算を実施。	崩壊の規模（崩壊断面積） ⇒崩壊の規模を様々な変えて津波水位計算を実施。	崩壊の進展速度（破壊伝播速度） ⇒破壊伝播速度を様々な変えて津波水位計算を実施。	
津波の時刻歴波形の特徴	振幅	地すべりの位置・向きによる傾向の差異は見られない。 (位置・向きに関わらず、崩壊断面積が大きいかほど、振幅は大きい。)	崩壊の規模が大きいかほど、振幅は大きくなる。	崩壊の進展速度が速いかほど、振幅は大きくなる。	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 38の海底地すべりのうち、破壊伝播速度最大（振幅最大、周期最短）の場合に施設影響が生じるのは、崩壊の規模が特に大きいEs-K5（エリアB）とEs-T2（エリアC）。この2つによる津波を検知できることを確認した。 ➢ Es-K5及びEs-T2を対象に、崩壊の規模を徐々に小さくして、振幅を小さくした計算を行い、いずれの場合でも施設影響が生じるケースを検知できることを確認した。 ➢ Es-K5及びEs-T2を対象に、破壊伝播速度を徐々に小さくして、振幅を小さく目づつ周期を長くした計算を行い、いずれの場合でも施設影響が生じるケースを検知できることを確認した。 ➢ なお、波源特性のパラメータスタディでは、高潮裕度を考慮して施設影響の有無を確認することで1波目の水位変動が比較的小さいケースまで「施設影響あり」として抽出していることから、判断基準の妥当性確認における1波目の水位低下量は保守的な評価となっている。
	周期	-	崩壊の規模が変わっても、周期に顕著な差は生じない。	崩壊の進展速度が速いかほど、周期は短くなる。	

波源特性に関するパラメータスタディの結果、地すべりの位置・向き、崩壊の規模、崩壊の進展速度の違いによる津波波形の振幅・周期の特徴の違いがあっても、施設に影響するケースを網羅的に検知できる判断基準となっていることを確認した。

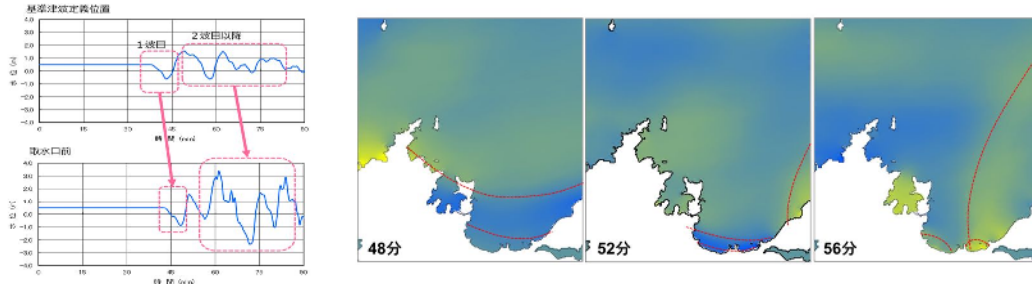
図 1(13/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4：② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ】

2波目以降の水位変動の増幅について

- 設定した判断基準では、「1波目よりも2波目以降の水位変動が大きめ」という前提に基づき、1波目の水位変動を検知することとしている。
- 海底地すべりによる津波の計算結果では、いずれのケースでも、基準津波定義位置の時刻歴波形では2波目以降の水位変動が1波目と同程度以下なのに対して、取水口前では2波目以降の水位変動の増幅が見られる。これは1波目では波源からの直達波のみが到達するのに対して、2波目以降では大島半島等からの反射波との重畳が生じているためと考えられる。（下図参照）
- 波源特性に関するパラメータスタディ（Step 4 ①）では、パラメータの変動に応じて生成される振幅・周期が異なる様々な津波波形においていずれの場合も取水口位置で2波目以降が増幅することが確認されており、2波目以降の増幅は若狭湾の伝播特性に起因する高浜発電所位置の津波波形の一般的な傾向であると考えられる。

○海底地すべりエリアB（Kinematic）による津波波形およびスナップショット



●若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ

目的：「1波目よりも2波目以降の水位変動が大きめ」という津波波形の特徴が津波波形の一般的な傾向であることを、より網羅的に確認する。

- ・波源のパラメータスタディ結果とは異なるような、特異的に大きな増幅傾向がないことを確認する。
- ・1波目の水位低下が10分を超えるような周期の長い波（周期40分以上）では大きな増幅はないことを確認する。

確認方法：振幅・周期を様々な変えた正弦波を用いて津波水位計算を実施し、1波目と2波目以降の関係を確認する。

【Step 4：② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ】

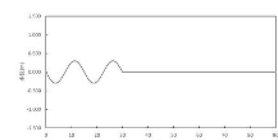
正弦波によるパラメータスタディの方法

- 若狭湾沖合（150m格子領域北端）から正弦波を入力し、津波計算を行う。
- 入力波の設定は以下のとおりとし、初動方向・振幅・周期のパラメータスタディを行って、2波目以降の水位変動の増幅傾向を確認する。

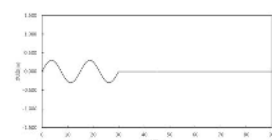
正弦波のパラメータ	設定	考え方
波数	2波	海底地すべりによる津波の基準津波定義位置の波形及びスナップショットから、入力波として明瞭な振幅が存在する波数として2波とする。
初動方向	・水位下降波先行 ・水位上昇波先行	隠岐トラフでは地形的にほとんどの地すべりが発電所とは逆方向に崩壊していることから水位下降波先行と考えられるが、発電所方向に崩壊する一部の地すべりではわずかに水位上昇波が先行する計算結果となることから、両パターンを設定する。
振幅	0.3～0.6m	・取水口位置での1波目の振幅が各周期で概ね0.7m程度となる振幅として0.3mとする。 ・周期10分・15分・40分については、施設影響が大きくなる場合の確認として0.3～0.6mのパラメータスタディを行う。
周期	5～50分	海底地すべりによる津波の周期を踏まえ、5～50分とする。

入力波形の例

◆波数2・水位下降波先行・周期15分・振幅0.3m



◆波数2・水位上昇波先行・周期15分・振幅0.3m



正弦波の入力位置

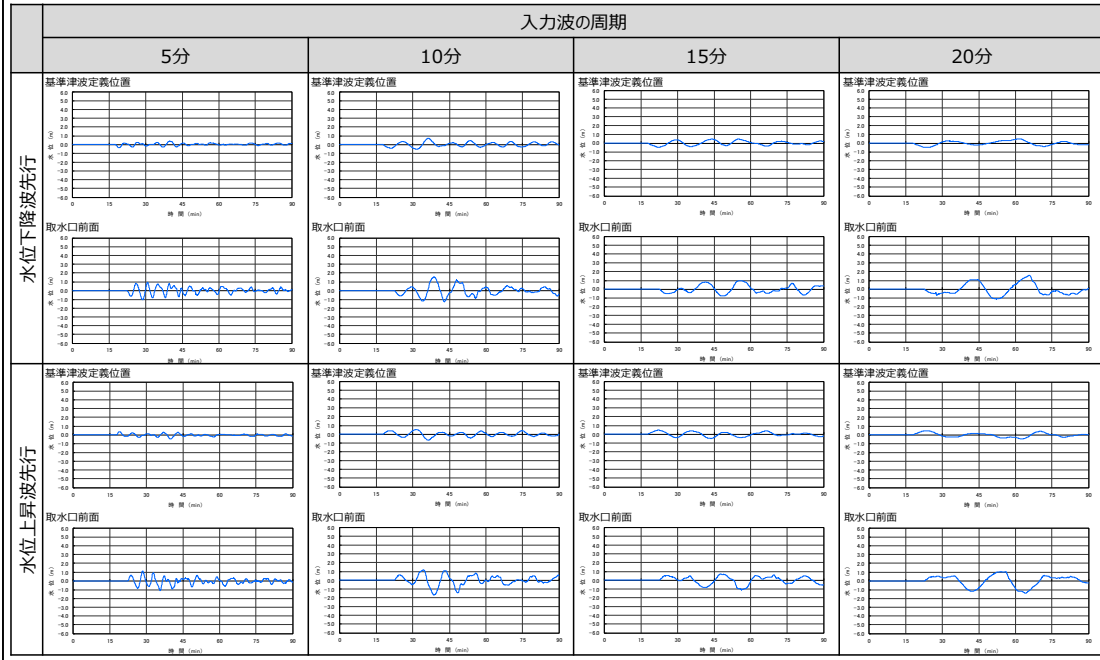


図 1(14/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4 : ② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ】

正弦波によるパラメータスタディ結果（周期のパラメータスタディ）

正弦波によるパラメータスタディによって得られた時刻歴波形を示す。



【Step 4 : ② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ】

正弦波によるパラメータスタディ結果（周期のパラメータスタディ）

正弦波によるパラメータスタディによって得られた時刻歴波形を示す。

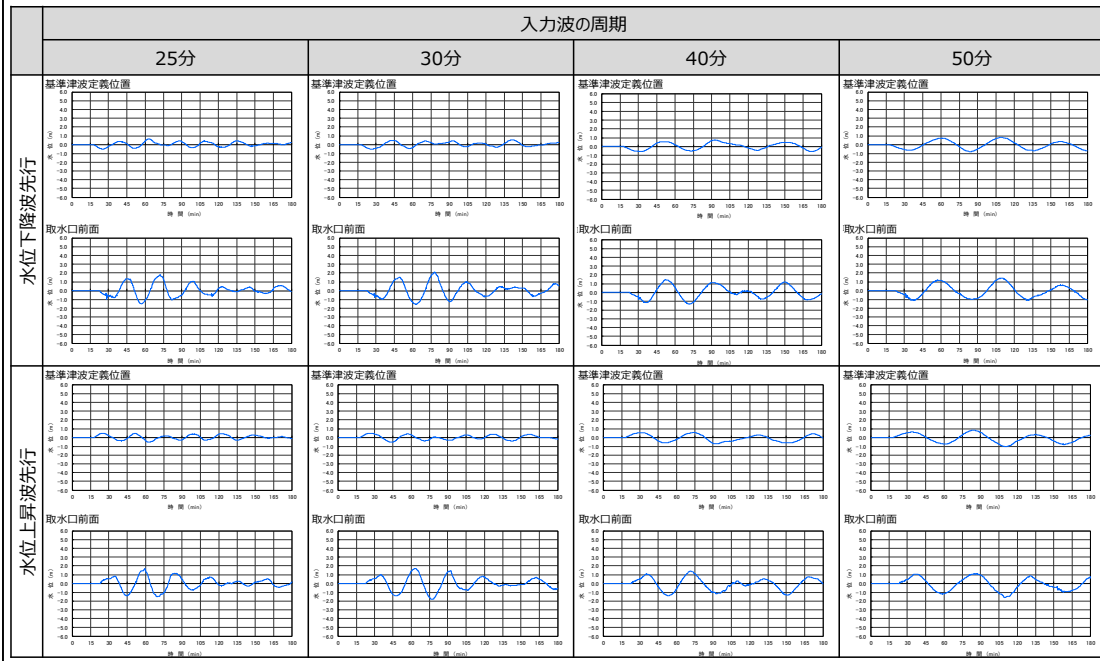
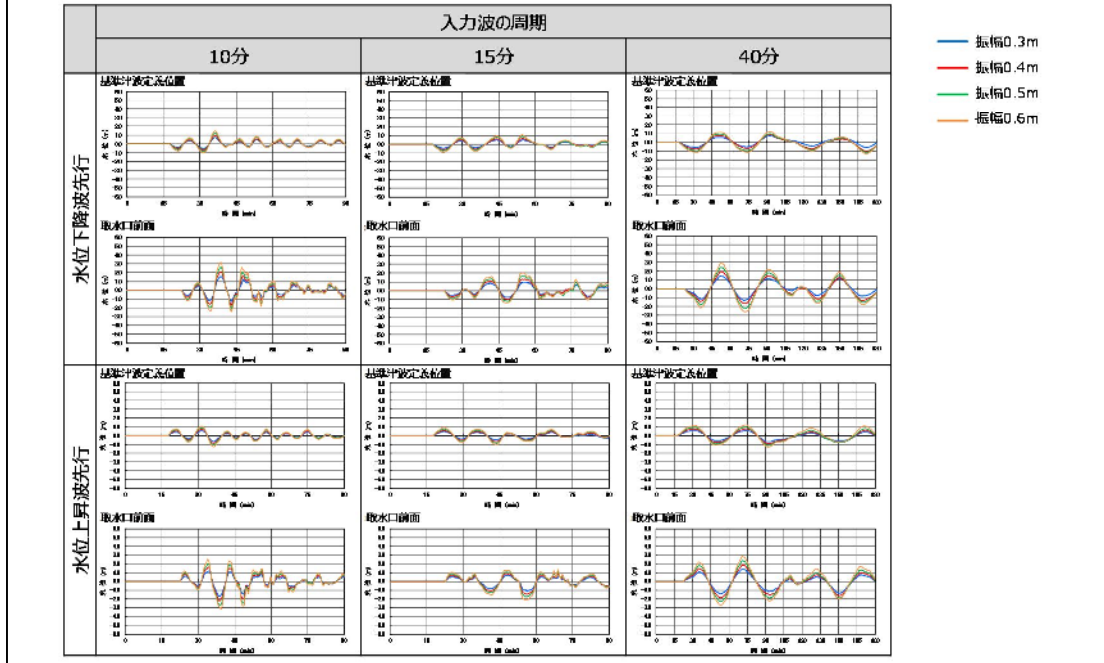


図 1(15/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4 : ② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ】

正弦波によるパラメータスタディ結果（振幅のパラメータスタディ）

正弦波によるパラメータスタディによって得られた時刻歴波形を示す。



【Step 4 : ② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ】

正弦波によるパラメータスタディ結果（増幅比率）

正弦波による周期・振幅のパラメータスタディ結果の取水口前面の時刻歴波形から、1波目の水位変動量に対する最大水位上昇量の比率（増幅比率）を確認した。

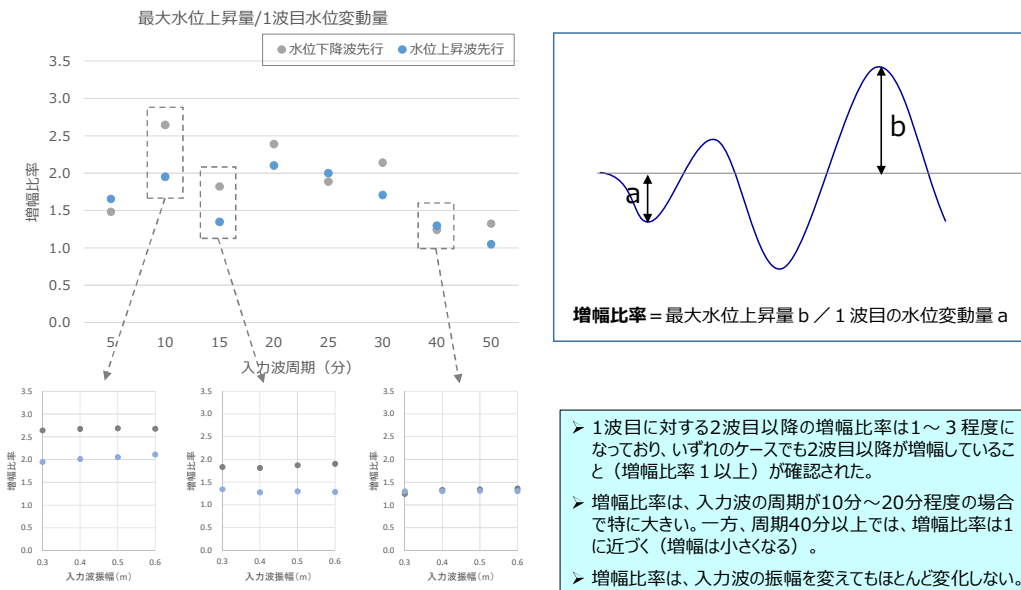


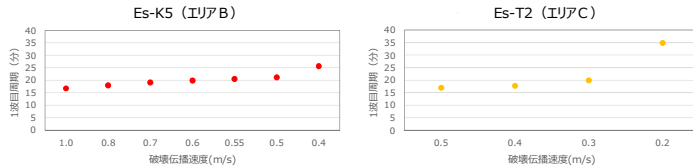
図 1(16/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4 : ② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ】

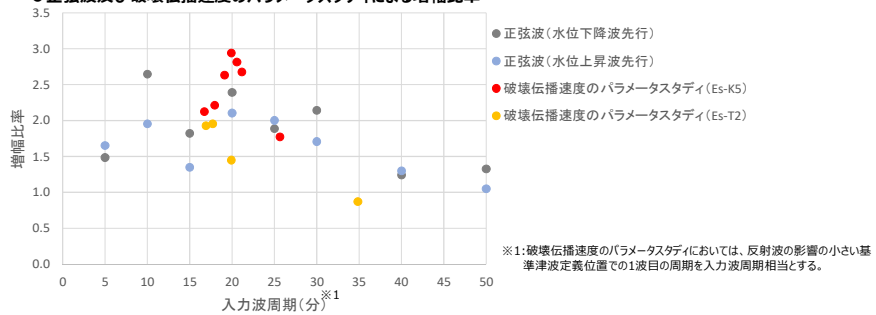
正弦波によるパラメータスタディ結果（海底地すべりによる津波の増幅比率との比較）

増幅比率は津波の周期によって変化することを踏まえ、周期に影響する破壊伝播速度のパラメータスタディ結果（Step 4 ①-3）における増幅比率（取水口前面）を確認する。

●破壊伝播速度と1波目の周期（基準津波定義位置）の関係



●正弦波及び破壊伝播速度のパラメータスタディによる増幅比率



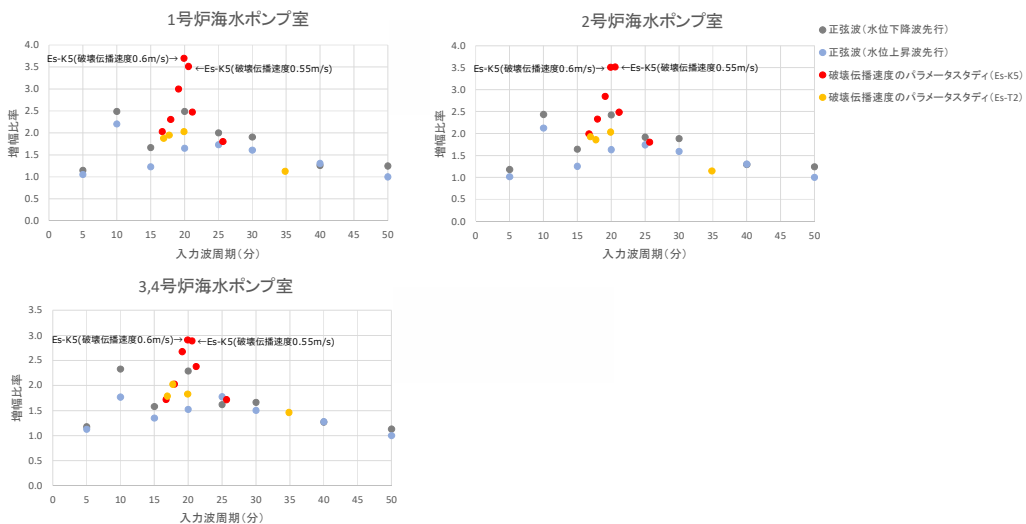
※1:破壊伝播速度のパラメータスタディにおいては、反射波の影響の小さい基準津波定義位置での1波目の周期を入力波周期相当とする。

- 破壊伝播速度のパラメータスタディ結果では、1波目に対する2波目以降の増幅比率が1〜3程度。⇒正弦波での検討と同じ傾向。
- 破壊伝播速度のパラメータスタディ結果では、周期20分付近に増幅比率のピークがある。⇒正弦波の検討と同じ傾向。
- 破壊伝播速度のパラメータスタディ結果では、周期が長いケース（35分程度）では増幅比率が1に近づく。⇒正弦波の検討と同じ傾向。

【Step 4 : ② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ】

正弦波によるパラメータスタディ結果（各ポンプ室での増幅比率）

各ポンプ室の時刻歴波形においても、前ページと同様に増幅比率の検討を行った。



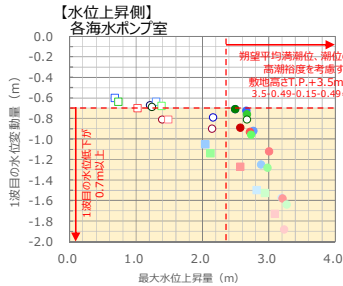
- 各ポンプ室においても、正弦波及び破壊伝播速度のパラメータスタディ結果の増幅比率は、周期10〜20分程度にピークがあり、周期が長いケースでは1に近づくという点で、取水口前面と同様の傾向が確認できた。
- 1号炉海水ポンプ室及び2号炉海水ポンプ室における周期20分付近の2ケース（Es-K5の破壊伝播速度0.6m/s及び0.55m/sのケース）で増幅比率が3.5〜3.7程度と特に大きくなっている。なお、これらの増幅比率が特に大きいケースでも設定した判断基準で検知できることを確認していることから、正弦波によるパラメータスタディで確認した増幅比率がこれよりも小さいケースについても設定した判断基準で対応可能と考えられる。

図 1(17/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4 : ② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ】

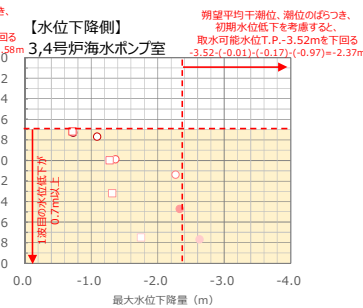
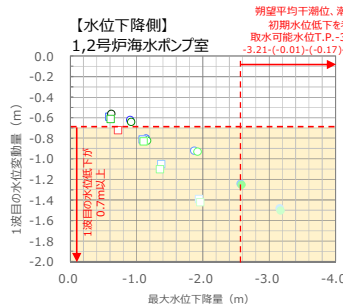
（参考）破壊伝播速度のパラメータスタディ結果※1の水位変動量 ※1：参考としてEs-T2の水位下降側の結果も記載

●1波目の水位変動量と最大水位変動量の関係



【凡例（塗りつぶし：施設影響あり、白抜き：施設影響なし）】

評価点	エリアB Es-K5 (Kinematic)				エリアC (Kinematic)				
	破壊伝播速度 [m/s]				破壊伝播速度 [m/s]				
水位上昇側	No.1 SWP	No.2 SWP	No.3,4 SWP	No.1 SWP	No.2 SWP	No.3,4 SWP	No.1 SWP	No.2 SWP	No.3,4 SWP
水位下降側	No.1 SWP	No.2 SWP	No.3,4 SWP	No.1 SWP	No.2 SWP	No.3,4 SWP	No.1 SWP	No.2 SWP	No.3,4 SWP



【Step 4 : ② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ】

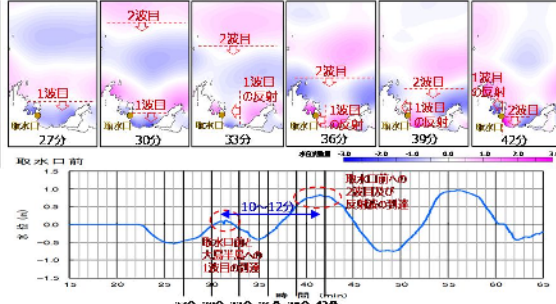
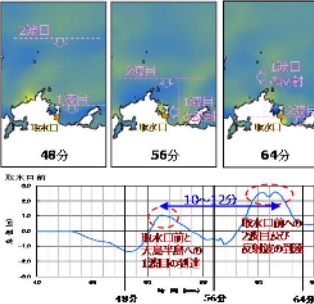
反射波の重畳に関する確認

海底地すべりによる津波及び正弦波のいずれにおいても2波目以降が増幅することや、周期によって増幅比率が異なることを踏まえ、取水口位置での2波目以降に対する大島半島からの反射波の重畳について確認を行った。

●大島半島からの反射波との重畳（海底地すべりによる津波、正弦波）

エリアB Es-K5(Kinematic)の津波伝播のスナップショット

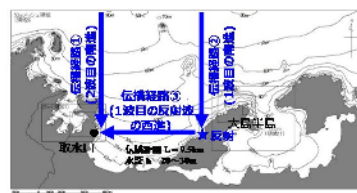
正弦波(入力波周期15分)の津波伝播のスナップショット



海底地すべりによる津波及び正弦波の伝播状況が以下を確認された。

- 取水口位置において大島半島からの反射波（1波目）が2波目と重畳する。
- 波頭からの1波目及び2波目は南向き、大島半島からの反射波（1波目）は西向きに進行する。
- 大島半島で反射した波（1波目）が取水口に到達するまでの時間は10～12分程度と考えられる。

●反射波の重畳と津波の周期の関係



左図において伝播経路①と伝播経路②が同じように津波を伝播させると仮定すると、伝播経路③の進行に要する伝播時間と津波の周期が一致する場合において、伝播経路②及び伝播経路③を通じて到達する1波目のピークと伝播経路①を通じて到達する2波目のピークが取水口前で重畳する。

伝播経路③の進行に要する伝播時間は、スナップショット及び時刻歴波形の確認結果から10～12分程度と考えられる。これは伝播距離及び波速に基づく試算とも概ね一致する。

$$\text{伝播時間} = \text{伝播距離} L / \text{波速} c = L / \sqrt{gh} = 9500 / \sqrt{9.8 \times 20} \text{ or } 30 \approx 554 \text{ or } 678 [\text{sec}] \Rightarrow 9.2 \sim 11.3 [\text{min}]$$

したがって、周期10～15分程度の波において他の周期より2波目以降の増幅比率が高くなる傾向は、大島半島から10～12分程度で取水口前に到達する反射波との重畳が影響していると考えられる。

一方、周期が10～15分よりも大幅に長い場合に増幅比率が低くなるのは、伝播経路①を通じて2波目のピークが到達する前に大島半島からの反射波が到達してしまうことで、ピークどうしの重畳が生じないためと考えられる。

海底地すべりによる津波でも正弦波でも2波目以降での大島半島からの反射波が生じるが、ピークどうしの重畳が顕著になるのは周期が10～15分程度と考えられ、周期が大幅に長い場合はピークどうしの重畳は生じにくいと考えられる。

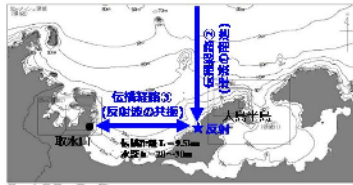
図 1(18/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4 : ② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ】

高浜湾における固有振動（セイシュ）に関する確認

海底地すべりによる津波及び正弦波のいずれにおいても2波目以降が増幅することや、周期によって増幅比率が異なることを踏まえ、大島半島からの反射波の固有振動（セイシュ）について確認を行った。

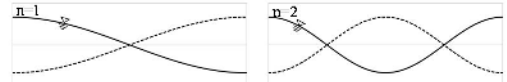
●高浜湾におけるセイシュの周期



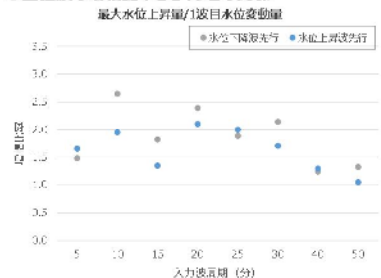
左図において伝播経路③を西進した1波目の反射波が取水口位置で反射する際に、波の周期が高浜湾の固有周期と一致する場合において、波の固有振動（セイシュ）によって振幅が励起される。

両端が岸（崖）となるセイシュが発生する固有周期 T_{in} は、伝播距離 L と水深 h から、 $T_{in} = 2L / \sqrt{g \cdot h}$ の式で求められ、 $n=1$ の場合が1次の固有周期、 $n=2$ の場合が2次の固有周期となる。

高浜湾の伝播経路③の場合、 $L=9500m$ 、 $h=20\sim30m$ とすると、1次固有周期が18～23分程度、2次固有周期が9～11分程度となる。

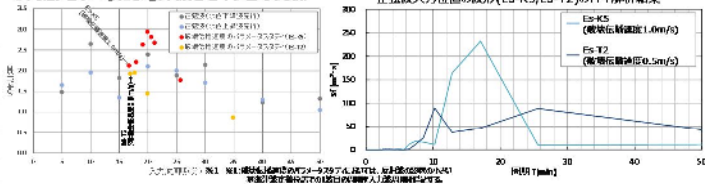


●正弦波の増幅比率とセイシュの関係



正弦波による検討結果から、増幅比率は特に周期10分と周期20分において他の周期よりも大きい。これらは伝播経路③の1次・2次の固有周期に近いことから、大島半島から反射して到達する波にはセイシュによる振幅の励起が生じている可能性がある。

●海底地すべりによる津波とセイシュの関係



Es-K5（破壊伝播速度1.0m/s）とEs-T2（破壊伝播速度0.5m/s）（ともに、基準津波定義位置における1波目の周期が17分程度である。一方、正弦波の入力位置と同じ位置の時刻歴波形を用いてFFT解析を実施した結果、Es-K5は周期18分程度が卓越する波、Es-T2は周期10分程度と周期26分程度が卓越する波であった。1波目のみかみの周期は同程度であっても、湾の固有周期に近い周期18分の波が卓越するEs-K5のほうが増幅比率がや高く、湾の固有周期から外れる周期26分程度の波を多く含むEs-T2では増幅比率が比較的小さい結果となっている。

大島半島からの反射波の周期が10分程度または周期20分程度の場合には湾の固有周期との一致によって振幅が励起される可能性があるが、周期が湾の1次固有周期の20分程度より大幅に長い場合には固有振動は生じず、振幅の励起は生じにくいと考えられる。

【Step 4 : ② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ】

若狭湾の伝播特性に関する検討のまとめ

	正弦波による検討 ⇒周期・振幅を変えた正弦波による津波水位計算を実施。	海底地すべり Es-K5, Es-T2の検討 (波源特性のパラメータスタディ)	津波検知の判断基準 (0.7m/10分) の妥当性確認
津波の時刻歴波形の特徴	2波目以降の水位変動が増幅する周期	増幅比率は1～3。	<ul style="list-style-type: none"> 正弦波による検討では、いずれのケースでも増幅比率は1以上であり、「1波目よりも2波目以降の水位変動が大きい」という判断基準の前提は津波波形の一般的な傾向であることを確認した。 正弦波による検討では、2波目以降の増幅の傾向（増幅比率、増幅する周期）が波源特性のパラメータスタディと同じ傾向であることを確認した。したがって、0.7m/10分では検知できないような特異な増幅傾向はない。 1波目の水位低下が10分を超えるような周期の長い波（周期40分以上）では、2波目以降の増幅が小さいことを確認した。 なお、破壊伝播速度のパラメータスタディにおける各ボンブ室での増幅比率の増幅率の最大値は3.7であったが、このケースでも設定した判断基準で検知できることを確認している。
	2波目以降の水位変動が増幅する周期	<ul style="list-style-type: none"> 周期10～20分程度で増幅比率が大きい。（増幅比率2～3） 周期40分以上では増幅比率が小さい。（1程度） 	
		<ul style="list-style-type: none"> 周期20分程度で増幅比率が大きい。（増幅比率2～3） 周期35分程度では増幅比率が小さい。（1程度） 	

正弦波による検討でも2波目以降の増幅の程度や影響する周期の傾向は波源特性のパラメータスタディ結果と同じであり、0.7m/10分では検知できないような特異な増幅傾向はなく、1波目の水位低下が10分を超えるような周期の長い波では増幅が小さいことを確認した。

図 1(19/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

【Step 4：判断基準の網羅性の確認】

第847回審査会合
資料1-1 P71修正

網羅性の確認結果

① 海底地すべりの波源特性に関するパラメータスタディ

隠岐トラフ海底地すべりのうち、生じる津波が施設に影響する海底地すべりを全て抽出し、それらの波源特性についてパラメータスタディを実施し、以下を確認した。

- 生じる津波波形の不確かさを踏まえても、施設に影響するケースにおける1波目の水位変動量の最小値は0.71m、1波目が0.7m低下するのに要する時間の最大値は9.1分であり、施設に影響するケースは0.7m/10分の判断基準で全て検知できる。
- なお、波源特性のパラメータスタディでは、高潮裕度を考慮して施設影響の有無を確認することで1波目の水位変動が比較的小さいケースまで抽出していることから、判断基準の妥当性確認における1波目の水位低下量は保守的な評価となっている。

		崩壊規模のパラメータスタディ結果	破壊伝播速度のパラメータスタディ結果
最高水位・最低水位が施設に影響するケース	1波目の水位変動量の最小値	0.73m (Es-K5 崩壊規模40%) ←0.7m以上	0.71m (Es-K5 破壊伝播速度0.55m/s) ←0.7m以上
	1波目が0.7m低下するのに要する時間の最大値	4.8分 (Es-K5 崩壊規模40%) ←10分以内	9.1分 (Es-K5 破壊伝播速度0.55m/s) ←10分以内

② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ

振幅・周期を様々に変えた正弦波を用いて津波水位計算を実施し、1波目と2波目以降の関係について以下を確認した。

- 2波目以降の増幅の程度や影響する周期の傾向は、正弦波の検討でも波源特性のパラメータスタディでも同じ傾向である。
- 様々な振幅・周期を考慮しても、0.7m/10分の判断基準で検知できないような特異な増幅傾向はなく、1波目の水位低下が10分を超えるような周期の長い波では増幅が小さい。

波源特性に関するパラメータスタディ及び伝播特性に関するパラメータスタディの結果※から、設定した判断基準は施設影響が生じる津波を網羅的に検知できるものになっていることを確認した。

※判断基準の網羅性の確認は、耐津波設計の基本方針に基づき、重要な安全機能を有する施設が基準津波に対して安全機能を損なわないようにするための施設の設計行為である。なお、施設の設計行為に用いる基準津波は、基準津波の選定方針に基づき、施設に最も大きな影響を与えるものとして基準津波3及び基準津波4を選定した。

【Step 5：津波検知の判断基準の設定】

- Step 4では、1波目の0.7m/10分の水位変動を判断基準にすることで、施設影響が生じる津波を網羅的に検知できることを確認した。
- ただし、Step 4はあくまで津波シミュレーション結果に基づく確認であり、実現象では平常時においても短時間の潮位のゆらぎがあることから、津波検知のトリガーとする1波目の水位変動量に0.1mの余裕を織り込むこととする。

津波検知の判断基準を以下のとおり設定する。

津波検知の判断基準

通常の潮汐とは異なる潮位変動（下記①または②）を把握した場合、津波襲来と判断し、循環水ポンプ停止・ユニット停止・取水路防潮ゲート閉止の操作を行う。

- ① 潮位計のうち、2台の観測潮位が10分以内に0.6m以上下降し、その後、最低潮位から10分以内に0.6m以上上昇する。
- ② 潮位計のうち、2台の観測潮位が10分以内に0.6m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.6m以上下降する。

図1(20/20) トリガーの妥当性、網羅性の検討について

構外潮位計を用いた判断基準について

警報が発表されない可能性のある津波に対しては、敷地内の海水ポンプ室の潮位計での判断基準を「10分以内0.6mの「上下変動」として防潮ゲートの閉止を判断することで、最も時間余裕が短い津波に対し約9分の余裕時間をもって施設影響のある津波を防護可能であることを確認している。

上記の考え方に加えて、敷地外の潮位計を用い、可能な限り早期に津波に対応する「運用」を以下の通り定める。

- (1) 敷地外にてプラント影響のある津波を検知した場合、構内潮位計での判断基準を「10分以内0.6mの「変動」とし、防潮ゲート閉止判断を早期化する。
- (2) 敷地外にてプラント影響の可能性ある津波を検知した場合、構外潮位計で検知した段階で、防潮ゲート操作機構の電源等の健全性確認など、津波関連施設の状態を確認し津波襲来に備える。
- (3) 早期の津波対応の更なる自主的な取り組みとして、敷地外にてプラント影響のある津波を検知し、津波監視カメラでの有意な津波の襲来を確認した場合、防潮ゲート閉止判断を早期化する。

構外潮位計は、警報が発表されない可能性のある津波の波源及び高浜発電所の位置を踏まえ、1, 2号炉再稼働までに津居山地点の潮位データを活用する。

今後も引き続き、将来的な更なる安全性向上に係る取り組みとして、構外潮位計の多様性向上に努める。具体的には津居山地点以外の潮位計の追加活用や当社所有の潮位計の追加設置について、成立の前提が確立できたものは実施していく。

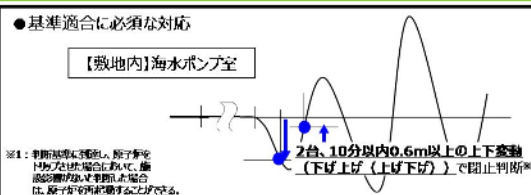
次ページ以降に検討の詳細を示す。

更なる早期検知の検討(1/13)

1

1. 基準適合に必要な対応

「5.対策を反映した津波水位計算結果」から、**敷地内の海水ポンプ室の潮位計での判断基準を「10分以内0.6mの「上下変動」**として防潮ゲートの閉止を判断することで、**最も時間余裕が短い津波に対し約9分の余裕時間をもって施設影響のある津波を防護可能**であることを確認。基準適合に必要な「施設」として、敷地内潮位計を位置付け。



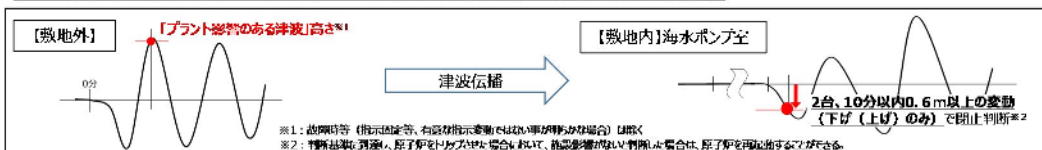
2. 警報が発表されない津波に可能な限り早期対応するための運用

(1)設置許可申請書に記載する運用

1. の対応に加え、発電所構外の潮位計を用い、可能な限り早期に津波に対応する「運用」を定め、設置許可申請書の添付書類に記載し、運用の具体的な内容は、保安規定以下で定める（以下、①、②）。

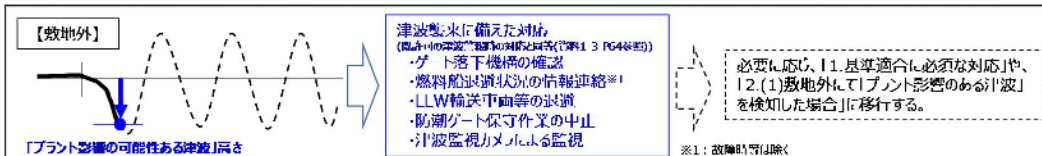
①敷地外にて「プラント影響のある津波」を検知した場合

・構内潮位計での判断基準を「10分以内0.6mの「変動」とし、防潮ゲート閉止判断を早期化。



②敷地外にて「プラント影響の可能性ある津波」を検知した場合

・構外潮位計で検知した段階で、防潮ゲート操作機構の電源等の健全性確認など、津波関連施設の状況を確認し津波到来に備える。



(2)自主的な運用

早期の津波対応の更なる自主的な取り組みとして、敷地外にてプラント影響のある津波を検知し、津波監視カメラでの有意な津波の襲来を確認した場合、防潮ゲート閉止判断を早期化する運用とし、運用の具体的な内容は社内標準で定める。

更なる早期検知の検討(2/13)

2

3. 敷地外の潮位観測活用の候補地点

○前ページの敷地外の観測潮位の活用方針に基づき以下の前提条件から候補地点を抽出する。

- ・「海底地すべり津波」の検知に関して、発電所敷地内の潮位計よりも早期に検知できること。
- ・候補地における通常の潮位変動に対し「海底地すべり津波」を有意な潮位変動として設定できること。

○高浜発電所周辺の既往観測潮位地点は以下のとおり。これらを候補地として、早期検知および過去の潮位計測がトレサブルが確認し、敷地外における津波検知として既往観測潮位の活用可能性を確認する。

- ①京都府舞鶴市浜
(気象庁管轄の観測潮位)
- ②福井県敦賀市川崎町地先
(港湾局管轄の観測潮位)
- ③福井県坂井市三国町
(国土地理院管轄の観測潮位)
- ④兵庫県豊岡市小島
(兵庫県の観測潮位)
- ⑤京都府京丹後市経ヶ岬
(気象庁管轄の沿岸波浪計であり、潮位の観測はしていない)

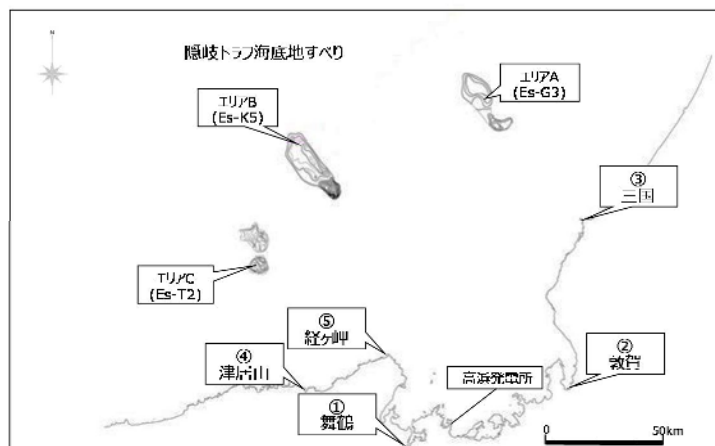


図1(1/7) 更なる早期検知の検討について

更なる早期検知の検討(3/13)

3

4. 早期検知可能な候補地の確認

- エリアB及びエリアCの津波到達時間より、津波を早期に検知できる地点は「③三国、④津居山、⑤経ヶ岬」である。

【各地点における津波到達時間※1】

	① 舞鶴	② 敦賀	③ 三国	④ 津居山	⑤ 経ヶ岬	高浜発電所※2
エリアB Kinematic	55分	52分	37分	31分	22分	43分
エリアC Kinematic	58分	61分	46分	24分	23分	47分

高浜発電所における時間は取水口前での津波到達時間。

5. 津波判断に必要な過去の観測潮位記録の蓄積有無

- ③三国は、国土地理院より過去の潮位データを受領済み。
- ④津居山は、兵庫県より過去の潮位データを受領済み。**当社リアルタイムのデータ提供が可能。**
- ⑤経ヶ岬地点は**潮位観測していない**。(レーダー式沿岸波浪計であるため潮位観測は不可。)

6. 敷地外における津波検知対応

上記の検討結果を踏まえ、潮位を観測していること、エリアB又はCの早期検知に効果的であることから、④津居山、③三国、⑤経ヶ岬の順に敷地外における津波検知活用の可能性を検討。

- ④津居山については、既往潮位データの分析から、**潮汐と津波の区別が可能であり、リアルタイムデータの入手も可能なことから、津波検知後に中央制御室へ情報発信し、更なる早期の防潮ゲート閉止判断等に用いる。**
- ③三国については、高浜発電所と比べて津波を早期に検知できる時間が数分程度である。リアルタイムでの潮位データの取得等について、将来的な更なる安全性向上の取り組みとして検討していく。
- ⑤経ヶ岬については、**既往の観測記録の潮位データがない**。丹後半島(経ヶ岬等)に新たに潮位計を設置する場合、**設置のための立地交渉や妥当性のある潮位変動発信基準を設定するため相当期間のデータ採取が必要**であるため、将来的な更なる安全性向上の取り組みとして検討していく。

以上より、津居山地点については、1, 2号炉再稼働までに対応。その他は将来的な更なる安全性向上として対応していく。

更なる早期検知の検討(4/13)

4

7. 津居山地点の潮位観測におけるプラント影響のある津波高さ(1/2)

- 敷地外におけるプラント「影響のある」津波高さの判断基準設定案は以下の通り。

判断基準案	水位 TP+3.0m	水位 TP+2.0m	水位 TP+1.0m
設定経緯やその根拠等	<ul style="list-style-type: none"> 気象庁が発表する大津波警報と同等の設定。 敷地外で大津波警報相当の津波が検知された場合、プラント「影響のある」津波と判断することとし、判断基準を「3.0mの上げ又は下げ」とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 気象庁発表の津波予想高さが実際よりも高めに設定されることから、実観測値としては3mよりも低い水位を大津波警報相当と設定。 気象庁における過去の津波記録と予測の比較から、験潮所での観測値とデータベース予測値との比は平均1.2程度であることから、大津波警報の下限值3m/1.2=2.5mより、保守的に2mと設定。 プラント「影響のある」津波高さの判断基準を「2.0mの上げ又は下げ」とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 気象庁における津波警報は予報区ごとに発表されることから左記の観測値と予測値の比較は予報区ベースで考慮するとその比が1.8程度である。したがって、大津波警報の下限值3m/1.8=1.7mより、保守的に1mと設定。 プラント「影響のある」津波高さの判断基準を「1.0mの上げ又は下げ」とする。
評価	<ul style="list-style-type: none"> 津居山地点及び三国地点の観測範囲の上限を超えており、常時、レンジオーバーでの判断が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 3.0mより安全側の判断基準。 津居山地点は観測範囲内であり採用可。一方、三国地点の観測範囲の上限を超えており、常時、レンジオーバーでの判断が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 2.0mより安全側の判断基準。 津居山地点及び三国地点の観測範囲内であり採用可。 過去最高潮位を踏まえると誤検知の可能性あり。(⇒次頁)

参考：敷地外の観測地点候補の観測範囲

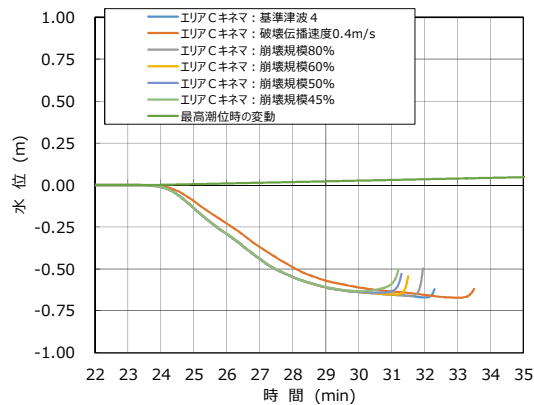
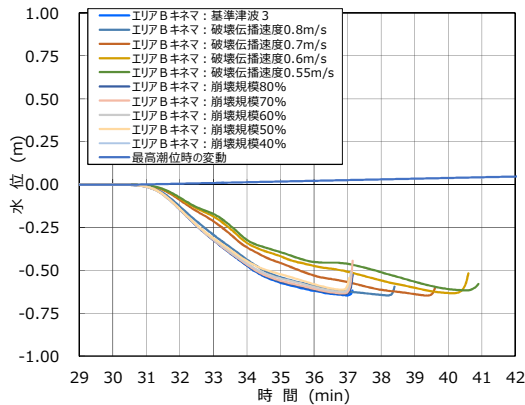
観測地点	観測範囲	過去最高潮位 (括弧内は観測時期及び理由)
津居山	T.P.+2.1m ~ T.P.-2.3m	T.P.+1.68m (2004年10月20日：台風23号)
三国	T.P.+1.2m ~ T.P.-1.8m	T.P.+0.98m (2005年12月6日：低気圧)

図1(2/7) 更なる早期検知の検討について

7. 津居山地点の潮位観測におけるプラント影響のある津波高さ(2/2)

【誤検知回避の信頼性確保について】

- 津居山及び三国地点において、過去最高潮位がそれぞれT.P.+1.68m、T.P.+0.98mであることから、「1mの上げ」を判断基準とした場合に誤検知をする可能性がある。
- 過去最高潮位はいずれも台風や低気圧による高潮が原因であり、また高潮による潮位変動の周期（時間）は非常に長いため、誤検知防止の観点から、地すべり津波の周期に合わせて10分以内という時間軸を設定することで信頼性確保が可能。
- ただし、「プラント影響のある」津波が襲来する前の潮位が津居山地点でTP+1.1m以上、三国地点でTP+0.2m以上の場合は10分以内に1mの水位上昇をすべて把握することができないので、その際は、レンジオーバーとなったときに判断基準に達したものとする。

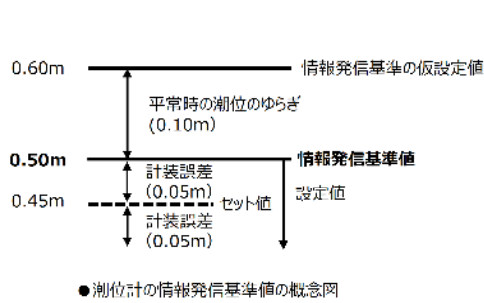


敷地外におけるプラント「影響のある」津波高さの判断基準を、「10分以内に1mの上げ又は下げ」とする。

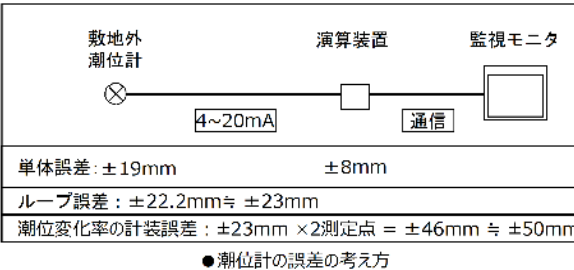
8. 津居山地点の潮位観測におけるプラント影響の「可能性」ある津波高さ(1/5)

構外地点（津居山）の情報発信基準の設定について

- 構外地点（津居山）における情報発信基準の考え方
 - 基準津波に加えて、発電所影響を及ぼす破壊伝播速度のバラスタケース及び崩壊規模のバラスタケースについて、構外地点（津居山）の津波シミュレーション結果における最初の下げ波の水位低下量を確認した。
 - いずれのケースも最初の下げ波の水位低下量は0.6m以上であることを踏まえ、平常時における短時間の潮位のゆらぎを考慮して、情報発信基準を**10分以内に0.5mの水位が下降した場合**とする。
 - なお、構内の潮位計における判断基準値の考え方を踏まえ、測定誤差等を考慮し、**セット値は0.45m**とする。



情報発信基準の仮設定値：津波シミュレーションにおける情報発信トリガーの仮設定値
 情報発信基準値：平常時の潮位のゆらぎを考慮した構外地点（津居山）の基準値
 設定値：構外地点（津居山）の情報発信のために必要な潮位変動値の許容範囲
 セット値：実機の計装設備にセットする作動値



● 潮位計の誤差の考え方

図 1(3/7) 更なる早期検知の検討について

8. 津居山地点の潮位観測におけるプラント影響の「可能性」ある津波高さ(2/5)

○津居山地点の観測実績

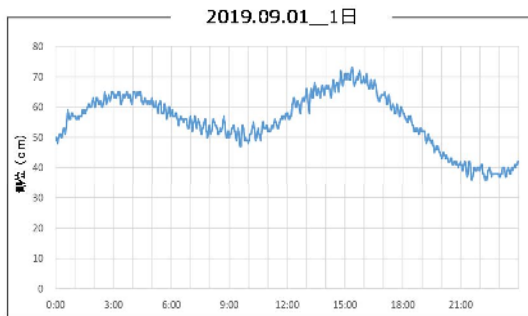
・通常の潮汐による潮位変動

兵庫県の津居山地点において、兵庫県が潮位を計測しているが、観測潮位の瞬時値としてデータ提供を受けた2018年1月から2019年10月までの値で、平常時の潮汐の変動は最大で10分間において約10cm程度である。

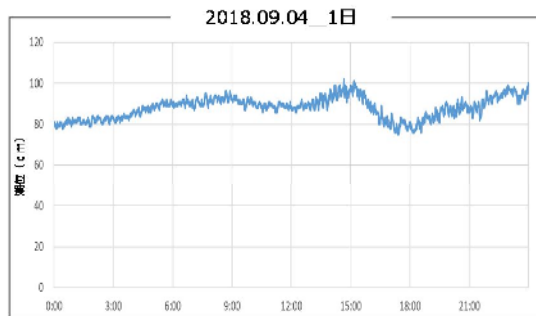
・台風などの異常時の潮位変動

台風などの異常時の潮位変動について、代表として若狭湾周辺の潮汐の変動が大きいと想定される2018年の台風21号(中心気圧950hPa)の潮位変動を確認した。潮汐の変動は大きいところで10分間で27cm程度である。

● 通常時の潮汐の変動 2019年9月 瞬時値 (60秒)



● 2018年の台風21号の潮位データ 瞬時値 (60秒)



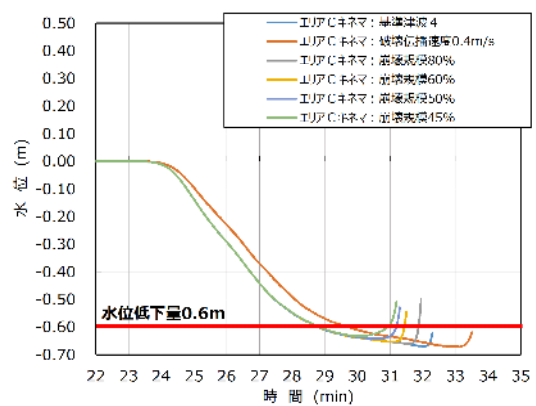
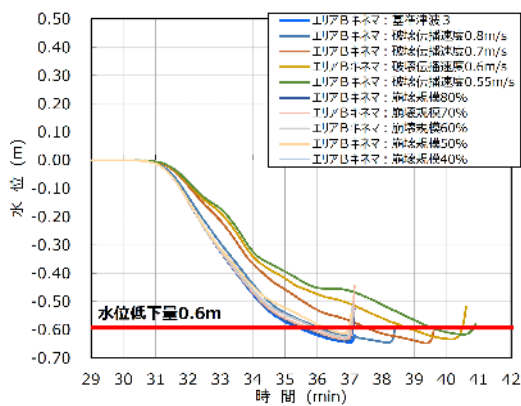
- ▶ 津居山地点における通常の潮位変動においては、10分間の変動量が10cm程度である。
- ▶ 2018年1月～2019年10月における台風時の潮位データを考慮しても、潮汐の変動は大きいところで10分間で27cm程度であった。

8. 津居山地点の潮位観測におけるプラント影響の「可能性」ある津波高さ(3/5)

○津居山地点における津波シミュレーション結果

発電所に影響を及ぼす津波の波源を用いて構外潮位計(津居山地点)における津波シミュレーションを実施。

- ・エリアB (Kinematicモデル) : 基準津波3、破壊伝播速度0.8,0.7,0.6,0.55,崩壊規模80%,70%,60%,50%,40%
- ・エリアC (Kinematicモデル) : 基準津波4、破壊伝播速度0.4m/s,崩壊規模80%,60%,50%,45%



- ▶ 基準津波に加えて、発電所に影響を及ぼす破壊伝播速度のパラスタース及び崩壊規模のパラスタースについて、津居山地点の津波シミュレーション結果における最初の下げ波の水位低下量を確認した。
- ▶ いずれのケースも最初の下げ波の水位低下量は0.6m以上であることを踏まえ、平常時における短時間の潮位のゆらぎ0.1mを考慮し、敷地外(津居山地点)で0.5m水位が低下した場合、情報を発信することとする。

図1(4/7) 更なる早期検知の検討について

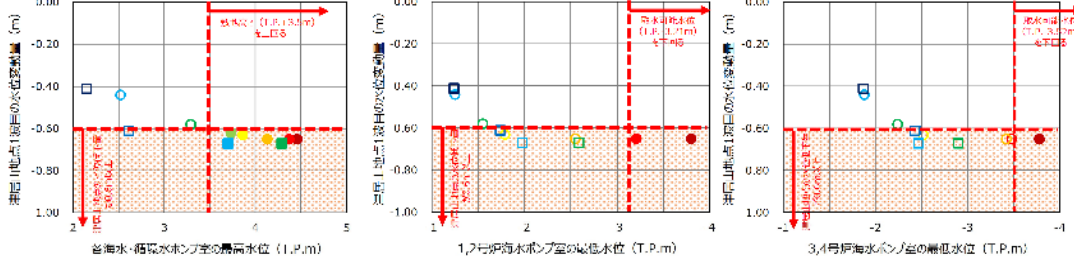
更なる早期検知の検討(9/13)

9

8. 津居山地点の潮位観測におけるプラント影響の「可能性」ある津波高さ(4/5)

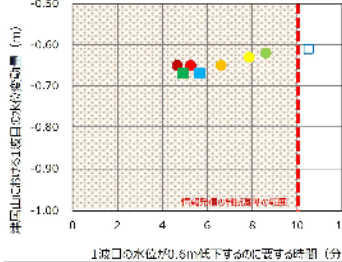
破壊伝播速度のパラメータスタディ結果 (全ケース^{※1}の検知可否の確認) ^{※1: 参考としてEs-T2の水位下降側の結果も記載}

●津居山地点1波目の水位変動量と発電所の最高水位・最低水位の関係 (最高水位は崩壊のほう及び高潮相長を考慮した値、最低水位は崩壊のほうのみを考慮した値)



●1波目の水位変動量と0.6m低下に要する時間の関係

(1波目の水位低下が0.6m以上のケースのみをプロット)



◆判断基準 (0.6m/10分) による検知可否

(崩壊影響あり: 赤 検知可能; 青 検知不能; 緑)

水位上昇側: Es-K5 (エリアB) ^{※1: 参考としてEs-T2の水位下降側の結果も記載}

崩壊規模	100%	80%	70%	60%	50%	40%
崩壊高さ [T.P.m]	4.42	4.34	4.13	3.85	3.72	3.29
水位低下量 [m]	0.65	0.55	0.53	0.62	0.54	0.50
水位低下時間 [分]	4.7	6.3	6.6	7.5	8.6	9.7
検知可否	○	○	○	○	○	○

水位上昇側: Es-T2 (エリアC) ^{※1: 参考としてEs-T2の水位下降側の結果も記載}

崩壊規模	100%	80%	70%	60%	50%	40%
崩壊高さ [T.P.m]	3.29	3.29	2.61	2.61	2.61	2.61
水位低下量 [m]	0.62	0.62	0.61	0.61	0.61	0.61
水位低下時間 [分]	4.9	5.7	10.6	10.6	10.6	10.6
検知可否	○	○	○	○	○	○

水位下降側: Es-K5 (エリアB) ^{※1: 参考としてEs-T2の水位下降側の結果も記載}

崩壊規模	100%	80%	70%	60%	50%	40%
崩壊高さ [T.P.m]	1.80	1.70	1.25	1.25	1.25	1.25
水位低下量 [m]	0.52	0.46	0.52	0.53	0.53	0.53
水位低下時間 [分]	4.7	5.3	6.6	7.0	8.6	9.7
検知可否	○	○	○	○	○	○

水位下降側: Es-T2 (エリアC) ^{※1: 参考としてEs-T2の水位下降側の結果も記載}

崩壊規模	100%	80%	70%	60%	50%	40%
崩壊高さ [T.P.m]	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
水位低下量 [m]	0.52	0.46	0.52	0.53	0.53	0.53
水位低下時間 [分]	4.9	5.7	10.6	10.6	10.6	10.6
検知可否	○	○	○	○	○	○

【凡例 (色つづり): 崩壊影響あり、白抜き: 崩壊影響なし】

崩壊規模	TUPP Es-K5 (Kinematic)						TUPP Es-T2 (Kinematic)					
	100	80	70	60	50	40	100	80	70	60	50	40
崩壊影響あり	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○
崩壊影響なし	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

●津居山地点における1波目の水位変動量と発電所敷地内の最高水位・最低水位の関係

- 発電所敷地内に影響の大きい波源ほど、津居山地点における1波目の水位変動量大きい。
- 津居山地点における1波目の水位低下が0.6m未満のケースでは発電所の施設影響はない。

●津居山地点における1波目の水位変動量と0.6m低下に要する時間の関係

- 津居山地点における1波目の水位低下が大きいほど、0.6m水位低下に要する時間は短い。
- 発電所の施設影響ある津波のうち、津居山地点における0.6m水位低下に要する時間が10分超のケースはない。

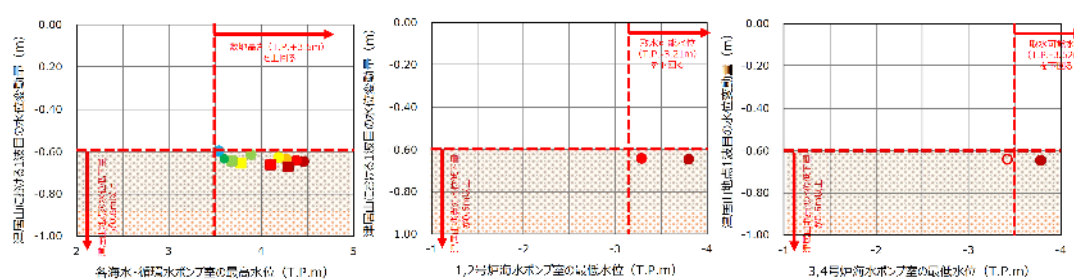
更なる早期検知の検討(10/13)

10

8. 津居山地点の潮位観測におけるプラント影響の「可能性」ある津波高さ(5/5)

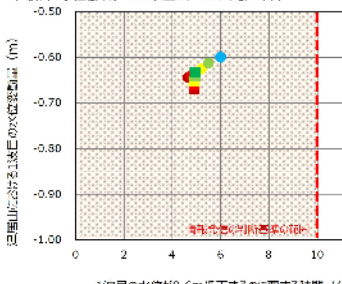
崩壊規模のパラメータスタディ結果 (全ケースの検知可否の確認)

●津居山地点1波目の水位変動量と発電所の最高水位・最低水位の関係 (最高水位は崩壊のほう及び高潮相長を考慮した値、最低水位は崩壊のほうのみを考慮した値)



●1波目の水位変動量と0.6m低下に要する時間の関係

(1波目の水位低下が0.6m以上のケースのみをプロット)



◆判断基準 (0.6m/10分) による検知可否

(崩壊影響あり: 赤 検知可能; 青 検知不能; 緑)

水位上昇側: Es-K5 (エリアB) ^{※1: 参考としてEs-T2の水位下降側の結果も記載}

崩壊規模	100%	80%	70%	60%	50%	40%
崩壊高さ [T.P.m]	4.42	4.34	4.13	3.85	3.72	3.29
水位低下量 [m]	0.53	0.46	0.52	0.53	0.53	0.53
水位低下時間 [分]	4.7	5.8	5.0	5.7	5.5	6.0
検知可否	○	○	○	○	○	○

水位上昇側: Es-T2 (エリアC) ^{※1: 参考としてEs-T2の水位下降側の結果も記載}

崩壊規模	100%	80%	70%	60%	50%	40%
崩壊高さ [T.P.m]	4.29	4.10	3.28	3.68	3.68	3.68
水位低下量 [m]	0.62	0.62	0.61	0.64	0.64	0.64
水位低下時間 [分]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
検知可否	○	○	○	○	○	○

水位下降側: Es-K5 (エリアB) ^{※1: 参考としてEs-T2の水位下降側の結果も記載}

崩壊規模	100%	80%
崩壊高さ [T.P.m]	1.80	1.70
水位低下量 [m]	0.52	0.46
水位低下時間 [分]	4.7	4.6
検知可否	○	○

水位下降側: Es-T2 (エリアC) ^{※1: 参考としてEs-T2の水位下降側の結果も記載}

崩壊規模	100%	80%
崩壊高さ [T.P.m]	1.25	1.25
水位低下量 [m]	0.52	0.46
水位低下時間 [分]	4.9	4.6
検知可否	○	○

【凡例 (色つづり): 崩壊影響あり、白抜き: 崩壊影響なし】

崩壊規模	TUPP Es-K5 (Kinematic)						TUPP Es-T2 (Kinematic)					
	100	80	70	60	50	40	100	80	70	60	50	40
崩壊影響あり	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○
崩壊影響なし	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

➢ 崩壊規模のパラメータスタディ結果についても、破壊伝播速度のパラメータスタディ結果と同様である。

- 発電所の施設影響ある津波に関して、津居山地点における1波目の水位低下は0.6m以上であり、津居山地点における0.6m水位低下に要する時間が10分超のケースはない。

図 1(5/7) 更なる早期検知の検討について

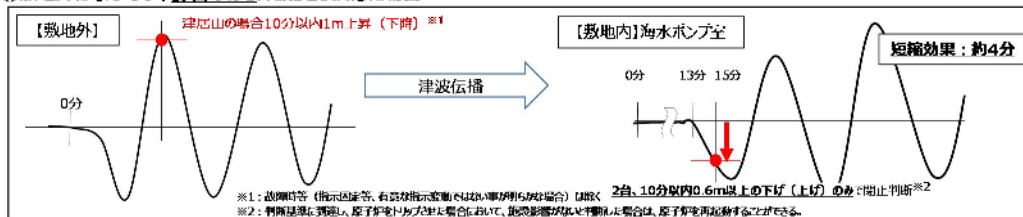
9. 津居山地点における観測潮位の活用

○前ページまでの敷地外の観測潮位の活用方針に基づき、津居山地点でのプラント「影響のある」津波高さ、津居山地点でのプラント影響の「可能性」ある津波高さ、敷地外の観測潮位の活用による防潮ゲート閉止時間の短縮効果を以下に示す。
○時間軸は最も周期が短い海底地すべりエリアBのKinematicモデルを想定。

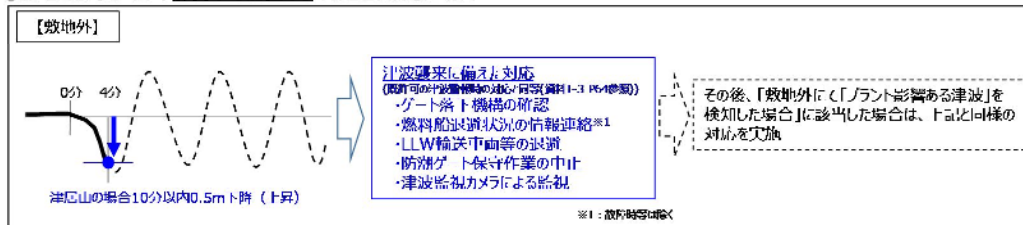
●警報が発表されない津波に可能な限り早期対応するための運用

(1)設置許可申請書に記載する運用

①敷地外にて「プラント影響のある津波」を検知した場合



②敷地外にて「プラント影響の可能性ある津波」を検知した場合



(2)自主的な運用

早期の津波対応の更なる自主的な取り組みとして、敷地外にてプラント影響のある津波を検知し、津波監視カメラでの有意な津波の襲来を確認した場合、防潮ゲート閉止判断を早期化する運用とし、運用の具体的な内容は社内標準で定める。

短縮効果：約5分

10. 構外潮位計の検知信頼性のプラント影響について

○構外潮位計単独で潮位検知を判断(検知トリガー1m/10分)する場合、その計測信頼性が誤検知の要因となりうるため、誤検知の発生可能性と、プラントへの影響を確認した。

(1) 構外潮位計単独での計測信頼性と誤検知の可能性

・誤検知の原因は、以下の通り整理される。

故障による誤検知

- 津居山検潮所の潮位計の故障モードのうち、ワイヤ断線やフロート故障は、津波と同様に指示変動する。
- このため、有意な指示変動としての誤検知が否定できない。なお、検潮所は無人で、直ちに故障と断定できない。

津波以外の潮位変動(台風等も含む)による誤検知

- 過去に津居山地点ではT.P.+1.68mの最高潮位を観測しているが、水位上昇は数cm/10分程度。
- 至近(2018.1~2019.10)の津居山地点における潮位データを分析したところ、通常の潮汐変動で1m/10分となる事例はなし。

※ 計画内の定期点検は年に2回(数時間)の頻度で、定期点検時にデータ欠測が生じるが、事象の発生が把握できる故障による誤検知とは区別できる。

・通常の潮位変動の影響はない見通しだが、検潮所の潮位計の故障モードによっては、津波と同様に有意な指示変動と判断する可能性が否定できず、かつ即座に故障と断定できないため、誤検知の虞がある。

(2) 誤検知によるプラント影響

- ・ゲート閉止によるプラント停止により、最大340万kW(1~4号機稼働時)の電源が、同時に喪失。
- ・その影響は以下のとおりで無視できないため、一定頻度での誤検知に対しては、何らかの措置が必要。
① 相当数の系統負荷を切り離す必要があり、ライフラインへの電力供給への支障が生じる。
② 外部電源への影響から、隣接する他プラントの一次冷却材ポンプなどのポンプ回転数に影響の出る虞があり、一時的とはいえ原子炉冷却機能に影響が生じる可能性がある。

構外潮位計測の信頼性を踏まえ、構内潮位計を組み合わせ、誤検知を回避。
なお、構内潮位計の組み合わせた判断では、防潮ゲート閉止の判断基準の早期化を図る。

図1(6/7) 更なる早期検知の検討について

1.1. 更なる安全性向上に係る取り組み

- ①敷地外における津波検知対応としては、前述した候補地である、津居山地点等の外部機関による潮位データを更なる早期の防潮ゲート閉止判断等として活用する方針であり、1、2号炉再稼働までに津居山地点の潮位データを活用する。
- ②ただし、一地点に限らず、活用できるデータは可能な限り活用し、津波の兆候を事前に捉えることが更なる安全性向上に繋がると認識。したがって、今後も引き続き、将来的な更なる安全性向上に係る取り組みとして、敷地外潮位計の多様性向上に努める。具体的には津居山地点以外の潮位計の追加活用や当社所有の潮位計の追加設置について、以下に示す案の成立の前提が確立できたものは、実施していく。

表 将来的な更なる安全性向上の取り組みに係る課題および必要な期間

検討ケース	成立の前提	左記の確立後に必要な期間
②-a 既往観測地点の活用拡充（三国）	既往観測地点からのデータ提供の了解	約6か月（通信回線等の設置）
②-b 既往観測地点（津居山等）への当社潮位計の設置	既往観測地点における設置の了解及び配置の成立	約1年（潮位計・通信回線等の設置）
②-c 新規地点（丹後半島等）への当社潮位計の設置	立地交渉の成立	約3年（観測所の設置1年、潮位計・通信回線等の設置1年、潮位データ採取1年）

○設備構成のイメージは以下のとおり。

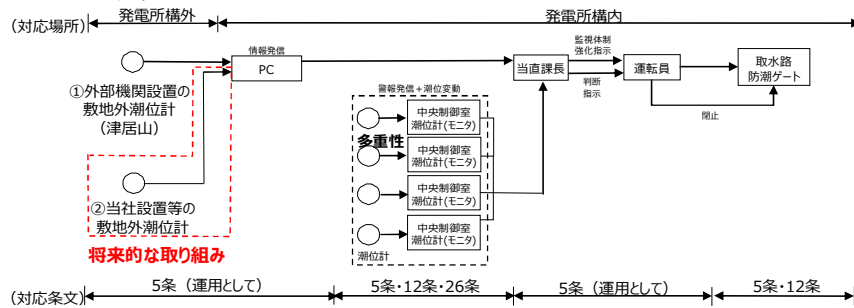


図 1 (7/7) 更なる早期検知の検討について