



**高浜発電所 原子炉設置変更許可申請
【津波警報が発表されない可能性がある津波への対応に係る
指摘事項への回答について】**

(参考資料)

2019年12月12日
関西電力株式会社

- 防潮ゲート開状態における施設影響確認については、「海底地すべりエリアB (Kinematicモデルによる方法)」の津波水位計算結果に潮位のばらつき (上昇側+0.15m、下降側-0.17m) を考慮した数値にて行う。

(1) - 1. 外郭防護1における評価結果への影響 (地上部からの到達流入評価結果への影響)

○ 取水路防潮ゲート「開」の場合、地上部からの津波の到達・流入が否定できない

※：取水路防潮ゲート開状態において、既許可の評価から変更となる水位を赤字で記載

		状況	津波水位※ (防潮ゲート開)	評価	
1号炉及び2号炉	設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建屋	T.P.+3.5m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+3.9m (1号炉海水ポンプ室)	到達・流入が否定できない	
			T.P.+4.0m (2号炉海水ポンプ室)		
			T.P.+6.7m (放水路 (奥))		
	設計基準対象施設の津波防護対象設備のうち屋外設備	海水ポンプ室	T.P.+3.5m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+3.9m (1号炉海水ポンプ室)	到達・流入が否定できない
				T.P.+4.0m (2号炉海水ポンプ室)	
		復水タンク	T.P.+5.2m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+3.9m (1号炉海水ポンプ室)	到達・流入しない
				T.P.+4.0m (2号炉海水ポンプ室)	
	燃料油貯油そう	T.P.+24.9m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+3.9m (1号炉海水ポンプ室)	到達・流入しない	
			T.P.+4.0m (2号炉海水ポンプ室)		
			T.P.+6.7m (放水路 (奥))		
	3号炉及び4号炉	設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建屋	T.P.+3.5m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+4.0m (3, 4号炉循環水ポンプ室前面)	到達・流入が否定できない
				T.P.+6.7m (放水路 (奥))	
設計基準対象施設の津波防護対象設備のうち屋外設備		海水ポンプ室	T.P.+3.5m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+4.0m (3, 4号炉循環水ポンプ室前面)	到達・流入が否定できない
				T.P.+6.7m (放水路 (奥))	
		燃料油貯油そう	T.P.+3.5m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+4.0m (3, 4号炉循環水ポンプ室前面)	到達・流入が否定できない
				T.P.+6.7m (放水路 (奥))	
復水タンク		T.P.+3.5m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+4.0m (3, 4号炉循環水ポンプ室前面)	到達・流入が否定できない	
			T.P.+6.7m (放水路 (奥))		

(1) - 2. 外郭防護1における評価結果への影響 (各経路からの流入評価結果)

○取水路防潮ゲート「開」の場合、経路からの津波の流入が否定できない

※：取水路防潮ゲート開状態において、既許可の評価から変更となる水位を赤字で記載

エリア				津波水位※ (防潮ゲート開)	許容津波水位	裕度	評価
取水路	1号炉	海水系	海水ポンプ室	T.P.+3.9m (1号炉海水ポンプ室)	T.P.+3.5m	▲0.4m	経路からの津波の流入が否定できない
		循環水系	循環水ポンプ室				
	2号炉	海水系	海水ポンプ室	T.P.+4.0m (2号炉海水ポンプ室)	T.P.+3.5m	▲0.5m	経路からの津波の流入が否定できない
		循環水系	循環水ポンプ室				
	3号及び4号炉	海水系	点検用トンネル	T.P.+4.7m	T.P.+12.1m	7.4m	流入しない
			海水ポンプ室	T.P.+3.9m	T.P.+3.5m	▲0.4m	経路からの津波の流入が否定できない
		循環水系	循環水ポンプ室	T.P.+4.0m	T.P.+3.5m	▲0.5m	経路からの津波の流入が否定できない
			取水路防潮ゲート前面	T.P.+6.2m	T.P.+8.5m	2.3m	流入しない
	1号及び2号炉	その他配管 (クリーンアップ排水管等)		T.P.+4.0m	T.P.+3.5m	▲0.5m	経路からの津波の流入が否定できない
3号及び4号炉							
放水路	1号及び2号炉	放水路	放水口付近	T.P.+6.2m	T.P.+8.0m	1.8m	流入しない
			防潮扉前	T.P.+6.6m	T.P.+8.0m	1.4m	流入しない
			放水路(奥)	T.P.+6.7m	T.P.+8.0m	1.3m	流入しない
			放水ピット				
	3号及び4号炉	放水口付近		T.P.+6.0m	T.P.+8.0m	2.0m	流入しない
屋外排水路	取水路に接続される系統		T.P.+4.0m	T.P.+3.5m	▲0.5m	経路からの津波の流入が否定できない	
	1, 2号炉放水路に接続される系統		T.P.+6.7m	T.P.+8.0m	1.3m	流入しない	
	放水口側護岸から直接海に接続される系統		T.P.+6.2m	T.P.+8.0m	1.8m	流入しない	

(2) 外郭防護 2 における評価結果への影響

○外郭防護 2 の評価において設定した浸水想定範囲は、取水路防潮ゲート開の状態では津波が流入すると考えられる。

○なお、上記の津波の流入を想定した場合における津波水位と海水ポンプの機能保持水位との比較を実施した結果、1号炉及び2号炉海水ポンプの機能保持水位は津波水位を上回ることから、海水ポンプが機能喪失することはないが、3、4号炉海水ポンプの機能保持水位は津波水位を下回ることから、海水ポンプが機能保持できない。

	海水ポンプ機能保持水位	津波水位※ ¹	評価
1号炉	T.P.+4.67m	T.P.+3.9m (1号炉海水ポンプ室前面)	海水ポンプ機能保持水位は津波水位を上回ることから、 <u>海水ポンプが機能喪失することはない。</u>
2号炉	T.P.+4.67m	T.P.+4.0m (2号炉海水ポンプ室前面)	
3,4号炉	T.P.+3.85m	T.P.+4.0m (3, 4号炉循環水ポンプ室前面※ ²)	海水ポンプ機能保持水位は津波水位を下回ることから、 <u>海水ポンプが機能保持できない。</u>

※ 1 : 取水路防潮ゲート開状態において、既許可の評価から変更となる水位を赤字で記載

※ 2 : 3, 4号炉海水ポンプ室床面はT.P.+6.0mの水位を想定し設計した浸水防止蓋を設置していることから、海水ポンプ室頂版からの津波の流入はないため、3, 4号炉海水ポンプ室前面の値ではなく、3, 4号炉循環水ポンプ室前面の値を記載している

(3) 内郭防護における評価結果への影響

○外郭防護 2 の評価と同様に、内郭防護において設定した浸水防護重点化範囲の境界壁まで、取水路防潮ゲート開の状態では津波が直接流入すると想定した場合においても、浸水防護重点化範囲の境界壁には、水密扉及び貫通部止水処置を実施していることから、津波の流入はないと考えられる。

○なお、既許可においては、循環水配管の破断箇所からの津波流入を想定していたが、基準津波 3 は隠岐トラフ海底地すべり単独に起因するものであることから、当該箇所の破断は想定されないため、上記の津波の流入以外については考慮する必要はない。

(4) 水位変動に伴う取水性低下のうち、海水ポンプ取水性に対する評価結果への影響

○海水ポンプの取水可能水位を下回るため、海水ポンプの取水性が確保できない。

	取水可能水位	津波水位※	評価
1号炉	T.P.-3.21m	T.P.-3.7m (1号炉海水ポンプ室前面)	津波水位が海水ポンプの取水可能水位を下回るため、 <u>水位低下によって海水ポンプが機能保持できない。</u>
2号炉	T.P.-3.21m	T.P.-3.8m (2号炉海水ポンプ室前面)	
3,4号炉	T.P.-3.52m	T.P.-3.8m (3, 4号炉海水ポンプ室前面)	

※：取水路防潮ゲート開状態において、既許可の評価から変更となる水位を赤字で記載

(5) 水位変動に伴う取水性低下のうち、津波の二次的な影響に対する評価結果への影響

○基準津波による水位変動に伴う海底の砂移動・堆積、陸上斜面崩壊による土砂移動・堆積については、取水路防潮ゲートの条件が変更となった場合は、海水ポンプ室前面における砂の堆積量が増加することは否定できない。

○基準津波による水位変動に伴う浮遊砂等の混入については、発電所周辺海域の底質土砂の粒度分布に変更がないことから、混入した浮遊砂による海水ポンプの機能への影響は無い。

○津波の流向・流速等は、取水路防潮ゲートの条件が変更となった場合においても、発電所周辺の津波の傾向に大きな変動はないことから、漂流物による海水ポンプの機能への影響は無い。

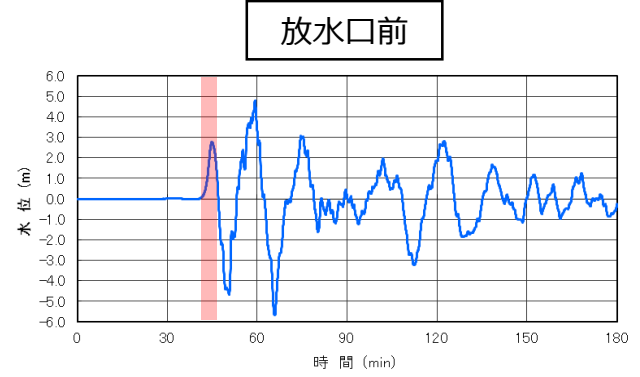
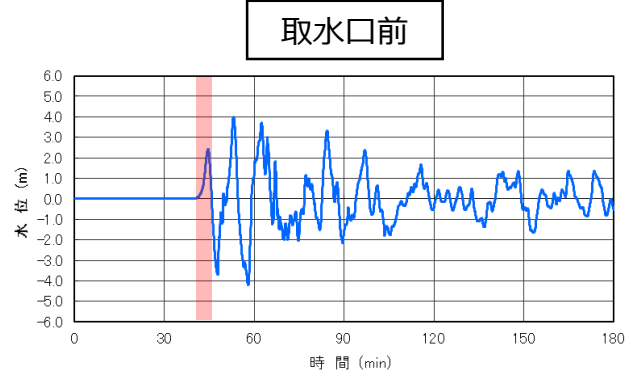
○基準津波 1 及び隠岐トラフ海底地すべり単独による津波の流速及び流向の傾向を以下に示す。

波源	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)	隠岐トラフ海底地すべり (エリアB、Kinematic) (取水路防潮ゲート「開」)
傾向	<p>【取水口側】 北東から約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分後に湾内にまっすぐ侵入する向きを主流として敷地に襲来する。約45分後に湾外方向の引き波により水位が低下するが、約50分後には湾外方向の押し波により水位は上昇に転じる。約53分後に湾内方向の引き波に転じ水位が低下する。約60分後に湾内方向の押し波により水位が上昇するが、約70分後に湾外方向の引き波により水位が低下する。</p> <p>【放水口側】 北東から約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分後に湾内にまっすぐ侵入する向きを主流として敷地に襲来する。約45分後に湾外方向の引き波により水位が低下するが、約53分後には湾外方向の押し波により水位は上昇に転じる。約60分後に湾外方向の引き波により水位が低下するが、約70分後に湾内方向の押し波により水位が上昇する。</p>	<p>【取水口側】 北東方向に約40分後から引き波が発生し、その後北東から約50分後に湾内にまっすぐ侵入する向きを主流として敷地に襲来する。約52分後に流速は湾内方向に向いているが取水口前水位は下降側に転じはじめる。約57分後には流速は湾内方向に向いているが取水口前水位は上昇側に転じはじめる。約64分後に湾外方向の引き波により水位が低下する。</p> <p>【放水口側】 北東方向に約40分後から引き波が発生し、その後北東から約50分後に湾内にまっすぐ侵入する向きを主流として敷地に襲来する。約61分後に湾外方向の引き波により水位が低下する。約66分後には湾内方向の押し波に転じ水位が上昇する。</p>
考察	湾内に襲来するタイミングについては異なるものの、津波の襲来方向及び流速、押し波と引き波が交互に襲来する傾向に差がないことから、津波の傾向に大きな違いはないと考えられる。	

○基準津波 1 及び隠岐トラフ海底地すべり単独による津波の波形の比較を以下に示す。

	取水口前水位	放水口前水位
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)		
隠岐トラフ海底地すべり (エリアB、Kinematic) (取水路防潮ゲート「開」)		
考察	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)

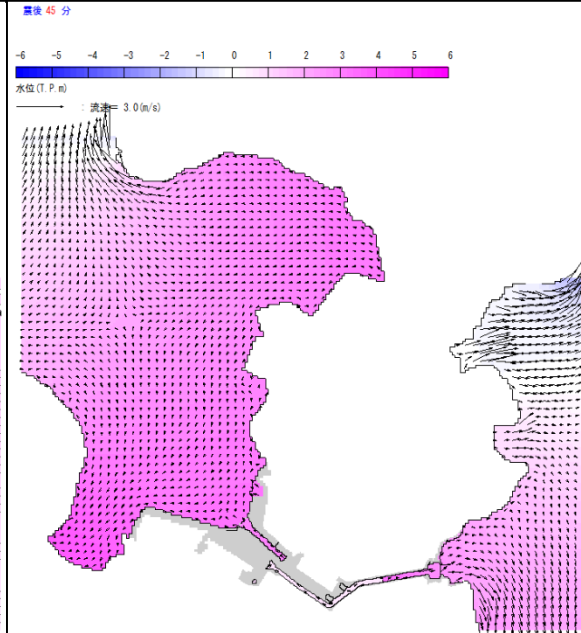
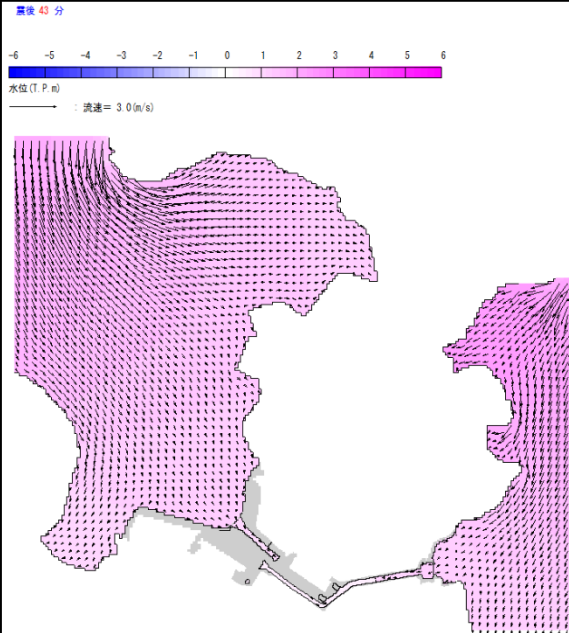
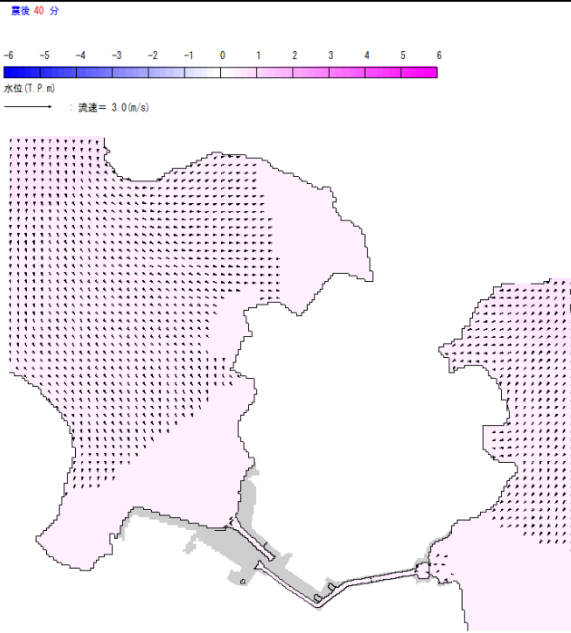


発生後40分

発生後43分

発生後45分

波形



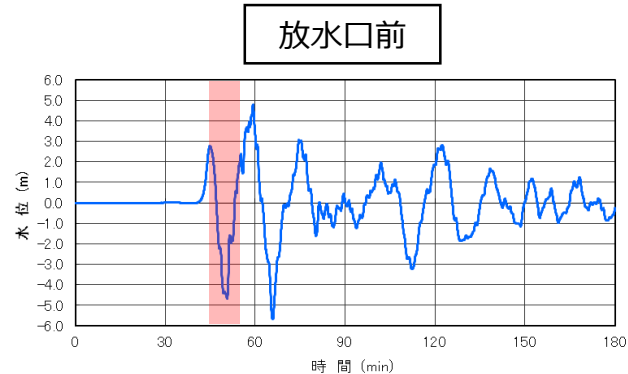
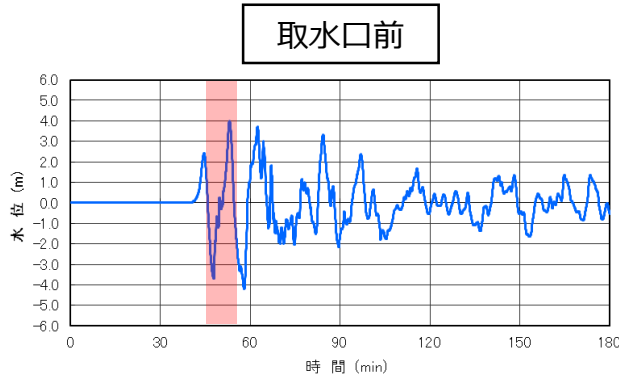
概要

【取水口側・放水口側】
 湾内方向の押し波により水位が上昇する

【取水口側・放水口側】
 湾内方向の押し波が敷地に襲来する

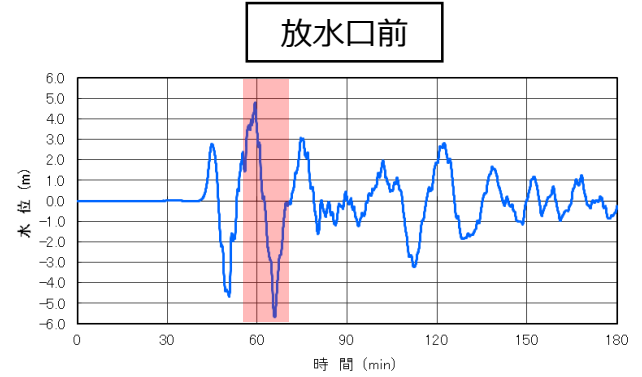
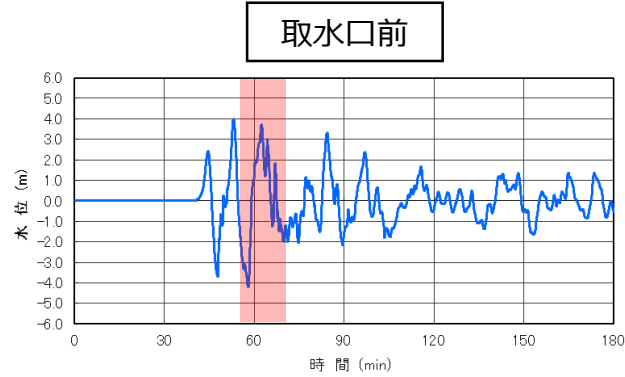
【取水口側・放水口側】
 湾外方向の引き波により水位が低下に転じる

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)



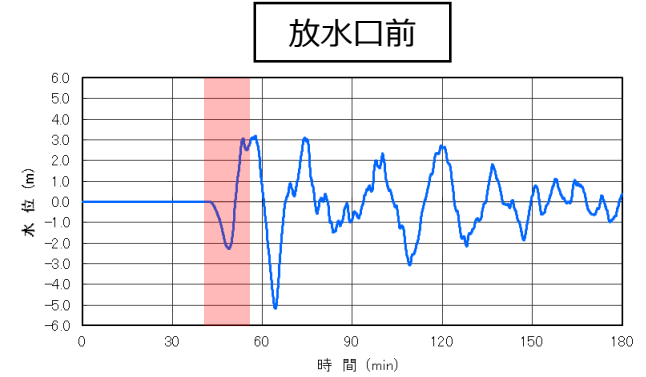
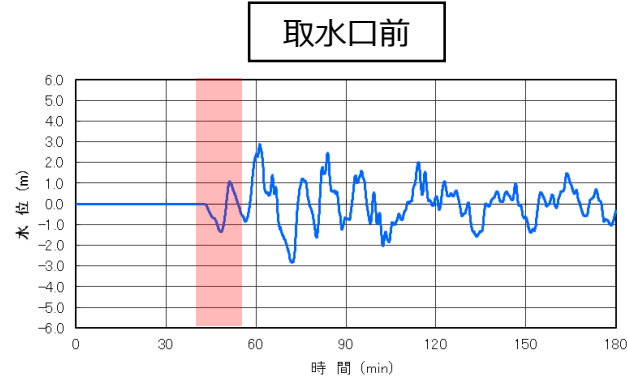
	発生後 47分	発生後 50分	発生後 53分
波形			
概要	<p>【取水口側・放水口側】 湾外方向の引き波により水位が低下する</p>	<p>【取水口側】 湾外方向の押し波により水位が上昇する 【放水口側】 沖合が湾内方向の押し波に転じ水位が上昇し始める</p>	<p>【取水口側】 湾内方向の引き波に転じ水位が低下し始める 【放水口側】 湾内方向の押し波により水位が上昇する</p>

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)



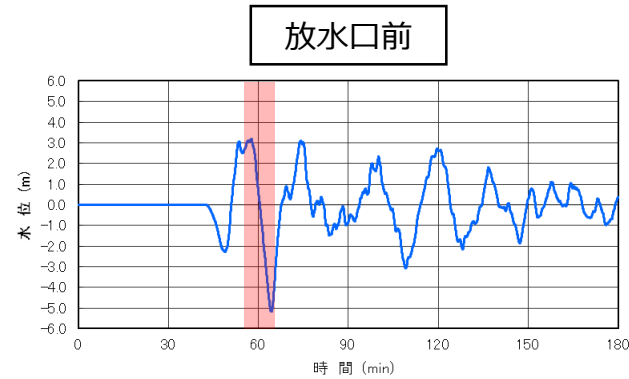
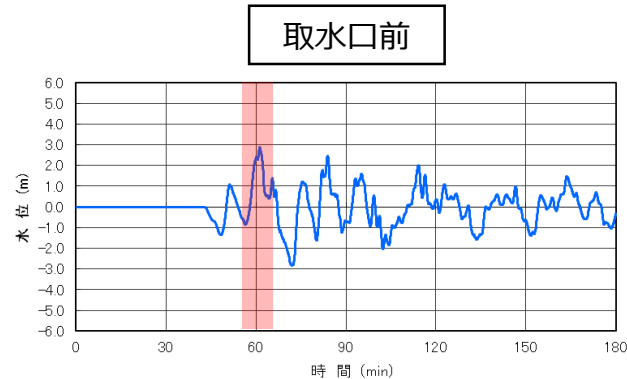
	発生後 60分	発生後 63分	発生後 70分
波形			
概要	<p>【取水口側】 湾内方向の押し波により水位が上昇する</p> <p>【放水口側】 湾外方向の引き波により水位が低下する</p>	<p>【取水口側】 流速は湾外方向に向いているが取水口前水位は上昇する</p> <p>【放水口側】 湾外方向の引き波により水位が低下する</p>	<p>【取水口側】 湾外方向の引き波により水位が低下する</p> <p>【放水口側】 湾内方向の押し波により水位が上昇する</p>

隠岐トラフ海底地すべり (エリアB、Kinematic)
(取水路防潮ゲート「開」)



	発生後43分	発生後50分	発生後52分
波形	<p>震後 43 分</p>	<p>震後 50 分</p>	<p>震後 52 分</p>
概要	<p>【取水口側・放水口側】 湾外方向の引き波により水位が低下する</p>	<p>【取水口側】 引き波から湾内方向の押し波に転じて敷地に襲来する 【放水口側】 引き波から湾内方向の押し波に転じて水位が上昇する</p>	<p>【取水口側】 流速は湾内方向に向いているが取水口前水位は下降側に転じはじめる 【放水口側】 湾内方向の押し波により水位が上昇する</p>

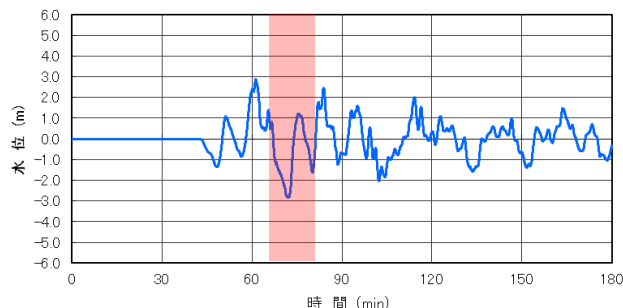
隠岐トラフ海底地すべり (エリアB、Kinematic)
(取水路防潮ゲート「開」)



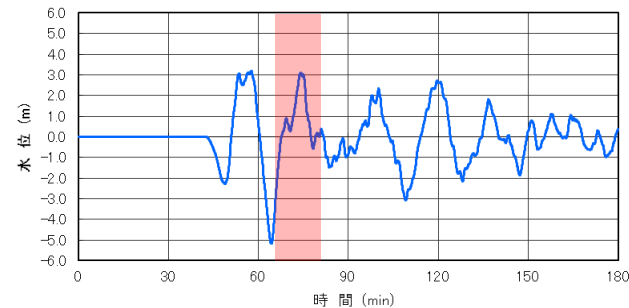
	発生後 57 分	発生後 61 分	発生後 64 分
波形	<p>震後 57 分</p>	<p>震後 61 分</p>	<p>震後 64 分</p>
概要	<p>【取水口側】 流速は湾内方向に向いているが取水口前水位は上昇側に転じはじめる</p> <p>【放水口側】 沖合が湾外方向の引き波に転じ水位が低下し始める</p>	<p>【取水口側】 沖合は湾外方向の引き波に転じ始めている</p> <p>【放水口側】 湾外方向の引き波により水位が低下する</p>	<p>【取水口側】 湾外方向の引き波により水位が低下する</p> <p>【放水口側】 沖合が湾内方向の押し波に転じ水位が上昇し始める</p>

隠岐トラフ海底地すべり (エリアB、Kinematic)
(取水路防潮ゲート「開」)

取水口前



放水口前

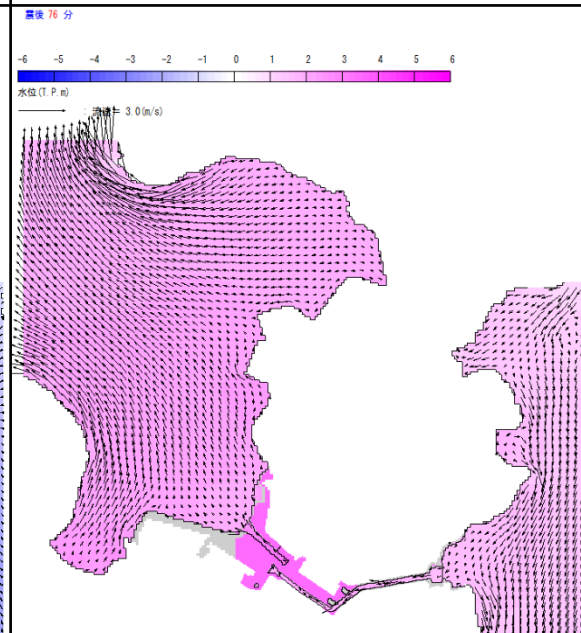
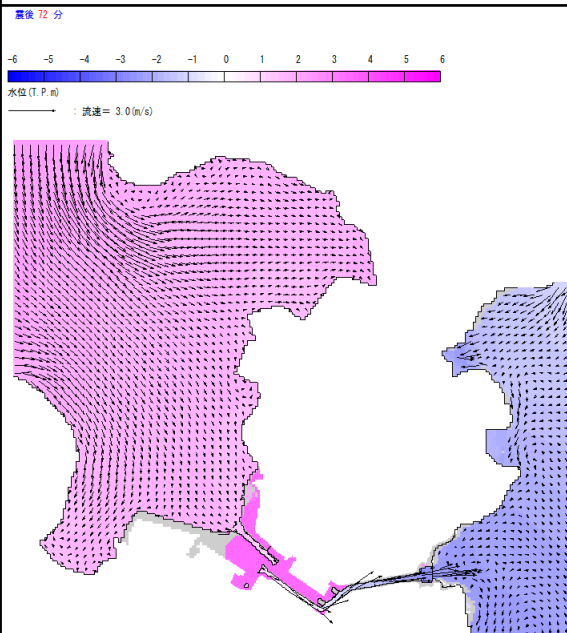
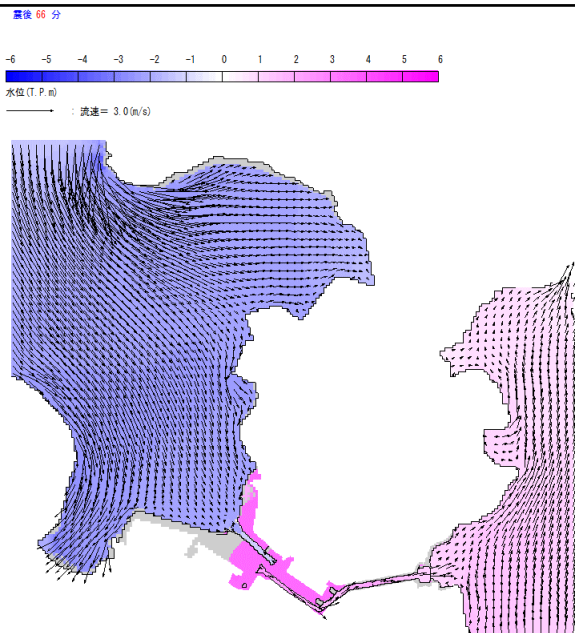


発生後 6 6 分

発生後 7 2 分

発生後 7 6 分

波形



概要

【取水口側】
湾外方向の引き波により水位が低下する
【放水口側】
湾内方向の押し波に転じ水位が上昇する

【取水口側】
流速は湾内方向に向いているが取水口前
水位は低下する
【放水口側】
沖合が湾外方向の引き波に転じ水位が低
下し始める

【取水口側】
湾内方向の押し波により水位は上昇してい
る。
【放水口側】
沖合が湾内方向の押し波に転じ水位が上
昇し始める

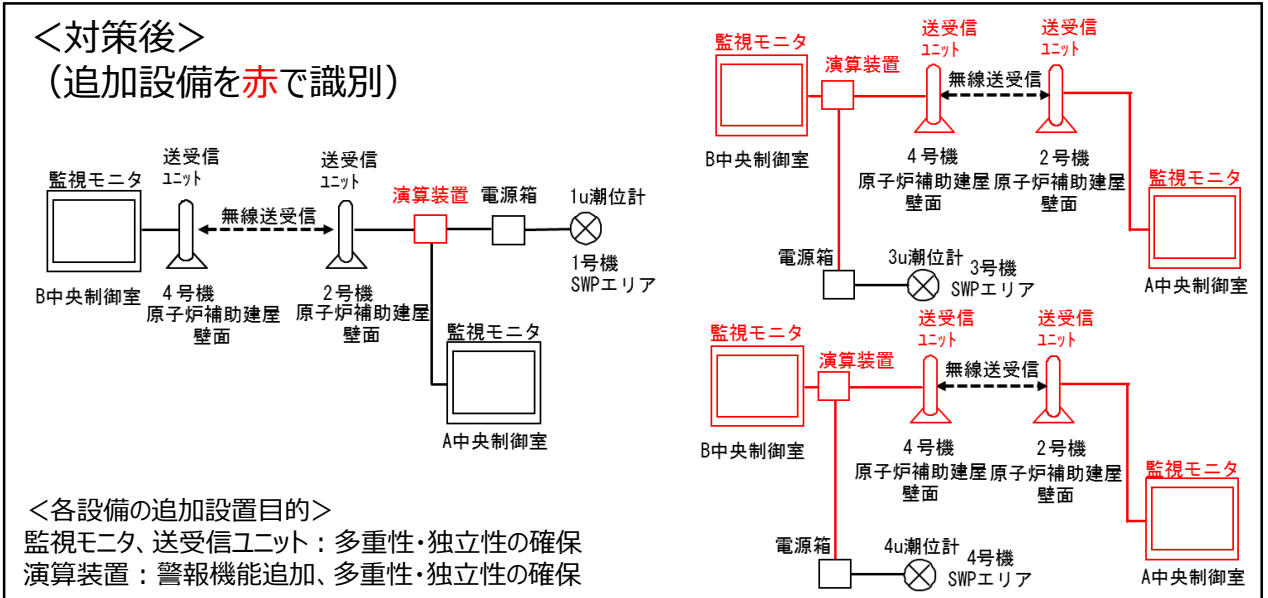
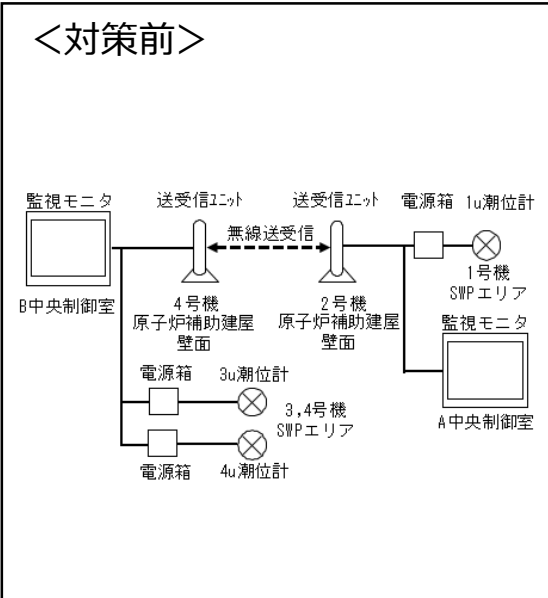
○潮位計にて通常と異なる潮位変動を把握した場合にプラント停止判断するため、A及びB中央制御室へ警報を発信する機能を追加した。

○潮位計の信頼性確保として、多重性、独立性等を確保済み。具体的には、下表の機能を追加した。

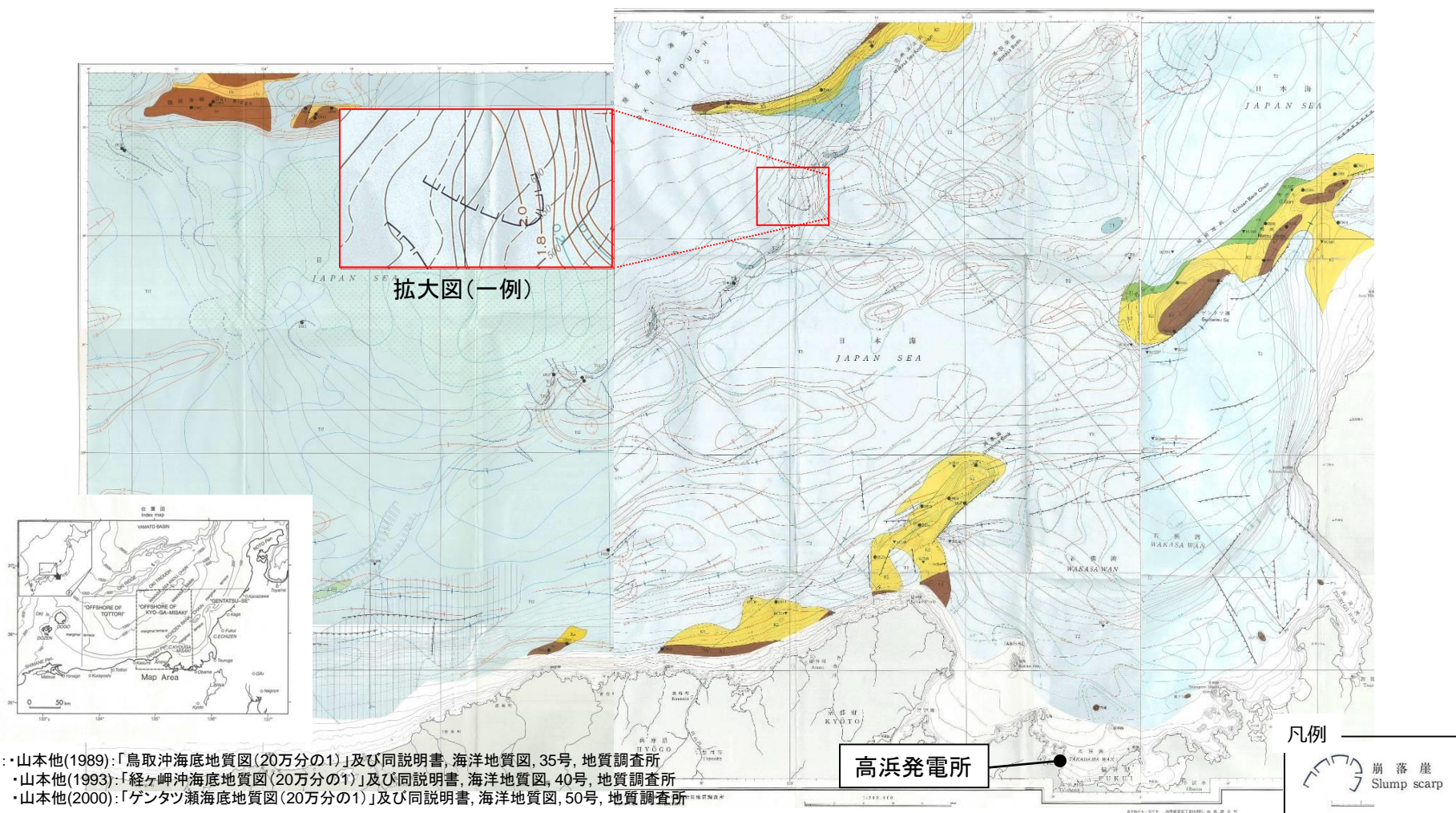
表 対策前後の潮位計の主な設計項目

	多重性	独立性	耐震性	非常用電源	試験	記録
対策前	—	—	○	○	—	—
対策後	○	○	○	○	○	○

○過去のデータと海底地すべり津波の解析波形の比較により、津波検知の信頼性は担保できていると考える。また、検出器からモニタまで多重性、独立性等を有する設計とし、実質的にMS-1相当の仕様を確保しており、大津波警報による津波検知と同等の信頼性を有するものとする。



若狭湾周辺海域の文献調査結果(海底地質図)

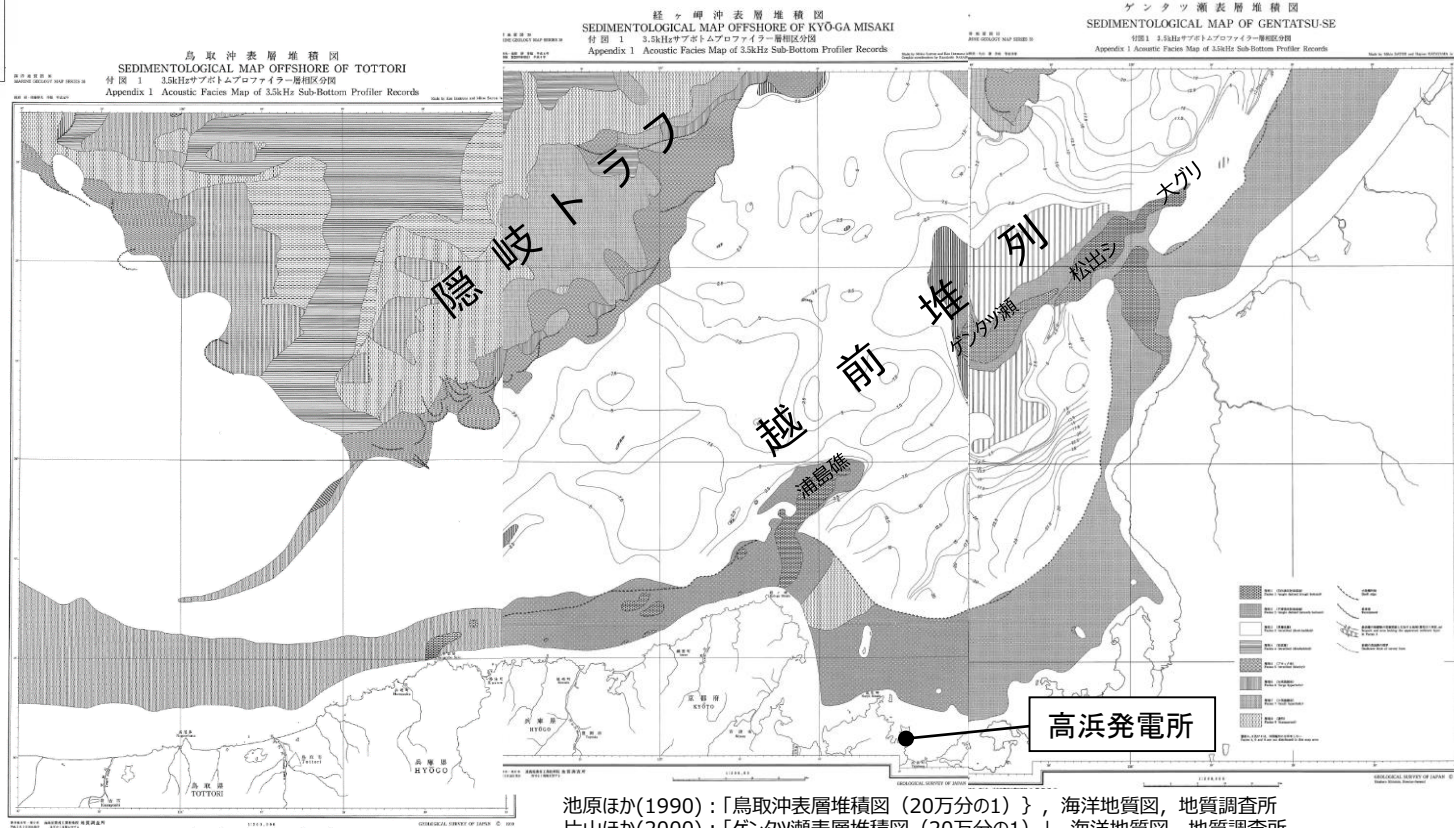
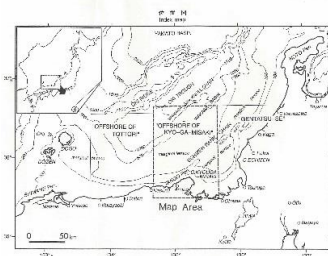


- ※ 山本他(1989):「鳥取沖海底地質図(20万分の1)」及び同説明書, 海洋地質図, 35号, 地質調査所
- 山本他(1993):「経ヶ岬沖海底地質図(20万分の1)」及び同説明書, 海洋地質図, 40号, 地質調査所
- 山本他(2000):「ゲンタツ瀬海底地質図(20万分の1)」及び同説明書, 海洋地質図, 50号, 地質調査所

○旧地質調査所(現(独)産業技術総合研究所・地質調査総合センター)が作成した海底地質図※では、隠岐トラフ付近に広範囲に海底地すべり跡と考えられる地形(崩落崖)が示されている。

○その他の海域には、海底地すべりを示唆するような崩落崖等は図示されていない。

若狭湾周辺海域の文献調査結果 (表層堆積図)



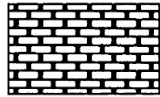
※凡例は次ページに掲載

池原ほか(1990):「鳥取沖表層堆積図(20万分の1)」, 海洋地質図, 地質調査所
片山ほか(2000):「ゲンタツ瀬表層堆積図(20万分の1)」, 海洋地質図, 地質調査所
佐藤ほか(1993):「経ヶ岬沖表層堆積図(20万分の1)」, 海洋地質図, 地質調査所

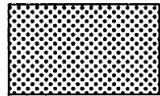
- 表層堆積図によると、隠岐トラフ周辺には海底地すべりを示唆する層相(層相5, 6及び7)が図示されている。
- その他の海域には、海底地すべりを示唆する層相は図示されていない。

層相区分の考え方

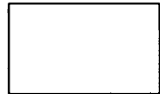
【層相の凡例】



層相1 (凹凸強反射海底面)
Facies 1 <single distinct (rough bottom)>



層相2 (平滑強反射海底面)
Facies 2 <single distinct (smooth bottom)>



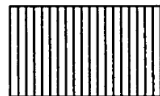
層相3 (厚層成層)
Facies 3 <stratified (thick-bedded)>



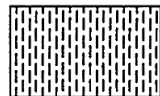
層相4 (密成層)
Facies 4 <stratified (thin-bedded)>



層相5 (ブロック状)
Facies 5 <stratified (blocky)>



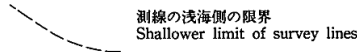
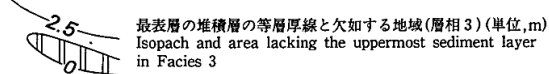
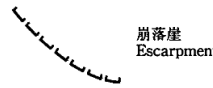
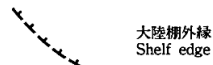
層相6 (大双曲線状)
Facies 6 <large hyperbolic>



層相7 (小双曲線状)
Facies 7 <small hyperbolic>



層相8 (透明)
Facies 8 <transparent>



【層相の区分詳細および特徴】 (池原他(1990)※から抜粋)

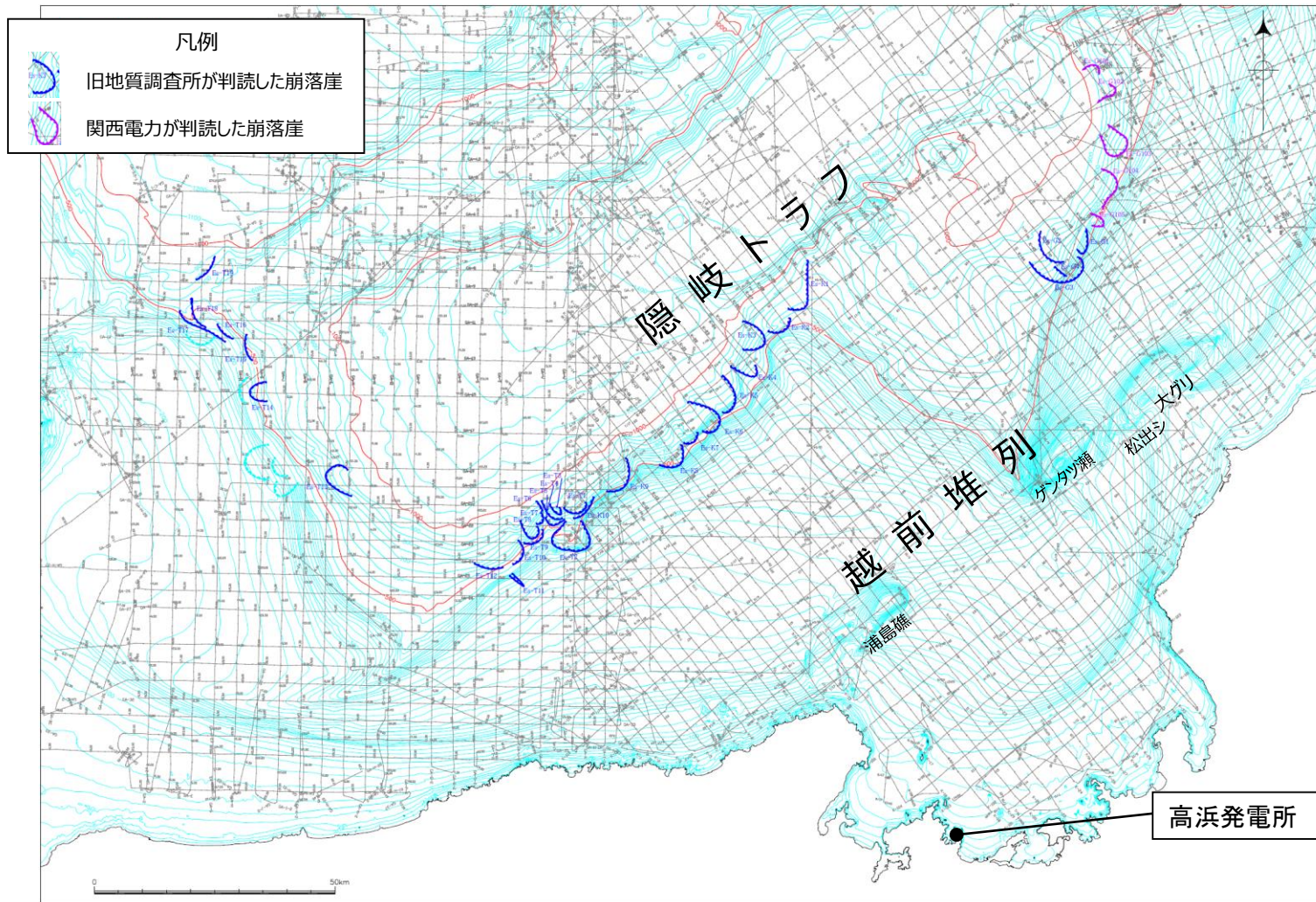
Table 1. Classification and characteristics of eight acoustic facies.
* See text for description.

FACIES	ACOUSTIC CHARACTERS (combination of sea floor and internal reflector pattern*)	SEDIMENTS	INTERPRETATION	DISTRIBUTION
1 DISTINCT -single & rough	Strong bottom return, no or very poor internal return, rough bottom. (A&III)	Gravelly, rocky	Gravelly or rocky bottom	Oki Ridge N of Dogo
2 DISTINCT -single & smooth	Strong bottom return, no or very poor internal return, smooth bottom. (B&III)	Sandy	Sandy bottom	Oki Ridge Wakasa Sea Knoll Chain
3 STRATIFIED -thick-bedded	Internal reflectors continuous and undeformed, stratified, smooth bottom. (B&I)	Muddy (clayey silt- silty clay) massive	Muddy bottom -hemipelagic	Marginal terrace
4 STRATIFIED -thin-bedded	Internal reflectors continuous and undeformed, finely stratified, smooth bottom. (B&I)	Muddy tephra and/or sand layers interbedded	Muddy bottom -hemipelagic, (turbidite)	Central part of SW Trough most of NE Trough
5 STRATIFIED -blocky	Internal reflectors essentially continuous and undeformed, stratified, basal shear surface reflectors, smooth bottom, stepped topography. (B&I)	Muddy massive	Muddy bottom -slide, (hemipelagic)	Edge of marginal terrace
6 HYPERBOLIC -large	Sea floor reflectors largely hyperbolic or irregular and prolonged, internal reflectors poorly observed. (D&III)	Muddy massive	Muddy bottom -slump	Lower part of slope
7 HYPERBOLIC -small	Sea floor and/or internal reflectors hyperbolic or irregular and prolonged, mounded or lens-shaped, blunt distal termination. (C&I,II)	Muddy occurrence of mud clasts	Muddy bottom -debris flow	SW Trough
8 TRANSPARENT	No or very poor internal reflectors, lens or mounded-shaped or layered. (B&II)	Muddy occurrence of mud clasts massive	Muddy bottom -debris flow, hemipelagic	SW Trough

※: 池原研・佐藤幹夫・山本博文(1990): 高分解能音波探査記録からみた隠岐トラフの堆積作用,
地質学雑誌, 96巻, pp.37-49.

層相4, 6及び8は, 本図幅内には分布しない
Facies 4, 6 and 8 are not distributed in this map area

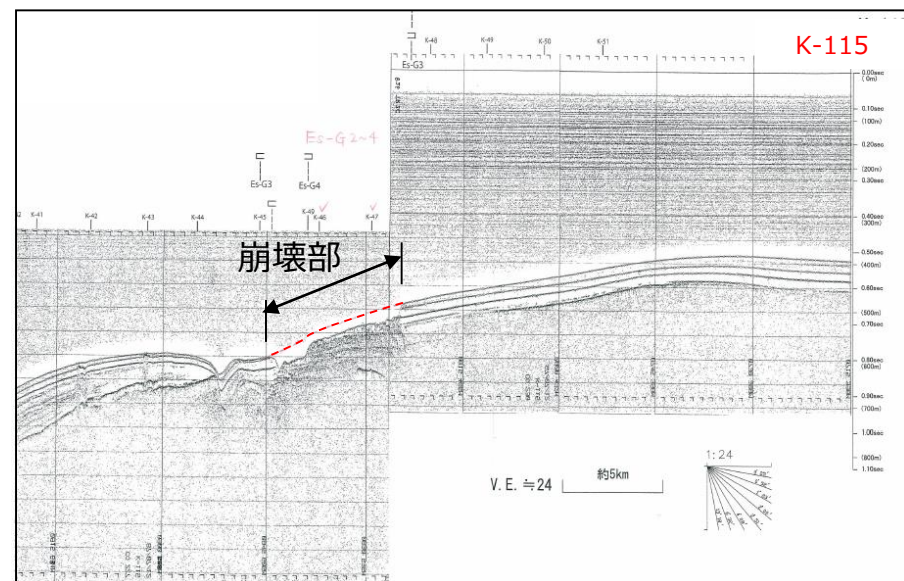
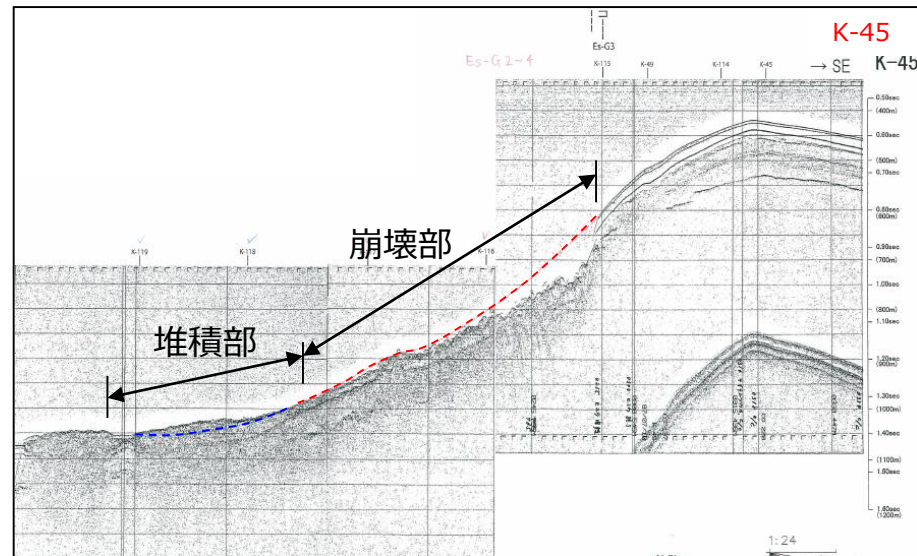
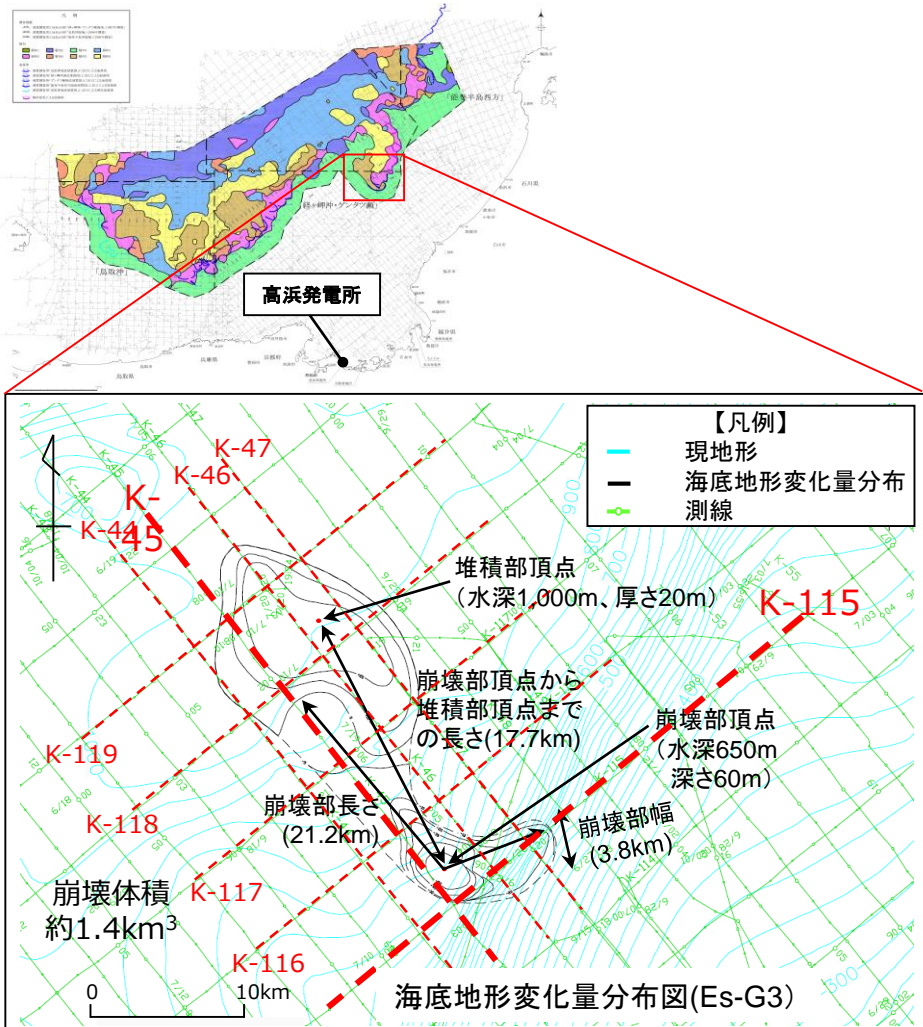
若狭湾周辺海域における海底地形



若狭湾周辺海域では、隠岐トラフ周辺に多数の海底地すべり地形が認められるものの、それ以外の海域には海底地すべりが疑われる地形は認められなかった。

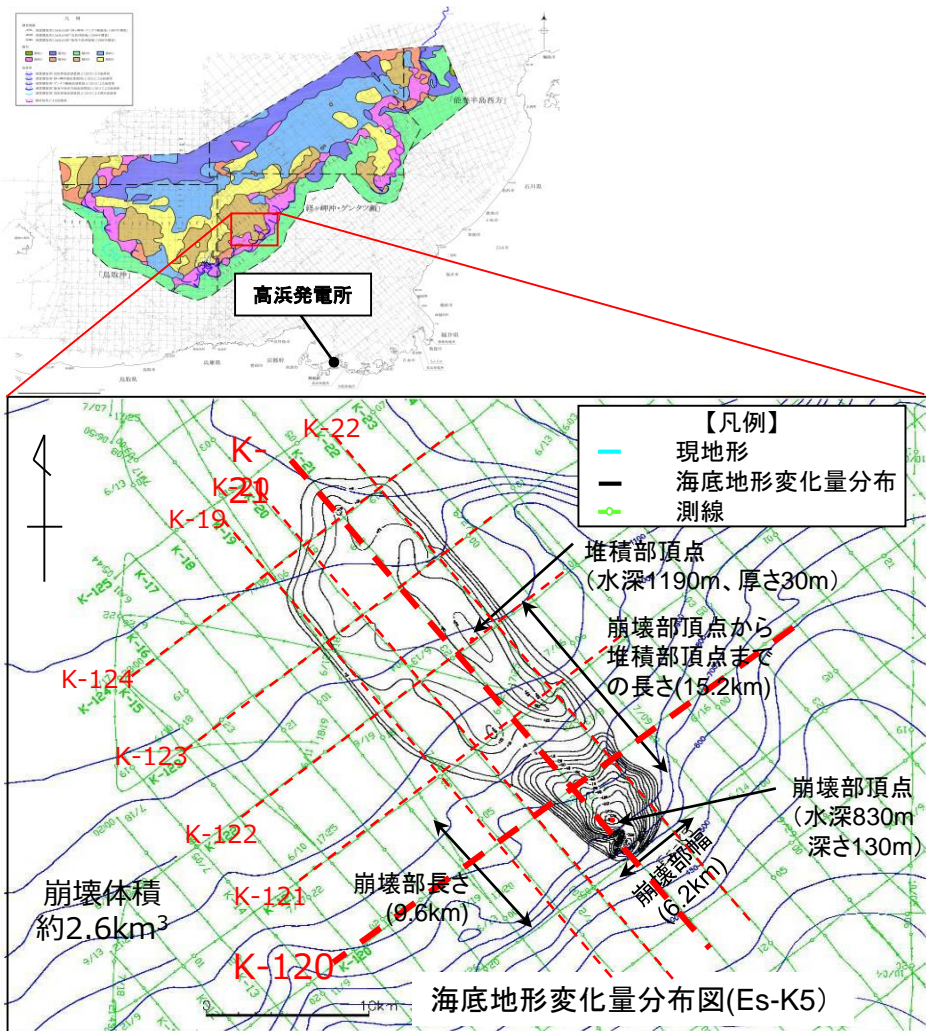
● 評価対象とする海底地すべり地形変化の算出 (エリアA)

※測線は代表例

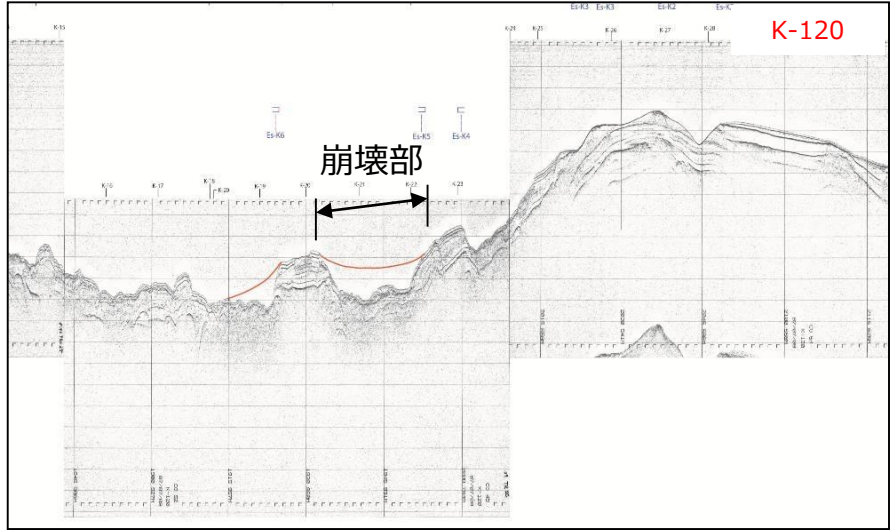
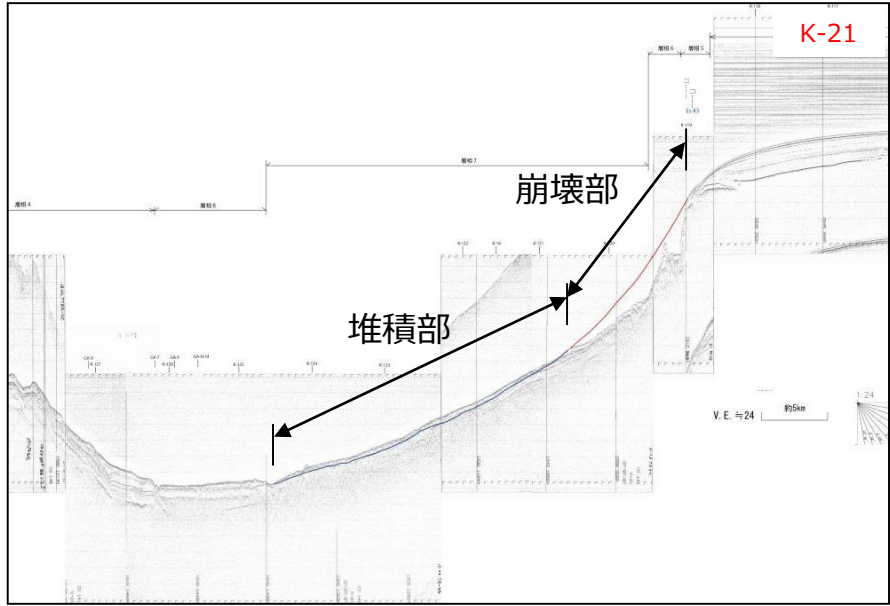


地すべり地形Es-G3を通る複数の海上音波探査記録から、崩壊部・堆積部の幅、長さ、標高等を判読し、海底地形変化量分布図を作成した。

● 評価対象とする海底地すべり地形変化の算出 (エリアB)



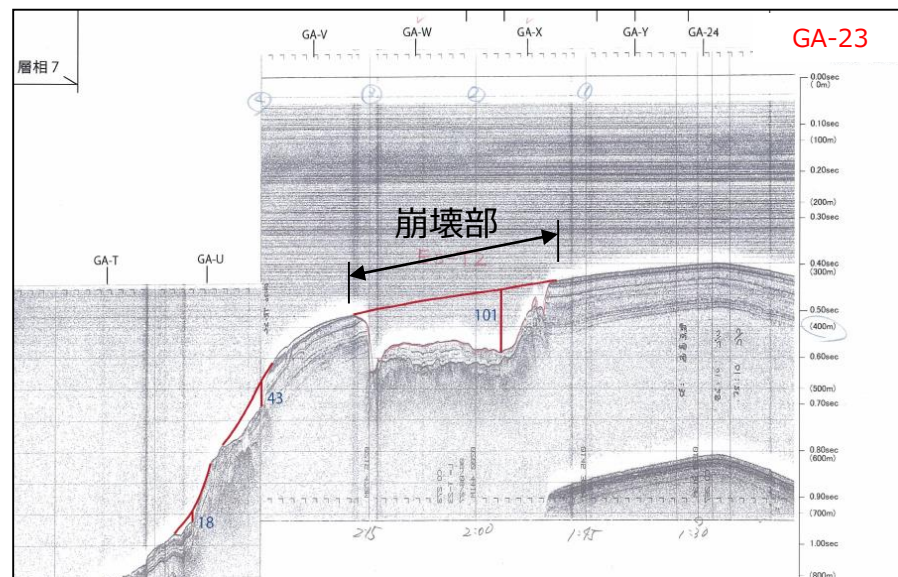
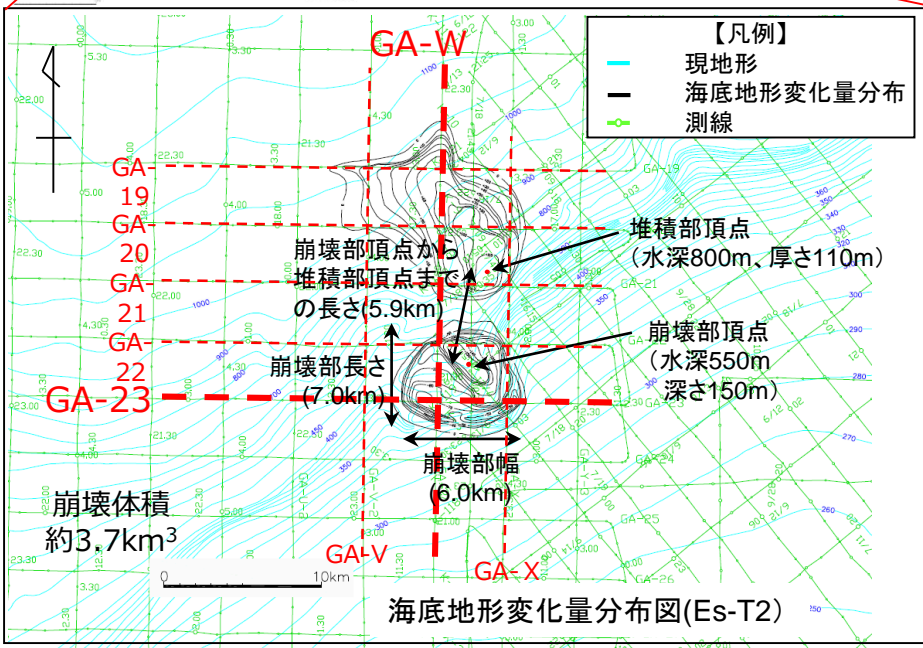
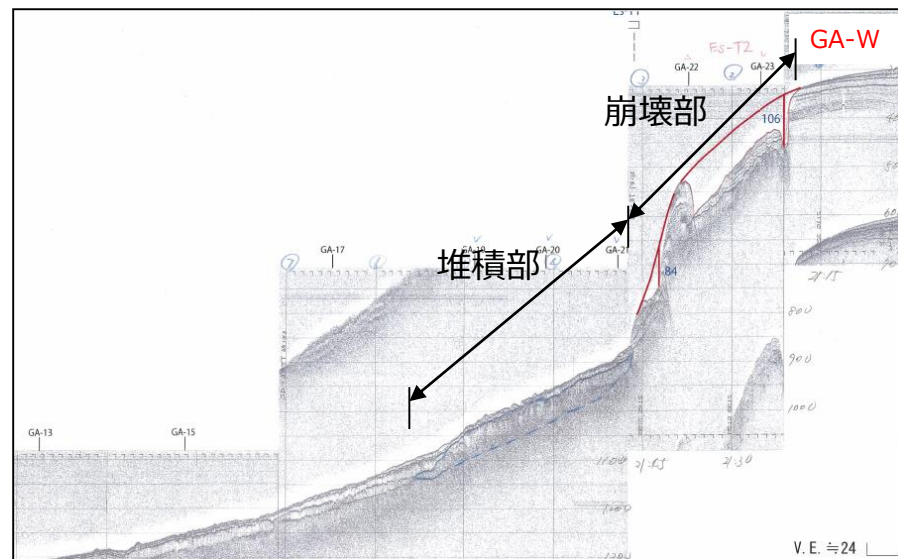
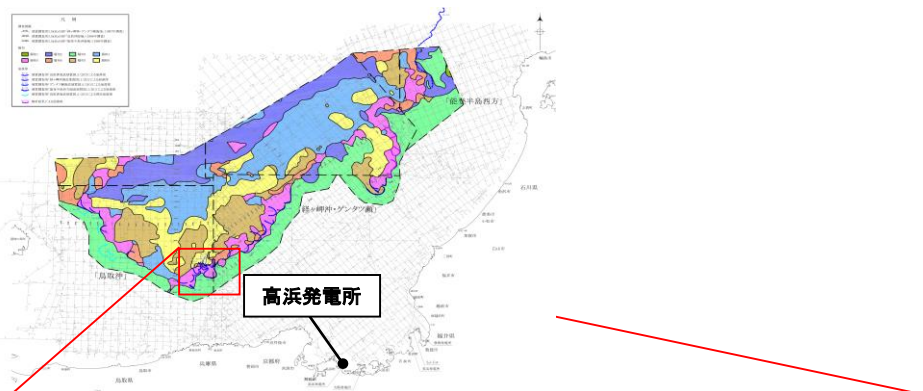
※測線は代表例



地すべり地形Es-G3を通る複数の海上音波探査記録から、崩壊部・堆積部の幅、長さ、標高等を判読し、海底地形変化量分布図を作成した。

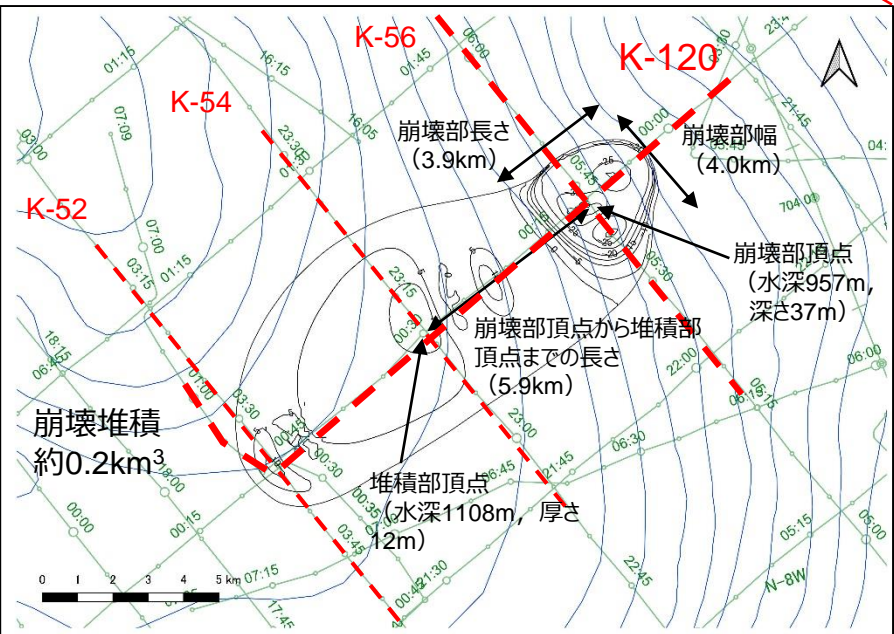
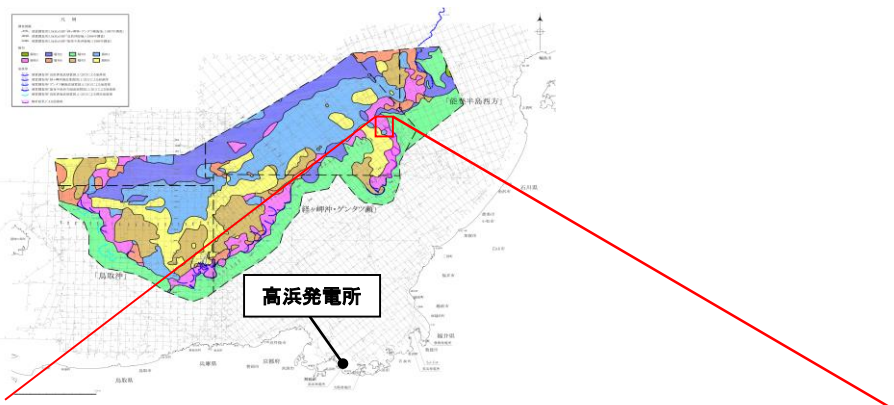
● 海底地すべり地形変化の算出 (エリアC Es-T2)

※測線は代表例

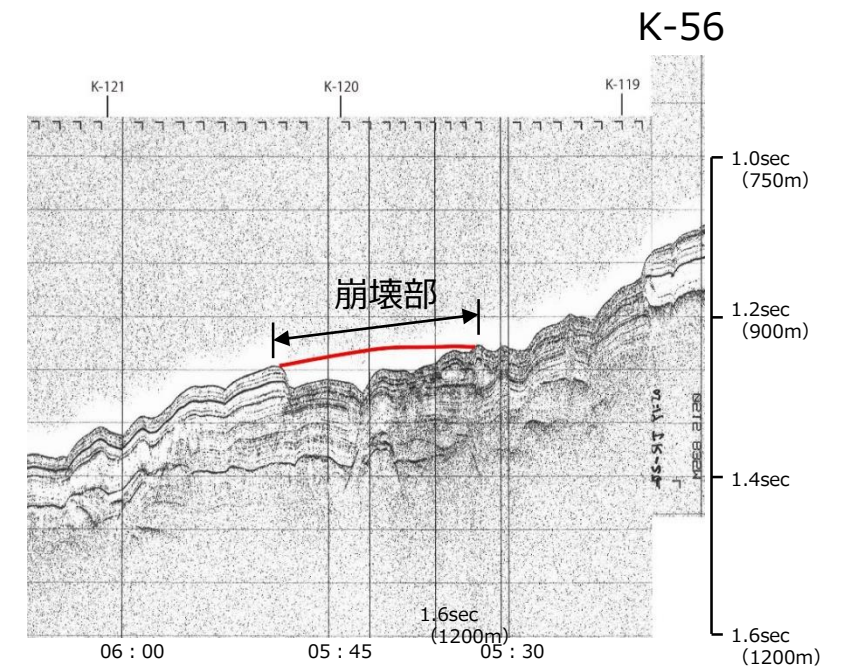
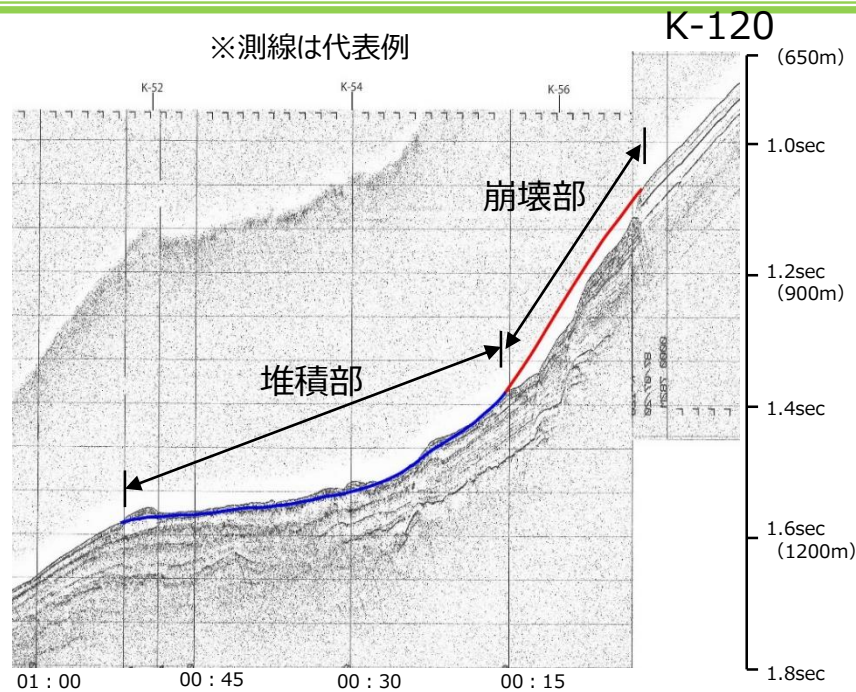


地すべり地形Es-G3を通る複数の海上音波探査記録から、崩壊部・堆積部の幅、長さ、標高等を判読し、海底地形変化量分布図を作成した。

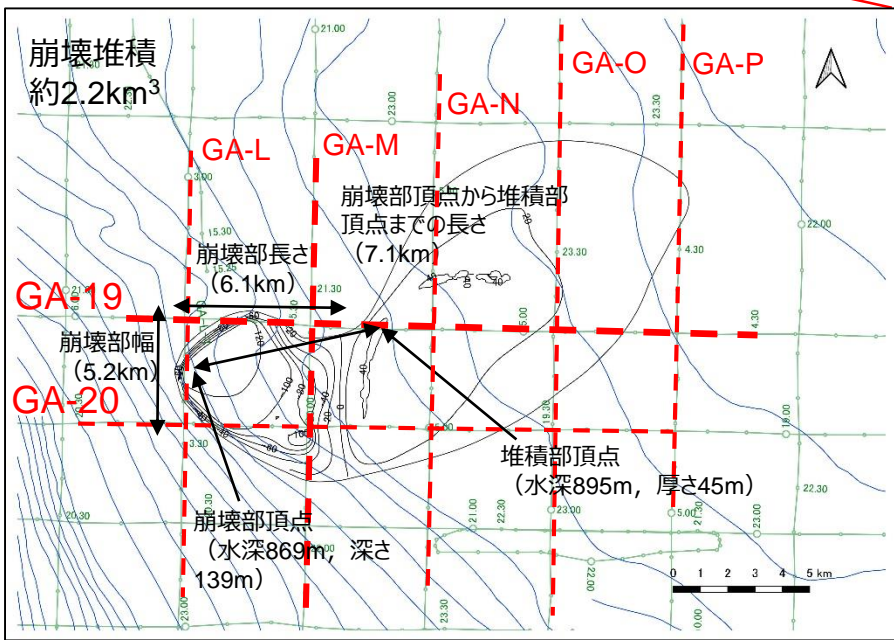
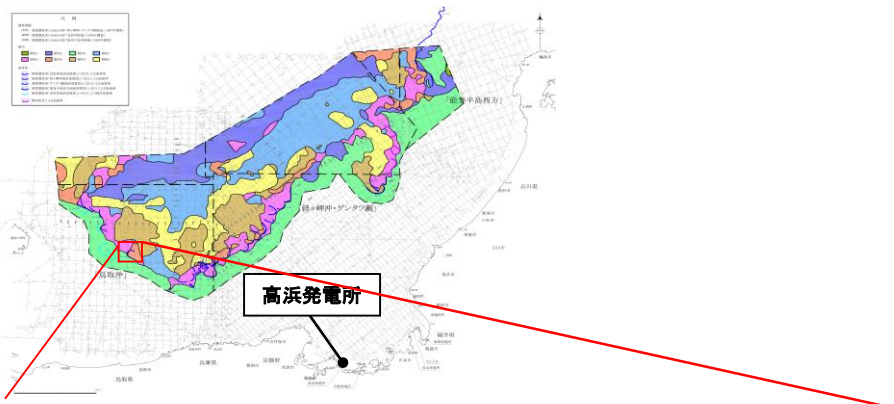
● 海底地すべり地形変化の算出 (エリアA Es-G101)



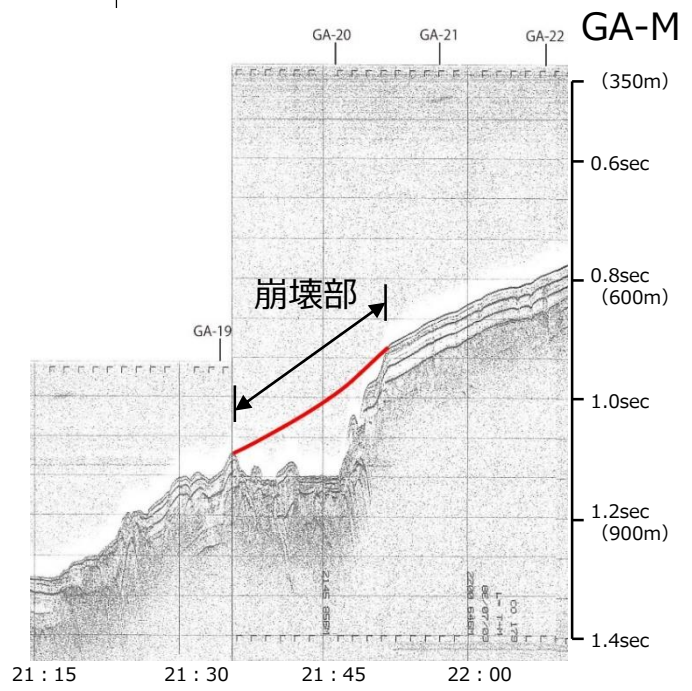
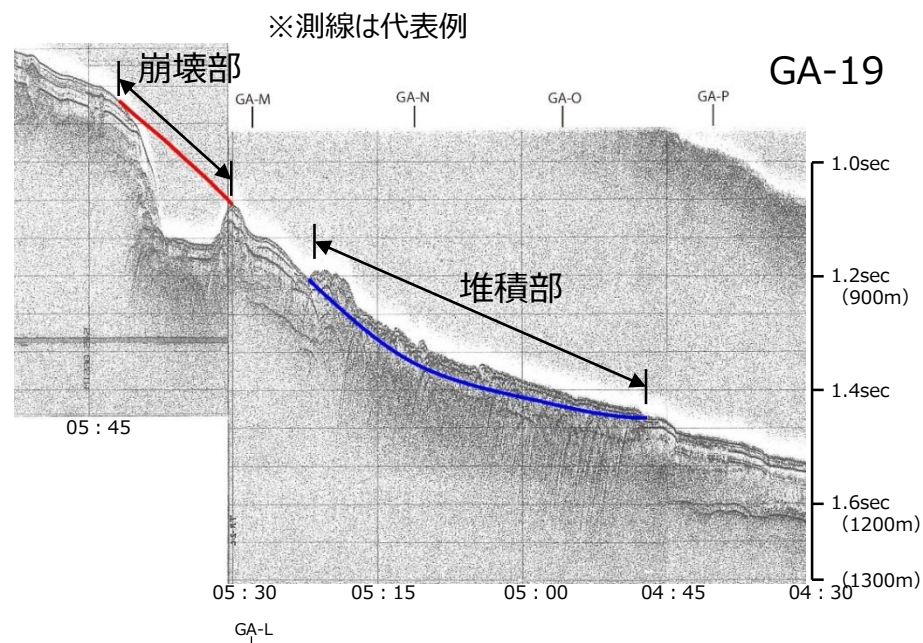
地すべり地形Es-G3を通る複数の海上音波探査記録から、崩壊部・堆積部の幅、長さ、標高等を判読し、海底地形変化量分布図を作成した。



● 海底地すべり地形変化の算出 (エリアC Es-T13)

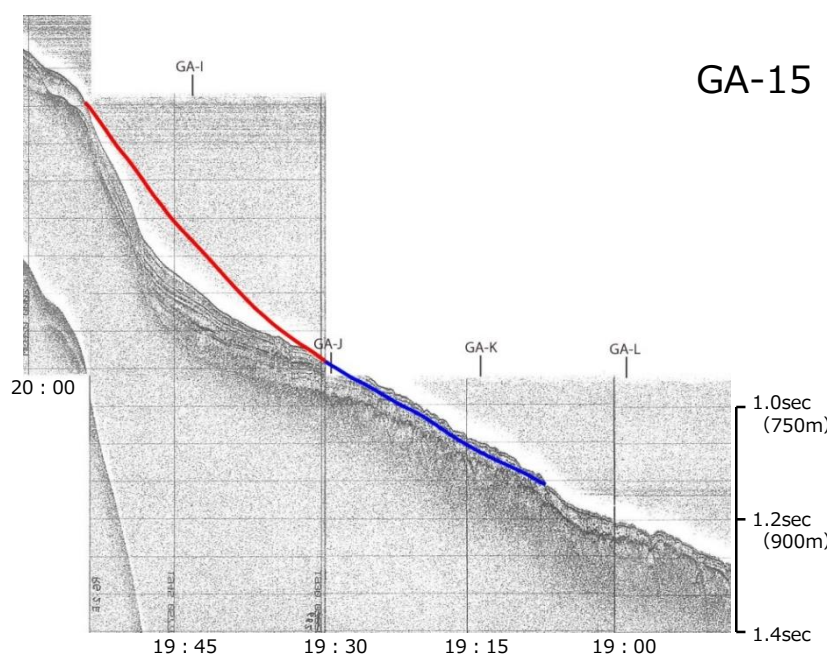
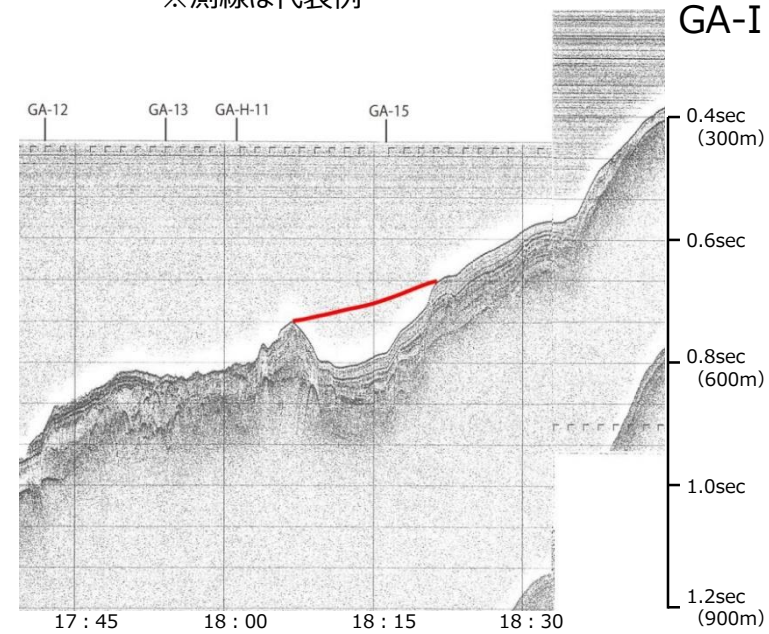
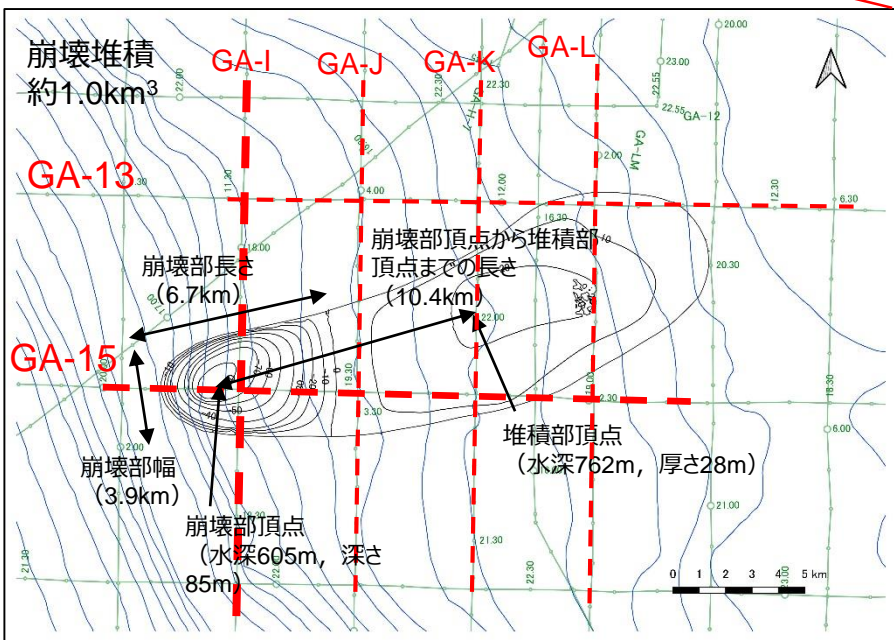
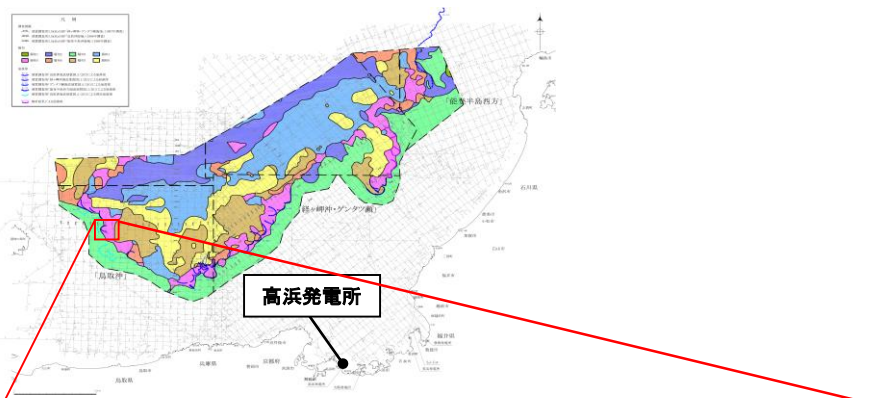


地すべり地形Es-G3を通る複数の海上音波探査記録から、崩壊部・堆積部の幅、長さ、標高等を判読し、海底地形変化量分布図を作成した。



● 海底地すべり地形変化の算出 (エリアC Es-T14)

※測線は代表例



地すべり地形Es-G3を通る複数の海上音波探査記録から、崩壊部・堆積部の幅、長さ、標高等を判読し、海底地形変化量分布図を作成した。

● 水位下降波先行に関する文献

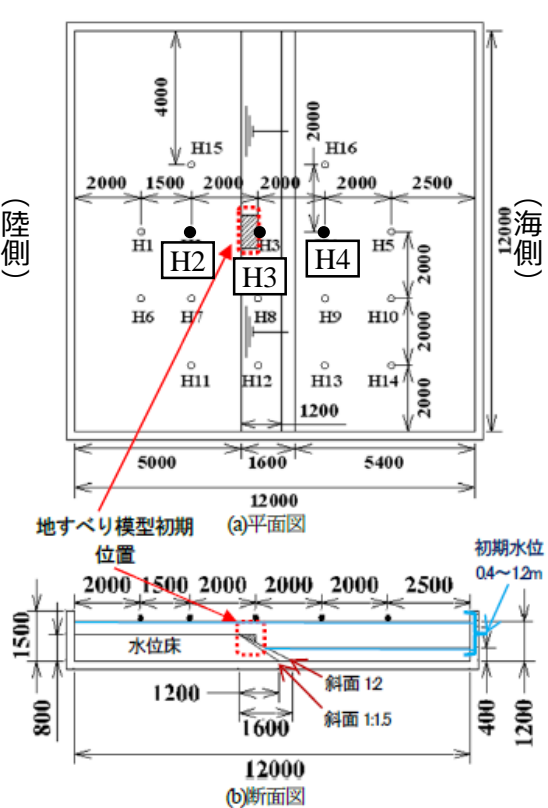
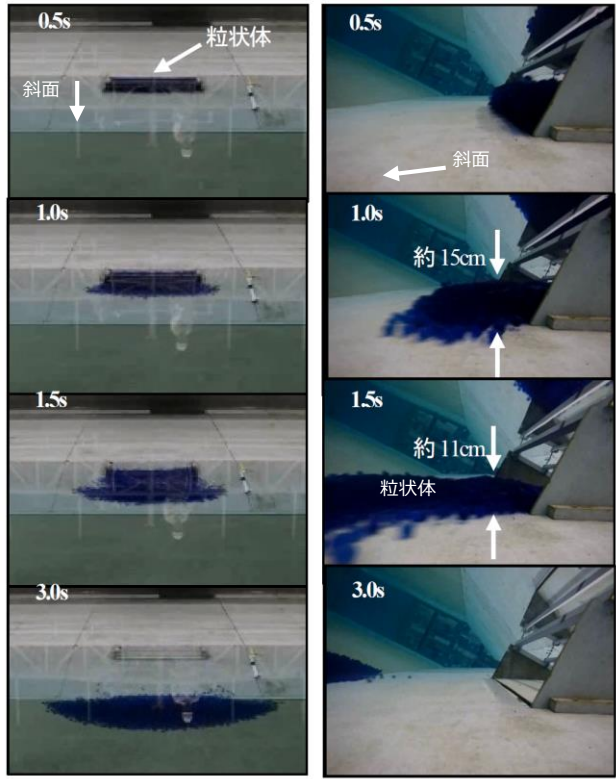


図-1 実験水槽 (H1~H16: 水位計測点) (mm)



(a) 水槽上方から撮影 (b) ゲート側方から撮影
写真-1 粒状体の流下状況 (平面水槽)

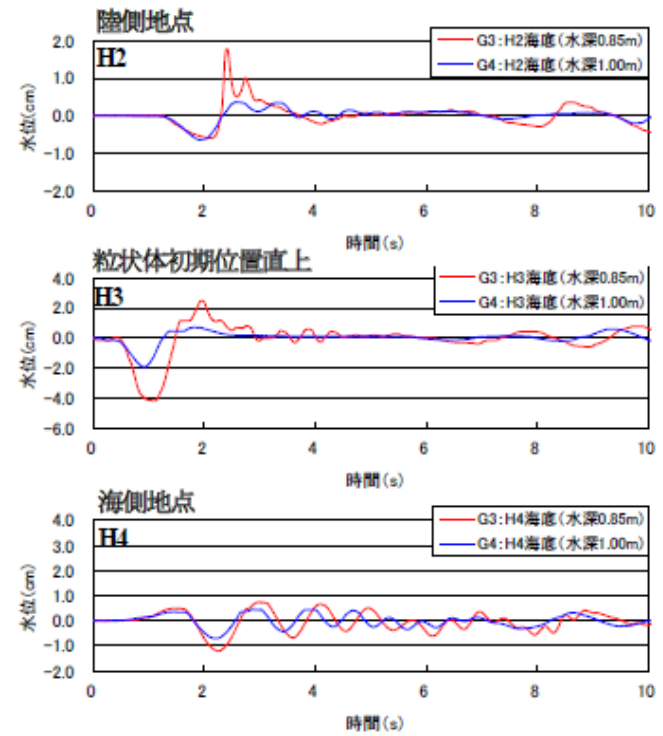


図-4 粒状体による海底地すべり津波の水位変動

[出所] 藤井直樹・松山昌史・森勇人(2018): 地すべりによる津波の平面水槽を用いた水理模型実験, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.74, No.2, I_145-I_150, 2018.

水理模型実験により、海底地すべりによる津波では、地すべりの進展方向（海側）では上昇波が先行するのに対し、地すべりの進展方向と逆側（陸側）では下降波が先行する津波となる特徴があることが確認されている。

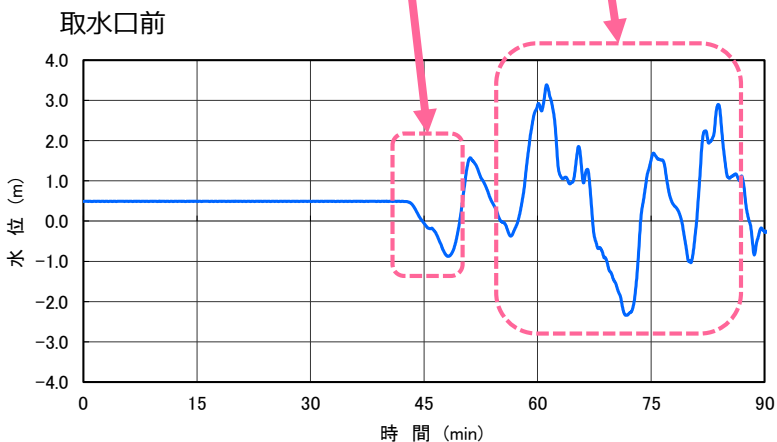
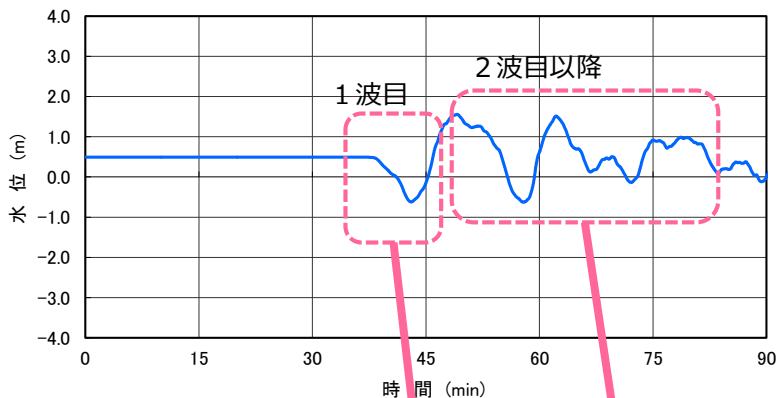
● 2波目以降の水位変動の増幅 (1 / 16)

海底地すべりによる津波の波形・スナップショット (1 / 8)



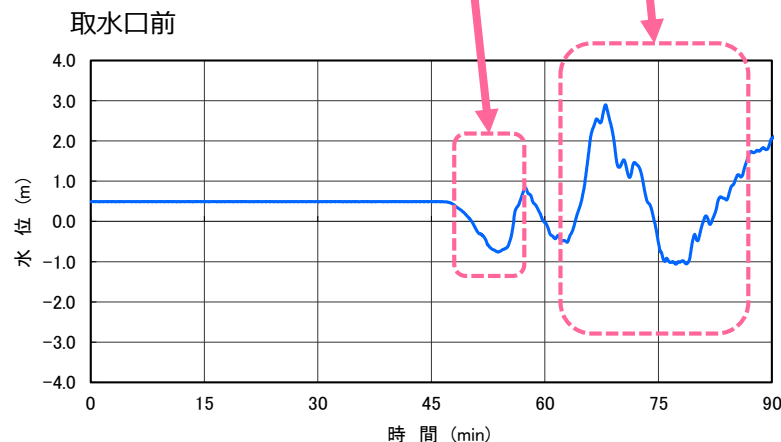
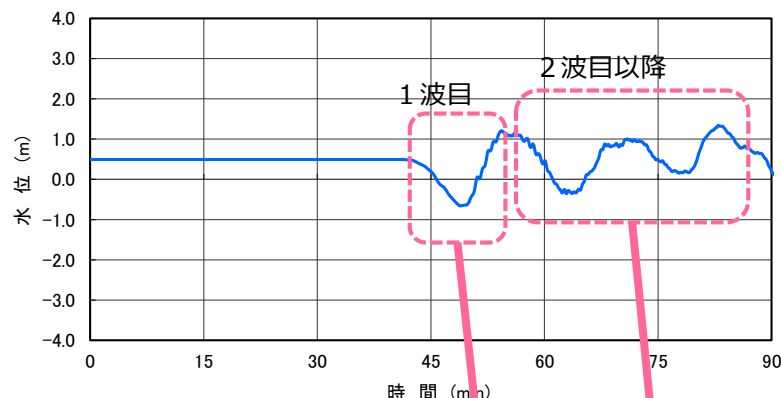
エリアB (Kinematicモデル)

基準津波定義位置



エリアC (Kinematicモデル)

基準津波定義位置

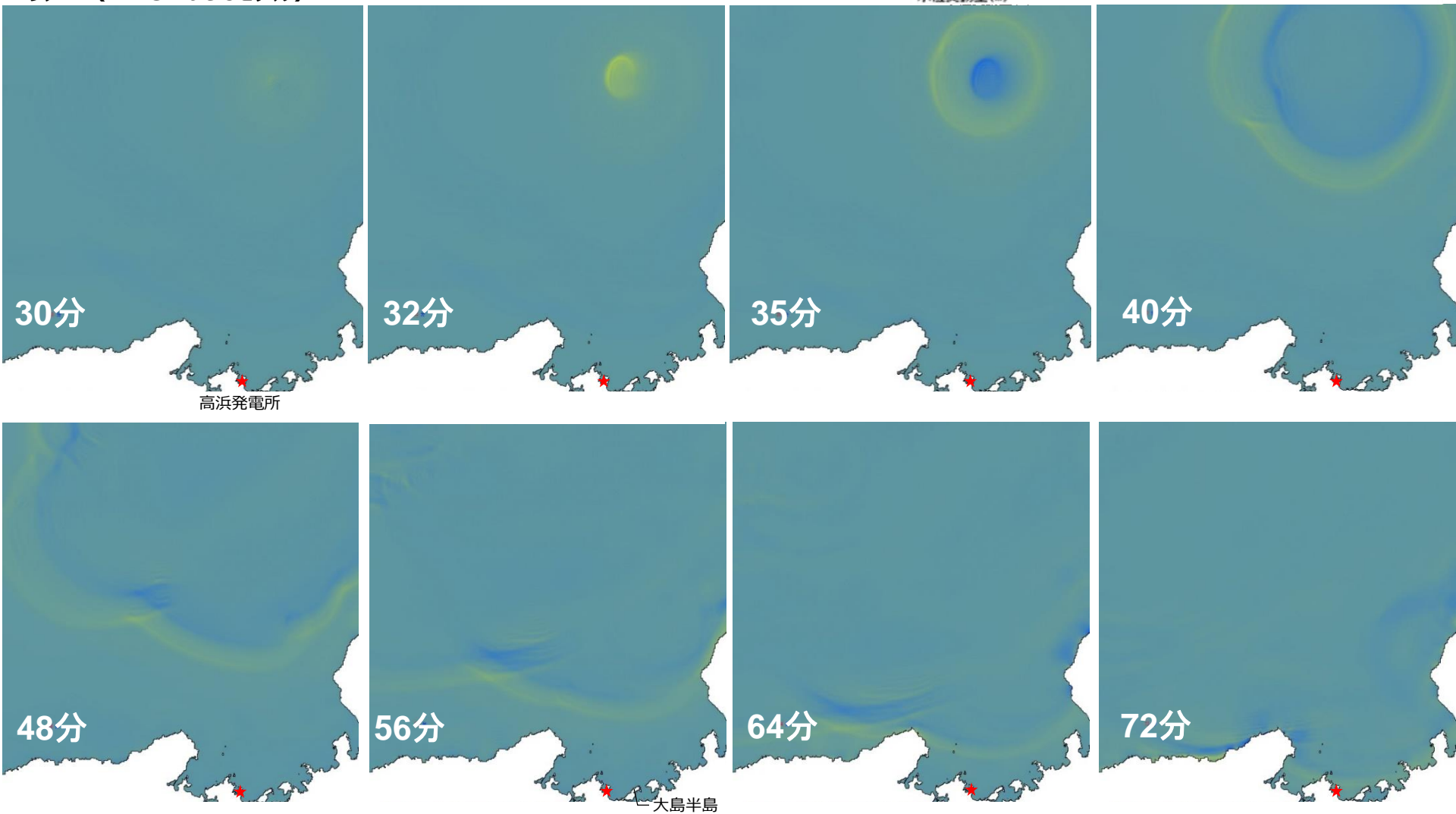


- 反射の影響の小さい沖合（基準津波定義位置）では、1波目の振幅が最大で、2波目以降では振幅は徐々に減衰する。
 - 取水口前の1波目の水位下降は、沖合（基準津波定義位置）での波形がほぼそのまま伝播してきている。
 - 沖合（基準津波定義位置）では2波目以降は徐々に振幅が減衰するのに対し、取水口前の2波目以降は1波目よりも振幅が増幅している。
- ⇒ 2波目以降の増幅には津波の伝播特性が影響していると考えられることから、スナップショットによる確認を行う。

● 2波目以降の水位変動の増幅 (2 / 16)

海底地すべりによる津波の波形・スナップショット (2 / 8)

エリアA (Kinematicモデル)

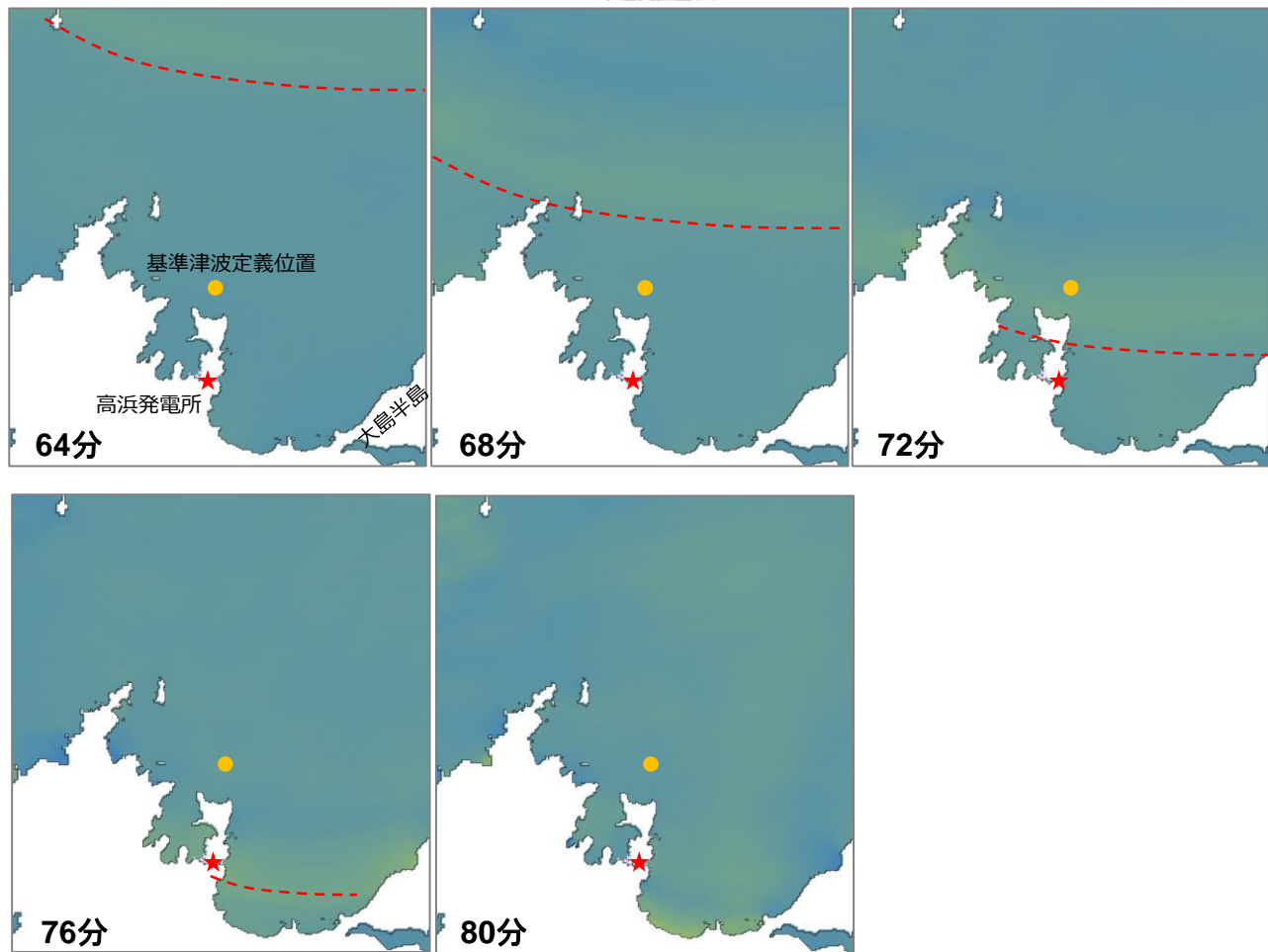
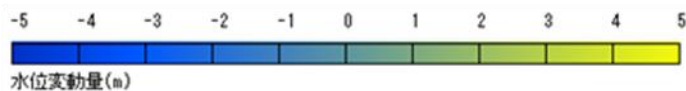


64分頃までは引き波⇒72分ごろ押し波の順で高浜発電所取水口位置まで津波が一様に伝播している。

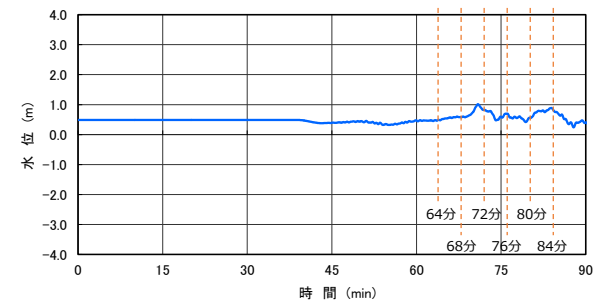
● 2波目以降の水位変動の増幅 (3 / 16)

海底地すべりによる津波の波形・スナップショット (3 / 8)

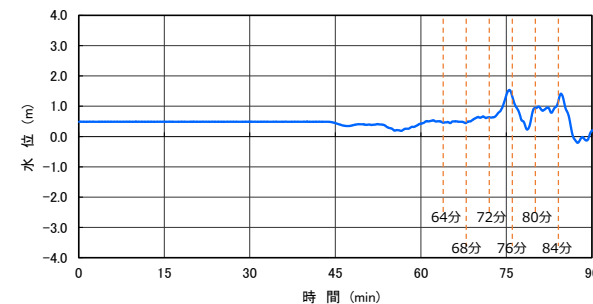
エリアA (Kinematicモデル)



基準津波定義位置



取水口前

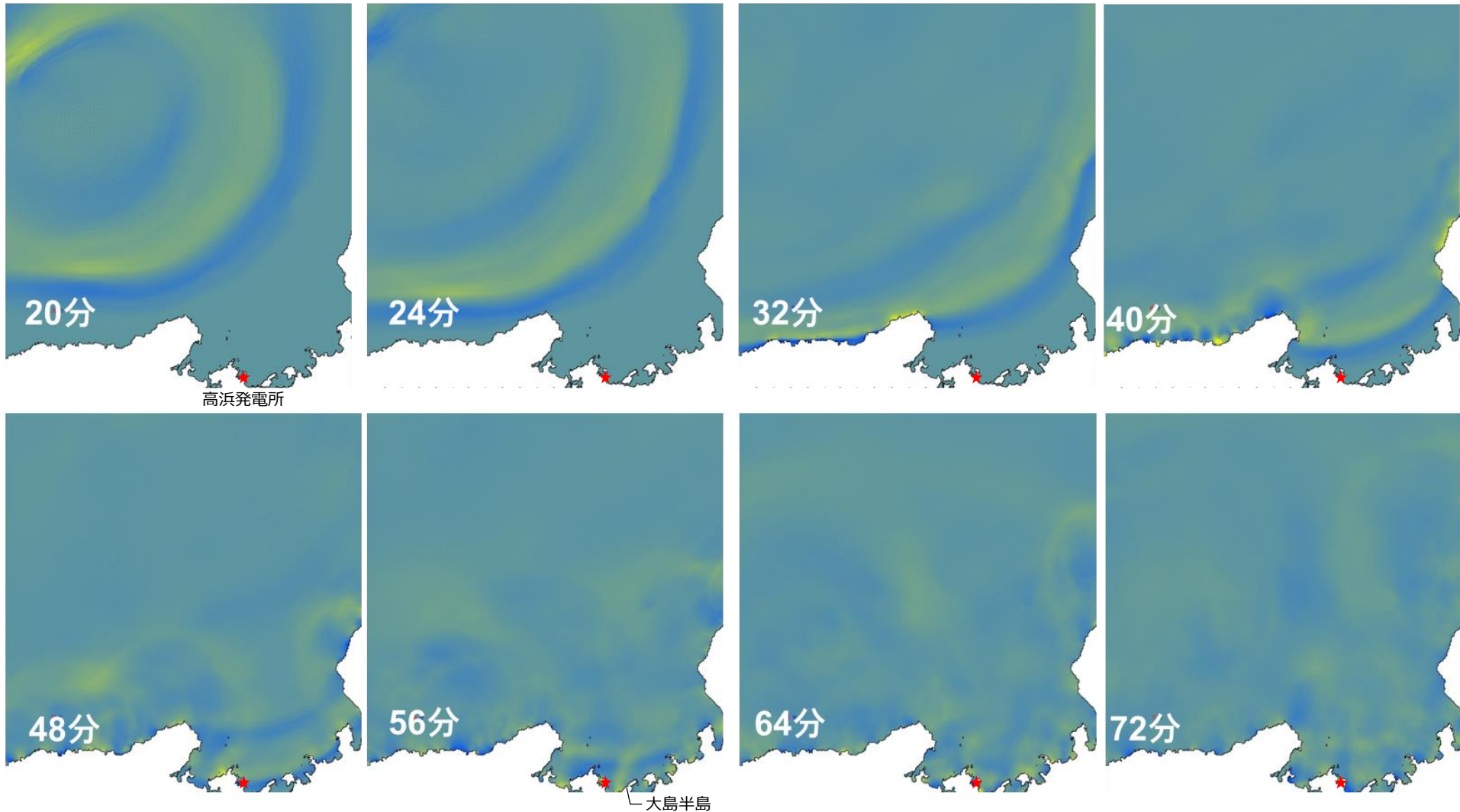


64分頃までは引き波⇒押し波の順で高浜発電所取水口位置まで津波が一樣に伝播しているが、72分以降は波源からの2波目と大島半島等からの反射波が混在している。

● 2波目以降の水位変動の増幅 (4 / 16)

海底地すべりによる津波の波形・スナップショット (4 / 8)

エリアB (Kinematicモデル)

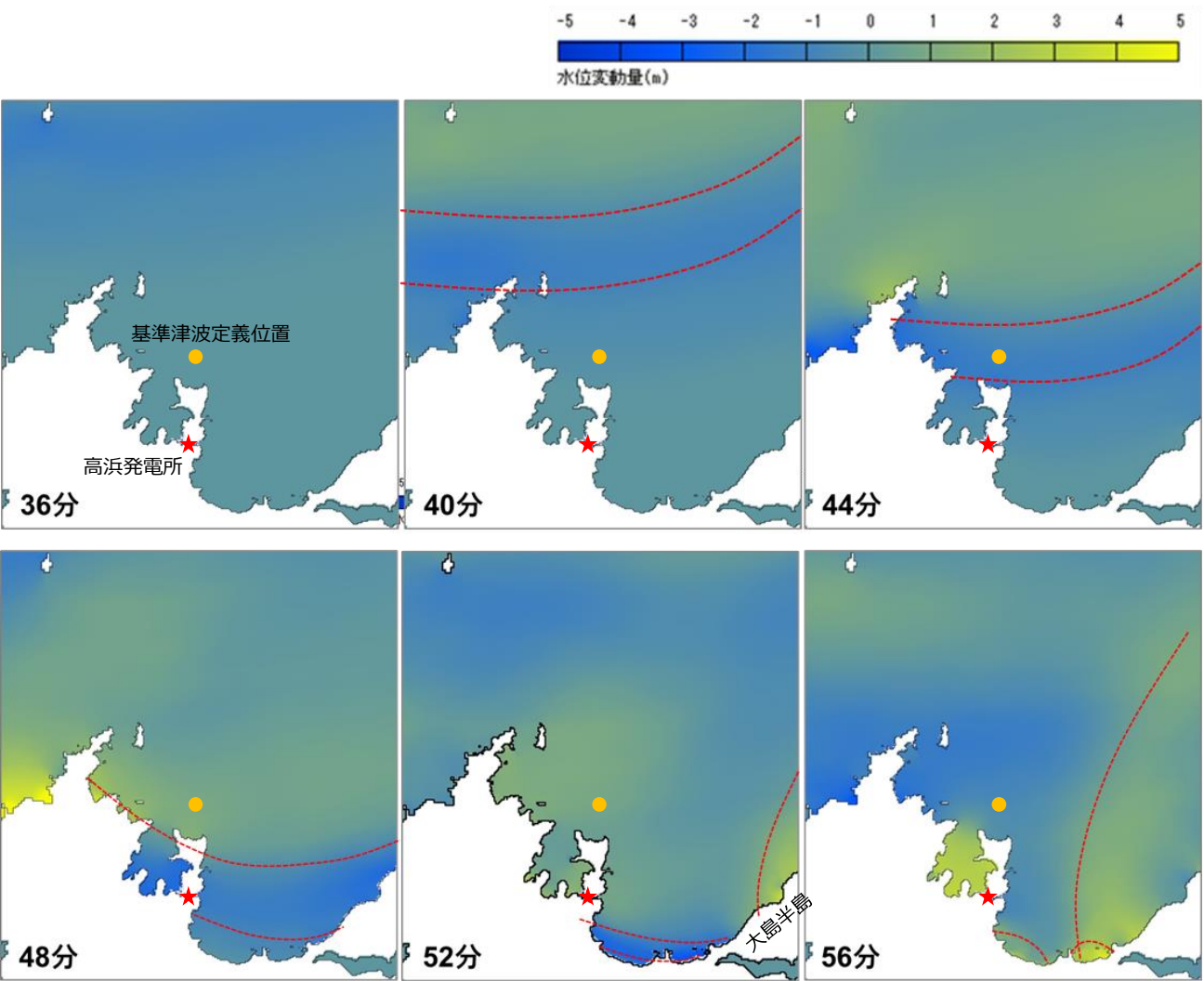


48分頃までは引き波⇒押し波の順で高浜発電所取水口位置まで津波が一樣に伝播しているが、56分以降は波源からの2波目と大島半島等からの反射波が混在している。

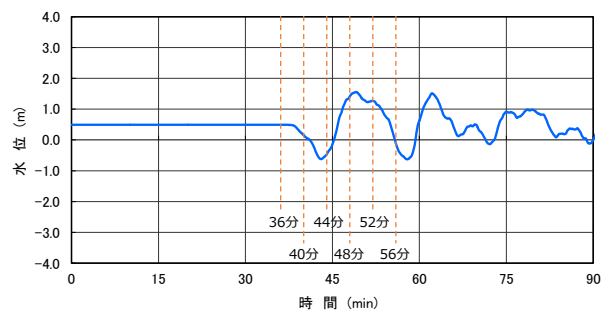
● 2波目以降の水位変動の増幅 (5 / 16)

海底地すべりによる津波の波形・スナップショット (5 / 8)

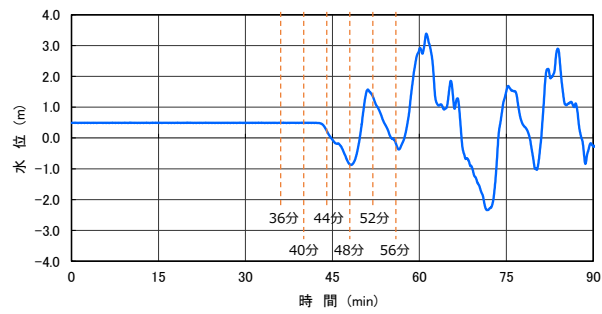
エリアB (Kinematicモデル)



基準津波定義位置



取水口前

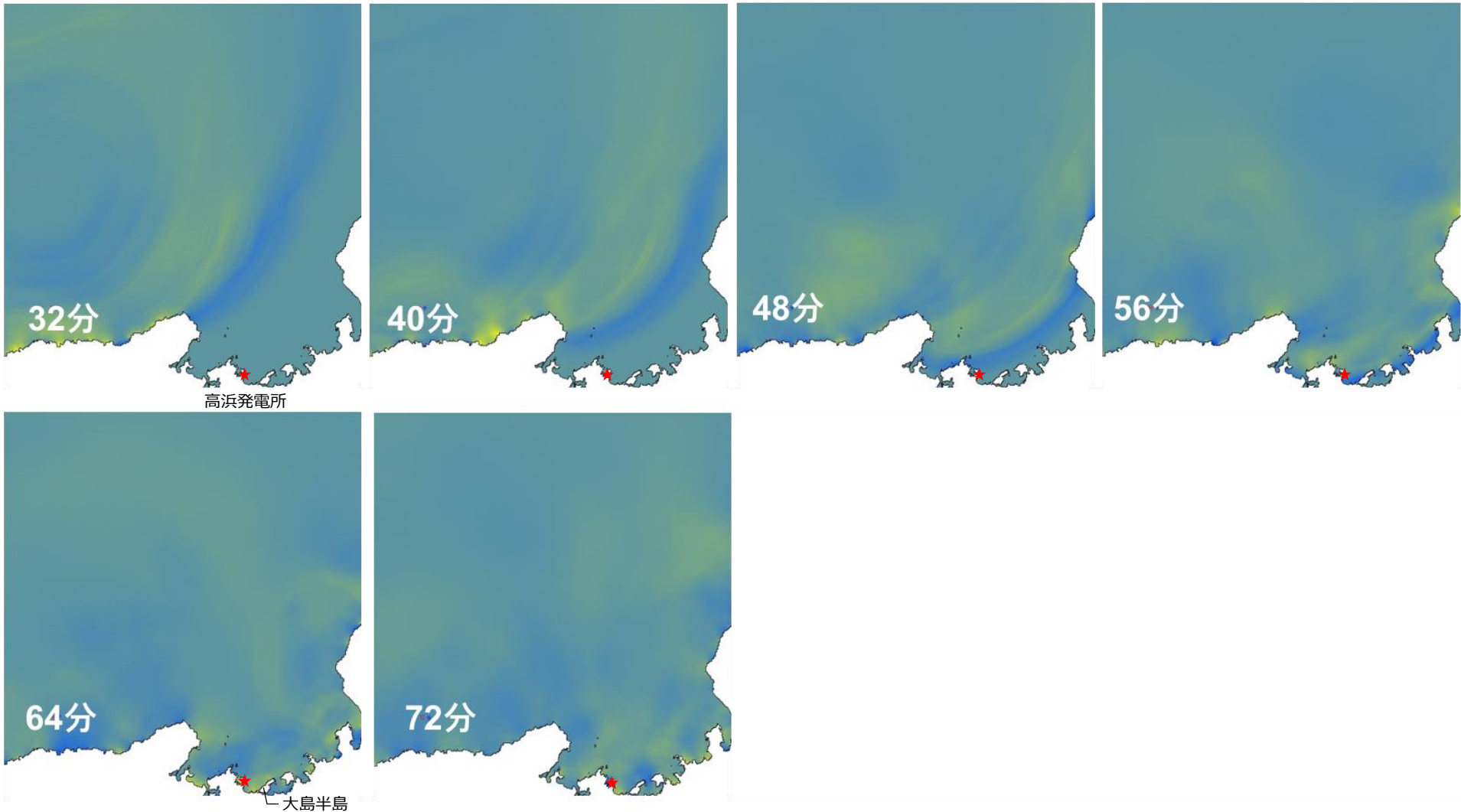


52分頃までは引き波⇒押し波の順で高浜発電所取水口位置まで津波が一樣に伝播しているが、56分以降は波源からの2波目と大島半島等からの反射波が混在している。

● 2波目以降の水位変動の増幅 (6 / 16)

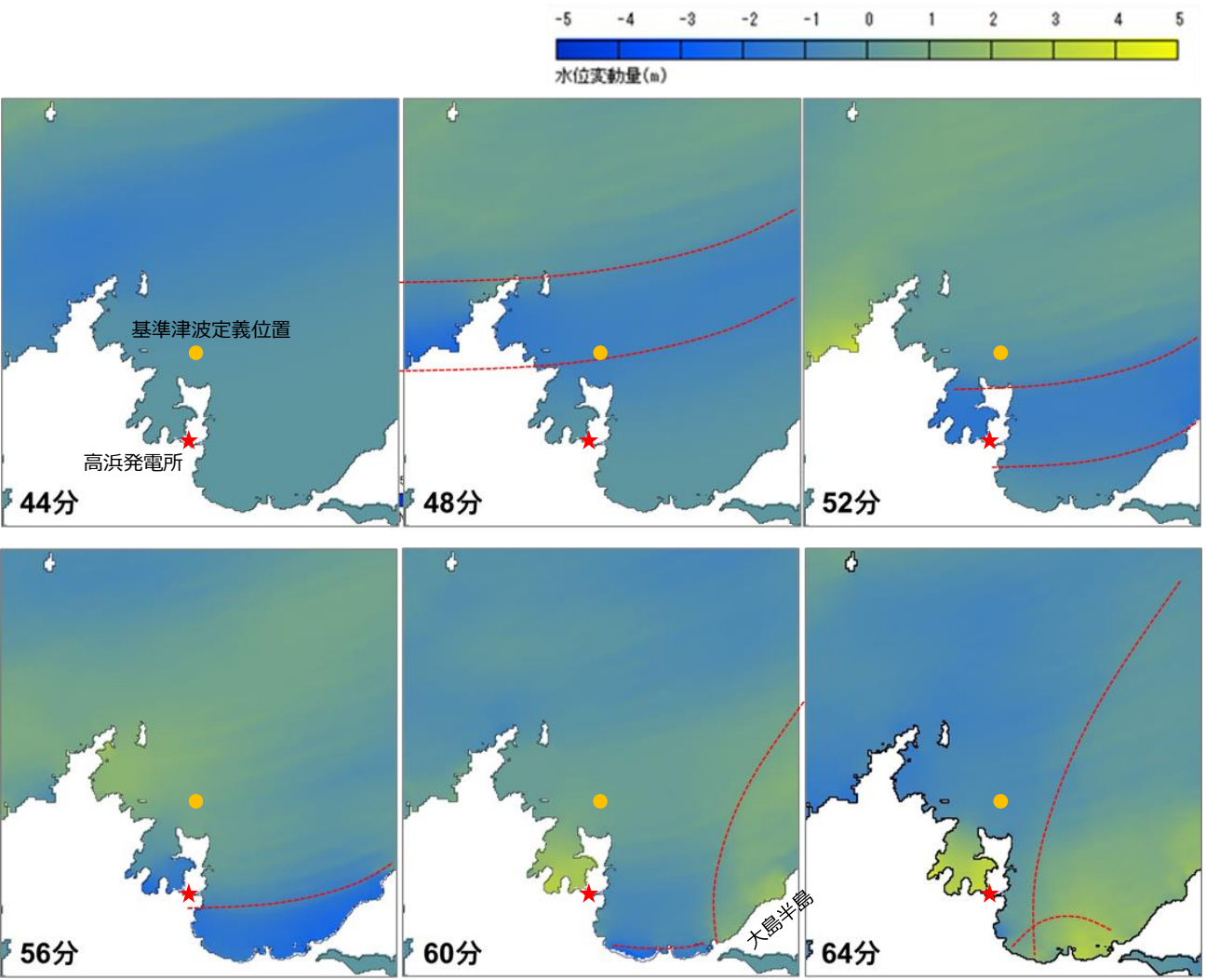
海底地すべりによる津波の波形・スナップショット (6 / 8)

エリアC (Kinematicモデル)

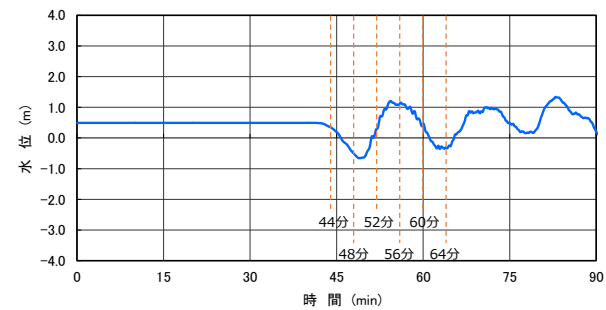


56分頃までは引き波⇒押し波の順で高浜発電所取水口位置まで津波が一樣に伝播しているが、64分以降は波源からの2波目と大島半島等からの反射波が混在している。

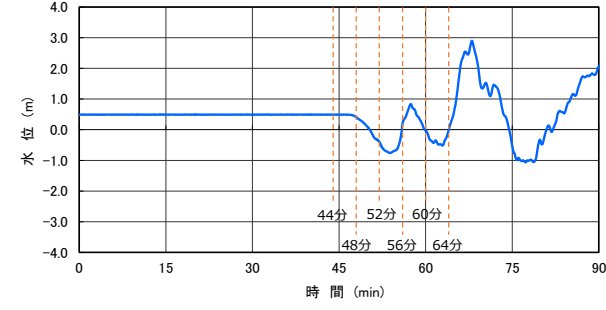
- 2波目以降の水位変動の増幅 (7 / 16)
- 海底地すべりによる津波の波形・スナップショット (7 / 8)
- エリアC (Kinematicモデル)



基準津波定義位置



取水口前



60分頃までは引き波⇒押し波の順で高浜発電所取水口位置まで津波が一樣に伝播しているが、64分以降は波源からの2波目と大島半島等からの反射波が混在している。

● 2波目以降の水位変動の増幅 (8 / 16)

海底地すべりによる津波の波形・スナップショット (8 / 8)

- 海底地すべりによる津波 (エリアB (Kinematicモデル)、エリアC (Kinematicモデル)) の波形・スナップショットから、海底地すべりによる津波自体は1波目の振幅が大きいですが、高浜発電所取水口位置においては周辺地形に起因する反射波の影響によって2波目以降の振幅が増大することを確認した。
- エリアAやWatts他の予測式による波形においても取水口位置では2波目以降の振幅が増幅されていることから、若狭湾の伝播特性によって生じる高浜発電所取水口位置の津波波形の一般的な特性と考えられる。

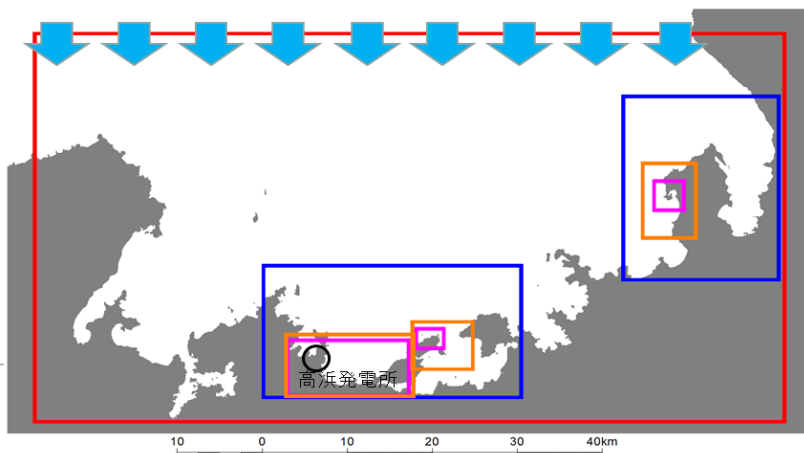
⇒津波波形としての一般性を確認するため、正弦波を用いた検討を行う。

● 2波目以降の水位変動の増幅 (9 / 16)

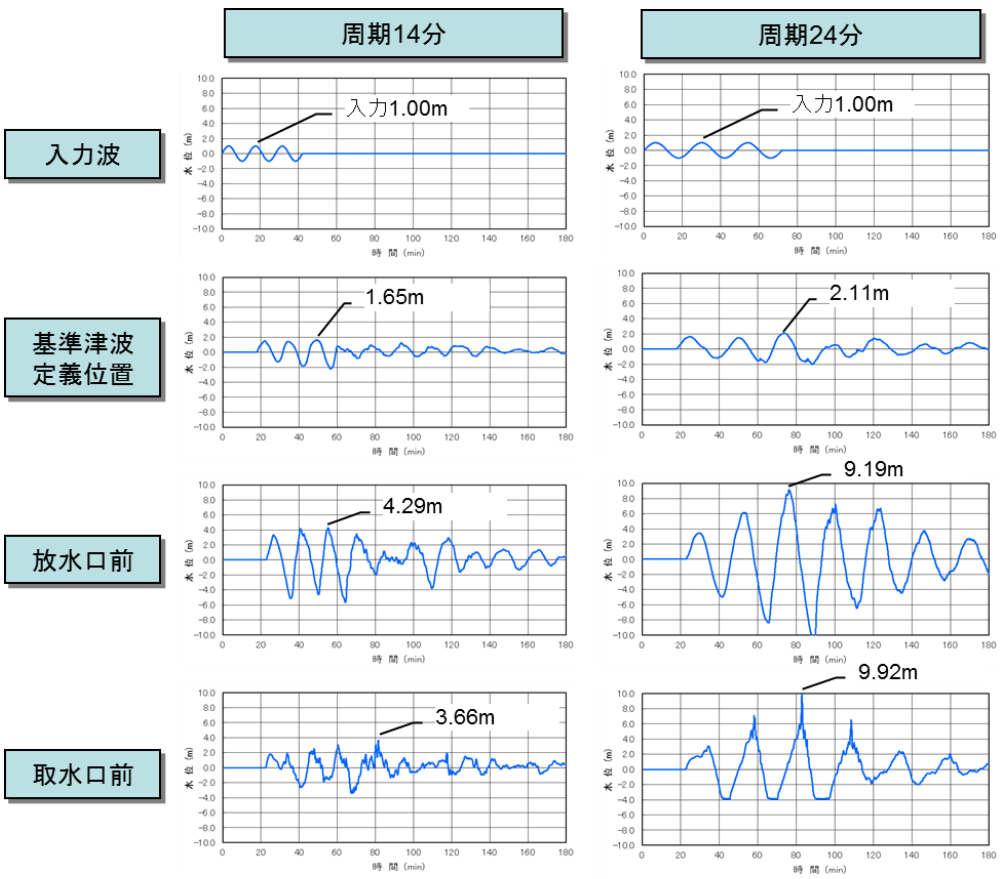
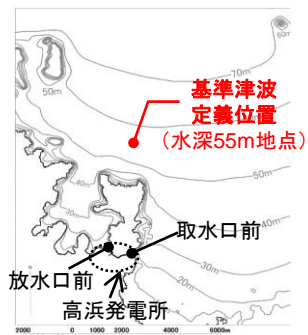
正弦波を用いた確認 (1 / 8)

- 既許可時には、下記のように若狭湾北側から正弦波を一様に入力し、若狭湾の周期特性を確認している。
- 高浜発電所取水口位置における2波目以降の増幅特性を確認するため、既許可時と同様に正弦波を用いた津波の伝播特性の確認を行う。

周期を変化させた正弦波(3波長)を入力



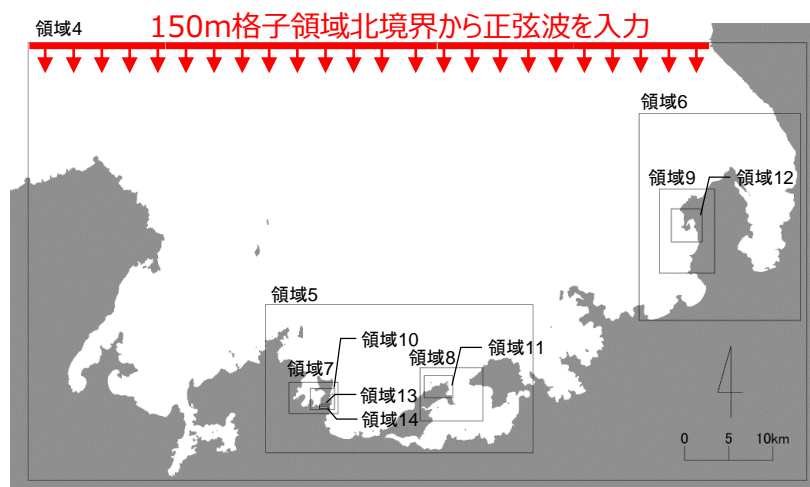
- 150m格子領域
- 50m格子領域
- 25m格子領域
- 12.5m格子領域



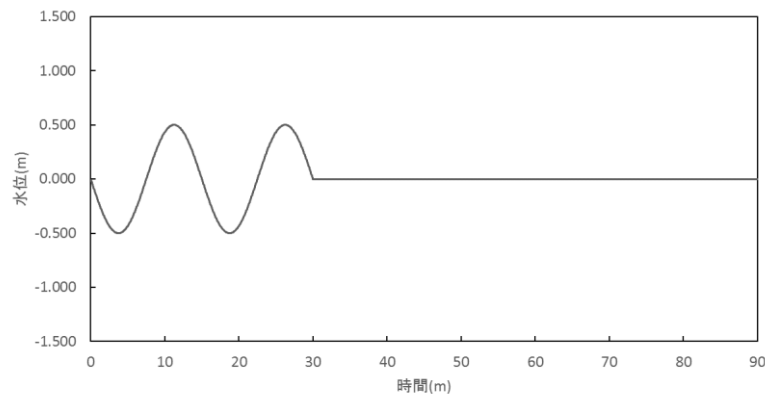
● 2波目以降の水位変動の増幅 (10 / 16)

正弦波を用いた確認 (2 / 8)

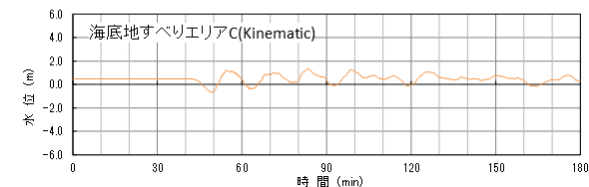
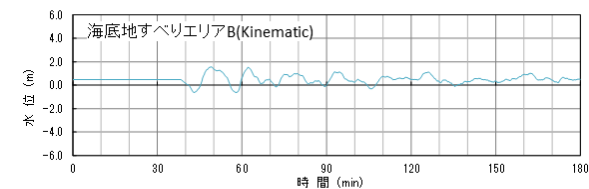
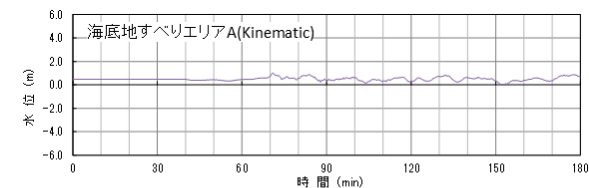
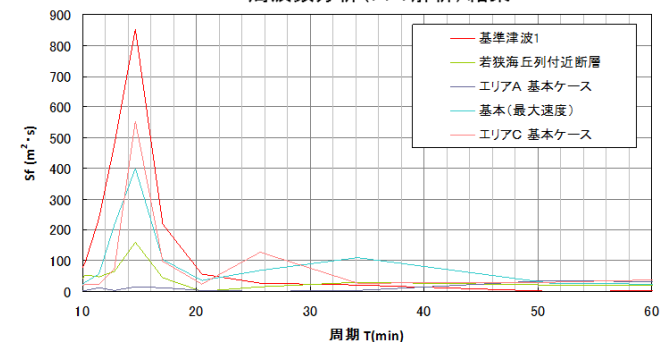
- 海底地すべりによる津波を模擬した波形とするため、水位下降波先行の正弦波とする。
- 海底地すべりによる津波の基準津波定義位置の波形及びスナップショットから、入力波として明瞭な振幅が存在する波数として正弦波は2波とする。
- 海底地すべりによる津波の卓越周期 (既許可時の分析結果) を踏まえ、正弦波の周期は15分とする。
- 取水口位置で1波目の振幅が0.7m程度となるように、入力する正弦波の振幅は0.5mとする。



入力波形

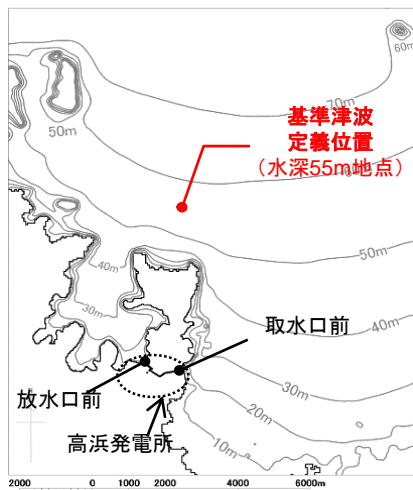


周波数分析(FFT解析)結果

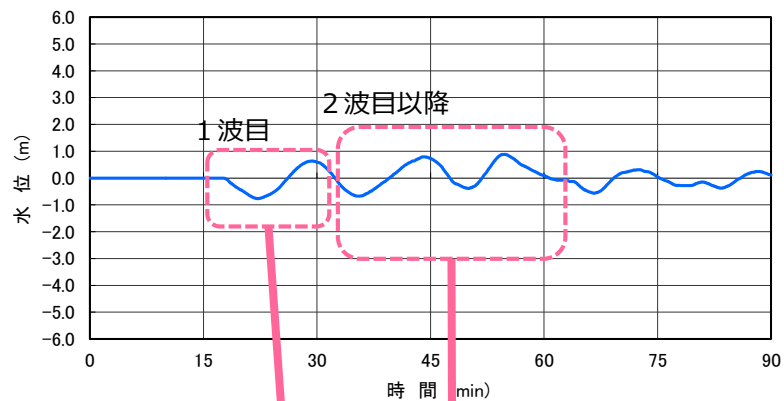


● 2波目以降の水位変動の増幅 (11 / 16)

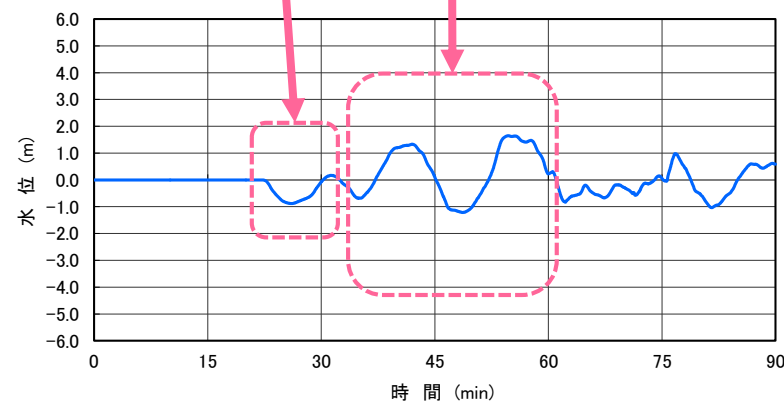
正弦波を用いた確認 (3 / 8)



基準津波定義位置



取水口前

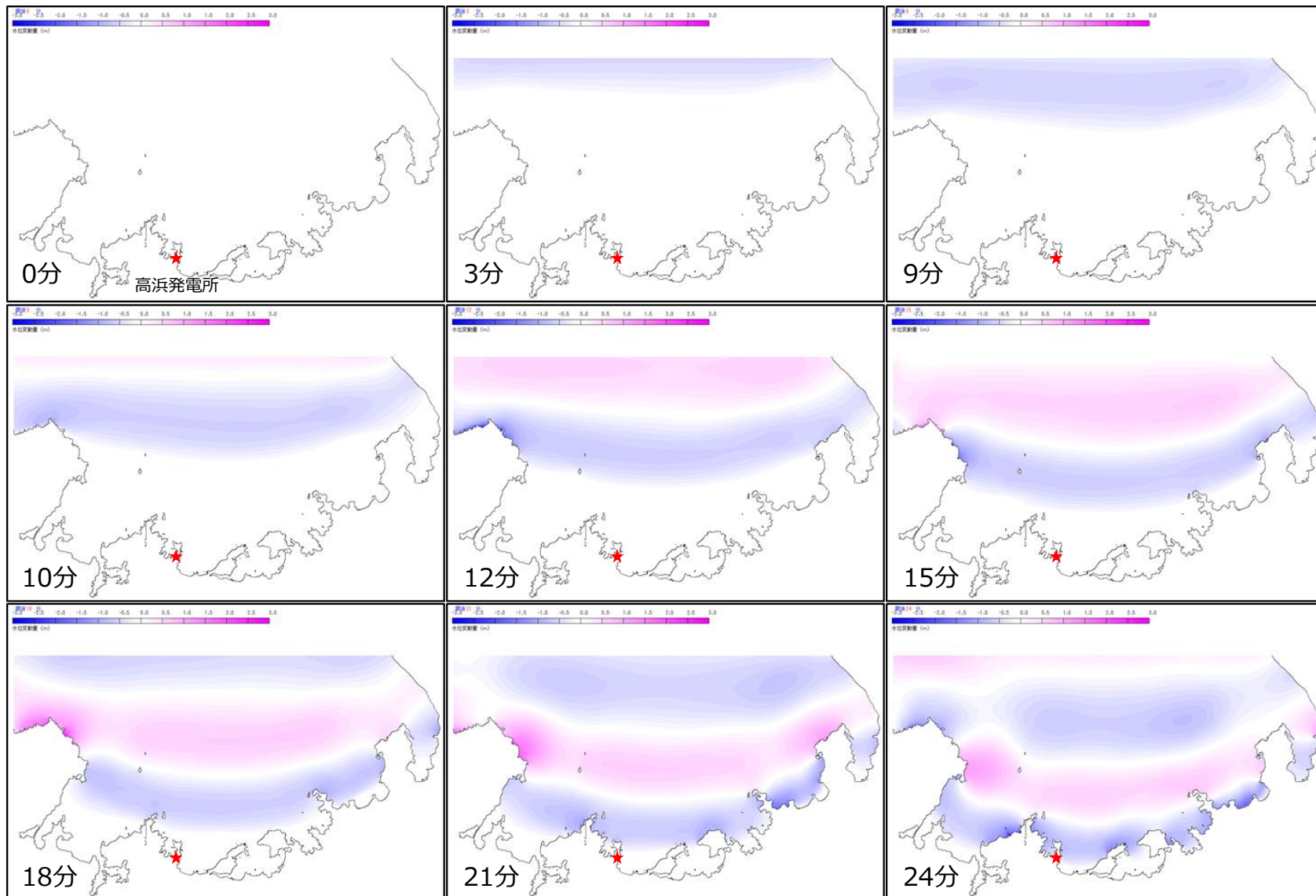


- 反射の影響の小さい沖合（基準津波定義位置）では、1波目の振幅が最大で、2波目以降では振幅は徐々に減衰する。
 - 取水口前の1波目は、沖合（基準津波定義位置）での波形がほぼそのまま伝播してきている。
 - 沖合（基準津波定義位置）では2波目以降は徐々に振幅が減衰するのに対し、取水口前の2波目以降は1波目よりも振幅が増幅している。
- ⇒ 2波目以降の増幅には津波の伝播特性が影響していると考えられることから、スナップショットによる確認を行う。

● 2波目以降の水位変動の増幅 (12 / 16)

正弦波を用いた確認 (4 / 8)

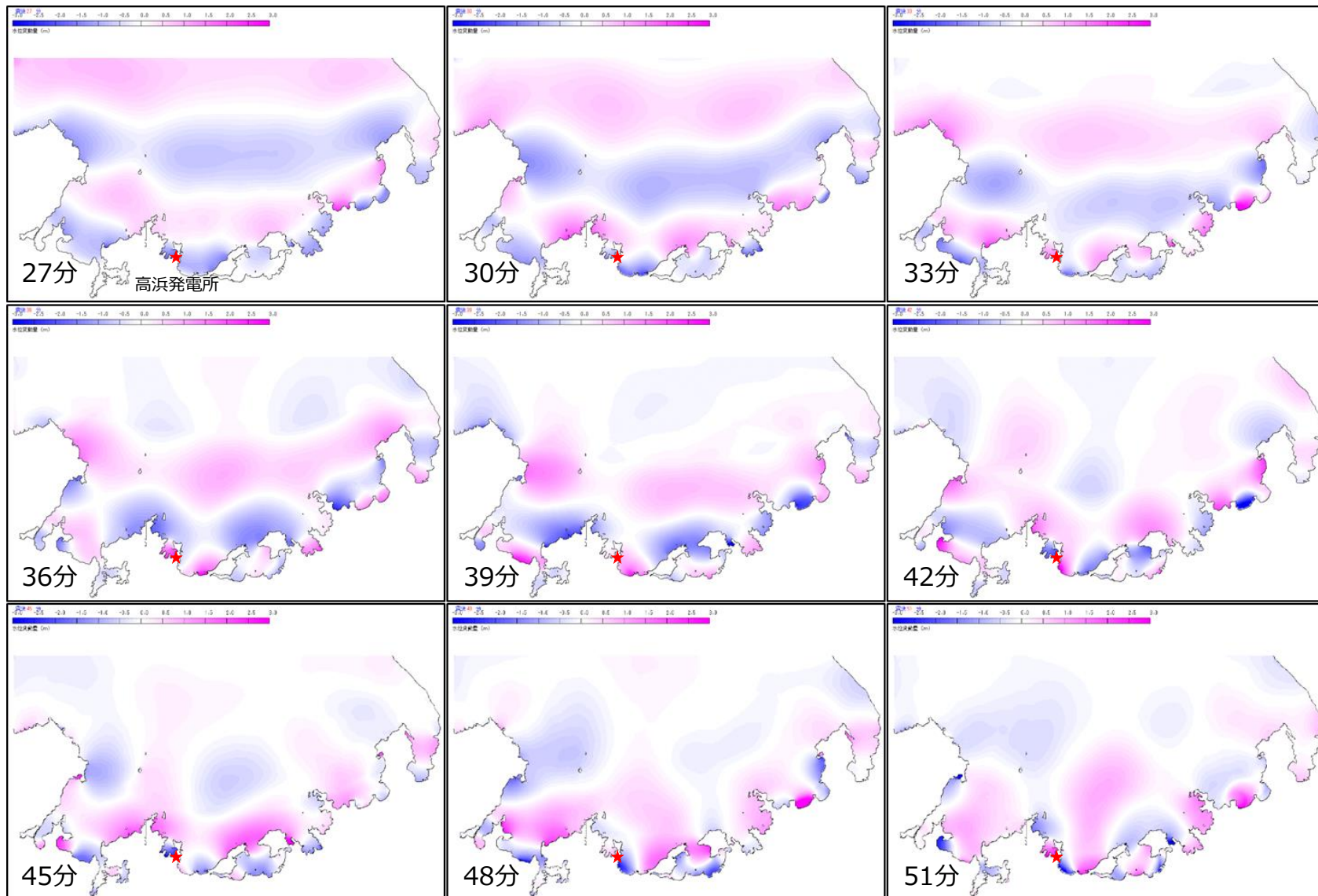
正弦波による検討のスナップショット



● 2波目以降の水位変動の増幅 (13 / 16)

正弦波を用いた確認 (5 / 8)

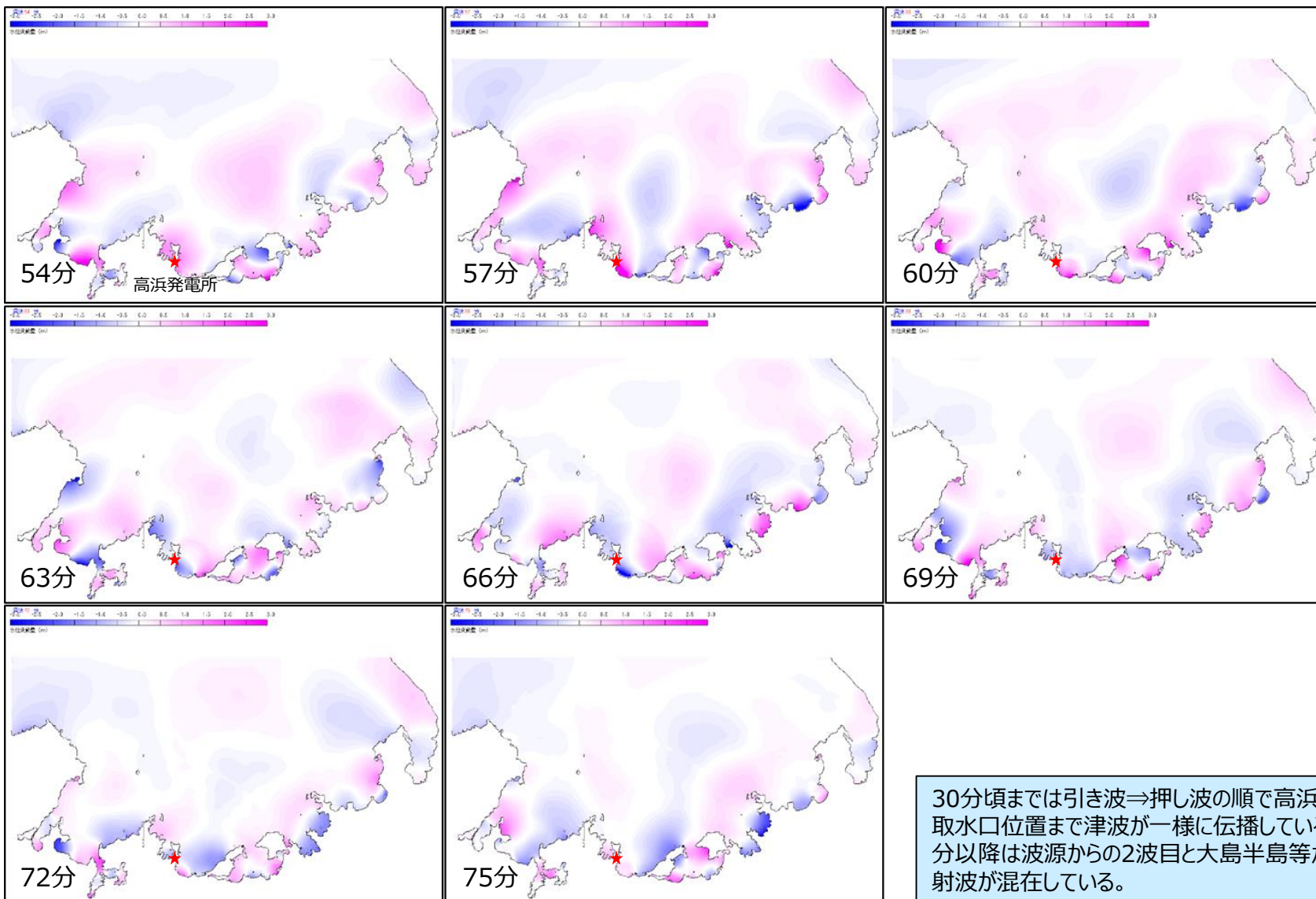
正弦波による検討のスナップショット



● 2波目以降の水位変動の増幅 (14 / 16)

正弦波を用いた確認 (6 / 8)

正弦波による検討のスナップショット



30分頃までは引き波⇒押し波の順で高浜発電所取水口位置まで津波が一樣に伝播しているが、33分以降は波源からの2波目と大島半島等からの反射波が混在している。

● 2波目以降の水位変動の増幅 (15 / 16)

正弦波を用いた確認 (7 / 8)

正弦波を用いた確認において、形状パターン及び振幅を変えたパラメータスタディを実施した。

入力波形

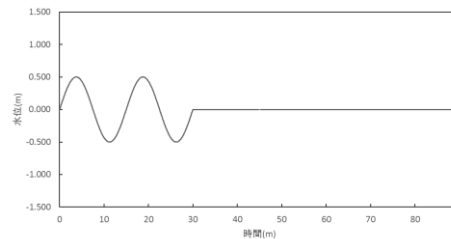
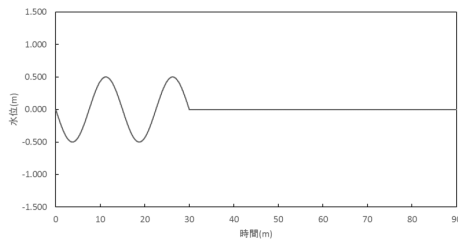
波形：正弦波

形状：下降波先行、上昇波先行

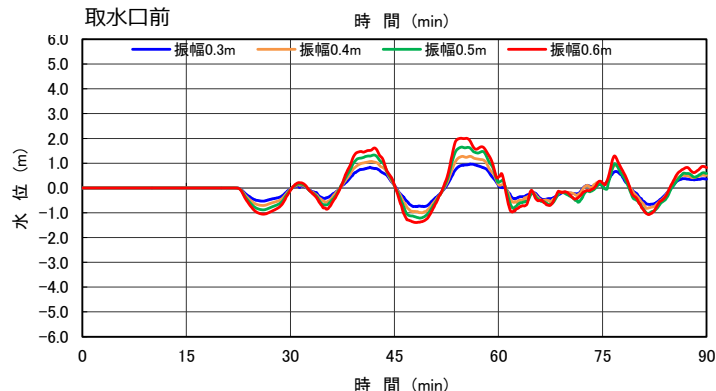
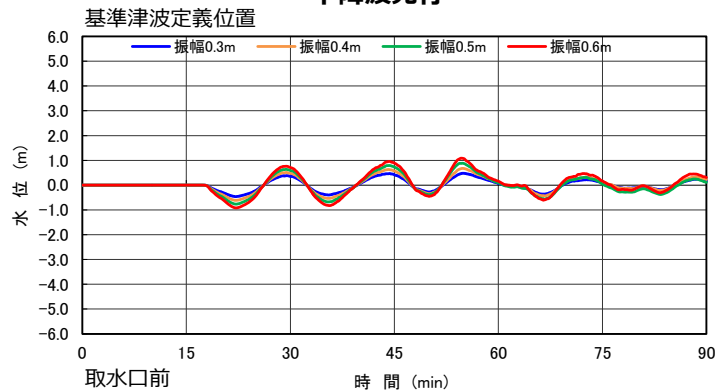
振幅：0.3, 0.4, 0.5, 0.6m

周期：15分

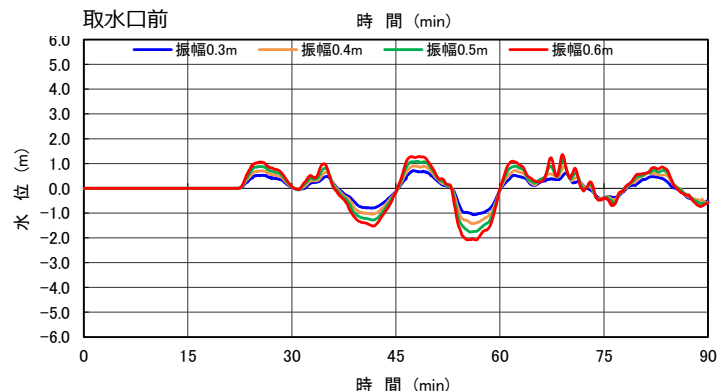
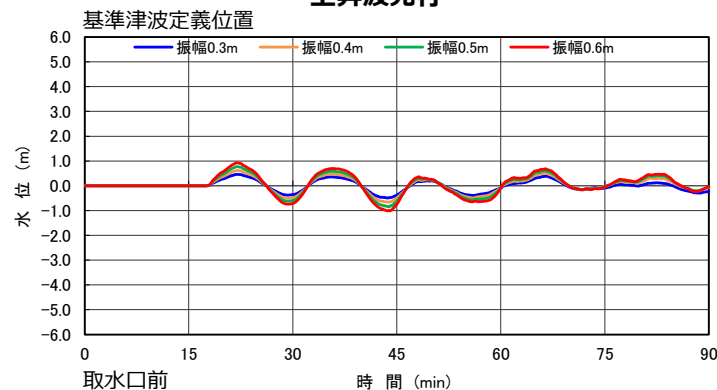
波数：2



下降波先行



上昇波先行



- 下降波先行・上昇波先行や入力波の振幅に関わらず、1波目より2波目以降の水位変動が大きい。
- 入力波の振幅が大きいほど水位変動が大きい。

● 2波目以降の水位変動の増幅 (16 / 16)

正弦波を用いた確認 (8 / 8)

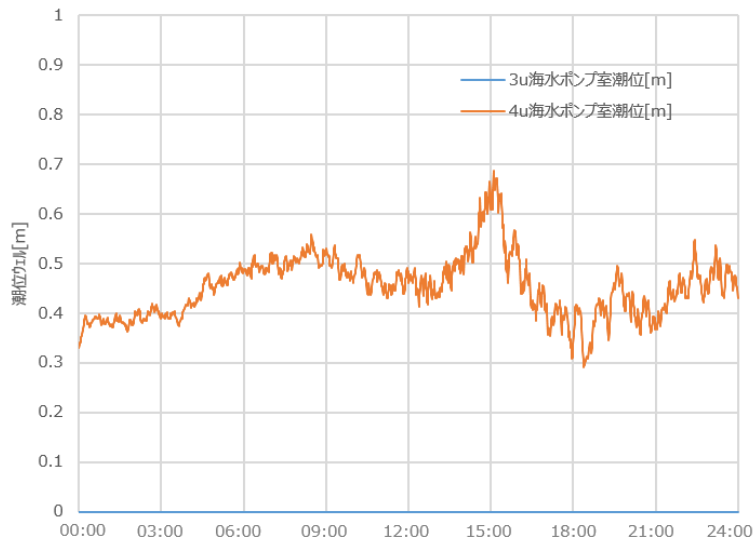
正弦波による検討の波形・スナップショットから、高浜発電所取水口位置における1波目は沖合からの入力波がそのまま伝播しているが、周辺地形に起因する反射波の影響によって2波目以降の振幅が増大することを確認した。

2波目以降の水位変動の増幅 まとめ

- 海底地すべりによる津波の波形・スナップショット及び正弦波を用いた検討における波形・スナップショットから、高浜発電所取水口位置においては、周辺地形に起因する反射波の影響によって2波目以降の水位変動が増幅する傾向があることを確認した。
- 2波目以降の水位変動の増幅は若狭湾の伝播特性に起因する特徴と考えられることから、前提とする津波波形の形状的特徴として妥当であると考えられる。

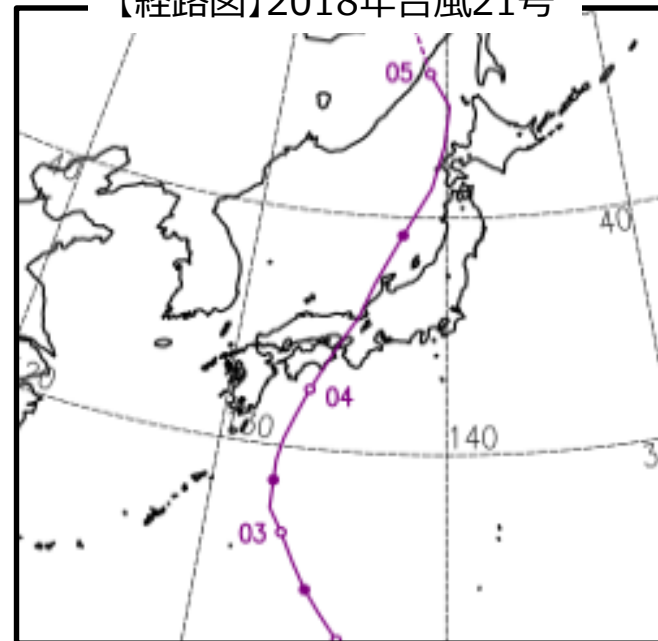
【2018年の台風21号の潮位データ(1分間平均値)】

2018.9.4_1日



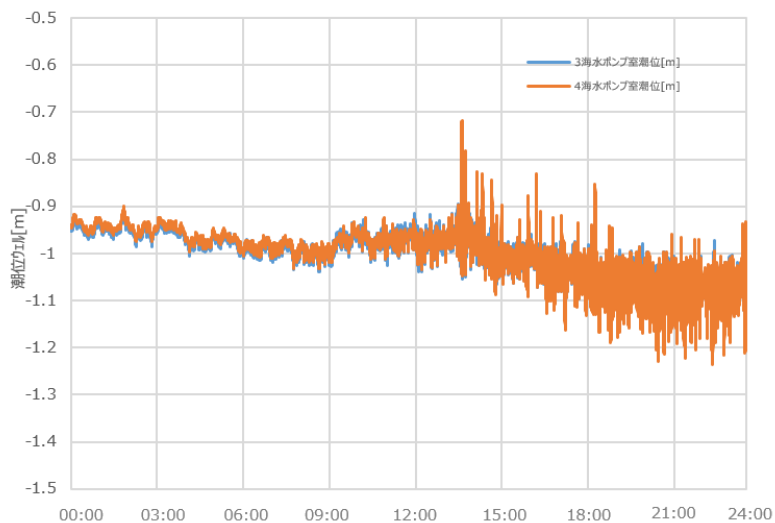
※：3号海水ポンプ室潮位計は定検作業により隔離中

【経路図】2018年台風21号

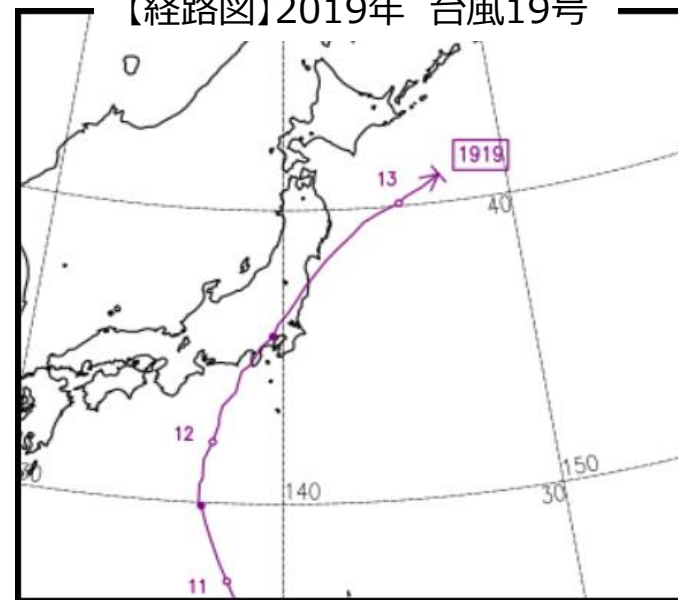


【2019年の台風19号の潮位データ (瞬時値 5秒)】

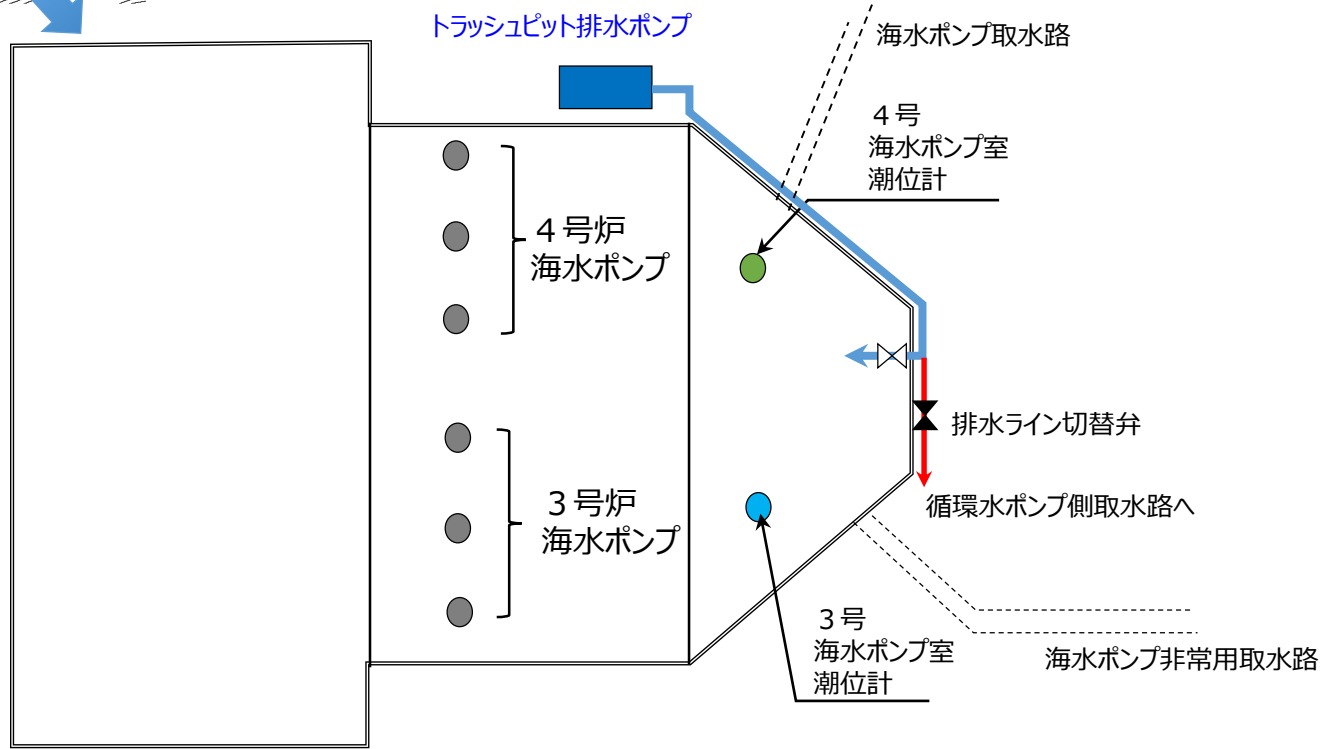
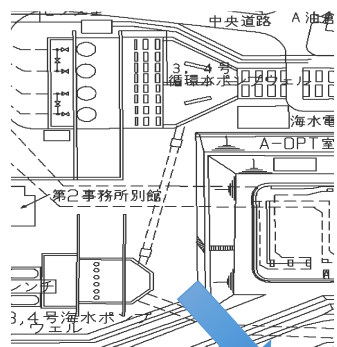
2019.10.12_1日



【経路図】2019年 台風19号



【海水ポンプトラッシュピット排水ライン形状】

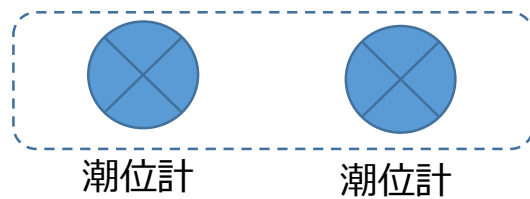


潮位計による津波検知の判断基準において考慮する条件は以下のとおり。

- ① 「破壊伝播速度を最大とした一波目が最大となる波源による潮位変動」の津波シミュレートにおいて、プラント影響ある潮位に至る前に防潮ゲートを閉止することにより、時間に余裕をもって対応できる検知基準。
- ② 「破壊伝播速度を遅くし、一波目が低くなるが、二波目以後がプラントに影響する」津波シミュレートに対して、これを検知できる検知基準。
- ③ 過去の潮位計 3 台の潮位変動の実績調査において、津波以外の場合に誤検知せず、プラント影響ある津波を見逃さない検知基準。
- ④ 上記①～③が、3 台の潮位計のうち、1 台アウトサービス（点検又は故障）しているときも津波以外で誤検知せず、プラント影響ある津波を見逃さない検知基準。

確実な津波検知および津波以外による誤検知防止の観点より、潮位計は既許可の 3 台を用い、2 台が判断基準に到達した時点で防潮ゲートを閉止。

なお、仮に 1 台が点検又は故障しても不信頼除外とでき、常に健全な 2 台で判断可能であり、原子炉安全上の影響はない。このため、保安規定における所要台数は 2 台を想定。



- ① 3 台が健全な場合
⇒ 3 台中 2 台が判断基準に至った時点で防潮ゲートを閉止



- ② 2 台が健全な場合
⇒ 故障した 1 台は不信頼除外とし、健全な 2 台中 2 台が判断基準に至った時点で防潮ゲートを閉止

図 防潮ゲート閉止判断のイメージ

○ 通常の潮汐とは異なる潮位変動を検知した場合のゲート閉止時間について

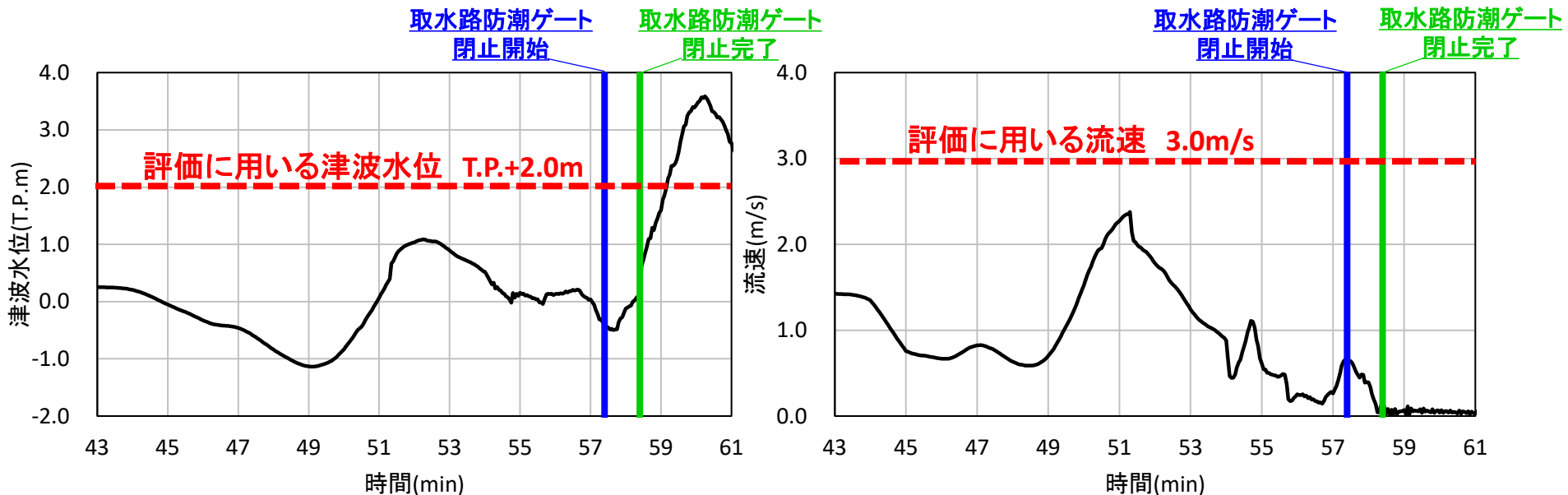
- ゲート扉体は短尺ラック棒（1m）によりゲート落下機構に固定されていることから、現状を反映したゲート閉止時間を算定する。
- ゲート扉体の落下距離6mのうち、ラック棒がゲート落下機構を通過する区間（以下「区間①」という。）は1mである。区間①においては、ゲート扉体はゲート落下機構に落下速度を制限された状態で落下し、その後の5m区間（以下「区間②」という。）については自由落下となる。

a. 区間①の落下時間

- 長尺ラック棒（6m）がゲート落下機構を通過する時間は3m/分（検査等で確認済）であることを踏まえ、短尺ラック棒（1m）がゲート落下機構を通過する**区間①（1m）の落下時間は20秒**（ $1\text{m} / (3\text{m}/\text{分}) = 20\text{秒}$ ）と評価できる。

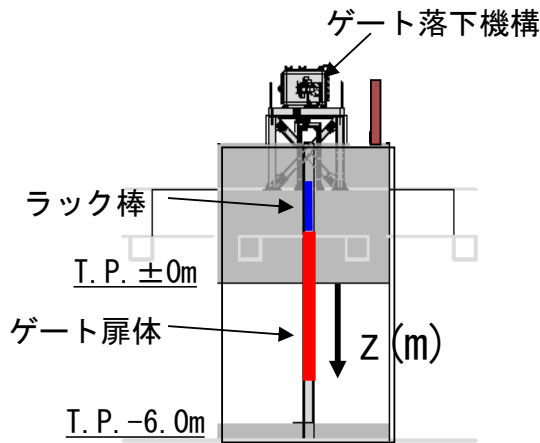
b. 区間②の落下時間

- 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、落下時間を算定する。
- 保守的な評価として、ゲート全閉時に扉体に作用する津波波力及び流速による抵抗力並びに浮力を考慮することとし、津波水位はT.P.+2.0m、流速は3.0m/sを用いる。



b. 区間②の落下時間

ゲート扉体の運動方程式を解くことにより、落下加速度を求め、落下時間を算定する



$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = mg - \mu Fa - \mu Fb - Fc \quad \dots \text{式①}$$

ここで、 m : ゲート扉体重量 (=約70 kN/m³)

z : ゲート扉体の落下距離 (m)

Fa : 津波波圧の合力 (kN) ※谷本式を用いて波力を算定

Fb : 流速による流水抵抗 (kN)

Fc : 浮力 (kN)

μ : 摩擦抵抗 (=0.4とする。)

ゲート全閉時に扉体に作用する津波波力及び流速による抵抗力並びに浮力を考慮すると、抵抗力等を考慮した落下加速度は5.49m/s²となる。【詳細は次ページ】

さらに、保守的な想定として、区間②における自由落下開始時の速度を0 m/sとすると、落下加速度5.49m/s²より、**区間② (5m) の落下時間は約1.4秒**となる。

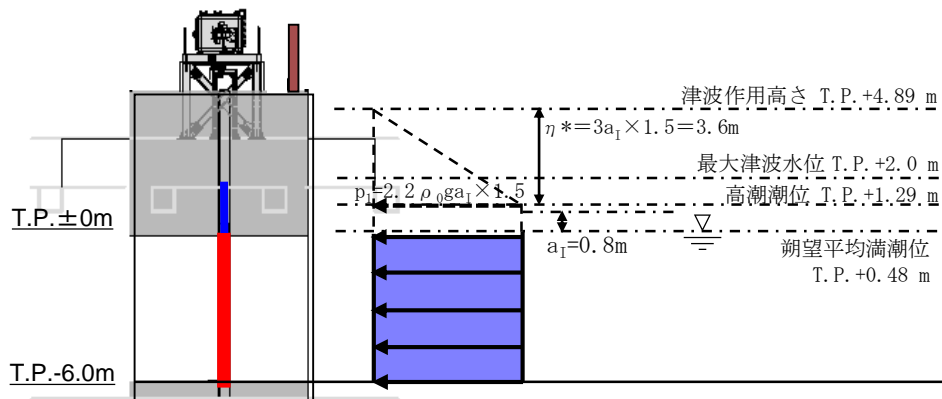
$$\text{落下時間 } t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 5}{5.49}} = 1.35 \text{ s}$$

ここで、 t : ゲート落下時間 (s)

h : ゲート落下区間 (m)

g : 落下加速度 (m/s²)

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22秒程度と算定できるものの、裕度を持たせて1分と評価している。

(A) F_a : 津波波圧の合力 (kN)

谷本式により津波波力を算定する。

$$\begin{aligned} p_1 &= 2.2\rho_0 g a_1 \times 1.5 \\ &= 2.2 \times 1.03 \times 9.80665 \times 0.8 \times 1.5 \\ &= 26.67 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

ゲート1枚に作用する波力は、作用幅3.9m、作用高さ6mより、

$$\begin{aligned} F_a &= 26.67 \times 3.9 \times 6 \\ &= 624.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

(B) F_b : 流速による流水抵抗 (kN)

以下の式により抵抗力を算定する。(ダム・堰施設技術基準 (案) P.597)

$$\begin{aligned} F_b &= 1/2 \times \rho_0 \times v^2 \times C \times A \\ &= 1/2 \times 1.03 \times 3^2 \times 1.0 \times 3.9 \times 6 \\ &= 108.5 \text{ kN} \end{aligned}$$

ここで、 v : 流速 (3.0m/s) C : 水に対する抵抗係数 (=1.0) ※ダム・堰施設技術基準 (案) P.597(C) F_c : 浮力 (kN)

以下の式により浮力を算定する。(水門鉄管技術基準 P.44)

$$\begin{aligned} F_c &= \rho_0 \times g \times V \\ &= 1.03 \times 9.80665 \times 0.847 \\ &= 8.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

ここで、 V : 扉体の体積 (0.847m³)

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 z}{dt^2} &= mg - \mu F_a - \mu F_b - F_c \\ 70 \times \frac{d^2 z}{dt^2} &= 70 \times 9.80665 - 0.4 \times 624.1 - 0.4 \times 108.5 - 8.6 \end{aligned}$$

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = 5.49 \text{ m/s}^2$$

○プラント影響の可能性がある初動上げ波の海底地すべり起因の津波は、下げ初動の地すべりに比べ影響が十分小さく、解析では上げ波襲来の影響は確認できなかったが、運用上、保守的に上げ初動の検知を行うこととした。

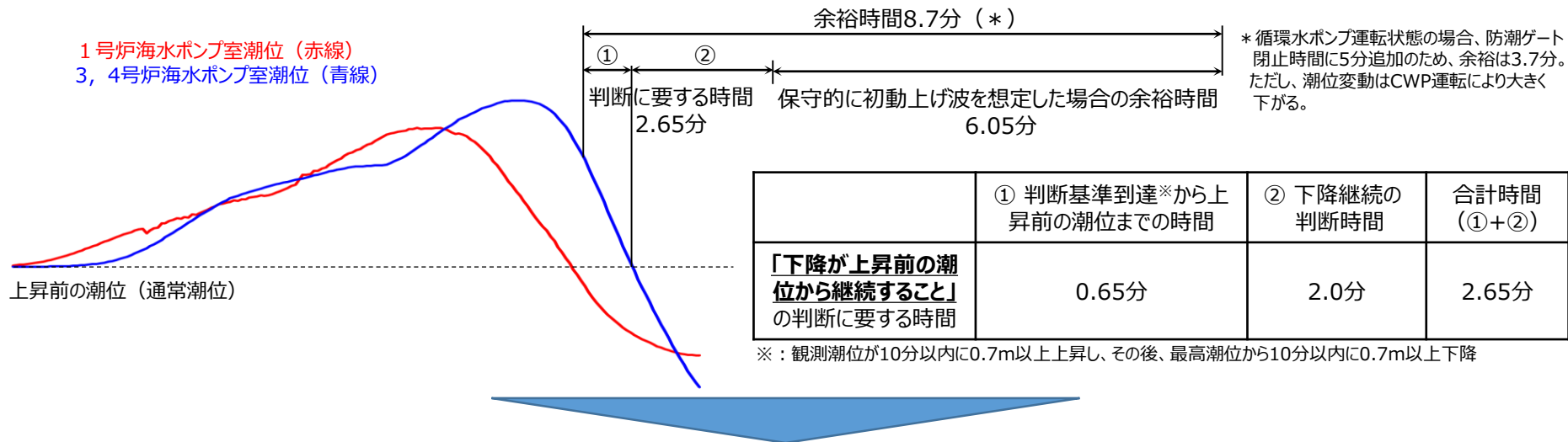
○一方、過去の潮位変動に、**クラゲ来襲時の排水に起因し、潮位が一旦上昇し、その後下降、上昇前の潮位で安定する挙動あり。**

初動上げ波を検知する場合、「観測潮位が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以上下降すること」に加え、「**下降が上昇前の潮位から継続すること**」を判断基準に加え、津波との判別を図る。

○「下降が上昇前の潮位から継続すること」の追加により、防潮ゲート閉止判断のタイミングが遅くなる（＝余裕時間の減少）可能性があるが、その影響は以下のとおり。

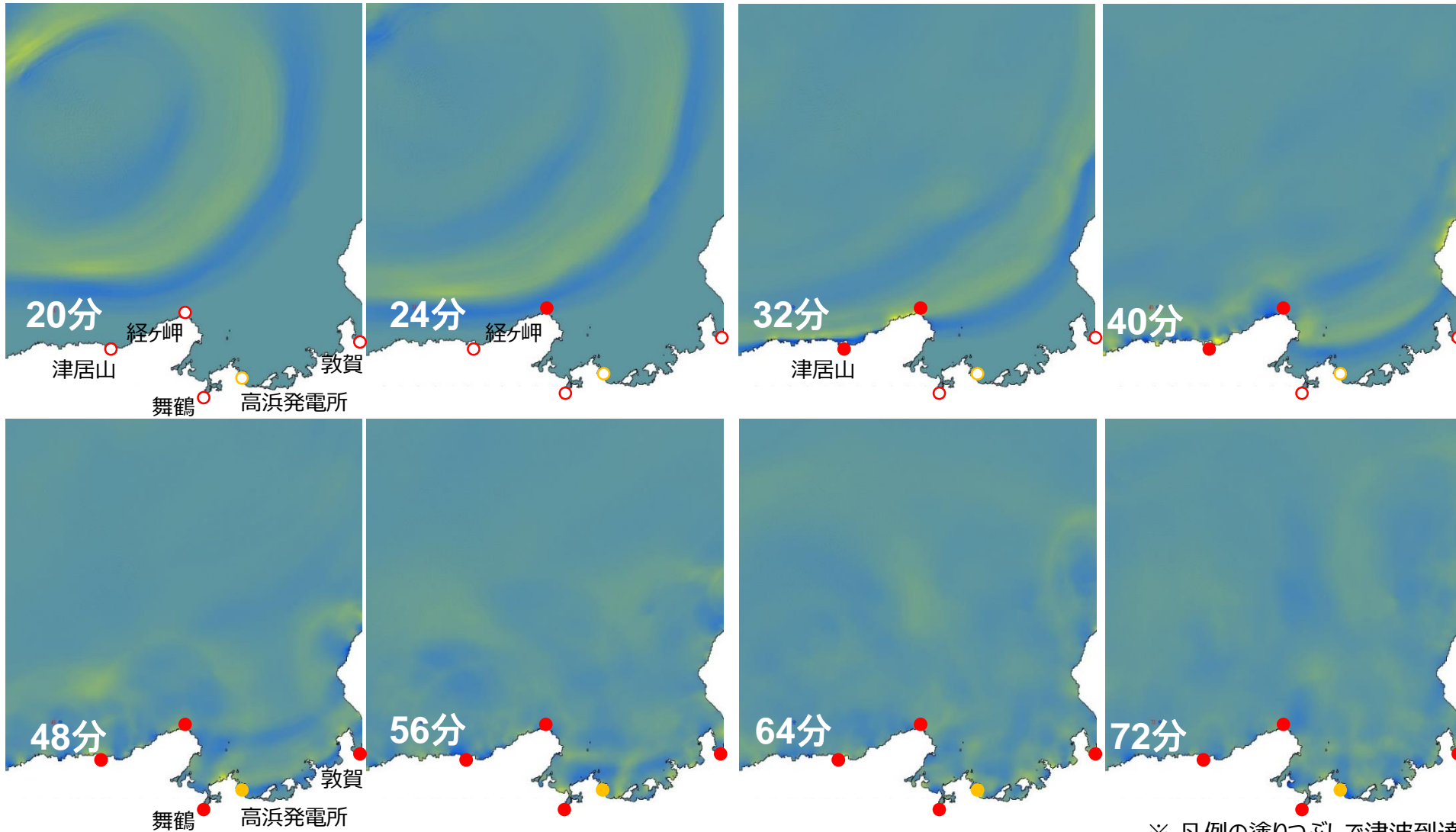
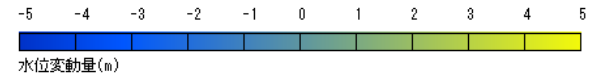
- ・ **検知基準の設定には、上げ波を仮定する必要があるため、初動下げ波でプラント影響の可能性がある最も余裕時間が短い「エリアB Kinematicモデル（水位上昇側）」の波形を上下反転させ、最も保守的な条件で検討する。**
- ・ 検討に際しては、「下降が上昇前の潮位から継続すること」の継続監視時間を**最大2分**として、評価した。

＜海底地すべりエリアB_Kinematicモデル（水位上昇側）の波形を上下反転させた波形＞



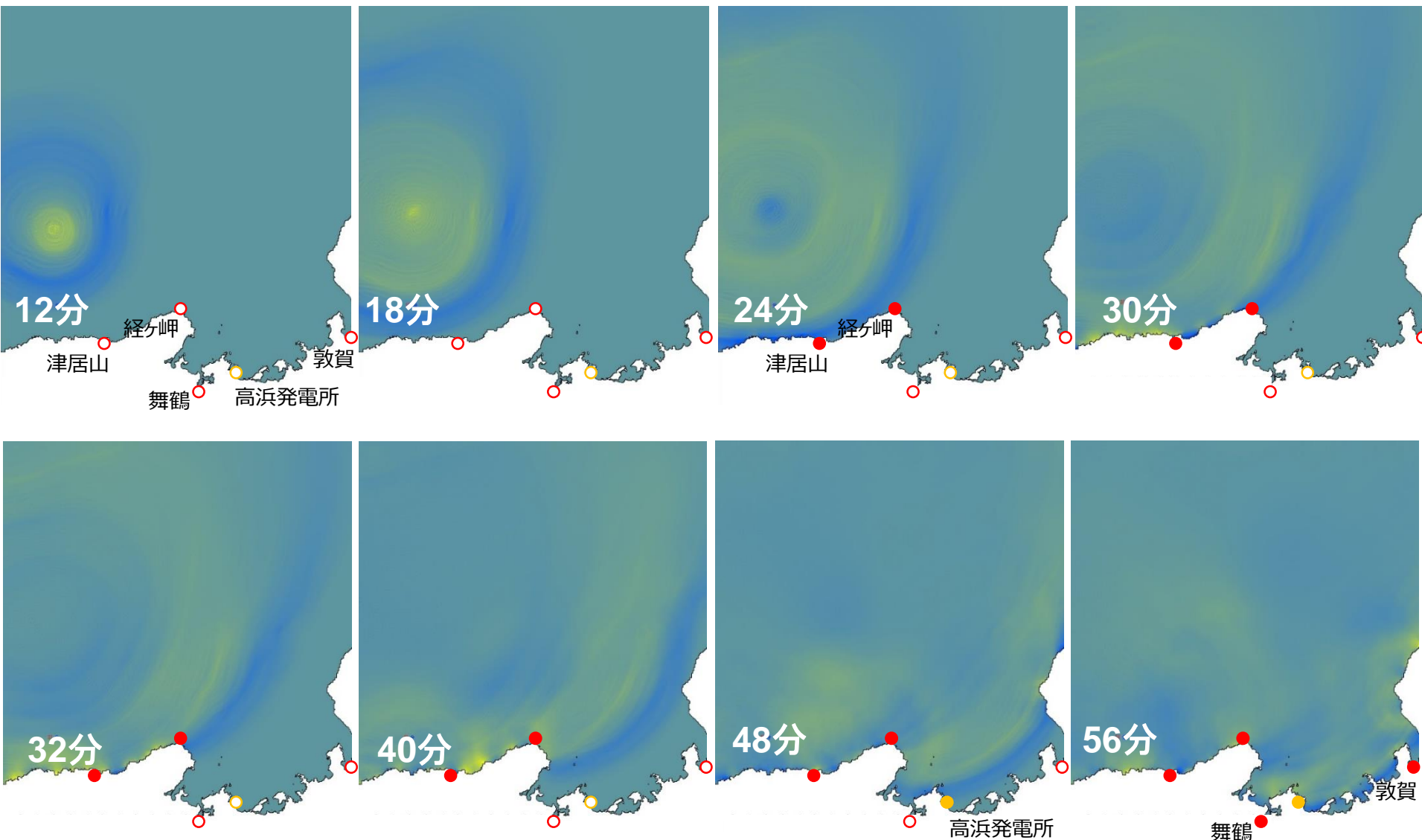
「**下降が上昇前の潮位から継続すること**」の判断時間を評価した結果、上昇前の潮位からの下降継続の監視時間を最大2分とした場合においても、施設影響が生じるまでの余裕内に、防潮ゲート閉止を完了できることを確認した。検討は、上げ波として保守的な条件を仮定しており、これにより、判断基準は有効であると考えている。

水位変化スナップショット (Kinematic (エリア B))



※ 凡例の塗りつぶしで津波到達

水位変化スナップショット (Kinematic (エリア C))



※ 凡例の塗りつぶしで津波到達