

島根原子力発電所 2 号炉

津波による損傷の防止

令和 2 年 9 月

中国電力株式会社

第5条：津波による損傷の防止

<目 次>

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

下線は, 今回の提出資料を示す。

島根原子力発電所 2 号炉 耐津波設計方針について

目 次

I. はじめに

II. 耐津波設計方針

1. 基本事項

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

2. 設計基準対象施設の津波防護方針

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

3. 重大事故等対処施設の津波防護方針

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

4. 施設・設備の設計・評価の方針及び条件

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

(添付資料)

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

評価について

37. 津波発生時の運用対応について
38. 地震後の荷揚場の津波による影響評価について
39. 防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉の設計及び運用管理について

(参考資料)

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

下線は、今回の提出資料を示す。
(2.5については、2.5.2(3)を抜粋)

2.5 水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響防止

2.5.2 津波の二次的な影響による非常用海水冷却系の機能保持確認

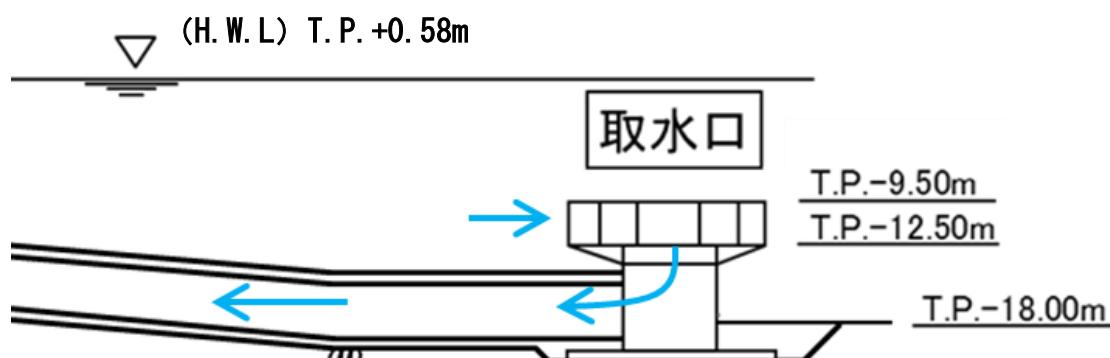
(3) 基準津波に伴う取水口付近の漂流物に対する取水性確保

2号炉の取水口は深層取水方式を採用しており、取水口呑口上端がEL-9.5mと低い位置（第2.5-6図）であることから、漂流物が取水口及び取水路の通水性に影響を与える可能性は小さいが、基準津波により漂流物となる可能性がある施設・設備等が、取水口あるいは取水路を閉塞させ、非常用海水冷却系（原子炉補機海水系及び高圧炉心スプレイ補機海水系）の取水性に影響を及ぼさないことを確認した。漂流物に対する取水性確保の影響評価については、発電所周辺地形並びに敷地及び敷地周辺に襲来する津波の特性を把握した上で、検討対象施設・設備の抽出範囲を設定し、漂流物の検討フローを策定し、抽出した施設・設備について、漂流（滑動を含む）する可能性、2号炉取水口に到達する可能性及び2号炉取水口が閉塞する可能性についてそれぞれ検討を行い、非常用海水冷却系の海水ポンプの取水性への影響を評価した。

なお、漂流物調査範囲内の人工構造物の位置、形状等に変更が生じた場合は、津波防護施設等の健全性又は取水機能を有する安全設備等の取水性に影響を及ぼす可能性がある。このため、漂流物調査範囲内の人工構造物については、設置状況を定期的に確認するとともに、必要に応じて第2.5-18図に示す漂流物の選定・影響確認フローに基づき評価を実施する。

また、発電所の施設・設備の設置・改造等を行う場合においても、都度、津波防護施設等の健全性又は取水機能を有する安全設備等の取水性への影響評価を実施する。

これらの調査・評価方針については、QMS文書に定め管理する。



第2.5-6図 取水口呑口概要図

a. 検討対象施設・設備の抽出範囲の設定

発電所周辺地形並びに敷地及び敷地周辺に襲来する津波について、その特徴を把握した上で、検討対象施設・設備の抽出範囲を設定する。

① 発電所周辺地形の把握

島根原子力発電所は、島根半島の中央部で日本海に面した位置に立地している。島根原子力発電所の周辺は、東西及び南側を標高 150m 程度の高さの山に囲まれており、発電所東西の海沿いには漁港がある。島根原子力発電所の周辺地形について、第 2.5-7 図に示す。



第 2.5-7 図 発電所周辺の地形

②敷地及び敷地周辺に襲来する津波の特性の把握

基準津波の波源, 断層幅と周期の関係, 海底地形, 最大水位上昇量分布, 最大流速分布をそれぞれ第 2.5-8~12 図に示す。また, 水位変動・流向ベクトルを添付資料 34 に示す。

上記から得られる情報を基に, 敷地及び敷地周辺に襲来する津波の特性を考察した。

【断層幅と周期の関係 (第 2.5-9 図) から得られる情報】

- ・津波は, 断層運動に伴う地盤変動により水位が変動することにより発生するため, 地盤変動範囲と水深が津波水位変動の波形 (周期) の支配的要因となる。特に, 地盤変動範囲は断層の平面的な幅に影響されることから, 平面的な断層幅が津波周期に大きな影響を与える。
- ・島根原子力発電所で考慮している波源は, 太平洋側で考慮しているプレート間地震と比べ, 平面的な断層幅が狭く, 傾斜角も高角であることから, 津波周期が短くなる傾向にある。

【海底地形 (第 2.5-10 図), 最大水位上昇量分布 (第 2.5-11 図) から得られる情報】

- ・日本海東縁部に想定される地震による津波は, 大和堆を回り込むように南方向に向きを変え伝播する。また, 島根原子力発電所前面に位置する隠岐諸島の影響により, 隠岐諸島を回り込むように津波が伝播し, 東西方向から島根原子力発電所に到達する。

【最大流速分布 (第 2.5-12 図) から得られる情報】

- ・日本海東縁部に想定される地震による津波は, 図中の①~⑥であり, 基準津波 1 (①, ②) は, 他の基準津波 (図中③~⑥) に比べ, 沖合の流速が速い範囲が広域である。また, 沿岸部においても流速が速い箇所が多いことから, 日本海東縁部に想定される地震による津波のうち, 基準津波 1 の流速が速い傾向がある。
- ・海域活断層から想定される地震による津波は, 図中の⑦, ⑧であり, 日本海東縁部に想定される地震による津波 (図中の①~⑥) と比較すると, 沖合・沿岸部共に日本海東縁部に想定される地震による津波の方が流速が速い。
- ・全ての流速分布において, 流速は発電所沖合よりも沿岸付近の方が速くなる傾向がある。

- ・防波堤有無による影響について、①及び②並びに⑦及び⑧を比較した結果、発電所沖合の流速への有意な影響はない。

【水位変動・流向ベクトル（添付資料 34）から得られる情報】

基準津波 1～6 の水位変動・流向ベクトルから得られる情報をそれぞれ第 2.5-2(1)表から第 2.5-2(6)表に示す。また、得られた情報をまとめると以下のとおりとなる。

[日本海東縁部に想定される地震による津波]

- ・日本海東縁部に想定される地震による津波の第 1 波は地震発生後 115 分程度で輪谷湾内に到達するが、到達した際の水位変動は 2m 以下であり、その後、約 1 時間程度、水位変動は最大でも 3m 程度で上昇・下降を繰り返す。
- ・各基準津波の施設護岸又は防波壁での最高水位、2 号炉取水口での最低水位を以下に発生時刻を含めて示す。

【水位上昇側】（潮位 0.58m, 潮位のばらつき+0.14m を考慮）

基準津波 1（防波堤有り）：EL+10.7m（約 192 分）

基準津波 1（防波堤無し）：EL+11.9m（約 193 分）

基準津波 2（防波堤有り）：EL+ 9.0m（約 198 分）

基準津波 5（防波堤無し）：EL+11.5m（約 193 分）

【水位下降側】（潮位 0.09m, 潮位のばらつき-0.17m, 隆起-0.34m を考慮）

基準津波 1（防波堤有り）：EL-5.4m（約 189 分 30 秒）

基準津波 1（防波堤無し）：EL-6.3m（約 189 分）

基準津波 3（防波堤有り）：EL-4.9m（約 190 分 30 秒）

基準津波 6（防波堤無し）：EL-6.4m（約 190 分 30 秒）

- ・輪谷湾内の流向は最大でも 4 分程度で反転している。
- ・発電所沖合において、1m/s を超える流速は確認されない。
- ・発電所港湾部の最大流速は、基準津波 1（防波堤無し）のケースであり、1 号放水連絡通路防波扉前面付近で 9.8m/s（約 193 分）である。

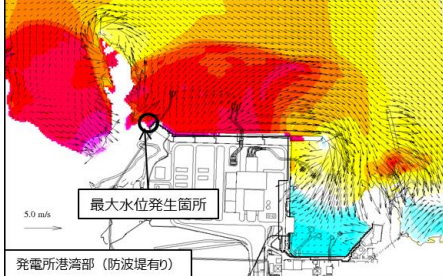
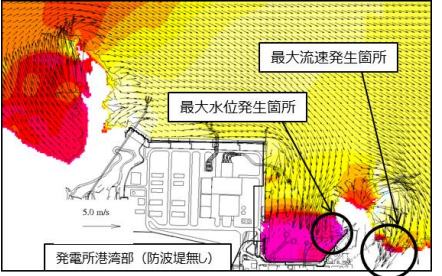
[海域活断層から想定される地震による津波]

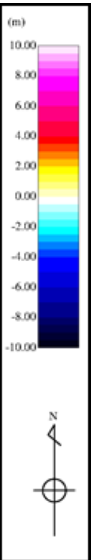
- ・海域活断層から想定される地震による津波の第 1 波は地震発生後約 3 分程度で押し波として襲来し 2 分間水位上昇(1m 程度)する。その後、引き波傾向となり、地震発生後、6 分 30 秒において基準津波 4 の最低水位（2 号炉取水口：EL-4.2m）となる。以降は、水位変動 1m 程度で上昇下降を繰り返す。

第 2.5-2(1)-1 表 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトルから得られる情報

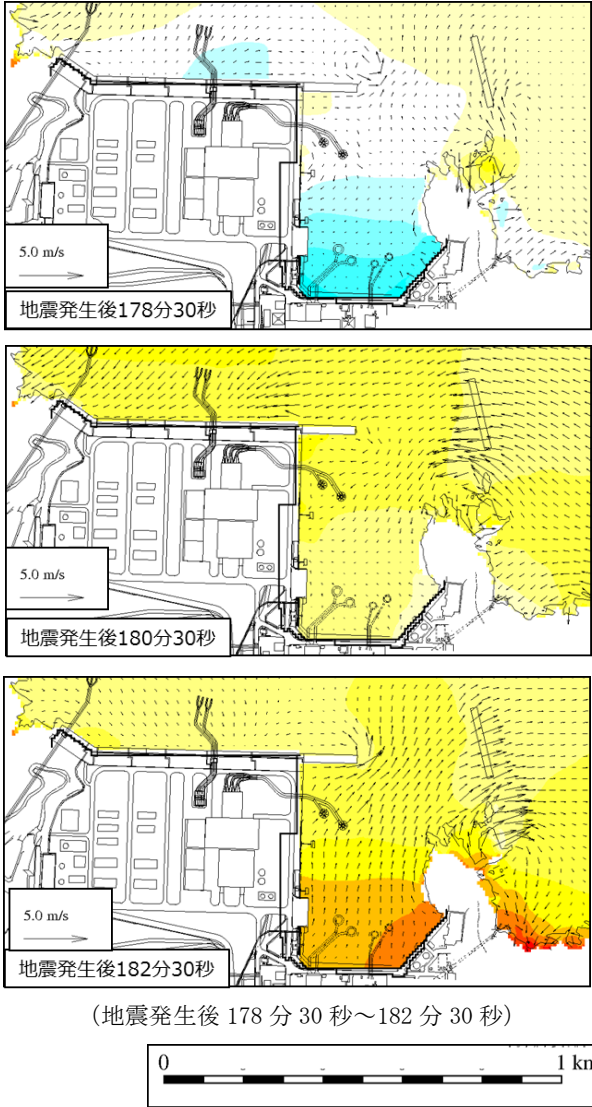
時刻	水位変動・流向ベクトルの考察		
	発電所周辺海域	発電所港湾部（輪谷湾）	
		防波堤有り	防波堤無し
0分～ 108分	－（津波が到達していない。）	－（津波が到達していない。）	－（津波が到達していない。）
109分	津波の第1波が敷地の東側から襲来する。	－（津波が到達していない。）	－（津波が到達していない。）
114分	東側から襲来する津波は徐々に発電所方向に進行する。 西側からも津波が襲来する。	－（津波が到達していない。）	－（津波が到達していない。）
116分30秒	－	第1波が輪谷湾内に襲来する。水位が1m程度上昇する。	防波堤有りと同様な傾向を示す。
116分30秒～ 183分	発電所沖合において、1m/s以上の流速は発生していない。	最大でも3m程度（138分、142分、160分～161分、164分～165分、166分～167分、170分～171分、174分、175分、178分～179分、180分）の水位変動を繰り返す。また、水位変動の周期（押し波または引き波継続時間）は最大でも4分程度（121分～124分30秒、）である。	防波堤有りと同様な傾向を示す。
183分～ 184分 30秒	－	強い押し波により水位が5m程度上昇する。また、5m/s程度の流速が発生する。押し波時間は2分間程度継続し、その後引き波に転じる。	防波堤有りと同様な傾向を示す。
186分～ 187分 30秒	－	強い押し波により水位が5m程度上昇する。また、5m/s程度の流速が発生する。押し波時間は2分間程度継続し、その後引き波に転じる。	防波堤有りと同様な傾向を示す。
187分 30秒～ 189分 30秒	－	強い引き波により水位が－6m程度下降する。	防波堤有りと同様な傾向を示す。
189分 30秒～ 190分 30秒	（沖合において）水位変動が3mを超える津波が発電所方向に襲来する。	強い押し波により水位が5m程度上昇する。また、5m/sを超える流速が発生する。押し波時間は1分間程度継続し、その後引き波に転じる。	防波堤有りと同様な傾向を示す。

第 2.5-2(1)-2 表 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトルから得られる情報

時刻	水位変動・流向ベクトルの考察		
	発電所 周辺海域	発電所港湾部（輪谷湾）	
		防波堤有り	防波堤無し
192 分 30 秒 ～ 193 分 30 秒	—	<p>西側方向から（沖合において）水位変動が 3m を超える津波が襲来する。 基準津波 1 における最高水位 EL+10.7m が 3号炉北側の防波壁の西端付近で確認される（192 分 30 秒）。 押し波時間は 1 分間程度継続し、その後引き波に転じる。</p>  <p>（地震発生後 192 分 30 秒）</p>	<p>防波堤有りと同様な傾向を示す。 防波堤無しにおいて、最高水位 EL+11.9m が輪谷湾の東側の隅角部で確認される（約 193 分）。 また、最大流速 9.8m/s が 1号放水連絡通路防波扉前面付近で確認される（約 193 分）。</p>  <p>（地震発生後 193 分）</p>
194 分 以降	<p>発電所沖合において、1m/s 以上の流速は発生していない。</p>	<p>水位変動は最大でも 3m 程度（206 分、207 分～208 分、210 分、214 分、222 分）で、また、水位変動の周期（押し波または引き波継続時間）は最大でも 3 分程度（233 分～236 分）で押し波、引き波を繰り返す。</p>	<p>防波堤有りと同様な傾向を示す。</p>



第 2.5-2(2)表 基準津波 2 の水位変動・流向ベクトルから得られる情報

時刻	水位変動・流向ベクトルの考察	
	発電所周辺海域	発電所港湾部（輪谷湾） 防波堤有り
170分～ 195分	発電所沖合において、1m/s以上の流速は発生していない。	<p>最大でも 3m 程度（182 分、190 分）の水位変動を繰り返す。また、水位変動の周期は最大でも 4 分（178 分 30 秒～182 分 30 秒）程度である。</p>  <p>地震発生後178分30秒</p> <p>地震発生後180分30秒</p> <p>地震発生後182分30秒</p> <p>（地震発生後 178 分 30 秒～182 分 30 秒）</p> <p>0 1 km</p>
195分～ 196分30秒	—	強い引き波により水位が-5m程度下降する。引き波継続時間は1分30秒程度で、その後、すぐに押し波となる。
197分～ 198分	—	基準津波 2 における最大水位 EL+9.0m が輪谷湾の西側で確認される（約 198 分）。
198分 以降	発電所沖合において、1m/s以上の流速は発生していない。	水位変動は最大でも 3m 程度（202 分、207 分）で、押し波、引き波を繰り返す。

第 2.5-2(3)表 基準津波 3 の水位変動・流向ベクトルから得られる情報

時刻	水位変動・流向ベクトルの考察	
	発電所周辺海域	発電所港湾部
		防波堤有り
170分～ 189分	発電所沖合において、1m/s以上の流速は発生していない。	最大でも3m程度（178分30秒，181分30秒，182分）の水位変動を繰り返す。また，水位変動の周期は最大でも4分程度（173分～177分）である。
189分～ 190分 30秒	—	強い引き波により2号炉取水口で最低水位EL-4.9mが確認される。 引き波時間は1分30秒程度継続し，その後押し波に転じる。
191分以降	発電所沖合において、1m/s以上の流速は発生していない。	水位変動は最大でも3m程度（192分，194分，196分30秒，198分）で，押し波，引き波を繰り返す。

第 2.5-2(4)表 基準津波 5 の水位変動・流向ベクトルから得られる情報

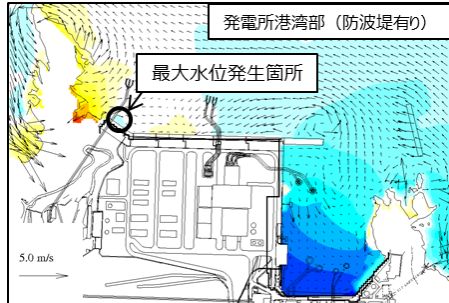
時刻	水位変動・流向ベクトルの考察	
	発電所周辺海域	発電所港湾部
		防波堤無し
170分～ 190分	発電所沖合において、1m/s以上の流速は発生していない。	水位変動は最大でも3m程度（176分30秒，181分，）で，押し波，引き波を繰り返す。
190分～ 192分	—	強い引き波により水位が-6m程度下降する。 引き波継続時間は2分間程度であり，その後押し波に転じる。
192分～ 193分	—	強い押し波により基準津波5における最大水位EL+11.5mが輪谷湾の東側の隅角部で確認される（約193分）。 押し波時間は1分間程度であり，その後引き波に転じる。
198分～ 199分 30秒	—	押し波時間は1分30秒間程度であり，その後引き波に転じる。

第 2.5-2(5)表 基準津波 6 の水位変動・流向ベクトルから得られる情報

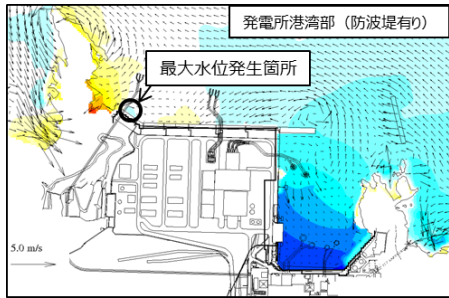
時刻	水位変動・流向ベクトルの考察	
	発電所周辺海域	発電所港湾部
		防波堤無し
170分～ 188分30秒	発電所沖合において、1m/s以上の流速は発生していない。	水位変動は最大でも3m程度（182分、185分、188分30秒）
189分～ 190分 30秒	—	強い引き波により2号炉取水口で最低水位EL-6.4mが確認される。（190分30秒）。引き波時間は1分30秒程度であり、その後押し波に転じる。
190分 30秒 ～ 191分 30秒		強い押し波により水位が6m程度上昇する。
197分 ～ 198分		強い押し波により水位が6m程度上昇する。

第 2.5-2(6)表 基準津波 4 の水位変動・流向ベクトルから得られる情報

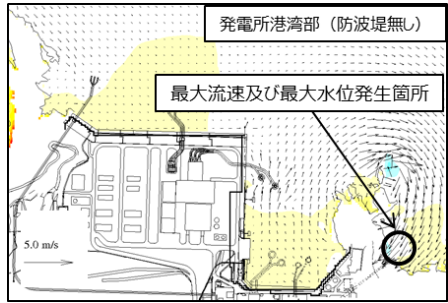
時刻	水位変動・流向ベクトルの考察		
	発電所周辺海域	発電所港湾部	
		防波堤有り	防波堤無し
0分～2分	水位変動 1m 程度の津波が確認できる。また、その後水位 -2m 程度の津波が確認できる。 1m/s 以上の流速は発生していない。	— (津波が到達していない。)	— (津波が到達していない。)
3分		港湾内に押し波が襲来。水位が 1m 程度上昇する。	防波堤有りと同様な傾向。
6分以降	—	引き波により最低水位 EL-4.0 m が確認される (約 6 分 30 秒)。 最大流速 3.3m/s が 3 号炉北側の防波壁の西端付近で確認される。(約 6 分) 最高水位 EL+3.0m が 3 号炉北側の防波壁の西端付近で確認される。(約 6 分 30 秒)	防波堤有りと同様な傾向。 防波堤無しにおいて、最低水位 EL-4.2m が確認される (約 6 分 30 秒)。 最大流速 2.6m/s 及び最高水位 EL+2.7m が 1 号放水連絡通路防波扉前面付近で確認される。(約 9 分)



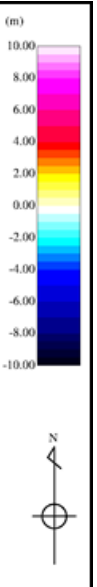
(地震発生後約 6 分)



(地震発生後約 6 分 30 秒)

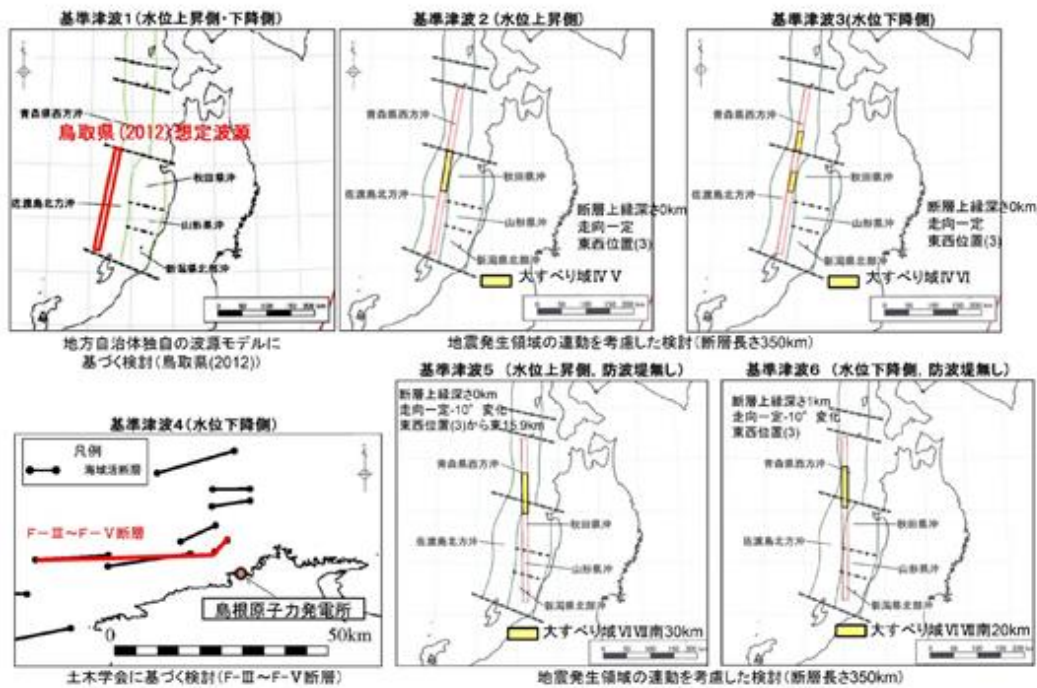


(地震発生後約 9 分)



基準津波の波源，断層幅と周期の関係，海底地形，最大水位上昇量分布，最大流速分布及び水位変動・流向ベクトルを踏まえた敷地及び敷地周辺に襲来する津波の特性に係る考察は以下のとおり。

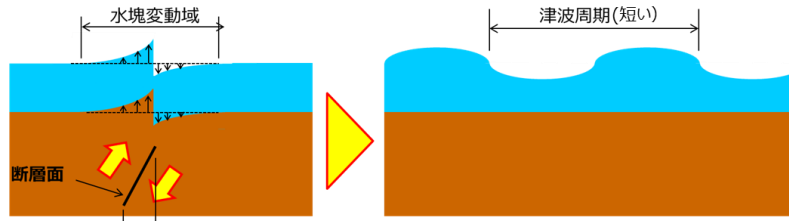
- ・日本海東縁部に想定される地震による津波の周期はプレート間地震による津波に比べ短い傾向にあり，流向は最大でも4分程度で反転している。
- ・日本海東縁部に想定される地震による津波は，大和堆，隠岐諸島の海底地形の影響を受け島根原子力発電所に到達する。
- ・海域活断層から想定される地震による津波に対して，日本海東縁部に想定される地震による津波の方が流速が速い。
- ・日本海東縁部に想定される地震による津波の中でも基準津波1の流速が比較的速い。
- ・流速は発電所沖合よりも沿岸付近の方が速くなる傾向がある。
- ・発電所沖合において，防波堤の有無による流速への有意な影響はない。



第 2.5-8 図 基準津波の波源

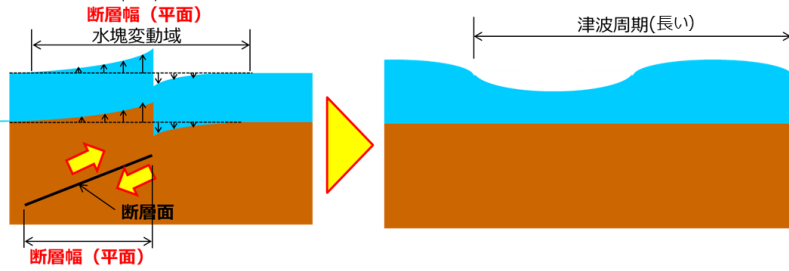
●日本海側（活断層）

- ・傾斜角：高角
- ・断層幅：狭い
- ⇒断層幅（平面）が狭く、水塊変動域が狭くなるため、津波周期が短くなる傾向がある。

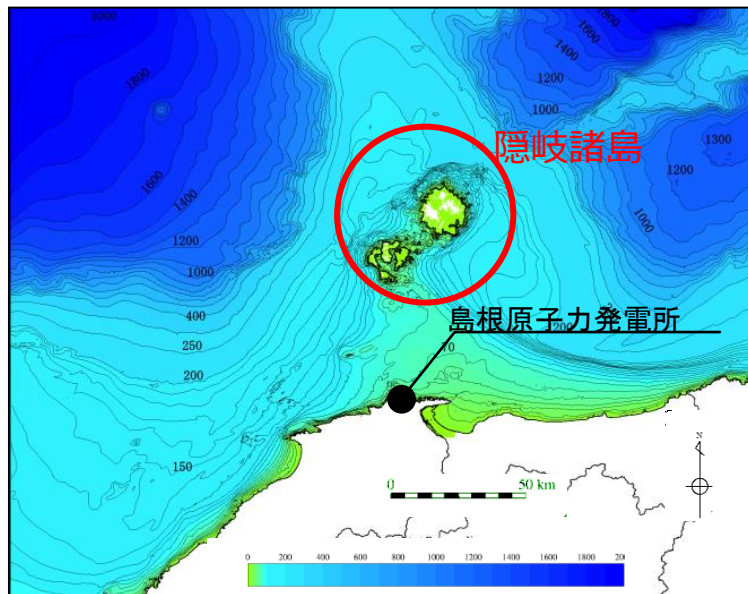
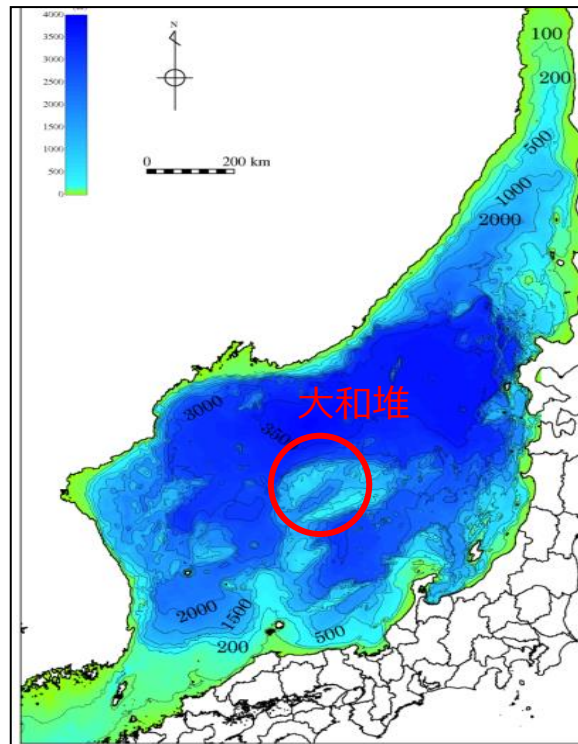


●太平洋側（プレート間地震）

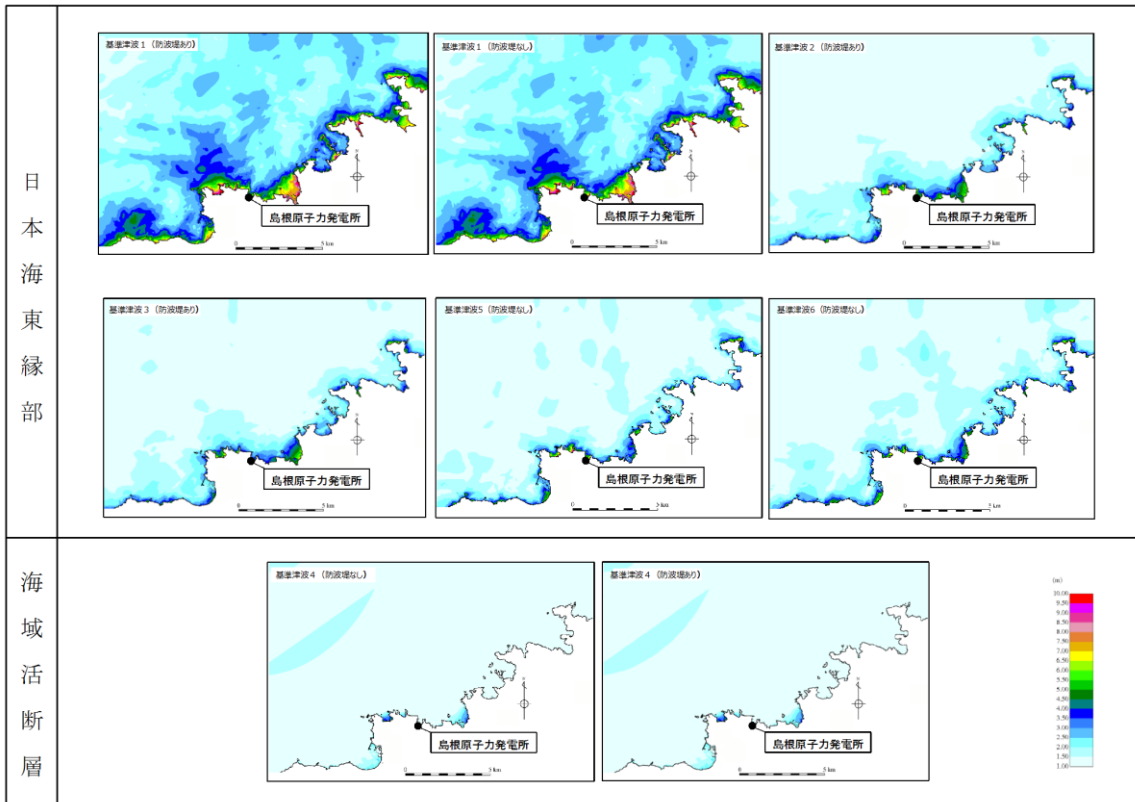
- ・傾斜角：低角
- ・断層幅：広い
- ⇒断層幅（平面）が広く、水塊変動域が広がるため、津波周期が長くなる傾向がある。



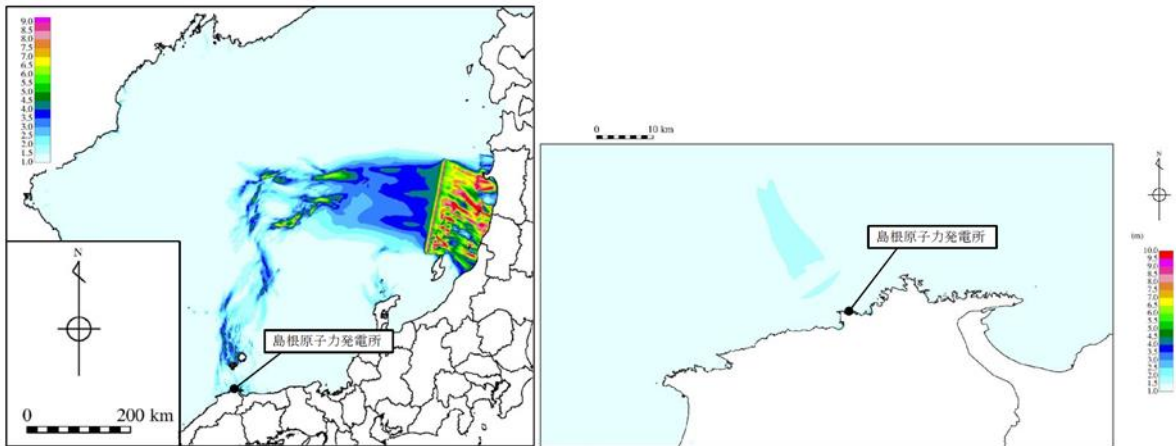
第 2.5-9 図 断層幅と周期の関係



第 2.5-10 図 海底地形



(参考) 波源位置から島根原子力発電所までの最大水位上昇量分布



(日本海東縁部に想定される地震による津波)

(海域活断層に想定される地震による津波)

第 2.5-11 図 最大水位上昇量分布

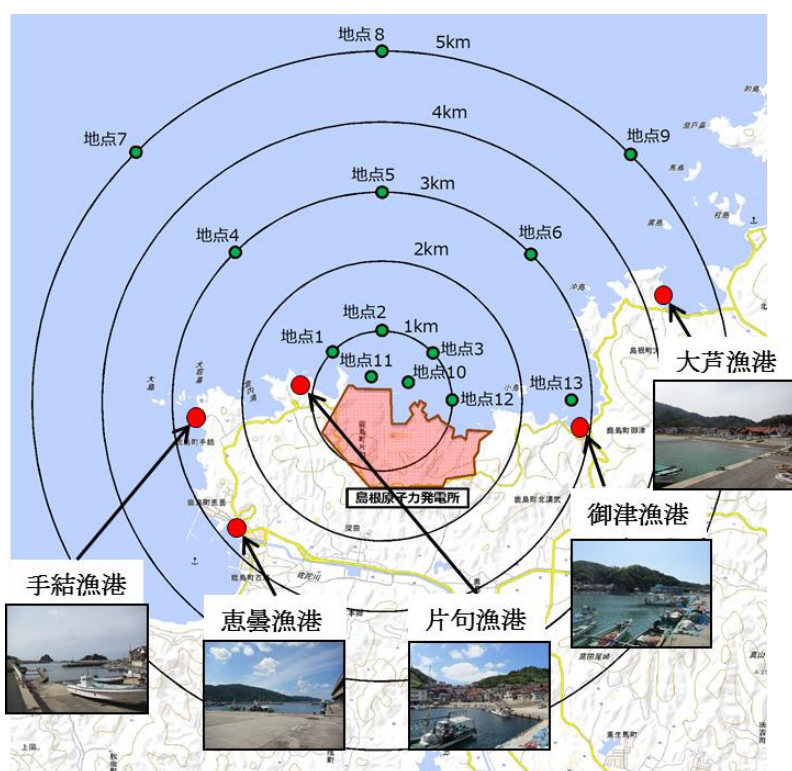
さらに、津波の平面二次元解析から求まる流向及び流速により仮想的な浮遊物が辿る経路を確認することで、より詳細に基準津波の流向及び流速の特徴が把握できるため、仮想的な浮遊物の軌跡解析※を基準津波1～6について実施した。

仮想的な浮遊物の移動開始位置については、日本海側に面している島根原子力発電所の敷地形状を踏まえ、敷地前面の9カ所（地点1～9）に加え、周辺漁港の位置や漁船の航行等を考慮し、4カ所（地点10～13）を設定した。計13カ所の仮想的な浮遊物の移動開始位置を第2.5-13図に示す。

解析時間については、基準津波の解析時間と同様、日本海東縁部に想定される地震による津波は6時間、海域活断層から想定される地震による津波は、3時間とした。基準津波による軌跡解析結果を第2.5-14図に示す。

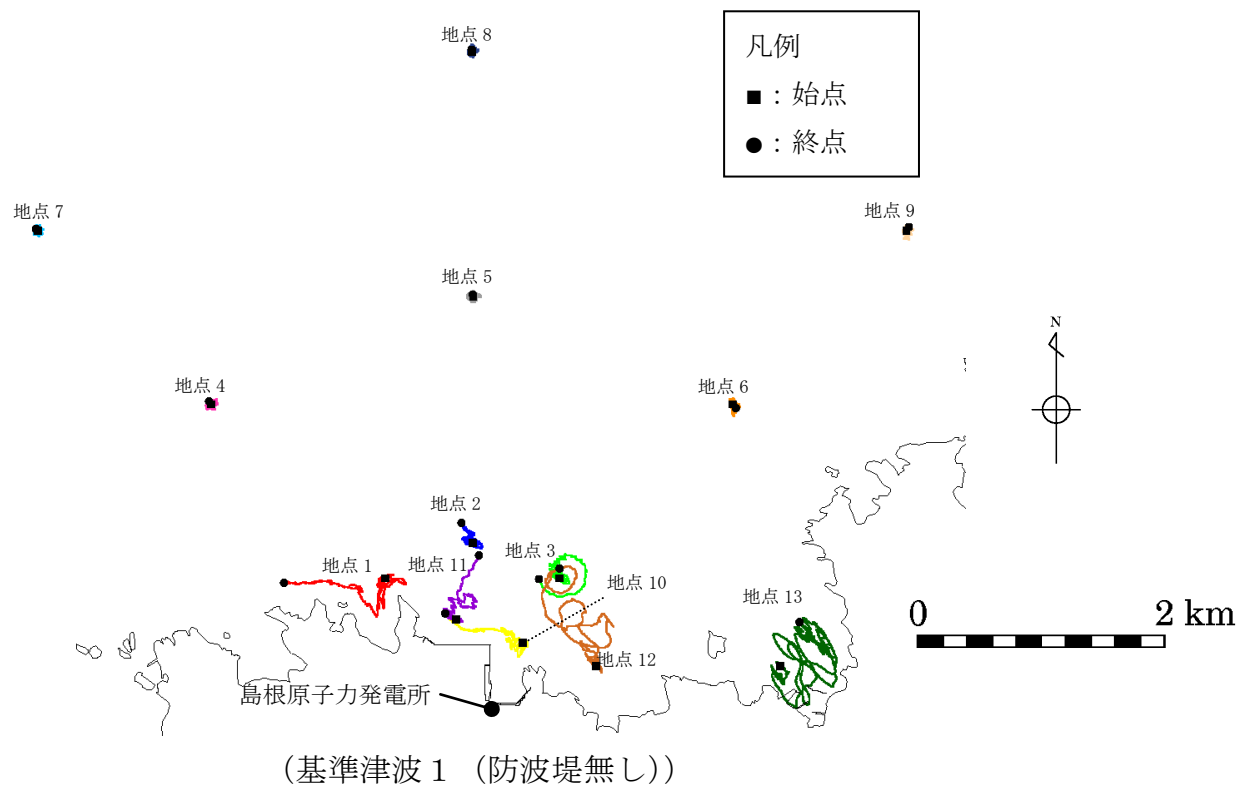
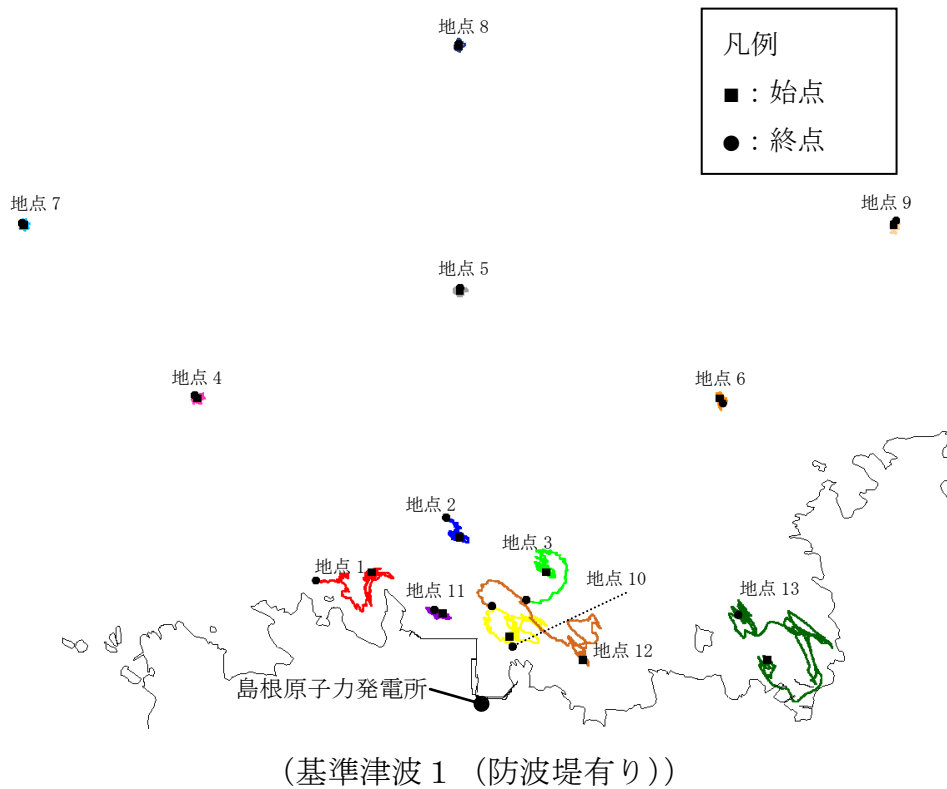
軌跡解析の結果、基準津波の特性で示した特徴と同様、3km及び5kmの地点（地点4～9）において仮想的な浮遊物は、初期位置からほとんど移動しないことが確認された。

なお、軌跡解析は津波の平面二次元解析から求まる流向及び流速により仮想的な浮遊物が移動する経路（軌跡）を示したものであり、漂流物の挙動と仮想的な浮遊物の軌跡が完全に一致するものではないが、仮想的な浮遊物の軌跡は漂流物の挙動と比較して敏感であり、漂流物の影響を評価する上で重要な漂流物の移動に係る傾向把握の参考情報として用いることができると考える。

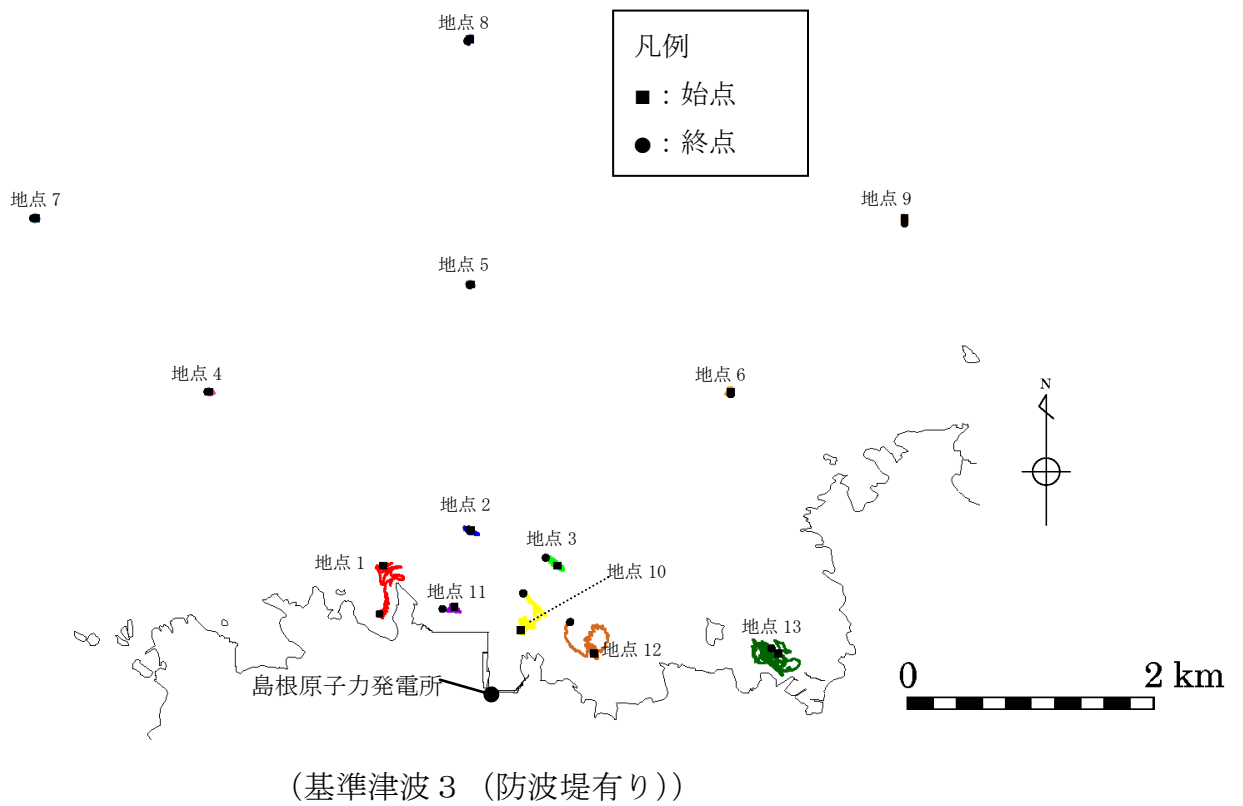
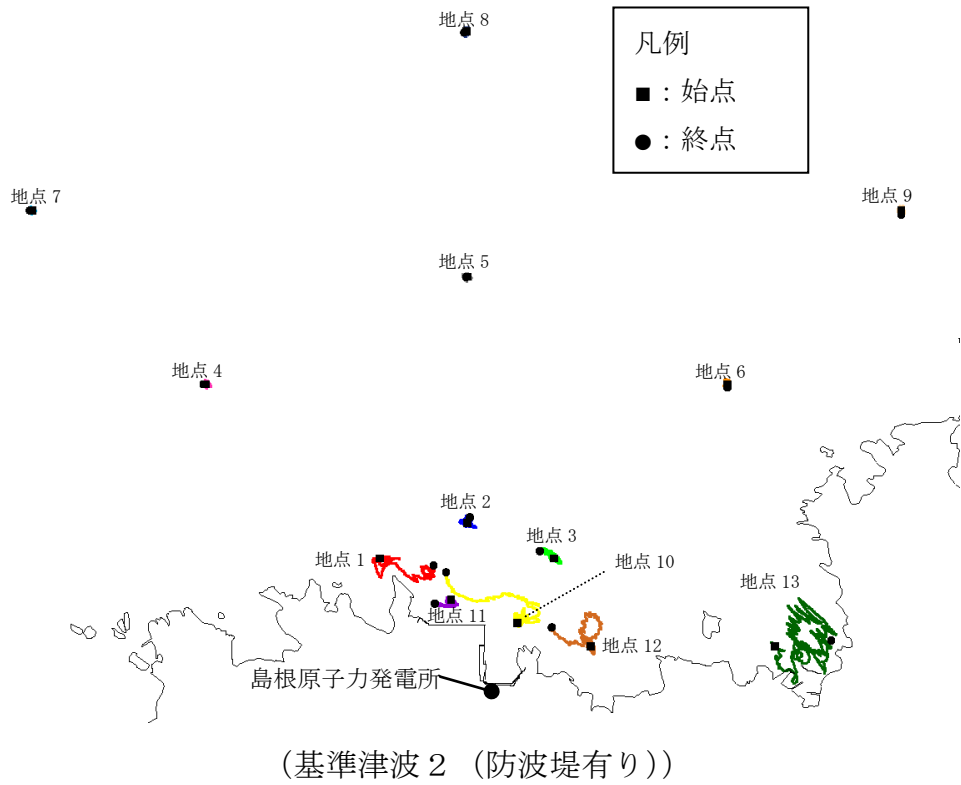


第2.5-13図 仮想的な浮遊物の移動開始位置

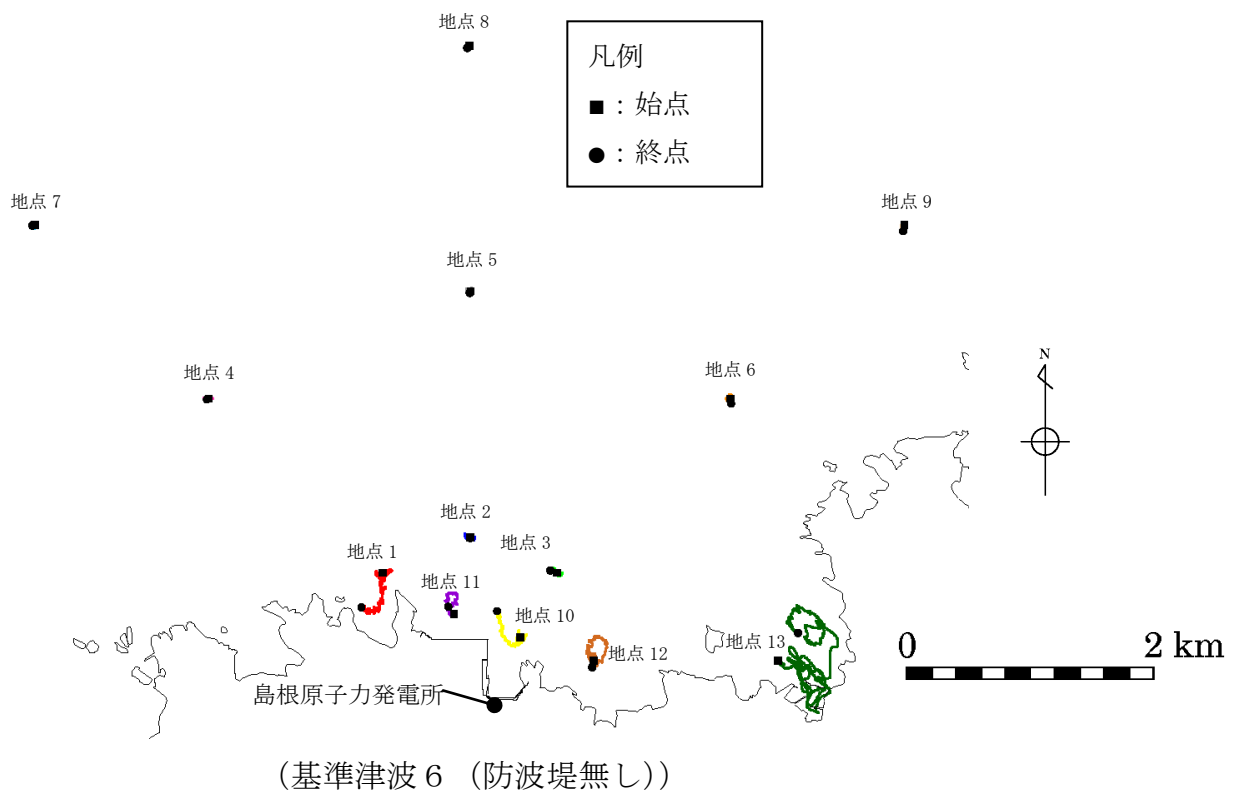
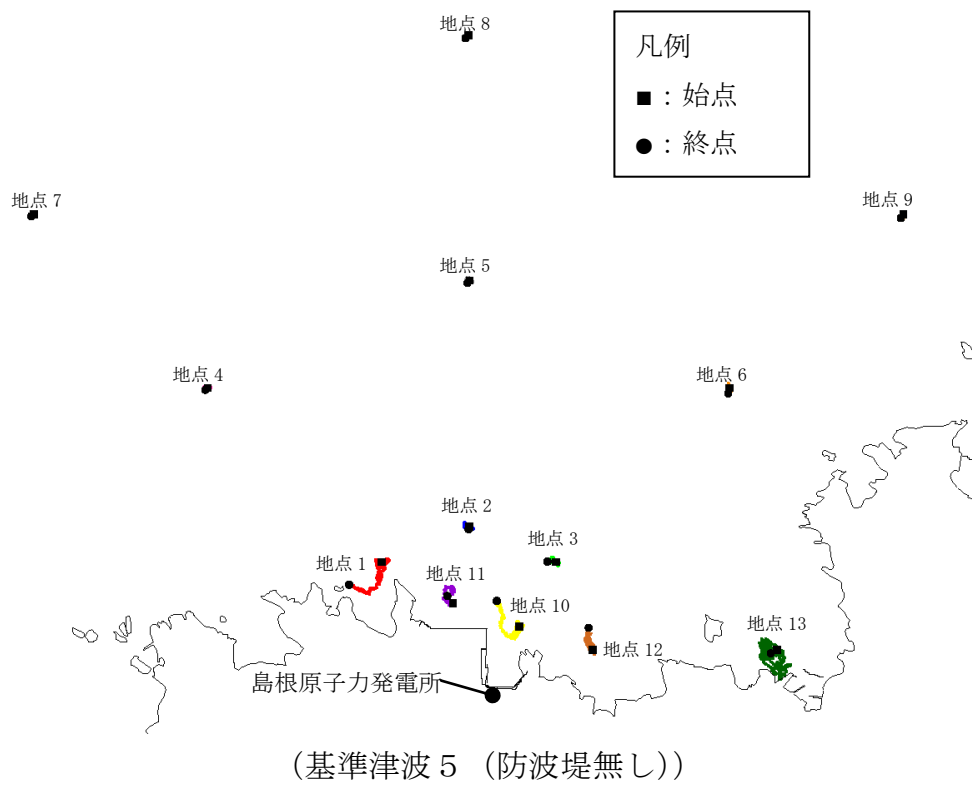
※ 津波解析から求まる流向流速をもとに、質量を持たず、抵抗を考慮しない仮想的な浮遊物が、水面を移動する軌跡を示す解析。



第 2.5-14-1 図 軌跡解析結果



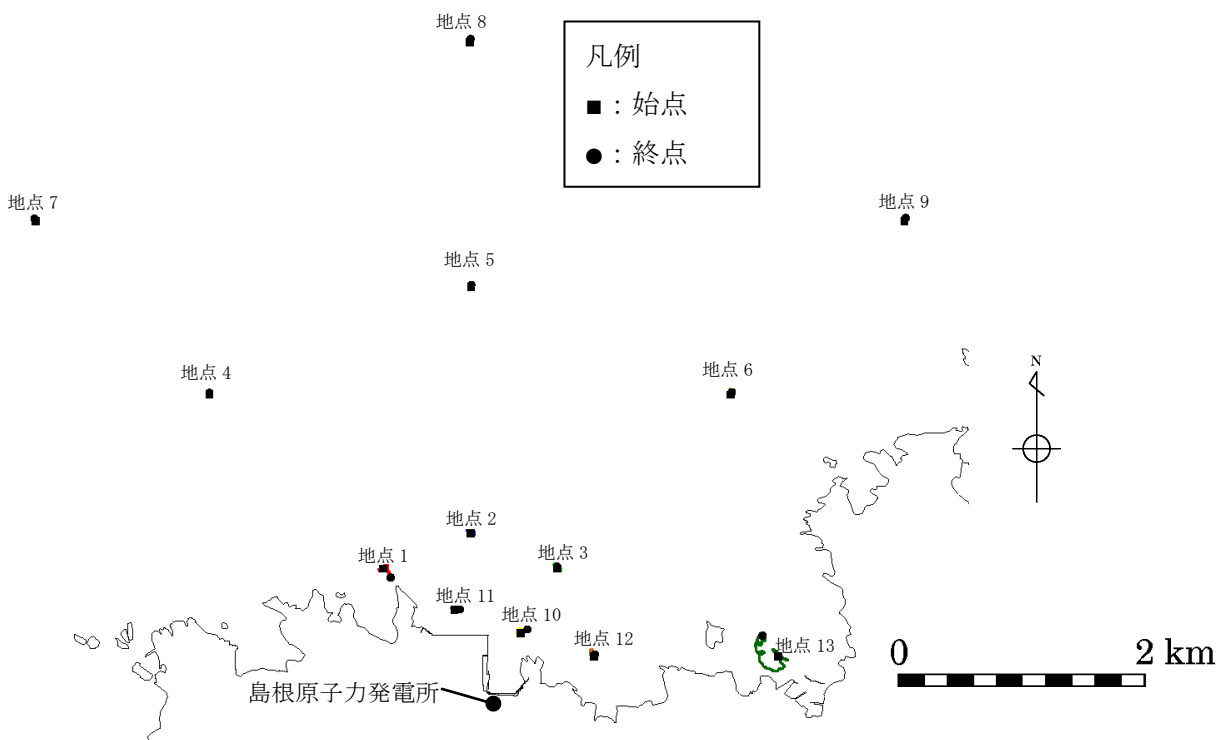
第 2.5-14-2 図 軌跡解析結果



第 2.5-14-3 図 軌跡解析結果



(基準津波 4 (防波堤有り))



(基準津波 4 (防波堤無し))

第 2.5-14-4 図 軌跡解析結果

b. 漂流物調査範囲の設定

漂流物調査の範囲については、前項に示した発電所周辺地形並びに敷地及び敷地周辺に襲来する津波の特性を考慮し、基準津波による漂流物の移動量を算出し、調査範囲を設定する。

前項「②敷地及び敷地周辺に襲来する津波の特性の把握」における基準津波の特徴を踏まえ、日本海東縁部に想定される地震による津波である基準津波1について、第2.5-13図に示す計13の地点において、水位、流向、流速の時系列データを抽出した。なお、日本海東縁部に想定される地震による津波は、第4図に示すとおり、地震発生後、約110分程度から水位が上昇し始め、190分程度で最大水位を示し、230分以降は収束傾向(水位1m以下)となることから、100分から260分の範囲を検討対象とした。

津波の流向が発電所へ向かっている時に、漂流物が発電所に接近すると考え、流向が発電所へ向かっている時(地点1～11:南方向, 地点12:南西方向, 地点13:西方向)の最大流速と継続時間より、漂流物の移動量を算出する。

漂流物の移動量の算出に当たっては、発電所へ向かう流向が継続している間にも流速は刻々と変化しているが、保守的に最大流速が継続しているものとして、最大流速と継続時間の積によって移動量を算出する。

また、保守的な想定として引き波による反対方向の流れを考慮せず、寄せ波の2波分が最大流速で一定方向に流れるものとして評価を行った。

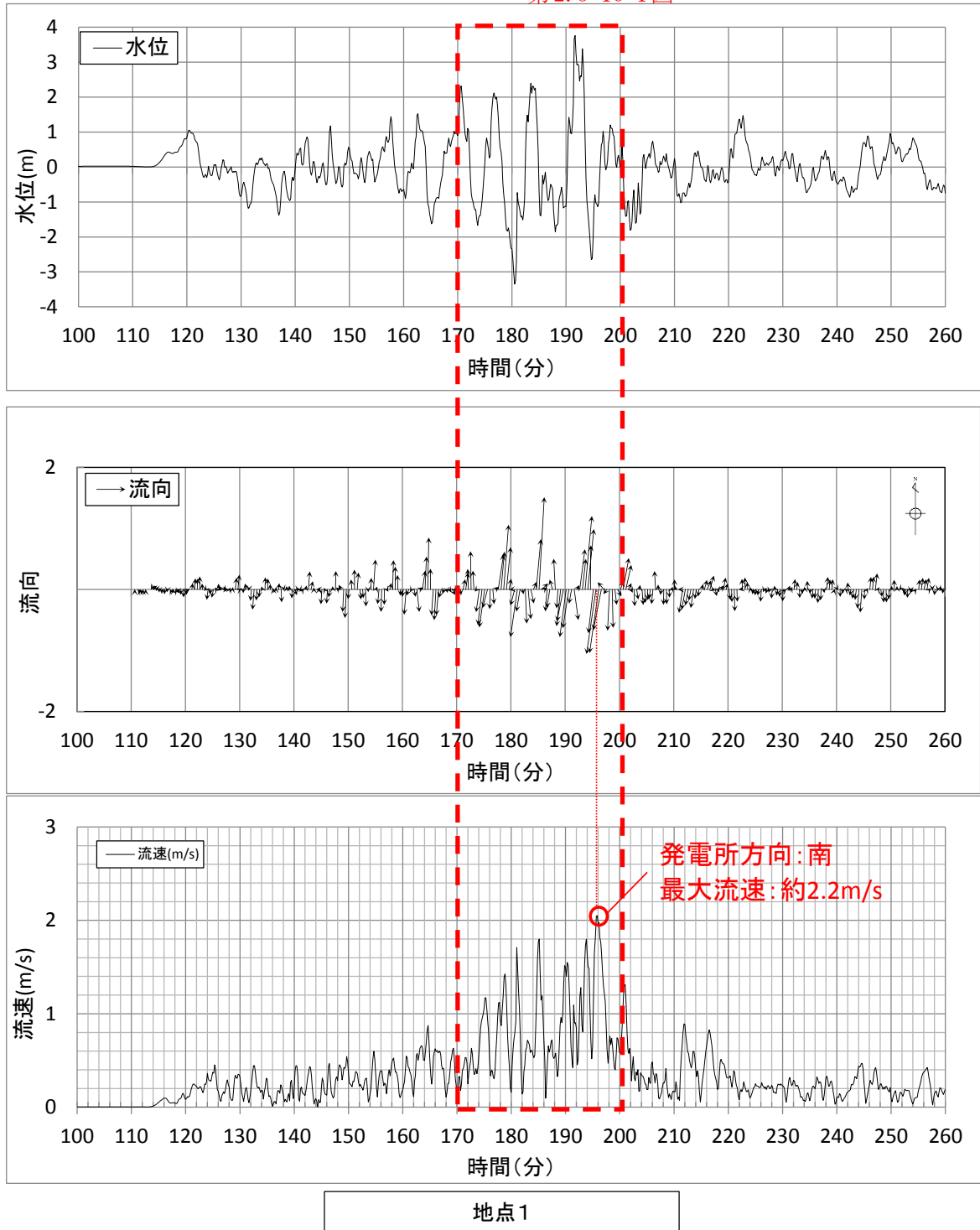
なお、評価においては、その他の基準津波に比べ、基準津波1の流速が比較的速く、また港湾外においては、防波堤有無による有意な影響が見られないこと及び3km, 5km地点(地点4～9)においては、仮想的な浮遊物の軌跡解析の結果からも移動量が小さい傾向が確認されたことから、基準津波1における1km圏内の地点1～3, 周辺漁港等を考慮した地点10～13を抽出し、そのうち発電所方向に向かう流速が最大となる地点1及び地点13を評価対象とした。

基準津波1における水位、流向、流速を第2.5-15図に示す。

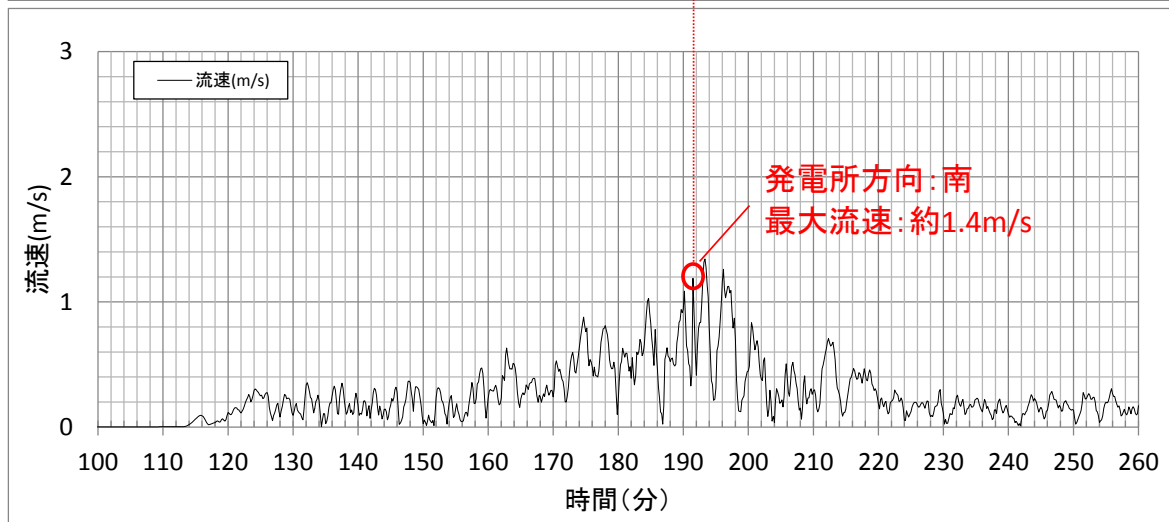
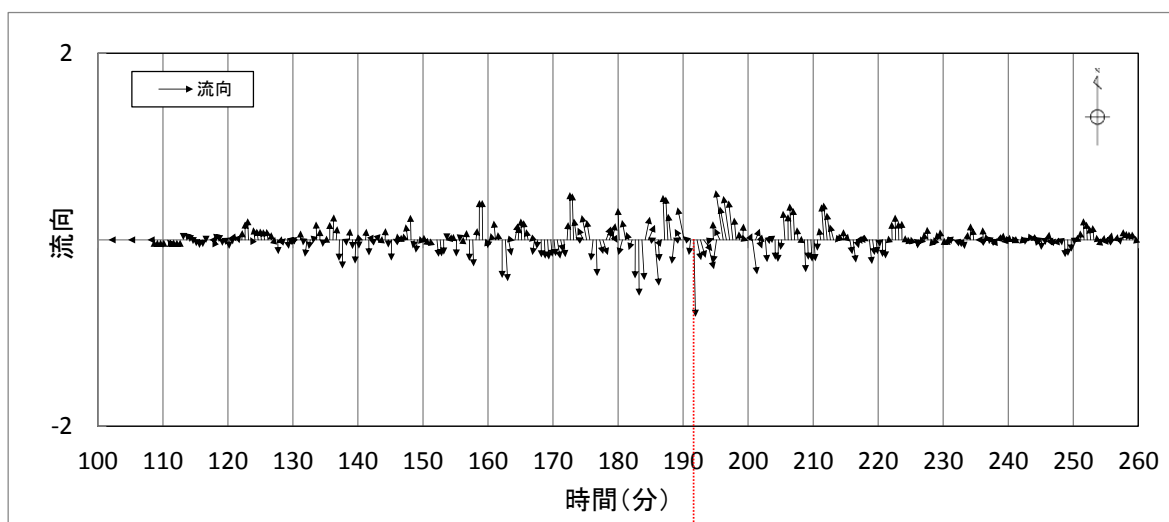
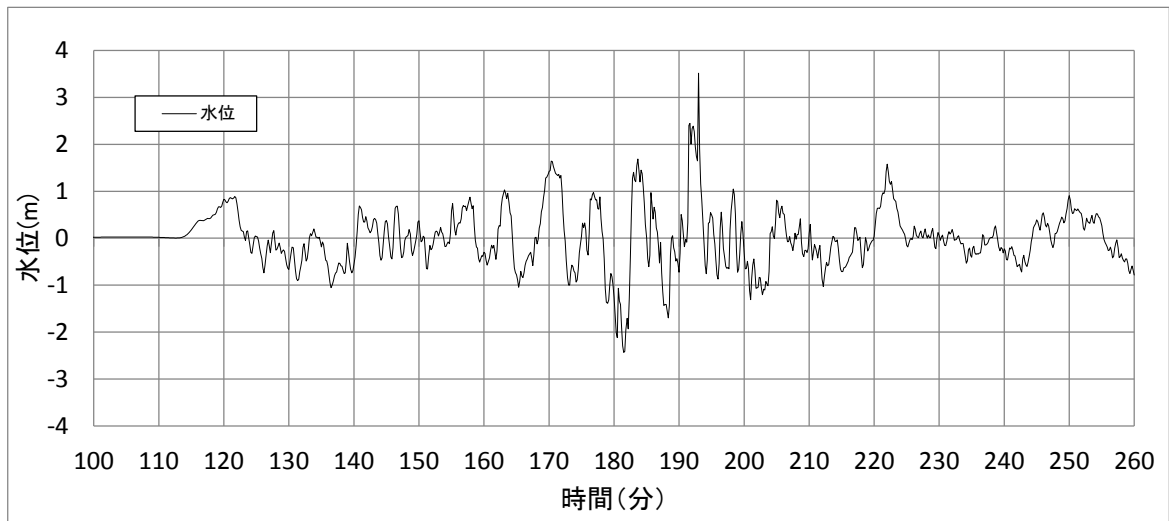
$$\text{移動量} = \text{継続時間} \times 2 \times \text{最大流速}$$

以上の条件において、漂流物の移動量を評価した(第2.5-16図)。評価の結果、抽出地点(地点1)における移動量900mが最大となった。以上により漂流物の移動量が900mとなるが、保守的に半径5kmの範囲を漂流物調査の範囲として設定する。

第2.5-16-1図

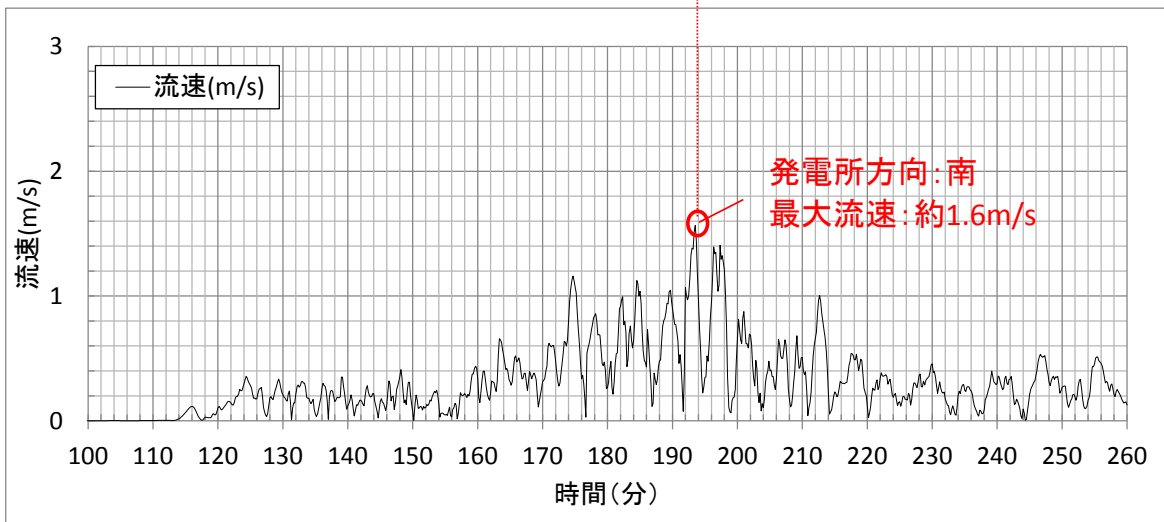
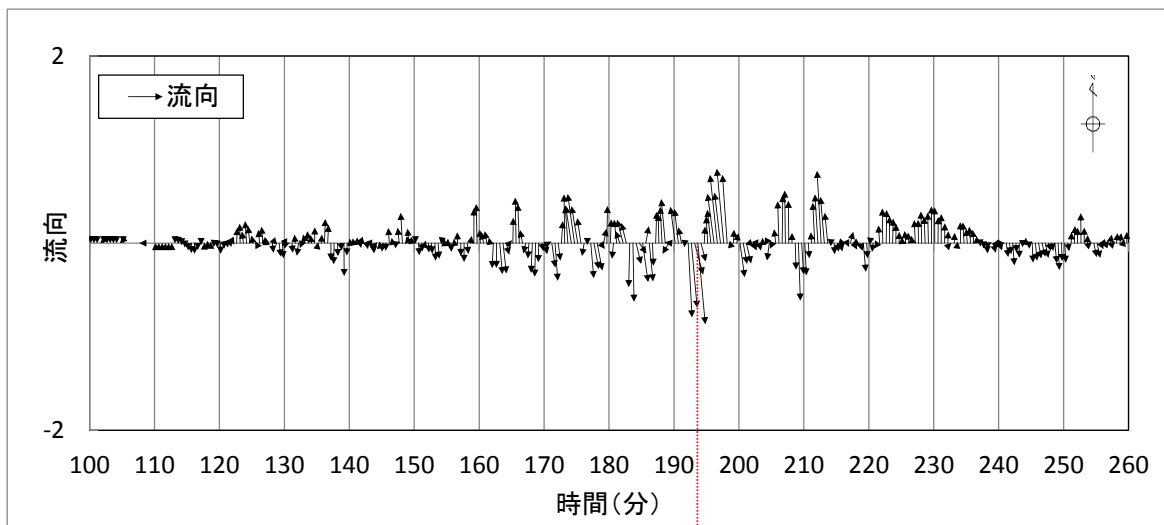
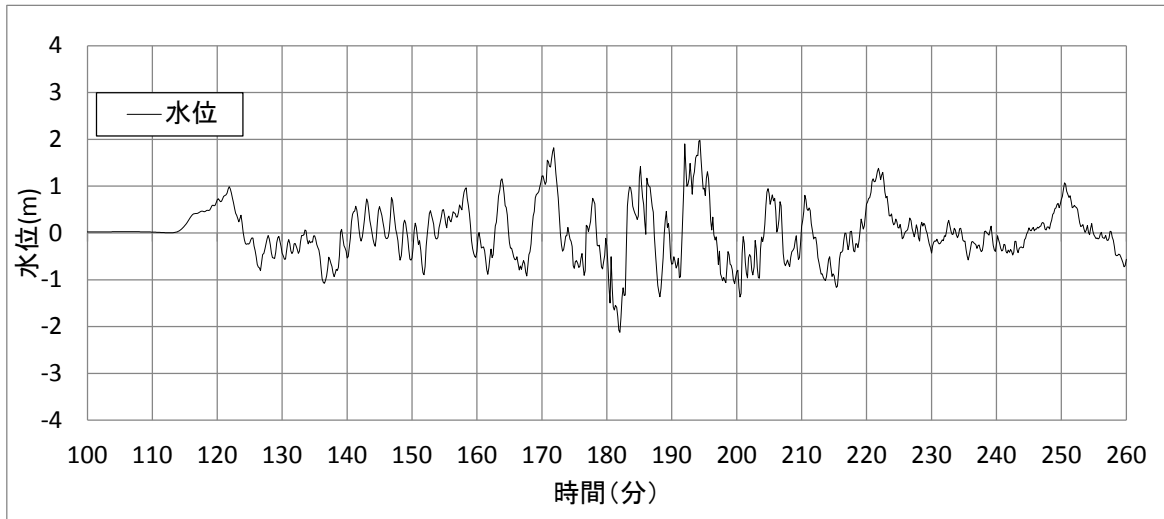


第2.5-15-1図 抽出地点1における水位，流向，流速（基準津波1）



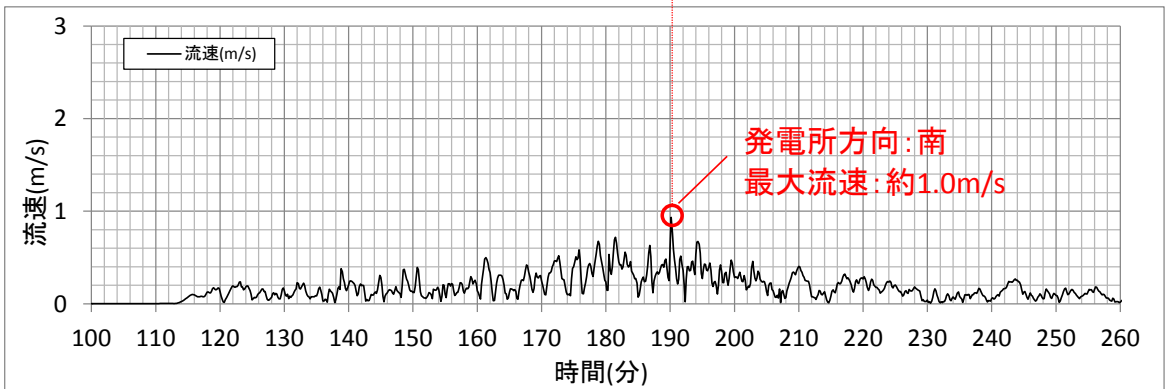
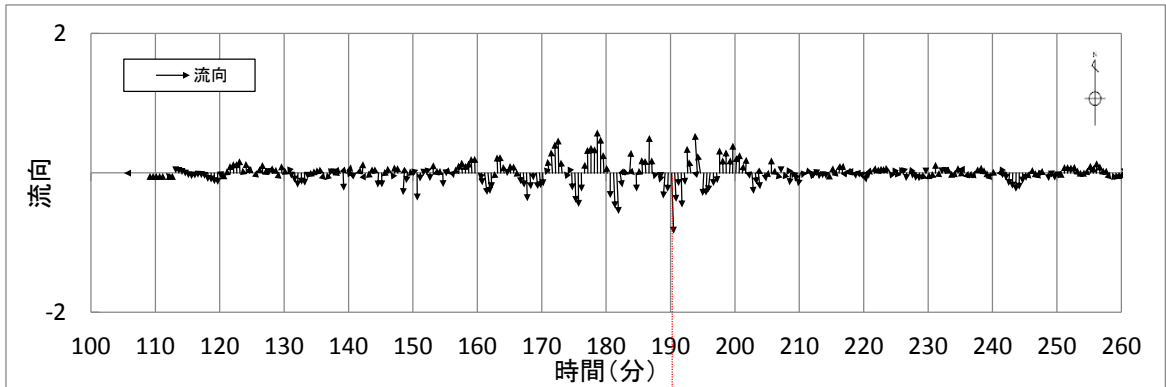
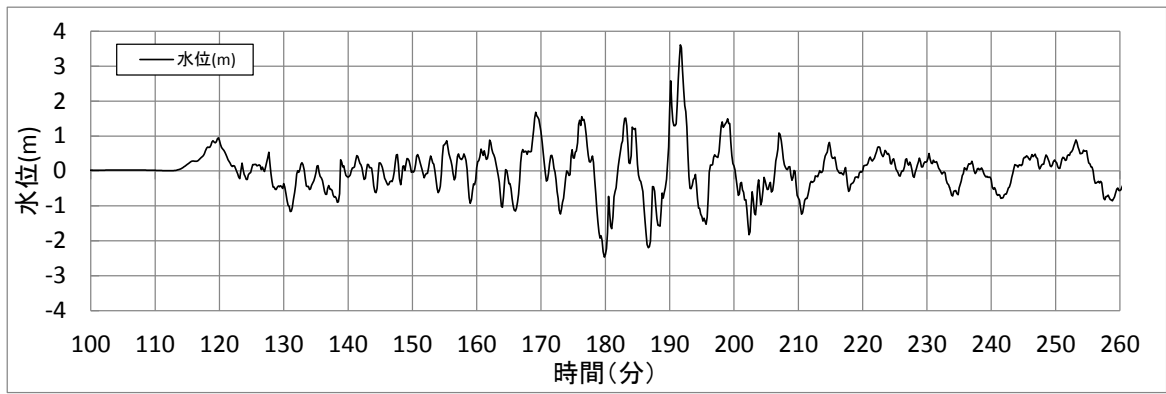
地点2

第 2.5-15-2 図 抽出地点 2 における水位，流向，流速（基準津波 1）



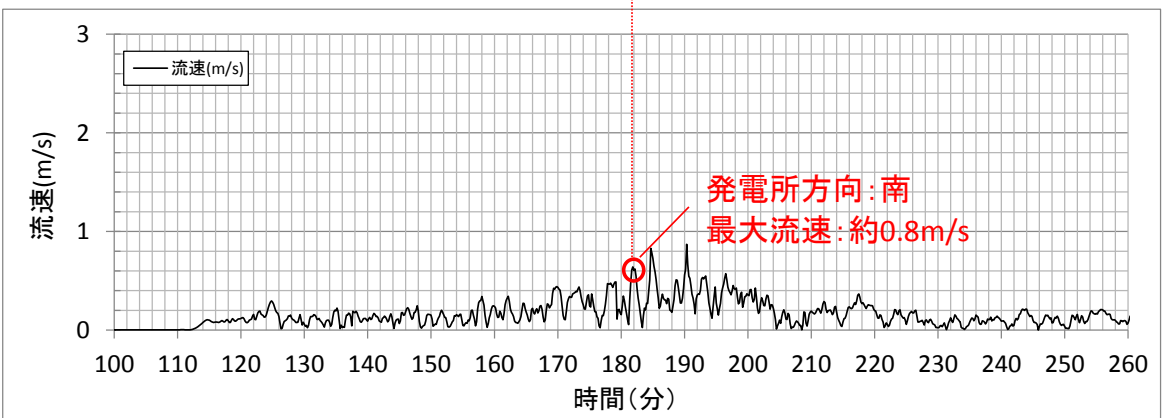
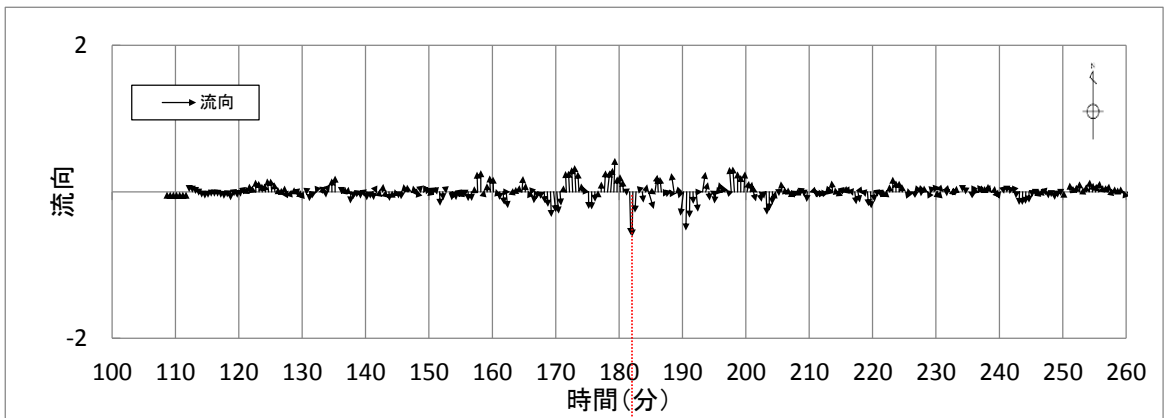
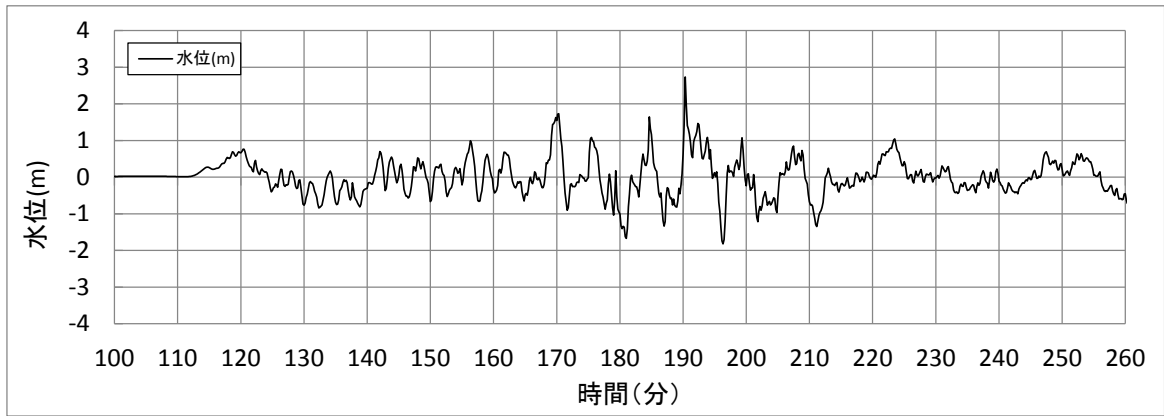
地点3

第 2.5-15-3 図 抽出地点 3 における水位，流向，流速（基準津波 1）



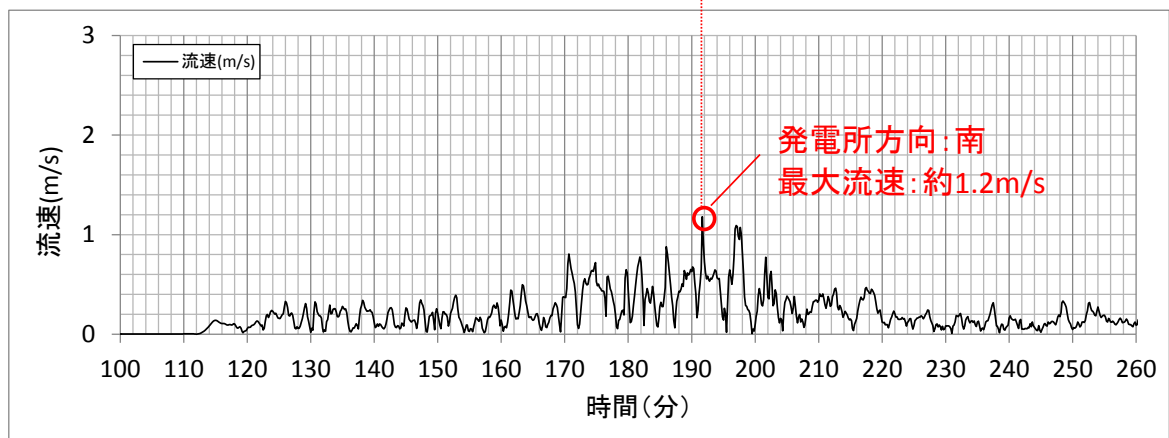
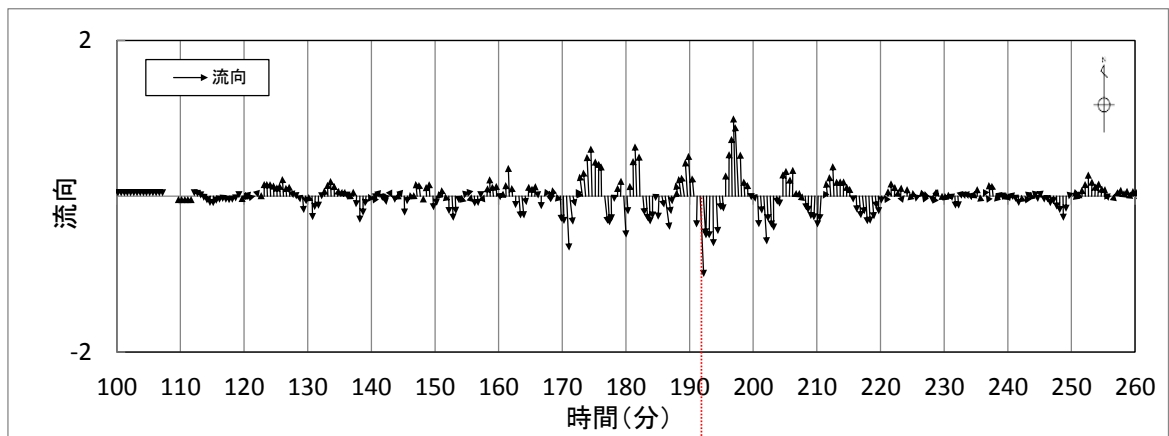
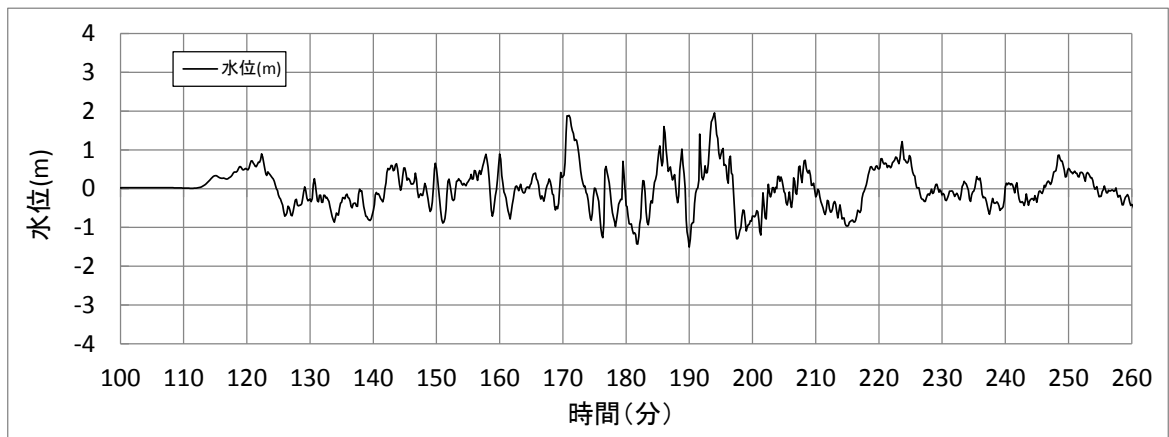
地点4

第 2.5-15-4 図 抽出地点 4 における水位，流向，流速（基準津波 1）



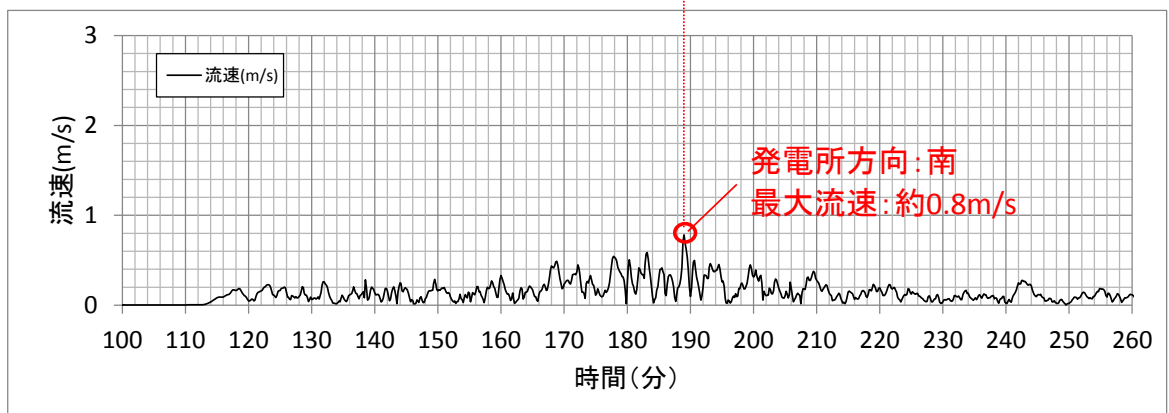
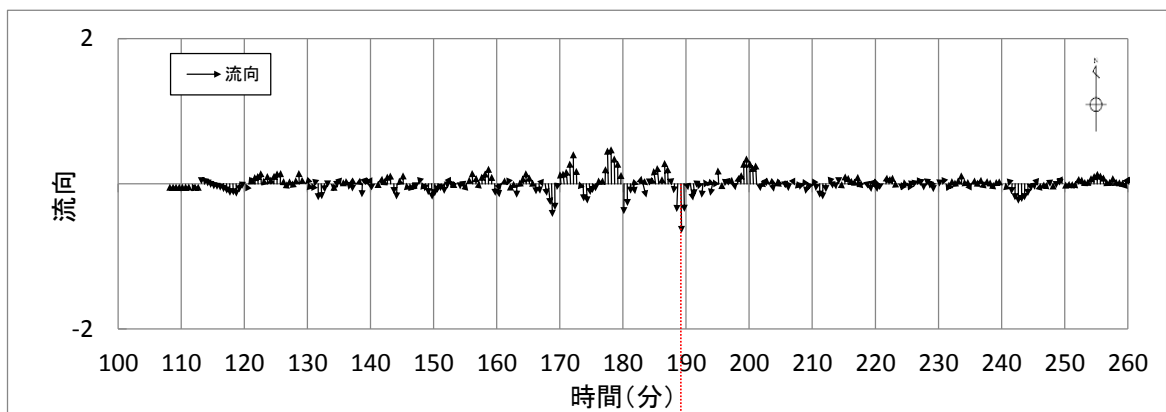
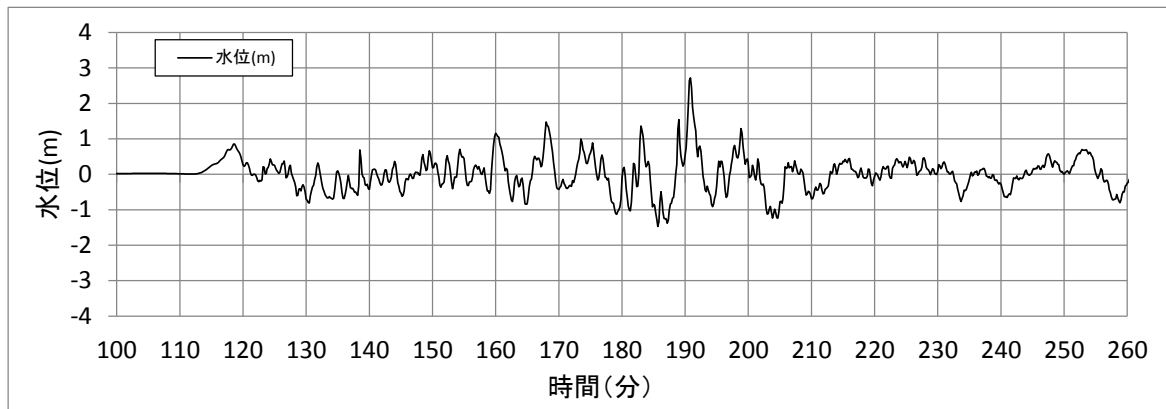
地点5

第 2.5-15-5 図 抽出地点 5 における水位，流向，流速（基準津波 1）



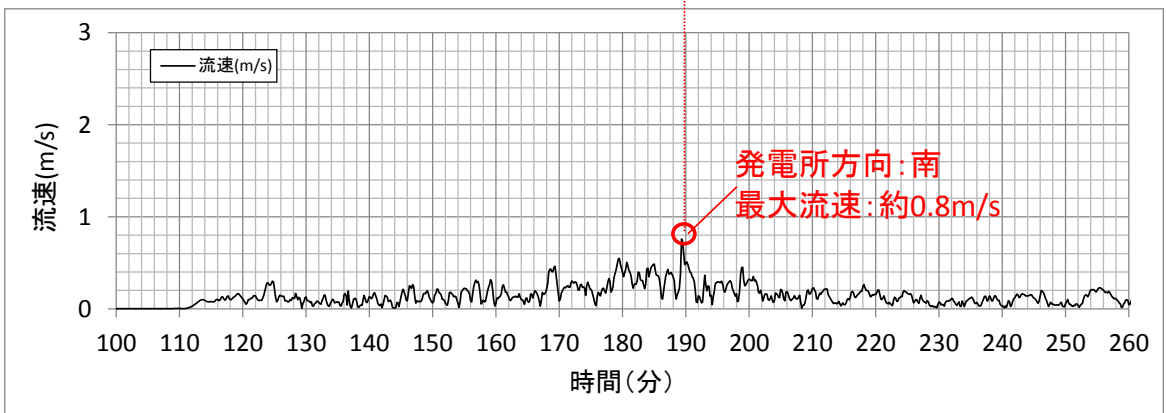
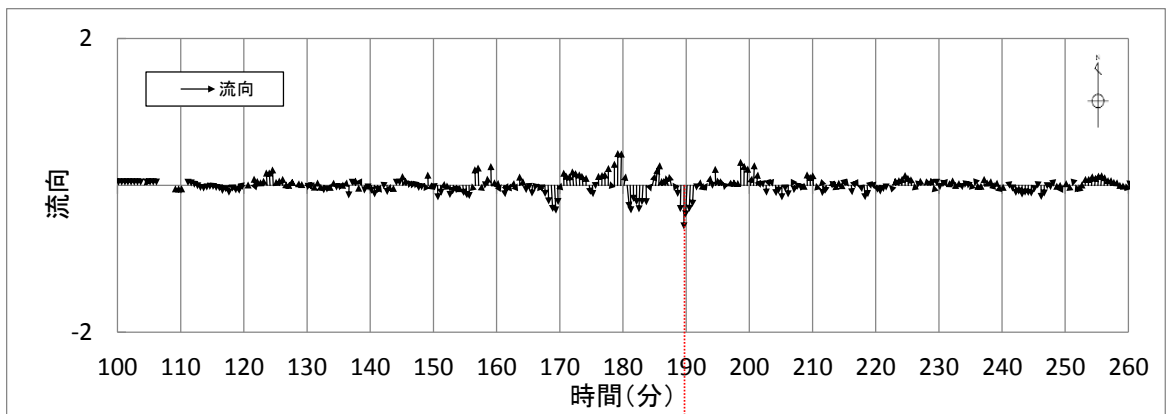
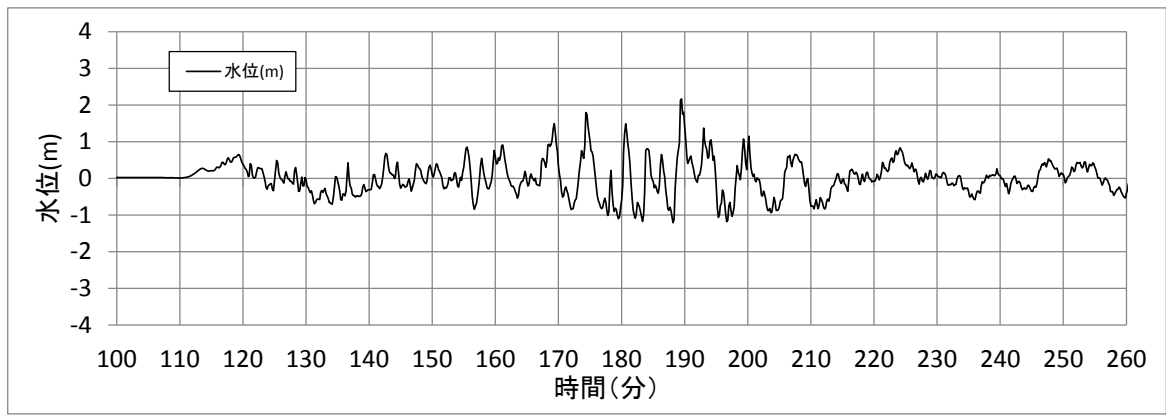
地点6

第 2.5-15-6 図 抽出地点 6 における水位，流向，流速（基準津波 1）



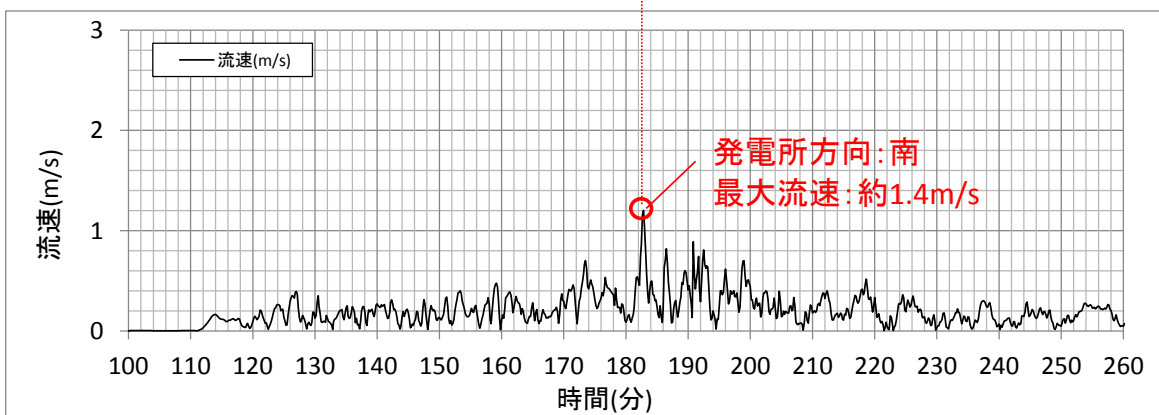
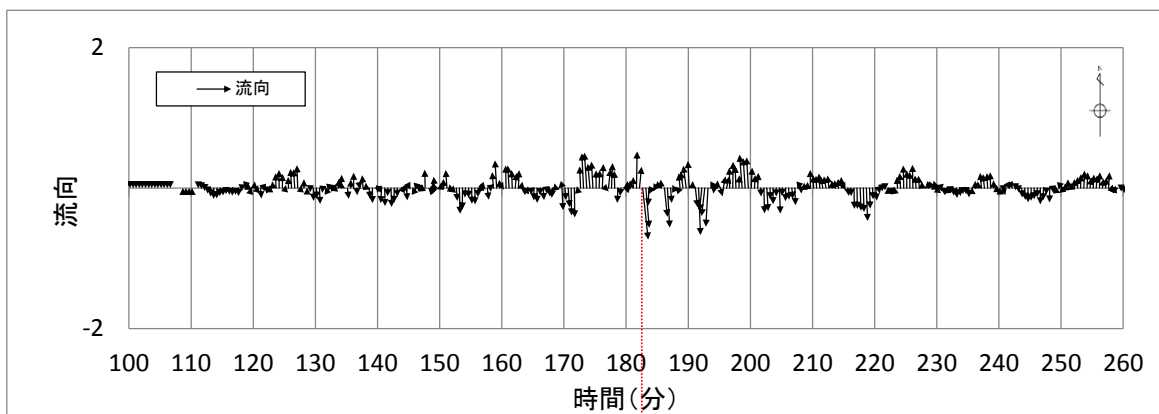
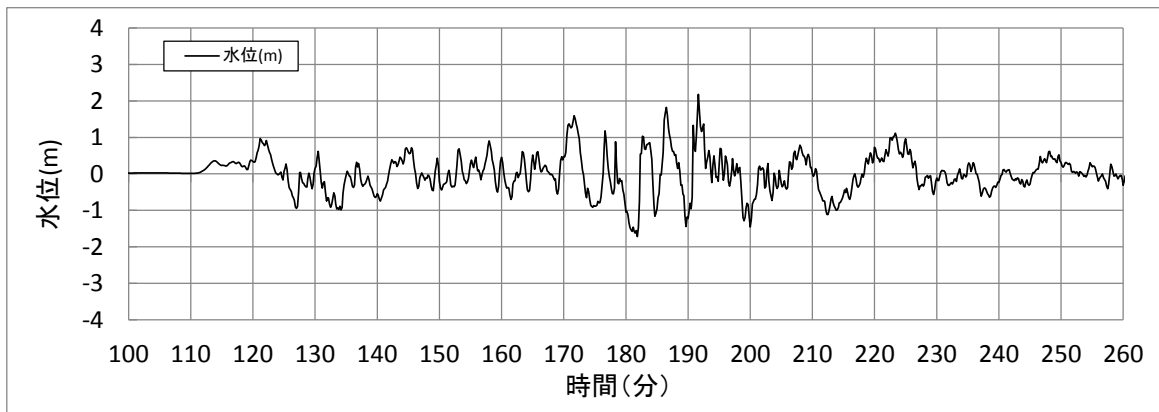
地点7

第 2.5-15-7 図 抽出地点7における水位，流向，流速（基準津波1）



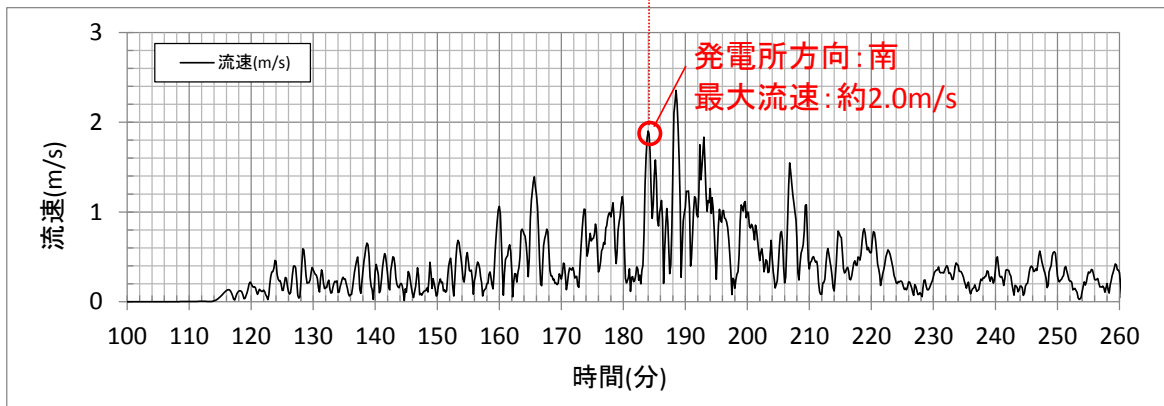
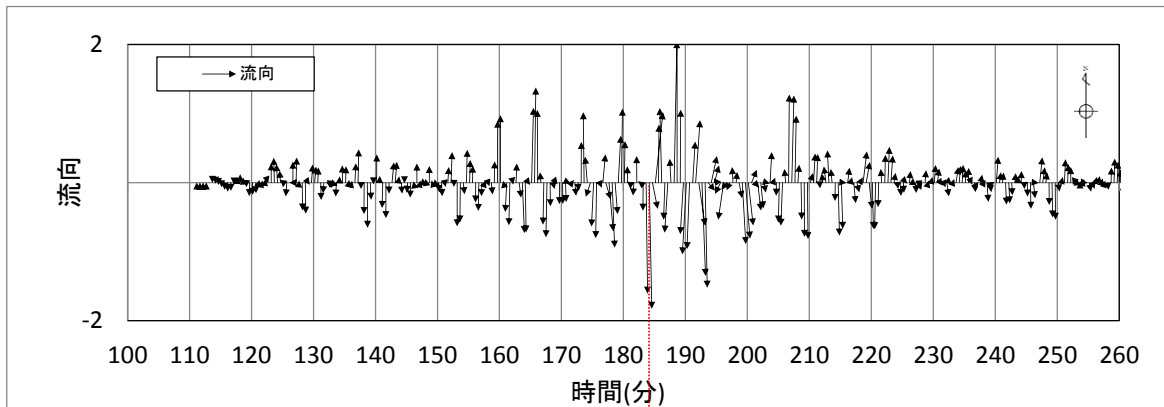
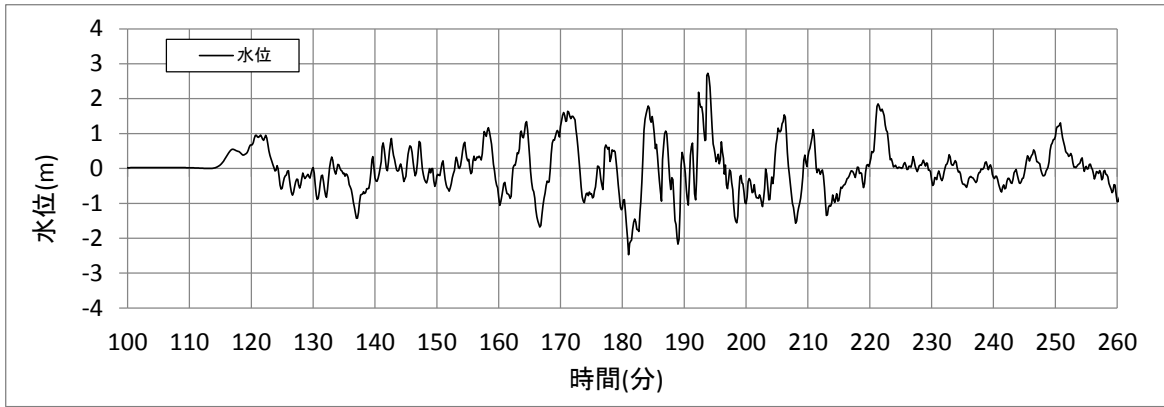
地点8

第 2.5-15-8 図 抽出地点 8 における水位，流向，流速（基準津波 1）



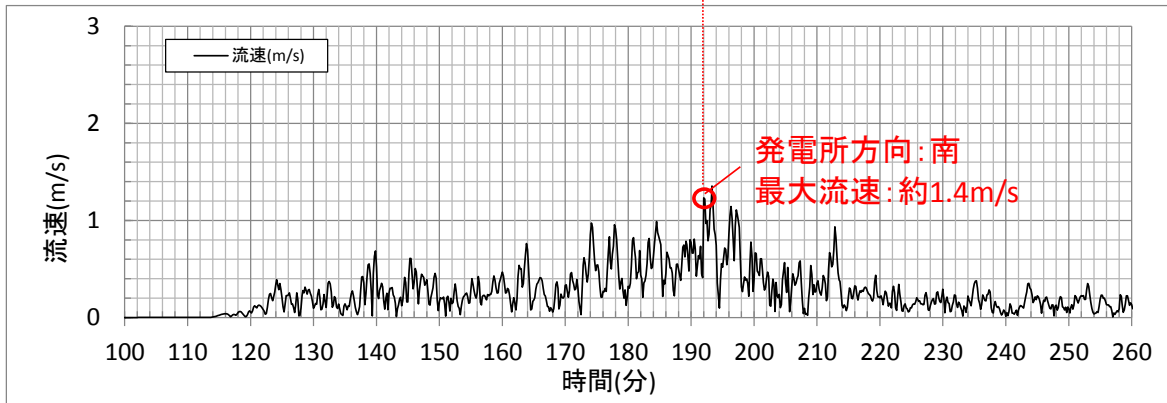
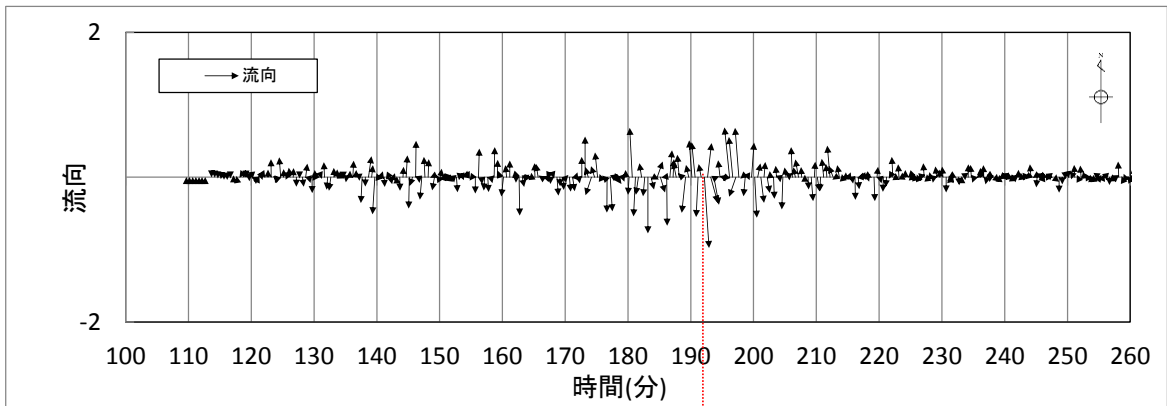
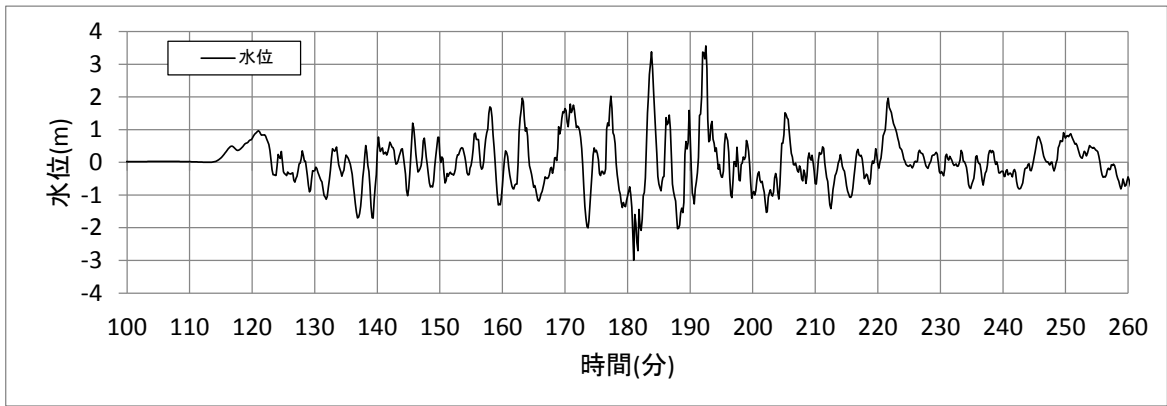
地点9

第 2.5-15-9 図 抽出地点 9 における水位，流向，流速（基準津波 1）



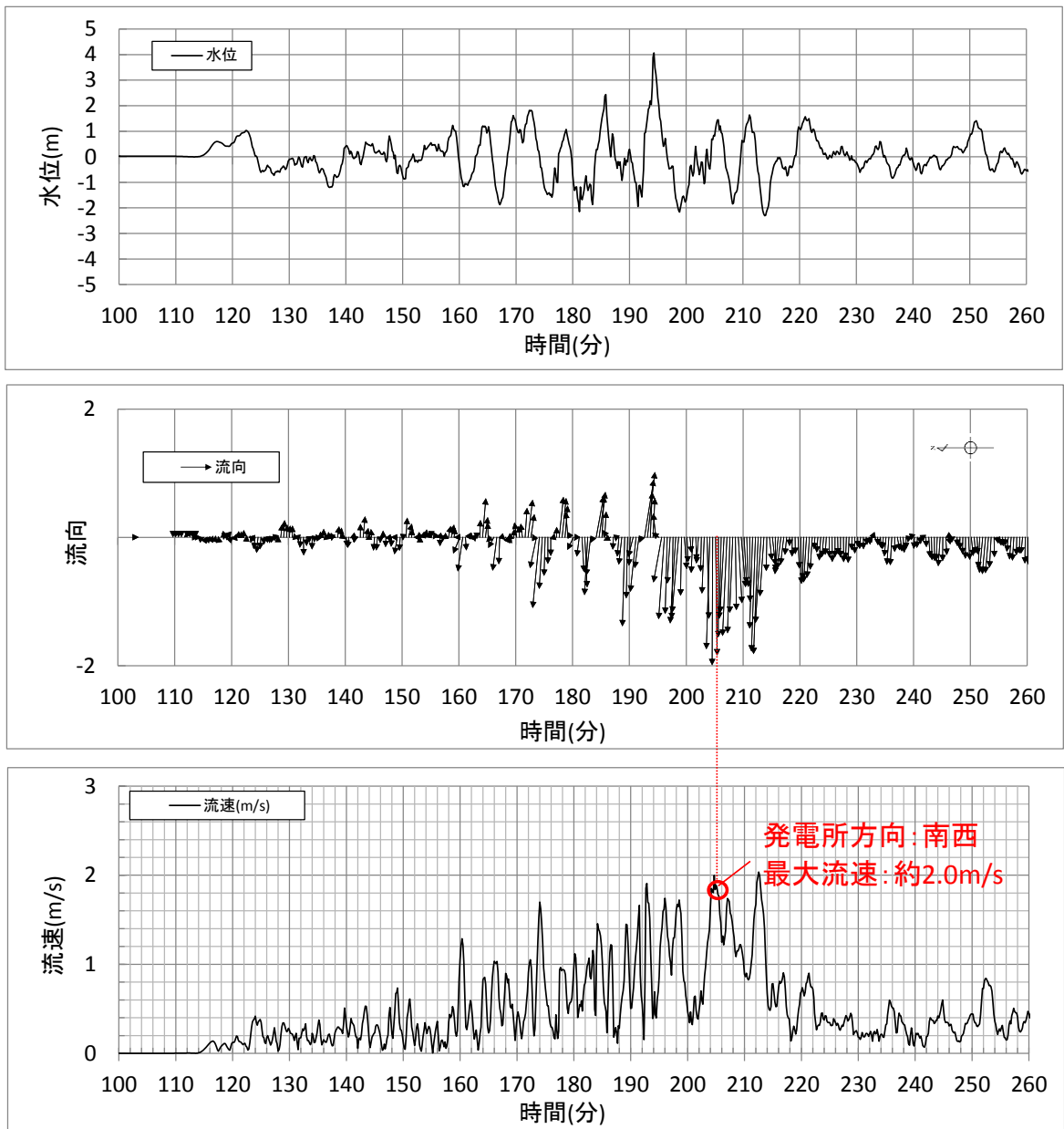
地点10

第 2.5-15-10 図 抽出地点 10 における水位，流向，流速（基準津波 1）



地点11

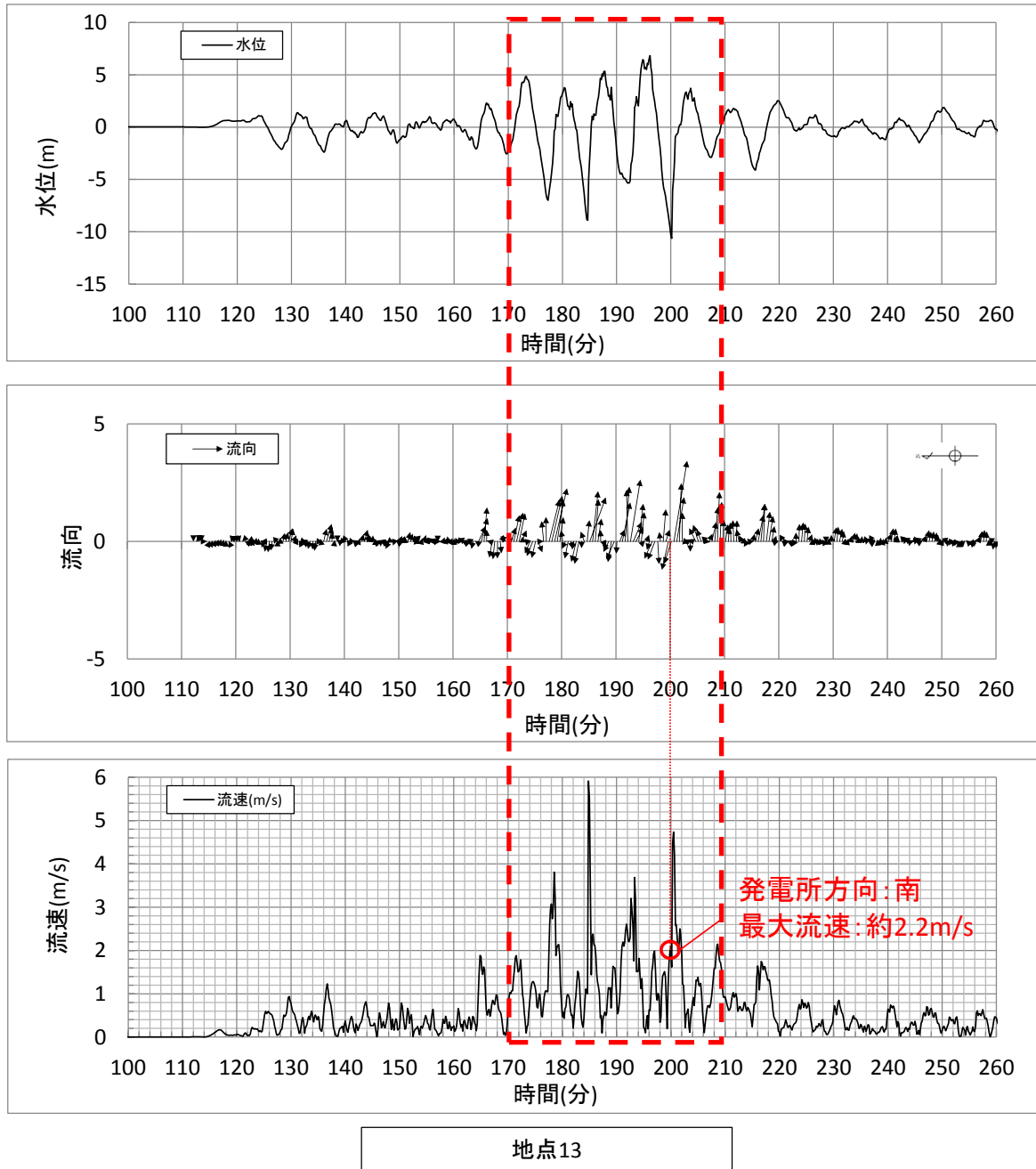
第 2.5-15-11 図 抽出地点 11 における水位，流向，流速（基準津波 1）



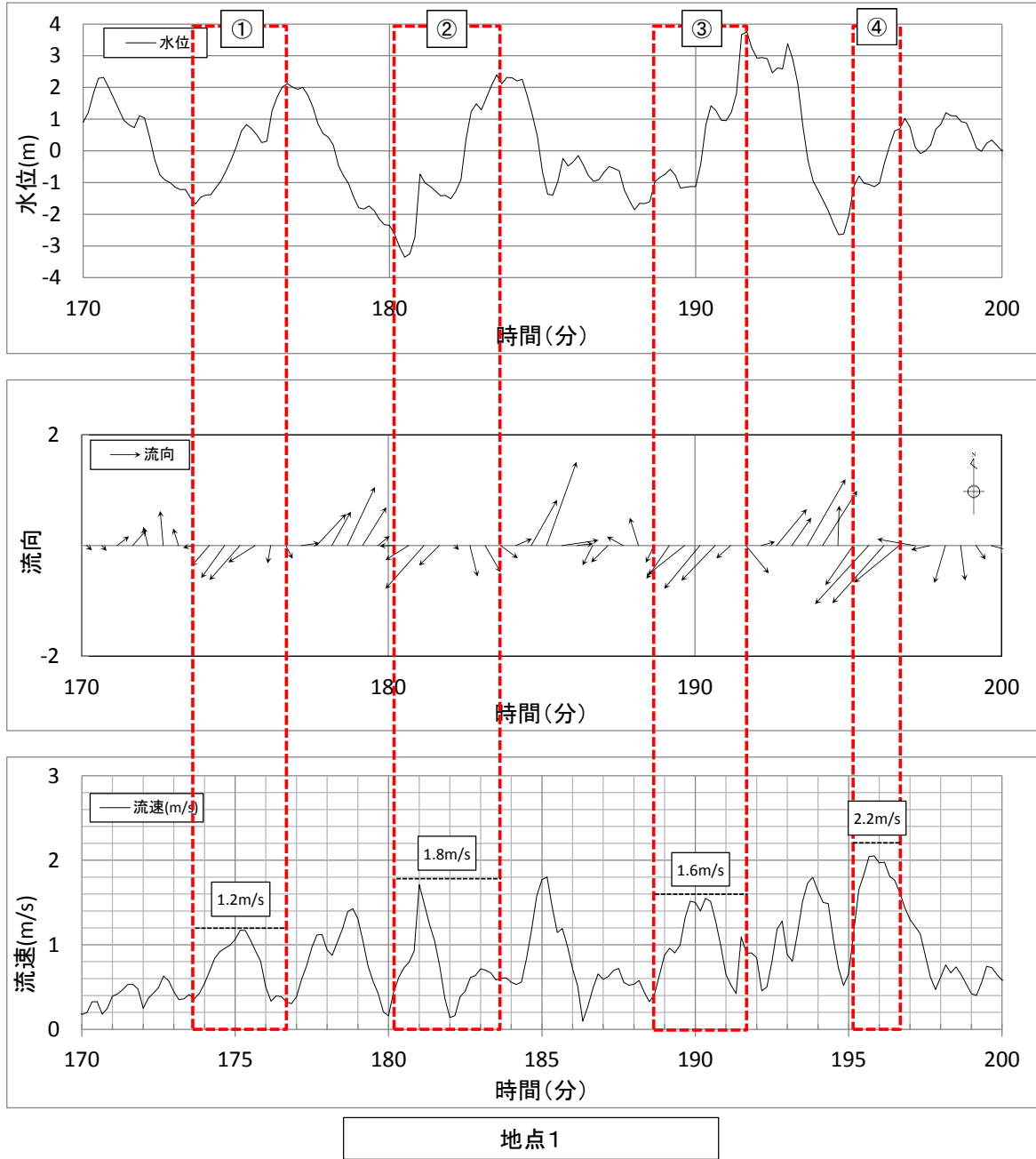
地点12

第 2.5-15-12 図 抽出地点 12 における水位，流向，流速（基準津波 1）

第2.5-16-2図



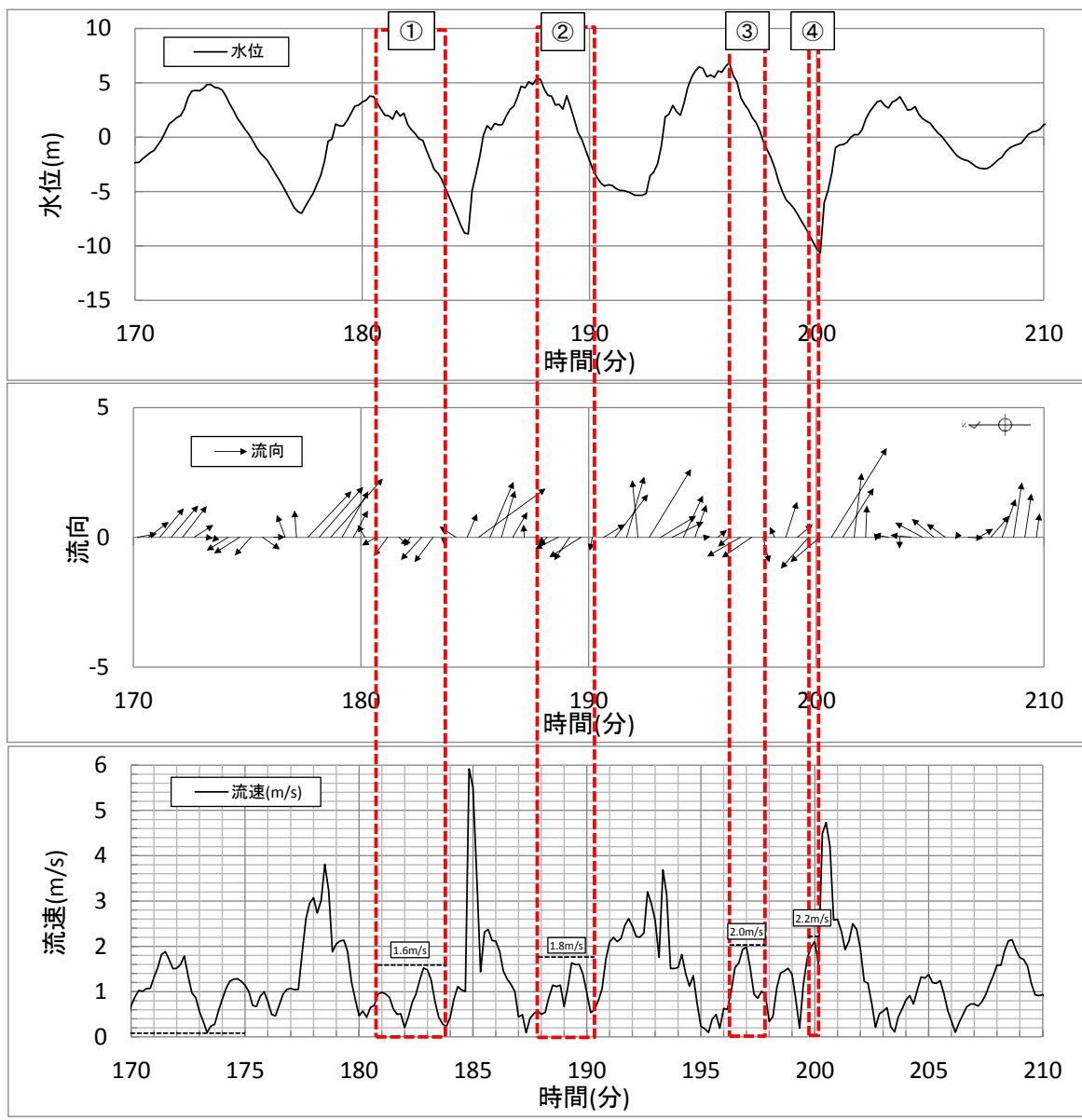
第2.5-15-13図 抽出地点13における水位, 流向, 流速 (基準津波1)



地点 1	①	②	③	④
継続時間 (s)	185	222	193	98
流速 (m/s)	1.2	1.8	1.6	2.2
移動量 (m)	222	400	309	216

※ ②における継続時間を保守的に4分(240秒)とし、移動量を約450mと算定

第 2.5-16-1 図 基準津波による水の移動量(地点1)



地点13

地点13	①	②	③	④
継続時間 (s)	181	150	97	31
流速 (m/s)	1.6	1.8	2.0	2.2
移動量 (m)	290	270	194	69

※ ①における継続時間を保守的に200秒とし、移動量を約320mと算定

第 2.5-16-2 図 基準津波による水の移動量(地点13)

c. 漂流物となる可能性のある施設・設備の抽出

設定した漂流物調査範囲について、発電所構内と構外、また海域と陸域とに分類して調査を実施し、漂流物となる可能性のある施設・設備等の抽出を行った。各分類における調査対象、調査方法及び調査実施期間並びに再調査実施期間を第 2.5-2 表に示す。また、調査範囲を第 2.5-17 図に示す。

各調査の具体的な調査要領を添付資料 15 に示す。

調査結果を踏まえ、第 2.5-18 図に示す漂流物の選定・影響確認フローに基づき、取水性への影響を評価した。

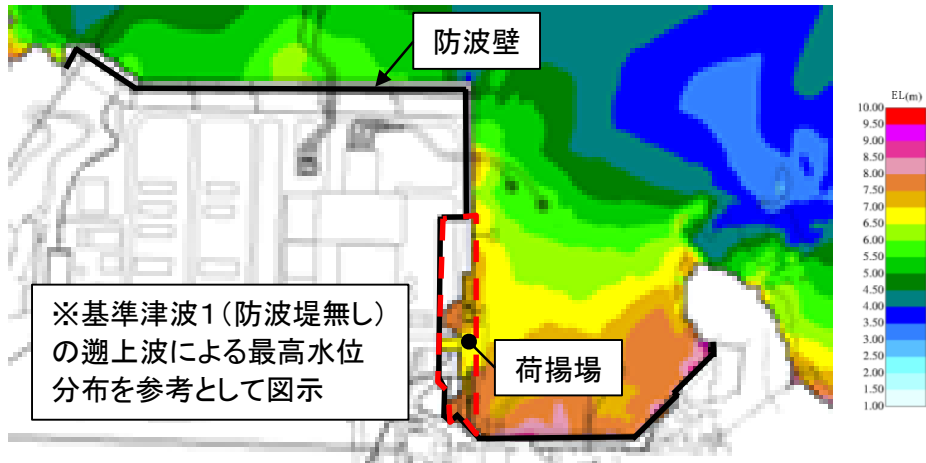
なお、漂流物の影響については、東北太平洋沖地震に伴う津波の被害実績^(注)も踏まえ評価した。

(注) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 国土技術政策総合研究所資料第 674 号 独立行政法人 建築研究所 建築研究資料「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告」

第 2.5-2 表 漂流物の調査方法

調査範囲		調査対象	調査方法	調査 実施期間	再調査 実施期間
発電所 構内・構外	海域・陸域				
発電所 構内	海域	船舶等	資料調査	H25. 1. 25～H25. 2. 28 H28. 4. 20～H28. 5. 13	H31. 3. 27～ H31. 4. 12
			聞取調査	H25. 1. 25～H25. 2. 28 H28. 4. 20～H28. 5. 13	
	陸域	人工構造物 車両等	聞取調査	H24. 8. 3～H24. 8. 24	H31. 3. 8
			現場調査	H24. 8. 3～H24. 8. 24 H26. 9. 8～H26. 10. 16	
発電所 構外 [※]	海域	船舶等	資料調査	H24. 8. 3～H24. 8. 24 H26. 9. 8～H26. 10. 16	H31. 3. 28
			聞取調査	H24. 8. 3～H24. 8. 24 H26. 9. 8～H26. 10. 16	H31. 3. 22～ H31. 3. 28, R2. 8. 6～ R2. 8. 11
			現場調査	H24. 8. 3～H24. 8. 24 H26. 9. 8～H26. 10. 16	H31. 3. 27
	陸域	人工構造物 車両等	現場調査	H24. 8. 3～H24. 8. 24 H26. 9. 8～H26. 10. 16	R 元. 5. 10

※ 発電所構外については、半径 5km までの調査を実施

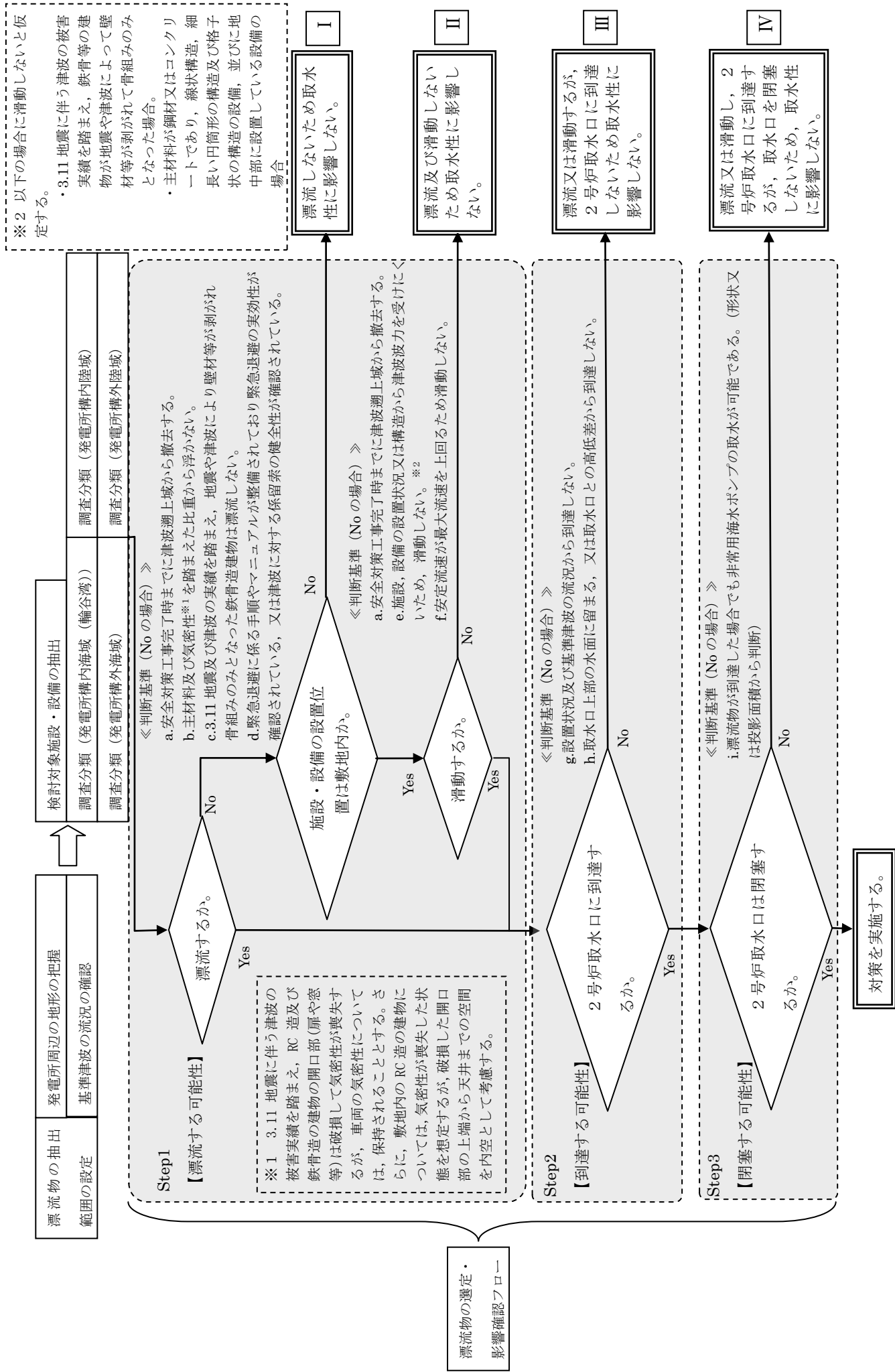


— — — — —: 漂流物調査範囲

第 2.5-17-1 図 漂流物調査範囲 (発電所構内陸域)



第 2.5-17-2 図 漂流物調査範囲 (発電所構外)



d. 通水性に与える影響の評価

(a) 発電所構内における評価

i. 発電所構内海域（輪谷湾）における評価

発電所の構内（港湾内）にある港湾施設としては、2号炉の取水口の西方約60mの位置に荷揚場がある。港湾周辺及び港湾内に定期的に来航する船舶としては、燃料等輸送船（総トン数約5,000t）が年に数度来航し、荷揚場に停泊する。また、温排水影響調査、環境試料採取等のための作業船（総トン数1t未満～約10t）が港湾の周辺及び港湾内に定期的に来航する。

これらの他に、発電所港湾の境界を形成する防波堤、護岸がある。なお、発電所の港湾内には海上設置物はない。

抽出された以上の船舶等に対して第2.5-18図に示す漂流物の選定・影響フローに従って、漂流する可能性(Step1)、到達する可能性(Step2)及び閉塞する可能性(Step3)の検討を行い、取水性への影響を評価した。

なお、発電所港湾の境界を形成する防波堤、護岸については津波影響軽減施設として設計しているものではないため、地震や津波波力による損傷を想定すると、損傷した構成要素が滑動、転動により流される可能性は否定できず、2号炉の取水口の通水性に影響を及ぼす可能性が考えられる。滑動する可能性を検討する上で用いる流速は、2号炉取水口が港湾内に位置することを踏まえ、発電所近傍の最大流速とする（添付資料18参照）。また、評価にあたっては、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会、平成19年7月）」に準じて、イスバッシュ式を用いた。この式は米国の海岸工学研究センターが潮流による洗掘を防止するための捨石質量として示したものであり、水の流れに対するマウンド被覆材の安定質量を求めるものであることから、津波襲来時における対象物の滑動可能性評価に適用可能であると考えられる。イスバッシュ式の定数はマウンド被覆材が露出した状態に相当する0.86とする。イスバッシュ式をもとに、対象物が水の流れによって動かない最大流速（以下、「安定流速」という）を算出し、解析による流速が安定流速以下であることを確認する。

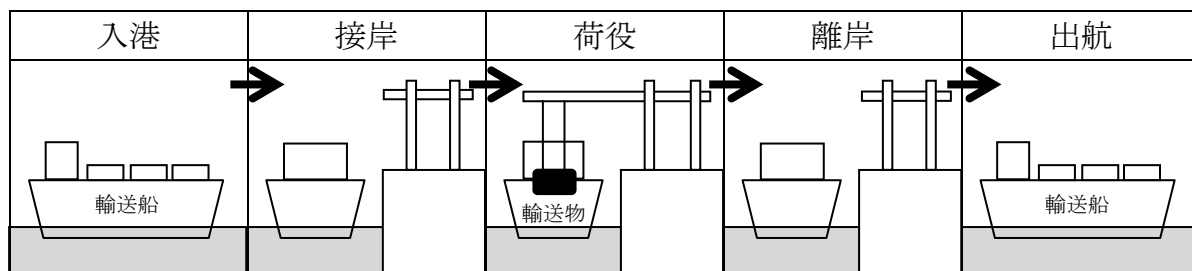
以上を踏まえ、発電所構内海域（輪谷湾）における評価について、以下の項目毎に、評価結果を示す。

- ①燃料等輸送船
- ②その他作業船
- ③防波堤
- ④護岸

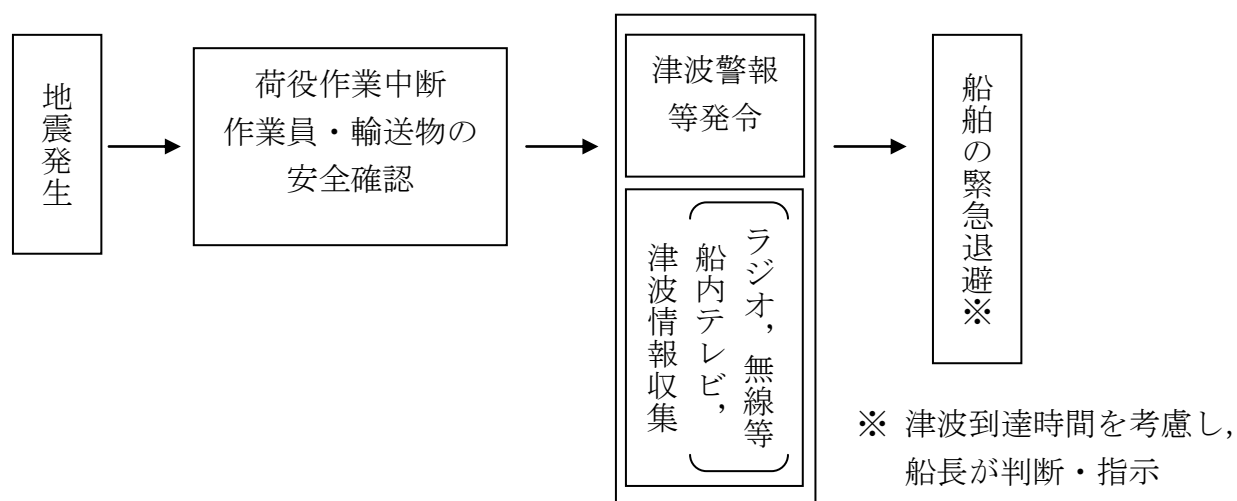
①燃料等輸送船

発電所敷地内の港湾施設として荷揚場があり，燃料等輸送船が停泊する。
燃料等輸送船の主な輸送工程を第 2.5-19 図に示す。

津波警報等発令時には，原則，緊急退避（離岸）することとしており，東日本大震災以降に，第 2.5-20 図に示すフローを取り込んだマニュアルを整備している。



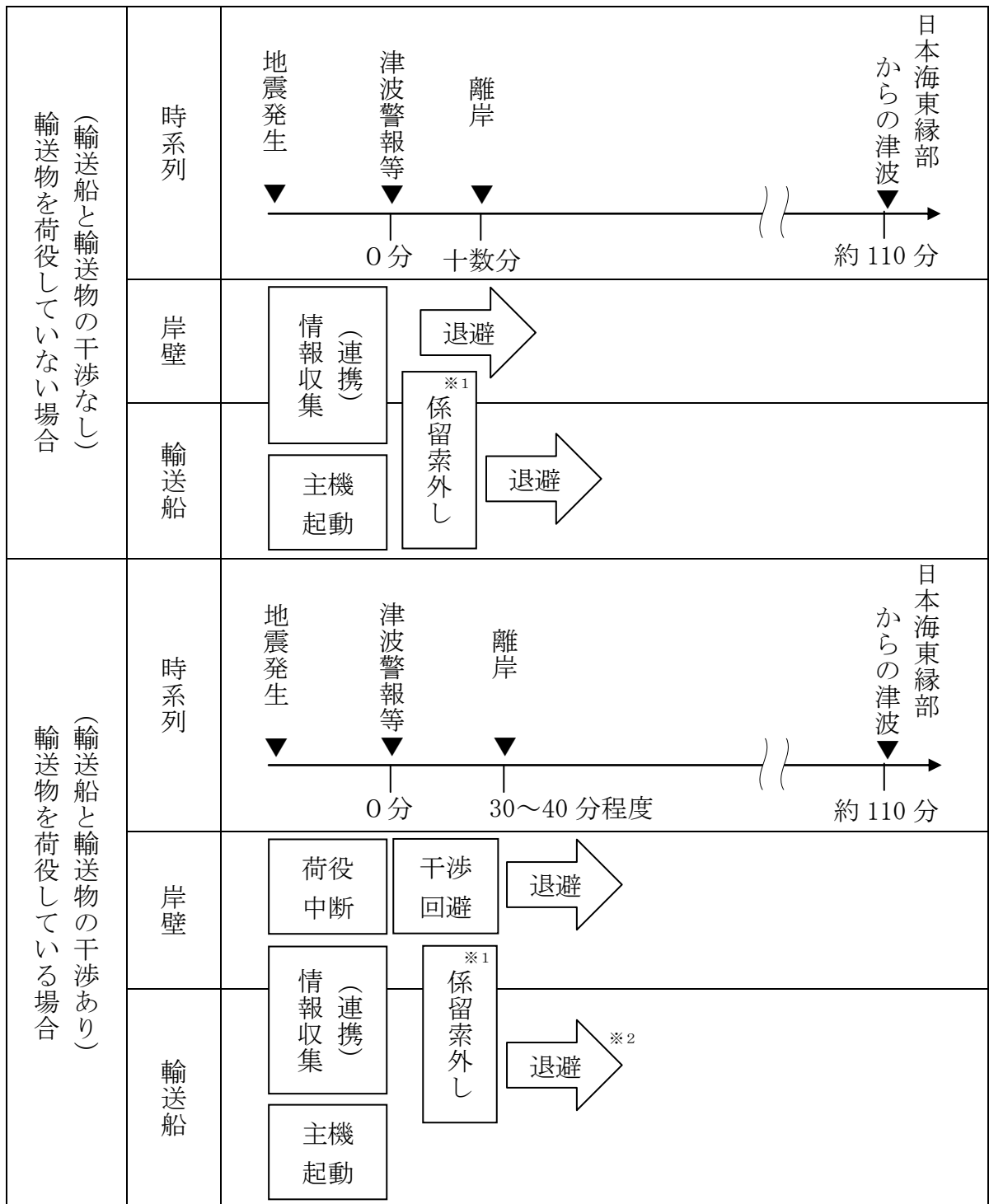
第 2.5-19 図 主な輸送工程



第 2.5-20 図 緊急退避フロー図 (例)

このマニュアルに沿って実施した訓練実績では，輸送船と輸送物の干渉がある「荷役」工程において津波警報が発令した場合でも，警報発令後の 30 分程度で退避が可能であることを確認しており，日本海東縁部に想定される地震による津波に対しては，緊急退避が可能である。

以上を踏まえ，津波の到達と緊急退避に要する時間との関係を示すと第 2.5-21 図のとおりとなる。



※1 平成24年の訓練実績では10分程度。

※2 平成24年の訓練実績では大津波警報発令から50分程度で2.5km沖合（水深60m以上：船会社が定める安全な海域として設定する水深）の海域まで退避しており、日本海東縁部に想定される地震による津波襲来（約110分）までに退避可能。

第2.5-21 図 津波の到達と燃料等輸送船の緊急退避に要する時間との関係

第 2.5-21 図より、燃料等輸送船は、島根原子力発電所に襲来が想定される津波のうち、時間的な余裕がない海域活断層から想定される地震による津波に対しては、緊急退避ができない可能性がある。しかしながら、この場合も以下の理由から輸送船は航行不能となることはなく、漂流物になることはないと考えられる。

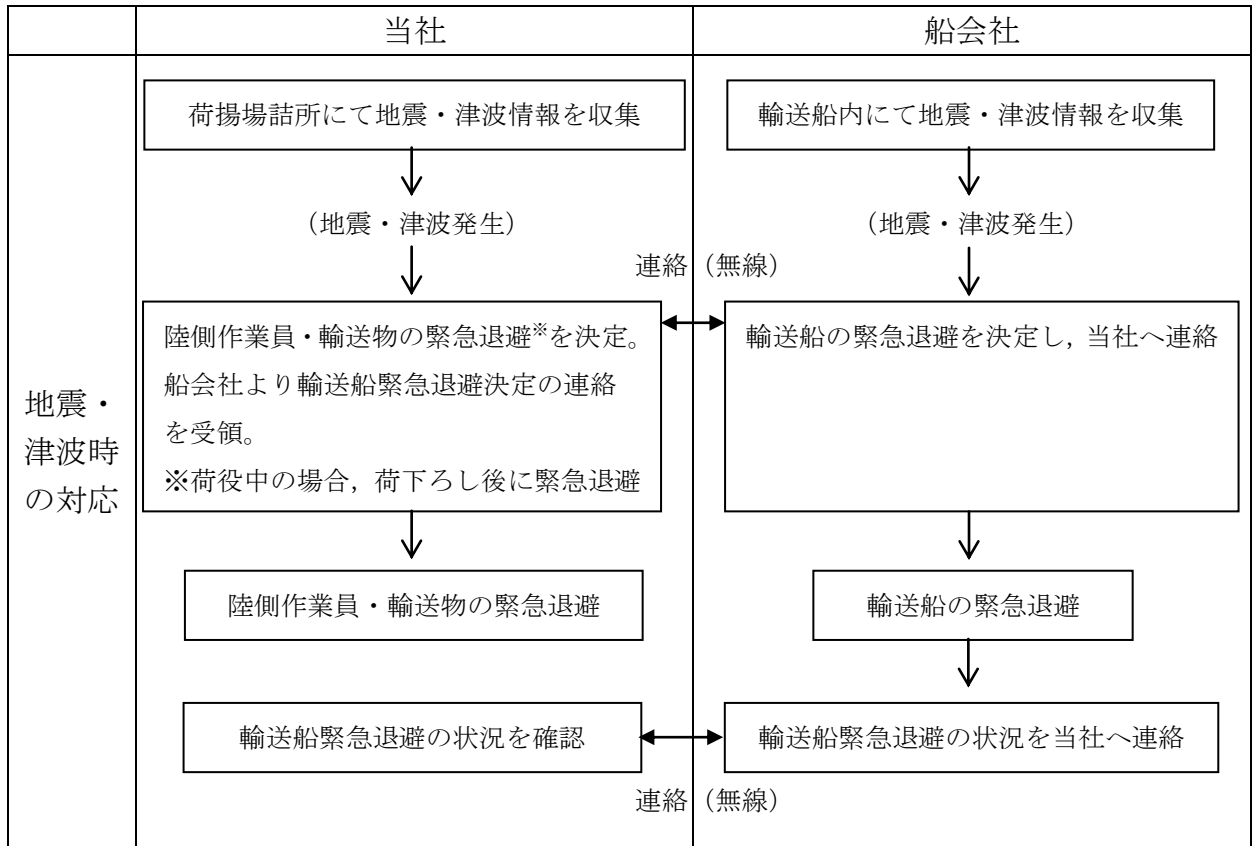
- ・輸送船は荷揚場に係留されている。
- ・津波高さと喫水高さの関係から、輸送船は荷揚場を越えない。
- ・荷揚場に接触しても防げん材を有しており、かつ通達(海査第 520 号：照射済核燃料等運搬船の取扱いについて)に基づく二重船殻構造等十分な船体強度を有する。

以上の評価に関わる津波に対する係留索の耐力評価を添付資料 16 に、荷揚場への乗り上げ及び着底に伴う座礁及び転覆の可能性に関わる喫水と津波高さとの関係を添付資料 17 に示す。

以上より、燃料等輸送船は非常用海水冷却系に必要な 2 号炉の取水口及び取水路の通水性及び津波防護施設に影響を及ぼす漂流物とはならないものと評価した。

なお、燃料等輸送船の緊急退避は輸送事業者・船会社（以下、船会社）と協働で行うことになるが、その運用における当社と船会社の関係を示すと第 2.5-22 図のとおりとなる。すなわち、地震・津波が発生した場合には、速やかに作業を中断するとともに、船会社及び当社は地震・津波の情報を収集し、船会社が津波襲来までに時間的余裕があると判断した際の船会社からの輸送船緊急退避の決定連絡を受け、当社にて輸送船と輸送物の干渉回避や係留索取り外し等の陸側の必要な措置を実施し、また陸側作業員・輸送物の退避を決定するなど、両方で互いに連絡を取りながら協調して緊急退避を行う。ここで、電源喪失時にも荷揚場のクレーンを使用して上記の対応ができるように、同クレーンには非常用電源を用意している。

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



第 2.5-22 図 輸送船緊急退避時の当社と船会社の関係性

②その他作業船

港湾の周辺及び港湾内への船舶の来航を伴う作業のうち温排水影響調査、環境試料採取のため 1t 未満～約 10t の作業船が港湾内外で作業を実施する。

これらの作業船は、津波警報等発令時には、原則、緊急退避することとし、緊急退避について定めたマニュアルを整備することにより、日本海東縁部に想定される地震による津波に対しては、緊急退避が可能である。

島根原子力発電所に襲来が想定される津波のうち、時間的な余裕がない海域活断層から想定される地震による津波に対しては、緊急退避ができない可能性がある。しかしながら、この場合でも、取水口呑口の高さが EL-9.5m であり、十分に低く、作業船は取水口上部の水面に留まることから、取水口に到達せず、海水ポンプに必要な通水性が損なわれることはない。さらに、万一、防波堤に衝突する等により沈降した場合においても、以下に示す取水口呑口の断面寸法並びに非常用海水冷却系に必要な通水量及び作業船の寸法から、その接近により取水口が閉塞し、非常用海水冷却系に必要な取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼさない。また、海域活断層から想定される地震による津波の施設護岸又は防波壁位置における入力津波高さは EL4.2m であり、EL8.5m に設置される津波防護施設に影響を及ぼさない。

以上より、その他の作業船は非常用海水冷却系に必要な2号炉の取水口及び取水路の通水性及び津波防護施設に影響を及ぼす漂流物とはならないものと評価した。

なお、緊急退避に係る対応を行うため、当社一協力会社間の連絡体制を整備するよう前述の地震・津波発生時の緊急時対応マニュアルを定めることとする。

また、これらの定期的に来航する作業船のほか、設備、資機材等の搬入のための貨物船等が不定期に停泊する。これらの貨物船等については、入港する前までに、津波警報等発令時には、緊急退避するマニュアルを整備することにより、日本海東縁部に想定される地震による津波に対しては、緊急退避が可能である。時間的な余裕がない海域活断層から想定される地震による津波に対しては、来航する貨物船等の喫水高さを確認し、取水口へ到達する可能性がある場合には、取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼさないよう係留することとする。

〈作業船の取水路通水性に与える影響に関わる諸元〉

○取水口呑口断面寸法(第2.5-23図)

- ・高さ：3.0m
- ・幅：17m

○非常用海水冷却系必要通水量

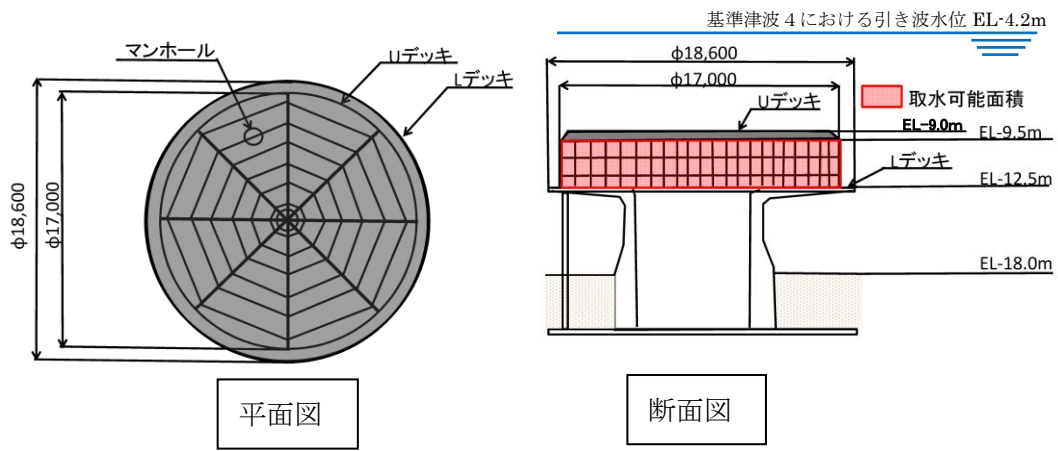
- ・通常時（循環水系）の5%未満

※循環水系の定格流量約3370m³/分に対して非常用海水冷却系の定格流量は150m³/分(ポンプ全台運転)

○作業船寸法(総トン数約10tの作業船代表例)

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

以上より、その他の作業船は非常用海水冷却系に必要な2号炉の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼす漂流物とはならないものと評価する。

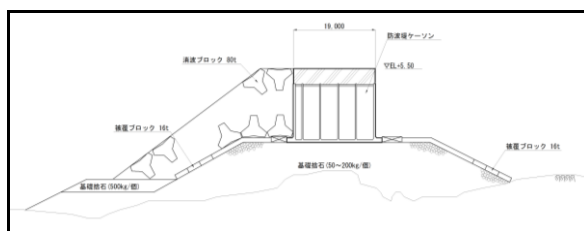
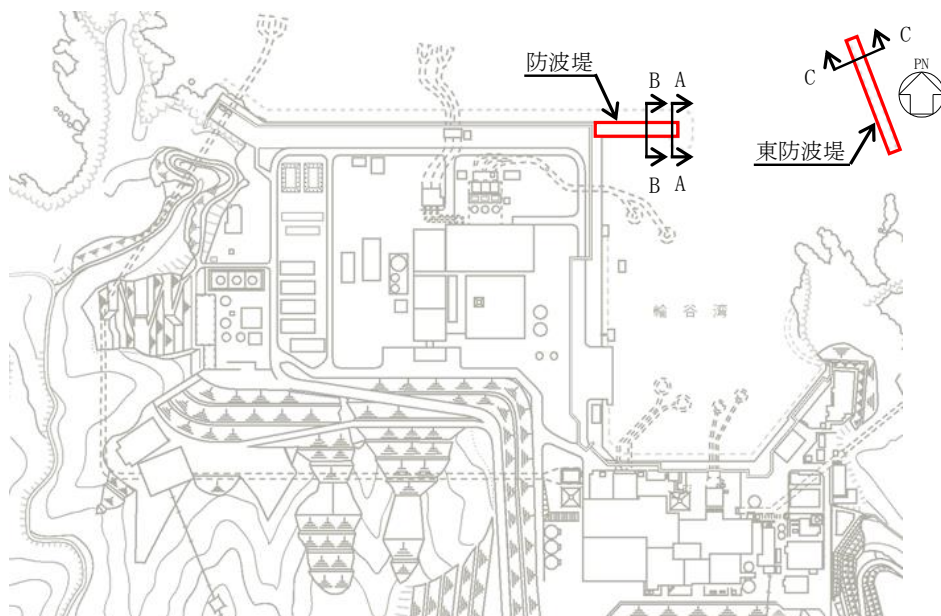


第 2.5-23 図 取水口呑口概要図

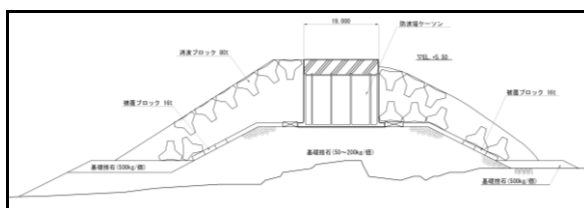
③防波堤

防波堤の配置及び構造概要を第 2.5-24 図に示す。

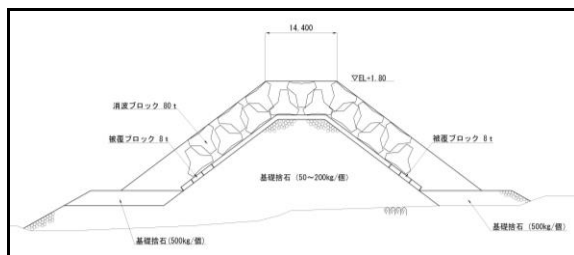
図に示されるとおり、防波堤と東防波堤から成り、ケーソン式混成堤と混成傾斜堤により構成されている。2号炉の取水口との位置関係としては、取水口から最短約 340m の位置に防波堤（ケーソン式混成堤）が配置されている。



防波堤 標準部 (A-A 断面)



防波堤 堤頭部 (B-B 断面)



東防波堤 標準部 (C-C 断面)

第 2.5-24 図 防波堤の配置及び構造概要

防波堤と2号炉の取水口との間には最短で約340mの距離があるが、防波堤は津波影響軽減施設として設計しているものではないため、地震や津波波力、津波時の越流による洗掘により漂流・滑動する可能性について検討する。

漂流に対する評価として、第2.5-24図に示す防波堤の主たる構成要素である防波堤ケーソン、消波ブロック、被覆ブロック及び基礎捨石は海水の比重より大きいことから、漂流して取水口に到達することはない。

また、損傷した状態で津波による流圧力を受けることにより、滑動する可能性が考えられるが、防波堤近傍の津波流速(3m/s)に対して保守的に発電所近傍の最大流速(10m/s)を用いて安定質量の評価を行うと、コンクリートの安定質量は約195t、石材の安定質量は215tと算定される。これに対し、防波堤ケーソンを除く消波ブロック、被覆ブロック及び基礎捨石は、安定質量を有しないことから、滑動すると評価する。

滑動すると評価した防波堤構成要素のうち、消波ブロック及び被覆ブロックについては、イスバッシュ式より安定流速がそれぞれ8.6m/s、5.8～6.5m/sと算出されており、安定流速を上回る取水口への連続的な流れが発生していないこと、防波堤から2号炉取水口との間に距離があることから取水口に到達することはない。

なお、50kg～500kg程度の基礎捨石については、被覆ブロック等の下層に敷かれていること、2号炉の取水口との間に距離があること、港湾内に沈んだ場合においても海底面から取水口呑口下端まで5.5mの高さがあることを考えると、津波により滑動、転動し、取水口に到達することはない。

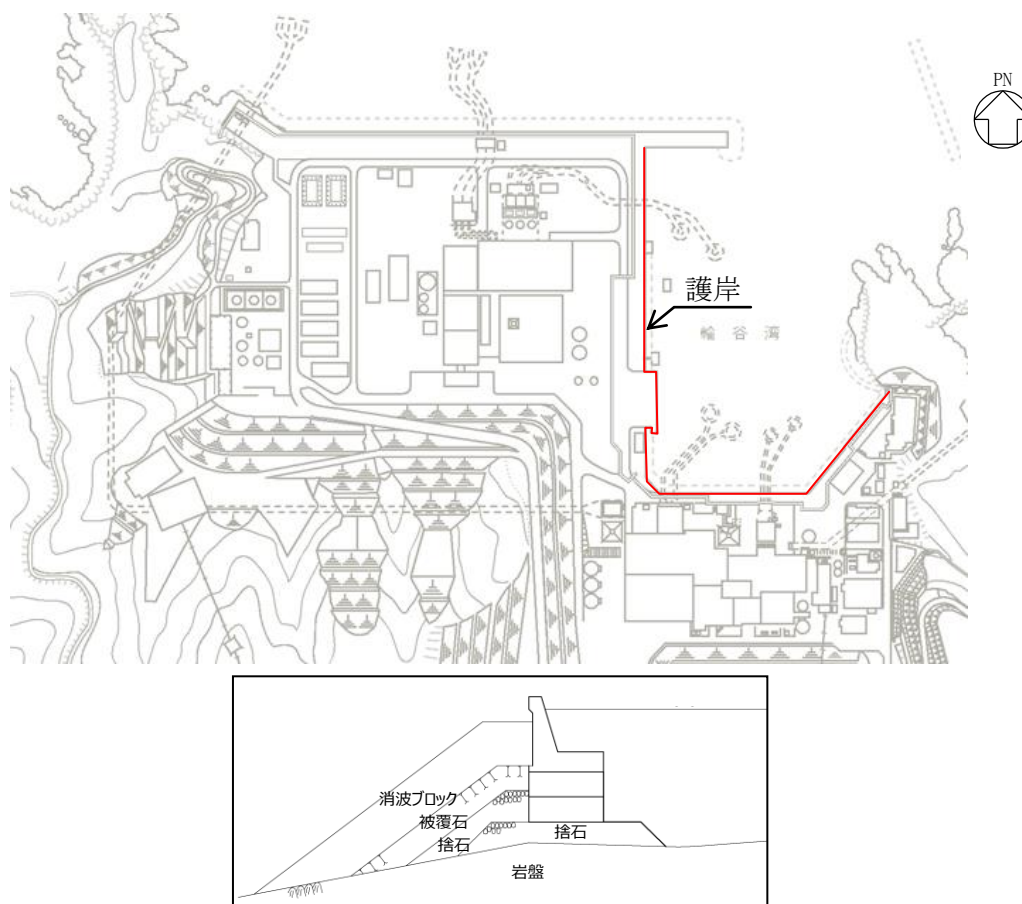
以上より、防波堤は地震あるいは津波により損傷した場合においても、非常用海水冷却系に必要な2号炉の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼすことはないものと評価する。

④護岸

護岸の配置及び構造概要を第 2.5-25 図に示す。

図に示されるとおり、護岸前面は消波ブロック、被覆石及び捨石により構成されている。

2号炉の取水口との位置関係としては、取水口から最短約 75m の位置に護岸が配置されている。



第 2.5-25 図 護岸の配置及び構造概要

護岸と 2号炉の取水口との間には最短で約 75m の距離があるが、地震や津波波力により漂流・滑動する可能性が考えられる。

漂流に対する評価として、消波ブロック、被覆石及び捨石は海水の比重より大きいことから、漂流して取水口に到達することはない。

また、護岸近傍の津波流速 (7m/s) に対して保守的に発電所近傍の最大流速 (10m/s) を用いて安定質量の評価を行うと、コンクリートの安定質量は約 195t、石材の安定質量は 215t と算定される。護岸の主たる構成要素である消波ブロック、被覆石及び捨石はいずれも安定質量を有しないことから、滑動すると評価する。

港湾内に沈んだ場合においても、海底面から取水口呑口下端まで 5.5m の高さがあることから、消波ブロック、被覆石及び捨石が取水口に到達する

ことはないと評価した。また、防波壁東端部付近に落石を確認しているが、落石は消波ブロック(12.5t)より小さく、上記と同様な評価となる。

以上より、護岸は地震あるいは津波により損傷した場合においても、非常用海水冷却系に必要な2号炉の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼすことはないものと評価する。

これらの評価結果について、第2.5-3表にまとめて示す。

＜安定質量の試算＞

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾の流れに対する被覆材の所要質量の評価手法に基づき、発電所近傍の最大流速の条件(添付資料 18 より最大約 10m/s)における安定質量を算定すると下表の結果となる。

これより、コンクリート塊については質量が 195t 程度、石材については質量が 215t 程度あれば安定することが分かる。

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

港湾の施設の技術上の基準・同解説 (抜粋)

1. 7. 3 流れに対する被覆石及びブロックの所要質量

(1) 一般

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

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

ここに、

M : 捨石等の安定質量 (t)

ρ_r : 捨石等の密度 (t/m^3)

U : 捨石等の上面における水の流れの速度 (m/s)

g : 重力加速度 (m/s^2)

γ : イスバッシュ(Isbash)の定数(埋め込まれた石にあつては 1.20,露出した石にあつては 0.86)

S_r : 捨石等の水に対する比重

θ : 水路床の軸方向の斜面の勾配 ($^\circ$)

- 条件 : ①津波流速 U : 10m/s
 ②重力加速度 g : 9.8m/s²
 ③イスバッシュの定数 γ : 0.86
 ④斜面の勾配 : 0.0 $^\circ$

材料	ρ (t/m^3) [*]	S_r (= $\rho / 1.03$)	M (t)
コンクリート	2.34	2.27	195
石材	2.29	2.22	215

※コンクリートの比重は道路橋示方書・同解説より設定, 石材の比重は港湾の施設の技術上の基準・同解説より設定。

参考文献

1) (社)日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻), pp.561, 2007.

2) 三井順, 松本朗, 半沢稔: イスバッシュ式の導出過程と防波堤を越流する津波への適用性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, pp. I_1063-I_1068, 2015.

第 2.5-3 表 漂流物評価結果（発電所構内海域（輪谷湾））

No.	分類	名称	重量	Step1（漂流する可能性）		Step2 （到達する可能性）	Step3 （閉塞する可能性）	評価
				検討結果	比重			
①		燃料等輸送船	約 5,000t	【判断基準:d】 日本海東縁部に想定される地震による津波に対しては、緊急回避に係る手順が整備されており緊急回避の実効性を確認した。 また、海域活断層に想定される地震による津波に対しては、荷揚場に係留することから漂流物とならない。	-	-	-	I
②	船舶	温排水影響調査作業船	約 10t	【判断基準:h】 日本海東縁部に想定される地震による津波に対しては、緊急回避に係る手順を整備し、緊急回避が可能であることを確認する。 一方、海域活断層に想定される地震による津波に対しては、緊急回避できず、輪谷湾内で漂流する可能性がある。	-	-	-	III (IV)
		人工リーフ海藻草調査作業船	約 3～6t					
		格子状定線水温測定作業船	約 3t					
		港漏油拡散防止業務作業船	1t 未満～約 10t					
		環境試料採取作業船	1t 未満～約 3t					
		海象計点検作業船	約 2～10t					
		使用済燃料の輸送に伴う作業船	約 2～10t					
		フラッグゲート点検作業船	約 7t					

第 2.5-3 表 漂流物評価結果 (発電所構内海域 (輪谷湾))

No.	分類	名称	重量	Step1 (漂流する可能性)		Step2 (到達する可能性)	Step3 (閉塞する可能性)	評価	
				漂流					
				検討結果	比重※				
③	防波堤	防波堤 ケーソン	10,000t 以上	【判断基準:b】 当該設備と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。	【判断基準:f】 発電所近傍の最大流速 10.0m/s に対して、当該設備の安定流速は 19.2m/s 以上であることから、滑動しない。	-	-	II	
									コンクリート比重 【2.34】
		消波 ブロック	80t	【判断基準:b】 当該設備と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。	【判断基準:g】 安定流速を上回る取水口への連続的な流れは確認されないとから取水口へ到達しない。	-	-	-	III
		基礎捨石	50~500kg		【判断基準:h】 港湾内に沈んだ場合においても、海底面から 5.5m の高さがある取水口に到達することはない。				

※コンクリートの比重は道路橋示方書・同解説より設定、石材の比重は港湾の施設の技術上の基準・同解説より設定。

第 2.5-3 表 漂流物評価結果（発電所構内海域（輪谷湾））

No.	分類	名称	重量	Step1（漂流する可能性）			Step2 （到達する可能性）	Step3 （閉塞する可能性）	評価
				漂流		滑動			
				検討結果	比重※				
④	護岸	消波ブロック	12.5t	【判断基準:b】 当該設備と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。	コンクリート比重 【2.34】	発電所近傍の最大流速 10.0m/s に対して、当該設備の安定流速はそれぞれ、6.3m/s、4.3m/s、2.2m/s 以上であることから、滑動する。	【判断基準 h】 港湾内に沈んだ場合においても、海底面から 5.5m の高さがある取水口に到達することはない。	-	III
		被覆石	1.5t		石材比重 【2.29】				
		捨石	30kg 以上		石材比重 【2.29】				


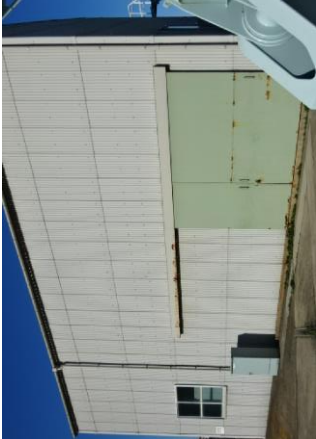





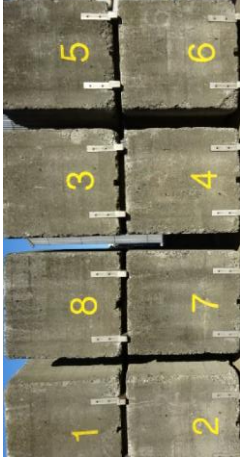
※コンクリートの比重は道路橋示方書・同解説より設定、石材の比重は港湾の施設の技術上の基準・同解説より設定。

ii. 発電所構内陸域における評価


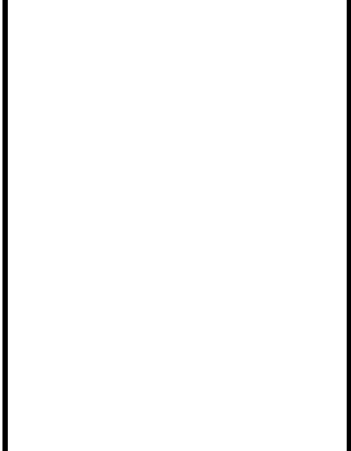






本調査範囲（構内・陸域）は防波壁外側の津波遡上域である荷揚場周辺である。第 2.5-17 図に示した本調査範囲にある漂流物となる可能性のある施設・設備等は、大別すると、第 2.5-4 表のように分類でき、評価はこの施設・設備等の分類ごとに行った。抽出した設備を第 2.5-26 図に示す。なお、荷揚場作業に係る車両・資機材については、添付資料 35 に示すとおり漂流物になることはない。

第 2.5-4 表 荷揚場にある漂流物となる可能性のある施設・設備等の分類

分類		漂流物となる可能性のある施設・設備
No.	種類	
①	鉄骨造建物	荷揚場詰所
		デリッククレーン巻上装置建物
②	機器類	キャスク取扱収納庫
		デリッククレーン
		デリッククレーン荷重試験用品①
		デリッククレーン荷重試験用品②
		デリッククレーン荷重試験用品③
		デリッククレーン荷重試験用ウエイト
		オイルフェンスドラム・オイルフェンス
		変圧器盤・ポンプ制御盤①
		変圧器盤・ポンプ制御盤②
		変圧器盤・ポンプ制御盤③
③	その他 漂流物になり得る物	防舷材（フォーム式）
		防舷材（空気式）
		エアコン室外機
		電柱・電灯
		枕木
		H 型鋼
		廃材箱
		フェンス
		案内板


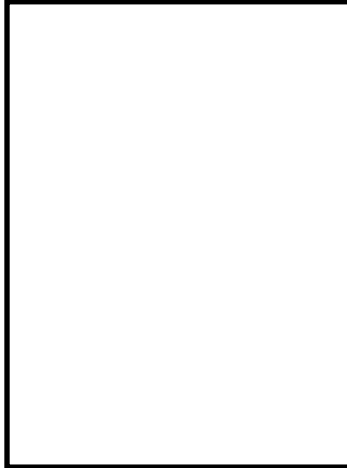



			
<p>荷揚場詰所</p> 	<p>デリッククレーン巻上装置建物</p> 	<p>キャスタク取扱収納庫</p> 	<p>デリッククレーン</p> 
<p>デリッククレーン荷重試験用品 ①</p>	<p>デリッククレーン荷重試験用品 ②</p>	<p>デリッククレーン荷重試験用品 ③</p>	<p>デリッククレーン荷重試験用ウ エイト</p>

第 2.5-26-1 図 荷揚場周辺にある漂流物となる可能性のある施設・設備

			
<p>オイルフェンスドラム・ オイルフェンス</p>	<p>変圧器盤・ポンプ制御盤①</p>	<p>変圧器盤・ポンプ制御盤②</p>	<p>変圧器盤・ポンプ制御盤③</p>
			
<p>防舷材 (フォーム式)</p>	<p>防舷材 (空気式)</p>	<p>エアコン室外機</p>	<p>電柱・電灯</p>

第2.5-26-2 図 荷揚場周辺にある漂流物となる可能性のある施設・設備

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

	<p>フェンス</p>
	<p>廃材箱</p>
	<p>H型鋼</p>
	<p>枕木</p>  <p>案内板</p>

第 2.5-26-3 図 荷揚場周辺にある漂流物となる可能性のある施設・設備

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

漂流物となる可能性のある施設・設備等として抽出されたもののうち、第2.5-18図に示す漂流物の選定・影響フローに従って、漂流する可能性(Step1)、到達する可能性(Step2)及び閉塞する可能性(Step3)の検討を行い、取水性への影響を評価した。

なお、調査範囲(発電所構内陸域)については、漂流する可能性(Step1)において、滑動する可能性の検討を実施する。滑動する可能性を検討する上で用いる流速は、荷揚場における最大流速11.9m/sとする(添付資料31参照)。また、評価にあたっては、発電所構内(海域)における評価において示したイスバッシュ式を用いた。

①鉄骨造建物

荷揚場詰所及びデリッククレーン巻上装置建物は、鉄骨造の建物で、扉や窓等の開口部及び壁材は地震又は津波波力により破損して気密性が喪失し、施設内部に津波が流入すると考えられる。また、東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物の実績から、鉄骨造の建物は津波波力により壁材等が施設本体から分離して漂流物となったが建物自体は漂流していないこと、主材料である鋼材の比重(7.85)が海水の比重(1.03)を上回っていることから、施設本体は漂流物とはならないと評価した。また、施設本体の滑動についても、施設本体が鉄骨であり、津波の波力を受けにくい構造であること、東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物の実績でも鉄骨造の建物本体が漂流していないことから、滑動しないと評価した。一方、施設本体から分離した壁材等については、がれき化して漂流物となる可能性があるが、比重が海水比重を下回る物は、取水口上部の水面に留まることから、水中にある取水口に到達することはなく、比重が海水比重を上回る物は、津波波力を受けにくい構造であることから、滑動しないと評価した。

②機器類

キャスク取扱収納庫については、中が空洞であり、気密性を有するため、漂流するものとして評価した。ただし、気密性があり漂流物となる設備は、取水口上部の水面に留まることから、水中にある取水口に到達することはないと考える。万一、取水口呑口上部で沈降したとしても、取水口呑口の断面寸法並びに非常用海水冷却系に必要な通水量及びキャスク取扱収納庫の寸法(長さ約8m、高さ約4.5m、幅約4.5m)から、その接近により取水口が閉塞し、非常用海水冷却系に必要な取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼさないと考えられる。

デリッククレーン及びデリッククレーン荷重試験用品①～③については、主材料である鋼材の比重(7.85)と海水比重(1.03)を比較した結果、

当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とならないと評価した。また、滑動については、当該設備は線状構造であり、津波波力を受けにくい構造であることから、滑動しないと評価した。

デリッククレーン荷重試験用ウェイトについては、主材料であるコンクリートの比重 (2.34) と海水比重 (1.03) を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とならないと評価した。また、滑動については、荷揚場における最大流速 11.9m/s に対し、安定流速が 6.9m/s であったことから、滑動すると評価した。ただし、滑動し港湾内に沈んだ場合においても、海底面から取水口呑口下端まで 5.5m の高さがあることから、本設備の形状(高さ約 1.5m×長さ約 3m×幅 1.25m)を考慮すると取水口に到達することはないと評価した。

オイルフェンスドラム・オイルフェンスについては、主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水比重 (1.03) を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とならないと評価した。また、滑動については、当該設備は格子状の構造であり、津波波力を受けにくい構造であることから、滑動しないと評価した。

変圧器盤・ポンプ制御盤①～③については、主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水比重 (1.03) を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とならないと評価した。また、滑動については、軽量物であることから、滑動すると評価した。ただし、滑動した場合においても、港湾内に沈むため、海底面から取水口呑口下端まで 5.5m の高さを有する取水口に到達することはないと評価した。

③その他漂流物になり得る物品

防舷材 (フォーム式及び空気式) については、重量が比較的軽く気密性があるため、漂流物となると評価した。ただし、気密性があり漂流物となるものは、取水口上部の水面に留まるため、取水口に到達することはないと評価した。

エアコン室外機については、主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水比重 (1.03) を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから、漂流物とならないと評価した。また、滑動については、軽量物であることから、滑動すると評価した。ただし、滑動した場合においても、港湾内に沈むため、海底面から取水口呑口下端まで 5.5m の高さを有する取水口に到達することはないと評価した。

電柱、電灯等については、主材料であるコンクリートの比重 (2.34) と海水比重 (1.03) を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とならないと評価した。また、滑動については、当該設備は細長い円筒形の構造であり、津波波力を受けにくい構造であることから、滑動しないと評価した。

枕木については、主材料である木の比重（1以下）と海水比重（1.03）を比較した結果、漂流物となると評価した。ただし、漂流物した場合においても、取水口上部の水面に留まるため、取水口に到達することはないと評価した。

H型鋼については、主材料である鋼材の比重（7.85）と海水比重（1.03）を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから、漂流物とならないと評価した。また、滑動については、軽量物であることから、滑動すると評価した。ただし、滑動した場合においても、港湾内に沈むため、海底面から取水口呑口下端まで5.5mの高さを有する取水口に到達することはないと評価した。

廃材箱については、上部は開口しているが、気密性を有した形状で漂流物になる可能性があることから、漂流すると評価した。ただし、漂流した場合においても、取水口上部の水面に留まる場合は取水口に到達せず、港湾内に沈む場合は海底面から取水口呑口下端まで5.5mの高さを有する取水口に到達することはないと評価した。

フェンスについては、主材料である鋼材の比重（7.85）と海水比重（1.03）を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから、漂流物とならないと評価した。また、滑動については、当該設備は格子状の構造であり、津波波力を受けにくい構造であることから、滑動しないと評価した。

案内板については、主材料であるコンクリートの比重（2.34）と海水比重（1.03）を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とならないと評価した。また、滑動については、当該設備は線状構造であり、津波波力を受けにくい構造であることから、滑動しないと評価した。

以上の評価を第2.5-5表にまとめて示す。

第 2.5-5 表 (1) 漂流物評価結果 (発電所構内陸域) (Step1)

No.	評価分類	種類	名称	主材料	重量	Step1			評価	
						漂流	比重	滑動		
						検討結果	比重	設置場所	検討結果	
1	①	鉄骨造 建物	荷揚場 詰所	施設本体 (鋼材) 壁材 (ALC 版)	-	【判断基準:b, c】 扉や窓等の開口部及び壁材等が地震又は津波波力により破損して気密性が喪失し、施設内部に津波が流入する。施設本体については、主材料である鋼材の比重から漂流物とはならない。また、壁材 (スレート) は海水の比重と比較した結果、漂流物とはならない。	《施設本体》 鋼材比重 【7.85】	発電 所敷 地内	【判断基準:e】 施設本体 (鉄骨のみ) は、津波波力を受けにくい構造であるとともに、3.11 地震に伴う津波の実績から滑動しない。	II
2						デリック クレーン 巻上装置 建物	施設本体 (鋼材) 壁材 (スレート)		-	

第 2.5-5 表 (2) 漂流物評価結果 (発電所構内陸域) (Step1)

No.	評価分類	種類	名称	主材料	重量	Step1			評価
						漂流	発電所敷地内	滑動	
3			キヤスク 取扱収納庫	鋼材	カバー部： 約 4.3t 定盤部： 約 7.9t	中が空洞であり，気密性を有する ため，漂流する可能性がある ものとして評価。	—	—	Step2 (漂流)
4			デリック クレーン	鋼材	約 144 t	【判断基準:b】 当該設備の比重と海水の比重を 比較した結果，漂流物とは ならない。	鋼材比重 【7.85】	【判断基準:e】 線状構造であり，津波波力を受 けにくいため，滑動しない。	II
5	②	機器類	試験用品①	鋼材	約 6.2t	【判断基準:b】 当該設備の比重と海水の比重を 比較した結果，漂流物とは ならない。	鋼材比重 【7.85】	【判断基準:e】 線状構造であり，津波波力を受 けにくいため，滑動しない。	II
試験用品②			約 11t						
試験用品③			—						
8			試験用 ウエイト	コンク リート	約 22t	【判断基準:b】 当該設備の比重と海水の比重を 比較した結果，漂流物とは ならない。	コンク リート 比重 【2.34】	荷揚場における最大流速 11.9m/s に対して，当該設備の安定流速は 6.95m/s であることから，滑動する。	Step2 (滑動)

第 2.5-5 表 (3) 漂流物評価結果 (発電所構内陸域) (Step1)

No.	評価分類	種類	名称	主材料	重量	Step1		評価	
						漂流	滑動		
9			オイルフェン・ドラム・オイルフェンス	鋼材	約 3.8t	【判断基準:b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。	鋼材比重 【7.85】	発電所敷地内 【判断基準:e】 格子状の構造であり、津波波力を受けにくいいため、滑動しない。	II
10		機器類	変圧器・ポンプ制御盤①		約 0.1t	【判断基準:b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。	鋼材比重 【7.85】	発電所敷地内	Step2 (滑動)
11			変圧器・ポンプ制御盤②	鋼材	—				
12	③		変圧器・ポンプ制御盤③		約 0.04t				
13		その他漂流物となり得る物	防舷材 (フォーム式)	ゴム	約 1t	重量が比較的軽く、気密性があるため、漂流する可能性があると評価。	—	発電所敷地内	Step2 (漂流)
14			防舷材 (空気式)	ゴム	約 0.5t				

第 2.5-5 表 (4) 漂流物評価結果 (発電所構内陸域) (Step1)

No.	評価分類	種類	名称	主材料	重量	Step1			評価	
						漂流	鋼材比重	発電所敷地内		滑動
15			エアコン 室外機	鋼製	約 0.2t	【判断基準:b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。	鋼材比重 【7.85】	発電所敷地内	軽量であり、滑動するものとして評価した。	Step2 (滑動)
16		その他 漂流物 となり 得る物	電柱・電灯	コンクリート	約 0.1t	【判断基準:b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。	コンクリート 比重 【2.34】	発電所敷地内	【判断基準:e】 細長い円筒形の構造であり、津波波力を受けにくいため、滑動しない。	II
17	③		枕木	木	約 12kg	当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流する可能性がある。	木材比重 【1以下】	発電所敷地内	—	Step2 (漂流)
18			H 型钢	鋼製	約 0.4t	【判断基準:b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。	鋼材比重 【7.85】	発電所敷地内	軽量であり、滑動するものとして評価した。	Step2 (滑動)
19			廃材箱	鋼製	約 0.9t	気密性を有した形状で漂流物となる可能性があることから、漂流する可能性があるとして評価。	鋼材比重 【7.85】	発電所敷地内	—	Step2 (漂流)

第 2.5-5 表 (5) 漂流物評価結果 (発電所構内陸域) (Step1)

No.	評価分類	種類	名称	主材料	重量	Step1			評価	
						漂流		滑動		
20	③	その他漂流物となり得る物	フェンス	鋼製	約 10kg	【判断基準:b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。	鋼材比重 【7.85】	発電所敷地内	【判断基準:e】 格子状の構造であり、津波波力を受けにくいため、滑動しない。	II
						【判断基準:b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。	コンクリート 【2.34】	発電所敷地内	【判断基準:e】 線状構造であり、津波波力を受けにくい ため、滑動しない。	
21			案内板	コンクリート	約 60 kg					II

第 2.5-5 表 (6) 漂流物評価結果 (発電所構内陸域) (Step2~3)

No.	評価分類	種類	名称	主材料	Step1 の結果	Step2 (到達する可能性)	Step3 (閉塞する可能性)	評価
2	①	鉄骨造 建物	荷揚場 詰所	施設本体 (鋼材) 壁材 (ALC 版)	地震又は津波波力により施設本体から分離した海水比重を下回る壁材については、がれき化して漂流となる。	【判断基準 h】 想定する壁材については、がれき化して漂流物となる可能性があるが、取水口上部の水面に留まることから、水中にある取水口に到達しない。	—	III
3	②	機器類	キャスク 取扱収納庫	鋼材	中が空洞であり、気密性を有するため、漂流する可能性がある。	【判断基準 h】 気密性があり漂流物となる設備は、取水口上部の水面に留まるため、取水口に到達しない。	— 【判断基準 i】 万一、取水口呑口上部で沈降したとしても、取水口呑口の断面寸法並びに非常用海水冷却系に必要な通水量及びキャスク取扱収納庫の寸法から、その接近により取水口が閉塞しない。	III (IV)
8			デリッククレーン試験用ウエイト	コンクリート	荷揚場における最大流速 11.9m/s に対して、当該設備の安定流速は 6.9m/s であることから、滑動する。	【判断基準 h】 滑動し港湾内に沈んだ場合においても、海底面から 5.5m の高さがある取水口に到達することはない。	—	III

第 2.5-5 表 (7) 漂流物評価結果 (発電所構内陸域) (Step2~3)

No.	評価分類	種類	名称	主材料	Step1 の結果	Step2 (到達する可能性)	Step3 (閉塞する可能性)	評価
10	②	機器類	変圧器・ポン プ制御盤①	鋼材	軽量であり、滑動すると して評価。	【判断基準:i】 滑動し港湾内に沈んだ場合に おいても、海底面から 5.5m の 高さを有する取水口に到達す ることはない。	-	III
11			変圧器・ポン プ制御盤②					
12			変圧器・ポン プ制御盤③					
13	③	その他 漂流物 となり 得る物	防舷材 (フォーム 式)	ゴム	重量が比較的軽く、気密 性があるため、漂流する 可能性があるものとし て評価。	【判断基準 i】 気密性があり漂流物となる設 備は、取水口上部の水面に留 まるため、取水口に到達しな い。	-	III
14			防舷材 (空気式)	ゴム				
15			エアコン 室外機	鋼製	軽量であり、滑動すると して評価。			

第 2.5-5 表 (8) 漂流物評価結果 (発電所構内陸域) (Step2~3)

No.	評価分類	種類	名称	主材料	Step1 の結果	Step2 (到達する可能性)	Step3 (閉塞する可能性)	評価
17			枕木	木	当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流する可能性があるものとして評価。	【判断基準 i】 取水口上部の水面に留まるため、取水口に到達しない。	—	III
18			H 型钢	鋼製	軽量であり、滑動するものとして評価。	【判断基準 i】 滑動し港湾内に沈んだ場合においても、海底面から 5.5m の高さを有する取水口に到達することはない。	—	III
19	③	その他漂流物となり得る物	廢材箱	鋼製	気密性を有した形状で漂流物となる可能性があることから、漂流するものとして評価。	【判断基準 i】 気密性を有した状態で漂流する場合は、取水口上部の水面に留まるため、取水口に到達しない。 また、気密性を有さない状態で滑動し、港湾内に沈んだ場合においても、海底面から 5.5m の高さを有する取水口に到達することはない。	—	III

(b) 発電所構外における評価

i. 発電所構外海域における評価

調査範囲内にある港湾施設としては、発電所西方1 km 程度に片句漁港^{かたぐ}、発電所西方2 km 程度に手結漁港^{たゆ}、南西2 km 程度に恵曇漁港^{えとも}、東方3 km 及び4 km 程度に御津漁港^{みつ}、大芦漁港^{おわし}があり、漁船が停泊している。

また、発電所から2 km から3 km 程度離れた位置に定置網の設置海域がある。

この他に調査範囲内を航行し得る船舶として発電所から3.5 km 以内に漁船等の総トン数30t 程度の比較的小型な船舶が、3.5 km 以遠に巡視船、引き船、タンカー、貨物船等の総トン数100t を超える比較的大型な船舶が挙げられた。

なお、^{くけど}潜戸に観光遊覧船航路があるが、航路上の最も接近する位置でも発電所から5 km 以上の距離があり、調査範囲内を航行するものではない。

抽出された以上の船舶に対して第2.5-18 図に示したフローにより2号炉の取水口及び取水路の通水性に与える影響評価を実施した。

第2.5-6 表 発電所構外海域における漂流物調査結果

No.	名称	種類	設置箇所	発電所からの距離	総トン数
①	船舶 (漁船等)	船舶	片句漁港 (停泊)	西方約 1km	最大約 13t
			手結漁港 (停泊)	西方約 2km	最大約 10t
			恵曇漁港 (停泊)	南西約 2km	最大約 19t
			御津漁港 (停泊)	東方約 3km	最大約 12t
			大芦漁港 (停泊)	東方約 4km	最大約 3t
② ^{※1}	漁船	船舶	前面海域 (航行)	3.5km 以内	約 30t ^{※2}
	プレジャーボート	船舶			約 30t ^{※2}
	巡視船	船舶		3.5km 以遠	約 2,000t ^{※3}
	引き船	船舶			約 200t ^{※3}
	タンカー	船舶			約 1000t～2000t ^{※3}
	貨物船	船舶			約 500t～2500t ^{※3}
	帆船	船舶			約 100t ^{※3}
③	定置網	漁具	前面海域	西方約 2km	—
				東方約 3km	—

※1 海上保安庁への聞取調査結果 (平成 30 年 1 月～平成 30 年 12 月実績) を含む。

※2 船種・船体長から「漁港, 漁場の施設の設計参考図書」に基づき算定。なお、プレジャーボートについては、船体長が不明であることから、同設計図書に示される最大排水トン数とした。

※3 船種・船体長から「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に基づき算定。

①船舶（漁船等）

発電所周辺の漁港の船舶としては、発電所近傍で航行又は操業する漁船等と漁港に停泊する漁船等について評価を実施した。

発電所近傍で航行又は操業する漁船等については、大津波警報発令時には沖合に退避等を実施することから、日本海東縁部に想定される地震による津波に対しては、発電所に対する漂流物とならない。

島根原子力発電所に襲来が想定される津波のうち、時間的な余裕がない海域活断層から想定される地震による津波に対しては、退避等が実施できない可能性があるため、基準津波の流向・流速等の分析を踏まえ、3号護岸及び輪谷湾に到達する可能性について評価を実施した。その結果、添付資料36に示すとおり、海域活断層から想定される地震による津波は、発電所方向への連続的な流れはなく、発電所近傍で航行又は操業する漁船等は3号護岸及び輪谷湾に到達しないと判断した。

発電所周辺の漁港に停泊する漁船等についても、添付資料36に示すとおり、日本海東縁部に想定される地震による津波及び海域活断層から想定される地震による津波共に、周辺の漁港から発電所方向への連続的な流れはなく、3号護岸及び輪谷湾に到達しないと判断した。

以上のことから、発電所構外海域において抽出された周辺漁港の船舶、航行又は操業中の漁船等については、いずれも取水口及び津波防護施設に到達しないと評価した。

②船舶（発電所前面海域を航行する船舶）

発電所前面海域を航行する船舶としては、発電所から 3.5km 以内において漁船、プレジャーボート（総トン数 30t 程度の比較的小型の船舶）が、発電所から 3.5km 以遠において巡視船、引き船、タンカー、貨物船、帆船（総トン数 100t 以上の比較的大型の船舶）が確認された。

これらの船舶は、航行中であれば、津波襲来前に沖合への退避が十分に可能であり、漂流物にならないと考えられる。なお、基準津波による水位変動については、基準津波の策定位置（発電所沖合 2.5km 程度）において、2m 程度の水位変動である。

発電所から 3.5km 以内を航行する漁船、プレジャーボートについても、海上保安庁への聞取調査結果より発電所から約 2km 離れた沖合を航行しており、津波襲来前に沖合への退避が十分に可能である。

以上のことから、発電所前面海域を航行中の船舶は漂流物にならないと考えるが、基準津波の流向・流速等の分析を踏まえ、3号護岸及び輪谷湾に到達する可能性についても評価を実施した。評価については、添付資料 36 に示すとおり発電所方向への連続的な流れはなく、3号護岸及び輪谷湾に到達しないと判断した。また、第 2.5-13 図に示す 3km、5km の計 6 地点の軌跡解析の結果（第 2.5-14 図）からも、3km 以遠を航行する船舶は、津波によりほぼ移動しないことが確認される。

③定置網

定置網については、上述した基準津波の流向・流速を踏まえ、3号護岸及び輪谷湾に到達しないと評価した。

第 2.5-7 表に評価結果を示す。

第 2.5-7 表 漂流物評価結果 (発電所構外海域)

No.	分類	名称	設置箇所	Step1 (漂流する可能性)	Step2 (到達する可能性)	Step3 (閉塞する可能性)	評価
①		漁船	片匂漁港 (停泊)	漂流する可能性があるものとして、3号護岸及び輪谷湾に到達する可能性について評価する。	【判断基準:g】 流向・流速ベクトルから発電所方向への連続的な流れはなく、3号護岸及び輪谷湾に到達しない。なお、港湾部はその形状から、押し波後はすぐに引き波に転じることから、発電所の港湾内に設置する取水口に到達しないと評価。	-	III
			手結漁港 (停泊)				
			恵曇漁港 (停泊)				
			御津漁港 (停泊)				
			大芦漁港 (停泊)				
			3号護岸近傍 (航行)	大津波警報発令時には沖合に退避等することから、日本海東縁部に想定される地震による津波に対しては、漂流物とならない。	【判断基準:g】 流向・流速ベクトルから発電所方向への連続的な流れはなく、3号護岸及び輪谷湾に到達しない。なお、港湾部はその形状から、押し波後はすぐに引き波に転じることから、発電所の港湾内に設置する取水口に到達しないと評価。		III
	船舶		輪谷湾近傍 (航行)	一方、海域活断層から想定される地震による津波に対しては、3号護岸及び輪谷湾に到達する可能性について評価する。			
②		漁船 プレジャーボート	前面海域 (航行)	海上保安庁への聞取調査結果より発電所から約2km離れた沖合を航行しており、津波襲来前に沖合への退避が十分に可能である。	【判断基準:g】 流向・流速ベクトルから発電所方向への連続的な流れはなく、3号護岸及び輪谷湾に到達しない。なお、港湾部はその形状から、押し波後すぐに引き波に転じることから、発電所の港湾内に設置する取水口に到達しないと評価。	-	III
				なお、基準津波の策定位置(発電所沖合2.5km程度)において、2m程度の水位変動である。以上より、漂流物とならないと考えられるが、3号護岸及び輪谷湾に到達する可能性について評価する。			

第 2.5-7 表 漂流物評価結果（発電所構外海域）

No.	分類	名称	設置箇所	Step1 (漂流する可能性)	Step2 (到達する可能性)	Step3 (閉塞する可能性)	評価
②	船舶	巡視船	前面海域（航行）	海上保安庁への聞取調査結果より発電所から 3.5km 以上離れた沖合を航行しており、津波襲来前に沖合への退避が十分に可能である。なお、基準津波の策定位置（発電所沖合 2.5km 程度）において、2m 程度の水位変動がある。	【判断基準:g】 流向・流速ベクトルから発電所方向への連続的な流れはなく、3号護岸及び輪谷湾に到達しない。なお、港湾部はその形状から、押し波後はすぐに引き波に転じることから、発電所の港湾内に設置する取水口に到達しないと評価。	-	III
		引き船					
		タンカー					
		貨物船					
		帆船		以上より、漂流物とならないと考えられるが、3号護岸及び輪谷湾に到達する可能性について評価を実施する。	また、軌跡解析の結果からも、3km以速を航行する船舶は、津波によりほぼ移動しないことが確認された。		
③	漁具	定置網	前面海域	漂流する可能性があるものとして、3号護岸及び輪谷湾に到達する可能性について評価する。	【判断基準:g】 流向・流速ベクトルから発電所方向への連続的な流れはなく、3号護岸及び輪谷湾に到達しない。なお、港湾部はその形状から、押し波後はすぐに引き波に転じることから、発電所の港湾内に設置する取水口に到達しないと評価。	-	III

ii. 発電所構外陸域における評価

調査範囲内にある港湾施設として挙げられた片句漁港^{かたく}、手結漁港^{たゆ}、恵曇漁港^{えども}、御津漁港^{みつ}周辺及び大芦漁港^{おわし}に家屋、車両等が確認された。

発電所構外陸域における漂流物調査結果を第2.5-8表、第2.5-27図に示す。

第2.5-8表 漂流物調査結果

漁港周辺	漂流物調査結果 [※]
片句漁港 ^{かたく} 周辺	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋：94戸 ・車両：約17台 ・工場
手結漁港 ^{たゆ} 周辺	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋：174戸 ・車両：約40台 ・灯台
恵曇漁港 ^{えども} 周辺	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋：525戸 ・車両：約241台 ・灯台 ・工場 ・タンク
御津漁港 ^{みつ} 周辺	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋：152戸 ・車両：約133台
大芦漁港 ^{おわし} 周辺	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋：271戸 ・車両：約215台

※ 家屋については、世帯数を記載。
 車両については、漁港周辺への駐車可能台数を記載。

<p>周辺漁港の位置</p>	<p>片句漁港周辺</p>
<p>手結漁港周辺</p>	<p>恵曇漁港周辺</p>
<p>御津漁港周辺</p>	<p>大芦漁港周辺</p>

第 2.5-27 図 発電所構外陸域における漂流物調査結果

①家屋・車両等

家屋・車両等は漁港周辺に存在しており、津波が遡上して仮に漂流物となった場合においても、i. 発電所構外海域における評価の①船舶（漁船等）に示したとおり、基準津波の流向・流速を踏まえると、3号護岸及び輪谷湾に到達する漂流物とはならないと評価する（添付資料36参照）。

これより、基準津波により漂流物となる可能性がある施設・設備等について、非常用海水冷却系に必要な取水口及び取水路の通水性に影響を与えることがないことを確認した。第2.5-9表に評価結果を示す。

第 2.5-9 表 漂流物評価結果（発電所構外陸域）

No.	分類	名称	設置箇所	Step1 (漂流する可能性)	Step2 (到達する可能性)	Step3 (閉塞する可能性)	評価
①	家屋・ 車両等	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋 ・車両 ・工場 	片句漁港周辺	津波が遡上すること を仮定し、漂流する 可能性があるものと して、3号護岸及び 輪谷湾に到達する可 能性について評価す る。	<p>【判断基準:g】 流向・流速ベクトル から発電所方向へ の連続的な流れは なく、3号護岸及び 輪谷湾に到達しな い。なお、港湾部は その形状から、押し 波後はすぐに引き 波に転じることか ら、発電所の港湾内 に設置する取水口 に到達しないと評 価。</p>	—	III
			手結漁港周辺				
		<ul style="list-style-type: none"> ・家屋 ・車両 ・灯台 	恵曇漁港周辺				
			御津漁港周辺				
		<ul style="list-style-type: none"> ・家屋 ・車両 	大芦漁港周辺				

(c) 漂流物に対する取水性への影響評価

発電所周辺を含め、基準津波により漂流物となる可能性がある施設・設備について、漂流（滑動を含む）する可能性、2号炉取水口に到達する可能性及び2号炉取水口が閉塞する可能性についてそれぞれ検討を行い、原子炉補機冷却海水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系の取水性に影響を及ぼさないことを確認した。

さらに、2号炉の非常用取水設備である取水口は、循環水ポンプの取水路を兼ねており、全体流量に対する非常用海水系ポンプ流量の比（5%未満）から、漂流物により通水面積の約95%以上が閉塞されない限り、取水機能が失われることはない。敷地周辺沿岸域の林木等が中長期的に漂流し輪谷湾に到達した場合を考慮しても、2号炉の取水口は深層取水方式であり、取水口呑口が水面から約9.5m低く、水面上を漂流する林木等は取水口に到達しないため、取水性に影響はない。

なお、津波襲来後、巡視点検等により取水口を設置する輪谷湾内に漂流物が確認される場合には、必要に応じて漂流物を撤去する方針であることから、非常用海水ポンプの取水は可能である。

以上より、漂流物による取水性の影響はなく、検討対象漂流物の漂流防止対策は不要である。

e. 防波壁等に対する漂流物の選定

漂流物による影響としては前述のとおり他に「津波防護施設、浸水防止設備に衝突することによる影響（波及的影響）」があり、2号炉における同影響を考慮すべき津波防護施設としては、基準津波が到達する範囲内に設置される防波壁、防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉が挙げられる。

本設備に対して衝突による影響評価を行う対象漂流物及びその衝突速度は、「d. 通水性に与える影響の評価」における「取水口及び取水路の通水性に与える影響」の評価プロセスを踏まえ、それぞれ次のとおり設定する。

なお、海域活断層から想定される地震による津波については、水位、流向及び流速の評価により漂流物が津波防護施設に到達しないため、日本海東縁部に想定される地震による津波に対して設定する。

・対象漂流物

港湾内の作業船、発電所近傍で航行又は操業する周辺漁港の漁船は、日本海東縁部に想定される地震による津波が発電所に到達するまでの間に退避可能であることから、対象漂流物として考慮しない。

よって、影響評価のプロセスにおいて抽出した、日本海東縁部に想定される地震による津波時に漂流する（滑動を除く）可能性のある荷揚場詰所の壁材（ALC板）、キャスク取扱収納庫、防舷材、枕木、廃材箱を津波防護施設に対する漂流物として考慮する。なお、これらの対象漂流物について、詳細設計段階において漂流物衝突荷重の算定式の適用性を検討し、必要に応じ対策等も踏まえ漂流物衝突荷重を設定する。

・衝突速度

津波防護施設及び浸水防止設備の設置位置における津波流速に基づき、施設護岸（港湾外）では 9.0m/s、施設護岸（港湾内）では 9.0m/s、1号放水連絡通路前では 9.8m/s であるため、10.0m/s とする。（添付資料 18 参照）

(4) 取水スクリーンの破損による通水性への影響

海水中の塵芥を除去するために設置されている除塵装置については、異物の混入を防止する効果が期待できるが、津波時に破損して、それ自体が漂流物となる可能性がある。この場合には、破損・分離し漂流物化した構成部材等が取水路を閉塞させることにより、取水路の通水性に影響を与えることが考えられるため、その可能性について確認を行った。また、除塵装置については、低耐震クラス（Cクラス）設備であることから地震により破損した後に、津波により移動した場合、長尺化を実施した非常用海水ポンプへの波及的影響が考えられることから、これらの影響についても合わせて考察を行った。

結果は以下に示すとおりであり、除塵装置はいずれの場合においても非常用海水冷却系の取水性に影響を与えるものではないことと評価する。

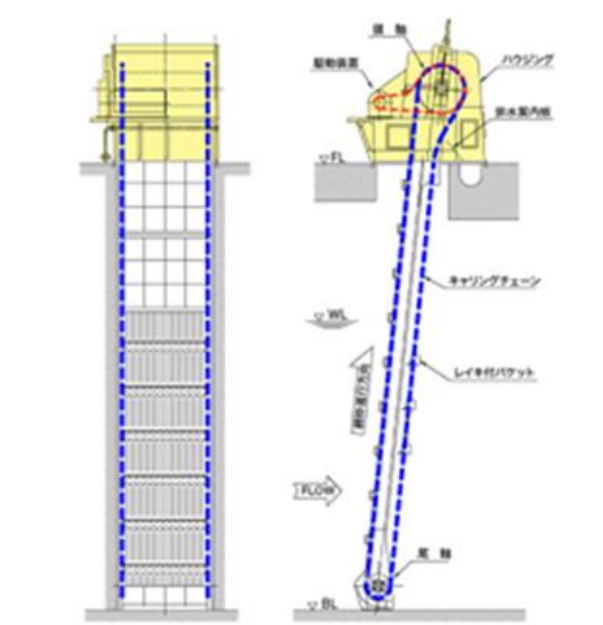
i. 津波による破損に対する評価

a. 確認方法

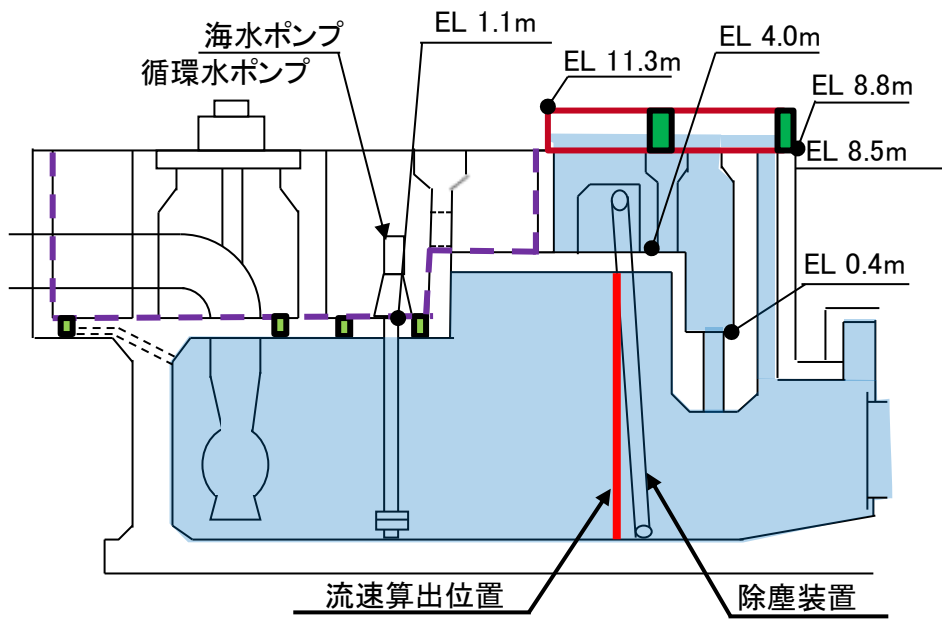
除塵装置の概要は第 2.5-28 図に示すとおりであり、除塵装置はいずれも多数のバケットがキャリングチェーンにより接合される構造となっている。このため、入力津波の流速により生じるスクリーン部の水位差（損失水頭）により、キャリングチェーン及びバケットが破損し、バケットが分離して漂流物化する可能性について確認する。

確認条件（津波流速）の算出位置を第 2.5-29 図、算出位置における流速評価結果を第 2.5-30 図に示す。算出位置における最大流速は 1.93m/s とな

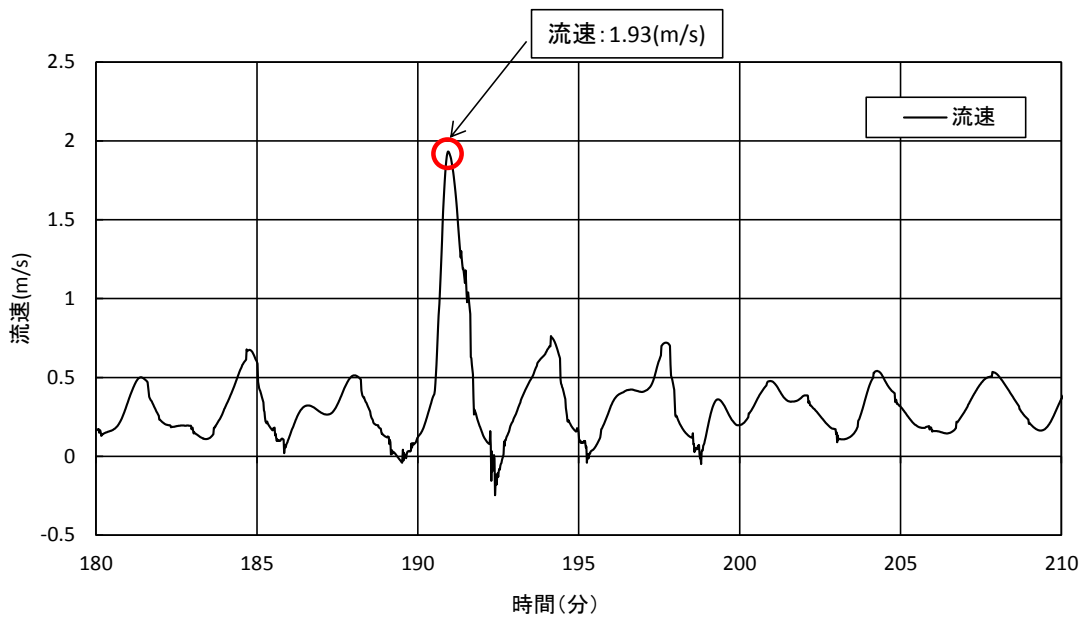
るが，除塵装置が破損しないことは流速 2.4m/s まで確認しており，ここでは，2.4m/s における確認結果を示す。



第 2.5-28 図 除塵装置の概要



第 2.5-29 図 流速算出位置



第 2.5-30 図 流速評価結果 (入力津波 6)

b. 確認結果

津波流速が作用した際の各部材における発生値と許容値の比較結果を第2.5-10表に示す。2.5-10表より、2.4m/s時の発生水位差における各部材に発生する最大応力が許容応力を下回っていることから、設備が漂流物化することではなく、取水性に影響を及ぼすものでないことを確認した。

第2.5-10表 津波流速が作用した際の各部材における発生値と許容値の比較

設備	部材	2.4m/s時の発生水位差	発生水位差における発生値／許容値
除塵機	キャリングチェーン	5.8m	142739 (MPa) / 617000 (MPa) (最大応力／許容応力)
	バケット		225 (MPa) / 246 (MPa) (最大応力／許容応力)

ii. 地震による破損に対する評価

除塵装置（耐震Cクラス）は、基準地震動Ssによる地震力に対して、機器が破損し漂流しない設計とする。

漂流物の評価において考慮する津波の流速・流向について

1. 設計に用いる遡上波の流速について

津波による漂流物の漂流速度は、津波の流速に支配される。文献^{※1}によると漂流物の最大漂流速度は津波の浸水流速より小さくなっているが、安全側に漂流速度として津波の流速を用いる。

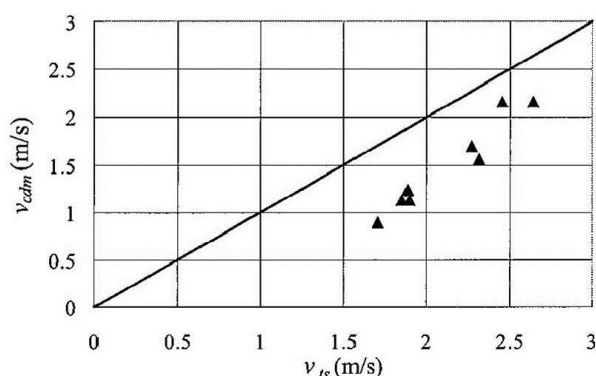


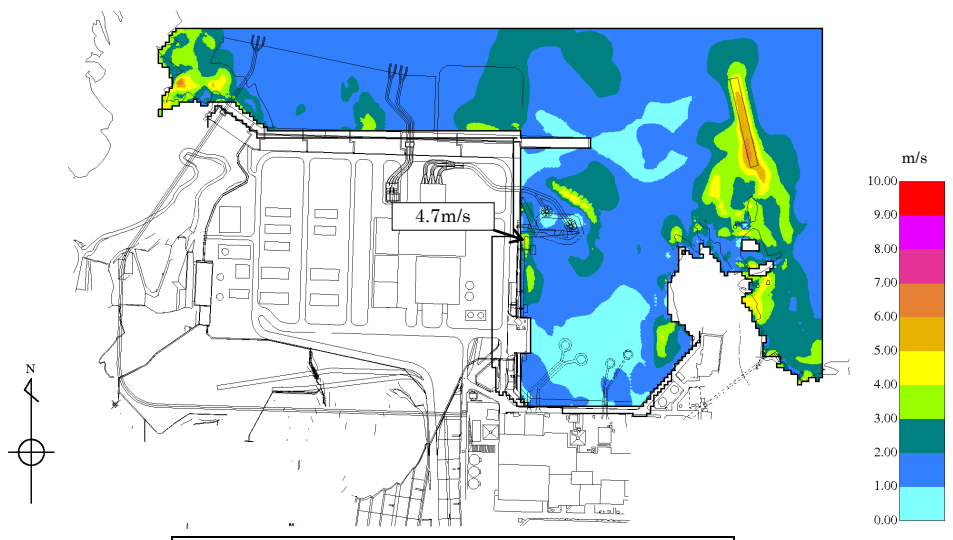
図1 浸水流速 v_{ts} と最大漂流速度 v_{dm} の関係

※1 海岸工学論文集, 第54巻(2007) 遡上津波によるコンテナ漂流力に関する大規模実験 (有川ほか)

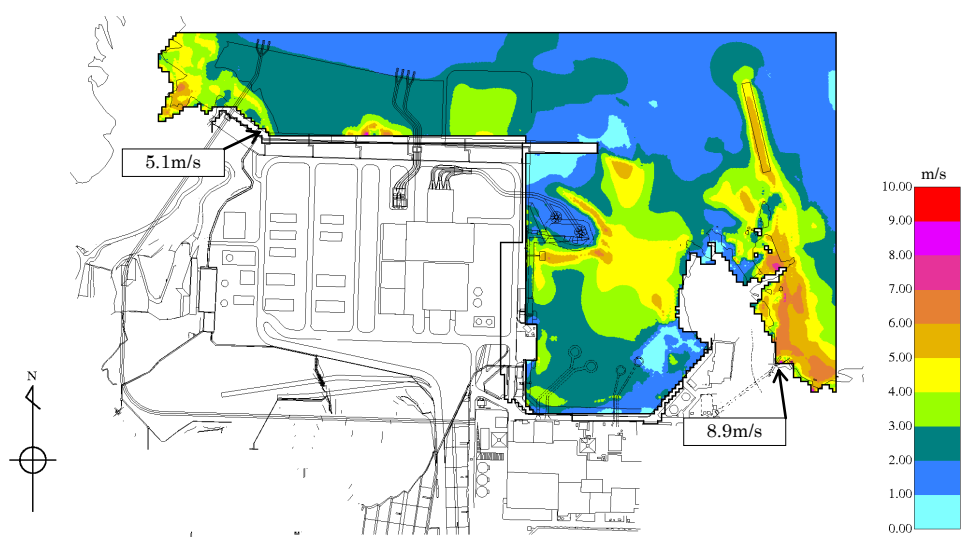
漂流物の衝突速度は、評価対象施設周辺の流速に依存すると考えられるため、評価対象施設周辺の流速により、漂流物の衝突速度を設定する。漂流物が各施設に衝突する際の荷重の大きさは、評価対象施設に対して直交方向の流速に依存すると考えられるため、評価対象施設に対して直交方向の最大流速を抽出し、これに不確かさを考慮して、安全側の評価を実施する。また、防波壁等、広範囲にわたる施設は地点により流速が異なるが、設計に用いる漂流物の衝突荷重として、安全側に評価対象施設全体の最大流速を用いる。

評価対象施設における最大流速分布を図2～9に示す。

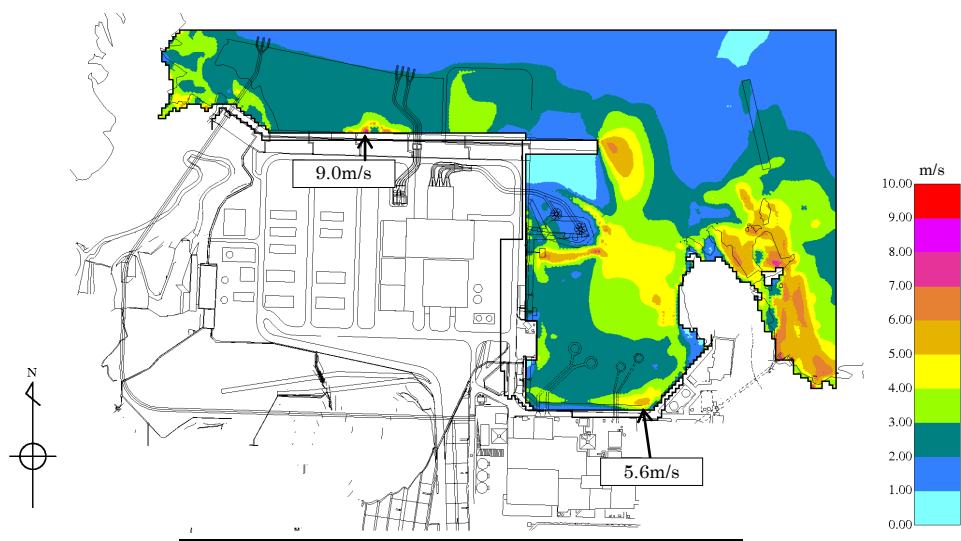
結果としては、基準津波における最大流速は施設護岸港湾外で9.0m/s、施設護岸港湾内で9.0m/s、1号炉放水連絡通路前で9.8m/sが抽出されたことから、安全側に施設護岸港湾外、港湾内及び1号炉放水連絡通路前で10.0m/sを、津波防護施設及び浸水防止設備の衝突荷重評価に用いる漂流速度として設定する。



基準津波 1 (防波堤あり) (西方向)



基準津波 1 (防波堤あり) (南西方向)



基準津波 1 (防波堤あり) (南方向)

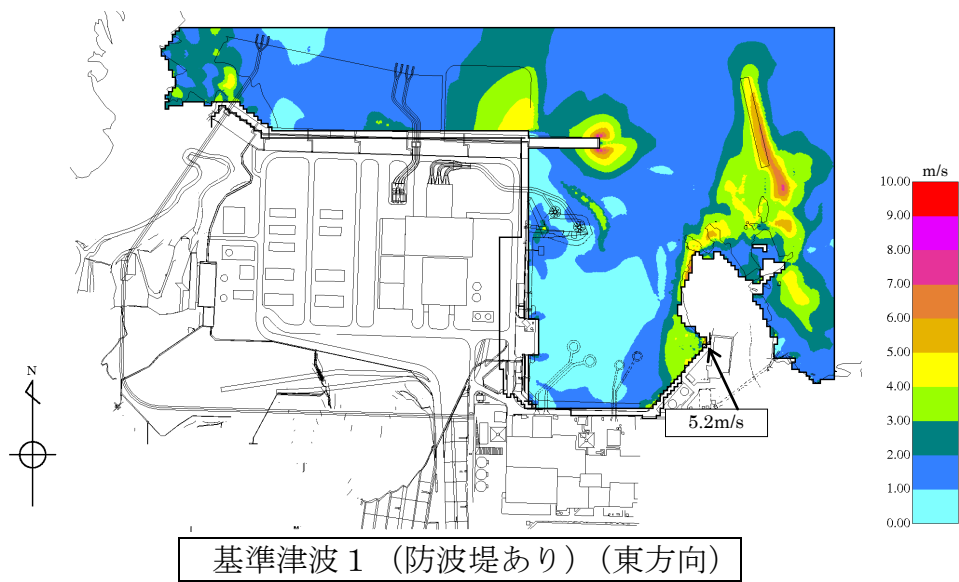
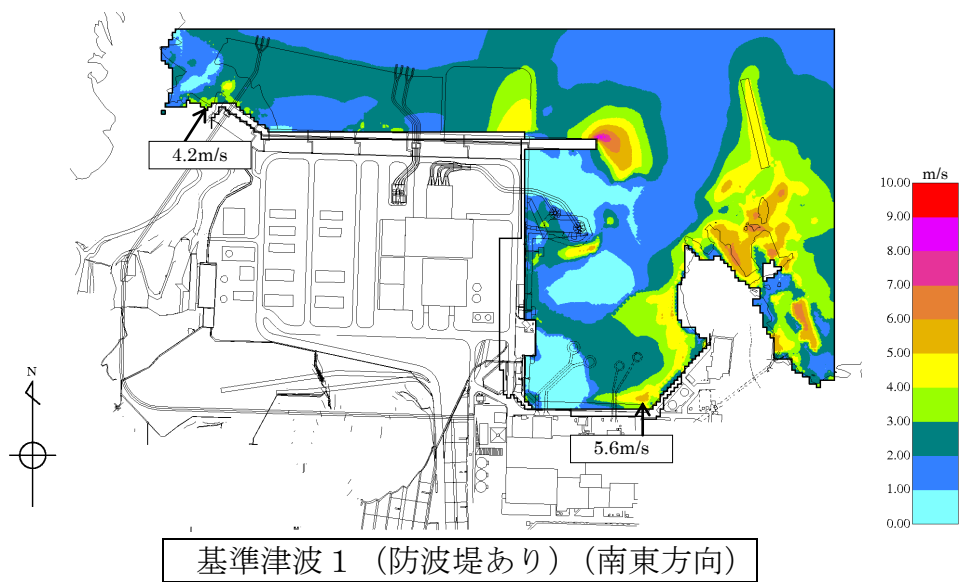
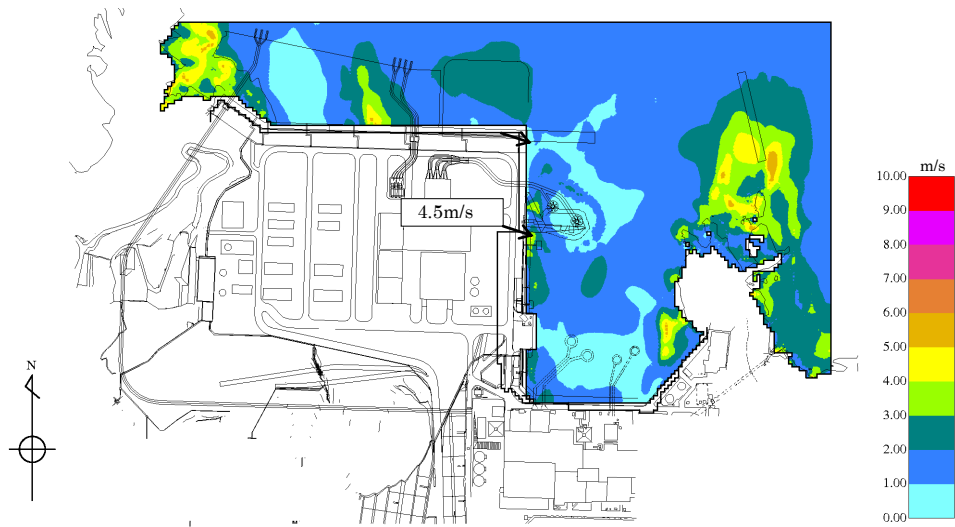
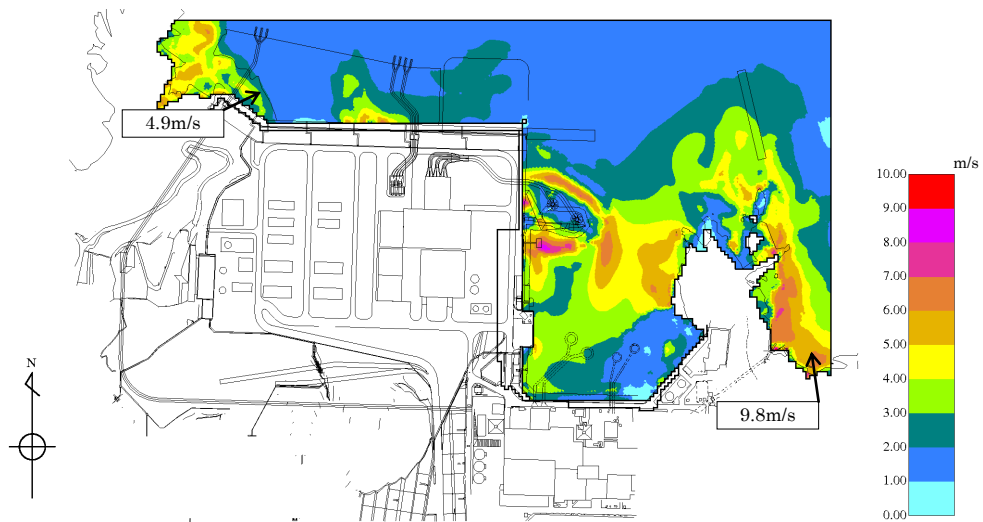


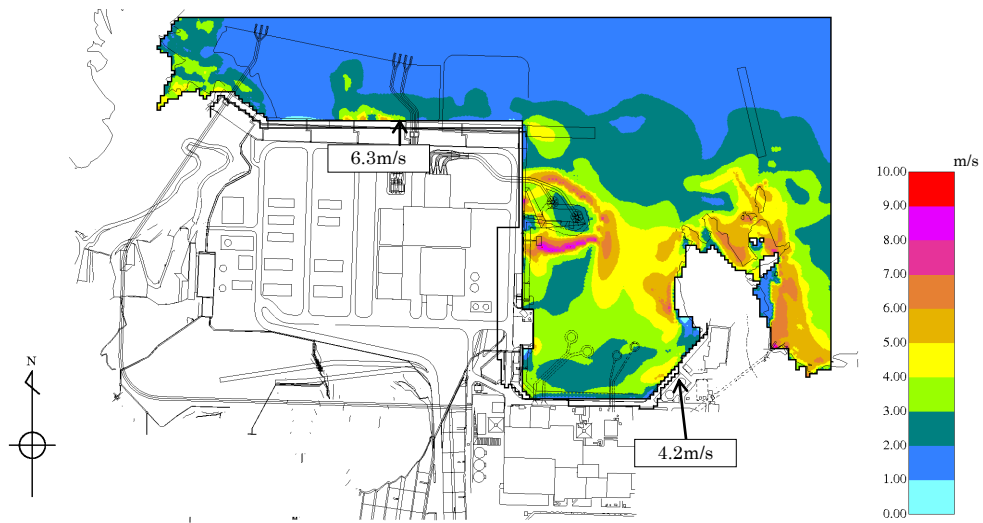
図2 基準津波 1 (防波堤あり) 最大流速分布



基準津波 1 (防波堤なし) (西方向)



基準津波 1 (防波堤なし) (南西方向)



基準津波 1 (防波堤なし) (南方向)

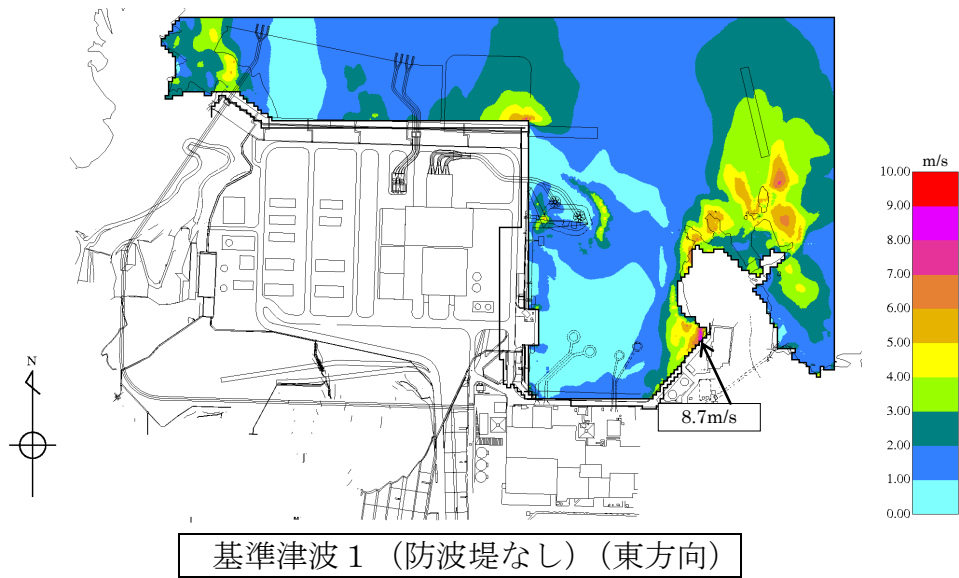
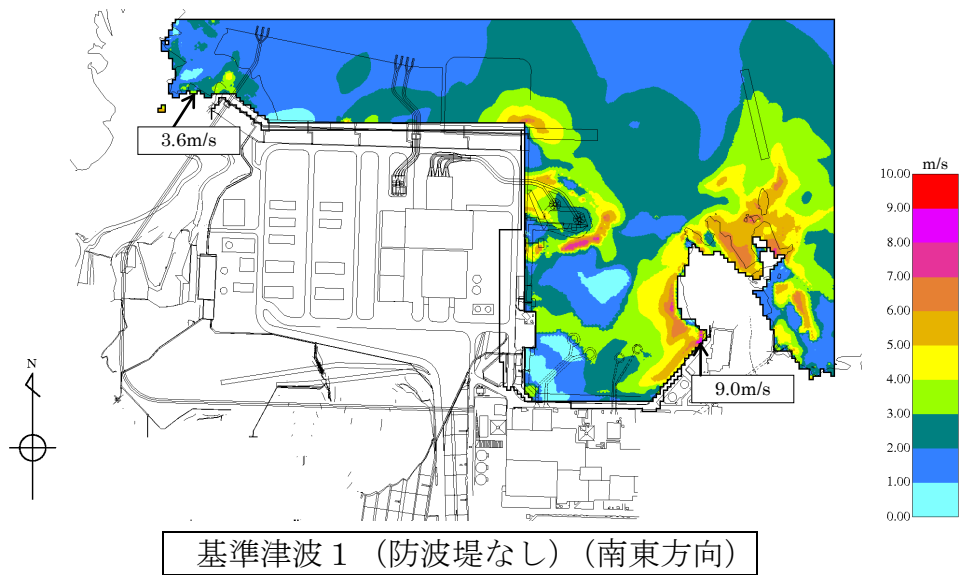
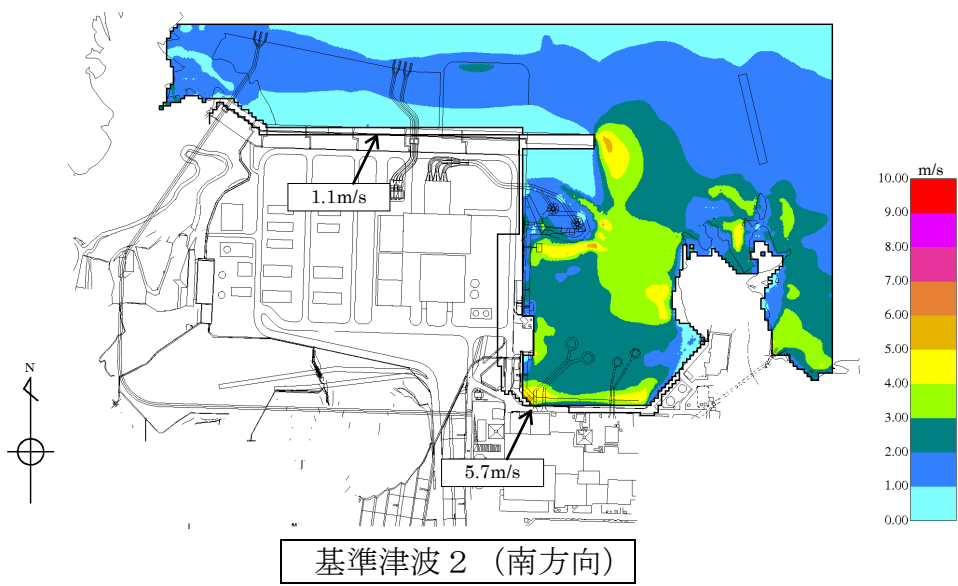
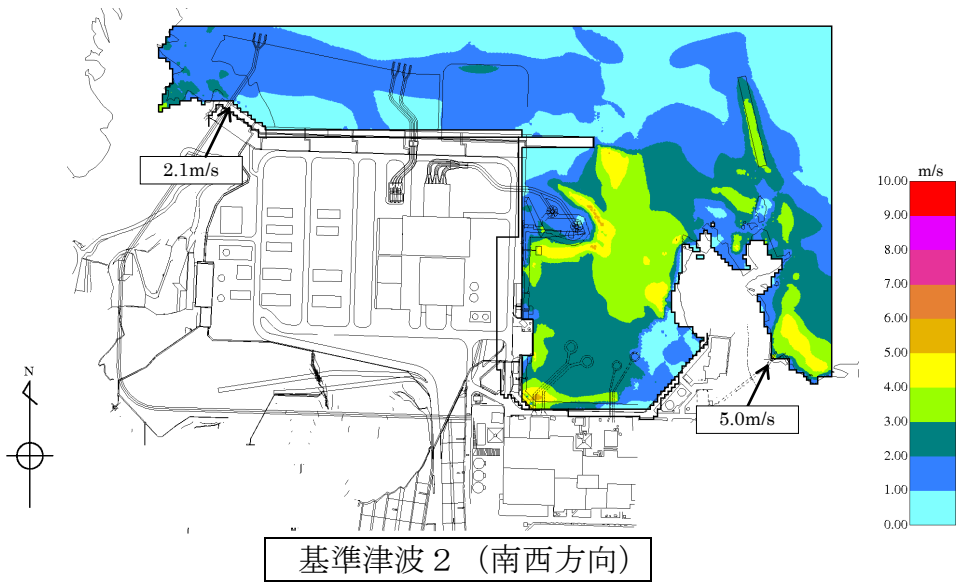
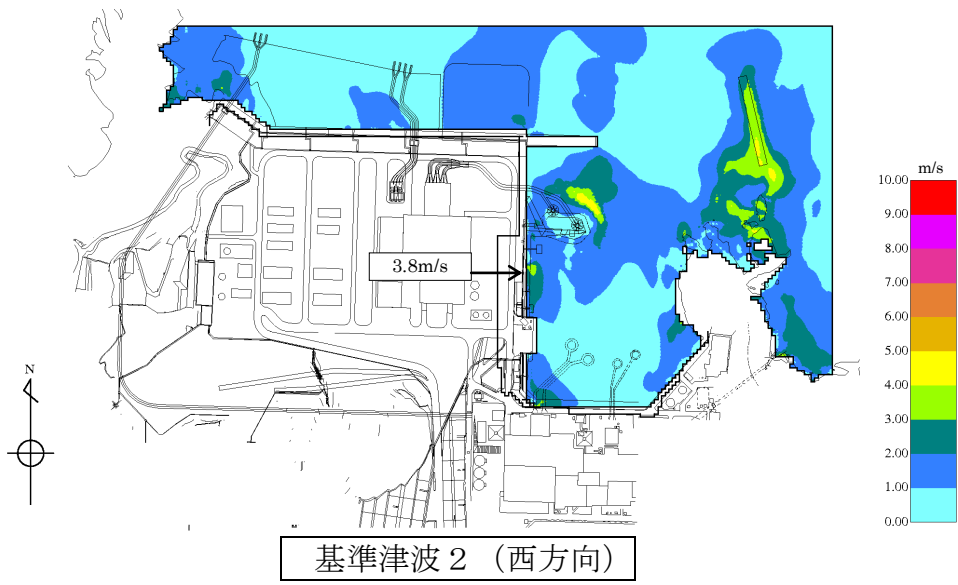


図 3 基準津波 1 (防波堤なし) 最大流速分布



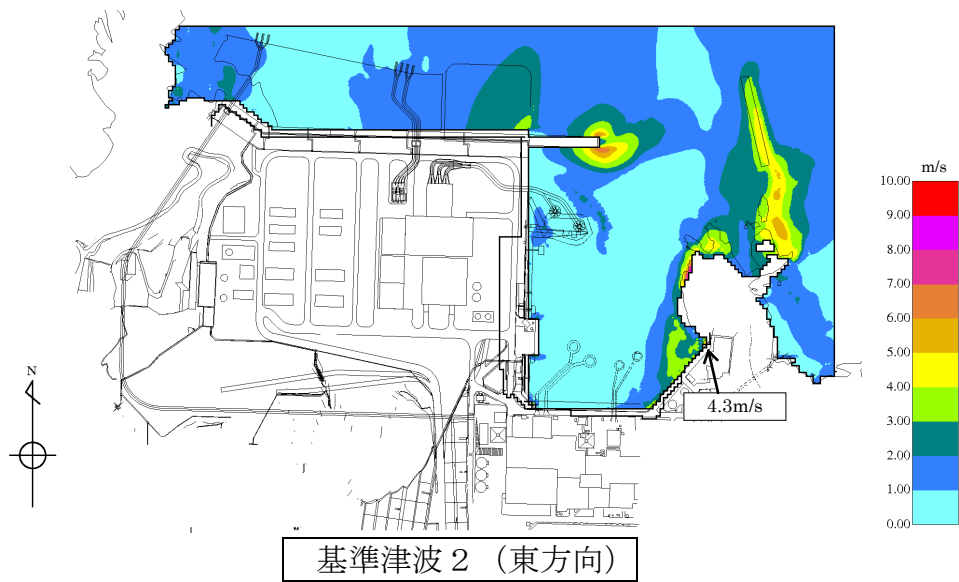
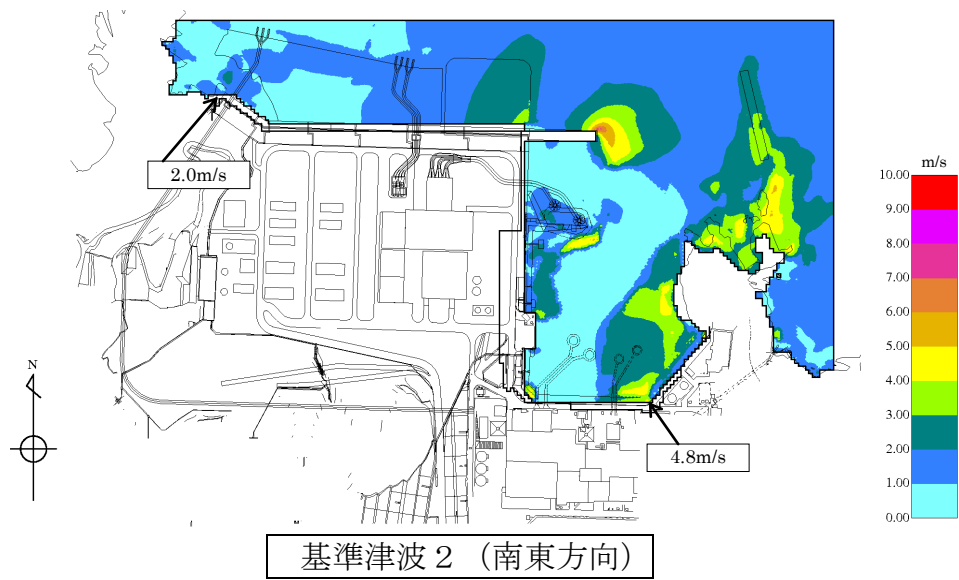
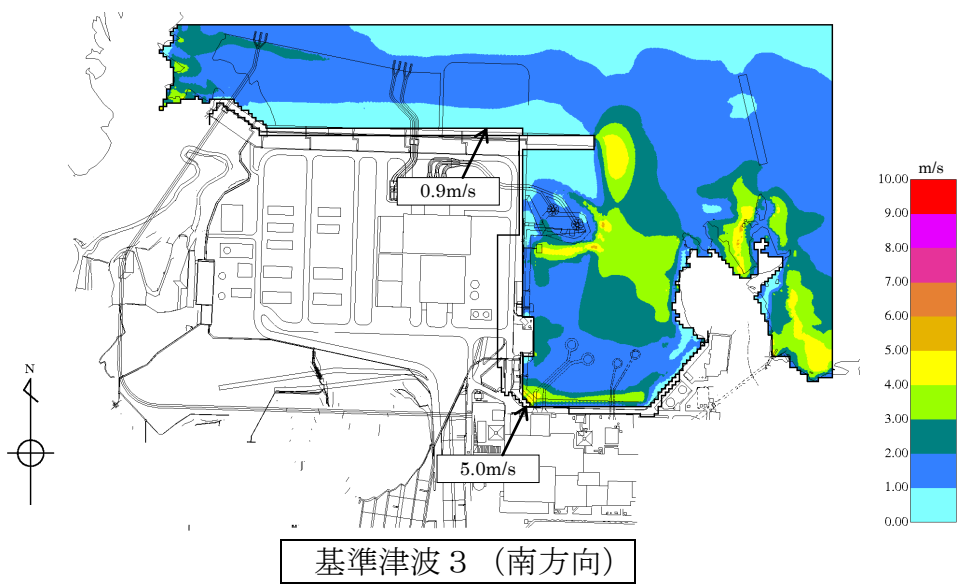
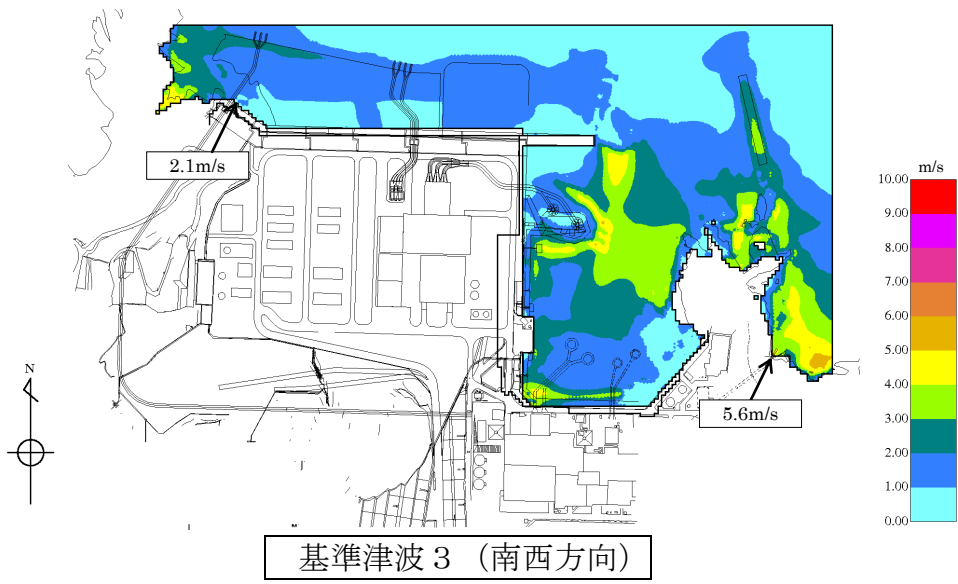
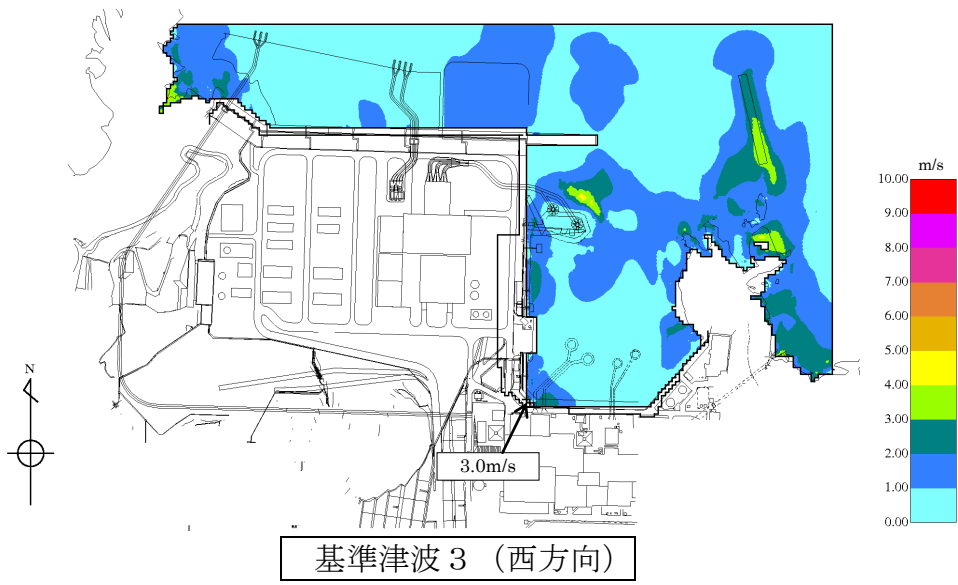


図4 基準津波 2 最大流速分布



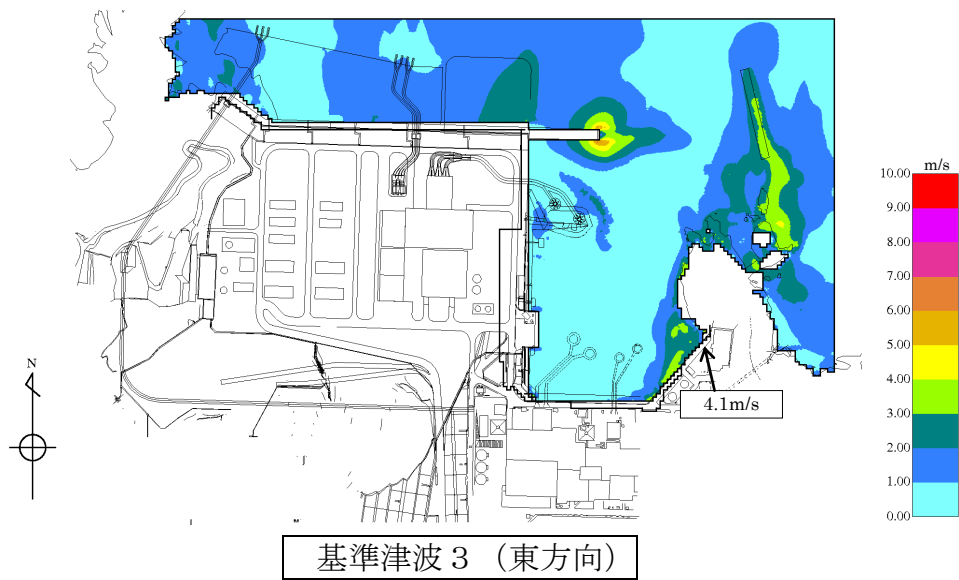
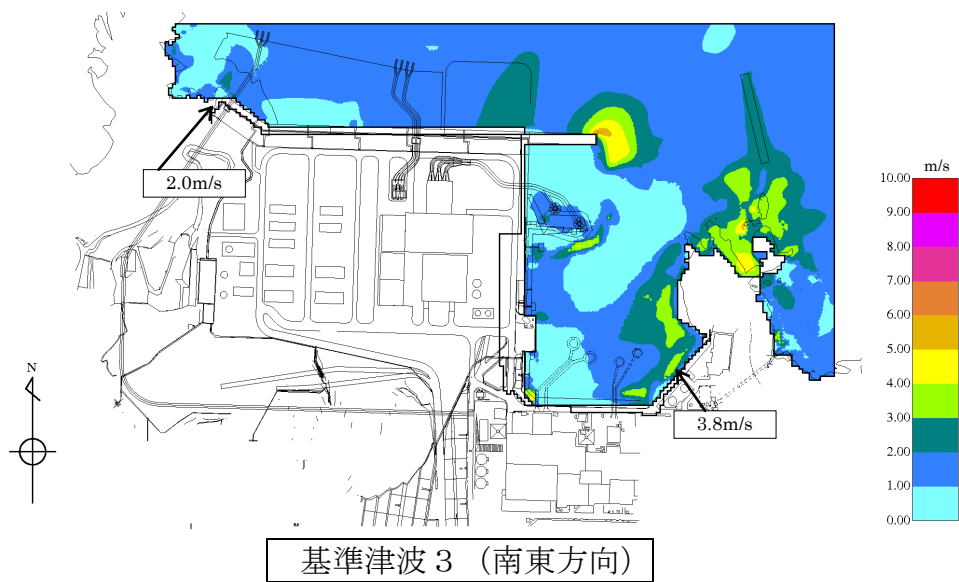
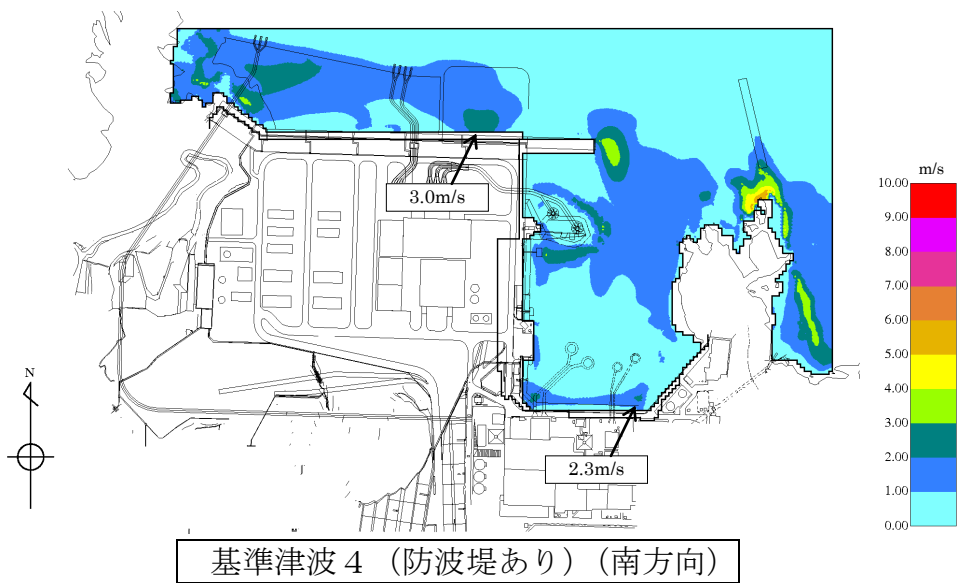
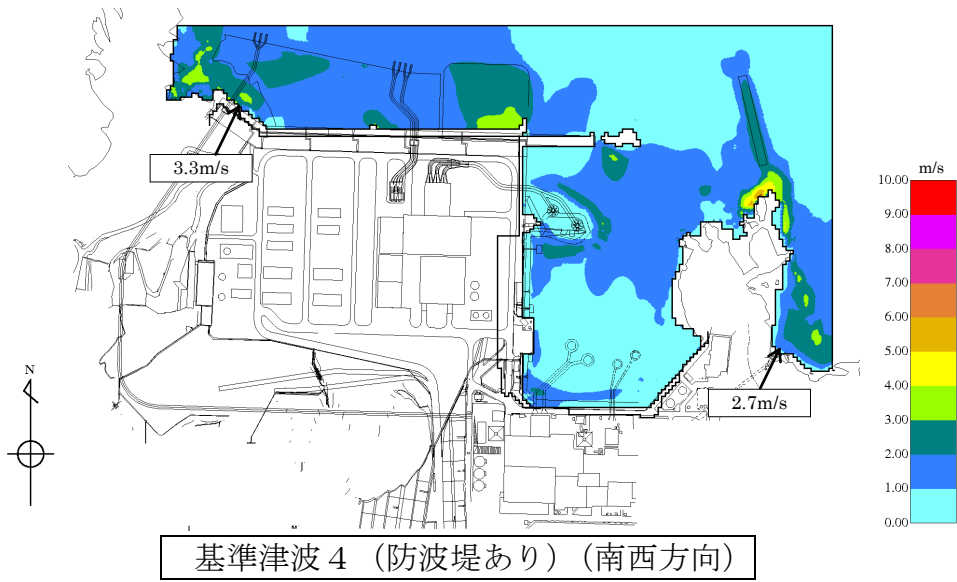
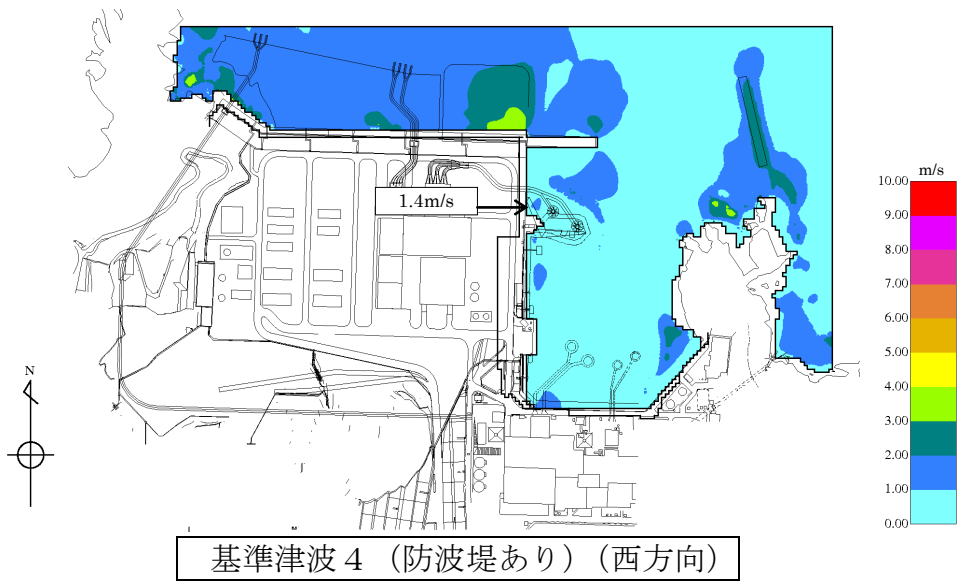


図5 基準津波3 最大流速分布



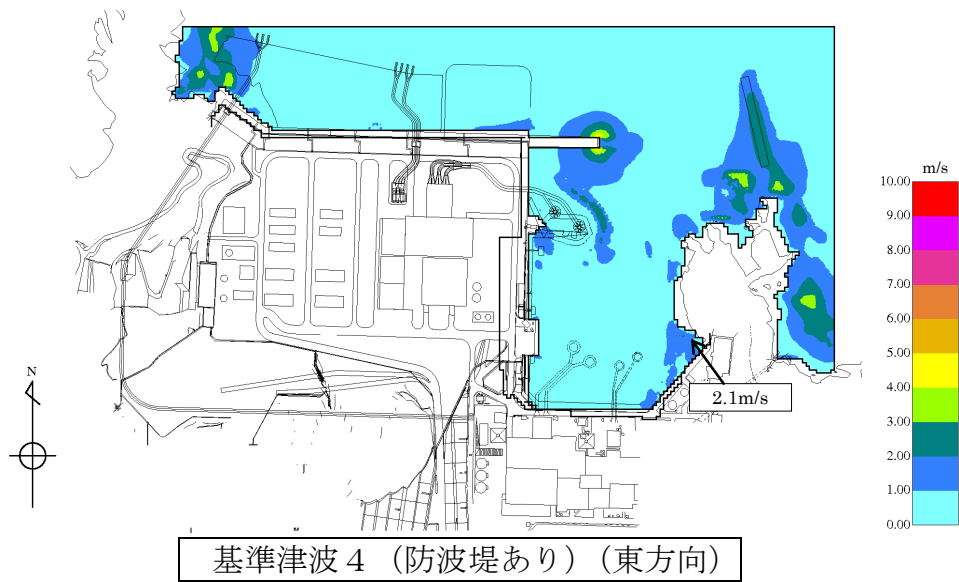
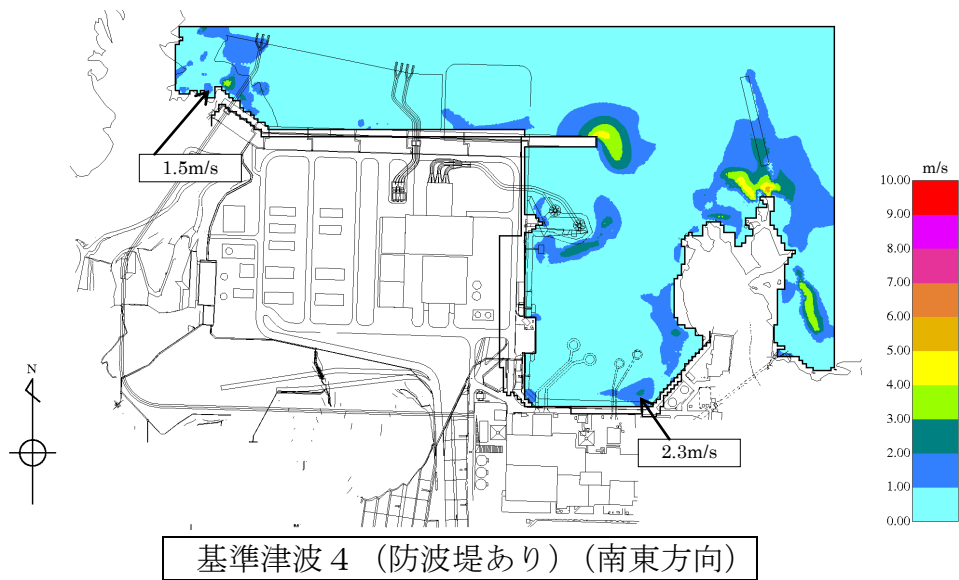
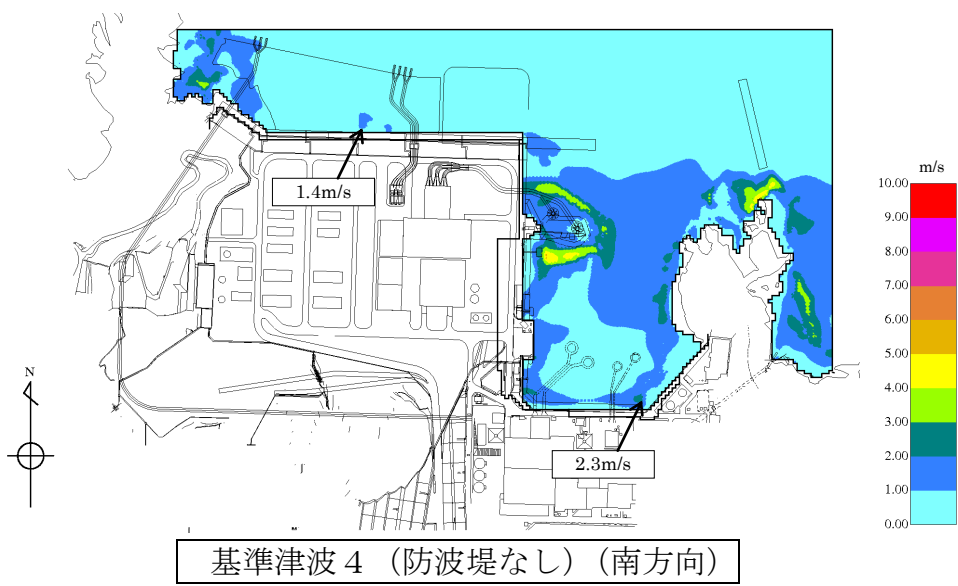
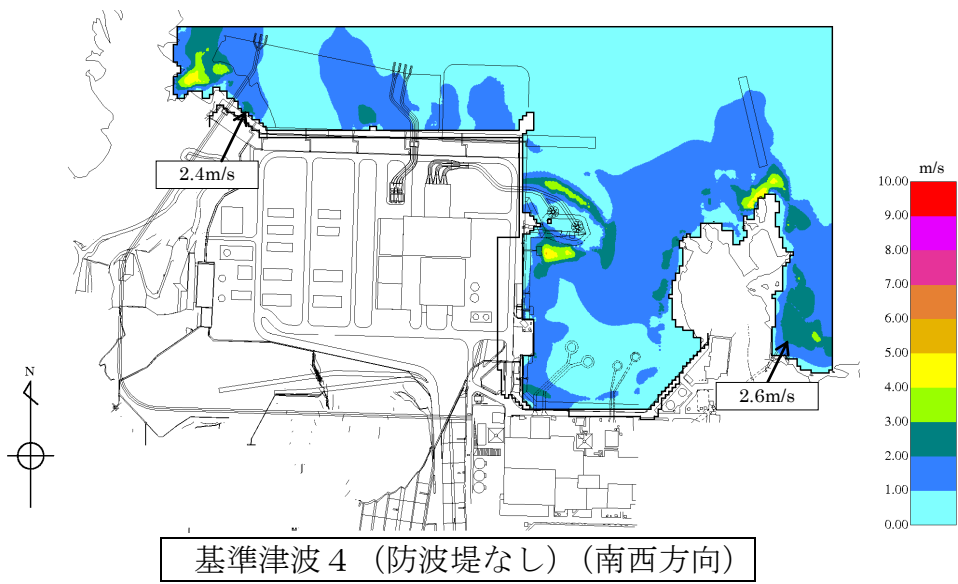
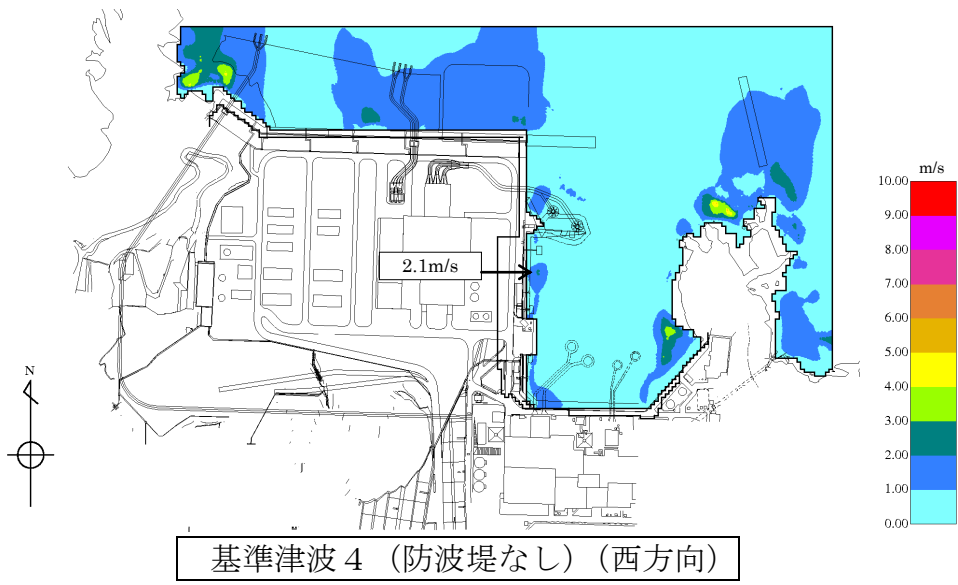


図6 基準津波 4 (防波堤あり) 最大流速分布



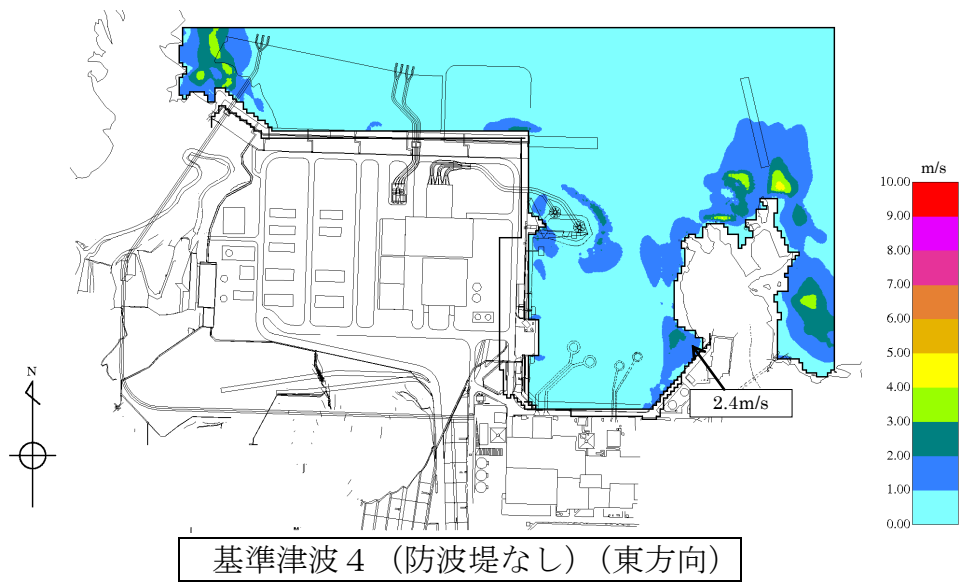
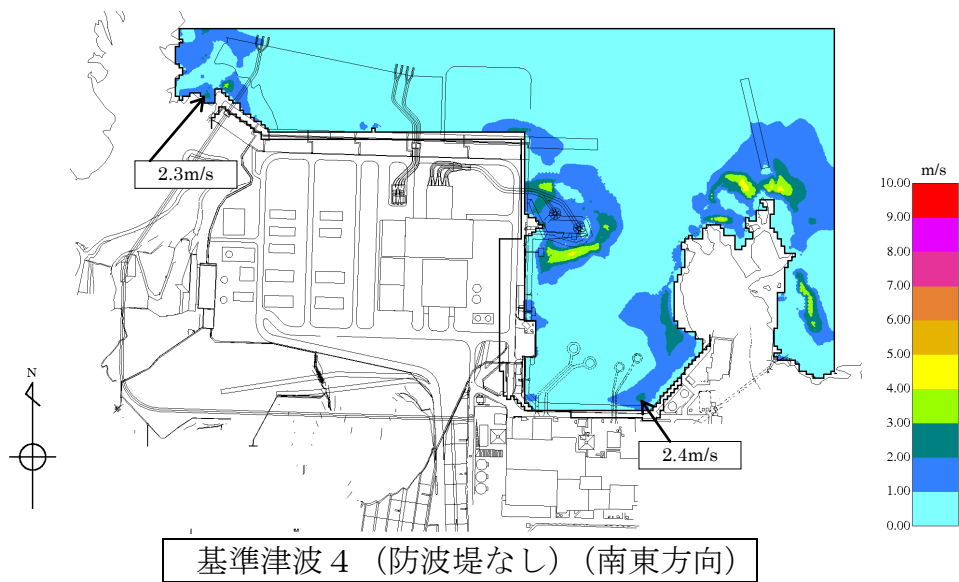
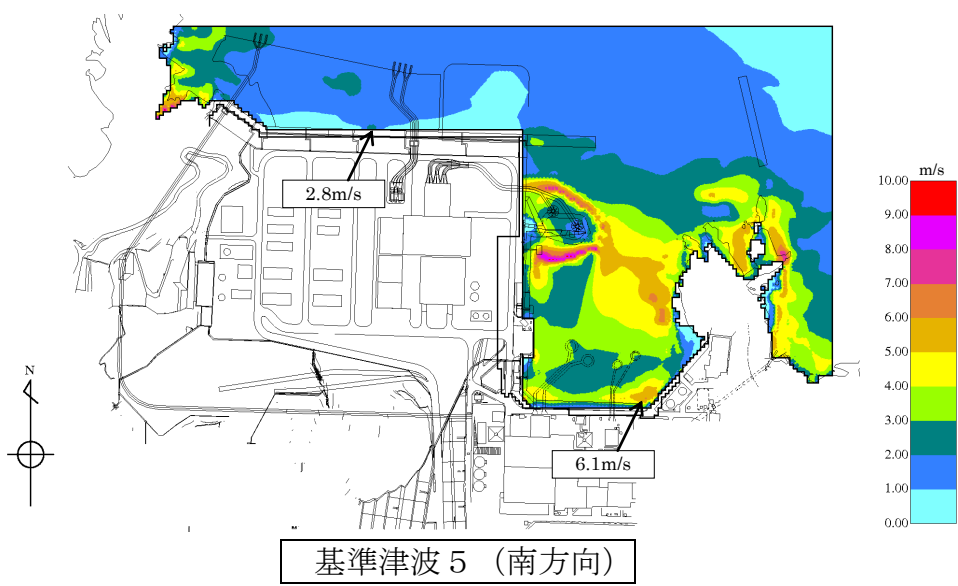
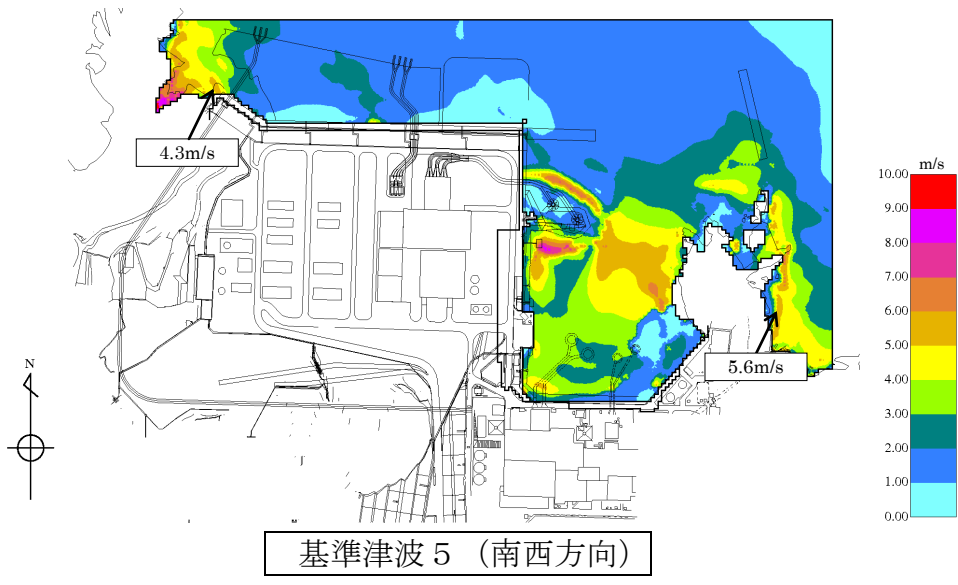
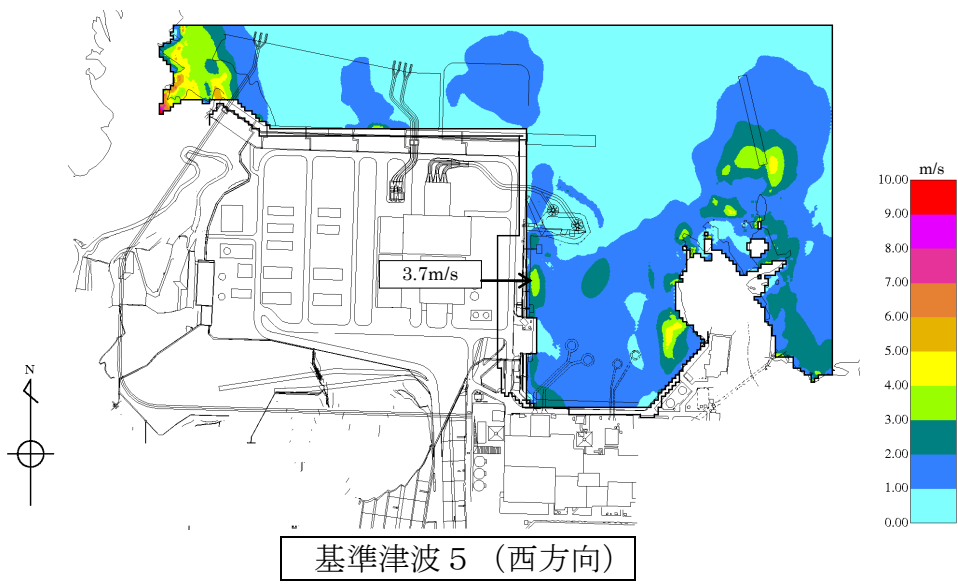


図 7 基準津波 4 (防波堤なし) 最大流速分布



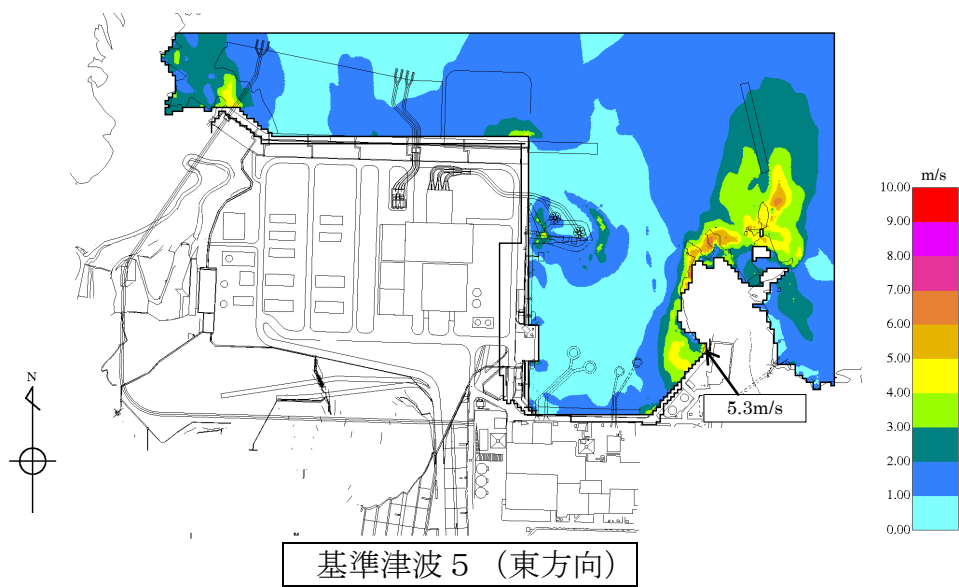
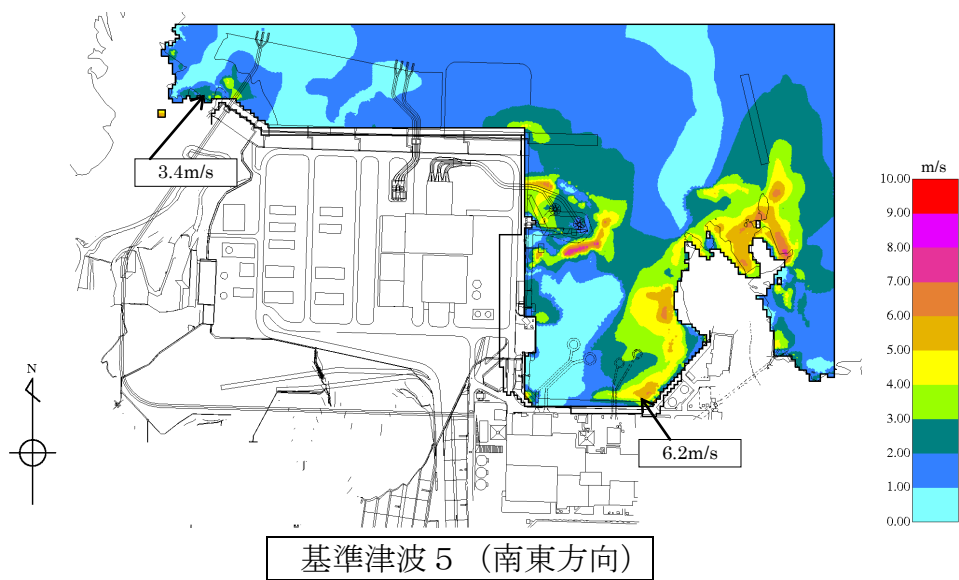
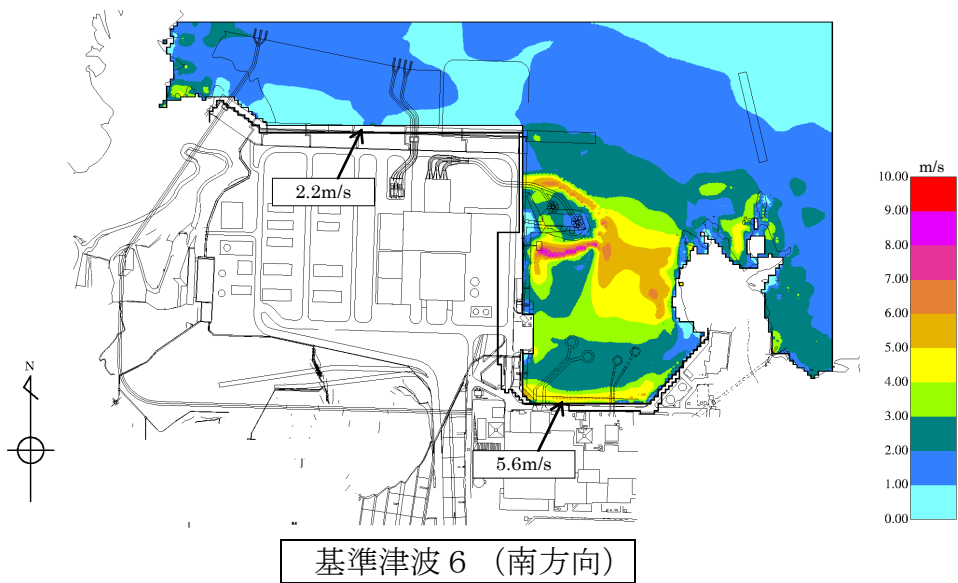
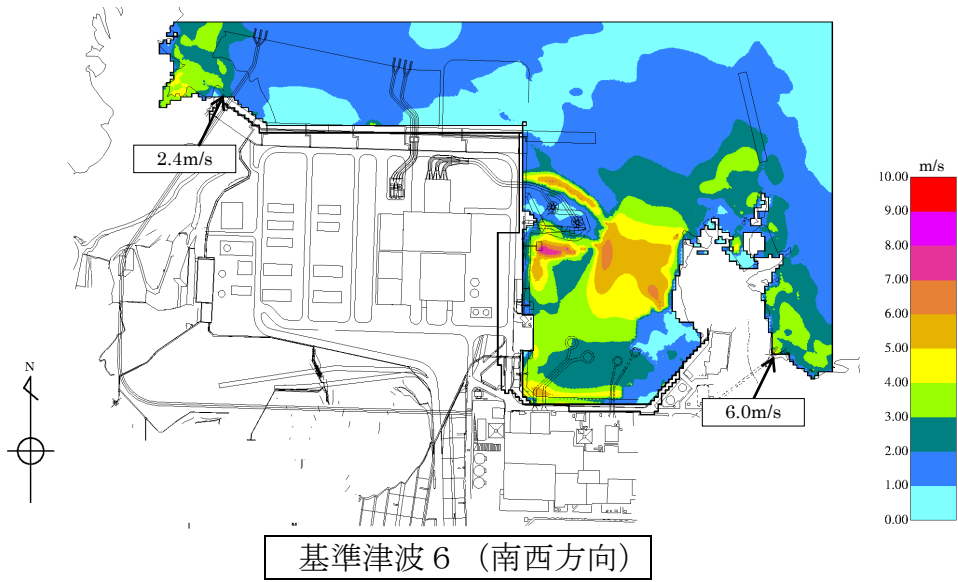
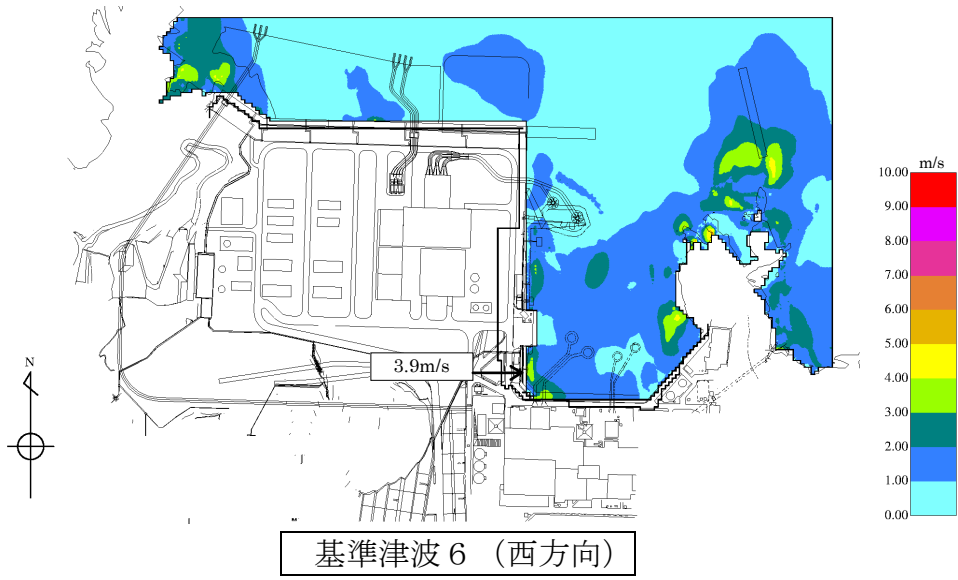


図8 基準津波 5 最大流速分布



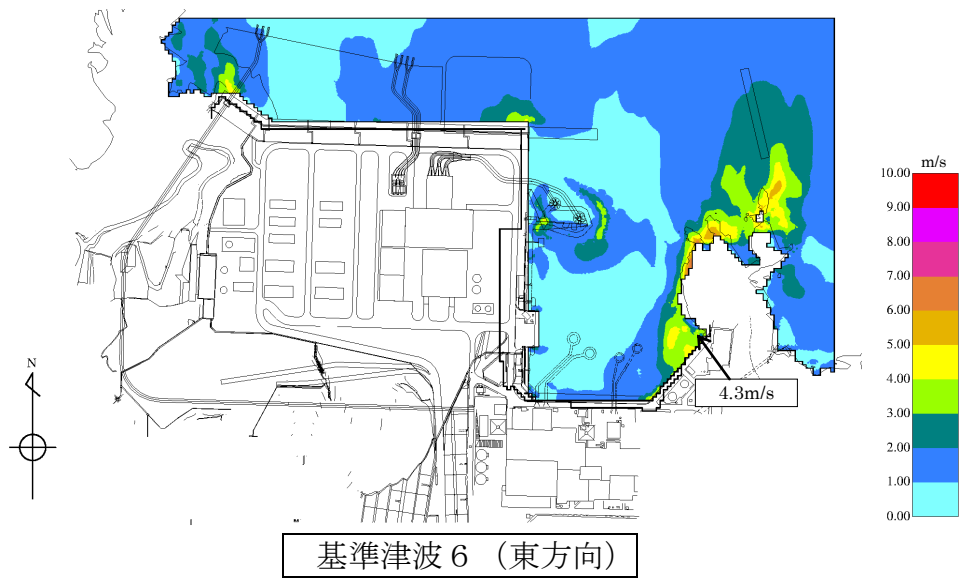
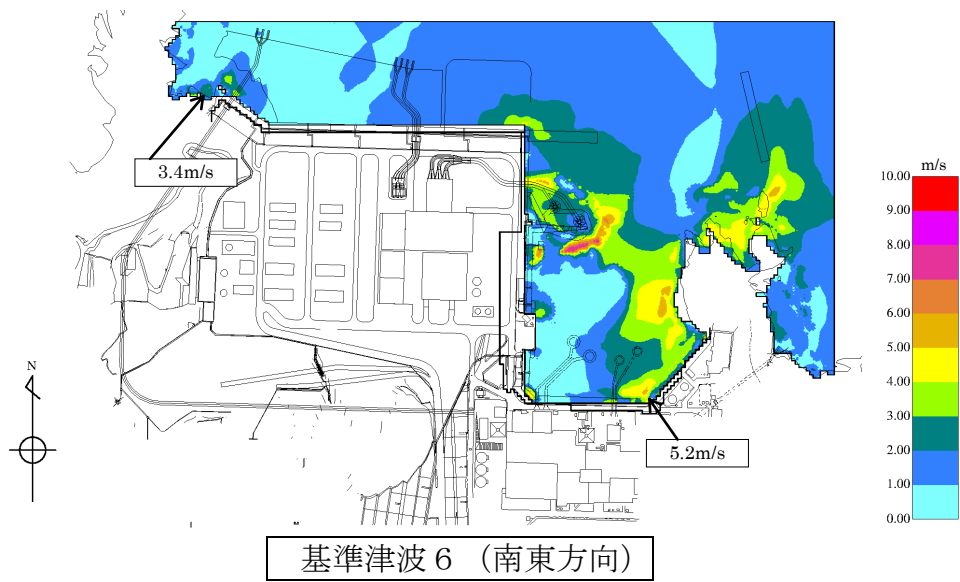


図9 基準津波 6 最大流速分布

耐津波設計において考慮する荷重の組合せについて

1. 概要

島根原子力発電所において設置する津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備については、設置許可基準規則及び関連審査ガイドに記載される下記事項（表1）を考慮した上で荷重の組合せを設定する。

表1 設置許可基準規則等の荷重組合せに関する要求事項

	記載箇所	記載内容	考慮する荷重
①	耐震審査ガイド※ ¹ 6.3.1 及び 6.3.2	常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力を組み合わせる。	・ 常時荷重 ・ 地震荷重
②	耐震審査ガイド※ ¹ 6.3.3	荷重の組合せに関しては、地震と津波が同時に作用する可能性について検討し、必要に応じて基準地震動による地震力と津波による荷重の組合せを考慮すること。	・ 地震荷重 ・ 津波荷重
③	耐津波審査ガイド※ ² 5.1	耐津波設計における荷重の組合せとして、余震が考慮されていること。	・ 常時荷重 ・ 津波荷重 ・ 余震荷重
④	耐津波審査ガイド※ ² 5.4.2	漂流物の衝突による荷重の組合せを適切に考慮して設計すること。	・ 漂流物衝突荷重
⑤	耐津波審査ガイド※ ² 5.3	津波監視設備については、地震荷重・風荷重の組合せを考慮すること。	・ 地震荷重 ・ 風荷重
⑥	設置許可基準規則 第6条	安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。※ ³	・ 積雪荷重

※1 「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」を指す。

※2 「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」を指す。

※3 安全施設に対する要求事項であるが、津波防護施設等の設計において準用する。

2. 考慮する荷重について

(1) 常時荷重

常時作用している荷重として、自重、積載荷重及び海中施設に対する静水圧等を考慮する。

なお、当該施設・設備に運転時の荷重が作用する場合は、運転時荷重を考慮する。

(2) 地震荷重(S_s)

基準地震動 S_s による地震力を考慮する。

(3) 余震荷重

余震荷重として、弾性設計用地震動 S_d-D による地震力を考慮する。(添付資料 22 参照)

なお、施設が浸水した状態で余震が発生した場合における、施設内滞留水に生じる動水圧荷重(スロッシングによる荷重等)も併せて考慮する。

(4) 静的荷重(静水圧)

津波等により設備に作用する静的荷重として、津波等による浸水に伴う静水圧を考慮する。

(5) 動的荷重(波力)

津波により設備に作用する動的荷重として、津波の波力による荷重を考慮する。

(6) 動的荷重(突き上げ)

津波により設備に作用する動的荷重として、突き上げ荷重(経路からの津波が鉛直上向き方向に作用する場合の津波荷重)を考慮する。

(7) 漂流物衝突荷重

漂流物の衝突荷重を考慮する。

(8) 風荷重

「第6条 外部からの衝撃による損傷の防止」において規定する設計基準風速に伴う荷重を考慮する。

(9) 積雪荷重

「第6条 外部からの衝撃による損傷の防止」において規定する建築基準法の考え方を参考とし設計積雪深(100cm)に係数0.35を考慮した荷重を組み合わせる。

3. 荷重の組合せ

3.1 設置状況等に応じて考慮する荷重について

荷重の組合せの設定に当たっては、施設・設備の設置状況を考慮し、各荷重の組合せ要否を以下のとおり整理する。

(1) 設置場所

屋内または海中に設置する施設・設備については、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要と整理する。

(2) 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する施設・設備については、津波荷重として「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

津波の直接的な影響を受ける場所に設置する施設・設備については、津波荷重として動的荷重を考慮し、経路からの津波が鉛直上向きに作用する施設・設備については、「動的荷重（突き上げ）」を考慮する。それ以外の施設・設備については、「動的荷重（波力）」を考慮する。

(3) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定される施設・設備については、「漂流物衝突荷重」を考慮する。

(4) 津波の波源の活動の影響

地震に起因する津波の影響を受ける施設・設備について、以下のとおり整理する。

海域活断層に想定される地震による津波の影響を受ける場所に設置する施設・設備について、海域活断層に想定される地震による津波荷重に「余震荷重」を考慮する。

なお、日本海東縁部に想定される地震による津波の影響を受ける場所に設置する施設・設備については、日本海東縁部に想定される地震による「余震荷重」は敷地への影響が明らかに小さいことから、「余震荷重」を考慮しない。（添付資料 22 参照）

3.2 各施設・設備の設計において考慮する荷重の組合せ

3.1 に示す考え方を各施設・設備に展開し、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の設計に当たって考慮する荷重の組合せを以下のとおり整理する。

(1) 防波壁

防波壁の設計において考慮する荷重は、防波壁の設置状況より以下のとおり整理される。

a. 設置場所

屋外に設置するため、「風荷重」及び「積雪荷重」を考慮する。

b. 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受ける場所に設置する施設であるため、津波荷重として「動的荷重（波力）」を考慮する。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されるため、「漂流物衝突荷重」を考慮する。

d. 余震荷重の影響

海域活断層に想定される地震による津波が到達する防波壁（波返重力擁壁）のケーソン部等については個別に評価を実施する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（ S_s ）
- ・ 常時荷重＋動的荷重（波力）
- ・ 常時荷重＋動的荷重（波力）＋漂流物衝突荷重
- ・ 常時荷重＋動的荷重（波力）＋余震荷重

(2) 防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉

防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉の設計において考慮する荷重は、防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉の設置状況より以下のとおり整理される。

a. 設置場所

屋外に設置するため、「風荷重」を考慮するが、積雪が考えられる構造ではないため、「積雪荷重」は考慮不要である。

b. 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受ける場所に設置する設備であるため、津波荷重として「動的荷重（波力）」を考慮する。

c. 漂流物の衝突の影響

漂流物の衝突が想定されるため、「漂流物衝突荷重」を考慮する。

d. 余震荷重の影響

海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けないため、「余震荷重」は考慮不要である。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+動的荷重 (波力)
- ・ 常時荷重+動的荷重 (波力) + 漂流物衝突荷重

(3) 1号炉取水槽流路縮小工

1号炉取水槽流路縮小工の設計において考慮する荷重は、1号炉取水槽流路縮小工の設置状況より以下のとおり整理される。

a. 設置場所

屋外に設置するが、1号炉取水管端部に設置されることから、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。

b. 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受ける場所に設置する施設であるため、津波荷重として「動的荷重 (波力)」を考慮する。なお、津波荷重 (津波波力) は、津波時の静水圧、流水圧及び流水の摩擦による推力を考慮する。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

d. 余震荷重の影響

1号炉取水槽流路縮小工に対しては、海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けるため、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+動的荷重 (波力)
- ・ 常時荷重+動的荷重 (波力) + 余震荷重

(4) 屋外排水路逆止弁

屋外排水路逆止弁の設計において考慮する荷重は，図1～図3に示す屋外排水路逆止弁の設置状況より以下のとおり整理される。

a. 設置場所

屋外に設置するが，敷地地下に設置されることから，「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。

b. 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する設備であるため，津波荷重として「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため，「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

d. 余震荷重の影響

屋外排水路逆止弁に対しては，海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けるため，「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し，以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（ S_s ）
- ・ 常時荷重＋静的荷重（静水圧）
- ・ 常時荷重＋津波荷重（静水圧）＋余震荷重

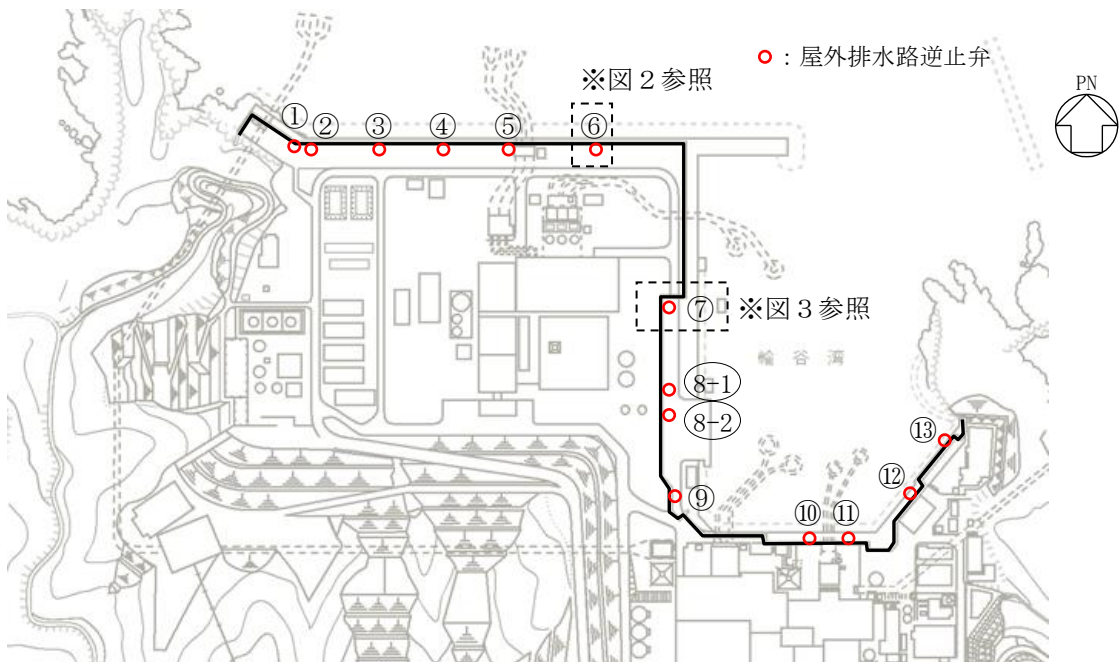


図1 屋外排水路逆止弁位置図

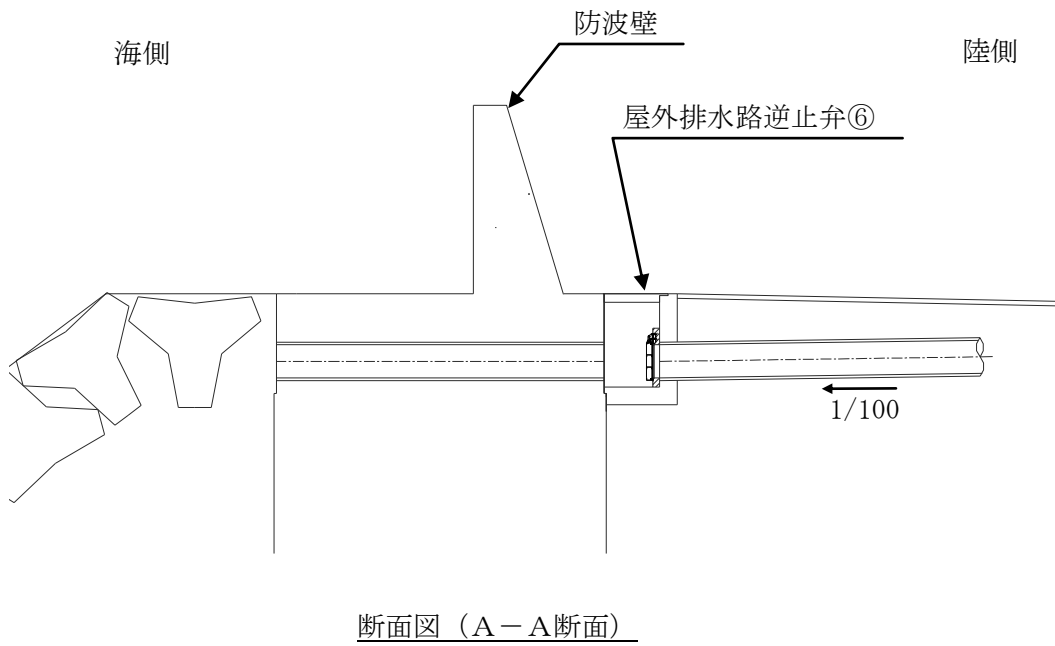
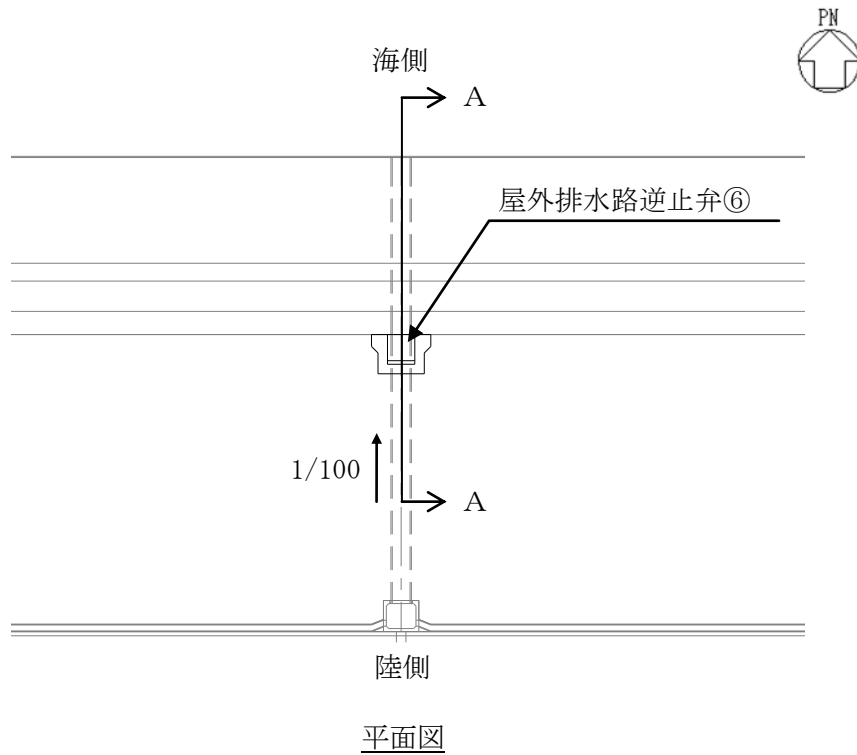
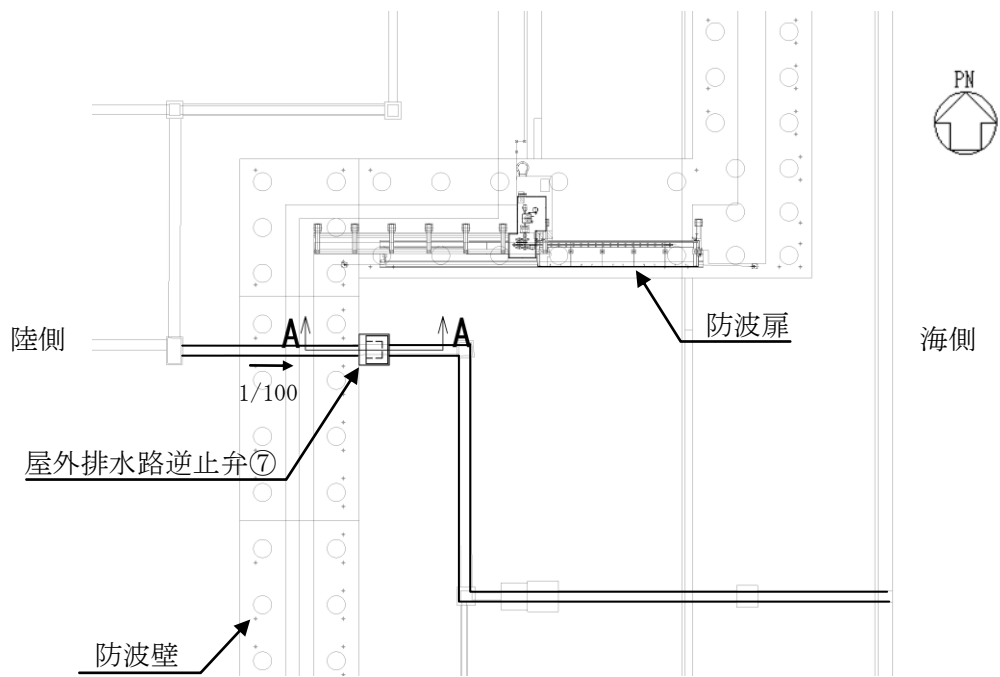
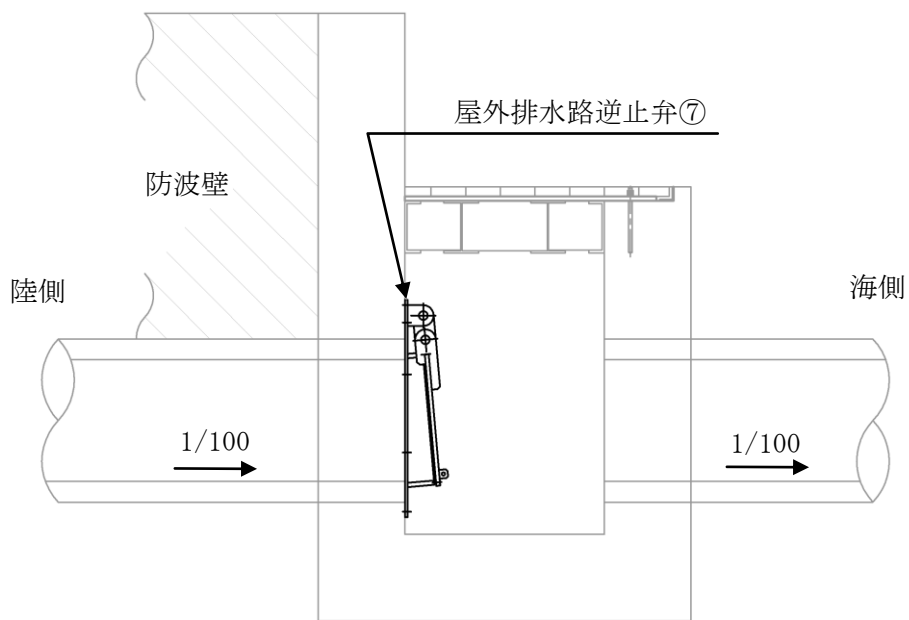


図2 屋外排水路逆止弁⑥配置図



平面図



断面図 (A-A断面)

図3 屋外排水路逆止弁⑦配置図

(5) 防水壁

a. 除じん機エリア防水壁

除じん機エリアの防水壁の設計において考慮する荷重は、除じん機エリア防水壁の設置状況より以下のとおり整理される。

(a) 設置場所

屋外に設置するため、「風荷重」を考慮するが、積雪が考えられる構造ではないため、「積雪荷重」は考慮不要である。

(b) 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する施設であるため、津波荷重として「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

(c) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

(d) 余震荷重の影響

海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けないため、「余震荷重」は考慮不要である。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重（ S_s ）
- ・ 常時荷重+静的荷重（静水圧）

b. 復水器エリア防水壁

復水器エリア防水壁の設計において考慮する荷重は、復水器エリア防水壁の設置状況より以下のとおり整理される。

(a) 設置場所

屋内に設置するため、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。

(b) 津波荷重等の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する設備であるが、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

(c) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

(d) 余震荷重の影響

復水器エリア防水壁に対しては、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧) +余震荷重

(6) 水密扉

a. 除じん機エリア水密扉

除じん機エリア水密扉の設計において考慮する荷重は、除じん機エリア水密扉の設置状況より以下のとおり整理される。

(a) 設置場所

屋外に設置するため、「風荷重」を考慮するが、積雪が考えられる構造ではないため、「積雪荷重」は考慮不要である。

(b) 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する設備であるため、津波荷重として「静的荷重 (静水圧)」を考慮する。

(c) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

(d) 余震荷重の影響

海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けないため、「余震荷重」は考慮不要である。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧)

b. 復水器エリア水密扉

復水器エリア水密扉の設計において考慮する荷重は、復水器エリア水密扉の設置状況より以下のとおり整理される。

(a) 設置場所

屋内に設置するため、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。

(b) 津波荷重等の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する設備であるが、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「静的荷重 (静水圧)」を考慮する。

(c) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

(d) 余震荷重の影響

復水器エリア水密扉に対しては、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧) +余震荷重

(7) 床ドレン逆止弁

a. 取水槽床ドレン逆止弁

取水槽床ドレン逆止弁の設計において考慮する荷重は、取水槽床ドレン逆止弁の設置状況より以下のとおり整理される。

(a) 設置場所

屋外に設置するため、「積雪荷重」は考慮するが、敷地地下に設置されることから、「風荷重」は考慮不要である。

(b) 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受ける場所に設置する設備であり、波圧が鉛直上向きに作用する設備であるため、「動的荷重 (突き上げ)」を考慮する。

(c) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

(d) 余震荷重の影響

取水槽床ドレン逆止弁に対しては、海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けるため、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+動的荷重 (突き上げ)
- ・ 常時荷重+動的荷重 (突き上げ) +余震荷重

b. タービン建物床ドレン逆止弁

タービン建物床ドレン逆止弁の設計において考慮する荷重は、タービン建物床ドレン逆止弁の設置状況より以下のとおり整理される。

(a) 設置場所

屋内に設置するため、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。

(b) 津波荷重等の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する設備であるが、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

(c) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

(d) 余震荷重の影響

タービン建物床ドレン逆止弁に対しては、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（S s）
- ・ 常時荷重＋静的荷重（静水圧）
- ・ 常時荷重＋静的荷重（静水圧）＋余震荷重

(8) 貫通部止水処置

貫通部止水処置の設計において考慮する荷重は、貫通部止水処置の設置状況より以下のとおり整理される。

a. 設置場所

屋内又は屋外に設置するが、屋内に設置する設備は、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。屋外に設置する設備は、敷地地下に設置されることから「風荷重」は考慮不要であり、また、積雪が考えられる構造でないことから「積雪荷重」は考慮不要である。

b. 津波荷重の種別

屋内に設置する設備は、津波の直接的な影響を受けない場所に設置する設備であるが、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「静的荷重（静水圧）」を考慮する。屋外に設置する設備は、津波の波力の影響を受けない場所に設置する施設であるため、津波荷重として「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

d. 余震荷重の影響

貫通部止水処置に対しては、屋内に設置する設備は、低耐震クラス機器の損傷に

よる保有水の溢水の影響を受けることから、「余震荷重」を考慮する。屋外に設置する設備は、海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けることから、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧) +余震荷重

(9) 隔離弁、ポンプ及び配管

隔離弁、ポンプ及び配管の設計において考慮する荷重は、隔離弁、ポンプ及び配管の設置状況より以下のとおり整理される。

a. 設置場所

屋内 (配管ダクト内) 又は屋外に設置するが、屋内に設置するものについては、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。屋外に設置するものについても、敷地地下に設置されることから「風荷重」は考慮不要であり、また、積雪が考えられる構造でないことから「積雪荷重」は考慮不要である。

b. 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する施設であるため、津波荷重として「静的荷重 (静水圧)」を考慮する。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

d. 余震荷重の影響

海域活断層より想定される地震による津波が到達する部位については「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧) +余震荷重

(10) 津波監視カメラ

津波監視カメラの設計において考慮する荷重は、津波監視カメラの設置状況により以下のとおり整理される。

a. 設置場所

屋外に設置するため、「風荷重」及び「積雪荷重」を考慮する。

b. 津波荷重の種別

津波の影響を受けない場所に設置する設備であるため、津波荷重は考慮不要である。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)

(11) 取水槽水位計

取水槽水位計の設計において考慮する荷重は、取水槽水位計の設置状況により以下のとおり整理される。

a. 設置場所

屋外に設置するが、敷地地下に設置されることから、「風荷重」は考慮不要であり、積雪が考えられる構造でないことから「積雪荷重」は考慮不要である。

b. 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受ける場所に設置する設備であるため、津波荷重として「動的荷重 (波力)」を考慮する。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

d. 余震荷重の影響

取水槽水位計に対しては、海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けるため、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+動的荷重 (波力)
- ・ 常時荷重+動的荷重 (波力) +余震荷重

ここで、図4に津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の位置を示し、表2～表5に考慮する荷重及び荷重の組合せを示す。

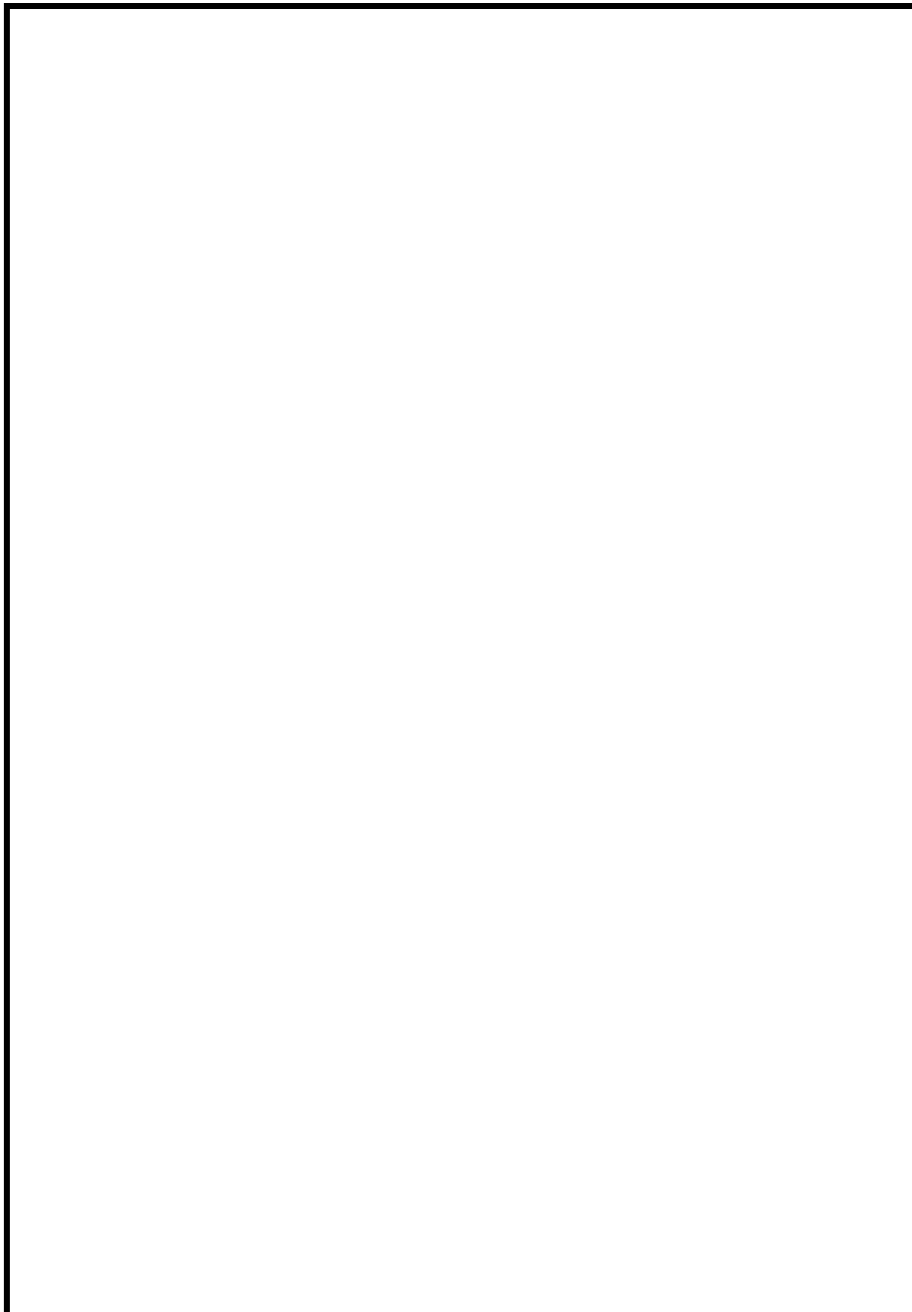
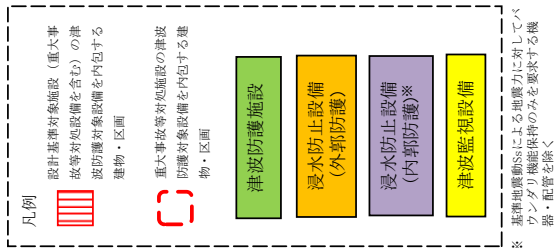


図 4 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の平面図

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

表 2 津波防護施設で考慮する荷重及び荷重の組合せ

対象	施設・設備	設置場所	荷重の組合せ	常時			自然現象による荷重		地震荷重 (Ss)	余震荷重 ※	津波荷重			備考	
				自重	土庄	風荷重	積雪荷重	動的荷重 (波力)			動的荷重 (突き上げ)	静水圧	漂流物衝突荷重		
津波防護施設	防波壁	屋外	常時荷重+地震荷重	○	○	○	○	○	○						
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	○	○	○	○	○			○				
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) +漂流物衝突荷重	○	○	○	○	○			○		○		
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) +余震荷重	○	○	○	○	○		○		○			
	防波扉	屋外	常時荷重+地震荷重	○					○						
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	○								○			
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) +漂流物衝突荷重	○								○		○	
			常時荷重+地震荷重	○						○					防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉
	1号炉取水槽 流路縮小工	屋外 (水路部)	常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	○											
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) +余震荷重	○											
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	○											
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) +余震荷重	○											津波荷重は津波時の静水圧、流水圧及び水流水の摩擦による推力を考慮する

※ 余震荷重は「海域活断層」に想定される地震による津波の影響を受ける箇所を考慮する (「参考」余震荷重の設定)を参照)

表3 浸水防止設備（外郭防護）で考慮する荷重及び荷重の組合せ

対象	施設・設備	設置場所	荷重の組合せ	津波波源	常時		自然現象による荷重		地震荷重 (Ss)	余震荷重 ※	津波荷重			備考	
					自重	土圧	風荷重	積雪荷重			動的荷重 (波力)	動的荷重 (突き上げ)	静水圧		漂流物衝突荷重
浸水防止設備（外郭防護）	屋外排水路 逆止弁	屋外 (敷地地下)	常時荷重+地震荷重	—	○				○						
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧))	日本海 東縁部	○						○				
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧)) +余震荷重	海域 活断層	○							○			
	除じん機工了 防水壁	屋外	常時荷重+地震荷重	—	○					○					
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧))	日本海 東縁部	○										
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧)) +余震荷重	—	○							○			
	除じん機工了 水密扉	屋外	常時荷重+地震荷重	—	○					○					
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧))	日本海 東縁部	○										
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧)) +余震荷重	—	○							○			
	床トレン 逆止弁	屋外 (敷地地下)	常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (突き上げ))	日本海 東縁部	○										
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (突き上げ)) +余震荷重	海域 活断層	○										
			常時荷重+地震荷重	—	○						○				
貫通部 止水処置	屋外 (敷地地下)	常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧))	日本海 東縁部	○											
		常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧)) +余震荷重	海域 活断層	○											
		常時荷重+地震荷重	—	○						○					

※ 余震荷重は「海域活断層に想定される地震」による津波の影響を受ける箇所を考慮する（「参考」余震荷重の設定」を参照）

表 4 浸水防止設備（内郭防護）で考慮する荷重及び荷重の組合せ

対象	施設・設備	設置場所	荷重の組合せ		津波波源		常時		自然現象による荷重		地震荷重 (Ss)	余震荷重 ※	津波荷重			備考	
			自重	土圧	風荷重	積雪荷重	動的荷重	動的荷重 (波力)	動的荷重 (突きの上げ)	静水圧			漂流物衝突荷重				
浸水防止設備（内郭防護）	復水器工/ア 防水壁	屋内	常時荷重+地震荷重				○				○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震を考慮する	
			常時荷重+静的荷重（静水圧）					○									
			常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重											○			
	復水器工/ア 水密扉	屋内	常時荷重+地震荷重					○				○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震を考慮する
			常時荷重+静的荷重（静水圧）					○									
			常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重											○			
	床トン 逆止弁	屋内	常時荷重+地震荷重					○				○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震を考慮する
			常時荷重+静的荷重（静水圧）					○									
			常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重											○			
	貫通部 止水処置	屋内	常時荷重+地震荷重					○				○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震を考慮する
			常時荷重+静的荷重（静水圧）					○									
			常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重											○			
隔離弁, ポンプ及び配管	屋内 (配管ダクト内) 又は屋外	常時荷重+地震荷重					○				○						
		常時荷重+静的荷重（静水圧）					○										
		常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重											○				

※ 余震荷重は「海域活断層に想定される地震」による津波の影響を受ける箇所を考慮する（「参考」余震荷重の設定を参照）

表 5 津波監視設備で考慮する荷重及び荷重の組合せ

対象	施設・設備	設置場所	荷重の組合せ	常時		自然現象による荷重		地震荷重 (Ss)	余震荷重 ※	津波荷重			備考
				自重	土圧	風荷重	積雪荷重			動的荷重 (波力)	動的荷重 (突き上げ)	静水圧	
津波監視設備	津波監視カメラ	屋外	常時荷重+地震荷重	○	○	○	○	○					
	取水槽水位計	屋外	常時荷重+地震荷重	○				○					
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	○						○			
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) + 余震荷重	○							○		

※ 余震荷重は「海域活断層」に想定される地震による津波の影響を受ける箇所を考慮する (【参考】余震荷重の設定」を参照)

基準類における衝突荷重算定式及び衝突荷重について

1. はじめに

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

2. 基準類における衝突荷重算定式について

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

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

○適用範囲・考え方：

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

○算定式：

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

ここに、P：衝突力（kN）

W：流送物の重量（kN）

v：表面流速（m/s）

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

○適用範囲・考え方：

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

○算定式：

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

（船の回転により衝突エネルギーが消費される（1/4 点衝突）場合

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

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

W：仮想重量（kN）

W₀：排水トン数（kN）

W' : 付加重量 (kN)

D : 喫水 (m)

L : 横付けの場合は船の長さ, 縦付けの場合は船の幅 (m)

γ_w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

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

3. 漂流物の衝突荷重算定式の適用事例

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

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

表-1 各施設の許容漂流速度

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

4. 漂流物による衝突力評価式に関する既往の研究論文

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

○適用範囲・考え方：

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

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

○算定式(a) :

(a) 松富の評価式^{※2}

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

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

ここに、 F_m : 衝突力

C_{MA} : 見かけの質量係数

(段波・サージでは 1.7, 定常流では 1.9)

v_{A0} : 流木の衝突速度

D : 流木の直径

L : 流木の長さ

σ_f : 流木の降伏応力

γ : 流木の単位体積重量

g : 重力加速度

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

○算定式(b) :

(b) 池野らの評価式^{※3}

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

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

ここに、 F_H : 漂流物の衝突力 (kN)

S : 係数 (5.0)

C_{MA} : 見かけの質量係数

(円柱横向き : 2.0 (2次元), 1.5 (3次元),

角柱横向き : 2.0~4.0 (2次元), 1.5 (3次元),

円柱縦向き : 2.0 程度, 球 : 0.8 程度)

V_H : 段波速度 (m/s)

D : 漂流物の代表高さ (m)

L : 漂流物の代表長さ (m)

M : 漂流物の質量 (t)

g : 重力加速度

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

○算定式(c) :

(c) 水谷らの評価式^{※4}

津波により漂流するコンテナの衝突力を次式の通り提案している。

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

ここに, F_m : 漂流衝突力(kN)

dt : 衝突時間(s)

η_m : 最大遡上水位 (m)

ρ_w : 水の密度 (t/m³)

B_c : コンテナ幅(m)

V_x : コンテナの漂流速度 (m/s)

W : コンテナ重量(kN)

g : 重力加速度

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

○算定式(d) :

(d) 有川らの評価式^{※5}

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

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

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

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

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

ここに, F : 衝突力

a : 衝突面半径の 1/2 (コンテナ衝突面の縦横長さの平均の 1/4)

E : ヤング率 (コンクリート板)

ν : ポアソン比

m : 質量

v : 衝突速度

γ_p : 塑性によるエネルギー減衰効果(0.25)

m や k の添え字は衝突体と被衝突体を示す。

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

○算定式(e) :

(e) FEMA の評価式^{※6}

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

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

ここに、 F_i : 衝突力(kN)

u_{\max} : 最大流速(m/s)

m : 漂流物の質量

c : 付加質量係数

k : 漂流物の有効剛性(kN/m²)

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

5. 基準津波の特性(流向・流速)

漂流物の衝突荷重算定に用いる流速は、津波の流速に支配されることから、漂流物の漂流速度として津波の流速を用いる。防波堤の有無を考慮した基準津波 1～6 について、平面二次元津波シミュレーション結果より津波防護施設前面における流況を確認する。施設護岸港湾内及び港湾外の防波壁前面、並びに 1 号放水連絡通路防波扉前面における、最大流速発生時の流況確認結果を表－2 に示す。

表－2 最大流速発生時の流況

対象箇所 [※]	基準津波 [※]	流向 [※]	最大流速 [※]	発生時刻
施設護岸港湾外 防波壁前面	基準津波 1 (防波堤あり)	南	9.0m/s	181分27.10秒
施設護岸港湾内 防波壁前面	基準津波 1 (防波堤なし)	南東	9.0m/s	192分40.85秒
1号放水連絡通路 防波扉前面	基準津波 1 (防波堤なし)	南西	9.8m/s	192分55.35秒

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

表－2 に示す各対象箇所の最大流速発生時刻近傍（最大時刻，最大時刻前後 30 秒）における水位分布と流向・流速ベクトル図，及び最大流速発生時刻における流速分布図を図－1～12 に示す。

【基準津波 1 (防波堤あり)_施設護岸港湾外防波堤前面】

水位分布と流向・流速ベクトル

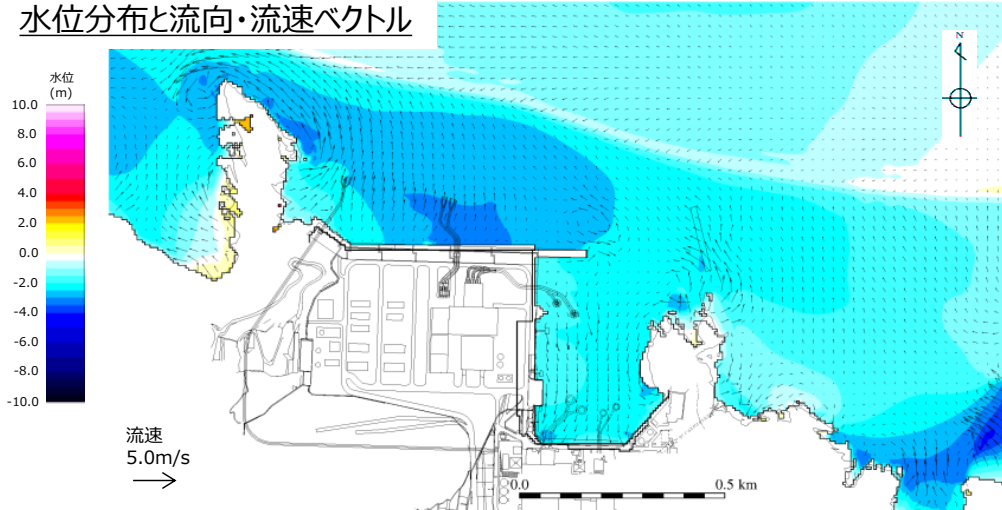


図-1 水位分布と波向き・波高ベクトル(180分 57.10秒：最大流速発生時刻-30秒)

水位分布と流向・流速ベクトル

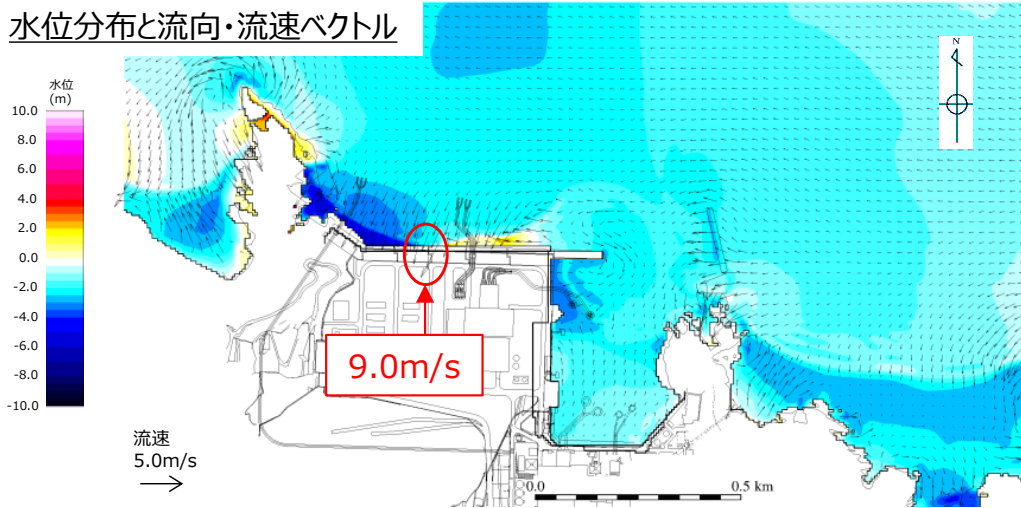


図-2 水位分布と波向き・波高ベクトル(181分 27.10秒：最大流速発生時刻)

水位分布と流向・流速ベクトル

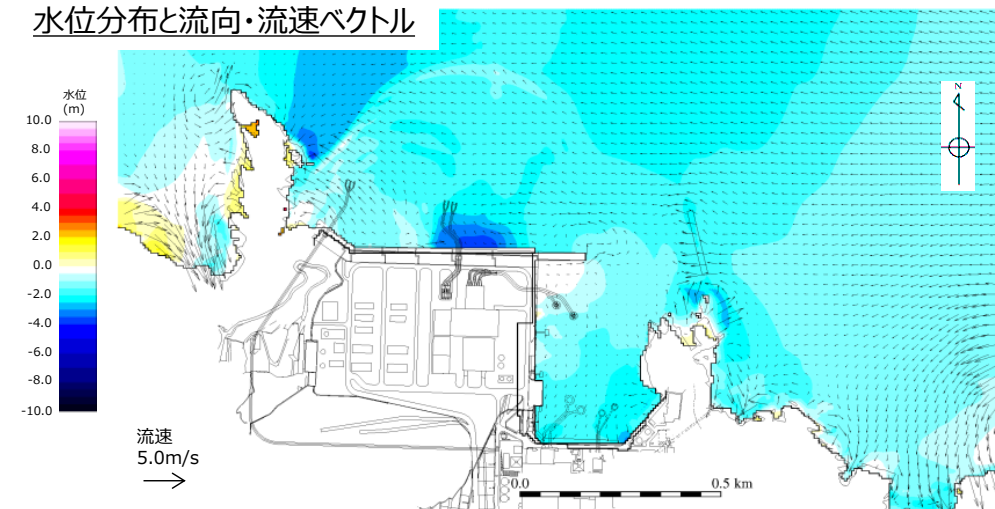


図-3 水位分布と波向き・波高ベクトル(181分 57.10秒：最大流速発生時刻+30秒)

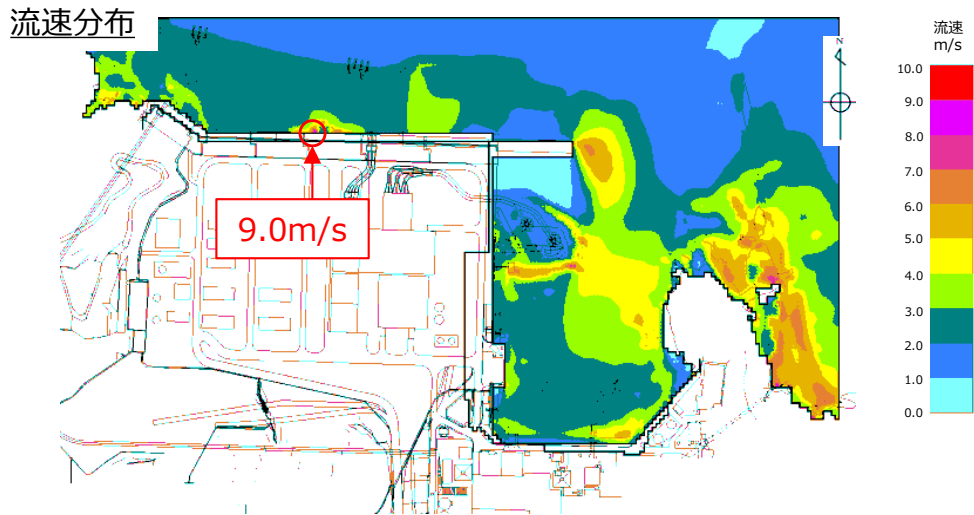


図-4 流速分布_南方向(181分27.10秒：最大流速発生時刻)

【基準津波1(防波堤なし)_施設護岸港湾内防波壁前面】

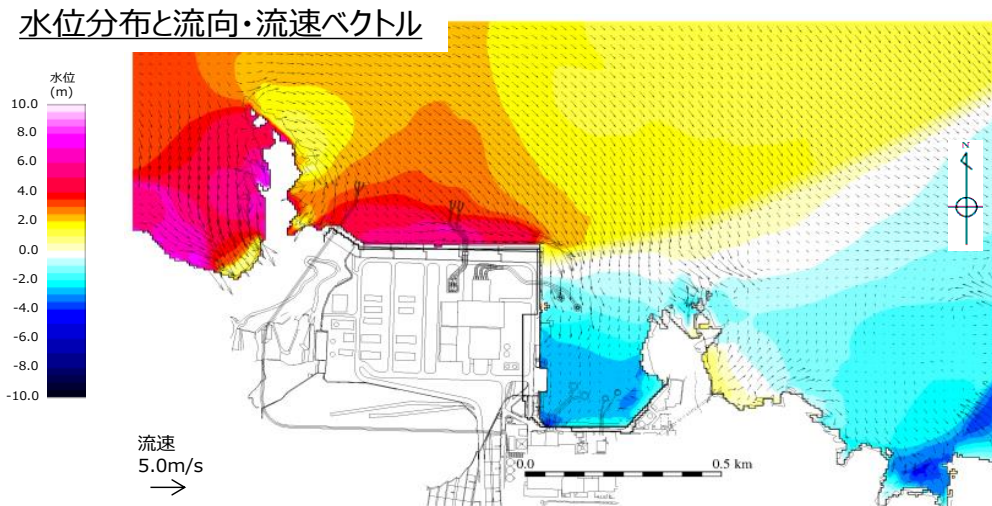


図-5 水位分布と波向き・波高ベクトル(192分10.85秒：最大流速発生時刻-30秒)

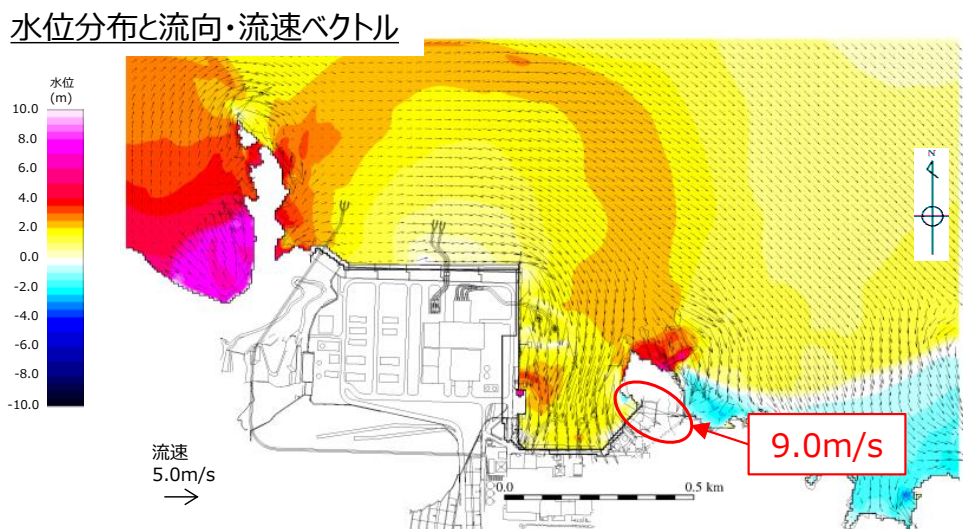


図-6 水位分布と波向き・波高ベクトル(192分40.85秒：最大流速発生時刻)

水位分布と流向・流速ベクトル

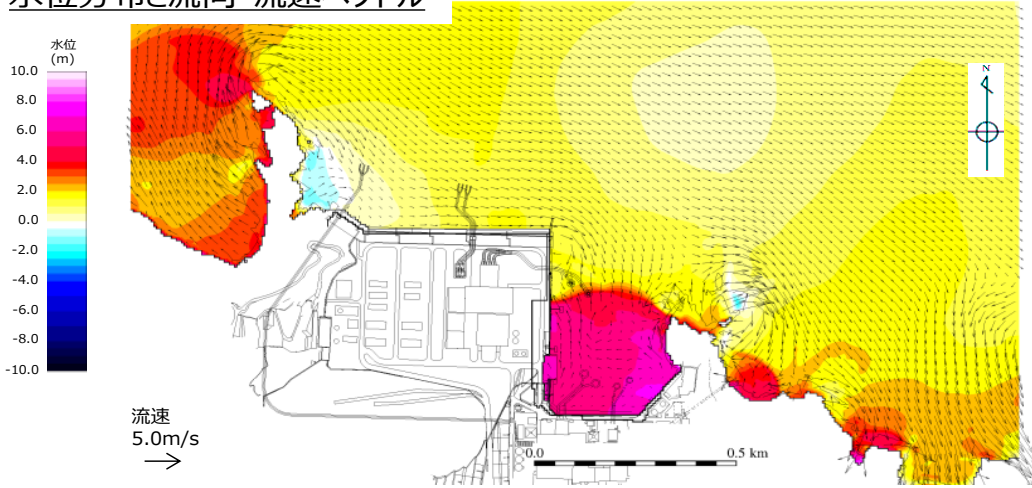


図-7 水位分布と波向き・波高ベクトル(193分10.85秒：最大流速発生時刻+30秒)

流速分布

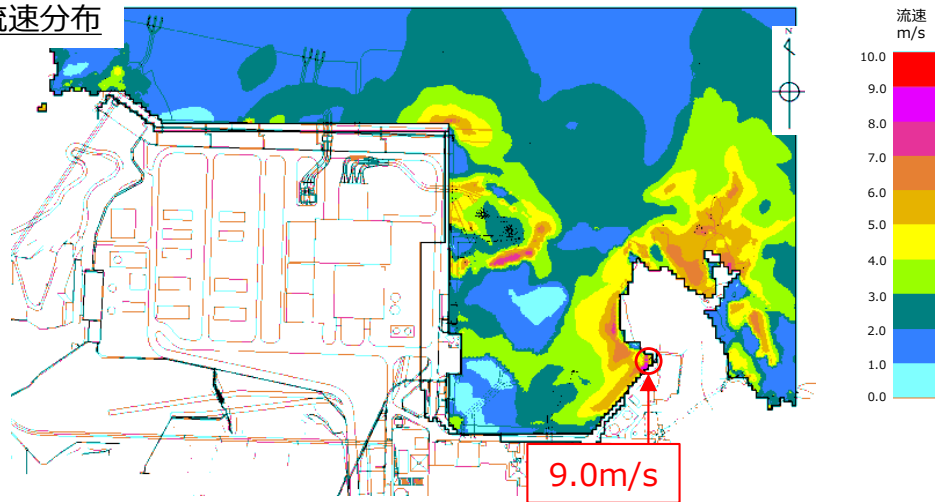


図-8 流速分布_南東方向(192分40.85秒：最大流速発生時刻)

【基準津波1(防波堤なし)_1号放水連絡通路防波扉前面】

水位分布と流向・流速ベクトル

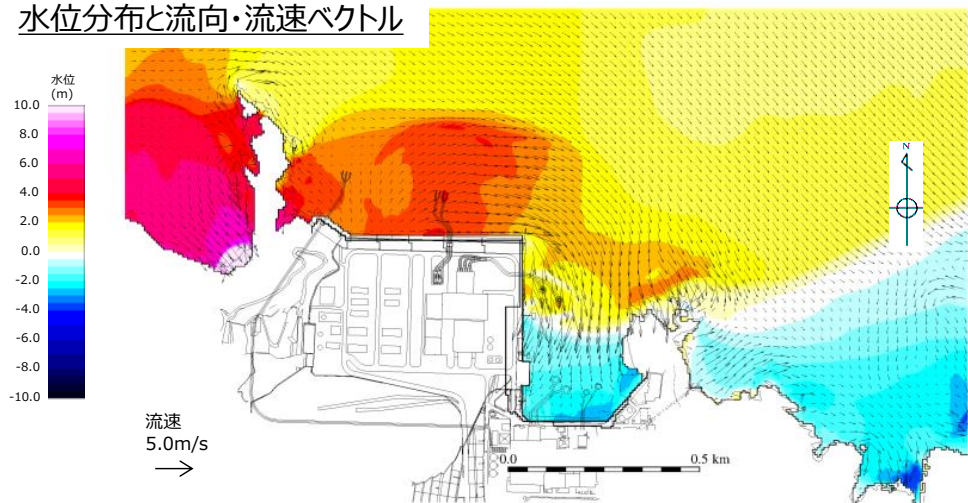


図-9 水位分布と波向き・波高ベクトル(192分25.35秒：最大流速発生時刻-30秒)

水位分布と流向・流速ベクトル

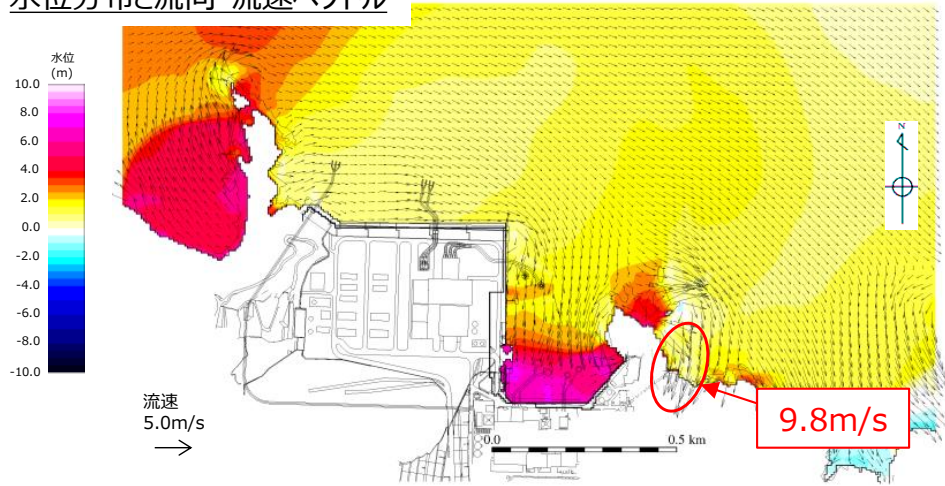


図-10 水位分布と波向き・波高ベクトル(192分 55.35秒：最大流速発生時刻)

水位分布と流向・流速ベクトル

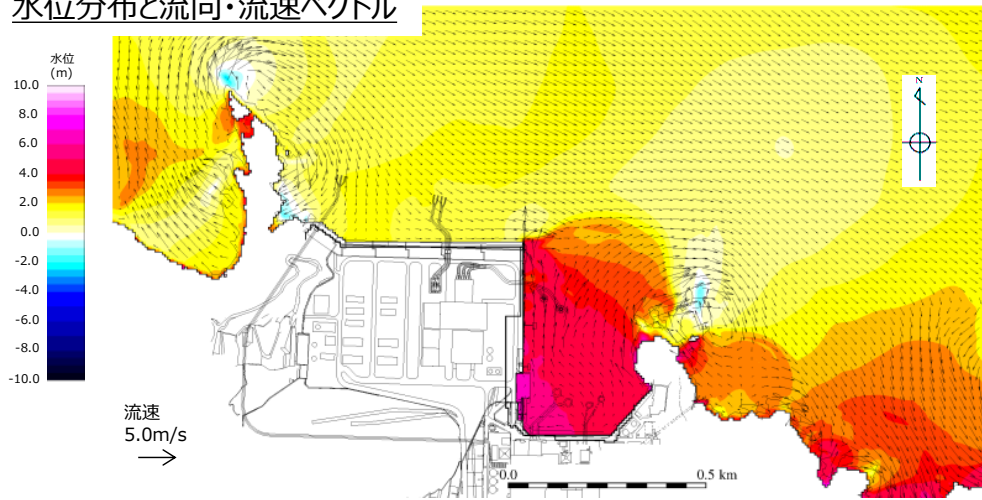


図-11 水位分布と波向き・波高ベクトル(193分 25.35秒：最大流速発生時刻+30秒)

流速分布

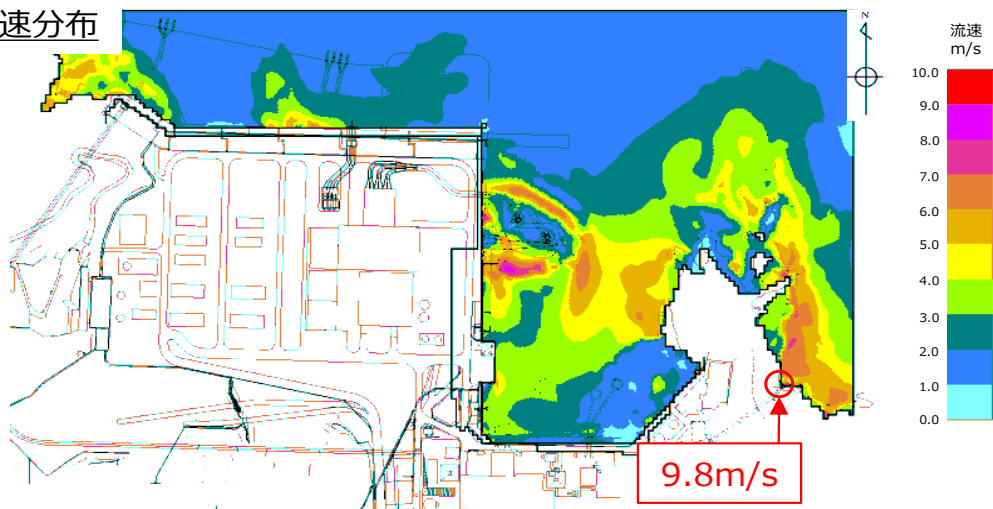


図-12 流速分布_南西方向(192分 55.35秒：最大流速発生時刻)

6. 漂流物の配置位置及び種類等

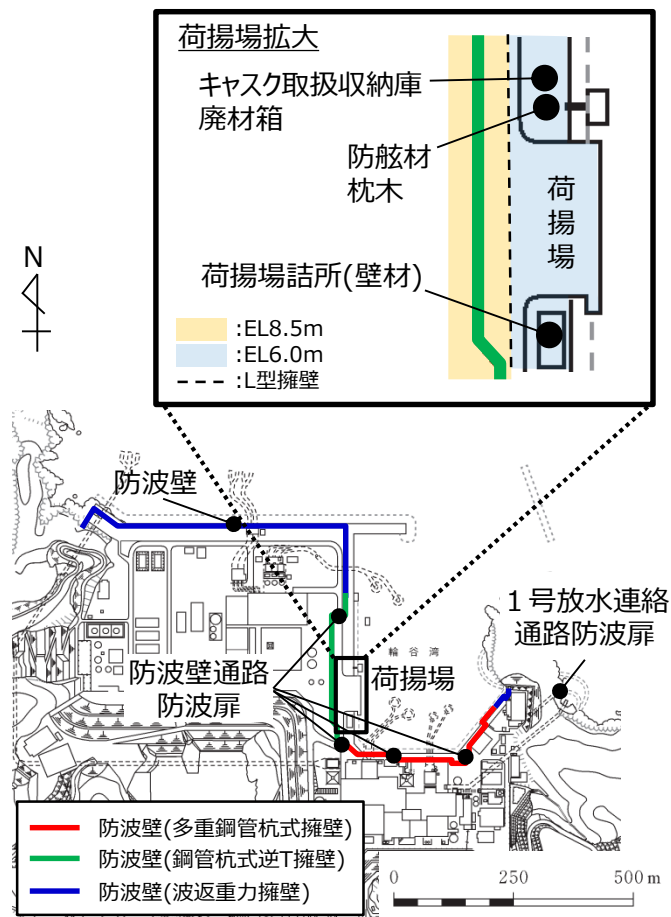
「2.5.2 (3) 基準津波に伴う取水口付近の漂流物に対する取水性確保」に示す取水口に対する漂流物の影響の評価プロセスより、漂流物衝突荷重の設定に考慮する漂流物として、荷揚場設備を抽出した。詳細は、「2.5.2 (3) 基準津波に伴う取水口付近の漂流物に対する取水性確保」参照。

抽出した漂流物一覧及び発電所における漂流物配置位置を表-3及び図-13に示す。

表-3 抽出した漂流物一覧

配置位置	名称	種類	重量 (船舶:総トン数)	備考	
構内	海域	温排水影響調査作業船	船舶	約10t	日本海東縁部に想定される地震による津波については、発電所に到達するまでの間に退避可能であることから対象漂流物として考慮しない。 また、海域活断層から想定される地震による津波については、施設護岸又は防波壁位置における入力津波高さがEL4.2mであることから、EL8.5mの敷地に設置される津波防護施設に影響を及ぼさない。
		人工リーフ海藻草調査作業船		約3~6t	
		格子状定線水温測定作業船		約3t	
		港漏油拡散防止業務作業船		1t未満~約10t	
		環境試料採取作業船		1t未満~約3t	
		海象計点検作業船		約2~10t	
		使用済燃料の輸送に伴う作業船		約2~10t	
		フラップゲート点検作業船		約7t	
	陸域※	荷揚場詰所の壁材 (ALC板)	鉄骨造建物	—	
		キャスク取扱収納庫	機器類	カバー部：約4.3t 定盤部：約7.9t	
		防舷材(フォーム式, 空気式)	その他漂流物 となり得る物	フォーム式：約1t 空気式：約0.5t	
		枕木		約0.012t	
		廃材箱		約0.9t	
構外	海域	発電所周辺の漁港の船舶 (漁船)	船舶	最大約19t	日本海東縁部に想定される地震による津波については、発電所に到達するまでの間に退避可能であることから対象漂流物として考慮しない。 また、海域活断層から想定される地震による津波については、基準津波の流向・流速ベクトルの評価の結果、発電所に到達しない。
		3号護岸近傍、輪谷湾近傍を航行する船舶			
		周辺漁港に停泊する船舶			
		発電所前面海域を航行する船舶	船舶	最大約2,500t	基準津波の流向・流速ベクトルの評価の結果、発電所に到達しない。
		定置網	漁具	—	
	陸域	漁港周辺の家屋・車両等	家屋・車両等	—	

※発電所構内陸域において想定される漂流物は荷揚場上に設置



図－1 3 漂流物配置位置

7. 漂流物の衝突荷重算定式の選定

設置変更許可段階においては、島根原子力発電所における基準津波の津波特性を流況解析結果より確認し、漂流物衝突荷重の設定に考慮する漂流物を抽出するとともに、道路橋示方書を含む既往の様々な衝突荷重の算定式とその根拠について整理した。

海域活断層から想定される地震による津波については、水位、流向及び流速の評価により漂流物が津波防護施設に到達しないため、漂流物衝突荷重は、日本海東縁部に想定される地震による津波に対して設定する。

日本海東縁部に想定される地震による津波時において、漂流物衝突荷重の設定に考慮する漂流物として荷揚場設備を抽出した。漂流物については、これまで発電所へ到達し得ると評価されたもののうち、最も重量が大きい船舶（構外海域；総トン数 19t、構内海域；総トン数 10t）を考慮することとしていたが、構内の作業船の緊急退避に係る手順を整備して緊急退避することとしたこと、発電所近傍を航行又は操業する周辺漁港の漁船についても津波到達までの間に退避することから、漂流物としないことに見直した。

抽出した対象漂流物について、詳細設計段階において漂流物衝突荷重の算定式の適用性を検討し、必要に応じ対策等も踏まえ漂流物衝突荷重を設定する。

なお、島根原子力発電所における基準津波の津波特性の確認結果より、施設護岸港湾内及び港湾外の防波壁前面で最大流速 9.0m/s(流向:南東・南)、1号放水連絡通路防波扉前面で最大流速 9.8m/s(流向:南西)となることを確認した。以上より、津波防護施設における津波による漂流物衝突荷重の評価には、安全側に流速 10.0m/s を用いることとする。

耐津波設計における余震荷重と津波荷重の組合せについて

1. 規制基準における要求事項等

- ・サイトの地学的背景を踏まえ、余震の発生の可能性を検討すること。
- ・余震発生の可能性に応じて余震による荷重と入力津波による荷重との組合せを考慮すること。

2. 検討方針

余震による荷重については、本震発生後の余震及び誘発地震を検討し、耐津波設計において津波荷重と組み合わせる適切な余震荷重を設定する。なお、本検討においては、本震の震源域において発生する地震を余震とし、本震の震源域の外で発生する地震を誘発地震として整理し、図1の流れで検討を実施した。

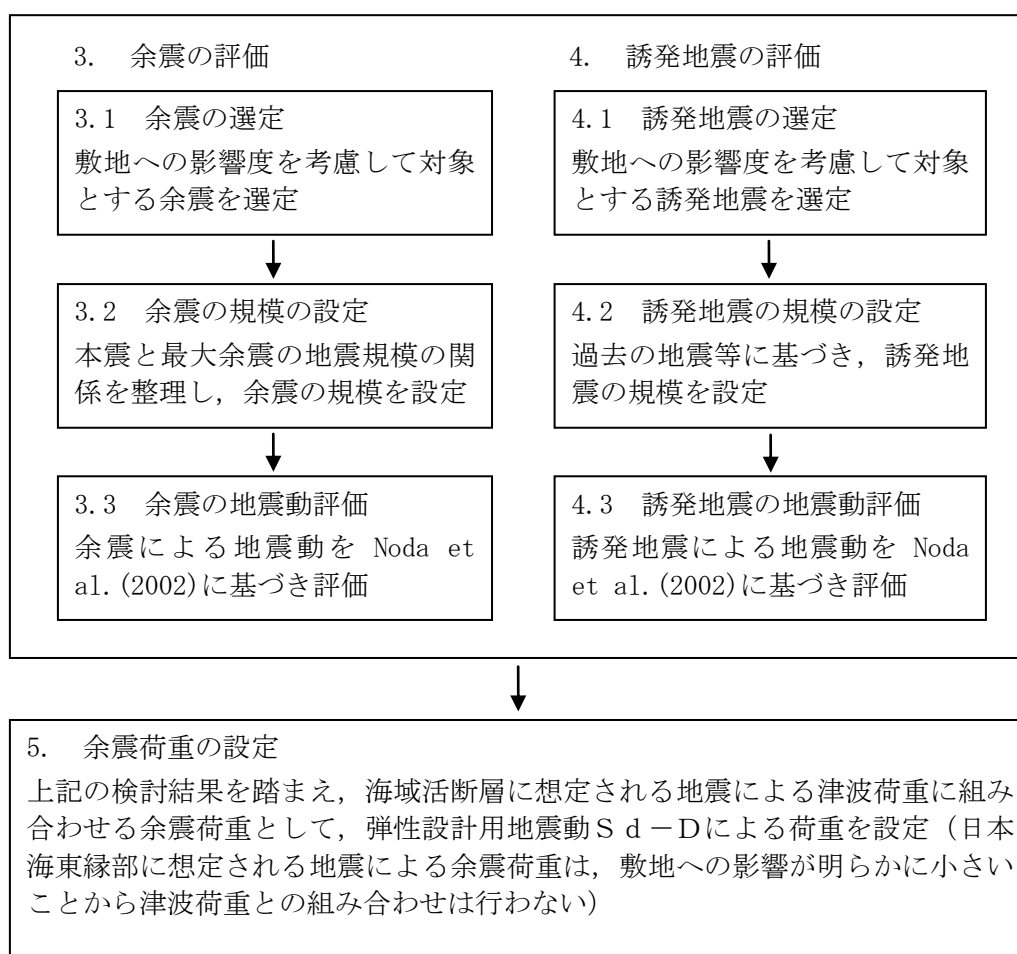


図1 余震荷重の検討フロー

3. 余震の評価

3.1 余震の選定

基準津波の波源の活動に伴い発生する可能性がある余震による地震動を評価するにあたり、敷地への影響度を考慮して対象とする余震を選定する。島根原子力発電所における基準津波は、図2に示す「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1, 2, 3, 5及び6」及び「海域活断層に想定される地震による基準津波4」である。このうち、「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1, 2, 3, 5及び6」の波源位置は、敷地から600km以上の距離にあり、その波源の活動に伴う余震については、敷地への影響が明らかに小さい。一方、「海域活断層に想定される地震による基準津波4」の波源位置は、敷地からの断層最短距離が約8kmと比較的近く、その波源の活動に伴う余震については、敷地への影響が考えられる。

以上のことから、「海域活断層に想定される地震による基準津波4」の波源の活動に伴う余震を選定する。

3.2 余震の規模の設定

余震の規模は、過去の地震データにおける本震規模と最大余震の規模の関係を整理することにより想定する。検討対象とした地震は、津波荷重と組み合わせる余震荷重を評価するという観点から、地震調査研究推進本部の地震データによる本震のマグニチュードが7.0以上とし、かつ、余震を考慮する基準津波4の波源の活動に伴い発生する津波の最大水位変化を生起する時間帯は、最大でも地震発生から約10分以内であることを考慮し、本震と最大余震との時間間隔が1時間程度以内の地震とした。対象とした地震の諸元及び震央分布を表1及び図3に示す。地震調査研究推進本部の地震データについて、本震のマグニチュード M_0 と最大余震のマグニチュード M_1 の関係から本震と余震のマグニチュードの差 D_1 は、図4のとおり、 $D_1 = M_0 - M_1 = 1.2$ として評価できる。余震の規模を想定する際は、データ数が少ないことから、保守的に標準偏差を考慮し $D_1 = 0.9$ として余震の規模を想定する。

3.3 余震の地震動評価

基準津波4の波源の活動に伴い発生する可能性がある余震による地震動を評価するにあたり、表2及び図5に示す波源の諸元及び震源モデルを設定し、上記の関係式に基づき余震の規模を設定した上で、Noda et al. (2002)により応答スペクトルを評価した。その評価結果と弾性設計用地震動 $S_d - D$ の応答スペクトルを比較して図6に示す。同図より、基準津波4の波源の活動に伴う余震の地震動評価結果は、弾性設計用地震動 $S_d - D$ を下回っている。

4. 誘発地震の評価

4.1 誘発地震の選定

基準津波の波源の活動に伴い発生する可能性がある誘発地震による地震動を評価するにあたり、敷地への影響度を考慮して対象とする誘発地震を選定する。

過去に発生した誘発地震について、2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）を対象に、余震活動の領域内の地震を除いた本震発生後24時間以内に発生したM6.5以上の内陸地殻内地震を確認すると、本震発生から約13時間後に長野県北部の地震（M6.7）が誘発地震として発生しており、それぞれの地震の震央位置は、図7に示すとおり約400km離れた位置関係になっている。

図8に示す国土地理院による2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）の発生後（2011年2月下旬～3月下旬）の地殻変動によると、誘発地震の長野県北部の地震（M6.7）の震央位置周辺に比べて、敷地周辺ではほとんど地殻変動は見られない。また、遠田（2011）において、2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）の発生後の応力変化を検討し、近畿地方の変化量は概ね0.1bar以下と小さく、地震活動に目立った変化は見られないことから、「近畿の活断層への影響はごくわずか」としており、近畿地方よりもさらに西方の敷地周辺の活断層への影響もごくわずかと考えられる。なお、日本海東縁部の地震の本震のマグニチュードが7.0以上の3地震（1964年新潟地震：本震M7.5 最大余震6.1, 1983年日本海中部地震：本震M7.7 最大余震6.1, 1993年北海道南西沖地震：本震M7.8 最大余震6.0）については、余震を含めたとしてもM6.5未満の地震しか発生していない。

基準津波のうち、「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1, 2, 3, 5及び6」の波源は2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）より規模が小さく、その位置は図7に示すとおり敷地から600km以上の距離にあり、2011年東北地方太平洋沖地震とその誘発地震の位置関係よりも更に離れていることから、上記の地殻変動や応力変化を考慮すると、その波源の活動に伴う誘発地震が敷地周辺で発生することは考えられない。

一方、「海域活断層に想定される地震による基準津波4」の波源位置は、図7に示すとおり、敷地からの断層最短距離が約8kmと比較的近いことから、その波源の活動に伴う誘発地震が敷地周辺で発生することは考えられる。

以上のことから、「海域活断層に想定される地震による基準津波4」の波源の活動に伴う誘発地震を選定する。

4.2 誘発地震の規模の設定

2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)では誘発地震の長野県北部の地震(M6.7)が発生したのは本震発生から約13時間後である。誘発地震を考慮する基準津波4の継続時間のうち最大水位変化を生起する時間帯(最大でも地震発生から約10分以内)においてM6.8以上の誘発地震が発生することは考えにくい。保守的に基準地震動の評価において検討用地震に選定されなかった孤立した短い活断層による地震を対象とし、誘発地震の規模をM6.8に設定する。

4.3 誘発地震の地震動評価

基準津波4の波源の活動に伴う誘発地震について、表3及び図9に示す孤立した短い活断層による地震を対象にM6.8の震源モデルを設定し、Noda et al. (2002)により応答スペクトルを評価した。その評価結果と弾性設計用地震動S_d-Dの応答スペクトルを比較して図10に示す。同図より、基準津波4の波源の活動に伴う誘発地震の地震動評価結果は、弾性設計用地震動S_d-Dを下回っている。

5. 余震荷重の設定

以上の検討結果から、基準津波1, 2, 3, 5及び6の波源である「日本海東縁部に想定される地震」については、その余震及び誘発地震の敷地への影響が明らかに小さいことから、津波荷重に組み合わせる余震荷重を設定しない。また、基準津波4の波源である「海域活断層に想定される地震」については、その余震及び誘発地震の地震動評価結果を、全ての周期帯において弾性設計用地震動S_d-Dが十分に上回ることから、保守的にS_d-Dによる荷重を海域活断層に想定される地震による津波荷重に組み合わせる余震荷重として設定する。

【参考文献】

- Noda, S. • K. Yashiro • K. Takahashi • M. Takemura • S. Ohno • M. Tohdo • T. Watanabe
(2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON
ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological
DATA and Seismic Engineering, Oct.16-18 Istanbul, pp.399-408
- 地震調査研究推進本部 (2016) : 大地震後の地震活動の見通しに関する情報
のあり方, 平成 28 年 8 月 19 日
- 国土地理院 (2011) : 平成 23 年 3 月の地殻変動について
- 遠田晋次 (2011) : 東北地方太平洋沖地震にともなう静的応力変化,
<http://www1.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/events/110311tohoku/toda/index.html>
- 活断層研究会編 (1991) : [新編] 日本の活断層分布図と資料, 東京大学出版会

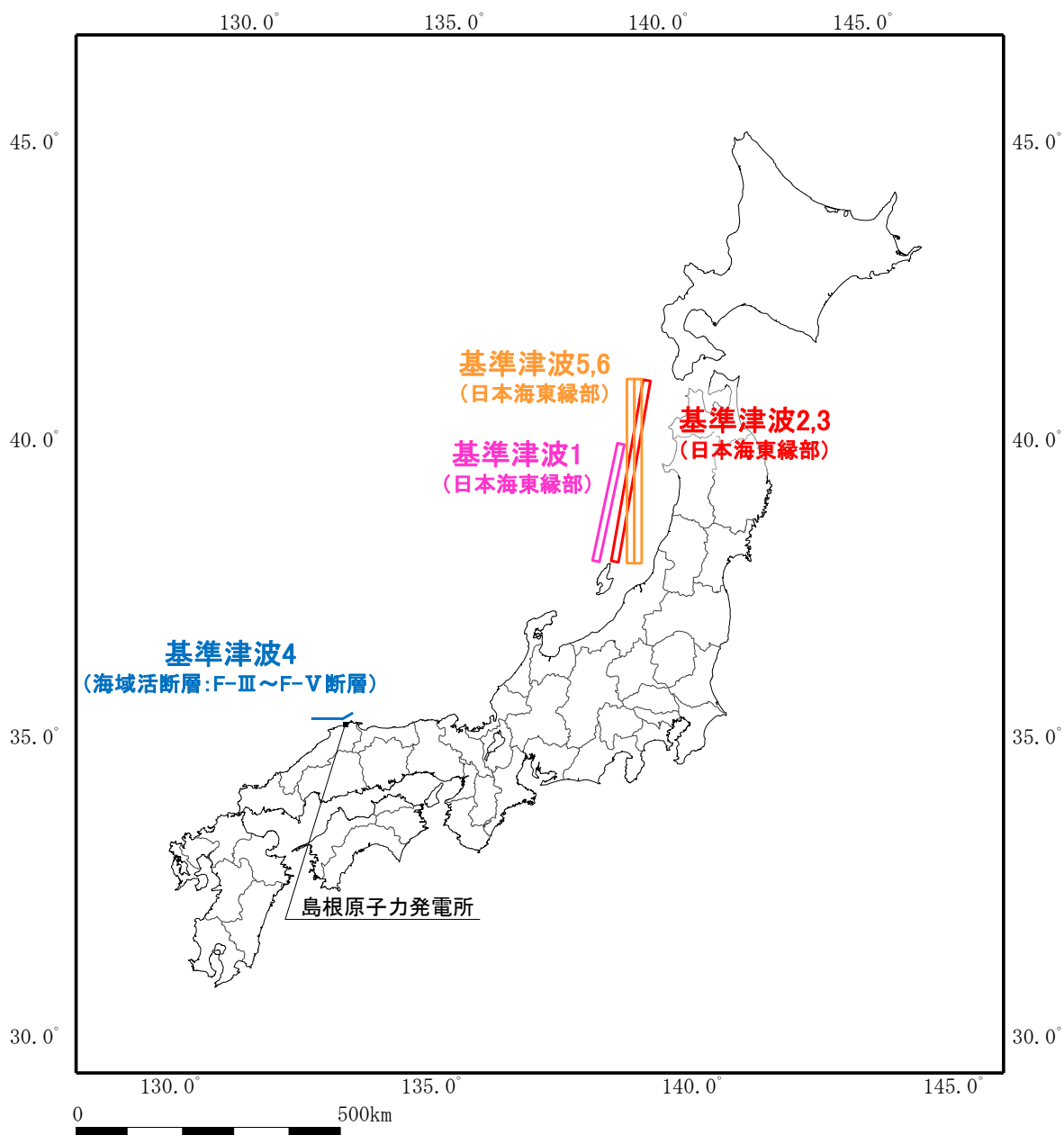


図2 島根原子力発電所と基準津波の波源

表1 過去の地震における本震と最大余震の関係 (M7.0 以上)

No.	発生年月日	震源	最大余震		
			本震 マグニチュード M0	マグニチュード M1	本震との 時間間隔
1	2003/9/26	十勝沖	8.0	7.1	1:18
2	2004/11/29	釧路沖	7.1	6.0	0:04
3	2006/11/15	千島列島東方	7.9	6.7 ^{※1}	1:12
4	2008/6/14	岩手宮城内陸地震	7.2	5.7	0:37
5	2008/9/11	十勝沖	7.1	5.7	0:12
6	2011/3/11	東北地方太平洋沖地震	9.0	7.6 ^{※1}	0:29
7	2012/12/7	三陸沖	7.3	6.6	0:13
8	2016/4/16	熊本地震	7.3	5.9	0:21

※1：気象庁による最新の震源情報を参照

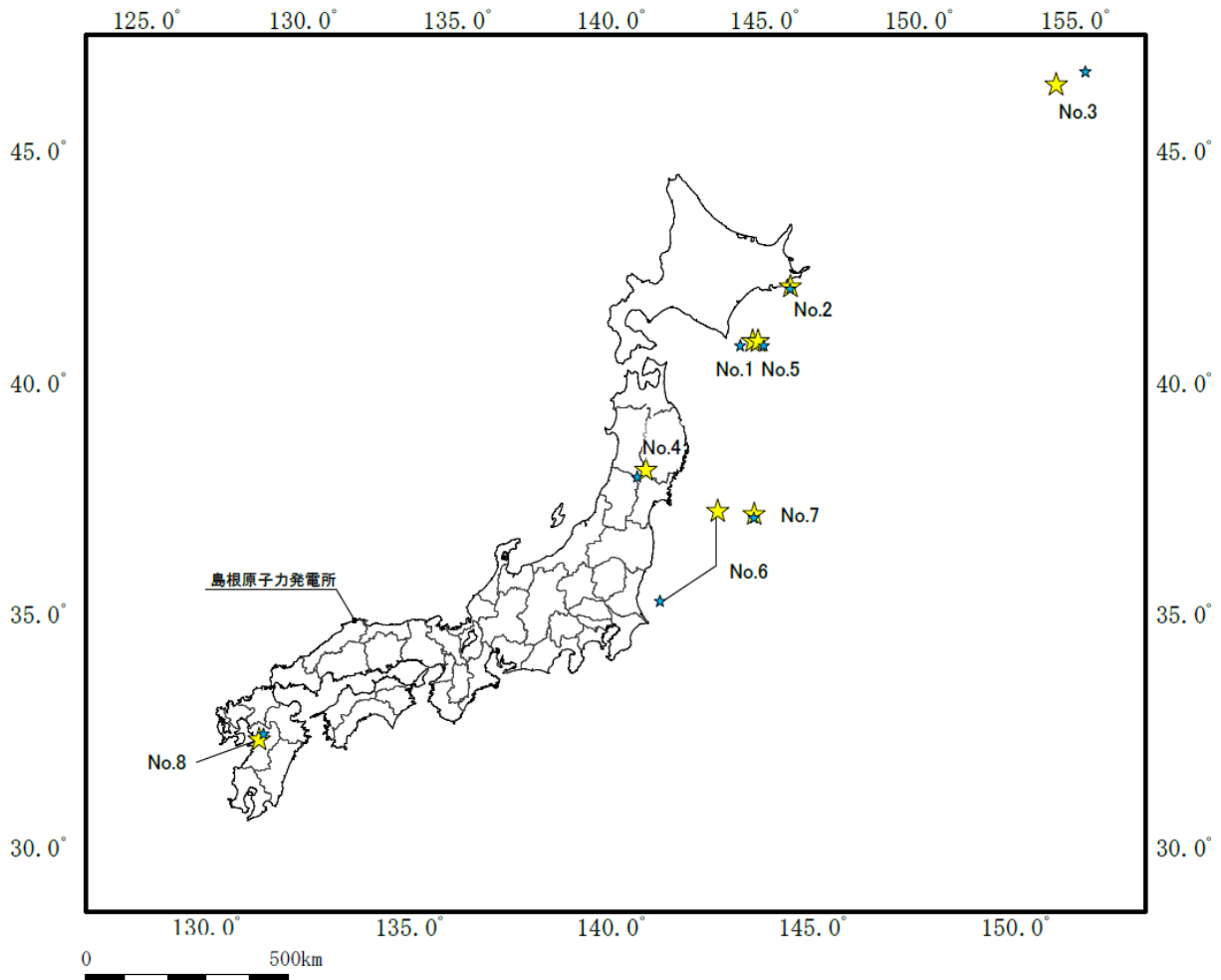


図3 余震の地震規模の評価に用いた地震の震央分布 [本震 (★), 余震 (★)]

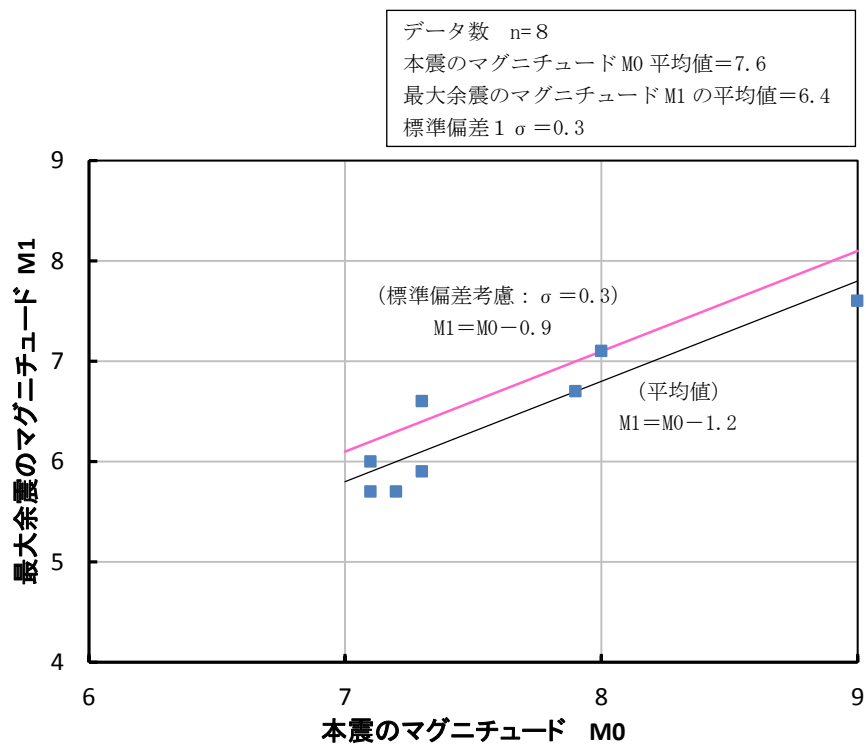


図4 本震と最大余震の地震規模の関係 (M7.0 以上)

表2 設定した余震の震源諸元

項目	設定値
本震のマグニチュード	7.6
余震のマグニチュード ^{※1}	6.7
等価震源距離 ^{※2} (km)	17.3

※1：本震と余震のマグニチュードの差D1を0.9として、余震のマグニチュードを評価
 ※2：図5に示す震源モデルに対し、Noda et al. (2002)に基づき等価震源距離を評価

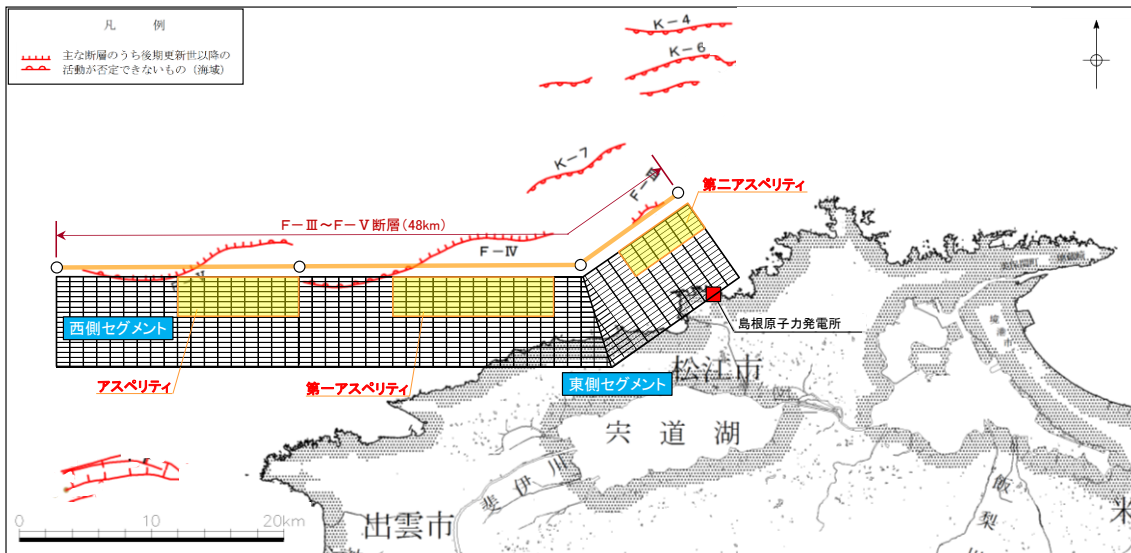


図5 基準津波4の波源に対する震源モデル

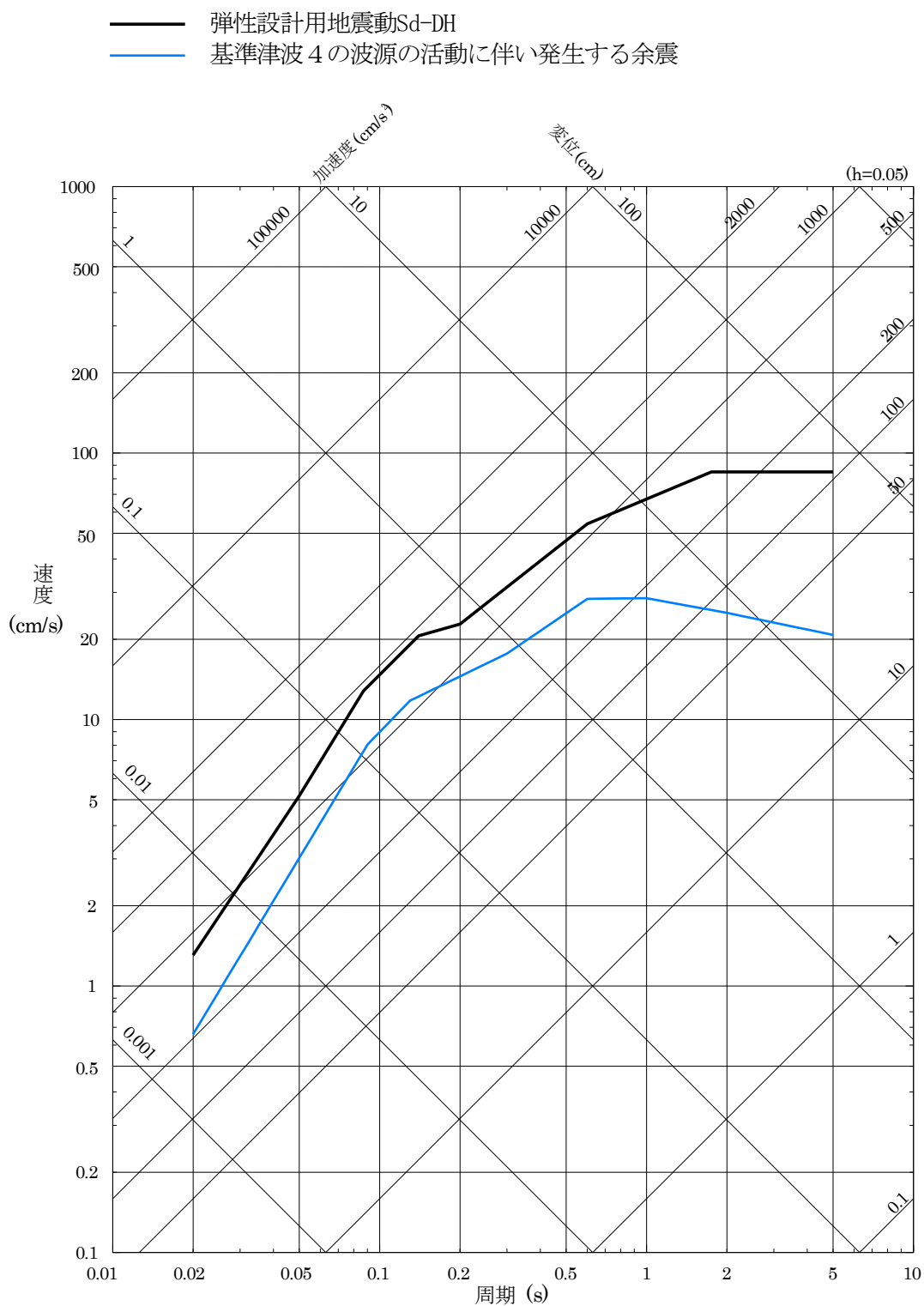


図6 (1) 基準津波4の波源の活動に伴い発生する余震と弾性設計用地震動Sd-Dの比較 (水平方向)

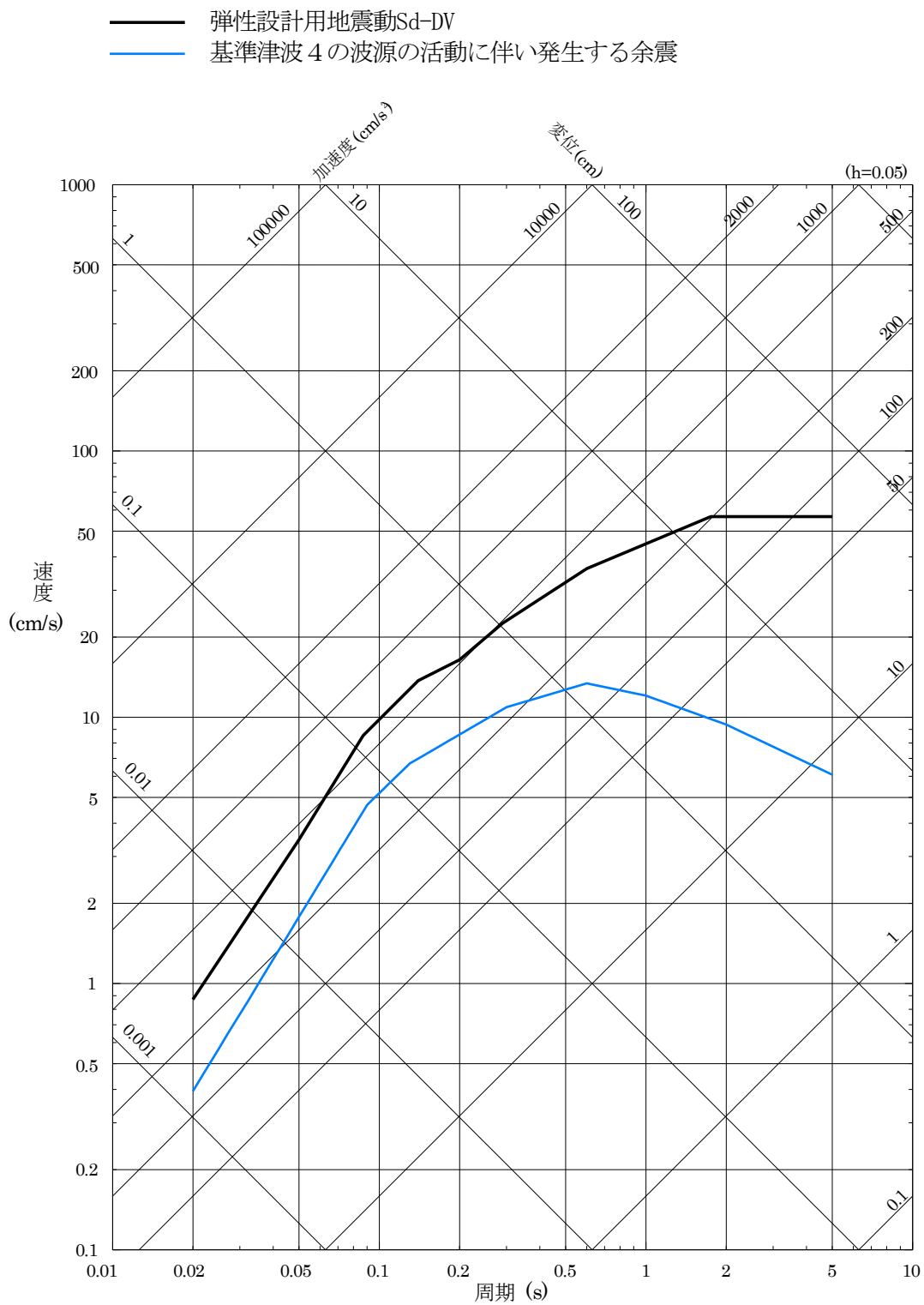


図6 (2) 基準津波4の波源の活動に伴い発生する余震と弾性設計用地震動Sd-Dの比較 (鉛直方向)

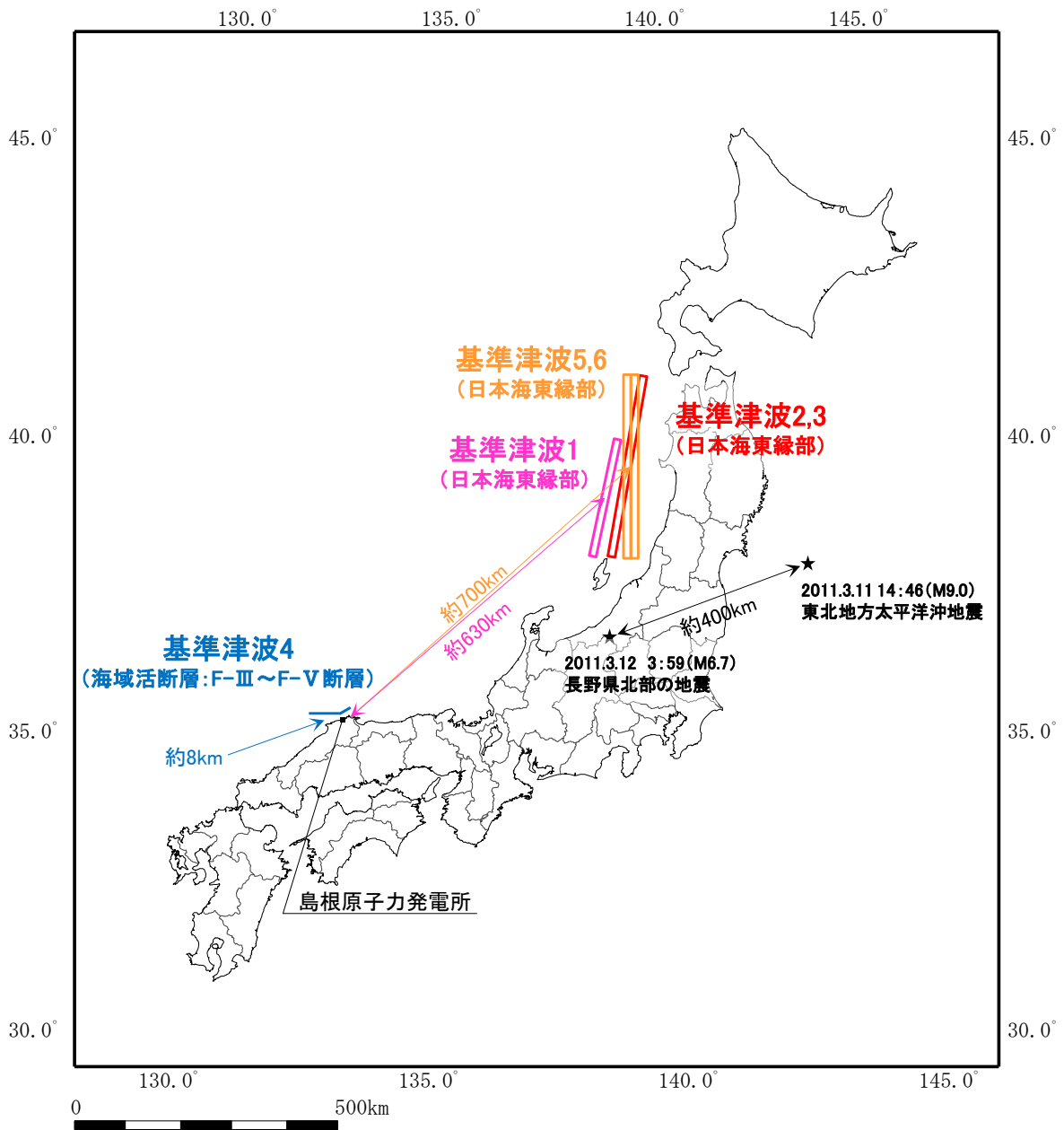
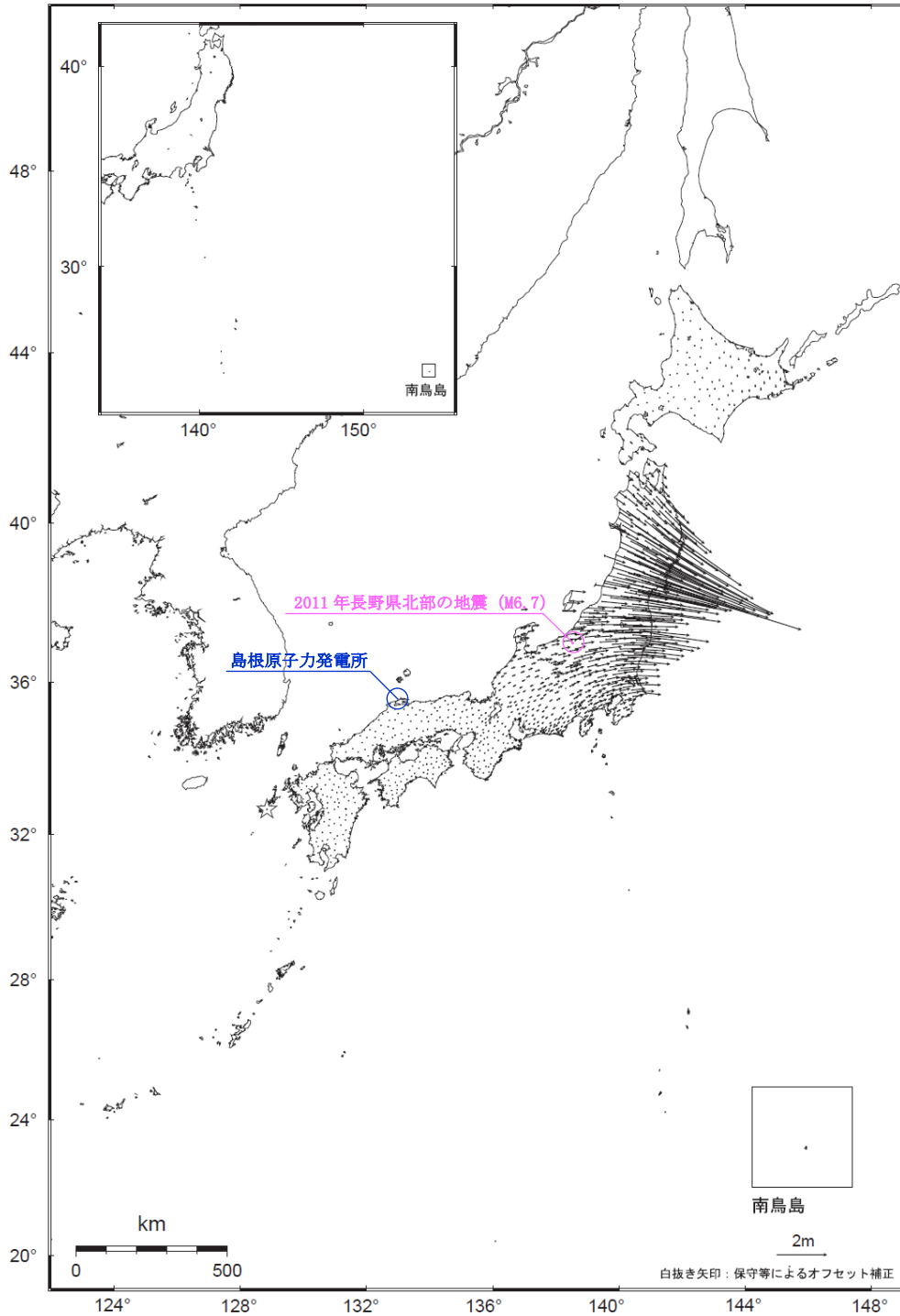


図7 2011年東北地方太平洋沖地震と2011年長野県北部の地震の震源位置及び島根原子力発電所と基準津波の波源の位置関係

全国の地殻変動（水平）－1ヶ月－

基準期間：2011.02.22～2011.02.28 [F3：最終解]

比較期間：2011.03.25～2011.03.31 [R3：速報解]



☆ 固定局：福江 (950462)

・3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動が見られます。

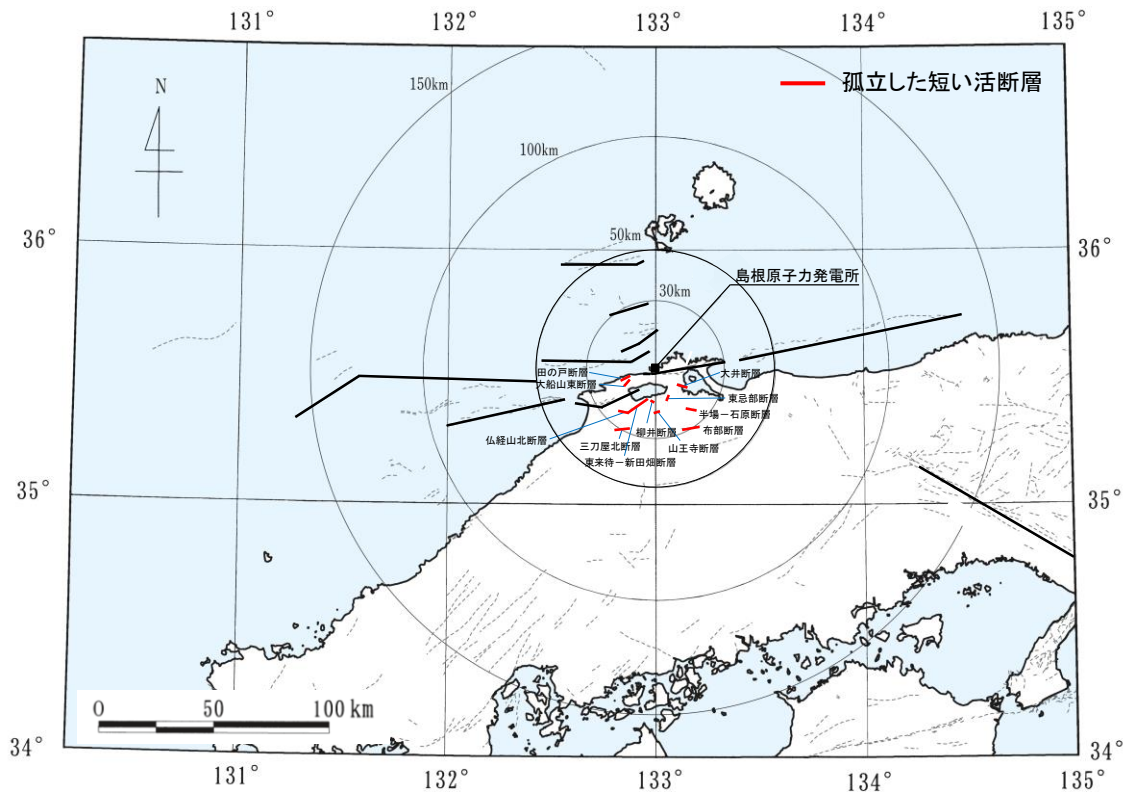
※東北地方太平洋沖地震に伴い、つくば1 (92110) が変動したため、2011/3/11以降のQ3, R3解析においては固定点を与論 (950495) へ変更している。

[国土地理院 (2011) に一部加筆]

図8 2011年2月下旬から2011年3月下旬の1ヶ月間の地殻変動

表3 設定した誘発地震の震源諸元

No.	断層名	マグニチュード M	等価震源距離 Xeq (km)
1	た と 田の戸断層	6.8	16.0
2	おおふなやまひがし 大船山東断層	6.8	16.1
3	ぶつきょうざんきた 仏経山北断層	6.8	26.2
4	ひがしまち しんたばた 東来待-新田畑断層	6.8	20.2
5	やない 柳井断層	6.8	18.3
6	みとやきた 三刀屋北断層	6.8	32.1
7	はんば いしはら 半場-石原断層	6.8	25.7
8	ふべ 布部断層	6.8	32.1
9	ひがしいんべ 東忌部断層	6.8	17.3
10	さんのうじ 山王寺断層	6.8	22.2
11	おおい 大井断層	6.8	16.0



[[「新編」日本の活断層]に加筆修正]

図9 誘発地震として考慮する孤立した短い活断層の分布

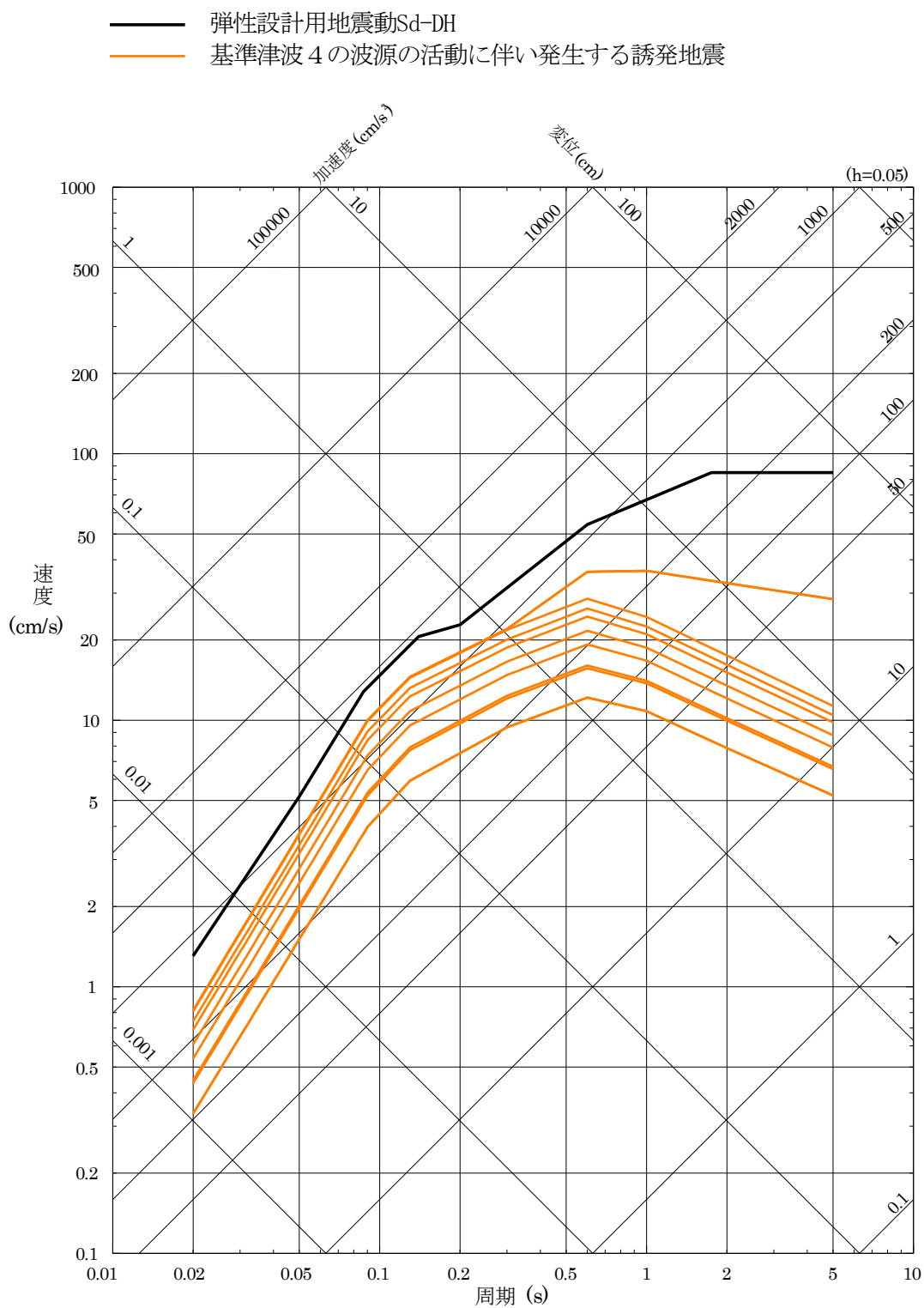


図 10 (1) 基準津波 4 の波源の活動に伴い発生する誘発地震と弾性設計用地震動 S d - D の比較 (水平方向)

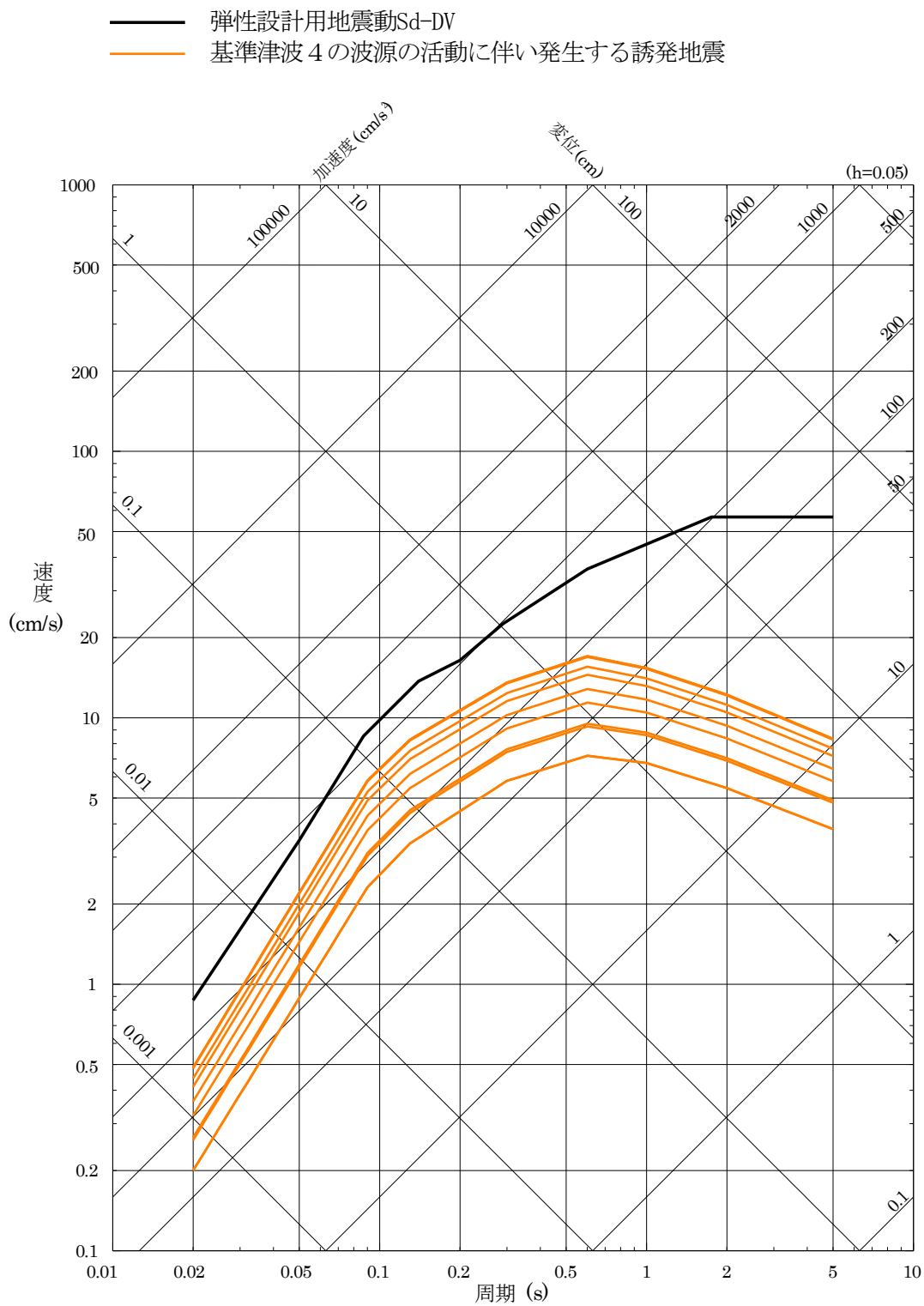


図 10 (2) 基準津波4の波源の活動に伴い発生する誘発地震と弾性設計用地震動 S d - D の比較 (鉛直方向)

荷重の組合せに関する津波と地震の組合せの方針について

1. 津波と地震の組合せについて

第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）において自然現象の組合せは、発生頻度及び最大荷重の継続時間を考慮して検討するとしており、基準津波と基準地震動を独立事象として扱う場合は、それぞれの発生頻度が十分小さいことから、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮しない。それ以外の組合せについて、以下に示す。

2. 基準津波と地震の組合せについて

基準津波と当該津波の波源を震源とする本震は、伝播速度が異なり同時に敷地に到達することはないため、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮する必要はない。

基準津波（海域活断層）と当該津波の波源を震源とする余震は、同時に敷地に到達することを想定し、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮する。

一方、基準津波（日本海東縁部）と当該津波の波源を震源とする余震については、当該津波の波源が敷地から遠く、余震の敷地への影響が明らかに小さいことから、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮しない。さらに、当該津波については、仮に余震以外のその他の地震として、頻度が高く年に1回程度発生する地震動レベルの小さい地震を独立事象として想定したとしても、当該津波の発生頻度及び最大荷重継続時間（120分と設定：別紙2参照）を踏まえると、当該津波の最大荷重継続時間内に余震以外のその他の地震が発生する頻度は、表1のとおり、 2.3×10^{-8} /年であり十分小さい*ことから、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮しない。

また、基準津波以外の津波は、阿部（1989）の予測式に基づく津波の予測高さによると、表2に示すとおり、基準津波（海域活断層）の波源の断層であるF-Ⅲ～F-V断層に比べて水位が低く敷地に与える影響は小さいため、余震荷重との組合せを考慮しない。

*JEAG4601において組み合わせるべき荷重としては、事象の発生確率、継続時間、地震動の発生確率を踏まえ、その確率が 10^{-7} /炉年以下となるものは組合せが不要と記載されている

3. 基準地震動と津波の組合せについて

基準地震動の震源（海域活断層）からの本震と当該本震に伴う津波は、伝播速度が異なり同時に敷地に到達することはないことから、組合せを考慮する必要はない。

基準地震動の震源については、他の海域の活断層よりも敷地に近い位置に存在し、仮に誘発地震に伴う津波の発生を考慮した場合においても、基準地震動が敷地に到達すると同時に当該津波が敷地に到達することはないことから、組合せを考慮する必要はない。

【参考文献】

- ・阿部勝征(1989)：地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測，東京大学地震研究所彙報，Vol. 64，pp. 51-69
- ・国土交通省・内閣府・文部科学省（2014）：日本海における大規模地震に関する調査検討会，最終報告書（H26. 9）

表1 地震及び津波の最大荷重継続時間と発生頻度

荷重の種類	最大荷重 継続時間 (年)	発生頻度 (/年)
地震 (基準地震動)	$10^{-5} \times 1$	$5 \times 10^{-4} \times 3$
津波 (基準津波)	$2.3 \times 10^{-4} \times 2$	$10^{-4} \sim 10^{-5} \times 4$

※1 $10^{-5} = 5$ 分 / (365 日 × 24 時間 × 60 分) として算出

※2 $2.3 \times 10^{-4} = 120$ 分 / (365 日 × 24 時間 × 60 分) として算出
(別紙2参照)

※3 JEAG4601 に記載されている基準地震動 S_2 の発生確率を読み替えて適用

※4 ハザード評価結果

(基準津波の最大荷重継続時間内に余震以外のその他の地震が発生する頻度)

基準津波の 発生頻度	×	基準津波の 最大荷重継続時間	×	余震以外のその他の地震の 発生頻度 (想定)
$10^{-4} / \text{年}$		$2.3 \times 10^{-4} \text{ 年}$		$1 / \text{年}$
= $2.3 \times 10^{-8} / \text{年}$				

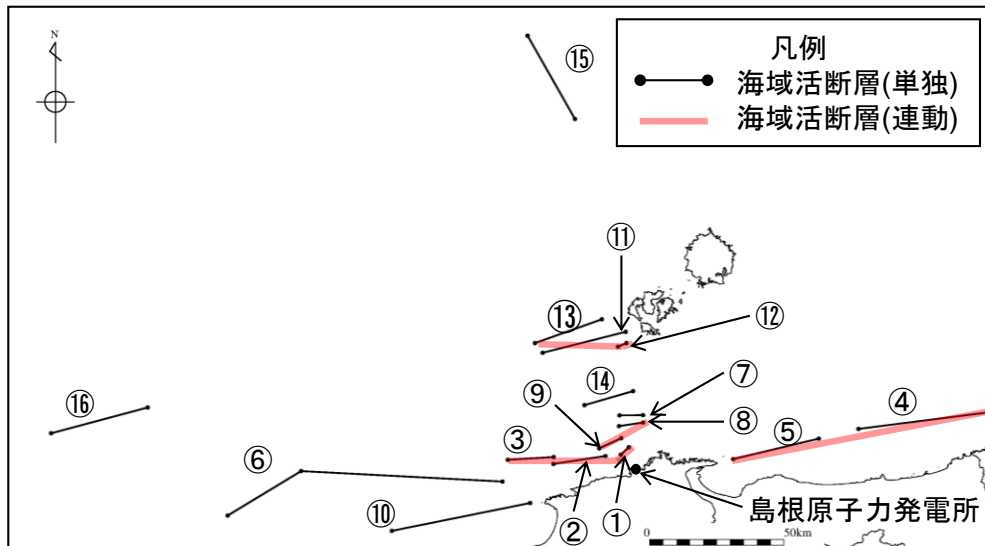


図1 敷地周辺海域の主な活断層の分布

表2 阿部(1989)の予測式に基づく敷地周辺海域の
主な活断層による津波の予測高^{※1}

No.	断層(図1の番号) ^{※2}	断層長さ L(km)	津波の 伝播距離 Δ(km)	Mw	予測高 H(m)
1	F-Ⅲ~F-V断層 (①+②+③) [基準津波の波源の断層]	48.0	24	7.3	3.6
2	鳥取沖東部断層~ 鳥取沖西部断層(④+⑤)	98	84	7.7	2.7
3	F57断層(⑥)	108	103	7.7	2.2
4	K-4~K-7撓曲 (⑦+⑧+⑨)	19.0	12.9	6.7	1.8
5	大田沖断層(⑩)	53	67	7.3	1.4
6	K-1撓曲+K-2撓曲 +F _{K0} 断層(⑪+⑫+⑬)	36	50	7.1	1.2
7	F _{k-1} 断層(⑭)	19.0	28.4	6.7	0.8
8	隠岐北西方北部断層(⑮)	36	149	7.1	0.4
9	見島北方沖西部断層(⑯)	38	201	7.1	0.3

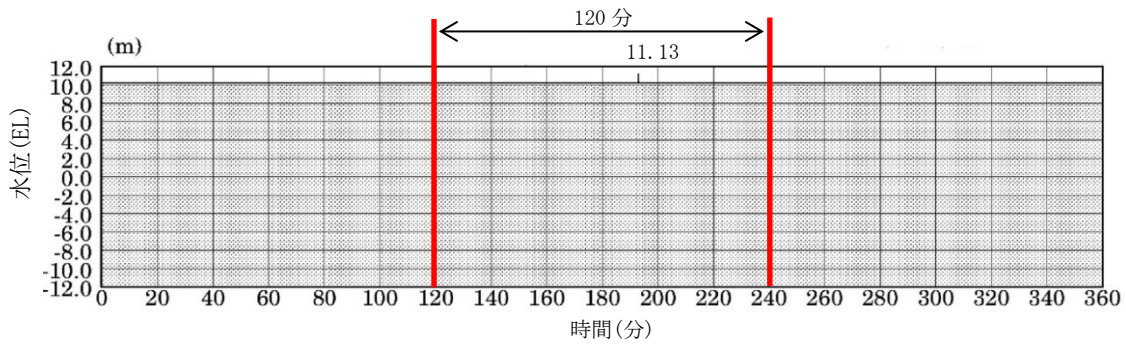
※1 数値は、第771回審査会合資料1-2 44頁から引用

※2 日本海の九州から北海道までの津波波源のうち、日本海東縁部の断層以外で国土交通省・内閣府・文部科学省(2014)により島根県に与える影響が大きいとされている断層(上表のNo.1~3)及びその他の敷地周辺海域の活断層(上表のNo.4~9)について評価

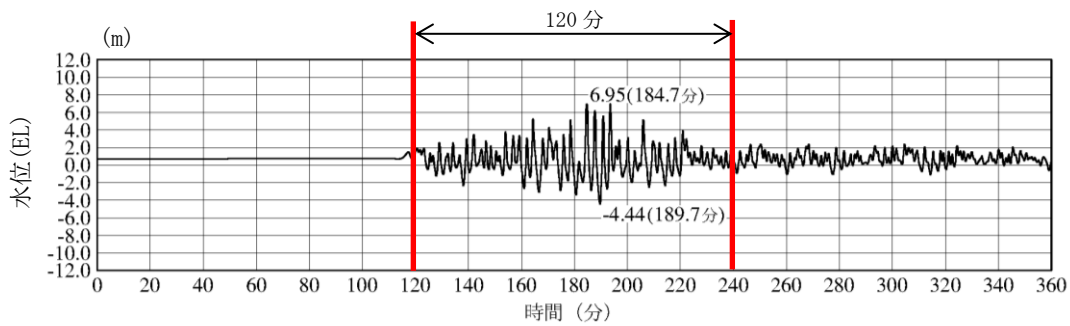
基準津波の最大荷重継続時間について

「1.6 設計または評価に用いる入力津波」において確認している、各施設に対する入力津波の時刻歴波形を図 1 に示す。なお、「海域活断層に想定される地震による基準津波 4」は、「日本海東縁部に想定される地震による基準津波 1, 2, 3, 5 及び 6」と比べ、その津波の継続時間が短いことから、「日本海東縁部に想定される地震による基準津波 1, 2, 3, 5 及び 6」の時刻歴波形のうち、各施設に対して最も水位が高くなる入力津波の時刻歴波形を示している。

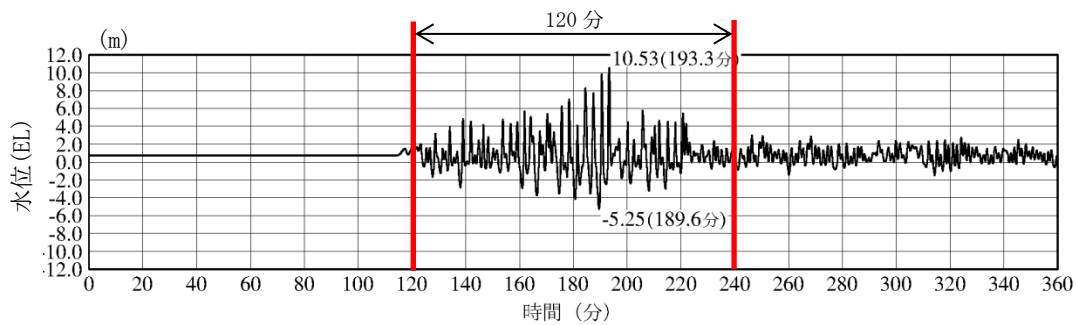
図 1 のとおり、入力津波が最大水位となるのは短時間であることから、津波による最大荷重継続時間も短時間となる。ただし、最大ではないものの比較的高い水位が発生していることから、高い水位が発生する範囲を余裕を持って包含する時間として、津波の最大荷重継続時間を 120 分と設定している。



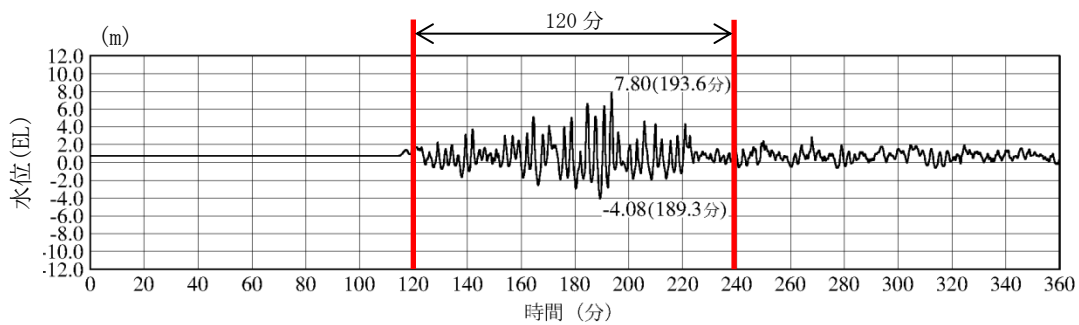
※最大水位上昇量 11.13m+朔望平均満潮位 0.58m+潮位のばらつき 0.14m≒EL+11.9m
 施設護岸又は防波壁（入力津波 1，防波堤無し）



1号炉取水槽（入力津波 1，防波堤無し）

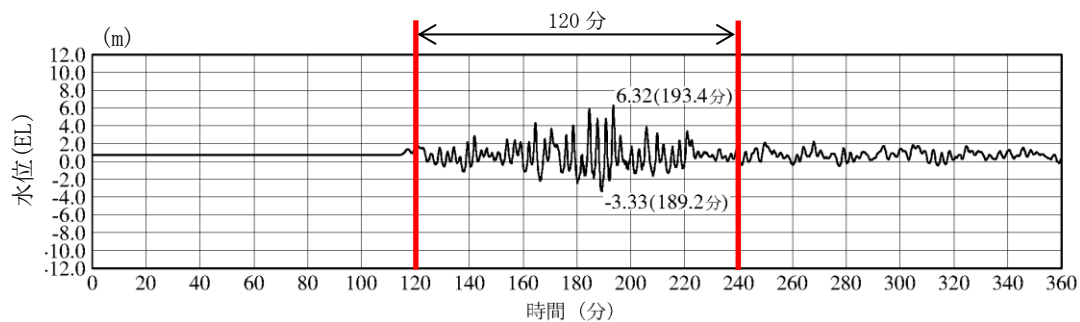


2号炉取水槽（入力津波 1，防波堤無し）

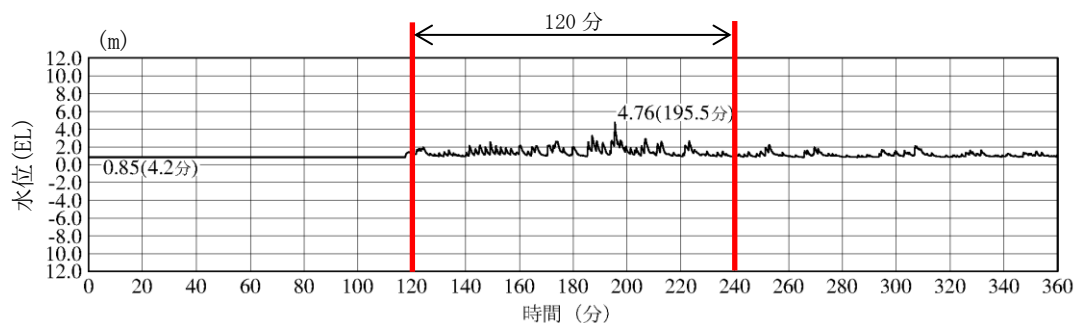


3号炉取水槽（入力津波 1，防波堤無し）

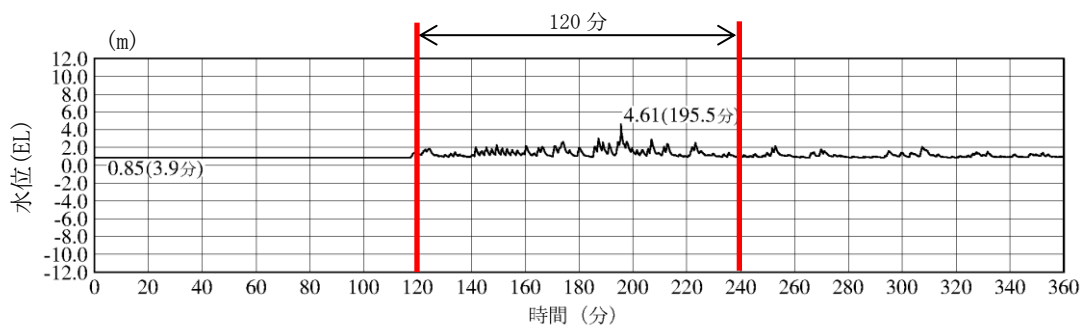
図1 入力津波の時刻歴波形（日本海東縁部）（1 / 4）



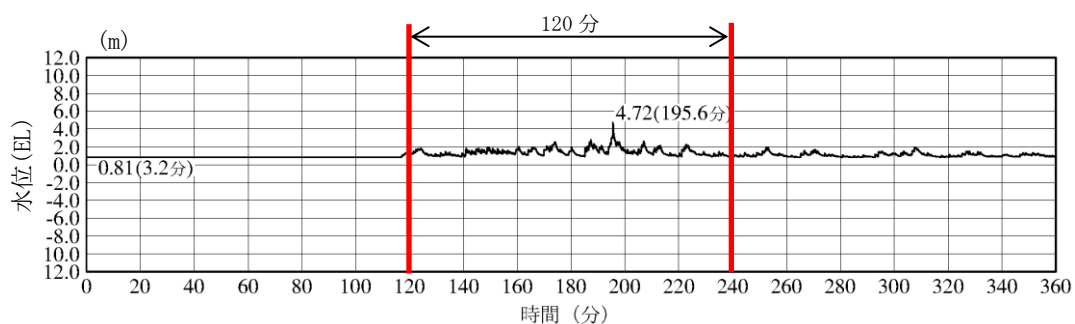
3号炉取水路点検口 (入力津波 1, 防波堤無し)



1号炉放水槽 (入力津波 1, 防波堤有り)

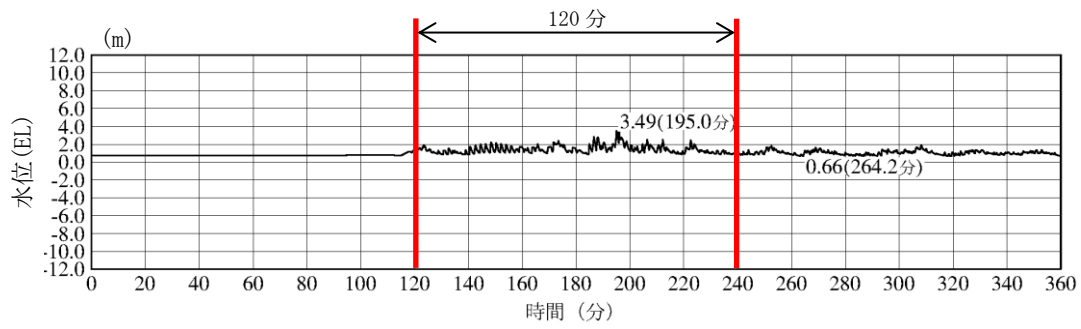


1号炉冷却水排水槽 (入力津波 1, 防波堤有り)

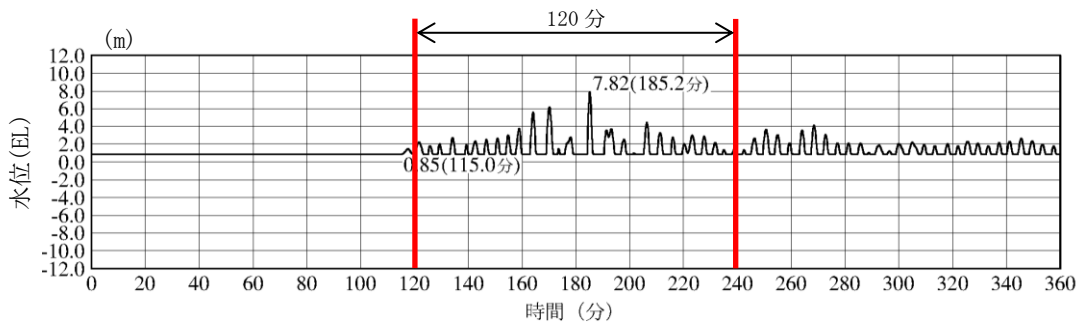


1号炉マンホール (入力津波 1, 防波堤有り)

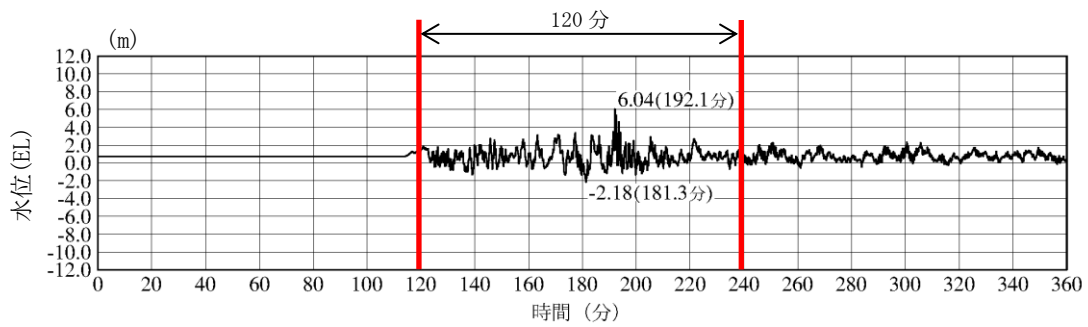
図1 入力津波の時刻歴波形 (日本海東縁部) (2 / 4)



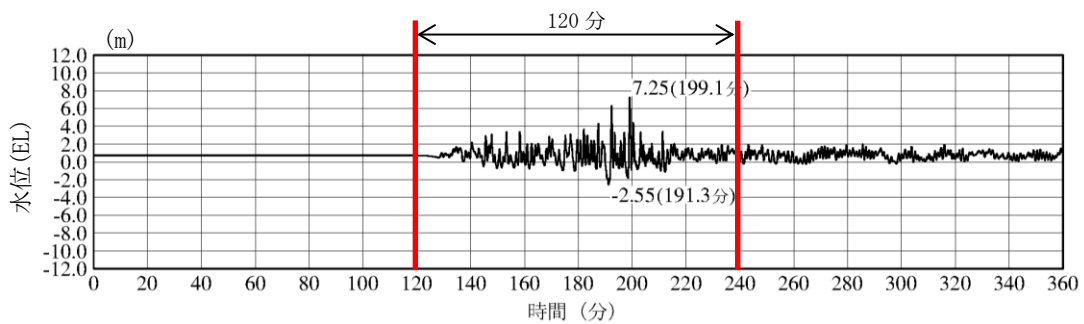
1号炉放水接合槽 (入力津波 1, 防波堤有り)



2号炉放水槽 (入力津波 1, 防波堤有り)

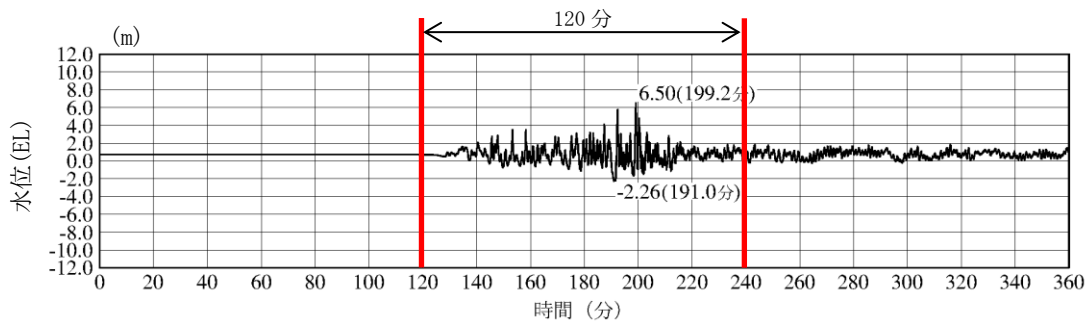


2号炉放水接合槽 (入力津波 1, 防波堤無し)



3号炉放水槽 (入力津波 5, 防波堤無し)

図1 入力津波の時刻歴波形 (日本海東縁部) (3 / 4)



3号炉放水接合槽 (入力津波5, 防波堤無し)

図1 入力津波の時刻歴波形 (日本海東縁部) (4 / 4)

防波壁及び防波扉における津波荷重の設定方針について

目 次

1. 津波荷重の算定式
 - (1) 津波波圧算定式に関する文献の記載
2. 検討方針
3. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響
 - (1) 平面二次元津波シミュレーションによる検討
 - (2) 水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションの条件整理
 - (3) 水理模型実験による検討
 - (4) 断面二次元津波シミュレーションによる検討
4. 三次元津波シミュレーションによる検討
 - (1) 検討概要
 - (2) 解析条件等
 - (3) 三次元津波シミュレーションより直接算定される最高水位
 - (4) 三次元津波シミュレーションより直接算定される津波波圧
 - (5) 三次元津波シミュレーションより直接算定される津波波圧（標高毎）
5. 既往の津波波圧算定式との比較
 - (1) 検討概要
 - (2) 津波波圧検討フロー
 - (3) 朝倉式による津波波圧算定
 - (4) 津波波圧の比較 朝倉式（敷地高以上）
 - (5) 谷本式による津波波圧算定
 - (6) 津波波圧の比較 谷本式（敷地高以深）
6. 設計で考慮する津波波圧の設定

1. 津波荷重の算定式

津波防護施設の津波荷重の算定式は，朝倉ら（2000）の研究を元にした「港湾の津波避難施設の設計ガイドライン（国土交通省港湾局，平成 25 年 10 月）」や「防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成 27 年 12 月一部改訂）」等を参考に設定する。以下に，参考にした文献の津波荷重算定式の考え方と津波防護施設への適用を示す。

(1) 津波波圧算定式に関する文献の記載

a. 東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針（平成 23 年）

構造設計用の進行方向の津波波圧は，次式により算定する。

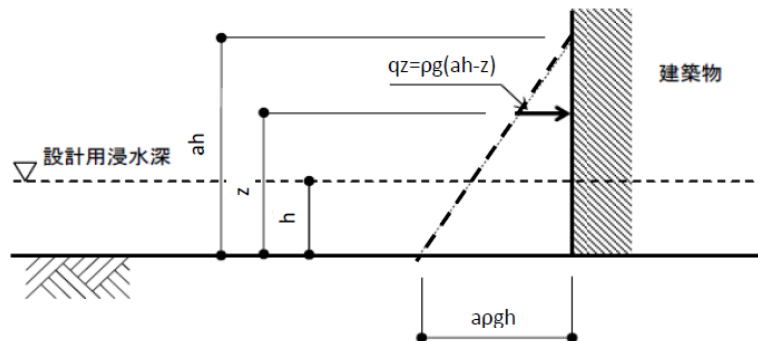
構造設計用の進行方向の津波波圧 $qz = \rho g (ah - z)$ （第 1 図）

h : 設計用浸水深

z : 当該部分の地盤面からの高さ ($0 \leq z \leq ah$)

a : 水深係数

ρg : 海水の単位体積重量



第 1 図 津波波圧算定図

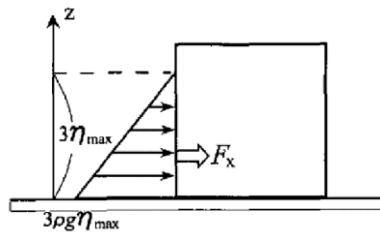
b. 港湾の津波避難施設の設計ガイドライン（平成 25 年 10 月）

文献 a. に基づく。ただし，津波が生じる方向に施設や他の建築物がある場合や，海岸等から 500m 以上離れている場合において，水深係数は 3 以下にできるとしている。

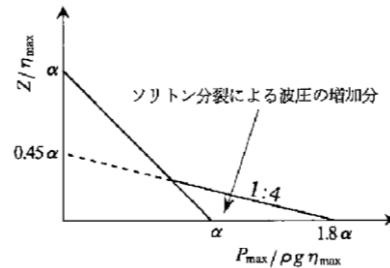
c. 朝倉ら（2000）：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，海岸工学論文集，第 47 巻，土木学会，911-915

直立護岸を越流した津波の遡上特性から護岸背後の陸上構造物に作用する津波波圧について実験水路を用いて検討している。

その結果、非分裂波の場合、フルード数が 1.5 以上では構造物前面に作用する津波波圧分布を規定する水平波圧指標（遡上水深に相当する静水圧分布の倍率） α は最大で 3.0 となるとしている。一方、ソリトン分裂波の場合は、構造物前面に働く津波波圧は、構造物底面近傍で非分裂波の α を 1.8 倍した値となるとしている（第 2 図及び第 3 図）。



第 2 図 非分裂波の場合の
津波水平波圧



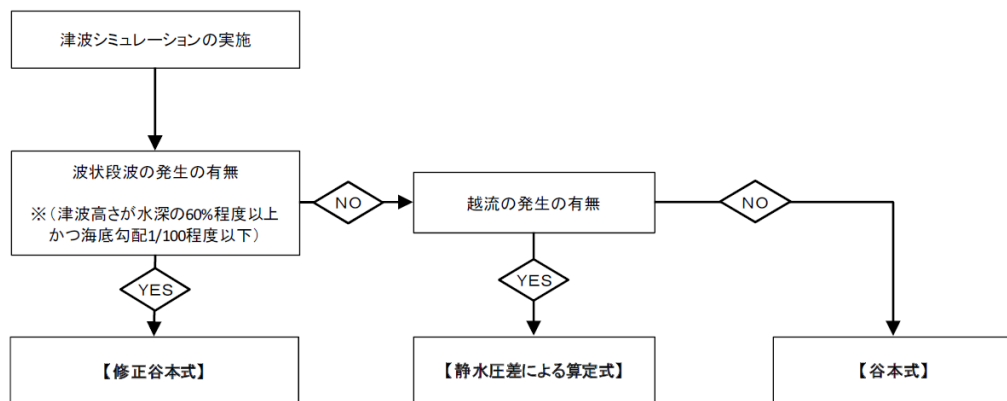
第 3 図 分裂波の無次元
最大波圧分布

d. NRA 技術報告「防潮堤に作用する津波波圧評価に用いる水深係数について」（平成 28 年 12 月）

持続波圧を対象としてフルード数が 1 を超える場合の防潮堤に対する作用波圧の評価方法を明確にするため、水理試験及び解析を実施した結果、従来の評価手法でフルード数が 1 以下になることが確認できれば、水深係数は 3 を適用できるとされている。

e. 防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成 27 年 12 月一部改訂）

防波堤の津波波圧の適用の考え方として、ソリトン分裂波が発生する場合は修正谷本式を、そうでない場合において津波が防波堤を越流する場合には静水圧差による算定式を、越流しない場合は谷本式を用いることとしている。（第 4 図～第 5 図）。



第 4 図 防波堤に対する津波荷重算定手順

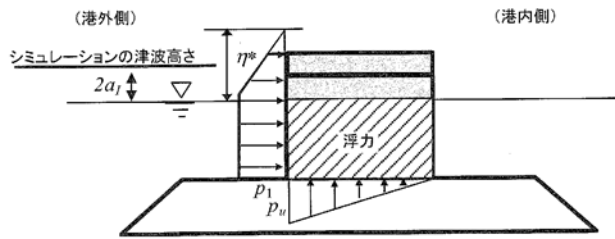
$$\eta^* = 3.0a_I$$

$$p_1 = \begin{cases} 2.2\rho_0ga_I & \text{: 谷本式} \\ 3.0\rho_0ga_I & \text{: 修正谷本式} \end{cases}$$

$$p_2 = \rho_0g\eta_B$$

$$p_u = p_1$$

$$p_L = p_2$$



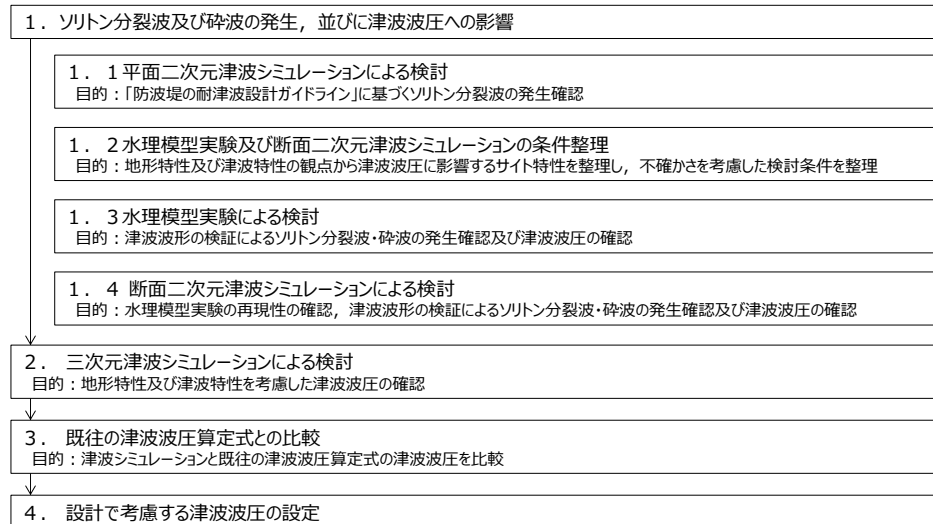
- η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)
- η_B : 直立壁背面で静水面から下がった水位 (m)
- a_I : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)
- ρ_0g : 海水の単位体積重量 (kN/m^3)
- p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m^2)
- p_u : 直立壁前面下端における揚圧力 (kN/m^2)
- p_2 : 直立壁背面における負圧 (kN/m^2)
- p_L : 直立壁背面下端における揚圧力 (kN/m^2)

第5図 谷本式・修正谷本式

2. 検討方針

島根原子力発電所におけるソリトン分裂・砕波の発生確認及び防波壁等*の設計で考慮する津波波圧を設定するため、科学的根拠に基づく水理模型実験及び数値シミュレーションを追加実施する。第6図に検討フローを示す。

※ 防波壁、防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉を「防波壁等」という。



第6図 検討フロー

各検討項目及び検討内容を第1表に示す

第1表 検討項目及び検討内容

検討項目	検討内容
1. ソリトン分裂波及び砕波の発生、並びに津波波圧への影響	
1. 1 平面二次元津波シミュレーション	平面二次元津波シミュレーション結果及び海底勾配を用いて、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づき、ソリトン分裂波の発生有無を確認する。
1. 2 水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションの条件整理	水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションの追加実施に当たって、地形特性及び津波特性の観点から津波波圧に影響するサイト特性を整理し、不確かさを考慮した検討条件を設定する。
1. 3 水理模型実験	流体の挙動を直接確認でき、サイト特性に応じた評価が可能となる水理模型実験を追加実施し、水位の時刻歴波形からソリトン分裂波及び砕波の発生有無を確認するとともに、防波壁位置における津波波圧を確認する。
1. 4 断面二次元津波シミュレーション	水理模型実験結果について、ソリトン分裂波及び砕波を表現可能な断面二次元津波シミュレーション（CADMAS-SURF（Ver.5.1））を追加実施し、再現性を確認するとともに、防波壁位置における津波波圧を確認する。
2. 三次元津波シミュレーションによる検討	複雑な地形特性及び津波特性に応じた評価が可能である三次元津波シミュレーションCADMAS-SURF/3D（Ver.1.5）を追加実施し、防波壁位置における津波波圧を確認する。
3. 既往の津波波圧算定式との比較	敷地高以上の構造物については、津波シミュレーションにより防波壁に作用する波圧を直接算出し、陸上構造物に作用する津波波圧算定式（朝倉式）により算出した津波波圧と比較する。 敷地高以深の構造物については、津波シミュレーションにより敷地高以深の構造物に作用する波圧を直接算出し、海中構造物に作用する津波波圧算定式（谷本式）により算出した津波波圧と比較する。
4. 設計で考慮する津波波圧の設定	防波壁等について保守的な設計を行う観点から、上記の検討結果を踏まえた設計用津波波圧を設定する。

津波シミュレーション及び水理模型実験の長所・短所を整理した上で、島根原子力発電所におけるソリトン分裂波及び砕波の発生確認、津波波圧の確認に係る検討内容を第2表に示す。

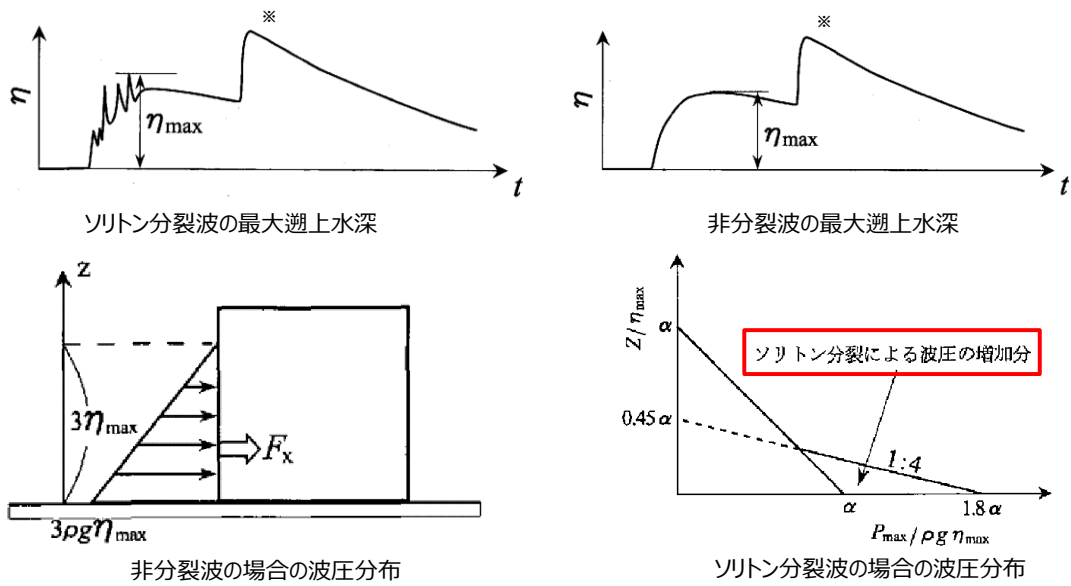
島根サイトは複雑な地形（輪谷湾を中心とした半円状の地形）であることから、地形が防波壁への津波波圧に与える影響を評価するため、三次元的な流況の再現が可能な三次元津波シミュレーションを選定した。また、審査実績のある平面二次元津波シミュレーション、水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションによる解析結果と三次元津波シミュレーションによる解析結果を比較・検証することで、妥当性を確認する。

第2表 津波シミュレーション解析及び水理模型実験の長所・短所

解析手法	長所	短所	長所・短所を踏まえた検討内容
平面二次元津波シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・広範囲にわたる地形のモデル化が可能 ・複雑な不規則波形及び平面的な流況の再現が可能 ・解析時間が短い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ソリトン分裂波及び砕波の発生有無の確認が困難 ・津波波圧の直接評価が不可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・基準津波の策定（入力津波高さ・流速） ・「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づくソリトン分裂波の発生確認
水理模型実験	<ul style="list-style-type: none"> ・ソリトン分裂波及び砕波の発生有無の確認が可能 ・津波波圧を直接評価可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な地形や構造物のモデル化が困難 ・複雑な不規則波形の再現が困難 ・三次元的な流況の再現が不可能 ・実験に時間を要する 	<ul style="list-style-type: none"> ・科学的根拠に基づくソリトン分裂波及び砕波の発生確認 ・津波波圧の確認
断面二次元津波シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な不規則波形の再現が可能 ・ソリトン分裂波及び砕波の発生有無の確認が可能 ・津波波圧を直接評価可能 ・解析時間が短い 	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な地形や構造物のモデル化が困難 ・三次元的な流況の再現が不可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・水理模型実験の再現性確認 ・科学的根拠に基づくソリトン分裂波及び砕波の発生確認 ・津波波圧の確認
三次元津波シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な地形や構造物のモデル化が可能 ・複雑な不規則波形及び三次元的な流況の再現が可能 ・複雑な地形及び三次元的な流況等を踏まえた津波波圧を直接評価可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・解析に時間を要する ・計算機能力を踏まえて解析範囲に限界がある ・審査における採用実績がない 	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な地形特性及び津波特性を踏まえた津波波圧の確認

ソリトン分裂波は津波の伝播過程で複数の波に分裂し、波高が増幅する現象である。また、砕波は波が浅海域を進行する際に、波高が高くなると波が砕け、波高が急激に小さくなる現象である。いずれも構造物へ衝撃的な波圧を作用させる可能性がある現象である。第7図にソリトン分裂波及び非分裂波の概要を示す。

非分裂波の場合の構造物に作用する津波波圧分布は、津波高さに依存した直線形状となる。一方、ソリトン分裂波が生じた場合は、構造物の底面近傍では非分裂波を1.8倍した波圧が作用し、水平波力は非分裂波に比べて約20%大きくなる可能性がある。



第7図 ソリトン分裂波及び非分裂波

護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，朝倉ほか(2000)より引用
 ※ η_{\max} 後の水位の上昇は反射波を示す。

3. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

(1) 平面二次元津波シミュレーションによる検討

沖合から伝播してくる津波が，サイト前面においてソリトン分裂波を伴うか否かの判定に当たっては，「防波堤の耐津波設計ガイドライン」において，以下に示す①かつ②の条件に合致する場合，ソリトン分裂波が発生するとされている。

条件①：津波高さが水深の60%程度以上

条件②：海底勾配1/100程度以下

条件①について検討した結果を第3表，第8図及び第9図に示す。地点1～3では津波高さは水深の60%以下となるが，水深が10mよりも浅い地点1'～3'では護岸の反射波の影響により津波高さが水深の60%以上となる。

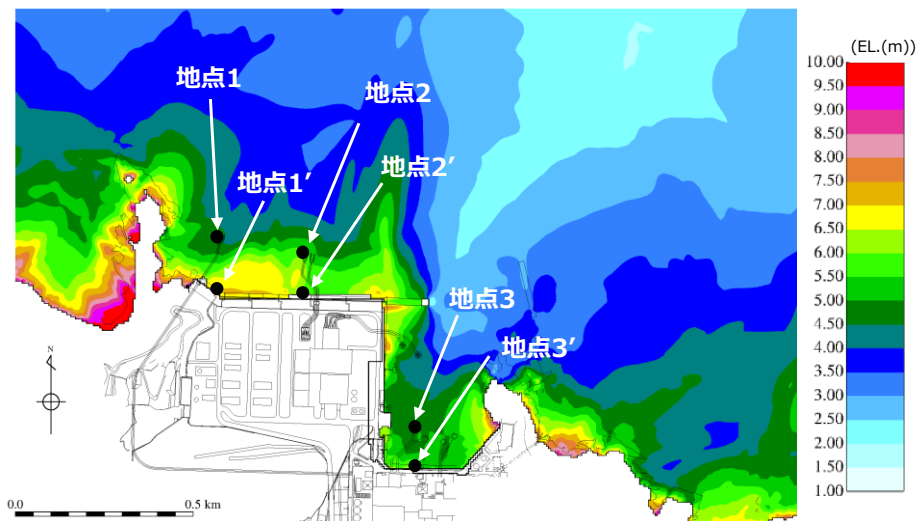
第3表 津波高さと水深の割合

地点	(1)水深	(2)津波高さ ^{※1}		(2)/(1)	
		防波堤有	防波堤無	防波堤有	防波堤無
地点1	16m	5.0m	4.0m	31.3%	25.0%
地点2	16m	6.0m	6.0m	37.5%	37.5%
地点3	17m	5.0m	7.0m	29.4%	41.2%

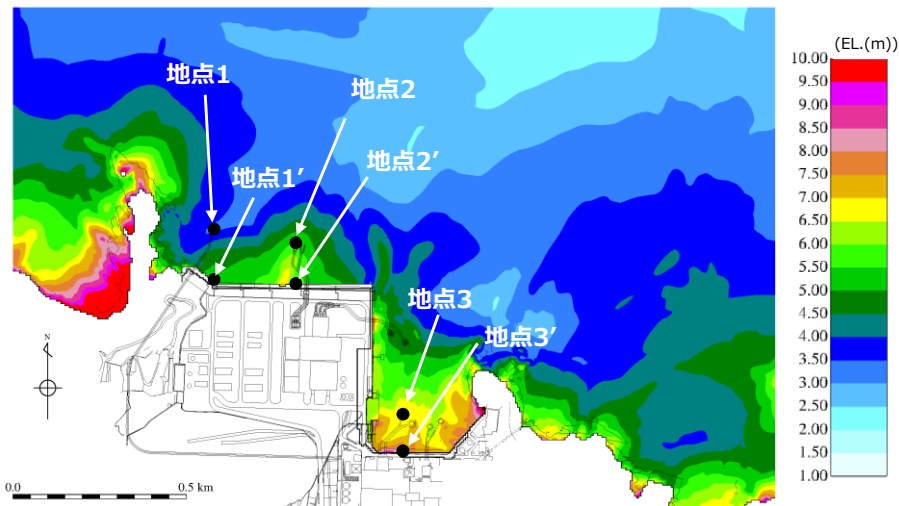
地点 ^{※2}	(1)水深	(2)津波高さ ^{※1}		(2)/(1)	
		防波堤有	防波堤無	防波堤有	防波堤無
地点1'	4.0m	7.5m	6.0m	187.5%	150.0%
地点2'	6.0m	6.0m	6.0m	100.0%	100.0%
地点3'	5.0m	6.0m	8.0m	120.0%	160.0%

※1 平面二次元津波シミュレーションによる津波高さを保守的に評価した値

※2 地点1～3の南方向における護岸前面位置



第8図 基準津波による最高水位分布
(基準津波 1 : 防波堤有)



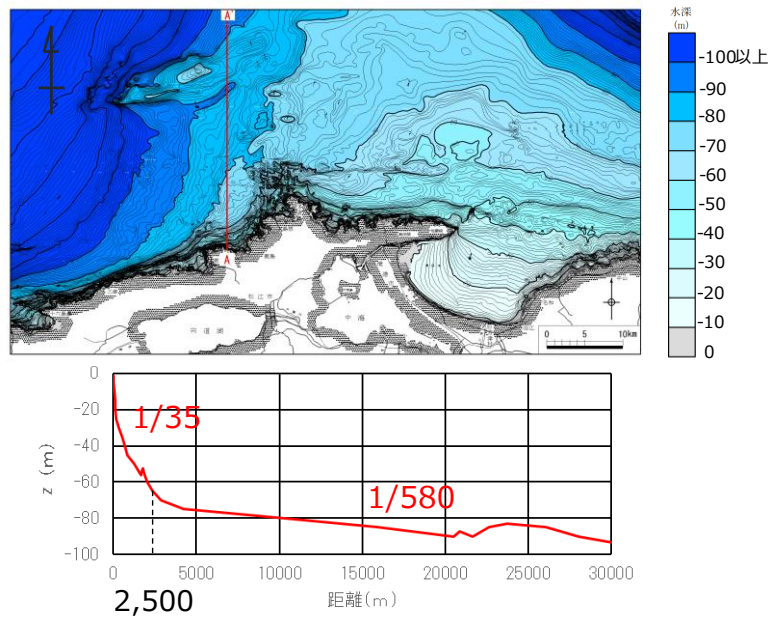
第9図 基準津波による最高水位分布
(基準津波 1 : 防波堤無)

条件②について検討した結果を第10図及び第11図に示す。

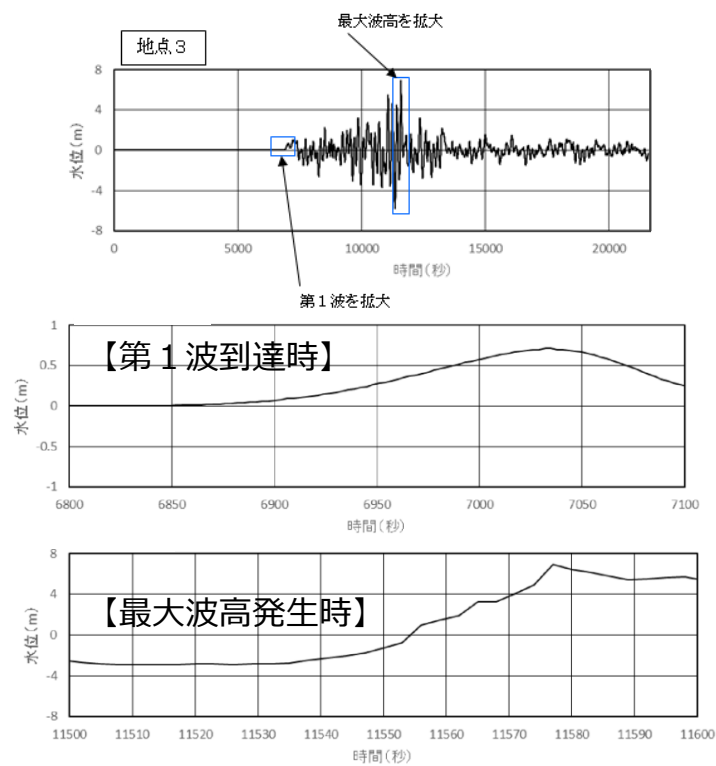
また、平面二次元津波シミュレーションの結果より、津波高さの最大値は EL. +11.13m (基準津波 1) であり、朔望平均満潮位 (EL. +0.58m) と潮位のばらつき (0.14m) を考慮した入力津波 EL. +11.9m (≒11.85m) に高潮ハザードの裕度 (0.64m) を考慮しても、防波壁の天端高さは EL. +15.0m であるため津波は越流しない。

発電所前面の海底地形として、沖合 2,500m から施設近傍までの平均勾配(A-A断面)が約 1/35 (>1/100) となった。

また、前項の発電所前面地点 1' ~3' から沖合 200m までの海底勾配は最小で約 1/20 (>1/100) となった。



第10図 海底地形断面図



第11図 津波高さの時刻歴波形図
(地点3, 基準津波1: 防波堤無)

「防波堤の耐津波設計ガイドライン」の条件①かつ条件②の条件に合致しないため、ソリトン分裂波が発生しないと考えられるが、砕波発生有無の確認を含めて、科学的根拠に基づいた確認を行うために、水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションを追加実施する。

(2) 水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションの条件整理

地形特性及び津波特性の観点から津波波圧に影響するサイト特性を整理し、不確かさを含めて実験条件及び解析条件を設定する。

水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションに使用する基準津波の選定に当たっては、ソリトン分裂波や砕波の発生及び津波波圧への影響要因である津波高さ及び流速を指標とした。

基準津波のうち津波波圧に対して支配的となる水位上昇側の基準津波を対象とし、各防波壁前面位置の結果について下表のとおり整理した。整理結果より、3号炉においては基準津波1(防波堤有)、1、2号炉においては基準津波1(防波堤無)を選定した。基準津波(水位上昇側)における津波高さとして流速を第4表に示す。

第4表 基準津波(水位上昇側)における津波高さとして流速

基準津波	津波波源	地形変化	津波高さ		流速		備考
		防波堤	最高水位(EL. m)	発生位置	最大流速(m/s)	発生位置	
1	日本海東縁部	有	10.7	3号炉北側	9.0	3号炉北側	3号炉の検討で選定
		無	11.9	1, 2号炉北側	9.8	1, 2号炉北側	1・2号炉の検討で選定
2		有	9.0	3号炉東側	5.7	1, 2号炉北側	
5		無	11.5	1, 2号炉北側	6.2	1, 2号炉北側	

基準津波1(防波堤有、防波堤無)による津波高さを防波壁全域において評価するため、水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションにおける津波高さについては、基準津波1よりも大きいケースとして、津波高さが防波壁天端高さであるEL. +15.0mとなる波圧検討用津波(15m津波)を設定した。

また、水理模型実験では、防波壁前面での浸水深及びフルード数算定を目的に、防波壁が無い状態での津波遡上状況を確認するケースも併せて実施した。

津波波圧に影響する不確かさの考慮内容一覧表及び検討ケース一覧表を第5表に示す。

第5表 津波波圧に影響する不確かさの考慮内容一覧表及び検討ケース一覧表
不確かさの考慮内容一覧表（3号炉）

分類	項目	サイト特性	不確かさの考慮内容	比較する検討ケース
地形	周辺地形	防波堤の有無	防波壁周辺の地形変状の不確かさを考慮 ⇒基準津波1(防波堤有)及び基準津波1(防波堤無)	①, ②
津波	波形	振幅 (津波高さ)	津波高さの不確かさを考慮 ⇒基準津波1(防波堤有) 及び波圧検討用津波(1.5m津波)	①, ③
		短周期	津波周期の不確かさを考慮 ⇒基準津波1(防波堤有) 及び基準津波1(防波堤有)の半周期	③, ⑥

検討ケース一覧表（3号炉）

検討ケース	津波	波形 (周期)	防波堤	敷地護岸	防波壁	水理模型 実験	断面二次元津波 シミュレーション
ケース①	基準津波1	基準津波1	有	有	有	○	○
ケース②			無	有	有	○	—
ケース③	有		有	有	○	○	
ケース④*	有		有	無	○	—	
ケース⑤*	有		無	無	○	—	
ケース⑥	波圧検討用津波 (1.5m津波)	基準津波1 の半周期	有	有	有	○	—

※通過波計測ケース

不確かさの考慮内容一覧表（1, 2号炉）

分類	項目	サイト特性	不確かさの考慮内容	比較する検討ケース
地形	周辺地形	防波堤の有無	1, 2号炉前面に位置する防波堤は無いものとして評価するため、地形変状の不確かさは考慮しない	—
津波	波形	振幅 (津波高さ)	津波高さの不確かさを考慮 ⇒基準津波1(防波堤無) 及び波圧検討用津波(1.5m津波)	⑦, ⑧
		短周期	津波周期の不確かさを考慮 ⇒基準津波1(防波堤無) 及び基準津波1(防波堤無)の半周期	⑧, ⑪

検討ケース一覧表（1, 2号炉）

検討ケース	津波高さ	波形 (周期)	防波堤	敷地護岸	防波壁	水理模型 実験	断面二次元津波 シミュレーション
ケース⑦	基準津波1	基準津波1	無	有	有	○	○
ケース⑧	波圧検討用津波 (1.5m津波)		無	有	有	○	○
ケース⑨*			無	有	無	○	—
ケース⑩*			無	無	無	○	—
ケース⑪			基準津波1 の半周期	無	有	有	○

※通過波計測ケース

a. 目的及び入射津波の造波

水理模型実験は、ソリトン分裂波や砕波の発生の有無及び防波壁が受ける津波波圧への有意な影響の有無，並びにフルード数の把握を目的に実施する。

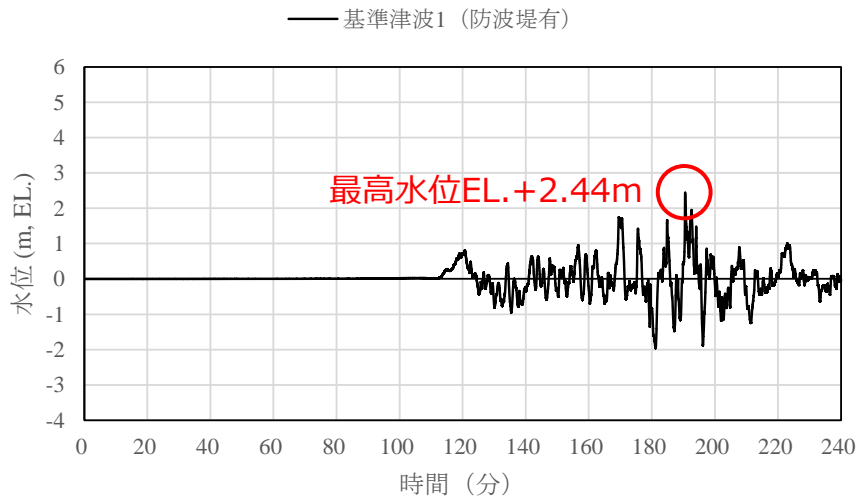
水理模型実験における再現範囲は施設護岸から離れた沖合約 2.5km の位置とし，入力津波高さが最大となる基準津波 1 (防波堤有・無)の平面二次元津波シミュレーションから求めた同地点における津波波形 (最大押し波 1 波) を入力する。

実験における入射津波は，同地点の水位と流速を用いて入射波成分と反射波成分に分離し，入射波成分を造波する。

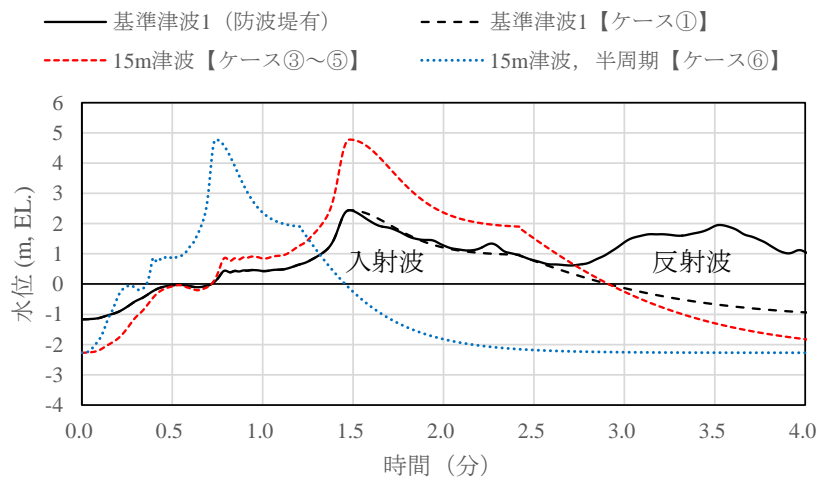
入射津波高さについては，基準津波 1 (防波堤有・無)と，不確かさを考慮した波圧検討用津波 (1.5 m津波) を設定する。波圧検討用津波 (1.5 m津波) は，基準津波 1 (防波堤有・無)と同周期として防波壁前面における反射波を含む遡上高が EL. +15m となるよう振幅を調整する。なお，本波圧検討用津波 (1.5 m津波) は，防波壁等の設計用津波波圧として用いるものではない。

周期については，基準津波 1 (防波堤有・無)の周期と，不確かさを考慮した基準津波 1 (防波堤有・無)の半周期を設定する。

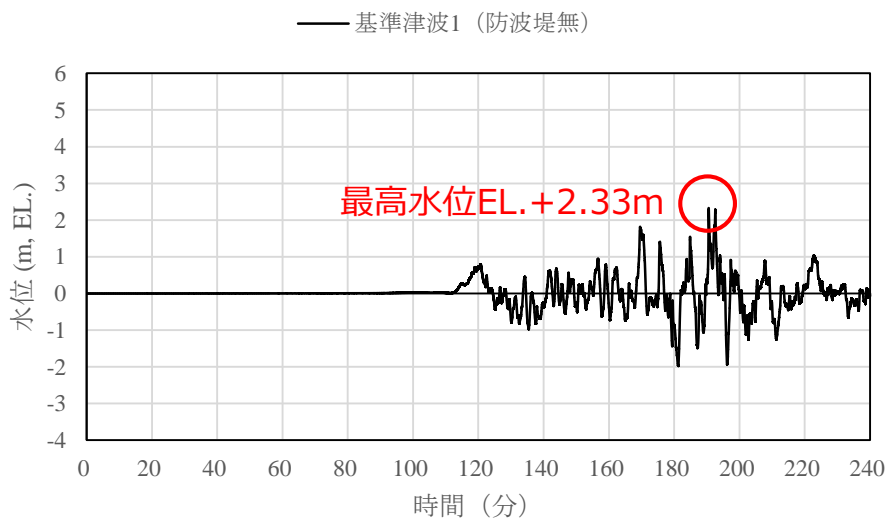
入射津波の造波波形図を第 1 2 図及び第 1 3 図に示す。



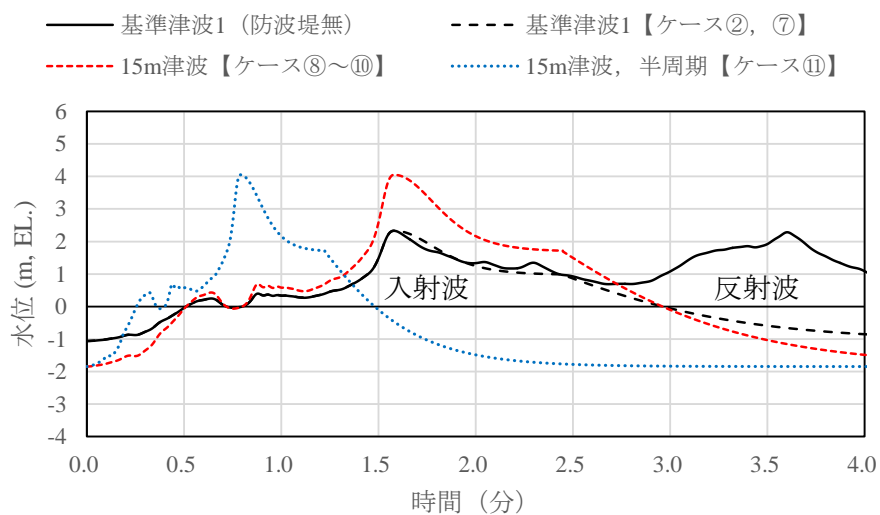
第 1 2 図 (1) 入射津波の造波波形図 (3 号炉, 防波堤有)



第 1 2 図 (2) 入射津波の造波波形図 (3 号炉, 防波堤有)
 拡大図



第13図(1) 入射津波の造波波形図(3号炉, 防波堤無)



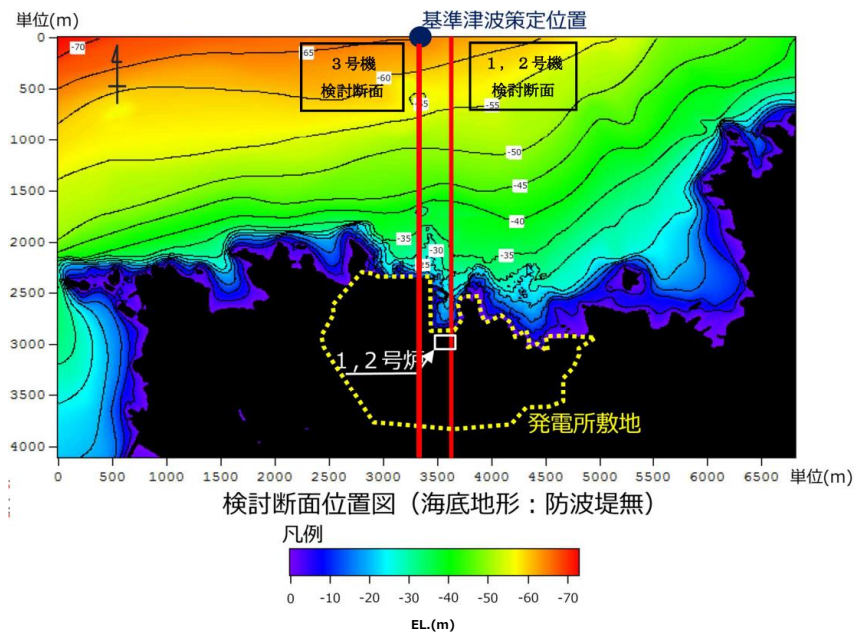
第13図(2) 入射津波の造波波形図(3号炉, 防波堤無)
 拡大図

(3) 水理模型実験による検討

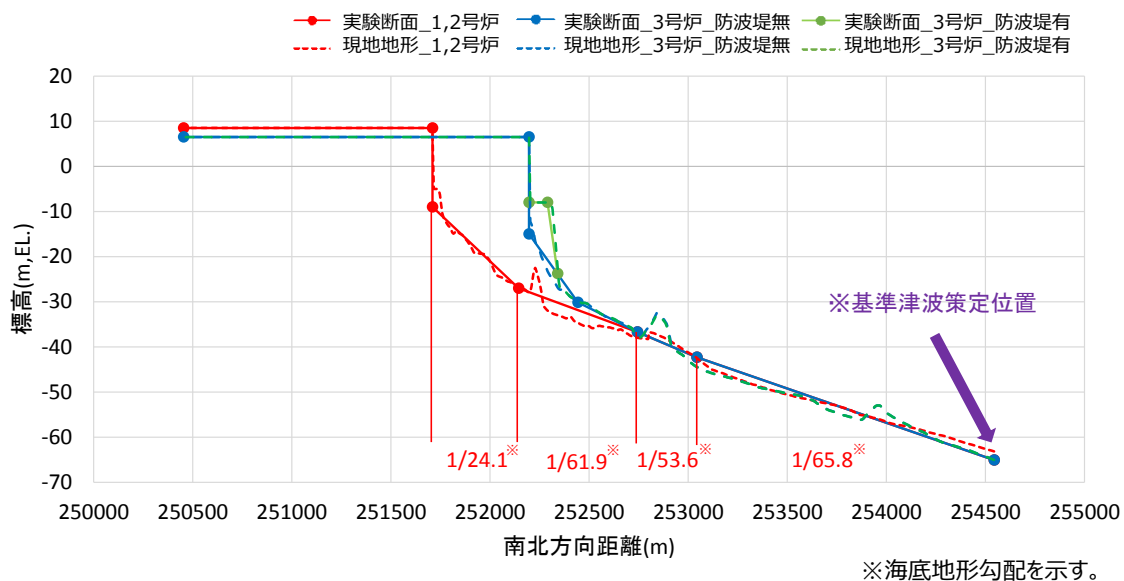
a. 検討断面

水理模型実験における検討断面位置を第14図及び第15図に示す。

島根原子力発電所前面の海底地形及び津波の伝播特性を踏まえ、本実験の検討断面は、防波壁の延長方向に直交し、海底地形を示す等水深線ともほぼ直交する南北方向とする。



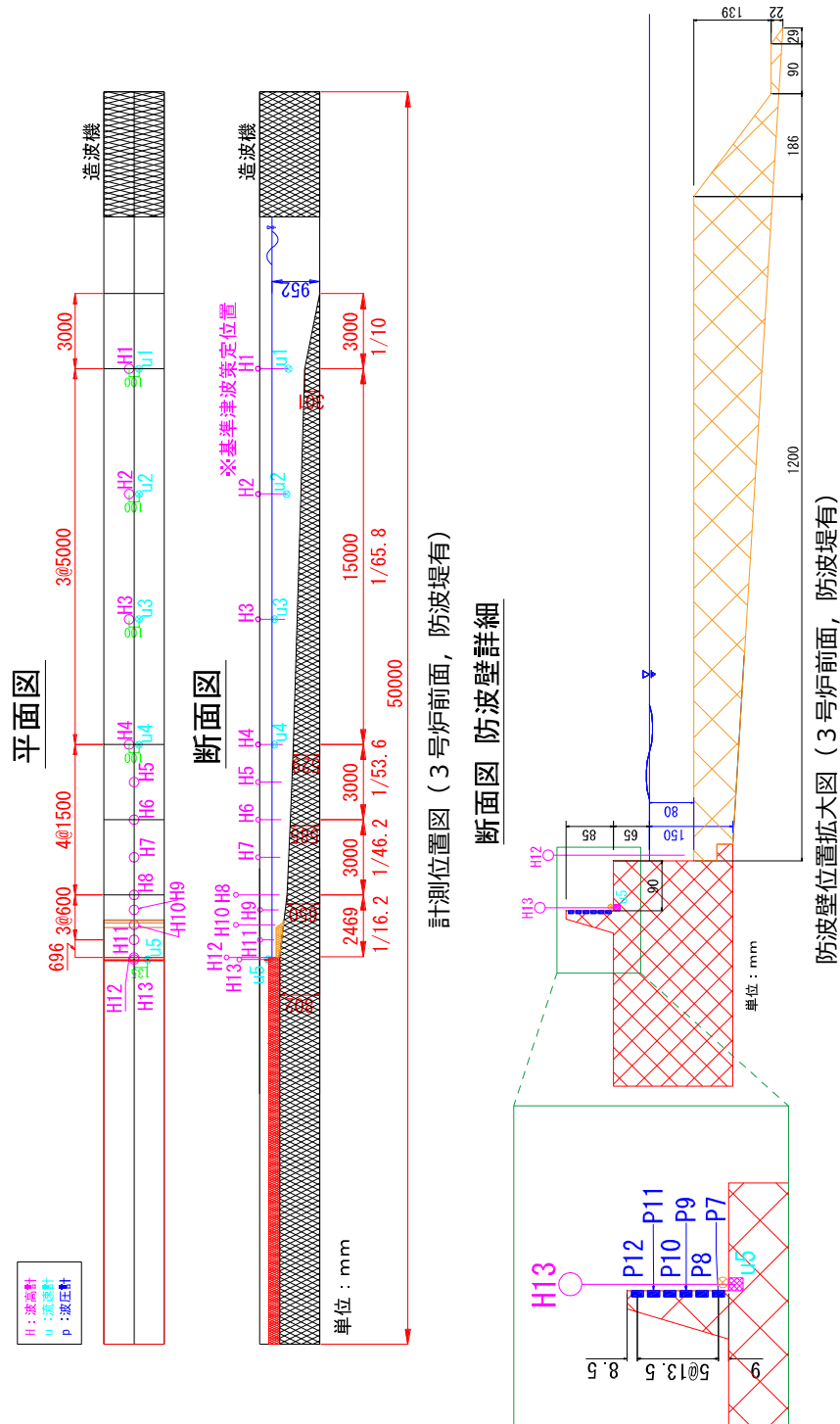
第14図 検討断面位置図 (海底地形：防波堤無)



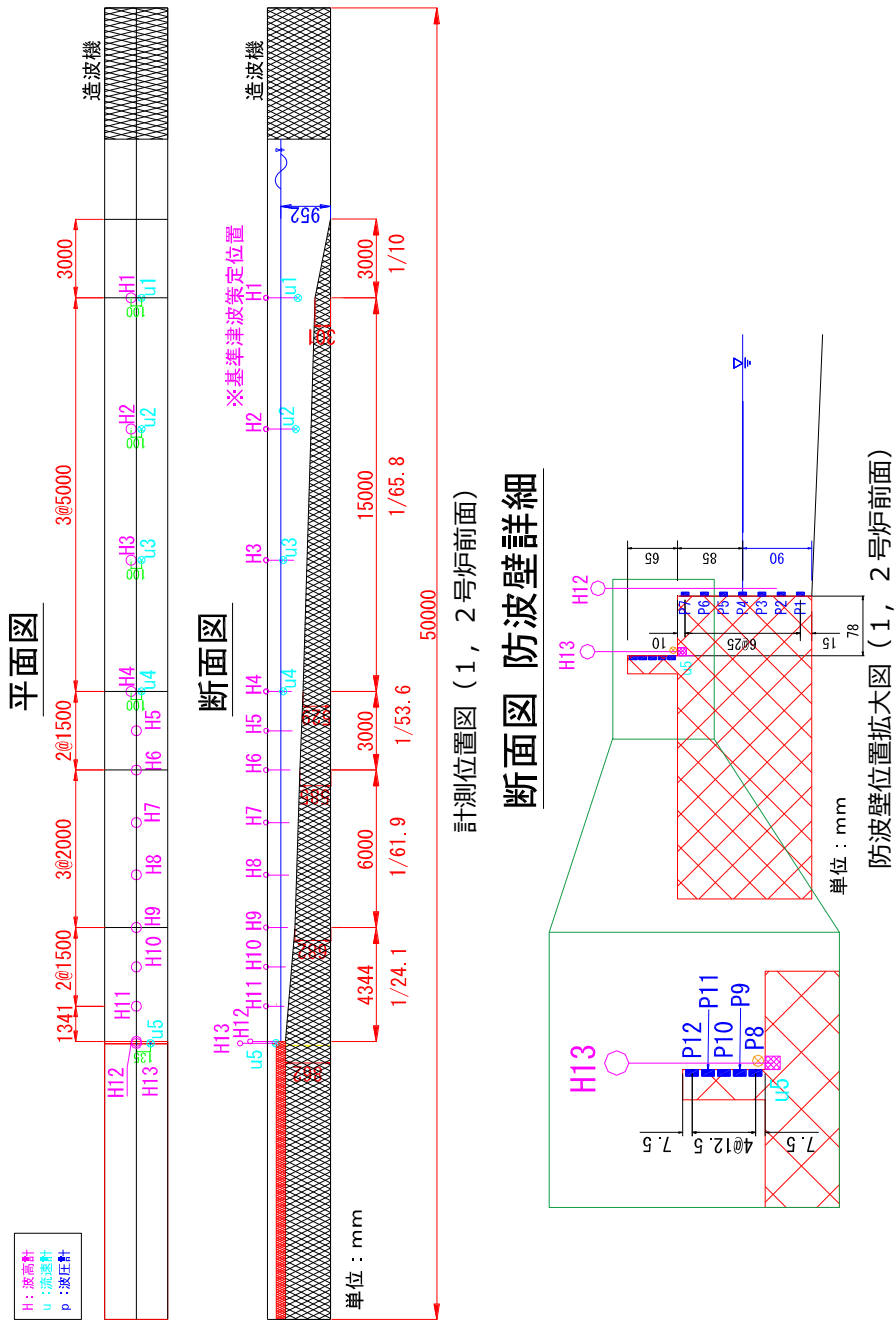
第15図 検討断面図

b. 実験条件

実験施設の水路は、長さ 50m×幅 0.6m×高さ 1.2m とし、沖合約 2.5km から陸側の範囲を再現するために、実験縮尺（幾何縮尺）は 1/100 とする。3号炉側の実験モデル図を第16図に、1, 2号炉側の実験モデル図を第17図に示す。



第16図 実験施設水路 (3号炉前面, 防波堤有)



第 1 7 图 実験施設水路 (1, 2号炉前面)

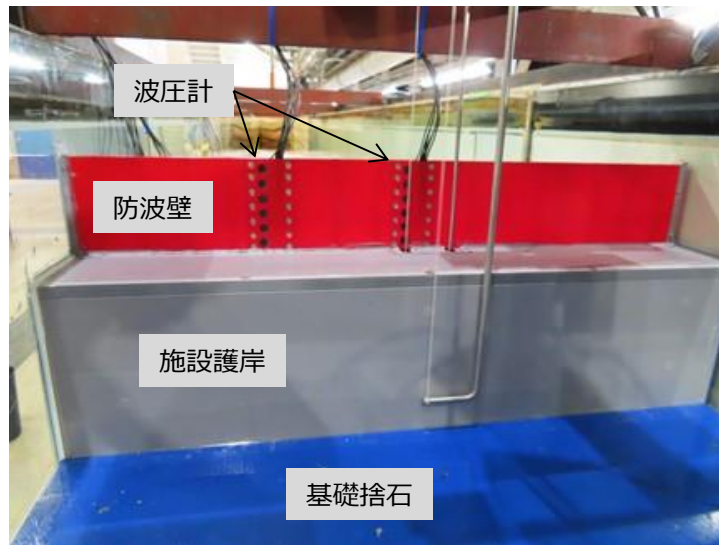
水理模型実験の実験装置例の写真を第18図及び第19図に示す。



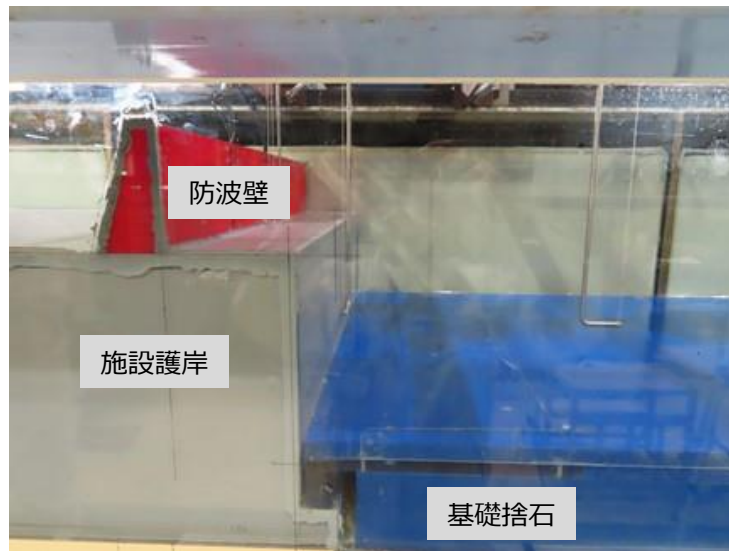
第18図(1) 実験施設写真(3号炉)



第18図(2) 実験施設写真(1, 2号炉)



正面より

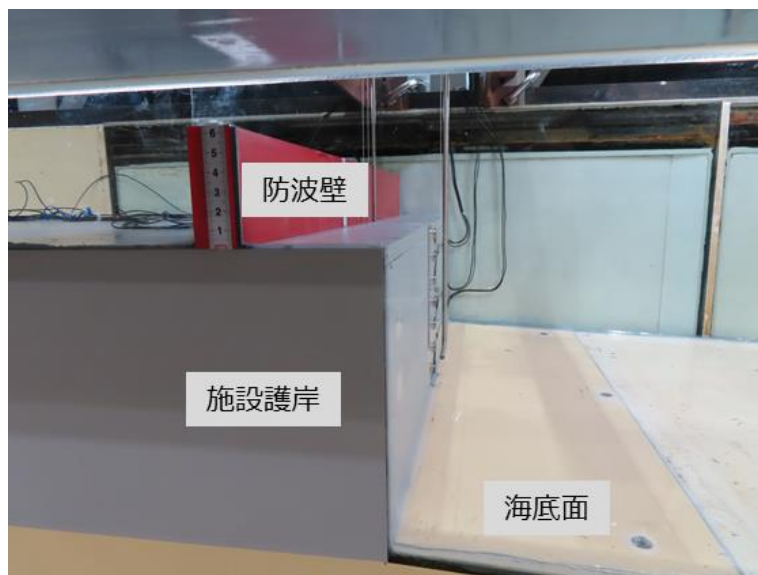


側面より

第19図(1) 実験模型(3号炉)



正面より



側面より

第19図(2) 実験模型(1, 2号炉)

c. 水理模型実験の結果

(a) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース①】

発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇していることを確認した（H1～H12 地点）。また、水理模型実験（H10 地点）と同等な水深における平面二次元津波シミュレーション（地点1）の時刻歴波形を比較した結果、同等の津波を再現できていることを確認した。

防波壁前面の H13 地点においても、ソリトン分裂波及び砕波は発生しないことを確認した。

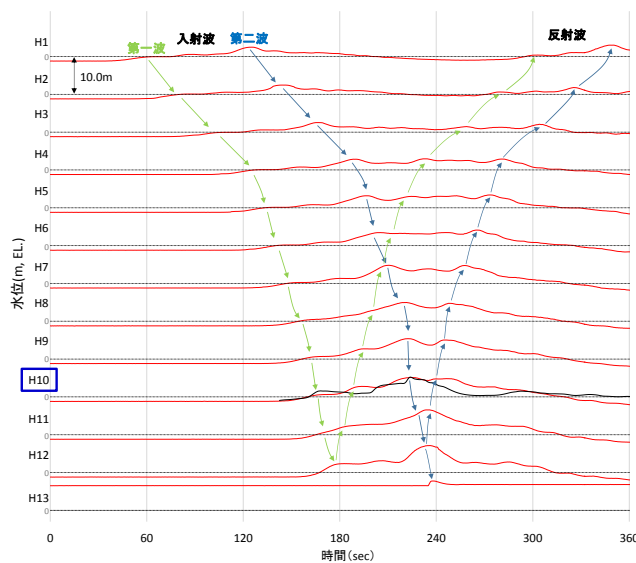
また、第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について、緩やかに上昇していることを確認した。実験条件を第6表に、時刻歴波形を第20図に示す。

第6表 実験条件（ケース①）

検討ケース	津波	波形(周期)	防波堤	敷地護岸	防波壁
ケース①	基準津波 1	基準津波 1	有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③	有		有	有	
ケース④*	有		有	無	
ケース⑤*	有		無	無	
ケース⑥	基準津波 1の半周期		有	有	有

※通過波計測ケース

— : 水理模型実験結果
 — : 平面二次元津波シミュレーション解析結果（地点1）



第20図 水理模型実験における水位の時刻歴波形（ケース①）

(b) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース②】

発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇していることを確認した (H1～H12 地点)。

防波壁前面の H13 地点においても、ソリトン分裂波及び砕波は発生しないことを確認した。

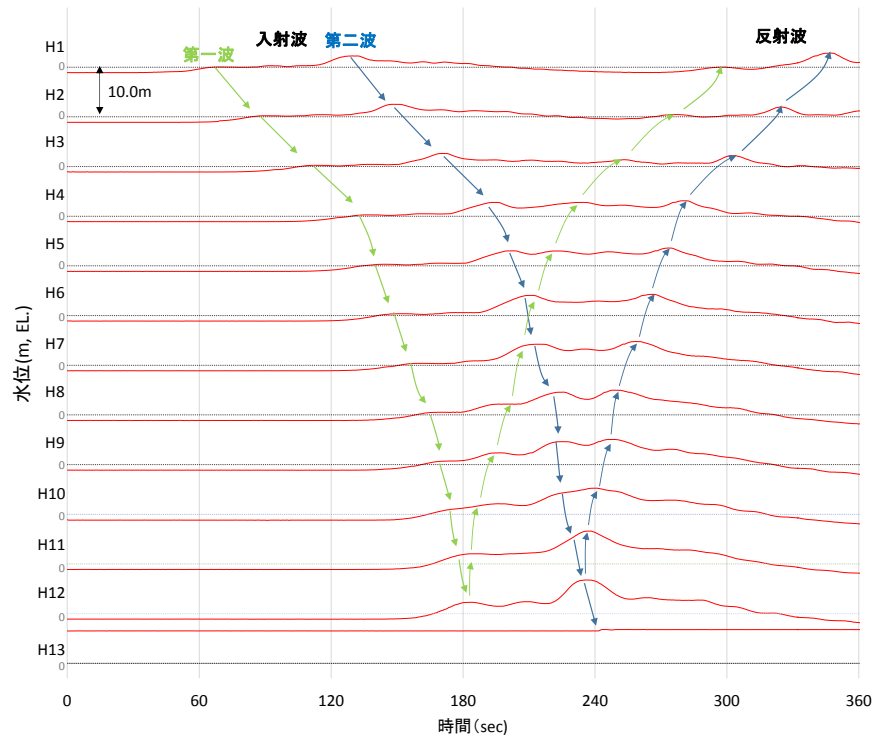
また、第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について、緩やかに上昇していることを確認した。実験条件を第7表に、時刻歴波形を第21図に示す。

第7表 実験条件 (ケース②)

検討 ケース	津波	波形 (周期)	防波堤	敷地 護岸	防波壁
ケース①	基準津波 1		有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③	波圧 検討用津波 (1.5m津波)	基準津波 1	有	有	有
ケース④※			有	有	無
ケース⑤※		有	無	無	
ケース⑥		基準津波 1 の半周期	有	有	有

※通過波計測ケース

— : 水理模型実験結果
— : 平面二次元津波シミュレーション解析結果 (地点1)



第21図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (ケース②)

(c) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース③】

発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇していることを確認した（H1～H12 地点）。

防波壁前面の H13 地点においても、ソリトン分裂波及び砕波は発生しないことを確認した。

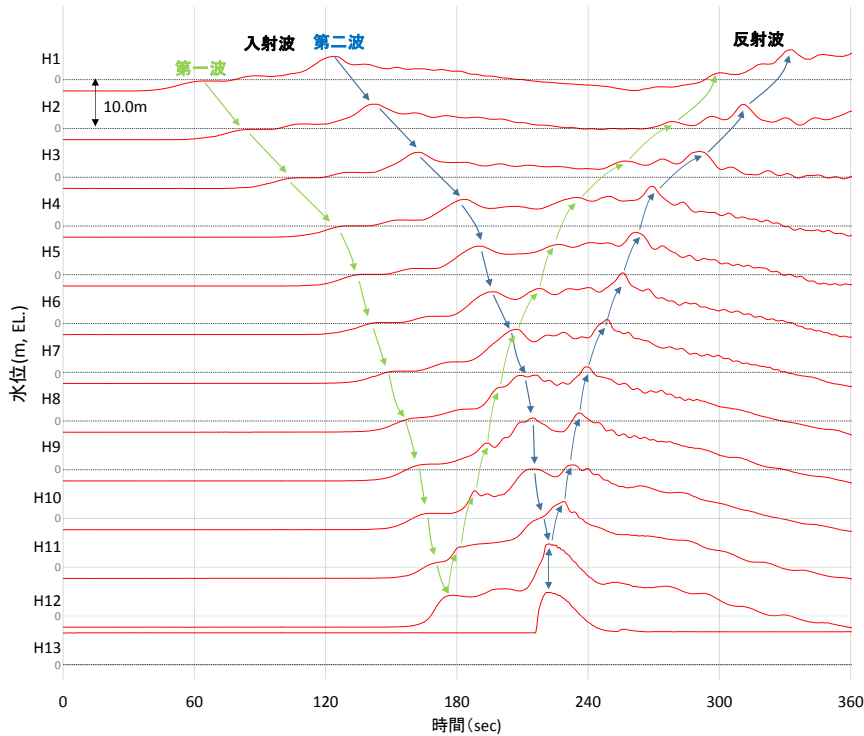
また、第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について乱れを確認したことから、波圧を算定して影響を確認する。

実験条件を第 8 表に、時刻歴波形を第 2 2 図に示す。

第 8 表 実験条件（ケース③）

検討 ケース	津波	波形 (周期)	防波堤	敷地 護岸	防波壁
ケース①	基準津波 1		有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③		基準津波 1	有	有	有
ケース④※	波圧 検討用津波 (1.5m津波)		有	有	無
ケース⑤※			有	無	無
ケース⑥			基準津波 1 の半周期	有	有

※通過波計測ケース



第 2 2 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形（ケース③）

(d) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース④】

防波壁が無い状態での津波遡上状況の把握を目的に、通過波実験を行い、水位・フルード数の確認を行った。

発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇していることを確認した (H1~H12 地点)。

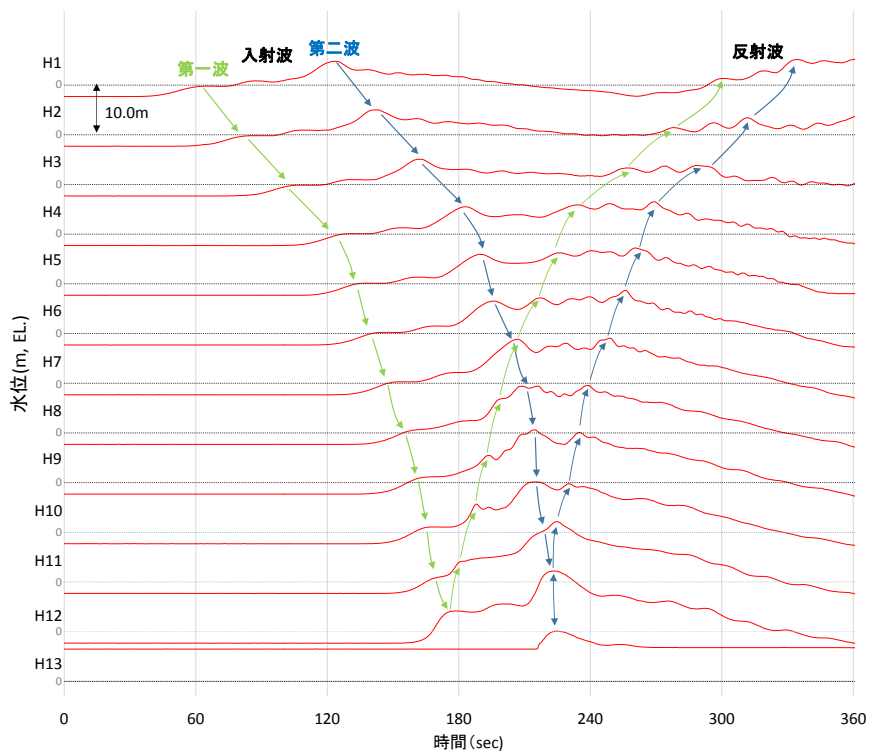
防波壁前面の H13 地点においても、ソリトン分裂波及び砕波は発生しないことを確認した。

また、第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について乱れを確認した。実験条件を第9表に、時刻歴波形を第23図に示す。

第9表 実験条件 (ケース④)

検討 ケース	津波	波形 (周期)	防波堤	敷地 護岸	防波壁
ケース①	基準津波 1	基準津波 1	有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③	有		有	有	
ケース④*	波圧		有	有	無
ケース⑤*	検討用津波 (1.5m津波)		有	無	無
ケース⑥	基準津波 1 の半周期		有	有	有

※通過波計測ケース



第23図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (ケース④)

防波壁位置における浸水深及び同時刻におけるフルード数の時刻歴波形を確認した。その結果、越流開始直後の浸水深が浅い時間帯においてはフルード数が大きいですが、最大浸水深と同時刻におけるフルード数は1以上となることを確認した。最大浸水深及び同時刻におけるフルード数を第10表及び第24図に示す。

朝倉らの研究[※]によると、津波波圧算定で使用する水深係数（水平波圧指標）について、以下のとおり記載されている。

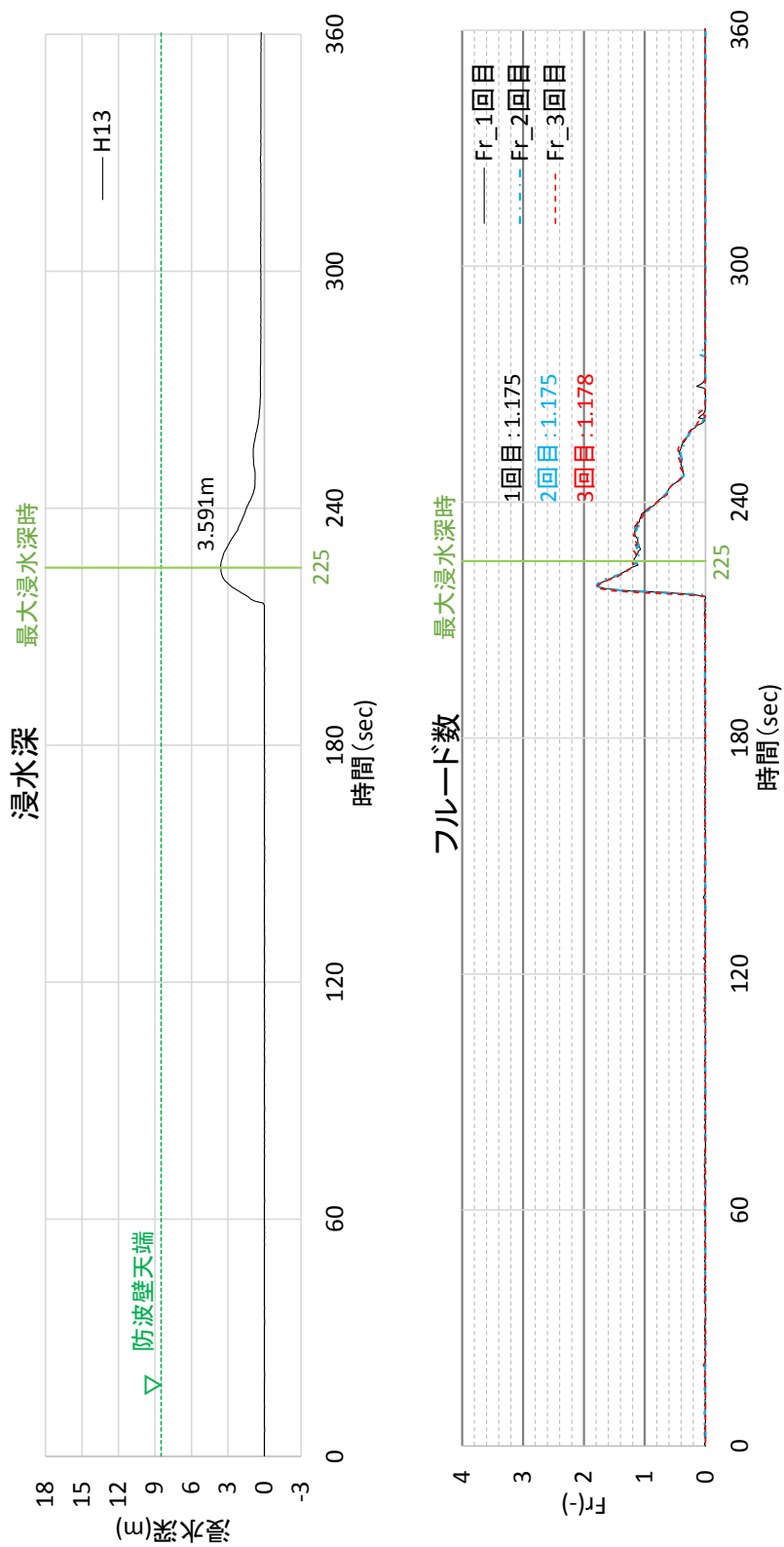
- ・非分裂波の場合、フルード数が1.5以上では陸上構造物前面に作用する津波波圧分布を規定する水平波圧指標（遡上水深に相当する静水圧分布の倍率）は最大で3.0となる。

今回、最大浸水深と同時刻におけるフルード数は1以上であることから、津波波圧算定で使用する水深係数を3.0とする。

※朝倉ら（2000）：護岸を越流した津波による波圧に関する実験的研究，海岸工学論文集，第47巻，土木学会，PP. 911-915

第10表 最大浸水深と同時刻におけるフルード数

	フルード数 (最大浸水深時)
1回目	1.175
2回目	1.175
3回目	1.178



第24図 最大浸水深及び同時刻におけるフルード数 (進行波成分) の時刻歴波形

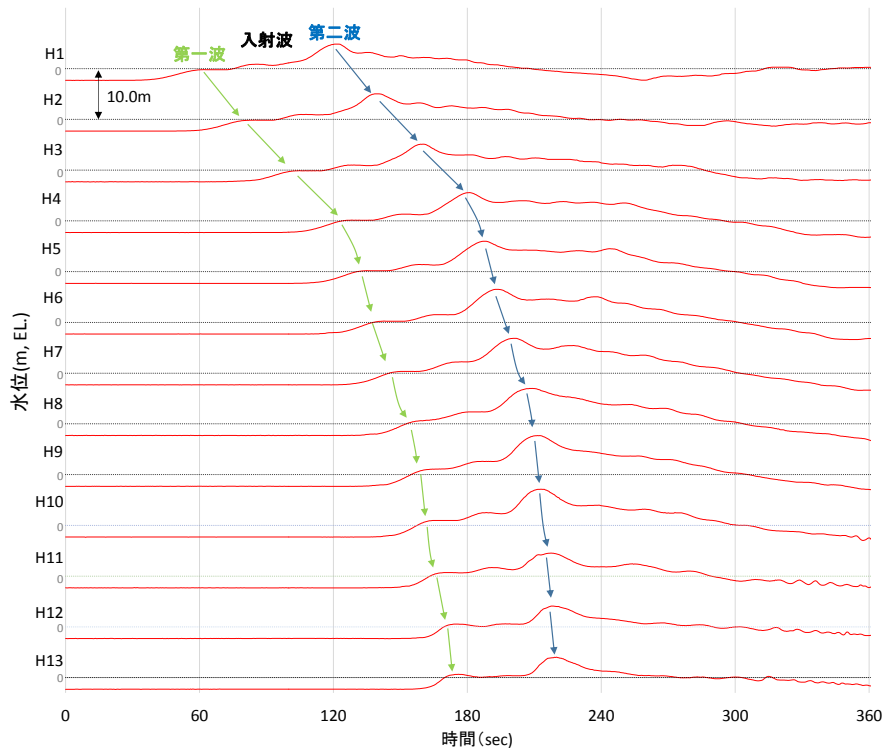
(e) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース⑤】

反射波の影響を受けない状態でのソリトン分裂波及び砕波の発生有無の確認のため、敷地護岸及び防波壁無による通過波実験を行い、発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇していることを確認した（H1～H12 地点）。実験条件を第 11 表に、時刻歴波形を第 25 図に示す。

第 11 表 実験条件（ケース⑤）

検討 ケース	津波	波形 (周期)	防波堤	敷地 護岸	防波壁
ケース①	基準津波 1		有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③			有	有	有
ケース④*	波圧 検討用津波 (1.5m津波)		有	有	無
ケース⑤*			有	無	無
ケース⑥		基準津波 1 の半周期	有	有	有

※通過波計測ケース



第 25 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形（ケース⑤）

(f) ソリトン分裂波及び碎波の確認【ケース⑥】

不確かさケースとして、極端に周期を短くした場合の検討（基準津波1の半周期）を実施した。

発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇していることを確認した（H1～H12）。

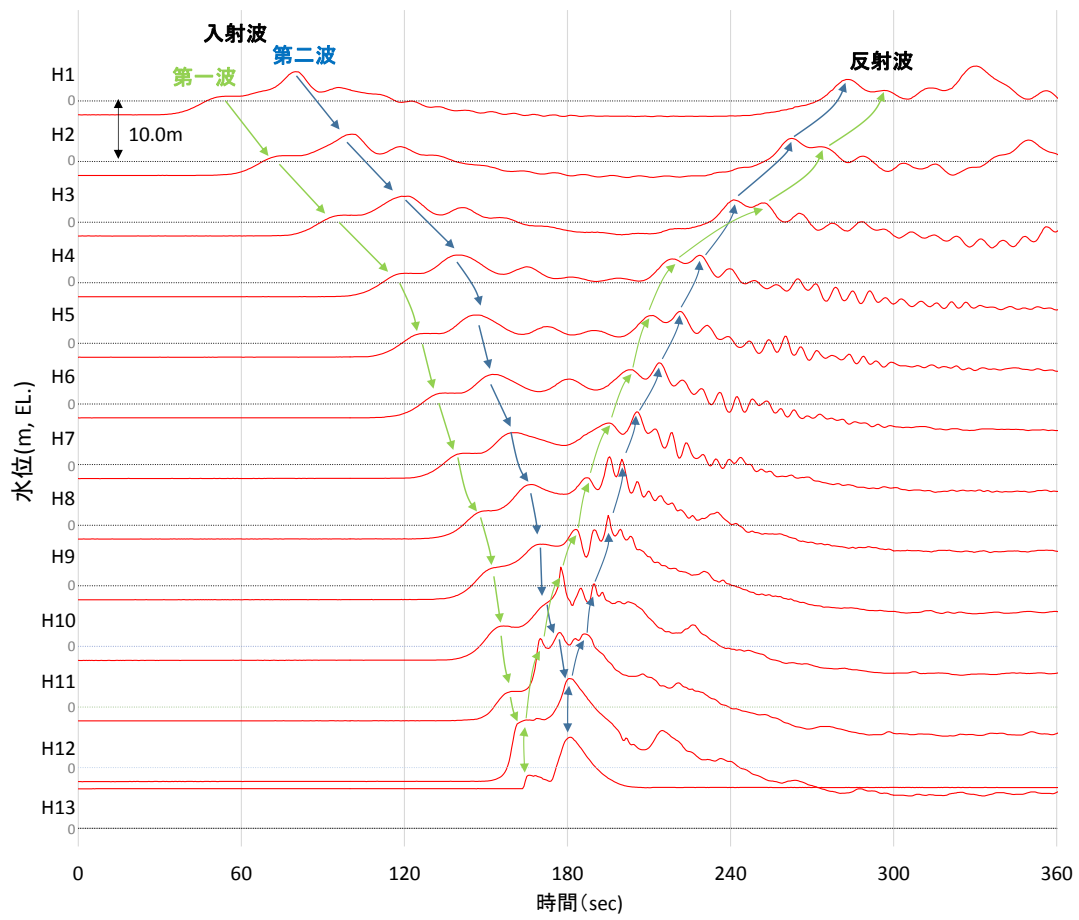
また、第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について乱れを確認したことから、波圧を算定して影響を確認する。

実験条件を第12表に、時刻歴波形を第26図に示す。

第12表 実験条件（ケース⑥）

検討 ケース	津波	波形 (周期)	防波堤	敷地 護岸	防波壁
ケース①	基準津波1	基準津波1	有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③	有		有	有	
ケース④*	波圧 検討用津波 (1.5m津波)		有	有	無
ケース⑤*			有	無	無
ケース⑥			基準津波1 の半周期	有	有

※通過波計測ケース

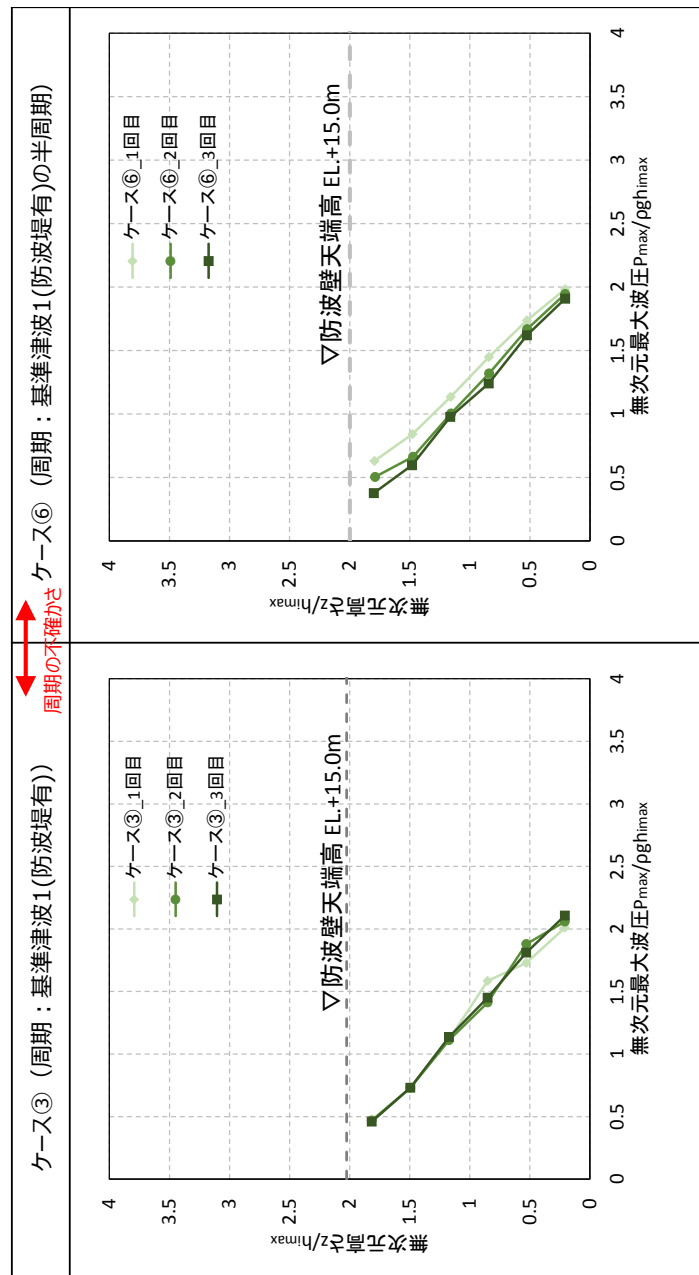


第 2 6 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (ケース⑥)

(g) 波圧の算定結果

水理模型実験において計測した防波壁に作用する波圧分布を第27図に示す。なお、第27図は横軸の波圧と縦軸の標高を津波による浸水深で無次元化を図った。

水理模型実験により算出した3号炉前面の防波壁における波圧分布は直線型となり、ソリトン分裂波や砕波発生時にみられる波圧の増加がみられないため、ソリトン分裂波や砕波による津波波圧への有意な影響はないことを確認した。



第27図 水理模型実験により算出した波圧分布

(h) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース⑦】

発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇していることを確認した（H1～H12 地点）。また、水理模型実験（H10 地点）と同等な水深における平面二次元津波シミュレーション（地点 3）の時刻歴波形を比較した結果、同等の津波を再現できていることを確認した。

防波壁前面の H13 地点においても、ソリトン分裂波及び砕波は発生しないことを確認した。

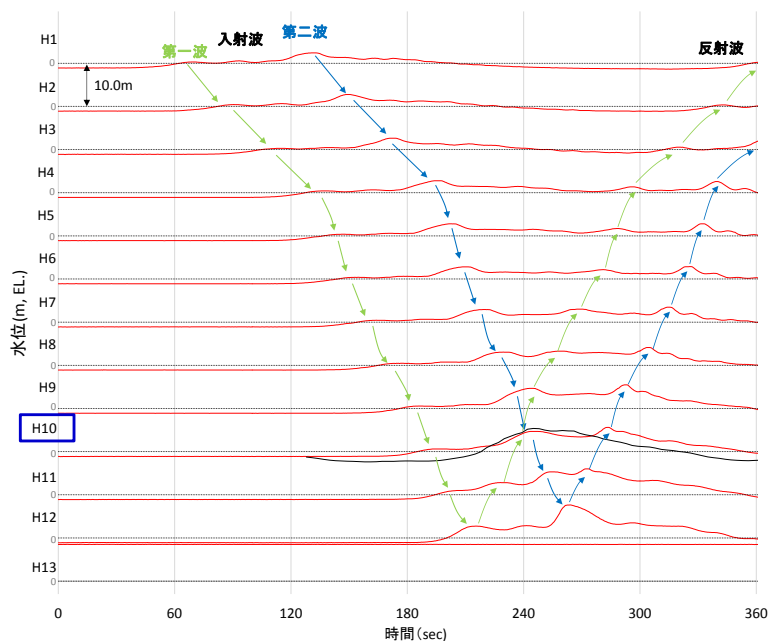
また、第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について、緩やかに上昇していることを確認した。実験条件を第 13 表に、時刻歴波形を第 28 図に示す。

第 13 表 実験条件（ケース⑦）

検討ケース	津波	波形(周期)	防波堤	敷地護岸	防波壁
ケース⑦	基準津波 1		無	有	有
ケース⑧	波圧 検討用津波 (1.5m津波)	基準津波 1	無	有	有
ケース⑨※			無	有	無
ケース⑩※			無	無	無
ケース⑪		基準津波 1 の半周期	無	有	有

※通過波計測ケース

— : 水理模型実験結果
— : 平面二次元津波シミュレーション解析結果（地点 3）



第 28 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形（ケース⑦）

(i) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース⑧】

発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇していることを確認した (H1～H12 地点)。

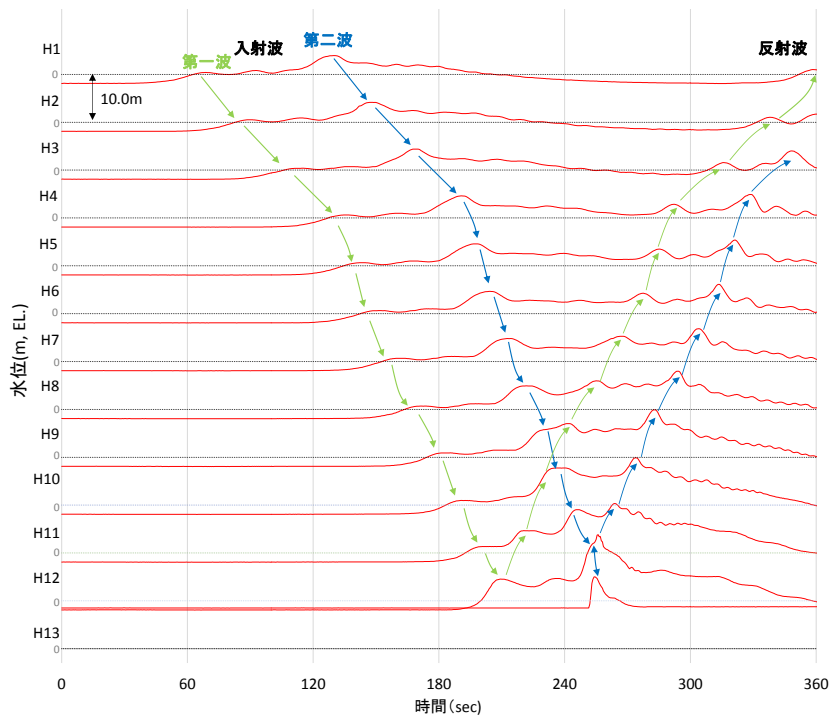
防波壁前面の H13 地点においても、ソリトン分裂波及び砕波は発生しないことを確認した。

また、第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について乱れを確認したことから、波圧を算定して影響を確認する。実験条件を第 14 表に、時刻歴波形を第 29 図に示す。

第 14 表 実験条件 (ケース⑧)

検討 ケース	津波	波形 (周期)	防波堤	敷地 護岸	防波壁
ケース⑦	基準津波 1		無	有	有
ケース⑧		基準津波 1	無	有	有
ケース⑨*	波圧 検討用津波 (1.5m津波)		無	有	無
ケース⑩*			無	無	無
ケース⑪		基準津波 1 の半周期	無	有	有

※通過波計測ケース



第 29 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (ケース⑧)

(j) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース⑨】

防波壁が無い状態での津波遡上状況の把握を目的に、通過波実験を行い、水位・フルード数の確認を行った。

発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇していることを確認した (H1~H12 地点)。

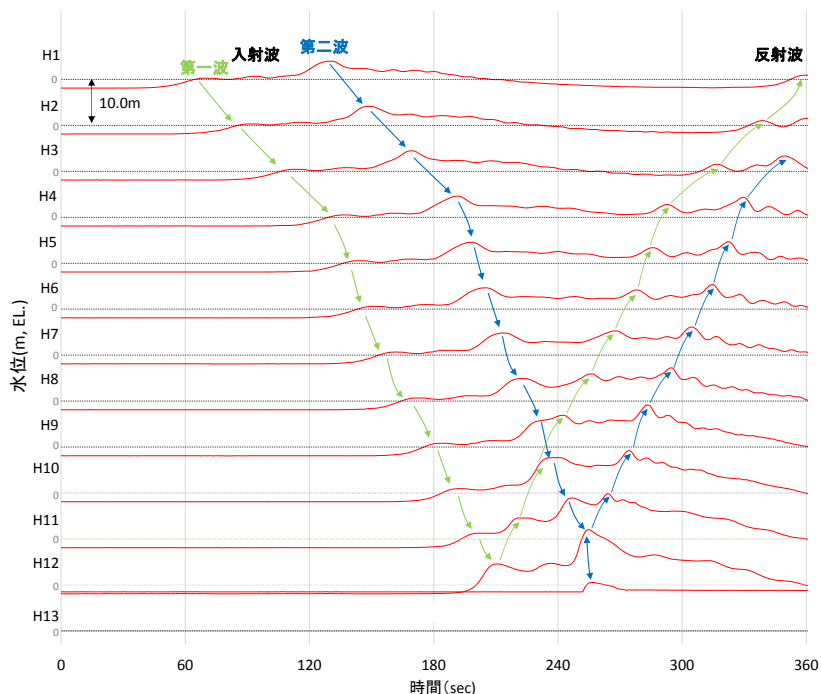
防波壁前面の H13 地点においても、ソリトン分裂波及び砕波は発生しないことを確認した。

また、第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について乱れを確認した。実験条件を第15表に、時刻歴波形を第30図に示す。

第15表 実験条件 (ケース⑨)

検討 ケース	津波	波形 (周期)	防波堤	敷地 護岸	防波壁
ケース⑦	基準津波 1	基準津波 1	無	有	有
ケース⑧			無	有	有
ケース⑨*	波圧		無	有	無
ケース⑩*	検討用津波 (1.5m津波)		無	無	無
ケース⑪		基準津波 1 の半周期	無	有	有

※通過波計測ケース



第30図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (ケース⑨)

防波壁位置における浸水深及び同時刻におけるフルード数の時刻歴波形を確認した。その結果、越流開始直後の浸水深が浅い時間帯においてはフルード数が大きいですが、最大浸水深と同時刻におけるフルード数は1.5以上となることを確認した。最大浸水深及び同時刻におけるフルード数を第16表及び第31図に示す。

朝倉らの研究^{*}によると、津波波圧算定で使用する水深係数（水平波圧指標）について、以下のとおり記載されている。

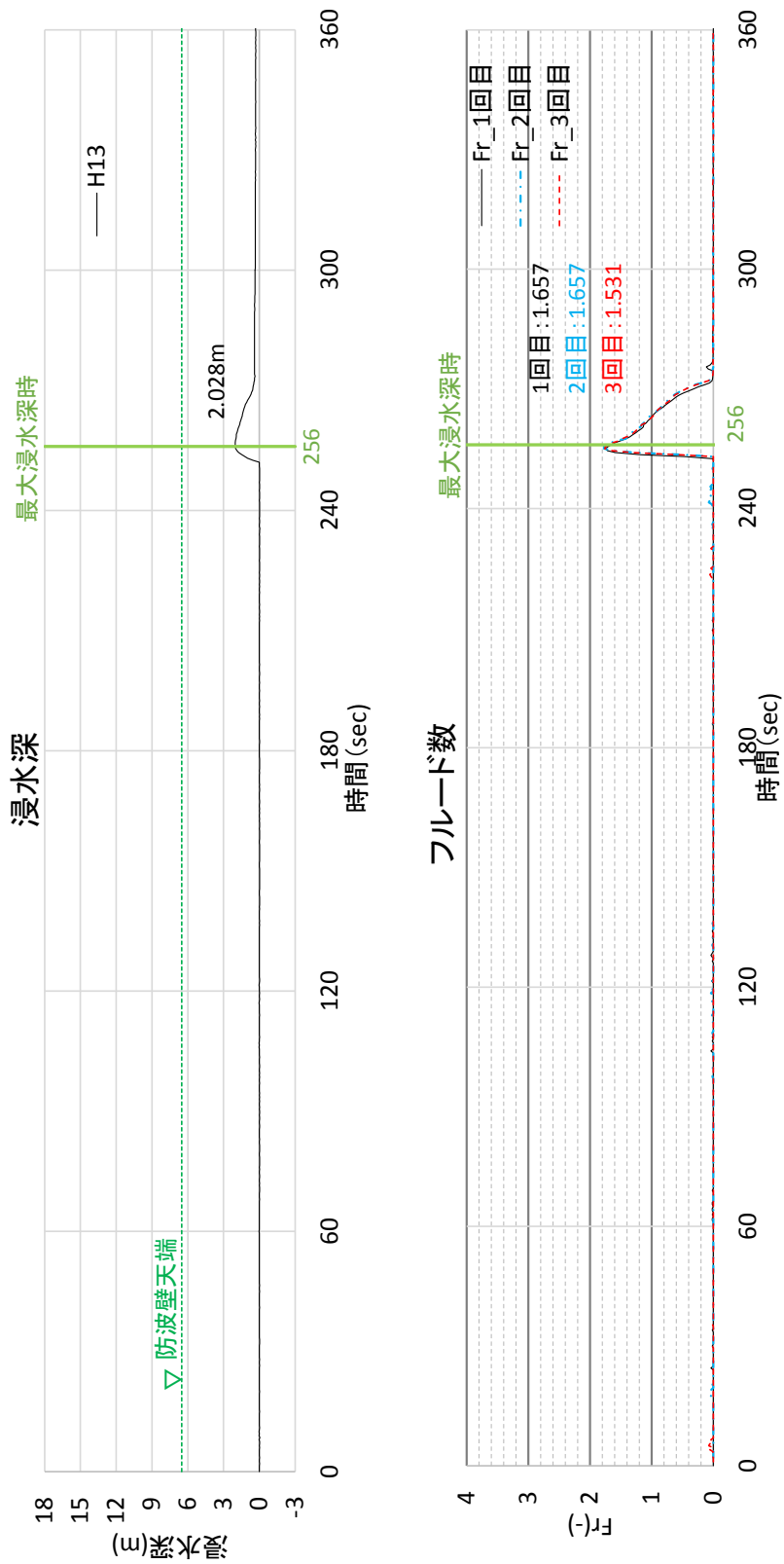
- ・非分裂波の場合、フルード数が1.5以上では陸上構造物前面に作用する津波波圧分布を規定する水平波圧指標（遡上水深に相当する静水圧分布の倍率）は最大で3.0となる。

今回、最大浸水深と同時刻におけるフルード数は1.5以上であることから、津波波圧算定で使用する水深係数を3.0とする。

※朝倉ら（2000）：護岸を越流した津波による波圧に関する実験的研究，海岸工学論文集，第47巻，土木学会，PP.911-915

第16表 最大浸水深と同時刻におけるフルード数

	フルード数 (最大浸水深時)
1回目	1.657
2回目	1.657
3回目	1.531



第3 1 図 最大浸水深及び同時刻におけるフルード数
 (進行波成分) の時刻歴波形

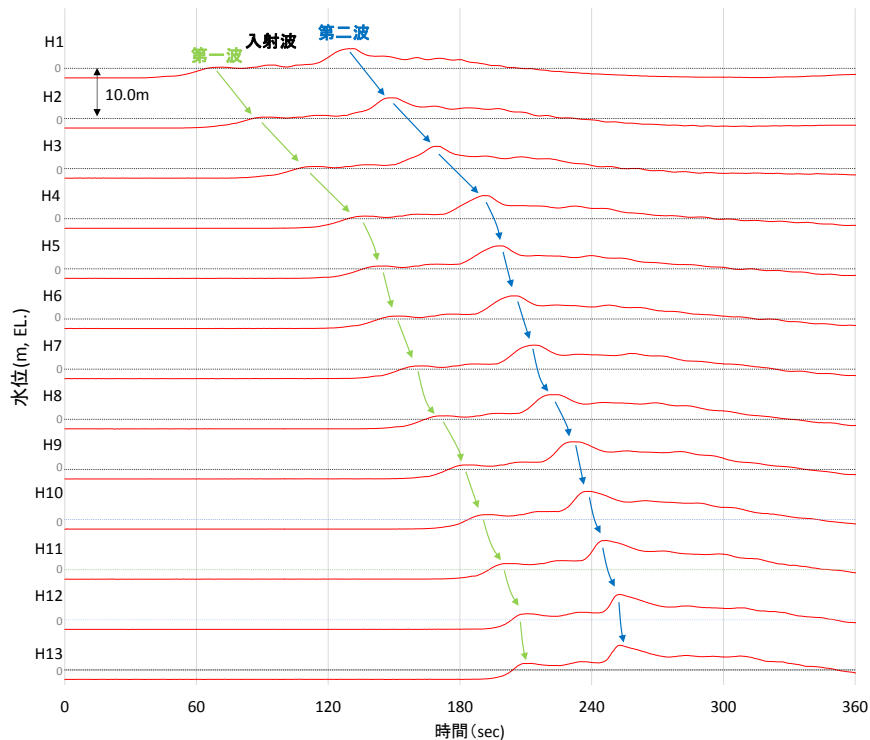
(k) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース⑩】

反射波の影響を受けない状態でのソリトン分裂波及び砕波の発生有無の確認のため、敷地護岸及び防波壁無による通過波実験を行い、発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇していることを確認した（H1～H12 地点）。実験条件を第 17 表に、時刻歴波形を第 32 図に示す。

第 17 表 実験条件（ケース⑩）

検討 ケース	津波	波形 (周期)	防波堤	敷地 護岸	防波壁
ケース⑦	基準津波 1	基準津波 1	無	有	有
ケース⑧	波圧 検討用津波 (1.5m津波)		無	有	有
ケース⑨※			無	有	無
ケース⑩※			無	無	無
ケース⑪			基準津波 1 の半周期	無	有

※通過波計測ケース



第 32 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形（ケース⑩）

(1) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース⑪】

不確かさケースとして、極端に周期を短くした場合の検討（基準津波1の半周期）を実施した。

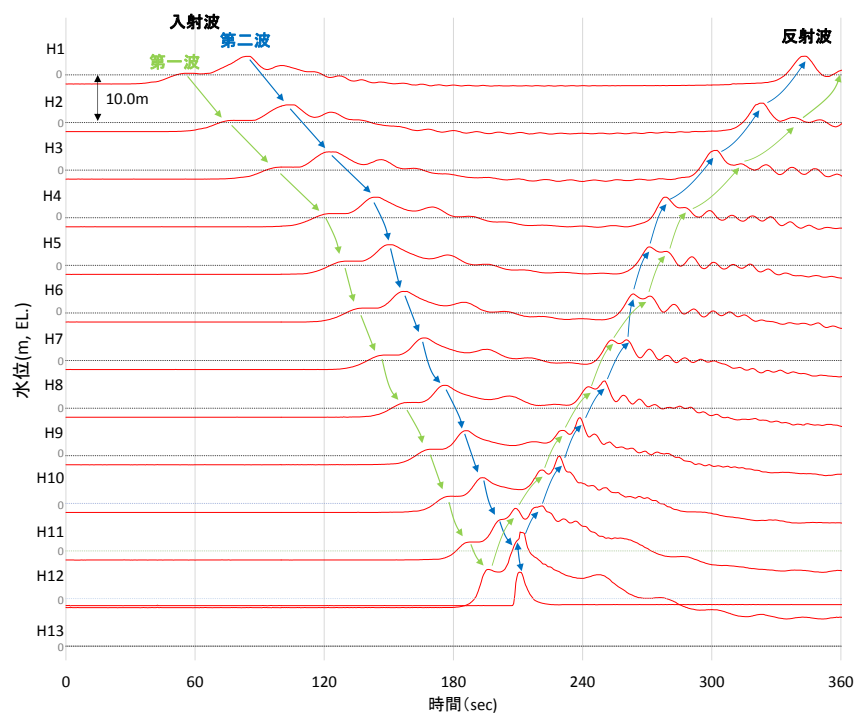
発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇していることを確認した（H1～H12）。

また、第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について乱れを確認したことから、波圧を算定して影響を確認する。実験条件を第18表に、時刻歴波形を第33図に示す。

第18表 実験条件（ケース⑪）

検討ケース	津波	波形(周期)	防波堤	敷地護岸	防波壁
ケース⑦	基準津波1	基準津波1	無	有	有
ケース⑧	波圧 検討用津波 (1.5m津波)		無	有	有
ケース⑨※			無	有	無
ケース⑩※			無	無	無
ケース⑪		基準津波1の半周期	無	有	有

※通過波計測ケース

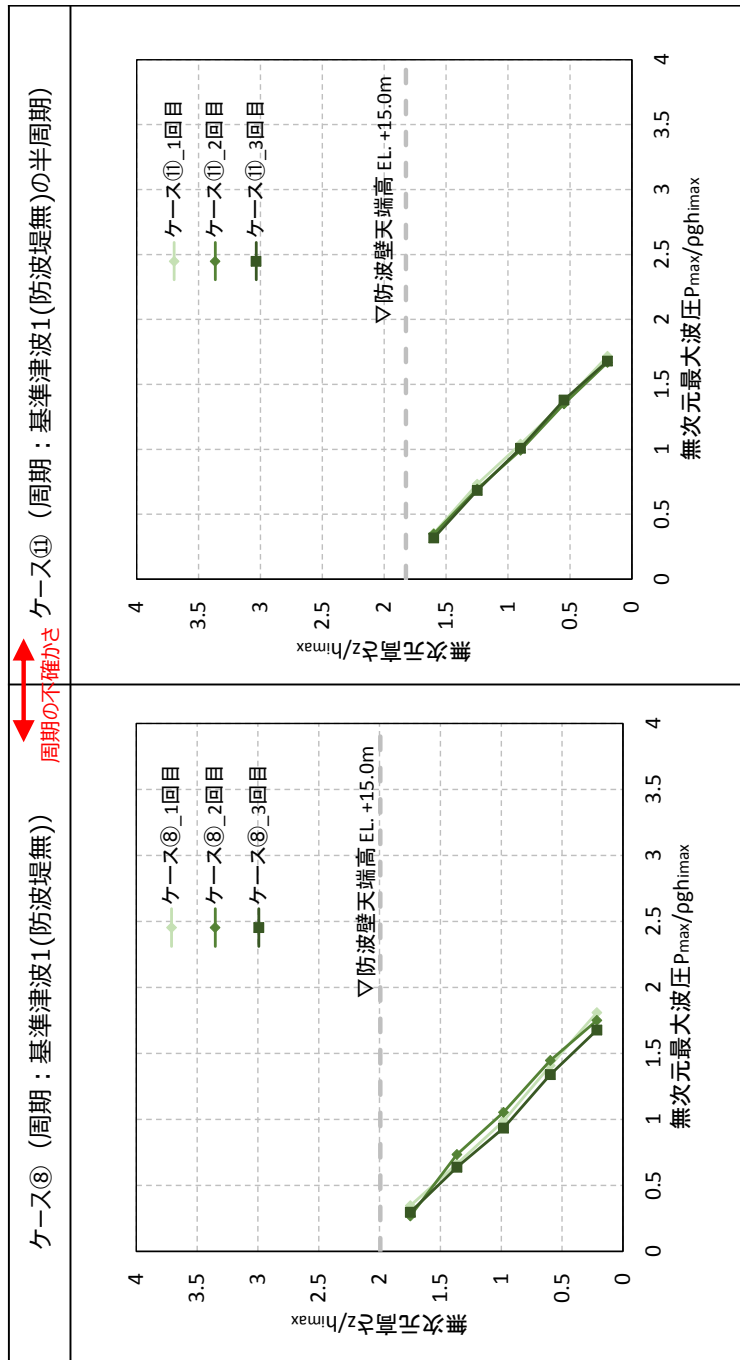


第33図 水理模型実験における水位の時刻歴波形（ケース⑪）

(m) 波圧の算定結果

水理模型実験において計測した防波壁に作用する波圧分布を第34図に示す。

水理模型実験により算出した1, 2号炉前面の防波壁における波圧分布は、直線型の波圧分布となりソリトン分裂波や碎波発生時にみられる波圧増加がみられないため、ソリトン分裂波や碎波による津波波圧への有意な影響はないことを確認した。



第34図 水理模型実験により算出した波圧分布

(4) 断面二次元津波シミュレーションによる検討

水理模型実験と同じ条件（ケース①，③，⑦及び⑧）について，断面二次元津波シミュレーションを実施した。

(a) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース①】

ケース①の解析結果は，以下のとおり，水理模型実験と同等の津波を再現できていることを確認した（H1～H13 地点）。

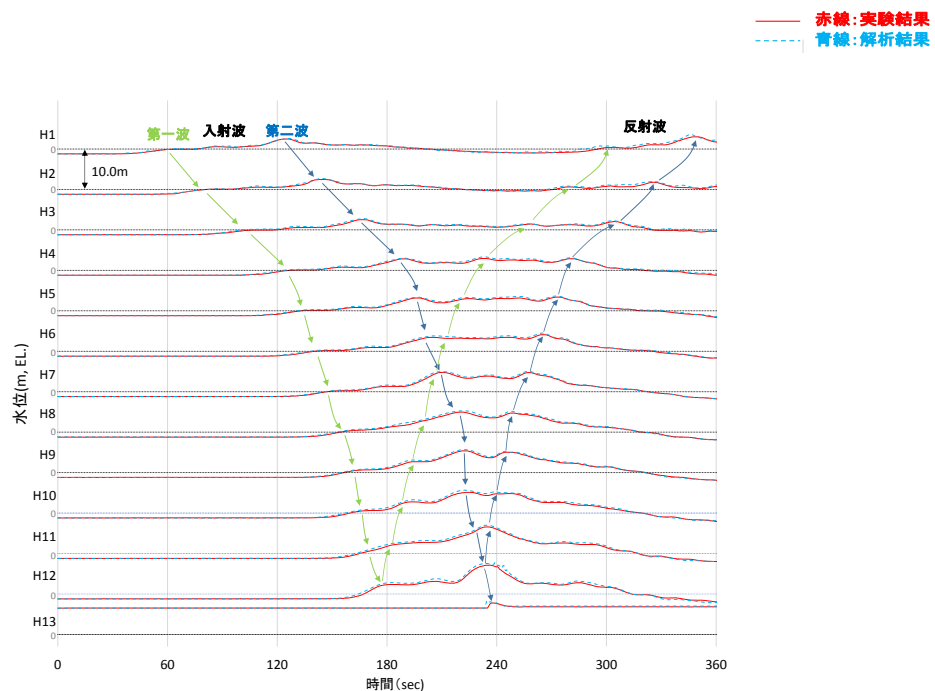
- ・発電所沖合から防波壁の近傍において，ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく，水位は緩やかに上昇している（H1～H12 地点）。
- ・防波壁前面の H13 地点においても，ソリトン分裂波及び砕波は発生しない。
- ・第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について，緩やかに上昇している。

解析条件を第 19 表に，時刻歴波形を第 35 図に示す。

第 19 表 解析条件（ケース①）

検討ケース	津波	波形(周期)	防波堤	敷地護岸	防波壁
ケース①	基準津波 1	基準津波 1	有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③	有		有	有	
ケース④*	有		有	無	
ケース⑤*	有		無	無	
ケース⑥	基準津波 1 の半周期		有	有	有

※通過波計測ケース



第 35 図 断面二次元津波シミュレーションにおける水位の時刻歴波形（ケース①）

(b) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース③】

ケース③の解析結果は、以下のとおり、水理模型実験と同等の津波を再現できていることを確認した (H1~H13 地点)。

- ・発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇している (H1~H12)。
- ・防波壁前面の H13 においても、ソリトン分裂波及び砕波は発生しない。
- ・第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について乱れが確認できる。

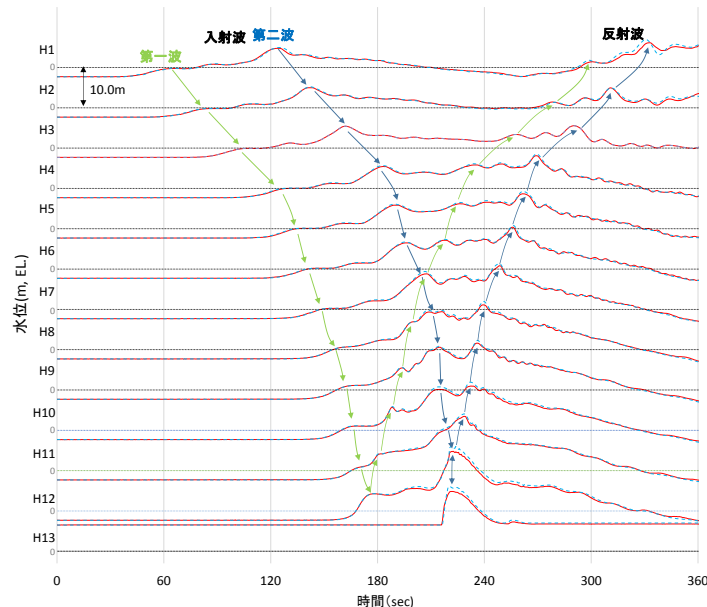
解析条件を第 20 表に、時刻歴波形を第 36 図に示す。

第 20 表 解析条件 (ケース③)

検討ケース	津波	波形(周期)	防波堤	敷地護岸	防波壁
ケース①	基準津波 1		有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③		基準津波 1	有	有	有
ケース④※	波圧 検討用津波 (1.5m津波)		有	有	無
ケース⑤※			有	無	無
ケース⑥		基準津波 1 の半周期	有	有	有

※通過波計測ケース

— 赤線: 実験結果
- - - 青線: 解析結果



第 36 図 断面二次元津波シミュレーションにおける水位の時刻歴波形 (ケース③)

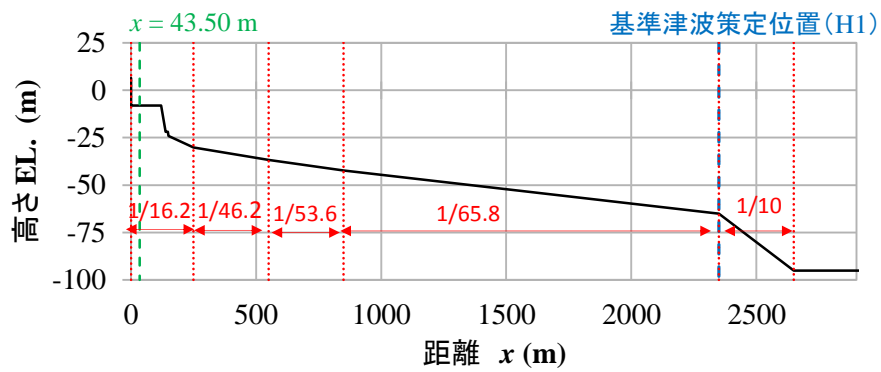
(c) 波形の水面勾配

3号炉の防波壁を対象として、ケース①(基準津波 1(防波堤有))の断面二次元津波シミュレーション結果を基に波形の水面勾配を確認する。

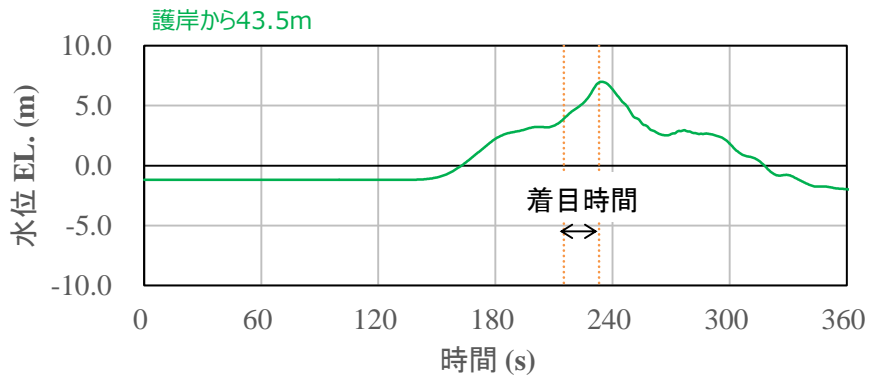
津波の水位時刻歴波形から水位上昇量が大きくなる時刻に着目し、水位分布を確認した結果、水面勾配は最大で 1.40° であり、松山ら(2005)における水面勾配の砕波限界 $30^\circ \sim 40^\circ$ に比べて十分に小さい。

基準津波の時刻歴波形や水位分布からソリトン分裂波や砕波と考えられる挙動は認められない。

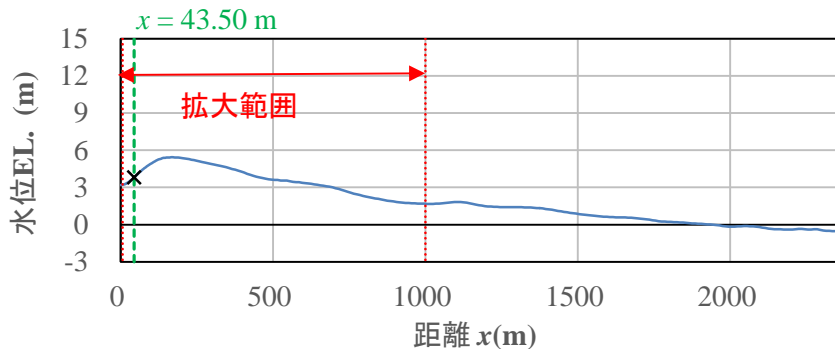
以上より、3号炉護岸前面ではソリトン分裂波及び砕波は発生しない。



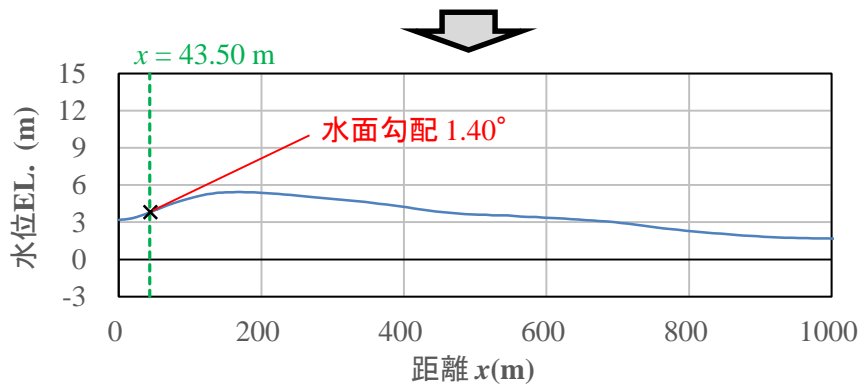
護岸法線部を原点とした海底地形



最大水面勾配が確認された時刻



最大水面勾配が確認された時刻 ($t=218.1$ s) の水位分布



水位分布の拡大図 ($t=218.1$ s)

第37図 最大水面勾配確認結果 (3号炉)

(d) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース⑦】

ケース⑦の解析結果は、以下のとおり、水理模型実験と同等の津波を再現できていることを確認した (H1~H13 地点)。

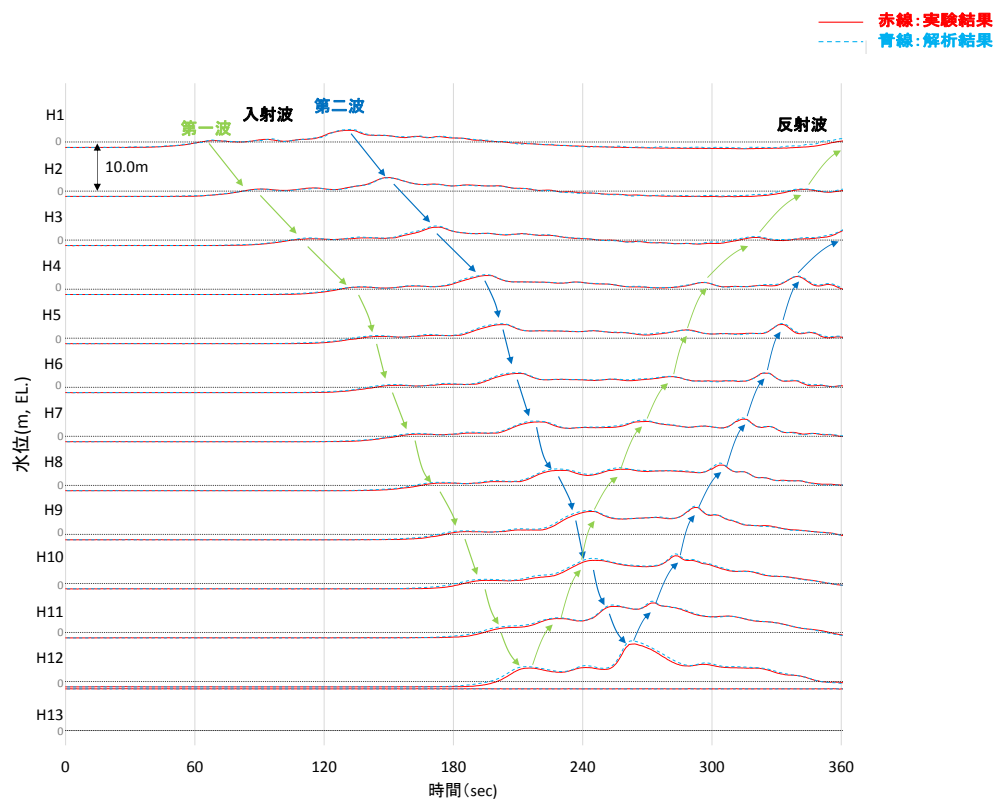
- ・発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇している (H1~H12 地点)。
- ・防波壁前面の H13 地点においても、ソリトン分裂波及び砕波は発生しない。
- ・第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について、緩やかに上昇している。

解析条件を第 2 1 表に、時刻歴波形を第 3 8 図に示す。

第 2 1 表 解析条件 (ケース⑦)

検討ケース	津波	波形(周期)	防波堤	敷地護岸	防波壁
ケース⑦	基準津波 1		無	有	有
ケース⑧	波圧 検討用津波 (1.5m津波)	基準津波 1	無	有	有
ケース⑨※			無	有	無
ケース⑩※			無	無	無
ケース⑪		基準津波 1 の半周期	無	有	有

※通過波計測ケース



第 3 8 図 断面二次元津波シミュレーションにおける水位の時刻歴波形 (ケース⑦)

(e) ソリトン分裂波及び砕波の確認【ケース⑧】

ケース⑧の解析結果は、以下のとおり、水理模型実験と同等の津波を再現できていることを確認した (H1~H13 地点)。

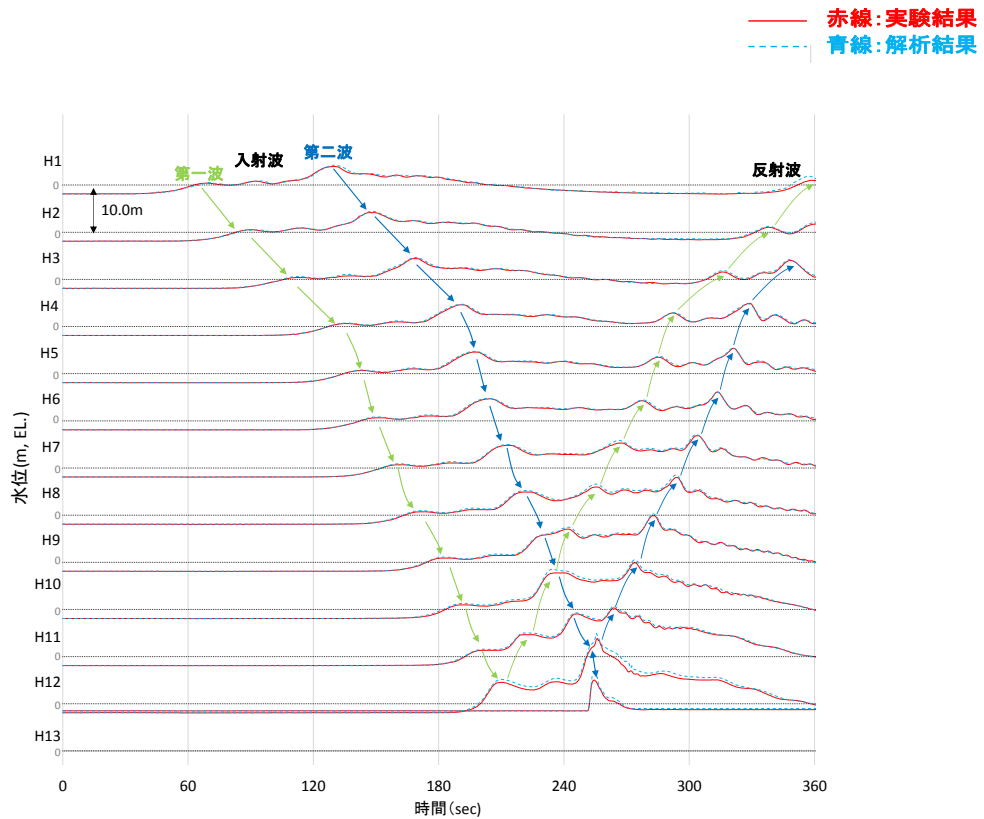
- ・発電所沖合から防波壁の近傍において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇している (H1~H12)。
- ・防波壁前面の H13 においても、ソリトン分裂波及び砕波は発生しない。
- ・第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について乱れが確認できる。

解析条件を第 2 2 表に、時刻歴波形を第 3 9 図に示す。

第 2 2 表 解析条件 (ケース⑧)

検討 ケース	津波	波形 (周期)	防波堤	敷地 護岸	防波壁
ケース⑦	基準津波 1		無	有	有
ケース⑧		基準津波 1	無	有	有
ケース⑨*	波圧 検討用津波 (1.5m津波)		無	有	無
ケース⑩*			無	無	無
ケース⑪		基準津波 1 の半周期	無	有	有

※通過波計測ケース



第 3 9 図 断面二次元津波シミュレーションにおける
水位の時刻歴波形 (ケース⑧)

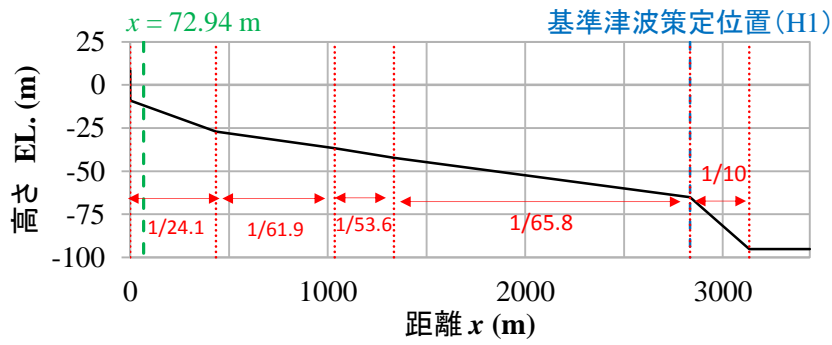
(f) 波形の水面勾配

1, 2号炉を対象として, ケース⑦(基準津波1(防波堤無))の断面二次元津波シミュレーション結果を基に波形の水面勾配を確認する。

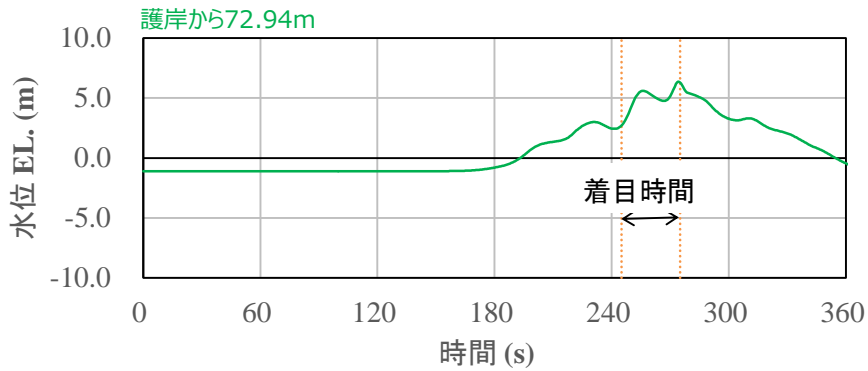
津波の水位時刻歴波形から水位上昇量が大きくなる時刻に着目し, 水位分布を確認した結果, 水面勾配は最大で 1.83° であり, 松山ら(2005)における水面勾配の砕波限界 $30^\circ \sim 40^\circ$ に比べて十分に小さい。

基準津波の時刻歴波形や水位分布からソリトン分裂波や砕波現象と考えられる挙動は認められない。

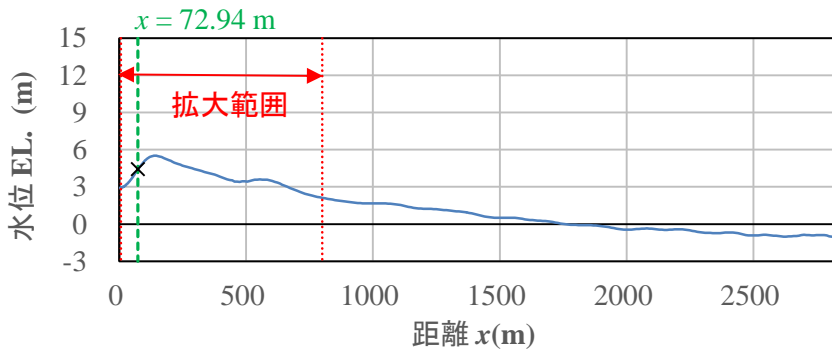
以上より, 1, 2号炉護岸前面ではソリトン分裂波及び砕波は発生しない。



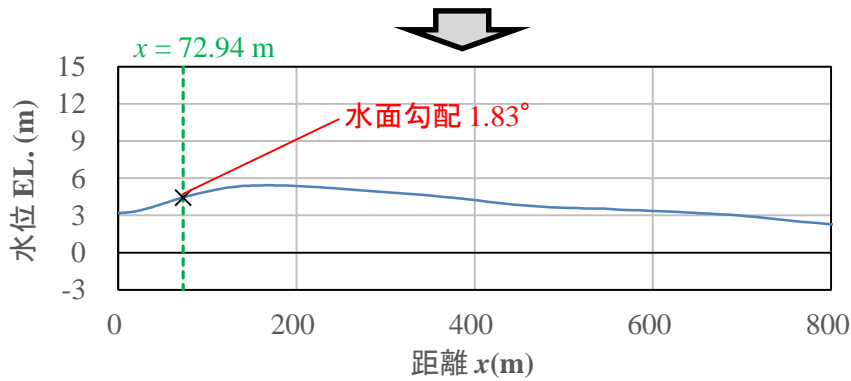
護岸法線部を原点とした海底地形



最大水面勾配が確認された時刻



最大水面勾配が確認された時刻 (t = 254.4s) の水位分布



水位分布の拡大図 (t = 254.4s)

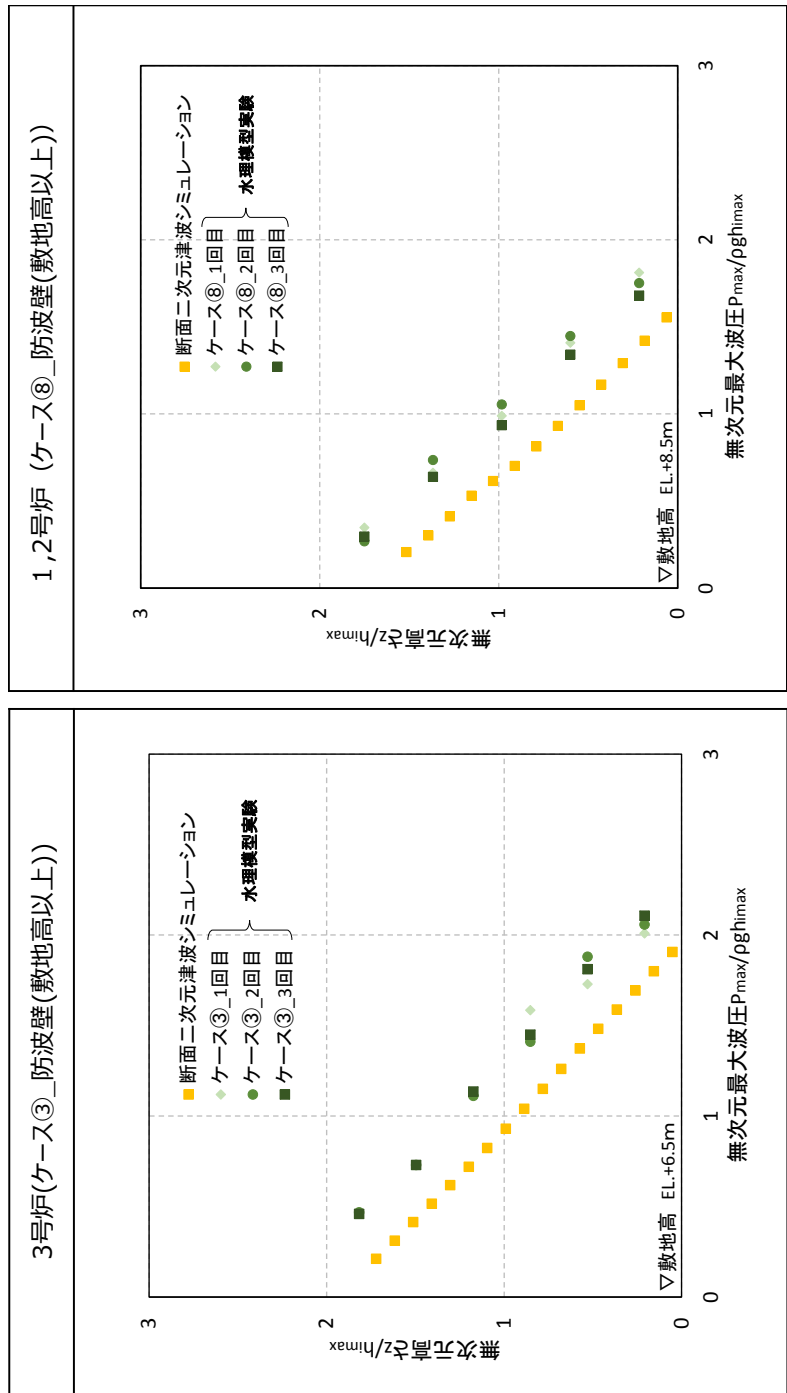
第40図 最大水面勾配確認結果 (1, 2号炉)

(g) 波圧の算定結果

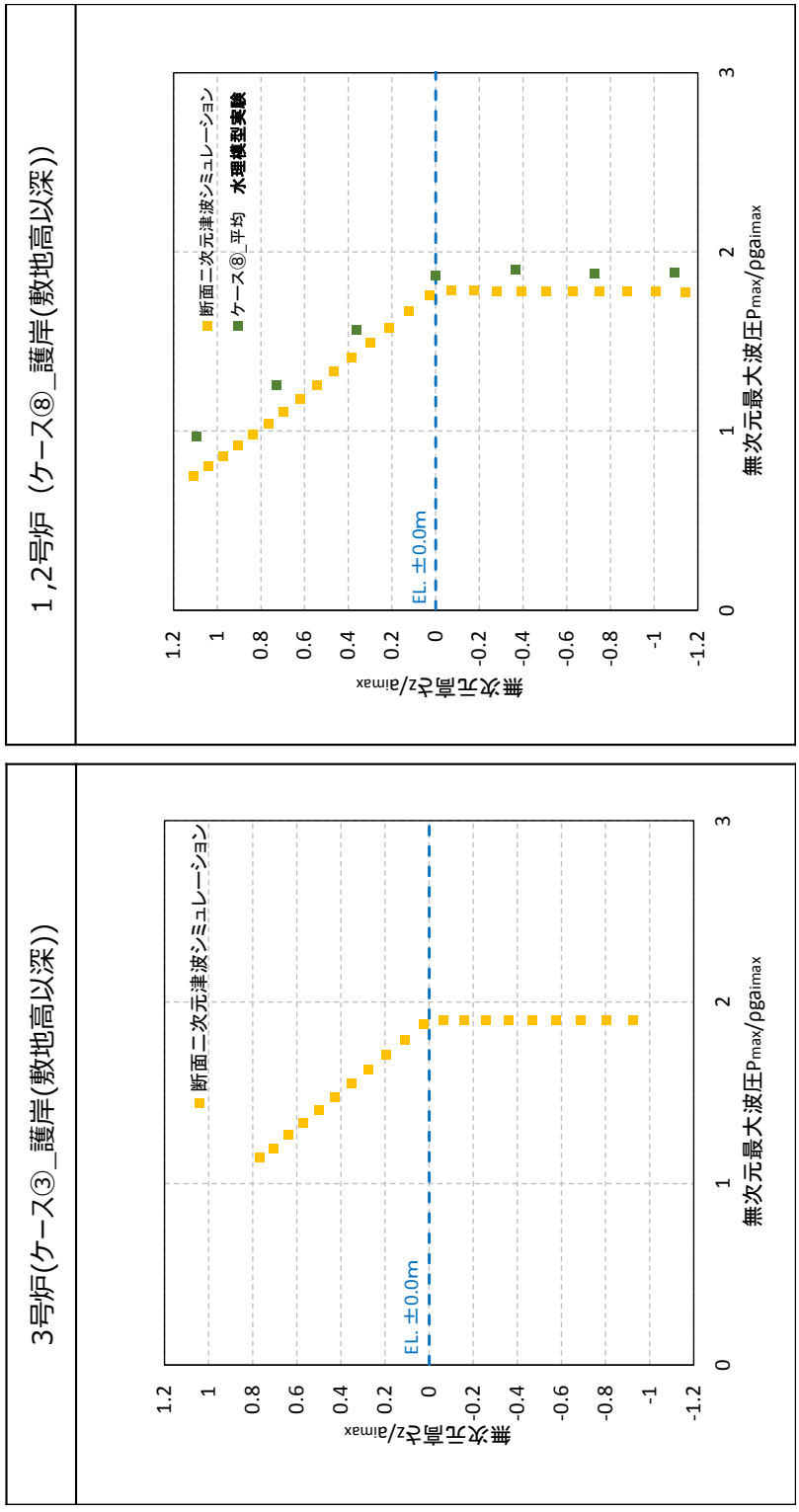
断面二次元津波シミュレーションにより算定した防波壁（敷地高以上及び敷地高以深）に作用する波圧分布を第41図に示す。また、敷地高以上及び敷地高以深の1，2号炉においては比較対象として同じ条件による水理模型実験結果による波圧分布も示す。なお，下図は横軸の波圧と縦軸の標高を静水面からの津波高さで無次元化を図った。

断面二次元津波シミュレーションにより算出した波圧分布は，水理模型実験と同等の波圧分布であり，再現性があることを確認した。

直線型の波圧分布となることから，ソリトン分裂波や砕波による津波波圧への有意な影響はないことを確認した。



第4 1 図 (1) 断面二次元津波シミュレーションによる波圧分布



第4 1 図 (2) 断面二次元津波シミュレーションによる波圧分布

4. 三次元津波シミュレーションによる検討

(1) 検討概要

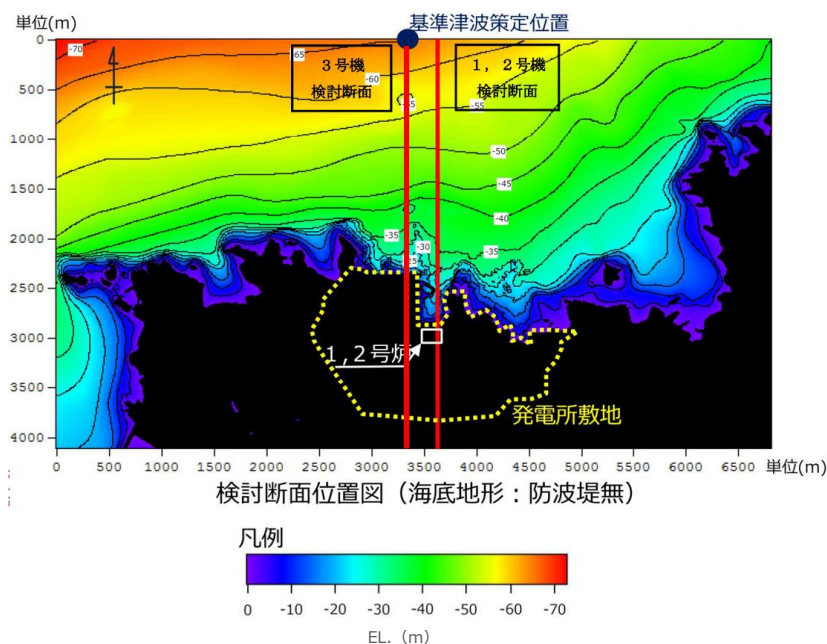
前項で行った水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションでは、島根原子力発電所の代表断面について検討したため、ここでは複雑な地形特性及び津波特性に応じた評価が可能である三次元津波シミュレーションを行い、防波壁に作用する波圧を直接算定し、その影響を確認する。

入射津波については、基準津波 1 (防波堤有, 防波堤無) の場合、敷地への浸水が局所的であり、防波壁等への津波波圧の影響の確認ができないことから、前項で用いた波圧検討用津波 (1.5 m 津波) を設定する。なお、波圧検討用津波により算定した波圧は、防波壁等の設計用津波波圧として用いるものではない。

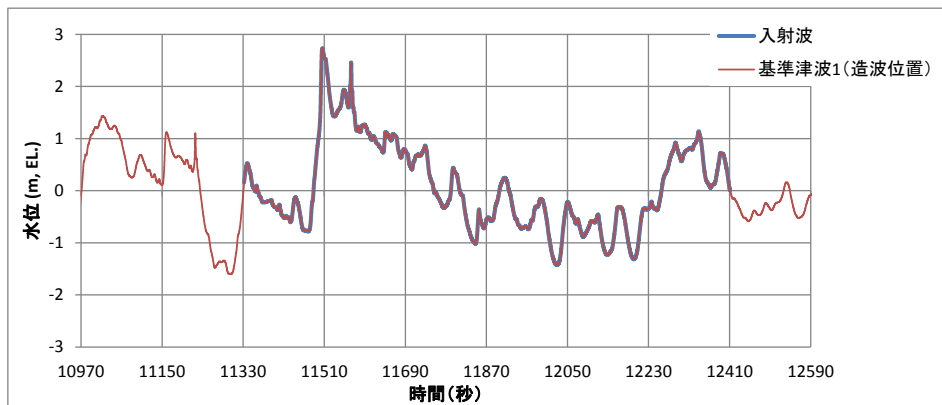
解析モデルについては、島根原子力発電所の陸海域の地形特性を再現したモデルとする。

(2) 解析条件等

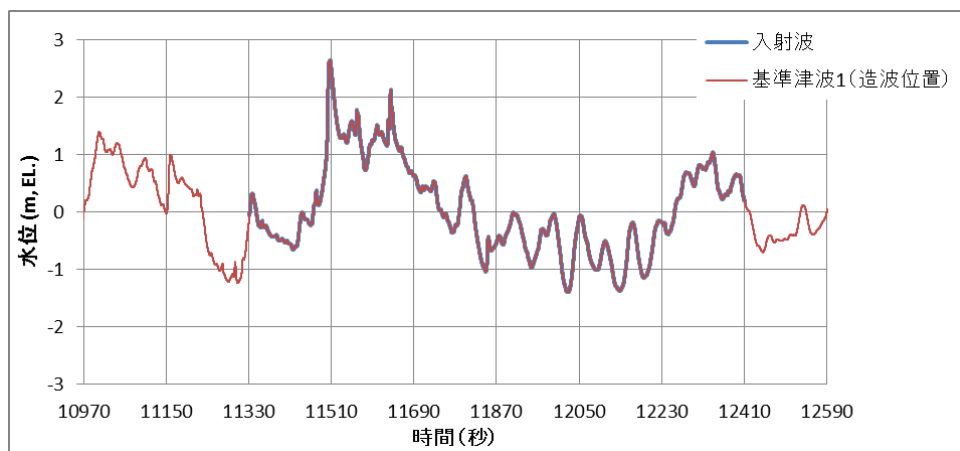
三次元津波シミュレーション概要図を第 4 2 図に示す。



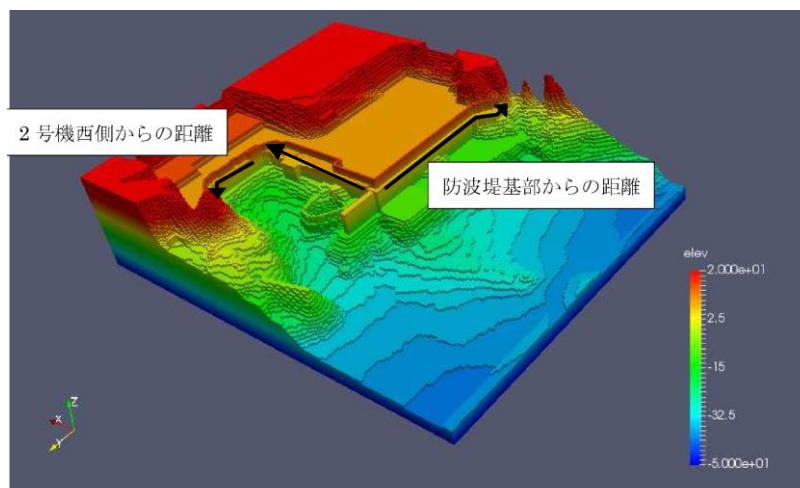
第 4 2 図 (1) 発電所前面の海底地形



第4 2 図 (2) 入射津波の造波波形図 (防波堤有)



第4 2 図 (3) 入射津波の造波波形図 (防波堤無)



第4 2 図 (4) 解析モデル図 (防波堤有) の例

防波壁位置での津波の波形を抽出し、ソリトン分裂波や砕波の発生を確認する。

解析モデルについては、防波壁位置における津波高さ及び津波波圧を算定するため、陸海域の地形等の特性（1，2号炉前面が入り組んだ複雑な地形）を再現して海底地形及び敷地をモデル化するとともに、防波壁等の形状及び高さを再現した地形とする。

入射津波については、前項で用いた波圧検討用津波（1.5m津波）を設定する。

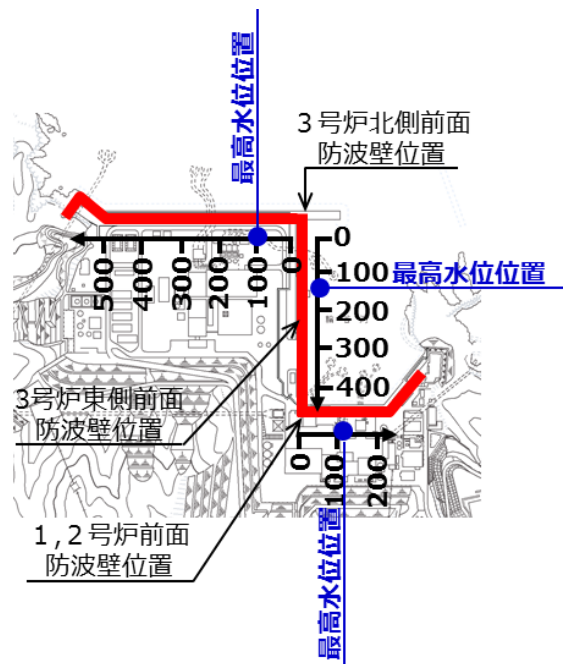
解析条件を第2.3表に示す。

第2.3表 解析条件

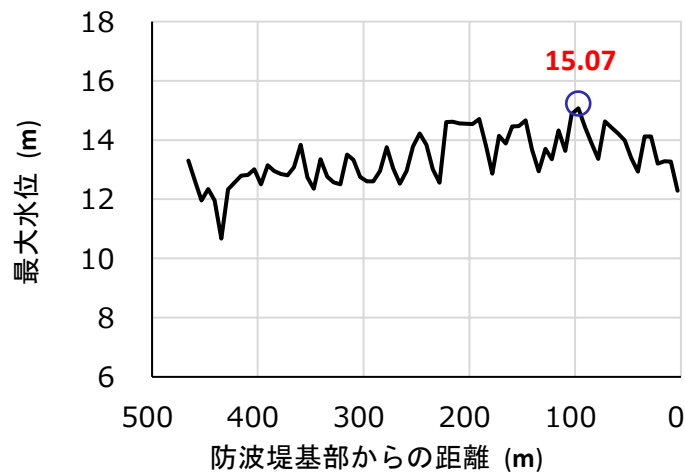
モデル化領域	南北方向：2,175m，東西方向：1,125m
格子間隔	$\Delta x=6.25m$ ， $\Delta y=6.25m$ ， $\Delta z=1.0\sim 2.0m$
解析時間	1079秒（基準津波1の押し波最大波）

(3) 三次元津波シミュレーションより直接算定される最高水位

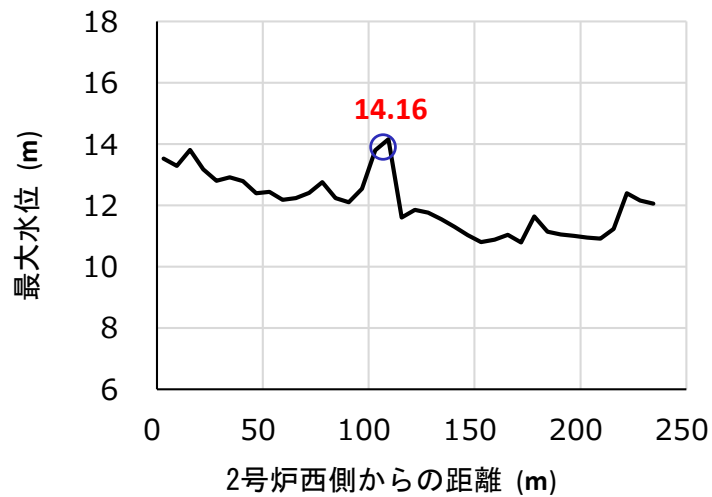
波圧検討用津波（1.5m津波）を用いた三次元津波シミュレーションにより抽出された防波壁前面における最高水位位置を第4.3図に、最高水位分布を第4.4図に示す。なお、代表として防波堤有の結果を示す。



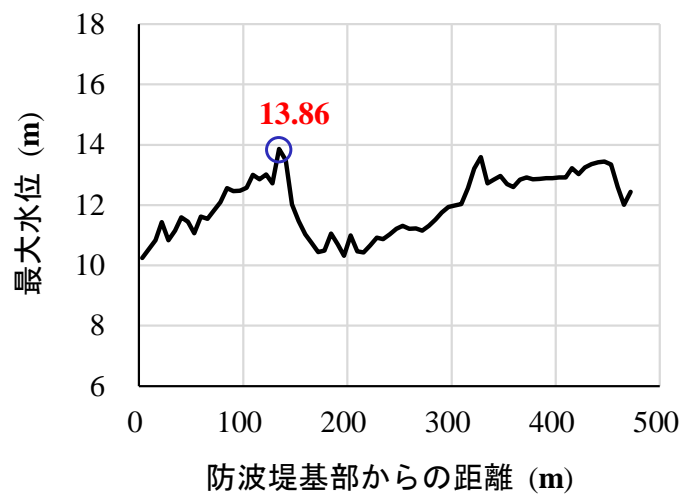
第4.3図 三次元津波シミュレーションにおける断面位置及び最高水位位置



第44図(1) 防波壁前面における最高水位分布 (3号炉北側前面)

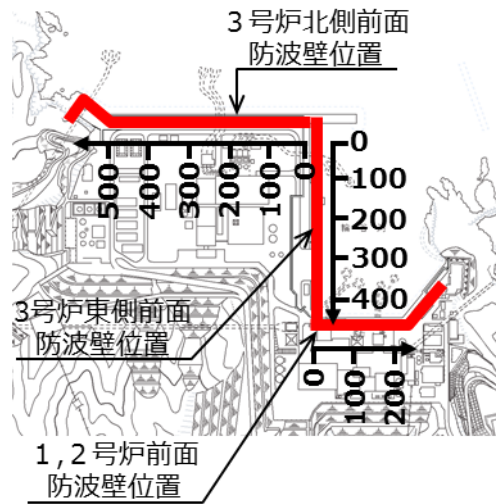


第44図(2) 防波壁前面における最高水位分布 (1, 2号炉前面)

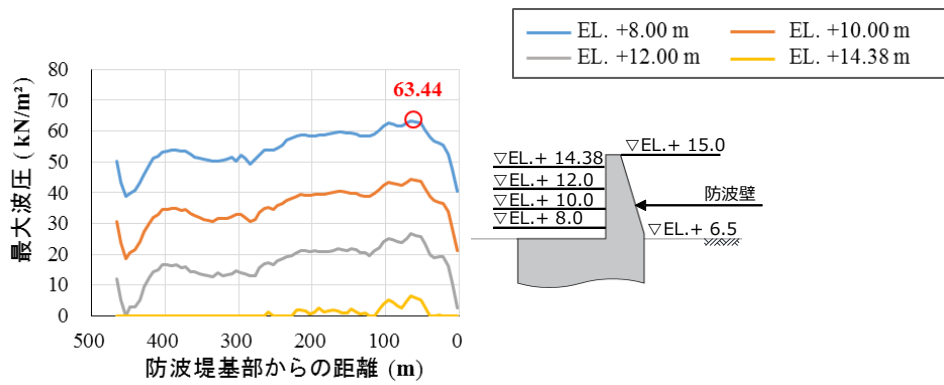


第44図(3) 防波壁前面における最高水位分布 (3号炉東側前面)

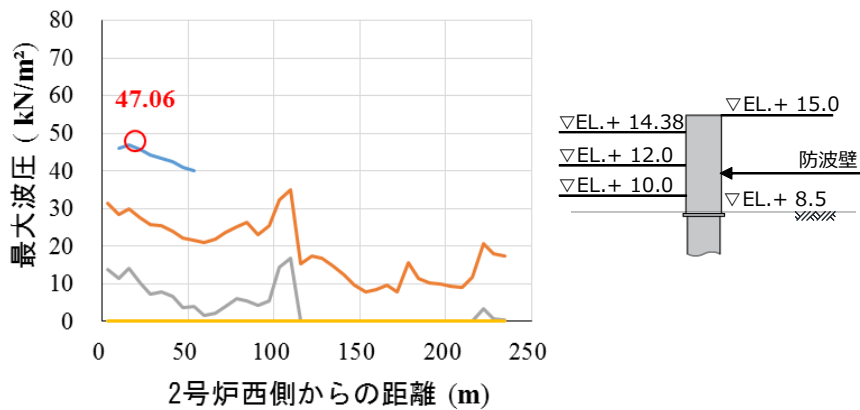
(4) 三次元津波シミュレーションより直接算定される津波波圧
波圧検討用津波（1.5 m津波）を用いた三次元津波シミュレーションにより
直接算定された最大波圧位置を第45図に、最大波圧分布を第46図に示す。



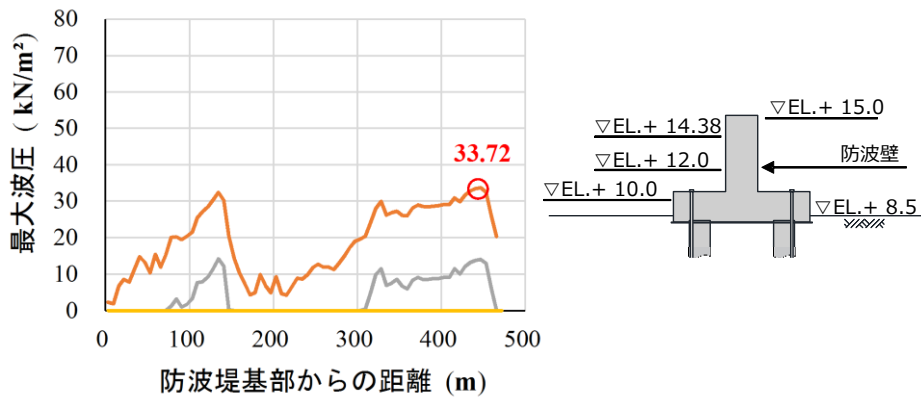
第45図 最大波圧位置



第46図(1) 防波壁に作用する標高別の最大波圧分布(3号炉北側前面)

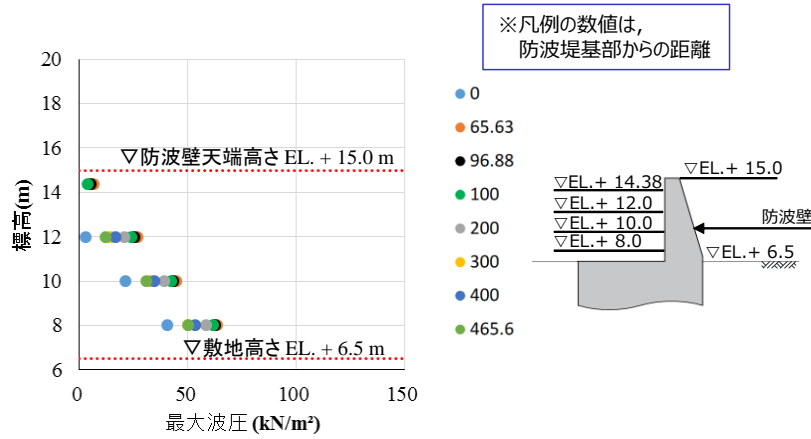


第46図(2) 防波壁に作用する標高別の最大波圧分布(1, 2号炉前面)

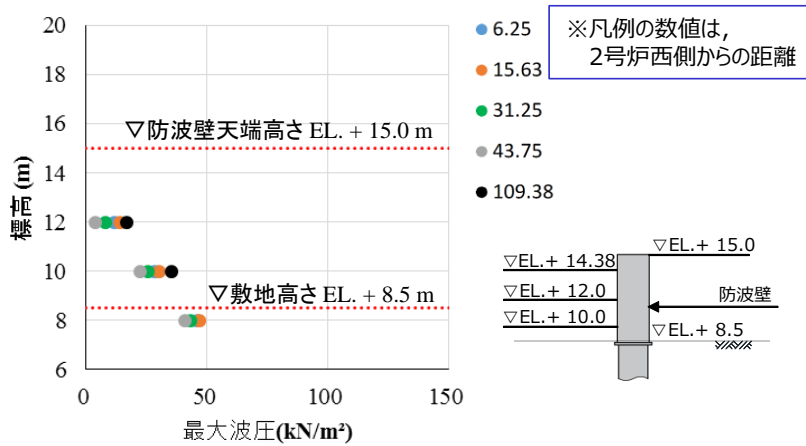


第46図(3) 防波壁に作用する標高別の最大波圧分布(3号炉東側前面)

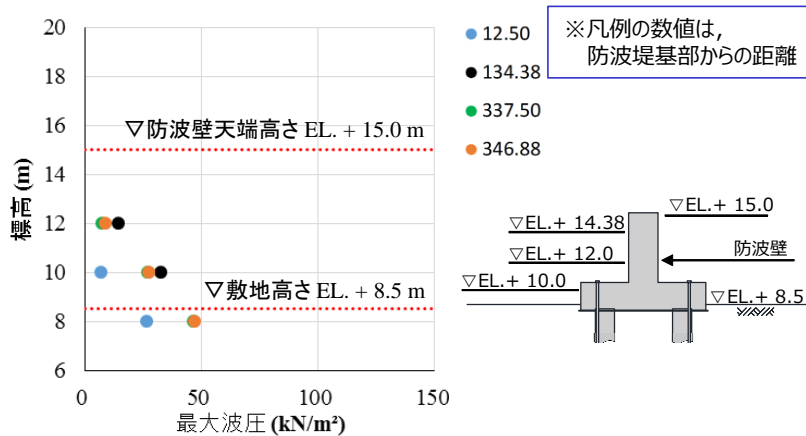
(5) 三次元津波シミュレーションより直接算定される津波波圧（標高毎）
 波圧検討用津波（15m津波）を用いた三次元津波シミュレーションにより
 防波壁に作用する波圧を直接算定した結果を第47図に示す。



第47図 (1) 防波壁に作用する波圧分布 (3号炉北側前面)

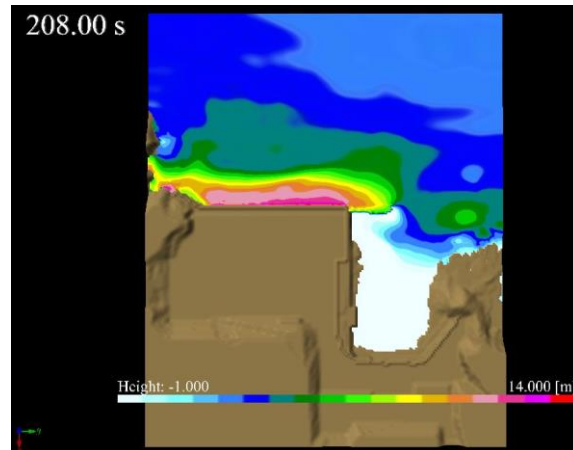


第47図 (2) 防波壁に作用する波圧分布 (1, 2号炉北側前面)

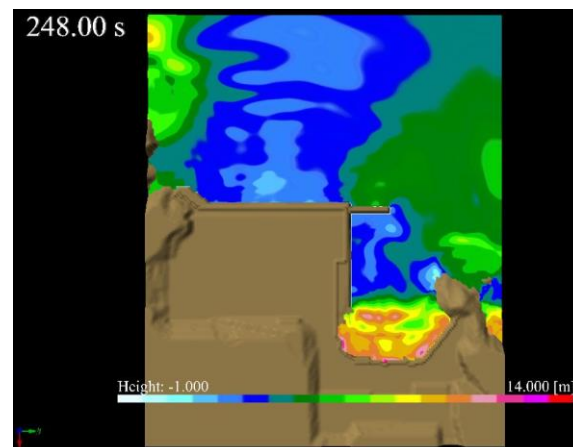


第47図 (3) 防波壁に作用する波圧分布 (3号炉東側前面)

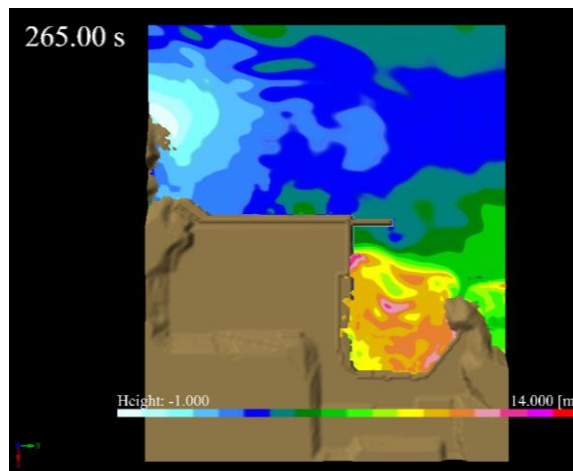
(参考) 三次元津波シミュレーションによる津波の作用状況
三次元津波シミュレーションによる最大波到達時刻の津波の作用状況を第48図に示す。



第48図 (1) 津波の作用状況 (3号炉北側前面最大波到達時刻)



第48図 (2) 津波の作用状況 (1, 2号炉前面最大波到達時刻)



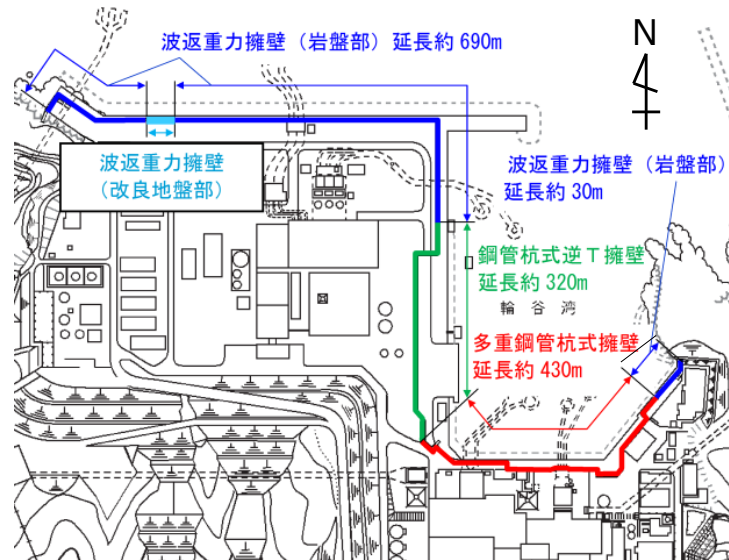
第48図 (3) 津波の作用状況 (3号炉北側前面最大波到達時刻)

5. 既往の津波波圧算定式との比較

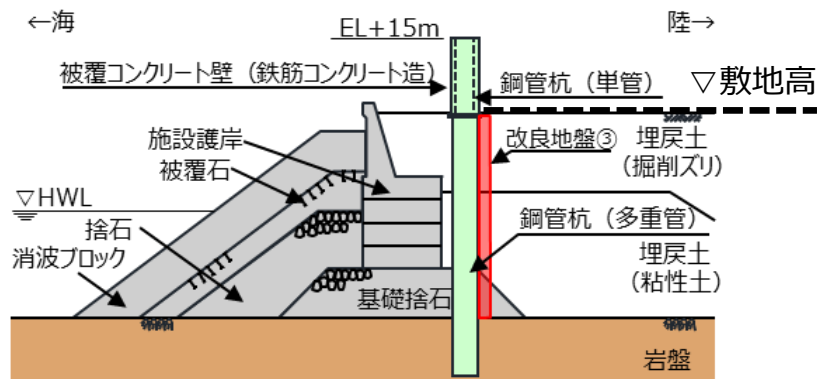
(1) 検討概要

既往の津波波圧算定式の妥当性を確認するため、水理模型実験、断面二次元及び三次元津波シミュレーションによる波圧と比較検討する。なお、津波波圧の算定に当たっては、波圧検討用津波(1.5m津波)を用いる。

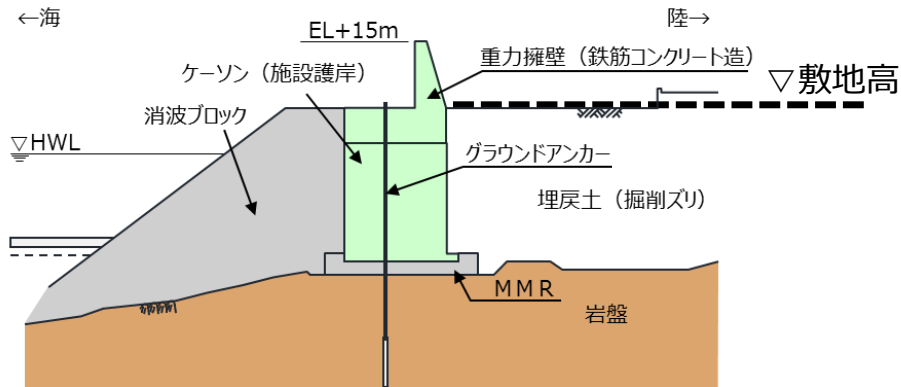
島根原子力発電所の防波壁の位置図を第49図に、断面図を第50図に示す。



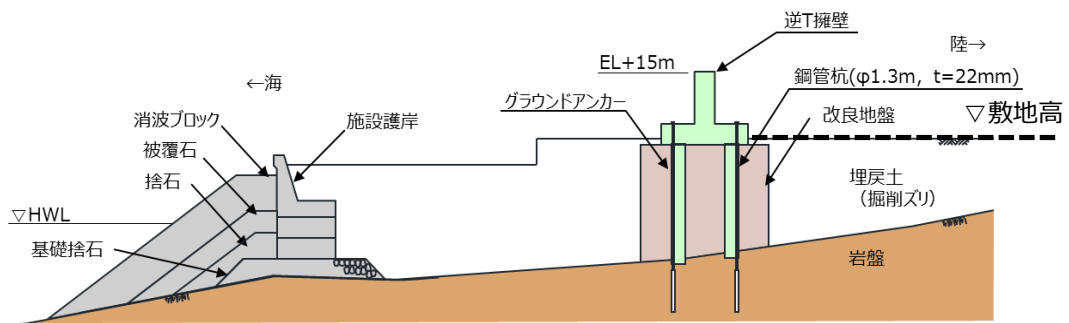
第49図 防波壁位置図



第50図(1) 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)断面図



第50図(2) 防波壁(波返重力擁壁)断面図

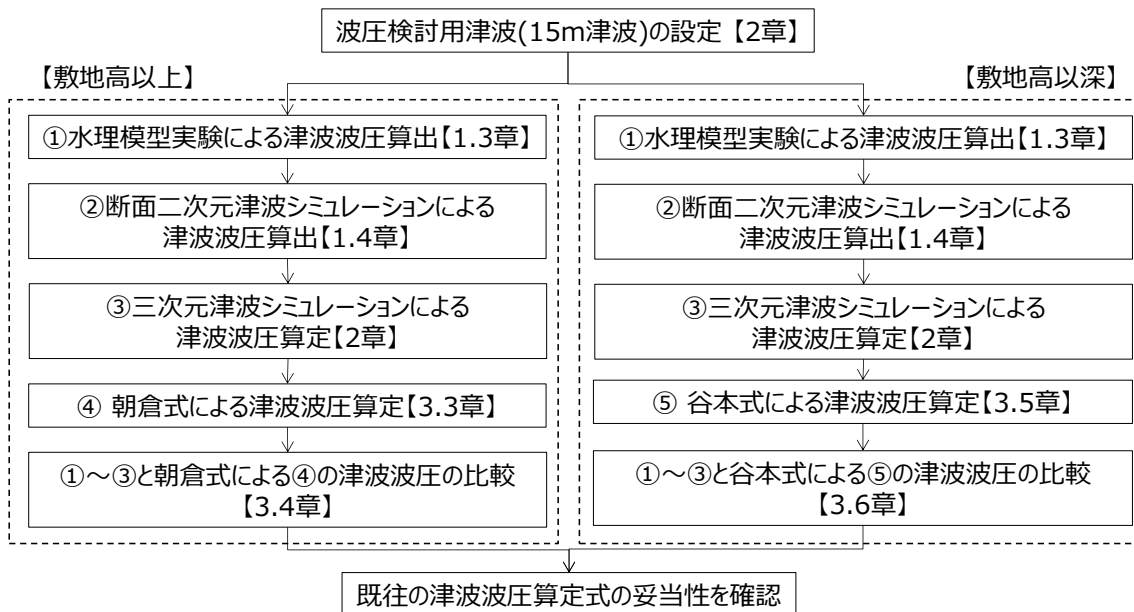


第50図(3) 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)断面図

(2) 津波波圧算定フロー

既往の津波波圧算定式は、第5-1図に示すフローにて妥当性を確認する。

水理模型実験、断面二次元及び三次元津波シミュレーションにより防波壁に作用する波圧を直接算出し、朝倉式（敷地高以上）及び谷本式（敷地高以深）により算出した津波波圧と比較する。



第5-1図 検討フロー

(3) 朝倉式による津波波圧算定

朝倉式は、津波の通過波の浸水深に応じて波圧を算定する式であり、「通過波の浸水深」を最大浸水深（入力津波高さ－敷地標高）の1/2と保守的に仮定して*津波波圧を算定する。

朝倉式概念図を第5-2図に、朝倉式における津波波圧の考え方を第5-3図に示す。

朝倉式

$$q_z = \rho g (a \eta - z)$$

ここに、

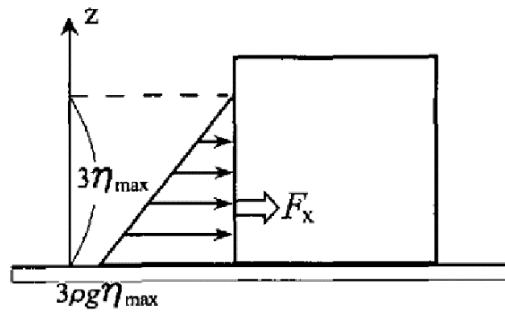
q_z : 津波波圧 (kN/m²)

η : 浸水深 (通過波の浸水深 = 最大浸水深の1/2) (m)

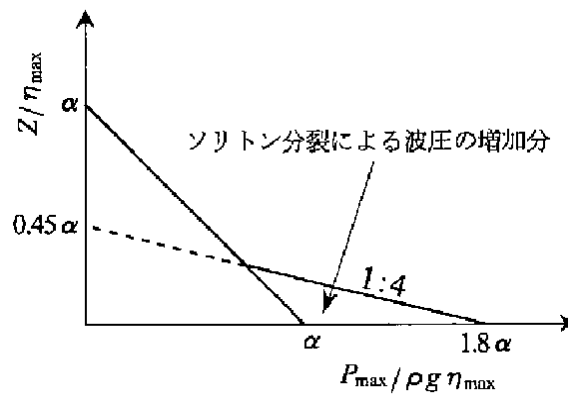
z : 当該部分の地盤面からの高さ (m) ($0 \leq z \leq a h$)

a : 水深係数 (最大: 3)

ρg : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

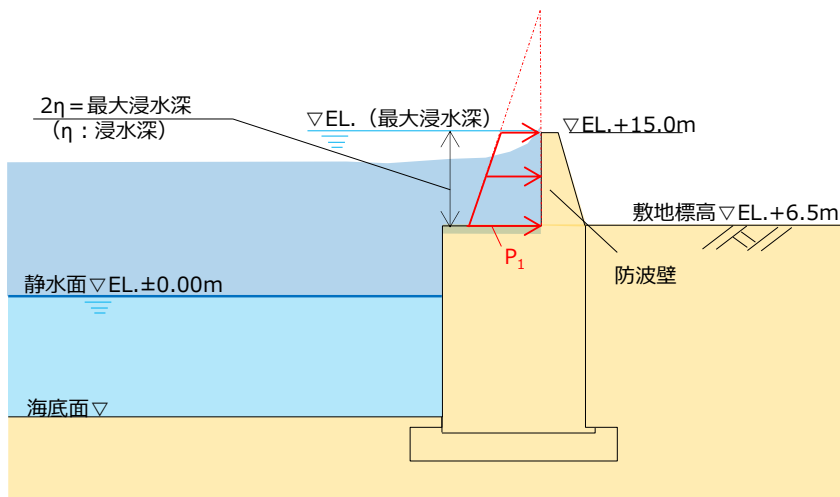


非分裂波の場合の津波水平波圧



分裂波の無次元最大波圧分布

第52図 朝倉式の概念図



第53図 朝倉式における津波波圧の考え方

※朝倉式による津波波圧算定（参考）

朝倉式で用いる「通過波の浸水深」と、入力津波高さから敷地標高を引いた「最大浸水深の1/2」について、水理模型実験から比較した結果を第24表及び第25表に示す。

・3号炉の水理模型実験

ケース③：防波壁がある場合の最大浸水深 h の1/2

ケース④：防波壁位置の通過波の浸水深

第24表 保守的な浸水深 η の水理模型実験による確認結果（3号炉）

実験 ケース	最大 浸水深 h	$h/2$	浸水深 η
ケース③	8.397m	4.199m	4.199m (最大浸水深の1/2)
ケース④	—	—	3.643m (通過波の浸水深)

・1, 2号炉の水理模型実験

ケース⑧：防波壁がある場合の最大浸水深 h の1/2

ケース⑨：防波壁位置の通過波の浸水深

第25表 保守的な浸水深 η の水理模型実験による確認結果（1, 2号炉）

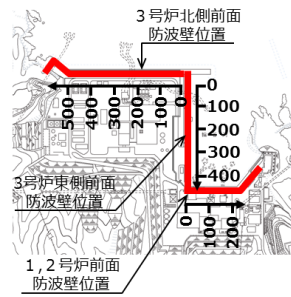
実験 ケース	最大 浸水深 h	$h/2$	浸水深 η
ケース⑧	6.511m	3.256m	3.256m (最大浸水深の1/2)
ケース⑨	—	—	2.015m (通過波の浸水深)

上記より、「最大浸水深の1/2」が「通過波の浸水深」より保守的な値となることを確認した。

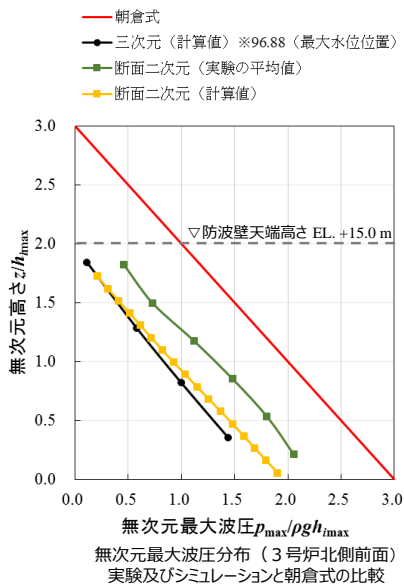
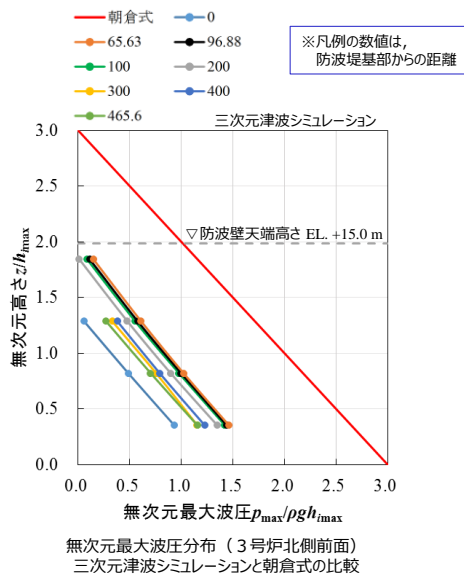
(4) 津波波圧の比較 朝倉式（敷地高以上）

3号炉北側前面の防波壁のうち敷地高以上における三次元津波シミュレーションにより算定した波圧分布を第54図に示す。また、比較対象として同じ条件による水理模型実験結果及び断面二次元津波シミュレーションによる波圧分布も示す。

三次元津波シミュレーション，水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションにおいて直線型の波圧分布となることから，ソリトン分裂波や碎波による津波波圧への有意な影響はなく，朝倉式による波圧分布が全ての波圧を包絡することを確認した。



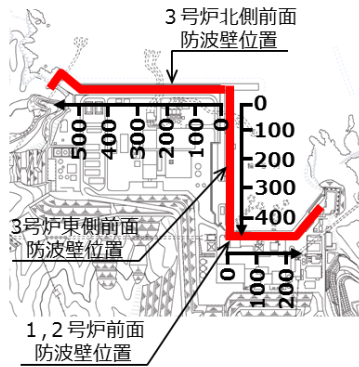
位置図



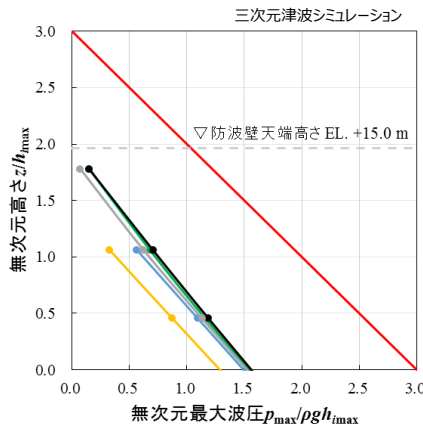
第54図 無次元最大波圧分布 (3号炉北側前面)

1, 2号炉前面の防波壁のうち敷地高以上における三次元津波シミュレーションにより算定した波圧分布を第55図に示す。また, 比較対象として同じ条件による水理模型実験結果及び断面二次元津波シミュレーションによる波圧分布も示す。

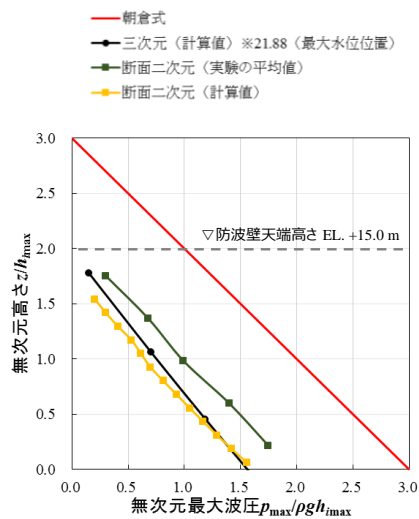
三次元津波シミュレーション, 水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションにおいて直線型の波圧分布となることから, ソリトン分裂波や砕波による津波波圧への有意な影響はなく, 朝倉式による波圧分布が全ての波圧を包絡することを確認した。



位置図



無次元最大波圧分布 (1, 2号炉前面)
三次元津波シミュレーションと朝倉式の比較

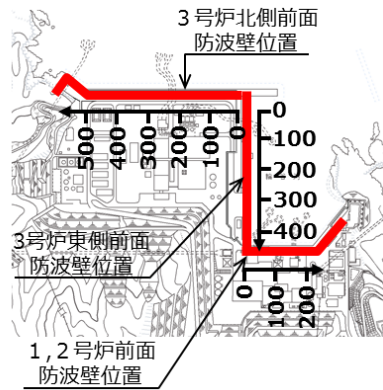


無次元最大波圧分布 (1, 2号炉前面)
実験及びシミュレーションと朝倉式の比較

第55図 無次元最大波圧分布 (1, 2号炉前面)

3号炉東側前面の防波壁における三次元津波シミュレーションにより算定した波圧分布を第56図に参考として示す。

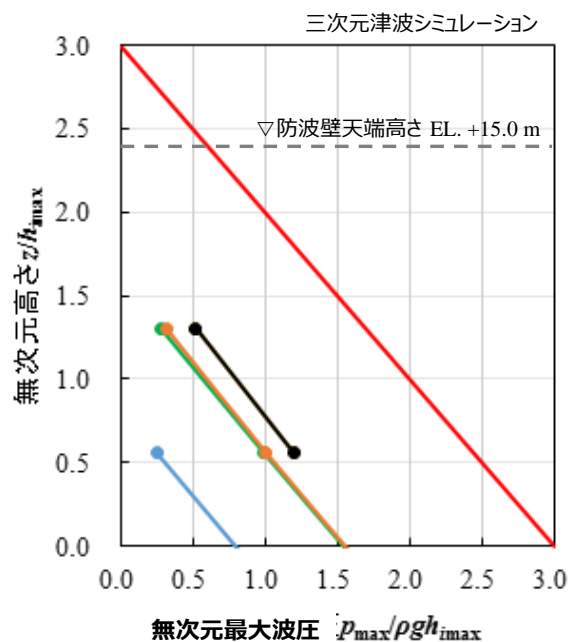
三次元津波シミュレーションにおいて直線型の波圧分布となることから、ソリトン分裂波や砕波による津波波圧への有意な影響はなく、朝倉式による波圧分布に包絡されることを確認した。



位置図

※凡例の数値は、防波堤基部からの距離

- 朝倉式
- 12.50
- 134.38
- 337.50
- 346.88



第56図 無次元最大波圧分布 (3号炉東側前面)

(5) 谷本式による津波波圧算定

谷本式は、構造物前面の津波高さ（津波シミュレーション）に応じて波圧を算定する式である。谷本式を以下に示す。

なお、谷本式で使用する入射津波の静水面上の高さ（ $2a_1$ ）は、各津波シミュレーションにより抽出された護岸前面の最高水位を使用する。谷本式による波圧分布を第57図に示す。

谷本式

$$\eta^* = 3.0 a_1$$

$$P_1 = 2.2 \rho_0 g a_1$$

$$P_u = P_1$$

ここに、

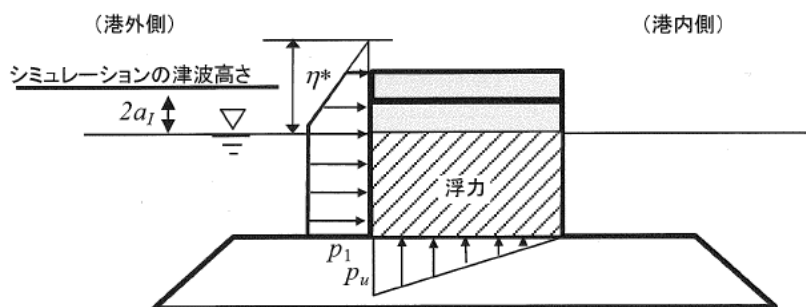
η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)

a_1 : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)

$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量 (kN/m^3)

P_u : 直立壁前面下端における揚圧力* (kN/m^2)

※島根原子力発電所の防波壁は、岩盤又は改良地盤により支持されており十分に止水性があるため揚圧力は考慮しない。



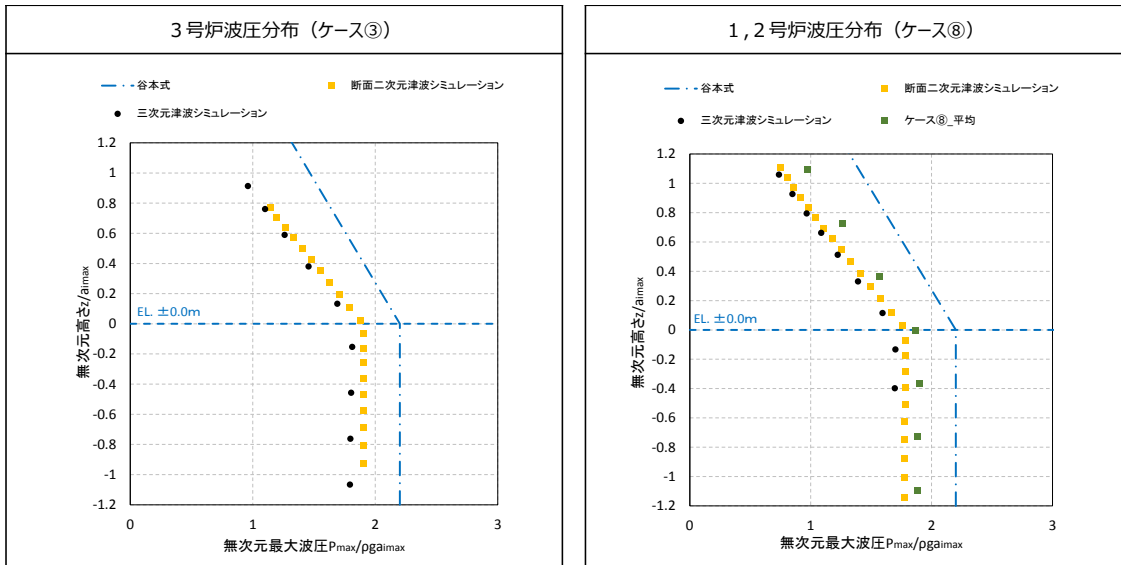
第57図 谷本式による波圧分布
(背面水位が押し波時に静水面より下がらない場合)

- ・島根原子力発電所の防波壁背後は敷地であるため、港湾外の波圧を算定した図を引用した。
- ・なお、「背面水位が押し波時に静水面より下がる場合」でも港外側に作用する津波波圧は同じである。

(6) 津波波圧の比較 谷本式 (敷地高以深)

敷地高以深における断面二次元津波シミュレーション, 三次元津波シミュレーション, 水理模型実験 (1, 2号炉), 既往の算定式 (谷本式)により算定した波圧分布を第58図に示す。

3号炉及び1, 2号炉の波圧分布の比較結果より, 谷本式による波圧分布が全ての波圧を包絡することを確認できたため, 敷地高以深の津波波圧算定には谷本式を用いる。



第58図 断面二次元津波シミュレーション, 三次元津波シミュレーション, 水理模型実験(1, 2号炉), 既往の算定式(谷本式)により算定した波圧分布

(7) まとめ

津波は波浪に比べて周期が長いことから、その波力は水位の上昇による静水圧として評価される場合が多い。しかし、実際には流れに伴う動的な影響や作用の継続時間による影響が考えられ、精度よく波力を評価するためには、水理模型実験等を行うことが望ましいため、水理模型実験、断面二次元津波シミュレーション及び三次元津波シミュレーションを実施した。

敷地高以上（防波壁前面）においては、敷地標高や遡上水深等により津波波圧への影響が大きいことから、朝倉式に用いる通過波の浸水深において、最大浸水深（津波高さ－敷地高さ）×1/2を用いることで、水理模型実験、断面二次元津波シミュレーション及び三次元津波シミュレーションにより算定される波圧に対して保守性を確保している。

敷地高以深（護岸前面）においては、水理模型実験、断面二次元津波シミュレーション及び三次元津波シミュレーションの結果、いずれもばらつきの小さい線形の波圧分布となり、これらの実験や解析手法の差異による波圧分布に有意な差異はない。また、3号炉の水理模型実験では、敷地高以深の波圧を測定できていないが、護岸前面で緩やかな水位上昇を示しており、1、2号炉の津波シミュレーション及び水理模型実験と同様な波圧分布になると考えられることから、いずれも谷本式により算定される波圧分布に包絡されると判断した。以上のことから、津波波圧を谷本式で評価することの保守性を確認した。

6. 設計で考慮する津波波圧の設定

水理模型実験の結果，科学的根拠に基づきソリトン分裂波や砕波が発生しないこと，敷地高以上の波圧分布は直線型となり，津波波圧への有意な影響はないことを確認した。

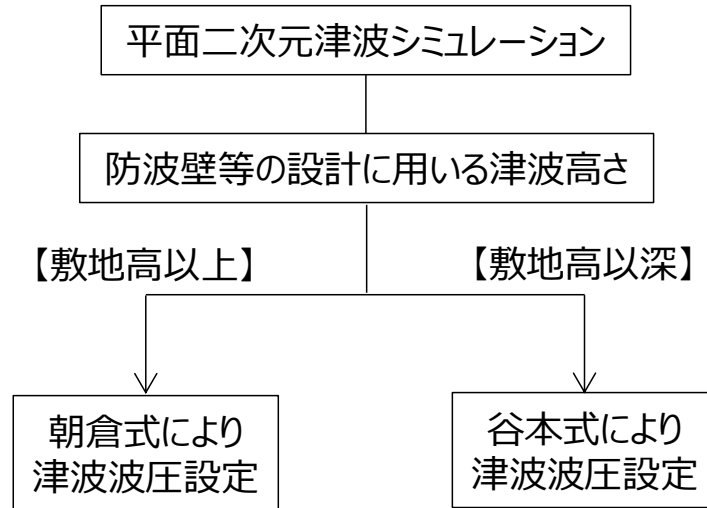
断面二次元津波シミュレーション解析の結果，水理模型実験を再現でき，時刻歴波形，水位分布及び水面勾配からソリトン分裂波や砕波が発生しないこと，敷地高以上の波圧分布は直接型となり，敷地高以深の波圧分布は海水位までは直線型，海水位以深では一定となり，津波波圧への有意な影響はないことを確認した。

三次元津波シミュレーション解析により地形特性や津波特性を反映し，1，2号炉，3号炉北側及び3号炉東側における最高水位と最大波圧を算出した結果，敷地高以上の波圧分布は直線型となり，津波波圧への有意な影響はないことを確認した。

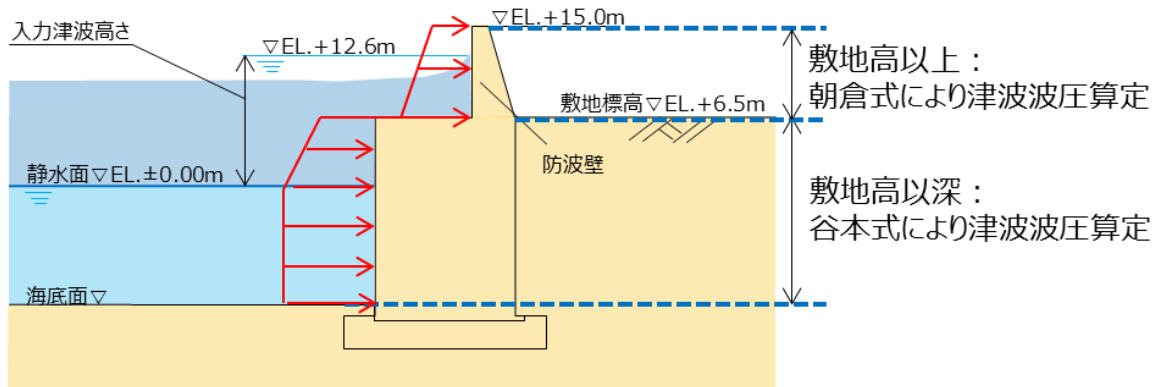
水理模型実験及び津波シミュレーション結果による津波波圧は，既往の津波波圧算定式による津波波圧に包絡されることを確認した。

上記検討結果を踏まえ，防波壁等の設計で考慮する津波波圧を以下のとおり設定する。

- ・敷地高以上については，平面二次元津波シミュレーション解析で設定した入力津波高さに基づき，朝倉式により津波波圧を設定し，敷地高以深については，平面二次元津波シミュレーション解析で設定した入力津波高さに基づき，谷本式により津波波圧を設定する。
- ・なお，設計用津波波圧の算定に用いる入力津波高さは，平面二次元津波シミュレーション結果より「EL. +12.6m」を使用する。津波波圧設定フローを第59図に，波圧算定イメージ（3号炉前面）を第60図に示す。



第59図 津波波圧設定フロー

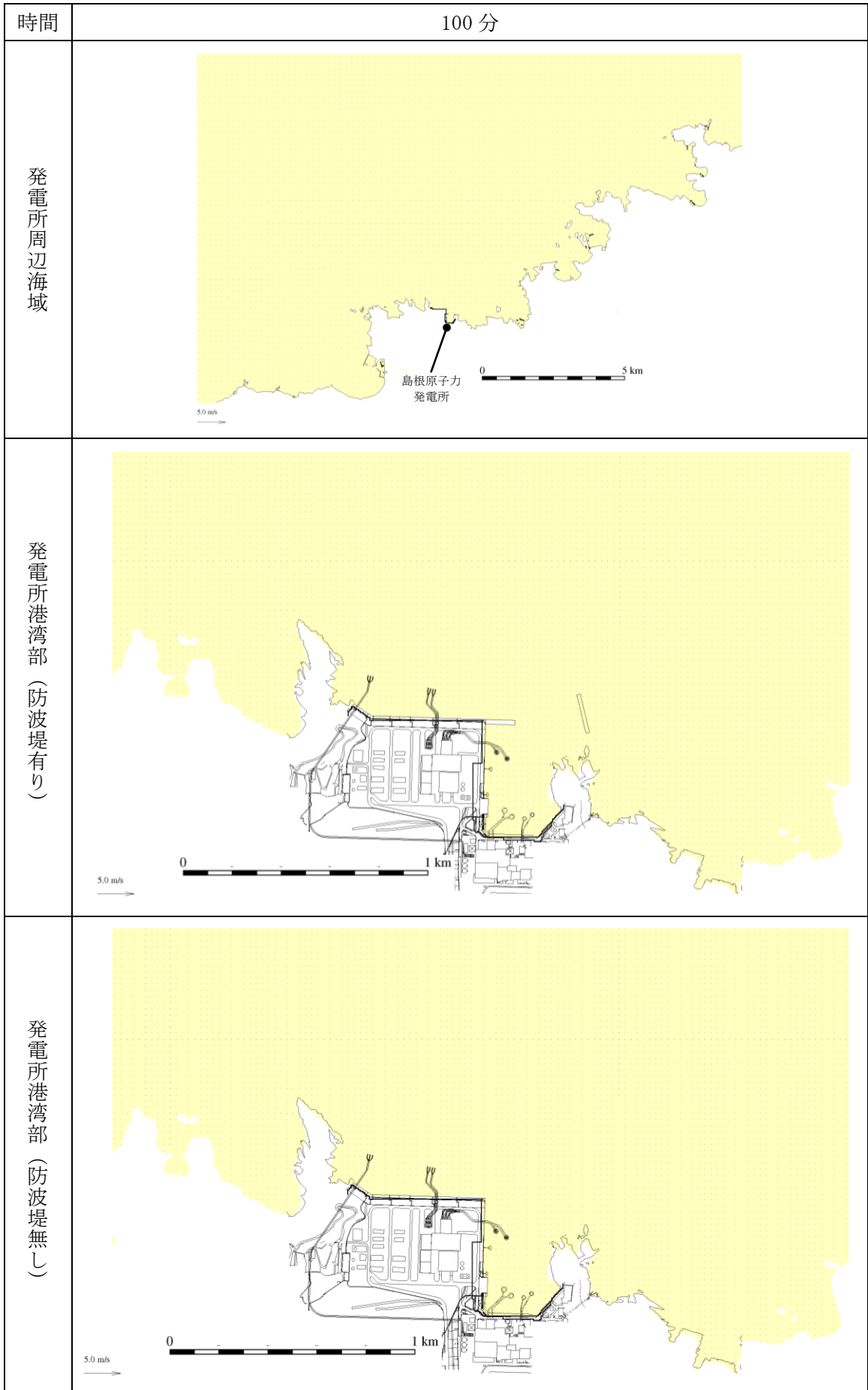


第60図 波圧算定イメージ（3号炉前面）

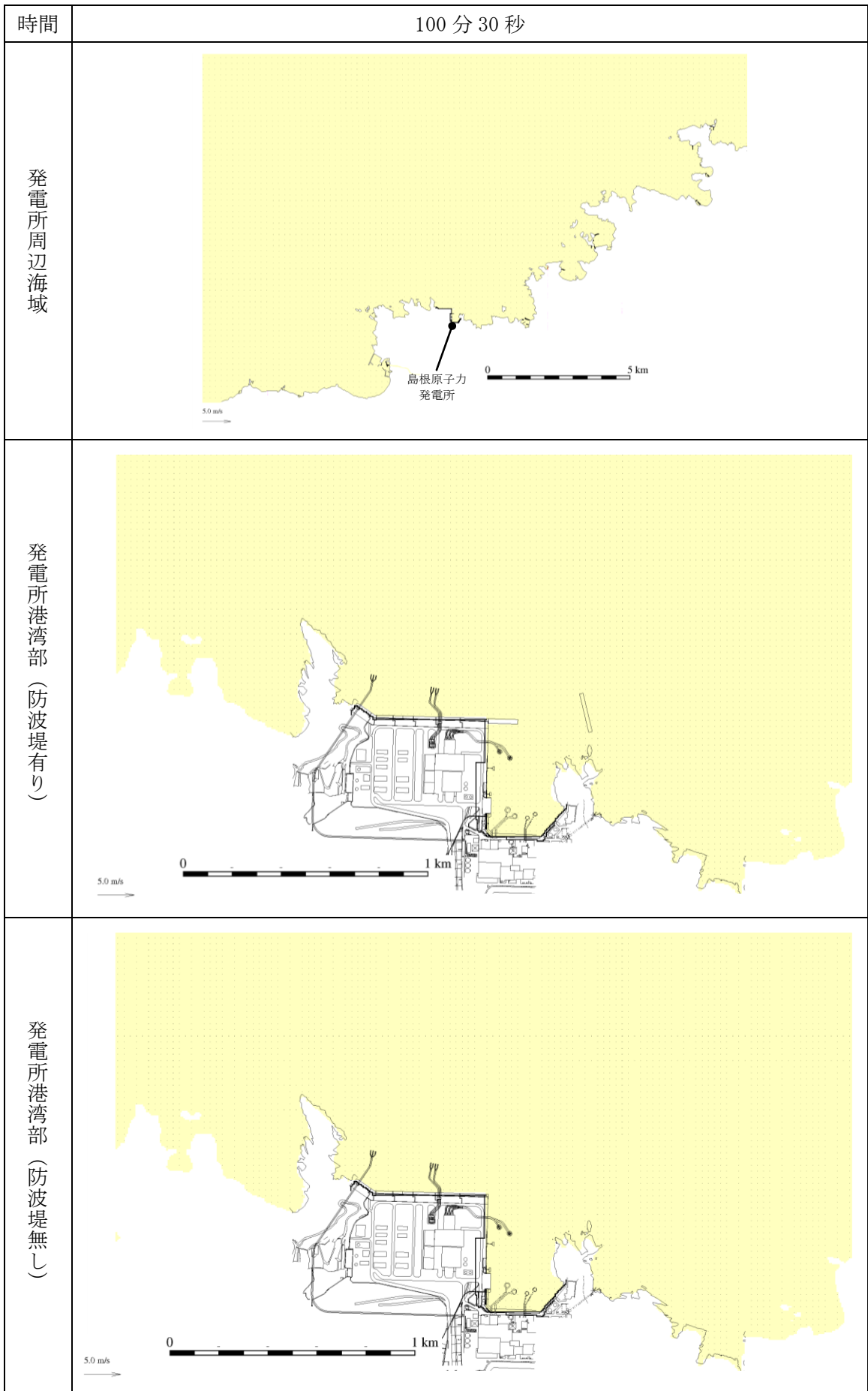
水位変動・流向ベクトルについて

1. 概要

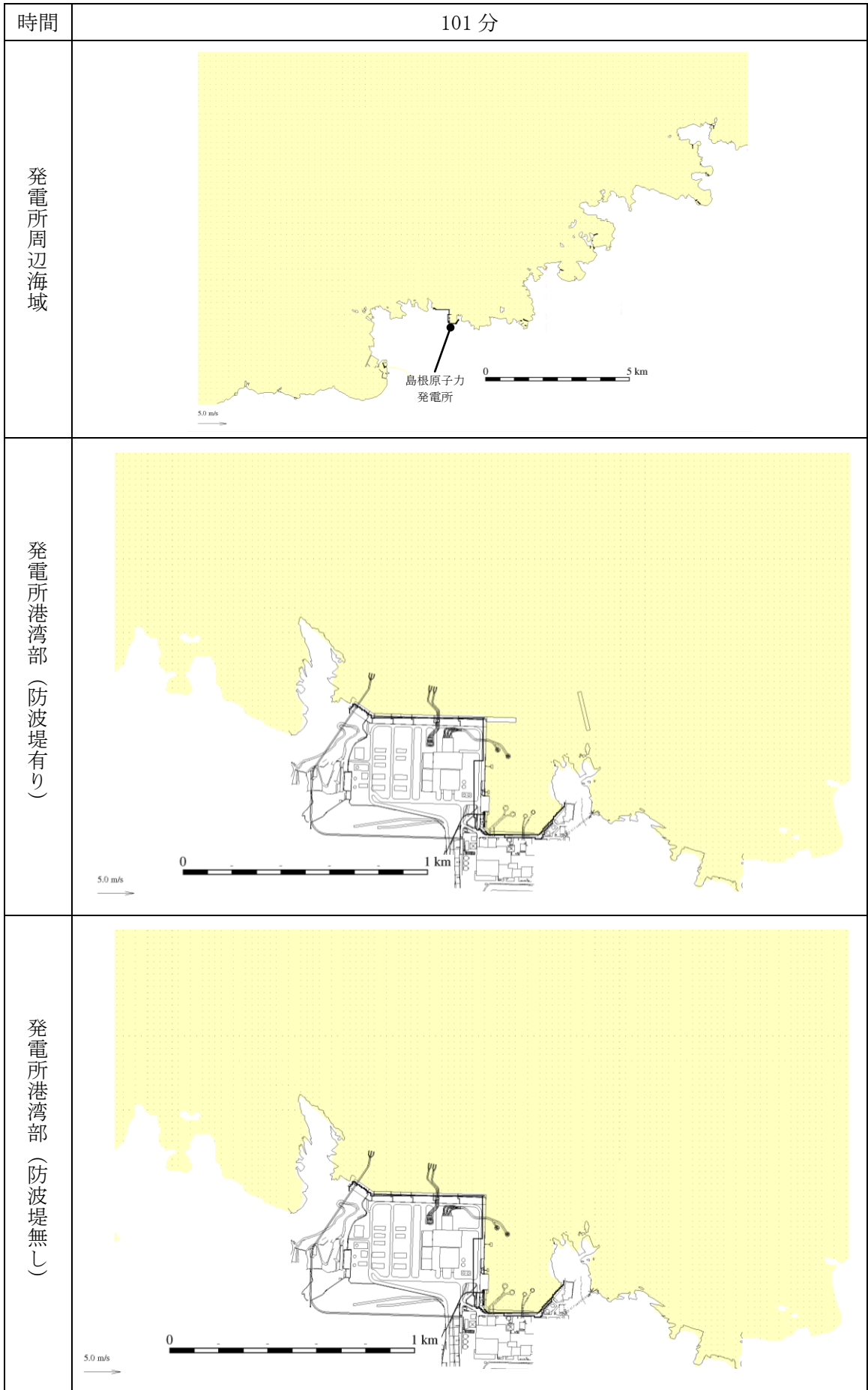
島根原子力発電所の基準津波 1～6 による水位変動・流向ベクトル図について、第 1 図～第 6 図に示す。



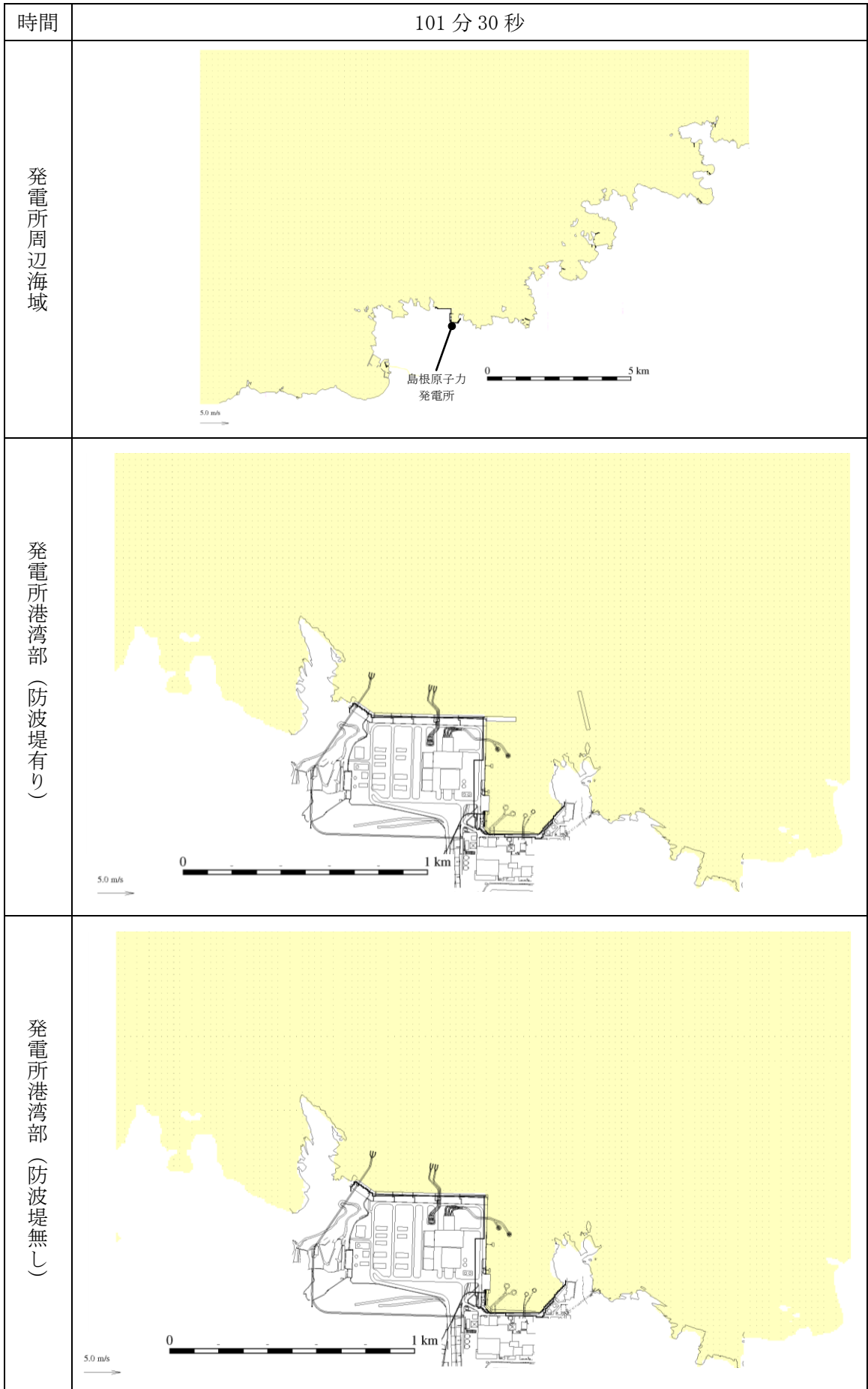
第 1 図(1) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



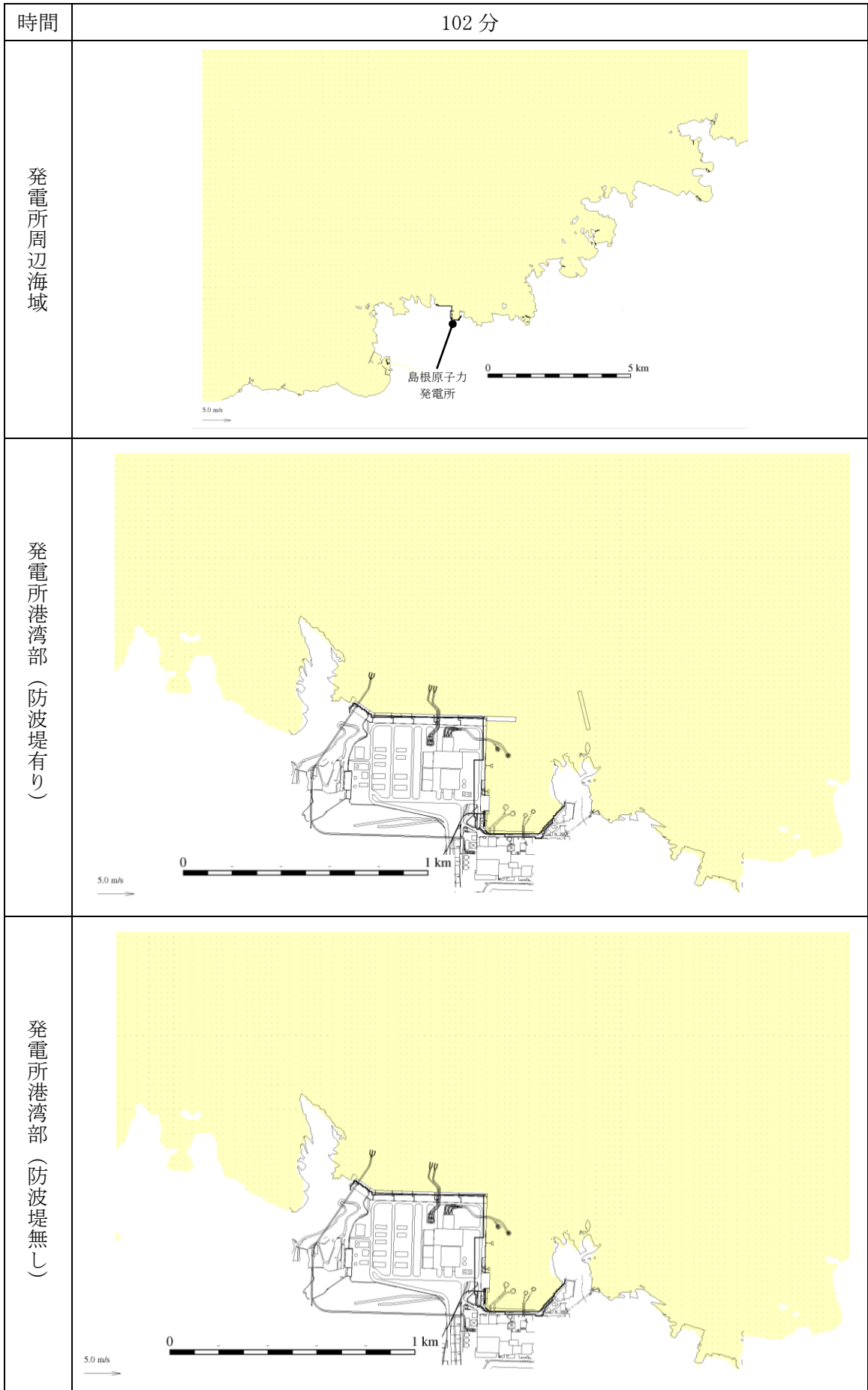
第 1 図(2) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



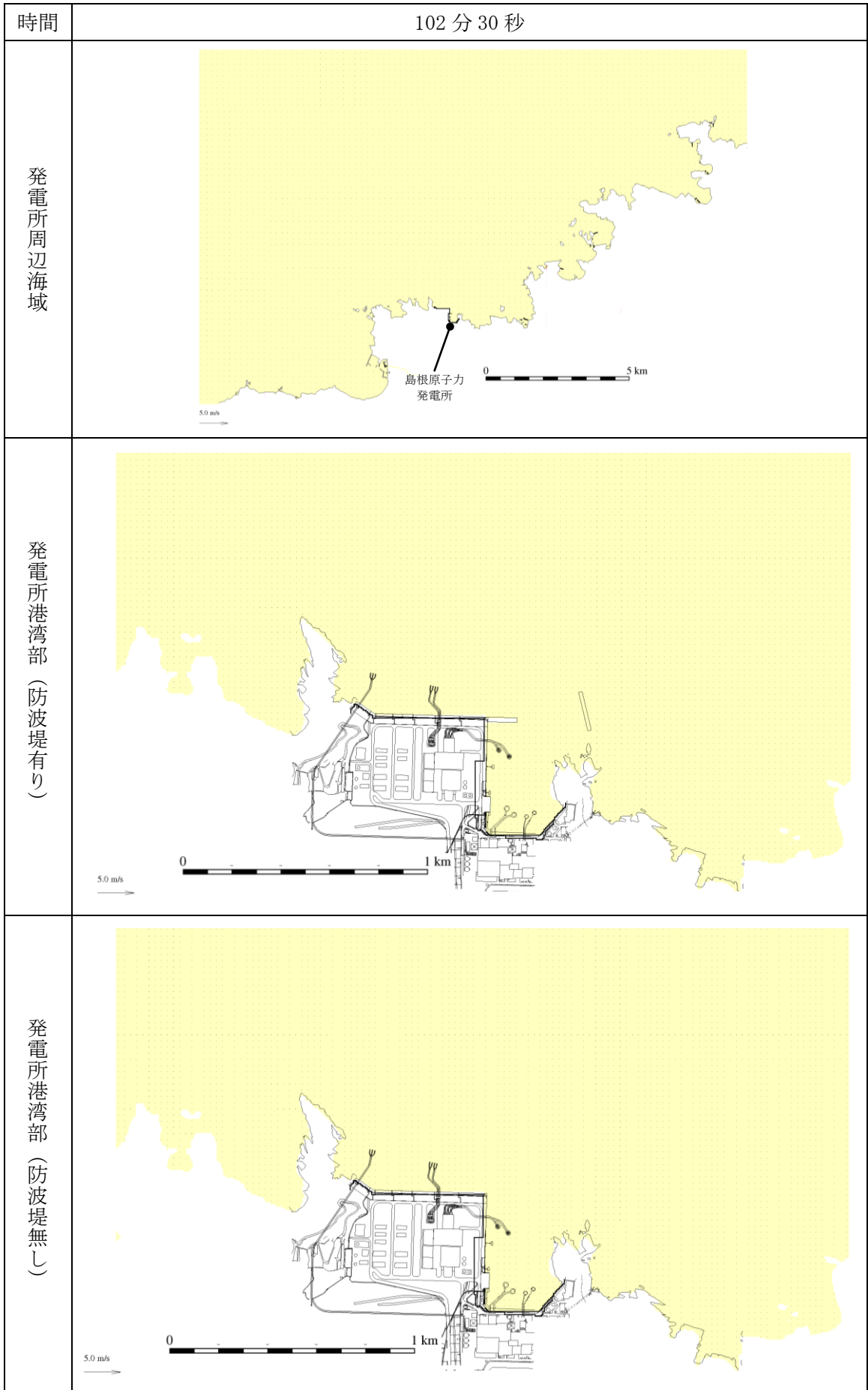
第 1 図(3) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



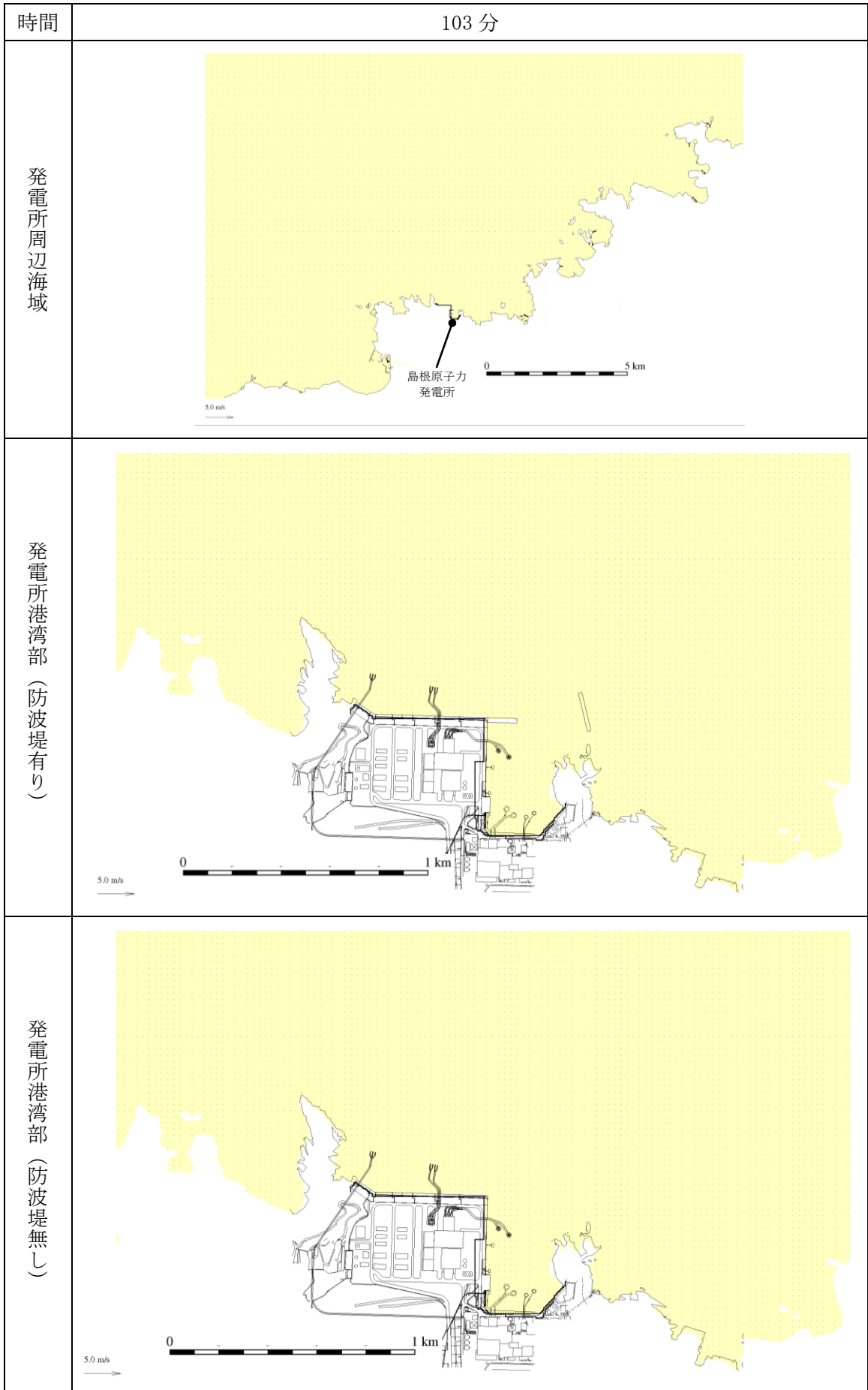
第 1 図(4) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



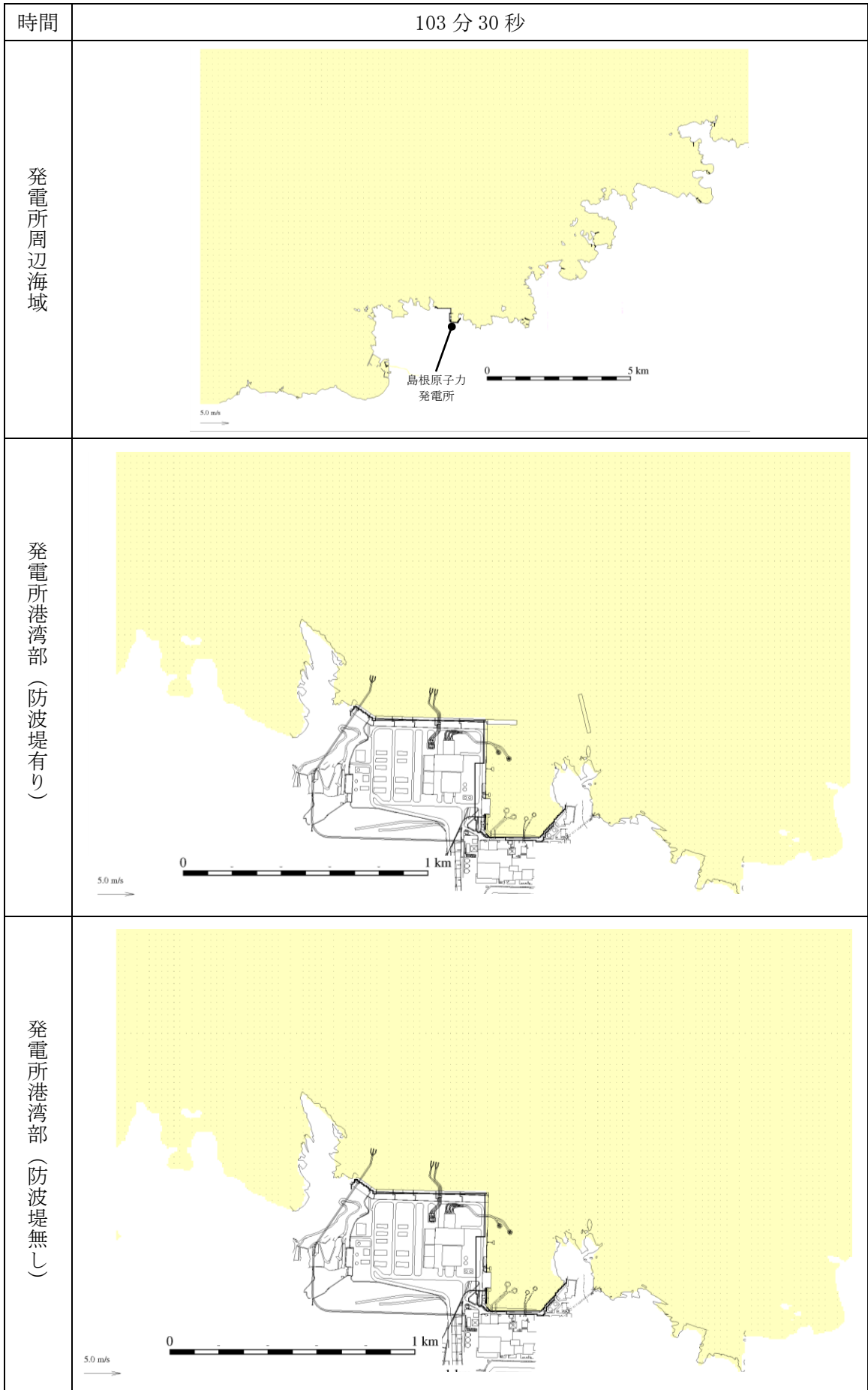
第 1 図(5) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



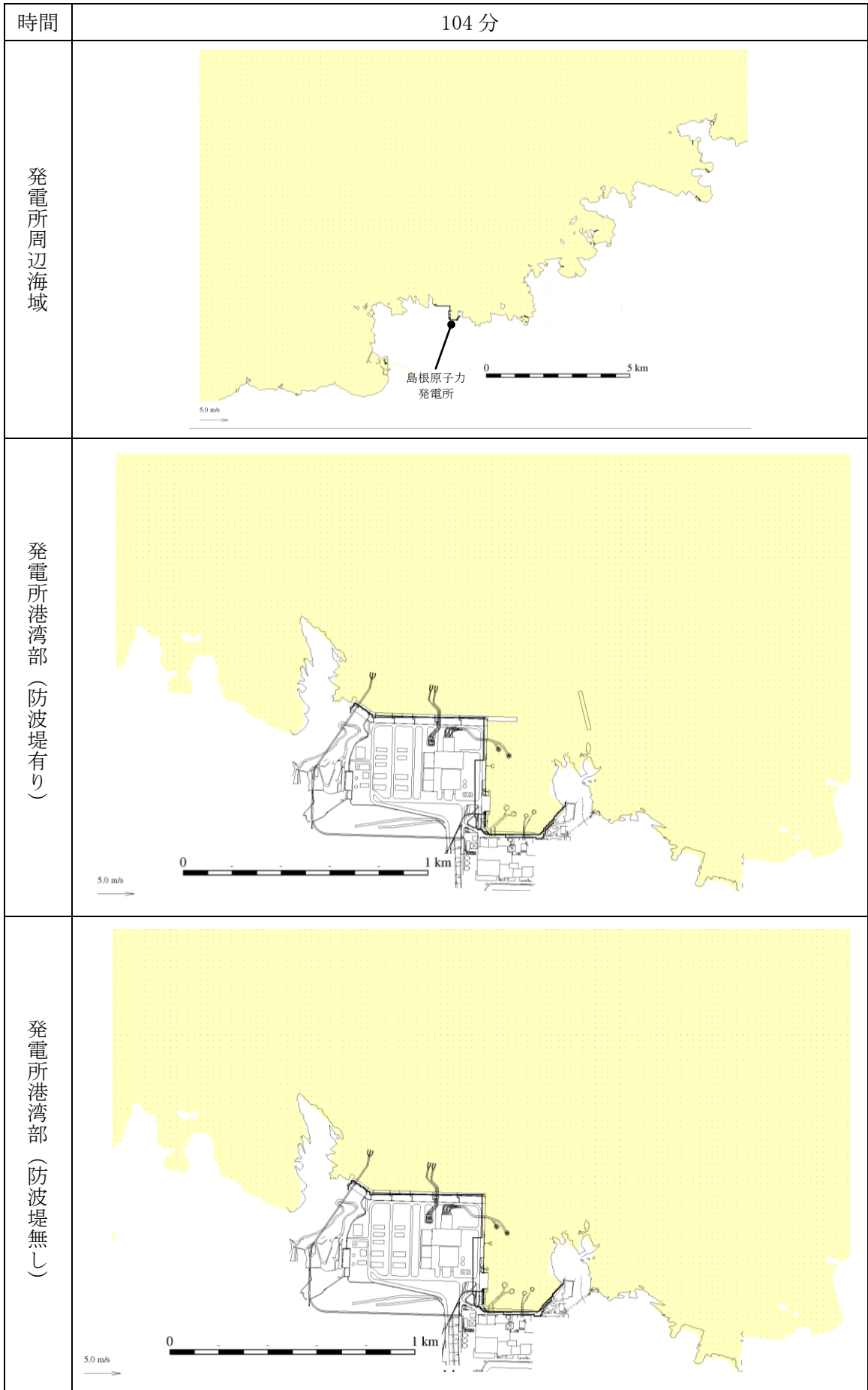
第 1 図(6) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



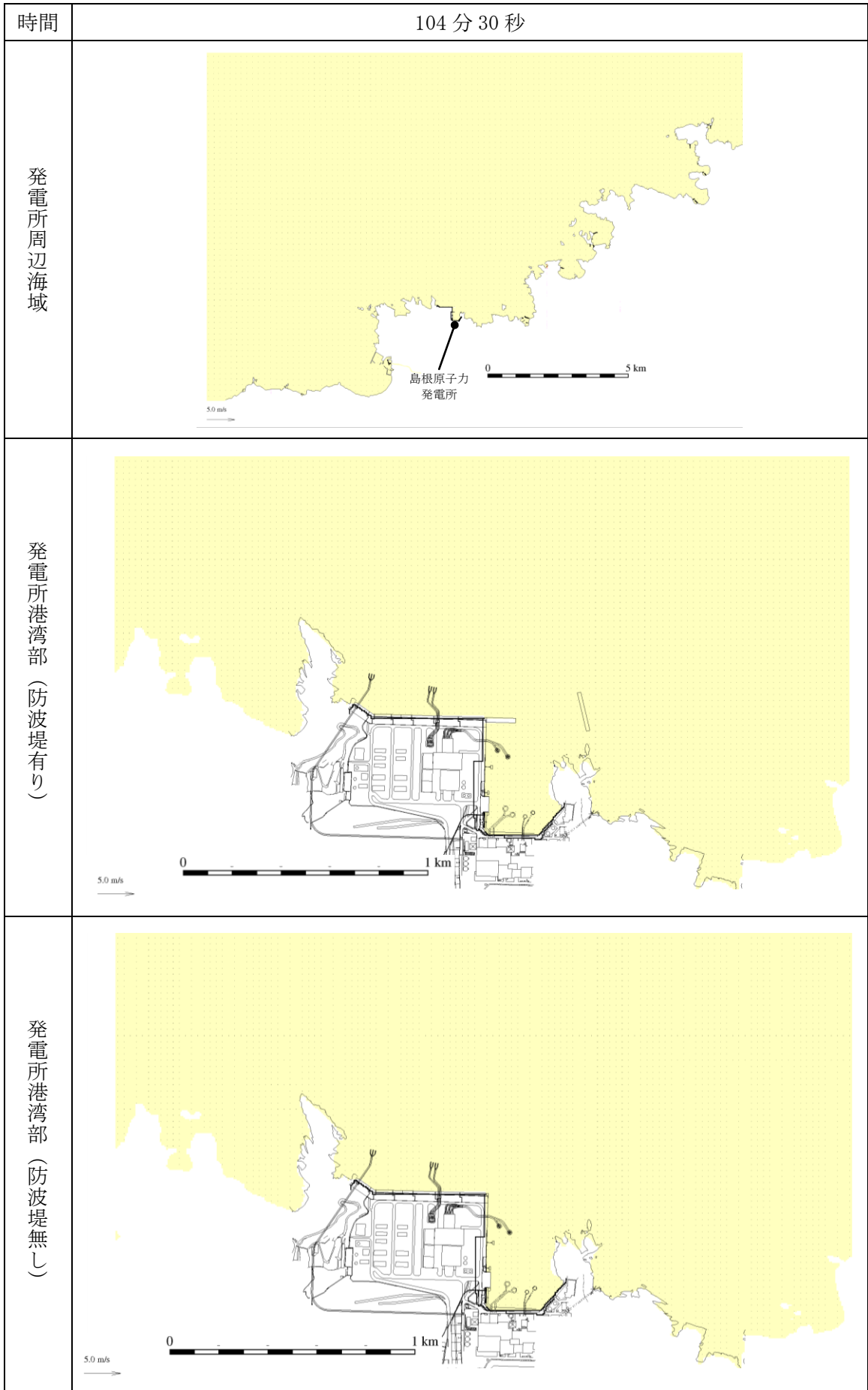
第 1 図(7) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



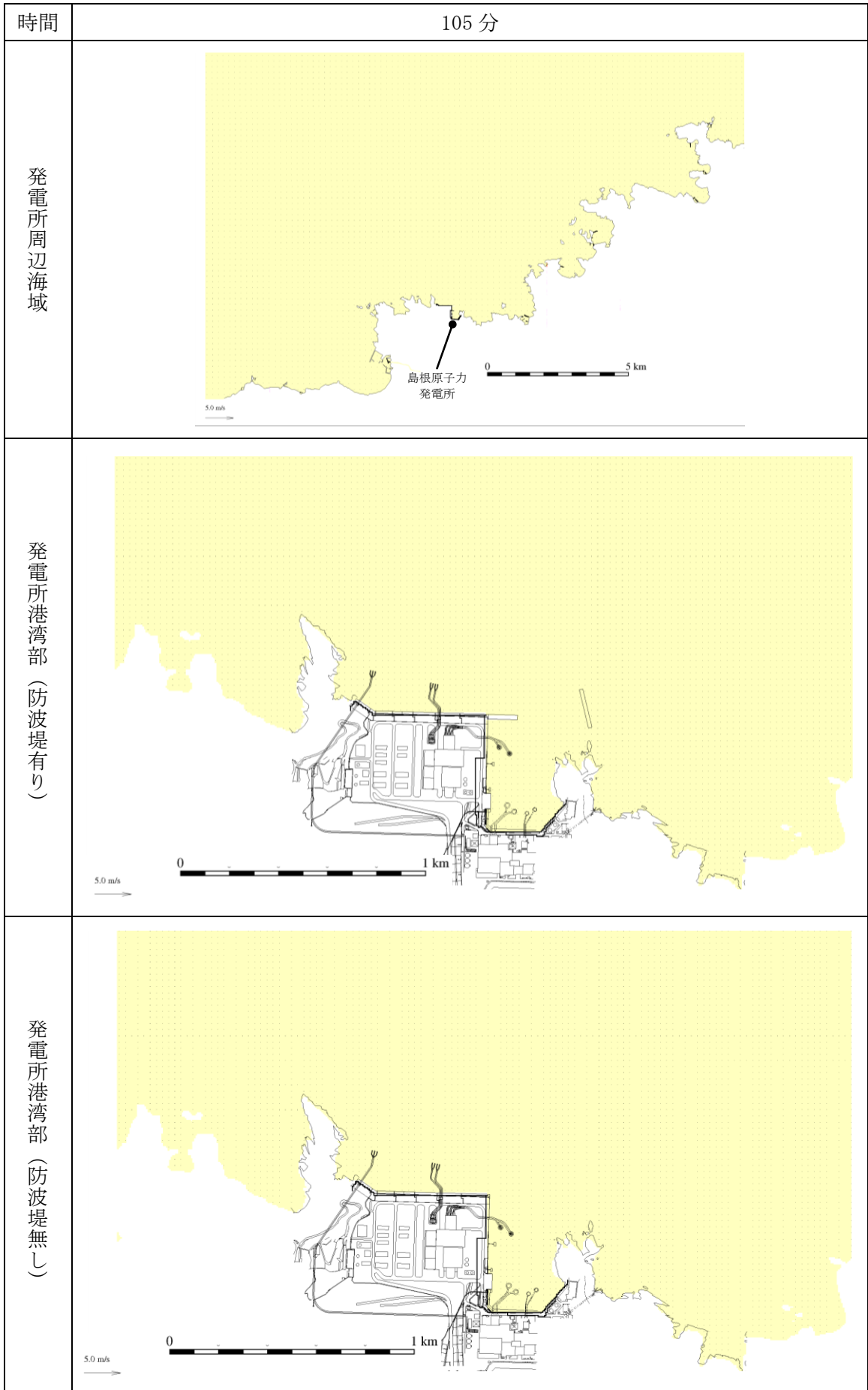
第 1 図(8) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



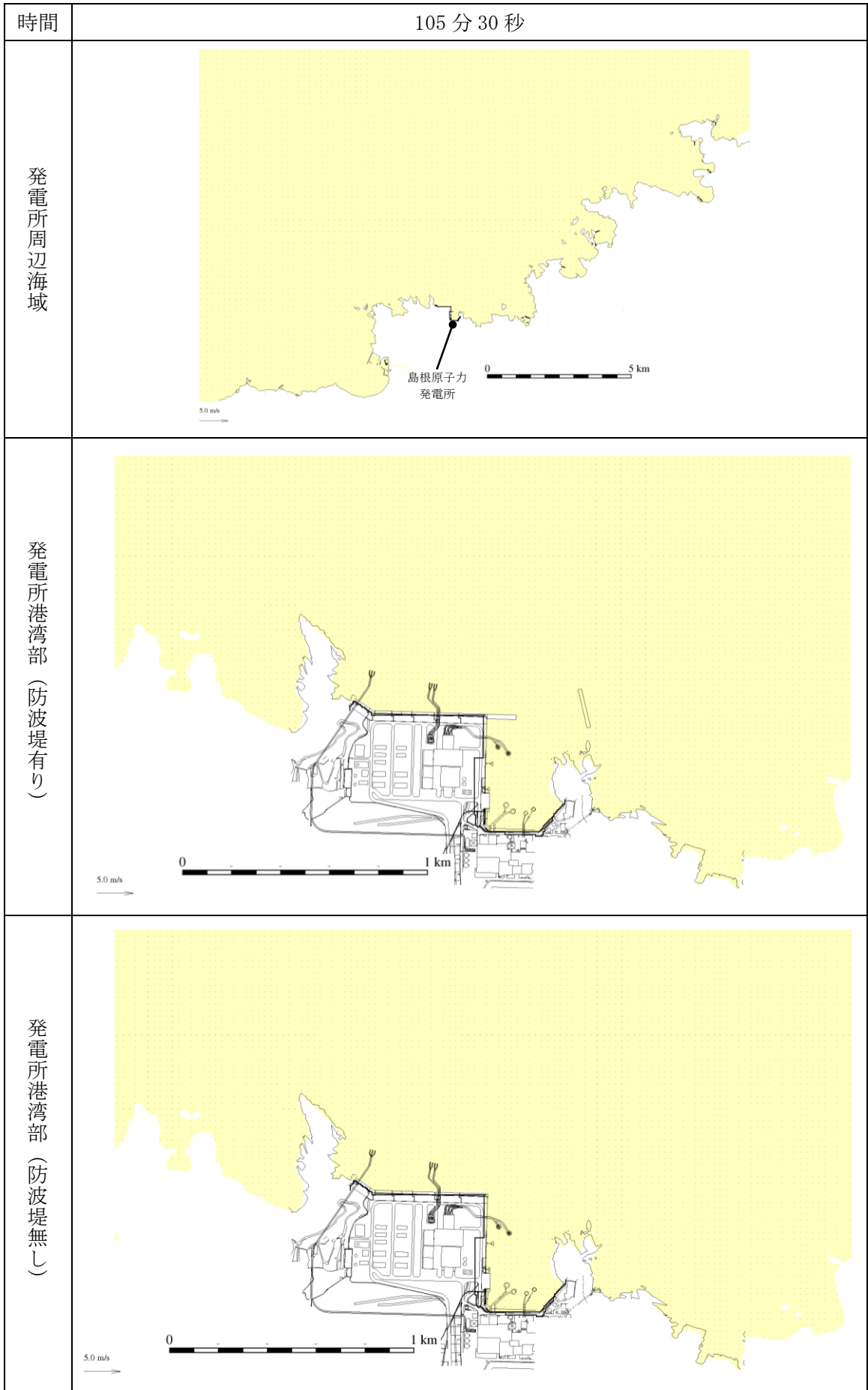
第 1 図(9) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



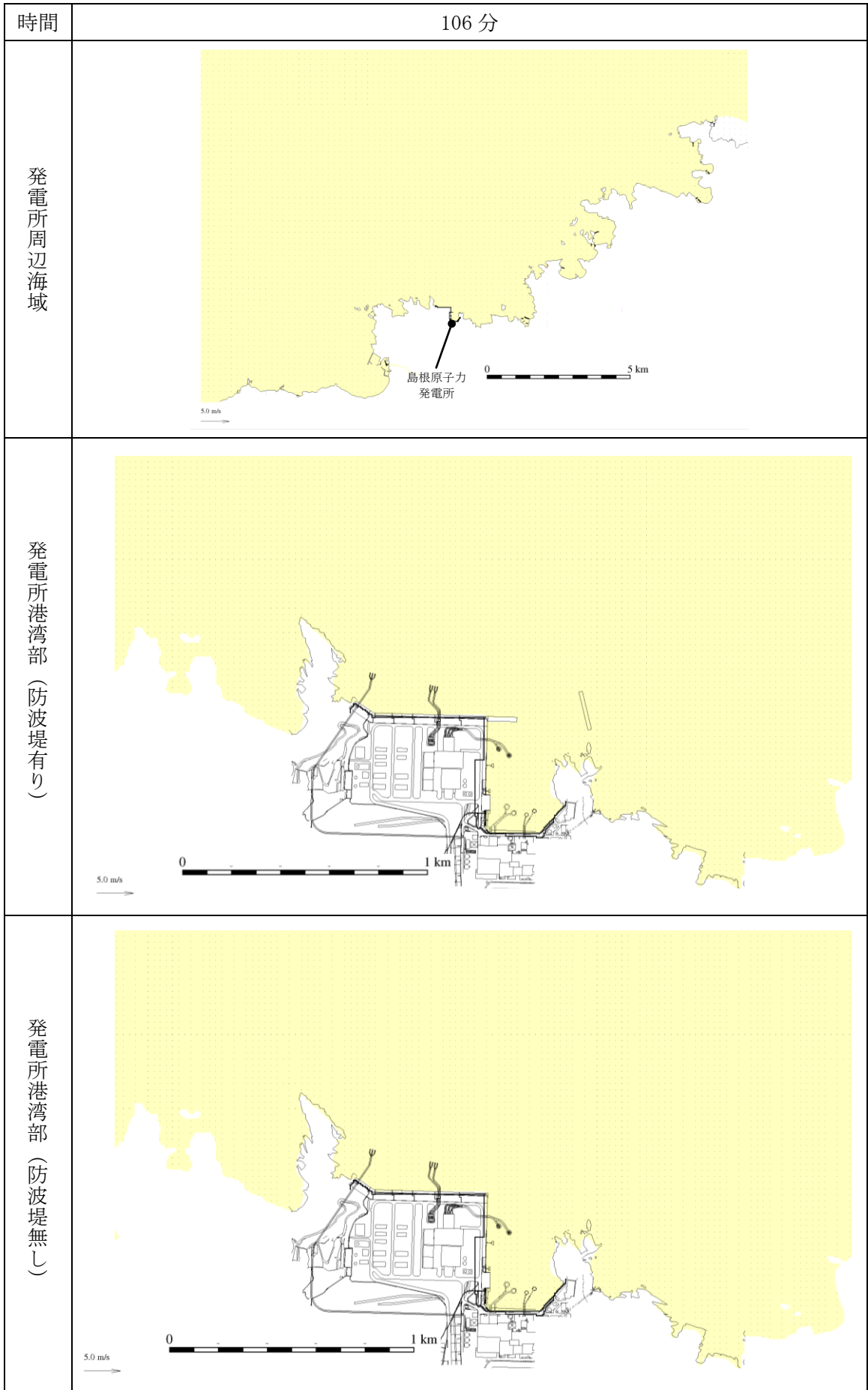
第 1 図(10) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



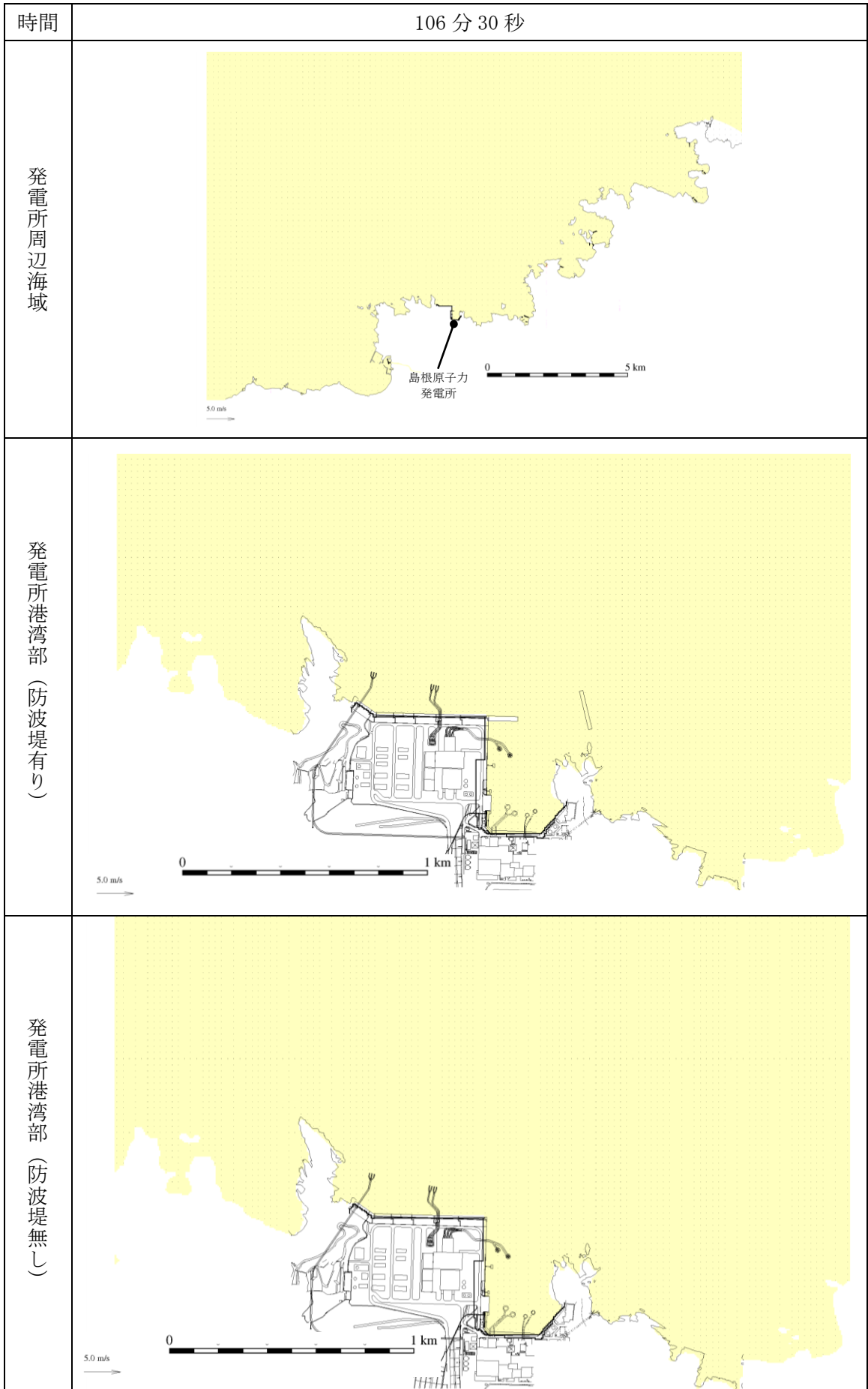
第 1 図(11) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



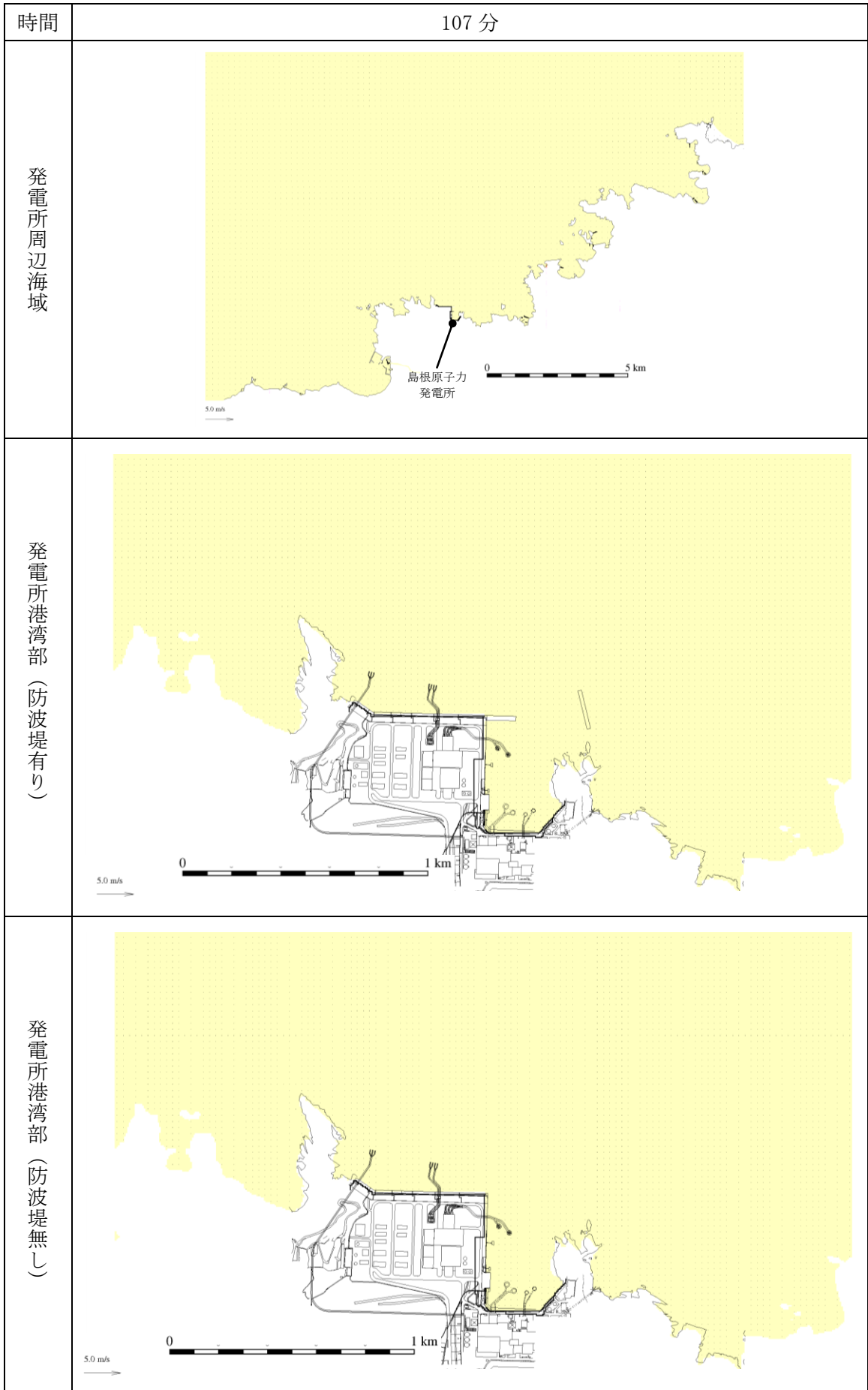
第 1 図(12) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



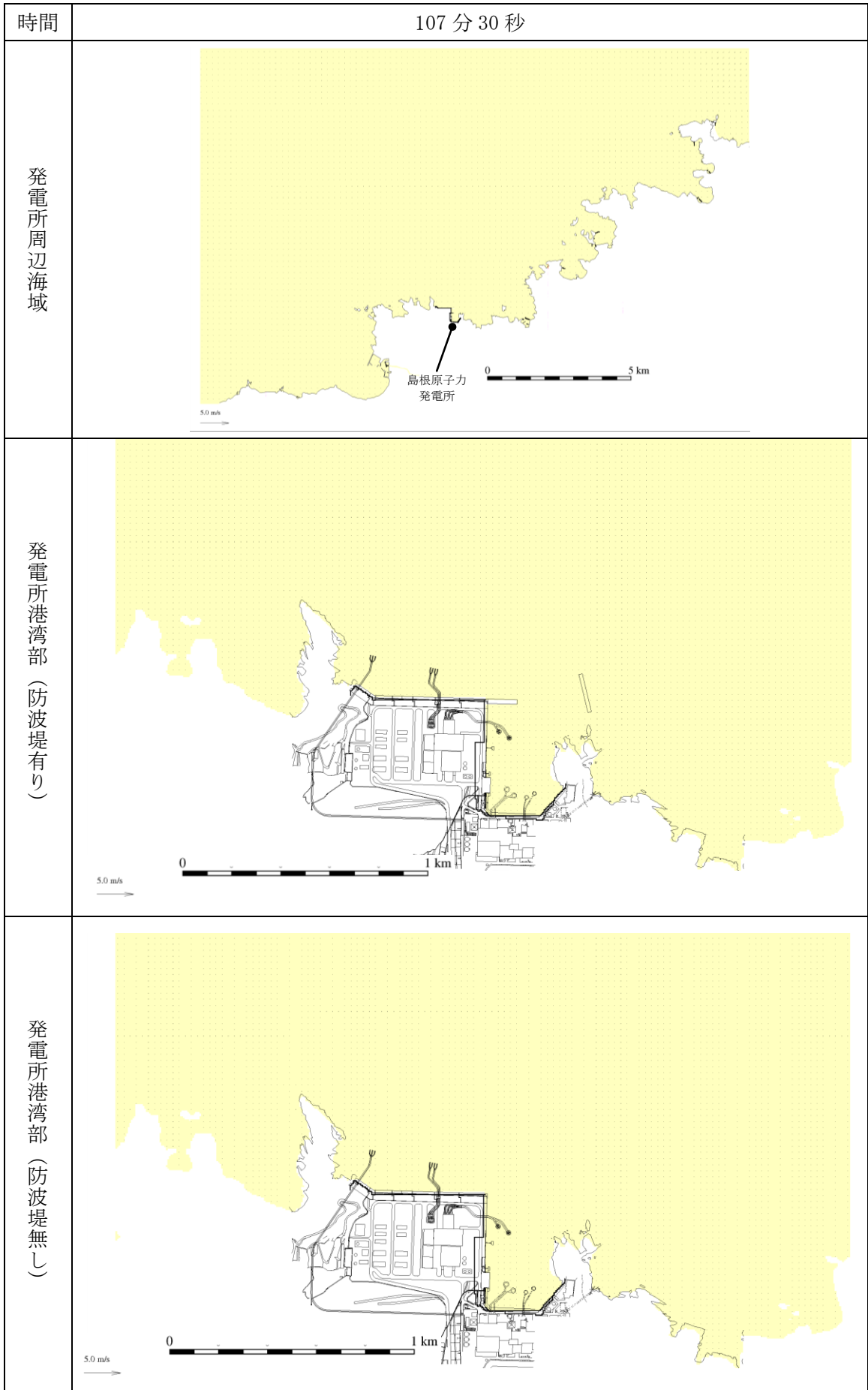
第 1 図(13) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



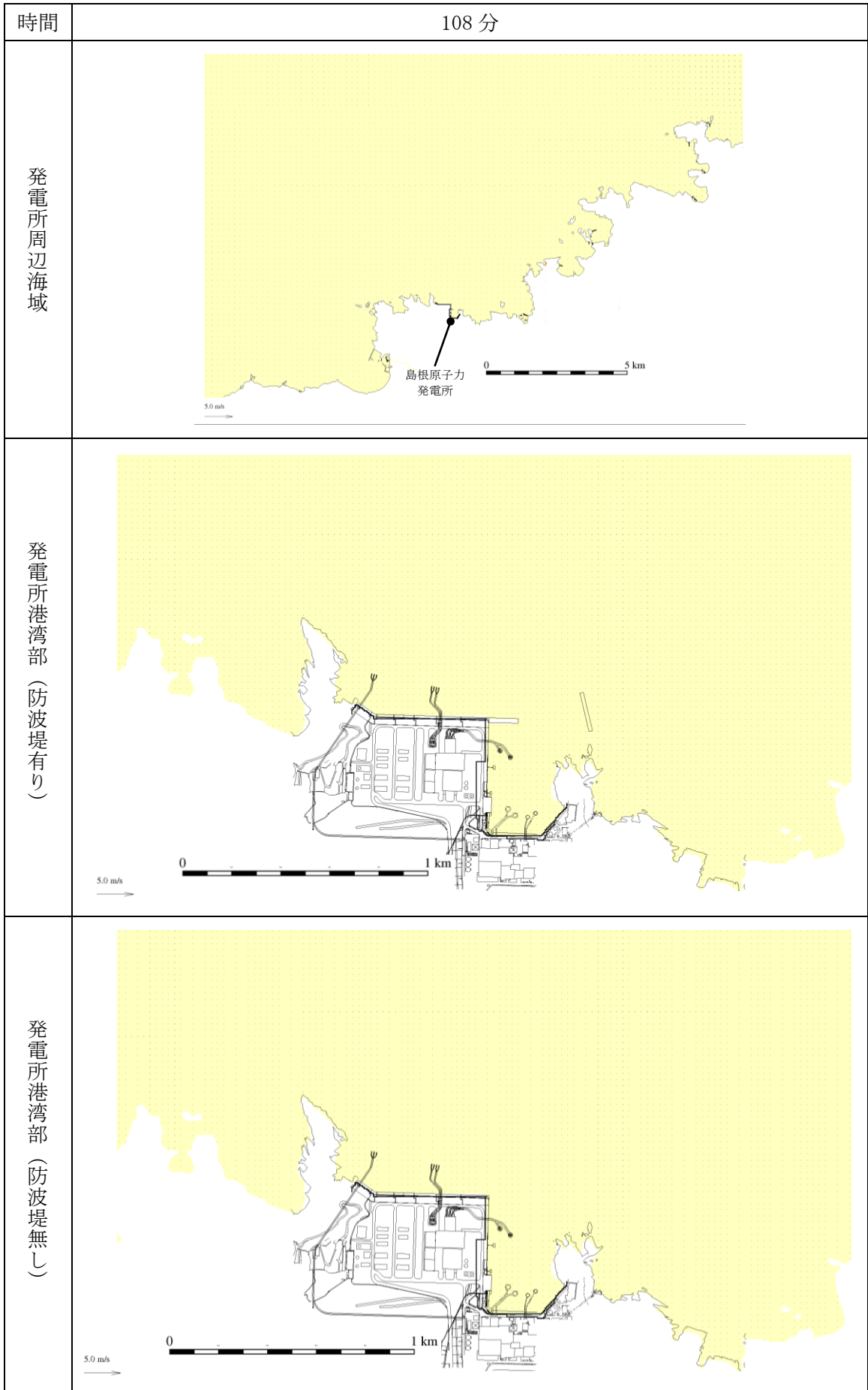
第 1 図(14) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



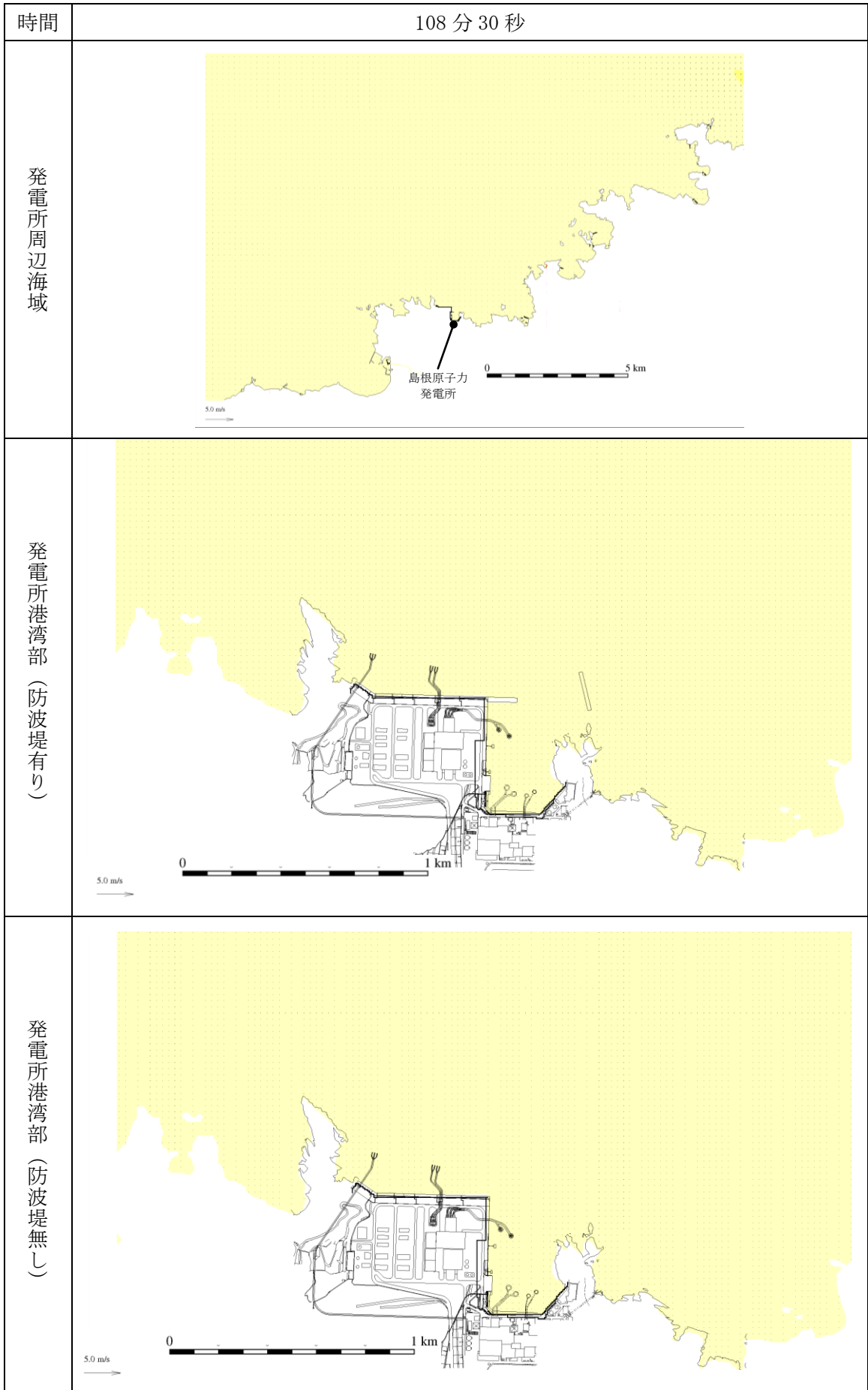
第 1 図(15) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



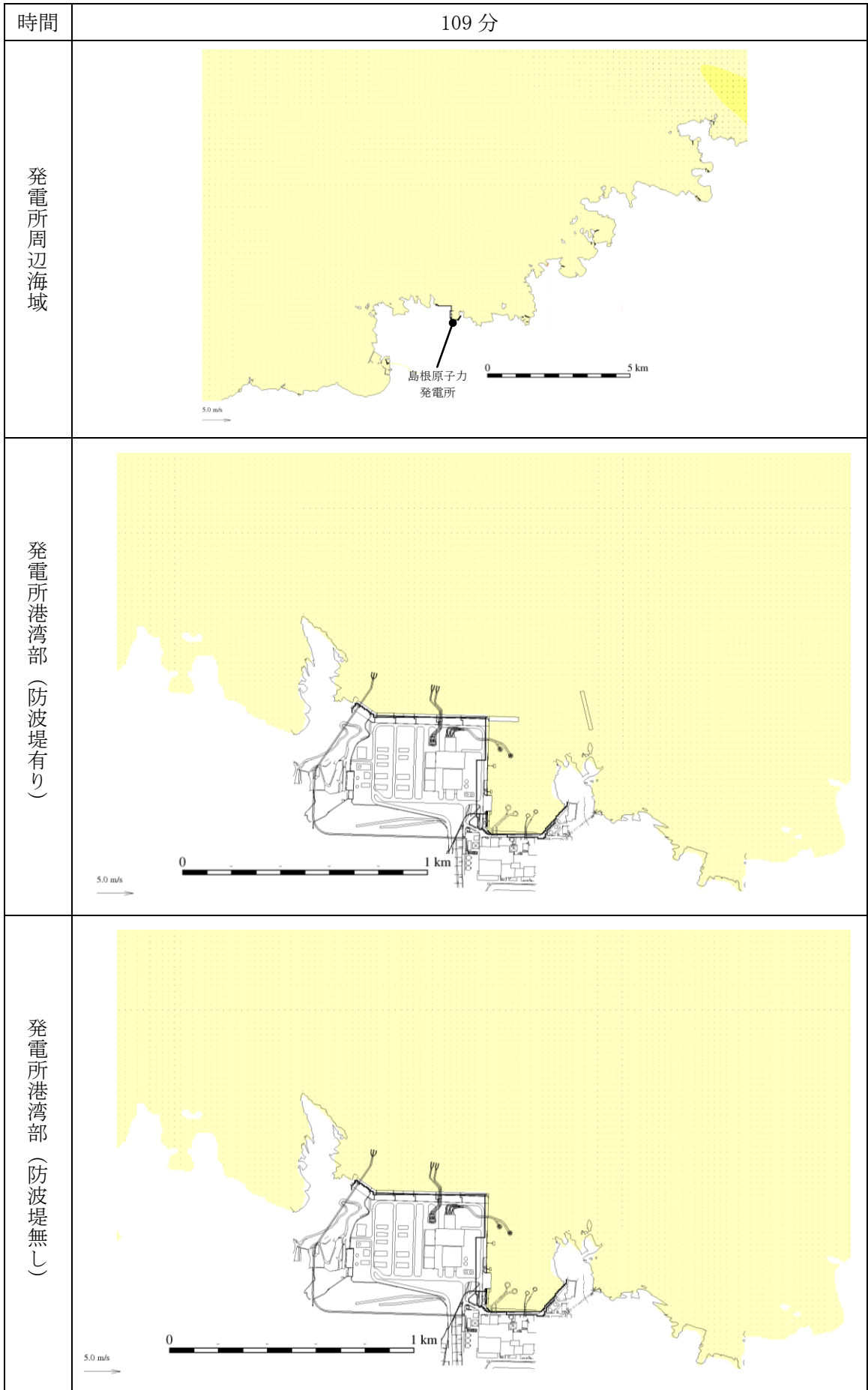
第 1 図(16) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



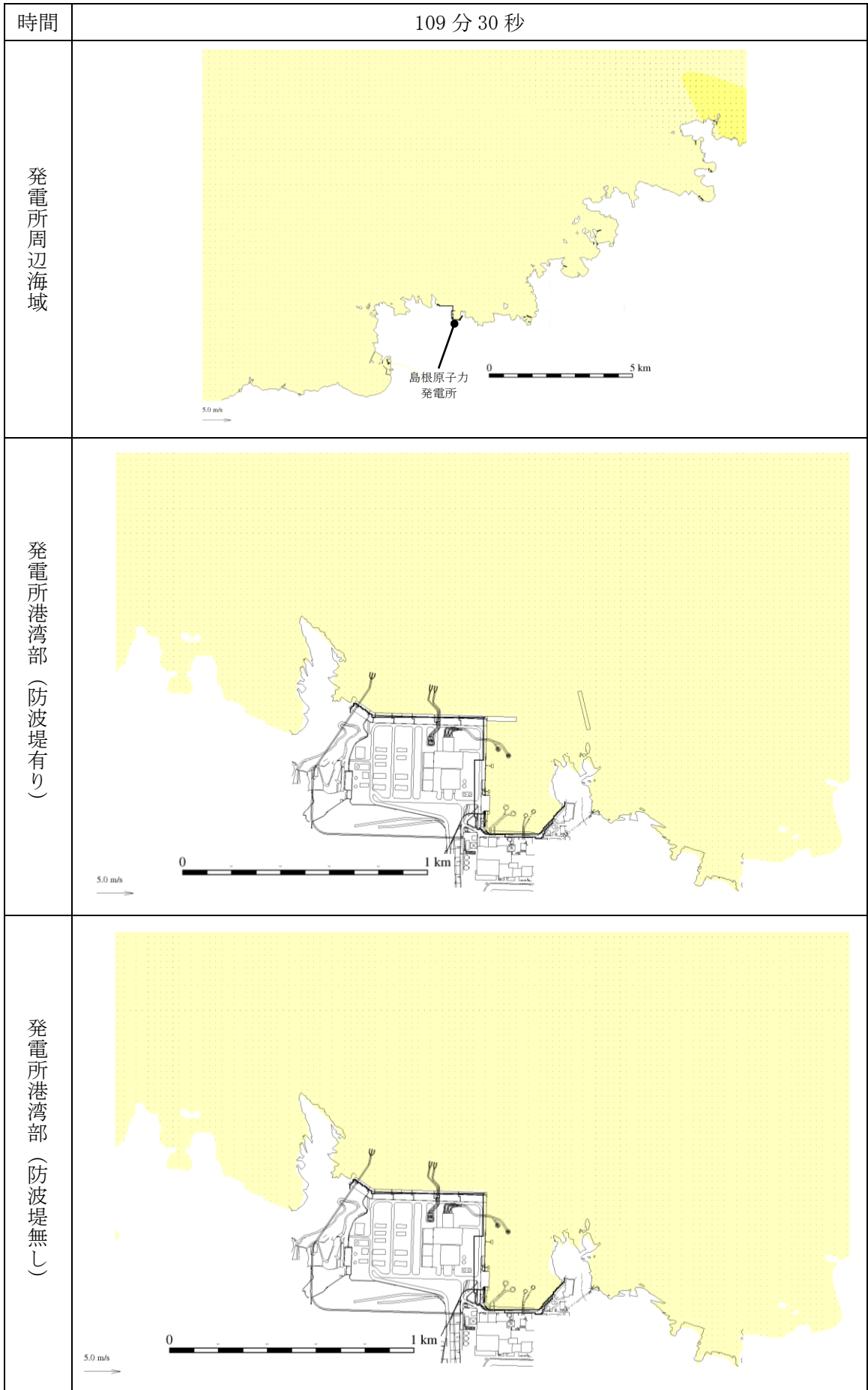
第 1 図(17) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



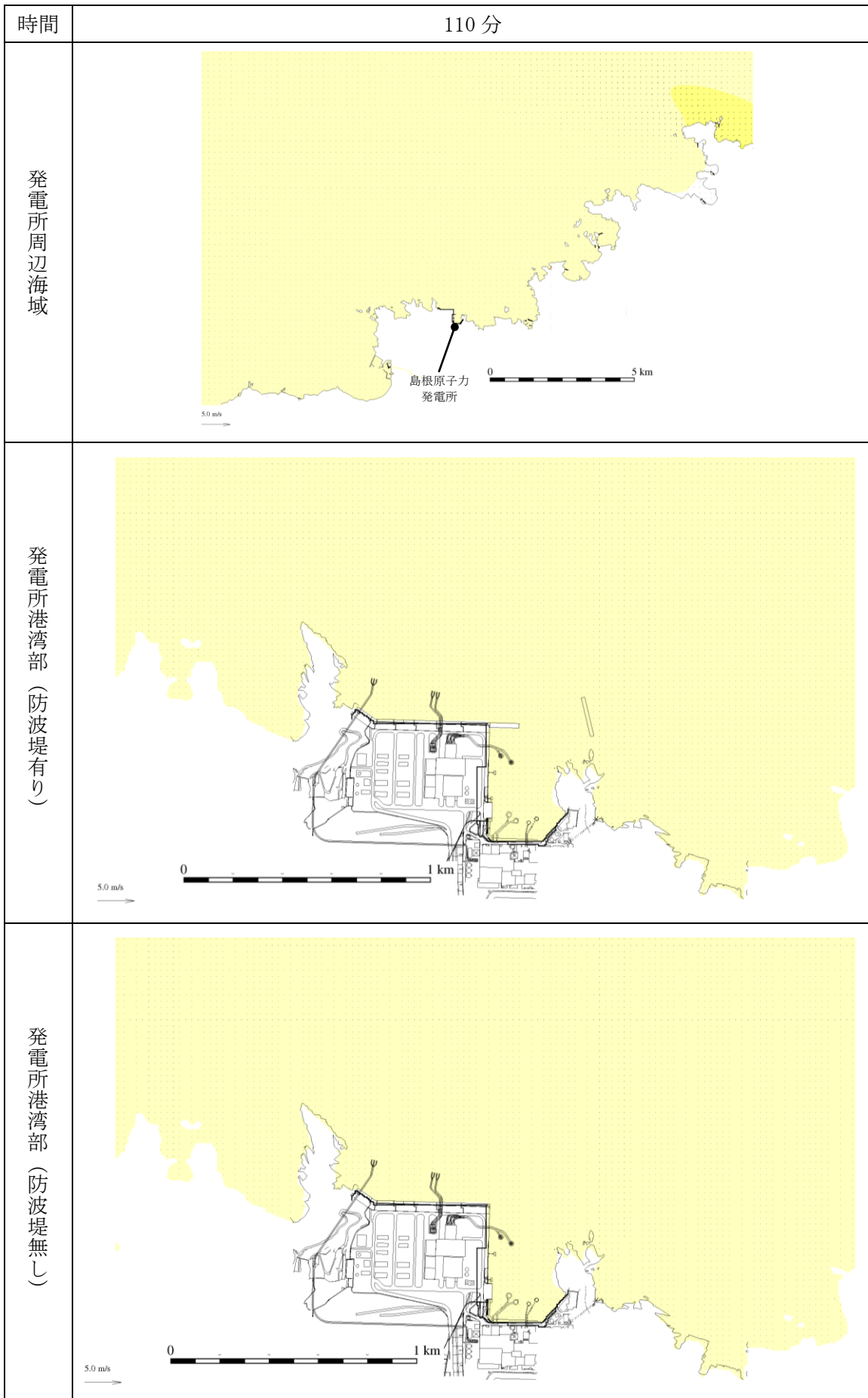
第 1 図(18) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



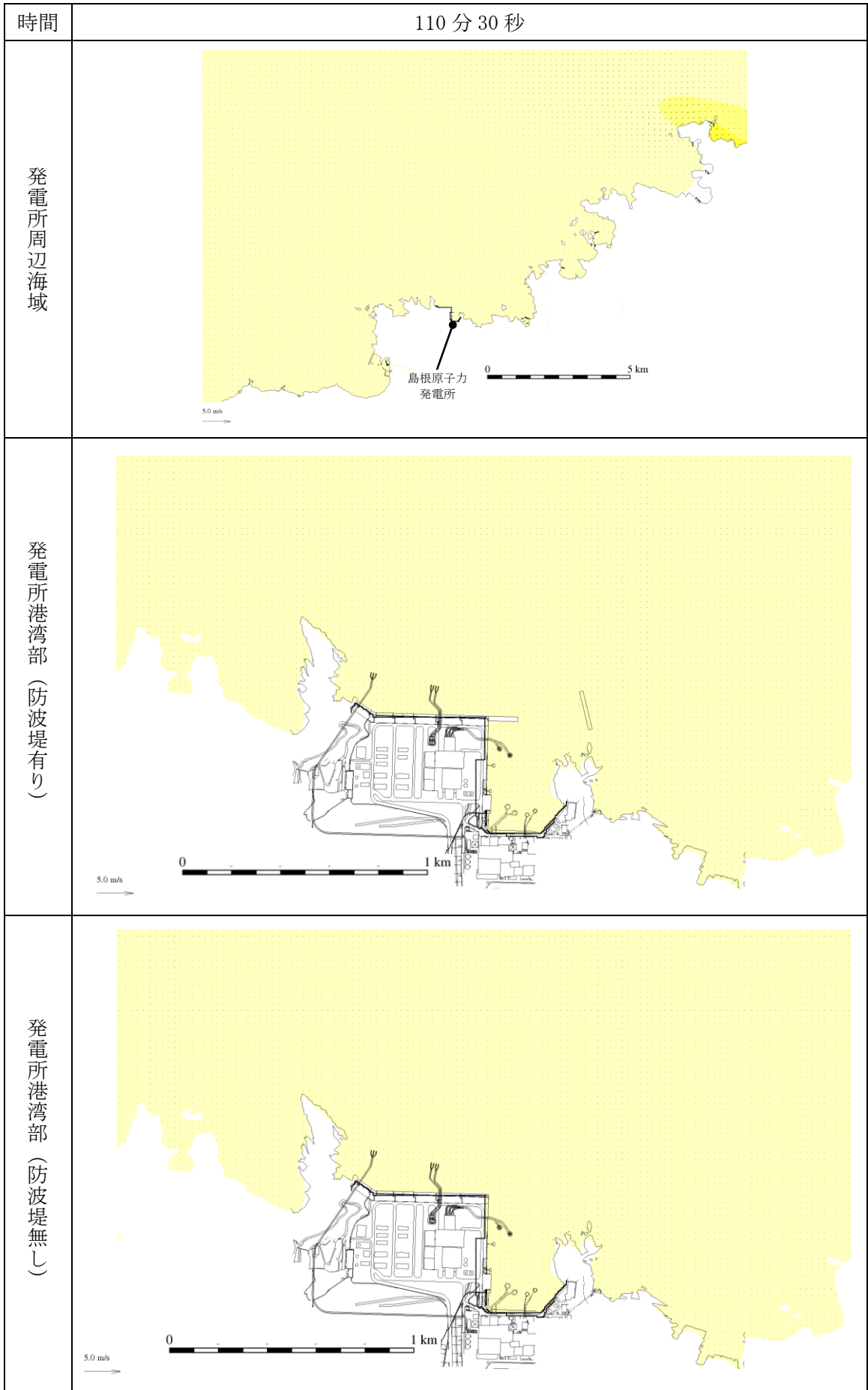
第 1 図(19) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



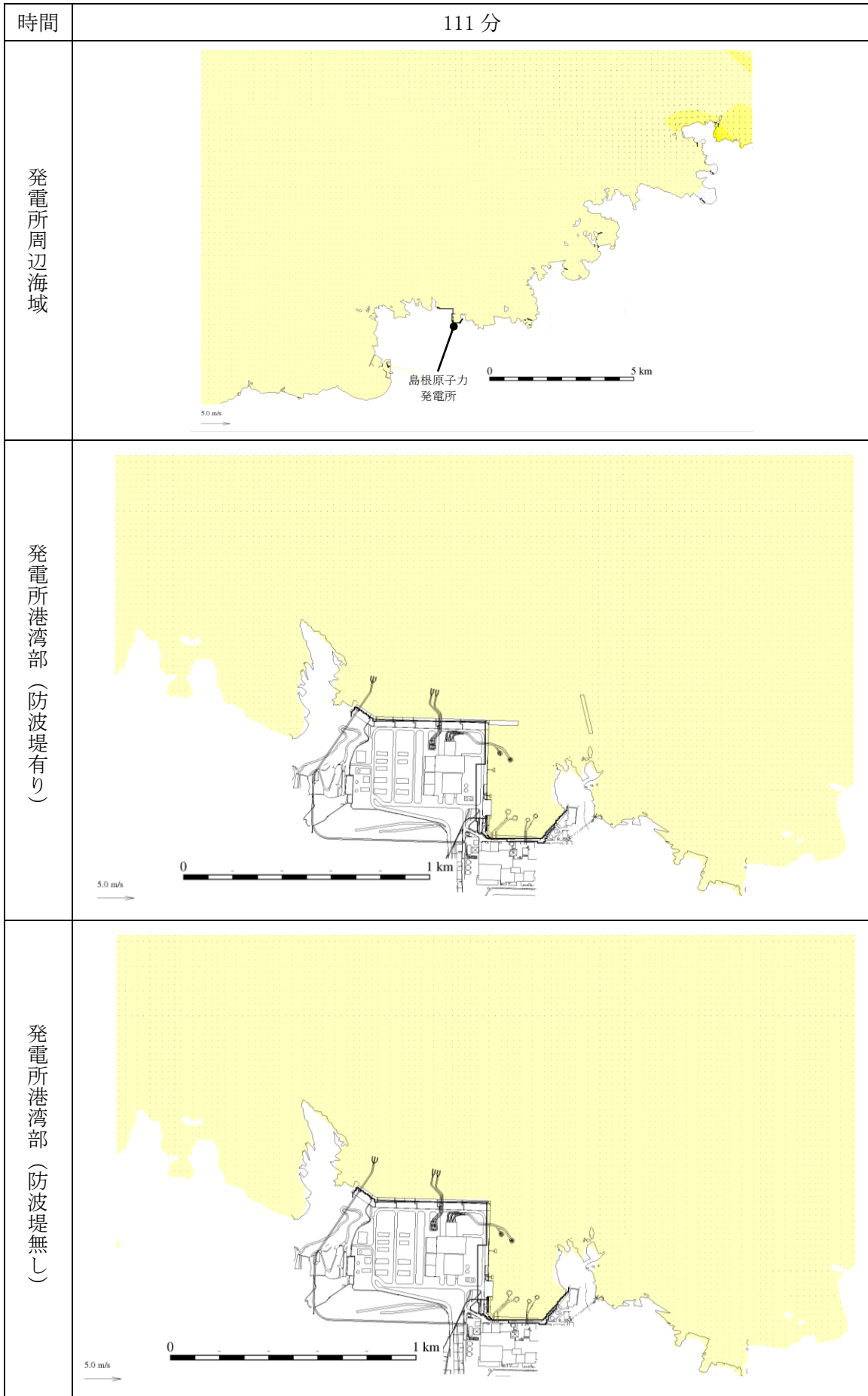
第 1 図(20) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



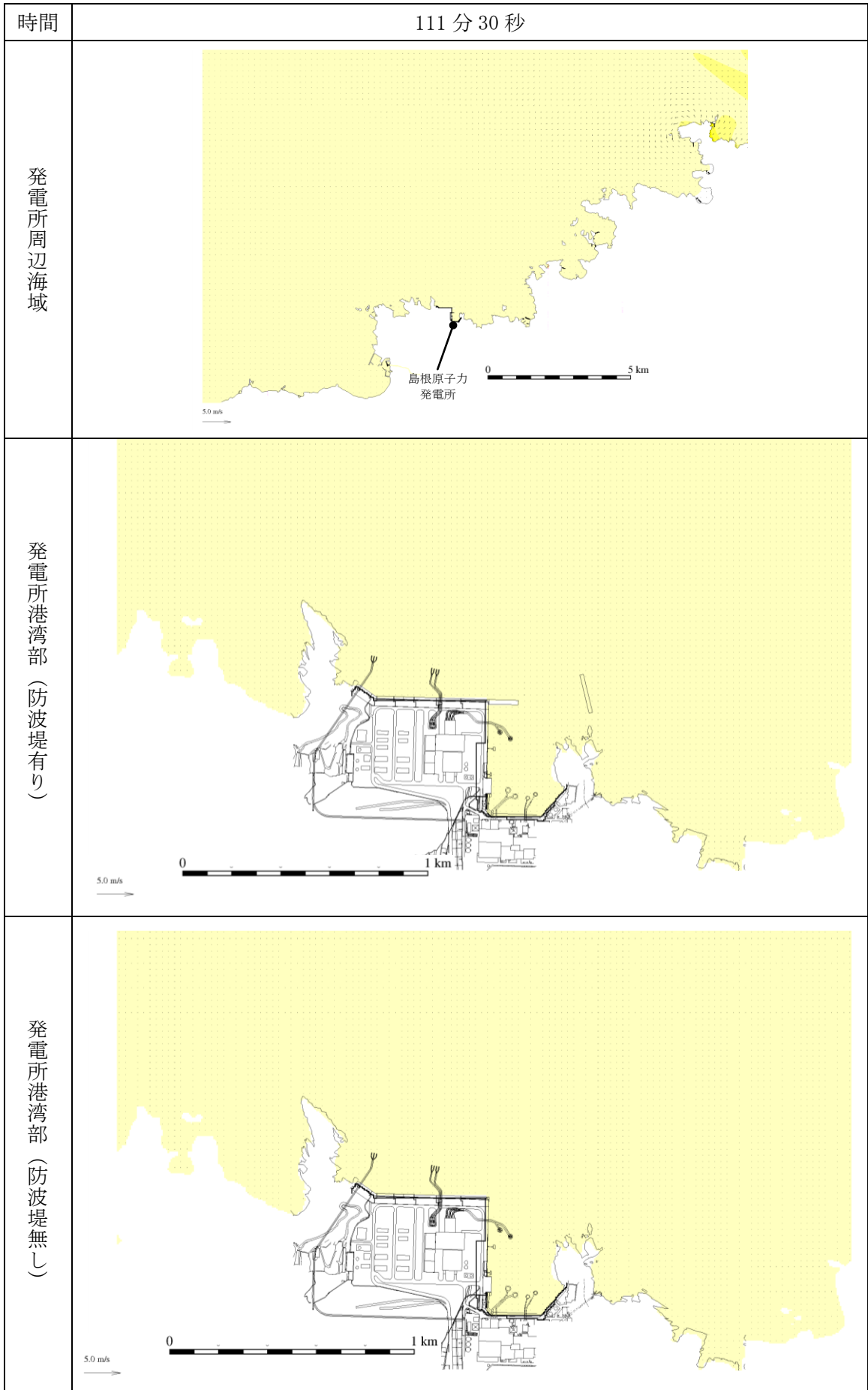
第 1 図(21) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



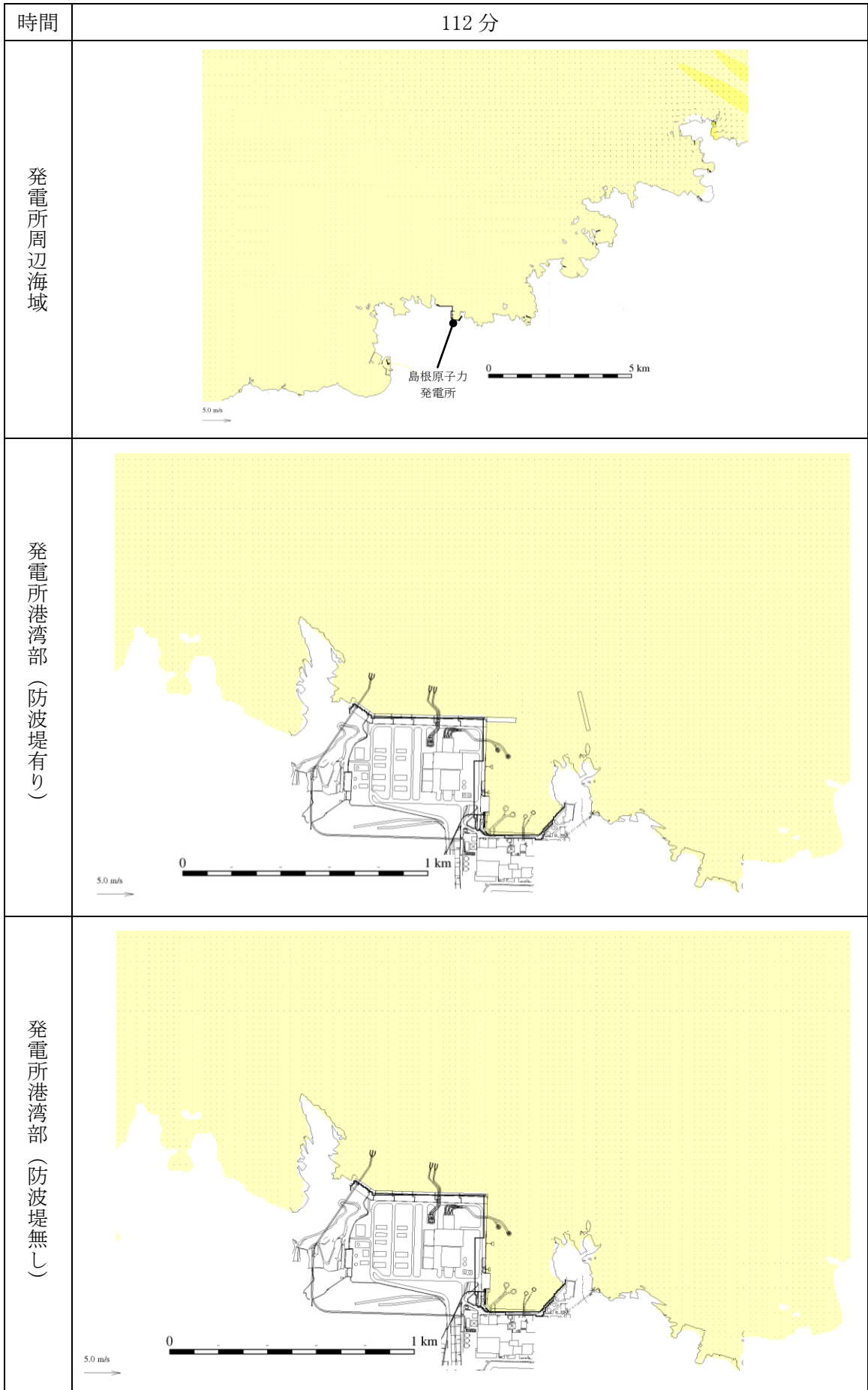
第 1 図(22) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



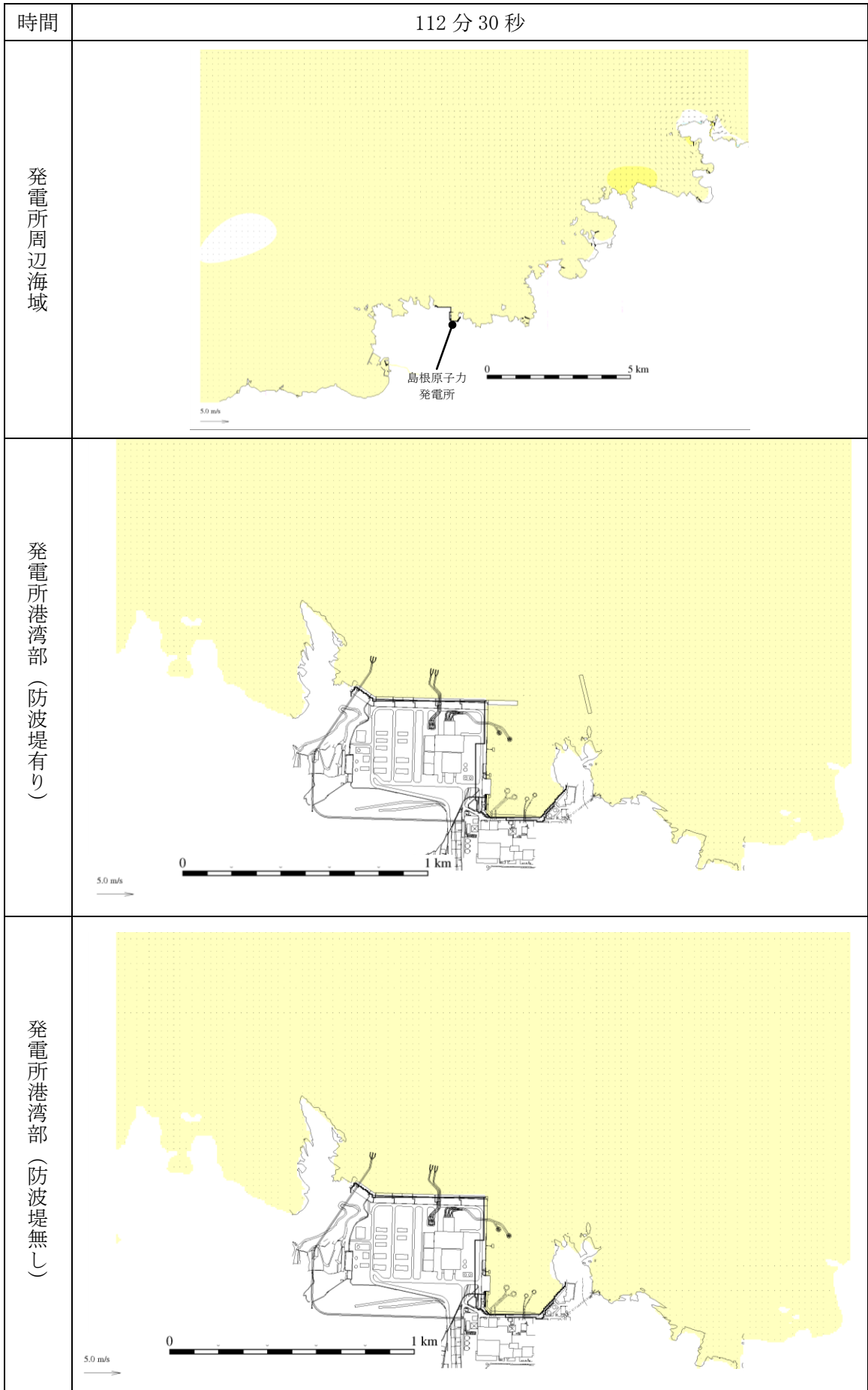
第 1 図(23) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



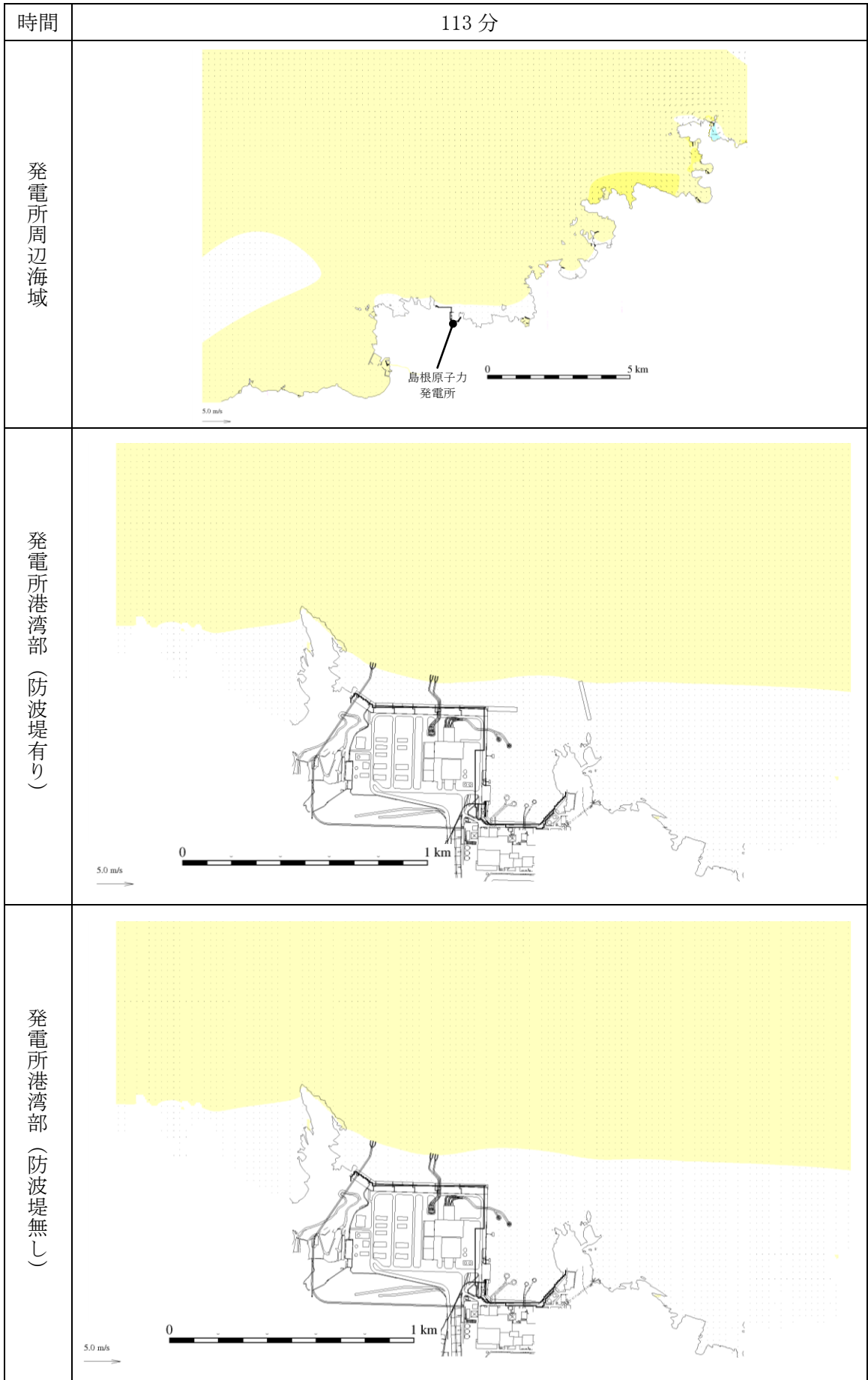
第 1 図(24) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



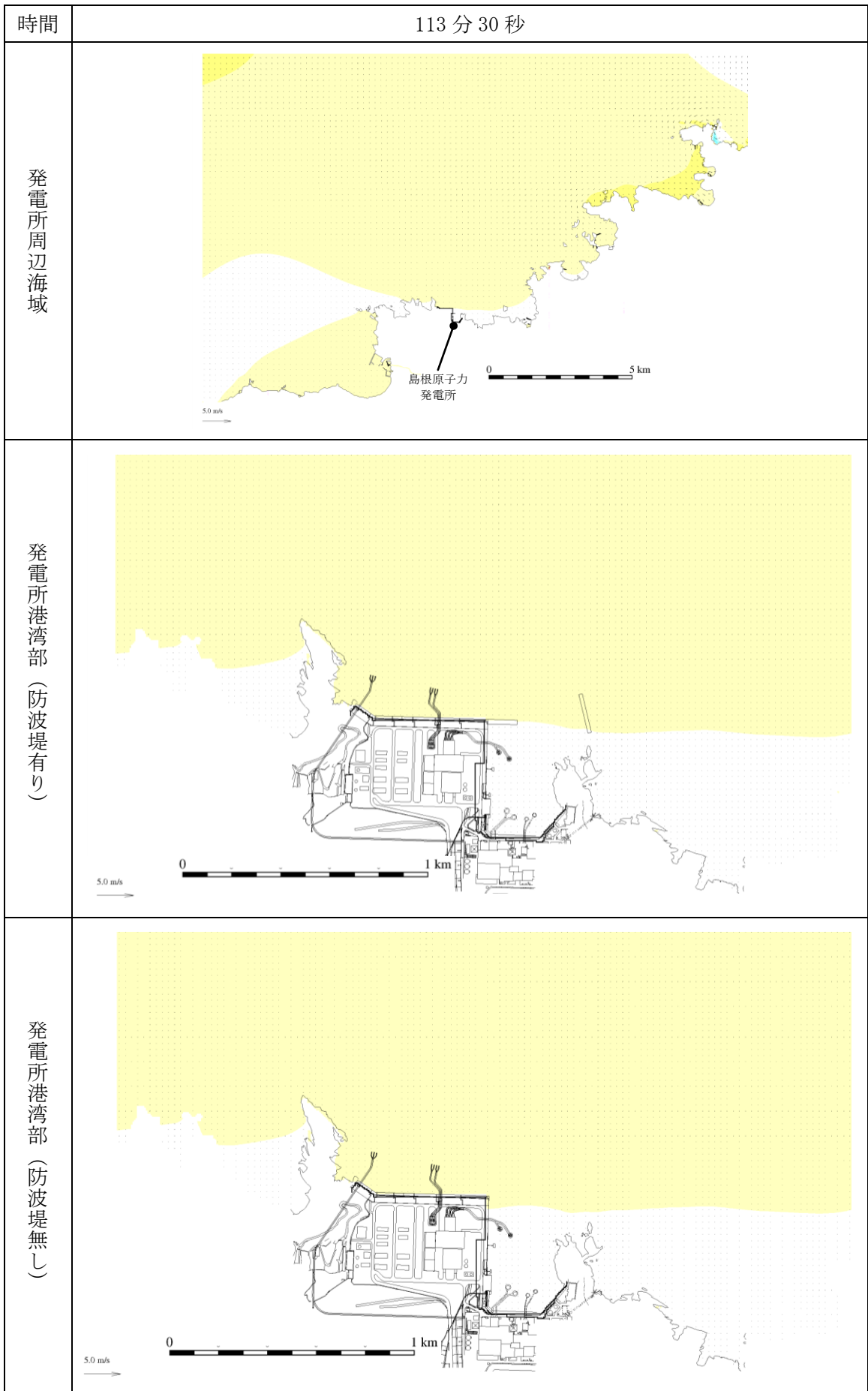
第 1 図(25) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



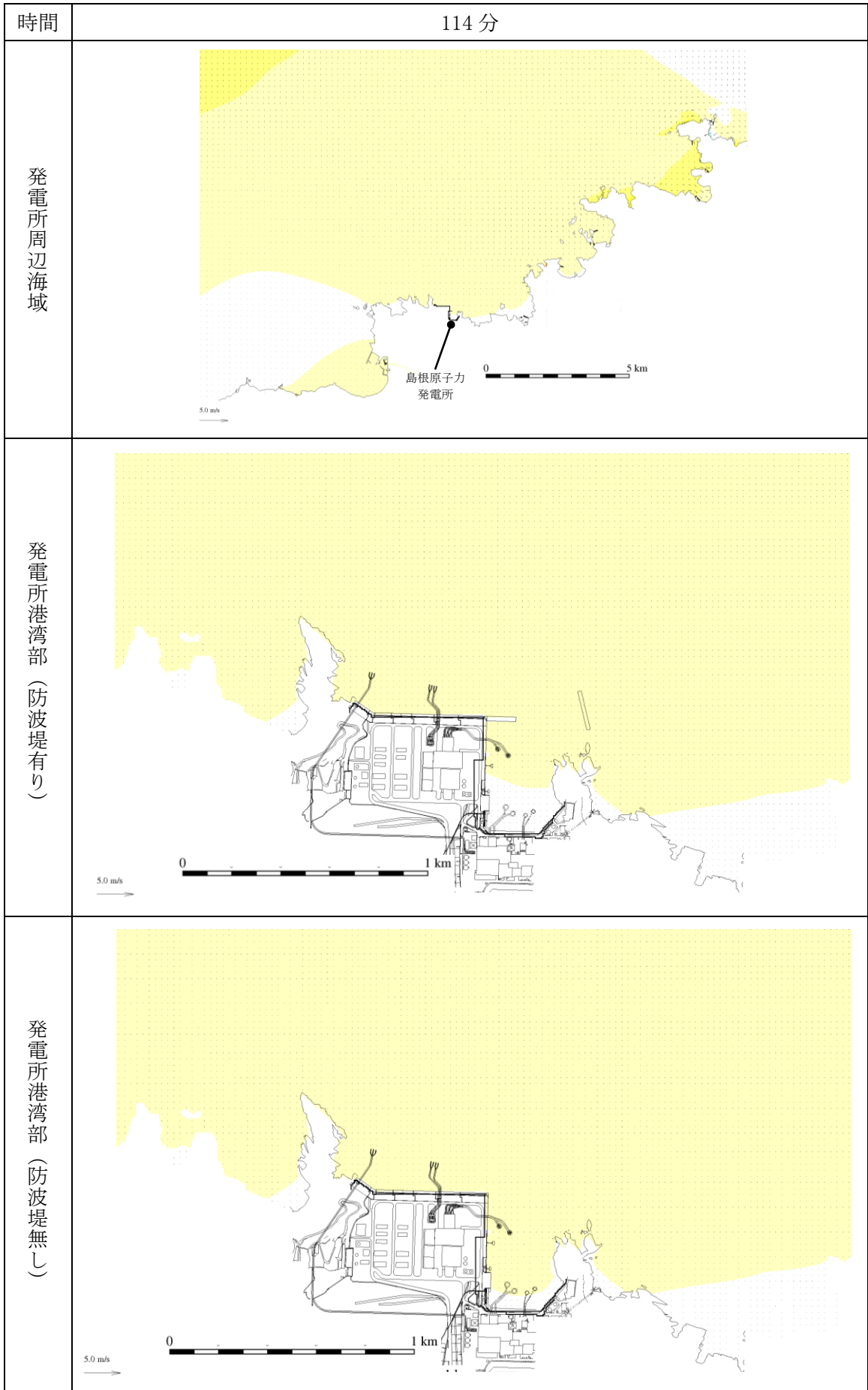
第 1 図(26) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



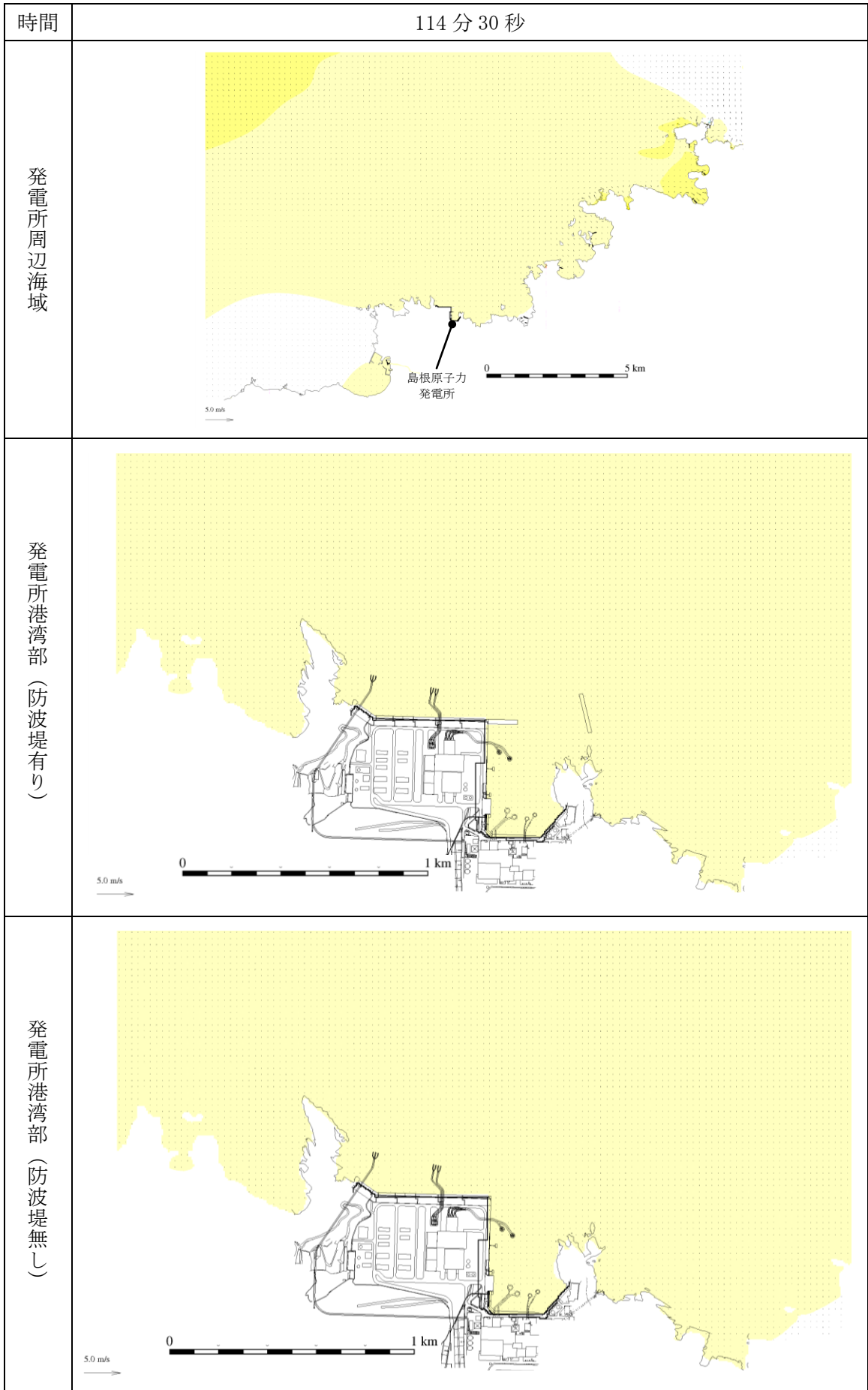
第 1 図(27) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



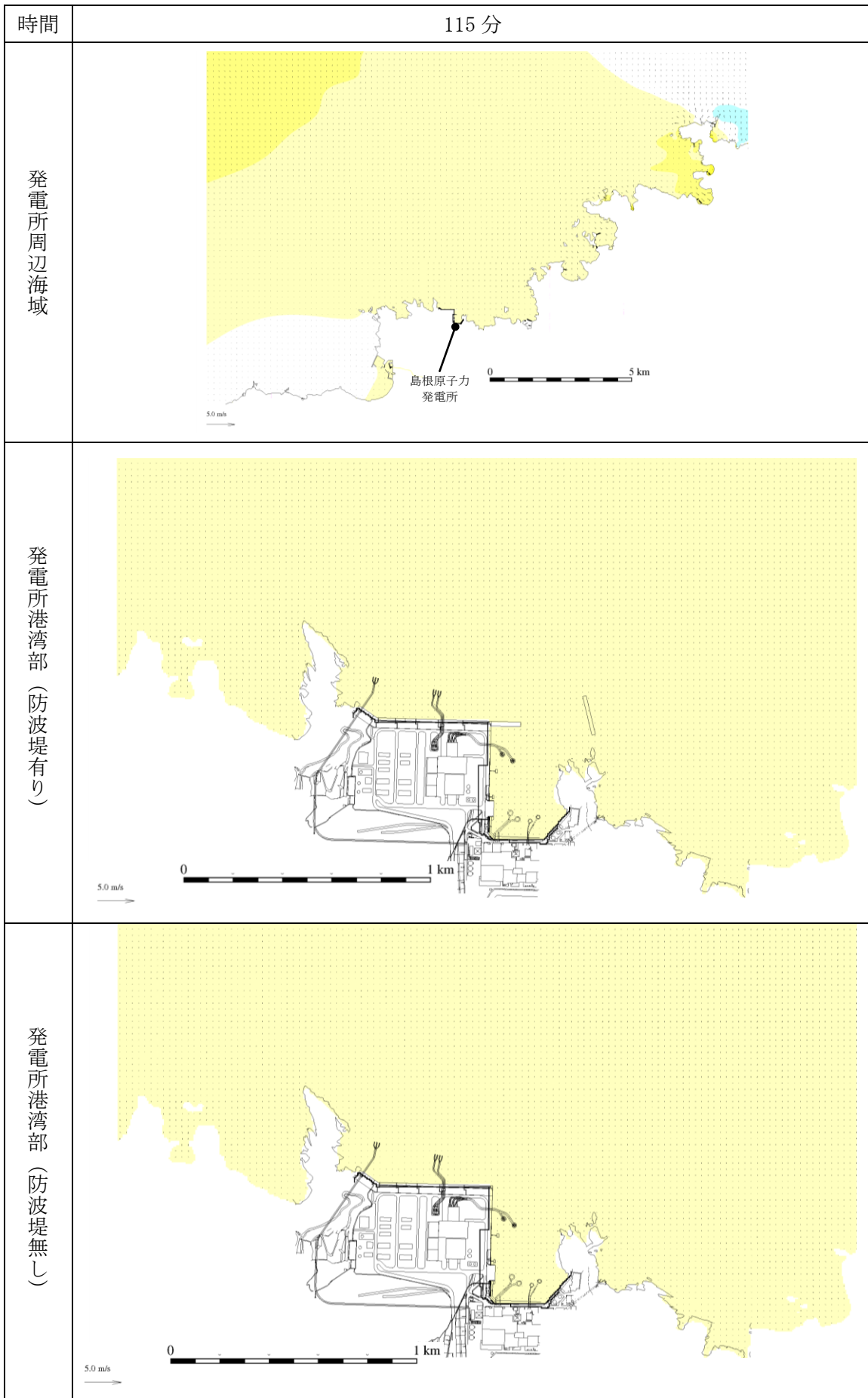
第 1 図(28) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



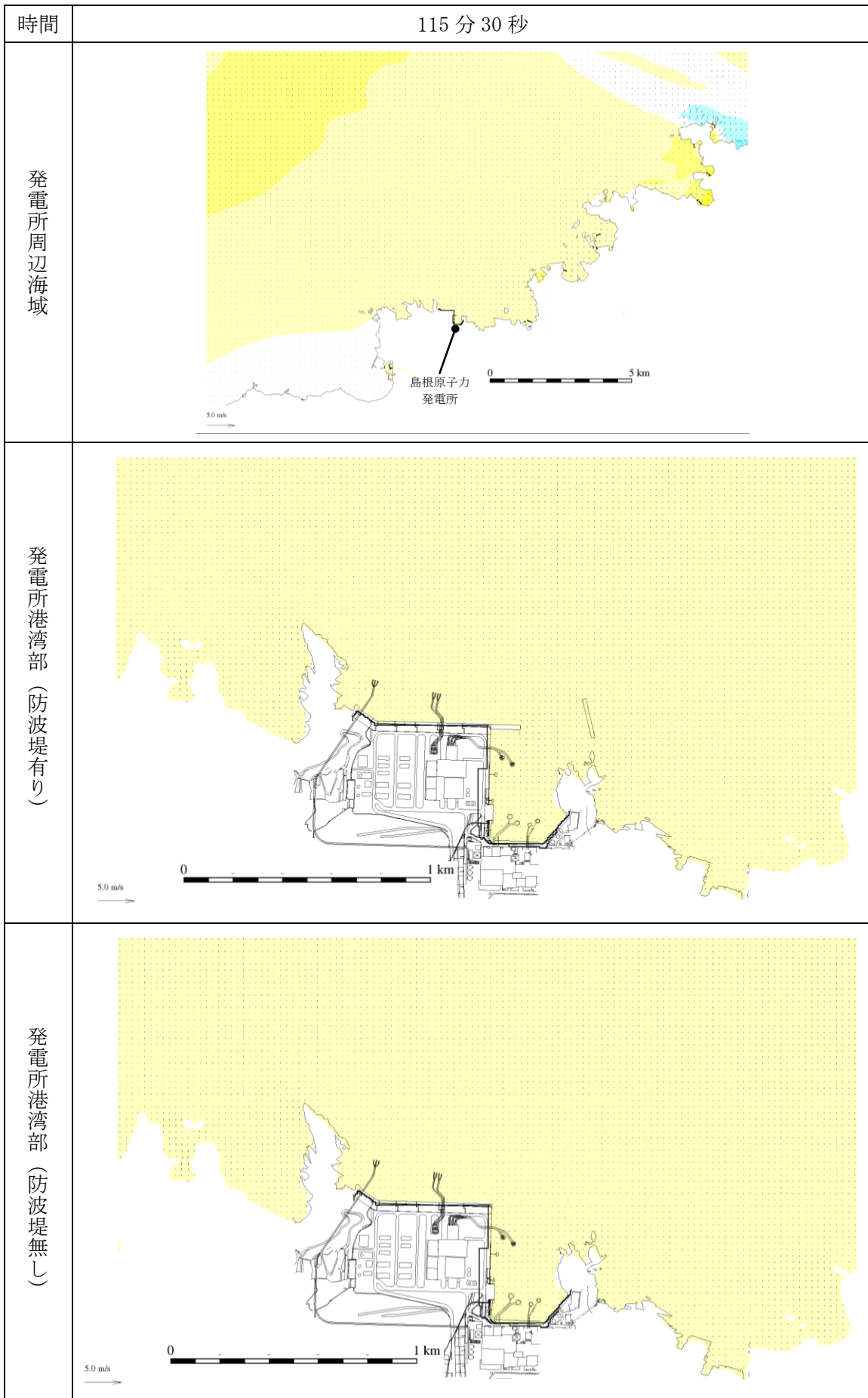
第 1 図(29) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



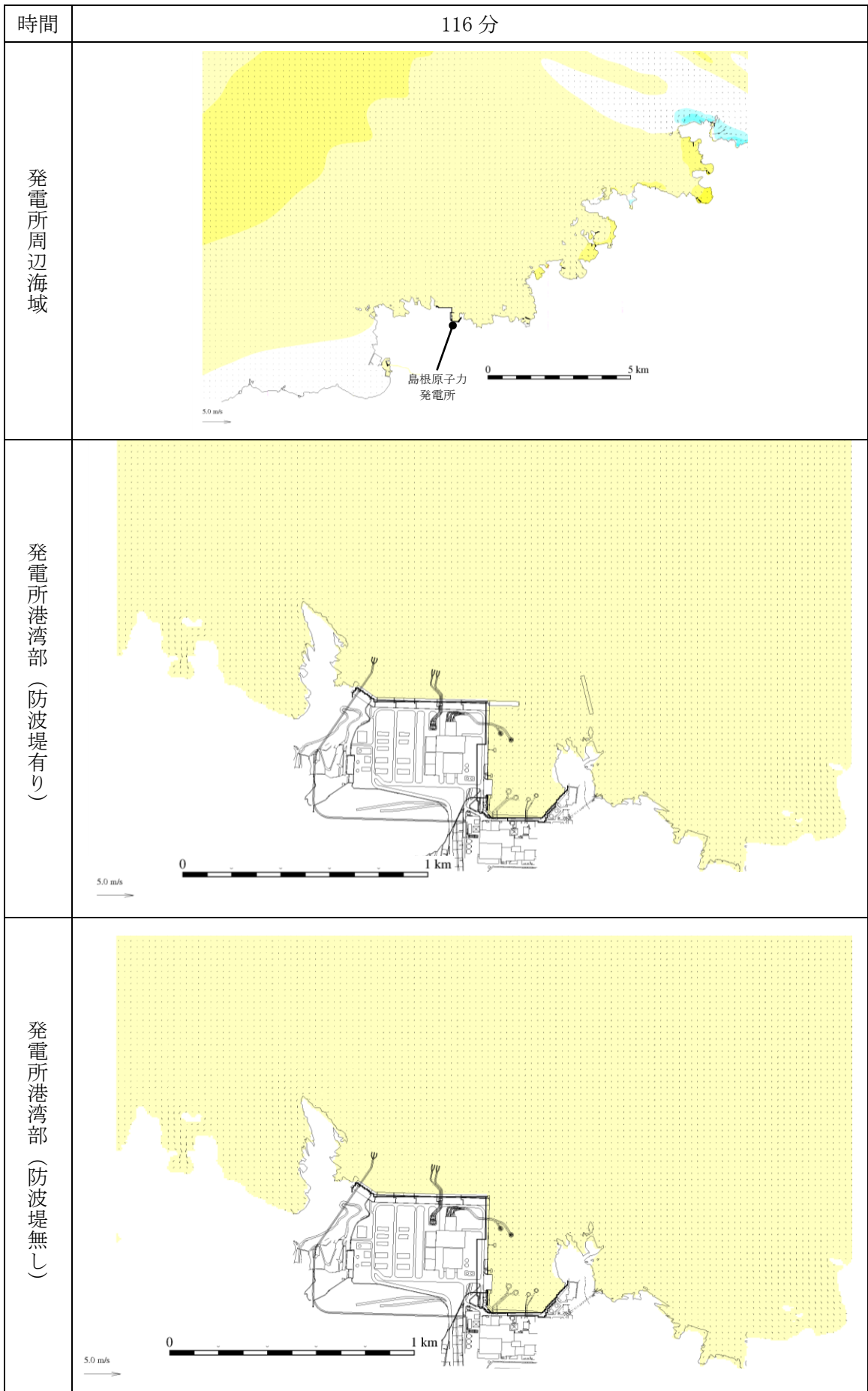
第 1 図(30) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



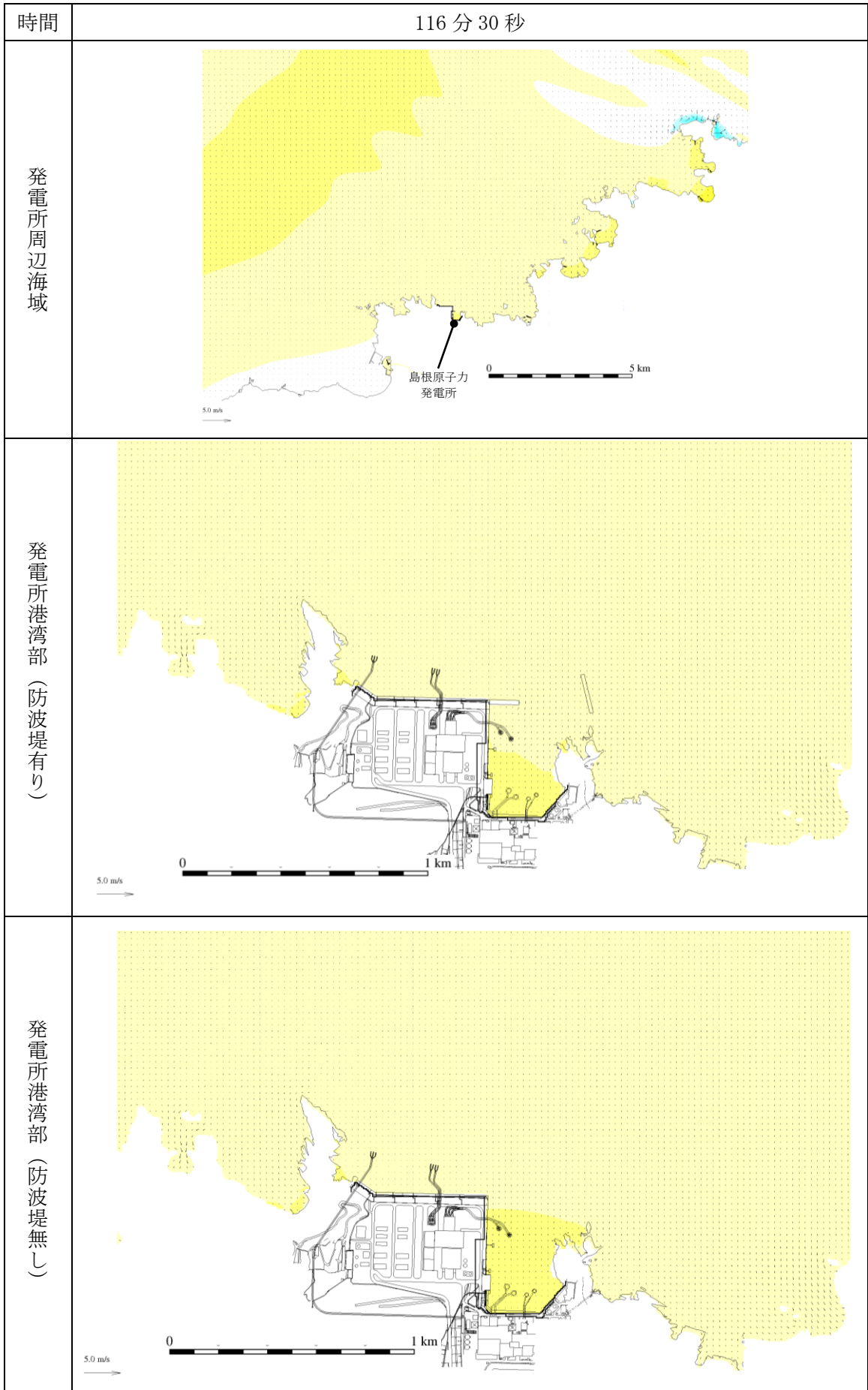
第 1 図(31) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



第 1 図 (32) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



第 1 図(33) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



第 1 図 (34) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル