

島根原子力発電所 2号炉 審査資料	
資料番号	EP-066 改 30
提出年月日	令和 2年 5月 28日

# 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 5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

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

(補足資料)

・津波防護上の地山範囲における地質調査 ルートマップ, 柱状図及びコア写真集

(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)

下線は、今回の提出資料を示す。

## 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

### 2.5.1 非常用海水冷却系の取水性

#### 【規制基準における要求事項等】

非常用海水冷却系の取水性については、次に示す方針を満足すること。

- ・基準津波による水位の低下に対して海水ポンプが機能保持できる設計であること。
- ・基準津波による水位の低下に対して冷却に必要な海水が確保できる設計であること。

#### 【検討方針】

基準津波による水位の低下に対して、非常用海水冷却系の海水ポンプである原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプが機能保持できる設計であることを確認する。

また、基準津波による水位の低下に対して、非常用海水冷却系による冷却に必要な海水が確保できる設計であることを確認する。

具体的には、以下のとおり実施する。

- ・原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ位置の評価水位の算定を適切に行うため、取水路の特性に応じた手法を用いる。また、取水路の管路の形状や材質、表面の状況に応じた摩擦損失を設定する。
- ・原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの取水可能水位が下降側評価水位を下回る等、水位低下に対して同ポンプが機能保持できる設計となっていることを確認する。
- ・引き波時に水位が取水可能水位を下回る場合には、下回っている時間において、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの継続運転が可能な貯水量を十分確保できる設計となっていることを確認する。

なお、取水路または取水槽が循環水系と非常用海水冷却系で併用される場合においては、循環水系運転継続等による取水量の喪失を防止できる措置が施される方針であることを確認する。

#### 【検討結果】

引き波による水位の低下に対して、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプが機能保持でき、かつ、同系による冷却に必要な海水が確保できる設計とする。

具体的には、引き波による水位低下時においても、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの取水可能水位を下回らないことを確認する。

ここで、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの位置における津波高さの算出にあたっては、基準津波による水位の低下に伴う取水路の

特性を考慮した原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ位置の評価水位（取水槽内の津波高さ）を適切に算定するため、開水路及び管路において非定常管路流の連続式及び運動方程式を用いて管路解析を実施する。また、その際、取水口から取水槽に至る系をモデル化し、管路の形状、材質及び表面の状況に応じた摩擦損失を考慮し、計算結果に潮位のばらつきの加算や安全側に評価した値を用いる（「1.4 入力津波の設定」参照）。

以上のことから、管路解析により得られた基準津波による取水槽内の水位下降側の入力津波高さは第 2.5-1-1 図に示すとおり、基準津波 6（循環水ポンプ運転時：EL-8.4m (EL-8.31m)）となる。これに対して、長尺化を実施した原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの取水可能水位は各々 EL-8.32m, EL-8.85m<sup>\*</sup>であり、水位低下に対して裕度が小さい。そのため、大津波警報が発令された場合は、津波到達前に運転員による手動操作で循環水ポンプを停止する。停止操作については、手順の整備と運転員への教育訓練により確実に実施し、原子炉補機海水系及び高圧炉心スプレイ補機海水系に必要な海水の喪失を防止する。なお、海域活断層から想定される地震による津波（基準津波 4）は、敷地までの津波の到達時間が短いことから、循環水ポンプ運転条件も考慮する。

以上の結果、基準津波による取水槽内の水位下降側の入力津波高さは第 2.5-1-2 図に示すとおり、基準津波 4（循環水ポンプ運転時：EL-6.5m）となり、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの取水可能水位は、取水槽内の水位下降側の入力津波高さに対し、約 1.8m の余裕がある。なお、実機海水ポンプを用いた試験により、海水ポンプのベルマウス下端(EL-9.3m)付近まで取水が可能であることを確認しており、その内容を参考として添付資料 32 に示す。

また、ポンプ長尺化に伴うベルマウス下端と取水槽下端のクリアランスについては、日本機械学会基準「ポンプの吸込水槽の模型試験法」(JSME S 004-1984) に示されるベルマウス径(750mm)の1/2以上のクリアランス(375mm以上)を満足するよう、500mmとしている。なお、長尺化前のクリアランスは400mmであり、ポンプの取水性に関わる不具合は確認されていない。

ポンプ長尺化に伴うベルマウス下端への耐震サポート設置による影響については、実機性能試験等によりポンプ性能に影響を及ぼさないことを確認している（添付資料 32）。



※ 原子炉補機海水ポンプ， 高圧炉心スプレィ補機海水ポンプの取水可能水位  
 原子炉補機海水ポンプ， 高圧炉心スプレィ補機海水ポンプの取水可能水位  
 は， 日本機械学会基準「ポンプの吸込水槽の模型試験法」(JSME S 004-1984)  
 に基づき， 以下の数式によって算出している (参考図参照)。

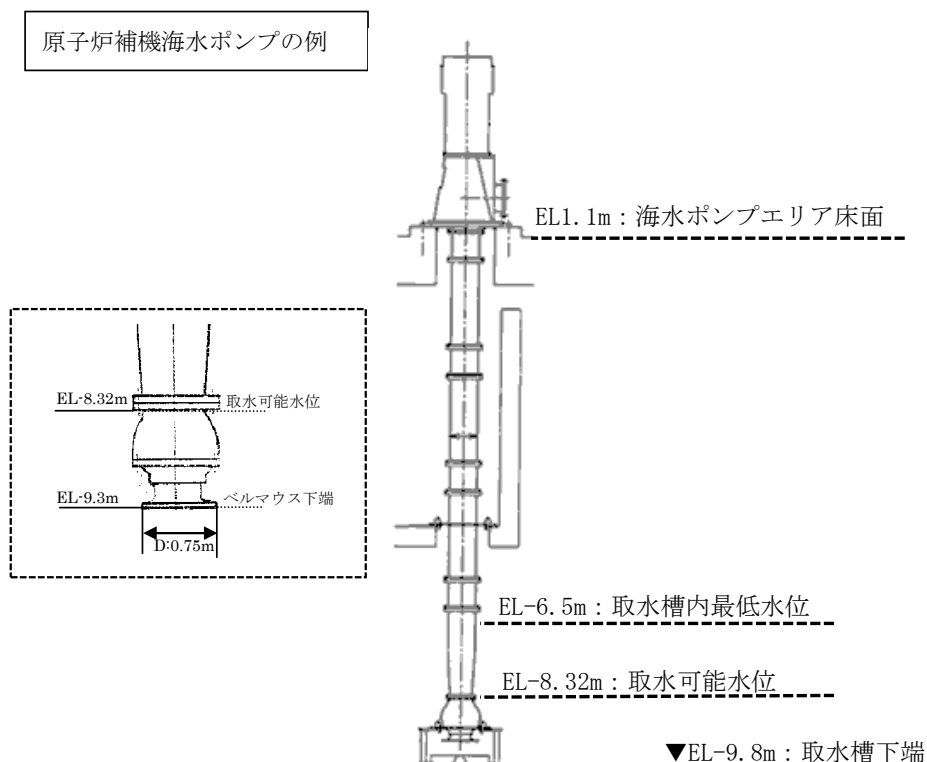
$$H = H_0 + 1.3 \times D_0$$

H : 取水可能水位

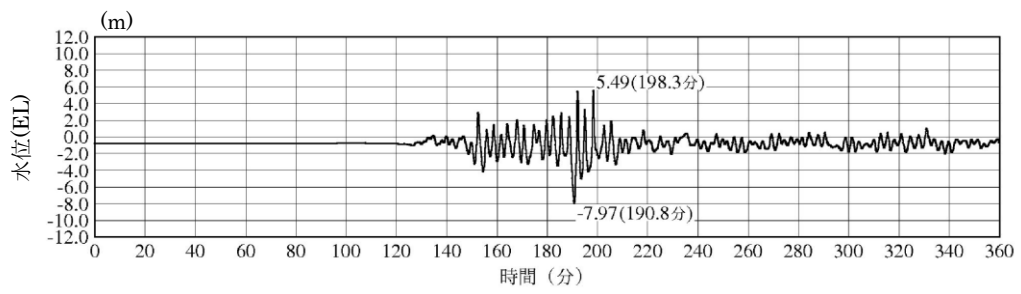
H<sub>0</sub> : ベルマウス下端高さ

D<sub>0</sub> : ポンプ吸込口径 (ベルマウス径)

	ベルマウス 下端高さ H <sub>0</sub>	ポンプ吸込口径 (ベルマウス径) D <sub>0</sub>	取水可能水位 H
原子炉補機海水 ポンプ	EL-9.3m	0.75m	EL-8.32m
高圧炉心スプレィ 補機海水ポンプ	EL-9.3m	0.34m	EL-8.85m

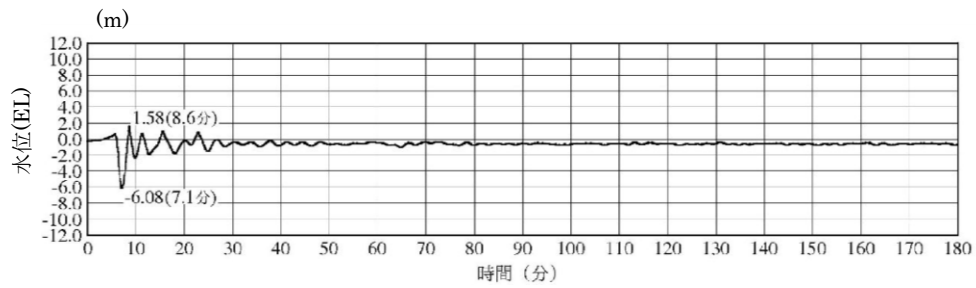


参考図 非常用海水冷却系の海水ポンプの取水可能水位



※最大水位下降量-7.97m-地殻変動量 0.34m $\div$ EL-8.4m  
 2号炉取水槽（入力津波 6，防波堤無し，循環水ポンプ運転）

第2.5-1-1図 取水槽内の水位変動



※最大水位下降量-6.08m-地盤変動量 0.34m $\div$ EL-6.5m  
 2号炉取水槽（入力津波 4，防波堤無し，循環水ポンプ運転）

第2.5-1-2図 取水槽内の水位変動

## 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

### 【規制基準における要求事項等】

基準津波に伴う取水口付近の砂の移動・堆積が適切に評価されていること。  
基準津波に伴う取水口付近の漂流物が適切に評価されていること。  
非常用海水冷却系については、次に示す方針を満足すること。

- ・基準津波による水位変動に伴う海底の砂移動・堆積，陸上斜面崩壊による土砂移動・堆積及び漂流物に対して取水口及び取水路の通水性が確保できる設計であること。
- ・基準津波による水位変動に伴う浮遊砂等の混入に対して海水ポンプが機能保持できる設計であること。

### 【検討方針】

基準津波に伴う2号炉の取水口付近の砂の移動・堆積や漂流物を適切に評価する。その上で、非常用海水冷却系について、基準津波による水位変動に伴う海底の砂移動・堆積，陸上斜面崩壊による土砂移動・堆積及び漂流物に対して2号炉の取水口及び取水路の通水性が確保できる設計であること，浮遊砂等の混入に対して非常用海水冷却系の海水ポンプである原子炉補機海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機海水ポンプが機能保持できる設計であることを確認する。

具体的には、以下のとおり確認する。

- ・遡上解析結果における取水口付近の砂の堆積状況に基づき，砂の堆積高さが取水口下端に到達しないことを確認する。取水口下端に到達する場合は，取水口及び取水路が閉塞する可能性を安全側に検討し，閉塞しないことを確認する。
- ・混入した浮遊砂は，スクリーン等で除去することが困難なため，原子炉補機海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機海水ポンプそのものが運転時の砂の混入に対して軸固着しにくい仕様であることを確認する。
- ・基準津波に伴う取水口付近の漂流物については，遡上解析結果における取水口付近を含む敷地前面及び遡上域の寄せ波及び引き波の方向，速度の変化を分析した上で，漂流物の可能性を検討し，漂流物により取水口が閉塞しないことを確認する。また，スクリーン自体が漂流物となる可能性が無いか確認する。

### 【検討結果】

#### (1) 砂の移動・堆積に対する通水性確保

2号炉の取水口呑口下端はEL-12.5mであり，海底面(EL-18.0m)より5.5m高い位置にある(第2.5-2図)。これに対し，数値シミュレーションにより得られた基準津波による砂移動に伴う取水口付近の砂の堆積高さは，最大で約0.02m(基準津波1(防波堤有り))であることから，砂の堆積高さは取水口呑口下端に到達しない(第2.5-1表)。

また、非常用海水冷却系の海水ポンプ下端は、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプともにEL-9.3mあり、2号炉の取水槽底面(EL-9.8m)より0.5m高い位置にある(P.5条-別添1-II-2-70参考図)。これに対し、数値シミュレーションにより得られた基準津波による砂移動に伴う取水槽底面における砂の堆積厚さは、最大で約0.02m(基準津波1(防波堤有り))である(第2.5-1表)ことから、砂の堆積厚さは海水ポンプ下端に到達しない。なお、通常運転中の砂移動等により除じん機エリアの一部に堆積物が確認されているが、取水槽下部(海水ポンプ吸込エリア床面EL-9.80m)は貯留構造となっており、津波が流入する取水管の下端高さ(EL-7.30m)より2.5m深いため、津波の流入による取水槽下部の流速への影響は十分に小さく、除じん機エリアの堆積物が海水ポンプ吸込エリアに移動することはない(第2.5-3図)。

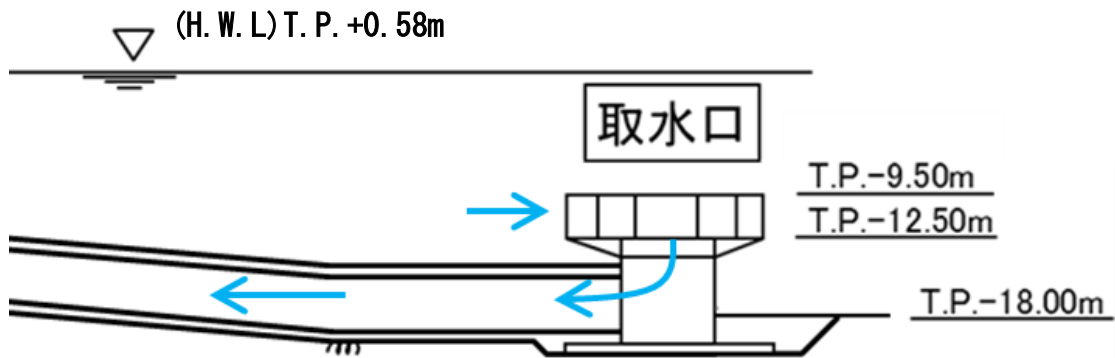
また、ポンプ長尺化に伴う砂の移動・堆積については、以下に示すとおり有意な影響はない。

- ・島根2号炉の取水口が設置される輪谷湾の底質土砂は、岩及び砂礫で構成されており、砂の分布はほとんどない(添付資料13参照)。
- ・島根2号炉の取水口は、取水口呑口が海底面より5.5m高い位置にあるため、海底面の砂が取水口に到達しにくい構造である。
- ・非常用海水冷却系の海水ポンプ長尺化に伴う取水口からの取水量に変化はなく、取水口への砂の流入量に変化はない。
- ・取水槽点検において、除じん機上流側および近傍の一部に堆積物が確認されているが、海水ポンプ吸込みエリア底面には、砂等の堆積物は確認されていない(第2.5-3図)。
- ・循環水ポンプの定格流量(約3370<sup>m</sup>³/min)に対して、長尺化を実施する非常用海水冷却系の海水ポンプの定格流量(原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ合計:約150<sup>m</sup>³/min)は5%未満であることから、循環水ポンプの影響が支配的であり、非常用海水冷却系の海水ポンプ長尺化による除じん機エリアの流況の変化は十分小さい。
- ・非常用海水冷却系の海水ポンプ長尺化に伴う除じん機エリアの流況の変化は十分に小さいことから、除じん機エリアで確認された堆積物が当該エリアに流入することはない。
- ・ポンプ長尺化以降は、ポンプ点検にあわせて、周辺部の堆積物の状況を確認し、必要により清掃を行う。
- ・ベルマウス下端近傍の取水槽床面では海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回っており、ベルマウス下端近傍に到達する砂はポンプに吸込まれることから、ベルマウス下端近傍に砂の堆積はない(添付資料33参照)。

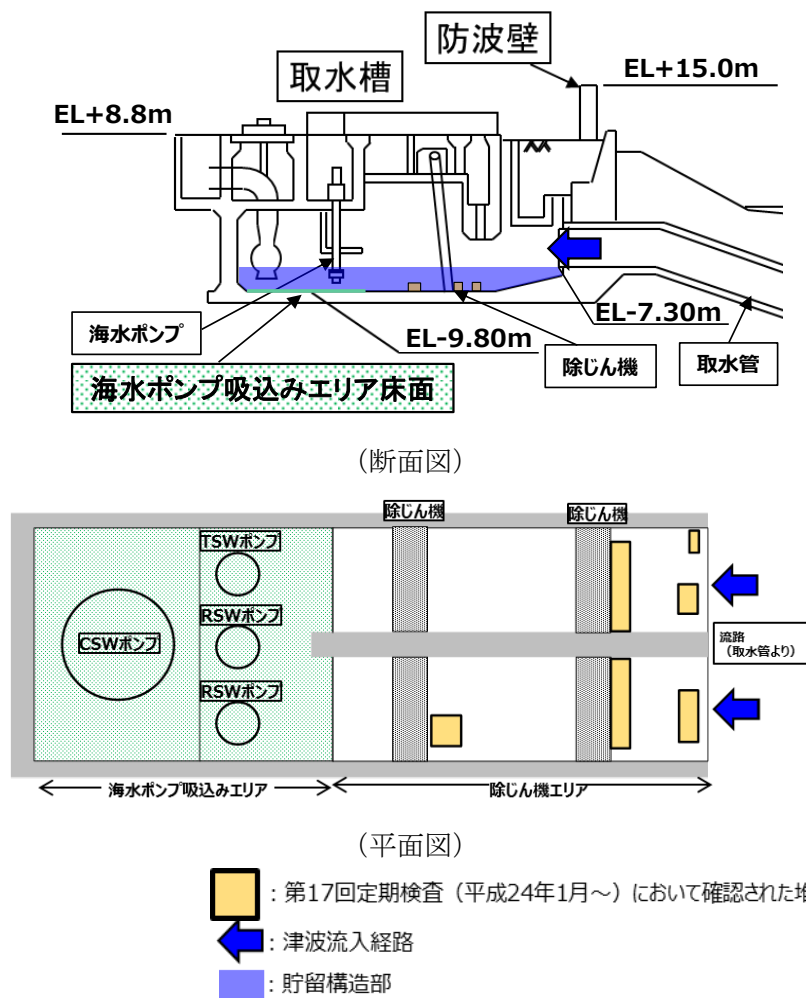
以上より、基準津波による砂移動・堆積により取水口及び取水路が閉塞する可能性はないと考えられ、これより、基準津波による砂移動・堆積に対して非常用

海水冷却系（原子炉補機海水系及び高圧炉心スプレィ補機海水系）に必要な取水口及び取水路の通水性は確保できるものと評価する。

なお、基準津波による砂の移動・堆積の数値シミュレーションによる評価は「島根原子力発電所における津波評価」（参考資料 1）及び添付資料 12 において説明する。



第 2.5-2 図 取水口断面図



第 2.5-3 図 取水槽点検 (C水路) における堆積状況確認結果

第 2.5-1 表(1) 津波による砂移動数値シミュレーションの手法及び計算条件

	藤井ほか(1998)の手法	高橋ほか(1999)の手法
地盤高の連続式	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \alpha \left( \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{E - S}{\sigma(1 - \lambda)} = 0$	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1 - \lambda} \left( \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{E - S}{\sigma} \right) = 0$
浮遊砂濃度連続式	$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} - \frac{E - S}{D} = 0$	$\frac{\partial(C_S D)}{\partial t} + \frac{\partial(MC_S)}{\partial x} - \frac{E - S}{\sigma} = 0$
流砂量式	小林ほか(1996)の実験式 $Q = 80\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$	高橋ほか(1999)の実験式 $Q = 21\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$
巻き上げ量の算定式	$E = \frac{(1 - \alpha)Qw^2\sigma(1 - \lambda)}{Uk_z \left[ 1 - \exp\left\{ \frac{-wD}{k_z} \right\} \right]}$	$E = 0.012\tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$
沈降量の算定式	$S = wC_b$	$S = wC_S \cdot \sigma$
摩擦速度の計算式	log-wake則を鉛直方向に積分した式より算出	マンニング則より算出 $u_* = \sqrt{gn^2 U^2 / D^{1/3}}$

Z : 水深変化量(m)                      t : 時間(s)                      x : 平面座標  
 Q : 単位幅, 単位時間当たりの掃流砂量 (m<sup>3</sup>/s/m)                      τ\* : シールズ数  
 σ : 砂の密度(=2.76g/cm<sup>3</sup>, 自社調査結果より)                      s : =σ/ρ-1  
 d : 砂の粒径(=0.3mm, 自社調査結果より)                      g : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)  
 U : 流速(m/s)                      D : 全水深(m)                      ρ : 海水の密度(=1.03g/cm<sup>3</sup>, 国立天文台編(2017)より)  
 λ : 空隙率(=0.4, 藤井ほか(1998)より)                      M : 単位幅あたりの流量(m<sup>2</sup>/s)  
 n : Manningの粗度係数(=0.03m<sup>-1/3</sup>s, 土木学会(2002)より)  
 α : 局所的な外力のみに移動を支配される成分が全流砂量に占める比率(=0.1, 藤井ほか(1998)より)  
 w : 土粒子の沈降速度(Rubey式より算出)(m/s)                      z<sub>0</sub> : 粗度高さ(=ks/30)(m)  
 k<sub>z</sub> : 鉛直拡散係数(=0.2ku\* h, 藤井ほか(1998)より)(m<sup>2</sup>/s)                      ks : 相当粗度(=(7.66ng<sup>1/2</sup>)<sup>6</sup>)(m)  
 κ : カルマン定数(=0.4, 藤井ほか(1998)より)                      h : 水深(m)  
 C, C<sub>b</sub> : 浮遊砂濃度, 底面浮遊砂濃度(藤井ほか(1998)より浮遊砂濃度から算出)(kg/m<sup>3</sup>)  
 C<sub>s</sub> : 浮遊砂体積濃度  
 log-wake則: 対数則  $u_* / U = \kappa / \{\ln(h/z_0) - 1\}$  にwake関数(藤井ほか(1998)より)を付加した式

第 2.5-1 表(2) 取水口及び取水槽底面の砂の堆積高さ

基準津波	取水口		原子炉補機海水ポンプ 及び 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	
	砂の堆積 高さの最 大(m)	海底面から取 水口呑口下端 までの高さ(m)	砂の堆積高さの 最大(m)	取水槽底面から ポンプ下端ま での高さ(m)
基準津波 1	0.02	5.5	0.02	0.5

## (2) 混入した浮遊砂に対する機能保持

基準津波による浮遊砂については、スクリーン等で除去することが困難なため、海水ポンプそのものが運転時の砂の混入に対して軸固着等を行うことがなく機能保持できる設計であることを、以下のとおり確認した。

発電所周辺海域での底質土砂を分析した結果、発電所沿岸域のほとんどが岩、礫及び砂礫で構成されており、沖合域の海底地質は砂が分布している。砂の粒径については、各調査地点の50%透過質量百分率粒径のうち、最も細かい粒径となる0.3mmを評価に用いる砂の粒径とする（添付資料13）。

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプで取水した浮遊砂を含む多くの海水は、揚水管内側流路を通過するが、一部の海水はポンプ軸受の潤滑水として軸受摺動面に流入する構造である（第2.5-4図）。

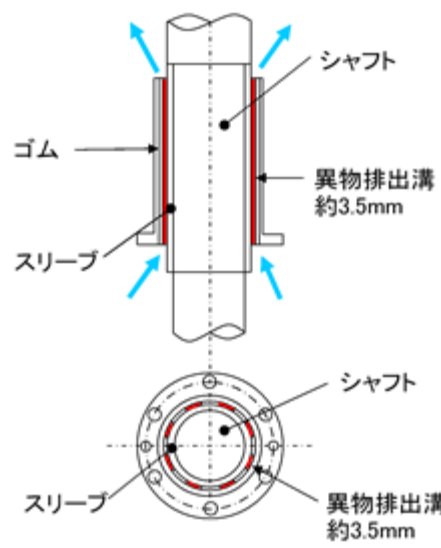
主軸外径と軸受内径の差である摺動面隙間（原子炉補機海水ポンプ：約1.58mm（許容最大）、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ：約1.41mm（許容最大））に対し、これより粒径の小さい砂分が混入した場合は海水とともに摺動面を通過するか、または主軸の回転によって異物逃がし溝（原子炉補機海水ポンプ：約3.5mm、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ：約3.5mm）に導かれ連続排出される（第2.5-4図）。

一方、摺動面隙間より粒径が大きい2.0mm以上の礫分は浮遊し難いものであることに加え、砂移動に伴う取水口付近の砂の最大堆積量は、約0.02mであったことから、摺動面の隙間から混入することは考えにくい。万が一、摺動面に混入したとしても回転軸の微小なずれから発生する主軸振れ回り（歳差運動）により、粉砕もしくは排砂機能により摺動面を伝って異物逃がし溝に導かれ排出されることから、軸受摺動面や異物逃がし溝が閉塞することによるポンプ軸固着への影響はない。

また、基準津波襲来時を想定した取水路における砂移動解析を実施した結果、取水槽地点における浮遊砂濃度は $0.82 \times 10^{-2}$ wt%（基準津波1（防波堤有り））、 $0.69 \times 10^{-3}$ wt%（基準津波1（防波堤無し））であった。

基準津波襲来時の浮遊砂による軸受摩耗への影響については、取水槽位置の砂濃度を包絡する砂濃度において海水ポンプを用いた試験を実施し、基準津波襲来時の浮遊砂による軸受摩耗への影響がないことを確認した（添付資料14）。

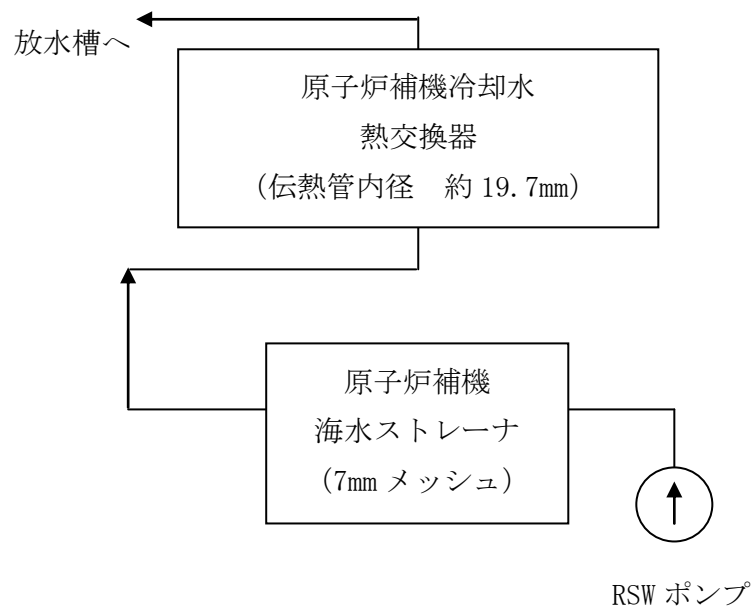
以上により、基準津波の襲来に伴う浮遊砂による海水ポンプ軸受への影響はなく、海水ポンプの取水機能は保持できるものと評価する。



第 2.5-4 図 海水ポンプ軸受構造図



また、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレー補機海水ポンプの揚水管内側流路を通過し、原子炉補機海水系及び高圧炉心スプレー補機海水系の系統に混入した微小な浮遊砂は、海水系ストレーナを通過し熱交換器を経て放水槽へ排出されるが、ストレーナ通過後の最小流路幅（各熱交換器の伝熱管内径）は原子炉補機海水系で約 19.7mm，高圧炉心スプレー補機海水系で約 16.5mm であり，砂の粒径約 0.3mm に対し十分に大きいことから閉塞の可能性はないと考えられ，原子炉補機海水系及び高圧炉心スプレー補機海水系の取水機能は維持可能である（第 2.5-5 図）。



第 2.5-5 図 系統概略図（原子炉補機海水系の例）

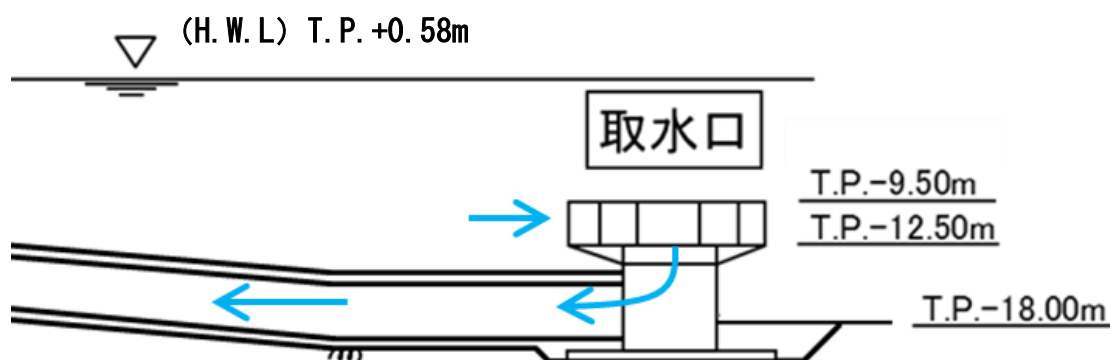
(3) 基準津波に伴う取水口付近の漂流物に対する取水性確保

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ー補機海水系）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。



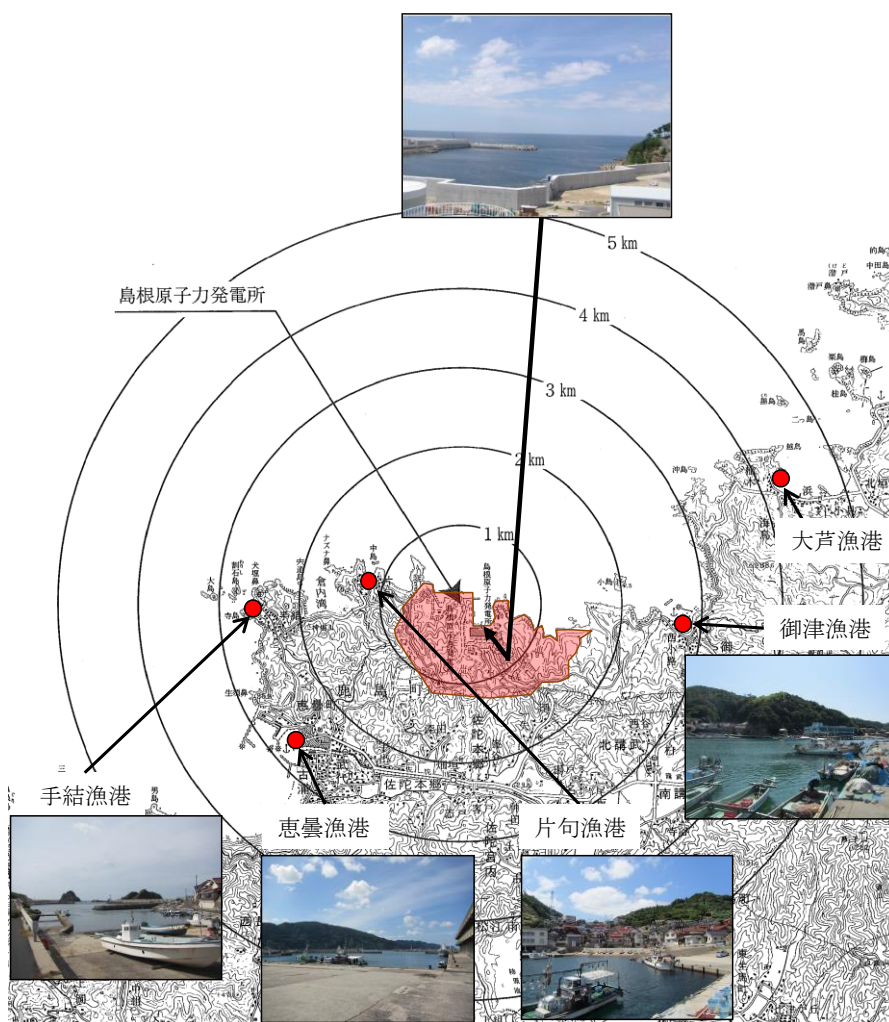
第2.5-6図 取水口呑口概要図

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。

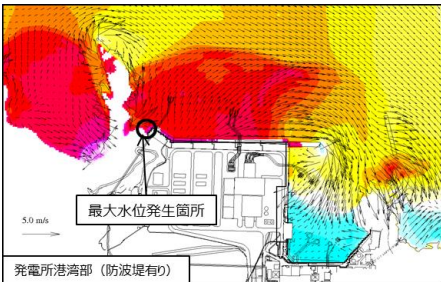
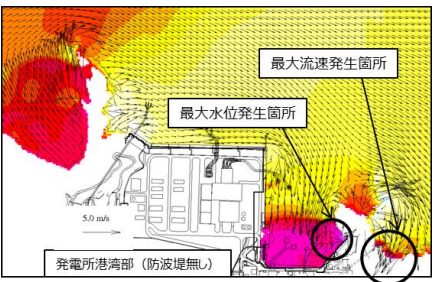
[海域活断層から想定される地震による津波]

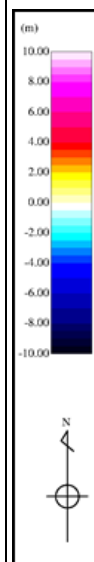
- ・海域活断層から想定される地震による津波の第 1 波は地震発生後約 3 分程度で押し波として襲来し 2 分間水位上昇(1m 程度)する。その後、引き波傾向となり、地震発生後、6 分 30 秒において基準津波 4 の最低水位（2 号炉取水口：EL-4.2m）となる。以降は、水位変動 1m 程度で上昇下降を繰り返す。

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

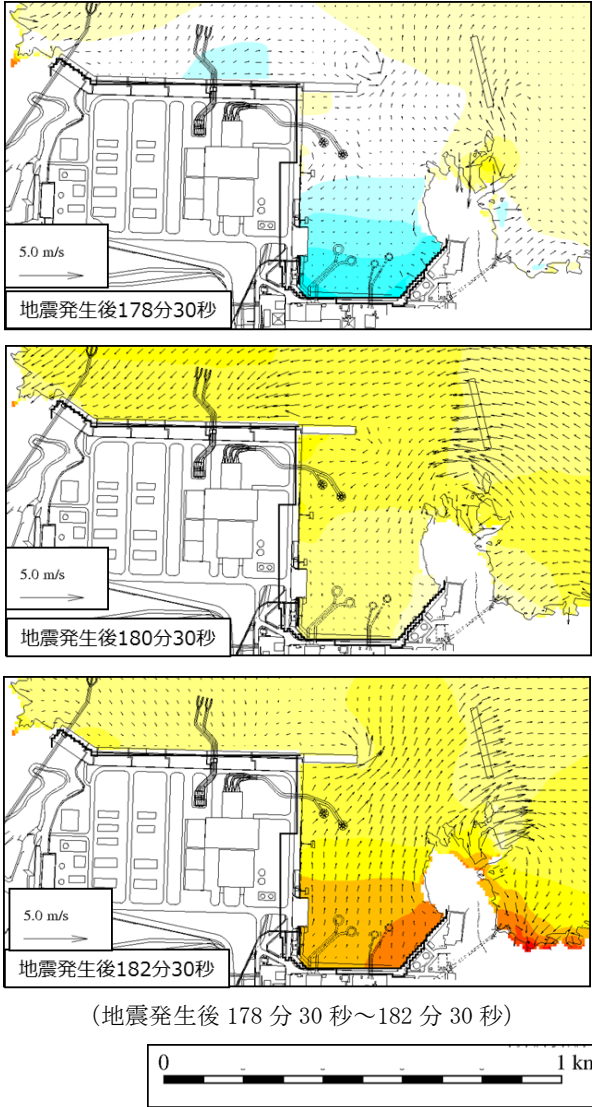
時刻	水位変動・流向ベクトルの考察		
	発電所周辺海域	発電所港湾部（輪谷湾）	
		防波堤有り	防波堤無し
0分～ 108分	－（津波が到達していない。）	－（津波が到達していない。）	－（津波が到達していない。）
109分	津波の第1波が敷地の東側から襲来する。	－（津波が到達していない。）	－（津波が到達していない。）
114分	東側から襲来する津波は徐々に発電所方向に進行する。 西側からも津波が襲来する。	－（津波が到達していない。）	－（津波が到達していない。）
116分30秒	－	第1波が輪谷湾内に襲来する。水位が1m程度上昇する。	防波堤有りと同様な傾向を示す。
116分30秒～ 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～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

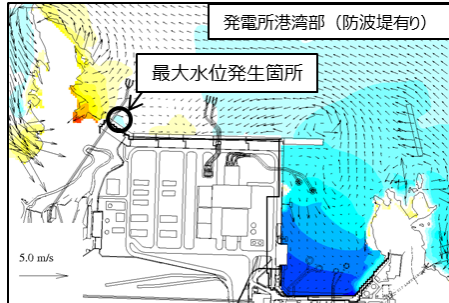
時刻	水位変動・流向ベクトルの考察	
	発電所周辺海域	発電所港湾部
		防波堤無し
170分～ 190分	発電所沖合において，1m/s以上の流速は発生していない。	水位変動は最大でも3m程度（176分30秒，181分，）で，押し波，引き波を繰り返す。
190分～ 192分	—	強い引き波により水位が-6m程度下降する。 引き波継続時間は2分間程度であり，その後押し波に転じる。
192分～ 193分	—	強い押し波により基準津波5における最大水位EL+11.5mが輪谷湾の東側の隅角部で確認される（約193分）。 押し波時間は1分間程度であり，その後引き波に転じる。
198分～ 199分 30秒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

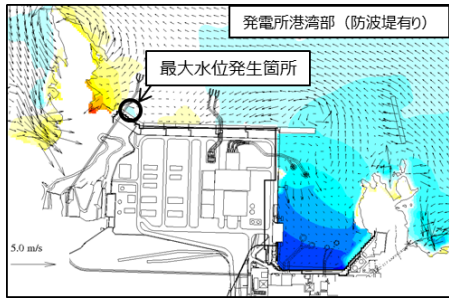
時刻	水位変動・流向ベクトルの考察	
	発電所周辺海域	発電所港湾部
		防波堤無し
170分～ 188分30 秒	発電所沖合において、1m/s以上の流速は発生していない。	水位変動は最大でも3m程度（182分、185分、188分30秒）
189分～ 190分 30秒	—	強い引き波により2号炉取水口で最低水位EL-6.4mが確認される。（190分30秒）。引き波時間は1分30秒程度であり、その後押し波に転じる。
190分 30秒 ～ 191分 30秒		強い押し波により水位が6m程度上昇する。
197分 ～ 198分		強い押し波により水位が6m程度上昇する。

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

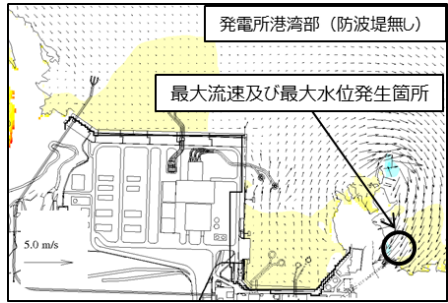
時刻	水位変動・流向ベクトルの考察		
	発電所周辺海域	発電所港湾部	
		防波堤有り	防波堤無し
0分～2分	水位変動 1m 程度の津波が確認できる。また、その後水位 -2m 程度の津波が確認できる。 1m/s 以上の流速は発生していない。	— (津波が到達していない。)	— (津波が到達していない。)
3分		港湾内に押し波が来襲。水位が 1m 程度上昇する。	防波堤有りと同様な傾向。
6分以降	—	引き波により最低水位 EL-4.0 m が確認される (約 6 分 30 秒)。 最大流速 3.3m/s が 3 号炉北側の防波壁の西端付近で確認される。(約 6 分) 最高水位 EL+3.0m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



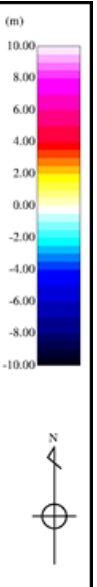
(地震発生後約 6 分)



(地震発生後約 6 分 30 秒)

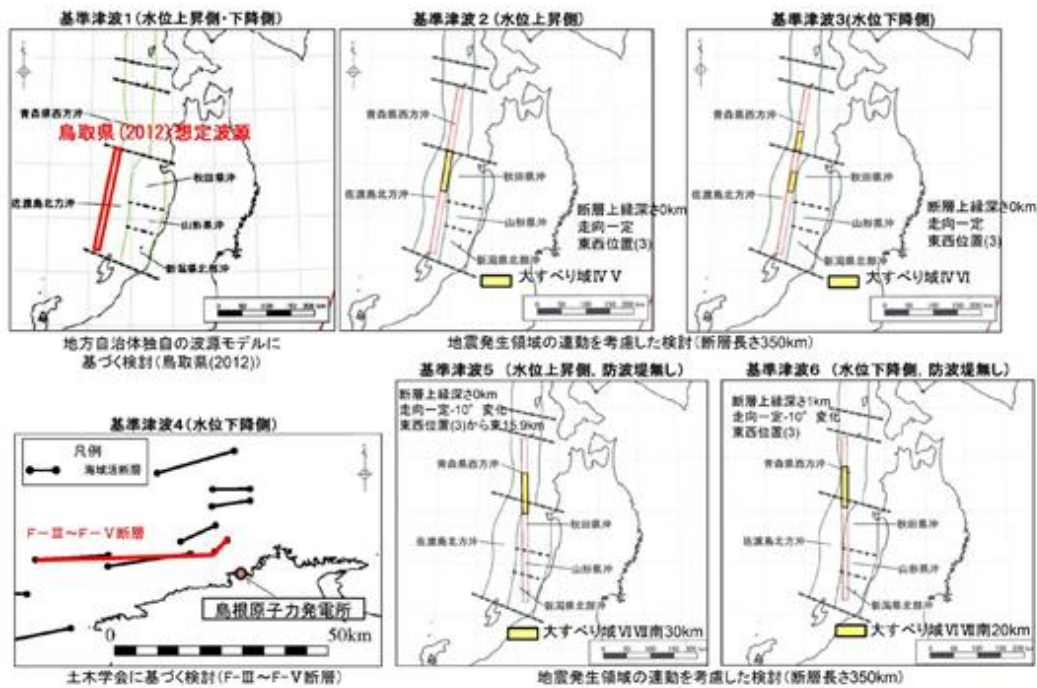


(地震発生後約 9 分)



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。

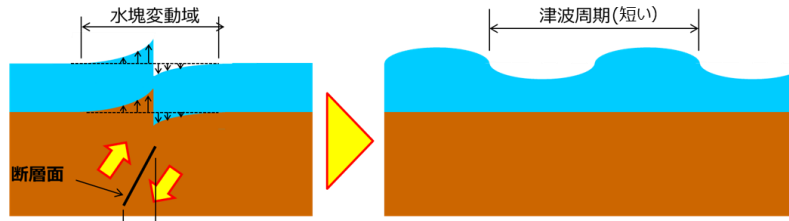
- ・日本海東縁部に想定される地震による津波の周期はプレート間地震による津波に比べ短い傾向にあり，流向は最大でも4分程度で反転している。
- ・日本海東縁部に想定される地震による津波は，大和堆，隠岐諸島の海底地形の影響を受け島根原子力発電所に到達する。
- ・海域活断層から想定される地震による津波に対して，日本海東縁部に想定される地震による津波の方が流速が速い。
- ・日本海東縁部に想定される地震による津波の中でも基準津波1の流速が比較的速い。
- ・流速は発電所沖合よりも沿岸付近の方が速くなる傾向がある。
- ・発電所沖合において，防波堤の有無による流速への有意な影響はない。



第 2.5-8 図 基準津波の波源

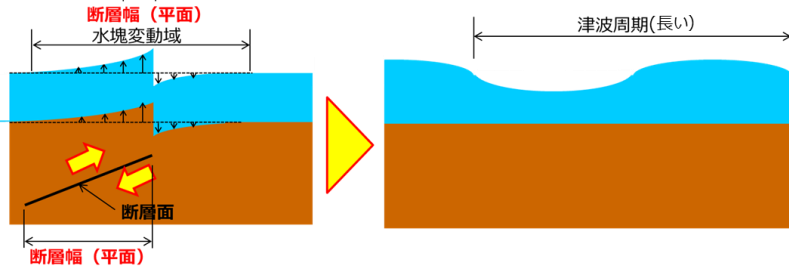
●日本海側（活断層）

- ・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。

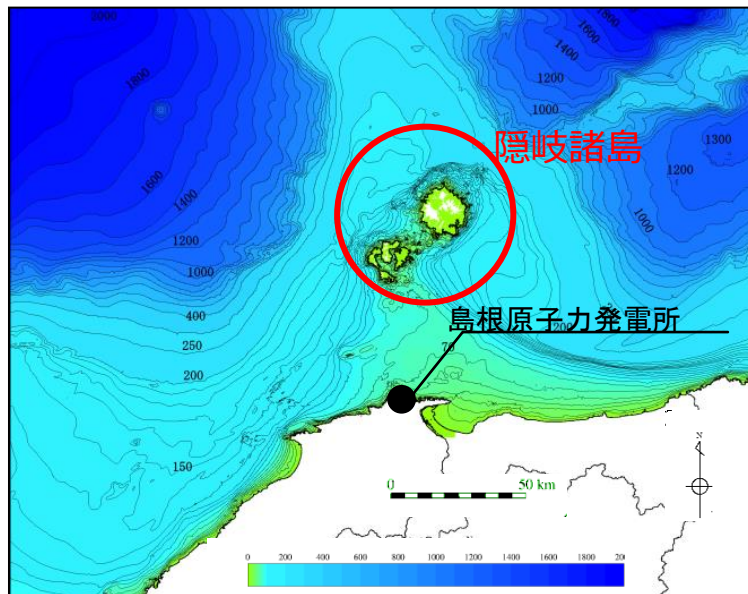
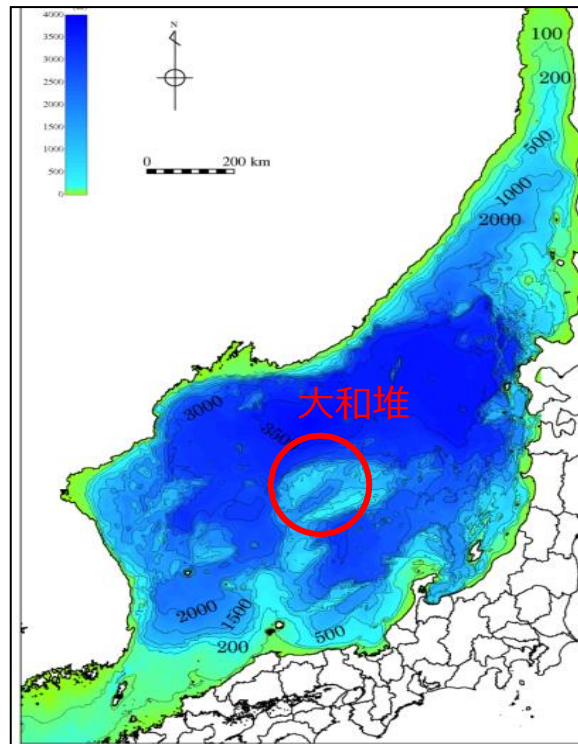


●太平洋側（プレート間地震）

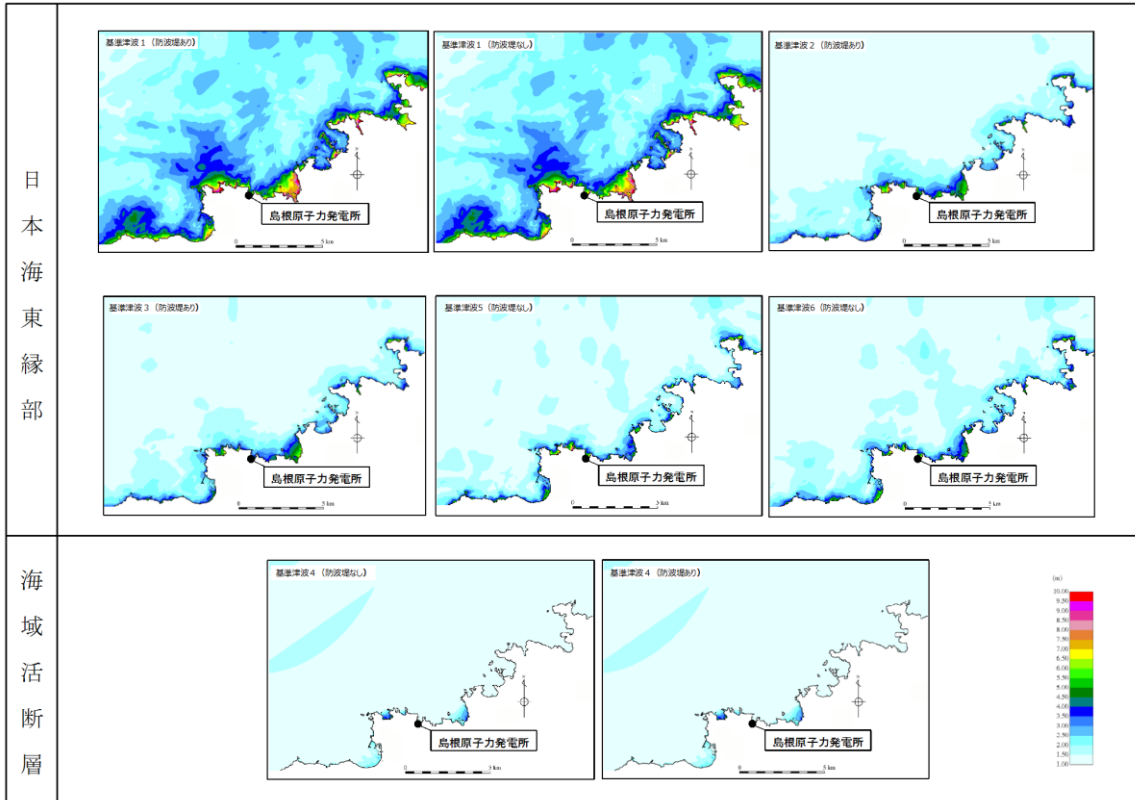
- ・傾斜角：低角
- ・断層幅：広い
- ⇒断層幅（平面）が広く、水塊変動域が広がるため、津波周期が長くなる傾向がある。



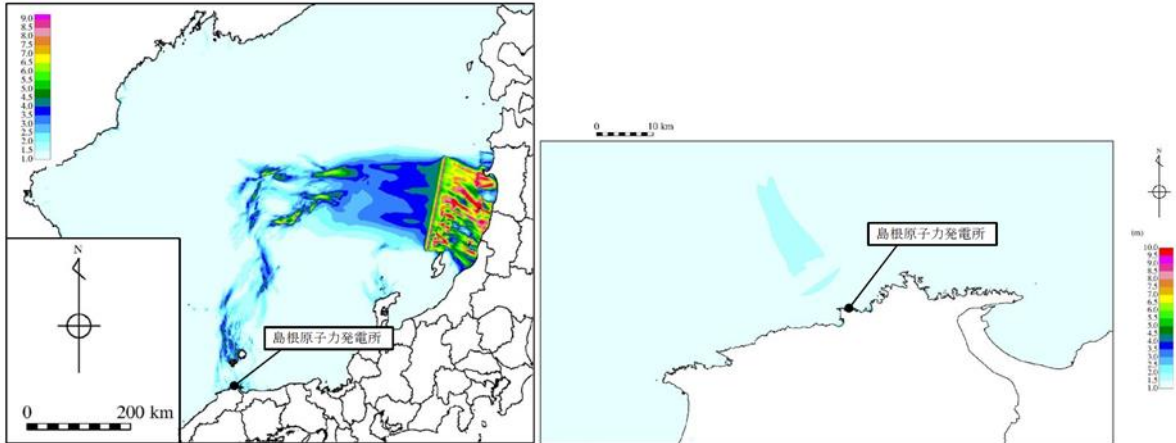
第 2.5-9 図 断層幅と周期の関係



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

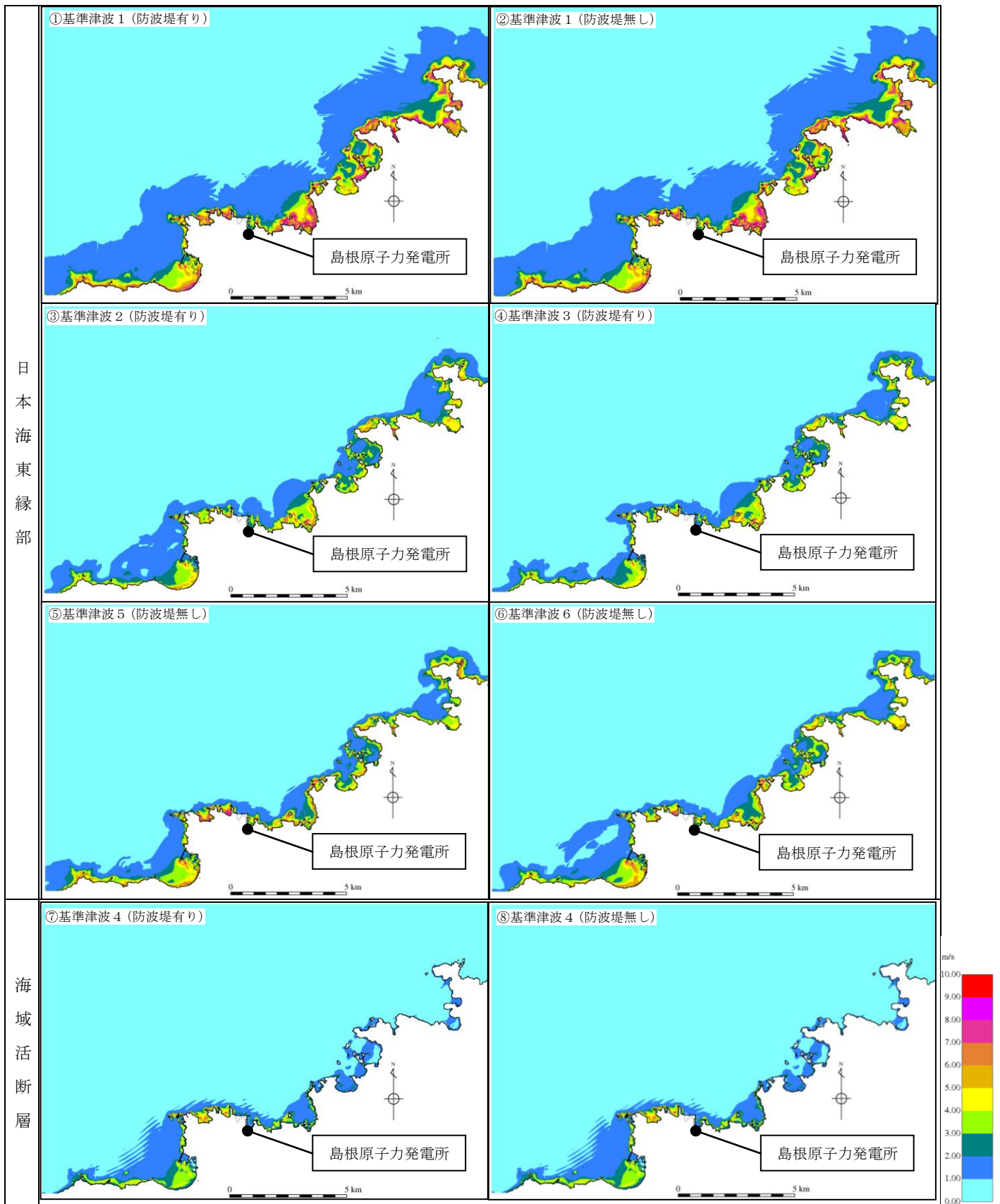


(日本海東縁部に想定される地震による津波)

(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





第 2.5-12 図 最大流速分布

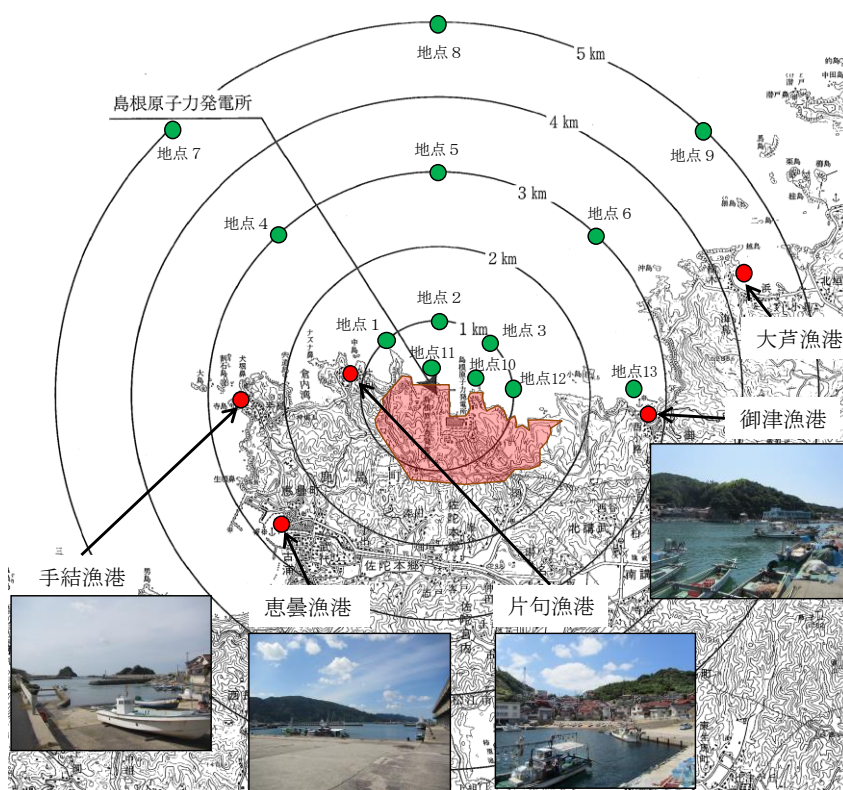
さらに、津波の平面二次元解析から求まる流向及び流速により仮想的な浮遊物が辿る経路を確認することで、より詳細に基準津波の流向及び流速の特徴が把握できるため、仮想的な浮遊物の軌跡解析※を基準津波1～6について実施した。

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。

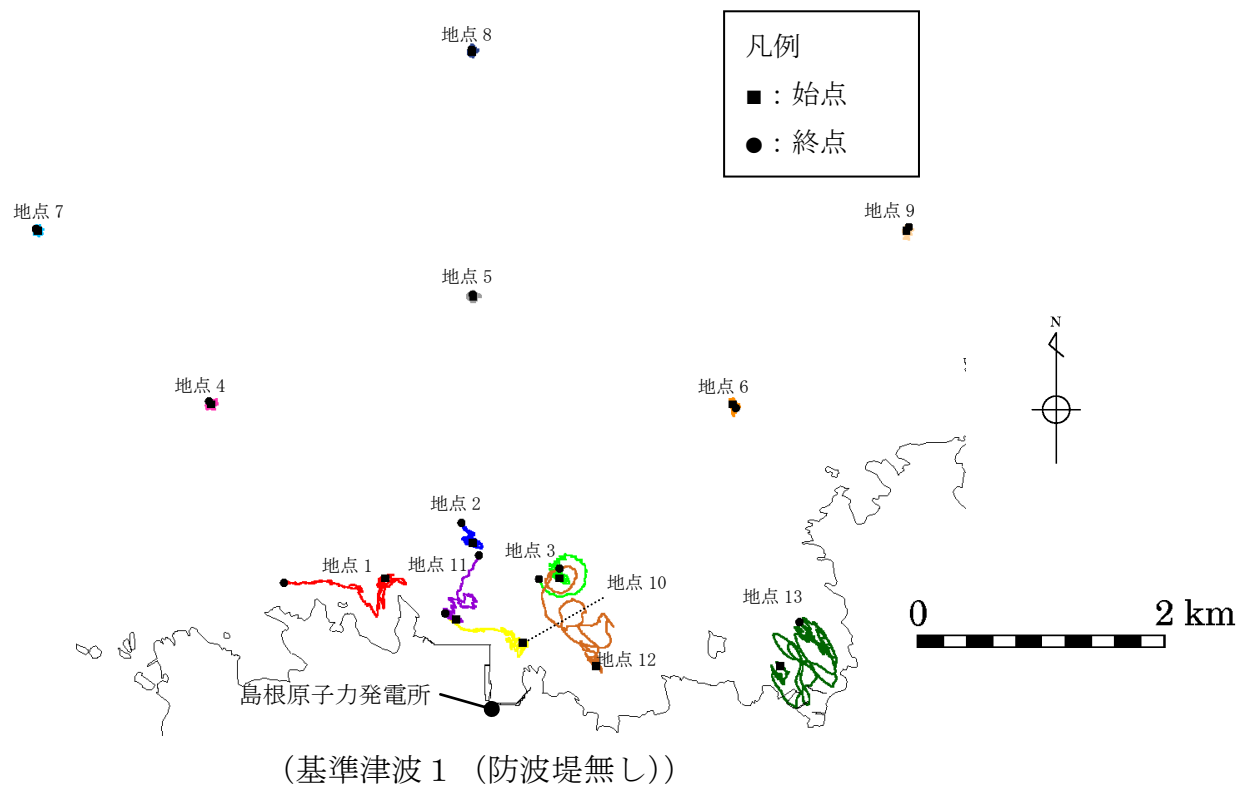
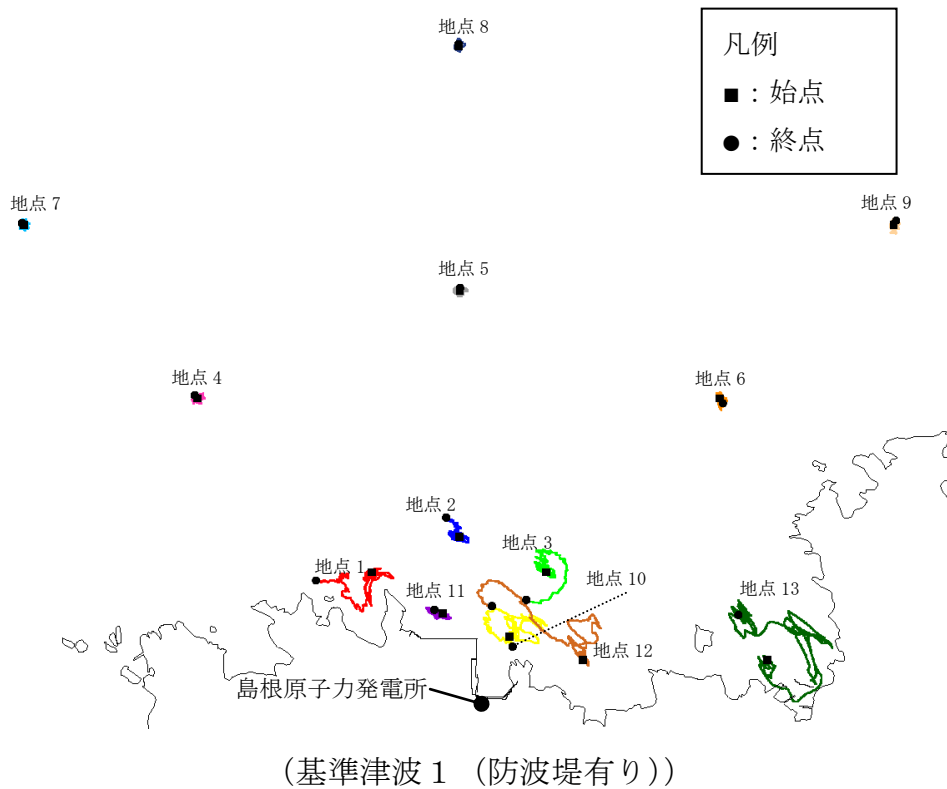
軌跡解析の結果、基準津波の特性で示した特徴と同様、3 km及び5 kmの地点（地点4～9）において仮想的な浮遊物は、初期位置からほとんど移動しないことが確認された。

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。

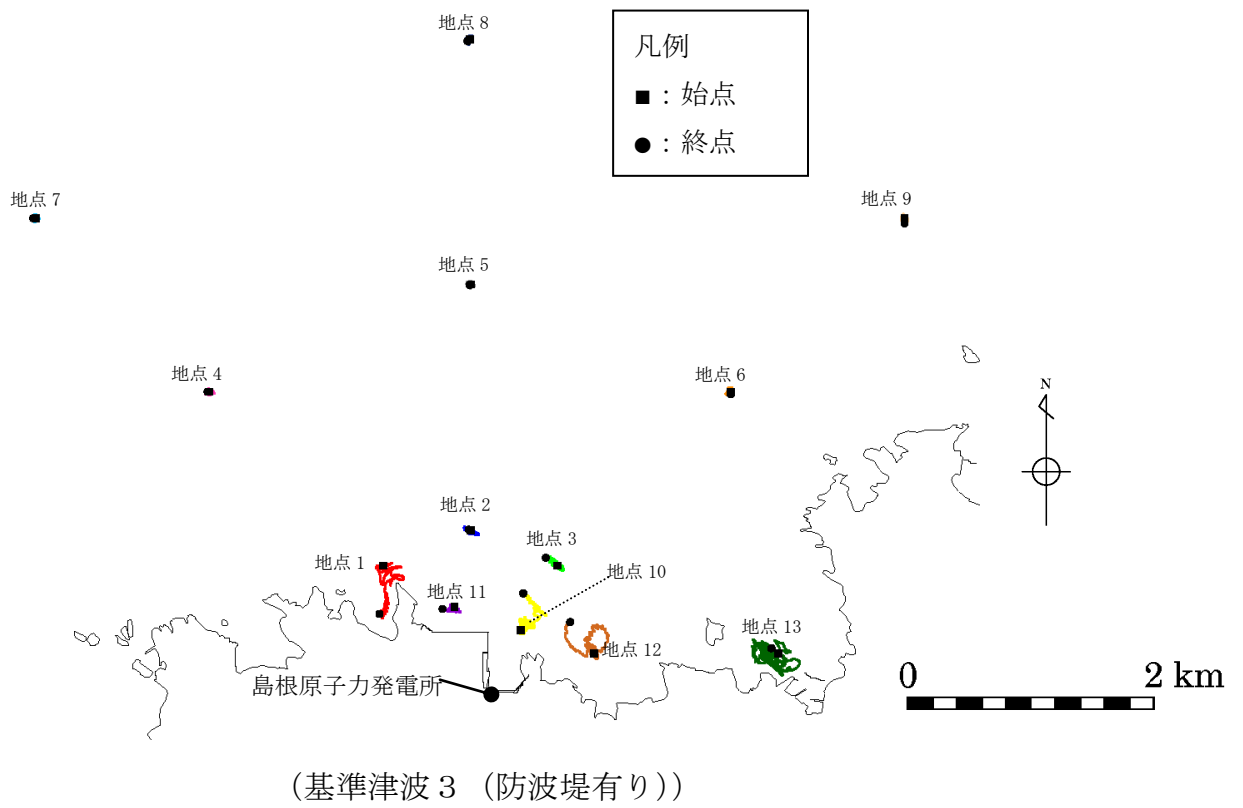
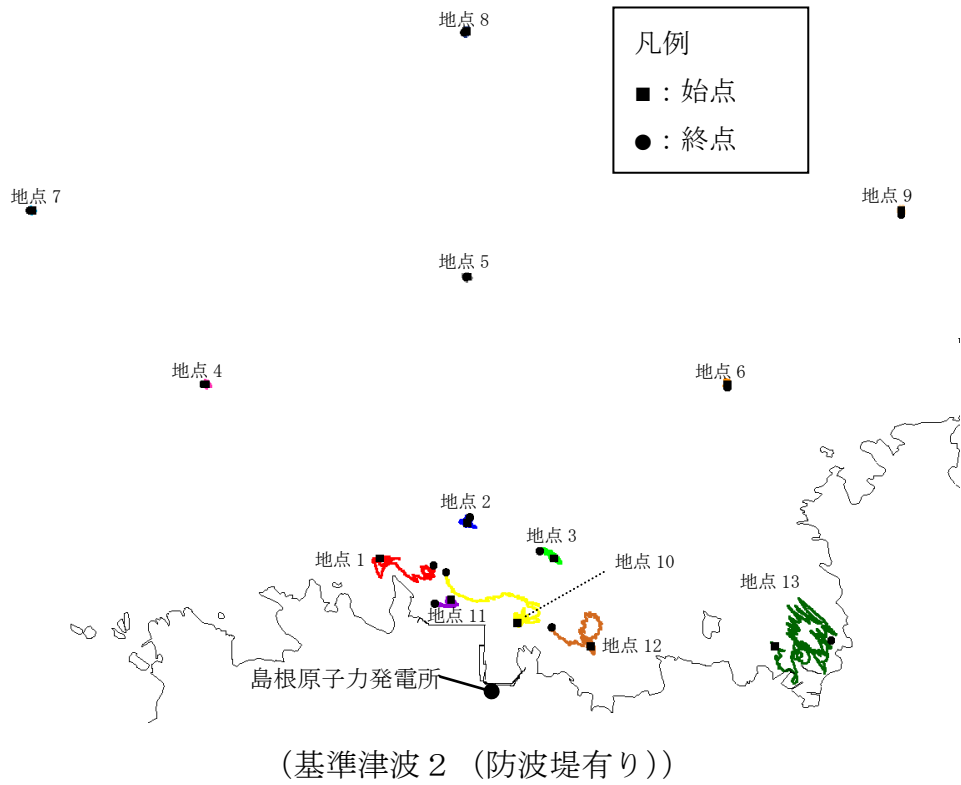


第2.5-13図 仮想的な浮遊物の移動開始位置

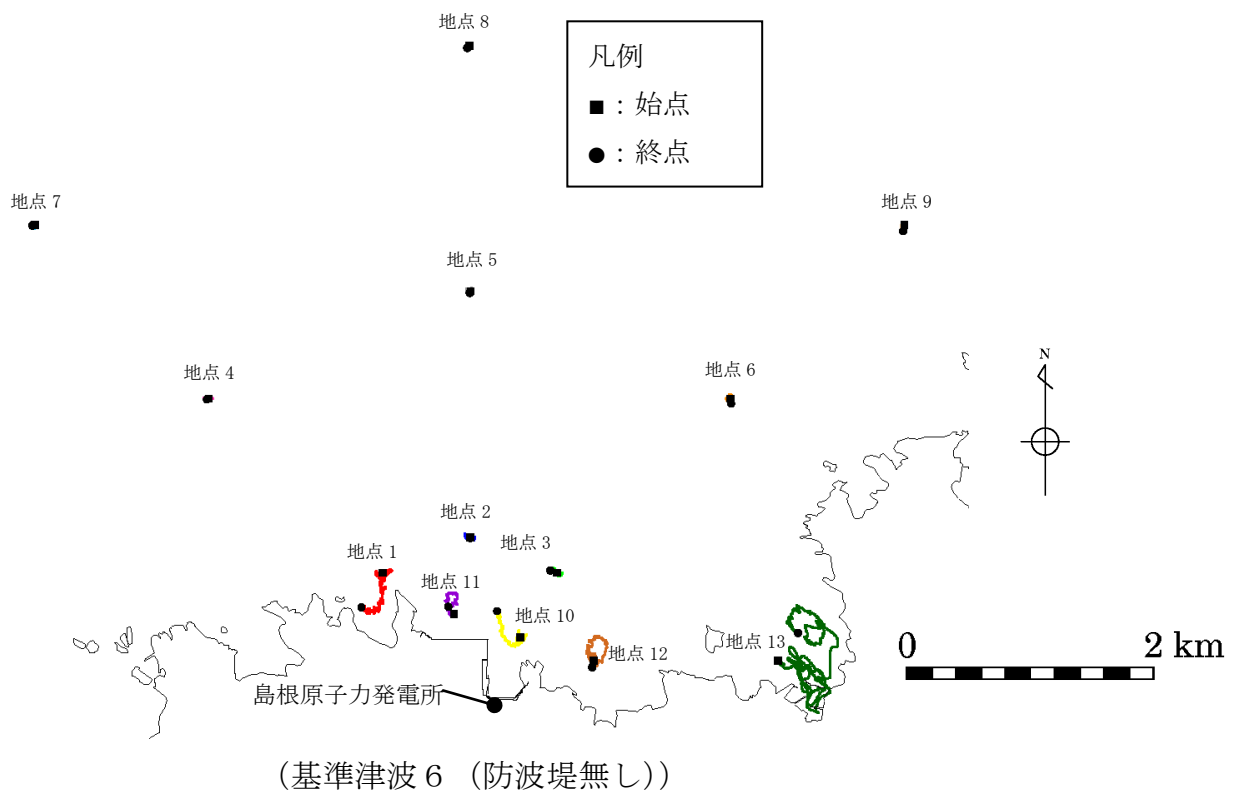
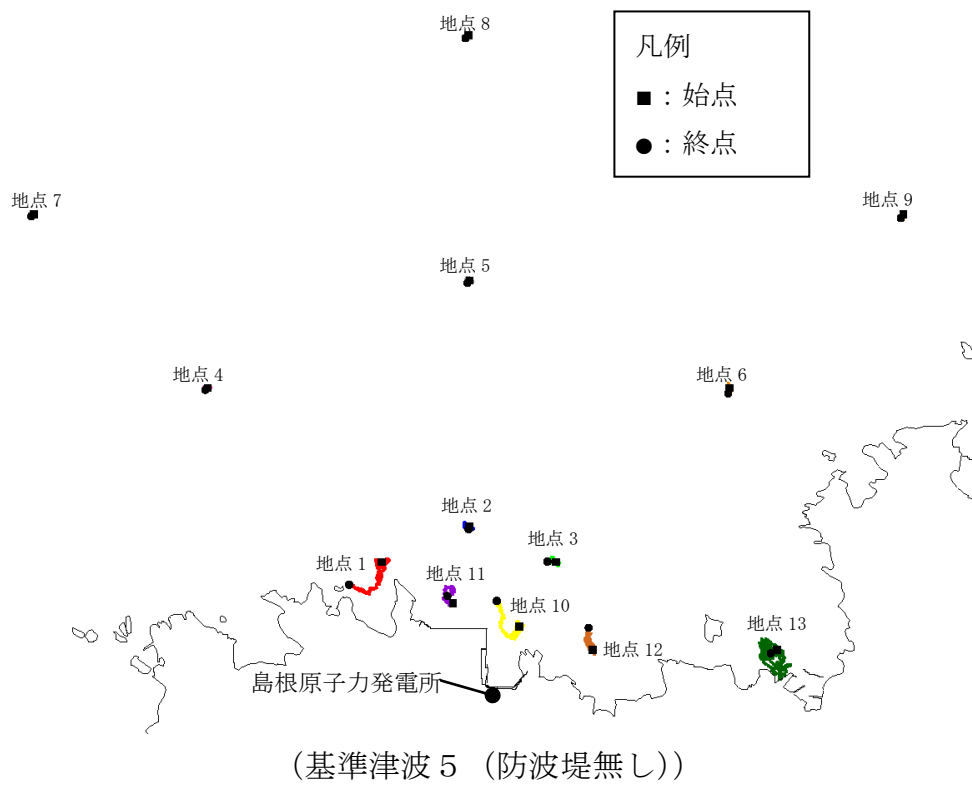
※ 津波解析から求まる流向流速をもとに、質量を持たず、抵抗を考慮しない仮想的な浮遊物が、水面を移動する軌跡を示す解析。



第 2.5-14-1 図 軌跡解析結果



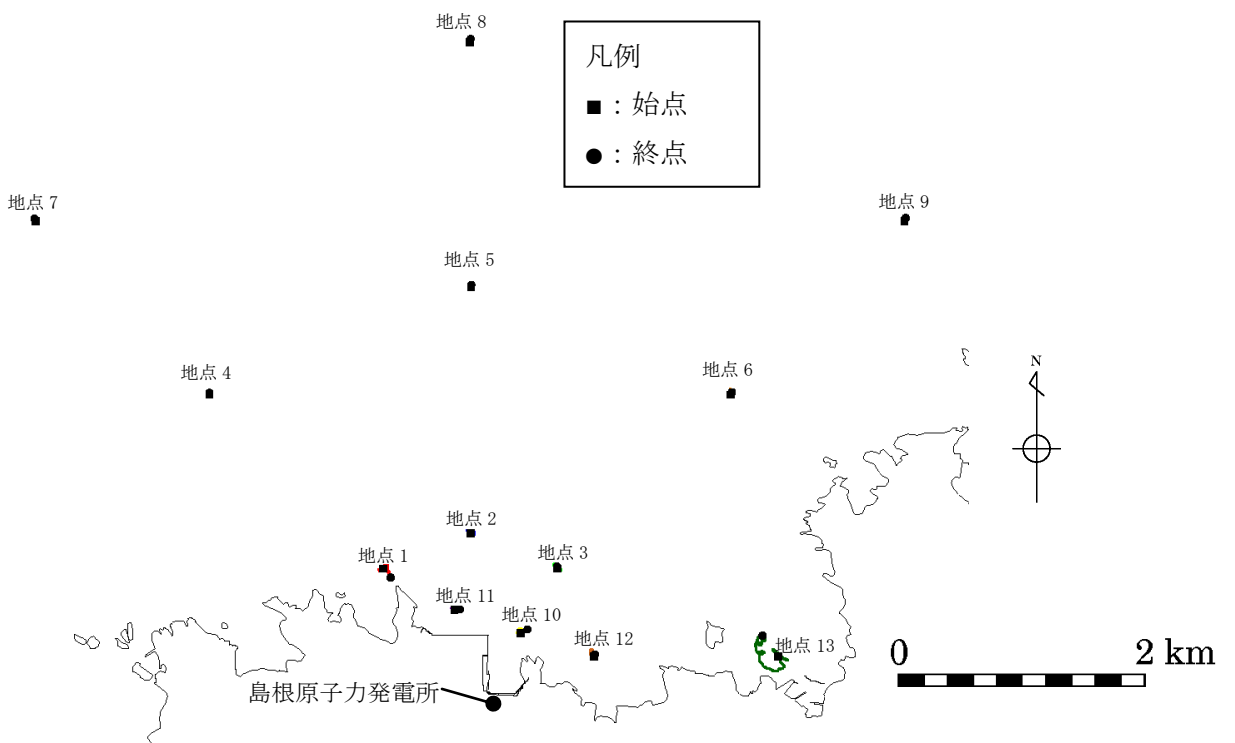
第 2.5-14-2 図 軌跡解析結果



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。

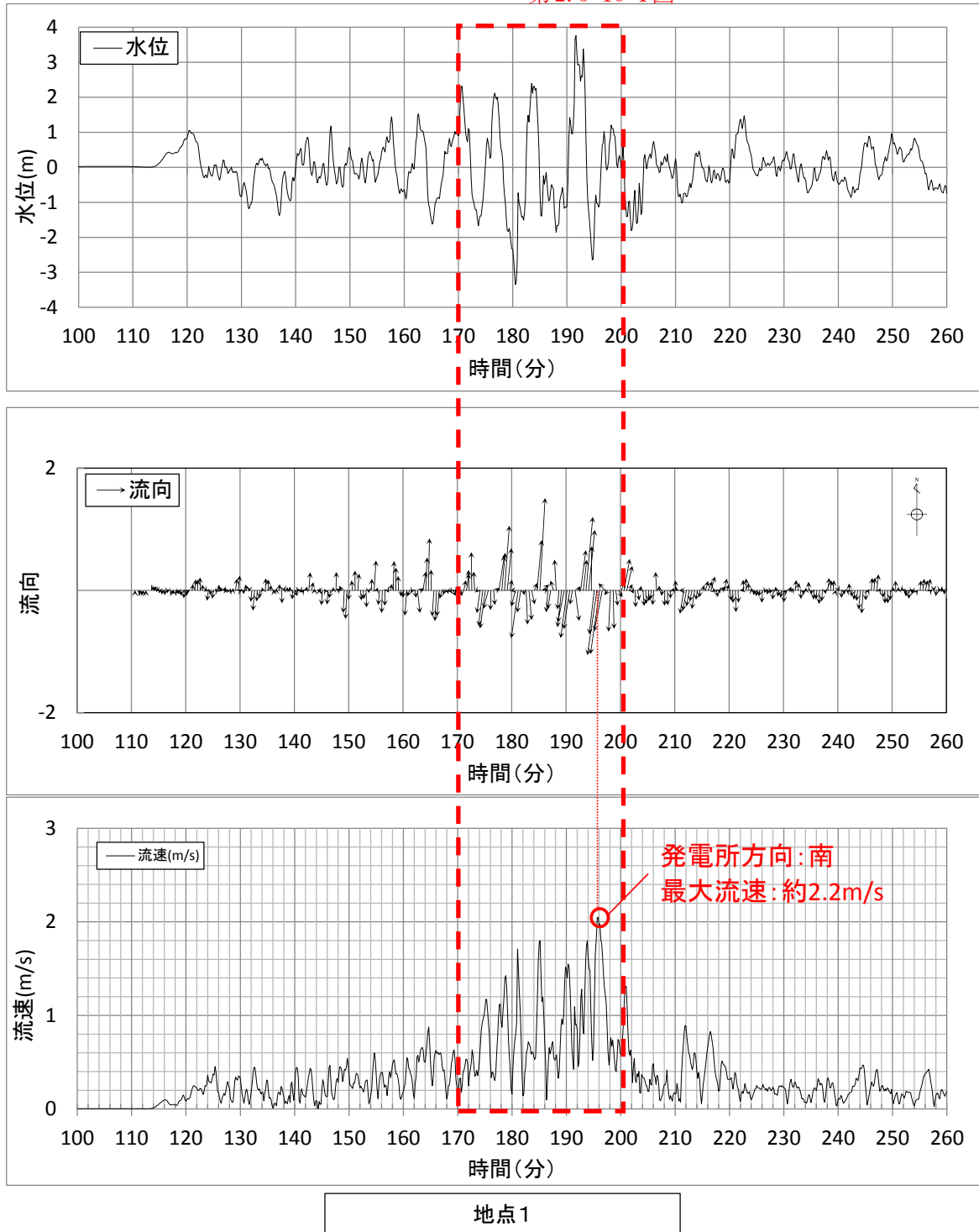
なお、評価においては、その他の基準津波に比べ、基準津波1の流速が比較的速く、また港湾外においては、防波堤有無による有意な影響が見られないこと及び3km、5km地点(地点4～9)においては、仮想的な浮遊物の軌跡解析の結果からも移動量が小さい傾向が確認されたことから、基準津波1における1km圏内の地点1～3、周辺漁港等を考慮した地点10～13を抽出し、そのうち発電所方向に向かう流速が最大となる地点1及び地点13を評価対象とした。

基準津波1における水位、流向、流速を第2.5-15図に示す。

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

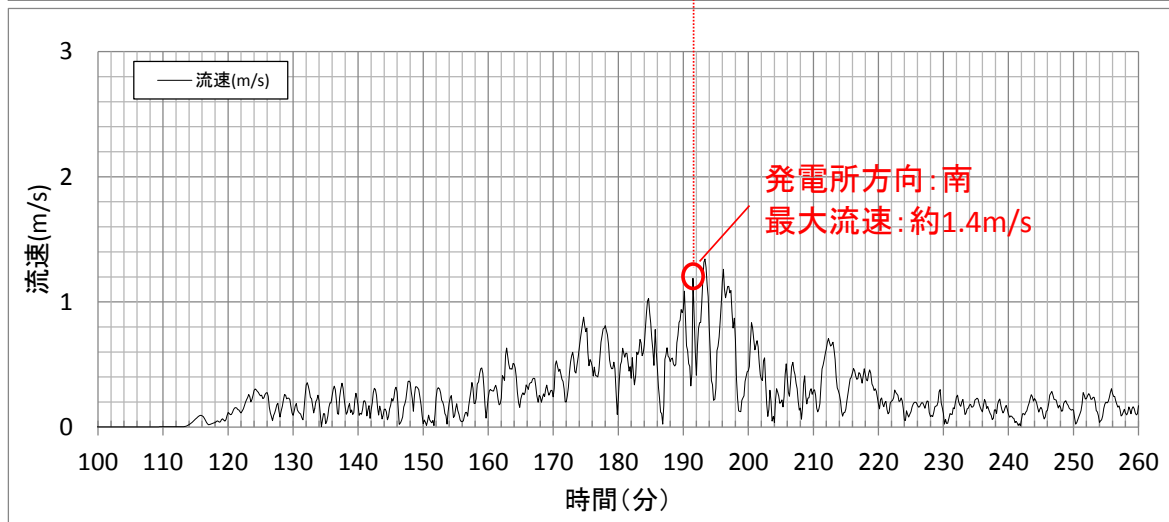
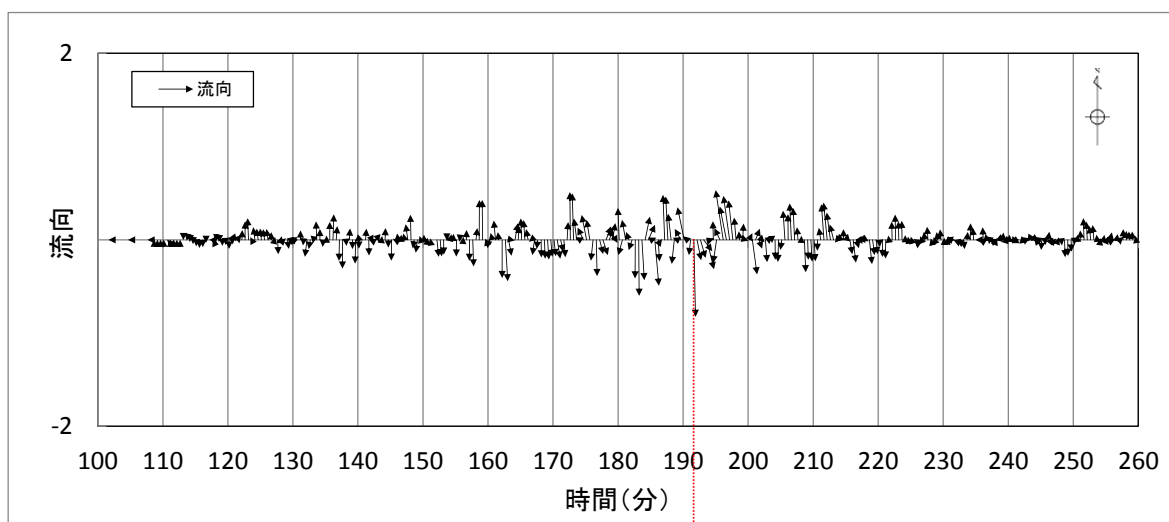
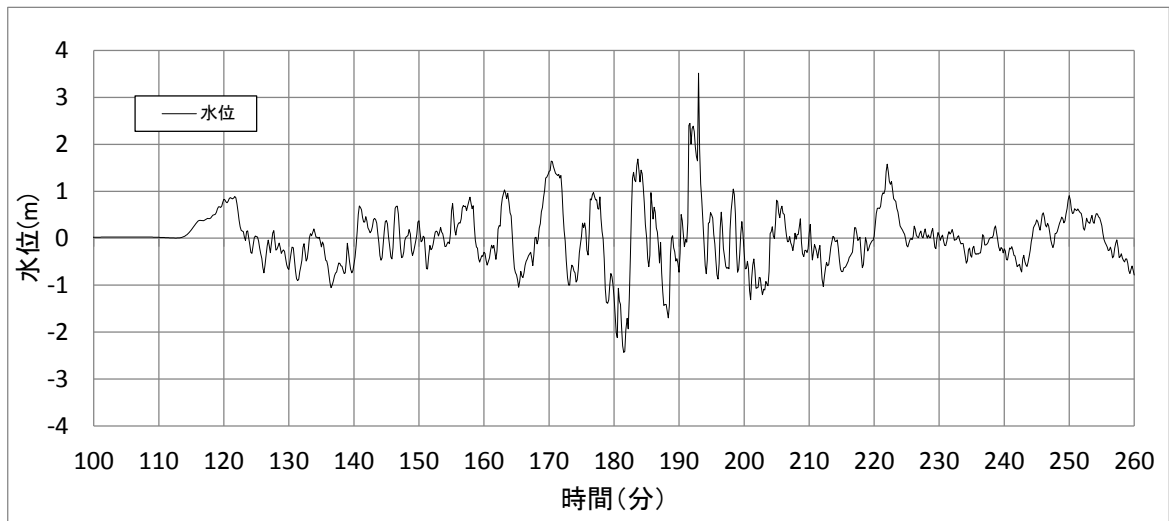
以上の条件において、漂流物の移動量を評価した(第2.5-16図)。評価の結果、抽出地点(地点1)における移動量900mが最大となった。以上により漂流物の移動量が900mとなるが、保守的に半径5kmの範囲を漂流物調査の範囲として設定する。

第2.5-16-1図



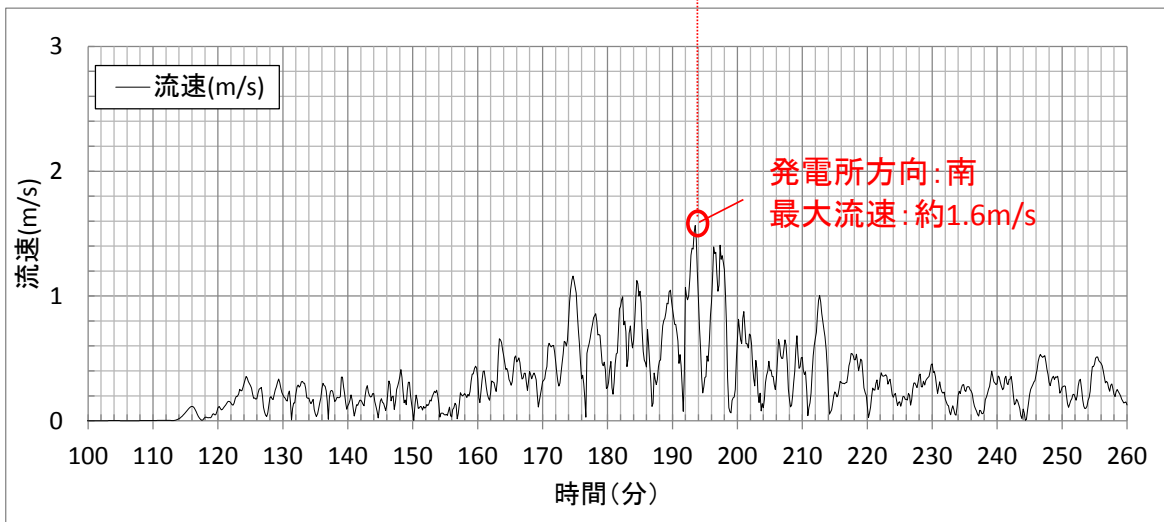
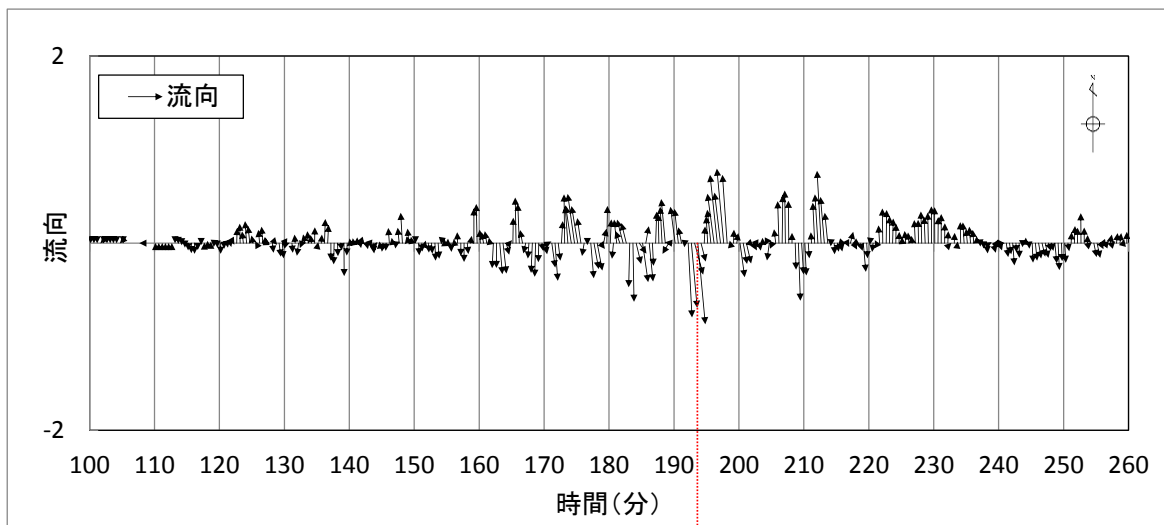
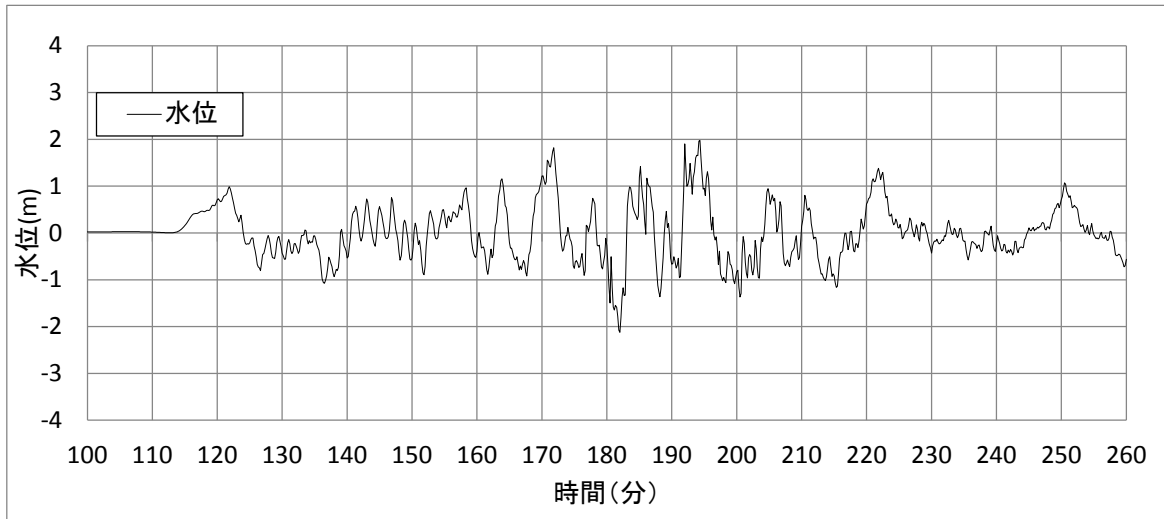
第2.5-15-1図 抽出地点1における水位，流向，流速（基準津波1）





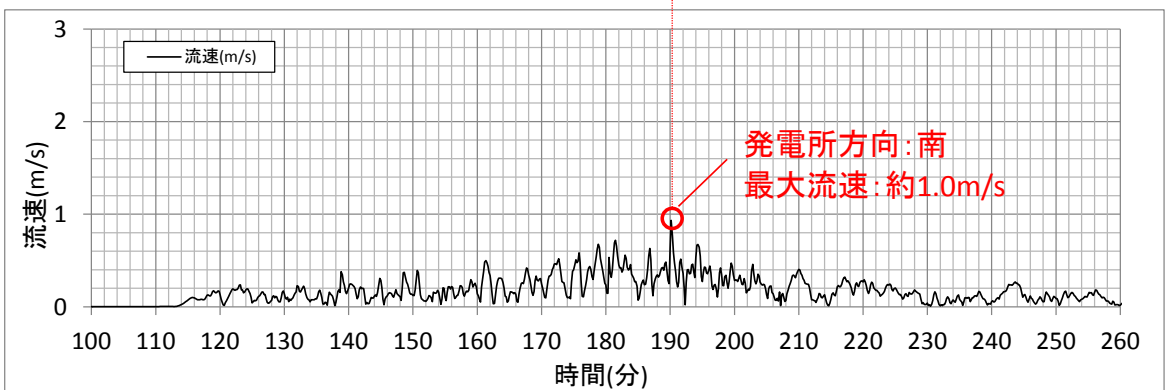
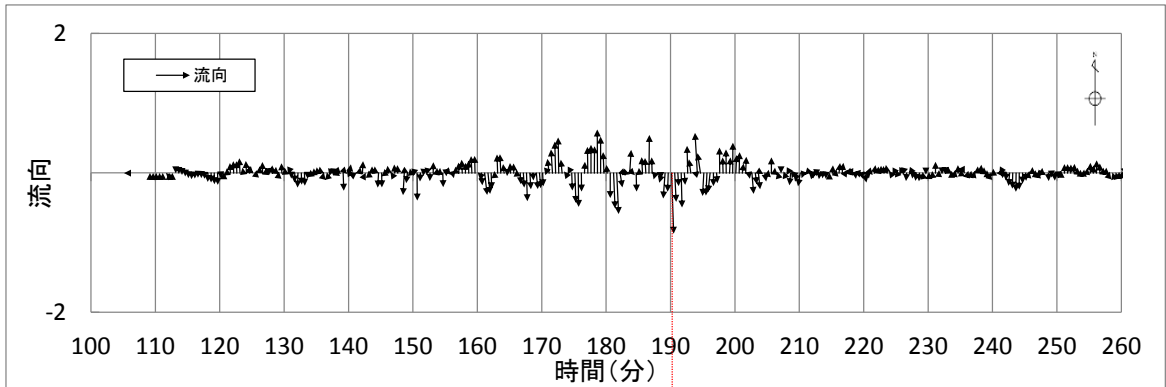
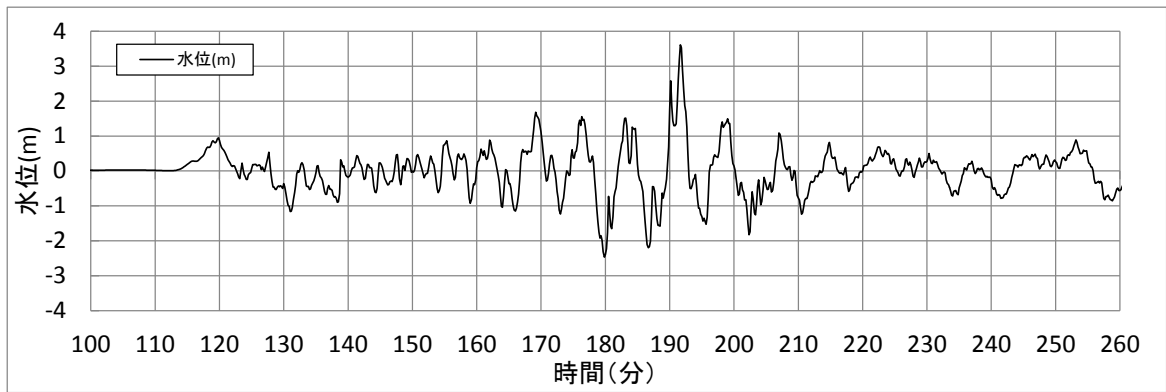
地点2

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）



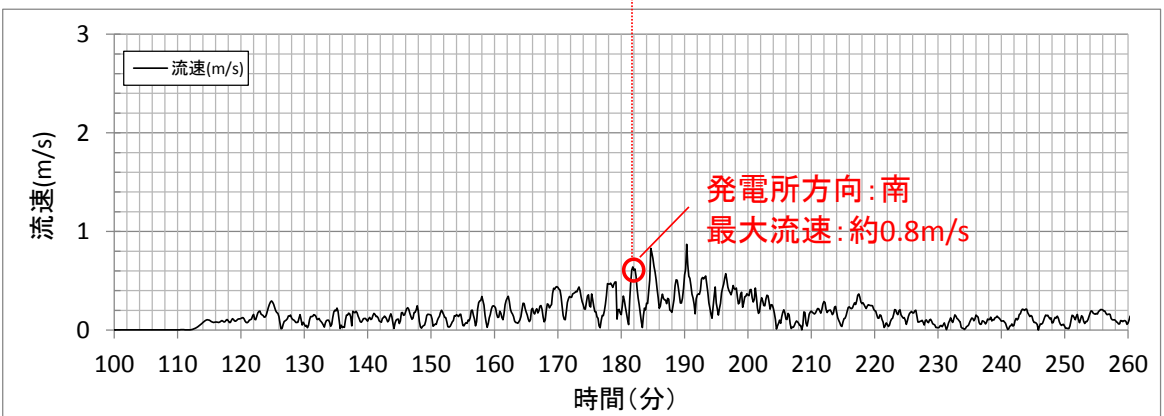
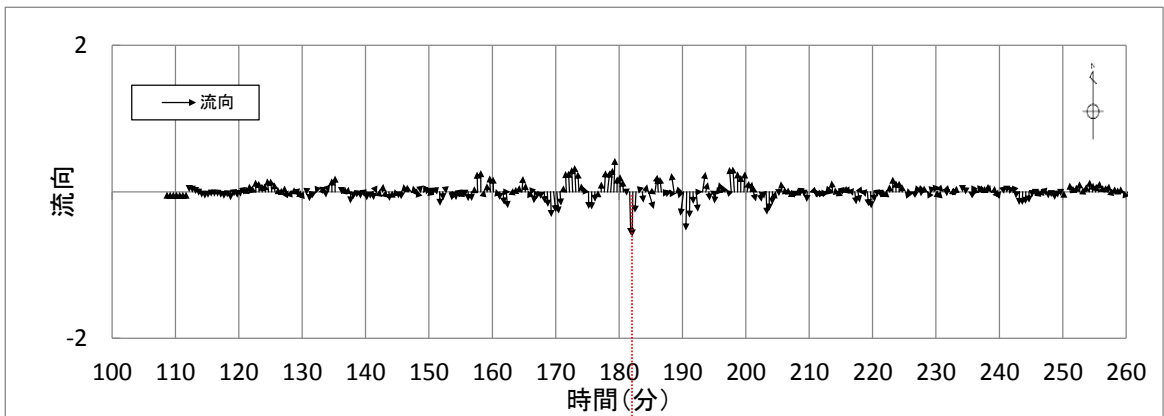
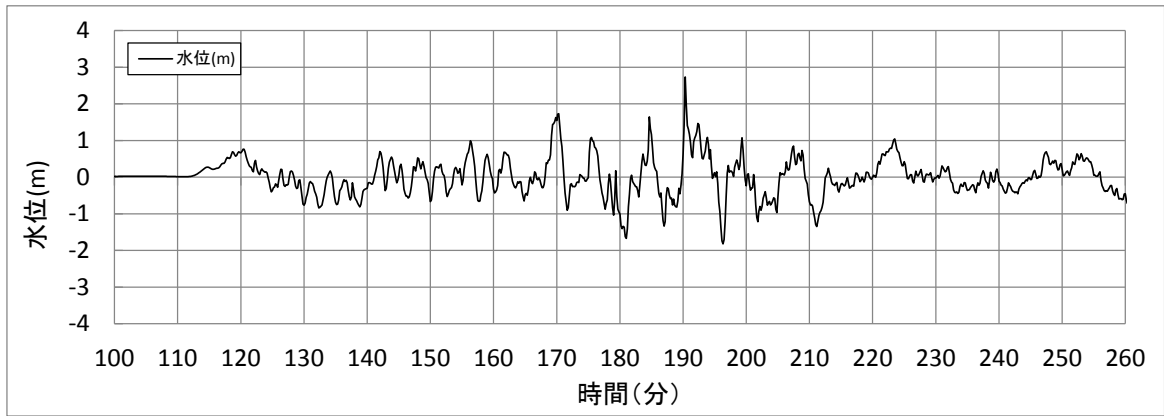
地点3

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）



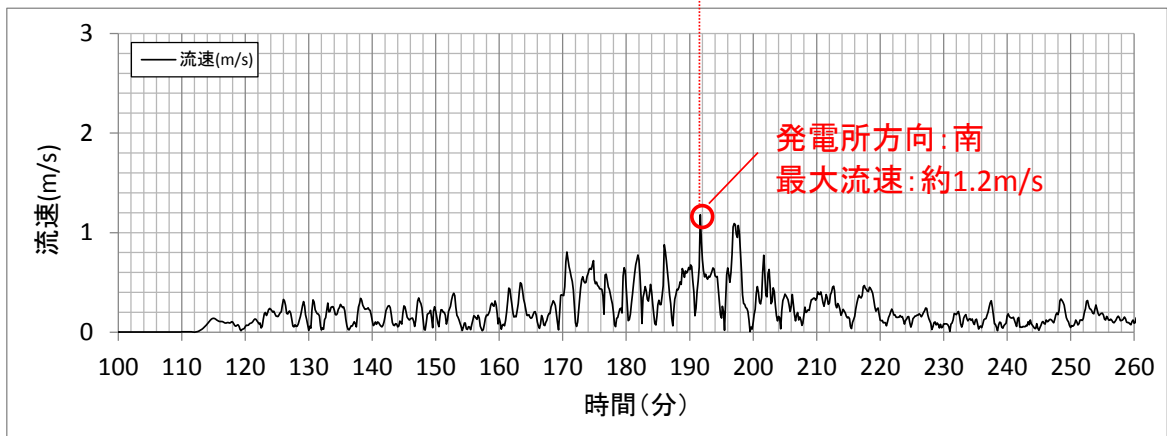
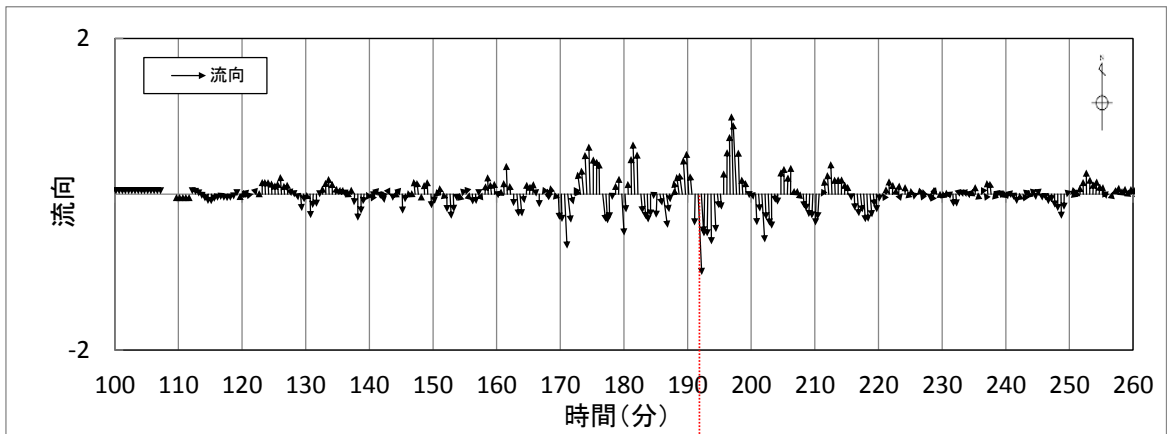
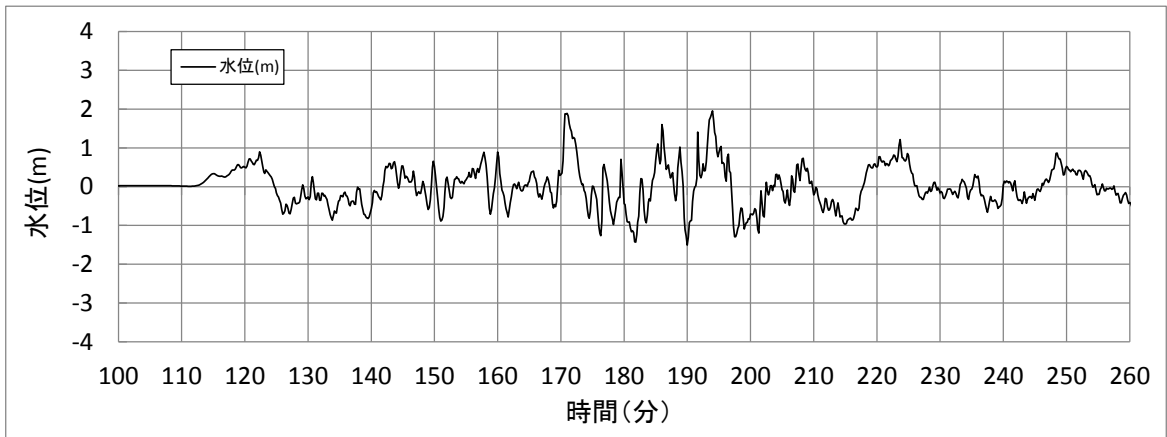
地点4

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）



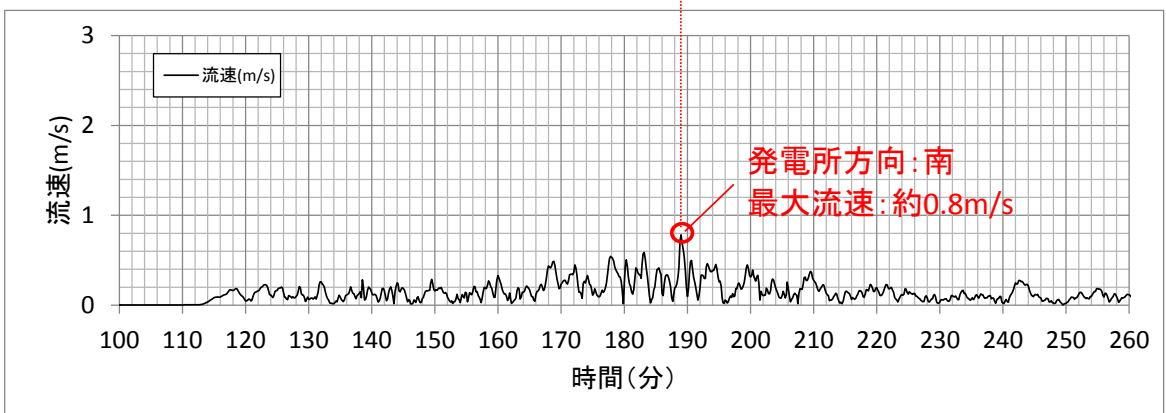
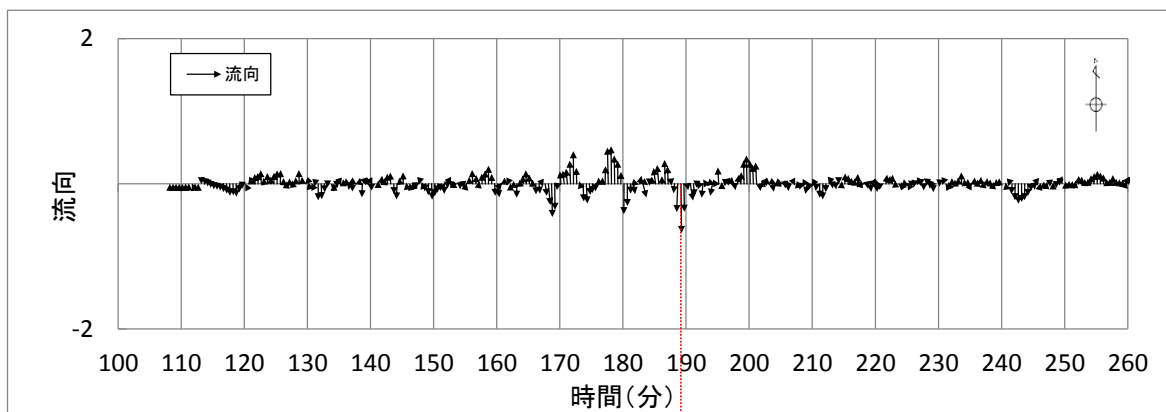
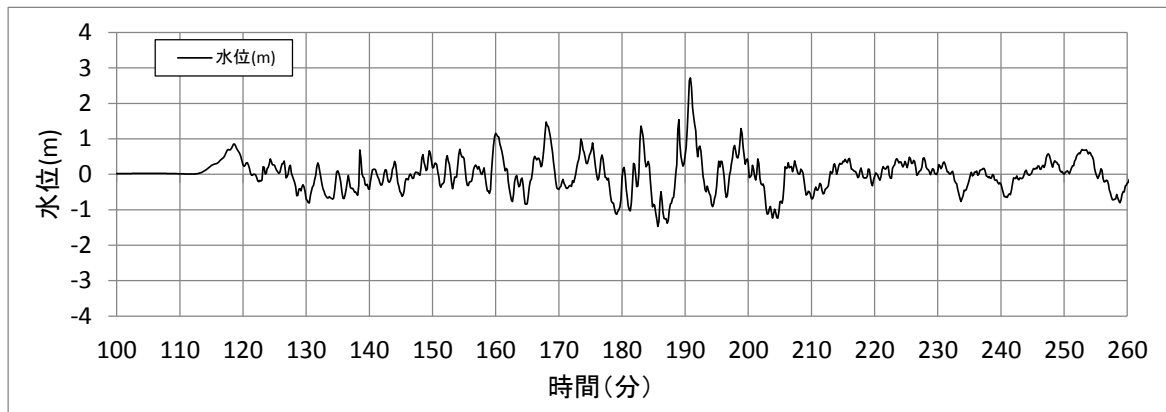
地点5

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）



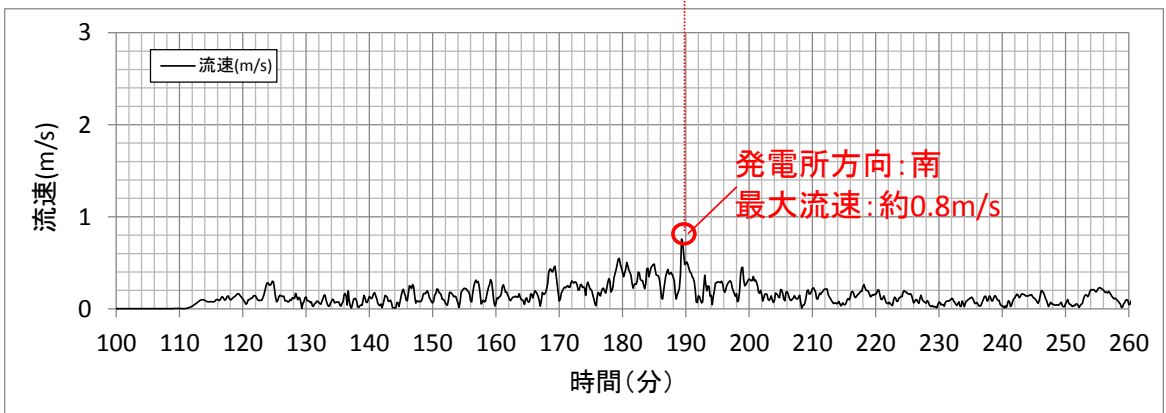
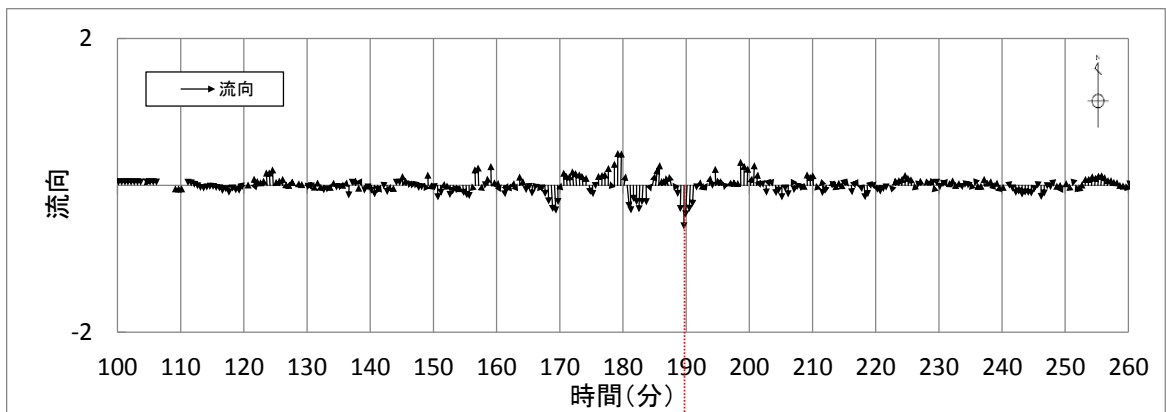
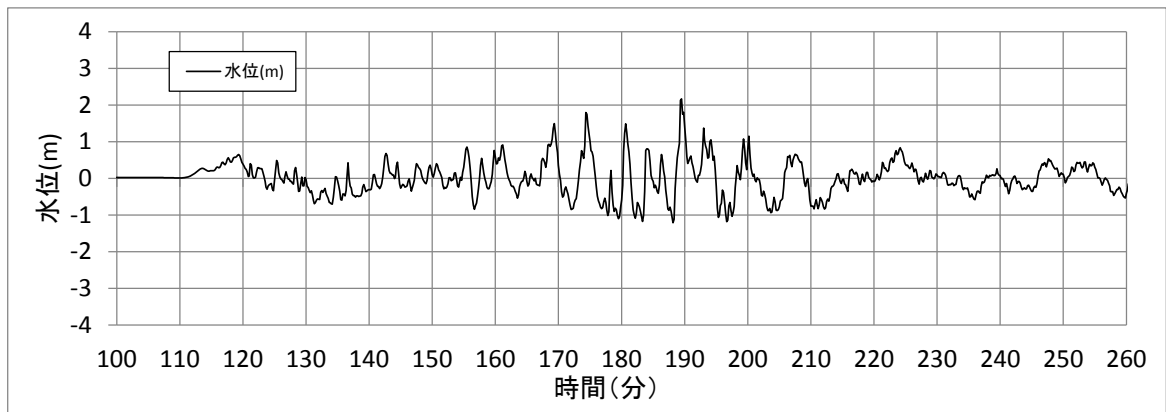
地点6

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）



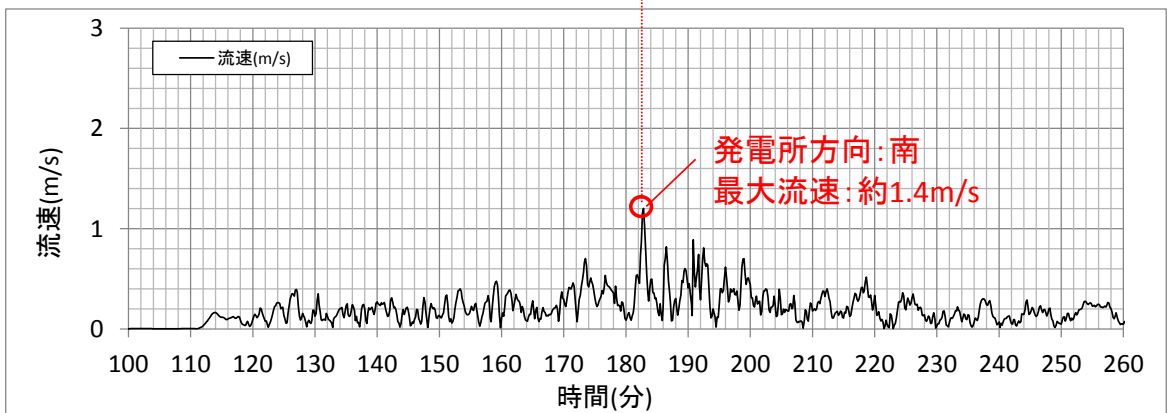
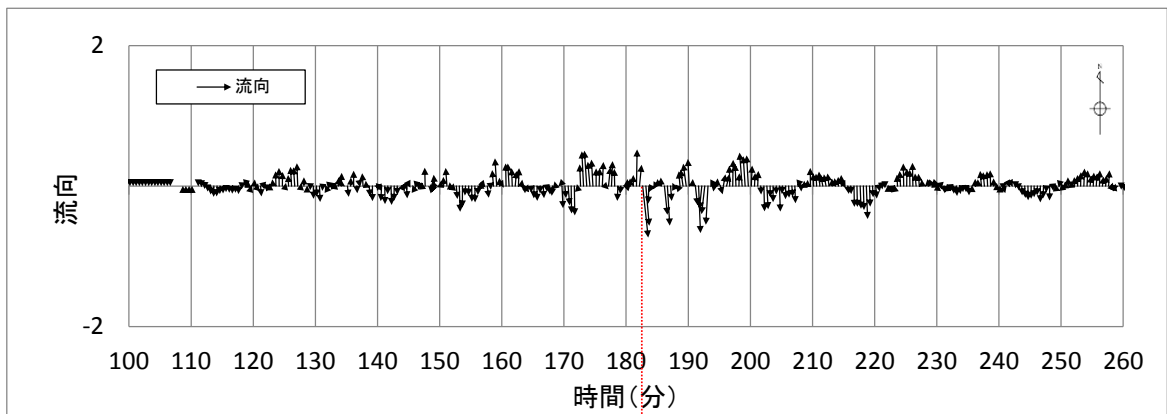
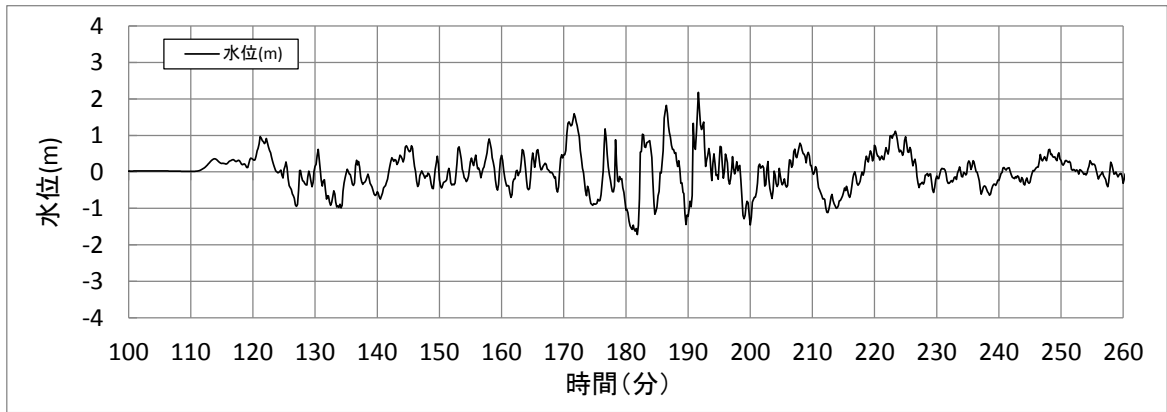
地点7

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

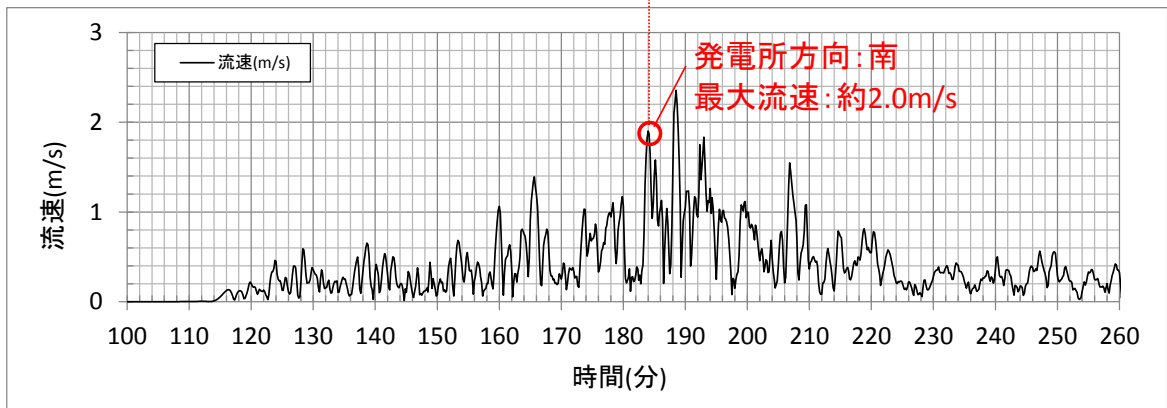
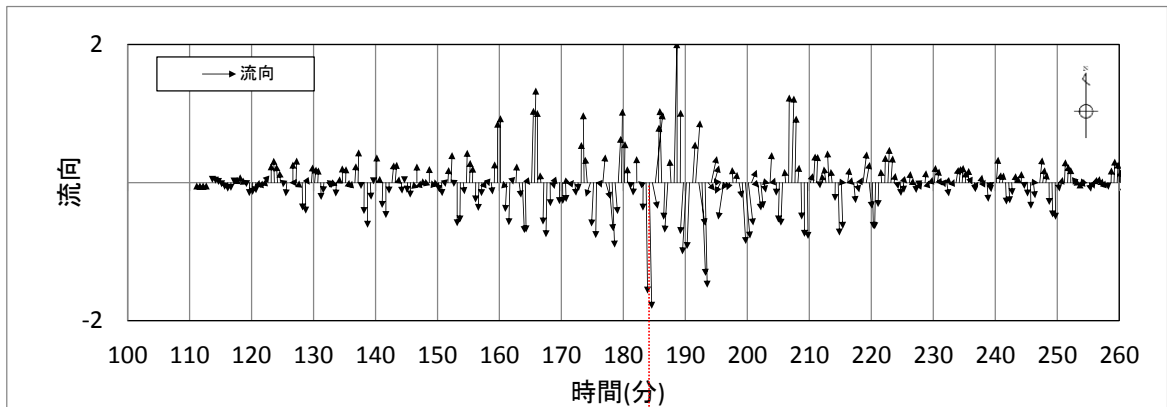
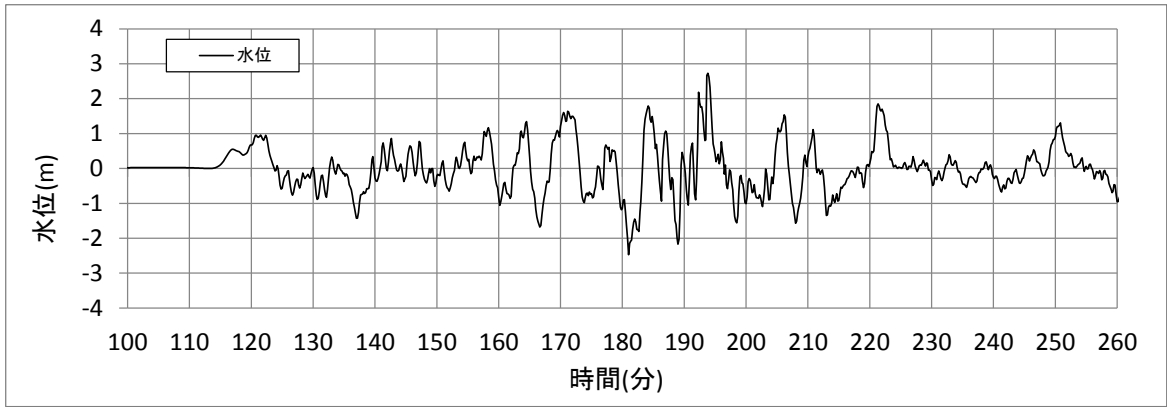
第 2.5-15-8 図 抽出地点8における水位，流向，流速（基準津波1）



地点9

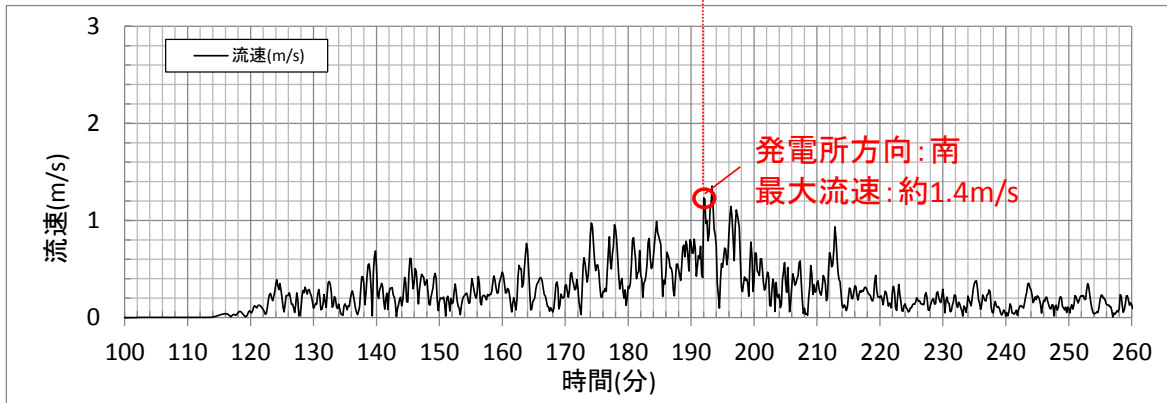
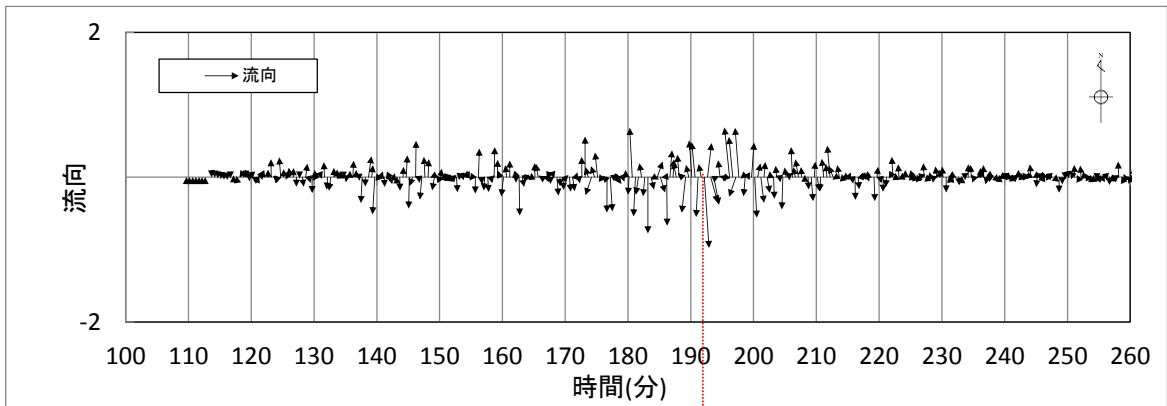
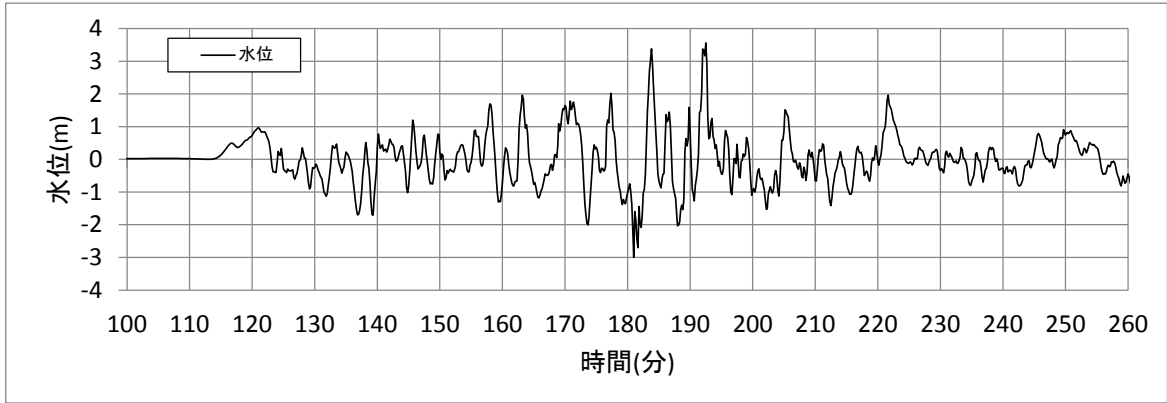
第 2.5-15-9 図 抽出地点 9 における水位，流向，流速（基準津波 1）





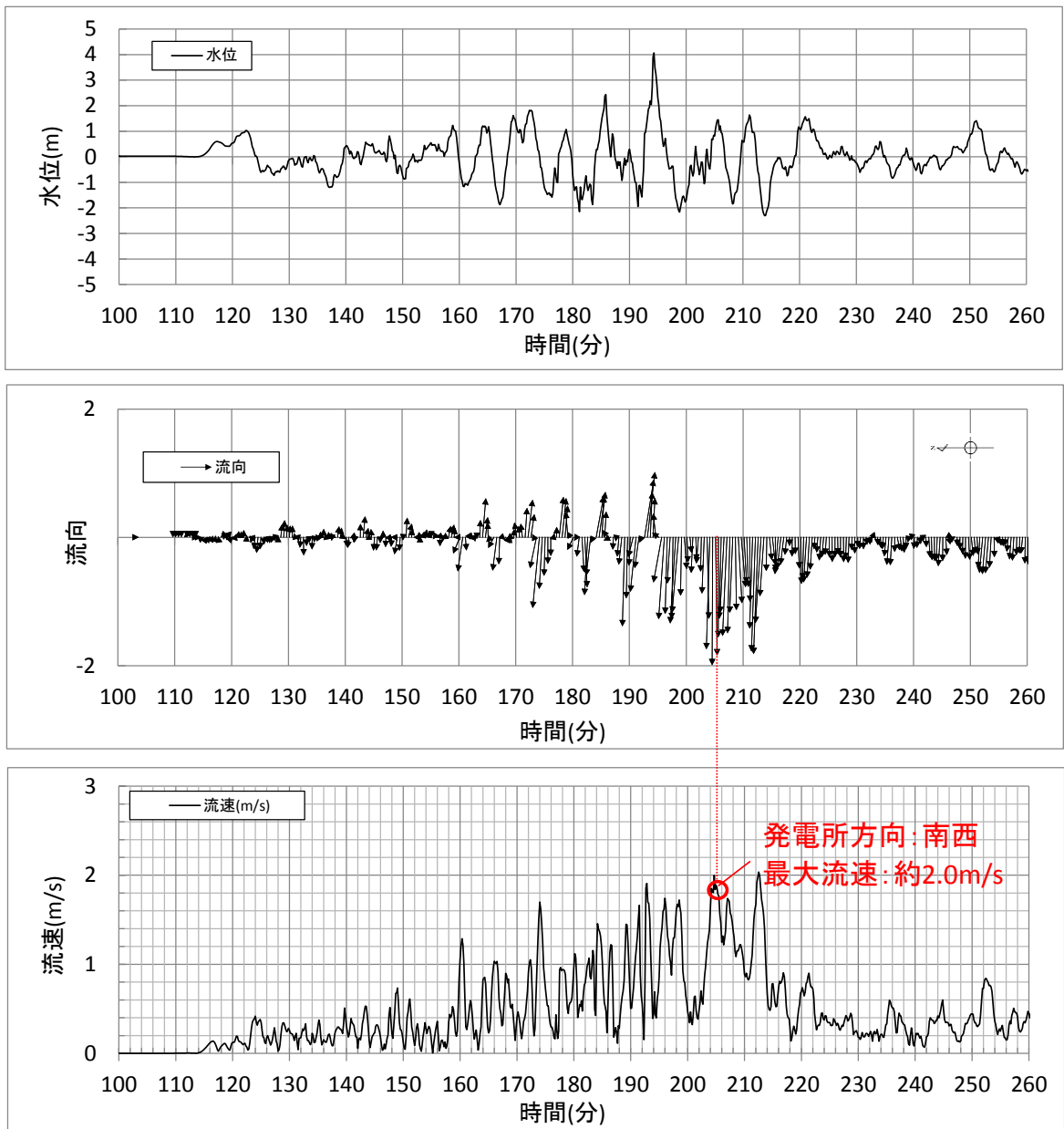
地点10

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

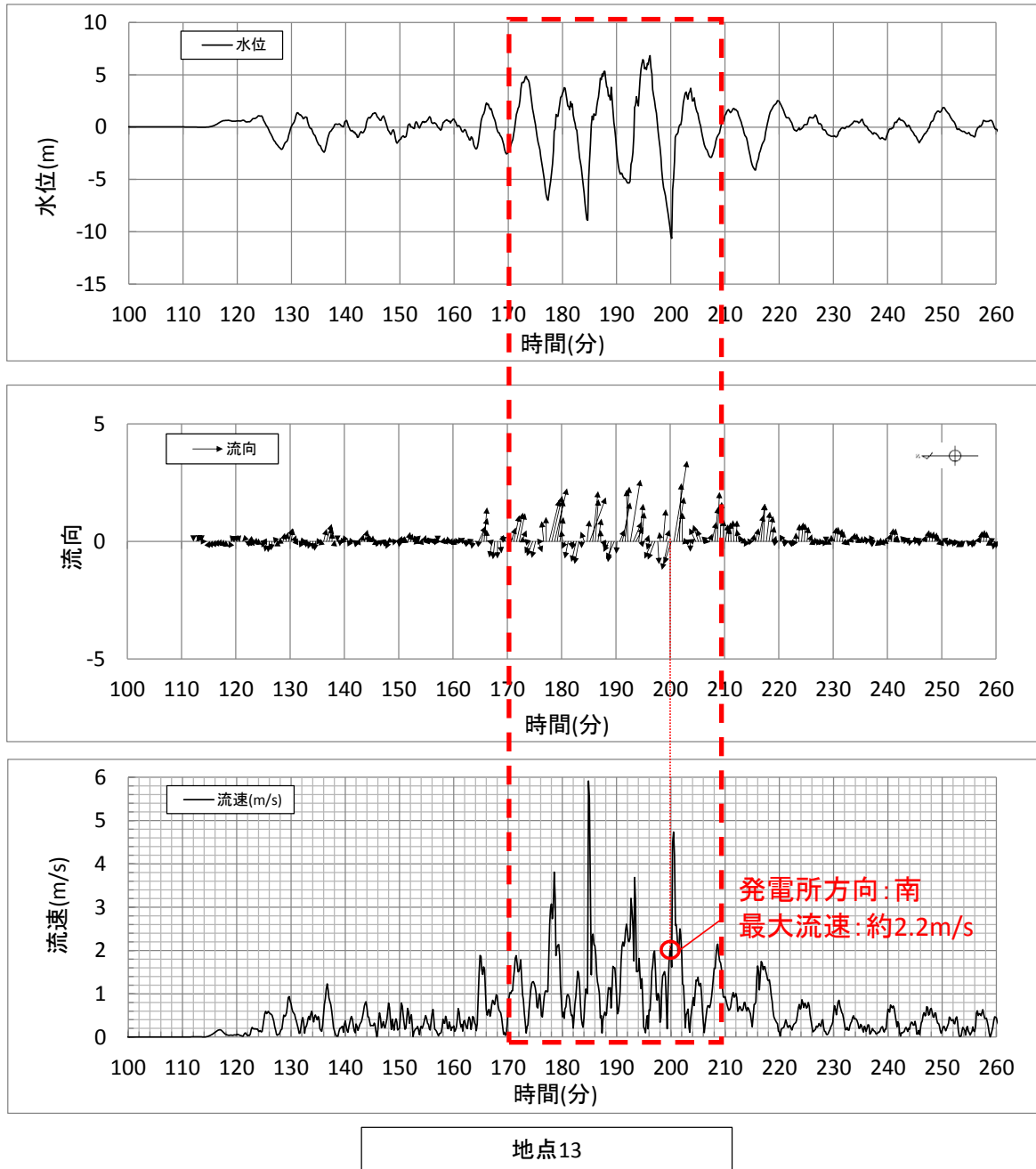
第 2.5-15-11 図 抽出地点 11 における水位，流向，流速（基準津波 1）



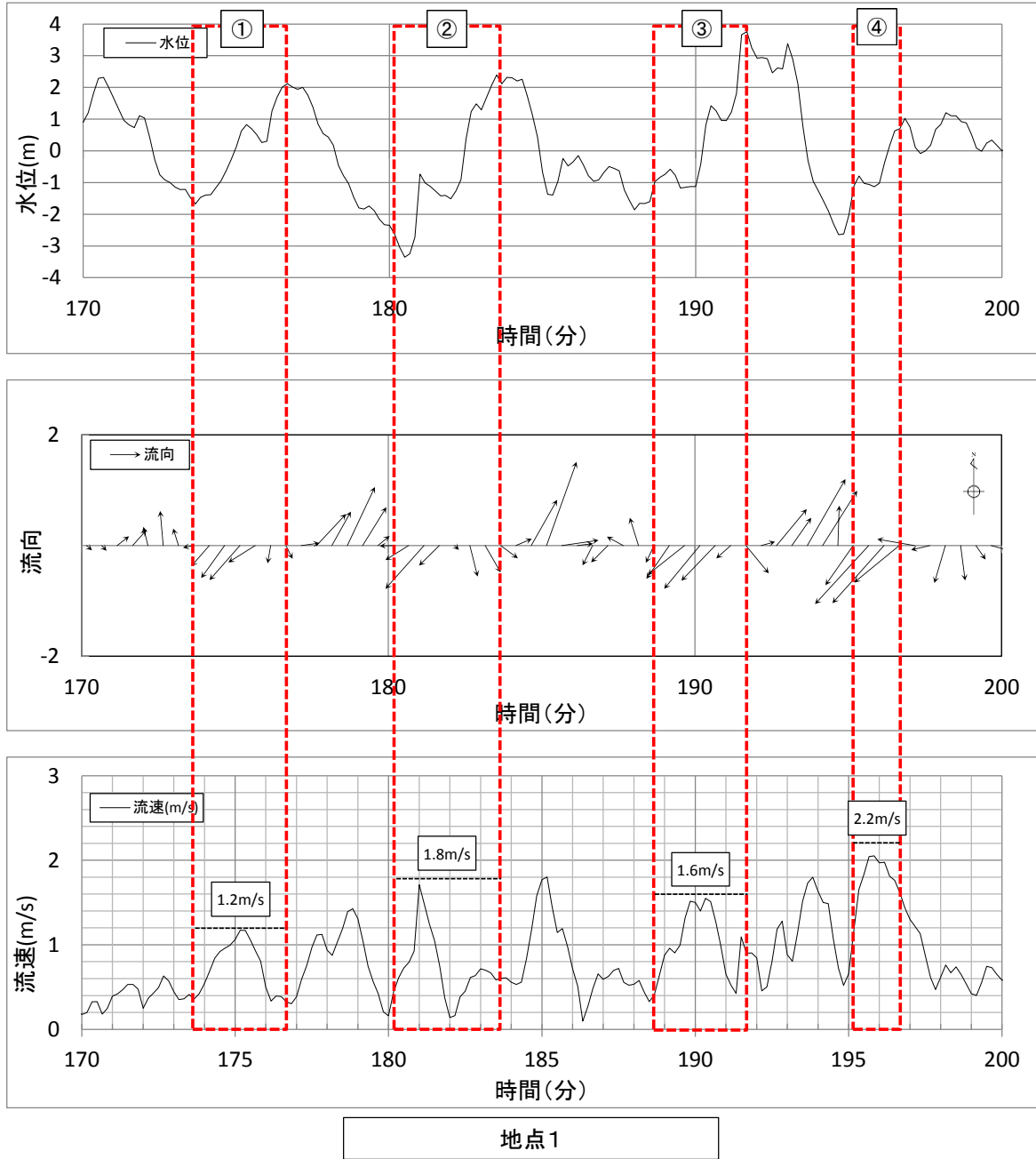
地点12

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



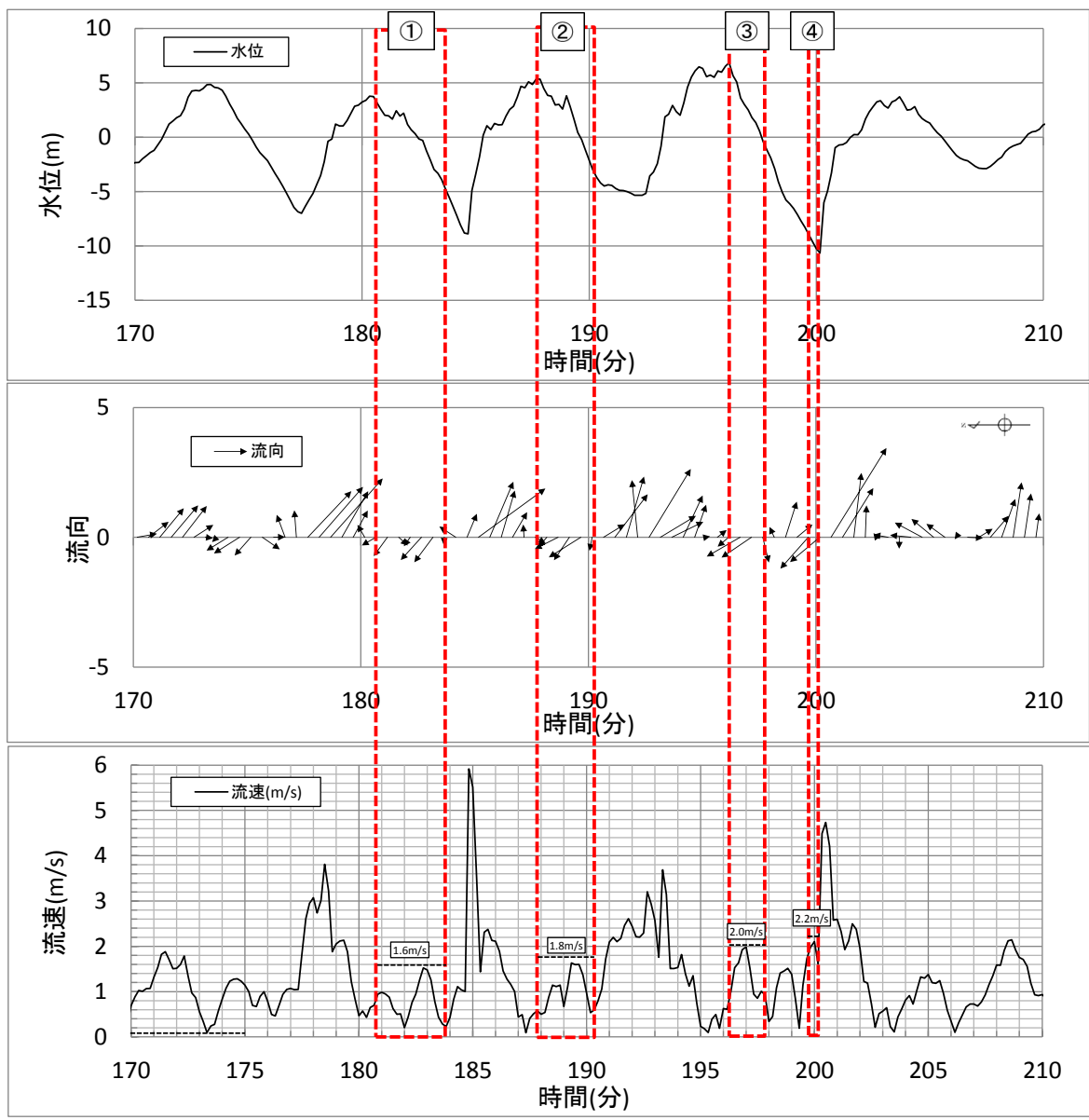
第2.5-15-13図 抽出地点13における水位，流向，流速（基準津波1）



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。

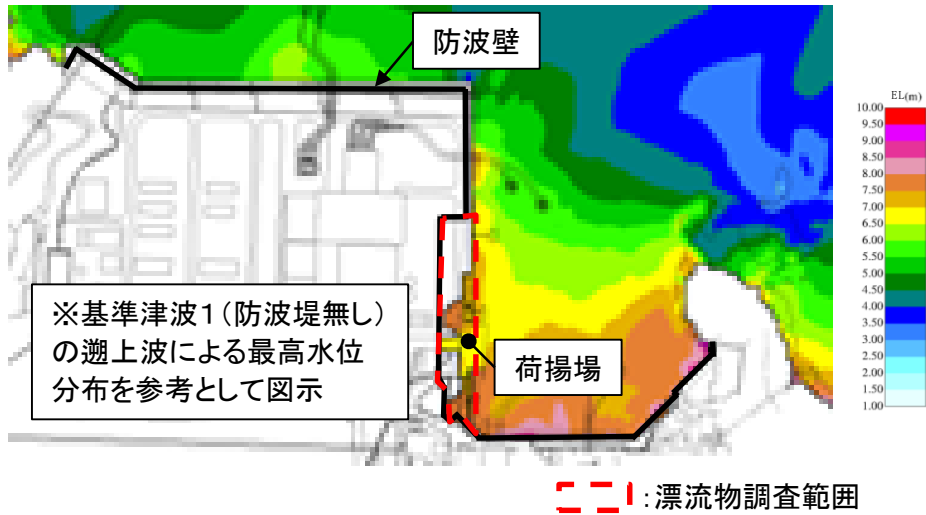
なお、漂流物の影響については、東北太平洋沖地震に伴う津波の被害実績<sup>(注)</sup>も踏まえ評価した。

(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」

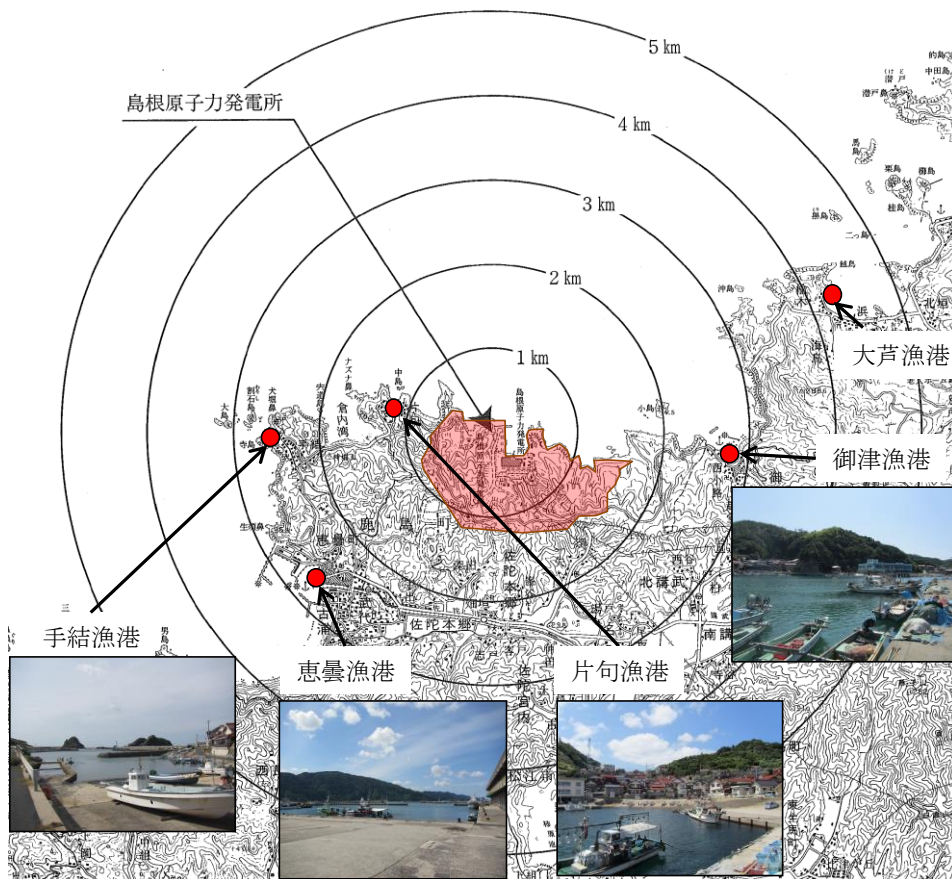
第 2.5-2 表 漂流物の調査方法

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 <sup>※</sup>	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
			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

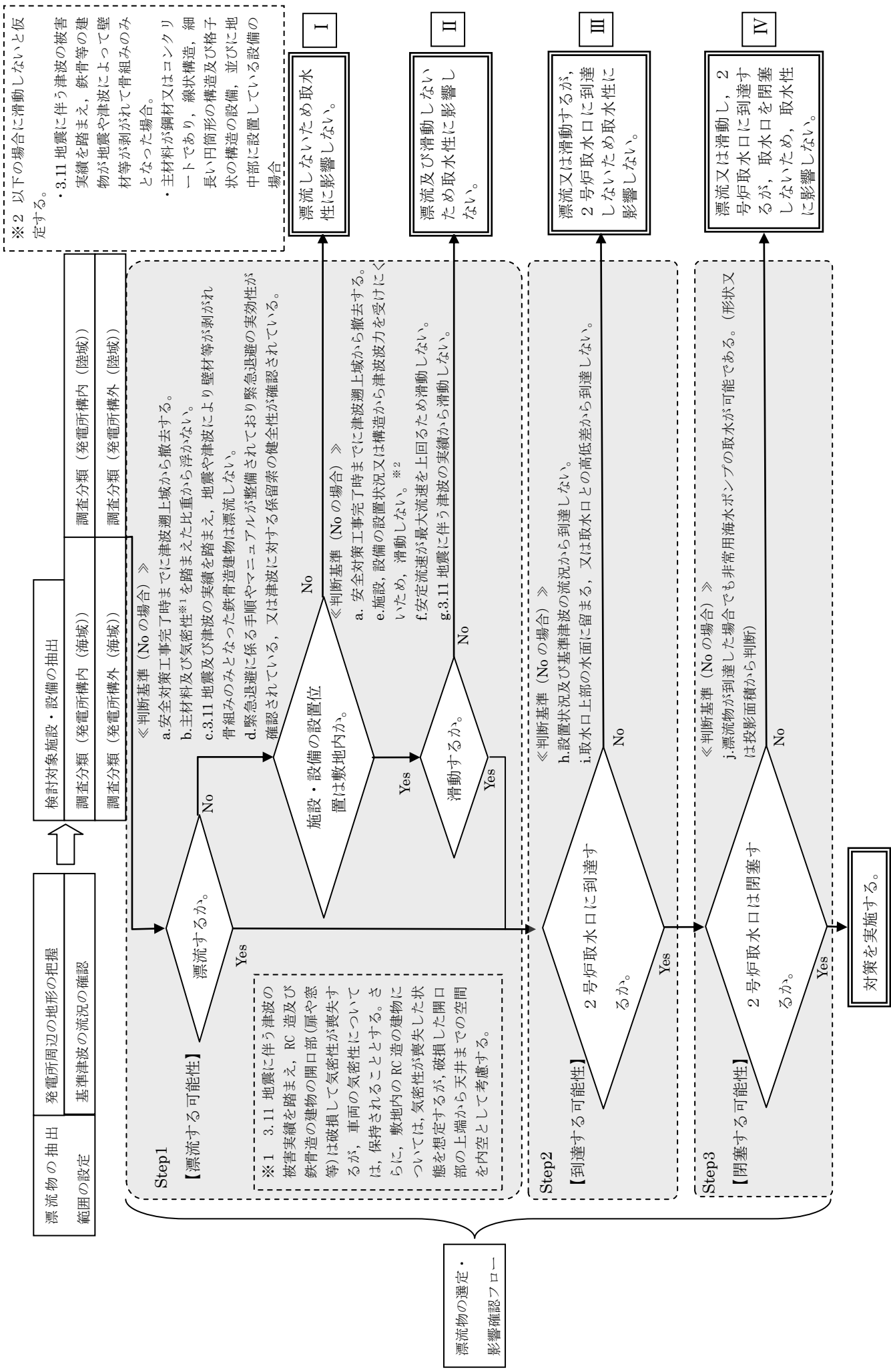


第 2.5-17-1 図 漂流物調査範囲 (発電所構内陸域)



第 2.5-17-2 図 漂流物調査範囲 (発電所構外)





第 2.5-18 図 漂流物の選定・影響確認フロー

#### 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）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。

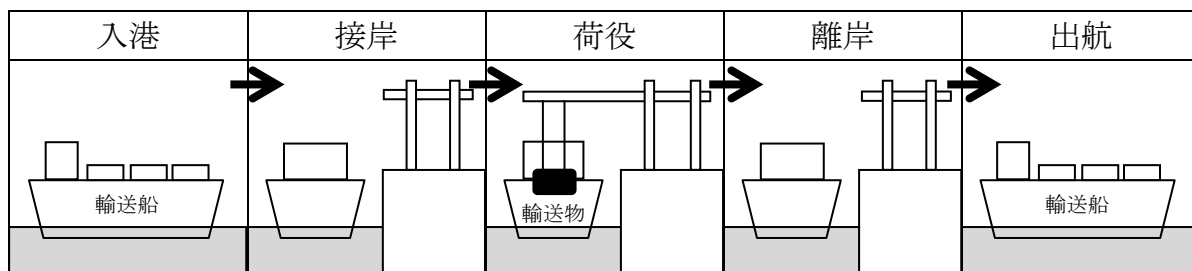
以上を踏まえ、発電所構内（海域）における評価について、以下の項目毎に、評価結果を示す。

- ①燃料等輸送船
- ②その他作業船
- ③防波堤
- ④護岸

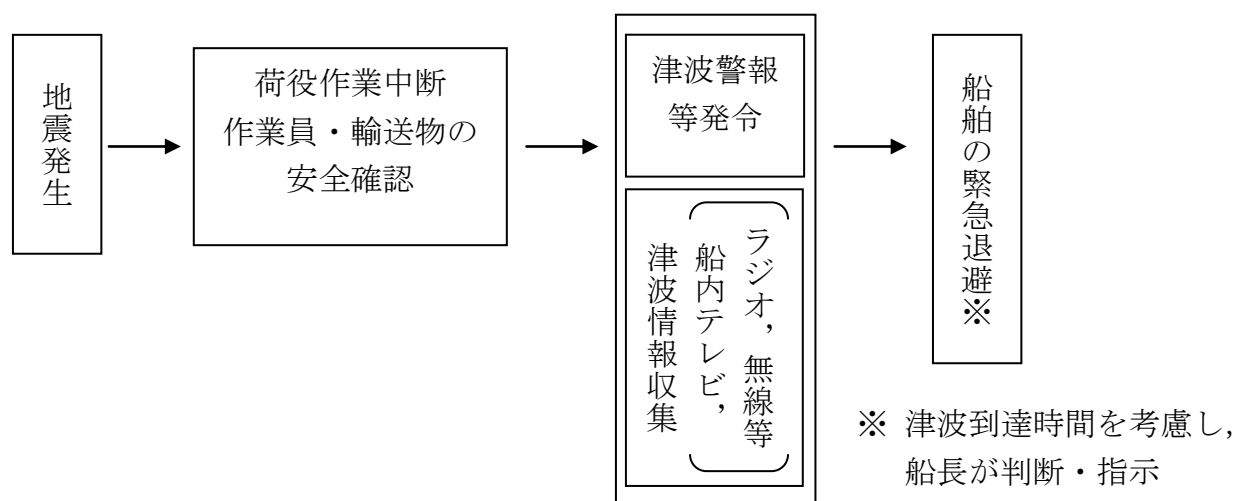
①燃料等輸送船

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。



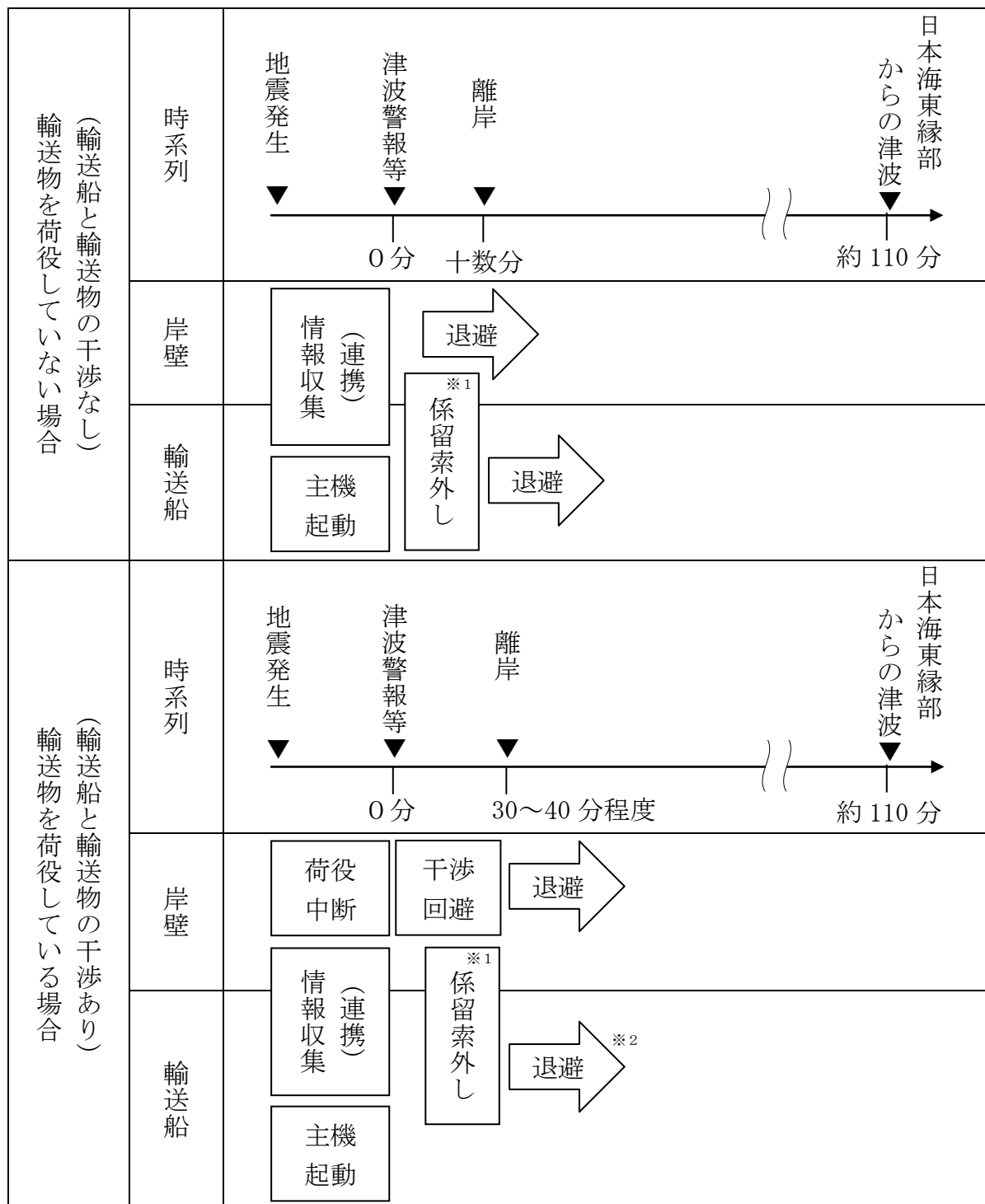
第 2.5-19 図 主な輸送工程



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。

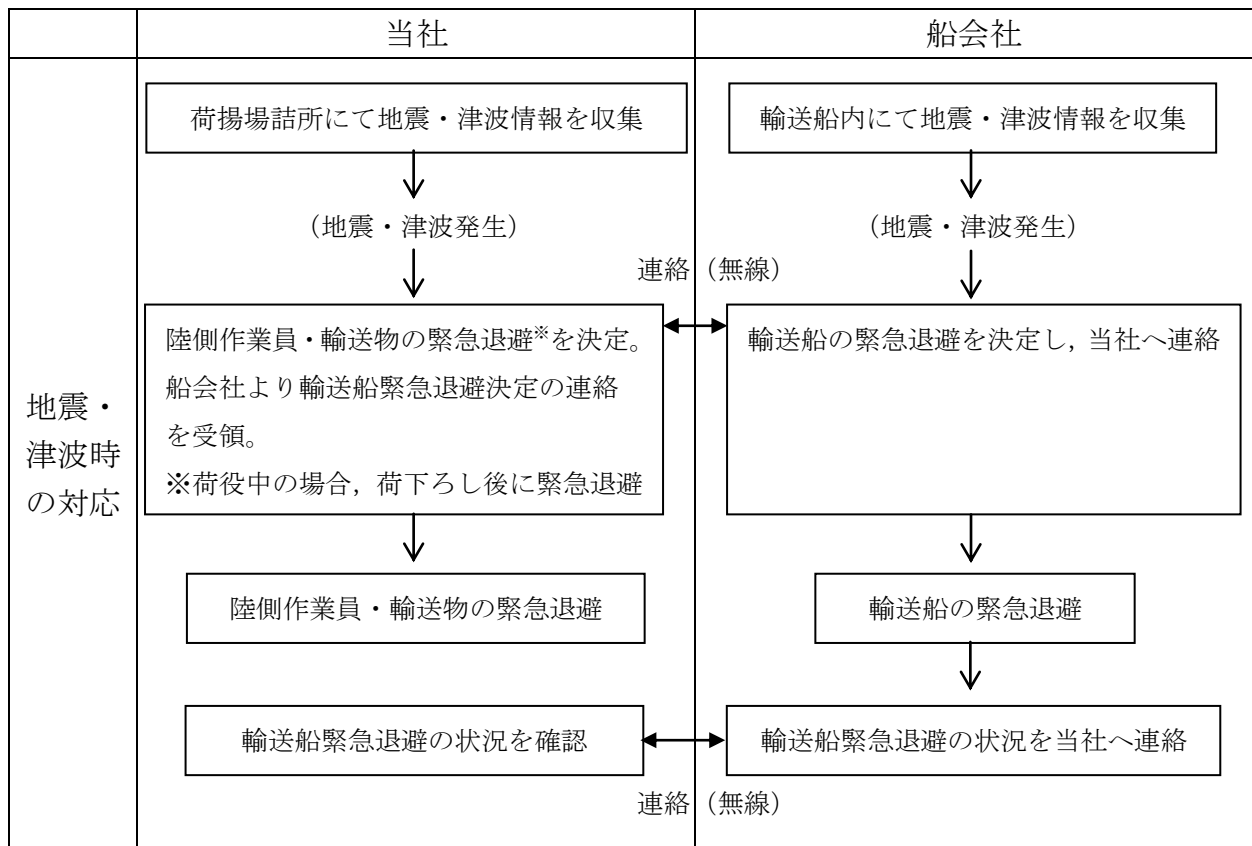
以上の評価に関わる津波に対する係留索の耐力評価を添付資料 16 に、荷揚場への乗り上げ及び着底に伴う座礁及び転覆の可能性に関わる喫水と津波高さとの関係を添付資料 17 に示す。

なお、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の海水ポンプ流量の比(5%未満)から、漂流物により2基設置している取水口の通水面積が合わせて約95%以上閉塞されない限り、非常用海水系の海水ポンプの取水性に影響はない。燃料等輸送船が係留索がない状態において取水口上部に漂流した場合、基準津波4の取水口における最低水位 EL-4.2m に対して、喫水高さは3m～5m であり、取水口(上端 EL-9.0m)に到達する可能性があるが、仮に2基の取水口に燃料等輸送船が接触した場合においても、呑口の高さは3mあることから、非常用海水冷却系の海水ポンプに必要な通水面積(5%程度)が損なわれることはなく、非常用海水冷却系の海水ポンプの取水性に影響はない(第 2.5-23 図参照)。

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、当社一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。

これらの作業のうち発電所港湾内で実施する温排水影響調査等においては、津波の際には作業員は陸域に避難する可能性があるため、作業船が漂流物化し 2 号炉の取水口に接近する可能性が考えられる。しかしながら、この場合でも、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。

〈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

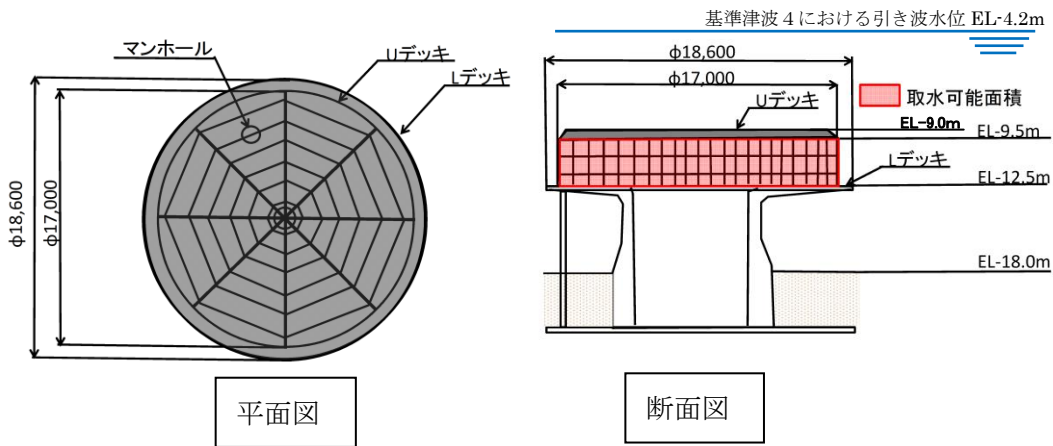
- ・通常時（循環水系）の 5%未満

※循環水系の定格流量約 3370m<sup>3</sup>/分に対して非常用海水冷却系の定格流量は 150m<sup>3</sup>/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 15m<sup>2</sup>（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。



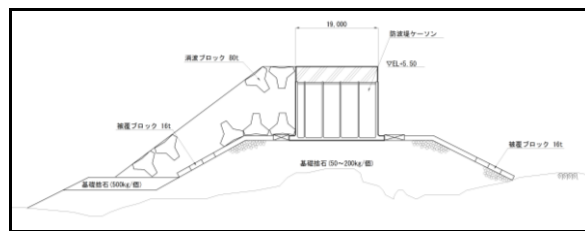
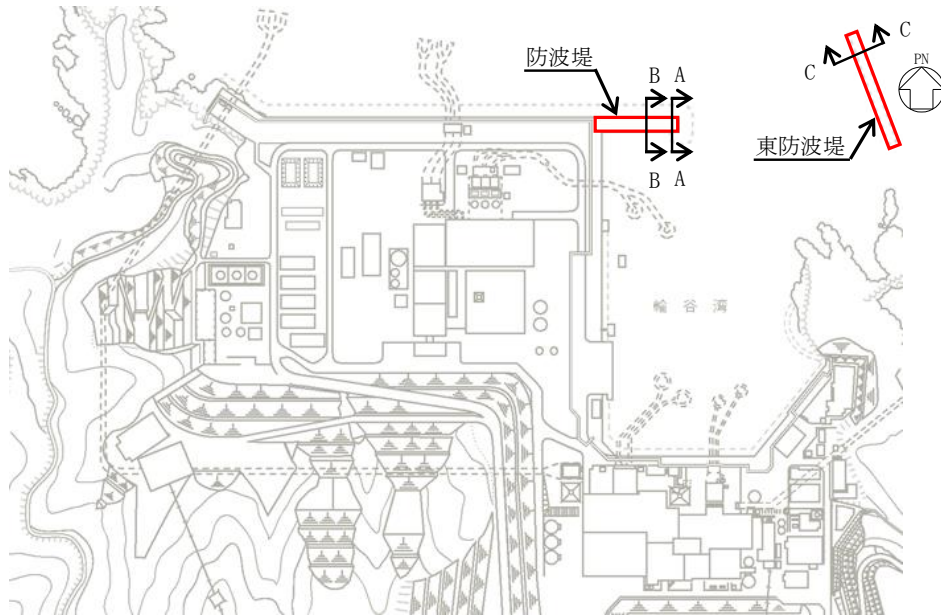
第 2.5-23 図 取水口呑口概要図



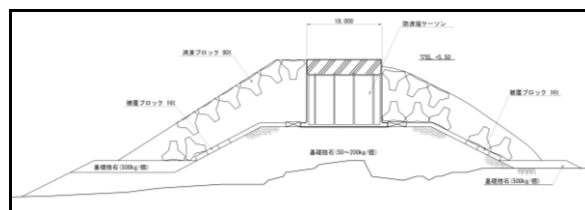
### ③防波堤

防波堤の配置及び構造概要を第 2.5-24 図に示す。

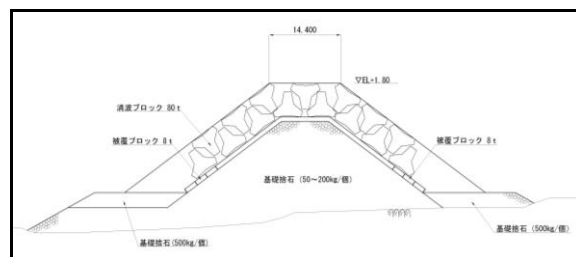
図に示されるとおり、防波堤と東防波堤から成り、ケーソン式混成堤と混成傾斜堤により構成されている。2号炉の取水口との位置関係としては、取水口から最短約 340m の位置に防波堤（ケーソン式混成堤）が配置されている。



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、1tよりも軽量なものとしては50kg～500kg程度の捨石があるが、これ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を考えると、津波により滑動、転動し、取水口に到達する可能性は小さいと考えられ、仮に到達するものがあっても、第2.5-23図に示した取水口呑口の断面寸法と非常用海水冷却系に必要な通水量を考慮すると、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。

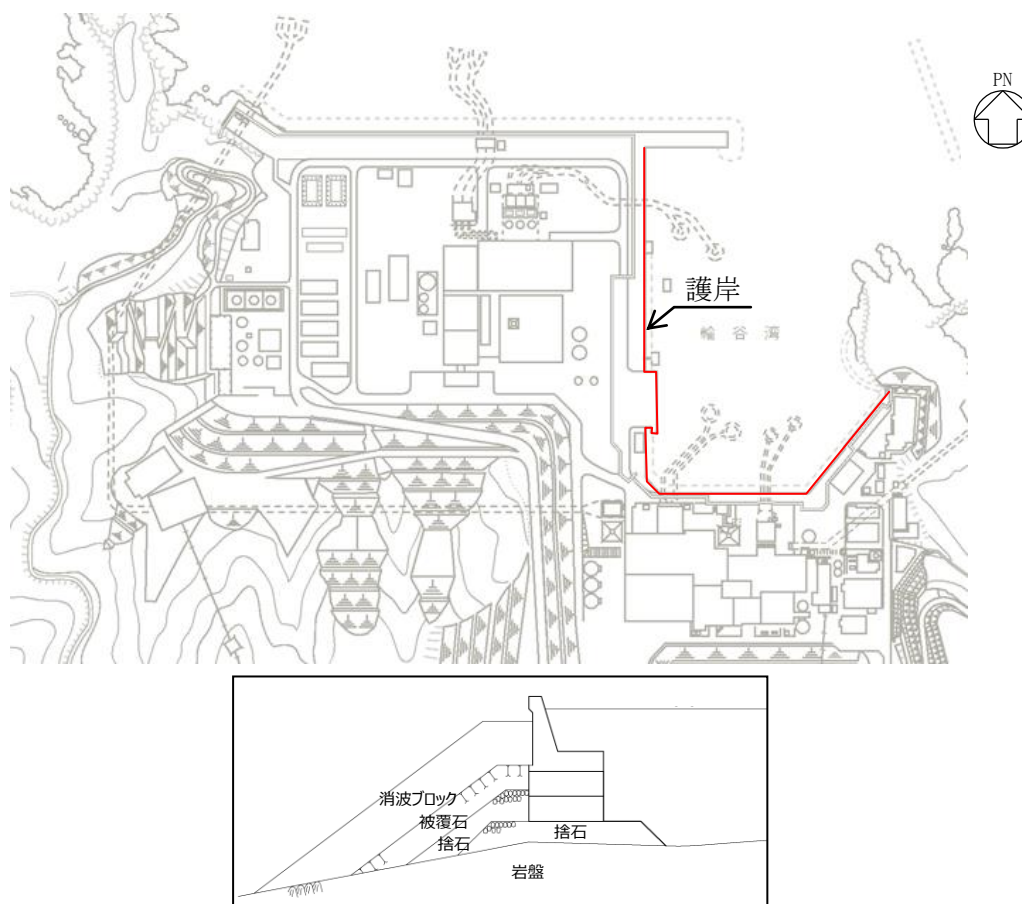
以上より、防波堤は地震あるいは津波により損傷した場合においても、非常用海水冷却系に必要な2号炉の取水口及び取水路の通水性に影響を及ぼすことはないものと評価する。

#### 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。

滑動すると評価した護岸構成要素のうち、消波ブロック及び被覆石については、イスバッシュ式より安定流速がそれぞれ 6.3m/s、4.3m/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、1t よりも軽量なものとしては 30kg 以上の捨石があるが、これは被覆石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を考えると、津波により滑動、転動し、取水口に到達する可能性は小さいと考えられ、仮に到達するものがあつた場合でも、第 2.5-23 図に示した取水口呑口の断面寸法と非常用海水冷却系に必要な通水量を考慮すると、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。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」<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>。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 $\gamma$ 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)
- $\rho_r$  : 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 ( $m/s^2$ )
- $\gamma$  : 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
- $\theta$  : 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/s<sup>2</sup>  
 ③イスバッシュの定数  $\gamma$  : 0.86  
 ④斜面の勾配 : 0.0°

材料	$\rho$ ( $t/m^3$ ) <sup>*</sup>	$S_r$ (= $\rho / 1.03$ )	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)

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】 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、津波に対する係留索の健全性を確認した。	-	- (仮に係留索がない状態において漂流した場合においても、取水口上部の水面に留まることから、取水口呑口上端に到達しない。)	-	I
②	船舶	温排水影響調査作業船	約 10t	【判断基準:i】 漂流した場合においても、取水口上部の水面に留まることから、取水口に到達しない。  輸谷湾内で漂流物となる可能性がある。	-	-	-  【判断基準:j】 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、作業船の最大規模は約10t(総トン数)であり、喫水約1.5m, 船体長さ約10m, 幅約4mであるのに対し、取水口の取水面積は十分に大きいことから、取水口を閉塞する可能性はない。	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					
		フラップゲート点検作業船	約 7t					

第 2.5-3 表 漂流物評価結果 (発電所構内・海域)

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	
		消波 ブロック	80t						【判断基準:h】 取水口への連続的な流れは確認されないことから取水口へ到達しない。
		被覆 ブロック	8~16t						
		基礎捨石	50~500kg						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。

第 2.5-3 表 漂流物評価結果（発電所構内・海域）

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※				
④	護岸	消波ブロック	12.5t	<b>【判断基準:b】</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。	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。	<b>【判断基準:h】</b> 取水口への連続的な流れは確認されないことから取水口へ到達しない。	-	III	
		被覆石	1.5t						コンクリート比重 <b>【2.34】</b> 石材比重 <b>【2.29】</b>
		捨石	30kg 以上						石材比重 <b>【2.29】</b>
							<b>【判断基準:j】</b> 取水口呑口の断面寸法と非常用海水冷却系に必要な通水量を考慮すると、通水性に影響を及ぼさない。	IV	

※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。

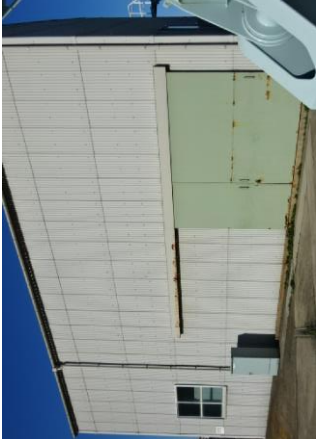





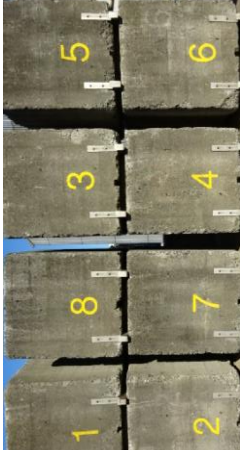


ii. 発電所構内（陸域）における評価


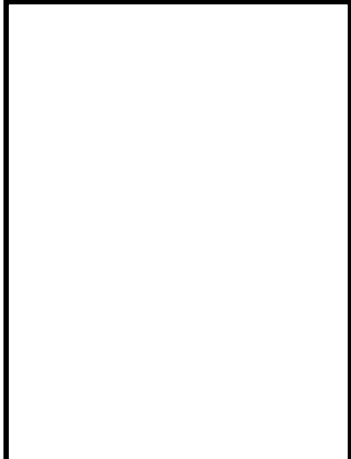





本調査範囲（構内・陸域）は防波壁外側の津波遡上域である荷揚場周辺である。第 2.5-17 図に示した本調査範囲にある漂流物となる可能性のある施設・設備等は、大別すると、第 2.5-4 表のように分類でき、評価はこの施設・設備等の分類ごとに行った。抽出した設備を第 2.5-26 図に示す。なお、荷揚場作業に係る車両・資機材については、添付資料 35 に示すとおり漂流物になることはない。

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


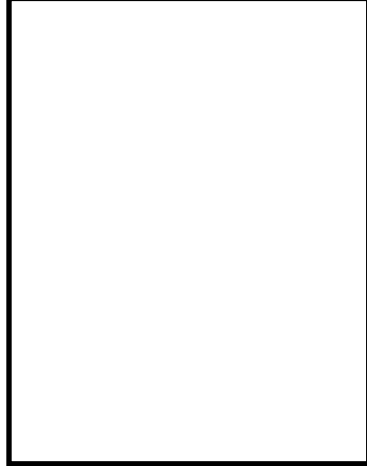



			
荷揚場詰所	デリッククレーン巻上装置建物	キャスタク取扱収納庫	デリッククレーン
			
デリッククレーン荷重試験用品 ①	デリッククレーン荷重試験用品 ②	デリッククレーン荷重試験用品 ③	デリッククレーン荷重試験用ウ エイト

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>防舷材 (フォーム式)</p>		<p>防舷材 (空気式)</p>	<p>変圧器盤・ポンプ制御盤①</p>
<p>防舷材 (空気式)</p>		<p>エアコン室外機</p>	<p>変圧器盤・ポンプ制御盤②</p>
<p>防舷材 (空気式)</p>		<p>電柱・電灯</p>	<p>変圧器盤・ポンプ制御盤③</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>廢材箱</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, g】 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
							《施設本体以外》 ALC 版比重 【0.65】		-	
2			デッキ クレーン 巻上装置 建物	施設本体 (鋼材) 壁材 (スレート)	-	一方、海水比重を下回る壁材 (ALC 版) については漂流物となる。	《施設本体以外》 スレート比重 【1.5】		【判断基準:e】 津波波力を受けにくい構造であることから、滑動しない。	II



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	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。	【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。	【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】	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	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、漂流するとして評価。	—	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	③	その他漂流物となり得る物	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			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			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。	木材比重 【1以下】	発電所敷地内	—	Step2 (漂流)
18			H型鋼	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】	【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】	【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	【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】	【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

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	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)	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、がれき化して漂流することから、水中にある取水口に到達しない。	【判断基準 i】 想定する壁在等については、がれき化して漂流物となる可能性があるが、想定するがれきは軽量であり、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	キヤスク 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。	【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。	— 【判断基準 j】 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ヤ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 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 の高さを持つ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 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。	【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

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	漂流するものとして評価。	【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	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<sup>かたく</sup>、発電所西方2 km 程度に手結漁港<sup>たゆ</sup>、南西2 km 程度に恵曇漁港<sup>えとも</sup>、東方3 km 及び4 km 程度に御津漁港<sup>みつ</sup>、大芦漁港<sup>おわし</sup>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30 t 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100 t を超える比較的大型な船舶が挙げられた。

なお、<sup>くけど</sup>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	重量 (総トン数)
①	船舶 (漁船等)	船舶	片句漁港(停泊)	西方約1 km	最大約10 t
			手結漁港(停泊)	西方約2 km	最大約10 t
			恵曇漁港(停泊)	南西約2 km	最大約19 t
			御津漁港(停泊)	東方約3 km	最大約12 t
			大芦漁港(停泊)	東方約4 km	最大約3 t
② <sup>※1</sup>	漁船	船舶	前面海域(航行)	3.5 km 以内	約30 t <sup>※2</sup>
	プレジャーボート	船舶			約30 t <sup>※2</sup>
	巡視船	船舶		3.5 km 以遠	約2,000 t <sup>※3</sup>
	引き船	船舶			約200 t <sup>※3</sup>
	タンカー	船舶			約1000 t～2000 t <sup>※3</sup>
	貨物船	船舶			約500 t～2500 t <sup>※3</sup>
	帆船	船舶			約100 t <sup>※3</sup>
③	定置網	漁具	前面海域	西方約2 km	—
				東方約3 km	—

※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。

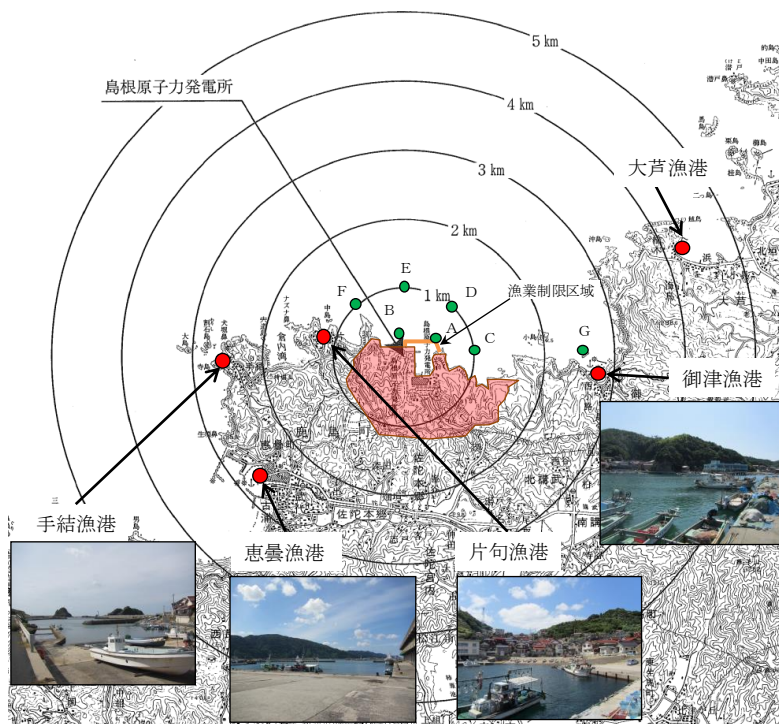


①船舶（漁船等）

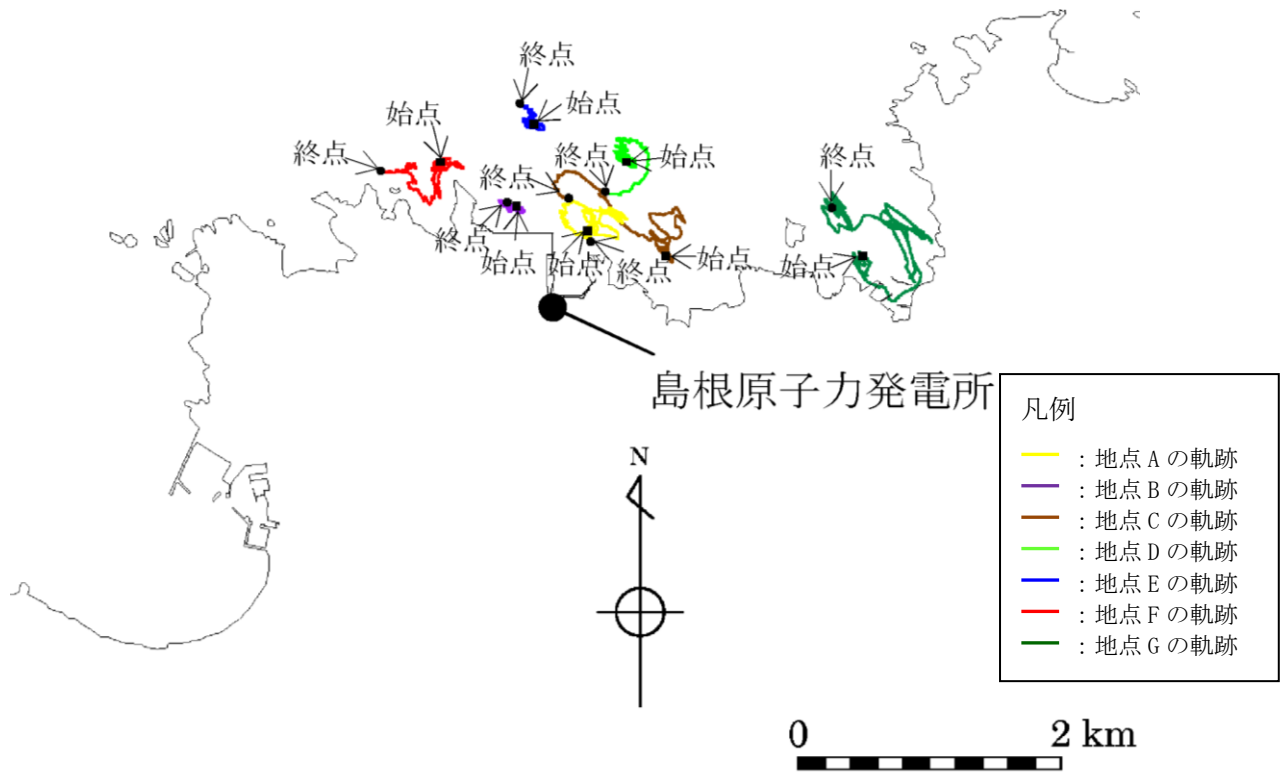
発電所周辺の漁港に停泊する船舶等が到達する可能性について、流向、流速から評価するため、仮想的な浮遊物の動きを把握する方法として有効な軌跡解析を実施した。軌跡解析の初期位置としては、周辺漁港の位置や、漁船が発電所付近で操業することも考慮し、7地点を設定した。軌跡解析の初期位置を第2.5-27図に、軌跡解析結果を図2.5-28図に示す。津波の流況、軌跡解析結果を踏まえ、取水口への到達可能性を評価した（添付資料36）。

評価の結果、発電所方向への連続的な流れはなく、発電所に到達しないと判断した。なお、仮に輪谷湾内に侵入すると想定した場合においても、第2.5-23図に示したとおり、取水口は海中にあり、取水口に到達しないと考えられる。

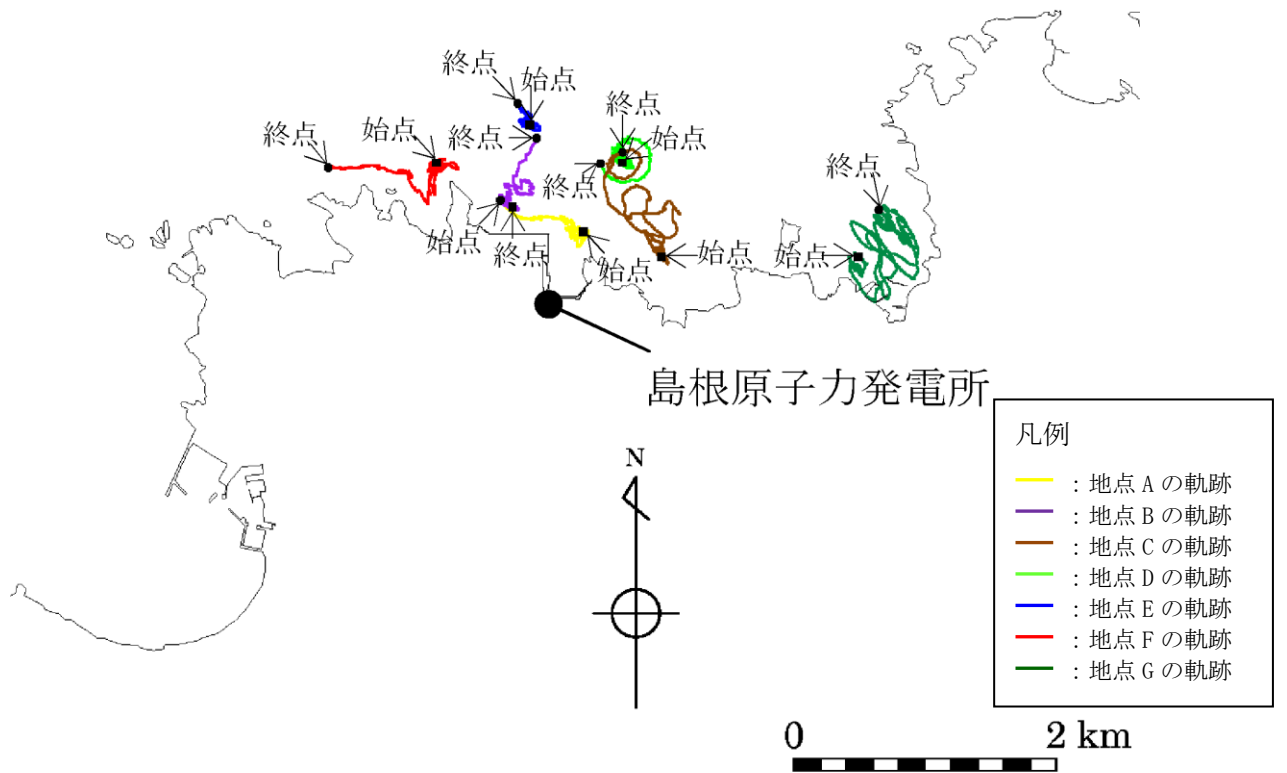
以上のことから、発電所構外（海域）において抽出された周辺漁港の漁船、航行中の漁船については、いずれも取水口に到達しないと評価した。



第2.5-27図 軌跡解析の初期配置

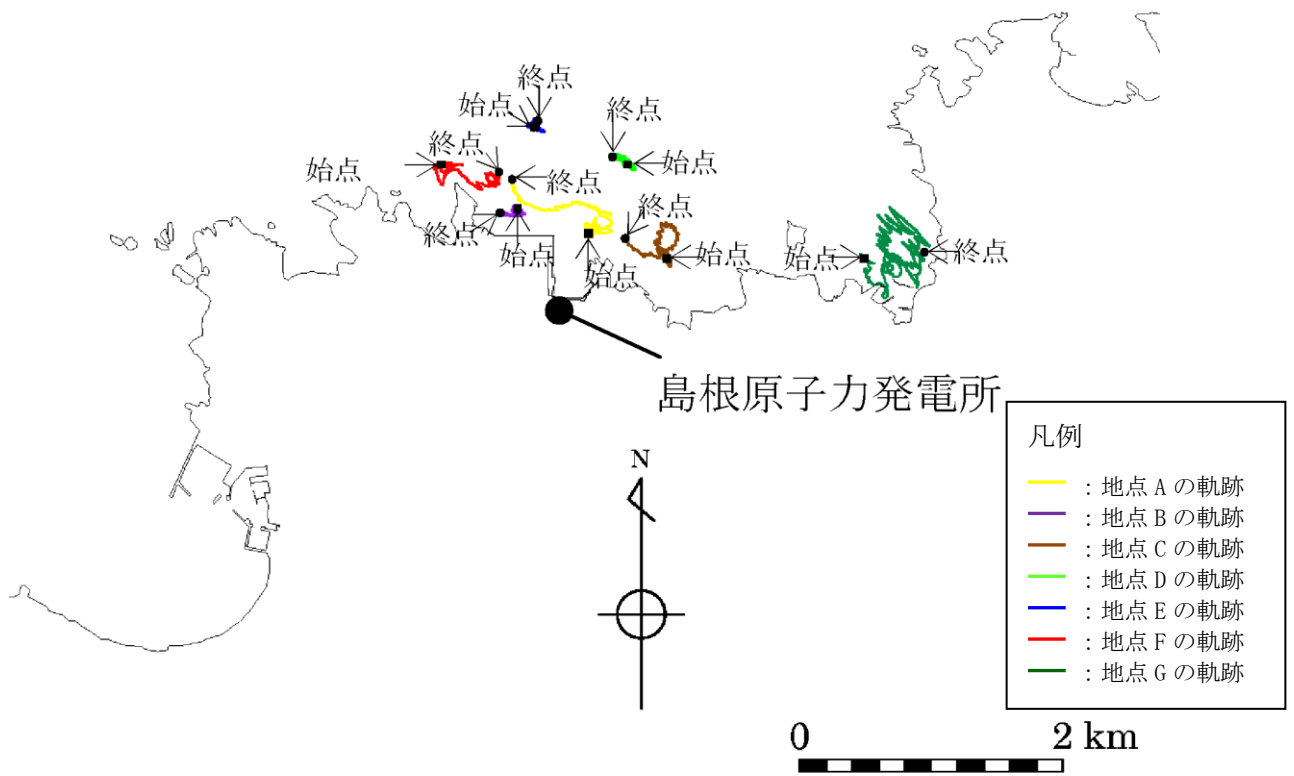


(基準津波 1 (防波堤有り))

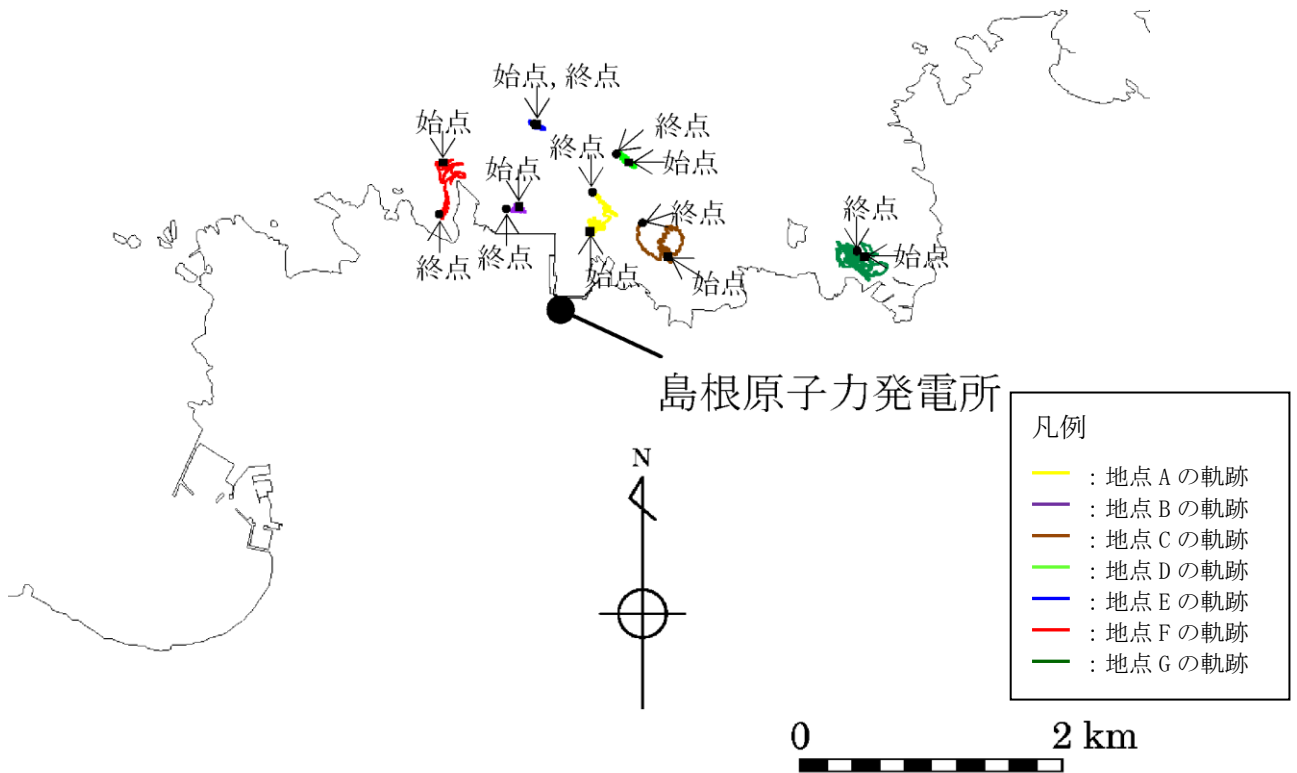


(基準津波 1 (防波堤無し))

第 2.5-28-1 図 軌跡解析結果

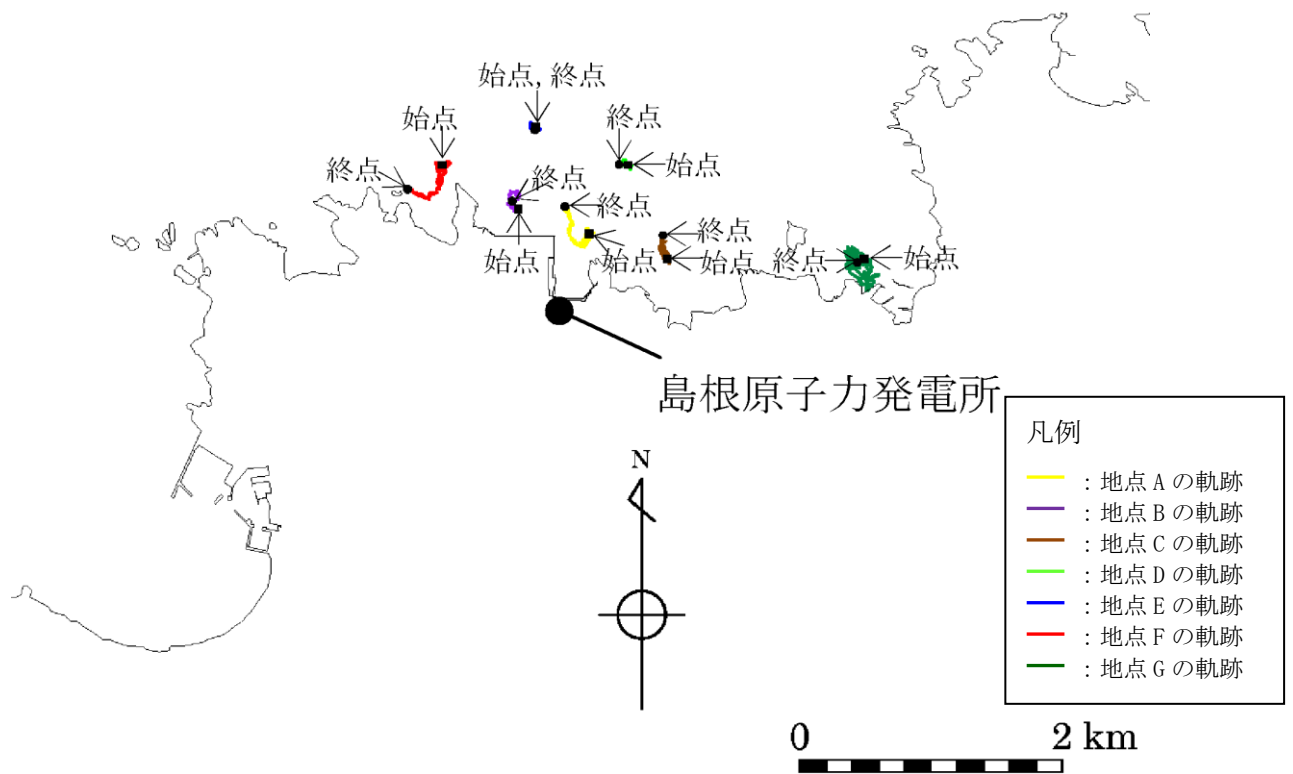


(基準津波 2 (防波堤有り))

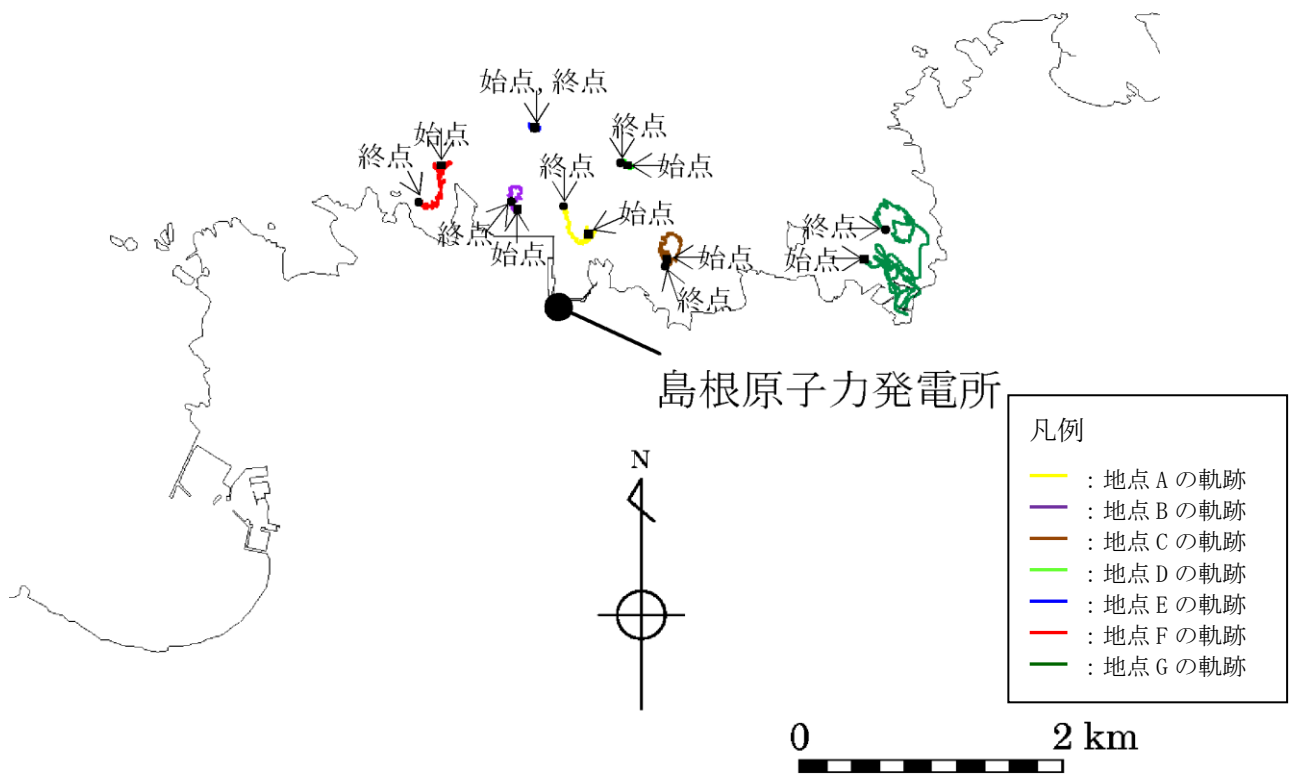


(基準津波 3 (防波堤有り))

第 2.5-28-2 図 軌跡解析結果

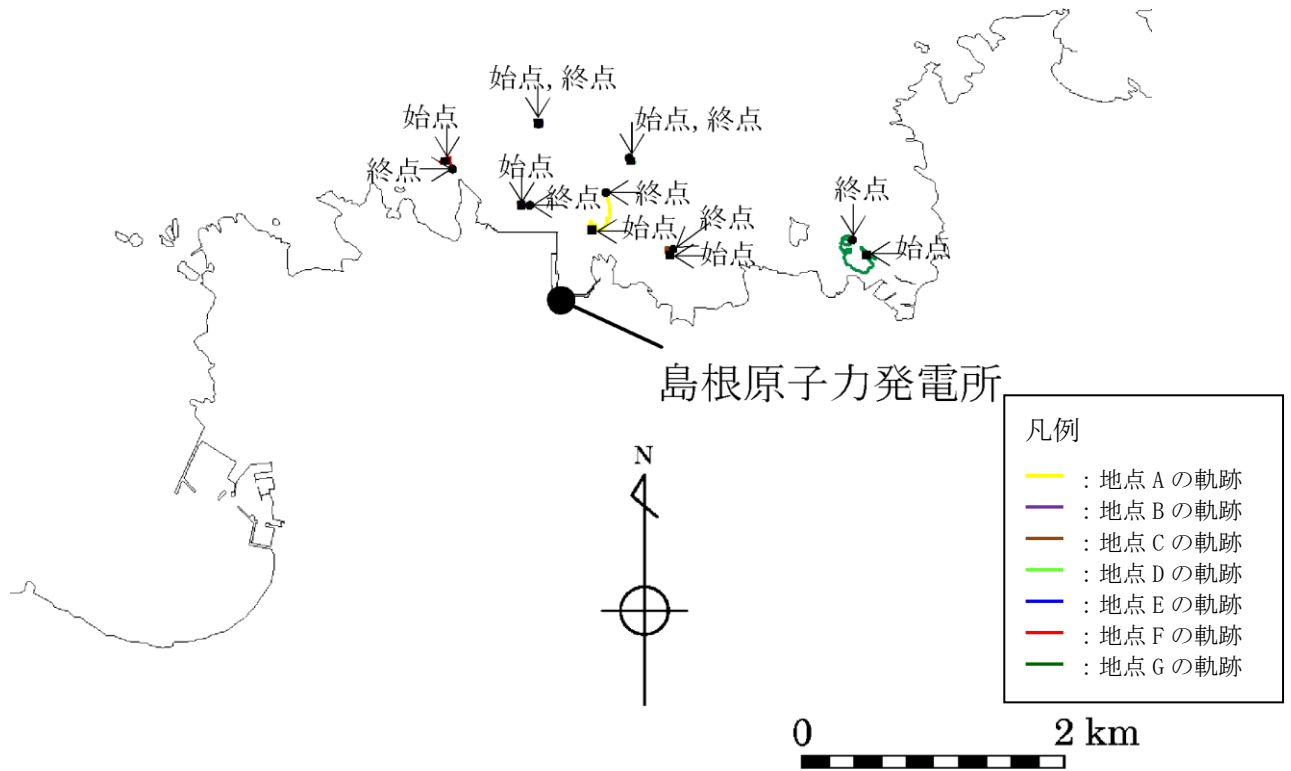


(基準津波 5 (防波堤無し))

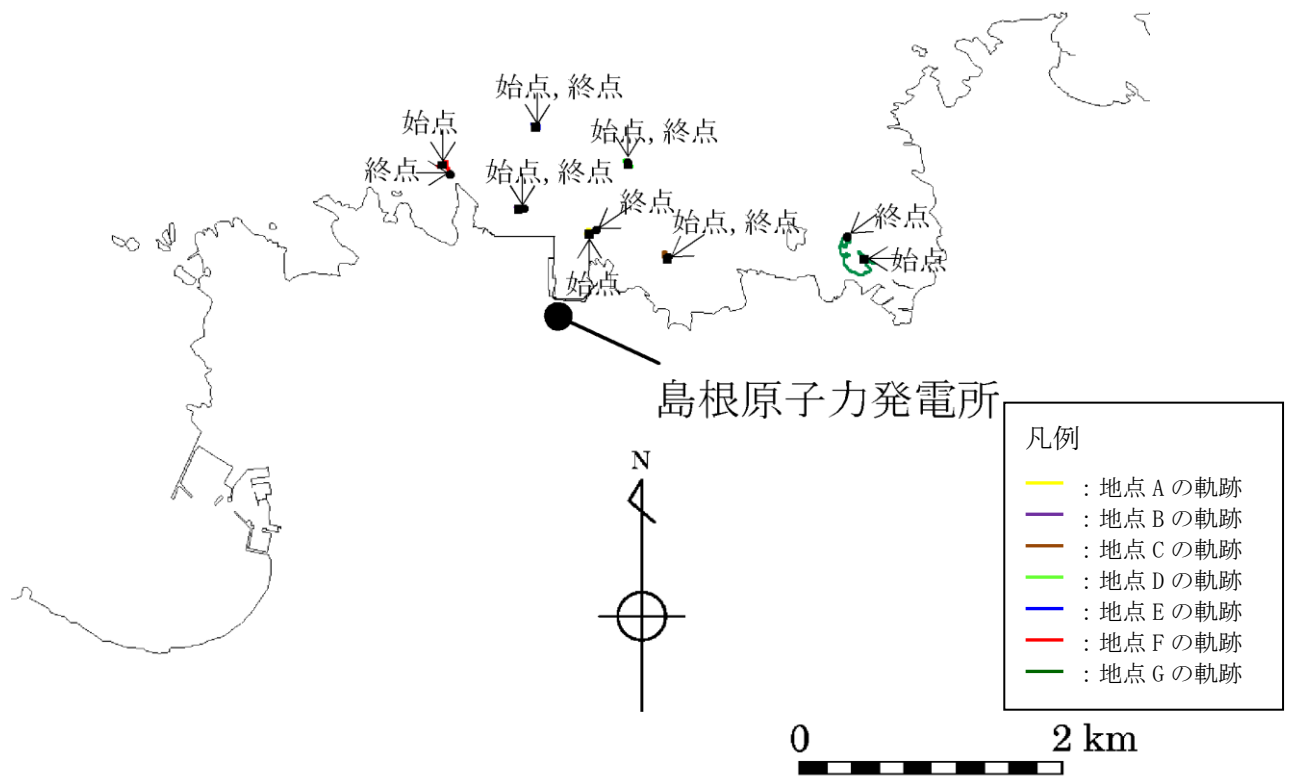


(基準津波 6 (防波堤無し))

第 2.5-28-3 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 2.5-28-4 図 軌跡解析結果

## 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。

さらに、航行中に故障により操船ができなくなる可能性もあるが、総トン数 20t 以上の大型船舶については、国土交通省による検査（定期検査、中間検査、臨時検査及び臨時航行検査）が義務付けられていることから、発電所から 3.5km 以遠において確認された総トン数 100t 以上の比較的大型の船舶については、航行中に故障等により操船できなくなることは考えにくい。

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 2 km 離れた沖合を航行しており、津波来襲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、発電所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、発電所に到達しない判断した。また、第 2.5-14 図に示す 3 km, 5 km の計 6 地点の軌跡解析の結果（第 2.5-15 図）からも、3 km 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、発電所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	船	漁船	片句漁港（停泊）	漂流するものとして評価	【判断基準:h】 流向ベクトルから発電所方向への連続的な流れは確認されない。なお、輪谷湾入口近傍地点の軌跡の傾向からも輪谷湾内へ向かう連続的な流れは確認されないことから、発電所に到達しない。	-	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）				
輪谷湾近傍（航行）							
②	船	漁船	前面海域（航行）	海上保安庁への聞き取り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、津波来襲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程度の水位変動である。 以上より、漂流する可能性は低いと考えられるが、発電所に到達する可能性についても評価を実施する。	【判断基準:h】 流向ベクトルから発電所方向への連続的な流れは確認されない。なお、輪谷湾入口近傍地点の軌跡の傾向からも輪谷湾内へ向かう連続的な流れは確認されないことから、発電所に到達しない。	-	III
		プレジャーボート					

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、津波来襲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程度の水位変動である。さらに、総トン数20t以上の大型船舶については、国土交通省による検査（定期検査、中間検査、臨時検査及び臨時航行検査）が義務付けられ、故障等により操船できなくなるとは考えにくいことから、漂流する可能性は低いと考えられる。ただし、発電所に到達する可能性についても評価を実施する。	【判断基準:h】 流向ベクトルから発電所方向への連続的な流れは確認されない。なお、輪谷湾入口近傍地点の軌跡の傾向からも輪谷湾内へ向かう連続的な流れは確認されないことから、発電所に到達しない。	—	III
		引き船					
		タンカー					
		貨物船					
③	漁具	定置網	前面海域	漂流するものとして評価	【判断基準:h】 流向ベクトルから発電所方向への連続的な流れは確認されない。なお、輪谷湾入口近傍地点の軌跡の傾向からも輪谷湾内へ向かう連続的な流れは確認されないことから、発電所に到達しない。	—	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<sup>かたく</sup>、手結漁港<sup>たゆ</sup>、恵曇漁港<sup>えとも</sup>、御津漁港<sup>みつ</sup>周辺及び大芦漁港<sup>おわし</sup>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 2.5-30 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 <sup>かたく</sup> 周辺	<ul style="list-style-type: none"> <li>・家屋：94 戸</li> <li>・車両：約 17 台</li> <li>・工場</li> </ul>
手結漁港 <sup>たゆ</sup> 周辺	<ul style="list-style-type: none"> <li>・家屋：174 戸</li> <li>・車両：約 40 台</li> <li>・灯台</li> </ul>
恵曇漁港 <sup>えとも</sup> 周辺	<ul style="list-style-type: none"> <li>・家屋：525 戸</li> <li>・車両：約 241 台</li> <li>・灯台</li> <li>・工場</li> <li>・タンク</li> </ul>
御津漁港 <sup>みつ</sup> 周辺	<ul style="list-style-type: none"> <li>・家屋：152 戸</li> <li>・車両：約 133 台</li> </ul>
大芦漁港 <sup>おわし</sup> 周辺	<ul style="list-style-type: none"> <li>・家屋：271 戸</li> <li>・車両：約 215 台</li> </ul>

※ 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 2.5-30 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、発電所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"> <li>・家屋</li> <li>・車両</li> <li>・工場</li> </ul>	片句漁港周辺	津波が遡上すること を仮定し、漂流する として評価	<p>【判断基準:h】                      流向ベクトルから                      発電所方向への連                      続的な流れは確認                      されないことから、                      発電所に到達しな                      い。なお、輪谷湾入                      口近傍地点の軌跡                      の傾向からも輪谷                      湾内へ向かう連続                      的な流れは確認さ                      れないことから、発                      電所に到達しない。</p>	—	Ⅲ	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>・家屋</li> <li>・車両</li> <li>・灯台</li> </ul>					手結漁港周辺
			<ul style="list-style-type: none"> <li>・家屋</li> <li>・車両</li> <li>・灯台</li> <li>・工場</li> <li>・タンク</li> </ul>					恵曇漁港周辺
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・家屋</li> <li>・車両</li> </ul>	御津漁港周辺					
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・家屋</li> <li>・車両</li> </ul>	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及び浸水防止設備としては、基準津波が到達する範囲内に設置される防波壁、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。

・対象漂流物

影響評価のプロセスにおいて2号炉の取水口に到達し得るとされたもの及び津波防護施設等に到達の可能性が否定できないもの（添付資料36参照）を踏まえ、港湾内に入港する作業船及び発電所近傍を航行する可能性のある周辺漁港の漁船を対象とし、港湾外に設置する津波防護施設（3号炉北側防波壁、1号炉放水連絡通路防波扉）については、この中で最も重量が大きい総トン数19tの船舶を代表とし、港湾内に設置する津波防護施設（3号炉東

防波壁， 1， 2号炉前面防波壁及び防波壁付防波扉）については， 港湾内に入港する作業船のうち最も重量が大きい総トン数 10t の船舶を代表とする。

・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。

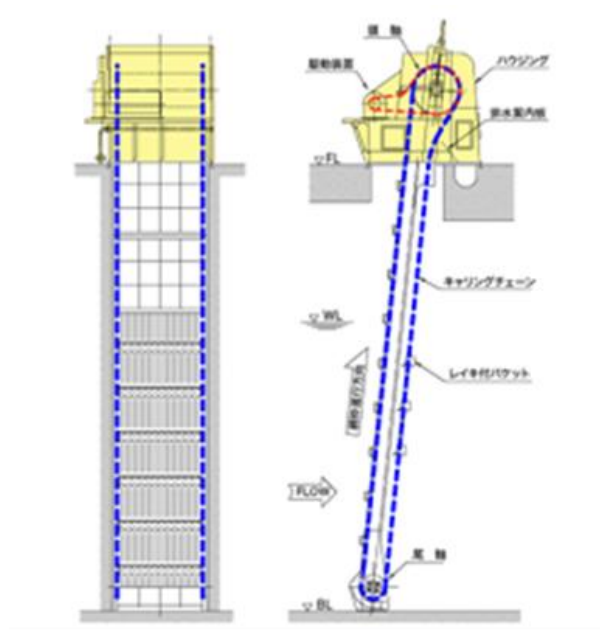
結果は以下に示すとおりであり， 除塵装置はいずれの場合においても非常用海水冷却系の取水性に影響を与えるものではないことと評価する。

i. 津波による破損に対する評価

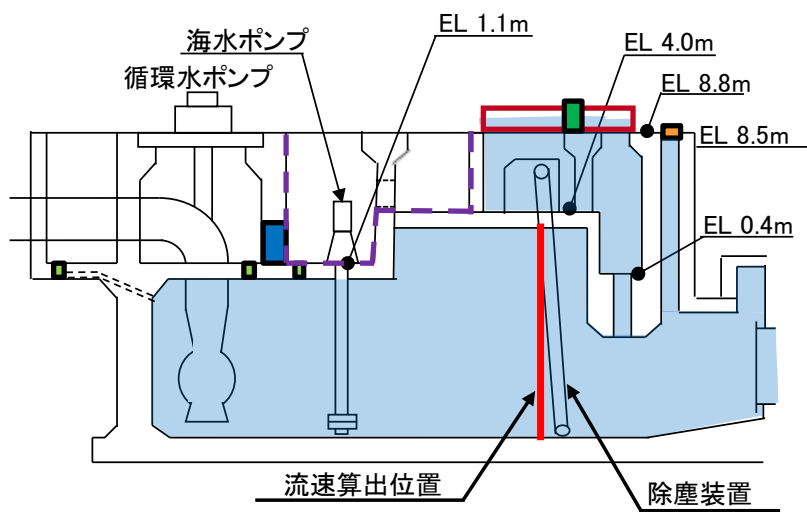
a. 確認方法

除塵装置の概要は第 2.5-31 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。

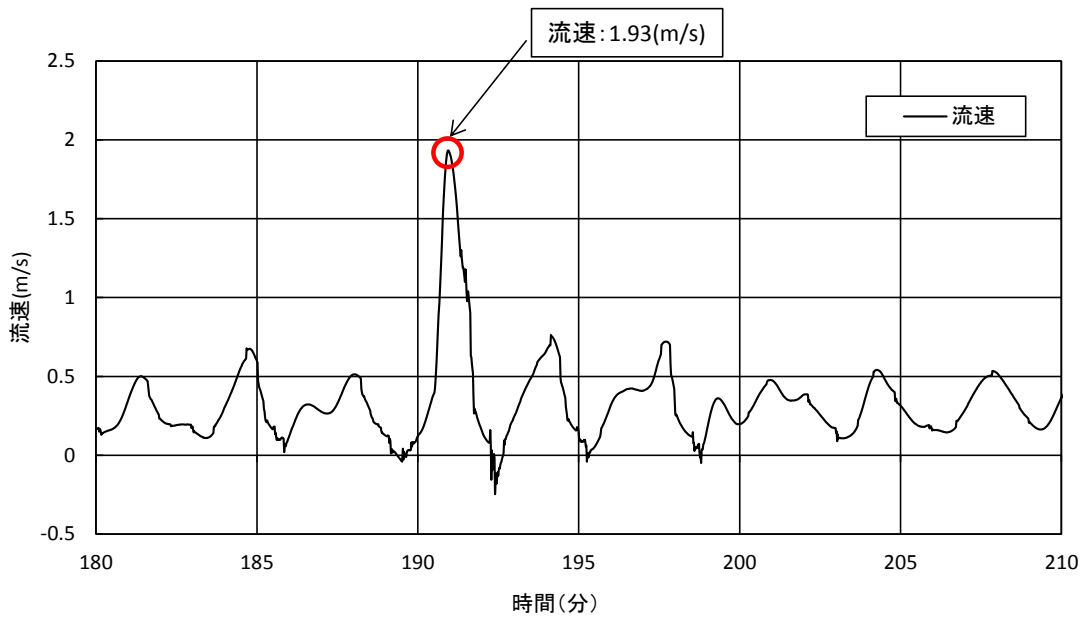
確認条件（津波流速）の算出位置を第 2.5-32 図， 算出位置における流速評価結果を第 2.5-33 図に示す。算出位置における最大流速は 1.93m/s となるが， 除塵装置が破損しないことは流速 2.4m/s まで確認しており， ここでは， 2.4m/s における確認結果を示す。



第 2.5-31 図 除塵装置の概要



第 2.5-32 図 流速算出位置



第 2.5-33 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。

## 2.6 津波監視

### 【規制基準における要求事項等】

敷地への津波の繰り返しの襲来を察知し、津波防護施設、浸水防止設備の機能を確実に確保するために、津波監視設備を設置すること。

### 【検討方針】

敷地への津波の繰り返しの襲来及び、発電所特有の津波挙動を把握し、津波防護施設及び浸水防止設備の機能を確実に確保するため、津波監視設備として、津波監視カメラ及び取水槽水位計を設置する。

### 【検討結果】

津波監視設備として次の設備を設置する。

- ・津波監視カメラ
- ・取水槽水位計

津波監視カメラは2号炉排気筒のEL64mの位置に設置し、水平360°、垂直±90°の旋回が可能な設備とすることで、津波の襲来及び津波挙動の察知と、その影響の俯瞰的な把握を可能とする。また、赤外線撮像機能を有したカメラを用い、かつ中央制御室から監視可能な設備とすることで、昼夜を問わない継続した監視を可能とする。

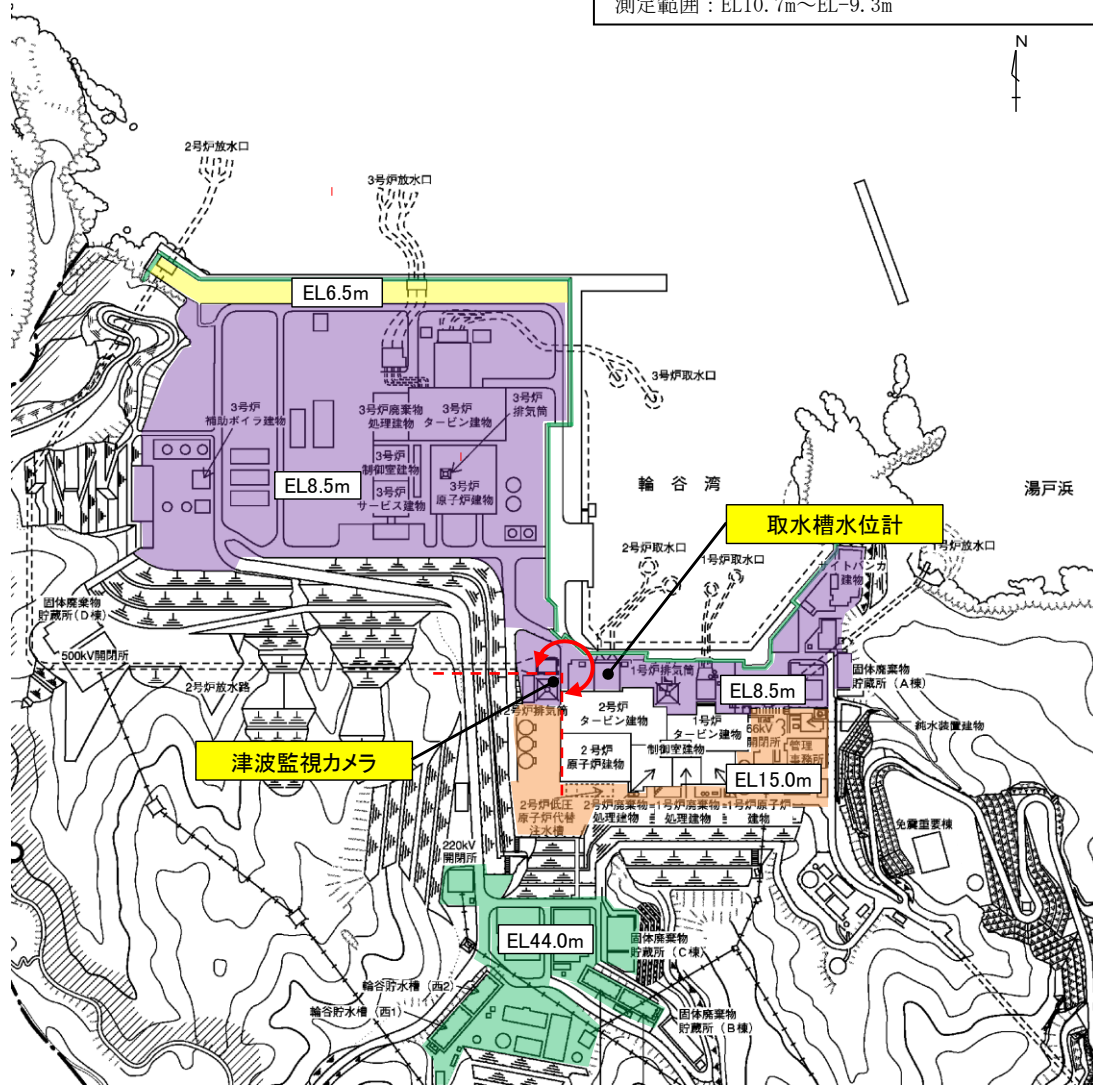
また、取水槽水位計は2号炉の取水槽に設置し、水位上昇側及び下降側の入力津波高さ（EL10.6m～EL-6.5m）を考慮して、測定範囲をEL+10.7m～EL-9.3mとする。

以上の津波監視設備の設置の概要を第2.6-1図に示す。

なお、津波監視設備を用いた津波監視に関する考え方を添付資料19に示す。

津波監視カメラ  
 設置位置：2号炉排気筒 EL64m  
 視野角：360°，垂直±90°（排気筒による死角を除く）  
 （※）図中矢印はカメラの監視範囲を示す

取水槽水位計  
 設置位置：2号炉取水槽  
 測定範囲：EL10.7m～EL-9.3m



第 2.6-1 図 津波監視設備の設置概要

### 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

#### (1) 重大事故等対処設備の取水性

##### 【規制基準における要求事項等】

重大事故等対処設備の取水性については、次に示す方針を満足すること。

- ・基準津波による水位の低下に対して海水ポンプが機能保持できる設計であること。
- ・基準津波による水位の低下に対して冷却に必要な海水が確保できる設計であること。

##### 【検討方針】

基準津波による水位の低下に対して、常設重大事故等対処設備の海水ポンプである原子炉補機海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ及び可搬型重大事故等対処設備の海水を取水するポンプである大型送水ポンプ車が機能保持できる設計であることを確認する。

また、基準津波による水位の低下に対して、重大事故等対処設備による冷却に必要な海水が確保できる設計であることを確認する。

具体的には、以下のとおり実施する。

- ・原子炉補機海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ位置、及び大型送水ポンプ車位置（水中ポンプ設置位置）の評価水位の算定を適切に行うため、取水路の特性に応じた手法を用いる。また、取水路の管路の形状や材質、表面の状況に応じた摩擦損失を設定する。
- ・原子炉補機海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ及び大型送水ポンプ車の取水可能水位が下降側評価水位を下回る等、水位低下に対して各ポンプが機能保持できる設計となっていることを確認する。
- ・引き波時に水位が実際の取水可能水位を下回る場合には、下回っている時間において、原子炉補機海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ及び大型送水ポンプ車の継続運転が可能な貯水量を十分確保できる設計となっていることを確認する。なお、取水路または取水槽が循環水系と非常用系で併用される場合においては、循環水系運転継続等による取水量の喪失を防止できる措置が施される方針であることを確認する。

##### 【検討結果】

海水の取水を目的とした重大事故等対処設備としては、常設重大事故等対処設備として原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ、可搬型重大事故等対処設備として大型送水ポンプ車があり、その各々について、基準津波による水位の低下に対して機能保持できる設計であること、及び重大事故等対処設備による冷却に必要な海水が確保できる設計であることを以下のとおり確認している。

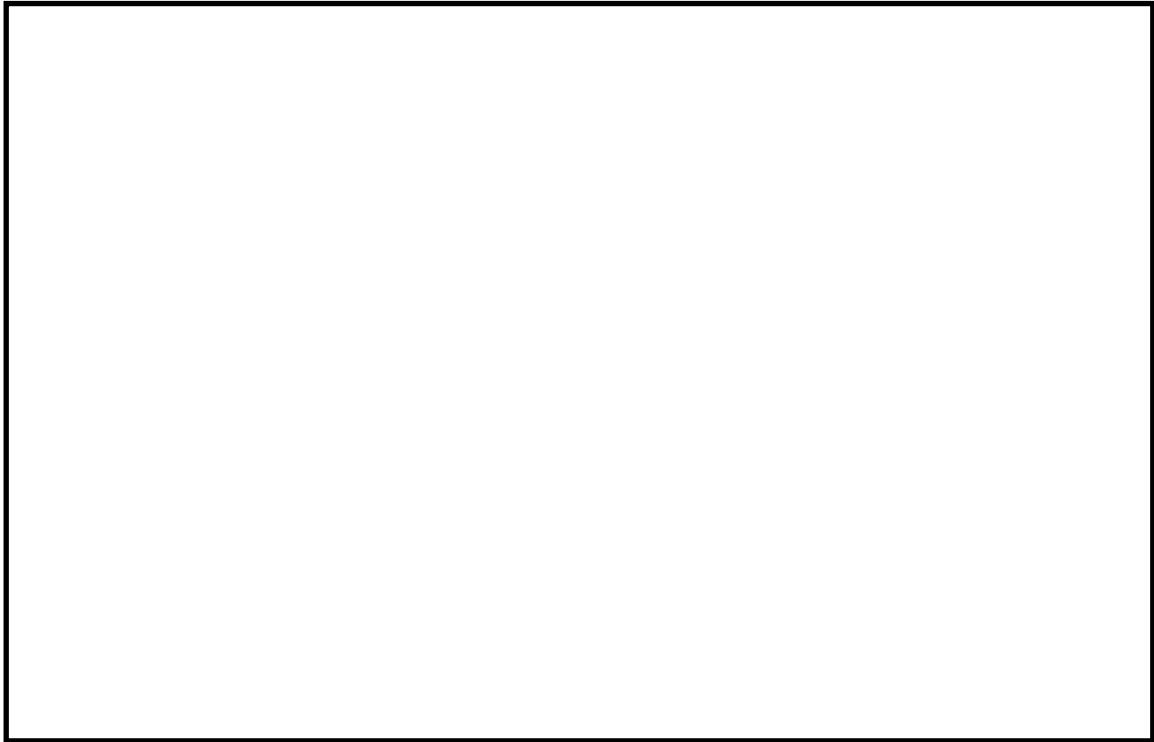
a. 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、設計基準対象施設の非常用海水冷却系の海水ポンプと同一の設備であり、確認内容は「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」に示したとおりである。

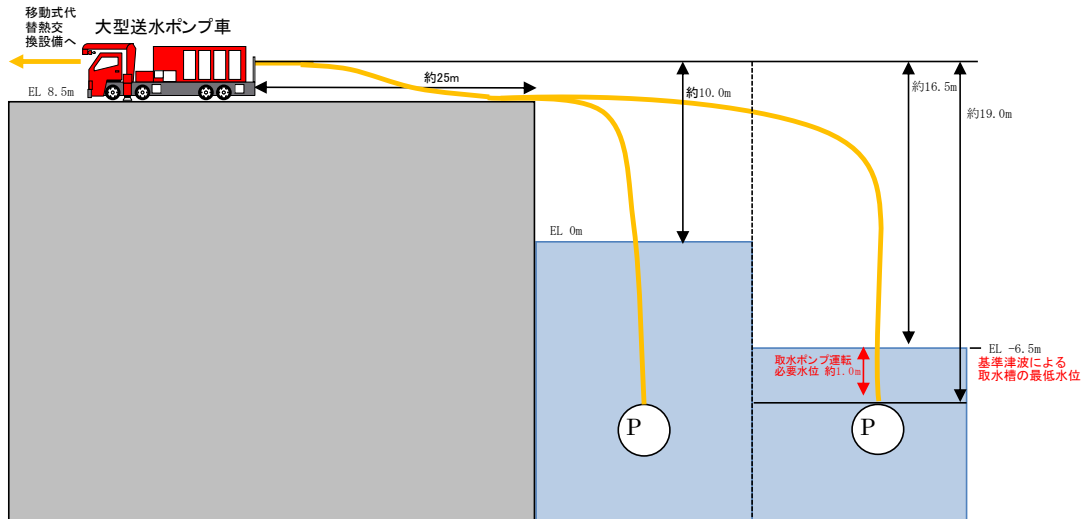
b. 大型送水ポンプ車

可搬型重大事故等対処設備のうち、海水を取水する機器としては、大型送水ポンプ車が挙げられる。大型送水ポンプ車は、水中ポンプを有しており、当該水中ポンプを基準津波による取水槽の最低水位を考慮した取水路内に設置することにより海水を取水する設計としている。（海水取水の概要を第 3.5-1 図に示す。）

具体的には、基準津波による取水槽の最低水位は EL-6.5m であり、当該水中ポンプを適切な位置に設置する。また、水中ポンプの送水先の高さは EL 約 10.0m であり、その差は、約 16.5m であるが、大型送水ポンプ車の揚程は 40m 以上であることから、基準津波による水位低下に対して、取水性の維持が可能である。



第 3.5-1-1 図 大型送水ポンプ車の取水イメージ(1/2)



第 3.5-1-2 図 大型送水ポンプ車の取水イメージ(2/2)

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。

## (2) 津波の二次的な影響による重大事故等対処設備の機能保持確認

### 【規制基準における要求事項等】

基準津波に伴う取水口付近の砂の移動・堆積が適切に評価されていること。

基準津波に伴う取水口付近の漂流物が適切に評価されていること。

重大事故等対処設備については、次に示す方針を満足すること。

- ・基準津波による水位変動に伴う海底の砂移動・堆積，陸上斜面崩壊による土砂移動・堆積及び漂流物に対して取水口及び取水路の通水性が確保できる設計であること。
- ・基準津波による水位変動に伴う浮遊砂等の混入に対して海水ポンプが機能保持できる設計であること。

### 【検討方針】

基準津波に伴う2号炉の取水口付近の砂の移動・堆積や漂流物を適切に評価する。その上で、重大事故等対処設備について、基準津波による水位変動に伴う海底の砂移動・堆積，陸上斜面崩壊による土砂移動・堆積及び漂流物に対して2号炉の取水口及び取水路の通水性が確保できる設計であること，浮遊砂等の混入に対して海水を取水するポンプが機能保持できる設計であることを確認する。

具体的には、以下のとおり確認する。

- ・遡上解析結果における取水口付近の砂の堆積状況に基づき，砂の堆積高さが取水口下端に到達しないことを確認する。取水口下端に到達する場合は，取水口及び取水路が閉塞する可能性を安全側に検討し，閉塞しないことを確認する。
- ・混入した浮遊砂は，スクリーン等で除去することが困難なため，海水を取水するポンプそのものが運転時の砂の混入に対して軸固着しにくい仕様であることを確認する。
- ・基準津波に伴う取水口付近の漂流物については，遡上解析結果における取水口付近を含む敷地前面及び遡上域の寄せ波及び引き波の方向，速度の変化を分析した上で，漂流物の可能性を検討し，漂流物により取水口が閉塞しないことを確認する。また，スクリーン自体が漂流物となる可能性が無いか確認する。

### 【検討結果】

海水の取水を目的とした重大事故等対処設備である，常設重大事故等対処設備の原子炉補機海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ及び可搬型重大事故等対処設備の大型送水ポンプ車はともに，設計基準対象施設の非常用海水冷却系と同じ，2号炉の取水口・取水路から取水する。このため，取水口及び取水路の通水性の確保に関わる評価は，「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」に示した内容に包含される。

一方，浮遊砂等の混入に対する海水ポンプの機能保持できる設計であることについては，原子炉補機海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ及び大型送水ポンプ車の各々について，以下のとおり確認している。

a. 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、設計基準対象施設の非常用海水冷却系の海水ポンプと同一の設備であり、確認内容は「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」に示したとおりである。

b. 大型送水ポンプ車

水位変動に伴う浮遊砂の平均濃度は、 $0.82 \times 10^{-2}$ wt%以下、砂の粒径は約 0.3mm であり、同設備が一般的に災害時に海水を取水するために用いられる設備であることを踏まえると大型送水ポンプ車の水中ポンプが取水する浮遊砂量はごく微量であり、砂混入により機能を喪失することはない。

### 3.6 津波監視

**【規制基準における要求事項等】**

敷地への津波の繰り返しの襲来を察知し、津波防護施設、浸水防止設備の機能を確実に確保するために、津波監視設備を設置すること。

**【検討方針】**

敷地への津波の繰り返しの襲来を察知し、津波防護施設及び浸水防止設備の機能を確実に確保するため、津波監視設備として、津波監視カメラ及び取水槽水位計を設置する。

**【検討結果】**

津波監視設備の設置については、「2.6 津波監視」に示した設計基準対象施設に対する津波監視と同様の方針を適用する。



#### 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

###### 【規制基準における要求事項等】

津波防護施設は、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計すること。

###### 【検討方針】

津波防護施設（防波壁，防波壁通路防波扉，1号放水連絡通路防波扉及び1号炉取水槽流路縮小工）は、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安全性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計する。

###### 【検討結果】

2号炉では、基準津波による水位上昇時に、津波を地上部から到達，流入させないよう，施設護岸沿いに防波壁，防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉を津波防護施設として設置する。また，取水路からの津波の流入を防止するために，1号炉取水槽に流路縮小工を津波防護施設として設置する。

防波壁，防波壁通路防波扉，1号放水連絡通路防波扉及び1号炉取水槽流路縮小工は，その構造に応じ，波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し，越流時の耐性や構造境界部の止水にも配慮した上で，入力津波による津波荷重や地震荷重等に対して津波防護機能が十分に保持できるように以下の方針により設計する。

##### （1）防波壁

防波壁は，施設護岸における入力津波高さに対して，敷地への津波の到達，流入を防止するために十分な高さを確保する設計とする。

防波壁は津波荷重や地震荷重に対して津波防護機能が十分に保持できるように以下の方針により設計する。

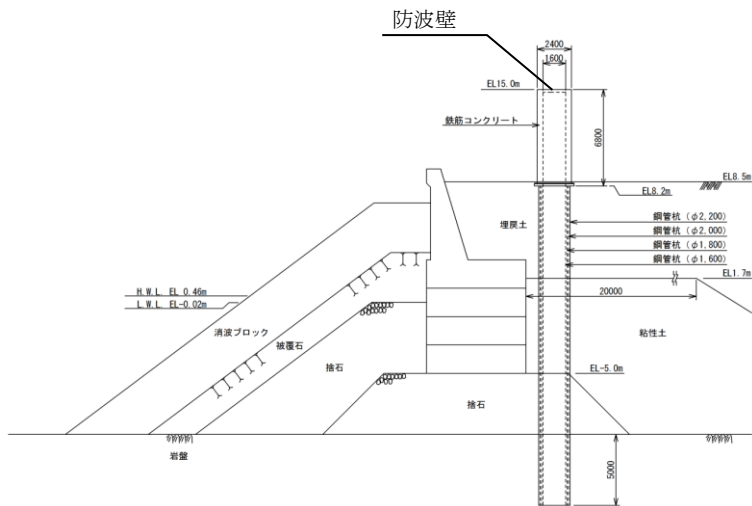
###### a. 構造

防波壁は敷地護岸沿いに設置し，津波が敷地へ到達，流入することを防止する。構造は，杭基礎または直接基礎の鉄筋コンクリート壁とする。

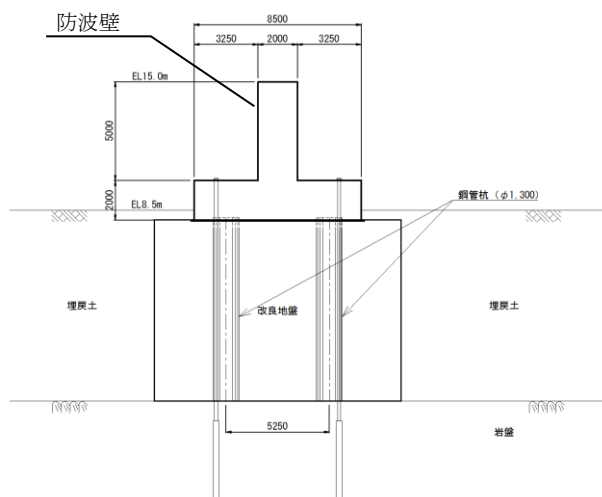
防波壁の配置図を第4.1-1図に，代表的な構造例を第4.1-2～5図に示す。



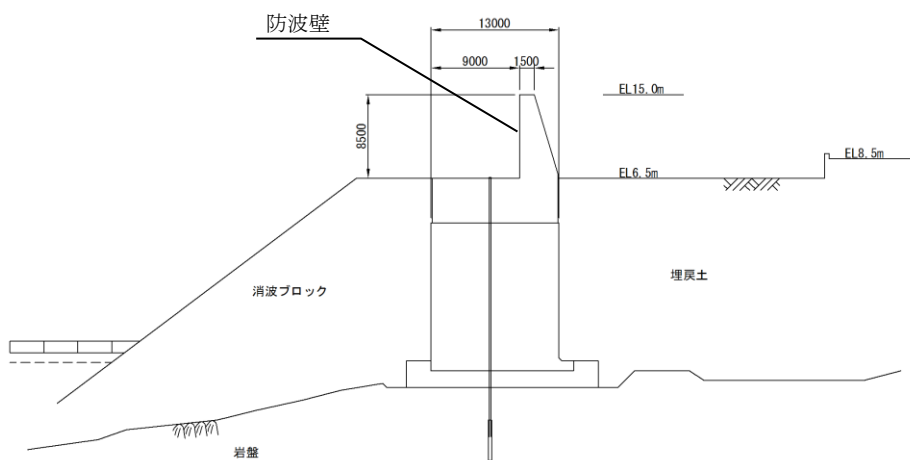
第 4.1-1 図 防波壁配置図



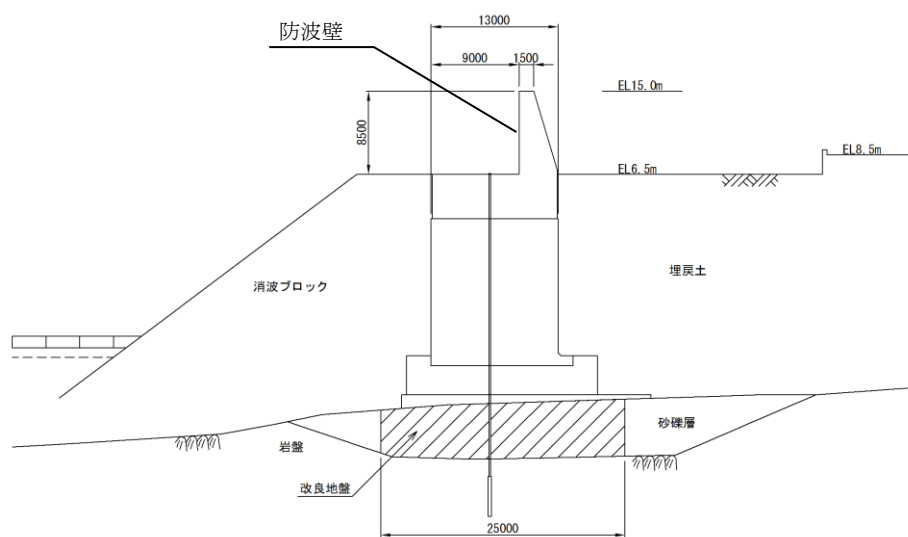
第 4.1-2 図 防波壁構造例 (区間①)



第 4.1-3 図 防波壁構造例 (区間②)



第 4.1-4 図 防波壁構造例 (区間③)



第 4.1-5 図 防波壁構造例 (区間④)

b. 荷重組合せ

防波壁は施設護岸沿いに設置するものであることから、設計においてはその設置状況を考慮し、以下に示す常時荷重、地震荷重、津波荷重及び漂流物衝突荷重の組合せを考慮する。

- ・ 常時荷重＋地震荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重＋漂流物衝突荷重

また、設計に当たっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する（添付資料20参照）。

c. 荷重の設定

防波壁の設計において考慮する荷重は、以下のように設定する。

(a) 常時荷重

自重等を考慮する。

(b) 地震荷重

基準地震動  $S_s$  を考慮する。

(c) 津波荷重

津波による水位上昇や、津波の繰り返し襲来を想定し、躯体に作用する津波荷重を考慮する。

(d) 漂流物衝突荷重

対象とする漂流物を定義し、漂流物の衝突力を漂流物衝突荷重として設定する（添付資料21参照）。

(e) 余震荷重

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、余震荷重を考慮しない。

d. 許容限界

津波防護機能に対する機能保持限界として、地震後、津波後の再使用性や、津波の繰り返し作用を想定し、止水性の面も踏まえることにより、当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、構成する部材が概ね弾性域内に収まることを基本とする。

## (2) 防波扉

### a. 防波壁通路防波扉

施設護岸における入力津波高さに対して、敷地への津波の到達、流入を防止するため、防波壁の通路開口部に浸水防止設備として防波壁通路防波扉を設置する。

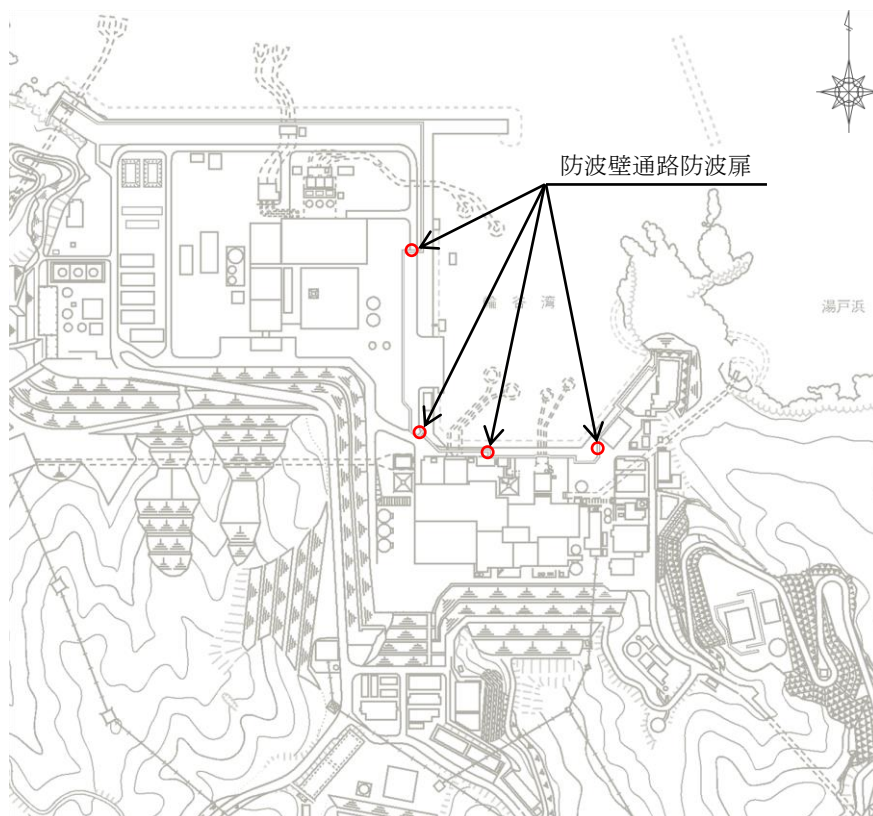
防波壁通路防波扉は津波荷重や地震荷重等に対して浸水防止機能が十分に保持できるよう以下の方針により設計する。

なお、防波壁通路防波扉の運用管理については添付資料23に示す。

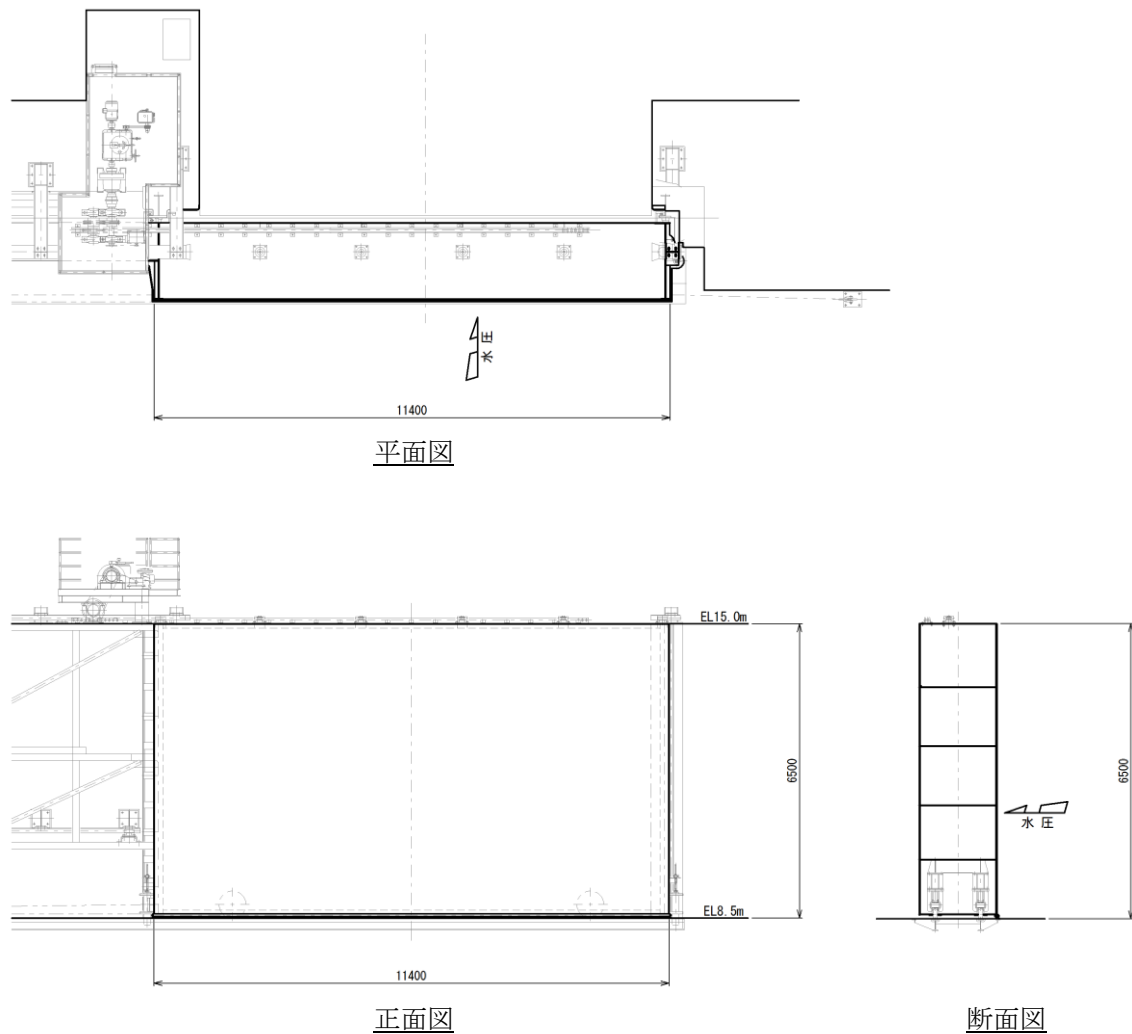
### (a) 構造

防波壁通路防波扉は、鋼製の主桁、補助縦桁及びスキンプレート等により構成する。また、防波扉と戸当たりの間及び扉体下端に止水ゴムを取り付けることで浸水を防止する構造とする。

防波壁通路防波扉の配置図を第4.1-6図に、構造例を第4.1-7図に示す。



第 4.1-6 図 防波壁通路防波扉配置図



第 4.1-7 図 防波壁通路防波扉構造例

(b) 荷重組合せ

防波壁通路防波扉の設計においては、以下に示す常時荷重、地震荷重、津波荷重及び漂流物衝突荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重＋漂流物衝突荷重

また、設計に当たっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する（添付資料20参照）。

(c) 荷重の設定

防波壁通路防波扉の設計において考慮する荷重は、以下のように設定する。

i 常時荷重

自重等を考慮する。

ii 地震荷重

基準地震動  $S_s$  を考慮する。

iii 津波荷重

設置位置における，入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。

iv 漂流物衝突荷重

対象とする漂流物を定義し，漂流物の衝突力を漂流物衝突荷重として設定する（添付資料21参照）。

v 余震荷重

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，余震荷重を考慮しない。

(d) 許容限界

浸水防止機能に対する機能保持限界として，地震後，津波後の再使用性や，津波の繰り返し作用を想定し，当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう，構成する部材が弾性域内に収まることを確認する。

なお，止水性能については耐圧・漏水試験で確認する。



b. 1号放水連絡通路防波扉

1号炉放水連絡通路における入力津波高さに対して、敷地への津波の到達、流入を防止するため、1号炉放水連絡通路海側出口に1号放水連絡通路防波扉を設置する。

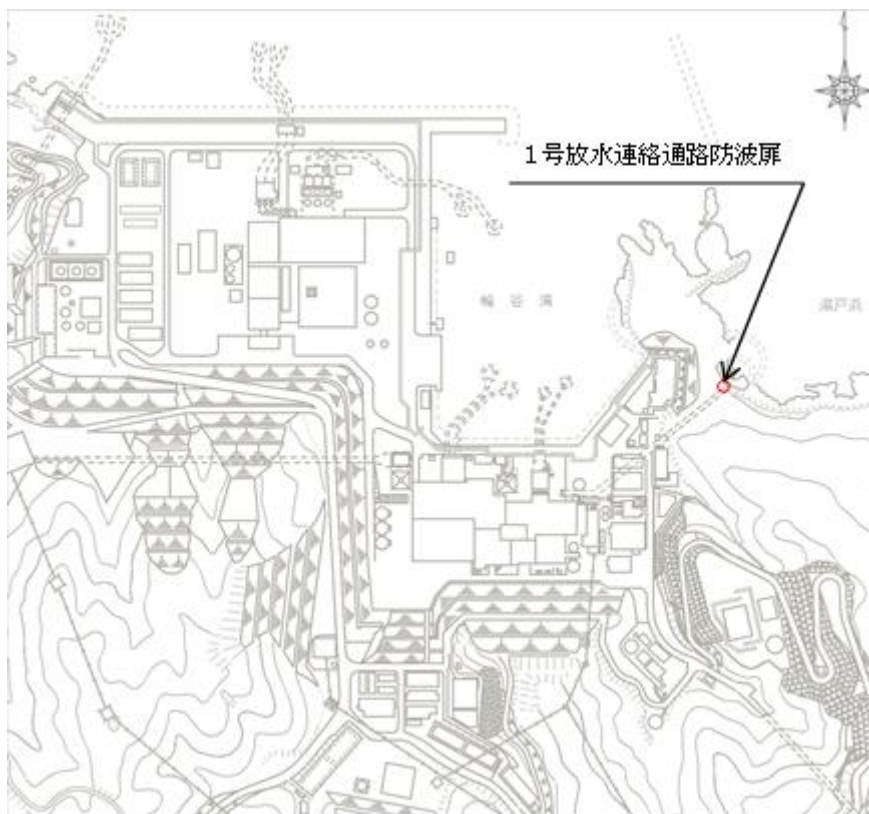
1号放水連絡通路防波扉は津波荷重や地震荷重等に対して浸水防止機能が十分に保持できるよう以下の方針により設計する。

なお、1号放水連絡通路防波扉の運用管理については添付資料23に示す。

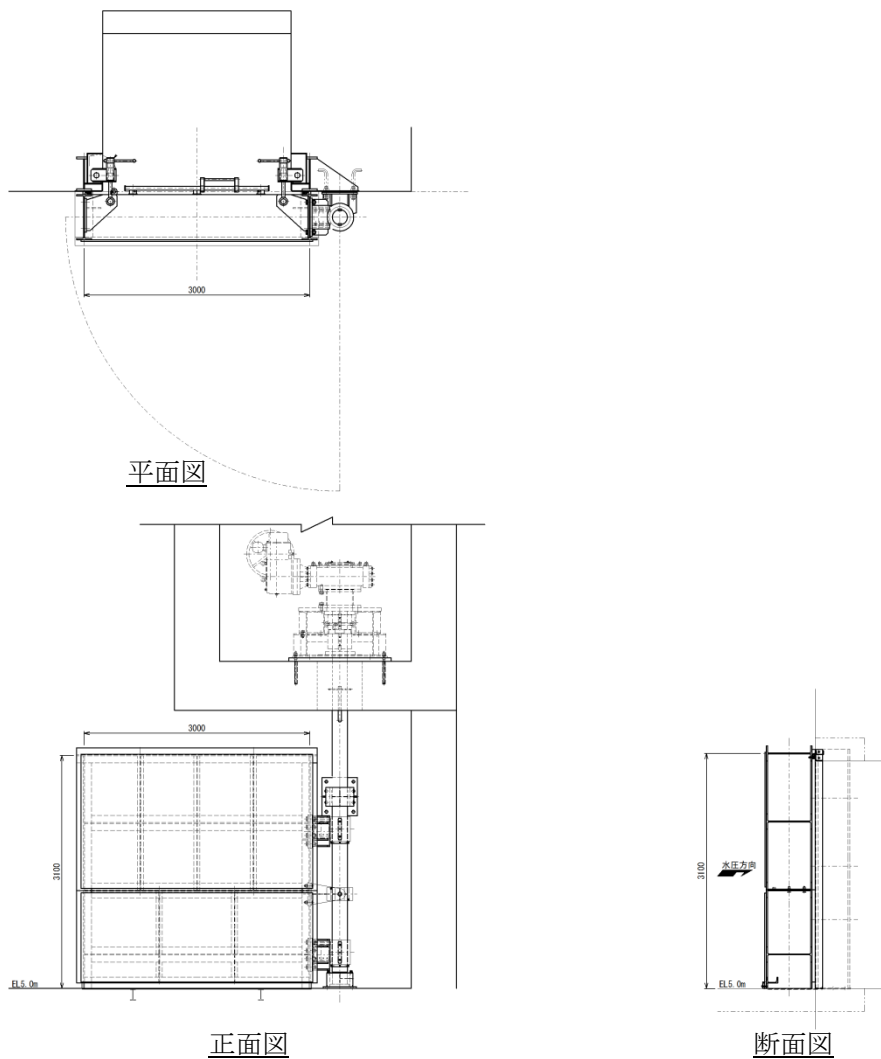
(a) 構造

1号放水連絡通路防波扉は鋼製の主桁、補助縦桁及びスキムプレートにより構成する扉であり、アンカーボルトにより鉄筋コンクリート壁に固定する。また、扉枠に止水ゴムを取り付けることで浸水を防止する構造とする。

1号放水連絡通路防波扉の配置図を第4.1-8図に、構造図を第4.1-9図に示す。



第 4.1-8 図 1号放水連絡通路防波扉配置図



第 4.1-9 図 1号放水連絡通路防波扉構造図

(b) 荷重組合せ

1号放水連絡通路防波扉の設計においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重、津波荷重及び漂流物衝突荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ・常時荷重＋地震荷重
- ・常時荷重＋津波荷重
- ・常時荷重＋津波荷重＋漂流物衝突荷重

また、設計に当たっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する（添付資料20参照）。

(c) 荷重の設定

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、以下のように設定する。

i 常時荷重

自重等を考慮する。

ii 地震荷重

基準地震動  $S_s$  を考慮する。

iii 津波荷重

設置位置における，入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。

iv 漂流物衝突荷重

対象とする漂流物を定義し，漂流物の衝突力を漂流物衝突荷重として設定する（添付資料21参照）。

v 余震荷重

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，余震荷重を考慮しない。

(d) 許容限界

浸水防止機能に対する機能保持限界として，地震後，津波後の再使用性や，津波の繰り返し作用を想定し，当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう，構成する部材が弾性域内に収まることを確認する。

なお，止水性能については耐圧・漏水試験で確認する。

(3) 1号炉取水槽流路縮小工

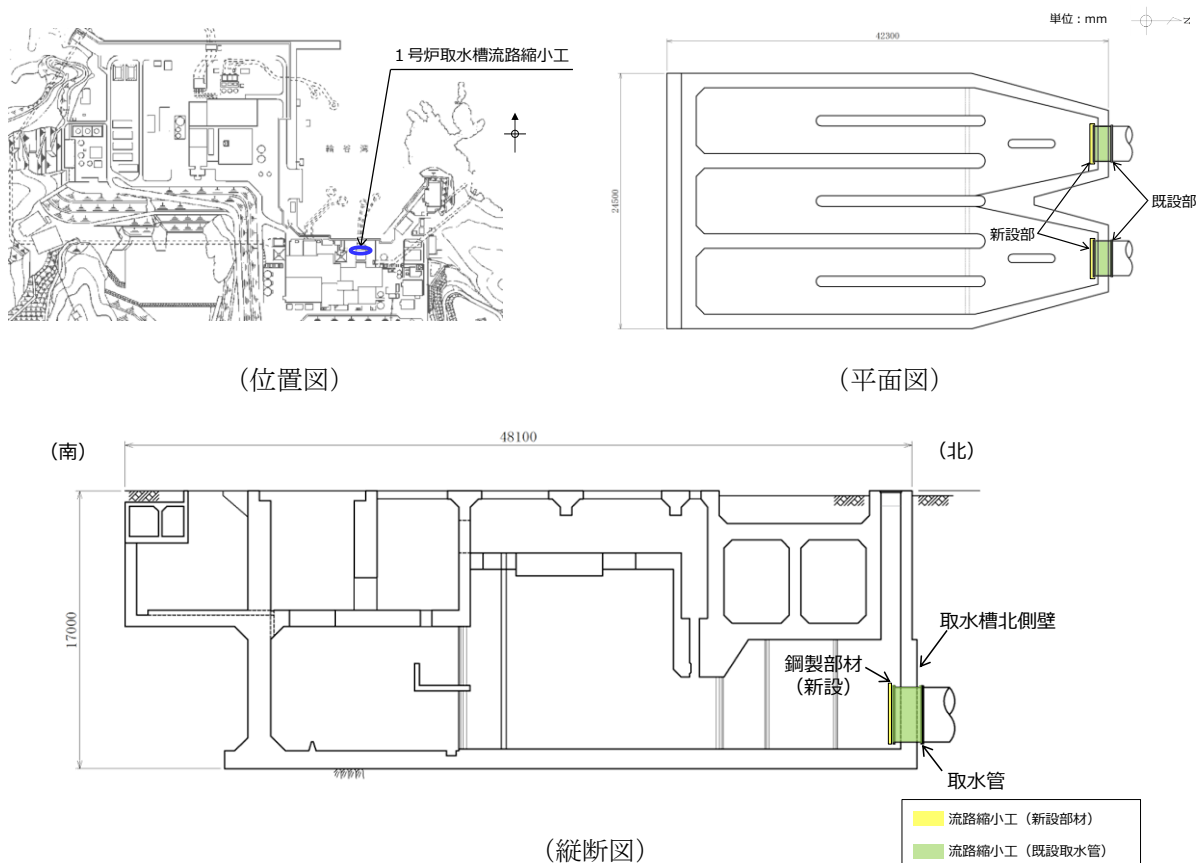
1号炉取水路を遡上する津波に対して、取水槽から敷地への津波の到達、流入を防止するため、1号炉取水槽に流路縮小工を設置する。

流路縮小工は、津波荷重や地震荷重に対して津波防護機能が十分に保持できるように以下の方針により設計する。(詳細な設計方針及び構造成立性の見通しについては、添付資料29参照)

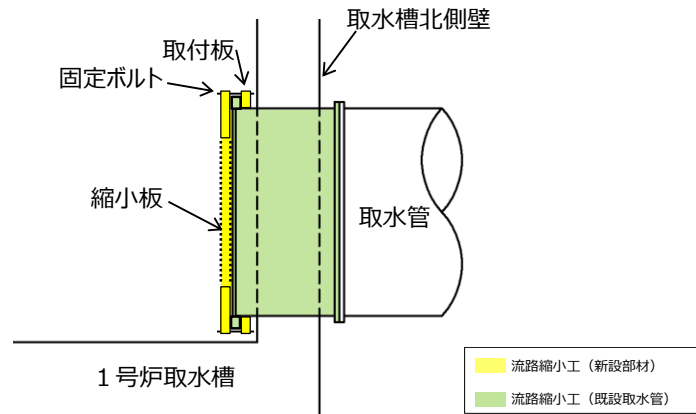
a. 構造

1号炉取水槽流路縮小工は鋼製部材で構成し、取水管端部に設置する。

1号炉取水槽流路縮小工の配置図を第4.1-10図に、構造例を第4.1-11図に示す。



第4.1-10図 1号炉取水槽流路縮小工配置図



第4.1-11図 1号炉取水槽流路縮小工拡大イメージ

b. 荷重組合せ

1号炉取水槽流路縮小工の設計においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重、及び津波荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ・常時荷重＋地震荷重
- ・常時荷重＋津波荷重
- ・常時荷重＋津波荷重＋余震荷重

また、設計に当たっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する（添付資料20参照）。

c. 荷重の設定

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、以下のよう設定する。

(a) 常時荷重

自重を考慮する。

(b) 地震荷重

基準地震動  $S_s$  を考慮する。

(c) 津波荷重

設置位置における、入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。

(d) 余震荷重

余震による地震動について検討し、余震荷重を設定する。具体的には余震による地震動として弾性設計用地震動  $S_d$  を適用し、これによる荷重を余震荷重として設定する。適用に当たっての考え方を添付資料22に示す。

d. 許容限界

津波防護機能に対する機能保持限界として、地震後、津波後の再使用性や、津波の繰り返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、構成する部材が概ね弾性域内に収まることを基本とする。

## 管路計算の詳細について

## 1. はじめに

海洋から取水路及び放水路を経て各評価地点までの水路の水理特性を考慮した管路計算を基準津波 1～6（水位上昇側：基準津波 1, 2, 4, 5, 水位下降側：基準津波 1, 3, 4, 6）を入力波形として計算を実施した。

## 2. 管路計算に基づく評価

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

管路計算の計算条件を表 2 に、貝付着を考慮する範囲を図 1 に示す。取水路及び放水路の構造図を図 2 に示す。また、基礎方程式等の数値計算手法は、「原子力発電所の津波評価技術 2016（土木学会原子力土木委員会津波評価部会，2016）」に基づき次頁以降に示すとおりとする。

取・放水経路は開水路区間と管路区間が混在するため、微小区間に分割した水路の各部分が、開水路状態か管路状態かを逐次判定し、管路区間はその上下流端の開水路区間の水位（自由水面の水位）を境界条件として流量計算を行い、開水路区間は、開水路の次元不定流の式により流量・水位を計算する。また、水槽及び立坑部は、水面面積を鉛直方向に積算した水位－容積関係を用いて、水槽及び立坑部に接続する水路の流量合計値から水位を算定する。なお、解析には先行審査で実績のある解析コード「SURGE」を使用した。

管路については、管路延長・管路勾配・管径を考慮し、モデル化を行い、各管路モデルで摩擦による損失を考慮する。摩擦損失以外の損失は次頁以降の解析モデルに示す各節点において考慮する。また、水槽および立坑部は、水槽面積を考慮し、次頁以降の解析モデル図に示す池としてモデル化し、池モデル内においては、保守的に損失水頭は生じないこととする。管路解析モデルを図 3 に示す。

管路計算は、取・放水口における水位の時刻歴波形を入力条件、取・放水槽におけるポンプ取・放水量（号機毎にポンプ運転時・停止時の取・放水量を設定）を境界条件として実施する。

表 3, 4 及び図 4～10 に管路解析モデルに用いた各損失を示す。また、表 5 に各取放水施設の損失水頭表の整理結果を示す。

水位上昇側の評価結果を表 6 に、水位下降側の評価結果を表 7 に示す。また、日本海東縁部に想定される地震による津波の各評価地点の最大の時刻歴波形をそれぞれ図 11 及び図 12 に、海域活断層から想定される地震による津波の各評価地点の最大の時刻歴波形をそれぞれ図 13 及び図 14 に示す。

表1 条件設定

	計算条件
1	貝付着の有無
2	循環水ポンプ稼働の有無

表2 管路計算における計算条件

項目	計算条件
計算領域	【取水施設】 1, 2号炉 取水口 ~ 取水管 ~ 取水槽 3号炉 取水口 ~ 取水トンネル ~ 取水路 ~ 取水槽 【放水施設】 放水口 ~ 放水路 ~ 放水槽
計算時間間隔	0.01秒
取水槽側境界条件 (ポンプ取水量)	1号炉 循環水ポンプ停止時: $1.0\text{m}^3/\text{s}$ <sup>※1</sup> 2号炉 循環水ポンプ運転時: $59\text{m}^3/\text{s}$ , 循環水ポンプ停止時: $2.3\text{m}^3/\text{s}$ 3号炉 循環水ポンプ運転時: $95\text{m}^3/\text{s}$ <sup>※2</sup> , 循環水ポンプ停止時: $3\text{m}^3/\text{s}$
摩擦損失係数 (マニングの粗度係数)	【取水施設】 (貝付着なし) $1 \cdot 2$ 号炉取水口 <sup>※3</sup> , $1 \cdot 2$ 号炉取水管 <sup>※3</sup> : $0.014\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ 3号炉取水口 <sup>※4</sup> , 3号炉取水路 <sup>※4</sup> , $1 \sim 3$ 号炉取水槽 <sup>※4</sup> : $0.015\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ (貝付着あり) $1 \sim 3$ 号炉取水口, $1 \sim 3$ 号炉取水管, $1 \sim 3$ 号炉取水槽: $0.02 \text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ 【放水施設】 (貝付着なし) $1 \sim 3$ 号炉放水口 <sup>※4</sup> , $1 \sim 3$ 号炉放水路 <sup>※4</sup> , $1 \sim 3$ 号炉放水槽 <sup>※4</sup> : $0.015\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ (貝付着あり) $1 \sim 3$ 号炉放水口, $1 \sim 3$ 号炉放水路, $1 \sim 3$ 号炉放水槽: $0.02 \text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$
貝の付着代	点検結果を踏まえ5cmを考慮
局所損失係数	電力土木技術協会(1995): 火力・原子力発電所土木構造物の設計-増補改訂版- 千秋信一(1967): 発電水力演習 土木学会(1999): 水理公式集[平成11年版]による
想定する潮位条件 <sup>※5</sup>	水位上昇側: 朔望平均満潮位EL+0.58mに潮位のばらつき+0.14mを考慮 水位下降側: 朔望平均干潮位EL-0.02mに潮位のばらつき-0.17mを考慮
地盤変動条件	海域活断層から想定される地震による津波については, 0.34mの隆起を考慮 日本海東縁部に想定される地震による津波については, 津波が起きる前の海域活断層による地殻変動量として0.34mの隆起を考慮
計算時間	日本海東縁部に想定される地震による津波は地震発生後6時間まで 海域活断層から想定される地震による津波は地震発生後3時間まで

- ※1 1号炉取水槽に津波防護施設である流路縮小工を設置することにより, 循環水ポンプの運転に必要な通水量が確保できないことから, 循環水ポンプの運転は行わない。
- ※2 燃料装荷前であり, 原子炉を運転するものではないが, メンテナンス等により循環水ポンプを運転する可能性がある。
- ※3 鋼製
- ※4 コンクリート製
- ※5 潮位については, 「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 論点7「入力津波の設定プロセス及び結果の妥当性」(現在, 審議中)の審査結果を適宜反映する。

## ※基礎方程式

管路計算では、非定常の開水路及び管路流の連続式・運動方程式を用いた。

### 【開水路】

- ・運動方程式

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

- ・連続式

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

### 【管路】

- ・運動方程式

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

- ・連続式

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

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

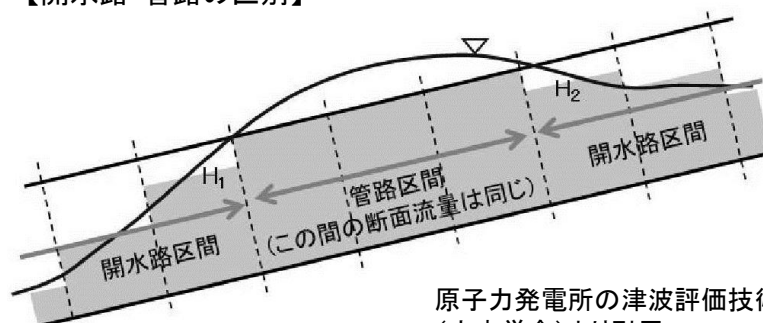
### 【水槽及び立坑部】

- ・連続式

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

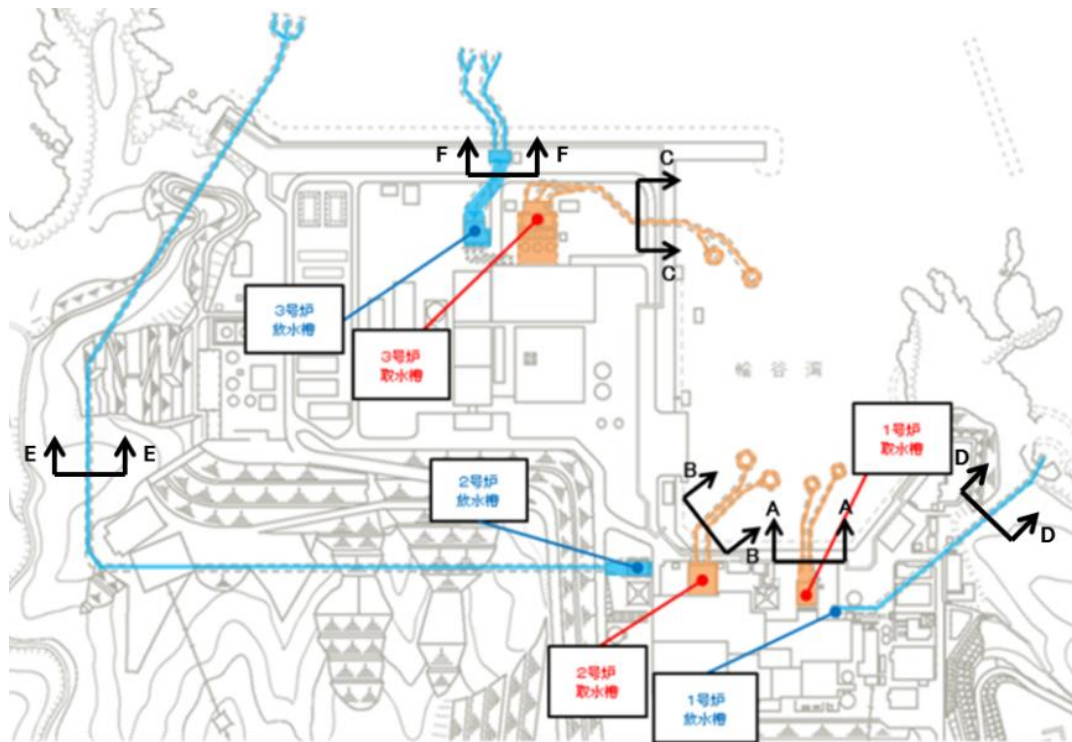
ここに  $A_p$  : 水槽の平面積 (水位 の関数となる)       $H_p$  : 水槽水位  
 $Q_s$  : 水槽へ流入する流量 の総和       $t$  : 時間

### 【開水路・管路の区別】



原子力発電所の津波評価技術 2016  
 (土木学会)より引用





	1号炉	2号炉	3号炉
取水設備	<p>A-A 断面</p>	<p>B-B 断面</p>	<p>C-C 断面</p>
放水設備	<p>D-D 断面</p>	<p>E-E 断面</p>	<p>F-F 断面</p>

— 貝付着考慮範囲

図1 貝付着考慮範囲

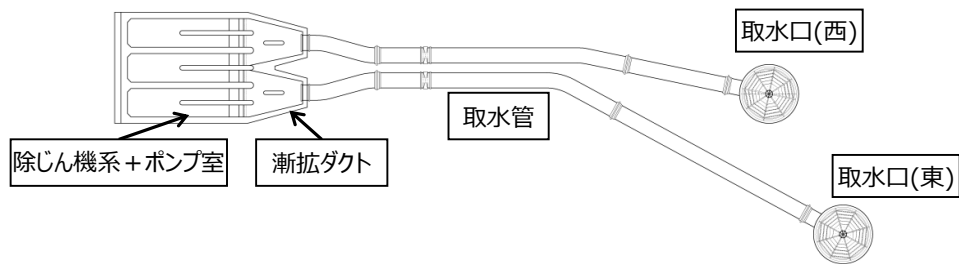


図 2 - 1 1号炉取水施設平面図

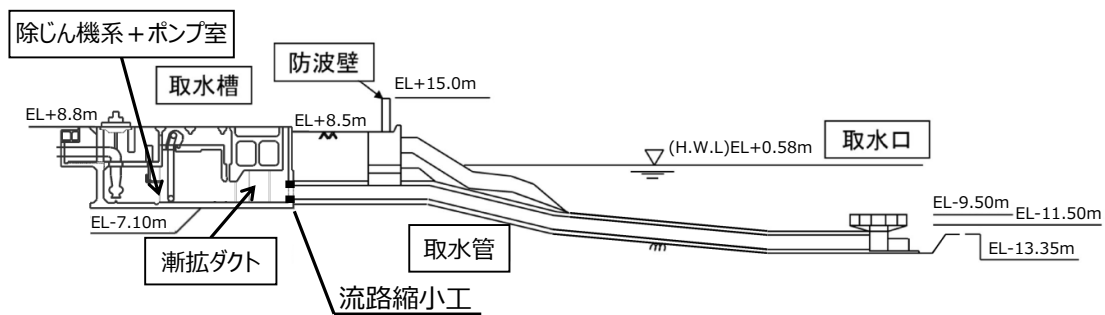


図 2 - 2 1号炉取水施設断面図

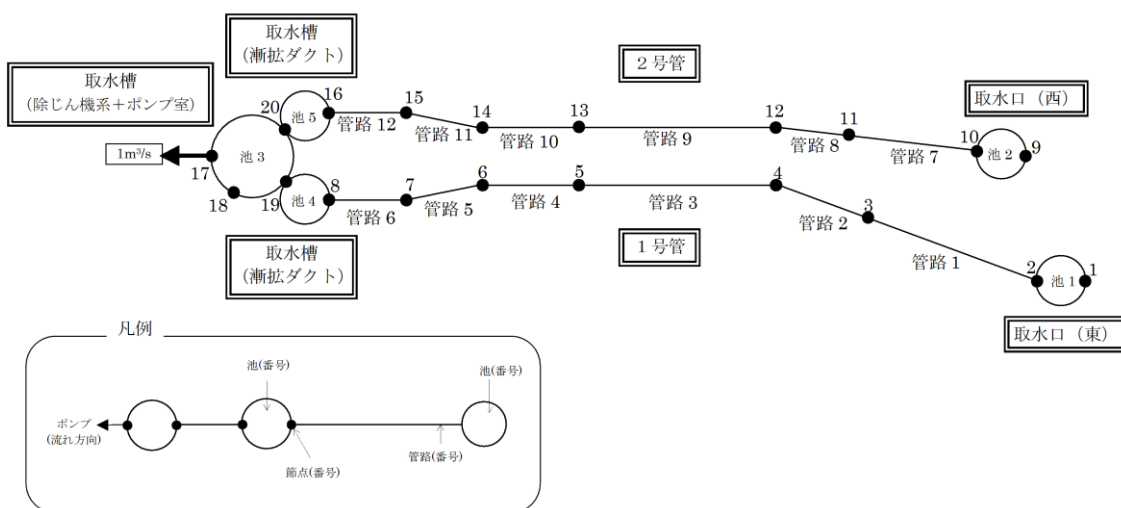


図 3 - 1 1号炉取水施設の管路計算モデル図

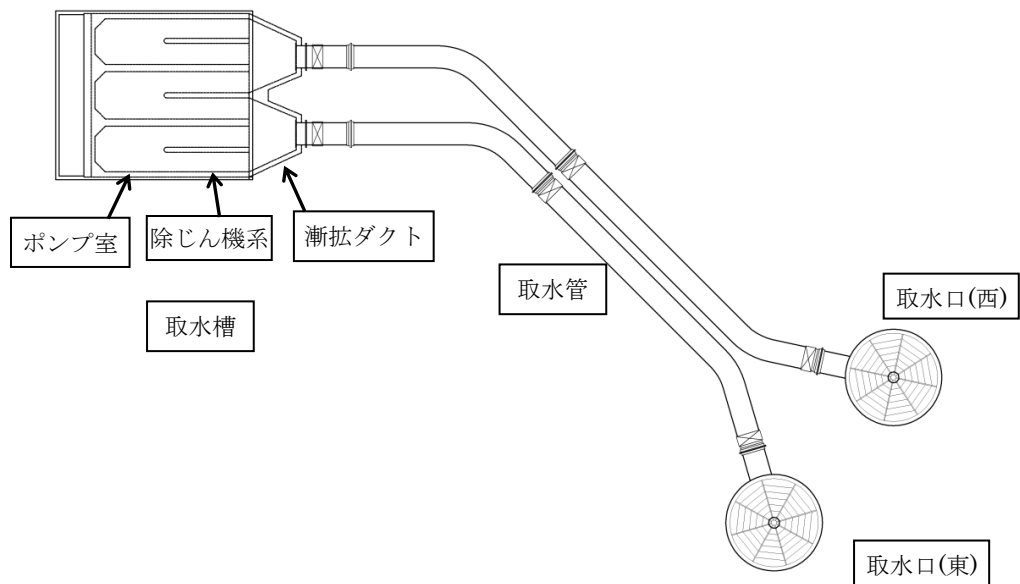


図 2 - 3 2号炉取水施設平面図

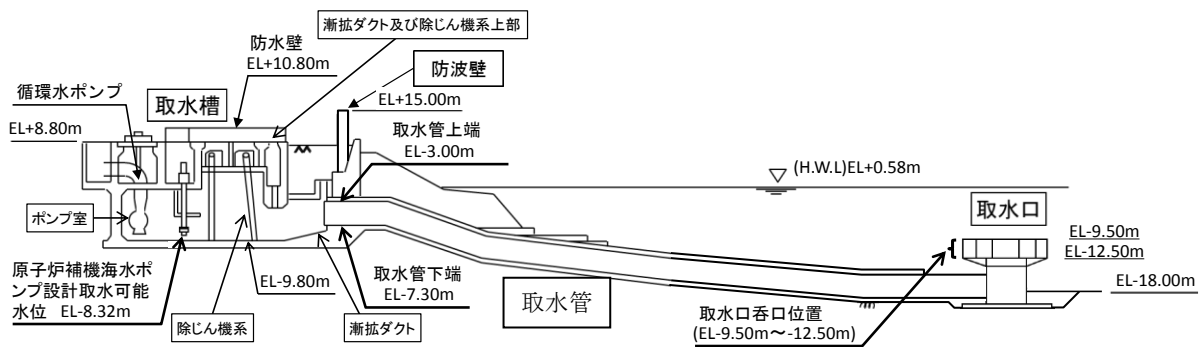


図 2 - 4 2号炉取水施設断面図

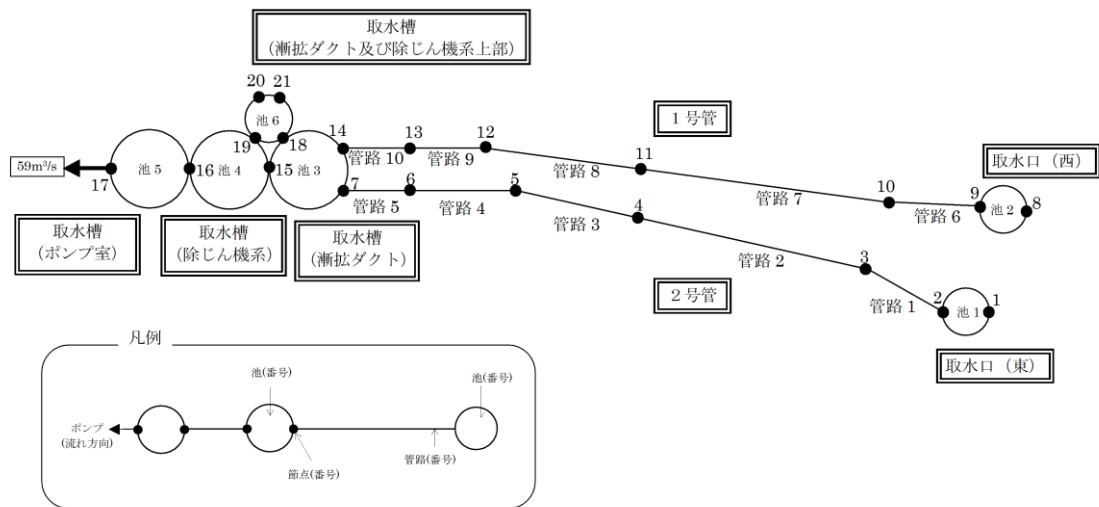


図 3 - 2 2号炉取水施設の管路計算モデル図

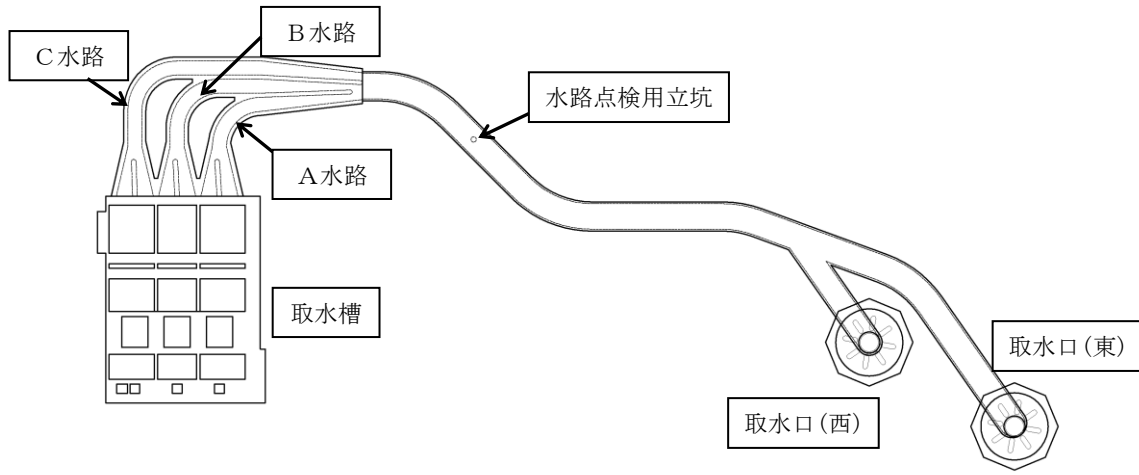


図 2 - 5 3号炉取水施設平面図

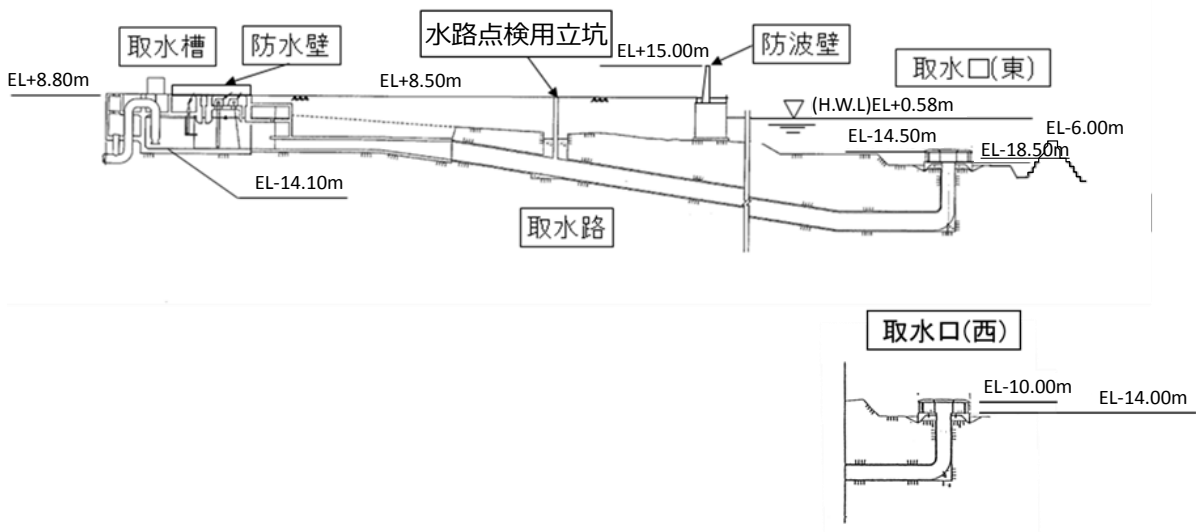


図 2 - 6 3号炉取水施設断面図

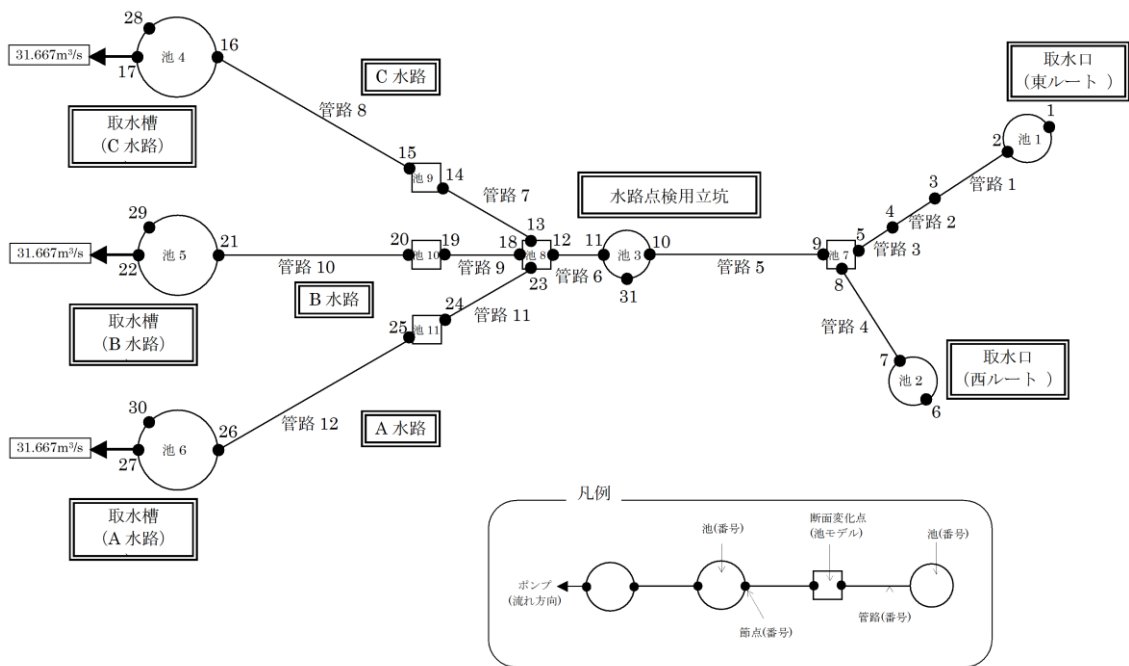


図 3 - 3 3号炉取水施設の管路計算モデル図

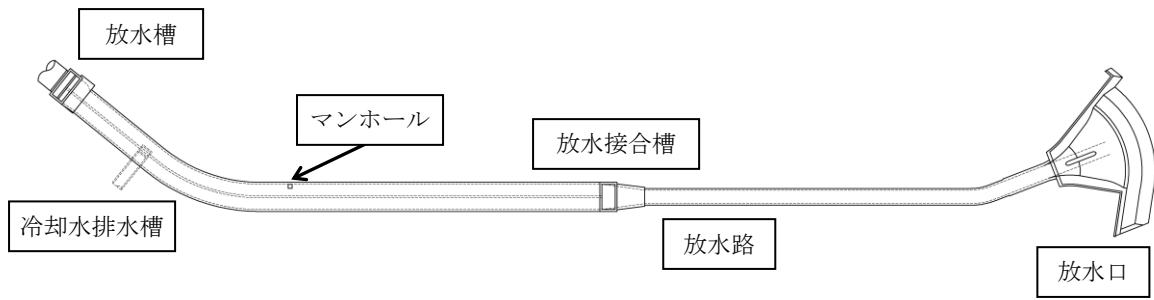


図 2 - 7 1号炉放水施設平面図

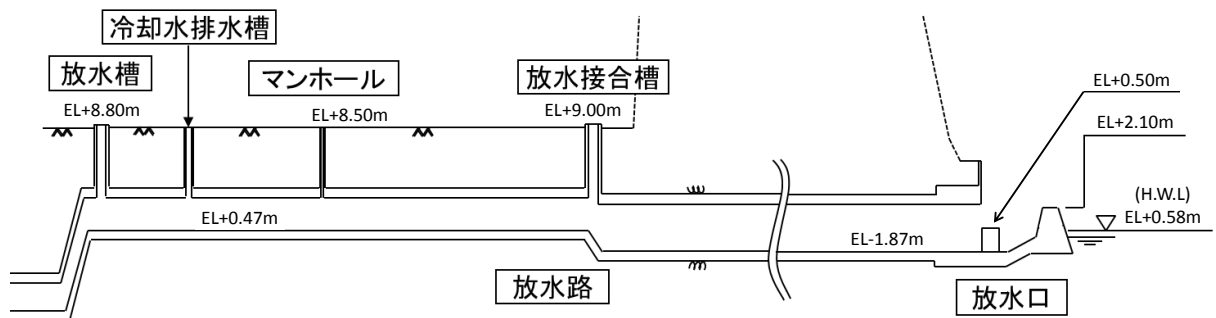


図 2 - 8 1号炉放水施設断面図

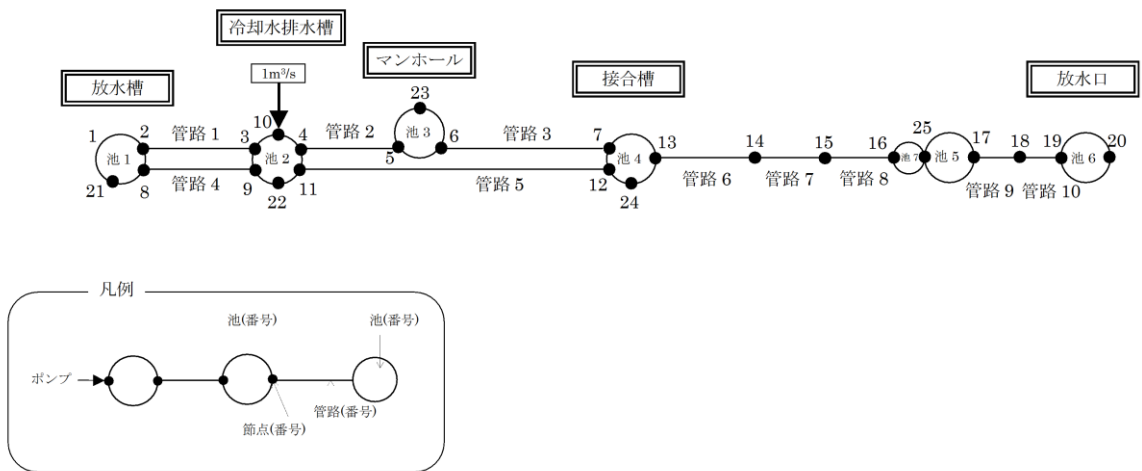


図 3 - 4 1号炉放水施設の管路計算モデル図

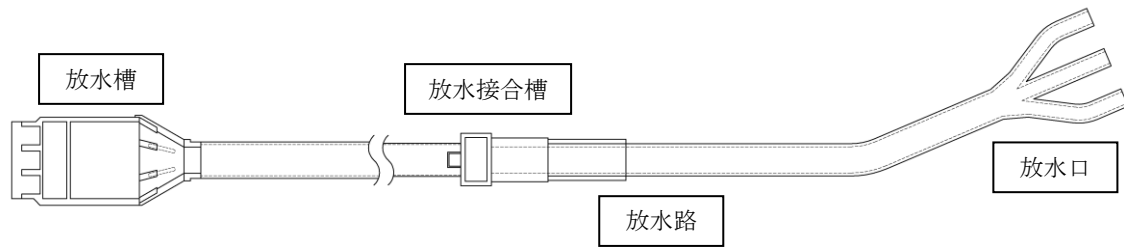


図 2 - 9 2号炉放水施設平面図

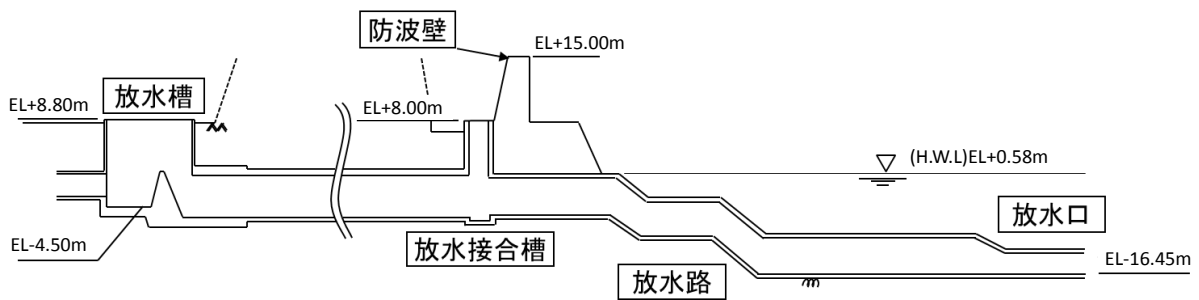


図 2 - 10 2号炉放水施設断面図

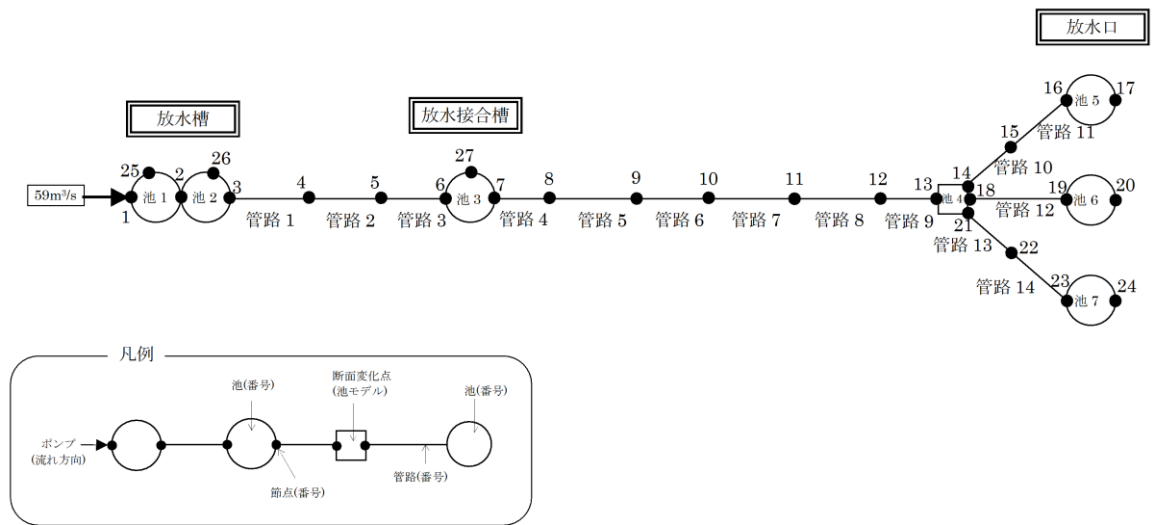


図 3 - 5 2号炉放水施設の管路計算モデル図

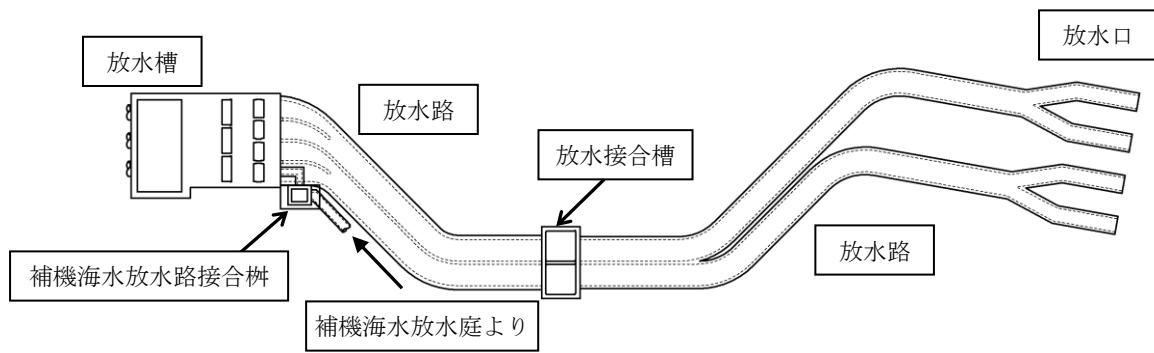


図 2 - 11 3号炉放水施設平面図

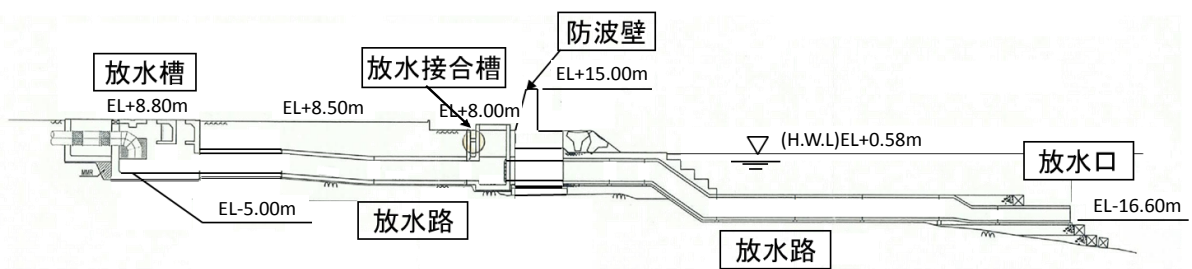


図 2 - 12 3号炉放水施設断面図

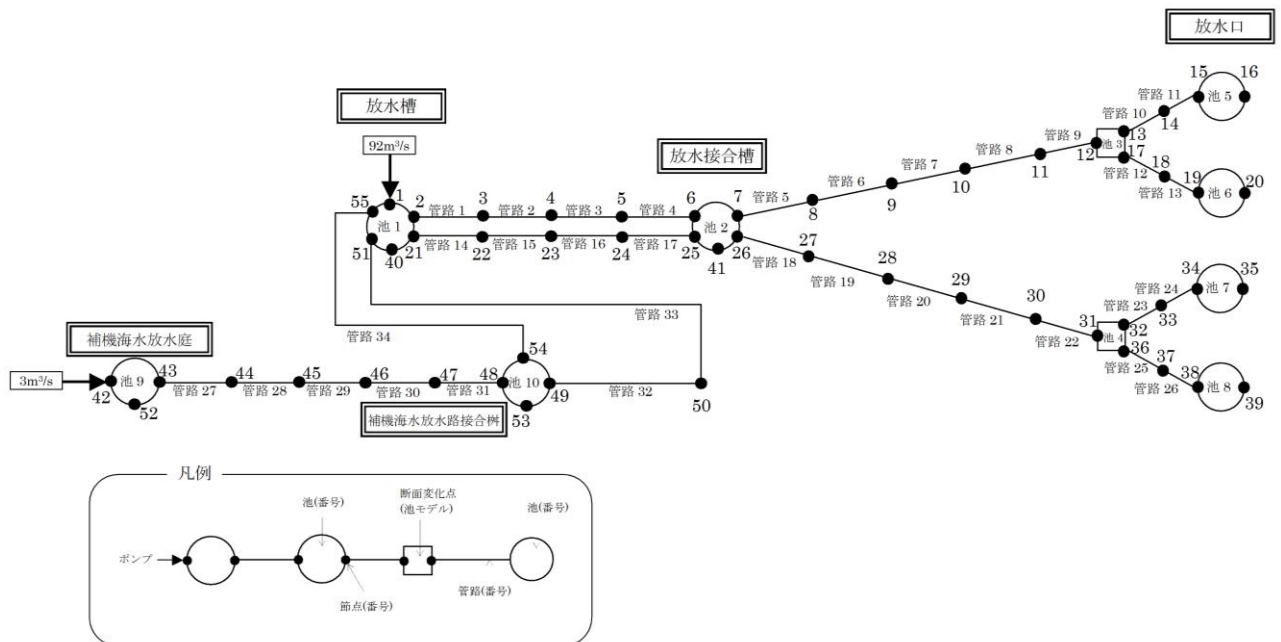


図 3 - 6 3号炉放水施設の管路計算モデル図

表 3 - 1 損失水頭算定公式

	公式	係数	根拠
①流入損失	$h_e = f_e \frac{V^2}{2g}$	$f_e$ : 流入損失係数 $V$ : 管内流速(m/s)	土木学会水理公式集 (平成 11 年版) p.374-375【図 4 参照】
②流出損失	$h_o = f_o \frac{V^2}{2g}$	$f_o$ : 流出損失係数 $V$ : 管内流速(m/s)	土木学会水理公式集 (平成 11 年版) p.375
③摩擦損失	$h_f = n^2 V^2 \frac{L}{R^{4/3}}$	$V$ : 平均流速(m/s) $L$ : 水路の長さ(m) $R$ : 水路の径深(m) $n$ : 粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	火力原子力発電所 土木構造物の設計 p.829
④急拡損失	$h_{se} = f_{se} \frac{V_1^2}{2g}$ $f_{se} = \left\{ 1 - \left( \frac{A_1}{A_2} \right) \right\}^2$	$f_{se}$ : 急拡損失係数 $V_1$ : 急拡前の平均流速(m/s) $A_1$ : 急拡前の管断面積(m <sup>2</sup> ) $A_2$ : 急拡後の管断面積(m <sup>2</sup> )	火力原子力発電所 土木構造物の設計 p.829
⑤急縮損失	$h_{sc} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g}$	$f_{sc}$ : 急縮損失係数 $V_2$ : 急縮後の平均流速(m/s)	火力原子力発電所 土木構造物の設計 p.829-830【表 4 参照】
⑥漸拡損失	$h_{ge} = f_{ge} \cdot f_{se} \frac{V_1^2}{2g}$ $f_{se} = \left\{ 1 - \left( \frac{A_1}{A_2} \right) \right\}^2$	$f_{ge}$ : 漸拡損失係数 $V_1$ : 漸拡前の平均流速(m/s) $A_1$ : 漸拡前の管断面積(m <sup>2</sup> ) $A_2$ : 漸拡後の管断面積(m <sup>2</sup> )	火力原子力発電所 土木構造物の設計 p.830 【図 5 参照】
⑦漸縮損失	$h_{gc} = f_{gc} \frac{V_2^2}{2g}$	$f_{gc}$ : 漸縮損失係数 $V_2$ : 漸縮後の平均流速(m/s)	発電水力演習 p.84 【図 6 参照】
⑧屈折損失	$h_{be} = f_{be} \frac{V^2}{2g}$ $f_{be} = 0.946 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ $+ 2.05 \sin^4 \frac{\alpha}{2}$	$f_{be}$ : 屈折損失係数 $V$ : 管内平均流速(m/s) $\alpha$ : 屈折角(° )	発電水力演習 p.88 【図 7 参照】



表 3 - 2 損失水頭算定公式

	公式	係数	根拠
⑨ 曲がり 損失	$h_b = f_{b1} \cdot f_{b2} \frac{V^2}{2g}$ $f_{b1} = 0.131 + 0.1632 \times (D/\rho)^{7/2}$ $f_{b2} = (\theta/90)^{1/2}$	<p><math>V</math> :管内平均流速(m/s)</p> <p><math>f_{b1}</math> : 曲がりの曲率半径 <math>\rho</math> と管径 <math>D</math> との比によって決まる損失係数</p> <p><math>f_{b2}</math> : 任意の曲がり中心角 <math>\theta</math> の場合の損失と中心角 <math>90^\circ</math> の場合の損失との比</p>	<p>発電水力演習 p.86-87</p> <p>【図 8 参照】</p>
⑩ ピヤー による損 失	$\Delta h_p' = \left\{ \frac{1}{C^2} \left( \frac{b_1}{b_2} \right)^2 - 1 \right\} \frac{V_1^2}{2g}$	<p><math>V_1</math> : ピヤー上流側の流速(m/s)</p> <p><math>C</math> : ピヤーの水平断面形状による係数</p> <p><math>b_1</math> : ピヤー直前の水路幅(m)</p> <p><math>b_2</math> : 水路幅からピヤー幅の総計を控除した幅(m)</p>	<p>発電水力演習 p.92-93</p> <p>【図 9 参照】</p>
⑪ 分流に よる損失	$H_\alpha - H_\gamma = f_{d,\gamma} \times \frac{V_\alpha^2}{2g}$ $H_\alpha - H_\beta = f_{d,\beta} \times \frac{V_\alpha^2}{2g}$	<p><math>H_\alpha, H_\gamma</math> : 分流前後の本管動水位 (位置水頭と圧力水頭の和) (m)</p> <p><math>H_\beta</math> : 支管動水位(m)</p> <p><math>V_\alpha</math> : 分流前の本管内流速(m/s)</p> <p><math>f_{d,\gamma}, f_{d,\beta}</math> : 分流損失係数</p>	<p>土木学会 水理 公式集 (平成 11 年版)</p> <p>p.376-377</p> <p>【図 10 参照】</p>
⑫ 合流に よる損失	$H_\alpha - H_\gamma = f_{c,\alpha} \times \frac{V_\gamma^2}{2g}$ $H_\beta - H_\gamma = f_{c,\beta} \times \frac{V_\gamma^2}{2g}$	<p><math>H_\alpha, H_\gamma</math> : 合流前後の本管動水位(m)</p> <p><math>H_\beta</math> : 支管動水位(m)</p> <p><math>V_\gamma</math> : 合流後の本管内流速(m/s)</p> <p><math>f_{c,\alpha}, f_{c,\beta}</math> : 合流損失係数</p>	<p>土木学会 水理 公式集 (平成 11 年版)</p> <p>p.377</p> <p>【図 10 参照】</p>
⑬ 分岐に よる損失	$h_B = f_B \times \frac{V_0^2}{2g}$	<p><math>V_0</math> : 分流前の水圧管内の平均流速(m/s)</p> <p><math>f_B</math> : 分岐による損失係数 (Y 分岐 : 0.75、三分岐 : 0.69)</p>	<p>発電水力演習 p.120-123</p>

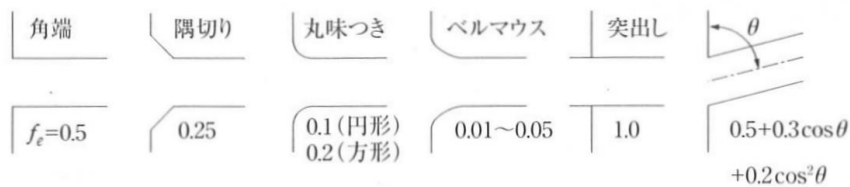


図4 入口形状と損失係数（土木学会水理公式集（平成11年版）p.375）

表4 急縮損失係数（火力原子力発電所土木構造物の設計 p.830）

$D_2/D_1$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$f_{sc}$	0.50	0.50	0.49	0.49	0.46	0.43	0.38	0.29	0.18	0.07	0

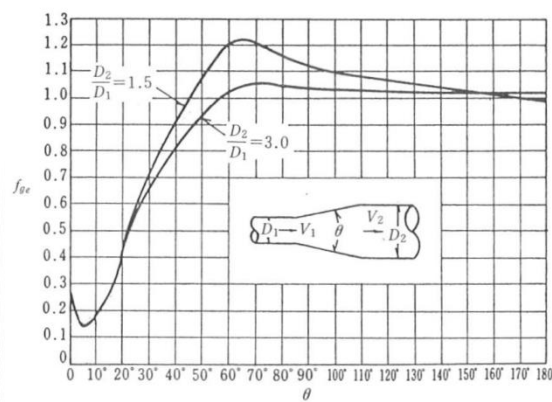


図5 漸拡損失係数（火力原子力発電所土木構造物の設計 p.830）

$D_1, D_2$  : 漸拡前後の管径(m),  $V_1, V_2$  : 漸拡前後の平均流速(m/s),  $\theta$  : 漸拡部の開き (°)

(※本施設では、円形断面管と矩形断面管の漸拡に上記の図による値を適用する。矩形断面管の場合、矩形断面と同様の断面積を持つ円管を仮定して、管径  $D_1, D_2$  を算出した。)

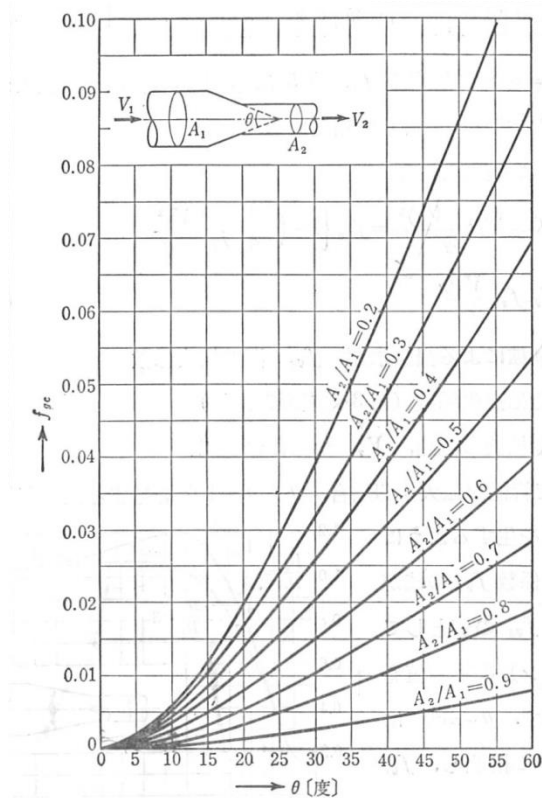


図6 漸縮損失係数 (発電水力演習 p.84)

$A_1, A_2$  : 漸縮前後の管断面積( $m^2$ ),  $V_1, V_2$  : 漸縮前後の平均流速( $m/s$ ),  $\theta$  : 漸縮部の開き ( $^\circ$ )

(※本施設では, 円形断面管と矩形断面管の漸縮に上記の図による値を適用する。)

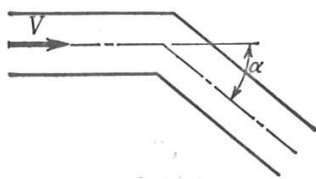


図7 屈折角 (発電水力演習p.88)

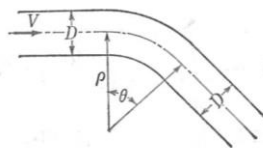


図8 曲がり, 曲率半径 (発電水力演習p.87)

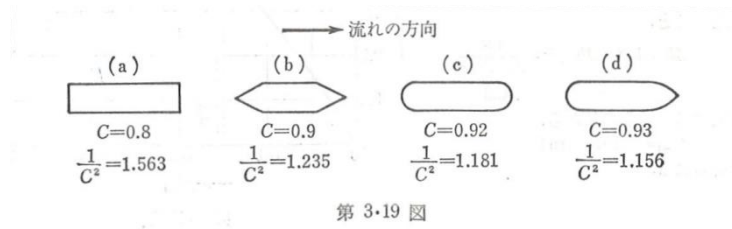


図9 ピヤーの形状による係数Cの値（発電水力演習p.92）

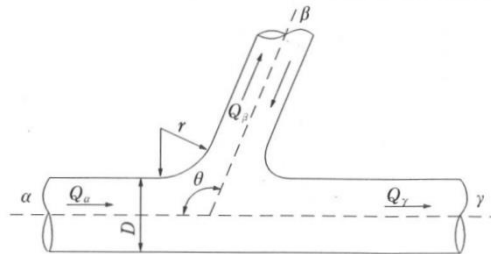


図10 分・合流管（土木学会水理公式集（平成11年版）p.377）

(a)分流による損失係数

$$f_{d,\gamma} = 0.58q_\beta^2 - 0.26q_\beta + 0.03$$

$$f_{d,\beta} = 0.95(1 - q_\beta)^2 + q_\beta^2 \left( 1.3 \cot \frac{\theta}{2} - 0.3 + \frac{0.4 - 0.1\varphi}{\varphi^2} \right) \cdot \left( 1 - 0.9 \sqrt{\frac{\rho}{\varphi}} \right) + 0.4q_\beta(1 - q_\beta) \left( 1 + \frac{1}{\varphi} \right) \cot \frac{\theta}{2}$$

ここに、 $f_{d,\gamma}, f_{d,\beta}$ ：分流失損失係数、 $\theta$ ：本管と支管の交角、 $\varphi$ ：本管断面積に対する支管断面積の比、 $\rho = r/D$ ：支管と本管の接続部面取り半径  $r$  の本管直径に対する比、 $q_\beta = Q_\beta/Q_\alpha$ ：分流失前の本管流量  $Q_\alpha$  に対する支管流量  $Q_\beta$  の比

(b)合流による損失係数

$$f_{c,\alpha} = -q_\beta^2 \left\{ 2.59 + (1.62 - \sqrt{\rho}) \left( \frac{\cos \theta}{\varphi} - 1 \right) - 0.62\varphi \right\} - q_\beta(1.94 - \varphi) + 0.03$$

$$f_{c,\beta} = -q_\beta^2 \left\{ (1.2 - \sqrt{\rho}) \left( \frac{\cos \theta}{\varphi} - 1 \right) + 0.8 \left( 1 - \frac{1}{\varphi^2} \right) - (1 - \varphi) \frac{\cos \theta}{\varphi} \right\} - (1 + q_\beta) \{ 0.92 + q_\beta(2.92 - \varphi) \}$$

ここに、 $f_{c,\alpha}, f_{c,\beta}$ ：合流失損失係数、 $\theta$ ：本管と支管の交角、 $\varphi$ ：本管断面積に対する支管断面積の比、 $\rho = r/D$ ：支管と本管の接続部面取り半径  $r$  の本管直径に対する比、 $q_\beta = Q_\beta/Q_\gamma$ ：合流失後の本管流量  $Q_\gamma$  に対する支管流量  $Q_\beta$  の比

表5-1 1号炉取水施設の損失水頭表  
(貝付着無し、循環水ポンプ停止時)

場所	流量 (m <sup>3</sup> /s)	種類	係数		断面積 (m <sup>2</sup> )		損失水頭 (m)		モデル化		
			1号管	2号管	1号管	2号管	1号管	2号管			
取水口	0.500	流入	F	0.500	0.500	75.398	75.398	0.000	0.000	節点2,10	
		急縮	F	0.480	0.480	12.566	12.566	0.000	0.000	節点2,10	
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.014	0.014	12.566	12.566	0.000	0.000	節点2,10	
			長さ(m)	2.600	2.600						
			径深(m)	1.000	1.000						
		屈折	F	0.986	0.986	12.566	12.566	0.000	0.000	節点2,10	
		急縮	F	0.140	0.140	8.814	8.814	0.000	0.000	節点2,10	
取水管	0.500	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.014	0.014	8.814	8.814	0.000	0.000	管路1~6 管路7~12	
			長さ(m)	127.075	102.915						
			径深(m)	0.838	0.838						
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点3,11	
			F <sub>b2</sub>	0.279	0.319						
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点4,12	
			F <sub>b2</sub>	0.571	0.366						
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点5,13	
			F <sub>b2</sub>	0.412	0.379						
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点6,14	
			F <sub>b2</sub>	0.413	0.413						
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点7,15	
			F <sub>b2</sub>	0.413	0.413						
		流路縮小工	0.500	急縮	F	0.282	0.282	4.407	4.407	0.000	0.000
急拡	F			0.754	0.754	4.407	4.407	0.000	0.000	節点8,16	
取水槽	0.500	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	41.667	41.667	0.000	0.000	節点8,16	
			長さ(m)	9.100	9.100						
			径深(m)	1.682	1.682						
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	50.000	50.000	0.000	0.000	節点8,16	
			長さ(m)	1.700	1.700						
			径深(m)	1.716	1.716						
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	31.250	31.250	0.000	0.000	節点8,16	
			長さ(m)	1.000	1.000						
			径深(m)	0.805	0.805						
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	33.333	33.333	0.000	0.000	節点8,16	
			長さ(m)	2.000	2.000						
			径深(m)	0.820	0.820						
		ピヤー	ピアの水平断面形状による係数		0.920	0.920	45.455	45.455	0.000	0.000	節点8,16
			ピア直前の水路幅(m)		6.859	6.859					
			水路幅からピア幅の総計を控除した幅(m)		6.059	6.059					
		漸拡	F <sub>ge</sub>	0.280	0.280	33.500	33.500	0.000	0.000	節点8,16	
			F <sub>se</sub>	0.204	0.204						
		漸縮	F	0.020	0.020	42.557	42.557	0.000	0.000	節点8,16	
		急縮	F	0.100	0.100	32.237	32.237	0.000	0.000	節点8,16	
		漸拡	F <sub>ge</sub>	0.200	0.200	32.237	32.237	0.000	0.000	節点8,16	
F <sub>se</sub>	0.003		0.003								
流出	F	1.000	1.000	34.185	34.185	0.000	0.000	節点8,16			
合計							0.000	0.000			

表5-2 2号炉取水施設の損失水頭表  
(貝付着無し、循環水ポンプ運転時)

場所	流量 (m <sup>3</sup> /s)	種類	係数		断面積 (m <sup>2</sup> )		損失水頭 (m)※		モデル化	
			1号管	2号管	1号管	2号管	1号管	2号管		
取水口	29.500	流入	F	0.500	0.500	160.221	160.221	0.001	0.001	節点2,9
		急縮	F	0.440	0.440	50.265	50.265	0.008	0.008	節点2,9
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.014	0.014	50.265	50.265	0.000	0.000	節点2,9
			長さ(m)	5.350	5.350					
			径深(m)	2.000	2.000					
		屈折	F	0.986	0.986	50.265	50.265	0.017	0.017	節点2,9
		急縮	F	0.410	0.410	14.522	14.522	0.086	0.086	節点2,9
取水管	29.500	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.014	0.014	14.522	14.522	0.100	0.096	管路1~5 管路6~10
			長さ(m)	136.358	130.657					
			径深(m)	1.075	1.075					
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.134	0.134	14.522	14.522	0.017	0.016	節点3,10
			F <sub>b2</sub>	0.603	0.565					
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.133	0.133	14.522	14.522	0.004	0.004	節点3,10
			F <sub>b2</sub>	0.156	0.156					
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.133	0.133	14.522	14.522	0.006	0.006	節点4,11
			F <sub>b2</sub>	0.228	0.228					
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.134	0.134	14.522	14.522	0.020	0.020	節点5,12
			F <sub>b2</sub>	0.707	0.707					
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.133	0.133	14.522	14.522	0.010	0.010	節点5,12
			F <sub>b2</sub>	0.367	0.359					
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.133	0.133	14.522	14.522	0.013	0.013	節点6,13
			F <sub>b2</sub>	0.460	0.453					
急拡	F	0.395	0.395	14.522	14.522	0.083	0.083	節点7,14		
取水槽	29.500	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	55.037	55.037	0.000	0.000	節点7,14
			長さ(m)	8.000	8.000					
			径深(m)	1.941	1.941					
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	81.044	81.044	0.000	0.000	節点7,14
			長さ(m)	1.000	1.000					
			径深(m)	2.093	2.093					
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	65.265	65.265	0.000	0.000	節点7,14
			長さ(m)	3.500	3.500					
			径深(m)	1.139	1.139					
		ピヤー	ピアの水平断面形状による係数	0.900	0.900	51.304	51.304	0.026	0.026	節点7,14
			ピア直前の水路幅(m)	7.933	7.933					
			水路幅からピア幅の総計を控除した幅(m)	5.533	5.533					
		漸拡	F <sub>se</sub>	0.670	0.670	39.060	39.060	0.007	0.007	節点7,14
			F <sub>se</sub>	0.338	0.338					
		急縮	F	0.040	0.040	82.991	82.991	0.000	0.000	節点7,14
		漸縮	F	0.001	0.001	79.170	79.170	0.000	0.000	節点7,14
		急縮	F	0.060	0.060	65.250	65.250	0.001	0.001	節点7,14
		流出	F	1.000	1.000	65.250	65.250	0.010	0.010	節点7,14
合計							0.409	0.404		

※小数点以下4桁目を四捨五入で表示

表5-3 3号炉取水施設の損失水頭表  
(貝付着無し、循環水ポンプ運転時)

場所	流量 (m³/s)	種類	係数		断面積 (m²)		損失水頭 (m)※		モデル化	
			東ルート	西ルート	東ルート	西ルート	東ルート	西ルート		
取水口	47.500	流入	F	0.500	0.500	251.327	251.327	0.001	0.001	節点2,7
		急縮	F	0.490	0.490	23.758	23.758	0.100	0.100	節点2,7
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	23.758	23.758	0.015	0.014	節点2,7
			長さ(m)	25.65	23.106					
			径深(m)	1.375	1.375					
		曲がり	Fb1	0.294	0.294	23.758	23.758	0.060	0.060	節点2,7
			Fb2	1.000	1.000					
漸拡	Fge	1.200	1.200	23.758	23.758	0.062	0.029	節点2,7		
	Fse	0.254	0.117							
取水トンネル	47.500	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	47.902	36.125	0.008	0.008	管路1~3 管路4
			長さ(m)	90.429	38.509					
			径深(m)	1.929	1.675					
		曲がり	Fb1	0.132	—	47.902	—	0.004	—	節点3
			Fb2	0.624	—					
		曲がり	Fb1	0.132	—	47.902	—	0.002	—	節点3
			Fb2	0.291	—					
曲がり	Fb1	0.132	—	47.902	—	0.001	—	節点4		
	Fb2	0.127	—							
合流点	95.000	合流	F	0.057	0.274	47.902	47.902	0.011	0.055	節点5,8
小計								0.264	0.267	
小計(東ルートと西ルートの平均値)										
合流点 ~ 水路点検 用立坑	95.000	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)		0.015		47.902		0.039	管路5
			長さ(m)	106.336						
			径深(m)	1.929						
		曲がり	Fb1		0.132		47.902		0.012	節点9
			Fb2		0.471					
曲がり	Fb1		0.132		47.902		0.019	節点10		
	Fb2		0.707							
水路点検 用立坑 ~ 接合水路	95.000	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)		0.015		47.902		0.014	管路6
			長さ(m)	38.954						
			径深(m)	1.929						
		曲がり	Fb1		0.132		47.902		0.019	節点12
			Fb2		0.707					
小計								0.103		

場所	流量 (m³/s)	種類	係数			断面積 (m²)			損失水頭 (m)※			モデル化			
			C水路	B水路	A水路	C水路	B水路	A水路	C水路	B水路	A水路				
接合水路	95.000	急縮	F	0.005	0.005	0.005	47.902	47.902	47.902	0.001	0.001	0.001	節点13,18,23		
			粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	0.015	17.248	15.719	16.519	0.022	0.035	0.027	管路7,9,11		
			長さ(m)	30.000	30.000	30.000									
		径深(m)	1.009	0.832	0.938										
		漸縮	F	0.000	—	—	17.140	—	—	0.000	—	—	節点13		
			Fge	—	0.190	0.180	—	16.998	16.998	—	0.000	0.000	節点18,23		
		急縮	F	—	0.110	0.110	—	13.336	13.336	—	0.032	0.032	節点18,23		
			Fge	—	0.200	0.200	—	12.292	14.421	—	0.006	0.001	節点18,23		
		3連 ボックス 水路	31.667	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	0.015	17.140	17.140	17.140	0.038	0.026	0.013	管路8,10,12
					長さ(m)	55.790	37.790	19.790							
径深(m)	1.097				1.097	1.097									
曲がり	Fb1	0.134	0.134	0.134	17.140	17.140	17.140	0.023	0.023	0.023	節点15,20,25				
	Fb2	1.000	1.000	1.000											
取水槽	31.667	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	0.015	18.454	18.454	18.454	0.001	0.001	0.001	節点16,21,26		
			長さ(m)	1.200	1.200	1.200									
			径深(m)	1.107	1.107	1.107									
		漸拡	Fge	0.350	0.350	0.350	17.140	17.140	17.140	0.001	0.001	0.001	節点16,21,26		
			Fse	0.020	0.020	0.020									
		急縮	F	0.396	0.396	0.396	19.988	19.988	19.988	0.051	0.051	0.051	節点16,21,26		
			粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	0.015	59.975	59.975	59.975	0.000	0.000	0.000	節点16,21,26		
		長さ(m)	2.580	2.580	2.580										
		径深(m)	1.815	1.815	1.815										
		漸拡	Fge	0.450	0.450	0.450	53.967	53.967	53.967	0.000	0.000	0.000	節点16,21,26		
			Fse	0.041	0.041	0.041									
		急縮	F	0.100	0.100	0.100	51.733	51.733	51.733	0.002	0.002	0.002	節点16,21,26		
			粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	0.015	70.370	70.370	70.370	0.000	0.000	0.000	節点16,21,26		
		長さ(m)	11.020	11.020	11.020										
		径深(m)	1.324	1.324	1.324										
		漸拡	Fge	0.400	0.400	0.400	51.733	51.733	51.733	0.002	0.002	0.002	節点16,21,26		
Fse	0.281		0.281	0.281											
流出	F	1.000	1.000	1.000	109.998	109.998	109.998	0.004	0.004	0.004	節点16,21,26				
								0.145	0.184	0.158					
小計								0.514	0.553	0.527					
合計															

※小数点以下4桁目を四捨五入で表示

表5-4 1号炉放水施設の損失水頭表  
(貝付着無し、循環水ポンプ停止時)

場所	流量 (m <sup>3</sup> /s)	種類	係数		断面積 (m <sup>2</sup> )		損失水頭 (m)※		モデル化	
			北ルート	南ルート	北ルート	南ルート	北ルート	南ルート		
放水槽	0.000	流入	F	0.100	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	節点2,8
		漸縮	F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
一般部(矩形)	0.000	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	管路1,4
			長さ(m)	27.800	27.800					
			径深(m)	0.000	0.000					
冷却水排水槽	0.000	急拡	F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	節点3,9
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	節点4,11
			長さ(m)	2.800	2.800					
	0.500	急縮	F	0.049	0.049	0.696	0.696	0.001	0.001	節点4,11
			粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	—	0.696	—	0.044	—	—
一般部(矩形)	0.500	摩擦	長さ(m)	43.833	—					
			径深(m)	0.197	—					
			粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	—	0.015	—	0.696	—	0.143	管路5
摩擦	長さ(m)	—	141.646							
	径深(m)	—	0.197	0.696	0.696	0.002	0.002	節点5,12		
曲がり	F <sub>b1</sub>	0.131	0.131							
	F <sub>b2</sub>	0.658	0.658							
マンホール	0.500	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	—	0.696	—	0.001	—	節点6
			長さ(m)	1.200	—					
			径深(m)	0.197	—					
一般部(矩形)	0.500	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	—	0.696	—	0.095	—	管路3
			長さ(m)	93.823	—					
			径深(m)	0.197	—					
接合槽	0.500	急拡	F	0.032	0.032	0.696	0.696	0.001	0.001	節点7,12
			粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	—	0.015	3.077	—	0.000	節点13	
	摩擦	長さ(m)	4.000							
		径深(m)	0.824							
	1.000	漸拡	F <sub>ge</sub>	—	0.840	1.695	—	0.012	節点13	
			F <sub>se</sub>	—	0.808					
		急縮	F	—	0.008	16.397	—	0.000	節点13	
			F	—	0.002	9.212	—	0.000	節点13	
	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	—	0.015	11.765	—	0.000	節点13		
		長さ(m)	—	9.000						
径深(m)		—	1.294							
一般部(馬蹄管)	1.000	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	—	0.015	9.212	—	0.000	管路6	
			長さ(m)	—	102.171					
			径深(m)	—	1.168					
	曲がり	F <sub>b1</sub>	—	0.131	9.212	—	0.000	節点14		
		F <sub>b2</sub>	—	0.484						
		粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	—	0.015	9.212	—	0.000	管路7		
		長さ(m)	—	17.829						
径深(m)	—	1.168								
放水口	1.000	漸拡	F <sub>ge</sub>	—	0.159	9.212	—	0.000	節点15	
			F <sub>se</sub>	—	0.071					
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	—	0.015	10.526	—	0.000	管路8	
			長さ(m)	—	6.061					
			径深(m)	—	1.211					
		堰	上流水深(m)	—	0.461	1.812	—	0.019	節点25	
			下流水深(m)	—	0.442					
			堰幅(m)	—	4.100					
			流量係数	—	1.550					
		係数γ	—	2.600						
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	—	0.015	20.000	—	0.000	管路9,10	
			長さ(m)	—	17.065					
			径深(m)	—	1.272					
		ピヤー	ピアの水平断面形状による係数		—	0.920	19.163	—	0.000	節点17
			ピア直前の水路幅(m)		—	6.700				
水路幅からピア幅の総計を控除した幅(m)			—	5.500						
急拡	F	—	0.647	3.754	—	0.002	節点17			
	F <sub>ge</sub>	—	1.207							
	F <sub>se</sub>	—	0.153							
漸拡	F	—	0.647	3.754	—	0.002	節点17			
	F <sub>ge</sub>	—	1.207							
F <sub>se</sub>	—	0.153								
合計							0.177	0.180		

※小数点以下4桁目を四捨五入で表示



表5-5 2号炉放水施設の損失水頭表  
(貝付着無し、循環水ポンプ運転時)

場所	流量 (m <sup>3</sup> /s)	種類	係数		断面積 (m <sup>2</sup> )	損失水頭 (m)※	モデル化	
放水路(漸縮部) 17.6m×6.0m →6.0m×6.0m	59.000	流入	F	0.500	103.850	0.008	節点3	
		漸縮	F	0.080	35.500	0.011	節点3	
		ピヤー	ピアの水平断面形状による係数		0.920	89.187	0.011	節点3
			ピア直前の水路幅(m)		15.097			
			水路幅からピア幅の総計を控除した幅(m)		13.497			
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)		0.015	52.915	0.001	節点3
長さ(m)			10.800					
径深(m)			1.926					
放水路(漸縮部) 6.0m×6.0m →馬蹄	59.000	漸縮	F	0.000	30.575	0.000	節点3	
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)		0.015	32.851	0.002	節点3
			長さ(m)		3.900			
			径深(m)		1.538			
放水路(一般部) 馬蹄	59.000	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)		0.015	30.575	0.567	管路1~3
			長さ(m)		1183.727			
			径深(m)		1.521			
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.131	30.575	0.025	節点4	
			F <sub>b2</sub>	1.000				
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.131	30.575	0.015	節点5	
			F <sub>b2</sub>	0.606				
放水接合槽	59.000	急拡	F	0.428	30.575	0.081	節点6	
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)		0.015	88.400	0.000	節点6
			長さ(m)		5.000			
			径深(m)		3.194			
放水路(一般部) 5.8m×5.8m	59.000	急縮	F	0.369	33.140	0.060	節点7	
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)		0.015	33.140	0.050	管路4~9
			長さ(m)		121.807			
			径深(m)		1.504			
		屈折	F	0.067	33.140	0.011	節点8	
		屈折	F	0.067	33.140	0.011	節点9	
		屈折	F	0.067	33.140	0.011	節点10	
		屈折	F	0.067	33.140	0.011	節点11	
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.136	33.140	0.011	節点12	
			F <sub>b2</sub>	0.506				
放水路(分岐部)	59.000	急縮	F	0.089	25.821	0.024	節点13	
		分岐	F	0.690	33.140	0.112	節点13	
小計						1.022		

場所	流量 (m <sup>3</sup> /s)	種類	係数			断面積(m <sup>2</sup> )			損失水頭(m)※			モデル化			
			東側	中央	西側	東側	中央	西側	東側	中央	西側				
放水路(先端部) φ2.9m(円形)	19.667	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)			0.015	0.015	0.015	6.605	6.605	6.605	0.092	0.084	0.092	管路10,11 管路12 管路13,14
			長さ(m)			30.157	27.450	30.157							
			径深(m)			0.725	0.725	0.725							
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.170	—	0.170	6.605	—	6.605	0.044	—	0.044	節点15,22		
			F <sub>b2</sub>	0.577	—	0.577									
流出	F	1.000	1.000	1.000	6.605	6.605	6.605	0.452	0.452	0.452	節点16,19,23				
小計								0.588	0.536	0.588					
小計(両側と中央の平均)										0.562					
合計										1.584					

※小数点以下4桁目を四捨五入で表示

表5-6 3号炉放水施設の損失水頭表  
(貝付着無し、循環水ポンプ運転時)

場所	流量 (m <sup>3</sup> /s)	種類	係数			断面積 (m <sup>2</sup> )		損失水頭 (m)※		モデル化	
			西側	東側	西側	東側	西側	東側			
放水路(漸縮部) (西)8.439m×5.2m (東)8.5m×5.2m →5.2m×5.2m	47.500	流入	F	0.500	0.500	42.883	43.200	0.031	0.031	節点2,21	
		漸縮	F	0.004	0.004	26.540	26.540	0.001	0.001	節点2,21	
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.138	0.169	32.781	32.872	0.010	0.012	節点2,21	
			F <sub>b2</sub>	0.657	0.677						
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	32.781	32.872	0.006	0.005	節点2,21	
			長さ(m)	16.256	15.795						
			径深(m)	1.283	1.285						
		急拡	F	0.016	0.017	28.644	27.261	0.002	0.003	節点2,21	
放水路(一般部) 5.2m×5.2m	47.500	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	26.540	26.540	0.029	0.028	管路1~4 管路14~17	
			長さ(m)	59.430	58.073						
			径深(m)	1.352	1.352						
		屈折	F	0.001	0.001	26.540	26.540	0.000	0.000	節点3,22	
		屈折	F	0.001	0.001	26.540	26.540	0.000	0.000	節点4,23	
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.155	0.136	26.540	26.540	0.018	0.016	節点5,24	
			F <sub>b2</sub>	0.707	0.707						
		急拡	F	0.348	0.348	26.540	26.540	0.057	0.057	節点6,25	
放水路(一般部) 5.2m×5.2m	47.500	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	64.658	64.658	0.000	0.000	節点6,25	
			長さ(m)	7.300	7.300						
			径深(m)	2.633	2.633						
		急縮	F	0.343	0.343	26.540	26.540	0.056	0.056	節点7,26	
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	26.540	26.540	0.060	0.056	管路5~9 管路18~22	
			長さ(m)	125.034	116.283						
			径深(m)	1.352	1.352						
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.136	0.136	26.540	26.540	0.016	0.016	節点8,27	
F <sub>b2</sub>	0.707		0.707								
屈折	F	0.093	0.093	26.540	26.540	0.015	0.015	節点9,28			
屈折	F	0.093	0.093	26.540	26.540	0.015	0.015	節点10,29			
曲がり	F <sub>b1</sub>	0.136	0.136	26.540	26.540	0.017	0.017	節点11,30			
	F <sub>b2</sub>	0.782	0.782								
放水路(分岐部)	47.500	急縮	F	0.091	0.091	20.612	20.612	0.025	0.025	節点12,31	
		分岐	F	0.750	0.750	26.540	26.540	0.123	0.123	節点12,31	
放水路(先端部) φ3.2m(円形)	23.750	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	8.042	8.042	0.082	0.082	管路10,11 管路12,13 管路23,24 管路25,26	
			長さ(m)	31.103	31.103						
			径深(m)	0.800	0.800						
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.134	0.134	8.042	8.042	0.027	0.027	節点14,18 節点33,37	
			F <sub>b2</sub>	0.453	0.453						
		流出	F	1.000	1.000	8.042	8.042	0.445	0.445	節点15,19 節点34,38	
		合計							1.035	1.030	

場所	流量 (m <sup>3</sup> /s)	種類	係数		断面積 (m <sup>2</sup> )	損失水頭 (m)	モデル化
補機海水放水路 連絡ダクト1 1.7m×1.7m	3.000	流入	F	0.500	5.190	0.009	節点43
		漸縮	F	0.001	2.810	0.000	節点43
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	3.645	0.003	節点43
			長さ(m)	7.000			
			径深(m)	0.506			
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	2.810	0.106	管路27~31
			長さ(m)	140.273			
			径深(m)	0.444			
		屈折	F	0.067	2.810	0.004	節点44
		屈折	F	0.380	2.810	0.022	節点45
屈折	F	0.183	2.810	0.011	節点46		
屈折	F	0.183	2.810	0.011	節点47		
流出	F	1.000	2.810	0.058	節点48		
補機海水放水路 接合樹	3.000	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	13.548	0.000	節点48
			長さ(m)	2.000			
			径深(m)	1.126			
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	18.064	0.000	節点48
			長さ(m)	1.500			
径深(m)	1.386						
屈折	F	0.986	15.464	0.002	節点48		
補機海水放水路 連絡ダクト2 φ800mm	3.000	流入	F	0.500	0.503	0.907	節点54
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.010	0.503	0.061	管路34
			長さ(m)	2.000			
			径深(m)	0.200			
		流出	F	1.000	0.503	1.815	節点55
合計						3.009	

場所	流量 (m <sup>3</sup> /s)	種類	係数		断面積 (m <sup>2</sup> )	損失水頭 (m)※	モデル化
補機海水放水路 連絡ダクト3 1.0m×1.0m	3.000	流入	F	0.500	0.920	0.271	節点49
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.920	0.148	管路32,33
			長さ(m)	10.346			
			径深(m)	0.261			
		屈折	F	0.002	0.920	0.001	節点49
		屈折	F	0.002	0.920	0.001	節点50
		屈折	F	0.986	0.920	0.535	節点50
		屈折	F	0.002	0.920	0.001	節点50
		屈折	F	0.002	0.920	0.001	節点51
流出	F	1.000	0.920	0.543	節点51		
合計						1.501	

※小数点以下4桁目を四捨五入で表示

表6-1 水位上昇側の評価結果（取水施設）

波源	防波堤 有無	貝付着 有無	ポンプ 運転 状況	入力津波高さ EL (m) ※1				
				1号炉 取水槽※2	2号炉 取水槽	3号炉 取水槽	3号炉 取水路点検口	
日本海東縁部	基準津波 1	有り	有り	運転	—	+6.5	+5.1	+4.2
			有り	停止	+6.3	+8.8	+6.9	+6.0
			無し	運転	—	+7.2	+6.0	+4.7
		無し	有り	停止	+6.4	+9.3	+7.1	+6.4[+6.31]
			有り	運転	—	+8.0	+5.5	+4.2
			無し	停止	+6.8	+10.1	+7.5	+6.2
	基準津波 2	有り	有り	運転	—	+6.4	+5.5	+4.5
			有り	停止	+6.0	+8.4	+7.1	+6.1
			無し	運転	—	+7.0	+6.3	+4.8
		無し	有り	停止	+6.1	+9.1	+7.3	+6.1
			有り	運転	—	+7.1	+5.0	+3.9
			無し	停止	+6.4	+9.7	+7.1	+5.6
基準津波 5	有り	有り	運転	—	+8.6	+6.0	+4.2	
		有り	停止	+6.7	+10.4	+7.6	+6.0	
		無し	運転	—	+7.1	+5.0	+3.9	
	無し	有り	停止	+6.4	+9.7	+7.1	+5.6	
		有り	運転	—	+7.1	+5.0	+3.9	
		無し	停止	+6.7	+10.4	+7.6	+6.0	
海域活断層	基準津波 4	有り	有り	運転	—	+2.0	+1.7	+1.5
			有り	停止	+2.7[+2.61]	+2.8	+3.5	+2.6
			無し	運転	—	+2.4	+1.9	+1.6
		無し	有り	停止	+2.7[+2.68]	+2.9	+3.7	+2.7
			有り	運転	—	+2.1	+1.4	+1.3
			無し	停止	+2.5	+4.6	+3.4	+2.4
	海域活断層 上昇側最大 となるケー ス	有り	有り	運転	—	+2.9	+1.8	+1.3
			有り	停止	+2.7[+2.67]	+4.9	+3.4	+2.5
			無し	運転	—	+1.6	+1.5	+1.3
		無し	有り	停止	+2.5	+2.4	+3.4	+2.4
			有り	運転	—	+1.8	+1.7	+1.4
			無し	停止	+2.5	+2.4	+3.6	+2.5
海域活断層 上昇側最大 となるケー ス	有り	有り	運転	—	+1.9	+1.2	+1.1	
		有り	停止	+2.5	+4.2	+3.3	+2.3	
	無し	有り	運転	—	+2.5	+1.6	+1.2	
		無し	停止	+2.6	+4.5	+3.4	+2.4	

※1 下線を引いた箇所が最大ケース。

※2 1号炉取水槽は流路縮小工を設置して評価している。

表6-2 水位上昇側の評価結果（放水施設）

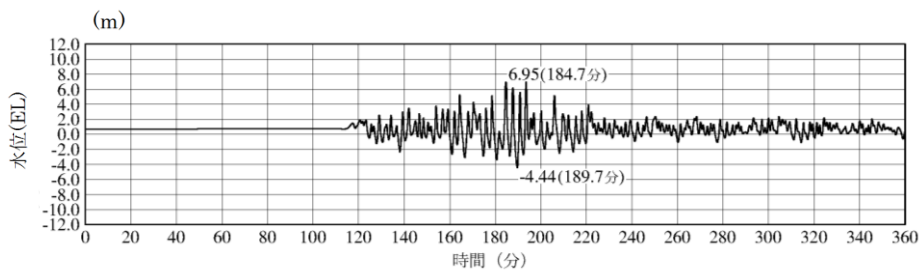
波源	防波堤有無	貝付着有無	ポンプ 運転 状況	入力津波高さ EL (m) ※								
				1号炉 放水槽	1号炉 冷却水 排水槽	1号炉 マンホ ール	1号炉 放水接 合槽	2号炉 放水槽	2号炉 放水接合 槽	3号炉 放水槽	3号炉 放水接 合槽	
日本海東縁部	基準津波1	有り	有り	運転	—	—	—	—	+7.0	+5.9	+6.9	+6.2
			停止	+4.3	+4.5	+4.2	+3.4	+7.2	+5.6	+6.5	+5.8	
		無し	有り	運転	—	—	—	—	+7.0	+5.9	+6.9	+6.2
			停止	<u>+4.8</u>	<u>+4.7</u>	<u>+4.8</u>	<u>+3.5</u>	<u>+7.9</u>	+5.7	+6.8	+6.2	
		無し	有り	運転	—	—	—	—	+6.4	+6.0	+6.5	+5.8
			停止	+4.4	+4.2	+3.9	+3.4	+7.1	+6.1 [+6.04]	+6.4	+5.9	
	基準津波2	有り	有り	運転	—	—	—	—	+6.3	+4.2	+4.5	+4.4
			停止	+3.3	+3.3	+3.2	+3.0	+5.3	+3.7	+5.0	+4.7	
		無し	有り	運転	—	—	—	—	+6.3	+4.0	+4.5	+4.2
			停止	+3.4	+3.4	+3.3	+3.2	+5.5	+3.9	+5.0	+4.5	
		無し	有り	運転	—	—	—	—	+5.8	+4.5	+6.5	+5.9
			停止	+2.7	+2.7	+2.5	+2.3	+4.8	+5.1	+7.0	+6.3	
海域活断層	基準津波4	有り	有り	運転	—	—	—	—	+4.1	+2.8 [+2.80]	+3.1	+2.9
			停止	+1.9	+1.8	+1.8 [+1.73]	+1.8	+3.2	+2.5	+3.1	+3.2	
		無し	有り	運転	—	—	—	—	+3.5	+2.7	+2.8	+2.6
			停止	+1.9	+1.9 [+1.83]	+1.8 [+1.76]	+1.8	+3.7	+2.4	+3.3 [+3.27]	<u>+3.5</u>	
		無し	有り	運転	—	—	—	—	<u>+4.2</u>	+2.8 [+2.79]	+3.1	+2.9
			停止	+2.0	+1.9 [+1.82]	+1.8 [+1.79]	+1.8	+3.3	+1.8	+2.8	+2.5	
	海域活断層 上昇側最大ケース	有り	有り	運転	—	—	—	—	+3.5	+2.6	+2.8	+2.6
			停止	<u>+2.1</u>	+1.9 [+1.88]	+1.8 [+1.80]	<u>+1.9</u>	+3.7	+1.8	+3.3 [+3.26]	+2.8	
		有り	有り	運転	—	—	—	—	+4.0	+2.7	+3.0	+2.7
			停止	+1.8	+1.7	+1.6	+1.6	+2.7	+2.1	+2.6	+2.7	
		無し	有り	運転	—	—	—	—	+3.3	+2.5	+2.7	+2.5
			停止	+1.8	+1.7	+1.7	+1.6	+3.0	+2.1	+2.8	+2.9	
無し	有り	運転	—	—	—	—	+4.0	+2.7	+3.0	+2.7		
	停止	+1.8	+1.7	+1.7	+1.7	+2.9	+1.6	+2.8	+2.4			
無し	有り	運転	—	—	—	—	+3.4	+2.5	+2.7	+2.5		
	停止	+1.8	+1.7	+1.7	+1.7	+3.1	+1.6	+3.1	+2.5			

※下線を引いた箇所が最大ケース。

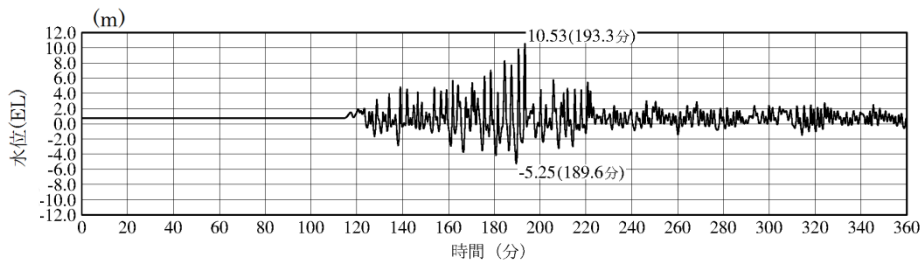
表7 水位下降側の評価結果（2号炉取水施設）

波源		防波堤 有無	貝付着 有無	ポンプ 運転 状況	入力津波高さ EL (m) ※
					2号炉 取水槽
日本海東縁部	基準津波1	有り	有り	運転	-6.8
				停止	-5.8
		無し	有り	運転	-6.5
				停止	-5.8
			無し	運転	-8.2
				停止	-5.9
	基準津波3	有り	有り	運転	-6.5
				停止	-5.6
		無し	有り	運転	-6.5
				停止	-5.7
			無し	運転	-6.5
				停止	-5.7
基準津波6	無し	有り	運転	<u>-8.4</u>	
			停止	-6.0	
	無し	有り	運転	-8.3	
			停止	-6.1	
		無し	運転	-8.3	
			停止	-6.1	
海域活断層	基準津波4	有り	有り	運転	-6.1
				停止	-4.8
		無し	有り	運転	-6.1
				停止	-5.0
			無し	運転	-6.4
				停止	-5.0
	海域活断層 上昇側で 最大となる ケース	有り	有り	運転	-6.4
				停止	-5.0
			無し	運転	<u>-6.5</u>
				停止	-5.1
		無し	有り	運転	-5.1
				停止	-4.4
			無し	運転	-5.2
				停止	-4.5
無し	有り	運転	-5.5		
		停止	-4.6		
	無し	運転	-5.6		
		停止	-4.7		

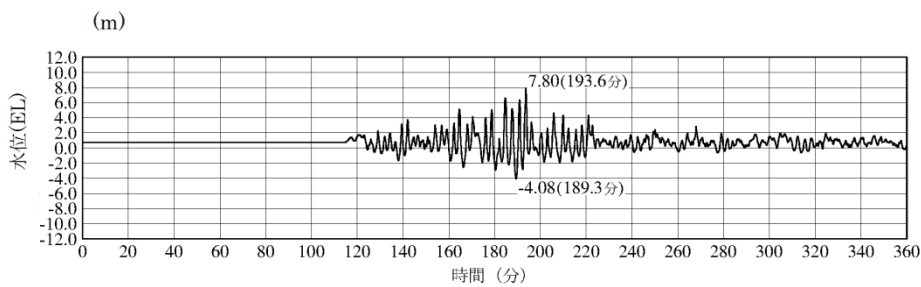
※下線を引いた箇所が最大ケース。



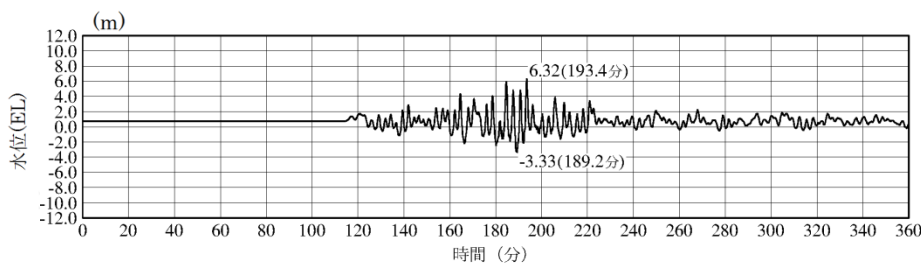
1号炉取水槽最大ケース



2号炉取水槽最大ケース

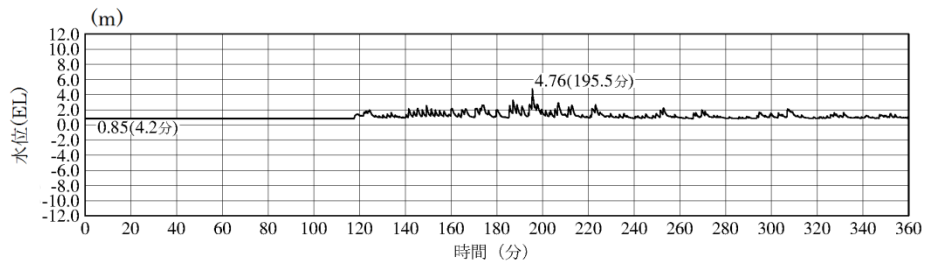


3号炉取水槽最大ケース

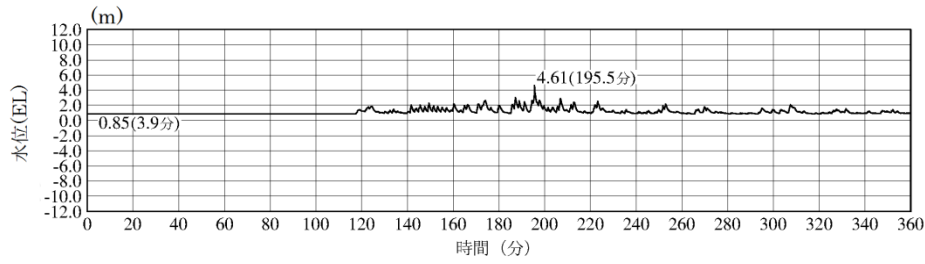


3号炉取水路点検口最大ケース

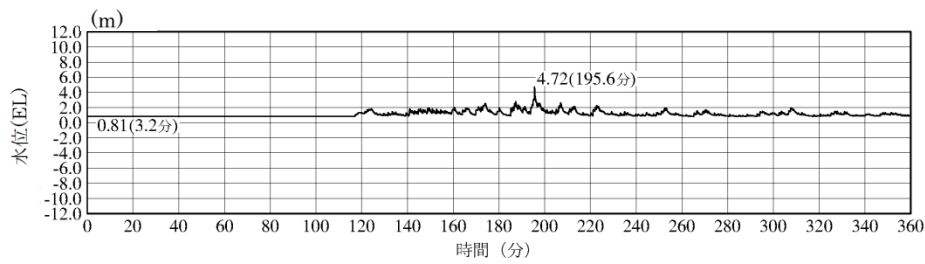
図11-1 水位上昇側の時刻歴波形 日本海東縁部 (1/3)



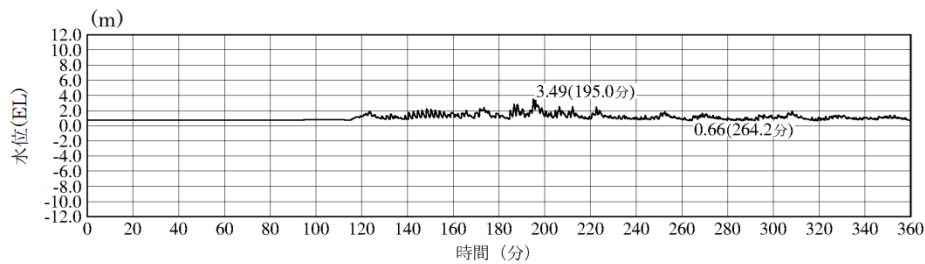
1号炉放水槽最大ケース



1号炉冷却水排水槽最大ケース

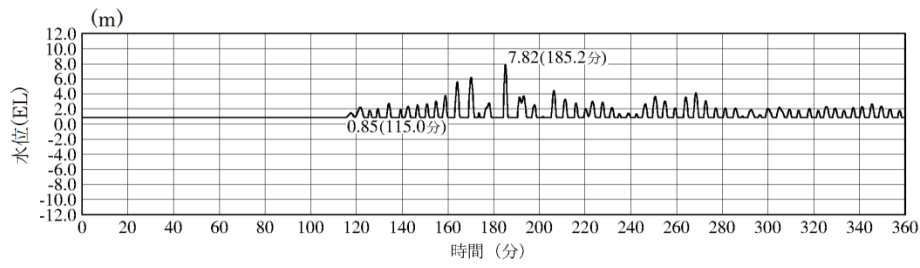


1号炉マンホール最大ケース

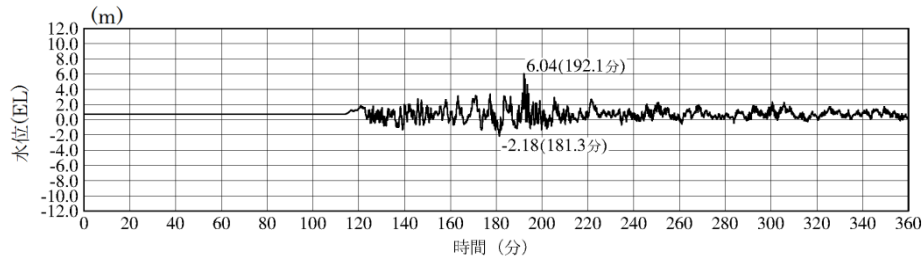


1号炉放水接合槽最大ケース

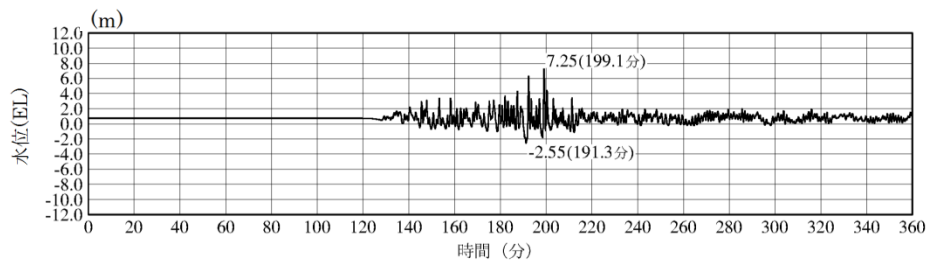
図11-2 水位上昇側の時刻歴波形 日本海東縁部 (2/3)



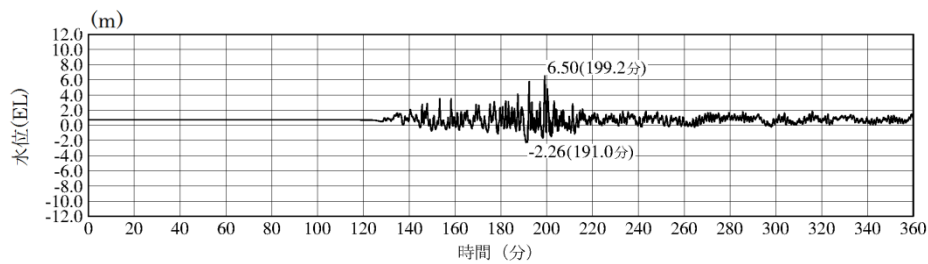
2号炉放水槽最大ケース



2号炉放水接合槽最大ケース



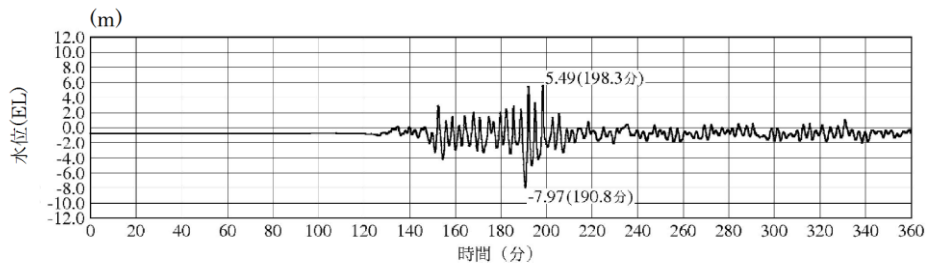
3号炉放水槽最大ケース



3号炉放水接合槽最大ケース

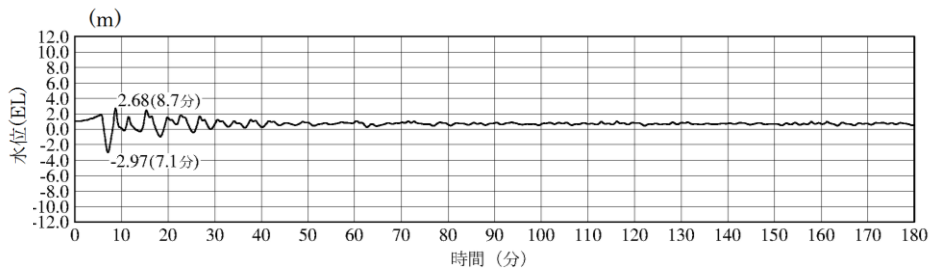
図11-3 水位上昇側の時刻歴波形 日本海東縁部 (3/3)



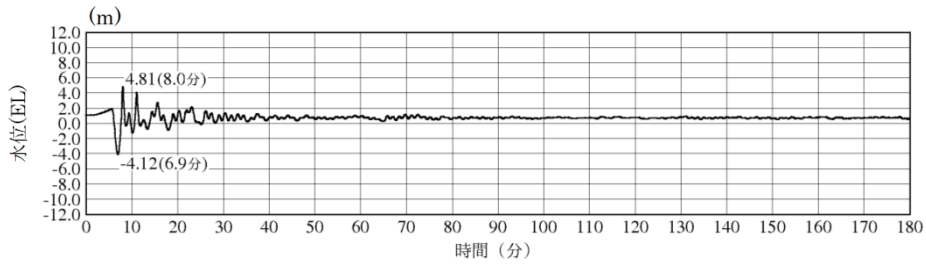


※最大水位下降量-7.97m—地盤変動量 0.34m⇔EL-8.4m  
 2号炉取水槽（入力津波6 防波堤無し）※下降側  
 2号炉取水槽最大ケース

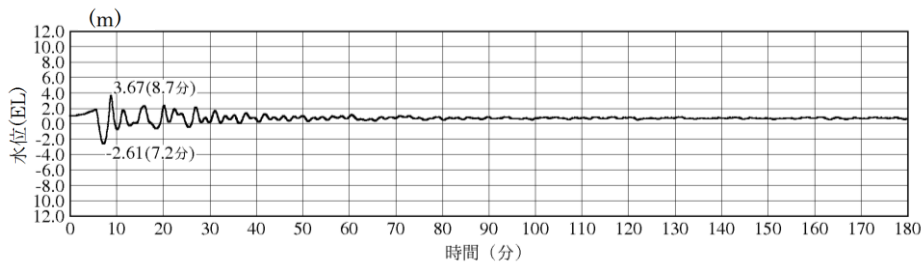
図12 水位下降側の時刻歴波形 日本海東縁部



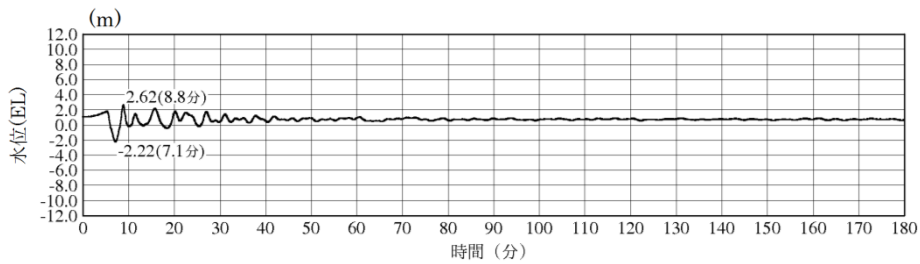
1号炉取水槽最大ケース



2号炉取水槽最大ケース

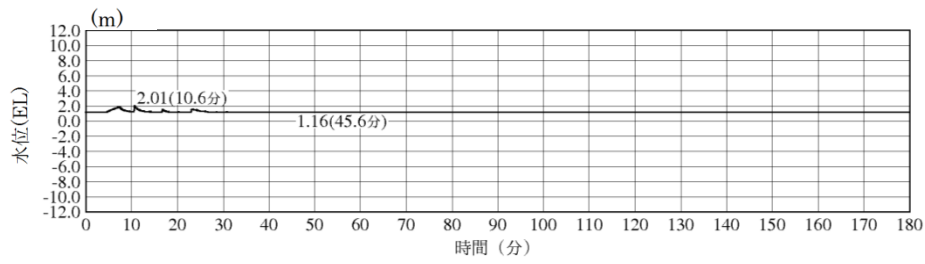


3号炉取水槽最大ケース

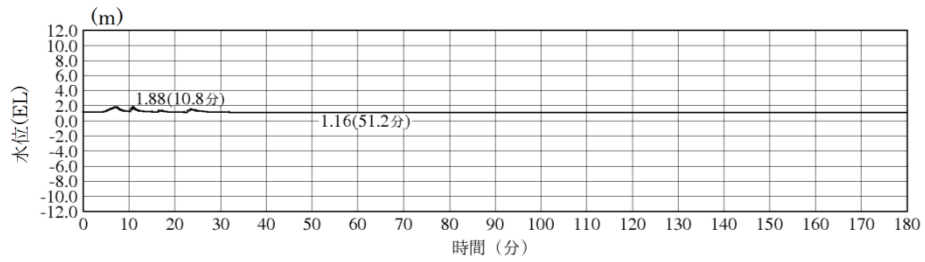


3号炉取水路点検口最大ケース

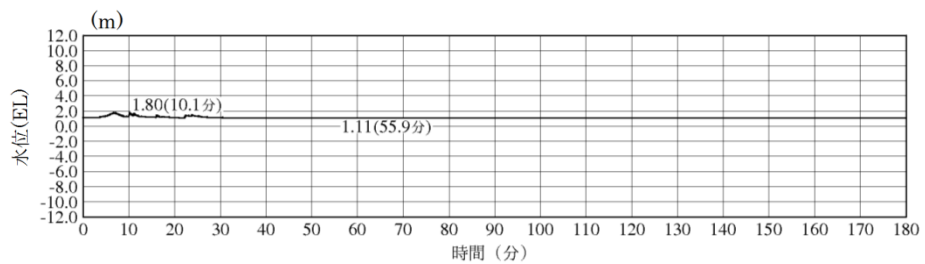
図13-1 水位上昇側の時刻歴波形 海域活断層 (1/3)



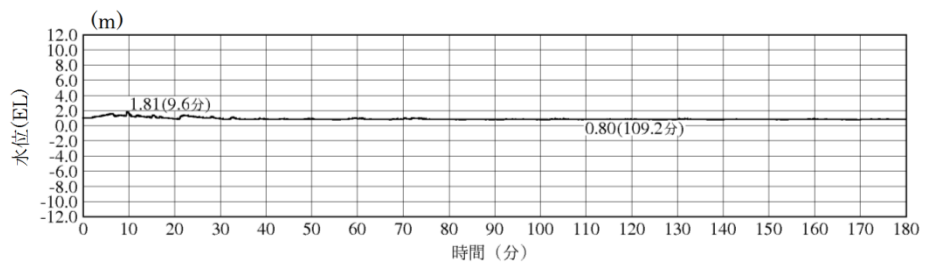
1号炉放水槽最大ケース



1号炉冷却水排水槽最大ケース

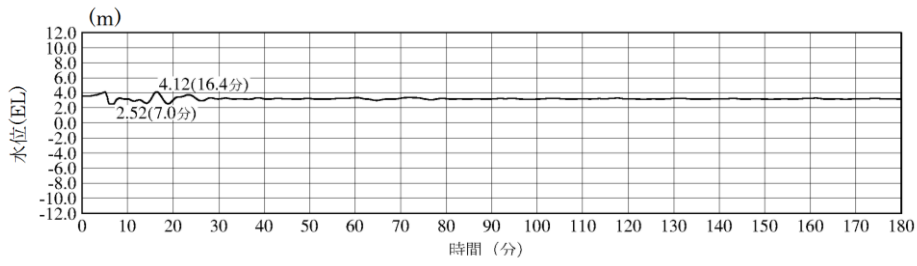


1号炉マンホール最大ケース

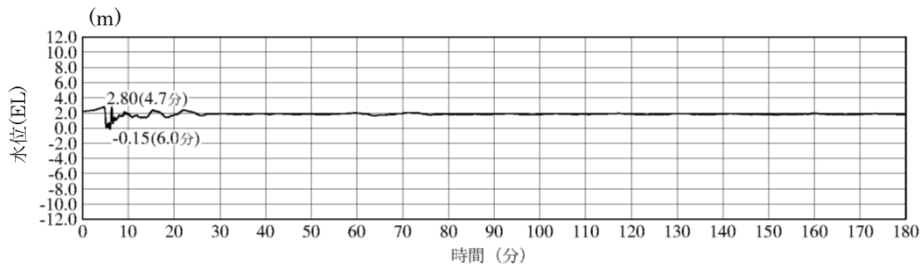


1号炉放水接合槽最大ケース

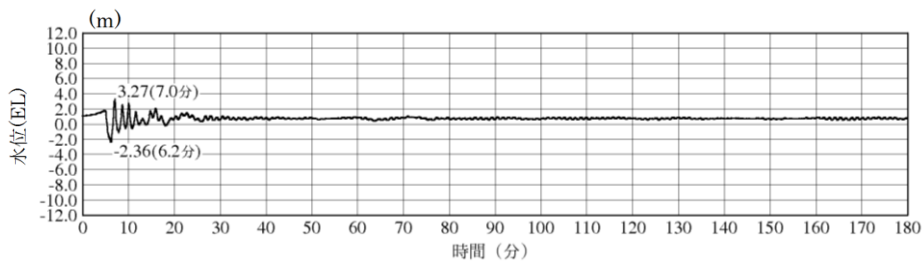
図13-2 水位上昇側の時刻歴波形 海域活断層 (2/3)



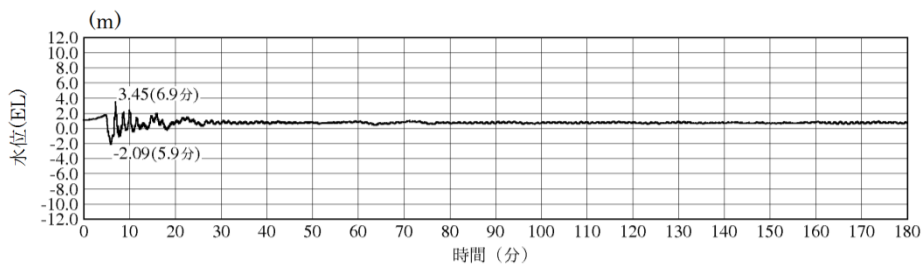
2号炉放水槽最大ケース



2号炉放水接合槽最大ケース

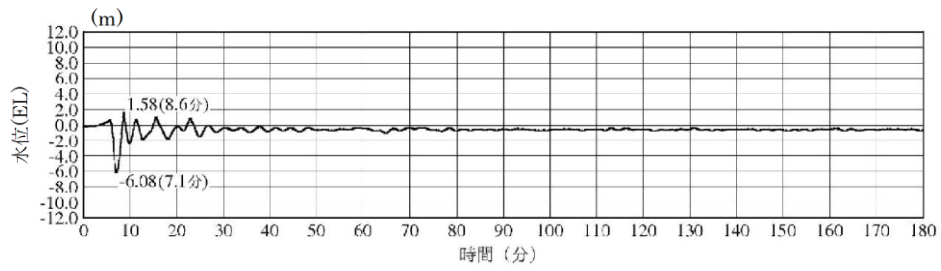


3号炉放水槽最大ケース



3号炉放水接合槽最大ケース

図13-3 水位上昇側の時刻歴波形 海域活断層 (3 / 3)



※最大水位下降量-6.08m—地盤変動量0.34m⇨EL-6.5m

2号炉取水槽（入力津波4 防波堤無し）※下降側

2号炉取水槽最大ケース

図14 水位下降側の時刻歴波形 海域活断層

## 2号炉取水施設の評価位置における入力津波水位について

日本海東縁部を波源とする基準津波6による水路内最低水位(EL-8.31m)は、非常用海水冷却系の海水ポンプの取水可能水位に対して裕度が小さいことから、大津波警報発令時には循環水ポンプを停止する運用に見直すが、参考としてポンプ運転状態での地殻変動による取水への影響を検討する。2号炉取水施設断面図を図1に示す。

入力津波の設定における水位下降側の水路内水位は、管路計算結果から地殻変動(隆起)分の水位を引き下げ、設定している。計算条件を表1に示す。この計算における取水槽及び取水管端部下端の水位は図2のとおり。

地殻変動量(隆起0.34m)分を考慮した場合、取水管端部下端における水位はEL-7.57mとなり、貝付着を考慮した取水管端部下端高さ(EL-7.25m)を下回る値となったが、取水槽における水位はEL-8.31mとなり、許容津波高さ(EL-8.32m)を下回らない。

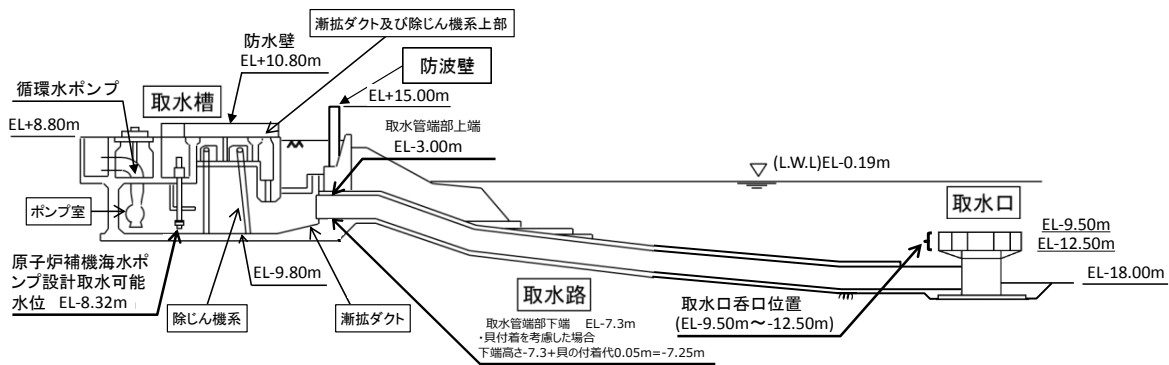
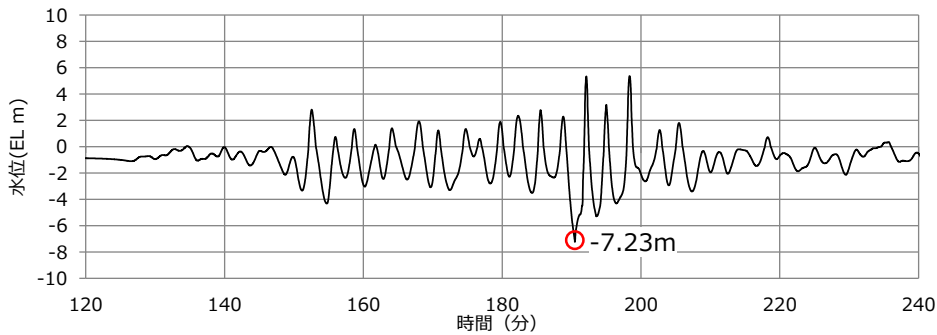


図1 2号炉取水施設断面図

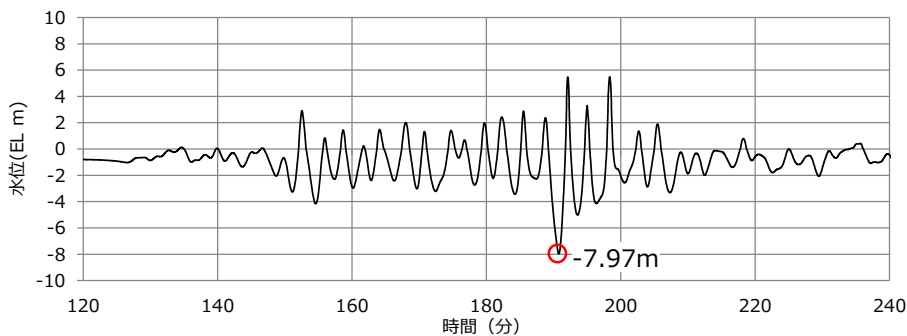
表1 管路計算結果から隆起分の水位を引き下げ、  
入力津波を設定する際の計算条件

波源	基準津波6
地形変化	防波堤無し
潮位変動	-0.19m
地殻変動	隆起0.34m
貝付着	有り, 5cm
循環水ポンプ状態	運転



最大水位下降量-7.23m-地殻変動量0.34m=-7.57m<貝付着を考慮した取水管下端高さ-7.25m

2号炉取水管端部（東）（循環水ポンプ運転時）



最大水位下降量-7.97m-地殻変動量0.34m=-8.31m>許容高さ-8.32m

2号炉取水槽（循環水ポンプ運転時）

図2 管路計算結果から隆起分の水位を引き下げる場合の  
取水槽及び取水管端部における水位の時刻歴波形

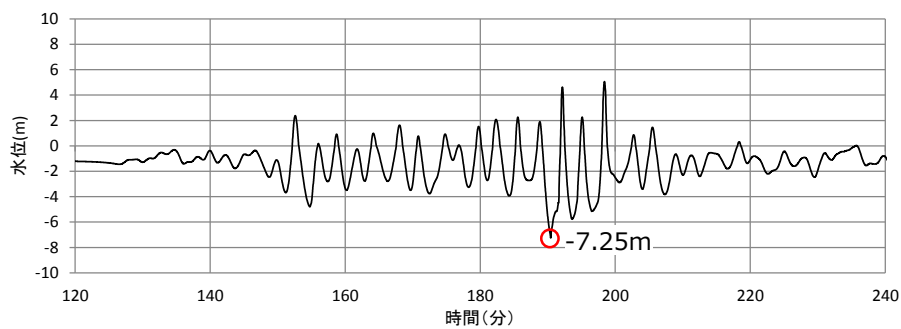
取水管端部下端において、評価水位が取水管端部下端高さを下回ることから、地殻変動の影響を詳細に確認するため、初期条件として地殻変動量を考慮した管路計算を実施した。計算条件を表2に示す。この計算における取水槽及び取水管端部下端の水位は図3のとおり。

地殻変動量（隆起0.34m）を初期条件として考慮した場合、取水管端部における水位はEL-7.25mとなり、貝付着を考慮した取水管端部下端高さと同じ高さ

（EL-7.25m）となった。また、取水槽における水位はEL-8.27mとなり、許容津波高さ（EL-8.32m）を下回らないことを確認した。

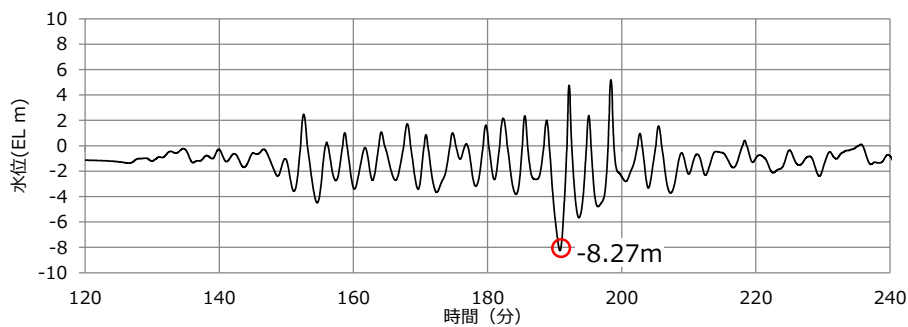
表2 初期条件として地殻変動量を考慮し、  
入力津波を設定する際の計算条件

波源	基準津波 6
地形変化	防波堤無し
潮位変動	-0.19m
地殻変動	隆起0.34m
貝付着	有り, 5cm
循環水ポンプ状態	運転



-7.25m=貝付着を考慮した取水管下端高さ-7.25m

2号炉取水管端部（東）（循環水ポンプ運転時）



-8.27m(初期条件として地殻変動を考慮) > 許容高さ-8.32m

2号炉取水槽（循環水ポンプ運転時）

図3 初期条件として地殻変動量を考慮した場合の  
取水槽及び取水管端部における水位の時刻歴波形



## 燃料等輸送船の係留索の耐力について

## 1. 概要

燃料等輸送船（以下、「輸送船」という。）は、津波襲来までに時間的余裕がある津波の場合は、緊急退避するが、津波襲来までに時間的余裕がない津波の場合は、荷揚場に係留することとなる。そのため、ここでは、係留索の耐力について評価を実施する。

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

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

なお、荷揚場については、岩着構造であり、基準地震動  $S_s$  に対して損傷することはなく、本係留索の耐力評価に影響を及ぼさない（添付資料 38 参照）。

## 2. 評価

## (1) 輸送船、係留索、係船柱の仕様

輸送船、係留索、係船柱の仕様を表 1 に、配置を図 1 に示す。

表1 輸送船, 係留索, 係船柱の仕様

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

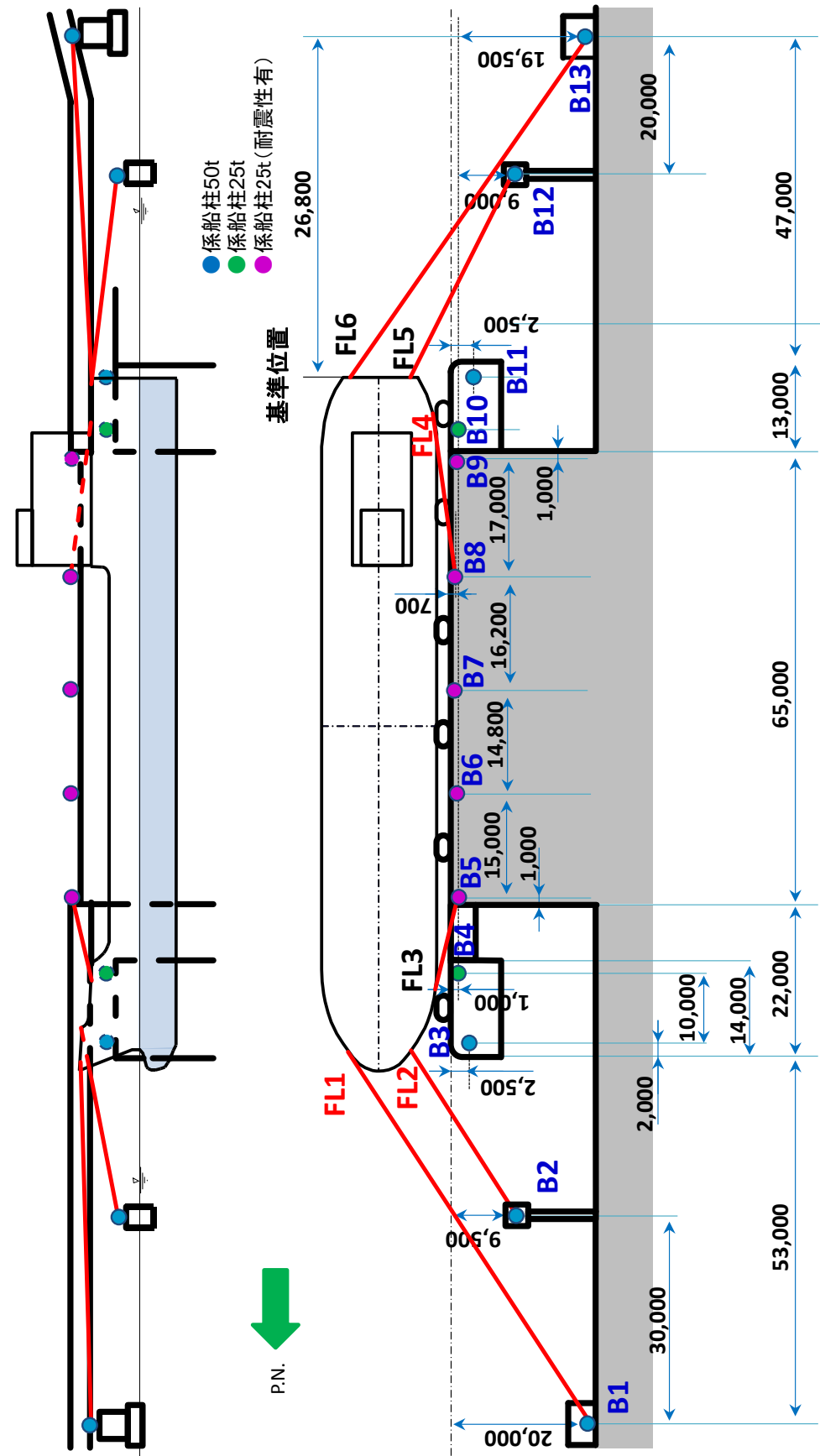
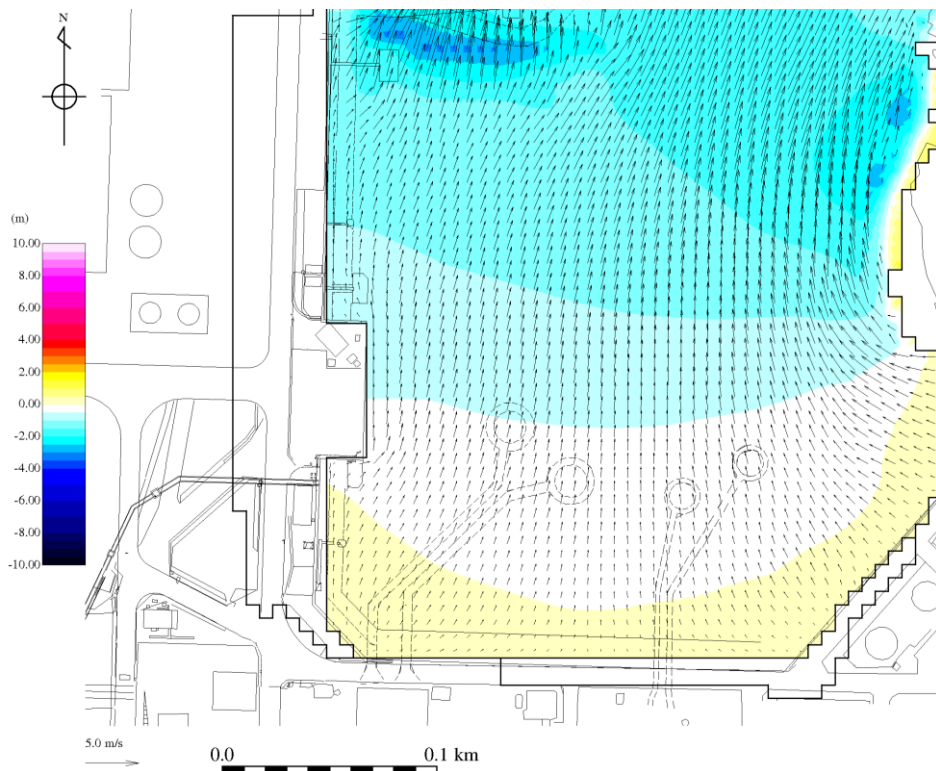


図1 輸送船，係留索，係船柱の配置

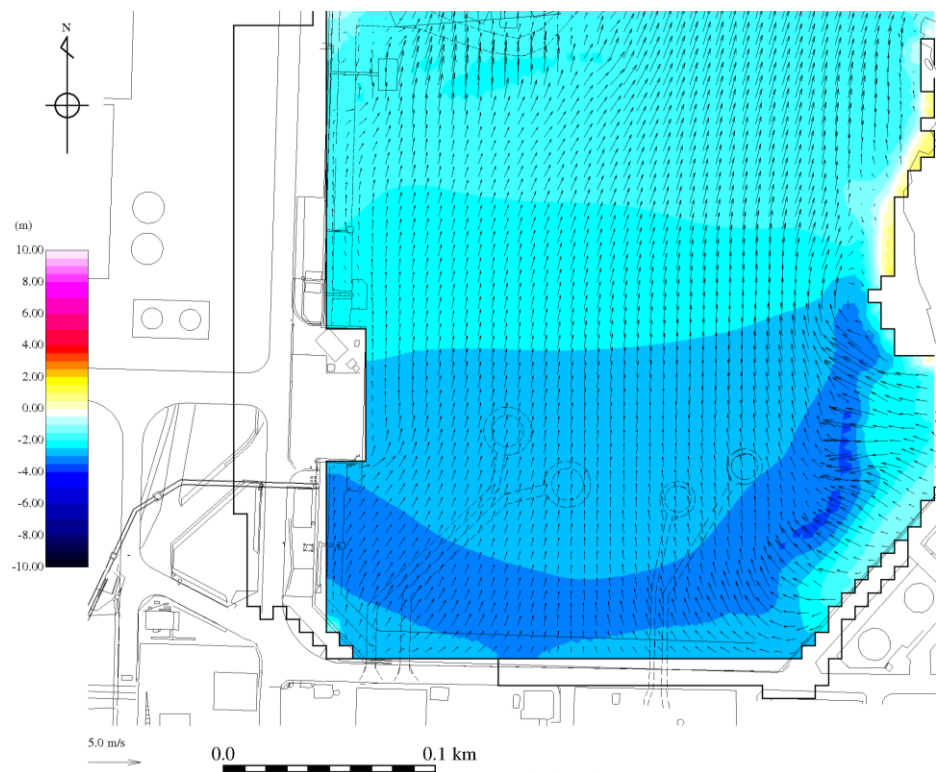
(2) 津波条件（流向，水位，流速）

襲来までに時間的余裕がなく，輸送船を離岸できない海域活断層から想定される地震による津波を評価条件とする。

海域活断層から想定される地震による津波による荷揚場近傍の流向は，図2に例示するとおり，荷揚場に対する接線方向の成分が支配的となる。これに対し，輸送船は荷揚場と平行して接岸されることから，評価は輸送船の船首及び船尾方向の流圧力に対する係留索の耐力について実施する。

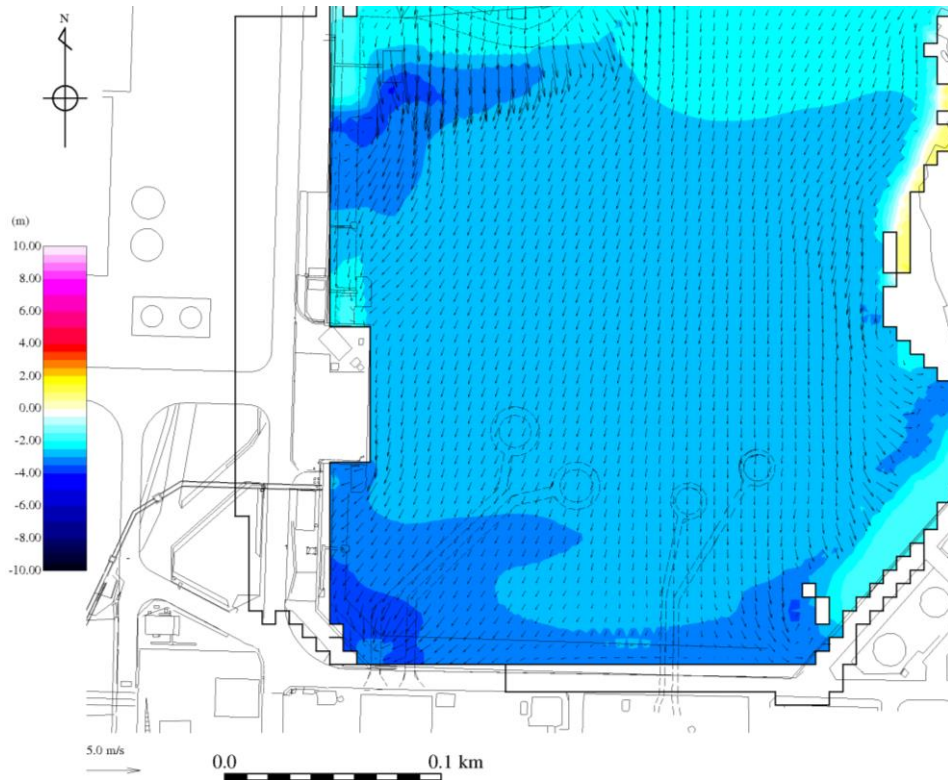


(地震発生後 5 分 50 秒後)



(地震発生後 6 分 10 秒後)

図 2 - 1 基準津波 4 の流向



(地震発生後 6 分 50 秒後)

図 2 - 2 基準津波 4 の流向

一方、海域活断層から想定される地震による津波の荷揚場位置における水位及び接線方向成分の流速は、図3-1のとおりとなる。

図3-1に示すとおり、地震発生後、押し波が5分程度継続した後、引き波に転じ約6分で第一波の最低点に達し、流速は第1波の最低点と同時刻に最大の2.3m/sに達する。

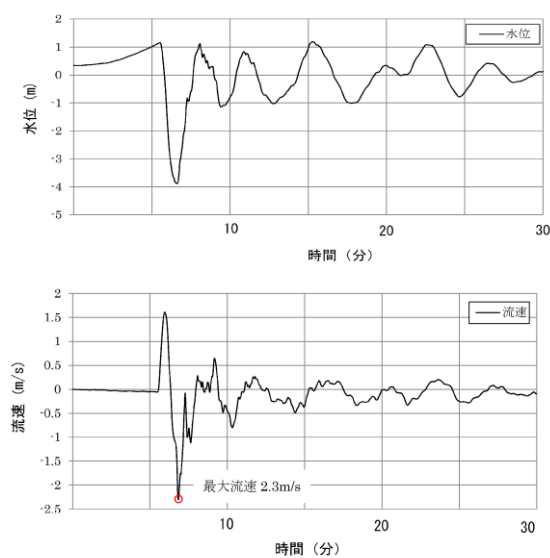


図3-1 基準津波4の流速（荷揚場近傍）

なお、図3-1に示した津波の流速は、防波堤の損傷を想定した場合における流速であり、防波堤の損傷を想定しない場合（防波堤健全の条件）でも、接線方向成分の流速は、図3-2に示すとおり、流速条件は防波堤損傷状態における流速と同程度である。

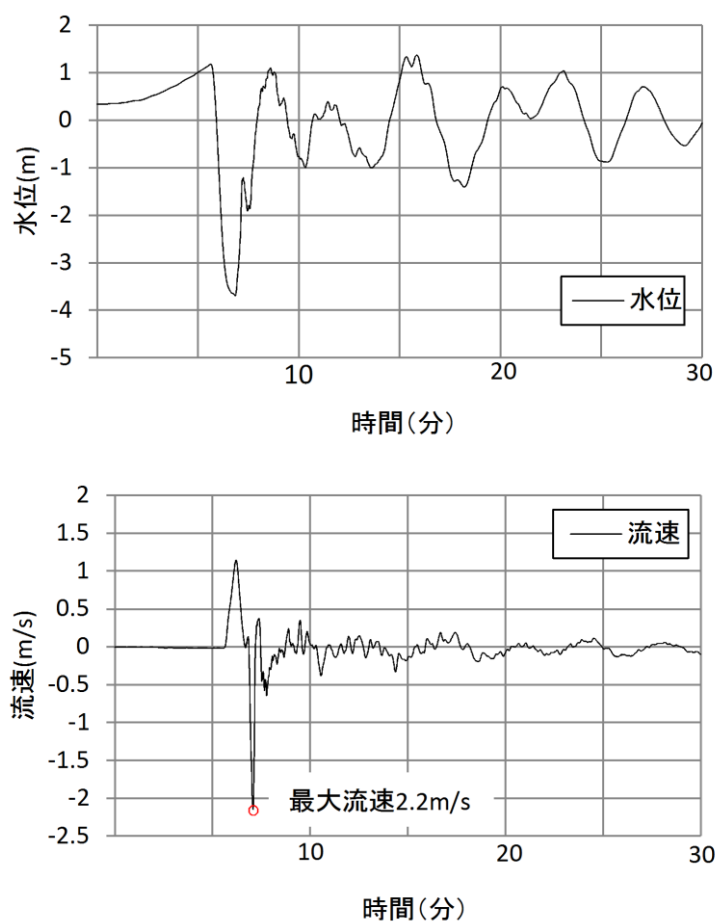


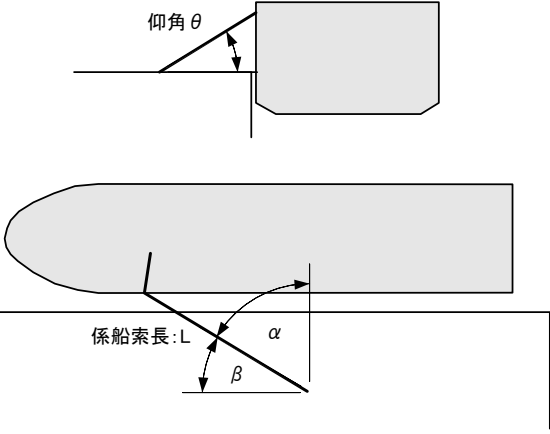
図3-2 防波堤健全時における基準津波4の流速（荷揚場近傍）



(3)係留力

係留力の計算方法を表2に、計算結果を表3、図4、5に示す。

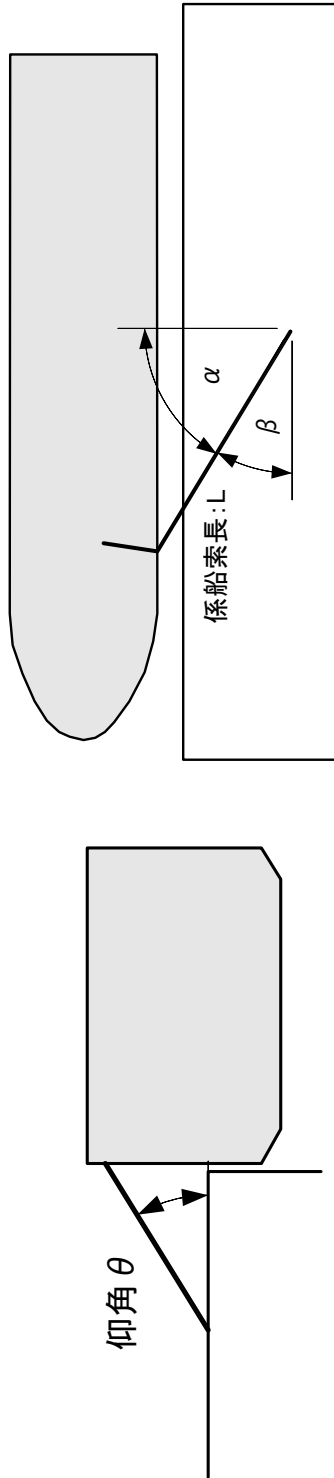
表2 係留力の計算方法

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

(出典：係留設備に関する指針 OCIMF 刊行)

表3 係留力 (図1) の計算結果

フェア リダー	索種類	係船柱	係船索長さ[m]		係留角		索張力T [tonf]	係留力前 後 [tonf]	Bitt Performance [tonf]		
			船外		$\theta$	$\beta$			Bitt Load	合計	係船柱強 度
FL1	Line1	B1	65.2		3.2	32.3	20.0	6.2	10.2	10.2	50.0
FL2	Line2	B2	29.9		11.8	31.4	20.0	12.2	20.0	20.0	50.0
FL3	Line3	B5	13.1		4.8	-14.5	20.0	19.3	20.0	20.0	25.0
FL4	Line4	B8	21.6		2.4	8.9	20.0	19.7	20.0	20.0	25.0
FL5	Line5	B12	32.8		9.5	-27.0	20.0	8.6	20.0	20.0	50.0
FL6	Line6	B13	59.5		0.9	-34.9	20.0	4.2	12.0	12.0	50.0



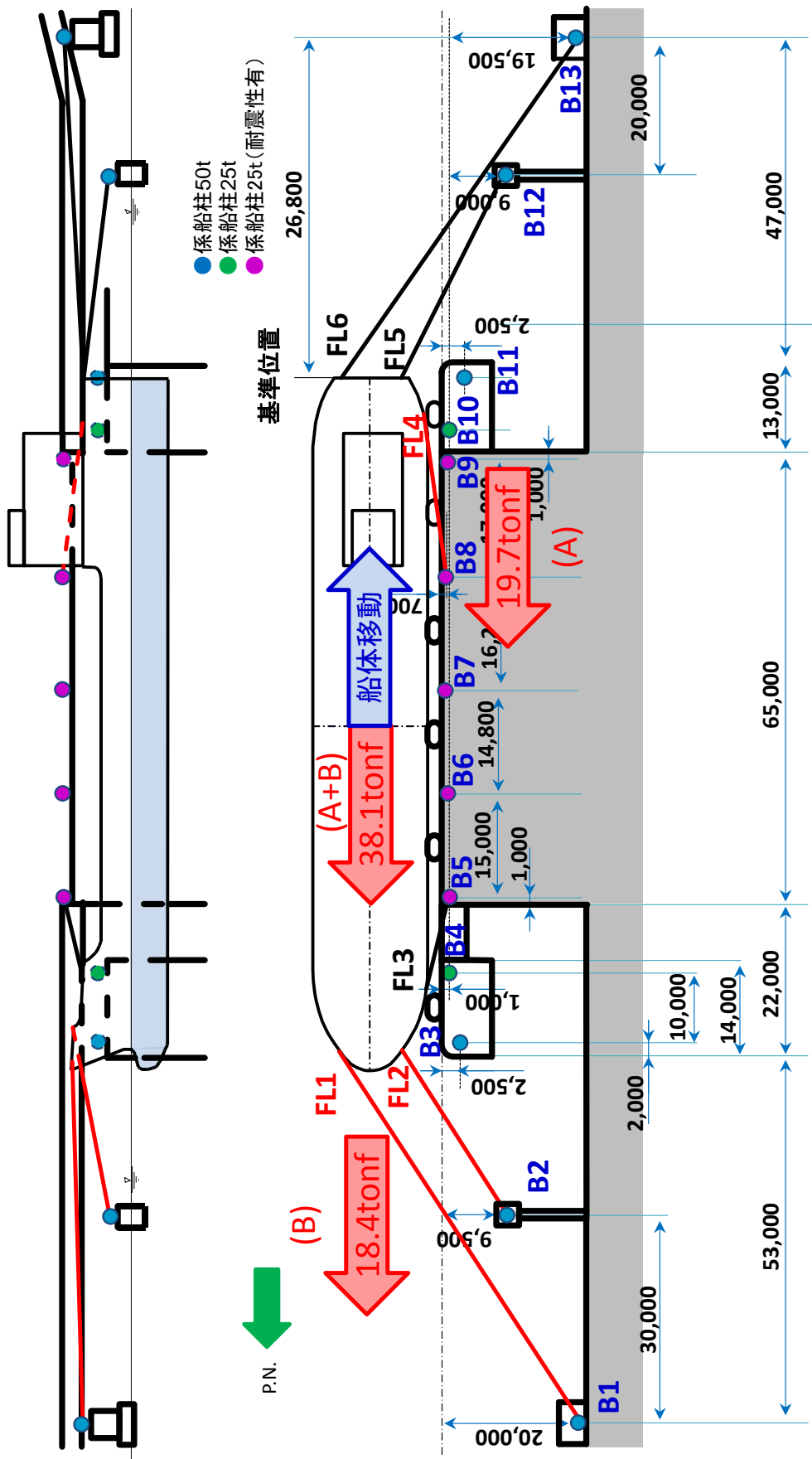


図4 船尾方向への移動に対する船首方向係留力

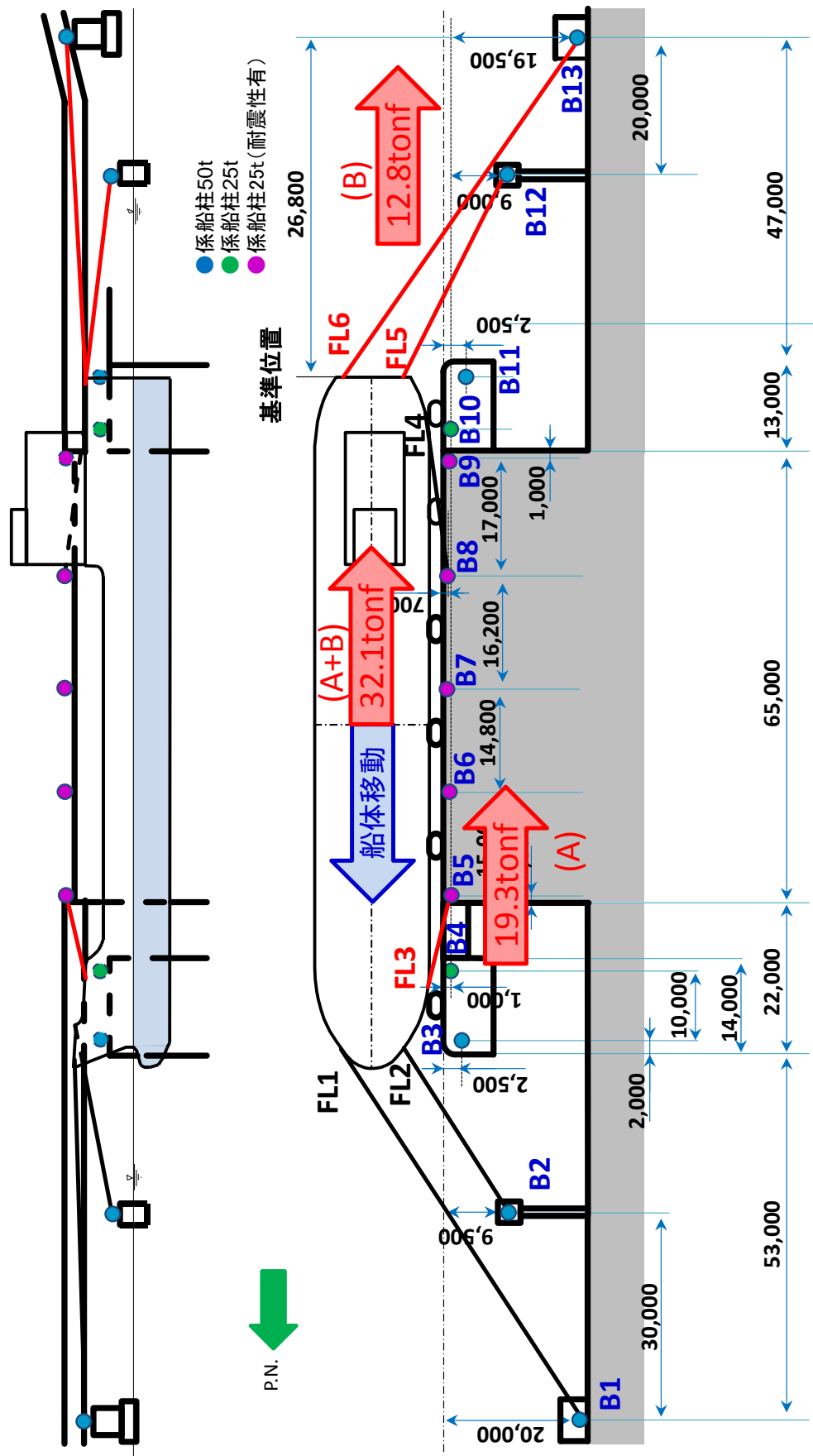


図5 船首方向への移動に対する船尾方向係留力

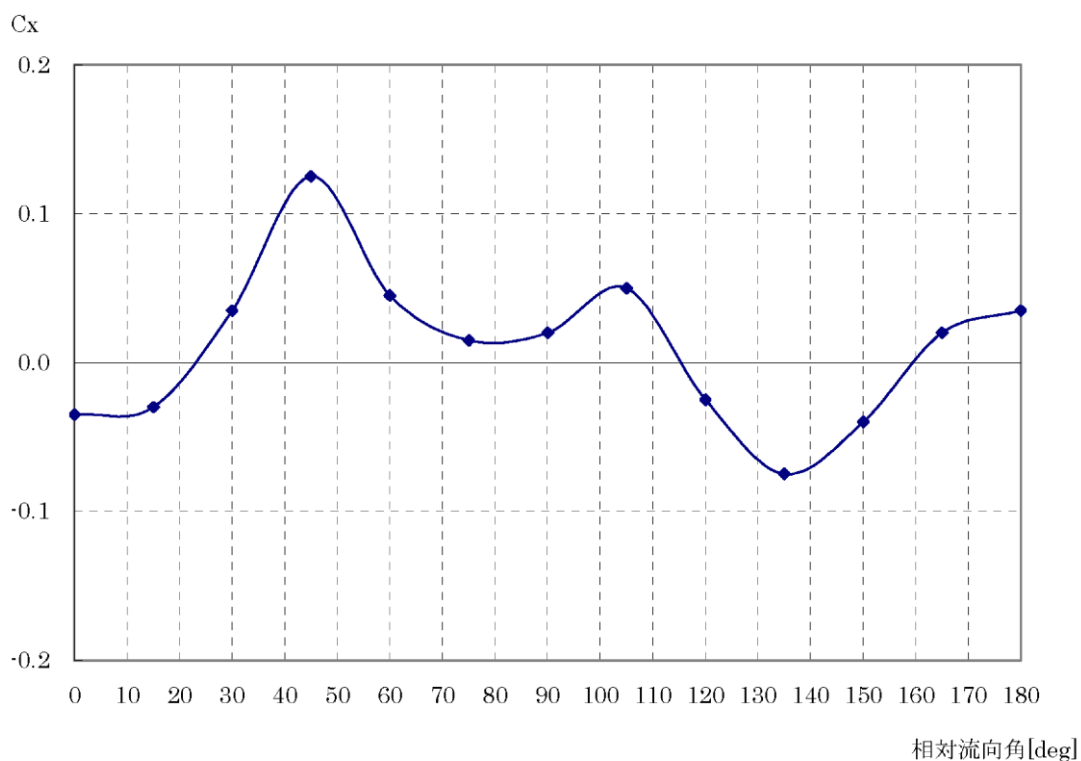
(4) 流圧力

流圧力の計算方法を表4に示す。計算結果について、前項で求めた係留力との比較結果を図6に示す。

表4 流圧力の計算方法

<p>【流圧力計算式】</p> $F_{xc} = \frac{1}{2} \times C_{xc} \times \rho_c \times V_c^2 \times L_{pp} \times d$	<p><math>F_{xc}</math> : 縦方向流圧力[kgf]</p> <p><math>C_{xc}</math> : 縦方向流圧力計数</p> <p><math>V_c</math> : 流速[m/s]</p> <p><math>L_{pp}</math> : 垂線間直[m]</p> <p><math>d</math> : 喫水[m]</p> <p><math>\rho_c</math> : 水密度[kg・sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>] (=104.5 sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)</p>
--	---

(出典：係留設備に関する指針 OCIMF 刊行)



(出典：VLCCにおける風圧及び流圧の予測 OCIMF 刊行)

縦方向流圧力係数[Cx]

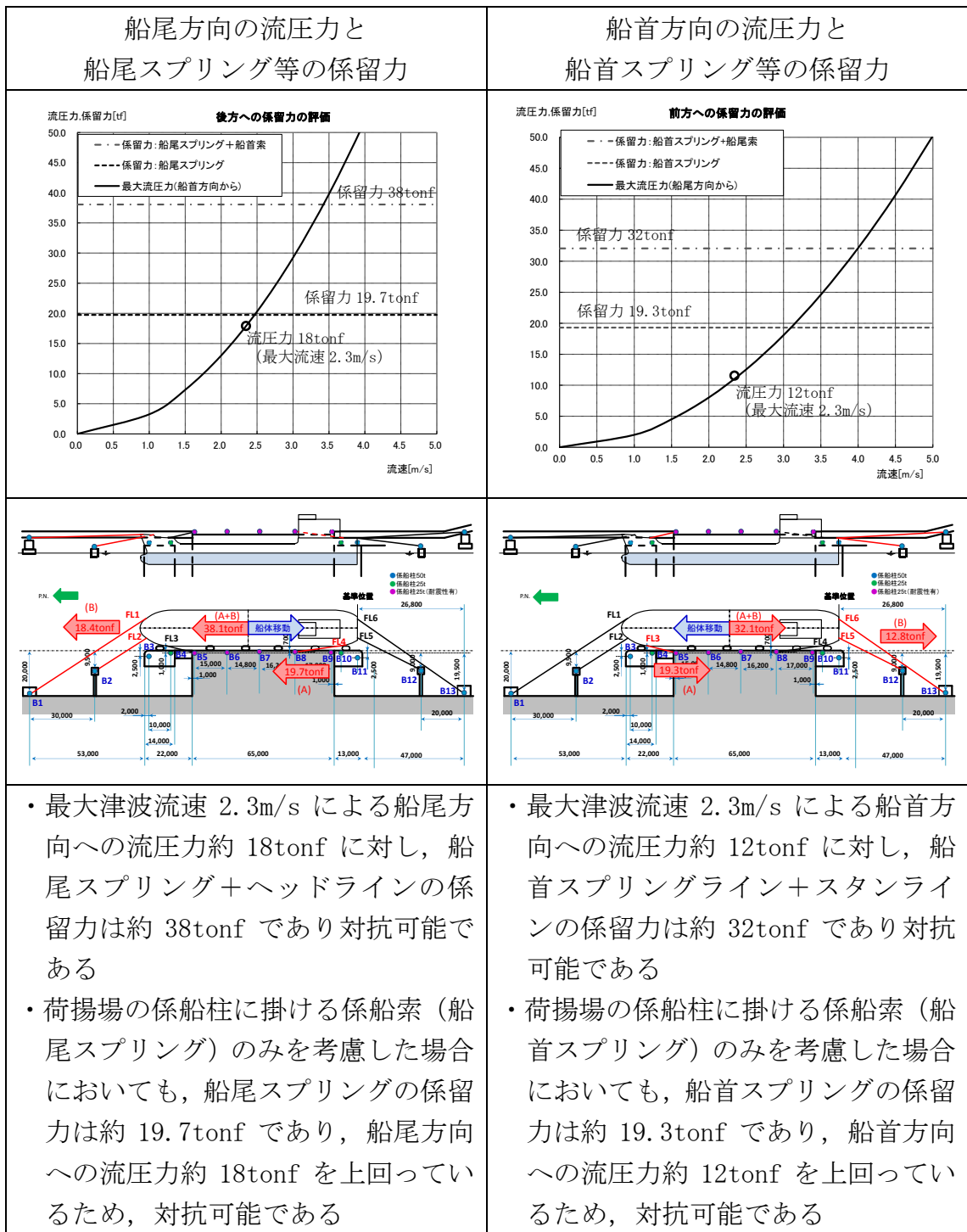


図6 流圧力と係留力の比較

### 3. 結論

津波（最大流速 2.3m/s）による流圧力に対し、地震時に健全性が確保された荷揚場の係船柱に掛ける係船索のみを考慮した場合でも、係留力（約 19.7tonf, 約 19.3tonf）が上回ることを確認した。

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

燃料等輸送船の喫水高さと津波高さとの関係について

1. はじめに

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

2. 確認条件

燃料等輸送船は、津波警報等発令時、原則、緊急退避する。輸送行程（「荷揚場岸壁への接岸」～「荷役」～「荷揚場岸壁からの離岸」）において、燃料等輸送船と輸送物の干渉がない「荷役」以外の行程においては、津波警報等の発令から数分程度で緊急退避が可能である。また、燃料等輸送船と輸送物が干渉し得る「荷役」行程では、30分程度の時間があれば緊急退避が十分可能であることから、確認の範囲は、早く襲来する海域活断層から想定される地震による津波で水位変化が一番大きい押し波、引き波を評価対象とする。



(1) 検討ケース

図1, 2に, 燃料等輸送船が停泊する荷揚場における海域活断層から想定される地震による津波の波形を示す。押し波時の最大水位はT.P. 2.0m, 引き波時の最低水位はT.P. -4.07mである。

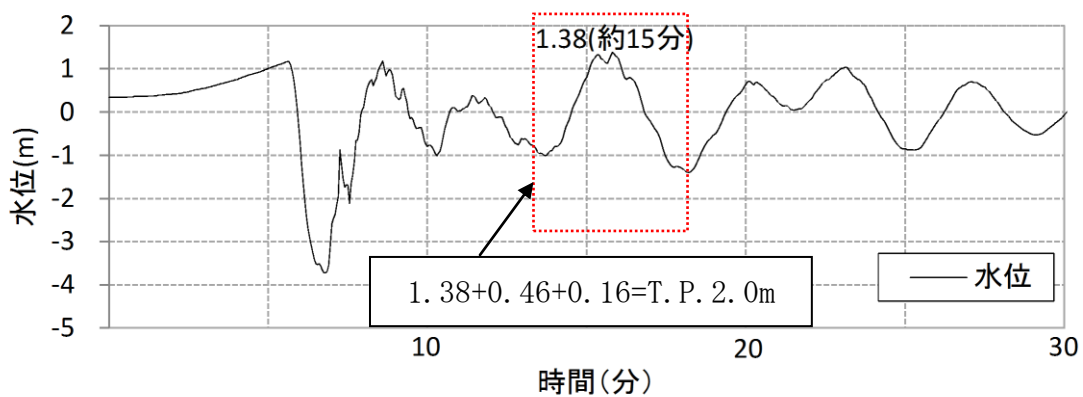


図1 基準津波4による荷揚場での時刻歴波形  
(水位上昇側)

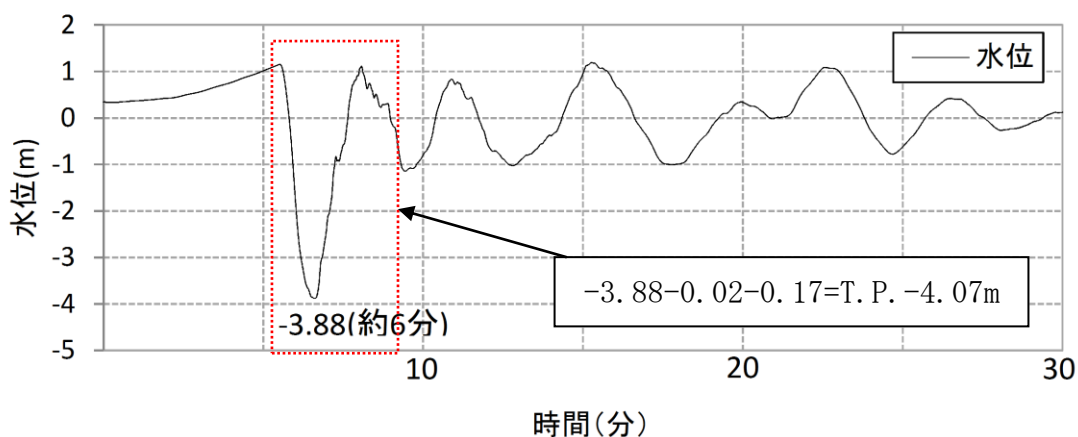


図2 基準津波4による荷揚場での時刻歴波形  
(水位下降側)

### 3. 確認結果

#### (1) 寄せ波による岸壁への乗り上げ評価

寄せ波による津波高さと岸壁高さ及び喫水高さの関係を図3に示す。

寄せ波による津波高さは岸壁高さを下回ることから、燃料等輸送船は岸壁に乗り上げることはないことを確認した。

なお、地震により地盤の隆起が考えられるが、保守的に考慮しないものとする。

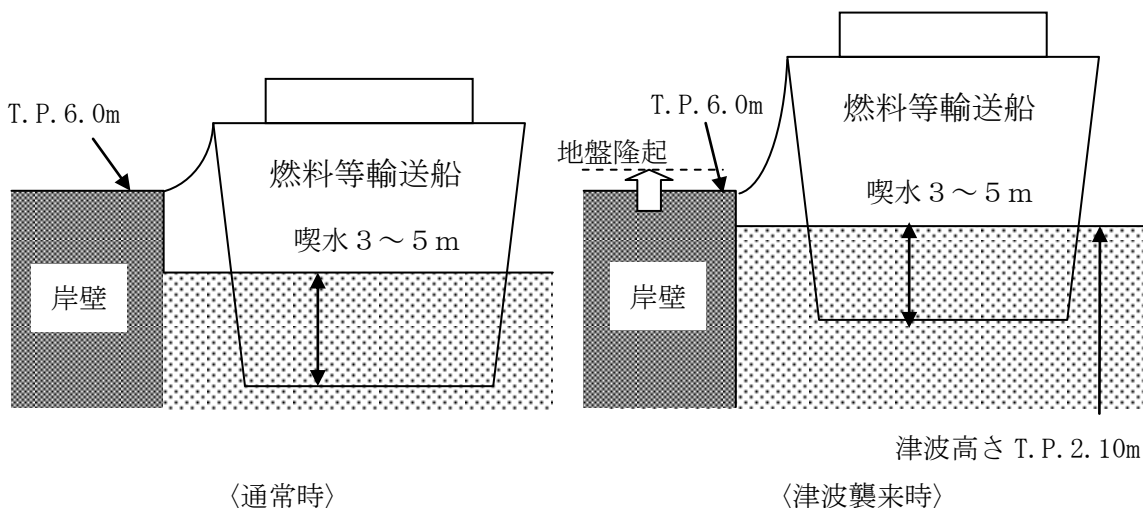
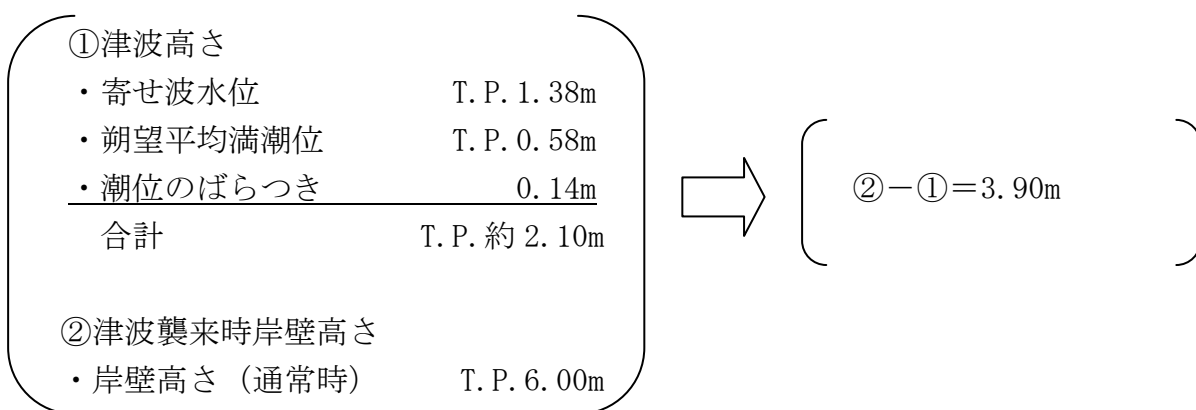


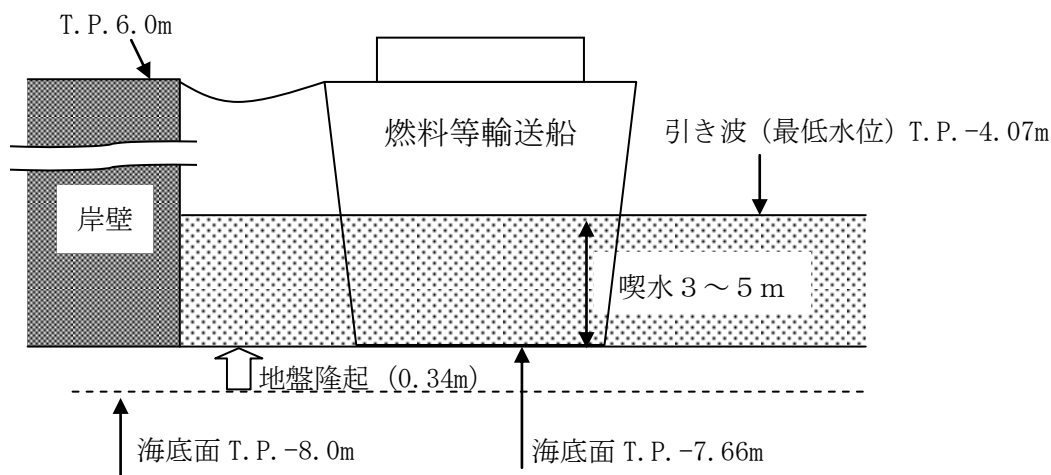
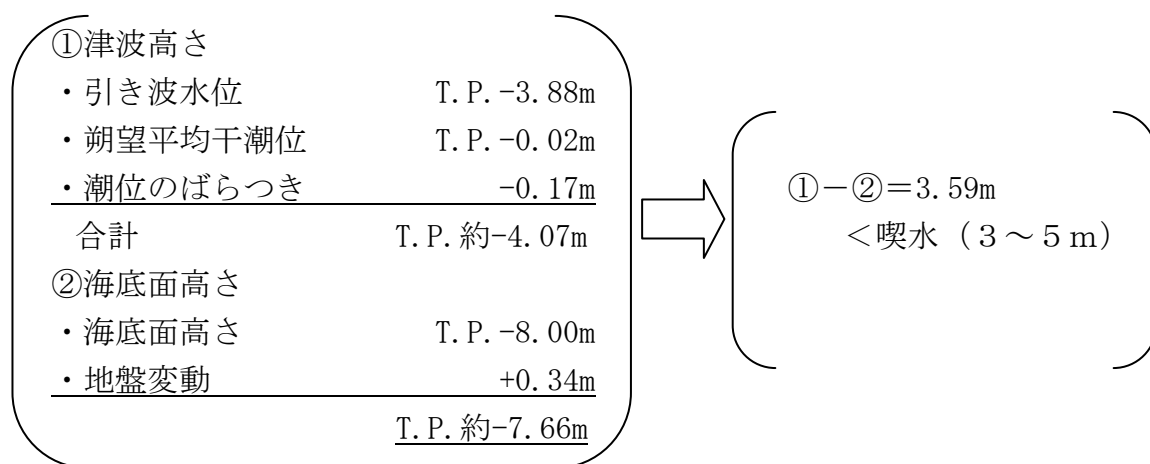
図3 寄せ波による津波高さと岸壁高さ及び喫水高さの関係

(2) 引き波（着底評価）

引き波による津波高さと喫水高さの関係を図4に示す。

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

- ・一時的な着底があったとしても、燃料等輸送船は二重船殻構造等、十分な船体強度を有しており、水位回復後に退避が可能である。
- ・また、着底後の引き波による流圧力、あるいは水位回復時の押し波による流圧力に対する転覆の可能性については、燃料等輸送船の重量及び扁平な断面形状より、その可能性はない。



〈早い津波（引き波）時〉

図4 引き波による津波高さと喫水高さの関係

#### 4. 結論

朔望平均満潮位，干潮位等の保守的な条件を考慮した場合でも，燃料等輸送船は，津波高さと喫水高さの関係から寄せ波により荷揚場岸壁に乗り上げることはなく，また，緊急退避ができない場合でも，引き波により一時的に着底することが考えられるが，船体は二重船殻構造等，十分な強度を有しており，水位回復後に退避が可能であり，漂流物とならないことを確認した。

## 燃料等輸送船の着底時の転覆の可能性について

本別紙では、燃料等輸送船が荷揚場における停泊時に引き波により着底することを想定し、その際の転覆の可能性について評価する。ここでは、転覆の可能性の観点から、転覆しやすいよう重心位置が高くなる積荷がない場合の評価結果を示す。

## 1. 評価条件

## (1) 燃料等輸送船の仕様・形状

燃料等輸送船の仕様を表1に、外形図を図1及び図2に示す。

表1 燃料等輸送船の仕様

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

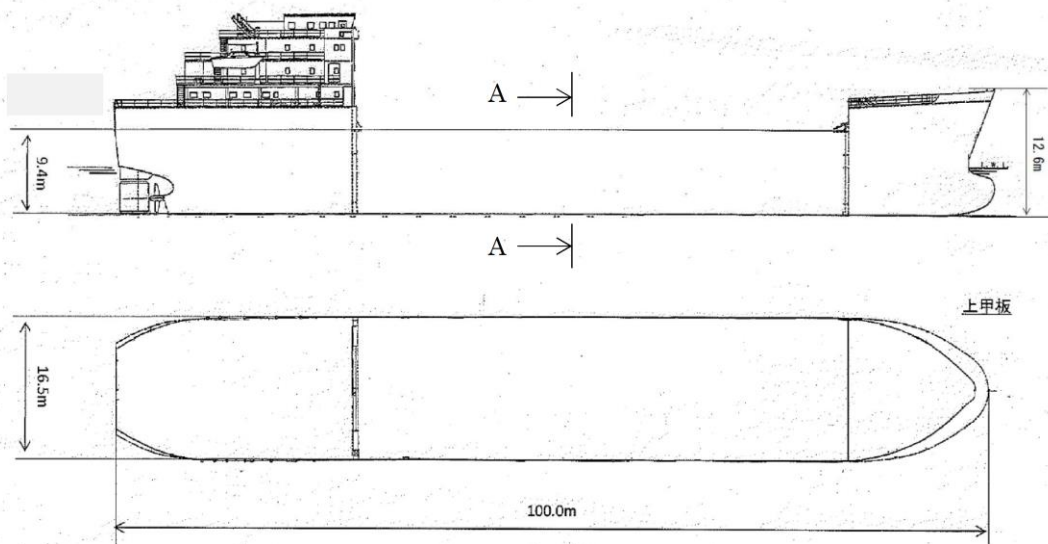


図1 燃料等輸送船外形図

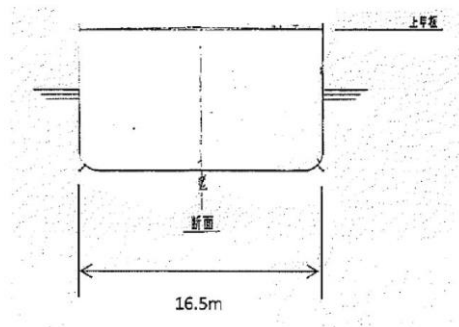


図2 燃料等輸送船外形図 (A-A 断面)

(2) 転覆モード

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

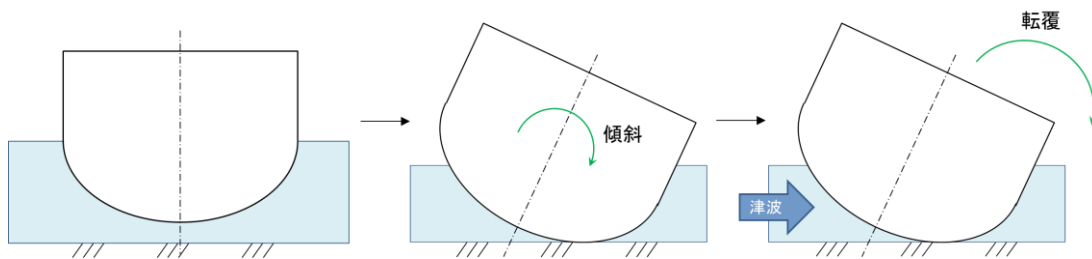


図3 丸型の船底を有する船舶の着底状態

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

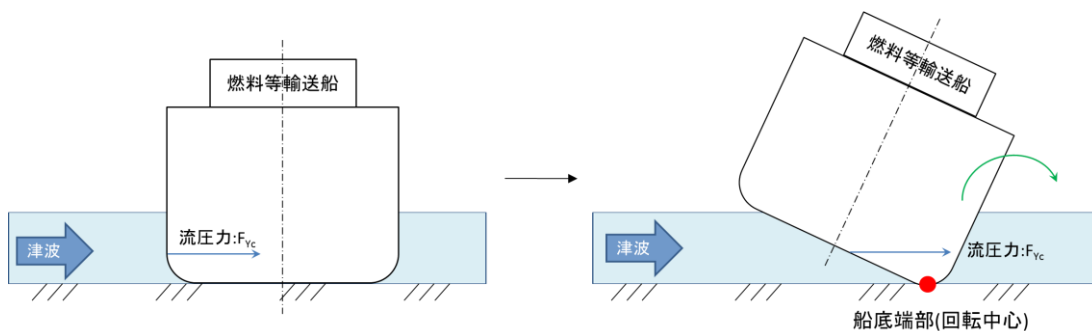


図4 想定転覆モード

## 2. 転覆評価

図4の転覆モードにおいて燃料等輸送船に働く力とモーメントを図5に示す。

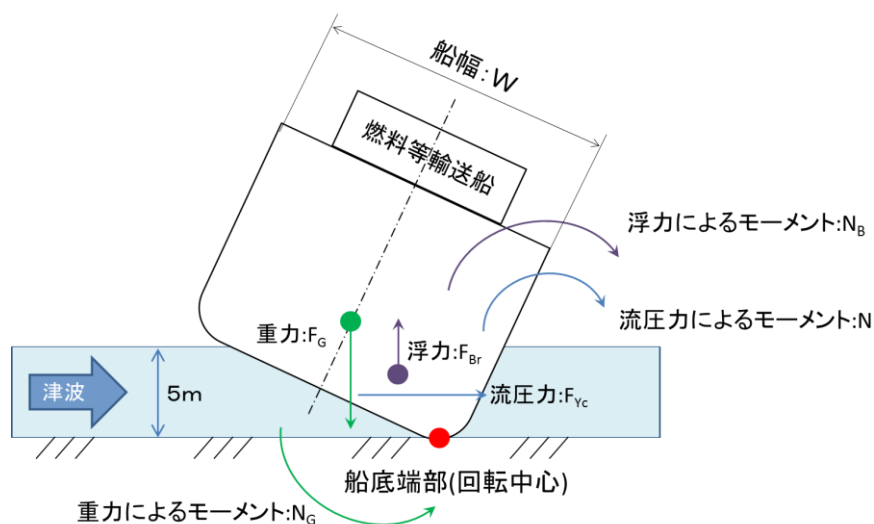


図5 燃料等輸送船に働く力とモーメント

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

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

重力によるモーメント  $N_G$  は次式のとおりとなる。

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

$N_G$  : 重力によるモーメント [tonf・m]

$F_G$  : 燃料等輸送船の重量 (=空荷状態重量) [tonf] (=4,000)

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

次に流圧力によるモーメント  $N$  は次式にて計算できる。

$$N = F_{YC} \times W \div 2 \\ = F_{YC} \times d \div 2$$

$N$  : 流圧力によるモーメント [tonf・m]

$F_{YC}$  : 流圧力 [tonf]

$W$  : 水位 [m]

$d$  : 喫水 [m] (=5)

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

また、横方向の流圧力  $F_{YC}$  を表 2 に示す方法で計算する。

表 2 横方向流圧力の計算方法<sup>1)</sup>

<b>【流圧力計算式】</b> $F_{YC} = \frac{1}{2} \times C_{YC} \times \rho_C \times V_C^2 \times L_{PP} \times d$	$F_{YC}$ : 横方向流圧力 [kgf] $C_{YC}$ : 横方向流圧力係数 $V_C$ : 流速 [m/s] $L_{PP}$ : 垂線間長 [m] (=94.4) $d$ : 喫水 [m] (=5) $\rho_C$ : 水密度 [kgf・sec <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> ] (=104.7kgf・sec <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> )
---	---

このとき、流速は図 6 に示す基準津波の最大流速 2.3m/s を適用し、横方向流圧力係数を図 7 より 10 と仮定する。



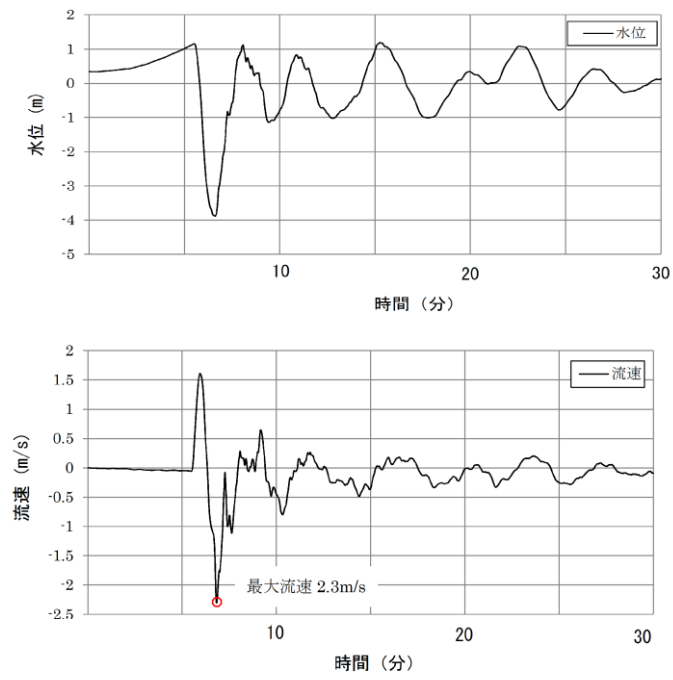


図6 基準津波4の流速（荷揚場近傍）

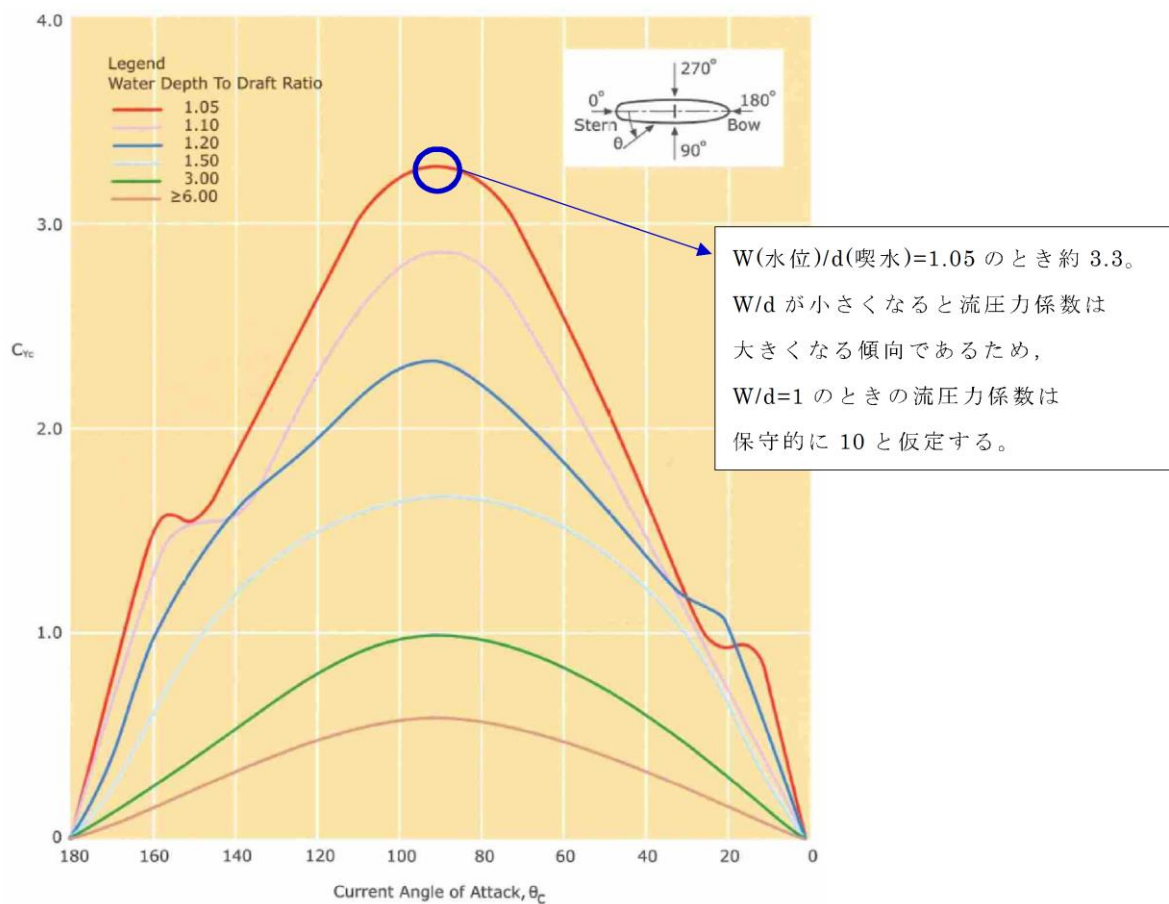


図 7 横方向の流圧力係数<sup>1)</sup>

参考文献

- 1) OCIMF : Mooring Equipment Guidelines 3<sup>rd</sup> Edition, pp.178, pp.190, pp.202, 2008.

表 2 より  $F_{yc}$  は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}
 F_{yc} &= 1 \div 2 \times 10 \times 104.7 \times 2.3^2 \times 94.4 \times 5 \\
 &\approx 1,308,000 \text{ [kgf]} \\
 &= 1,308 \text{ [tonf]}
 \end{aligned}$$

したがって、流圧力によるモーメント N は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}
 N &= F_{yc} \times d \div 2 \\
 &= 1,308 \times 5 \div 2 \\
 &= 3,270 \text{ [tonf} \cdot \text{m]}
 \end{aligned}$$

最後に浮力によるモーメント  $N_B$  は次式にて評価する。

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

$N_B$  : 浮力によるモーメント [tonf]

$F_{Br}$  : 傾いた際の燃料等輸送船の浮力 [tonf] ( $\doteq 1,700$ )

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

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

$$\begin{aligned} N + N_B &= 3,270 + 5,100 \\ &= 8,370 [\text{tonf} \cdot \text{m}] < N_G = 18,000 [\text{tonf} \cdot \text{m}] \end{aligned}$$

### 3. 結論

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

## 津波監視設備の監視に関する考え方

津波に関する情報は、気象庁から発信される津波情報（日本気象協会からのデータ受信による警報発報及びパソコン画面への表示又は緊急警報ラジオ）や、構内に設置している津波監視カメラ及び取水槽水位計によって収集する。地震・津波が発生した際のプラント運用に関するフローは添付資料 37 に示すとおり。

構内に設置する津波監視設備（津波監視カメラ、取水槽水位計）は、津波襲来状況及び構内の状況を監視するため、昼夜にわたって監視可能な設計としている。監視の考え方について、表 1 に纏める。

表 1 津波監視の考え方

事象	設備	監視場所	監視設備の考え方
引き波発生時	取水槽水位計	中央制御室	引き波時には非常用海水冷却系の海水確保を目的として、取水槽水位計の水位を確認する。
	津波監視カメラ	中央制御室	津波監視カメラを排気筒に設置し、津波（引き波）の状況を確認する。
津波襲来状況	津波監視カメラ	中央制御室	津波襲来時には主に津波監視カメラ（排気筒に設置）の映像を確認し、津波の襲来状況や敷地浸水状況等をリアルタイムかつ継続的に確認する。
	取水槽水位計	中央制御室	取水槽水位計にて、上昇側水位を確認する。（入力津波高さを上回る EL10.7m まで、計測可能な設計としている。）
津波襲来後の構内状況	津波監視カメラ	中央制御室	津波監視カメラの映像を確認し、津波襲来後の構内の状況を監視する。

津波監視カメラの映像は図1に示すフローに従い、中央制御室にて当直員が監視することを基本とするが、緊急時対策所でもカメラ映像の確認を通して現場状況の確認が可能となるよう監視設備を配備する。

複数箇所でも同時にカメラ操作を行い操作信号が重複することを避けるため、カメラの操作は中央制御室にて実施する設計とする。

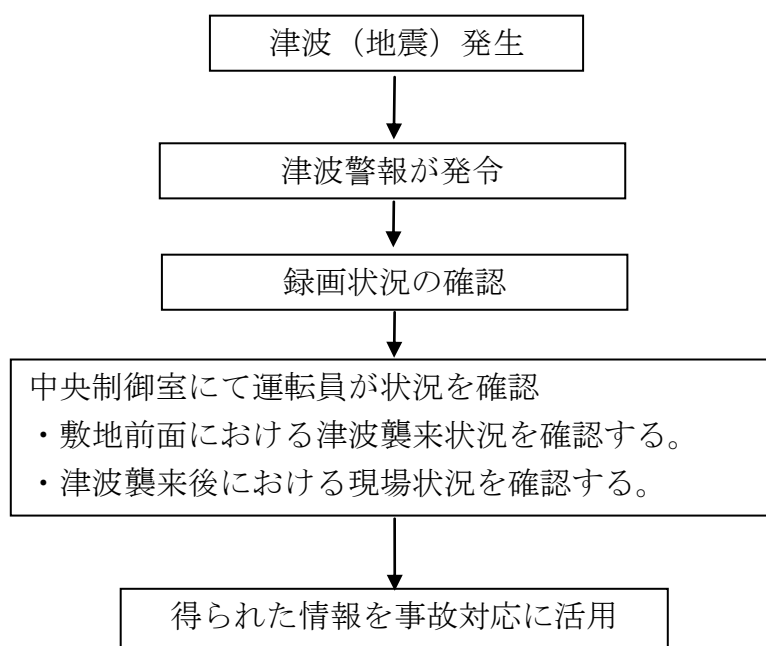


図1 津波監視カメラ運用フロー

## 水密扉の運用管理について

## 1. 概要

浸水防止設備として整備する水密扉は通常時閉運用としており、現場での注意表示（水密扉表示，常時閉表示）及び各種手順書にて閉運用とすることとしている。また，開閉状態の確認のため，水密扉に対して，以下により「扉設置場所での“開”状態の認知性向上」及び「中央制御室での開閉状態の監視」を実施し，水密扉の閉め忘れを防止している。図1に水密扉監視設備の概略を示す。

- 発電所内に入所する者に対して，確実な閉止運用がなされるよう周知徹底する。
- 警報ブザーを扉設置場所に設置する。
- 中央制御室に警報ブザーを設置する。

なお，資機材運搬の運搬や作業に伴い開放する必要がある場合は，以下を条件に連続開放を可とする運用としている。

- 津波注意報，津波警報又は大津波警報発令後，速やかに閉止できる人員が確保されていること。
- 津波注意報，津波警報又は大津波警報発令時には，当直長からのページング放送等により，直ちに水密扉を閉止すること。

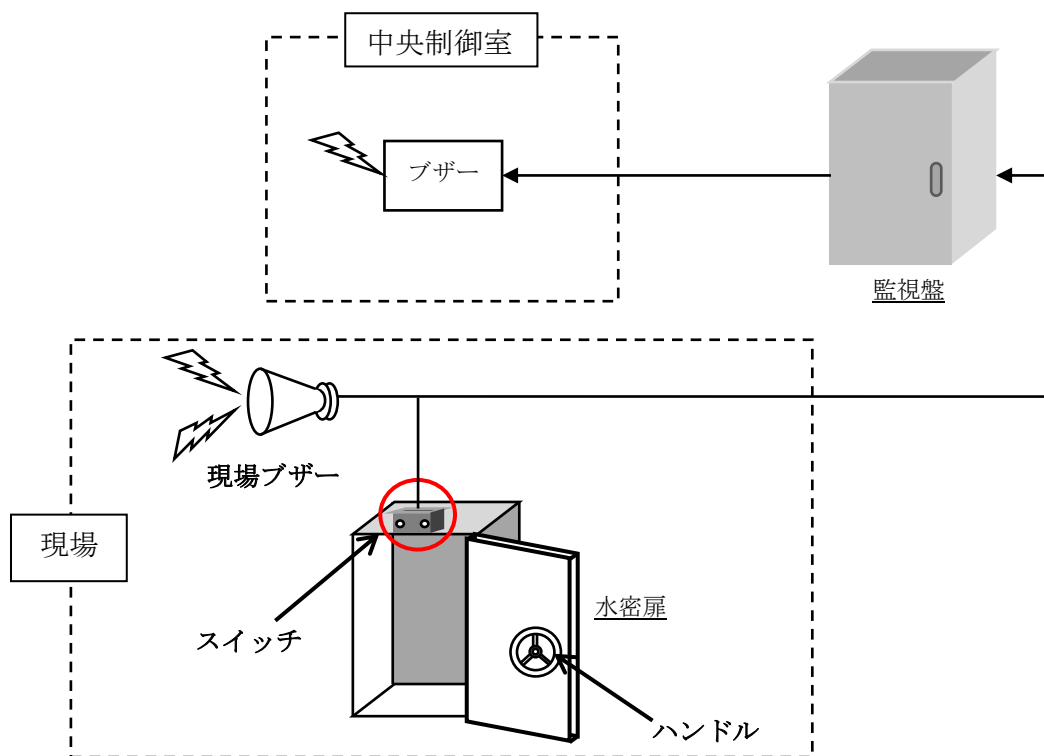


図1 監視設備の概略

## 2. 監視対象となる水密扉の位置

「4.2 浸水防止設備の設計」に記載するとおり，除じん機エリア及びタービン建物の浸水防護重点化範囲の境界において，浸水防止設備として水密扉を設置している。

これらの水密扉については，全て中央制御室にて監視が可能な設計としている。

なお，水密扉の設置位置は，添付資料9「津波防護対策の設備の位置付けについて」参照。

## 1号炉取水槽流路縮小工について

## 1. はじめに

1号炉取水槽流路縮小工（以下、「流路縮小工」と記す）は、1号炉取水路を遡上する津波に対して、1号炉取水槽から敷地への津波の到達、流入を防止するために設置することから、2号炉申請の中で津波防護施設として整理している。流路縮小工の設置位置を図1に示す。

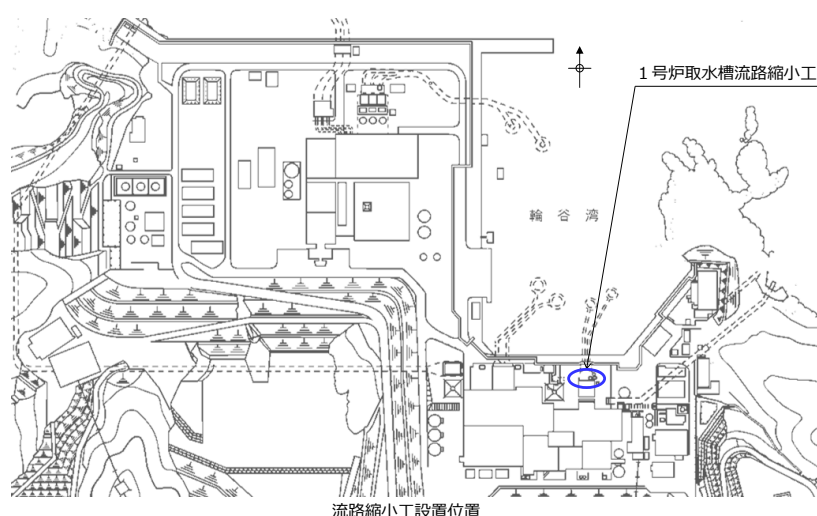


図1 流路縮小工設置位置

## 2. 流路縮小工設置による1号炉への影響について

## (1) 流路縮小工の構造概要

## a. 流路縮小工の構造（図2参照）

## (a) 既設部

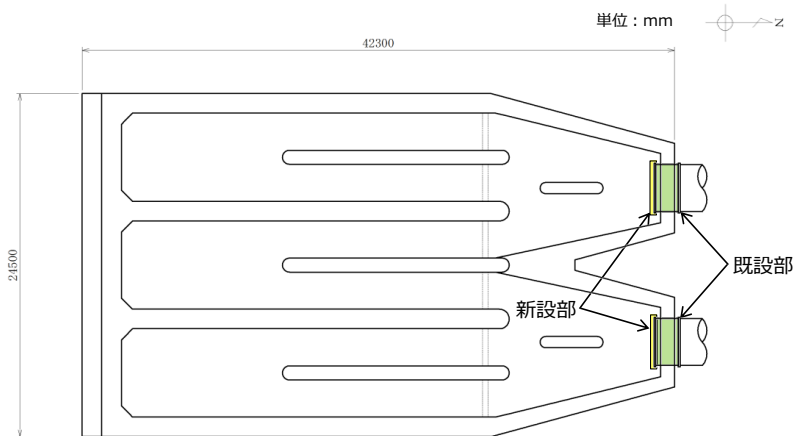
流路縮小工の既設部は、鋼製の取水管とする。

## (b) 新設部

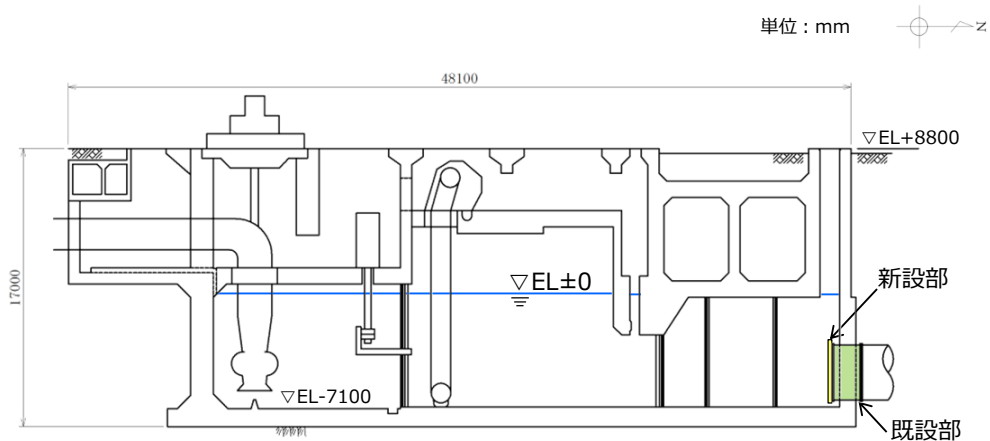
流路縮小工の新設部は、開口率5割程度とした縮小板、取付板及び固定ボルトで構成する鋼製の構造物とし、取水管端部に設置する。

新設部材の設置は、取水管フランジの両側に取り付けた縮小板と取付板を固定ボルトで固定する。

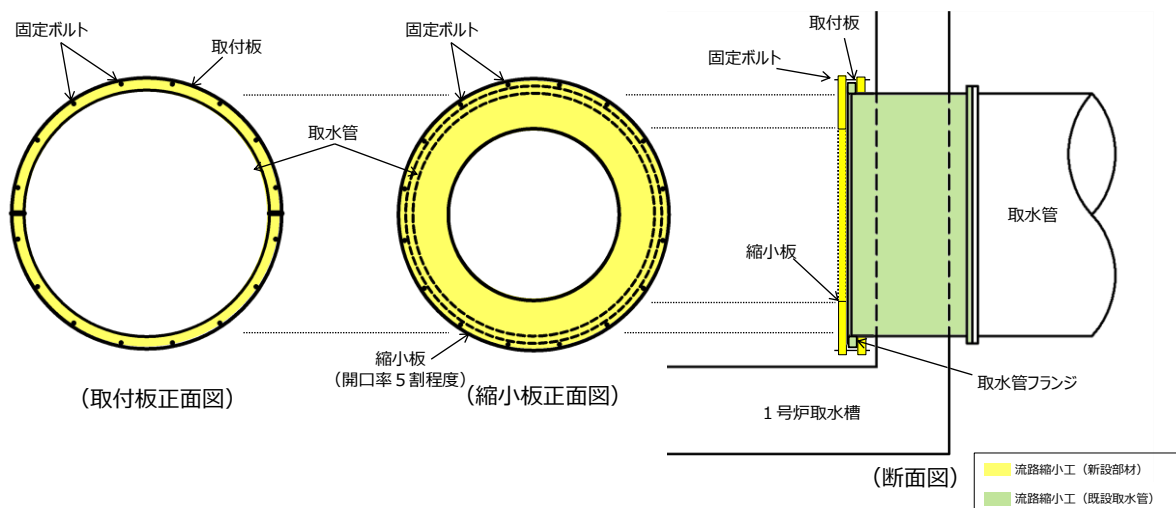




平面図



縦断図



流路縮小工拡大イメージ図

図2 1号炉取水槽流路縮小工の構造例

(2) 流路縮小工設置による1号炉取水機能への影響について

a. 1号炉取水機能への影響について

1号炉に貯蔵中の使用済燃料の冷却は十分進んでおり、崩壊熱による発熱量は小さいため、使用済燃料プールの冷却が停止しても、その水温の上昇は緩やかな状況であるため、ここでは流路縮小工設置による原子炉補機海水ポンプへの取水性について評価した。

(a) 原子炉補機海水ポンプの取水性評価

流路縮小工設置後は、1号炉循環水ポンプは全台停止する運用とすることから、表1に示すとおり、流速が小さくなり、損失水頭は低下するため、流路縮小工設置により取水槽内の水位が低下することはなく、原子炉補機海水ポンプの取水機能への影響はない。

表1 流路縮小工設置による1号炉取水機能への影響

流路縮小工	循環水ポンプ状態	流量(m <sup>3</sup> /s)	水路断面積(m <sup>2</sup> )	流速(m/s)
設置前	ポンプ運転時	28	約17.63	約1.59
設置後	ポンプ停止時	1	約8.81	約0.11

(b) 海生生物の付着による閉塞の可能性

1号炉取水槽の流路縮小工の開口部は、1箇所あたり直径約2.4m程度であり、これまでの取水設備の点検結果から、海生生物の付着代は最大で5cm程度であることを確認していることから、海生生物の付着による閉塞の可能性はない。

なお、流路縮小工設置後においても定期的な点検と清掃を行う。

以上より、海生生物による流路縮小工の閉塞の可能性はない。

(3) 原子炉施設保安規定への影響

流路縮小工設置による1号炉における保安管理に関する事項として、原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）上の影響について以下のとおりまとめた。

a. 1号炉の保安確保における該当条文

(a) 第143条（使用済燃料プールの水位および水温）

- ・使用済燃料プールの水位がオーバーフロー水位付近にあること
- ・使用済燃料プールの水温が65℃以下

b. 保安規定上直接影響がある条文

上記a.の該当条文の結果から流路縮小工設置に伴い関連する条文は以下のとおり。

(a) 第143条（使用済燃料プールの水位および水温）

- ・使用済燃料プールの冷却水として、原子炉補機冷却系を使用しているため

### c. 保安規定上の影響

(2)の結果から流路縮小工設置後においても、海水系(原子炉補機冷却海水系)に必要な流量は確保されていることから、保安規定上要求される事項への影響がないことを確認した。

## 3. 流路縮小工の保守管理について

流路縮小工については、津波防護施設としての機能及び1号炉取水機能を維持していくため、別途定める保全計画に基づき、適切に管理していく。

具体的には、流路縮小工の縮小板・取付板は腐食代を確保するとともに、縮小板・取付板・固定ボルトは腐食防止のため塗装を行う。なお、固定ボルトに塗装の劣化や腐食等の傾向が確認された場合には、当該ボルトを交換する。また、潜水土により取水槽内の定期的な点検・清掃を行い、縮小板や固定ボルト等の流路縮小工の各部位を確認する。

## 4. 流路縮小工(取水槽)の開口面積について

流路縮小工は、1号炉取水路から敷地への津波の流入を防止することに加え、1号炉の補機冷却海水ポンプの取水機能に影響を与えないことが求められる。

管路計算の結果を踏まえて、流路縮小工の開口面積を4.4m<sup>2</sup>とする構造としている。(2) a. (a)に示す通り、循環水ポンプを停止運用とすることにより、原子炉補機海水ポンプの必要流量に対し、十分な開口面積を確保している。

## 5. 流路縮小工部の異常の検知性について

流路縮小工部が閉塞する可能性はないと評価しているものの、仮に閉塞を仮定した場合の検知性について検討する。

流路縮小工が閉塞した場合、取水槽水位が低下傾向を示すため、「取水槽水位低」の警報が中央制御室において発報することにより検知可能であり、保安規定に紐づくQMS文書「設備別運転要領書 別冊 警報発生時の措置」に基づき対応が可能である。

## 6. まとめ

流路縮小工を設置することによる影響について、以下のとおり確認した。

### (1) 1号炉取水機能への影響

1号炉に貯蔵中の使用済燃料の冷却は十分進んでおり、崩壊熱による発熱量は小さいため、使用済燃料プールの冷却が停止しても、その水温の上昇は緩やかな状況であることを踏まえ、流路縮小工の設置による取水機能への影響を以下のとおり確認した。

- a. 非常用海水系の取水機能への影響はない。
  - b. 海生生物による流路縮小工部の閉塞の可能性はない。
- (2) 流路縮小工設置後においても、原子炉補機冷却海水系に必要な流量は確保されていることから、保安規定上要求される事項への影響がないことを確認した。
  - (3) 流路縮小工については、津波防護施設としての機能及び1号炉取水機能を維持していくため、別途定める保全計画に基づき、適切に管理していく。
  - (4) 流路縮小工の開口面積(4.4m<sup>2</sup>)は、原子炉補機冷却海水ポンプの必要流量から十分な開口面積である。
  - (5) 流路縮小工部が閉塞する可能性はないと評価しているものの、仮に閉塞を仮定した場合の検知性について評価し、中央制御室で異常を検知(警報の確認)した後、保安規定に紐づくQMS文書「設備別運転要領書 別冊 警報発生時の措置」に基づき対応が可能であることを確認した。

## 1号炉取水槽流路縮小工の構造成立性

1号炉取水槽流路縮小工（以下、「流路縮小工」と記す）は津波防護施設であることから、基準地震動 $S_s$ による地震荷重や基準津波による津波荷重に対し、構成する部材が概ね弾性域内に収まるよう設計する。

ここでは、地震荷重や流水圧等の津波荷重により流路縮小工を構成する部材が曲げやせん断等により損傷する以外に、津波時流速が作用した場合の構造成立性に関する既往知見について整理するとともに、それを踏まえ、流路縮小工の各部位が損傷して要求機能を喪失しうる事象（例えば、津波による作用水圧や縮小部の流速により躯体安定性が確保できない等）を整理する。これらの損傷モードの発生可能性を評価し、設計・施工上の配慮事項を整理した上で、構造成立性を示す。

## (1) 津波時流速が作用した場合の構造成立性に関する既往知見の整理

流路縮小工の各部位が損傷して要求機能を喪失しうる事象の抽出にあたり、津波時流速が作用した場合の構造成立性に関する既往知見を整理した結果を以下に示す。

- ・津波時には、流路縮小工による開口部を高流速の津波が通過する。「水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編）平成29年版（（社）水門鉄管協会）」によれば、水圧鉄管の固定台（アンカーブロック）の設計において、考慮すべき外力として、管の重量（管傾斜による推力）や湾曲部に作用する遠心力等に加え、管内流水の摩擦による推力が挙げられる。
- ・津波時には、流路縮小工による開口部を高流速の津波が通過する。「建設省河川砂防技術基準（案）同解説 設計編[Ⅰ]」によれば、ダムの放水設備について、流水に接する構造物の表面は、流水による洗掘や摩耗の軽減に配慮して設計するとともに、流速が大きい場合には、渦や流水による摩耗や浸食の対策を考える必要があるとしている。島根2号炉の津波時に流入する海水については、参考資料に示すとおり、輪谷湾の底質は岩及び砂礫で構成されており、島根2号炉の基準津波における砂移動の検討結果から取水口及び取水槽付近の砂の最大堆積厚さが小さく、砂の流入は少ないことから、海水に含まれる砂等による影響は小さいと判断する。
- ・流路縮小工は、流路断面が縮小されることから、流路縮小工前面と流路縮小工による開口部の間で津波流速の変化が生じる。「ダム・堰施設技術基準（案）平成23年版（（社）ダム・堰施設技術協会）」によれば、高流速の水が流れ

る放流管内では、管路の湾曲や壁面の凹凸によって局所的に圧力降下が生じ、その下流は負圧となって空洞を生じ、水の流れが圧力の高いところへ移動すると水蒸気の気泡は急激に圧潰され壁面に著しい損傷を与えるとしている。

(2) 要求機能を喪失しうる事象の抽出

前述を踏まえ、流路縮小工各部位が損傷により要求機能を喪失しうる事象を抽出し、これに対する設計・施工上の配慮を整理した。表1～表3に整理結果を示す。

表1 地震荷重や津波荷重により要求機能を喪失しうる事象と設計・施工上の配慮事項（新設の鋼製部材）

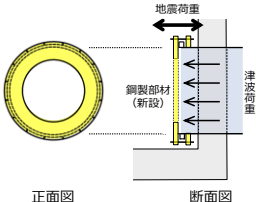
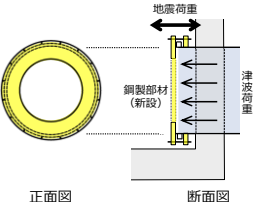
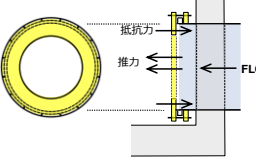
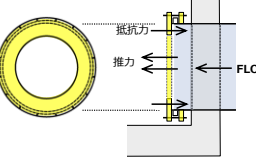
部位の名称	要求機能を喪失しうる事象	設計・施工上の配慮	照査
新設の鋼製部材	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震荷重や津波荷重により、縮小板が曲げ破壊又はせん断破壊することで津波防護機能を喪失する。</li> <li>縮小板から伝達する荷重により、取付板及び固定ボルトが破断し、津波防護機能を喪失する。</li> </ul>  <p>正面図 断面図</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>縮小板に生じる断面力による応力度が、許容限界以下であることを確認する。</li> <li>取付板及び固定ボルトについては、各部位に生じる断面力による応力度が、許容限界以下となるように詳細設計段階で設計する。</li> </ul>  <p>正面図 断面図</p>	○ (構造成立性の見通し確認においては縮小板を評価対象とする)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>開口部における流水の摩擦により推力が生じ、縮小板が曲げ破壊又はせん断破壊することで津波防護機能を喪失する。</li> <li>縮小板から伝達する荷重により、取付板及び固定ボルトが破断し、津波防護機能を喪失する。</li> </ul>  <p>正面図 断面図</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波時及び重畳時の津波荷重として、流水の摩擦による推力を考慮する。</li> </ul>  <p>正面図 断面図</p>	○ (構造成立性の見通し確認においては縮小板を評価対象とする)

表2 地震荷重や津波荷重により要求機能を喪失しうる事象と設計・施工上の配慮事項（取水管）

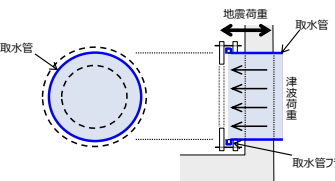
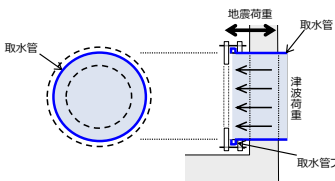
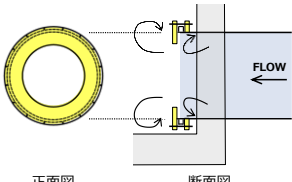
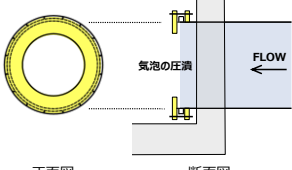
部位の名称	要求機能を喪失しうる事象	設計・施工上の配慮	照査
取水管	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震荷重や新設の鋼製部材から伝達する津波荷重により、取水管が曲げ破壊、せん断破壊又は引張破壊することで、津波防護機能を喪失する。</li> <li>地震荷重や新設の鋼製部材から伝達する津波荷重により、取水管フランジが曲げ破壊又はせん断破壊することで、津波防護機能を喪失する。</li> </ul>  <p>断面図 (管軸直交方向) 断面図 (管軸方向)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>取水管に生じる断面力による応力度が、許容限界以下であることを確認する。</li> </ul>  <p>断面図 (管軸直交方向) 断面図 (管軸方向)</p>	○

表3 津波時流速により要求機能を喪失しうる事象と  
設計・施工上の配慮事項（流路縮小工全体）

設備の名称	要求機能を喪失しうる事象	設計・施工上の配慮	照査
流路縮小工 全体	<p>・急縮部・急拡部で発生する砂や貝を含んだ渦や流水による摩耗(エロージョン摩耗※1)によって形状に変化が生じ、津波防護機能を喪失する。</p>  <p>正面図 断面図</p>	<p>・「建設省河川砂防技術基準（案）同解説 設計編[ I ]」によれば、渦や流水による摩耗は経年劣化による損傷である。常時の流路縮小工による開口部の流速が0.11m/sと遅いこと、前述のとおり流水に砂がほとんど含まれないこと及び貝については定期的な清掃により貝を除去する保守管理方針とすることから、摩耗による流路縮小工の健全性への影響は小さいと判断する。</p> <p>・津波は短期的な事象であるが、安全側に以下の配慮を行う。「水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編）平成29年版（社）水門鉄管協会」によれば、管の摩耗による板厚の減少に対して余裕厚を確保する方法が用いられていることから、新設の鋼製部材に対して適切な余裕厚を詳細設計段階で設定する。</p>	-
流路縮小工 全体	<p>・急縮部に高速な津波が流れ込むことによる局所的な圧力降下によって、その下流は負圧となって空洞を生じ(キャビテーション)、圧力が高まる急拡部付近に移動すると、水蒸気の気泡は急激に圧潰され、壁面に損傷を与えることにより、形状に変化が生じ、流路縮小性能を喪失する(ピッチング損傷)。</p>  <p>正面図 断面図</p>	<p>・「ダム・堰施設技術基準（案）平成23年版（社）ダム・堰施設技術協会」によれば、円形断面で出口面積が3～4m<sup>2</sup>未満の放流管を「小容量放流管」とし、小断面で管内流速が10m/sを超える場合は圧力降下を生じる可能性があるとしている。一方で、流路縮小工は円形断面で出口面積が4.5m<sup>2</sup>程度を確保し、管路解析の結果から1号炉取水槽における津波時の流速が最大でも9.4m/sであることから、圧力降下が生じる可能性は小さく、キャビテーションによる流路縮小工の健全性への影響は小さいと判断する。</p>	-

※1：エロージョン摩耗とは、液体粒子・固体粒子あるいは液体の流れが角度をなして物体表面に衝突することで生じる摩耗である。

### (3) 流路縮小工全体の構造成立性の見通しの確認

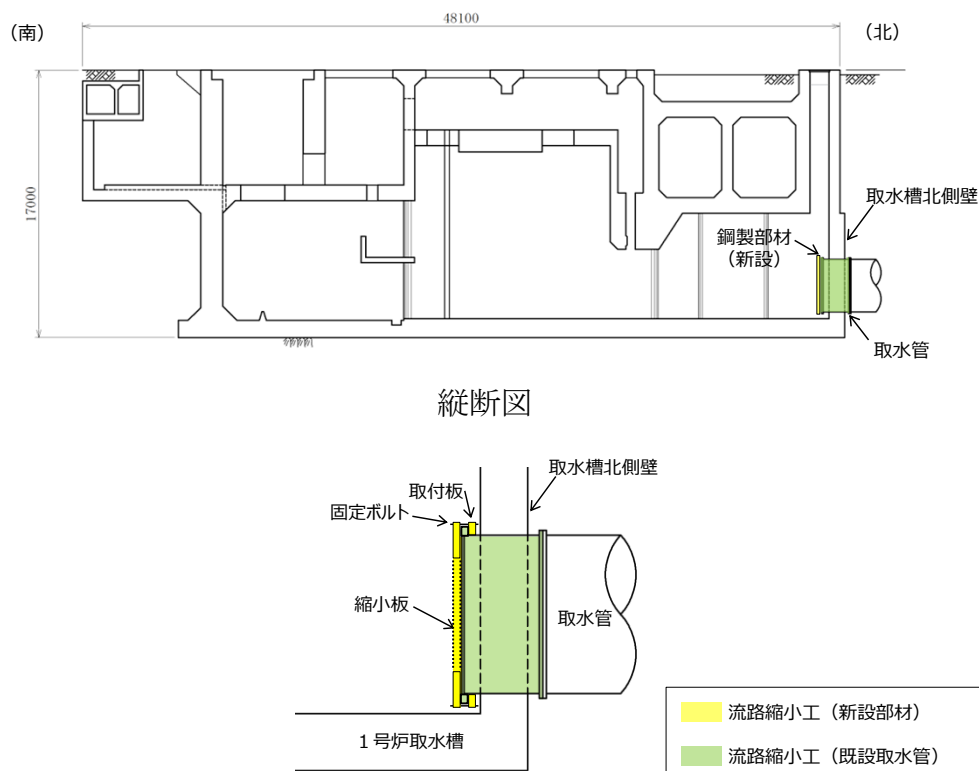
#### a. 概要及び評価方針

流路縮小工全体の構造成立性の見通しについて以下に示す。

流路縮小工は、津波防護施設であり、津波時及び地震時において開口面積を確保する必要があるため、部材が降伏しないことが求められる。流路縮小工は開口率5割程度とした縮小板、取付板及び固定ボルトで構成する鋼製部材を取水管端部に設置し、取水管は取水槽北側壁を貫通して設置していることから、取水槽北側壁が間接支持部材となり、部材が終局状態に至らないことが求められる。

なお、流路縮小工は鋼材で構成することから、部材の許容限界は「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（社）日本建築学会、2005 改定」に基づき設定し、取水槽北側壁は鉄筋コンクリート部材で構成されていることから、部材の許容限界は「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会、2005）」に基づき設定する。

以上のことから、構造成立性の見通しの確認における、各部位に必要な性能に係る許容限界は、表4に示すとおり設定する。



流路縮小工拡大イメージ図

図1 流路縮小工及び流路縮小工を間接支持する部材



表4 構造成立性の見通しの確認における要求機能に応じた許容限界

評価対象設備（部位）	要求性能に対する目標性能	許容限界			適用基準
		曲げ	せん断	引張	
流路縮小工（縮小板）	部材が降伏しない	許容応力度	許容応力度	—	鋼構造設計規準
流路縮小工（取水管）	部材が降伏しない	許容応力度	許容応力度	許容応力度	鋼構造設計規準

b. 縮小板のモデル化方針

流路縮小工の縮小板は、図2に示すとおり、取水管端部のフランジを挟んで取付板とボルト接合し、鋼製部材が地震荷重や津波荷重により一体的に応答するモードとなることから、有孔円の固定板としてモデル化する。

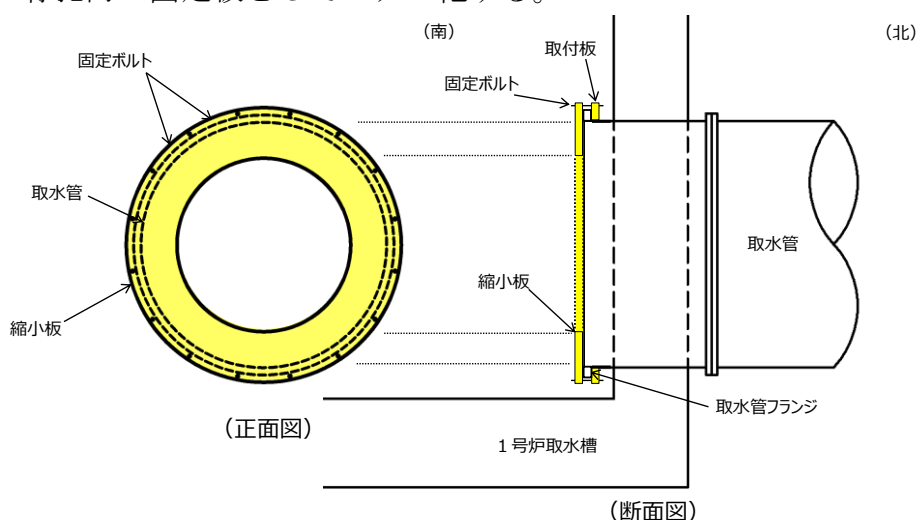


図2 縮小板のモデル化方針

c. 荷重組合せ

流路縮小工の設計においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重及び津波荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ①地震時：常時荷重＋地震荷重
- ②津波時：常時荷重＋津波荷重
- ③重畳時：常時荷重＋津波荷重＋余震荷重

また、設計に当たっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する。（添付資料20参照）

d. 荷重条件

流路縮小工の設計において考慮する荷重は、以下のように設定する。

(a) 常時荷重

自重を考慮する。

(b) 地震荷重

基準地震動  $S_s$  を考慮する。なお、構造成立性の見通しの確認においては、基準地震動  $S_s$  のうち、流路縮小工の水平方向 1 次固有周期における加速度応答スペクトルが最も大きい基準地震動  $S_{s-D}$  を用いる。

(c) 津波荷重

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。

静水圧は、津波時及び重畳時において、以下の管路計算により算定された流路縮小工の上流側と下流側の水位差から算定し、上流側と下流側の水位差が最大となる時の水位差から求める。なお、重畳時は管路計算における流路縮小工上流側の水位が最大となる時の水位差からも算定する。

- ・津波時 (対象：日本海東縁部に想定される地震による津波 (基準津波 1, 2, 3, 5, 及び 6) )  
流路縮小工上流側 EL+7.51m, 流路縮小工下流側 EL-0.75m
- ・重畳時 (対象：海域活断層に想定される地震による津波 (基準津波 4) )  
流路縮小工上流側 EL+1.64m, 流路縮小工下流側 EL+1.63m

流水圧は、流路縮小工が水中の部材で構成されることから、「港湾の施設の技術上の基準・同解説 (日本港湾協会)」に基づく評価式により算定する。なお、津波の流速は、管路計算による流路縮小工地点の最大流速に基づき保守的に、津波時は 9.5m/s, 重畳時は 5.5m/s と設定する。

流水の摩擦による推力は、「水門鉄管技術基準 (水圧鉄管・鉄鋼構造物編) 平成 29 年版 ( (社) 水門鉄管協会)」に基づく評価式により算定する。

(d) 余震荷重

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、弾性設計用地震動  $S_d$  による荷重を設定する。(添付資料 22 参照)

e. 評価方法

(a) 地震時

地震時の検討では，基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析を実施し，部材の発生応力度が許容限界を超えないことを確認する。

地震時の縮小板に作用する水平方向荷重イメージは図3に示すとおりであり，動水圧は以下の Westergaard 式から算定する。

- ・動水圧 (Westergaard 式)

(Westergaard 式)

$$p_w = \frac{7}{8} \times c \times \gamma_w \times \sqrt{(h \times y)} \times Kh$$

ここに，

$p_w$  : 動水圧 (tf/m<sup>2</sup>)

$Kh$  : 水平震度

$c$  : 補正係数

$L/h < 1.5$  の場合 :  $c = L / (1.5h)$

$L/h \geq 1.5$  の場合 :  $c = 1.0$

$L$  : 水路幅 (m)

$\gamma_w$  : 内水の単位体積重量 (tf/m<sup>3</sup>)

$h$  : 水深 (m)

$y$  : 水面から動水圧を求める点までの深さ (m)

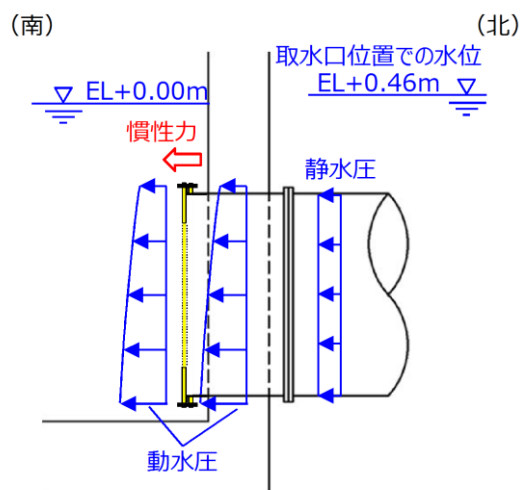


図3 地震時の流路縮小工の縮小板に作用する水平方向荷重イメージ

(b) 津波時

津波時の検討では，入力津波による津波荷重を作用させ，部材の発生応力度が許容限界を超えないことを確認する。

津波時の縮小板に作用する水平方向荷重イメージは図4に示すとおりであり，流水圧及び流水の摩擦による推力は下式から算定する。

・ 流体力

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_0 A U^2$$

$F_D$  : 流体力(kN),  $C_D$  : 抗力係数 (保守的に最大値 2.01 とする)

$\rho_0$  : 水の密度 (海水 1.03t/m<sup>3</sup>)

$A$  : 流れの方向の物体の投影面積 (m<sup>2</sup>),  $U$  : 流速 (m/s)

・ 推力

$$P = \frac{2fQ^2}{g\pi D^3} L$$

$P$  : 流水の摩擦による推力 (kN)

$f$  : 流水の摩擦抵抗係数 (=0.2D<sup>-1/3</sup>)

$L$  : 貫通部長さ (m),  $Q$  : 流量 (m<sup>3</sup>/s),  $D$  : 貫通部直径 (m)

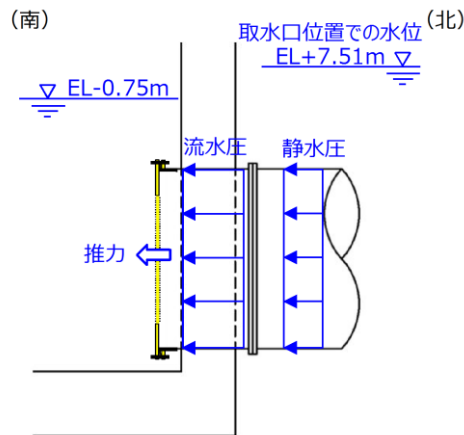


図4 津波時の流路縮小工の縮小板に作用する水平方向荷重イメージ

(c) 重畳時

重畳時の検討では、余震荷重及び津波荷重を作用させ、部材の発生応力度が許容限界を超えないことを確認する。

重畳時の縮小板に作用する水平方向荷重イメージは図5に示すとおりであり、構造成立性の見通しの確認では、流路縮小工に作用する荷重が大きい、管路計算による流路縮小工上流側の水位が最大となる時の静水圧及び動水圧を考慮する。

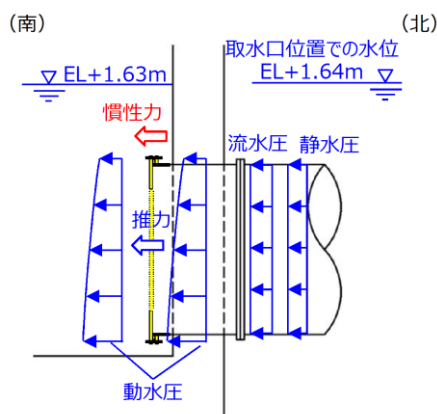


図5 重畳時の流路縮小工の縮小板に作用する水平方向荷重イメージ

(d) 作用荷重を踏まえた構造成立性の見通しの確認における検討ケースの絞り込み  
流路縮小工の縮小板に作用する地震時、津波時及び重畳時の荷重について、水平方向の荷重を比較すると、表5に示すとおり、津波時の作用荷重が大きいことから、構造成立性の見通しの確認においては、津波時について評価を行うとともに、南北方向を評価対象断面に設定する。

表5 地震時、津波時及び重畳時における流路縮小工の縮小板に作用する水平方向荷重比較

流路縮小工 縮小板 概算重量	地震時					津波時			重畳時					荷重 評価	
	設計 震度	荷重内訳			荷重 合計	荷重内訳		荷重 合計	設計 震度	荷重内訳					荷重 合計
		水平 慣性力	動水圧	静水圧		静水圧	流水圧※			水平 慣性力	動水圧	静水圧	流水圧※		
25kN	Kh= 0.71	18 kN	634 kN	34 kN	686 kN	609 kN	682 kN	1291 kN	Kh= 0.36	9 kN	391 kN	1 kN	229 kN	630 kN	重畳時 < 地震時 < 津波時

※流水の摩擦による推力は、津波時で0.06kN、重畳時で0.02kNであり、流水圧等比べて十分小さいことから、流水圧に含めて整理した。

f. 評価式

評価式を以下に示す。

(a) 流路縮小工（縮小板）

- ・ 曲げに対する評価式

縮小板に生じる曲げ応力度を下式から算定し、表6に示す鋼材の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここに、 $\sigma$  : 曲げ応力度  
 $M$  : 曲げモーメント  
 $Z$  : 断面係数

表6 曲げに対する短期許容応力度

使用材料	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
	曲げ
SS400 (板厚t≤40mm)	235

- ・ せん断に対する評価式

縮小板に生じるせん断応力度を下式から算定し、表7に示す短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

ここに、 $\tau$  : せん断応力度  
 $Q$  : せん断力  
 $A$  : 断面積

表7 せん断に対する短期許容応力度

使用材料	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
	せん断
SS400 (板厚t≤40mm)	135

(b) 流路縮小工（取水管）

- ・引張に対する評価式

取水管に生じる引張応力度を下式から算定し、表8に示す短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_t = \frac{T}{A}$$

ここに、 $\sigma_t$ ：引張応力度  
 T：引張力  
 A：断面積

表8 引張に対する短期許容応力度

使用材料	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
	引張
SS400 (板厚t≤40mm)	235

g. 評価結果

評価結果を表9に示す。

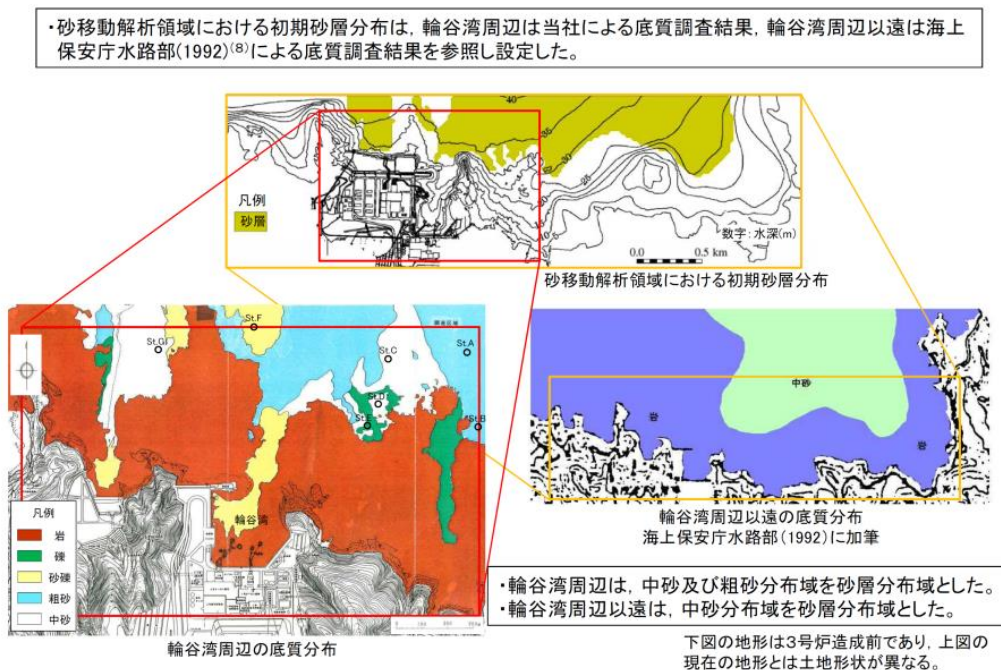
流路縮小工は、地震荷重より大きい津波荷重に対して十分な安定性を有しており、構造成立性が見通しがあることを確認した。

なお、本評価結果は暫定条件を用いた評価結果であることから、正式条件を用いた評価結果は詳細設計段階で示す。

表9 流路縮小工に関する評価結果（津波時）

評価対象 部位	仕様（案）	照査結果				
		照査項目	最大発生値 (N/mm <sup>2</sup> )	許容値 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値（発生値）/ （許容値）	判定 （照査値<1.00）
縮小板	SS400 (板厚 t=40mm)	曲げ	137	235	0.59	OK
		せん断	3	135	0.03	OK
取水管	SS400 (板厚 t=24mm)	引張	5	235	0.03	OK

(参考1) 基準津波に伴う取水槽及び取水口周辺の砂移動評価  
 参考に、島根2号炉における基準津波に伴う取水槽及び取水口周辺の砂移動評価について以下に示す。(第662回審査会合 p.6, 8, 52 から抜粋)



(第662回審査会合 p.6 から抜粋)

・基準津波を評価対象として、砂移動の数値シミュレーションを実施した結果のうち、取水口位置における最大堆積厚さを下表に示す。

基準津波	波源	防波堤の有無	砂移動モデル	浮遊砂 上限濃度	取水口堆積厚さ(m) <sup>※1</sup>		評価結果図	
					2号炉取水口 (東)	2号炉取水口 (西)	堆積浸食 分布図等	時刻歴 波形
基準津波 1	地方自治体独自の波源モデルに基づく検討 (鳥取県(2012))	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P9	P25
			高橋ほか(1999)	5%	0.00	0.00	P9	P26
		無	藤井ほか(1998)	1%	0.02[0.020]	0.02[0.011]	P10	P27
			高橋ほか(1999)	5%	0.00	0.00	P11	P28
基準津波 2	地震発生領域の連動を考慮した検討 (断層長さ350km)	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P11	P29
			高橋ほか(1999)	5%	0.00	0.00	P12	P30
基準津波 3	地震発生領域の連動を考慮した検討 (断層長さ350km)	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P13	P31
			高橋ほか(1999)	5%	0.00	0.00	P13	P32
基準津波 4	土木学会に基づく検討 (F-Ⅲ~F-V断層)	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P14	P33
			高橋ほか(1999)	5%	0.00	0.00	P15	P34
		無	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P15	P35
			高橋ほか(1999)	5%	0.00	0.00	P16	P36
基準津波 5	地震発生領域の連動を考慮した検討 (断層長さ350km)	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P17	P37
			高橋ほか(1999)	5%	0.00	0.00	P17	P38
		無	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P18	P39
			高橋ほか(1999)	5%	0.00	0.00	P19	P40
基準津波 6	地震発生領域の連動を考慮した検討 (断層長さ350km)	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P19	P41
			高橋ほか(1999)	5%	0.00	0.00	P20	P42
		無	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P21	P43
			高橋ほか(1999)	5%	0.00	0.00	P21	P44
基準津波 6	地震発生領域の連動を考慮した検討 (断層長さ350km)	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P22	P45
			高橋ほか(1999)	5%	0.00	0.00	P23	P46
		無	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P23	P47
			高橋ほか(1999)	5%	0.00	0.00	P24	P48

※1 計算結果は小数第3位で切り上げて示す。

・取水口位置における最大堆積厚さは、基準津波1での高橋ほか(1999)の浮遊砂上限濃度1%の2号炉取水口(東)において0.02mであり、海底面から取水口呑口下端までの高さ(5.50m)<sup>※2</sup>に対して十分に小さく、取水への影響はないことを確認した。

※2 海底面:T.P.-18.00m, 取水口呑口下端:T.P.-12.50m (P2参照)

(第662回審査会合 p.8 から抜粋)



・基準津波を評価対象として、高橋ほか(1999)の手法に基づき数値シミュレーションを実施し、取水槽における砂の堆積厚さを算定した。

波源	上昇側・下降側	防波堤の有無	ポンプ 運転状況	砂移動モデル	浮遊砂 上限濃度	取水槽における 砂の堆積厚さ(m) <sup>※1</sup>	評価結果図
							時刻歴波形
基準津波1	上昇側	有	運転	高橋ほか (1999)	1%	0.02[0.0161]	P53
			停止			0.00	P53
		無	運転			0.01	P54
			停止			0.00	P54
	下降側	有	運転			0.02[0.0162]	P55
			停止			0.00	P55
		無	運転			0.01	P56
			停止			0.00	P56
基準津波2	上昇側	有	運転	0.01	P57		
基準津波3	下降側	有	停止	0.00	P57		
			運転	0.01	P58		
基準津波4	下降側	有	停止	0.00	P58		
			運転	0.00	P59		
		無	停止	0.00	P59		
			運転	0.00	P60		
基準津波5	上昇側	無	停止	0.00	P60		
			運転	0.00	P61		
基準津波6	下降側	無	停止	0.00	P61		
			運転	0.00	P62		
						0.00	P62

※1 計算結果は小数第3位で切り上げて示す。

・取水槽における最大堆積厚さは、基準津波1(水位下降側)で0.02mとなり、取水槽底面から補機海水ポンプ下端までの高さ(0.50m)  
 ※2に対して十分に小さく、取水への影響はないことを確認した。

※2 取水槽底面高さ:T.P.-9.80m, 補機海水ポンプ下端:T.P.-9.30m(P2参照)

(第 662 回審査会合 p. 52 から抜粋)

(参考2) 港湾基準における流水圧の適用性について

流路縮小工に作用する津波による流水圧は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説(日本港湾協会)」に基づく評価式により算定する。

同基準によると、「水中又は水面付近の部材及び施設に作用する流れによる力は、流速の2乗に比例する力であり、流れの方向に作用する抗力がある」としている。また、「流れによる抗力は、粘性による表面抵抗と圧力による形状抵抗の和として表され、抗力係数は物体の形状、粗度、流れの方向、レイノルズ数などによって異なり、レイノルズ数が $10^3$ 程度より大きい場合は、物体の形状に応じて0.2~2.01の値を標準値として用いることができる」としている。

流路縮小工は水中に設置する構造物であること、管路計算による流路縮小工地点の最大流速発生時における縮小板付近のレイノルズ数が $10^6$ ~ $10^7$ のオーダーであることから、流路縮小工は同基準における流水圧の適用性があると判断する。

なお、流水圧の算定に当たっては、保守的に抗力係数の最大値である2.01を採用する。

## 1号炉取水管端部への流路縮小工設置による入力津波高さ低減効果について

### 1. 1号炉取水施設の概要

1号炉取水管端部への流路縮小工の設置に伴い、取水槽内の水位を確認する。1号炉取水施設の平面図、断面図及び管路解析モデルについては添付資料6に示す。

### 2. 計算条件

計算条件については、添付資料6のとおりとする。

### 3. 計算結果

1号炉取水管端部への流路縮小工設置を考慮した管路計算の結果、最大の入力津波高さに外郭防護の裕度評価において参照する高さである0.64mを考慮しても、1号炉取水槽の天端高さであるEL+8.8mを越えないことを確認した（表1参照）。

また、1号炉取水槽の浸水範囲を図1に、最大水位上昇量を示したケースの時刻歴波形を図2に示す。なお、対策前の取水槽の時刻歴波形を図3に示す。

表1 基準津波による取水槽水位の結果

波源		防波堤 有無	貝付着 有無	循環水ポン プ運転状況	1号炉取水槽の入力津波高さ EL (m)	
					対策後*	(参考) 対策前
					取水槽	取水槽
日本海東縁部	基準津波 1	有り	有り	停止	+6.3	+7.2
			無し	停止	+6.4	+7.7
		無し	有り	停止	+6.8	+8.2
			無し	停止	<u>+7.0</u>	+9.2
	基準津波 2	有り	有り	停止	+6.0	+6.8
			無し	停止	+6.1	+7.3
基準津波 5	無し	有り	停止	+6.4	+7.6	
		無し	停止	+6.7	+8.1	
海域活断層	基準津波 4	有り	有り	停止	+2.7[+2.61]	+3.0
			無し	停止	+2.7[+2.68]	+3.0
		無し	有り	停止	+2.5	+3.4
			無し	停止	+2.7[+2.67]	+3.8
	海域活断層 上昇側最大 となるケー ス	有り	有り	停止	+2.5	+2.6
			無し	停止	+2.5	+2.6
		無し	有り	停止	+2.5	+3.2
			無し	停止	+2.6	+3.5

※下線部が最大水位上昇量の値

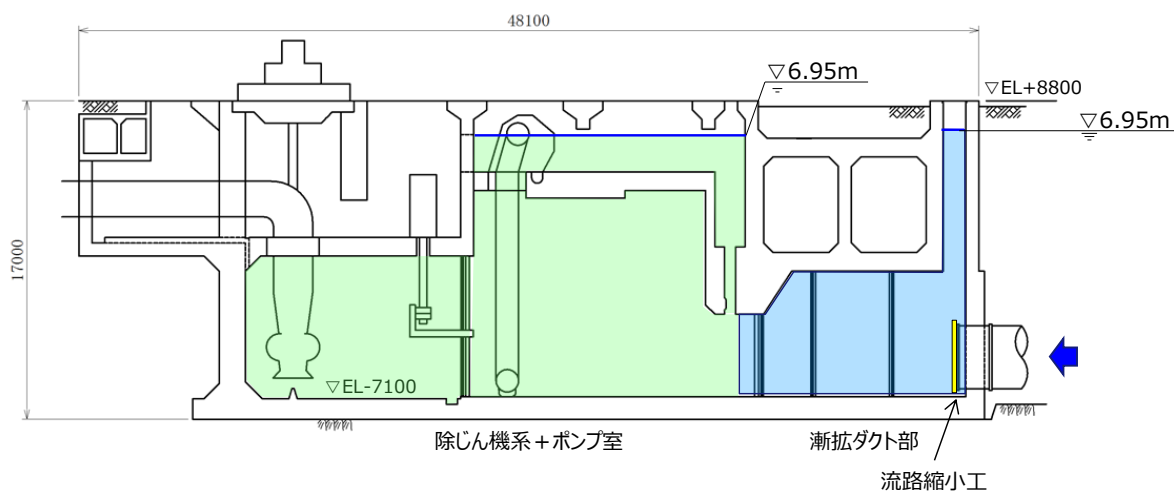


図1 1号炉取水槽流路縮小工による浸水範囲\*

※ 漸拡ダクト部，除じん機系+ポンプ室の最大水位上昇量を図に示す。  
(基準津波1 防波堤無し 貝無し)

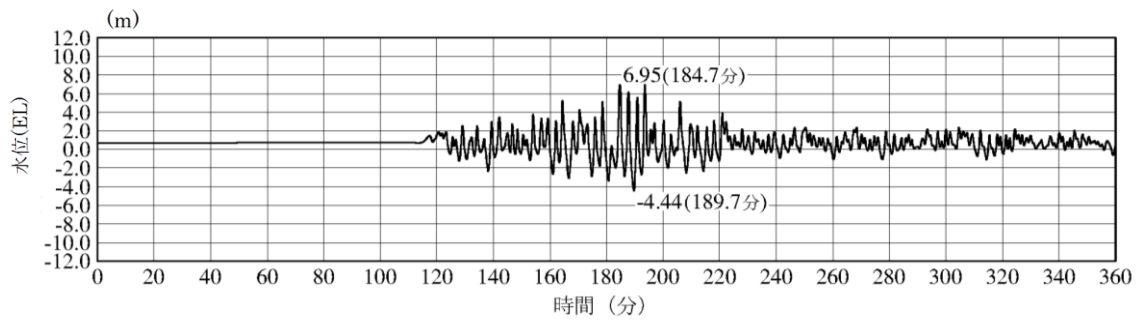


図2 時刻歴波形（基準津波1 防波堤無し 貝付着無し）

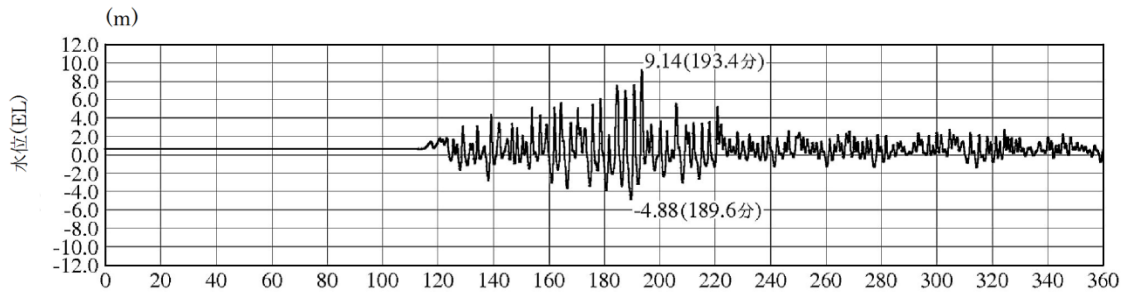


図3 対策前の取水槽の時刻歴波形（基準津波1 防波堤無し 貝付着無し）

1号炉取水槽に設置する流路縮小工に関する水理模型実験の実施について

1号炉取水槽に設置する流路縮小工による損失水頭および流水圧について、詳細設計段階において模型実験により、設計の妥当性を確認する。

模型実験における流れの状態は、津波による最大水位上昇時は満管状態の流れによるものであることから、実験においても満管状態の流れを想定する。

模型実験の相似則はフルード則を用い、縮尺の詳細については、実験装置の性能等を踏まえて設定する。模型実験の概要図を図1、実験条件の概要を表1に示す。

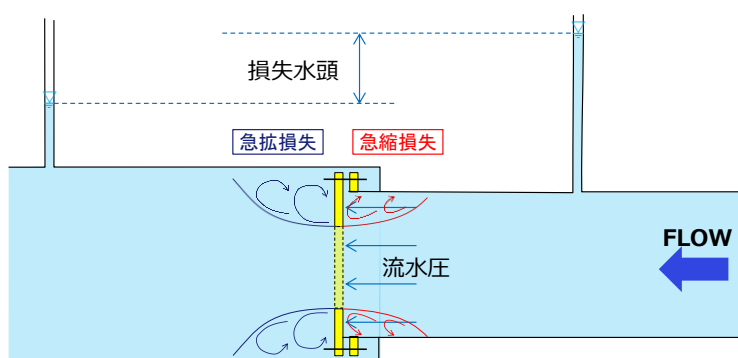


図1 模型実験概要図

表1 実験条件の概要

実験条件	内容
計測項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 損失水頭</li> <li>・ 流水圧</li> </ul>
流れ状態	管路流れ (満管状態の流れ)
相似則	フルード則
模型縮尺	1/10 程度

## 1 号炉取水槽内へ堰を設置した場合の入力津波高さ低減効果について

## 1. 検討概要

1 号炉取水槽への流路縮小工は、取水管端部に設置することとするが、当初選定していた取水槽内に堰を設置した場合の入力津波高さ低減効果を確認する。1 号炉取水施設の平面図を図 1，断面図を図 2，管路計算モデルを図 3 に示す。

## 2. 計算条件

計算条件については、添付資料 6 のとおりとする。ただし、1 号取水槽内へ流路縮小工を設置した場合の各損失は表 1 の損失水頭表のとおりとする。1 号取水槽内の流路縮小工による損失を表 2 及び図 4 に示す。

## 3. 計算結果

1 号炉取水槽内へ堰を設置した場合を考慮した管路計算の結果、最大の入力津波高さに外郭防護の裕度評価において参照する高さである 0.64m を考慮しても、1 号炉取水槽の天端高さである EL+8.8m を越えないことを確認した。（表 1 参照）1 号炉取水槽の浸水範囲を図 5 に、最大水位上昇量を示したケースの時刻歴波形を図 6 に示す。なお、対策前の取水槽の時刻歴波形を図 7 に示す。

## 4. 結果の考察

1 号取水槽へ堰を設置によることにより、図 8 に示すとおり、漸拡ダクト部の水位は堰を設置しない場合に比較し、一時的に水位が上昇し、その影響により、図 9 に示すとおり、取水槽への津波の流入量は減少することを確認した。

除じん系+ポンプ室および漸拡ダクト部の最大水位は、取水槽への津波の流入量の減少および堰の設置による損失から、堰を設置しない場合に比較し、低減することを確認した。

以上より、1 号炉取水槽へ堰を設置した場合において、漸拡ダクト部の取水槽ピットにて入力津波高さは許容値以下であり、取水槽ピット閉止板等の対策工を設置する必要はないことを確認した。

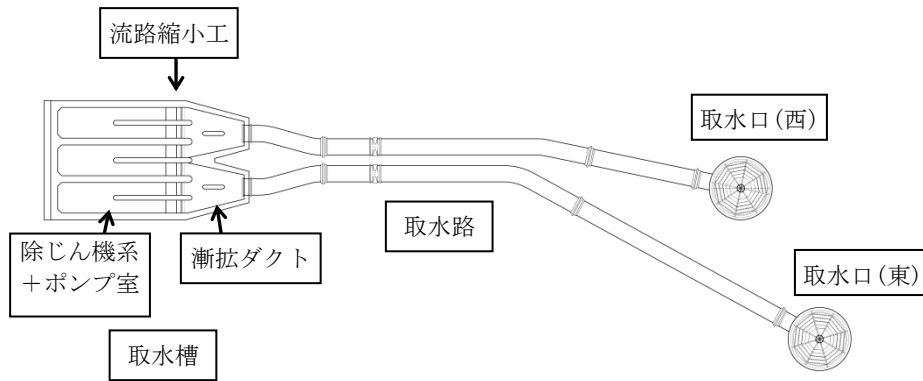


図1 平面図 (1号炉取水施設)

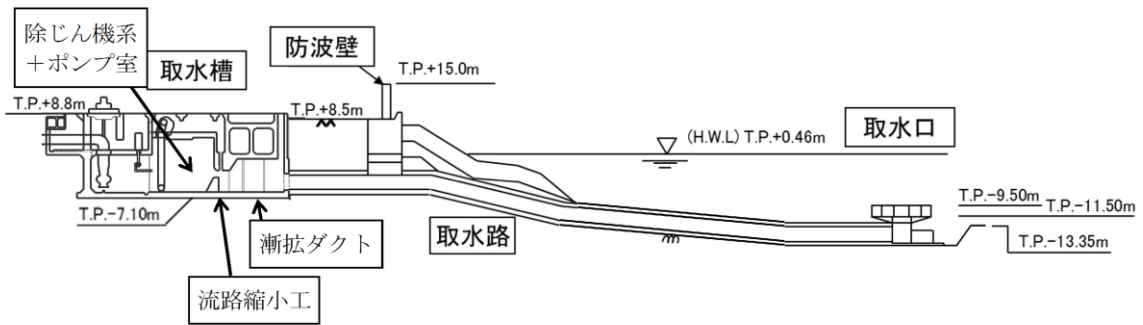


図2 断面図 (1号炉取水施設)

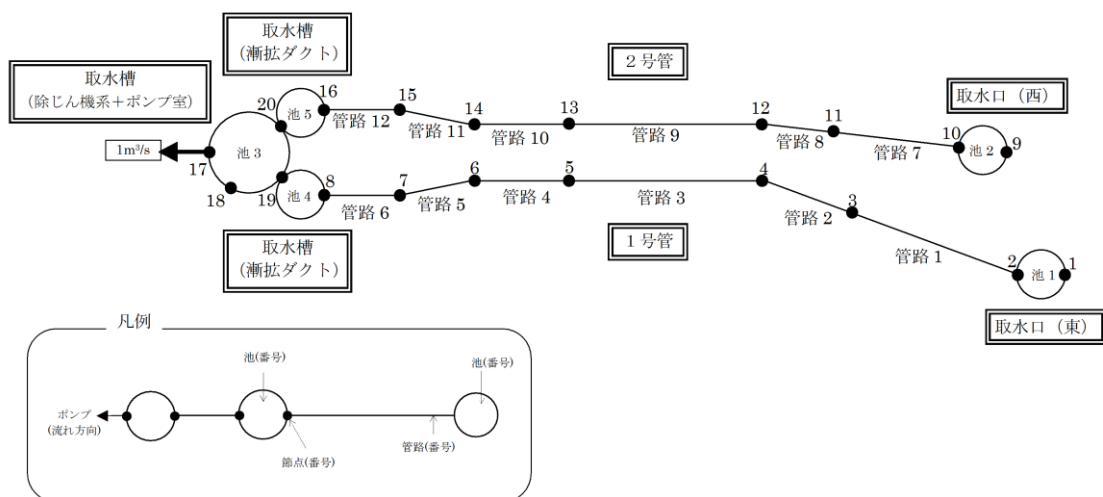


図3 1号炉取水施設の管路計算モデル



表1 1号炉取水施設の損失水頭表  
(貝付着無し, 循環水ポンプ停止時)

場所	流量 (m <sup>3</sup> /s)	種類	係数		断面積 (m <sup>2</sup> )		損失水頭 (m)※		モデル化	
			1号管	2号管	1号管	2号管	1号管	2号管		
取水口	0.500	流入	F	0.500	0.500	75.398	75.398	0.000	0.000	節点2,10
		急縮	F	0.480	0.480	12.566	12.566	0.000	0.000	節点2,10
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.014	0.014	12.566	12.566	0.000	0.000	節点2,10
			長さ(m)	2.600	2.600					
			径深(m)	1.000	1.000					
		屈折	F	0.986	0.986	12.566	12.566	0.000	0.000	節点2,10
急縮	F	0.140	0.140	8.814	8.814	0.000	0.000	節点2,10		
取水管	0.500	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.014	0.014	8.814	8.814	0.000	0.000	管路1~6 管路7~12
			長さ(m)	127.075	102.915					
			径深(m)	0.838	0.838					
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点3,11
			F <sub>b2</sub>	0.279	0.319					
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点4,12
			F <sub>b2</sub>	0.571	0.366					
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点5,13
			F <sub>b2</sub>	0.412	0.379					
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点6,14
			F <sub>b2</sub>	0.413	0.413					
		曲がり	F <sub>b1</sub>	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点7,15
			F <sub>b2</sub>	0.413	0.413					
		急拡	F	0.543	0.543	8.814	8.814	0.000	0.000	節点8,16
取水槽	0.500	摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	41.667	41.667	0.000	0.000	節点8,16
			長さ(m)	9.100	9.100					
			径深(m)	1.682	1.682					
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	50.000	50.000	0.000	0.000	節点8,16
			長さ(m)	1.700	1.700					
			径深(m)	1.716	1.716					
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	31.250	31.250	0.000	0.000	節点8,16
			長さ(m)	1.000	1.000					
			径深(m)	0.805	0.805					
		摩擦	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)	0.015	0.015	33.333	33.333	0.000	0.000	節点8,16
			長さ(m)	2.000	2.000					
			径深(m)	0.820	0.820					
		ピヤー	ピアの水平断面形状による係数	0.920	0.920	45.455	45.455	0.000	0.000	節点8,16
			ピア直前の水路幅(m)	6.859	6.859					
			水路幅からピア幅の総計を控除した幅(m)	6.059	6.059					
		漸拡	F <sub>ge</sub>	0.280	0.280	33.500	33.500	0.000	0.000	節点8,16
			F <sub>se</sub>	0.204	0.204					
		漸縮	F	0.020	0.020	42.557	42.557	0.000	0.000	節点8,16
		急縮	F	0.100	0.100	32.237	32.237	0.000	0.000	節点8,16
		漸拡	F <sub>ge</sub>	0.200	0.200	32.237	32.237	0.000	0.000	節点8,16
F <sub>se</sub>	0.003		0.003							
流出	F	1.000	1.000	34.185	34.185	0.000	0.000	節点8,16		
流路縮小工	0.500	スルース ゲート	上流水深(m) 注1)	4.360	4.360	9.540	9.540	0.009	0.009	節点19,20
			下流水深(m) 注1)	4.351	4.351					
			ゲート開度(m)	1.200	1.200					
			流出幅(m)	7.950	7.950					
			流量係数	0.006	0.006					
合計							0.009	0.009		

注1) 流路縮小工の堤頂を基準

※小数点以下4桁目を四捨五入で表示

表2 損失水頭算定公式

	公式	係数	根拠
スルースゲートによる流量公式	$Q = C_1 a B \sqrt{2gh_0}$	$Q$ : 流量 (m <sup>3</sup> /s) $C_1$ : 流量係数 $a$ : ゲートの開き (m) $B$ : 流出幅 (m) $h_0$ : 上流水深 (m)	土木学会水理公式集 (平成11年版) p. 254-255 【図4参照】

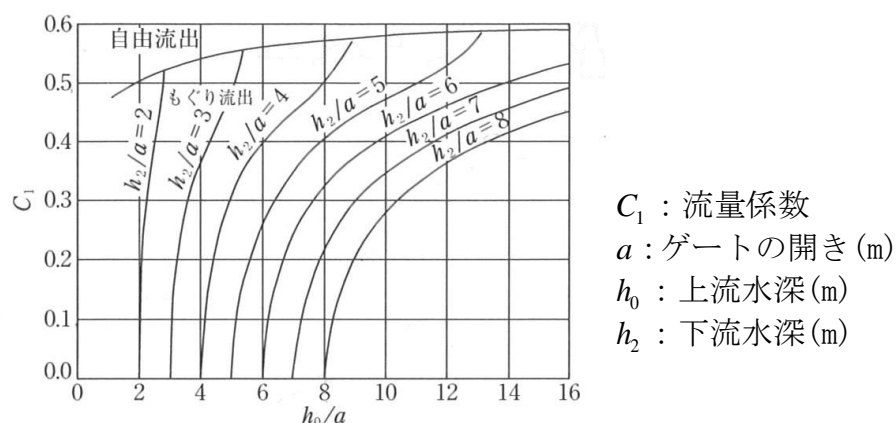


図4 スルースゲートによる流量係数(土木学会水理公式集 (平成11年版) p. 255) 注

注) スルースゲートの流量公式  $Q = C_1 a B \sqrt{2gh_0}$  により, 流量  $Q$ , ゲートの開き  $a$ , 流出幅  $B$  および上流水深  $h_0$  が既知の場合, 流量係数  $C_1$  が決定される。さらに, 図の関係から下流水深  $h_2$  が決定されるため, スルースゲートによる損失水頭  $\Delta h = h_0 - h_2$  が算定される。

表3 基準津波による取水槽水位の結果

波源		防波堤 有無	貝付着 有無	循環水ポン プ運転状況	1号炉取水槽の入力津波高さ EL (m)			(参考) 対策前  取水槽
					対策後*			
					漸拡ダクト部		除じん機系+ ポンプ室 (池3)	
					(東ルート) (池4)	(西ルート) (池5)		
日本海東縁部	基準津波 1	有り	有り	停止	+6.6	+6.6	+6.5	+7.2
			無し	停止	+6.9	+6.9	+6.8	+7.7
		無し	有り	停止	+7.4	+7.4	+7.3	+8.2
			無し	停止	<u>+7.9</u> [+7.86]	+7.8	<u>+7.7</u> [+7.65]	+9.2
	基準津波 2	有り	有り	停止	+6.2	+6.2	+6.1	+6.8
			無し	停止	+6.5	+6.4	+6.3	+7.3
基準津波 5	無し	有り	停止	+5.4	+5.3	+5.3	+7.6	
		無し	停止	+7.3	+7.2	+7.1	+8.1	
海域活断層	基準津波 4	有り	有り	停止	+2.7	+2.7	+2.7	+3.0
			無し	停止	+2.7	+2.6	+2.6	+3.0
		無し	有り	停止	+2.9	+2.9	+2.9	+3.4
			無し	停止	+3.1	+3.1	+3.1	+3.8
	海域活断層 上昇側最大 となるケー ス	有り	有り	停止	+2.4	+2.4	+2.4	+2.6
			無し	停止	+2.4	+2.3	+2.3	+2.6
		無し	有り	停止	+2.8	+2.8	+2.8	+3.2
			無し	停止	+3.0	+2.9	+2.9	+3.5

※下線部が最大水位上昇量の値

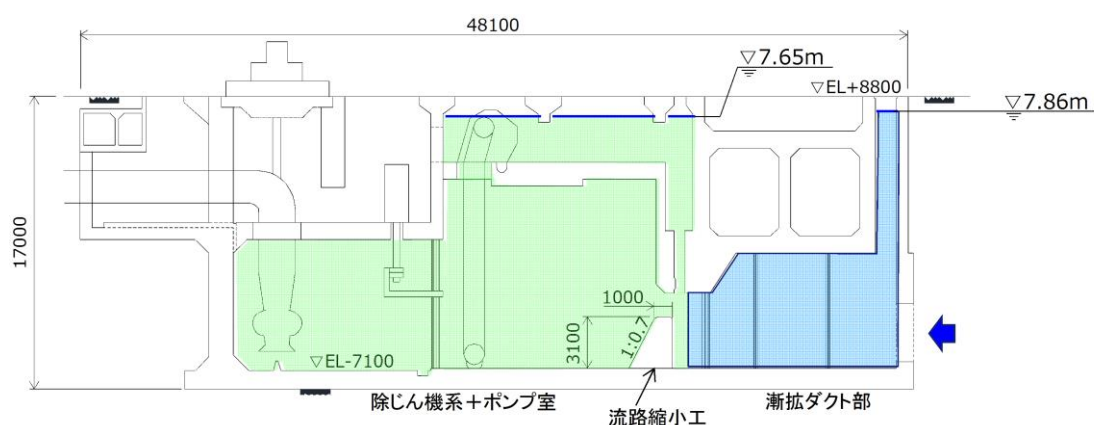
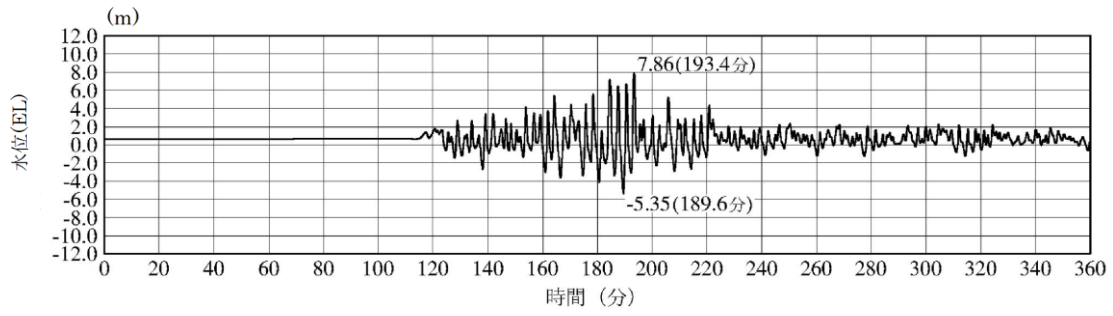
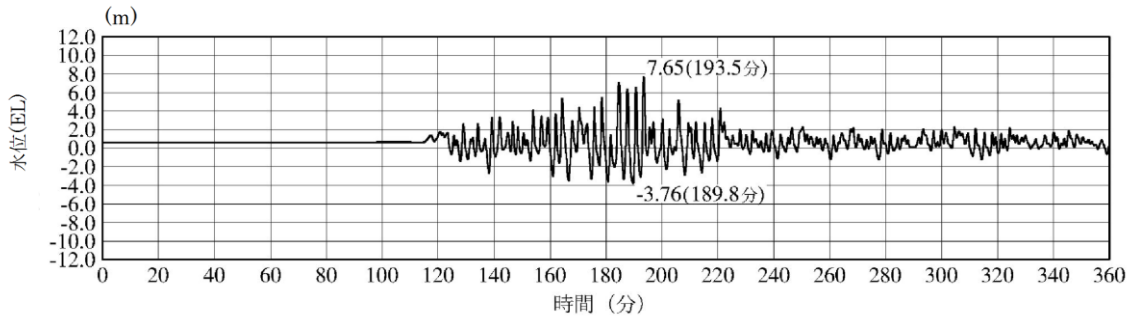


図5 1号炉取水槽流路縮小工による浸水範囲\*

※ 漸拡ダクト部，除じん機系+ポンプ室の最大水位上昇量を図に示す。  
(基準津波1 防波堤無し 貝無し)



漸拡ダクト (東ルート)



除じん機系+ポンプ室

図6 時刻歴波形 (基準津波1 防波堤無し 貝付着無し)

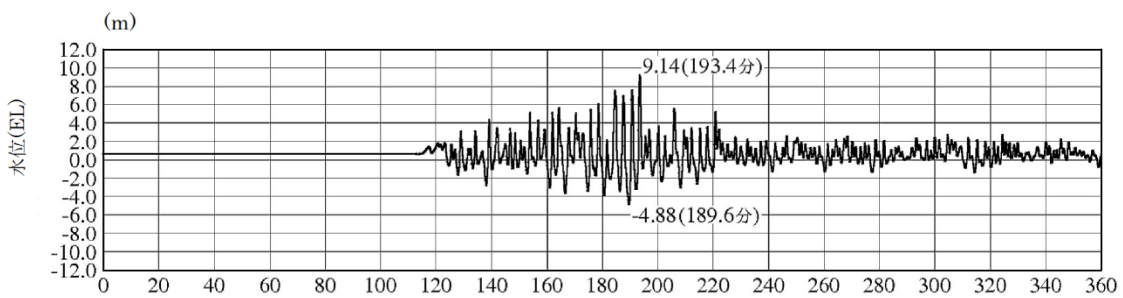


図7 対策前の取水槽の時刻歴波形 (基準津波1 防波堤無し 貝付着無し)

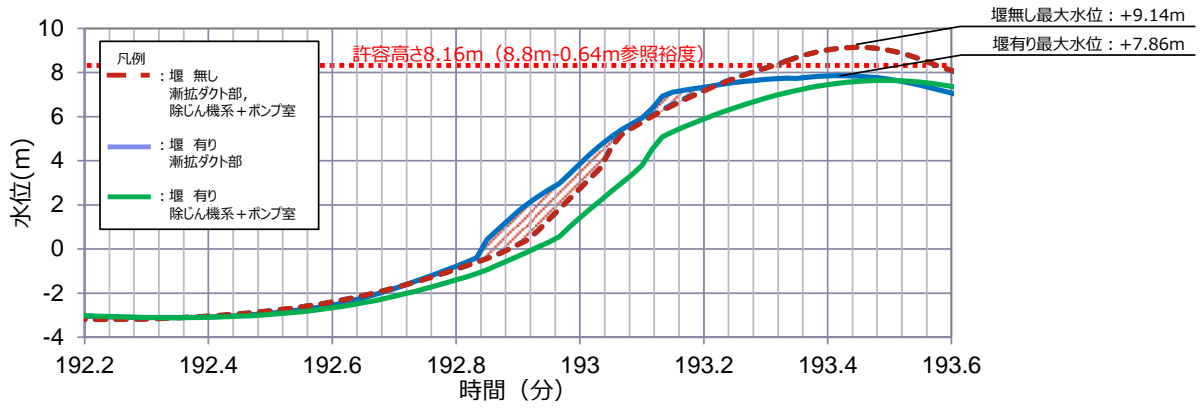


図8 取水槽水位最大となる押し波1波あたりの水位 (漸拡ダクト部, 除じん機系+ポンプ室)

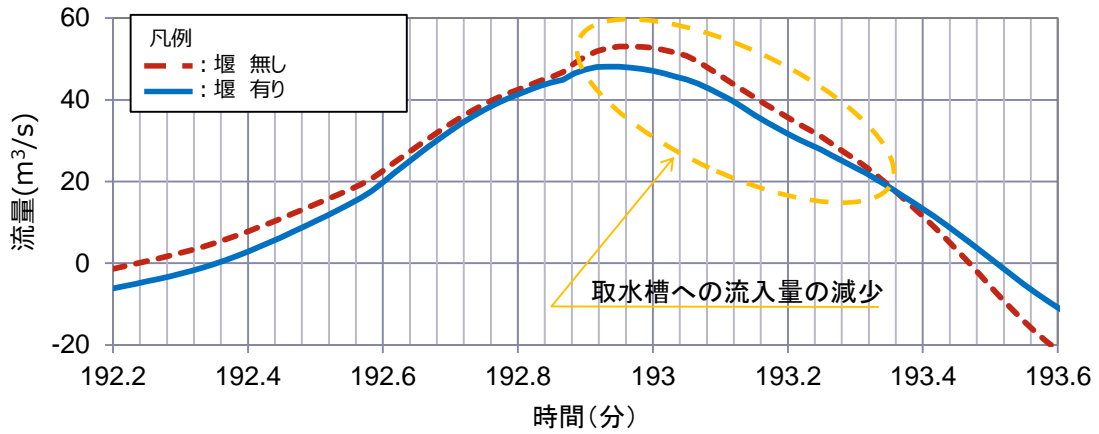


図9 取水槽水位が最大となる押し波1波あたりの流量 (取水管部)

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

1. はじめに

(1) 防水壁及び水密扉に要求される機能

鋼構造の取水槽除じん機エリア防水壁（以下、「防水壁」とする）及び取水槽除じん機エリア水密扉（以下、「水密扉」とする）は2号炉取水槽に設置する。防水壁及び水密扉の平面位置図を図1に、概要図を図2に示す。

浸水防止設備として防水壁及び水密扉に求められる要求機能は、取水口から流入する津波の敷地への浸水を防止すること、基準地震動 $S_s$ に対し要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体として十分な構造強度を有することである。

上記の機能を確保するため、入力津波に対し余裕を考慮した防水壁及び水密扉の高さを確保するとともに、構造体の境界部等の止水性を維持し、基準地震動 $S_s$ に対し止水性を損なわない構造強度を有した構造物とする。

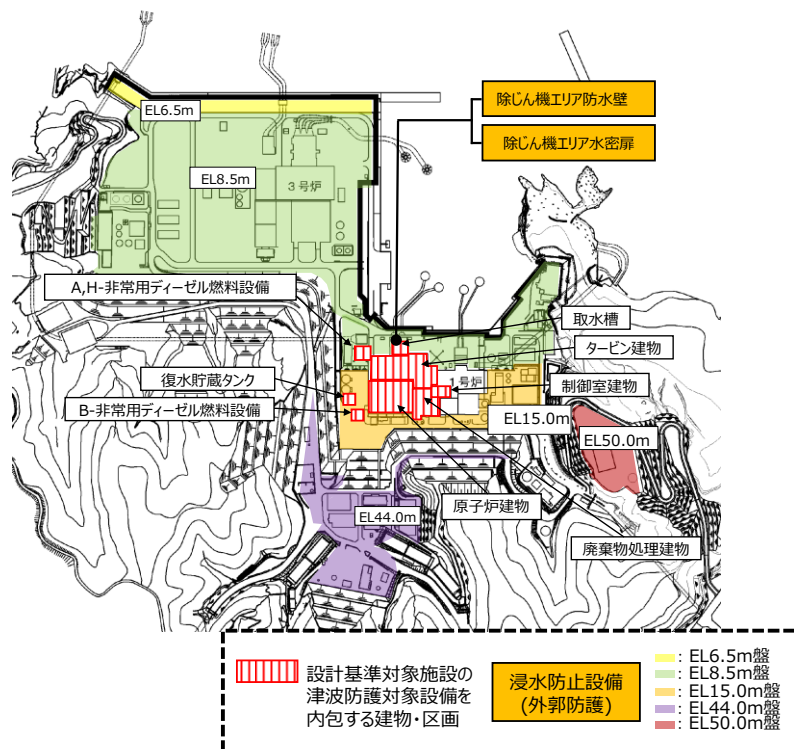
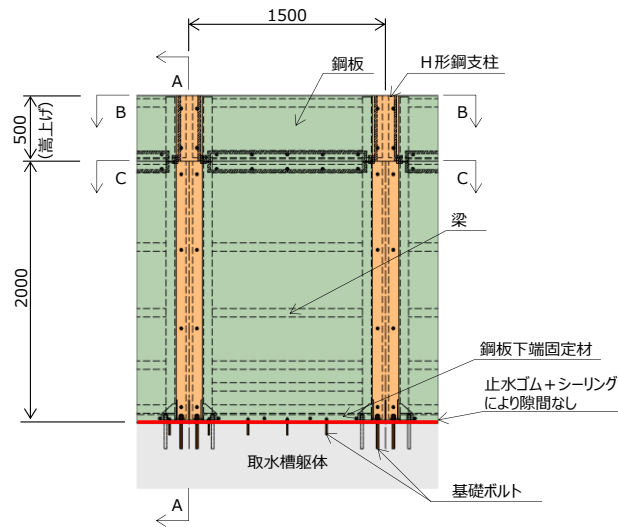
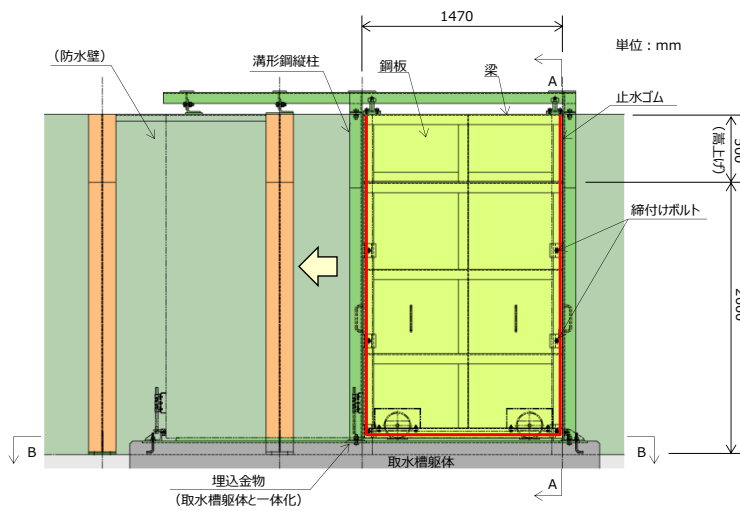


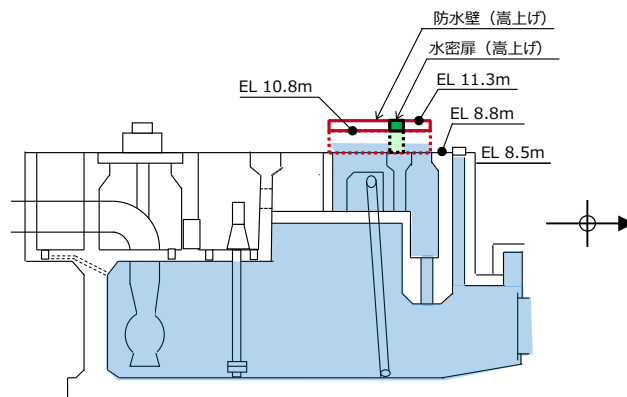
図1 防水壁及び水密扉の平面位置図



防水壁（正面図）



水密扉（正面図）



断面イメージ図

図2 防水壁及び水密扉の概要図

(2) 防水壁及び水密扉の高さの設定方針

防水壁及び水密扉の高さは、設置位置の入力津波高さに設計裕度を考慮して決定し、入力津波高さは、基準津波による取水口位置の水位変動量に基づき、流入経路の水理特性を考慮した管路解析を踏まえて設定する。防水壁及び水密扉の高さは、入力津波高さに対して余裕を考慮した高さとする。入力津波高さと防水壁及び水密扉の高さの関係を表1に示す。

表1 入力津波高さと防水壁及び水密扉高さの関係

設置位置	入力津波高さ	防水壁高さ	高さの裕度
2号炉取水槽 除じん機エリア	EL+10.6m	EL+11.3m	+0.7m

(3) 防水壁及び水密扉の設計の基本的考え方

防水壁及び水密扉は、地震荷重や津波荷重に対して十分な耐震性・遮水性が要求されるため、高強度で軽量かつ十分に遮水性のある鋼板及び鋼桁を用い、取水槽に固定した鋼製支柱により支持される構造とする。

また、取水槽の管理用出入口である水密扉は、人力で容易に開閉作業が可能な鋼製の扉構造とするとともに、常時閉運用とする。



## 2. 防水壁及び水密扉の概要

### (1) 防水壁

防水壁は、高強度で軽量かつ十分に遮水性のある鋼板を、取水槽に設置したH形鋼支柱にボルト接合により設置する構造とし、H型鋼支柱と鋼板との間に止水ゴムを設置して止水性を確保する。

嵩上げ箇所は、H形鋼支柱を溶接接合にて嵩上げし、既設部同様、鋼板を支柱にボルト接合により設置する構造とし、支柱と鋼板との間は止水ゴムを設置して止水性を確保するとともに、シーリングを施工して止水性を高める。また、鋼板と鋼板の隙間は鋼板を追加してボルト接合するとともに、止水ゴムを隙間に設置して止水性を確保する。

また、H形鋼支柱下端のベースプレート及び鋼板下端固定材（等辺山形鋼）と取水槽の間には止水ゴムを設置することで止水性を確保する。さらに、ベースプレートを含めた鋼板下端全長にシーリングを施すことで止水性を高める。

各部位の役割を表2に、防水壁の構造例を図3に示す。

表2 防水壁の各部位の役割

部位	役割
鋼板	止水機能の保持
梁・H形鋼支柱・固定ボルト	鋼板等の支持
ベースプレート	H形鋼支柱の支持
基礎ボルト	鋼板及びベースプレートの支持
止水ゴム	止水機能の保持（鋼板とH形鋼支柱間等）

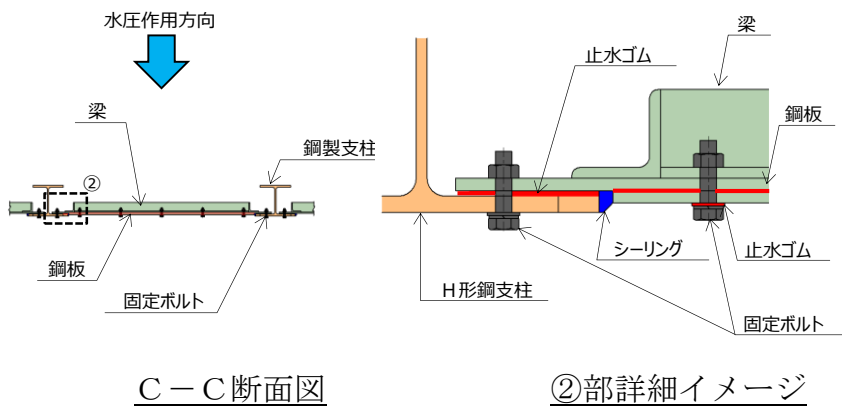
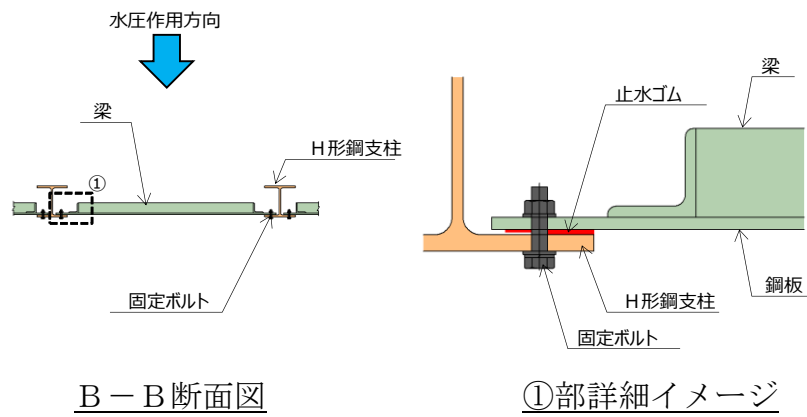
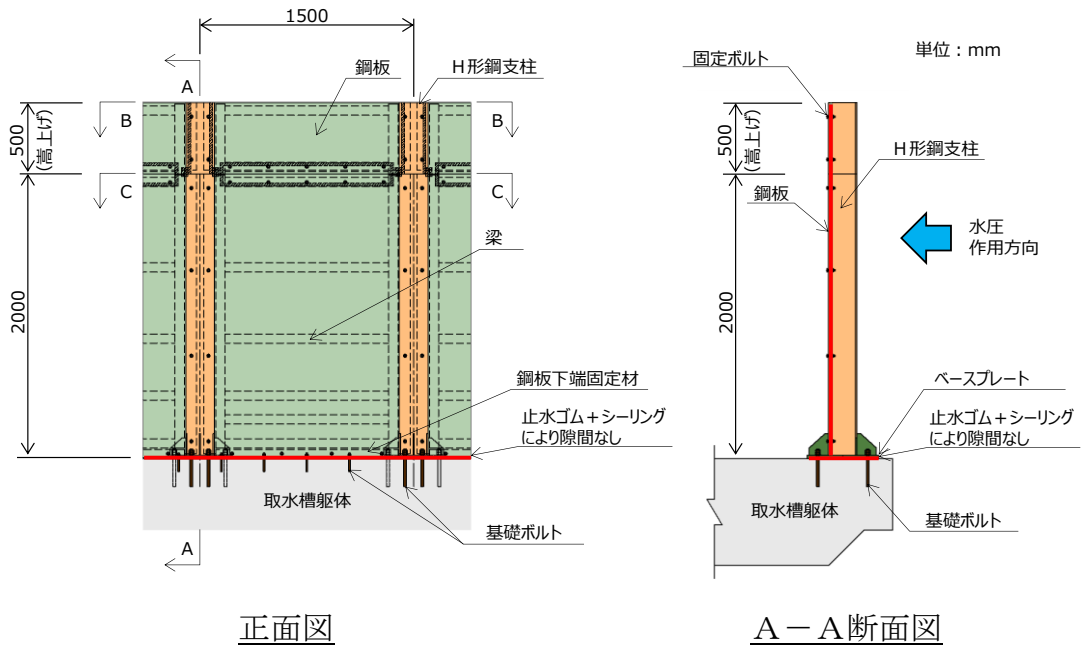


図3 防水壁の構造例

## (2) 水密扉

取水槽の管理用出入口として、鋼製扉を用いた開閉可能な構造とする。

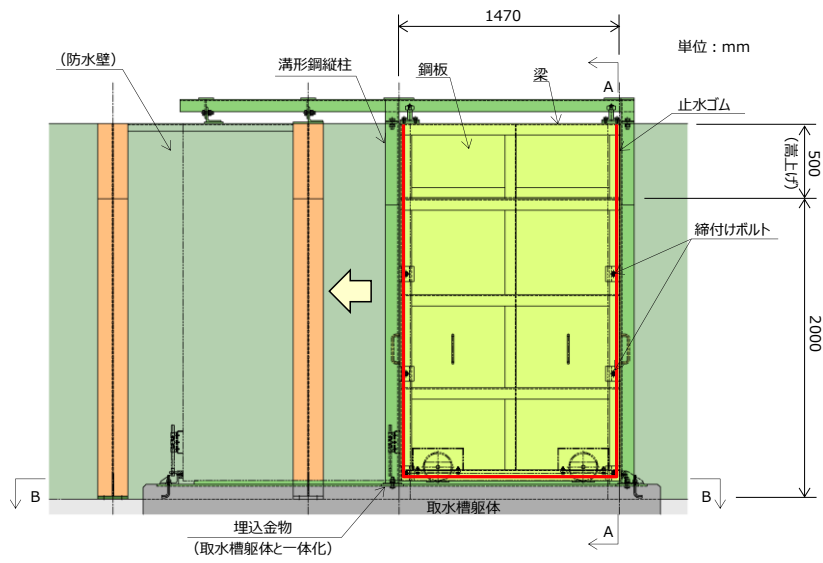
取水槽に溝形鋼の縦柱を設置した上で、鋼板と梁を溶接接合して構成する鋼製扉を取り付ける。また、鋼製扉周囲に止水ゴムを設置し、別途設置する戸当たり（溝形鋼）との接触面で閉時の止水性を確保する。

嵩上げ箇所は、鋼製扉（鋼板及び梁）、溝形鋼縦柱及び戸当たり（溝形鋼）をそれぞれ溶接接合して嵩上げする。

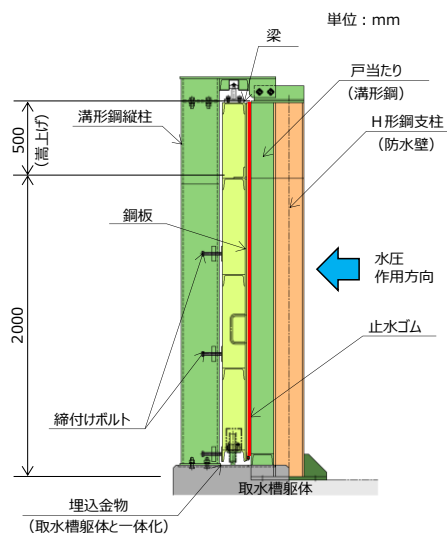
各部位の役割を表3に、水密扉の構造例を図4に示す。

表3 水密扉の各部位の役割

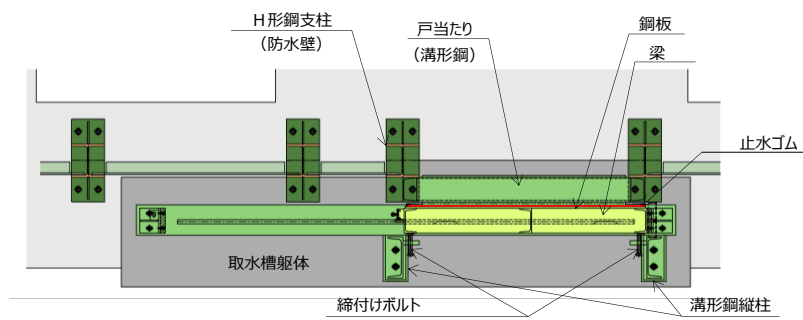
部位	役割
鋼製扉（鋼板・梁）	止水機能の保持
溝形鋼縦柱・締付けボルト・戸当たり（溝形鋼）	鋼製扉の支持
止水ゴム	止水機能の保持（鋼製扉と戸当たり間）



正面図



A-A断面図



B-B断面図

図4 水密扉の構造例

### 3. 防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し

#### (1) 検討ケース及び荷重の組合せ

防水壁及び水密扉における検討ケース及び荷重の組合せは、以下のとおりとする。

- ①地震時：常時荷重＋地震荷重＋風荷重
- ②津波時：常時荷重＋津波荷重

なお、防水壁及び水密扉の設計において考慮する荷重は、以下のとおり設定する。

##### ①常時荷重

自重を考慮する。

##### ②地震荷重

基準地震動  $S_s$  を考慮する。

##### ③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地震時に考慮する。津波時は、水圧作用側が海面下にあることから、風荷重は考慮しない。

##### ④津波荷重

入力津波高さに基づき算定される静水圧を考慮する。

##### ⑤余震荷重

海域活断層に想定される地震による入力津波高さは、2号炉取水槽において最大でも EL+4.9m であり、防水壁及び水密扉の設置標高が EL+8.8m であるため、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ことから、余震荷重を考慮しない。

#### (2) 損傷モードの抽出と許容限界

地震時及び津波時に防水壁及び水密扉が維持すべき機能を喪失してしまう事象（損傷モード）を仮定し、その損傷モードに対しての設計・施工上の配慮を整理した。また、損傷モードの整理結果を踏まえ、構造成立性の見通しの確認における主要な照査項目と許容限界を整理した。

防水壁及び水密扉に関する損傷モード及び構造成立性の見通しに関する許容限界を表4～7に示す。

表4 防水壁に関する損傷モード

部位の名称	要求機能を喪失する事象	設計・施工上の配慮	構造成立性の見通しの確認における照査
鋼板	・鋼板に作用する地震荷重や津波荷重により、鋼板が曲げ破壊又はせん断破壊することで止水機能を喪失する。	・鋼板に生じる断面力による応力度が、許容限界以下であることを確認する。	○
	・H形鋼支柱間の応答差や地盤条件変化部における相対変位により、鋼板にねじれが発生し損傷することで止水機能を喪失する。	・支柱は取水槽に固定し、取水槽は十分な支持性能を有する岩盤に設置されていることから、支柱間の応答差や地盤条件変化部による影響は小さいと判断する。	-
H形鋼支柱	・鋼板から伝達する荷重及び支柱自体に作用する荷重により、鋼製支柱が曲げ・軸力による破壊又はせん断破壊し、鋼板の支持性能を喪失する。	・鋼製支柱に生じる断面力による応力度が、許容限界以下であることを確認する。	○
梁	・鋼板から伝達する荷重により、梁が曲げ破壊又はせん断破壊することで鋼板の支持性能を喪失する。	・梁に生じる断面力による応力度が、許容限界以下であることを確認する。	○
固定ボルト	・鋼板から伝達する荷重により、固定ボルトがせん断破壊し、鋼板の支持性能を喪失する。	・固定ボルトに生じる断面力による応力度が、許容限界以下となるよう、固定ボルトの仕様を詳細設計段階で決定する。	-
ベースプレート	・H形鋼支柱から伝達する荷重により、ベースプレートが曲げ破壊又はせん断破壊することでH形鋼支柱の支持機能を喪失する。	・ベースプレートに生じる断面力による応力度が、許容限界以下となるよう、ベースプレートの仕様を詳細設計段階で決定する。	-
基礎ボルト	・ベースプレートから伝達する荷重により、ボルトが引抜き又はせん断破壊し、防水壁全体の支持機能を喪失する。	・基礎ボルトに生じる断面力による応力度が、許容限界以下となるよう、基礎ボルトの仕様を詳細設計段階で決定する。	-

表5 防水壁の構造成立性に関する許容限界

評価対象部位	役割	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼板	止水機能の保持	曲げ せん断	曲げ：短期許容応力度以下 せん断：短期許容応力度以下	鋼構造設計規準
H形鋼支柱・梁	鋼板の支持	曲げ せん断	曲げ：短期許容応力度以下 せん断：短期許容応力度以下	鋼構造設計規準

表6 水密扉に関する損傷モード

部位の名称	要求機能を喪失する事象	設計・施工上の配慮	構造成立性の見通しの確認における照査
鋼製扉 (鋼板、梁)	・鋼製扉に作用する地震荷重や津波荷重により、鋼製扉が曲げ破壊又はせん断破壊することで止水機能を喪失する。	・鋼製扉に生じる断面力による応力度が、許容限界以下であることを確認する。	○
溝形鋼縦柱	・鋼製扉から伝達する荷重及び縦柱自体に作用する荷重により縦柱が曲げ破壊又はせん断破壊し、鋼製扉の支持性能を喪失する。	・溝形鋼縦柱に生じる断面力による応力度が、許容限界以下であることを確認する。	○
締付けボルト	・鋼製扉から伝達する荷重により、締付けボルトが破断し、鋼製扉の支持性能を喪失する。	・締付けボルトに生じる断面力による応力度が、許容限界以下となるよう、締付けボルトの仕様を詳細設計段階で決定する。	-
戸当たり (溝形鋼)	・鋼製扉から伝達する荷重、戸当たり自体に作用する荷重及び防水壁から伝達する荷重により、戸当たりが曲げ破壊又はせん断破壊し、鋼製扉の支持性能を喪失する。	・戸当たりに生じる断面力による応力度が、許容限界以下であることを詳細設計段階で確認する。 ・戸当たりは、防水壁のH形鋼支柱に溶接接合して剛性を高めることから、構造成立性の確認においては、防水壁のH形鋼支柱の評価に代表させる。	-
止水ゴム	・津波時の水圧が作用することにより、止水ゴムが損傷し、止水機能を喪失する。	・止水ゴムに生じる水圧が、メーカー規格及び基準並びに必要な応じて実施する性能試験を参考に定めた許容水圧以下となるよう、止水ゴムの仕様を詳細設計段階で決定する。	-

表7 水密扉の構造成立性に関する許容限界

評価対象部位	役割	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼製扉 (鋼板、梁)	止水機能の保持	曲げ せん断	曲げ：短期許容応力度以下 せん断：短期許容応力度以下	鋼構造設計規準
溝形鋼縦柱	鋼板の支持	曲げ せん断	曲げ：短期許容応力度以下 せん断：短期許容応力度以下	鋼構造設計規準

(3) 防水壁及び水密扉のモデル化方針

防水壁は、高強度で軽量かつ十分に遮水性のある鋼板を、基礎ボルトにて取水槽に固定したH形鋼支柱とボルト接合し、鋼板と取水槽を分離させた構造とする。

よって、防水壁の挙動としては、剛性と質量が異なる鋼板やH形鋼支柱等の鋼製部材が地震動により一体的に応答するモードとなることから、図5に示す梁のモデルにより、その挙動を適切に評価することが可能である。

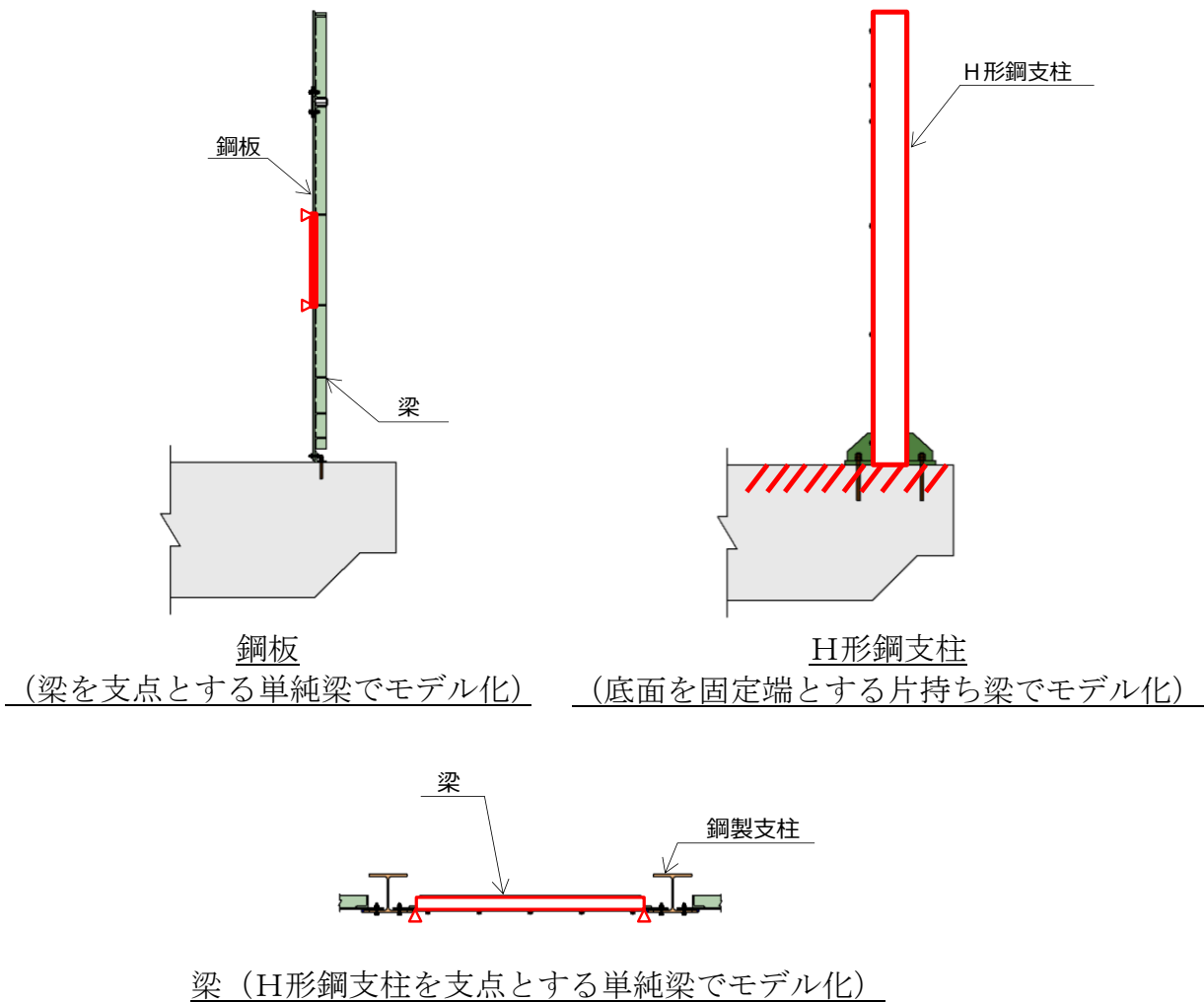
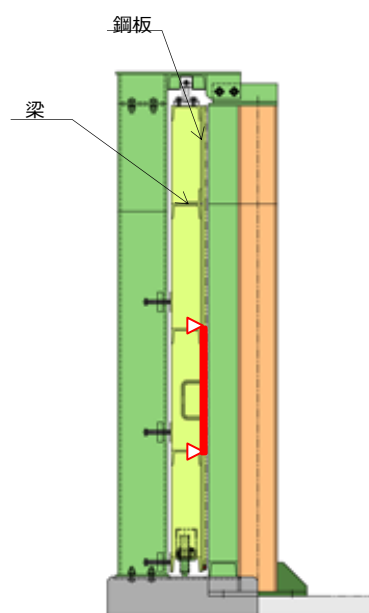


図5 防水壁の解析モデル

水密扉について、鋼製扉は鋼板を溝形鋼に溶接接合した一体構造とし、戸当りは取水槽にボルトで固定するとともに、防水壁のH形鋼支柱に溶接接合して剛性を高めた構造とする。鋼製扉及び戸当りは、取水槽に基礎ボルトで固定した縦柱と締付けボルトにて接合する。

よって、水密扉の挙動についても、地震動により一体的に応答するモードとなることから、図6に示す梁や版のモデルにより、その挙動を適切に評価することが可能である。



鋼板（梁を支点とする単純梁でモデル化）

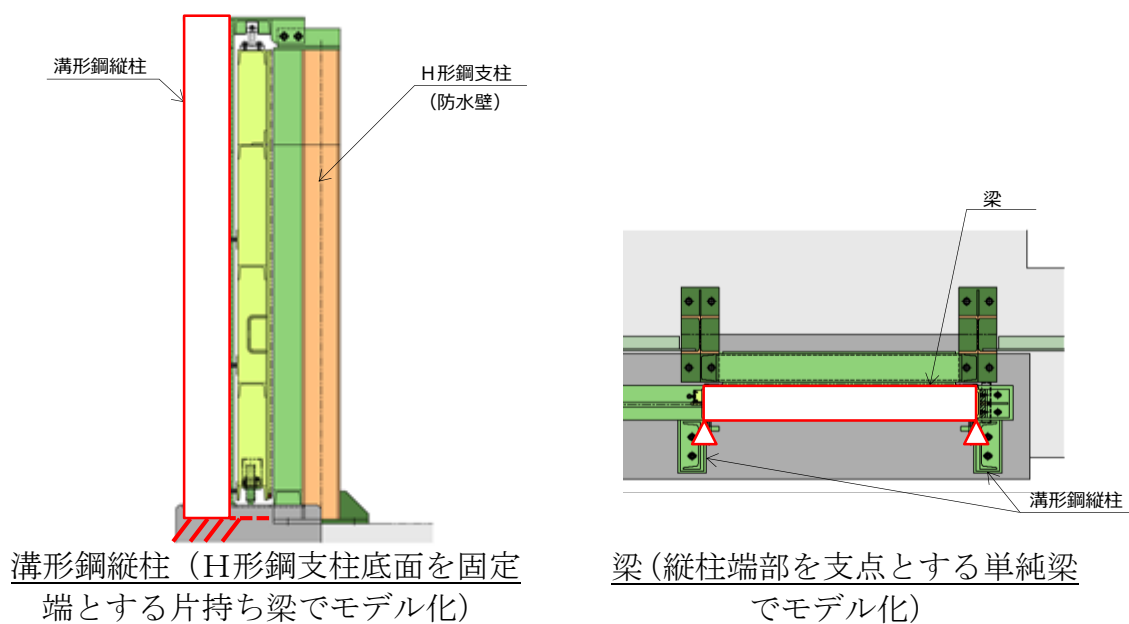


図6 水密扉の解析モデル



#### (4) 評価方法

##### a. 地震時

地震時の検討では，基準地震動  $S_s$  に対し，部材の発生応力度が許容限界を超えないことを確認する。防水壁及び水密扉の構造成立性を見通しの確認においては，図7に示すイメージのとおり，基準地震動  $S_s$  に対する2号炉取水槽の地震応答解析から得られた取水槽上端の最大応答加速度を防水壁及び水密扉に作用させて評価する。

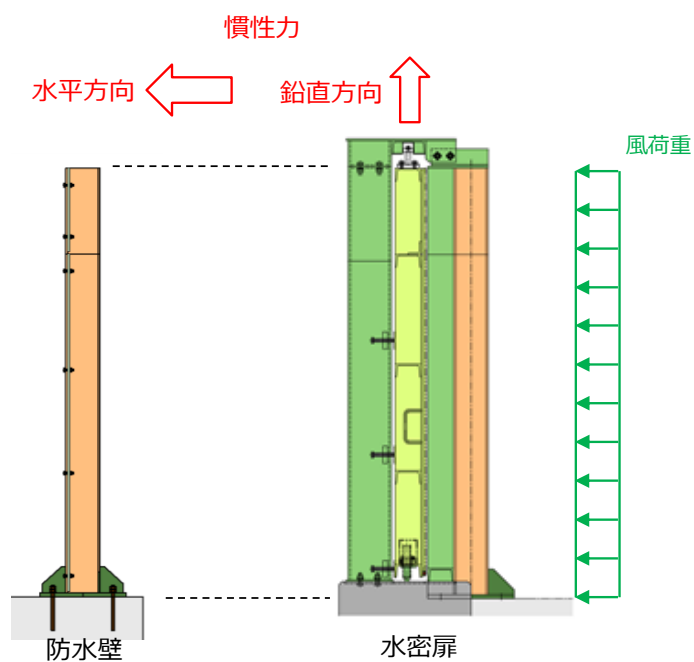


図7 地震時の荷重作用イメージ

b. 津波時

津波時の検討では，基準津波に対し，部材の発生応力度が許容限界を超えないことを確認する。構造成立性の見通しの確認においては，図8に示すイメージのとおり，2号炉取水槽の最大入力津波高さ（EL+10.60m）に参照する裕度（0.64m）を考慮した水位 EL+11.3m による静水圧を防水壁及び水密扉に作用させて評価する。

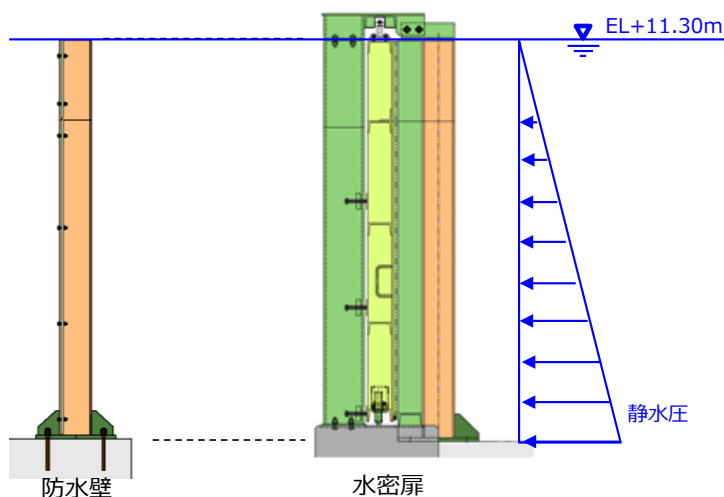


図8 津波時の荷重作用イメージ

c. 作用荷重を踏まえた構造成立性の見通しの確認における検討ケースの絞り込み

地震時及び津波時における作用荷重を比較すると，表8に示すとおり，津波時の作用荷重の方が大きいことから，構造成立性の見通しの確認においては，津波時について評価を行う。

表8 地震時と津波時の作用荷重比較

浸水防止壁 概算重量	地震時					津波時			評価
	設計震度	荷重		荷重 (水平慣性力 + 風荷重)	下端 モーメント	設計水位	荷重 (静水圧合力)	下端 モーメント	
		慣性力	風荷重 合力						
5.5 kN	Kh=1.30 Kv=0.69	Ph=7.15 kN Pv=3.80 kN	6.41 kN	13.56 kN	16.95 kN・m	EL+11.30m	47.34 kN	39.45 kN・m	地震時荷重 < 津波時荷重

(5) 評価式

防水壁及び水密扉の評価は、前述のとおり、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005改定）」に基づき行う。評価式の概要を以下に示す。

・ 曲げに対する評価式

防水壁及び水密扉の各部位に生じる曲げ応力度を下式から算定し、表9に示す鋼材の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここに、 $\sigma$ ：曲げ応力度  
M：曲げモーメント  
Z：断面係数

表9 曲げに対する短期許容応力度

防水壁及び水密扉の 使用材料	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
	曲げ
SS400 (板厚t≤40mm)	235

・ せん断に対する評価式

防水壁及び水密扉の各部位に生じるせん断応力度を下式から算定し、表10に示す短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

ここに、 $\tau$ ：せん断応力度  
Q：せん断力  
A：断面積

表10 せん断に対する短期許容応力度

防水壁及び水密扉の 使用材料	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
	せん断
SS400 (板厚t≤40mm)	135

・応力度の組合せに対する評価式

防水壁及び水密扉の各部位に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を下式から算定し、表11に示す短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{M}{Z}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q}{A}\right)^2}$$

ここに、 $\sigma_x$  : 組合せ応力度

表11 組合せ応力度に対する短期許容応力度

防水壁及び水密扉の 使用材料	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
	組合せ
SS400 (板厚t≤40mm)	235

(6) 評価結果

防水壁及び水密扉は、表 12 に示すとおり、地震荷重や津波荷重に対して十分な安定性を有しており、構造成立性が見通しがあることを確認した。

なお、本評価結果は暫定条件を用いた評価結果であることから、正式条件を用いた評価結果は詳細設計段階で示す。

表12 防水壁及び水密扉の評価結果

評価対象部位		仕様 (案)	照査結果				
			照査項目	最大発生値 (N/mm <sup>2</sup> )	許容値 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (発生値) / (許容値)	判定 (照査値<1.00)
防水壁	鋼板	PL-9	曲げ	32.2	235	0.14	OK
			せん断	0.4	135	0.01	OK
	梁	L-65×65×8	曲げ	158.1	235	0.68	OK
			せん断	1.4	135	0.02	OK
			組合せ	158.1	235	0.68	OK
	H形鋼支柱	H-200×200×8×12	曲げ	83.6	235	0.36	OK
			せん断	33.6	135	0.25	OK
			組合せ	101.9	235	0.44	OK
	水密扉	鋼板	PL-9	曲げ	74.4	235	0.32
せん断				0.8	135	0.01	OK
梁		[-150×75×6.5×10	曲げ	31.7	235	0.14	OK
			せん断	11.5	135	0.09	OK
			組合せ	37.5	235	0.16	OK
溝形鋼縦柱		[-250×90×9×13	曲げ	59.1	235	0.26	OK
			せん断	11.7	135	0.09	OK
			組合せ	62.5	235	0.27	OK

## 施設護岸の漂流物評価における遡上域の範囲及び流速について

## 1. 概要

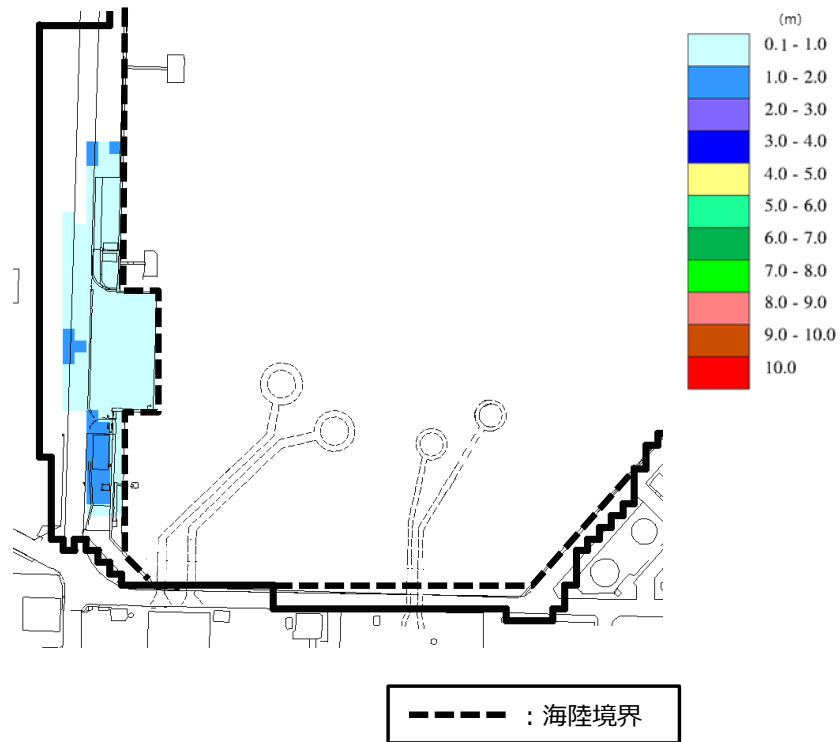
非常用冷却海水系の海水ポンプの取水性へ影響を及ぼす可能性については、施設護岸の設備等が漂流物となる可能性を踏まえ評価している。ここでは、施設護岸の設備等が漂流物となる可能性の評価のうち滑動評価に用いる流速を確認する。

## 2. 検討内容

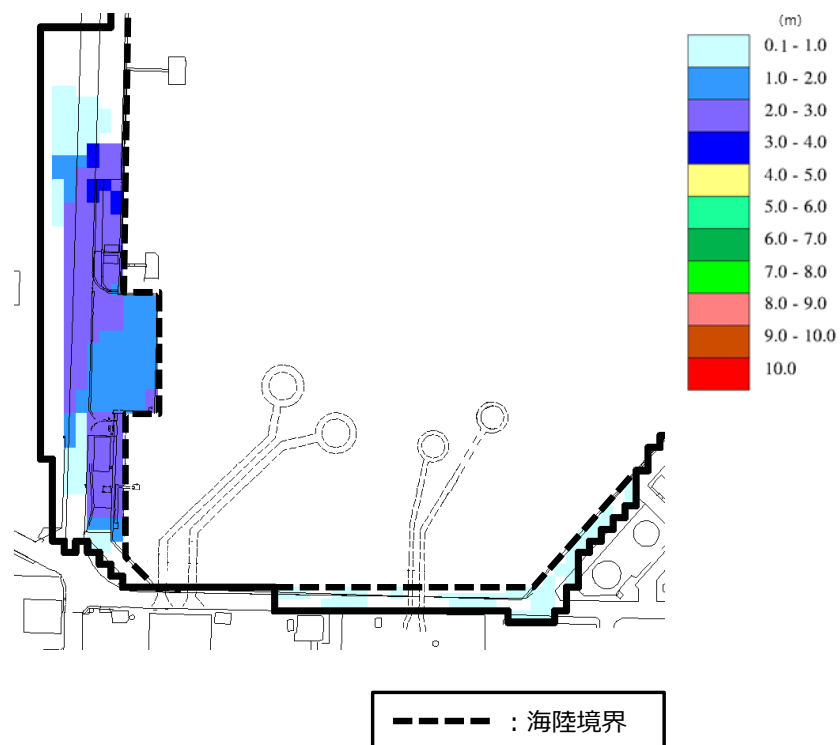
遡上域の範囲（最大水位上昇量分布）を保守的に評価するため、地震による荷揚場周辺の沈下及び初期潮位を考慮した津波解析を実施した。解析に当たっては、荷揚場付近の水位上昇量が大きい基準津波 1（防波堤有無）を対象とした。解析条件を以下に示す。

- ・荷揚場周辺の沈下については、防波壁前面を一律 1 m沈下させたケースを用いる。
- ・初期潮位については、朔望平均満潮位+0.58m に潮位のばらつき+0.14m を考慮する。

基準津波 1（防波堤有無）における施設護岸の最大水位上昇量分布（拡大図）を図 1 に示す。図 1 より、防波堤有りに比べ、防波堤無しの方が最大水位上昇量は大きく、遡上範囲が広いことから、防波堤無しの流速を評価する。



基準津波 1 (防波堤有り)



基準津波 1 (防波堤無し)

図 1 最大水位上昇量分布 (拡大図)

### 3. 確認結果

遡上域における流速分布を図2に、主な荷揚場漂流物の配置を図3に示す。

流速の抽出にあたっては、荷揚場漂流物の配置を踏まえ、遡上域である荷揚場周辺の12地点(図4参照)を選定し各地点の最大流速を抽出した。

図2に示すとおり、遡上域における流速は概ね8.0m/s以下であるが、遡上域の一部において8.0m/sを超える流速が確認できる。各地点における最大流速抽出結果を表1に示す。

表1に示すとおり、東西方向の流速は荷揚場へ押し波として遡上する西方向(取水口反対方向)の流速が速く支配的であることがわかる。一方、東方向(取水口方向)の流れとなる引き波では、地点10に示す4.8m/sが最大流速となるが、漂流物評価に用いる流速は、最大流速(11.9m/s)とする。

最大流速を示す地点7及び取水口方向への最大流速を示す地点10について、浸水深・流速の時刻歴波形及び各地点における最大流速発生時の水位分布・流速ベクトルをそれぞれ図5、図6に示す。

なお、図5に示すとおり、最大流速(11.9m/s)を示す地点における8.0m/sを超える時間は極めて短い(1秒以下である)。

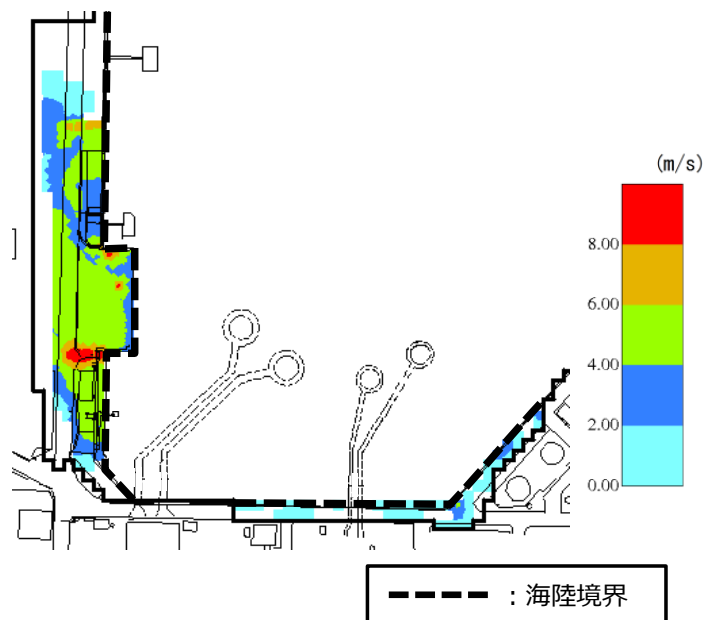


図2 遡上域における流速分布



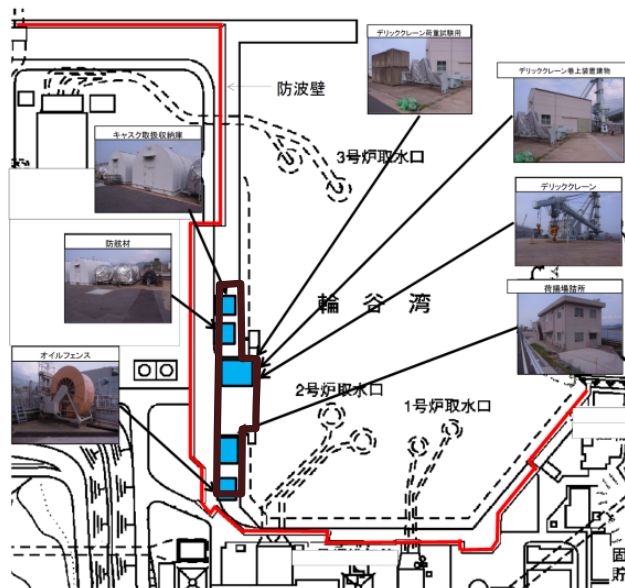


図3 主な荷揚場漂流物の配置

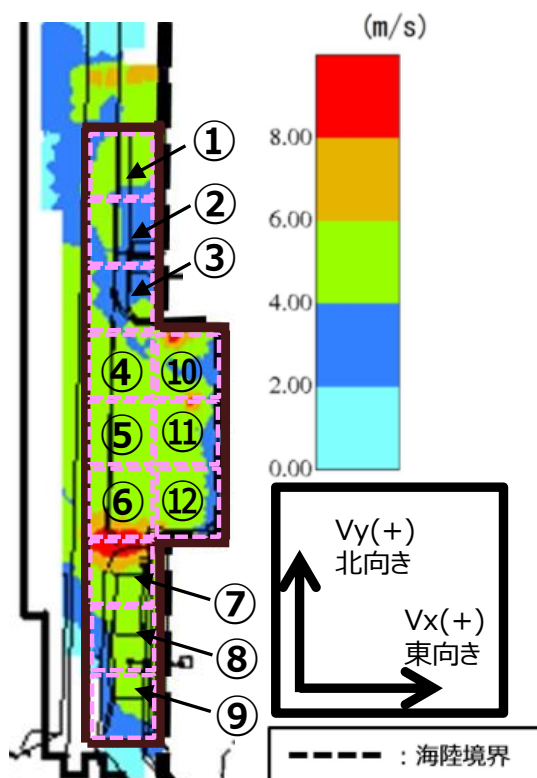


図4 流速抽出地点

表1 各地点の流速評価結果

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

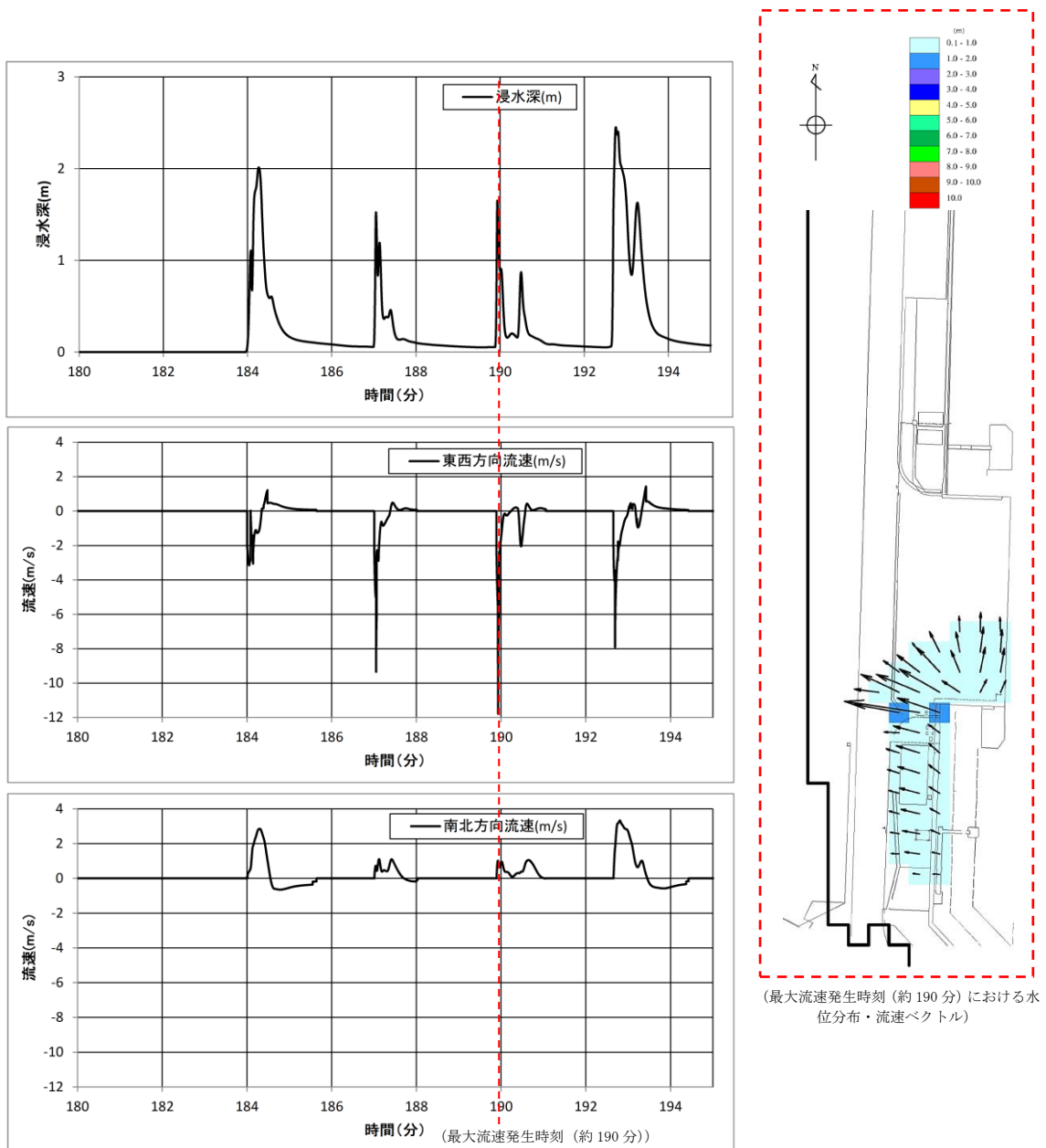


図5 地点7 (最大流速を示す地点) における浸水深・流速時刻歴波形及び最大流速発生時刻における水位分布・流速ベクトル

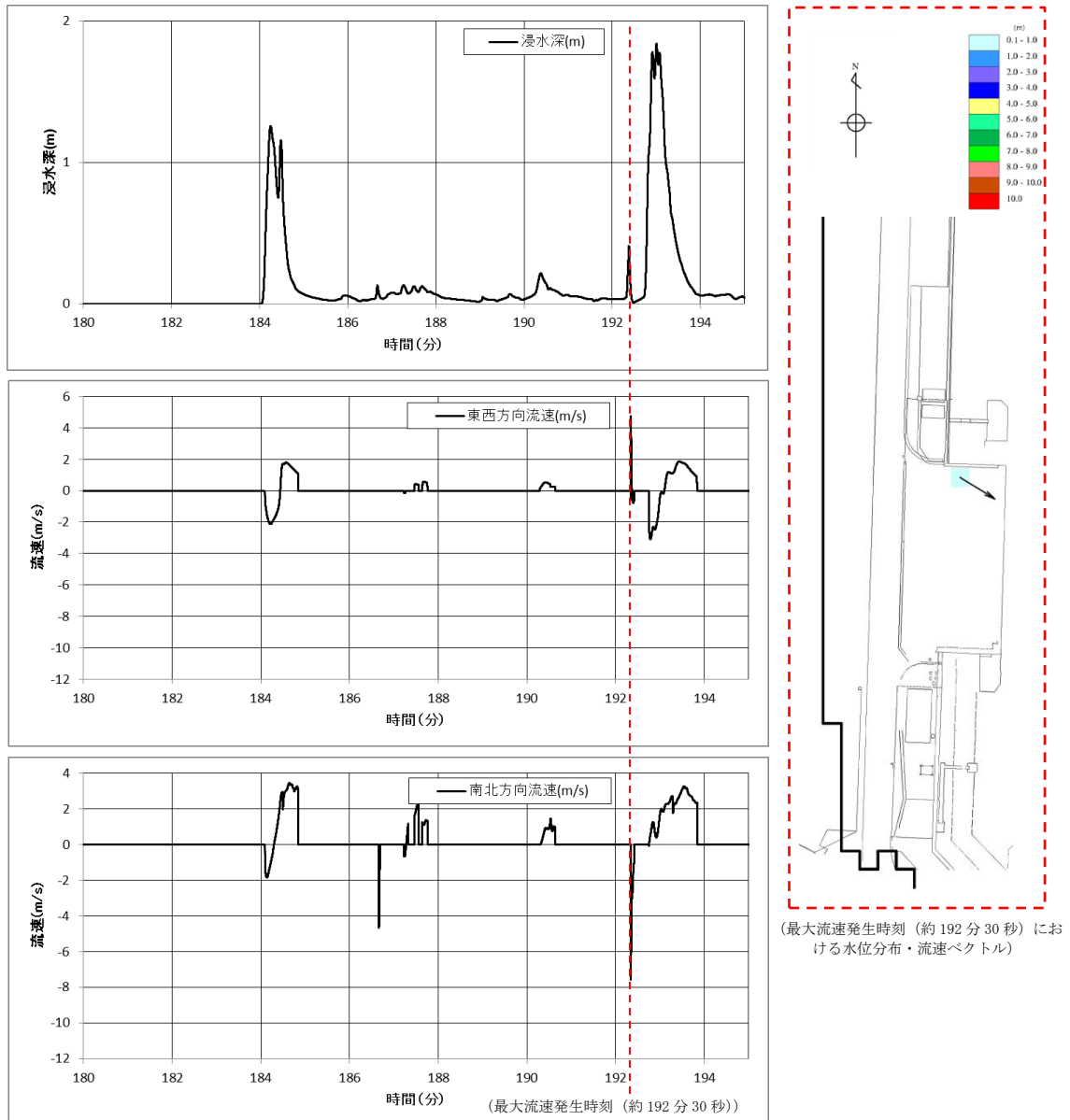


図6 地点10（取水口方向への最大流速を示す地点）における浸水深・流速時刻歴波形及び最大流速発生時刻における水位分布・流速ベクトル

## 海水ポンプの実機性能試験について

### 1. はじめに

ポンプ長尺化に伴うベルマウス下端への耐震サポート設置による影響については、実機性能試験によりポンプ性能に影響を及ぼさないことを確認した。以下にその内容を示す。

### 2. 耐震サポートについて

耐震サポートは海水ポンプ長尺化に伴う耐震性確保のために、ベルマウス部に取り付けるものである。耐震サポートの構造を図1に示す。



図1 耐震サポート構造図 (RSW ポンプの例)

### 3. 実機性能試験について

実機ポンプを、耐震サポートを設置した状態でピットに設置し、ポンプ性能（全揚程と吐出量，軸動力，ポンプ効率，振動）が，判定基準を満足していること及びポンプが安定した運転状態であることを確認した。試験装置の

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。

概略図と試験時における耐震サポート設置状況を図 2 に、確認結果を表 1 に示す。

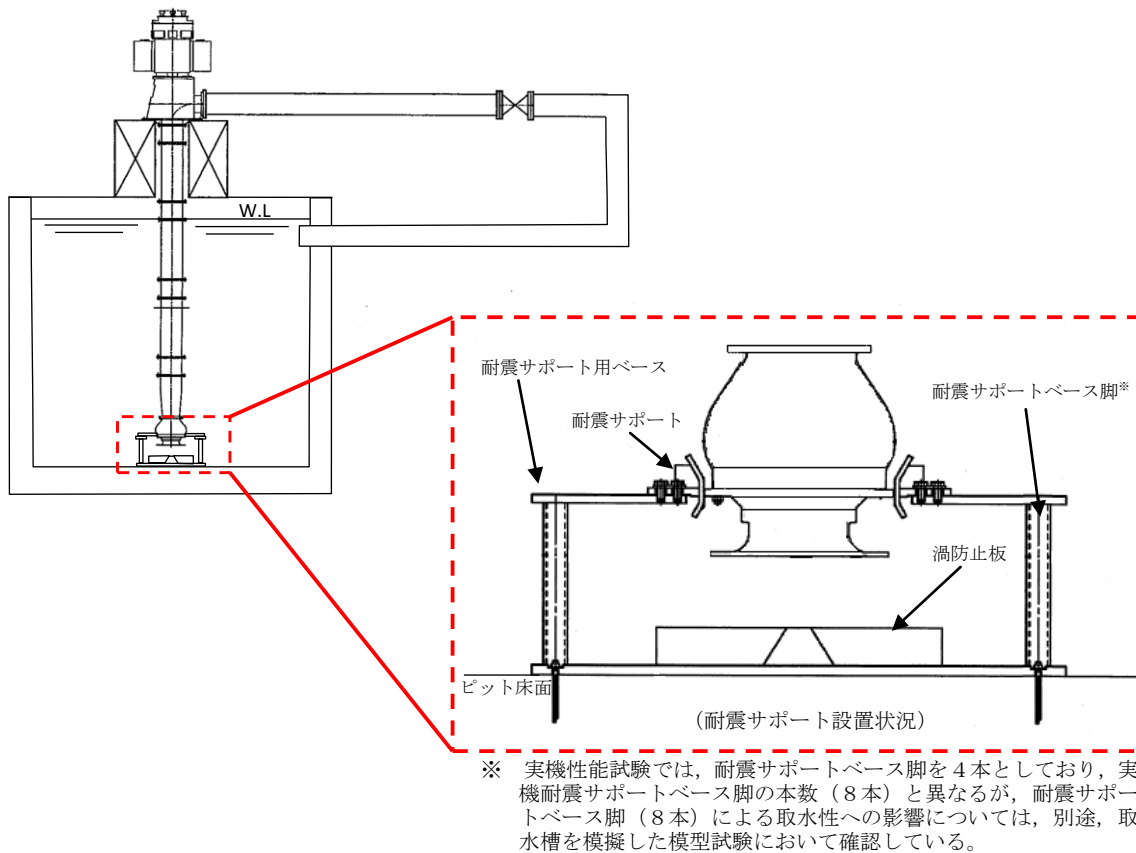


図 2 試験装置概略図

表 1 試験結果

試験項目	判定基準	試験結果	判定
全揚程と吐出力			合格
軸動力			合格
ポンプ効率			合格
振動			合格

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。

## 原子炉補機海水ポンプの取水性能試験

## 1. 概要

原子炉補機海水ポンプ（R S Wポンプ）の取水性能を確認するため、実機R S Wポンプを用いた試験を実施した。実機R S Wポンプ取水性能試験では、基準津波襲来による引き波を模擬した水位低下時の取水可能水位を確認した。

その結果、水位低下中においても連続渦は確認されず、R S Wポンプベルマウス下端(EL-9.3m)付近まで取水が可能であることを確認した。

ここでは、その試験内容を示す。

## 2. 原子炉補機海水ポンプ（R S Wポンプ）の取水試験について

## a. 試験内容

基準津波襲来による引き波を模擬した取水槽における時系列を想定し、模擬試験水槽の水位を徐々に低下させ、R S Wポンプの運転パラメータ等を確認した。津波を模擬した試験水槽の水位変化とR S Wポンプの試験確認項目を表1に示す。

表1 津波を模擬した試験水槽の水位変化とR S Wポンプの試験確認項目

津波時の2号取水槽の想定時系列		津波模擬試験水槽	
取水槽水位	取水槽の状態	試験水槽の状態	試験確認項目
【引き波】 通常水位～ 取水槽取水管下端 水位(EL-7.3m)	・引き波による取水 槽水位低下	・RSWポンプと水位調整 ポンプにより試験水槽 水位低下	・RSWポンプ流量、電流等 ポンプ運転パラメータ
【引き波】 取水槽取水管下端 水位(EL-7.3m)～ RSWポンプ取水可能 水位	・RSWポンプによる 取水槽貯留構造部 の水位低下	・RSWポンプと水位調整 ポンプにより試験水槽 水位低下	・RSWポンプの取水可能水 位（取水停止水位） ・RSWポンプ流量、電流等 ポンプ運転パラメータ

b. 試験結果

図1に示す試験装置を用い、ポンプ取水性能試験を行った。試験時の状態を図2に、試験中のポンプ流量と水位の関係を図3に示す。R S Wポンプは、R S Wポンプベルマウス下端（EL-9.3m）付近まで定格流量を取水し、その後、再冠水しても、定格流量が取水可能であった。また、その他の運転パラメータについても、水位低下中に連続渦などは確認されず、運転試験後に実施したポンプ開放点検による外観点検でも部品に異常は確認されなかった。

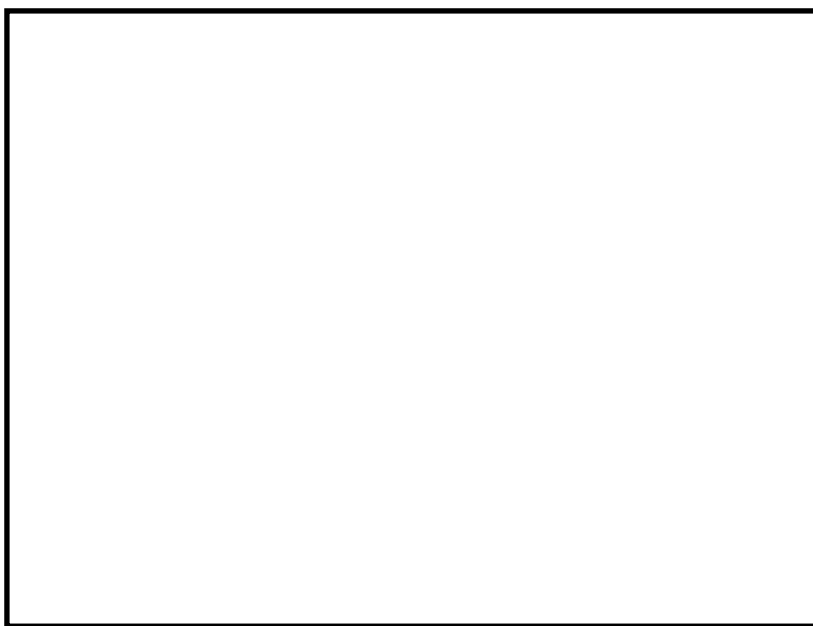


図1 ポンプ取水性能試験装置



図2 試験時の状態

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。



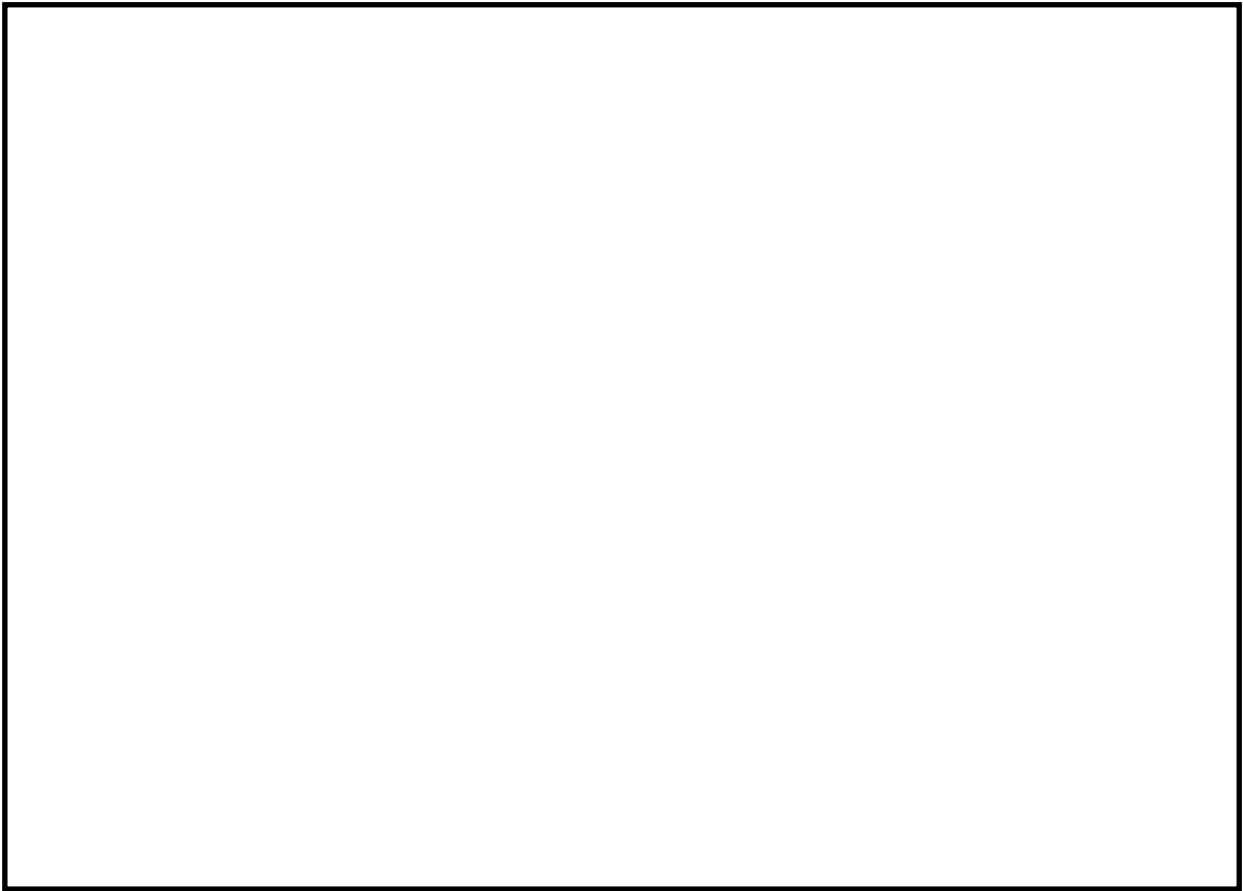


図3 試験中のポンプ流量と水位変化

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。

## 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

## 1. はじめに

海水ポンプの長尺化に伴う海水ポンプ近傍への砂の堆積については、ベルマウス下端近傍の取水槽床面においても海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回っており、海水ポンプ下端に到達する砂はポンプに吸込まれることから、ベルマウス下端近傍に砂は堆積しないと評価している。

ここでは、評価内容について示す。

## 2. 砂の沈降速度について

砂の沈降速度は Rubey 式より算出する。砂の粒径及び密度は、基準津波に伴う砂移動評価において設定した値 (0.3mm) を用いる。砂の諸元及び沈降速度を表 1 に示す。表 1 より、砂の沈降速度は 0.05m/s となる。

Rubey 式：

$$w_0 = \sqrt{(s-1)gd} \left( \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{(s-1)gd^3}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{(s-1)gd^3}} \right)$$

ここで、 $s = \sigma / \rho - 1$

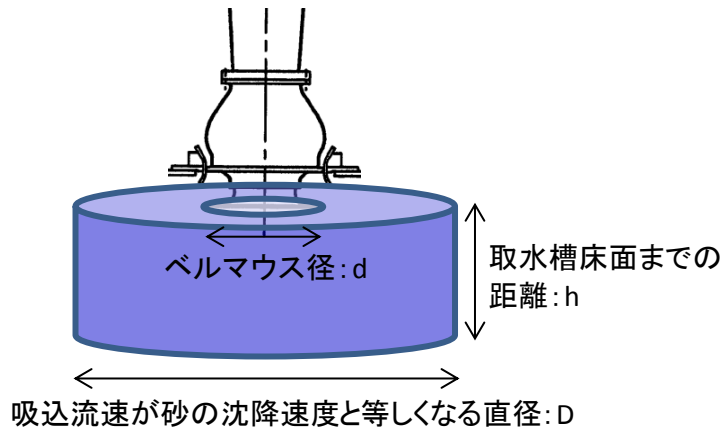
表 1 砂の諸元及び沈降速度

粒径 d [mm]	砂密度 $\sigma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	海水密度 $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	重力加速度 g [m/s <sup>2</sup> ]	動粘性係数 $\nu$ [m <sup>2</sup> /s]	沈降速度 $w_0$ [m/s]
0.3	2,760	1,030	9.8	$1.0 \times 10^{-6}$	0.05

## 3. 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

海水ポンプ定格流量 Q を吸込面積 S で除した吸込流速 V が、砂の沈降速度  $w_0$  と等しくなる直径 D を算出する。算出の概要を図 1 に、算出結果を表 2 に示す。

表 2 に示すとおり、原子炉補機海水系、高圧炉心スプレイ補機海水系の各々ポンプから直径約 2.99m、約 0.86m の範囲は、ポンプの吸込流速が、砂の沈降速度を上回ることから、この範囲は砂が堆積しないと考えられる。



吸込面積  $S = D\pi h + (D^2 - d^2) \times \frac{\pi}{4}$

ポンプ吸込流速  $V = \frac{Q}{S}$

$$V = \frac{Q}{S} = w_o$$

$$\frac{Q}{D\pi h + (D^2 - d^2) \times \frac{\pi}{4}} = w_o$$

$$D^2 + 4hD - \left( d^2 + \frac{4Q}{\pi w_o} \right) = 0$$

$$D = -2h + \sqrt{(-2h)^2 + \left( d^2 + \frac{4Q}{\pi w_o} \right)}$$

Dが上記の範囲内の吸込流速は、砂の沈降速度を上回る

図1 ポンプ吸込流速が砂の沈降速度と等しくなる直径算出の概要

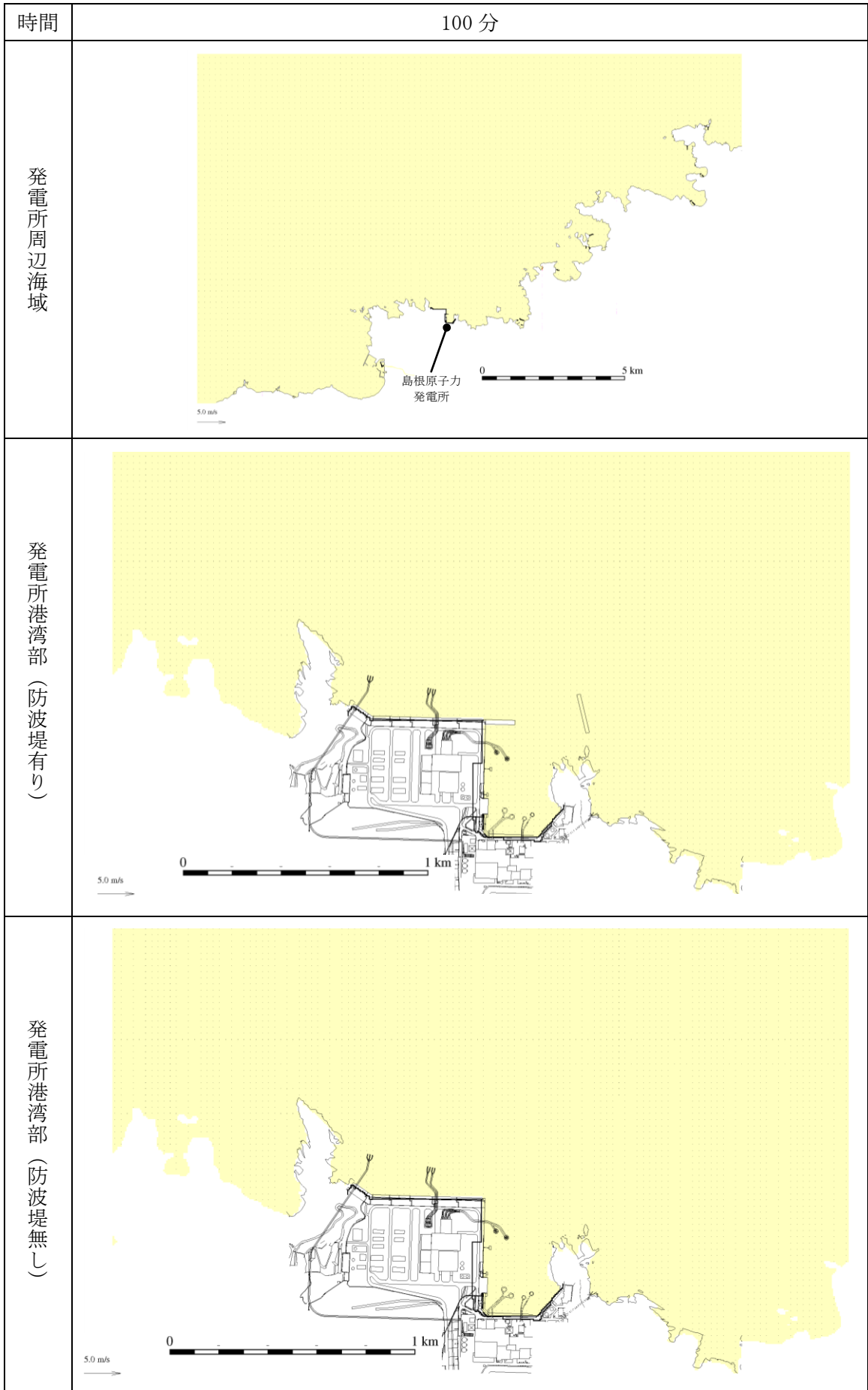
表2 海水ポンプ諸元及び吸込流速が砂の沈降速度と等しくなる直径

海水ポンプ	流量 Q [m³/s]	ベルマウス径 d [m]	取水槽床面までの 距離 h [m]	吸込流速が砂の沈降速度と 等しくなる直径 D [m]
原子炉補機 海水系	0.567	0.75	0.50	2.99
高圧炉心ス プレイ補機 海水系	0.093	0.34	0.50	0.86

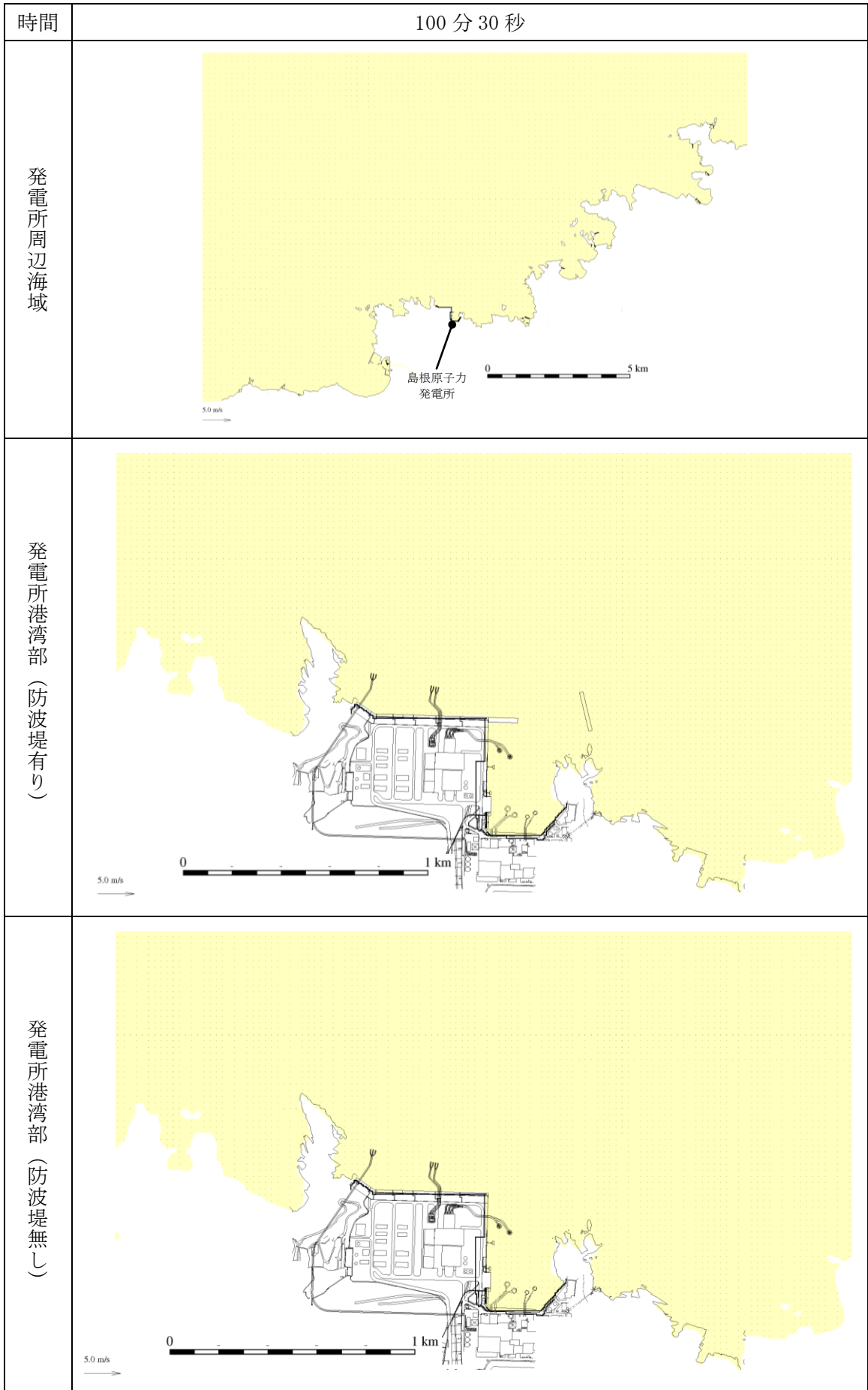
## 水位変動・流向ベクトルについて

### 1. 概要

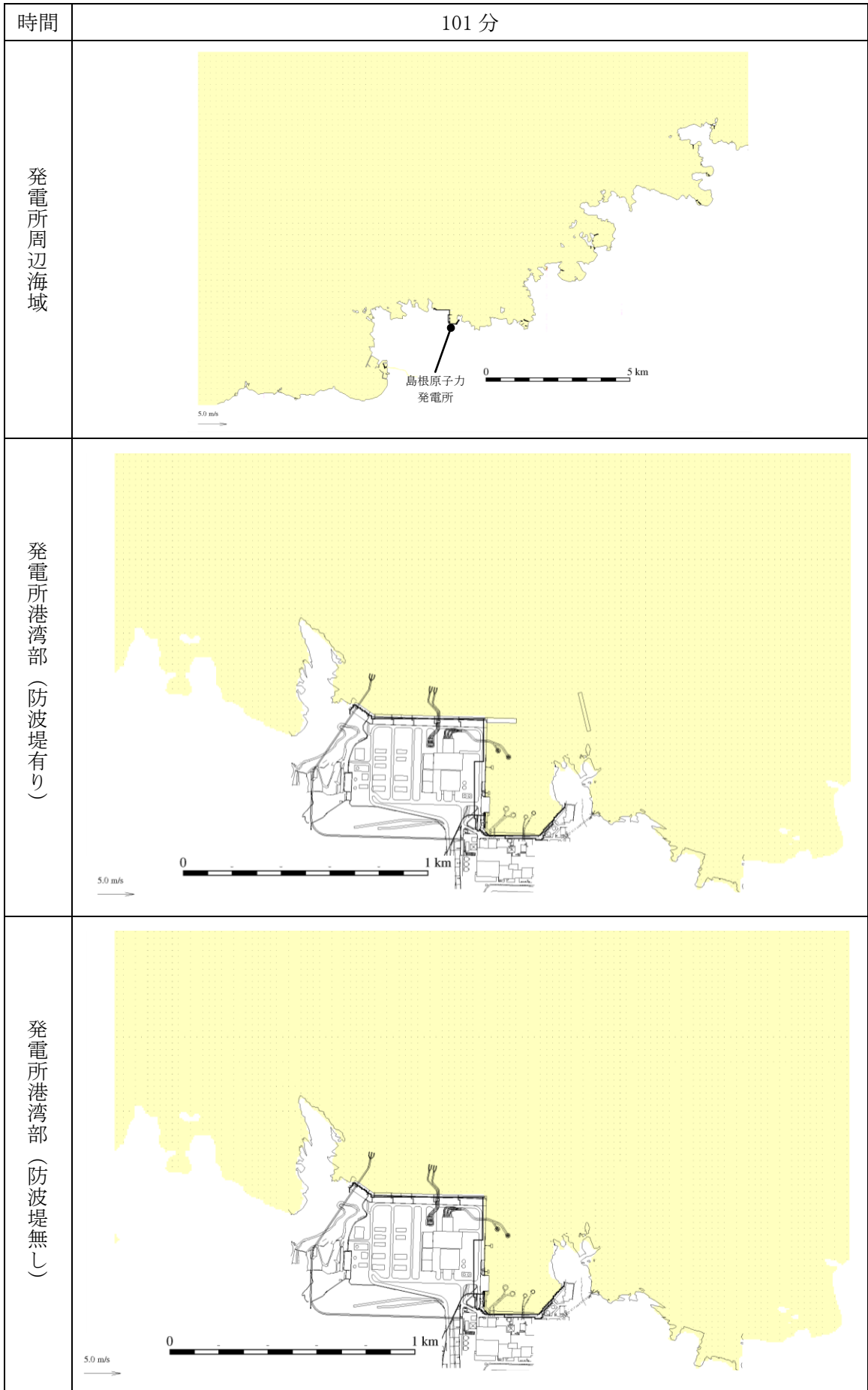
島根原子力発電所の基準津波 1～6 による水位変動・流向ベクトル図について、第 1 図～第 6 図に示す。



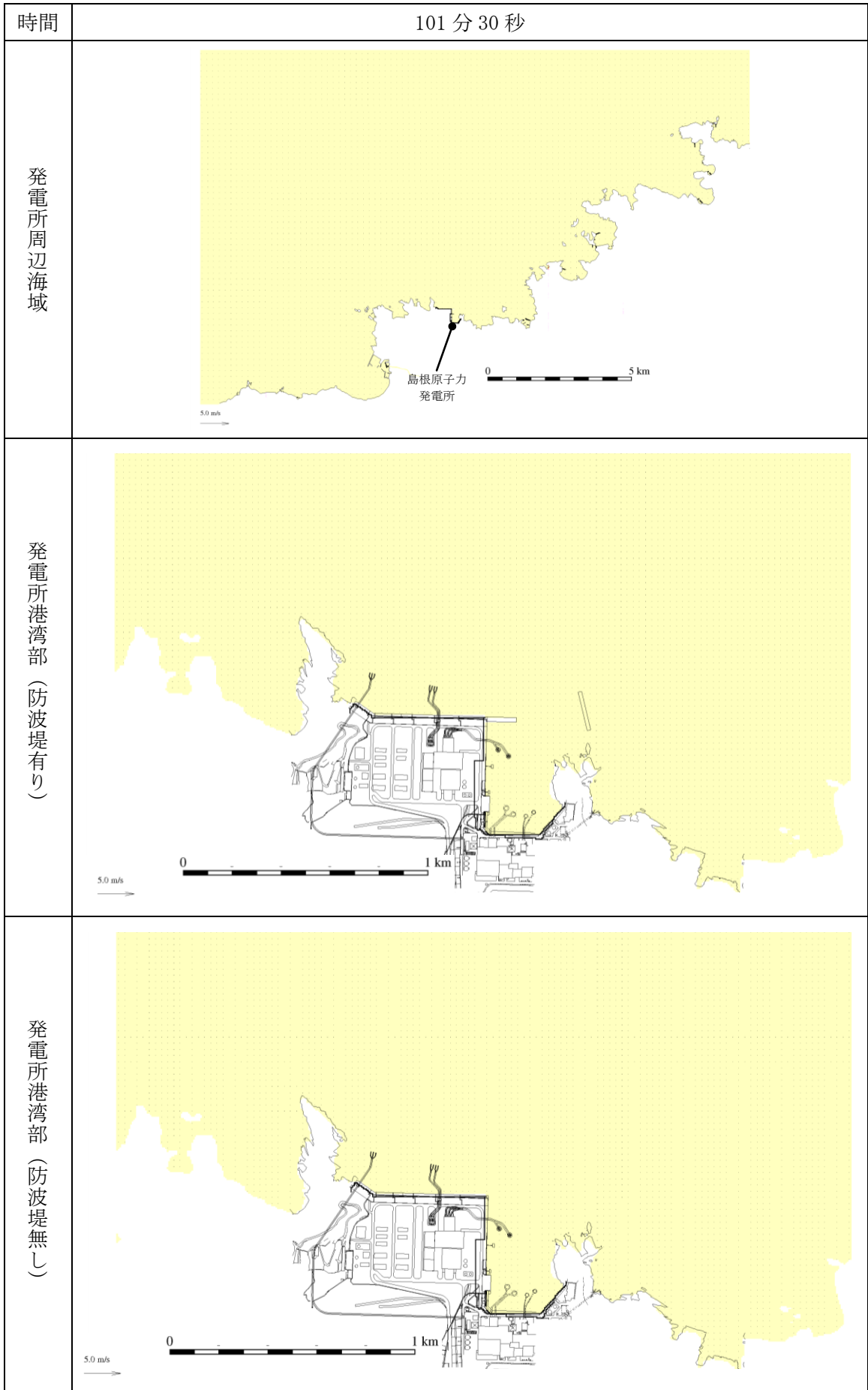
第 1 図(1) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



第 1 図(2) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

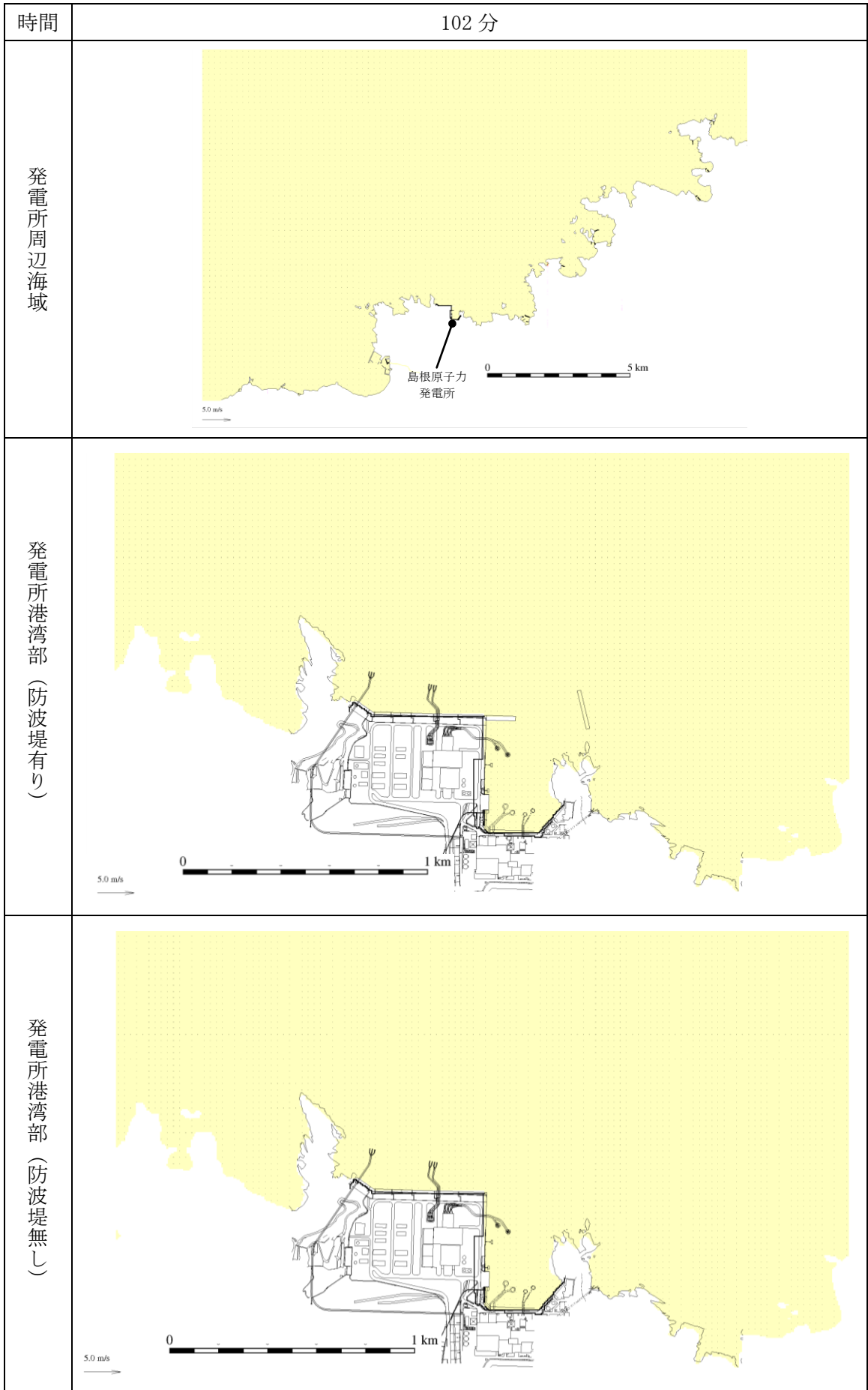


第 1 図(3) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

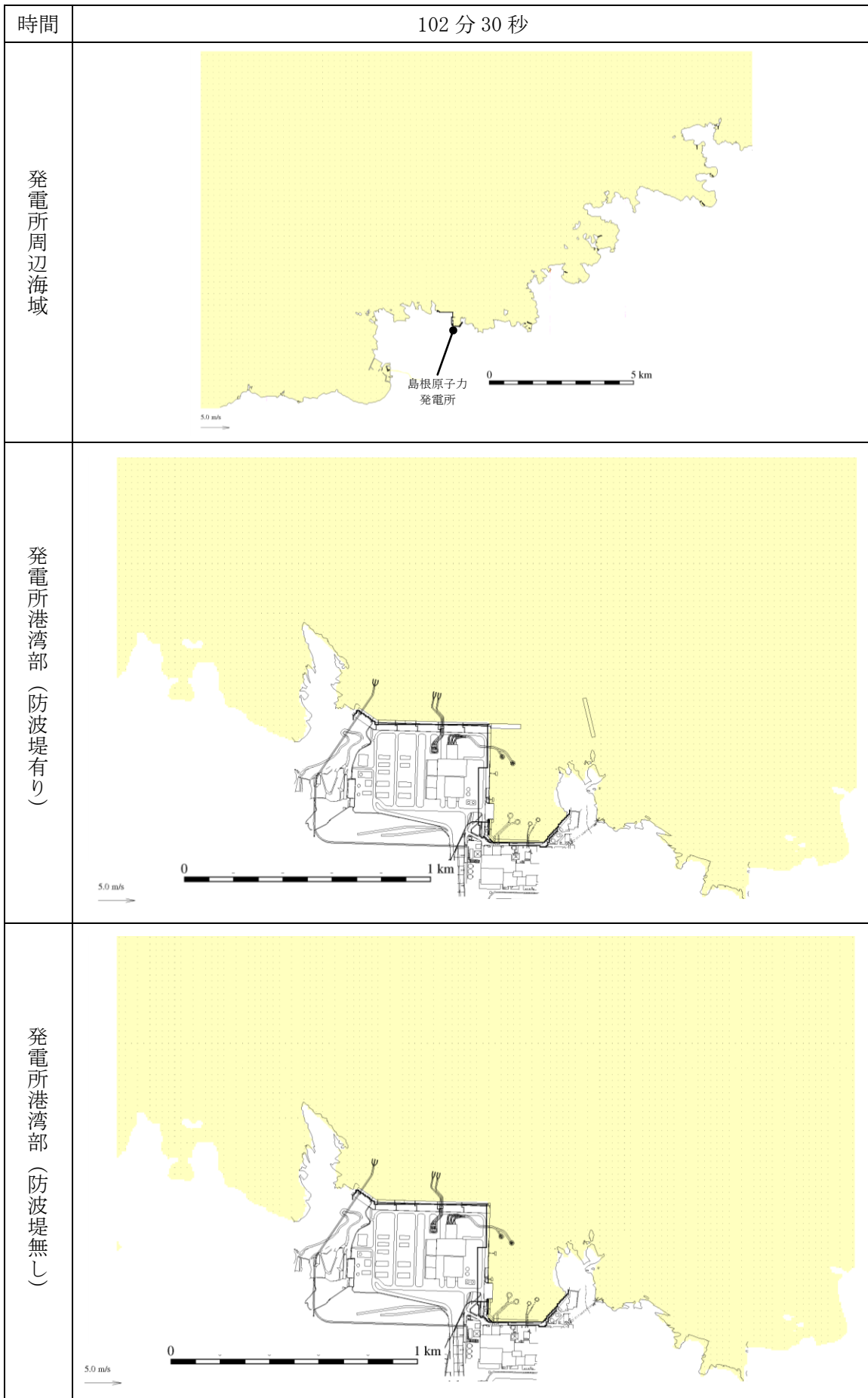


第 1 図(4) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

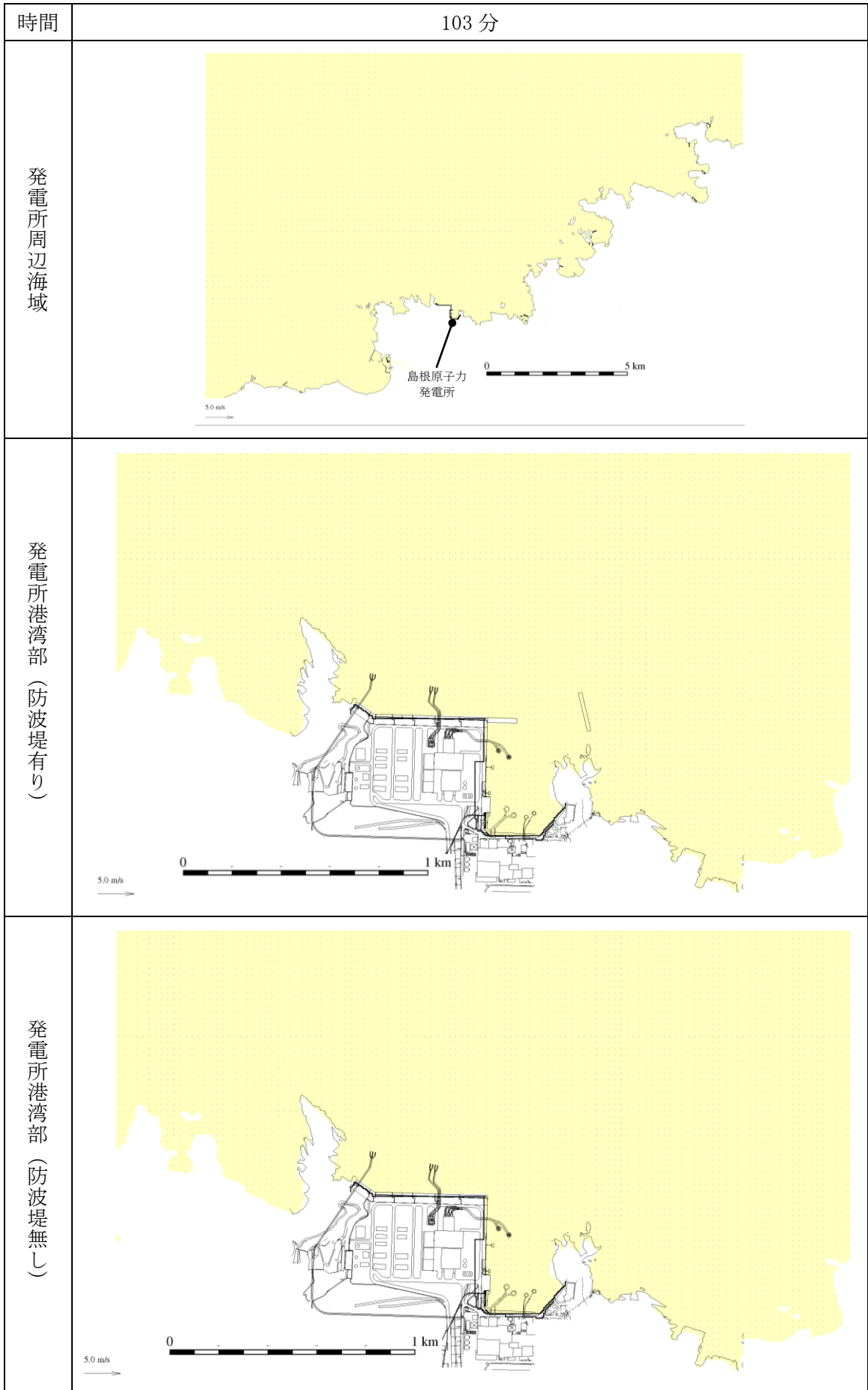




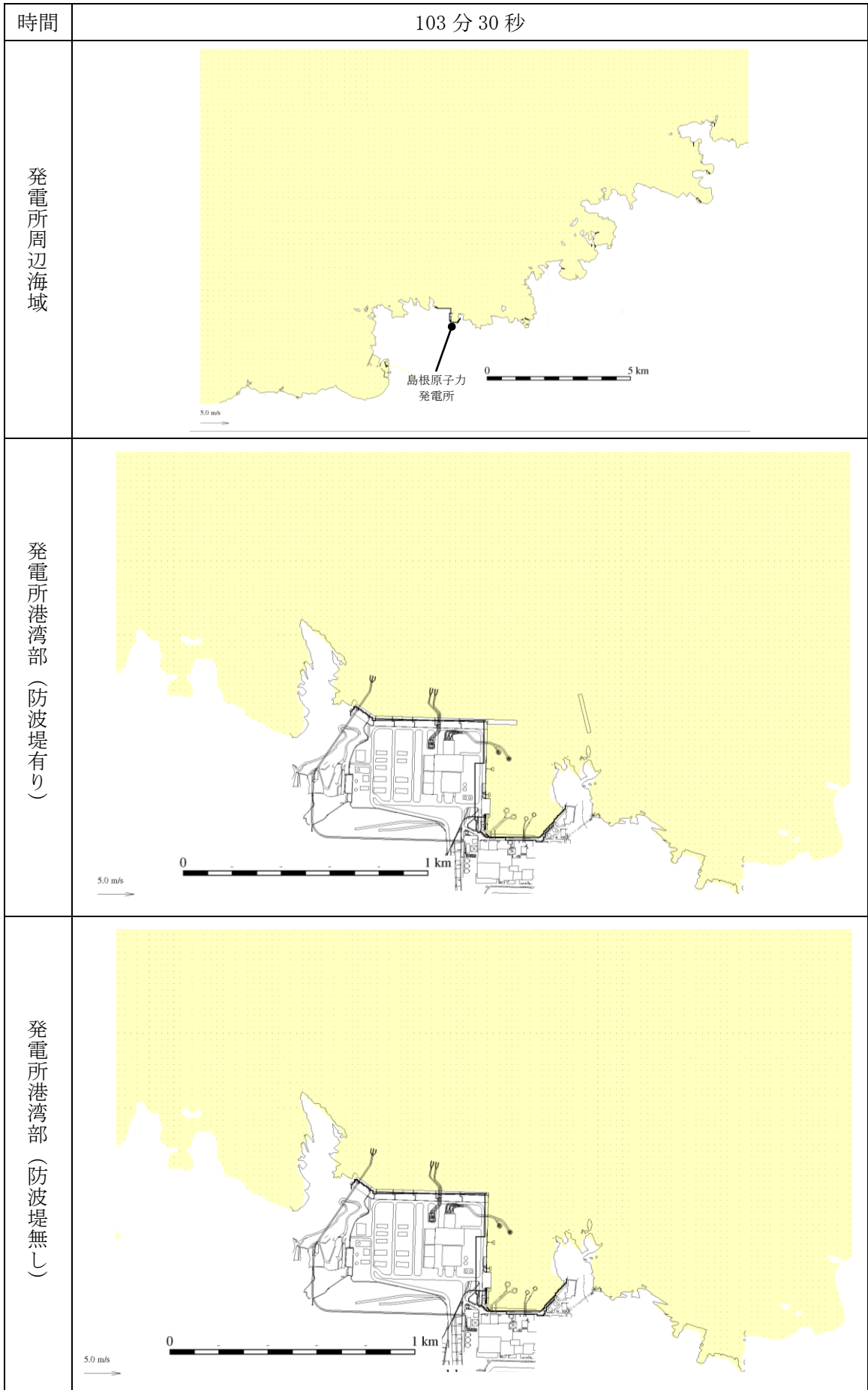
第 1 図(5) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



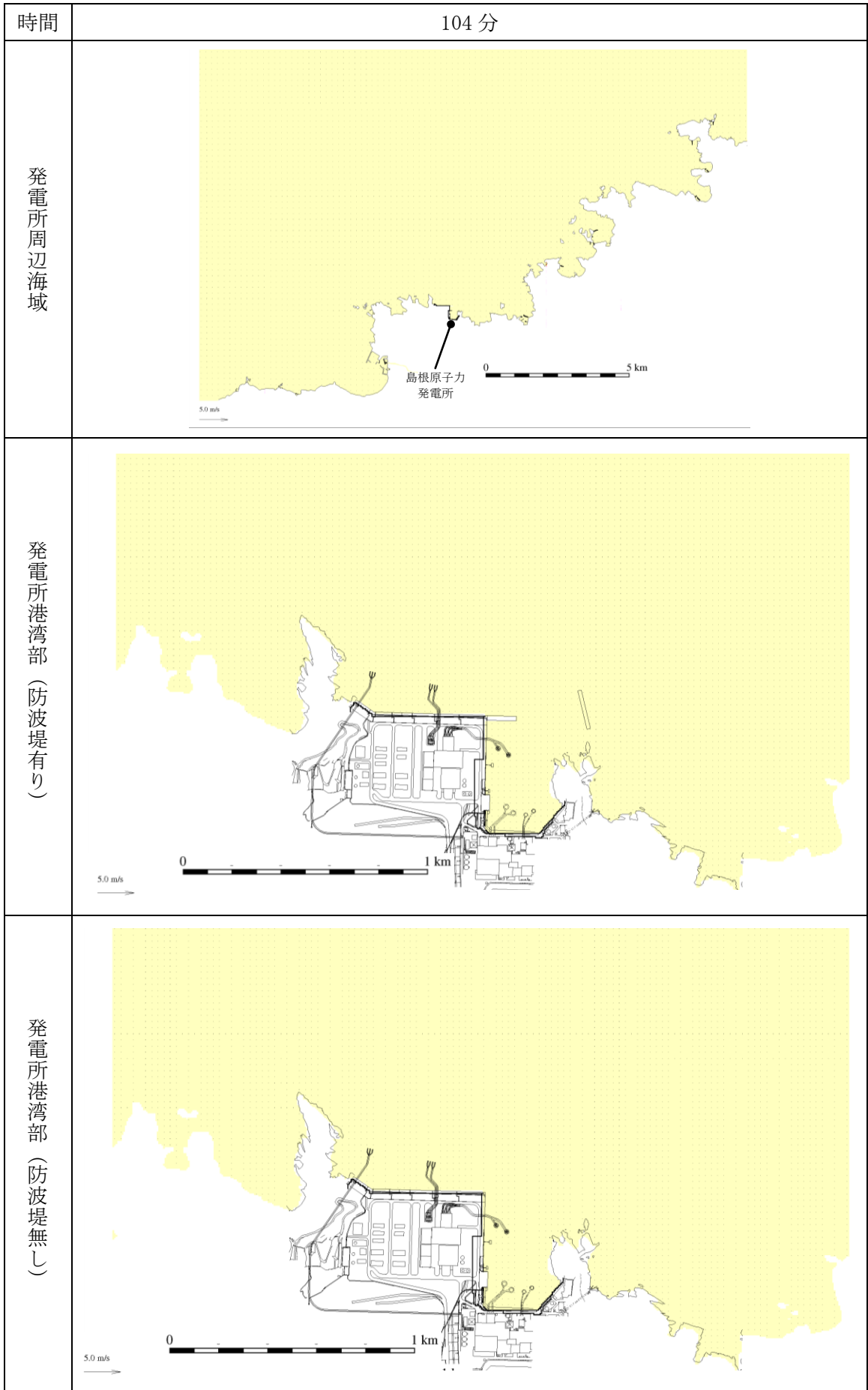
第 1 図(6) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



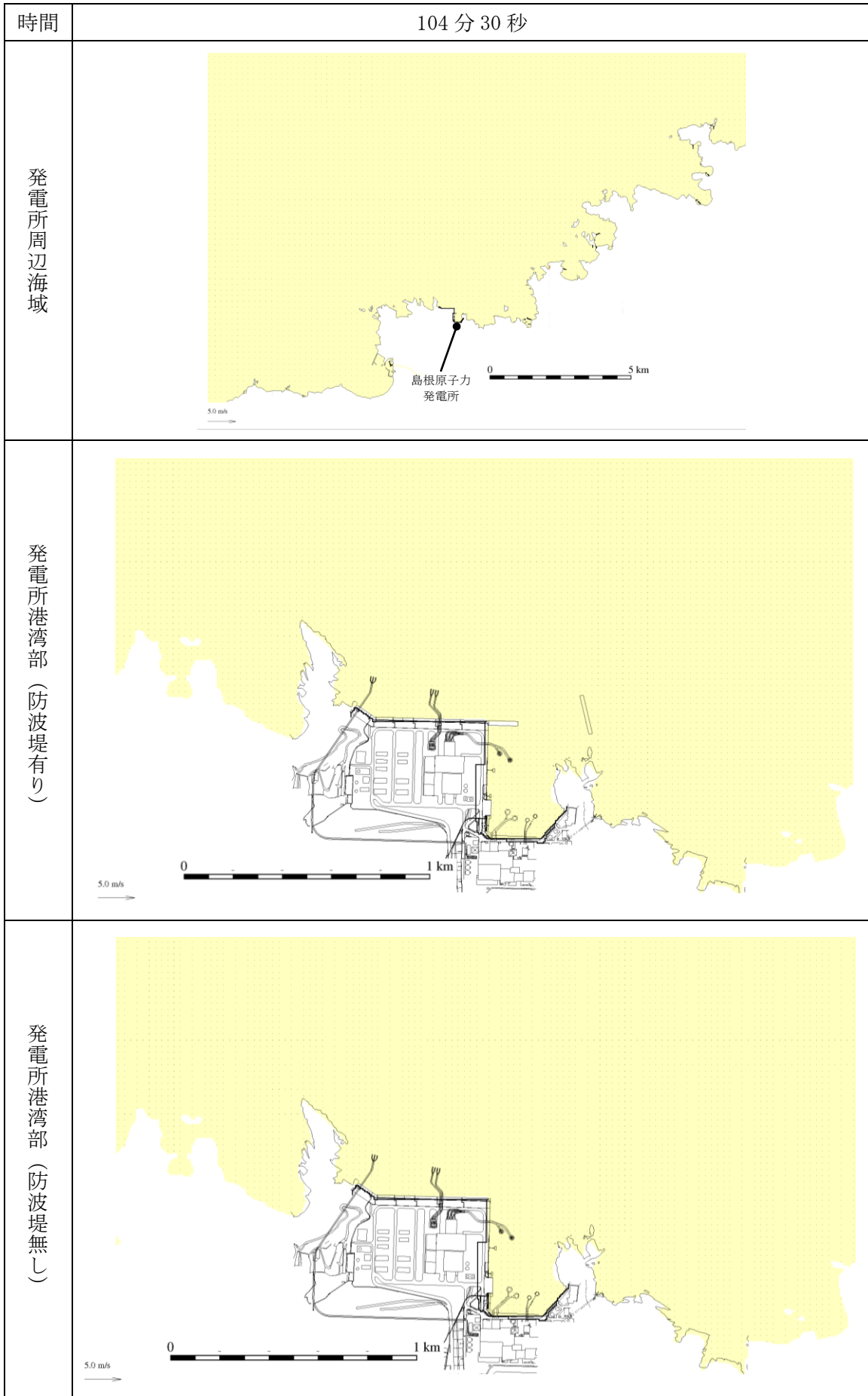
第 1 図(7) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



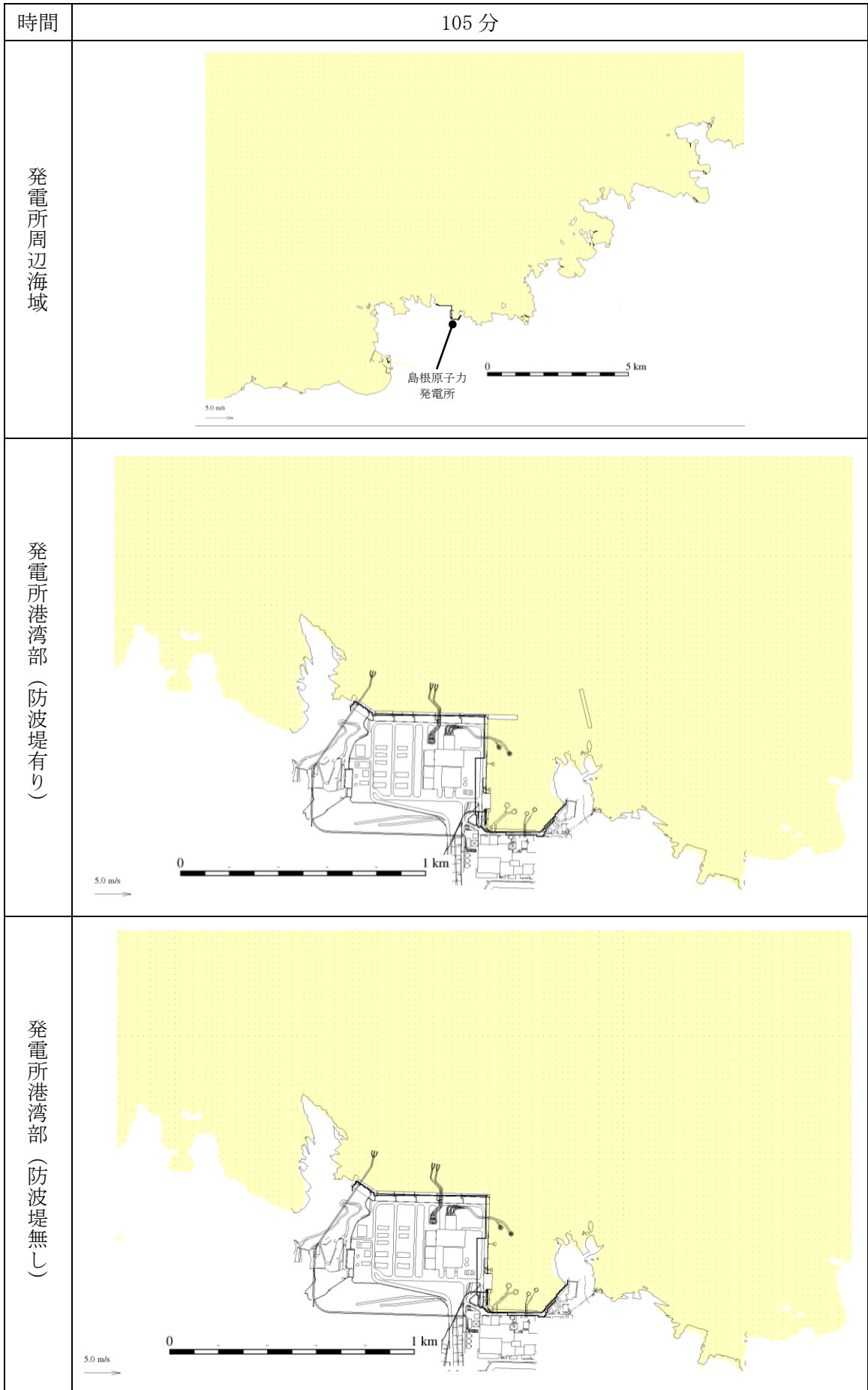
第 1 図(8) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



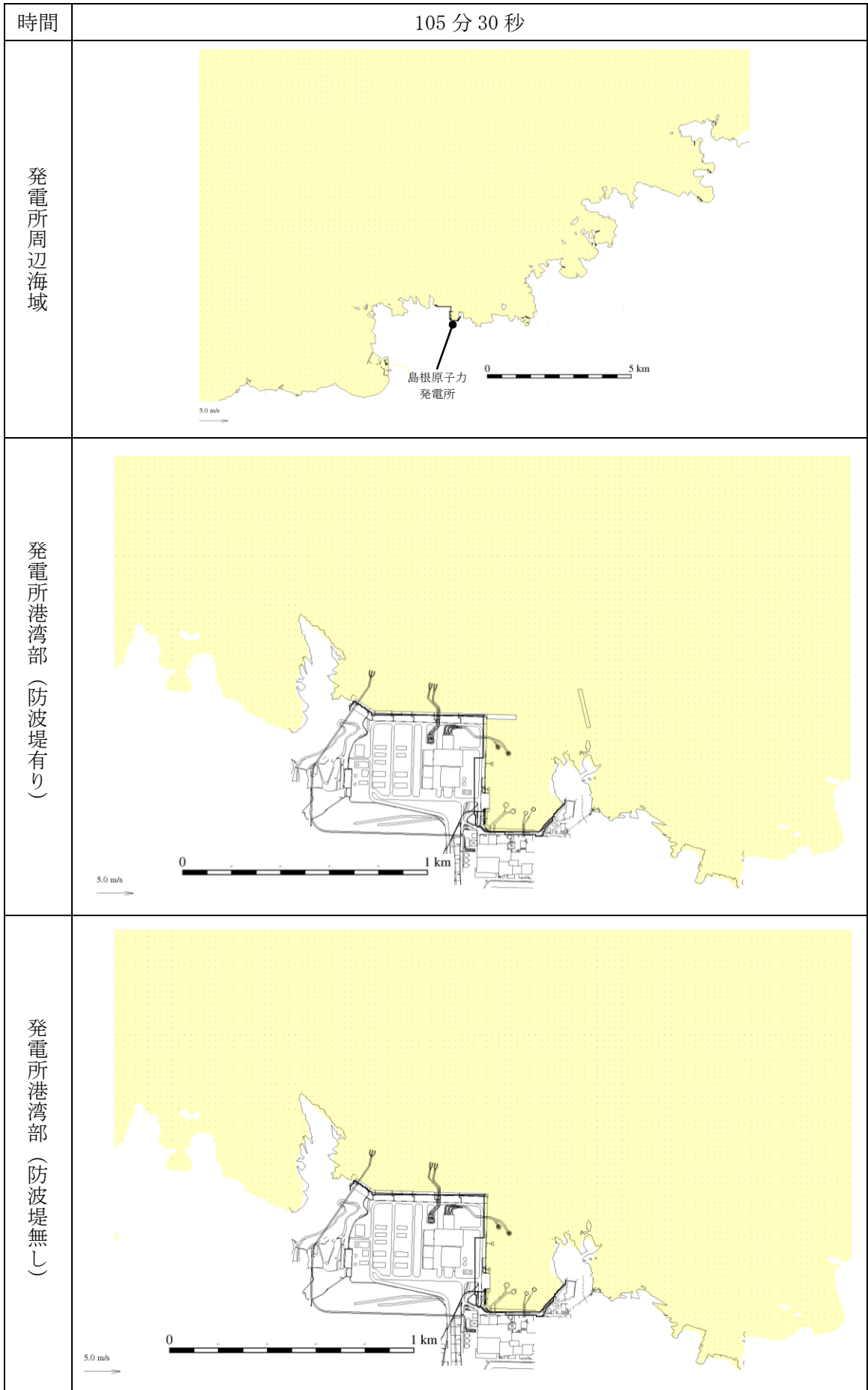
第 1 図(9) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



第 1 図(10) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

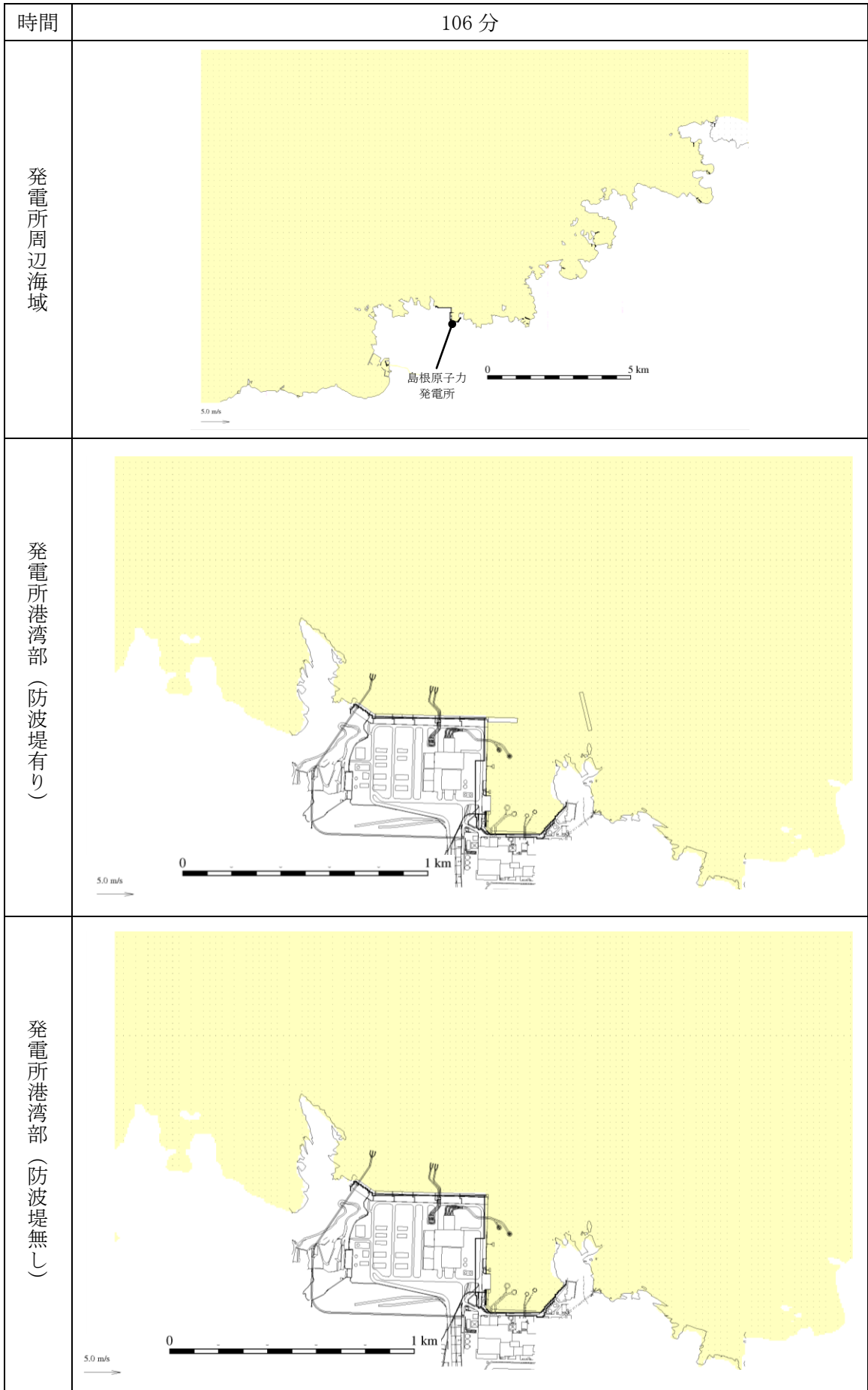


第 1 図(11) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

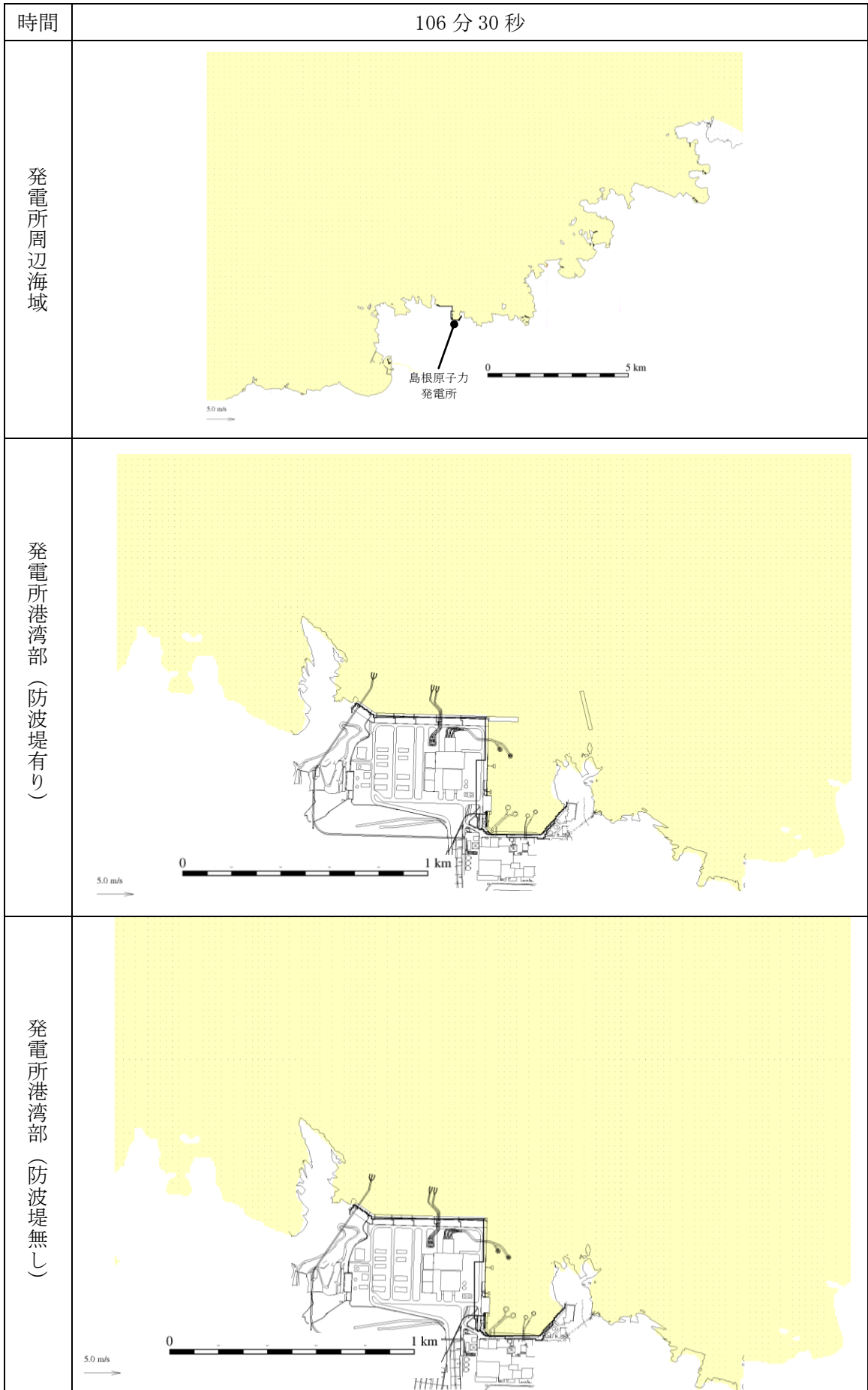


第 1 図(12) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

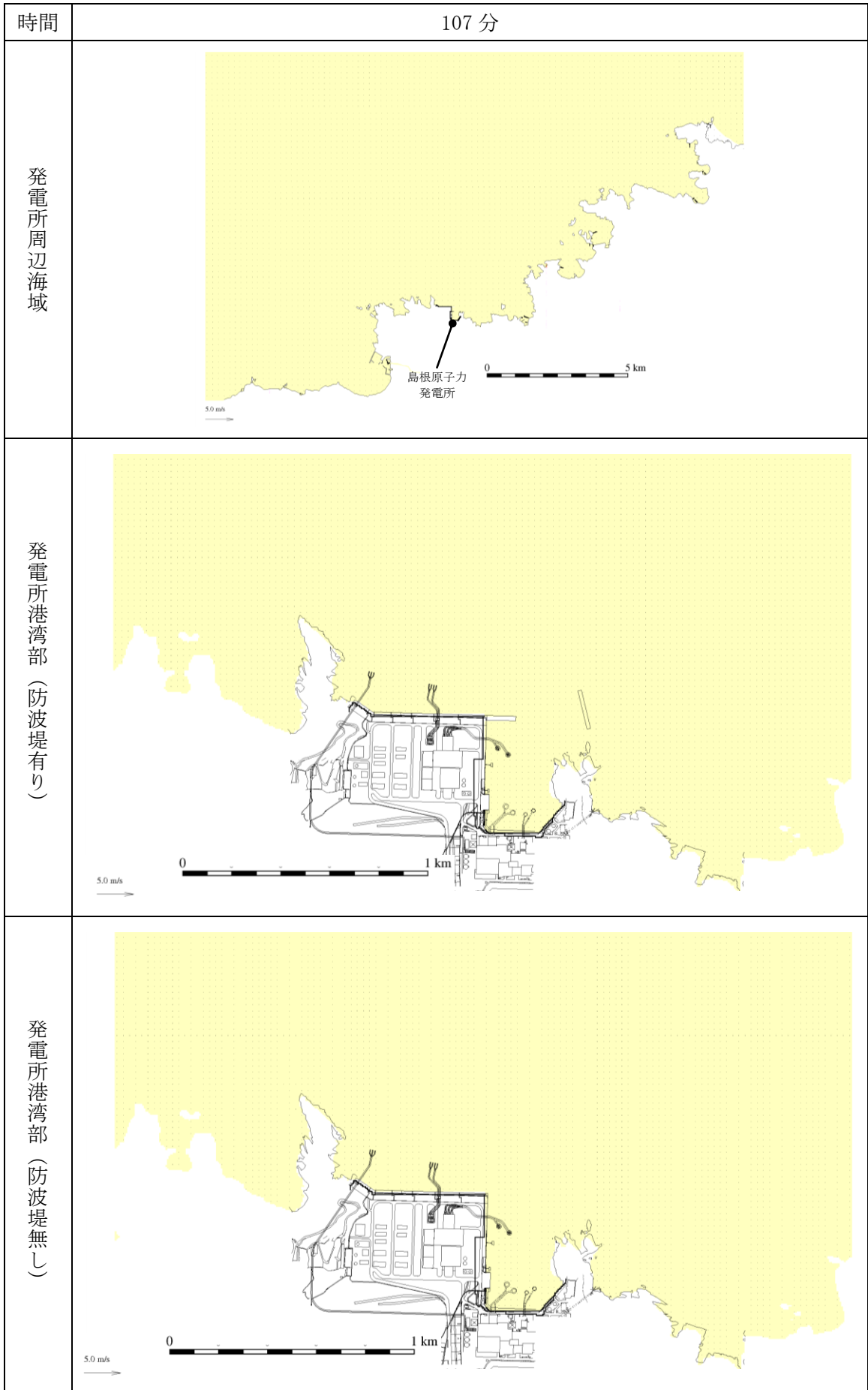




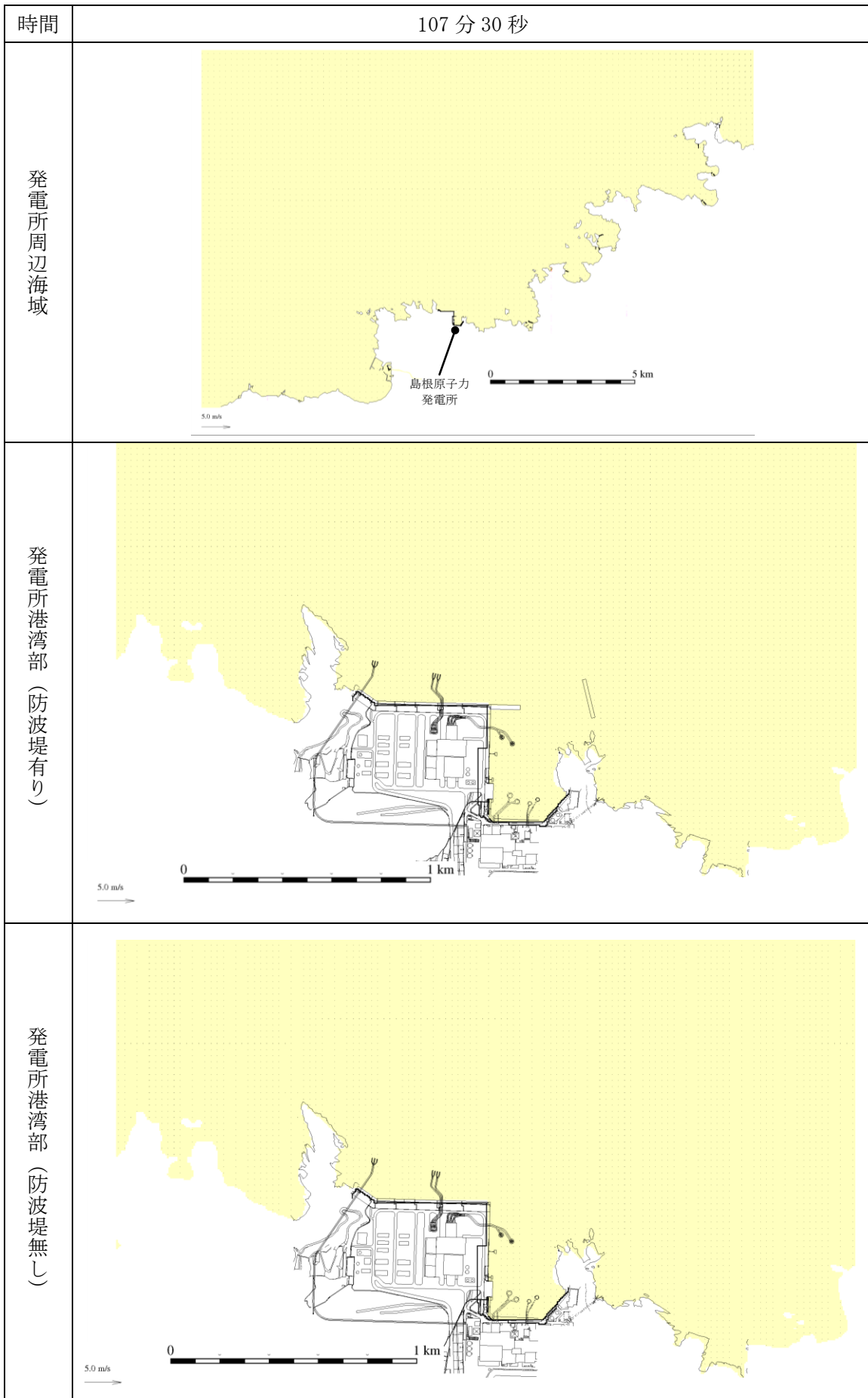
第 1 図(13) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



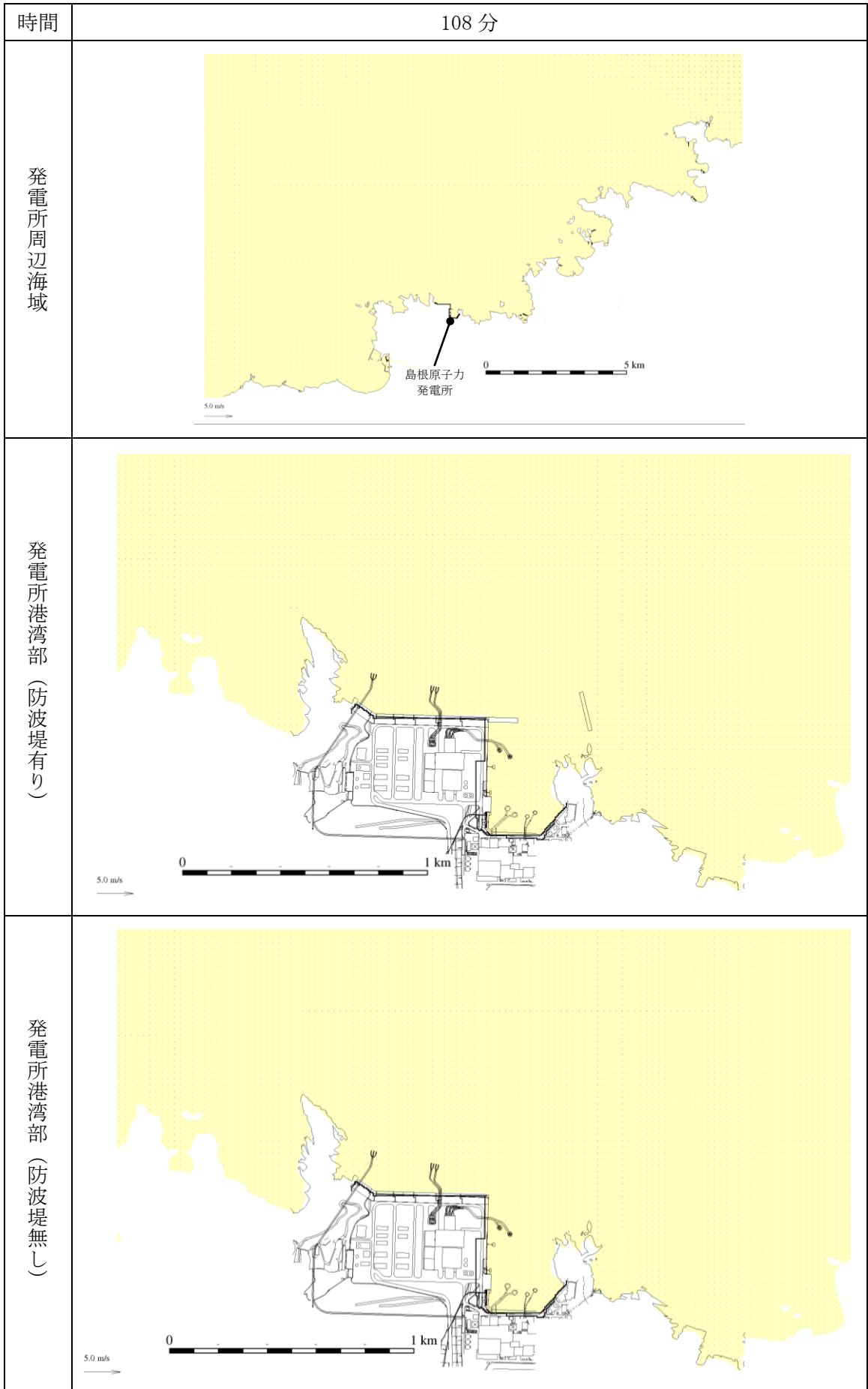
第 1 図(14) 基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル



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