

第三編（耐津波設計方針の検討経緯）

はじめに

高浜発電所の津波警報が発表されない可能性のある津波に対する防護方針は以下の順序で検討を行った。以下に本検討に係る概要と末尾に検討フロー図を示す。

1. 基準津波の選定

基準津波は、以下のA～Cの方針に基づき、選定する。

- A) 敷地遡上の防止及び海水ポンプの取水性確保の観点から、各評価点において発電所への影響が大きい波源を選定する。
- B) 上記Aの観点から、各評価点において最高水位・最低水位となる波源を基準津波として選定するが、敷地高さを上回る波源及び海水ポンプの取水可能水位を下回る波源がある場合にはそれらを全て基準津波として選定する。
- C) 警報が発表されない場合には警報に基づく取水路防潮ゲート閉止ができないため、ゲート内への津波の浸入によって施設の安全性に影響が生じるおそれがある。このため、警報に基づくゲート閉止を前提とした基準津波に加え、警報が発表されない場合についても上記A、Bの観点で基準津波を選定する。

具体的には、(1)、(2)の評価を行う。

(1) 既許可時の評価

- 警報に基づいて取水路防潮ゲートを閉止する。
- 敷地高さを上回る波源及び海水ポンプの取水可能水位を下回る波源はない。(津波到達に対して防潮ゲート閉止が間に合わない波源もあるが、その場合でも敷地高さ及び取水可能水位を超えない。)
- 防潮ゲート前面、放水口前面、放水路(奥)で最高水位となる波源は「福井県モデル(若狭海丘列付近断層)と海底地すべりエリアBの組み合わせ」であり、これを基準津波1として選定した。
- 各海水ポンプ室及び3,4号炉循環水ポンプ室で最高水位・最低水位となる波源は「FO-A～FO-B～熊川断層と陸上地すべり(No.14)の組み合わせ」であり、これを基準津波2として選定した。

(2) 警報が発表されない場合(今回評価)

- 警報に基づく取水路防潮ゲート閉止ができない。
- 警報が発表されない場合における海底地すべりによる津波は、既許可時に評価対象としたエリアA～Cの最大規模の波源だけでなく、規模の2位・3位の波源や崩壊の方向が異なる波源についても施設影響を確認した。

その結果、敷地高さを上回る波源及び海水ポンプの取水可能水位を下回る波源(施設影響が生じる波源)は、「海底地すべりエリアB(Es-K5、Kinematicモデル)」及び「海底地すべりエリアC(Es-T2、Kinematicモデル)」のみであり、これらをそれぞれ、基準津波3、基準津波4として選定する。

なお、施設影響の有無は、耐津波設計で設定される潮位のばらつき及び高潮裕度を津波水位計算結果に加味した値を敷地高さ及び取水可能水位と比較することで確認した。

- 基準津波3及び基準津波4は、施設影響が生じることから、耐津波設計において対策を講じる。

具体的には、若狭湾内の伝播特性により、高浜発電所の取水口付近では第1波より第2波以降が大きくなることを踏まえ、発電所構内の潮位計で観測される津波の第1波目の水位変動量が、設定した判断基準（トリガー）を超えた場合に、取水路防潮ゲートを閉止し、2波目以降の浸入を防止することで施設影響を回避する。

よって、この対策は、安全設計上、施設影響が生じる津波を網羅的に検知できる判断基準（トリガー）の設定が必須である。

このため、施設影響が生じる基準津波3及び基準津波4により、津波波形に影響する波源特性のうち崩壊規模及び破壊伝播速度を最大としたものを基本設定として上限に位置づけ、これ以下の場合にも、施設影響が生じるケースを網羅的に検知できるように判断基準（トリガー）を設定する。

したがって、基準津波3及び基準津波4は、判断基準（トリガー）設定に使用するという特性を踏まえ、「基本設定を上限とした崩壊規模及び破壊伝播速度の変更を前提にした波源」として策定する。

2. 選定した基準津波3, 4（警報なし津波）に対する施設影響の整理

- 高浜発電所は、襲来の虞のある津波に対し、敷地が比較的低い特徴を有するため前章で選定した基準津波3, 4に対する施設影響を確認した上で、対策案を立案する。
- 施設影響については、「①既許可で確認済みの対策での評価」と、「②既許可で確認していないが、実力的に発生防止・事象緩和機能を持つ設備や、既許可での評価条件の保守性（上昇側で、海水ポンプ・循環水ポンプを全台停止している）から、実運転の条件で機能影響を考慮した評価（以下、実力評価という。）」の場合に分けて整理した。
- この①、②について、最も津波水位が厳しくなる基準津波3の津波水位計算結果に潮位のばらつき（上昇側+0.15m、下降側-0.17m）及び高潮裕度（上昇側+0.49m）を考慮した水位で影響を確認した。
- その結果、水位上昇側については、実力評価まで考慮した場合、施設影響はないと考えられるが、水位下降側については、実力評価まで考慮しても海水ポンプの取水性確保が困難であることを確認した。この特性を考慮し、対策を検討する。

3. 施設影響を踏まえた対策案の検討

- 高浜発電所は、敷地が比較的低い特徴を有することと、前章の施設影響の評価結果を踏まえ、津波防護対策案として、まず、防護壁や貯水堰、ポンプ改修等を検討した結果、「防護壁と貯水堰の組み合わせ」又は「防護壁と

海水ポンプ（改造・移設）の組み合わせ」が必要と整理した。

- 「防護壁と貯水堰の組み合わせ」又は「防護壁と海水ポンプ（改造・移設）の組み合わせ」の対策はいずれも対応に長期間を要すること、特に下降側の対策である貯水堰の設置や海水ポンプ設計の見直しは、海水ポンプの取水を長期間停止させる必要がある。
- 一方、「防潮ゲート」は既設であり、これを活用した対策は、設備対策面では、速やかにプラントの安全性向上が可能である。ただし、基準津波 3, 4 は、警報が発表されないことから、「防潮ゲート」による対策は、「防潮ゲート閉止の起因となる津波検知方法（トリガー）の妥当性」及び「津波を検知してから施設影響のある潮位に至る前に防潮ゲートの閉止ができる時間的成立性（運用成立性）」の確認が必要であり、これらを評価した上で、採否を判断することとする。

4. 防潮ゲート閉止の起因となる津波検知方法

- 海底地すべりを波源とする津波は、津波警報が発表されないことから、防潮ゲートを閉止する起因となる津波検知方法（トリガー）の設定が必要である。
- 発電所構内には、津波監視設備である津波監視カメラ及び潮位計を保有するため、定量的に潮位を測定できる潮位計の活用を検討した。
- 潮位計を活用した防潮ゲート閉止トリガーの検討は、構内で津波を検知し、その検知情報に基づき、防潮ゲートを閉止することから、「施設影響が生じる津波の見逃し、津波以外の誤検知の観点で問題ないか」、また、「運転操作が時間内に成立するか」を評価する必要がある。
- したがって、津波シミュレーションによる隠岐トラフ海底地すべりの波源特性及び若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディと、構内潮位計による過去の観測データから、これらを評価し、採否を判断することとした。

5. 津波検知の判断基準（トリガー）の設定

潮位計を活用した防潮ゲート閉止トリガーのは、構内で津波を検知し、その検知情報に基づき、防潮ゲートを閉止することから、「施設影響が生じる津波の見逃し、津波以外の誤検知の観点で問題ないか」に係る妥当性・網羅性を確認した上で設定する必要がある、これについて、以下の順序にて検討を行った。

- (1) 施設影響が生じるケース（基準津波 3, 4）の津波波形の特徴を確認する。
- (2) 通常（平常時、台風時）の潮位変動を確認する。
- (3) (1)と(2)から津波検知の判断基準の仮設定を行う。
- (4) (3)の仮設定値にて、施設影響が生じる波源である基準津波 3, 4 に対し、「海底地すべりの波源特性」及び「若狭湾の伝播特性」に関するパラメータスタディを実施し、判断基準の網羅性の確認を行う。
- (5) (4)までに得られた結果と、「海底地すべりの波源特性」及び「若狭湾の伝播特性」のパラメータスタディ結果を全て踏まえ、「パラメータ

スタディ波高の観点」、「非線形性の観点」、「増幅比率の観点」から再度、安全側に仮設定値を設定し、これらに対し、過去観測データから算出した10分間の潮位のゆらぎの最大約0.10mを考慮した上で、さらに余裕を加味し、津波検知の判断基準（トリガー値）を「10分以内0.5m上下変動」とした。なお、上記の検討順序を踏まえたトリガーの設計方針は、添付書類八及び設工認基本設計方針に明記し、設工認にて、トリガーとして確定する。

6. 運用成立性(運転操作が時間内に成立するか)の確認

- 潮位計を活用した防潮ゲート閉止トリガーの検討は、構内で津波を検知し、その検知情報に基づき、防潮ゲートを閉止することから、「運転操作が時間内に成立するか」を評価する必要がある。
- 上記について、最も津波襲来の判断基準の到達が早く運用上の対応が厳しくなる基準津波3に対し、運転操作が時間内に成立するかの確認を実施した。
- 潮位計において、潮位が0.5m下降、若しくは上昇した時点で中央制御室に警報が発信する。この時点で、運転員は潮位の継続的な重点監視を行うとともに、2台の観測潮位が10分以内に0.5m以上下降し、最低潮位から0.5m上昇した時点、若しくは10分以内に0.5m以上上昇し、最高潮位から0.5m下降した時点で防潮ゲート閉止等の操作を行うことを当直課長が運転員へ指示する。
- 上記の一連の対応において、警報発信から、トリガー検知までに最短でも約5分の対応時間を有していることから、運転員は十分対応できることを確認した。
- また、5章で実施したトリガーの妥当性・網羅性における海底地すべりの波源特性（崩壊規模・破壊伝播速度）のパラメータスタディ結果のうち、施設影響が生じるケースについて、運転操作により防潮ゲートが閉止される時刻から、閉止後に施設に影響する水位の波が防潮ゲート前面に到達するまでの時刻を算出し、防潮ゲート閉止に対する余裕時間を確認した。
- その結果、約9～15分の余裕時間があることを確認した。

7. 防潮ゲート対策の採用による施設影響の確認

- 上述の1～6の検討結果より、防潮ゲート対策採用の前提条件であるトリガーの妥当性・網羅性及び運用成立性のいずれも満足することを確認した。したがって、津波検知に潮位計を活用することとし、具体的な防潮ゲート閉止のトリガーを5章に記載のとおり、「潮位計のうち、2台の観測潮位が10分以内に0.5m以上下降（または上昇）し、その後、最低潮位から10分以内に0.5m以上上昇（または下降）」と設定する。
- このトリガー値を踏まえ、基準津波3,4に対し、入力津波を設定した結果、3,4号炉海水ポンプ室前面の入力津波高さ（下降側）が変更となることを確認した。
- この影響箇所は3号炉及び4号炉の海水ポンプの取水性であるが、入力

津波高さが海水ポンプの設計取水可能水位を上回っているため、海水ポンプは機能保持できることを確認した。

- 漂流物による影響について、今回の津波の性質を踏まえ再評価した結果、一般車両が漂流した場合においても津波防護施設により漂流物の影響を防止できるものの、車両のモバイル性を活用し、必要に応じ、可能な範囲で退避することで津波防護施設に影響を及ぼさない方針とする。
- 以上より、設定したトリガー値により敷地遡上を生じず、かつ海水ポンプの取水性に影響がないことを確認した。
- なお、トリガーを設定するための入力津波は作成方針を設置許可添付書類八及び設工認基本設計方針に記載し、具体的な作成結果及びトリガーの妥当性・網羅性に係る詳細は、設工認添付書類に記載する。トリガーを設定するための入力津波の作成方針は以下のとおり。
 - 基準津波3及び基準津波4の波源に関する「崩壊規模」又は「破壊伝播速度」のパラメータスタディから確認した「隠岐トラフ海底地すべりの波源特性」及び「若狭湾の伝播特性」を踏まえ、5章に記載した「パラメータスタディ波高の観点」、「非線形性の観点」及び「増幅比率の観点」で設定した仮設定値のうち、隠岐トラフ海底地すべりを波源とするケースを基に、閉止判断基準を設定するための入力津波を作成する。

8. 警報が発表されない津波に可能な限り早期に対応するための運用

- 隠岐トラフ海底地すべりによる津波は警報が発表されないため、発電所に津波が襲来することをより早く検知することで、発電所の安全性向上につながると思われる。そのため、津波検知のための条件を踏まえ発電所構外における候補地を抽出した。高浜発電所より早期に、津波を検知できる候補地点は、三国、津居山、経ヶ岬である。候補地のうち、津居山地点は既往潮位データの分析から、潮汐と津波の区別が可能であり、リアルタイムデータの入手も可能なため、高浜発電所1、2号炉の再稼働までに当該潮位データを活用した津波検知の運用を定めることとした。その他の地点については、将来的な更なる安全性向上の取り組みとして検討していくこととした。検討の流れは以下の通り。
- 1～7章までの検討における対応に加え、発電所構外の潮位計を用い、可能な限り早期に津波に対応するため、以下の(1)、(2)の「運用」を定め、設置許可申請書の添付書類八に記載し、運用の具体的な内容は、保安規定以下で定めることとする。
 - (1) 敷地外にて「プラント影響のある津波」を検知した場合
構内潮位計での判断基準を「10分以内0.5mの「変動」とし、防潮ゲート閉止判断を早期化。
 - (2) 敷地外にて「プラント影響の可能性のある津波」を検知した場合
構外潮位計で検知した段階で、防潮ゲート落下機構の健全性確認など(防潮ゲート保守作業の中止、構内の一般車両の退避、輸送船の退避、輸送車両の退避、津波監視カメラによる監視)、津波関連施設の状況

を確認し津波襲来に備える。

- 発電所構外の潮位観測活用の候補地点のうち、「構内潮位計よりも早期に検知できること」、「過去観測データの蓄積により、海底地すべり津波と通常の潮汐を識別可能なこと」の確認を行い、津居山地点の観測潮位を、高浜発電所1, 2号炉の再稼働までに活用することとした。
- 敷地外における「プラント影響のある津波」は、水位 T.P. +3.0m と水位 T.P. +2.0m と水位 T.P. +1.0m の判断基準案から、津居山地点の潮位計の観測範囲内であり、最も安全側の判断基準である T.P. +1.0m を採用する。ただし、過去最高潮位は台風時の T.P. +1.68m であり、津波以外の場合に誤検知する可能性があることから、「10 分以内に 1m 上昇又は下降」した場合を判断基準とする。
- また、敷地外における「プラント影響の可能性のある津波」の検討は、5章で実施した崩壊規模・破壊伝播速度のパラメータスタディにおいて高浜発電所の施設影響が生じるケースの、津居山地点の津波シミュレーションを実施し、第1波の水位変動量を確認した。この結果、いずれも第1波の水位変動量は、0.6m 以上であることを確認したことから、これに10分間の潮位のゆらぎの最大約 0.10m を考慮し、「10 分以内 0.5m 上昇又は下降」を判断基準とする。

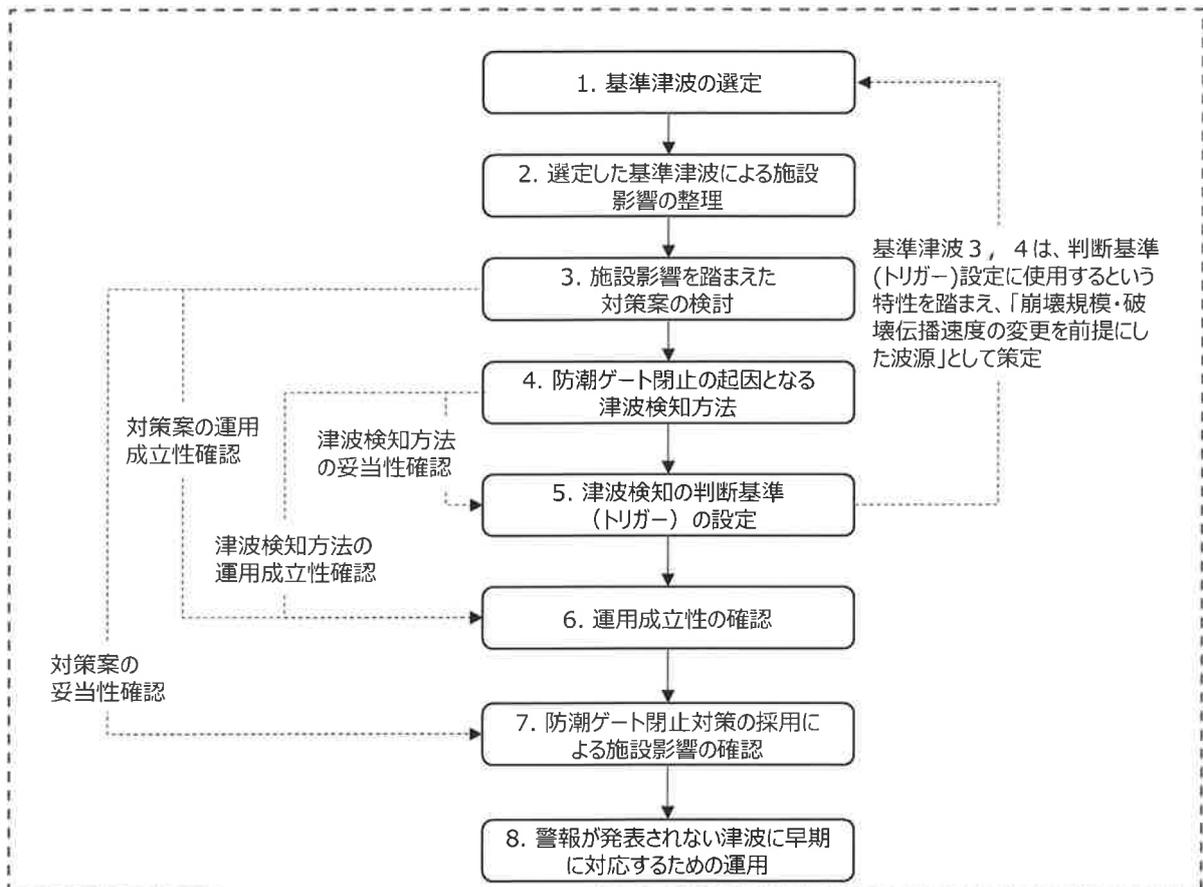


図 津波警報が発表されない可能性のある津波の防護方針に係る検討フロー

目次

1. 基準津波の選定
 - 1.1 基準津波の選定方針
 - 1.2 地震以外に起因する津波の評価
 - (1) 海底地すべりに起因する津波評価
 - (2) 海底地すべりのうち施設影響が生じる波源の確認
 - 1.3 基準津波の選定
2. 選定した基準津波 3, 4 (警報なし津波) に対する施設影響の整理
 - 2.1 背景
 - 2.2 評価条件
 - 2.3 評価結果
3. 施設影響を踏まえた対策案の検討
 - 3.1 背景
 - 3.2 検討条件
 - 3.3 検討結果
4. 取水路防潮ゲート閉止の起因となる津波検知の方法
 - 4.1 背景
 - 4.2 検討条件
 - 4.3 検討結果
5. 津波検知の判断基準 (トリガー) の網羅性・妥当性
 - 5.1 背景
 - 5.2 検討内容・結果
 - (1) 施設影響が生じるケースの津波波形の特徴の確認
 - (2) 通常 (平常時、台風時) の潮位変動の確認
 - (3) 津波検知の判断基準 (トリガー) の仮設定
 - (4) 判断基準 (トリガー) の網羅性の確認
 - (5) 津波検知の判断基準 (トリガー) の設定
 - 5.3 判断基準 (トリガー) の網羅性・妥当性の確認及び入力津波設定に関する位置付けについて
6. 運用成立性の確認
 - 6.1 運用時間の成立性確認
 - 6.2 取水路防潮ゲート閉止に対する余裕時間
 - 6.3 潮位計の基準適合性
 - 6.4 大津波警報と潮位計による津波検知の同等性
7. 取水路防潮ゲート対策の採用による施設影響の確認

- 7.1 入力津波の設定
 - 7.2 敷地への浸水防止（外郭防護 1）
 - 7.3 漏水による重要な安全機能への影響防止（外郭防護 2）
 - 7.4 設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建屋及び区画の隔離（内郭防護）
 - 7.5 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
- 8. 警報が発表されない津波に可能な限り早期に対応するための運用
 - 8.1 構外潮位計を用いた運用
 - 8.2 更なる安全性向上に係る取り組み
 - 8.3 構外潮位計欠測時の対応

1. 基準津波の選定

1. 1 基準津波の選定方針

2018年12月にインドネシアのスンダ海峡で発生した津波は、火山噴火による山体崩壊が要因と考えられている。この津波では、津波警報が発表されずにスンダ海峡沿岸部に津波が到達したことで、被害が大きくなったと考えられる。

高浜発電所では、既許可（2016.4.20許可）の基準津波評価において、警報に基づく取水路防潮ゲート閉止によって津波の浸入を防止することを前提としている。このため、スンダ海峡で発生した津波に関する知見への対応として、警報が発表されない可能性のある「隠岐トラフ海底地すべり」による津波について、取水路防潮ゲート開状態での評価を新たに行うこととした。なお、「隠岐トラフ海底地すべり」による警報が発表されない可能性のある津波に関する知見については、原子力規制委員会（2019.7.31開催）において新知見と整理されている。

既許可の基準津波評価に警報が発表されない場合の評価を追加するにあたり、基準津波の選定方針は以下の①～③のとおりとする。

- ① 敷地遡上の防止及び海水ポンプの取水性確保の観点から、各評価点において発電所への影響が大きい波源を選定する。
- ② 上記①の観点から、各評価点において最高水位・最低水位となる波源を基準津波として選定するが、敷地高さを上回る波源及び海水ポンプの取水可能水位を下回る波源がある場合にはそれらを全て基準津波として選定する。
- ③ 警報が発表されない場合には警報に基づく取水路防潮ゲート閉止ができないため、ゲート内への津波の浸入によって施設の安全性に影響が生じるおそれがある。このため、警報に基づくゲート閉止を前提とした基準津波に加え、警報が発表されない場合についても上記①、②の観点で基準津波を選定する。

1. 2 地震以外に起因する津波の評価

(1) 海底地すべりに起因する津波評価

地震以外に起因する津波のうち、「隠岐トラフ海底地すべり」による津波について、警報が発表されない場合の計算条件を設定し、津波水位計算を実施した。評価対象とする海底地すべりは、エリア毎に最大規模となる海底地すべり地形として、エリアAのEs-G3、エリアBのEs-K5、エリアCのEs-T2とした。

津波水位計算の結果を表1に示す。各評価点における水位は、海底地すべりエリアB（Kinematicモデル）による津波が最も大きい結果となり、各ポンプ室位置で、敷地高さ（T.P.+3.5m）を上回る水位、及び、海水ポンプの取水可能水位（1,2号炉海水ポンプ：T.P.-3.21m、3,4号炉海水ポンプ：T.P.-3.52m）を下回る水位となった。また、エリアC（Kinematicモデル）では、3,4号炉海水ポンプ室で敷地高さ（T.P.+3.5m）を上回る水位となった。

表1 海底地すべりの津波評価結果

数字は、T.P.(m)

	取水路 防潮 ゲート	水位上昇						水位下降				
		取水路 防潮ゲート 前面	3,4号炉 循環水 ポンプ室	1号炉 海水 ポンプ室	2号炉 海水 ポンプ室	3,4号炉 海水 ポンプ室	放水口 前面	放水路 (奥)	1号炉 海水 ポンプ室	2号炉 海水 ポンプ室	3,4号炉 海水 ポンプ室	
エリアA (Es-G3)	Watts他の予測式	開	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.5	-0.6	-1.1	
	Kinematicモデルによる方法	開	2.0	2.3	2.1	2.2	2.6	1.6	1.8	-1.2	-1.4	-2.2
エリアB (Es-K5)	Watts他の予測式	開	2.2	2.5	2.3	2.4	2.5	1.9	2.1	-1.4	-1.5	-2.1
	Kinematicモデルによる方法	開	3.6	3.9	3.7	3.8	3.8	3.7	4.0	-3.6	-3.7	-3.7
エリアC (Es-T2)	Watts他の予測式	開	1.4	1.8	1.4	1.6	1.8	1.1	1.4	-1.3	-1.4	-2.2
	Kinematicモデルによる方法	開	3.2	3.7	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	-2.4	-2.5	-2.8

(2) 海底地すべりのうち施設影響が生じる波源の確認

各エリアの最大規模の波源として抽出した海底地すべりによる津波で施設影響が生じる結果となったことから、警報が発表されないケースにおいて、他にも施設へ影響する波源がないかを確認する。

確認の流れは以下のとおりとする。

- ① 隠岐トラフ海底地すべりを位置・向きによりエリアA～Cに分類し、各エリアで規模が1位～3位のものを選定する。
- ② 隠岐トラフ海底地すべりのうち、エリアに関わらず、発電所方向に崩壊するものを選定する。
- ③ これらの波源による津波の計算結果から、施設影響が生じるケースを確認する。

なお、③の施設への影響については、耐津波設計で設定される潮位のばらつき（水位上昇側：+0.15m、水位下降側：-0.17m）と高潮の裕度（水位上昇側：+0.49m）を津波水位計算結果に加味した値を、敷地高さ及び取水可能水位と比較することで確認する。

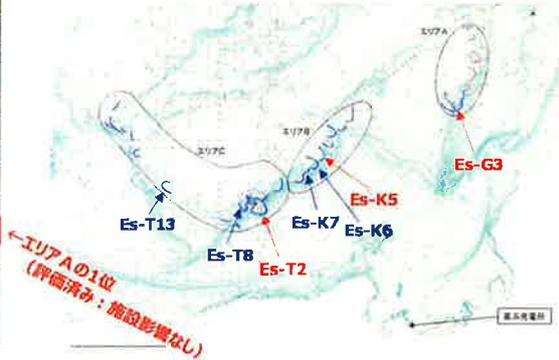
上記により新たに抽出した海底地すべりは図1のとおり。

●地すべり地形の規模の算出結果（断面積上位20個）

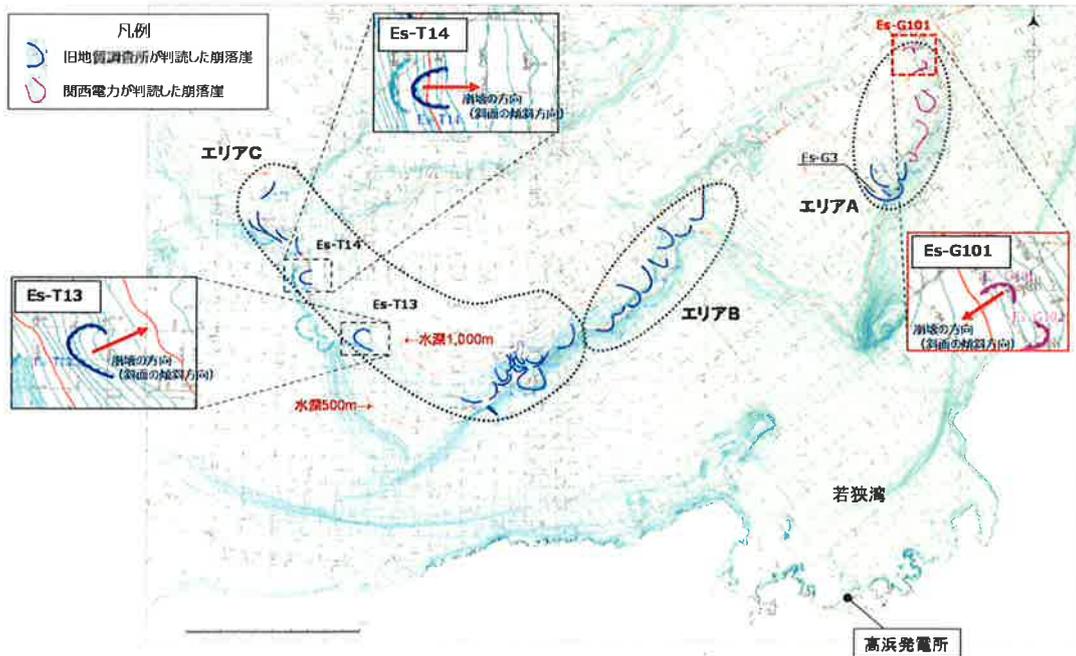
第314回調査会
資料1-4-2.p.7抜粋

規模の順位	地すべり地形	エリア	測線	地すべり長さ(m)	地すべり厚さ(m)	地すべり長さ×厚さ(m ²)
1	Es-K5	B	K-120	7,135	128	913,324
2	Es-T2	C	GA-23	8,582	97	833,402
3	Es-T8	C	GA-22	4,374	150	656,141
4	Es-K7	B	K-119	3,818	180	678,850
5	Es-T13	C	GA-20	4,986	118	578,038
6	Es-K8	B	K-120	5,420	103	558,225
7	Es-T14	C	GA-15	8,970	81	547,200
8	Es-K9	B	K-119	6,557	78	498,312
9	Es-K4	B	K-120	4,418	81	367,865
10	Es-K3	B	K-121	7,596	45	341,839
11	Es-T8	C	GA-21	5,343	62	331,287
12	Es-T17	C	GA-11	1,979	158	312,878
13	Es-K2	B	K-120	4,462	67	298,932
14	Es-T15	C	GA-13	8,328	33	274,765
15	Es-K1	B	K-121	5,198	52	270,276
16	Es-G3	A	K-115	8,858	28	188,822
17	Es-G103	A	K-118	8,172	30	185,161
18	Es-T12	C	GA-T	6,284	29	182,237
19	Es-G104	A	K-51	3,584	48	184,878
20	Es-G102	A	K-119	4,413	38	158,884

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



（各エリアで規模が1位～3位の地すべり）



（発電所方向に崩壊する地すべり）

図1 施設影響が生じる可能性のある海底地すべりの選定

エリアA～Cの各エリアの規模1位～3位の地すべり及びエリアに関わらず発電所方向に崩壊する地すべりによる津波水位計算結果を表2に示す。

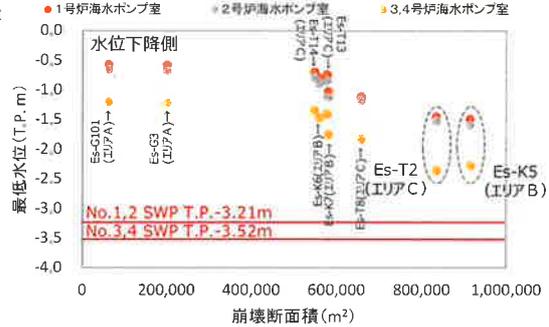
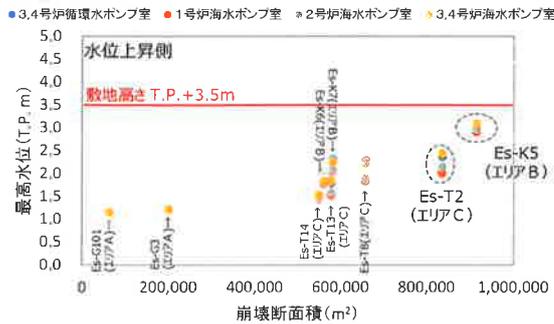
津波水位計算の結果、各評価点における水位変動は、エリアBの Es-K5（Kinematic モデル）が最も大きく、規模2位・3位の地すべりや発電所方向に崩壊する地すべりではこれを上回る水位変動は生じない。また、図2より、施設影響が生じるのは、水位上昇側では Es-K5（Kinematic モデル）と

Es-T2 (Kinematic モデル)、水位下降側では Es-K5 (Kinematic モデル) であることを確認した。

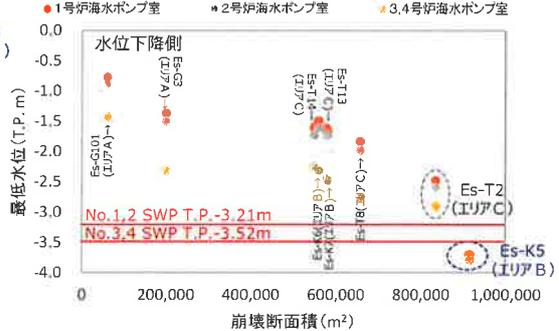
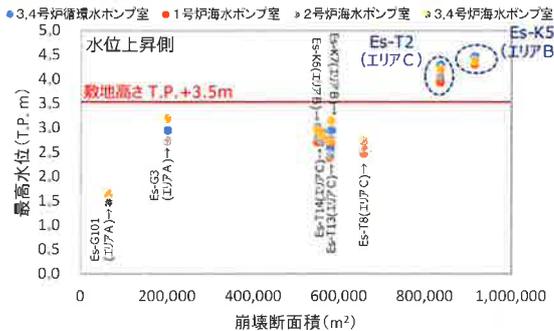
表 2 海底地すべりの津波評価結果

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

●Watts他の予測式



●Kinematicモデルによる方法



(上昇側：ばらつき+0.15m 及び高潮裕度+0.49m 考慮、下降側：ばらつき-0.17m 考慮)

図 2 施設影響が生じる可能性のある海底地すべりの選定

1. 3 基準津波の選定

津波水位計算結果及び基準津波の選定結果を表 3 に示す。

表3 津波水位計算結果一覧

(1) 既許可時の評価

取水路防潮ゲート ^{※2}	波源モデル		水位上昇						水位下降			数字はT.P.(m)、赤字は各評価点の最大値				
			取水路防潮ゲート前面	3, 4号炉循環水ポンプ室	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室	3, 4号炉海水ポンプ室	放水口前面	放水路(奥)	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室		3, 4号炉海水ポンプ室			
閉 (Close)	地震に起因する津波	大陸棚外縁～B～野原断層 日本海東縁部の波源		5.3	0.9	0.9	0.9	1.3	2.1	2.1	-	-0.8	-0.7	-1.0		
		地震以外に起因する津波	海底地すべり	エリアA (Es-G3) Watts他の予測式	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.3	-0.3	-0.3	
	Kinematicモデルによる方法			2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.6	1.8	1.8	-0.8	-0.8	-0.8		
	エリアB (Es-K5) Watts他の予測式			2.0	0.8	0.8	0.8	1.0	1.9	2.1	2.1	-0.7	-0.7	-0.8		
	Kinematicモデルによる方法			4.1	1.2	1.1	1.1	1.3	3.7	4.0	4.0	-1.1	-1.0	-1.1		
	エリアC (Es-T2) Watts他の予測式			2.4	0.8	0.7	0.7	1.1	1.1	1.3	1.3	-0.5	-0.5	-0.8		
	Kinematicモデルによる方法			3.3	1.1	1.1	1.1	1.2	3.7	3.9	3.9	-0.9	-0.9	-1.2		
	行政機関の波源モデルを用いた津波	若狭海丘列付近断層	福井県モデル(若狭海丘列付近断層)	4.5	1.1	1.1	1.1	1.4	3.6	3.8	3.8	-0.8	-0.8	-1.0		
			秋田県モデル(日本海東縁部の断層)	4.4	1.7	1.7	1.7	1.7	2.9	3.0	3.0	-1.4	-1.4	-1.6		
			大すべり中央	3.6	0.7	0.7	0.7	1.2	2.1	2.1	2.1	-	-	-		
			大すべり隣接LRR	3.6	0.7	0.7	0.7	1.2	1.9	1.9	1.9	-	-	-		
			大すべり隣接LLR	3.7	0.7	0.7	0.7	1.2	1.9	2.0	2.0	-	-	-		
津波の組み合わせ(一体計算)			福井県モデル(若狭海丘列付近断層)と隠岐トラフ海底地すべりエリアB (Es-K5)	21秒ずれ 63秒ずれ 78秒ずれ	4.9 5.1 5.5	1.3 1.3 1.3	1.3 1.3 1.2	1.2 1.2 1.1	1.7 1.8 1.7	5.0 5.3 5.3	5.8 6.1 6.2	5.8 6.1 6.2	-	-	-	基準津波1
開 (Open)	地震に起因する津波	FO-A～FO-B～熊川断層		2.0	2.1	1.9	1.9	2.5	2.7	2.8	-1.9 ^{※3}	-1.8 ^{※3}	-2.0 ^{※3}			
		地震以外に起因する津波	陸上地すべり	No.1,2,3 Watts他による方法	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	-0.1	-0.1	-0.1		
	運動学的手法			0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	2.1	2.1	2.1	-0.3	-0.3	-0.4		
	No.10 Watts他による方法			0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.0	-0.1	-0.1	-0.1		
	運動学的手法			0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1.5	1.4	1.4	-0.1	-0.1	-0.1		
	No.14 Watts他による方法			1.0	1.1	0.9	1.0	1.0	0.6	0.6	0.6	-0.3	-0.4	-0.4		
	運動学的手法			1.1	1.2	1.0	1.0	1.0	0.6	0.7	0.7	-0.3	-0.4	-0.4		
	津波の組み合わせ(一体計算)	FO-A～FO-B～熊川断層と陸上地すべり(No.14)	30秒ずれ	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.9 ^{※3}	-1.8 ^{※3}	-1.8 ^{※3}		
			45秒ずれ	2.1	2.4	2.1	2.1	2.5	2.7	2.7	2.7	-	-	-		
			51秒ずれ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.8 ^{※3}	-1.8 ^{※3}	-2.0 ^{※3}	
			54秒ずれ	2.2	2.5	2.2	2.2	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7	-1.8 ^{※3}	-1.8 ^{※3}	-2.0 ^{※3}	基準津波2

(2) 警報が発表されない場合^{※1} (今回評価)

取水路防潮ゲート ^{※2}	波源モデル		水位上昇						水位下降			数字はT.P.(m)、赤字は各評価点の最大値			
			取水路防潮ゲート前面	3, 4号炉循環水ポンプ室	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室	3, 4号炉海水ポンプ室	放水口前面	放水路(奥)	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室		3, 4号炉海水ポンプ室		
開 (Open)	地震以外に起因する津波	海底地すべり	エリアA (Es-G3) Watts他の予測式	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.5	-0.6	-1.1		
			Kinematicモデルによる方法	2.0	2.3	2.1	2.2	2.6	1.6	1.8	1.8	-1.2	-1.4	-2.2	
			エリアB (Es-K5) Watts他の予測式	2.2	2.5	2.3	2.4	2.5	1.9	2.1	2.1	-1.4	-1.5	-2.1	
			Kinematicモデルによる方法	3.6	3.9	3.7	3.8	3.8	3.7	4.0	4.0	-3.6	-3.7	-3.7	基準津波3
			エリアC (Es-T2) Watts他の予測式	1.4	1.8	1.4	1.6	1.8	1.1	1.4	1.4	-1.3	-1.4	-2.2	
			Kinematicモデルによる方法	3.2	3.7	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	3.9	3.9	-2.4	-2.5	-2.8

※1: 警報が発表されない前提の計算条件による評価 ※2: 閉: 取水路防潮ゲート天端TP+8.5mで全閉、開: 両系列のゲートが開いた状態 (TP±0～+8.5mはカーテンウォールあり) ※3: 地盤変動量0.23m隆起

(1) 既許可時の評価

警報に基づく取水路防潮ゲート閉止を前提として評価した結果、敷地高さを上回る波源及び海水ポンプの取水可能水位を下回る波源はない。津波到達に対して防潮ゲート閉止が間に合わない波源に対しては防潮ゲート開条件で評価を実施したが、その場合でも敷地高さ及び取水可能水位を超えない。評価点のうち、防潮ゲート前面、放水口前面、放水路(奥)で最高水位となる波源は「福井県モデル(若狭海丘列付近断層)と海底地すべりエリアBの組み合わせ」であり、これを基準津波1として選定した。また、各海水ポンプ室及び3,4号炉循環水ポンプ室で最高水位・最低水位となる波源は「FO-A～FO-B～熊川断層と陸上地すべり(No.14)の組み合わせ」であり、これを基準津波2として選定した。

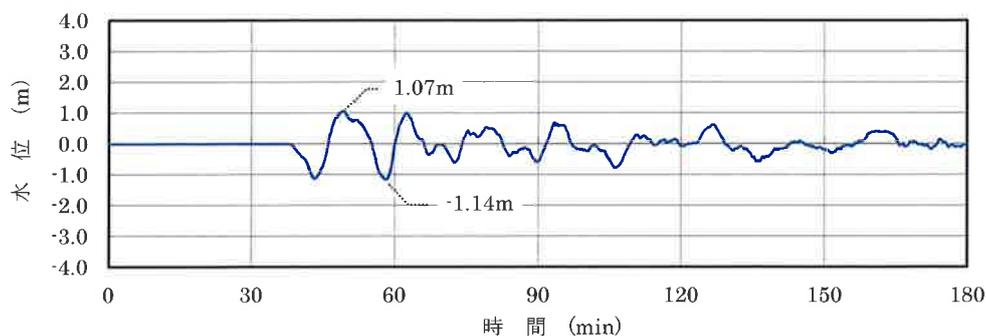
(2) 警報が発表されない場合 (今回評価)

警報が発表されないことから取水路防潮ゲート閉止ができない前提で、既許可時に評価対象としたエリアA～Cの最大規模の波源だけでなく、規模の2位・3位の波源や崩壊の方向が異なる波源についても施設影響を確認した。その結果、敷地高さを上回る波源及び海水ポンプの取水可能水位を下回る波源(施設影響が生じる波源)は、「海底地すべりエリアB (Es-K5, Kinematicモデル)」及び「海底地すべりエリアC (Es-T2, Kinematicモデル)」であり、これらをそれぞれ、基準津波3、基準津波4として選定した。

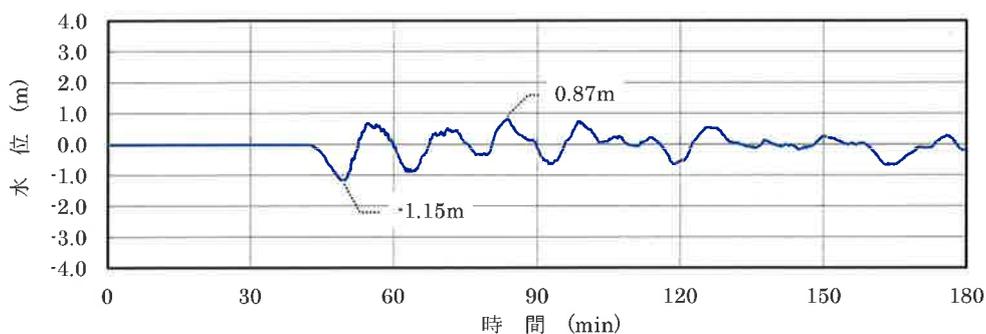
なお、施設影響の有無は、耐津波設計で設定される潮位のばらつき及び高

潮の裕度を津波水位計算結果に加味した値を敷地高さ及び取水可能水位と比較することで確認した。

警報が発表されない場合において選定した基準津波の定義位置における時刻歴波形を図3に示す。



(基準津波3)



(基準津波4)

図3 基準津波の時刻歴波形

基準津波3及び基準津波4は施設影響が生じることから、耐津波設計において対策を講じる。

具体的には、若狭湾内の伝播特性により、高浜発電所の取水口付近では第1波より第2波以降が大きくなることを踏まえ、発電所構内の潮位計で観測される津波の第1波目の水位変動量が、設定した判断基準（トリガー）を超えた場合に、取水路防潮ゲートを閉止し、2波目以降の浸入を防止することで施設影響を回避する。

よって、この対策は、安全設計上、施設影響が生じる津波を網羅的に検知できる判断基準（トリガー）の設定が必須である。

このため、施設影響が生じる基準津波3及び基準津波4により、津波波形に影響する波源特性のうち崩壊規模及び破壊伝播速度を最大としたものを基本設定として上限に位置づけ、これ以下の場合にも、施設影響が生じるケースを網羅的に検知できるように判断基準（トリガー）を設定する。

したがって、基準津波3及び基準津波4は、判断基準（トリガー）設定に使用するという特性を踏まえ、「基本設定を上限とした崩壊規模及び破壊伝播速度の変更を前提にした波源」として策定する。

2. 選定した基準津波 3, 4 (警報なし津波) に対する施設影響の整理

2. 1 背景

高浜発電所は、襲来の虞のある津波に対し、敷地が比較的低い特徴を有するため前章で選定した基準津波 3, 4 に対する施設影響を確認した上で、対策案を立案する。

2. 2 評価条件

基準津波 3, 4 に対する施設影響については、「①既許可で確認済みの対策での評価」と、「②既許可で確認していないが、実力的に発生防止・事象緩和機能を持つ設備や、既許可での評価条件の保守性（上昇側で、海水ポンプ・循環水ポンプを全台停止している）から、実運転の条件で考慮した機能影響を考慮した評価（以下、実力評価という。）」の場合に分けて整理した。

この①、②について、最も津波水位が厳しくなる基準津波 3 の津波水位計算結果に潮位のばらつき（上昇側+0.15m、下降側-0.17m）及び高潮裕度（上昇側+0.49m）を考慮した水位で影響を確認した。

2. 3 評価結果

(1) 外郭防護 1 における評価結果

a) 地上部からの到達流入評価結果への影響

評価結果を以下の表 1 に示す。評価結果より、一部設備において、地上部からの津波の到達・流入が否定できないことを確認した。

表1 外郭防護1のうち、地上部からの到達流入評価結果

		状況	津波水位（防潮ゲート開）	評価	
1号炉及び2号炉	設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建屋	T.P.+3.5m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+4.4m（1号炉海水ポンプ室）	到達・流入が否定できない※1	
			T.P.+4.4m（2号炉海水ポンプ室）		
			T.P.+4.6m（放水路（奥））		
	設計基準対象施設の津波防護対象設備のうち屋外設備	海水ポンプ室	T.P.+3.5m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+4.4m（1号炉海水ポンプ室）	到達・流入が否定できない
				T.P.+4.4m（2号炉海水ポンプ室）	
				T.P.+4.6m（放水路（奥））	
		復水タンク	T.P.+5.2m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+4.4m（1号炉海水ポンプ室）	到達・流入しない
				T.P.+4.4m（2号炉海水ポンプ室）	
				T.P.+4.6m（放水路（奥））	
	燃料油貯油そう	T.P.+24.9m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+4.4m（1号炉海水ポンプ室）	到達・流入しない	
			T.P.+4.4m（2号炉海水ポンプ室）		
			T.P.+4.6m（放水路（奥））		
3号炉及び4号炉	設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建屋	T.P.+3.5m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+4.5m（3，4号炉循環水ポンプ室前面）	到達・流入が否定できない※1	
			T.P.+4.6m（放水路（奥））		
	設計基準対象施設の津波防護対象設備のうち屋外設備	海水ポンプ室	T.P.+3.5m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+4.5m（3，4号炉循環水ポンプ室前面）	到達・流入が否定できない
				T.P.+4.6m（放水路（奥））	
		燃料油貯油そう	T.P.+3.5m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+4.5m（3，4号炉循環水ポンプ室前面）	到達・流入が否定できない※2
				T.P.+4.6m（放水路（奥））	
		復水タンク	T.P.+3.5m以上の敷地に設置されている。 放水口側は高さT.P.+8.0mの放水口側防潮堤及び防潮扉並びに設計高さT.P.+8.0mの1号及び2号炉放水ピット止水板を設置する。	T.P.+4.5m（3，4号炉循環水ポンプ室前面）	到達・流入しない※3
				T.P.+4.6m（放水路（奥））	

- ※1：建屋境界壁には、水密扉及び貫通部止水処置を施している（1，2号：既許可で確認済みの対策、3，4号：既許可で未確認の対策）ことから、建屋への津波の流入はないと考えられる。
 ※2：燃料油貯油そうの蓋にかかる水圧を評価した結果（既許可で未確認の評価）、津波の流入はないと考えられる。
 ※3：復水タンクはT.P.15.0mの高台に設置されており、津波の到達・流入はない。

b) 各経路からの流入評価結果

評価結果を以下の表 2 に示す。評価結果より、一部の経路からの津波の流入が否定できない。

表2 外郭防護1のうち、各経路からの流入評価結果

エリア				津波水位 (防潮ゲート開)	許容津波水位	裕度	評価
取水路	1号炉	海水系	海水ポンプ室	T.P.+4.4m (1号炉海水ポンプ室)	T.P.+3.5m	▲0.9m	経路からの津波の流入が否定できない
		循環水系	循環水ポンプ室				
	2号炉	海水系	海水ポンプ室	T.P.+4.4m (2号炉海水ポンプ室)	T.P.+3.5m	▲0.9m	経路からの津波の流入が否定できない
		循環水系	循環水ポンプ室				
	3号及び4号炉	海水系	点検用トンネル	T.P.+4.1m	T.P.+12.1m	8.0m	流入しない
			海水ポンプ室	T.P.+4.4m	T.P.+3.5m	▲0.9m	経路からの津波の流入が否定できない
		循環水系	循環水ポンプ室	T.P.+4.5m	T.P.+3.5m	▲1.0m	経路からの津波の流入が否定できない
			取水路防潮ゲート前面	T.P.+4.3m	T.P.+8.5m	4.2m	流入しない
1号及び2号炉	その他配管 (クリーンアップ排水管等)		T.P.+4.5m	T.P.+3.5m	▲1.0m	経路からの津波の流入が否定できない	
3号及び4号炉							
放水路	1号及び2号炉	放水路	放水口付近	T.P.+4.4m	T.P.+8.0m	3.6m	流入しない
			防潮扉前	T.P.+4.6m (放水路 (奥))	T.P.+8.0m	3.4m	流入しない
			放水路 (奥)	T.P.+4.6m	T.P.+8.0m	3.4m	流入しない
			放水ピット				
	3号及び4号炉	放水口付近		T.P.+4.4m	T.P.+8.0m	3.6m	流入しない
屋外排水路	取水路に接続される系統		T.P.+4.5m	T.P.+3.5m	▲1.0m	経路からの津波の流入が否定できない	
	1, 2号炉放水路に接続される系統		T.P.+4.6m (放水路 (奥))	T.P.+8.0m	1.3m	流入しない	
	放水口側護岸から直接海に接続される系統		T.P.+4.4m (放水口前面)	T.P.+8.0m	1.8m	流入しない	

(2) 外郭防護2における評価結果

評価結果を表3に示す。外郭防護2の評価において設定した浸水想定範囲は、取水路防潮ゲート開の状態では津波が流入すると考えられる。

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

表 3 外郭防護 2 における評価結果

	海水ポンプ機能保持水位	津波水位	評価
1号炉	T.P.+4.67m	T.P.+4.4m (1号炉海水ポンプ室前面)	海水ポンプ機能保持水位は津波水位を上回ることから、 <u>海水ポンプが機能喪失することはない。</u>
2号炉	T.P.+4.67m	T.P.+4.4m (2号炉海水ポンプ室前面)	
3,4号炉	T.P.+3.85m	<u>T.P.+4.5m</u> (T.P.+3.7m※2) (3, 4号炉循環水ポンプ室前面※1)	海水ポンプ機能保持水位は津波水位を下回ることから、 <u>海水ポンプが機能保持できない。</u> (ただし、海水ポンプ及び循環水ポンプの運転台数、解析モデルを実態に合わせた評価では、海水ポンプが機能喪失することはない。)

- ※ 1 : 3, 4号炉海水ポンプ室床面はT.P.+6.0mの水位を想定し設計した浸水防止蓋を設置していることから、海水ポンプ室頂版からの津波の流入はないため、3, 4号炉海水ポンプ室前面の値ではなく、3, 4号炉循環水ポンプ室前面の値を記載している
- ※ 2 : ポンプの運転台数 (循環水ポンプ1号2台運転、3号2台運転、海水ポンプ1号炉2台運転、2~4号炉各1台運転) 及び解析モデルを実態に合わせた場合 (2019年6月13日、第1回警報が発表されない可能性のある津波への対応の現状聴取に係る会合の資料1に記載のポンプ運転台数及び解析条件における津波水位T.P.+3.0mに潮位のばらつき0.15mと高潮裕度0.49mを考慮) の3, 4号炉循環水ポンプ室の津波水位

(3) 内郭防護における評価結果

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

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

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

評価結果を表4に示す。海水ポンプの取水可能水位を下回るため、海水ポンプの取水性が確保できない。

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

	取水可能水位	津波水位	評価
1号炉	T.P.-3.21m※1	T.P.-3.7m (1号炉海水ポンプ室前面)	津波水位が海水ポンプの取水可能水位を下回るため、水位低下によって海水ポンプが機能保持できない。
2号炉	T.P.-3.21m※1	T.P.-3.8m (2号炉海水ポンプ室前面)	
3,4号炉	T.P.-3.52 (T.P.-3.55m※1)	T.P.-3.8m (3, 4号炉海水ポンプ室前面)	

※1：実験から設定した取水可能水位（1, 2号炉：既許可で確認済みの数値、3, 4号炉：既許可で未確認の数値）

(5) 評価結果まとめ

(1)～(4)の評価結果のまとめを表5に示す。施設への影響は、既許可で確認済みの対策のみで評価した場合、水位上昇側において、施設影響が生じ、水位下降側では、海水ポンプの取水性確保が困難であることを確認した。

また、実力評価まで考慮した場合、水位上昇側については、施設影響はないと考えられるが、水位下降側については、実力評価まで考慮しても海水ポンプの取水性確保が困難であることを確認した。

表5 基準津波3, 4に対する施設影響まとめ

		施設に対する具体的な影響		
評価項目		水位上昇側 (防護対象施設への浸水)	水位下降側 (海水ポンプの取水性)	
基準津波3, 4	高浜1, 2号	既許可で確認済みの対策のみに担保	建屋 : 津波が到達する(津波水位T.P.+4.4m>敷地高さT.P.+3.5m)が建屋に水密扉、貫通部止水処置を施しており、流入しない 海水ポンプ : 津波が到達・流入するが、モータ下端まで到達しない(津波水位T.P.+4.4m<モータ下端T.P.+4.67m)ため、機能喪失しない 復水タンク : 津波は到達・流入しない(津波水位T.P.+4.4m<復水タンクT.P.+5.2m) 燃料油貯油そう : 津波は到達・流入しない(津波水位T.P.+4.4m<燃料油貯油そうT.P.+24.9m)	津波水位が実験から設定した海水ポンプの取水可能水位を下回る(津波水位T.P.-3.8m<取水可能水位T.P.-3.21m)ことから海水ポンプは機能保持できない
		(参考)実力評価	同上	同上
	高浜3, 4号	既許可で確認済みの対策のみに担保	建屋 : 津波の到達・流入が否定できない(津波水位T.P.+4.4m>敷地高さT.P.+3.5m) 海水ポンプ : 津波の到達・流入が否定できず、モータ下端まで到達(津波水位T.P.+4.4m>モータ下端T.P.+3.85m)し、機能保持できない 復水タンク : 津波は到達・流入しない(津波水位T.P.+4.5m<復水タンクT.P.+15.0m) 燃料油貯油そう : 津波の到達・流入が否定できない(津波水位T.P.+4.5m>燃料油貯油そうT.P.+3.5m)	津波水位が海水ポンプのバルブス径から計算した海水ポンプの設計取水可能水位を下回る(津波水位T.P.-3.8m<設計取水可能水位T.P.-3.52m)ことから海水ポンプは機能保持できない
		(参考)実力評価	建屋 : 津波が到達するが建屋に水密扉、貫通部止水処置を施しており、流入しない 海水ポンプ : 実態を踏まえたポンプ条件等による津波水位結果においては、津波は到達・流入しない(津波水位T.P.+3.7m<モータ下端T.P.+3.85m) 復水タンク : 同上 燃料油貯油そう : 津波の到達するが燃料油貯油そうの蓋に係る水圧の評価より流入しない	津波水位が実験から設定した海水ポンプの取水可能水位(津波水位T.P.-3.8m<取水可能水位T.P.-3.55m)を下回ることから海水ポンプは機能保持できない
(参考)基準津波1	高浜1, 2号	既許可で確認済みの対策のみに担保	建屋 : 津波が到達する(津波水位T.P.+4.4m以上>敷地高さT.P.+3.5m)が建屋に水密扉、貫通部止水処置を施しており、流入しないと考えられる 海水ポンプ : 津波の到達・流入が否定できない(津波水位T.P.+4.4m以上に対し、モータ下端T.P.+4.67m) 復水タンク : 津波は到達・流入が否定できない(津波水位T.P.+4.4m以上に対し、復水タンクT.P.+5.2m) 燃料油貯油そう : 津波は到達・流入しないと考えられる(津波水位T.P.+4.4m以上に対し、燃料油貯油そうT.P.+24.9m)	津波水位が実験から設定した海水ポンプの取水可能水位を下回る(津波水位T.P.-3.7m以下<取水可能水位T.P.-3.21m)ことから海水ポンプは機能喪失する。
		(参考)実力評価	同上	同上
	高浜3, 4号	既許可で確認済みの対策のみに担保	建屋 : 津波の到達・流入が否定できない(津波水位T.P.+4.4m以上>敷地高さT.P.+3.5m) 海水ポンプ : 津波の到達・流入が否定できず、モータ下端まで到達(津波水位T.P.+4.4m以上>モータ下端T.P.+3.85m)し、機能保持できない 復水タンク : 津波は到達・流入しないと考えられる(津波水位T.P.+4.5m以上に対し、復水タンクT.P.+15.0m) 燃料油貯油そう : 津波の到達・流入が否定できない(津波水位T.P.+4.5m以上>燃料油貯油そうT.P.+3.5m)	津波水位が海水ポンプのバルブス径から計算した海水ポンプの設計取水可能水位を下回る(津波水位T.P.-3.8m以下<設計取水可能水位T.P.-3.52m)ことから海水ポンプは機能喪失する。
		(参考)実力評価	建屋 : 津波が到達するが建屋に水密扉、貫通部止水処置を施しており、流入しないと考えられる 海水ポンプ : 実態を踏まえたポンプ条件等による津波水位結果においても、津波は到達・流入が否定できないと考えられる(津波水位T.P.+3.7m以上に対し、モータ下端T.P.+3.85m) 復水タンク : 同上 燃料油貯油そう : 津波の到達するが燃料油貯油そうの蓋に係る水圧の評価より流入しないと考えられる	津波水位が実験から設定した海水ポンプの取水可能水位を下回る(津波水位T.P.-3.8m以下<取水可能水位T.P.-3.55m)ことから海水ポンプは機能喪失する。

※赤字は評価結果より影響が生じるもの。建屋は「津波防護対象施設を内包する建屋」を示す。基準津波2は「ゲート開」の状態で津波が敷地遡上せず、ポンプ取水性も影響はない。

3. 施設影響を踏まえた対策案の検討

3. 1 背景

高浜発電所は、敷地が比較的低い特徴を有することと、前章の施設影響の評価結果より基準津波3, 4は警報が発表されないことから、取水路防潮ゲートが「開」となり、実力評価まで考慮しても海水ポンプの取水性確保が困難であることを踏まえ、津波防護対策案を検討する。

3. 2 検討条件

高浜発電所は、襲来の虞のある津波に対し、敷地が比較的低い特徴を有する。よって、取水路からの既許可の基準津波1, 2に対する外郭防護については、取水路防潮ゲートを活用した津波防護を設計方針の基本に据えているが、これ以外の対策（防護壁、貯水堰等）を含め、成立性の検討を行った。

3. 3 検討結果

津波防護対策案の検討結果を表1に示す。まず、防潮壁や貯水堰、ポンプ改修等を検討した結果、水位上昇側及び水位下降側ともに防護するには、「①防護壁+②貯水堰」又は「①防護壁+③海水ポンプ（改造・移設）」の組み合わせ④が必要と整理した。

①～③の対策は、水位上昇側に関しては、「運転操作によらず、防護可能」、水位下降側に関しては、「防潮ゲート閉止操作が不要（ただし、運転操作としては、海水ポンプの取水性確保のため、循環水ポンプの停止操作が必要。）」というメリットがある一方、①防護壁と③貯水堰は「耐震性確保した防護壁の設置が条件」となること、②貯水堰と③海水ポンプ（改造・移設）については「海水ポンプ取水性の確保」といった課題がある。

したがって、これらの対策の組み合わせである④の対策はいずれも対応に長期間を要すること、特に下降側の対策である貯水堰の設置や海水ポンプ設計の見直しは、重要な安全施設である海水ポンプの取水を停止させる必要がある。海水ポンプはプラント停止中も稼働が必要な設備であることから、停止による部分的な安全機能の喪失が長期にわたるため、プラント安全性の観点からは④の対策は、極力回避すべきと判断した。

一方、「⑤防潮ゲート」での対策は防潮ゲートが既設であることから、設備対策面では、速やかにプラントの安全性向上が可能であり、本対策のみで、水位上昇側及び水位下降側ともに防護可能である。

したがって、「⑤防潮ゲート」の活用を前提とするが、基準津波3, 4は警報が発表されないことから、「防潮ゲート閉止の起因となる津波検知方法(トリガー)の妥当性・網羅性」及び「津波を検知してから施設影響のある潮位に至る前に防潮ゲートの閉止ができる時間的成立性(運用成立性)」の確認が必要であり、これらを評価の上で、検知の不確実性に対する対応を設計に反映し、防潮ゲート活用の採否を判断することとする。(津波検知方法の妥当性及び時間的成立性の確認結果は、後述。)

表1 津波防護対策案の検討結果

		対策なしの場合	対策内容				
			① 防護壁 (取水路沿い)	② 貯水堰	③ ポンプ (改造・移設)	④ ①防護壁+②貯水堰 or ①防護壁+③ポンプ	⑤ 防潮ゲート (既許可対策)
基準津波3 基準津波4	上昇側	・敷地遡上するが、実力上、設備の機能に影響なし	・運転操作なし ・敷地遡上しない	・運転操作なし ・敷地遡上する	・運転操作なし ・敷地遡上する	・運転操作なし ・敷地遡上しない	・運転操作あり ・敷地遡上しない
	下降側	・取水可能水位を下回り、海水ポンプの機能保持できない	・運転操作なし ・取水可能水位を下回る	・運転操作なし ・取水可能水位を下回らない	・運転操作なし ・取水可能水位を下回らない	・運転操作なし ・取水可能水位を下回らない	・運転操作あり ・取水可能水位を下回らない
(参考) 基準津波1	上昇側	・敷地遡上し、海水ポンプモータの下端が浸水するため、ポンプの機能保持できないと考えられる	・運転操作なし ・敷地遡上しない	・運転操作なし ・敷地遡上する	・運転操作なし ・敷地遡上する	・運転操作なし ・敷地遡上しない	・運転操作あり ・敷地遡上しない
	下降側	・取水可能水位を下回り、海水ポンプの機能保持できない	・運転操作なし ・取水可能水位を下回る	・運転操作なし ・取水可能水位を下回らない	・運転操作なし ・取水可能水位を下回らない	・運転操作なし ・取水可能水位を下回らない	・運転操作あり ・取水可能水位を下回らない
対策方針上の 論点	メリット	-	・運転操作によらず、防護可能	・防潮ゲート閉止操作が不要 (ただし、運転操作としては、海水ポンプの取水性確保のため、循環水ポンプの停止操作が必要。)			・既設設備であり、速やかにプラットフォーム安全性向上が可能 ・本対策のみで、敷地遡上及び、海水ポンプの取水性への影響を防止可能
	デメリット	-	・耐震性確保した防護壁の設置が条件	・海水ポンプ取水性確保 ・循環水ポンプによる海水ポンプ取水性能への影響回避 ・耐震性を確保した貯水堰の設置 (配置成立性の確認含む)	・海水ポンプ取水性確保 ・海水ポンプ設計の抜本的見直し	・左記①～③と同様	・防潮ゲート閉止の起因となる津波検知方法の妥当性・網羅性 (検知の不確実性に対する対応含む) の確認が必要 ・津波検知からゲート閉止の時間成立性の確認が必要

※基準津波2は「ゲート開」の状態では津波が敷地遡上せず、ポンプ取水性も影響はない

4. 防潮ゲート閉止の起因となる津波検知の方法

4. 1 背景

海底地すべりを波源とする基準津波3, 4は、津波警報が発表されないことから、防潮ゲートを閉止する起因となる津波検知方法（トリガー）の設定が必要であることから、津波検知方法の検討を行った。

4. 2 検討条件

発電所構内には、津波監視設備である津波監視カメラと潮位計を保有しているため、これらの活用を検討する。津波監視カメラと潮位計の設置位置及び仕様は以下のとおりである。

(1) 設置位置

津波監視設備は、津波襲来を監視でき、かつ基準津波の影響を受けにくい位置に設置されている。図1に示すとおり、1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉共用設備である津波監視カメラは、敷地への津波襲来監視を目的として、取水口側は3号炉原子炉格納施設壁面 T.P. +46.8m、放水口側は4号炉原子炉補助建屋壁面 T.P. +36.2m に設置する。1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉共用設備である潮位計は、津波高さ計測を目的として、1号炉海水ポンプ室 T.P. +7.1m 及び2号炉海水ポンプ室 T.P. +7.1m に設置し、通常の潮汐とは異なる潮位変動の把握を目的として、1号炉海水ポンプ室 T.P. +7.1m、2号炉海水ポンプ室 T.P. +7.1m 及び3, 4号炉海水ポンプ室 T.P. +4.6m に設置する。津波監視カメラ設置位置は津波遡上範囲になく、潮位計設置高さも、1号炉海水ポンプ室前及び2号炉海水ポンプ室前における入力津波による津波高さ T.P. +2.6m、3, 4号炉海水ポンプ室前における入力津波による津波高さ T.P. +2.9m よりも十分高く、波力、漂流物の影響を受けない位置である。

(2) 仕様

津波監視カメラは、取水口・放水口側を監視できるものを各1台設置し、暗視機能等を有し、中央制御室から監視可能である。

潮位計は、上昇側及び下降側の津波高さを計測できるよう、1号炉海水ポンプ室及び2号炉海水ポンプ室に設置する潮位計で T.P. 約-9.9m~T.P. 約+6.6m、3, 4号炉海水ポンプ室に設置する潮位計で T.P. 約-4.0m~T.P. 約+4.0m を測定範囲とし、中央制御室から監視可能な設計としている。

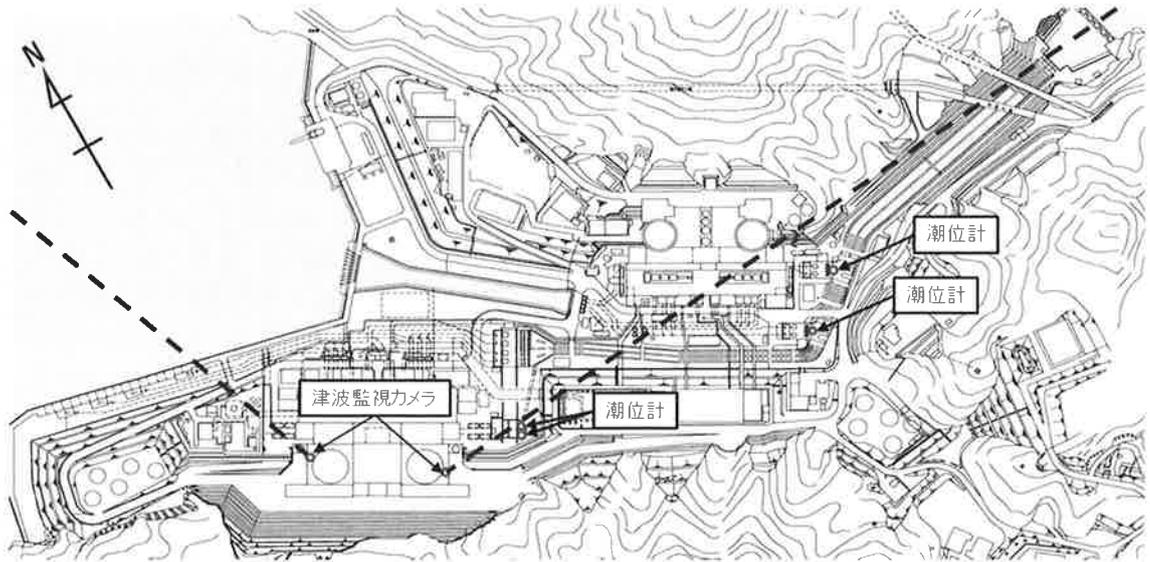


図1 津波監視関係設備配置図

4. 3 検討結果

津波検知後に防潮ゲートを閉止する場合、防潮ゲートにて閉止されている状態で循環水ポンプの運転を継続した場合、同じ取水路を共有する海水ポンプの取水性に影響が出るため、防潮ゲート閉止前の循環水ポンプの停止及び原子炉トリップ操作が必要である。したがって、津波監視カメラ及び潮位計の設置位置と仕様並びに、津波以外の場合に誤検知した場合の影響（「相当数の系統負荷を切り離す必要があり、ライフラインへの電力供給への支障が生じること。」、「外部電源への影響から、隣接する他プラントの一次冷却材ポンプなどのポンプ回転数に影響の出る虞があり、一時的とはいえ原子炉冷却機能に影響が生じる可能性があること。」）を踏まえ、定量的に潮位を把握可能な潮位計の活用を検討する。

ただし、潮位計を活用した防潮ゲート閉止トリガーの検討は、構内で津波を検知し、その検知情報に基づき、防潮ゲートを閉止することから、「施設影響が生じる津波の見逃し、津波以外の誤検知の観点で問題ないか」、また、「運転操作が時間内に成立するか」を評価する必要がある。

したがって、津波シミュレーションによる隠岐トラフ海底地すべりの波源特性及び若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディと、構内潮位計による過去の観測データから、これらを評価し、採否を判断することとした。

5. 津波検知の判断基準（トリガー）の設定

5. 1 背景

潮位計を活用した防潮ゲート閉止トリガーは、構内で津波を検知し、その検知情報に基づき、防潮ゲートを閉止することから、「敷地高さ T.P.+3.5m を超える、もしくは、1,2号炉海水ポンプの取水性に影響を与える T.P.-3.21m を下回る、もしくは、3,4号炉海水ポンプの取水性に影響を与える T.P.-3.52m を下回る（以下、「施設影響が生じる」という。）津波の見逃し、津波以外の誤検知の観点で問題ないか」に係る妥当性・網羅性を確認した上で設定する必要がある。

基準津波評価において、基準津波3及び基準津波4のみが施設影響が生じる波源であることが確認されたことから、基準津波3,4に係る津波波形の特徴を確認し、基準津波3,4の津波波形に影響する波源特性である崩壊規模・破壊伝播速度を変更すること、1波目と2波目以降の関係を確認することにより、施設影響が生じる津波を網羅的に検知できるかを確認し、判断基準（トリガー）を設定する。

5. 2 検討内容・結果

判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性に関する検討フローを図1に示す。

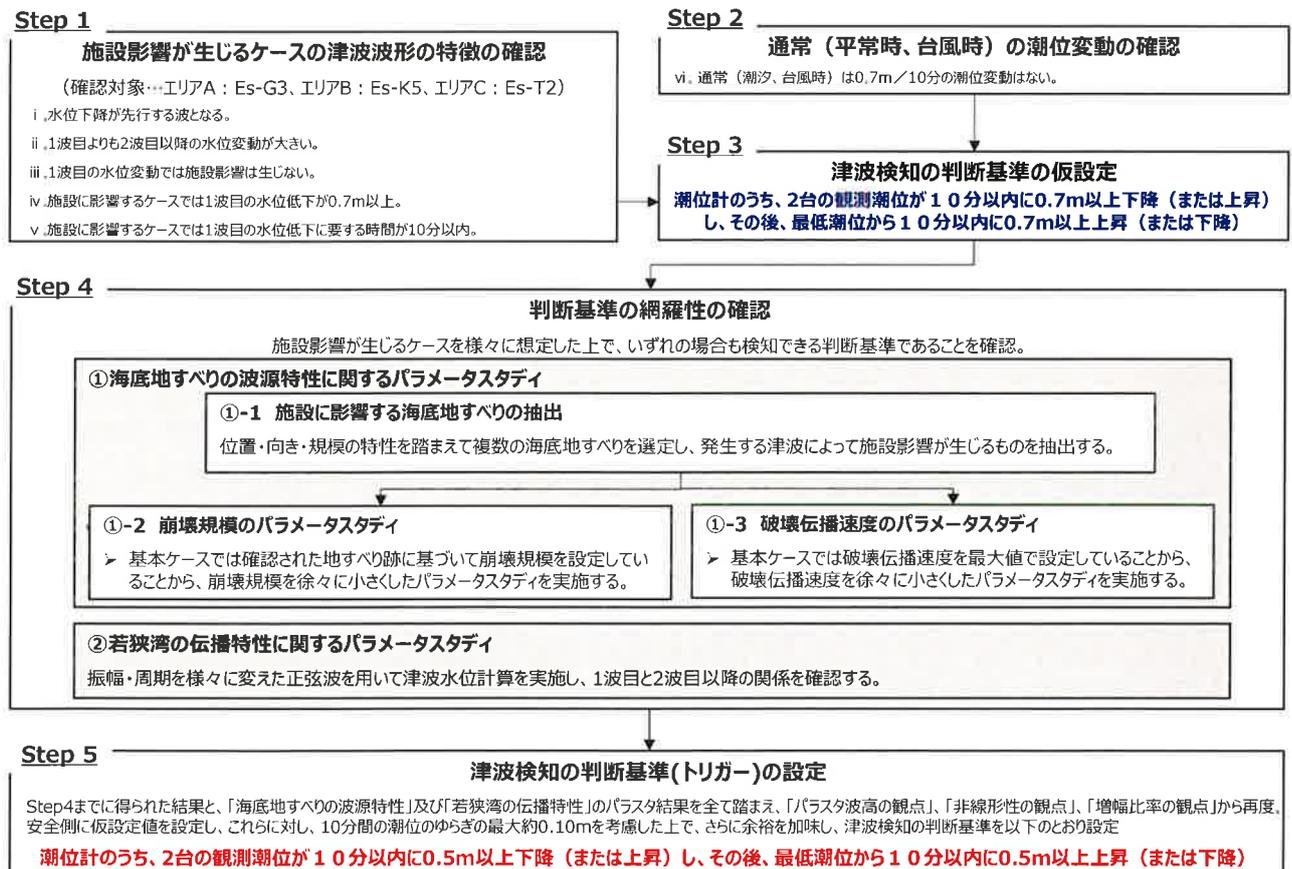


図1 判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性に関する検討フロー

まず、基準津波 3, 4 の計算結果から (1) 施設影響が生じるケースの津波波形の特徴を確認し、構内潮位計の観測記録から (2) 通常の潮位変動も確認した上で、(3) 津波検知のトリガーを仮設定する。

次に、基準津波 3, 4 の波源を用いた津波シミュレーションによって施設影響が生じる津波の波形を様々に検討し、それらの検知可否を整理することで、(4) 仮設定したトリガーの網羅性を確認する。

最後に、網羅性の確認結果を踏まえて安全側の設定となるようにトリガーを再度仮設定し、さらに平常時の潮位のゆらぎを考慮して余裕を加味することで、施設影響が生じる津波に対して網羅的且つ妥当な設定値として (5) 津波検知のトリガーを設定する。

なお、本検討において施設影響の有無を確認する場合には、津波水位計算結果に対して潮位のばらつきと高潮の裕度を考慮した。

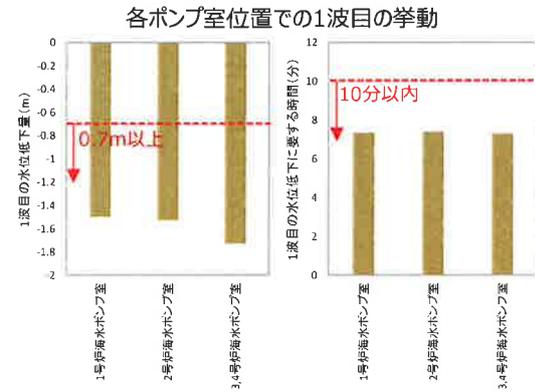
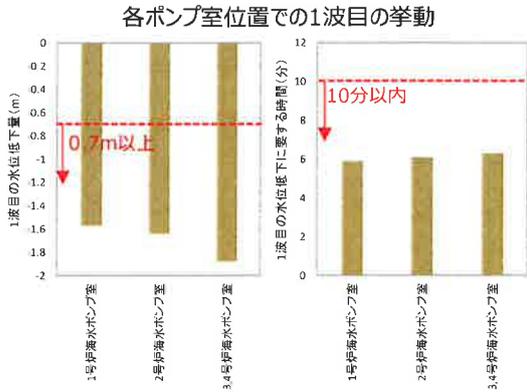
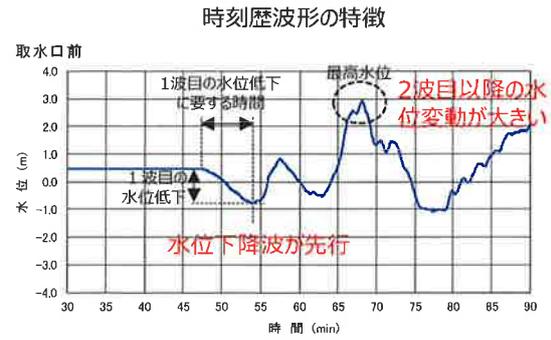
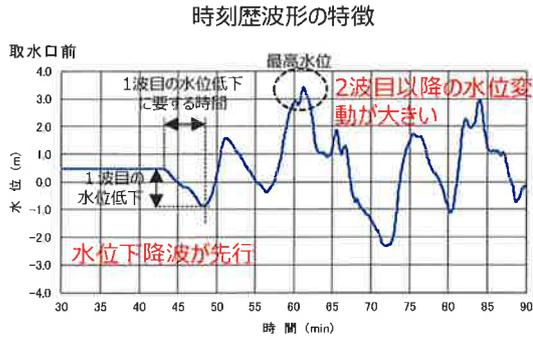
上記の (1) ~ (5) の具体的な検討内容と結果を以下に示す。

(1) 施設影響が生じるケースの津波波形の特徴の確認

施設影響が生じるケースである基準津波 3, 4 の時刻歴波形を確認した結果、主な特徴として、「1 波目より 2 波目以降のほうが水位変動が大きい」、「1 波目の水位変動では施設影響は生じない」、「1 波目の水位変動は 0.7m 以上」、「1 波目の水位低下に要する時間は 10 分以内」ということが確認された。(図 2)

●水位上昇側：エリアB (Es-K5、Kinematic)

●水位上昇側：エリアC (Es-T2、Kinematic)



●水位下降側：エリアB (Es-K5、Kinematic)

時刻歴波形の特徴

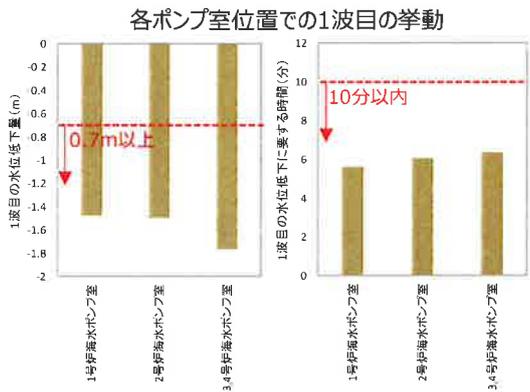
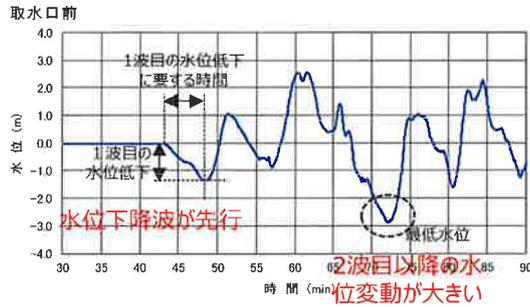


図2 基準津波3, 4の津波波形の特徴の確認

(2) 通常（平常時、台風時）の潮位変動の確認

構内潮位計で観測された潮位データ（瞬時値データ）を確認した結果、平常時（過去3か月分）では10分間の潮位変動は最大で10cm程度であり、台風時（2018年台風21号、2019年台風19号）では10分間の潮位変動は最大で30cm程度である。（図3）

また、構内潮位計で観測された過去7年分の潮位データを確認した結果、作業起因のケースを除くと、2台の潮位計において10分間に0.7m以上の潮位変動が生じたケースはなかった。（表1）

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

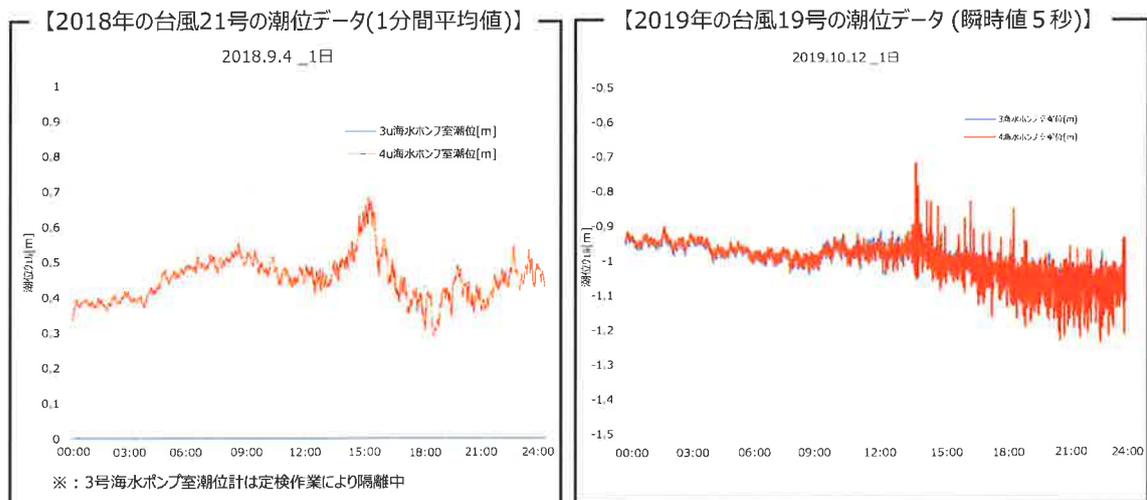
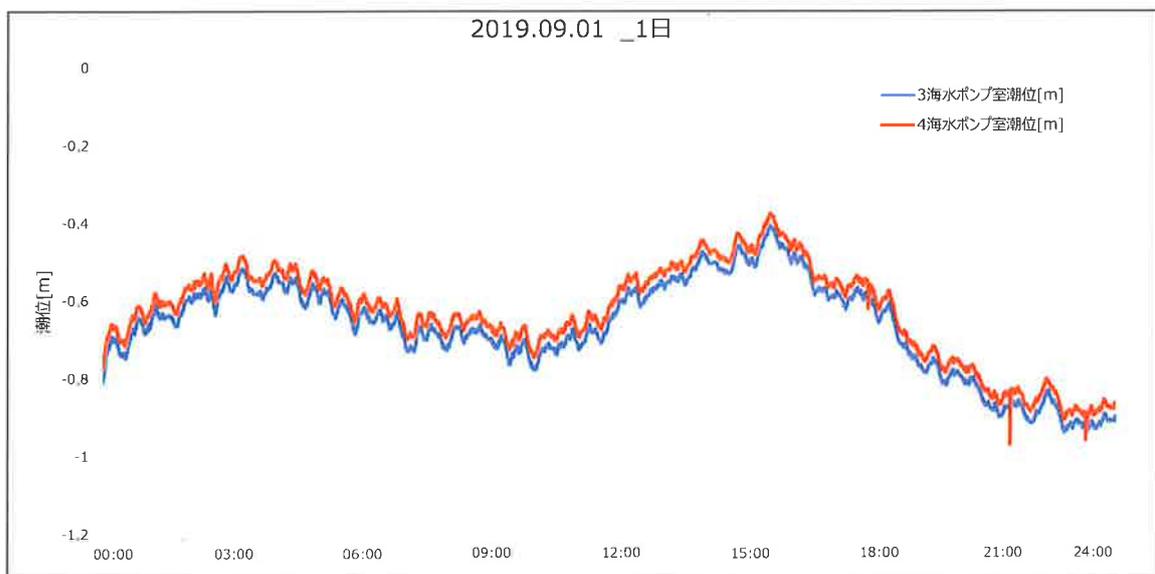


図3 通常の潮位変動の確認（上：平常時、下：台風時）

表 1 0.7m 以上の潮位変動の観測実績

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

1 波目が下げ波の場合

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

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

1 波目が上げ波の場合

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

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

(3) 津波検知の判断基準（トリガー）の仮設定

(1) において、1波目よりも2波目以降の水位変動が大きく、1波目では施設影響が生じないことを確認した。これを踏まえ、1波目の水位変動によって津波を検知して取水路防潮ゲートを閉止することで、2波目以降での施設影響を防止する対策とする。

津波検知と判断する1波目の水位変動量は、(1)及び(2)の確認結果から、施設影響が生じるケースを検知でき、且つ通常の潮位変動では生じない程度の変動として、10分間に0.7m以上の変動とする。なお、誤検知を防止する観点から、津波検知と判断するのは、潮位が10分間に0.7m以上の上昇・下降した後に、最高・最低潮位から10分間に0.7m以上の下降・上昇が確認された場合とする。また、同様の観点で、津波検知と判断するのは、2台以上の潮位計が上記を観測した場合とする。

以上より、次のとおり、津波検知のトリガーを仮設定する。

- ・ 潮位計のうち、2台の観測潮位が10分以内に0.7m以上下降し、その後、最低潮位から10分以内に0.7m以上上昇する。
- または
- ・ 潮位計のうち、2台の観測潮位が10分以内に0.7m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.7m以上下降する。

(4) 判断基準（トリガー）の網羅性の確認

(3)で仮設定したトリガーが、施設影響が生じる様々なケースに対していずれの場合も検知できることを確認する。網羅性の確認においては、波源特性の不確かさを考慮した場合の施設影響が生じる様々な津波波形の検討として①海底地すべりの波源特性に関するパラメータスタディを、1波目より2波目以降のほうが大きいことに関する津波の伝播特性の観点での検討

として②若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディを、それぞれ実施する。(図4)

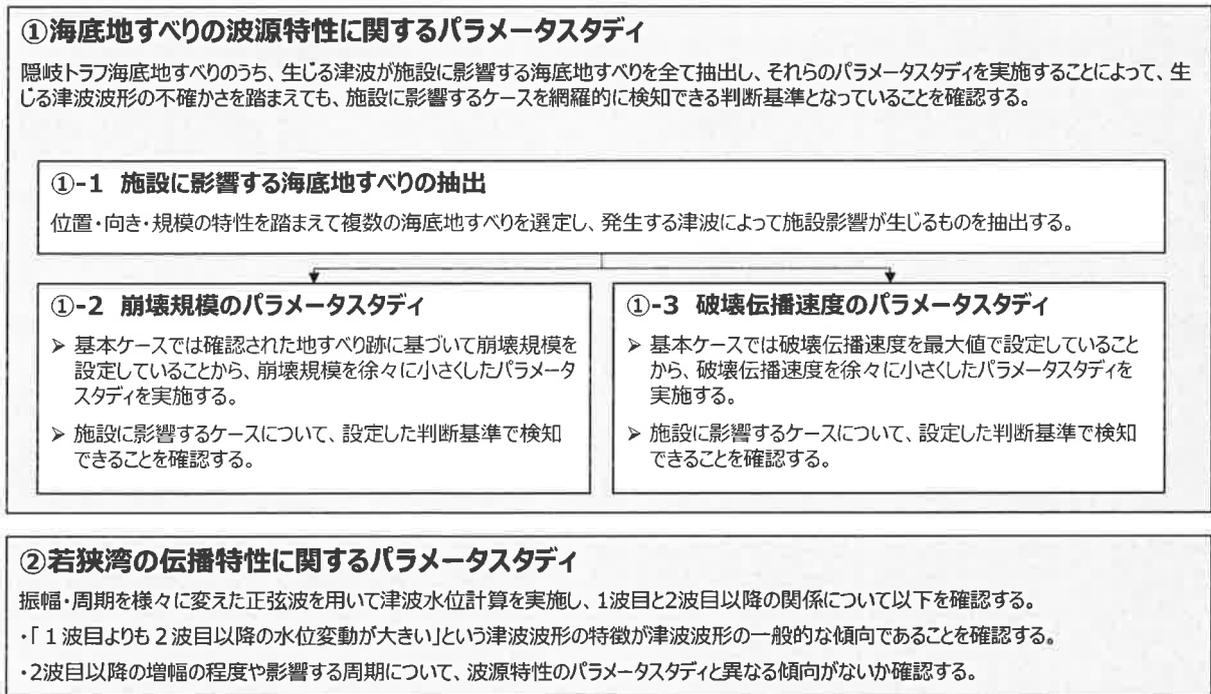


図4 判断基準（トリガー）の網羅性確認の考え方

① 海底地すべりの波源特性に関するパラメータスタディ

基準津波の選定では、警報が発表されない場合の海底地すべりによる津波のうち、各エリアの最大規模以外の地すべりによる津波も確認した結果として、施設影響が生じる波源として基準津波3（海底地すべりエリアB Es-K5, Kinematic モデル）と基準津波4（海底地すべりエリアC Es-T2, Kinematic モデル）が抽出されている。したがって、施設影響が生じる基準津波3, 4の波源を用いて波源特性のパラメータスタディを行うことで、津波波形の不確かさを考慮しても、施設に影響するケースを網羅的に検知できるトリガーとなっていることを確認する。パラメータスタディを行う波源特性としては、基準津波評価時には水位変動を最大とするために最大値で設定していた崩壊規模及び破壊伝播速度とする。(図5)

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

図5 「基準津波評価」と「判断基準の網羅性の検討」の差異

① -1 崩壊規模のパラメータスタディ

Kinematic モデルによって海底地すべりによる津波を計算する場合、基準津波評価においては複数の斜面で形成されたとされるものも含め、一度に全て崩壊するものとして崩壊規模を最大値で設定している。網羅性の確認においては、地すべりによって発生する津波の波形の不確かさを確認する観点から、Kinematic モデルにおいて地すべりの進展が途中で止まる場合を考慮し、基準津波3, 4について崩壊規模を徐々に小さくしたパラメータスタディを実施した。(図6)

崩壊規模のパラメータスタディの結果、崩壊規模が小さくなるほど水位変動が小さくなることが確認されたが(図7)、いずれの場合でも施設影響が生じるケースは仮設定したトリガーで検知できることを確認した。(図8、図9)

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

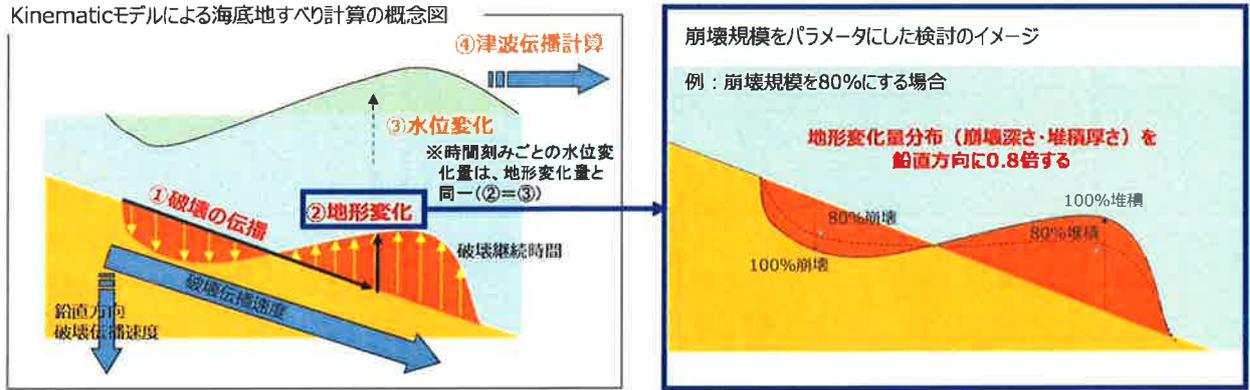


図6 崩壊規模のパラメータスタディ方法

●水位上昇側 (Kinematicモデル)
Es-K5 (エリアB)

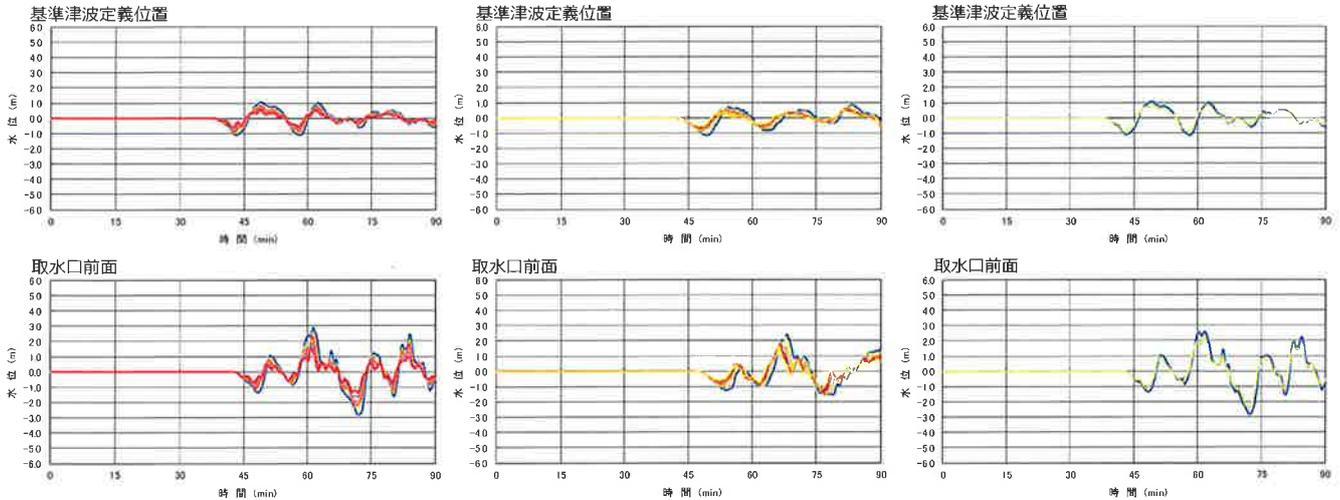
- 崩壊規模 = 100%
- 崩壊規模 = 80%
- 崩壊規模 = 70%
- 崩壊規模 = 60%
- 崩壊規模 = 50%
- 崩壊規模 = 40%

Es-T2 (エリアC)

- 崩壊規模 = 100%
- 崩壊規模 = 80%
- 崩壊規模 = 60%
- 崩壊規模 = 50%
- 崩壊規模 = 45%
- 崩壊規模 = 40%

●水位下降側 (Kinematicモデル)
Es-K5 (エリアB)

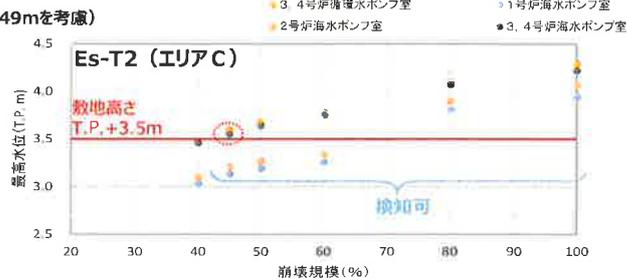
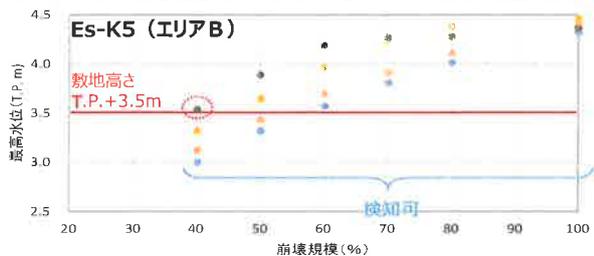
- 崩壊規模 = 100%
- 崩壊規模 = 80%



水位変動の確認の観点から、計算潮位面をグラフ上の0mとして表記

図7 崩壊規模のパラメータスタディ結果 (時刻歴波形)

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



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



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

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

崩壊規模	40%		50%		60%		70%		80%		100%	
	1号	2,3,4号										
最高水位 [T.P. m]	3.54	3.54	3.60	3.60	3.68	3.68	3.78	3.78	4.10	4.10	4.29	4.29
水位低下量 (m)	0.74	0.73	0.89	1.01	1.01	1.15	1.17	1.21	1.41	1.25	1.23	1.50
0.7m低下時間 [分]	4.8	4.8	4.6	4.3	4.3	4.5	3.7	3.8	2.5	4.0	4.0	2.4
検知可否	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

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

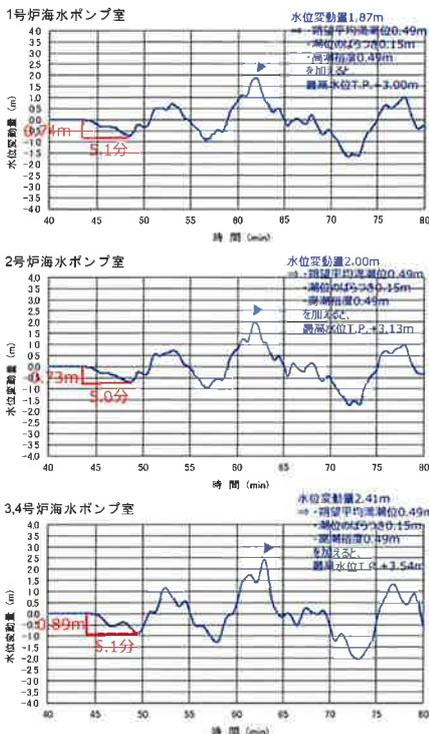
崩壊規模	40%		45%		50%		60%		80%		100%	
	1号	2,3,4号										
最高水位 [T.P. m]	3.48	3.48	3.60	3.60	3.68	3.68	3.78	3.78	4.10	4.10	4.29	4.29
水位低下量 (m)	0.69	0.70	0.78	0.80	0.88	0.89	0.98	1.07	1.11	1.19	1.32	1.36
0.7m低下時間 [分]	4.8	3.9	4.6	4.5	3.8	4.5	4.4	3.7	4.3	3.6	4.3	4.2
検知可否	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

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

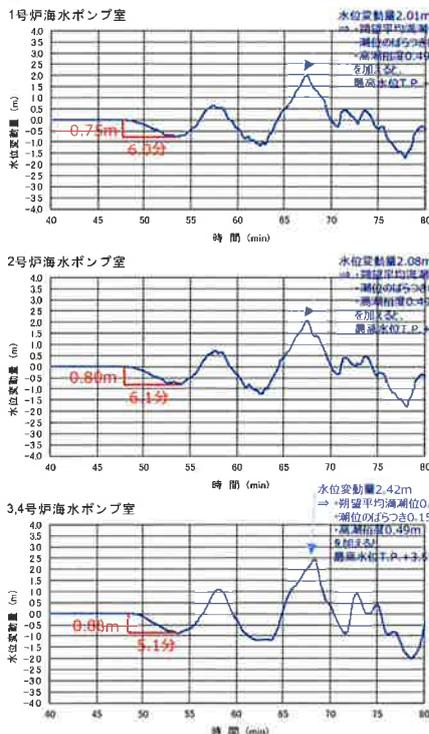
崩壊規模	80%		100%	
	1,2号	3,4号	1,2号	3,4号
最低水位 [T.P. m]	-3.29	-3.29	-3.80	-3.78
水位低下量 (m)	1.27	1.27	1.45	1.48
0.7m低下時間 [分]	2.8	3.8	3.2	2.9
検知可否	○	○	○	○

図8 崩壊規模のパラメータスタディ結果 (施設影響の確認)

●水位上昇側: Es-K5 (エリアB) 崩壊規模40%



●水位上昇側: Es-T2 (エリアC) 崩壊規模45%



●水位下降側: Es-K5 (エリアB) 崩壊規模80%

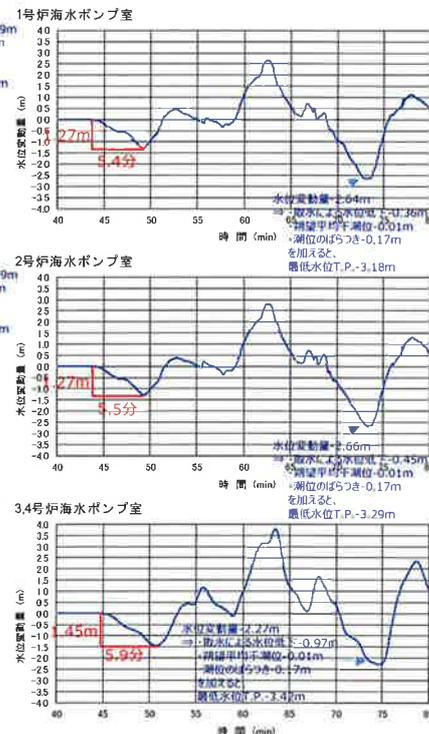


図9 崩壊規模のパラメータスタディ結果 (トリガーによる検知可否の確認)

①-2 破壊伝播速度のパラメータスタディ

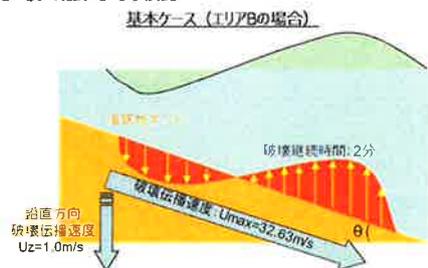
Kinematic モデルによって海底地すべりによる津波を計算する場合、基準津波評価においては、破壊伝播速度として Watts 他の予測式による海底地すべりの速度の最大値 U_{max} を採用している。網羅性の確認においては、地すべりによって発生する津波の波形の不確かさを確認する観点から、Kinematic モデルにおいて地すべりの進展が比較的遅い場合を考慮し、基準津波 3, 4 について破壊伝播速度を徐々に小さくしたパラメータスタディを実施した。(図 10)

崩壊規模のパラメータスタディの結果、破壊伝播速度が小さくなるほど水位変動が小さくなり、周期は長くなることが確認されたが(図 11)、いずれの場合でも施設影響が生じるケースは仮設定したトリガーで検知できることを確認した。(図 12、図 13)

なお、パラメータスタディ結果のうち、基準津波 3 (上昇側) の破壊伝播速度 0.5m/s~0.6m/s では、1 波目の水位低下量の大小が破壊伝播速度の大小と整合していない。この間での 1 波目の水位低下量は概ね同程度で 0.8m 程度であるところ、取水路周辺の詳細地形の影響等で水位変動がやや増減しているものと考えられるが、施設影響が生じない破壊伝播速度 0.5m/s のケースも含めていずれも水位低下量が 0.70m 以上であり、検知可能であることを確認している。

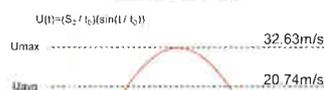
海底地すべり	破壊伝播速度 (鉛直方向) のパラメータスタディケース	
	水位上昇側	水位下降側
Es-K5 (エリアB)	1.0m/s (基本ケース) 、0.8m/s、0.7m/s、0.6m/s、0.55m/s、0.5m/s、0.4m/s	1.0m/s (基本ケース) 、0.8m/s、0.7m/s、0.6m/s、0.5m/s、0.4m/s
Es-T2 (エリアC)	0.5m/s (基本ケース) 、0.4m/s、0.3m/s、0.2m/s	

(参考) 既許可時の検討



海底地すべり(エリアB、Es-K5)の場合、Watts他の予測式による $U_{max}=32.63\text{m/s}$ であることから、 $U_z=U_{max}\cdot\sin\theta=32.63\times\sin 1.7=0.97\text{m/s}$ となり、鉛直方向破壊伝播速度を 1.0m/s と設定する。

Watts他の予測式による海底地すべり速度Uの時間変化 (エリアBの場合)



検討ケース	伝播速度 U (m/s)	鉛直伝播速度 Uz (m/s)
U_{max} (基本ケース)	32.63	1.0
U_{avg} (シナスタケース)	20.74	0.7

基準津波定義位置の津波波形

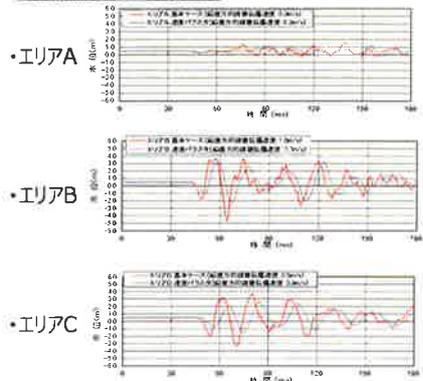


図 10 破壊伝播速度のパラメータスタディ方法

●水位上昇側 (Kinematicモデル)
Es-K5 (エリアB)

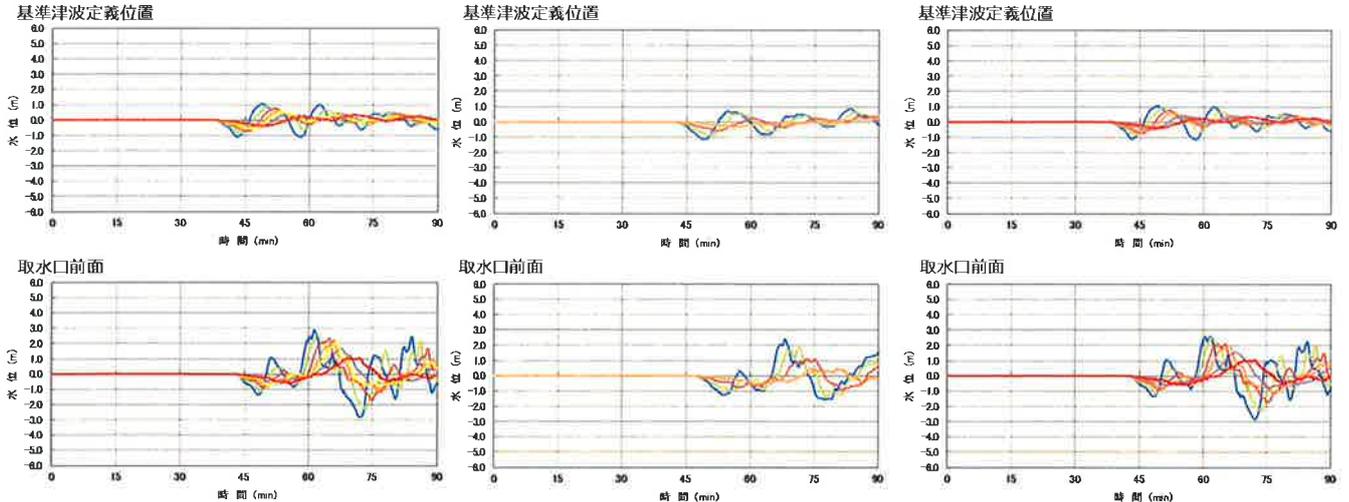
- 破壊伝播速度=1.0m/s
- 破壊伝播速度=0.8m/s
- 破壊伝播速度=0.7m/s
- 破壊伝播速度=0.6m/s
- 破壊伝播速度=0.55m/s
- 破壊伝播速度=0.5m/s
- 破壊伝播速度=0.4m/s

Es-T2 (エリアC)

- 破壊伝播速度=0.5m/s
- 破壊伝播速度=0.4m/s
- 破壊伝播速度=0.3m/s
- 破壊伝播速度=0.2m/s

●水位下降側 (Kinematicモデル)
Es-K5 (エリアB)

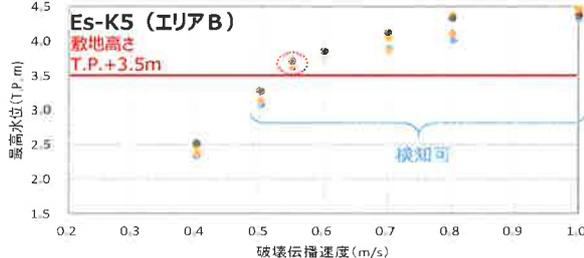
- 破壊伝播速度=1.0m/s
- 破壊伝播速度=0.8m/s
- 破壊伝播速度=0.7m/s
- 破壊伝播速度=0.6m/s
- 破壊伝播速度=0.5m/s
- 破壊伝播速度=0.4m/s



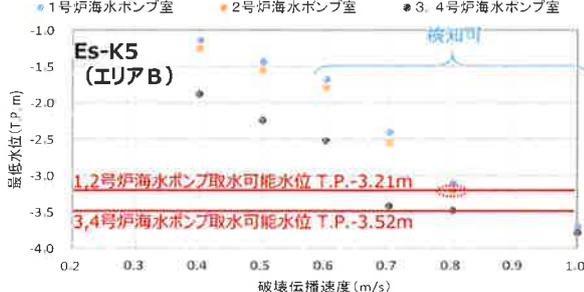
水位変動の確認の観点から、計算潮位面をグラフ上の0mとして表記

図11 崩壊規模のパラメータスタディ結果 (時刻歴波形)

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



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



◆判断基準 (0.70m/10分) による検知可否 (施設影響あり: 赤 検知可能: 青 検知不能: 緑)

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

破壊伝播速度	0.4m/s	0.5m/s	0.55m/s	0.6m/s	0.7m/s	0.8m/s	1.0m/s
最高水位 [T.P. m]	2.52	3.29	3.73	3.85	4.13	4.37	4.46
ポンプ室	1号 2号 3,4号						
水位低下量 [m]	0.67, 0.66, 0.81	0.79, 0.81, 0.90	0.71, 0.71, 0.89	0.72, 0.76, 0.93	0.92, 0.96, 1.12	1.29, 1.28, 1.58	1.57, 1.64, 1.88
0.7m低下時間 [分]	-	11.1, 9.2, 8.5	8.1, 9.1, 9.0	7.5, 7.5, 7.2	6.7, 5.4, 5.3	5.7, 4.5, 4.3	2.7, 3.2, 3.1
検知可否	x	x	x	x	o	o	o

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

破壊伝播速度	0.2m/s	0.3m/s	0.4m/s	0.5m/s
最高水位 [T.P. m]	2.15	2.61	3.70	4.29
ポンプ室	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号
水位低下量 [m]	0.60, 0.64, 0.70	0.64, 0.68, 0.81	1.05, 1.14, 1.27	1.50, 1.53, 1.73
0.7m低下時間 [分]	-	13.6, -	9.6, 6.0, 5.9	4.5, 4.2, 3.6
検知可否	x	x	x	o

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

破壊伝播速度	0.4m/s	0.5m/s	0.6m/s	0.7m/s	0.8m/s	1.0m/s
最低水位 [T.P. m]	-1.25	-1.55	-1.79	-2.55	-3.21	-3.80
ポンプ室	1,2号	3,4号	3,4号	3,4号	3,4号	3,4号
水位低下量 [m]	0.60, 0.56, 0.73	0.62, 0.64, 0.77	0.80, 0.82, 0.99	0.92, 0.93, 1.14	1.24, 1.25, 1.47	1.48, 1.50, 1.77
0.7m低下時間 [分]	-	12.3, -	8.4, 6.3, 6.7	6.4, 5.4, 5.4	4.6, 4.6, 4.5	4.2, 2.9, 3.3
検知可否	x	x	x	x	o	o

図12 破壊伝播速度のパラメータスタディ結果 (施設影響の確認)

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

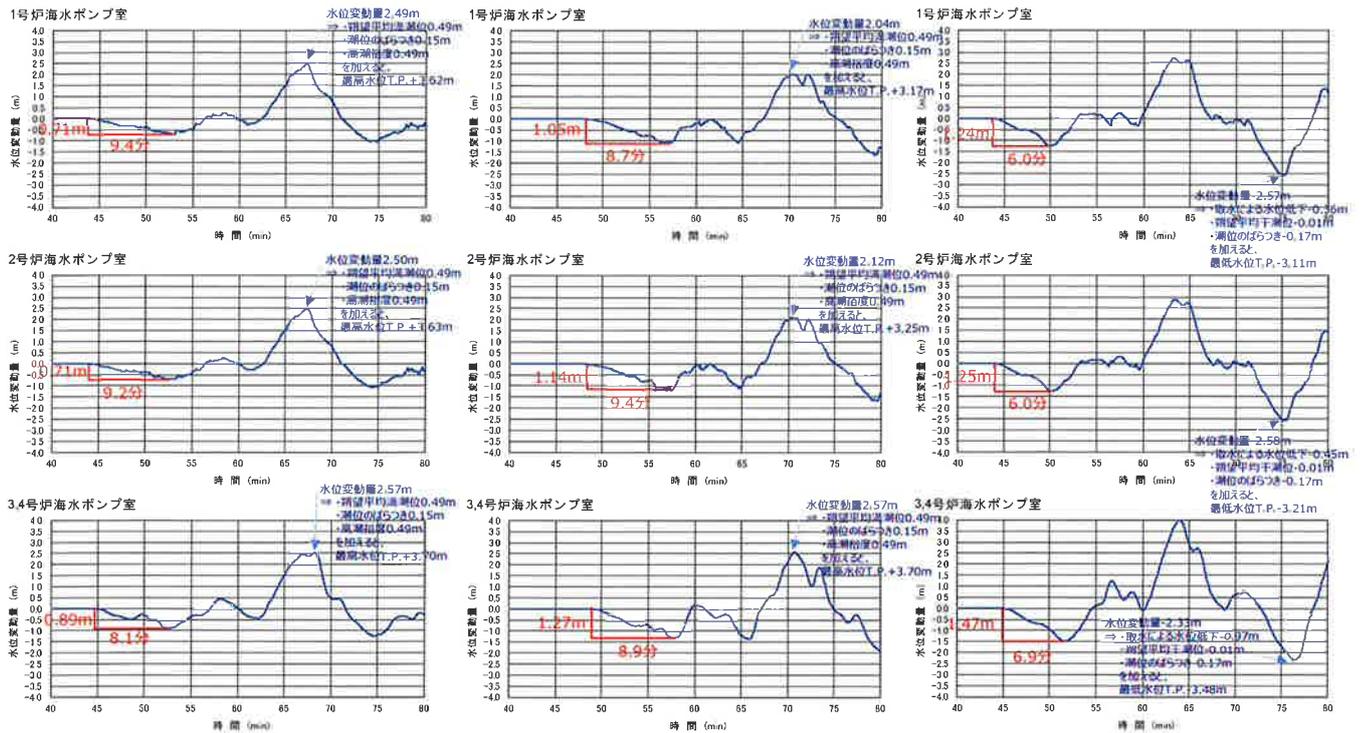


図 13 崩壊規模のパラメータスタディ結果（トリガーによる検知可否の確認）

② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ

仮設定したトリガーでは、「1波目よりも2波目以降の水位変動が大きい」という前提に基づき、1波目の水位変動を検知することとしている。海底地すべりによる津波の計算結果では、いずれのケースでも、基準津波定義位置の時刻歴波形では2波目以降の水位変動が1波目と同程度以下なのに対して、取水口前では2波目以降の水位変動の増幅が見られる。これは1波目では波源からの直達波のみが到達するのに対して、2波目以降では大島半島等からの反射波との重畳が生じているためと考えられる。（図 14）

波源特性に関するパラメータスタディでは、パラメータの変動に応じて生成される振幅・周期が異なる様々な津波波形においていずれの場合も取水口位置で2波目以降が増幅することが確認されており、2波目以降の増幅は若狭湾の伝播特性に起因する高浜発電所位置の津波波形の一般的な傾向であると考えられる。

この傾向をより網羅的に確認し、特に「波源のパラメータスタディ結果とは異なるような特異的に大きな増幅傾向がないこと」及び「1波目の水位低下が10分を超えるような周期の長い波（周期40分以上）では大きな増幅はしないこと」を確認するため、振幅・周期を様々に変えた正弦波を用いて津波水位計算を実施し、1波目と2波目以降の関係を確認した。計算条件を図 15 に示す。この検討では1波目と2波目以降の振幅の比（以下、増幅比率という）を指標として確認を行った。

正弦波によるパラメータスタディの結果、増幅比率は入力波の周期が10

分～20分程度の場合で特に大きく、周期40分以上では1に近づくことを確認した。また、増幅比率は、入力波の振幅を変えてもほとんど変化しない。(図16)

正弦波の検討による2波目以降の増幅の程度や影響する周期の傾向は、波源特性のパラメータスタディ結果と同じであり、0.7m/10分では検知できないような特異な増幅傾向はなく、1波目の水位低下が10分を超えるような周期の長い波では増幅が小さいことを確認した(図17)。なお、破壊伝播速度のパラメータスタディにおける各ポンプ室での増幅比率の増幅率の最大値は3.7であったが、このケースでも設定したトリガーで検知できることを確認している。

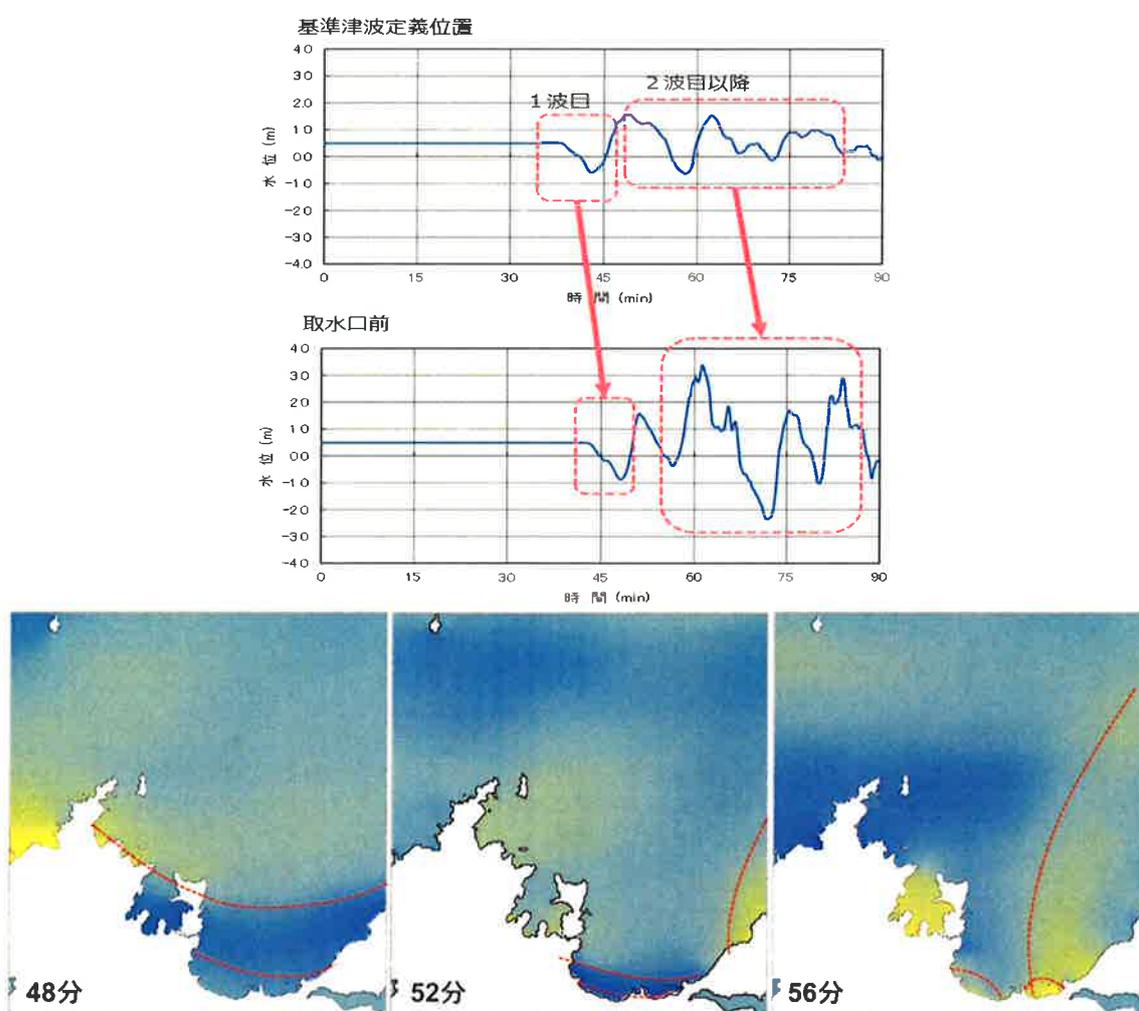
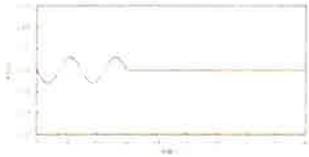


図14 海底地すべりエリアB (Kinematic) の計算結果 (津波波形、スナップショット)

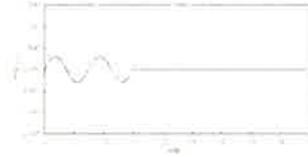
正弦波のパラメータ	設定	考え方
波数	2波	海底地すべりによる津波の基準津波定義位置の波形及びスナップショットから、入力波として明瞭な振幅が存在する波数として2波とする。
初動方向	・水位下降波先行 ・水位上昇波先行	隠岐トラフでは地形的にほとんどの地すべりが発電所とは逆方向に崩壊していることから水位下降波先行と考えられるが、発電所方向に崩壊する一部の地すべりではわずかに水位上昇波が先行する計算結果となることから、両パターンを設定する。
振幅	0.3~0.6m	・取水口位置での1波目の振幅が各周期で概ね0.7m程度となる振幅として0.3mとする。 ・周期10分・15分・40分については、施設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

入力波形の例

◆波数2・水位下降波先行・周期15分・振幅0.3m



◆波数2・水位上昇波先行・周期15分・振幅0.3m



正弦波の入力位置

150m格子領域北境界から正弦波を入力



図 15 正弦波によるパラメータスタディの計算条件

最大水位上昇量/1波目水位変動量

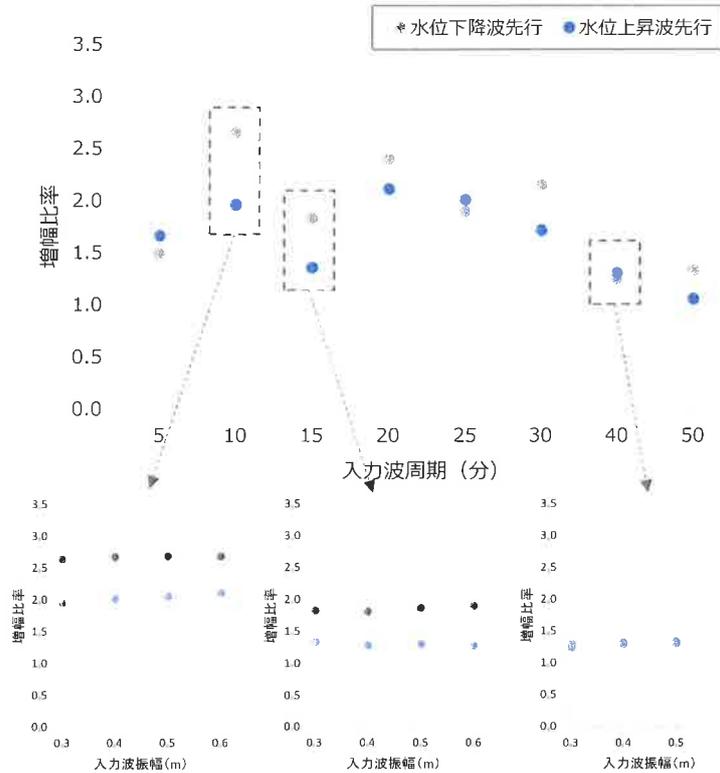
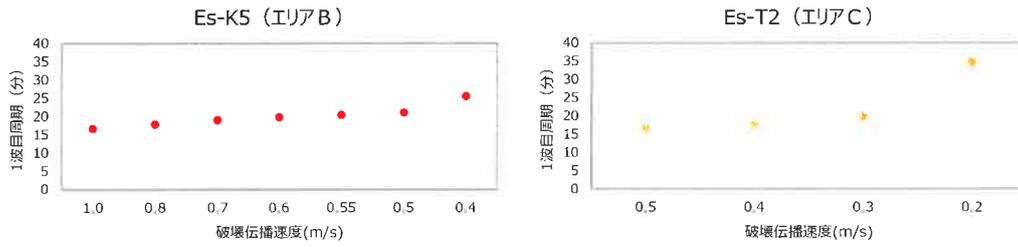


図 16 正弦波によるパラメータスタディ結果 (取水口前面)

●破壊伝播速度と1波目の周期（基準津波定義位置）の関係



●正弦波及び破壊伝播速度のパラメータスタディによる増幅比率

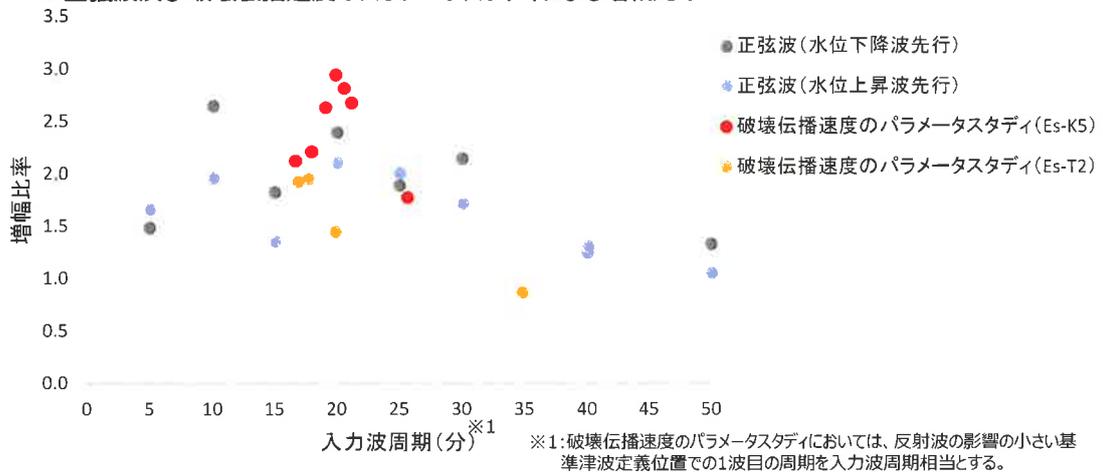


図 17(1) 正弦波と海底地すべりによる津波の増幅比率の比較（取水口前面）

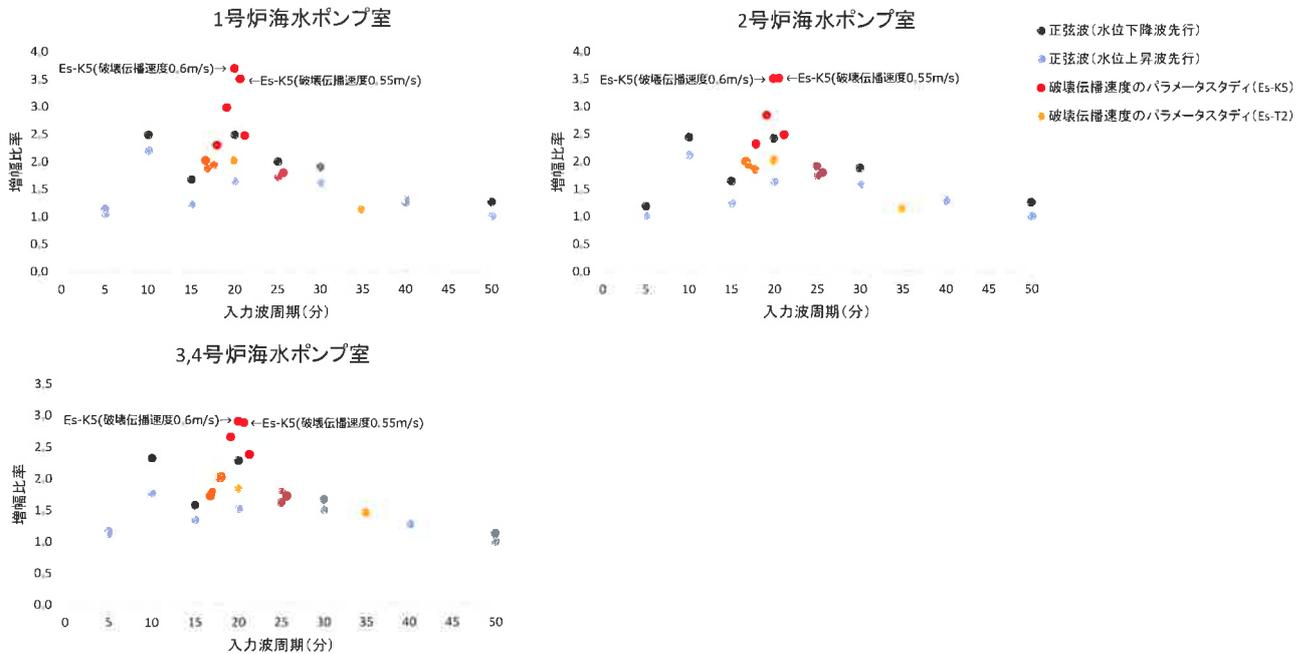


図 17(2) 正弦波と海底地すべりによる津波の増幅比率の比較（各ポンプ室）

海底地すべりによる津波及び正弦波のいずれの場合でも、2波目以降が増幅し、その増幅比率は周期によって異なる傾向が見られたことを踏まえ、取水口位置での2波目以降の波形に対する大島半島からの反射波の影響について、波の重畳及び波の励起の観点で確認を行った。

図18に海底地すべりによる津波(Es-K5, Kinematicモデル)及び正弦波(入力波周期15分)の計算における若狭湾内のスナップショットと取水口位置の時刻歴波形を示す。それぞれの津波の伝播状況から、波源からの1波目及び2波目は南向きに進行すること、大島半島からの反射波は西向きに進行すること、取水口位置では大島半島からの1波目の反射波と波源からの2波目が重畳すること、大島半島で反射した波が取水口に到達するまでの時間は10~12分程度と考えられること、が確認された。

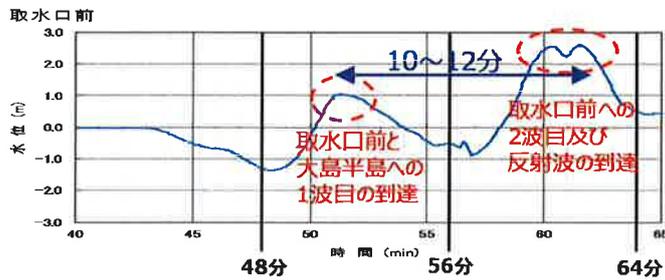
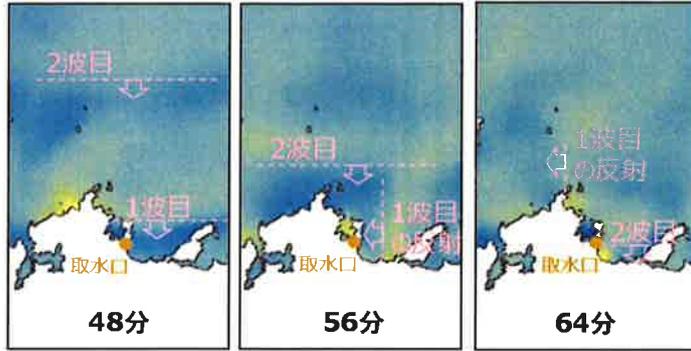
これを踏まえ、図19のように取水口位置までの津波の伝播経路を①~③に分類した上で、波が重畳する条件を検討した。

伝播経路①と伝播経路②が同じように津波を伝播させると仮定すると、伝播経路③の進行に要する伝播時間と津波の周期が一致する場合において、伝播経路②及び伝播経路③を通じて到達する1波目のピークと伝播経路①を通じて到達する2波目のピークが取水口前で重畳する。伝播経路③の進行に要する伝播時間は、スナップショット及び時刻歴波形の確認結果から10~12分程度と考えられる。これは伝播距離及び波速に基づく次式の試算とも概ね一致する。

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

したがって、周期10~15分程度の波において他の周期よりも2波目以降の増幅比率が高くなる傾向は、大島半島から10~12分程度で取水口前に到達する反射波との重畳が影響していると考えられる。一方、周期が10~15分よりも大幅に長い場合に増幅比率が低くなるのは、伝播経路①を通じて2波目のピークが到達する前に大島半島からの反射波が到達してしまうことで、ピークどうしの重畳が生じないためと考えられる。

エリアB Es-K5(Kinematic)の津波伝播のスナップショット



正弦波(入力波周期15分)の津波伝播のスナップショット

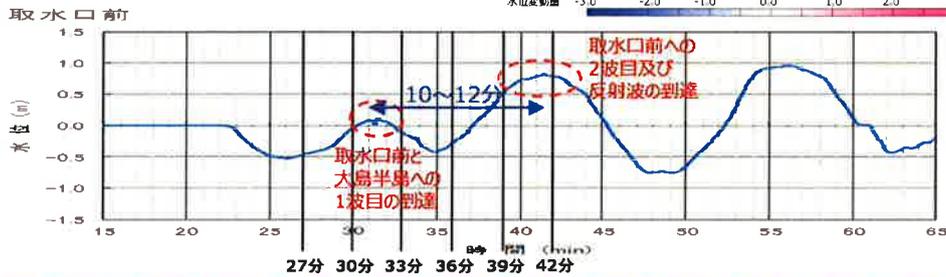
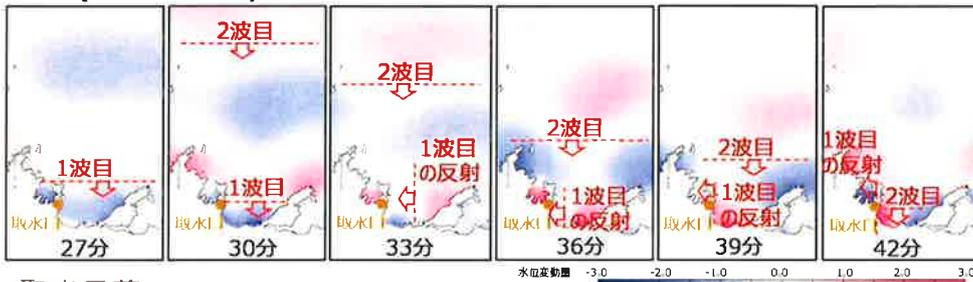


図 18 大島半島からの反射波との重畳 (海底地すべりによる津波、正弦波)



図 19 取水口位置までの津波の伝播経路

また、高浜湾における固有振動（セイシュ）によって大島半島からの反射波の振幅が励起される可能性についても検討を行った。

図 19 において、伝播経路③を西進した 1 波目の反射波が取水口位置で反射する際に、波の周期が高浜湾の固有周期と一致する場合において、波の固有振動（セイシュ）によって振幅が励起される。両端が岸（腹）となるセイシュが発生する固有周期 T_n は、伝播距離 L と水深 h から、 $T_n = 2L / n\sqrt{gh}$ の式で求められる。高浜湾の伝播経路③の場合、 $L=9500\text{m}$ 、 $h=20\sim 30\text{m}$ とすると、1 次固有周期が 18～23 分程度、2 次固有周期が 9～11 分程度となる。

図 17(1)の再掲になるが、図 20 に正弦波と海底地すべりによる津波の取水口位置の増幅比率と周期の関係を示す。

正弦波による検討結果では、特に周期 10 分と周期 20 分において他の周期よりも増幅比率が大きい。これらは伝播経路③の 1 次・2 次の固有周期に近い波である。

一方、海底地すべりによる津波では、周期 20 分程度のケースで高い増幅比率となっている傾向がみられる。ただし、Es-K5（破壊伝播速度 0.6m/s）と Es-T2（破壊伝播速度 0.3m/s）はともに、1 波目の周期が 20 分程度であるが、Es-T2 では増幅比率が 1.5 程度と比較的小さい。図 20 では、基準津波定義位置の時刻歴波形での 1 波目のみかけの周期を海底地すべりによる津波の入力波周期としているため、沖合から入射される波の周期を正確に捉えられていない可能性がある。このため、正弦波の入力位置と同じ位置の時刻歴波形を用いて FFT 解析を実施した（図 21）。その結果、Es-K5 は周期 18 分程度が卓越する波、Es-T2 は周期 26 分程度が卓越する波であった。したがって、実際に含まれている波が湾の固有周期に近い Es-K5 では増幅比率が大きく、湾の固有周期とは異なる周期の Es-T2 では増幅比率が小さい結果となっている。

よって、取水口位置における 2 波目以降の増幅には、大島半島から反射

して到達する波の振幅がセイシュによって励起されることが影響している可能性がある。

以上の検討結果から、取水口位置での2波目以降の振幅の増幅には、大島半島からの反射波と波源からの1波目の重畳、及び、高浜湾の固有振動による大島半島からの反射波の励起、が影響している可能性がある。ただし、いずれの場合も2波目以降が増幅しやすい周期は10~20分程度であるため、これよりも周期が大幅に長い波の場合には2波目以降の増幅は生じにくいと考えられる。

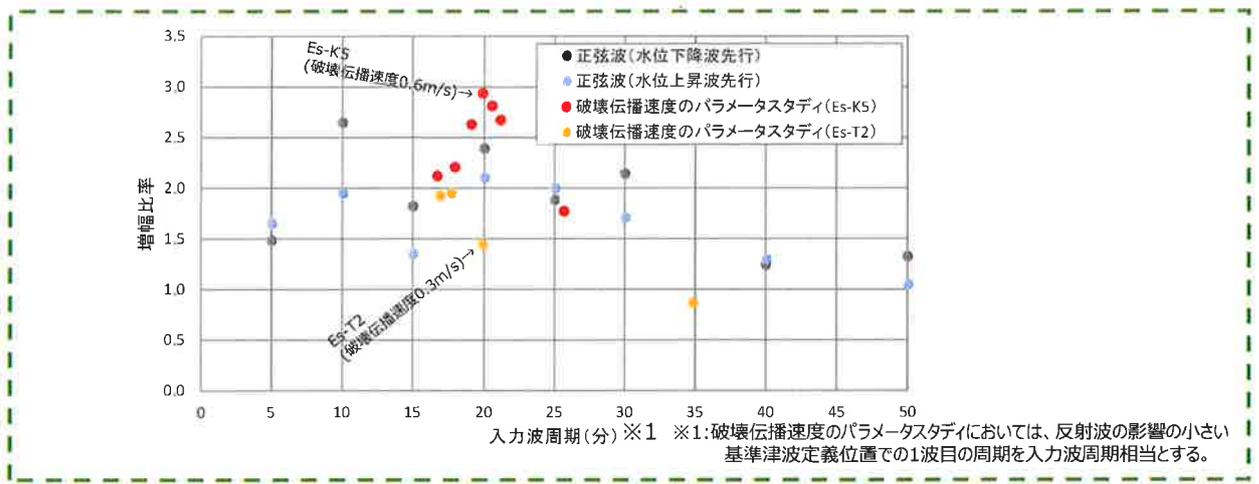


図 20 増幅比率と周期の関係

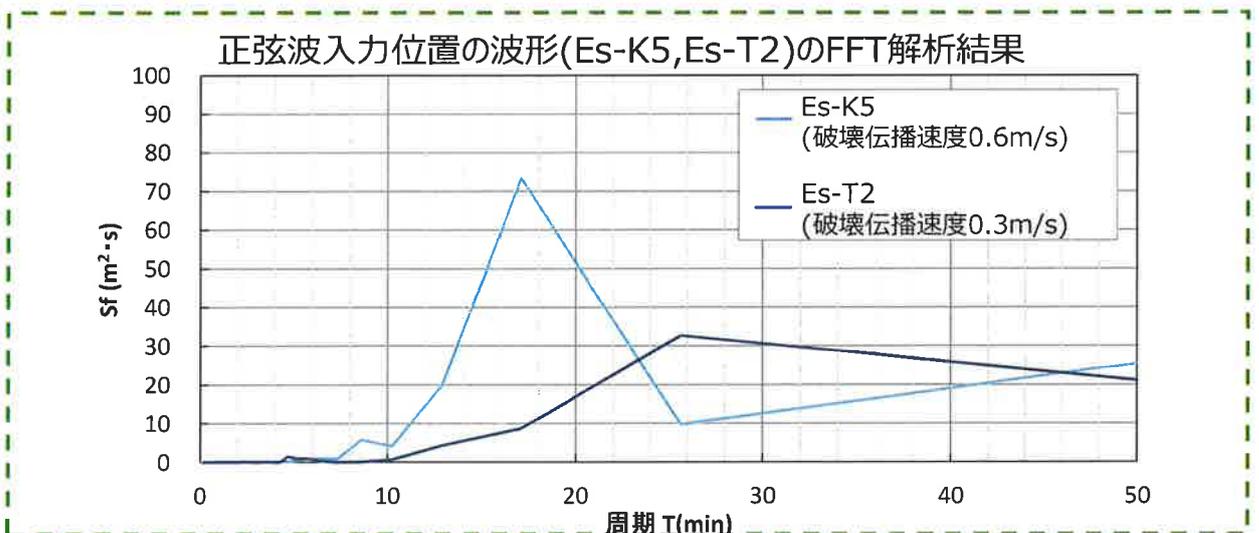


図 21 正弦波入力位置の波形(Es-K5, Es-T2)のFFT解析結果

(5) 津波検知の判断基準（トリガー）の設定

(4)における基準津波3及び基準津波4の波源である隠岐トラフ海底地すべりの波源特性及び若狭湾の伝播特性のパラメータスタディの結果を踏まえ、「パラメータスタディ波高の観点」、「非線形性の観点」及び「増幅比率の観点」から、閉止判断基準の仮設定値を再設定する。

「パラメータスタディ波高の観点」での仮設定値は、隠岐トラフ海底地すべりの崩壊規模又は破壊伝播速度のパラメータスタディを実施し、施設に影響を与える津波を見逃さない条件を確認した上で、施設影響が生じないケースも含め、T.P.+3.5mの敷地に最近接するケースにおける、第1波の水位変動量とする。

「非線形性の観点」での仮設定値は、隠岐トラフ海底地すべりの破壊伝播速度と第1波の水位変動量の関係が線形ではない場合があることを考慮し、全体的な傾向を踏まえ、保守的な破壊伝播速度のケースにおける第1波の水位変動量とする。

「増幅比率の観点」での仮設定値は、隠岐トラフ海底地すべりの崩壊規模若しくは破壊伝播速度のパラメータスタディ又は振幅若しくは周期を変えた正弦波によるパラメータスタディから得られた第1波と第2波以降の水位増幅比率の最大値を用いて、施設影響が生じるT.P.+3.5mを第2波以降の水位変動量と仮定し、逆算した第1波の水位変動量とする。

「パラメータスタディ波高の観点」、「非線形性の観点」及び「増幅比率の観点」で設定した仮設定値に対して、不確かさとして潮位のゆらぎを考慮の上、工学的余裕を考慮し、閉止判断基準を設定する。なお、閉止判断基準の設計方針は、設置許可添付八へ記載する。また、閉止判断基準の設定方針は、設工認の基本設計方針にも記載し、詳細の確認を経て閉止判断基準として確定する。

「パラメータスタディ波高の観点」、「非線形性の観点」及び「増幅比率の観点」で設定した仮設定値を表2に示す。

「パラメータスタディ波高の観点」では、T.P.+3.5mの敷地に最近接するケースの1波目の水位変動が0.69mであることを確認した。「非線形性の観点」では、基準津波3で破壊伝播速度0.5m/s~0.6m/sのケースよりも水位変動が小さい破壊伝播速度0.40m/sのケースの1波目の水位変動が0.67mであることを確認した(図22)。「増幅比率の観点」では、最大の増幅比率3.7を考慮した場合に施設影響が生じる1波目の最低値が0.64mであることを確認した。これら3つの観点での1波目の水位変動の値をトリガーとして再度仮設定する。

さらに、平常時に生じ得る10分間の潮位のゆらぎを、潮位観測データから10分間の変動の中央値+標準偏差として算出される0.04mを踏まえて、保守的に0.10mとする。(図23、24)

仮設定値の0.69m, 0.67m, 0.64mに潮位のゆらぎ0.10mを考慮した場合、0.59m, 0.57m, 0.54mとなることから、さらに余裕を加味してトリガーを以

下のとおり設定する。

- ・ 潮位計のうち、2 台の観測潮位が 10 分以内に 0.5m 以上下降し、その後、最低潮位から 10 分以内に 0.5m 以上上昇する。
または
- ・ 潮位計のうち、2 台の観測潮位が 10 分以内に 0.5m 以上上昇し、その後、最高潮位から 10 分以内に 0.5m 以上下降する。

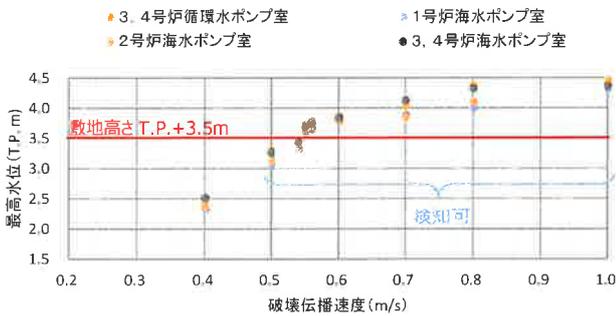
以上の検討により、津波検知のトリガーについては、(1)～(4)で施設影響が生じるケースを網羅的に検知できることを確認しているとともに、(5)においてトリガーをさらに安全側に仮設定した上で、不確かさとして潮位のゆらぎや余裕を適切に考慮した設定値としており、津波防護に用いるトリガーとして妥当な設定となっている。

●水位上昇側：Es-K5 (Kinematicモデル、最高水位には潮位のばらつき+0.15m及び高潮裕度+0.49mを考慮)

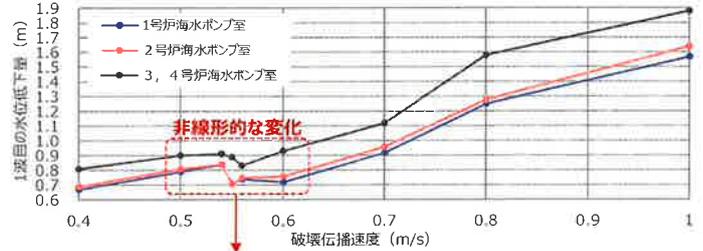
0.70m/10分による検知可否 (施設影響あり：赤 検知可能：青 検知不能：緑)

1波目	0.4m/s			0.5m/s			0.54m/s			0.55m/s			0.56m/s			0.6m/s			0.7m/s			0.8m/s			1.0m/s		
	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号
最大水位 [T.P.+m]	2.52			3.29			3.43			3.73			3.78			3.86			4.13			4.37			4.46		
水位低下量[m]	0.67	0.69	0.81	0.79	0.81	0.90	0.84	0.84	0.91	0.71	0.71	0.89	0.74	0.75	0.83	0.72	0.76	0.93	0.92	0.96	1.12	1.25	1.28	1.58	1.57	1.64	1.88
0.7m低下時間[分]	-	-	11.1	9.2	8.5	8.1	8.3	7.4	7.5	9.1	9.0	7.5	8.2	8.2	7.4	7.5	7.7	6.7	5.4	5.3	5.7	4.5	4.3	2.7	3.2	3.1	2.4
検知可否	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

破壊伝播速度と最高水位



破壊伝播速度と1波目の水位低下量



非線形的な区間 (0.5~0.6m/s) の1波目の水位低下量

	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室	3,4号炉海水ポンプ室
平均	0.76m	0.77m	0.90m
ばらつき	0.05m	0.05m	0.04m

図 22 破壊伝播速度パラメータスタディにおける 1 波目の非線形性

平常時における短時間の潮位のゆらぎの考え方を以下に示す。

- 基準津波評価にて考慮する「期望平均潮位」及び入力津波評価にて考慮する「潮位のばらつき」は、それぞれ過去の潮位データから平均値、標準偏差として算出。
- これに倣い、過去6ヶ月分の夏季／冬季の潮位データ観測から、統計的なばらつきを考慮した波高は下表の結果から0.04mと見積もられる。
- これを踏まえつつ、**10分間の潮位のゆらぎについては、より保守的に、過去観測のデータの3σの値よりも大きい0.10mを適用。**

	2019.8.1~10.31 (3か月)		
	3号海水ポンプ	4号海水ポンプ	全体
中央値	0.012	0.012	0.012
標準偏差	0.013	0.015	0.014
潮位のゆらぎ	0.025	0.027	0.026
● 夏期における10分間の潮位のゆらぎ(m)			
	2020.1.1~3.31 (3か月)		
	3号海水ポンプ	4号海水ポンプ	全体
中央値	0.008	0.017	0.012
標準偏差	0.010	0.019	0.014
潮位のゆらぎ	0.018	0.036	0.026
● 冬期における10分間の潮位のゆらぎ(m)			
	2019.8.1~10.31及び2020.1.1~3.31(6か月)		
	3号海水ポンプ	4号海水ポンプ	全体
中央値	0.010	0.015	0.012
標準偏差	0.011	0.017	0.014
潮位のゆらぎ	0.021	0.032	0.026
● 夏期と冬期の6ヶ月データによる10分間の潮位のゆらぎ(m)			

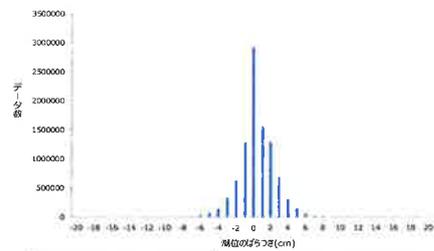
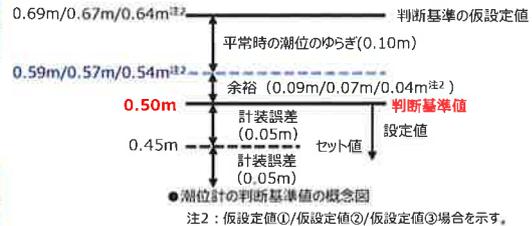
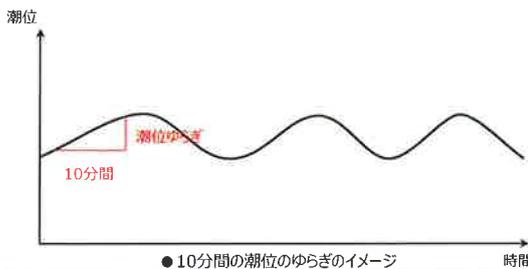


図 23 構内潮位計の平常時における 10 分間の潮位のゆらぎ

(参考) 通常時の潮位のゆらぎの具体的な算定について

平常時における短時間の潮位のゆらぎの具体的な算定方法を以下に示す。

- 10分前の瞬間潮位値と現在時刻の潮位値の差を取る。(例：2019/9/1 0時10分05秒と2019/9/1 0時20分05秒の差を取り、10分差を-0.008mと算定する。)
- 変動差のばらつきを見るため上記差の絶対値を算定する。
- 夏期、冬期、全体の期間における10分間潮位のばらつきの絶対値を統計的に処理し、中央値と標準偏差を算出する。潮位のゆらぎは中央値と標準偏差の和とする。
- これを踏まえつつ、10分間の潮位のゆらぎについては、より保守的に、過去観測のデータの3σと中央値の和よりも大きい0.10mを適用する。



● 10分間の潮位のゆらぎのイメージ

	夏期 2019.1.1~2019.3.31	冬期 2019.1.1~2019.3.31	全体
データ数	1571832	1512228	3084060
中央値	0.012	0.012	0.012
標準偏差	0.014	0.014	0.014
潮位のゆらぎ	0.026	0.026	0.026

● 夏期と冬期の6ヶ月データによる10分間の潮位のゆらぎ(m)

● 観測データを用いた10分差及び絶対値の例

日時	観測時刻		10分間の潮位差		10分間の潮位差の絶対値	
	時刻	潮位(m)	時刻	潮位(m)	時刻	潮位(m)
2019/09/01 00時10分05秒	0.71	0.706	20分05秒	0.698	0.008	0.004
2019/09/01 00時10分15秒	0.71	0.716	20分15秒	0.694	0.016	0.014
2019/09/01 00時10分25秒	0.707	0.725	20分25秒	0.694	0.011	0.009
2019/09/01 00時10分35秒	0.707	0.726	20分35秒	0.692	0.015	0.013
2019/09/01 00時10分45秒	0.704	0.724	20分45秒	0.692	0.012	0.01
2019/09/01 00時10分55秒	0.704	0.723	20分55秒	0.692	0.011	0.009
2019/09/01 00時11分05秒	0.702	0.721	21分05秒	0.692	0.01	0.008
2019/09/01 00時11分15秒	0.702	0.721	21分15秒	0.692	0.01	0.008
2019/09/01 00時11分25秒	0.704	0.72	21分25秒	0.692	0.012	0.01
2019/09/01 00時11分35秒	0.697	0.665	21分35秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時11分45秒	0.697	0.665	21分45秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時11分55秒	0.697	0.665	21分55秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時12分05秒	0.697	0.665	22分05秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時12分15秒	0.697	0.665	22分15秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時12分25秒	0.697	0.665	22分25秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時12分35秒	0.697	0.665	22分35秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時12分45秒	0.697	0.665	22分45秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時12分55秒	0.697	0.665	22分55秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時13分05秒	0.697	0.665	23分05秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時13分15秒	0.697	0.665	23分15秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時13分25秒	0.697	0.665	23分25秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時13分35秒	0.697	0.665	23分35秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時13分45秒	0.697	0.665	23分45秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時13分55秒	0.697	0.665	23分55秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時14分05秒	0.697	0.665	24分05秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時14分15秒	0.697	0.665	24分15秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時14分25秒	0.697	0.665	24分25秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時14分35秒	0.697	0.665	24分35秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時14分45秒	0.697	0.665	24分45秒	0.692	0.005	0.003
2019/09/01 00時14分55秒	0.697	0.665	24分55秒	0.692	0.005	0.003

図 24 平常時における潮位の具体的な算定方法について

表2 仮設定ごとの特性に応じた不確かさを考慮したトリガー設定

		パラスタから得られた 仮設定値	不確かさの考慮 (10分間の潮位のゆらぎ)	設定結果
仮設定① パラスタ波高 の観点	数値(m)	0.69	0.10	0.69-0.10 = <u>0.59</u>
	考え方	パラスタから施設影響が生じるケースは、第1波の水位変動量10分以内0.70mで検知できることを確認。 さらに、施設影響が生じないケースも含め、安全側に T.P.+3.5mに最近接するケース （海底地すべりエリアCのEs-T2の崩壊規模40%、最高水位T.P.+3.48m）における、第1波の水位変動量として設定。	<ul style="list-style-type: none"> 基準津波評価にて考慮する「朔望平均潮位」及び入力津波評価にて考慮する「潮位のばらつき」は、それぞれ過去の潮位データから平均値、標準偏差として算出。 これに倣い、夏季／冬季の潮位データ観測から、統計的なばらつきを考慮した波高は0.04mと見積もられる。 これを踏まえつつ、10分間の潮位のゆらぎについては、より保守的に、過去観測の最大約0.10mを適用。 	
仮設定② 非線形性の 観点	数値(m)	0.67		<ul style="list-style-type: none"> 基準津波評価にて考慮する「朔望平均潮位」及び入力津波評価にて考慮する「潮位のばらつき」は、それぞれ過去の潮位データから平均値、標準偏差として算出。 これに倣い、夏季／冬季の潮位データ観測から、統計的なばらつきを考慮した波高は0.04mと見積もられる。 これを踏まえつつ、10分間の潮位のゆらぎについては、より保守的に、過去観測の最大約0.10mを適用。
	考え方	海底地すべりエリアBのEs-K5の破壊伝播速度のパラスタから、 ①第1波の水位変動量の非線形性が見られる区間は、0.50m/s～0.60m/sの間であること。 ②0.4～1.0m/sを通し全体的な傾向は線形傾向があること。 から、区間①を下回る、破壊伝播速度0.40m/s（最高水位T.P.+2.52m）の第1波を、非線形性の観点での最低値に設定。		
仮設定③ 増幅比率の 観点	数値(m)	0.64	<ul style="list-style-type: none"> 基準津波評価にて考慮する「朔望平均潮位」及び入力津波評価にて考慮する「潮位のばらつき」は、それぞれ過去の潮位データから平均値、標準偏差として算出。 これに倣い、夏季／冬季の潮位データ観測から、統計的なばらつきを考慮した波高は0.04mと見積もられる。 これを踏まえつつ、10分間の潮位のゆらぎについては、より保守的に、過去観測の最大約0.10mを適用。 	
	考え方	崩壊規模および破壊伝播速度のパラスタから得られた第2波以降／第1波の最大の 増幅比率(3.7倍) を、施設影響が生じる T.P.+3.5mから逆算したものを第一波の波高として仮定し、設定		

5. 3 判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性の確認及び入力津波設定に関する位置付けについて

今回の変更に伴い、設置許可では、基本設計の条件下で判断基準（トリガー）を設定し、その判断基準に基づく取水路防潮ゲート閉止を考慮した上で、施設に最も影響が大きい波形を入力津波に設定した。合わせて、見落としなく判断基準（トリガー）を設定するため、5. 2（5）のとおり、複数の観点から選定した複数の波形を包含した仮設定値を決め、これに保守性をもって判断基準（トリガー）を設定する設計方針の妥当性を確認した。

設工認では、この設計方針において仮設定に用いた波形に対し、詳細設計条件下でも網羅性・妥当性に影響がないことを確認し、これを判断基準（トリガー）を設定するための入力津波とする。

上記の位置付けは、工認審査ガイドにおいて「設置許可に係る安全審査時において基本設計の妥当性を確認しているが、工事計画認可に係る審査においても、安全上重要な設備（機器・系統）の配置等に係る詳細設計の条件下での妥当性を確認」との記載とも整合しているものとする（図 25）。

今回の変更における判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性の確認及び入力津波設定の位置付けの詳細を以下に示す。

（1）判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性の確認について

設置許可においては、閉止運用に係る施設（潮位計他）の基本設計の条件下で、判断基準（トリガー）を設定する。

工事計画認可においては、基本設計との整合性について確認が必要であることから、詳細設計の条件下で、閉止運用に係る施設の位置・仕様等を反映した上で、判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性について確認を行う。

（2）入力津波設定について

設置許可においては、施設に最も影響が大きい波形を入力津波として設定する必要がある。このため、基本設計の条件下での判断基準（トリガー）を踏まえた取水路防潮ゲートの閉止を考慮し、施設に最も影響が大きい波形を入力津波として設定する。なお、施設に最も影響が大きい波形以外に、判断基準（トリガー）の妥当性を確認するための波形を入力津波として設定する方針を記載する。

工事計画認可においては、詳細設計の条件下で、判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性を確認し、判断基準（トリガー）を確定する。判断基準（トリガー）の確定に伴い、設置許可で設定した、施設に最も影響が大きい入力津波の妥当性を確認する。加えて、判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性の検討プロセスにおける、「パラメータスタディ波高の観点」、「非線形性の観点」及び「増幅比率の観点」で設定した仮設定値のうち、隠岐トラフ海底地すべりを波源とするケースを基に、判断基準（トリガー）の妥当性を確認するための波形を入力津波として設定する。

上記の位置付けを踏まえた、設置許可及び設工認における記載方針を図 26 に示す。

【実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の 解釈 別記 3】

第 5 条（津波による損傷の防止）

五 津波防護施設及び浸水防止設備については、入力津波（施設の津波に対する設計を行うために、津波の伝播特性及び浸水経路等を考慮して、それぞれの施設に対して設定するものをいう。以下同じ。）に対して津波防護機能及び浸水防止機能が保持できること。また、津波監視設備については、入力津波に対して津波監視機能が保持できること。そのため、以下の方針によること。

② **入力津波については、基準津波の波源からの数値計算**により、各施設・設備等の設置位置において**算定される時刻歴波形とすること**。数値計算に当たっては、敷地形状、敷地沿岸域の海底地形、津波の敷地への侵入角度、河川の有無、陸上の遡上・伝播の効果及び伝播経路上の人工構造物等を考慮すること。また、津波による港湾内の局所的な海面の固有振動の励起を適切に評価し考慮すること。

【基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド】

Ⅱ. 耐津波設計方針

2.2 安全審査範囲及び事項

設置許可に係る安全審査においては、基本設計段階における審査として、主に、基本事項、津波防護方針の妥当性について確認する。施設・設備の設計については、方針、考え方を確認し、その詳細を後段規制（工事計画認可）において確認することとする。（中略）それぞれの審査事項ごとの審査内容は以下のとおりである。

(1) 基本事項

設計対象である津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備の位置における津波の時刻歴波形のうち、施設、設備に最も影響が大きいものを当該施設、設備の入力津波として設定していることを確認する。

【耐津波設計に係る工認審査ガイド】

当該ガイドの表-1にて、入力津波については、以下を要求

「設置許可に係る安全審査時において基本設計の妥当性を確認しているが、工事計画認可に係る審査においても、安全上重要な設備（機器・システム）の配置等に係る詳細設計の条件下での妥当性を確認」

図 25 基準規則解釈・審査ガイドの記載（抜粋）

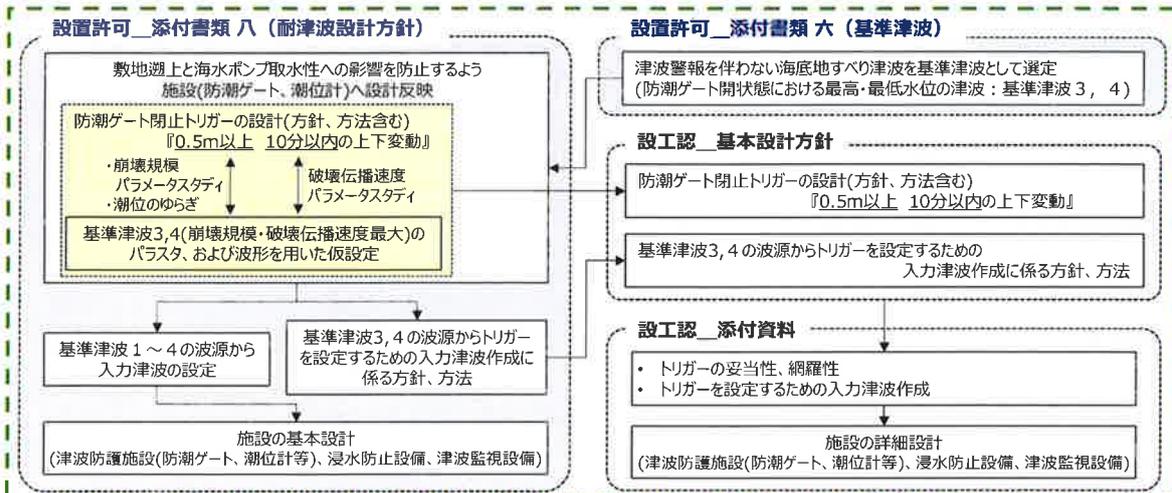


図 26 設置許可及び工事計画認可における記載方針

6. 運用成立性の確認

6. 1 運用時間の成立性確認

6. 1. 1 背景

5章の検討結果より、津波検知のトリガーは、「潮位計のうち、2台の観測潮位が10分以内に0.5m以上下降し、その後、最低潮位から10分以内に0.5m以上上昇」又は「潮位計のうち、2台の観測潮位が10分以内に0.5m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.5m以上下降」（以下、「通常の潮汐とは異なる潮位変動」という。）した場合とすることで、網羅的に施設影響が生じる津波を検知できることを確認した。

本章においては、3章及び4章で防潮ゲート対策採用の前提条件とした「運転操作が時間内に成立するか」を上記トリガーとした場合に確認する。

1号炉～4号炉の4プラント運転時において、取水路防潮ゲートは両系列（4門）を常時開としており、通常の潮汐とは異なる潮位変動を把握した場合、循環水ポンプ停止及びユニットトリップ操作が完了した後、中央制御室からの遠隔操作により、全門を閉止する運用としていることから、これらの一連の対応に係る運転操作等の成立性を確認する。

6. 1. 2 検討条件

通常の潮汐とは異なる潮位変動が観測された場合の取水路防潮ゲート閉止の流れを図1に示す。

循環水ポンプ停止とユニットトリップ操作については、既許可の運用と同様であることから、通常の潮汐とは異なる潮位変動が観測され判断基準に到達するまでの対応の成立性及び取水路防潮ゲート閉止時間に係る評価を行った。

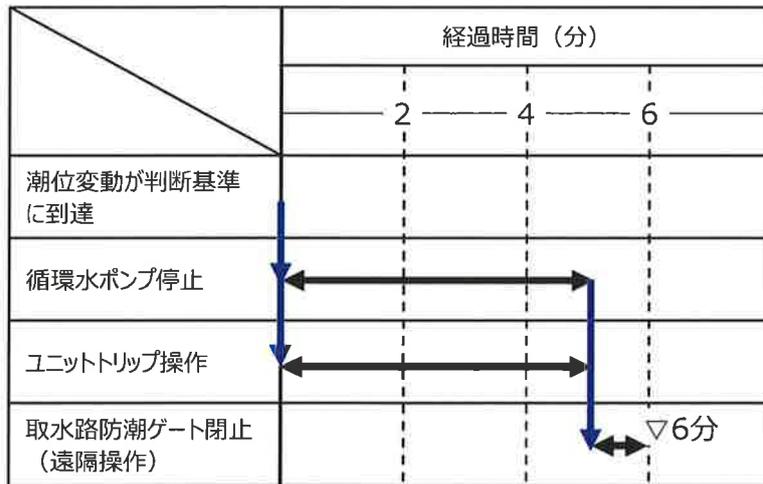
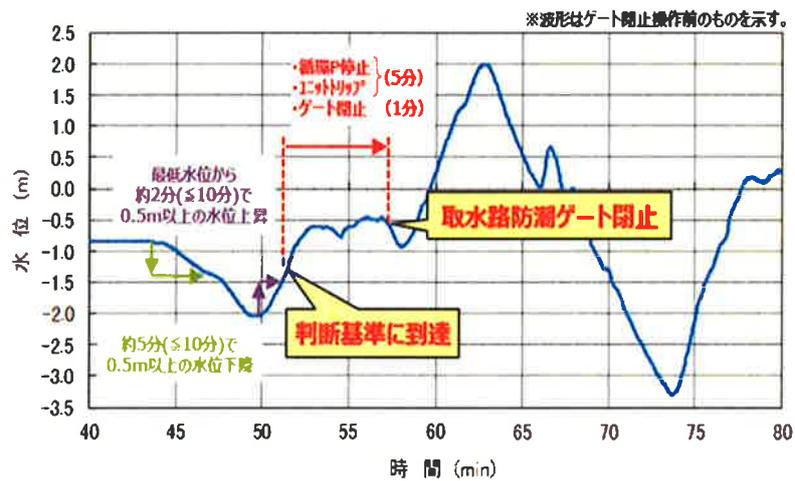


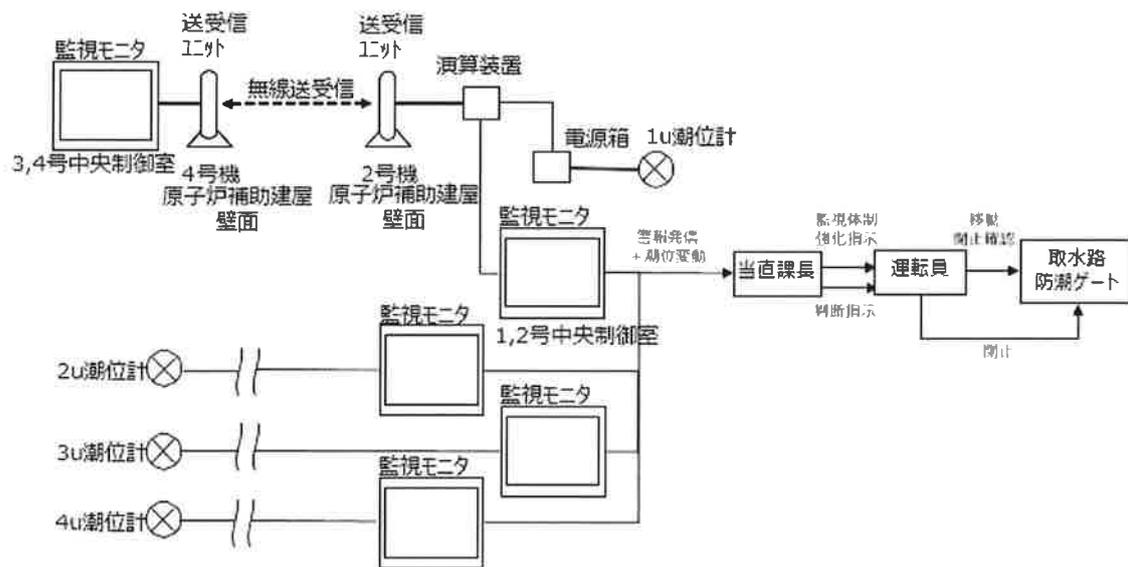
図 1(1/3) 通常の潮汐と異なる潮位変動が観測された場合の取水路防潮ゲート閉止の流れ

●津波襲来判断の例



(津波襲来判断の例)

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



(潮位計によるゲート閉止運用に関連する設備)
 図 1(3/3) 通常の潮汐と異なる潮位変動が観測された場合の
 取水路防潮ゲート閉止の流れ

6. 1. 3 検討結果

(1) 潮位計による通常の潮汐とは異なる潮位変動の観測について

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

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

a. 検討対象とする津波の選定

通常の潮汐と異なる潮位変動として、潮位計のうち2台の観測潮位が10分以内に0.5m以上下降し、その後、最低潮位から10分以内に0.5m以上上昇した場合、又は10分以内に0.5m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.5m以上下降することを判断基準としている。

検討対象とする津波は最も津波襲来の判断基準到達が早く運用上の対応が厳しくなる基準津波3の3、4号炉海水ポンプ室前の津波を選定する。選定した津波は下表のとおり。

表1 潮位変動開始から判断基準に到達するまでの所要時間

		敷地内		
		1号炉海水ポンプ室前	2号炉海水ポンプ室前	3, 4号炉海水ポンプ室前
下げ側	最初の0.5m*	2.55分 (43.35分~45.90分)	2.50分 (43.55分~46.05分)	1.95分 (44.25分~46.20分)
	全体	6.00分 (43.35分~49.35分)	6.10分 (43.55分~49.65分)	6.30分 (44.25分~50.55分)
上げ側	最初の0.5m	1.00分 (49.35分~50.35分)	0.80分 (49.65分~50.45分)	0.75分 (50.55分~51.30分)

b. 判断基準に到達するまでの対応

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

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

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

潮位変動開始から判断基準に到達するまでの対応イメージを図2に、運転員タイムチャート(1~4号炉)を図3に示す。

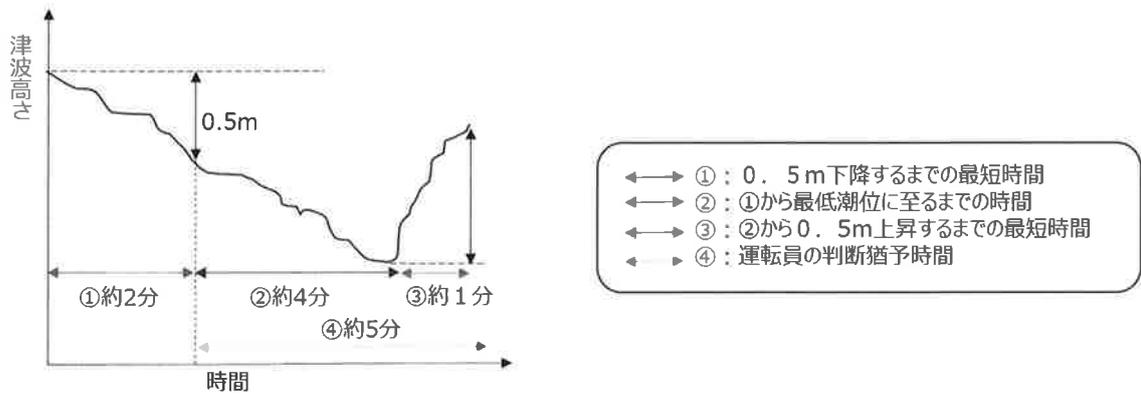


図2 潮位変動開始から判断基準に到達するまでの対応イメージ
(高浜3, 4号炉海水ポンプ室前)

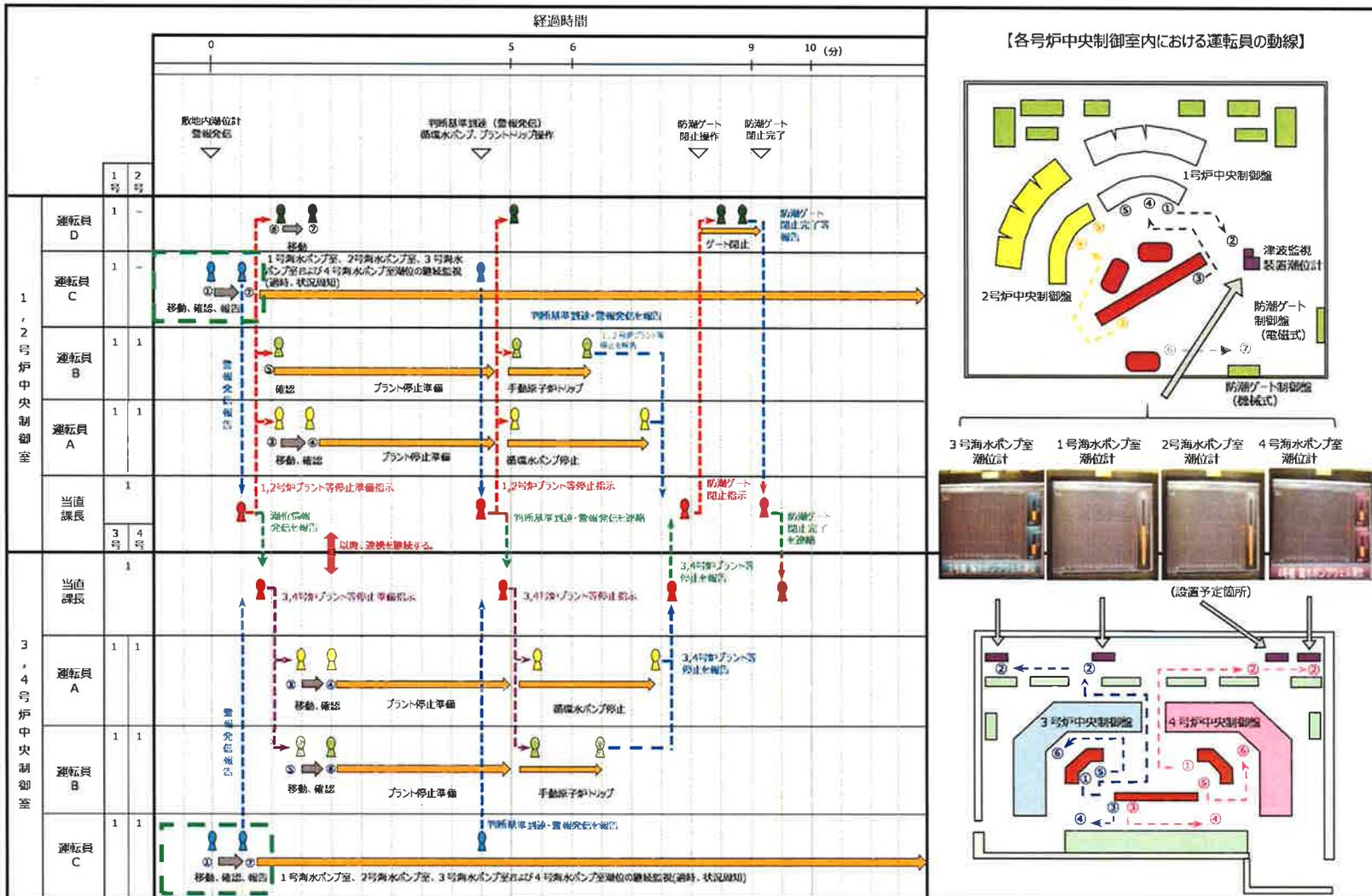


図3 運転員タイムチャート (1~4号炉)

c. 潮位変化率の算出方法

潮位計については図4の通りのシステム構成をしており、潮位計のサンプリング周期は約3sである。潮位計の信号については演算器において計測時点(図5の「t」)の値と5分前の値(「t-5」)を比較し、潮位の変化率を監視モニタに表示する。なお、初動の上げ又は下げ潮位の変化率が0.50mに達した時点で警報発信する。また、警報発信した時点で潮位変動は運転員が監視モニタで集中監視しており、津波襲来の検知が大幅に遅れることはない。

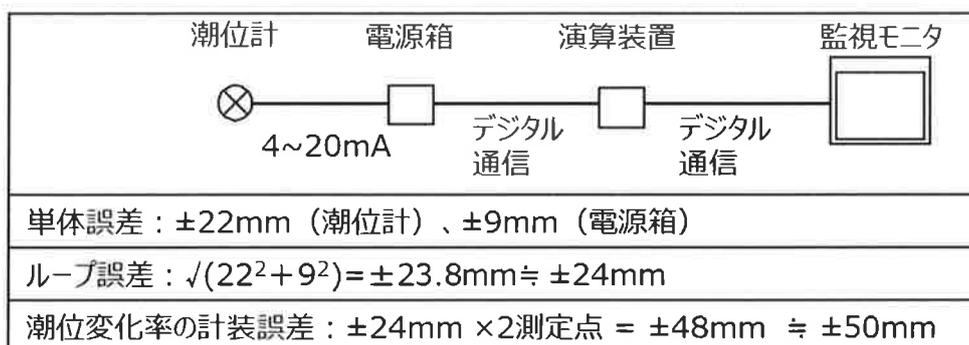


図4 潮位計のシステム構成図及び計装誤差の考え方

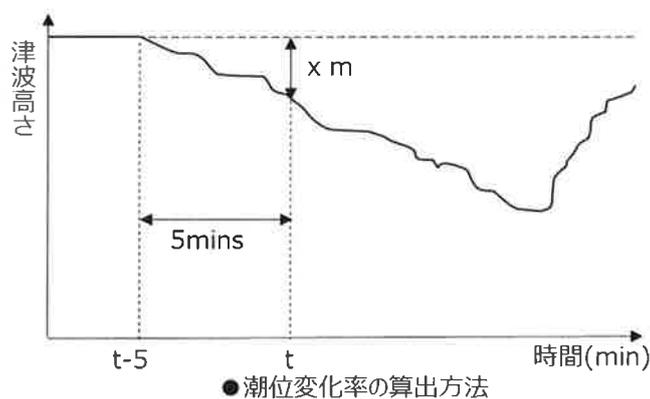


図5 潮位変化率の算出方法

d. 計測誤差の影響

潮位計のループ誤差は図4のとおり最大で±約5cmであり、計装誤差による検知の遅れ時間は最大約30秒であるが、図2のとおり、津波襲来の判断基準に到達するまでに、最短でも約5分の対応時間を有しており、これに比べ時間遅れは十分に小さいことから計測誤差による影響はない。

e. 潮位の判断基準の考え方

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

したがって、津波検知の判断基準値として設定した各仮設定値に、平常時における 10 分間の潮位のゆらぎ最大約 0.10m を考慮した上で、さらに余裕を加味した 0.50m を津波検知の判断基準値として設定する。

判断基準値に対しては、計装誤差(0.05m)を考慮し、実機のセット値は 0.45m とする。なお、警報発信値についても、計装誤差(0.05m)を考慮し、実機のセット値は 0.45m とする。

上記を踏まえた、潮位計の判断基準値の概念図を図 6 に示す。



図 6 潮位計の判断基準値の概念図

f. 潮位計故障時の表示方法

各敷地内潮位計の故障時の表示方法については以下の通り。

- 1号炉海水ポンプ室前 : レンジの下限值以下に振り切り
- 2号炉海水ポンプ室前 : レンジの下限值以下に振り切り
- 3, 4号炉海水ポンプ室前 : レンジの下限值以下に振り切り

(2) 取水路防潮ゲートの閉止時間について

図1に示すとおり、潮位変動が判断基準に到達し、循環水ポンプ停止及びユニットトリップ操作完了後、取水路防潮ゲートを1分で閉止する運用としている。1号炉～4号炉の4プラント運転時における取水路防潮ゲートの状況を図7及び図8に示す。取水路防潮ゲートは防潮壁、ゲート扉体、ゲート落下機構等で構成されており、ゲート扉体はラック棒によりゲート落下機構に固定されている。

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

a. 区間①の落下時間

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

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

b. 区間②の落下時間

区間②の落下時においても、すでに津波が到達していることから、津波による流水抵抗等を考慮した条件で落下時間を算定した結果、区間②の落下時間は2秒程度と算定できる。区間②の落下時間算定の詳細を図9に示す。

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

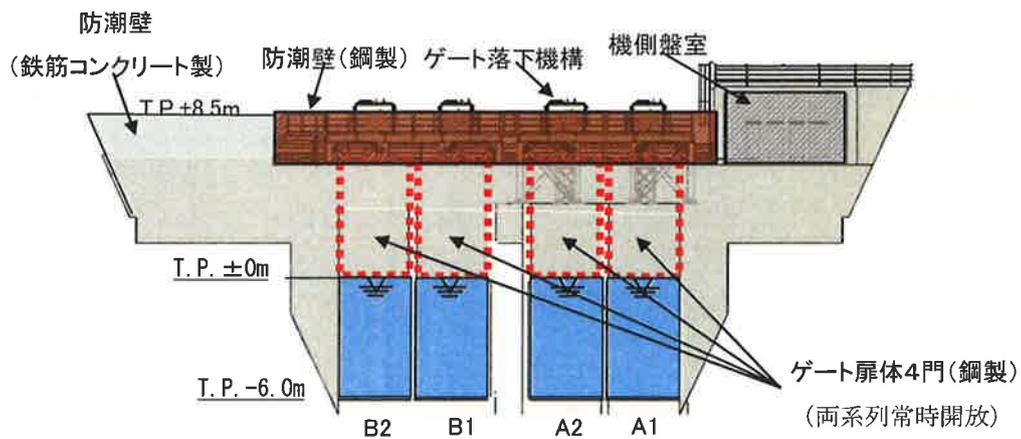


図7 4プラント運転時における取水路防潮ゲートの状況（正面図）

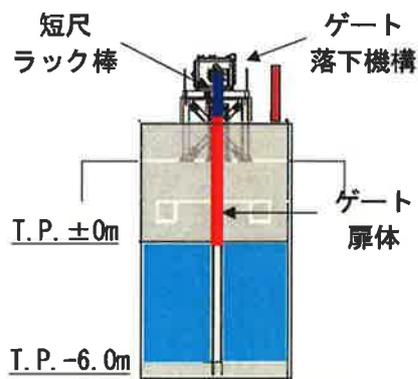


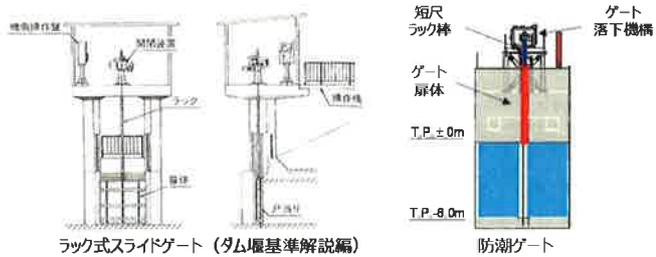
図8 4プラント運転時における取水路防潮ゲートの状況（断面図）

○ダム堰・堰施設技術基準（案）基準解説編の適用性について

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

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

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



○開閉荷重について

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

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

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

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

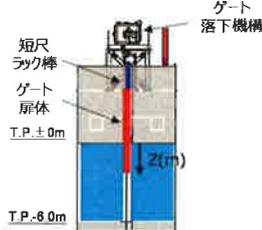
【防潮ゲートに考慮する開閉荷重の組合せ】

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

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

○区間②の落下時間の算定について（1/3）

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



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

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

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

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

○開閉荷重の作用イメージ図

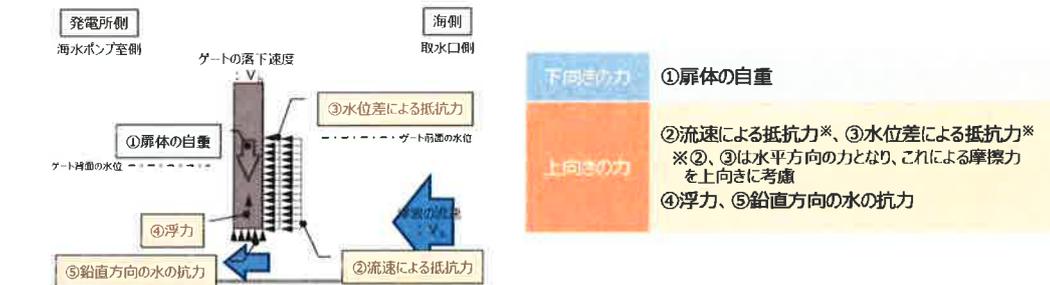


図9 区間②の落下時間の算定（1/4）

○区間②の落下時間の算定について (2/3)

- 前ページでの荷重の整理結果を踏まえた運動方程式は以下のとおりとなる。

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

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

① 扉体の自重

ゲート扉体質量7.133tによる自重を考慮する。

② 流速による抵抗力

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

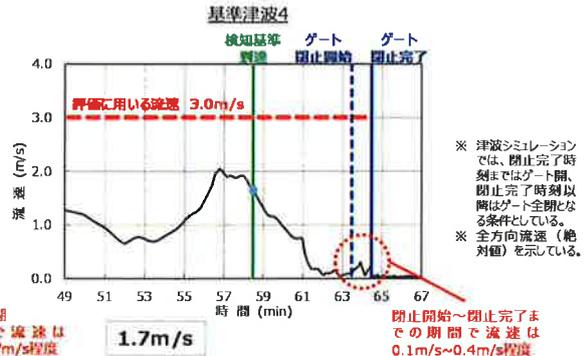
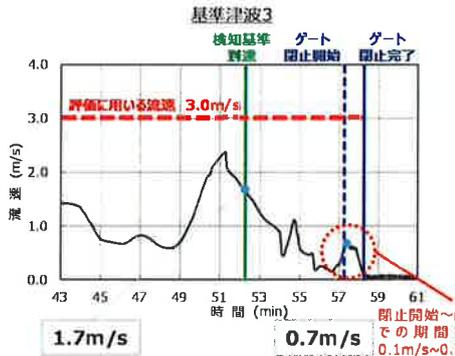
$$Fa = 1/2 \times \rho_0 \times v_a^2 \times C \times B \times z$$

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

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

※ $z=6\text{m}$ では $Fa=108.5 \text{ (kN)}$

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



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

③ 水位差による抵抗力

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

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

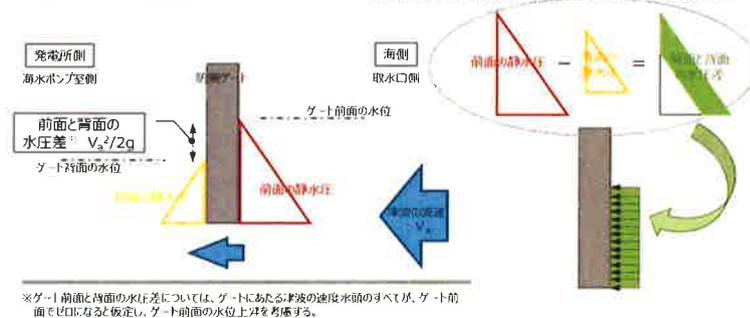
$$= 1.03 \times 9.80665 \times 0.459 \times 3.9 \times z$$

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

※ $z=6\text{m}$ では $Fb=108.5 \text{ (kN)}$

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

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



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

図9 区間②の落下時間の算定 (2/4)

○区間②の落下時間の算定について (3/3)

④ 浮力

以下の式により浮力を算定する。(ダム堰基準解説編 P.181)

$$\begin{aligned}
 F_c &= \rho_0 \times g \times V \times z / 6 && \text{ここで、V: 扉体の体積 (0.847m}^3\text{)} \\
 &= 1.03 \times 9.80665 \times 0.847 \times z / 6 && z: \text{落下距離 (m)} \\
 &= 1.426 \times z \text{ (kN)} \\
 &\text{※}z=6\text{mでは}F_c=8.56 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

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

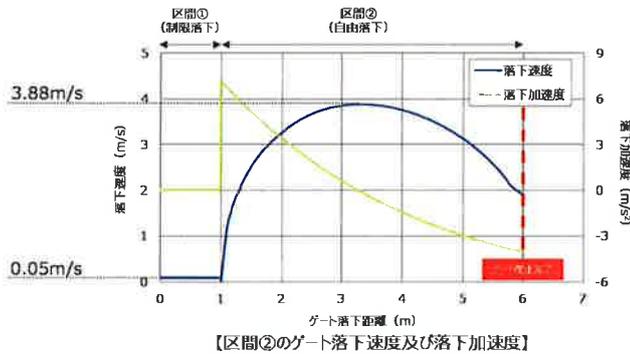


【取水路下流側から見たゲート扉体】

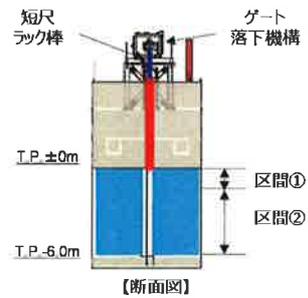
⑤ 鉛直方向の水の抗力

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

$$\begin{aligned}
 F_d &= 1/2 \times \rho_0 \times v_b^2 \times C \times A && \text{ここで、}v_b(z): z(\text{m})\text{地点の落下速度 (m/s)} \quad \text{※落下距離に応じた速度を考慮する} \\
 &= 1/2 \times 1.03 \times v_b^2 \times 1.0 \times 2.125 && C: \text{水に対する抵抗係数 (=1.0)} \quad \text{※ダム堰マニュアル編 P.597} \\
 &= 1.0944 \times v_b(z)^2 \text{ (kN)} && A: \text{ゲート底面積 (2.125m}^2\text{)} \\
 & && z: \text{落下距離 (m)}
 \end{aligned}$$



【区間②のゲート落下速度及び落下加速度】



【断面図】

①～⑤より、運動方程式は以下のとおりとなる。

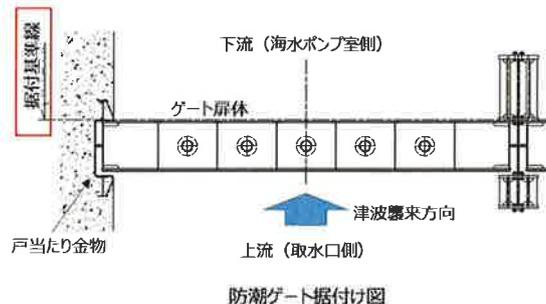
$$m \frac{d^2z}{dt^2} = mg - \mu Fa - \mu Fb - Fc - Fd$$

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

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

摩擦係数μについて

- 高速流下での使用頻度が高く、摺動面が損傷しやすい状況であれば必要に応じ0.5程度を採用するとされているが、防潮ゲートは津波襲来時にのみ使用するゲートであり、使用頻度が少なく摺動面が損傷にくい状況であるため、摩擦係数は0.4を採用する。
- 防潮ゲートと戸当たり金物は密着し、ほぼ隙間がない状態で設置されている。その状態のまま防潮ゲートは落下することから、仮に戸当たり金物に貝が付着していたとしても、落下時にゲート底面で貝は削ぎ落され、摺動面に摩擦影響があるものは残らないと考える。
- なお、取水路においては、ストレーナの閉塞防止等の観点から定検毎に清掃(除貝)する運用である。



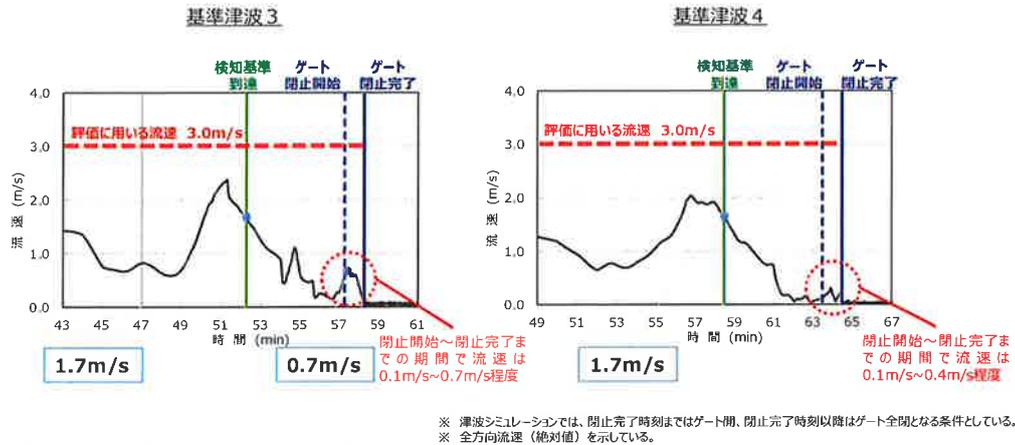
防潮ゲート据付け図

図9 区間②の落下時間の算定 (3/4)

○ゲート閉止時間の変動幅による影響について

- 流速については閉止タイミングにより可変することから、保守性を考慮して3.0m/sと設定するが、防潮ゲート閉止タイミングの不確実性を考慮したパラメータスタディを実施し、ゲート閉止時間の変動幅による影響を確認した。
- 基準津波3, 4の津波シミュレーションにおいて、防潮ゲートが閉まる時間帯の最大流速は0.7m/sである。また、防潮ゲート閉止タイミングの不確実性を考慮し、検知基準到達時に防潮ゲートを閉止する状況を想定した場合（循環水ポンプが全停止している場合）の最大流速は1.7m/sである。これらの流速を用いたパラメータスタディにより、ゲート閉止時間の変動幅による影響を確認した。
- なお、防潮ゲート閉止時間を算定する際の流速については、定常状態で防潮ゲートに作用する条件とする。
- 防潮ゲート閉止時間帯における流速や防潮ゲート閉止タイミングの不確実性を考慮したパラメータスタディの結果、いずれのケースも自由落下区間（区間②）におけるゲート閉止時間は1秒～2秒である。
- 上記の閉止時間に、ゲート落下機構（ラック式）により落下する区間（区間①）の閉止時間を含めた合計のゲート閉止時間は20秒程度であるのに対し、保守的に防潮ゲート閉止時間として1分と評価していることから、40秒程度の時間的な裕度がある。従って、自由落下区間（区間②）のゲート閉止時間が多少変動したとしても、全体の評価への影響はない。

【基準津波3, 4における防潮ゲート閉止時の流速分布】



【防潮ゲート閉止タイミングの不確実さを考慮したゲート閉止時間のパラメータスタディ】

	防潮ゲート閉止時間帯における流速	閉止タイミングの不確実性を考慮した流速	基本ケース（流速を保守的に設定）
流速(m/s)	0.7	1.7	3.0
区間②(5m)の落下時間(s)	1.19	1.28	1.79

【防潮ゲート閉止時間（1分）の評価における裕度】

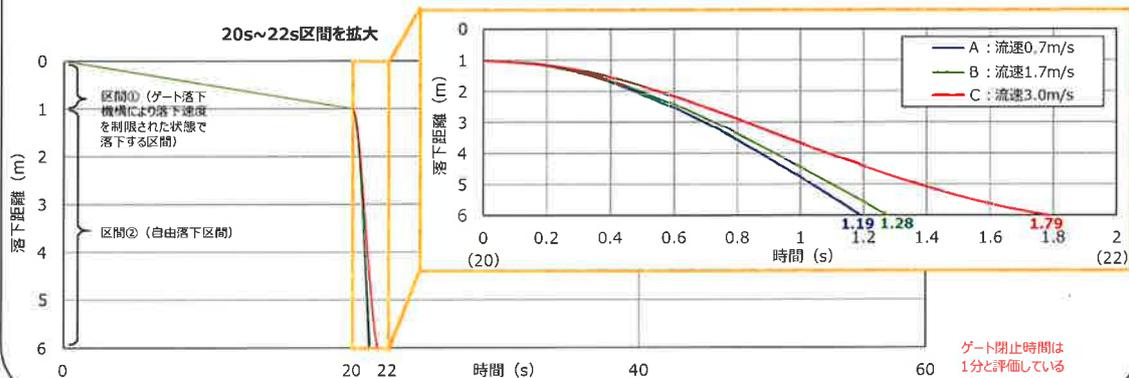


図9 区間②の落下時間の算定 (4/4)

6. 2 取水路防潮ゲート閉止に対する余裕時間

(1) 余裕時間の考え方及び算出方法

海底地すべりに伴う津波のうち、取水路防潮ゲートを閉止しない場合に施設への影響が生じる可能性があるケースについて、取水路防潮ゲートが閉止される時刻から、施設に影響する水位の波が取水路防潮ゲート前面に到達するまでの時刻を算出し、取水路防潮ゲート閉止に対する余裕時間を確認する。

水位上昇側及び水位下降側における算出例を図1、図2に示す。なお、算出例に示す海底地すべりの検討ケースはいずれも以下のとおり。

- ・海底地すべり：エリア B (Es-K5)
- ・計算モデル：Kinematic モデル
- ・崩壊規模：100% (最大)
- ・破壊伝播速度：1.0m/s (最大)

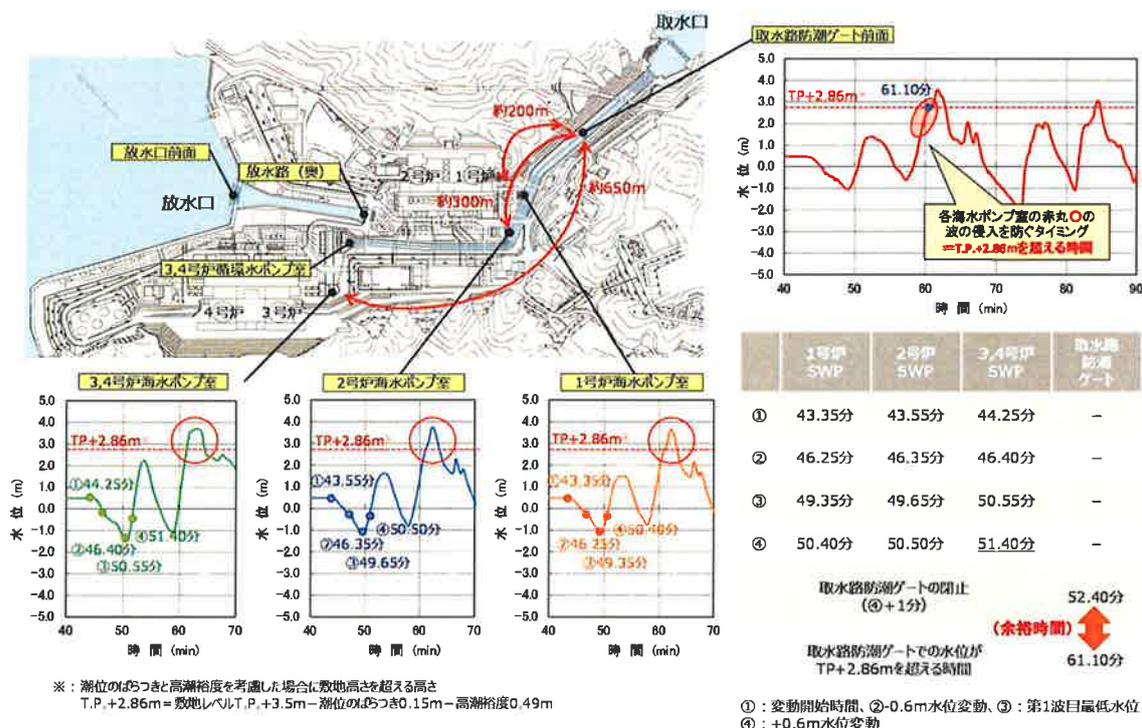


図1 余裕時間の算出例 (水位上昇側)

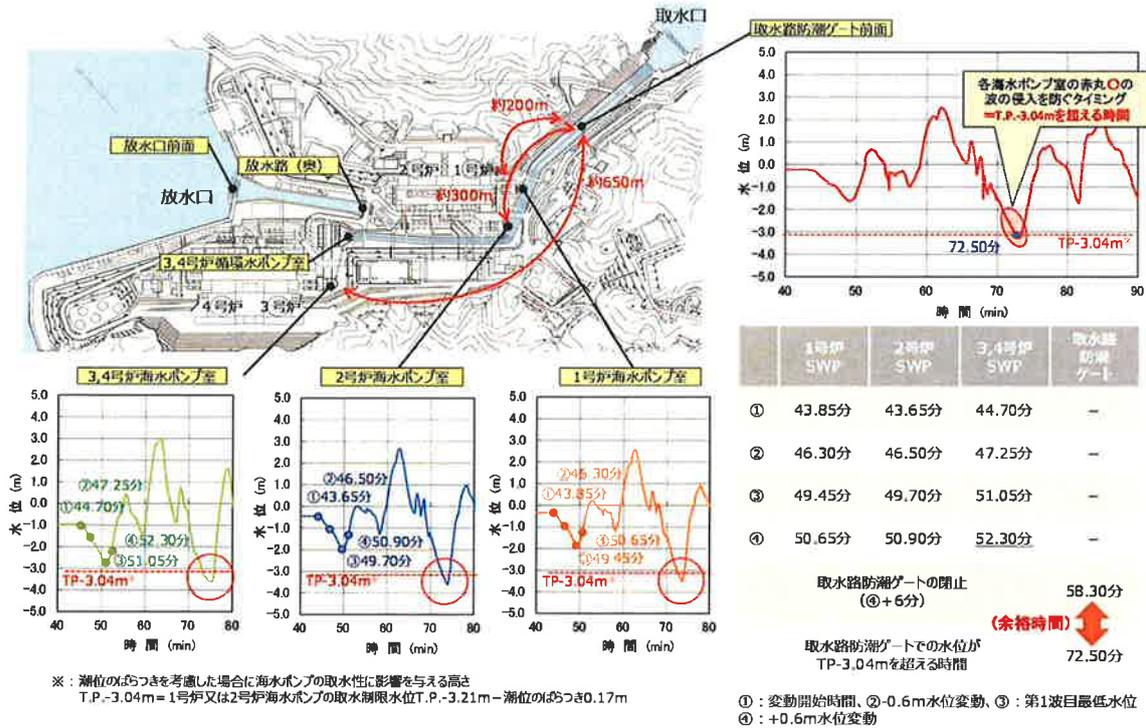


図2 余裕時間の算出例（水位下降側）

(2) 余裕時間の算出結果

海底地すべりエリア A、B、C において 2 種類 (Watts 他の予測式, Kinematic モデル) の手法及び崩壊規模・破壊伝播速度のパラメータスタディで確認した波形のうち、取水路防潮ゲートを閉止しない場合に施設への影響が生じる可能性がある全てのケースの余裕時間を表 1、表 2 に示す。

表1 余裕時間（崩壊規模パラメータスタディ）

	波源		潮位変動の時刻			取水路防潮 ゲート閉止 時刻[分] ^{※1} (④+1分 or6分)	取水路防 潮ゲート前 面への到 達時刻 [分] ^{※2}	余裕 時間 [分]
	海底 地すべり	崩壊 規模	潮位計	0.60mの 水位低下 [分](②)	0.60mの 水位上昇 (判断基準 [分] (④)			
水位上昇側	エリアB Es-K5	100 %	1号炉海水ポンプ室	46.25	50.40	52.40	61.10	8.70
			2号炉海水ポンプ室	46.35	50.55			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.40	51.40			
		80 %	1号炉海水ポンプ室	46.60	50.05	52.00	61.30	9.30
			2号炉海水ポンプ室	46.45	50.25			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.40	51.00			
		70 %	1号炉海水ポンプ室	47.05	49.85	51.80	61.35	9.55
			2号炉海水ポンプ室	46.70	50.25			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.40	50.80			
		60 %	1号炉海水ポンプ室	47.10	49.65	51.60	61.50	9.90
			2号炉海水ポンプ室	47.25	49.75			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.45	50.60			
	50 %	1号炉海水ポンプ室	47.35	49.85	51.45	61.40	9.95	
		2号炉海水ポンプ室	47.50	49.50				
		3,4号炉海水ポンプ室	46.50	50.45				
	40 %	1号炉海水ポンプ室	47.65	50.45	51.60	61.30	9.70	
		2号炉海水ポンプ室	47.70	50.60				
		3,4号炉海水ポンプ室	48.60	50.25				
	エリアC Es-T2	100 %	1号炉海水ポンプ室	51.60	56.65	58.15	68.15	10.00
			2号炉海水ポンプ室	51.65	56.80			
3,4号炉海水ポンプ室			51.85	57.15				
80 %		1号炉海水ポンプ室	51.70	56.15	57.75	68.10	10.35	
		2号炉海水ポンプ室	51.75	56.25				
		3,4号炉海水ポンプ室	51.85	56.75				
60 %		1号炉海水ポンプ室	51.65	55.90	57.20	67.20	10.00	
		2号炉海水ポンプ室	51.65	56.00				
		3,4号炉海水ポンプ室	51.85	56.20				
50 %		1号炉海水ポンプ室	51.70	55.80	56.95	67.05	10.10	
	2号炉海水ポンプ室	51.80	55.85					
	3,4号炉海水ポンプ室	51.85	55.95					
45 %	1号炉海水ポンプ室	51.95	55.75	56.90	66.95	10.05		
	2号炉海水ポンプ室	52.05	55.75					
	3,4号炉海水ポンプ室	51.90	55.90					
水位 下降側	エリアB Es-K5	100 %	1号炉海水ポンプ室	46.30	50.65	58.30	72.50	14.20
			2号炉海水ポンプ室	46.50	50.90			
			3,4号炉海水ポンプ室	47.25	52.30			
		80 %	1号炉海水ポンプ室	47.25	50.50	58.05	72.85	14.80
			2号炉海水ポンプ室	47.40	50.85			
			3,4号炉海水ポンプ室	47.35	52.05			

※1：水位上昇側は、循環水ポンプ全停条件としているため、判断基準到達から1分後に閉止。

水位下降側は、循環水ポンプが取水している条件のため、判断基準到達から6分後に閉止。

※2：取水路防潮ゲート前面に施設に影響する水位の波が到達する時刻。

表2 余裕時間（破壊伝播速度パラメータスタディ）

	波源		潮位変動の時刻			取水路防潮 ゲート閉止 時刻[分] ^{※1} (④+1分 or6分)	取水路防 潮ゲート前 面への到 達時刻 [分] ^{※2}	余裕 時間 [分]
	海底 地すべり	破壊 伝播 速度	潮位計	0.60mの 水位低下 [分](②)	0.60mの 水位上昇 (判断基準 [分] (④)			
水位 上昇側	エリアB Es-K5	1.0 m/s	1号炉海水ポンプ室	46.25	50.40	52.40	61.10	8.70
			2号炉海水ポンプ室	46.35	50.50			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.40	51.40			
		0.8 m/s	1号炉海水ポンプ室	47.05	51.35	53.00	61.95	8.95
			2号炉海水ポンプ室	46.80	51.55			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.65	52.00			
		0.7 m/s	1号炉海水ポンプ室	48.70	53.00	54.35	64.40	10.05
			2号炉海水ポンプ室	48.60	52.95			
			3,4号炉海水ポンプ室	47.90	53.35			
	0.6 m/s	1号炉海水ポンプ室	50.00	54.95	55.95	65.85	9.90	
		2号炉海水ポンプ室	50.30	54.85				
		3,4号炉海水ポンプ室	50.70	53.55				
	0.55 m/s	1号炉海水ポンプ室	51.15	56.15	57.25	67.00	9.75	
		2号炉海水ポンプ室	50.95	56.25				
		3,4号炉海水ポンプ室	51.70	55.25				
	エリアC Es-T2	0.5 m/s	1号炉海水ポンプ室	51.60	56.65	58.15	68.15	10.00
			2号炉海水ポンプ室	51.65	56.80			
			3,4号炉海水ポンプ室	51.85	57.15			
0.4 m/s		1号炉海水ポンプ室	53.50	58.20	59.95	71.50	11.55	
		2号炉海水ポンプ室	53.60	58.25				
		3,4号炉海水ポンプ室	52.75	58.95				
水位 下降側	エリアB Es-K5	1.0 m/s	1号炉海水ポンプ室	46.30	50.65	58.30	72.50	14.20
			2号炉海水ポンプ室	46.50	50.90			
			3,4号炉海水ポンプ室	47.25	52.30			
	0.8 m/s	1号炉海水ポンプ室	48.00	51.70	59.25	74.75	15.50	
		2号炉海水ポンプ室	48.10	52.05				
		3,4号炉海水ポンプ室	47.90	53.25				

※1：水位上昇側は、循環水ポンプ全停条件としているため、判断基準到達から1分後に閉止。

水位下降側は、循環水ポンプが取水している条件のため、判断基準到達から6分後に閉止。

※2：取水路防潮ゲート前面に施設に影響する水位の波が到達する時刻。

余裕時間について検討した結果、崩壊規模及び破壊伝播速度のパラメータスタディのいずれにおいても最大のケースが最も余裕時間が短く、取水路防潮ゲートを閉止しない場合に施設影響が生じるケースにおいて、取水路防潮ゲート閉止時刻から施設に影響する波が到達するまでに約9～14分の余裕があることを確認した。なお、循環水ポンプ停止から取水路防潮ゲート閉止までの時間については、水位上昇側では、循環水ポンプ全停条件であることから判断基準到達の1分後に取水路防潮ゲートを閉止することとし、循環水ポンプが稼働している水位下降側では6分後としている。仮に水位上昇側で循環水ポンプ稼働時と同様の6分後に取水路防潮ゲートを閉止することとしても、約4～5分の余裕があることを確認している。

6. 3 潮位計の基準適合性

6. 3. 1 背景

高浜発電所における取水路防潮ゲート閉止にかかる対応について、既許可では、大津波警報の発表を受信する設備として、中央制御室に設置しているFAX等（TV、インターネット）を、設置許可基準規則の第26条「外部状況を把握する設備」として位置づけ、大津波警報発表を受け、当直課長の判断により、取水路防潮ゲートを閉止することとしている。今回の運用では、潮位計の津波検知情報より取水路防潮ゲートを閉止することとしており、潮位計の基準適合性について確認する。

6. 3. 2 既許可におけるFAX等の位置づけ

既許可では、大津波警報の発表を受信する設備として、中央制御室に設置しているFAX等（TV、インターネット）を受け、当直課長の判断により、取水路防潮ゲートを閉止することとしている。この「課長の判断に至るまでの検知部分」は、設置許可基準規則の第26条（外部状況を把握する設備）と位置づけている。また、「課長判断以後、取水路防潮ゲート閉止に至る機能」は、設置許可基準規則の第5条（津波による損傷の防止）として、設置許可基準規則への適合性を確認している。

6. 3. 3 設備の重要度分類を踏まえた整理

(1) 取水路防潮ゲートの重要度分類

潮位計に要求される安全機能について、潮位計による津波検知情報を活用し、MS-1である防潮ゲートを操作することを念頭に整理した。

まず、防潮ゲート自身の重要度に関しては、発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（以下、重要度分類指針という。）に、以下の記載がある。

- ① 当該系の機能遂行に直接必要となる関連系は、当該系と同位の重要度を有するものとみなす。
- ② 当該系の機能遂行に直接必要はないが、その信頼性を維持し、又は担保するために必要な関連系は、当該系より下位の重要度を有するものとみなす。ただし、当該系がクラス3であるときは、関連系はクラス3とみなす。

上記記載によると、取水路防潮ゲートは当該系（例、海水ポンプ）の機能遂行に直接必要ではない（海水ポンプの駆動系等ではない）ため、②により、当該系より下位の重要度＝MS-2以下となるが、過去の審査会合（2014.10.7）での原子力規制庁殿のご指摘及び防潮ゲートが可動部・駆動部を有していることを踏まえ、①の「当該系の機能遂行に直接必要となる関連系は、当該系と同位の重要度を有するものとみなす。」と解釈し、MS-1としている。

具体的には、重要度分類指針に「本来関連系として位置付けられるべきものであっても、その支援対象が広いものについては、それ自身を当該系と位

置付ける。例えば、本指針第2表のMS-1の「安全上必須なその他の構築物、系統及び機器」がその例である。」と記載されており、取水路防潮ゲート閉止することにより、海水ポンプ等の設計基準対象施設を防護していることを踏まえ、取水路防潮ゲートにより、安全機能を担保している機器が多数（＝支援対象が広い）とみなし、MS-1と位置づけていると考えられる。また、重要度分類指針に「当該系の機能遂行に直接必要となる関連系」とは、それなくして当該系の機能遂行又は機能維持ができないような、不可欠の構築物、系統及び機器を指し、例えば起動・運転制御を行う計装、駆動系、機器冷却系、機器燃料系等を意味する。また、これらの関連系が「当該系と同位の重要度を有するものとみなす」とは、これら関連系を含めて当該系が所要の信頼性を確保し、維持することを求めるものであって、当該系に対する要求事項に、関連系を含めて適合するように、これら関連系にも当該系と同等の設計上の考慮が必要であることを意味する。」と記載されており、常時ではなく、津波発生時のみだけであるが、取水路防潮ゲートが閉止できなければ、当該系（例. 海水ポンプ=MS-1）の機能遂行又は機能維持ができないと広義でみなし、MS-1と位置づけていると考えられる。

したがって、防潮ゲートが前述のいずれに該当するとしても、重要度分類指針上のMS-1の「安全上必須なその他の構築物、系統及び機器」の「安全上特に重要な関連機能」に該当すると考えられる。表1に重要度分類指針の付表を示す。

表1 重要度分類指針の付表（抜粋）

分類	異常影響緩和系						備考
	定義	機能	建築物、系統又は機器（PWR）	特記すべき関連系（PWR）	建築物、系統又は機器（BWR）	特記すべき関連系（BWR）	
MS-1		5) 炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（低圧注入系、高圧注入系、蓄圧注入系）		非常用炉心冷却系（低圧炉心スプレイ系、低圧注入系、高圧炉心スプレイ系、自動減圧系）		
		6) 放射線物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器、アニュラス、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ系、アニュラス空気再循環設備、安全補機室空気浄化系、可燃性ガス濃度制御系	原子炉格納容器排気筒	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	排気筒（非常用ガス処理系排気筒の支持機能）	
	2) 安全上必須なその他の建築物、系統及び機器	1) 工学的な安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系		安全保護系		
		2) 安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系、制御室及びその遮へい・換気空調系・原子炉抽機冷却水系、原子炉抽機冷却海水系、直流電源系、制御用圧縮空気設備（いずれも、MS-1関連のもの）	ディーゼル発電機燃料輸送系、ディーゼル冷却取水設備（屋外トレンチを含む）	非常用所内電源系、制御室及びその遮へい・非常用換気空調系、非常用補機冷却水系、直流電源系（いずれも、MS-1関連のもの）	ディーゼル発電機燃料輸送系、ディーゼル冷却取水設備（屋外トレンチを含む）	

(2) 取水路防潮ゲートの重要度分類を踏まえた潮位計の重要度

前項の取水路防潮ゲートの重要度分類を基に、潮位計に要求される安全機能について整理した。今回の運用では、潮位計の津波検知情報により MS-1 設備である取水路防潮ゲートの閉止を判断することから、潮位計は津波防護機能を直接的に有する津波防護施設と位置付け、申請書の第 5 条に明記する。また、潮位計は取水路防潮ゲートの閉止判断にかかわるものとして、MS-1 設備である取水路防潮ゲートと同等の設計とし、申請書の第 12 条に明記する。

取水路防潮ゲート及び潮位計の設計項目は表 2 のとおり。潮位計は取水路防潮ゲートの設計項目を網羅しており、取水路防潮ゲートと同等の信頼性を確保している。

表 2 取水路防潮ゲートと潮位計の設計項目

	多重性又は多様性	独立性	耐震性	非常用電源	試験	記録*
防潮ゲート	○	○	○	○	○	-
潮位計	○	○	○	○	○	○

※：潮位の変化傾向の監視及び履歴の保存が可能であること

なお、取水路防潮ゲート閉止を自動化する場合、潮位計の異常検知ロジックに加え、循環水ポンプ停止・弁閉止の一連操作も自動化の検討対象となる。取水路が取水路防潮ゲートにて閉止されている状態で循環水ポンプの運転を継続した場合、同じ取水路を共有する海水ポンプの取水性に影響が出るため、取水路防潮ゲート閉止前の循環水ポンプの停止等が必須である。

これらを自動化する場合は、取水路防潮ゲート閉止にかかる津波防護機能が、海水ポンプ取水にかかる安全系の冷却機能に悪影響を及ぼさないよう、設計配慮が必要となる。このため、対応時間に余裕がある限りは、安全機能への影響に考慮を要するような、新たな計装設備の追加や、複雑化を要する自動化は適切ではないと考えられる。

なお、手動操作であれば、約9分の時間余裕があり、十分余裕をもって対応可能であることから、自動化による時間短縮のメリットは享受せず、ポンプ停止や弁閉止など、海水取水機能に直接的に影響する循環水ポンプ等の操作は、運転員による手動操作を選択する。

6. 3. 4 チャンネル数及び閉止ロジックの選定

(1) 基本的な論理構成

今回の潮位計測による取水路防潮ゲート閉止は、潮位計をMS-1である取水路防潮ゲートと同等の設計とすることから多重化が必要なため、2チャンネル以上の論理構成とし、これに加えて試験可能性や単一故障を考慮し、検知信頼性向上を図る。その候補として、2 out of 3 と、1/2チャンネルのそれぞれに予備を設ける場合(1 out of 2 twice)があるが、より早期に取水路防潮ゲート閉止を判断する観点より、2 out of 3 が優位と判断した。なお、試験や故障で潮位計1台が欠測した場合は、その1台は動作とみなし、もう1台が動作すれば取水路防潮ゲートを閉止する。図1、2にそれぞれの判断方法とイメージを示す。

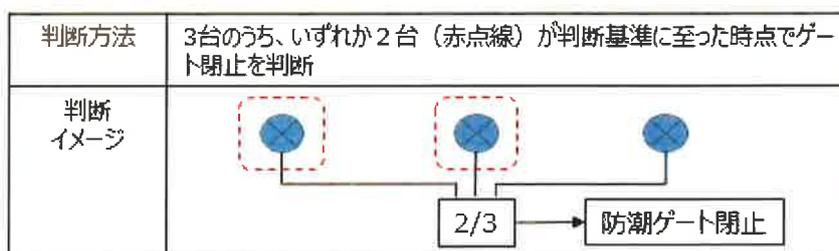


図1 2 out of 3 の判断方法とイメージ

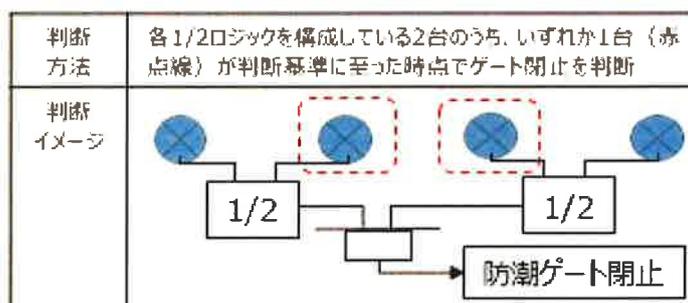


図2 1 out of 2 twice の判断方法とイメージ

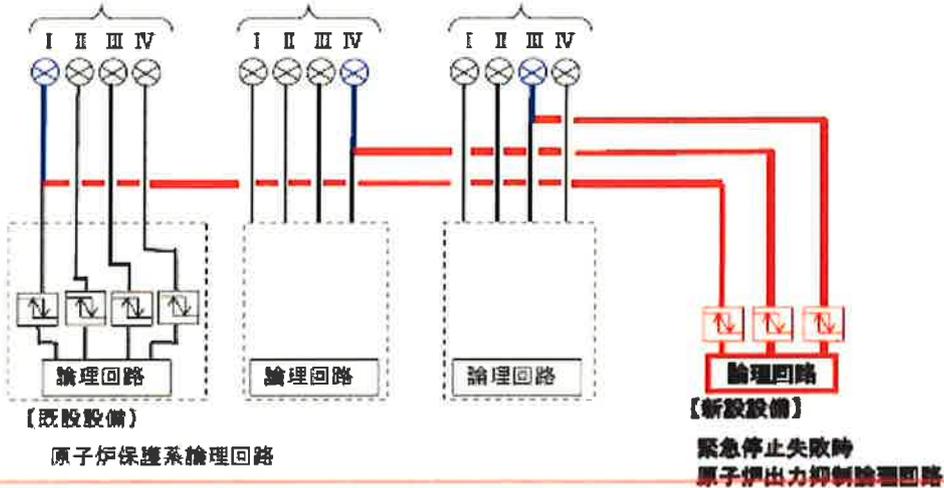
(2) 実運用を踏まえた論理構成

実運用を考慮し、運用性の更なる向上のため、予備を1台追加する（予備は点検対象に合わせて選定）。仮に、点検中に潮位計が1台故障した場合、その1台は動作とみなし、もう1台が動作すれば取水路防潮ゲートを閉止する。この実運用を踏まえ、単一故障を想定しても、動作を保証する設備数（3チャンネル）を所要チャンネルとして保安規定に記載する。なお、この設定については、平成26年4月24日審査会合において、新規制基準の審査状況を踏まえた保安規定改正に係る基本方針としてご確認いただいている。図3に当該資料の抜粋を示す。

原子炉保護系の所要チャンネルの考え方（赤枠箇所）について、保安規定における基本方針としてご確認いただいている。

【例】保安規定記載例は、別紙—3「具体的な記載例（川内原子力発電所の例）」参照

A-蒸気発生器水位 B-蒸気発生器水位 C-蒸気発生器水位



※1： 4チャンネル構成による2 out of 4 のロジックとしているプラントについては、プラントによって以下の2通りのLOCOを規定している。

- ① 単一故障を想定しても、事故時に確実な動作を保証する設備数（3チャンネル）を所要チャンネル数として記載。
- ② 設置している設備数（4チャンネル）を所要チャンネル数として記載。
この場合、残りの3チャンネルが動作可能であることを条件に、1チャンネルのバイパスを許可し、バイパスしたチャンネルを動作不能とはみなさないことを規定している。

※2： ※1の通り、プラントにより設計基準事故対処設備の所要チャンネル数の記載が異なるため、重大事故等対処設備の所要チャンネル数は各プラントの設計基準事故対処設備の所要チャンネル数の考え方と同様に設定する。

- ①：点検時故障時共に、1ch動作不能となっても動作を保証する3chを有するためLOCOとにならない。
- ②：点検時は、残り3chが健全であることを前提に、1chのバイパスを動作不能とみなさないため、LOCOとにならない。ただ、故障時は、残り3chが健全であるか不明であるため、それが確認できるまでLOCOを宣言する必要あり。

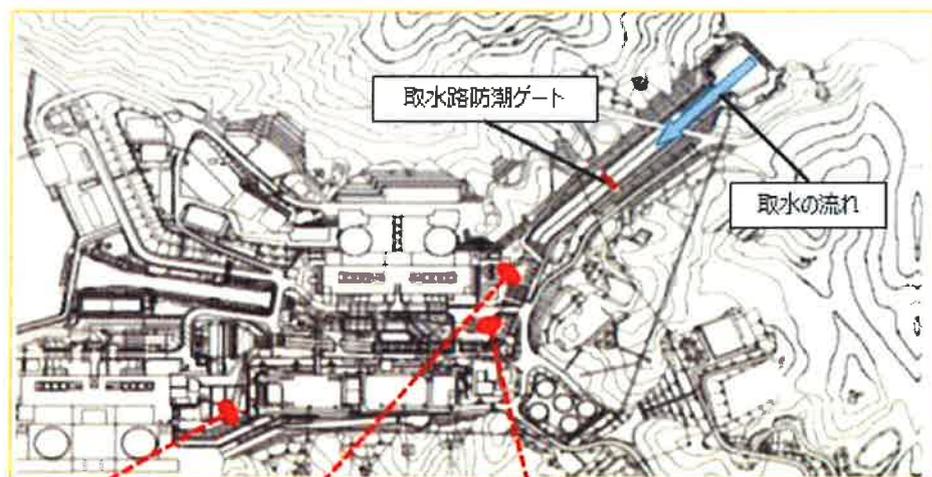
設計基準事故対処設備の「事故時監視計装」は、事故時において、事故の状態を把握し対策を講じるために必要なパラメータを監視できる機能を確保するために、運用モードにおいて動作可能であるべき所要チャンネル数を運転上の制限として規定しているものであることから、この設計基準事故対処設備のLOCOに対する考え方は重大事故等への対応に必要なパラメータについても同様の考え方を適用することが妥当であることから、設計基準事故対処設備の「事故時監視計装」を参考にLOCO設定する。

(添付—4「重大事故等対処設備のうち計装設備の保安規定への規定について」)
(保安規定記載例は、別紙—3「具体的な記載例（川内原子力発電所の例）」参照)

図3 新規制基準の審査状況を踏まえた保安規定改正に係る基本方針（抜粋）

6. 3. 5 潮位計の設置

「6. 3. 3 設備の重要度分類を踏まえた整理」及び「6. 3. 4 チャンネル数及び閉止ロジックの選定」を踏まえ、既許可における津波監視設備として、潮位計を3台設置することとしているが、2号機に1台追加設置し、潮位計4台による運用とする。潮位計の設置位置を図4、システム構成を図5に示す。



3、4号炉海水ポンプ室 1号炉海水ポンプ室 2号炉海水ポンプ室
 潮位計：2台 潮位計：1台 潮位計：1台

図4 潮位計の設置位置図

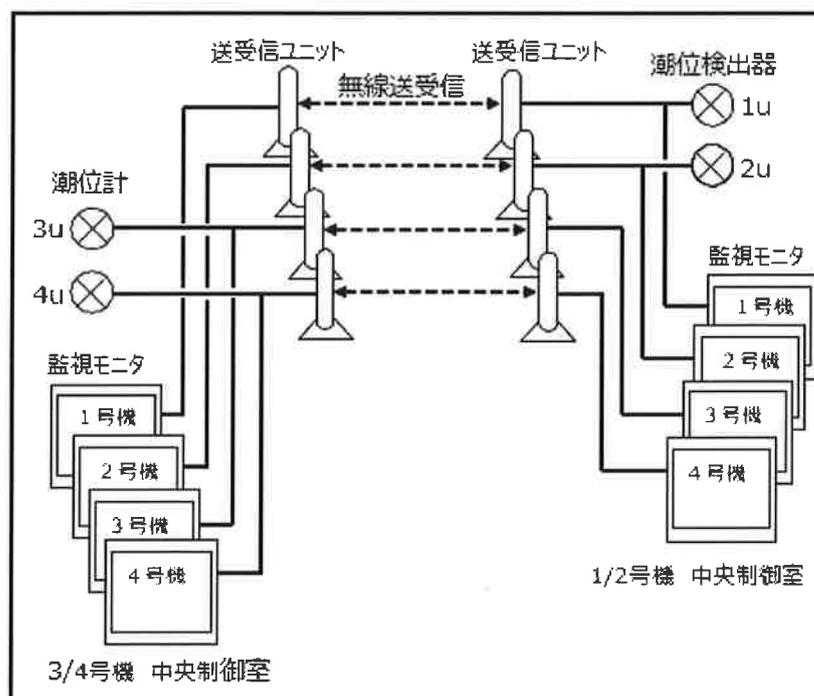


図5 潮位計のシステム構成図

6. 3. 6 潮位計の測定点の妥当性

津波検知のトリガーとする潮位計測点は、施設影響のある津波を確実に検知できることを前提に、最も影響を受ける海水ポンプ毎の潮位計を用いる方針としている。このため、トリガーの網羅性確認のための仮設定値である 10 分以内 0.7m の潮位変動で、各潮位計により施設影響のある津波が漏れなく検知でき、ゲート閉止判断に差異が生じないことを確認する。

まず、0.7m のトリガーで施設影響のある波がどの潮位計でも差異なく検知できることを確認する。図 6 のとおり、海底地すべりエリア B の破壊伝播速度 1.0~0.4m/s 及び海底地すべりエリア C の破壊伝播速度 0.5~0.2m/s の時刻歴波形から、縦軸に 1 波目の水位変動量、横軸にその後の最高・最低水位を潮位計ごとにプロットした。その結果、敷地高さを上回る波は、どの潮位計でも 0.7m のトリガーで 1 波目を全て捉えていることを確認した(青枠点線部分)。

次に 10 分のトリガーにより、施設影響のある波がいずれの潮位計でも差異なく検知できることを確認する。図 7 のとおり、縦軸に 1 波目の水位変動量、横軸に 1 波目の水位が 0.7m 下降するのに要する時間を、潮位計ごとにプロットした。その結果、敷地高さを上回る波は、どの潮位計でも 10 分のトリガーで 1 波目を全て捉えていることを確認した(青枠点線部分)。

以上から、1~4 号炉海水ポンプ室潮位計で施設影響のある津波が漏れなく検知でき、ゲート閉止判断に差異がないことを確認した。なお、図 8 のとおり、時刻歴波形からの検知の一例に基準津波 4 (エリア C の破壊伝播速度 0.5m/s) を赤枠点線で示すが、青枠内に収まることを確認した。

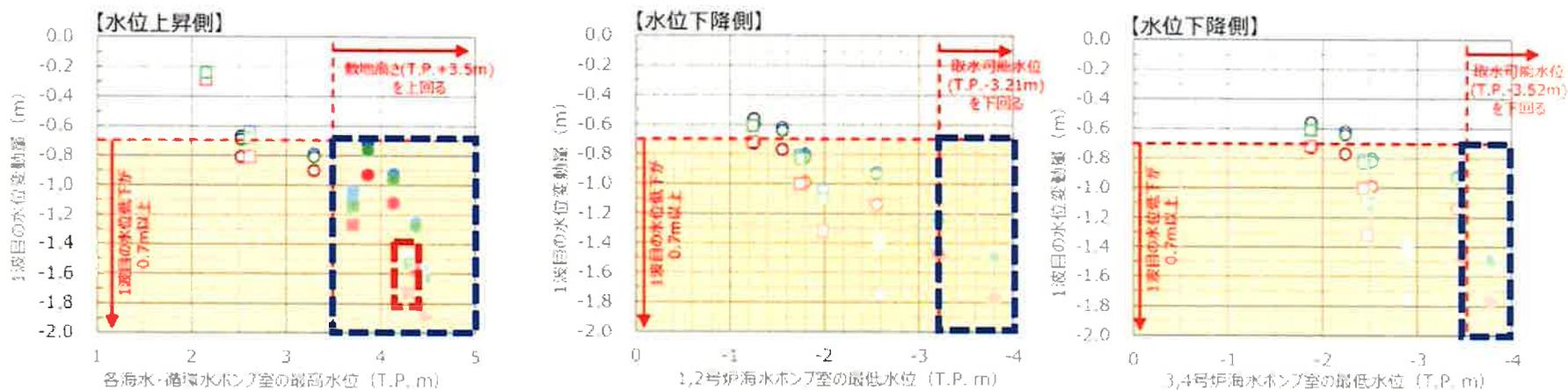


図6 1波目の水位変動量と最高水位・最低水位の関係図

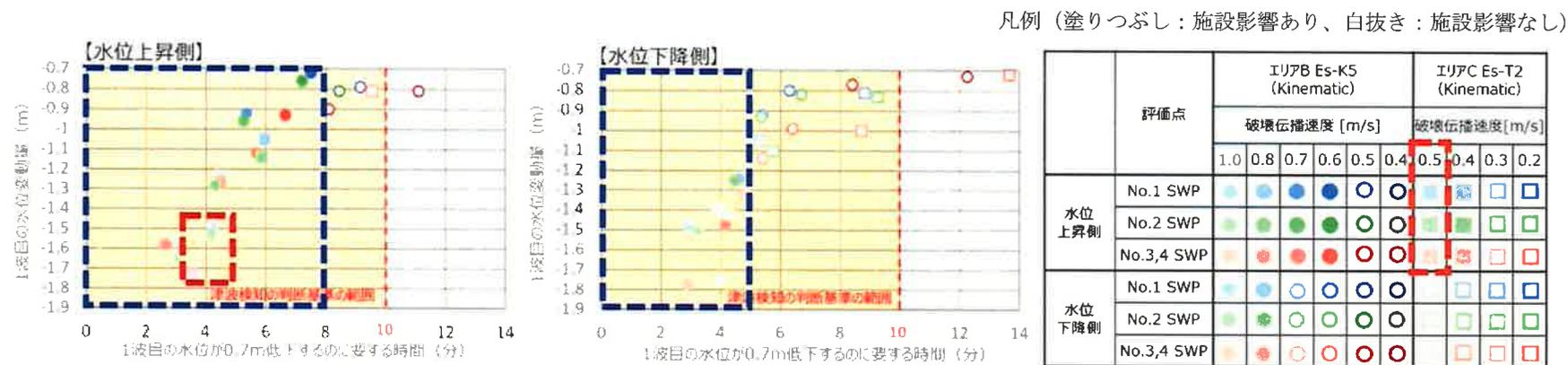


図7 1波目の水位変動量と0.7m低下に要する時間の関係図

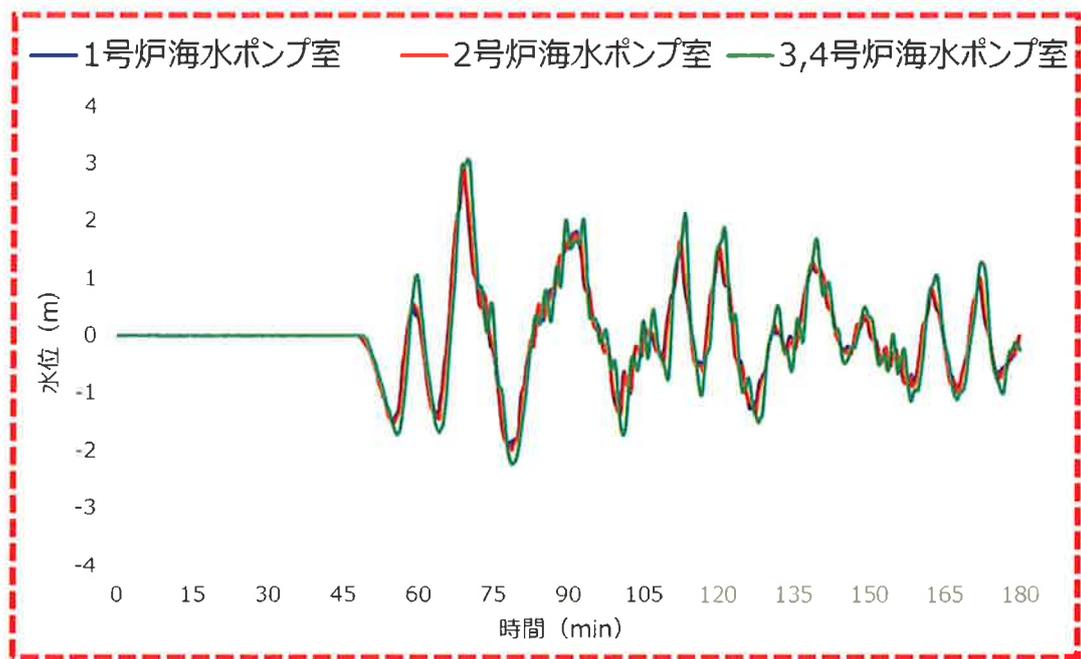


図8 基準津波4の時刻歴波形

6. 4 大津波警報と潮位計による津波検知の同等性

6. 4. 1 背景

高浜発電所における取水路防潮ゲート閉止にかかる対応について、既許可では、大津波警報の発表により中央制御室にて津波襲来判断を行い、ゲート閉止の操作を行う運用としている。今回の運用は、警報の発表されない海底地すべりによる津波の襲来を潮位計による水位変動検知により判断することから、これらの津波襲来判断の同等性の検討を行った。

6. 4. 2 津波検知の対応について

(1) 既許可の基準津波 1 における対応

既許可の基準津波 1 は地震随伴であることから、地震発生により随伴津波の発生を予測する。地震情報（規模・位置）の推定し、これと津波予報データベースのシミュレーション結果を照合し、大津波警報が発表される。ここで、大津波警報は各予報区の予測点について、沿岸での高さに換算した値を比較し、一番高いものが 3m 以上となるときに発表される。これにより、プラント影響のある津波の発電所襲来を検知する。津波の襲来を検知すると、運転員は取水路防潮ゲートの閉止判断を行う。対応の流れを図 1 に示す。

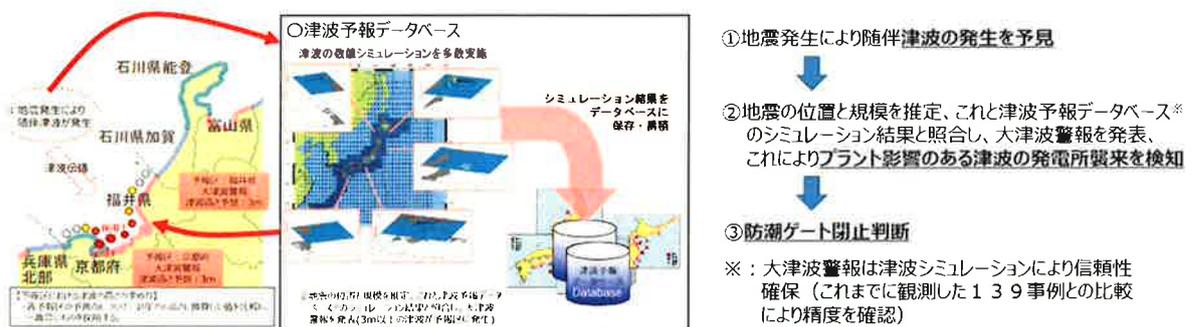


図 1 既許可の基準津波 1 における対応

(2) 津波警報が発表されない可能性がある津波への対応

津波警報が発表されない海底地すべりによる津波に対しては、敷地外の潮位観測により津波起因の水位変動を確認することで、可能な限り早期に津波発生を予測する。その後、高浜発電所構内の海水ポンプ室前の潮位変動を検知することで、プラント影響のある津波の発電所襲来を検知する。津波の襲来を検知すると、運転員は取水路防潮ゲートの閉止判断を行う。対応の流れを図 2 に示す。

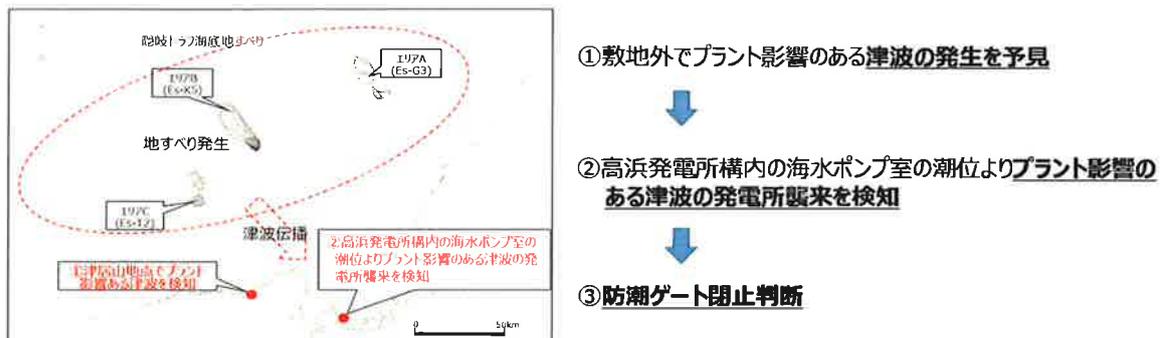


図 2 津波警報が発表されない可能性がある津波への対応

6. 4. 3 検知方法の同等性について

警報が発表されない海底地すべりによる津波には、敷地外の観測潮位により可能な限り早期に津波発生を予見し、津波に対応する設計方針としている。なお、敷地内の潮位観測と組み合わせ、可能な限り早期にゲート閉止準備や閉止判断する運用により、敷地外の観測潮位の信頼性を確保することで、既許可(大津波警報)と同様な設計方針としている。

既許可(大津波警報)と今回(敷地外の観測潮位及び敷地内の潮位計によりゲート閉止する運用)における対応の流れの比較を図 3 に示す。既許可と今回における対応は、ともに信頼性向上のための多重性若しくは多様性を確保している。また、過去の蓄積データをもとに津波襲来の判断をしている。よって、これらの設計は概ね同様の方針であると考えている。

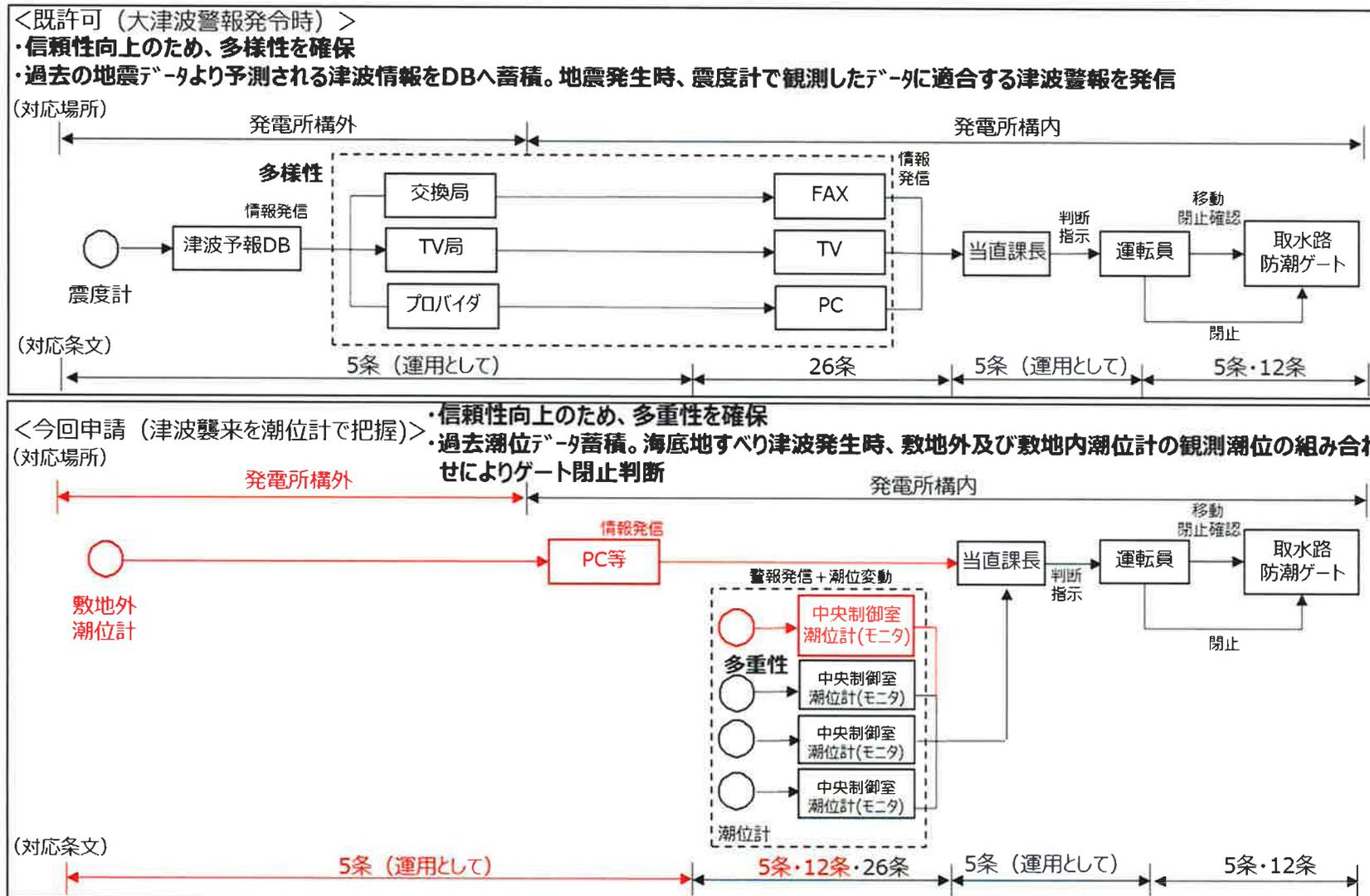


図3 対応の流れの比較

7. 取水路防潮ゲート対策の採用による施設影響の確認

本章の内容は、第2編の「高浜1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉 津波に対する施設評価について」の1.4～1.6章、2.2章～2.5章を参照。

8. 警報が発表されない津波に可能な限り早期に対応するための運用

8. 1 構外潮位計を用いた運用

8. 1. 1 背景

活用できるデータは可能な限り活用し、津波の兆候を事前に捉えることが発電所の安全性向上につながることから、1～7章までの検討における対応に加え、発電所構外の潮位計を用い、可能な限り早期に津波に対応する「運用」を検討する。

8. 1. 2 検討条件

発電所構外の潮位観測活用の候補地点を抽出し、既往観測潮位の活用可能性を確認した上で、津波を早期検知可能な地点を選定する。早期検知可能な地点に対して、プラント「影響のある津波」の判断基準及びプラント「影響の可能性のある津波」の情報発信基準を設定する。

8. 1. 3 検討結果

以下の①、②の「運用」を定め、設置許可申請書の添付書類八に記載し、運用の具体的な内容は、保安規定以下で定めることとする。詳細を(1)～(5)に示す。

① 敷地外にて「プラント影響のある津波」を検知した場合

構内潮位計での判断基準を「10分以内0.5mの「変動」とし、防潮ゲート閉止判断を早期化。図1に概念図を示す。

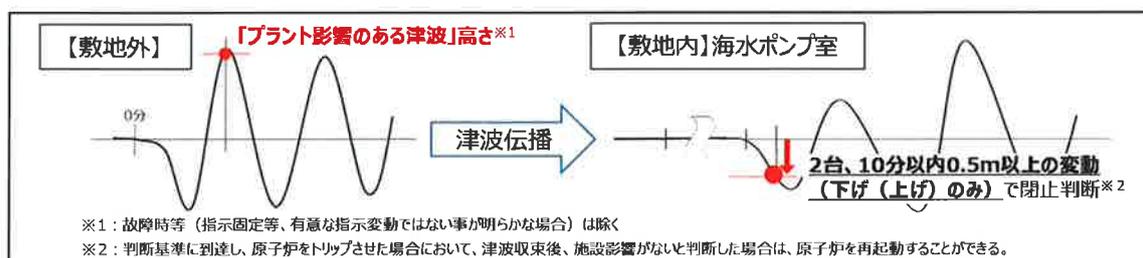


図1 敷地外にて「プラント影響のある津波」を検知した場合の対応の概念図

② 敷地外にて「プラント影響の可能性のある津波」を検知した場合

構外潮位計で検知した段階で、防潮ゲート落下機構の健全性確認など(防潮ゲート保守作業の中止、構内の一般車両の退避、輸送船の退避、輸送車両の退避、津波監視カメラによる監視)、津波関連施設の状況を確認し津波襲来に備える。図2に概念図を示す。

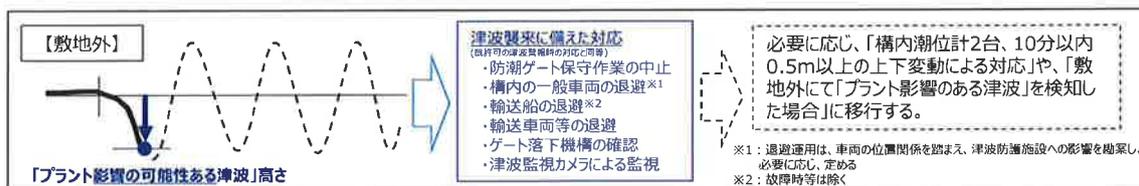


図2 敷地外にて「プラント影響の可能性のある津波」を検知した場合の対応の概念図

(1) 発電所構外の潮位観測活用の候補地点

発電所構外の潮位観測活用について、「構内潮位計よりも早期に検知できること」及び「過去観測データの蓄積により、海底地すべり津波と通常の潮汐を識別可能なこと」を条件に、候補地点を抽出した。高浜発電所周辺の既往観測潮位地点を図3に示す。また、各地点におけるエリアB（基準津波3）及びエリアC（基準津波4）の津波到達時間を表1に示す。津波を早期に検知できる地点は「③三国、④津居山、⑤経ヶ岬」である。③三国、④津居山、⑤経ヶ岬における観測潮位記録の蓄積有無及びデータ受領状況は以下の通りである。

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

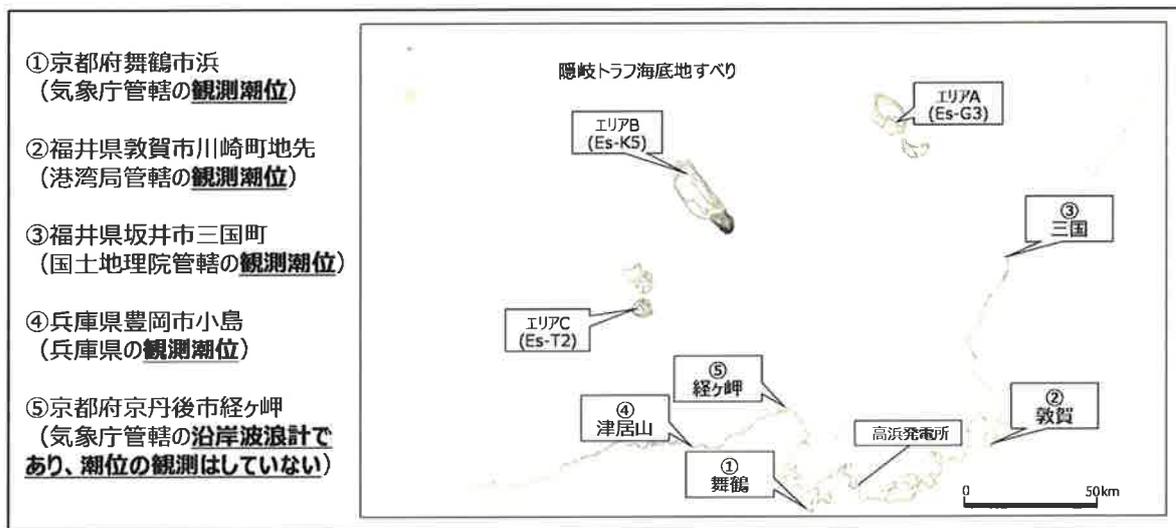


図3 高浜発電所周辺の既往観測潮位地点

表1 各地点における津波到達時間

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

※高浜発電所における時間は取水口前での津波到達時間。

潮位を観測していること、エリアB（基準津波3）又はエリアC（基準津波4）の早期検知に効果的であることから、④津居山、③三国、⑤経ヶ岬の順に敷地外における津波検知活用の可能性を検討した。検討結果を以下に示す。

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

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

(2) 津居山地点の潮位観測におけるプラント影響のある津波高さ

敷地外におけるプラント「影響のある」津波高さの判断基準設定案及び評価結果を表2に示す。敷地外におけるプラント「影響のある津波」は、水位 T.P. +3.0m と水位 T.P. +2.0m と水位 T.P. +1.0m の判断基準案から、津居山地点の潮位計の観測範囲内であり、最も安全側の判断基準である T.P. +1.0m を採用する。

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

表2 判断基準設定案及び評価結果

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

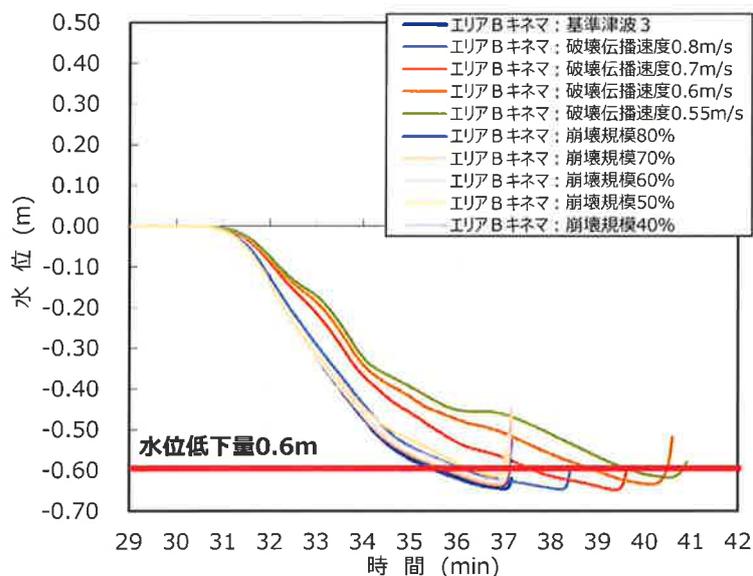
参考：敷地外の観測地点候補の観測範囲

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

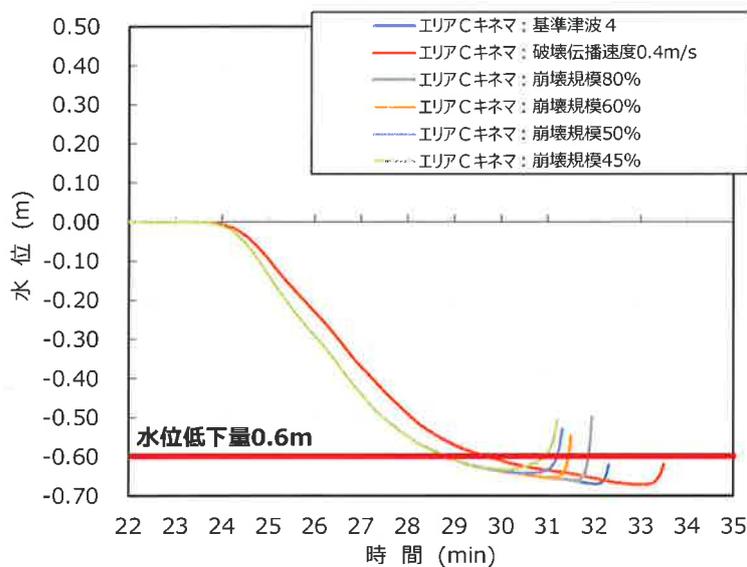
(3) 津居山地点の潮位観測におけるプラント影響の「可能性」のある津波高さ

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

基準津波に加えて、発電所に影響を及ぼす破壊伝播速度のパラスタケース及び崩壊規模のパラスタケースについて、津居山地点の津波シミュレーション結果における最初の下げ波の水位低下量を確認した結果を図4に示す。いずれのケースも最初の下げ波の水位低下量は0.6m以上である。



エリアB (基準津波3)



エリアC (基準津波4)

図4 判断基準設定案及び評価結果

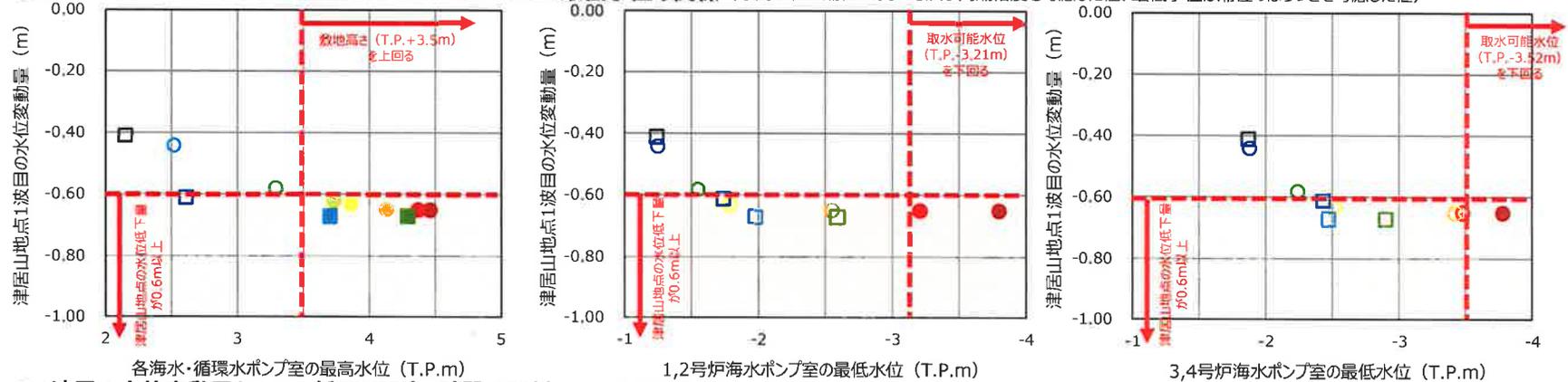
破壊伝播速度のパラメータスタディ結果及び崩壊規模のパラメータスタディ結果について、「津居山地点1波目の水位変動量と発電所の最高水位・最低水位の関係」、「1波目の水位変動量と0.6m低下に要する時間の関係」及び「判断基準(0.6m/10分)による検知可否」を図5及び図6に示す。

津居山地点における1波目の水位変動量と発電所敷地内の最高水位・最低水位の関係から、発電所敷地内に影響の大きい波源ほど、津居山地点における1波目の水位変動量が大きいこと、津居山地点における1波目の水位低下が0.6m未満のケースでは発電所の施設影響はないことを確認した。

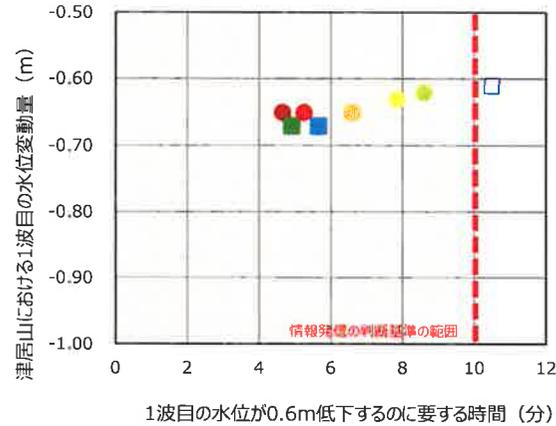
また、津居山地点における1波目の水位変動量と0.6m低下に要する時間の関係から、津居山地点における1波目の水位低下が大きいほど、0.6m水位低下に要する時間は短いこと、発電所の施設影響ある津波のうち、津居山地点における0.6m水位低下に要する時間が10分超のケースはないことを確認した。

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

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



●1波目の水位変動量と0.6m低下に要する時間の関係 (1波目の水位低下が0.6m以上のケースのみをプロット)



◆判断基準 (0.6m/10分) による検知可否

(施設影響あり: 赤 検知可能: 青 検知不能: 緑)
 水位上昇側: Es-K5 (エリアB) 最高水位には潮位のばらつき+0.15m及び高潮裕度+0.49mを考慮

破壊伝播速度	1.0m/s	0.8m/s	0.7m/s	0.6m/s	0.55m/s	0.5m/s	0.4m/s
最高水位 [T.P. m]	4.46	4.37	4.13	3.86	3.73	3.29	2.52
水位低下量 [m]	0.65	0.65	0.65	0.63	0.62	0.58	0.44
0.6m低下時間 [分]	4.7	5.3	6.6	7.9	8.6	-	-
検知可否	○	○	○	○	○	×	×

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

破壊伝播速度	0.5m/s	0.4m/s	0.3m/s	0.2m/s
最高水位 [T.P. m]	4.29	3.70	2.61	2.15
水位低下量 [m]	0.67	0.67	0.61	0.41
0.6m低下時間 [分]	4.9	5.7	10.5	-
検知可否	○	○	×	×

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

破壊伝播速度	1.0m/s	0.8m/s	0.7m/s	0.6m/s	0.5m/s	0.4m/s
最低水位 [T.P. m]	-3.80	-3.21	-2.55	-1.79	-1.55	-1.25
水位低下量 [m]	0.65	0.65	0.65	0.63	0.58	0.44
0.6m低下時間 [分]	4.7	5.3	6.6	7.9	-	-
検知可否	○	○	○	○	×	×

水位下降側: Es-T2 (エリアC) 最低水位には潮位のばらつき-0.17mを考慮

破壊伝播速度	0.5m/s	0.4m/s	0.3m/s	0.2m/s
最低水位 [T.P. m]	-2.59	-1.98	-1.74	-1.24
水位低下量 [m]	0.67	0.67	0.61	0.41
0.6m低下時間 [分]	4.9	5.7	10.5	-
検知可否	○	○	×	×

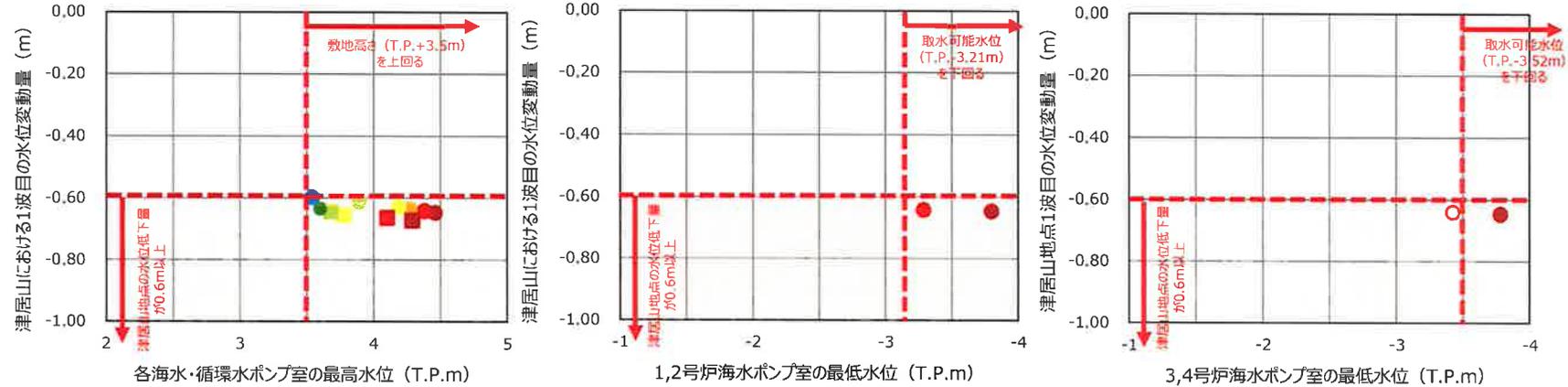
【凡例 (塗りつぶし: 施設影響あり、白抜き: 施設影響なし)】

	エリアB Es-K5 (Kinematic)				エリアC Es-T2 (Kinematic)						
	1.0	0.8	0.7	0.6	0.55	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2
水位上昇側	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
水位下降側	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

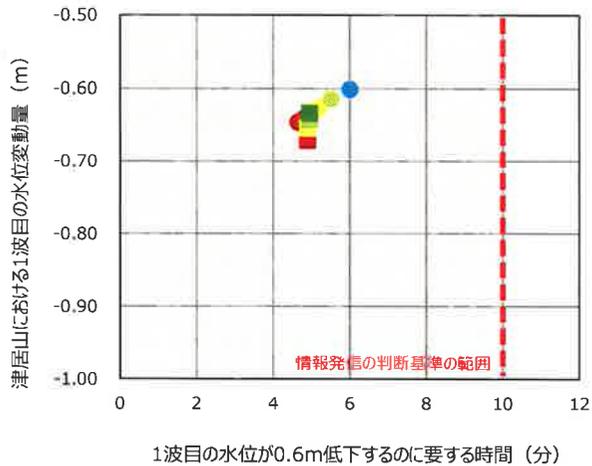
図5 破壊伝播速度のパラメータスタディ結果の検知可否

崩壊規模のパラメータスタディ結果 (全ケースの検知可否の確認)

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



● 1波目の水位変動量と0.6m低下に要する時間の関係 (1波目の水位低下が0.6m以上のケースのみをプロット)



◆ 判断基準 (0.6m/10分) による検知可否 (施設影響あり: 赤 検知可能: 青 検知不能: 緑)

水位上昇側: Es-K5 (エリアB)

最高水位には潮位のばらつき+0.15m及び高潮裕度+0.49mを考慮

崩壊規模	最高水位 [T.P. m]					
	100%	80%	70%	60%	50%	40%
最高水位 [T.P. m]	4.46	4.38	4.27	4.19	3.89	3.54
水位低下量 [m]	0.65	0.64	0.63	0.63	0.61	0.60
0.6m低下時間 [分]	4.7	4.8	5.0	5.2	5.5	6.0
検知可否	○	○	○	○	○	○

水位上昇側: Es-T2 (エリアC)

最高水位には潮位のばらつき+0.15m及び高潮裕度+0.49mを考慮

崩壊規模	最高水位 [T.P. m]				
	100%	80%	60%	50%	45%
最高水位 [T.P. m]	4.29	4.10	3.78	3.68	3.60
水位低下量 [m]	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63
0.6m低下時間 [分]	4.9	4.9	4.9	5.0	5.0
検知可否	○	○	○	○	○

水位下降側: Es-K5 (エリアB)

最低水位には潮位のばらつき-0.17mを考慮

崩壊規模	最低水位 [T.P. m]	
	100%	80%
最低水位 [T.P. m]	1.2号 -3.80	-3.29
3.4号	-3.78	-3.42
水位低下量 [m]	0.65	0.64
0.6m低下時間 [分]	4.7	4.8
検知可否	○	○

【凡例 (塗りつぶし: 施設影響あり、白抜き: 施設影響なし)】

	エリアB Es-K5 (Kinematic)					エリアC Es-T2 (Kinematic)				
	崩壊規模 [%]					崩壊規模 [%]				
	100	80	70	60	50	100	80	60	50	45
水位上昇側	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
水位下降側	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

図6 崩壊規模のパラメータスタディ結果の検知可否

(4) 構外地点（津居山）の情報発信基準の設定

基準津波に加えて、発電所影響を及ぼす破壊伝播速度のパラスタケース及び崩壊規模のパラスタケースについて、構外地点（津居山）の津波シミュレーション結果における最初の下げ波の水位低下量を確認した結果、いずれのケースも最初の下げ波の水位低下量は 10 分以内に 0.6m 以上であることを踏まえ、平常時における短時間の潮位のゆらぎ 10 分間で最大約 0.1m を考慮して、情報発信基準を「10 分以内に 0.5m の水位が下降した場合」とする。

なお、構内の潮位計における判断基準値の考え方を踏まえ、測定誤差等を考慮し、セット値は「10 分以内に 0.45m」とする。

潮位計の情報発信基準を図 7 に、津居山地点の潮位観測実績を図 8 に、平常時における潮位のゆらぎの考え方を図 9 に示す。潮位のゆらぎにあたっては、潮位の変動が大きくなると考えられる夏期(8月～10月)と冬期(1月～3月)の観測データをもとに算出する。具体的な潮位のゆらぎの算定方法を図 10 に示す。

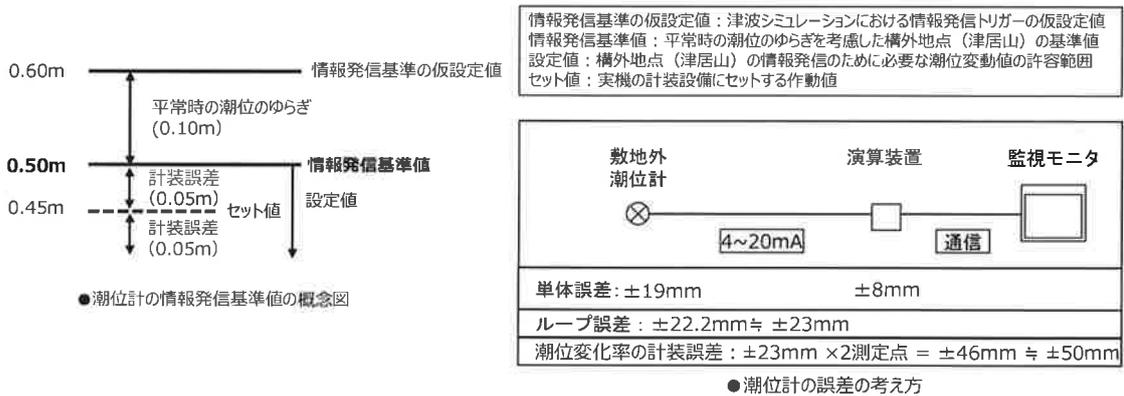
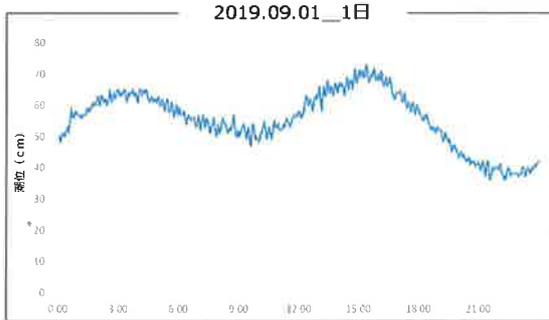


図 7 潮位計の情報発信基準

・通常の潮汐による潮位変動

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

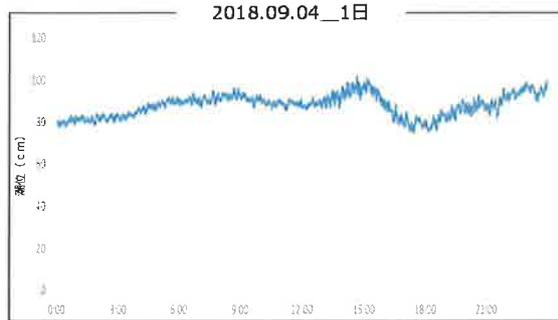
●通常時の潮汐の変動 2019年9月 瞬時値 (60秒)



・台風などの異常時の潮位変動

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

●2018年の台風21号の潮位データ 瞬時値 (60秒)

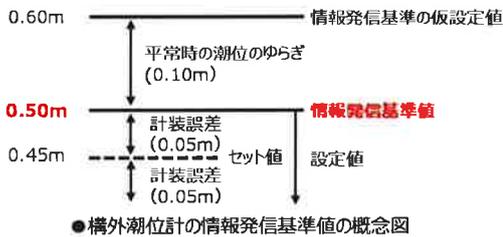


▶津居山地点における通常の潮位変動においては、10分間の変動量が10cm程度である。
 ▶2018年1月～2019年10月における台風時の潮位データを考慮しても、潮汐の変動は大きいところで10分間で27cm程度であった。

図8 津居山地点の潮位観測実績

平常時における短時間の潮位のゆらぎの考え方を以下に示す。

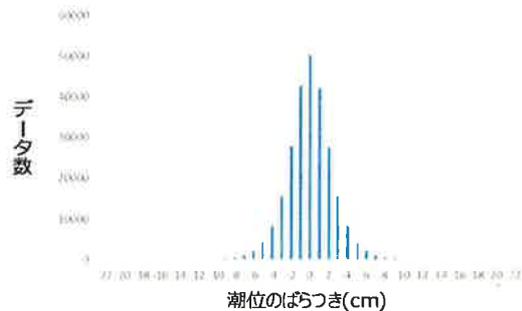
- ・構内における基準津波評価にて考慮する「朔望平均潮位」及び入力津波評価にて考慮する「潮位のばらつき」は、それぞれ過去の潮位データから平均値、標準偏差として算出。
- ・これに倣い、過去6ヶ月分の夏期/冬期の潮位データ観測から、統計的なばらつきを考慮した波高は下表の結果から0.03mと見積もられる。
- ・これを踏まえつつ、**10分間の潮位のゆらぎについては、より保守的に、過去観測のデータの3σの値よりも大きい0.10mを適用。**



●構外潮位計の情報発信基準値の概念図

	夏期 2019.8.1 ～10.31	冬期 2019.1.1 ～3.31	全体
中央値	0.010	0.020	0.010
標準偏差	0.015	0.019	0.017
潮位のゆらぎ	0.025	0.039	0.028

●夏期と冬期における10分間の潮位のゆらぎ(m)



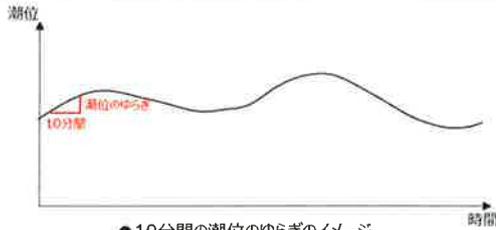
●10分間の潮位のゆらぎのばらつき (過去データ6ヶ月分)

図9 平常時における潮位のゆらぎの考え方について

(参考) 通常時の潮位のゆらぎの具体的な算定について

平常時における短時間の潮位のゆらぎの具体的な算定方法を以下に示す。

- 10分前の瞬間潮位値と現時刻の潮位値の差を取る。(例：2019/9/1 0:10:00と2019/9/1 0:20:00の差を取り、10分差を-1cmと算定する。)
- 変動差のばらつきを見るため上記差の絶対値を算定する。
- 夏期、冬期、全体の期間における10分間潮位のばらつきの絶対値を統計的に処理し、中央値と標準偏差を算出する。潮位のゆらぎは中央値と標準偏差の和とする。
- これを踏まえつつ、10分間の潮位のゆらぎについては、より保守的に、過去観測のデータの3σと中央値の和よりも大きい0.10mを適用する。



● 10分間の潮位のゆらぎのイメージ

	夏期 2019.8.1~10.31	冬期 2019.1.1~3.31	全体
データ数	130,986	126,019	257,005
中央値	0.010	0.020	0.010
標準偏差	0.015	0.019	0.017
潮位のゆらぎ	0.025	0.039	0.028

● 夏期と冬期における10分間の潮位のゆらぎ(m)

● 観測データを用いた10分差及び絶対値の例

年	月	日	時刻	瞬間潮位値 単位:cm	10分差	絶対値
2019	09	01	0:10:00	50	0	0
2019	09	01	0:11:00	50	0	0
2019	09	01	0:12:00	51	-1	1
2019	09	01	0:13:00	51	-2	2
2019	09	01	0:14:00	51	-2	2
2019	09	01	0:15:00	51	-2	2
2019	09	01	0:16:00	51	-3	3
2019	09	01	0:17:00	50	-1	1
2019	09	01	0:18:00	51	-1	1
2019	09	01	0:19:00	50	0	0
2019	09	01	0:20:00	51	-1	1
2019	09	01	0:21:00	51	-1	1
2019	09	01	0:22:00	51	0	0
2019	09	01	0:23:00	52	-1	1
2019	09	01	0:24:00	53	-2	2
2019	09	01	0:25:00	53	-2	2
2019	09	01	0:26:00	53	-2	2
2019	09	01	0:27:00	53	-3	3
2019	09	01	0:28:00	52	-1	1
2019	09	01	0:29:00	52	-2	2
2019	09	01	0:30:00	51	0	0

図 10 平常時における潮位の具体的な算定方法について

(5) 津居山地点における観測潮位の活用のまとめ

(1)～(4)に示した敷地外の観測潮位の活用方針に基づき、津居山地点でのプラント「影響のある」津波高さ、津居山地点でのプラント影響の「可能性」ある津波高さ及び敷地外の観測潮位の活用による防潮ゲート閉止時間の短縮効果を図 10 に示す。

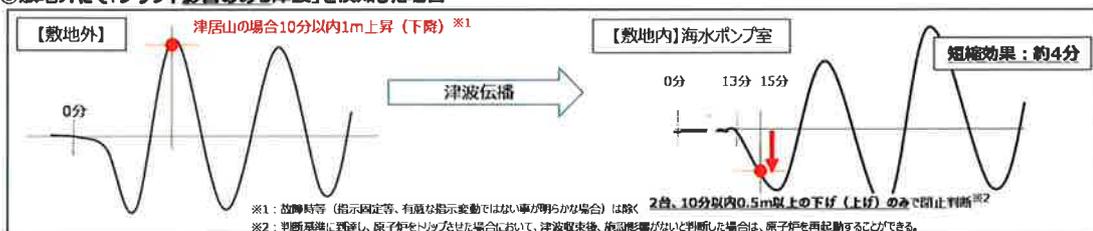
図に示す通り、敷地外の観測潮位において、プラント「影響のある」津波高さを検知した場合は、構内の海水ポンプ室の潮位計において、2台の潮位計で10分間以内に0.5m以上の下げ（上げ）のみで判断をすることとしており、早期の対応を行うものとする。短縮時間の効果としては約4分の短縮効果があると考えている。

また、敷地外の観測潮位において、プラント影響の「可能性」ある津波高さを検知した場合は、津波の襲来の備え、ゲート落下機構の確認や津波監視カメラによる監視など構内に津波が襲来した場合の対応を取れる体制の構築を図り、确实の防潮ゲートを閉止することとしている。

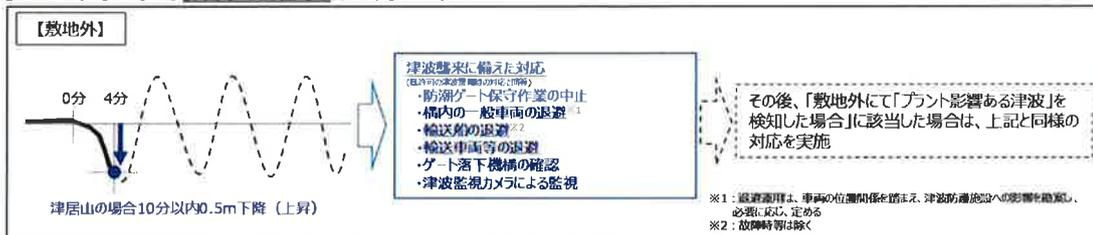
● 警報が発表されない津波に可能な限り早期対応するための運用

(1) 設置許可申請書に記載する運用

① 敷地外にて「プラント影響のある津波」を検知した場合



② 敷地外にて「プラント影響の可能性ある津波」を検知した場合



(2) 自主的な運用

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

短縮効果：約5分

図 10 津居山地点における観測潮位の活用

(6) 構外潮位計の検知信頼性のプラント影響について

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

a. 構外潮位計単独での計測信頼性と誤検知の可能性

誤検知の原因を以下のとおり整理した。

(a) 故障による誤検知

津居山検潮所では、フロート式水位計を採用しており、フロートの浮き沈みによりワイヤが上下し、歯車で水位の変動を検知する(図8)。フロート式水位計で想定される故障モード、故障した場合に想定される中央制御室モニタでの指示変動および誤検知の有無を表3に、2018年1月から2019年10月までの津居山の既往潮位データ分析結果を表4に示す。

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

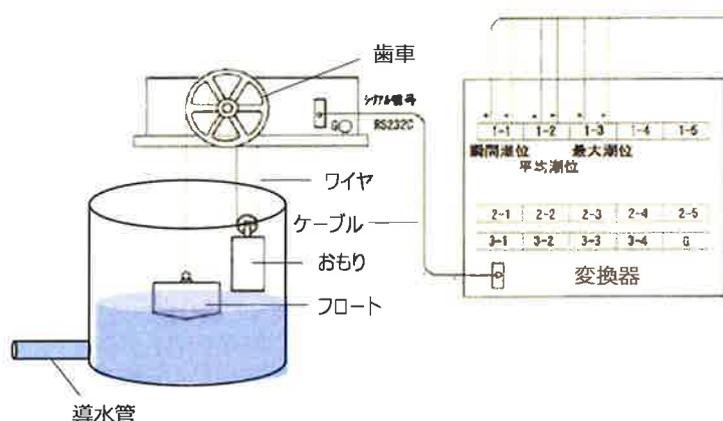


図8 フロート式水位計の概要図 (イメージ)

表3 フロート式水位計の故障モード等の整理表

故障モード	想定される指示変動	誤検知の有無	判断内容
ワイヤ断線 (フロート側)	徐々に指示上昇	10分以内の指示上昇により警報が発信し誤検知の虞あり	津波と判断
ワイヤ断裂 (おもり側)	指示固定	指示固定であるため誤検知なし	故障と判断
フロート接続外れ	徐々に指示上昇	10分以内の指示上昇により警報が発信し誤検知の虞あり	津波と判断
フロート破損	徐々に指示低下	10分以内の指示低下により警報が発信し誤検知の虞あり	津波と判断
ケーブル地絡、電源断*	スケールダウン	ステップ変化により警報が発信し誤検知の虞あり	故障と判断
変換器故障、データ収録エラー*	スケールダウン又はオーバー	同上	故障と判断
歯車固着	指示固定	指示固定であるため誤検知なし	故障と判断
導水管つまり	指示固定	同上	故障と判断

表4 津居山の既往潮位データ分析結果

計 画 外				計 画 内			
No	データ欠測開始時刻	欠測時間	欠測理由	No	データ欠測開始時刻	欠測時間	欠測理由
1	2018/11/22 11:31	10分	データ収録エラー	1	2018/2/17 8:21	9時間40分	計画停電
2	2019/1/6 0:59	2日 11時間	現地潮位電源断	2	2018/3/22 9:41	1時間20分	定期点検
3	2019/4/4 23:02	15時間4分	現地潮位電源断	3	2018/3/28 11:00	1分	風向風速計交換
4	2019/5/8 9:38	13分	現地潮位電源断	4	2018/3/28 12:11	1時間	風向風速計交換
5	2019/5/9 0:02	10時間11分	現地潮位電源断	5	2018/8/2 13:01	3時間40分	現地詳細点検
6	2019/5/31 12:41	10分	データ収録エラー	6	2018/8/3 9:01	50分	現地詳細点検
7	2019/7/12 10:01	10分	データ収録エラー	7	2018/8/31 13:31	10時間29分	計画停電
8	2019/10/4 1:21	10分	データ収録エラー	8	2018/11/2 17:51	1日 15時間30分	計画停電
9	2019/10/4 22:21	10分	データ収録エラー	9	2018/11/9 17:51	2日 2時間30分	計画停電
10	2019/10/5 0:41	10分	データ収録エラー	10	2018/11/14 9:51	50分	定期点検
11	2019/10/5 3:21	10分	データ収録エラー	11	2018/11/16 19:11	2日 14時間	計画停電
12	2019/10/5 9:11	10分	データ収録エラー	12	2019/9/5 12:21	3時間40分	現地詳細点検
13	2019/10/5 12:01	10分	データ収録エラー	13	2019/9/6 9:01	1時間40分	現地詳細点検
14	2019/10/5 15:11	10分	データ収録エラー				
15	2019/10/5 19:21	10分	データ収録エラー				
16	2019/10/12 15:41	3日 1時間20分	停電				

(b) 津波以外の潮位変動(台風等も含む)による誤検知

過去に津居山地点では T. P. +1.68m の最高潮位を観測しているが、水位上昇は数 cm/10 分程度である。至近(2018. 1~2019. 10)の津居山地点における潮位データを分析(表5)したところ、通常の潮汐変動で 1m/10 分となる事例はない。

表5 津居山地点の潮位データ

単位:cm/10分												
2018年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
最大値	22	16	22	12	17	17	16	13	18	13	11	18
最小値	-27	-17	-25	-13	-15	-16	-18	-14	-16	-15	-12	-17
単位:cm/10分												
2019年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月		
最大値	17	16	16	14	11	24	12	15	13	22		
最小値	-17	-15	-15	-12	-8	-20	-12	-14	-14	-22		

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

b. 誤検知によるプラント影響

ゲート閉止によるプラント停止により、最大 340 万 kW(1~4 号機稼働時)の電源が同時に喪失する。

その影響は以下のとおりで無視できないため、一定頻度での誤検知に対しては、何らかの措置が必要である。

○ライフラインへの影響

- ▶ 高浜発電所4基運転時、一度に約340万KWの電源が喪失した場合、発電量の低下により、系統周波数が低下する。
- ▶ 交流送電の仕組みから、電源喪失前の電気使用量により、電源喪失時の裕度が決定される。使用量が大きければ電源喪失時に対する余裕が大きくなり、使用量が小さければ余裕が厳しくなる。
- ▶ 系統周波数の低下に伴い、系統安定化装置*が動作し、電気の使用量によっては、お客さまの電気の供給が停止される場合があり、一般公衆への波及影響が考えられる。

※周波数低下の抑制に見合った負荷を遮断する装置

○原子力プラントへの影響

- ▶ 系統周波数が低下すれば、他の稼働中の原子力発電所の系統周波数も同様に低下する。これは、当該の発電所内も同様であり、誘導電動機を使用しているポンプの回転数が低下する。具体的には、1次冷却材ポンプの回転数が低下し、一時的に炉心を通過する冷却材流量が低下につながり、炉心の冷却状態が悪化する。

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

8. 2 更なる安全性向上に係る取り組み

8. 2. 1 背景

敷地外における津波の早期検知対応としては、津居山地点の外部機関による潮位データを更なる早期の防潮ゲート閉止判断等として活用する方針であり、高浜発電所1, 2号機の再稼働までに、津居山地点の既往観測潮位を活用する。

ただし、津居山一地点に限らず、活用できるデータは可能な限り活用し、津波の兆候を事前に捉えることが更なる安全性向上に繋がることから、今後も引き続き、将来的な更なる安全性向上に係る取り組みとして、敷地外潮位計の多様性向上を図る。

8. 2. 2 検討条件

8. 1. 3章の検討結果より、津居山以外の候補地点にて、「構内潮位計よりも早期に検知できること」及び「過去観測データの蓄積により、海底地すべり津波と通常の潮汐を識別可能なこと」の条件に該当する三国もしくは経ヶ岬への潮位計設置及び津居山地点への当社潮位計の追加設置について検討する。

8. 2. 3 検討結果

将来的な更なる安全性向上に係る取り組みとして、具体的には、津居山地点以外の潮位計の追加活用や当社所有の潮位計の追加設置について、表1のとおり、各案の成立の前提が確率できたものは、実施していく。

設備構成のイメージを図1に示す。

表1 将来的な更なる安全性向上の取り組みに係る課題および必要な期間

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

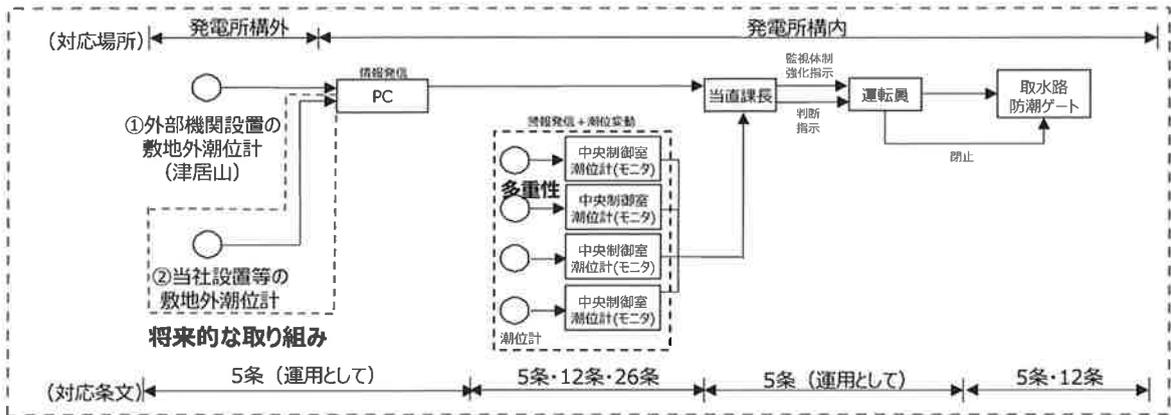


図1 将来的な更なる安全向上の取り組みに係る設備構成のイメージ

8. 3 構外潮位計欠測時の対応

8. 3. 1 背景

警報が発表されない津波に可能な限り早期に対応するために構外潮位計を活用し、構内潮位計での防潮ゲート閉止判断の早期化と、防潮ゲート落下機構の確認などの津波襲来に備えることとしている。構外潮位計が欠測した場合にはこれらの対応ができないことから、構外潮位計欠測時の対応について検討した。

8. 3. 2 検討条件

構外潮位計は、警報が発表されない津波に対して、可能な限り早期に対応するものであるため、一時的に構外検知を用いずとも津波対応上の問題がないと評価できる対応は「欠測時の運用を除外(①)」し、津波対応上の問題がないと評価できないが、津波検知した際と同等の対応が可能な場合は、「津波検知した際と同等の対応を実施(②)」する。津波検知した際と同等の対応ができないものは、「個別に代替手法を検討(③)」する。

具体的な検討フローは図1に示す。

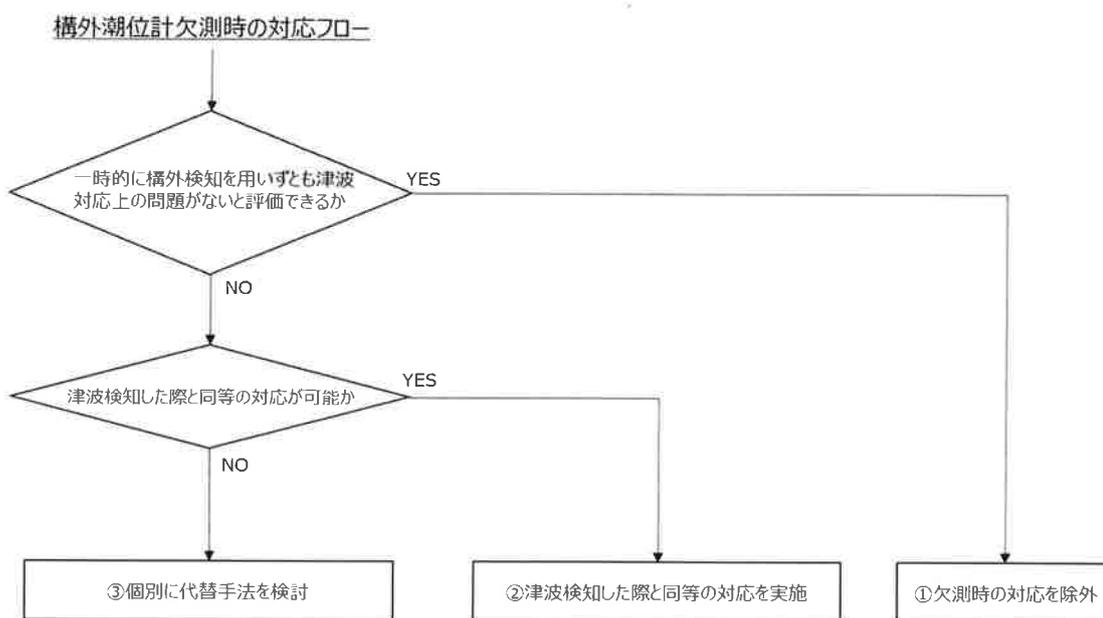


図1 構外潮位計欠測時の対応

8. 3. 3 評価結果

構外潮位計を活用した対応項目に関して、構外潮位計欠測時の対応を整理した結果を表1に示す。

プラント影響のある津波を検知した場合の防潮ゲート閉止判断の早期化については、構内潮位で津波検知により、最も時間余裕が厳しい津波に対しても約9分の余裕時間をもって、施設影響のある津波を防護可能であることから、欠測時

の運用を除外する。

ゲート保守作業の中断については、保守的に欠測と同時に構外に津波が襲来した場合を想定しても、発電所へ津波が襲来するまでに復旧が可能であることから、欠測時は津波検知した際と同等の対応を実施する。

構内の一般車両の退避については、保守的に欠測と同時に構外に津波が襲来した場合を想定しても、発電所へ津波が襲来するまでに退避が可能であることから、欠測時は津波検知した際と同等の対応を実施する。なお、放水口側の一般車両については、津波の流況及び地形並びに車両位置と津波防護施設との位置関係を踏まえ、津波防護施設への影響を確認し、必要に応じ、当社敷地内の津波が到達しない場所へ退避する運用を定めることにより、津波防護施設に影響を及ぼさない方針とすることから、退避運用の必要性及び成立性については、後段規制において、詳細を確認することとする。

荷役中以外の場合の輸送船の退避は、海底地すべり津波の最大流速、最高・最低水位に対し輸送船の係留が維持できること、輸送船が岸壁に乗り上がらないこと、着底や座礁等により航行不能にならないことを確認しており、漂流物とならないことから、欠測時の運用を除外する。

荷役中の場合の輸送車両等の退避については、燃料輸送作業は年間数日程度であり、夜間作業がないこと、欠測時の輸送車両等の退避による作業中断は、輸送工程への影響が大きいことから、作業時は構外潮位計設置箇所へ人を配置し、仮に構外潮位計の潮位伝送に異常が生じた場合には、現地にて目視等にて潮位を確認し、構外潮位の監視が途切れのないよう対応する。

ゲート落下機構の確認は、ゲート閉止の前提条件であるため、欠測時は津波検知した際と同等の対応を実施する。

津波監視カメラによる監視は、津波対応の前提条件であるため、欠測時は津波検知した際と同等の対応を実施する。

表1 構外潮位計欠測時の対応整理

	構外で津波を検知した時の対応	構外潮位計欠測時の対応	構外潮位計欠測時の対応に係る評価	分類	
プラント影響のある津波(津居山で10分以内1.0m上昇(下降)を検知した場合)	構内潮位計2台、10分以内0.5m以上の「変動」でゲート閉止判断	左記対応を除外し、構内潮位計2台、10分以内0.5m以上の「上下変動」でゲート閉止判断	構内潮位計2台、10分以内0.5m以上の「上下変動」でのゲート閉止にて、最も時間余裕が厳しい津波に対し、約9分の余裕時間をもって、施設影響のある津波を防護可能	①	
プラント影響の可能性 がある津波(津居山で 10分以内0.5m上昇(下 降)を検知した場合)	ゲート保守作業の中断	同左	保守的に欠測と同時に構外に津波が襲来した場合を想定しても、発電所へ津波が襲来するまでに復旧が可能であり、上段の対応により施設影響のある津波を防護可能 ※なお、構外での津波検知時及び欠測時は、速やかに中央制御室より連絡が入る体制を構築する。	②	
	構内の一般車両の退避※	同左	保守的に欠測と同時に構外に津波が襲来した場合を想定しても、発電所へ津波が襲来するまでに退避が可能	②	
	燃料等 輸送	(荷役中以外の場合) 輸送船の退避	左記対応を除外とし、退避せず	海底地すべり津波の最大流速、最高・最低水位に対し輸送船の係留が維持できること、輸送船が岸壁に乗り上がらないこと、着底や座礁等により航行不能にならないことを確認しており、漂流物とならない。	①
		(荷役中の場合) 輸送車両等の退避	作業は年間数日程度であり、夜間作業がないこと、欠測時の輸送車両等の退避による作業中断は、輸送工程への影響が大きいことから、作業時は構外潮位計設置箇所へ人を配置し、仮に構外潮位計の潮位伝送に異常が生じた場合には、現地にて目視等にて潮位を確認し、構外潮位の監視が途切れないよう対応	左記対応により、構外潮位を継続監視可能	③
	ゲート落下機構の確認	同左	ゲート閉止の前提条件であるため、欠測時は同等の対応を実施。	②	
	津波監視カメラによる監視	同左	津波対応の前提条件であるため、欠測時は同等の対応を実施。	②	

※：後段規制において、必要性及び成立性を確認する。