

第三編（耐津波設計方針の検討経緯）

目 次

1. 第三編の概要
2. 基準津波の選定
 - 2.1 基準津波の選定方針
 - 2.2 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
 - 2.3 基準津波の選定
3. 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
 - 3.1 背景
 - 3.2 評価条件
 - 3.3 評価結果
4. 施設影響を踏まえた対策案の検討
 - 4.1 背景
 - 4.2 検討条件
 - 4.3 検討結果
5. 取水路防潮ゲート閉止の起因となる津波検知の方法
 - 5.1 背景
 - 5.2 検討条件
 - 5.3 検討結果
6. 津波検知の判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性
 - 6.1 背景
 - 6.2 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
 - 6.3 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
7. 運用成立性の確認
 - 7.1 運転操作等の成立性確認
 - 7.2 取水路防潮ゲート閉止に対する余裕時間
 - 7.3 潮位計の基準適合性
 - 7.4 大津波警報と潮位計による津波検知の同等性

8. 取水路防潮ゲート対策の採用による施設影響の確認

9. 津波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
 - 9.1 構外潮位計を用いた運用
 - 9.2 更なる安全性向上に係る取り組み
 - 9.3 構外潮位計欠測時の対応

1. 第三編の概要

本編では、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基準津波の選定や、それに対する施設影響評価、施設影響を踏まえた防護方針の策定等について、審査ガイドに明記されない事項も含め、その詳細をまとめる。本章では、第三編で行った検討の概要を、また、末尾に検討フロー図を示す。

(1) 基準津波の選定

基準津波については、以下のA～Cの方針に基づき、波源を選定する。

- 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（施設影響が生じる波源）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) 津波警報が発表されない場合には津波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、津波警報に基づくゲート閉止を前提とした基準津波に加え、津波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

- 既許可では、津波警報が発表されるため、これに基づく取水路防潮ゲート閉止を前提とする。
- 津波警報を受け、津波到達前に取水路防潮ゲートを閉止することで、施設影響が生じる波源はない。なお、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、その場合でも施設影響は生じない。
- 津波警報を受けゲート閉止する波源のうち、取水路防潮ゲート前面、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。
- 一方、津波到達に対し、ゲート閉止が間に合わない波源のうち、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津波警報が発表されない場合(今回評価)

- 津波警報が発表されない津波の場合は、これに基づく取水路防潮ゲート閉止ができない前提とする。
- 津波警報が発表されない場合の基準津波の選定は、施設影響が生じる

波源を網羅的に抽出するため、既許可時に評価対象としたエリアA～Cの最大規模の海底地すべりに加え、各エリアで規模が2位・3位の海底地すべりや発電所方向に崩壊する海底地すべりについても評価対象とした。

- 評価の結果、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、これらの波源をそれぞれ基準津波3、基準津波4として選定した。なお、規模が2位以下の波源は施設影響が生じないことを確認した。
- なお、基準津波3、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襲来する津波の第1波より第2波以降の振幅が大きくなること、及び、基準津波3、4では第2波以降の水位変動で施設影響が生じる結果となっていることを踏まえ、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、施設影響が生じる後続波の浸入を防止することで施設影響を回避する。この対策では、安全設計上、施設影響が生じる津波の第1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、耐津波設計では、基準津波3及び基準津波4を用いて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。
- 基準津波3、4による敷地遡上及び海水ポンプの取水性の観点では、最も水位変動が大きくなるように崩壊規模及び破壊伝播速度を最大値で設定した基本設定の波形を設計に用いる。一方で、崩壊規模が小さくなると振幅が小さくなり、破壊伝播速度が小さくなると振幅が小さくなって周期が長くなることから、上記の対策の観点では、これらの値を小さくした場合においてわずかに施設影響を与えるような津波波形であっても見落としなく検知できる判断基準（トリガー）を設定する必要がある。よって、耐津波設計における判断基準（トリガー）設定においては、基準津波3、4の崩壊規模及び破壊伝播速度について、基本設定を上限とした上で、幅を持って設計に用いるものとする。

(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(1)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、(2)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、特に水位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、津波警報が発表されない可能性があることから、「防潮ゲート」による対策の採否の判断に当たり、防潮ゲート閉止の起因となる津波検知方法について検討する必要がある。

(4) 防潮ゲート閉止の起因となる津波検知方法

- 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。このうち、津波検知方法として、定量的に潮位を測定できる潮位計の活用を検討した。
- 潮位計を活用した津波検知方法を採用する場合、「施設影響が生じる津波を見逃すことがないか、津波以外の潮位変動を誤検知することはないか」という判断基準(トリガー)の網羅性・妥当性の確認が必要である。また、「津波を検知した後に運転操作が時間内に成立するか」という運用成立性の確認が必要である。
- 従って、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を実施し、潮位計による過去の観測データ等を踏まえた上で、判断基準(トリガー)の網羅性・妥当性及び運用成立性について確認し、津波検知方法の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

- 津波検知の判断基準(トリガー)の設定に当たっては、「施設影響が生じる津波を見逃すことがないか、津波以外の潮位変動を誤検知することはないか」といった観点で、妥当性・網羅性を確認する必要がある。判断基準(トリガー)の妥当性・網羅性の確認は以下の順序で行った。

- 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。
 - ⑤：①～②の確認結果と、④の「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を「10 分以内 0.5m 上下変動」とした。
- 今回の申請における判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性の確認及び入力津波の設定に関する位置付けについて整理した。判断基準（トリガー）について、設置許可では、基本設計の条件下で裕度をもった判断基準（トリガー）を設定し、設工認では詳細設計の条件下で、その裕度に包絡されることを確認し、判断基準（トリガー）を確定する。また、入力津波について、設置許可では施設影響を確認するための入力津波を設定し、設工認では判断基準（トリガー）の確定に伴い、判断基準（トリガー）を設定するための入力津波を設定する。

（6）運用成立性（運転操作が時間内に成立するか）の確認

- 構内潮位計で津波を検知した後は、その検知情報に基づき、運転操作が必要であることから、「運転操作が時間内に成立するか」を評価する必要がある。
- 運用成立性の確認に当たっては、津波襲来により、最も判断基準の到達が早く運用上の対応が厳しくなるケースとして、基準津波 3 を選定した。
- 運転操作の一連の対応を以下に示す。まず、潮位計において、潮位が 0.5m 下降、若しくは上昇した時点で中央制御室に警報が発信する。この時点で、運転員は潮位の継続的な重点監視を行うとともに、2 台の観測潮位が 10 分以内に 0.5m 以上上下降し、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 下降した時点で判断基準に到達したと判断し、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、判断基準の到達までに最短でも約 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。
- 判断基準の到達後は、循環水ポンプ停止及びユニットトリップ操作完了後、防潮ゲートを 1 分で閉止する運用としている。なお、防潮ゲート閉止に要する時間は 20 秒程度と算定しているが、余裕を考慮して 1 分としている。

- また、(5) で実施した判断基準（トリガー）の網羅性・妥当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

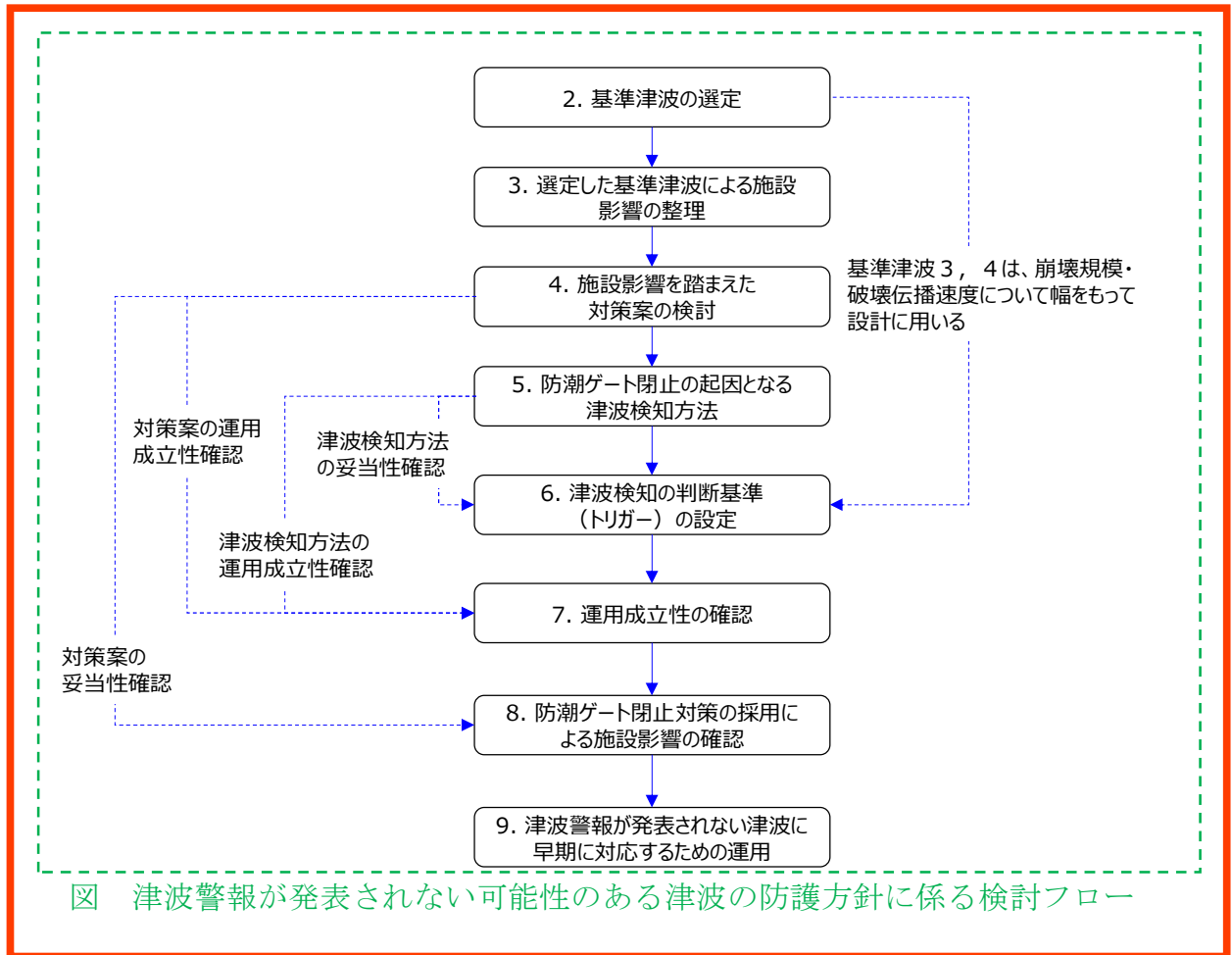
- 上述の(1)～(6)の検討結果より、基本設計の条件下で、防潮ゲート対策採用の前提条件である判断基準（トリガー）の妥当性・網羅性及び運用成立性のいずれも満足することを確認した。従って、津波検知に潮位計を活用することとし、防潮ゲート閉止の判断基準（トリガー）を、「潮位計のうち、2 台の観測潮位が 10 分以内に 0.5m 以上下降（または上昇）し、その後、最低潮位から 10 分以内に 0.5m 以上上昇（または下降）」と設定する。
- この判断基準（トリガー）を踏まえ、基準津波 3, 4 に対し、施設影響を確認するための入力津波を評価した結果、3, 4 号炉海水ポンプ室前面の入力津波高さ（水位下降側）が変更となることを確認した。
- 入力津波高さの変更に伴う海水ポンプの取水性への影響については、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、設定した判断基準（トリガー）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、判断基準（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判断基準（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。判断基準（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, 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) 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津波の時刻歴波形を有するケースを基に、施設影響を確認するための入力津波の設定において考慮している設備形状による影響評価及び管路解析による影響評価を実施し、判断基準（トリガー）を設定するための入力津波を作成する。

(8) 津波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

- 基準津波 3, 4 は、津波警報が発表されない可能性があるため、発電所への津波襲来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考えられる。そのため、潮位計によりリアルタイムに潮位の観測が可能であること等の条件を踏まえ、発電所構外における潮位観測活用の候補地点を抽出した。
- 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。候補地点のうち、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以下のとおり定めることとした。なお、その他の候補地点については、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。
- (1)～(7)までの構内潮位計を用いた防潮ゲート閉止に係る対応に加え、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（下げ（上げ）のみ）」とし、防潮ゲート閉止判断を早期化する。
 - ②敷地外にて「プラント影響の可能性のある津波」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。

「プラント影響のある津波」及び「プラント影響の可能性のある津波」の検討について

- 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)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 波の水位低下量を確認した。この結果、いずれも第 1 波の水位低下量は、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。



2. 基準津波の選定

2. 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、津波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、津波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」による津波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では、「敷地周辺に影響を及ぼした過去の津波」、「地震に起因する津波」、「地震以外に起因する津波」及び「地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組み合わせ」について検討し、それらの波源の中から基準津波1及び基準津波2を選定している。一方で、今回の評価対象である津波警報が発表されない可能性のある津波は、波源が「隠岐トラフ海底地すべり」であることから「地震以外に起因する津波」に該当する。このため、本検討では、既許可の基準津波評価における「地震以外に起因する津波」のうち、「海底地すべりに起因する津波」について「津波警報が発表されない場合」の評価を新たに実施する。

既許可の基準津波評価に「津波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（施設影響が生じる波源）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 津波警報が発表されない場合には津波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、津波警報に基づくゲート閉止を前提とした基準津波に加え、津波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。

2. 2 津波警報が発表されない場合の評価

(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、津波警報が発表されない場合の計算条件として、取水路防潮ゲートを開状態とし、水位下降側については循環水ポンプの取水を考慮して、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、隠岐トラフ付近に分布する38の海底地すべり跡を位置及び向きによってエリアA～Cに分けた上で、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を選定した。この際、海底地すべりの規模の比較では、海底地すべり地形における崩壊部の鉛直断面積を指標とした。海底地すべりによる津波の評価では、初期水位形状の算出を複数の手法により行うこととし、Watts 他の予測式及びKinematicモデルを用いた。

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	0.6	-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

津波警報が発表されない場合では、エリアB及びエリアC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の水位が、敷地高さを上回る、または、海水ポンプの取水可能水位を下回る結果となった。基準津波の選定方針では「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)がある場合にはそれらを全て基準津波として選定する」としていることから、各エリアで規模が2位以下の海底地すべりでも、津波警報が発表されない場合において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ないか確認する。この確認では、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。なお、本章では「潮位のばらつき及び高潮の裕度を加味した値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」のことを「施設影響が生じる波源」と記載することとする。

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、施設影響が生じる波源を確認する。

上記①及び②によって新たに抽出した海底地すべりを図1に示す。

①では、エリアA～Cの最大規模の海底地すべりに加えて、エリアBで規模が2位及び3位の海底地すべりとしてEs-K7及びEs-K6を、エリアCで規模が2位及び3位の海底地すべりとしてEs-T8及びEs-T13を、それぞれ選定した。エリアAについては、最大規模のEs-G3による津波でも施設影響が生じないことから、規模が2位及び3位の海底地すべりは選定しない。

②では、隠岐トラフの海底地すべりはほとんどが発電所から遠ざかる方向に崩壊する形状となっている中で、崩壊の傾向が異なる海底地すべりとして、崩壊方向が発電所方向に近いものを選定した。その結果、②ではエリアAのEs-G101、エリアCのEs-T13及びEs-T14を抽出した。

①各エリアで規模が1位～3位の海底地すべり及び②発電所方向に崩壊する海底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、規模が2位・3位の海底地すべりや発電所方向に崩壊する海底地すべりではこれを上回る水位変動は生じない。

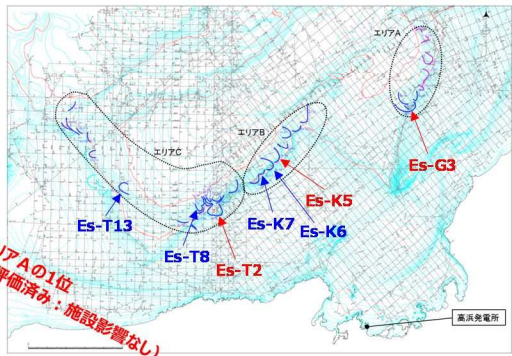
また、各波源の津波水位計算結果に潮位のばらつき及び高潮の裕度を加味した値と敷地高さ及び海水ポンプの取水可能水位を比較した結果を、図2に示す。この結果より、施設影響が生じる波源は、水位上昇側ではエリアBのEs-K5 (Kinematicモデル) とエリアCのEs-T2 (Kinematicモデル)、水位下降側ではエリアBのEs-K5 (Kinematicモデル) であることを確認した。

●地すべり地形の規模の算出結果（断面積上位20個）

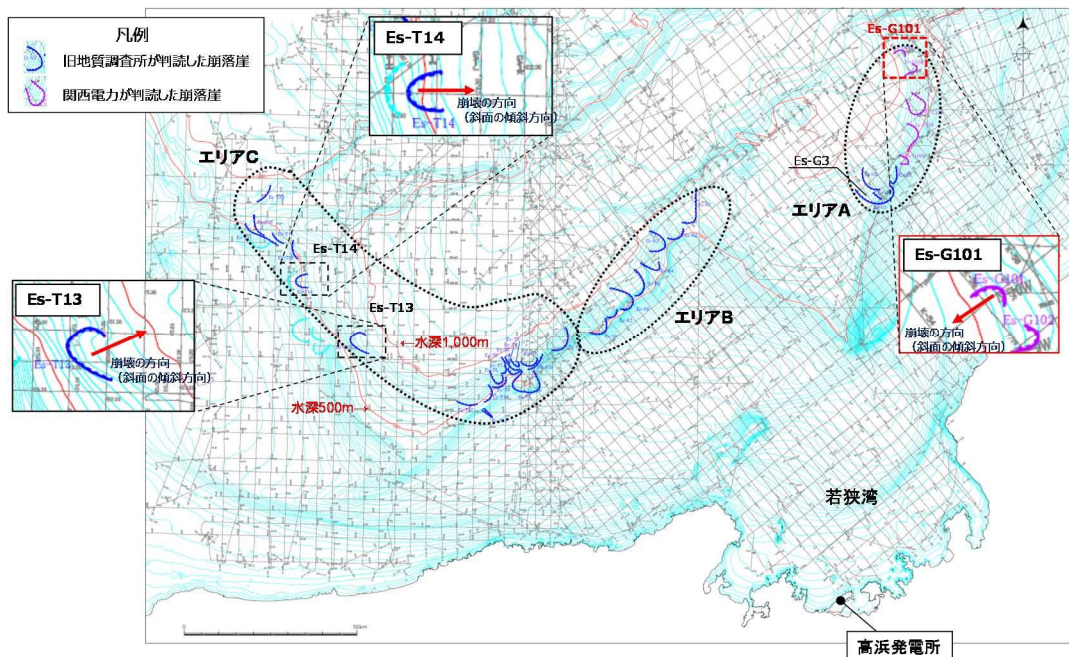
第314回審議会
資料1-4-2, p.77抜粋

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	8,592	97	833,402
3	Es-T8	C	GA-22	4,374	150	656,141
4	Es-K7	B	K-119	3,818	160	578,850
5	Es-T13	C	GA-20	4,986	116	576,038
6	Es-K6	B	K-120	5,420	103	558,225
7	Es-T14	C	GA-15	8,870	61	547,200
8	Es-K8	B	K-119	6,557	76	498,312
9	Es-K4	B	K-120	4,418	81	357,855
10	Es-K3	B	K-121	7,598	45	341,839
11	Es-T6	C	GA-21	5,343	62	331,267
12	Es-T17	C	GA-11	1,979	158	312,678
13	Es-K2	B	K-120	4,462	67	298,932
14	Es-T15	C	GA-13	8,326	33	274,765
15	Es-K1	B	K-121	5,198	52	270,276
16	Es-G3	A	K-115	6,856	29	198,822
17	Es-G103	A	K-118	6,172	30	185,161
18	Es-T12	C	GA-T	6,284	29	182,237
19	Es-G104	A	K-51	3,584	46	164,876
20	Es-G102	A	K-119	4,413	36	158,864

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



①各エリアで規模が1位～3位の海底地すべり



②発電所方向に崩壊する海底地すべり

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

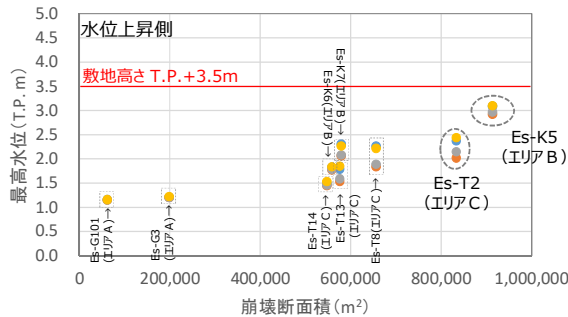
表2 海底地すべりの津波評価結果（規模が2位以下の波源を含む）

数字は、T.P.(m)

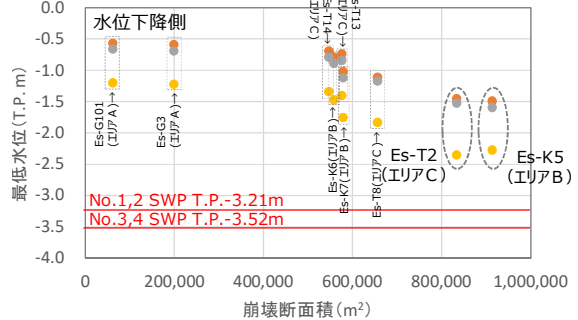
海底地すべり（警報なし）			取水路 防潮 ゲート	水位上昇						水位下降			
				取水路 防潮ゲート 前面	3,4号炉 循環水 ポンプ室	1号炉 海水 ポンプ室	2号炉 海水 ポンプ室	3,4号炉 海水 ポンプ室	放水口 前面	放水路 (奥)	1号炉 海水 ポンプ室	2号炉 海水 ポンプ室	3,4号炉 海水 ポンプ室
エリアA	Es-G3 (規模1位)	Watts他の予測式	開	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.5	-0.6	-1.1
		Kinematicモデルによる方法	開	2.0	2.3	2.1	2.2	2.6	1.6	1.8	-1.2	-1.4	-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

●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

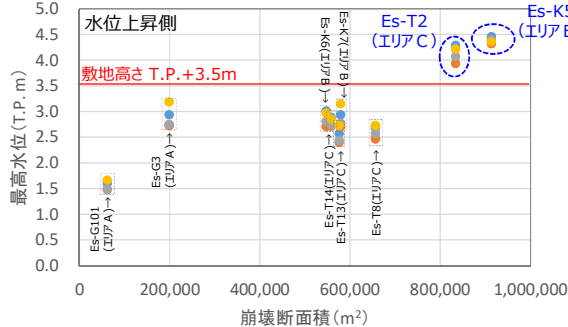


●1号炉海水ポンプ室 ●2号炉海水ポンプ室 ●3,4号炉海水ポンプ室

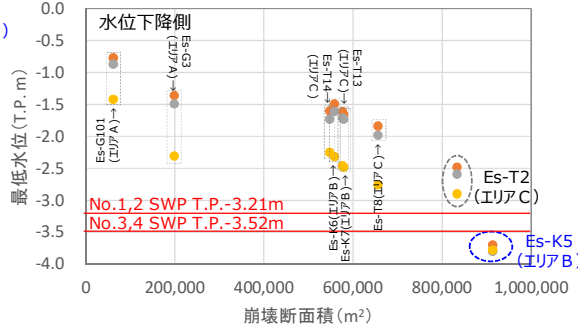


●Kinematicモデルによる方法

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



●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



(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 施設影響が生じる波源の確認

2. 3 基準津波の選定

2. 1 で示した基準津波の選定方針に基づき、(1) で既許可時の基準津波の選定結果を確認した上で、2. 2 の検討結果を踏まえて(2) で津波警報が発表されない場合の基準津波の選定を行う。

(1) 既許可時の基準津波の選定結果

既許可時の津波水位計算結果を表3に示す。表3では、津波水位計算の結果(上表)と、それに基づく施設影響の確認結果(下表)をそれぞれ示している。施設影響については、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した。

津波警報に基づく取水路防潮ゲート閉止を前提とした既許可時の評価では、施設影響が生じる波源はない。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、その場合でも施設影響は生じない。

その上で、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。

表3 津波水位計算結果（既許可時の評価）

●津波水位計算結果

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※1	波源モデル		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		
閉 (Close)	地震に起因する津波	大陸棚外縁～B～野坂断層		5.3	0.9	0.9	0.9	1.3	2.1	2.1	-	-	-	
		日本海東縁部の波源		-	-	-	-	-	-	-	-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	-0.3	-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	-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	-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	-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	-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	-0.9	-0.9	-1.2
	行政機関の波源モデルを用いた津波	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	-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	-1.4	-1.4	-1.6	
		若狭海丘列付近断層	大すべり中央	3.6	0.7	0.7	0.7	1.2	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	-	-	-	
			大すべり隣接LLR	3.7	0.7	0.7	0.7	1.2	1.9	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	4.9	1.3	1.3	1.2	1.7	5.0	5.8	-	-	-
				63秒ずれ	5.1	1.3	1.3	1.2	1.8	5.3	6.1	-	-	-
		78秒ずれ	5.5	1.3	1.2	1.1	1.7	5.3	6.2	-	-	-		
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※2	-1.8※2	-2.0※2	
		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
	運動学的手法				0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	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	-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	-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	-0.3	-0.4	-0.4
				運動学的手法	1.1	1.2	1.0	1.0	1.0	0.6	0.7	-0.3	-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※2	-1.8※2	-1.9※2	
				45秒ずれ	2.1	2.4	2.1	2.1	2.5	2.7	2.7	-	-	-
				51秒ずれ	-	-	-	-	-	-	-1.8※2	-1.8※2	-2.0※2	
				54秒ずれ	2.2	2.5	2.2	2.2	2.5	2.7	2.7	-1.8※2	-1.8※2	-2.0※2

基準津波1

基準津波2

※1：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） ※2：地盤変動量0.23m隆起

●施設影響の有無

…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）、高潮の裕度（上昇側+0.49m）を考慮。

数字はT.P.(m)、青字は施設影響が生じる値（該当なし）

取水路防潮ゲート※1	波源モデル		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		
閉 (Close)	地震に起因する津波	大陸棚外縁～B～野坂断層		5.9	1.6	1.5	1.5	1.9	2.7	2.8	-	-	-	
		日本海東縁部の波源		-	-	-	-	-	-	-	-0.9	-0.9	-1.1	
	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	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-0.5	-0.5	-0.5
				Kinematicモデルによる方法	2.7	1.6	1.6	1.6	1.6	2.3	2.4	-0.9	-0.9	-1.0
			エリアB (Es-K5)	Watts他の予測式	2.7	1.5	1.5	1.5	1.6	2.6	2.8	-0.9	-0.9	-1.0
				Kinematicモデルによる方法	4.7	1.8	1.8	1.7	2.0	4.4	4.6	-1.2	-1.2	-1.3
			エリアC (Es-T2)	Watts他の予測式	3.0	1.4	1.3	1.3	1.8	1.8	2.0	-0.7	-0.7	-1.0
				Kinematicモデルによる方法	3.9	1.7	1.7	1.7	1.8	4.3	4.6	-1.1	-1.1	-1.4
	行政機関の波源モデルを用いた津波	福井県モデル（若狭海丘列付近断層）		5.1	1.7	1.8	1.7	2.0	4.2	4.4	-1.0	-1.0	-1.2	
		秋田県モデル（日本海東縁部の断層）		5.1	2.3	2.3	2.3	2.3	3.5	3.7	-1.6	-1.6	-1.8	
		若狭海丘列付近断層	大すべり中央	4.2	1.4	1.4	1.3	1.9	2.7	2.7	-	-	-	
			大すべり隣接LRR	4.2	1.4	1.3	1.3	1.9	2.5	2.6	-	-	-	
			大すべり隣接LLR	4.4	1.4	1.3	1.3	1.9	2.5	2.6	-	-	-	
	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	5.5	2.0	1.9	1.9	2.3	5.7	6.4	-	-	-
				63秒ずれ	5.8	1.9	1.9	1.9	2.4	5.9	6.8	-	-	-
		78秒ずれ	6.1	1.9	1.8	1.8	2.3	6.0	6.8	-	-	-		
開 (Open)	地震に起因する津波	FO-A～FO-B～熊川断層		2.6	2.8	2.5	2.5	3.1	3.3	3.4	-2.0	-2.0	-2.2	
		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	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	-0.3	-0.3
	運動学的手法				1.3	1.4	1.3	1.3	1.5	2.7	2.8	-0.5	-0.5	-0.5
	No.10			Watts他による方法	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.5	1.7	-0.3	-0.3	-0.3
				運動学的手法	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.1	2.1	-0.3	-0.3	-0.3
	No.14			Watts他による方法	1.6	1.7	1.5	1.7	1.7	1.2	1.3	-0.5	-0.6	-0.6
				運動学的手法	1.7	1.9	1.7	1.7	1.7	1.2	1.3	-0.5	-0.5	-0.6
	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	-	-	-	-	-	-	-2.1	-1.9	-2.1	
				45秒ずれ	2.8	3.1	2.8	2.8	3.1	3.3	3.4	-	-	-
				51秒ずれ	-	-	-	-	-	-	-2.0	-2.0	-2.1	
				54秒ずれ	2.8	3.1	2.8	2.8	3.1	3.3	3.4	-2.0	-2.0	-2.1
	施設影響が生じる高さ（上昇側：敷地高さ・防潮ゲート高さ・防潮堤高さ、下降側：取水可能水位）				8.5	3.5	3.5	3.5	3.5	8.0	8.0	-3.2	-3.2	-3.5

基準津波1

基準津波2

※1：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） ※2：地盤変動量0.23m隆起

(2) 津波警報が発表されない場合の基準津波の選定（今回評価）

今回新たに評価した、津波警報が発表されない場合の津波水位計算結果を表4に示す。表4では、津波水位計算の結果（上表）と、それに基づく施設影響の確認結果（下表）をそれぞれ示している。津波警報が発表されない場合の基準津波の選定においては、既許可時に評価対象としたエリアA～Cの最大規模の海底地すべりに加え、各エリアで規模が2位・3位の海底地すべりや発電所方向に崩壊する海底地すべりについても評価対象とした。また、施設影響については、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した。

津波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評価した結果、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）」であった。このため、これらの波源をそれぞれ基準津波3及び基準津波4として選定した。なお、これらの波源による施設影響はいずれも津波の第1波目ではなく第2波目以降の水位変動によって生じていることから、第1波目で施設影響が生じる波源はない。

ただし、基準津波の選定過程における津波水位計算では、発電所に影響する波源を漏れなく抽出する観点から、水位変動が最も大きくなるように、海底地すべりの波源特性のうち崩壊規模及び破壊伝播速度を保守的に最大値で設定して評価している（以下、基本設定という）。一方、基準津波の選定方針では「施設影響が生じ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」としている。したがって、「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）」では、崩壊規模及び破壊伝播速度が最大値より小さいケースについても施設影響が生じるのであれば基準津波として選定する必要がある。

以上を踏まえ、基準津波3及び基準津波4は、施設影響が生じるケースを全て包含する波源とするために、「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）」において崩壊規模及び破壊伝播速度を固定しない波源（上限値は基本設定で用いた最大値）として策定する。

崩壊規模及び破壊伝播速度の基本設定の考え方は以下のとおりである。海底地すべりの波源特性は崩壊の規模と崩壊時の挙動に分類される。崩壊規模については、津波水位計算では海底面の鉛直方向の変位量が大きいほど水位変動も大きくなることから、複数回の斜面崩壊で形成されたと考えられる海底地すべりも含め、保守的に、地形判読結果に基づく最大規模を基本設定としている。また、海底地すべりの崩壊時の挙動に関しては、Kinematicモデルの方法において海底地すべりの速度（破壊伝播速度）が大きいほど水位変動が大きくなることから、保守的に、破壊伝播速度はWatts他の予測式から求まる最大値を基本設定としている。したがって、基準津波3及び基準津波4では、崩壊規模及び破壊伝播速度を基本設定より

も小さくした場合に、基本設定での水位評価よりも水位変動は小さいものの施設影響は生じる結果になる可能性がある。

基準津波3及び基準津波4では、崩壊規模及び破壊伝播速度を固定しないことから、その値によって津波の計算結果は異なるが、一例として、水位変動が最も大きくなる基本設定での計算による基準津波定義位置の時刻歴波形を図3に示す。

表4 津波水位計算結果（津波警報が発表されない場合）

●津波水位計算結果

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 ^{※1}	波源モデル			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			
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	0.6	-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	-1.2	-1.4	-2.2			
			エリアA (Es-G101)	Watts他の予測式	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	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)	Watts他の予測式	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	3.6	3.9	3.7	3.8	3.8	3.7	4.0	-3.6	-3.7	-3.7	基準津波3		
			エリアB (Es-K6)	Watts他の予測式	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	2.0	2.3	2.1	2.1	2.3	1.7	1.9	-1.4	-1.5	-2.2			
			エリアB (Es-K7)	Watts他の予測式	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	2.1	2.3	2.1	2.2	2.6	2.2	2.4	-1.5	-1.6	-2.4			
			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	-1.3	-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	-2.4	-2.5	-2.8	基準津波4		
			エリアC (Es-T8)	Watts他の予測式	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	1.8	2.1	1.9	2.0	2.1	2.4	2.5	-1.7	-1.9	-2.6			
			エリアC (Es-T13)	Watts他の予測式	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	1.8	2.0	1.8	1.8	2.1	2.3	2.4	-1.5	-1.6	-2.3			
エリアC (Es-T14)	Watts他の予測式	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	2.0	2.4	2.1	2.2	2.4	1.9	2.0	-1.5	-1.6	-2.1						

※1：閉：取水路防潮ゲート先端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）

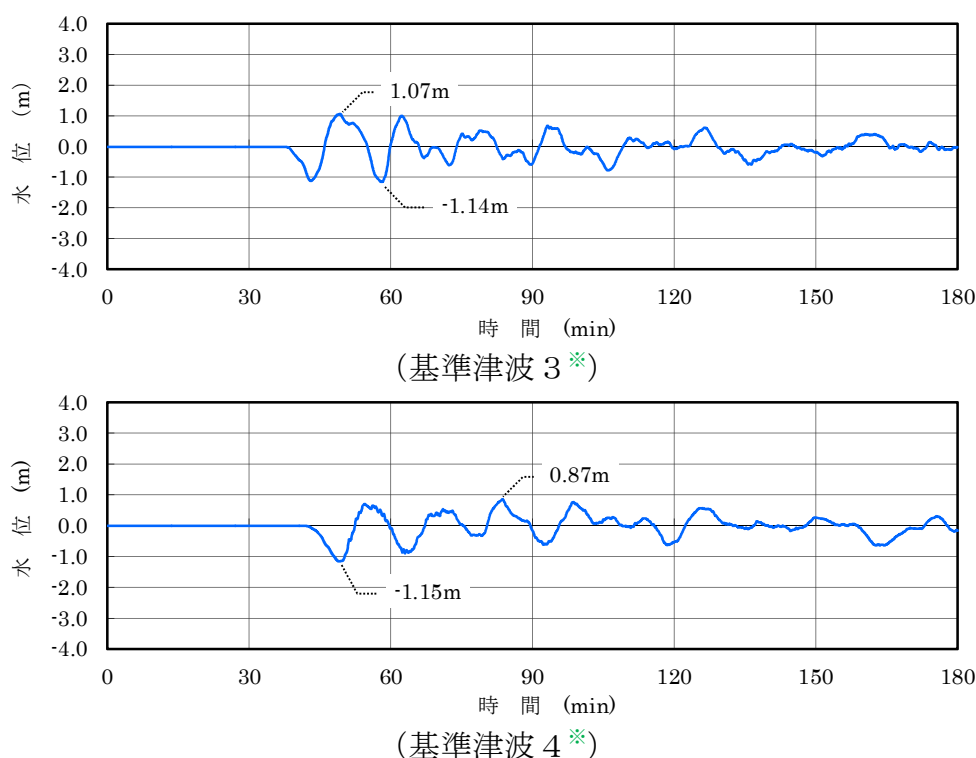
●施設影響の有無

…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）、高潮の裕度（上昇側+0.49m）を考慮。

数字はT.P.(m)、青字は施設影響が生じる値

取水路防潮ゲート ^{※1}	波源モデル			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		
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	1.2	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	-0.6	-0.7	-1.3	
			Kinematicモデルによる方法	2.6	3.0	2.8	2.8	3.2	2.3	2.4	-1.4	-1.5	-2.4		
			エリアA (Es-G101)	Watts他の予測式	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	-0.6	-0.7	-1.2	
			Kinematicモデルによる方法	1.5	1.6	1.5	1.5	1.7	1.5	1.6	-0.8	-0.9	-1.5		
			エリアB (Es-K5)	Watts他の予測式	2.8	3.1	3.0	3.0	3.1	2.6	2.8	-1.5	-1.6	-2.3	
			Kinematicモデルによる方法	4.3	4.5	4.4	4.4	4.4	4.4	4.6	-3.7	-3.8	-3.8	基準津波3	
			エリアB (Es-K6)	Watts他の予測式	1.7	1.9	1.8	1.8	1.9	1.6	1.7	-0.8	-0.9	-1.5	
			Kinematicモデルによる方法	2.6	2.9	2.8	2.8	2.9	2.3	2.5	-1.5	-1.7	-2.4		
			エリアB (Es-K7)	Watts他の予測式	2.1	2.4	2.1	2.1	2.3	1.7	1.8	-1.1	-1.2	-1.8	
			Kinematicモデルによる方法	2.7	3.0	2.8	2.8	3.2	2.8	3.0	-1.7	-1.8	-2.5		
			エリアC (Es-T2)	Watts他の予測式	2.0	2.4	2.1	2.2	2.5	1.8	2.0	-1.5	-1.6	-2.4	
			Kinematicモデルによる方法	3.8	4.3	4.0	4.1	4.3	4.3	4.5	-2.5	-2.6	-2.9	基準津波4	
			エリアC (Es-T8)	Watts他の予測式	2.0	2.3	1.9	1.9	2.3	1.6	1.7	-1.2	-1.2	-1.9	
			Kinematicモデルによる方法	2.5	2.7	2.5	2.6	2.8	3.0	3.1	-1.9	-2.0	-2.8		
			エリアC (Es-T13)	Watts他の予測式	1.5	1.8	1.6	1.6	1.9	1.5	1.5	-0.8	-0.9	-1.4	
			Kinematicモデルによる方法	2.4	2.6	2.4	2.5	2.8	2.9	3.0	-1.7	-1.8	-2.5		
エリアC (Es-T14)	Watts他の予測式	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.4	1.5	-0.7	-0.8	-1.4				
Kinematicモデルによる方法	2.7	3.1	2.8	2.9	3.0	2.6	2.7	-1.6	-1.8	-2.3					
施設影響が生じる高さ（上昇側：敷地高さ・防潮ゲート高さ・防潮堤高さ、下降側：取水可能水位）				8.5	3.5	3.5	3.5	3.5	8.0	8.0	-3.2	-3.2	-3.5		

※1：閉：取水路防潮ゲート先端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）



※基準津波のうち、津波警報等が発表されない可能性のあるものの波源に対する津波波形は、崩壊規模及び破壊伝播速度について、最大値で設定した基本設定を上限とした上で、幅を持って設計に用いるものとするが、一例として、津波による水位変動が最も大きくなるように崩壊規模及び破壊伝播速度を基本設定とした場合の時刻歴波形を示す。

図3 基準津波の時刻歴波形の例

なお、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襲来する津波の第1波より第2波以降の振幅が大きくなること、及び、基準津波3・基準津波4では第2波以降の水位変動で施設影響が生じる結果となっていることを踏まえ、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、施設影響が生じる後続波の浸入を防止することで施設影響を回避する。この対策では、安全設計上、施設影響が生じる津波の第1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、耐津波設計では、基準津波3及び基準津波4を用いて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。

基準津波3及び基準津波4による敷地遡上及び海水ポンプの取水性の観点では、最も水位変動が大きくなるように崩壊規模及び破壊伝播速度を最大値で設定した基本設定の波形を設計に用いる。一方で、崩壊規模が小さくなると振幅が小さくなり、破壊伝播速度が小さくなると振幅が小さくなっ

て周期が長くなることから、上記の対策の観点では、これらの値を小さくした場合においてわずかに施設影響を与えるような津波波形であっても見落としなく検知できる判断基準（トリガー）を設定する必要がある。よって、耐津波設計における判断基準（トリガー）設定においては、基準津波 3 及び基準津波 4 の崩壊規模及び破壊伝播速度について、基本設定を上限とした上で、幅を持って設計に用いるものとする。

3. 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

3. 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。

3. 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。

3. 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号炉放水ビ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号炉放水ビ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号炉放水ビ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号炉放水ビ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号炉放水ビ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号炉放水ビ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号炉放水ビ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号炉放水ビ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	3.4m	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	3.6m	流入しない

※：取水口前面の水位

(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	T.P.+4.5m (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.+4.5m>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.+4.5m>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ヘルマウ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 ：津波は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.-3.8m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.+4.5m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.+4.5m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ヘルマウ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 ：津波は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」の状態では津波が敷地遡上せず、ポンプ取水性も影響はない。

4. 施設影響を踏まえた対策案の検討

4. 1 背景

3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と、高浜発電所は敷地が比較的低い特徴を有することを踏まえ、津波防護対策案を検討する。

4. 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。

4. 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、これら进行评估の上で、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。)		左記①～③と同様	・既設設備であり、速やかにプラ ント安全性向上が可能 ・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		・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」の状態です。津波が敷地遡上せず、ポンプ取水性も影響はない

5. 防潮ゲート閉止の起因となる津波検知の方法

5. 1 背景

4章で述べたとおり、警報が発表されない津波に対しては、防潮ゲートの閉止により対応するが、これには、津波襲来の検知が必須である。

既許可では、警報の発表を受け、防潮ゲートを閉止することとしているが、海底地すべりを波源とする基準津波3, 4は、警報が発表されないため、地すべりを波源とする津波襲来を検知し、適切に防潮ゲートを閉止するための検知方法の設定が必要であり、これを検討する。

5. 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、これらの活用をまず、検討する。なお、レーダー技術を用いたリアルタイムな潮位観測や、GPSを用いた波浪計といった機器は、現時点では信頼性の確保が困難と考えられることから、運用としては構内で信頼性を確保した設備の活用を前提として考える。

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、1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉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、1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉中央制御室から監視可能な設計としている。

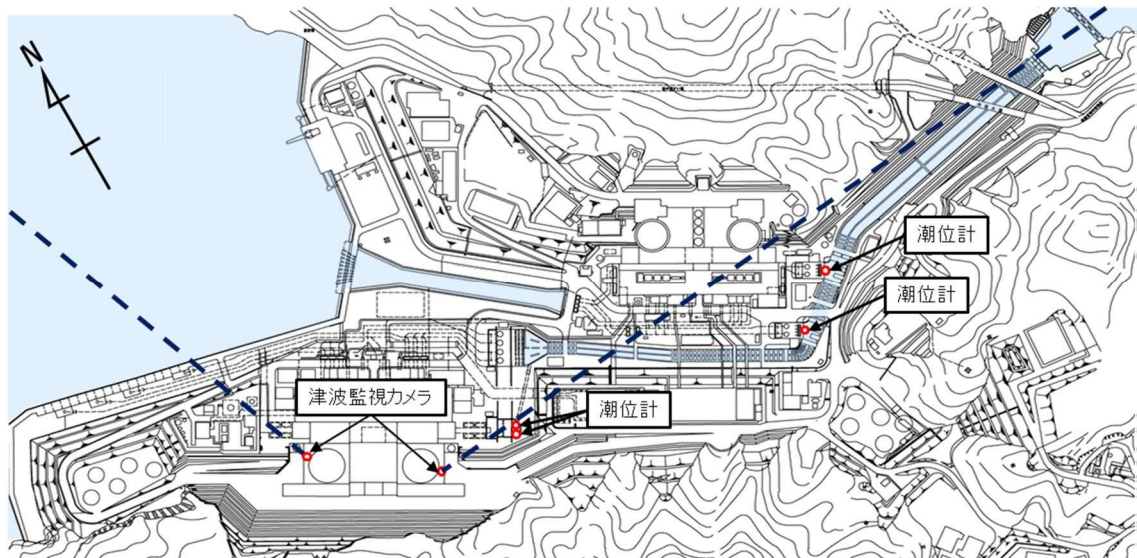


図1 津波監視関係設備配置図

5.3 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、これら进行评估し、採否を判断することとした。この検討結果を6章で述べる。

潮位計は、検出器、電源箱（電源系含む）、演算装置、送受信ユニット、監視モニタ等で構成しており、この構成を図2に示す。

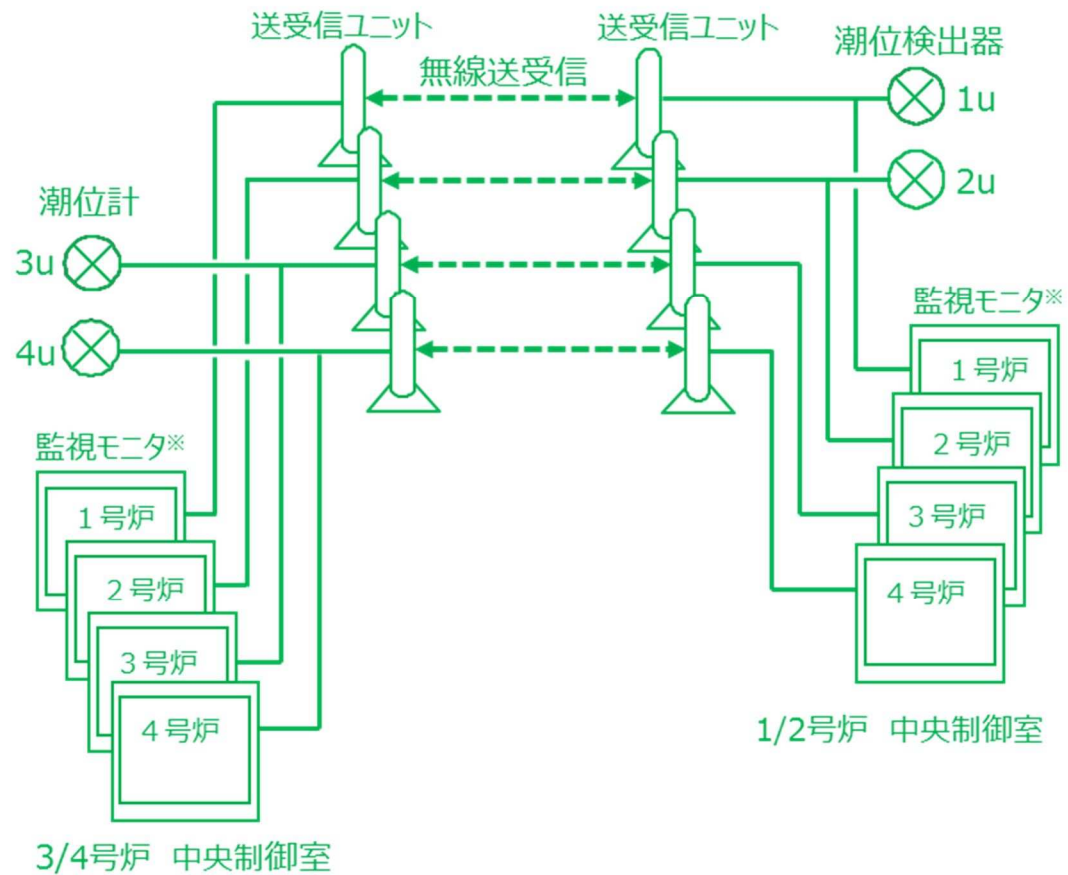
なお、電源箱及び演算装置は、監視モニタの盤内機器であり、監視モニタの機能を実現する構成部品である。潮位計は、防潮ゲートを閉止するために、津波の襲来を海水ポンプ室において検知し、かつ、潮位の有意な変動を1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉中央制御室において把握すること

が重要であることから、検知及び把握に必要となる主要構成品である潮位検出器及び監視モニタを申請範囲として明記することとし、申請範囲の潮位計の仕様を表 1 に示す。現状の潮位計は、1 号炉、3 号炉及び 4 号炉の海水ポンプ室に設置しているが、今回の検討結果を踏まえ、2 号炉にも 1 台追加し、4 台構成とする。潮位計の各構成機器の基準適合性や、必要チャンネル数等の詳細は、7. 3 章で述べる。

表1 潮位計の仕様

	主要構成品	個数	設置場所	種類	測定範囲
1号炉潮位計	潮位計(検出器) 監視モニタ※	1	1号炉 海水ポンプ室 T.P.+7.1m	非接触式検出器	E.L.-9.9m ~ E.L.+6.6m
2号炉潮位計	潮位計(検出器) 監視モニタ※	1	2号炉 海水ポンプ室 T.P.+7.1m	非接触式検出器	E.L.-9.9m ~ E.L.+6.6m
3号炉潮位計	潮位計(検出器) 監視モニタ※	1	3, 4号炉 海水ポンプ室 T.P.+4.6m	非接触式検出器	E.L.-4.0m ~ E.L.+4.0m
4号炉潮位計	潮位計(検出器) 監視モニタ※	1	3, 4号炉 海水ポンプ室 T.P.+4.6m	非接触式検出器	E.L.-4.0m ~ E.L.+4.0m

※：監視モニタは1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉中央制御室に各1個設置する。



※電源箱及び演算装置は監視モニタの盤内機器であり、監視モニタの一部である。

図2 潮位計のシステム構成

6. 津波検知の判断基準（トリガー）の設定

6. 1 背景

5章にて津波警報が発表されない可能性のある津波に対する防潮ゲート閉止のための津波検知方法として、潮位を定量的に測定できる潮位計を活用することとした。本章では、施設影響が生じる津波を網羅的に検知するための設定値であるトリガーについて検討する。

潮位計を活用した防潮ゲート閉止における津波検知の判断基準（トリガー）は、「敷地高さ（T.P.+3.5m）を上回る、もしくは、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（以下、「施設影響が生じる」という。）津波の見逃しがないか」、「津波以外の事象を誤検知するおそれがないか」という観点で、妥当性・網羅性を確認した上で設定する必要がある。

津波警報が発表されない場合の評価において、施設影響が生じる波源として基準津波3及び基準津波4を選定したことから、基準津波3及び基準津波4において崩壊規模及び破壊伝播速度の値が異なる様々な津波波形を抽出し、施設影響が生じる津波波形の1波目と2波目以降の水位変動量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判断基準（トリガー）を設定する。

6. 2 検討内容・結果

津波検知の判断基準（トリガー）の設定は、耐津波設計に該当することから、基準津波を用いて検討を行う。判断基準（トリガー）は、施設影響が生じる津波を網羅的に検知できる設定とする必要があることから、検討においては施設影響が生じる波源である基準津波3及び基準津波4を用いる。

基準津波3及び基準津波4は崩壊規模及び破壊伝播速度を固定しない波源（上限値は基本設定で用いた最大値）であるため、本章の検討では必要に応じてこれらのパラメータの範囲から様々な津波波形を抽出する。ただし、以降の記載で特に説明がない場合は、基準津波3及び基準津波4の崩壊規模及び破壊伝播速度の2つのパラメータは、それぞれ基本設定（水位変動が最も大きくなる設定）の値を用いた結果を指すこととする。

判断基準（トリガー）の設定に関する検討フローを図1に示す。

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) 通常の高潮位変動も確認した上で、(3) 津波検知の判断基準（トリガー）を仮設定する。

次に、基準津波3,4の崩壊規模及び破壊伝播速度を様々な設定で施設影響が生じる津波波形を検討し、仮設定した判断基準（トリガー）での検知可否を整理することで、(4) 仮設定した判断基準（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判断基準（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) 津波検知の判断基準（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。

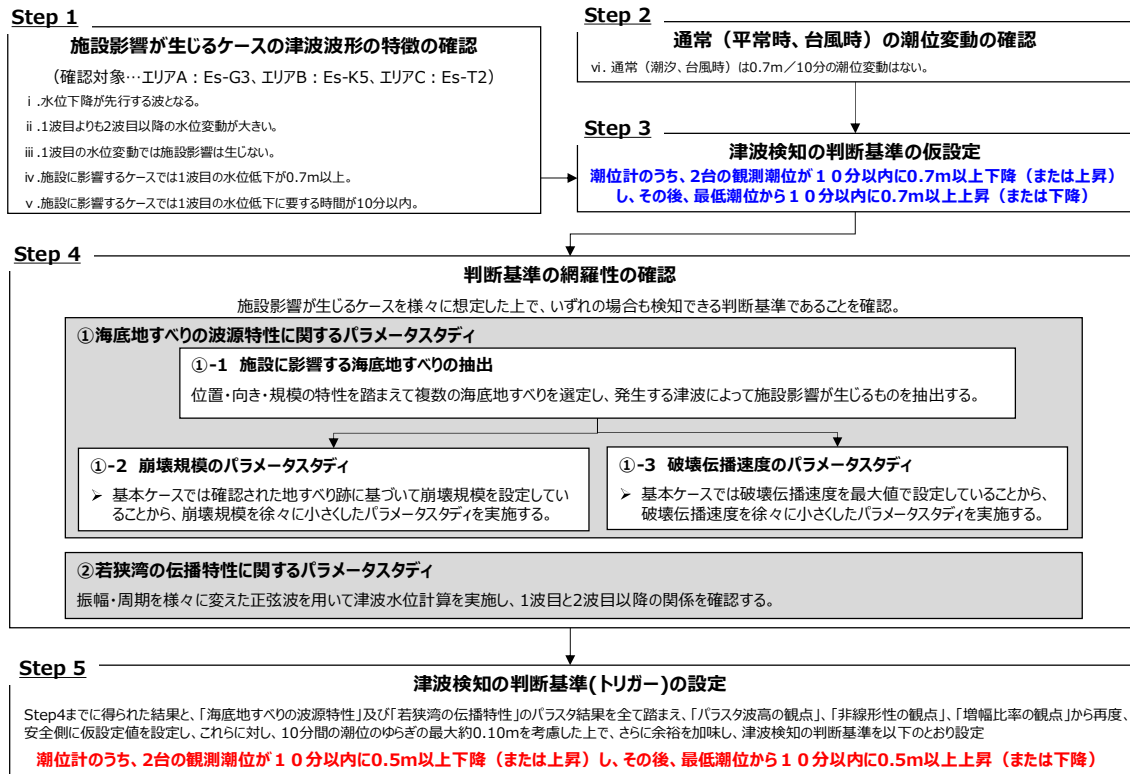


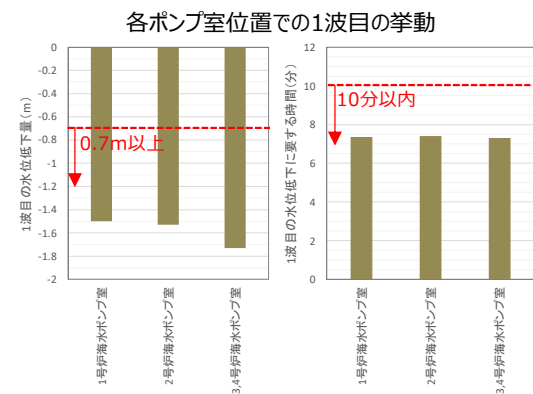
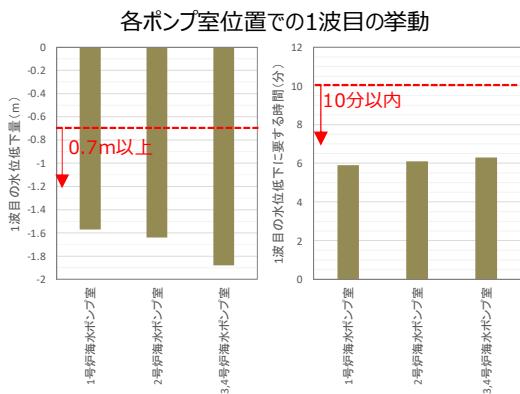
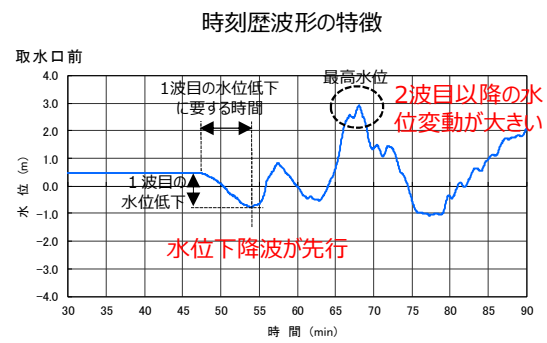
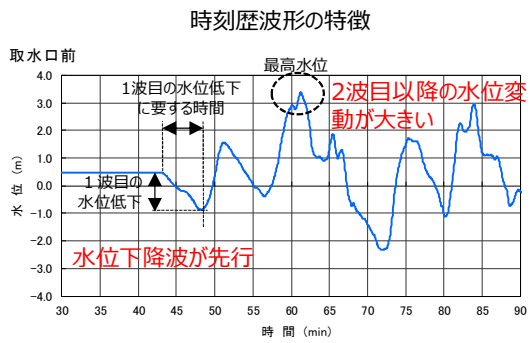
図1 判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性に関する検討フロー

(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量が大きい」、「1波目の水位変動量では施設影響は生じない」、「1波目の水位変動量は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)

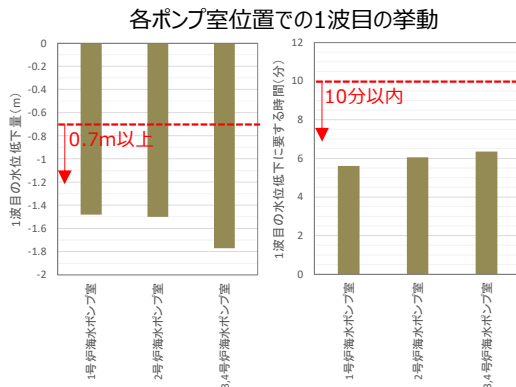
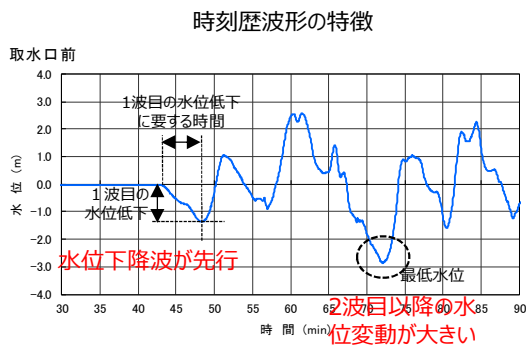


図2 基準津波3, 4の津波波形の特徴の確認

(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）

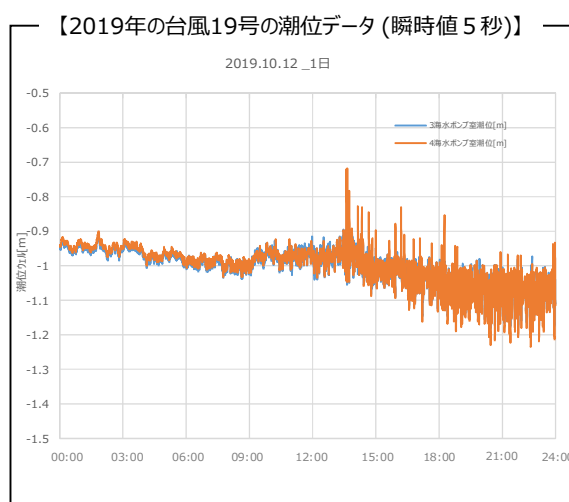
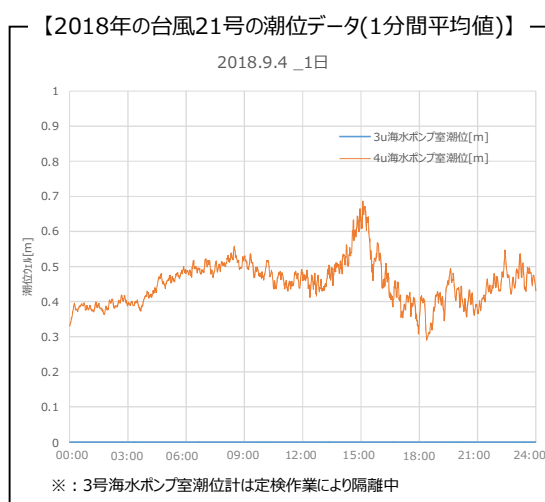
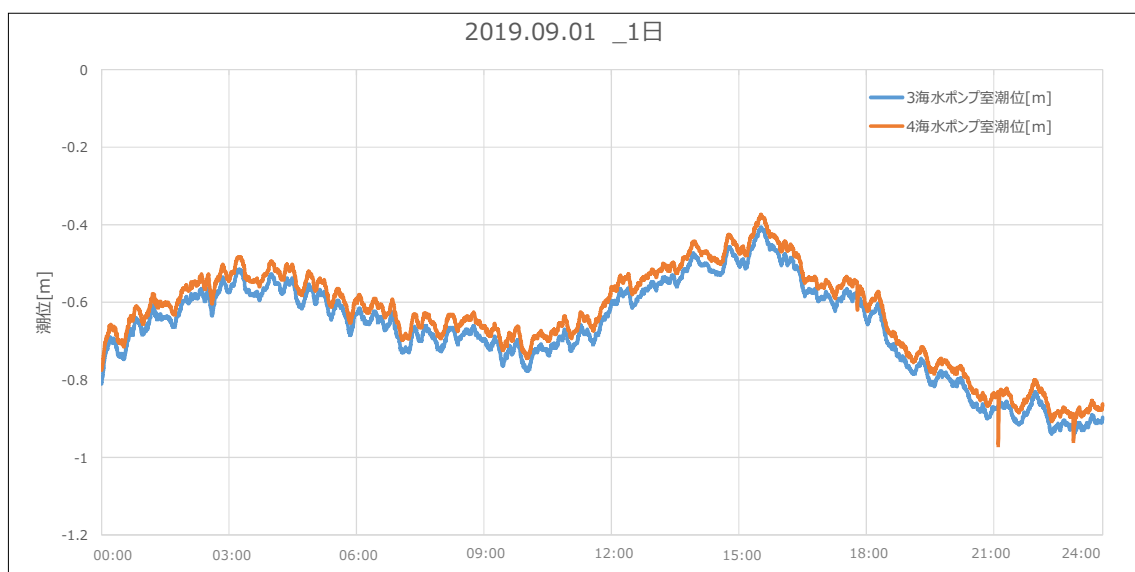


図3 通常の潮位変動の確認（上：平常時、下：台風時）

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、**基準津波 3 及び基準津波 4** では、1 波目よりも 2 波目以降の水位変動が大きく、1 波目の水位変動では施設影響が生じないが、**2 波目以降の水位変動では施設影響を及ぼすことを確認した**。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。

津波検知の判断基準（トリガー）とする 1 波目の水位変動量は、(1) 及び (2) の確認結果から、施設影響が生じる津波を検知でき、且つ通常の潮位変動を津波と誤検知しない変動量として、10 分間に 0.7m 以上の変動量とする。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 以上下降した後に、その後の最低潮位から 10 分間に 0.7m 以上の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。

なお、施設影響が生じる波源から得られる波形は、全て津波の第 1 波が引き波であるが、自然現象の不確かさを考慮し、第 1 波が押し波の場合にも、判断基準を設定する。具体的には、引き波に対して設定した判断基準を反転させ、潮位が 10 分間に 0.7m 以上上昇した後に、その後の最高潮位から 10 分間に 0.7m 以上の下降が確認された場合を、判断基準として設定する。

なお、後述の (4) 判断基準（トリガー）の網羅性を確認するためのパラメータスタディを実施するに当たり、海底地すべりの方向性についても検討した。隠岐トラフの海底地すべりはほとんどが発電所から遠ざかる方向に崩壊する形状となっている中で、崩壊の方向が異なる海底地すべりとして、崩壊方向が発電所方向に近いと想定されるエリア A の Es-G101、エリア C の Es-T13 及び Es-T14 を抽出し、津波波形を確認した。その結果、Watts 他の予測式を用いた評価で上昇波先行の波形となっており、上昇波が先行する波源もあることを確認したものの、津波高さは小さく、(1) の考え方

を変更する必要はないとした。しかし、自然事象に対する不確実性をより広く取り入れる観点から、「1波目の水位が上昇し、その後、最高潮位から下降した場合」もトリガーとして考慮することとする。

以上より、次のとおり、津波検知の判断基準（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)で仮設定した判断基準（トリガー）が、施設影響が生じる様々な津波波形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、様々な津波波形を確認する観点から、基準津波3及び基準津波4を用いたパラメータスタディを実施する。海底地すべりによる津波の波形に影響する因子としては、波源の位置・向き、波源の特性、及び、波源から評価位置までの津波の伝播特性が考えられる。波源の位置・向きに関しては、隠岐トラフ周辺の38の海底地すべりについて基準津波3及び基準津波4以外の波源では施設影響が生じないことを基準津波選定時に確認しているため、基準津波3及び基準津波4を対象とすることで施設影響が生じる波源を網羅した検討となる。また、海底地すべりの波源特性については、基準津波選定過程では水位変動が最も大きくなるように保守的に最大値で設定していた崩壊規模及び破壊伝播特性をパラメータスタディの対象とすることで網羅的な確認を行う。さらに津波の初期の周期や振幅の特性によっては、伝播特性の影響を受けて評価位置での波形の特徴が変わる可能性があることから、若狭湾の伝播特性に着目した津波の周期・振幅に関するパラメータスタディも行う。

以上より、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)

① 海底地すべりの波源特性に関するパラメータスタディ

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

①-1 施設に影響する海底地すべりの抽出

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

①-2 崩壊規模のパラメータスタディ

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

①-3 破壊伝播速度のパラメータスタディ

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

② 若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディ

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

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

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）が選定されている。基準津波3及び基準津波4は水位変動に影響する崩壊規模及び破壊伝播速度を固定しない波源として策定されていることから、両パラメータは基本設定（水位変動が最も大きくなる設定）を上限にして様々な値を取り得る。したがって、基準津波3及び基準津波4について崩壊規模及び破壊伝播速度の様々な値での津波波形を複数抽出し（以下、パラメータスタディという）、それらの検知可否を確認することで、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判断基準（トリガー）となっていることを確認する。（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最大規模で評価。	最大値で設定 ➢ Kinematicモデルにおける破壊伝播速度は最大値で評価。(Watts他の予測式による海底地すべりの速度の最大値)
施設に影響するケースを網羅的に検知できることを確認するために検討を充実化				
判断基準の 網羅性の検討	<目的> 施設に影響する津波波源の網羅的な確認。	施設影響が生じるケースを抽出 (①-1) ➢ 隠岐トラフ海底地すべりを位置・向きによりエリアA～Cに分類し、 <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、発電所方向に崩壊するものを選定。 ⇒これらの津波計算結果から、施設影響が生じるケースを抽出。(各地すべりの崩壊規模・破壊伝播速度は最大値で設定)	パラメータスタディを実施 (①-2) ➢ 地すべりの進展が途中で止まる場合を考慮し、Kinematicモデルにおける崩壊規模を徐々に小さくしたパラメータスタディを実施。	パラメータスタディを実施 (①-3) ➢ 地すべりの進展が比較的遅い場合を考慮し、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。

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の崩壊規模を**基本設定(最大値)**から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**判断基準(トリガー)**で検知できることを確認した。(図8、図9)

なお、潮位のばらつき、高潮裕度を考慮した場合に、津波の第2波以降の潮位が、施設影響が生じる敷地高さである T.P. +3.5m に最近接するパラメータスタディ結果のうち、T.P. +3.5m をわずかに超えるケースとしては、海底地すべりエリア B Es-K5 の Kinematic モデルの崩壊規模 40% であり、この場合の最高水位は、3.54m、第1波の水位低下量は、0.73m であることを確認した。また、T.P. +3.5m をわずかに下回るケースとしては、海底地すべり津波エリア C Es-T2 の Kinematic モデルの崩壊規模 40% であり、この場合の最高水位は、3.48m、第1波の水位低下量は、0.69m であることを確認した。

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%	

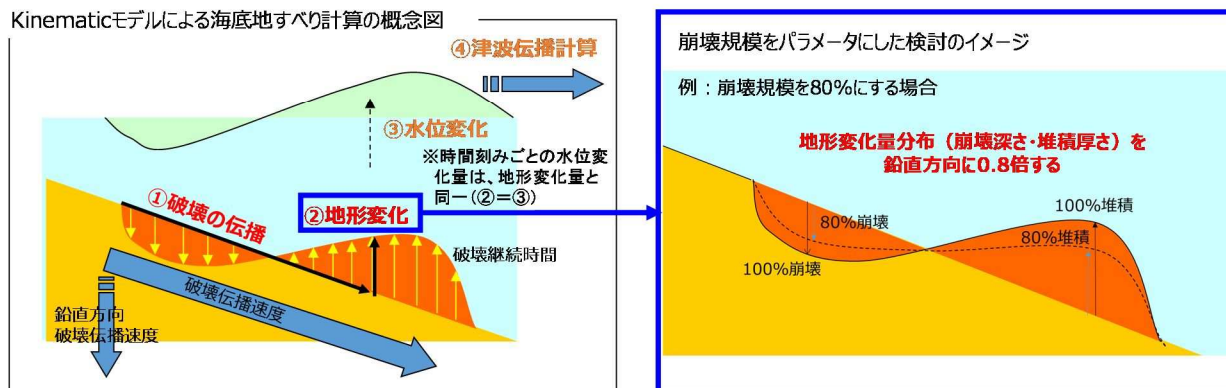


図6 崩壊規模のパラメータスタディ方法

●水位上昇側 (Kinematicモデル)
Es-K5 (エリアB)

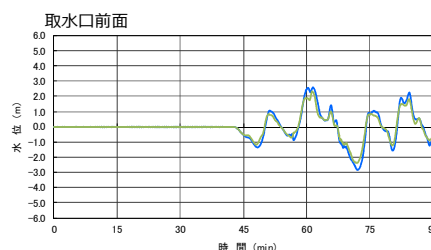
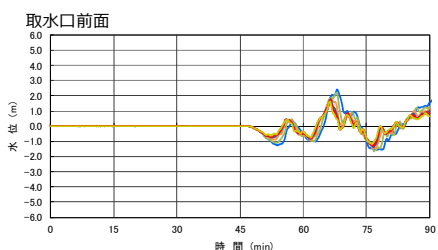
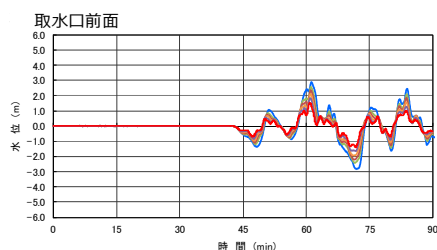
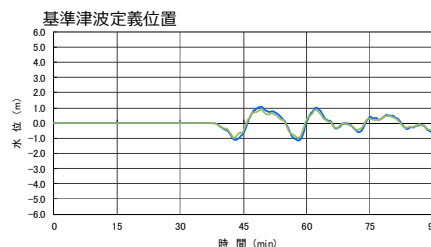
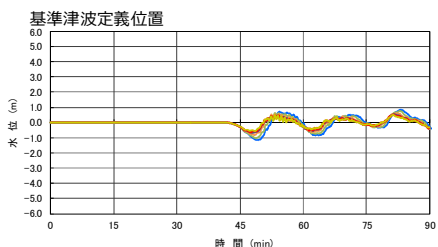
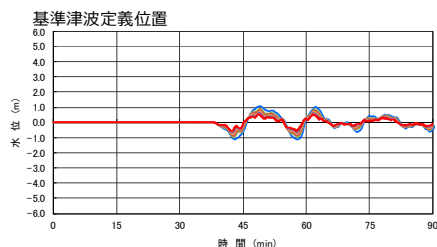
- 崩壊規模 = 100%
- 崩壊規模 = 80%
- 崩壊規模 = 70%
- 崩壊規模 = 60%
- 崩壊規模 = 50%
- 崩壊規模 = 40%

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)

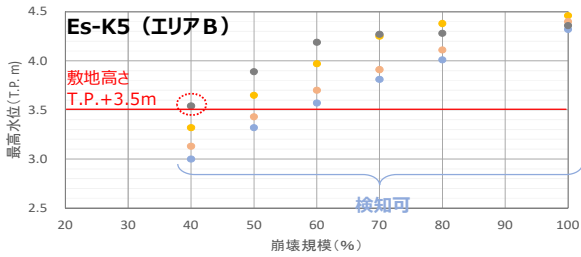
- 崩壊規模 = 100%
- 崩壊規模 = 80%



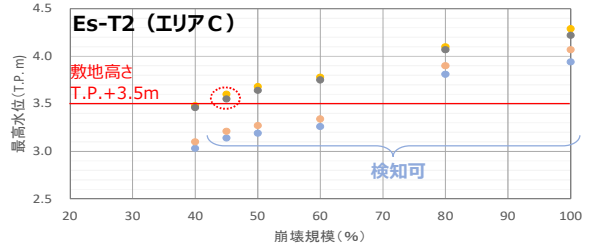
水位変動の確認の観点から、計算潮位面をグラフ上の0mとして表記

図7 崩壊規模のパラメータスタディ結果 (時刻歴波形)

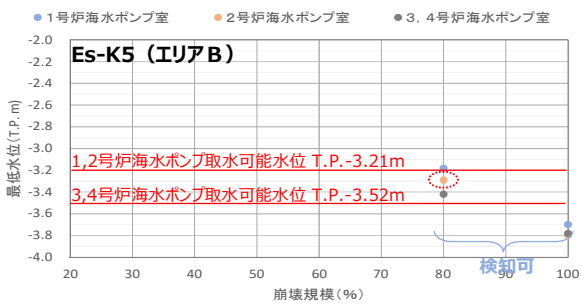
●水位上昇側 (Kinematicモデル、最高水位には潮位のばらつき+0.15m及び高潮裕度+0.49mを考慮)



● 3, 4号炉循環海水ポンプ室 ● 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



●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%
最高水位 [T.P. m]	3.54	3.89	4.19	4.27	4.38	4.46
ポンプ室	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号
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	1.38 1.38 1.63	1.57 1.64 1.88
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	3.9 3.7 2.4	3.2 3.1 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

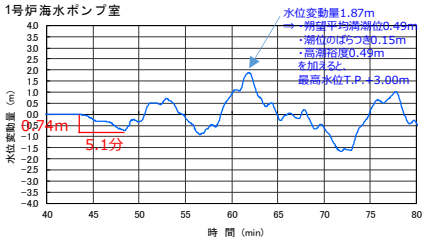
崩壊規模	40%	45%	50%	60%	80%	100%
最高水位 [T.P. m]	3.48	3.60	3.78	4.10	4.29	
ポンプ室	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号
水位低下量 [m]	0.69 0.70 0.78	0.75 0.80 0.88	0.85 0.89 0.98	1.07 1.11 1.19	1.32 1.36 1.50	1.50 1.53 1.73
0.7m低下時間 [分]	- 4.8 3.9	4.6 4.5 3.8	4.5 4.4 3.7	4.3 4.3 3.6	4.2 3.6 4.2	4.2 3.6
検知可否	× ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○

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

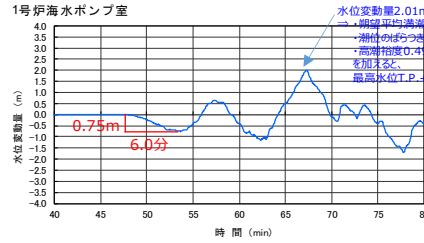
崩壊規模	80%	100%
最低水位 [T.P. m]	1,2号 -3.29 3,4号 -3.42	1,2号 -3.80 3,4号 -3.78
ポンプ室	1号 2号 3,4号	1号 2号 3,4号
水位低下量 [m]	1.27 1.27 1.45 1.48	1.50 1.77
0.7m低下時間 [分]	2.8 3.8 3.2 2.9	3.3 2.9
検知可否	○ ○ ○ ○	○ ○

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%

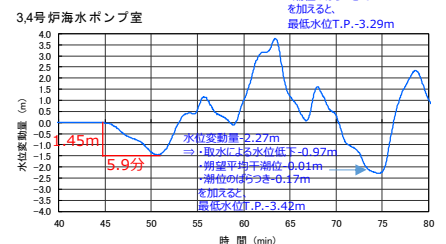
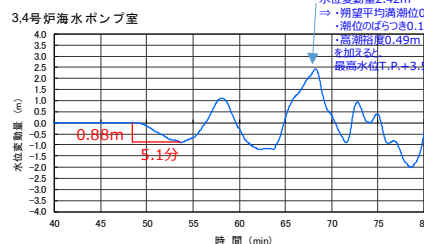
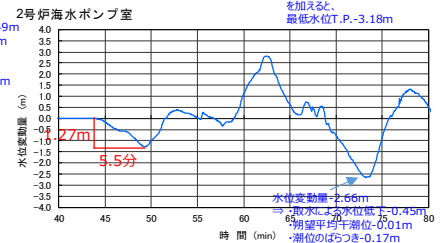
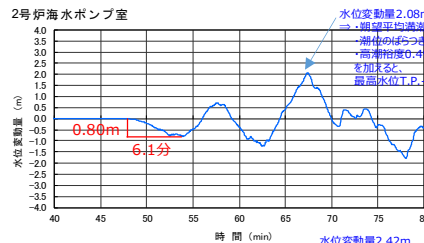
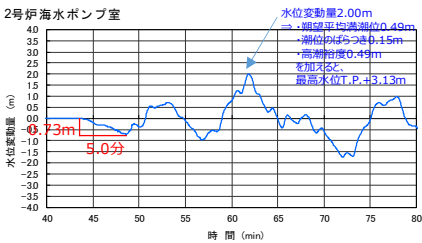
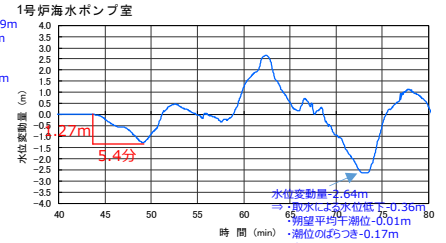


図9 崩壊規模のパラメータスタディ結果 (判断基準 (トリガー) による検知可否の確認)

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 の破壊伝播速度を基本設定（最大値）から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 $0.5\text{m/s} \sim 0.6\text{m/s}$ の間では、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。

なお、本パラメータスタディの中では、津波の 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非線形性領域が海底地すべりエリア B Es-K5 の Kinematic モデル（基準津波 3（水位上昇側））の破壊伝播速度のパラスタから確認された。具体的には、

- a) 第 1 波の非線形性が見られる区間は、破壊伝播速度 $0.50\text{m/s} \sim 0.60\text{m/s}$ であること。
- b) 破壊伝播速度 $0.40\text{m/s} \sim 1.00\text{m/s}$ 全体を通しては、線形性があること。

から、a の区間の 1 波目の水位低下量を下回る、破壊伝播速度 0.40m/s のケースにおいて、非線形区間よりも低い水位で線形性が回復することを確認した。なお、破壊伝播速度 0.40m/s の場合の潮位のばらつき、高潮裕度を考慮した最高水位は 2.52m 、第 1 波の水位低下量は、 0.67m である。（図 14）

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

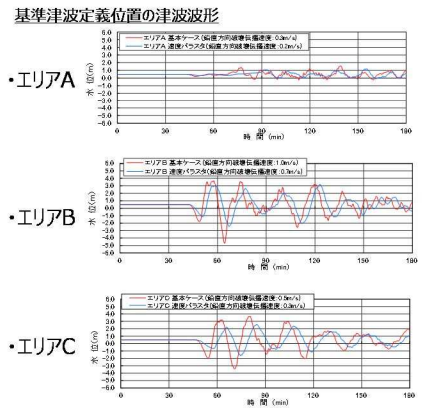
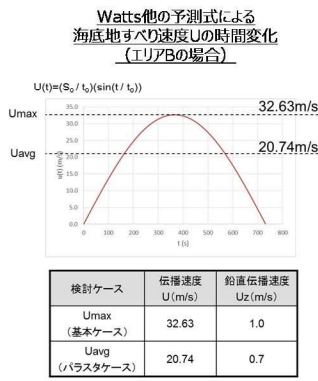
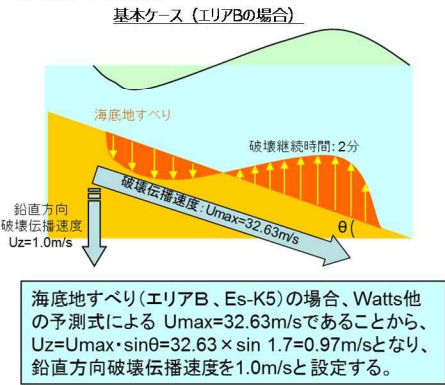


図 10 破壊伝播速度のパラメータスタディ方法

● 水位上昇側 (Kinematicモデル) Es-K5 (エリアB)

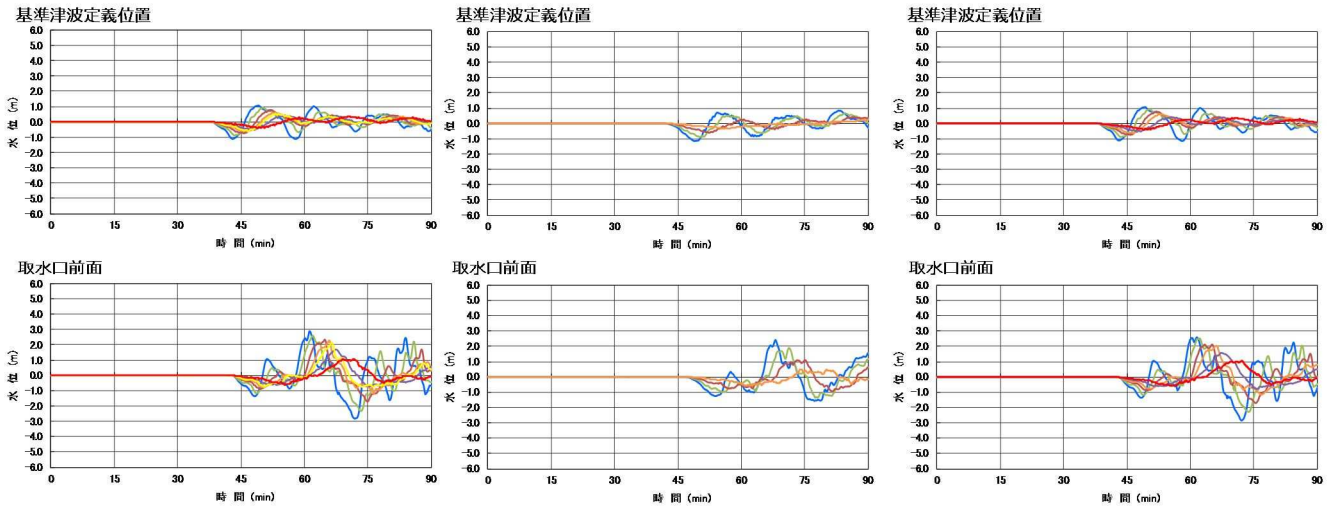
- 破壊伝播速度 = 1.0m/s
- 破壊伝播速度 = 0.8m/s
- 破壊伝播速度 = 0.7m/s
- 破壊伝播速度 = 0.6m/s
- 破壊伝播速度 = 0.55m/s
- 破壊伝播速度 = 0.5m/s
- 破壊伝播速度 = 0.4m/s

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)

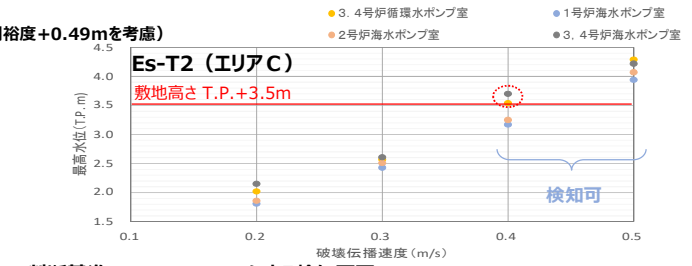
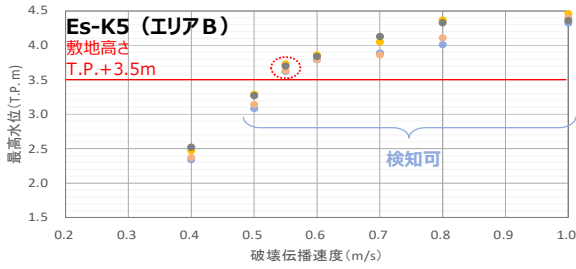
- 破壊伝播速度 = 1.0m/s
- 破壊伝播速度 = 0.8m/s
- 破壊伝播速度 = 0.7m/s
- 破壊伝播速度 = 0.6m/s
- 破壊伝播速度 = 0.5m/s
- 破壊伝播速度 = 0.4m/s



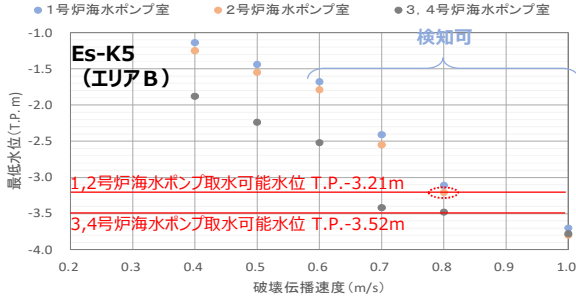
水位変動の確認の観点から、計算潮位面をグラフ上の 0m として表記

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		
	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
最高水位 [T.P. m]	2.52	3.29	3.73	3.29	3.86	4.13	3.73	4.37	4.46	3.29	3.86	4.13	3.73	4.37	4.46	3.29	3.86	4.13	3.73	4.37	4.46
水位低下量 [m]	0.67	0.69	0.81	0.79	0.81	0.90	0.71	0.89	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	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	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

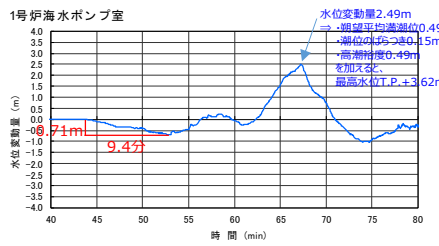
破壊伝播速度	0.2m/s			0.3m/s			0.4m/s			0.5m/s		
	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号
最高水位 [T.P. m]	2.15	2.61	3.70	2.61	3.70	4.29	2.15	2.61	3.70	2.15	2.61	3.70
水位低下量 [m]	0.60	0.64	0.70	0.64	0.68	0.81	1.05	1.14	1.27	1.50	1.53	1.73
0.7m低下時間 [分]	-	-	13.6	-	-	9.6	6.0	5.9	4.5	4.2	4.2	3.6
検知可否	×	×	×	×	×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

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

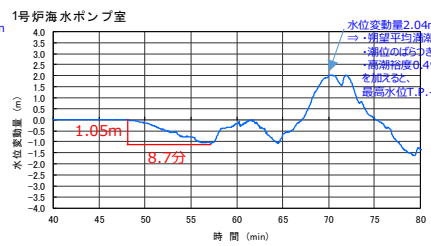
破壊伝播速度	0.4m/s			0.5m/s			0.6m/s			0.7m/s			0.8m/s			1.0m/s		
	1,2号	3,4号	3,4号	1,2号	3,4号	3,4号	1,2号	3,4号	3,4号	1,2号	3,4号	3,4号	1,2号	3,4号	3,4号	1,2号	3,4号	
最低水位 [T.P. m]	1.2号	1.25	-1.25	1.2号	1.25	-1.25	1.2号	1.25	-1.25	1.2号	1.25	-1.25	1.2号	1.25	-1.25	1.2号	1.25	
水位低下量 [m]	0.60	0.56	0.73	0.62	0.64	0.77	0.80	0.82	0.99	0.92	0.93	1.14	1.24	1.25	1.47	1.48	1.50	
0.7m低下時間 [分]	-	-	12.3	-	-	8.4	6.3	6.7	6.4	5.4	5.4	4.6	4.5	4.2	2.9	3.3	2.9	
検知可否	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

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)

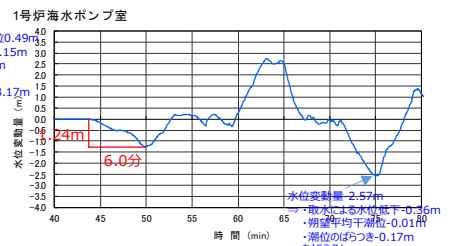
●水位上昇側: Es-K5 (エリアB) 破壊伝播速度0.55m/s



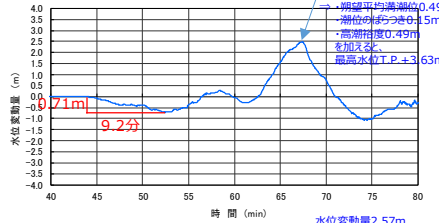
●水位上昇側: Es-T2 (エリアC) 破壊伝播速度0.4m/s



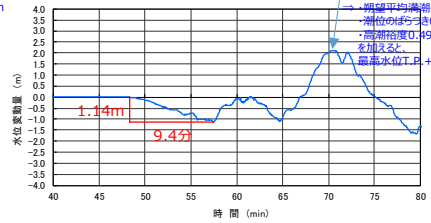
●水位下降側: Es-K5 (エリアB) 破壊伝播速度0.8m/s



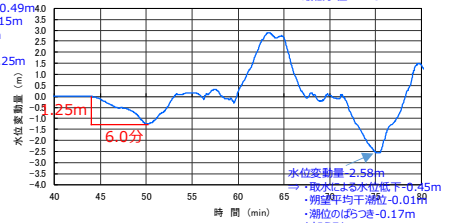
2号炉海水ポンプ室



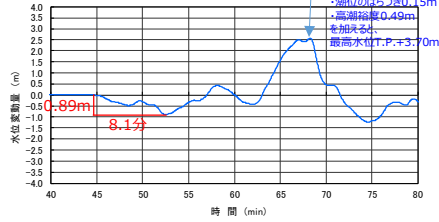
2号炉海水ポンプ室



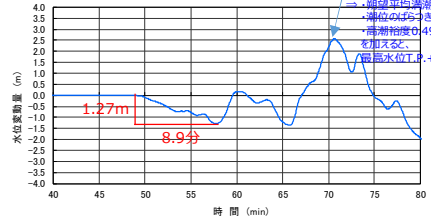
2号炉海水ポンプ室



3,4号炉海水ポンプ室



3,4号炉海水ポンプ室



3,4号炉海水ポンプ室

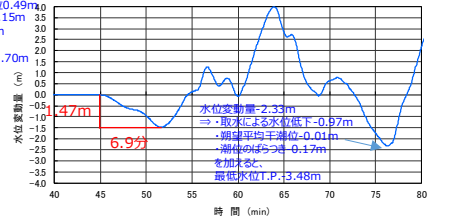


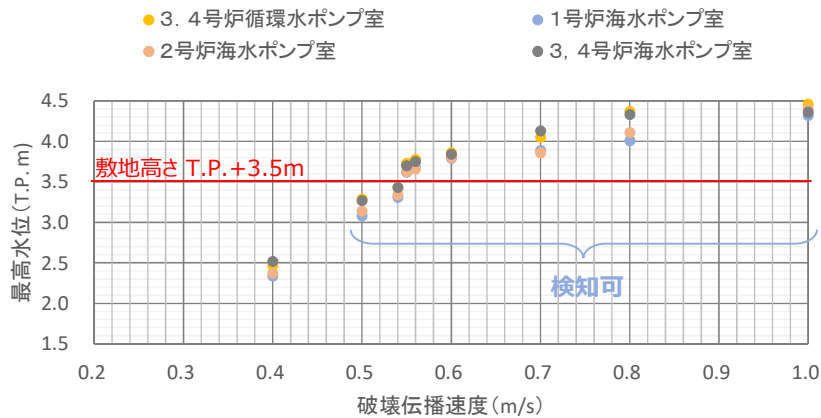
図13 崩壊規模のパラメータスタディ結果 (判断基準 (トリガー) による検知可否の確認)

● 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)

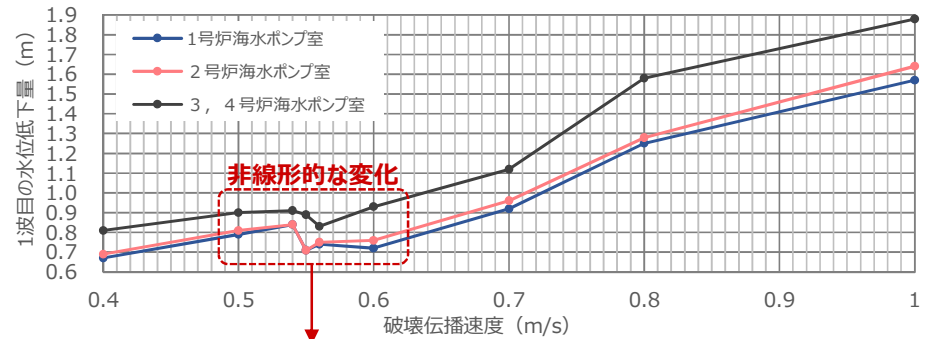
0.70m/10分による検知可否 (施設影響あり: 赤 検知可能: 青 検知不能: 緑)

破壊伝播速度		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																																																								
最高水位 [T.P. m]		2.52									3.29									3.43									3.73									3.78									3.86									4.13									4.37									4.46								
1波目	ポンプ室	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	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																																							
	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	7.2	6.7	5.4	5.3	5.7	4.5	4.3	2.7	3.2	3.1	2.4																																																						
	検知可否	x	x	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○																																							

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 14 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

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**判断基準**（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。よって、この伝播特性の妥当性について検証する。

まず、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、取水口前の時刻歴波形では2波目以降の水位変動の増幅が見られるが、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15）

つぎに、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いるが、これは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16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17）

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18）。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**判断基準**（トリガー）で検知できることを確認している。

上記確認結果より、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ている。各ポンプ室での第1波と第2波以降の最大の増幅比率は、海底地すべりエリアB Es-K5の破壊伝播速度0.60mのケースにおける3.7倍であるが、これが、第2波以降が敷地高さT.P.+3.5mをわずかに超えるケースに生じたと仮定すると、その第1波の水位低下量は0.64mとなる。

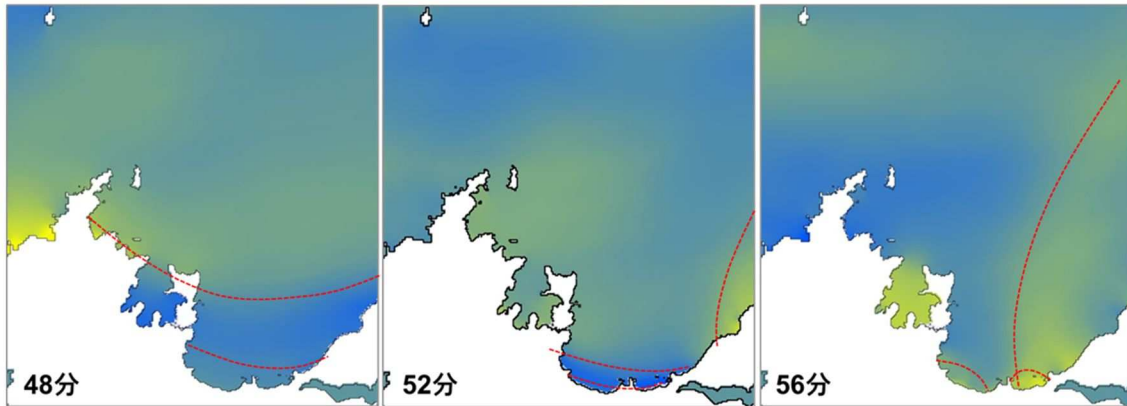
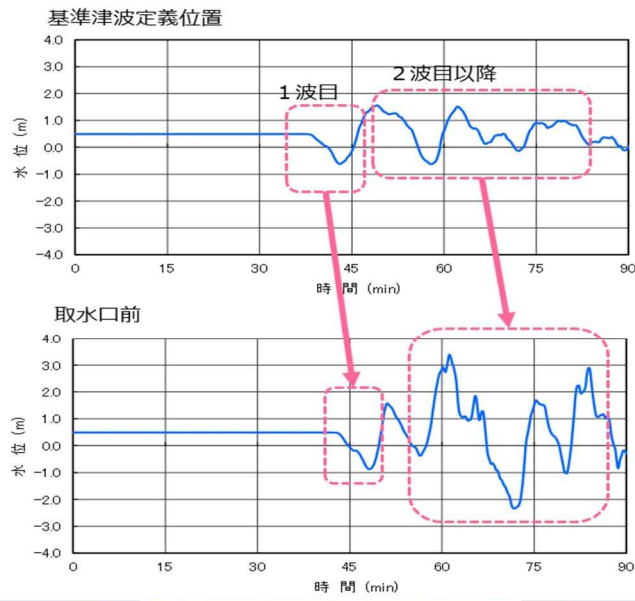
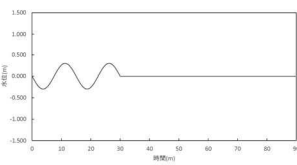


図15 海底地すべりエリアB (Kinematic) の計算結果
(津波波形、スナップショット)

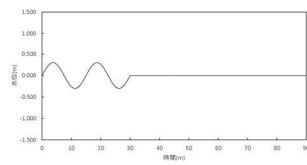
正弦波のパラメータ	設定	考え方
波数	2波	海底地すべりによる津波の基準津波定義位置の波形及びスナップショットから、入力波として明瞭な振幅が存在する波数として2波とする。
初動方向	・水位下降波先行 ・水位上昇波先行	隠岐トラフでは地形的にほとんどの地すべりが発電所とは逆方向に崩壊していることから水位下降波先行と考えられるが、発電所方向に崩壊する一部の地すべりではわずかに水位上昇波が先行する計算結果となることから、両パターンを設定する。
振幅	0.3~0.6m	・取水口位置での1波目の振幅が各周期で概ね0.7m程度となる振幅として0.3mとする。 ・周期10分・15分・40分については、施設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

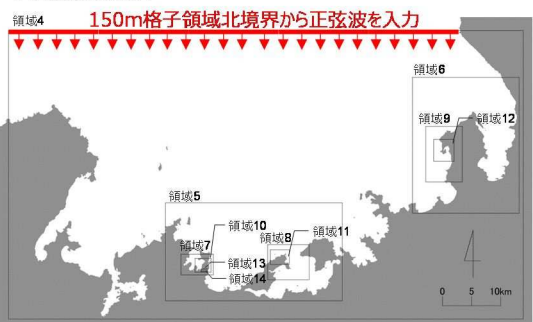


図 16 正弦波によるパラメータスタディの計算条件

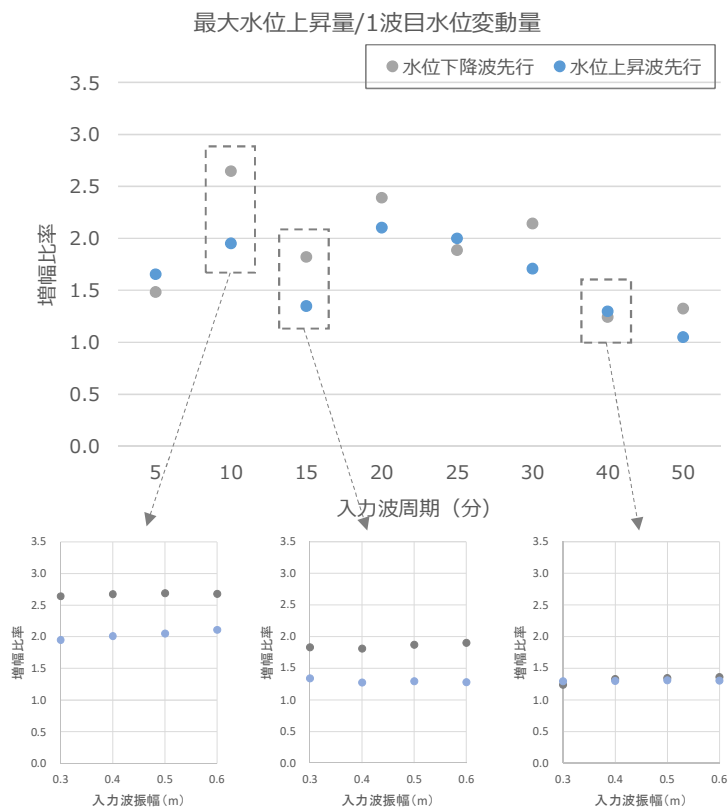
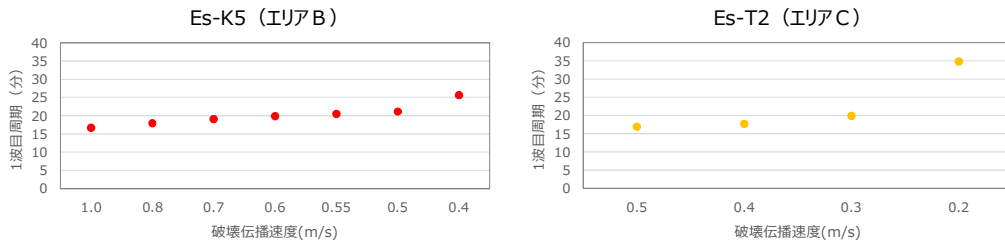


図 17 正弦波によるパラメータスタディ結果（取水口前面）

●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

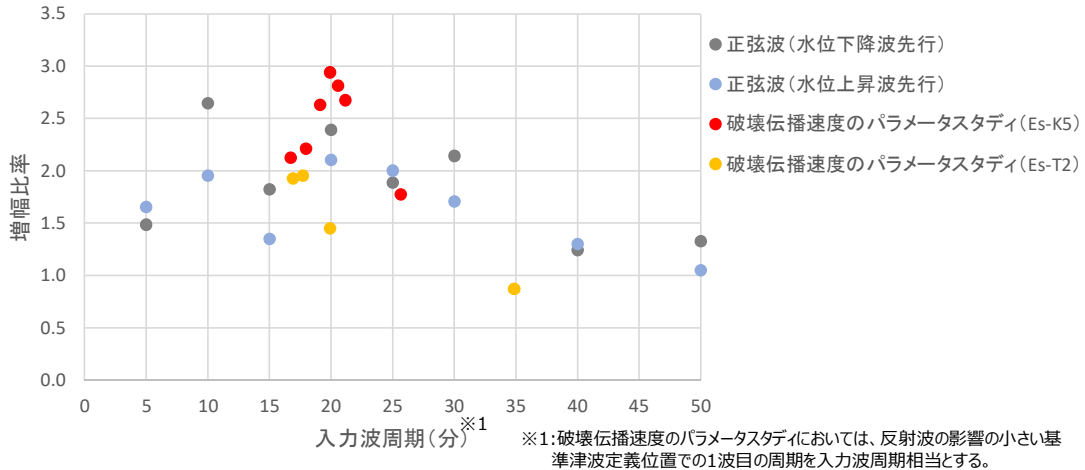


図 18(1) 正弦波と海底地すべりによる津波の増幅比率の比較（取水口前面）

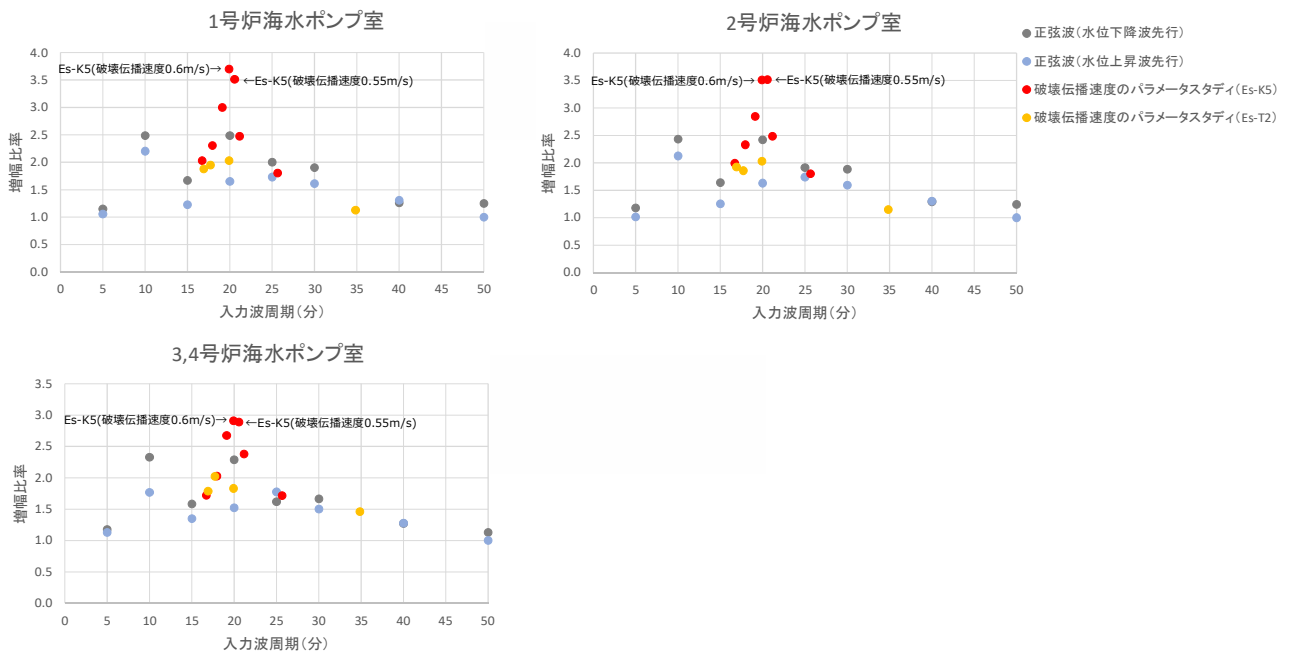


図 18(2) 正弦波と海底地すべりによる津波の増幅比率の比較（各ポンプ室）

これまでの検討結果から、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19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。

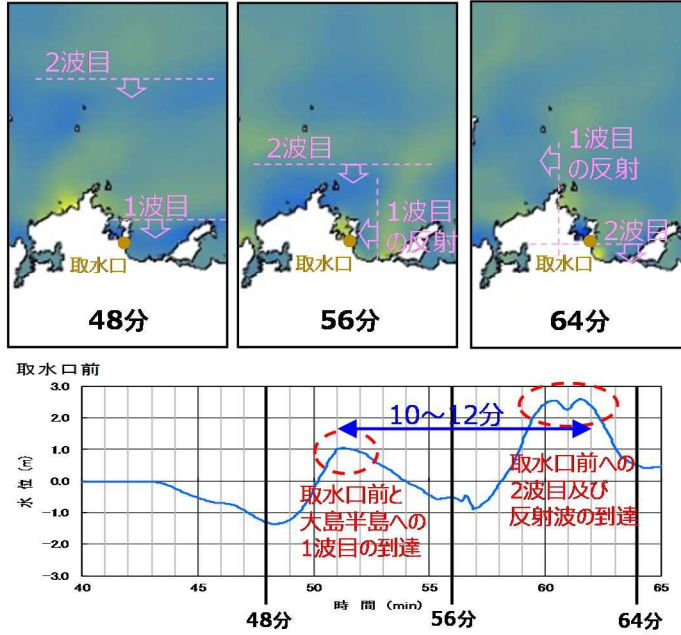
これを踏まえ、図20のように取水口位置までの津波の伝播経路を①~③に分類した上で、波が重畳する条件を検討した。

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、ピーク同士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

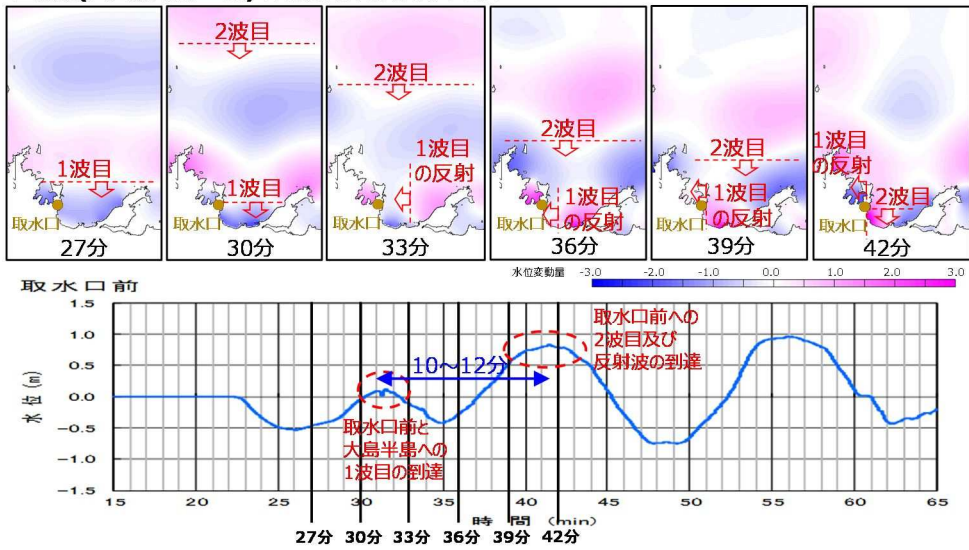


図 19 大島半島からの反射波との重畳 (海底地すべりによる津波、正弦波)



図 20 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 20 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 18(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 21 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 22）。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。

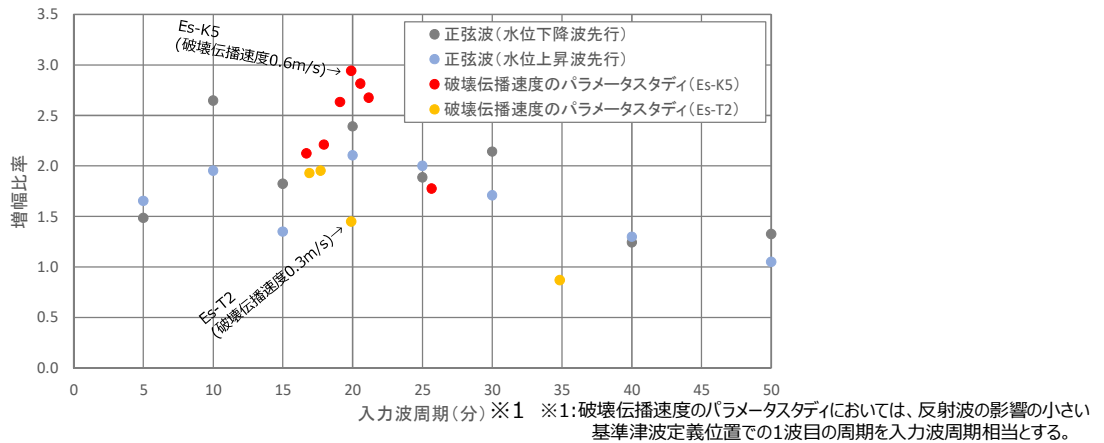


図 21 増幅比率と周期の関係

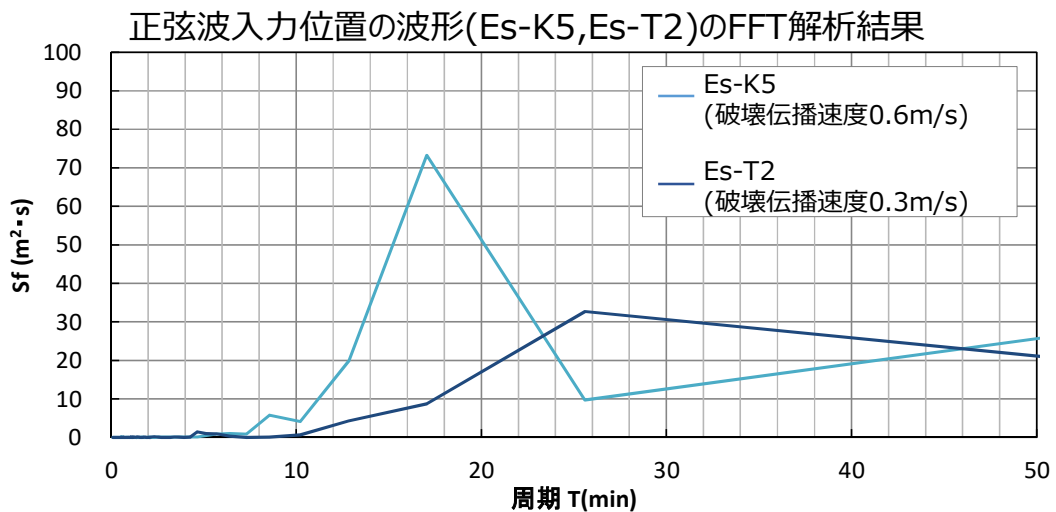


図 22 正弦波入力位置の波形 (Es-K5, Es-T2) の FFT 解析結果

(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より、以下のことが確認できた。

- ①-1 崩壊規模のパラメータスタディ結果においては、施設影響が生じる敷地高さである T.P. +3.5m に最近接するパラメータスタディ結果のうち、T.P. +3.5m をわずかに超えるケースとしては、海底地すべりエリア B Es-K5 の Kinematic モデルの崩壊規模 40% であり、この場合の最高水位は、3.54m、第 1 波の水位低下量は、0.73m であることを確認した。また、T.P. +3.5m をわずかに下回るケースとしては、海底地すべり津波エリア C Es-T2 の Kinematic モデルの崩壊規模 40% であり、この場合の最高水位は、3.48m、第 1 波の水位低下量は、0.69m であることを確認した。
- ①-2 破壊伝播速度のパラメータスタディ結果においては、津波の 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非線形領域が海底地すべりエリア B Es-K5 の Kinematic モデル（基準津波 3（上昇側））の破壊伝播速度のパラメータから確認された。具体的には、
 - a) 第 1 波の非線形性が見られる区間は、破壊伝播速度 0.50m/s～0.60m/s であること。
 - b) 破壊伝播速度 0.40m/s～1.00m/s 全体を通しては、線形性があること。から、a の区間の 1 波目の水位低下量を下回る、破壊伝播速度 0.40m/s のケースにおいて、非線形区間よりも低い水位で線形性が回復することを確認した。なお、破壊伝播速度 0.40m/s の場合の潮位のばらつき、高潮裕度を考慮した最高水位は 2.52m、第 1 波の水位低下量は、0.67m である。
- ② 若狭湾の伝播特性のパラメータスタディ結果においては、正弦波により、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ている。また、各ポンプ室での第 1 波と第 2 波以降の最大の増幅比率は、海底地すべりエリア B Es-K5 の破壊伝播速度 0.60m/s のケースにおける 3.7 倍であるが、これが、第 2 波以降が敷地高さ T.P. +3.5m をわずかに超えるケースに生じたと仮定すると、その第 1 波の水位低下量は 0.64m となる。

以上の結果を踏まえ、津波検知の判断基準（トリガー）を、崩壊規模のパラメータスタディから得られた「パラメータスタディ波高の観点」、破壊伝播速度のパラメータスタディから得られた「非線形性の観点」及び若狭湾の伝播特性のパラメータスタディから得られた「増幅比率の観点」から求めた 1 波目の水位低下量を仮設定値とし、それぞれの特性に応じた不確かさを考慮して、設定する。

■ パラメータスタディ波高の観点

パラメータスタディにおいて、1波目の水位低下量及び2波目以降の津波水位は相関関係にあることを踏まえ、敷地に影響を及ぼす波を漏れなく検知できる観点から、安全側の設定として、高潮の裕度を津波水位計算結果に考慮した条件による最高水位が敷地高さ (T.P. +3.5m) を下回り、施設影響が生じないケースの中で、2波目以降の最高水位が敷地高さ (T.P. +3.5m) に最近接するケースの1波目の水位低下量を「パラメータスタディ波高の観点」での仮設定値とする。具体的には、基準津波4の波源である隠岐トラフ海底地すべりエリアC (Es-T2) の崩壊規模40%のケースでは潮位のばらつきと高潮の裕度を考慮した最高水位が T.P. +3.48m となることから、基準津波4の波源である隠岐トラフ海底地すべりエリアC (Es-T2) の崩壊規模40%のケースの1波目の水位低下量である 0.69m を仮設定値①とし、その波形は図23に示す。

■ 非線形性の観点

パラメータスタディでの非線形性の傾向を踏まえ、敷地に影響を及ぼす波を漏れなく検知できる観点から、安全側の設定として、敷地影響はないが、1波目の水位低下量の傾向に非線形性が見られる破壊伝播速度 0.5m/s~0.6m/s の区間の水位に対して、その影響を受けず、非線形性が回復する範囲内にある、破壊伝播速度 0.4m/s のケース (潮位のばらつきと高潮の裕度を考慮した最高水位が T.P. +2.52m) の1波目の水位低下量である 0.67m を仮設定値②とし、波形を図23に示す。

■ 増幅比率の観点

隠岐トラフ海底地すべりの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最大値は3.7であることを踏まえ、実際のパラメータスタディで発生している結果ではないものの、施設影響が生じる T.P. +3.5m を第2波目以降の水位低下量と仮定 (朔望平均満潮位 T.P. +0.49m を初期水位として潮位のばらつき (0.15m) と高潮の裕度 (0.49m) を考慮した最高水位を T.P. +3.5m と仮定することから、水位低下量は 2.37m ($3.5\text{m} - 0.49\text{m} - 0.15\text{m} - 0.49\text{m} = 2.37\text{m}$) となる。) し、最大の増幅比率 (3.7倍) を用いて逆算した第1波の水位低下量として 0.64m ($2.37\text{m} / 3.7 = 0.64\text{m}$) を仮設定値③とする。なお、上記のとおり、実際のパラメータスタディで発生している結果ではないことから、時刻歴波形は存在しない。

「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。

不確かさとして考慮する潮位のゆらぎは、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、図24の通り保守的に 0.10m とする。また具体的な潮位のゆらぎの算出方法を図25に示す。

以上より、「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 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（表 2）、さらに余裕を加味して判断基準（トリガー）を以下のとおり設定する。

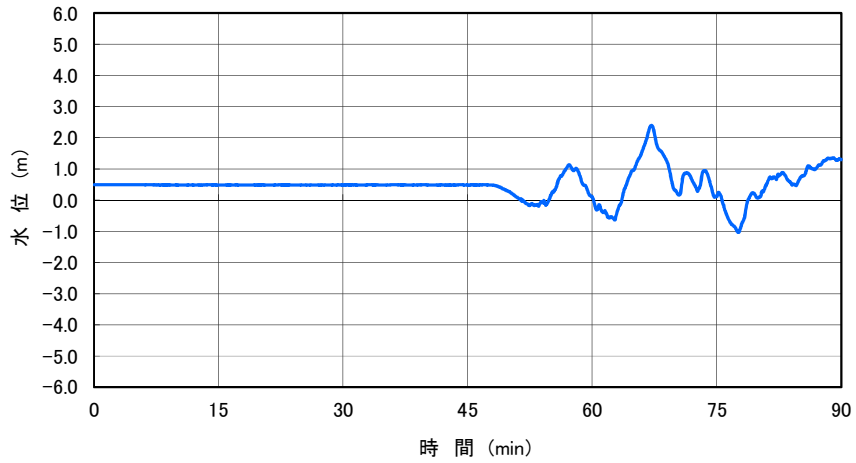
- ・ 潮位計のうち、2 台の観測潮位が 10 分以内に 0.5m 以上下降し、その後、最低潮位から 10 分以内に 0.5m 以上上昇する。

または

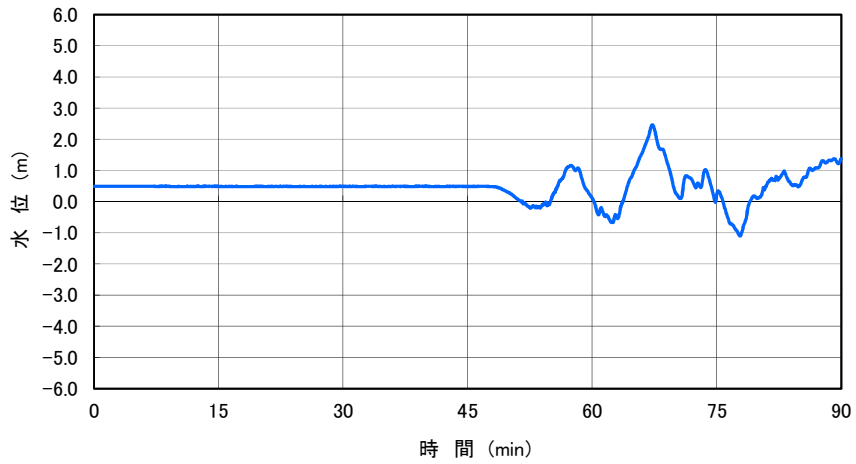
- ・ 潮位計のうち、2 台の観測潮位が 10 分以内に 0.5m 以上上昇し、その後、最高潮位から 10 分以内に 0.5m 以上下降する。

以上の検討により、津波検知の判断基準（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同時に、（5）において判断基準（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、津波防護に用いる判断基準（トリガー）として妥当な設定となっている

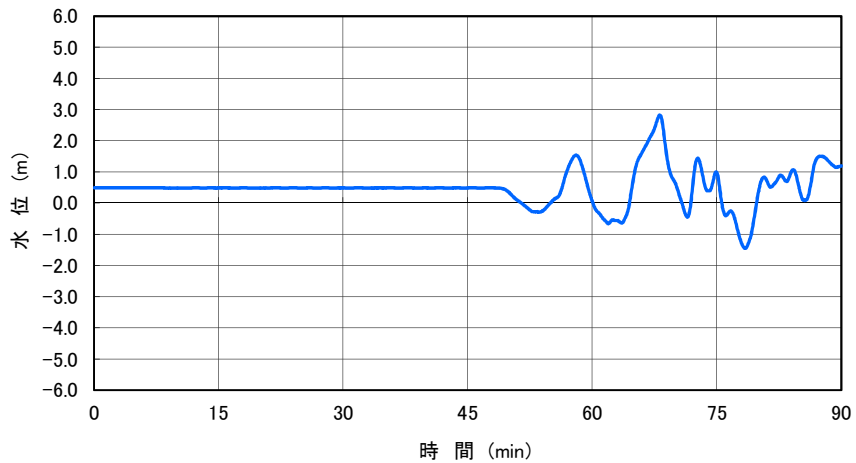
なお、閉止判断基準の設計方針は、設置許可添付八へ記載する。また、閉止判断基準の設定方針は、設工認の基本設計方針にも記載し、詳細の確認を経て閉止判断基準として確定する。



(1号炉海水ポンプ室前面)

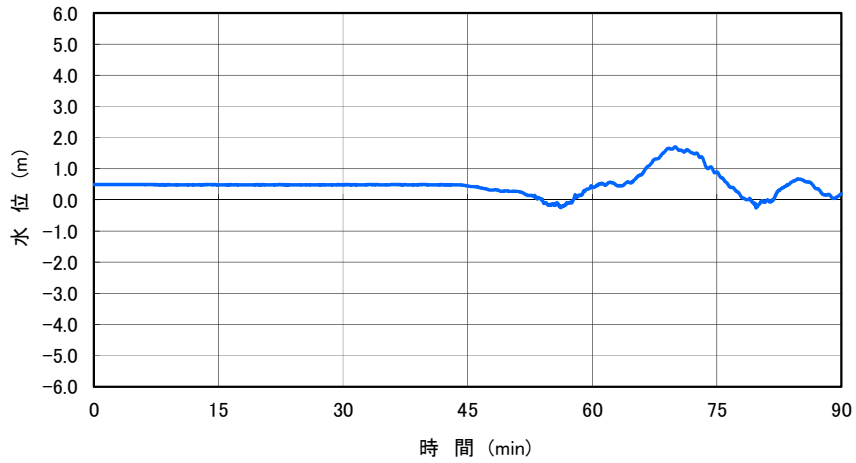


(2号炉海水ポンプ室前面)

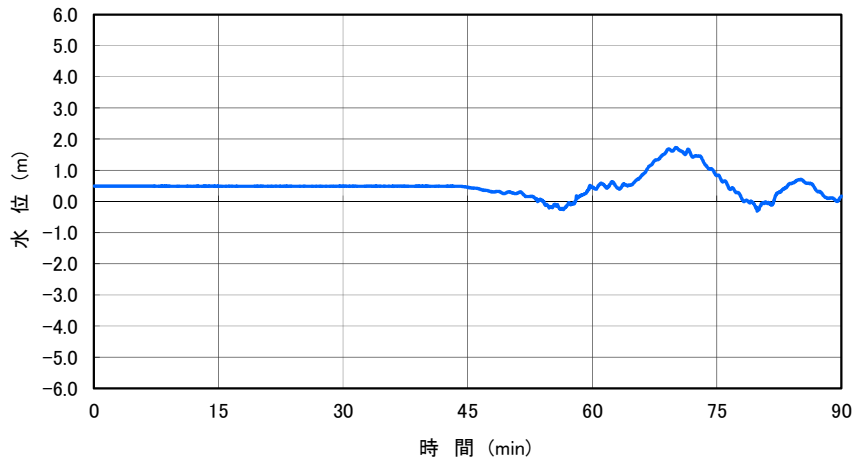


(3, 4号炉海水ポンプ室前面)

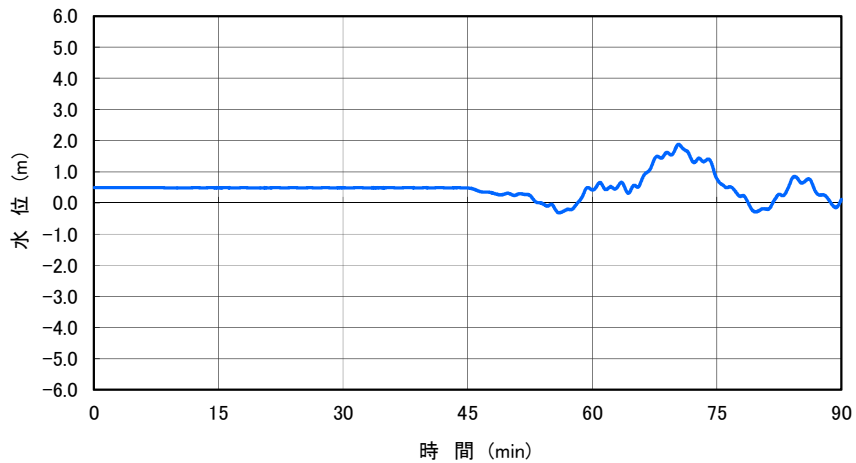
図 23(1/2) 仮設定①のケースの時刻歴波形
 (基準津波4の波源である隠岐トラフ海底地すべりエリアC (Es-T2)
 の崩壊規模40%のケース)



(1号炉海水ポンプ室前面)



(2号炉海水ポンプ室前面)



(3, 4号炉海水ポンプ室前面)

図 23(2/2) 仮設定②のケースの時刻歴波形
 (基準津波 3 の波源である隠岐トラフ海底地すべりエリア B (Es-K5)
 の破壊伝播速度 0.4m/s のケース)

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「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

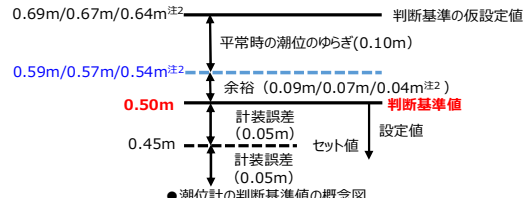
●夏季における10分間の潮位のゆらぎ(m)

	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

●冬季における10分間の潮位のゆらぎ(m)

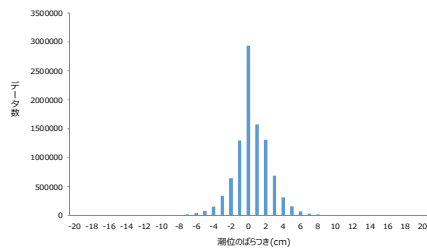
	2019.8.1~10.31及び2020.1.1~3.31(6か月)		
	3号海水ポンプ	4号海水ポンプ	全体
中央値	0.010	0.015	0.012
標準偏差	0.011	0.017	0.014
潮位のゆらぎ	0.021	0.032	0.026

●夏季と冬季の6ヶ月データによる10分間の潮位のゆらぎ(m)



●潮位計の判断基準値の概念図

注2：仮設定値①/仮設定値②/仮設定値③場合を示す。



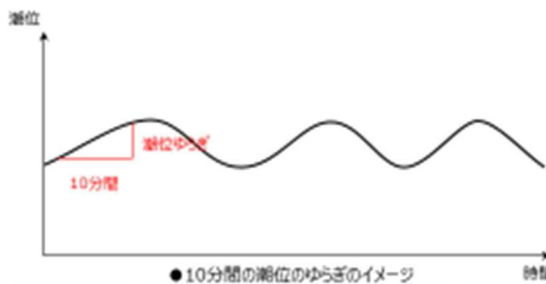
●10分間の潮位のゆらぎのばらつき (過去データ6ヶ月分)

図 24 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。
- 夏季、冬季、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

	夏季	冬季	全体
	2019.8.1~2019.10.31	2019.1.1~2019.3.31	
データ数	1,571,832	1,512,228	3,084,060
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

●夏季と冬季の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分間の差	
	時刻	潮位(m)	時刻	潮位(m)
2019/9/1 0時10分05秒	0.000	0.000	2019/9/1 0時20分05秒	0.008
2019/9/1 0時10分15秒	0.001	0.001	2019/9/1 0時20分15秒	0.009
2019/9/1 0時10分25秒	0.002	0.002	2019/9/1 0時20分25秒	0.010
2019/9/1 0時10分35秒	0.003	0.003	2019/9/1 0時20分35秒	0.011
2019/9/1 0時10分45秒	0.004	0.004	2019/9/1 0時20分45秒	0.012
2019/9/1 0時10分55秒	0.005	0.005	2019/9/1 0時20分55秒	0.013
2019/9/1 0時11分05秒	0.006	0.006	2019/9/1 0時21分05秒	0.014
2019/9/1 0時11分15秒	0.007	0.007	2019/9/1 0時21分15秒	0.015
2019/9/1 0時11分25秒	0.008	0.008	2019/9/1 0時21分25秒	0.016
2019/9/1 0時11分35秒	0.009	0.009	2019/9/1 0時21分35秒	0.017
2019/9/1 0時11分45秒	0.010	0.010	2019/9/1 0時21分45秒	0.018
2019/9/1 0時11分55秒	0.011	0.011	2019/9/1 0時21分55秒	0.019
2019/9/1 0時12分05秒	0.012	0.012	2019/9/1 0時22分05秒	0.020
2019/9/1 0時12分15秒	0.013	0.013	2019/9/1 0時22分15秒	0.021
2019/9/1 0時12分25秒	0.014	0.014	2019/9/1 0時22分25秒	0.022
2019/9/1 0時12分35秒	0.015	0.015	2019/9/1 0時22分35秒	0.023
2019/9/1 0時12分45秒	0.016	0.016	2019/9/1 0時22分45秒	0.024
2019/9/1 0時12分55秒	0.017	0.017	2019/9/1 0時22分55秒	0.025
2019/9/1 0時13分05秒	0.018	0.018	2019/9/1 0時23分05秒	0.026
2019/9/1 0時13分15秒	0.019	0.019	2019/9/1 0時23分15秒	0.027
2019/9/1 0時13分25秒	0.020	0.020	2019/9/1 0時23分25秒	0.028
2019/9/1 0時13分35秒	0.021	0.021	2019/9/1 0時23分35秒	0.029
2019/9/1 0時13分45秒	0.022	0.022	2019/9/1 0時23分45秒	0.030
2019/9/1 0時13分55秒	0.023	0.023	2019/9/1 0時23分55秒	0.031
2019/9/1 0時14分05秒	0.024	0.024	2019/9/1 0時24分05秒	0.032
2019/9/1 0時14分15秒	0.025	0.025	2019/9/1 0時24分15秒	0.033
2019/9/1 0時14分25秒	0.026	0.026	2019/9/1 0時24分25秒	0.034
2019/9/1 0時14分35秒	0.027	0.027	2019/9/1 0時24分35秒	0.035
2019/9/1 0時14分45秒	0.028	0.028	2019/9/1 0時24分45秒	0.036
2019/9/1 0時14分55秒	0.029	0.029	2019/9/1 0時24分55秒	0.037
2019/9/1 0時15分05秒	0.030	0.030	2019/9/1 0時25分05秒	0.038
2019/9/1 0時15分15秒	0.031	0.031	2019/9/1 0時25分15秒	0.039
2019/9/1 0時15分25秒	0.032	0.032	2019/9/1 0時25分25秒	0.040
2019/9/1 0時15分35秒	0.033	0.033	2019/9/1 0時25分35秒	0.041
2019/9/1 0時15分45秒	0.034	0.034	2019/9/1 0時25分45秒	0.042
2019/9/1 0時15分55秒	0.035	0.035	2019/9/1 0時25分55秒	0.043
2019/9/1 0時16分05秒	0.036	0.036	2019/9/1 0時26分05秒	0.044
2019/9/1 0時16分15秒	0.037	0.037	2019/9/1 0時26分15秒	0.045
2019/9/1 0時16分25秒	0.038	0.038	2019/9/1 0時26分25秒	0.046
2019/9/1 0時16分35秒	0.039	0.039	2019/9/1 0時26分35秒	0.047
2019/9/1 0時16分45秒	0.040	0.040	2019/9/1 0時26分45秒	0.048
2019/9/1 0時16分55秒	0.041	0.041	2019/9/1 0時26分55秒	0.049
2019/9/1 0時17分05秒	0.042	0.042	2019/9/1 0時27分05秒	0.050
2019/9/1 0時17分15秒	0.043	0.043	2019/9/1 0時27分15秒	0.051
2019/9/1 0時17分25秒	0.044	0.044	2019/9/1 0時27分25秒	0.052
2019/9/1 0時17分35秒	0.045	0.045	2019/9/1 0時27分35秒	0.053
2019/9/1 0時17分45秒	0.046	0.046	2019/9/1 0時27分45秒	0.054
2019/9/1 0時17分55秒	0.047	0.047	2019/9/1 0時27分55秒	0.055
2019/9/1 0時18分05秒	0.048	0.048	2019/9/1 0時28分05秒	0.056
2019/9/1 0時18分15秒	0.049	0.049	2019/9/1 0時28分15秒	0.057
2019/9/1 0時18分25秒	0.050	0.050	2019/9/1 0時28分25秒	0.058
2019/9/1 0時18分35秒	0.051	0.051	2019/9/1 0時28分35秒	0.059
2019/9/1 0時18分45秒	0.052	0.052	2019/9/1 0時28分45秒	0.060
2019/9/1 0時18分55秒	0.053	0.053	2019/9/1 0時28分55秒	0.061
2019/9/1 0時19分05秒	0.054	0.054	2019/9/1 0時29分05秒	0.062
2019/9/1 0時19分15秒	0.055	0.055	2019/9/1 0時29分15秒	0.063
2019/9/1 0時19分25秒	0.056	0.056	2019/9/1 0時29分25秒	0.064
2019/9/1 0時19分35秒	0.057	0.057	2019/9/1 0時29分35秒	0.065
2019/9/1 0時19分45秒	0.058	0.058	2019/9/1 0時29分45秒	0.066
2019/9/1 0時19分55秒	0.059	0.059	2019/9/1 0時29分55秒	0.067
2019/9/1 0時20分05秒	0.060	0.060	2019/9/1 0時30分05秒	0.068
2019/9/1 0時20分15秒	0.061	0.061	2019/9/1 0時30分15秒	0.069
2019/9/1 0時20分25秒	0.062	0.062	2019/9/1 0時30分25秒	0.070
2019/9/1 0時20分35秒	0.063	0.063	2019/9/1 0時30分35秒	0.071
2019/9/1 0時20分45秒	0.064	0.064	2019/9/1 0時30分45秒	0.072
2019/9/1 0時20分55秒	0.065	0.065	2019/9/1 0時30分55秒	0.073
2019/9/1 0時21分05秒	0.066	0.066	2019/9/1 0時31分05秒	0.074
2019/9/1 0時21分15秒	0.067	0.067	2019/9/1 0時31分15秒	0.075
2019/9/1 0時21分25秒	0.068	0.068	2019/9/1 0時31分25秒	0.076
2019/9/1 0時21分35秒	0.069	0.069	2019/9/1 0時31分35秒	0.077
2019/9/1 0時21分45秒	0.070	0.070	2019/9/1 0時31分45秒	0.078
2019/9/1 0時21分55秒	0.071	0.071	2019/9/1 0時31分55秒	0.079
2019/9/1 0時22分05秒	0.072	0.072	2019/9/1 0時32分05秒	0.080
2019/9/1 0時22分15秒	0.073	0.073	2019/9/1 0時32分15秒	0.081
2019/9/1 0時22分25秒	0.074	0.074	2019/9/1 0時32分25秒	0.082
2019/9/1 0時22分35秒	0.075	0.075	2019/9/1 0時32分35秒	0.083
2019/9/1 0時22分45秒	0.076	0.076	2019/9/1 0時32分45秒	0.084
2019/9/1 0時22分55秒	0.077	0.077	2019/9/1 0時32分55秒	0.085
2019/9/1 0時23分05秒	0.078	0.078	2019/9/1 0時33分05秒	0.086
2019/9/1 0時23分15秒	0.079	0.079	2019/9/1 0時33分15秒	0.087
2019/9/1 0時23分25秒	0.080	0.080	2019/9/1 0時33分25秒	0.088
2019/9/1 0時23分35秒	0.081	0.081	2019/9/1 0時33分35秒	0.089
2019/9/1 0時23分45秒	0.082	0.082	2019/9/1 0時33分45秒	0.090
2019/9/1 0時23分55秒	0.083	0.083	2019/9/1 0時33分55秒	0.091
2019/9/1 0時24分05秒	0.084	0.084	2019/9/1 0時34分05秒	0.092
2019/9/1 0時24分15秒	0.085	0.085	2019/9/1 0時34分15秒	0.093
2019/9/1 0時24分25秒	0.086	0.086	2019/9/1 0時34分25秒	0.094
2019/9/1 0時24分35秒	0.087	0.087	2019/9/1 0時34分35秒	0.095
2019/9/1 0時24分45秒	0.088	0.088	2019/9/1 0時34分45秒	0.096
2019/9/1 0時24分55秒	0.089	0.089	2019/9/1 0時34分55秒	0.097
2019/9/1 0時25分05秒	0.090	0.090	2019/9/1 0時35分05秒	0.098
2019/9/1 0時25分15秒	0.091	0.091	2019/9/1 0時35分15秒	0.099
2019/9/1 0時25分25秒	0.092	0.092	2019/9/1 0時35分25秒	0.100
2019/9/1 0時25分35秒	0.093	0.093	2019/9/1 0時35分35秒	0.101
2019/9/1 0時25分45秒	0.094	0.094	2019/9/1 0時35分45秒	0.102
2019/9/1 0時25分55秒	0.095	0.095	2019/9/1 0時35分55秒	0.103
2019/9/1 0時26分05秒	0.096	0.096	2019/9/1 0時36分05秒	0.104
2019/9/1 0時26分15秒	0.097	0.097	2019/9/1 0時36分15秒	0.105
2019/9/1 0時26分25秒	0.098	0.098	2019/9/1 0時36分25秒	0.106
2019/9/1 0時26分35秒	0.099	0.099	2019/9/1 0時36分35秒	0.107
2019/9/1 0時26分45秒	0.100	0.100	2019/9/1 0時36分45秒	0.108
2019/9/1 0時26分55秒	0.101	0.101	2019/9/1 0時36分55秒	0.109
2019/9/1 0時27分05秒	0.102	0.102	2019/9/1 0時37分05秒	0.110
2019/9/1 0時27分15秒	0.103	0.103	2019/9/1 0時37分15秒	0.111
2019/9/1 0時27分25秒	0.104	0.104	2019/9/1 0時37分25秒	0.112
2019/9/1 0時27分35秒	0.105	0.105	2019/9/1 0時37分35秒	0.113
2019/9/1 0時27分45秒	0.106	0.106	2019/9/1 0時37分45秒	0.114
2019/9/1 0時27分55秒	0.107	0.107	2019/9/1 0時37分55秒	0.115
2019/9/1 0時28分05秒	0.108	0.108	2019/9/1 0時38分05秒	0.116
2019/9/1 0時28分15秒	0.109	0.109	2019/9/1 0時38分15秒	0.117

表2 仮設定ごとの特性に応じた不確かさを考慮した判断基準（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		0.67-0.10 = <u>0.57</u>
	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	0.64-0.10 = <u>0.54</u>	
	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		

6.3 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

警報が発表されない津波への対応は、基準津波の選定や、それに対する施設影響評価、施設影響を踏まえた防護方針の策定等の流れで進める。

これらについて、設置許可段階では、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、見落としなく判断基準（トリガー）を設定するため、6.2(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、これに裕度をもって判断基準（トリガー）を設定する設計方針の妥当性を確認する。

つぎに、設工認段階では、この設計方針において仮設定に用いた波形（6.2(5)の表2の仮設定①、②のケース）に対し、詳細設計の条件下で、修正モデル及び貝付着有無の影響を考慮した上で、設置許可で設計した工学的裕度を考慮した判断基準（トリガー）で検知でき、その設計に包絡されることを確認し、判断基準（トリガー）を確定する。なお、トリガーの設計に用いた仮設定波形の中で、波形の第1波目の水位低下量が最も小さいケースの時刻歴波形を、判断基準（トリガー）を設定するための入力津波とする。

上記の判断基準（トリガー）の設定及びその入力津波の作成に係る、設置許可及び設工認上の整理・位置付けは、工認審査ガイドの「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」との記載に沿ったものである。（図26）。

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。

【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・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」

図26 基準規則解釈・審査ガイドの記載（抜粋）

(1) 設置許可段階

設置許可においては、基準津波 3, 4 の計算結果から (i) 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 (ii) 通常
の潮位変動も確認した上で、(iii) 津波検知の判断基準 (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、(iv) 仮設定した判断基準 (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判断基
準 (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 (v) 津波検知の判断基準 (トリガー) を設定する。

また、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)
を設定するための時刻歴波形を入力津波として設定する方針を記載する。

(2) 設工認段階

設工認においては、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。

基準津波 3, 4 の計算結果から (i) 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 (ii) 通常
の潮位変動も確認した上で、(iii) 津波検知の判断基準 (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、(iv) 仮設定した判断基準 (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判断基
準 (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 (v) 津波検知の判断基準 (トリガー) を設定する。

判断基準 (トリガー) の設定のための入力津波の検討に当たっては、図 27
のフローに基づき、6.2(5)の表 2 に示す「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」で抽出した仮設定①～③の 3 ケ
ースのうち、津波の時刻歴波形を有する「パラメータスタディ波高の観点」、
「非線形性の観点」で抽出した仮設定①、②の 2 ケースを検討ケース (詳細
は以下のとおり) として選定する。ここで、仮設定③については、津波の時
刻歴波形を有するケースではなく、隠岐トラフ海底地すべりの崩壊規模及
び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仮設定を行っていることから、実在する時刻歴波形

が無いため入力津波の検討は行わない。

■ 仮設定①のケース

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の結果、施設影響が生じるケース（潮位のばらつきと高潮の裕度を津波水位計算結果に考慮した場合、最高水位が敷地高さを上回るケース又は最低水位が取水可能水位を下回るケース）は、1波目の水位低下量が10分以内に0.7m以上で検知できることを確認した。その上で、施設影響が生じないケースも含めて、安全側の評価として、T.P.+3.5mの敷地に最近接するケースとして、基準津波4の波源である隠岐トラフ海底地すべりエリアC（Es-T2）の崩壊規模40%のケースとする。

■ 仮設定②のケース

基準津波3の波源である隠岐トラフ海底地すべりエリアB（Es-K5）の破壊伝播速度のパラメータスタディにおいて、破壊伝播速度0.5m/s～0.6m/sの区間では1波目の水位低下量の傾向に非線形性が見られること、また、破壊伝播速度0.4m/s～1.0m/sの区間では全体的な傾向は線形傾向であることから、安全側の評価として、1波目の水位低下量の傾向に非線形性が見られる破壊伝播速度0.5m/s～0.6m/sの区間を下回る破壊伝播速度0.4m/sのケースとする。

仮設定①及び仮設定②のケースに対して、施設影響を確認するための入力津波の設定において考慮している、設備形状による影響評価（修正モデル）及び管路解析による影響評価（貝付着有無）を実施する。影響評価の結果、第1波目の水位低下量に不確かさとして潮位のゆらぎや余裕を適切に考慮した水位低下量が、基本設計の条件下における判断基準（トリガー）で検知出来ること、及びその裕度に包絡されることを確認することにより判断基準（トリガー）として確定する。さらに、第1波目の水位低下量が最も小さいケースの時刻歴波形を、判断基準（トリガー）を設定するための入力津波として設定する。

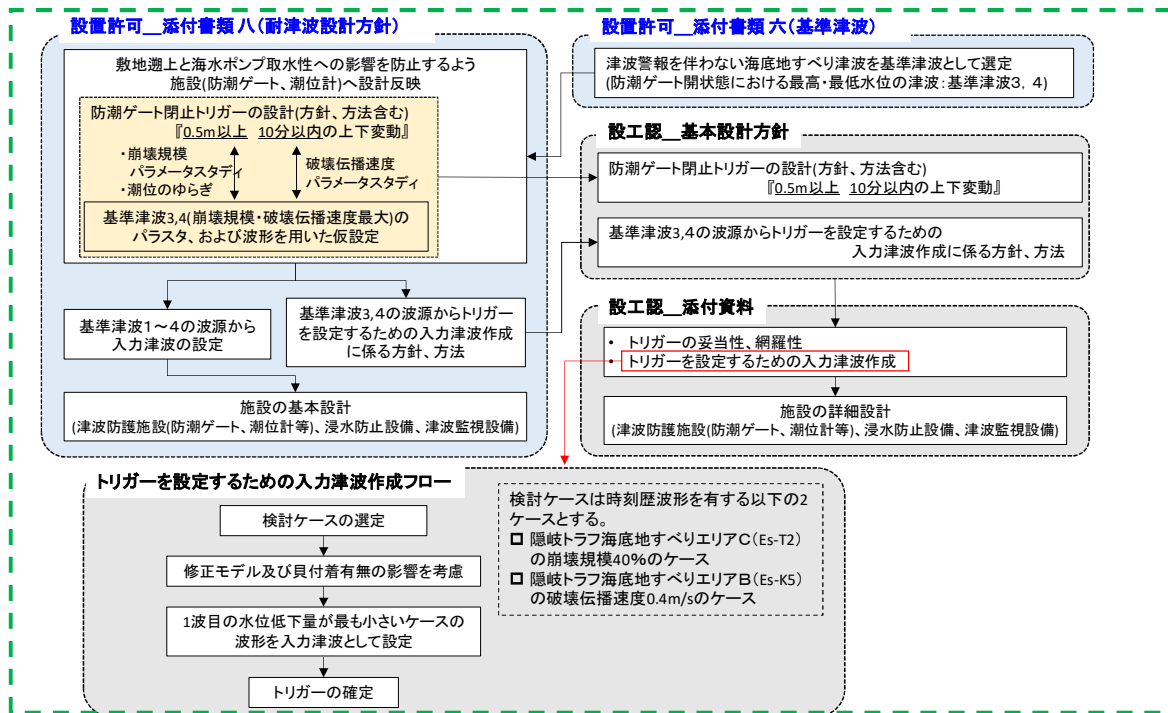


図 27 判断基準（トリガー）を設定するための入力津波作成フロー

7. 運用成立性の確認

6章では、施設影響が生じる津波を網羅的に検知するための設定値であるトリガーについて設定した。

本章では、津波襲来は自然現象であること、また、ゲート閉止は運転操作を伴うことなどの不確実性を考慮し、ゲート閉止に係る時間の成立性を確認する。

具体的には、3章及び4章で取水路防潮ゲートによる対策の採用を前提条件とした「運転操作が時間内に成立するか」について、設定したトリガーによる運転操作が時間内に成立するかを評価する。

また、運転操作による防潮ゲート閉止により、施設影響が生じる波に対してどれだけの余裕をもつかも確認する。

その上で、4章から7.2章までの検討において、潮位計を用いた防潮ゲート閉止運用の成立性が確認できたことから、7.3章において、本運用を成立させる上で求められる潮位計の安全機能等の基準適合性について、整理した。

さらに、7.4章において、既許可での大津波警報の発表を受けてのゲート閉止と今回の潮位計によるゲート閉止の同等性について述べる。

7. 1 運転操作等の成立性確認

7. 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章で取水路防潮ゲートによる対策の採用を前提条件とした「運転操作が時間内に成立するか」について、上記の通常の潮汐とは異なる潮位変動を把握した場合における成立性確認を行う。具体的には、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、1号及び2号炉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。

7. 1. 2 検討内容

今回の津波警報が発表されない津波襲来時の津波波形の一例を図1に示す。

本図に、通常の潮汐とは異なる潮位変動の把握、循環水ポンプ停止、ユニットトリップ操作、取水路防潮ゲート閉止までの一連の流れをあわせて記載する。

また、図2に運転員の潮位計モニタの監視及び各種操作に係る一連の動作の所要時間を示し、図3に通常の潮汐とは異なる潮位変動を把握するための設備構成を示す。

図1、図2に示すとおり、今回の対策における防潮ゲート閉止は、潮位計において通常の潮汐とは異なる潮位変動（津波検知の判断基準）到達を把握した後、循環水ポンプ停止及びユニットトリップ操作を5分で実施し、1号及び2号炉中央制御室から遠隔操作を1分で実施することにより、計6分で完了する。したがって、これらの一連の運転操作等の成立性を、以下の項目ごとに検討する。

- ① 潮位計において通常の潮汐とは異なる潮位変動（津波検知の判断基準）到達を把握するまでの対応の成立性
- ② 通常の潮汐とは異なる潮位変動（津波検知の判断基準）到達した後の循環水ポンプ停止、ユニットトリップ操作に要する時間の成立性
- ③ 取水路防潮ゲート閉止に要する時間の成立性

上記のうち、②については、常用取水路が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等が必須であることから実施しているものであり、これに要する時間は、循環水ポンプ停止、出口弁の全開から全閉に要する時間の設計値である約3分に余裕を持たせ5分と評価している。なお、本評価時間は既許可と同様である。

一方、①の津波検知の判断基準到達までの対応は、既許可の大津波警報発表時とは異なる対応となっており、成立性の確認が必要であり、以降にて確認結果の詳細を示す。また、③のゲート閉止は、②の循環水ポンプ停止・ユニットトリップ操作を実施後に操作する必要があるため、既許可においては、保守的に長さ6mの長尺のラック棒を用いて揚程6mの高さをラック式開閉装置により、閉止することとしており、ゲート閉止に要する時間を3分と評価していたが、今回の評価においては、現場の設備実態に合わせ、長さ1mの短尺のラック棒を用いてラック式開閉装置により落下する時間と、その後の5mは自由落下するものとして、これらの時間を足し合わせて評価しており、本評価の成立性について確認が必要であり以降にて確認結果の詳細を示す。

●津波襲来判断の例

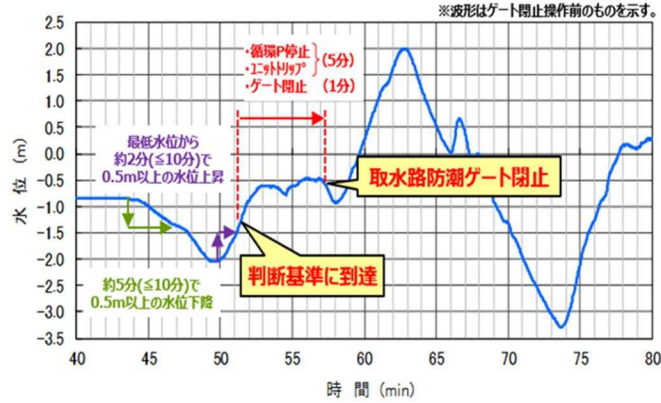


図1 通常の潮汐とは異なる潮位変動の一例

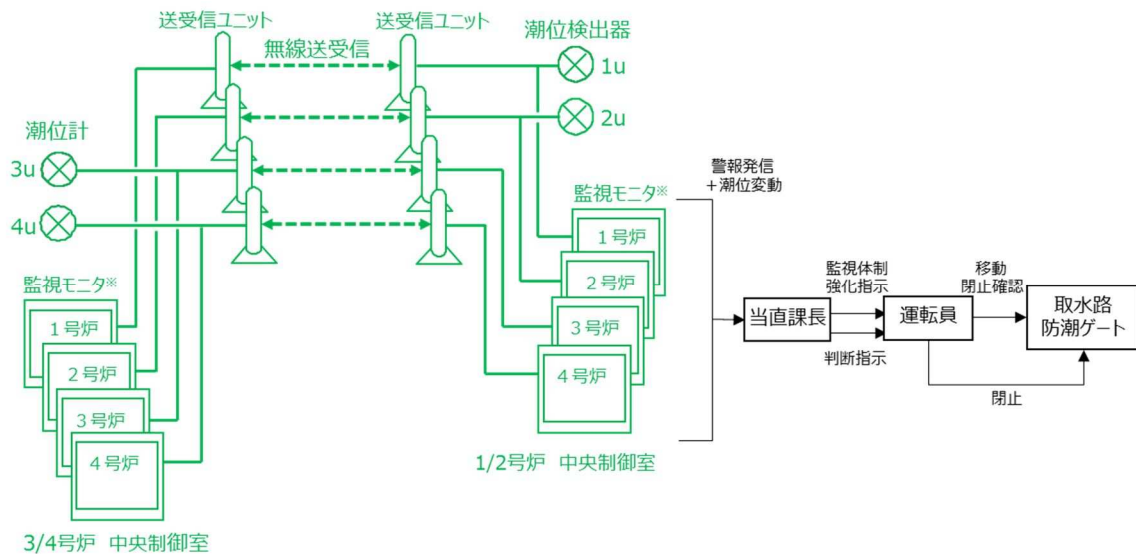
(今回の対策における対応)

	経過時間 (分)							時間	対応に係る各ステップに要する時間および説明	
	2	4	6	8	10	12	14		説明	
潮位変動を検知								0分	通常潮汐から0.5m変動を検知すれば、中央制御室に警報発信	①
潮位変動の判断 運転員への指示等								5分	警報発後、運転員は潮位の継続的な重点監視を行うとともに、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上昇した時点で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。	
循環水ポンプ停止								5分	循環水ポンプ停止、出口弁の設計値（全開から全閉）の約3分に余裕を持たせ5分と評価している。	②
ユニットトリップ									原子炉トリップスイッチによるユニット停止	
取水路防潮ゲート閉止 (遠隔操作)								1分	短尺のラック棒（長さ1m）であることから、ラック式開閉装置による落下時間は約20秒であり、その後、5mの高さをゲートが自由落下する時間は約2秒であることから余裕を考慮して、1分で閉止すると評価している。	③

(参考：既許可の大津波警報発表時の対応)

	地震・津波発生からの経過時間 (分)							時間	対応に係る各ステップに要する時間および説明	
	2	4	6	8	10	12	14		説明	
津波情報入手								3分	気象庁から津波情報入手。地震が発生してから約3分を目標に、大津波警報、津波警報または津波注意報を、津波予報区単位で発表（気象庁ホームページより）	②
防潮ゲート閉止判断 運転員への指示等								2分	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。	
循環水ポンプ停止								5分	循環水ポンプ停止、出口弁の設計値（全開から全閉）の約3分に余裕を持たせ5分と評価している。	
ユニットトリップ操作									原子炉トリップスイッチによるユニット停止操作	
防潮ゲート閉止 (遠隔操作)								3分	保守的に長尺のラック棒（長さ6m）を用いて、揚程6mの高さをラック式開閉装置により閉止することであり、その落下にかかる時間を約2分としていることから、余裕を考慮して、3分で閉止すると評価している。	

図2 通常の潮汐と異なる潮位変動を把握した場合の取水路防潮ゲート閉止の閉止操作の手順及び閉止に要する時間



※電源箱及び演算装置は監視モニタの盤内機器であり、監視モニタの一部である。

図3 通常の潮汐とは異なる潮位変動を把握するための一連の設備

7. 1. 3 検討結果

(1) 潮位計において通常の潮汐とは異なる潮位変動（津波検知の判断基準）到達を把握するまでの対応の成立性

a. 検討対象とする津波の選定

5章の検討結果より、通常の潮汐とは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通常の潮汐とは異なる潮位変動（津波検知の判断基準）到達としている。

本項目において検討対象とする津波は最も通常の潮汐とは異なる潮位変動（津波検知の判断基準）到達が早く運用上の時間的な対応が厳しくなる基準津波3とする。

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※ 〔図4の①の時間〕	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 〔図4の①+②の時間〕	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 〔図4の③の時間〕	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)

※：潮位計において観測潮位が0.5m以上下降、又は上昇した時点で1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉中央制御室に警報が発信

b. 判断基準に到達するまでの対応

a. で選定した津波襲来時の警報発信から判断基準に到達するまでの対応は以下のとおり。

まず、潮位計において観測潮位が 0.5m 以上下降、又は上昇した時点で 1 号及び 2 号炉中央制御室並びに 3 号及び 4 号炉中央制御室に警報が発信する。この時点で運転員は当直課長へ警報発信したことを報告する。当直課長は潮位の継続的な集中監視を行うとともに、運転員に潮位の継続監視、循環水ポンプ停止準備、ユニットトリップ準備、防潮ゲート閉止準備に備えるよう指示するとともに、1 号及び 2 号炉当直課長が 3 号及び 4 号当直課長へその旨を連絡する。1 号及び 2 号炉当直課長と 3 号及び 4 号炉当直課長が連携し、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 下降した時点で取水路防潮ゲート閉止判断を 1 号及び 2 号炉当直課長が行い、循環水ポンプ停止、ユニットトリップ操作を運転員へ指示するとともに、3 号及び 4 号炉当直課長へその旨を連絡する。

判断基準に到達するまでの対応は上記のとおりであるが、判断基準到達後の対応についても参考で記載する。判断基準到達後、1 号及び 2 号炉当直課長は、1 号及び 2 号炉の循環水ポンプ停止、ユニットトリップ操作が完了したことを確認、並びに 3 号及び 4 号炉当直課長から 3 号及び 4 号炉の循環水ポンプ停止、ユニットトリップ操作完了報告を受ければ、1 号及び 2 号炉当直課長は、運転員に 1 号及び 2 号炉中央制御室からの取水路防潮ゲート閉止を指示する。

運転員は、取水路防潮ゲート閉止したことを 1 号及び 2 号炉当直課長に報告する。報告を受けた 1 号及び 2 号炉当直課長は、取水路防潮ゲート閉止したことを 3 号及び 4 号炉当直課長に報告する。

潮位計における警報発信から取水路防潮ゲート閉止の判断基準到達までに最短でも約 5 分の判断猶予時間を有しており、対応イメージを図 4 に示す。

潮位変動の観測及び判断基準の確認については図 5 の運転員タイムチャートのとおりであり、上記の対応時間内に運転員が対応できることを確認している。

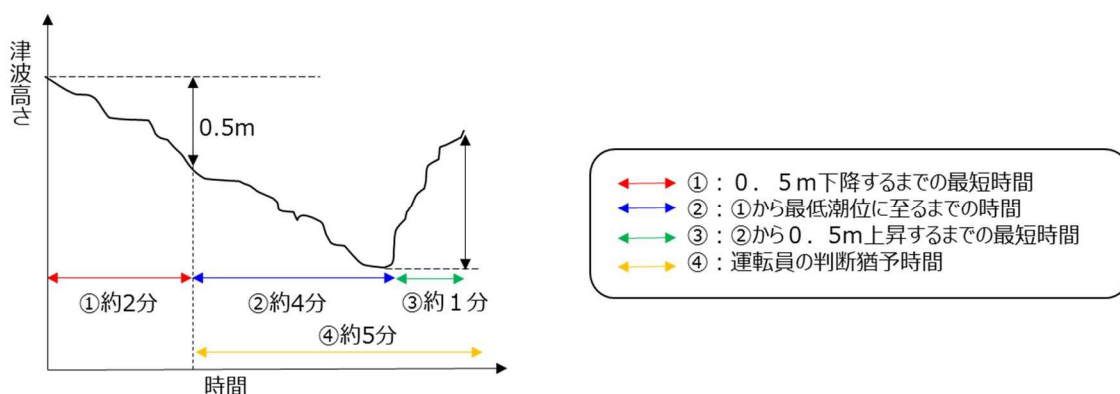


図 4 潮位変動開始から判断基準に到達するまでの対応イメージ

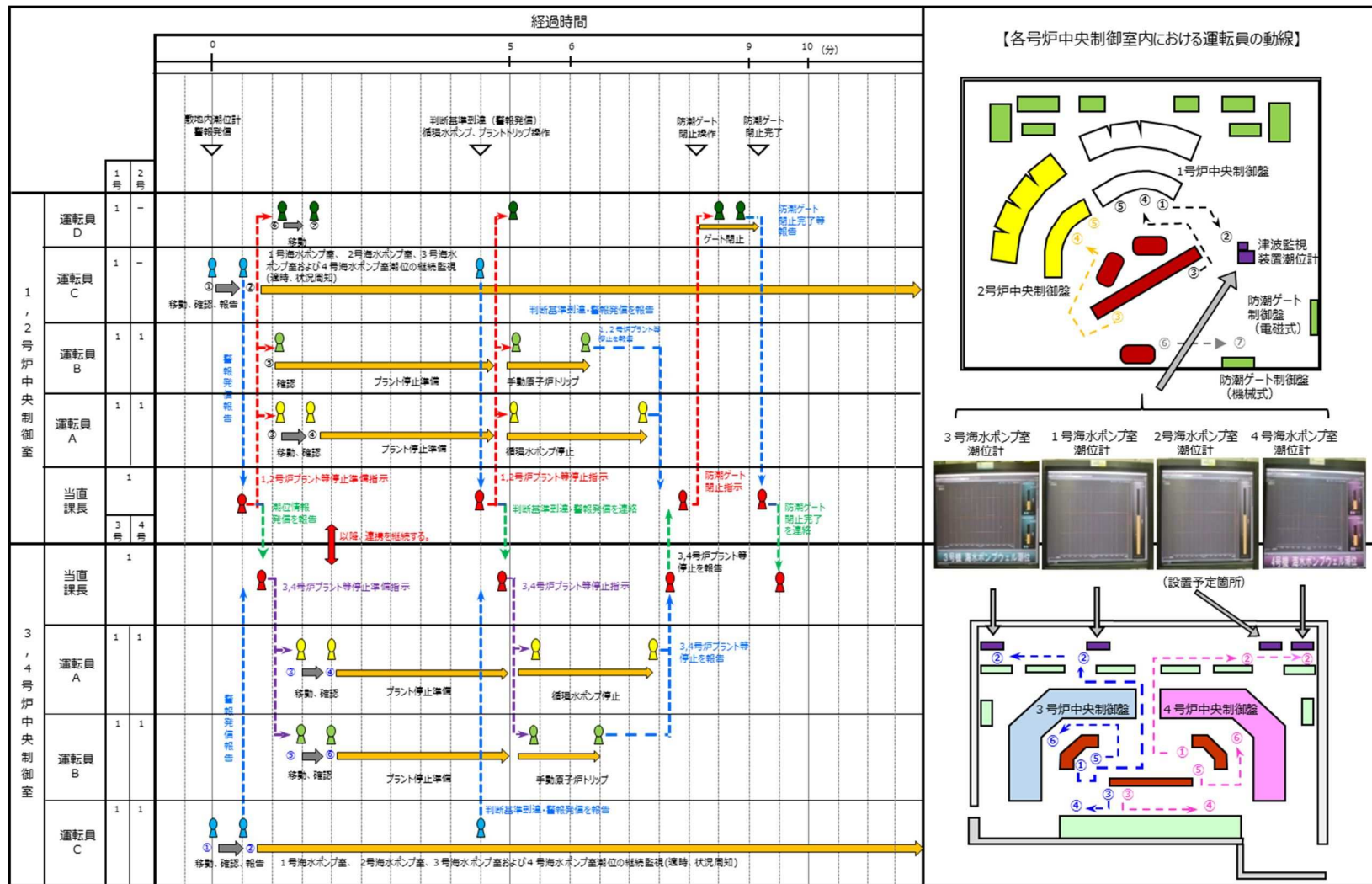


図5 運転員タイムチャート（1～4号炉）

c. 潮位計を用いた津波検知のシステム構成及び検知成立性

発電所構内の潮位変動により津波襲来を判断するためには、潮位計が津波襲来を判断できる設計であることを確認する必要がある。潮位計による津波検知の具体的なシステム構成及び検知成立性については以下のとおり。

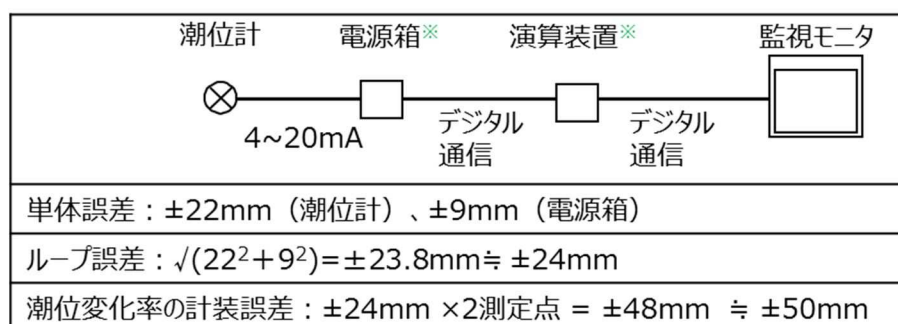
1) 潮位計のシステム構成及び潮位変動率の算出方法

今回の対策においては、津波検知の判断基準は潮位計 2 台の観測潮位が 10 分以内に 0.5m 上下変動となった場合であることから、10 分以内の潮位変化を確実に捉える必要があり、これについて説明する。

潮位計は図 6 に示すシステム構成であり、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装置において計測時点（図 7 の「t」）の値と通常潮位を比較し、潮位の変化率を 3s おきに監視モニタへ表示し、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。潮位変化率は、通常潮位と計測時点の潮位を比較した値が 3s おきに監視モニタへ更新されるため、短時間で潮位の上げ又は下げの変動を繰り返したとしても、通常潮位の変動開始から 10 分以内に±0.50m の潮位変動を確実に検知することが可能である。

この警報が発信した時点で、潮位変動は 1 号及び 2 号炉並びに 3 号及び 4 号炉中央制御室の運転員が、監視モニタで集中監視する体制を構築するため、監視モニタにおける潮位の目視確認や記録管理により、判断基準に到達したことを速やかに確認することが可能である。また、運転員の判断基準確認の補助的な位置づけとして、潮位計 1 台の観測潮位が判断基準に到達した時点で、その潮位計の監視モニタに警報が発信される。

なお、各潮位計の故障時の表示は「レンジの下限値以下に振り切り」となり、この時点で警報発信するため、運転員は故障の有無についても確認が可能である。



※電源箱及び演算装置は監視モニタの盤内機器であり監視モニタの一部である。

図 6 潮位計のシステム構成図及び計装誤差の考え方

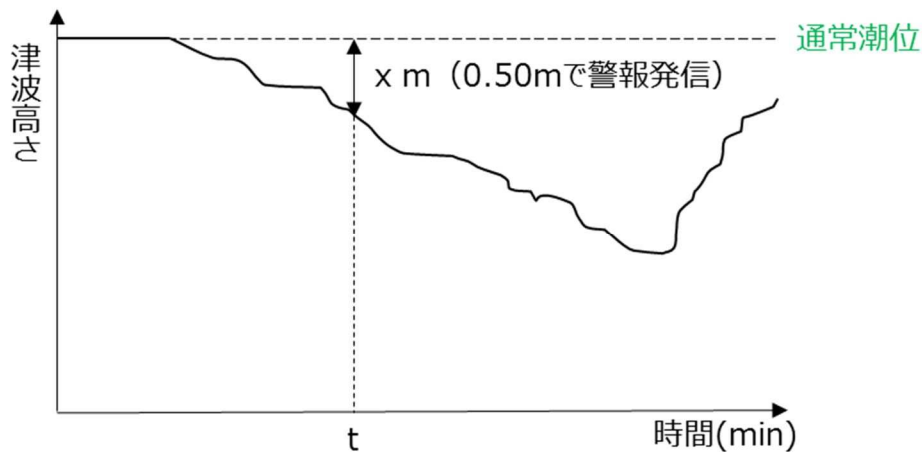


図7 潮位変化率の算出方法

2) 潮位計のループ誤差等を踏まえた運転操作等への影響とセット値

潮位計のループ誤差は図6のとおり最大で±約5cmであることから、これによる検知の遅れが運転員の対応時間に影響するかの確認を行った。

計装誤差の最大±約5cmによる検知の遅れ時間は最大約30秒であるが、図4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運転操作等への影響はない。

また、潮位計のループ誤差は図6のとおり最大で±約5cmであることから、これを踏まえた津波検知の判断基準の実機のセット値は0.45mとし、これらの概念図を図8に示す。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。

なお、計装誤差については、工事計画段階において詳細を説明する。



図8 潮位計の判断基準値の概念図

(2) 取水路防潮ゲート閉止に要する時間の成立性

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9及び図10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。

ここで、既許可では、ゲート扉体は長尺ラック棒（6m）によりゲート落下機構に固定し、揚程6mの高さをゲート落下機構により閉止することとしていたため、長尺ラック棒（6m）がゲート落下機構を通過する時間は3m/分（検査等で確認済）であることを踏まえ、大津波警報発表時のゲート閉止時間は2分（ $6\text{m} / (3\text{m}/\text{分}) = 2\text{分}$ ）に余裕を考慮して3分としていた。その後、審査の中でラック棒を長尺ラック棒（6m）から短尺ラック棒（1m）に変更したが、大津波警報発表時のゲート閉止時間については、保守的に長尺ラック棒（6m）がついていることを想定し、3分のままとしていた。

通常の高潮とは異なる潮位変動を検知した場合のゲート閉止時間については、実運用（短尺ラック棒による運用）を踏まえると、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秒程度であるものの、余裕を考慮して1分と評価している。

区間①及び区間②の落下時間の詳細については以下に示す。

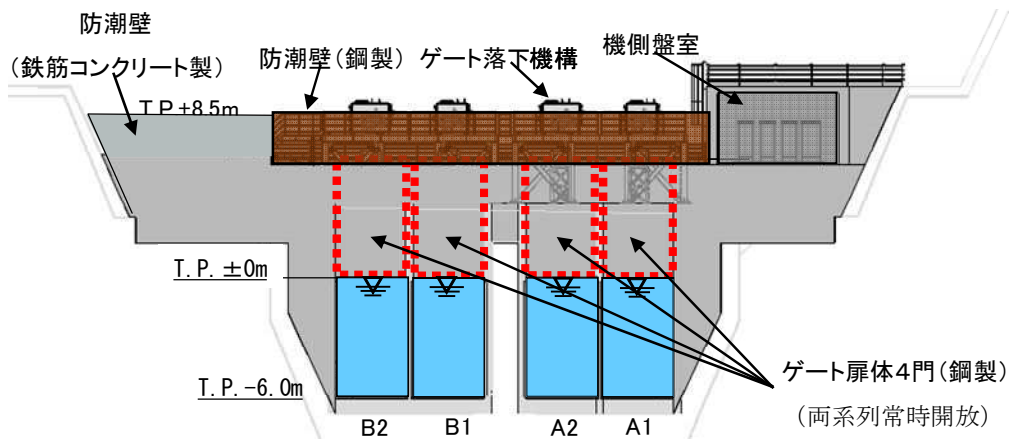


図9 4プラント運転時における取水路防潮ゲートの状況（正面図）

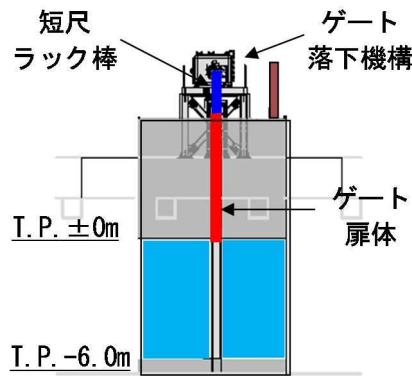


図10 4プラント運転時における取水路防潮ゲートの状況（断面図）

a. 区間①の落下時間

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

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

b. 区間②の落下時間

区間②の落下時においても、すでに津波が到達していることから、津波による流水抵抗等を考慮した条件で落下時間を算定する。

落下時間の算定においては、ダム堰・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。

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り、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える。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、図11に示すとおりスライドゲートの形式をとっていることから、ダム堰基準解説編を適用できると考える。

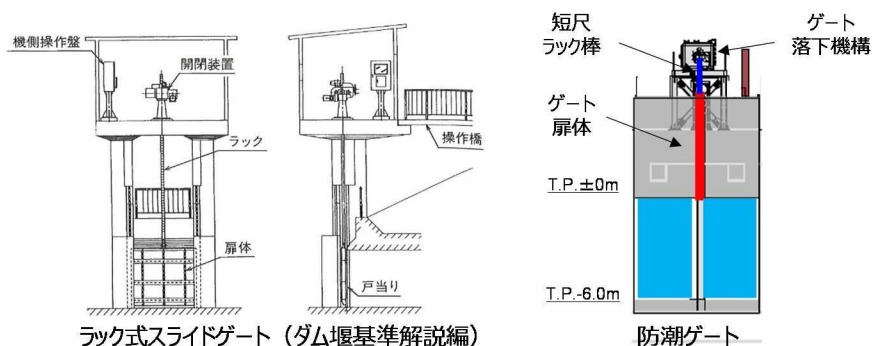


図11 ゲート形式について

(a) 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・水密ゴム及び堆泥の摩擦力、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。

上記の開閉荷重の組み合わせは水門扉の形式ごとに例示されており、今回の防潮ゲートに類似した形式として、スライドゲートの閉操作時における開閉荷重の組合せを考慮する。開閉荷重の組合せを表2に示す。

表2 開閉荷重の組合せ

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

開閉荷重形式	扉体の自重	支承部摩擦	水密部摩擦	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 下向きのダブルフォースが発生するが、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。

(b) 落下時間の算定について

ゲート扉体に作用する荷重を考慮した以下の運動方程式により、ゲート扉体の落下加速度を求め、落下時間を算定する。防潮ゲートの開閉時の検討に考慮する荷重を図12に示す。

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

- 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)

	扉体の自重	支承部摩擦	水密部摩擦	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

(ダム堰基準解説編P.189参照)

○開閉荷重の作用イメージ図

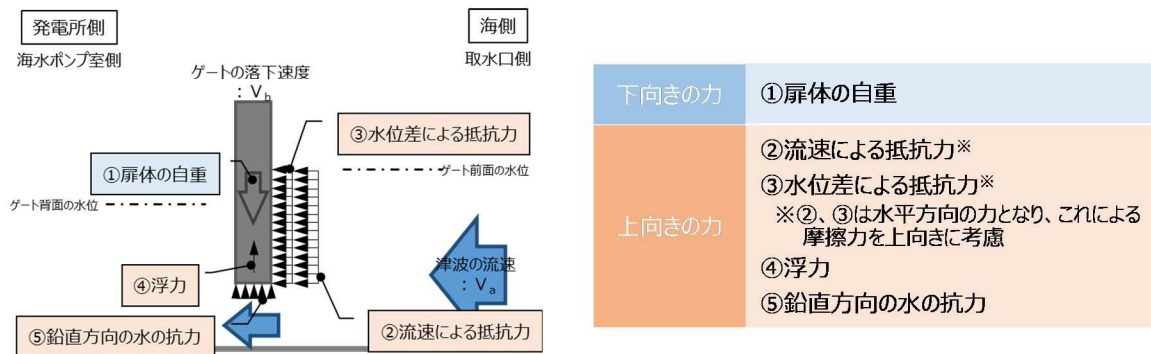


図12 考慮する開閉荷重及び荷重作用イメージ

図 1 2 に示す荷重を考慮した運動方程式は以下のとおりとなる。

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

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

ここで、摩擦係数については、ダム堰基準解説編において、「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しにくい状況であるため、摩擦係数は 0.4 を採用する。

なお、摩擦が生じる主な部位は、ゲートと戸当たりの接触面になる。接触面は通常、海水に接しているため、貝などの海生物の付着が想定される。これについては、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おり (図 1 3)、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ため、影響はないと考える。また、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。

①～⑤の各荷重の詳細を以下に示す。

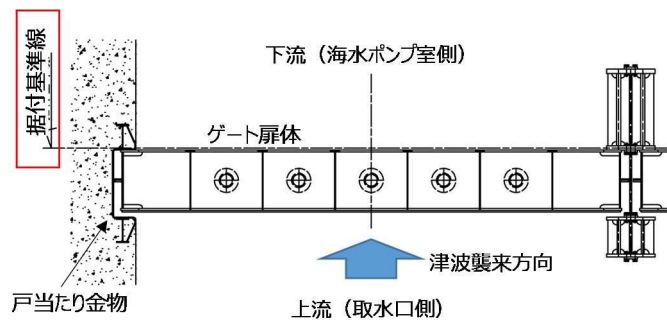


図 1 3 防潮ゲート据付図

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) 図14に示すとおり、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。

$$\begin{aligned}
 Fa &= 1/2 \times \rho_0 \times v_a^2 \times C \times B \times z \\
 &= 1/2 \times 1.03 \times 3^2 \times 1.0 \times 3.9 \times z \\
 &= 18.077 \times z \text{ (kN)} \\
 &\text{※} z=6\text{m} \text{では} Fa=108.5 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

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)

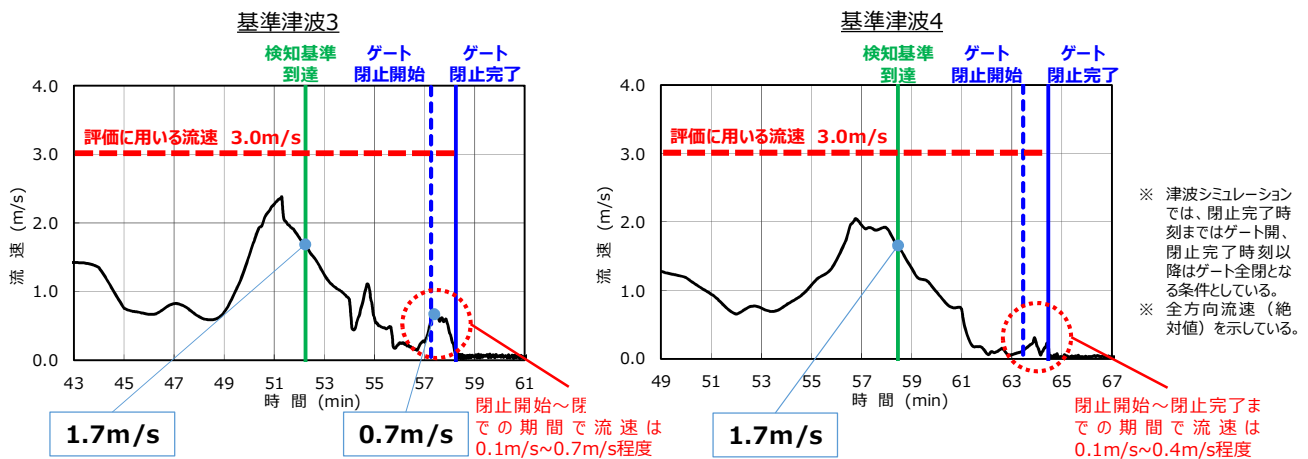


図14 評価に用いる流速について

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）。なお、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（図 1 5）。

$$\begin{aligned}
 F_b &= P \times B \times z \\
 &= 1.03 \times 9.80665 \times 0.459 \times 3.9 \times z \\
 &= \underline{18.082 \times z \text{ (kN)}} \\
 &\quad \text{※}z=6\text{m}\text{では}F_b=108.5 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

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）

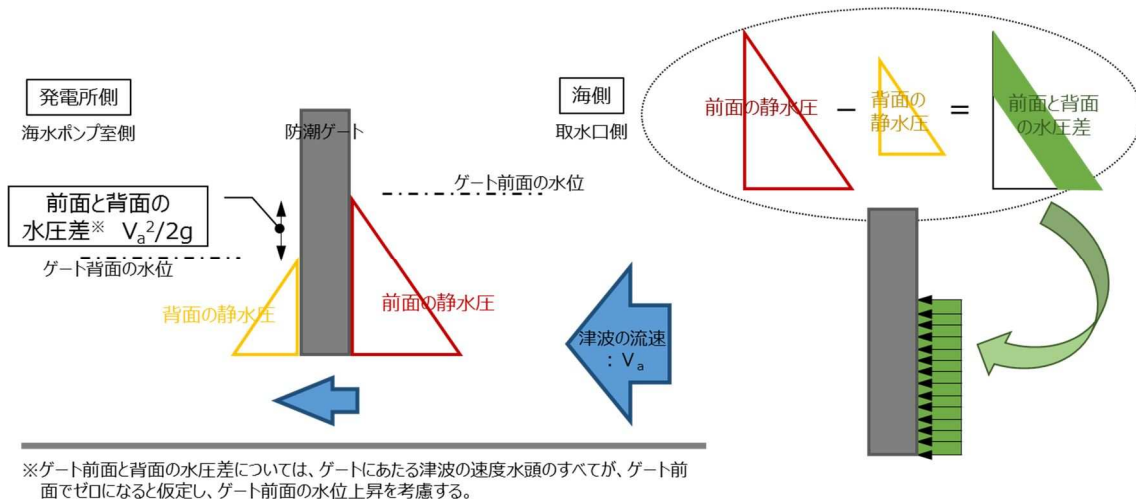


図 1 5 水位差について

④ 浮力

扉体はスキンプレート（片面）をH鋼等で補強している構造（図 1 6）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。

$$\begin{aligned}
 F_c &= \rho_0 \times g \times V \times z / 6 \\
 &= 1.03 \times 9.80665 \times 0.847 \times z / 6 \\
 &= \underline{1.426 \times z \text{ (kN)}} \\
 &\quad \text{※}z=6\text{m}\text{では}F_c=8.56 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

ここで、V：扉体の体積（0.847m³）

z：落下距離（m）



図 1 6 取水路下流側から見たゲート扉体の構造

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）。

$$\begin{aligned} F_d &= 1/2 \times \rho_0 \times v_b^2 \times C \times A \\ &= 1/2 \times 1.03 \times v_b^2 \times 1.0 \times 2.125 \\ &= 1.0944 \times v_b(z)^2 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

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

①～⑤より、運動方程式は以下のとおりとなる。ここで、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。区間②のゲート落下速度及び落下加速度を図 1 7 に示す。

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = mg - \mu F a - \mu F b - F c - F d$$

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

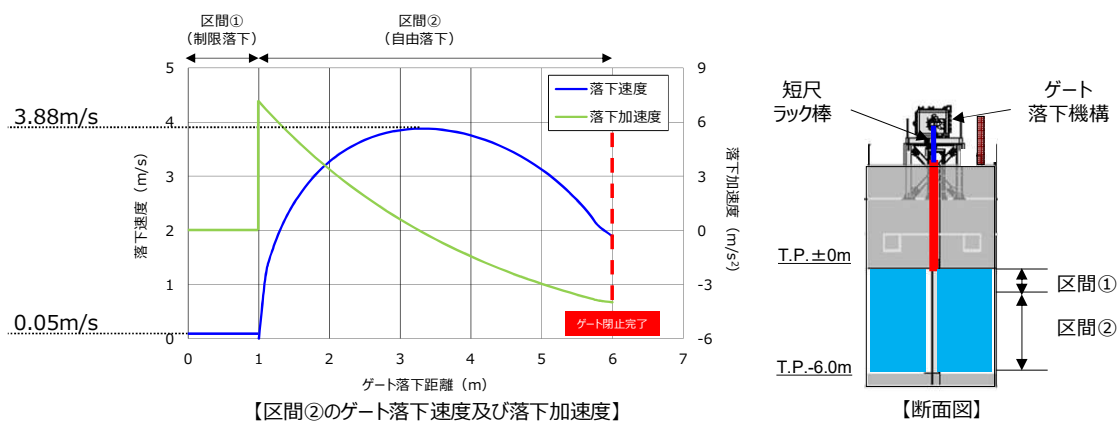


図 1.7 区間②のゲート落下速度及び落下加速度

(c) ゲート落下時間の変動幅による取水路防潮ゲート閉止時間への影響について

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流速によるパラメータスタディを実施し、ゲート落下時間の変動幅による取水路防潮ゲート閉止時間への影響を確認した。なお、ゲート落下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。

図 1.2 に示すとおり、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の結果を表 3 に示す。いずれのケースも自由落下区間（区間②）におけるゲート落下時間は 1 秒～2 秒である。

上記のゲート落下時間に、ゲート落下機構（ラック式）により落下する区間（区間①）のゲート落下時間を含めた取水路防潮ゲート閉止時間は 20 秒程度である（図 1.8）のに対し、保守的に取水路防潮ゲート閉止時間を 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）のゲート落下時間が多少変動したとしても、取水路防潮ゲート閉止時間への影響はない。

表3 防潮ゲート閉止タイミングの不確実性を考慮した
流速によるパラメータスタディ結果

流速(m/s)	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)
	0.7	1.7	3.0
区間② (5m) の落下時間 (s)	1.19	1.28	1.79

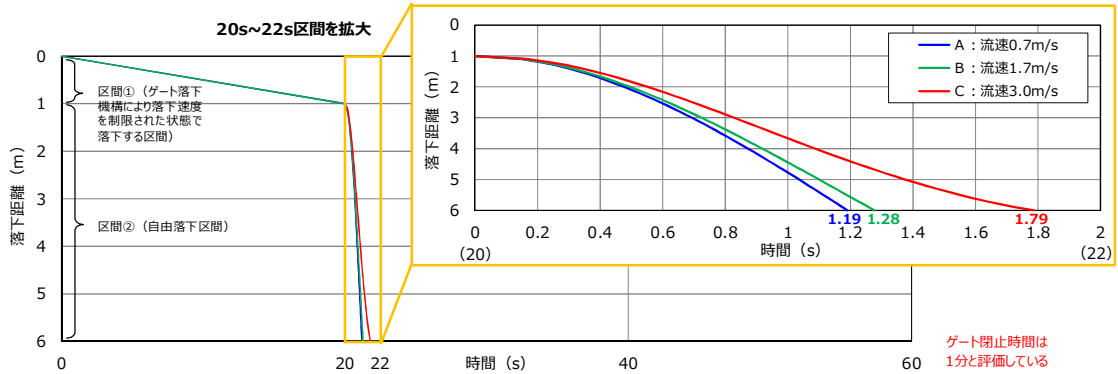


図18 防潮ゲート閉止時間 (1分) の評価における裕度

7. 2 取水路防潮ゲート閉止に対する余裕時間

7. 2. 1 背景

7. 1 章において、運転時間の成立性を確認した。施設影響が生じる津波が防潮ゲート前面に到達する前に閉止できることを確認しているが、さらに、本章においては、防潮ゲート閉止時間から、施設影響が生じる潮位に至る時間までにどれだけの余裕があるかを評価し、安全上の裕度を確認する。

7. 2. 2 検討内容

(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、津波警報が発表されない場合の評価について、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以下のとおり。

(基準津波3 (基本設定))

- ・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)

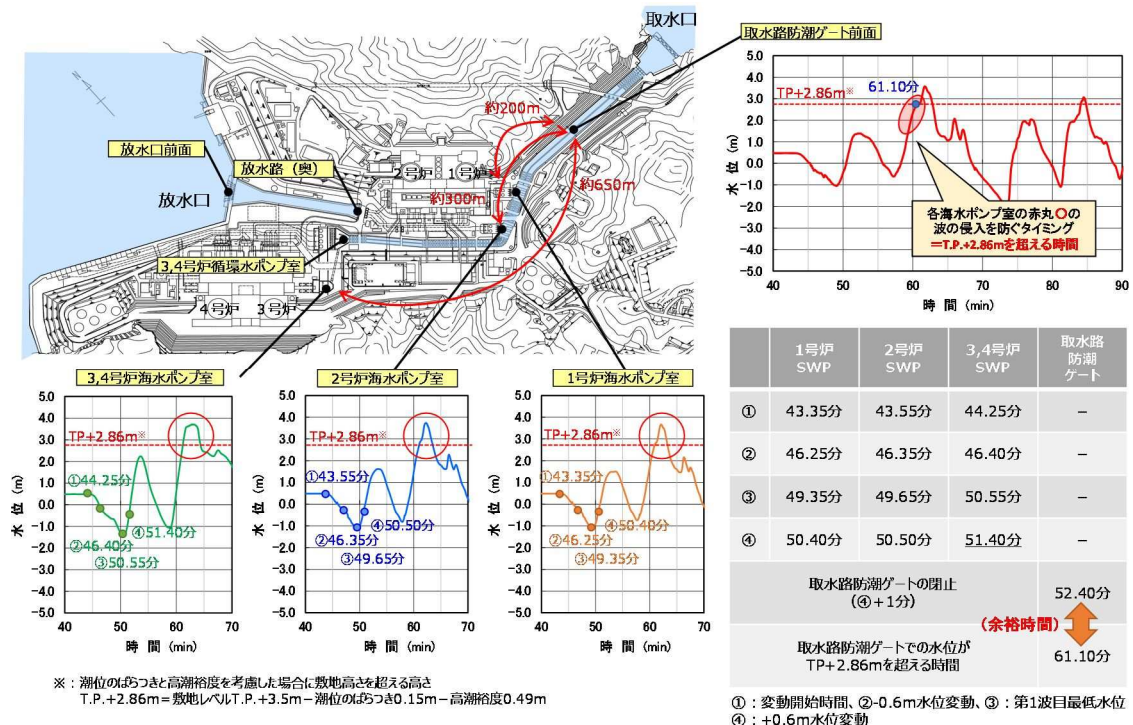


図1 余裕時間の算出例 (水位上昇側)

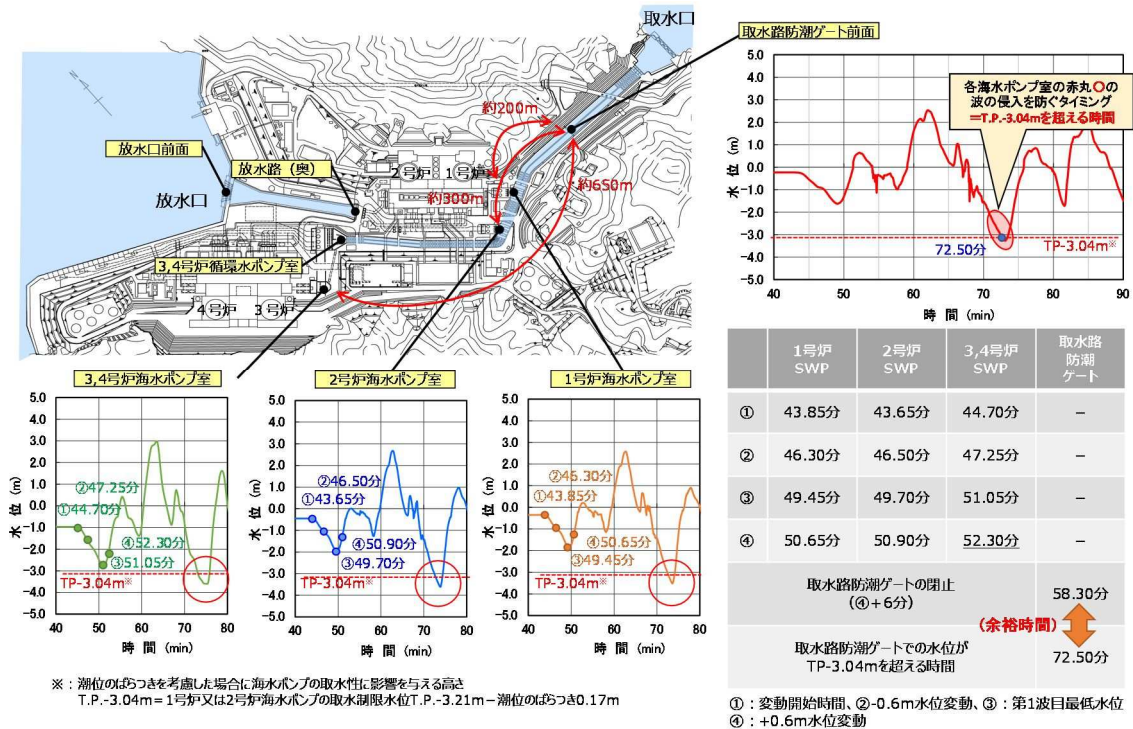


図2 余裕時間の算出例（水位下降側）

(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) の手法及び海底地すべりの波源特性に関するパラメータスタディ (崩壊規模のパラメータスタディ・破壊伝播速度のパラメータスタディ) 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、**崩壊規模のパラメータスタディ**、**破壊伝播速度のパラメータスタディ**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。

7. 3 潮位計の基準適合性

7. 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、1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉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。

今回の対策は、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ため、潮位計の基準適合性について確認する。

7. 3. 2 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	構築物、系統又は機器（PWR）	特記すべき関連系（PWR）	構築物、系統又は機器（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、低圧注水系、高圧炉心スプレイ系、自動減圧系）	
		6) 放射性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、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ系、原子炉格納容器空気再循環設備、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管の支持機能）
	2) 安全上必要なその他の構築物、系統及び機器	1) 工学的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・原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却海水系、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、ディーゼル冷却系、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、ディーゼル冷却系、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 1 2 条に明記する。第 1 2 条の各項の適用要否を表 2 に示す。潮位計は、取水路防潮ゲートの閉止判断にかかわる直接関連系と考えることから、重要安全施設として第 1 項から第 6 項までを適用対象とする。また、第 1 2 条への適合性を表 3 示す。

取水路防潮ゲート及び潮位計の設計項目は表 4 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 第12条の各項の適用要否

項	適用要否	取水路防潮ゲートの適用要否の理由	潮位計の適用要否の理由
1	○	津波発生時、取水路防潮ゲートの閉止により、重要度分類指針における当該系（例. 海水ポンプ=MS-1）の安全機能遂行又は機能維持に必要となることから対象とする。	津波発生時、取水路防潮ゲートの閉止判断にかかわる直接関連系と考えることから対象とする。
2	○	重要度分類指針上の「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（冷却用海水供給機能）」に該当することから対象とする。	同上
3	○	1項及び2項を踏まえ、安全施設としての設計条件に該当することから対象とする。	同上
4	○	1項及び2項を踏まえ、安全施設としての健全性及び能力の確認が必要となることから対象とする。	同上
5	○	1項及び2項を踏まえ、安全施設としての設計条件に該当することから対象とする。	同左
6	○※2	重要安全施設に該当する取水路防潮ゲートは、共用している取水路に対して設置することにより、津波から防護する設備も、基準津波に対して安全機能を損なうおそれがないよう設計することから、2以上の原子炉施設の安全性が向上するため対象外。	津波発生時、取水路防潮ゲートの閉止判断にかかわる直接関連系と考えられ、重要安全施設に該当することから対象とする。
7	×	本項は重要安全施設を除くため対象外。	同左

※1：○：要、×：否

※2：取水路防潮ゲートは適用否

表3 第12条への適合性(1/3)

設置許可基準規則		取水路防潮ゲートの適合性	潮位計の適合性
項	内容		
1	<p>安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならぬ。</p>	<p>取水路防潮ゲートは、入力津波による遡上波が、設計基準対象施設の津波防護対象設備に到達、流入を防ぐ重要な施設であることを踏まえ、閉止機能についてはMS-1設計とする。</p>	<p>取水路防潮ゲートは、入力津波による遡上波が、設計基準対象施設の津波防護対象設備に到達、流入を防ぐ重要な施設であり、潮位計は、取水路防潮ゲートの閉止判断にかかわる直接関連系と考えることから、潮位計は取水路防潮ゲートと同等の設計とする。</p>
2	<p>安全機能を有する系統のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するものは、当該系統を構成する機能又は器具の単一故障(単一の原因によって一つの機械又は器具が所定の安全機能を失うこと(従属要因による多重故障を含む。))をいう。以下同じ。)が発生した場合であつて、外部電源が利用できない場合においても機能で足りざるよう、当該系統を構成する機械又は器具の機能、構造及び動作原理を考慮して、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保するものでなければならぬ。</p>	<p>津波防護機能を達成するため、取水路防潮ゲートを緊急閉止するための閉止機構は多重化し、各々異なる動作原理により駆動する系統とする。また、当該閉止機構の駆動に必要な電源系及び制御系もそれぞれに独立した系統により、多重化した設計とする。また、電源系には、無停電電源装置を用いることで外部電源喪失時にも取水路防潮ゲート閉止が可能とすることにより、単一故障に対して津波防護機能を失わない設計とする。</p>	<p>津波防護機能を達成するため、潮位計は多重化する。また、潮位計に必要な電源系もそれぞれに独立した系統により多重化した設計とする。また、電源系には、安全系の電源より電源供給することで外部電源喪失時にも潮位観測を可能とすることから、単一故障に対して津波防護機能を失わない設計とする。</p>

表3 第12条への適合性(2/3)

設置許可基準規則		取水路防潮ゲートの適合性	潮位計の適合性
項	内容		
3	<p>安全施設は、設計基準事故時及び設計基準事故に至るまでの間に想定される全ての環境条件において、その機能を発揮することができるものでなければならぬ。</p>	<p>緊急閉止用電源への給電には、難燃性ケーブルを使用し、電源系等を独立させ、内部火災等の影響を受けない設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 緊急閉止用電源は、十分な厚さのコンクリート壁で防護し、竜巻、外部火災等自然現象による影響を受けない設計とする。 基準地震動 Ss に対して、取水路防潮ゲートの閉止機能を喪失しない設計とする。 	<p>潮位計用電源への給電には、難燃性ケーブルを使用し、電源系を独立させ、内部火災等の影響を受けない設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 潮位計用電源は、十分な厚さのコンクリート壁で防護し、竜巻、外部火災等自然現象による影響を受けない設計とする。 基準地震動 Ss に対して、潮位計の機能を喪失しない設計とする。
4	<p>安全施設は、その健全性及び能力を確保するため、その安全機能の重要度に応じ、発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができるものでなければならぬ。</p>	<p>原子炉の運転中又は停止中に取水路防潮ゲートの作動試験又は検査が可能な設計とする。</p>	<p>原子炉の運転中又は停止中に潮位計の試験又は検査が可能な設計とする。</p>

表3 第12条への適合性 (3/3)

設置許可基準規則		取水路防潮ゲートの適合性	潮位計の適合性
項	内容		
5	<p>安全施設は、蒸気タービン、ポンプその他の機器又は配管の損傷に伴う飛散物により、安全性を損なわないものでなければならぬ。</p>	<p>取水路防潮ゲートと蒸気タービン、ポンプ等とは距離による隔離がなされていることから飛来物による影響は及ぶことはない設計としている。蒸気タービン及び発電機は、破損防止対策を行なうことにより、破損事故の発生確率を低くするとともに、タービンスイルの発生を仮に想定しても安全機能を有する構築物、系統及び機器への到達確率を低くすることによって、発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。</p>	<p>潮位計と蒸気タービン、ポンプ等とは距離による隔離がなされていることから飛来物による影響は及ぶことはない設計としている。蒸気タービン及び発電機は、破損防止対策を行なうことにより、破損事故の発生確率を低くするとともに、タービンスイルの発生を仮に想定しても安全機能を有する構築物、系統及び機器への到達確率を低くすることによって、発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。</p>
6	<p>重要安全施設は、二以上の発電用原子炉施設において共用し、又は相互に接続するものであってはならない。ただし、二以上の発電用原子炉施設の安全性が向上する場合は、この限りでない。</p>	<p>共用している取水路に対して設置することにより、1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉のいずれの津波から防護する設備も、基準津波に対して安全性を損なうおそれがないように設計する。</p>	<p>潮位計は、各々の潮位計の間で共用又は相互に接続しない設計とする。</p>
7	<p>安全施設（重要安全施設を除く。）は、二以上の発電用原子炉施設と共用し、又は相互に接続する場合には、発電用原子炉施設の安全性を損なわないものでなければならぬ。</p>	<p>—</p>	<p>—</p>

表 4 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。

7. 3. 3 潮位計の第26条に対する位置づけ

既許可では、大津波警報の発表を受信する設備として、1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉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。

したがって、今回の対策において、FAXと同様の機能である潮位計の警報発信機能については、第26条として位置付ける。

図1に既許可と今回の対策の適応条文の整理結果を示す。

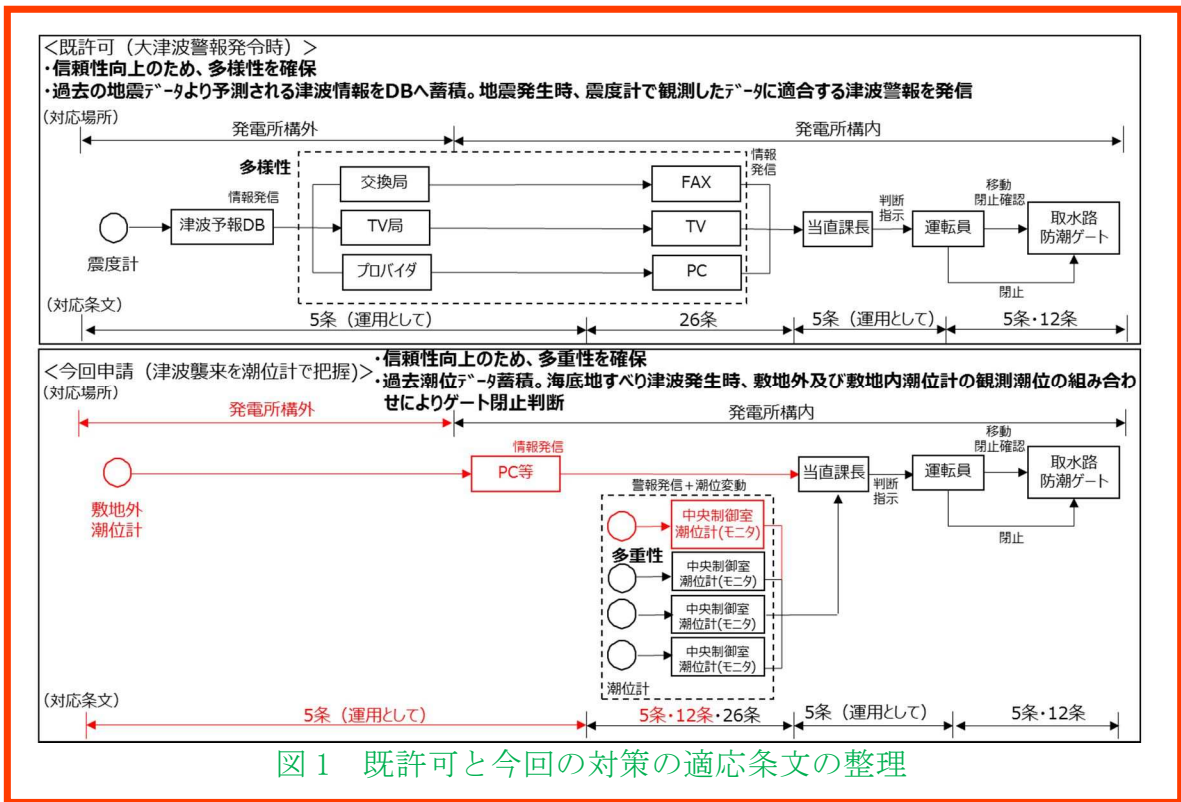


図1 既許可と今回の対策の適応条文の整理

7. 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。

2 out of 3は、2台の潮位計が津波判断基準に到達した時点で取水路防潮ゲート閉止の判断に至るが、1 out of 2 twiceは、津波判断基準に到達した2台の潮位計が1/2ロジックを構成する片系列の2台の潮位計であった場合は取水路防潮ゲート閉止の判断に至らず、2 out of 3より取水路防潮ゲート閉止の判断が遅くなるケースがある。このため、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2、3にそれぞれの判断方法とイメージを示す。

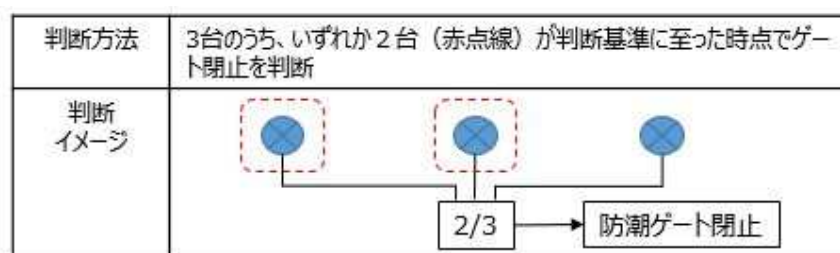


図2 2 out of 3 の判断方法とイメージ

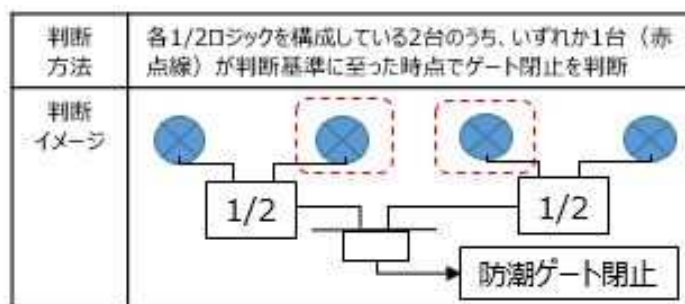


図3 1 out of 2 twice の判断方法とイメージ

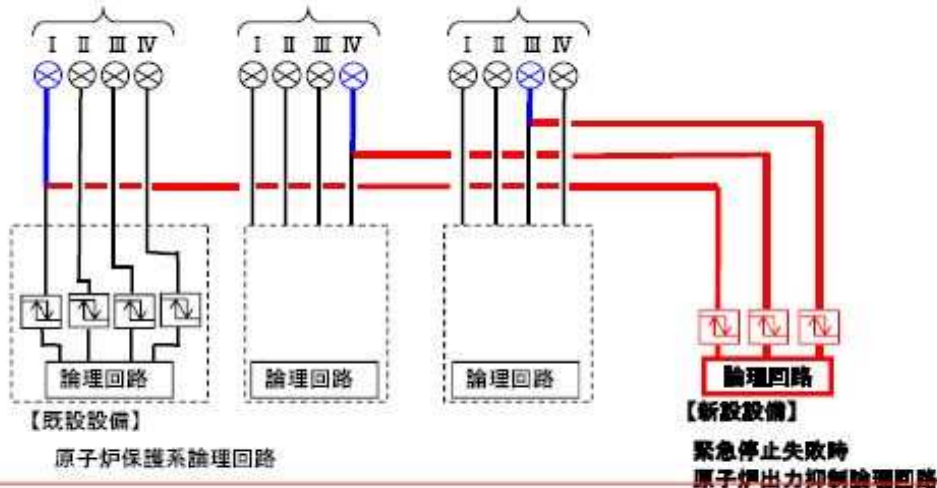
(2) 実運用を踏まえた論理構成

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確認済みであり、今回の運用についても本件の所要チャンネルも同様の考え方で保安規定等に定める。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LCO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證する設備数（3チャンネル）を所要チャンネルとして記載。
 - 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證する3chを有するためLCOとしない。
- 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、LCOとしない。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LCOを宣言する必要あり。

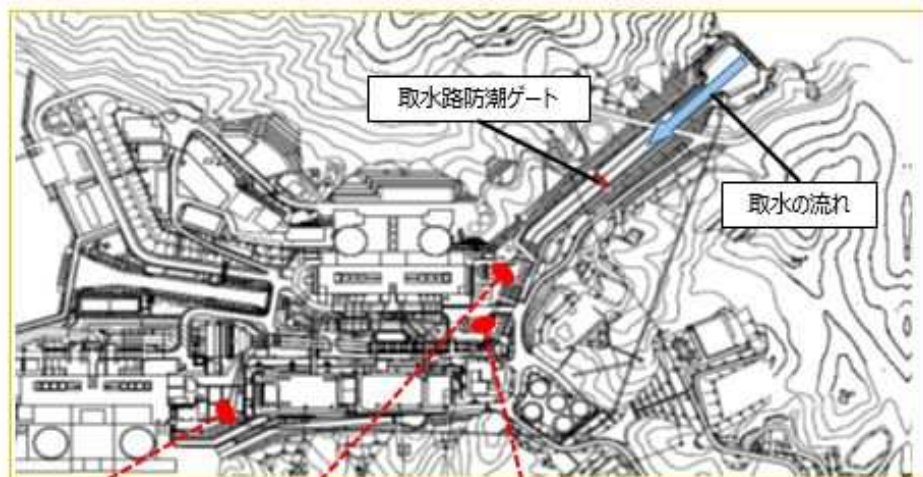
設計基準事故対処設備の「事故時監視計装」は、事故時において、事故の状態を把握し対策を講じるために必要なパラメータを監視できる機能を確認するために、適用モードにおいて動作可能であるべき所要チャンネル数を運転上の制限として規定しているものであることから、この設計基準事故対処設備のLCOに対する考え方は重大事故等への対応上必要なパラメータについても同様の考え方を適用することが妥当であることから、設計基準事故対処設備の「事故時監視計装」を参考にLCO設定する。

（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）

7. 3. 5 潮位計の設置

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。「7. 3. 3 設備の重要度分類を踏まえた整理」及び「7. 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

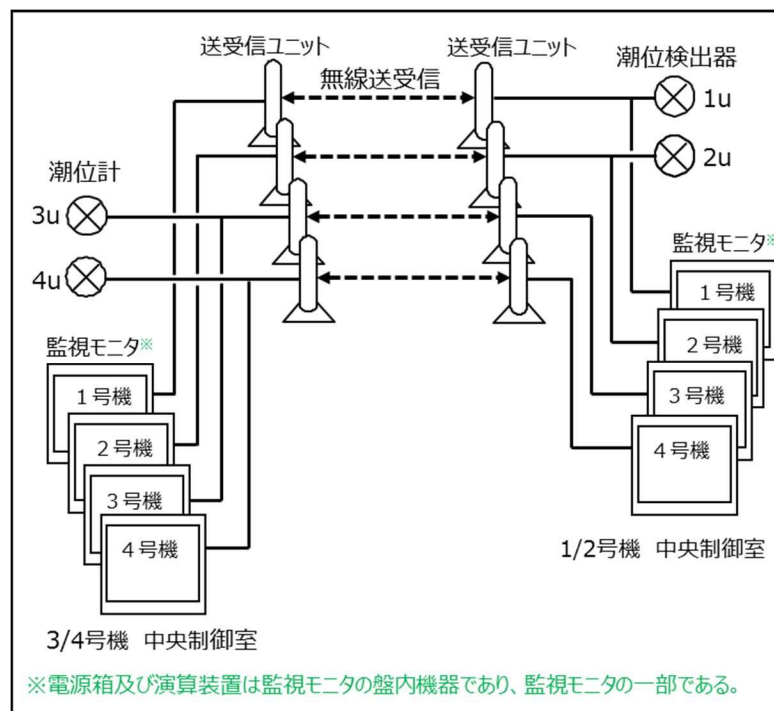


図5 潮位計のシステム構成図

7. 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、2チャンネルによる検知がどのような組み合わせでも、ゲート閉止判断に差異を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。

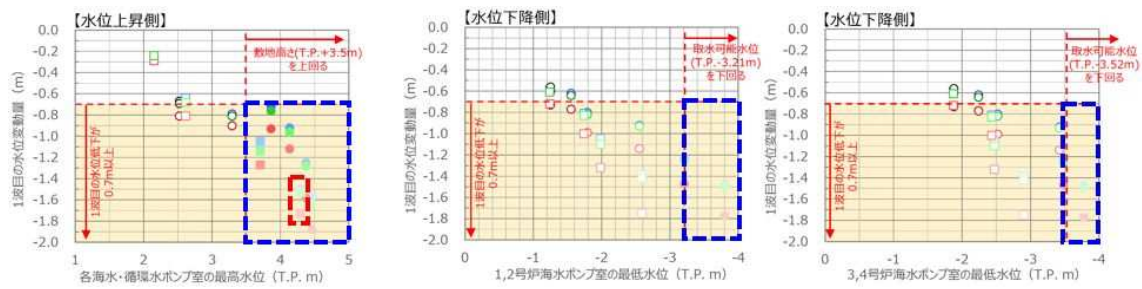
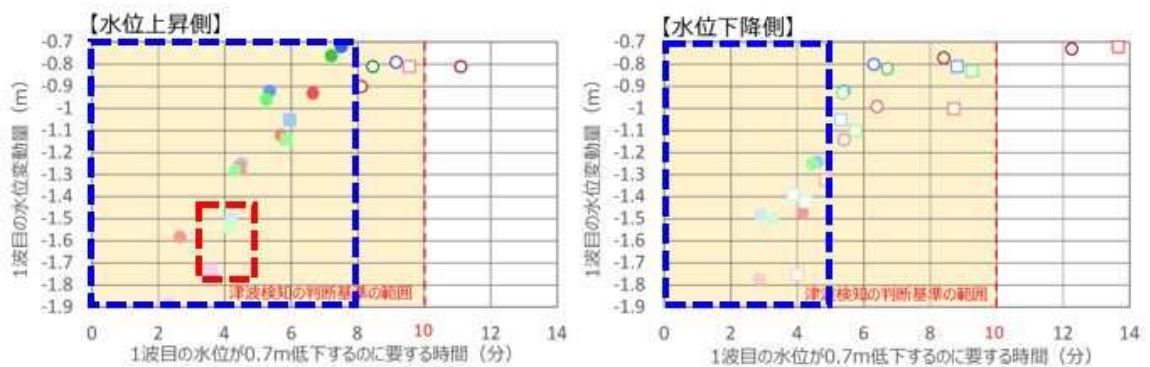


図6 1波目の水位変動量と最高水位・最低水位の関係図

凡例（塗りつぶし：施設影響あり、白抜き：施設影響なし）



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

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

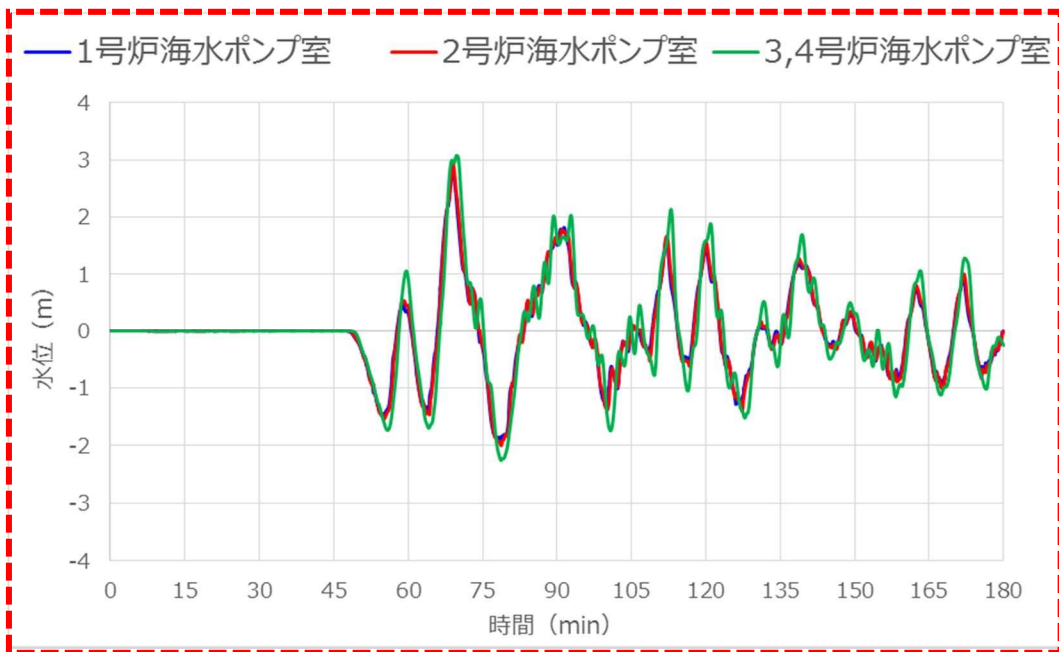


図8 基準津波 4 の時刻歴波形

7. 4 大津波警報と潮位計による津波検知の同等性

7. 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1号及び2号炉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。

7. 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見する。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。

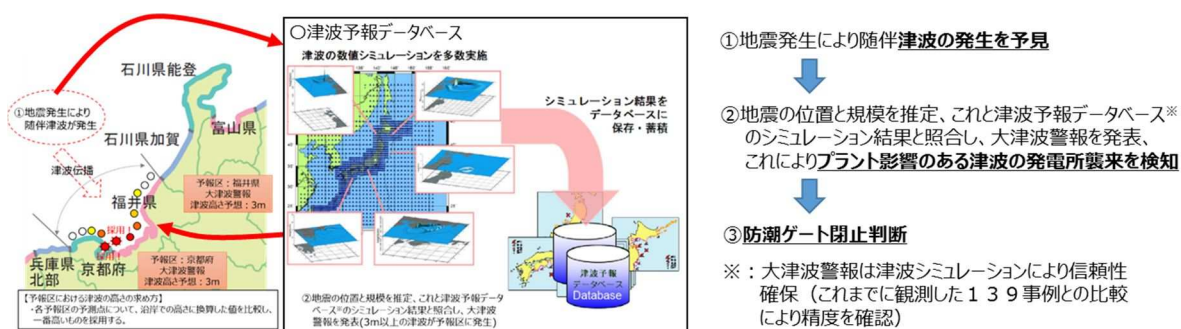


図1 既許可の基準津波1における対応

(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見する。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。

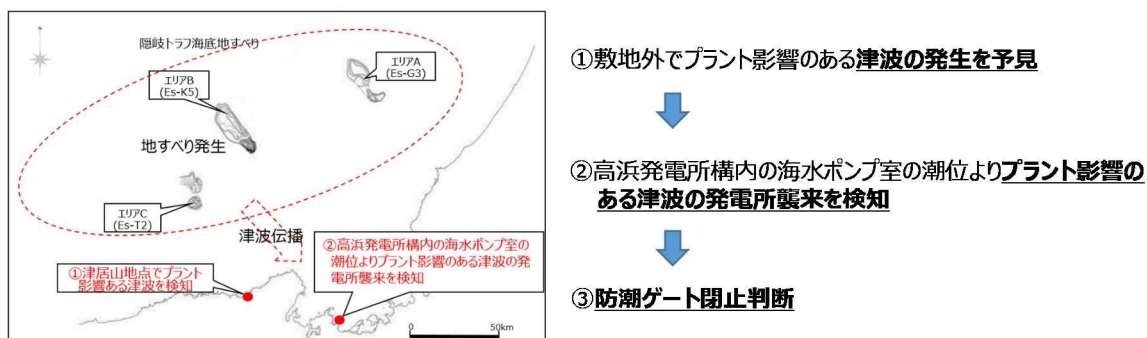


図2 津波警報が発表されない可能性がある津波への対応

7. 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。

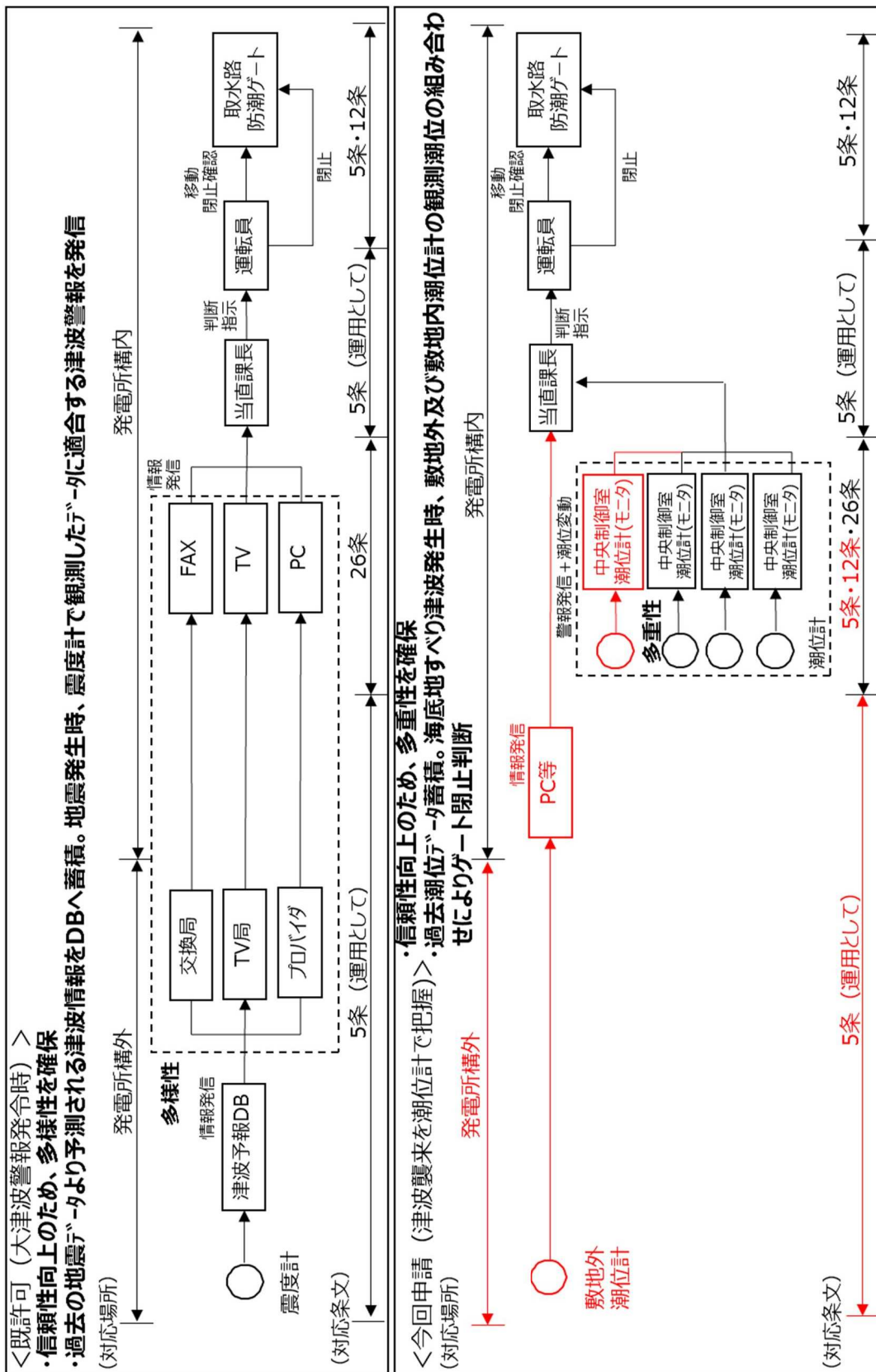


図3 対応の流れの比較

8. 取水路防潮ゲート対策の採用による施設影響の確認

5章の検討において、津波警報が発表されない可能性のある津波に対して、潮位を定量的に測定できる潮位計の活用を検討した。また、6章の検討において、「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潮位計による津波検知の判断基準（トリガー）を設定した。さらに、7章の検討において、潮位計を用いた防潮ゲート閉止が施設影響を生じる潮位に至るまでに可能かについての「運転操作が時間内に成立するか」の確認を行い、最も時間余裕が短い津波に対し、約9分の余裕時間をもって施設影響が生じる津波を防護可能であることを確認した。以上より、防潮ゲート閉止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できたため、津波検知に潮位計を活用することとした。

本章では、津波検知に潮位計を活用し、防潮ゲート閉止対策を採用した際の、入力津波設定を含む施設影響評価（外郭防護1、外郭防護2、内郭防護、水位変動に伴う取水性低下）について示す。

なお、具体的な評価内容は、第2編の別添1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。

施設影響評価の結果、外郭防護1、外郭防護2、内郭防護、水位変動に伴う取水性低下に対して、いずれも防護可能であることを確認した。この確認結果を踏まえ、潮位計を基準適合に必須な設備と位置づけ、潮位計で津波検知の判断基準に到達した場合の防潮ゲート閉止運用を、基準適合に必須な運用と位置づけることとする。

9. 津波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

9. 1 構外潮位計を用いた運用

9. 1. 1 背景

8章において、入力津波設定を含む施設影響評価を実施した結果、外郭防護1、外郭防護2、内郭防護、水位変動に伴う取水性低下に対して、いずれも防護可能であることを確認した。したがって、基準適合に必要な設備として、潮位計を位置づけ、基準適合に必要な運用として、潮位計で津波検知の判断基準に到達した場合の防潮ゲート閉止運用を位置づける。

本章においては、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、2～8章までの検討における対応に加え、発電所構外の観測潮位を活用し、可能な限り早期に津波に対応する「運用」を検討する。

9. 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。

9. 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（下げ（上げ）のみ）」とし、防潮ゲート閉止判断を早期化。図1に概念図を示す。

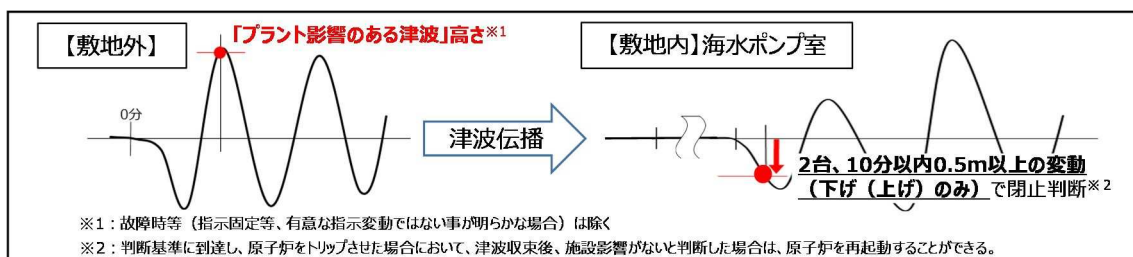


図1 敷地外にて「プラント影響のある津波」を検知した場合の対応の概念図

- 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、輸送車両等の退避、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。

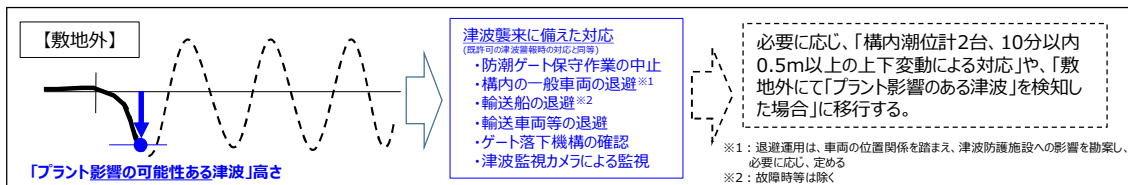


図2 敷地外にて「プラント影響の可能性のある津波」を検知した場合の対応の概念図

(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、各地点における津波シミュレーション結果の時刻歴波形から判断したエリア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。）

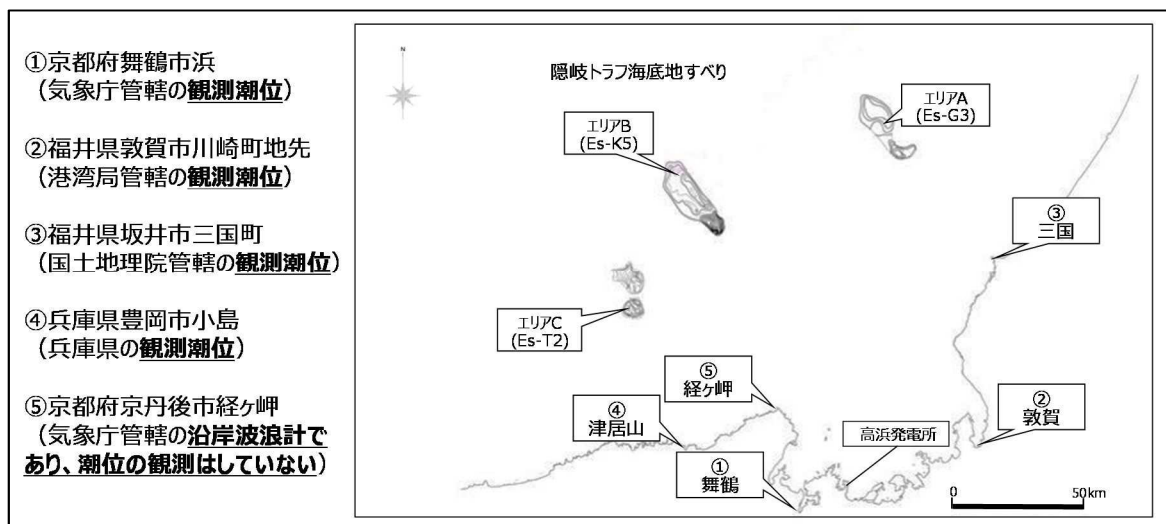


図3 高浜発電所周辺の既往観測潮位地点

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1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉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、
大津波警報相当の津波高さの予測値を観測潮位で把握すること、加えて
津居山及び三国地点の潮位計の観測範囲内であり、最も安全側の判断基
準であることから 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、「潮位が T.P. +1.0m に到達すること」を判断
基準とした場合には誤検知をする可能性がある。津居山及び三国地点の
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ど
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、大津波警報の下限值3m/1.2=2.5mより、保守的に2mと設定。 「プラント影響のある」津波高さの判断基準を「2.0mの上げ又は下げ」とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 気象庁における津波警報は予報区ごとに発表されることから左記の観測値と予測値の比較は予報区ベースで考慮するとその比が1.8程度である。したがって、大津波警報の下限值3m/1.8=1.7mより、保守的に1mと設定。 「プラント影響のある」津波高さの判断基準を「1.0mの上げ又は下げ」とする。
評価	<ul style="list-style-type: none"> 津居山地点及び三国地点の観測範囲の上限を超えており、常時、レンジオーバーでの判断が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 3.0mより安全側の判断基準。 津居山地点は観測範囲内であり採用可。一方、三国地点の観測範囲の上限を超えており、常時、レンジオーバーでの判断が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 2.0mより安全側の判断基準。 津居山地点及び三国地点の観測範囲内であり採用可。 過去最高潮位を踏まえると誤検知の可能性あり。

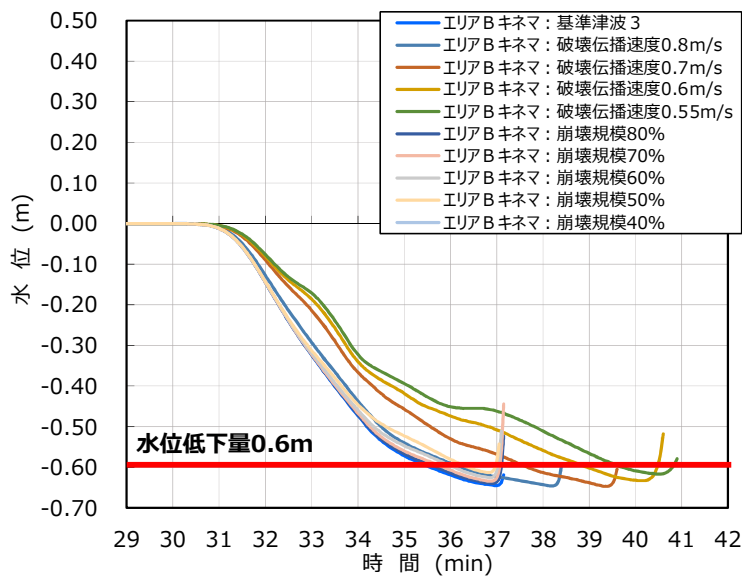
参考：敷地外の観測地点候補の観測範囲

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)

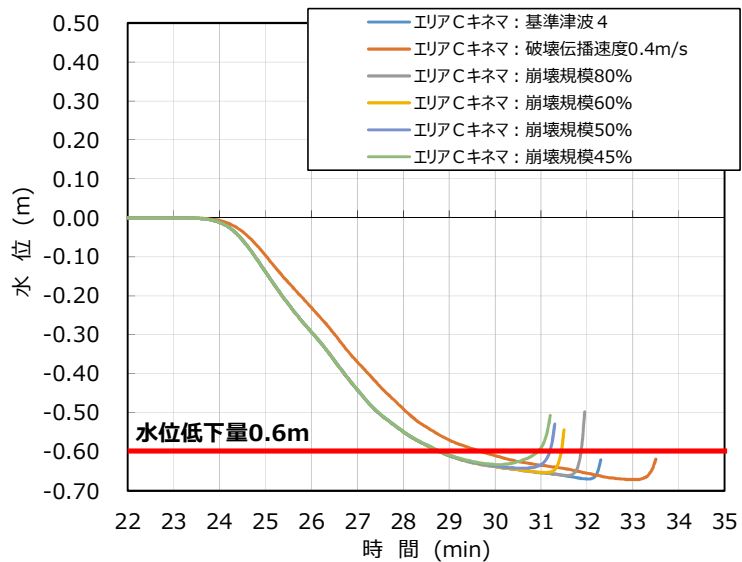
(3) 津居山地点の潮位観測における「プラント影響の可能性のある津波」高さ

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

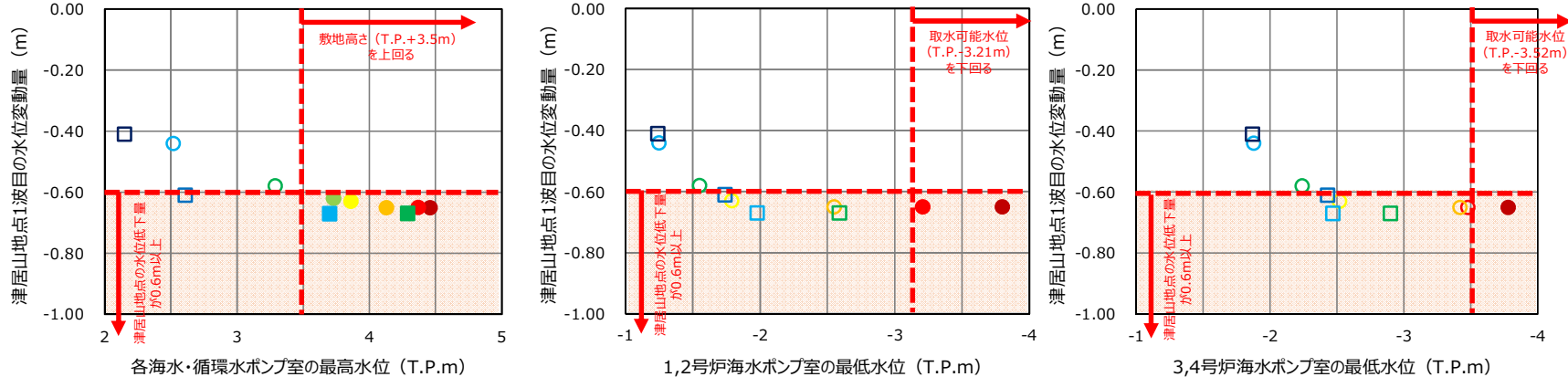
破壊伝播速度のパラメータスタディ結果及び崩壊規模のパラメータスタディ結果について、「津居山地点 1 波目の水位変動量と発電所の最高水位・最低水位の関係」、「1 波目の水位変動量と 0.6m 低下に要する時間の関係」及び「判断基準 (0.6m/10 分) による検知可否」を図 5 及び図 6 に示す。

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。

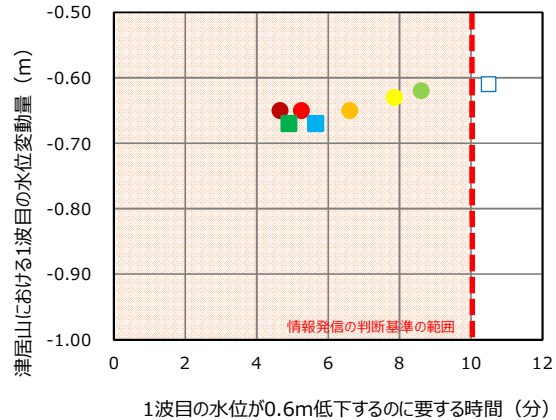
また、津居山地点における 1 波目の水位変動量と 0.6m 低下に要する時間の関係から、津居山地点における 1 波目の水位低下が大きいほど、0.6m 水位低下に要する時間は短いこと、発電所の施設影響ある津波のうち、津居山地点における 0.6m 水位低下に要する時間が 10 分超のケースはないことを確認した。

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]	1,2号 -3.80	-3.21	-2.55	-1.79	-1.55	-1.25
3,4号	-3.78	-3.48	-3.42	-2.52	-2.24	-1.88
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]	1,2号 -2.59	-1.98	-1.74	-1.24
3,4号	-2.90	-2.47	-2.43	-1.87
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	○	○	×	×

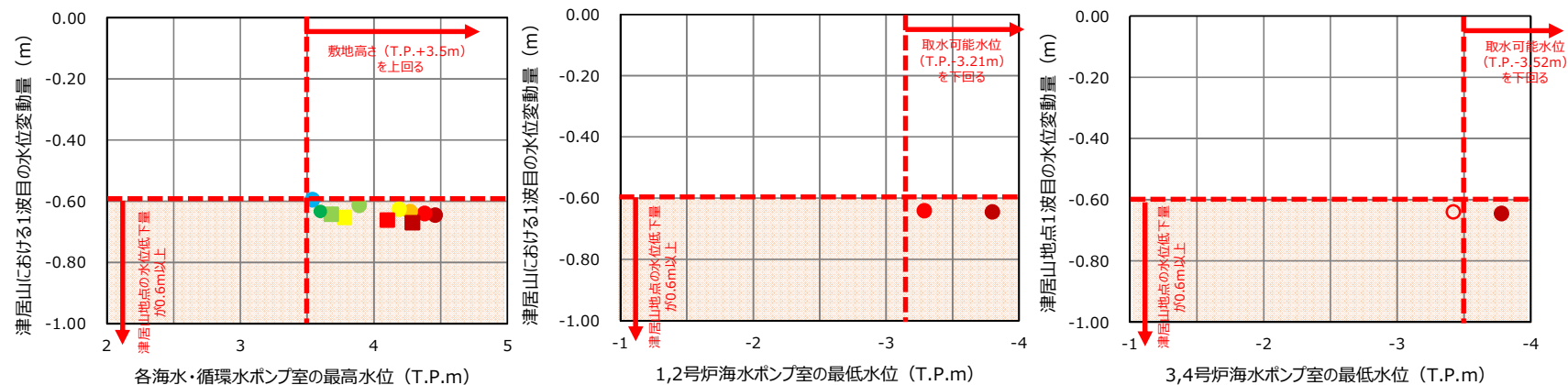
【凡例（塗りつぶし：施設影響あり、白抜き：施設影響なし）】

		エリアB Es-K5 (Kinematic)				エリアC Es-T2 (Kinematic)						
		破壊伝播速度 [m/s]										
		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	No.1,2 SWP	●	●	○	○	○	○	○	□	□	□	□
	No.3,4 SWP	●	○	○	○	○	○	○	□	□	□	□

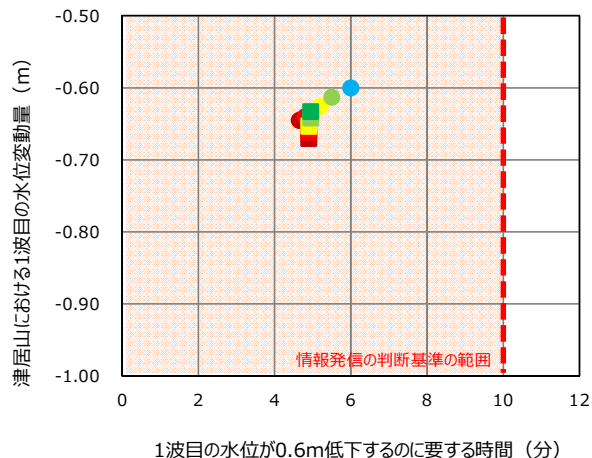
図5 破壊伝播速度のパラメータスタディ結果の検知可否

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	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	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	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 [%]										
		100	80	70	60	50	40	100	80	60	50	45
水位上昇側		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
水位下降側	No.1,2 SWP	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	No.3,4 SWP	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

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。

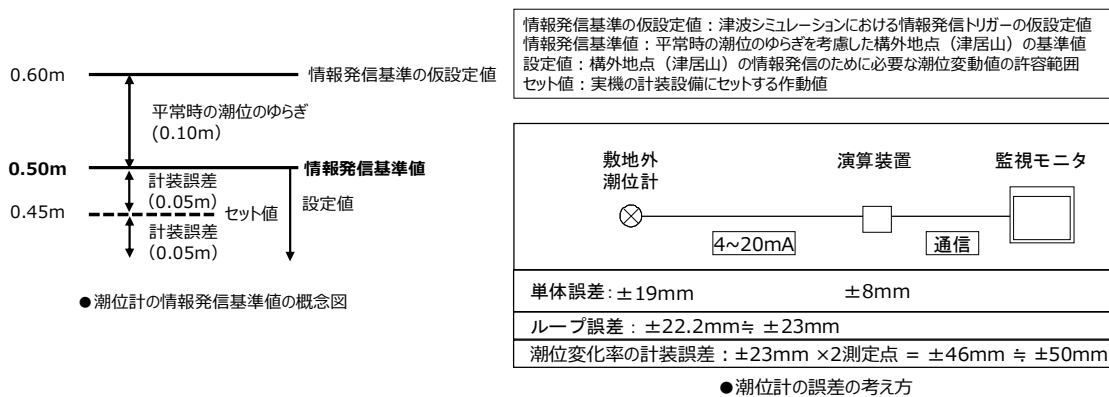
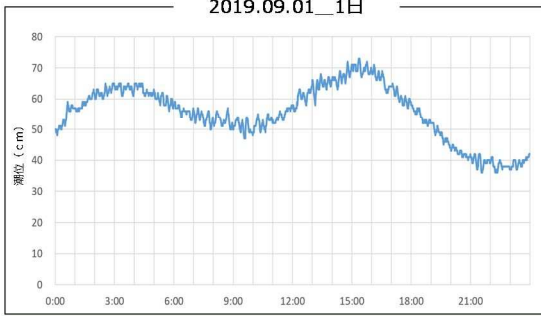


図7 潮位計の情報発信基準

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

●2018年の台風21号の潮位データ 瞬時値 (60秒)

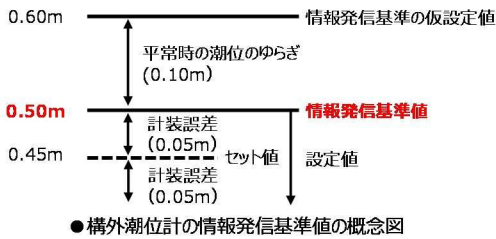


▶津居山地点における通常の潮位変動においては、10分間の変動量が10cm程度である。
 ▶2018年1月～2019年10月における台風時の潮位データを考慮しても、潮汐の変動は大きいところで10分間で27cm程度であった。

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。

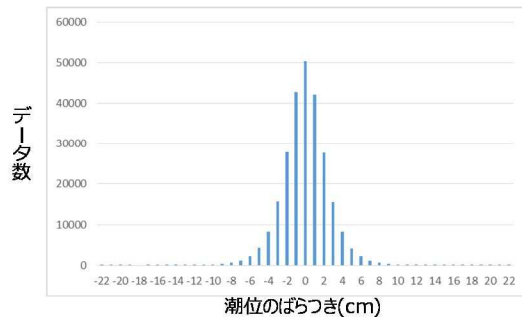
- ・構内における基準津波評価にて考慮する「朔望平均潮位」及び入力津波評価にて考慮する「潮位のばらつき」は、それぞれ過去の潮位データから平均値、標準偏差として算出。
- ・これに倣い、過去6ヶ月分の夏期／冬期の潮位データ観測から、統計的なばらつきを考慮した波高は下表の結果から0.03mと見積もられる。
- ・これを踏まえつつ、**10分間の潮位のゆらぎについては、より保守的に、過去観測のデータの3σの値よりも大きい0.10mを適用。**



●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)

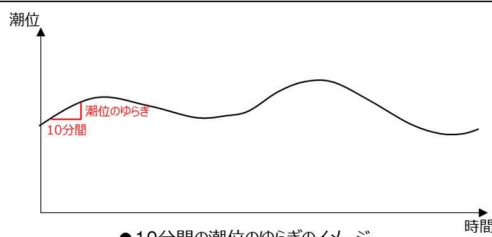


●10分間の潮位のゆらぎのばらつき (過去データ6ヶ月分)

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在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。

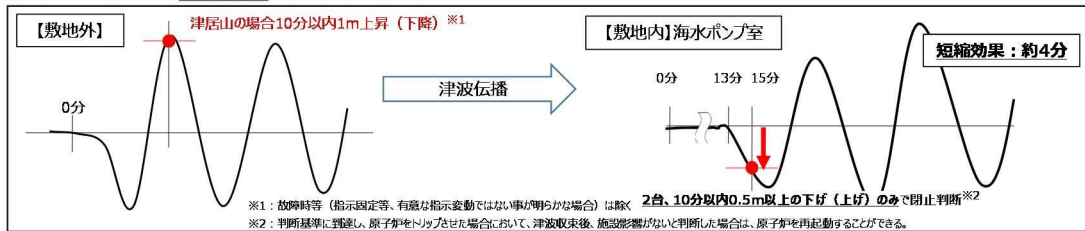
図に示す通り、敷地外の観測潮位において、「プラント影響のある津波」高さを検知した場合は、構内の海水ポンプ室の潮位計において、2台の潮位計で10分間以内に0.5m以上の下げ(上げ)のみで判断をすることとしており、早期の対応を行うものとする。短縮時間の効果としては約4分の短縮効果があると考えている。

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、津波が襲来する備えとして、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、確実に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1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉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。

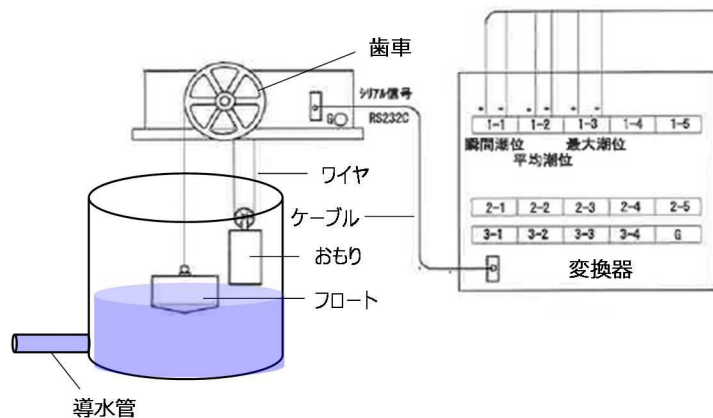


図8 フロート式水位計の概要図(イメージ)

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
ワイヤ断線(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、誤検知の真がある。

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。

9. 2 更なる安全性向上に係る取り組み

9. 2. 1 背景

9. 1 章の検討結果のとおり、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号炉の再稼働までに、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、本章においては、構外の観測潮位の多様性向上に係る将来的な更なる安全性向上の取り組みについて検討する。

9. 2. 2 検討条件

9. 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。

9. 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立できたものは、実施していく。また、その他の津波監視の方法については、技術動向を注視したうえで、より津波監視性を高める形で今後も取り組んでいく。

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）

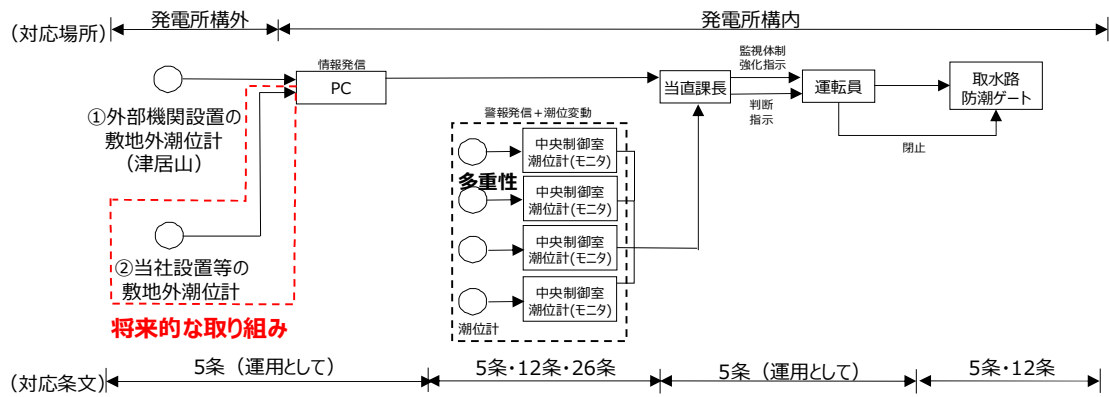


図1 将来的な更なる安全向上の取り組みに係る設備構成のイメージ

9. 3 構外潮位計欠測時の対応

9. 3. 1 背景

津波警報が発表されない可能性のある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。なお、本検討においては、構外の観測潮位の必要性を勘案し、基準適合上の位置づけも整理する。

9. 3. 2 検討条件

構外潮位計は、津波警報が発表されない可能性のある津波に対して、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場合は「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。

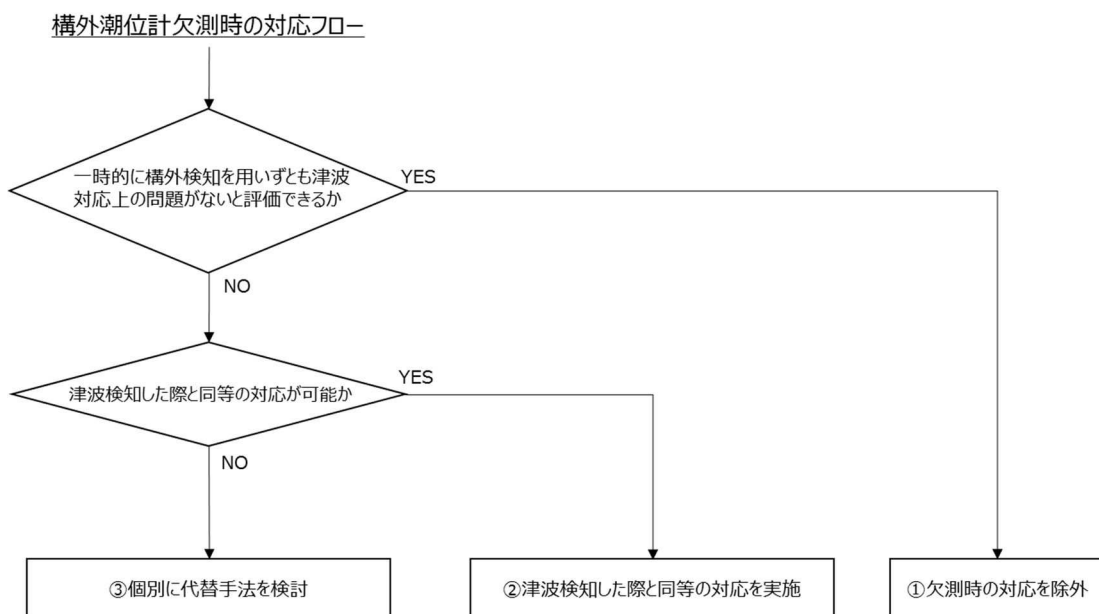


図1 構外潮位計欠測時の対応

9. 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、現地にて可搬型のスケール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。

9. 3. 4 構外の観測潮位の基準適合上の位置づけの整理

構外の観測潮位を活用した対応項目について、それぞれの基準適合上の位置づけを以下の通り整理した。

(1) 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

発電所構外でプラント影響のある津波を検知した場合は、発電所構内の潮位計のうち2台が10分以内に0.5m以上の水位変動を確認した場合に、取水路防潮ゲートを閉止する。なお、構外の観測潮位が欠測した場合は、2台の潮位計で通常とは異なる潮位変動を把握したのちに取水路防潮ゲートを閉止することで、施設影響のある津波を防護可能であることを確認していることから、構外の観測潮位による運用は、基準適合上、必須

とはならない。

(2) 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

a) 取水路防潮ゲート保守作業

取水路防潮ゲート保守作業中に構外の観測潮位が欠測した場合、直ちに作業中断し、作業前の状態に復旧することとしており、この対応により、津波防護可能である。

一方、保守作業の実施の前提は、「構外の観測潮位の欠測等がなく、潮位の確認ができる状態」としており、構外の観測潮位がなければ、保守作業が開始できないことから、構外の観測潮位による運用は、基準適合上、必須である。

b) 構内の一般車両の退避

構内の一般車両の退避は、構外の観測潮位が欠測した場合に、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り、本対応により、津波防護施設への影響を回避することが可能である。

一方、退避の前提は、構外の観測潮位であり、これがなければ、退避が開始できないことから、構外の観測潮位による運用は、基準適合上、必須である。

なお、本運用については、後段規制で必要性及び成立性を改めて確認する。

c) 燃料等輸送船の退避

燃料等輸送船は、津波警報が発表されない可能性のある津波に対して緊急退避しなくとも、漂流物とならないことを確認していることから、構外の観測潮位による運用は、基準適合上、必須とはならない。

d) 輸送車両等の退避

燃料輸送車両及びLLW輸送車両は、津波警報が発表されない可能性のある津波に対して漂流物とならないこと、津波襲来直後の波力による滑動と、その後の定常的な流速に対する滑動によっても、津波防護施設へ衝突することはないと評価しており、構外の観測潮位による運用は、基準適合上、必須とはならない。

e) 取水路防潮ゲート落下機構の確認

「(1) 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」に記載の通り、構内潮位計の運用で取水路防潮ゲートの閉止を実施することで、施設影響のある津波を防護可能であることを確認していることから、構外の観測潮位による運用は、基準適

合上、必須とはならない。

f) 津波監視カメラによる監視

「(1) 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」に記載の通り、構内潮位計の運用で取水路防潮ゲートの閉止を実施することで、施設影響のある津波を防護可能であることを確認していることから、構外の観測潮位による運用は、基準適合上、必須とはならない。

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	構外潮位計2台、10分以内0.5m以上の「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
	ゲート保守作業の中断	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1号及び2号炉中央制御室又は3号及び4号炉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※1	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
	(荷役中以外の場合)※2 輸送船の退避	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
	燃料等輸送 (荷役中の場合)※2 輸送車両等の退避	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	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	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

※1：後段規制において、必要性及び成立性を確認する。

※2：輸送船については荷役中の場合は津波を検知しても退避しないこととしている。輸送車両等については輸送船が荷役中以外の場合は岸壁に輸送車両等はない。