

第三編（耐津波設計方針の検討経緯）

目 次

1. はじめに
 - 1.1 耐津波設計方針の検討経緯
 - 1.2 各章における検討事項の概要
2. 取水路防潮ゲート開状態での敷地への影響と津波波形の特徴
 - 2.1 背景
 - 2.2 評価条件
 - 2.3 評価結果
3. 取水路防潮ゲート開状態の津波水位計算結果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・妥当性確認
 - 6.1 背景
 - 6.2 検討内容・結果
 - 6.3 後段規制における取水路防潮ゲートの閉止判断基準（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. 基準津波の選定
 - 8.1 背景
 - 8.2 基準津波の選定方針
 - 8.3 津波警報等が発表されない場合の評価

8.4 基準津波の選定

9. 取水路防潮ゲート対策の採用による施設影響の確認

10. 津波警報等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

10.1 発電所構外の観測潮位を用いた運用

10.2 更なる安全性向上に係る取り組み

10.3 発電所構外の観測潮位欠測時の対応

1. はじめに

1. 1 耐津波設計方針の検討経緯

2018年12月22日にインドネシアのスンダ海峡にある火山島のアナク・クラカタウの噴火に伴い津波が発生した。本津波の規模の割に被害が大きい要因として、津波警報等が発表されずに津波が来襲したことにもあると考えられている。

新規制基準では、基準津波について、地震以外の要因による津波として、今回インドネシアで発生したような火山現象による津波と地すべり（陸上及び海底）による津波も考慮して策定することを要求している。また、地震による津波と地震以外の要因による津波の組合せを考慮することも要求している。

2019年1月16日時点で、設置変更許可申請し、許可を得た当社の美浜、高浜、大飯発電所では、火山現象による津波も検討対象に含めて申請しているが、火山と原子力発電所との距離や位置関係等により、結果的に基準津波として選定していない。また、地すべりによる津波については、美浜、高浜、大飯発電所のいずれにおいても、その敷地への影響が大きいことから、地震による津波との組合せで、基準津波として選定した。

このような状況の中、高浜発電所については、その敷地が他発電所に比べて低いことから、他発電所で実施している津波防護に加え、取水路防潮ゲートを閉止することによる対策も採用している。具体的には、津波が到達するまでに時間的に余裕のある基準津波の波源である「若狭海丘列付近断層と隠岐トラフ海底地すべり」の組合せの場合には、大津波警報が発表された後に取水路防潮ゲートを閉止する状態で津波高さを評価し、津波防護を達成している。

しかしながら、2018年のインドネシア・スンダ海峡での津波から得られた知見を踏まえると、「隠岐トラフ海底地すべり」を発生要因とする津波の場合には、津波警報等が発表されない可能性がある。

この場合、現状の大津波警報が発表された後に取水路防潮ゲートを閉止する対策では、取水路防潮ゲートが閉止されず、津波が敷地へ到達する可能性があることから、まず、取水路防潮ゲートが閉止できない前提で「隠岐トラフ海底地すべり」を発生要因とする津波の水位計算を行い、押し波時に敷地へ遡上するかの確認と、引き波時に海水ポンプの取水性に影響を与えるかの確認を行った。

その結果、敷地への遡上及び海水ポンプの取水性に影響を与えることを確認したため、発電所構内に津波が浸入することを前提に施設に影響を与えない対策を検討することとした。

対策として、津波警報等が発表されない可能性がある津波の1波目を検知して取水路防潮ゲートを閉止することにより、敷地への遡上及び海水ポンプの取水性に影響を与えることを回避できると考えられたため、本対策の採否を判断するにあたり、取水路防潮ゲート閉止の起因となる津波検知の方法、津波検知の判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性、運用成立性（津波を検知してから、敷地への遡上及び海水ポンプの取水性に影響を与える潮位に至る前に取水路防潮ゲート閉止の運転操作が完了するか）について検討を行った。

その後、これらの検討結果を踏まえて基準津波を設定し、取水路防潮ゲート閉止対策の採用による施設影響を確認するとともに、津波警報等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も検討した。

これら検討項目の概要と検討の流れは、「1. 2 各章における検討事項の概要」に示している。

本編は、このような津波警報等が発表されない可能性がある「隠岐トラフ海底地すべり」を発生要因とする津波の敷地への影響を踏まえた高浜発電所の耐津波設計について、その詳細をまとめたものである。

1. 2 各章における検討事項の概要

本章ではまず、本編で行った検討の概要を示す。津波警報等が発表されない可能性がある津波を、高浜発電所の耐津波設計に取り入れるにあたっては、本章の(1)から(9)の順序で検討を行った。検討フローを図1に示す。

なお、図1のフロー図における2.～10.の検討事項と本章の(1)～(9)の記載内容是对应しており、本編の2章～10章に示す詳細な検討事項の概要を(1)～(9)にそれぞれ示す構成としている。

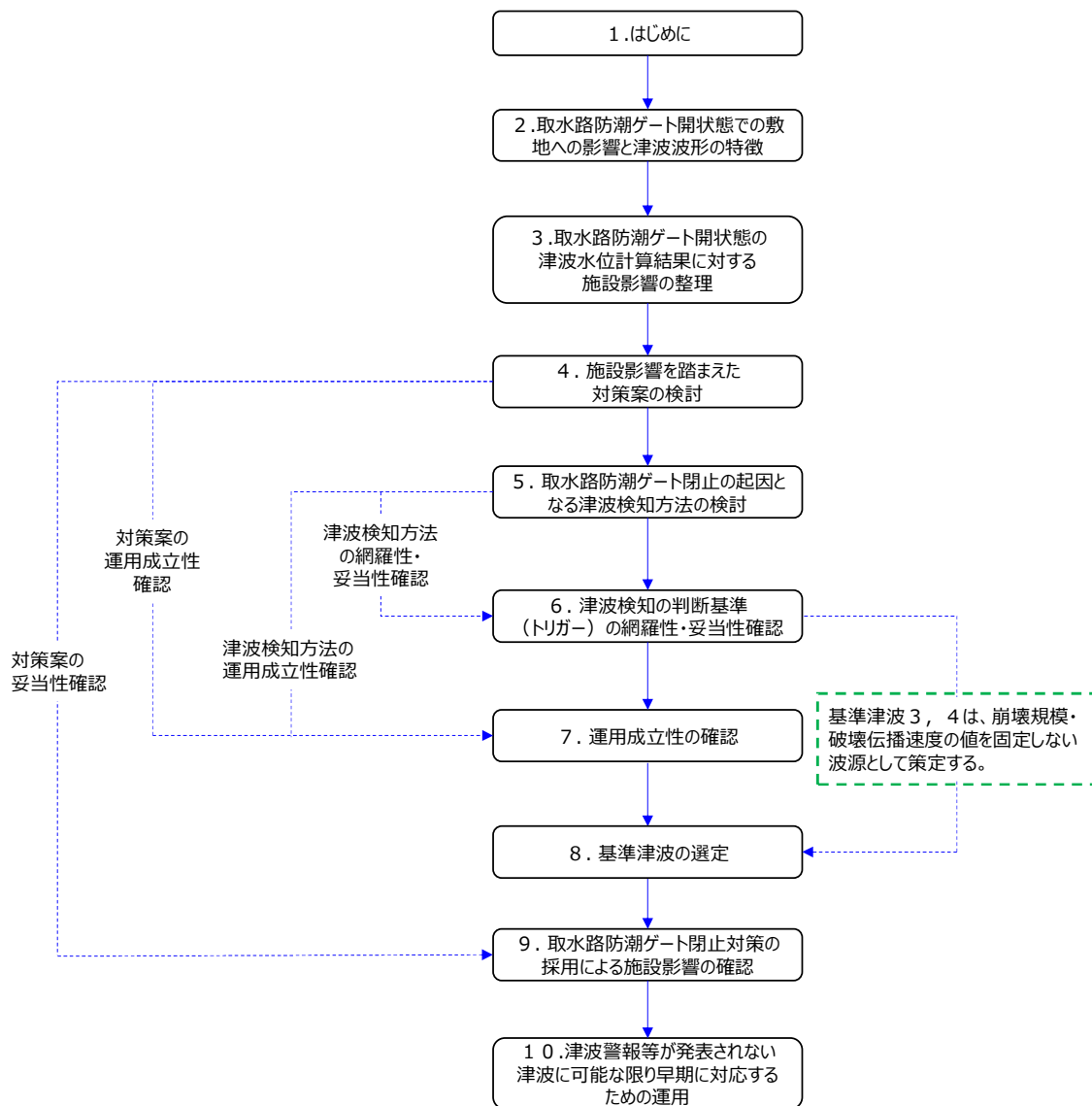


図1 津波警報等が発表されない可能性のある津波の防護方針に係る検討フロー

(1) 取水路防潮ゲート開状態での敷地への影響と津波波形の特徴

- 高浜発電所には津波防護施設として取水路防潮ゲートが設置されている。取水路防潮ゲートは、大津波警報が発表された場合にゲート扉体を取水路中に落下させて取水路防潮ゲートを閉止することにより、発電所敷地への津波の流入防止及び海水ポンプの取水性を確保する設計としているが、津波警報等の発表されない津波が襲来した際には、現状の運用では取水路防潮ゲートを閉止することができないため、津波が敷地へ到達する可能性がある。
- 取水路防潮ゲート開状態で津波警報等が発表されない可能性のある津波が襲来する場合に既許可時に評価対象とした隠岐トラフ海底地すべりのエリアA～Cの最大規模のものに対して、各評価点の津波水位計算を実施した。その結果、「隠岐トラフ海底地すべりエリアB (Es-K5、Kinematic モデル)」と「隠岐トラフ海底地すべりエリアC (Es-T2、Kinematic モデル)」について、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) を下回る水位となることを確認した。なお、以降の説明において、「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」水位となることを「施設影響が生じる」という。また、「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」水位とならないことを「施設影響が生じない」という。
- これらの津波の波形は、「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が生じない」ことを確認した。

(2) 取水路防潮ゲート開状態の津波水位計算結果に対する施設影響の整理

高浜発電所は、襲来のおそれのある津波に対し、敷地が比較的低いという特徴を有するため、(1) で計算した水位の最大値を用い、外郭防護 1、外郭防護 2、内郭防護及び水位変動に伴う取水性低下への影響を確認する。

- 上記に対する影響確認については、「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 (水位上昇側では、海水ポンプ・循環水ポンプの全台停止を想定している) 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については、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。
- この結果、既許可で確認済みの対策での評価の場合は、水位上昇側、水

位下降側ともに、施設影響が生じることを確認した。

- この評価結果を踏まえ、対策を検討した。

(3) 施設影響を踏まえた対策案の検討

- (2) の施設影響の評価結果と高浜発電所の敷地が比較的低いという特徴を踏まえ、津波防護対策案として、まず、防護壁や貯水堰、海水ポンプ改造等を検討した。その結果、「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。また、水位下降側の対策である貯水堰の設置や海水ポンプの改造・移設は、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。また、(2) の結果より、津波警報等が発表されない可能性のある津波の1波目を確認し、取水路防潮ゲートを閉止することにより施設影響が生じることを回避できるものと考えられる。ただし、津波警報等が発表されない可能性のある津波の特性を考慮すると、「防潮ゲート」による対策の採否の判断に当たり、取水路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) 取水路防潮ゲート閉止の起因となる津波検知の方法

- 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、「施設影響が生じるケース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」という津波検知の判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性の確認が必要である。また、「津波を検知してから、施設影響が生じる潮位に至る前に取水路防潮ゲート閉止の運転操作が完了するか」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、津波検知の判断基準（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。
- 以降、第三編では、「構内の潮位観測系統」について、「津波監視設備」と「津波防護施設」を区別し、前者を「潮位計（監視用）」、後者を「潮位計（防護用）」と表現し、明確に識別することとする。

(5) 津波検知の判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性確認

- 津波検知の判断基準（トリガー）の設定に当たっては、「施設影響が生じるケース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、網羅性・妥当性を確認する必要がある。津波検知の判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性の確認は以下の順序で行った。
 - ①：施設影響が生じる波源の津波波形の特徴を確認。
 - ②：通常（平常時、台風時）の潮位変動の確認。
 - ③：①と②から津波検知の判断基準（トリガー）の仮設定の実施。
 - ④：隠岐トラフ海底地すべりのうち、エリアA～Cの各エリアで規模が2位以下の海底地すべりに対し津波水位計算を行った結果、(1)で計算したエリアBとエリアCの最大規模のもの（エリアB（Es-K5, Kinematic モデル）及びエリアC（Es-T2, Kinematic モデル）のみが施設影響が生じる波源であることを確認した。その上で、この2つの波源に対し、「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、施設影響が生じるケースが全て検知できるかの確認を行った。

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」（これらの観点については6章で詳述する）で、再度、安全側に仮設定値を設定した。そのうち、津波の時刻歴波形を有するケースについては、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行い、仮設定値を再設定した。

これらに対し、過去観測データから算出した10分間の潮位のゆらぎの最大約0.10mを考慮した上で、さらに余裕を加味し、津波検知の判断基準（トリガー）（以下「取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）」という。）を以下のとおり設定した。

 - 潮位計（防護用）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（防護用）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。
- 今回の申請では、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）は設置許可としての基本設計の条件において、施設影響が生じるケースを網羅的に検知できるよう、裕度をもって設定した。
- さらに設工認では、潮位計（防護用）の計装誤差の詳細設計の条件において影響評価を行い、詳細設計においても支障なく津波を検知できることを確認する。
- また、敷地高さに最近接する波形を保守的に設定したうえで、入力津波評価を設定し、敷地に影響を及ぼさないことの確認や1波目の水位

低下量から取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）で検知できることを確認する。

- (6) 運用成立性(津波を検知してから、施設影響が生じる潮位に至る前に取水路防潮ゲート閉止の運転操作が完了するか)の確認
- 潮位計（防護用）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、「津波を検知してから、施設影響が生じる潮位に至る前に取水路防潮ゲート閉止の運転操作が完了するか」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時間が短くなるケースとして、崩壊規模・破壊伝播速度を最大とした場合の「海底地すべりエリア B（Es-K5、Kinematic モデル）」による津波を選定した。
 - 運転操作の一連の対応を以下に示す。まず、潮位計（防護用）1台において、潮位が10分以内に0.5m下降、若しくは上昇した時点で各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い、潮位が取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）に到達したことを確認（以下、この条件成立の確認を「取水路防潮ゲートの閉止判断基準を検知」という。）した時点で、各中央制御室の当直課長が連絡を取り合い、最終的に1、2号の当直課長は運転員へ取水路防潮ゲート閉止等の操作を行うことを指示する。なお、この一連の対応において、1号及び2号炉の当直課長は、3号及び4号炉の当直課長が確認した3号及び4号炉側の有線による潮位データを確認する。よって、結果して、1号及び2号炉の当直課長は、有線の電路を用いた4台の潮位計（防護用）の情報を集約しており、1～4号炉の有線電路による潮位データにより取水路防潮ゲートの閉止を判断することとなる。
 - 上記の一連の対応において、警報発信から取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の検知まで最短でも約5分の対応時間を有しており、この間に1号及び2号炉運転員が取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の検知を確認することと、1号及び2号炉運転員並びに3号及び4号炉運転員が取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した場合に速やかに対応するための情報連携ができることを確認した。
 - 取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した後は、循環水ポンプ停止及びユニットトリップ操作等の運転操作及び機器動作を5分で完了後、取水路防潮ゲートを1分で閉止する運用としている。なお、取水路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。
 - (5)で実施した取水路防潮ゲートの閉止判断基準（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、運転操作により取水路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取水路防潮ゲート前面に到達するまでの時刻を算出し、運転操作による取水路防潮ゲート閉止に対する余裕時間を評価した結果、約 9～15 分の余裕時間があり、施設影響が生じる前に確実に取水路防潮ゲートを閉止できることを確認した。

(7) 基準津波の選定

(1)～(6)の検討を踏まえ、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) 施設影響が生じる波源がない場合の選定方針

施設影響が生じる波源がない場合には、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。ただし、同一の評価点における最高水位・最低水位が同程度のケースが複数ある場合は、基準津波としては、他の評価点における最高水位・最低水位の影響が大きなケースを代表として選定する。

B) 施設影響が生じる波源がある場合の選定方針

耐津波設計における津波防護の観点では、施設影響が生じる全てのケースに対して安全機能を損なわないことが求められる。耐津波設計では基準津波を用いて検討を行うことから、施設影響が生じる波源がある場合は、それらを全て基準津波として選定する。

C) 津波警報等が発表されない場合の留意点

津波警報等が発表されない場合には津波警報等に基づく取水路防潮ゲート閉止ができないため、耐津波設計においては、ゲート内への津波の浸入を前提としながら施設の安全性を損なわない設計とする必要がある。したがって、耐津波設計において施設影響が生じる津波波形を網羅的に確認できるように基準津波を策定する必要がある。

具体的には、津波警報等が発表されない場合の対象波源である海底地すべりでは、想定される最大規模・最速の崩壊に対して部分的な崩壊や遅い崩壊となる可能性があるが、その場合でも施設影響が生じる津波は発生し得る。このため、B)に基づいて施設影響が生じる波源を基準津波として選定する場合には、基準津波の波源としては、施設影響が生じる全ての海底地すべりを選定した上で、それぞれの海底地すべりにおける崩壊の規模及び速度の値は固定しないこととする。

具体的には、①、②の評価を行う。また、②の評価結果を踏まえて③でこれを用いた耐津波設計での検討内容を記載する。

①既許可時の評価

- 既許可では、津波警報等が発表されるため、これに基づく取水路防潮ゲート閉止を前提とする。
- 大津波警報を受け、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、津波到達に対して取水路

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。

- 大津波警報を受け取水路防潮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津波警報等が発表されない場合(今回評価)

- 津波警報等が発表されない津波の場合は、取水路防潮ゲート閉止ができない前提とする。
- 津波警報等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)」のみであり、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。
- 選定方針のC)に基づき、基準津波の波源としては、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、基準津波3及び基準津波4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)」において崩壊規模及び破壊伝播速度の値を固定しない波源として策定する。ただし、崩壊規模及び破壊伝播速度は、施設影響が生じる波源の確認において用いた値を上限とする。

③津波警報等が発表されない場合の基準津波の選定結果を踏まえた耐津波設計での検討事項

②で選定した基準津波3及び基準津波4で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路から海水ポンプ室に至る経路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及び基準津波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(防護用)で取水路防潮ゲートの閉止判断基準(トリガー)となる水位変動量を検知した場合に、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。よって、安全設計上、施設影響が生じるケースをすべて検知できる取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の設定が必須である。そこで、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すべて検知できるように取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を設定する。海底地すべりを波源とする津波は、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。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値としないことから、これらのパラメータスタディによって施設影響が生じるケースを網羅的に検知できる取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を設定する。

これらの基準津波3及び基準津波4を用いた耐津波設計における検討結果は（1）～（5）のとおり。

（8）取水路防潮ゲート閉止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、設置許可の基本設計の条件下で、取水路防潮ゲート対策採用の前提条件である取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の網羅性・妥当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（防護用）を活用することとし、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を、「潮位計（防護用）のうち、2台の観測潮位がいずれも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。
- この取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の水位変動量を潮位計（防護用）で検知した場合に、取水路防潮ゲートを閉止する対策を踏まえ、（7）で選定した基準津波3、4に対し、「最高・最低水位を設定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）が既許可の評価から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、構内の一般車両は、既許可では津波防護施設に対する漂流物となる可能性は否定できないものとして整理していたが、車両のモバイル性を活用し、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。なお、退避運用の必要性及び成立性については、詳細設計段階で確認する。
- 以上より、設定した取水路防潮ゲートの閉止判断基準（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。

- (9) 津波警報等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、津波警報等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思われる。そのため、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、三国地点及び津居山地点では、フロート式水位計が1台設置されている。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)～(8)までの潮位計(防護用)を用いた取水路防潮ゲート閉止に係る対応に加え、発電所構外の観測潮位を用い、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 発電所構外にて「プラント影響のある津波」を検知した場合
潮位計(防護用)での取水路防潮ゲートの閉止判断基準(トリガー)を「10分以内0.5mの「変動(下げ(上げ)のみ)」とし、取水路防潮ゲート閉止判断を早期化する。
 - ② 発電所構外にて「プラント影響の可能性のある津波」を検知した場合
発電所構外の観測潮位で検知した段階で、取水路防潮ゲートの落下機構の健全性確認など(取水路防潮ゲートの保守作業の中止、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)、津波関連施設の状態を確認し津波襲来に備える。
 - 発電所構外における「プラント影響のある津波」は、観測潮位で大津波警報相当の津波高さ(津波高さ3.0m超)予測値を把握することで判断するが、水位T.P.+3.0m、T.P.+2.0m及びT.P.+1.0mの判断基準案から、津居山地点の観測潮位の観測範囲を加味して、安全側の判断基準となるT.P.+1.0mを採用する。ただし、過去最高潮位が台風時の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、時間軸の判断基準を加えて、「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、発電所構外における「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に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。

- 発電所構外の観測潮位が欠測した場合の対応は、発電所構外の観測潮位は可能な限り早期に対応する観点で活用するものであるため、一時的に津居山地点での観測潮位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対応を除外する。また、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し対応する。

2. 取水路防潮ゲート開状態での敷地への影響と津波波形の特徴

2. 1 背景

1. 1章で示した通り、2018年のインドネシア・スンダ海峡での津波から得られた知見を踏まえると、「隠岐トラフ海底地すべり」を発生要因とする津波の場合は、津波警報等が発表されずに津波が敷地に到達し、施設に影響を及ぼす可能性がある。しかしながら、既許可では、取水路防潮ゲートが開いた状態における津波高さ、遡上域及び津波防護の評価は行っていない。

以上の状況を踏まえ、本章では、「海底地すべりに起因する津波」について「津波警報等が発表されない場合」の、津波高さ、遡上域及び津波防護の評価を新たに実施する。

2. 2 評価条件

既許可の津波評価では、「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」について検討している。一方で、今回の評価対象である津波警報等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「津波警報等が発表されない場合」の評価を新たに実施する。

津波水位計算の実施にあたり、計算手法および計算条件は基本的には既許可（2016.4.20許可）の基準津波の策定で実施した計算手法および計算条件と同じとする。ただし、津波警報等が発表されない場合の津波水位計算については、取水路防潮ゲートの開閉条件、ポンプ取水条件について次に示す条件で実施する。

取水路防潮ゲートの開閉条件については、津波警報等が発表されない場合は取水路防潮ゲート閉止ができないことから、取水路防潮ゲートは「開（4門開）」とする。ポンプ取水条件については、津波警報等が発表されない前提を踏まえ、水位下降側の水位評価では循環水ポンプは「取水あり」とし、水位上昇側の水位評価では循環水ポンプは保守的に「取水なし」とする。

津波警報等が発表されない場合の津波として、「隠岐トラフ海底地すべり」による津波について、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。

2. 3 評価結果

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。エリアC (Kinematicモデル) でも、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。また、表1の津波水位計算結果に、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) を加味した値を、表2に示す。

また、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海底地すべりエリアB (Kinematicモデル) と海底地すべりエリアC (Kinematicモデル) の時刻歴波形を確認した結果、図1のとおり、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」ということが確認できた。

本津波水位計算結果を踏まえ、3章では、表2の値を用いて、外郭防護1、外郭防護2、内郭防護及び水位変動に伴う取水性低下のうち、海水ポンプ取水性への影響の確認を行う。

また、図1に記載の海底地すべりエリアB (Kinematicモデル) と海底地すべりエリアC (Kinematicモデル) の津波波形の特徴を踏まえ、4章にて津波防護対策案の検討、5章にて津波検知方法の検討を行う。

表1 海底地すべりの津波評価結果

数字は、T.P.(m)

	取水路防波ゲート	水位上昇							水位下降			
		取水路防波ゲート前面	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

表2 海底地すべりの津波評価結果(潮位のばらつき、高潮裕度を加味した値)

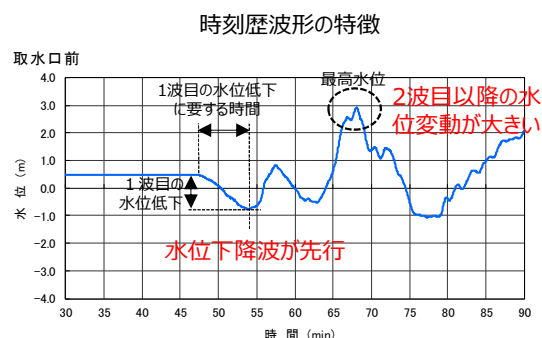
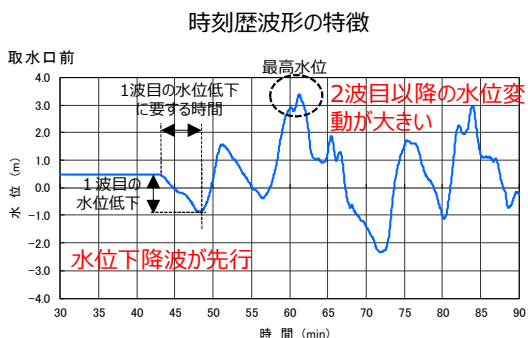
数字はT.P.(m)、青字は施設影響が生じる値

	取水路防波ゲート	水位上昇							水位下降			
		取水路防波ゲート前面	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	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	開	2.6	3.0	2.8	2.8	3.2	2.3	2.4	-1.4	-1.5	-2.4
エリアB (Es-K5)	Watts他の予測式	開	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	開	4.3	4.5	4.4	4.4	4.4	4.4	4.6	-3.7	-3.8	-3.8
エリアC (Es-T2)	Watts他の予測式	開	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	開	3.8	4.3	4.0	4.1	4.3	4.3	4.5	-2.5	-2.6	-2.9
施設影響が生じる高さ			8.5	3.5	3.5	3.5	3.5	8.0	8.0	-3.2	-3.2	-3.5

(上昇側：敷地高さ・防波ゲート高さ・防波堰高さ、下降側：取水可能水位)

●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)

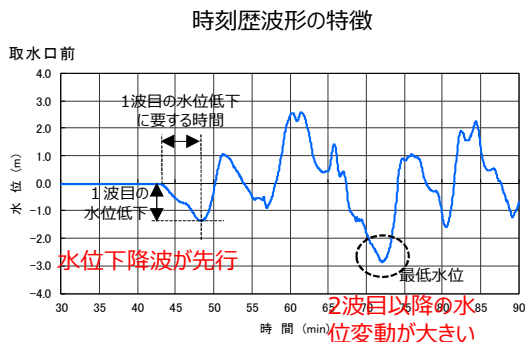


図1 隠岐トラフ海底地すべりを波源とする津波の波形の特徴

3. 取水路防潮ゲート開状態の津波水位計算結果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、敷地が比較的低いという特徴を有する。本章では、2章で実施した取水路防潮ゲート開状態の津波水位計算結果に対して施設影響が生じるか否かを確認する。

3. 2 評価条件

取水路防潮ゲート開状態の津波水位計算結果に対して施設影響が生じるか否かの確認については、「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海底地すべりエリアB（Kinematicモデル）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（2章の表2の水位）に対し、外郭防護1、外郭防護2、内郭防護及び水位変動に伴う取水性低下への影響を確認した。

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、取水路防潮ゲート開状態では、一部設備において、既許可で確認済みの対策による評価及び実力評価のいずれにおいても、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、取水路防潮ゲート開状態では、既許可で確認済みの対策での評価及び実力評価のいずれにおいても、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
			放水ビット				
	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。

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、既許可で確認済みの対策での評価において、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、1 号炉及び 2 号炉海水ポンプが機能喪失することはない。一方、既許可で確認済みの対策での評価において、3 号炉及び 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、3 号炉及び 4 号炉海水ポンプが機能保持できない。参考として、実力評価まで考慮した場合は、3 号炉及び 4 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、3 号炉及び 4 号炉海水ポンプが機能喪失することはない。

なお、以上の評価結果は取水路防潮ゲート開状態におけるものであり、4 章から 7 章の評価結果より、外郭防護 1 の津波防護施設として、潮位計（防護用）を登録し、潮位計（防護用）による津波検知情報をもとに、取水路防潮ゲート（既許可において外郭防護 1 として登録済み）を閉止する対策を採用する。これにより、1 号炉海水ポンプ室前面の水位上昇側の入力津波高さは T. P. +2. 6m（高潮裕度を考慮した場合、T. P. +3. 1m）、2 号炉海水ポンプ室前面の水位上昇側の入力津波高さは、T. P. +2. 6m（高潮裕度を考慮した場合、T. P. +3. 1m）、3、4 号炉海水ポンプ室前面の水位上昇側の入力津波高さは、T. P. +2. 9m（高潮裕度を考慮した場合、T. P. +3. 4m）、3、4 号炉循環水ポンプ室前面の入力津波高さは T. P. +2. 9m（高潮裕度を考慮した場合、T. P. +3. 4m）となる。この結果より、いずれの水位（高潮裕度を考慮した場合含む）も各号炉の海水ポンプ機能保持水位（1 号炉及び 2 号炉：T. P. +4. 67m、3 号炉及び 4 号炉：T. P. +3. 85m）を下回ることから、潮位計（防護用）及び取水路防潮ゲートは、外郭防護 2 としては、登録しない。

入力津波設定の詳細は、第二編別添 1 の 1. 6 章を、入力津波に対する外郭防護 2 の評価結果の詳細は、第二編別添 1 の 2. 3 章を参照。

※：1 号炉海水ポンプ室、1 号炉循環水ポンプ室、2 号炉海水ポンプ室、2 号炉循環水ポンプ室及び 3、4 号炉海水ポンプ室を指す。詳細は、第二編別添 1 の 2. 3 章を参照。

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、1, 2号炉は、既許可で確認済みの対策での評価において、浸水防護重点化範囲の境界壁には、水密扉を設置し、貫通部止水処置を施していることから、津波の流入はないと考えられる。一方、3, 4号炉は、既許可で確認済みの対策での評価において、津波は流入すると考えられる。参考として、実力評価まで考慮した場合は、3, 4号炉にも、水密扉を設置し、貫通部止水処置を施していることから、津波の流入はないと考えられる。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、隠岐トラフ海底地すべりを発生要因とする津波は、地震随伴津波ではないことから、当該箇所の破断は想定されないため、上記の津波の流入以外については考慮する必要はない。

なお、以上の評価結果は取水路防潮ゲート開状態におけるものであり、4章から7章の評価結果より、外郭防護1の津波防護施設として、潮位計（防護用）を登録し、潮位計（防護用）による津波検知情報をもとに、取水路防潮ゲート（既許可において外郭防護1として登録済み）を閉止する対策を採用する。これにより、1号炉海水ポンプ室前面の水位上昇側の入力津波高さはT.P.+2.6m（高潮裕度を考慮した場合、T.P.+3.1m）、2号炉海水ポンプ室前面の水位上昇側の入力津波高さは、T.P.+2.6m（高潮裕度を考慮した場合、T.P.+3.1m）、3, 4号炉海水ポンプ室前面の水位上昇側の入力津波高さは、T.P.+2.9m（高潮裕度を考慮した場合、T.P.+3.4m）、3, 4号炉循環水ポンプ室前面の入力津波高さはT.P.+2.9m（高潮裕度を考慮した場合、T.P.+3.4m）となる。この結果より、いずれの水位（高潮裕度を考慮した場合含む）も浸水防護重点化範囲^{*}の境界壁が設置されているT.P.+3.5mを下回ることから、潮位計（防護用）及び取水路防潮ゲートは、内郭防護としては、登録しない。

入力津波設定の詳細は、第二編別添1の1.6章を、入力津波に対する内郭防護の評価結果の詳細は、第二編別添1の2.4章を参照。

※：津波防護対象設備（津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備及び非常用取水設備を除く。）を内包する建屋及び区画を指す。詳細は、第二編別添1の2.4章を参照。

(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。取水路防潮ゲート開状態では、既許可で確認済みの対策での評価及び実力評価のいずれにおいても、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。施設への影響という観点において、既許可で確認済みの対策での評価の場合、水位上昇側、水位下降側ともに、施設影響が生じることを確認した。

参考として、実力評価まで考慮した場合、水位上昇側については、施設影響は生じ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施設影響が生じることを確認した。

上記の評価結果を踏まえ、4章では、津波防護対策案の検討を実施する。

表5 取水路防潮ゲート開状態の津波水位計算結果に対する施設影響まとめ

評価項目		施設に対する具体的な影響			
		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）		
(E-si-K5、Kinematichell)	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ベ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ベ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章の施設影響が生じるか否かの評価結果より、隠岐トラフ海底地すべりによる津波は津波警報等が発表されないことから、取水路防潮ゲートが「開」となり、この場合、水位上昇側、水位下降側ともに施設影響が生じることを確認した。この確認結果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、「取水路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②貯水堰は「耐震性を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。また、下降側の対策である貯水堰の設置や海水ポンプの改造・移設は、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」での対策は取水路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できる可能性がある。

したがって、「⑤防潮ゲート」の活用を前提とするが、隠岐トラフ海底地すべりによる津波は津波警報等が発表されずに襲来すること、また、2章で確認した「1波目より2波目以降の方が水位変動量大きい」、「1波目の水位変動量では施設影響は生じない」という特徴を踏まえると、「取水路防潮ゲート閉止の起因となる津波検知方法、判断基準(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が生じる潮位に至る前に取水路防潮ゲートの閉止ができる時間的成立性(運用成立性)」の確認が必要であり、これらを評価の上で、検知の不確実性に対する対応を設計に反映し、取水路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 海水ポンプ（改造・移設）	④ ①防護壁＋②貯水堰 or ①防護壁＋③海水ポンプ	⑤ 防潮ゲート （既許可対策）
隠岐トラフ海底地すべりエリアB (Es-K5、Kinematicモデル)	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、速やかにプラットフォーム安全性向上が可能 ・本対策のみで、敷地遡上及び、海水ポンプの取水性への影響を防止可能
	デメリット		・耐震性確保した防護壁の設置が条件	・海水ポンプ取水性確保 ・循環水ポンプによる海水ポンプ取水性能への影響回避 ・耐震性を確保した貯水堰の設置（配置成立性の確認含む）	・海水ポンプ取水性確保 ・海水ポンプ設計の抜本的見直し		・防潮ゲート閉止の起因となる津波検知方法の妥当性・網羅性（検知の不確実性に対する対応含む）の確認が必要 ・津波検知からゲート閉止の時間成立性の確認が必要

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

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

4章で述べたとおり、津波警報等が発表されない津波に対しては、取水路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、大津波警報の発表を受け、取水路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津波は、津波警報等が発表されない可能性があるため、海底地すべりを波源とする津波襲来を検知し、適切に取水路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及び潮位計（監視用）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。

既許可の津波監視カメラ及び潮位計（監視用）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。津波高さ計測を目的として、1号炉及び2号炉共用設備である潮位計（監視用）は、1号炉海水ポンプ室 T.P. +7.1m に1台、3号炉及び4号炉共用設備である潮位計（監視用）は、3、4号炉海水ポンプ室 T.P. +4.6m に2台設置する。津波監視カメラ設置位置は津波遡上範囲になく、潮位計（監視用）設置高さも、波力及び漂流物の影響を受けない設計とする。

（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。既許可の津波監視カメラの設備構成を図2に示す。

1号炉及び2号炉共用設備である潮位計（監視用）は、上昇側及び下降側の津波高さを計測できるよう、T.P. 約-9.9m～T.P. 約+6.6m を測定範囲とし、1号及び2号炉中央制御室にて監視可能な設計としている。3号炉及び4号炉共用設備である潮位計（監視用）は、T.P. 約-4.0m～T.P. 約+4.0m を測定範囲とし、3号及び4号炉中央制御室にて監視可能な設計としている。既許可の潮位計（監視用）の設備構成を図3に示す。

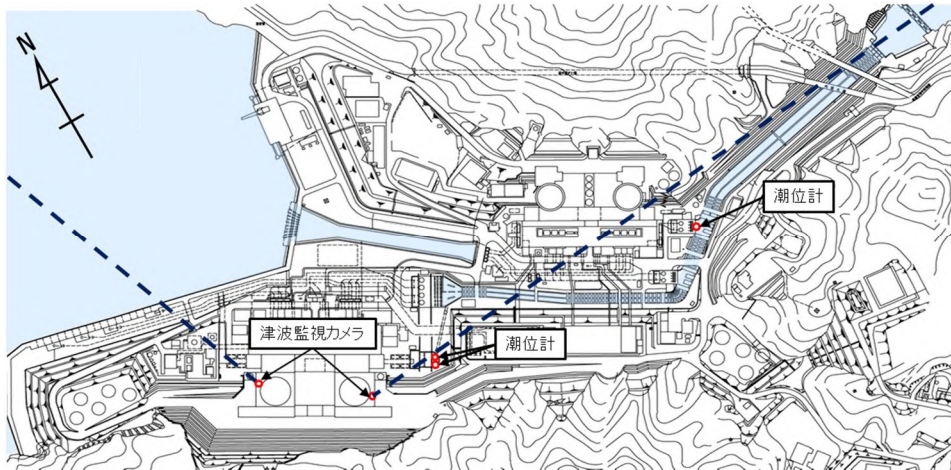


図1 既許可の津波監視関係設備配置図

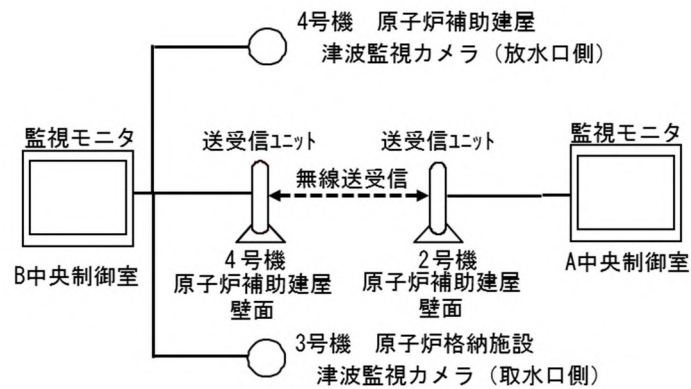
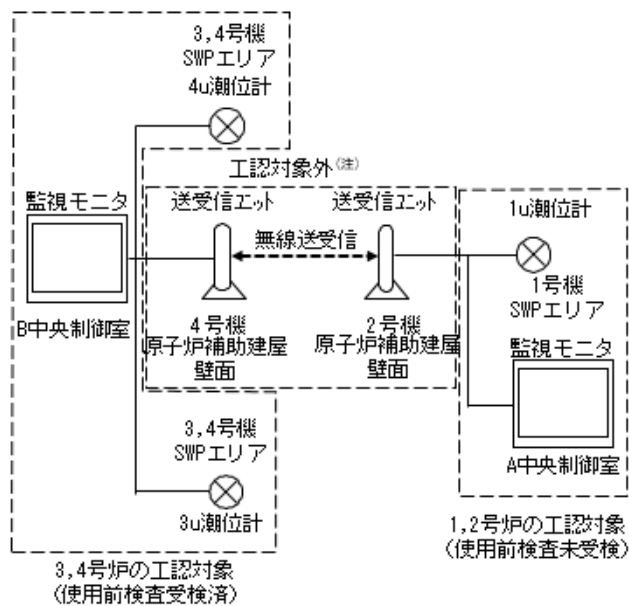


図2 既許可の津波監視カメラの設備構成



注：技術基準適合上は必須ではないが、申請範囲外にて送受信ユニットを用い、1,2号炉及び3,4号炉中央制御室にて他号炉の潮位を参照できるようにしている。

図3 既許可の潮位計（監視用）の設備構成

5. 3 検討結果

(1) 取水路防潮ゲート閉止のための設備選定

津波検知後に取水路防潮ゲートを閉止する場合、取水路防潮ゲートが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（防護用）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、定量的な潮位把握が困難な津波監視カメラではなく、定量的に潮位を把握可能な潮位計（防護用）の活用を検討する。

ただし、潮位計（防護用）を活用した取水路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、取水路防潮ゲートを閉止することから、「施設影響が生じるケースの見逃し、津波以外の誤検知の観点で問題ないか」、また、「津波を検知してから、施設影響が生じる潮位に至る前に取水路防潮ゲート閉止の運転操作が完了するか」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、潮位計（監視用）による過去の観測データから、これらを評価し、採否を判断することとした。この検討結果を6章で述べる。

(2) 潮位計（防護用）の仕様

潮位計（防護用）は、潮位検出器、送受信ユニット、電源箱、演算装置、監視モニタ等（電源系含む）で構成しており、この構成を図4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（防護用）は、取水路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な主要構成部品である潮位検出器、送受信ユニット及び監視モニタ（電源系を含む）を申請範囲として明記することとし、申請範囲の潮位計（防護用）の仕様を表1に示す。

既許可の潮位計（監視用）は、1号炉、3号炉及び4号炉の海水ポンプ室に合計3台設置しているが、取水路防潮ゲートと同等の設計にすることから多重化（2台目）し、またこれに加えて信頼性向上を図る（試験可能性や単一故障を考慮する）設計（3台目）とし、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する。ただし、実運用を考慮し、運用性の更なる向上のため、予備の潮位計（防護用）を1台追加することから、2号炉にも1台追加し、4台構成とする。なお、7.3章の「7.3.8 潮位計（防護用）の測定点の妥当性」で述べるとおり、いずれの潮位計（防護用）

でも施設影響が生じるケースを漏れなく検知でき、2チャンネルによる検知がどのような組み合わせでも、取水路防潮ゲート閉止判断に差異を生じないものとすることを確認している。よって、閉止判断に用いる潮位計（防護用）は4台中3台の機能が健全であれば良く、予備は固定しない。潮位計（防護用）の各構成機器の基準適合性、基準適合性を踏まえた潮位計（防護用）の設計方針及び仕様等の詳細は、7.3章で述べる。

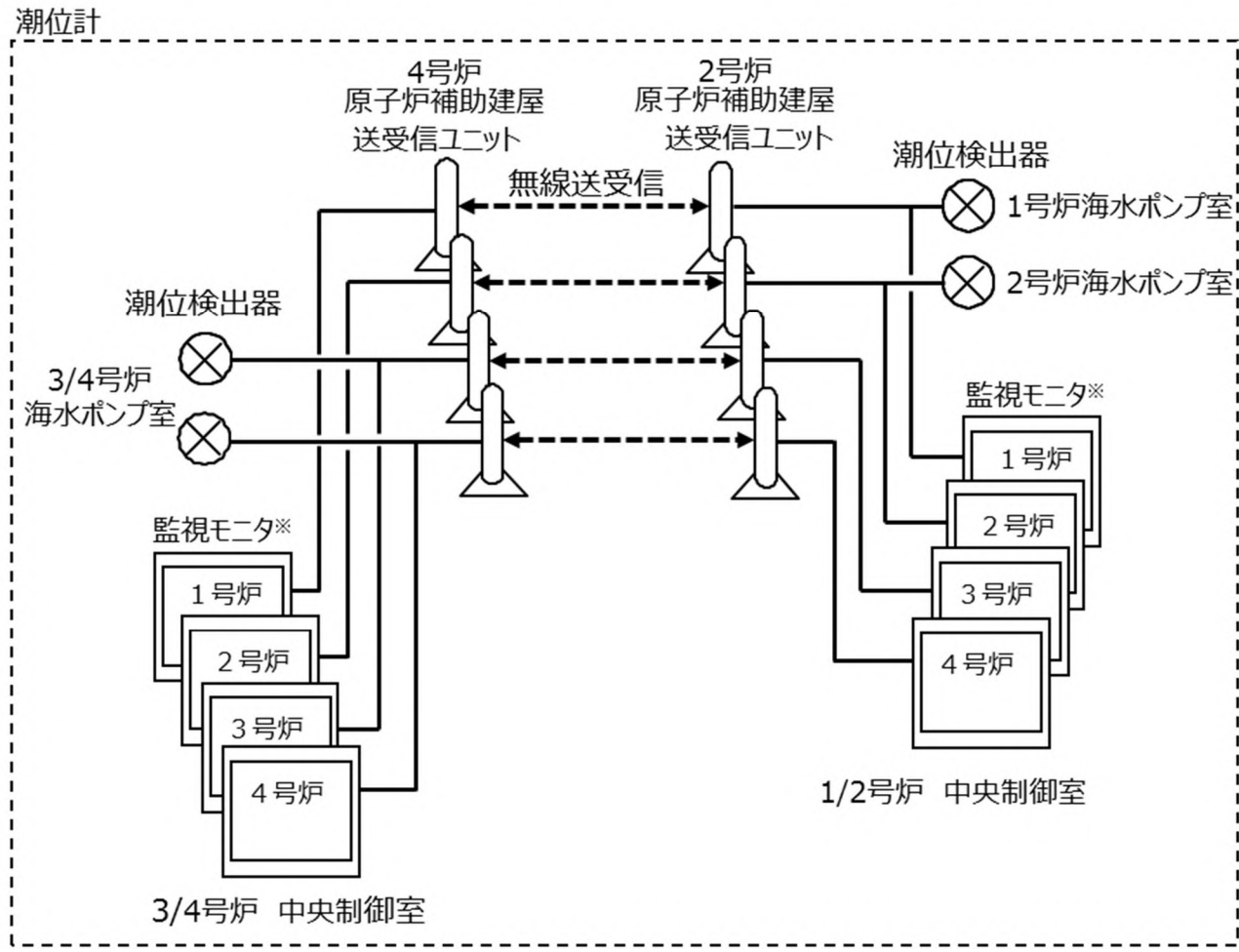
なお、今回の運用では、潮位計（防護用）の津波検知情報に基づきMS-1設備である取水路防潮ゲートの閉止を判断することから、潮位計（防護用）は従来の津波監視設備としての位置づけに加え、津波防護機能を直接的に有する津波防護施設と位置付ける。

表1 潮位計（防護用）の仕様

1号炉潮位計 (防護用)	潮位検出器	1	1号炉海水ポンプ室	非接触式検出器	E. L. -9.9m ~ E. L. +6.6m
	送受信ユニット	1※ ¹	2号炉原子炉補助建屋 4号炉原子炉補助建屋	送受信ユニット	—
	監視モニタ	1※ ²	1, 2号炉中央制御室 3, 4号炉中央制御室	監視モニタ	—
2号炉潮位計 (防護用)	潮位検出器	1	2号炉海水ポンプ室	非接触式検出器	E. L. -9.9m ~ E. L. +6.6m
	送受信ユニット	1※ ¹	2号炉原子炉補助建屋 4号炉原子炉補助建屋	送受信ユニット	—
	監視モニタ	1※ ²	1, 2号炉中央制御室 3, 4号炉中央制御室	監視モニタ	—
3号炉潮位計 (防護用)	潮位検出器	1	3, 4号炉海水ポンプ室	非接触式検出器	E. L. -4.0m ~ E. L. +4.0m
	送受信ユニット	1※ ¹	2号炉原子炉補助建屋 4号炉原子炉補助建屋	送受信ユニット	—
	監視モニタ	1※ ²	1, 2号炉中央制御室 3, 4号炉中央制御室	監視モニタ	—
4号炉潮位計 (防護用)	潮位検出器	1	3, 4号炉海水ポンプ室	非接触式検出器	E. L. -4.0m ~ E. L. +4.0m
	送受信ユニット	1※ ¹	2号炉原子炉補助建屋 4号炉原子炉補助建屋	送受信ユニット	—
	監視モニタ	1※ ²	1, 2号炉中央制御室 3, 4号炉中央制御室	監視モニタ	—

※1：送受信ユニットは2号炉原子炉補助建屋及び4号炉原子炉補助建屋に各1個設置する。

※2：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4 潮位計（防護用）のシステム構成

6. 津波検知の判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性確認

6. 1 背景

5章にて津波警報等が発表されない可能性のある津波に対する取水路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（防護用）を活用することとした。本章では、施設影響が生じるケースを確実に検知するための設定値である津波検知の判断基準（トリガー）について検討する。

潮位計（防護用）を活用した取水路防潮ゲート閉止の起因とな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、網羅性・妥当性を確認した上で設定する必要がある。

2章における取水路防潮ゲート開状態での敷地への影響評価において、施設影響が生じる波源を確認したことから、施設影響が生じる波源を用いて津波波形の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、施設影響が生じるケースを網羅的に検知できる津波検知の判断基準（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）の設定に関する検討フローを図1に示す。

まず、2章の取水路防潮ゲート開状態での敷地影響の検討において、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、各エリアの最大規模の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及びエリアCのEs-T2を選定し、津波水位計算を実施した。その結果、施設影響が生じる波源として、海底地すべりエリアB（Es-K5, Kinematicモデル）と海底地すべりエリアC（Es-T2, Kinematicモデル）を抽出した。この計算結果から（1）施設影響が生じる波源の津波波形の特徴を確認し、潮位計（監視用）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、隠岐トラフ海底地すべりエリアA～Cのうち、各エリアで規模が2位以下の海底地すべりでも、施設影響が生じる波源があるかを確認する。

その上で、施設影響が生じる波源に対して、崩壊規模及び破壊伝播速度を様々に設定して施設影響が生じるケースの津波波形を検討し、仮設定した津波検知の判断基準（トリガー）での検知可否を整理することで、（4）仮設定した津波検知の判断基準（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仮設定値を設定し、そのうち津波の時刻歴波形を有するケースについて、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行い、1波目の水位低下量が小さくなる場合は、仮設定値を再設定する。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、施設影響が生じるケース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。なお、(1)～(4)までの検討で用いる津波水位計算の計算手法、計算条件については2章で実施した津波水位計算のそれらと同じとする。

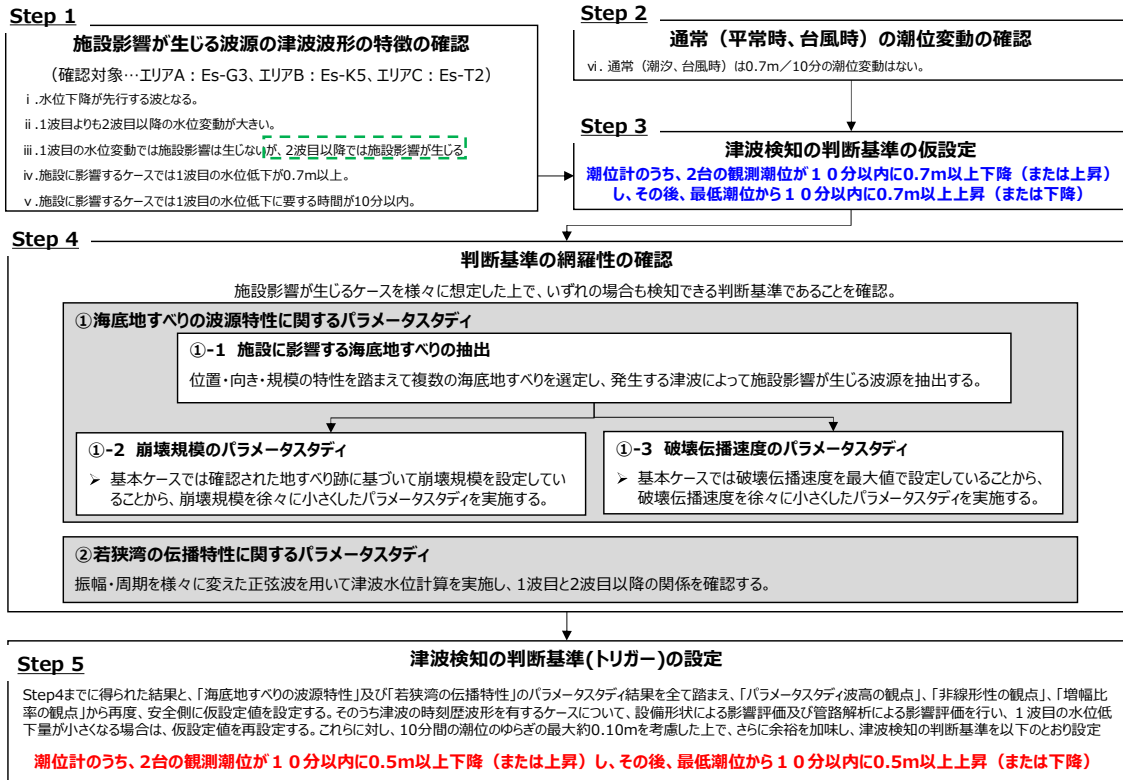


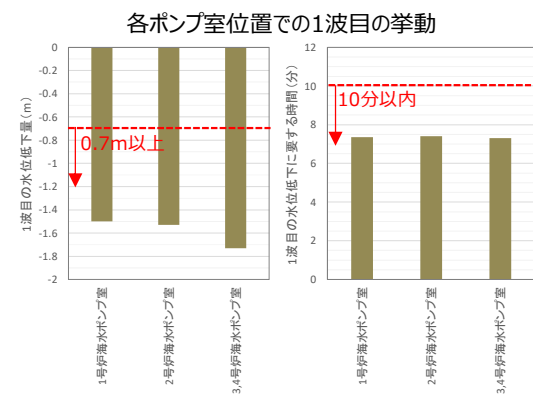
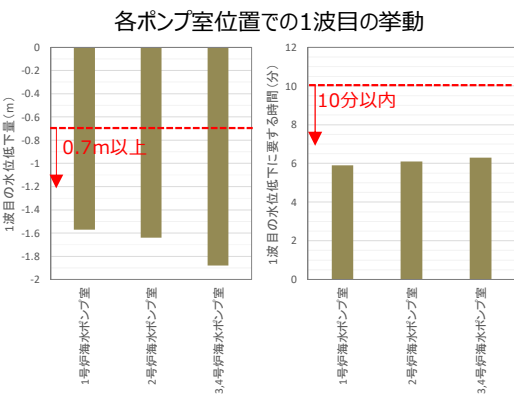
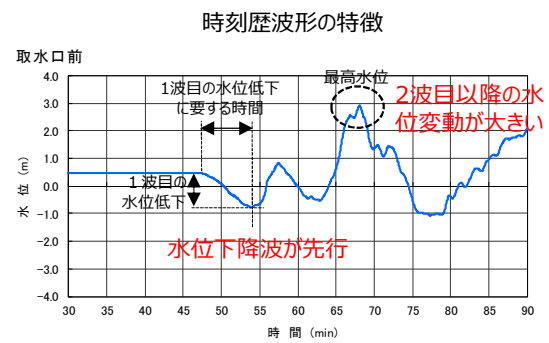
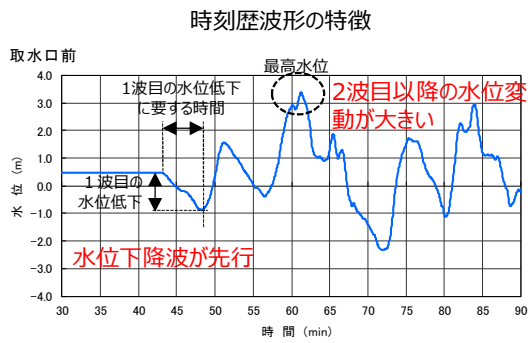
図1 津波検知の判断基準（トリガー）の網羅性・妥当性に関する検討フロー

(1) 施設影響が生じる波源の津波波形の特徴の確認

施設影響が生じる波源であるエリアBのEs-K5（Kinematicモデル）とエリアCのEs-T2（Kinematicモデル）による津波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が、2波目以降では施設影響が生じる」、「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)

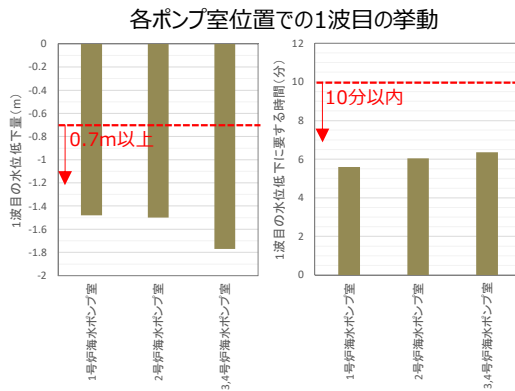
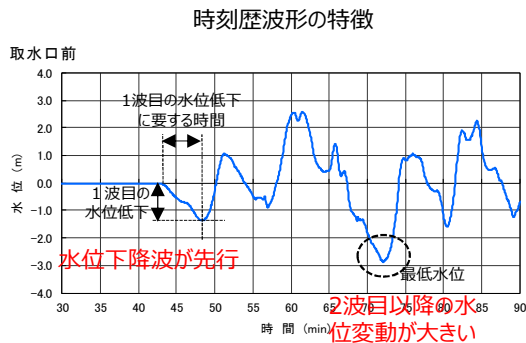


図2 エリアBのEs-K5 (Kinematicモデル) とエリアCのEs-T2 (Kinematicモデル) の津波波形の特徴の確認

(2) 通常（平常時、台風時）の潮位変動の確認

潮位計（監視用）で観測された潮位データについて、潮位変化をより細かくみるため瞬時値データ（瞬時値データの保存期間である過去3か月分を全て対象とした）を確認した結果、平常時では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）。

なお、潮位計（監視用）で観測された過去7年分の潮位データ（1分間データ）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（監視用）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秒間隔採取）（3, 4号炉プラント稼動中）

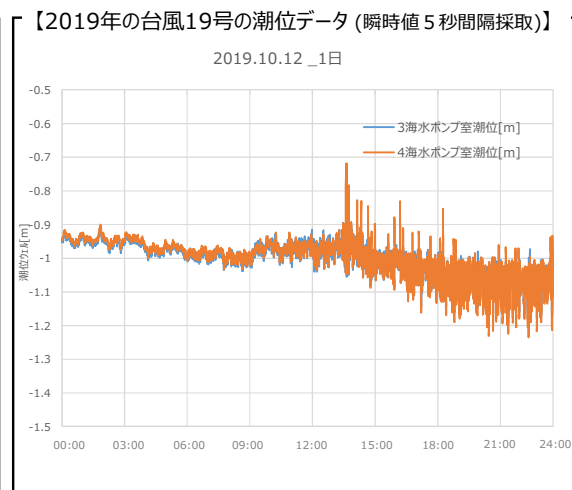
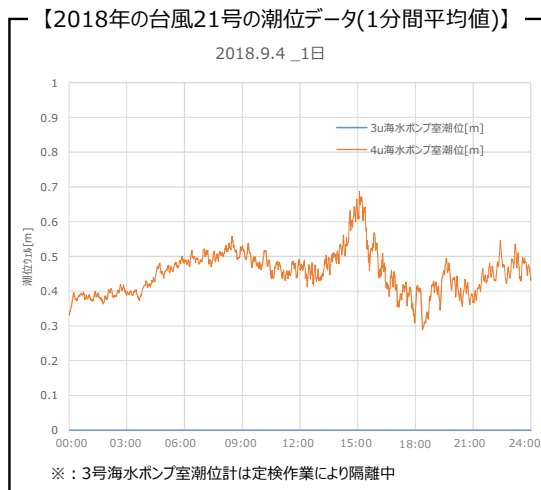
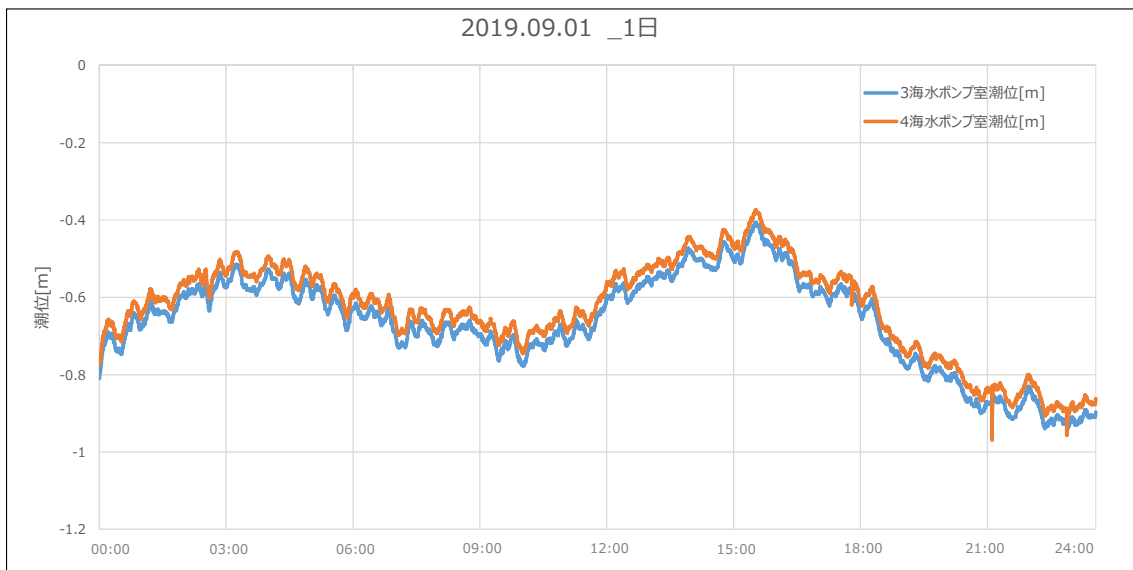


図3 通常の潮位変動の確認（上：平常時、下：台風時）

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、エリア B の Es-K5 (Kinematic モデル) とエリア C の Es-T2 (Kinematic モデル) による津波では、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 波目以降で施設影響が生じること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、施設影響が生じる波源を検知でき、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 分以内に 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 分以内に 0.7m 以上下降した後、潮位が最低潮位から上昇に転じた時点から更に 10 分以内に 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（防護用）が上記を観測した場合とする。

なお、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かった。しかし、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 波が下降波であるものの、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」も津波検知の判断基準（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（防護用）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（防護用）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）津波検知の判断基準（トリガー）の網羅性の確認

（3）で仮設定した津波検知の判断基準（トリガー）が、施設影響が生じる波源の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、まず、2 章にて、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 及びエリア C の Es-T2 を選定し、津波水位計算を実施した結果、エリア B の Es-K5 及びエリア C の Es-T2 が施設影響が生じる波源であることを確認しているため、各エリアで規模が 2 位以下の海底地すべりでも、施設影響が生じる波源があるかを確認する。

施設影響が生じる波源を抽出するため、影響検討（以下、「パラメータスタディ」という。）を実施する。パラメータスタディは海底地すべりによる津波の津波高さに影響する因子を用いて行う。津波高さに影響する因子としては、海岸・海底地形、対象とする地すべり、潮位・水位、海底地形変化（以下「崩壊規模」という。）、地すべり速度（破壊伝播速度・破壊継続時間）が考えられるが、海岸・海底地形は変動させるものでないこと、潮位・水位は高潮裕度まですでに考慮していること、破壊継続時間は破壊伝播速度に従属する因子であることから対象とせず、パラメータスタディにおいては対象とする地すべり、崩壊規模、破壊伝播速度を用いる。施設影響が生じる波源を抽出するパラメータスタディとしては対象とする地すべりを用い、崩壊規模及び破壊伝播速度は保守的に最大値で実施する。敷地に影響のある波源を抽出できたら、その波源を用いて、海底地すべりの波源特性のパラメータスタディを実施する。海底地すべりの波源特性のパラメータスタディについては、2 章の検討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速度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波源の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

タディを、それぞれ実施する。(図4)

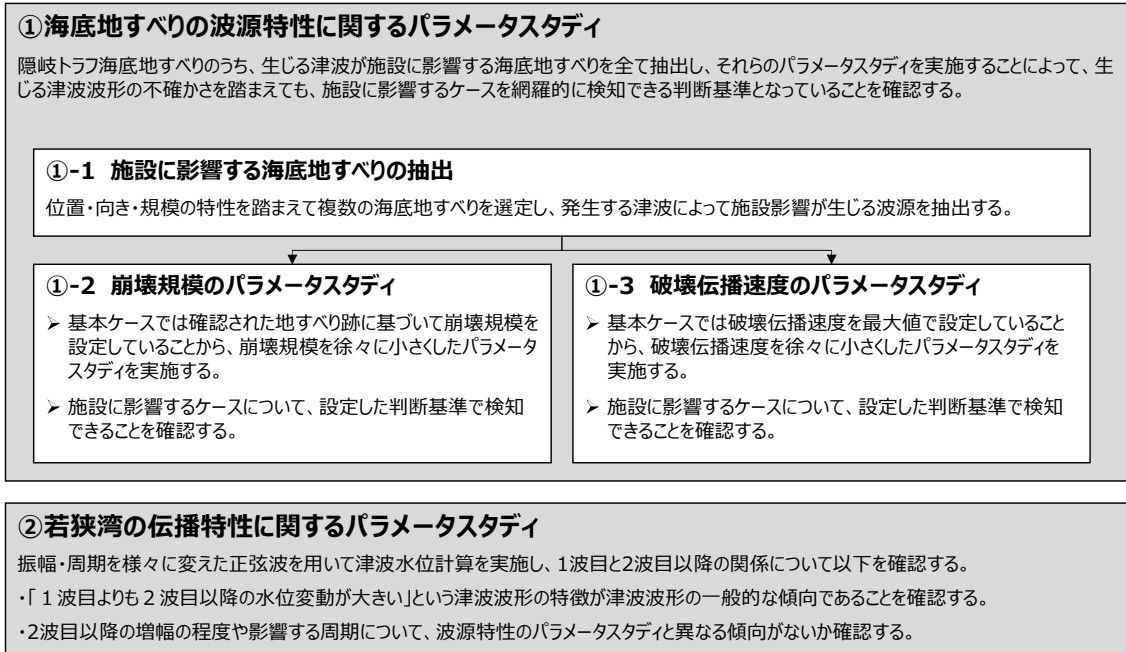


図4 津波検知の判断基準（トリガー）の網羅性確認の考え方

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

本検討においては、まず、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、それらに対し、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になっていることを確認する。

まず、パラメータスタディに用いる地すべりとして、施設影響が生じる海底地すべりを検討用波源として全て抽出する。その上で、これらに対し、崩壊規模及び破壊伝播速度のパラメータスタディを実施することで、津波波形を複数作成し、それらのうち、施設影響が生じるケースが(3)で仮設定した津波検知の判断基準（トリガー）で検知できるかを確認することで、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津波検知の判断基準（トリガー）となっているかを確認する。

(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)
検討用波源 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 <ul style="list-style-type: none"> 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 <ul style="list-style-type: none"> 複数回の斜面崩壊で形成されたとされるものも含め、<u>一度に全て崩壊するものとして最大規模で評価。</u> 	最大値で設定 <ul style="list-style-type: none"> Kinematicモデルにおける破壊伝播速度は<u>最大値で評価。</u>(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) <ul style="list-style-type: none"> 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) <ul style="list-style-type: none"> 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) <ul style="list-style-type: none"> 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 波源特性のパラメータスタディによる検討

① -1 施設に影響する海底地すべりの抽出

2章の取水路防潮ゲート開状態での敷地影響の検討において、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、各エリアの最大規模の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及びエリアCのEs-T2を選定し、津波水位計算を実施した。その結果、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ケースとして、海底地すべりエリアB (Es-K5, Kinematicモデル) と海底地すべりエリアC (Es-T2, Kinematicモデル) を抽出した。

本検討においては、各エリアで規模が2位以下の海底地すべりでも、津波警報等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。

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6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。

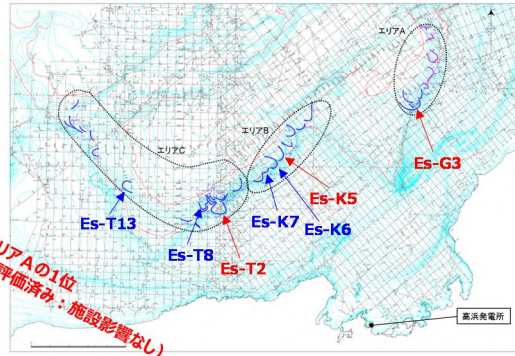
①各エリアで規模が1位～3位の海底地すべり及び②発電所方向に崩壊する海底地すべりによる津波水位計算結果を表2に示す。津波水位計算の結果、各評価点における水位変動は、エリアBのEs-K5 (Kinematicモデル) が最も大きく、規模が2位・3位の海底地すべりや発電所方向に崩壊する海底地すべりではこれを上回る水位変動は生じない。

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7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) のみであることを確認した。

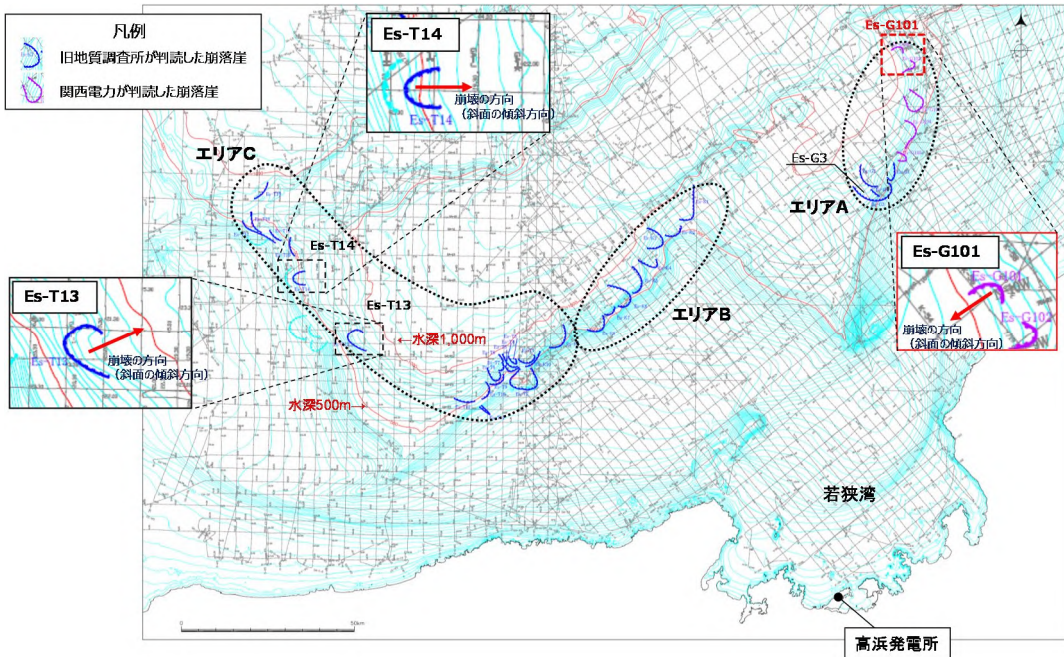
●地すべり地形の規模の算出結果（断面積上位20個）

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	3,618	160	578,850
5	Es-T13	C	GA-20	4,966	116	576,038
6	Es-K6	B	K-120	5,420	103	558,225
7	Es-T14	C	GA-15	8,970	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	7,586	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	158,884

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



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

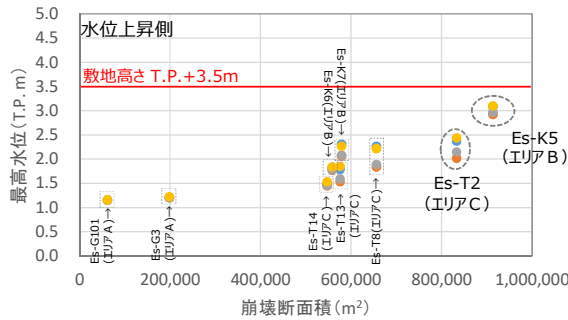
図6 施設影響が生じる可能性のある海底地すべりの選定

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）

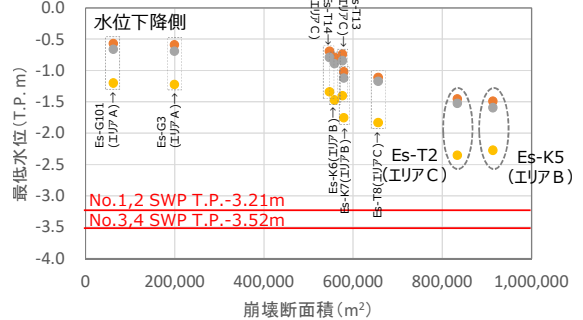
海底地すべり（警報なし）			取水路 防潮 ゲート	水位上昇						水位下降			
				取水路 防潮ゲート 前面	3,4号炉 循環水 ポンプ室	1号炉 海水 ポンプ室	2号炉 海水 ポンプ室	3,4号炉 海水 ポンプ室	放水口 前面	放水路 (奥)	1号炉 海水 ポンプ室	2号炉 海水 ポンプ室	3,4号炉 海水 ポンプ室
エリアA	Es-G3 (規模1位)	Watts他の予測式	開	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.5	-0.6	-1.1
		Kinematicモデルによる方法	開	2.0	2.3	2.1	2.2	2.6	1.6	1.8	-1.2	-1.4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

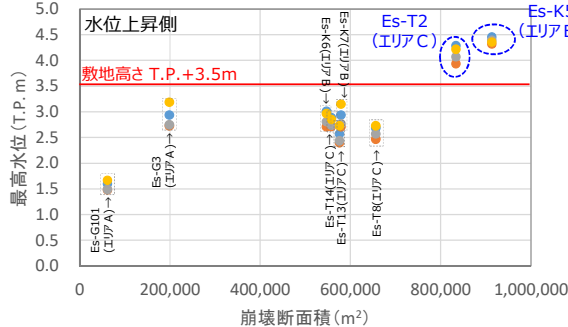


●1号炉海水ポンプ室 ●2号炉海水ポンプ室 ●3,4号炉海水ポンプ室

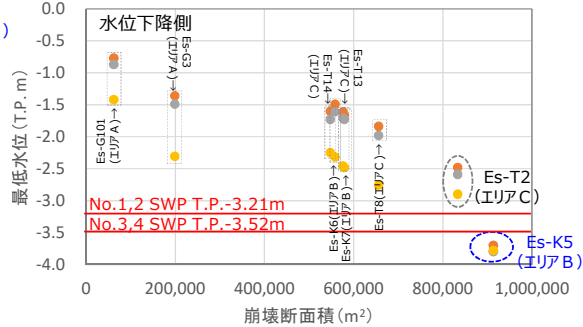


●Kinematicモデルによる方法

●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7 施設影響が生じる波源の確認

① -2 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、検討用波源の設定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（100%）で計算している。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、エリアBのEs-K5（Kinematic モデル）とエリアCのEs-T2（Kinematic モデル）の崩壊規模を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8）。

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9）、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津波検知の判断基準（トリガー）で検知できることを確認した。（図10、図11）

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%	

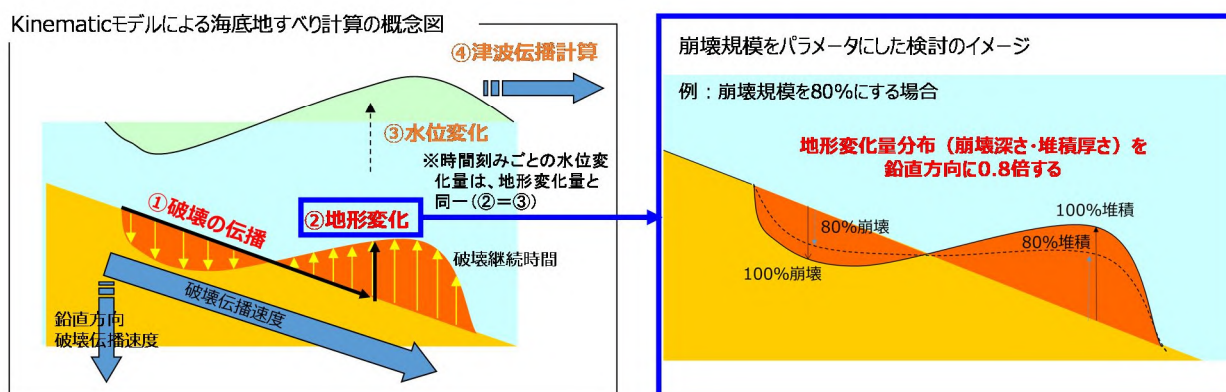


図8 崩壊規模のパラメータスタディ方法

●水位上昇側 (Kinematicモデル)
Es-K5 (エリアB)

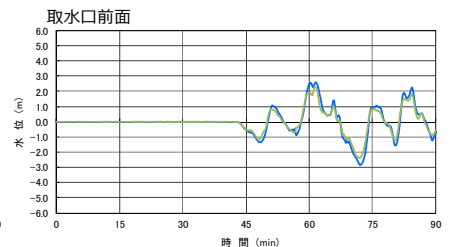
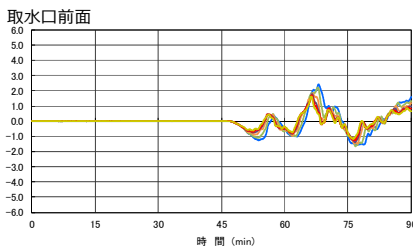
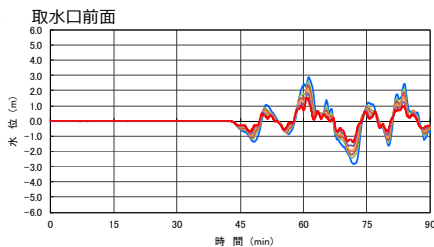
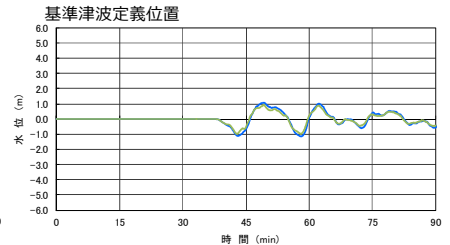
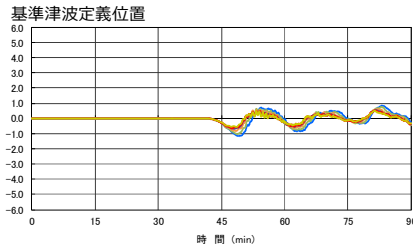
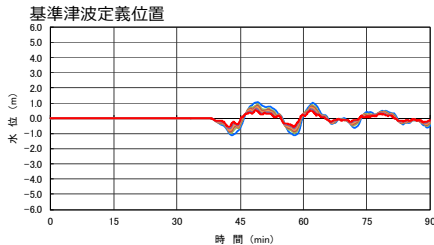
- 崩壊規模 = 100%
- 崩壊規模 = 80%
- 崩壊規模 = 70%
- 崩壊規模 = 60%
- 崩壊規模 = 50%
- 崩壊規模 = 40%

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)

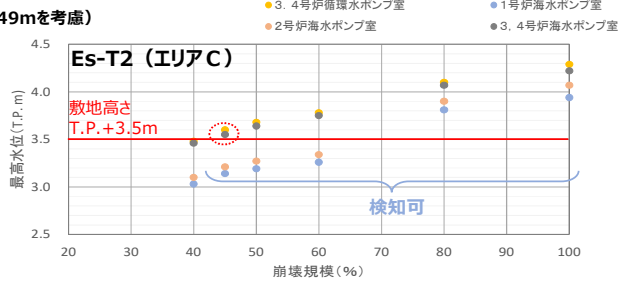
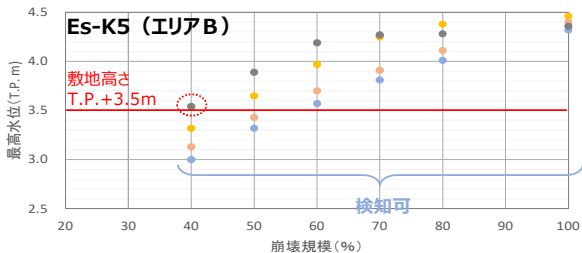
- 崩壊規模 = 100%
- 崩壊規模 = 80%



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9 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ぼらつき+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ぼらつき-0.17mを考慮)

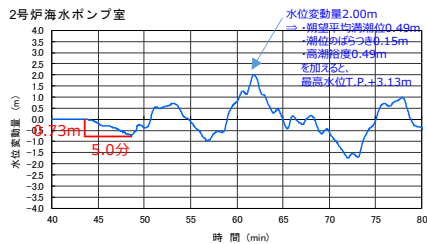
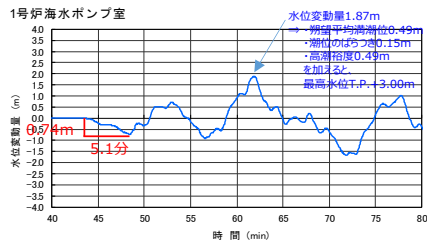


◆判断基準 (0.7m/10分) による検知可否 (施設影響あり: 赤 検知可能: 青 検知不能: 緑)

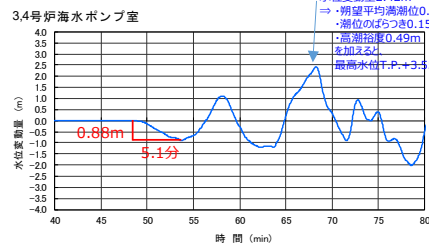
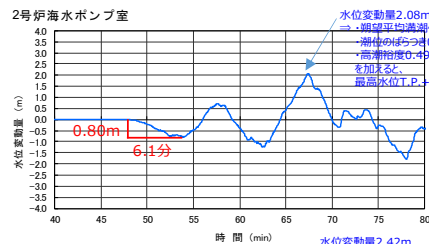
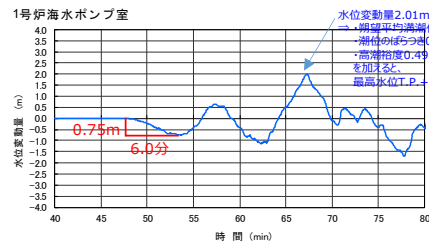
水位上昇側: Es-K5 (エリアB)		最高水位には潮位のぼらつき+0.15m及び高潮裕度+0.49mを考慮																							
崩壊規模		40%			50%			60%			70%			80%			100%								
最高水位 [T.P. m]		3.54	3.54	3.49	3.89	3.89	3.89	4.19	4.19	4.27	4.27	4.38	4.38	4.46	4.46	4.46	4.46								
水位低下量 [m]	ポンプ室	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号						
	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ぼらつき+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	3.48	3.48	3.60	3.60	3.68	3.78	3.78	4.10	4.10	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29								
水位低下量 [m]	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						
	0.7m低下時間 [分]	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						
検知可否		×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
水位下降側: Es-K5 (エリアB)		最低水位には潮位のぼらつき-0.17mを考慮																							
崩壊規模		80%			100%																				
最低水位 [T.P. m]		1,2号	3,4号	3,4号	-3.29	-3.29	-3.80	-3.80																	
ポンプ室		1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号																		
水位低下量 [m]	ポンプ室	1号	2号	3,4号	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10 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%

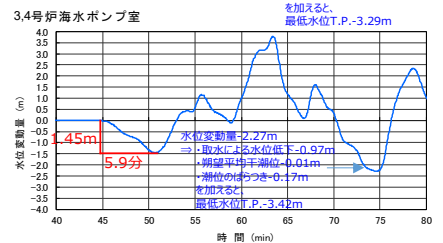
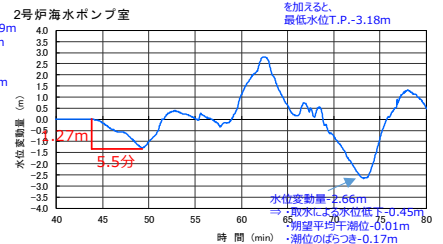
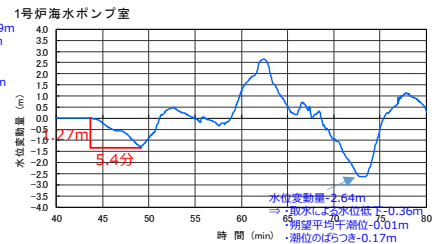


図 1 1 崩壊規模のパラメータスタディ結果
(津波検知の判断基準（トリガー）による検知可否の確認)

① -3 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、検討用波源の設定においては、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、エリアBのEs-K5 (Kinematic モデル) とエリアCのEs-T2 (Kinematic モデル) の破壊伝播速度を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 1 2)。

破壊伝播速度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 1 3)、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 1 4、図 1 5)

なお、パラメータスタディ結果のうち、エリアBのEs-K5 (Kinematic モデル) による津波水位計算 (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モデルによる津波水位計算（水位上昇側）の破壊伝播速度のパラメータスタディから確認された。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。（図16）

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

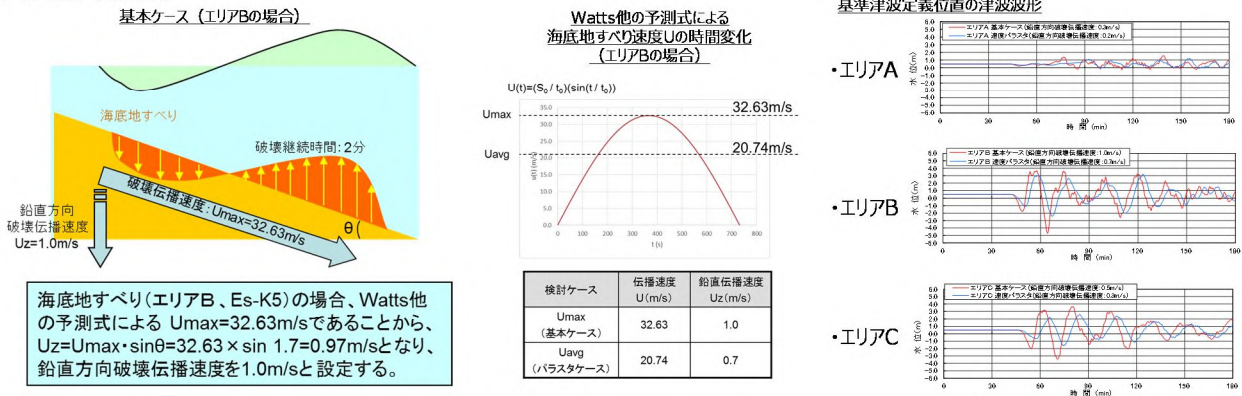


図12 破壊伝播速度のパラメータスタディ方法

●水位上昇側 (Kinematicモデル)
Es-K5 (エリアB)

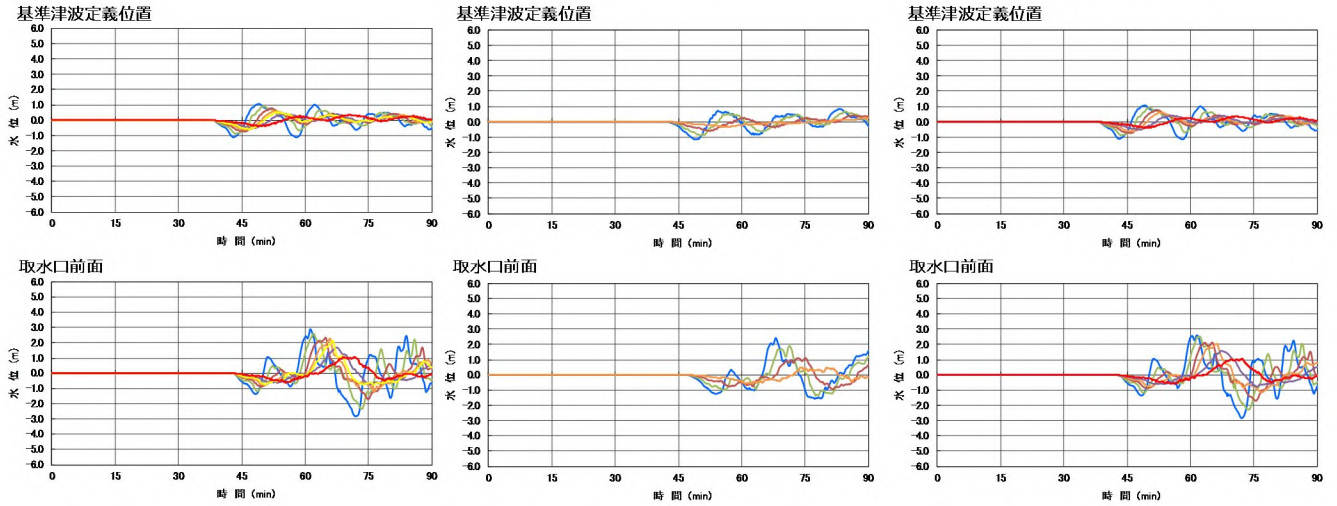
- 破壊伝播速度=1.0m/s
- 破壊伝播速度=0.8m/s
- 破壊伝播速度=0.7m/s
- 破壊伝播速度=0.6m/s
- 破壊伝播速度=0.55m/s
- 破壊伝播速度=0.5m/s
- 破壊伝播速度=0.4m/s

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)

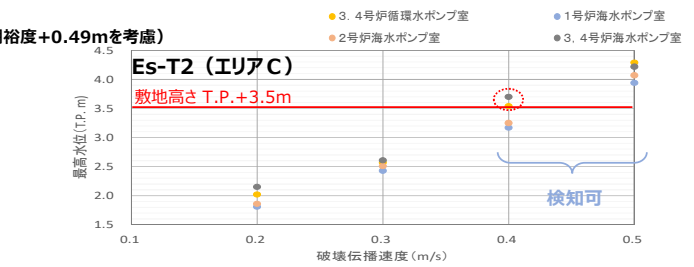
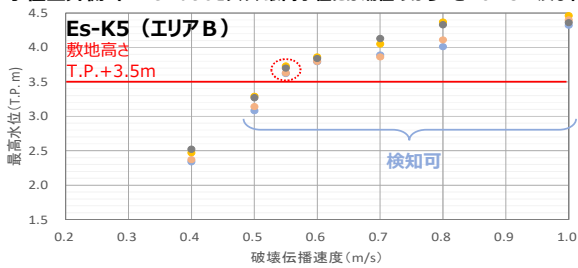
- 破壊伝播速度=1.0m/s
- 破壊伝播速度=0.8m/s
- 破壊伝播速度=0.7m/s
- 破壊伝播速度=0.6m/s
- 破壊伝播速度=0.5m/s
- 破壊伝播速度=0.4m/s



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13 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)



◆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			3.86			4.13			4.37			4.46		
水位低下量 [m]	0.67	0.69	0.81	0.79	0.81	0.79	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	7.2	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	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	

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

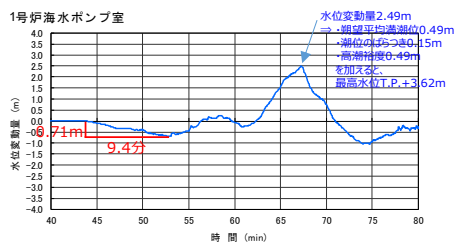
破壊伝播速度	0.2m/s			0.3m/s			0.4m/s			0.5m/s		
	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号	1号	2号	3,4号
最高水位 [T.P. m]	2.15			2.61			3.70			4.29		
水位低下量 [m]	0.60	0.64	0.70	0.64	0.68	0.81	1.05	1.14	1.27	1.50	1.53	1.73
0.7m低下時間 [分]	-	-	13.6	-	-	9.6	6.0	5.9	4.5	4.2	4.2	3.6
検知可否	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o

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

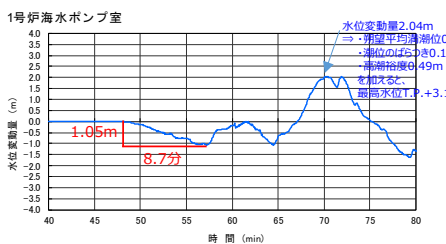
破壊伝播速度	0.4m/s			0.5m/s			0.6m/s			0.7m/s			0.8m/s			1.0m/s		
	1,2号	3,4号	3,4号	1,2号	3,4号	3,4号	1,2号	3,4号	3,4号	1,2号	3,4号	3,4号	1,2号	3,4号	3,4号	1,2号	3,4号	
最低水位 [T.P. m]	-1.25	-1.25	-1.55	-1.79	-1.55	-2.52	-2.55	-2.55	-3.21	-3.48	-3.78	-3.80						
水位低下量 [m]	0.60	0.56	0.73	0.62	0.64	0.77	0.80	0.82	0.99	0.92	0.93	1.14	1.24	1.25	1.47	1.48	1.50	1.77
0.7m低下時間 [分]	-	-	12.3	-	-	8.4	6.3	6.7	6.4	5.4	5.4	4.6	4.6	4.5	4.2	2.9	3.3	2.9
検知可否	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

図 1 4 破壊伝播速度のパラメータスタディ結果 (施設影響の確認)

●水位上昇側: Es-K5 (エリアB) 破壊伝播速度0.55m/s



●水位上昇側: Es-T2 (エリアC) 破壊伝播速度0.4m/s



●水位下降側: Es-K5 (エリアB) 破壊伝播速度0.8m/s

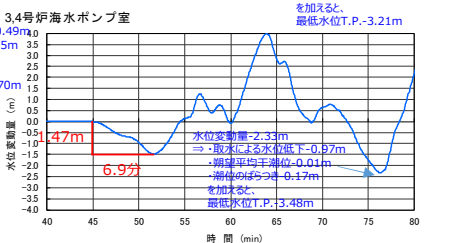
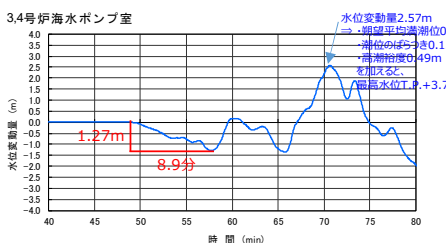
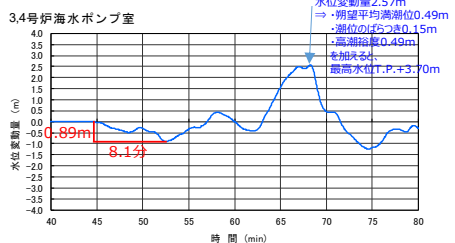
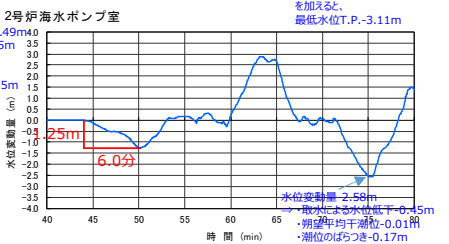
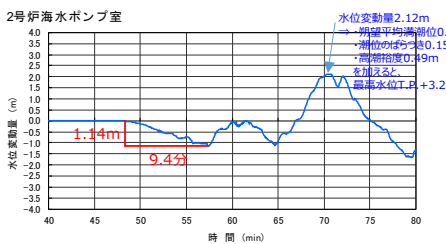
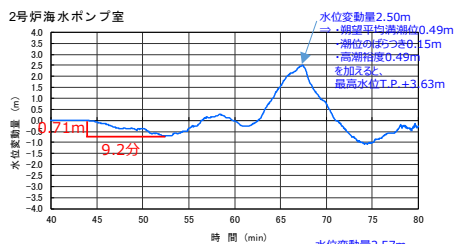
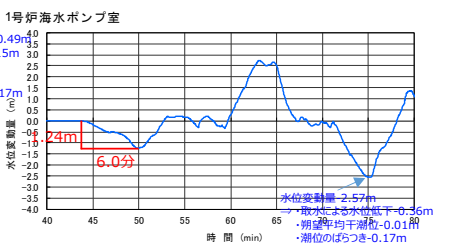


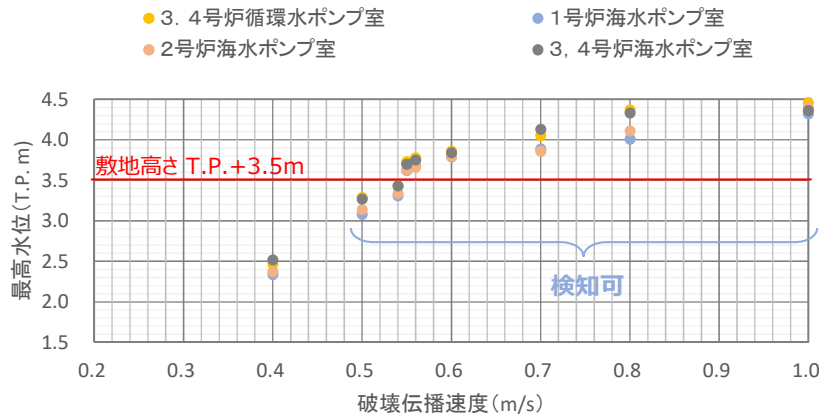
図 1 5 崩壊規模のパラメータスタディ結果 (津波検知の判断基準 (トリガー) による検知可否の確認)

● 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)

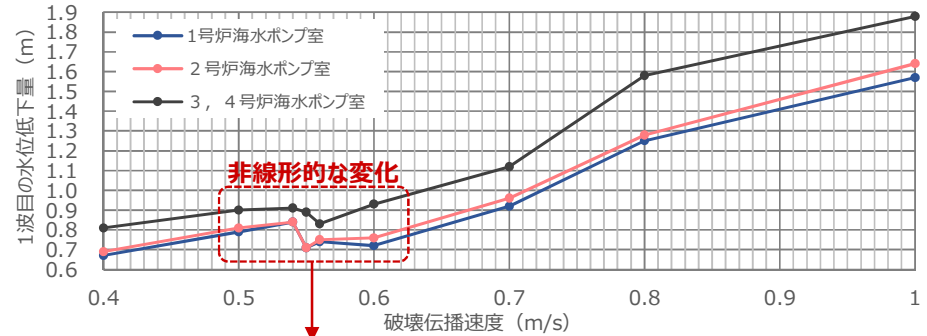
0.70m/10分による検知可否 (施設影響あり: 赤 検知可能: 青 検知不能: 緑)

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																																										
	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16 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

仮設定した津波検知の判断基準（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17）

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18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19）

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、仮設定した津波検知の判断基準（トリガー）の10分以内に0.7mの水位変動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20）。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津波検知の判断基準（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。

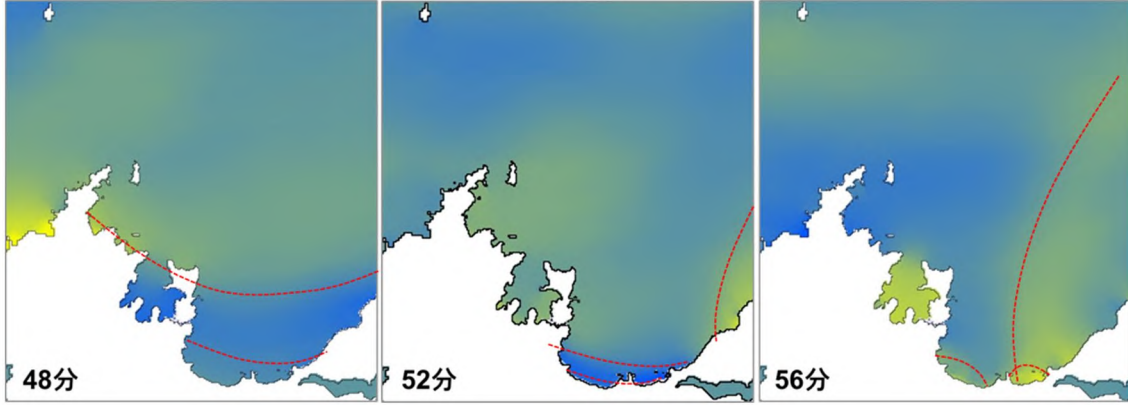
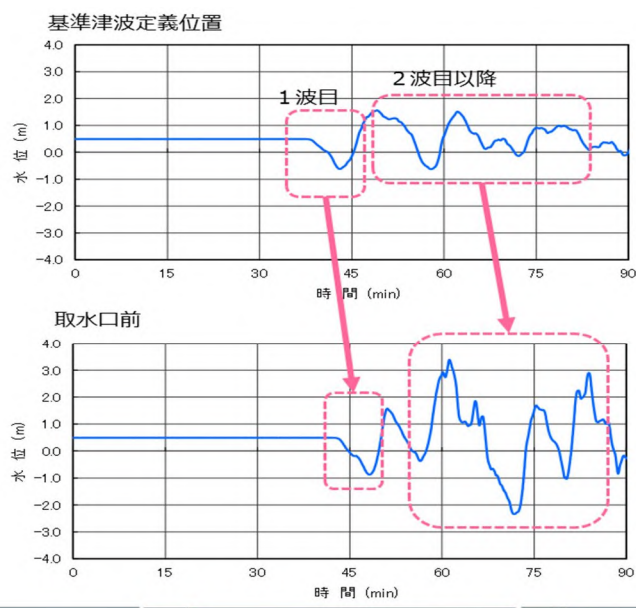
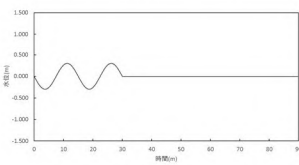


図17 海底地すべりエリアB (Kinematic) の計算結果 (津波波形、スナップショット)

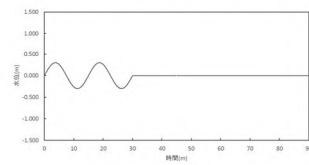
正弦波のパラメータ	設定	考え方
波数	2波	海底地すべりによる津波の基準津波定義位置の波形及びスナップショットから、入力波として明瞭な振幅が存在する波数として2波とする。
初動方向	・水位下降波先行 ・水位上昇波先行	隠岐トラフでは地形的にほとんどの地すべりが発電所とは逆方向に崩壊していることから水位下降波先行と考えられるが、発電所方向に崩壊する一部の地すべりではわずかに水位上昇波が先行する計算結果となることから、両パターンを設定する。
振幅	0.3~0.6m	・取水口位置での1波目の振幅が各周期で概ね0.7m程度となる振幅として0.3mとする。 ・周期10分・15分・40分については、施設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

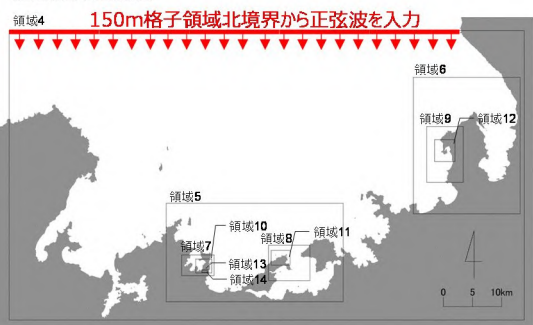


図 1 8 正弦波によるパラメータスタディの計算条件

最大水位上昇量/1波目水位変動量

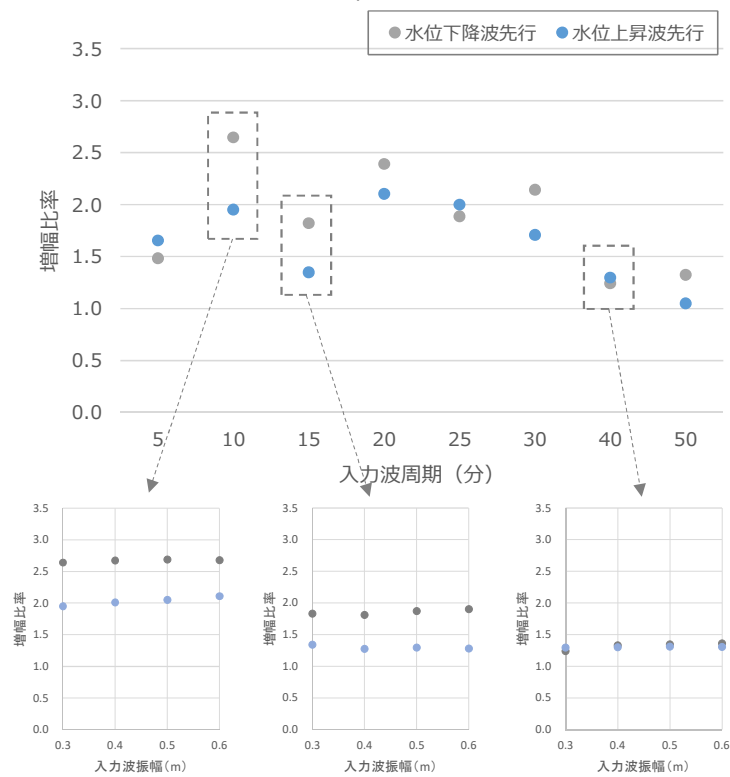
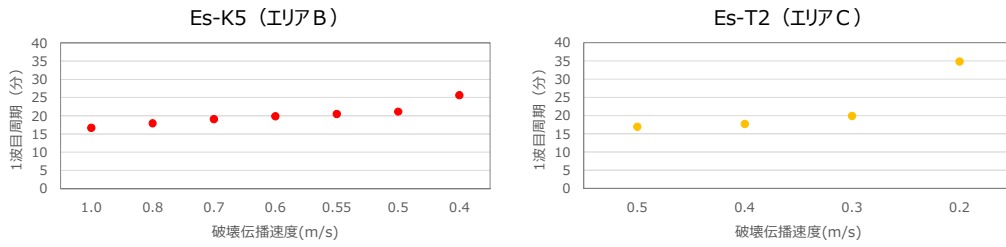


図 1 9 正弦波によるパラメータスタディ結果 (取水口前面)

●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

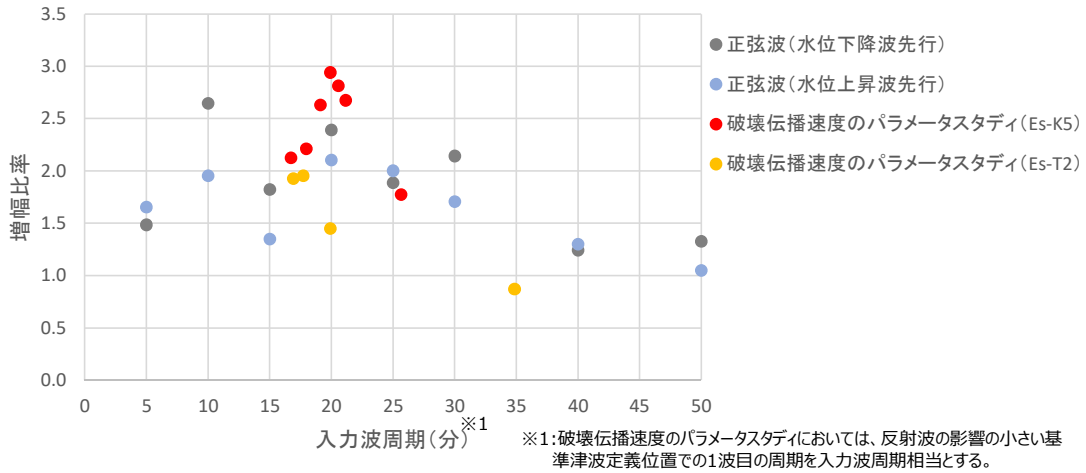


図 2 0 (1/2) 正弦波と海底地すべりによる津波の増幅比率の比較（取水口前面）

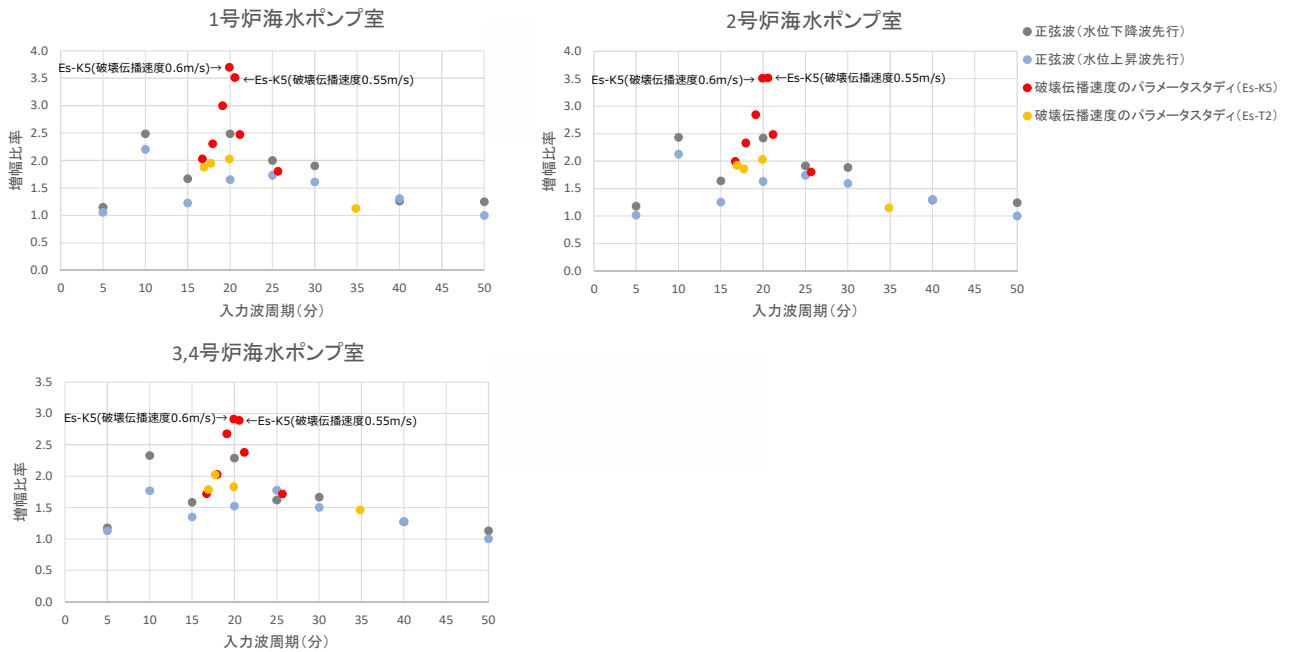


図 2 0 (2/2) 正弦波と海底地すべりによる津波の増幅比率の比較（各ポンプ室）

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21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。

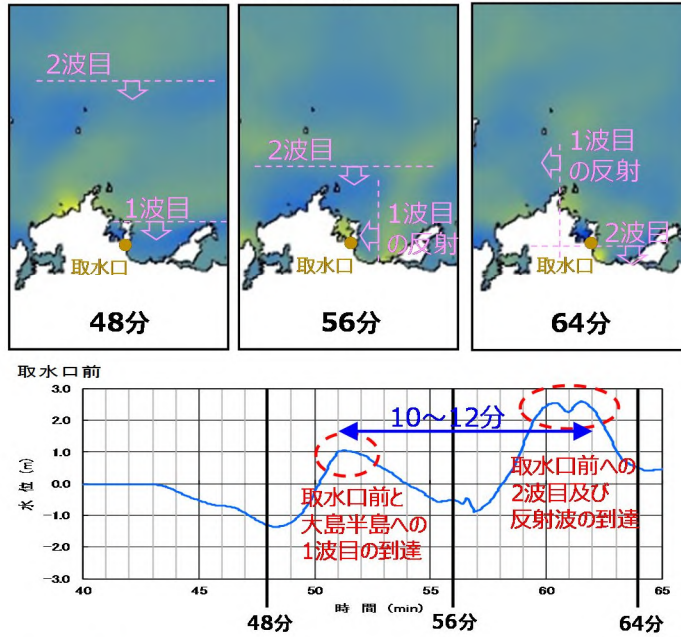
これを踏まえ、図22のように取水口位置までの津波の伝播経路を①~③に分類した上で、波が重畳する条件を検討した。

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

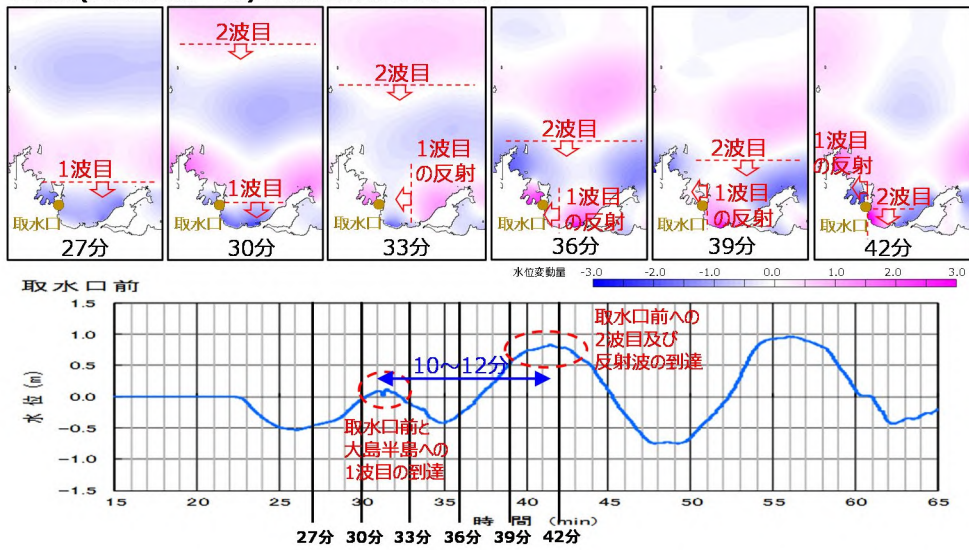


図 2 1 大島半島からの反射波との重畳 (海底地すべりによる津波、正弦波)

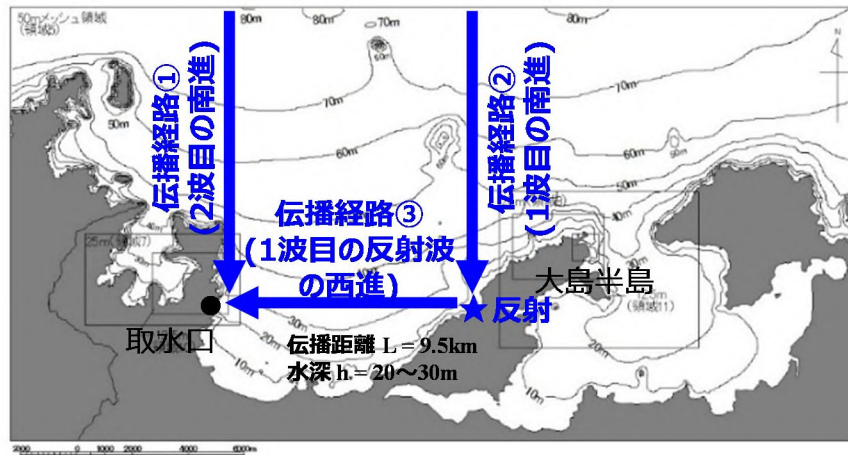


図 2 2 取水口位置までの津波の伝播経路

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 2 2 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 2 0 (1) の再掲になるが、図 2 3 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 2 3 で示す周期は、海底地すべりによる津波の基準津波定義位置の時刻歴波形から求めた周期であるが、正弦波の入力位置と異なっており、周期を正確に捉えられていない可能性がある。このため、海底地すべりによる津波について、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 2 4）。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。

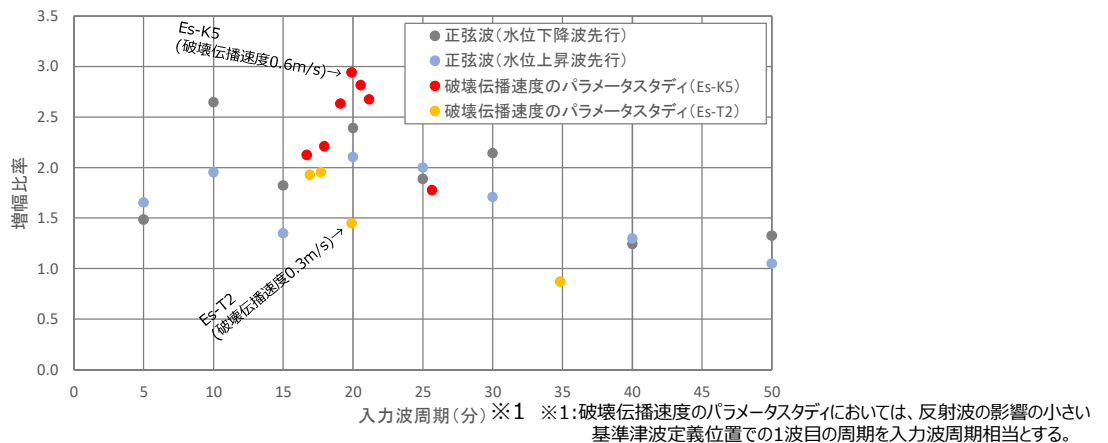


図 2.3 増幅比率と周期の関係 (注: 図 2.0 (1) の下側の図の再掲)

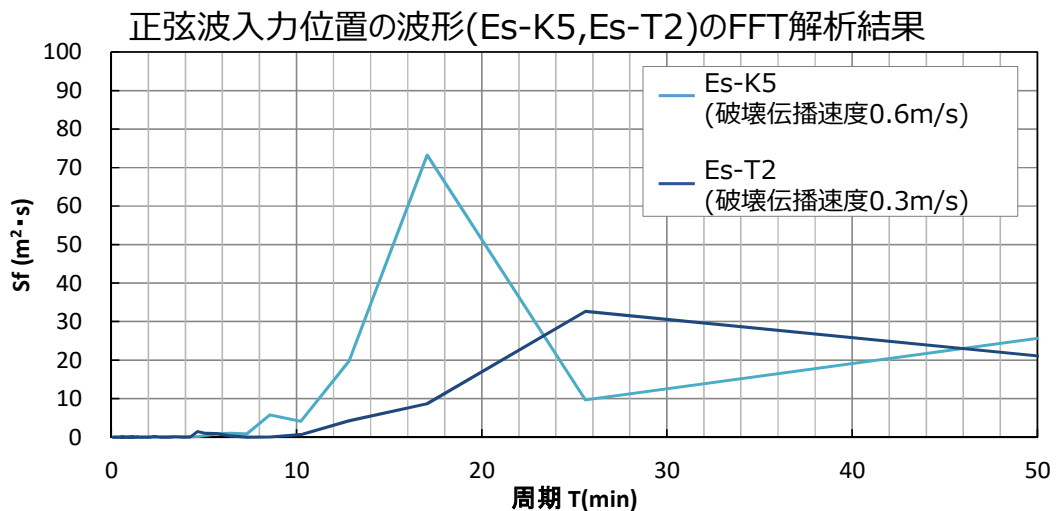


図 2.4 正弦波入力位置の波形(Es-K5, Es-T2)のFFT解析結果

(5) 津波検知の判断基準（トリガー）の設定

(4)におけるエリアBのEs-K5 (Kinematicモデル)とエリアCのEs-T2 (Kinematicモデル)に関す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。

- ・①-2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10分間の水位低下量は 0.69mであることを確認した。
- ・①-3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（上昇側）の破壊伝播速度のパラメータスタディから確認された。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。ただし、破壊伝播速度 0.40m/s の場合に第1波が 0.67m 水位低下するのに要する時間は 10分をわずかに超えており、10分間の水位低下量については 0.65m となる。

- ・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 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、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て設定する。次に、「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」で抽出した仮設定値3ケースのうち、津波の時刻歴波形を有するケースについて、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行い、仮設定値を再設定する。

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、さらに余裕を考慮し、津波検知の判断基準（トリガー）を設定する。詳細を以下に示す。

a. 3つの観点での仮設定値

(a) 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波目の水位低下量と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での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、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、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10分間の水位低下量である0.69mを仮設定値①とする。仮設定値①（エリアC（Es-T2）の崩壊規模40%のケース）は津波の時刻歴波形を有することから、b.において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行う。

(b) 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10分間の水位低下量である0.65mを仮設定値②とする。仮設定値②（エリアB（Es-K5）の破壊伝播速度0.4m/sのケース）は津波の時刻歴波形を有することから、b.において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行う。

(c) 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波目以降の最高水位と仮定（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 (2.37m/3.7=0.64m) 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ため、設備形状による影響及び管路解析による影響の評価対象としない。

「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を表3に示す。

表3 3つの観点での仮設定値

		パラメータスタディから得られた仮設定値
仮設定① パラメータスタディ波高の観点	数値(m)	0.69
	考え方	パラメータスタディにおいて、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10分間の水位低下量を、第1波の水位変動量として設定。
仮設定② 非線形性の観点	数値(m)	0.65
	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メータスタディから、 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波の10分間の水位低下量を、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
	考え方	崩壊規模および破壊伝播速度のパラメータスタディから得られた第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。

b. 設備形状による影響評価及び管路解析による影響評価

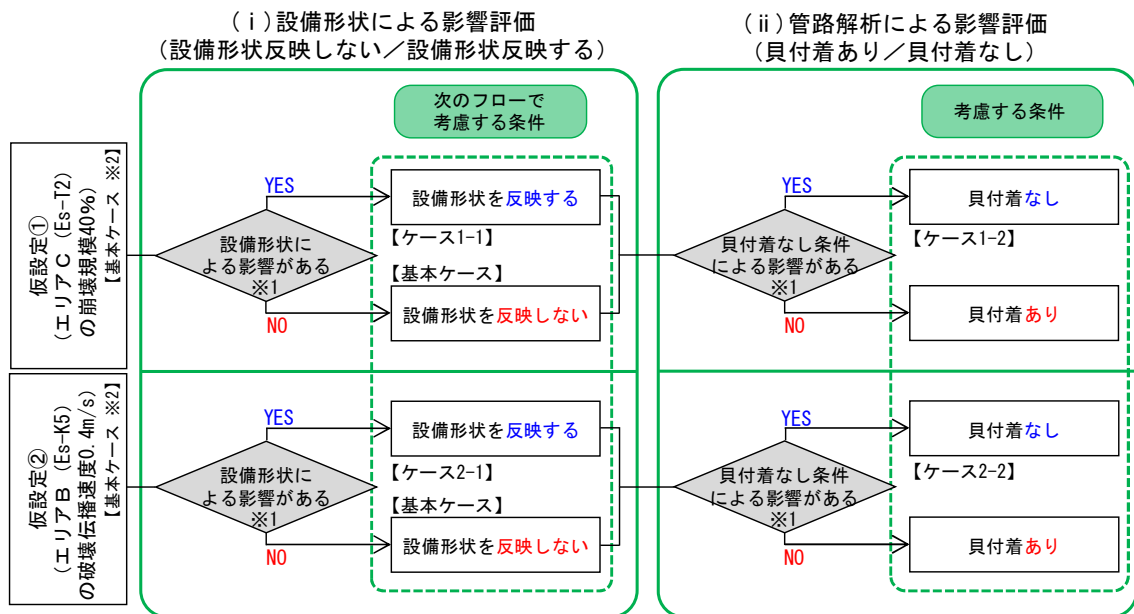
(a) 評価方法

a. 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（エリアC（Es-T2）の崩壊規模40%のケース）及び仮設定②（エリアB（Es-K5）の破壊伝播速度0.4m/sのケース）の2ケースを対象とする。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場合、評価対象としない。

また、解析モデルに関しては、2.2でも述べたとおり、取水路防潮ゲート開状態での検討においては既許可（2016.4.20許可）の基準津波の策定で実施した計算手法及び計算条件と同じとしていたが、津波による影響を適

切に評価するため、運転状態及び現状の設備形状を踏まえたうえで、管路解析による影響も考慮し、津波シミュレーションを実施する。

設備形状による影響評価及び管路解析による影響評価のフローを図25に示す。(i)設備形状による影響評価及び(ii)管路解析による影響評価は、いずれも取水口～取水路(非常用取水路)～海水ポンプ室に至る経路上の条件であることから、これらの組合せを考慮する。組合せに当たっては、管路解析の条件(貝付着なし)については、非常用取水路清掃後の一時的な期間で発生する条件であることを踏まえ、まずは設備形状による影響評価を行い、次に、管路解析による影響評価を行う。影響評価の各フローでは、各フローの条件を考慮した方が、1波目の水位低下量が小さくなる場合、次のフローの影響評価において、津波シミュレーションのモデルに考慮する。



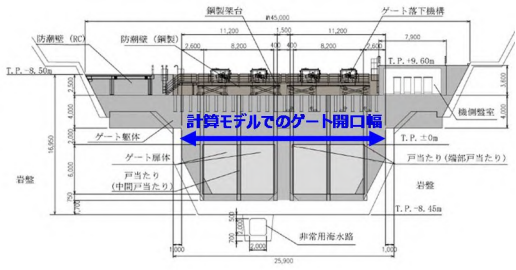
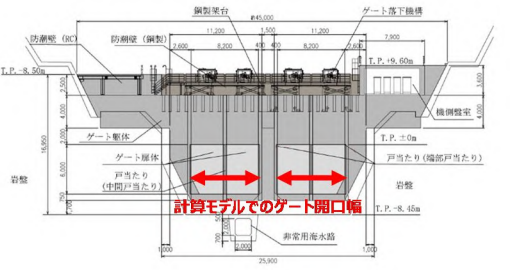
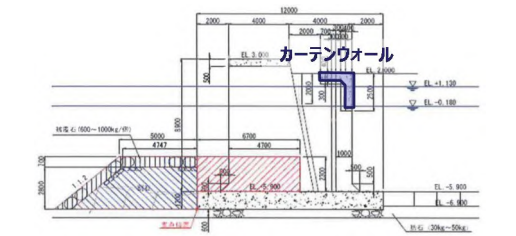
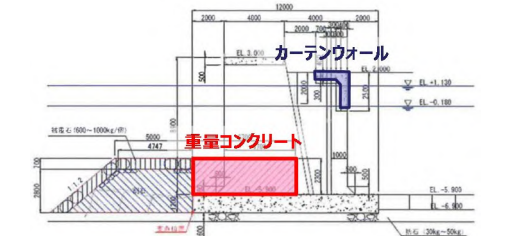
※1 各条件を考慮した方が1波目の水位低下量が小さくなる場合に影響があるとして次のフローでの解析に考慮する。
 ※2 基本ケースは「設備形状反映しない」+「貝付着あり」を指す。

図25 影響評価フロー

(i) 設備形状による影響評価

既許可（2016.4.20 許可）の基準津波検討における津波シミュレーションモデルでは、取水路防潮ゲートについては、取水口側からの津波の流入を保守的に評価する観点から取水路防潮ゲートの開口幅を実寸より広く設定したことに加え、取水口については、取水口ケーソン重量コンクリートを考慮していない。このため、設備形状による影響評価においては、現状の設備形状（ゲート開口幅を実寸に設定、取水口ケーソン重量コンクリートの形状を考慮）を津波シミュレーションモデルに反映し、1波目の水位低下量に及ぼす影響も評価することとした。設備形状による影響評価の条件を表4に示す。

表4 設備形状による影響評価の条件

	設備形状を反映しない (基準津波検討条件)	設備形状を反映する
取水路 防潮 ゲート	<p>津波の流入を保守的に評価するため、ゲート開口幅を実寸より広く設定している。</p> 	<p>現状の設備形状を踏まえ、ゲート開口幅を実寸に設定する。</p> 
取水口	<p>カーテンウォール（津波影響軽減施設）をモデルに考慮しているが、取水口ケーソン重量コンクリートはモデルに考慮していない。</p> 	<p>カーテンウォール（津波影響軽減施設）に加えて取水口ケーソン重量コンクリートをモデルに考慮する。</p> 

(ii) 管路解析による影響評価

既許可（2016. 4. 20 許可）の基準津波検討における津波シミュレーションモデルでは、海水ポンプ室内の水位に影響を与える管路部分について、図 2 6 に示す施設状況を考慮し、表 5 に示す条件を設定している。

本項では、管路部分について、【火力・原子力発電所土木構造の設計】（電力土木技術協会（1995））p. 788 表 17-3-1 を参考に、貝付着を考慮した条件として粗度係数を 0.02 と設定しているが、実際には定期的に除貝作業を実施していることから、貝付着を考慮しない条件として粗度係数を 0.015 としたケースについても津波シミュレーションモデルに反映し、1 波目の水位低下量に及ぼす影響も評価する。

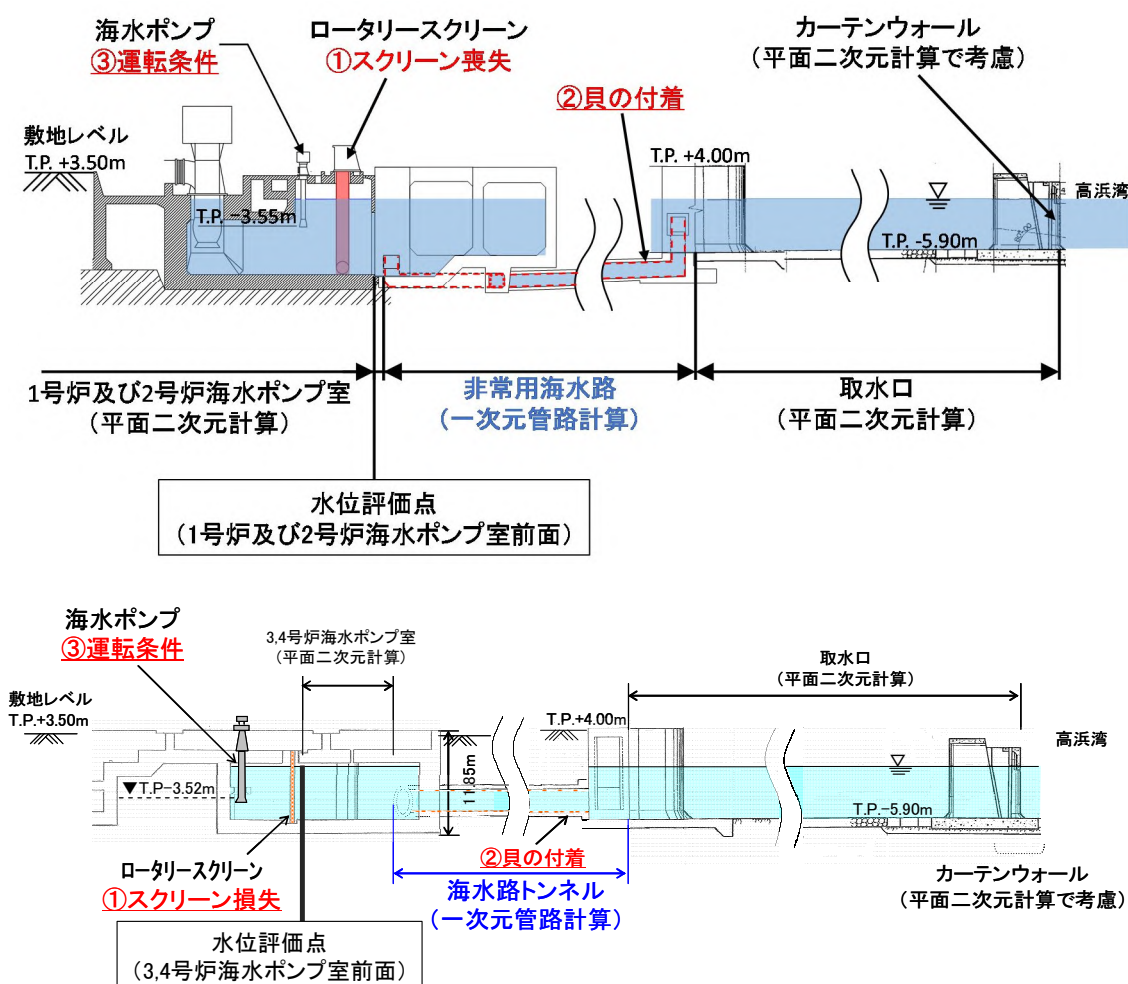


図 2 6 取水路断面図

表5 津波計算条件設定について

計算条件		条件設定
①	スクリーン損失	・海水ポンプ室内のロータリースクリーンについては、津波影響軽減施設等ではないことから、スクリーン損失を考慮しない条件とする。
②	貝付着	・一般に設計に用いられる粗度係数(粗度係数:n=0.02)を採用する。
③	海水ポンプの運転条件	・海水ポンプ室内の水位が評価上厳しくなる条件とする。 すなわち、 ○水位上昇側:海水ポンプの取水なし ○水位下降側:海水ポンプの取水あり として解析を実施する。

(b) 評価結果

(i) 設備形状による影響評価

設備形状による影響評価における1波目水位低下量を表6に示す。

仮設定①のエリアC (Es-T2) の崩壊規模40%のケースでは、設備形状を反映することで、各海水ポンプ室の1波目の水位低下量が増加する結果が得られた。

仮設定②のエリアB (Es-K5) の破壊伝播速度0.4m/sのケースでは、設備形状を反映することで3,4号炉海水ポンプ室前面の1波目の水位低下量はわずかに減少するものの、各海水ポンプ室の中で最小となる1号炉海水ポンプ室の1波目の水位低下量は増加する結果が得られた。

以上より、設備形状を反映した場合、1波目の水位低下量は増加する傾向にあることから、次の管路解析による影響評価においては設備形状を反映しない。

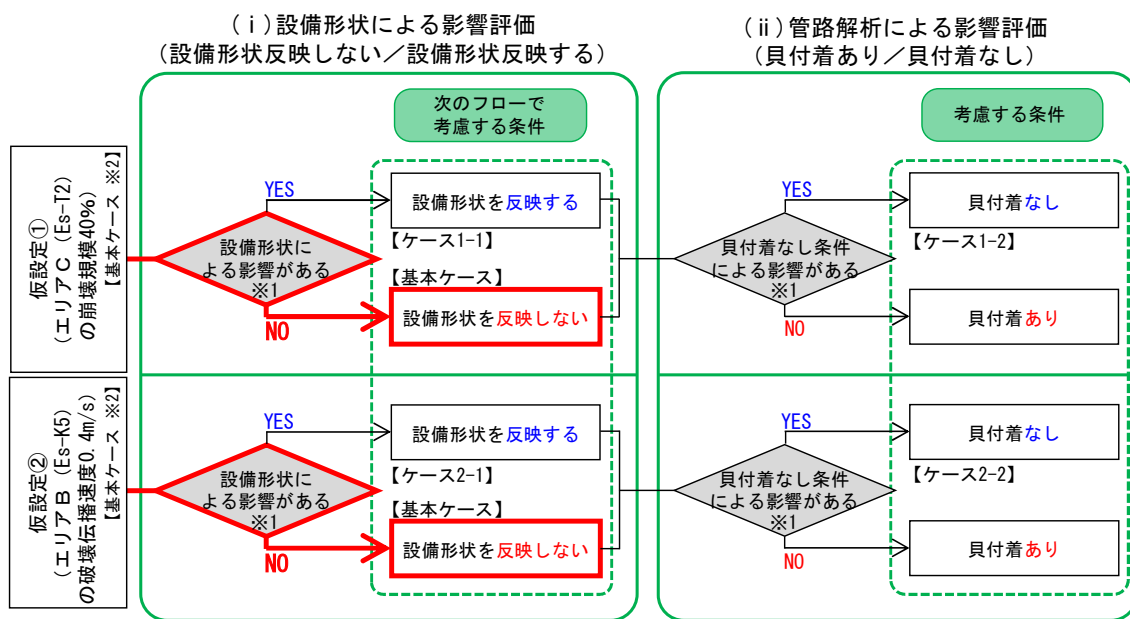
設備形状による影響評価結果を図27に示す。

表6 設備形状による影響評価における1波目水位低下量の比較

赤字:設備形状を考慮した場合に水位低下量が減少したケース

海底地すべり(警報なし)		取水路 防潮ゲート ※1	ケース	1波目の水位低下量(10分間)(m)		
				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
仮設定①	エリアC(Es-T2) Kinematicモデル による方法 崩壊規模40%	開	【基本ケース】 設備形状を反映しない	0.69	0.70	0.78
			【ケース1-1】 設備形状を反映する	0.86	0.91	0.97
仮設定②	エリアB(Es-K5) Kinematicモデル による方法 破壊伝播速度0.4m/s	開	【基本ケース】 設備形状を反映しない	0.65	0.67	0.73
			【ケース2-1】 設備形状を反映する	0.69	0.70	0.72

※1 開:ゲートが開いた状態であるがT.P.±0m~+6.5はカーテンウォールあり



※1 各条件を考慮した方が1波目の水位低下量が小さくなる場合に影響があるとして次のフローでの解析に考慮する。
 ※2 基本ケースは「設備形状反映しない」+「貝付着あり」を指す。

図 2 7 設備形状による影響評価結果

(ii) 管路解析による影響評価

管路解析による影響評価における1波目水位低下量を表7に示す。

仮設定①のエリアC (Es-T2) の崩壊規模40%のケースでは、貝付着なしとした場合でも、各海水ポンプ室の1波目の水位低下量は概ね同等となる結果が得られた。

仮設定②のエリアB (Es-K5) の破壊伝播速度0.4m/sのケースでは、貝付着なしとすることで、1波目の水位低下量が減少する結果が得られた。管路解析による影響評価結果を図28に示す。

表 7 管路解析による影響評価における1波目水位低下量の比較

赤字: 設備形状を考慮した場合に水位低下量が減少したケース

海底地すべり(警報なし)	取水路 防潮ゲート ※1	ケース	1波目の水位低下量(10分間) (m)		
			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
仮設定① エリアC (Es-T2) Kinematicモデル による方法 崩壊規模40%	開	【基本ケース】 貝付着あり	0.69	0.70	0.78
		【ケース1-2】 貝付着なし	0.69	0.71	0.78
仮設定② エリアB (Es-K5) Kinematicモデル による方法 破壊伝播速度0.4m/s	開	【基本ケース】 貝付着あり	0.65	0.67	0.73
		【ケース1-2】 貝付着なし	0.63	0.66	0.68

※1 開: ゲートが開いた状態であるがT.P.±0m~+6.5mはカーテンウォールあり

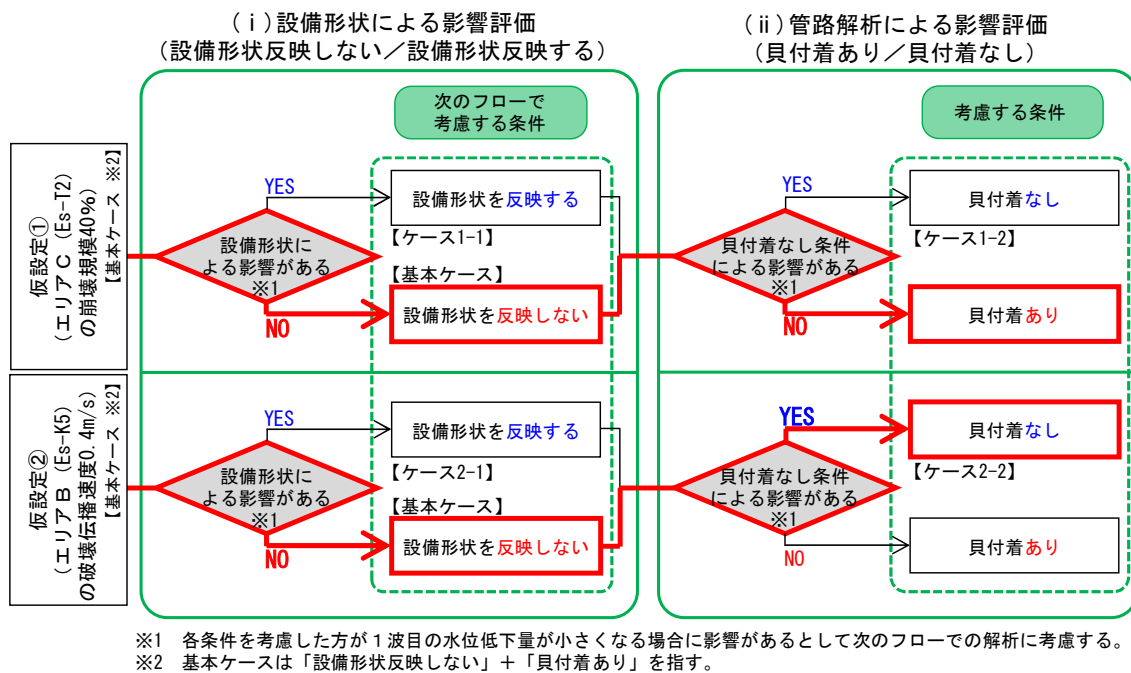


図 2 8 管路解析による影響評価結果

(iii) 評価結果のまとめ

表 6 に示す設備形状による影響評価結果及び表 7 に示す管路解析による影響評価結果のまとめを表 8 に示す。

仮設定①のエリアC (Es-T2) の崩壊規模 40%のケースは、設備形状による影響評価及び管路解析による影響評価の結果を踏まえても 1 波目の水位低下量に影響はなく、1 波目の水位低下量の最小値は 0.69m である。

仮設定②のエリアB (Es-K5) の破壊伝播速度 0.4m/s のケースは、設備形状による影響評価及び管路解析による影響評価の結果、1 波目の水位低下量の最小値は 0.63m となる。

以上より、「非線形性の観点」である仮設定②の仮設定値を、0.63m として再設定する。

表 8 評価結果のまとめ

赤字: 各仮設定の1波目の水位低下量最小値

		1波目の水位低下量 (10分間) (m)		
		a. に示す仮設定値 (基本ケース)	設備形状による 影響評価	管路解析による 影響評価
仮設定①	エリアC (Es-T2) Kinematicモデルによる方法 崩壊規模40%	0.69	0.86	0.69
仮設定②	エリアB (Es-K5) Kinematicモデルによる方法 破壊伝播速度0.4m/s	0.65	0.69	0.63

c. 津波検知の判断基準（トリガー）の設定

a. では、「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」で仮設定値（仮設定①:0.69m、仮設定②:0.65m、仮設定③:0.64m）を設定した。b. では、「パラメータスタディ波高の観点」及び「非線形性の観点」で抽出した仮設定①及び仮設定②の2ケースに対して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行い、「非線形性の観点」で抽出した仮設定②については、仮設定値を0.65mから0.63mに再設定した。時刻歴波形を有する仮設定値のうち、1波目の水位低下量が最小（0.63m）となるケース（仮設定②のエリアB（Es-K5）の破壊伝播速度0.4m/sに対して管路解析による影響評価として貝付着なしを考慮したケース）の時刻歴波形を図29に示す。

これらの仮設定値に対して、不確かさとして潮位のゆらぎを考慮の上、さらに余裕を考慮し、津波検知の判断基準（トリガー）を設定する。

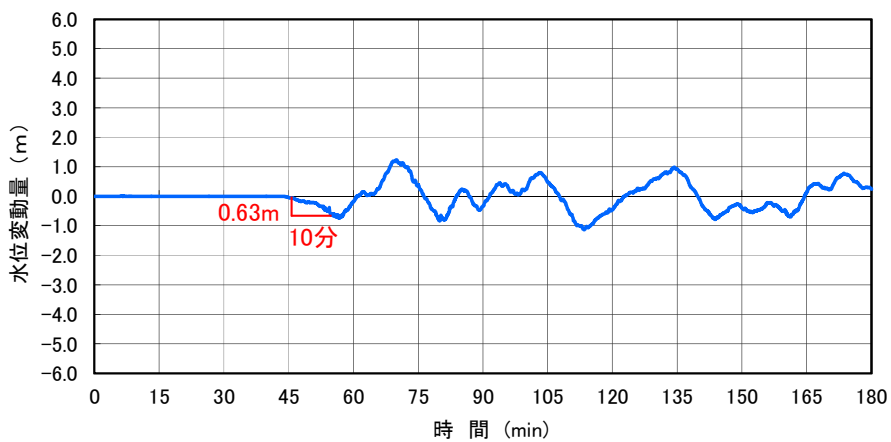
不確かさとして考慮する潮位のゆらぎは、図30のとおり、平常時における10分間の潮位のゆらぎが、潮位観測データから10分間の変動の中央値+標準偏差として0.04mと見積もられることから、保守的に0.10mとする。また、潮位のゆらぎの具体的な算出方法を図31に示す。

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、0.63m、0.64mに潮位のゆらぎ0.10mを考慮した場合、0.59m、0.53m、0.54mとなることから（表9）、さらに余裕を加味して津波検知の判断基準（トリガー）（以下「取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）」という。）を以下のとおり設定する。また、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の概念図を図32に示す。

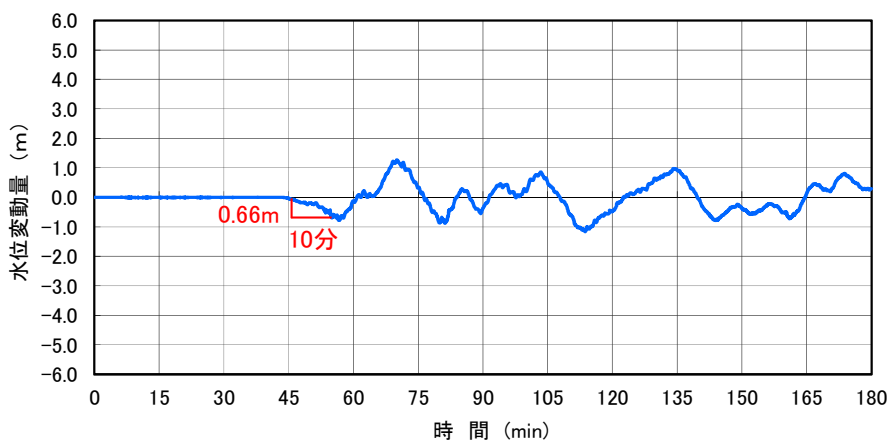
- ・ 潮位計（防護用）のうち、2台の観測潮位が10分以内に0.5m以上下降し、その後、最低潮位から10分以内に0.5m以上上昇する。
または
- ・ 潮位計（防護用）のうち、2台の観測潮位が10分以内に0.5m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.5m以上下降する。

以上の検討により、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（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た。また、（5）において取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）をさらに安全側に仮設定し、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踏まえた上で、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、津波防護に用いる取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）として妥当な設定となっている。

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

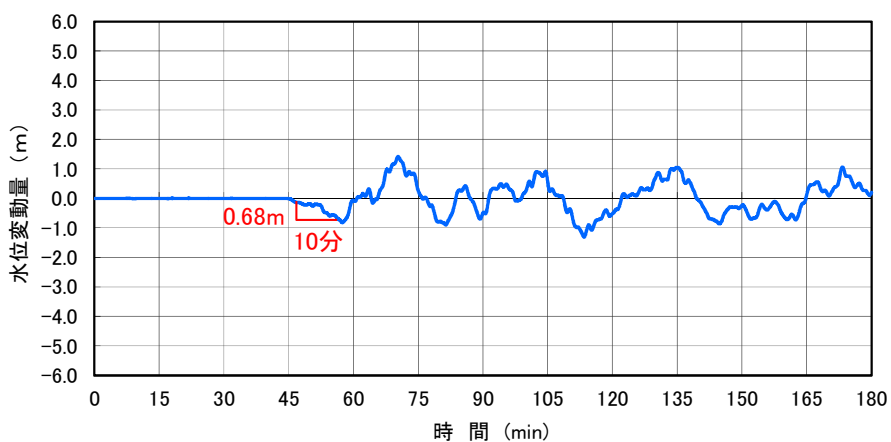


図 2 9 1 波目の水位低下量が最小 (0.63m) となるケースの時刻歴波形

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。

- 検討用波源の設定にて考慮する「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

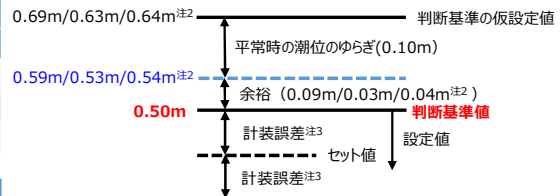
●夏季における10分間の潮位のゆらぎ(m)

	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)

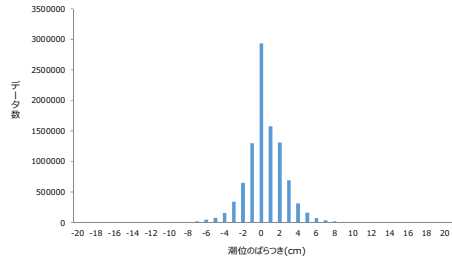
	2019.8.1~10.31及び2020.1.1~3.31(6か月)		
	3号海水ポンプ	4号海水ポンプ	全体
中央値	0.010	0.015	0.012
標準偏差	0.011	0.017	0.014
潮位のゆらぎ	0.021	0.032	0.026

●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。
注3：計装誤差の詳細については7.1に示す。



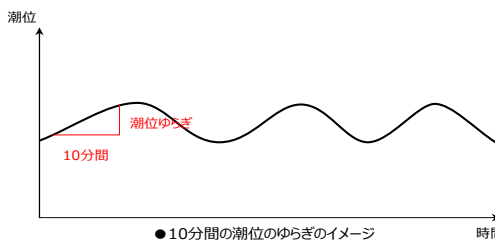
●10分間の潮位のゆらぎのばらつき (過去データ6ヶ月分)

図30 潮位計（監視用）の平常時における10分間の潮位のゆらぎ

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。

●観測データを用いた10分差及び絶対値の例



●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	1571832	1512228	3084060
中央値	0.012	0.012	0.012
標準偏差	0.014	0.014	0.014
潮位のゆらぎ	0.026	0.026	0.026

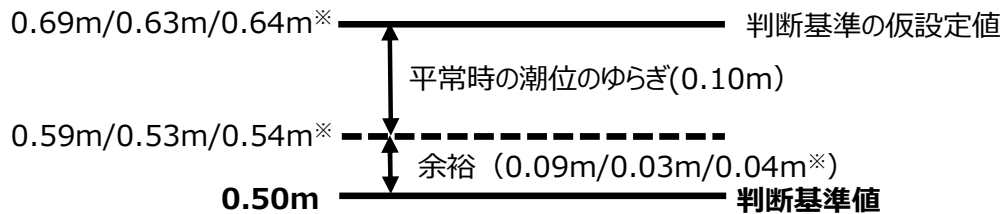
●夏季と冬季の6ヶ月データによる10分間の潮位のゆらぎ(m)

日時	潮位観測値		10分差の絶対値	
	3号海水ポンプ 観位[m]	4号海水ポンプ 観位[m]	3号海水ポンプ 差[m]	4号海水ポンプ 差[m]
2019年09月01日 00時10分05秒	-0.71	-0.678	0.098	0.094
2019年09月01日 00時10分10秒	-0.71	-0.678	0.095	0.094
2019年09月01日 00時10分15秒	-0.707	-0.675	0.098	0.095
2019年09月01日 00時10分20秒	-0.707	-0.678	0.095	0.092
2019年09月01日 00時10分25秒	-0.707	-0.675	0.095	0.093
2019年09月01日 00時10分30秒	-0.705	-0.673	0.095	0.095
2019年09月01日 00時10分35秒	-0.702	-0.673	0.095	0.092
2019年09月01日 00時10分40秒	-0.702	-0.67	0.095	0.092
2019年09月01日 00時10分45秒	-0.702	-0.67	0.095	0.095
2019年09月01日 00時10分50秒	-0.697	-0.668	0.098	0.097
2019年09月01日 00時10分55秒	-0.697	-0.668	0.098	0.095
2019年09月01日 00時11分00秒	-0.7	-0.67	0.015	0.012
2019年09月01日 00時11分05秒	-0.7	-0.67	0.012	0.012
2019年09月01日 00時11分10秒	-0.7	-0.668	0.012	0.014
2019年09月01日 00時11分15秒	-0.697	-0.668	0.015	0.014
2019年09月01日 00時11分20秒	-0.697	-0.665	0.015	0.015
2019年09月01日 00時11分25秒	-0.697	-0.665	0.015	0.015
2019年09月01日 00時11分30秒	-0.697	-0.665	0.015	0.015
2019年09月01日 00時11分35秒	-0.697	-0.665	0.015	0.015
2019年09月01日 00時11分40秒	-0.697	-0.665	0.013	0.015
2019年09月01日 00時11分45秒	-0.697	-0.665	0.013	0.013
2019年09月01日 00時11分50秒	-0.7	-0.668	0.01	0.012
2019年09月01日 00時11分55秒	-0.7	-0.668	0.01	0.012
2019年09月01日 00時12分00秒	-0.7	-0.668	0.01	0.012
2019年09月01日 00時20分05秒	-0.702	-0.67	0.008	0.008
2019年09月01日 00時20分10秒	-0.702	-0.673	0.008	0.005
2019年09月01日 00時20分15秒	-0.705	-0.673	0.002	0.002
2019年09月01日 00時20分20秒	-0.707	-0.673	0	0.005
2019年09月01日 00時20分25秒	-0.707	-0.673	0	0

図31 平常時における潮位のゆらぎの具体的な算定方法について

表9 不確かさを考慮した再設定値

		仮設定値		不確かさの考慮 (10分間の潮位のゆらぎ)	不確かさを考慮した再設定値
		パラメータスタディから得られた仮設定値	設備形状による影響評価及び管路解析による影響評価による仮設定値		
仮設定① パラメータスタディ波高の観点	数値(m)	0.69	0.69	0.10m ・検討用波源の設定にて考慮する「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。	0.69-0.10 = 0.59
仮設定② 非線形性の観点	数値(m)	0.65	0.63		0.63-0.10 = 0.53
仮設定③ 増幅比率の観点	数値(m)	0.64	—		0.64-0.10 = 0.54



※：仮設定値①/仮設定値②/仮設定値③場合を示す。

図32 取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の概念図

6. 3 後段規制における取水路防潮ゲートの閉止判断基準（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

設置許可段階では、基本設計の条件下で取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を設定し、それに基づく耐津波設計や耐津波評価に用いる入力津波として、「最高・最低水位を設定するための入力津波」の設定を行う。

設工認段階では、隠岐トラフ海底地すべりの波源特性に関するパラメータスタディ及び若狭湾の伝播特性に関するパラメータスタディにより取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の網羅性を確認したうえで、潮位計（防護用）の計装誤差の詳細設計の条件下で、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を基に設定するセット値が、日常のプラント運転への影響等を考慮したうえでも支障なく津波を検知できることを確認する。

また、敷地高さに最近接する波形を保守的に設定する観点から、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を設定する際に用いた仮設定の波形により入力津波を設定し、計器精度を考慮しても、敷地に影響を及ぼさないことの確認や1波目の水位低下量から取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）で検知できることを確認する。

上記の取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の設定及びその入力津波の設定に係る、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33）。

今回の申請における取水路防潮ゲートの閉止判断基準（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について図34に示す。

<p>【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。</p> <p>【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。</p> <p>【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」</p>
--

図33 基準規則解釈・審査ガイドの記載（抜粋）

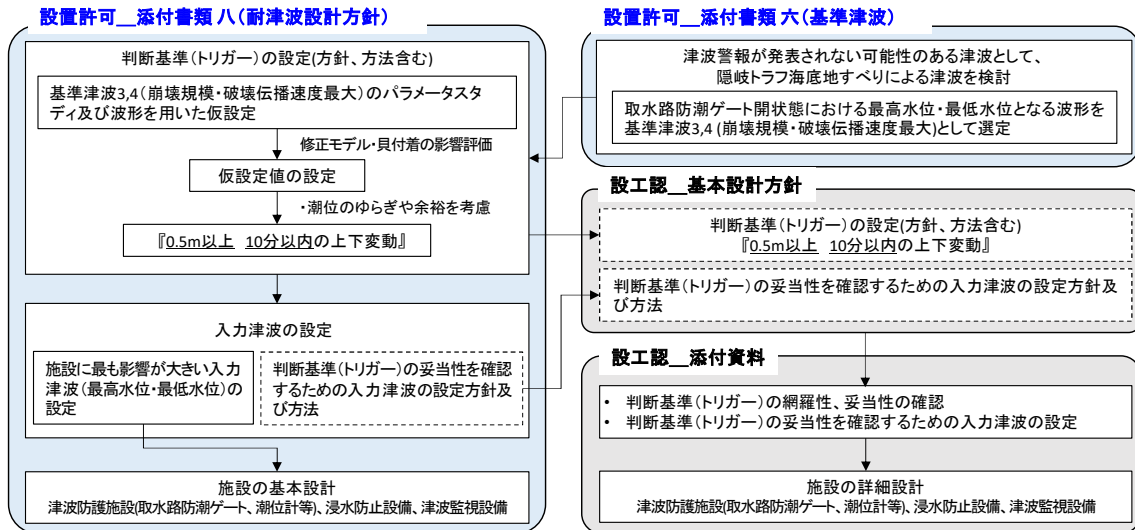


図34 今回申請における取水路防潮ゲートの閉止判断基準(トリガー)の網羅性・妥当性の確認及び入力津波設定の位置付けについて

7. 運用成立性の確認

4章及び5章の検討の結果、潮位計（防護用）を取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）として活用するためには、以下の2点が必要であることを確認した。6章において、以下の2点のうちの①を実施し、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を設定したため、7.1章においては、②を実施する。

- ①施設影響が生じるケースの見逃し、津波以外の誤検知の観点で問題ないか（取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の妥当性・網羅性）の確認
- ②津波を検知してから、施設影響が生じる潮位に至る前に取水路防潮ゲート閉止の運転操作が完了するか（運用成立性）の確認

また、7.1章においては、運転操作により取水路防潮ゲートが閉止される時刻から施設影響が生じる潮位に至る時刻までの余裕時間を確認する。

その上で、5章から7.2章までの検討において、潮位計（防護用）が取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した場合の取水路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章では、本運用を成立させる上で求められる潮位計（防護用）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取水路防潮ゲート閉止と今回の潮位計（防護用）による取水路防潮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

6章の検討結果より、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）は、「潮位計（防護用）のうち、2台の観測潮位がいずれも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（防護用）のうち、2台の観測潮位がいずれも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」した場合とすることで、網羅的に施設影響が生じるケースを検知できることを確認した。

本章においては、「津波を検知してから、施設影響が生じる潮位に至る前に取水路防潮ゲート閉止の運転操作が完了するか（運用成立性）の確認」を行う。

具体的には、1～4号炉の4プラント運転時において、取水路防潮ゲートは4門を常時開としており、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した場合、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（以下、各中央制御室）で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遠隔操作により取水路防潮ゲートを全門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が、施設影響の生じる潮位に至る前に完了するかを確認する。

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、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の検知、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（防護用）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に取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知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取水路防潮ゲート閉止に必要な運転操作は次のとおりである。まず、潮位計（防護用）において取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した後、各中央制御室にて、循環水ポンプ停止及びユニットトリップ操作を実施する。操作及びポンプ停止に要する時間は5分である。次に、1号及び2号炉中央制御室から遠隔操作により取水路防潮ゲート閉止を実施する。操作及び取水路防潮ゲート閉止に要する時間は1分である。以上より、一連の運転操作及び機器の動作完了に要する時間は、計6分である。

したがって、一連の運転操作及び機器の動作完了に要する時間の成立性を、以下の項目ごとに検討する。

- ① 潮位計（防護用）において取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知するまでの対応の成立性
- ② 取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した後の循環水ポンプ停止及び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、①の取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知するまでの対応は、既許可の大津波警報発表時の対応とは異なる対応となっており、成立性の確認が必要であるため、7. 1. 3章（1）にて確認結果の詳細を示す。また、①の対応の成立性の確認には、潮位計（防護用）のシステム構成及び、これを用いた潮位変化率の算出方法等の確認が必要であるため、7. 1. 3章（2）にて検討結果の詳細を示す。

②については、常用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、循環水ポンプ停止と循環水ポンプ出口弁の全開から全閉に要する時間の合計の設計値である約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り、7. 1. 3章（2）にて詳細を示す。

また、③の取水路防潮ゲート閉止は、②の循環水ポンプ停止及びユニットトリップ操作の実施後に行う必要がある。取水路防潮ゲートはゲート扉体に取り付けられたラック棒がラック式開閉装置に固定された構造である。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落下・閉止することとしており、取水路防

潮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、現場の設備実態が長さ 1 m の短尺ラック棒であることを反映して取水路防潮ゲート閉止に要する時間を 1 分と評価した。具体的には、この長さ 1 m の短尺のラック棒を用いて、揚程 1 m の高さをラック式開閉装置により落下し、その後の 5 m 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 1 分と評価しており、本評価の妥当性について 7. 1. 3 章 (4) に示す。

●津波襲来判断の例

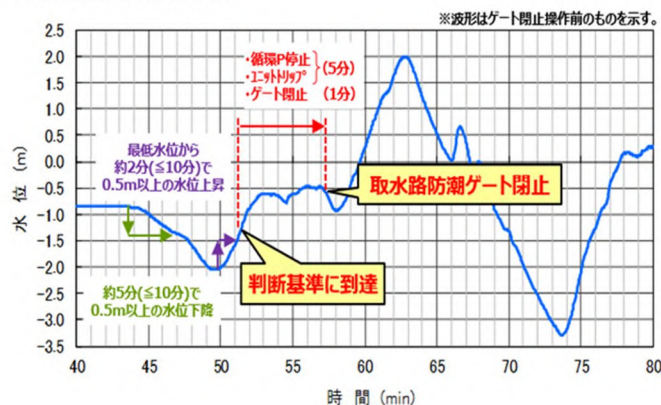


図 1 取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の一例

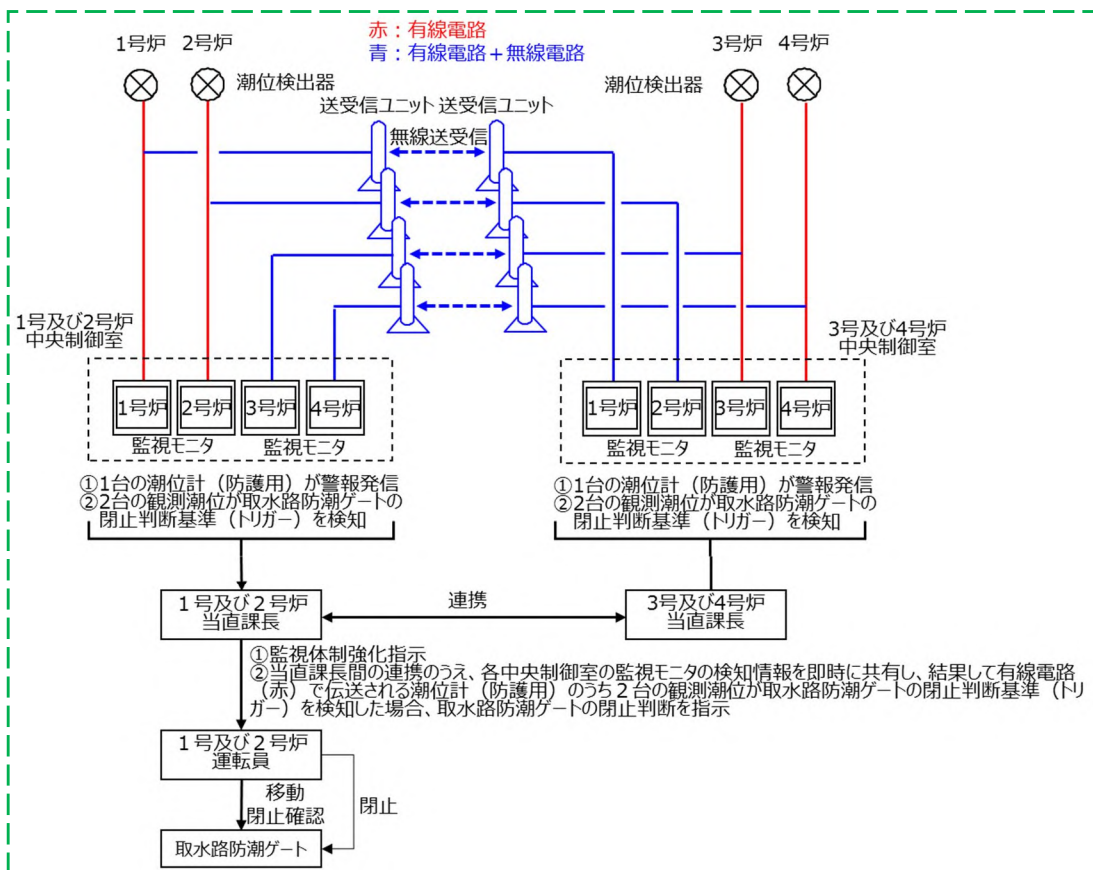
(今回の対策における対応)

	経過時間 (分)							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	時間	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
潮位変動の判断 運転員への指示等								5分	警報発信後、運転員は潮位の継続的な重点監視を行うとともに、2台の観測潮位がいずれも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。
ユニットリブ								5分	原子炉トリブ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2.0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。

(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)							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	時間	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）
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。
ユニットリブ操作								5分	原子炉トリブ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としており、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 取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知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 取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知するための一連の設備

7. 1. 3 検討結果

(1) 潮位計（防護用）において取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知するまでの対応の成立性

a. 検討対象とする津波の選定

6章の検討結果より、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を、4台の潮位計（防護用）のうち2台の観測潮位がいずれも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以上下降することとしている。

本項目において検討対象とする津波は、潮位変動開始から取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知するまでの所要時間が短く、最も運用上の時間的な対応が短くなる「海底地すべりエリアB（Es-K5、Kinematicモデル）」による津波とする。表1に、検討対象とする津波の潮位変動開始から判断基準に到達までの所要時間を示す。

表 1 潮位変動開始から取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知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)

※：1台の潮位計（防護用）において観測潮位が0.5m以上下降、又は上昇した時点で各中央制御室に警報が発信

- b. 取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知するまでの対応
- a. で設定した津波襲来時において、警報発信から取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）に到達するまでの対応は以下のとおり。
- ・ 4台の潮位計（防護用）のうち1台の潮位計（防護用）において観測潮位が10分以内に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。
 - ・ 1号及び2号炉当直課長並びに3号及び4号炉当直課長は潮位の継続的な集中監視を行うために、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、取水路防潮ゲート閉止準備に備えるよう指示する。また、1号及び2号炉当直課長と3号及び4号炉当直課長の連携により、警報が発信した当該潮位計（防護用）の当直課長は、他方の中央制御室の当直課長へ警報発信したことを報告する。
 - ・ 運転員はそれぞれの中央制御室の監視モニタへ移動し、潮位計（防護用）の潮位変化量やトレンドグラフを継続的に目視確認し、1号及び2号炉当直課長又は3号及び4号炉当直課長に速やかに状況を報告する。
 - ・ その後、1号及び2号炉当直課長並びに3号及び4号炉当直課長は潮位変動や循環水ポンプ停止等の準備に関する情報を運転員と共有し、1号及び2号炉当直課長と3号及び4号炉当直課長の連携により、各中央制御室の監視モニタの潮位情報を即時に共有する。1号及び2号炉当直課長並びに3号及び4号炉当直課長が4台の潮位計（防護用）のうち、2台の観測潮位がいずれも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以上上昇した時点、又は、潮位計（防護用）のうち、2台の観測潮位がいずれも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以上下降したことを確認した時点で、1号及び2号炉当直課長と3号及び4号炉当直課長の連携により、最終的に1号及び2号炉当直課長が取水路防潮ゲート閉止判断を行う。

1号及び2号炉運転員並びに3号及び4号炉運転員が警報発信から取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知するまで最短でも約5分であり、この間に取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知

することと、1号及び2号炉運転員並びに3号及び4号炉運転員が取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した場合に速やかに対応するための情報連携ができることを確認した。潮位トレンドイメージについて図4に、運転員タイムチャートを図5に示す。

なお、図3に示すとおり、潮位計（防護用）の電路は、有線と送受信ユニットを介した無線が混在しているが、「7. 3. 11 潮位計(防護用)の電路へ影響を及ぼす可能性のある共通要因について」に示すとおり、送受信ユニットを用いた無線は、チャンネル間の相互干渉がないこと、電波法等の関係法令に基づき近隣他設備の電波妨害を受けないこと、高層建築物等による伝搬障害を受けない配置とすること等により、潮位計(防護用)は、「電磁的障害」といった共通要因によって、安全機能を損なうことのない設計としている。

この設計を踏まえ、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知するまでの対応は、上記のとおり成立することを確認しており、この一連の対応において、1号及び2号炉の当直課長は、3号及び4号炉の当直課長が確認した3号及び4号炉側の有線による潮位データを確認する。よって、結果して、1号及び2号炉の当直課長は、有線の電路を用いた4台の潮位計（防護用）の情報を集約しており、1～4号炉の有線電路による潮位データにより取水路防潮ゲートの閉止を判断することとなる。

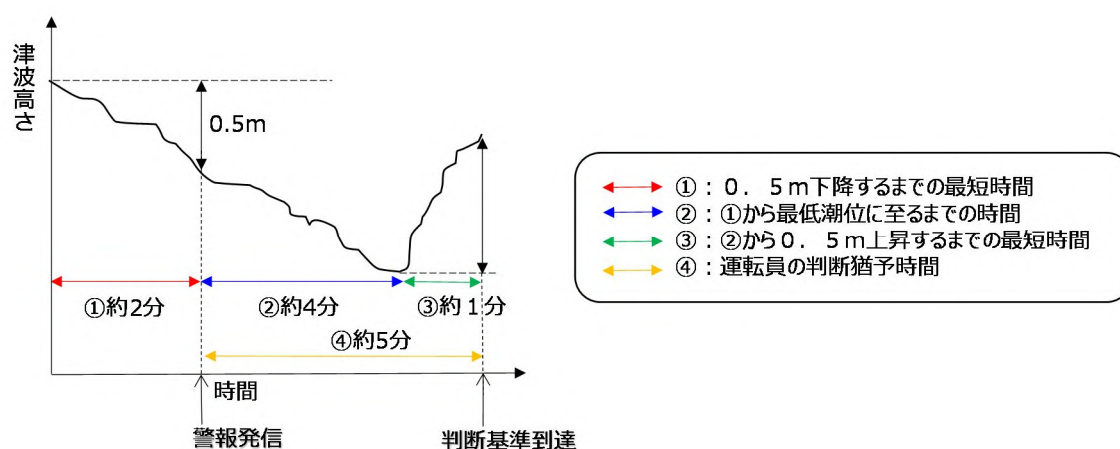


図4 潮位トレンドイメージ

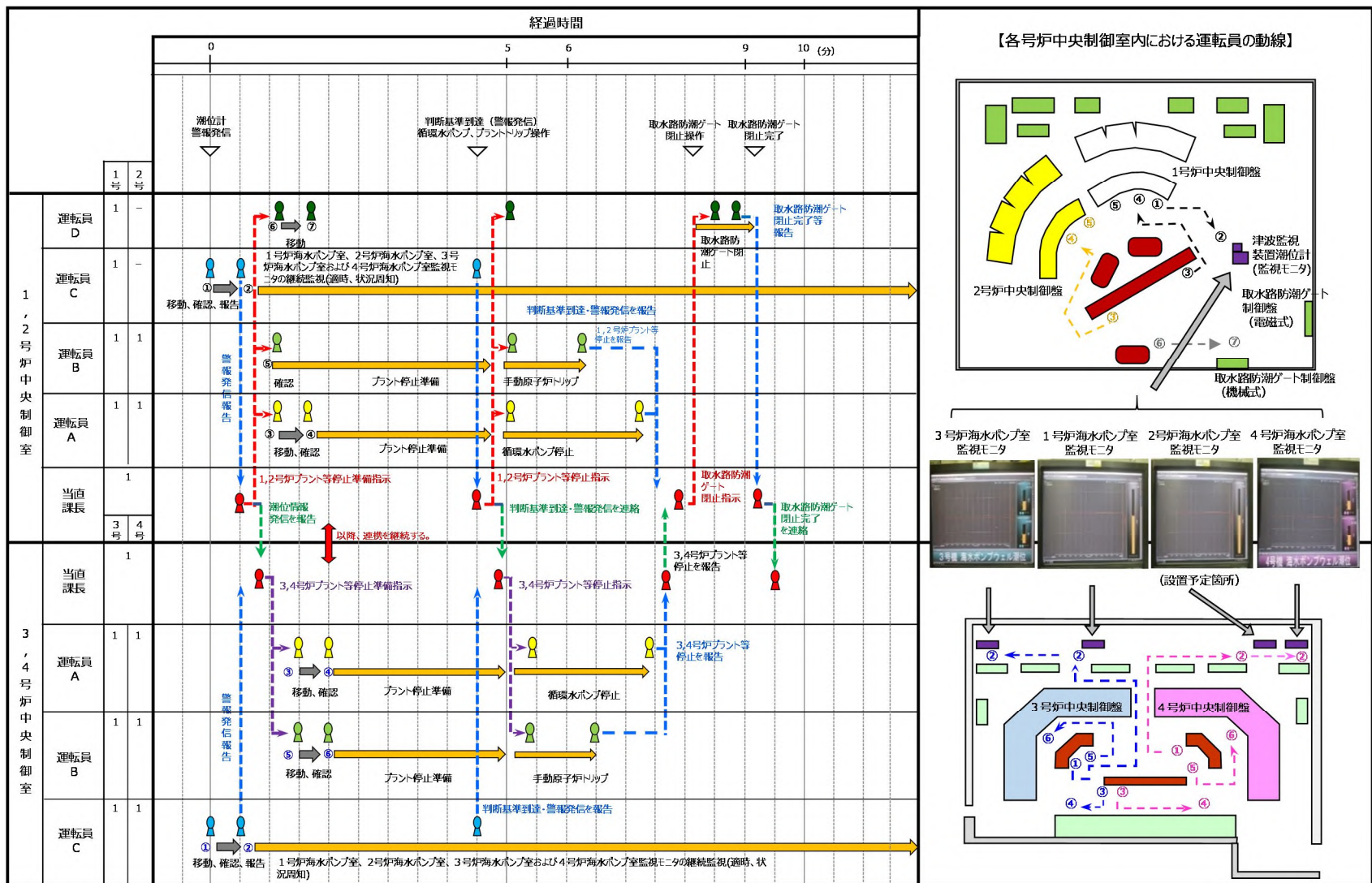


図5 運転員タイムチャート (1~4号炉) (1号及び2号炉潮位計 (防護用) で警報発信し、判断基準に到達した場合)

- (2) 潮位計（防護用）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（防護用）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（防護用）を用いた津波検知のシステムは、潮位が平常時においても潮の満ち引きや波浪等により変動するため、ある潮位を基準とした相対的な潮位の上昇及び下降の監視ではなく、一定時間における潮位の最大値と最小値の比較により、津波を確実に検知する事が可能な設計とする。

潮位計（防護用）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。

a. 潮位計（防護用）のシステム構成及び潮位変化量の算出方法

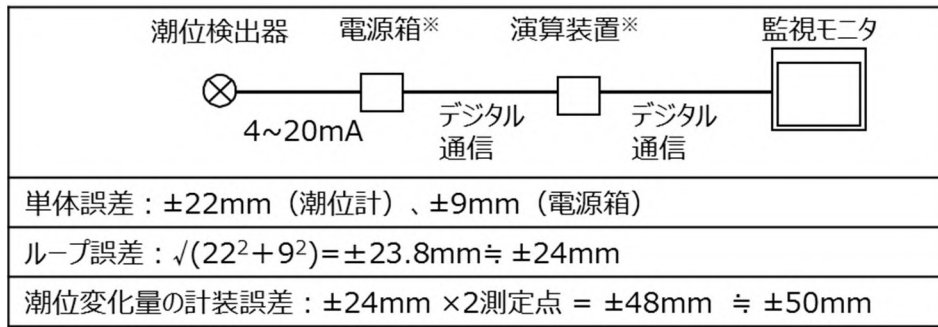
今回の対策においては、潮位計（防護用）のうち、2台の観測潮位がいずれも10分以内に0.5m以上下降し、その後、最低潮位から10分以内に0.5m以上上昇すること、又は10分以内に0.5m以上上昇し、その後、最高潮位から10分以内に0.5m以上下降することを取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）とすることから、10分以内の潮位変動を確実に捉える必要があり、これについて説明する。

潮位計（防護用）は図6に示すシステム構成であり、潮位計（防護用）のサンプリング周期は約3秒である。潮位計（防護用）の信号については演算装置において計測時点（ t ）からその10分前（ $t-10$ ）の間における潮位を3秒おきに収集・演算し、その間の最大潮位と最小潮位の差（潮位変化量）が0.5mに達した時点で監視モニタに警報発信する（図7参照）。この仕組みにより、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、10分以内に $\pm 0.5m$ 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、1号及び2号炉運転員並びに3号及び4号炉運転員が、監視モニタで集中監視する体制を構築するため、それ以降の監視モニタにおける潮位の目視確認や記録管理により、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知したことを速やかに確認することが可能である。

また、10分以内の $\pm 0.5m$ の潮位変動後、最大潮位又は最小潮位に達した時点から10分以内に、潮位変化量が0.5mに達した時点で、その潮位計（防護用）の監視モニタに警報発信する（図8参照）。さらに、1号及び2号炉並びに3号及び4号炉中央制御室のすべての監視モニタに、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）に到達したことを知らせる警報を発信し、これにより運転員が取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知することを支援する

なお、各潮位計（防護用）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（防護用）のシステム構成図及び計装誤差の考え方

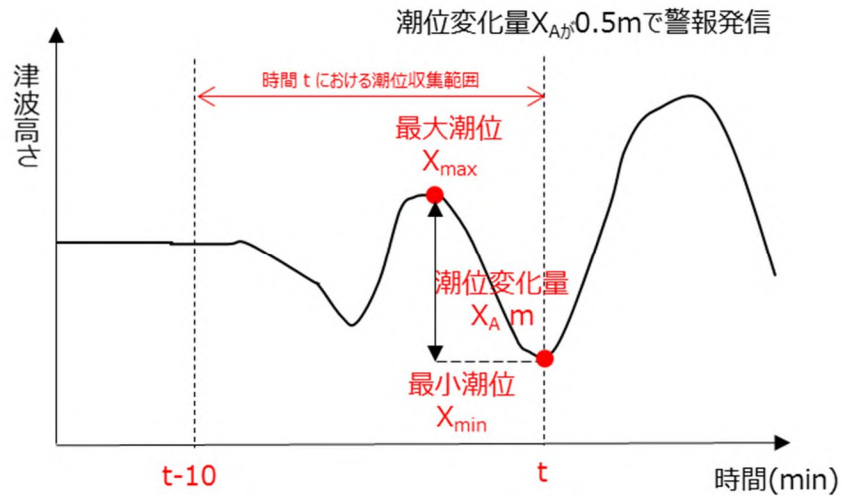


図7 潮位変化量の算出方法

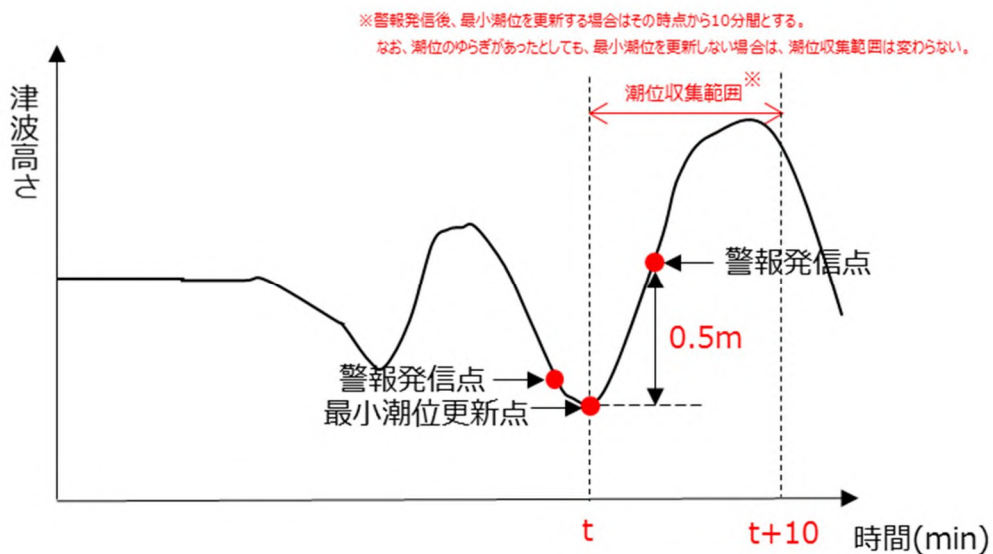


図8 潮位計（防護用）の警報発信に関する考え方

b. 潮位変化量の計装誤差等を踏まえた運転操作等への影響とセット値

潮位変化量の計装誤差は図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、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知するまでに、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、潮位変化量の計装誤差は図6のとおり最大で±約5cmであることから、これを踏まえた取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の実機のセット値は0.45mとし、これらの概念図を図9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、計装誤差の詳細については、詳細設計段階において説明する。

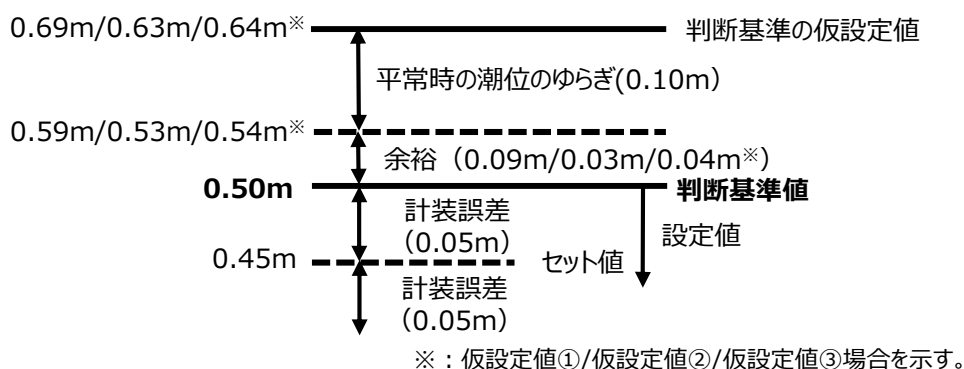


図9 潮位計（防護用）の判断基準値の概念図

(3) 取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した後の各操作の対応の成立性

1号及び2号炉運転員並びに3号及び4号炉運転員が取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知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は既許可の大津波警報発表時の対応時間と同様であることから、ここでは、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の各操作の対応の成立性について確認する。

(1) b. で1号及び2号当直課長が取水路防潮ゲート閉止判断を行った後の対応は以下のとおり。

1号及び2号炉当直課長は循環水ポンプ停止及び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号炉当直課長へ取水路防潮ゲート閉止について判断したことを連絡する。連絡を受けた3号及び4号炉当直課長は循環水ポンプ停止及びユニットトリップ操作を運転員へ

指示する。

既許可と同様、1号及び2号炉運転員並びに3号及び4号炉運転員が循環水ポンプ停止及びユニットトリップ操作を実施し、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及びユニットトリップ操作が完了したことを確認、3号及び4号炉当直課長は3号及び4号炉の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ことを確認する。

次に、3号及び4号炉当直課長は3号及び4号炉の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ことを、1号及び2号炉当直課長に連絡する。連絡を受けた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。

その後、1号及び2号炉当直課長は運転員から取水路防潮ゲートを閉止した報告を受け、3号及び4号炉当直課長に連絡する。

運転員タイムチャートは図5のとおりであり、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の一連の操作が時間内に対応できることを確認している。なお、取水路防潮ゲート閉止に要する時間の成立性については(4)に詳細を示す。

(4) 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、1号及び2号炉運転員並びに3号及び4号炉運転員が取水路防潮ゲートの閉止判断基準(トリガー)を検知し、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10及び図11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、図11に示すとおりゲートが開の状態では短尺ラック棒が装着されており、この場合、短尺ラック棒がゲート落下機構を通過する間の区間(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よって機械的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。)についてはほぼ自由落下となる。

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取水路防潮ゲート閉止時間は2分($6m / (3m/分) = 2分$)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取水路防潮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。

1号及び2号炉運転員並びに3号及び4号炉運転員が取水路防潮ゲートの閉止判断基準(トリガー)を検知した場合の取水路防潮ゲート閉止時

間については、現場の設備実態に合わせ、長さ 1 m の短尺の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。

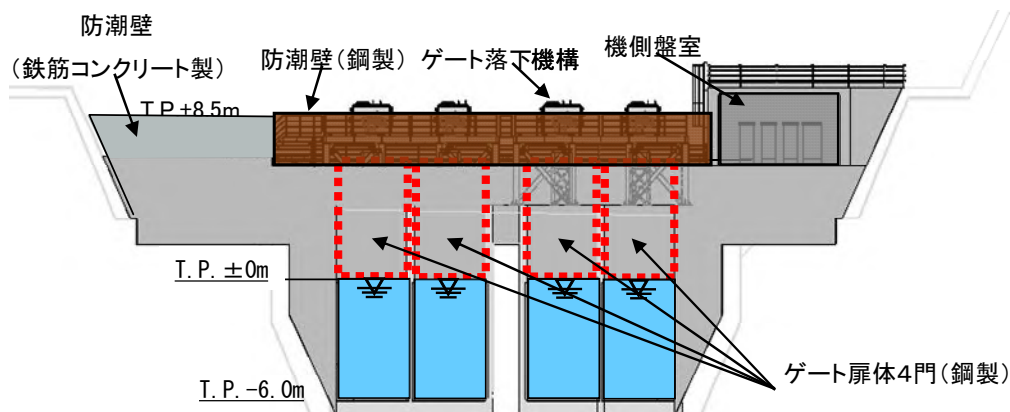


図10 4プラント運転時における取水路防潮ゲートの状況（正面図）

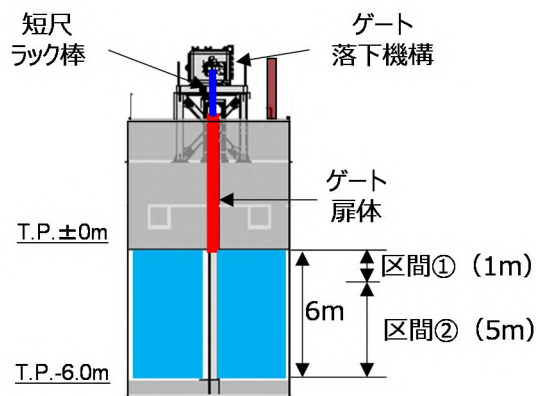


図11 4プラント運転時における取水路防潮ゲートの状況（断面図）

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、区間①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/分は静水中でのゲート閉止を検査等で確認したものであり、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。しかし、ゲート落下機構によって機械的に落下速度が制限されることから、津波による流水抵抗があったとしても、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、津波襲来時の取水路防潮ゲート閉操作にかかる荷重を設定する。

今回の取水路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、取水路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12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。

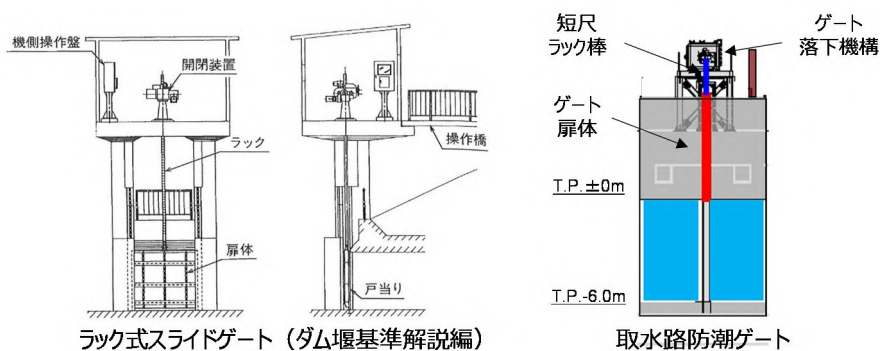


図12 ゲート形式について

(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、今回の取水路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 摩擦力	水密部 摩擦力	浮力	越流水による 上・下向力	下端放流水 による 上・下向力	波(風波浪) による荷重	開閉時の水 の抵抗力
スライドゲート	○	○	○	○	△	△	△	

【取水路防潮ゲートに考慮する開閉荷重の組合せ】

取水路防潮ゲート	○	○	- ※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。取水路防潮ゲートの開閉時の検討に考慮する荷重を図13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 摩擦力	水密部 摩擦力	浮力	越流水による 上・下向力	下端放流水 による 上・下向力	波(風波浪) による荷重	開閉時の水 の抵抗力
取水路防潮ゲート	①	②、③	-	④	-	-	-	⑤

○開閉荷重の作用イメージ図

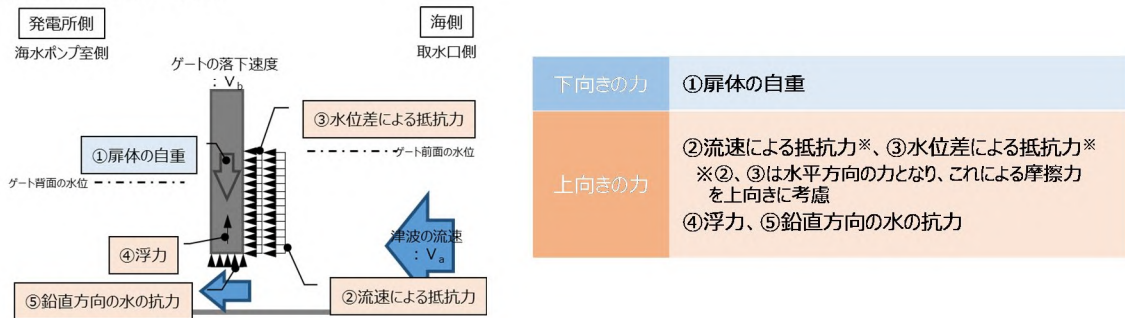


図13 考慮する開閉荷重及び荷重作用イメージ

図 1 3 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、「水密部または支承部金属間のすべり摩擦」として 0.4 が標準とされている。ただし、「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、取水路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、取水路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 4)、その状態のまま取水路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。

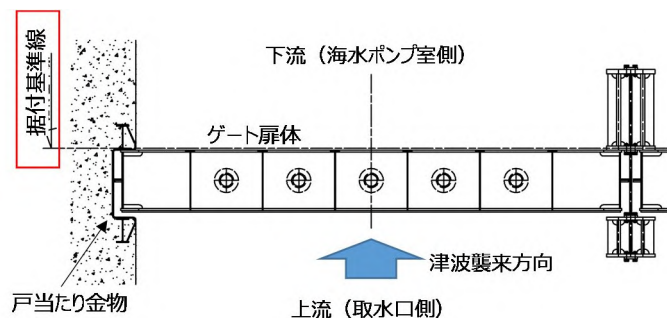


図 1 4 取水路防潮ゲート据付図

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 1 5 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)

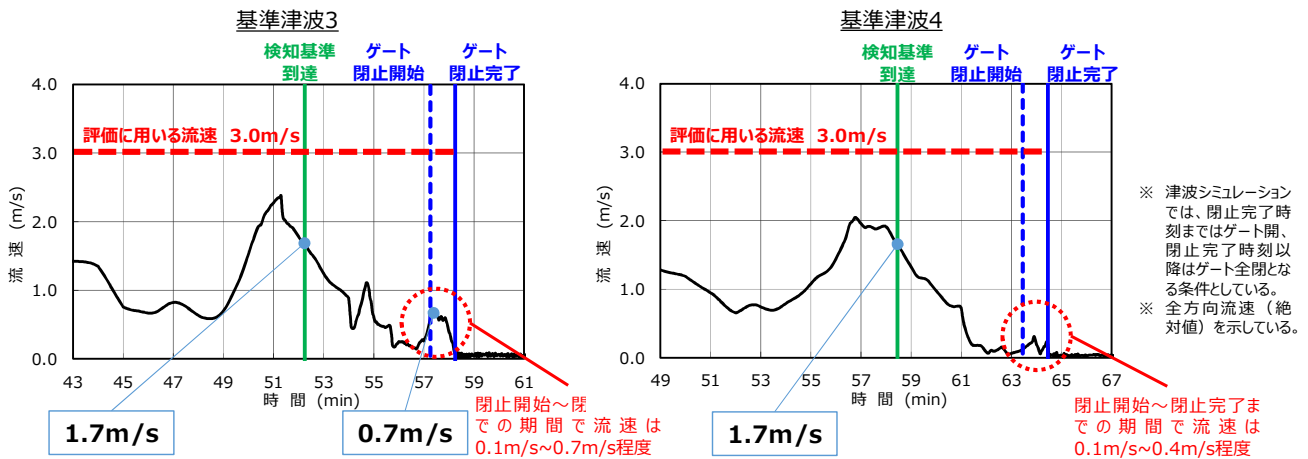


図 1 5 評価に用いる流速について

② 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、取水路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16）。

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

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）

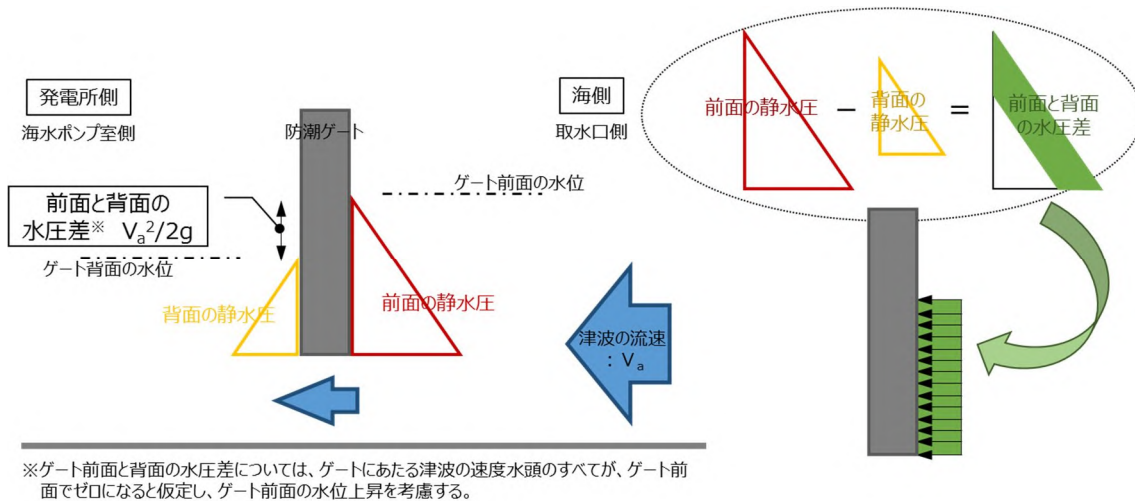


図16 水位差について

③ 浮力

扉体はスキムプレート（片面）をH鋼等で補強している構造（図17）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 7 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）。

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

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 8 に示す。

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

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

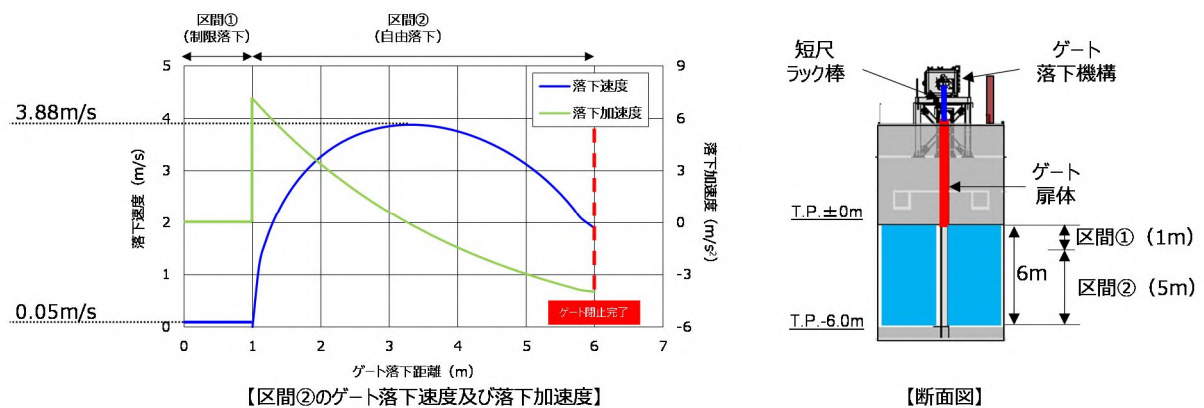


図 1 8 区間②のゲート落下速度及び落下加速度

(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、取水路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、定常状態で取水路防潮ゲートに作用する条件とする。

図 1 5 に示すとおり、「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)」を波源とした津波シミュレーションにおいて、取水路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、取水路防潮ゲート閉止タイミングの不確実性を考慮し、検知基準到達時に取水路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て、検知基準到達と同時に取水路防潮ゲートを閉止することが可能な状況を想定した場合）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 9）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 取水路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

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

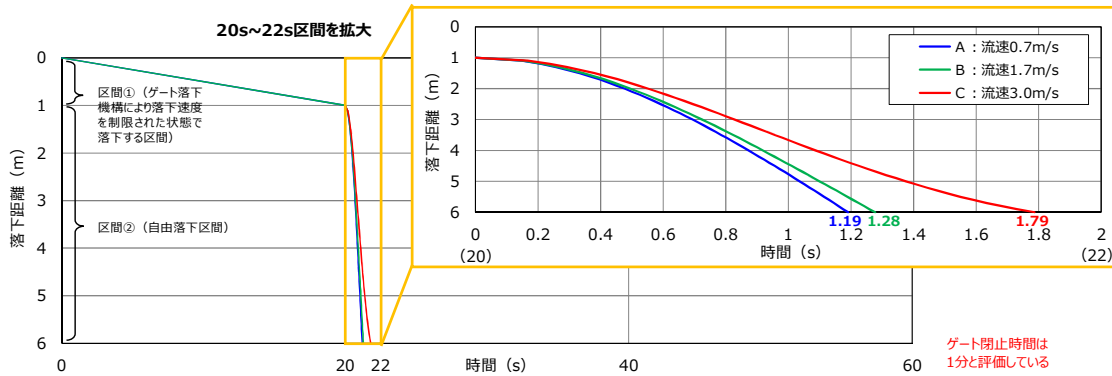


図19 取水路防潮ゲート閉止時間 (1分) の評価における裕度

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、津波を検知してから、施設影響が生じる潮位に至る前に取水路防潮ゲート閉止の運転操作が完了することを確認しているが、さらに、本章においては、取水路防潮ゲート閉止時刻から、施設影響が生じる潮位に至る時刻までにどれだけの余裕時間があるかを評価し、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、津波警報等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、及び施設に影響する水位の波が取水路防潮ゲート前面に到達するまでの時刻を算出し、取水路防潮ゲート閉止に対する余裕時間を確認する。

水位上昇側及び水位下降側における算出例を図20、図21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。

(「隠岐トラフ海底地すべりエリアB (Es-K5、Kinematicモデル)」を波源とする津波)

- ・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)

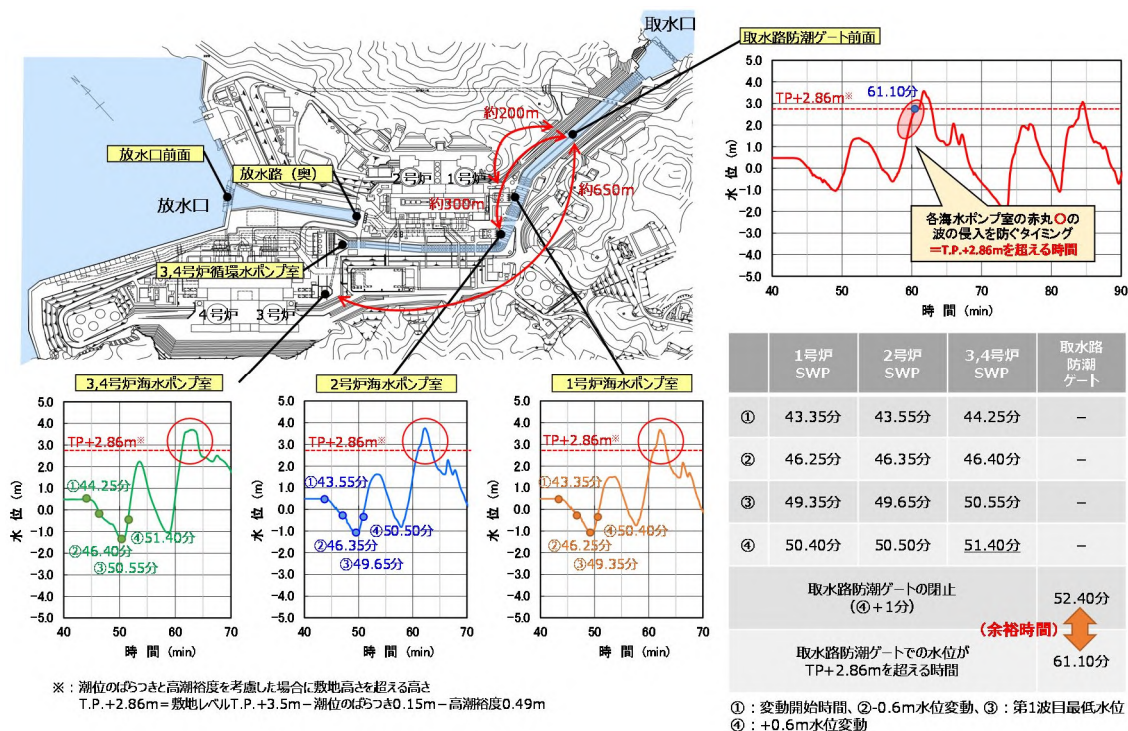


図20 余裕時間の算出例 (水位上昇側)

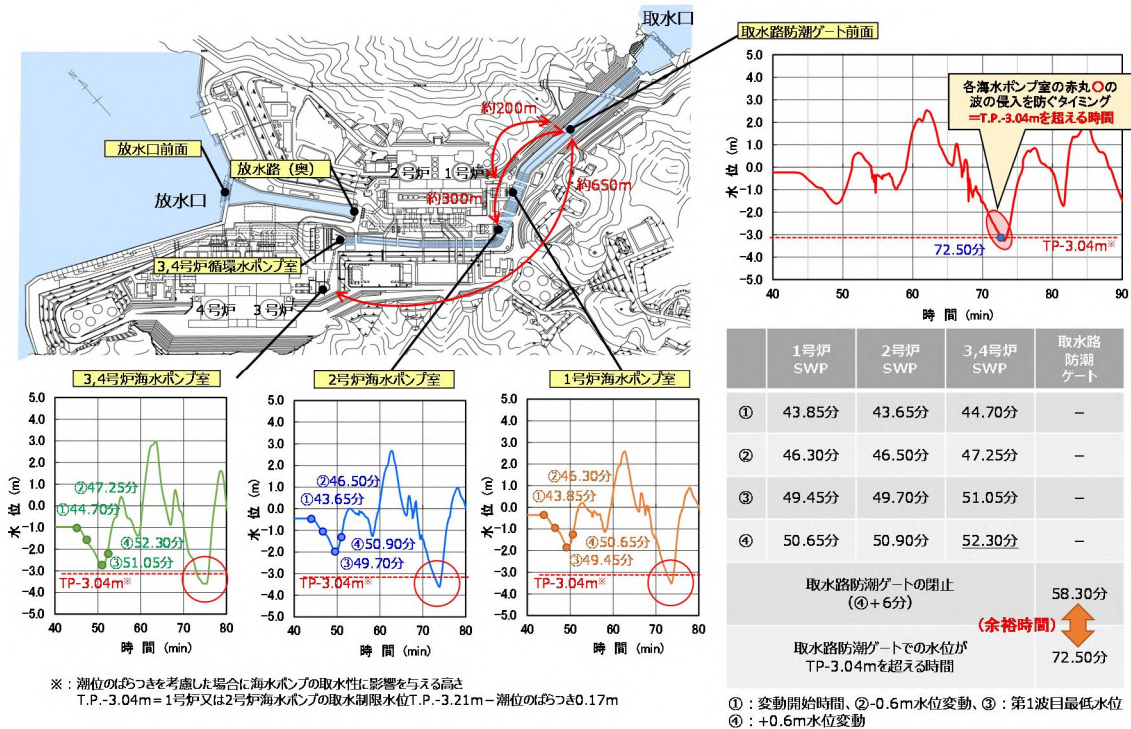


図 2 1 余裕時間の算出例 (水位下降側)

(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 4、表 5 に示す。

表4 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} (③+1分 or 6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	0.5mの水位低下[分](②)	0.5m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	45.85	50.35	52.30	61.10	8.80
			2号炉海水ポンプ室	46.05	50.45			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.20	51.30			
		80%	1号炉海水ポンプ室	45.95	49.85	51.95	61.30	9.35
			2号炉海水ポンプ室	46.00	50.05			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.20	50.95			
		70%	1号炉海水ポンプ室	46.10	49.65	51.75	61.35	9.60
			2号炉海水ポンプ室	46.15	49.85			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.20	50.75			
		60%	1号炉海水ポンプ室	46.70	49.50	51.55	61.50	9.95
			2号炉海水ポンプ室	46.30	49.55			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.25	50.55			
		50%	1号炉海水ポンプ室	47.10	49.15	51.40	61.40	10.00
			2号炉海水ポンプ室	47.05	49.35			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.25	50.40			
		40%	1号炉海水ポンプ室	47.30	49.20	51.55	61.30	9.75
			2号炉海水ポンプ室	47.35	50.55			
			3,4号炉海水ポンプ室	48.40	50.25			
	エリアC Es-T2	100%	1号炉海水ポンプ室	51.30	56.55	58.00	68.15	10.15
			2号炉海水ポンプ室	51.20	56.70			
			3,4号炉海水ポンプ室	51.45	57.00			
		80%	1号炉海水ポンプ室	51.30	56.00	57.65	68.10	10.45
			2号炉海水ポンプ室	51.20	56.15			
			3,4号炉海水ポンプ室	51.45	56.65			
60%		1号炉海水ポンプ室	51.30	55.80	57.10	67.20	10.10	
		2号炉海水ポンプ室	51.20	55.80				
		3,4号炉海水ポンプ室	51.45	56.10				
50%		1号炉海水ポンプ室	51.35	55.40	56.80	67.05	10.25	
		2号炉海水ポンプ室	51.25	55.40				
		3,4号炉海水ポンプ室	51.45	55.80				
45%	1号炉海水ポンプ室	51.45	55.55	56.75	66.95	10.20		
	2号炉海水ポンプ室	51.35	55.55					
	3,4号炉海水ポンプ室	51.50	55.75					
水位下降側	エリアB Es-K5	100%	1号炉海水ポンプ室	46.00	50.55	58.20	72.50	14.30
			2号炉海水ポンプ室	46.15	50.80			
			3,4号炉海水ポンプ室	47.00	52.20			
	80%	1号炉海水ポンプ室	46.05	50.25	57.95	72.85	14.90	
		2号炉海水ポンプ室	46.30	50.60				
		3,4号炉海水ポンプ室	47.00	51.95				

※1：水位上昇側は、循環水ポンプ全停条件としているため、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）検知から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、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）検知から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5 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 or 6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	0.5mの水位低下[分](②)	0.5mの水位上昇(判断基準)[分](③)			
水位上昇側	エリアB Es-K5	1.0 m/s	1号炉海水ポンプ室	45.85	50.35	52.30	61.10	8.80
			2号炉海水ポンプ室	46.05	50.45			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.20	51.30			
		0.8 m/s	1号炉海水ポンプ室	46.40	51.10	52.90	61.95	9.05
			2号炉海水ポンプ室	46.45	51.30			
			3,4号炉海水ポンプ室	46.40	51.90			
		0.7 m/s	1号炉海水ポンプ室	47.85	52.75	54.25	64.40	10.15
			2号炉海水ポンプ室	47.55	52.90			
			3,4号炉海水ポンプ室	47.40	53.25			
		0.6 m/s	1号炉海水ポンプ室	49.15	54.75	55.75	65.85	10.10
			2号炉海水ポンプ室	49.20	54.60			
			3,4号炉海水ポンプ室	47.95	54.00			
	0.55 m/s	1号炉海水ポンプ室	50.45	55.95	57.00	67.00	10.00	
		2号炉海水ポンプ室	50.65	56.00				
		3,4号炉海水ポンプ室	51.40	54.80				
	エリアC Es-T2	0.5 m/s	1号炉海水ポンプ室	51.30	56.55	58.00	68.15	10.15
			2号炉海水ポンプ室	51.20	56.70			
			3,4号炉海水ポンプ室	51.45	57.00			
0.4 m/s		1号炉海水ポンプ室	52.25	58.05	59.85	71.50	11.65	
		2号炉海水ポンプ室	52.35	58.15				
		3,4号炉海水ポンプ室	52.35	58.85				
水位下降側	エリアB Es-K5	1.0 m/s	1号炉海水ポンプ室	46.00	50.55	58.20	72.50	14.30
			2号炉海水ポンプ室	46.15	50.80			
			3,4号炉海水ポンプ室	47.00	52.20			
	0.8 m/s	1号炉海水ポンプ室	46.55	51.30	59.10	74.75	15.65	
		2号炉海水ポンプ室	46.70	51.65				
		3,4号炉海水ポンプ室	47.40	53.10				

※1：水位上昇側は、循環水ポンプ全停条件としているため、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）検知から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、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）検知から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パラメータ値が最大のケースが最も余裕時間が短く、取水路防潮ゲート閉止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取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）検知の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（防護用）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。

今回の対策では、潮位計（防護用）の津波検知情報に基づき取水路防潮ゲートを閉止するため、潮位計（防護用）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

取水路防潮ゲートは、敷地への遡上又は水位変動に伴う取水性低下による海水ポンプへの影響のおそれがある津波が襲来した場合に、津波が敷地へ到達・流入すること及び水位変動に伴う取水性低下による海水ポンプへの影響を防止し、防護対象設備が機能喪失することのない設計とするために設置する津波防護施設である。また、可動部・駆動部を有していることから、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。表6に重要度分類指針の付表を示す。

取水路防潮ゲートが津波防護施設であること、重要度分類指針上において、MS-1設備に該当することを念頭に、潮位計（防護用）に要求される安全機能を整理した。

今回の運用では、潮位計（防護用）の津波検知情報に基づき津波防護施設であり、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（防護用）は取水路防潮ゲートと同様に、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（防護用）は取水路防潮ゲートの閉止判断にかかわるものとして、MS-1設備である取水路防潮ゲートと同等の設計とし、申請書の第12条に明記する。取水路防潮ゲート及び潮位計（防護用）に対する第12条の各項の適用要否を表7に示す。潮位計（防護用）は、取水路防潮ゲートの閉止判断にかかわる直接関連系であることから、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、取水路防潮ゲート及び潮位計（防護用）に対する第12条への適合性を表8に示す。

取水路防潮ゲート及び潮位計（防護用）の設計項目は表9のとおり。潮位計（防護用）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6 重要度分類指針の付表（抜粋）

分類	異常影響緩和系						
	定義	機能	構造物、系統又は機器 (PWR)	特記すべき関連系 (PWR)	構造物、系統又は機器 (BWR)	特記すべき関連系 (BWR)	備考
MS-1		5) 炉心冷却機能	非常用炉心冷却系 (低圧注入系、高圧注入系、蓄圧注入系)		非常用炉心冷却系 (低圧炉心スプレイ系、低圧注入水系、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、アニュラス、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ系、アニュラス空気再循環設備、安全補機室空気浄化系、可燃性ガス濃度制御系	原子炉格納容器排気筒	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能)	
	2) 安全上必須なその他の構造物、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。)	

表7 第12条の各項の適用要否

項	適用要否 ^{※1}	取水路防潮ゲートの適用要否の理由	潮位計（防護用）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であ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、1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉の津波から防護する設備への津波による影響を同時に防止できる設計とすることから、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であり、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8 第12条への適合性（1／5）

設置許可基準規則		取水路防潮ゲートの適合性※	潮位計（防護用）の適合性
項	内容		
1	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ない。	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、流入すること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。	潮位計（防護用）は、入力津波による遡上波が、設計基準対象施設である津波防護対象設備に到達、流入することを防ぐ重要施設である取水路防潮ゲートの閉止判断にかかわる直接関連系である。 このため、潮位計（防護用）は重要安全施設として取水路防潮ゲートと同等の設計とする。

※：既許可の記載から抜粋

表8 第12条への適合性(2/5)

設置許可基準規則		取水路防潮ゲートの適合性※	潮位計(防護用)の適合性
項	内容		
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って、外部電源が利用できない場合においても機能できるように、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ない。</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>潮位計(防護用)は、津波防護機能を達成するため、その構造、動作原理、果たすべき安全機能の性質等を考慮し、1号、2号、3号及び4号炉共用の4チャンネルとし、多重性を確保する設計とする。各系列相互間は、離隔距離を取るか必要に応じ障壁を設ける等により、物理的に分離し、所定の安全機能を達成できる設計とする。また、潮位計(防護用)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>

※：既許可の記載から抜粋

表8 第12条への適合性(3/5)

設置許可基準規則		取水路防潮ゲートの適合性※	潮位計(防護用)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ない。</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するとともに、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> <p>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。</p> <p>基準地震動 S_s 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>	<p>潮位計(防護用)の設計条件を設定するに当たっては、想定される環境条件を考慮し十分余裕を持って機能維持が可能な設計とする。</p> <p>潮位計(防護用)用電源への給電には、難燃性ケーブルを使用するとともに、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> <p>潮位計(防護用)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。</p> <p>基準地震動 S_s に対して、潮位計(防護用)の機能を喪失しない設計とする。</p>
4	<p>安全施設は、その健全性及び能力を確認するため、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ない。</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>潮位計(防護用)は、その健全性及び能力を確認するため、必要性及びプラントに与える影響を考慮して、原子炉の運転中又は停止中に潮位計(防護用)の試験又は検査が可能な設計とする。</p>

※：既許可の記載から抜粋

表8 第12条への適合性(4/5)

設置許可基準規則		取水路防潮ゲートの適合性※	潮位計(防護用)の適合性
項	内容		
5	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ない。	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離隔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、タービンミサ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。	潮位計(防護用)は、発電所内の蒸気タービン、ポンプ、発電機等の大型回転機器の損壊によって発生する飛来物により、その安全機能を損なうことのないよう、蒸気タービン、ポンプ、発電機等の機器設計、製作、品質管理及び運転管理に十分な考慮を払い、飛来物が発生する可能性を十分低く抑える設計とする。また、潮位計(防護用)と蒸気タービン、ポンプ等とは距離による離隔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、タービンミサ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。

※：既許可の記載から抜粋

表8 第12条への適合性(5/5)

設置許可基準規則		取水路防潮ゲートの適合性※	潮位計(防護用)の適合性
項	内容		
6	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。	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機能を損なうおそれがないように設計する。	潮位計(防護用)は、取水路防潮ゲートの閉止判断にかかわる必要な情報を1号及び2号炉中央制御室又は3号及び4号炉中央制御室の監視モニタに指示及び警報の発信を行い、1号及び2号炉当直課長と3号及び4号炉当直課長の連携により、発電所全体における津波の襲来状況を的確に把握することができ、安全性が向上するため、取水路防潮ゲートと同様に全共用とする。なお、潮位検出器、監視モニタ、送受信ユニット等からなる潮位計(防護用)の4つのチャンネルは独立した系統とし、多重性を持たせることで、各々の潮位計(防護用)の間で相互に接続しないものとし、基準津波に対して安全機能を損なうおそれがないように設計する。

※：既許可の記載から抜粋

表9 取水路防潮ゲートと潮位計（防護用）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

取水路防潮ゲート閉止の自動化について検討したが、潮位計（防護用）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。

なお、手動操作では、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（防護用）の第26条に対する位置づけ

7. 3. 3. 1 潮位計（防護用）の位置づけ

既許可では、大津波警報の発表を受信する設備として、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）にて、大津波警報を受信した場合には、1号及び2号炉当直課長が取水路防潮ゲートの閉止を判断することとしている。この「当直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、「当直課長判断以後、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（防護用）の警報発信機能については、第26条として位置付ける。

図22に既許可と今回の対策の適用条文の整理結果を示す。

また、FAX及び潮位計（防護用）に対する第26条の各項の適用可否を表10に示す。潮位計（防護用）は、1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉中央制御室における外部状況把握に必要な設備であることから、外部状況把握が必要な設備として第1項第2号を適用対象とし、FAX及び潮位計（防護用）の適合性について表11に示す。

取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した場合、1号及び2号炉当直課長は、取水路防潮ゲート閉止の判断を実施する。次に、1号及

び2号炉当直課長並びに3号及び4号炉当直課長は循環水ポンプ停止、ユニットトリップ操作を運転員に指示する。1号及び2号炉当直課長は1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉循環水ポンプの停止、ユニットトリップ操作が完了したことを確認し、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。

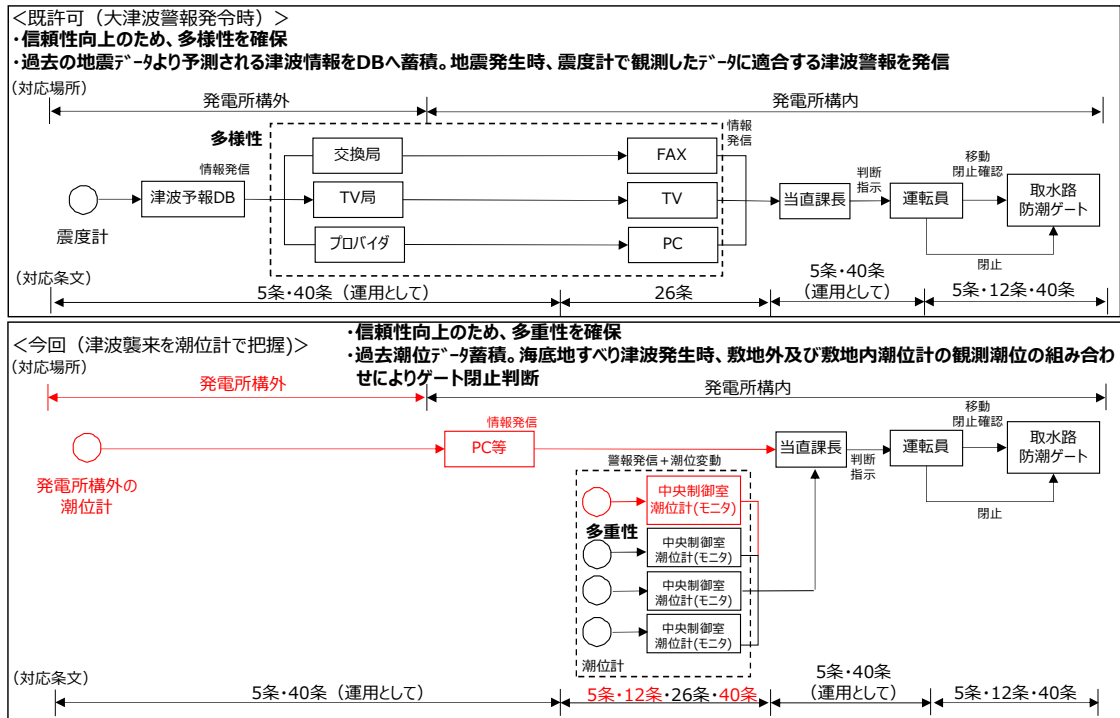


図 2 2 既許可と今回の対策の適応条文の整理

表10 第26条の各項の適用要否

項	号	適用要否 ※1	FAXの 適用要否の理由	潮位計（防護用）の 適用要否の理由
1	一	×	発電用原子炉及び主要な関連施設の運転状況並びに主要パラメータに該当しないことから対象外。	同左
	二	○	発電用原子炉施設に影響を及ぼす可能性のある自然現象等を把握する設備に該当することから対象とする。	同左
	三	×	急速な手動による発電用原子炉の停止及び停止後の発電用原子炉の冷却確保のための操作に該当しないことから対象外。	同左
2	一	×	発電用原子炉の高温停止及び低温停止に必要な機能に該当しないことから対象外。	同左
3	一	×	1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉中央制御室の居住性の確保に必要な設備でないことから対象外。	同左

※1：○：要、×：否

表 1 1 第 2 6 条への適合性

設置許可基準規則			FAX の適合性※	潮位計（防護用）の適合性
項	号	内 容		
1	-	発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、原子炉制御室（安全施設に属するものに限る。以下この条において同じ。）を設けなければならない。	—	—
	二	発電用原子炉施設の外の状況を把握する設備を有するものとする。	1 号及び 2 号炉中央制御室並びに 3 号及び 4 号炉中央制御室に F A X を設置し、公的機関からの地震、津波、竜巻情報等を入手できる設計とする。	取水路防潮ゲートの閉止判断にかかわるものとして潮位計（防護用）を設置する。潮位計（防護用）は、1 号及び 2 号炉中央制御室並びに 3 号及び 4 号炉中央制御室において、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知するため、4 台の潮位計（防護用）のうち 1 台の潮位計（防護用）において、観測潮位が 10 分以内に 0.5m 以上下降、又は上昇した時点で警報発信する。この警報が発信した時点で、1 号及び 2 号炉運転員並びに 3 号及び 4 号炉運転員は、監視モニターで集中監視する体制を構築するとともに、潮位計（防護用）は、1 号及び 2 号炉中央制御室並びに 3 号及び 4 号炉中央制御室における循環水ポンプの停止（プラント停止）操作と、1 号及び 2 号炉中央制御室における取水路防潮ゲートの閉止操作に必要な情報を 1 号及び 2 号炉中央制御室並びに 3 号及び 4 号炉中央制御室の運転員に提示できる設計とする。

※：既許可の記載から抜粋

7. 3. 4 潮位計（防護用）の第6条に対する位置づけ

既許可では、取水路防潮ゲートは設計竜巻により損傷する場合には、応急処置により安全上支障のない期間に必要な機能を確保することが可能な設計とすることにより、安全機能を損なうことのない設計としている。また、津波防護施設及び津波監視設備については、竜巻は気象現象、津波は地震又は海底地すべりにより発生し、発生原因が異なり、同時に発生することは考えられず、事象の組み合わせは考慮しないことから、竜巻防護施設として抽出していない。

この位置づけを踏まえ、取水路防潮ゲートと同等の設計とする潮位計（防護用）については、設計竜巻により損傷する場合には、応急処置により安全上支障のない期間に必要な機能を確保することが可能な設計とすることにより、安全機能を損なうことのない設計とする。竜巻の襲来後、潮位計（防護用）に損傷を発見した場合の措置について、潮位計（防護用）に損傷を発見した場合、安全機能回復の応急処置を行う手順等を整備し、的確に実施する。また、応急処置が困難と判断された場合にはプラントを停止する手順等を整備し、的確に実施する。

7. 3. 5 潮位計（防護用）の設計方針

潮位計（防護用）は、潮位検出器、送受信ユニット及び監視モニタ（電源系含む）で構成している。4台の潮位計（防護用）のうち、1台の潮位計（防護用）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号炉中央制御室の監視モニタに指示及び警報の発信を行う。潮位計（防護用）は、以下の方針で設計する。

(1) 潮位計（防護用）は、単一故障又は使用状態からの単一の取り外しを行った場合において、津波防護機能を喪失しないよう1号、2号、3号及び4号炉共用の4チャンネルとし、多重性を確保する設計とする。また、潮位計（防護用）に必要な電源系もそれぞれに独立したシステム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喪失しない設計とする。

潮位計（防護用）は、取水路防潮ゲートと同等の設計にすることから多重化（2台目）し、またこれに加えて信頼性向上を図る（試験可能性や単一故障を考慮する）設計（3台目）とし、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する。ただし、実運用を考慮し、運用性の更なる向上のため、予備の潮位計（防護用）を1台追加することから、2号炉にも1台追加し、4台構成とする。なお、いずれの潮位計（防護用）でも施設影響が生じるケースを漏れなく検知でき、2チャンネルによる検知がどのような組み合わせでも、取水路防潮ゲート閉止判断に差異を生じないことから、閉止判断に用いる潮位計（防護用）は固定せず、2台が取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した時点で取水路防潮ゲートを閉止する。

(2) 潮位計（防護用）は、チャンネル相互を分離し、それぞれのチャンネル間において独立性を確保する設計とする。

(3) 潮位計（防護用）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。また、潮位計（防護用）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。

(4) 基準地震動 S_s に対して、潮位計（防護用）の機能を喪失しない設計とする。

(5) 原子炉の運転中又は停止中に潮位計（防護用）の試験又は検査が可能な設計とする。

(6) 潮位計（防護用）と蒸気タービン、ポンプ等とは距離による離隔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、タービンミサイルの発生を仮に想定しても安全機能を有する構築物、システム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。

(7) 潮位計（防護用）は、取水路防潮ゲートの閉止判断にかかわる必要な

情報を1号及び2号炉中央制御室又は3号及び4号炉中央制御室の監視モニタに指示及び警報の発信を行い、1号及び2号炉当直課長と3号及び4号炉当直課長の連携により、発電所全体における津波の襲来状況を的確に把握することができ、安全性が向上するため、取水路防潮ゲートと同様に全共用とする。

なお、潮位検出器、監視モニタ、送受信ユニット等からなる潮位計(防護用)の4つのチャンネルは独立した系統とし、多重性を持たせることで、各々の潮位計(防護用)の間で相互に接続しないものとし、基準津波に対して安全機能を損なうおそれがないように設計する。

7. 3. 6 主要設備

(1) 潮位検出器

潮位検出器は、単一故障又は使用状態からの単一の取り外しを行った場合において、津波防護機能を喪失しないよう多重化しており、それぞれのチャンネルは、独立した1号及び2号炉海水ポンプ室並びに3、4号炉海水ポンプ室に設置することにより物理的に分離している。

また、これらの潮位検出器に必要な電源は、異なる安全系の電源からそれぞれ独立に給電するとともに、潮位検出器及び監視モニタ間(送受信ユニット含む)の配線もチャンネル相互に分離し電氣的にも独立性を保つようにする。

(2) 送受信ユニット

送受信ユニットは、単一故障又は使用状態からの単一の取り外しを行った場合において、津波防護機能を喪失しないよう多重化しており、それぞれの送受信ユニットは、原子炉補助建屋において距離による離隔がなされているとともに、それぞれの送受信ユニット間におけるデータ伝送が互いに電波干渉しないように、異なる周波数帯を設定してデータ伝送を行う設計としている。

また、送受信ユニットに必要な電源は、異なる安全系の電源からそれぞれ独立に給電するとともに、潮位検出器及び監視モニタ間(送受信ユニット含む)の配線もチャンネル相互に分離し電氣的にも独立性を保つようにする。

(3) 監視モニタ

監視モニタは、単一故障又は使用状態からの単一の取り外しを行った場合において、津波防護機能を喪失しないよう多重化しており、それぞれのチャンネルは、1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉

中央制御室においてチャンネル毎に独立した監視モニタを設置していることから物理的に分離している。

また、監視モニタに必要な電源は、異なる安全系の電源からそれぞれ独立に給電するとともに、潮位検出器及び監視モニタ間（送受信ユニット含む）の配線もチャンネル相互に分離し電氣的にも独立性を保つようにする。

7. 3. 7 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（防護用）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のため、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（防護用）が取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知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、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した2台の潮位計（防護用）が1/2ロジックを構成する片系列の2台の潮位計（防護用）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（防護用）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23及び図24にそれぞれの判断方法とイメージを示す。

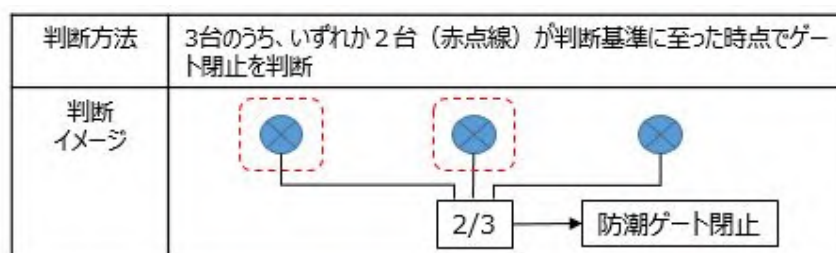


図23 2 out of 3の判断方法とイメージ

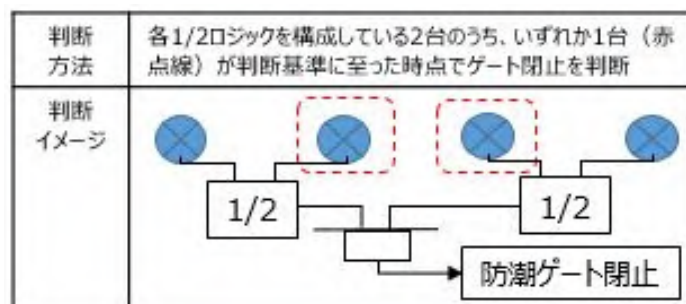


図24 1 out of 2 twiceの判断方法とイメージ

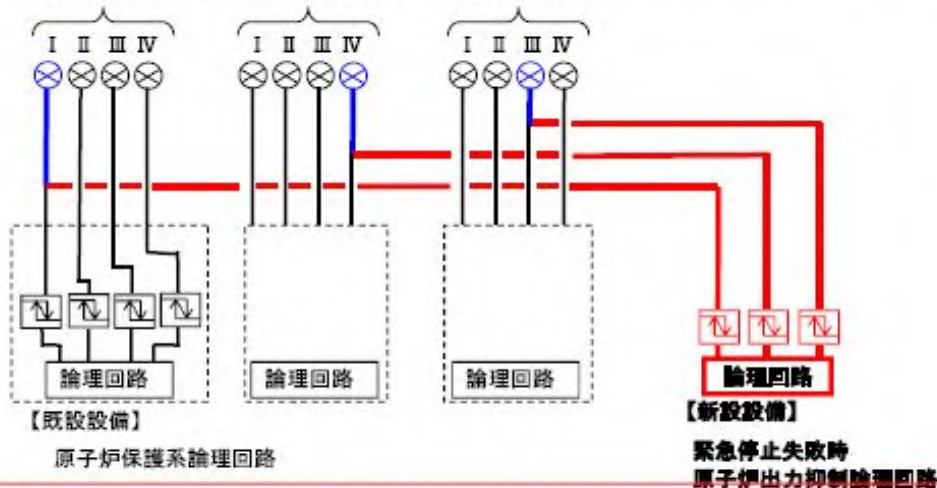
(2) 実運用を踏まえた論理構成

実運用を考慮し、運用性の更なる向上のため、予備の潮位計（防護用）を1台追加する。仮に、潮位計（防護用）1台を使用状態から取り外し点検している間に残り3台のうちの1台が故障した場合、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 25 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とならない。
- ②：点検時は、残り3chが健全であることを前提に、1chのバイパスを動作不能とみなさないため、LCOとならない。ただ、故障時は、残り3chが健全であるか不明であるため、それが確認できるまでLCOを宣言する必要あり。

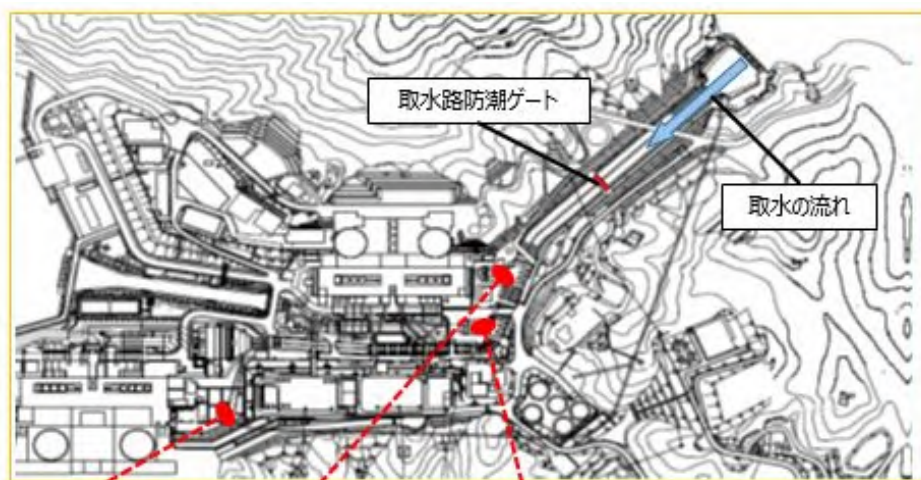
設計基準事故対処設備の「事故時監視計装」は、事故時において、事故の状態を把握し対策を講じるために必要なパラメータを監視できる機能を確保するために、適用モードにおいて動作可能であるべき所要チャンネル数を運転上の制限として規定しているものであることから、この設計基準事故対処設備のLCOに対する考え方は重大事故等への対応上必要なパラメータについても同様の考え方を適用することが妥当であることから、設計基準事故対処設備の「事故時監視計装」を参考にLCO設定する。

（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25 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）

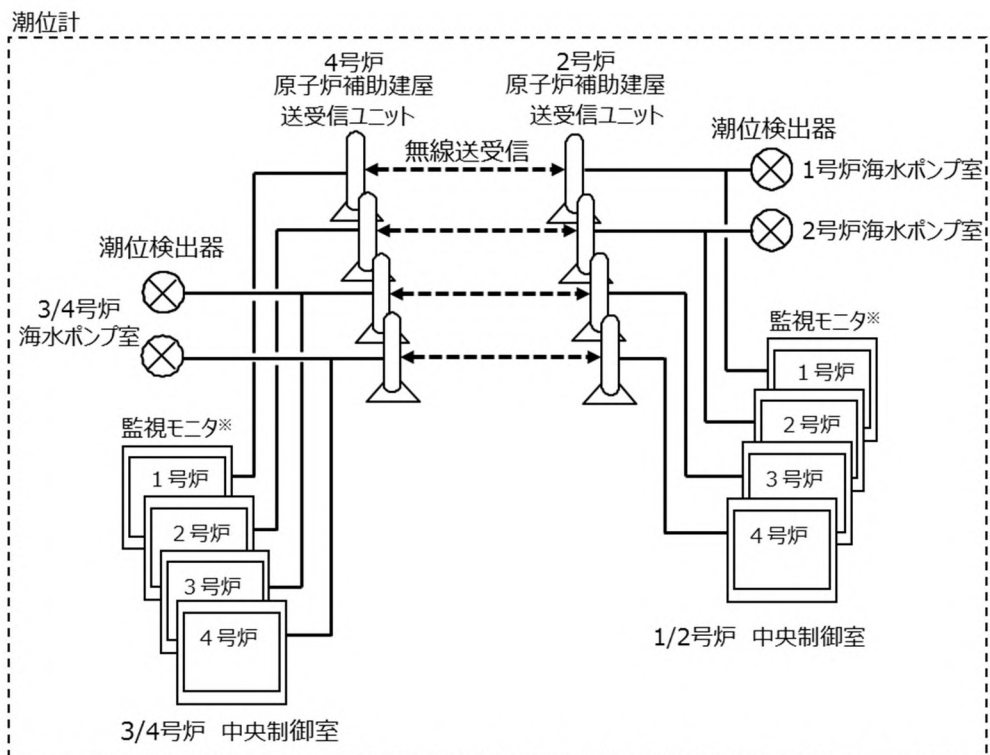
7. 3. 8 潮位計（防護用）の設置

津波検知のトリガーとする潮位計測点は、施設影響が生じるケース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（防護用）を用いる方針としている。既許可における津波監視設備として、潮位計（監視用）を3台設置することとしているが、「7. 3. 2 設備の重要度分類を踏まえた整理」及び「7. 3. 7 チャンネル数及び閉止ロジックの選定」を踏まえ、2号機に1台追加設置し、潮位計（防護用）4台による運用とする。潮位計（防護用）の設置位置を図26、システム構成を図27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26 潮位計（防護用）の設置位置図



※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 7 潮位計（防護用）のシステム構成図

7. 3. 9 潮位計（防護用）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、施設影響が生じるケースを確実に検知できることを前提に、津波防護対象設備を設置しているエリアのうち、最も津波の影響を受ける可能性がある1号、2号及び3、4号炉海水ポンプ室に設置している潮位計（防護用）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（防護用）により施設影響が生じるケース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、取水路防潮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が生じるケースがどの潮位計（防護用）でも差異なく検知できることを確認する。図28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（防護用）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（防護用）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、施設影響が生じるケースがいずれの潮位計（防護用）でも差異なく検知できることを確認する。図29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（防護用）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（防護用）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（防護用）のうち、いずれの潮位計（防護用）の組合せであっても施設影響が生じるケースが漏れなく検知でき、取水路防潮ゲート閉止判断に差異がないことを確認した。なお、図30のとおり、時刻歴波形からの検知の一例に「隠岐トラフ海底地すべりエリアC（Es-T2、Kinematicモデル）」（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。

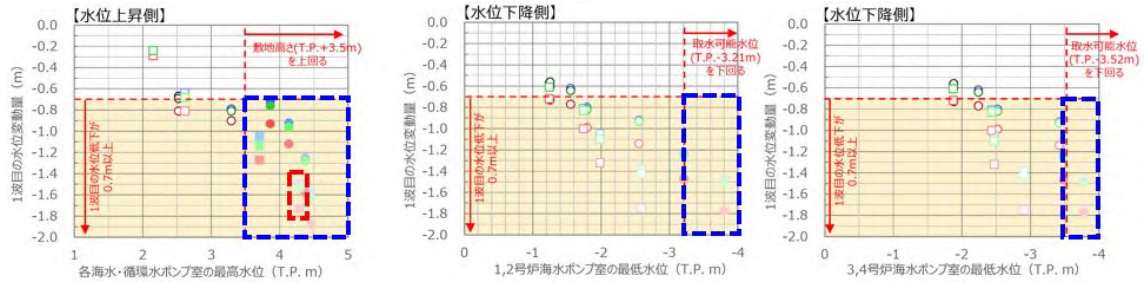
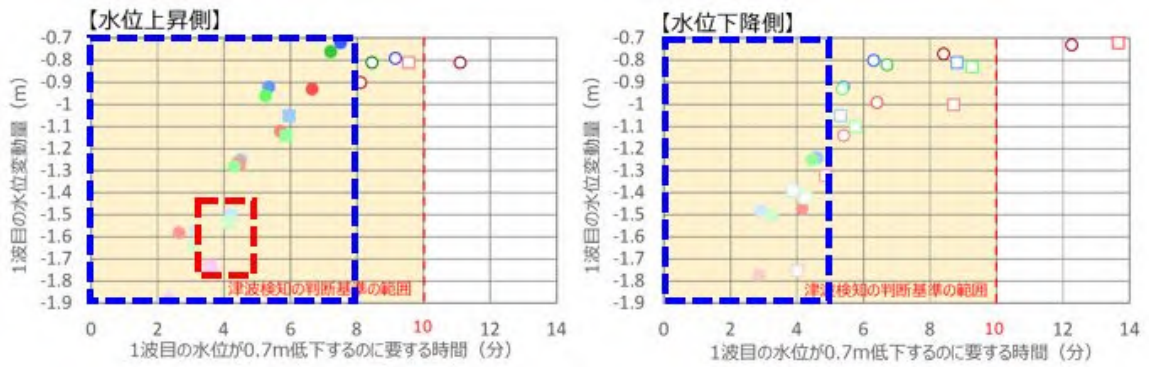


図 2 8 1 波目の水位変動量と最高水位・最低水位の関係図



	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	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○

○及び□の凡例（塗りつぶし：施設影響が生じる、白抜き：施設影響が生じない）

図 2 9 1 波目の水位変動量と 0.7m 低下に要する時間の関係図

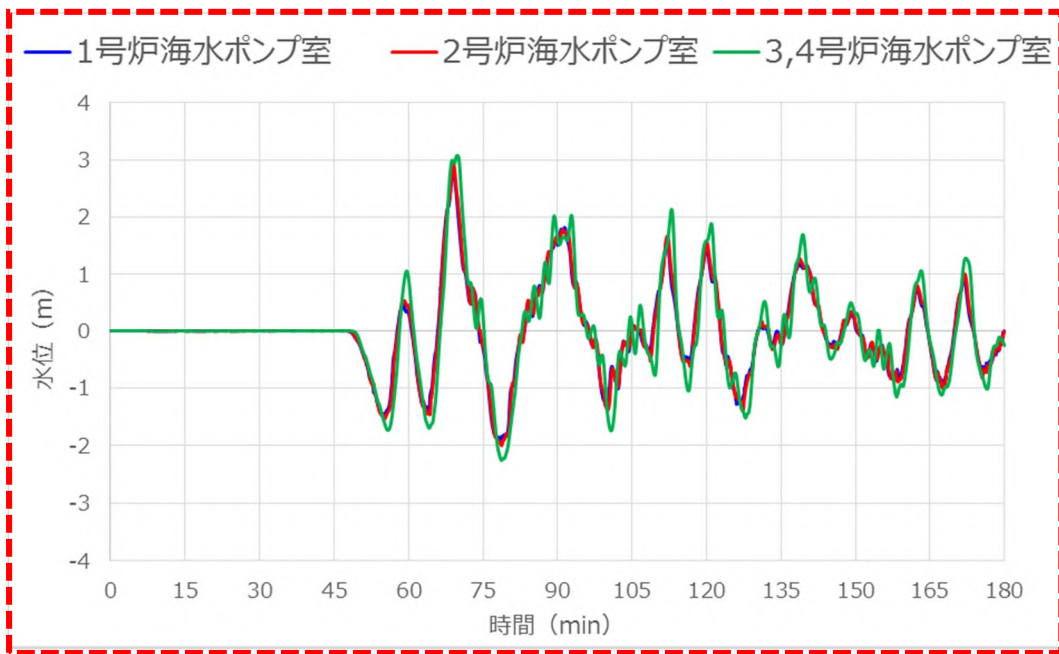


図30 隠岐トラフ海底地すべりエリアC (Es-T2、Kinematicモデル) (破壊伝播速度 0.5m/s)の時刻歴波形

7. 3. 10 潮位計（防護用）と潮位計（監視用）の識別について

(1) 背景

前章までは、潮位計（防護用）の基準適合性とそのために必要な機能と設備構成について整理した。一方、潮位計（監視用）もこれと一部兼用とする設計である。このため、津波防護施設と津波監視設備を一部兼用する場合において、津波監視設備と津波防護施設との識別について、以下にて整理する。

(2) 既許可の津波監視設備としての潮位計（監視用）の機能及び設備構成

既許認可において、潮位計（監視用）は「津波監視設備」として位置付けられている。潮位計（監視用）は、潮位を計測する「潮位検出器」及び中央制御室にて信号を処理し潮位を表示する「監視モニタ」等より構成される。

この潮位計（監視用）は、1, 2 号炉については、自号炉の防護対象施設である海水ポンプへの影響を確認するため、津波高さ計測を目的として1号炉海水ポンプ室に1台設置し、1, 2号炉中央制御室の監視モニタで監視する設計としている。また、3, 4号炉についても同様の目的として、3, 4号炉の海水ポンプエリアに2台設置し、3, 4号炉中央制御室の監視モニタで監視する設計としている。

なお、技術基準適合上は必須ではないが、自主的に送受信ユニットを用い、1, 2号炉及び3, 4号炉中央制御室にて他号炉の潮位を参照できるようにしている。(図31)

(3) 今回変更における津波防護施設としての潮位計（防護用）の機能及び設備構成

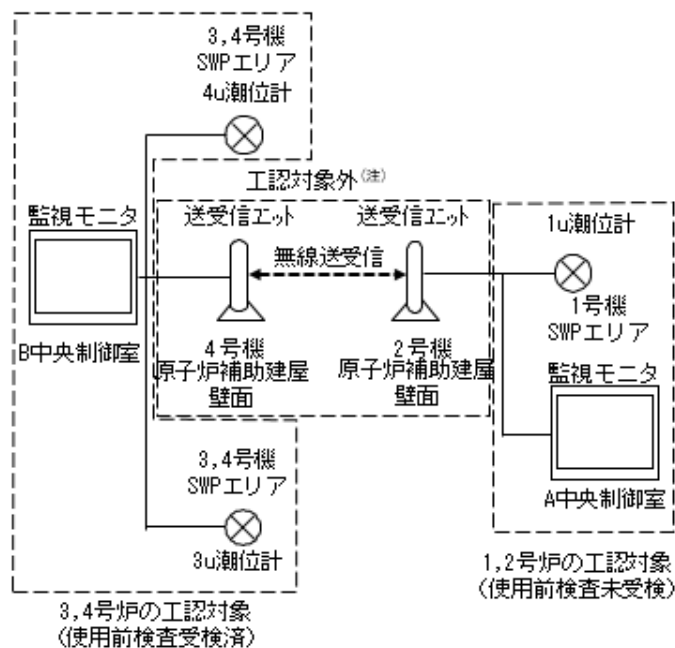
今回変更により、7. 3. 6章に記載のとおり、多重性及び運用性向上の観点から、2号機の海水ポンプエリアに同一構成の設備を追加設置するとともに、現地の潮位検出器ごとに独立した計測系統に再構成した。また、監視モニタの機能（プログラム）には、津波検知トリガーに関連する演算機能と警報機能を追加した。なお、機能追加に伴い新たに設置する演算器及び電源箱は、監視モニタを構成する部品の一部であり、潮位計（防護用）の主たる設備構成としては、潮位を計測する「潮位検出器」及び中央制御室にて信号を処理し潮位を表示する「監視モニタ」に加え、1号炉及び2号炉潮位検出器の潮位データを3, 4号炉中央制御室へ伝送、3号炉及び4号炉潮位検出器の潮位データを1, 2号炉中央制御室へ伝送するための「送受信ユニット」が追加となる。(図32)

(4) まとめ

潮位計（防護用）は、全共用である取水路防潮ゲートの閉止判断を目的とした「津波防護施設」としての機能となる。よって、1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉の潮位計（防護用）は、全共用として1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉中央制御室で監視する設計とする。

既許可の潮位計（監視用）は、(2)のとおり、津波高さ計測を目的とした「津波監視設備」としての機能に変更はない。ただし、(3)のとおり、2号炉潮位計（監視用）の追加並びに3号炉及び4号炉潮位モニタを分離する。よって、1号炉及び2号炉の潮位計（監視用）は、1,2号炉共用として1号及び2号炉中央制御室で監視する設計とする。同様に、3号炉及び4号炉の潮位計（監視用）は、3,4号炉共用として3号及び4号炉中央制御室で監視する設計とする。

上記により、許認可上は、一部兼用する設備が、複数の機能を有することから、「津波監視設備」を「潮位計（監視用）」、「津波防護施設」を「潮位計（防護用）」と識別する。図3-2に潮位計（監視用）及び潮位計（防護用）の申請範囲を示す。



注：技術基準適合上は必須ではないが、申請範囲外に送受信ユニットを用い、1,2号炉及び3,4号炉中央制御室にて他号炉の潮位を参照できるようにしている。

図3 1 既許可の潮位計（監視用）の設備構成

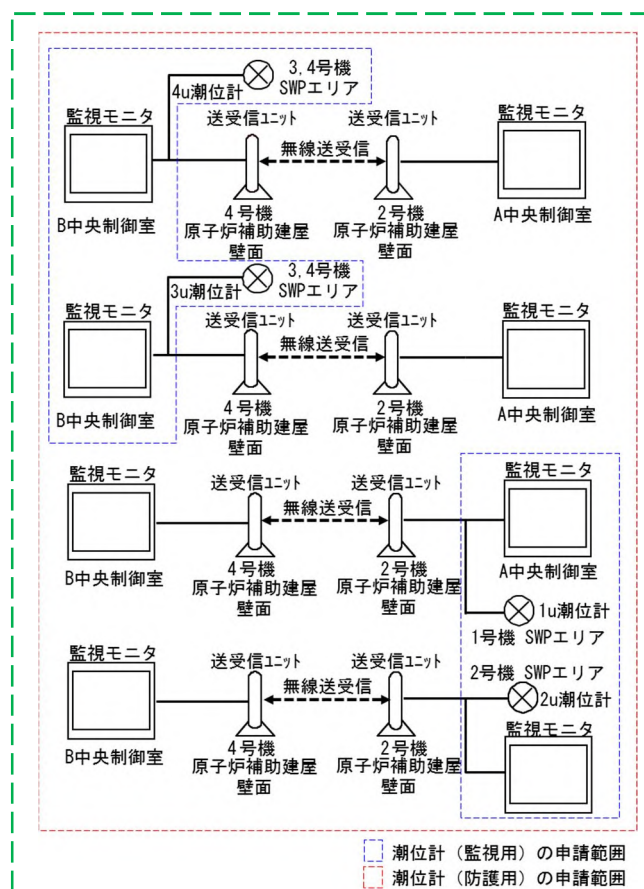


図3 2 今回変更における潮位計（監視用）及び潮位計（防護用）の設備構成

7.3.1.1 潮位計(防護用)の電路へ影響を及ぼす可能性のある共通要因について

(1) 背景

設置許可基準規則の第26条(原子炉制御室等)第2項の要求事項である「発電用原子炉施設の外の状況を把握する設備を有するものとする。」を踏まえ、運転員は取水路防潮ゲートの閉止操作等を実施するため、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それぞれ監視が必要となる。潮位計(防護用)の設置位置を図33に示す。

今回、潮位計(防護用)は、取水路防潮ゲートの閉止を判断することから、既許可の津波監視設備としての位置づけに加え、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ている。したがって、取水路防潮ゲートと同等の設計とし、「多重性又は多様性」のうち、単一故障又は使用状態からの単一の取り外しを行った場合において、津波防護機能を喪失しないよう「多重性」を有する設計としている。中央制御室における監視に着目した場合、この多重化設計により、潮位検出器から監視モニタまでの一連のシステムを4重化し、4台のうち2台の監視モニタにより取水路防潮ゲートの閉止判断基準(トリガー)を検知すれば速やかに取水路防潮ゲートの閉止判断を可能としている。

潮位計(防護用)の電路についても「多重性」を確保する設計としているが、図34、図35及び図36のとおり、電路は有線と送受信ユニットを介した無線が混在していることから、電路構成のうち、「無線」へ影響を及ぼす可能性のある共通要因によって、同時に4台の潮位計(防護用)の監視機能が喪失しないか検討を行った。

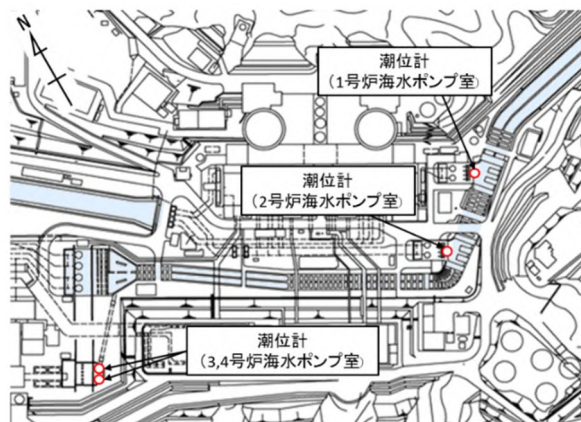
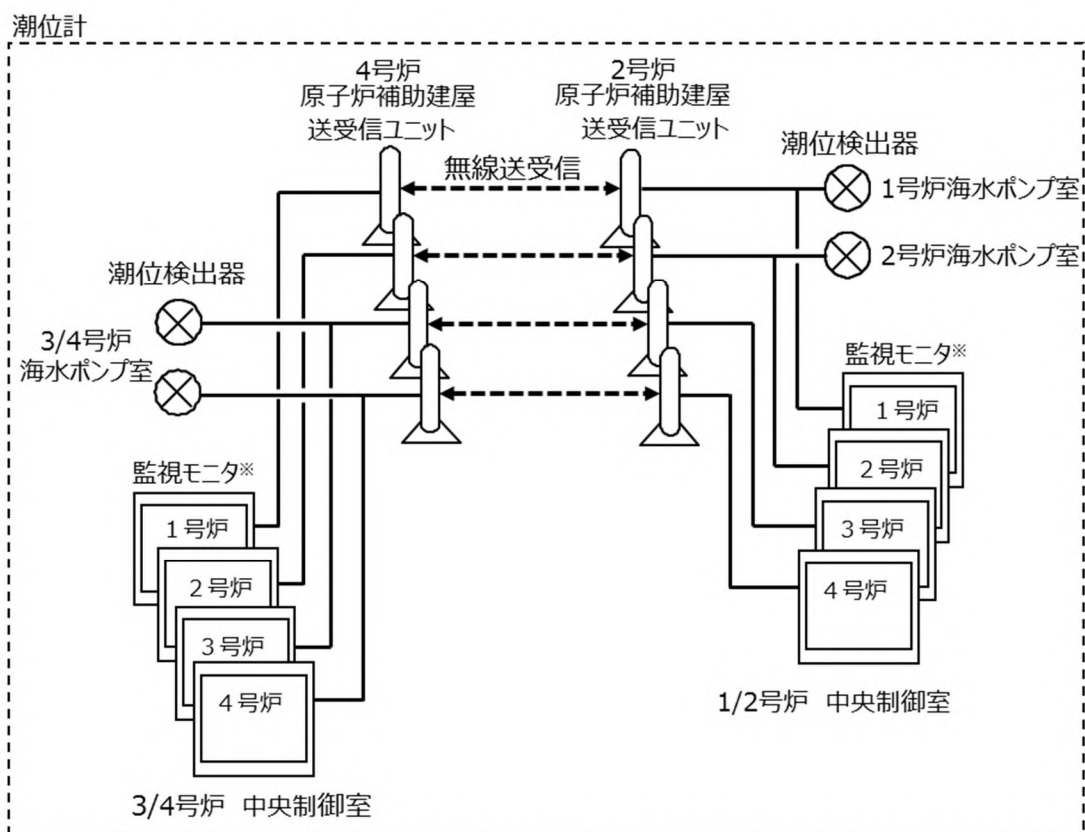


図33 潮位計(防護用)の設置位置



※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 4 潮位計（防護用）のシステム構成

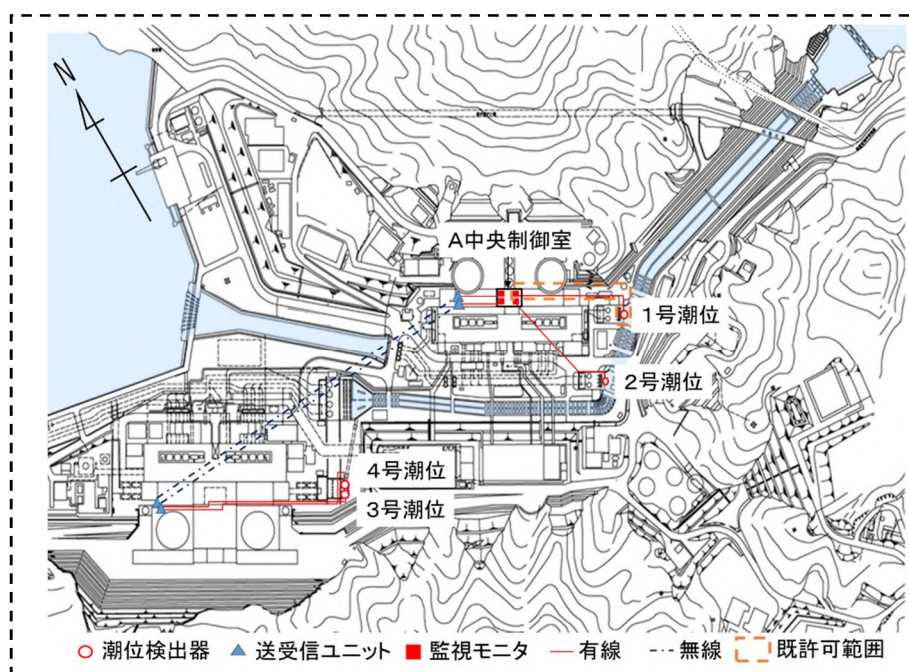


図 3 5 潮位計（防護用）の電路イメージ図
（1号及び2号炉中央制御室にて監視する場合）

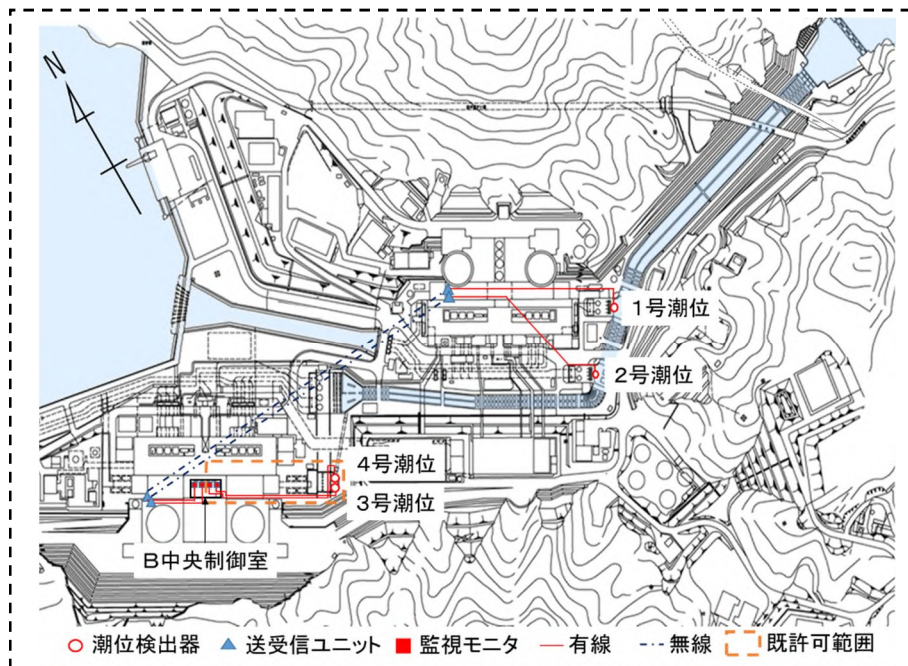


図36 潮位計（防護用）の電路イメージ図
（3号及び4号炉中央制御室にて監視する場合）

(2) 検討条件

「有線」及び「無線」を用いた電路構成へ影響を及ぼす可能性のある共通要因は、「地震」と「電磁的障害」であり、それぞれの共通要因によって、潮位計(防護用)が安全機能を損なうことはないか確認する。

(3) 検討結果

「有線」及び「無線」に影響を及ぼす可能性のある共通要因である「地震」と「電磁的影響」について検討した結果を表12に示す。

表 1 2 検討結果

電路	主項目	検討結果
有線	地震	海水ポンプ室、海水管トレンチ及び原子炉補助建屋は耐震性を確保することが可能であり、地震により潮位計(防護用)が安全機能を損なうことはない。一方、1, 2号炉及び3, 4号炉の建設時からの配置設計を踏まえ、1, 2号炉原子炉補助建屋と3, 4号炉原子炉補助建屋の間は、耐震性を有する岩盤に支持した電路の敷設が実質的に困難なため、地震により潮位計(防護用)が安全機能を損なうおそれがある。
	電磁的障害	原子炉施設で発生する電磁干渉や無線電波干渉等により機能が喪失しないよう、ケーブルは、日本工業規格(JIS)等に基づき、鋼製筐体や金属シールド付ケーブルの適用により電磁波の侵入を防止する設計としているため、電磁的障害により潮位計(防護用)が安全機能を損なうおそれはない。
無線	地震	無線の場合、電路の設置は不要となるが、送受信ユニットを用いて潮位計(防護用)の信号伝送を行う。送受信ユニットを設置する原子炉補助建屋は耐震性を確保することが可能であり、地震により潮位計(防護用)が安全機能を損なうおそれはない。
	電磁的障害	送受信ユニットを用いた信号伝送にかかる技術設計について、本章において以降説明するとおり、電磁的障害により潮位計(防護用)が安全機能を損なうおそれはない。

この結果より、「地震」については、「無線」を採用した場合、潮位計(防護用)が安全機能を損なうことはない。「有線」を採用した場合、海水ポンプ室、海水管トレンチ及び原子炉補助建屋は耐震性を確保することが可能であり、地震により潮位計(防護用)が安全機能を損なうことはないが、一方、1, 2号炉原子炉補助建屋と3, 4号炉原子炉補助建屋の間は、耐震性を有する岩盤に支持した電路の敷設が実質的に困難なため、地震により潮位計(防護用)が安全機能を損なうおそれがある。

このため、耐震性が確認されている建屋又は構造物では「耐震性有りの有線」、1, 2号炉原子炉補助建屋と3, 4号炉原子炉補助建屋の間は、「耐震性有りの無線」を採用し、共通要因によって同時にその機能が損なわれるおそれがないよう適切な措置を講じた設計とする。

次に、「電磁的影響」について、「有線」については既許可の潮位計(監視用)と同等の設計としており、鋼製筐体や金属シールド付ケーブルの適用により影響を受けない設計としている。一方、送受信ユニット間の「無線」については、電磁的障害により潮位計(防護用)の安全機能を損なうおそれはない設計としており、その詳細を以下に説明する。送受信ユニットを用いた信号伝送にかかる技術設計については、電波法及び無線設備規則に準じた設計としており、それぞれの送受信ユニット間におけるデータ伝送が互いに電波干渉しないよう、それぞれの送受信ユニットが使用する周波数帯を互いに異なる設計とする。具体的には、無線設備規則第四十九条の二十第四号ハに、無線チャンネルは、最小の単位無線チャンネルを20MHzの整数倍として、複数のチャンネルで構成することを規定しており、20MHz毎にチャンネルを設定可能である。今回設置する送受信ユニットは、電波干渉を防止するため、周波数帯の異なるチャンネルを採用する必要があるが、図37に示す通り、最小の単位無線チャンネルの3倍にあたる60MHz間隔おきに、それぞれの送受信ユニットが使用する周波数帯を設定する。さらに、「妨害電波試験(VCCI ClassB)」や「無線周波電磁界によって誘導する伝導妨害に対するイミュニティ試験(EN61000-4-6)」等に準拠した設計とすることで、電磁的障害に強い設計とする。また、無線はデジタル方式を採用しており、データをデジタル処理することでアナログ方式のように別の電波との混信によりノイズが発生し難いことや、電波の直進距離が長いことから、今回のように屋外で遠距離通信する点で優位である。

以上を踏まえ、「電磁的障害」の観点では、「有線」及び「無線」ともに、影響を受けない設計としており、潮位計(防護用)の安全機能に差異はない。

なお、潮位計(防護用)全体のサンプリング周期は約 3 秒である。このうち送受信ユニット単体でのサンプリング周期は約 0.3 秒であり、潮位計測に必要なデータ取得において影響のない仕様としている。

また、当社の送受信ユニットの使用実績及び不具合実績は表 1 3 及び表 1 4 のとおりであり、既許認可実績があること、不具合実績がないことを確認している。

表 1 3 当社の既許認可における送受信ユニットの主な使用実績

	設備名称	設置箇所	個数	既許認可における 主な記載箇所 (高浜 1 号機の場合)
高浜発電所	津波監視 カメラ	2号炉 原子炉補助建屋 4号炉 原子炉補助建屋	2	電路の一部
高浜発電所	構内監視 カメラ	1, 2号 アス固化建屋 4号 原子炉補助建屋 (×2) 2号 原子炉補助建屋 1号 原子炉補助建屋 取水口 防潮堤	6	電路の一部
高浜発電所	安全パラ メータ表 示システ ム (SPDS)	3号炉 原子炉補助建屋 4号炉 原子炉補助建屋 緊急時対策所建屋 (×2)	4	添付八 第 10.13.1.5 表 第 10.13.2.1 表
大飯発電所	津波監視 カメラ	2号 原子炉補助建屋 3号 原子炉周辺建屋	2	電路の一部
大飯発電所	構内監視 カメラ	1, 2号 復水処理建屋 3号 原子炉補助建屋	2	電路の一部

表 1 4 送受信ユニットの使用期間における主な不具合実績

	設備名称	使用期間	不具合件数
高浜発電所	津波監視カメラ	2015.12~2020.7	0件
高浜発電所	構内監視カメラ	2015.12~2020.7	0件
高浜発電所	安全パラメータ表示 システム (SPDS)	2015.12~2020.7	0件
大飯発電所	津波監視カメラ	2018.2~2020.7	0件
大飯発電所	構内監視カメラ	2018.2~2020.7	0件

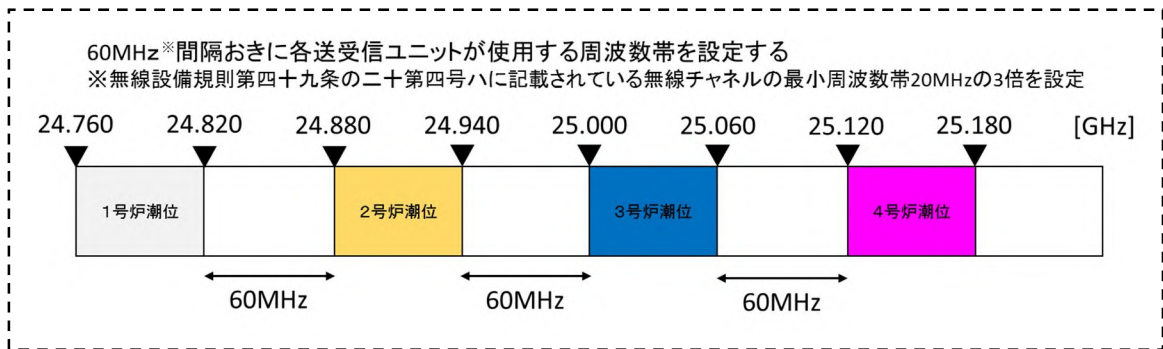


図 3 7 各送受信ユニットの使用周波数帯域 (イメージ)

上記のとおり、潮位計(防護用)の回路は、有線と送受信ユニットを介した無線が混在した場合においても、有線と同等の信頼性を確保している。潮位計(防護用)のシステム構成イメージを図 3 8 に示す。1つの潮位計(防護用)のチャンネルに着目すると、潮位検出器 1 台に対して、監視モニタが 2 台接続されており、単一故障を想定した場合、接続している 2 台の監視モニタが欠測する場合がある。ただし、それぞれの回路を構成するチャンネルは、それぞれ互いに分離し、それぞれのチャンネル間において機能を失わないよう独立性を確保する設計としている。よって、他の 3 チャンネルは欠測しないため、潮位計(防護用)は多重性を有している。

ただし、何らかの要因によって、仮に 4 台すべての送受信ユニットが故障したとしても、1 号及び 2 号炉中央制御室では 1 号及び 2 号炉潮位計(防護用)並びに 3 号及び 4 号炉中央制御室では 3 号及び 4 号炉潮位計(防護用)による監視が可能であり、この状態は「7. 3. 7 チャンネル数及び閉止ロジックの選定」に基づき、潮位計(防護用) 2 台が欠測した場合に該当するため、もう 1 台が動作すれば取水路防潮ゲートを閉止する運用とすることにより安全上の問題はない。

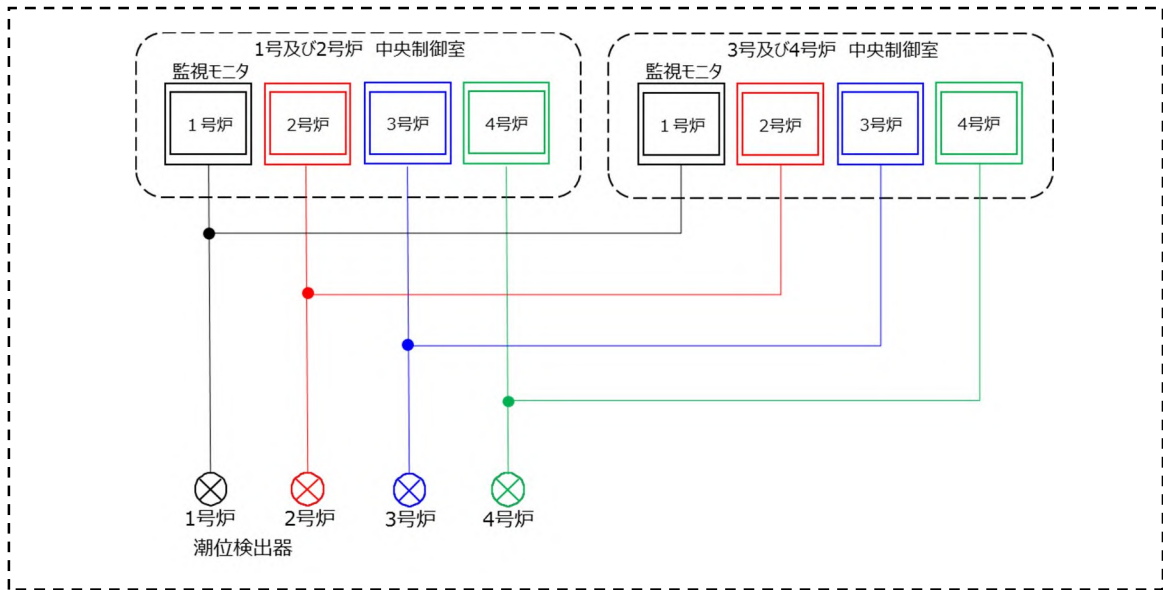


図 3 8 潮位計（防護用）のシステム構成イメージ

4. まとめ

「3. 検討結果」を踏まえ、潮位計(防護用)の回路は「多重性」を確保する設計とし、回路構成へ影響を及ぼす可能性のある共通要因によって、同時に4台の潮位計(防護用)の監視機能が喪失しないことを確認した。

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、取水路防潮ゲート閉止の操作を行う運用としている。今回の運用は、津波警報等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（防護用）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。大津波警報は、地震発生により、地震の規模・位置が推定され、これと津波予報データベースのシミュレーション結果が照合された上で、各予報区の予測点において、沿岸での高さに換算した津波の予想高さが3m以上となるときに発表される。これにより、福井県もしくは京都府の予報区において、大津波警報が発表された場合、FAX等にて情報を入手し、施設影響が生じる基準津波1の発電所襲来を検知する。津波の襲来を検知すると、1号及び2号炉当直課長は取水路防潮ゲートの閉止判断を行う。対応の流れを図31に示す。

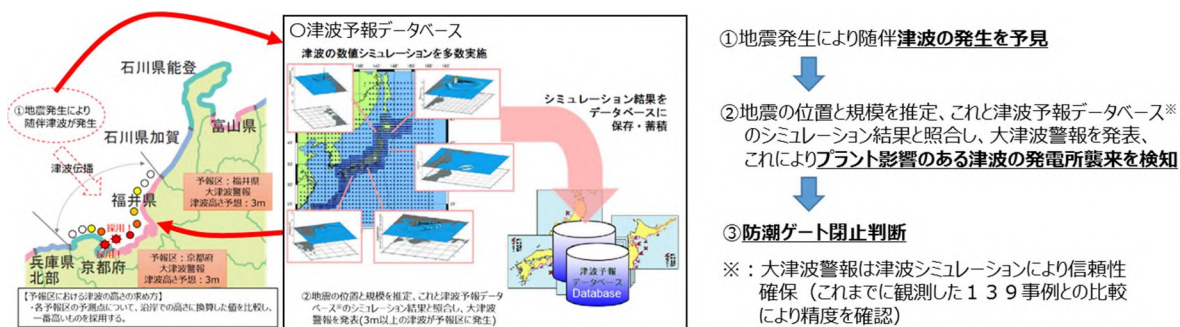


図31 既許可の基準津波1における対応

(2) 津波警報等が発表されない可能性がある津波への対応

津波警報等が発表されない海底地すべりによる津波に対しては、発電所構外の観測潮位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、発電所構内の1号、2号及び3、4号炉海水ポンプ室に設置している潮位計（防護用）にて潮位変動を検知することで、施設影響が生じるケースの発電所襲来を検知する。津波の襲来を検知すると、1号及び2号炉当直課長は取水路防潮ゲートの閉止判断を行う。対応の流れを図32に示す。

なお、発電所構外の観測潮位を活用した「津波警報等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」の詳細は、10章にて述べる。

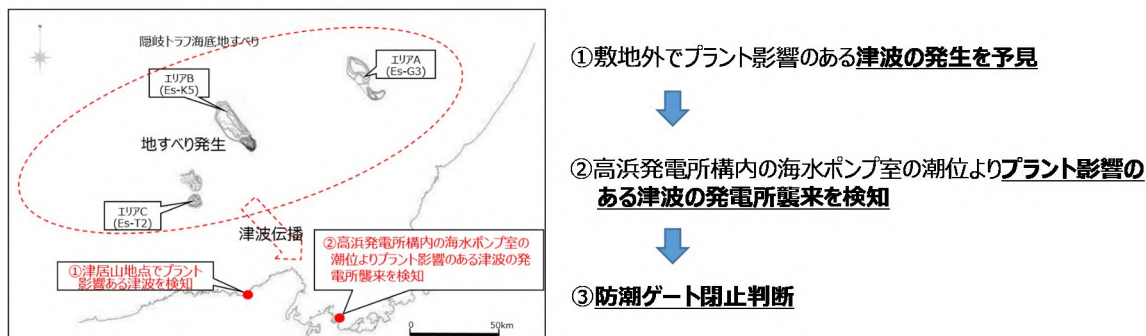


図 3 2 津波警報等が発表されない可能性がある津波への対応

7. 4. 3 検知方法の同等性について

津波警報等が発表されない海底地すべりによる津波に対しては、発電所構外の観測潮位を可能な限り活用し、構内の潮位観測と組み合わせることで、可能な限り早期に取水路防潮ゲート閉止準備や閉止判断する運用とする。この運用においては、発電所構外の観測潮位の信頼性を確保することと相まって、大津波警報に基づき津波に対応する既許可の運用と同様、可能な限り早期に津波発生を予見し、対応する設計方針としている。

大津波警報に基づき津波に対応する既許可の運用と、今回の発電所構外の観測潮位と構内の潮位観測を組み合わせる運用の流れの比較を図 3 3 に示す。既許可と今回の運用は、いずれも信頼性向上のための多重性若しくは多様性を確保し、過去の蓄積データをもとに津波襲来を可能な限り早期に判断し対応する点で、両者の設計方針は概ね同等であると考えている。

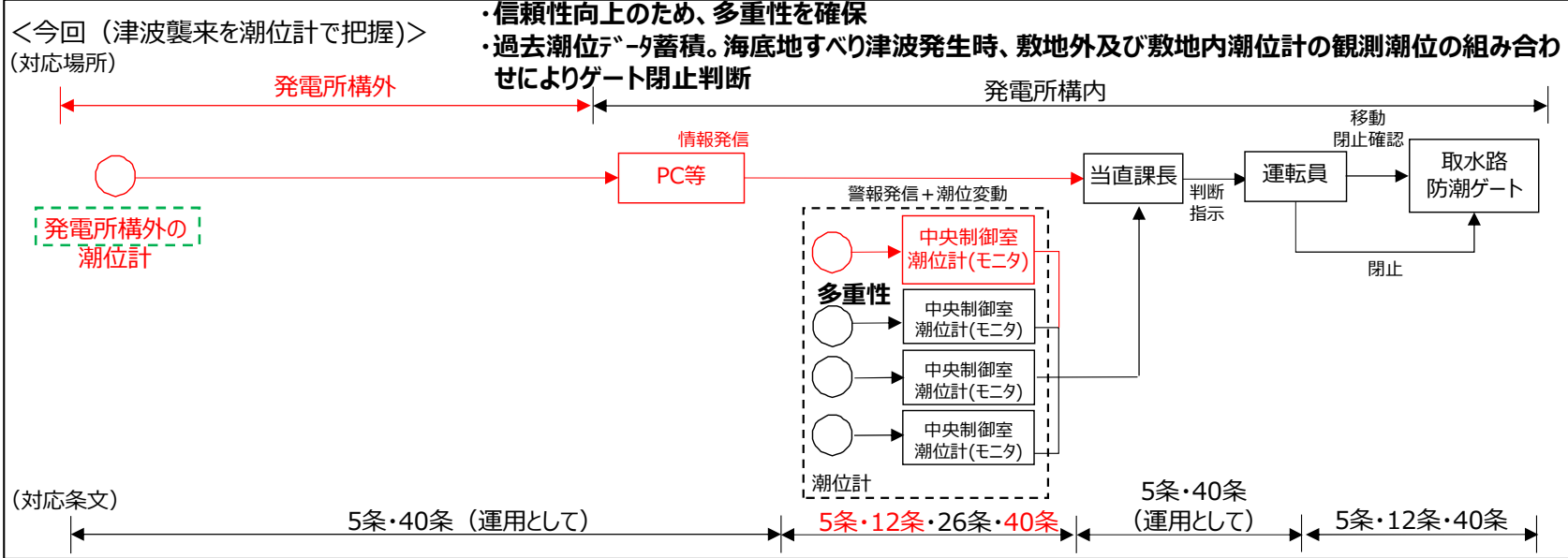
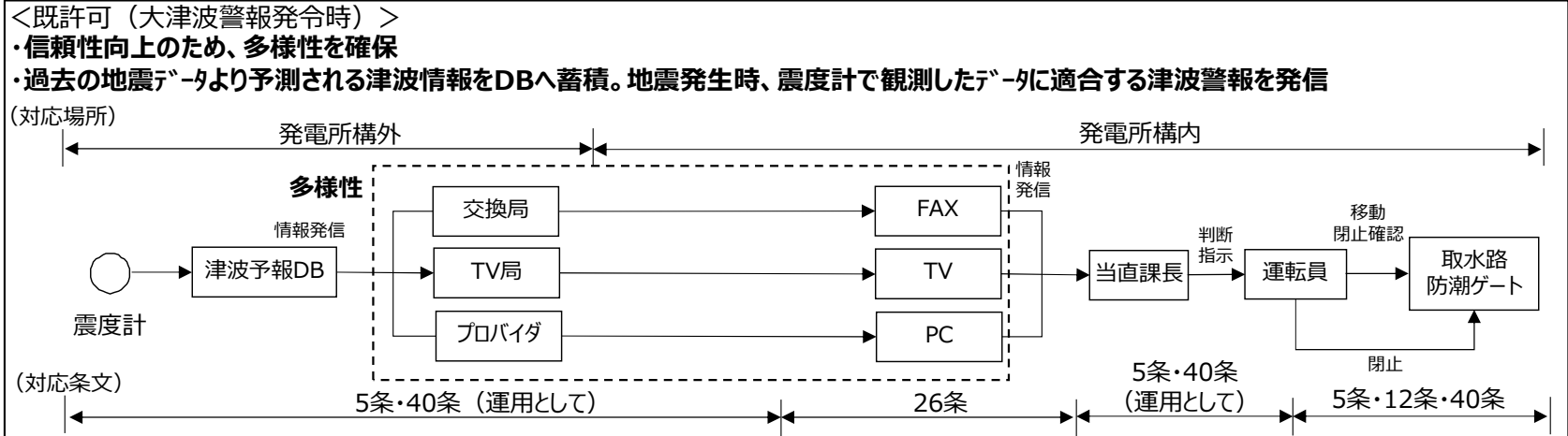


図 3 3 対応の流れの比較

8. 基準津波の選定

8. 1 背景

2章の「取水路防潮ゲート開状態での敷地への影響と津波波形の特徴」に係る検討において、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、これらに対する津波水位計算を実施した。この結果、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)を下回る水位となる波源は、海底地すべりエリアB(Kinematicモデル)と海底地すべりエリアC(Kinematicモデル)であることを確認した。

これを踏まえ、6章の「津波検知の判断基準(トリガー)の網羅性・妥当性確認」において、隠岐トラフ付近に分布する38の海底地すべり跡のうち、最大規模以外の波源について、施設影響が生じる波源があるか確認した結果、2章で検討した海底地すべりエリアB(Kinematicモデル)と海底地すべりエリアC(Kinematicモデル)のみが施設影響が生じる波源であることを確認した。さらに、施設影響が生じる波源を用いて、崩壊規模と破壊伝播速度のパラメータスタディを行い、取水路防潮ゲートの閉止判断基準(トリガー)を「潮位計(防護用)のうち、2台の観測潮位がいずれも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。」とすることで、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た。

本章では、以上の検討結果を踏まえ、「各評価点において最高水位・最低水位となる波源及び施設影響が生じる波源」、「トリガーの設定に用いる波源」の観点を踏まえた基準津波の選定について説明する。なお、本章で実施する津波水位計算の計算手法及び計算条件については、2章で実施した津波水位計算の計算手法及び計算条件と同じとする。

8. 2 基準津波の選定方針

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等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「津波警報等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「津波警報等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 施設影響が生じる波源がない場合の選定方針

施設影響が生じる波源がない場合には、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。ただし、同一の評価点における最高水位・最低水位が同程度のケースが複数ある場合は、基準津波としては、他の評価点における最高水位・最低水位の影響が大きなケースを代表として選定する。

② 施設影響が生じる波源がある場合の選定方針

耐津波設計における津波防護の観点では、施設影響が生じる全てのケースに対して安全機能を損なわないことが求められる。耐津波設計では基準津波を用いて検討を行うことから、施設影響が生じる波源がある場合は、それらを全て基準津波として選定する。

③ 津波警報等が発表されない場合の留意点

津波警報等が発表されない場合には津波警報等に基づく取水路防潮ゲート閉止ができないため、耐津波設計においては、ゲート内への津波の浸入を前提としながら施設の安全性を損なわない設計とする必要がある。したがって、耐津波設計において施設影響が生じる津波波形を網羅的に確認できるように基準津波を策定する必要がある。

具体的には、津波警報等が発表されない場合の対象波源である海底地すべりでは、想定される最大規模・最速の崩壊に対して部分的な崩壊や遅い崩壊となる可能性があるが、その場合でも施設影響が生じる津波は発生し得る。このため、②に基づいて施設影響が生じる波源を基準津波として選定する場合には、基準津波の波源としては、施設影響が生じる全ての海底地すべりを選定した上で、それぞれの海底地すべりにおける崩壊の規模及び速度の値は固定しないこととする。

8. 3 津波警報等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（2章検討結果の再掲）

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（6章検討結果の再掲）

津波警報等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。敷地高さを上回る波源及び海水ポンプの取水可能水位を下回る波源がある場合にはそれら全てを抽出し、基準津波として選定する必要があることから、影響検討（以下、「パラメータスタディ」という。）により施設影響が生じる波源を抽出する。

敷地影響が生じる波源を抽出するため、対象とする地すべりをパラメータスタディに用いることとし、各エリアで規模が2位以下の海底地すべりでも、津波警報等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。また、津波水位が最大となるようこの検討では破壊伝播速度、崩壊規模は最大値で計算する。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) のみ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)

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	4,966	116	576,038
6	Es-K6	B	K-120	5,420	103	558,225
7	Es-T14	C	GA-15	8,970	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	7,596	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)

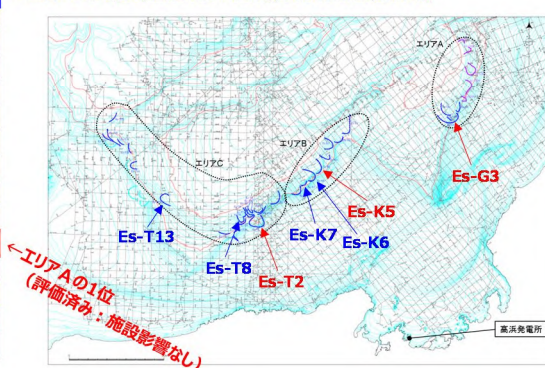
←エリアCの1位 (評価済み: 施設影響あり)

←エリアCの2位 (追加評価: 施設影響の有無を確認する)

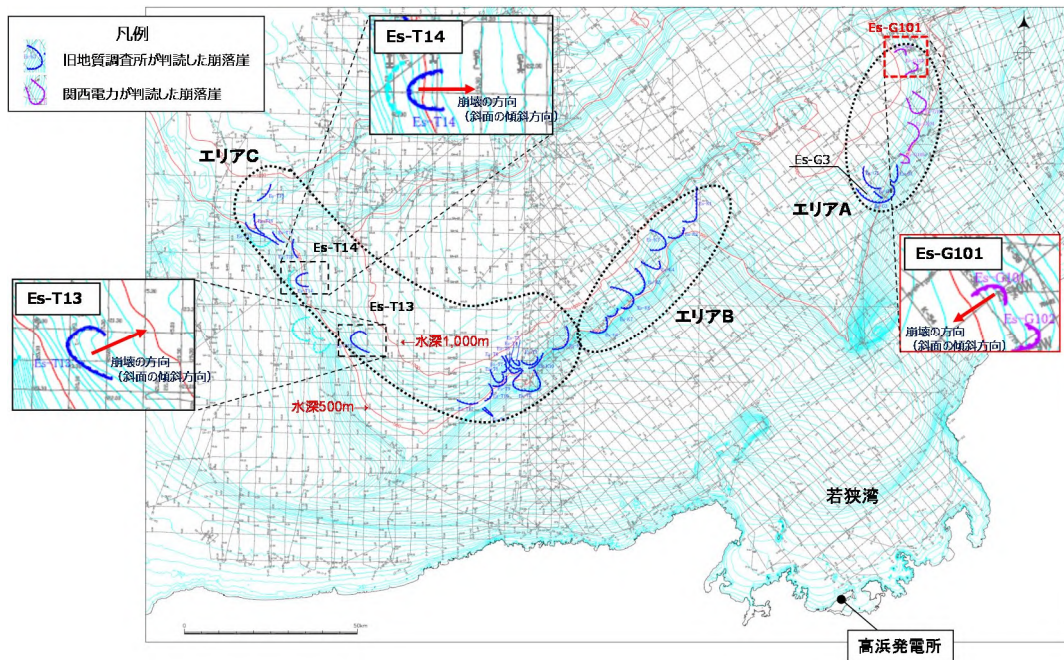
←エリアBの2位 (追加評価: 施設影響の有無を確認する)

←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

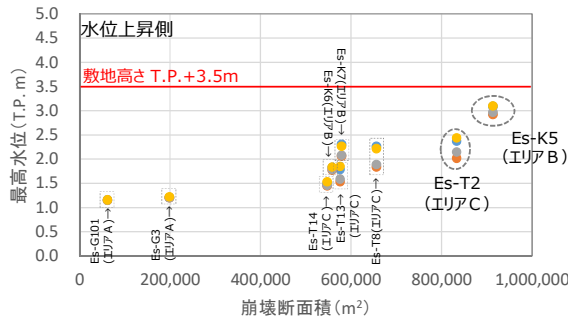
図1 施設影響が生じる可能性のある海底地すべりの選定

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）

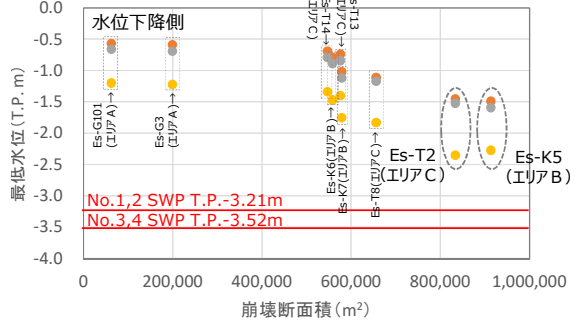
海底地すべり（警報なし）			取水路 防潮 ゲート	水位上昇							水位下降			
				取水路 防潮ゲート 前面	3,4号炉 循環水 ポンプ室	1号炉 海水 ポンプ室	2号炉 海水 ポンプ室	3,4号炉 海水 ポンプ室	放水口 前面	放水路 (奥)	1号炉 海水 ポンプ室	2号炉 海水 ポンプ室	3,4号炉 海水 ポンプ室	
エリアA	Es-G3 (規模1位)	Watts他の予測式	開	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.5	-0.6	-1.1
		Kinematicモデルによる方法	開	2.0	2.3	2.1	2.2	2.6	1.6	1.8	-1.2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

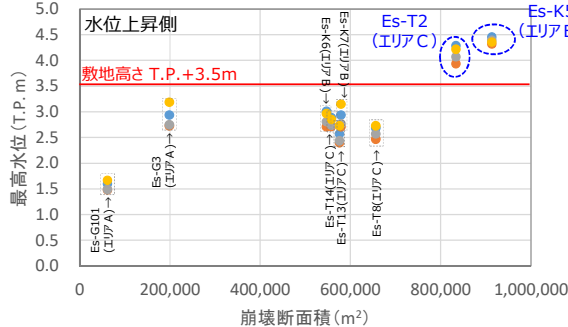


●1号炉海水ポンプ室 ●2号炉海水ポンプ室 ●3,4号炉海水ポンプ室

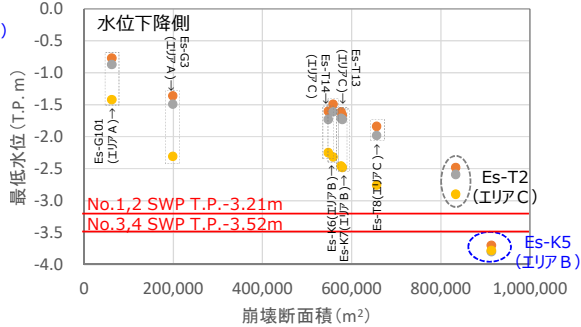


●Kinematicモデルによる方法

●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

8. 4 基準津波の選定

8. 2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、8. 3の検討結果を踏まえて(2)で津波警報等が発表されない場合の基準津波の選定を行う。また、(2)における津波警報等が発表されない場合の基準津波の選定結果を踏まえ、(3)で、これを用いた耐津波設計での検討内容を記載する。

(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。

大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。津波到達に対して取水路防潮ゲート閉止が間に合わない波源に対しては取水路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、「各評価点において最高水位・最低水位となる波源及び施設影響が生じる波源」の観点から、評価点のうち、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。また、「各評価点において最高水位・最低水位となる波源」の観点から、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) と鷹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：開：取水路防潮ゲート天端TP+8.5mで全開、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) と鷹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：開：取水路防潮ゲート天端TP+8.5mで全開、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) 津波警報等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、津波警報等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。津波警報等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。

津波警報等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、「各評価点において最高水位・最低水位となる波源及び施設影響が生じる波源」の観点から、これらの波源をそれぞれ基準津波3及び基準津波4として選定する。

施設影響が生じる波源の確認における津波水位計算では、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た。選定方針の③に基づき、基準津波の波源としては、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、基準津波3及び基準津波4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）」において崩壊規模及び破壊伝播速度の値を固定しない波源として策定する。ただし、崩壊規模及び破壊伝播速度は、施設影響が生じる波源の確認において用いた値を上限とする。

なお、「海底地すべりエリアB（Es-K5、Kinematicモデル）」及び「海底地すべりエリアC（Es-T2、Kinematicモデル）」の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。

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値としないことから、施設への影響が最も大きくなる崩壊規模及び破壊伝播速度を適用した場合の基準津波定義位置の時刻歴波形を図3に示す。

(3) 津波警報等が発表されない場合の基準津波の選定結果を踏まえた耐津波設計での検討事項

(2) で選定した基準津波3及び基準津波4で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路から海水ポンプ室に至る経路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及び基準津波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（防護系）で取水路防潮ゲ

ートの閉止判断基準（トリガー）となる水位変動量を検知した場合に、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。よって、安全設計上、施設影響が生じるケースをすべて検知できる取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）の設定が必須である。そこで、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すべて検知できるように取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を設定する。海底地すべりを波源とする津波は、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。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値としないことから、これらのパラメータスタディによって施設影響が生じるケースを網羅的に検知できる取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を設定する。

これらの基準津波3及び基準津波4を用いた耐津波設計における検討結果の詳細を本編2章から6章に示す。

表4 津波水位計算結果（津波警報等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	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：開：取水路防潮ゲート天端TP+8.5mで全開、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）

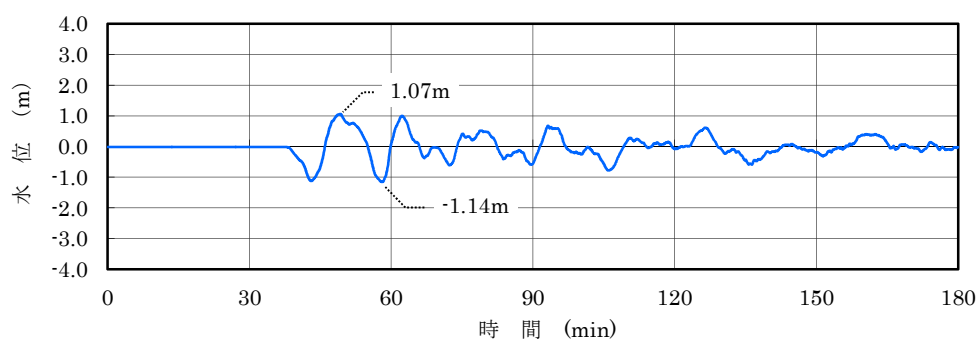
●施設影響の有無

…津波水位計算結果に潮位のぼらつき（上昇側+0.15m,下降側-0.17m）、高潮の裕度（上昇側+0.49m）を考慮。

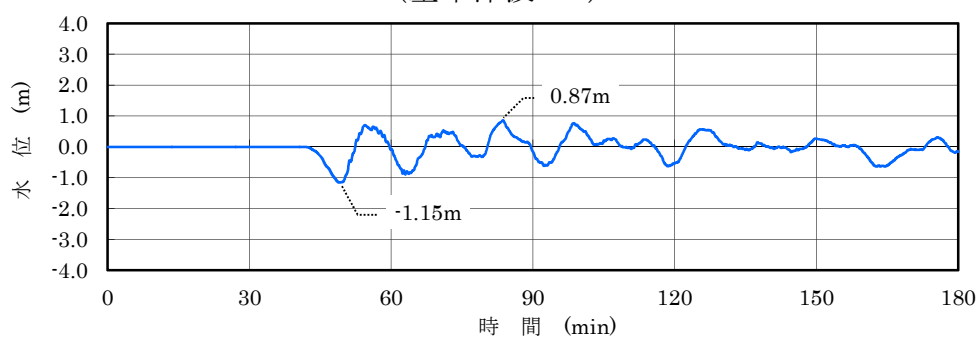
数字はT.P.(m)、青字は施設影響が生じる値

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	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：開：取水路防潮ゲート天端TP+8.5mで全開、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 3[※])



(基準津波 4[※])

※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値としないことから、施設への影響が最も大きくなる崩壊規模及び破壊伝播速度を適用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

9. 取水路防潮ゲート閉止対策の採用による施設影響の確認

5章の検討において、津波警報等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（防護用）の活用を検討した。また、6章の検討において、「施設影響が生じるケースの見逃し、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（防護用）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、「津波を検知してから、施設影響が生じる潮位に至る前に取水路防潮ゲート閉止の運転操作が完了するか」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ケースを防護可能であることを確認した。以上より、取水路防潮ゲートの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（防護用）を活用することとし、8章の検討において、「各評価点において最高水位・最低水位となる波源及び施設影響が生じる波源」、「トリガーの設定に用いる波源」の2つの観点を踏まえ、基準津波を選定した。

本章では、津波検知に潮位計（防護用）を活用し、取水路防潮ゲートの閉止対策を採用した際の、基準津波に対する入力津波の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章を参照のこと。

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（防護用）を基準適合に必須な設備と位置づけるとともに、潮位計（防護用）で取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した場合の取水路防潮ゲート閉止運用についても、基準適合に必須な運用と位置づけることとする。

10. 津波警報等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

10.1 発電所構外の観測潮位を用いた運用

10.1.1 背景

9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（防護用）を位置づけ、基準適合に必要な運用として、潮位計（防護用）で取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知した場合の取水路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、2～9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。

10.1.2 検討条件

発電所構外の観測潮位として活用する候補地点を抽出し、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^{※1}」の判断基準及び「プラント影響の可能性のある津波^{※2}」の情報発信基準を設定する。

「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」は、10.1.3（2）津居山地点の観測潮位における「プラント影響のある津波」高さ、及び、10.1.3（3）津居山地点における「プラント影響の可能性のある津波」高さにおいて後述する。

※1：第一編、第二編においては、「敷地への遡上若しくは水位の低下による海水ポンプへの影響のおそれがある潮位」と記載。

※2：第一編、第二編においては、「津波と想定される潮位」と記載。

10.1.3 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 発電所構外にて「プラント影響のある津波」を検知した場合

構内の潮位計（防護用）での取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を「2台の観測潮位がいずれも10分以内に0.5mの「変動（下げ（上げ）のみ）」とし、取水路防潮ゲート閉止判断を早期化する。図1に概念図を示す。



図1 発電所構外にて「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 発電所構外にて「プラント影響の可能性のある津波」を検知した場合
 取水路防潮ゲートの落下機構の健全性確認など(取水路防潮ゲートの保守作業の中止、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)を実施し津波襲来に備える。図2に概念図を示す。

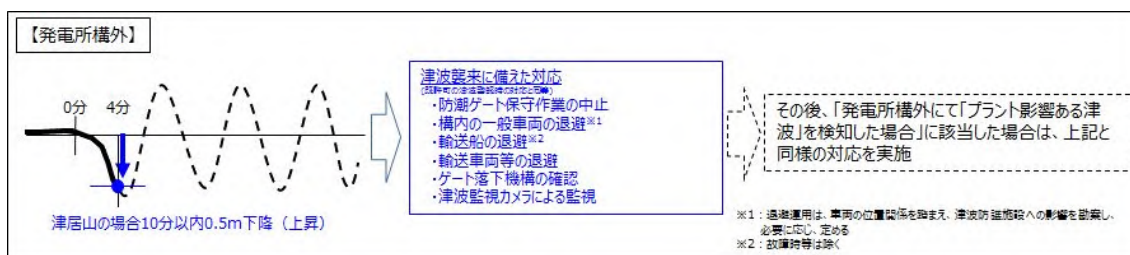


図2 発電所構外にて「プラント影響の可能性のある津波」を検知した場合の対応の概念図

(1) 発電所構外の潮位観測の候補地点

発電所構外の潮位観測の活用について、「構内の潮位計（防護用）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。表1より、高浜発電所に対する津波の早期検知の観点では、①舞鶴や②敦賀では早期に検知できないことから、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 : フロート式水位計が1台設置されている。国土地理院より当該地点検潮所での過去の潮位データを受領済み。
- ④ 津居山 : フロート式水位計が1台設置されている。兵庫県より当該地点検潮所での過去の潮位データを受領済み。検潮所のリアルタイムの観測潮位データが当社への提供が可能。

- 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。）

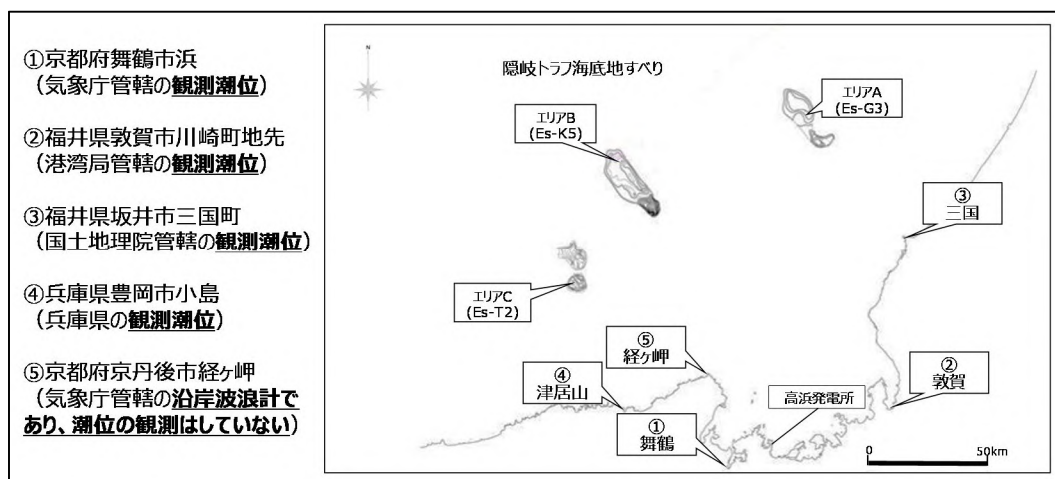


図3 高浜発電所周辺の既往観測潮位地点

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。

表1より、高浜発電所に対する津波の早期検知の観点では、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）の海底地すべり津波の早期検知に効果的であることから、④津居山、③三国、⑤経ヶ岬の順に発電所構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、更なる早期の取水路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) 津居山地点の観測潮位における「プラント影響のある津波」高さ

津居山地点における「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。発電所構外における「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検知できること、加えて津居山及び三国地点の観測潮位範囲内であり、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、過去の観測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の観測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。

以上を踏まえ、「10分以内1.0m上昇（下降）」を津居山地点の観測潮位における「プラント影響のある津波」高さとする。

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検知することができないため、その際は、レンジオーバーとなったときに判断基準に達したものとす。

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

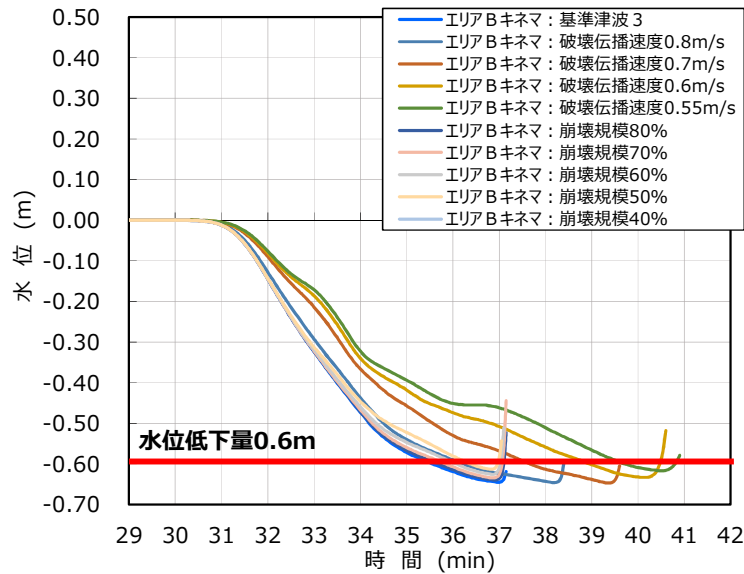
参考：発電所構外の観測地点候補の観測範囲

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)

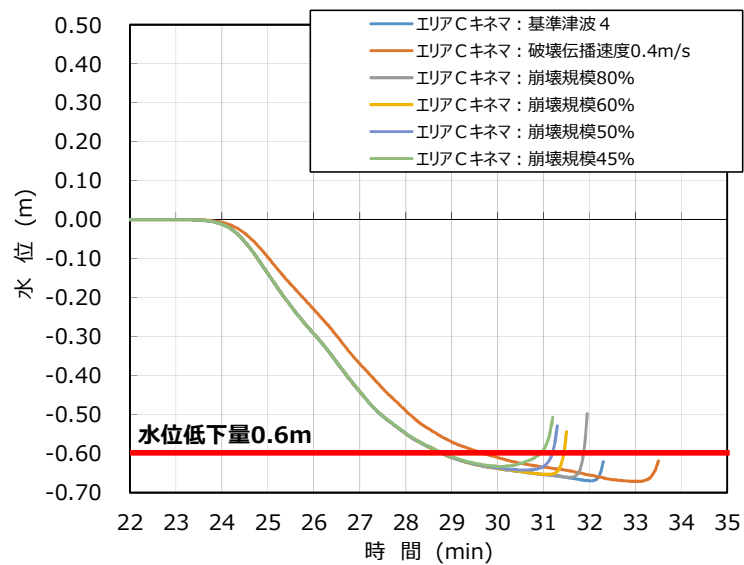
(3) 津居山地点における「プラント影響の可能性のある津波」高さ

「プラント影響の可能性のある津波」として、発電所に施設影響が生じる波源を用いて、津居山地点における津波シミュレーションを実施した。

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及び崩壊規模のパラメータスタディを行い、発電所に施設影響が生じるケースを用いて、津居山地点の津波シミュレーションを行った結果、「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(1波目の水位低下量が10分以内に0.6m以上であること)による検知可否」を図5及び図6に示す。

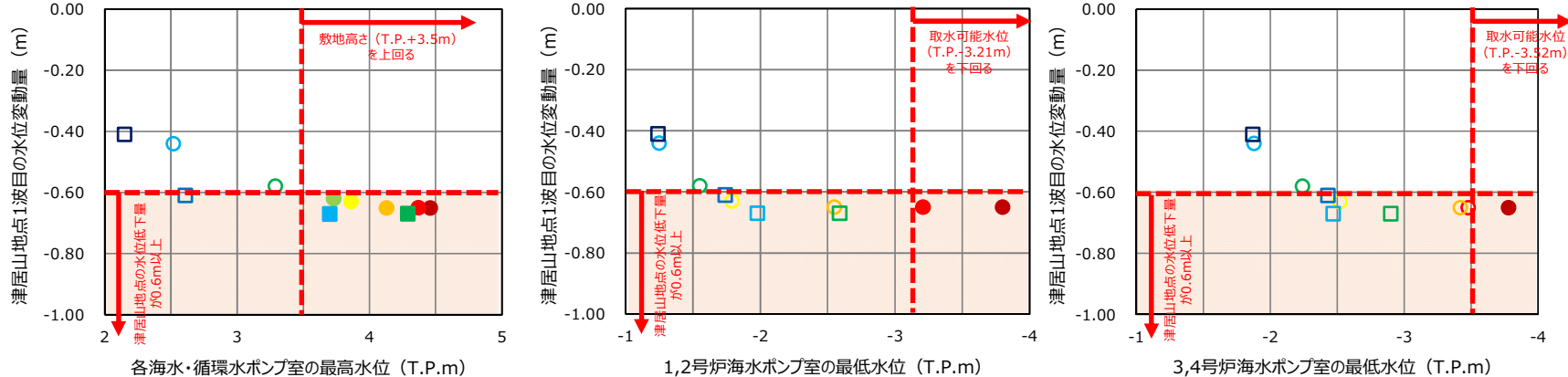
津居山地点における1波目の水位変動量と発電所敷地内の最高水位・最低水位の関係から、発電所敷地内での津波高さが高い津波ほど、津居山地点における1波目の水位変動量が大きいこと、津居山地点における1波目の水位低下が0.6m未満のケースでは発電所に施設影響が生じないことを確認した。

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、発電所に施設影響が生じるケースのうち、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。

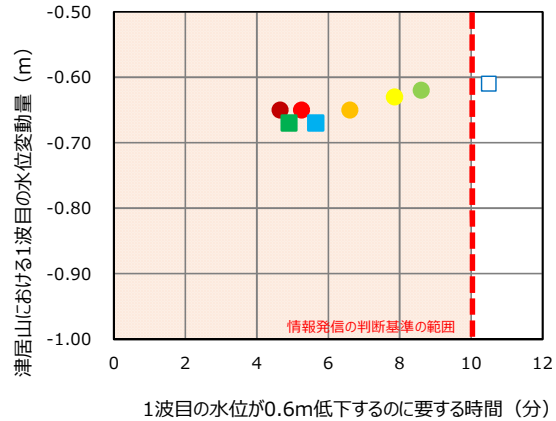
以上を踏まえ、「10分以内0.6m上昇(下降)」を津居山地点の観測潮位における「プラント影響の可能性のある津波」高さとする。

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	○	○	○	○	○	x	x

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	○	○	x	x

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	○	○	○	○	x	x

【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]						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	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

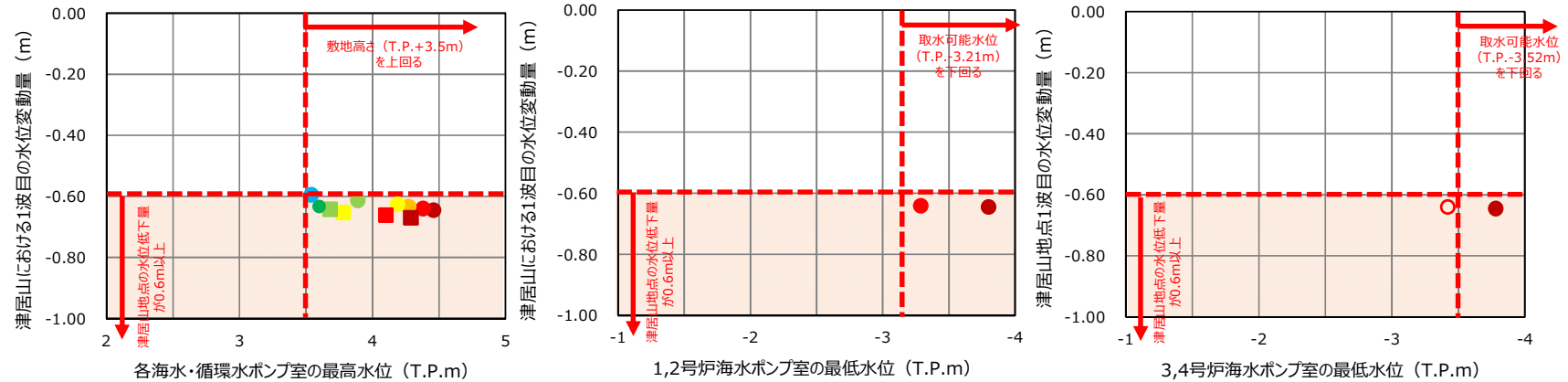
水位下降側：Es-T2（エリアC）最低水位には潮位のばらつき-0.17mを考慮

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	○	○	x	x

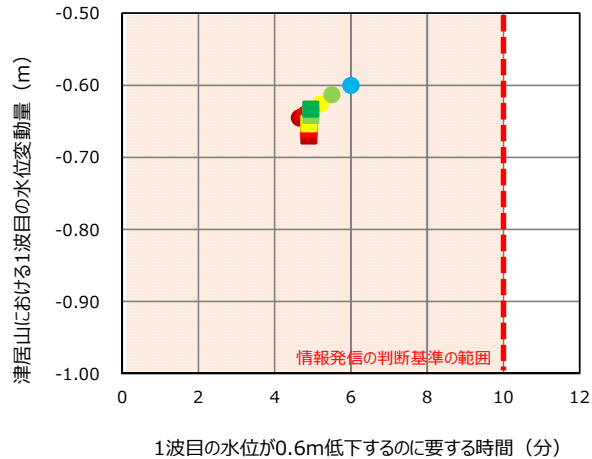
図5 破壊伝播速度のパラメータスタディによる検知可否

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による検知可否

(4) 津居山地点の情報発信基準の設定

「プラント影響の可能性のある津波」として、発電所に施設影響が生じる波源を用いて、津居山地点における津波シミュレーションを行った結果、最初の下げ波の水位低下量は、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以上であった。これを踏まえ、津居山地点での平常時の短時間の潮位のゆらぎが10分間で最大約0.1mであることを考慮して、津居山地点での観測潮位が「10分以内に0.5mの水位が下降した場合」を、津居山地点の潮位を計測する計装設備の情報発信基準とし、1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉中央制御室に情報発信を行う。なお、情報発信基準のセット値は、構内の潮位計（防護用）による取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）のセット値の考え方を踏まえ、計装誤差を考慮し「10分以内に0.45m」とする。

津居山地点の観測潮位を用いた情報発信基準を図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。潮位のゆらぎの算出にあたっては、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。

なお、上記の情報発信基準に加え、津居山地点の観測潮位欠測時についても、1号及び2号炉中央制御室並びに3号及び4号炉中央制御室に情報発信を行う。その際の対応については、10.3章に示す。

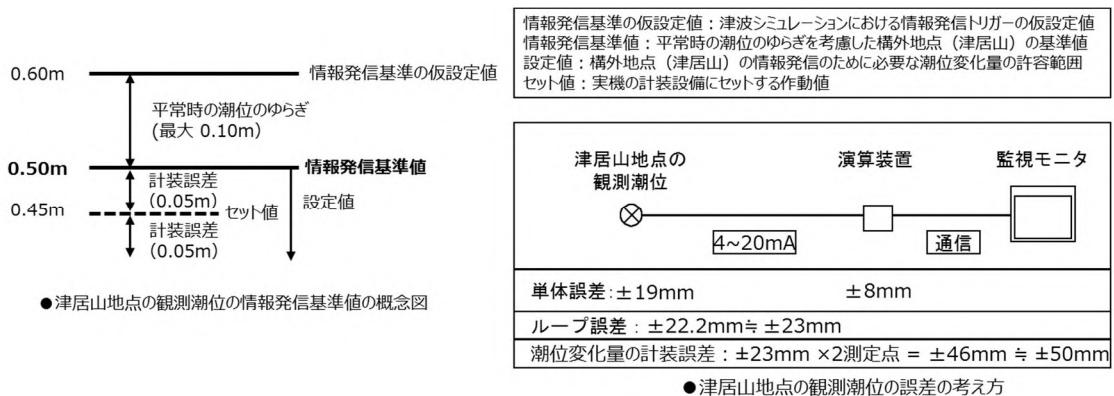
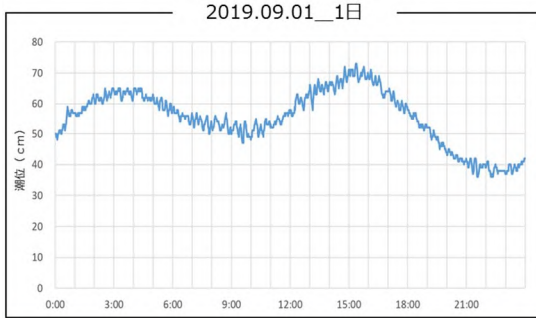


図7 津居山地点の観測潮位を用いた情報発信基準

・平常時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0.10m程度である。

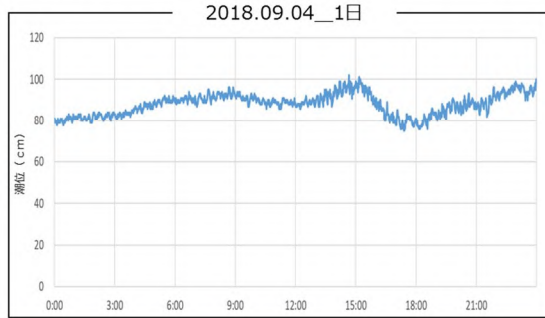
● 通常時の潮汐の変動 2019年9月 瞬時値 (60秒間隔採取)



・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)の潮汐変動を確認した。潮汐の変動は大きいところで10分間で0.27m程度である。

● 2018年の台風21号の潮位データ 瞬時値 (60秒間隔採取)

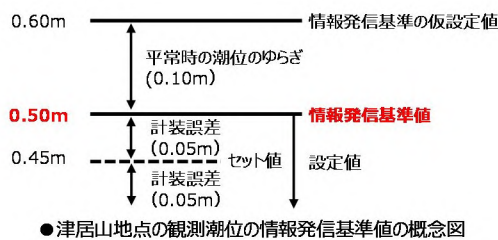


➤ 津居山地点における通常の潮位変動においては、10分間の変動量が0.10m程度である。
 ➤ 2018年1月～2019年10月における台風時の潮位データを考慮しても、潮汐の変動は大きいところで10分間で0.27m程度であった。

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。

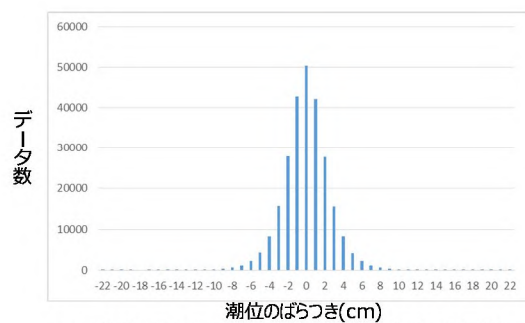
- ・構内における基準津波評価にて考慮する「朔望平均潮位」及び入力津波評価にて考慮する「潮位のばらつき」は、それぞれ過去の潮位データから平均値、標準偏差として算出。
- ・これに倣い、過去6ヶ月分の夏期/冬期の潮位データ観測から、統計的なばらつきを考慮した波高は下表の結果から0.03mと見積もられる。
- ・これを踏まえつつ、**10分間の潮位のゆらぎについては、より保守的に、過去観測のデータの3σの値よりも大きい0.10mを適用。**



● 津居山地点の観測潮位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)

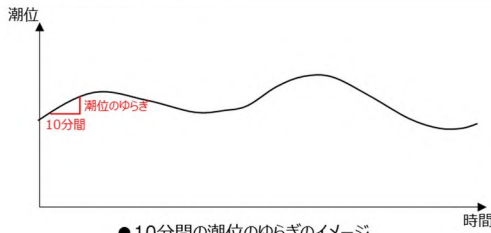


● 10分間の潮位のゆらぎのばらつき (過去データ6ヶ月分)

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) 平常時の潮位のゆらぎの具体的な算定方法について

- 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 1 0 平常時における潮位のゆらぎ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活用のまとめ

(1)～(4)に示した発電所構外の観測潮位の活用検討に基づいた、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」高さ及び発電所構外の観測潮位の活用による取水路防潮ゲート閉止時間の短縮効果を図11に示す。

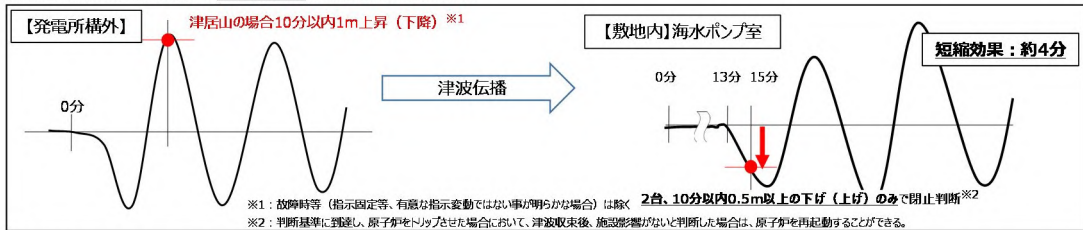
図11に示す通り、発電所構外の観測潮位において、「プラント影響のある津波」高さを検知した場合は、構内の海水ポンプ室の潮位計（防護用）において、2台の観測潮位がいずれも10分以内に0.5m以上の下げ（上げ）のみで判断をすることとしており、より早期の対応を行うものとする。短縮時間の効果としては約4分の短縮効果があると考えている。

また、発電所構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、取水路防潮ゲートの落下機構の健全性確認など（取水路防潮ゲートの保守作業の中止、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）を実施し津波襲来に備える。

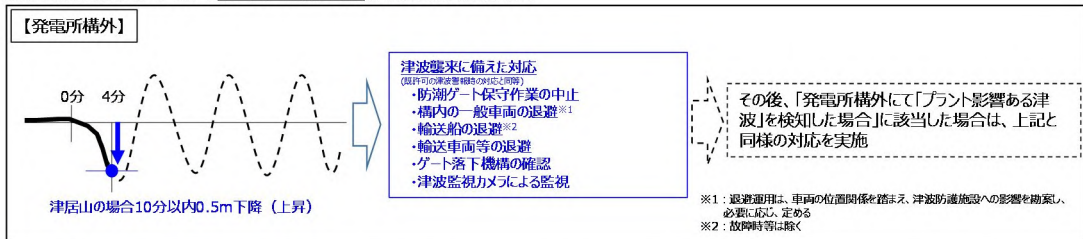
●警報が発表されない津波に可能な限り早期対応するための運用

(1)設置許可申請書に記載する運用

①発電所構外にて「プラント影響のある津波」を検知した場合



②発電所構外にて「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、発電所構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11 津居山地点における観測潮位の活用

(6) 津居山地点の観測潮位のみで取水路防潮ゲートの閉止を判断することの課題

(2) で示した通り、津居山地点の観測潮位における「プラント影響のある津波」高さは、「10分以内 1.0m 上昇（下降）」としている。

この観測潮位のみで取水路防潮ゲートの閉止を判断する場合、その計測信頼性に起因する誤検知が課題となる。以下に誤検知発生の可能性とその際のプラントへの影響を確認した。

a. 津居山地点の観測潮位における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

津居山地点の潮位観測では、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 1 2）。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。

津居山地点の潮位観測における故障モードのうち、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、このような故障による潮位の指示変動を「プラント影響のある津波」と誤検知してしまう可能性が否定できない。なお、津居山地点の潮位観測は無人行われているため、直ちに故障か否かを判断することはできない。

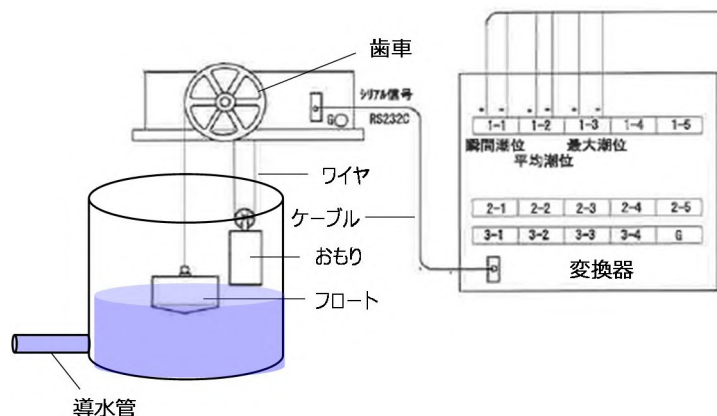


図 1 2 フロート式水位計の概要図（イメージ）

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		

表5より、津居山地点の通常の潮位変動による誤検知はない見通しだが、表4より、津居山地点の潮位観測における故障モードによっては、故障による潮位の指示変動を「プラント影響のある津波」と誤検知してしまう可能性が否定できない。

b. 誤検知によるプラント影響

取水路防潮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あり、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、電源喪失に伴う系統周波数の低下が生じるか否か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小さくなる。
- 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内の系統周波

数も同様に低下する。これは、高浜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、津居山地点における観測潮位の計測信頼性を踏まえ、津居山地点の観測潮位に構内の潮位計（防護用）を組み合わせ、取水路防潮ゲートの閉止を判断することとする。

なお、津居山地点の観測潮位を用いることにより、（5）で述べた通り取水路防潮ゲート閉止判断の早期化を図る。

10.2 更なる安全性向上に係る取り組み

10.2.1 背景

10.1章の検討結果のとおり、発電所構外における津波の早期検知対応としては、津居山地点の観測潮位を更なる早期の取水路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、発電所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。

10.2.2 検討条件

10.1.3章の検討結果より、津居山以外の候補地点にて、「構内の潮位計（防護用）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。

10.2.3 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6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13に示す。

表6 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）

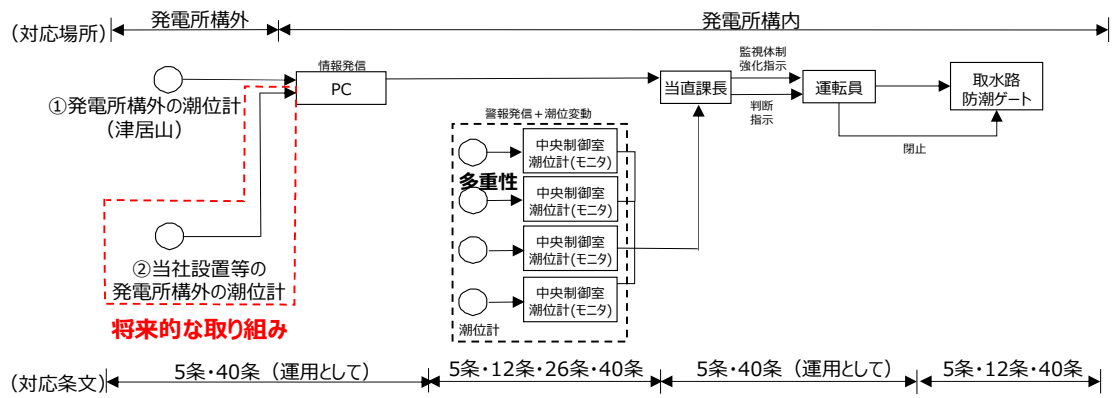


図 1 3 将来的な更なる安全向上の取り組みに係る設備構成のイメージ

10.3 発電所構外の観測潮位欠測時の対応

10.3.1 背景

津波警報等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、発電所構外における津波検知活用として津居山地点での観測潮位を活用し、取水路防潮ゲートの閉止判断の早期化と、取水路防潮ゲートの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。

本章では、発電所構外の観測潮位が欠測した場合に、これらの対応ができないことから、そのような状況における対応について検討した。また、検討に合わせて、発電所構外の観測潮位の必要性を踏まえた、発電所構外の観測潮位の基準適合上の位置づけについても整理する。

10.3.2 検討条件

発電所構外の観測潮位は、津波警報等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、一時的に津居山地点での観測潮位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)」する。また、津波対応上の問題があるが、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。

以上の検討内容を図14の検討フローに示す。

なお、ここで、「津波検知した際」とは、構外の観測潮位にて「プラント影響のある津波（津居山検潮所にて、10分以内に潮位1m上昇（もしくは下降）を観測）」と「プラント影響の可能性のある津波（津居山検潮所にて10分以内に潮位0.5mの上昇（もしくは下降）を観測）」した場合を指す。

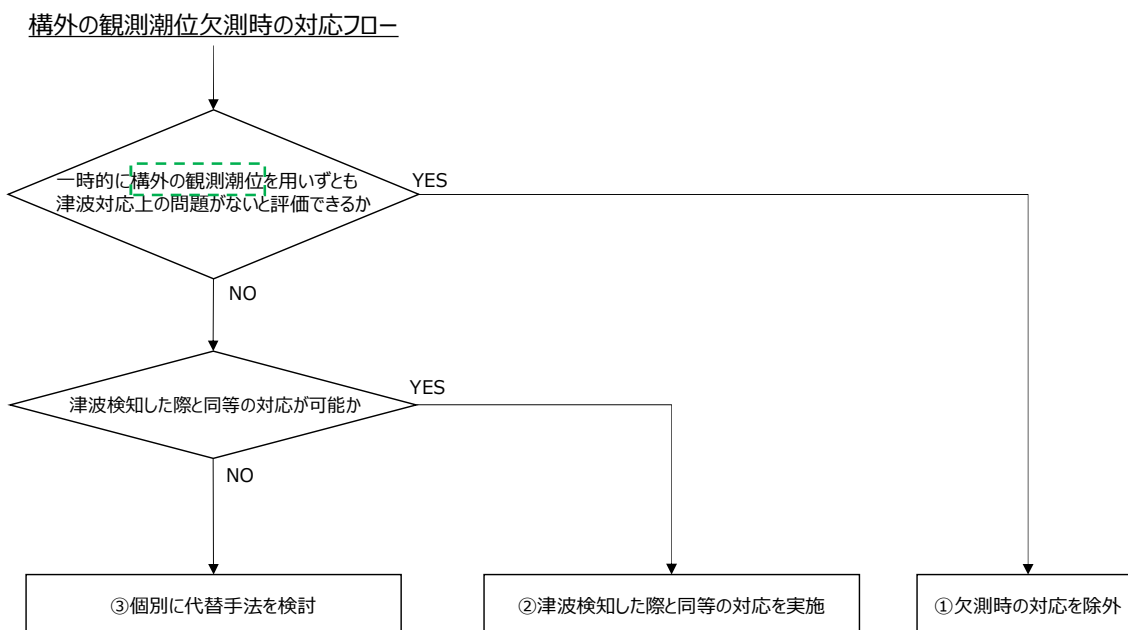


図14 発電所構外の観測潮位欠測時の対応

10. 3. 3 評価結果

発電所構外の観測潮位を活用した対応項目に関して、観測潮位欠測時の対応を図14の検討フローに基づいて整理した結果を表7に示す。

「プラント影響のある津波」を検知した際の取水路防潮ゲート閉止判断の早期化については、構内の潮位計（防護用）により津波検知を行い、取水路防潮ゲートを閉止する場合でも、最も時間余裕が厳しい津波に対して約9分の余裕時間をもって施設影響の生じるケースを防護可能であることから、仮に構外の観測潮位が欠測した場合は、取水路防潮ゲート閉止判断の早期化に係る対応を除外する。

「プラント影響の可能性のある津波」を検知した際の取水路防潮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津居山地点に津波が襲来した場合を想定しても、津波を検知した際と同様の対応を欠測と同時に行うことで、発電所に津波が襲来するまでに保守作業を中断し、ゲートの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。

「プラント影響の可能性のある津波」を検知した際の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津居山地点に津波が襲来した場合を想定しても、津波を検知した際と同様の対応を欠測と同時に行うことで、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。

「プラント影響の可能性のある津波」を検知した際の荷役中以外の場合の輸送船の退避については、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。

「プラント影響の可能性のある津波」を検知した際の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、作業時は津居山地点に人を配置し、仮に津居山地点から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、潮位の観測が途切れないよう対応する。

「プラント影響の可能性のある津波」を検知した際の取水路防潮ゲート落下機構の確認については、取水路防潮ゲート閉止の前提条件であるため、欠測時は直ちに津波検知した際と同等の対応を実施する。

「プラント影響の可能性のある津波」を検知した際の津波監視カメラによる監視については、津波対応の前提条件であるため、欠測時は直ちに津波

検知した際と同等の対応を実施する。

表7 発電所構外の観測潮位欠測時の対応整理

	発電所構外で津波を検知した時の対応	発電所構外の観測潮位欠測時の対応	発電所構外の観測潮位欠測時の対応に係る評価	分類	
	プラント影響のある津波（津居山で10分以内1.0m上昇（下降））を検知した場合	構内の潮位計（防護用）2台の観測潮位がいずれも10分以内0.5m以上の「変動」で取水路防潮ゲート閉止判断	左記対応を除外し、構内潮位計（防護用）2台の観測潮位がいずれも10分以内0.5m以上の「上下変動」で取水路防潮ゲート閉止判断	構内潮位計（防護用）2台の観測潮位がいずれも10分以内0.5m以上の「上下変動」での取水路防潮ゲート閉止にて、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、施設影響が生じるケースを防護可能	①
プラント影響の可能性 がある津波（津居山で10分以内0.5m上昇（下降））を検知した場合		取水路防潮ゲート保守作業の中断	同左	保守的に欠測と同時に津居山地点に津波が襲来した場合を想定しても、欠測と同時に津波を検知した際と同様の対応を行うことで、発電所に津波が襲来するまでに保守作業を中断し、ゲートの復旧が可能であり、上段の対応により施設影響が生じるケースを防護可能 (津居山地点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号炉中央制御室に情報が発信される体制を構築する)	②
		構内の一般車両の退避※1	同左	保守的に欠測と同時に津居山地点に津波が襲来した場合を想定しても、欠測と同時に津波を検知した際と同様の対応を行うことで、発電所へ津波が襲来するまでに退避が可能 (津居山地点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号炉中央制御室に情報が発信される体制を構築する)	②
	燃料等輸送	輸送船の退避（荷役中以外の場合）※2	左記対応を除外とし、退避せず	海底地すべり津波の最大流速、最高・最低水位に対し輸送船の係留が維持できること、輸送船が岸壁に乗り上がらないこと、着底や座礁等により航行不能にならないことを確認しており、漂流物とならない。	①
		輸送車両等の退避（荷役中の場合）※2	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、作業時は津居山地点に人を配置し、仮に津居山地点から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、潮位の観測が途切れないよう対応	左記対応により、発電所構外潮位を継続監視可能	③
		取水路防潮ゲート落下機構の確認	同左	取水路防潮ゲート閉止の前提条件であるため、欠測時は直ちに津波を検知した際と同等の対応を実施。	②
		津波監視カメラによる監視	同左	津波対応の前提条件であるため、欠測時は直ちに津波を検知した際と同等の対応を実施。	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に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には岸壁に輸送車両等はない。

10.3.4 発電所構外の観測潮位の基準適合上の位置づけの整理

発電所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（防護用）のうち2台がいずれも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、発電所構外の観測潮位が欠測した場合は、取水路防潮ゲートの閉止判断基準（トリガー）を検知したのちに取水路防潮ゲートを閉止することで、施設影響が生じるケースを防護可能であることを確認していることから、発電所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のある津波（津居山で10分以内0.5m上昇（下降）」を検知した場合

a) 取水路防潮ゲートの保守作業

取水路防潮ゲートの保守作業中に発電所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、「発電所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、発電所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、発電所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、発電所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発電所構外に津波が襲来した場合を想定しても、欠測を契機に津波検知した際と同等の対応を実施すれば、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、発電所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、発電所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、津波警報等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、発電所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、津波警報等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、発電所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) 取水路防潮ゲートの落下機構の確認

「(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、構内の潮位計（防護用）の運用で取水路防潮ゲートの閉止を実施することで、施設影響が生じるケースを防護可能であることを確認していることから、発電所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、構内の潮位計（防護用）の運用で取水路防潮ゲートの閉止を実施することで、施設影響が生じるケースを防護可能であることを確認していることから、発電所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