

高浜発電所 1～4号炉の 津波警報等が発表されない 可能性のある津波への対応 に係る審査結果

地域原子力総括調整官(福井担当)
西村 正美

令和3年1月22日

1. 経緯

- ・平成31年 1月16日：平成30年度第53回原子力規制委員会において、平成30年12月にインドネシア・スンダ海峡で発生した火山現象による津波被害に関連し、関西電力に対して高浜発電所の津波警報が発表されない可能性のある津波に関し、発電所構内の重要な設備への影響等の確認を求めた。
- ・令和元年 6月13日：当委員会の山中委員及び石渡委員出席のもと、「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」（以下「現状聴取会合」という。）において、関西電力による評価結果について確認を行った。
- ・令和元年 7月 3日：令和元年度第16回原子力規制委員会において、原子力規制庁から報告を受け、高浜発電所における「隠岐トラフ海底地すべり」による津波対策に係る設置変更許可申請が行われる必要があるとの原子力規制庁の評価について、了承した。
- ・令和元年 7月16日：現状聴取会合において、関西電力から本件に係る設置変更許可申請を行う旨の説明を受けた。
- ・令和元年 7月31日：令和元年度第20回原子力規制委員会において、関西電力に対する今後の対応方針について決定した。
- ・令和元年 9月26日：設置変更許可申請書
- ・令和2年10月15日～令和2年11月16日：審査書案等に対する科学的・技術的意見の募集
- ・令和2年12月2日：設置変更許可

2. 審査の概要

※ 本資料は、関西電力株式会社高浜発電所1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉の発電用原子炉設置変更許可申請に係る審査の概要を分かりやすく表現することを目的としているため、技術的な厳密性よりもできる限り平易な記載としています。正確な審査内容及び審査結果については、審査書案をご参照ください。

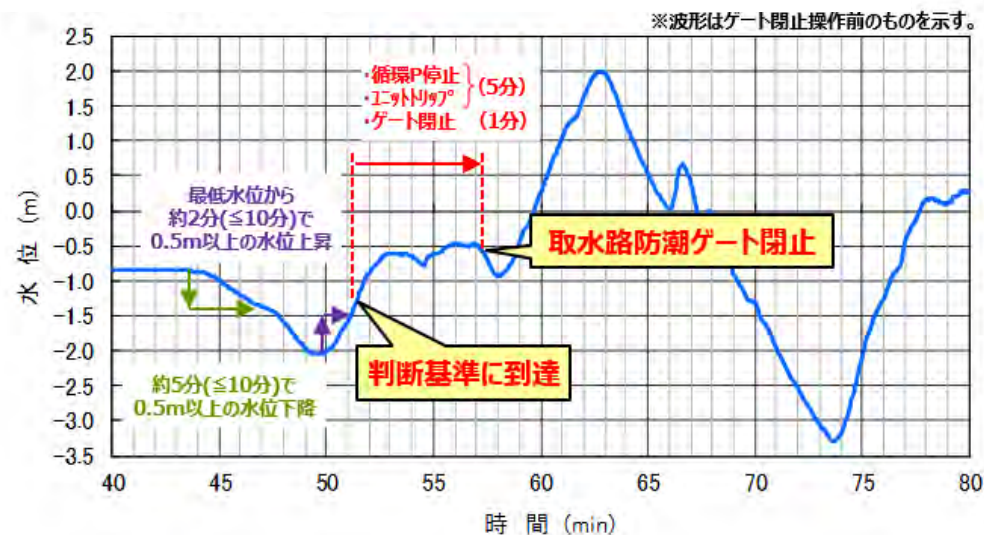
目次

- | | | |
|----|------------------------|--------|
| 1. | 津波防護の全体概要 | p. 4～5 |
| 2. | 基準津波 | p. 6～7 |
| 3. | 取水路防潮ゲートの閉止判断基準 | p. 8 |
| 4. | 潮位観測システム（防護用）による津波防護設計 | p. 9 |
| 5. | 発電所構外における観測潮位の活用 | p. 10 |

1. 津波防護の全体概要 (1 / 2)

- 津波警報等が発表されない可能性のある津波(以下「警報なし津波」という。)は、遡上波の敷地への到達、流入及び水位低下による海水ポンプへの影響(以下「施設影響」という。)を及ぼすおそれがある。
- 既許可申請では、大津波警報が発表された場合に、循環水ポンプを停止(プラント停止)し、取水路防潮ゲートを閉止する運用により施設影響を防止する設計方針としているが、この設計方針では、警報なし津波による施設影響が防止できない可能性がある。
- そのため、申請者は、潮位観測システム(防護用)を設置し、施設影響を及ぼすおそれのある警報なし津波の潮位変動を観測し、取水路防潮ゲートを閉止する判断基準(以下「閉止判断基準」という。)に到達した場合に、中央制御室間の連携により、循環水ポンプを停止(プラント停止)し、取水路防潮ゲートを閉止する運用により、施設影響を防止する方針を示した。

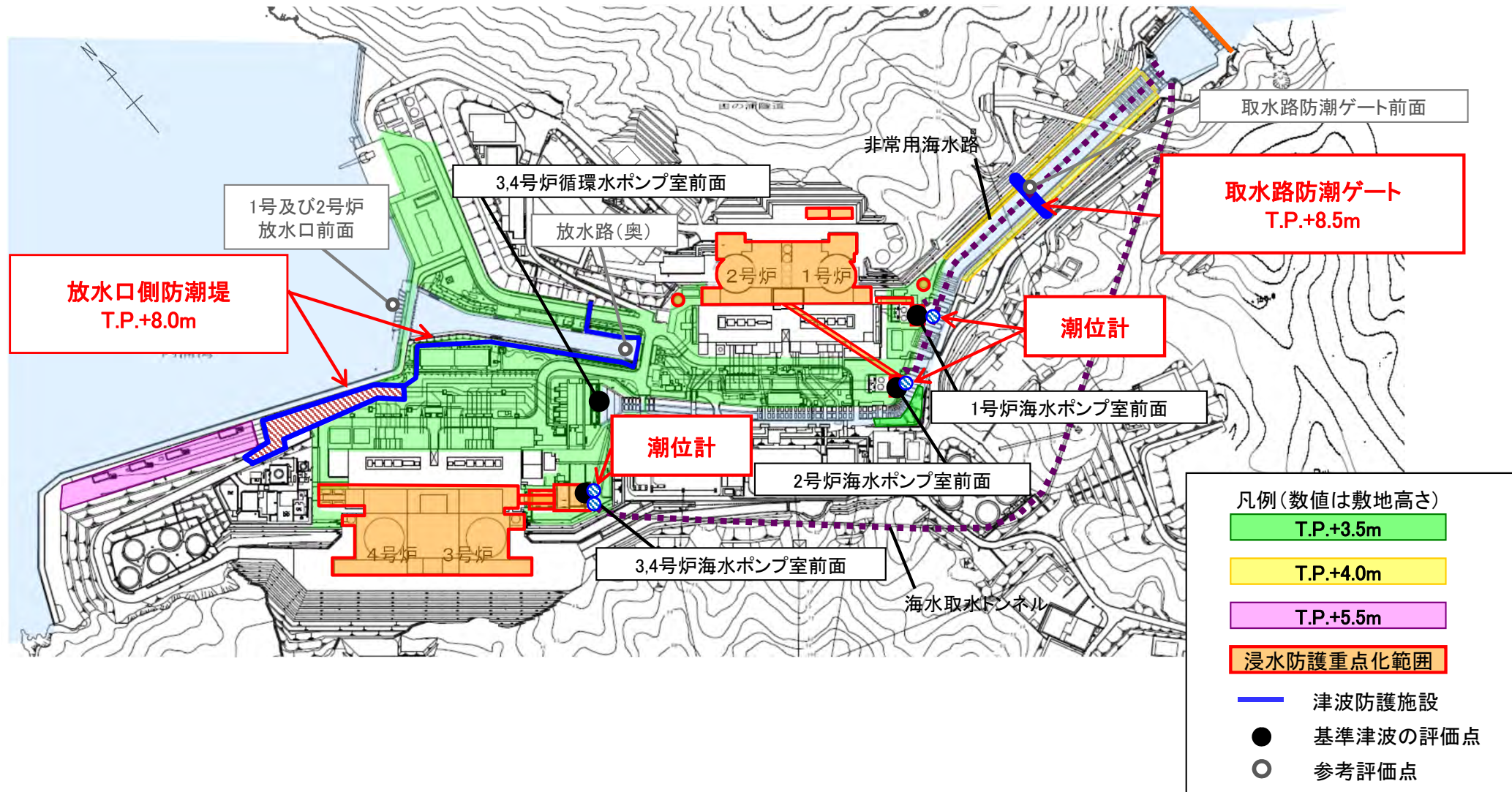
● 津波襲来判断の例(1号炉海水ポンプ室)



水位下降側: エリアB(Es-K5) Kinematicモデルによる方法

1. 津波防護の全体概要 (2 / 2)

津波防護の概要図を以下に示す。



2. 基準津波 (1 / 2)

<申請の概要>

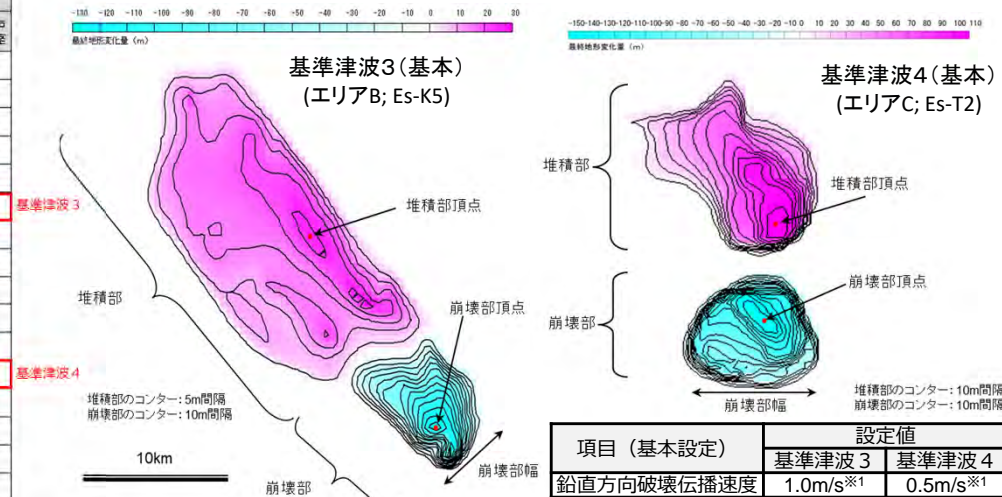
津波警報等が発表されない場合の基準津波の選定方針は、以下のとおり。

- 津波水位がいずれかの評価点で敷地高さ(T.P.+3.5m)を上回る波源、又は、各海水ポンプ室のうちいずれかの評価点で海水ポンプの取水可能水位(1号炉及び2号炉はT.P.-3.21m、3号炉及び4号炉はT.P.-3.52m)を下回る波源を全て基準津波として選定
- 計算条件: 取水路防潮ゲート「開」、潮位(バラツキを含む)及び高潮の裕度を考慮、(水位下降側のみ)循環水ポンプ及び海水ポンプが全て稼働

津波水位評価結果 数字はT.P.(m)、青字は施設影響が生じる値、グレー字は参考値

取水路防潮ゲート ^{※1}	波源モデル		水位上昇						水位下降					
			取水路防潮ゲート前面	3, 4号炉循環水ポンプ室	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室	3, 4号炉海水ポンプ室	放水口前面	放水路(奥)	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室	3, 4号炉海水ポンプ室		
開 (Open)	地震以外に起因する津波	海底地すべり	エリアA (Es-G3)	Watts他の予測式	1.2	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	-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	2.8	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
			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
			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・防振壁高さ、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		

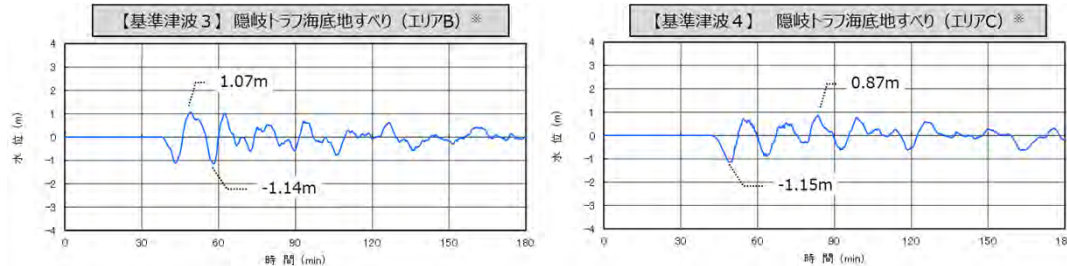
基準津波3及び基準津波4に関する水位評価条件 (海底地形変化量分布・津波評価に用いた波源特性)



項目 (基本設定)	設定値	
	基準津波3	基準津波4
鉛直方向破壊伝播速度	1.0m/s ^{※1}	0.5m/s ^{※1}
破壊継続時間	2分 ^{※2}	5分 ^{※2}

※1 破壊伝播速度の鉛直成分として設定
 ※2 地形変化の速度が鉛直方向破壊伝播速度を超えない範囲で最大となるよう破壊継続時間を設定

基準津波定義位置における基準津波3及び基準津波4の水位時刻歴波形

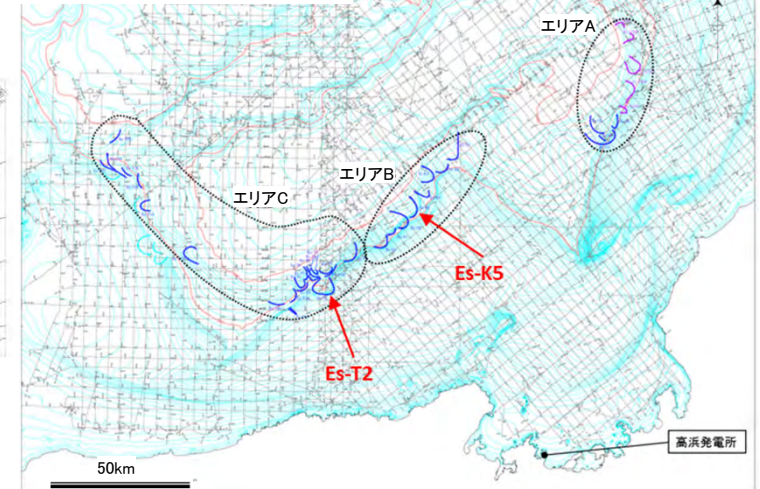


※基準津波3及び基準津波4は、崩壊規模及び破壊伝播速度を固定値としないことから、施設への影響が最も大きくなる崩壊規模及び破壊伝播速度を適用した場合の時刻歴波形を示す。

基準津波定義位置



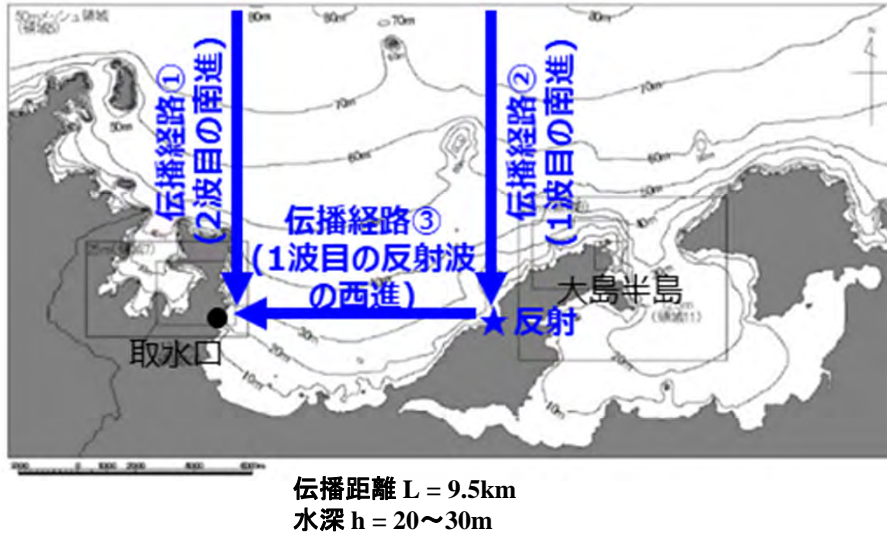
隠岐トラフ海底地すべり位置図



2. 基準津波（2 / 2） ～若狭湾における津波の伝播特性による水位時刻歴波形の特徴～

<申請の概要(続き)>

高浜発電所に襲来する津波は大島半島からの反射波によりその津波水位が高くなる傾向がある。右下図に示すように、津波が伝播することを考えると、大島半島から高浜発電所まで(伝播経路③)の津波伝播時間は10～12分程度であることから、津波の周期が10～15分程度の場合は、直接高浜発電所に襲来する津波(伝播経路①)と大島半島から反射波として高浜発電所に襲来する津波(伝播経路②→伝播経路③)とが干渉し、その振幅が大きくなる。

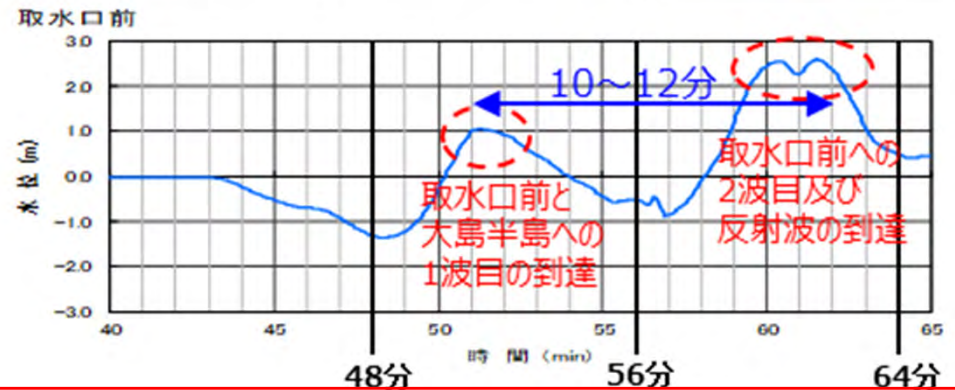
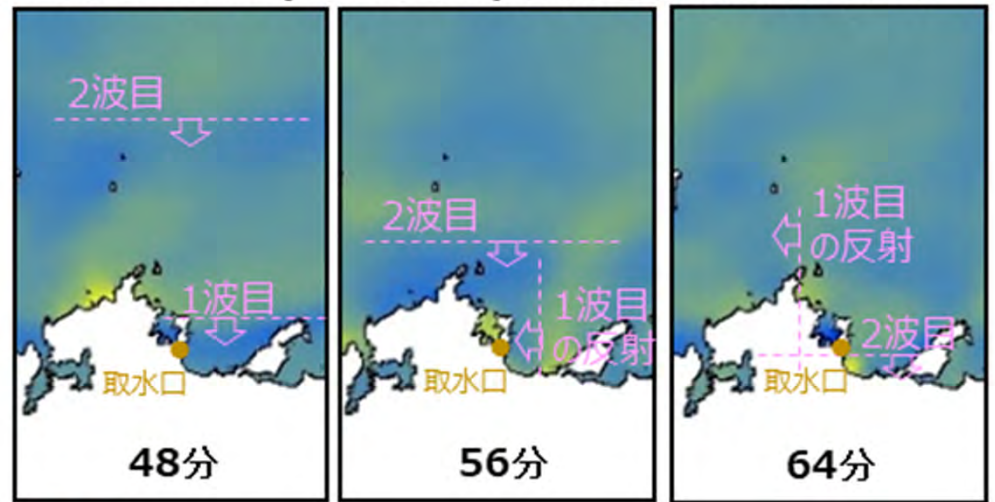


大島半島から反射した津波が高浜発電所まで伝播するために要する時間
(概略計算)

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

出典: 発電用原子炉設置変更許可申請の補足説明資料(2020年9月3日)から抜粋
<<https://www2.nsr.go.jp/data/000326238.pdf>>

エリア B Es-K5(Kinematic)の津波伝播のスナップショット



<審査結果の概要>

規制委員会は、本申請において策定された基準津波3及び基準津波4は、地震以外の要因である海底地すべりによる津波であり、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、各種の不確かさを十分に考慮して数値解析を実施し、適切に策定されていること、取水路から海水ポンプ室に至る経路において第1波より第2波以降の水位変動量が大きくなることを確認。

3. 取水路防潮ゲートの閉止判断基準

<申請の概要>

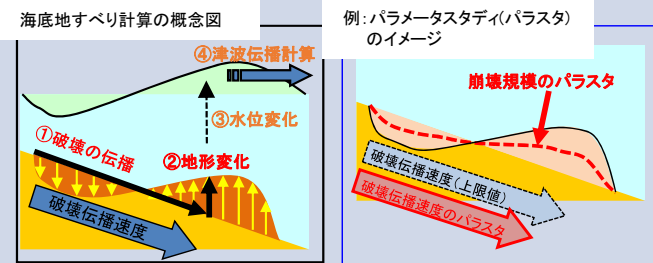
若狭湾における津波の伝播特性及び津波の第1波の水位変動では施設影響を及ぼすおそれがないことを踏まえ、津波の第1波の水位変動量が、ある時間内に閉止判断基準に到達した場合に、取水路防潮ゲートを閉止する運用を実施する。

施設影響を及ぼすおそれのある津波を見逃さないように、また、平常時及び台風時の潮位変動の影響を受けないように、**閉止判断基準を、以下のとおり設定する。**

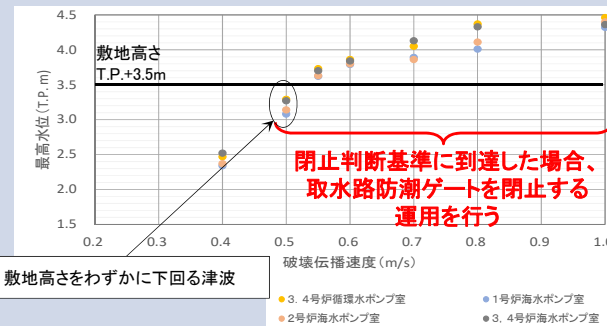
- ① 各種パラメータスタディ※及び過去の潮位変動(平常時及び台風時)の調査結果から、施設影響を及ぼすおそれのない津波のうち、敷地高さT.P.+3.5mをわずかに下回る津波も含めた値(10分以内に0.69mの水位変動量)を、閉止判断基準に用いる津波の第1波の水位変動量として算出する。

※各種パラメータスタディ

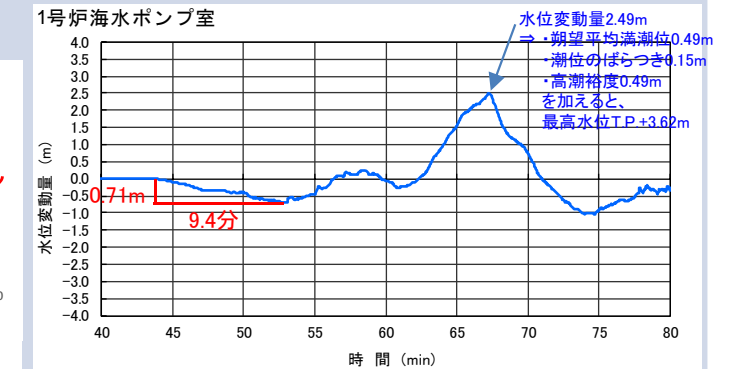
- ・複数の崩壊規模を用いたパラメータスタディ
- ・複数の破壊伝播速度を用いたパラメータスタディ
- ・複数の振幅及び周期による正弦波を用いたパラメータスタディ



パラメータスタディ結果による第2波の最高水位を整理した一例(破壊伝播速度のパラメータスタディ結果:エリアBのEs-K5)



水位変動量の時刻歴波形の一例:破壊伝播速度0.55m/s



- ② ①の各種パラメータスタディから得られた第1波の水位に対する第2波以降の水位の最大の増幅比率(3.7倍)を用い、T.P.+3.5mから逆算した値(10分以内に0.64mの水位変動量)を、閉止判断基準に用いる津波の第1波の水位変動量として算出する。

閉止判断基準の設定にあたっては、①及び②から得られた値に潮位の揺らぎ(0.10m)及び余裕を考慮し、さらに、第1波の下降波の先行到達の条件に加え、第1波の上昇波の先行到達の条件も考慮する。

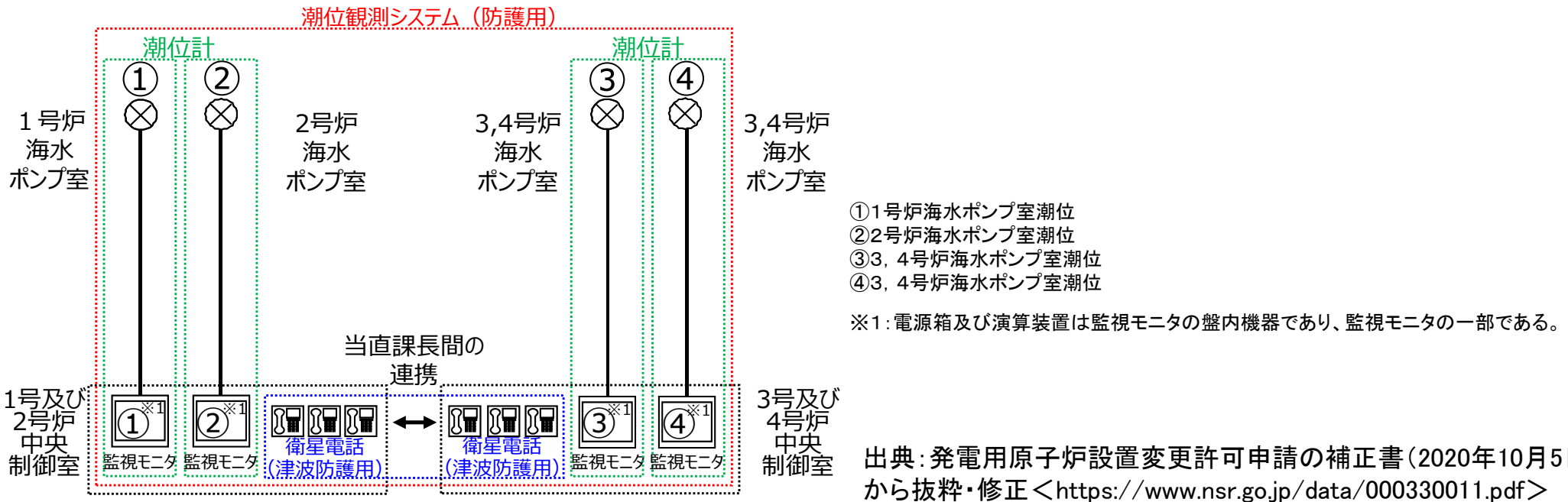
<審査結果の概要>

規制委員会は、閉止判断基準について、「潮位観測システム(防護用)のうち2台の潮位計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」と設定することを確認。

4. 潮位観測システム（防護用）による津波防護設計

<申請の概要>

警報なし津波への対応として、1号及び2号炉中央制御室と3号及び4号炉中央制御室において、津波防護施設として設置する潮位観測システム（防護用）（潮位計（発電所構内に合計4台）及び衛星電話（津波防護用）（中央制御室ごとに3台））を用いて連携して潮位観測を行い、2台の潮位計で水位変動量が閉止判断基準に到達した場合、循環水ポンプを停止（プラント停止）し、1号及び2号炉中央制御室において取水路防潮ゲートの閉止操作を行う設計としている。



<審査結果の概要>

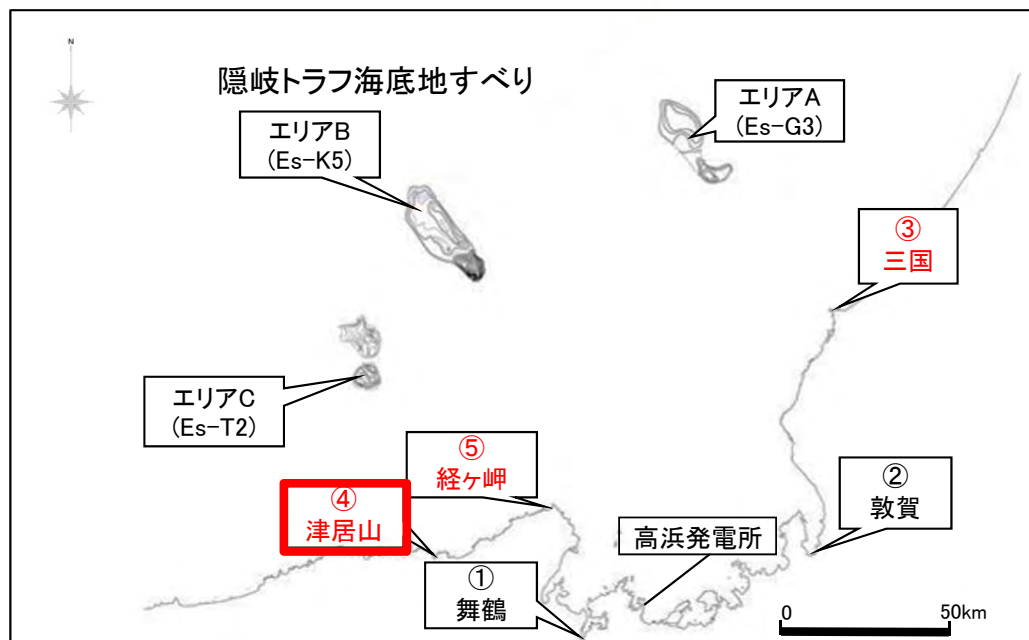
規制委員会は、以上の設計について、

- ・潮位観測システム（防護用）の安全機能の重要度分類は、取水路防潮ゲート（MS-1）と同等であること
- ・潮位観測システム（防護用）は、1号炉から4号炉で共用することにより、津波を異なる位置で複数台の潮位計により監視することで、安全性が向上するとしていること
- ・潮位観測による閉止判断基準の確認は、1号及び2号炉中央制御室において取水路防潮ゲートの閉止操作を行うため、1号及び2号炉中央制御室と3号及び4号炉中央制御室が衛星電話（津波防護用）を用いて相互に連携して行うとしていることを確認。

5. 発電所構外における観測潮位の活用

＜申請の概要＞

津波の情報を早期に入手することで、取水路防潮ゲートを閉止する運用を行う時間的な余裕を確保することが可能となるよう、発電所構外における観測潮位を活用する。発電所構外において観測潮位が入手可能な候補の地点は、以下のとおり。



- ①京都府舞鶴市浜(気象庁管轄の観測潮位)
- ②福井県敦賀市川崎町地先(港湾局管轄の観測潮位)
- ③福井県坂井市三国町(国土地理院管轄の観測潮位)
- ④兵庫県豊岡市小島(兵庫県の観測潮位)
- ⑤京都府京丹后市経ヶ岬
(気象庁管轄の沿岸波浪計であり、潮位の観測はしていない)

海底地すべりが発生してから津波の第1波が各地点に到達するまでの時間

※1取水口前での津波到達時間。

	① 舞鶴	② 敦賀	③ 三国	④ 津居山	⑤ 経ヶ岬	高浜発電所※1
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

エリアB及びエリアCによる海底地すべり津波が各地点へ到達する時間から、津波を早期に検知できる地点は、上表のとおり③～⑤となる。

③～⑤のうち、既往の潮位データが存在し、データの分析及び入手が可能な④津居山地点の観測潮位を取水路防潮ゲートの更なる早期の閉止判断等に活用する。その他の地点については、将来的な安全性の向上への取組として、今後活用を検討する。