

## 5. 津波の組み合わせ

## 津波の組み合わせに関する検討概要

地震に起因する津波、及び地震以外に起因する津波の検討結果を踏まえ、因果関係があると考えられる津波発生要因の組み合わせを抽出する。

### 主要な断層波源(検討対象断層他)

- ・FO-A~FO-B~熊川断層
- ・福井県モデル(若狭海丘列付近断層)

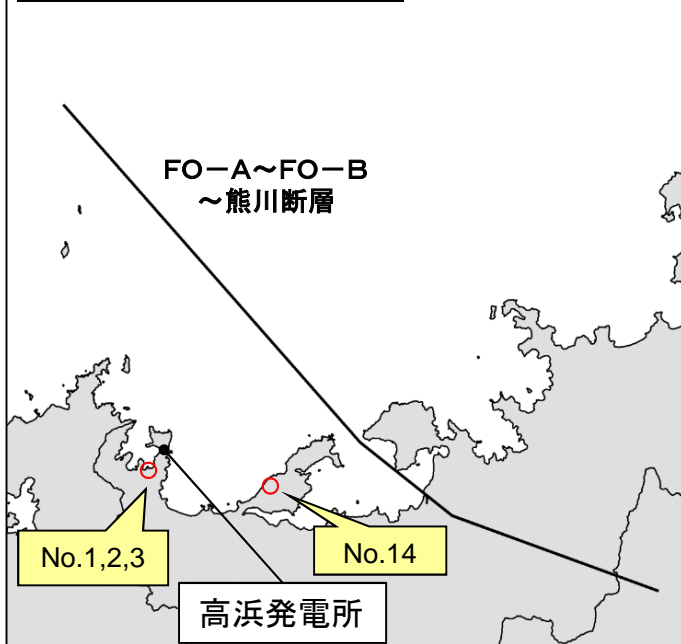
### 海底地すべりによる津波波源

- ・隠岐トラフ海底地すべりエリアA(Es-G3)
- ・隠岐トラフ海底地すべりエリアB(Es-K5)
- ・隠岐トラフ海底地すべりエリアC(Es-T2)

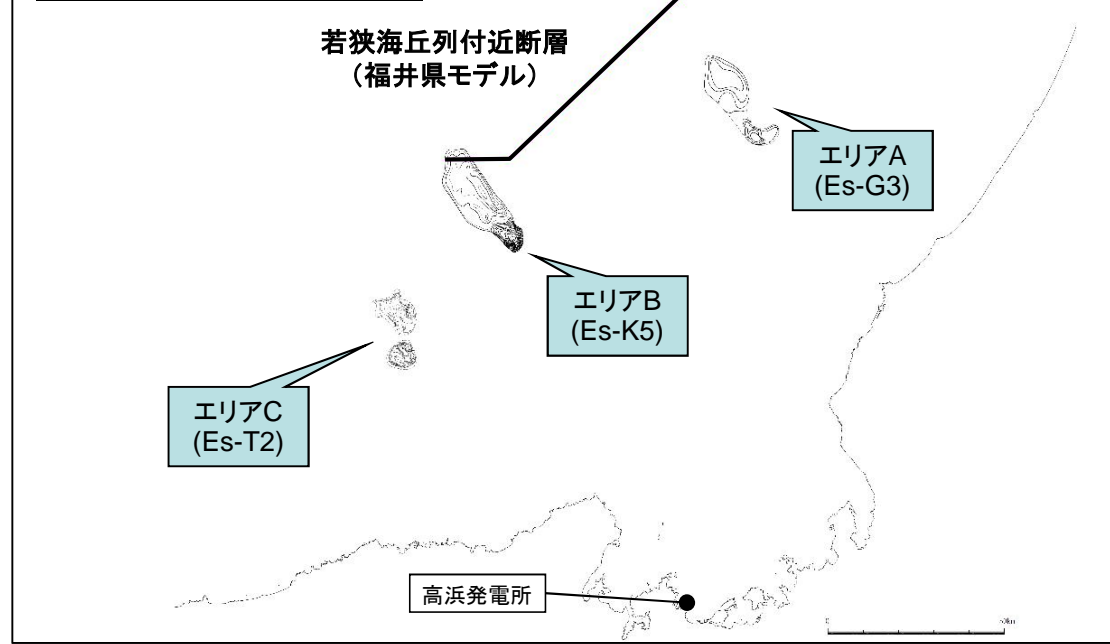
### 陸上地すべりによる津波波源

- ・陸上地すべり(No.1,2,3)
- ・陸上地すべり(No.14)

波源位置図(陸上地すべり)



波源位置図(海底地すべり)



○津波の組み合わせの検討にあたっては、地震以外の津波が、近接する主要な断層波源の活動で励起される可能性を考慮し、同時発生する可能性がある津波の組み合わせとして、

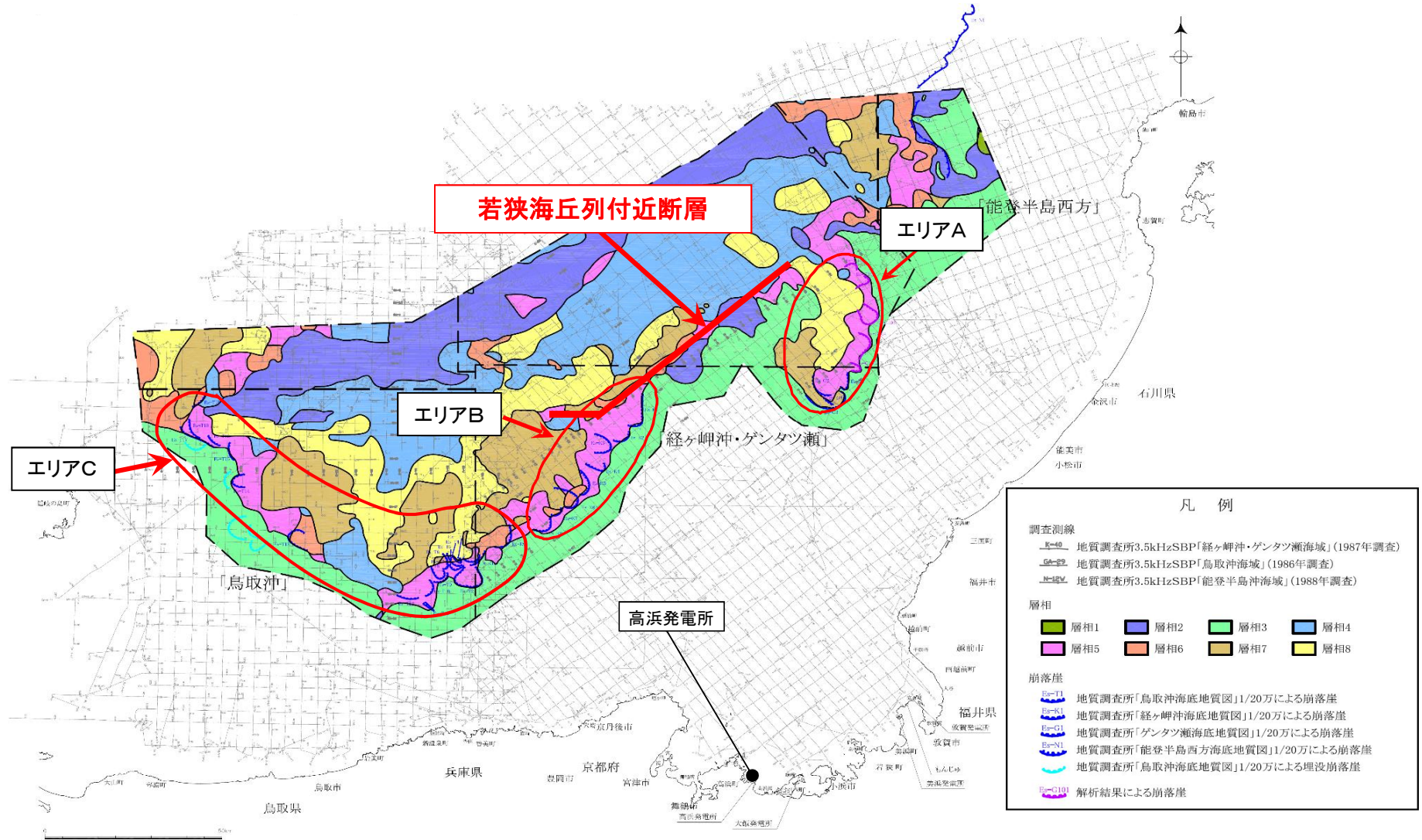
- ・若狭海丘列付近断層と隠岐トラフの海底地すべりの組み合わせ
- ・FO-A~FO-B~熊川断層と陸上地すべり(No.1,2,3)の組み合わせ
- ・FO-A~FO-B~熊川断層と陸上地すべり(No.14)の組み合わせ

を抽出し、各波源による津波の時刻歴波形の足し合わせによる組み合わせの検討を実施した。

○津波の組み合わせの検討にあたっては、時間の不確かさを考慮するものとする。

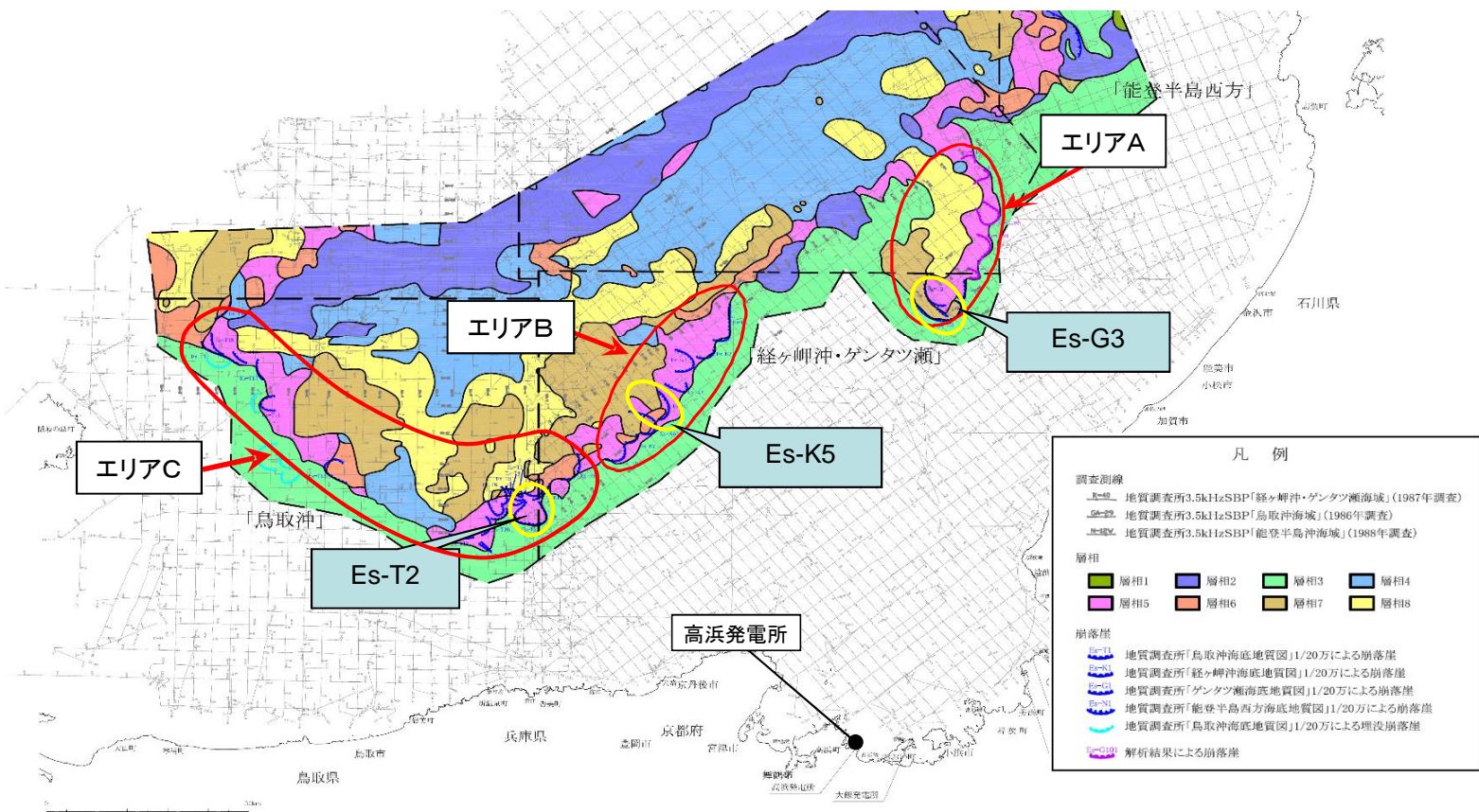
## 5-1. 若狭海丘列付近断層と隠岐トラフ海底地すべりの 組み合わせ

## 位置関係図



地震と海底地すべりの組み合わせによる津波水位については、福井県モデル(若狭海丘列付近断層)とA,B,C各エリアの海底地すべりをそれぞれ単独に計算した結果を、地震と海底地すべりが同時発生したものと仮定して、足し合わせて算出した。

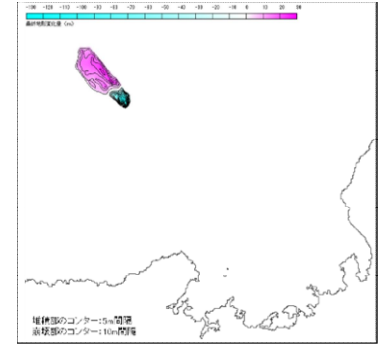
## 海底地すべりの設定



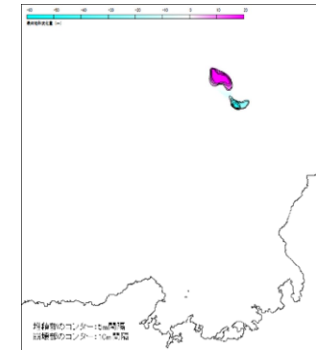
地すべり地形	エリア	地すべり長さ×厚さ(m <sup>2</sup> )	規模の順位
Es-K5	B	913,324	1
Es-T2	C	833,402	2
Es-T8	C	656,141	3
Es-K7	B	578,850	4
Es-T13	C	576,038	5
Es-K6	B	558,225	6
Es-T14	C	547,200	7
Es-K8	B	498,312	8
Es-K4	B	357,855	9
Es-K3	B	341,839	10
Es-T6	C	331,267	11
Es-T17	C	312,678	12
Es-K2	B	298,932	13
Es-T15	C	274,765	14
Es-K1	B	270,276	15
Es-G3	A	198,822	16
Es-G103	A	185,161	17
Es-T12	C	182,237	18
Es-G104	A	164,876	19
Es-G102	A	158,864	20



エリアC (Es-T2)



エリアB (Es-K5)



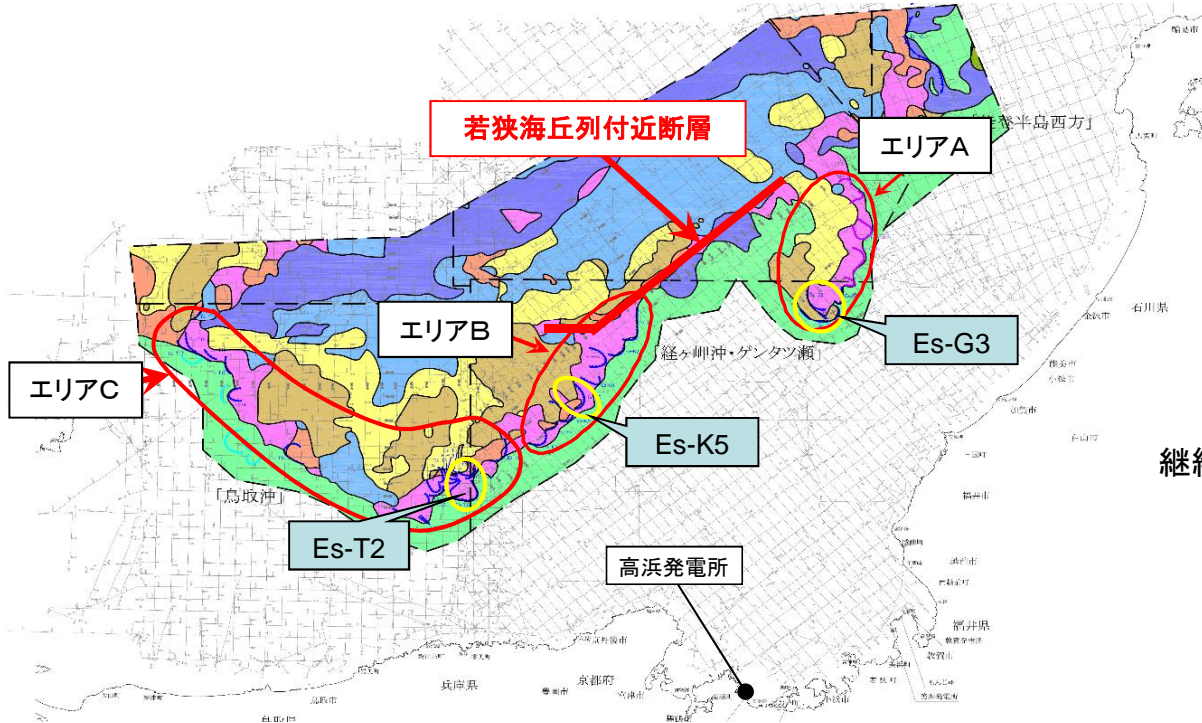
エリアA (Es-G3)

地すべり最終地形変化量分布図

○組み合わせる海底地すべりの発生位置については、隠岐トラフ付近の海底地すべり想定地形を、位置関係より3つのエリアに分け、それぞれのエリア毎に最も規模の大きい海底地すべりが発生するものとして、Watts 他 の 予 測 式 及 び Kinematic モデルによる方法で検討した。

○各海底地すべりの条件については、本資料【4-1-3】のとおり。

## 海底地すべり発生時間の不確かさの考え方



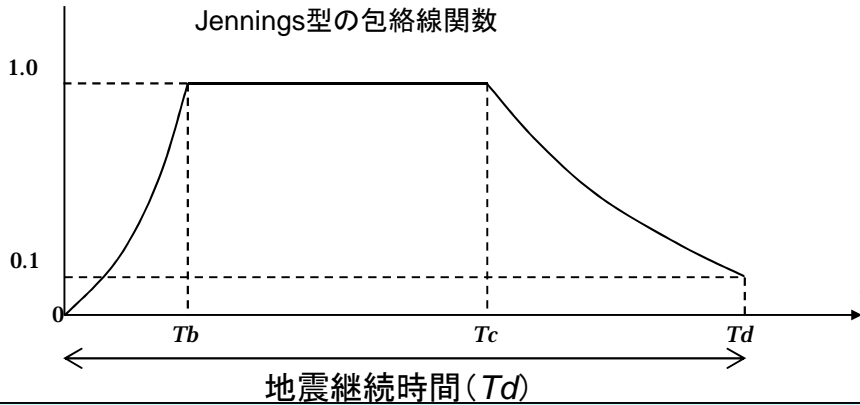
継続時間については、以下の式及び条件を用いて設定した。

- ・若狭海丘列付近断層 (断層長さ90km、M=8.1)
- ・断層と各海底地すべりまでの距離 (下表のXeq)

$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6}$$



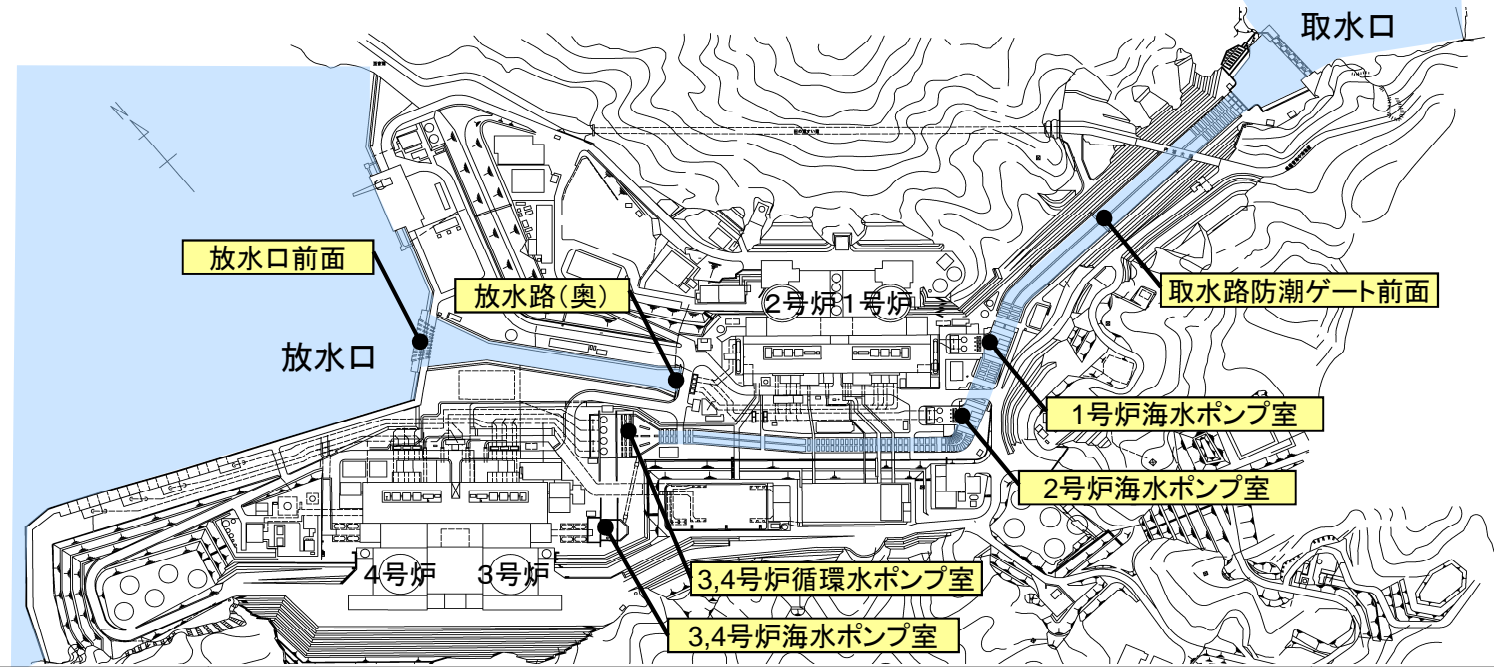
海底地すべり	Xeq	継続時間 <sup>※</sup>
Es-G3 (エリアA)	45km	87秒間
Es-K5 (エリアB)	33km	81秒間
Es-T2 (エリアC)	74km	102秒間

海底地すべりの発生時間の不確かさについては、福井県モデル (若狭海丘列付近断層) の地震が発生し、**地震動の継続する時間** (上表参照) のいずれかのタイミングで隠岐トラフ海底地すべりが発生すると仮定し、その時間の範囲内で水位変動が最大となる津波の組み合わせについて検討を実施した。

※発生時間のずれの検討は3秒ステップで実施している。

# 5-1. 若狭海丘列付近断層と隠岐トラフ海底地すべりの組み合わせ 津波水位の評価結果(福井県モデル)

海底地すべりの発生時間の不確かさを考慮した結果、水位変動が最大となる場合の水位及び発生時間のずれを下表に示す。



数字は、T.P.(m)  
上段:水位  
下段:発生時間のずれ

波源モデル		水位上昇側						水位下降側			
		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
若狭海丘列付近断層と 隠岐トラフ海底地すべり (エリアA)	発生時間の 不確かさ (87秒間)	4.4	1.2	1.1	1.1	1.5	3.6	3.8	-1.2	-1.1	-1.4
若狭海丘列付近断層と 隠岐トラフ海底地すべり (エリアB)	発生時間の 不確かさ (81秒間)	<u>5.7</u> (21秒)	<u>1.5</u> (0秒)	<u>1.3</u> (18,21秒)	<u>1.3</u> (18~24秒)	<u>1.8</u> (39秒)	<u>6.0</u> (63秒)	<u>6.1</u> (78秒)	<u>-1.3</u> (57,60秒)	-1.2	<u>-1.7</u> (81秒)
若狭海丘列付近断層と 隠岐トラフ海底地すべり (エリアC)	発生時間の 不確かさ (102秒間)	4.7	1.1	1.1	1.1	1.5	4.8	5.1	<u>-1.3</u> (90,93秒)	<u>-1.3</u> (78,81秒)	<u>-1.7</u> (60秒)

## 5-2. FO-A~FO-B~熊川断層と陸上地すべりの組み合わせ

### 5-2-1. FO-A~FO-B~熊川断層と陸上地すべり(No.1,2,3)



## 位置関係図



○地震と陸上地すべりの組み合わせによる津波水位については、FO-A~FO-B~熊川断層と陸上地すべりについてそれぞれ単独に計算した結果を、地震と地すべりが同時発生したものと仮定して、足し合わせて算出した。

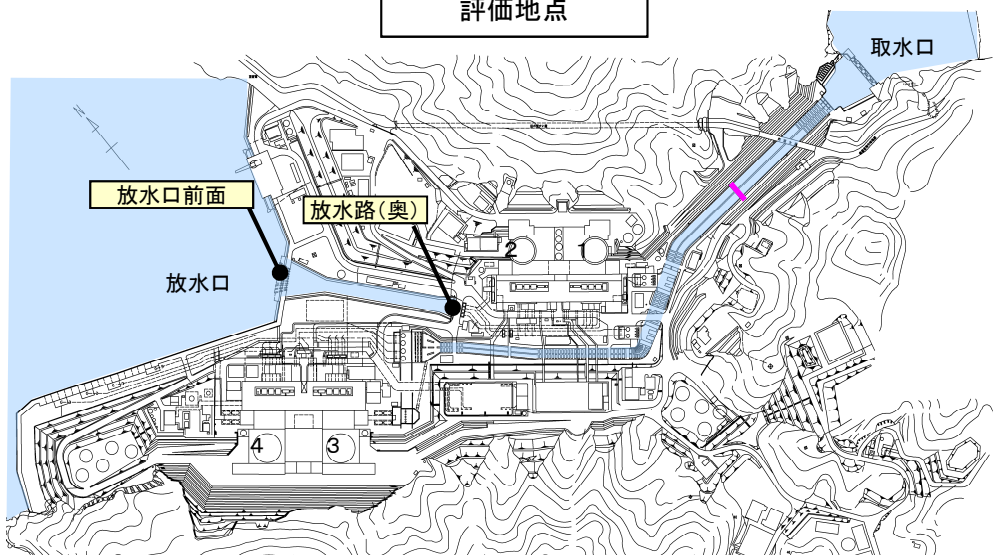
○地震と組み合わせる陸上地すべりとして、敷地に近く最も規模の大きい陸上地すべり(No.1,2,3)を対象とした検討を実施した。

# 5-2-1. FO-A~FO-B~熊川断層と陸上地すべり(No.1,2,3)

## 津波水位評価に用いるNo.1,2,3地すべりの崩壊後の地形について

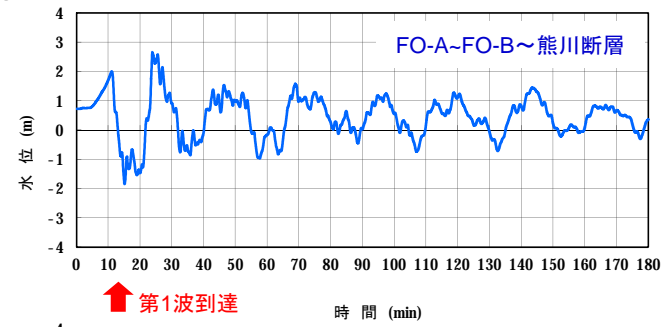
第314回審査会合  
資料1-4-2 P128 再掲

評価地点

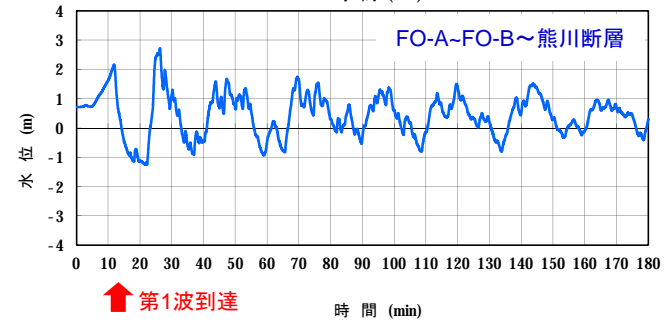


- ・潮位条件: 水位上昇側T.P.+0.49m
- ・取水条件: 取水なし

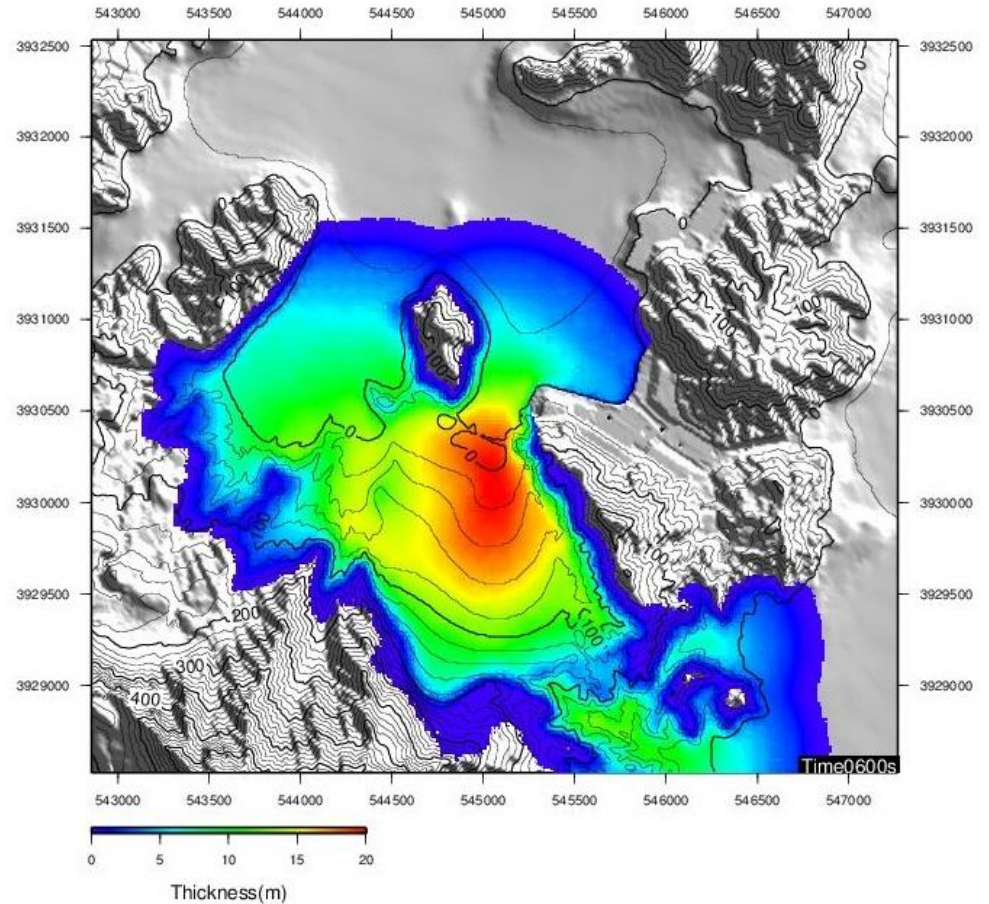
放水口前面



放水路(奥)



崩壊後(地すべり開始10分後)



○地すべり開始後10分後に地すべりがほぼ収束し、その後にFO-A~FO-B断層~熊川断層の第1波が到達する。

○よって、両津波を組み合わせた津波計算に用いる海底地形は地すべり開始後10分後の地形を用いる。

No.1,2,3地すべりの崩壊後の地形について

○地すべり規模と等価摩擦係数(H/L)の関係

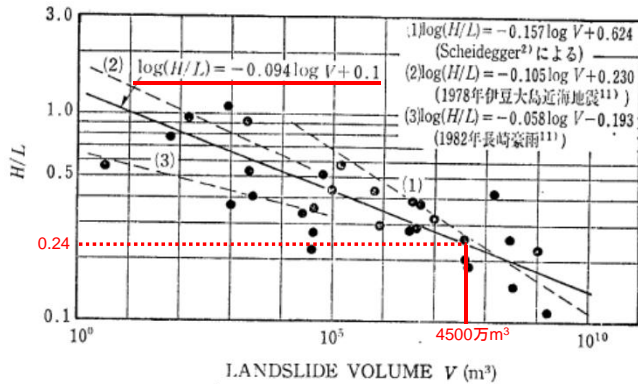


図-5 H/Lと崩壊土量Vの関係  
H: 流下高, L: 到達距離

Fig. 5 Correlation between H/L and landslide volume V  
H: runout height, L: runout distance

【森脇(1987)に追記】

○崩壊後(地すべり開始10分後)の地形

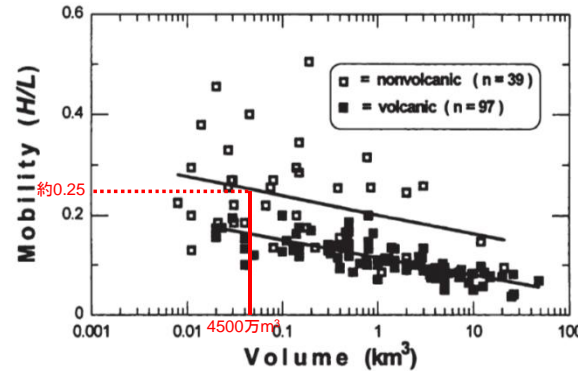
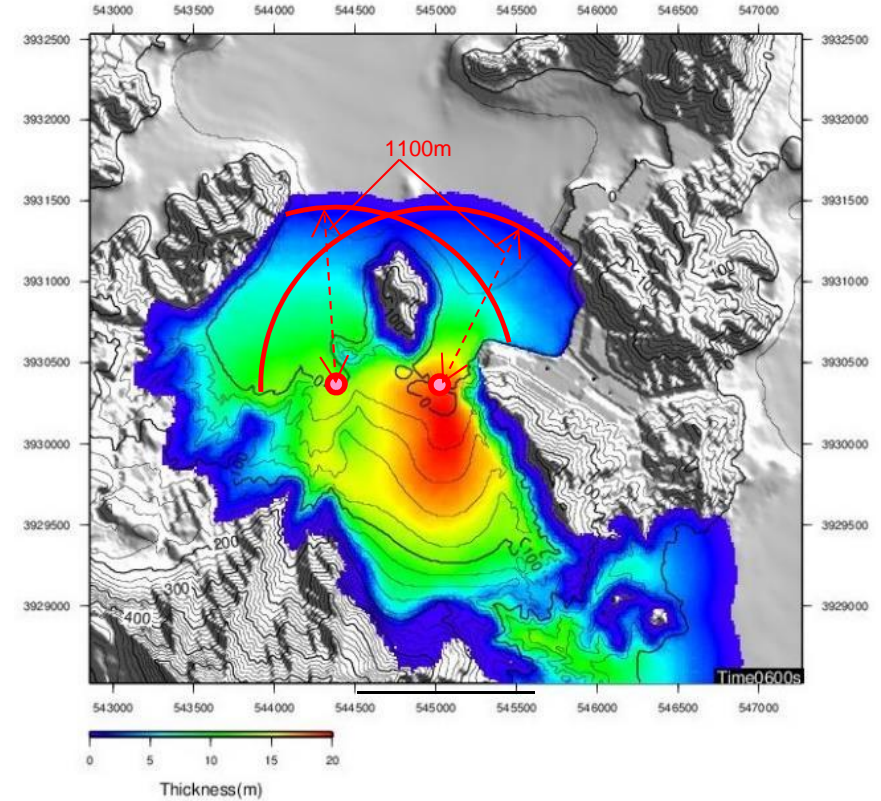


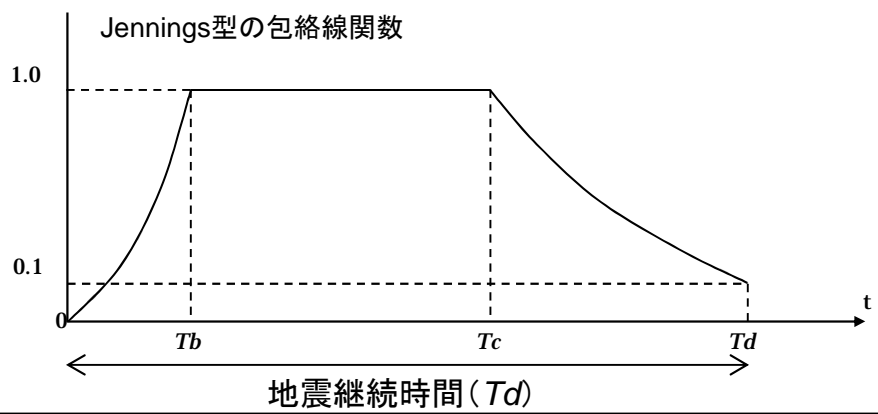
Figure 4. Semilogarithmic comparison of mobility (ratio of fall height to travel distance, H/L) and volume of nonvolcanic (data from Voight et al., 1985) and volcanic debris avalanches.

【Siebert(2002)に追記】



地すべりの流下高(H)と流下距離(L)に関する既往の事例より、No.1,2,3地すべりの規模であれば、流下距離は1,100m程度となり、ほぼ地すべり開始10分後の地形に相当する。

## 発生時間の不確かさの考え方



継続時間については、以下の式及び条件を用いて57秒とした。

- ・FO-A~FO-B断層~熊川断層(断層長さ63.4km、M=7.8)
- ・断層と陸上地すべりNo.1,2,3までの距離 Xeq=20km

$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0}$$

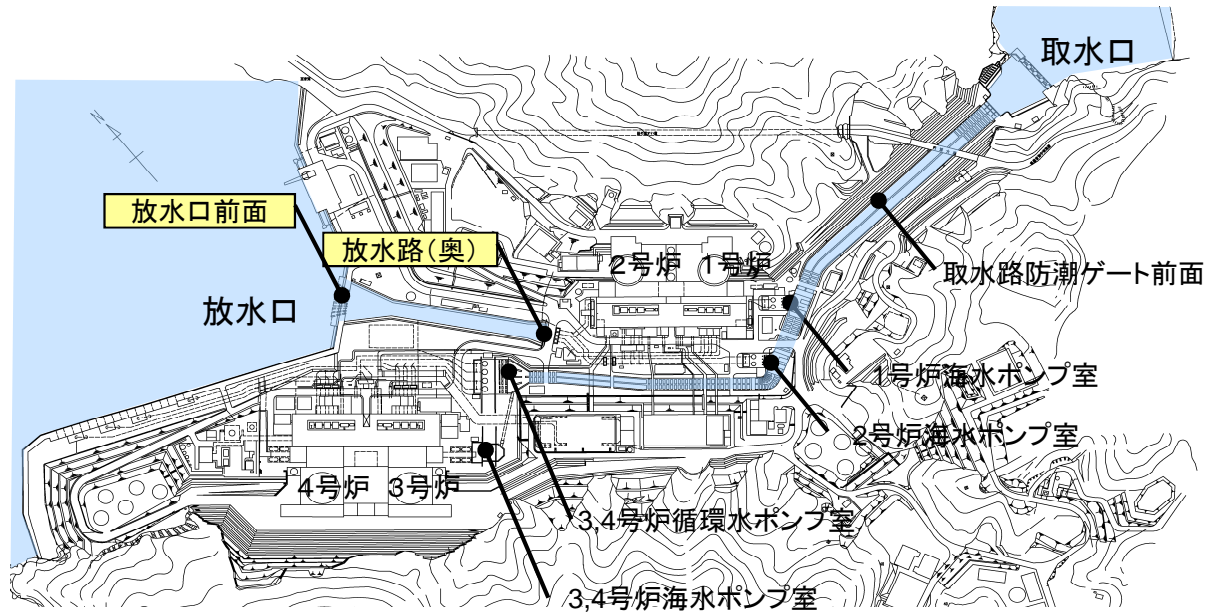
$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6}$$

地すべりの発生時間の不確かさについては、FO-A~FO-B断層~熊川断層の地震が発生し、**地震動が継続する57秒間\***のいずれかのタイミングで陸上地すべり(No.1,2,3)が発生すると仮定し、その時間の範囲内で水位変動が最大となる津波の組み合わせについて検討を実施した。

\*発生時間のずれの検討は3秒ステップで実施している。

## 津波発生要因の組み合わせによる津波水位の評価結果

陸上地すべりの発生時間の不確かさを考慮した結果、水位変動が最大となる場合の水位及び発生時間のずれを下表に示す。



数字は、T.P.(m)  
上段：水位  
下段：発生時間のずれ

波源モデル		水位上昇側						放水口 前面	放水路 (奥)
		(参考)※							
		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			
FO-A~FO-B~熊川断層と 陸上地すべりNo.1,2,3	発生時間の 不確かさ (57秒間)	1.9 (3秒)	2.2 (0秒)	2.0 (0秒)	2.0 (0秒)	2.3 (45,48秒)	3.0 (0秒)	3.1 (0秒)	

※：陸上地すべり(No.1,2,3)は、内浦湾内の局所的な現象であるため、放水口側のみの評価としている(取水口側は水位上昇側のみ参考値として示す)。

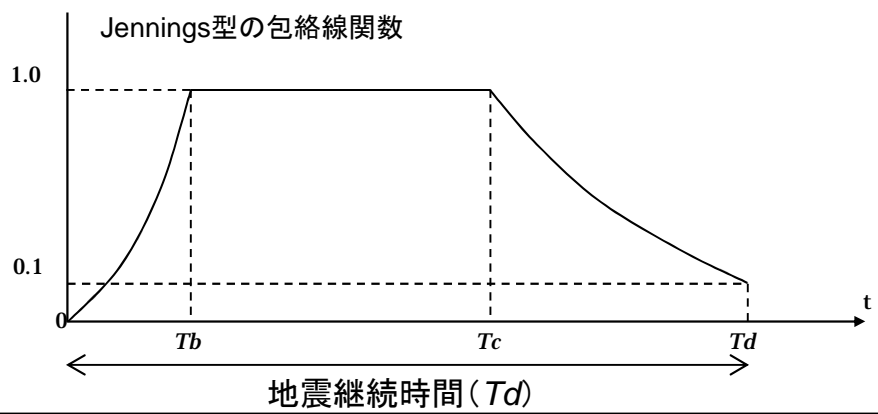
## 5-2-2. FO-A~FO-B~熊川断層と陸上地すべり(No.14)

位置関係図



地震と組み合わせる陸上地すべりとして、取水口側対岸の大島半島西岸にある陸上地すべり(No.14)を対象とした検討を実施した。

## 発生時間の不確かさの考え方



継続時間については、以下の式及び条件を用いて54秒とした。

- ・FO-A~FO-B断層~熊川断層 (断層長さ63.4km、M=7.8)
- ・断層と陸上地すべりNo.14までの距離  $X_{eq}=15\text{km}$

$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6}$$

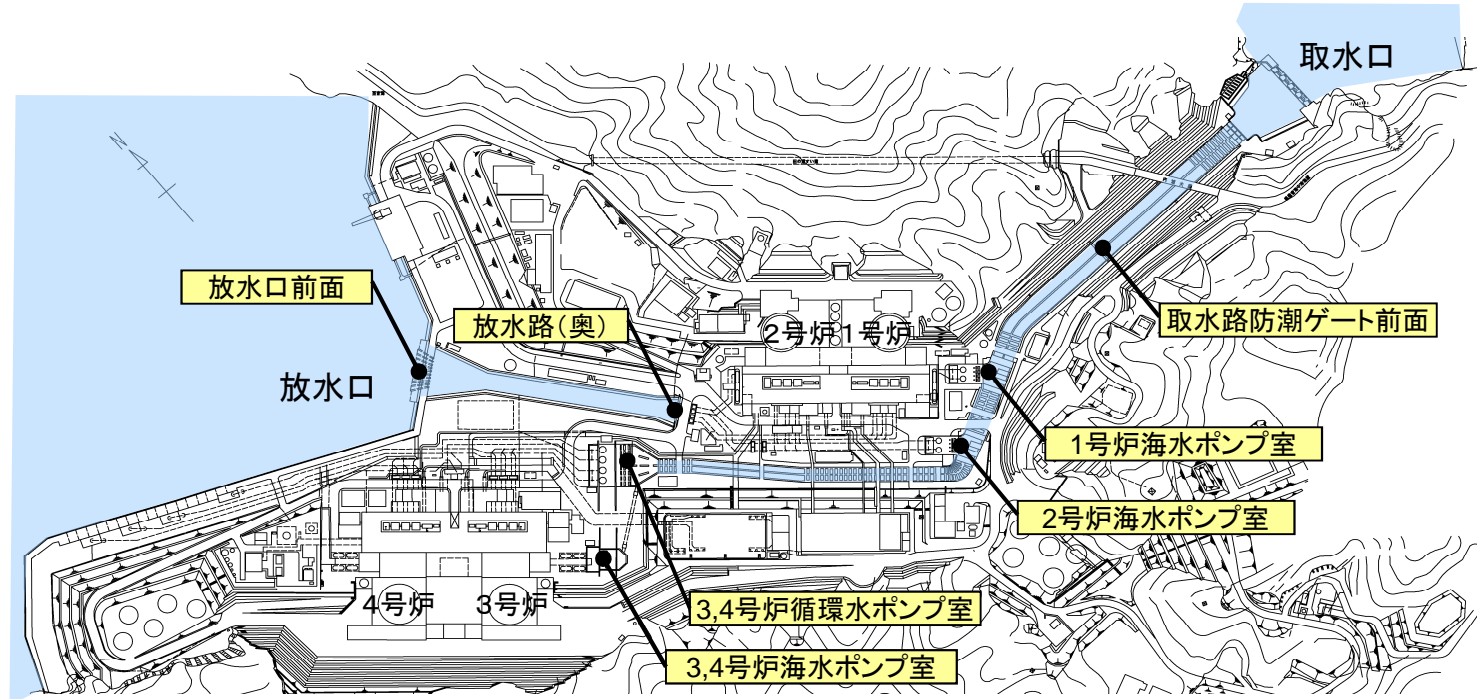
地すべりの発生時間の不確かさについては、FO-A~FO-B断層~熊川断層の地震が発生し、**地震動が継続する54秒間\***のいずれかのタイミングで陸上地すべり(No.14)が発生すると仮定し、その時間の範囲内で水位変動が最大となる津波の組み合わせについて検討を実施した。

\*発生時間のずれの検討は3秒ステップで実施している。



## 津波発生要因の組合せによる津波水位の評価結果

陸上地すべりの発生時間の不確かさを考慮した結果、水位変動が最大となる場合の水位及び発生時間のずれを下表に示す。



数字は、T.P.(m)  
上段:水位  
下段:発生時間のずれ

波源モデル	発生時間の不確かさ	水位上昇側						水位下降側	
		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	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
FO-A~FO-B~熊川断層と陸上地すべりNo.14	(54秒間)	2.2 (54秒)	2.6 (54秒)	2.2 (54秒)	2.3 (54秒)	2.7 (36秒)	2.7 (54秒)	-2.0* (51,54秒)	-1.9* (30秒)

※地盤変動量0.23m発電所側隆起

## 6. 基準津波の選定

## 【基準津波の選定方針】

敷地遡上の防止及び海水ポンプの取水性確保の観点から、各評価点において発電所への影響が大きい波源を基準津波として選定する。  
具体的には以下の①～③の方針とする。

## 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 警報が発表されない場合の留意点

- ・警報が発表されない場合には警報に基づく取水路防潮ゲート閉止ができないため、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波源を網羅的に確認できるように基準津波を選定する必要がある。
- ・具体的には、施設影響が生じる波源を基準津波として選定する際に、津波水位計算に影響を与えるパラメータに関しては、その値に幅を持つものとして基準津波を策定する。

## 【基準津波の選定結果】

## (1) 既許可時(2016.4.20許可)の評価

- ・津波警報に基づいて取水路防潮ゲートを閉止する。
- ・施設影響が生じる波源はない。(津波到達に対して防潮ゲート閉止が間に合わない波源もあるが、その場合でも施設影響は生じない。)
- ・防潮ゲート前面、放水口前面、放水路(奥)で最高水位となる波源は「福井県モデル(若狭海丘列付近断層)と海底地すべりエリアBの組み合わせ」。⇒基準津波1として選定。
- ・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」。⇒基準津波2として選定。

## (2) 警報が発表されない場合(今回評価)

- ・津波警報に基づく取水路防潮ゲート閉止ができない。
- ・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)」。  
⇒ 基準津波3、基準津波4として選定。
- ・施設影響が生じる波源の確認における津波水位計算<sup>※1</sup>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<sup>※2</sup>で設定した。選定方針の③に基づき、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に幅を持った波源として策定する。なお、崩壊規模及び破壊伝播速度の上限値は、施設影響が生じる波源の確認において採用している最大値<sup>※2</sup>とする。
- ・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口付近では襲来する津波の第1波より第2波以降の振幅が大きくなること、及び、基準津波3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で判断基準(トリガー)以上の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判断基準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津波をすべて検知できるように判断基準を設定する。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の値に幅を持っていることから、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津波を網羅的に検知できる判断基準を設定する。

※1: 警報が発表されない場合の基準津波の選定における津波水位計算では、取水路防潮ゲートは「開」条件とし、計算モデルは既許可時の評価と同様のモデル(既許可モデル)を用いて、管路は貝付着ありの条件とする。ただし、耐津波設計における入力津波等の検討では、ゲートを用いた津波防護の対策を反映して取水路防潮ゲートを「開→閉」条件とした上で、設備状況の差異による評価結果への影響を確認するために、計算モデルはゲート開口部を実寸に合わせる等して現状の設備形状を反映したモデル(修正モデル)を用いた検討、及び、管路を貝付着なしの条件とした検討も行う。

※2: 崩壊規模の最大値としては、判読した海底地すべり地形の崩壊部が一度に全て崩壊する場合の規模を採用した。破壊伝播速度の最大値としては、Watts他の予測式から求まる海底地すべりの速度の最大値(Umax)を採用した。

# 6. 基準津波の選定

## (1) 既許可時の評価(1/4)

### 水位評価結果(波源単体)

数字は、T.P.(m)

波源モデル		取水路防 潮ゲート※1	水位上昇								水位下降					
			(参考)※2 取水口 前面	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)	(参考)※2 取水口 前面	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		
地震に 起因する津波	大陸棚外縁～B～野坂断層		閉	3.8	5.3	0.9	0.9	0.9	1.3	2.1	2.1	—	—	—	—	
	FO-A～FO-B～熊川断層		開	2.1	2.0	2.1	1.9	1.9	2.5	2.7	2.8	-2.5	-1.9※3	-1.8※3	-2.0	
	日本海東縁部の波源		閉	—	—	—	—	—	—	—	—	-1.9	-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	Watts他の予測式	閉	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.1	-0.3	-0.3	-0.3	
			Kinematicモデルによる方法	閉	1.7	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.6	1.8	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8
		エリアB	Watts他の予測式	閉	1.9	2.0	0.8	0.8	0.8	1.0	1.9	2.1	-1.0	-0.7	-0.7	-0.8
			Kinematicモデルによる方法	閉	3.4	4.1	1.2	1.1	1.1	1.3	3.7	4.0	-3.0	-1.1	-1.0	-1.1
		エリアC	Watts他の予測式	閉	1.6	2.4	0.8	0.7	0.7	1.1	1.1	1.3	-1.0	-0.5	-0.5	-0.8
			Kinematicモデルによる方法	閉	2.8	3.3	1.1	1.1	1.1	1.2	3.7	3.9	-1.7	-0.9	-0.9	-1.2
	陸上地すべり	No.1,2,3	Watts他による方法	開	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
			運動学的手法	開	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	2.1	2.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4
		No.10	Watts他による方法	開	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
			運動学的手法	開	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1.5	1.4	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
		No.14	Watts他による方法	開	0.9	1.0	1.1	0.9	1.0	1.0	0.6	0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.4
			運動学的手法	開	1.0	1.1	1.2	1.0	1.0	1.0	0.6	0.7	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4
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)		閉	3.5	4.5	1.1	1.1	1.1	1.4	3.6	3.8	-3.5	-0.8	-0.8	-1.0	
	秋田県モデル(日本海東縁部の断層)		閉	4.0	4.4	1.7	1.7	1.7	1.7	2.9	3.0	-2.2	-1.4	-1.4	-1.6	
	若狭海丘列付近断層	大すべり中央	閉	2.5	3.6	0.7	0.7	0.7	1.2	2.1	2.1	—	—	—	—	
		大すべり隣接LRR	閉	2.4	3.6	0.7	0.7	0.7	1.2	1.9	1.9	—	—	—	—	
		大すべり隣接LLR	閉	2.4	3.7	0.7	0.7	0.7	1.2	1.9	2.0	—	—	—	—	

※1: 閉: 取水路防潮ゲート天端TP+8.5mで全閉、 開: 両系列のゲートが開いた状態(TP±0～+8.5mはカーテンウォールあり)

※2: 取水口前面は評価点として用いていないが、取水口側の津波高さの目安として参考に記載している。

※3: 地盤変動量0.23m隆起

# 6. 基準津波の選定

## (1) 既許可時の評価(2/4)

### 水位評価結果(単体組合せ)

数字は、T.P.(m)

波源モデル				取水路 防潮 ゲート※1	水位上昇								水位下降			
地震に起因する津波	地震以外に起因する津波		発生時間 の不確かさ		(参考)※2 取水口 前面	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)	(参考)※2 取水口 前面	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
若狭海丘列 付近断層 (福井県モデル)	隠岐トラフ 海底地すべり (Kinematic)	エリアA	87秒間	閉	3.4	4.4	1.2	1.1	1.1	1.5	3.6	3.8	-3.7	-1.2	-1.1	-1.4
		エリアB	81秒間		4.6	5.7 ① (21秒)	1.5	1.3	1.3	1.8	6.0 ② (63秒)	6.1 ③ (78秒)	-4.7	-1.3	-1.2	-1.7
		エリアC	102秒間		3.5	4.7	1.1	1.1	1.1	1.5	4.8	5.1	-4.3	-1.3	-1.3	-1.7
FO-A~FO-B~熊川断層	陸上地すべり (運動学的手法)	No.14	54秒間	開	2.2	2.2	2.6 ⑦ (54秒)	2.2 ⑦ (54秒)	2.3 ⑦ (54秒)	2.7 ⑤ (45秒)	2.7	2.7	-2.6	-2.0※3 (51秒)	-1.9※3 (30秒)	-2.0※3 (54秒)
		No.1,2,3	57秒間		2.1	1.9	2.2	2.0	2.0	2.3	3.0	3.1	-	-	-	-

一体計算へ

一体計算へ

※1: 閉: 取水路防潮ゲート天端TP+8.5mで全閉、 開: 両系列のゲートが開いた状態(TP±0~+8.5mはカーテンウォールあり)

※2: 取水口前面は評価点として用いていないが、取水口側の津波高さの目安として参考に記載している。

※3: 地盤変動量0.23m隆起

- 各評価点において津波水位が最大となる7ケースについて、一体計算を行う。
- 一体計算に当たっては、発電所に与える影響が最も大きい【発生時間のずれ】を考慮する。

## 6. 基準津波の選定

### (1) 既許可時の評価(3/4)

### 水位評価結果(一体計算)

数字は、T.P.(m)

波源モデル	発生時間の いずれ	取水路 防潮 ゲート※1	ケース	水位上昇								水位下降			
				(参考)※2 取水口 前面	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)	(参考)※2 取水口 前面	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
福井県モデル(若狭海丘列付近断層と 隠岐トラフ海底地すべり(エリアB))	21秒	閉	①	3.9	4.9	1.3	1.3	1.2	1.7	5.0	5.8	—	—	—	—
	63秒		②	4.4	5.1	1.3	1.3	1.2	1.8	5.3	6.1	—	—	—	—
	78秒		③	4.5	<u>5.5</u>	1.3	1.2	1.1	1.7	<u>5.3</u>	<u>6.2</u>	—	—	—	—
FO-A~FO-B~熊川断層と 陸上地すべり(No.14)	30秒	開	④	—	—	—	—	—	—	—	—	-2.5	<u>-1.9</u> ※3	-1.8※3	-1.9※3
	45秒		⑤	2.1	2.1	2.4	2.1	2.1	2.5	2.7	2.7	—	—	—	—
	51秒		⑥	—	—	—	—	—	—	—	—	-2.5	-1.8※3	-1.8※3	<u>-2.0</u> ※3
	54秒		⑦	2.1	2.2	<u>2.5</u>	<u>2.2</u>	<u>2.2</u>	<u>2.5</u>	2.7	2.7	-2.5	<u>-1.8</u> ※3	<u>-1.8</u> ※3	<u>-2.0</u> ※3

基準津波1

基準津波2

※1: 閉: 取水路防潮ゲート天端TP+8.5mで全閉、 開: 両系列のゲートが開いた状態(TP±0~+8.5mはカーテンウォールあり)  
 ※2: 取水口前面は評価点として用いていないが、取水口側の津波高さの目安として参考に記載している。  
 ※3: 地盤変動量0.23m隆起

○一体計算の結果、取水路防潮ゲート及び放水口側の水位上昇に最も影響が大きい【若狭海丘列付近断層と隠岐トラフ海底地すべり】と、3,4号炉循環水ポンプ室、1号炉、2号炉、3,4号炉の各海水ポンプ室の水位上昇及び水位下降に最も影響が大きい【FO-A~FO-B断層~熊川断層と陸上地すべり】の計2波を基準津波として選定した。

○なお、水位下降側の評価においては、同じ波源の時間ずれであるケース④、⑥、⑦が僅差で並ぶ結果であったが、評価対象水位※4にも余裕があることから、基準津波としては水位上昇側にも影響があるケース⑦を代表として選定した※5。

○選定した基準津波は、福井県による既往評価や他の行政機関の波源モデルを用いた評価結果よりも大きな水位となっていることを確認した。

※4: 海水ポンプの取水可能水位: 約T.P.-3.2m  
 ※5: ケース④の評価結果を参考資料(第314回審査会合 資料1-4-3 参考5)に示す。

# 6. 基準津波の選定

## (1) 既許可時の評価(4/4)

### 水位評価結果(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	—	—	—	
	津波の組み合わせ(一体計算)	福井県モデル(若狭海丘列付近断層)と隠岐トラフ海底地すべりエリアB(Es-K5)		21秒ずれ	5.5	2.0	1.9	1.9	2.3	5.7	6.4	—	—	—
				63秒ずれ	5.8	1.9	1.9	1.9	2.4	5.9	6.8	—	—	—
				78秒ずれ	6.1	1.9	1.8	1.8	2.3	6.0	6.8	—	—	—
基準津波1														
開 (Open)	地震に起因する津波	FO-A～FO-B～熊川断層		2.6	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	
基準津波2														
施設影響が生じる高さ(上昇側:敷地高さ・防潮ゲート高さ・防潮堤高さ、下降側:取水可能水位)				8.5	3.5	3.5	3.5	3.5	8.0	8.0	-3.2	-3.2	-3.5	

※1: 閉: 取水路防潮ゲート先端TP+8.5mで全閉、 開: 両系列のゲートが開いた状態(TP±0~+8.5mはカーテンウォールあり) ※2: 地盤変動量0.23m隆起

施設影響が生じる波源はない。

## 6. 基準津波の選定

### (2) 警報が発表されない場合の評価(1/2)

### 水位評価結果

数字は、T.P.(m)

取水路防潮ゲート※1	波源モデル		水位上昇							水位下降					
			取水路防潮ゲート前面	3, 4号炉循環水ポンプ室	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室	3, 4号炉海水ポンプ室	放水口前面	放水路(奥)	1号炉海水ポンプ室	2号炉海水ポンプ室	3, 4号炉海水ポンプ室			
開 (Open)	地震以外に起因する津波	海底地すべり	エリアA (Es-G3)	Watts他の予測式	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.5	-0.6	-1.1	基準津波3
				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	<b>3.9</b>	<b>3.7</b>	<b>3.8</b>	<b>3.8</b>	<b>3.7</b>	<b>4.0</b>	<b>-3.6</b>	<b>-3.7</b>	<b>-3.7</b>	
			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	<b>3.7</b>	3.9	-2.4	-2.5	-2.8	
			エリアC (Es-T8)	Watts他の予測式	1.3	1.7	1.2	1.3	1.6	0.9	1.1	-1.0	-1.0	-1.7	
				Kinematicモデルによる方法	1.8	2.1	1.9	2.0	2.1	2.4	2.5	-1.7	-1.9	-2.6	
			エリアC (Es-T13)	Watts他の予測式	0.9	1.2	0.9	1.0	1.3	0.9	0.9	-0.6	-0.7	-1.3	
				Kinematicモデルによる方法	1.8	2.0	1.8	1.8	2.1	2.3	2.4	-1.5	-1.6	-2.3	
			エリアC (Es-T14)	Watts他の予測式	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	-0.6	-0.7	-1.2	
				Kinematicモデルによる方法	2.0	2.4	2.1	2.2	2.4	1.9	2.0	-1.5	-1.6	-2.1	

※1: 閉: 取水路防潮ゲート天端TP+8.5mで全閉、 開: 両系列のゲートが開いた状態(TP±0~+8.5mはカーテンウォールあり)

基準津波3

基準津波4



## 6. 基準津波の選定

### (2) 警報が発表されない場合の評価(2/2)

### 水位評価結果(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		
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
			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3

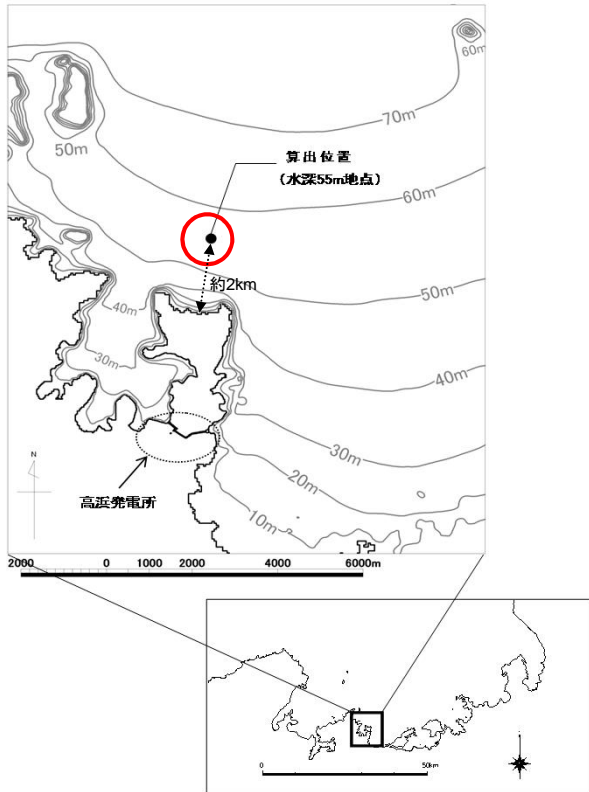
基準津波4

※1: 閉: 取水路防潮ゲート天端TP+8.5mで全閉、 開: 両系列のゲートが開いた状態(TP±0~+8.5mはカーテンウォールあり)

- 警報が発表されない場合において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、既許可時に選定した基準津波1・基準津波2に加え、これらを基準津波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※2で設定した。選定方針の③に基づき、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に幅を持った波源として策定する。なお、崩壊規模及び破壊伝播速度の上限値は、施設影響が生じる波源の確認において採用している最大値※2とする。

※2: 崩壊規模の最大値としては、判読した海底地すべり地形の崩壊部が一度に全て崩壊する場合の規模を採用した。破壊伝播速度の最大値としては、Watts他の予測式から求まる海底地すべりの速度の最大値(Umax)を採用した。

## 6. 基準津波の選定

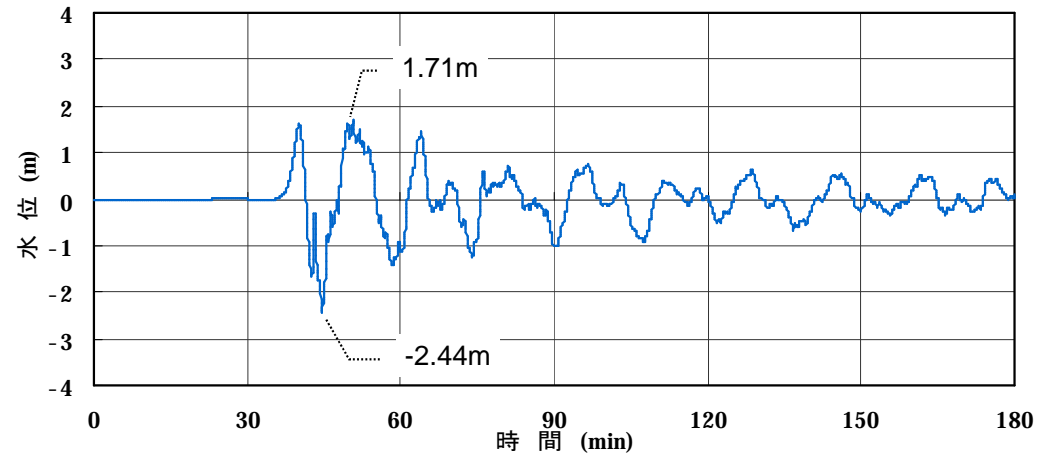


時刻歴波形の算出位置

基準津波は、時刻歴波形に対して施設からの反射波の影響が微小となるよう、音海半島から約2km離れた海域で定義した。

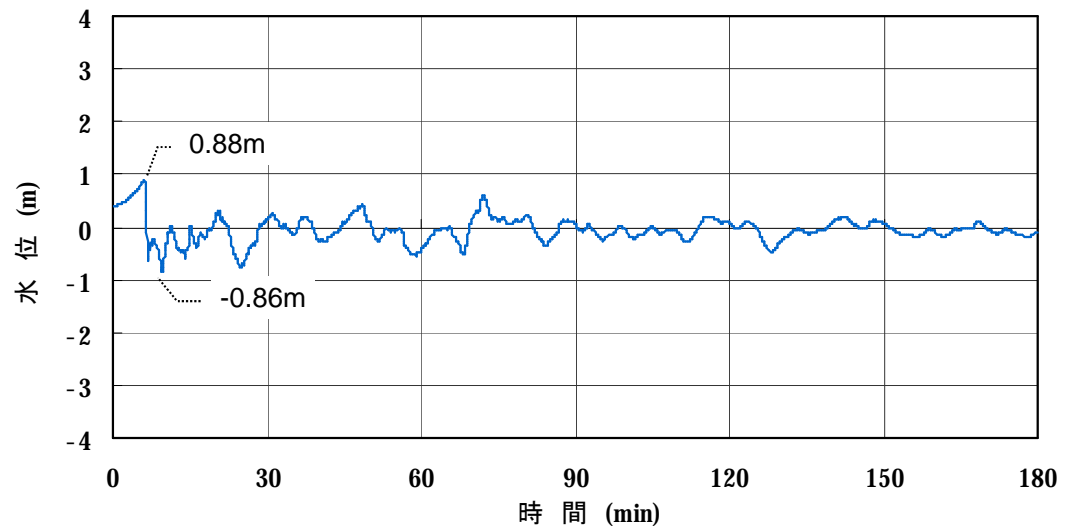
### 【基準津波1】

若狭海丘列付近断層と隠岐トラフ海底地すべり(エリアB)



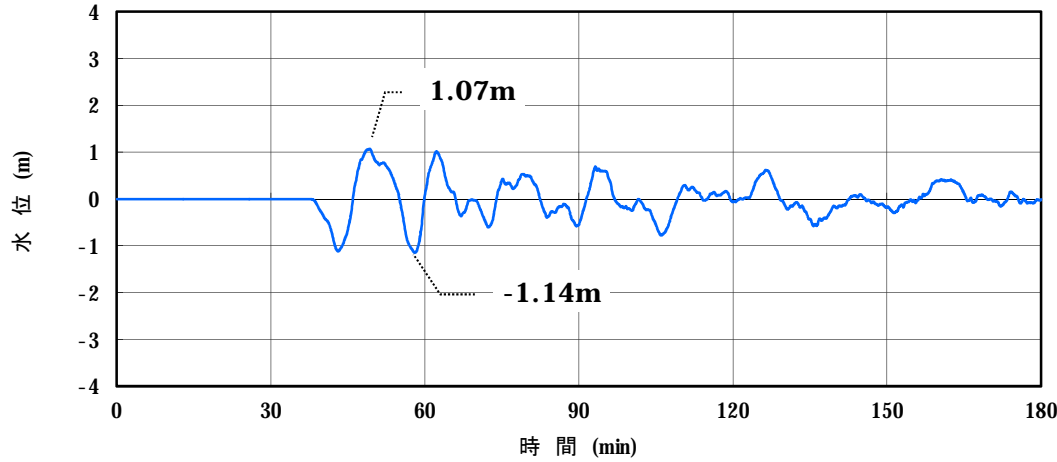
### 【基準津波2】

FO-A~FO-B~熊川断層と陸上地すべり(No.14)

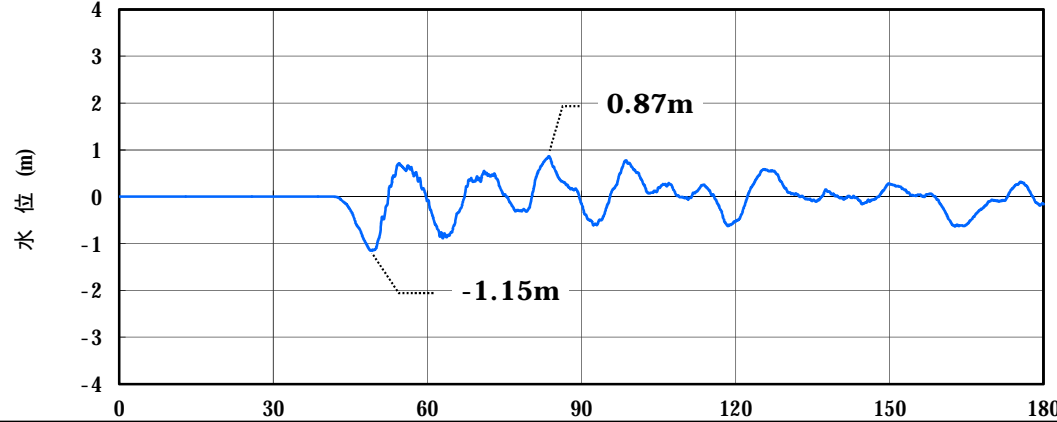


# 6. 基準津波の選定

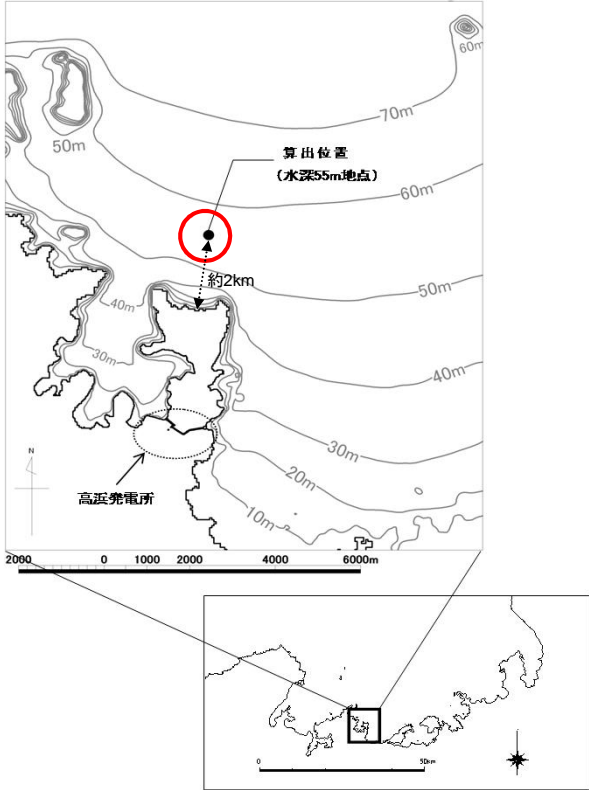
【基準津波3】 隠岐トラフ海底地すべり (エリアB)



【基準津波4】 隠岐トラフ海底地すべり (エリアC)



※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の値に幅を持った波源として策定することから、それらの値によって津波の計算結果は異なるが、一例として、崩壊規模及び破壊伝播速度を最大値とした場合の基準津波定義位置の時刻歴波形を示す。



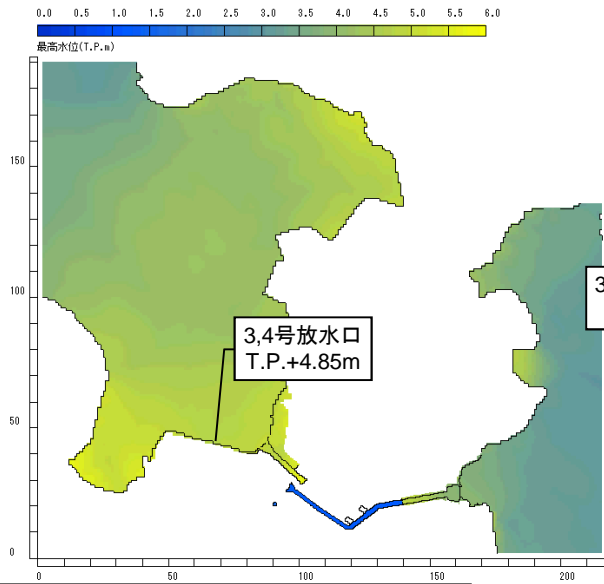
時刻歴波形の算出位置

- 基準津波は、時刻歴波形に対して施設からの反射波の影響が微小となるよう、音海半島から約2km離れた海域で定義した。
- 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口付近では襲来する津波の第1波より第2波以降の振幅が大きくなること、及び、基準津波3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で判断基準(トリガー)以上の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判断基準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津波をすべて検知できるように判断基準を設定する。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の値に幅を持っていることから、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津波を網羅的に検知できる判断基準を設定する。

# 6. 基準津波の選定

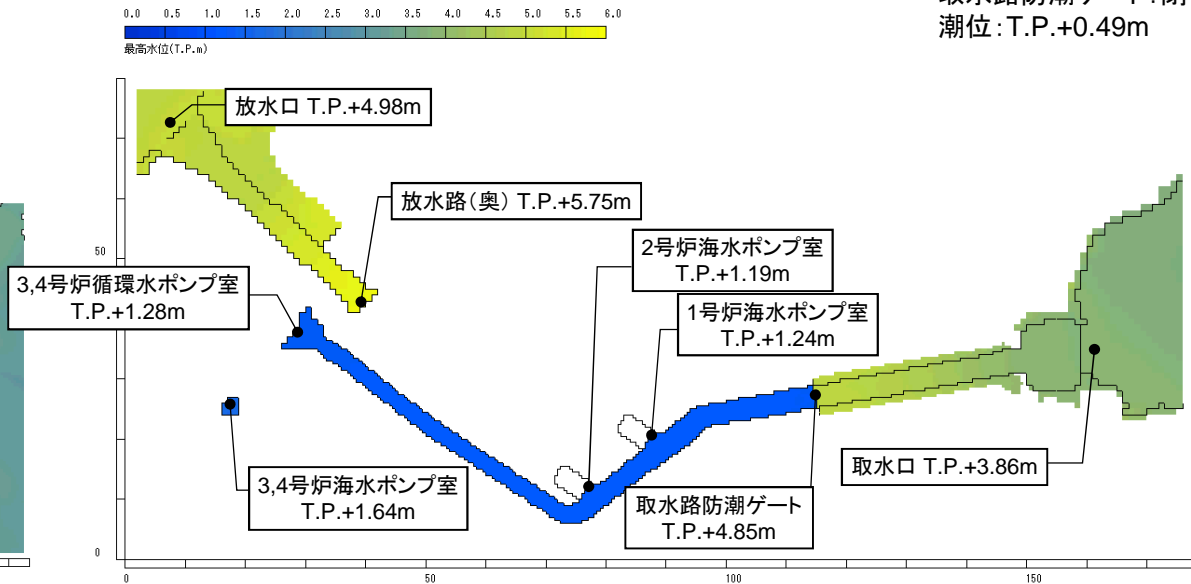
①

福井県モデル(若狭海丘列付近断層)  
+海底地すべりB(21秒ずれ)



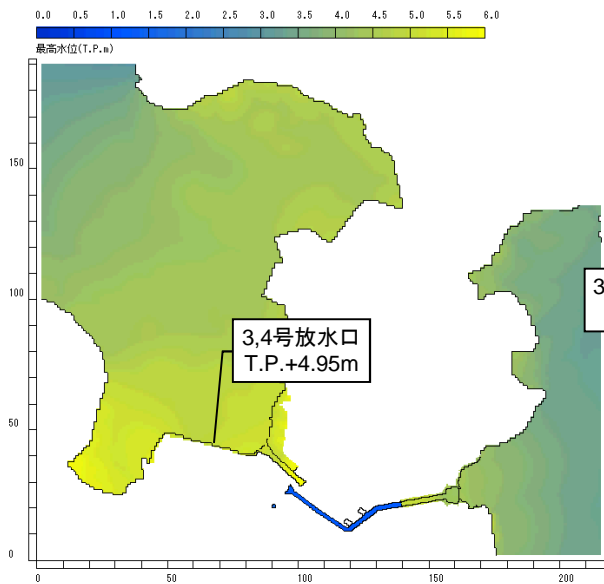
## 一体計算結果(水位上昇側)

取水路防潮ゲート: 閉  
潮位: T.P.+0.49m

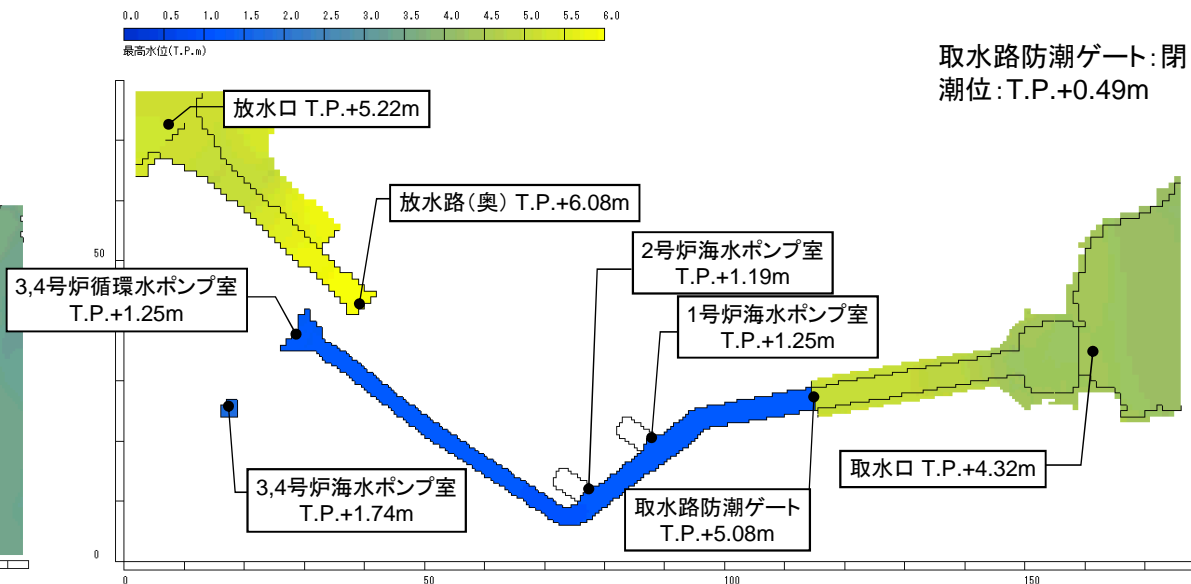


②

福井県モデル(若狭海丘列付近断層)  
+海底地すべりB(63秒ずれ)



取水路防潮ゲート: 閉  
潮位: T.P.+0.49m



# 6. 基準津波の選定

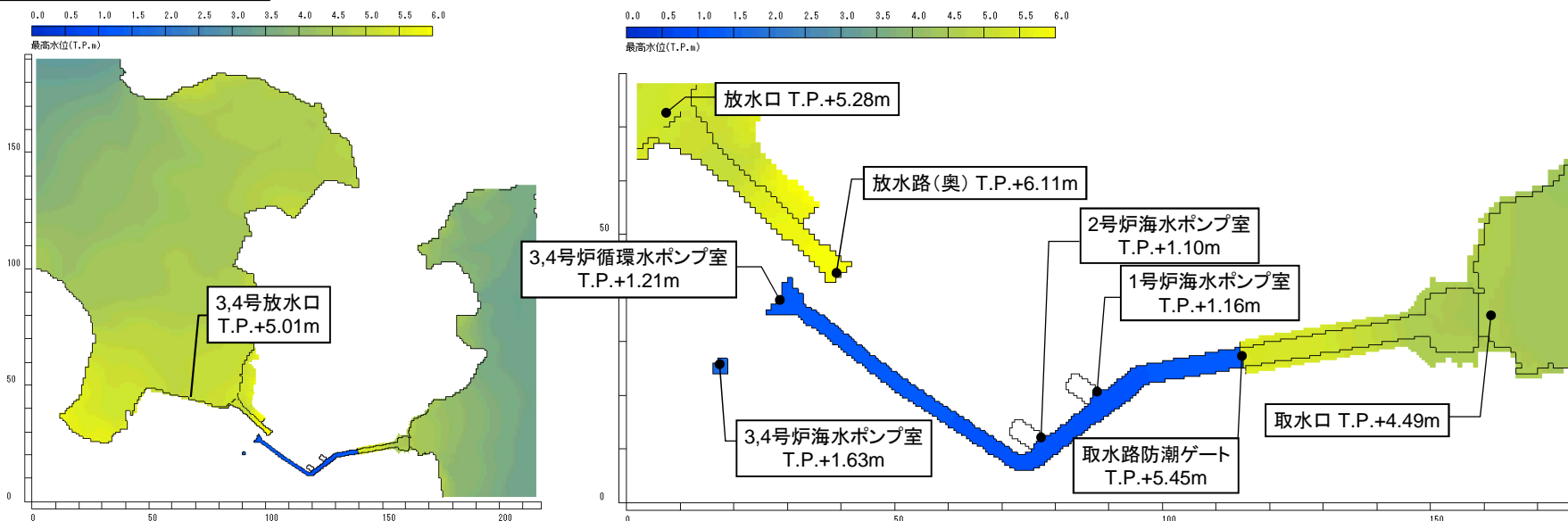
## 一体計算結果(水位上昇側)

③

福井県モデル(若狭海丘列付近断層)  
+海底地すべりB(78秒ずれ)

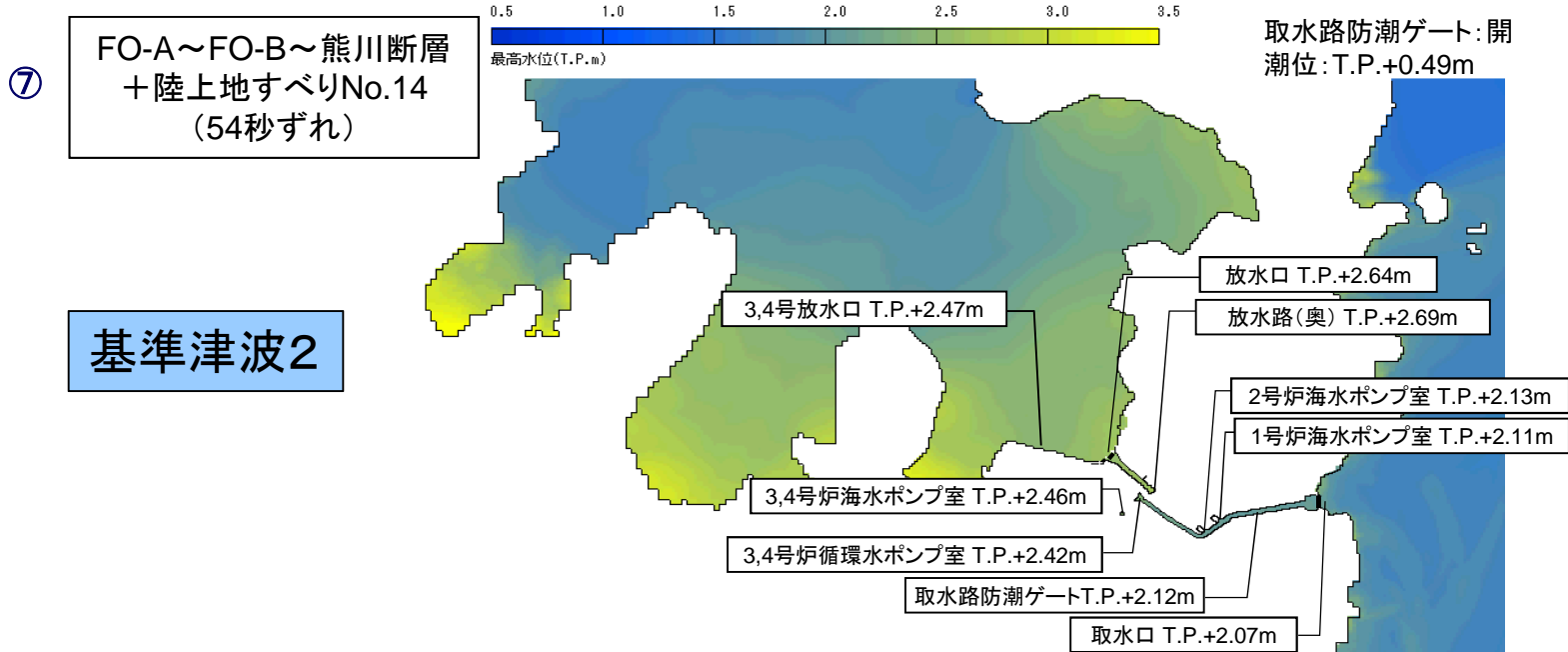
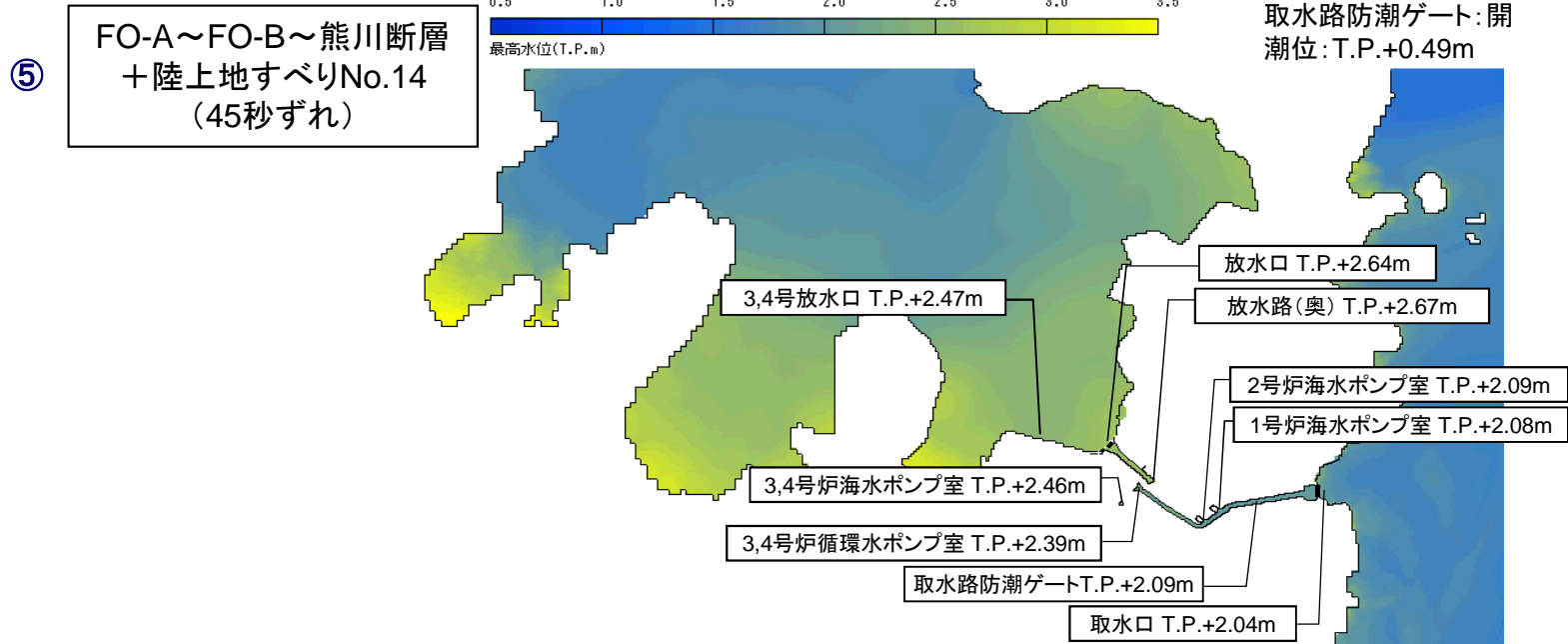
取水路防潮ゲート:閉  
潮位:T.P.+0.49m

基準津波1



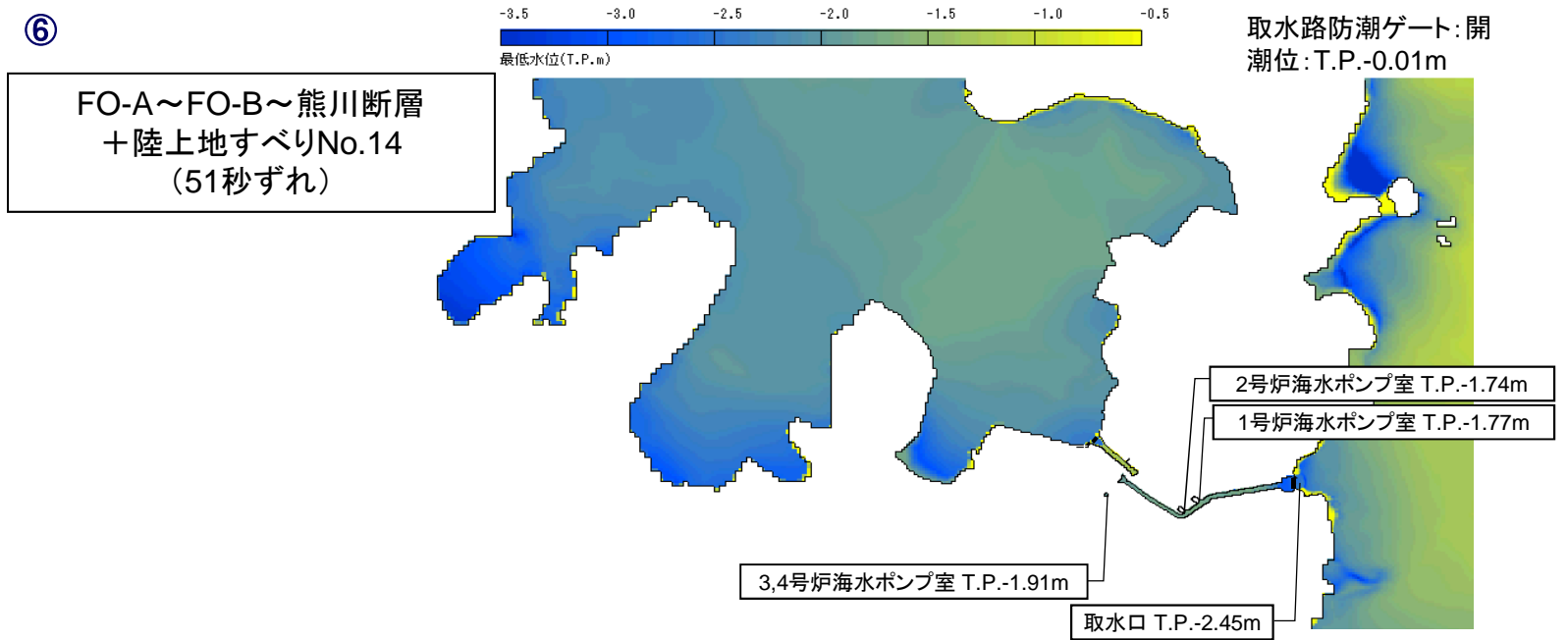
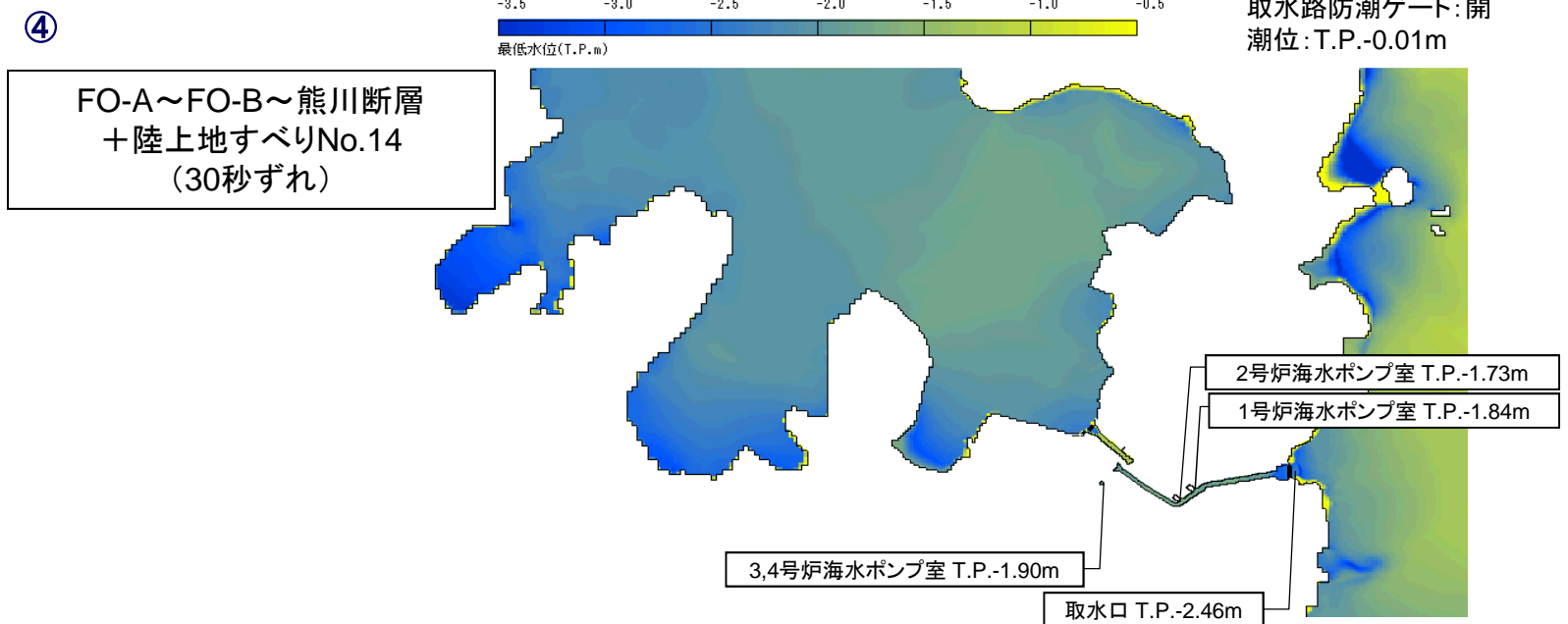
# 6. 基準津波の選定

## 一体計算結果(水位上昇側)



# 6. 基準津波の選定

## 一体計算結果(水位下降側)



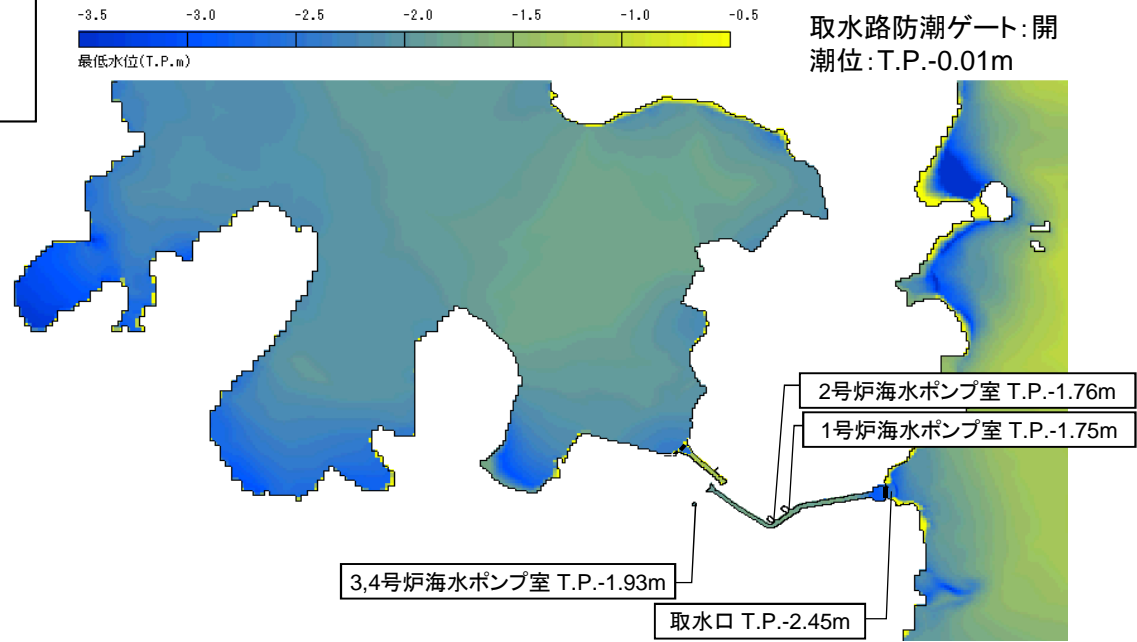
# 6. 基準津波の選定

## 一体計算結果(水位下降側)

⑦

FO-A~FO-B~熊川断層  
+陸上地すべりNo.14  
(54秒ずれ)

基準津波2



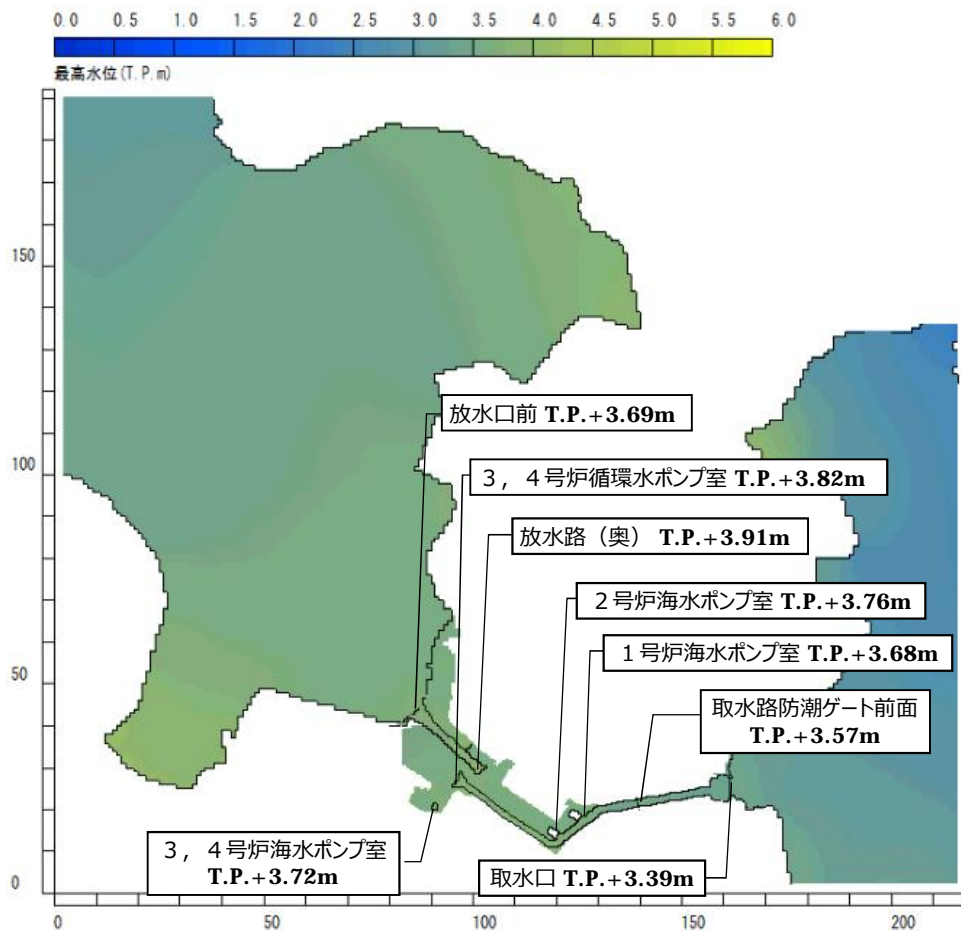


# 6. 基準津波の選定 計算結果

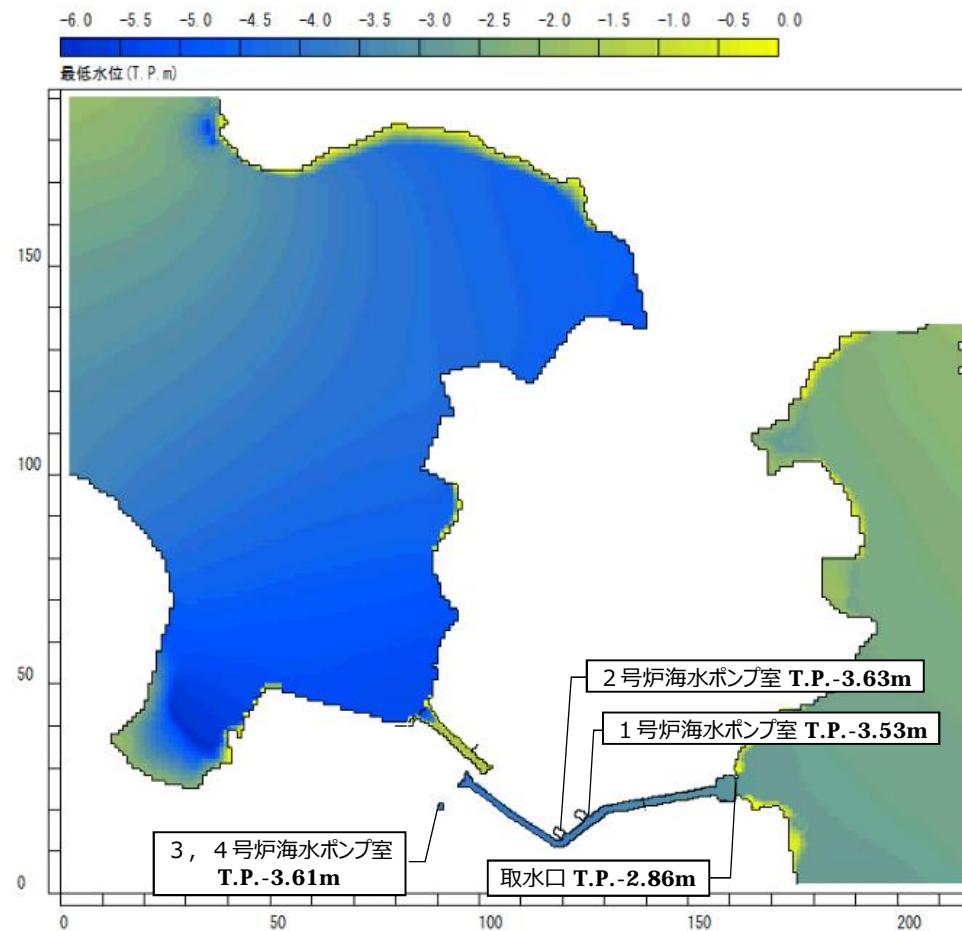
基準津波3

隠岐トラフ海底地すべり(エリアB)

水位上昇側



水位下降側

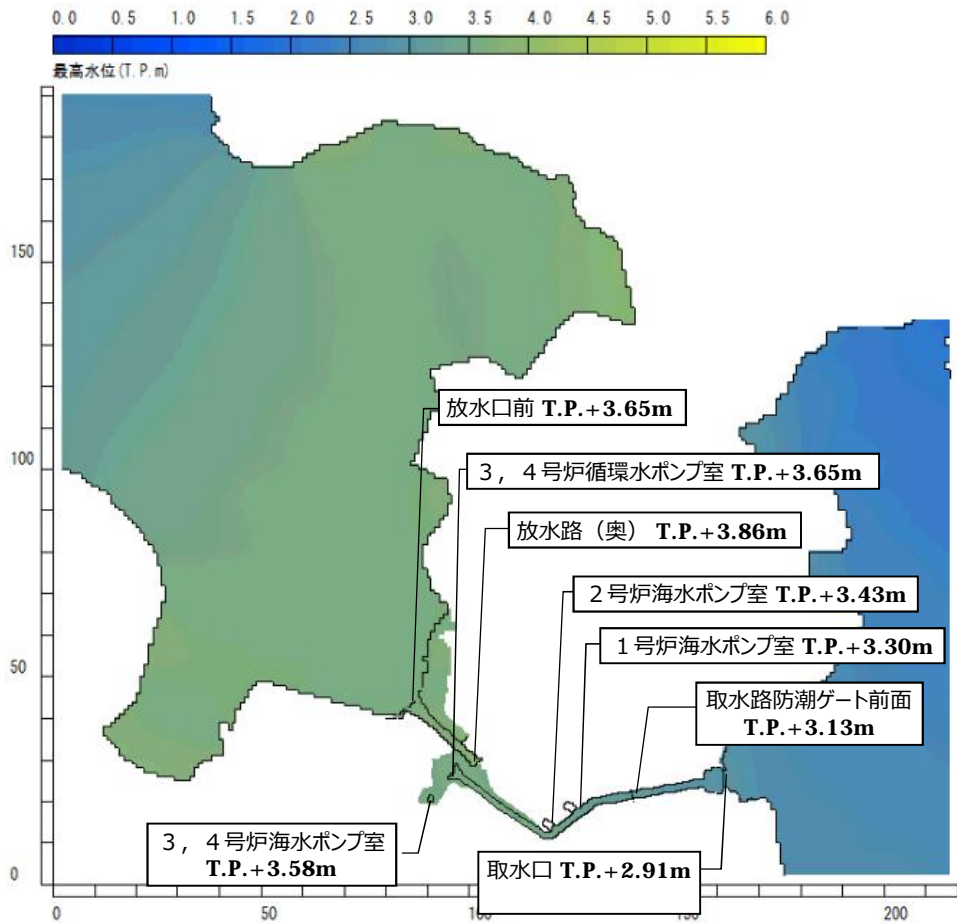


# 6. 基準津波の選定 計算結果

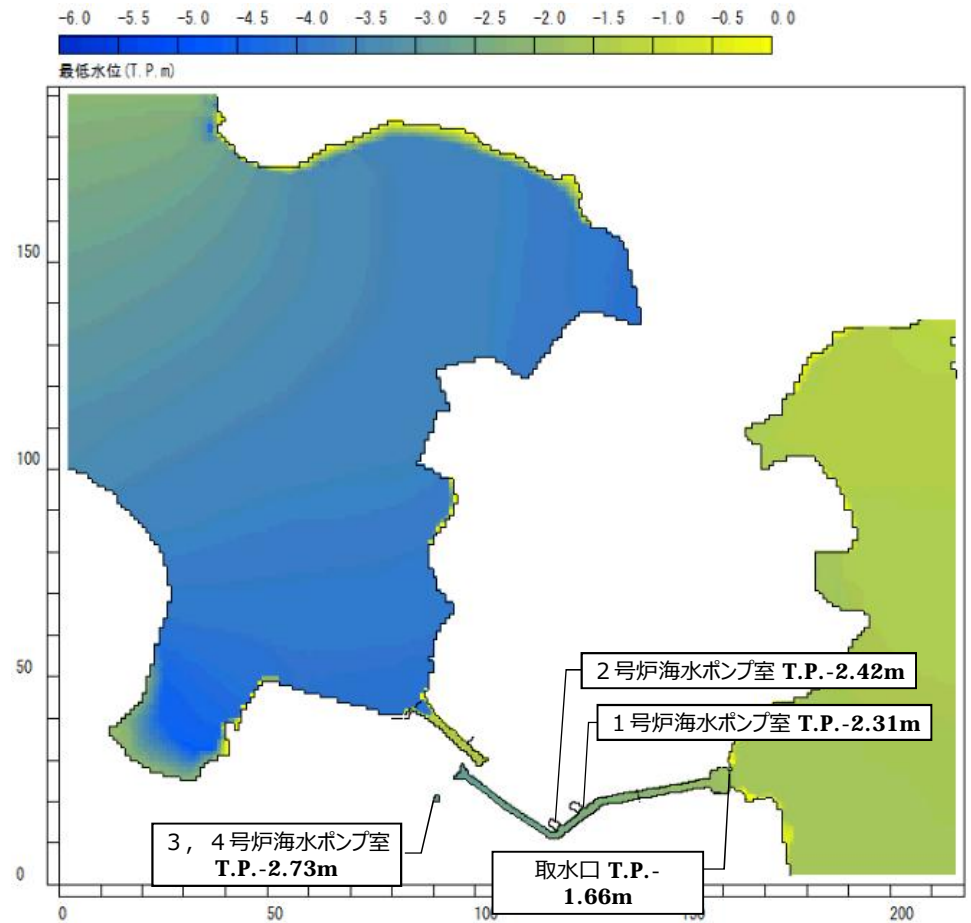
## 基準津波4

隠岐トラフ海底地すべり(エリアC)

水位上昇側

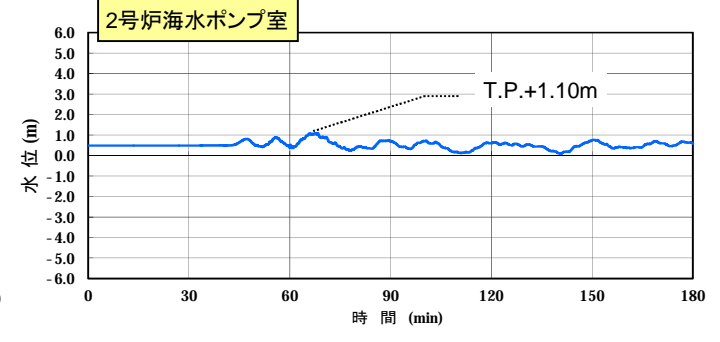
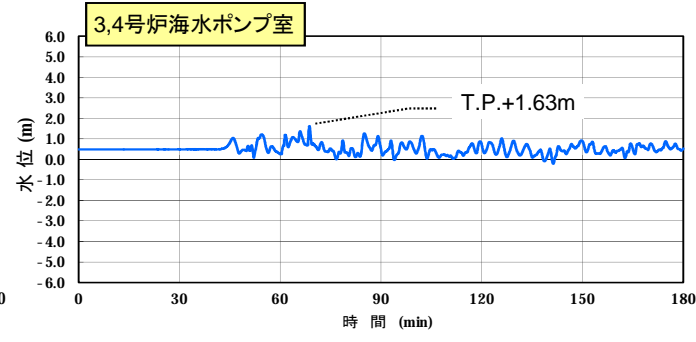
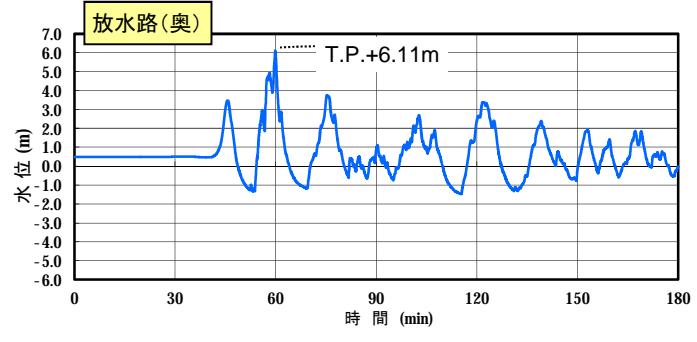
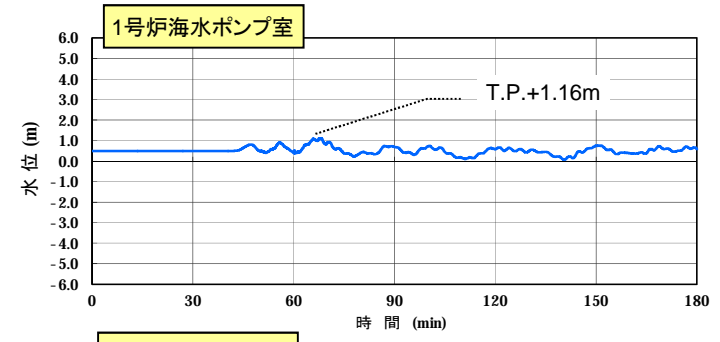
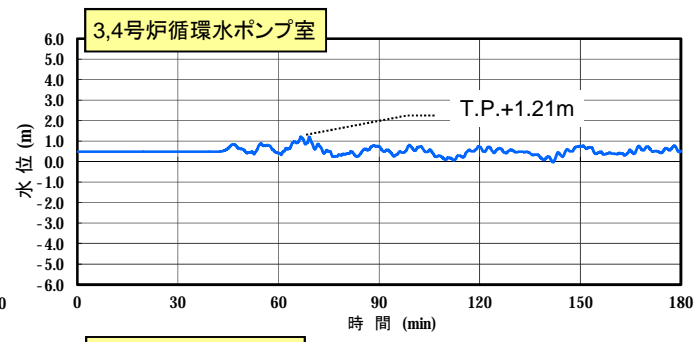
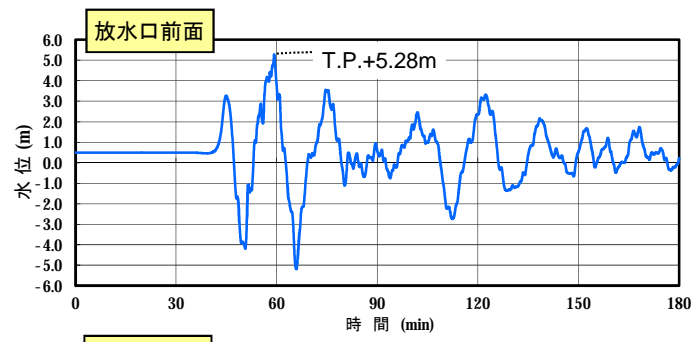
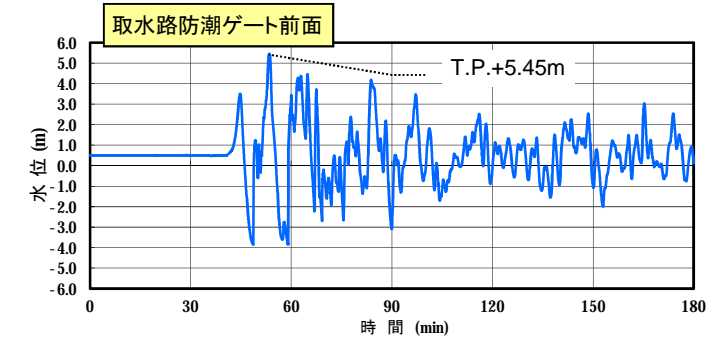
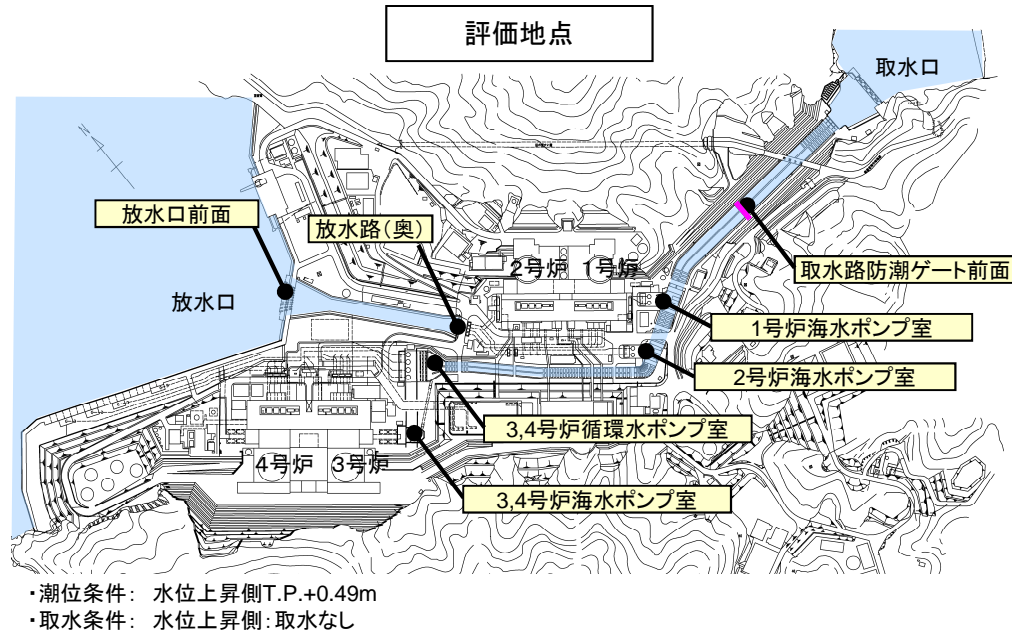


水位下降側



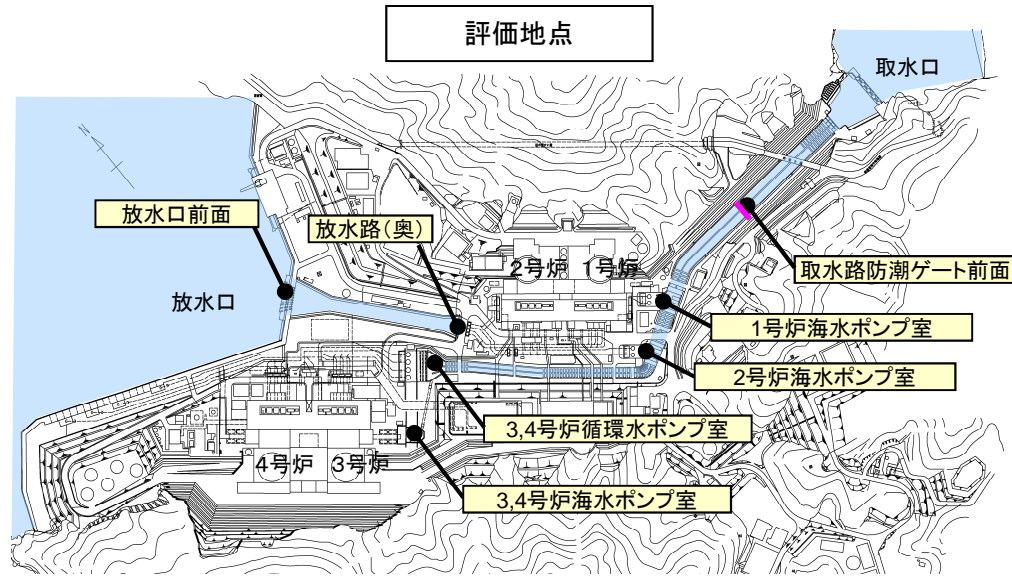
# 6. 基準津波の選定

## 時刻歴波形図(基準津波1:水位上昇側)

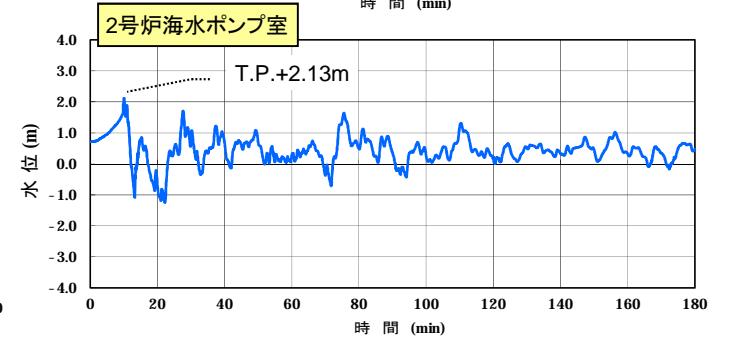
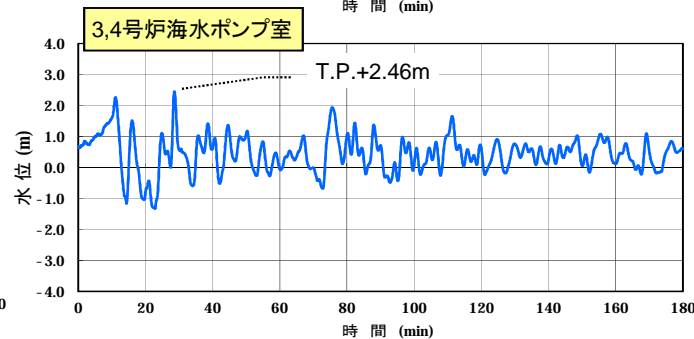
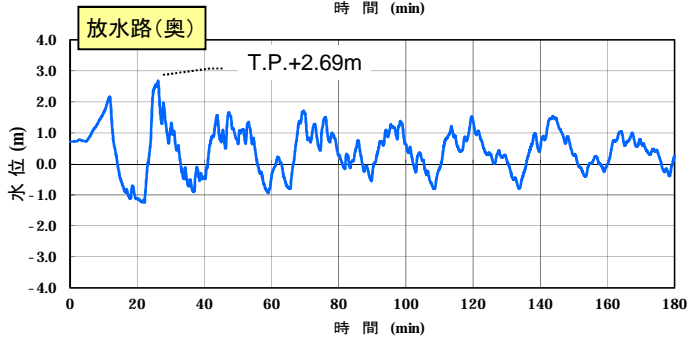
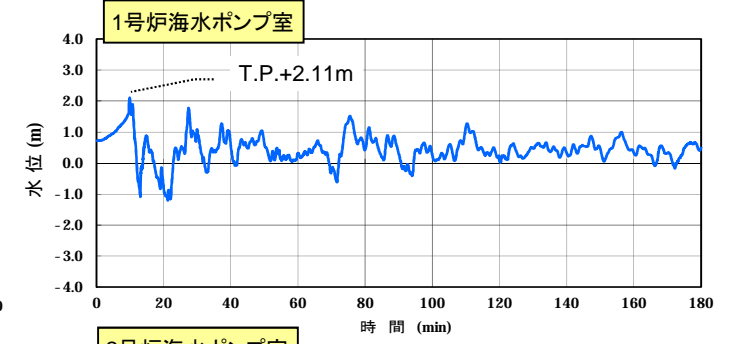
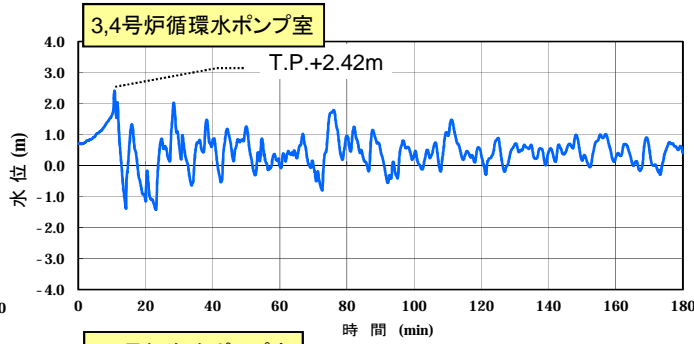
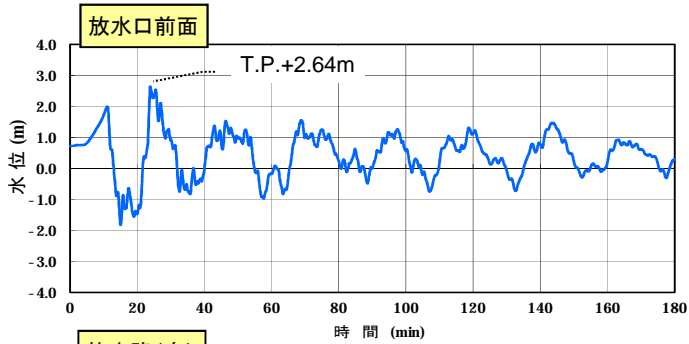
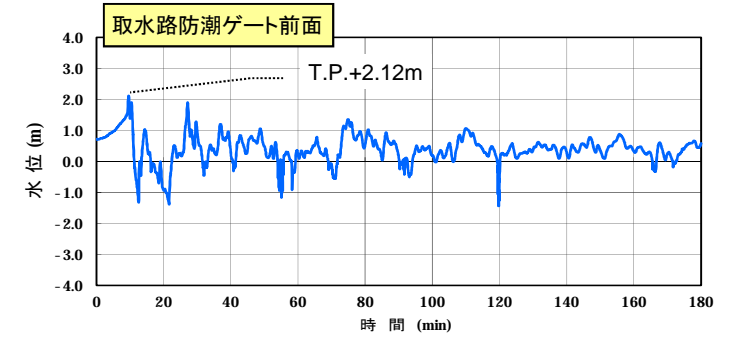


# 6. 基準津波の選定

## 時刻歴波形図(基準津波2:水位上昇側)



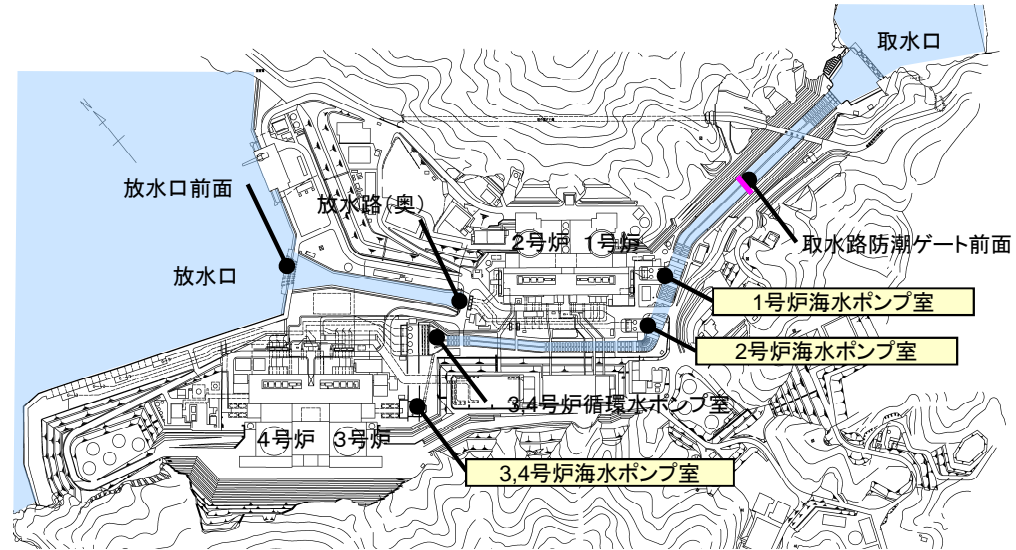
・潮位条件: 水位上昇側T.P.+0.49m  
・取水条件: 水位上昇側: 取水なし



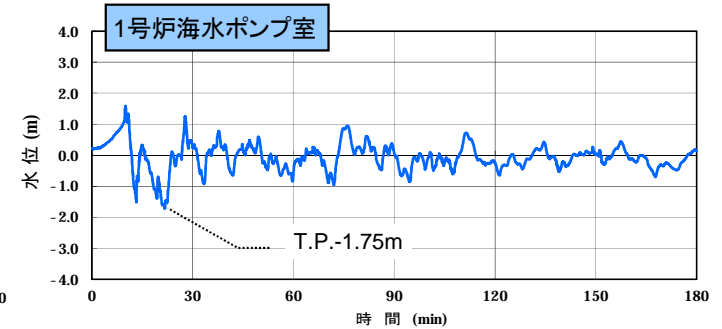
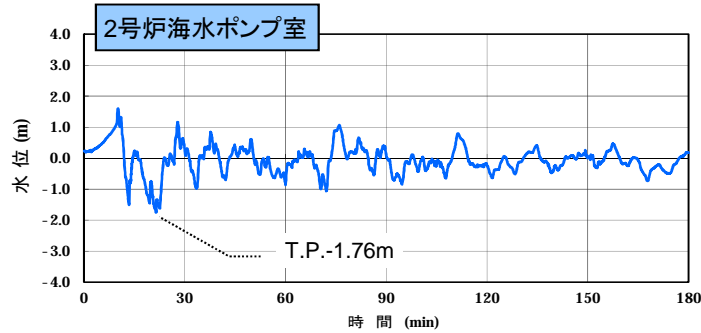
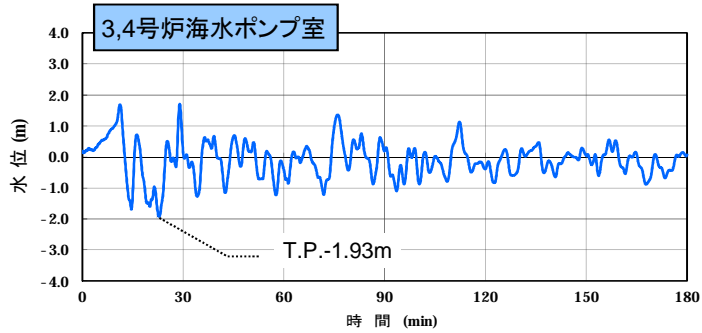
# 6. 基準津波の選定

## 時刻歴波形図(基準津波2:水位下降側)

評価地点



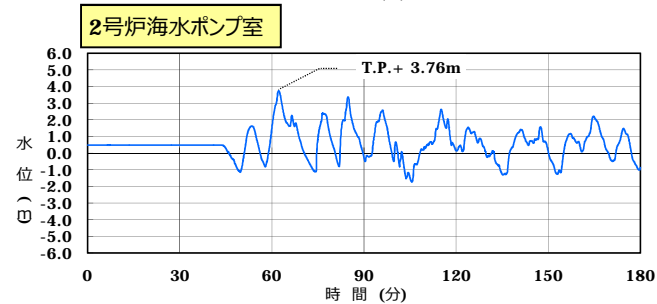
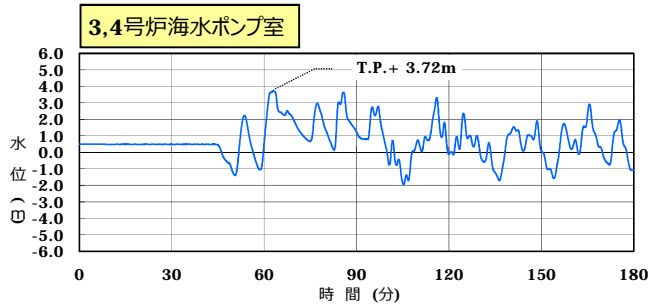
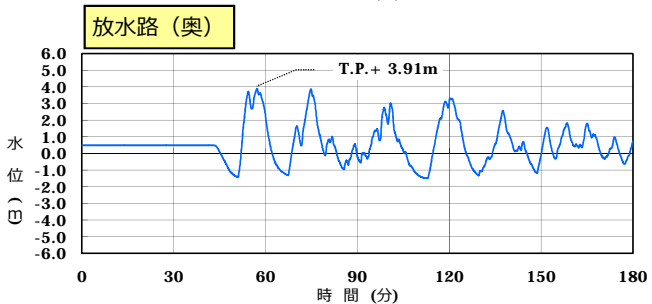
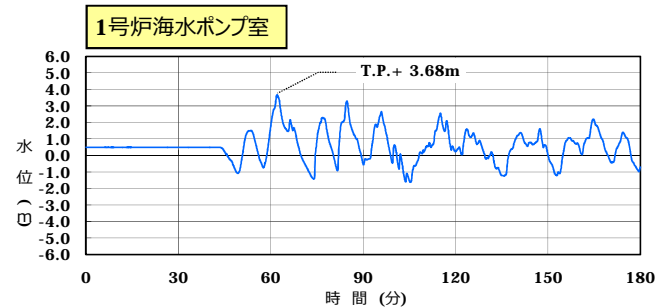
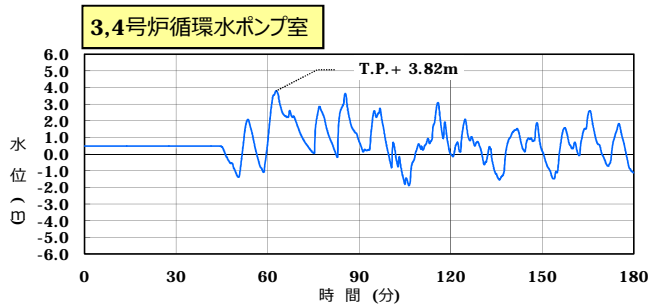
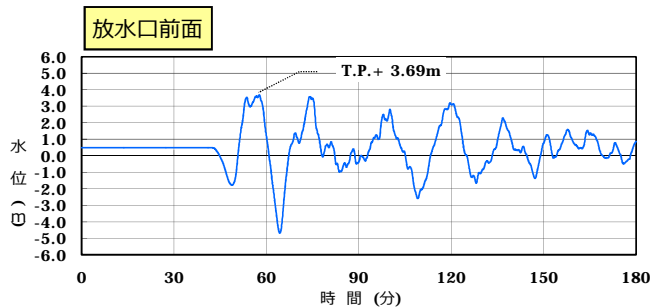
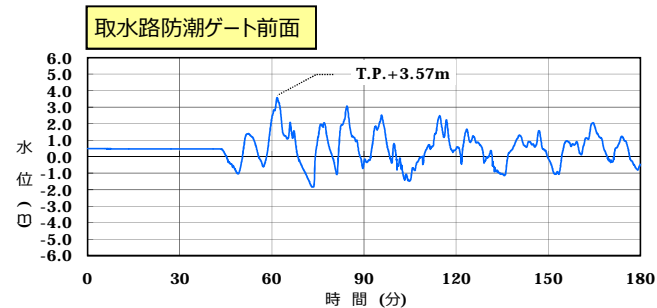
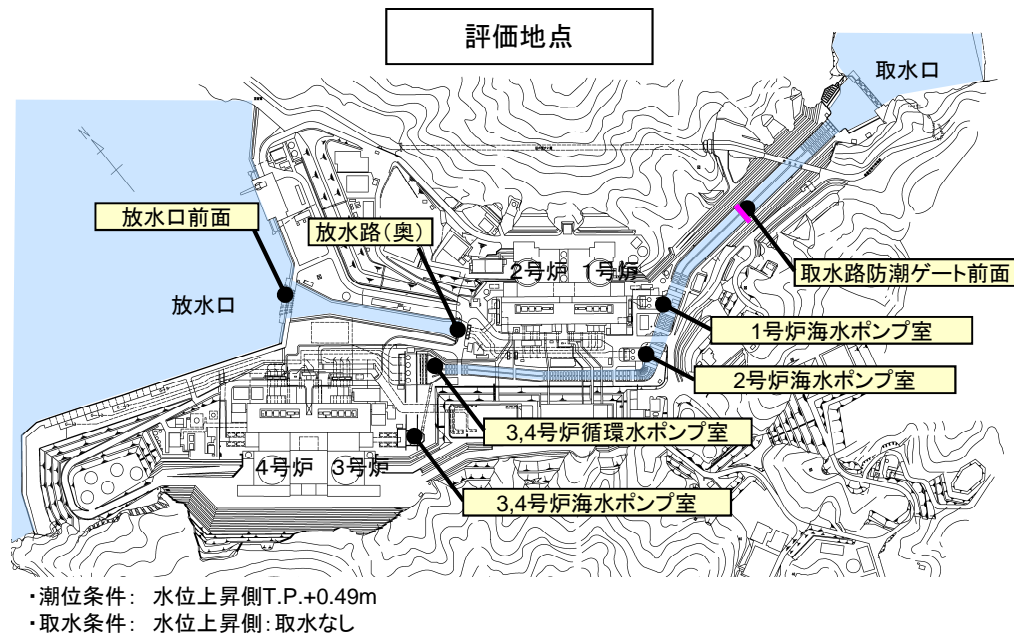
- ・潮位条件: 水位下降側T.P.-0.01m
- ・取水条件: 水位下降側:1~4号非常用取水



# 6. 基準津波の選定

## 時刻歴波形図(基準津波3:水位上昇側)

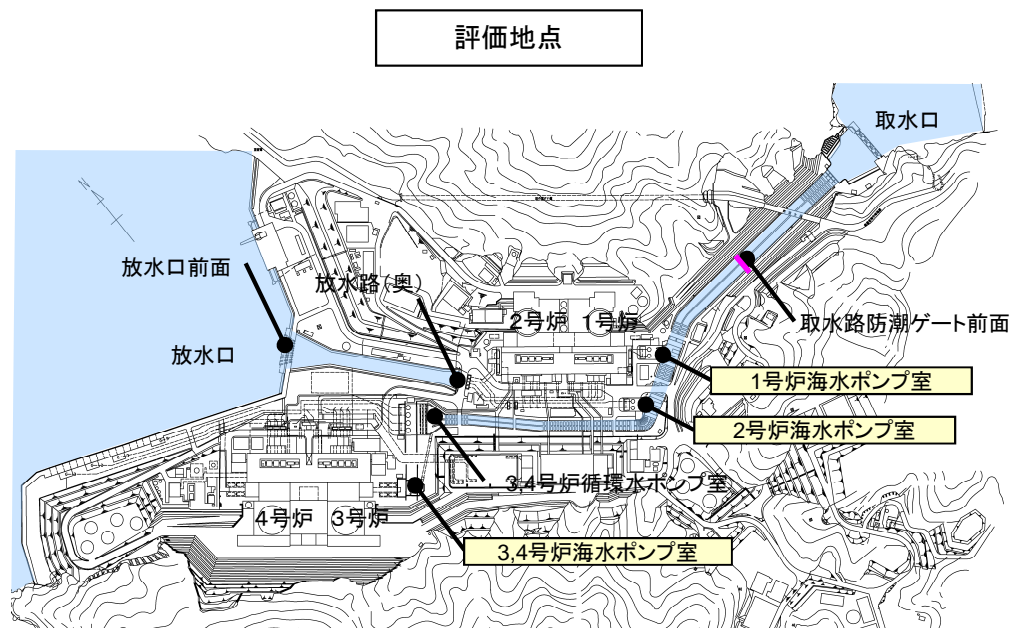
※基準津波3及び基準津波4は、崩壊規模及び破壊伝播速度の値に幅を持った波源として策定することから、それらの値によって津波の計算結果は異なるが、一例として、崩壊規模及び破壊伝播速度を最大値とした場合の時刻歴波形を示す。



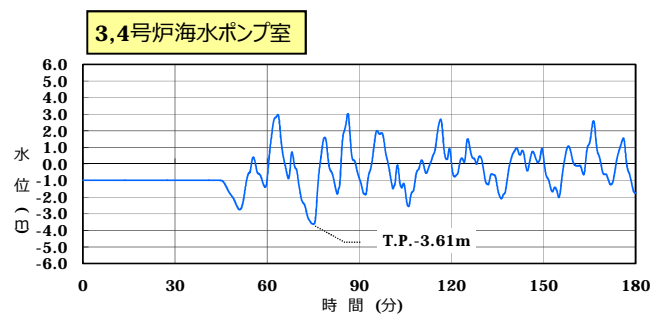
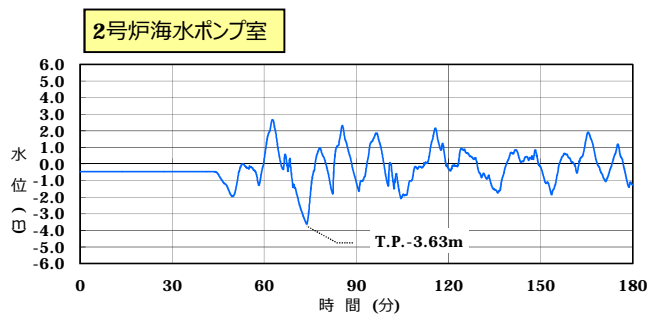
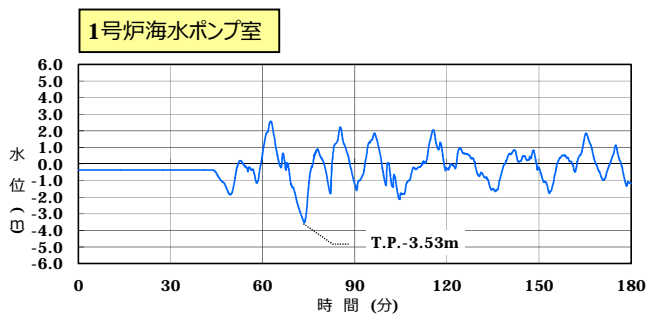
# 6. 基準津波の選定

## 時刻歴波形図(基準津波3:水位下降側)

※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の値に幅を持った波源として策定することから、それらの値によって津波の計算結果は異なるが、一例として、崩壊規模及び破壊伝播速度を最大値とした場合の時刻歴波形を示す。



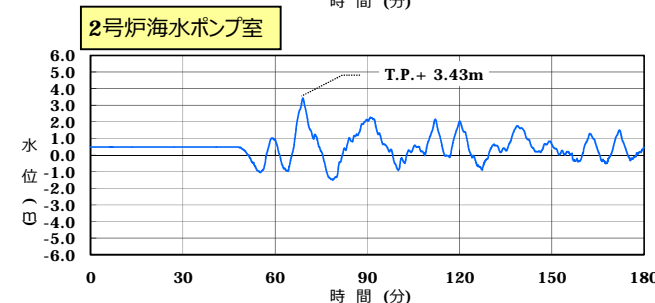
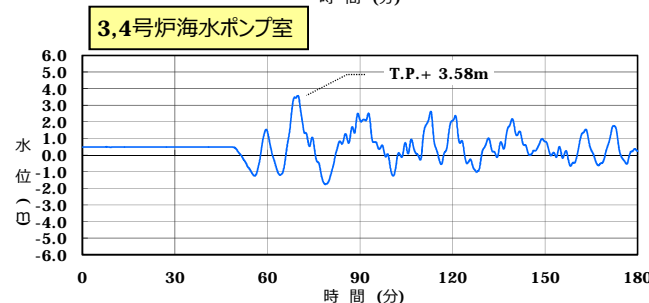
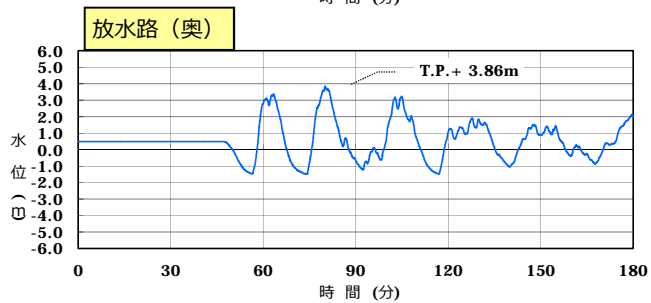
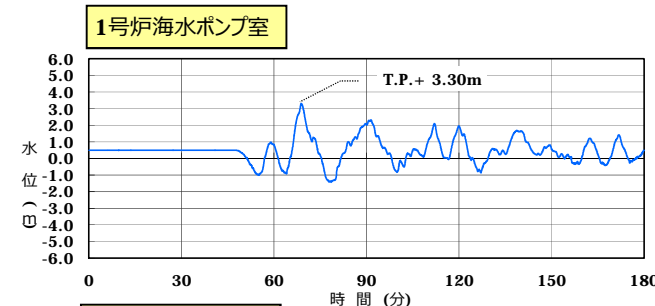
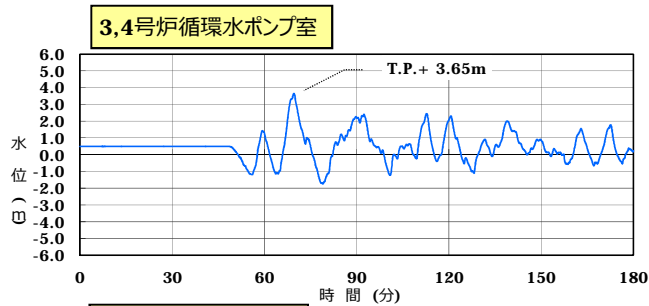
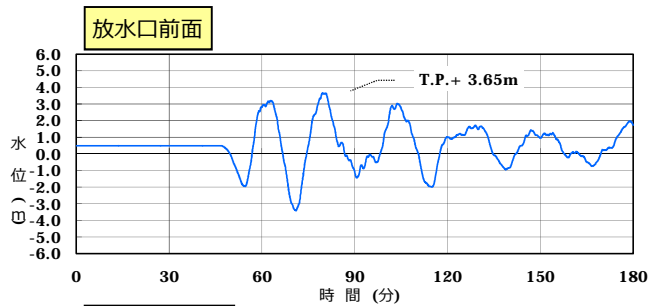
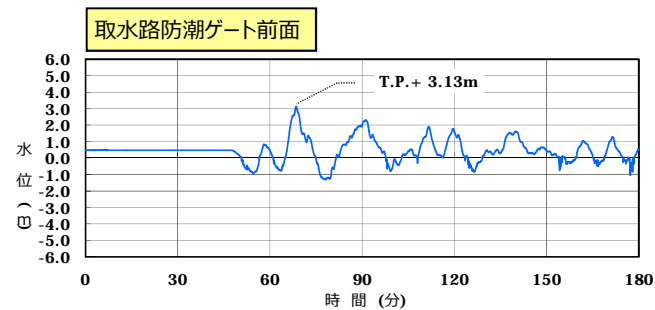
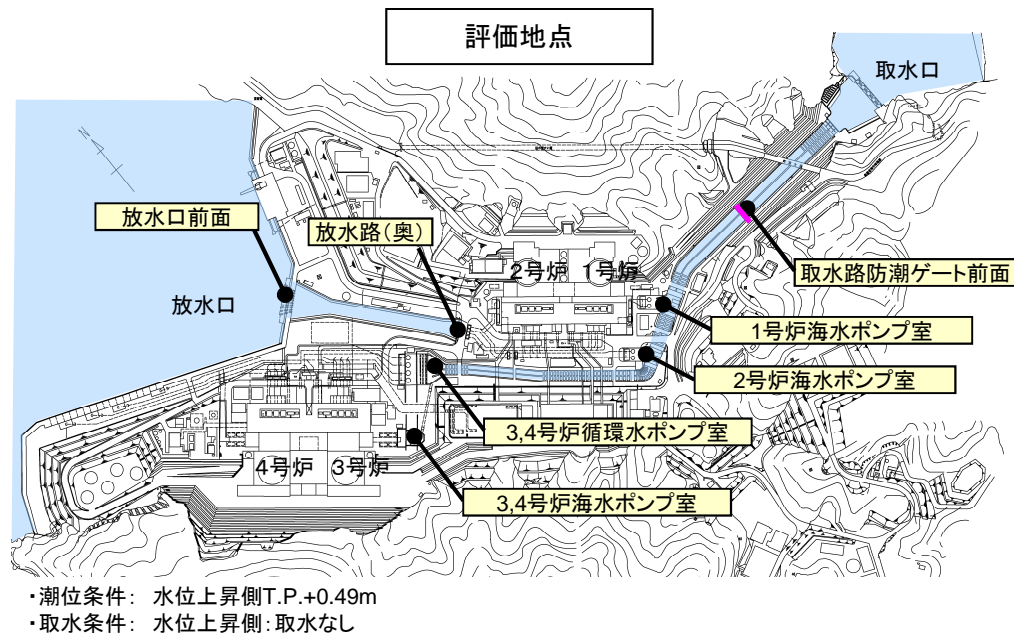
- ・潮位条件: 水位下降側T.P.-0.01m
- ・取水条件: 水位下降側:1~4号非常用取水



# 6. 基準津波の選定

## 時刻歴波形図(基準津波4:水位上昇側)

※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の値に幅を持った波源として策定することから、それらの値によって津波の計算結果は異なるが、一例として、崩壊規模及び破壊伝播速度を最大値とした場合の時刻歴波形を示す。

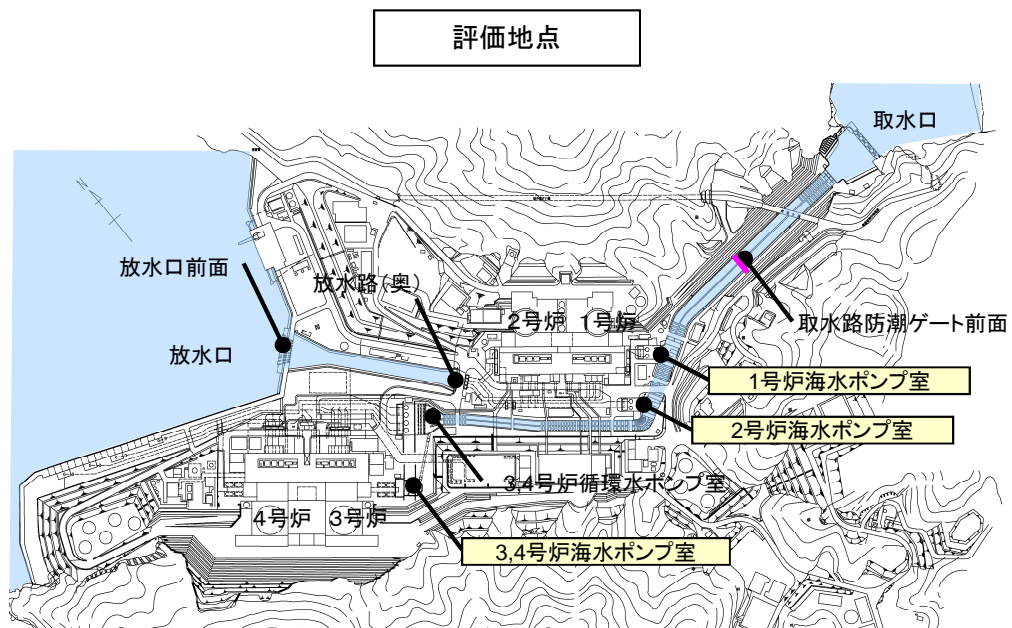




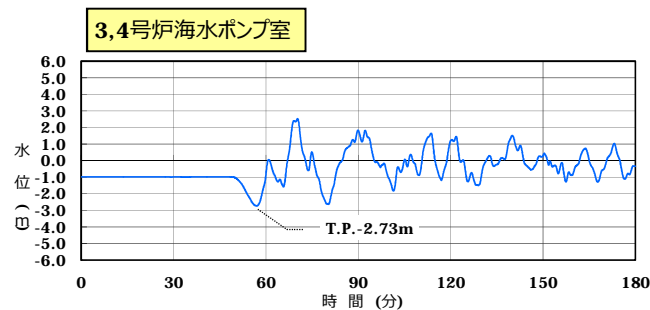
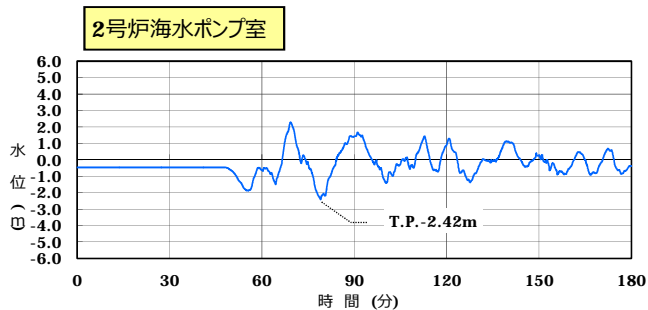
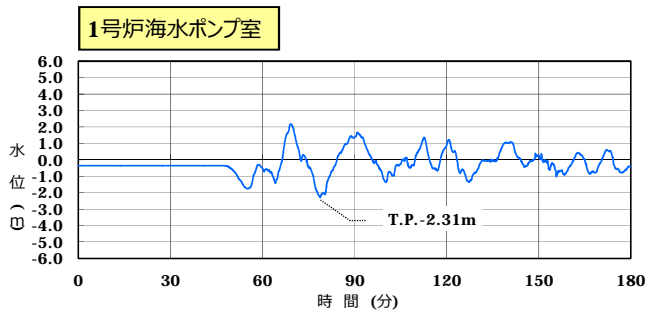
# 6. 基準津波の選定

## 時刻歴波形図(基準津波4:水位下降側)

※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の値に幅を持った波源として策定することから、それらの値によって津波の計算結果は異なるが、一例として、崩壊規模及び破壊伝播速度を最大値とした場合の時刻歴波形を示す。



- ・潮位条件: 水位下降側T.P.-0.01m
- ・取水条件: 水位下降側:1~4号非常用取水



## 7. 基準津波の超過確率

### 7-1. 検討方針

## 検討方針と不確実さの取り扱いについて

### 【検討方針】

設計津波水位の超過確率については、「日本原子力学会標準 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2011」（2012年2月一般社団法人日本原子力学会）（以下、「津波PRA学会標準」）を参考に算定する。

### 【確率論的津波ハザード評価における不確実さの取り扱い】

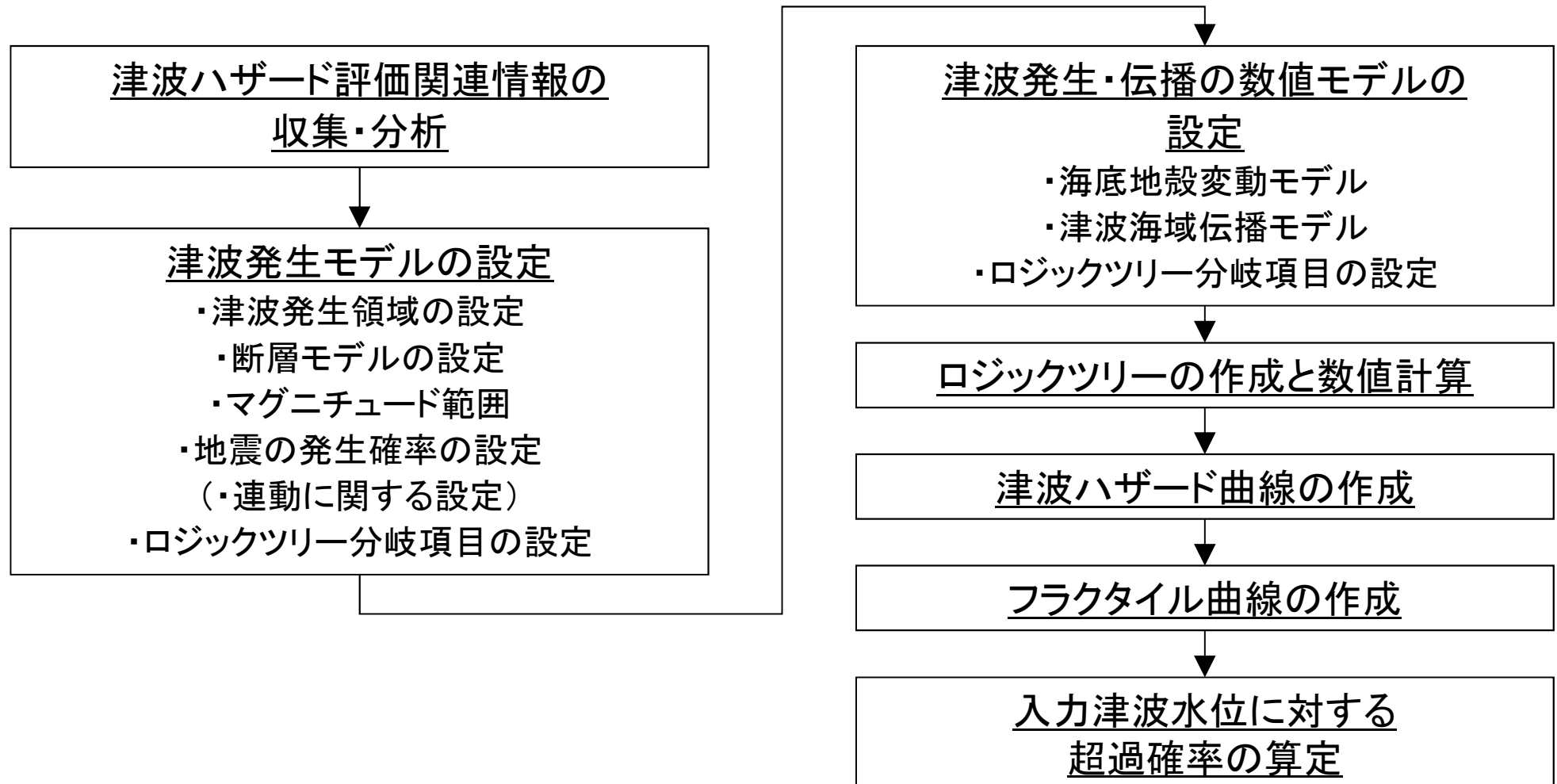
確率論的津波ハザード評価（以降、津波ハザード評価という）における不確実さについては、「津波PRA学会標準」、及び「確率論的津波ハザード解析の方法（土木学会，2011）」を参考に以下のとおり扱う。

不確実さ		津波評価における扱い
偶然的 不確実さ	現実に存在しているが、現状では予測不可能と考えられるばらつき	津波水位の確率分布として表現する
認識論的 不確実さ	研究が進展すれば確定できるが現状では予測不可能なもの	ロジックツリーの分岐として選定する

## 7-2. 評価の流れ

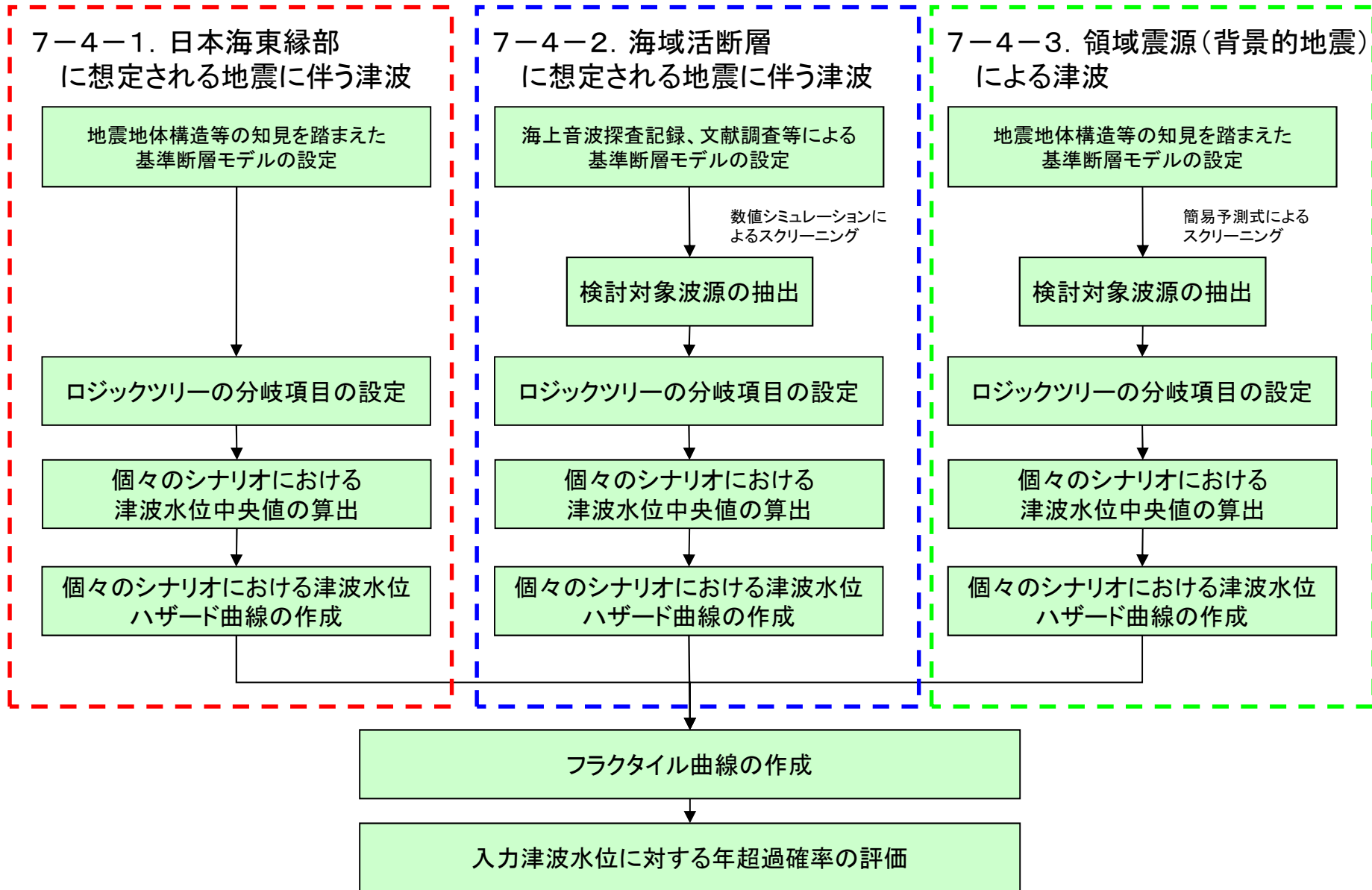
### 津波ハザード評価手順

「津波PRA学会標準」を参考に以下の手順で評価を実施する。



## 7-3. 検討対象波源

## 津波ハザード評価における検討対象波源



※:海底地すべり及び陸上地すべりによる津波については、発生頻度を設定することが難しいため、評価に含めていない。

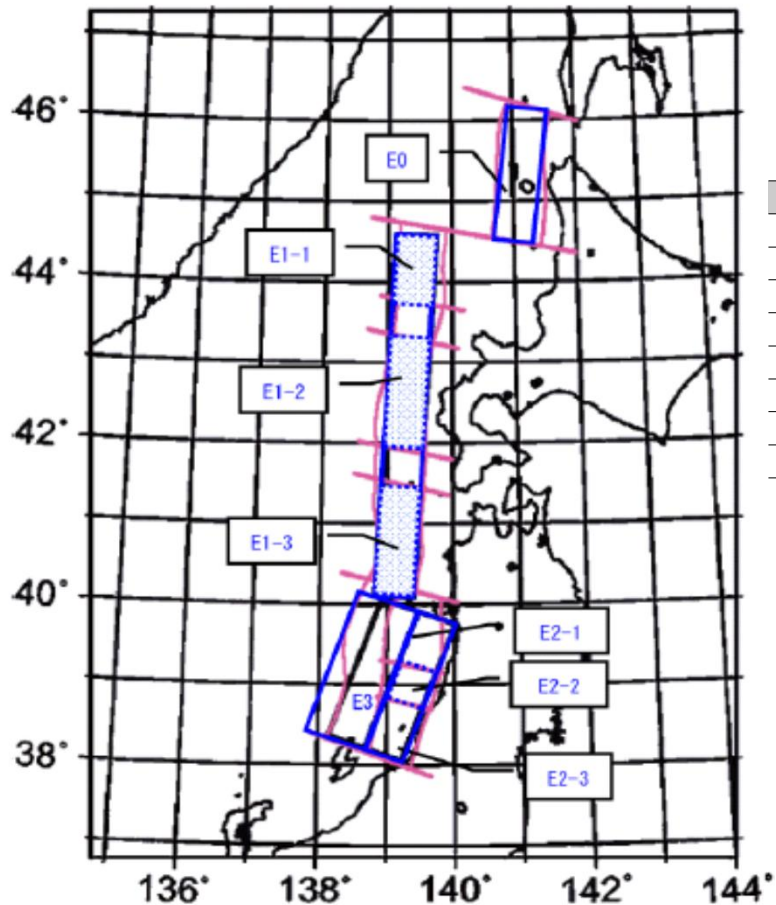
## 7-4. ロジックツリーの設定

### 7-4-1. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波



## 日本海東縁部 対象とする活動域

【日本海東縁部海域の大地震活動域区分】  
(津波PRA学会標準)



海域	
北海道北西沖	E0
北海道西方沖	E1-1
北海道南西沖	E1-2
青森県西方沖	E1-3
秋田県沖	E2-1
山形県沖	E2-2
新潟県北部沖	E2-3
佐渡島北方沖	E3

【日本海東縁部及び大地震活動域の既往最大Mw】  
(津波PRA学会標準)

海域	発生年	津波モデルのMw	既往最大Mw (=Mmax)	「地震本部」による地震規模(信頼度)
北海道北西沖 (E0)	なし	—	—	M7.8程度(D)
北海道西方沖 (E1-1)	1940	7.7	7.7	M7.5前後(B)
北海道南西沖 (E1-2)	1993	7.8	7.8	M7.8前後(B)
青森県西方沖 (E1-3)	1983	7.7	7.7	M7.7前後(B)
秋田県沖 (E2-1)	なし	—	—	M7.5程度(C)
山形県沖 (E2-2)	1833	7.8	7.8	M7.7前後(B)
新潟県北部沖 (E2-3)	1964	7.5	7.5	M7.5前後(B)
佐渡島北方沖 (E3)	なし	—	—	M7.8程度(D)

○日本海東縁部については、地震の発生履歴や地質学的知見、地震調査研究推進本部(2003)「日本海東縁部の地震活動の長期評価」等の知見をもとに活動域区分を設定する。

○各活動域の既往最大マグニチュードから、各活動域ごとの既往最大Mwを考慮し、マグニチュード範囲の分岐を設ける。

日本海東縁部 地震発生間隔

【推本の平均発生間隔と津波ハザード解析における発生間隔】

海域	平均発生間隔(地震本部)	根拠	分布の考え方
北海道北西沖 (E0)	3900年程度	約2100年前と約6000年前に 2個のイベント	発生間隔データ1個
北海道西方沖 (E1-1)	1400～3900年程度	(連続性)	一様分布(1400-3900)
北海道南西沖 (E1-2)	500～1400年程度	6個のイベントの平均が 約1400年	一様分布(500-1400)
青森県西方沖 (E1-3)	500～1400年程度	3個のイベントの平均が 約500年	一様分布(500-1400)
秋田県沖 (E2-1)	1000年程度以上	(2列への配分)	一様分布(1000-1500)
山形県沖 (E2-2)	1000年程度以上	(2列への配分)	一様分布(1000-1500)
新潟県北部沖 (E2-3)	1000年程度以上	(2列への配分)	一様分布(1000-1500)
佐渡島北方沖 (E3)	500～1000年程度	中嶋(2003)	一様分布(500-1000)

出典: 確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)

上記データから、E1～E3の各領域において、地震発生間隔の分岐を設定

## 秋田県モデル(日本海東縁部の断層)の活動域と地震発生間隔

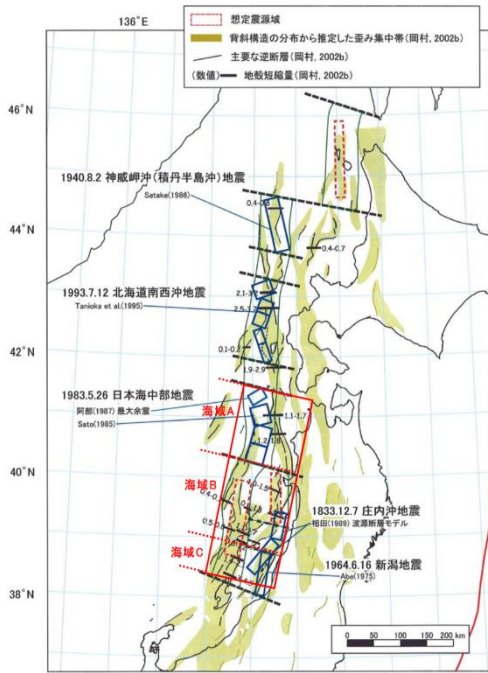
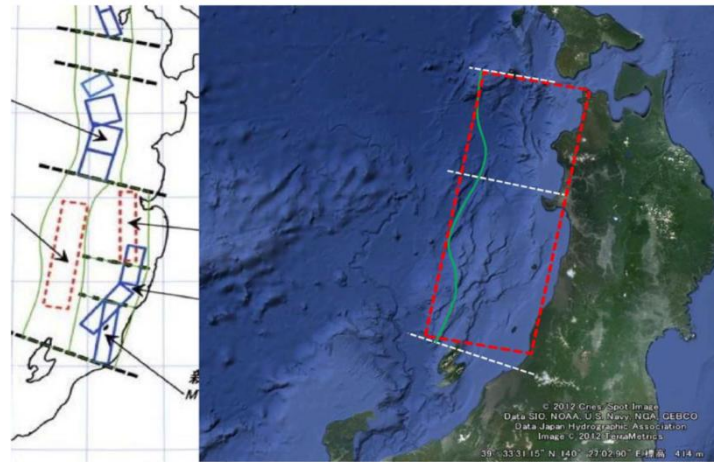
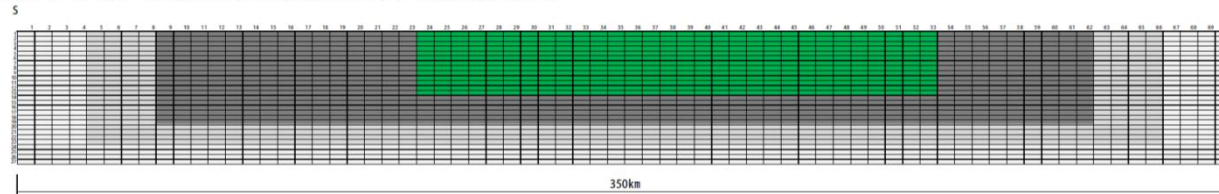


図-2.1.1 秋田県で想定した津波断層の概略の波源域

(「過去の地震の震源モデル・想定震源域、および歪み集中帯の分布」(地震調査研究推進本部、日本海東縁部の地震活動の長期評価について、平成15年6月20日、p.42)に加筆)



【海域 A+B+C、大すべり域(面積比 20%)を断層中央から 15km 北側に配置】



すべり量区分	
a	16.2m
b	11.2m
c	3.0m
d	1.5m

表-2.2.5 海域 A+B+C の津波断層モデル(断層長さ 350km、M=8.7)

巨視的震源パラメータ	設定方法		
断層モデル原点	地中の上端における南端	38° 17' 36.8" N	R=122.6km
		138° 5' 14.9" E	
走向 $\theta$		14°	
傾斜角 $\delta$	東傾斜	20°	
すべり角 $\lambda$	逆断層	90°	
断層モデル上端深さ		0 km	
断層モデル長さ $L_{model}$	海域A、海域B、海域Cの連動	350 km	
断層モデル幅 $W_{model}$	$W/L=0.38$ を摘要し、5kmメッシュでモデル化	135 km	
断層モデル面積 $S_{model}$	$S_{model}=L_{model} \times W_{model}$	47,250 km <sup>2</sup>	
マグニチュード $M$	$\log S=M-4.07$	8.7	
剛性率 $\mu$	$3.50 \times 10^{11}$ dyne-cm と仮定	3.50E+11 dyne/cm <sup>2</sup>	
平均すべり量 $D_{model}$	$\log D_{model}=10^{-10.2} \times (\mu S)^{0.5}$	811 cm	
地震モーメント $M_0$	$M_0=\mu \cdot D \cdot S$	1.34E+29 dyne-cm	
モーメントマグニチュード $M_w$	$M_w=(\log M_0-16.1)/1.5$	8.69	

表-2.1.1 津波断層モデル一覧表

区分	ID	震源、想定地震	関連震源	想定した地震規模		傾斜角	すべり角	断層モデル上端深さ	断層モデル長さ	断層モデル幅	断層モデル面積	断層モデル下端深さ	地震モーメント	モーメントマグニチュード	平均すべり量	備考	
				断層長さ L (km)	マグニチュード M												
単独地震	1	海域A	日本海中部	130	7.9	東傾斜	35	90	0	130	50	6,500	29	6.85E+20	7.82	3.0	
	2	海域B	佐渡島北方沖、秋田県沖、山形県沖	140	7.9	東傾斜	35	90	0	140	54	7,560	31	8.59E+20	7.89	3.2	小断層を2km×2kmでモデル化
	3	海域C	新潟県北部沖、山形県沖	80	7.5	西傾斜	55	90	0	80	32	2,560	26	1.69E+20	7.42	1.9	
連動地震	4	海域A+海域B	新潟県北部沖、山形県沖	270	8.5	東傾斜	20	90	0	270	105	28,350	36	6.24E+21	8.46	6.3	
	5	海域B+海域C	佐渡島北方沖、秋田県沖、山形県沖	220	8.3	東傾斜	20	90	0	220	85	18,700	29	3.34E+21	8.28	5.1	小断層を5km×5kmでモデル化
	6	海域A+海域B+海域C	新潟県北部沖、山形県沖	350	8.7	東傾斜	20	90	0	350	135	47,250	46	1.34E+22	8.69	8.1	

注) 海域Cの単独地震については、津波シミュレーションの概略計算で秋田県への影響が比較的小さいと想定されたため、最終的な詳細計算は省略した。

「地震被害想定調査」に係る津波関連データについて(2013年1月31日更新)津波浸水シミュレーション参考資料(秋田県HPより抜粋)

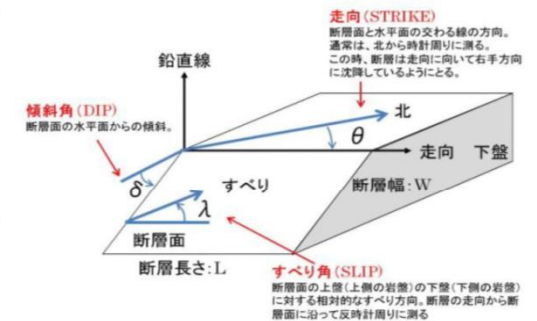


図-3.1.2 断層パラメータの定義

同波源の発生頻度は以下の考え方にに基づき設定した。

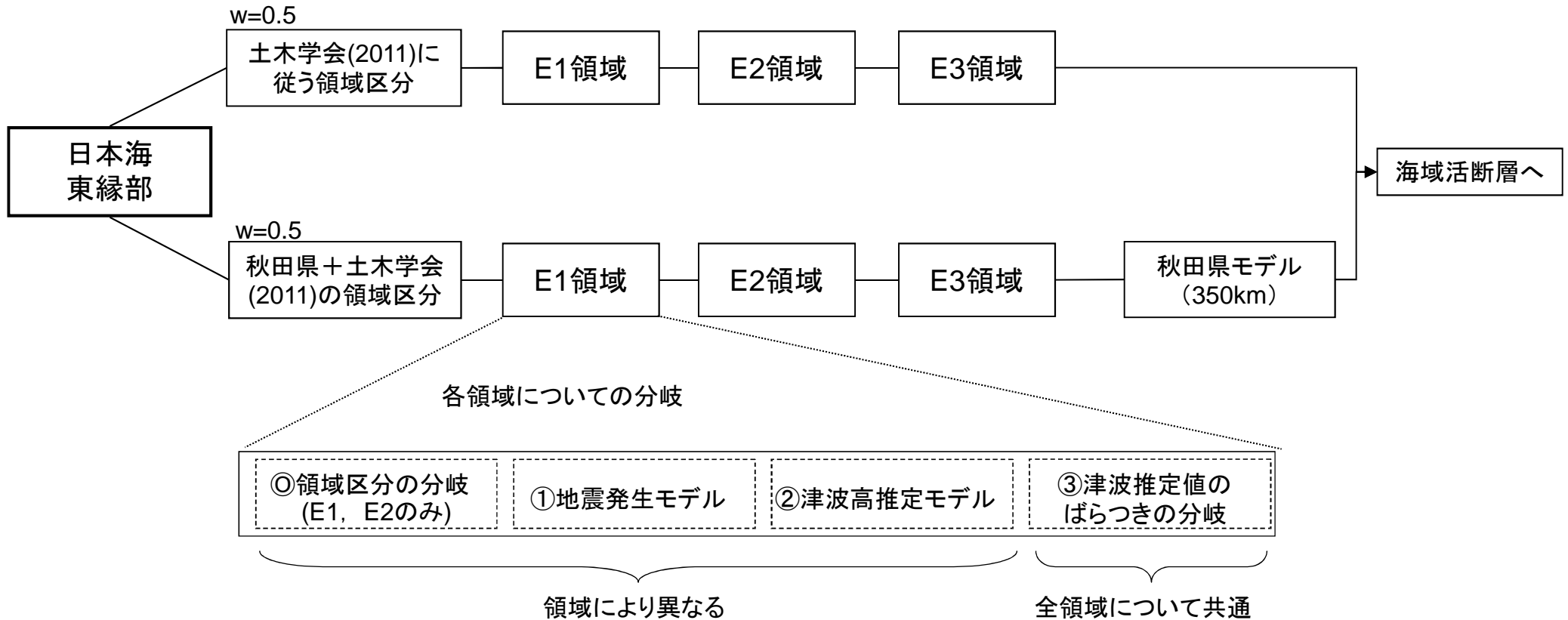
- ・秋田県の350km波源は、位置としては土木学会(2011)のE1-3領域及びE3領域の全体破壊に相当する。
- ・土木学会(2011)の再来期間に基づき、E3の同時破壊が3回に1回発生、その中でさらに2回に1回、E1-3領域との同時破壊が発生するという想定で再来期間を設定する。この場合、再来期間は6,000~12,000年となる。

## 日本海東縁部 ロジックツリーの構成

E1からE3までの領域についてそれぞれ評価を行い、各領域では、

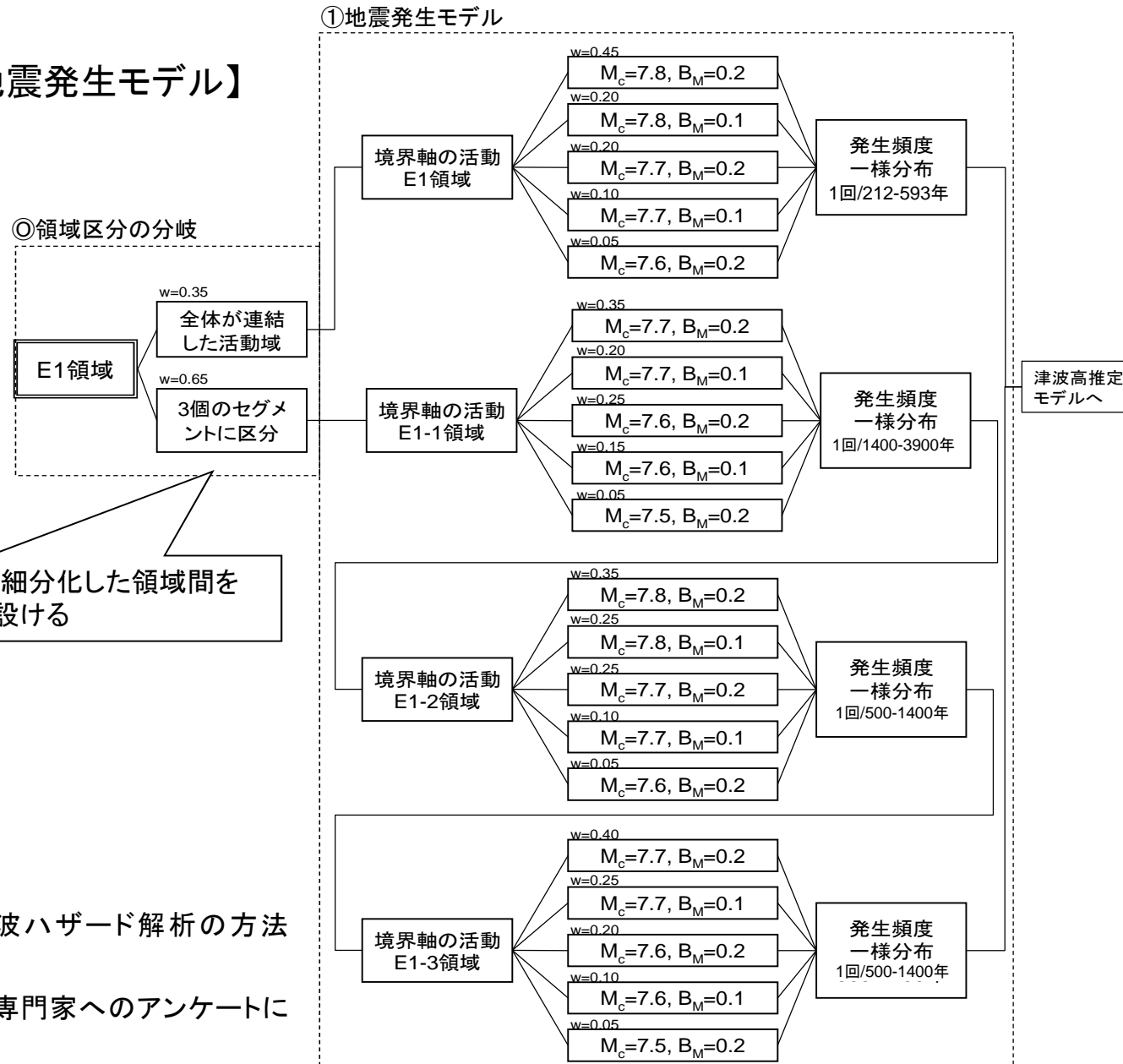
- 領域区分の分岐(E1, E2の場合)
  - 地震発生モデル
  - 津波高推定モデル
  - 津波推定値のばらつきの分岐
- のそれぞれについて分岐を設ける。

### 【ロジック分岐の構成】



日本海東縁部 ロジックツリーの設定

【E1領域の  
◎領域区分の分岐、①地震発生モデル】



E1およびE2については、各領域を細分化した領域間をまたぐ破壊を想定するかの分岐を設ける

※ロジックツリーは確率論的津波ハザード解析の方法 (土木学会, 2011)により設定

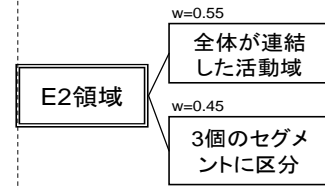
※w(重み)は土木学会及び地震専門家へのアンケートに基づき決定

日本海東縁部 ロジックツリーの設定

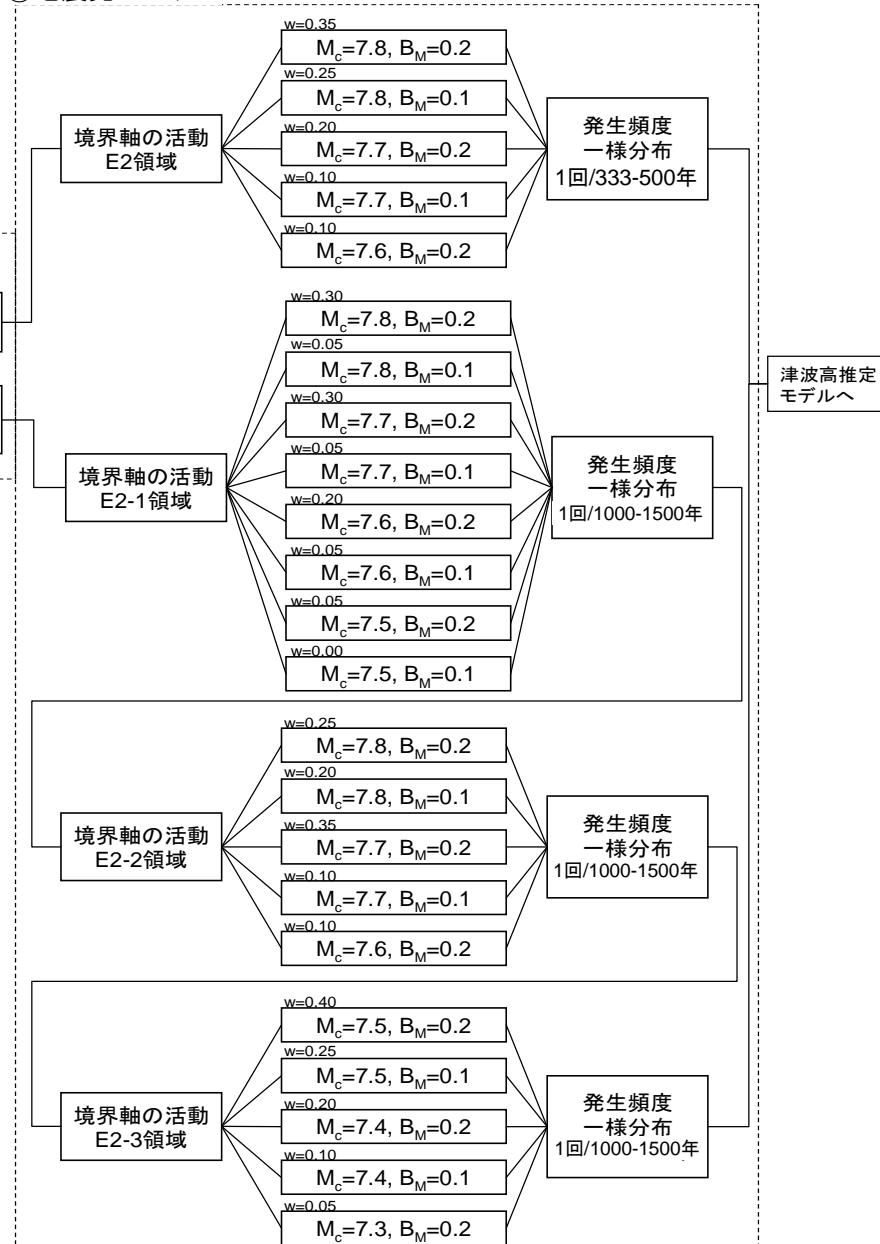
【E2領域の

◎領域区分の分岐、①地震発生モデル】

◎領域区分の分岐



①地震発生モデル



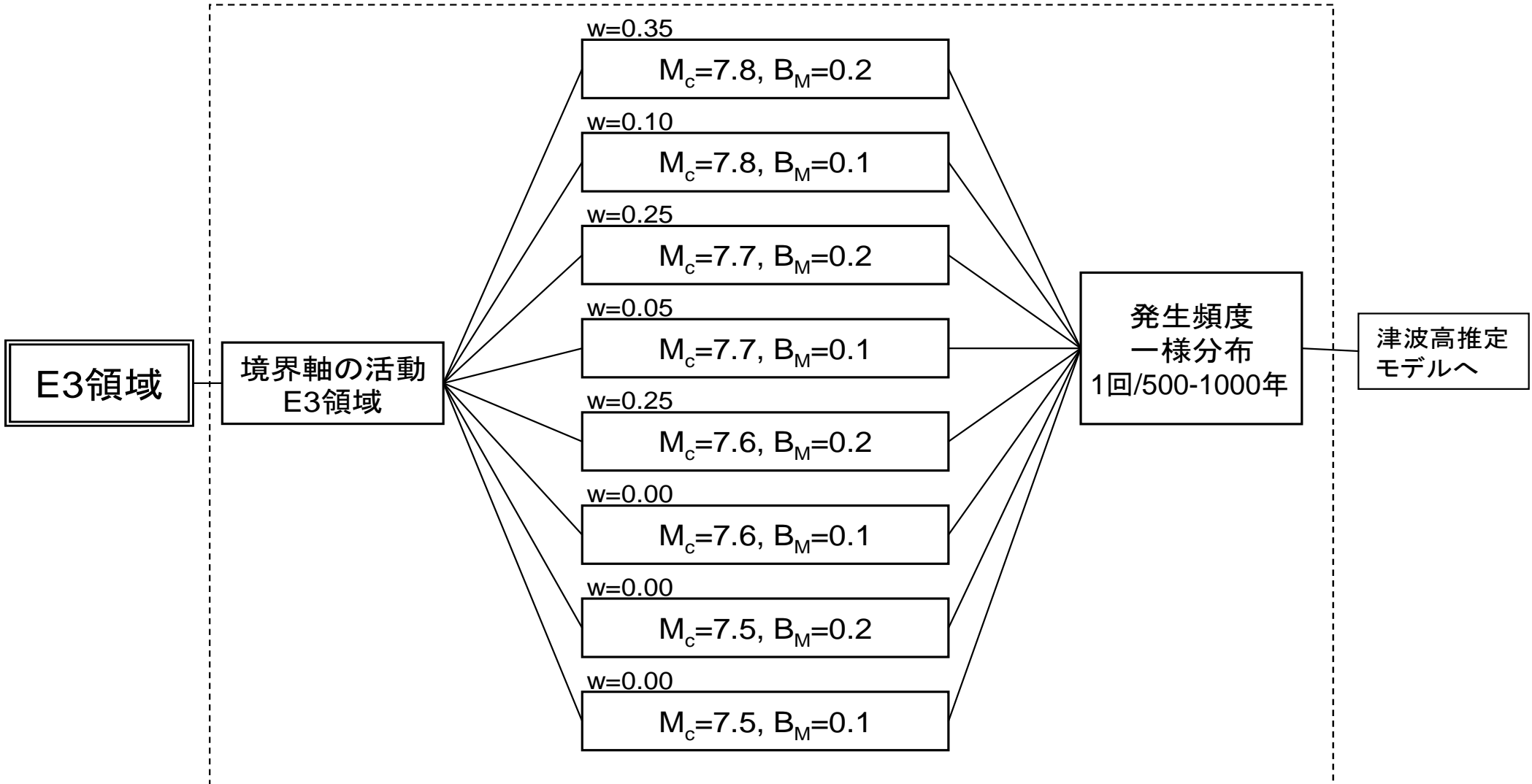
E1およびE2については、各領域を細分化した領域間をまたぐ破壊を想定するかの分岐を設ける

※ロジックツリーは確率論的津波ハザード解析の方法 (土木学会, 2011)により設定

※w(重み)は土木学会及び地震専門家へのアンケートに基づき決定

日本海東縁部 ロジックツリーの設定

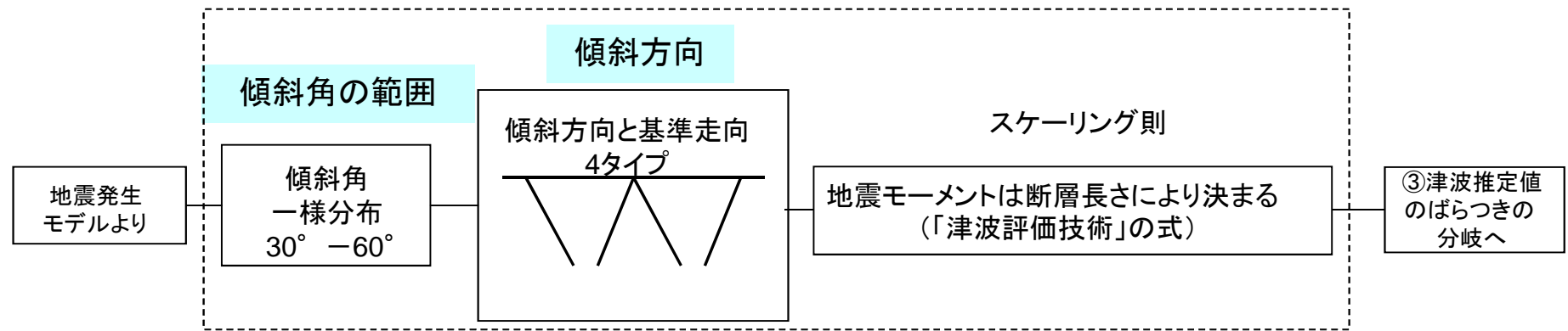
【E3領域の①地震発生モデル】



※ロジックツリーは確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)により設定

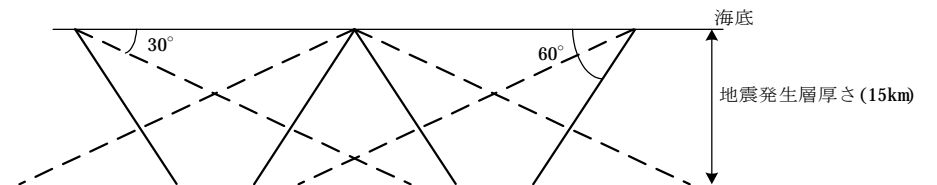
※w(重み)は土木学会及び地震専門家へのアンケートに基づき決定

## 【E1～E3領域の②津波高さの推定モデル】



断層長さ	スケーリング則に基づき、Mwから求める。
幅	地震発生層の厚さ(15km)を考慮し、傾斜角に応じて決める。
すべり量	$\log M_0(N \times m) = 1.5M_w + 9.1$ , $D = M_0 / mLW$ により算出する。
上縁深さ	0kmとする。
走向	海底地形の走向に基づき設定する。
傾斜角	30～60° とする。西傾斜と東傾斜の双方を考慮する。
すべり角	90° とする。
剛性率	$3.5 \times 10^{10}(N/m^2)$ とする。
スケーリング測	幅(地震発生層厚さ)に上限あり。 スケーリングの変曲点を境に、Mwが大きいとき武村(1998)の関係 $\log L(km) = 0.75M_w - 3.77$ , $L \propto D$ , $W = \text{const.}$ がMwが小さいとき $W = 2L/3$ , $L \propto W \propto D$ の関係が成り立ち、両者が連続的に接続するものとする。

### 日本海東縁部における鉛直断面内の断層パターン





日本海東縁部 ロジックツリーの設定

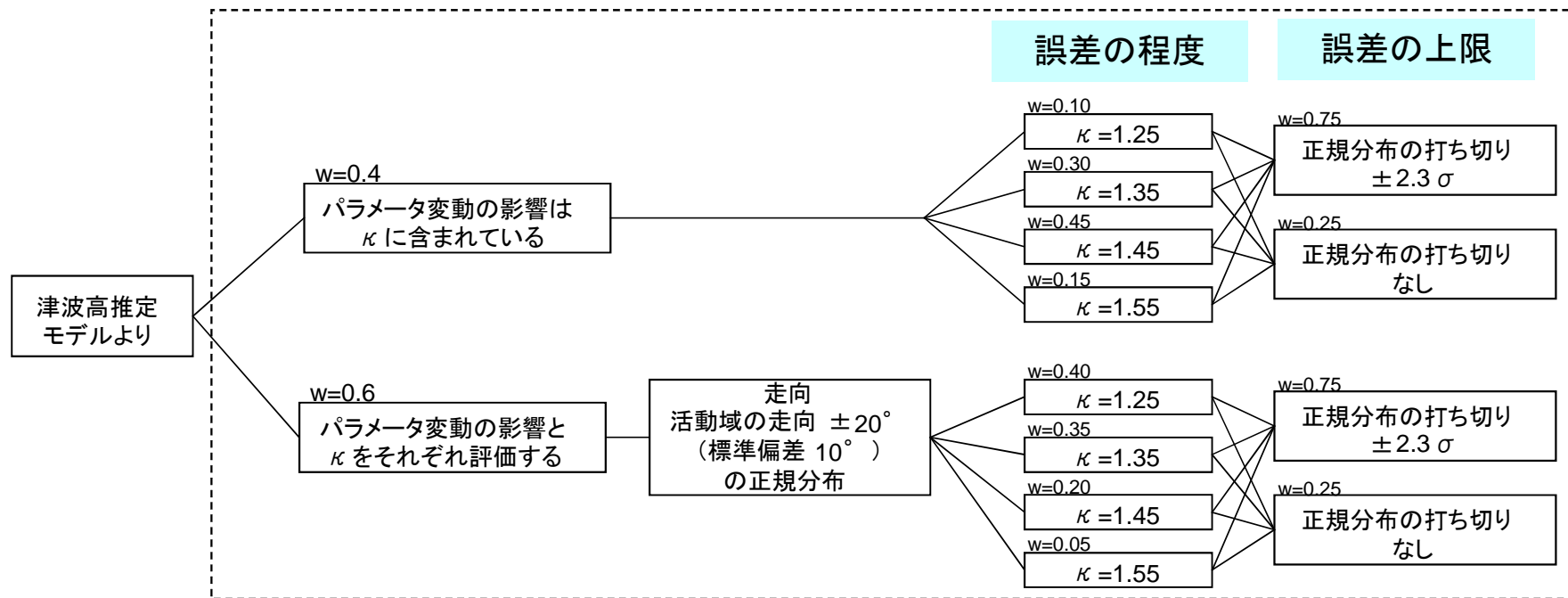
【秋田県モデルの①地震発生モデル、②津波高さの推定モデル】



※秋田県モデルの②津波高さの推定モデルについては、  
前出の秋田県の想定波源モデルを用いる

日本海東縁部 ロジックツリーの設定

【③津波推定値のばらつきの分岐】



※ロジックツリーは確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)により設定

※w(重み)は土木学会及び地震専門家へのアンケートに基づき決定

## 7-4-2. 海域活断層に想定される地震に伴う津波

## 海域活断層 対象とする活動域

- 発電所敷地前面海域及び敷地周辺海域における海域活断層について文献調査を実施する。
- 発電所敷地前面海域及び敷地周辺海域において、後期更新世以降の活動を考慮する断層のうち、敷地に影響が大きいと考えられるものを検討対象断層とする。

### 【敷地前面及び敷地周辺における検討対象断層】

① 安島岬沖～和布～ 干飯崎沖～甲楽城断層	⑥ C断層
② ウツロギ峠北方～ 池河内断層	⑦ 大陸棚外縁～B～ 野坂断層
③ 甲楽城沖～浦底～池河内 ～柳ヶ瀬山断層	⑧ 三方断層
④ 浦底～内池見断層	⑨ FO-A～FO-B～ 熊川断層
⑤ 白木～丹生断層	⑩ F <sub>GA</sub> 3東部断層

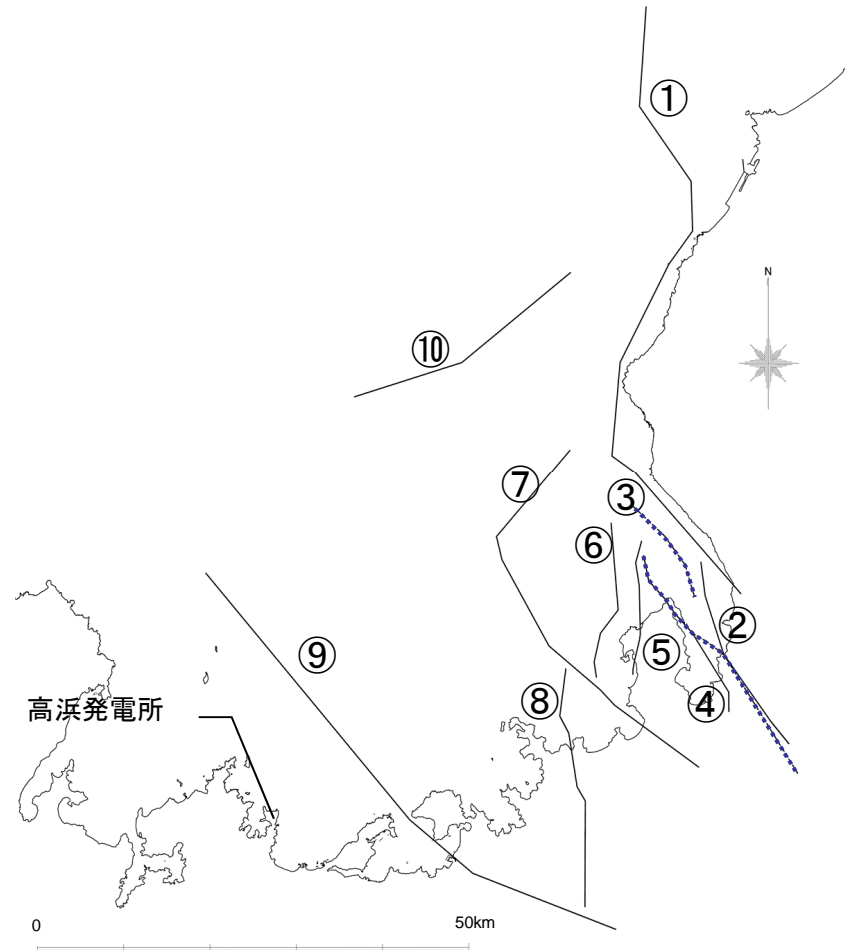
・検討対象断層で、多くの場合に津波高さが最も大きくなる条件(上縁深さ:0km、傾斜角:高角側)で数値シミュレーションを実施し、確率的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)に示される以下の式により、スクリーニング※を実施

$$|X| > |H| \cdot k^{2.3}$$

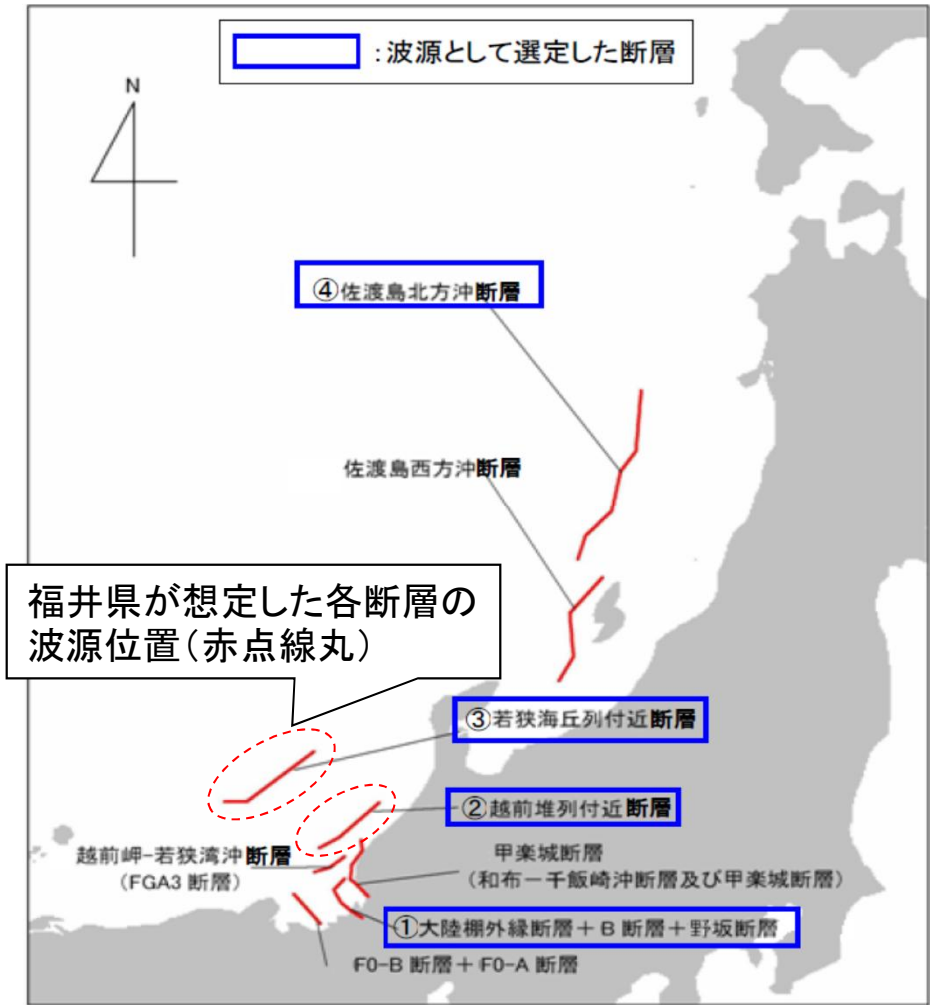
X: 評価対象となる水位  
H: 数値シミュレーションにより計算された津波高さ  
k: 津波高さのばらつき(=1.55)

※スクリーニングは高浜、大飯、美浜3サイト共通で実施しており、全てのサイトで閾値を下回った波源のみを除外対象としている。

・結果として、②、④の2つ断層についてはサイトへの影響が小さく除外可能と判断された。



## 福井県が想定したモデル(若狭海丘列付近断層、越前堆列付近断層)の諸元



福井県が想定した各断層の  
波源位置(赤点線丸)

【福井県が想定した若狭海丘列付近断層の断層モデル】

断層長さ (km)	断層幅 (km)	地震規模 Mw	上端深さ (km)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	すべり量 (m)
90	17.32	7.63	0.1	60	90	6.43

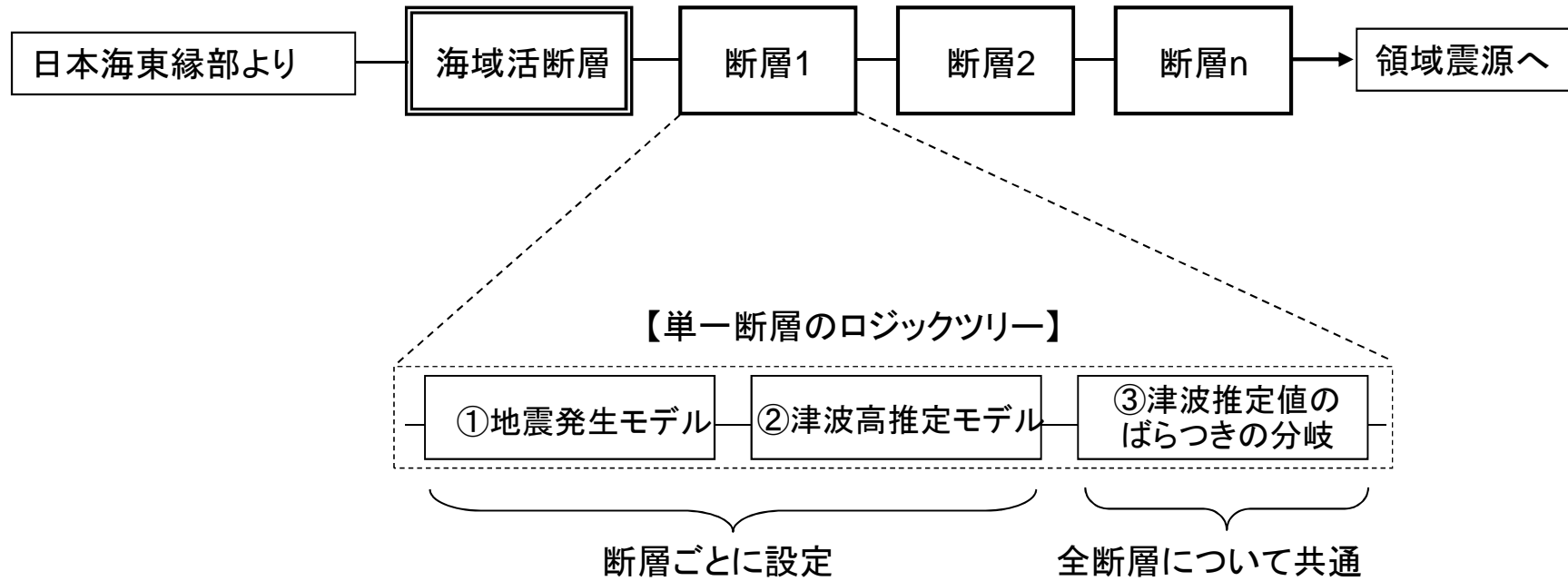
【福井県が想定した越前堆列付近断層の断層モデル】

断層長さ (km)	断層幅 (km)	地震規模 Mw	上端深さ (km)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	すべり量 (m)
65	17.32	7.44	0.1	60	90	4.62

福井県(2012):「福井県における津波シミュレーション結果について」,  
平成24年9月3日, 福井県 危機対策・防災課.

### 海域活断層 ロジックツリーの構成

#### 【ロジック分岐の構成】

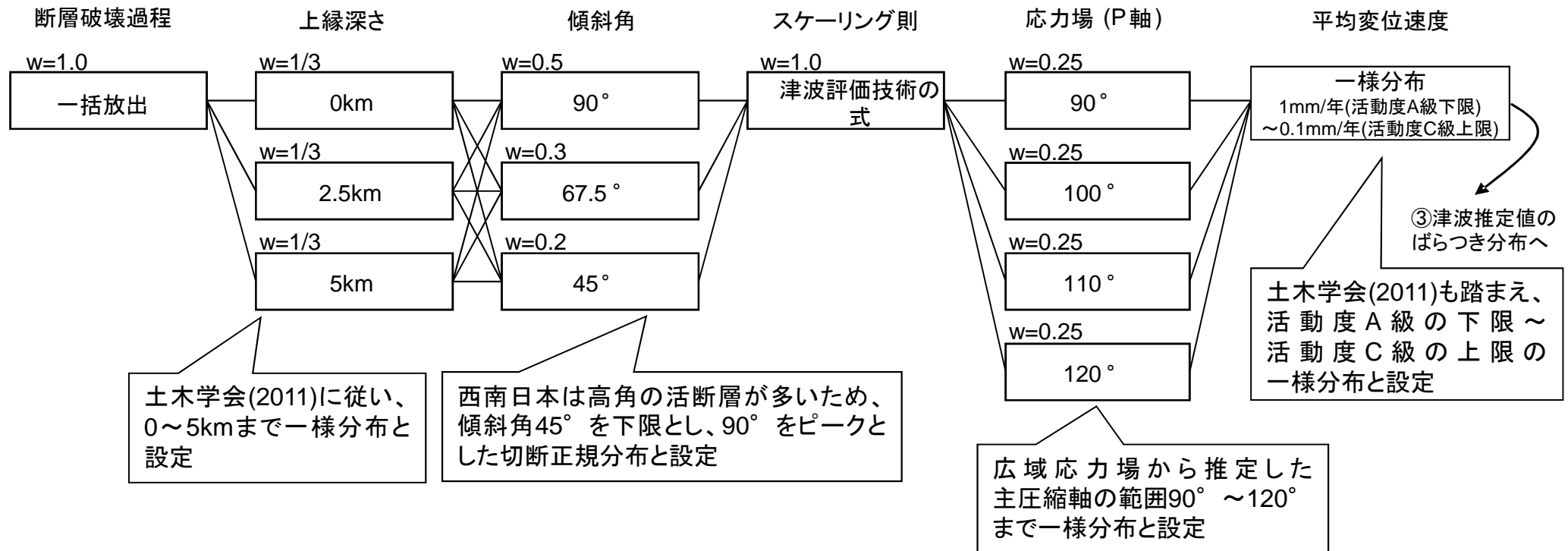


## 海域活断層 ロジックツリーの設定

### ①地震発生、②津波高推定モデル

- 海域活断層のロジックツリーについては、確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会(2011))を参考に、下図を基本形として設定する。ただし、断層破壊過程及び傾斜角については、断層ごとに以下を考慮して設定する。
- 断層破壊過程については、複数の活断層の連動が考えられる場合には、個々に連動ケースの分岐を設定する。重みは一様分布を原則とする。
- 傾斜角については、調査結果等から既知の場合は、その角度を下限値とし、鉛直変位量の最も大きくなる傾斜角90°を上限とした分岐を設ける。重みは、90° または既知の場合はその角度を中心とした切断正規分布として設定する。
- スケールング則については、検討対象断層に比較的高角なものが多いことから、津波評価技術の式を採用する。

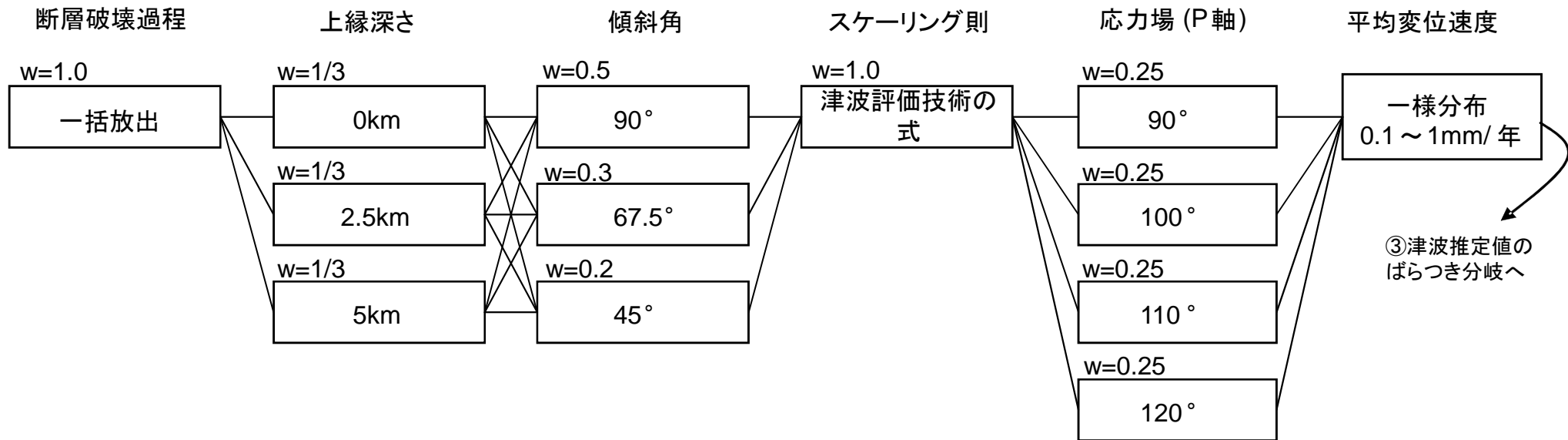
### U 基本形



海域活断層 ロジックツリーの設定

①地震発生、②津波高推定モデル

u F<sub>GA</sub>3東部断層

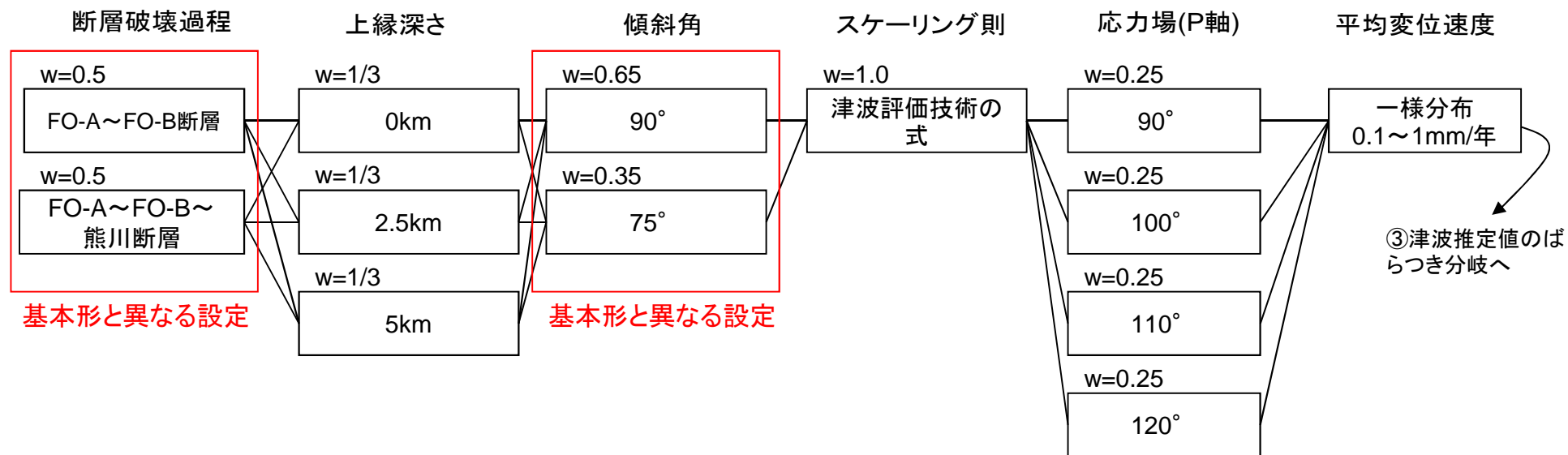




海域活断層 ロジックツリーの設定

①地震発生、②津波高推定モデル

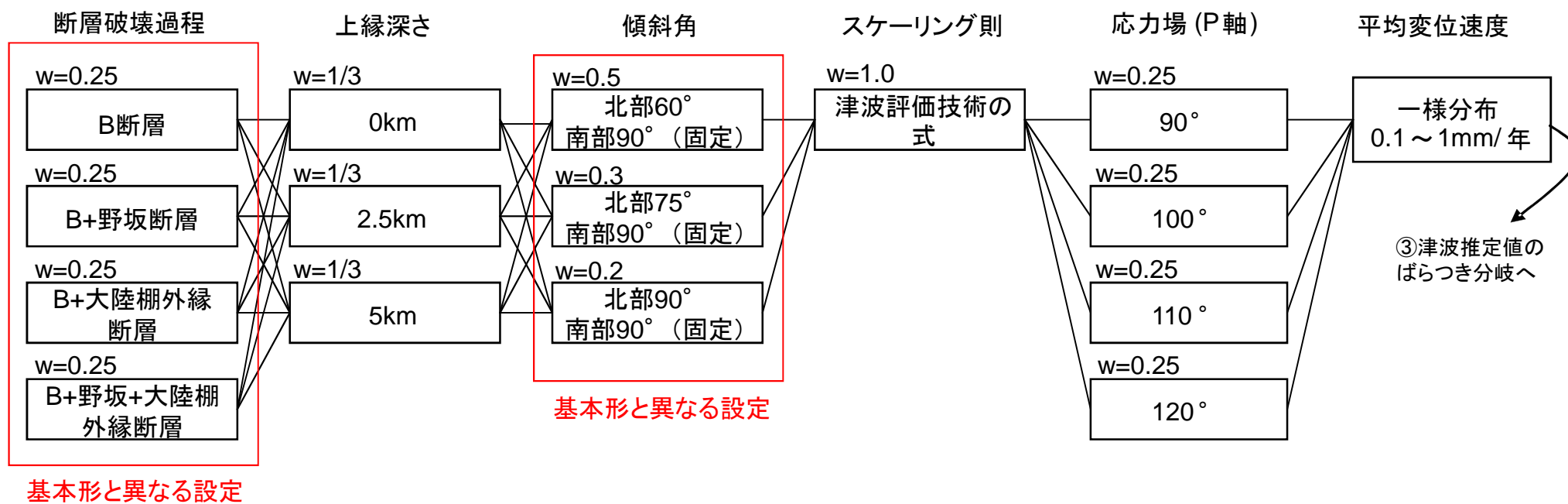
u FO-A~FO-B断層~熊川断層



## 海域活断層 ロジックツリーの設定

①地震発生、②津波高推定モデル

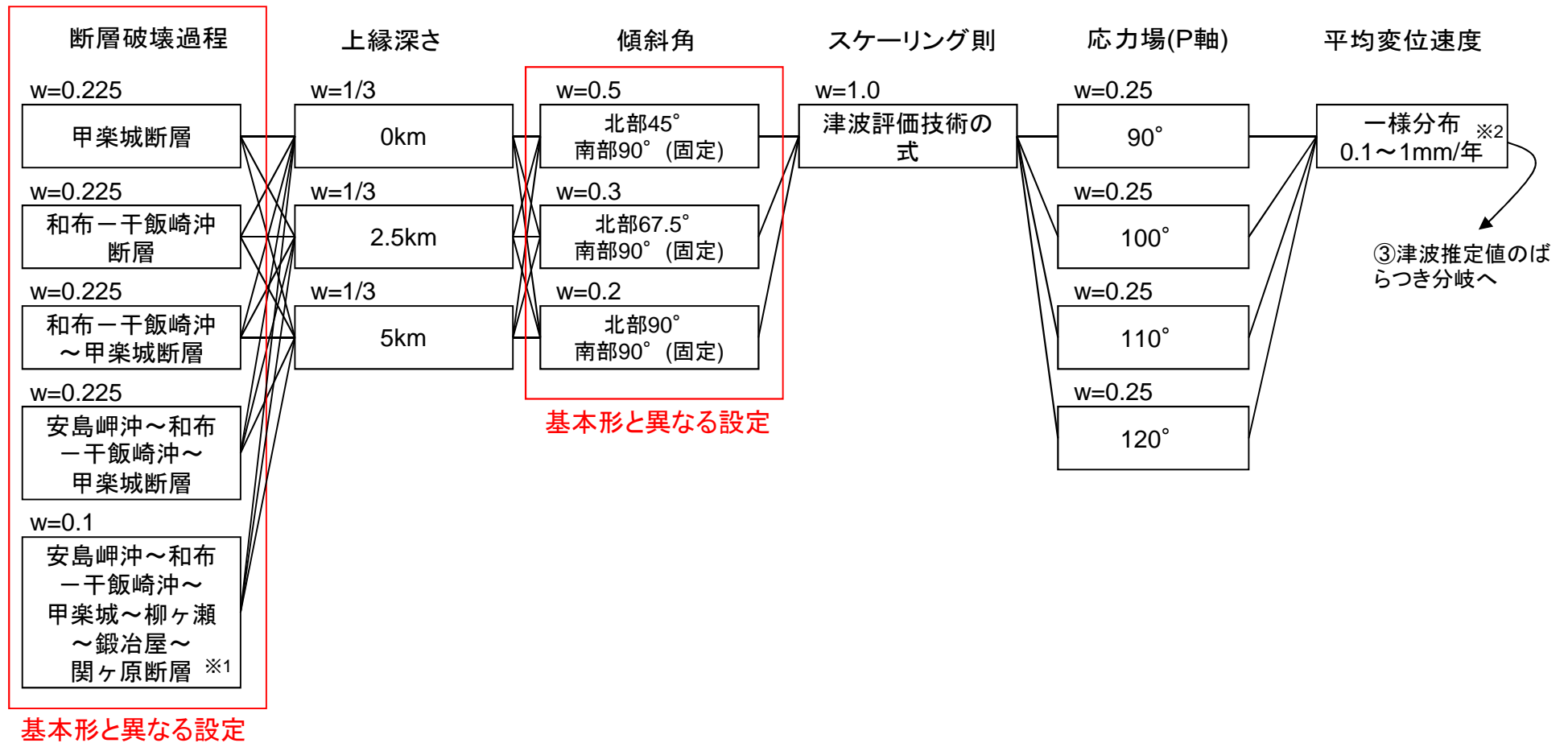
### u 大陸棚外縁～B～野坂断層



海域活断層 ロジックツリーの設定

①地震発生、②津波高推定モデル

U 安島岬沖～和布一干飯崎沖～甲楽城～柳ヶ瀬～鍛冶屋～関ヶ原断層

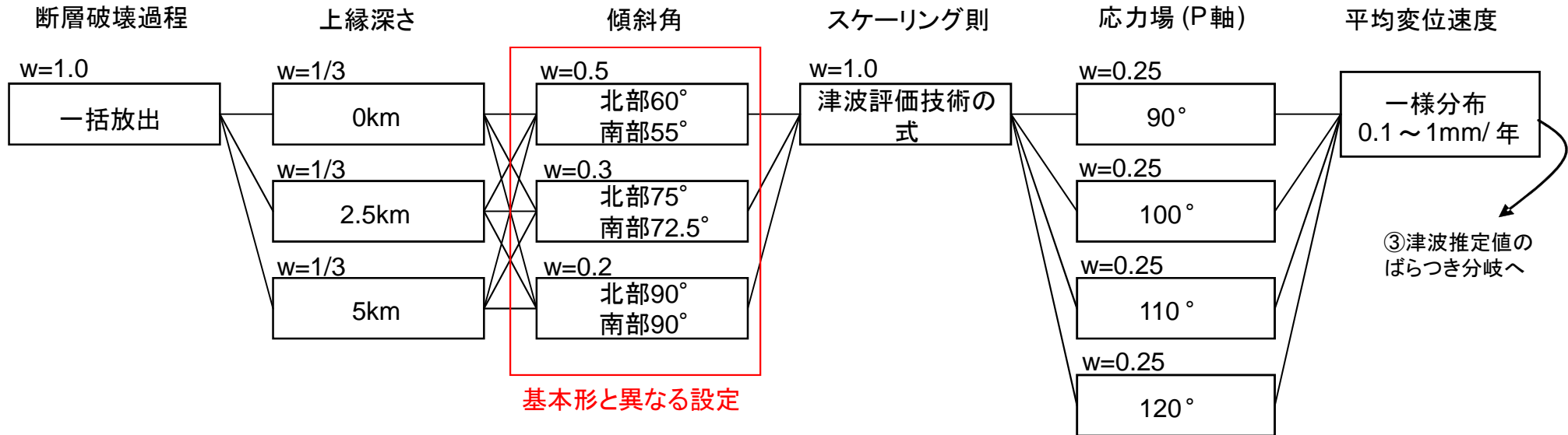


※1: 地震動評価における不確かさケースを考慮。100kmを超える長大断層の規模の算出については、参考資料(第314回審査会合 資料1-4-3 参考6)に記載。  
 ※2: 和布一干飯崎沖断層は、比較的最近の平均変位速度として1mm/年を超える可能性がある調査結果も得られているが、段丘面調査などより長期間の調査結果や連動を考慮した場合には他の断層と差異がないと考えられることから、全体としては活動度は他と同様にA級下限～C級上限の範囲として設定。(第314回審査会合 資料1-4-3 参考6 p.45)

海域活断層 ロジックツリーの設定

①地震発生、②津波高推定モデル

u C断層

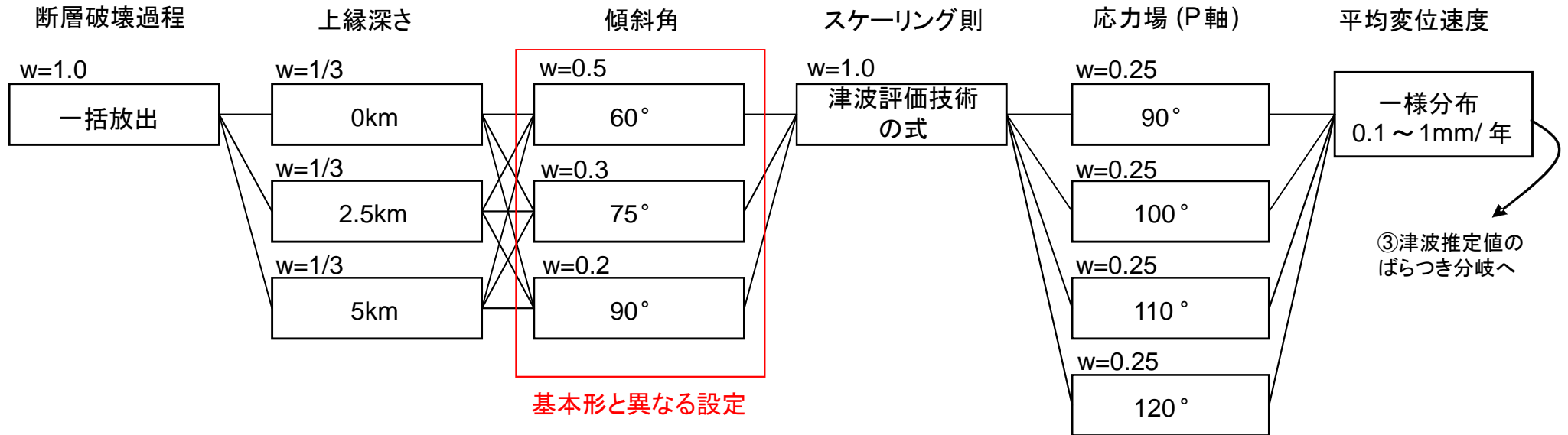


海域活断層 ロジックツリーの設定

①地震発生、②津波高推定モデル

u 三方断層

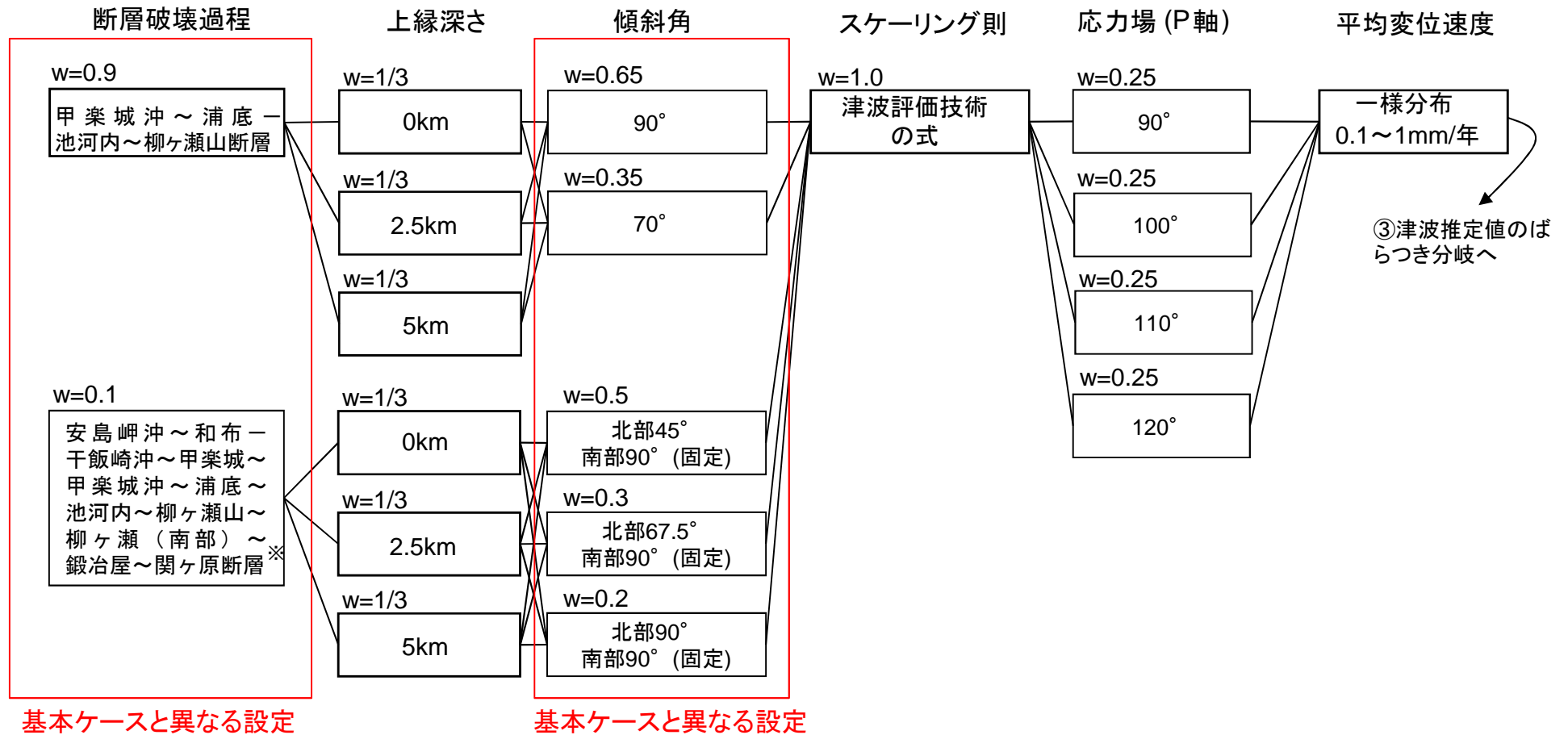
u 白木-丹生断層



## 海域活断層 ロジックツリーの設定

### ①地震発生、②津波高推定モデル

- u 安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲楽城～甲楽城沖～浦底～池河内～柳ヶ瀬山～柳ヶ瀬(南部)～鍛冶屋～関ヶ原断層



基本ケースと異なる設定

基本ケースと異なる設定

※:地震動評価における不確かさケースを考慮。100kmを超える長大断層の規模の算出については、[参考資料\(第314回審査会合 資料1-4-3 参考6\)](#)に記載。

## 海域活断層 ロジックツリーの設定(まとめ)

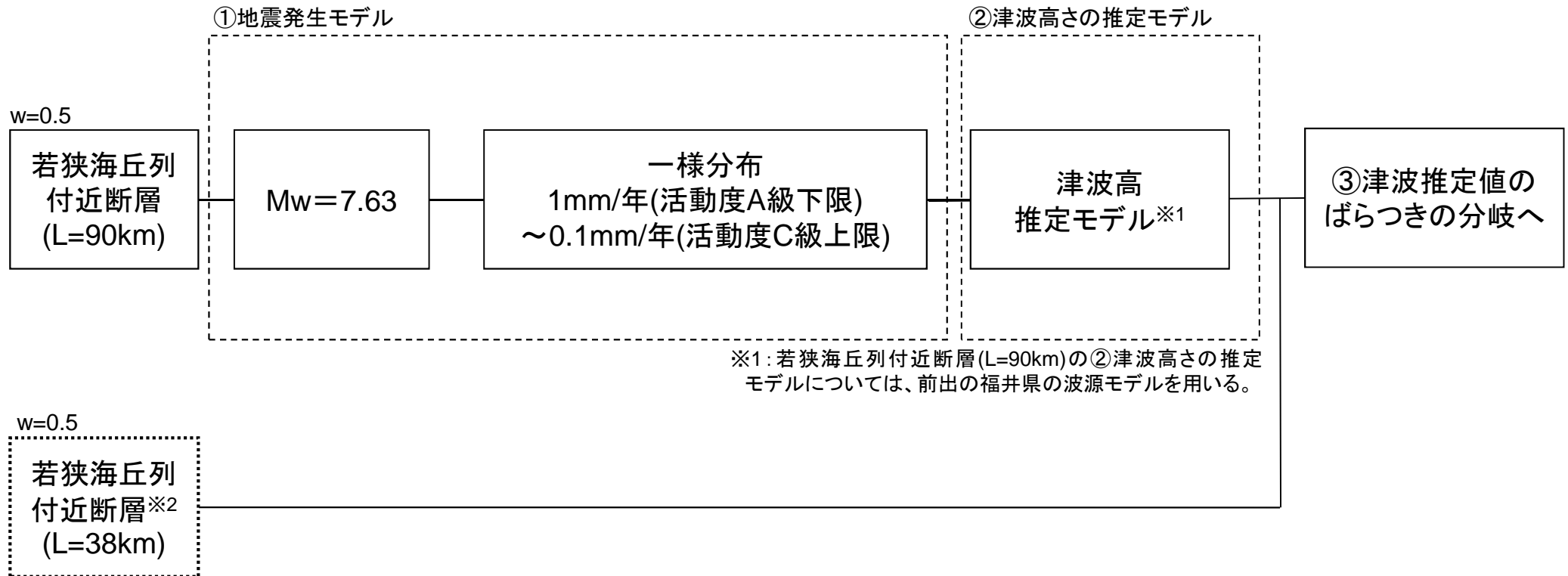
### ①地震発生、②津波高推定モデル

断層名	断層破壊過程	上縁深さ	傾斜角	スケーリング則	応力場(P軸)	平均変位速度
F <sub>GA</sub> 3東部断層	基本形に従う (一括放出)	基本形に従う (0~5km)	基本形に従う (90° ~45° )	基本形に従う (津波評価技術の式)	基本形に従う (90° ~120° )	基本形に従う (0.1~1mm/年)
FO-A~FO-B~ 熊川断層	連動ケースの 分岐を設定		調査結果に基づき設定 (90° を基本とする)			
大陸棚外縁~B~ 野坂断層	連動ケースの 分岐を設定		調査結果に基づき設定 (北部:60° 南部:90° を基本とする)			
安島岬沖~和布一干飯 崎沖~甲楽城~柳ヶ瀬 ~鍛冶屋~関ヶ原断層	連動ケースの 分岐を設定		調査結果に基づき設定 (北部:45° 南部:90° を基本とする)			
C断層	基本形に従う (一括放出)		調査結果に基づき設定 (北部:60° 南部:55° を基本とする)			
三方断層	基本形に従う (一括放出)		調査結果に基づき設定 (60° を基本とする)			
白木一丹生断層	基本形に従う (一括放出)		調査結果に基づき設定 (60° を基本とする)			
安島岬沖~和布一干飯 崎沖~甲楽城~甲楽城 沖~浦底~池河内~ 柳ヶ瀬山~柳ヶ瀬(南部) ~鍛冶屋~関ヶ原断層	連動ケースの 分岐を設定		調査結果に基づき設定 (90° を基本とする)			

海域活断層(福井県モデル) ロジックツリーの設定

①地震発生、②津波高推定モデル

u 福井県モデル(若狭海丘列付近断層)



※1: 若狭海丘列付近断層(L=90km)の②津波高さの推定モデルについては、前出の福井県の波源モデルを用いる。

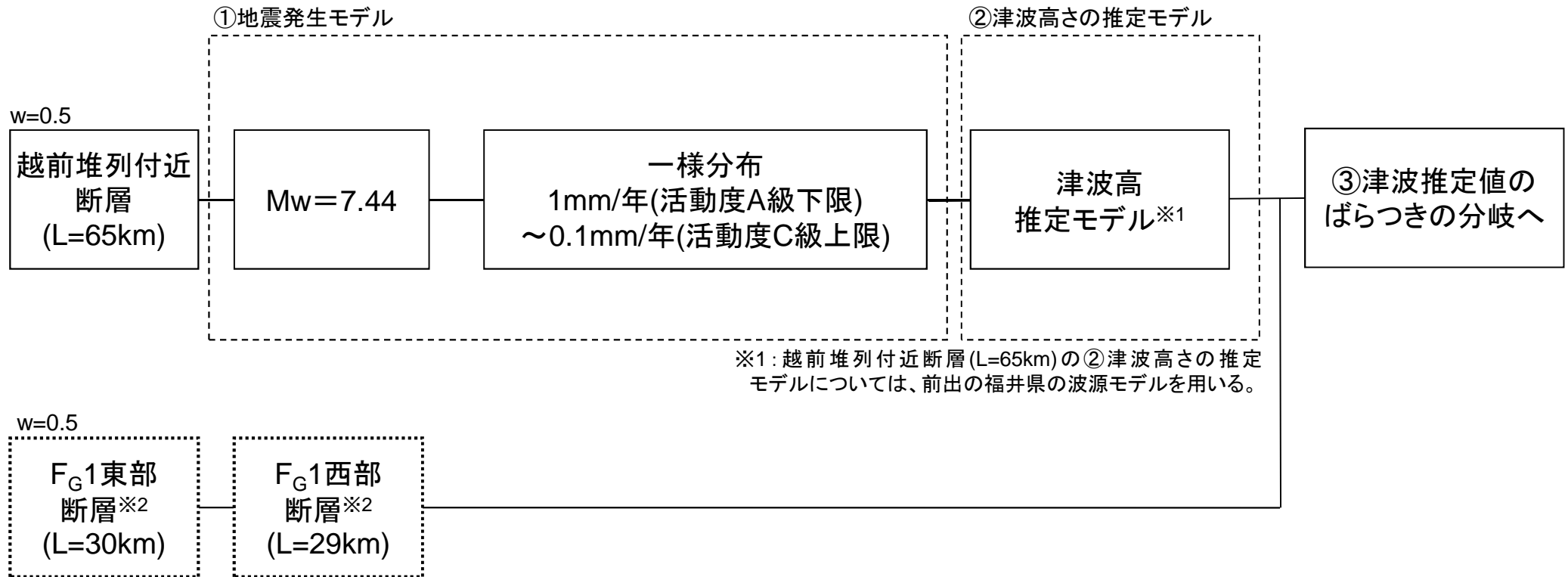
※2: 若狭海丘列付近断層(L=38km)は、津波水位が小さく年超過確率への影響が小さいため、計算を省略する。



海域活断層(福井県モデル) ロジックツリーの設定

①地震発生、②津波高推定モデル

u 福井県モデル(越前堆列付近断層)

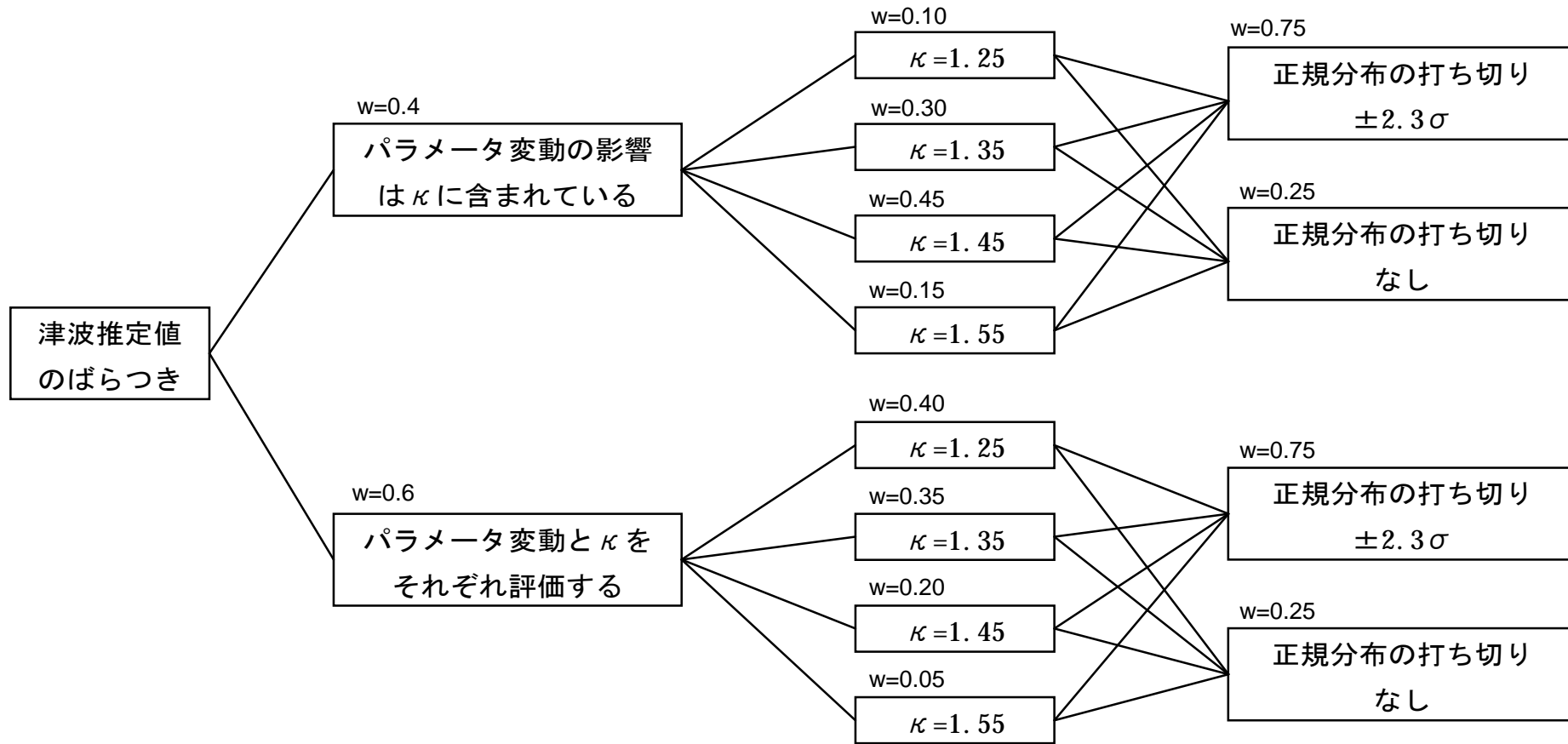


※1: 越前堆列付近断層(L=65km)の②津波高さの推定モデルについては、前出の福井県の波源モデルを用いる。

※2: F<sub>G</sub>1東部断層(L=30km)及びF<sub>G</sub>1西部断層(L=29km)は、津波水位が小さく年超過確率への影響が小さいため、計算を省略する。

## 海域活断層 ロジックツリーの設定

### ③津波推定値のばらつき



※ロジックツリーは確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)を参考に設定

※w(重み)は土木学会及び地震専門家へのアンケートに基づき決定

### 7-4-3. 領域震源(背景的地震)による津波

## 領域震源(背景的地震)

現時点で海域活断層として特定されていない震源により津波が生じる場合の年超過確率について評価する。

### 【対象とする活動域】

○領域震源(場所を特定できない点震源)の評価においては、地震ハザード評価で用いられている活動域と同一の設定を用いる。活動域の区分に関しては、

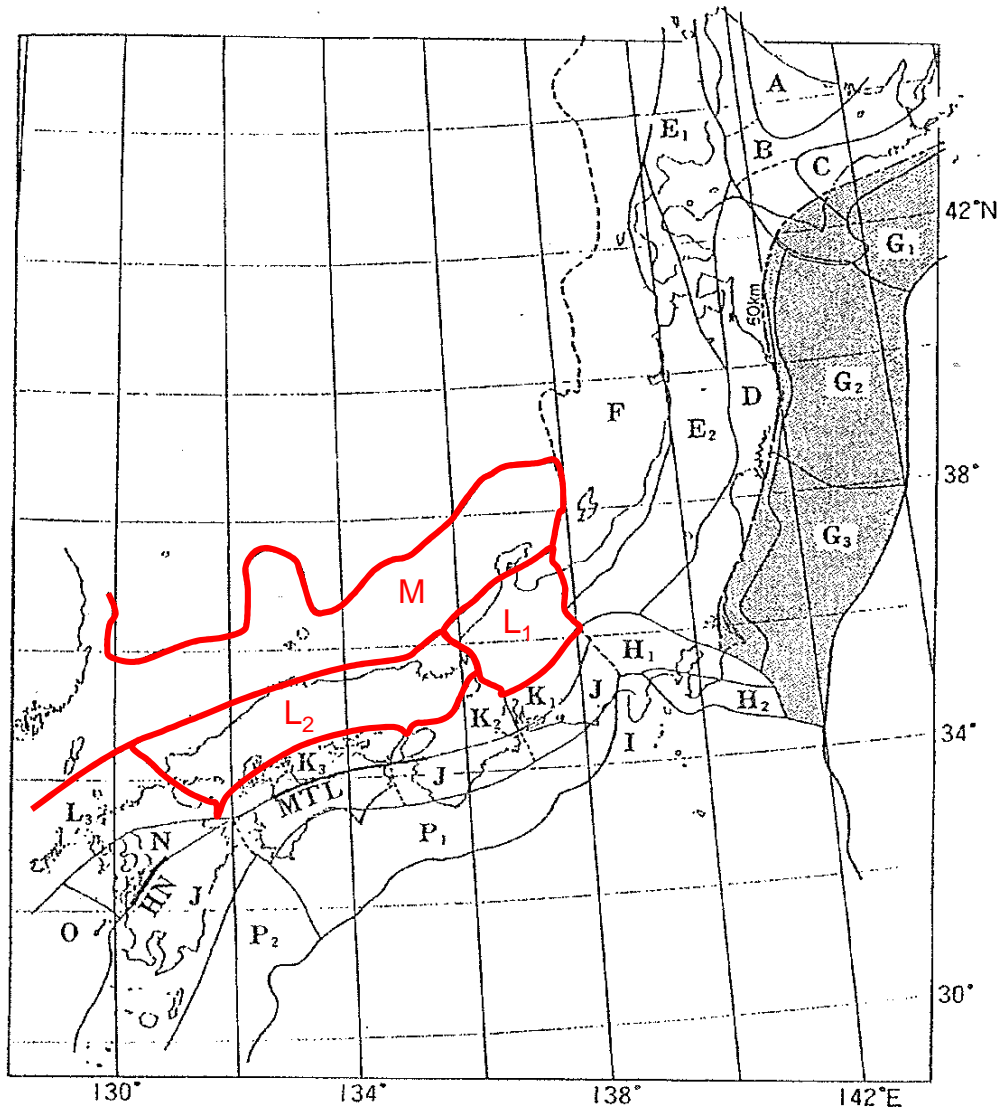
- ・萩原マップによる領域区分
- ・新垣見マップによる領域区分

についてロジック分岐を設定し、両方の区分により評価する。

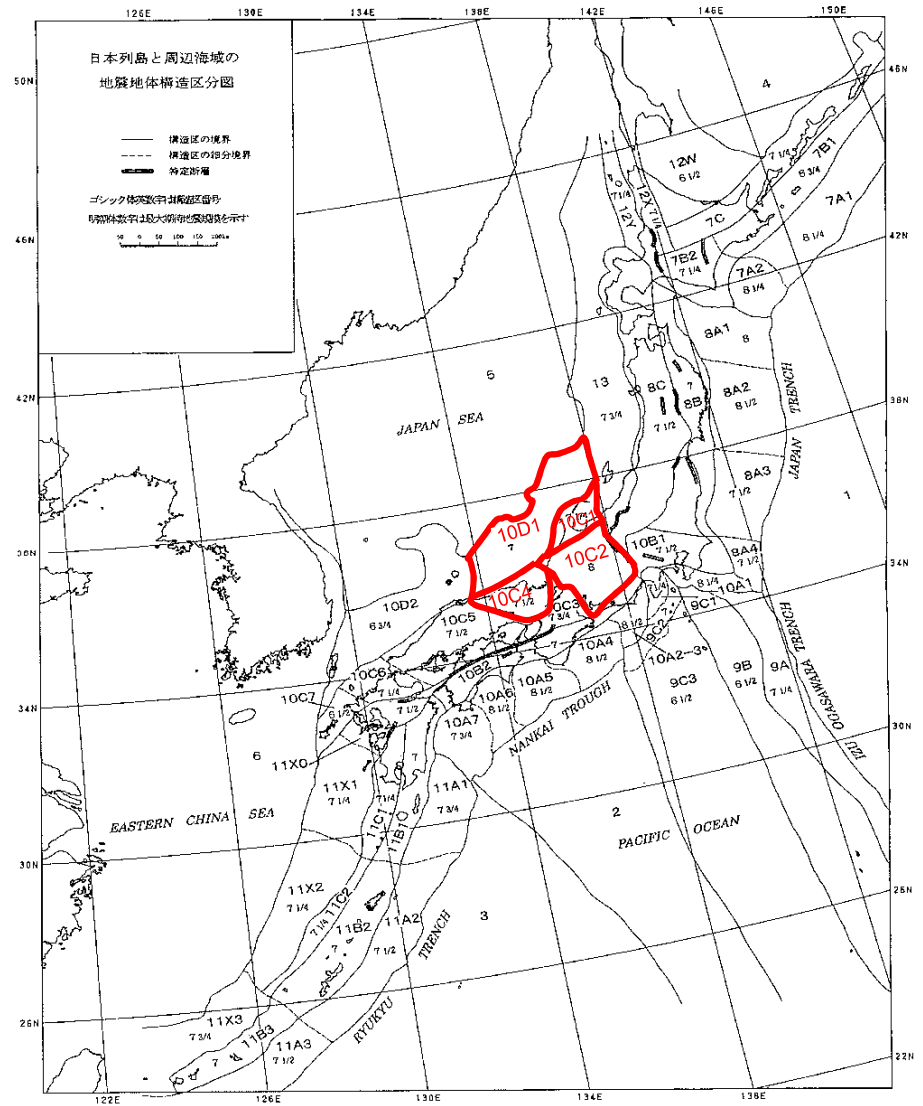
○敷地前面海域(約30km以内)については、海上音波探査結果等に基づいて将来の活動を否定できない活断層を評価していることから、点震源を設定しない。

サイトからの距離	
0~30km	30km以遠
領域震源による評価を実施しない ■ 海上音波探査結果等に基づいて将来の活動を否定できない海域の活断層を評価している。	領域震源による評価を実施 ■ 文献調査と主要地点の音波探査を行っているものの、場所が特定されていない断層が存在する可能性を排除できない。 ■ 一定程度の津波水位を生じるため、年超過確率への影響は無視できない。 ■ 簡易式およびシミュレーションによりサイトの評価レベルに影響を与えると判定された波源を対象に、評価を行う。

萩原マップ及び新垣見マップによる領域区分



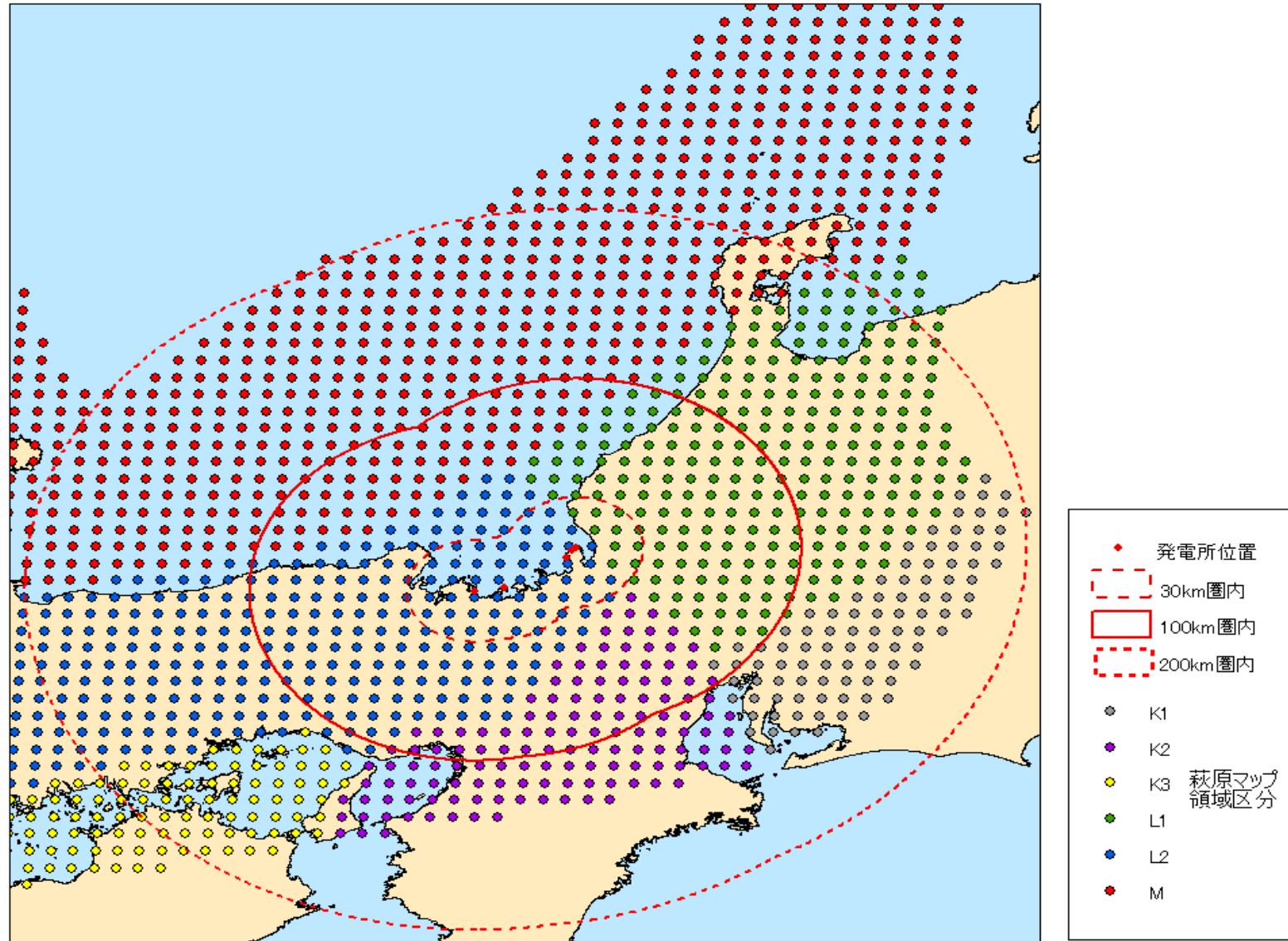
萩原編(1991)による地震地体構造区分図



垣見他(2003)による地震地体構造区分図

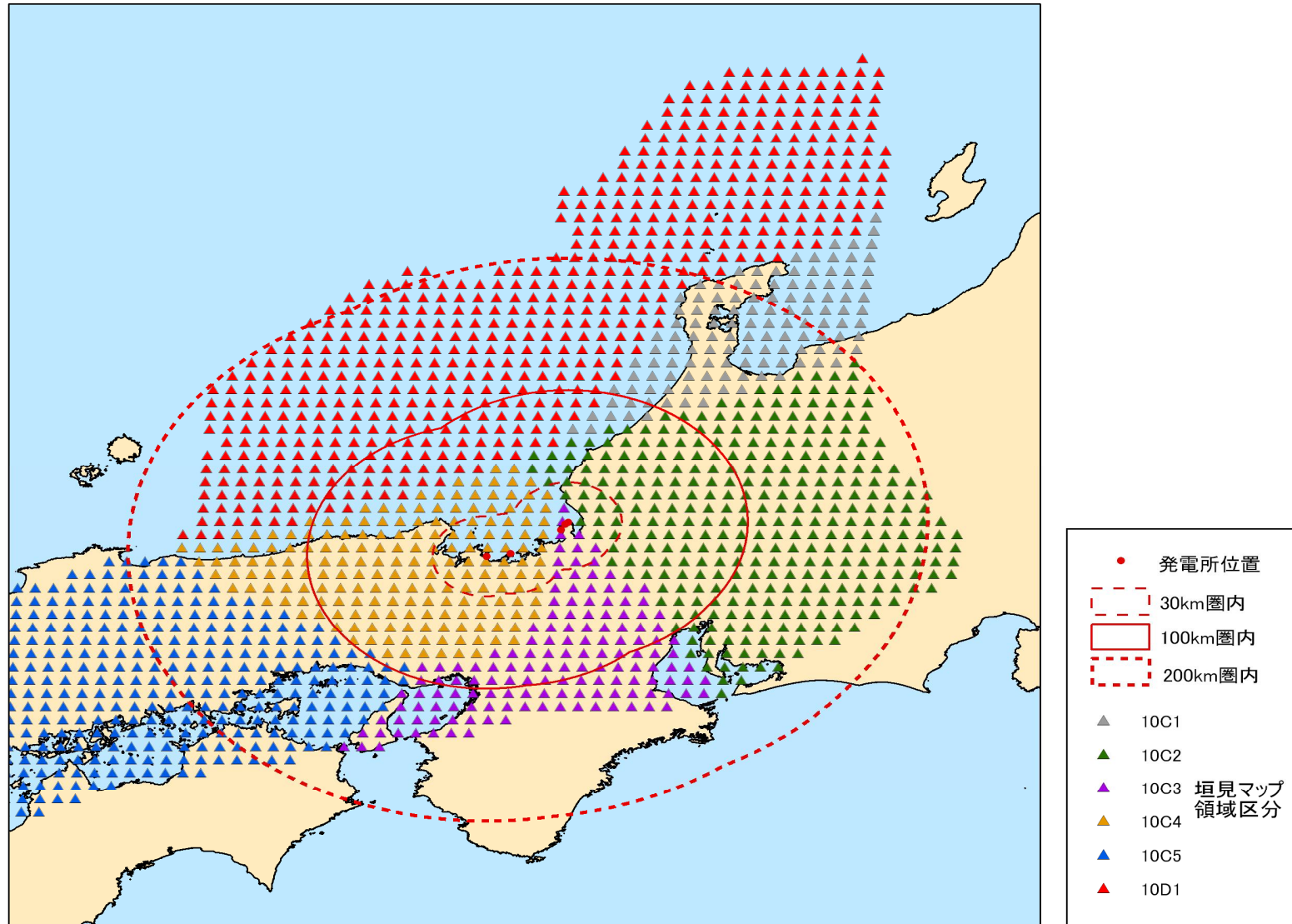
## 領域震源 対象とする活動域

【萩原マップによる領域区分】



## 領域震源 対象とする活動域

【新垣見マップによる領域区分】



## 領域震源 スクリーニング

ハザードに与える影響が非常に小さい波源の取り除くため、スクリーニング※を実施

## 【スクリーニングの手法】

- ・それぞれの検討対象断層で阿部(1989)の簡易予測式を用いて津波水位の推定を行う。
- ・サイトの、潮位を考慮した上昇側・下降側双方の評価レベルのうち、絶対値の小さい方に対して、以下の式を満たす断層については検討から除外する。

$$|X| > a |H_e| \cdot k^{2.3}$$

$X$ : 評価対象となる水位(建屋付近の敷地レベル:T.P.+3.5m)

$H_e$ : 簡易予測式により計算された津波高さ

$k$ : 津波高さのばらつき( $k=1.55$ )

$a$ : 簡易予測式の精度を考慮した余裕幅( $\alpha=2.0$ )

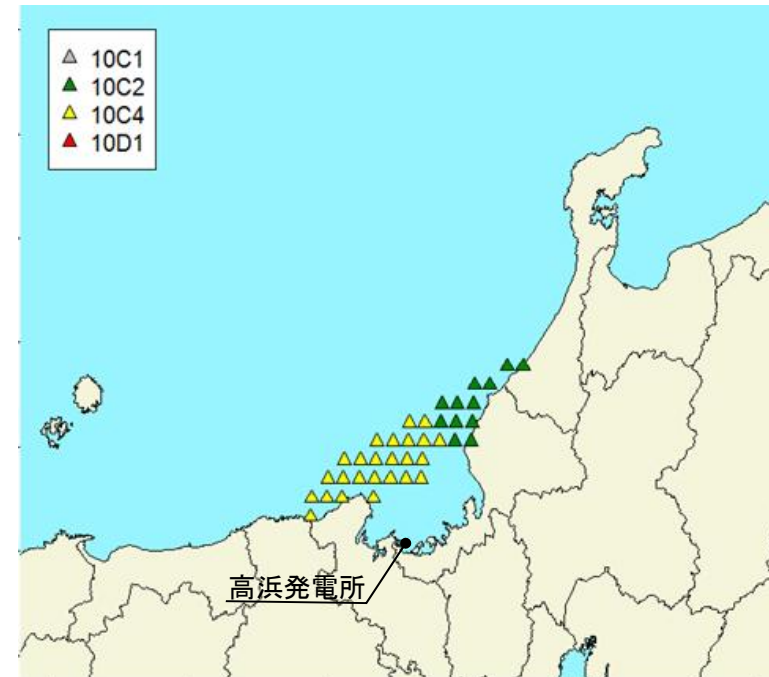
※スクリーニングは高浜、大飯、美浜3サイト共通で実施しており、全てのサイトで閾値を下回った波源のみを除外対象としている。

## 【スクリーニングの結果】

検討対象とする領域震源(萩原マップ)



検討対象とする領域震源(新垣見マップ)





## 7-4-3. 領域震源(背景的地震)による津波

### 領域震源の諸元

【萩原マップによる領域震源モデルの諸元】

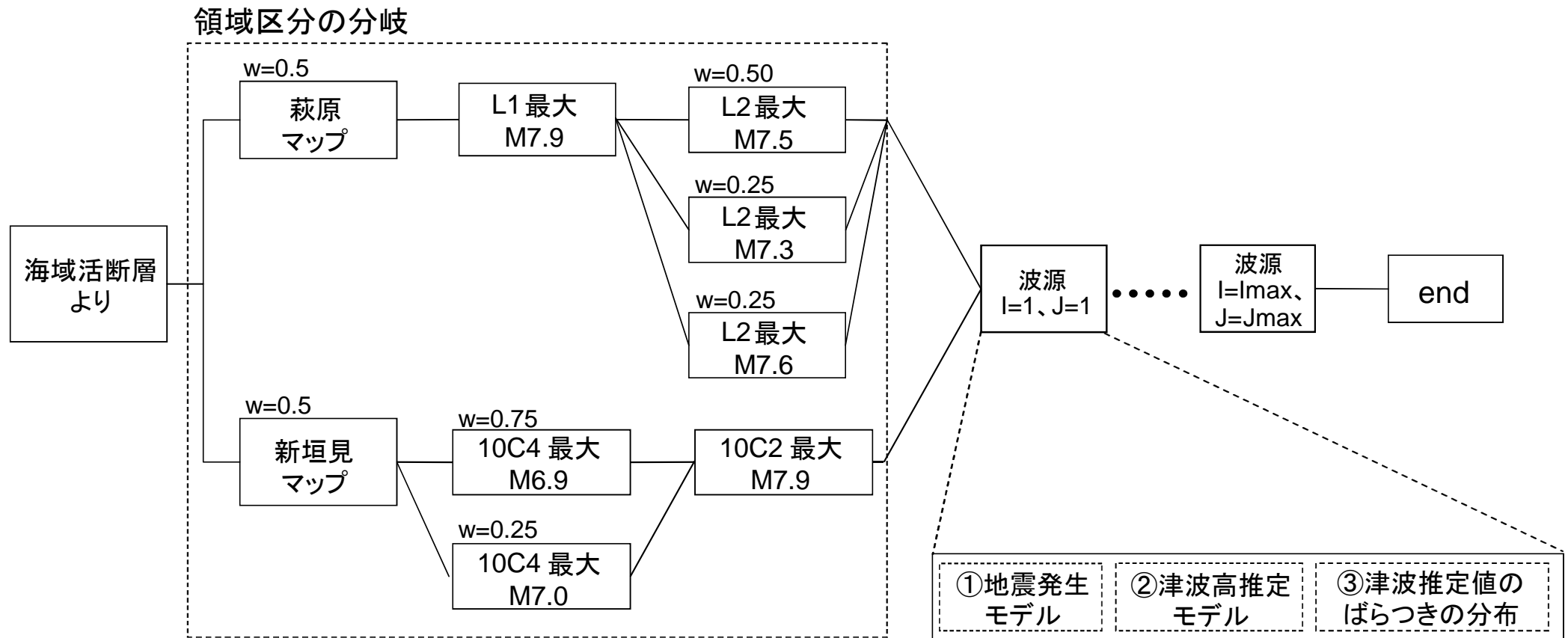
領域名	構造区		最小M	最大M	b値	発生頻度 (回/年)	上縁深さ (km)
L1	西南日本 内帯北部	中部山地	5.0	7.9	0.79	0.40	0~5km 一様分布
L2		中国山地	5.0	7.3 7.5 7.6	0.88	1.00	
M	西南日本内帯沿岸部		5.0	6.9	0.66	0.21	

【新垣見マップによる領域震源モデルの諸元】

領域名	構造区	最小M	最大M	b値	発生頻度 (回/年)	上縁深さ (km)
10C1	能登	4.0	6.9	0.60	0.52	0~5km 一様分布
10C2	中部山岳	5.0	7.9	0.79	0.48	
10C4	西近畿	5.0	6.9 7.0	0.74	0.38	
10D1	能登・若狭沖海域	4.0	6.6	0.83	1.02	

## 領域震源 ロジックツリーの構成

【領域震源のロジック分岐の構成】



領域震源の断層パラメータ

## 【大地震以外の上部地殻内地震(背景的地震)の断層パラメータ設定方針】

	考えられる 不確実性	基本方針	分布形	備考
震源とサイトの 位置関係 (距離)	断層長さ	Mwから武村(1998)の関係で設定	—	
	断層幅	$W=2L/3$ (地震発生層15kmを上限)	—	
	断層上縁深さ	断層面の範囲を地表～地震発生層 上端まで	一様分布	
	傾斜角	45～90°	切断正規 分布	西南日本における値 傾斜方向は地形から決定
	すべり角	広域応力場の範囲 (一様分布)	一様分布	
	走向	各領域内における海域活断層の走向 より設定 (下記参照)	一様分布	
	位置	点震源位置に断層中心	—	

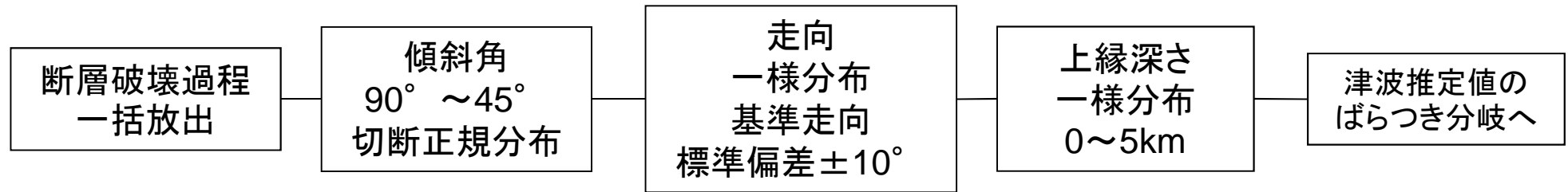
確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)を参考に設定

## 【領域震源の走向の設定】

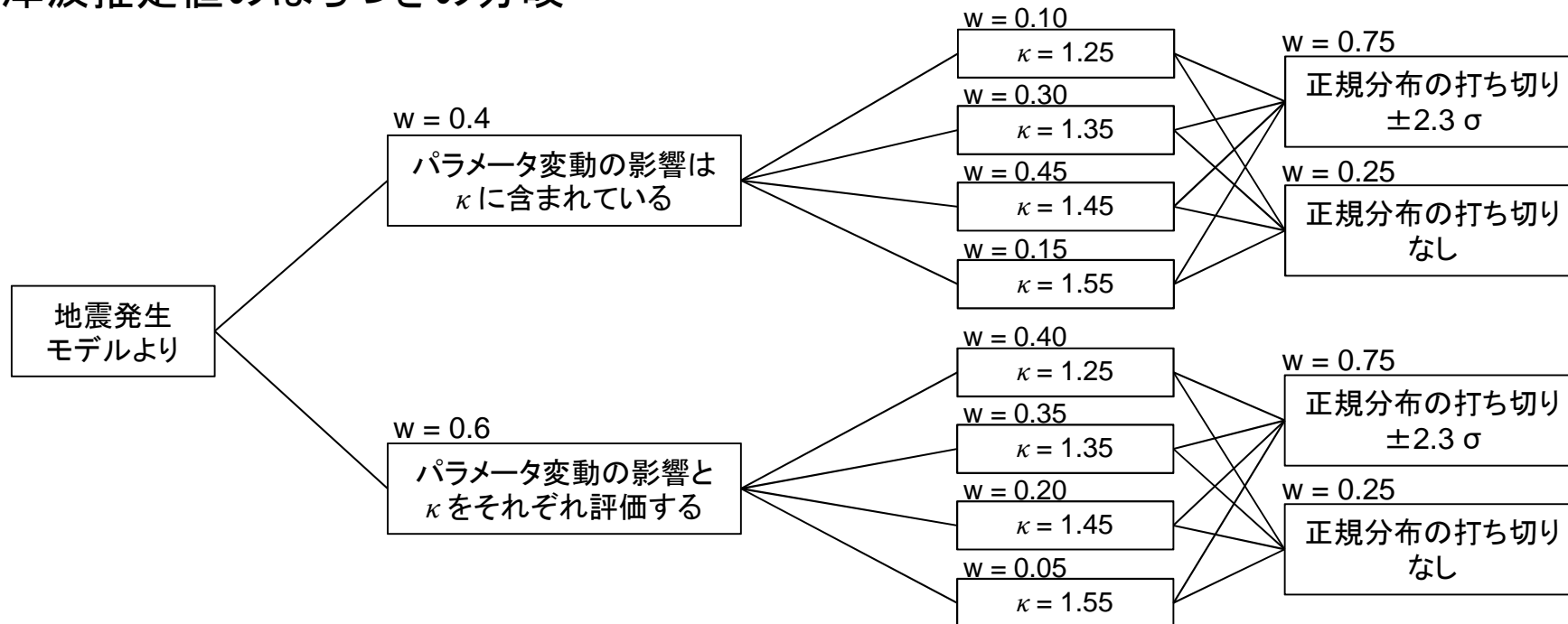
- ・領域内のセグメントの単純平均
- ・海域活断層の諸元を使用し、断層セグメントに分割
- ・どの領域に属するかの判断は、セグメント中心により実施
- ・角度の平均値は、落ち方向が異なるがセグメントの形状が同じもの(0° /180° )を同一とみなして、最も標準偏差が小さくなるように算出。落ち方向は多数決により決定。

領域震源 ロジックツリーの設定

①地震発生、②津波高推定モデル



③津波推定値のばらつきの分岐



領域震源の地震発生モデル及び津波高推定モデルのロジックツリー

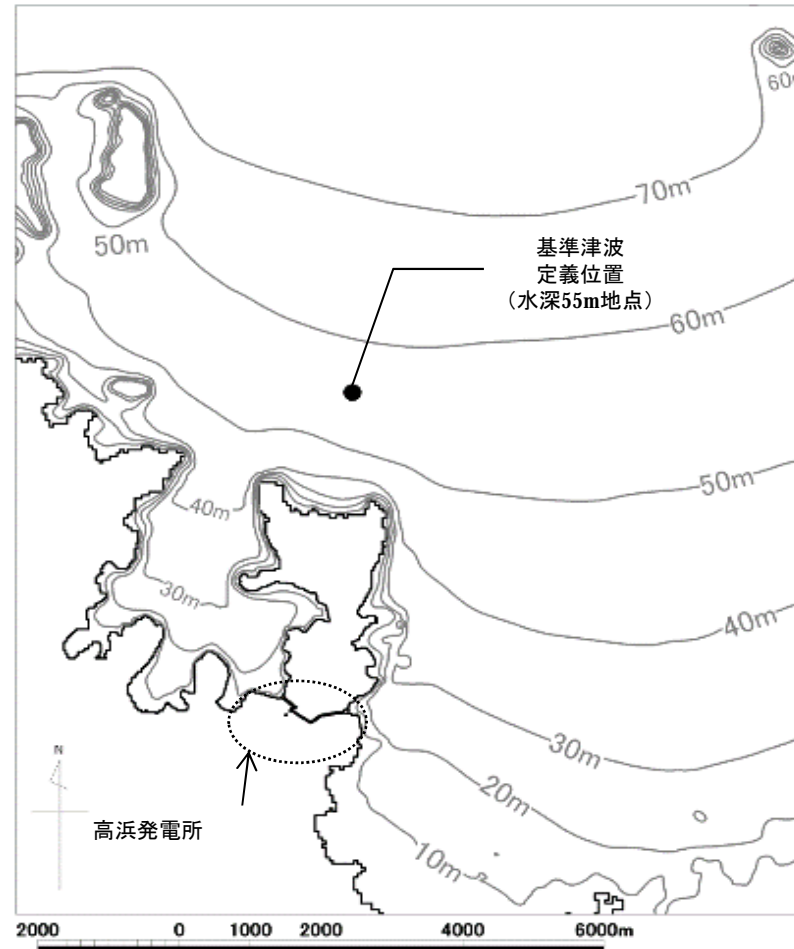
※ロジックツリーは確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)を参考に設定

※w(重み)は土木学会及び地震専門家へのアンケートに基づき決定

## 7-5. 評価結果

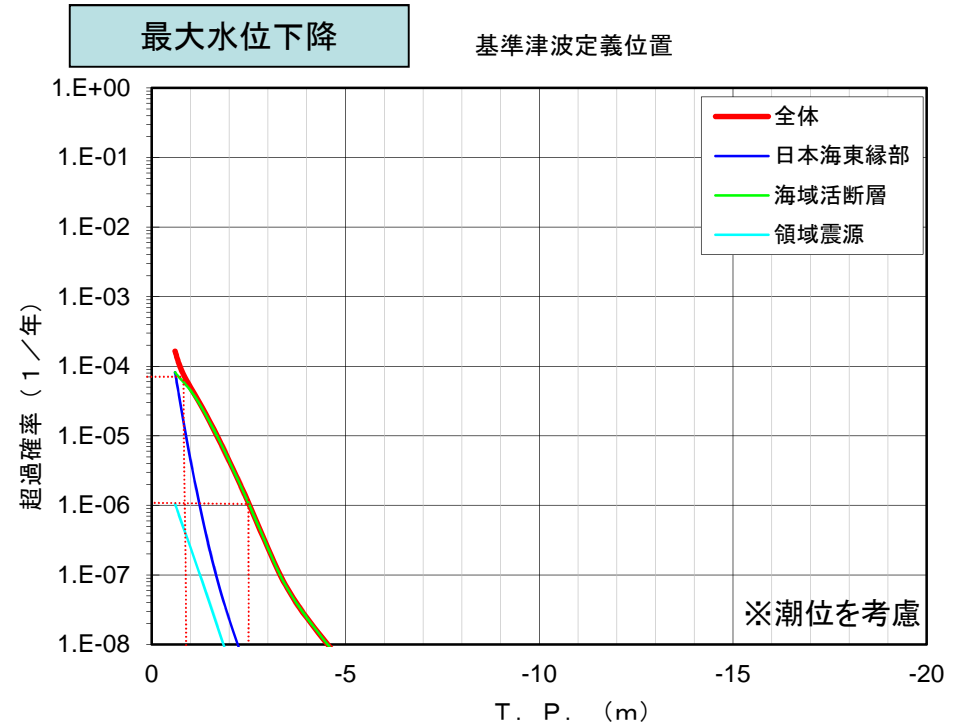
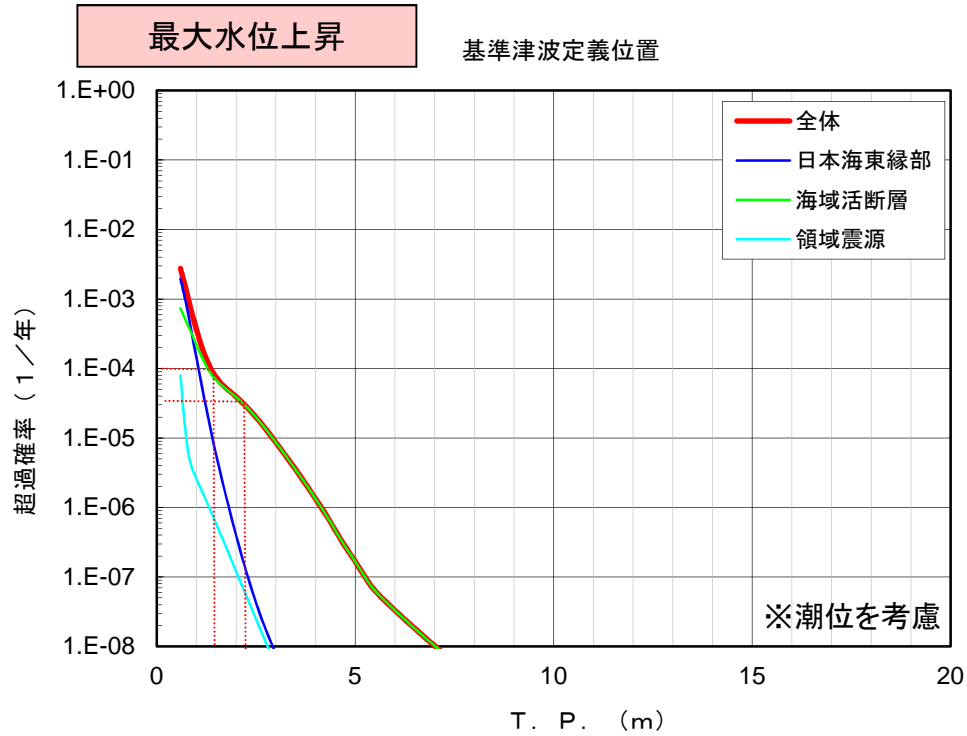
## 高浜発電所 津波ハザード評価結果

- ロジックツリーに基づき、モンテカルロシミュレーション(サンプル数:4,000)を用いて津波ハザード評価を行い、フラクタイル曲線、平均ハザード曲線として取りまとめた。
- なお、津波中央値計算に用いたモデルは、概略モデル(12.5mメッシュ)を用いており、取水口及び放水口前面において完全反射条件としている。



高浜発電所における評価地点(基準津波定義位置)

## 高浜発電所 津波ハザード評価結果(波源毎の平均ハザード曲線)

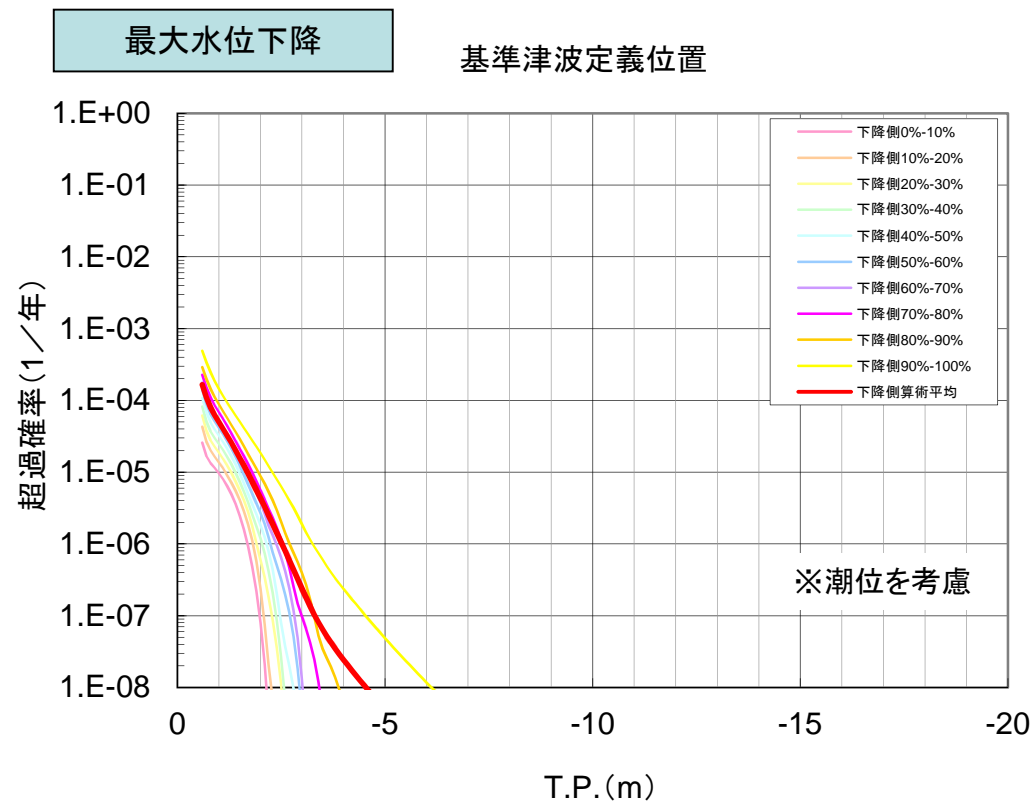
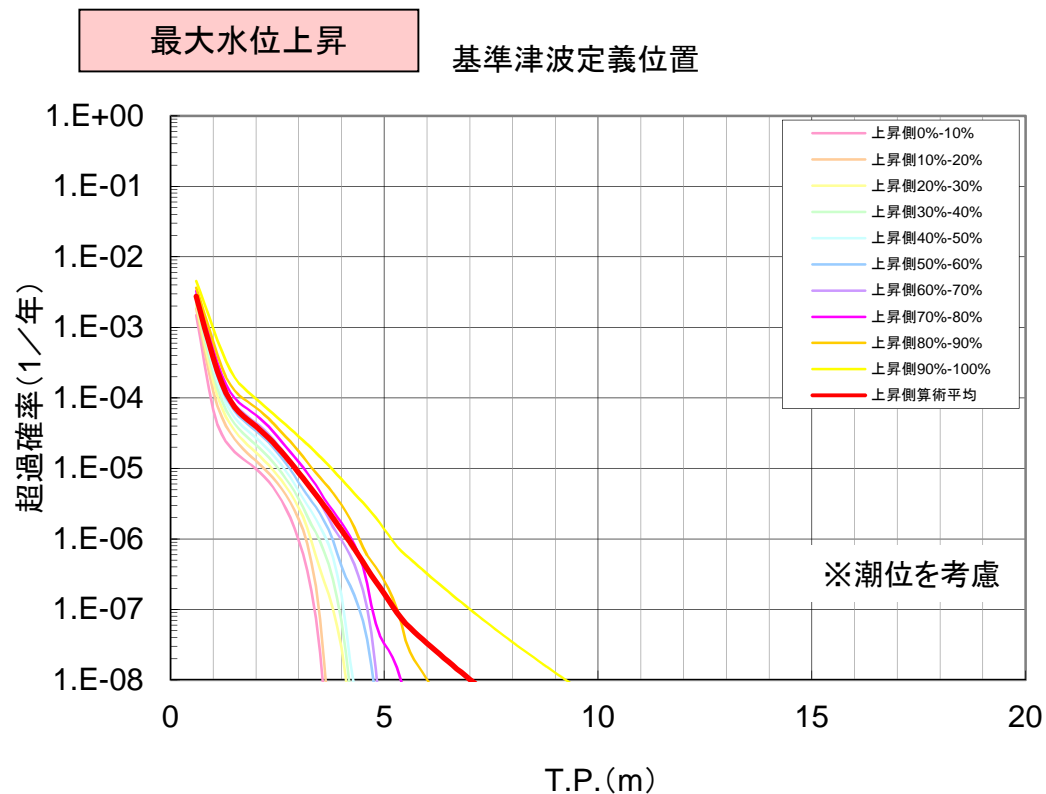


評価点		基準津波による水位	年超過確率(1/年) (平均ハザード曲線)
最大 水位 上昇側	基準津波1 定義位置 (水深55m)	T.P.+2.2m	$3.1 \times 10^{-5}$
	基準津波2 定義位置 (水深55m)	T.P.+1.4m	$9.1 \times 10^{-5}$

評価点		基準津波による水位	年超過確率(1/年) (平均ハザード曲線)
最大 水位 下降側	基準津波1 定義位置 (水深55m)	T.P.-2.5m	$1.1 \times 10^{-6}$
	基準津波2 定義位置 (水深55m)	T.P.-0.9m	$6.2 \times 10^{-5}$

- 基準津波定義位置における、各基準津波水位に対する年超過確率は、水位上昇側で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度、水位下降側で $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度である。
- 波源毎の平均ハザード曲線を確認した結果、 $10^{-4}$ 以上は日本海東縁部、 $10^{-4}$ 以下は海域活断層が支配的である。
- これは、日本海東縁部波源においては相対的に発生頻度が高く、海域活断層波源では逆の傾向となっているためと考えられる。

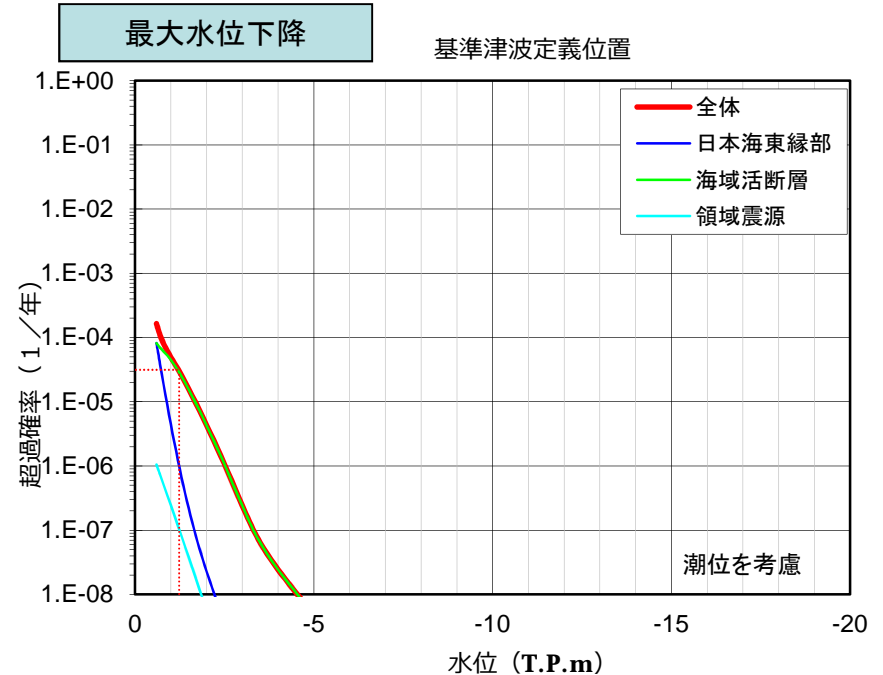
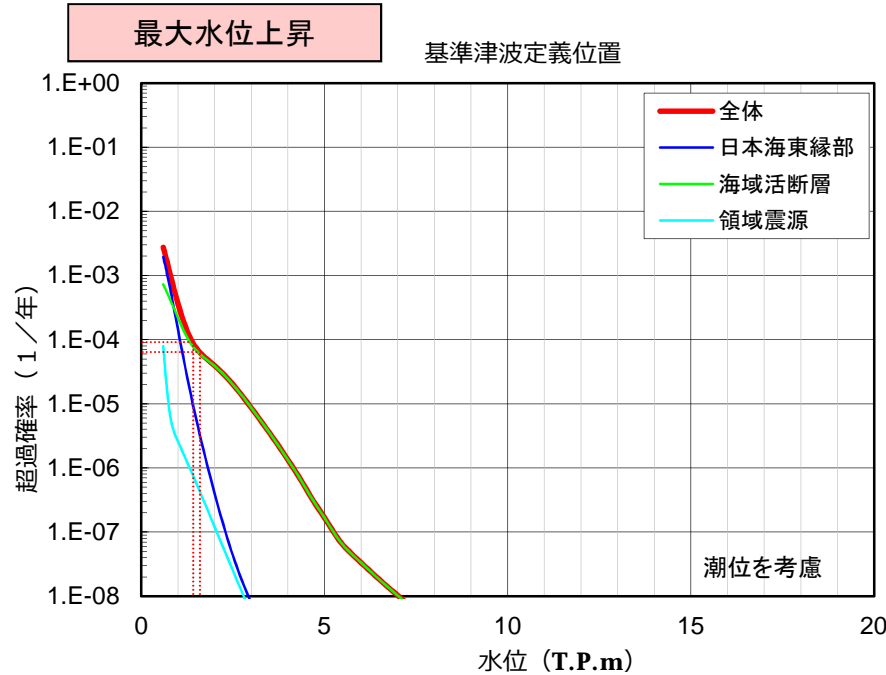
## 高浜発電所 津波ハザード評価結果(10%毎のフラクタイル曲線)





## 基準津波3及び基準津波4による水位の年超過確率に関する検討

### ●高浜発電所 津波ハザード評価結果(波源毎の平均ハザード曲線)



評価点 (基準津波定義位置:水深55m)		基準津波 による水位	年超過確率(1/年) (平均ハザード曲線)
最大水位 上昇側	基準津波3	T.P.+1.6m	$6.3 \times 10^{-5}$
	基準津波4	T.P.+1.4m	$9.1 \times 10^{-5}$

評価点 (基準津波定義位置:水深55m)		基準津波 による水位	年超過確率(1/年) (平均ハザード曲線)
最大水位 下降側	基準津波3	T.P.-1.2m	$3.2 \times 10^{-5}$
	基準津波4	T.P.-1.2m	$3.2 \times 10^{-5}$

- 確率論的津波ハザード評価において、海底地すべりについては発生頻度を設定することが難しいことから評価に含めないこととしている。
- 基準津波3及び基準津波4は海底地すべりによる津波であることから水位の年超過確率を求めることはできないが、基準津波3・基準津波4による水位は、ハザード曲線上では水位上昇側・水位下降側ともに年超過確率 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度に相当する。

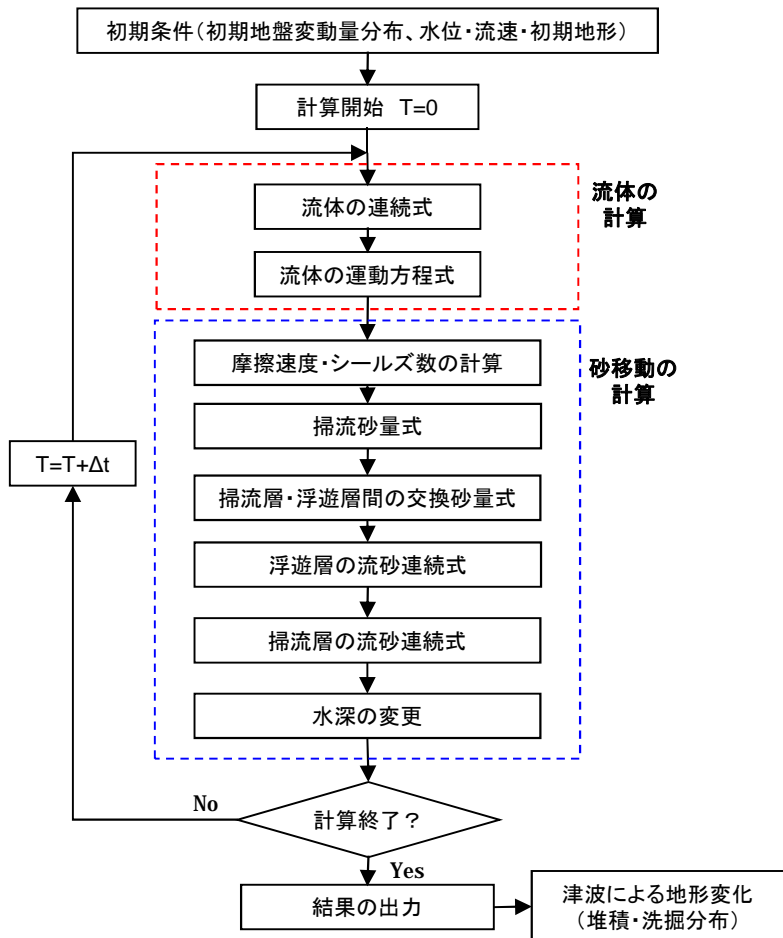
## 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 概要

○津波水位変動以外の事象に対する評価として、基準津波に伴う砂移動について評価を実施する。

○砂移動評価にあたっては、藤井他(1998)及び高橋他(1999)の手法に基づき、津波による砂の巻き上げ、沈降を考慮した移動床モデルによる数値シミュレーションを行った。

【数値シミュレーションのフロー】



	藤井他(1998)の手法	高橋他(1999)の手法
掃流層の流砂連続式	$\frac{\partial Z}{\partial t} + a \left( \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{E - S}{\sigma(1 - I)} = 0$	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1 - I} \left( \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{E - S}{\sigma} \right) = 0$
浮遊層の流砂連続式	$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} - \frac{E - S}{D} = 0$	$\frac{\partial(C_s D)}{\partial t} + \frac{\partial(MC_s)}{\partial x} - \frac{E - S}{s} = 0$
流砂量式	小林他(1996)の実験式 $Q = 80t_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$	高橋他(1999)の実験式 $Q = 21t_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$
浮遊砂層への巻き上げ量算定式	$E = \frac{(1 - a)Qw^2\sigma(1 - I)}{Uk_z \left[ 1 - \exp\left\{ \frac{-wD}{k_z} \right\} \right]}$	高橋他(1999)の実験式 $E = 0.012t_*^2 \sqrt{sgd} \cdot s$
沈降量の算定式	$S = wC_b$	$S = wC_s \cdot s$
摩擦速度の計算式	log-wake則 ( $u_* / U = k / \{\ln(h / Z_0) - 1\}$ に wake関数を付加した式)を鉛直方向に積分した式より算出	マンシング則より算出 $u_* = \sqrt{gn^2 U  U  / D^{1/3}}$

Z: 水深変化量(m)    t: 時間(s)    x: 平面座標    Q: 単位幅、単位時間当たりの掃流砂量(m<sup>3</sup>/s/m)  
 τ<sub>\*</sub>: シールズ数    σ: 砂粒の密度(g/cm<sup>3</sup>)    ρ: 海水の密度(g/cm<sup>3</sup>)    s: =σ/ρ-1  
 g: 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)    d: 砂の粒径(mm)    U: 流速(m/s)    D: 全水深(m)  
 η: Manningの粗度係数(=0.03m<sup>-1/3</sup>・s 土木学会(2016)より)    w: 土粒子の沈降速度(Rubey式より算出)(m/s)  
 α: 局所的な外力のみに移動を支配される成分が全粒砂量に占める比率(=0.1, 藤井他(1998)より)    κ: カルマン定数(=0.4, 藤井他(1998)より)  
 k<sub>z</sub>: 鉛直拡散係数(0.2κ・u<sub>\*</sub>・h, 藤井他(1998)より)(m<sup>2</sup>/s)    ks: 相当粗度(=d)(m)  
 h: 水深(m)    Z<sub>0</sub>: 粗度高さ(=ks/30)(m)    λ: 空隙率(=0.4, 高橋他(1992)より)  
 C, C<sub>s</sub>: 浮遊砂濃度, 底面浮遊砂濃度(浮遊砂層の連続式より算出)(kg/m<sup>3</sup>)

- 藤井直樹・大森政則・高尾誠・金山進・大谷英夫(1998):津波による海底地形変化に関する研究,海岸工学論文集,第45巻,pp.376-380.
- 小林昭男・織田幸伸・東江隆夫・高尾誠・藤井直樹(1996):津波による砂移動に関する研究,海岸工学論文集,第43巻,pp.691-695.
- 高橋智幸・今村文彦・首藤伸夫(1992):土砂移動を伴う津波計算法の開発,海岸工学論文集,第39巻,pp.231-235.
- 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔(1999):掃流砂層・浮遊層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発,海岸工学論文集,第46巻,pp.606-610.

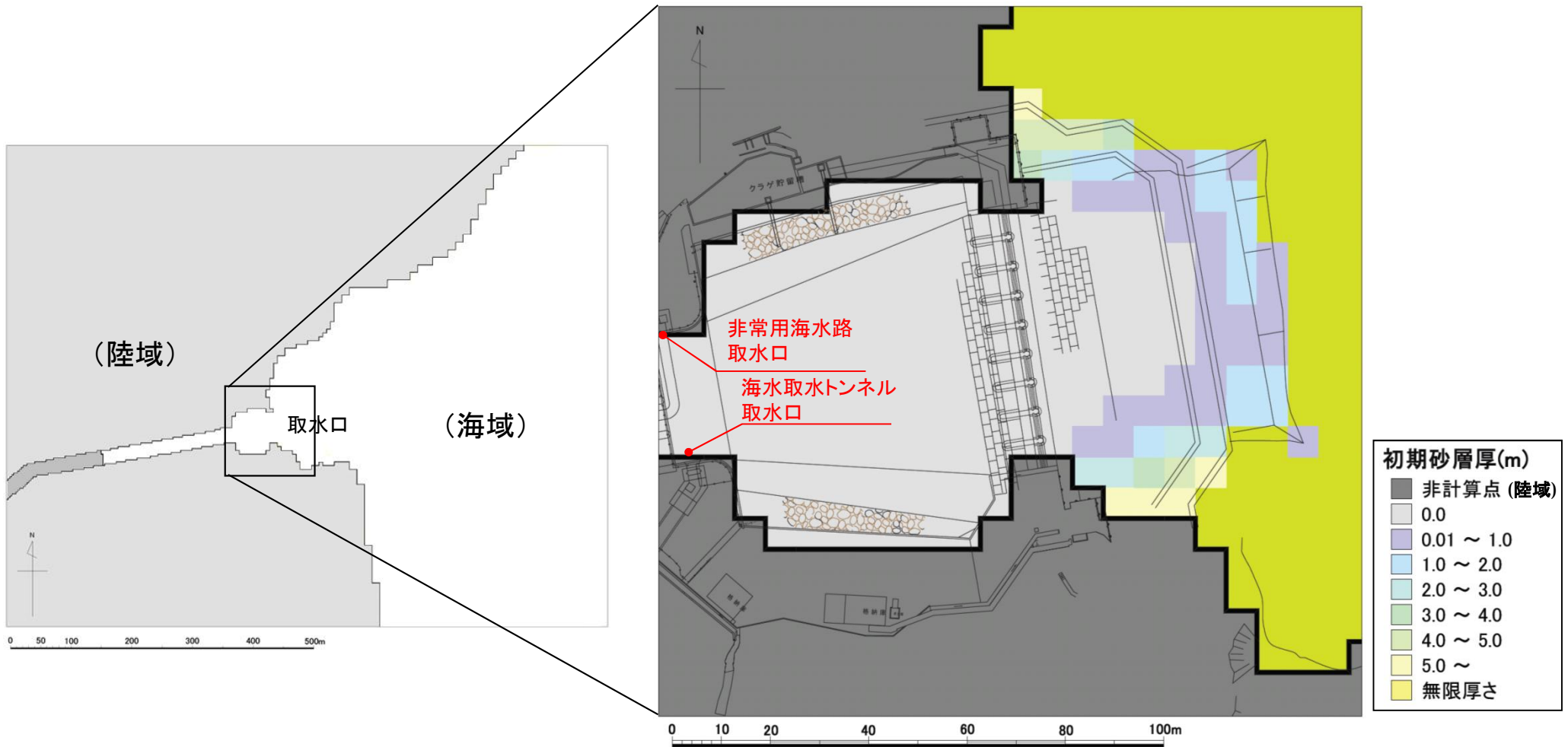
## 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

### 計算条件

設定項目	設定値
砂移動モデル	・藤井他(1998)による手法 ・高橋他(1999)による手法
解析領域	高浜発電所周辺海域(東西約11.4km、南北約10.2km)の範囲)
空間格子間隔	6.25m→3.125m
時間格子間隔	最小0.10秒
沖側境界条件	・津波の数値シミュレーションで得られる水位及び線流量を砂移動の数値シミュレーションの沖側境界条件とする ・解析領域境界での砂の流入出を考慮する
陸側境界条件	完全反射条件
浮遊砂体積濃度 上限値	藤井他(1998)の手法 1%, 5% 高橋他(1999)の手法 1%
砂の粒径	0.117mm (海底土質調査より設定)
砂粒の密度	2.686g/cm <sup>3</sup> (海底土質調査より設定)
海水の密度	1.03g/cm <sup>3</sup>
空隙率	0.4(高橋他(1992))
マンニングの粗度係数	0.03(土木学会(2016))
限界摩擦速度	岩垣式で算定
計算潮位	T.P.±0.0m
計算時間	地震発生後3.0時間
初期砂層厚	次ページのとおり

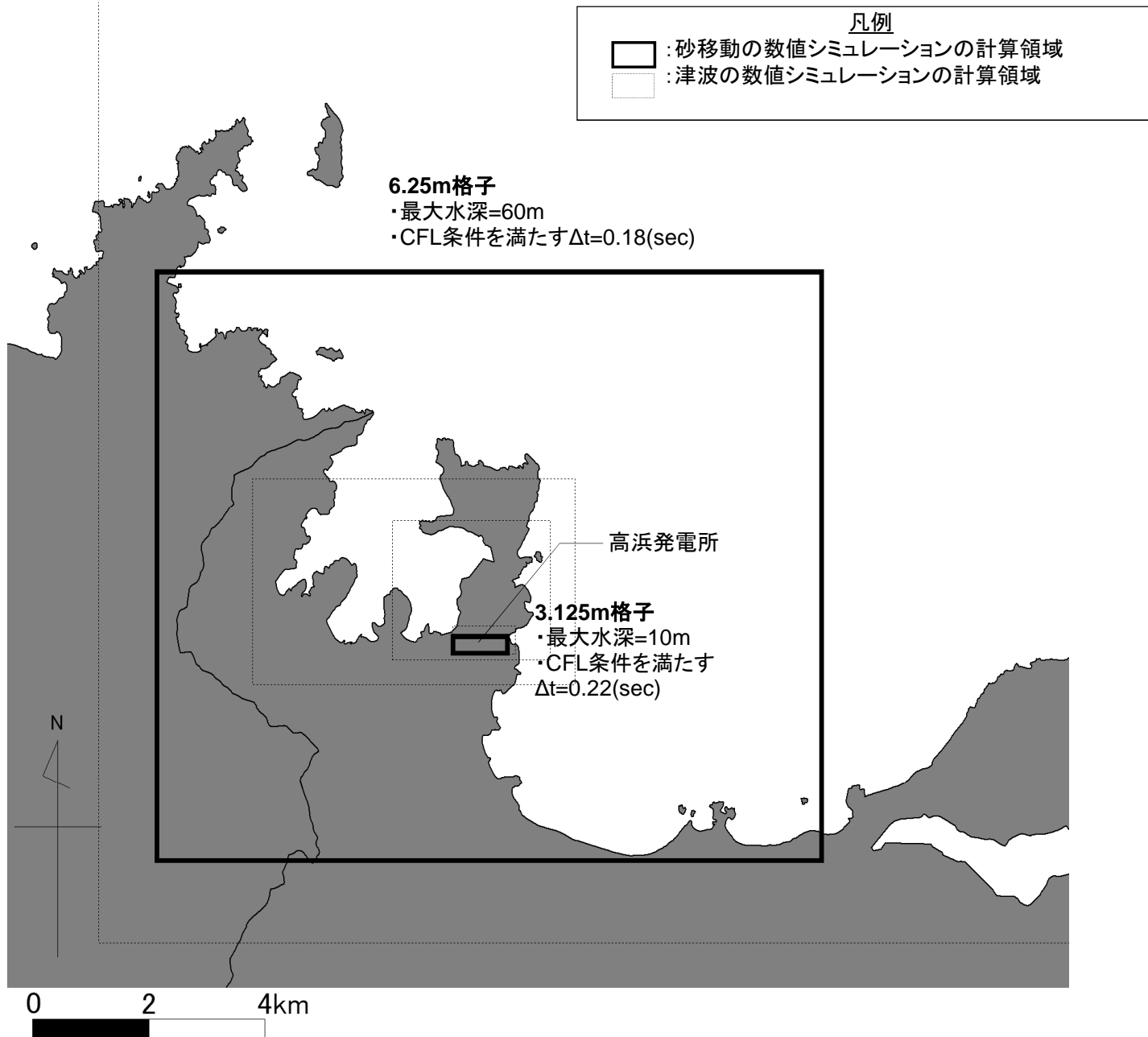
## 初期砂層厚の設定

- コンクリートブロック、捨石等による海底面被覆部を除いて沖合まで初期砂層厚は無限厚とする。
- 被覆部は、竣工図を基本とし、深浅測量の結果から砂の堆積が考えられる部分は初期砂層厚を設定し、被覆面天端以深には洗掘が生じないとする。

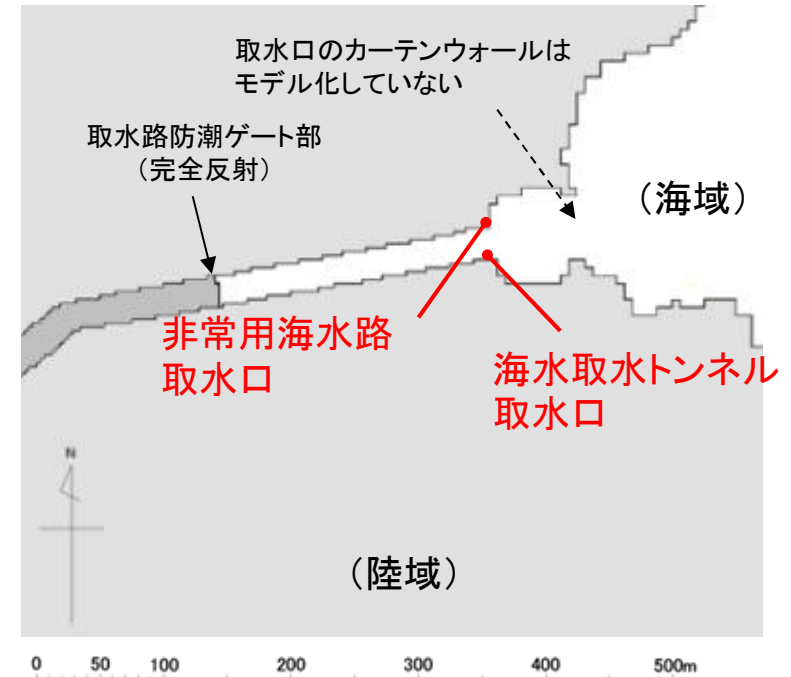
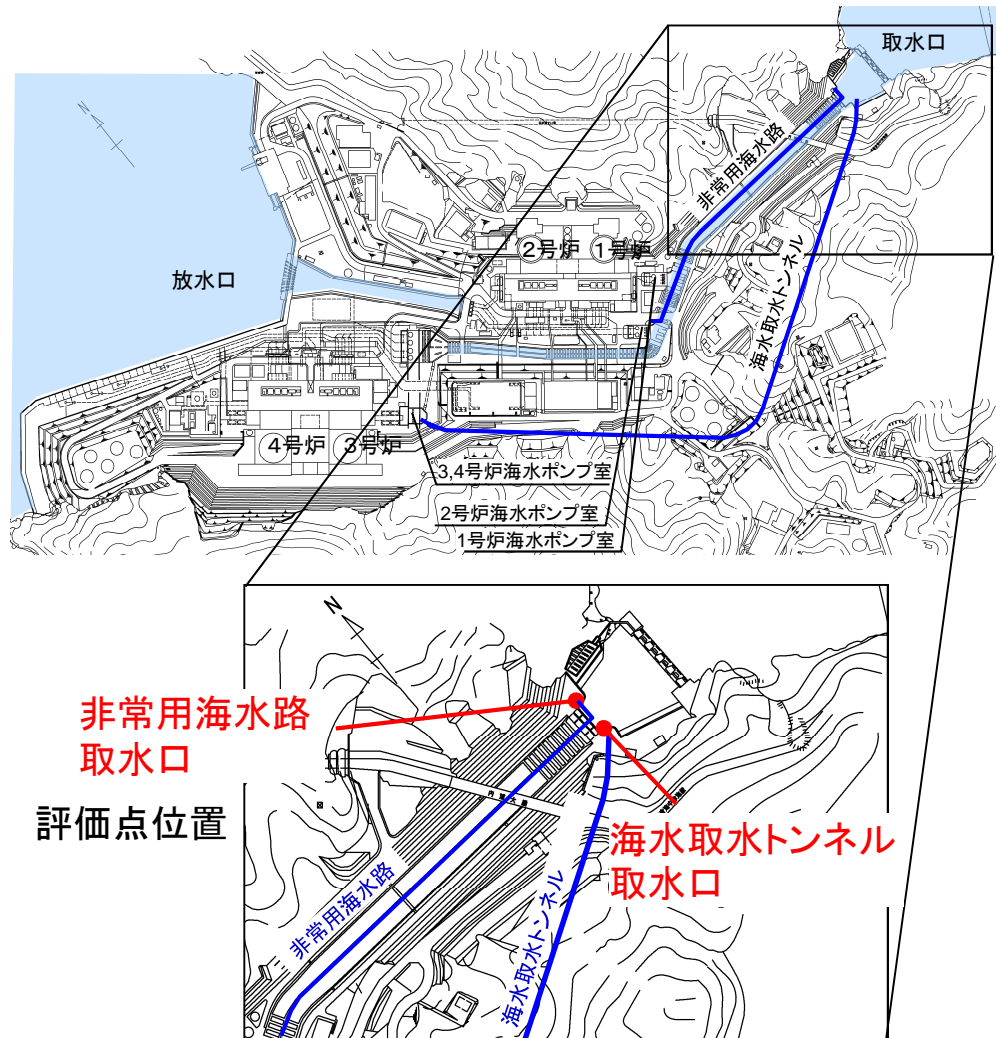


# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 計算領域及び空間格子間隔



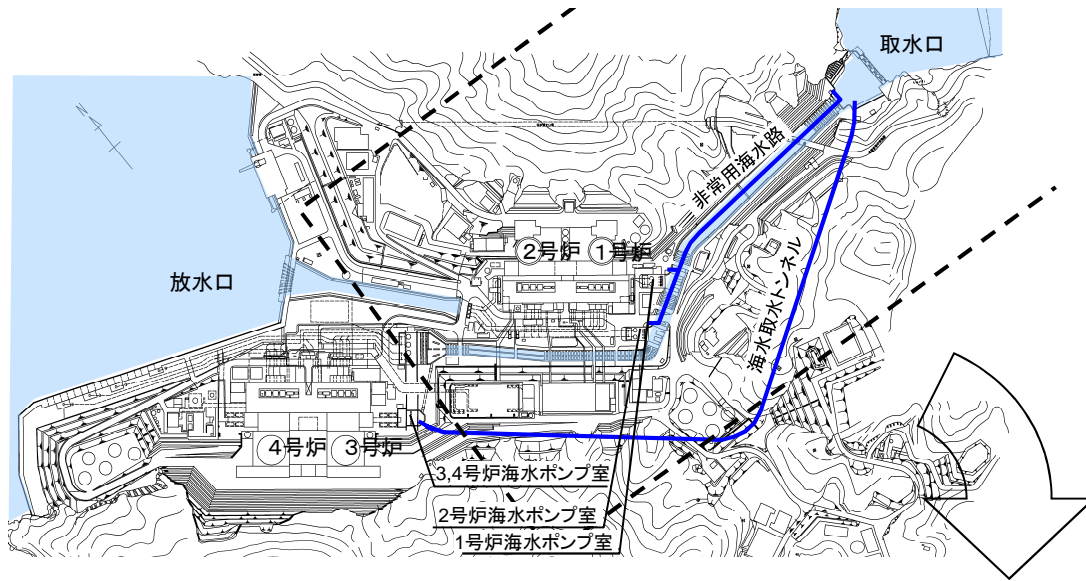
## 8. 津波に対する安全性(砂移動評価) 評価点と周辺のモデル化(基準津波1)



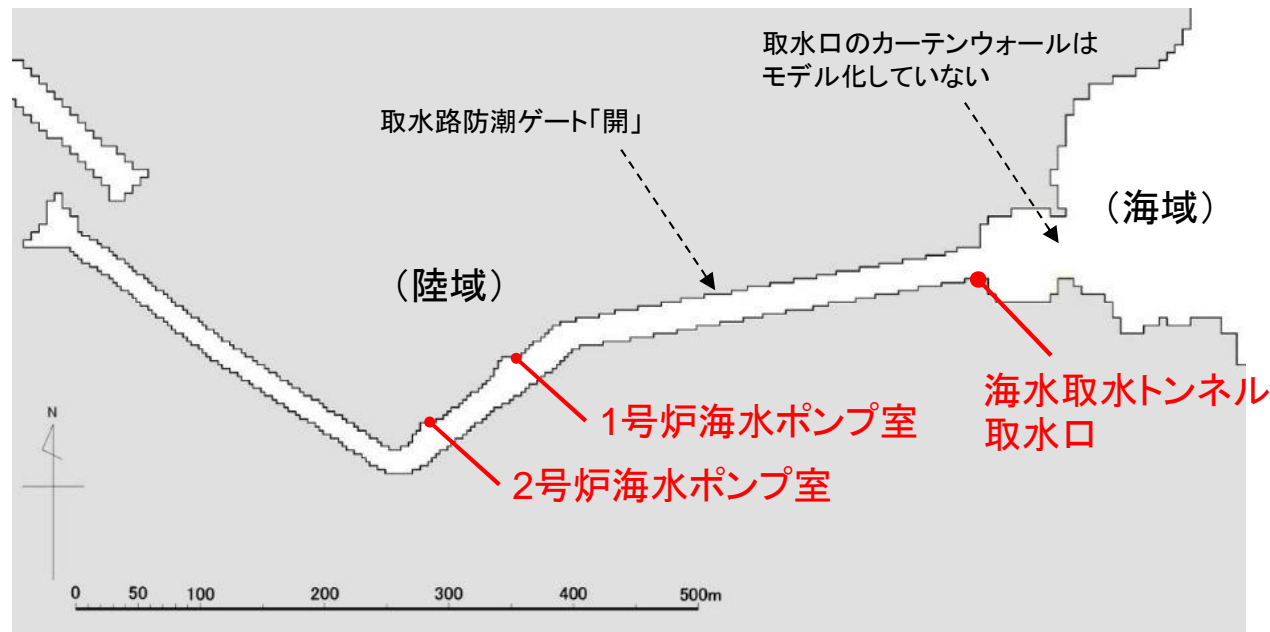
周辺のモデル化

- 基準津波1来襲時には取水路防潮ゲートを閉塞するため、取水路防潮ゲート部までをモデル化し、全ての陸域境界で完全反射条件とする。
- 取水口のカートンウォール、非常用海水路、海水取水トンネルはモデル化していない。
- 非常用海水路取水口及び海水取水トンネル取水口を評価点とし、1号炉、2号炉、3,4号炉の各海水ポンプ室における堆積量は別途計算する。

# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価) 評価点と周辺のモデル化(基準津波2)



- 基準津波2来襲時には取水路防潮ゲートを閉塞できないため、取水路内をモデル化し、全ての陸域境界で完全反射条件とする。
- 取水口のカーテンウォール、非常用海水路、海水取水トンネルはモデル化していない。
- 1号炉及び2号炉海水ポンプ室ならびに海水取水トンネル取水口を評価点とし、3,4号炉海水ポンプ室における堆積量は別途計算する。

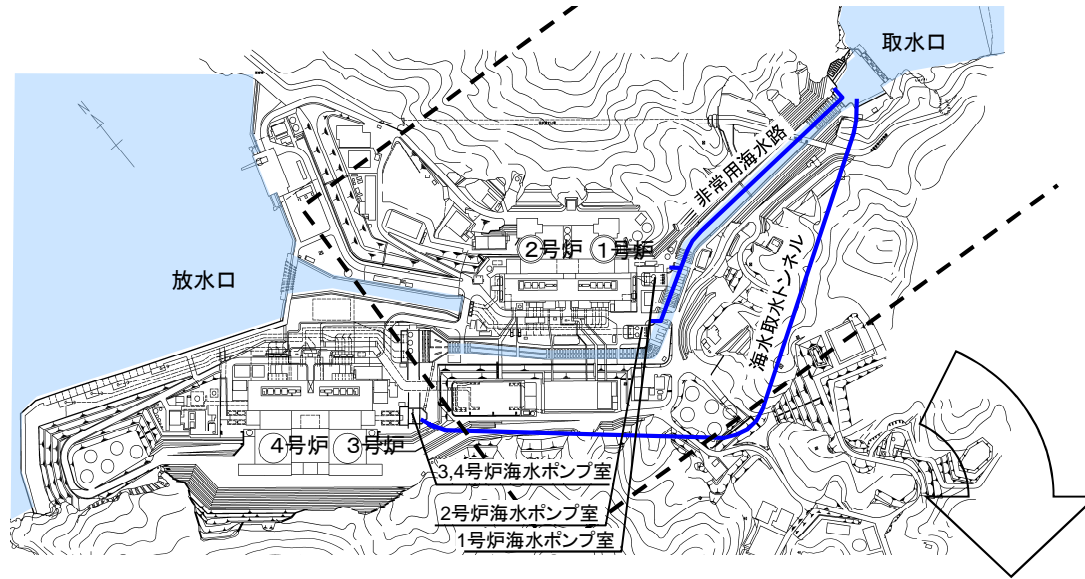


周辺のモデル化

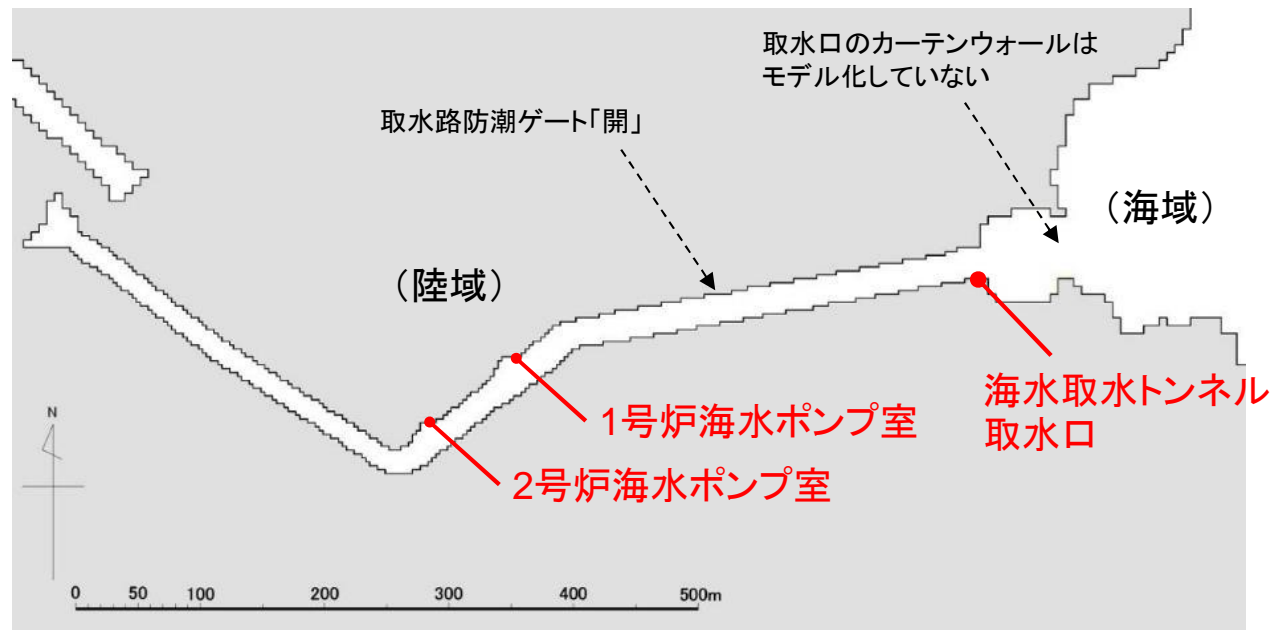


## 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

### 評価点と周辺のモデル化(基準津波3、基準津波4)



- 基準津波3及び基準津波4の来襲時には取水路防潮ゲートを閉塞できないため、取水路内をモデル化し、全ての陸域境界で完全反射条件とする。
- 取水口のカーテンウォール、非常用海水路、海水取水トンネルはモデル化していない。
- 1号炉及び2号炉海水ポンプ室ならびに海水取水トンネル取水口を評価点とし、3,4号炉海水ポンプ室における堆積量は別途計算する。



周辺のモデル化

## 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 高橋(2012)に述べられている高橋他(1999)の手法の課題

## 4. 数値モデルの課題

高橋ら(1999)によるモデルの課題を以下に列記する。  
 ① 現行モデルでは単一粒径の砂を仮定している。しかし、実海岸は混合砂で形成されているため、混合砂を取り扱えるモデルが必要である。高橋ら(2011)は津波による砂移動を再現するための大型実験水路を開発して、粒径ごとの水理実験を実施した。その結果、以下の値を得ており、これらを用いたモデルの拡張が期待される。

$$\alpha = \begin{cases} 5.6 & (d=0.166\text{mm}) \\ 4.0 & (d=0.267\text{mm}) \\ 2.6 & (d=0.394\text{mm}) \end{cases} \quad (8)$$

$$\beta = \begin{cases} 7.0 \times 10^{-5} & (d=0.166\text{mm}) \\ 4.4 \times 10^{-5} & (d=0.267\text{mm}) \\ 1.6 \times 10^{-5} & (d=0.394\text{mm}) \end{cases} \quad (9)$$

・現行モデルでは、<sup>②</sup>せん断応力の計算にManning則(式(2)および式(3)の左辺第5項)を用いているが、全水深が小さい場合に底面でのせん断応力を過大に評価する傾向がある。特に遡上時にはこの傾向が強くなるため、津波堆積物のシミュレーションにおいてはせん断応力の計算方法を見直して、流速の鉛直分布を考慮することが必要である。

・底面でのせん断応力の増加に伴い浮遊砂層に巻き上げ砂が供給され、浮遊砂濃度が増大する。浮遊砂濃度が極めて大きくなると、乱れ強度が抑制され、浮遊砂を保持する力が減少すると考えられる。従来の河川流や波浪を対象とした場合では浮遊砂が希薄であるため問題にならないが、<sup>③</sup>津波の場合は巻き上げ砂が過大に見積もられる危険性がある。そのため、浮遊砂濃度の上限を便宜的に導入しているが、物理的なメカニズムを考慮した飽和浮遊砂濃度のモデル化が必要である。飽和浮遊砂濃度を水理実験で発生させることは難しいため、固液混相流に関する砂粒子レベルの数値実験が期待される。

・複雑な実地形や波形勾配が大きな津波を対象とした場合、<sup>④</sup>流速が時空間的に急激に変化することがあり、せん断応力の不連続性が強くなることがある。そのような流況が発生すると、現行モデルでは計算が不安定になりやすいため、計算スキームの改良が必要である。

⑤ 固定床計算領域(流水のみを計算する領域)と移動床計算領域(流水と流砂の両方を計算する領域)の境界条件が確立されていない。特に浅海域では流砂量の不連続が生じて、計算の不安定性を招きやすいため、物理的な境界条件の検討と計算スキームの改良が必要である。

高橋智幸: 津波による砂移動に関する数値シミュレーションの現状と課題, 堆積学研究, 第71巻, 2号, pp.149-155, 2012

- ① 粒径依存性(高橋他(2011)において提案)
- ② Manning則による全水深が小さい場合の底面のせん断応力の過大評価(特に遡上時)
- ③ 便宜的に導入している浮遊砂濃度の上限値の物理的メカニズムを考慮したモデル化
- ④ 複雑な実地形や波形勾配が大きな津波を対象とする場合の計算の不安定性
- ⑤ 固定床計算領域と移動床計算領域の境界条件の確立

②、③では巻き上げ砂が過大に見積もられる危険性があるとされていると述べられており、便宜的に導入している浮遊砂濃度上限値については、適切に設定する必要があると考えられる。

# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 砂移動モデルの検証事例

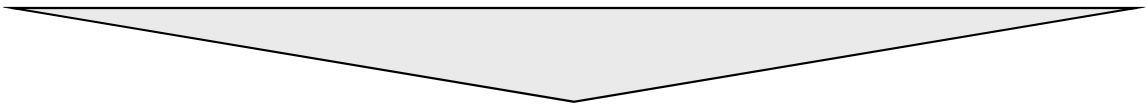
文献	実規模検証	計算使用 砂粒径	計算格子 間隔	計算手法		浮遊砂濃度上限に関する知見等
				砂移動 モデル	浮遊砂 濃度上限	
玉田他 (2009)	気仙沼湾 (チリ津波)	0.001mm ~1mm	25m 5m	高橋他 (1999)	1% 5%	・詳細格子計算の結果、浮遊砂濃度上限5%では実績値より浸食深を過大評価
藤田他 (2010)	八戸港 (チリ津波)	0.26mm	10.3m	高橋他 (1999)	1% 2% 5%	・浮遊砂濃度上限5%は過大評価 ・浮遊砂濃度上限1~2%の場合の再現性が良好
近藤他 (2012)	宮古港 (東北地方太平洋沖地震津波)	0.08mm	10m	高橋他 (1999)	1%	・全体的な土砂移動傾向は良く一致 ・最大洗掘深や断面地形も定量的に概ね良い一致
森下他 (2014)	気仙沼湾 (東北地方太平洋沖地震津波)	0.3mm	10m	高橋他 (1999)	1% 可変※1	・砂移動評価に支配的な影響を与えるパラメータとして、無次元掃流力、流砂量式係数、浮遊砂濃度上限の3つを抽出 ・上記3パラメータを同時に変えたモデルにより、再現性が向上する可能性を示唆。 ・浮遊砂濃度上限については、摩擦速度の関数とすることで再現性が向上する可能性を示唆
Sugawara他 (2014-a)	仙台平野(名取川周辺) (東北地方太平洋沖地震津波)	0.25mm	—	高橋他 (2011)	1%	・高橋他(2011)の手法による、浮遊砂濃度上限を1%とした設定で海岸付近と砂州の陸上部の浸食について、観測結果を非常によく表現
Sugawara他 (2014-b)	仙台平野 (東北地方太平洋沖地震津波)	0.166mm 0.267mm 0.394mm	最小5m	高橋他 (2011)	1% 2% 4%	・高橋他(2011)の手法により、粒径や浮遊砂濃度上限等を変えたパラメータスタディを実施し、陸上遡上域を含め、上限2%で地形変化を良好に再現
山下他 (2015)	陸前高田市(広田湾) (東北地方太平洋沖地震津波)	0.267mm	—	高橋他 (2011)	可変※2,3	・高橋他(2011)の手法を用いて、地形変化量や海域における堆積土砂の分布傾向を良好に再現 ・高橋他(1999)の手法では、砂巻上げ量が著しく過大で地形変化の再現が困難(学会口頭発表後のやりとりにて言及)
今井他 (2015)	北上川河口部 (東北地方太平洋沖地震津波)	0.166mm 0.267mm 0.394mm	最小5m	高橋他 (2011)	可変※3	・高橋他(2011)の手法を用いて、浮遊砂濃度上限を流速と水深に応じた関数で設定した解析モデルにより、地形変化を良好に再現

※1: 試行的に  $C_{sat} = \alpha \times \sqrt{U^2 \times V^2}$  と規定。(  $C_{sat}$ : 飽和浮遊砂濃度,  $U, V$ : 断面平均流速(m/s),  $\alpha=0.01$ ) ※2: 今井他(2015)と同じ関係式を用いている

※3: 
$$C_s \approx \frac{\rho_s \rho_w}{\rho_s - \rho_w} \left( \frac{h^{\frac{4}{3}} W_s}{e_s n^2 u^3} - 1 \right)^{-1}$$
 と設定。  
 $C_s$ : 飽和土砂濃度(kg/m<sup>3</sup>)、 $\rho_s$ : 土砂の密度(kg/m<sup>3</sup>)、 $\rho_w$ : 水の密度(kg/m<sup>3</sup>)、 $h$ : 水深(m)、 $W_s$ : 土砂沈降速度(m/s)、 $e_s$ : 土砂の巻上げ効率、  
 $n$ : マニングの粗度係数(m<sup>-1/3</sup>・s)、 $u$ : 土砂を含む断面平均流速(m/s)

### 高橋他(1999)の手法に用いる浮遊砂濃度上限値

- 高橋他(1999)に関する検証事例(玉田他(2009), 藤田他(2010), 近藤他(2012))によれば、浮遊砂濃度上限は5%は明らかに過大評価となり、1%程度が妥当であると考えられる。
- 近年の研究成果によると、高橋他(2011)の手法を用いることで、平野や河口部など、より広域な砂移動に伴う地形変化の再現性が向上することが報告されている。
- 高橋他(2011)の手法は、高橋(1999)の手法で提案された流砂量式、浮遊砂層への巻き上げ量算定式の係数を実験結果に基づき高度化したもので、特にシールズ数が1を超える海域においては、高橋(1999)の手法の方が保守的な評価となる。
- 今井他(2015)により、高橋他(2011)の手法に浮遊砂濃度上限を流速と水深に応じた関係式で与えることで、良好な地形変化の再現性が得られることが示されている。この結果を踏まえると、高橋他(2011)の手法よりも著しく砂の移動量が大きい高橋他(1999)の手法に浮遊砂濃度上限を1%とした設定を用いることで、保守的な評価が得られると考えられる。

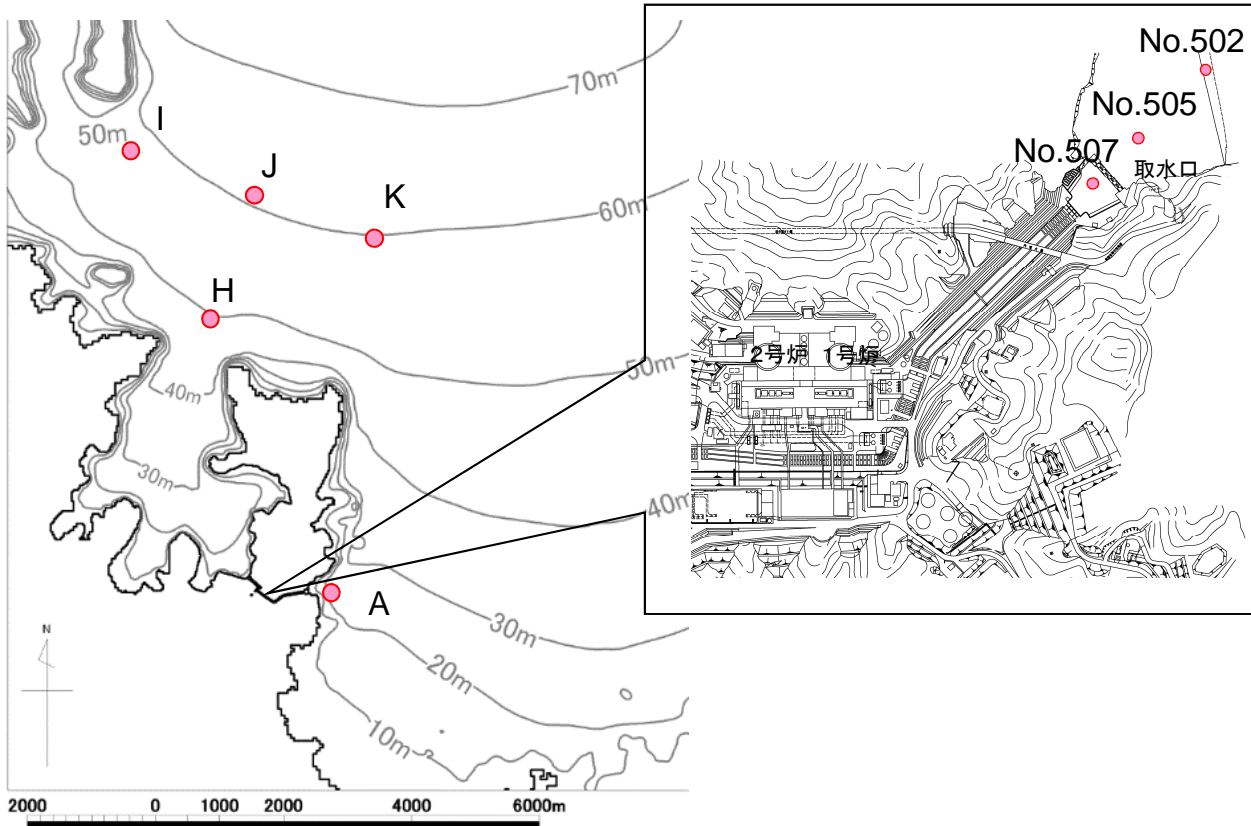


高橋他(1999)の手法に用いる浮遊砂濃度上限値は1%とする。

## 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

### 粒径、密度の設定

- 発電所建設時の海底土質調査を基に、砂の粒径、密度を設定。
- 粒径については、代表して中央粒径(D50)を用いる。
- 砂移動に寄与が大きい範囲として、海底面より1mの深さまでの調査結果を対象とする。
- 各試料の粒径、密度をデータを平均した値を用いる。



試料採取位置

試料番号	中央粒径 (mm)	砂粒の密度 (g/cm <sup>3</sup> )
A-1	0.163	2.684
A-2	0.079	2.692
A-3	0.164	2.666
H-1	0.136	2.622
H-2	0.042	2.714
H-3	0.046	2.755
I-1	0.082	2.698
J-1	0.032	2.732
K-1	0.131	2.654
No.502	0.120	2.669
No.505	0.220	2.679
No.507	0.190	2.671

平均

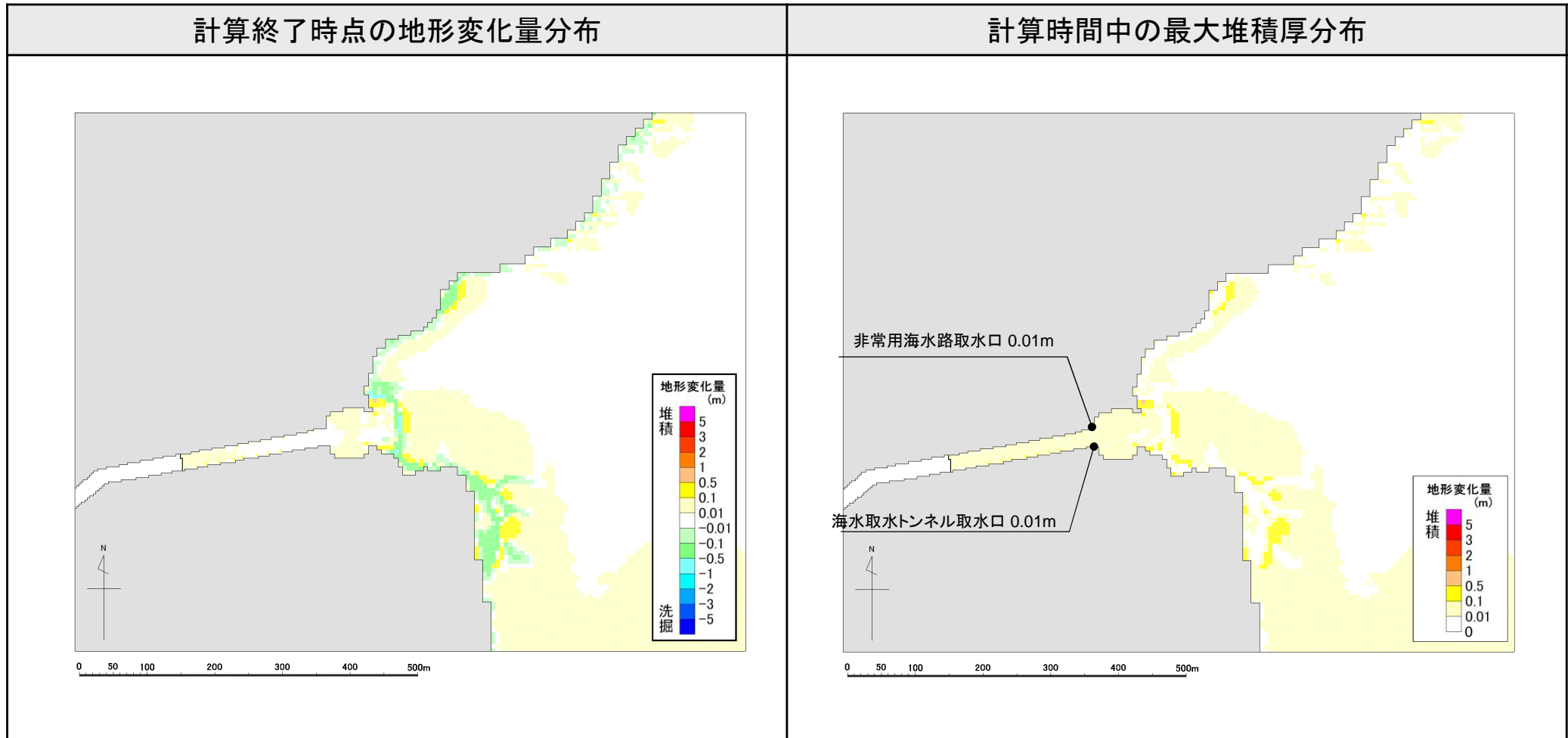
評価に用いる数値

粒径 (mm)	砂粒の密度 (g/cm <sup>3</sup> )
0.117	2.686

# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 計算結果 基準津波1

波源	基準津波1: 若狭海丘列付近断層と隠岐トラフ海底地すべり(エリアB(Kinematic; 78秒ずれ))		
砂移動モデル	藤井他(1998)の手法	浮遊砂体積濃度上限値	1%

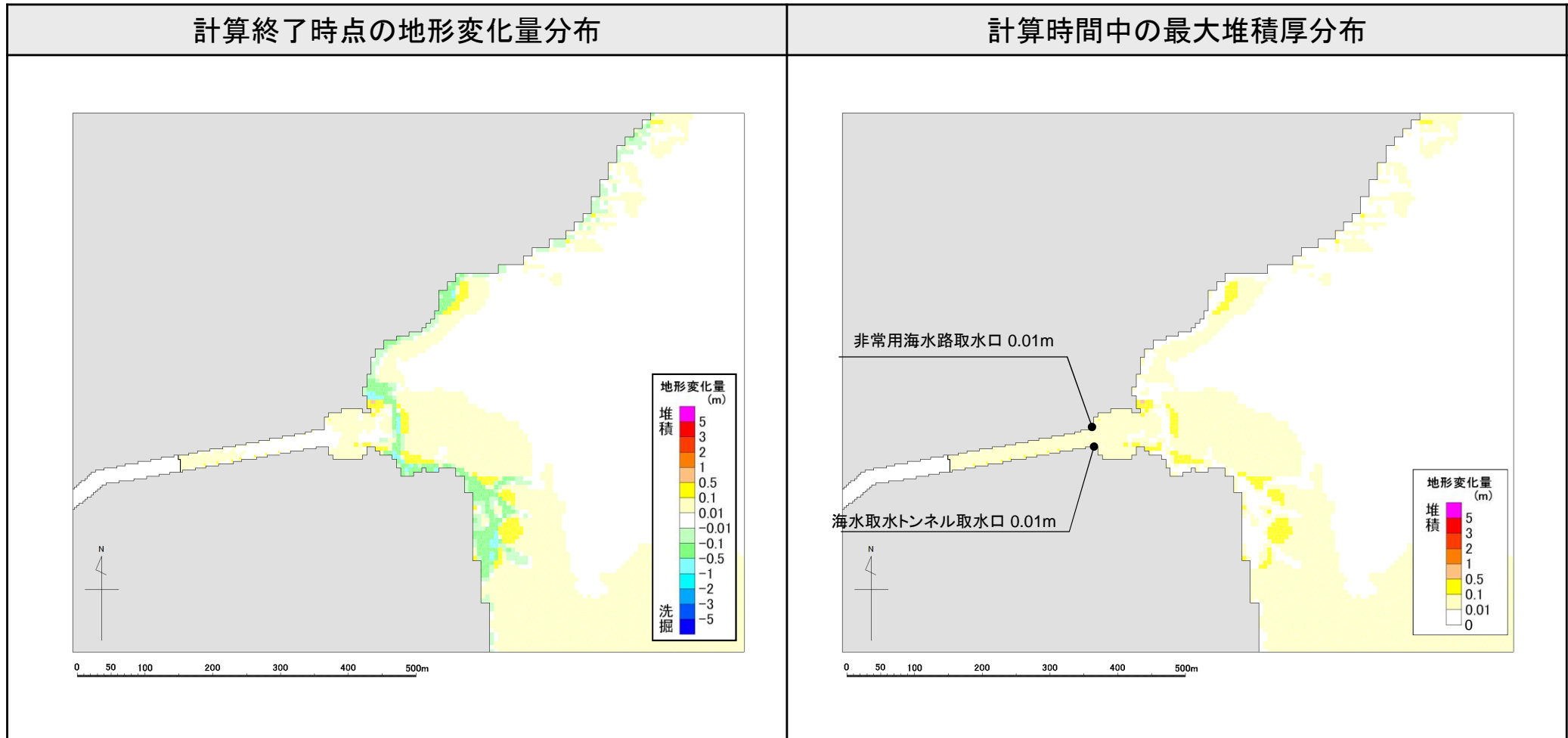


評価点付近における堆積は、0.01m程度である

# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 計算結果 基準津波1

波源	基準津波1: 若狭海丘列付近断層と隠岐トラフ海底地すべり(エリアB(Kinematic; 78秒ずれ))		
砂移動モデル	藤井他(1998)の手法	浮遊砂体積濃度上限値	5%



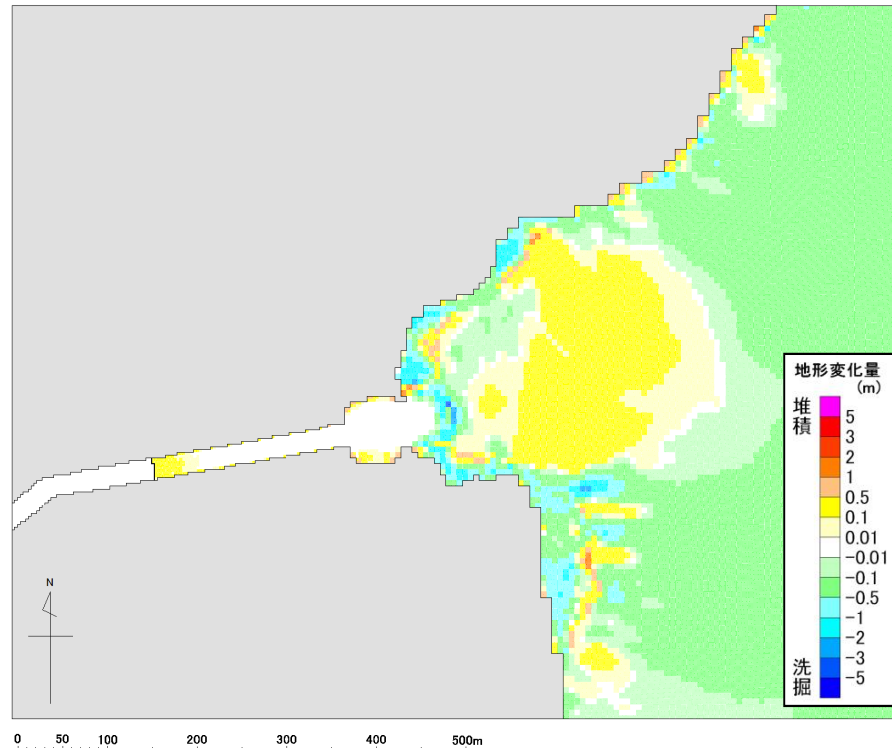
評価点付近における堆積は、0.01m程度である

# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

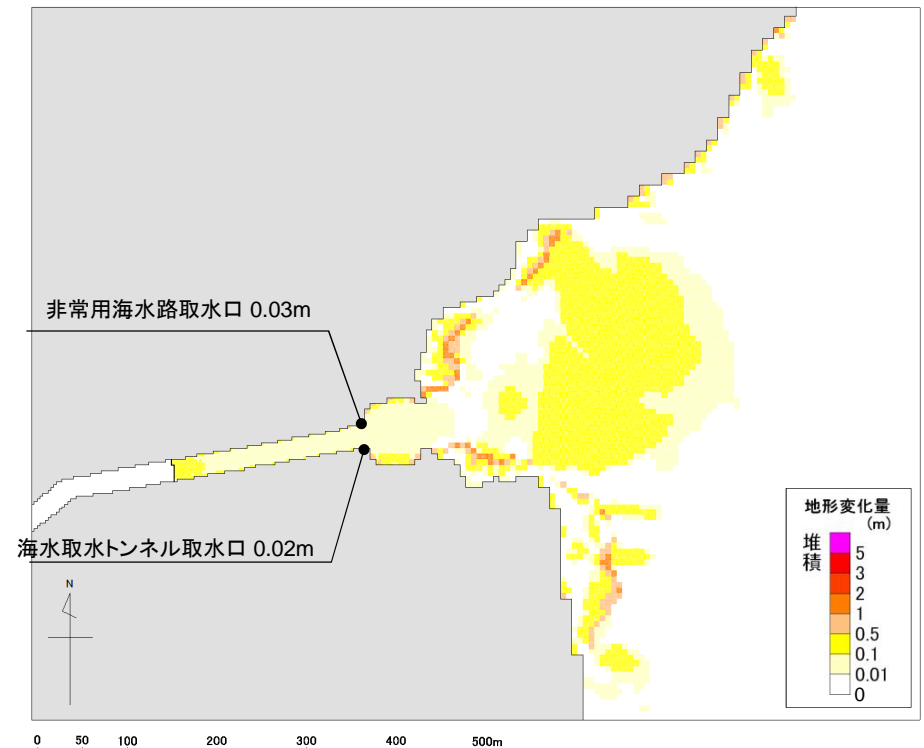
## 計算結果 基準津波1

波源	基準津波1: 若狭海丘列付近断層と隠岐トラフ海底地すべり(エリアB(Kinematic; 78秒ずれ))		
砂移動モデル	高橋他(1999)の手法	浮遊砂体積濃度上限値	1%

計算終了時点の地形変化量分布



計算時間中の最大堆積厚分布



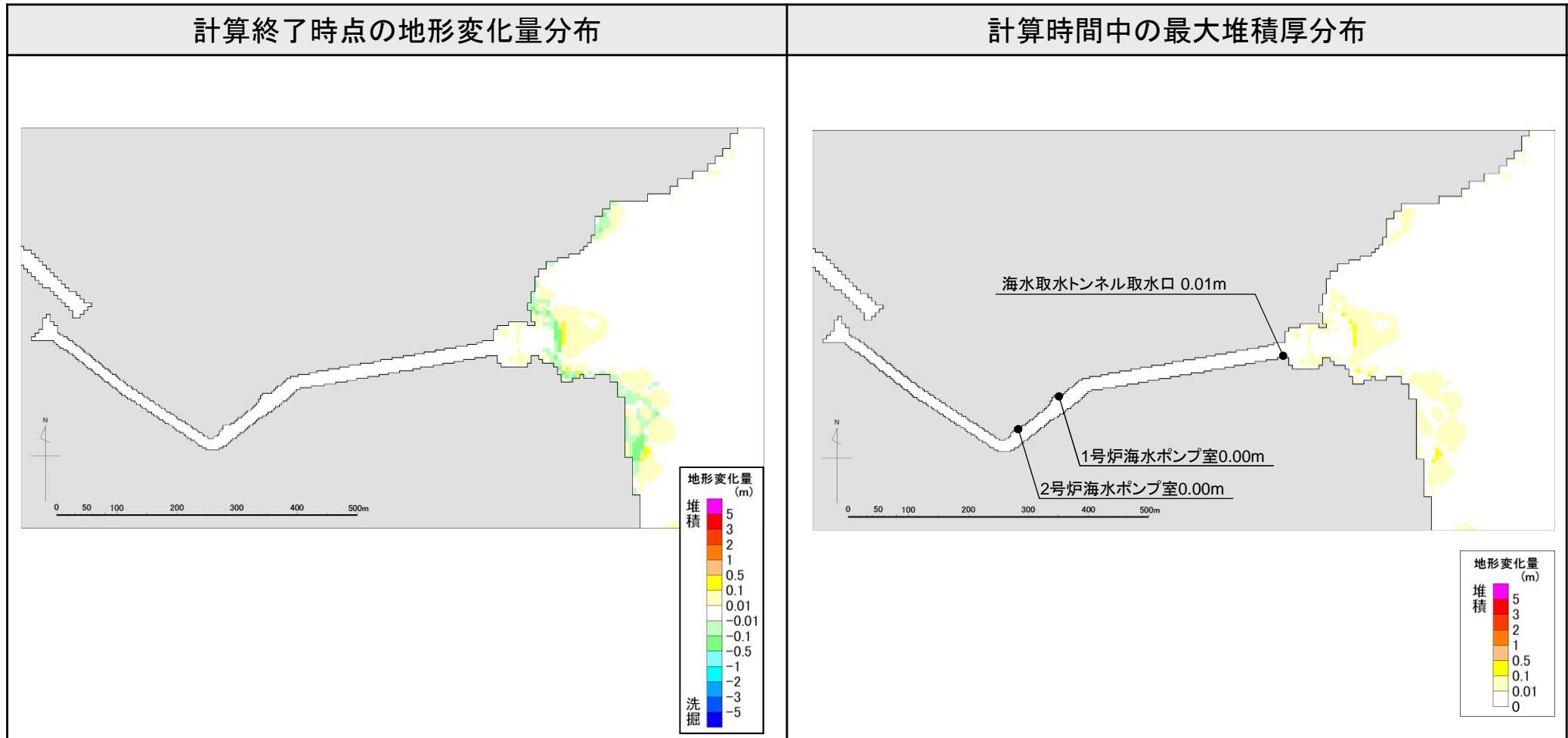
評価点付近における堆積は、最大で0.03m程度である



# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 計算結果 基準津波2

波源	基準津波2: FO-A~FO-B~熊川断層と陸上地すべり(No.14(運動学的手法;54秒ずれ))		
砂移動モデル	藤井他(1998)の手法	浮遊砂体積濃度上限値	1%

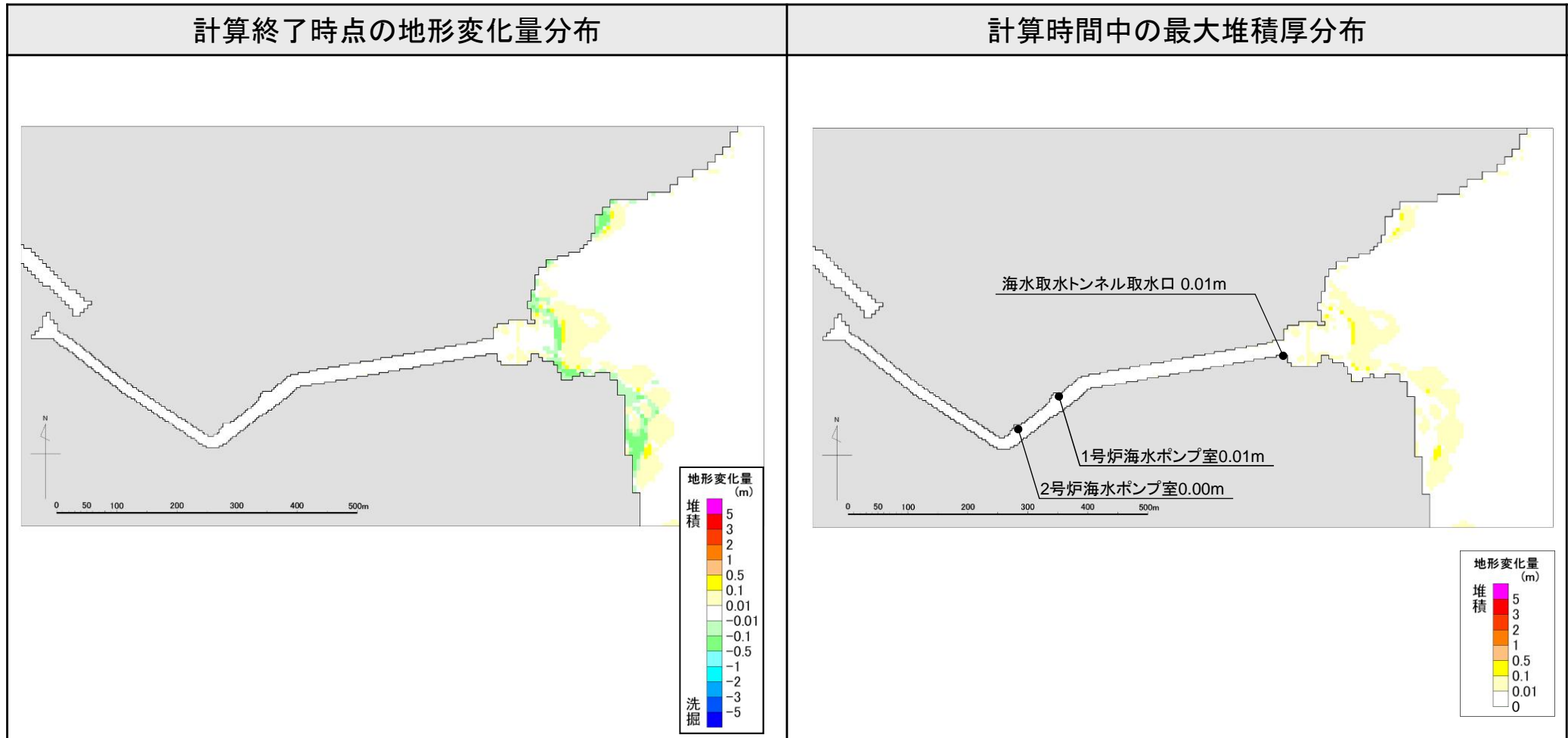


評価点付近における堆積は、最大で0.01m程度である

# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 計算結果 基準津波2

波源	基準津波2: FO-A~FO-B~熊川断層と陸上地すべり(No.14(運動学的手法;54秒ずれ))		
砂移動モデル	藤井他(1998)の手法	浮遊砂体積濃度上限値	5%

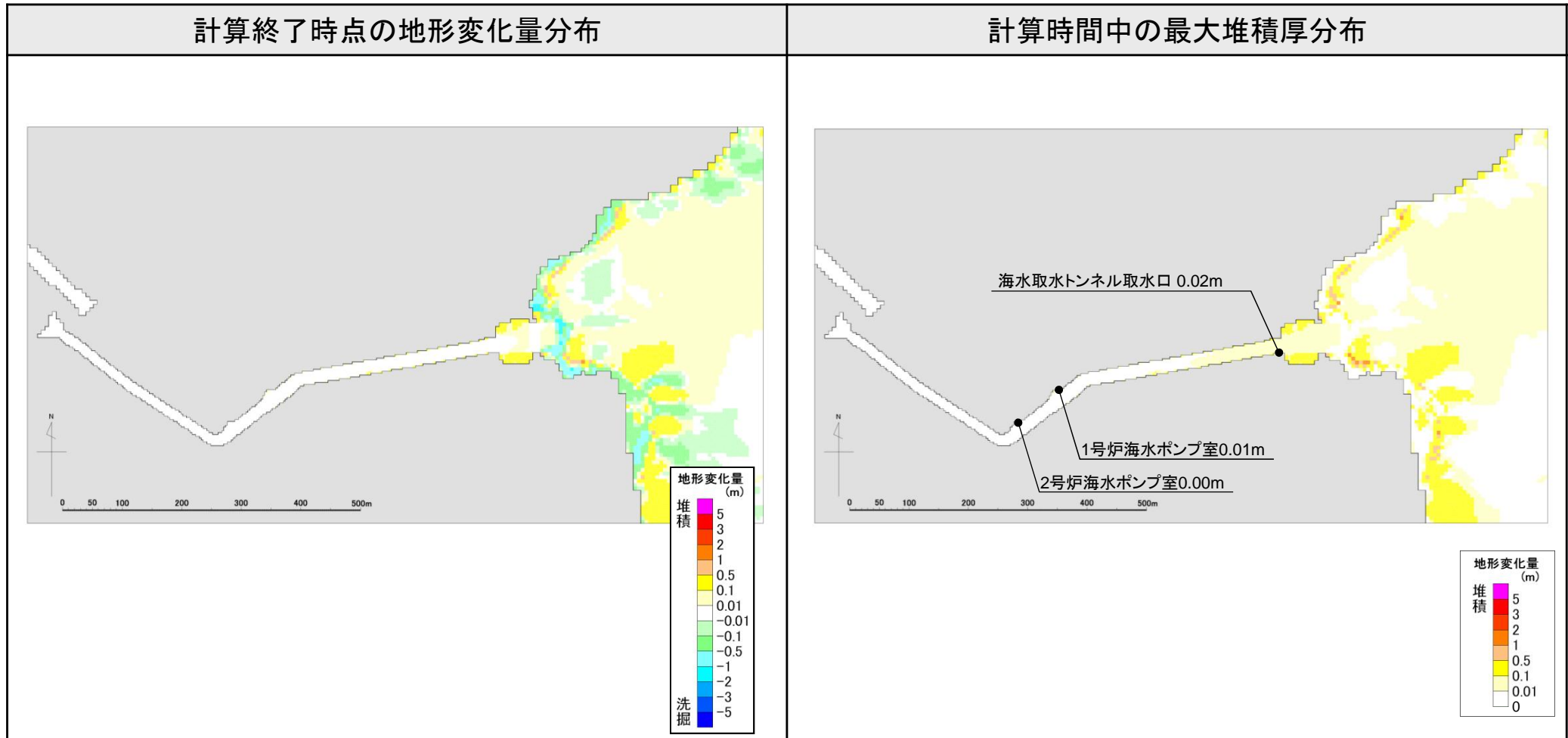


評価点付近における堆積は、最大で0.01m程度である

# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 計算結果 基準津波2

波源	基準津波2: FO-A~FO-B~熊川断層と陸上地すべり(No.14(運動学的手法;54秒ずれ))		
砂移動モデル	高橋他(1999)の手法	浮遊砂体積濃度上限値	1%

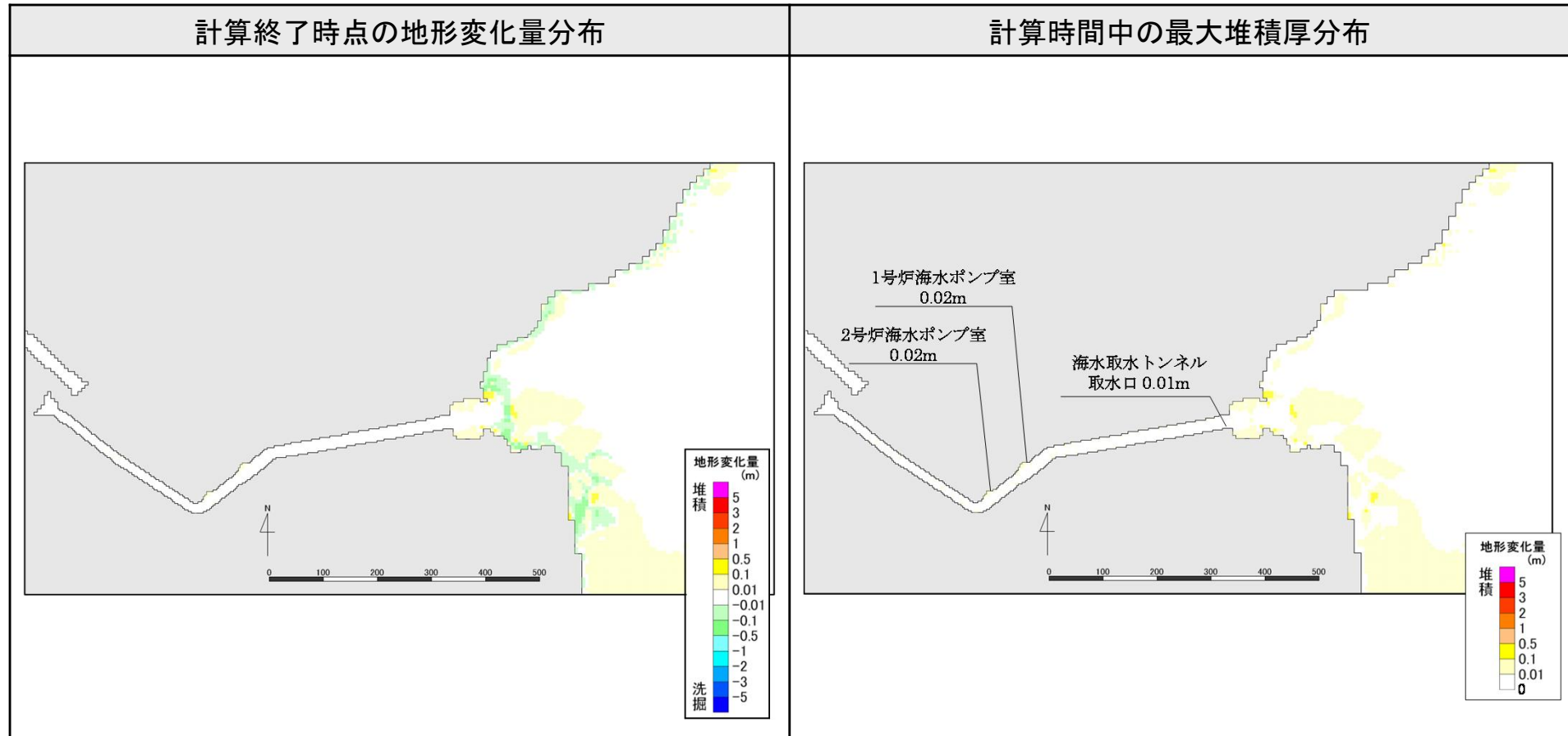


評価点付近における堆積は、最大で0.02m程度である

## 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

### 計算結果 基準津波3

波源	基準津波3:海底地すべり(エリアB)		
砂移動モデル	藤井他(1998)の手法	浮遊砂体積濃度上限値	1%

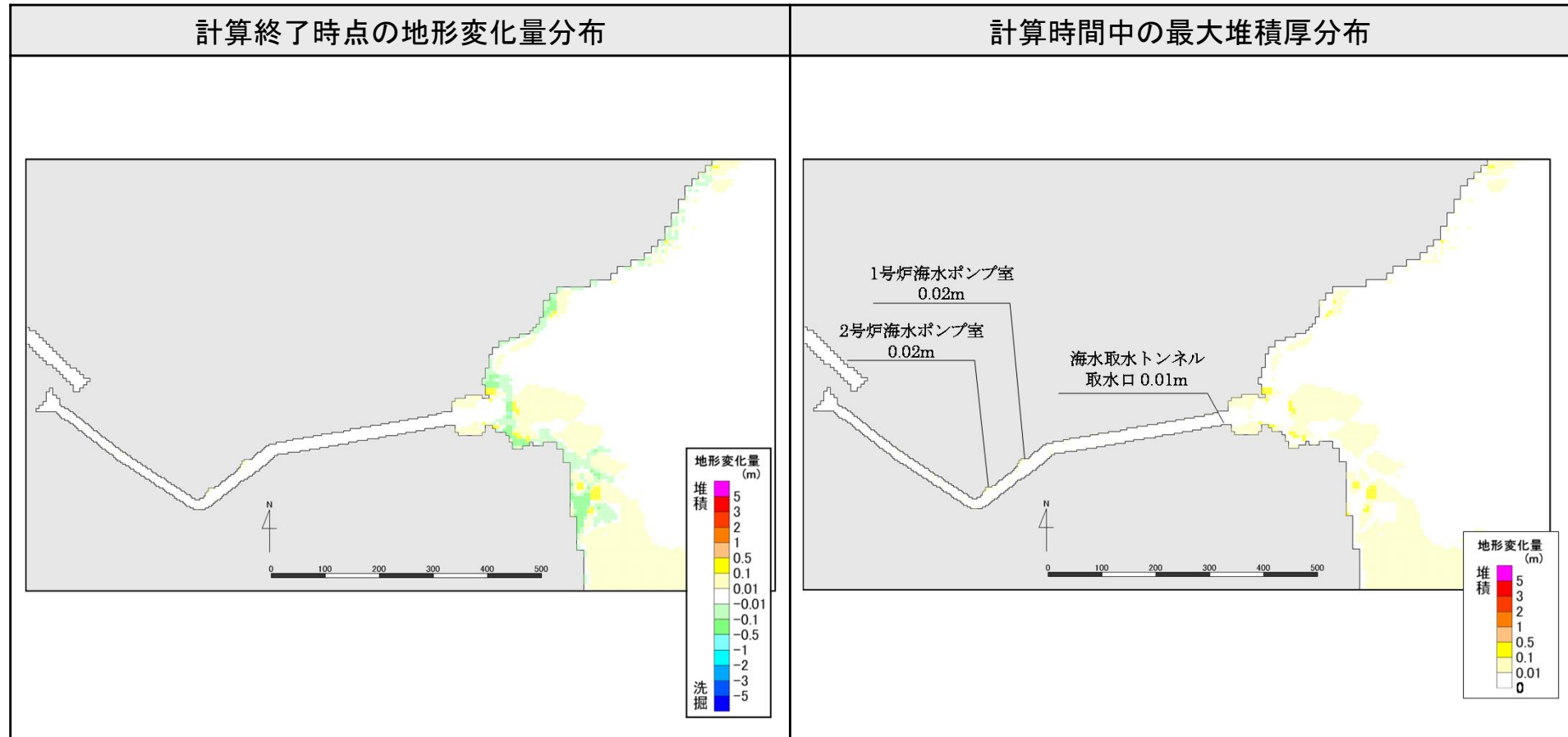


評価点付近における堆積は、最大で0.02m程度である

## 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

### 計算結果 基準津波3

波源	基準津波3:海底地すべり(エリアB)		
砂移動モデル	藤井他(1998)の手法	浮遊砂体積濃度上限値	5%

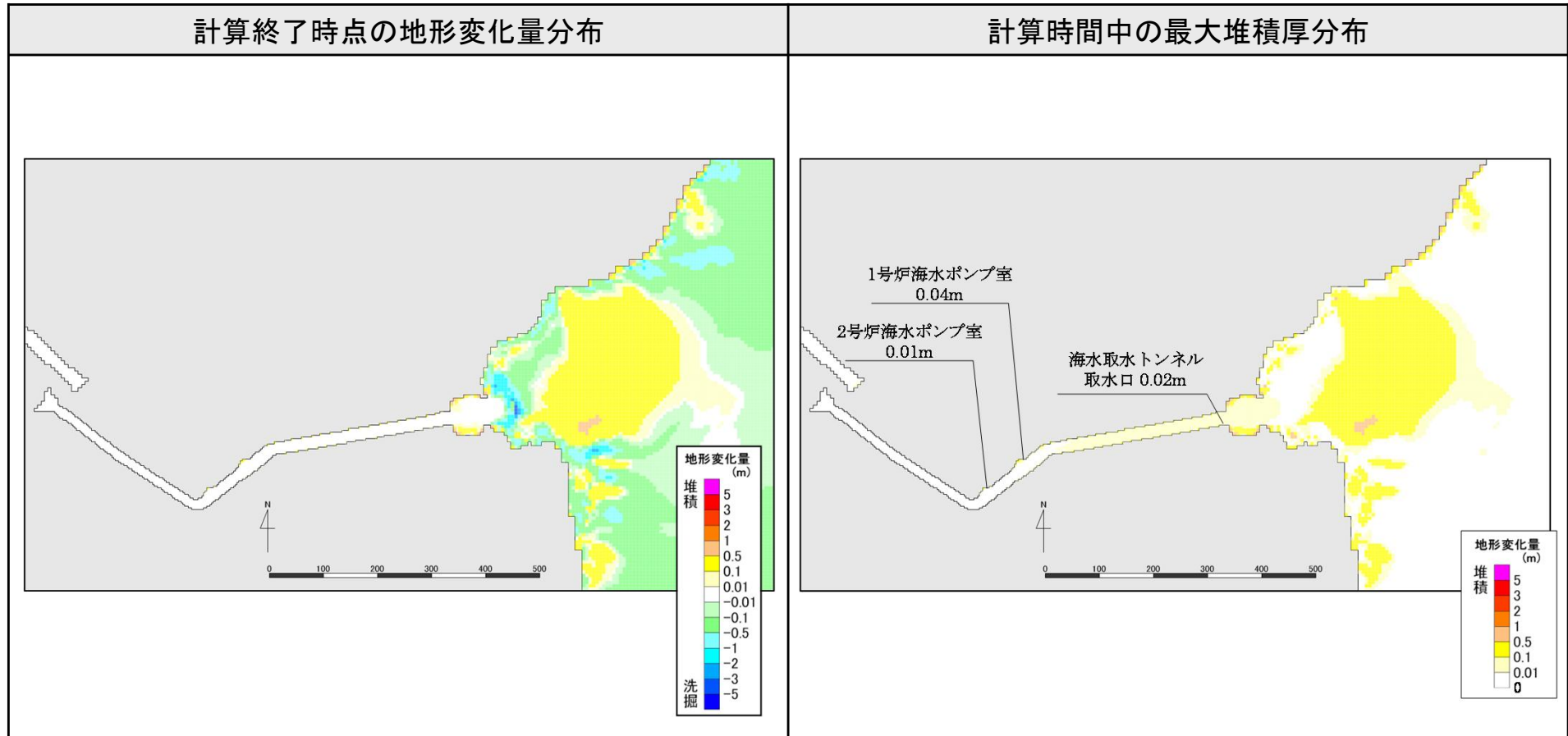


評価点付近における堆積は、最大で0.02m程度である

## 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

### 計算結果 基準津波3

波源	基準津波3:海底地すべり(エリアB)		
砂移動モデル	高橋他(1999)の手法	浮遊砂体積濃度上限値	1%

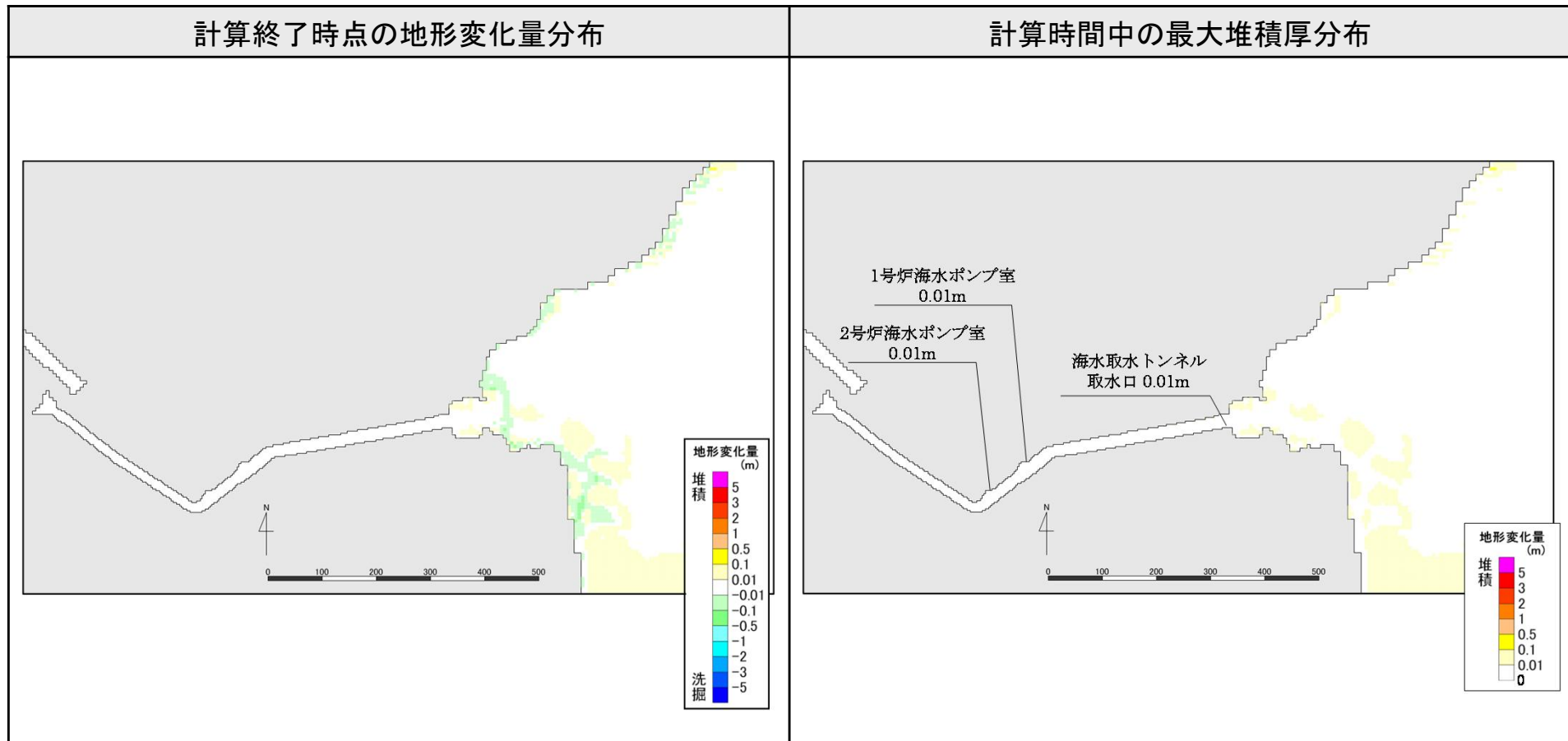


評価点付近における堆積は、最大で0.04m程度である

# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 計算結果 基準津波4

波源	基準津波4:海底地すべり(エリアC)		
砂移動モデル	藤井他(1998)の手法	浮遊砂体積濃度上限値	1%

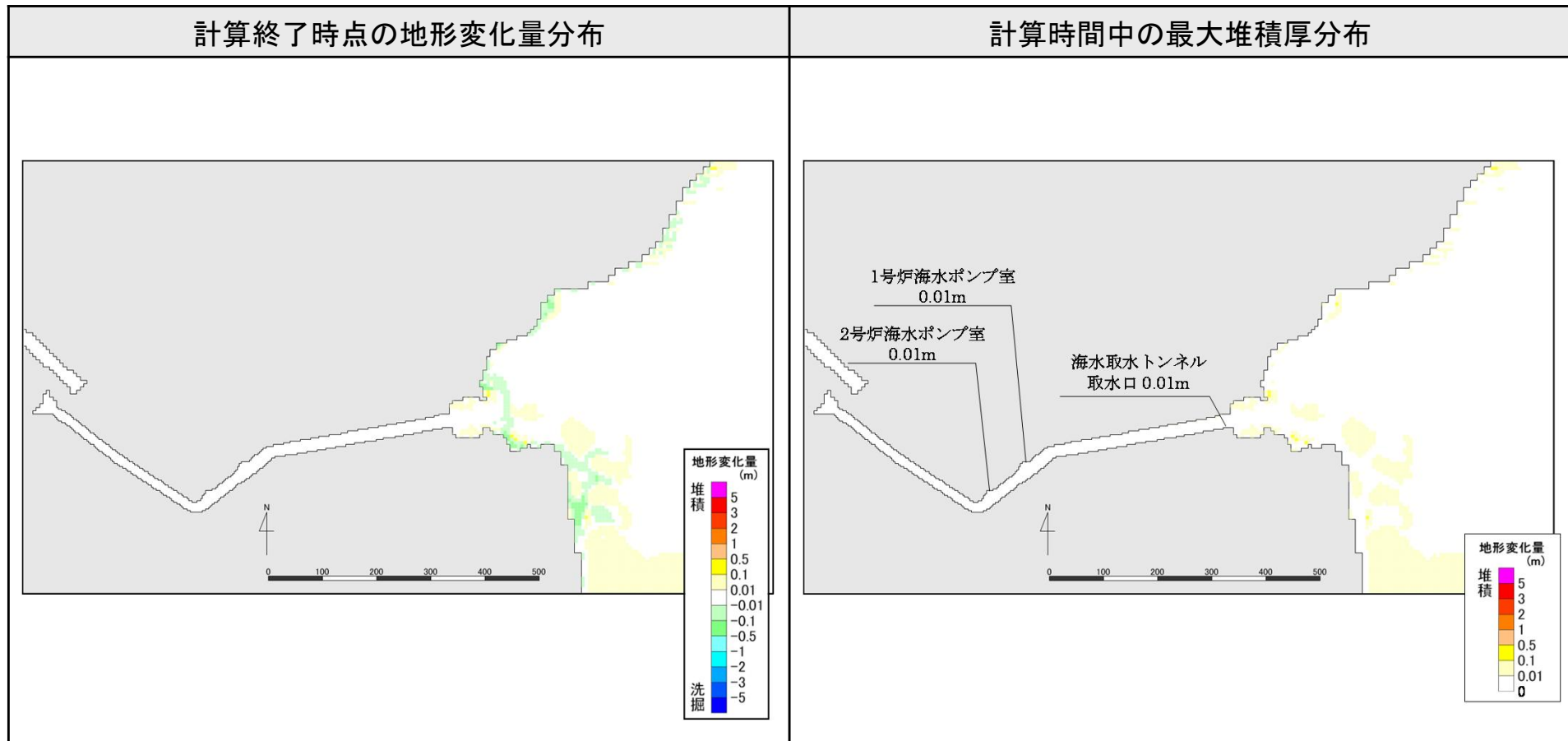


評価点付近における堆積は、最大で0.01m程度である

# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 計算結果 基準津波4

波源	基準津波4:海底地すべり(エリアC)		
砂移動モデル	藤井他(1998)の手法	浮遊砂体積濃度上限値	5%



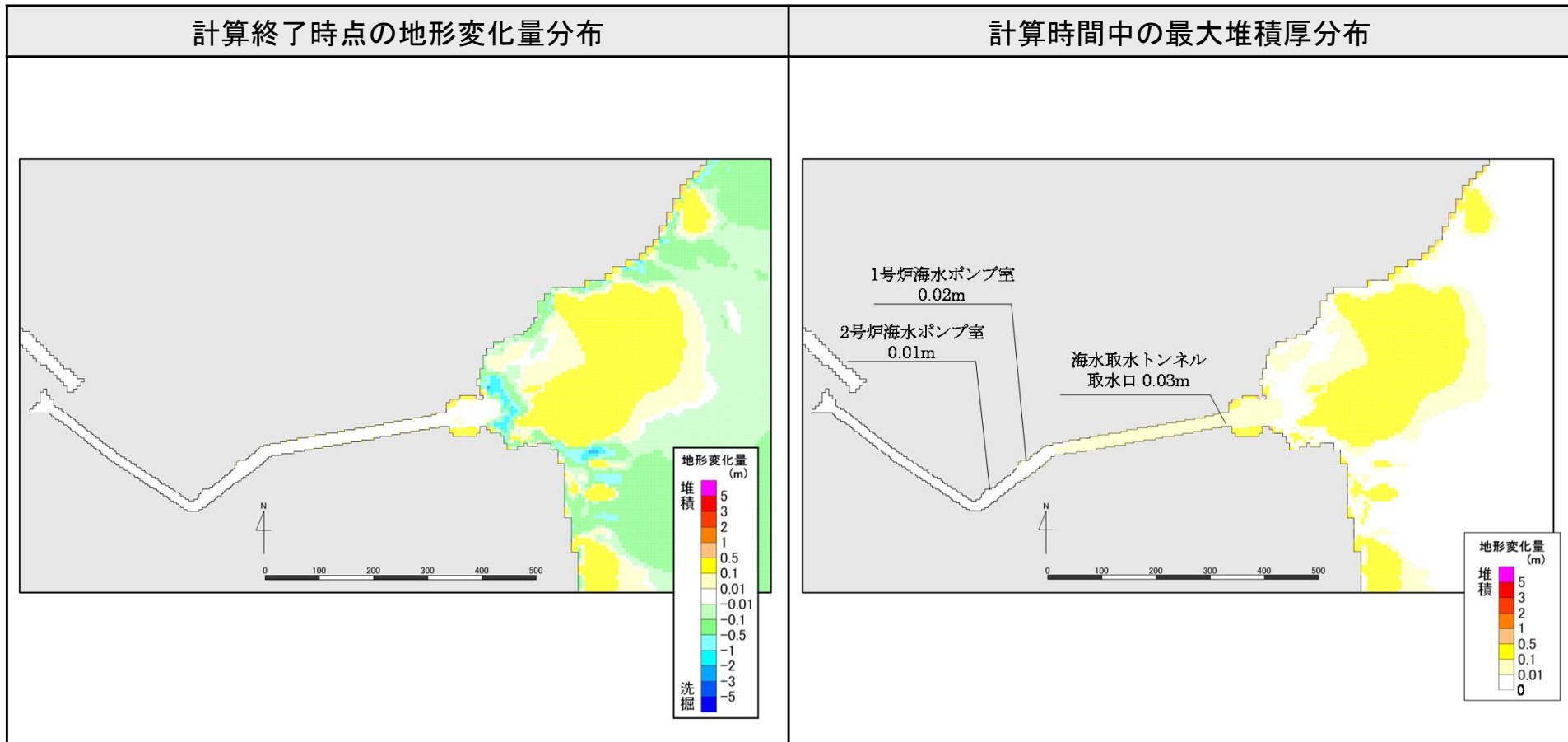
評価点付近における堆積は、最大で0.01m程度である



# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 計算結果 基準津波4

波源	基準津波4:海底地すべり(エリアC)		
砂移動モデル	高橋他(1999)の手法	浮遊砂体積濃度上限値	1%

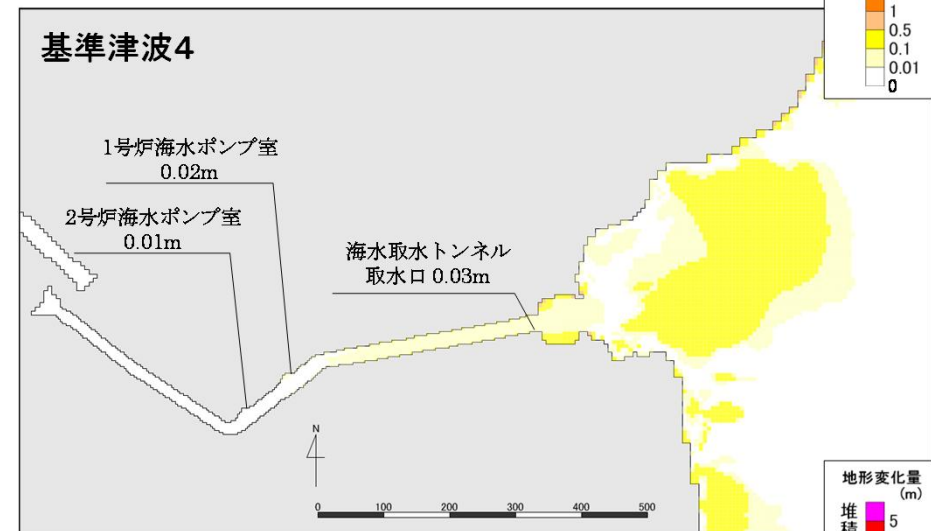
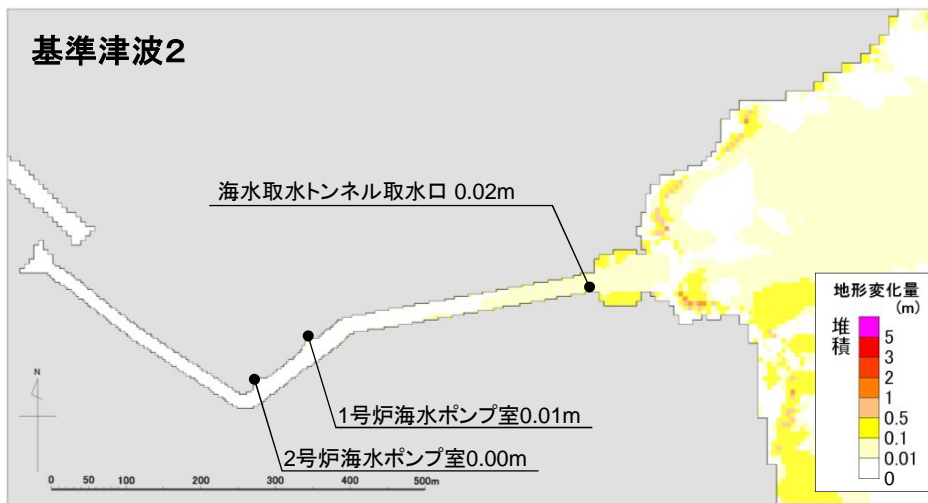
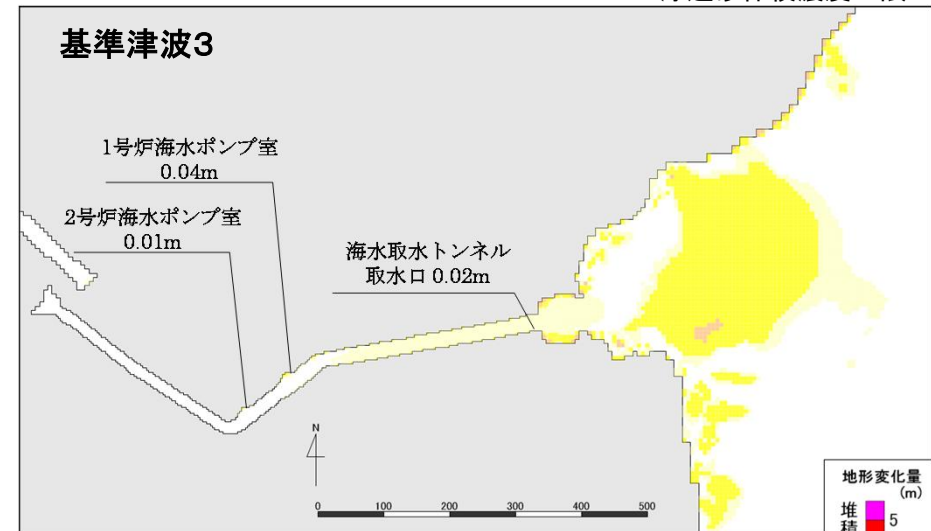
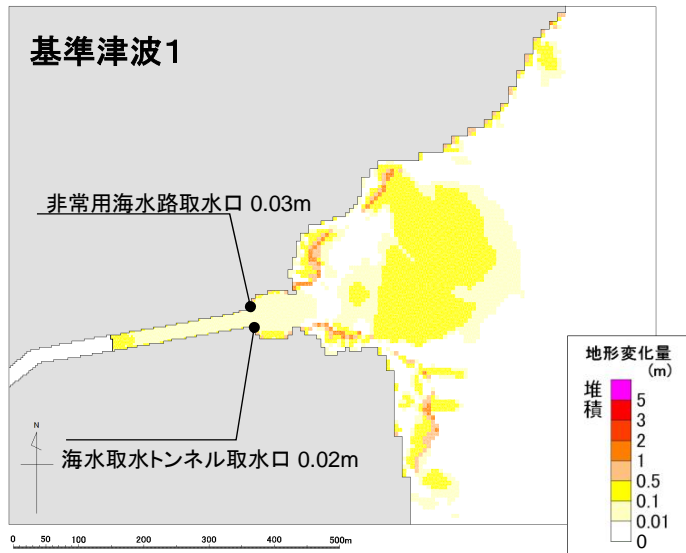


評価点付近における堆積は、最大で0.03m程度である

# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

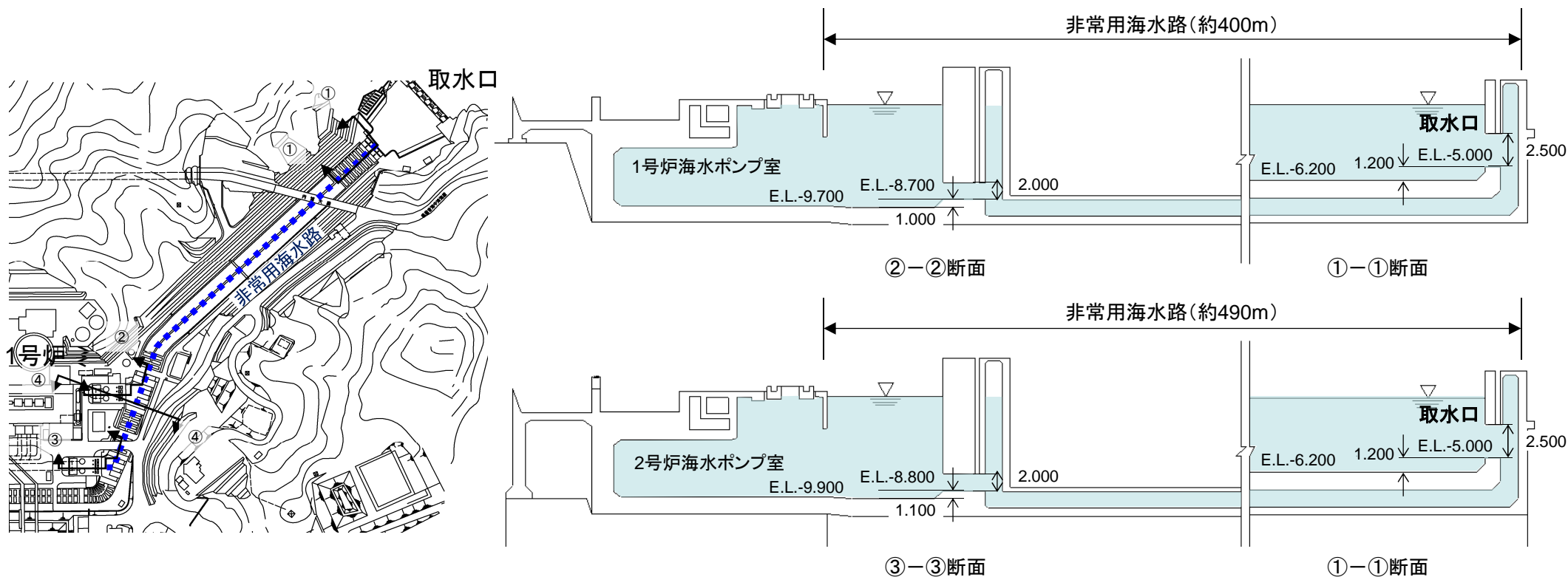
## 計算結果(まとめ)

砂移動モデル:高橋他(1999)の手法  
浮遊砂体積濃度上限:1%

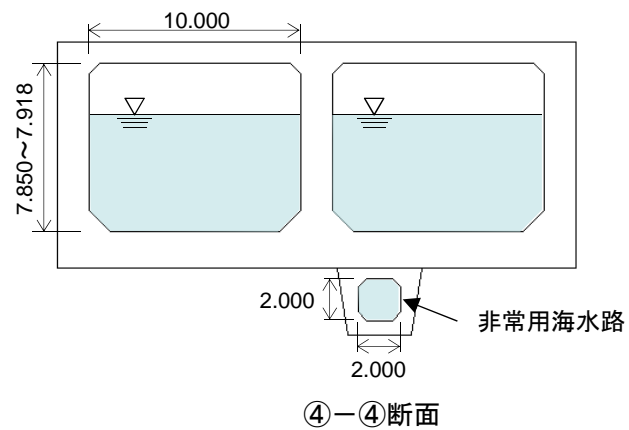


- 基準津波1～4における評価点付近の最大堆積厚は0.02～0.04m程度であり、通水に影響がないことを確認した。
- 基準津波1については各海水ポンプ室、基準津波2～4については3,4号炉海水ポンプ室における堆積厚を別途評価する。

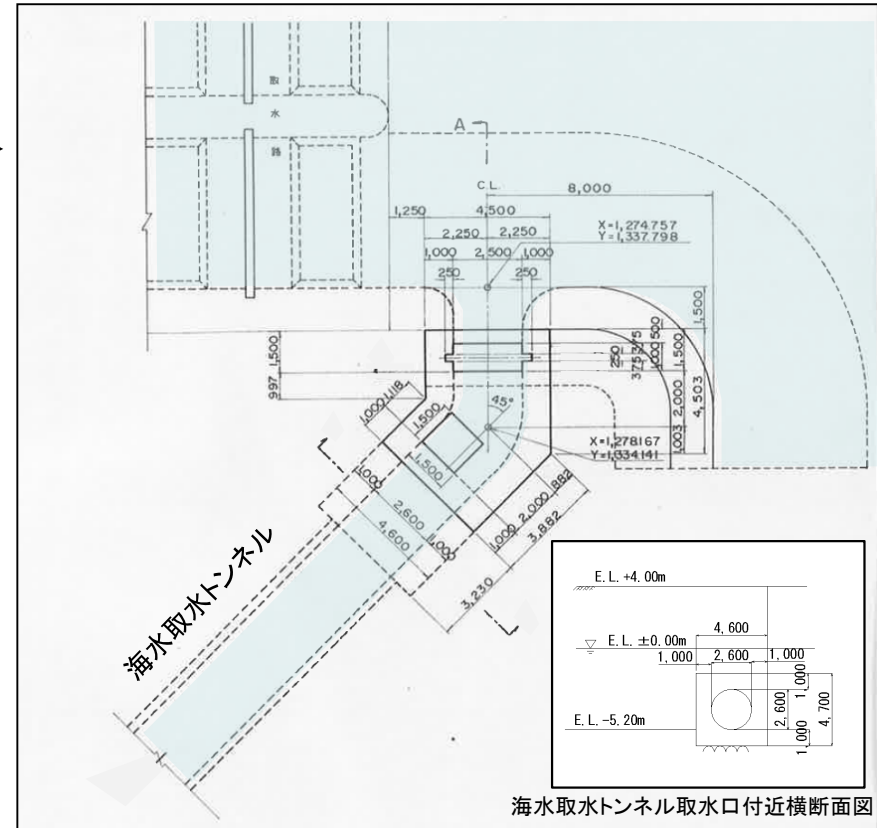
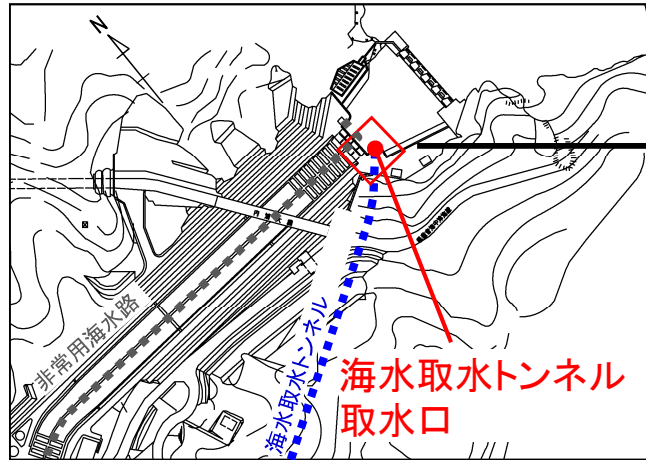
## 非常用海水路の構造



- 基準津波1来襲時の1号炉及び2号炉海水ポンプの取水経路となる、非常用海水路の構造を示す。
- 非常用海水路の取水口は、底版から1.2m高い位置に設置され、取水口の開口部は2.5mであり、0.03m程度の砂の堆積があっても通水に影響はない。
- 大部分は1号炉及び2号炉共通の設備となっているが、途中1号炉海水ポンプ室付近で分岐し、1号炉及び2号炉それぞれの海水ポンプ室前までつながっている。

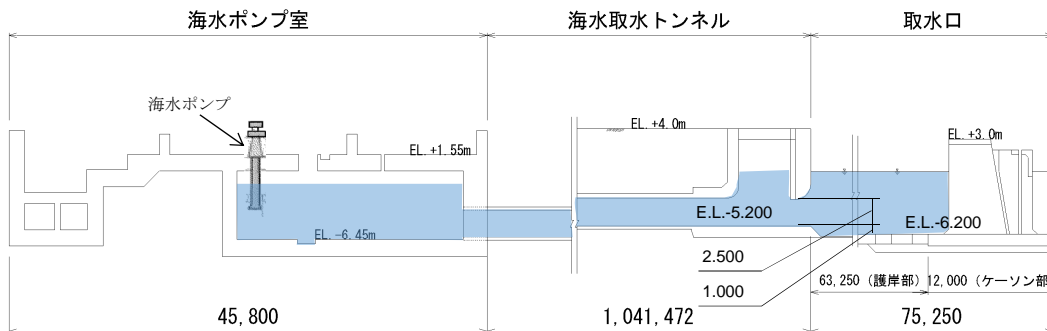


## 海水取水トンネルの構造



海水取水トンネル取水口付近横断面図

海水取水トンネル取水口付近平面図



取水設備概念図

- 基準津波来襲時の3,4号炉海水ポンプの取水経路となる、海水取水トンネルの構造を示す。
- 海水取水トンネル取水口は、底版から1.0m高い位置に設置され、取水口の開口部は高さ2.5mであるため、最大で0.03m程度の砂の堆積があっても通水に影響はない。
- 3,4号炉共通の設備となっている。

## 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

### 各評価地点における砂の堆積厚

対象津波波源	砂移動モデル	浮遊砂体積濃度上限値	各評価点における最大堆積厚				
			非常用海水路取水口	海水取水トンネル取水口	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
<基準津波1> 若狭海丘列付近断層と 隠岐トラフ海底地すべり(エリアB)	藤井他(1998)	1%	0.01m	0.01m	—	—	—
		5%	0.01m	0.01m	—	—	—
	高橋他(1999)	1%	<b>0.03m</b>	<b>0.02m</b>	—	—	—
<基準津波2> FO-A~FO-B~熊川断層と 陸上地すべり(No.14)	藤井他(1998)	1%	—	0.01m	0.00m	0.00m	—
		5%	—	0.01m	0.01m	0.00m	—
	高橋他(1999)	1%	—	<b>0.02m</b>	0.01m	0.00m	—
<基準津波3> 海底地すべり(エリアB)	藤井他(1998)	1%	—	0.01m	0.02m	0.02m	—
		5%	—	0.01m	0.02m	0.02m	—
	高橋他(1999)	1%	—	<b>0.02m</b>	0.04m	0.01m	—
<基準津波4> 海底地すべり(エリアC)	藤井他(1998)	1%	—	0.01m	0.01m	0.01m	—
		5%	—	0.01m	0.01m	0.01m	—
	高橋他(1999)	1%	—	<b>0.03m</b>	0.02m	0.01m	—

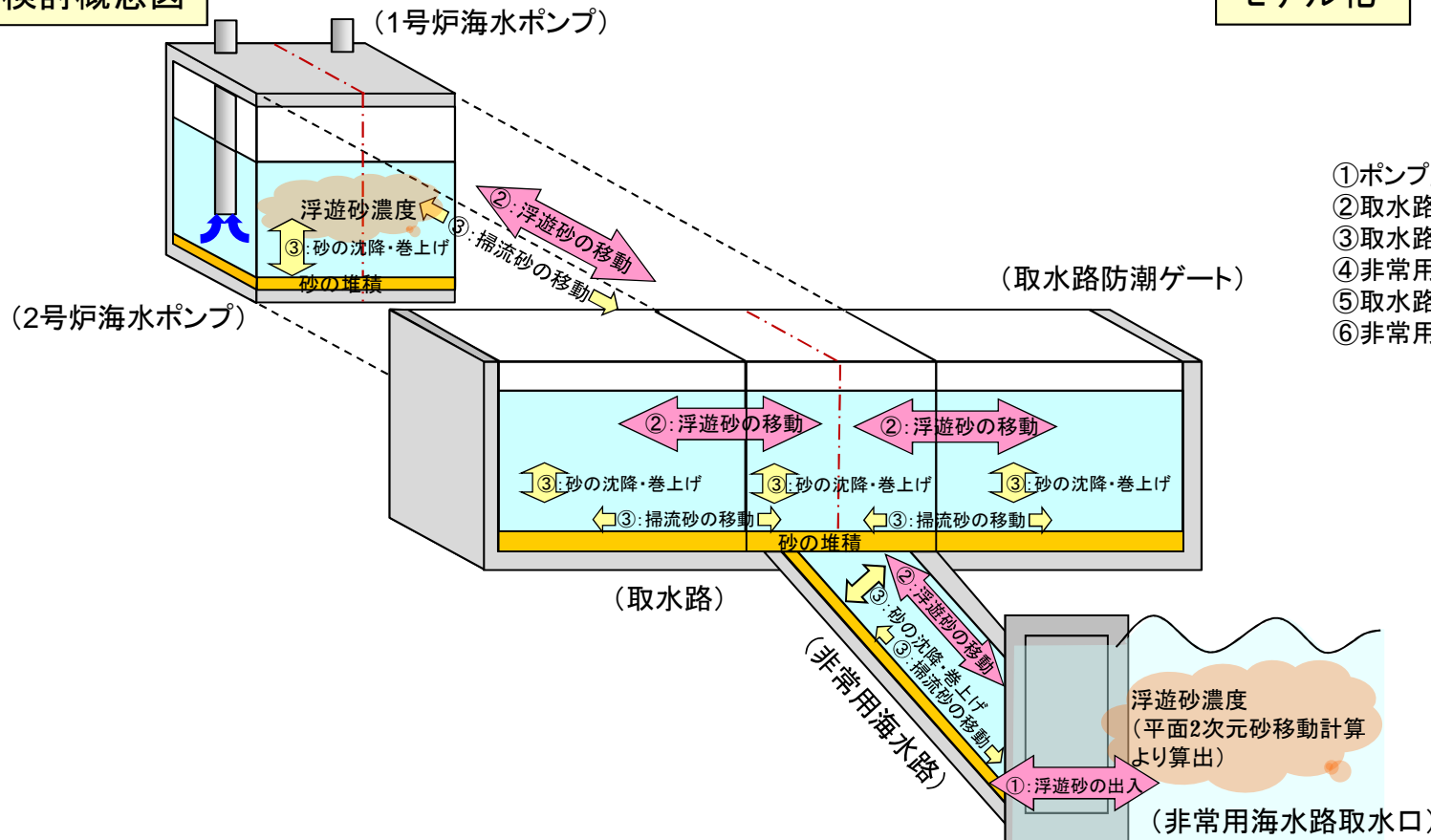
- 非常用海水路取水口及び海水取水トンネル取水口における最大堆積厚は、最大でも0.03m程度であり、通水に影響はない。
- 基準津波2~4については、1号炉海水ポンプ室及び2号炉海水ポンプ室における最大堆積厚は、最大でも0.04m程度であり、ポンプ取水への影響はない。
- 基準津波1の各海水ポンプ室及び基準津波2~4の3,4号炉海水ポンプ室については、非常用海水路及び海水取水トンネル以降について別途1次元でモデル化し、非常用開水路取水口及び海水取水トンネル取水口において堆積厚の大きい高橋他(1999)の手法による結果を用いて、堆積厚を算出する。

## 1号炉及び2号炉海水ポンプ室における砂の堆積厚・浮遊砂濃度の検討方法(基準津波1)

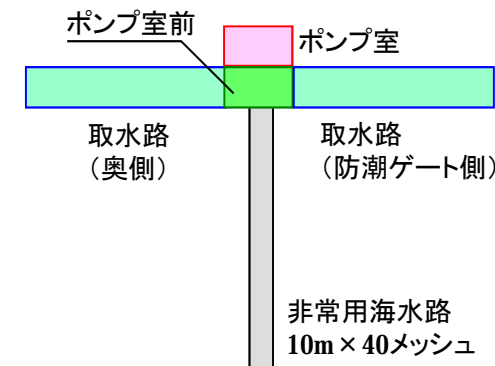
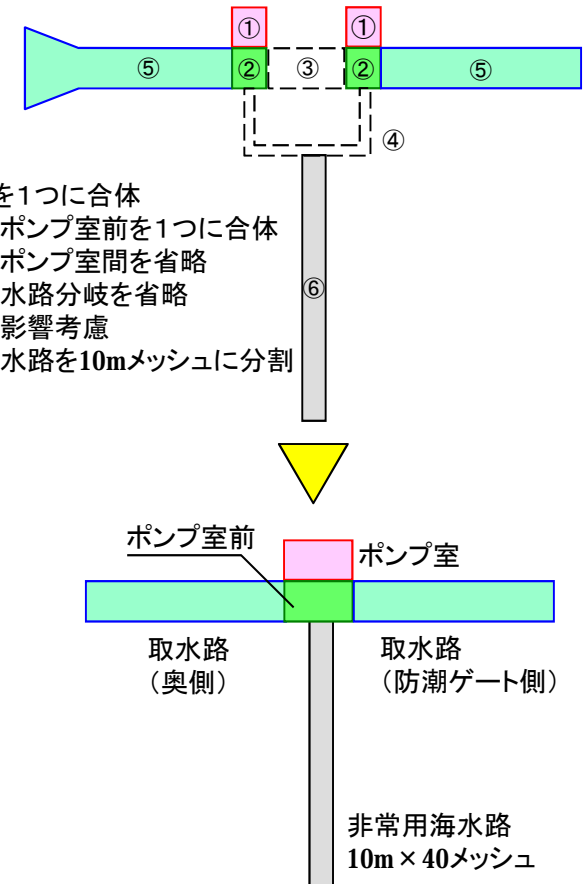
基準津波1に伴う海水ポンプ室における砂の堆積厚を評価するため、非常用海水路、取水路、1号炉及び2号炉海水ポンプ室を1次元的にモデル化し、非常用海水路内及び1号炉及び2号炉海水ポンプ室内での砂の移動を計算する。

- ①非常用海水路取水口の浮遊砂濃度(平面2次元砂移動計算より算出)と、非常用海水路の流量(津波水位計算より算出)を乗じて、非常用海水路取水口から流入する砂の量を算出する。海水路の流量の方向に応じて砂の流出も考慮する。
- ②非常用海水路内の各メッシュの浮遊砂濃度に、非常用海水路の流量(津波水位計算より算出)を乗じて、非常用海水路内を移動する浮遊砂量を算出する。取水路、1号炉及び2号炉海水ポンプ室も同様に、津波水位計算より算出した流量を用いて移動する浮遊砂量を算出する。
- ③非常用海水路、1号炉及び2号炉海水ポンプ室、取水路の各メッシュにおいて、砂の巻上げ・沈降、掃流砂の移動を考慮する。掃流砂量、巻上げ砂量の算定には高橋他(1999)により提案されている式を用いる。また、非常用海水路の粗度係数は $n=0.02$ とする。

検討概念図



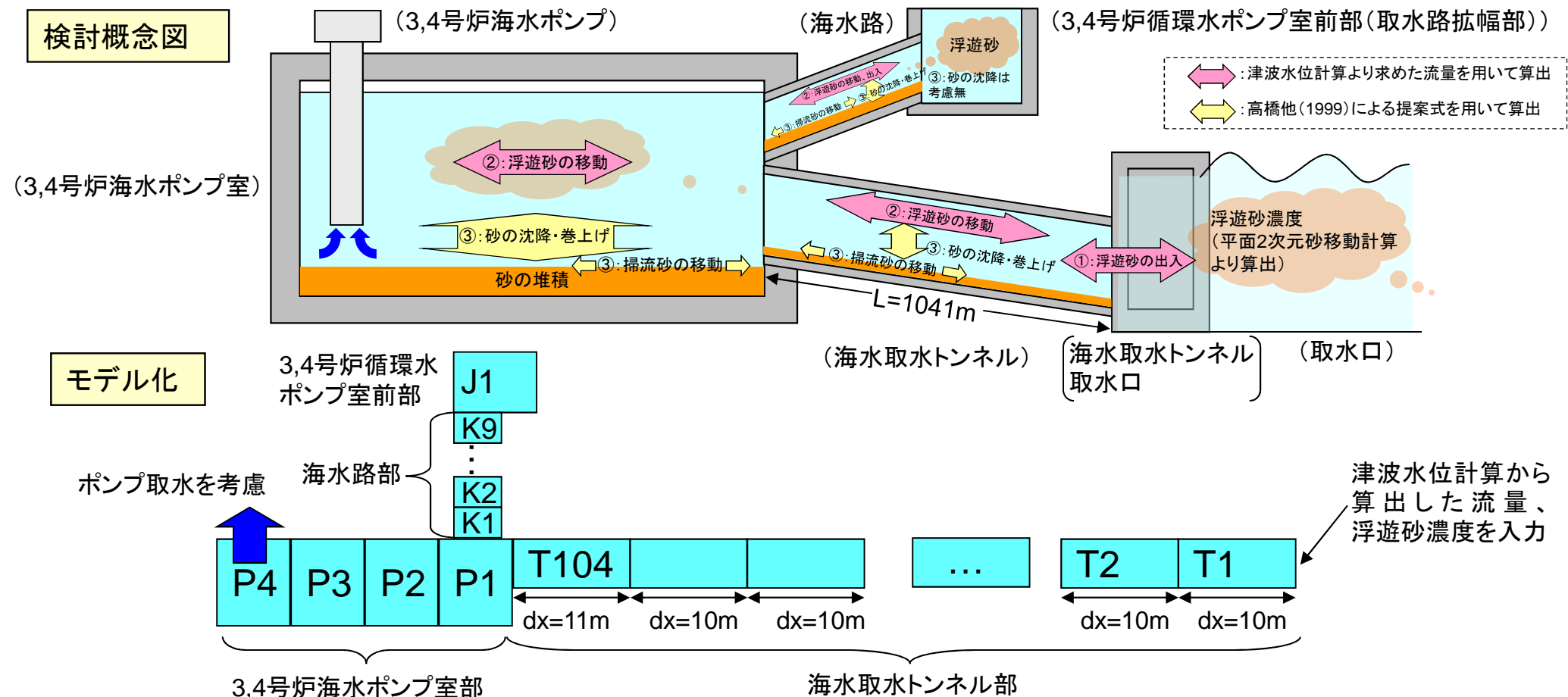
モデル化



## 3,4号炉海水ポンプ室における砂の堆積厚の検討方法(基準津波1~4)

基準津波による海水ポンプ室内の砂の堆積厚を評価するため、海水取水トンネル、3,4号炉海水ポンプ室、海水路、3,4号炉循環水ポンプ室前部(取水路拡幅部のみ)を1次元的にモデル化し、海水取水トンネル内および3,4号炉海水ポンプ室内での砂の移動を計算する。

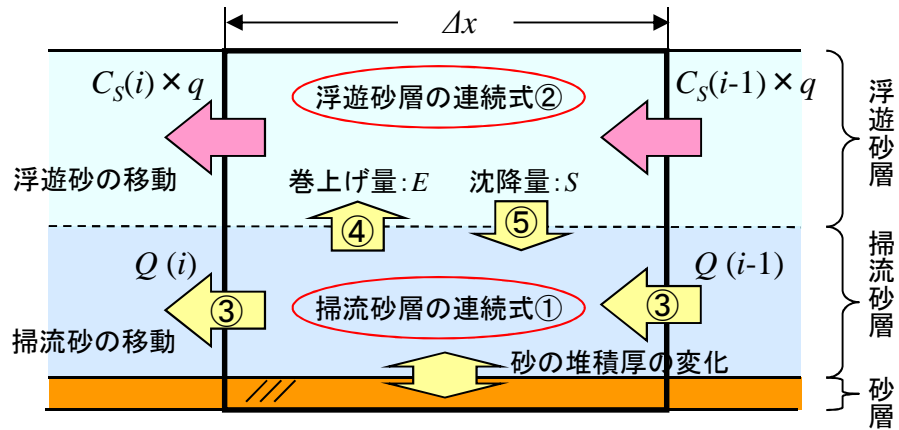
- ① 海水取水トンネル取水口の浮遊砂濃度(平面2次元砂移動計算より算出)と、海水取水トンネルの流量(津波水位計算より算出)を乗じて、海水取水トンネル取水口から流入する砂の量を算出する。海水取水トンネルの流量の方向に応じて砂の流出も考慮する。
- ② 海水取水トンネル内の各メッシュの浮遊砂濃度に、海水取水トンネルの流量(津波水位計算より算出)を乗じて、海水取水トンネル内を移動する浮遊砂量を算出する。海水路、3,4号炉海水ポンプ室内も同様に、津波水位計算より算出した海水取水トンネルの流量を用いて移動する浮遊砂量を算出する。
- ③ 海水取水トンネル、3,4号炉海水ポンプ室、海水路の各メッシュにおいて、砂の巻き上げ・沈降、掃流砂の移動を考慮する。掃流砂量、巻き上げ砂量の算定には高橋他(1999)により提案されている式を用いる。循環水ポンプ室前部では砂の巻き上げ・沈降は考慮しない。また、海水取水トンネルの粗度係数は $n=0.02$ とする。



## 海水ポンプ室における砂の堆積厚・浮遊砂濃度の検討方法

モデル化した取水路、海水取水トンネル、非常用海水路、海水路、各海水ポンプ室において、高橋他(1999)の手法を参考に、浮遊砂層、掃流砂層を考慮し、浮遊砂の移動、砂の巻き上げ・沈降、掃流砂の移動、砂の堆積を以下のように計算する。

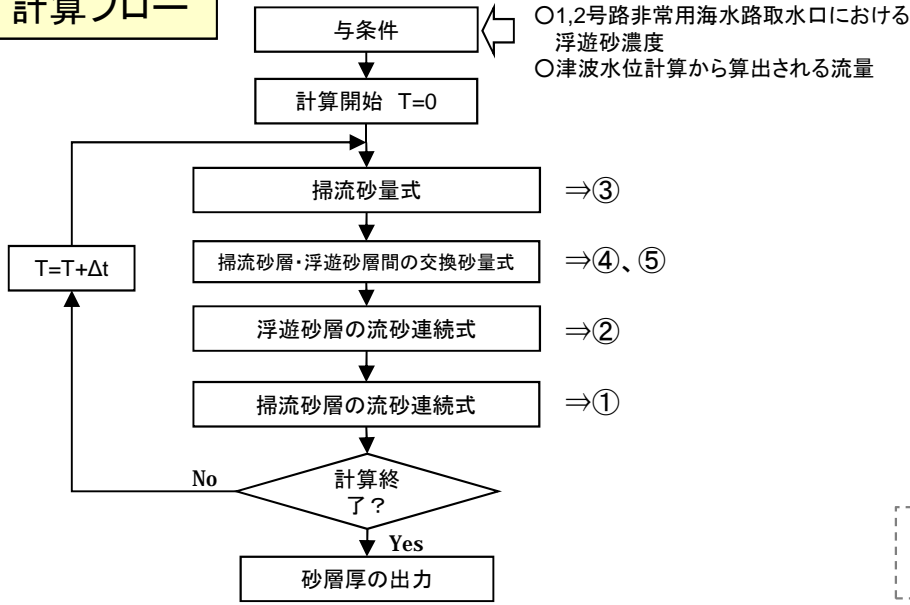
メッシュ*il*における砂移動概念図



計算式

項目	計算式	備考
① 掃流砂層の流砂連続式	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-I} \left\{ \frac{Q(i) - Q(i-1)}{\Delta x} + \frac{E-S}{\sigma} \right\} = 0$	高橋他(1999)を参考に掃流層の砂収支を計算
② 浮遊砂層の流砂連続式	$\frac{\partial(C_s h)}{\partial t} + \left\{ \frac{C_s(i) - C_s(i-1)}{\Delta x} \times q - \frac{E-S}{\sigma} \right\} = 0$	高橋他(1999)を参考に浮遊砂層の砂収支を計算
③ 掃流砂量式	$Q = 21t_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$	高橋他(1999)の実験式
④ 浮遊砂層への巻き上げ量算定式	$E = 0.012t_*^2 \sqrt{sgd} \cdot S$	高橋他(1999)の実験式
⑤ 沈降量の算定式	$S = wC_s \cdot s$	高橋他(1999)による

計算フロー



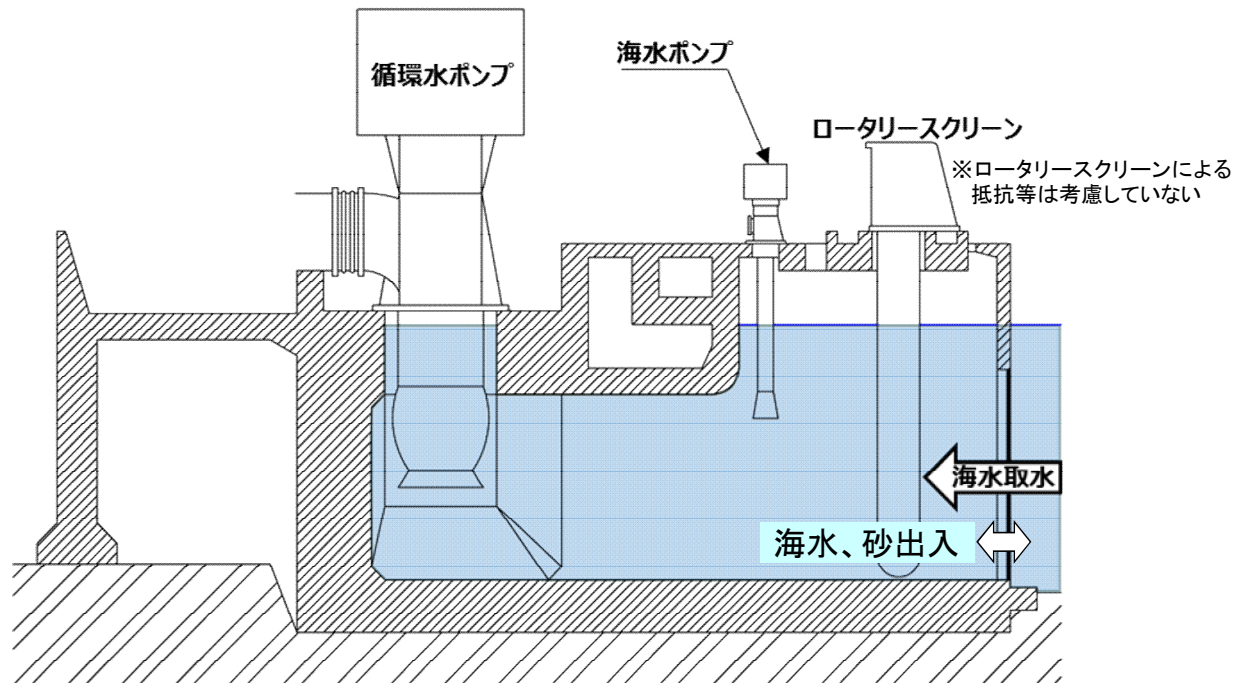
Z: 砂層厚変化量(m)    t: 時間(s)    Q: 単位幅、単位時間当たりの掃流砂量 (m<sup>3</sup>/s/m)  
 τ\*: シールズ数    σ: 砂粒の密度 (g/cm<sup>3</sup>)    ρ: 海水の密度 (g/cm<sup>3</sup>)    s: =σ/ρ-1  
 λ: 空隙率(=0.4, 高橋他(1992)より)    g: 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)    d: 砂の粒径 (mm)  
 w: 土粒子の沈降速度 (Rubey式より算出) (m/s)  
 q: 海水路、3,4号炉海水ポンプ室の流量 (単位幅あたり) (m<sup>3</sup>/s)  
 (津波水位計算より算出)  
 h: 水深 (m)    Cs: 浮遊砂体積濃度 (浮遊砂層の連続式より算出) (kg/m<sup>3</sup>)

・ 高橋智幸・今村文彦・首藤伸夫(1992):土砂移動を伴う津波計算法の開発,海岸工学論文集,第39巻,pp.231-235.  
 ・ 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔(1999):掃流砂層・浮遊層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発,海岸工学論文集,第46巻,pp.606-610.



## 1号炉及び2号炉海水ポンプ室における砂の堆積厚の検討結果(基準津波1)

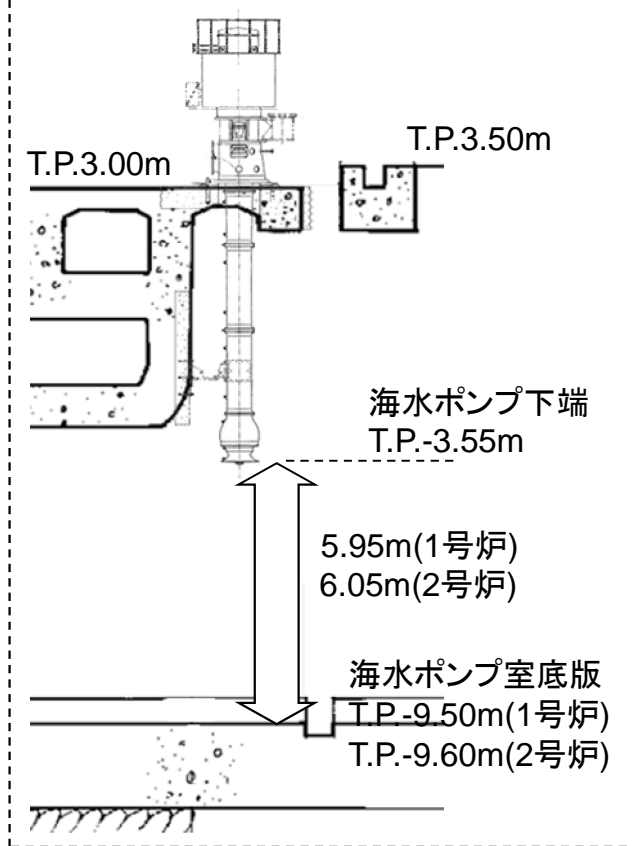
海水ポンプ位置の砂の堆積厚



1号炉及び2号炉海水ポンプ室断面図

1号炉及び2号炉海水ポンプ室での堆積厚	
基準津波1	0.15m

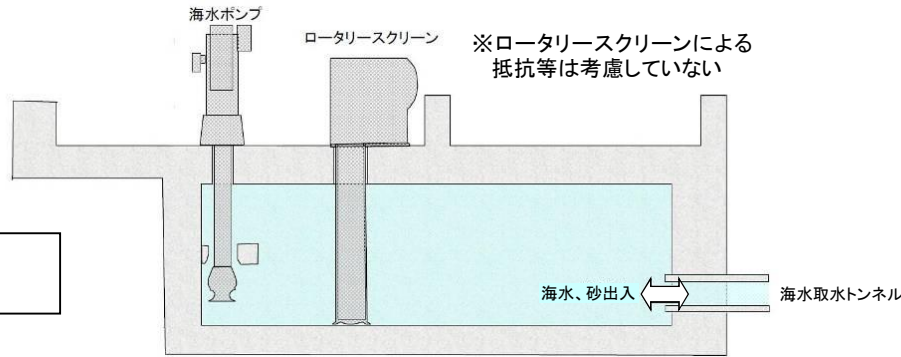
海水ポンプと1号炉及び2号炉海水ポンプ室底版の高さ



基準津波1による砂移動の影響について、1号炉及び2号炉海水ポンプ室における砂の堆積量を評価した結果、最大で0.15m程度であり、ポンプ取水への影響はないことを確認した。

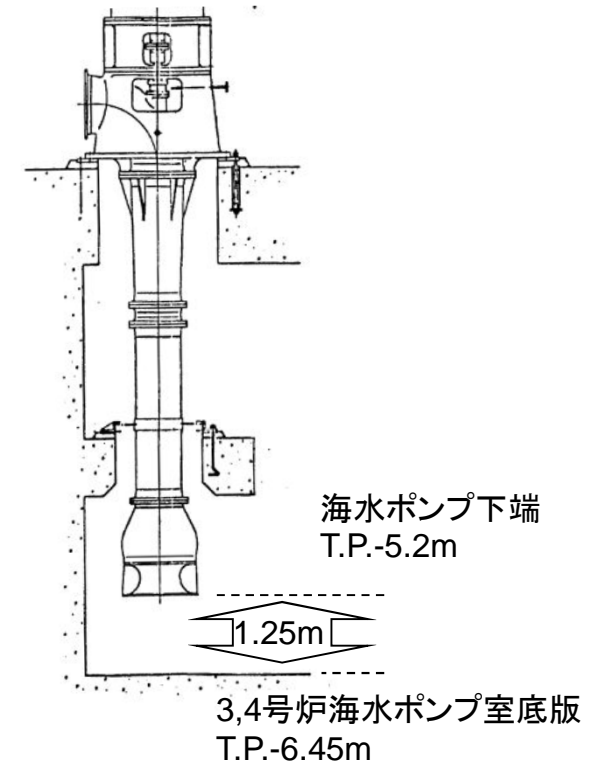
## 3,4号炉海水ポンプ室における砂の堆積厚の検討結果(基準津波1, 2)

海水ポンプ位置の砂の堆積厚



3,4号炉海水ポンプ室断面図

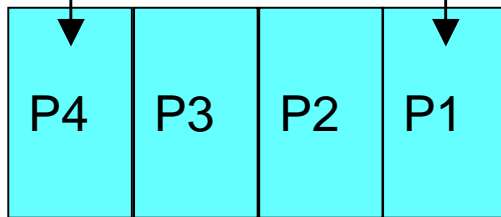
海水ポンプと3,4号炉海水ポンプ室底版の高さ



モデル化

海水ポンプ位置

3,4号炉海水ポンプ室  
入り口



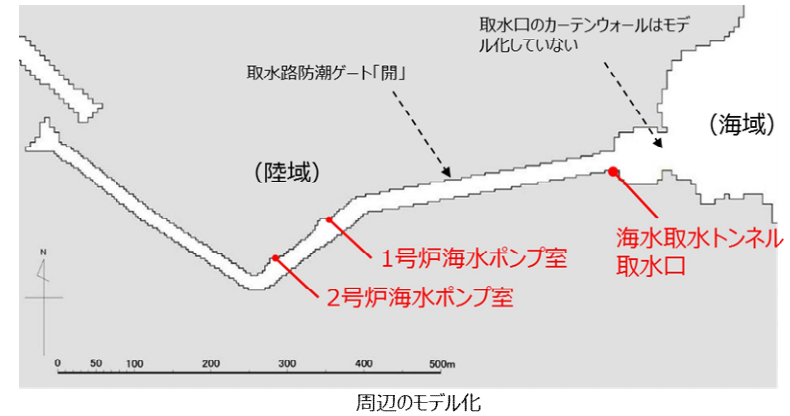
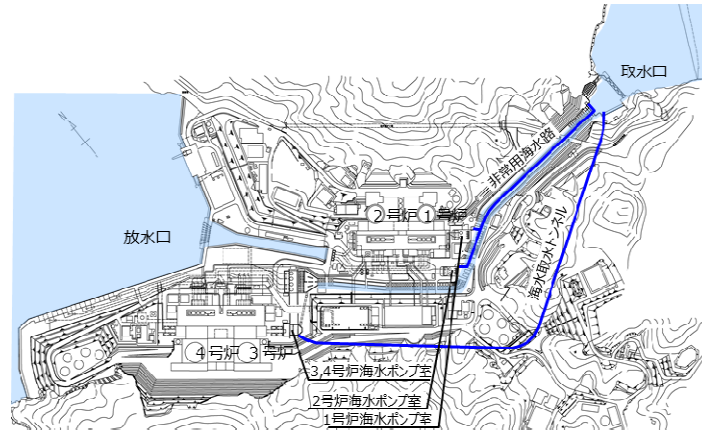
3,4号炉海水ポンプ室は4つのメッシュに分割しており、最奥の海水ポンプ位置での堆積厚は、以下の通り

ポンプ位置での堆積厚	
基準津波1	0.32m
基準津波2	0.00m
基準津波3	0.07m
基準津波4	0.04m

基準津波として選定した4波による砂移動の影響について、3,4号炉海水ポンプにおける砂の堆積量を評価した結果、最大で0.32m程度であり、ポンプ取水への影響はないことを確認した。

# 8. 津波に対する安全性(砂移動評価)

## 砂移動評価結果のまとめ



対象津波波源	取水路 防潮 ゲート	砂移動モデル	浮遊砂体積 濃度上限値	各評価点における最大堆積厚				
				非常用海水路 取水口	海水取水トンネル 取水口	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
<基準津波1> 若狭海丘列付近断層と 隠岐トラフ海底地すべり(エリアB)	閉	藤井他(1998)	1%	0.01m	0.01m	—	—	—
			5%	0.01m	0.01m	—	—	—
		高橋他(1999)	1%	<b>0.03m</b>	0.02m	<b>0.15m</b>	<b>0.15m</b>	<b>0.32m</b>
			5%	—	0.01m	0.00m	0.00m	—
<基準津波2> FO-A~FO-B~熊川断層と 陸上地すべり(No.14)	開	藤井他(1998)	1%	—	0.01m	0.00m	0.00m	—
			5%	—	0.01m	0.01m	0.00m	—
		高橋他(1999)	1%	—	0.02m	0.01m	0.00m	0.00m
			5%	—	0.01m	0.01m	0.00m	0.00m
<基準津波3> 隠岐トラフ海底地すべり(エリアB)	開	藤井他(1998)	1%	—	0.01m	0.02m	0.02m	—
			5%	—	0.01m	0.02m	0.02m	—
		高橋他(1999)	1%	—	0.02m	0.04m	0.01m	0.07m
			5%	—	0.01m	0.01m	0.01m	—
<基準津波4> 隠岐トラフ海底地すべり(エリアC)	開	藤井他(1998)	1%	—	0.01m	0.01m	0.01m	—
			5%	—	0.01m	0.01m	0.01m	—
		高橋他(1999)	1%	—	<b>0.03m</b>	0.02m	0.01m	0.04m
			5%	—	—	—	—	—

### 参考文献

- 藤田尚毅, 稲垣和男, 藤井直樹, 高尾誠, 金戸俊道(2010): 津波による海底地形変化評価モデルの現地適用性に関する研究, 海洋開発論文集, 第26巻, pp.213-218.
- 藤井直樹, 大森政則, 高尾誠, 金山進, 大谷英夫(1998): 津波による海底地形変化に関する研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.376-380.
- 今井健太郎・菅原大助・高橋智幸・岩間俊二・田中仁(2015): 2011年東北津波における北上川河口部の大規模洗掘・堆積に関する数値的検討, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, I\_247- I\_252.
- 近藤武司, 森本 徹, 藤本典子, 殿最浩司, 志方建仁(2012): 港湾での津波による土砂移動計算の再現性評価, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, I\_396- I\_400.
- 森下祐, 高橋智幸(2014): 2011年東北地方太平洋沖地震津波来襲時の気仙沼湾を対象とした津波移動床モデルの再現性向上, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, I\_491- I\_495.
- Sugawara, D., T. Takahashi(2014-a): Numerical Simulation of Coastal Sediment Transport by the 2011 Tohoku-Okai Earthquake Tsunami, Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol.35, pp.99-112.
- Sugawara, D., T. Takahashi and F. Imamura(2014-b): Sediment transport due to the 2011 Tohoku-oki tsunami at Sendai : Result from numerical modeling, Marine Geology 358, <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2014.05.005>, pp.18-37.
- 高橋智幸, 首藤伸夫, 今村文彦, 浅井大輔(1999): 掃流砂層・浮遊砂層の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.606-610.
- 高橋智幸, 黒川貴博, 藤田将孝, 島田広昭(2011): 津波による土砂移動の粒径依存性に関する推理実験, 土木学会論文集B2(海岸工学), vol.67, No.2, pp.231-235.
- 高橋智幸(2012): 津波による砂移動に関する数値シミュレーションの現状と課題, 堆積学研究, 第71巻, 2号, pp.149-155.
- 玉田 崇, 田村 保, 高橋智幸, 佐々木元(2009): 河川での津波防災検討における津波移動床モデルの適用性に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.65, No.1, pp.301-305.
- 山下啓, 菅原大助, 高橋智幸, 今村文彦, 齋藤友一, 今任嘉幸, 甲斐恭, 上原均, 加藤季広, 中田一人, 坂良太郎, 西川朝雄(2015): 岩手県陸前高田市における2011年東北地方太平洋沖地震津波による大規模土砂移動の再現計算, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.71, No.2, I\_499- I\_504.