

# 柏崎刈羽原子力発電所における津波評価

【ご指摘事項 及び 確率論的津波ハザードについて】

平成 28年 1月 29日

東京電力株式会社



東京電力

---

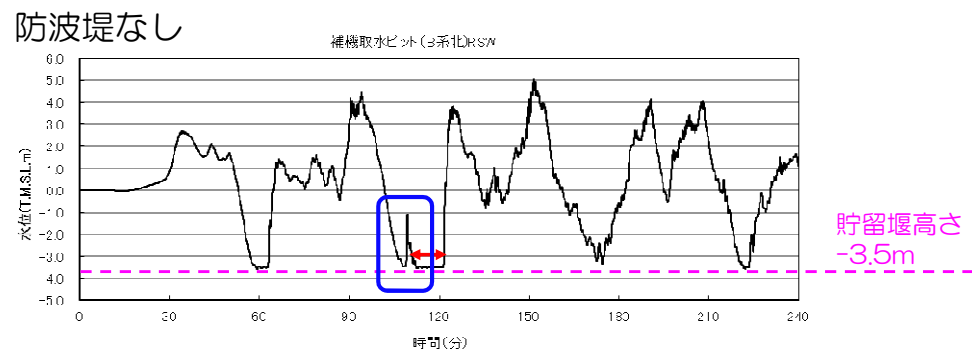
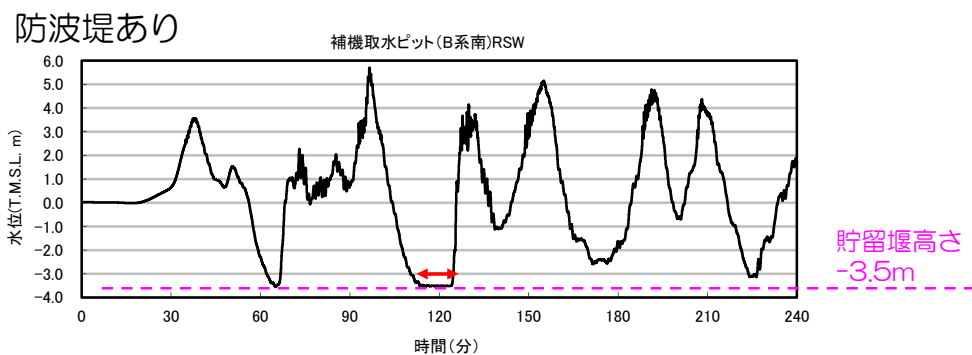
1. コメント回答
2. 津波評価における超過確率の参照
  2. 1 確率論的津波ハザード評価の全体方針
  2. 2 敷地周辺海域の活断層による津波
  2. 3 日本海東縁部の地震による津波
  2. 4 領域震源の地震による津波
  2. 5 確率論的津波ハザード曲線の評価結果
  2. 6 フラクタイルハザード曲線の評価結果

## 1. コメント回答

## 2. 津波評価における超過確率の参照

No.	H27.12.11 審査会合 コメント
1	防波堤がないケースの取水路水位変動評価（下降側）において，貯留堰を下回る時間帯に認められる水位変動について考察すること。
2	陸上地すべり評価において，SD-2,3の取水口前面水位がSD-5より低くなる要因について，さらなる考察を行うこと。また，評価に用いている数値シミュレーション手法の妥当性について説明すること。

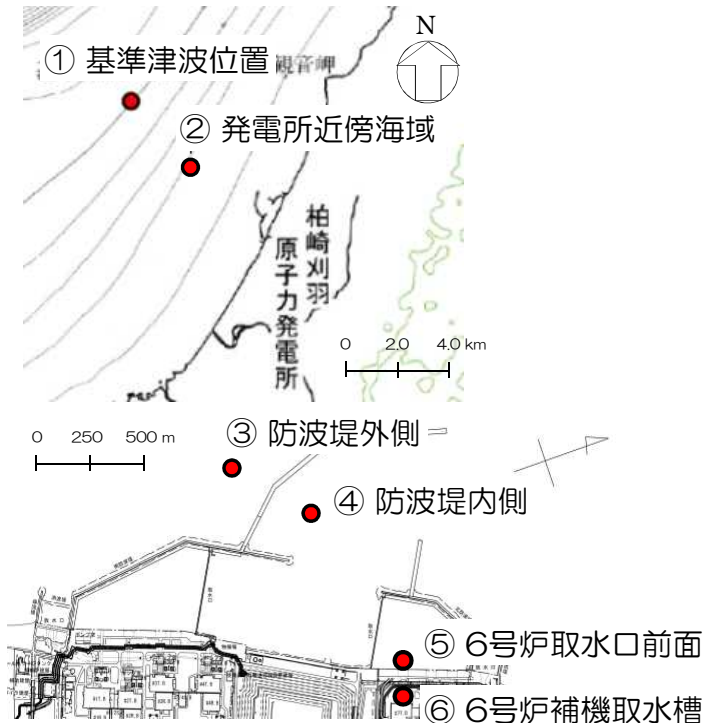
No.	H27.12.11 審査会合 コメント
1	防波堤がないケースの取水路水位変動評価（下降側）において、貯留堰を下回る時間帯に認められる水位変動について考察すること。



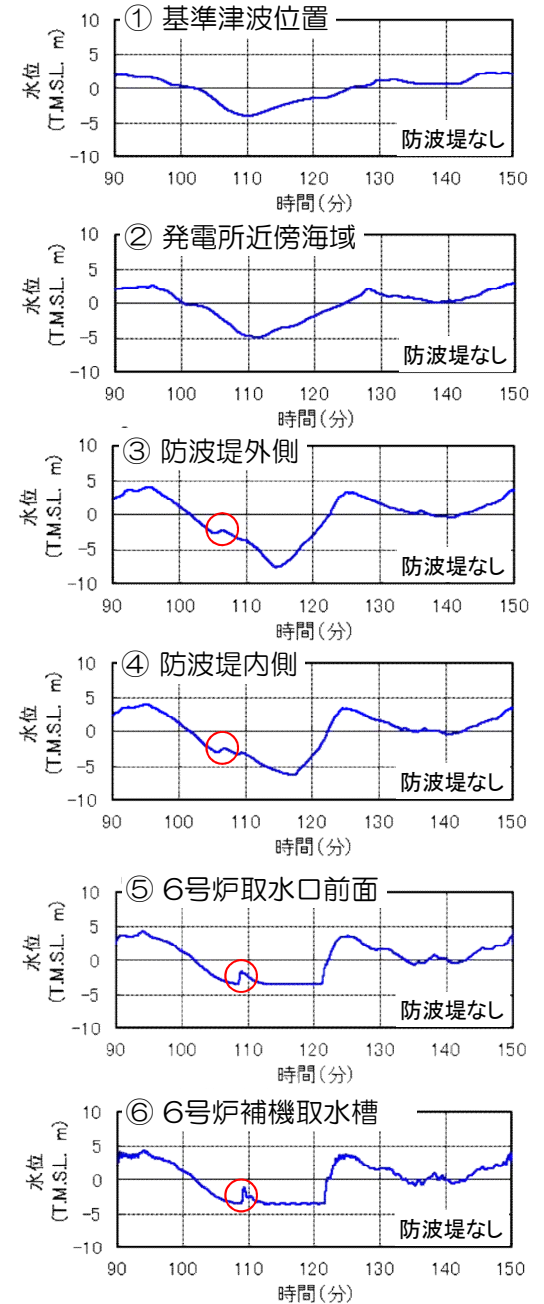
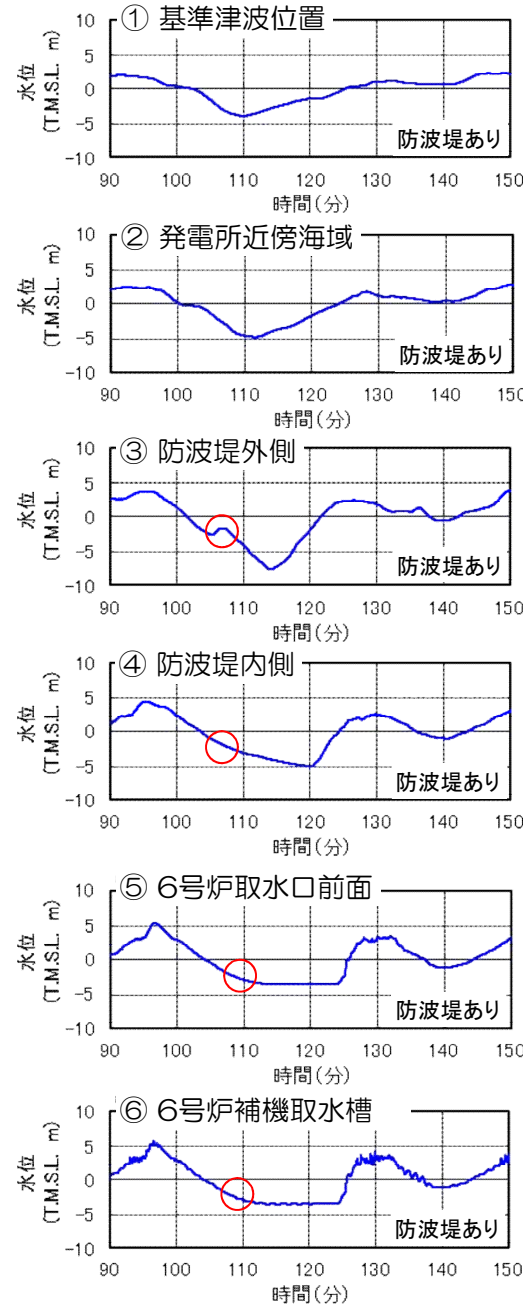
補機取水槽における水位変動（6号炉，下降側）

# 1. 1 取水路水位変動評価（防波堤なし）に関する補足

- 防波堤がないケースの取水路水位変動評価において、貯留堰を下回る時間帯に認められる比較的短周期の水位変動（○）の発生要因について検討した。
- 防波堤あり／なしのケースにおける各地点の時刻歴波形を確認した結果、防波堤の外側（③）において同様な水位変動成分が確認された。
- 防波堤があるケースでは、防波堤によって内側の港湾内から補機取水槽（④～⑥）にその水位変動成分は伝播していないのに対して、防波堤がないケースでは、そのまま補機取水槽まで伝播したと想定される。



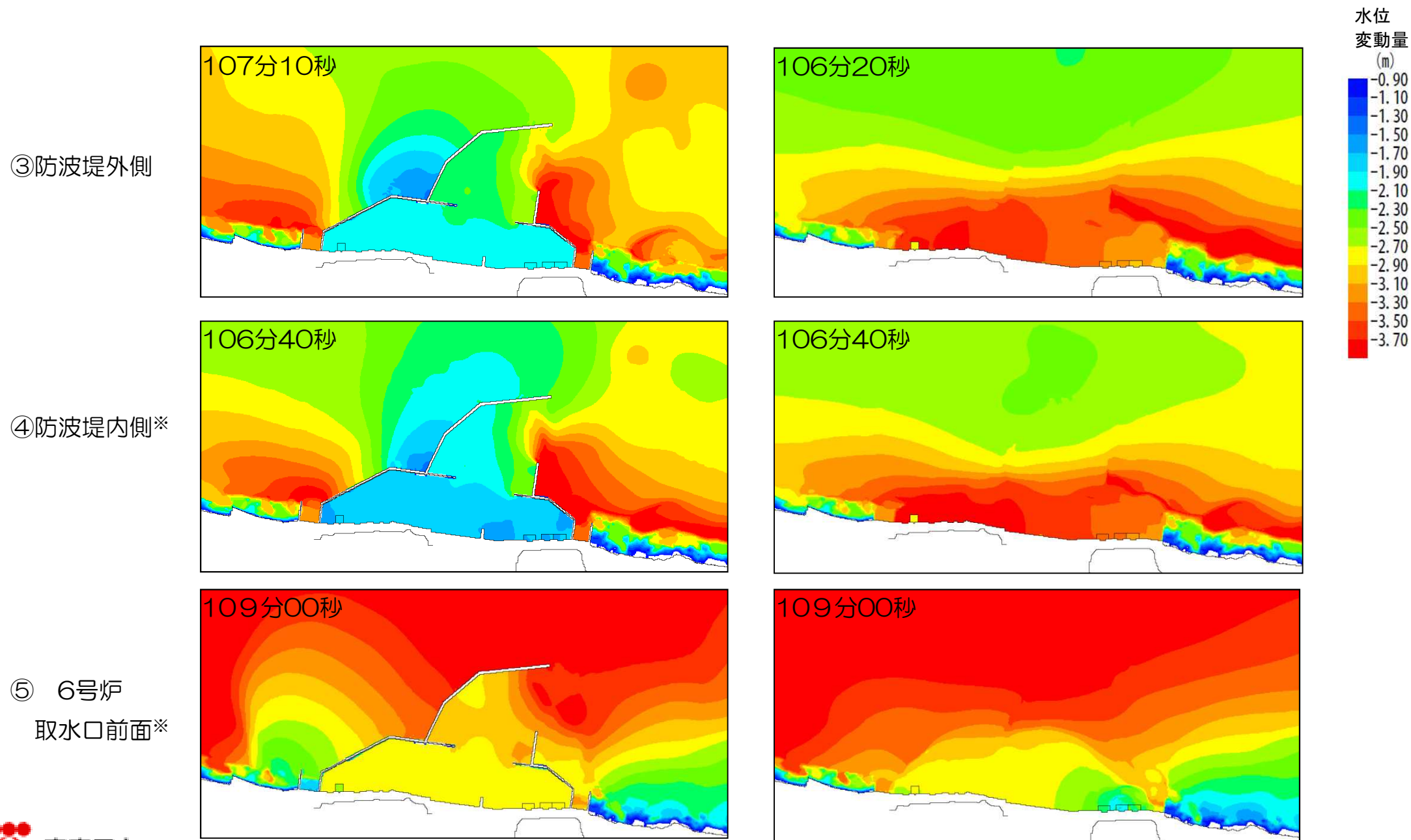
抽出点



時刻歴波形（左：防波堤あり 右：防波堤なし）

# 1. 1 【参考】 取水路水位変動評価（防波堤なし）に関する補足

- 各着目点における水位変動のピーク時刻のスナップショット（左：防波堤あり，右：防波堤なし）

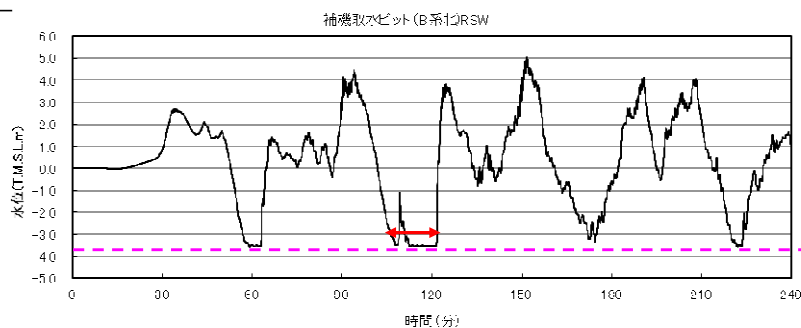


※防波堤ありのケースにおいては、ピークが確認できないため、防波堤なしケースと同じ時刻のスナップショット

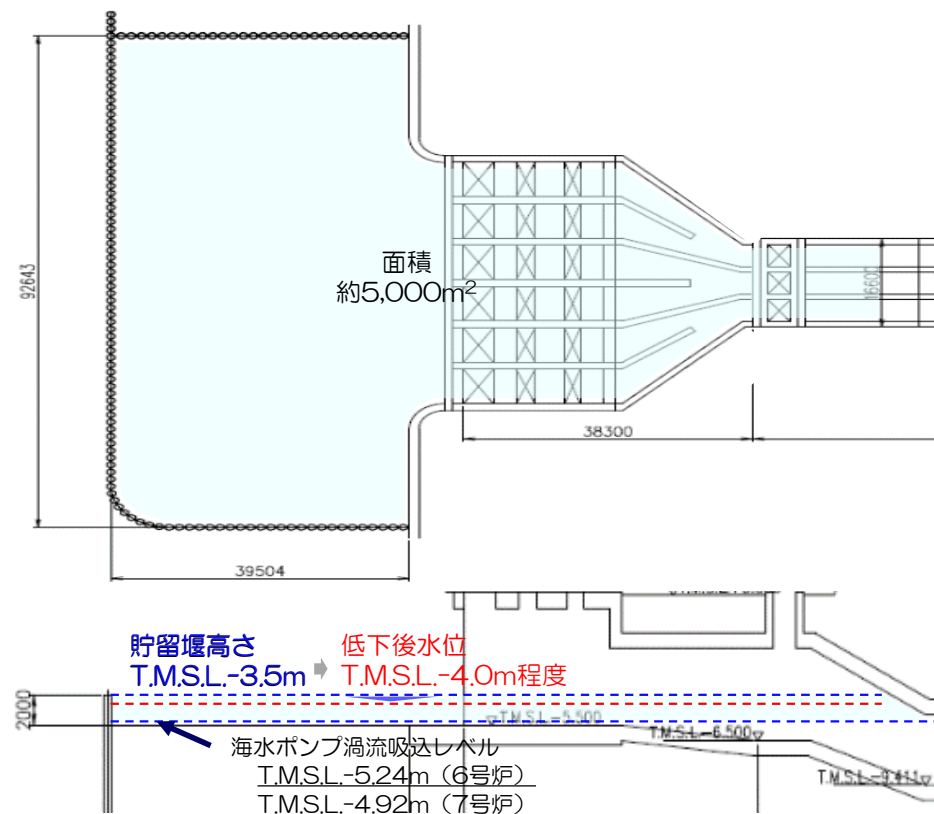
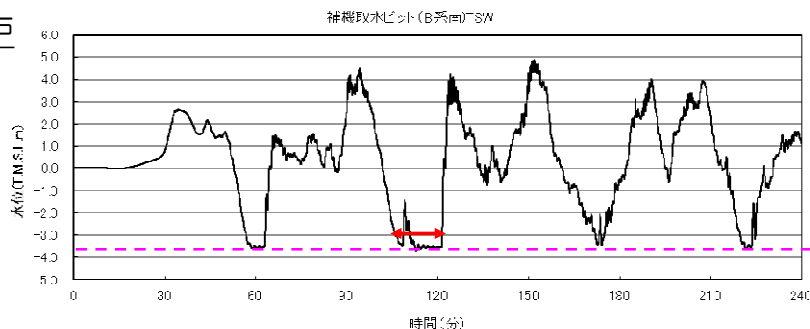
# 1. 1 【参考】 取水路水位変動評価（防波堤なし）に関する補足

- ポンプによる取水が全体貯留量に及ぼす影響について、保守的な評価として水位変動を考慮せず評価した。
- 水位が貯留堰を下回る時間が約10分から約13分へと増加するものの、取水量に対する全体貯留量には十分な余裕があり、取水への影響はないことを確認した。

## 6号炉



## 7号炉



下降側最小ケース		貯留堰を下回る継続時間	時間あたり取水量 (時間あたり水位低下量)	取水量 (水位低下量)	全体貯留量 (全体貯留高)
6号炉	日本海東縁部 (2領域モデル)	約13分	180m <sup>3</sup> /min (約0.04m/min)	約2,400m <sup>3</sup> (約0.5m)	約10,000m <sup>3</sup> (約1.74m)
7号炉	日本海東縁部 (2領域モデル)	約13分	180m <sup>3</sup> /min (約0.04m/min)	約2,400m <sup>3</sup> (約0.5m)	約8,000m <sup>3</sup> (約1.42m)

No.	H27.12.11 審査会合 コメント
2	陸上地すべり評価において、SD-2,3の取水口前面水位がSD-5より低くなる要因について、さらなる考察を行うこと。また、評価に用いている数値シミュレーション手法の妥当性について説明すること。

### 検討概要

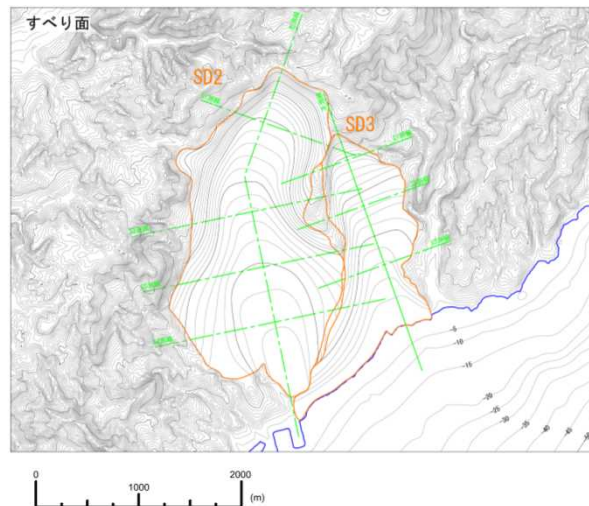
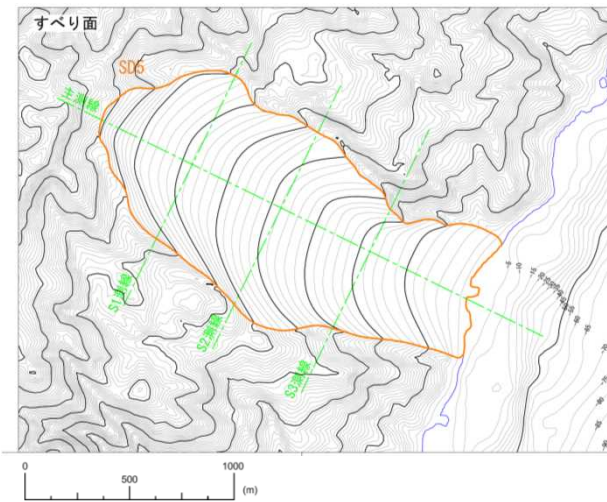
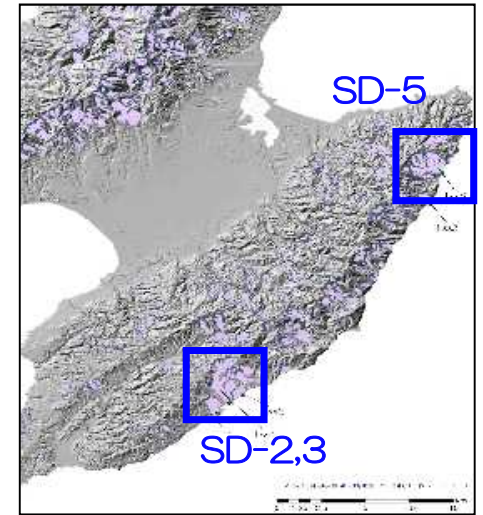
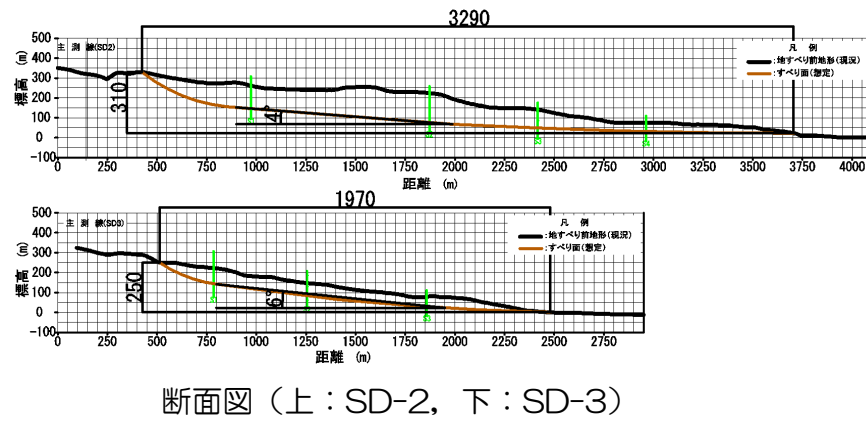
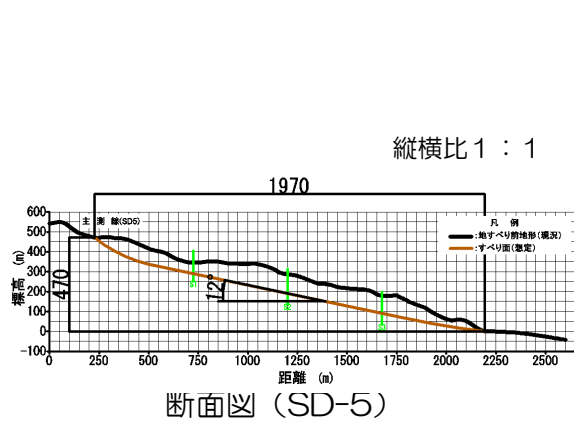
陸上地すべりによる津波評価については、以下の流れで実施している。

- ① 想定した地すべり地形に対する土砂崩壊シミュレーション（TITAN-2D）
  - ② 土砂崩壊シミュレーションの算定結果を用いた津波水位評価
- SD-5より発電所に近いSD-2,3の取水口前面水位が低くなる要因として、地すべり地形や海底地形、崩壊土砂の突入量や移動速度等について比較・検討した。
  - 陸上地すべり評価において、複数の方法を用いて総合的に評価することにより安全側の判断がなされていることを確認するため、海底地すべりと同様に二層流モデルに基づく手法に加え、Watts他に基づく手法による水位評価を実施し、数値シミュレーション手法の妥当性について検討した。



## 検討条件

- SD-2,3については、保守的に二つの地すべり土塊の同時崩壊を考慮していることから、二層流モデルに基づく手法におけるパラメータについては現実的なパラメータ設定を採用している。
- ここでは、SD-5との比較のため、保守的パラメータ設定に条件を揃えて水位評価を行い、比較検討した。



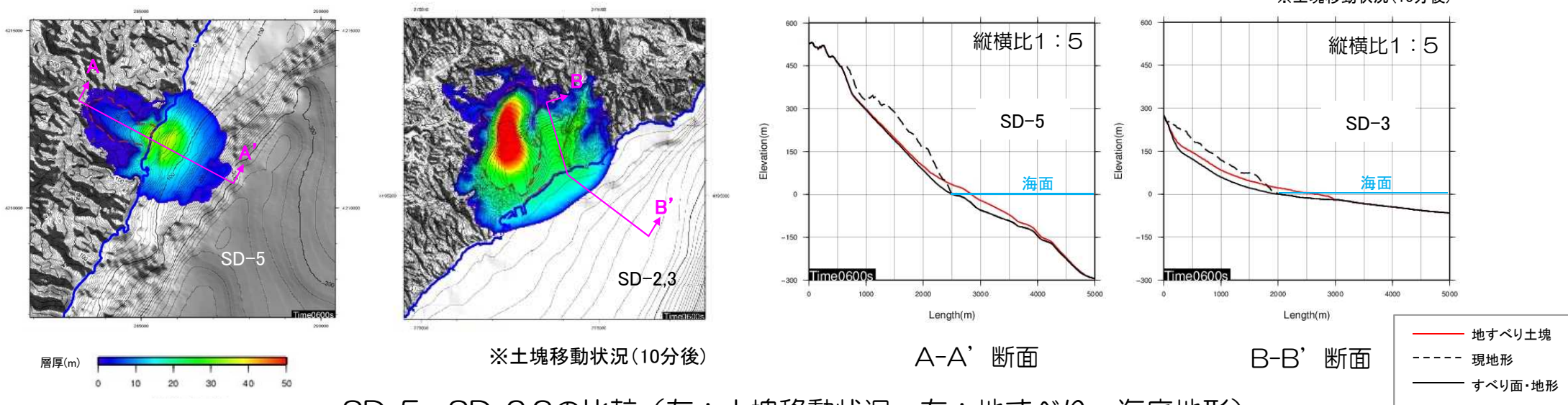
二層流モデルに基づく手法のパラメータ設定

パラメータ	保守的パラメータ	現実的パラメータ
下層の密度 $\rho_2$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.0	1.8
下層の底面粗度係数 $n_2$ (m <sup>-1/3</sup> ·s)	0.08	0.40

# 1. 2 陸上地すべりによる津波評価に関する検討

## SD-5とSD-2,3の津波評価に関する考察（概要）

- SD-5より発電所に近いSD-2,3の取水口前面水位が低くなる要因について検討した。
- SD-5の地すべり土塊はSD-2,3より小さいものの、すべり面や海底地形の勾配、水深がSD-2,3より大きく、海域へ突入する土塊量、移動速度や範囲が大きいことが、SD-5の方が取水口前面水位が高くなる要因であると考えられる。



SD-5, SD-2,3の比較（左：土塊移動状況，右：地すべり・海底地形）

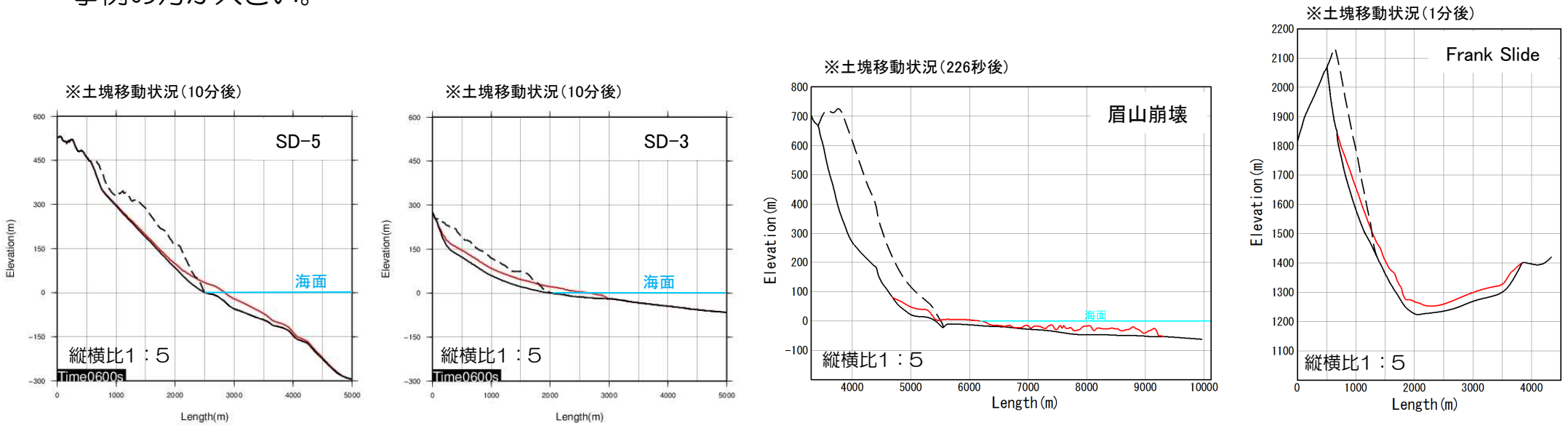
### 地すべり土塊の比較

		地すべり土塊量 ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ )		すべり面 勾配( $^\circ$ )	海域部突入量 ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ )	1号炉取水口前面水位(m) (内数値は平均潮位T.M.S.L.+0.26m を除いた水位変動量)
SD-5		91		12	69	1.52(1.26)
SD-2,3	SD-2	206	258	4	32	0.64 <sup>*</sup> (0.38)
	SD-3	52		6		

※ 現実的パラメータを用いた場合, 0.40m

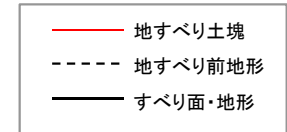
## SD-5, SD-2,3と実崩壊事例の土塊及びすべり面勾配の比較

- SD-5とSD-2,3の想定地すべりと既往文献で示されている地すべりについて、地すべり土塊量やすべり面勾配を比較した。地すべり土塊量は実事例と同規模であるが、すべり面勾配は、SD-5やSD-2,3の想定すべり面より実事例の方が大きい。



地すべり土塊の比較

	評価対象		地すべり土塊量 ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ )		すべり面 勾配( $^\circ$ )
	SD-5	SD-2,3	SD-2	SD-3	
当社評価	SD-5		206	258	12
	SD-3		52		6
Sassa et al.(2014)	眉山崩壊		340		28.1
Galas(2008)	Frank Slide		36		25

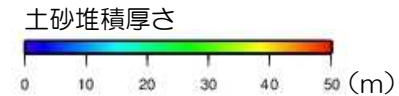




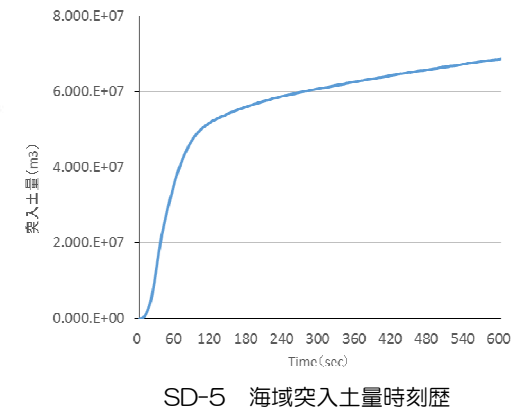
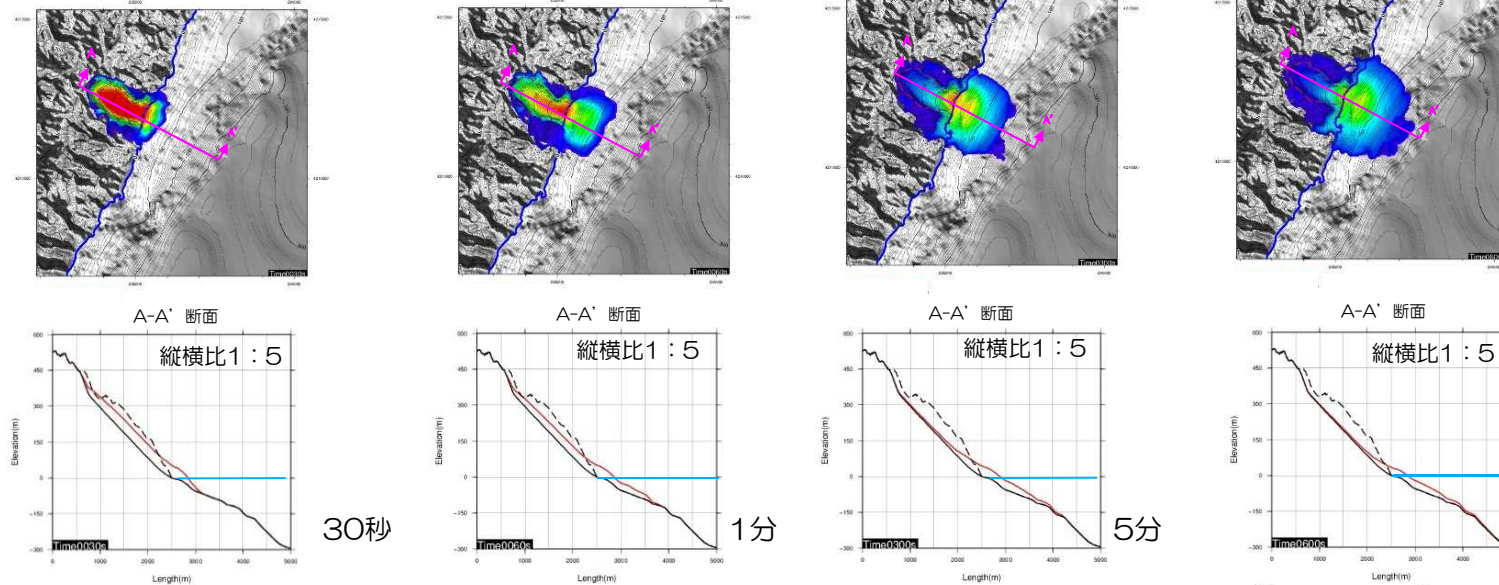
# 1. 2 陸上地すべりによる津波評価に関する検討

## 土砂崩壊状況の比較

- SD-5は、2分までに10分後突入量の約75%の土砂が海域へ突入しているのに対して、SD-2,3は、10分まで徐々に土砂が突入している。

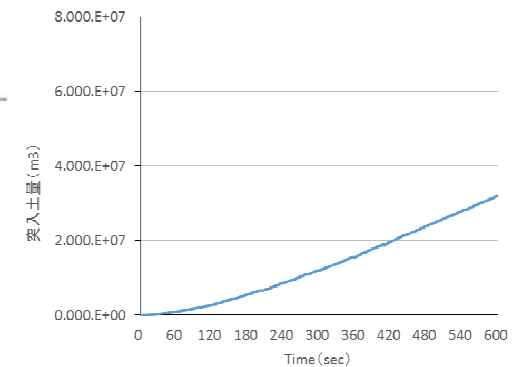
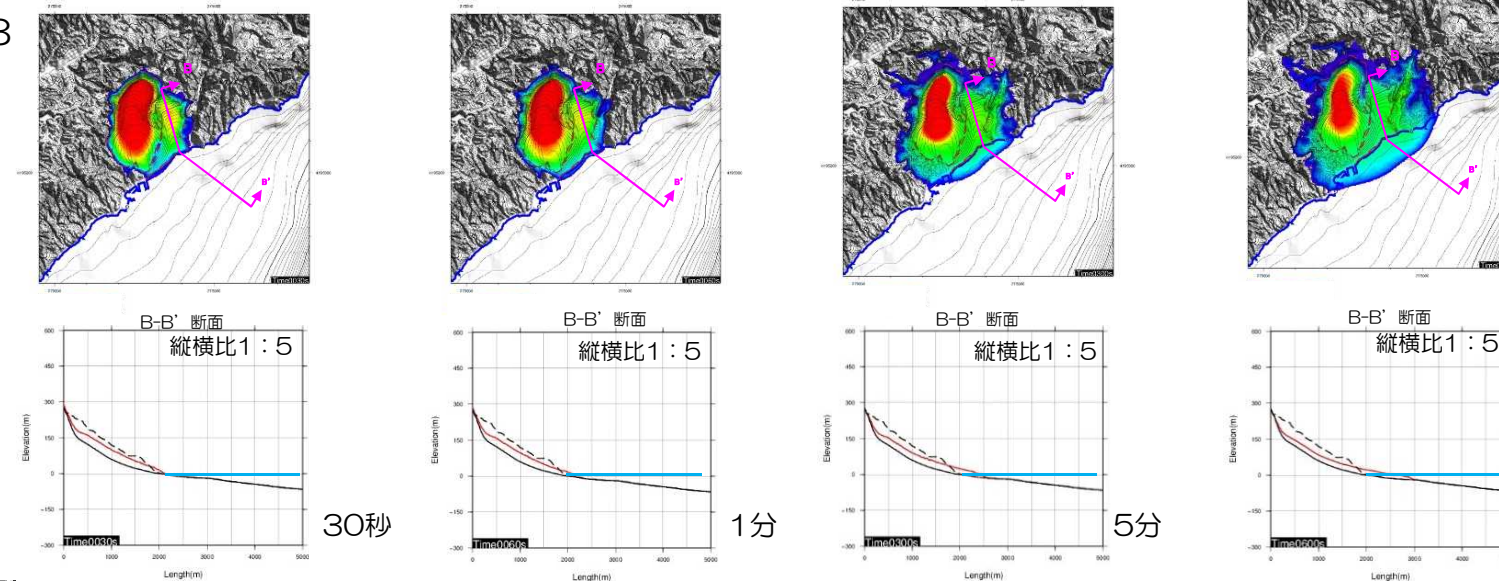


SD-5



SD-5 海域突入土量時刻歴

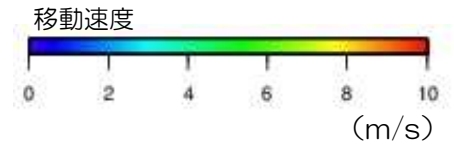
SD-2,3



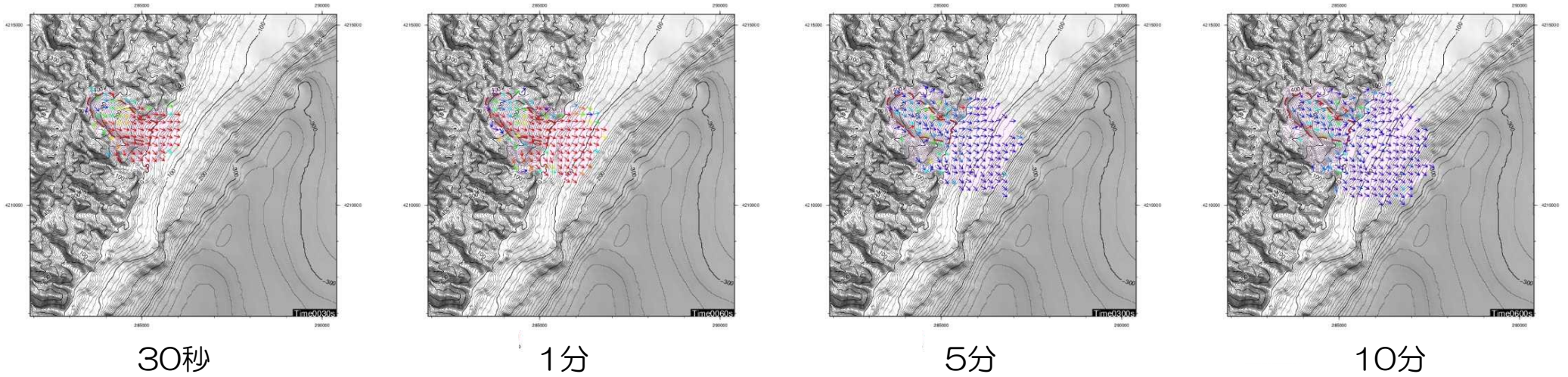
SD-2,3 海域突入土量時刻歴

## 土砂崩壊時の移動速度の比較

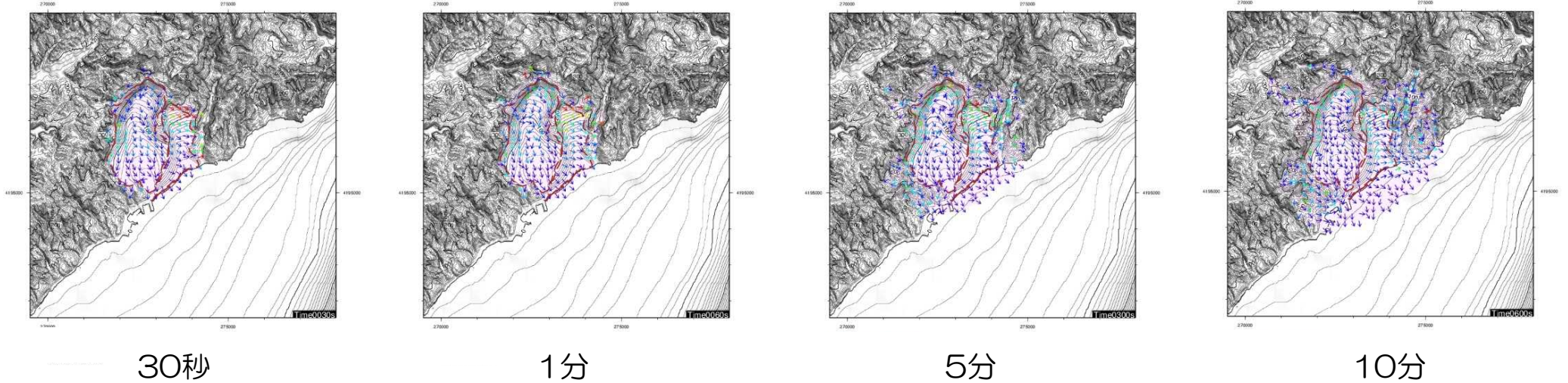
- SD-2,3よりSD-5の方が30秒、1分時の移動速度が大きい。堆積層厚最大位置の最大移動速度は、SD-5で約22m/s、SD-2,3で約4m/sであり、SD-2,3の最大移動速度はSD-5の1/5程度である。



SD-5

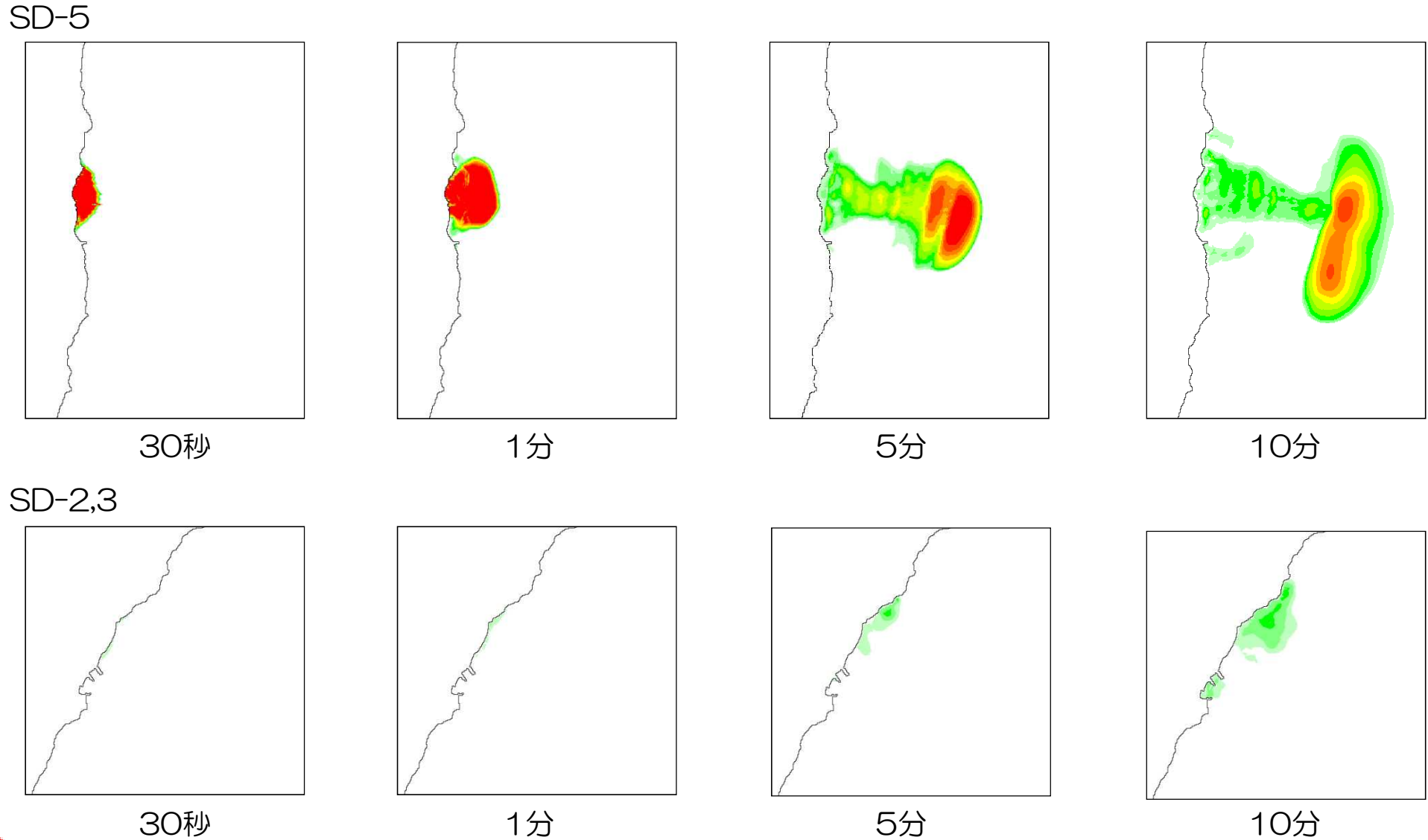


SD-2,3



## 海域土砂堆積厚さの比較

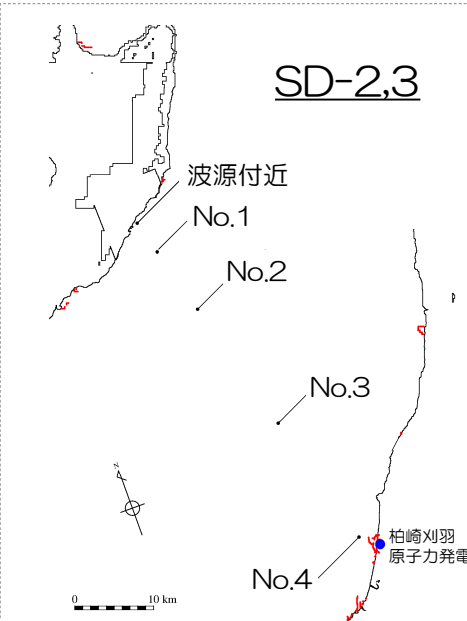
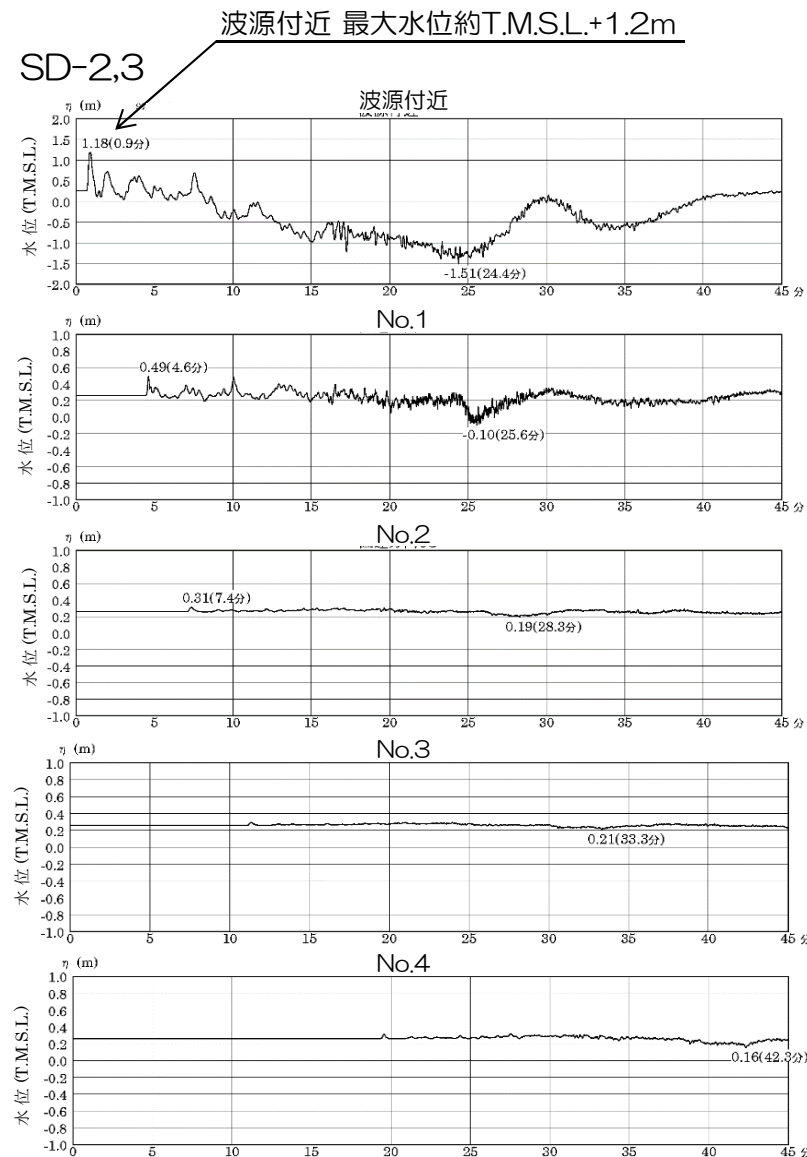
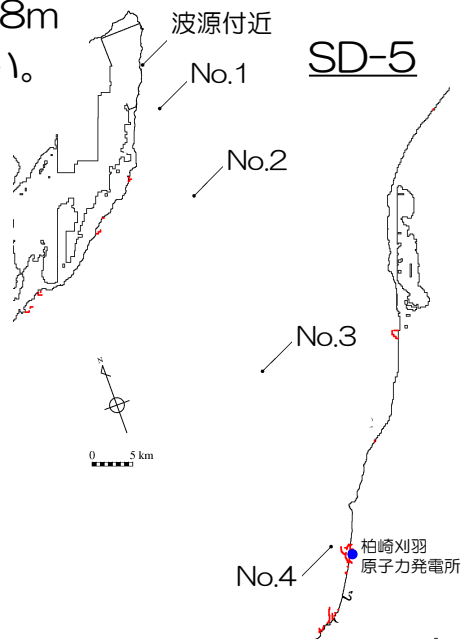
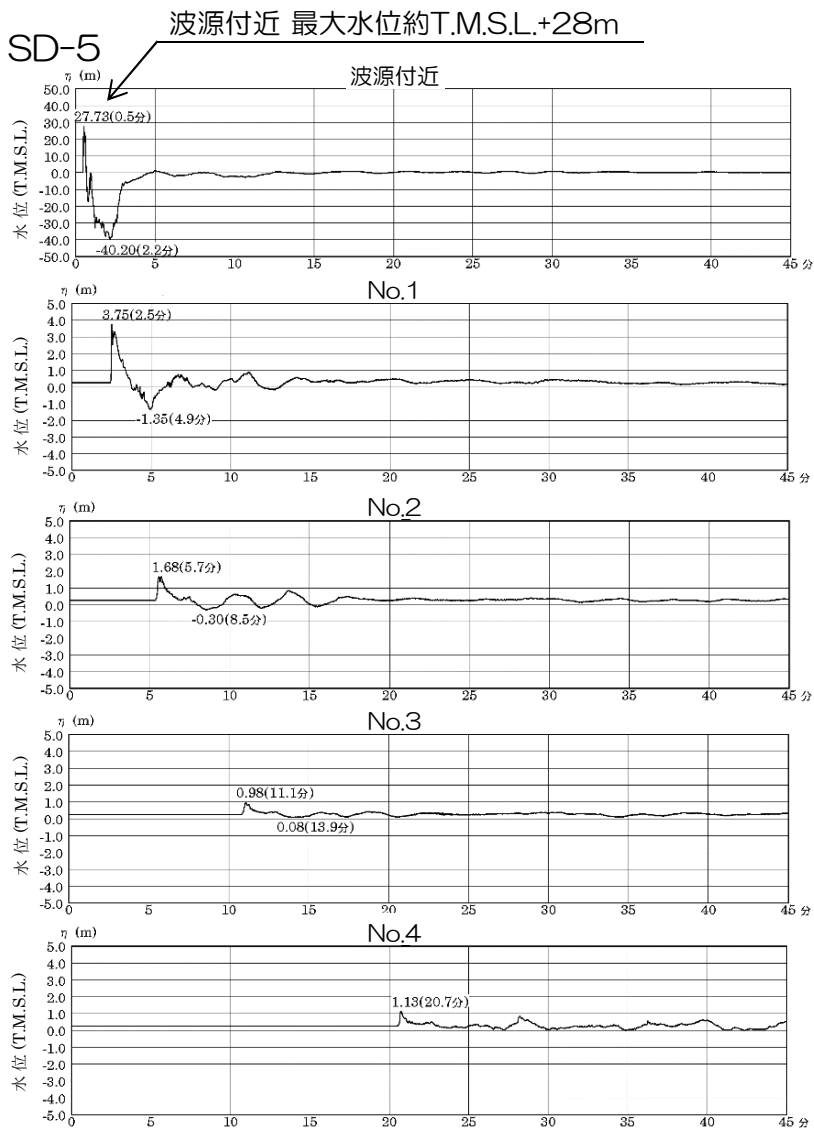
- SD-2,3よりSD-5の方が、堆積範囲や堆積厚さが大きい。



# 1. 2 陸上地すべりによる津波評価に関する検討

## 水位伝播状況の比較（水位時刻歴）

- 波源付近の最大水位は、SD-5の約T.M.S.L.+28mに対して、SD-2,3では約T.M.S.L.+1.2mと低い。

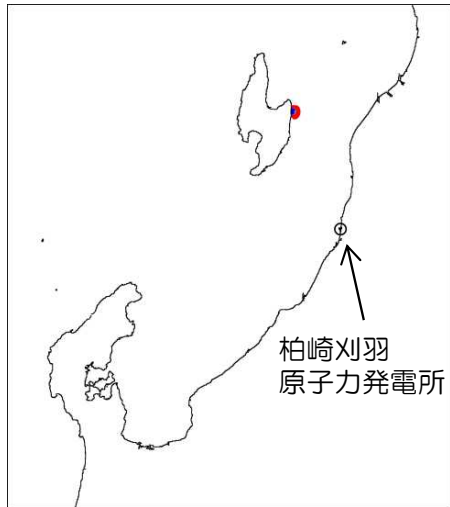




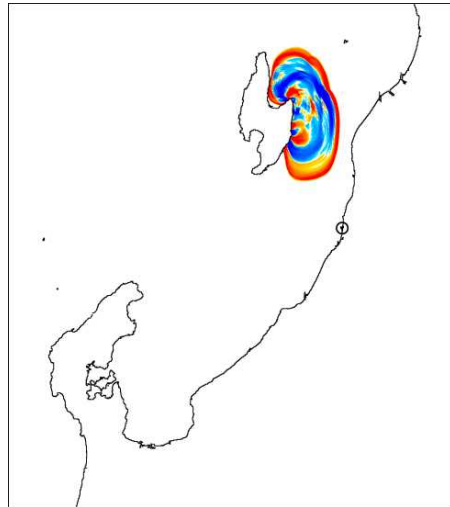
## 水位伝播状況の比較

- 波源水位の高さの違いが伝播水位の違いに表れている。

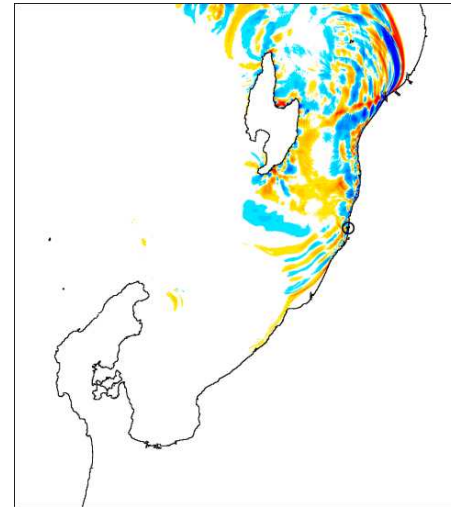
SD-5



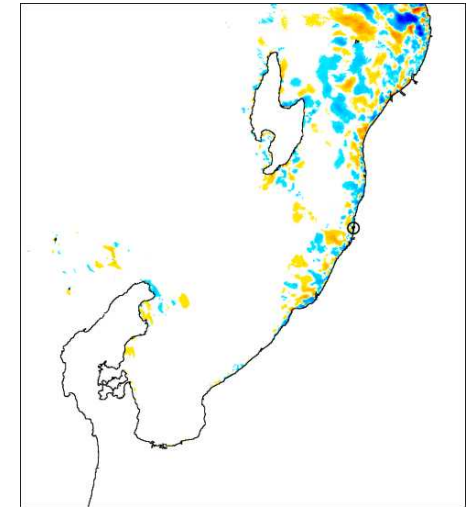
2分



10分

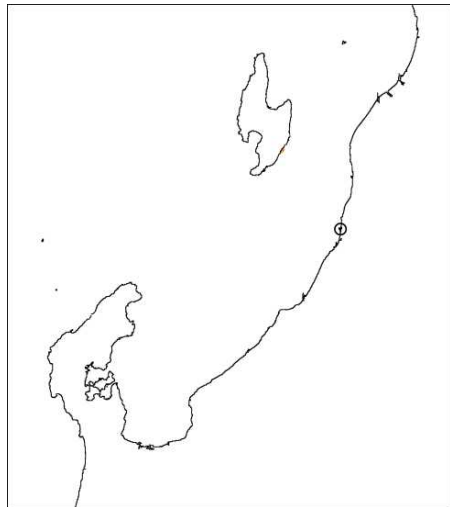


30分

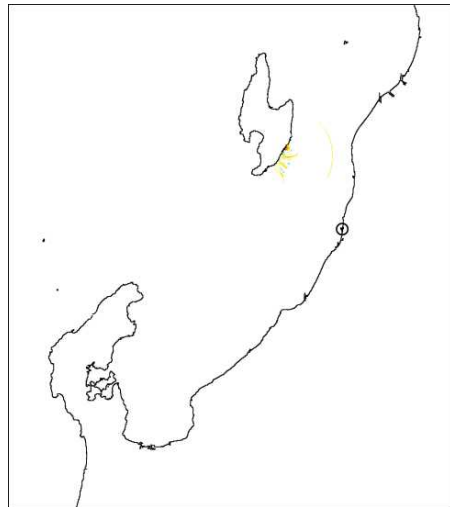


60分

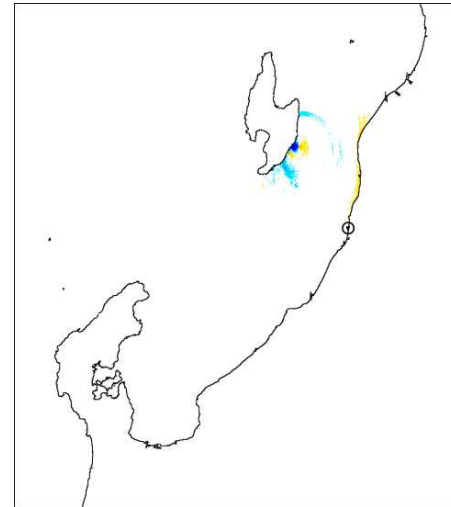
SD-2,3



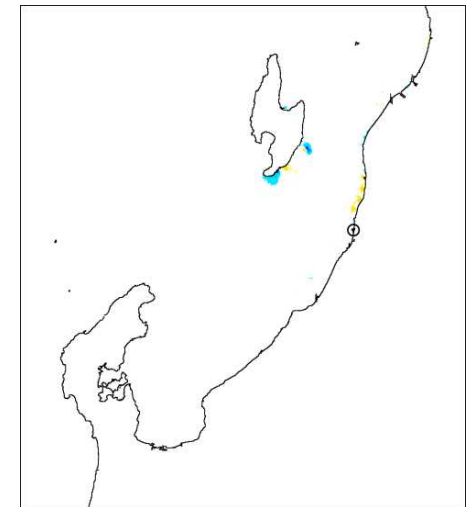
2分



10分

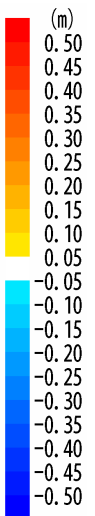


30分



60分

水位  
上昇量





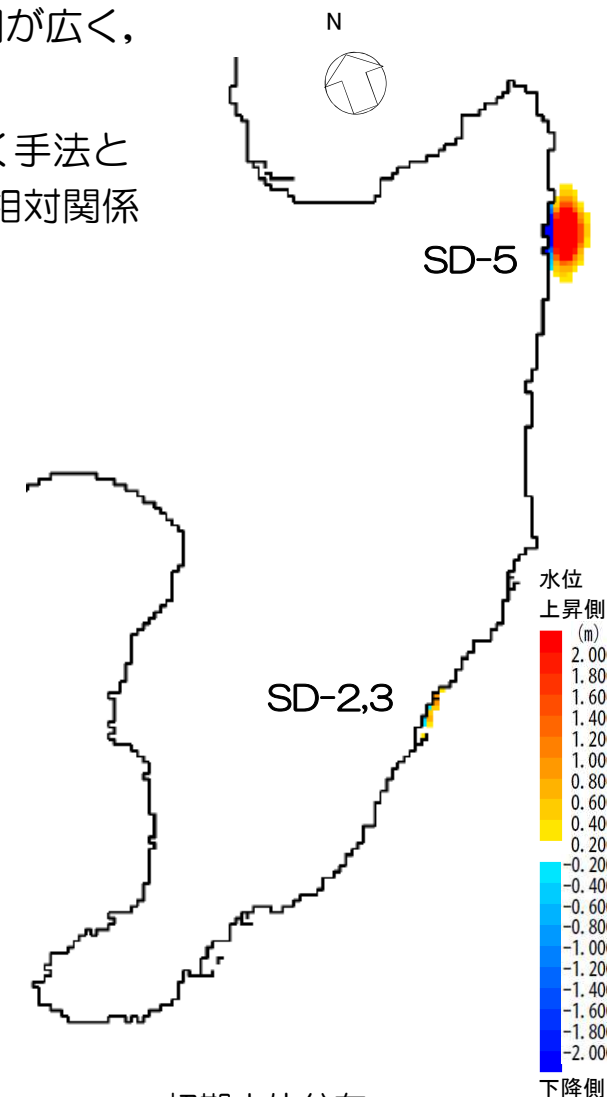
## 1. 2 陸上地すべりによる津波評価に関する検討

### Watts他に基づく手法による水位評価

- 二層流モデルに基づく手法による水位評価との比較を目的に、Fritz et al.(2004)の波源振幅予測式を用いたWatts他に基づく手法による水位評価を実施した。
- 波源域の初期水位分布は、二層流モデルに基づく手法と同様にSD-5の方が範囲が広く、最大値も大きい。
- 取水口前面水位は、二層流モデルに基づく手法より低く、二層流モデルに基づく手法と同様にSD-5の方が水位が高く、SD-5とSD-2,3の潮位を除いた水位変動量の相対関係は大きく変わらない。

設定パラメータ及び水位評価結果

		SD-5	SD-2,3	設定根拠
s	(m) 土塊の層厚	56.35	26.14	突入範囲の最大値
b	(m) 土塊の幅	1785	3183	最大層厚発生時の幅
Vs	(m <sup>3</sup> ) 土塊の体積	17 × 10 <sup>6</sup>	13 × 10 <sup>6</sup>	最大層厚発生時の海域突入量
v <sub>s</sub>	(m/s) 土塊の突入速度	21.75	3.56	最大層厚位置での最大値
h	(m) 静水深	74.04	13.90	最大層厚発生時の最深値
$\eta_{0,2D}$	(m) 2次元振幅	11.03	1.09	
$\lambda_0$	(m) 第一波の波長	609.20	115.88	
$\eta_{0,3D}$	(m) 3次元振幅	8.22	1.05	初期水位分布最大値
1号炉取水口前面水位(m)Watts他		<u>0.51 (0.25)</u>	<u>0.34 (0.08)</u>	注: ( )内数値は、平均潮位T.M.S.L.+0.26mを除いた水位変動量
参考: 1号炉取水口前面水位(m)二層流モデル		1.52 (1.26)	0.64 (0.38)	



初期水位分布

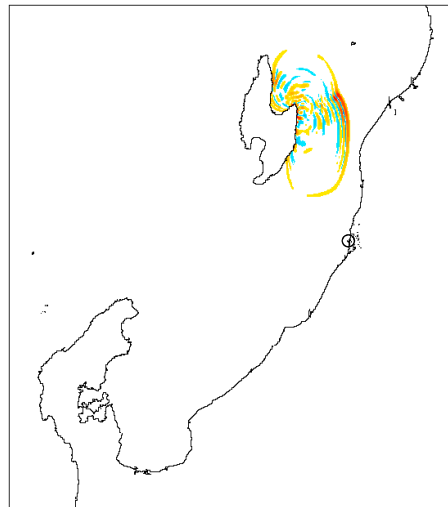
※ 予測式パラメータは、TITAN-2Dによる土砂崩壊シミュレーション結果から設定

## Watts他に基づく手法による水位評価（水位伝播状況）

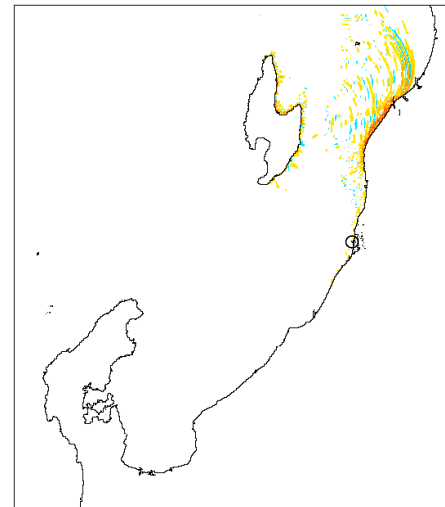
SD-5



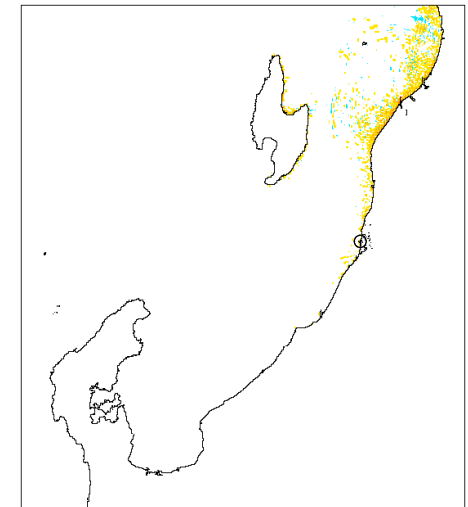
2分



10分

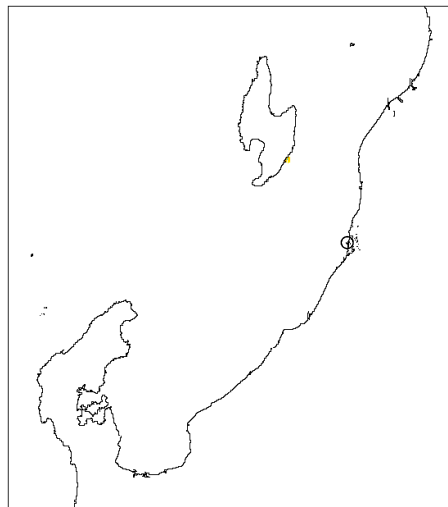


30分

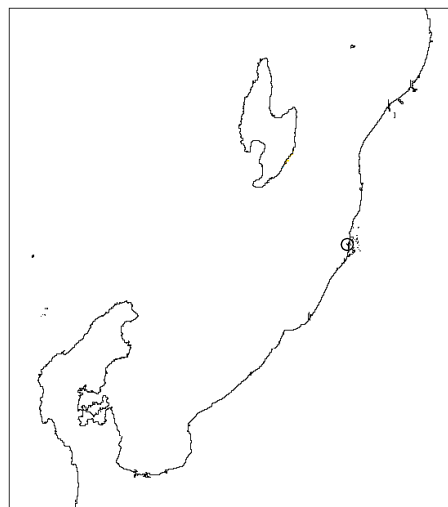


60分

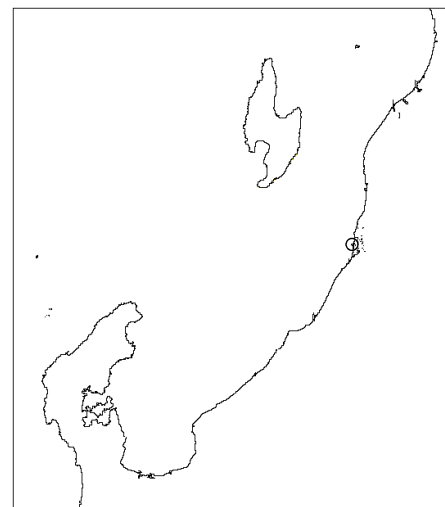
SD-2,3



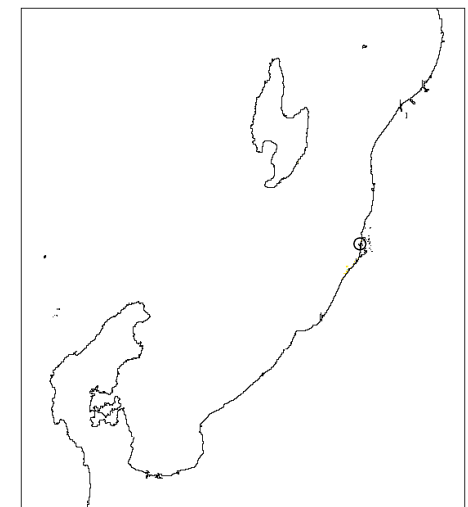
2分



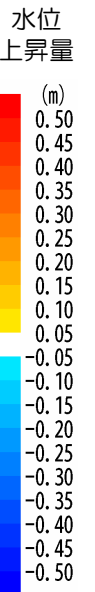
10分



30分



60分



No.	H27.12.11 審査会合 コメント
2	陸上地すべり評価において、SD-2,3の取水口前面水位がSD-5より低くなる要因について、さらなる考察を行うこと。また、評価に用いている数値シミュレーション手法の妥当性について説明すること。

## まとめ

- SD-5より発電所に近いSD-2,3の取水口前面水位が低くなる要因として、地すべり地形や海底地形、崩壊土砂の突入量や移動速度等について比較・検討した。その結果、SD-2,3と比較してSD-5の方が、地すべり面や海底地形の勾配、崩壊土砂の海域への突入量や移動速度等が大きいことが主な要因であると考察した。
- 複数の方法を用いて総合的に評価することにより安全側の判断がなされていることを確認するため、二層流モデルに基づく手法に加え、Watts他に基づく手法による水位評価を実施した。その結果、取水口前面水位は二層流モデルに基づく手法より小さく、SD-5とSD-2,3の潮位を除いた水位変動量の相対関係は大きく変わらないことから、数値シミュレーション手法は妥当であると評価した。

地すべり土塊の比較

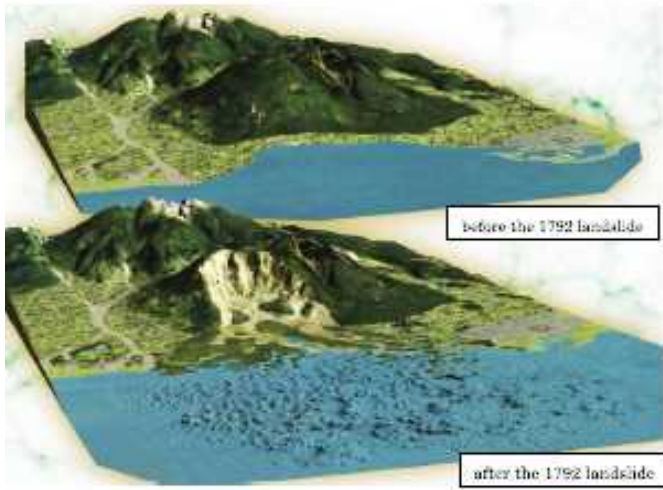
		地すべり土塊量 ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ )		すべり面 勾配( $^\circ$ )	海域部突入量 ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ )
SD-5		91		12	69
SD-2,3	SD-2	206	258	4	32
	SD-3	52		6	

水位評価結果

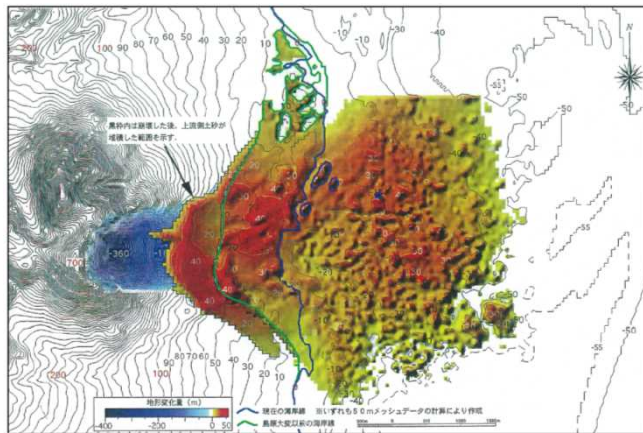
	1号炉取水口前面水位(m) (内数値は平均潮位T.M.S.L.+0.26m を除いた水位変動量)	
	二層流 モデル	Watts他
SD-5	1.52 (1.26)	0.51 (0.25)
SD-2,3	0.64 (0.38)	0.34 (0.08)

## TITAN-2Dによる眉山崩壊再現シミュレーション

対象事例	検証方法	評価概要
1792年 島原眉山崩壊	・眉山崩壊に関するTITAN-2Dによる再現シミュレーション	・眉山崩壊後の海域の土砂堆積量や崩土堆積範囲を概ね再現できている



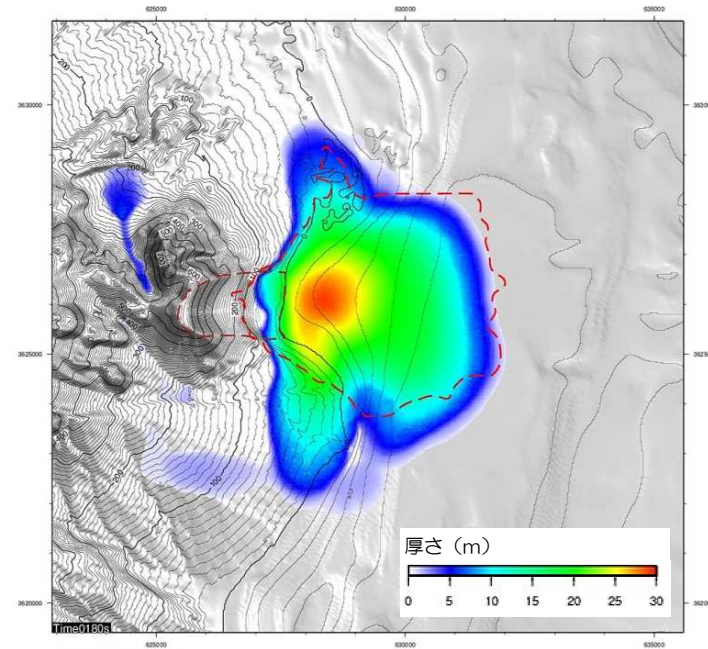
解析用モデル化地形の状況※1  
 上段：崩壊前  
 下段：崩壊後



地形変化量図※1

解析諸元・結果

内部摩擦角  $\phi_{int}=30^\circ$   
 底面摩擦角  $\phi_{bed}=8.08^\circ$  (海域  $5.0^\circ$ )  
 崩壊地塊  $V=3.25 \times 10^8 m^3$   
 海域部堆積土量 文献評価： $2.76 \times 10^8 m^3$  ※2  
 解析結果： $2.48 \times 10^8 m^3$



TITAN-2D解析結果  
 土砂崩壊状況図  
 (180秒)

※1 砂防フロンティア整備推進機構（2003）；島原大変，国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所。  
 ※2 北側に未測定部あり

## 1. 2 【参考】陸上地すべりによる津波評価に関する検討

### 土砂崩壊シミュレーション手法（TITAN-2D）の適用性について

- TITAN-2Dは、下表に示すとおり、模型実験や実事例を対象とした再現シミュレーションに基づく妥当性の検証がなされており、土砂崩壊シミュレーションへの適用については妥当であると判断できる。

文献名	対象事例	評価概要
Denlinger et al.(2001)	小規模実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 幅20cm, 長さ100cm, 勾配31.4° のスロープを降下する砂質材料の経時的挙動再現解析を実施</li> <li>• 崩壊土砂分布範囲及び堆積厚さの経時的な変化を再現することができる</li> </ul>
	実斜面による大規模実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 幅2m, 長さ82.5m, 勾配31° のスロープを降下する砂礫材料の経時的挙動再現解析を実施</li> <li>• 任意断面位置での地塊層厚経時変化やスロープ端部に堆積した土砂の分布範囲及び層厚を再現することができる</li> </ul>
Galas(2008)	単調, 2段勾配スロープ実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 長さ約280cm, 勾配40° のスロープを降下する土砂材料の経時的挙動再現解析を実施</li> <li>• 長さ約6.5m, 勾配26.6° から7.1° へと変化するスロープ降下土砂材料の経時的挙動再現解析を実施</li> <li>• 崩壊土砂分布範囲及び堆積厚さの経時的な変化を概ね再現することができる</li> </ul>
	1903年 Turtle Mountainの岩屑なだれ (Frank Slide)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 崩壊土量<math>3.6 \times 10^7 \text{m}^3</math>, 平均すべり面勾配25° の大規模崩壊現象の再現解析</li> <li>• 崩壊源から最終堆積域にわたって, 崩壊土砂の移動範囲及び移動中心経路を再現することができる</li> </ul>
Sheridan et al.(2005)	1963年 Little Tahoma Peakの岩屑なだれ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 崩壊土量<math>1 \times 10^6 \text{m}^3</math>, 平均勾配15.6° の斜面流下挙動の再現解析</li> <li>• 崩壊源から堆積域にわたって, 崩壊土砂の移動範囲を再現することができる</li> </ul>



## 1. 2 【参考】陸上地すべりによる津波評価に関する検討

### 実事例に対する検討事例について

- 島原眉山の山体崩壊とそれに伴う津波に対するシミュレーションによる検討は、下表に示す複数の論文により、再現シミュレーションの妥当性について確認されている。
- 実事例の再現シミュレーションで用いられている土砂崩壊のシミュレーション手法については、いずれも土塊の挙動を非圧縮性粘性流体の運動とみなし、連続式及び運動方程式を解くことによりその挙動を算定している。

文献名	対象事例	評価手法	評価概要
柳澤ほか (2014)	1792年 島原眉山崩壊	<ul style="list-style-type: none"> <li>・眉山崩壊と津波に関する再現シミュレーション</li> <li>・土質パラメータ(摩擦則)を適用できるように改良された二層流モデルにより再現シミュレーションを実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・眉山崩壊後の堆積範囲をほぼ再現できている</li> <li>・都司ほか(1993.1997)の痕跡高との比較では、土木学会基準を満たす結果となっている (<math>K=0.96</math>, <math>\kappa=1.37</math>)</li> </ul>
笹原(2004)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・山体崩壊と津波に関する再現シミュレーション</li> <li>・山体崩壊:LS-FLOW</li> <li>・津波解析:水路協会</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海中突入土砂量を種々に変化させた場合の、崩土堆積領域と津波高さのパラメトリックスタディーを実施</li> <li>・山体崩壊シミュレーションでは、眉山崩壊後の堆積範囲と整合する結果が得られた(ケースa,c)</li> <li>・津波評価では島原半島側の遡上高とよい整合性を示している</li> </ul>
Sassa et al. (2014)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・山体崩壊挙動の再現シミュレーション</li> <li>・解析コード:LS-RAPID</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・眉山崩壊後の平面的な崩土堆積範囲を再現できている</li> <li>・断面的な崩土堆積厚さおよび分布を再現することができる</li> </ul>

## 1. 2 【参考】陸上地すべりによる津波評価に関する検討

### 土砂崩壊シミュレーション手法（TITAN-2D）の概要

- TITAN-2Dは、ニューヨーク州立大バッファロー校でM. F. Sheridanらのグループが開発し、公開しているプログラムである。（ニューヨーク州立大バッファロー校HP, Patra et al., 2005）。
- TITAN-2Dは、岩屑なだれ・火砕流等を多数の粒子の集合体からなる連続体と考え、土塊の挙動を非圧縮性粘性流体の運動とみなし、連続式及び運動方程式を数値的に解いている。
- 主に陸上の山体崩壊等のシミュレートに用いられ、基盤岩の一部が力学的な安定を失って崩壊する現象の再現に適している。

#### ○連続の式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial \overline{hu}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{hv}}{\partial y} = 0$$

#### ○運動方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \overline{hu}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \overline{hu^2} + \frac{1}{2} k_{ap} g_z h^2 \right) + \frac{\partial \overline{huv}}{\partial y} \\ & = -hk_{ap} \operatorname{sgn} \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right) \frac{\partial h g_z}{\partial y} \sin \phi_{int} - \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \left[ g_z h \left( 1 + \frac{u}{r_x g_x} \right) \right] \tan \phi_{bed} + g_x h \end{aligned}$$

ここで、 $h$ は層厚、 $u, v$ は速度、 $k_{ap}$ は主動(受動)土圧係数、 $g$ は重力加速度、 $r$ は斜面の曲率、 $\phi_{int}$ は内部摩擦角、 $\phi_{bed}$ は底面摩擦角、 $\operatorname{sgn}$ :実数 $a$ に対して、 $\operatorname{sgn}(a)=1, (a \geq 0)$ 、 $-1, (a < 0)$ である。  
(上付きのバーは層の断面方向の平均を、添え字の $x, y, z$ はそれぞれの座標軸方向の成分を示す)。

二層流モデルに基づく手法の概要

- 二層流モデル (Maeno and Imamura, 2007) は、地すべり物質が海底斜面を滑り降りる過程とそれに伴い海面に発生する波を同時に計算する相互作用モデルである。

計算条件

計算時間 間隔 Δt (s)	計算開始潮位 T. M. S. L. (m)	海底摩擦係数 (マニングの粗度係数) n (s/m <sup>1/3</sup> )		界面抵抗係数 f <sub>int</sub>	渦動粘性係数 ν (m <sup>2</sup> /s)
		上層	下層		下層
0.05	+0.26 (平均潮位)	0.03	0.08	0.2	0.1

[上層 (海水)]

$$\frac{\partial(\eta_1 - \eta_2)}{\partial t} + \frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M_1^2}{D_1} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{M_1 N_1}{D_1} \right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial x} = -\beta \frac{\tau_{1,x}}{\rho_1} - (1 - \beta) \cdot INTF_x$$

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M_1 N_1}{D_1} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N_1^2}{D_1} \right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial y} = -\beta \frac{\tau_{1,y}}{\rho_1} - (1 - \beta) \cdot INTF_y$$

[下層 (土砂)]

$$\frac{\partial \eta_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M_2^2}{D_2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{M_2 N_2}{D_2} \right) + g D_2 \left( \alpha \frac{\partial D_1}{\partial x} + \frac{\partial \eta_2}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \right) = DIFF_{2,x} + \alpha \cdot INTF_x - \frac{\tau_{2,x}}{\rho_2}$$

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M_2 N_2}{D_2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N_2^2}{D_2} \right) + g D_2 \left( \alpha \frac{\partial D_1}{\partial y} + \frac{\partial \eta_2}{\partial y} - \frac{\partial h}{\partial y} \right) = DIFF_{2,y} + \alpha \cdot INTF_y - \frac{\tau_{2,y}}{\rho_2}$$

ここに、添え字の 1, 2 はそれぞれ上層, 下層を, x, y はそれぞれ x, y 方向を表す。

η : 水位変動量 (η<sub>1</sub>: 静水面からの水位変化量, η<sub>2</sub>: 土砂流の厚さ)  
 D : 全水深                      g : 重力加速度                      M, N : x, y 方向の線流量  
 ρ : 密度 (ρ<sub>1</sub>=1.03g/m<sup>3</sup>, ρ<sub>2</sub>=2.0g/m<sup>3</sup>)                      α : 密度比 (= ρ<sub>1</sub> / ρ<sub>2</sub>)  
 β : 下層に土砂がない時 β=1, 下層に土砂がある時 β=0  
 τ / ρ : 底面摩擦力 (n : マニングの粗度係数)

$$\frac{\tau_{1,x}}{\rho_1} = \frac{gn^2}{D_1^{7/3}} M_1 \sqrt{M_1^2 + N_1^2}, \quad \frac{\tau_{1,y}}{\rho_1} = \frac{gn^2}{D_1^{7/3}} N_1 \sqrt{M_1^2 + N_1^2}$$

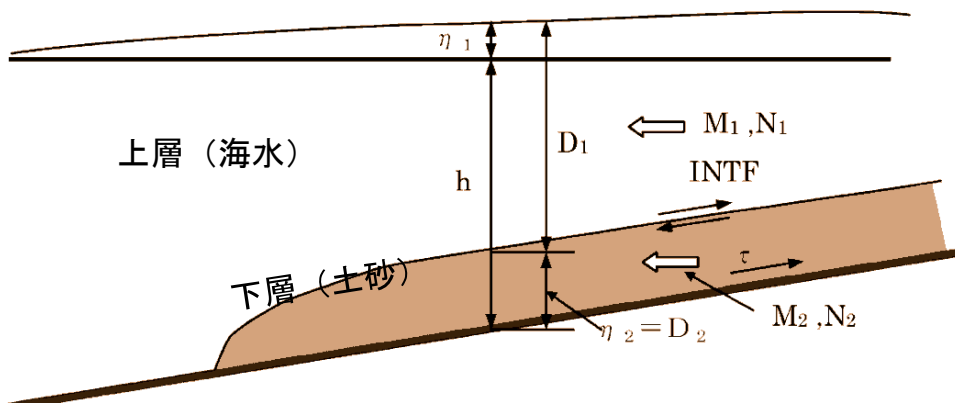
$$\frac{\tau_{2,x}}{\rho_2} = \frac{gn^2}{D_2^{7/3}} M_2 \sqrt{M_2^2 + N_2^2}, \quad \frac{\tau_{2,y}}{\rho_2} = \frac{gn^2}{D_2^{7/3}} N_2 \sqrt{M_2^2 + N_2^2}$$

INTF : 界面抵抗力 (f<sub>int</sub> : 界面抵抗係数, u, v : x, y 方向の流速),

$$INTF_x = f_{int} \bar{u} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}, \quad INTF_y = f_{int} \bar{v} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}$$

$$\bar{u} = u_1 - u_2, \quad \bar{v} = v_1 - v_2$$

DIFF : 渦動粘性項 (ν : 渦動粘性係数)





## 1. 2 【参考】陸上地すべりによる津波評価に関する検討

### Watts他に基づく手法の概要

- 水位分布の予測式に必要な波源振幅 $\eta_{0,2D}$  ( $=a_c$ ) 及び特性津波波長 $\lambda_0$  ( $=L_1$ ) については, Fritz et al.(2004) が提案する式を使用した。(山体崩壊による津波を対象とした波源振幅と波長の予測式)
- 初期水位波形については, Watts et al.(2005)を参照した。

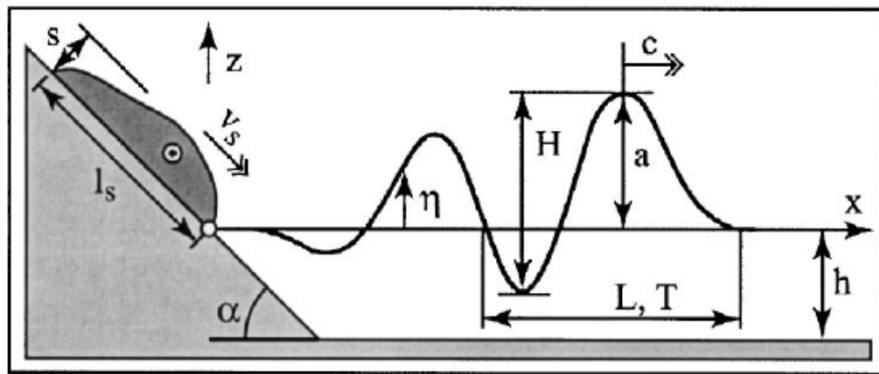
$$\frac{a_c}{h} = 0.25 \left( \frac{v_s}{\sqrt{gh}} \right)^{1.4} \left( \frac{s}{h} \right)^{0.8}$$

$a_c$ : 最大水位上昇量  
 $h$ : 海域静水深  
 $v_s$ : 土塊の突入速度※  
 $s$ : 土塊の層厚※  
 $g$ : 重力加速度

$$\frac{L_1(x/h = 5)}{h} = 8.2 \left( \frac{v_s}{\sqrt{gh}} \right)^{0.5} \left( \frac{V_s}{bh^2} \right)^{0.2}$$

$L_1$ : 第一波の波長  
 $h$ : 静水面深さ  
 $v_s$ : 土塊の突入速度※  
 $V_s$ : 土塊の体積※  
 $b$ : 土塊の幅※  
 $g$ : 重力加速度

※: TITAN-2Dによる土砂崩壊シミュレーションの結果を使用



Fritz et al (2004)

$\eta_{0,3D}$ : 波源振幅 (現象が3次元的な場合)

$$\eta_{0,3D} = \eta_{0,2D} \left( \frac{w}{w + \lambda_0} \right)$$

$\eta(x, y)$ : 初期水位波形

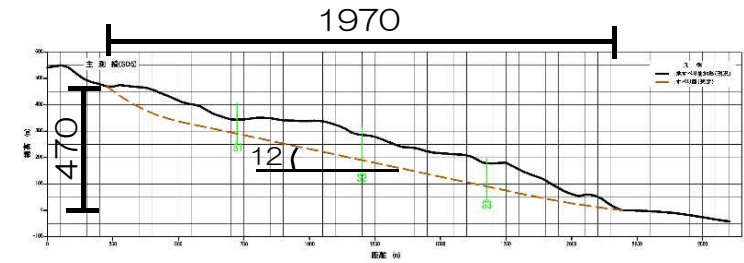
$$\eta(x, y) \approx -\frac{\eta_{0,3D}}{\eta_{\min}} \operatorname{sech}^2 \left( \kappa \frac{y - y_0}{w + \lambda_0} \right) \left( \exp \left\{ -\left( \frac{x - x_0}{\lambda_0} \right)^2 \right\} - \kappa' \exp \left\{ -\left( \frac{x - \Delta x - x_0}{\lambda_0} \right)^2 \right\} \right)$$

$\eta_{\min}$ : 振幅を除く右辺の最大値

# 1. 2 【参考】 陸上地すべりによる津波評価に関する検討

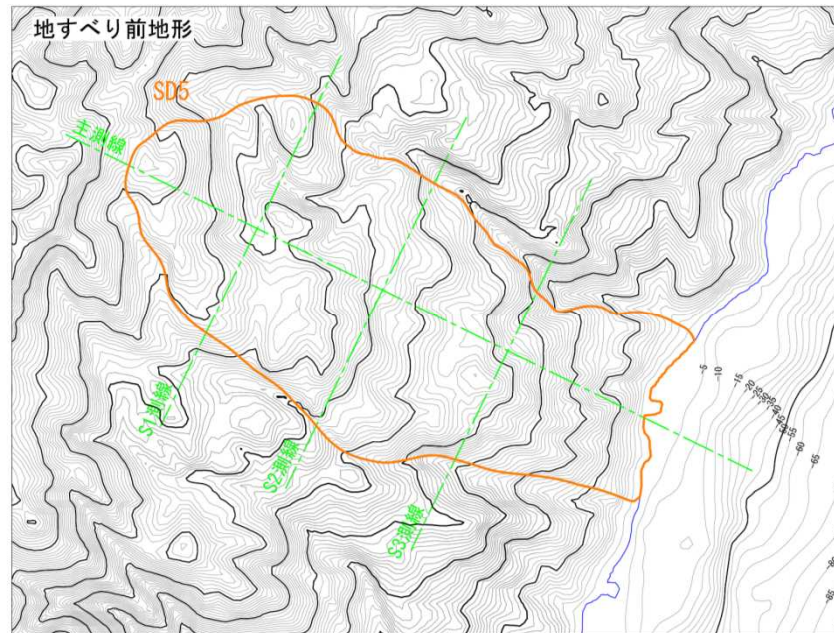
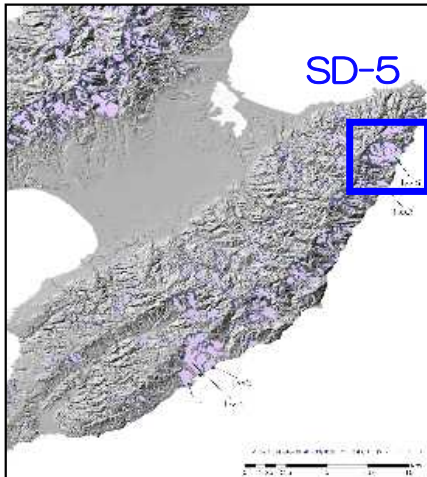
## ■SD-5：土砂崩壊シミュレーション（TITAN-2D）

- SD-5について空中写真判読を実施し、地形の詳細分析を行い、すべり面形状を推定した。
- 不確かさの考慮として、防災科学技術研究所（1986）が示す4つの地すべり土塊の連動の可能性を考慮した。
- 推定したすべり面形状を用いて、TITAN-2Dによる土砂崩壊シミュレーションを実施した。

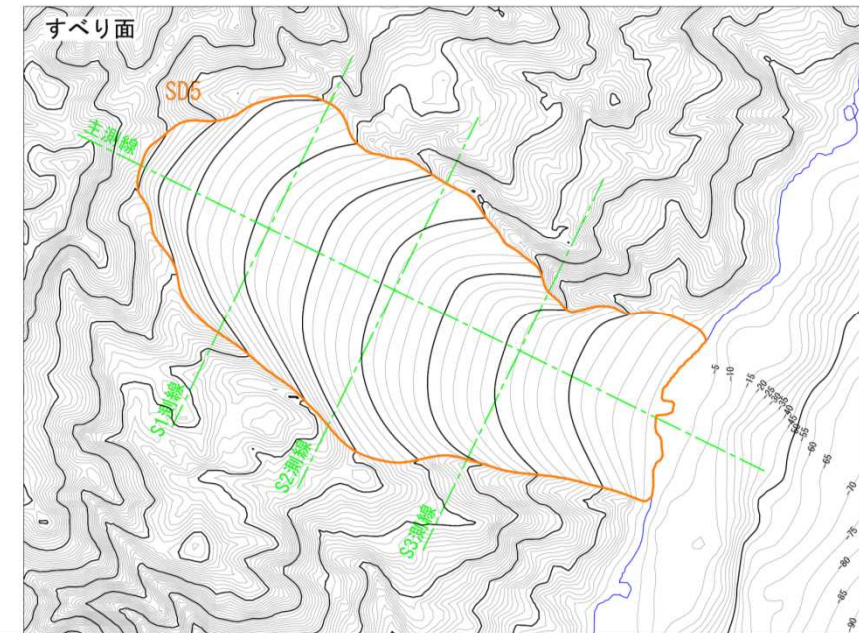


縦横比1：1

断面図



現況地形



推定したすべり面

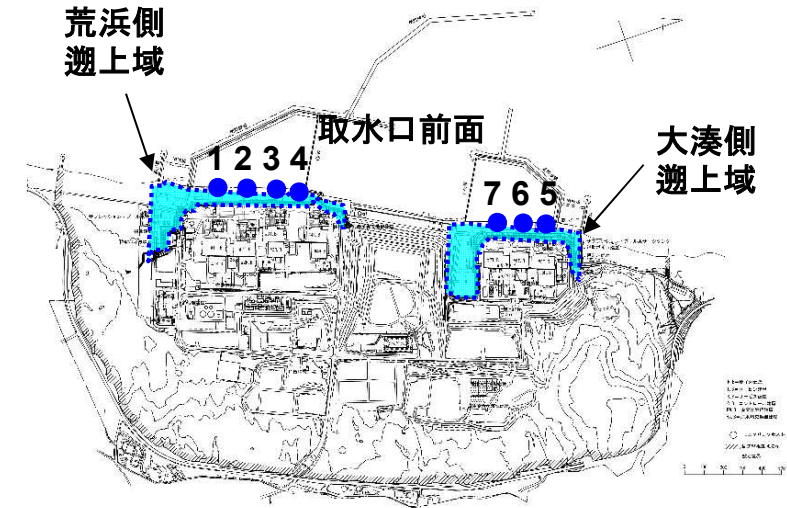
## 1. 2 【参考】陸上地すべりによる津波評価に関する検討

### ■SD-5：津波数値シミュレーション（二層流モデル）

- SD-5について、TITAN-2Dによる土砂崩壊シミュレーション結果を用い、二層流モデル（Maeno and Imamura, 2007）による津波数値シミュレーションを実施した。
- 数値シミュレーションの検討条件は、保守的なパラメータ設定（崩壊物密度 $2.0\text{g/cm}^3$ 、粗度係数（下層） $0.08\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ ）とした。

### ■津波数値シミュレーション結果（平均潮位からの水位変動量）

- 取水口前面における水位変動量は、最大水位が $+1.52\text{m}$ 、最低水位が $-1.00\text{m}$ である。
- この変動量は、海底地すべりによる津波の最大水位上昇量の $+4.11\text{m}$ 、最大水位下降量の $-3.72\text{m}$ と比べて有意に小さい。
- このため、地震による津波と地震以外の要因による津波の組み合わせ検討における、地震以外の要因による津波の検討対象として、海底地すべりによる津波を選定した。



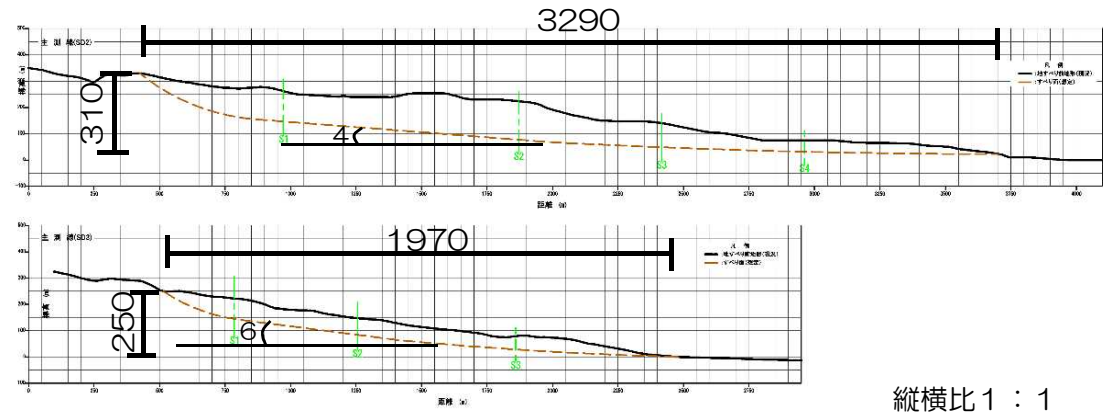
単位：T.M.S.L. [m]

	取水口前面水位							遡上域水位	
	1号炉	2号炉	3号炉	4号炉	5号炉	6号炉	7号炉	荒浜側	大湊側
上昇側	+1.52	+1.33	+1.22	+1.07	+1.05	+0.99	+0.94	+2.19	+2.17
下降側	-0.69	-0.63	-0.47	-0.39	-1.00	-0.86	-0.73	-	-



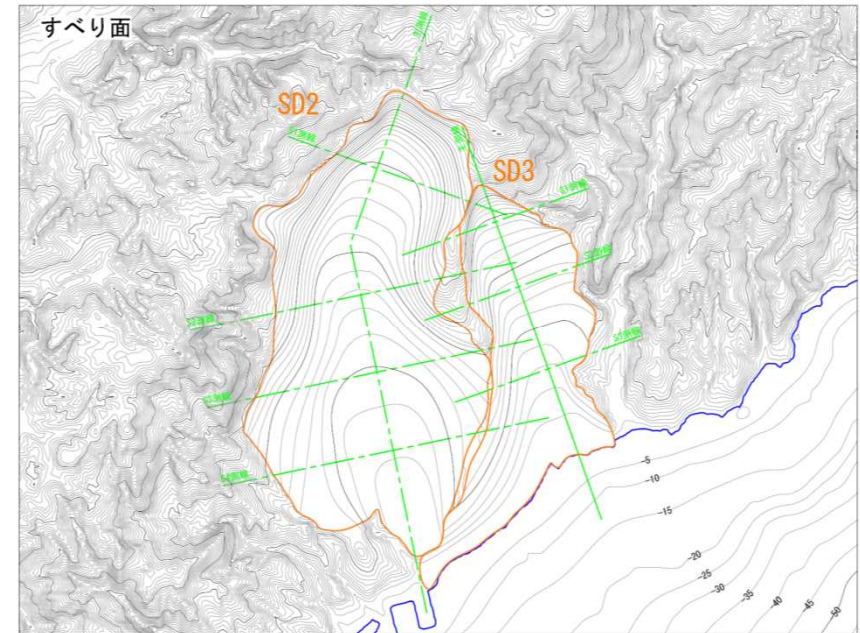
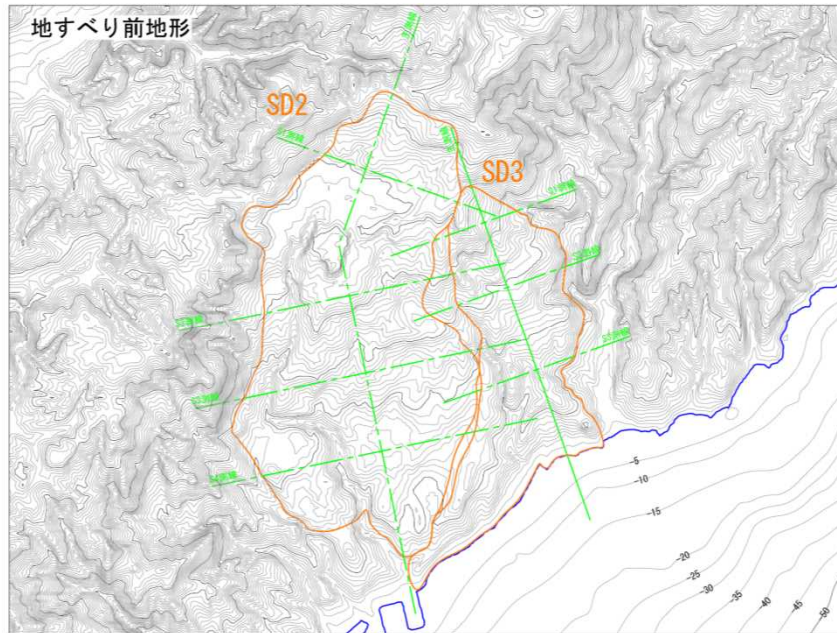
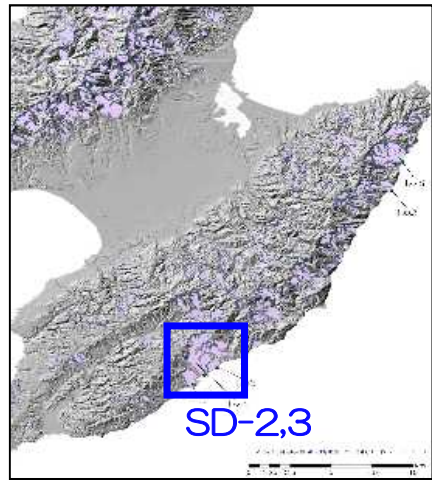
## ■SD-2,3（同時発生）：津波数値シミュレーション

- 佐渡島の地すべりについて敷地からの距離が近い、SD-2およびSD-3の同時発生を仮定したケースについて、影響検討を実施した。



縦横比 1 : 1

断面図（上：SD-2, 下：SD-3）



現況地形



推定したすべり面

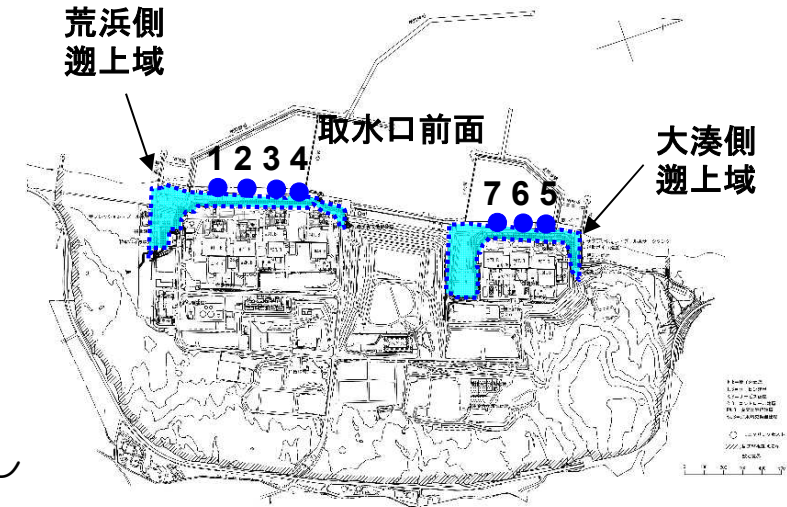
## 1. 2 【参考】陸上地すべりによる津波評価に関する検討

### ■SD-2,3（同時発生）：津波数値シミュレーション

- 影響検討として、SD-2,3の同時発生ケースを実施。
- 数値シミュレーションの検討条件は、現実的なパラメータ設定（崩壊物密度 $1.8\text{g/cm}^3$ ，粗度係数（下層） $0.40\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ ）とした。

### ■津波数値シミュレーション結果（平均潮位からの水位変動量）

- 解析の結果，取水口前面における水位変動量は，最大水位が $+0.40\text{m}$ ，最低水位が $+0.10\text{m}$ 程度であり，発電所への影響は少ないことを確認した。



単位：T.M.S.L. [m]

	取水口前面水位							遡上域水位	
	1号炉	2号炉	3号炉	4号炉	5号炉	6号炉	7号炉	荒浜側	大湊側
上昇側	+0.40	+0.39	+0.38	+0.38	+0.39	+0.39	+0.38	+0.36	+0.40
下降側	+0.10	+0.11	+0.12	+0.12	+0.14	+0.14	+0.15	-	-

## 1. 2【参考】陸上地すべりによる津波評価に関する検討

### ■ 二層流モデルに基づく手法におけるパラメータ設定

#### 下層（土砂）の密度 $\rho_2$

- 下層（土砂）の密度の設定については下表の値が考えられる。
- 1.25は火砕流の値として設定されており、海底地すべりの崩壊物の密度としては小さいものと考えられる。
- 敷地における実測値である1.8程度が最も現実に近い値と考えられる。

#### 下層（土砂）の底面粗度係数 $n_2$

- 下層（土砂）の底面粗度係数の設定については下表の値が考えられる。
- 実現象を対象として設定された値には、0.08または0.40がある。
- 日本海側での検討事例であることを踏まえると、0.40が現実に近い値と考えられる。

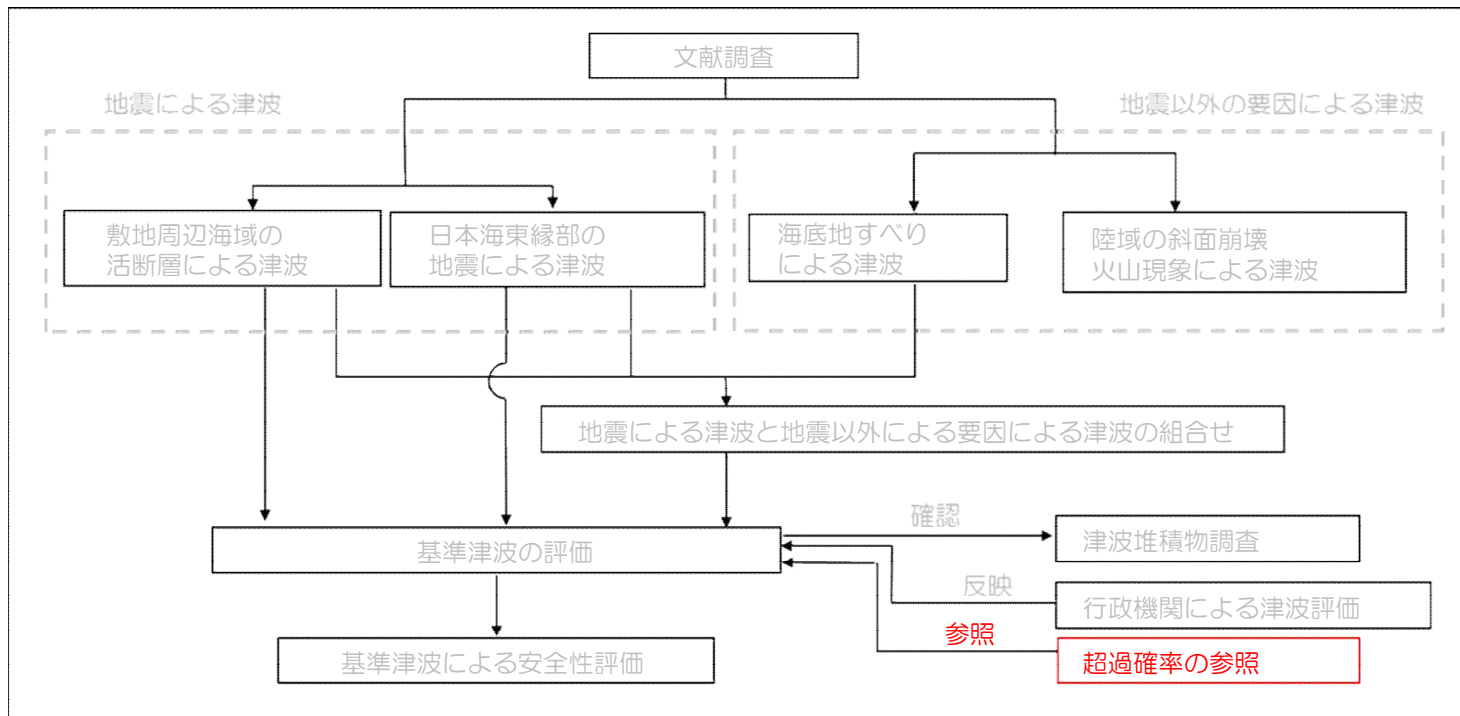
下層の密度 $\rho_2$ (g/cm <sup>3</sup> )	設定根拠
1.25	Maeno & Imamura (2007)の鬼界カルデラ噴火時の解析での設定値
1.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 海上音波探査記録によると、LS-1～LS-3の移動土塊は、主に海域の層序区分でB u層に相当し、B u層は陸域の層序区分で安田層・番神砂層などに相当する。</li> <li>● 敷地におけるボーリング調査の結果から、湿潤密度は安田層が1.76、番神砂層が1.84であることを確認している。</li> <li>● LS-1～LS-3の密度は、平均的に1.8程度と推定される。</li> </ul>
2.0	松本ほか(1998)の1741年渡島大島火山津波の再現計算での設定値

下層の底面粗度係数 $n_2$ (m <sup>-1/3</sup> ・s)	設定根拠
0.12	Kawamata et al.(2005)および今村ほか(2001)の実験の再現計算での設定値
0.40	Kawamata et al.(2005)の1741年渡島大島火山津波の再現計算での設定値
0.08	Maeno & Imamura (2007)の鬼界カルデラ噴火時の解析での設定値

# 1. コメント回答

## 2. 津波評価における超過確率の参照

- 2. 1 確率論的津波ハザード評価の全体方針
- 2. 2 敷地周辺海域の活断層による津波
- 2. 3 日本海東縁部の地震による津波
- 2. 4 領域震源の地震による津波
- 2. 5 確率論的津波ハザード曲線の評価結果
- 2. 6 フラクタイルハザード曲線の評価結果

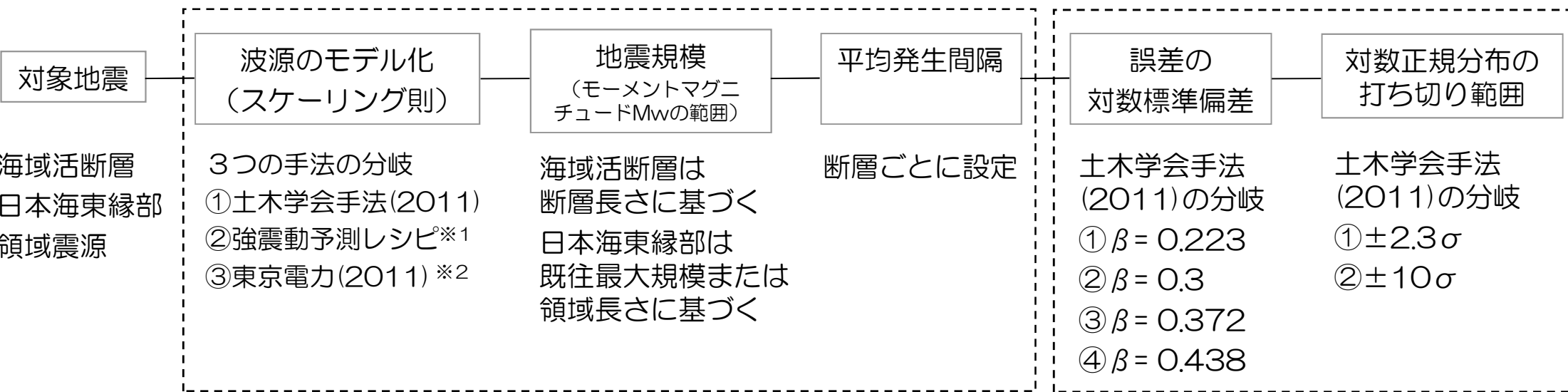




- 確率論的津波ハザードの検討にあたっては、地震による津波を検討対象とし、解析手順は「日本原子力学会(2012)：原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準（以降、原子力学会標準(2012)）」・「土木学会(2011)：確率論的津波ハザード解析の方法（以降、土木学会手法(2011)）」に基づき実施した。
- 検討対象の地震は、敷地周辺海域の活断層、日本海東縁部及び領域震源に想定される地震とした。
- 認識論的不確かさとして、地震規模、平均発生間隔、波源のモデル化等を考慮した。
- 偶然的不確かさとして、津波水位のばらつきの分布を対数正規分布として考慮した。
- ロジックツリーは、原子力学会標準(2012)・土木学会手法(2011)を参考とし、2011年東北地方太平洋沖地震後の知見を反映して設定した。

### 認識論的不確かさ

### 偶然的不確かさ



※1 地震調査研究推進本部 (2009)  
 ※2 新潟県：地質・地盤に関する小委員会 (2011) 日本海東縁部のみ

### ロジックツリーの概要



1. コメント回答
2. 津波評価における超過確率の参照
  2. 1 確率論的津波ハザード評価の全体方針
  2. 2 敷地周辺海域の活断層による津波
  2. 3 日本海東縁部の地震による津波
  2. 4 領域震源の地震による津波
  2. 5 確率論的津波ハザード曲線の評価結果
  2. 6 フラクタイルハザード曲線の評価結果

## 2. 2 敷地周辺海域の活断層による津波

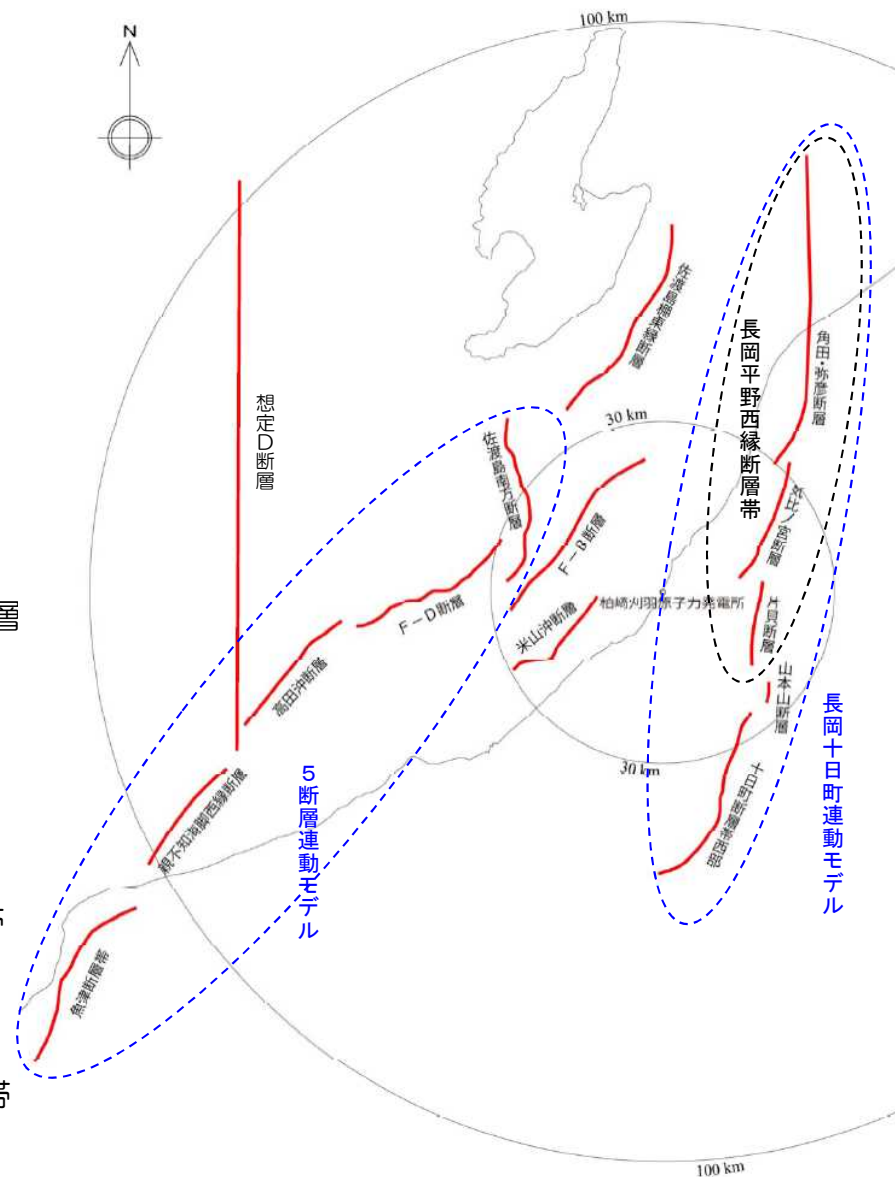
- 基準津波の検討において考慮した，敷地周辺海域における活断層調査結果に基づく地震及び活断層の連動を考慮した地震について検討対象とした。
- 確率論の方がより広汎なモデルを考慮することとし，連動の不確かさで考慮する断層を長くするとともに，四省庁\*の想定D断層を検討対象に加えた。

- 断層調査結果に基づく地震
- F-D断層～高田沖断層
  - F-B断層
  - 米山沖断層
  - 佐渡島南方断層
  - 佐渡島棚東縁断層
  - 長岡平野西縁断層帯（角田・弥彦断層～気比ノ宮断層～片貝断層）

- 活断層の連動
- 長岡十日町連動モデル
    - 長岡平野西縁断層帯～山本山断層～十日町断層帯西部
  - 5断層連動モデル
    - 佐渡島南方断層～F-D断層～高田沖断層
    - 親不知海脚西縁断層～魚津断層帯

- 連動の不確かさ（確率論のみ）
- 6断層連動モデル
    - 佐渡島南方断層～F-B断層
    - F-D断層～高田沖断層
    - 親不知海脚西縁断層～魚津断層帯

- 既往モデル（確率論のみ）
- 四省庁\*想定D断層

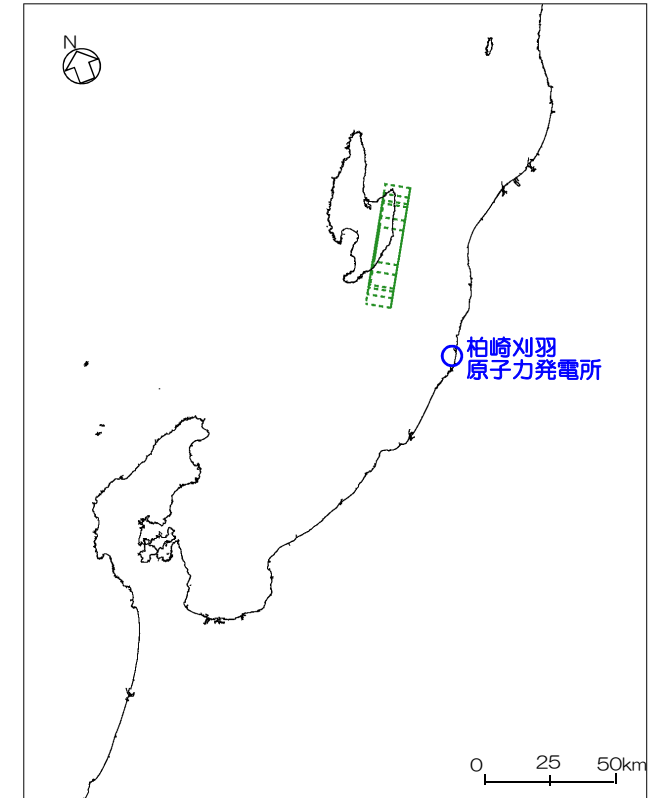


敷地周辺海域の活断層分布図

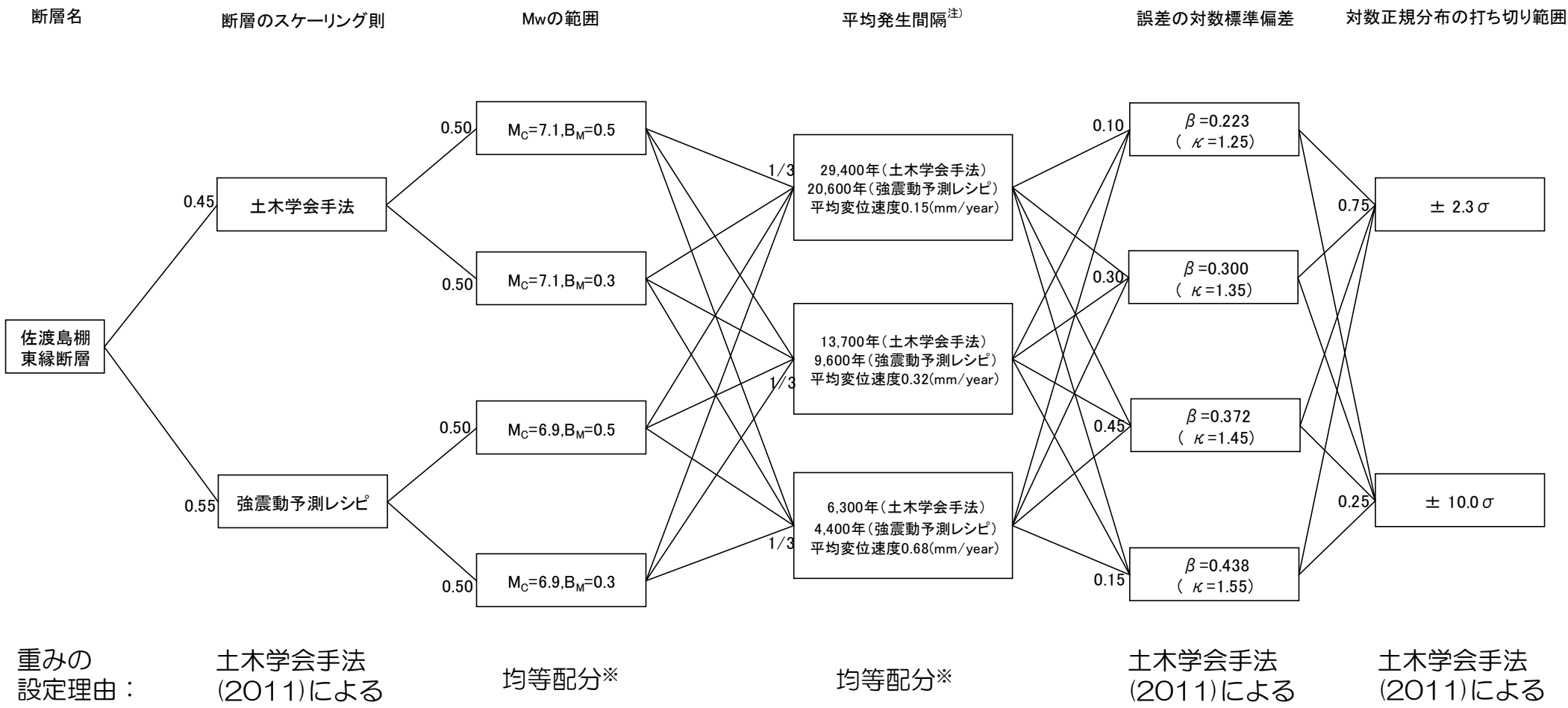
\* 四省庁：農林水産省構造改善局・農林水産省水産庁・運輸省港湾局・建設省河川局（1996）

### ■断層調査結果に基づく地震

- 敷地周辺海域における活断層調査結果に基づく地震（連動を考慮しないケース）について、佐渡島棚東縁断層の例を示す。
- 原子力学会標準(2012)・土木学会手法(2011)に基づき検討した。
- ロジックツリーを次ページに示す。



断層モデルの位置  
(佐渡島棚東縁断層)



注) 平均発生間隔は、Mw範囲が0.3の場合の値

※ 重みの判断が困難な場合は、原子力学会標準(2012)を踏まえ均等配分

枠の添数字は分岐の重み

M<sub>C</sub>：モーメントマグニチュードの中央値

B<sub>M</sub>：マグニチュードの不確かさの幅

佐渡島棚東縁断層のロジックツリー

# 2. 2 敷地周辺海域の活断層による津波

- 連動を考慮するケースのうち、長岡平野西縁部断層帯（角田・弥彦断層，気比ノ宮断層，片貝断層）及び十日町断層帯西部の連動モデルの検討内容を示す。
- 断層連動に関するロジックツリーの他は、原子力学会標準(2012)・土木学会手法(2011)に基づき検討した。
- 断層連動に関するロジックツリーを以下に示す。

<分岐①の断層モデル>

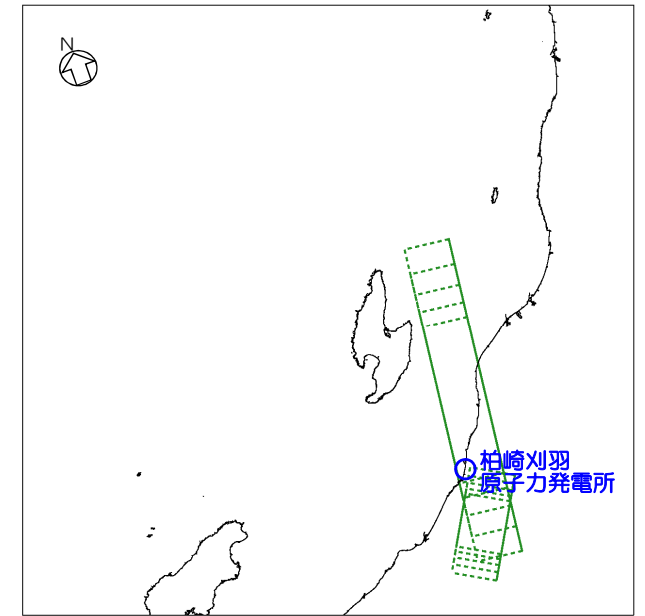
「角田・弥彦断層」，「気比ノ宮断層」，「片貝断層」

<分岐③の断層モデル>

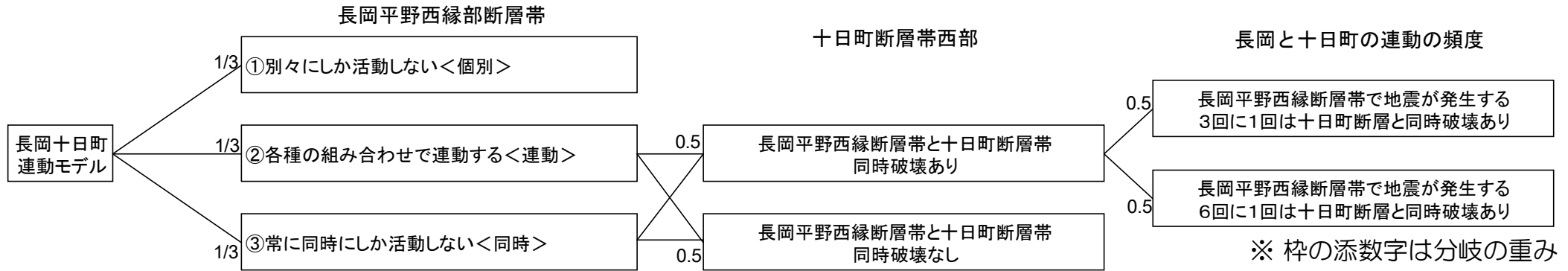
「角田・弥彦+気比ノ宮+片貝断層」

<分岐②の断層モデル>

- (1) 「角田・弥彦断層」，「気比ノ宮断層」，「片貝断層」
- (2) 「角田・弥彦+気比ノ宮断層」，「片貝断層」
- (3) 「角田・弥彦断層」，「気比ノ宮+片貝断層」
- (4) 「角田・弥彦+気比ノ宮+片貝断層」



断層モデルの位置  
 (長岡平野西縁部断層帯+十日町断層帯西部)



重みの設定理由：

均等配分

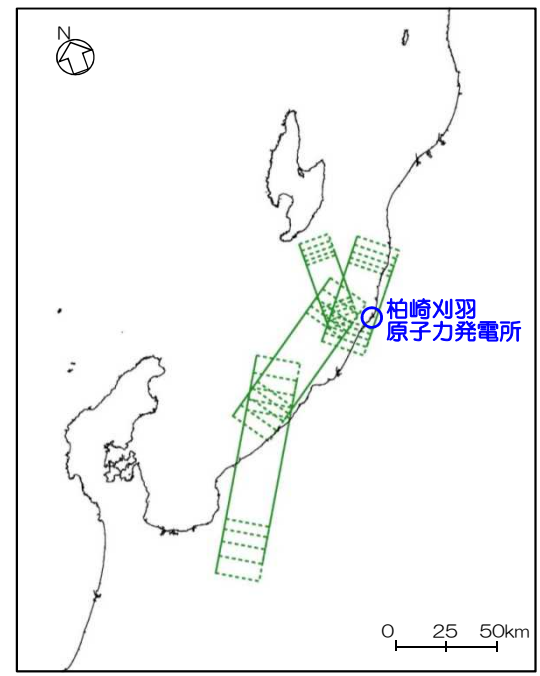
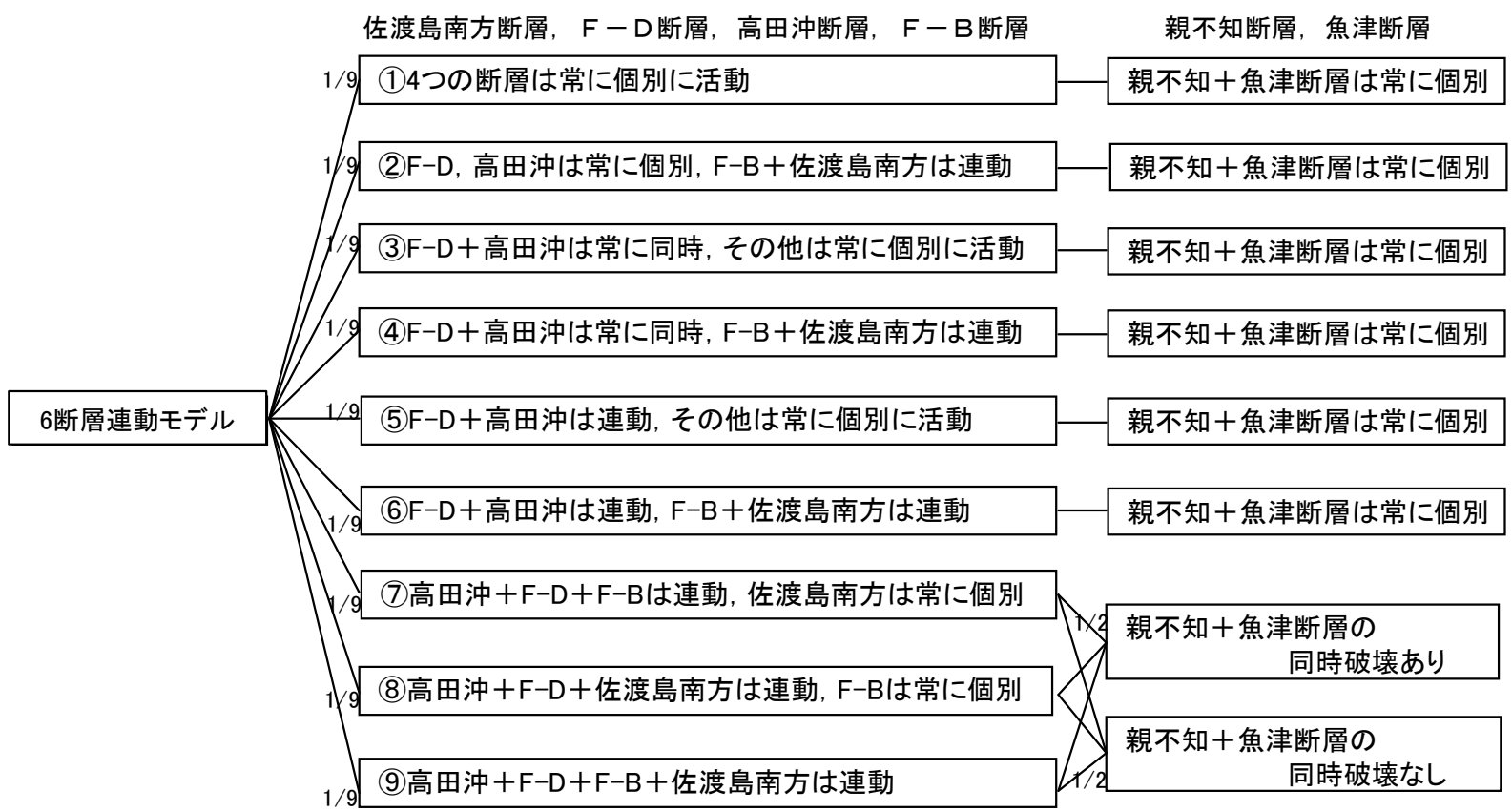
均等配分

均等配分

断層連動に関するロジックツリー（長岡十日町連動モデル）

## 2. 2 敷地周辺海域の活断層による津波

- 連動を考慮するケースのうち、5断層連動モデルおよび不確かを考慮した6断層連動モデル（佐渡島南方断層・F-B断層・F-D断層・高田沖断層・親不知海脚西縁断層・魚津断層帯）の検討内容を示す。
- 断層連動に関するロジックツリーの他は、原子力学会標準(2012)・土木学会手法(2011)に基づき検討した。
- 断層連動に関するロジックツリーを以下に示す。



断層モデルの位置  
(6断層連動モデル)

重みの設定理由： 均等配分 均等配分 「連動」は個別活動と同時活動の組合せ

断層連動に関するロジックツリー(6断層連動モデル)

1. コメント回答
2. 津波評価における超過確率の参照
  2. 1 確率論的津波ハザード評価の全体方針
  2. 2 敷地周辺海域の活断層による津波
  2. 3 日本海東縁部の地震による津波
  2. 4 領域震源の地震による津波
  2. 5 確率論的津波ハザード曲線の評価結果
  2. 6 フラクタイルハザード曲線の評価結果

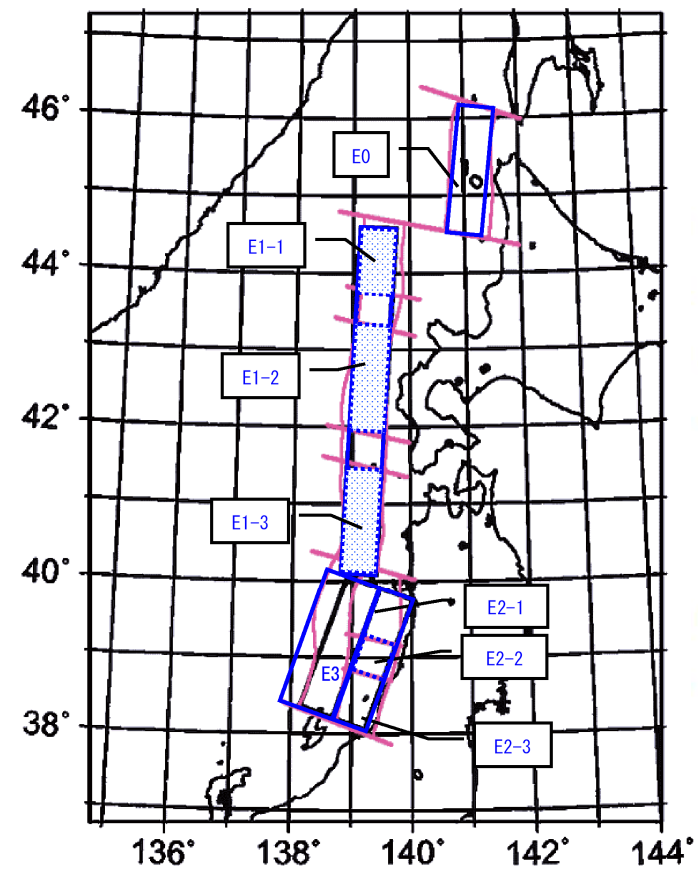
## 2. 3 日本海東縁部の地震による津波

- 日本海東縁部に想定される地震は、地震調査研究推進本部（2003），土木学会手法(2011)等の知見に基づき，活動域区分を設定する。

日本海東縁部の大地震活動域の既往最大Mw

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)

土木学会（2011）を編集



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

土木学会（2011）

日本海東縁部海域の大地震活動域区分



- 日本海東縁部に想定される地震の平均発生間隔分布の考え方は、地震調査研究推進本部（2003）に基づき設定された、土木学会手法(2011)を用いる。

地震調査研究推進本部（2003）による平均発生間隔と本検討における平均発生間隔分布の考え方

海域	平均発生間隔(推本)	根拠	分布の考え方
北海道北西沖	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	1400 ~ 3900 年程度	(連続性)	一様分布 (1400-3900)
北海道南西沖	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	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	1000 年程度以上	(2列への配分)	一様分布 (1000-1500)
山形県沖	1000 年程度以上	(2列への配分)	一様分布 (1000-1500)
新潟県北部沖	1000 年程度以上	(2列への配分)	一様分布 (1000-1500)
佐渡島北方沖	500 ~ 1000 年程度	中嶋 (2003)	一様分布 (500-1000)

土木学会 (2011)

## 2. 3 日本海東縁部の地震による津波

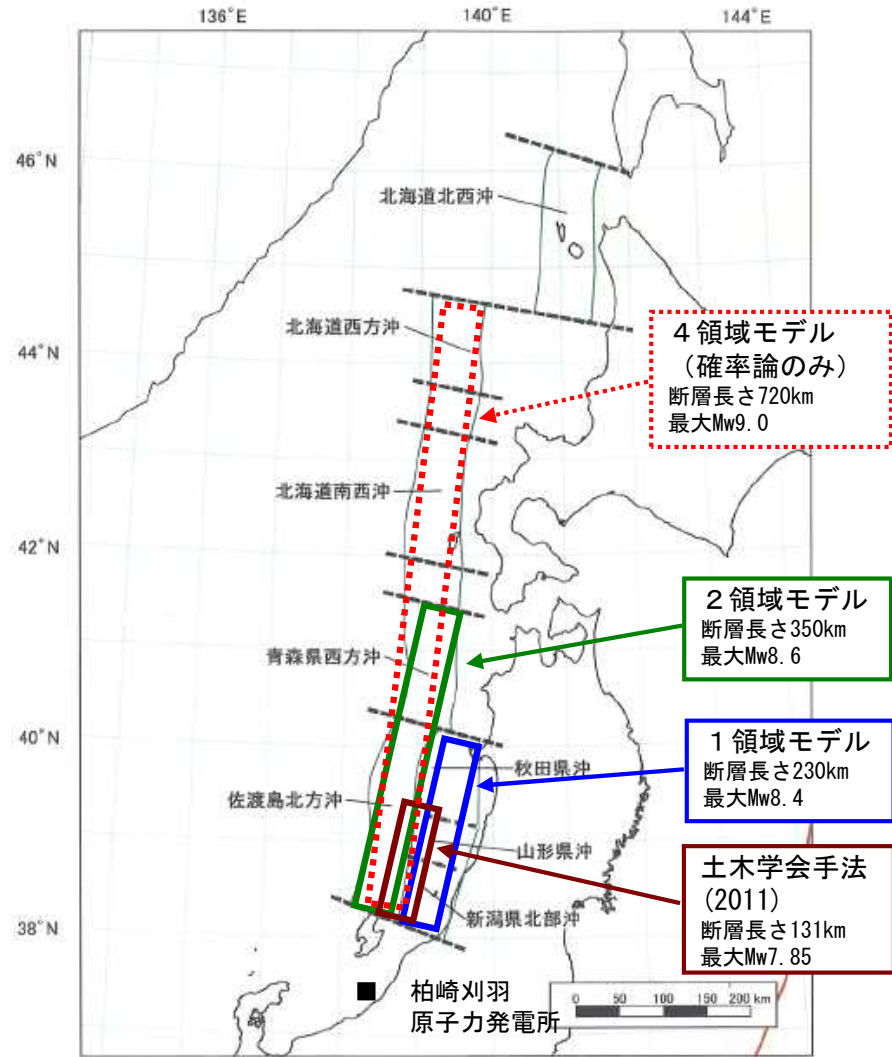
- 日本海東縁部に想定される地震の規模は、土木学会手法(2011)を基本とした。
- 基準津波の検討において考慮した、地震調査研究推進本部(2003)の評価対象領域の区分における、1領域モデル(基本モデル)及び2領域モデル(領域の連動を考慮)による地震を検討対象とした。
- 確率論の方がより広汎なモデルを考慮することとし、連動の不確かさで考慮する断層を長くした地震を検討対象に加えた\*。

既往最大規模 ■土木学会手法(2011)のモデル  
→確率論 E2領域全体同時破壊なし

領域の連動

- 基準津波の基本モデル(1領域モデル)  
→確率論 E2領域全体同時破壊モデル
- 基準津波の領域の連動を考慮(2領域モデル)  
→確率論 E3+E1-3領域全体同時破壊モデル  
→確率論 E1-1+E1-2領域全体同時破壊モデル

連動の不確かさ ■さらなる不確かさ考慮モデル(4領域モデル)\*  
(確率論のみ) →確率論 E3+E1領域全体同時破壊モデル



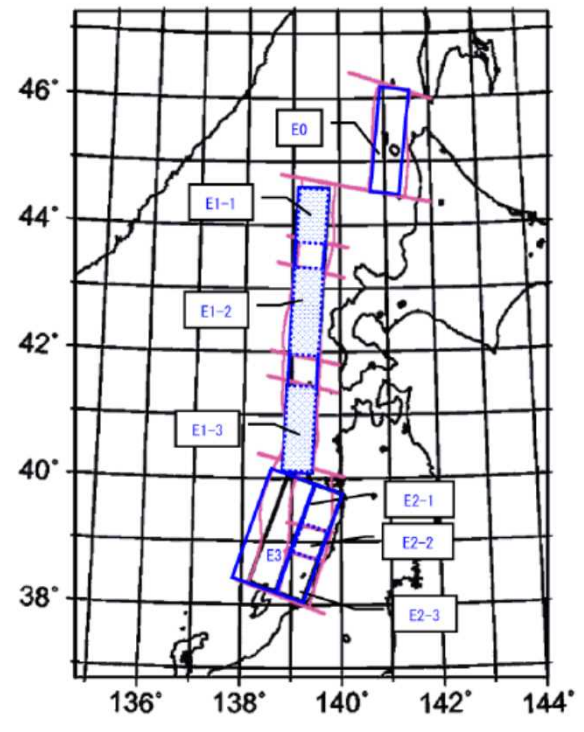
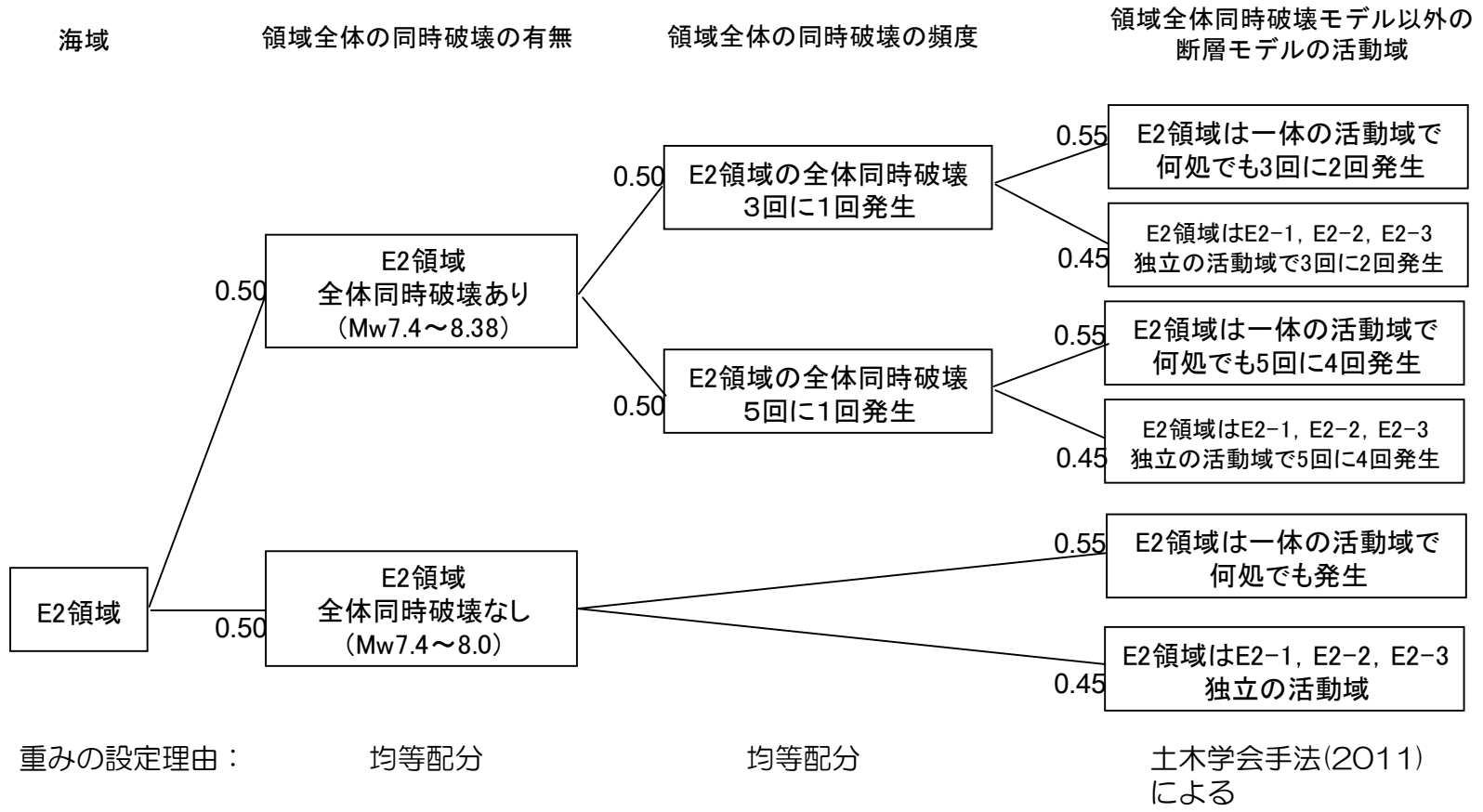
地震調査研究推進本部(2003)に加筆

### 日本海東縁部の波源モデル

\*確率論においては、領域の連動(地震規模)についてさらなる不確かさを考慮したモデルを加えることとし、佐渡島北方沖~青森県西方沖~北海道南西沖~北海道西方沖の4領域が一度の地震で活動するものとして断層長さを設定したモデルを検討対象に加えた。

## 2. 3 日本海東縁部の地震による津波

- 日本海東縁部に想定される地震による津波のうち、E2領域の検討内容を示す。
  - 土木学会手法(2011) (最大Mw8.0) に、基準津波の評価で想定している「E2領域全体同時破壊 (最大Mw8.38)」を考慮する分岐を追加した。
  - この他の設定は、原子力学会標準(2012)・土木学会手法(2011)に基づき検討した。
  - 同時破壊の考え方及び地震規模に関するロジックツリーを以下に示す。



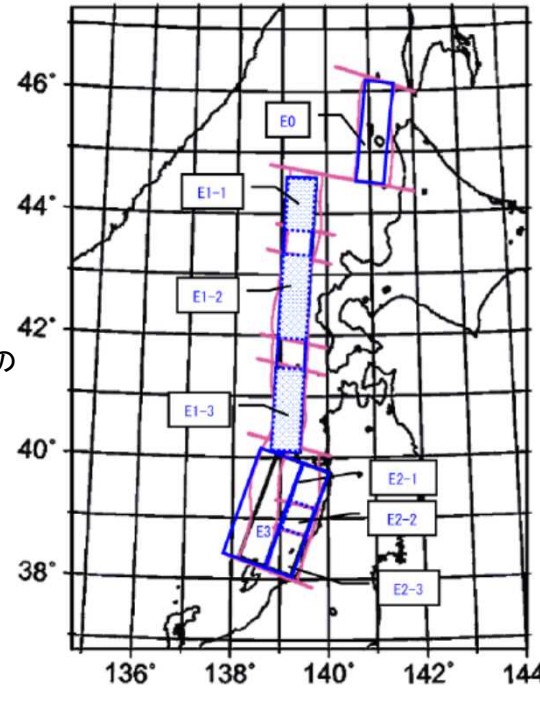
領域の位置

※枠の添数字は分岐の重み

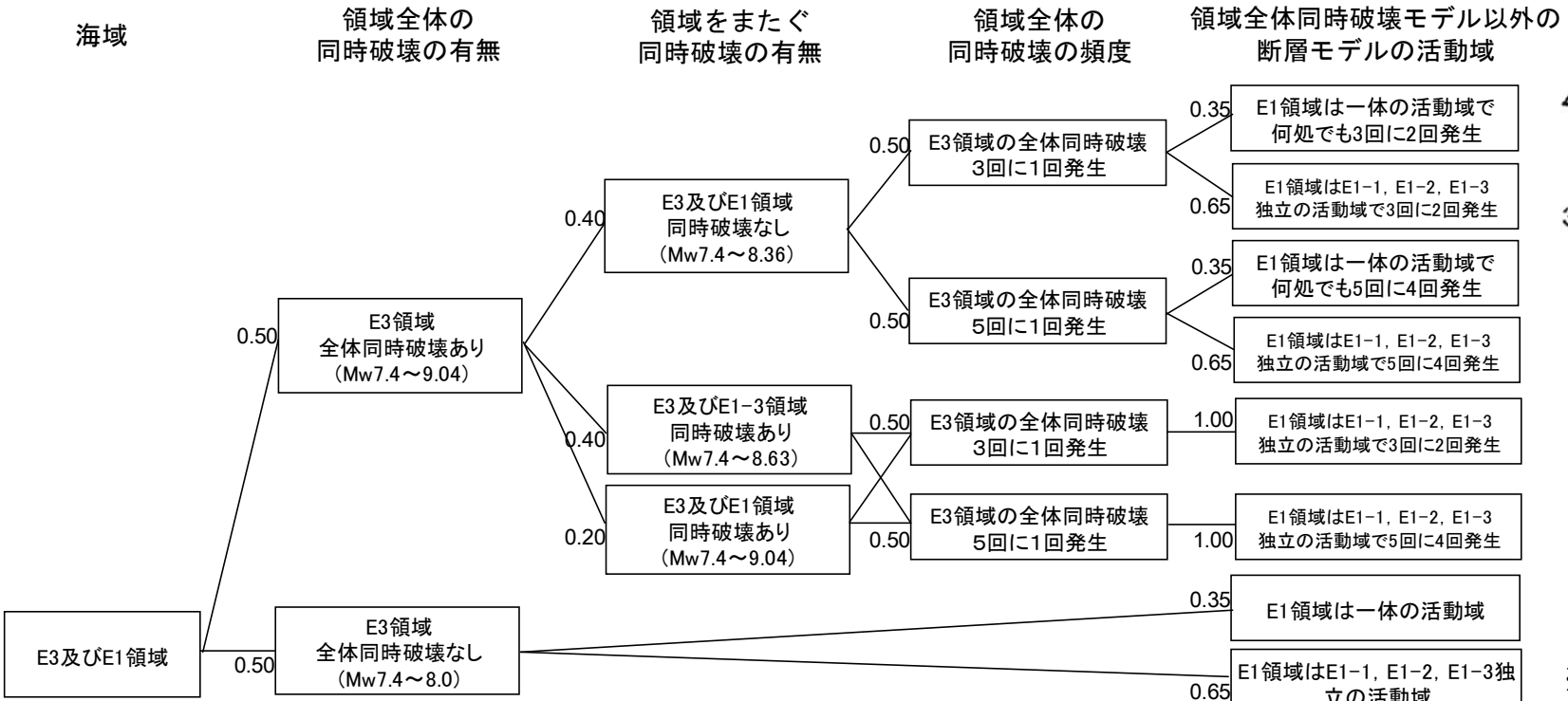
同時破壊の考え方及び地震規模に関するロジックツリー (日本海東縁部：E2領域)

## 2. 3 日本海東縁部の地震による津波

- 日本海東縁部に想定される地震による津波のうち、E1及びE3領域の検討内容を示す。
  - 土木学会手法(2011) (最大Mw8.0) に、基準津波の評価で想定している「E3領域全体同時破壊 (最大Mw8.36) 」, 「E3領域とE1-3領域の全体同時破壊 (最大Mw8.63) 」及び確率論において想定する「E3領域とE1領域の全体同時破壊 (最大Mw9.04) 」を考慮する分岐を追加した。
  - この他の設定は、原子力学会標準(2012)・土木学会手法(2011)に基づき検討した。
  - 同時破壊の考え方及び地震規模に関するロジックツリーを以下に示す。



領域の位置



重みの設定理由： 均等配分 「E3及びE1領域」の重みを均等配分 土木学会手法(2011)による  
 他の分岐の半分とした

※枠の添数字は分岐の重み

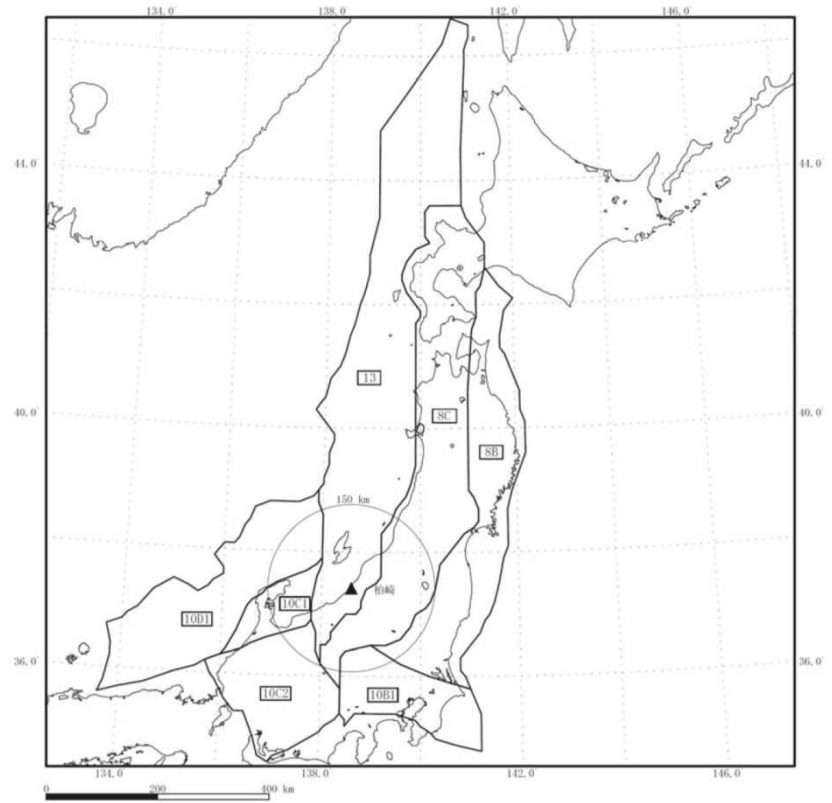
同時破壊の考え方及び地震規模に関するロジックツリー (日本海東縁部：E3及びE1領域)



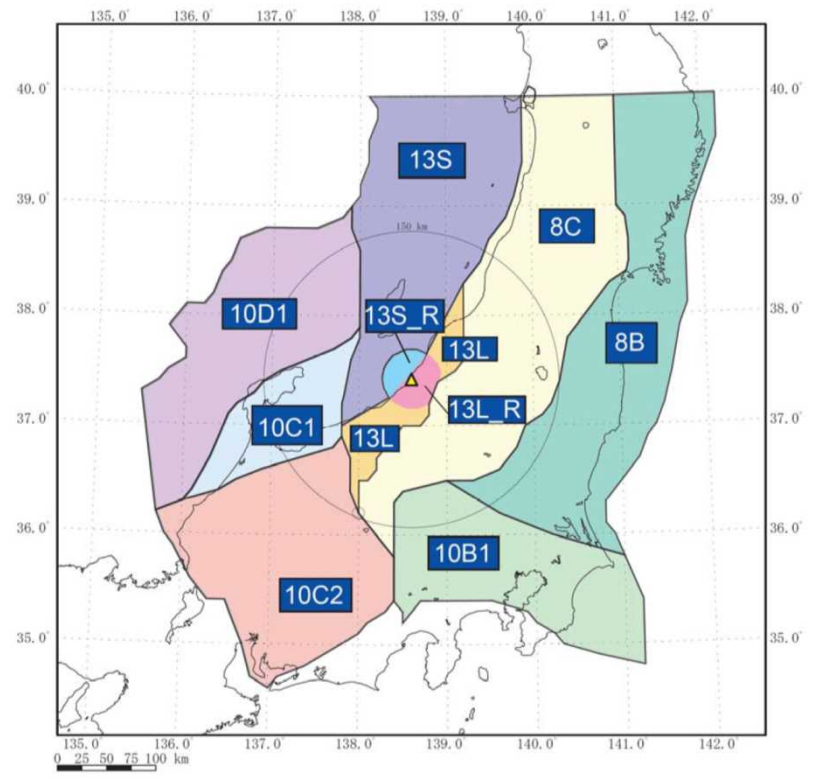
1. コメント回答
2. 津波評価における超過確率の参照
  2. 1 確率論的津波ハザード評価の全体方針
  2. 2 敷地周辺海域の活断層による津波
  2. 3 日本海東縁部の地震による津波
  2. 4 領域震源の地震による津波
  2. 5 確率論的津波ハザード曲線の評価結果
  2. 6 フラクタイルハザード曲線の評価結果

## 2. 4 領域震源の地震による津波

- 領域震源の評価においては、地震動ハザード評価で用いられている活動域と同一の設定とした。原子力学会標準（2007）に基づき、発電所から150kmの範囲を対象とし、垣見ほか（2003）によるマップを参照して、領域区分を設定した。
- 領域として、海域を含む8C（東北日本弧内帯）、10C1（能登）、10D1（能登・若狭沖海域）、13L（日本海東縁部変動帯）、13S（日本海東縁部変動帯）、13S\_R（日本海東縁部変動帯）の6つの領域について検討を実施した。



垣見ほか（2003）に基づく領域区分



領域区分

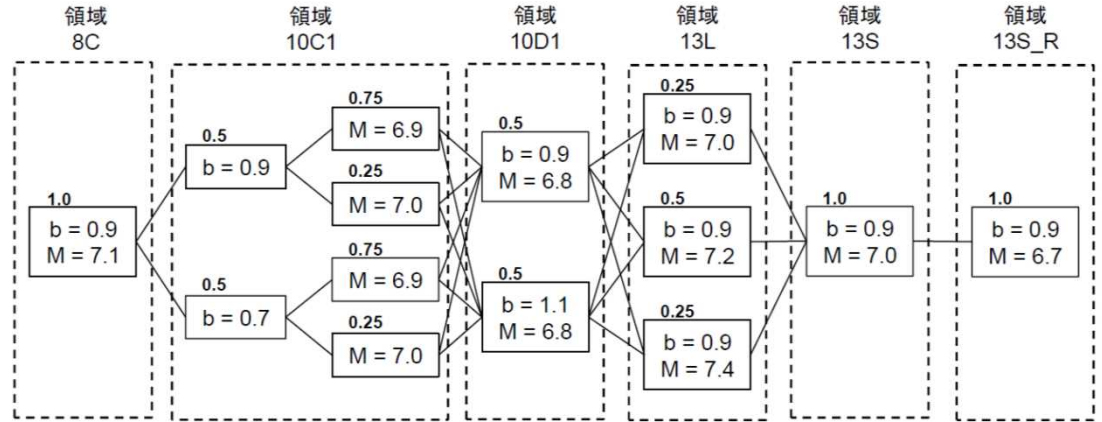


## 2. 4 領域震源の地震による津波

- 地震発生頻度の算定に用いる震源データは、地震調査研究推進本部の考え方を参考に以下のように設定した。
  - ①宇津カタログ（宇津，1982；宇津，1985）のうち，1885年～1922年のM6.0以上の地震
  - ②気象庁地震・火山月報カタログ編（気象庁，2008）収録の震源データのうち，1923年～2007年のM5.0以上の地震
- 地震発生頻度は，上記の震源データを基にG-R式に従うと仮定して設定した。

領域名	領域名	発生頻度 (M5以上)	b値	最大M
8C	東北日本弧内帯	0.7112	0.8673	7.1
1 0C1	能登	0.1257	0.7128	6.9, 7.0
1 0D1	能登・若狭沖 海域	0.1370	1.0987	6.8
1 3L	日本海東縁 変動帯	0.0653	0.9389	7.0, 7.2, 7.4
1 3S		0.4144	0.9389	7.0
1 3S_R		0.0126	0.9389	6.8

領域震源の地震活動度



重みの  
設定理由： 均等配分

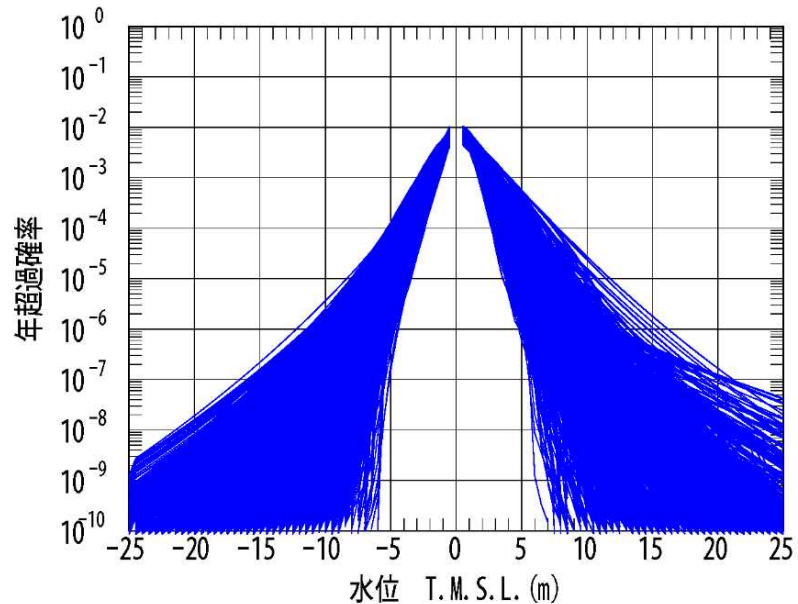
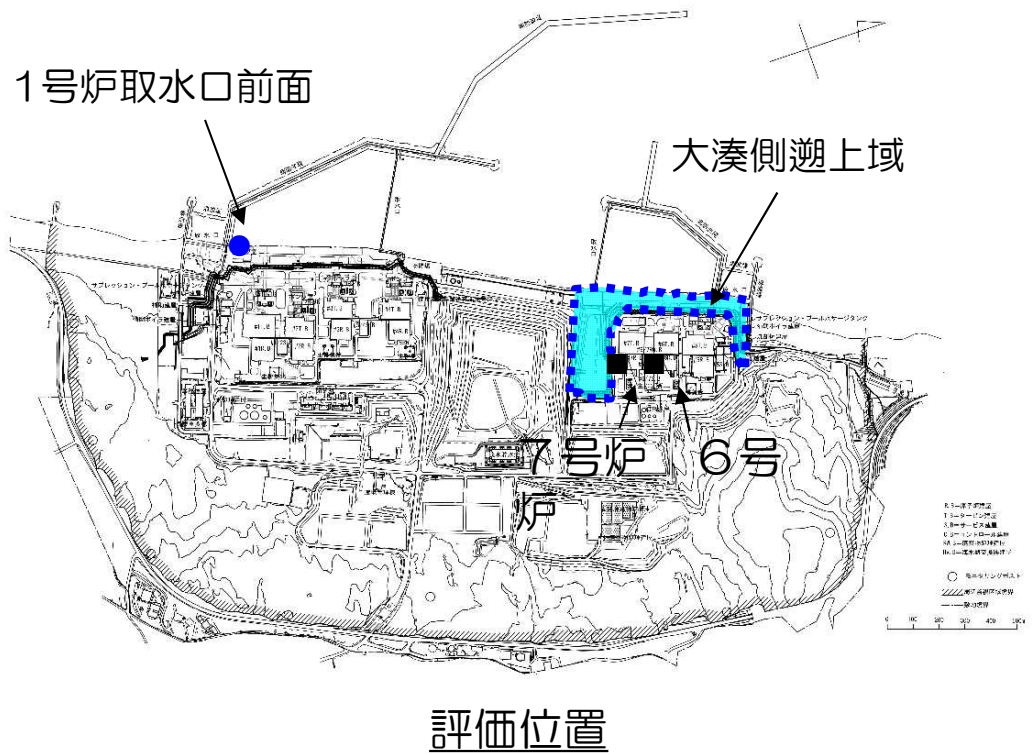
※枠の添数字は分岐の重み

領域震源に関するロジックツリー

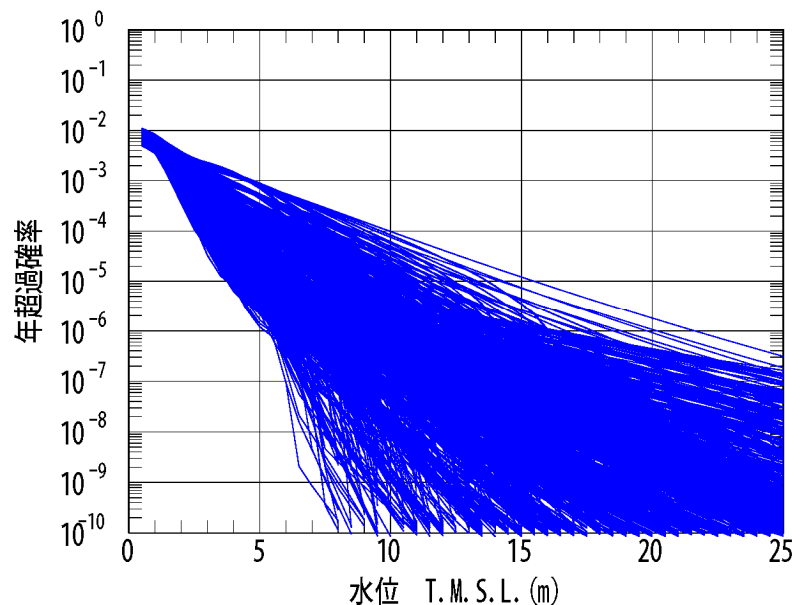
1. コメント回答
2. 津波評価における超過確率の参照
  2. 1 確率論的津波ハザード評価の全体方針
  2. 2 敷地周辺海域の活断層による津波
  2. 3 日本海東縁部の地震による津波
  2. 4 領域震源の地震による津波
  2. 5 確率論的津波ハザード曲線の評価結果
  2. 6 フラクタイルハザード曲線の評価結果

# 2. 5 確率論的津波ハザード曲線の評価結果

- 確率論的津波ハザード曲線として，1号炉取水口前面および大湊側遡上域内の例を示す。
- フラクタイル曲線は，確率論的津波ハザード曲線の総本数から，2,000本を抽出して算出した。



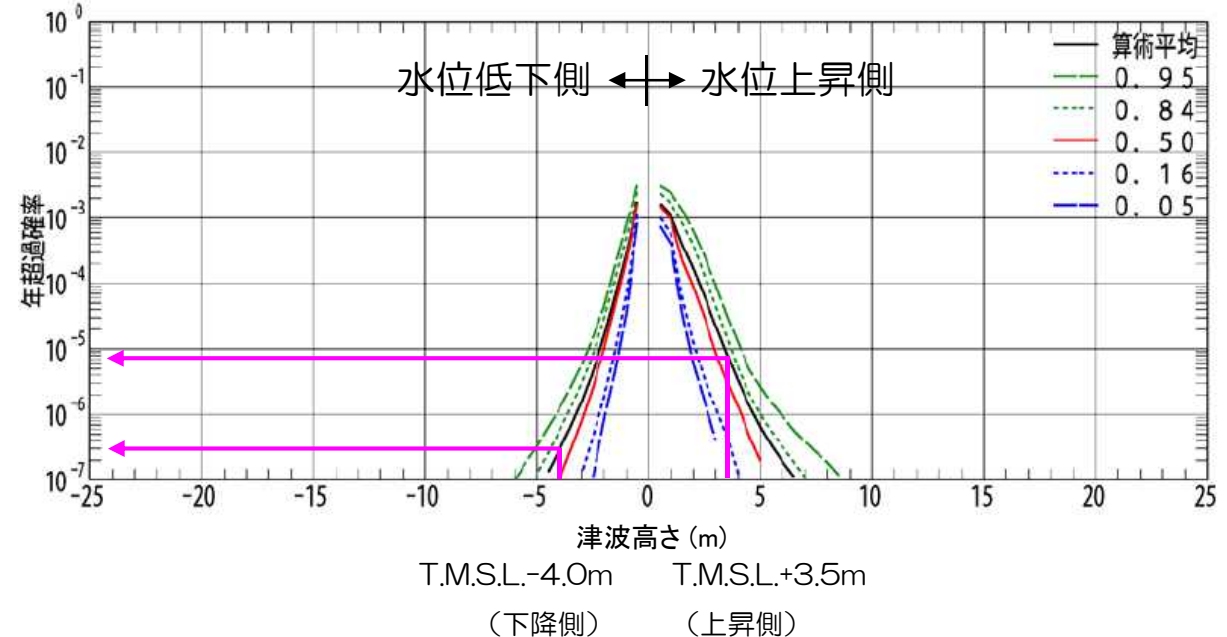
2,000本のハザード曲線（1号炉取水口前面）



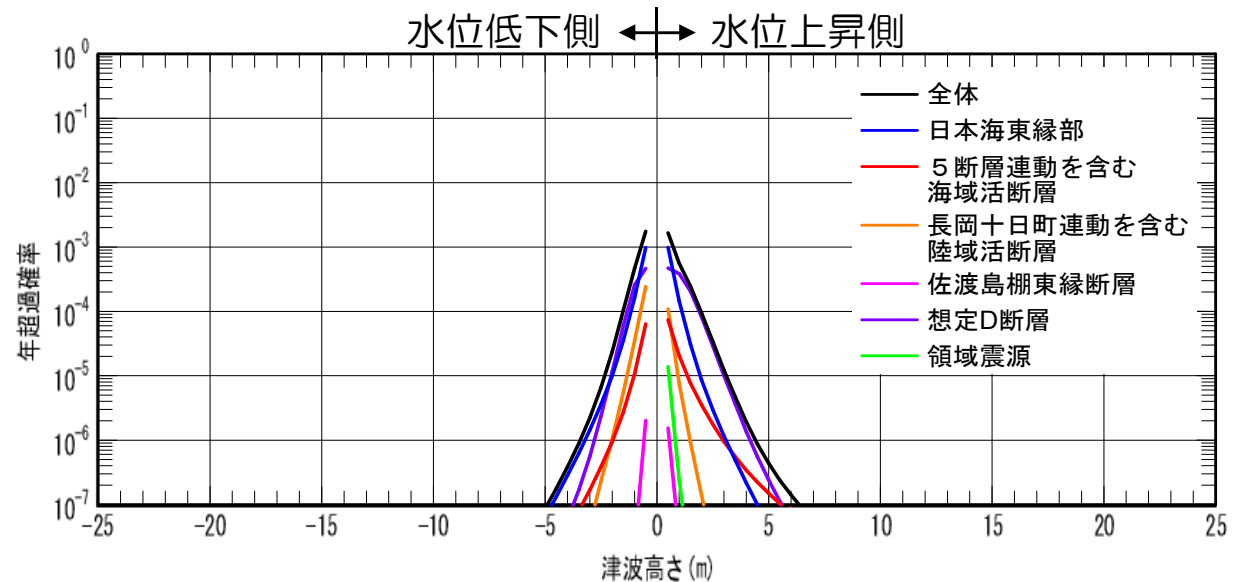
2,000本のハザード曲線（大湊側遡上域）

## 2. 6 フラクタイルハザード曲線の評価結果

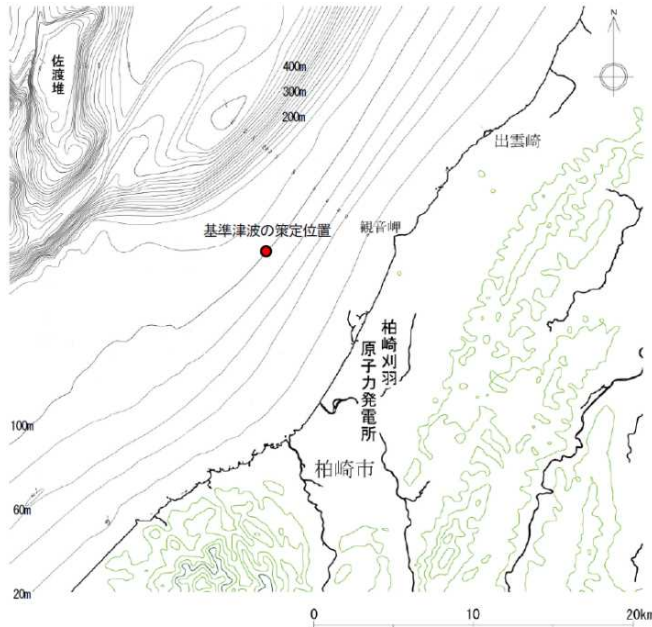
- 基準津波の策定位置（水深100m，敷地の沖合約7km）における確率論的津波ハザード曲線（フラクタイルハザード曲線）を算定した。
- 最高水位の年超過確率は $10^{-5}$ ～ $10^{-6}$ 程度，最低水位の年超過確率は $10^{-6}$ ～ $10^{-7}$ 程度である。
- 波源ごとの平均ハザードにおいて，日本海東縁部および想定D断層が寄与度が高いことを確認した。



フラクタイルハザード曲線（基準津波策定位置）



波源ごとの平均ハザード曲線



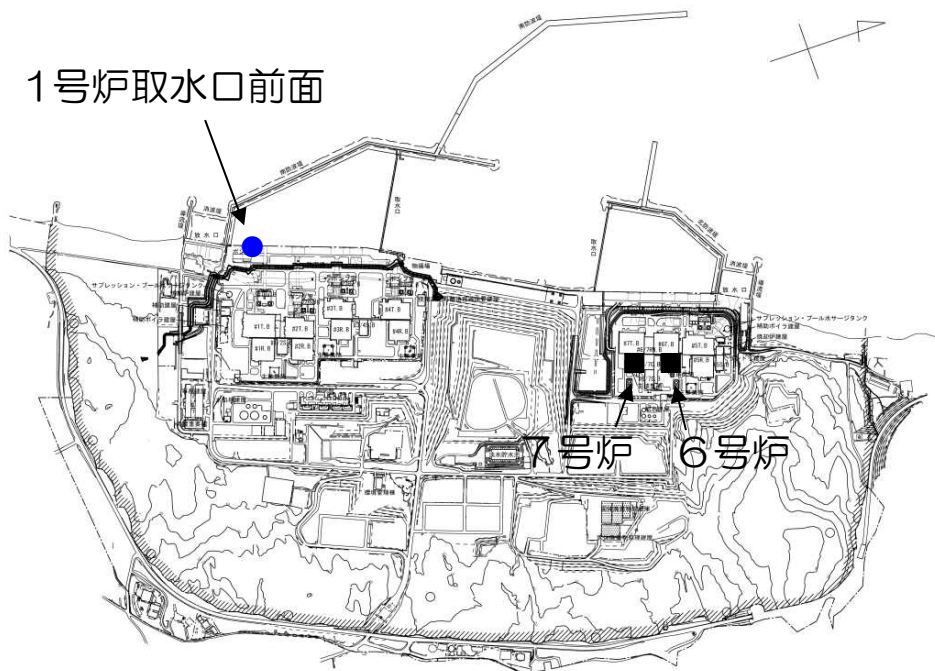
評価位置

（水深100m，敷地の沖合約7km）

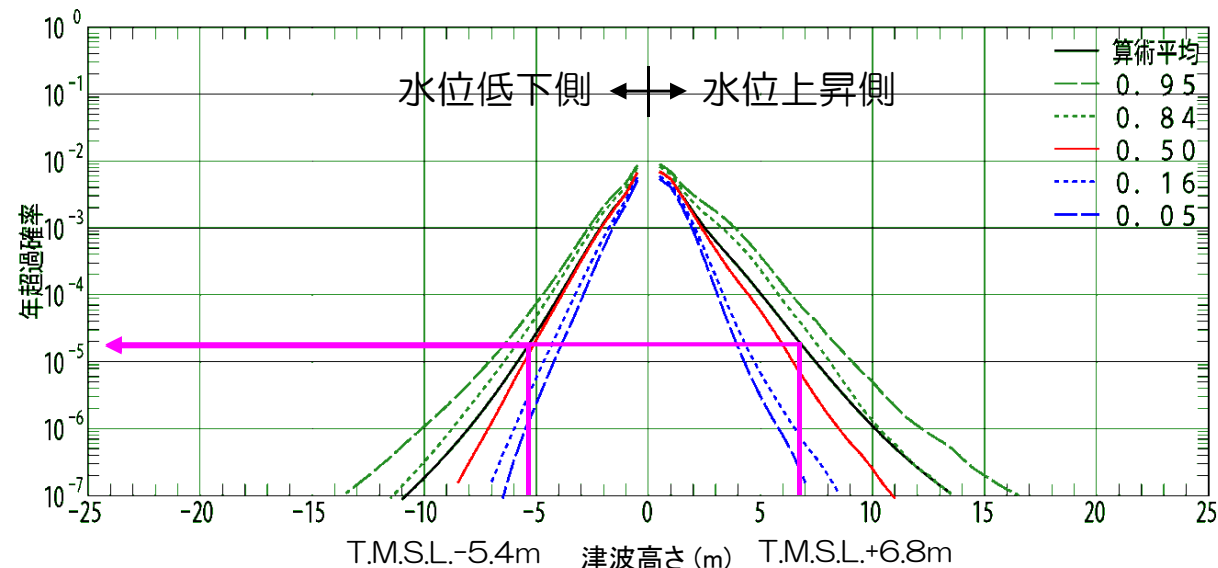


## 2. 6 フラクタイルハザード曲線の評価結果

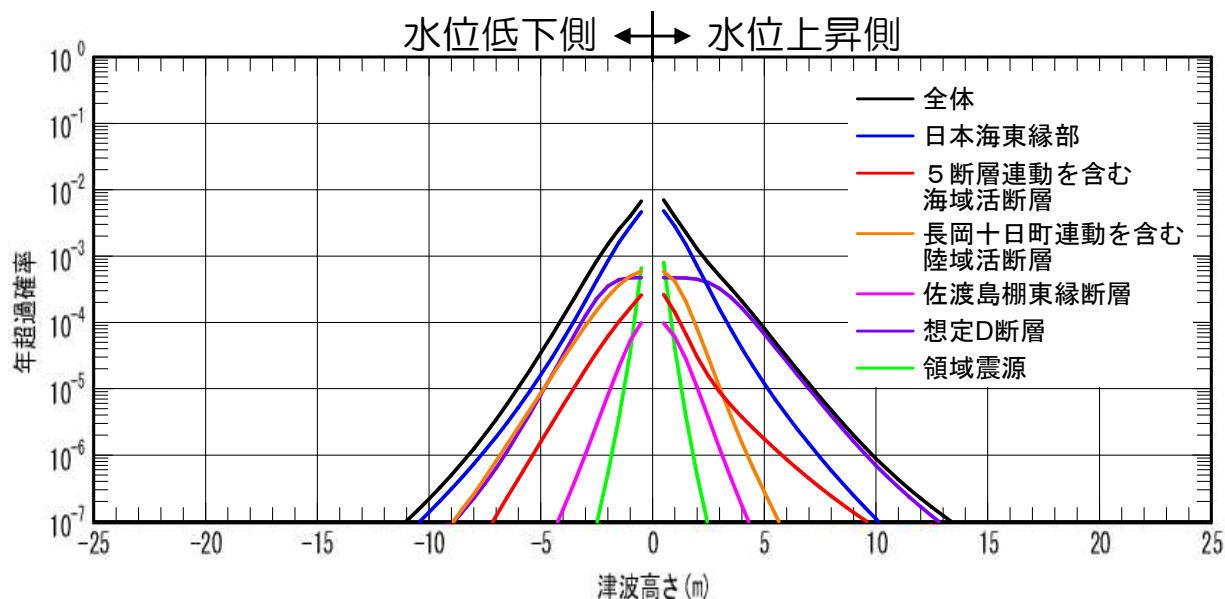
- 基準津波の評価において取水口前面のうち最も津波高さの大きい1号炉取水口前面における確率論的津波ハザード曲線（フラクタイルハザード曲線）を算定した。
- 最高水位・最低水位の年超過確率はいずれも $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度である。



評価位置



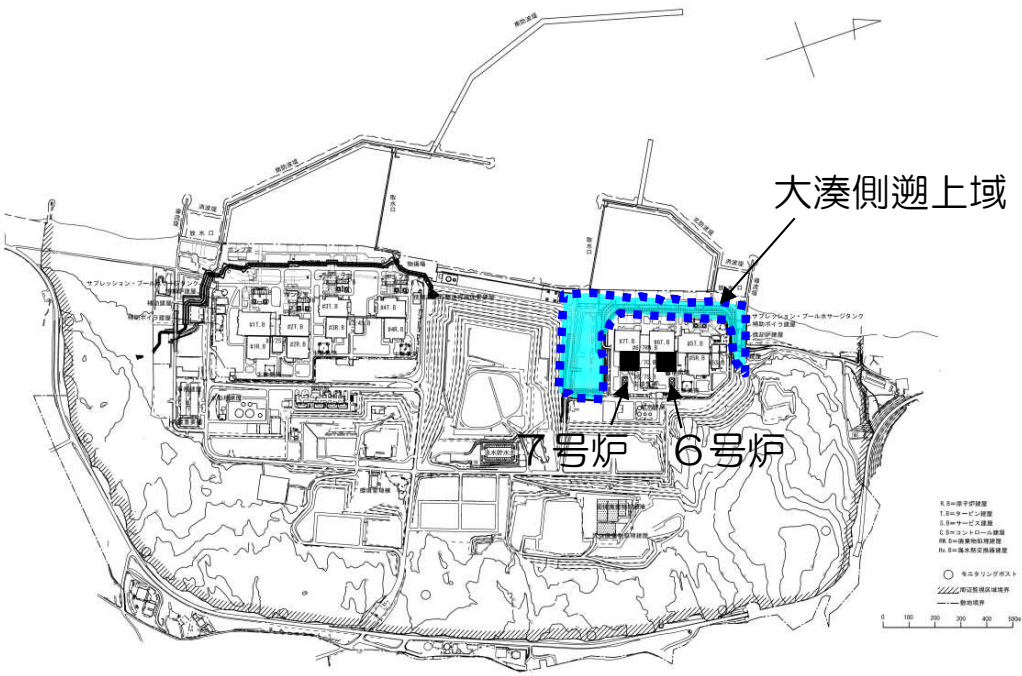
（低下側） （上昇側）  
フラクタイルハザード曲線（1号炉取水口前面）



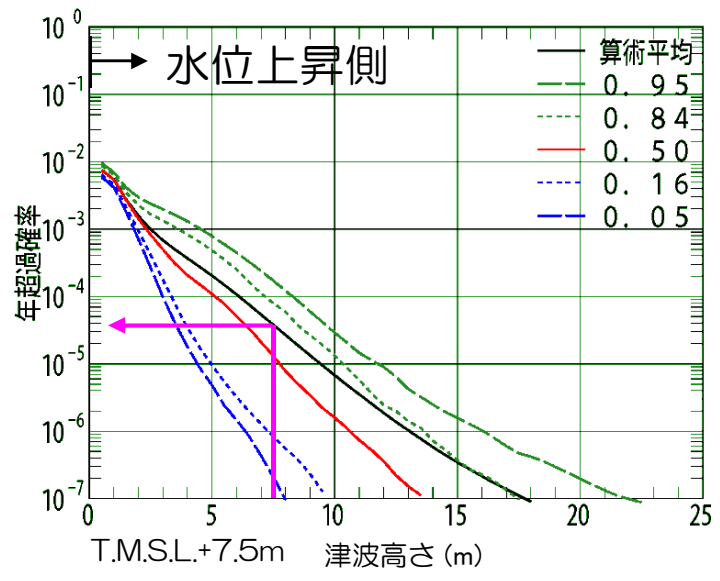
波源ごとの平均ハザード曲線

# 2. 6 フラクタイルハザード曲線の評価結果

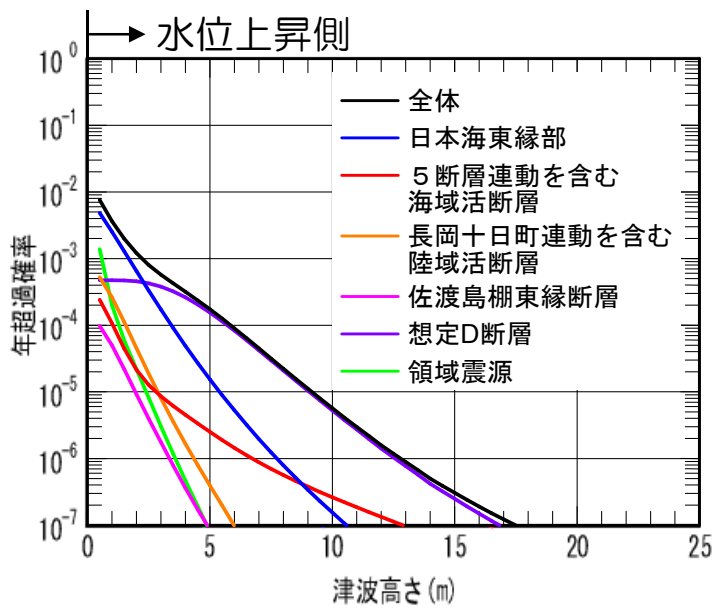
- 6, 7号炉原子炉建屋が位置する大湊側における最大津波高さである大湊側遡上域における確率論的津波ハザード曲線（フラクタイルハザード曲線）を算定した。
- 最高水位の年超過確率は $10^{-4}$ ~ $10^{-5}$ 程度である。



評価位置



フラクタイルハザード曲線（大湊側遡上域）



波源ごとの平均ハザード曲線



## 2. 【参考】想定D断層について

- 日本海東縁部の地震空白域での地震発生について、海岸事業を所管する4省庁共同で調査を実施（農林水産省，水産庁，運輸省，建設省）
- 平成6年11月に「日本海東縁部地震津波防災施設整備計画調査委員会」を設置
- 平成6，7年度の2年間にわたり，青森県津軽沿岸から石川県能登内浦沿岸までを調査



## 2. 【参考】想定D断層について

- 日本海東縁部における地震が発生する可能性がある領域を想定域A～Dまで考慮している。

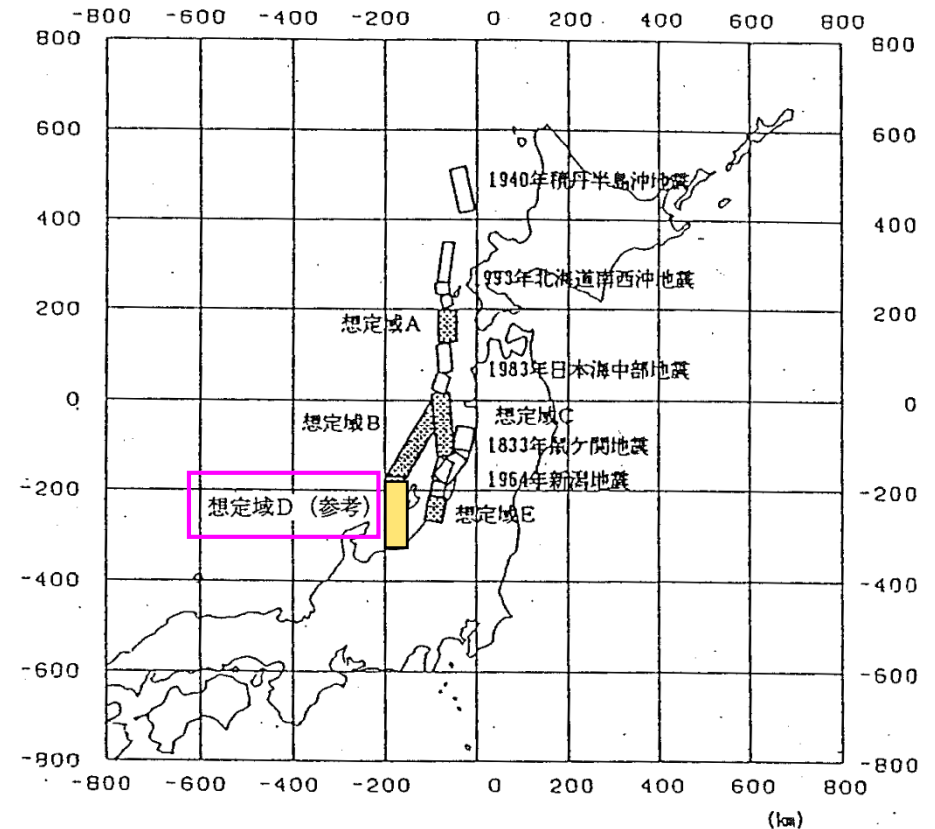
### 想定域D

富山県北方沖の地震空白域で発生が想定される地震であり、空白域の長さが140kmである。

- 同領域と陸域延長部（糸魚川静岡構造線）において過去に大地震が発生していない。
- プレート境界について意見が分かれており、確実な資料がない。
- 同領域の地震活動の面から大地震の空白域と認めていないとの意見がある。
- 同領域の地下構造についてはほとんど知られておらず、今後も地下構造研究など、有識者の間でも議論がある。

※数値シミュレーションは実施するが施設整備の検討は実施しない。

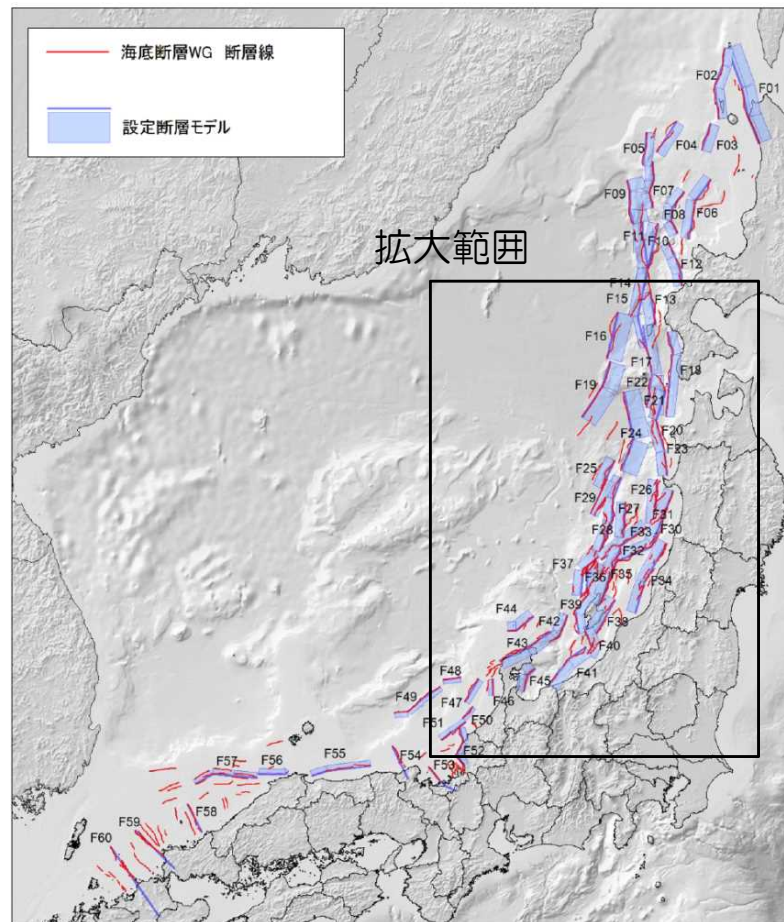
※4省庁が示す想定D断層に対して数値シミュレーションを実施し、発電所における津波を評価した結果、1号炉取水口前面で最高水位T.M.S.L.+4.1m、最低水位T.M.S.L.-2.4mである。



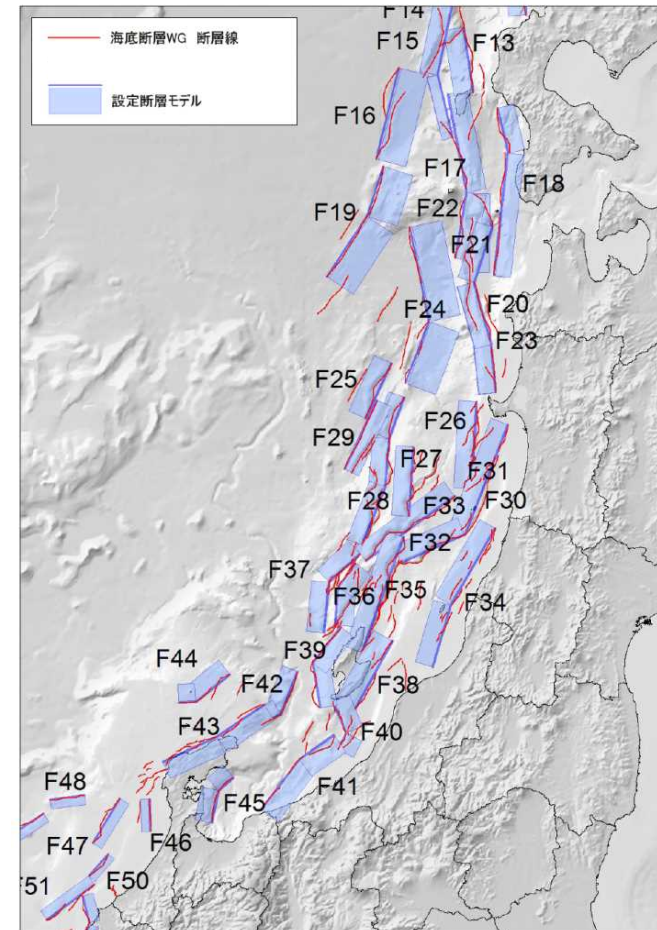
日本海東縁部における地震の発生する可能性がある領域

## 2. 【参考】国土交通省ほかにおける最新の知見について

- 国土交通省・内閣府・文部科学省による「日本海における大規模地震に関する調査検討会 報告書（平成26年9月）」において、日本海における最大クラスの津波断層モデルの設定に関する検討結果が示された。
- 上記の検討会報告書では、想定D断層は示されていない。



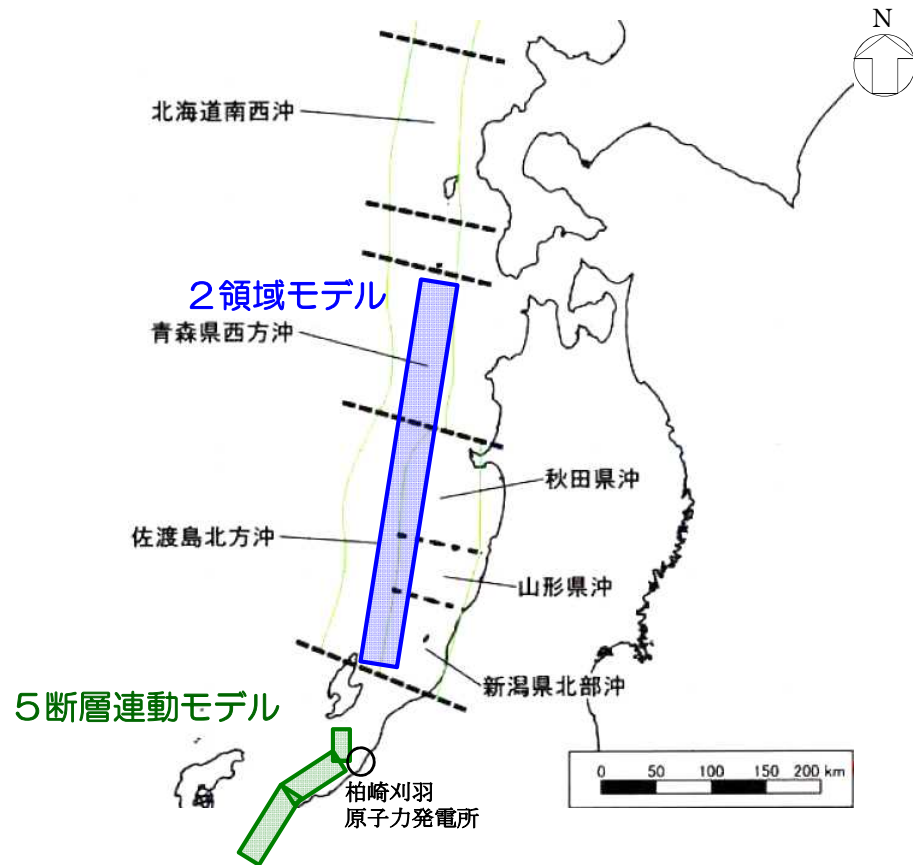
津波断層モデル位置



津波断層モデル位置（拡大）

## 2. 【参考】基準津波の評価

- 「地震による津波」「地すべりによる津波」「地震による津波と海底地すべりによる津波の組合せ」の中から、取水口前面において最高水位及び最低水位となるケースを選定した。
- 上昇側最大は、「地震と地すべりの組合せによる津波」のうち、日本海東縁部（2領域モデル）とLS-2の組合せケース。
- 下降側最大は、「地震による津波」のうち、日本海東縁部（2領域モデル）のケース。
- 荒浜側防潮堤の最高水位となるケースおよび荒浜側、大湊側遡上域最大ケースは共に「地震と地すべりの組合せによる津波」のうち、海域の活断層（5断層連動モデル）とLS-2の組合せケース。



基準津波の想定波源図

### 地震による津波

水位	地震	水位 T.M.S.L. (m)									
		取水口前面							荒浜側		遡上域
		1号炉	2号炉	3号炉	4号炉	5号炉	6号炉	7号炉	防潮堤	荒浜側	大湊側
上昇側	海域の活断層 (5断層連動モデル)	+5.2	+5.5	+5.7	+5.6	+4.5	+4.5	+4.7	+6.9	+7.1	+7.3
	日本海東縁部 (2領域モデル)	+6.5	+6.3	+6.2	+6.1	+6.0	+6.0	+6.0	+6.6	+6.6	+7.4
下降側	海域の活断層 (長岡十日町連動モデル)	-4.8	-4.6	-4.5	-4.5	-3.0	-3.5	-3.5	-	(+0.2)	(+1.0)
	日本海東縁部 (2領域モデル)	-5.3	-5.3	-5.3	-5.4	-3.0	-3.5	-3.5	(+5.0)	(+5.1)	(+5.7)

### 海底地すべりによる津波

水位	地すべり	水位 T.M.S.L. (m)									
		取水口前面							荒浜側		遡上域
		1号炉	2号炉	3号炉	4号炉	5号炉	6号炉	7号炉	防潮堤	荒浜側	大湊側
上昇側	LS-2	+4.5	+4.3	+4.1	+4.1	+3.6	+3.6	+3.6	+6.2	+6.3	+5.1
下降側	LS-3	-3.9	-3.6	-3.5	-3.4	-2.8	-2.7	-2.6	(+3.1)	(+5.9)	(+4.8)

### 地震と地すべりの組み合わせによる津波

水位	地震	地すべり	水位 T.M.S.L. (m)									
			取水口前面							荒浜側		遡上域
			1号炉	2号炉	3号炉	4号炉	5号炉	6号炉	7号炉	防潮堤	荒浜側	大湊側
上昇側	海域の活断層 (5断層連動モデル)	LS-2	+5.1	+5.3	+5.5	+5.4	+4.5	+4.5	+4.6	+7.6	+7.6	+7.5
	日本海東縁部 (2領域モデル)	LS-2	+6.8	+6.7	+6.5	+6.4	+6.2	+6.2	+6.1	+7.1	+7.4	+6.9
下降側	海域の活断層 (長岡十日町連動モデル)	LS-3	-4.9	-4.7	-4.6	-4.6	-3.0	-3.5	-3.5	-	(+3.1)	(+3.0)
	日本海東縁部 (2領域モデル)	LS-3	-5.2	-5.2	-5.2	-5.2	-3.0	-3.5	-3.5	(+6.7)	(+7.4)	(+6.4)

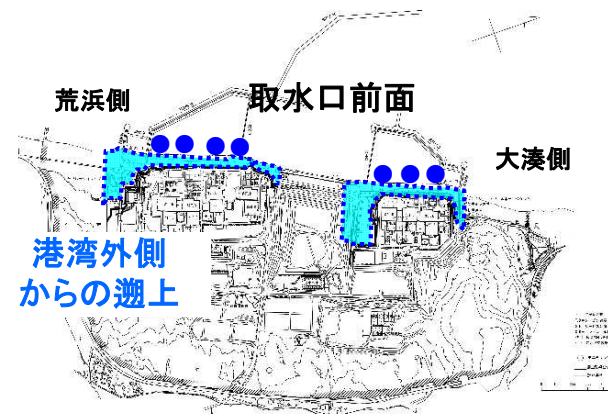


## 2. 【参考】基準津波の評価

- これまでの検討を踏まえ、基準津波として選定されるケースは下記の通り。
- なお、基準津波策定位置は、施設や沿岸からの反射波の影響、大陸棚の斜面の影響が微小となる、水深100 m（敷地の沖合約7 km）を選定した。

単位：T.M.S.L. (m)

水位	地震	組合せ	1号炉	2号炉	3号炉	4号炉	5号炉	6号炉	7号炉	基準津波策定位置
取水口前面 上昇側	日本海東縁部 (2領域モデル)	地震+潮位 +地すべり	+6.8	+6.7	+6.5	+6.4	+6.2	+6.2	+6.1	+3.5
取水口前面 下降側	日本海東縁部 (2領域モデル)	地震+潮位	-5.3	-5.3	-5.3	-5.4	-3.0	-3.5	-3.5	-4.0
荒浜側防潮堤	海域の活断層 (5断層連動モデル)	地震+潮位 +地すべり	+7.6							+2.7



※基準津波策定位置：

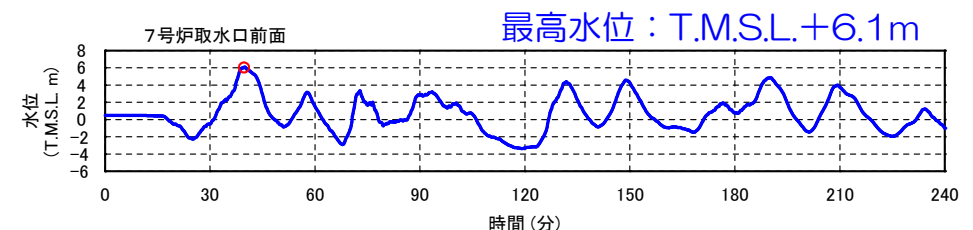
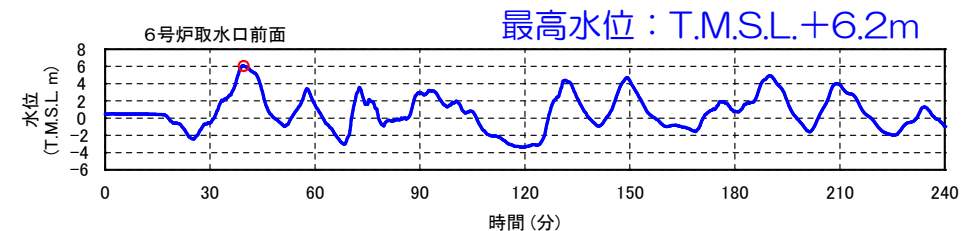
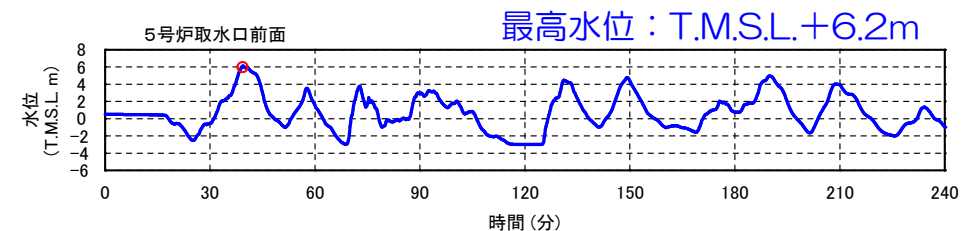
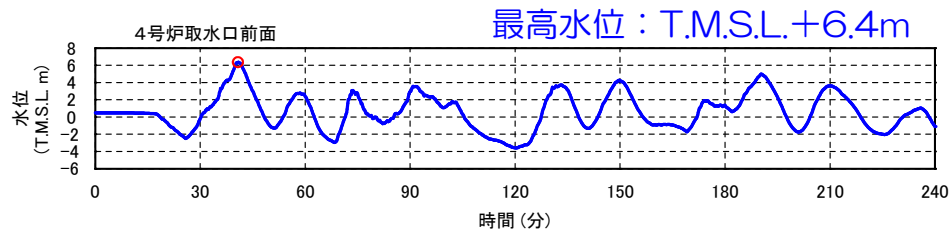
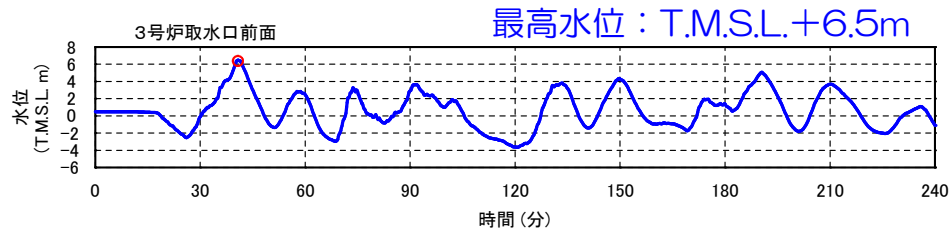
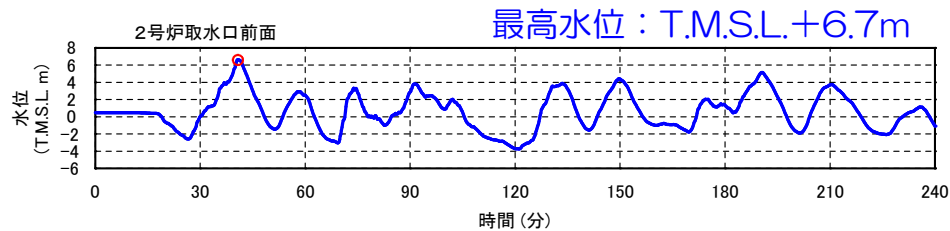
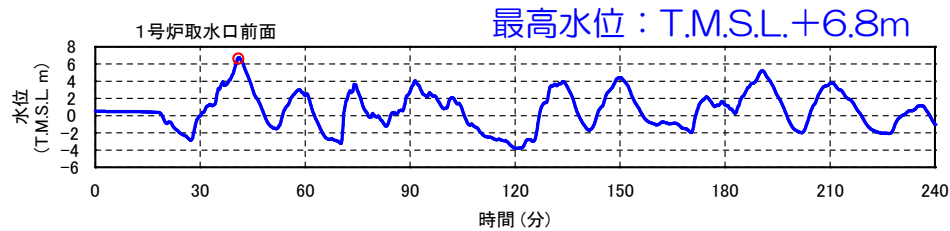
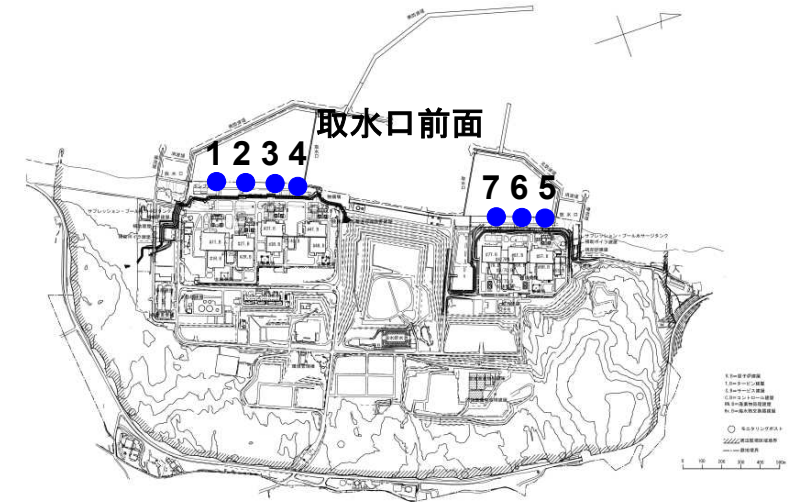
施設や沿岸からの反射波の影響、大陸棚の斜面の影響が微小となる、水深100m(敷地の沖合約7km)を選定



## 2. 【参考】基準津波の評価（時刻歴波形：取水口前面上昇側最大ケース）

### ■ 上昇側最大ケース

- 「地震と地すべりの組合せによる津波」のうち、日本海東縁部（2領域モデル）+LS-2について時刻歴波形を示す。

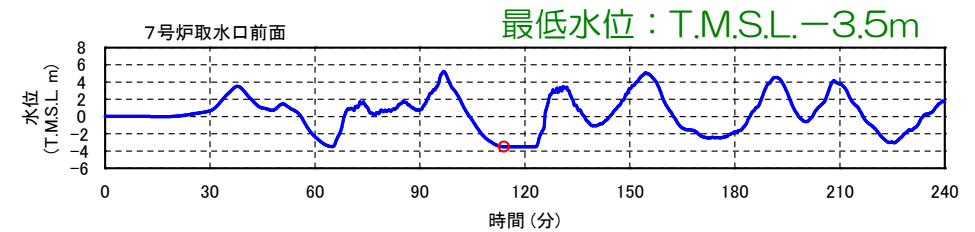
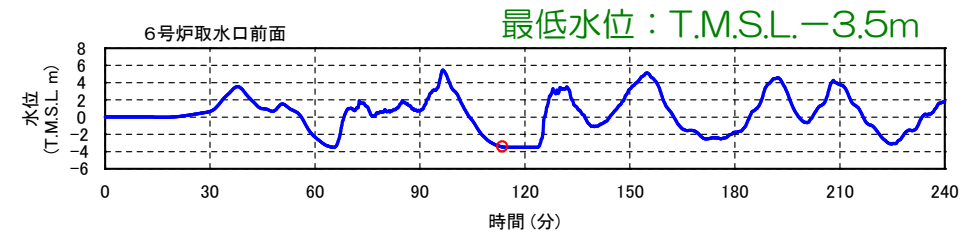
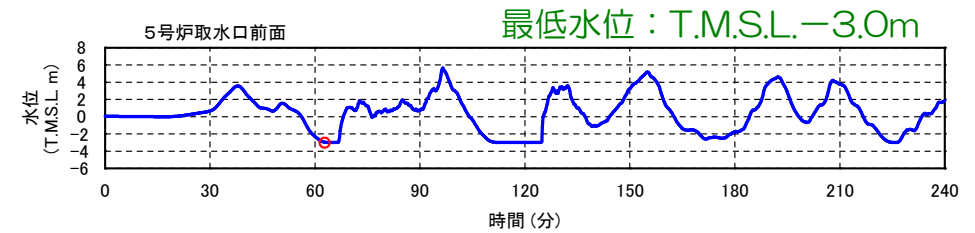
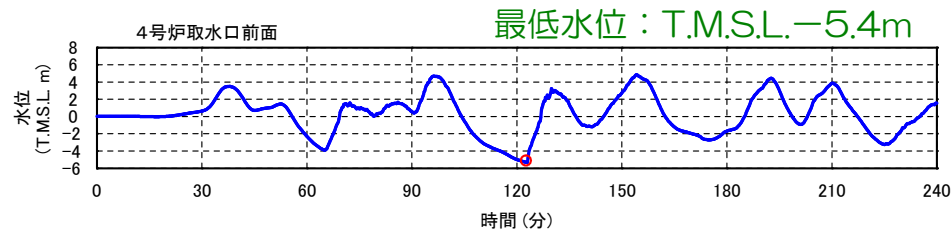
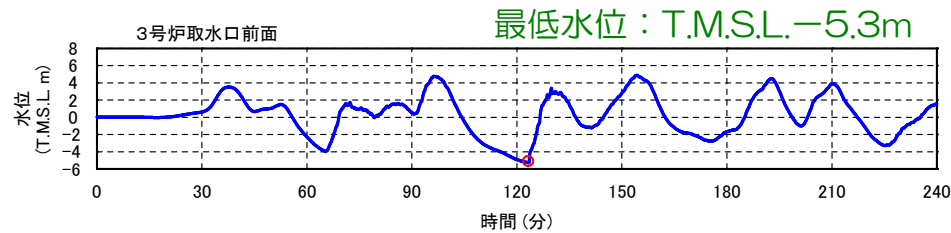
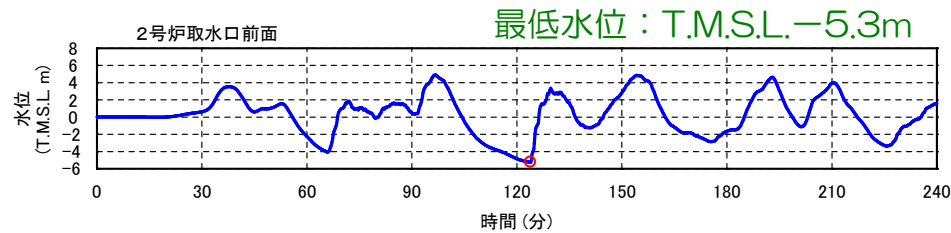
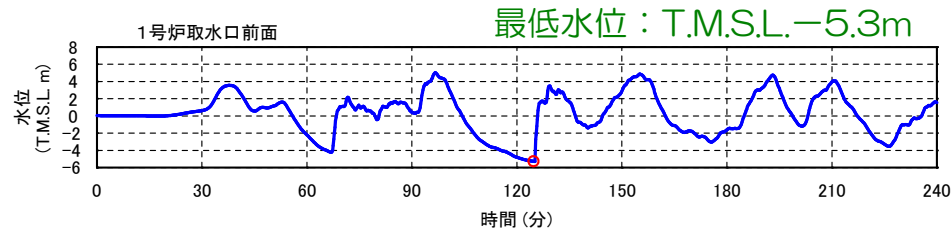
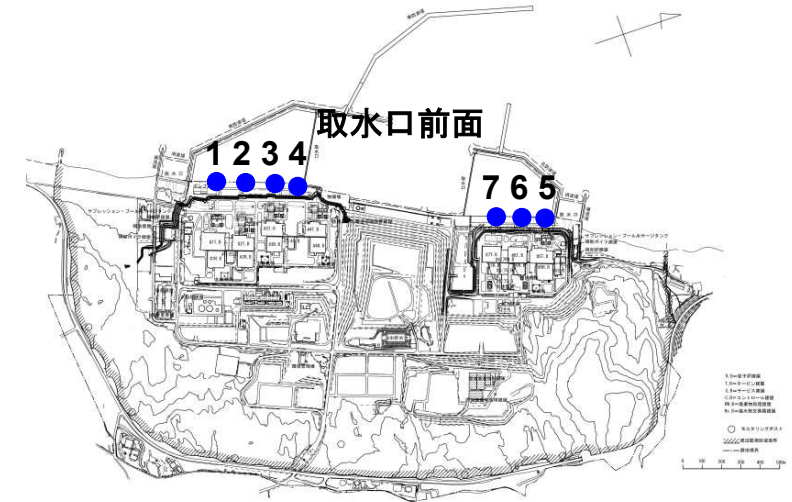


上昇側最大ケースの時刻歴波形：日本海東縁部（2領域モデル）+LS-2

## 2. 【参考】基準津波の評価（時刻歴波形：取水口前面下降側最大ケース）

### ■ 下降側最大ケース

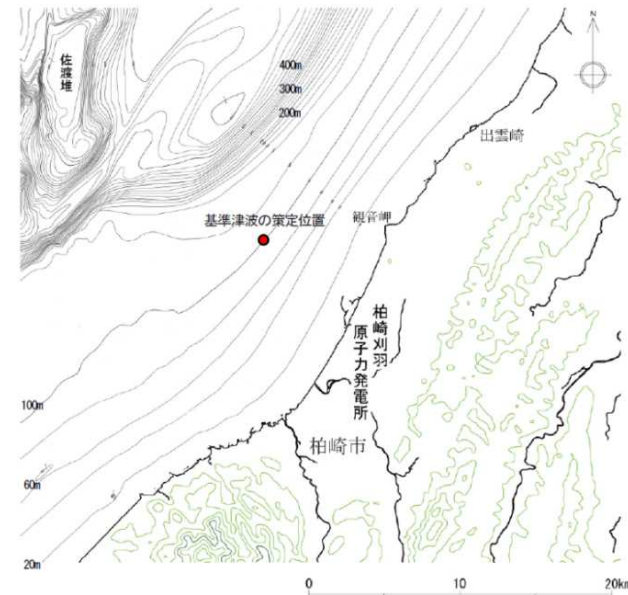
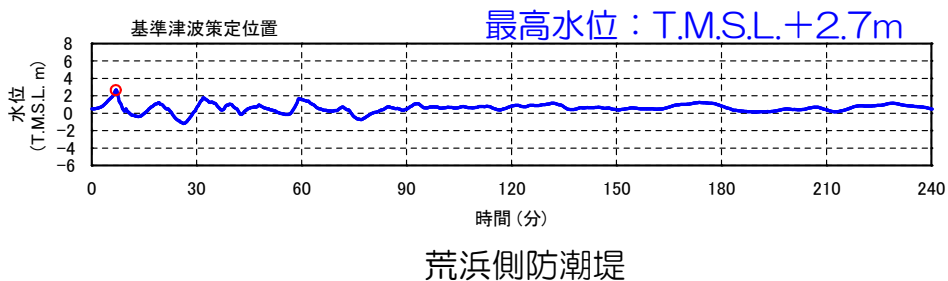
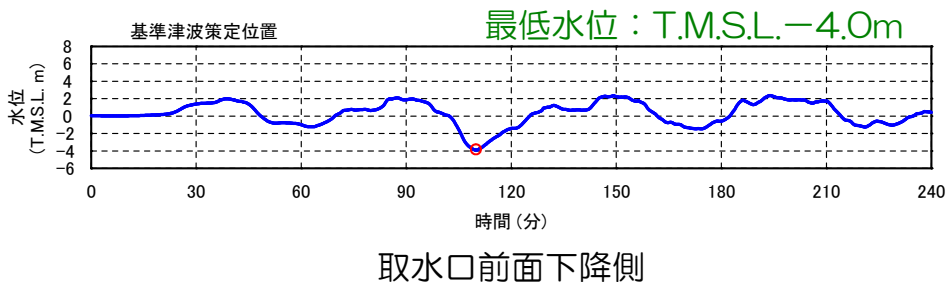
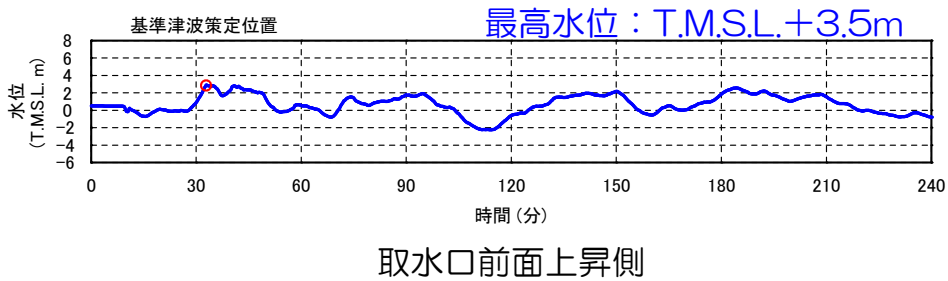
- 「地震による津波」のうち、日本海東縁部（2領域モデル）について時刻歴波形を示す。



下降側最大ケースの時刻歴波形：日本海東縁部（2領域モデル）

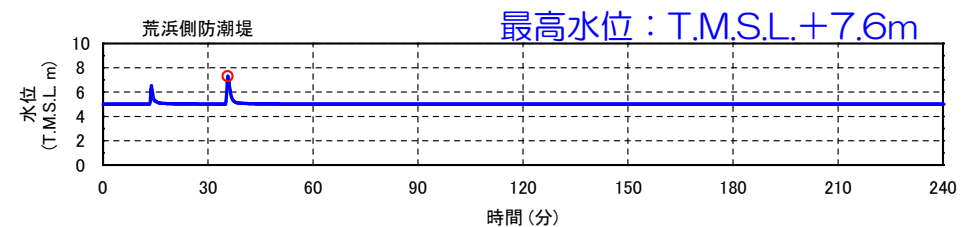
### ■ 基準津波の策定位置における時刻歴波形

- 選定された基準津波のケースにおいて基準津波策定位置における時刻歴波形を示す。



### ■ 荒浜側防潮堤上昇側最大ケース

- 「地震と地すべりの組合せによる津波」のうち、5断層連動モデル+LS-2について時刻歴波形を示す。

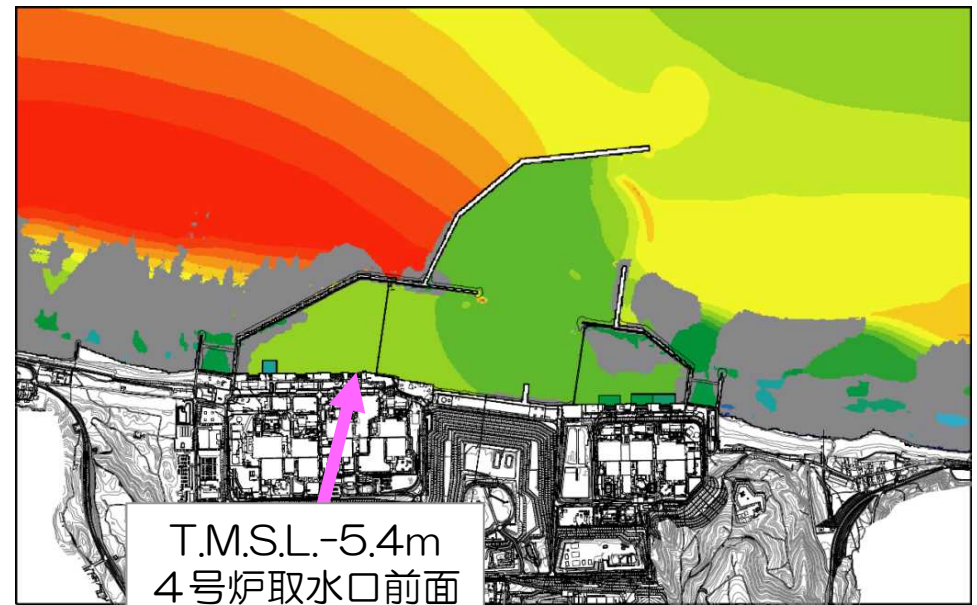
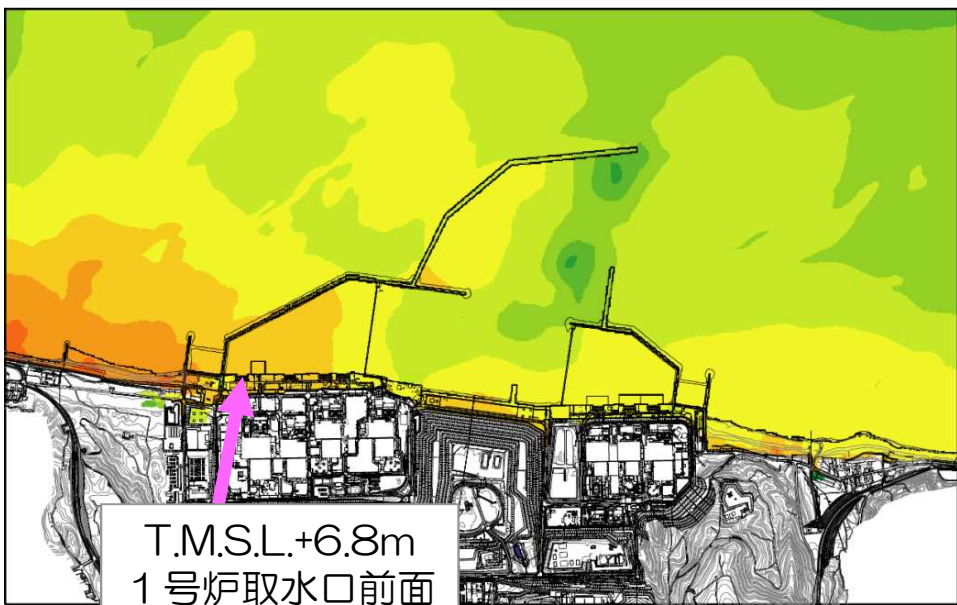
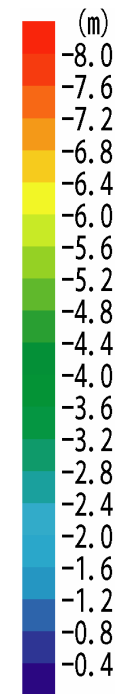


- 基準津波（上昇側最大ケース，下降側最大ケース）のそれぞれについて，水位分布（最大水位上昇量分布，最大水位下降量分布）を示す。

(T.M.S.L.)



(T.M.S.L.)



取水口前面上昇側最大ケース：  
日本海東縁部（2領域モデル）+LS-2

取水口前面下降側最大ケース：  
日本海東縁部（2領域モデル）

最大水位上昇量分布

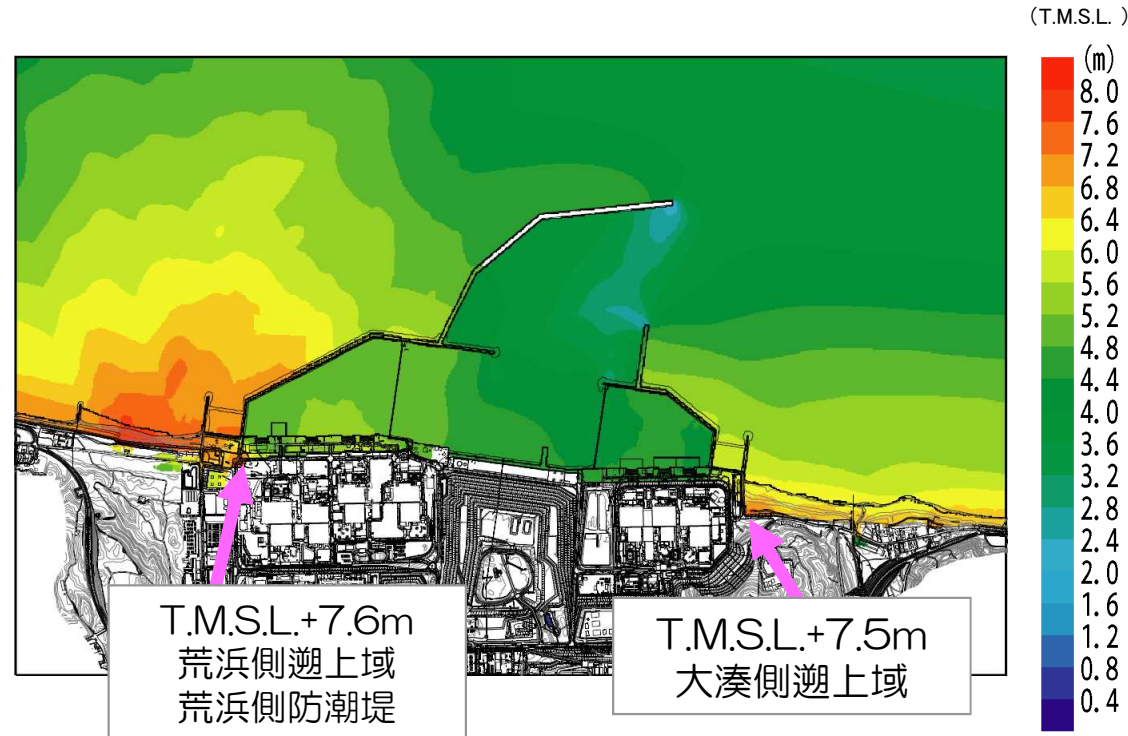
最大水位下降量分布

※全水深10cm以下を露出域（灰色部）として表示



## 2. 【参考】基準津波の評価（水位分布：荒浜側防潮堤・遡上域最大ケース）

- 荒浜側防潮堤および港湾外側からの遡上として、荒浜・大湊側遡上域のそれぞれについて、最大水位上昇量分布図を示す。



荒浜側防潮堤&荒浜・大湊側遡上域最大水位ケース：  
海域の活断層（5断層連動モデル）+地すべり（LS-2）

最大水位上昇量分布



- Watts et al.(2005):Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. II: Preditive Equations and Case Studies, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, pp.298-310.
- Maeno and Imamura(2007):Numerical investigations of tsunamis generated by pyroclastic flows from the Kikai caldera, Japan, Geophysical Research Letters, Vol.34.
- Sassa et al.(2014): A new high-stress undrained ring shear apparatus and its application to the 1792 Unzen-Mayuyama megaslide in Japan, Landslides, Vol.11, No.5.
- Galas(2008): Development of a formal verification and validation database for the computational mass-flow simulator titan2d, Master thesis, The State University of New York at Buffalo, 178p.
- 砂防フロンティア整備推進機構(2003);島原大変, 国土交通省九州地方整備局 雲仙復興事務所.
- Denlinger et al.(2001): Flow of variably fluidized granular masses across three-dimensional terrain 2.Numerical predictions and experimental tests, Journal of Geophysical Research, 106-B1, pp.553-566.
- Sheridan et al.(2004):Evaluating Titan2D mass-flow model using the 1963 Little Tahoma Peak avalanches, Mount Rainier, Washington, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 139, pp.89-102.
- 柳澤ほか(2014):地滑り・津波統合モデルによる寛政4年(1792)有明海津波の再現シミュレーション, 土木学会論文集B2, 70-2, pp.I\_151-I\_155.
- 笹原(2004):山体崩壊による津波シミュレーション-1792年眉山-, 海洋情報部研究報告, No.40, pp.63-72.
- 都司ほか(1993):寛政四年(1792)島原半島眉山の崩壊に伴う有明海津波の熊本側における被害, および沿岸遡上高さ, 東京大学地震研究所彙報, 68, pp.91-17.
- 都司ほか(1997):寛政四年(1792)眉山崩壊による有明海津波の島原半島側の津波浸水高, 歴史地震, 13, pp.135-173.
- Patra et al.(2005):Parallel adaptive numerical simulation of dry avalanches over natural tectain,Journal of Volcanology and Geothermal Reserch,139,1-21,2005.
- H.M.Fritzl et al.(2004):Near Field Characteristics of Landslide Generated Impulse Waves, JOURNAL OF WATERWAY,PORT,COASTAL,AND OCEAN ENGINEERING,ASCE/NOVEMBER/DECEMBER2004.
- 防災科学技術研究所(1986):地すべり地形分布図「村上・佐渡」.
- 松本ほか(1998):土石流による津波発生・伝播モデルの開発, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.346-350.
- Kawamata et al.(2005):Model of tsunami generation by collapse of volcanic eruption: The 1741 Oshima-Oshima tsunami, Tsunamis: Case Studies and Recent Developments, pp.79-96.
- 今村ほか(2001):土砂突入による津波発生機構に関する基礎検討, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.321-325.
- 日本原子力学会(2012):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, 日本原子力学会標準.
- 土木学会(2011):確率論的津波ハザード解析の方法.
- 東京電力(2011):福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果に係わる報告, 第26回地震, 地質・地盤に関する小委員会, 地小委26-2号.
- 地震調査研究推進本部(2009):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」).
- 農林水産省構造改善局・農林水産省水産庁・運輸省港湾局・建設省河川局(1996):日本海東縁部地震津波防災施設整備計画調査報告書.
- 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.
- 原子力学会標準(2007):原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準:2007, 日本原子力学会
- 垣見ほか(2003):日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震 第2輯, 第55巻.
- 宇津(1982):日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表1885年~1980年, Catalog of Large Earthquakes in the Region of Japan from 1885 through 1980.
- 宇津(1985):日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表1885年~1980年(訂正と追加), Catalog of Large Earthquakes in the Region of Japan from 1885 through 1980.
- 気象庁(2008):地震・火山月報(カタログ編).