

泊発電所の基準津波について

(防波堤等の影響検討・津波に対する安全性・超過確率の参照)

平成28年2月5日
北海道電力株式会社

1. 防波堤等の影響検討	3
2. 津波に対する安全性	12
2-1 取水路の水位変動について	14
2-2 砂移動評価について	26
2-2-1 砂移動評価について(平面二次元モデル)	28
2-2-2 砂移動評価について(水路内)	52
2-3 貯留堰の容量について	58
3. 超過確率の参照	68
参考資料	97
参考文献	114

1. 防波堤等の影響検討

1. 防波堤等の影響検討	3
2. 津波に対する安全性	12
2-1 取水路の水位変動について	14
2-2 砂移動評価について	26
2-2-1 砂移動評価について(平面二次元モデル)	28
2-2-2 砂移動評価について(水路内)	52
2-3 貯留堰の容量について	58
3. 超過確率の参照	68
参考資料	97
参考文献	114

1. 防波堤等の影響検討

検討方針

- 基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイドでは、基準津波による敷地周辺の遡上・浸水域の評価に当たっては、地形変化、標高変化、河川流路の変化について、基準地震動Ssによる被害想定を基に遡上解析の初期条件として設定していることを確認するとされている。
- また、津波防護施設・設備の設計において津波影響軽減施設・設備の効果を期待する場合、津波影響軽減施設・設備は、基準津波に対して津波による影響の軽減機能が保持されるよう設計することとされている。
- 泊発電所については、敷地前面専用港に北防波堤及び南防波堤を有しているが、防波堤は津波影響軽減施設としての効果を期待しないことから、基準地震動Ssによる被害想定として、防波堤がなく、敷地が沈下した地形モデルによる遡上解析を実施し、基準津波の選定や施設の安全性評価に及ぼす影響の有無を確認する。

	ケース	波源
基準津波①	水位上昇側(敷地前面・1, 2号炉取水口)	日本海東縁部 ^{※1} +陸上地すべり(川白)
基準津波②	水位下降側(3号炉及び1, 2号炉取水口)	日本海東縁部 ^{※1} +陸上地すべり(川白)
基準津波③	水位上昇側(3号炉取水口)	日本海東縁部 ^{※2} +陸上地すべり(川白)

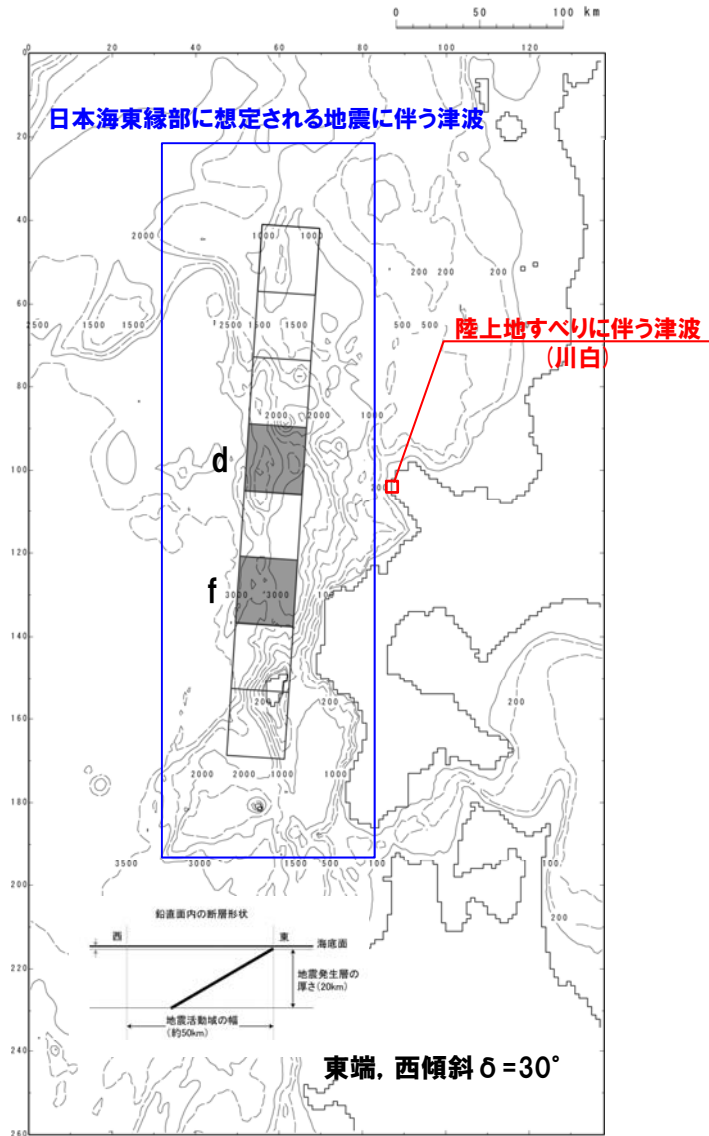
※1 断層パラメータ:東西方向東端,西傾斜($\delta=30^\circ$),断層幅40.0km,断層上縁深さ1km,アスペリティ位置df(2箇所)

※2 断層パラメータ:東西方向東端,西傾斜($\delta=30^\circ$),断層幅40.0km,断層上縁深さ1km,アスペリティ位置d(1箇所)

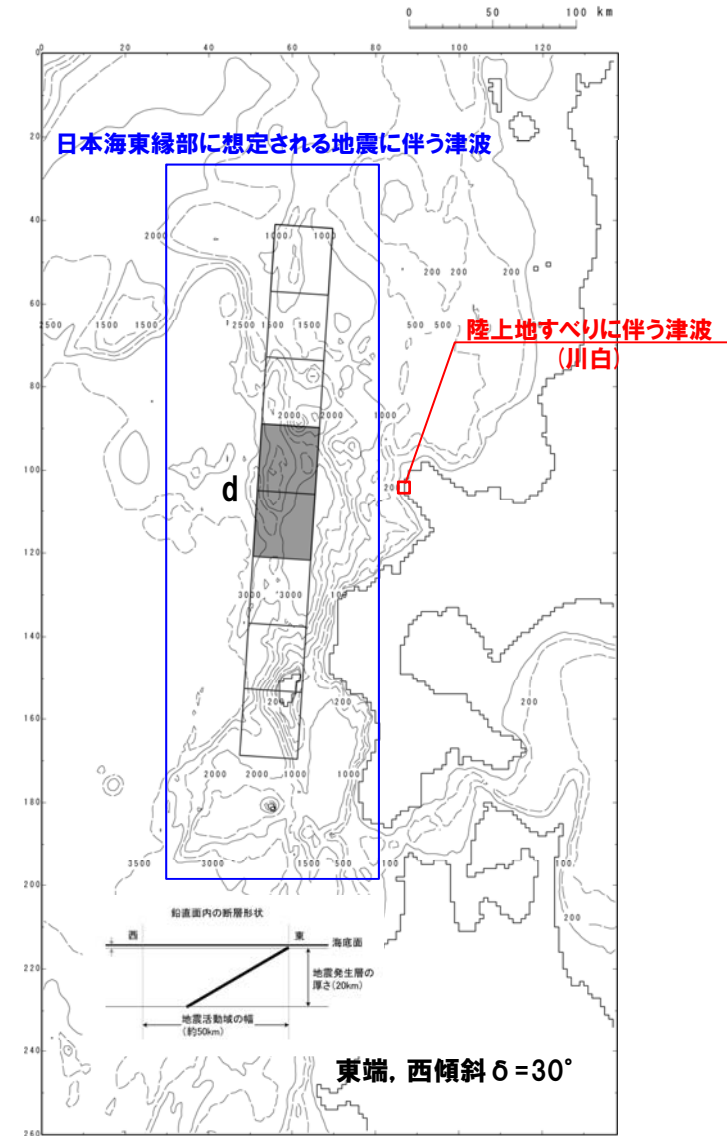
1. 防波堤等の影響検討

基準津波の波源位置

一部修正(H27/8/21審査会合)



敷地前面・1, 2号炉取水口最大水位上昇ケース
3号炉及び1, 2号炉取水口最大水位下降ケース

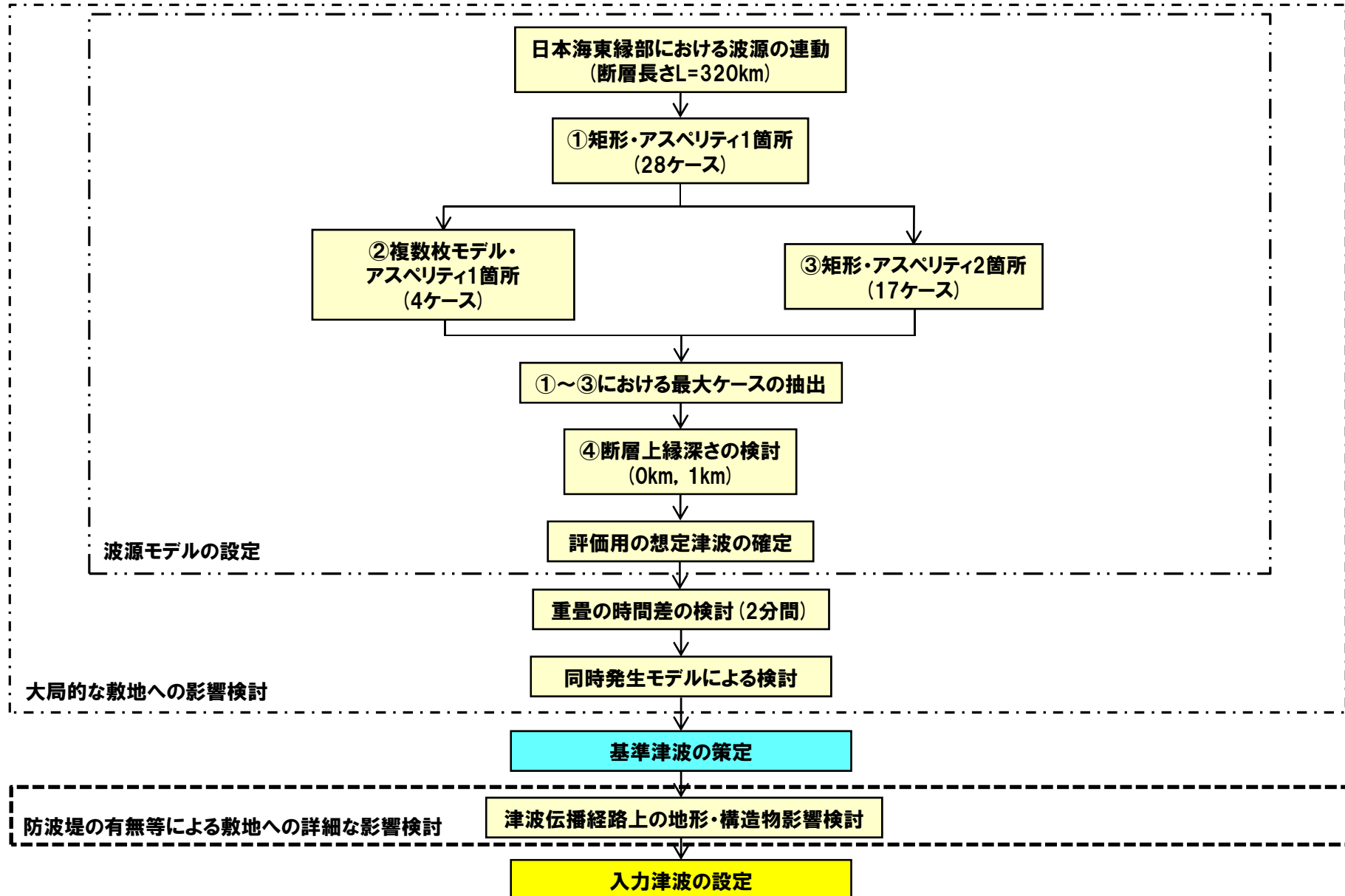


3号炉取水口最大水位上昇ケース

1. 防波堤等の影響検討

検討フロー

一部修正(H27/8/21審査会合)



1. 防波堤等の影響検討

数値シミュレーション結果

○基準地震動Ssによる被害想定として、防波堤がなく、敷地が沈下した地形モデルにより、基準津波による遡上解析を実施した。

地形モデル 評価点	現行モデル			防波堤なし、敷地沈下モデル*		
	基準津波①	基準津波②	基準津波③	基準津波①	基準津波②	基準津波③
敷地前面 最大水位上昇量	12.63m	7.90m	11.40m	13.24m	8.46m	11.75m
3号炉取水口 最大水位上昇量	8.19m	6.28m	8.47m	9.75m	7.87m	9.88m
3号炉取水口 最大水位下降量	7.68m	7.82m	7.74m	8.39m	8.53m	8.48m
1号及び2号炉取水口 最大水位上昇量	7.24m	6.07m	7.06m	9.15m	7.89m	8.76m
1号及び2号炉取水口 最大水位下降量	7.17m	7.18m	7.16m	7.09m	7.15m	7.15m

※敷地の沈下量については、護岸部を2m、防潮堤近傍を1mとしている。

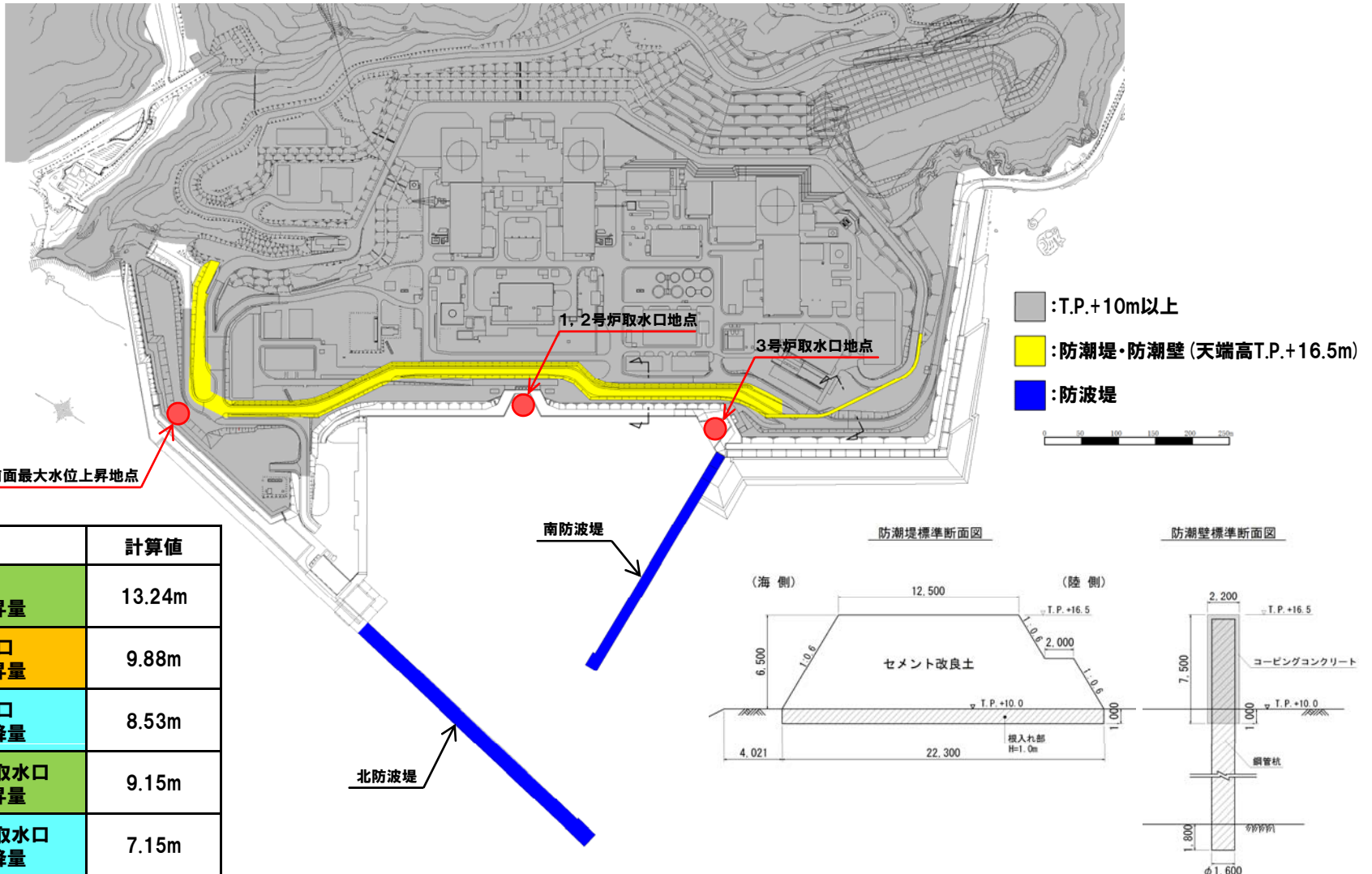


○防波堤がなく、敷地が沈下した地形モデルにより、基準津波による遡上解析を実施した結果、評価点における水位変動量は、現行の地形モデルによる評価と比較して大きくなる傾向にあるものの、それぞれの評価点において最大となる基準津波のケースは同様の結果であり、基準津波の選定に影響はない。

1. 防波堤等の影響検討

構内敷地高について

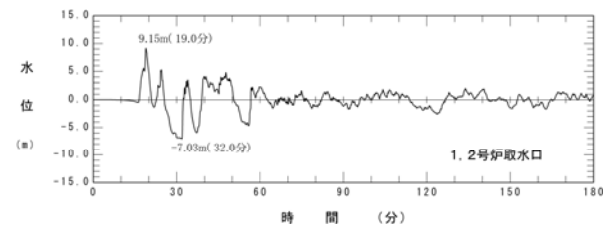
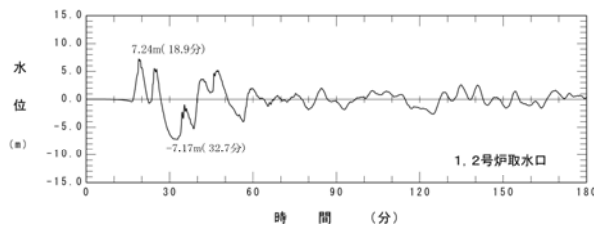
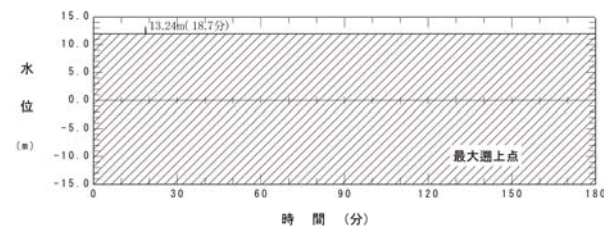
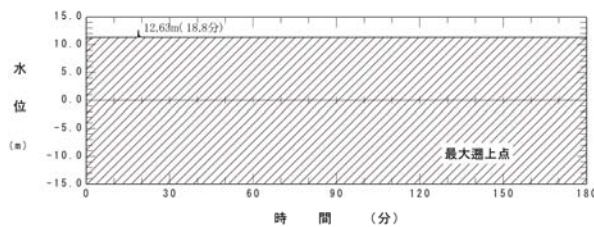
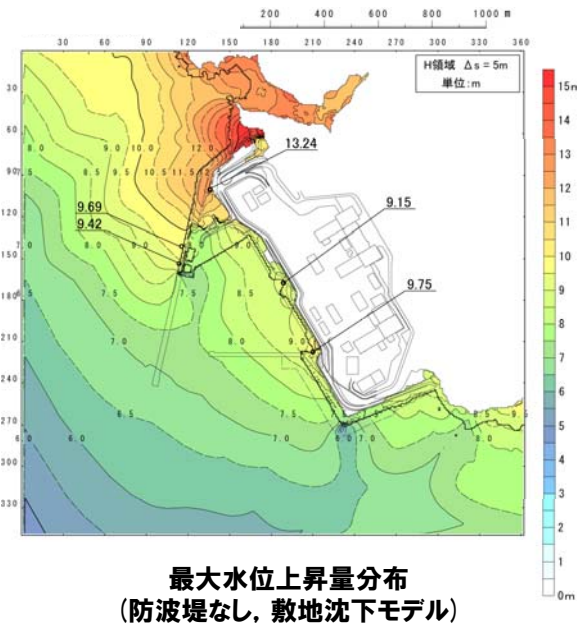
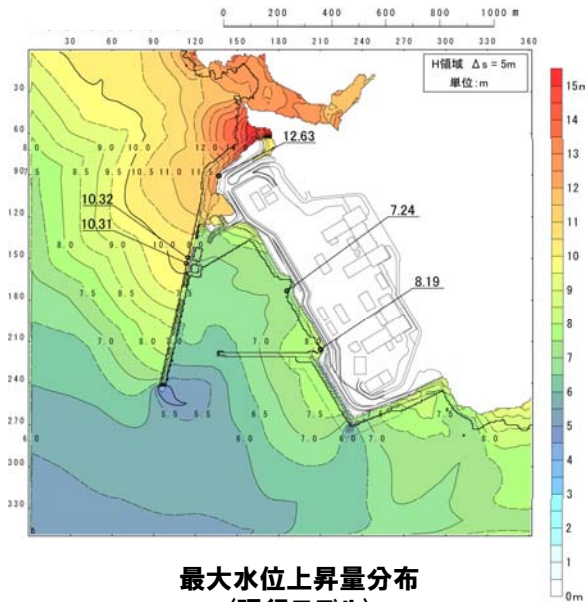
○敷地前面における最大水位上昇量が13.24mであるのに対し、天端高T.P.+16.5mの防潮堤及び防潮壁が設置されていることから、基準津波による遡上波は地上部から流入しない。



区分	計算値
敷地前面 最大水位上昇量	13.24m
3号炉取水口 最大水位上昇量	9.88m
3号炉取水口 最大水位下降量	8.53m
1号及び2号炉取水口 最大水位上昇量	9.15m
1号及び2号炉取水口 最大水位下降量	7.15m

1. 防波堤等の影響検討

数値シミュレーション結果の比較 基準津波① (敷地前面・1, 2号炉取水口最大水位上昇ケース)

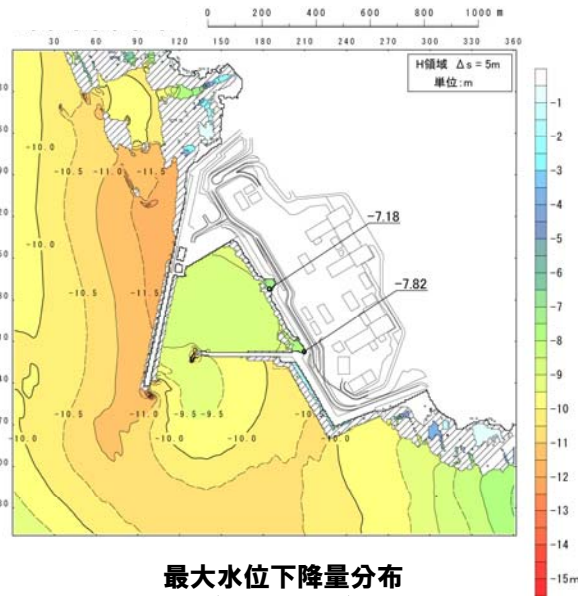


水位時刻歴波形
(現行モデル)

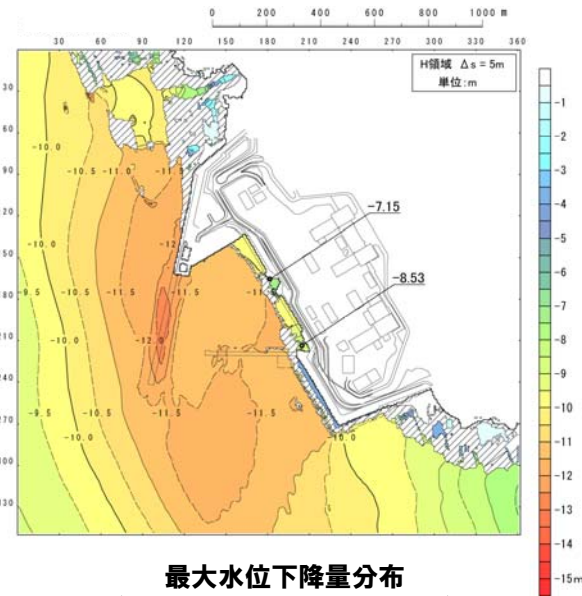
水位時刻歴波形
(防波堤なし, 敷地沈下モデル)

1. 防波堤等の影響検討

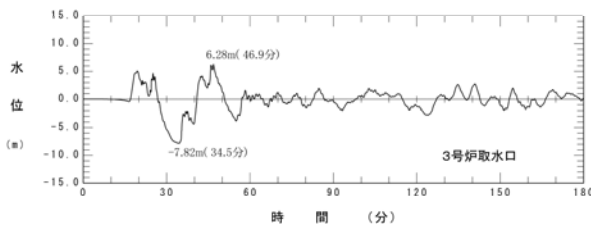
数値シミュレーション結果の比較 基準津波② (3号炉及び1, 2号炉取水口最大水位下降ケース)



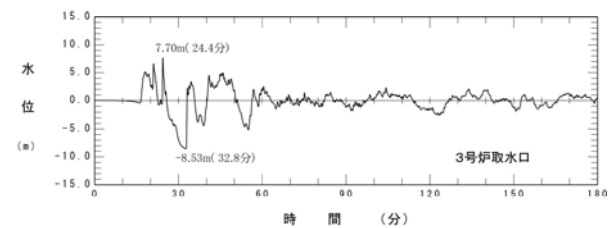
最大水位下降量分布
(現行モデル)



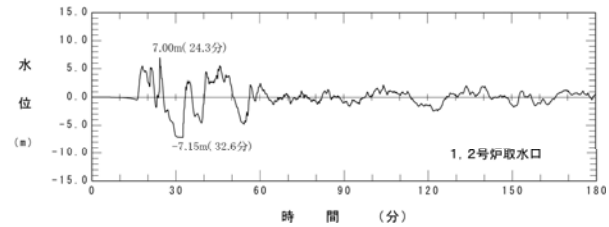
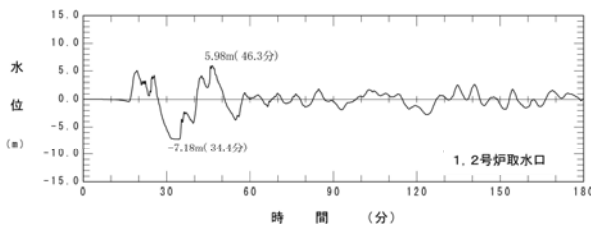
最大水位下降量分布
(防波堤なし, 敷地沈下モデル)



水位時刻歴波形
(現行モデル)

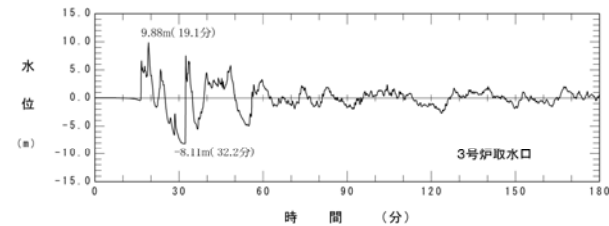
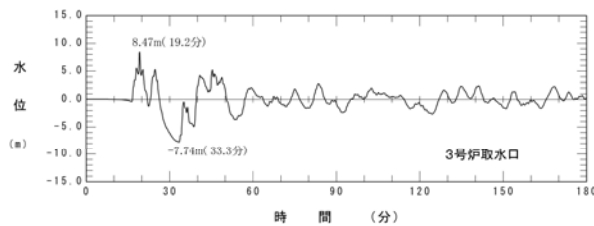
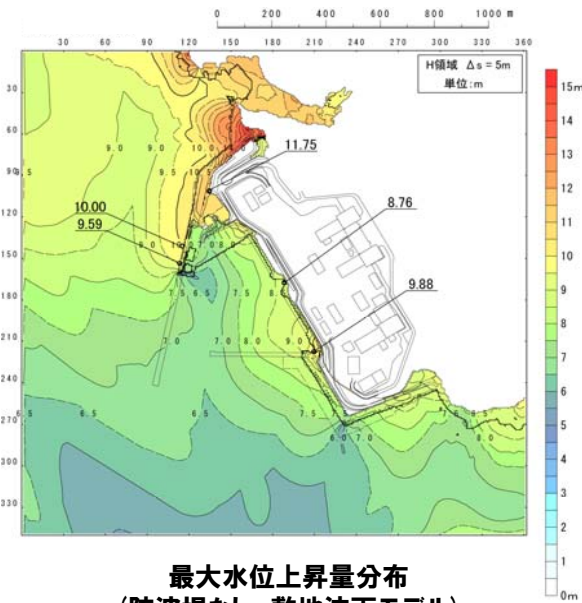
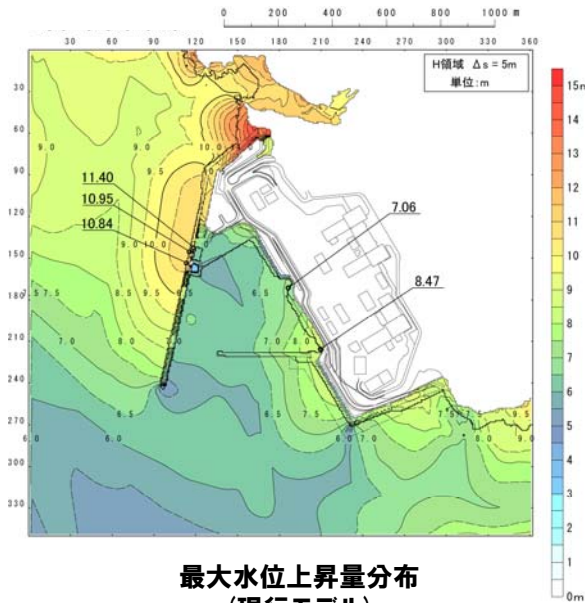


水位時刻歴波形
(防波堤なし, 敷地沈下モデル)



1. 防波堤等の影響検討

数値シミュレーション結果の比較 基準津波③ (3号炉取水口最大水位上昇ケース)



1. 防波堤等の影響検討	3
2. 津波に対する安全性	12
2-1 取水路の水位変動について	14
2-2 砂移動評価について	26
2-2-1 砂移動評価について(平面二次元モデル)	28
2-2-2 砂移動評価について(水路内)	52
2-3 貯留堰の容量について	58
3. 超過確率の参照	68
参考資料	97
参考文献	114

2. 津波に対する安全性

検討方針

○津波に対する安全性の検討として、以下を実施する。

- ①基準津波に伴う取水路の水位変動評価。
- ②基準津波に伴う砂移動評価。
- ③貯留堰の容量に対する、海水ポンプの運転可能時間の整理。

2-1 取水路の水位変動について

1. 防波堤等の影響検討	3
2. 津波に対する安全性	12
2-1 取水路の水位変動について	14
2-2 砂移動評価について	26
2-2-1 砂移動評価について(平面二次元モデル)	28
2-2-2 砂移動評価について(水路内)	52
2-3 貯留堰の容量について	58
3. 超過確率の参照	68
参考資料	97
参考文献	114

2-1 取水路の水位変動について

検討方針

【既検討について】

- 基準津波に伴う取水路の水位変動について、管路解析を実施した。
- 3号炉取水路からの津波の流入を検討した結果、約560m³の溢水が発生する結果となった。
- 3号炉取水路に対して浸水対策を施すことにより敷地への津波の流入を防止する。
- 1, 2号炉取水路からの津波の流入を検討した結果、敷地への津波の流入はない。
- 3号炉及び1, 2号炉取水設備の原子炉補機冷却海水ポンプの取水性への影響を検討した結果、原子炉補機冷却海水ポンプの取水性に影響はない。

地形モデル 評価点	現行モデル	防波堤なし 敷地沈下モデル
敷地前面 最大水位上昇量	12.63m	13.24m
3号炉取水口 最大水位上昇量	8.47m	9.88m
3号炉取水口 最大水位下降量	7.82m	8.53m
1号及び2号炉取水口 最大水位上昇量	7.24m	9.15m
1号及び2号炉取水口 最大水位下降量	7.18m	7.15m

追加検討ケース

【追加検討について】

- 防波堤がなく、敷地が沈下した地形モデルによる遡上解析結果を踏まえた管路解析を実施し、施設の安全性評価に及ぼす影響の有無について確認する。

2-1 取水路の水位変動について

計算条件

再掲(H27/8/21審査会合)

項目	設定値
計算領域	取水口～取水路～取水ピットスクリーン室～取水ピットポンプ室
計算時間間隔	0.005秒
基礎方程式	連続式及び運動方程式
取水条件(ポンプ取水量)	原子炉補機冷却海水ポンプの取水流量 3号炉 : 1.0m ³ /s (水路一連あたり) 1, 2号炉 : 1.0m ³ /s (水路一連あたり)
取水路の損失係数	貝の付着代 粗度係数 0.0m 0.014m ^{-1/3} ・s
局所損失係数	水理公式集 土木学会(1999), 水力発電演習 千秋信一(1967) 火力・原子力発電所土木構造物の設計(増補改訂版) 電力土木技術協会(1995) による
計算潮位	水位上昇側 : 朔望平均満潮位 T.P.+0.26m 水位下降側 : 朔望平均干潮位 T.P.-0.14m
計算時間	地震発生後3時間

< 開水路 >

連続式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} + \frac{1}{x} f \frac{|v| v}{2g} \right) = 0$$

ここに,

 t : 時間 R : 径深 Q : 流量 x : 管路の流れ方向の長さ v : 流速 f : 局所損失係数 x : 管底に沿った座標 A_p : 取水ピット, 若しくは, 立坑部の平面積 A : 流水断面積 H : ピエゾ水頭 H_p : 取水ピット, 若しくは, 立坑部の水位 z : 管底高 Q_s : 取水ピット, 若しくは, 立坑部へ流入する流量の総和 g : 重力加速度 n : マニングの粗度係数

< 管水路 >

連続式

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} + \frac{1}{x} f \frac{|v| v}{2g} \right) = 0$$

< 取水ピット及び立坑部 >

連続式

$$A_p \frac{dH_p}{dt} = Q_s$$

2-1 取水路の水位変動について

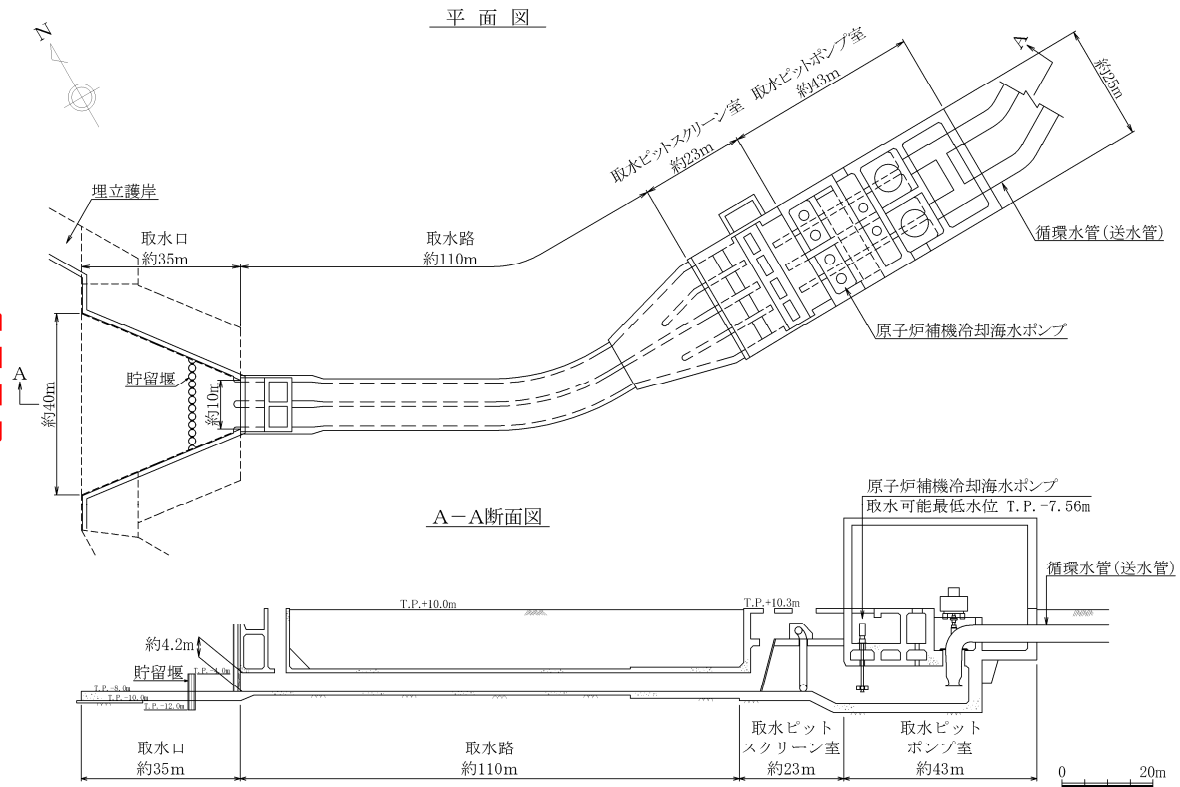
検討結果 (3号炉取水路-水位上昇側) (1/2)

- 3号炉取水ピット内の水位変動を検討した結果, 最高水位はT.P.+10.30mで, 溢水量は約1,140m³となった。
- 3号炉取水路に対して浸水対策を施すことにより敷地への津波の流入を防止する。

地形モデル	最高水位 (溢水量)
現行モデル	T.P.+10.30m※ (約560m ³)
防波堤なし 敷地沈下モデル	T.P.+10.30m※ (約1,140m ³)

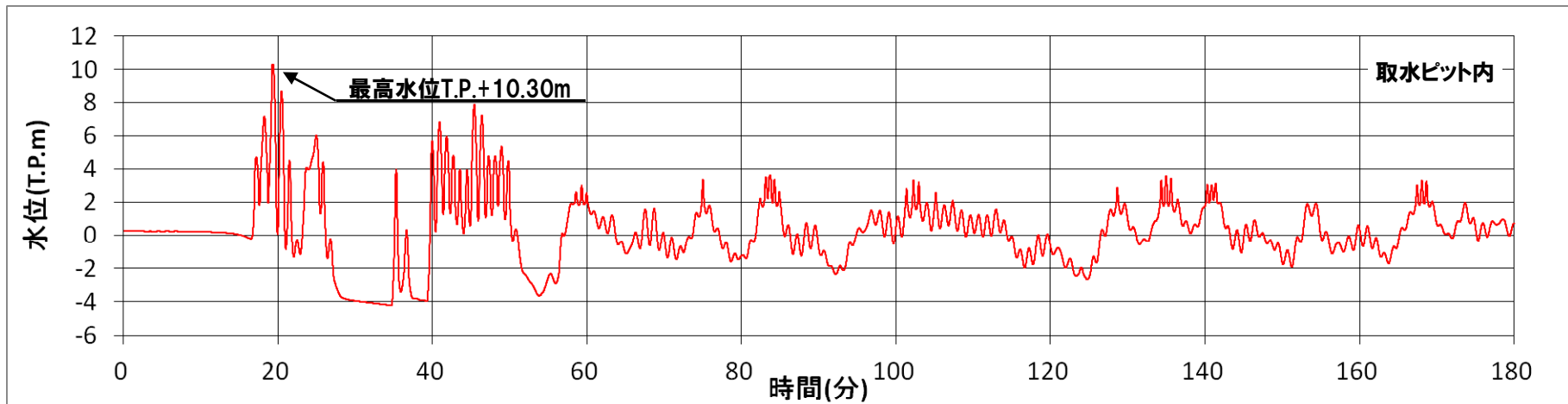
追加検討ケース

※T.P.+10.30mは, 解析モデル上の取水ピットスクリーン室開口部高さ。

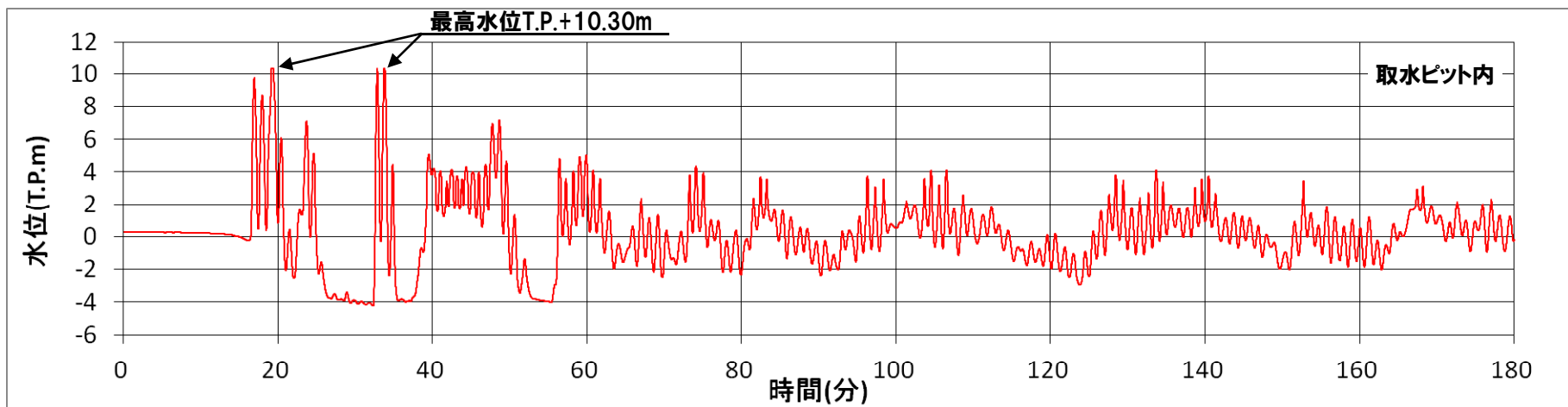


2-1 取水路の水位変動について

検討結果 (3号炉取水路-水位上昇側) (2/2)



現行モデル



防波堤なし、敷地沈下モデル

2-1 取水路の水位変動について

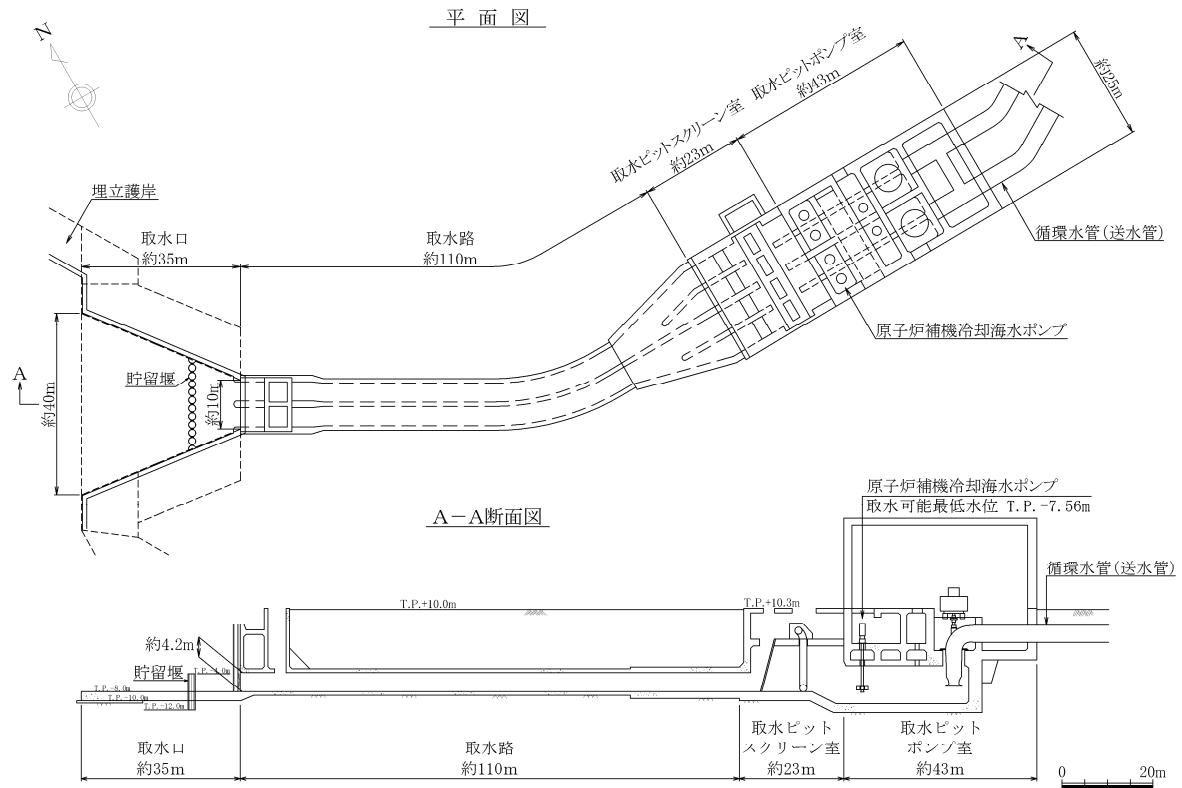
検討結果 (3号炉取水路-水位下降側) (1/2)

○3号炉取水ピット内の原子炉補機冷却海水ポンプの取水性への影響を検討した結果、最低水位はT.P.-4.14mとなり、原子炉補機冷却海水ポンプの取水性に影響はない。

地形モデル	最低水位
現行モデル	T.P.-4.25m
防波堤なし 敷地沈下モデル	T.P.-4.14m

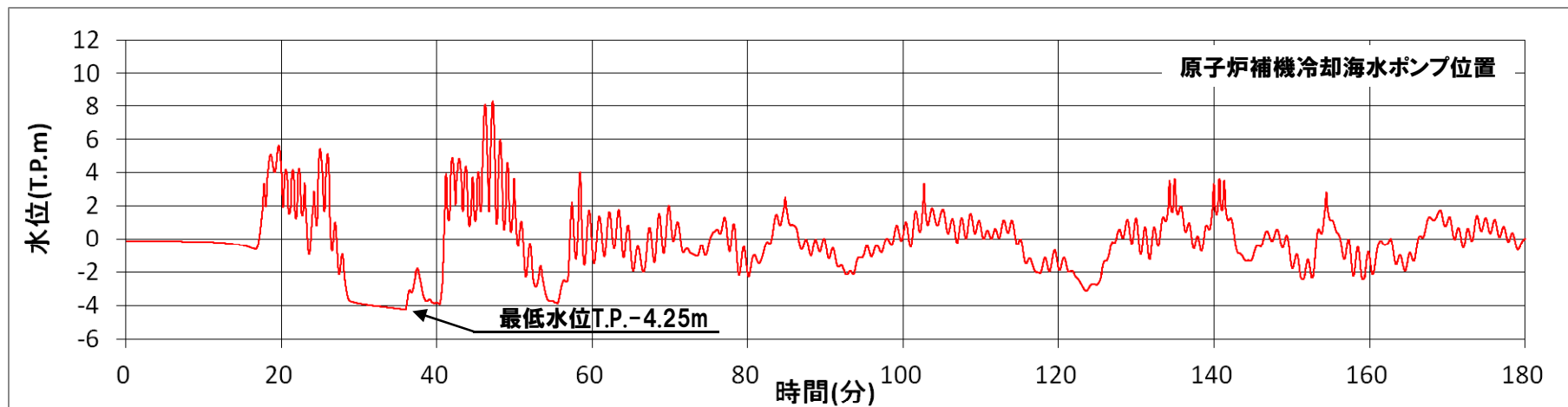
追加検討ケース

※原子炉補機冷却海水ポンプ
取水可能最低水位 T.P.-7.56m

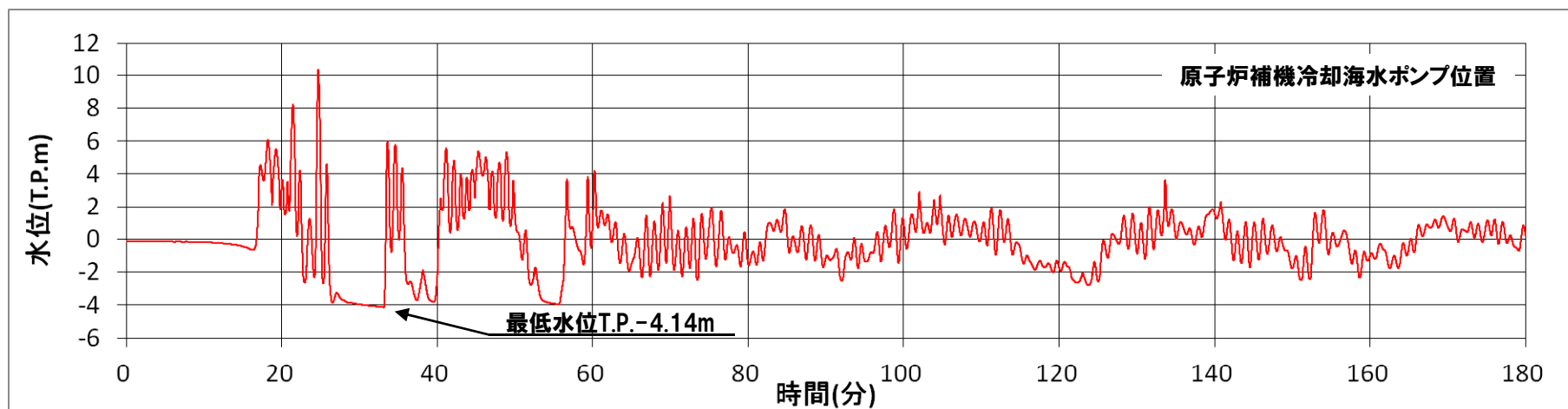


2-1 取水路の水位変動について

検討結果 (3号炉取水路-水位下降側) (2/2)



現行モデル



防波堤なし, 敷地沈下モデル

2-1 取水路の水位変動について

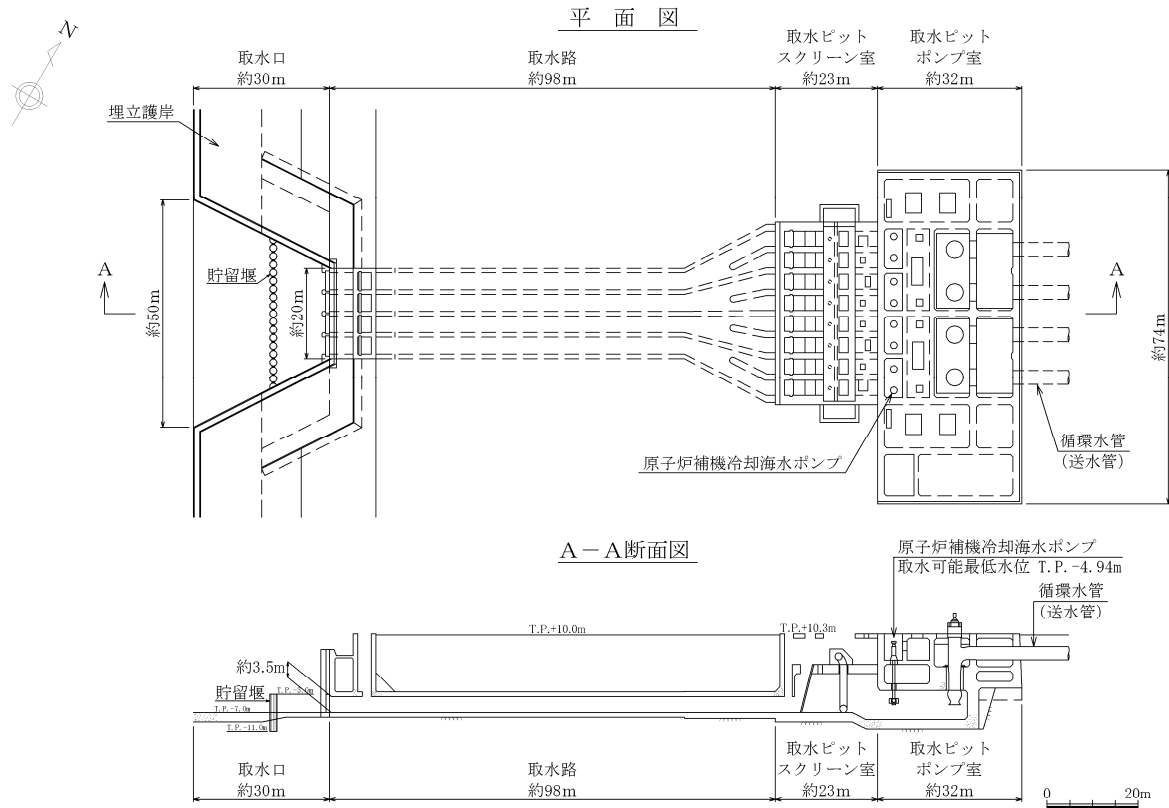
検討結果 (1, 2号炉取水路-水位上昇側) (1/2)

- 1, 2号炉取水ピット内の水位変動を検討した結果, 最高水位はT.P.+10.30mで, 溢水量は約1,640m³となった。
- 1, 2号炉取水路に対して浸水対策を施すことにより敷地への津波の流入を防止する。

地形モデル	最高水位 (溢水量)
現行モデル	T.P.+8.83m (0m ³)
防波堤なし 敷地沈下モデル	T.P.+10.30m※ (約1,640m ³)

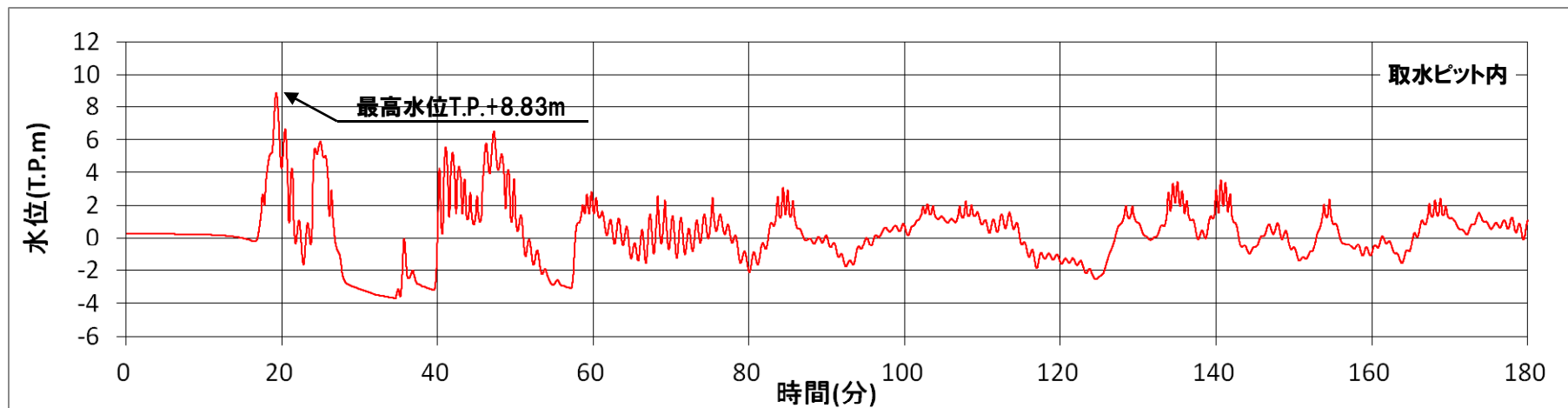
追加検討ケース

※T.P.+10.30mは, 解析モデル上の取水ピットスクリーン室開口部高さ。

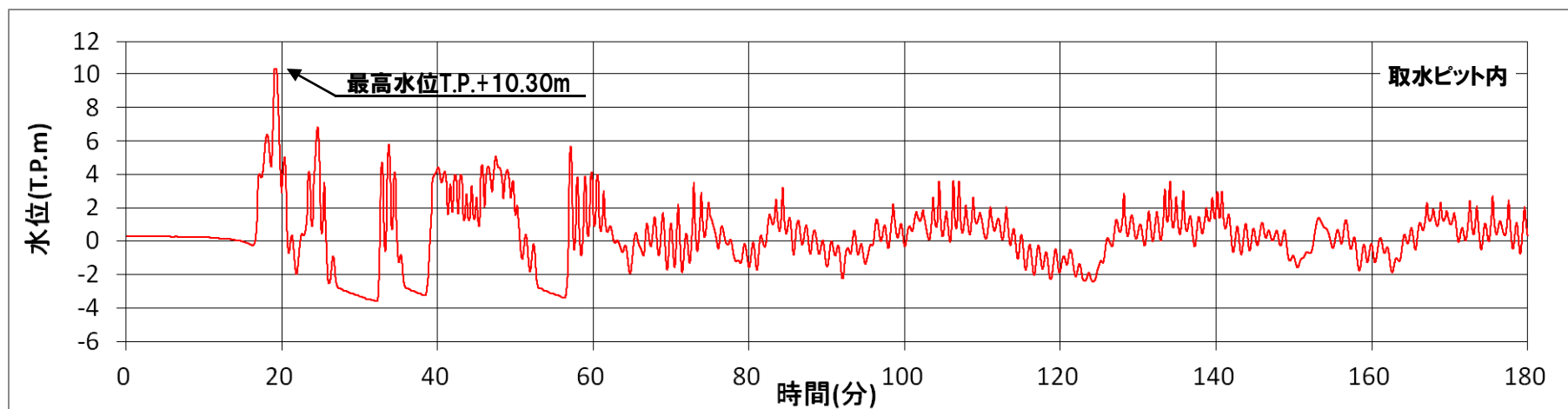


2-1 取水路の水位変動について

検討結果(1, 2号炉取水路-水位上昇側)(2/2)



現行モデル



防波堤なし, 敷地沈下モデル

2-1 取水路の水位変動について

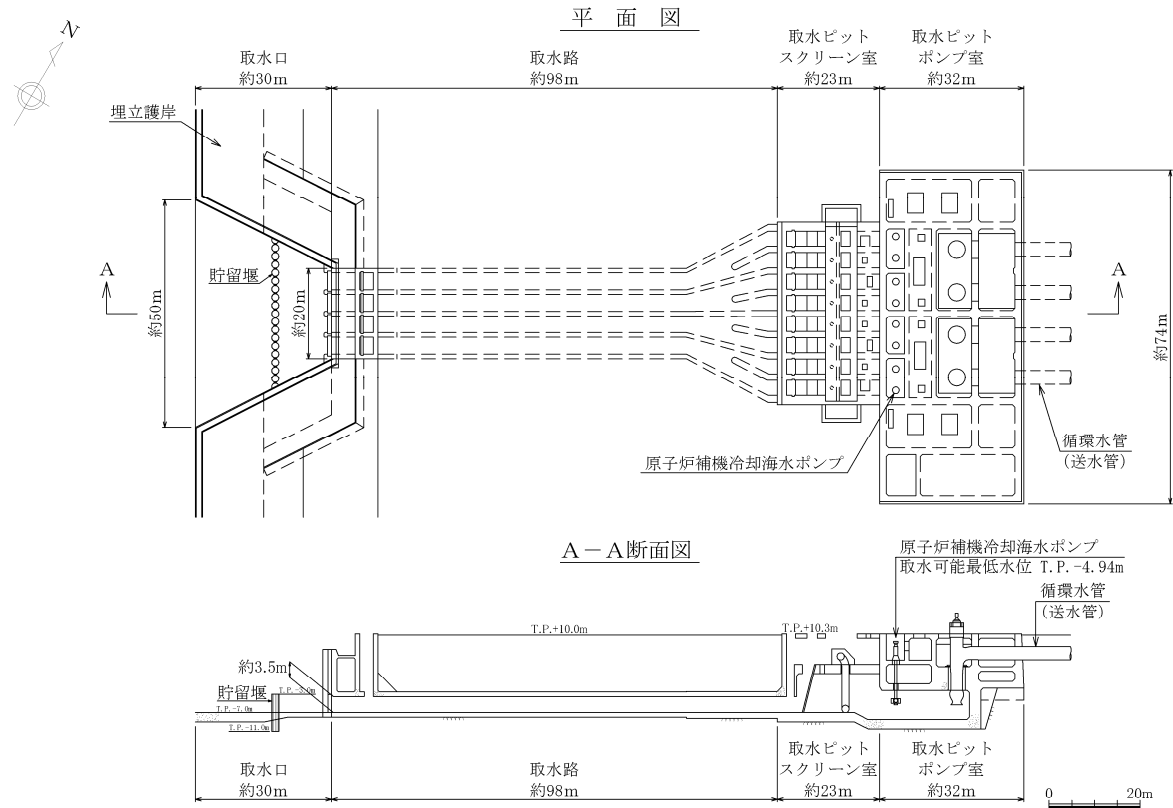
検討結果 (1, 2号炉取水路-水位下降側) (1/2)

○1, 2号炉取水ピット内の原子炉補機冷却海水ポンプの取水性への影響を検討した結果, 評価水位は T.P.-3.64mとなり, 原子炉補機冷却海水ポンプの取水性に影響はない。

地形モデル	最低水位
現行モデル	T.P.-3.94m
防波堤なし 敷地沈下モデル	T.P.-3.64m

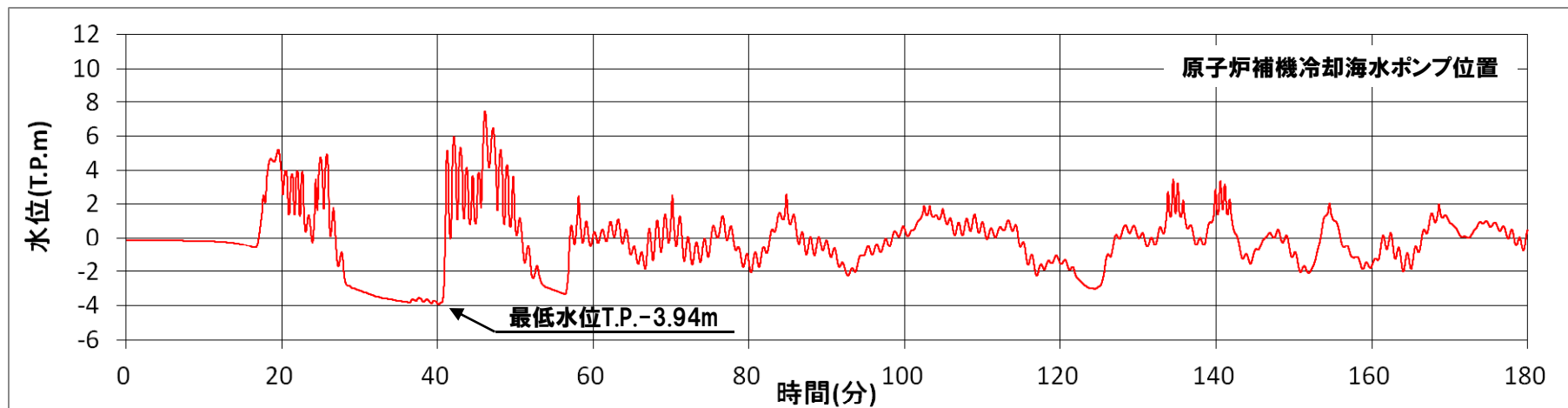
追加検討ケース

※原子炉補機冷却海水ポンプ
取水可能最低水位 T.P.-4.94m

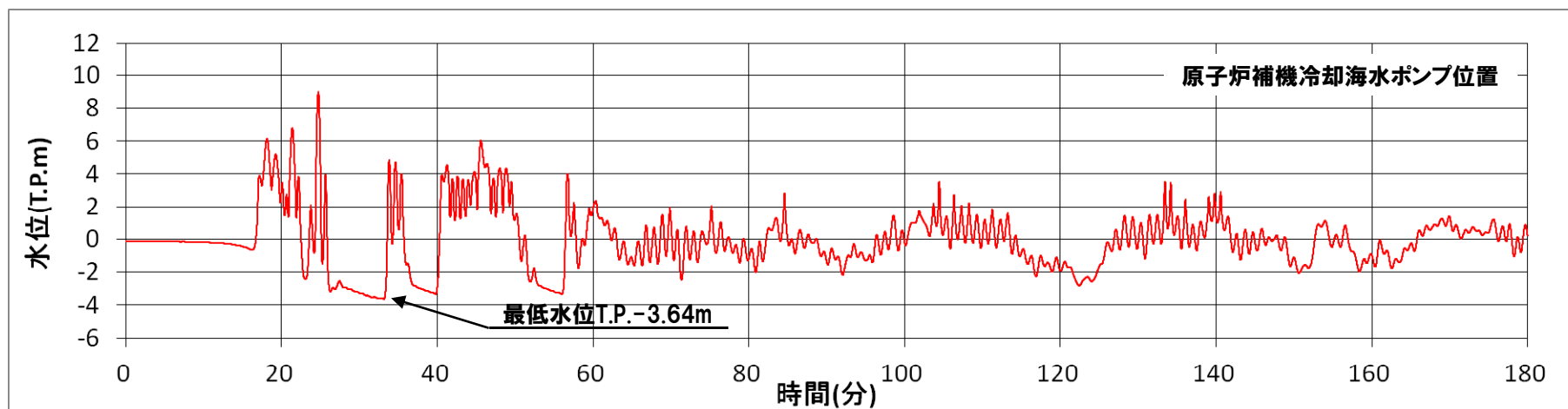


2-1 取水路の水位変動について

検討結果(1, 2号炉取水路-水位下降側)(2/2)



現行モデル



防波堤なし, 敷地沈下モデル

2-1 取水路の水位変動について

まとめ

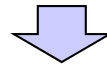
【既検討結果】

- 基準津波に伴う取水路の水位変動について、管路解析を実施した。
- 3号炉取水路からの津波の流入を検討した結果、約560m³の溢水が発生する結果となった。
- 3号炉取水路に対して浸水対策を施すことにより敷地への津波の流入を防止する。
- 1, 2号炉取水路からの津波の流入を検討した結果、敷地への津波の流入はない。
- 3号炉及び1, 2号炉取水設備の原子炉補機冷却海水ポンプの取水性への影響を検討した結果、原子炉補機冷却海水ポンプの取水性に影響はない。

地形モデル	3号炉		1, 2号炉	
	水位上昇側 (溢水量)	水位下降側	水位上昇側 (溢水量)	水位下降側
現行モデル	T.P.+10.30m* (約560m ³)	T.P.-4.25m	T.P.+8.83m (0m ³)	T.P.-3.94m
防波堤なし 敷地沈下モデル	T.P.+10.30m* (約1,140m ³)	T.P.-4.14m	T.P.+10.30m* (約1,640m ³)	T.P.-3.64m

*T.P.+10.30mは、解析モデル上の取水ピットスクリーン室開口部高さ。

追加検討ケース



【追加検討結果】

- 防波堤がなく、敷地が沈下した地形モデルによる遡上解析結果を踏まえた管路解析を実施し、施設の安全性評価に及ぼす影響の有無について確認した。
- 取水路からの津波の流入を検討した結果、3号炉では約1,140m³、1, 2号炉では約1,640m³の溢水が発生する結果となった。
- 3号炉及び1, 2号炉取水路に対して浸水対策を施すことにより敷地への津波の流入を防止する。
- 3号炉及び1, 2号炉取水設備の原子炉補機冷却海水ポンプの取水性への影響を検討した結果、原子炉補機冷却海水ポンプの取水性に影響はない。

1. 防波堤等の影響検討	3
2. 津波に対する安全性	12
2-1 取水路の水位変動について	14
2-2 砂移動評価について	26
2-2-1 砂移動評価について(平面二次元モデル)	28
2-2-2 砂移動評価について(水路内)	52
2-3 貯留堰の容量について	58
3. 超過確率の参照	68
参考資料	97
参考文献	114

2-2 砂移動評価について

検討方針

- 基準津波に伴う砂移動評価として、以下を実施する。
 - ①取水口位置における砂の堆積量の検討。
 - ②取水ピットポンプ室での砂の堆積量及び濃度の検討。

1. 防波堤等の影響検討	3
2. 津波に対する安全性	12
2-1 取水路の水位変動について	14
2-2 砂移動評価について	26
2-2-1 砂移動評価について(平面二次元モデル)	28
2-2-2 砂移動評価について(水路内)	52
2-3 貯留堰の容量について	58
3. 超過確率の参照	68
参考資料	97
参考文献	114

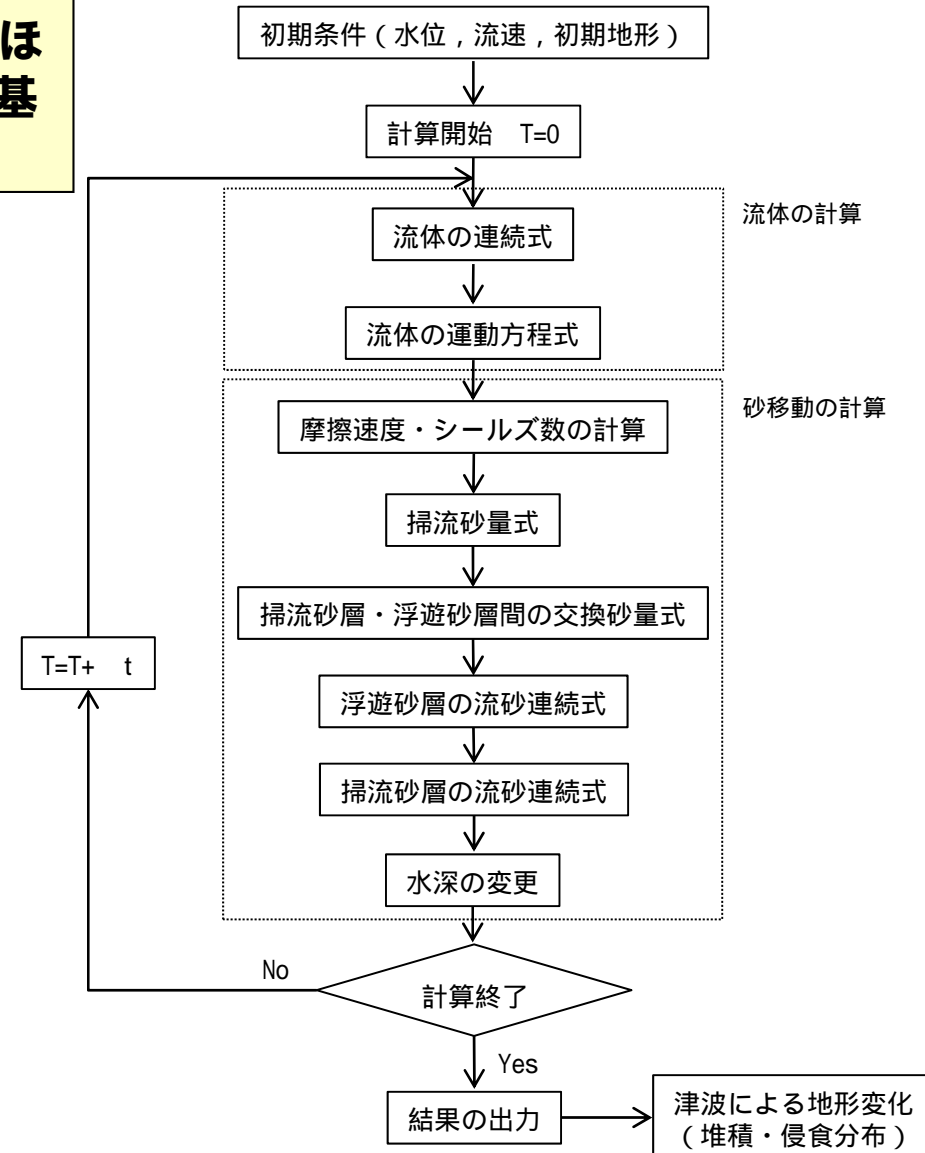
検討方針(平面二次元モデル)

- 基準津波①～③を対象に津波に伴う砂移動について評価を実施する。
- 評価に当たっては、現行の地形モデルによる評価のほか、泊発電所については、防波堤に津波影響軽減施設としての効果を期待しないことから、基準地震動 S_s による被害想定として、防波堤がなく、敷地が沈下した地形モデルによる評価を実施し、施設の安全性評価に及ぼす影響の有無を確認する。

数値シミュレーションの手法 (平面二次元モデル) (1/2)

一部修正(H26/12/5審査会合)

○津波に伴う砂移動の評価については、藤井ほか(1998)及び高橋ほか(1999)の手法に基づき数値シミュレーションにより検討。



砂移動の数値シミュレーションフロー

数値シミュレーションの手法 (平面二次元モデル) (2/2)

一部修正(H26/12/5審査会合)

	藤井ほか (1998) の手法	高橋ほか (1999) の手法
掃流砂層の 流砂連続式	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \alpha \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{E-S}{\sigma(1-\lambda)} = 0$	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{E-S}{\sigma} \right) = 0$
浮遊砂層の 流砂連続式	$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} - \frac{E-S}{D} = 0$	$\frac{\partial(C_s D)}{\partial t} + \frac{\partial(MC_s)}{\partial x} - \frac{E-S}{D} = 0$
掃流砂量式	小林ら(1996)の実験式 $Q = 80\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$	高橋ほか(1999)の実験式 $Q = 21\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$
巻き上げ量の 算定式	$E = \frac{(1-\alpha)Qw^2\sigma(1-\lambda)}{Uk_z \left[1 - \exp\left\{ \frac{-wD}{k_z} \right\} \right]}$	$E = 0.012\tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$
沈降量の 算定式	$S = wC_b$	$S = wC_s \cdot \sigma$
摩擦速度の 算定式	log-wake 則 $u_* / U = \kappa / \{ \ln(h/z_0) - 1 \}$ を積分した式より算出	マニング則より算出 $u_* = U \sqrt{gn^2 / D^{1/3}}$

- 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 ($m^3/s/m$) : 底面勾配の定数 (=2.0)
 α : シールズ数 : 砂の密度 (kg/m^3) : 海水の密度 (kg/m^3)
 s : $=\sigma/\rho - 1$ g : 重力加速度 (m/s^2) d : 砂の粒径 (m)
 U : 流速 (m/s) D : 全水深 (m) M : $U \times D$ (m^2/s)
: 空隙率 n : マニングの粗度係数 ($s/m^{1/3}$)
: 局所的な外力のみに移動を支配される成分が全流砂量に占める比率 (=0.1)
 w : 土粒子の沈降速度 (m/s) C : 浮遊砂濃度 (kg/m^3) C_s : 浮遊砂体積濃度
 C_b : 底面浮遊砂濃度 (kg/m^3) k_z : 鉛直拡散係数 (m^2/s)
 κ : カルマン定数 (=0.4) h : 水深 (m) z_0 : 粗度高さ (= $ks/30$)
 ks : 相当粗度 (= d)

計算条件(平面二次元モデル)

一部修正(H26/12/5審査会合)

項目	設定値	備考	
砂移動モデル	・藤井ほか(1998)の手法 ・高橋ほか(1999)の手法		
計算格子間隔	5m		
計算時間間隔	0.05秒	計算安定条件より設定。	
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。		
陸側境界条件	小谷ほか(1998)の遡上境界条件		
マンニングの粗度係数	$0.03\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$	土木学会(2002)より設定。	
水平渦動粘性係数	$1.0\times 10^5\text{ cm}^2/\text{s}$	土木学会(2002)より設定。	
計算潮位	M.S.L.=T.P.+0.21m		
計算時間	地震発生後3時間		
砂	粒径	0.154mm	底質・地質調査より設定。
	密度	$2,744\text{kg}/\text{m}^3$	底質・地質調査より設定。
	空隙率	0.4	藤井ほか(1998)より設定。
砂層厚の初期条件	無限		
海水密度	$1,030\text{kg}/\text{m}^3$	理科年表より, $1.01\sim 1.05\text{g}/\text{cm}^3$ 。	
上限浮遊砂体積濃度	・1% ・5%		

計算条件(底質条件)

一部修正(H26/12/5審査会合)

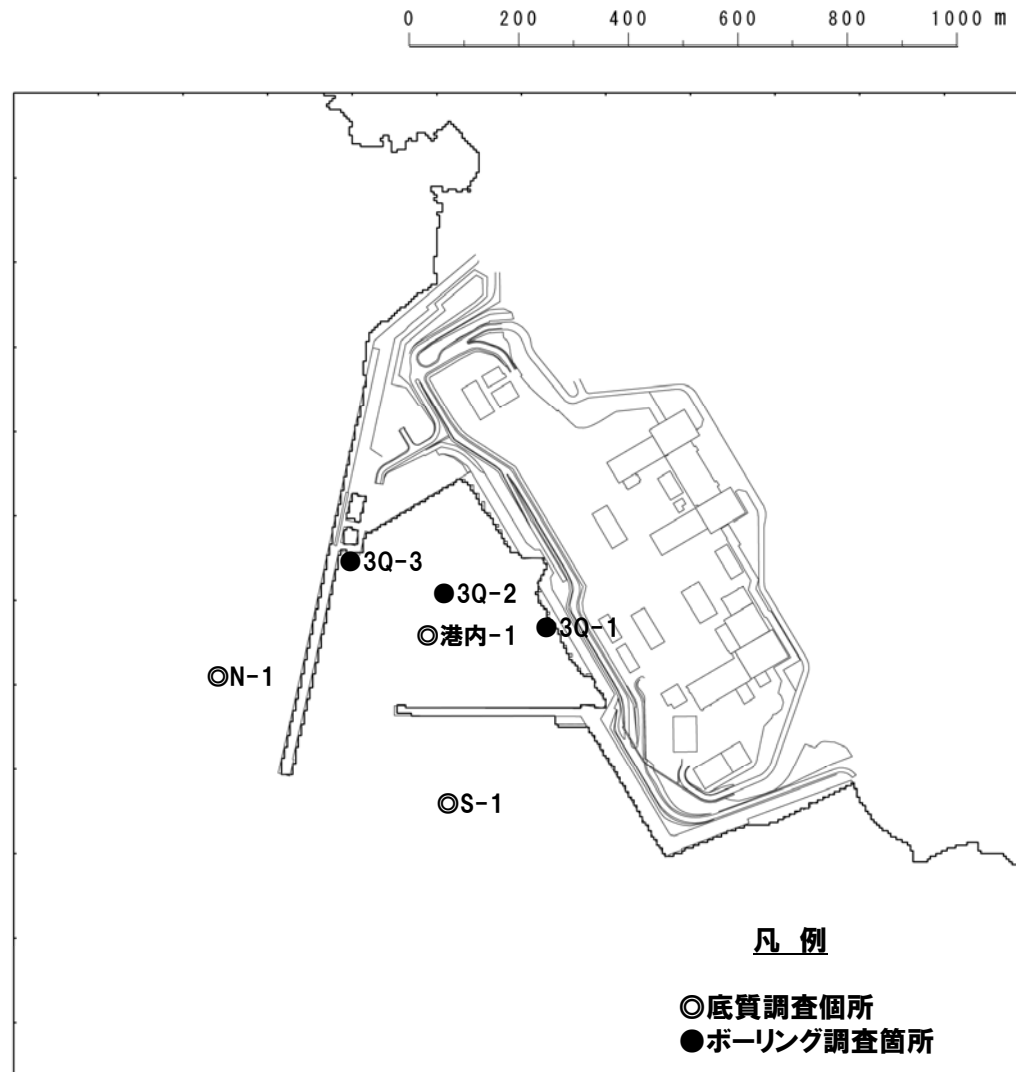
- 泊発電所の底質・地質調査結果を基に、海底表層の砂の密度及び粒径を整理して、表に示す。
- As1は表層に厚さ5m程度、As2はAs1の下に厚さ10m程度分布している。
- 砂移動は、As1で起こると考えられる。
- 砂の中央粒径に関しては、底質分布調査による3点と地質調査によるAs1層の1点の平均として $d_{50}=0.154\text{mm}$ を用いることとした。
- また、砂の密度は、As1とAs2で有意な差はないと判断し、As1及びAs2の平均(9点)として $\rho_s=2.744\text{g/cm}^3$ を採用した。

	岩種	採取地点	深さ(m)	土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	中央粒径 $d_{50}(\text{mm})$
底質分布調査 (平成10年度調査)	As1	N-1	表層	—	0.156
		S-1	表層	—	0.133
		港内-1	表層	—	0.157
泊3号炉地質調査 (平成9年度調査)	As2	3Q-3P1	3.15~3.45	2.798	0.1712
		3Q-2P1	2.15~2.43	2.726	0.3541
		3Q-2P2	8.15~8.45	2.734	0.3082
		3Q-2P3	11.85~12.15	2.719	0.1472
		3Q-2P4	13.15~13.45	2.717	0.0849
		3Q-2T1	5.00~6.20	2.776	0.3019
		3Q-3P2	6.15~6.39	2.733	0.2834
		3Q-3P3	9.15~9.31	2.734	0.3219
		3Q-3P4	13.15~13.45	2.76	0.3022
As1平均				2.798	0.154
As1最大					0.1712
As1最小					0.133
As2平均				2.737	0.263
As2最大				2.776	0.3541
As2最小				2.717	0.0849
As1及びAs2の平均				2.744	0.227

※As1及びAs2は専用港湾内に分布する砂質土である。

計算条件(底質調査データ取得箇所)

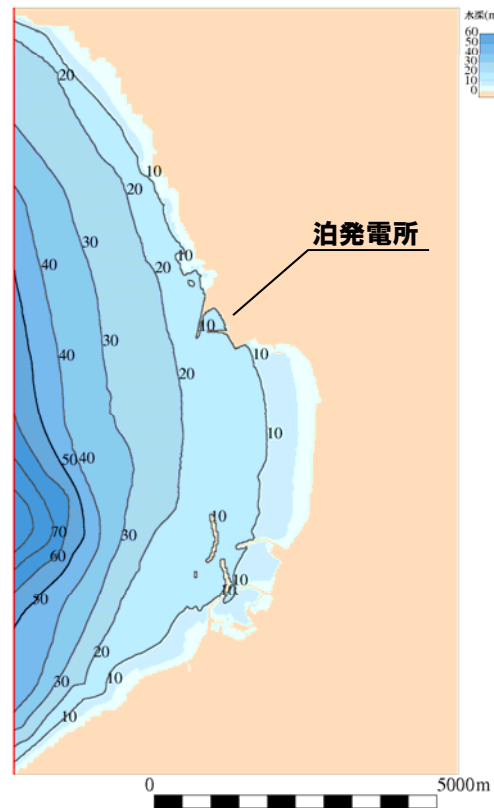
一部修正(H26/12/5審査会合)



計算条件(初期砂層厚設定範囲)

再掲(H26/12/5審査会合)

- 数値シミュレーションに用いた砂の堆積範囲については、下図の範囲(東西7.9km, 南北13.6km)とした。
- 初期砂層厚は、無限とした。

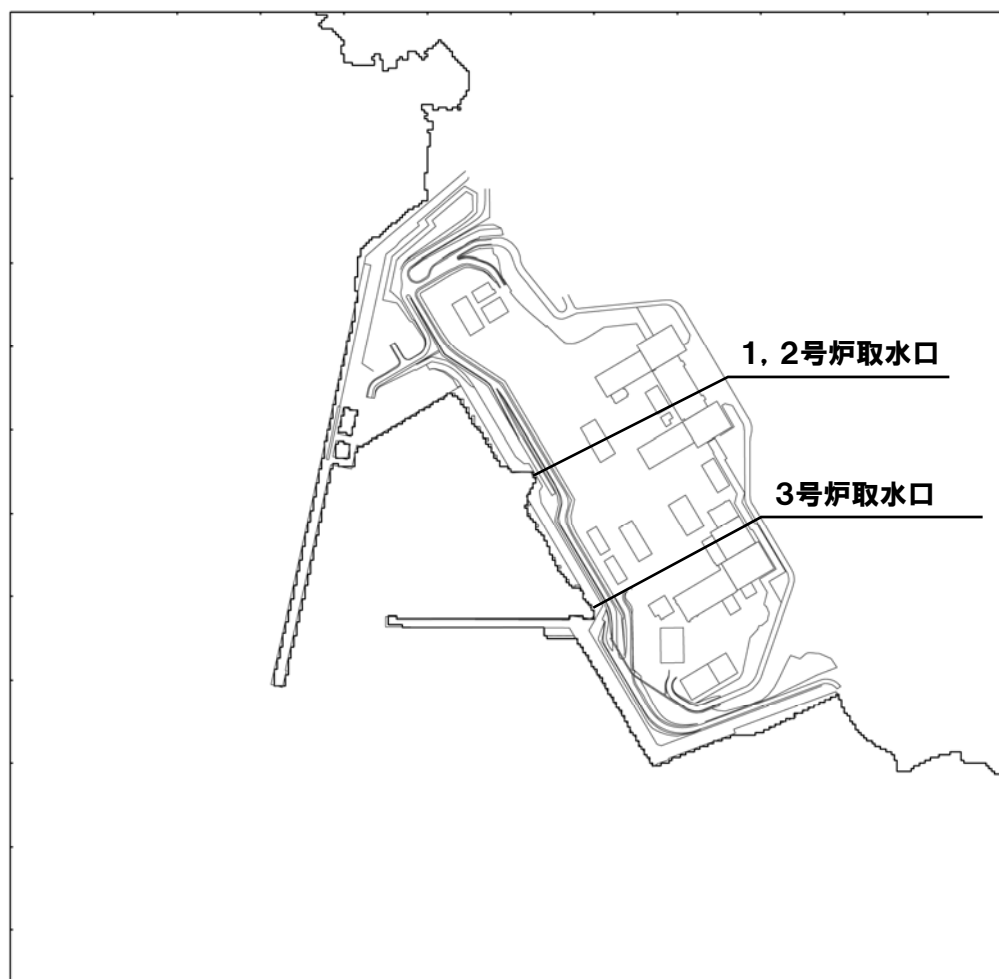


初期砂層厚設定範囲

評価点

一部修正(H26/12/5審査会合)

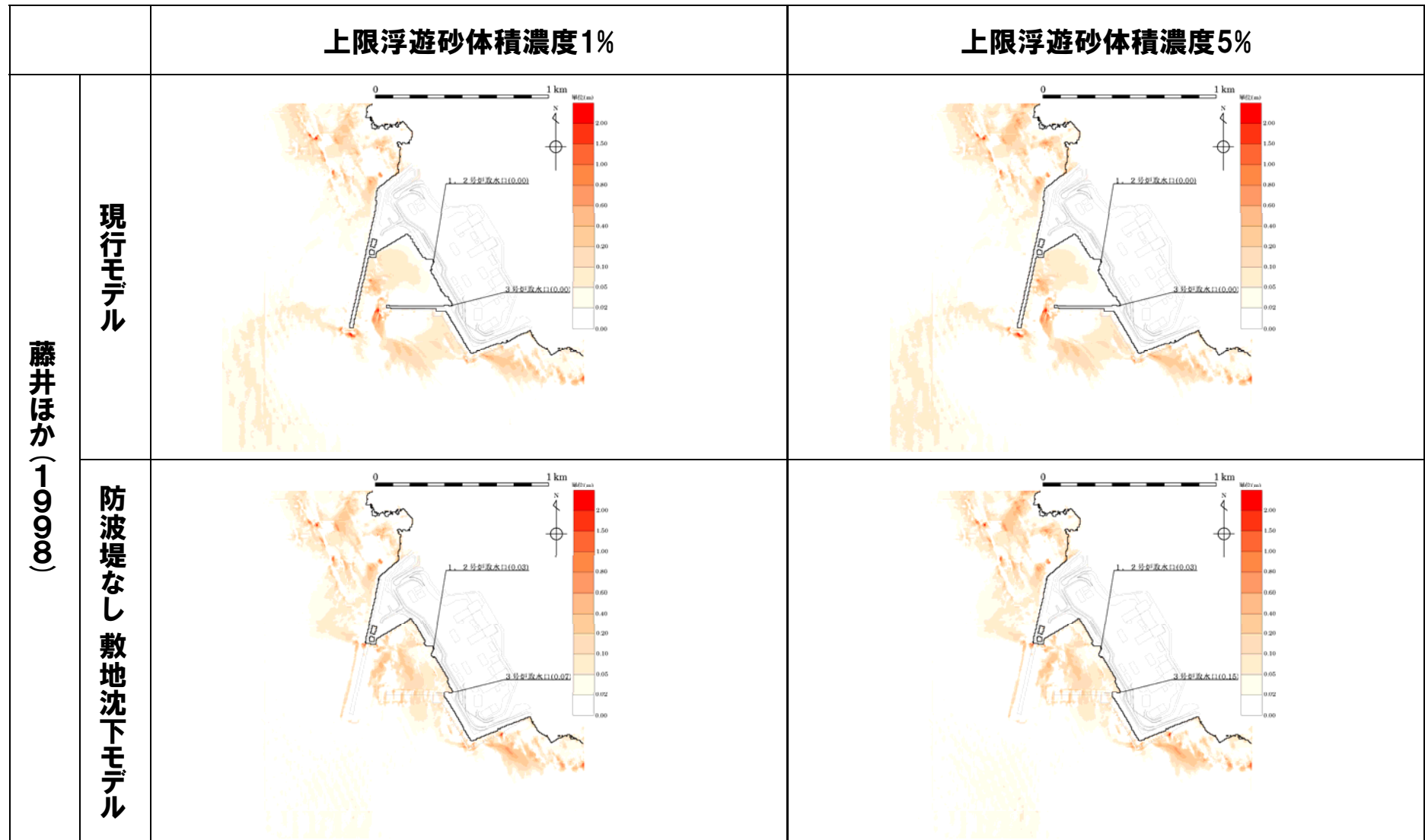
○評価点については3号炉取水口及び1, 2号炉取水口地点とした。



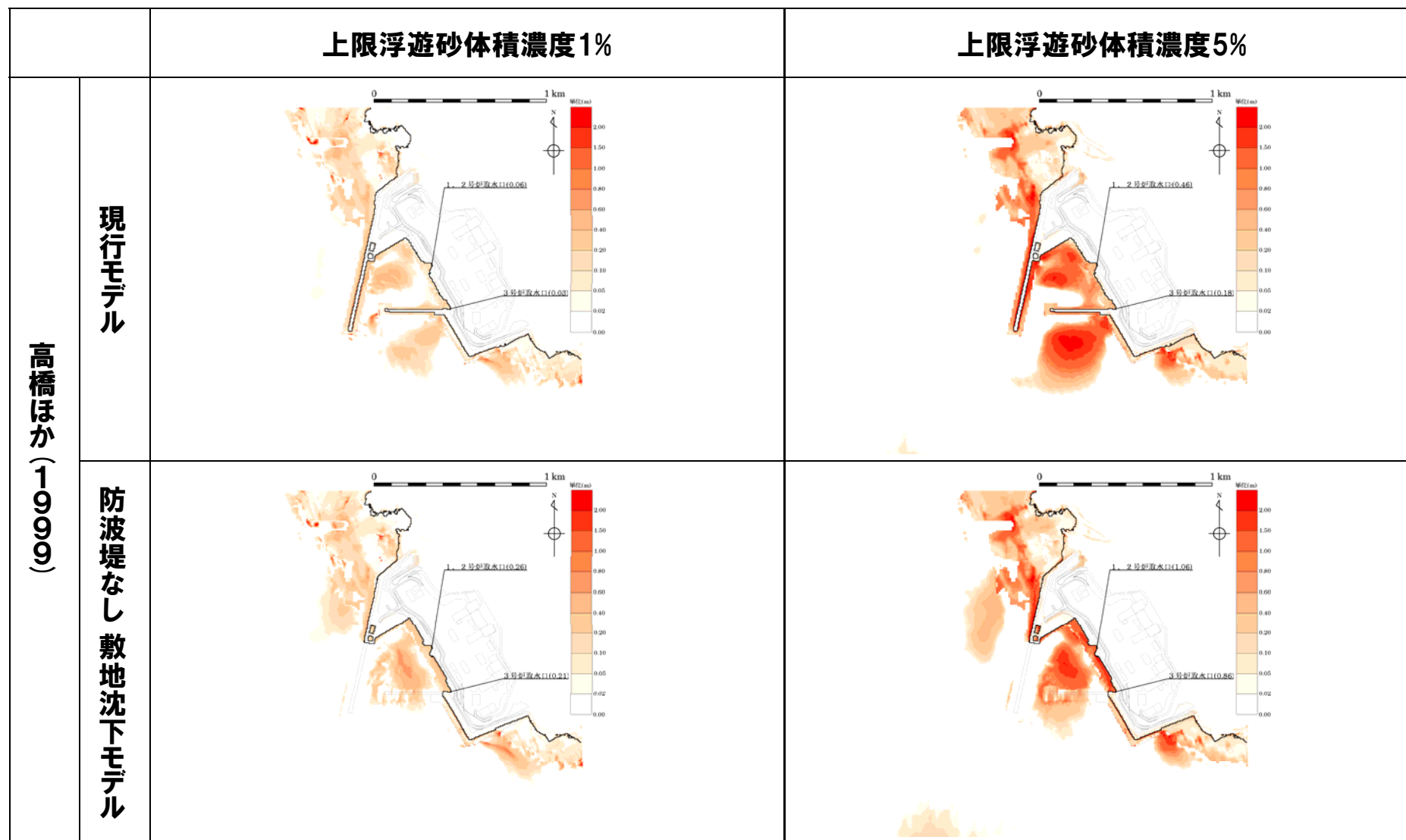
計算結果一覧

	砂移動モデル	上限浮遊砂 体積濃度	水深変化量 (m)			
			3号炉取水口		1, 2号炉取水口	
			現行モデル	防波堤なし 敷地沈下モデル	現行モデル	防波堤なし 敷地沈下モデル
基準津波①	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.07	0.00	0.03
		5%	0.00	0.15	0.00	0.03
	高橋ほか(1999)	1%	0.03	0.21	0.06	0.26
		5%	0.18	0.86	0.46	1.06
基準津波②	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.10	0.00	0.05
		5%	0.00	0.20	0.00	0.05
	高橋ほか(1999)	1%	0.03	0.19	0.03	0.41
		5%	0.12	0.80	0.09	1.22
基準津波③	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.09	0.00	0.08
		5%	0.00	0.19	0.00	0.10
	高橋ほか(1999)	1%	0.05	0.37	0.09	0.55
		5%	0.25	1.28	0.37	1.57

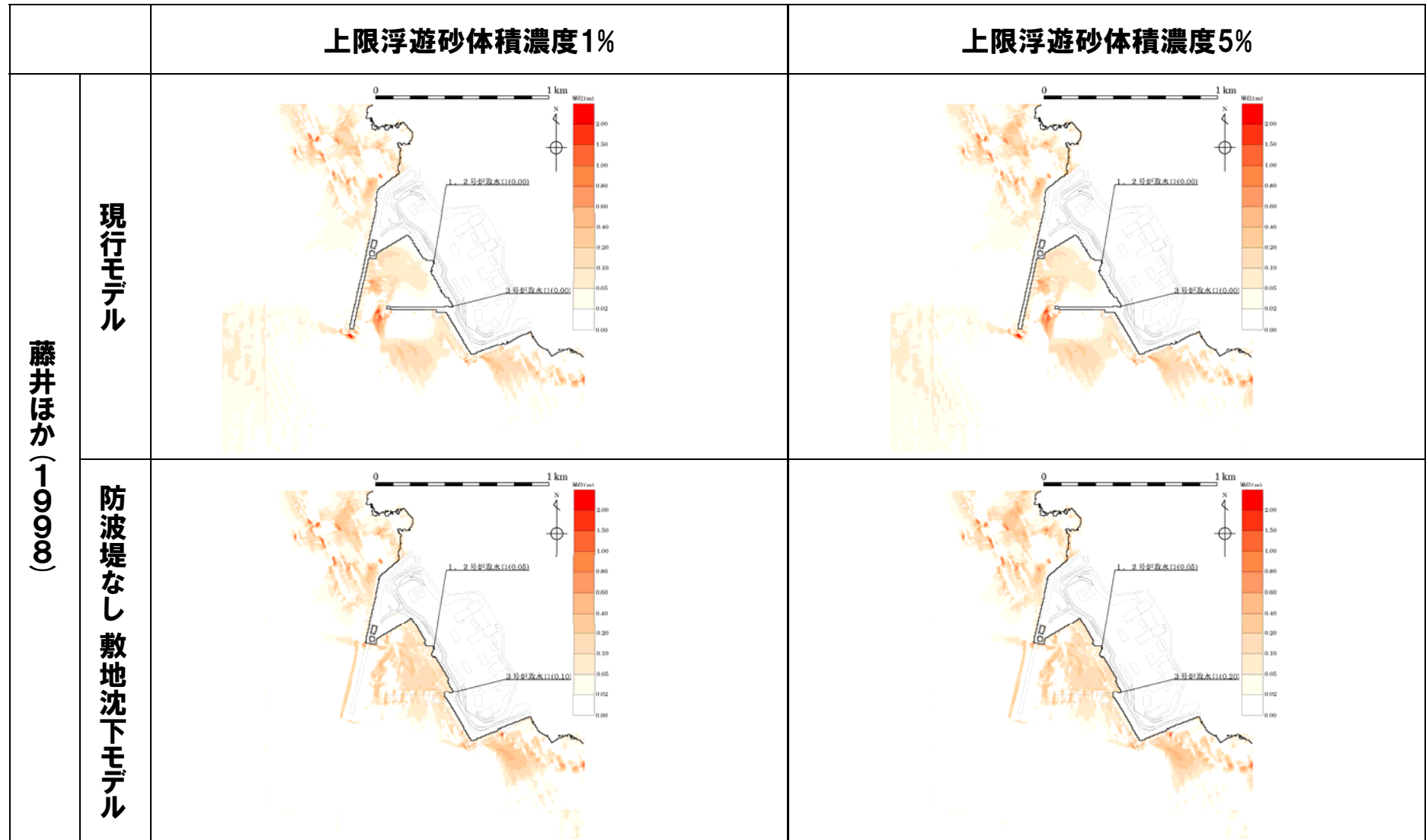
最大堆積厚の分布(基準津波①)(1/2)



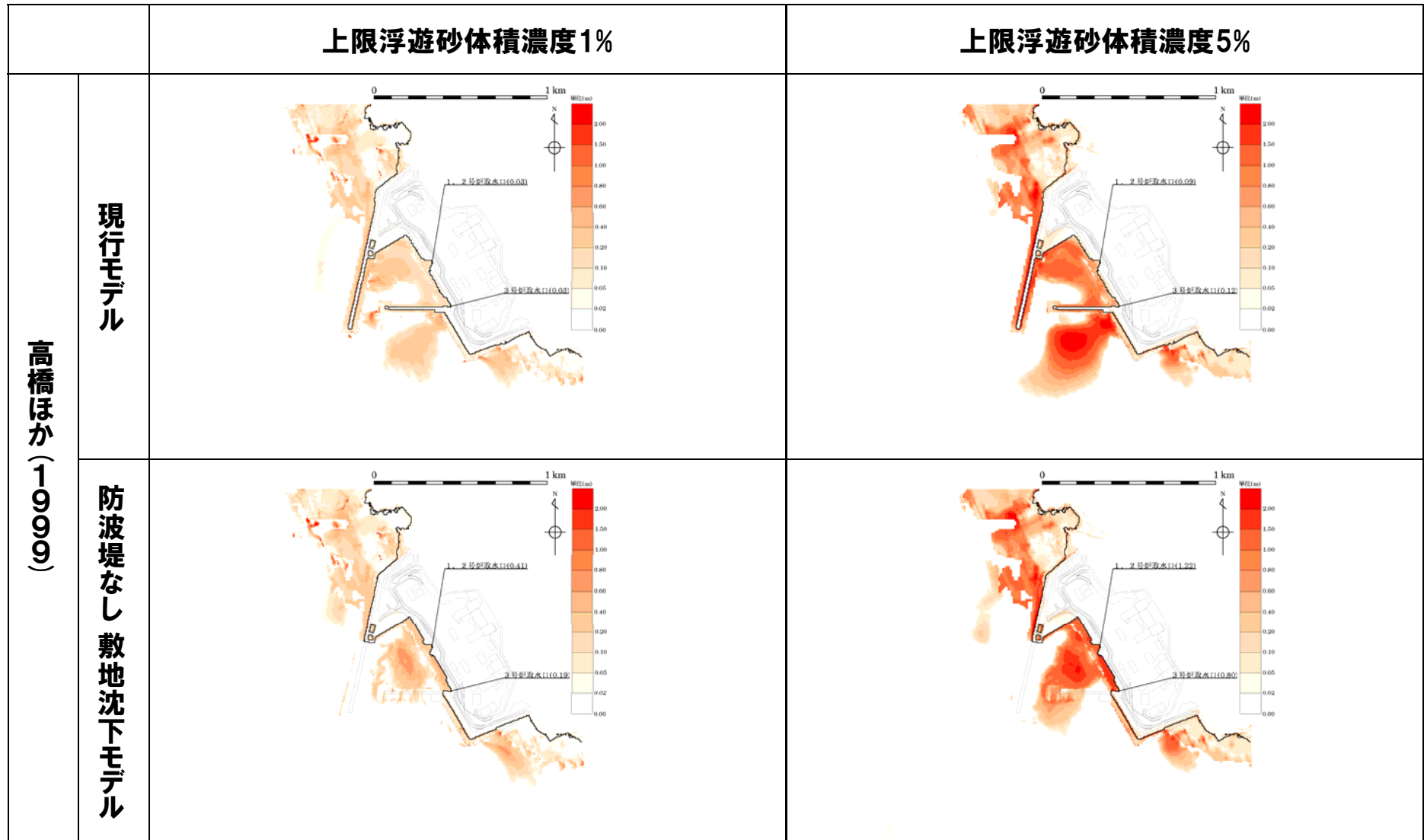
最大堆積厚の分布(基準津波①)(2/2)



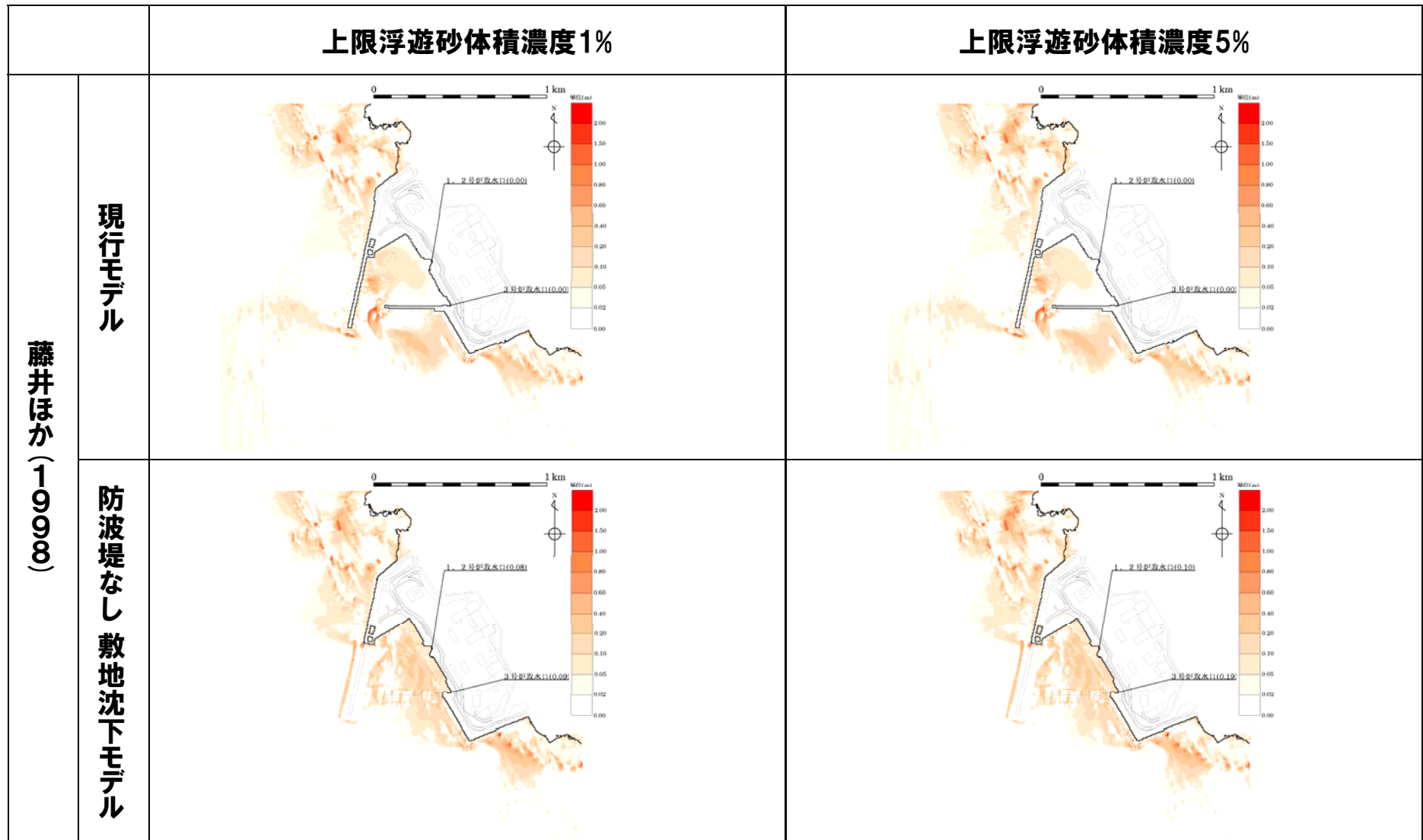
最大堆積厚の分布(基準津波②)(1/2)



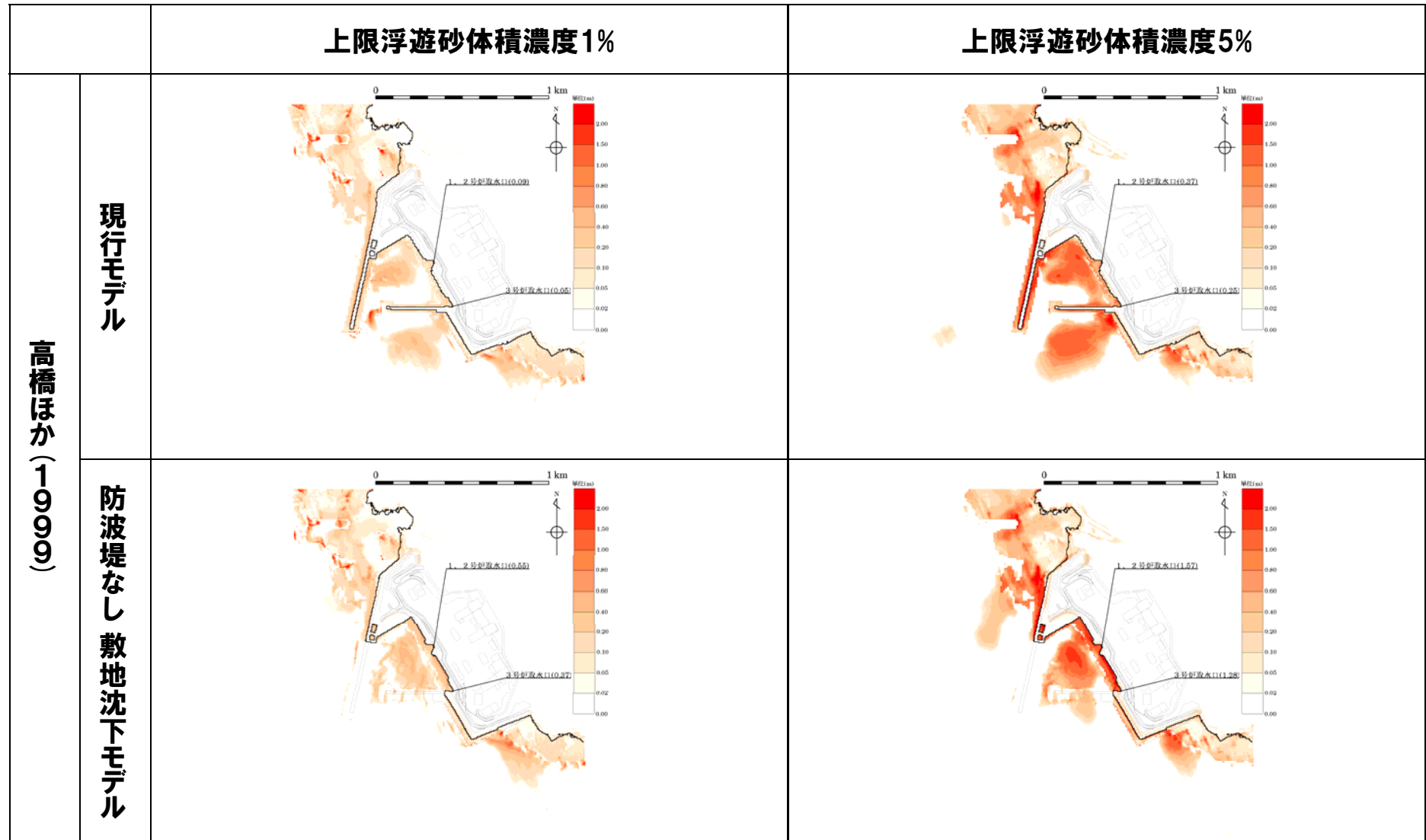
最大堆積厚の分布(基準津波②)(2/2)



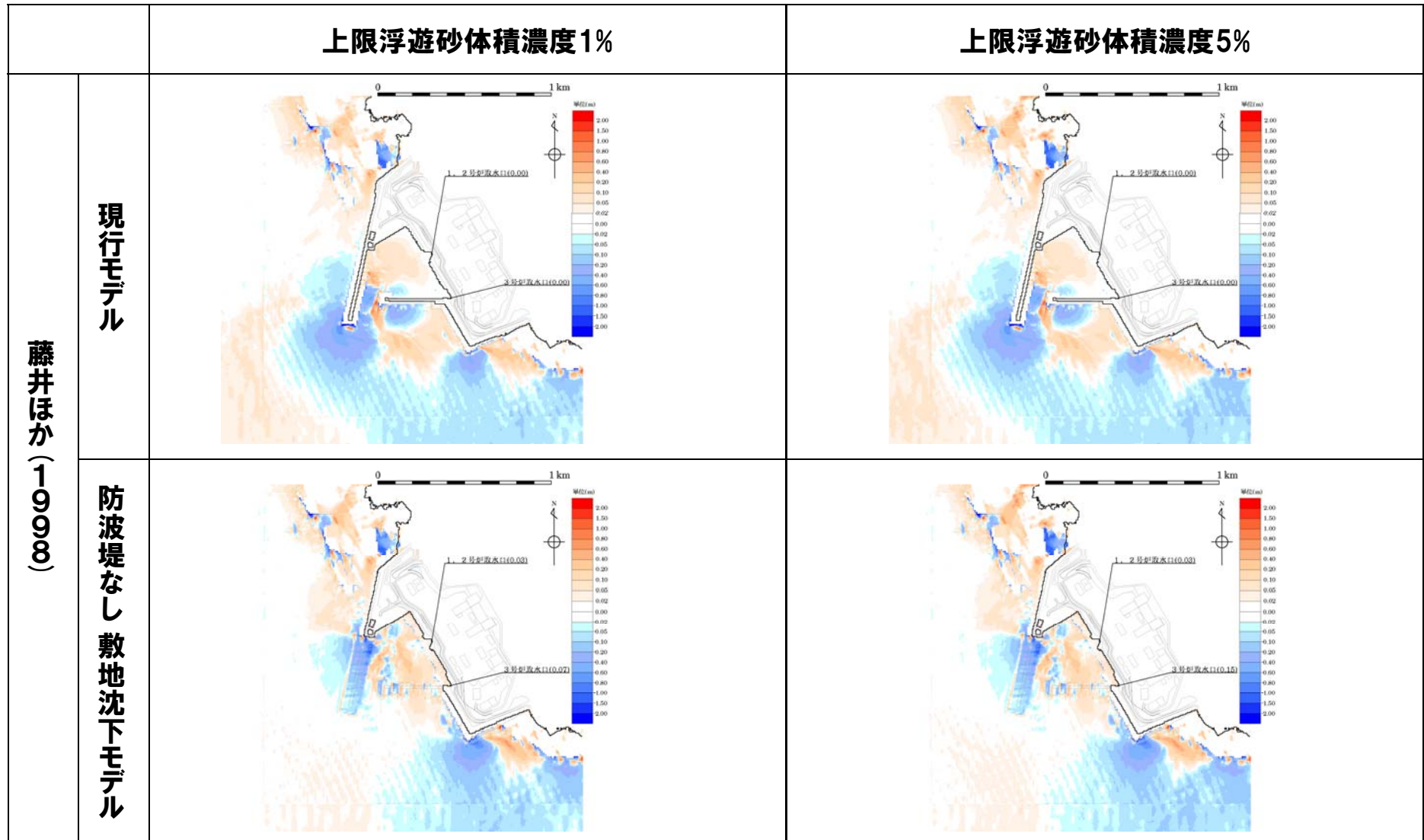
最大堆積厚の分布(基準津波③)(1/2)



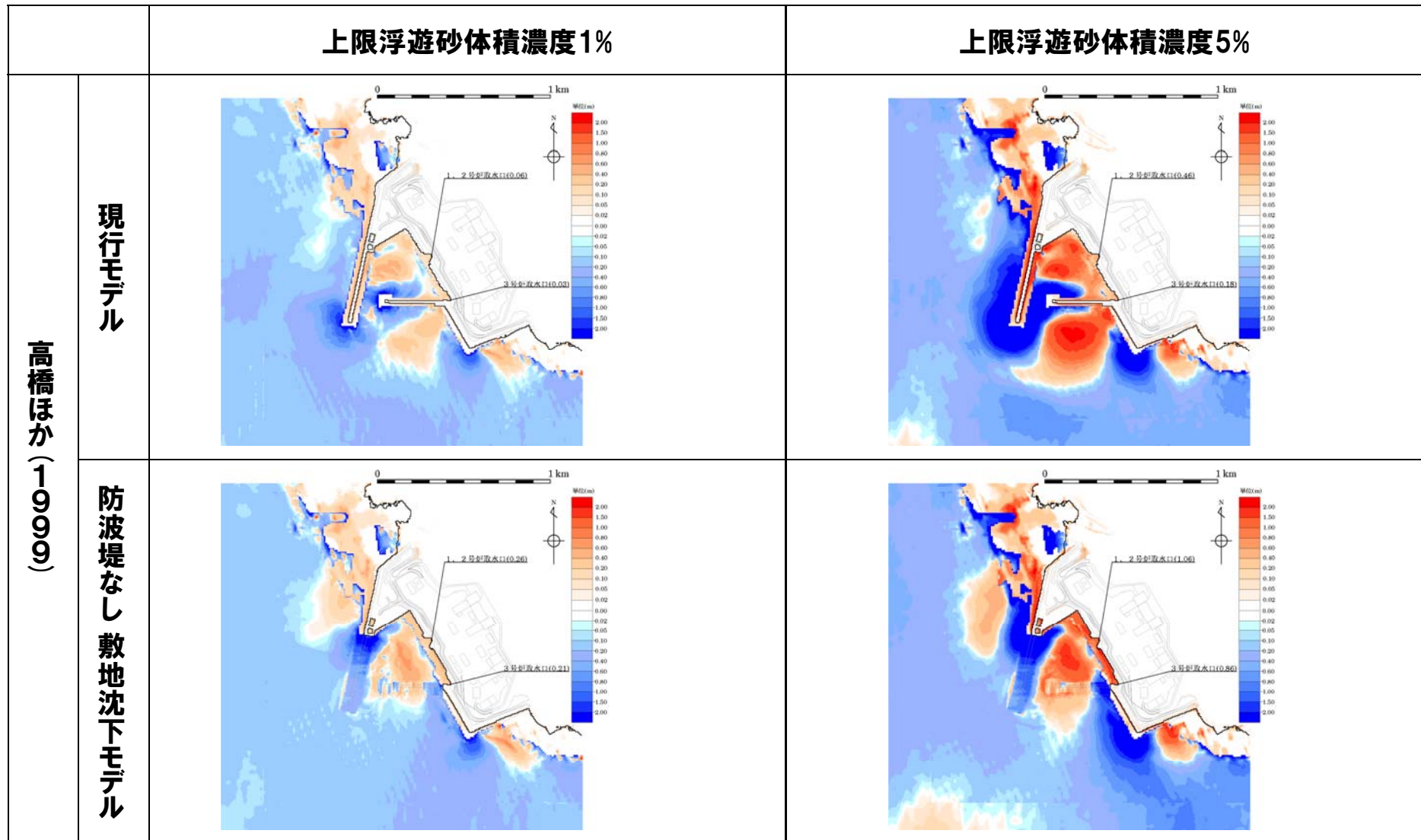
最大堆積厚の分布(基準津波③)(2/2)



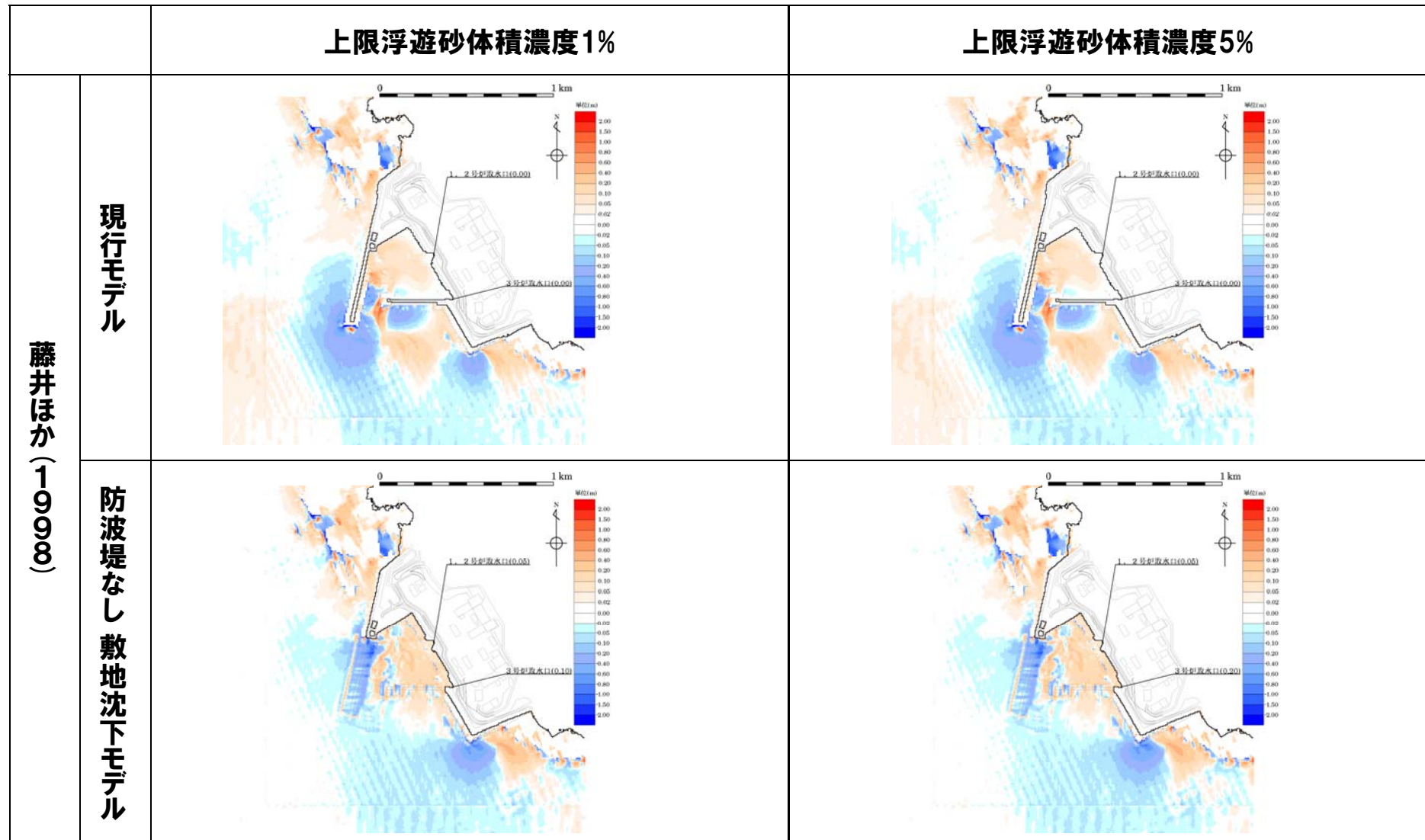
3時間後の水深変化量分布(基準津波①)(1/2)



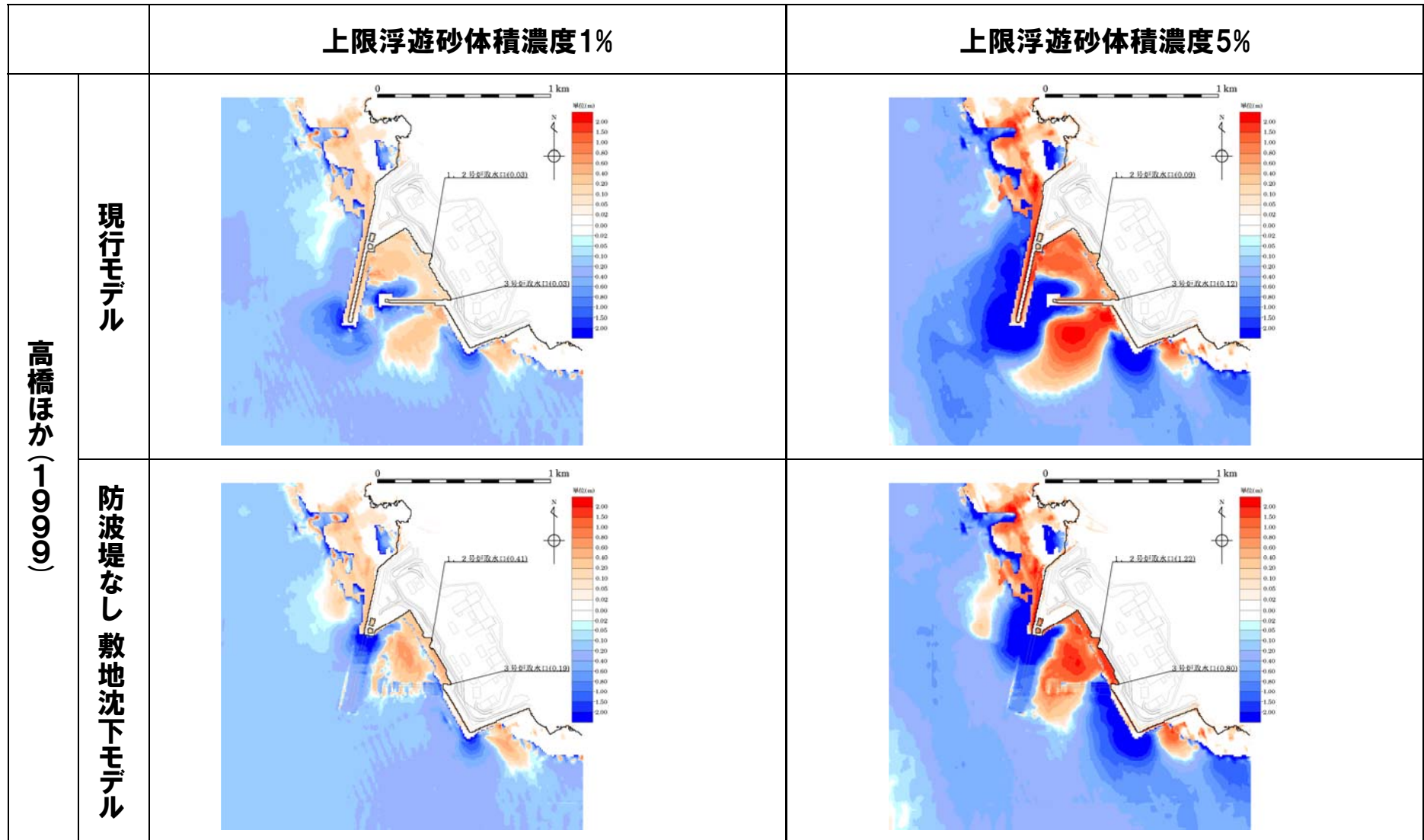
3時間後の水深変化量分布(基準津波①)(2/2)



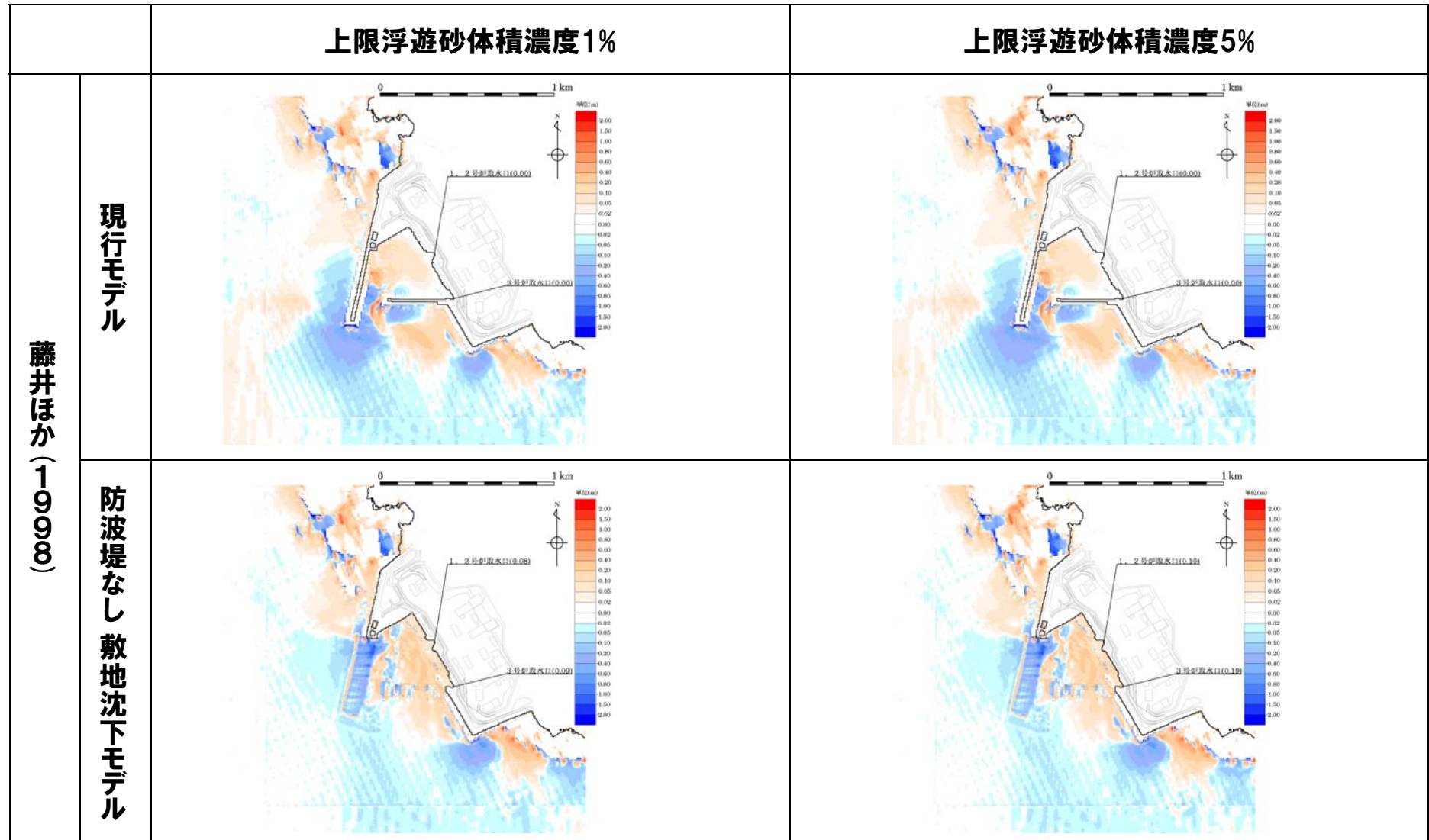
3時間後の水深変化量分布(基準津波②)(1/2)



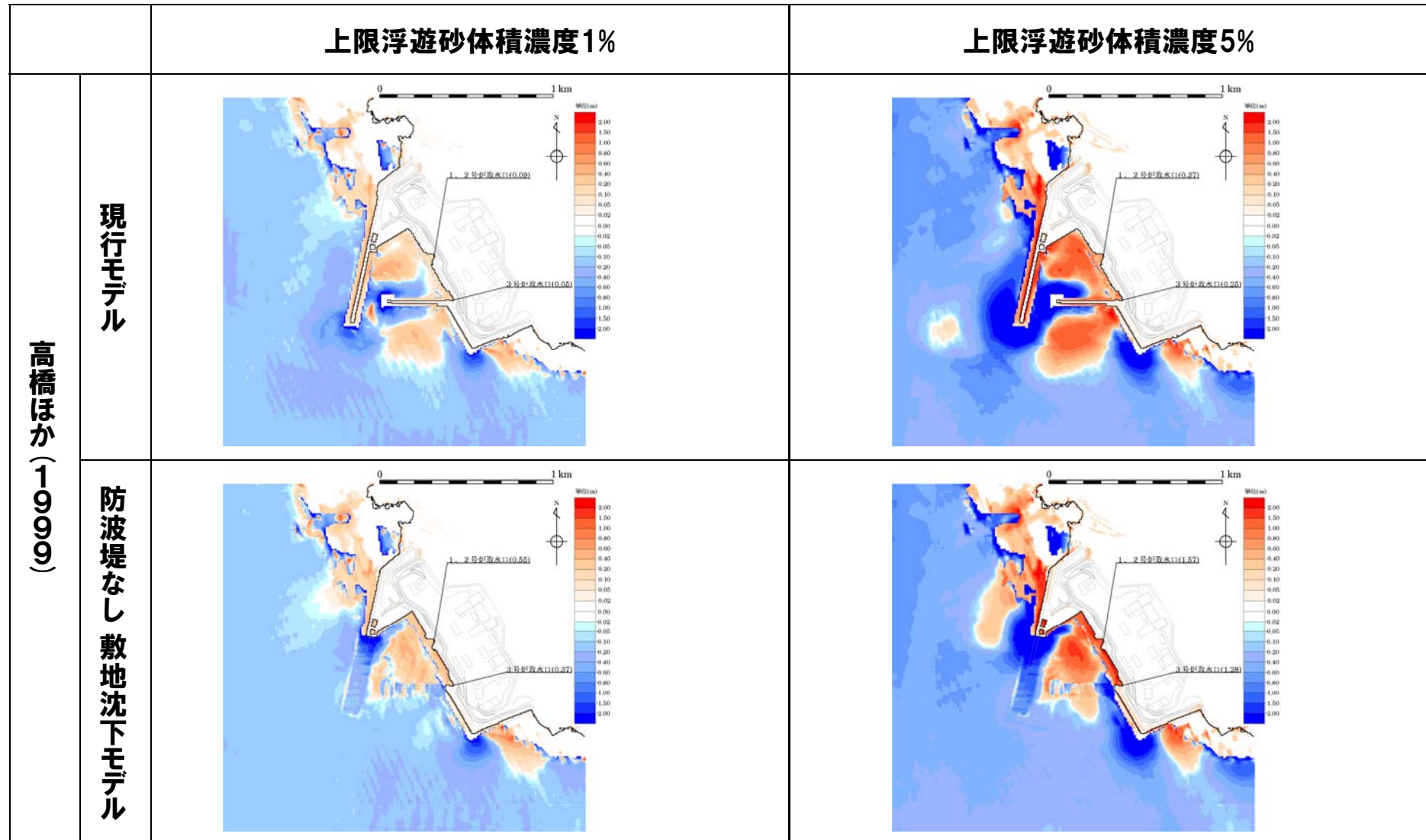
3時間後の水深変化量分布(基準津波②)(2/2)



3時間後の水深変化量分布(基準津波③)(1/2)

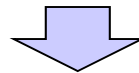


3時間後の水深変化量分布(基準津波③)(2/2)

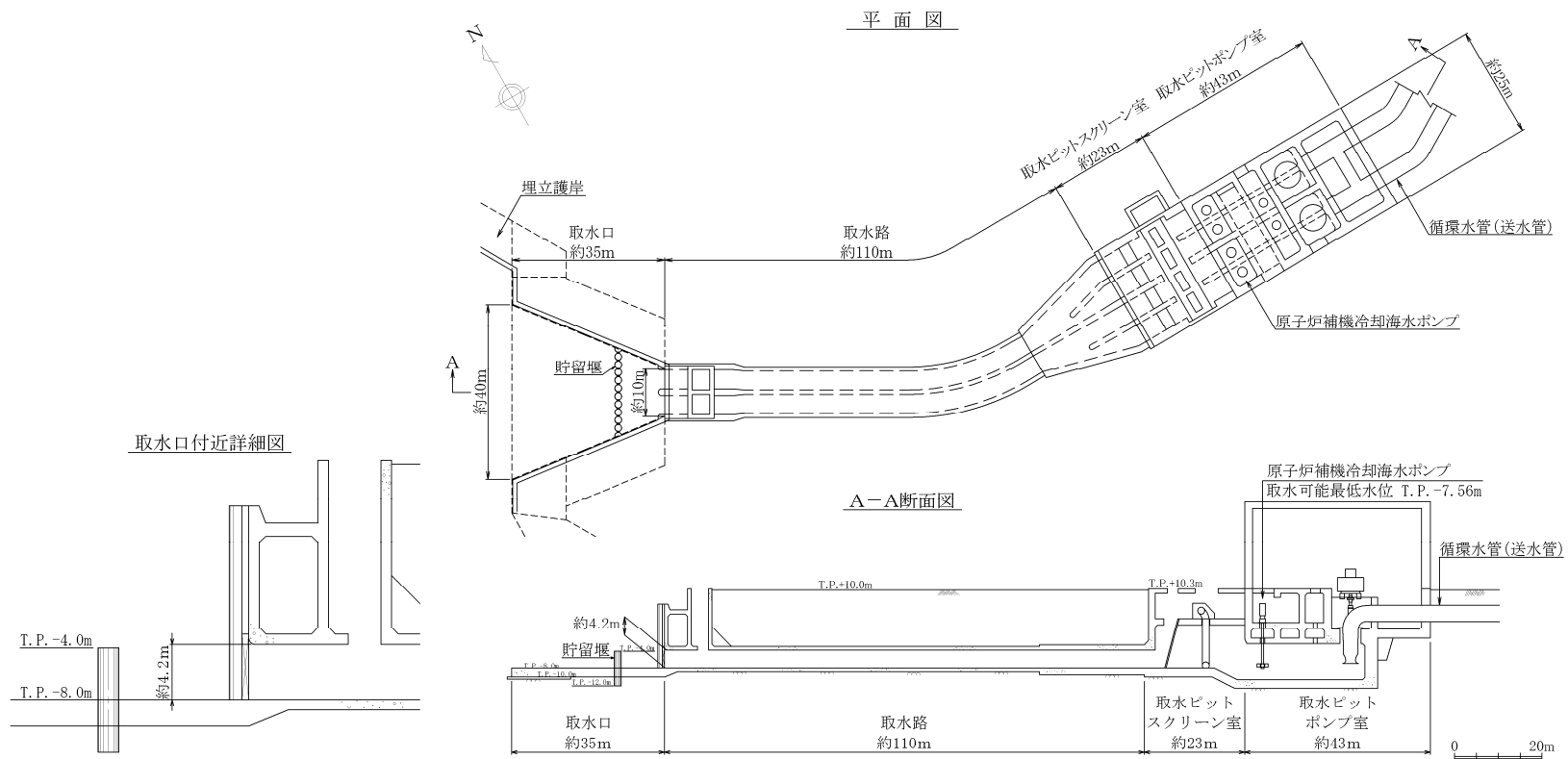


砂の堆積に対する施設の評価(3号炉取水口)

○3号炉取水口付近における砂の堆積は、現行の地形モデルによる評価では0.3m程度、防波堤がなく、敷地が沈下した地形モデルによる評価では1.3m程度である。



○取水口高さが4m程度であり、砂移動により原子炉補機冷却海水設備の取水に支障が生じることはない。



1. 防波堤等の影響検討	3
2. 津波に対する安全性	12
2-1 取水路の水位変動について	14
2-2 砂移動評価について	26
2-2-1 砂移動評価について(平面二次元モデル)	28
2-2-2 砂移動評価について(水路内)	52
2-3 貯留堰の容量について	58
3. 超過確率の参照	68
参考資料	97
参考文献	114

2-2-2 砂移動評価について（水路内）

検討方針（水路内）

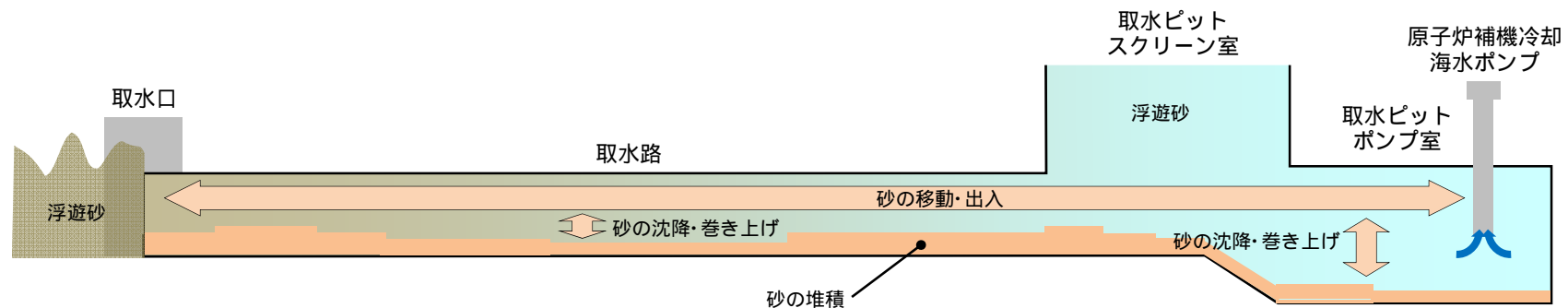
- 3号炉及び1, 2号炉取水設備を一次元でモデル化し, 原子炉補機冷却海水ポンプ位置での砂の浮遊砂体積濃度及び堆積量を算出する。
- 平面二次元モデルによる砂移動の数値シミュレーション結果より, 現行の地形モデル及び防波堤がなく, 敷地が沈下した地形モデルによる評価のそれぞれにおいて, 水深変化量が最も大きくなる下記のハッチングケースによる結果を境界条件として用いる。

	砂移動モデル	上限浮遊砂体積濃度	水深変化量 (m)			
			3号炉取水口		1, 2号炉取水口	
			現行モデル	防波堤なし敷地沈下モデル	現行モデル	防波堤なし敷地沈下モデル
基準津波①	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.07	0.00	0.03
		5%	0.00	0.15	0.00	0.03
	高橋ほか(1999)	1%	0.03	0.21	0.06	0.26
		5%	0.18	0.86	0.46	1.06
基準津波②	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.10	0.00	0.05
		5%	0.00	0.20	0.00	0.05
	高橋ほか(1999)	1%	0.03	0.19	0.03	0.41
		5%	0.12	0.80	0.09	1.22
基準津波③	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.09	0.00	0.08
		5%	0.00	0.19	0.00	0.10
	高橋ほか(1999)	1%	0.05	0.37	0.09	0.55
		5%	0.25	1.28	0.37	1.57

評価方法(水路内)

一部修正(H27/5/15審査会合)

- 取水口位置の浮遊砂体積濃度を境界条件として、取水設備内の浮遊砂体積濃度を算定する。
- 取水口位置の浮遊砂体積濃度は平面二次元モデルによる砂移動の数値シミュレーション結果を使用する。
- 取水路及び取水ピット内の流量及び流速は、当該解析モデルで計算される管路解析結果を使用し、流量算定断面間の浮遊砂体積濃度及び砂の堆積量の計算を行う。
- 取水路及び取水ピット内の各メッシュ内では、浮遊砂の巻き上げ・沈降を考慮し、メッシュ間の断面位置では浮遊及び掃流による砂の移動を考慮する。



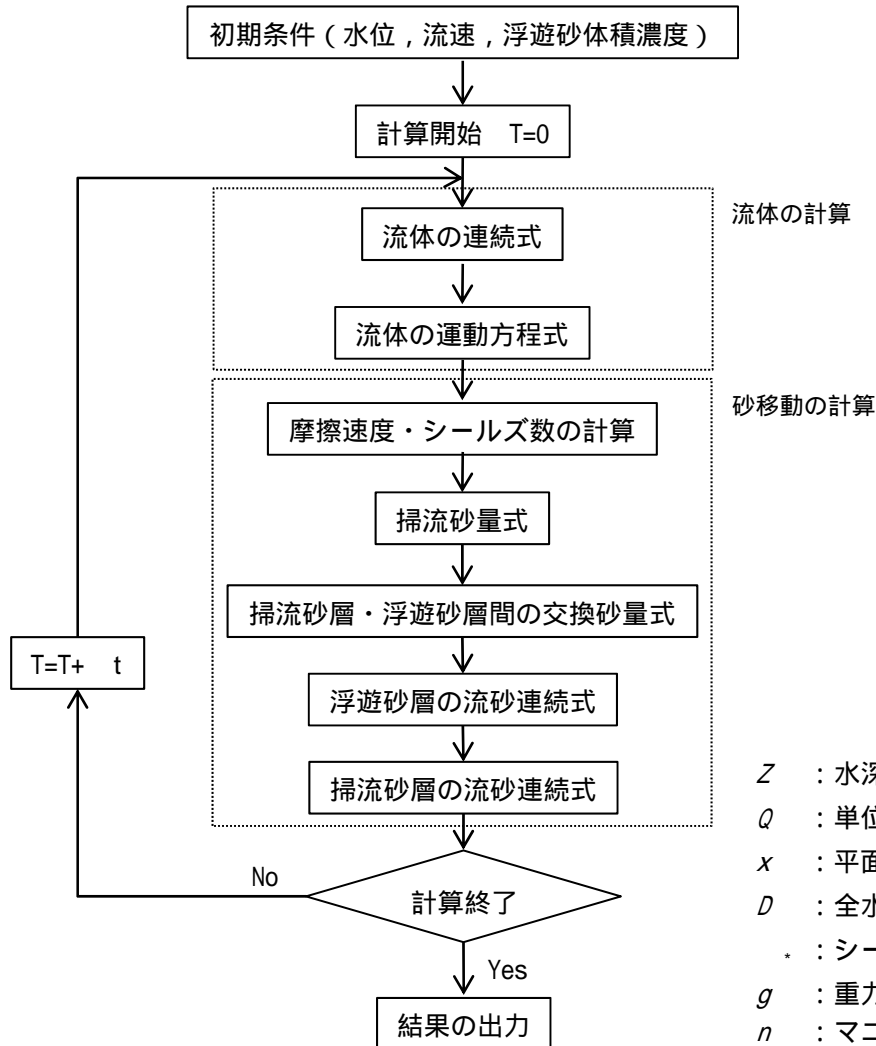
2-2-2 砂移動評価について (水路内)

数値シミュレーションの手法 (水路内)

一部修正(H27/5/15審査会合)

○水路内の砂移動評価については、高橋ほか(1999)の手法に基づき数値シミュレーションを実施する。

砂移動の数値シミュレーションフロー



	基礎方程式
掃流砂層の流砂連続式	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{E-S}{\sigma} \right) = 0$
浮遊砂層の流砂連続式	$\frac{\partial(C_s D)}{\partial t} + \frac{\partial(M C_s)}{\partial x} - \frac{E-S}{\sigma} = 0$
掃流砂量式	高橋ほか(1999)の実験式 $Q = 21\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$
巻き上げ量の算定式	$E = 0.012\tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$
沈降量の算定式	$S = w C_s \cdot \sigma$
摩擦速度の算定式	マンニング則より算出 $u_* = U \sqrt{gn^2 / R^{1/3}}$

- Z : 水深変化量 (m) t : 時間 (s) : 空隙率
- Q : 単位幅, 単位時間当たりの掃流砂量 (m³/s/m)
- x : 平面座標 : 砂の密度 (kg/m³) C_s : 浮遊砂体積濃度
- D : 全水深 (m) M : U × D (m²/s) U : 流速 (m/s)
- λ : シールズ数 s : =σ / ρ - 1 : 海水の密度 (kg/m³)
- g : 重力加速度 (m/s²) d : 砂の粒径 (m) w : 土粒子の沈降速度 (m/s)
- n : マニングの粗度係数 (s/m^{1/3}) R : 径深 (m)

2-2-2 砂移動評価について(水路内)

計算条件(水路内)

一部修正(H27/5/15審査会合)

項目	設定値	備考
砂移動モデル	高橋ほか(1999)の手法	
計算時間間隔	0.005秒	
マンングの粗度係数	$0.014\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$	
貝の付着代	0.00m	
取水条件 (ポンプ取水量)	3号炉 : $1.0\text{m}^3/\text{s}$ (水路一連あたり) 1, 2号炉 : $1.0\text{m}^3/\text{s}$ (水路一連あたり)	
局所損失係数	水理公式集 土木学会(1999) 水力発電演習 千秋信一(1967) 火力・原子力発電所土木構造物の設計(増補改訂版) 電力土木技術協会(1995) による	
計算潮位	水位上昇側 : 朔望平均満潮位 T.P.+0.26m 水位下降側 : 朔望平均干潮位 T.P.-0.14m	
計算時間	地震発生後3時間	
砂	粒径	0.154mm 平面二次元モデルによる 砂移動の数値シミュレーションと同値。
	密度	$2,744\text{kg}/\text{m}^3$ 平面二次元モデルによる 砂移動の数値シミュレーションと同値。
	空隙率	0.4 平面二次元モデルによる 砂移動の数値シミュレーションと同値。
海水密度	$1,030\text{kg}/\text{m}^3$	平面二次元モデルによる 砂移動の数値シミュレーションと同値。
上限浮遊砂体積濃度	・1% ・5%	平面二次元モデルによる 砂移動の数値シミュレーションと同値。

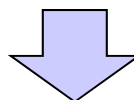
2-2-2 砂移動評価について（水路内）

砂の堆積に対する施設の評価（原子炉補機冷却海水設備）

○3号炉及び1, 2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ位置における堆積量は、最大で20cm以下である。

評価点	地形モデル	上限浮遊砂 体積濃度	津波波形	水位上昇側		水位下降側	
				最大浮遊砂 体積濃度	最大堆積量	最大浮遊砂 体積濃度	最大堆積量
3号炉	現行モデル	1%	基準津波③	0.01%	0.01m	0.01%	0.01m
		5%	基準津波③	0.01%	0.01m	0.01%	0.01m
	防波堤なし 敷地沈下モデル	1%	基準津波③	0.04%	0.03m	0.03%	0.03m
		5%	基準津波③	0.13%	0.12m	0.12%	0.11m
1, 2号炉	現行モデル	1%	基準津波③	0.02%	0.01m	0.02%	0.01m
		5%	基準津波①	0.04%	0.02m	0.03%	0.02m
	防波堤なし 敷地沈下モデル	1%	基準津波③	0.05%	0.05m	0.06%	0.05m
		5%	基準津波③	0.19%	0.13m	0.22%	0.13m

※浮遊砂体積濃度及び堆積量は、小数点第3位を切り上げた値。



○砂の移動により原子炉補機冷却海水設備の取水に支障が生じることはない。

2-3 貯留堰の容量について

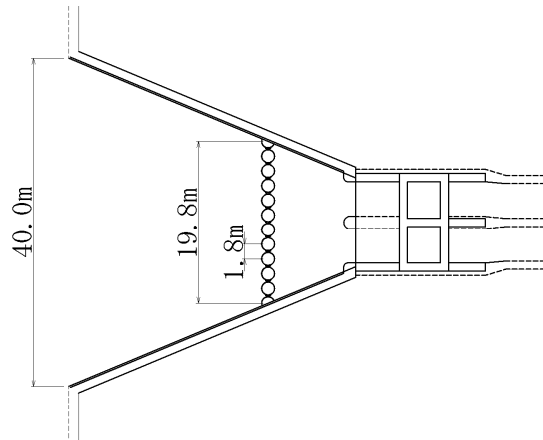
1. 防波堤等の影響検討	3
2. 津波に対する安全性	12
2-1 取水路の水位変動について	14
2-2 砂移動評価について	26
2-2-1 砂移動評価について(平面二次元モデル)	28
2-2-2 砂移動評価について(水路内)	52
2-3 貯留堰の容量について	58
3. 超過確率の参照	68
参考資料	97
参考文献	114

2-3 貯留堰の容量について

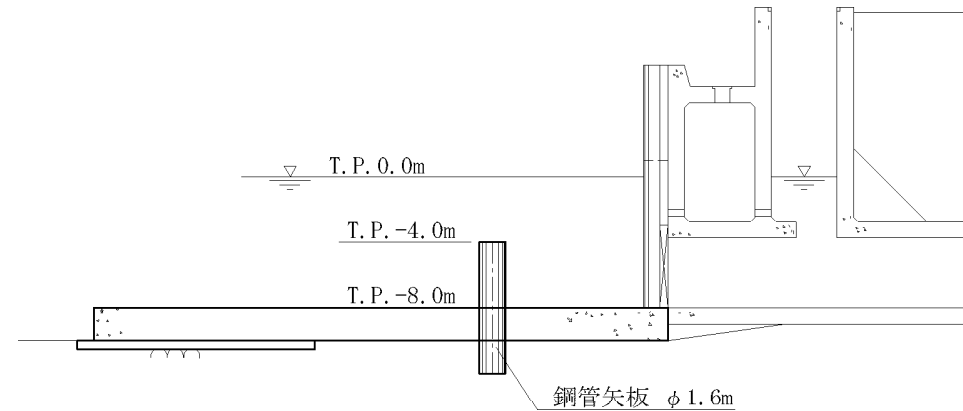
貯留堰の形状

再掲(H27/8/21審査会合)

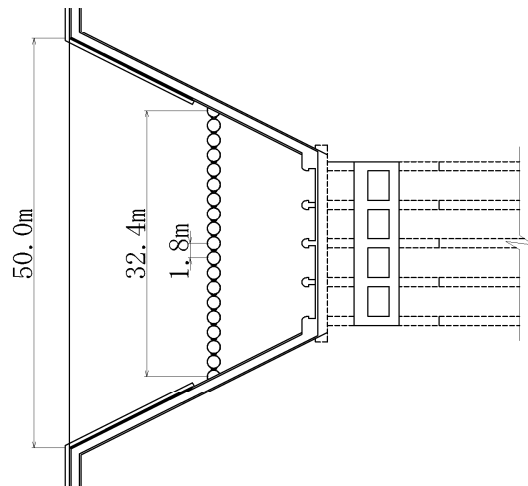
○貯留堰は、海中に設置された鋼管矢板構造の構造物である。



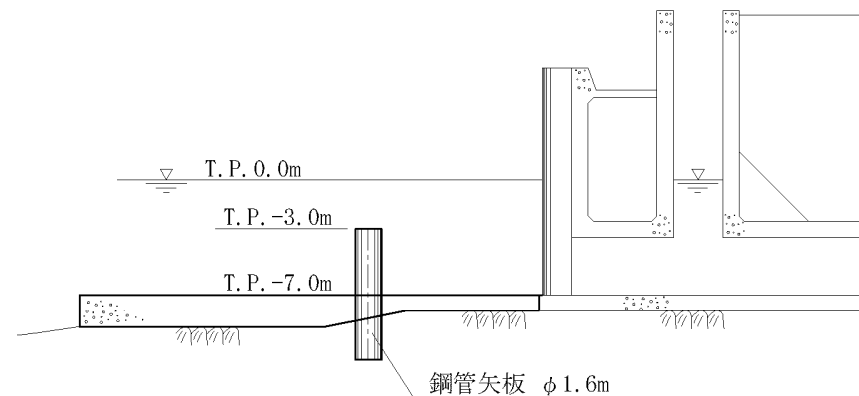
3号炉貯留堰 平面図



3号炉貯留堰 縦断面図



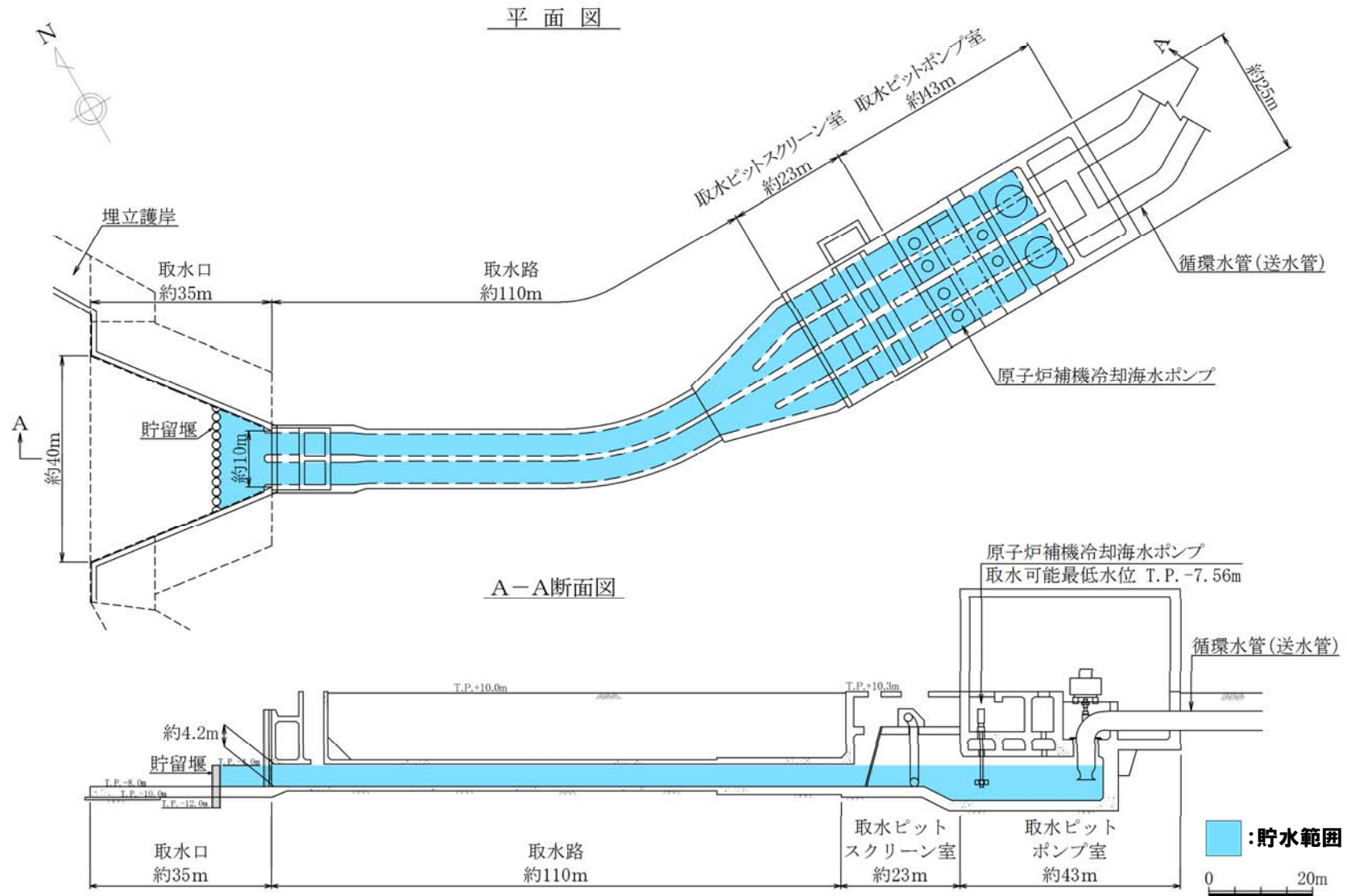
1, 2号炉貯留堰 平面図



1, 2号炉貯留堰 縦断面図

2-3 貯留堰の容量について

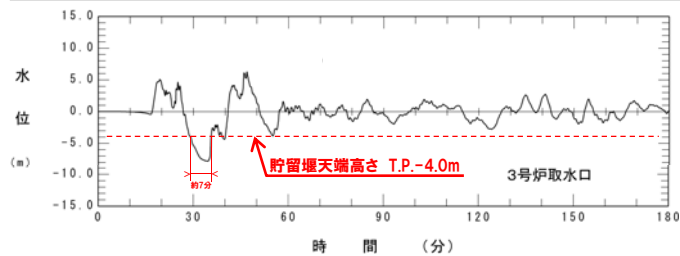
貯留堰の貯水範囲 (3号炉)



2-3 貯留堰の容量について

貯留堰の容量について (3号炉)

- 3号炉について、海水ポンプによる取水が全体貯留量に及ぼす影響について確認した。
- 水位が貯留堰の天端高さ以下となる時間における取水量及び水位低下量を算定し、全体貯留量や全体貯留高と比較した結果、海水ポンプの継続運転により貯留堰内の水位は約0.19m低下するが、全体貯留高は約3.56mであることから、取水量に対する全体貯留量には十分な裕度があり、取水性への影響はないことを確認した。
- また、水路内の砂移動を評価した結果、取水路が閉塞することはないと、海水ポンプの継続運転により貯留堰内の水位は約0.19m低下するが、貯留堰内の砂の最大堆積高さを考慮した場合においても、全体貯留高は約2.80mであることから、取水量に対する全体貯留量には十分な裕度があり、取水性への影響はないことを確認した。

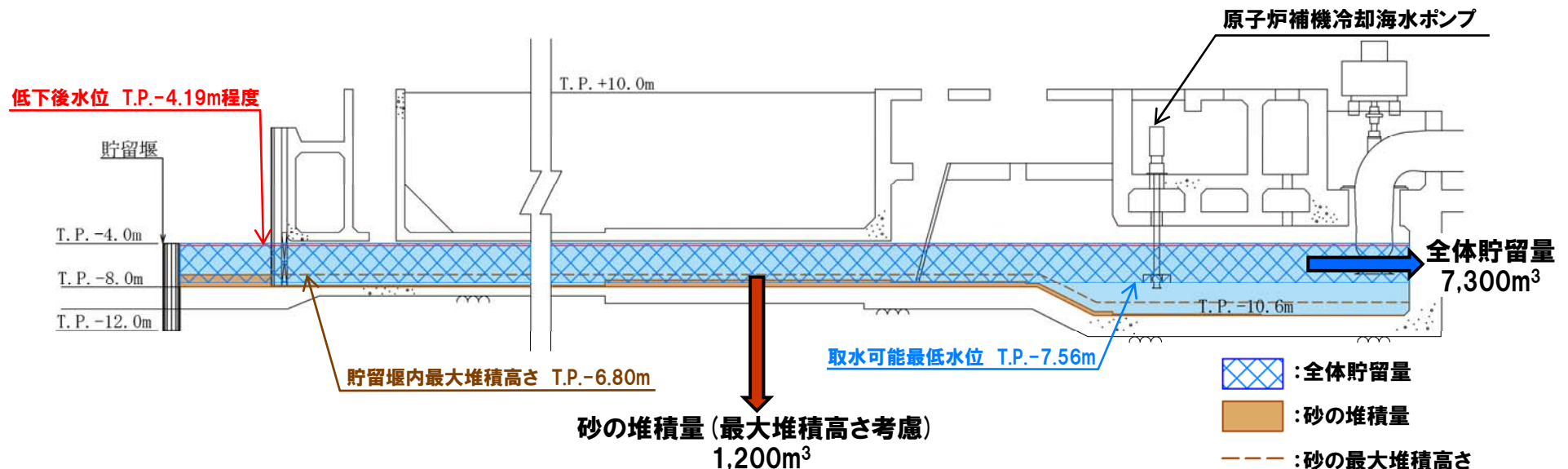


水位時刻歴波形

取水路	ケース※1	貯留堰の天端高さ 以下となる時間	時間当たり取水量 (時間当たり水位低下量)	取水量 (水位低下量)	全体貯留量 (全体貯留高)
3号炉	基準津波② (現行モデル)	約7分	1,700m ³ /h×2台 (約0.03m/min)	約400m ³ (約0.19m)	約7,300m ³ (約3.56m) 約6,100m ³ ※2 (約2.80m)※2

※1 貯留堰の天端を下回る時間が最大となるケース

※2 砂の最大堆積高さを考慮した場合の全体貯留量及び全体貯留高



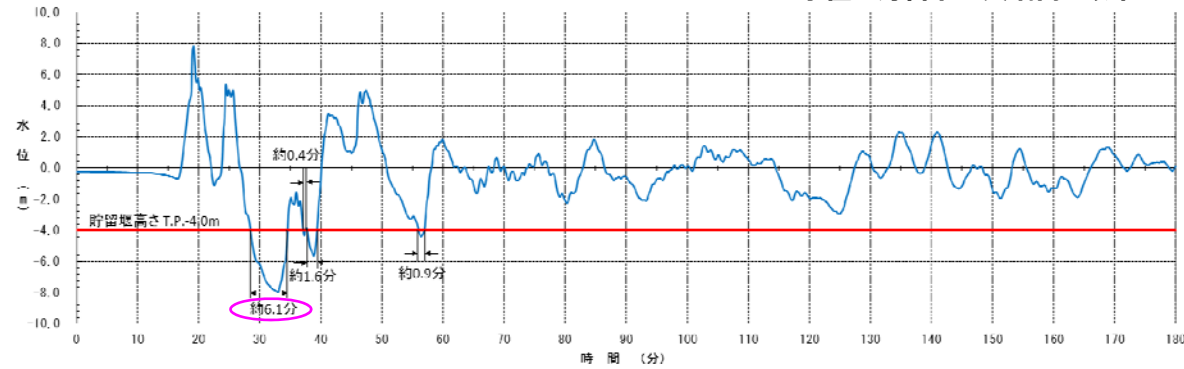
2-3 貯留堰の容量について

水位時刻歴波形 (3号炉- 現行モデル)

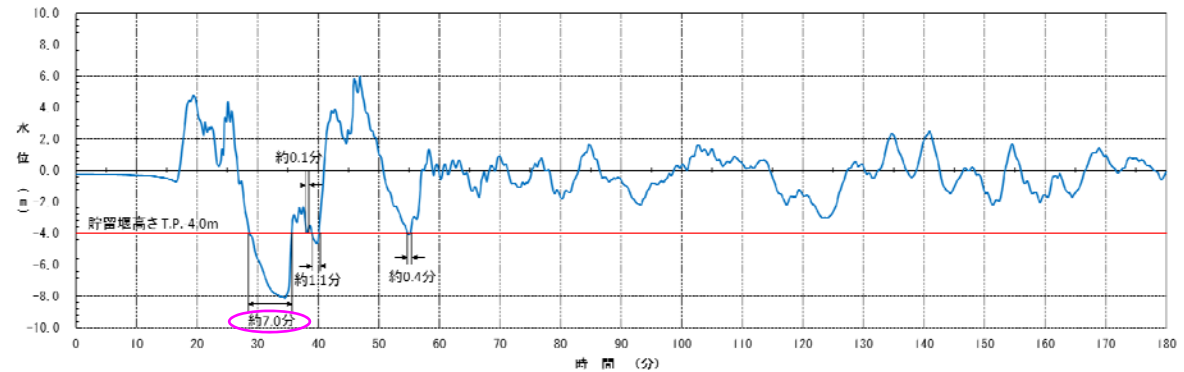
一部修正(H27/8/21審査会合)

○: 水位が貯留堰の天端高さ以下となる時間 (最長時間)

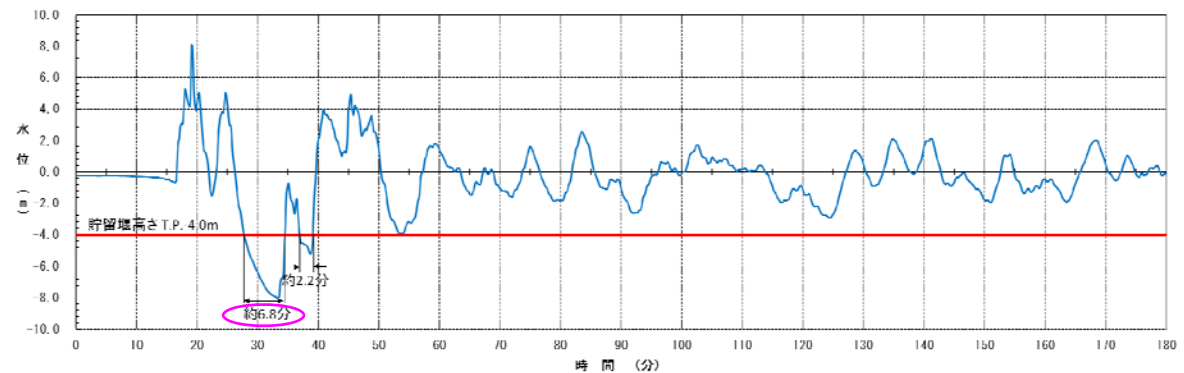
基準津波①



基準津波②



基準津波③

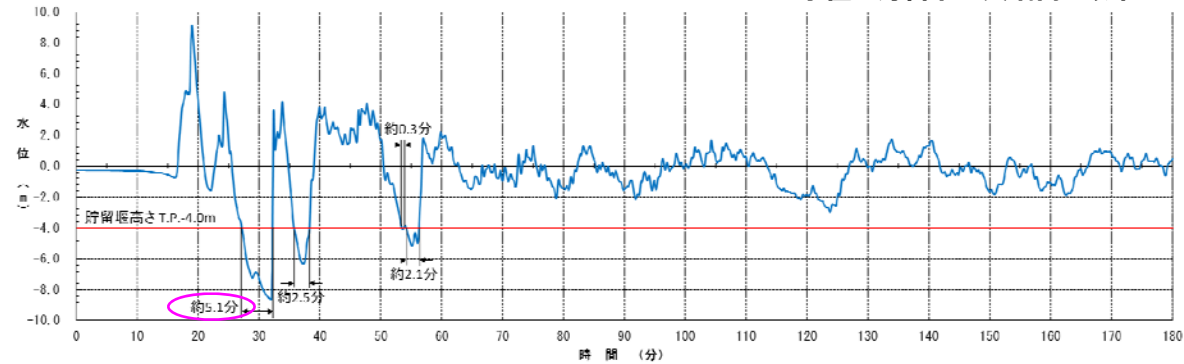


2-3 貯留堰の容量について

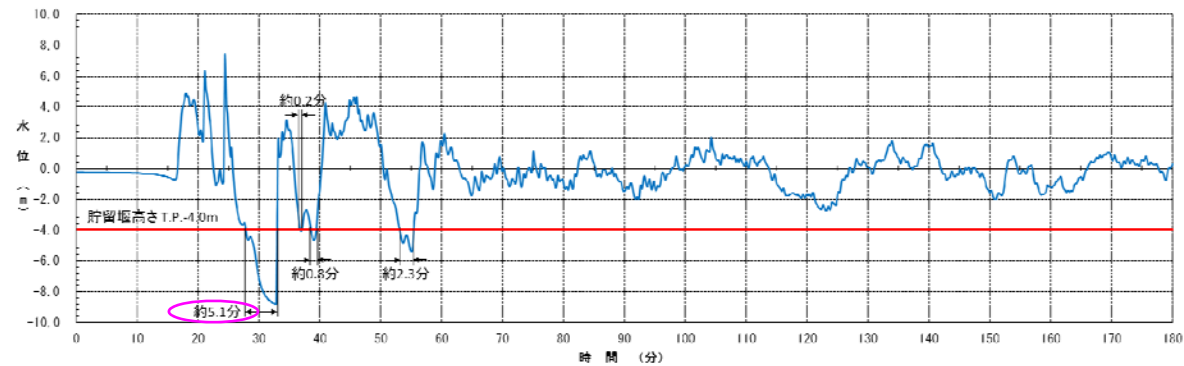
水位時刻歴波形 (3号炉-防波堤なし, 敷地沈下モデル)

○: 水位が貯留堰の天端高さ以下となる時間 (最長時間)

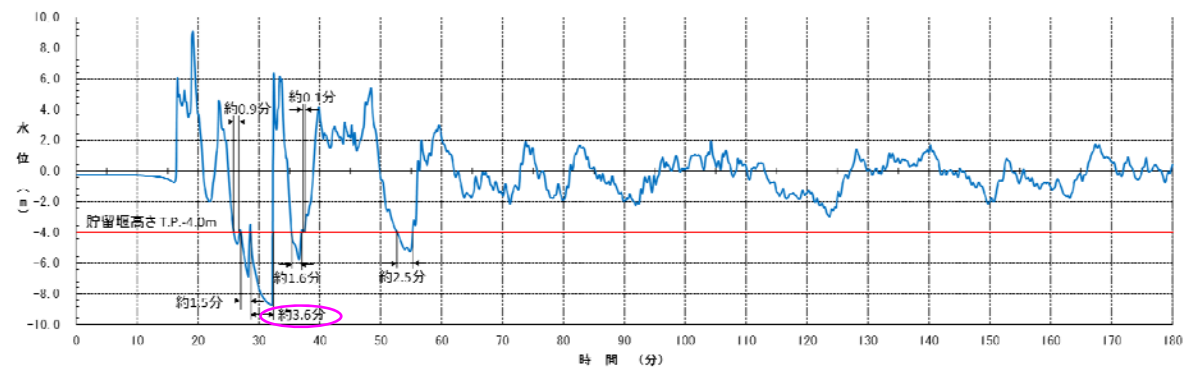
基準津波①



基準津波②

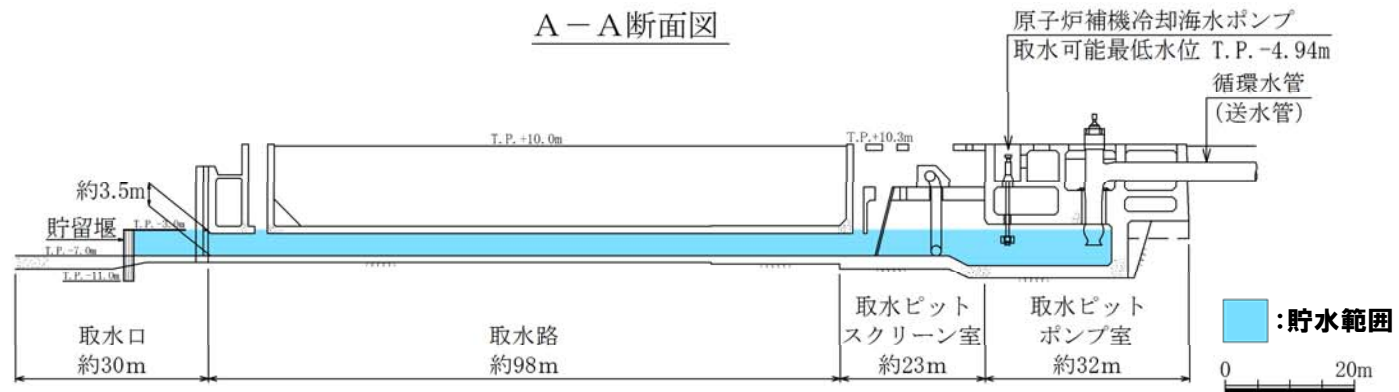
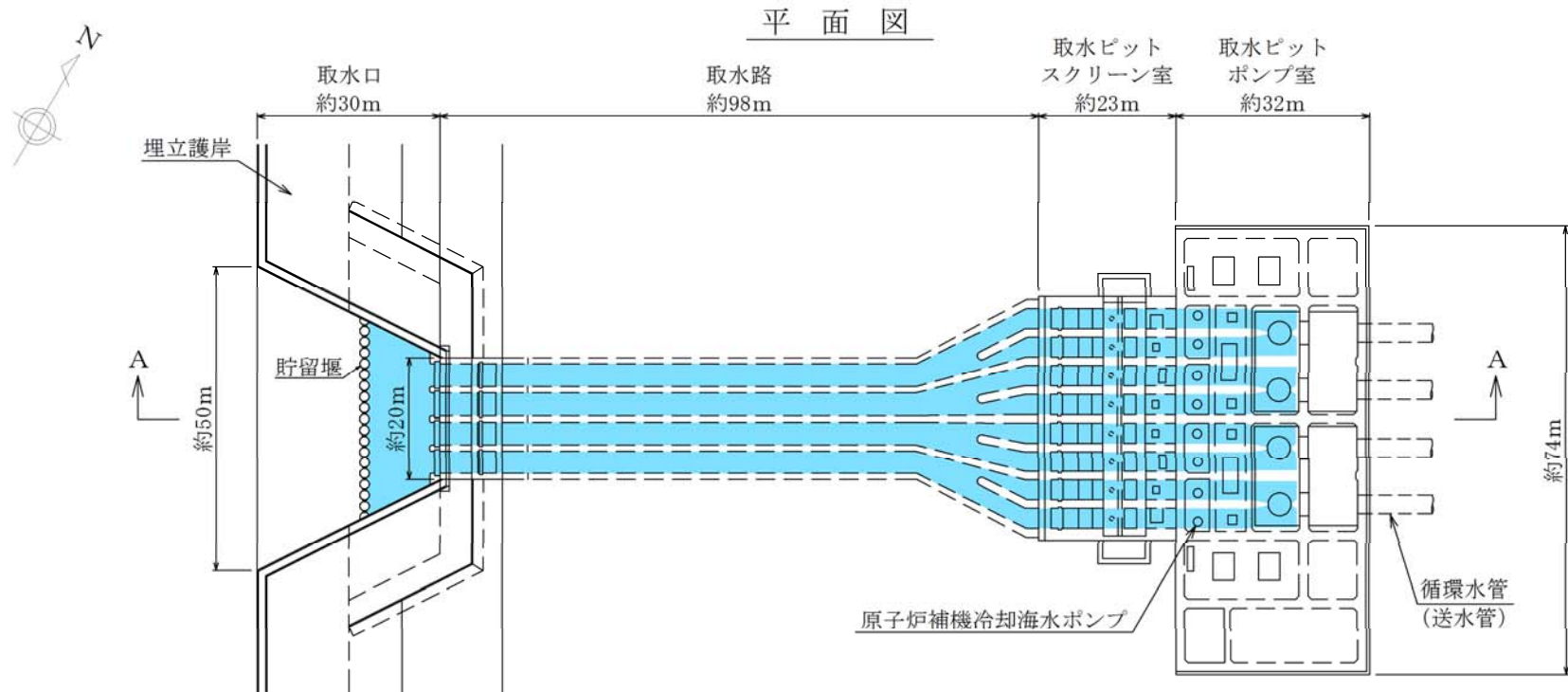


基準津波③



2-3 貯留堰の容量について

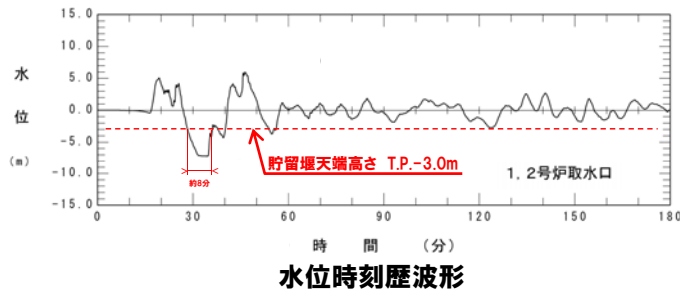
貯留堰の貯水範囲 (1, 2号炉)



2-3 貯留堰の容量について

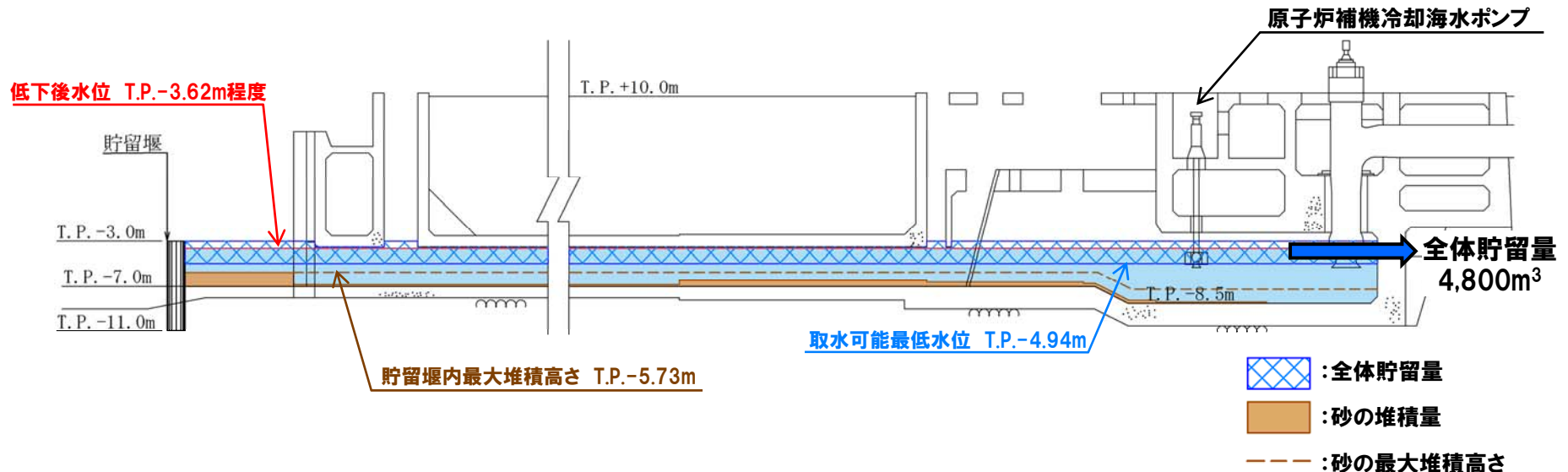
貯留堰の容量について(1, 2号炉)

- 1, 2号炉について、海水ポンプによる取水が全体貯留量に及ぼす影響について確認した。
- 水位が貯留堰の天端高さ以下となる時間における取水量及び水位低下量を算定し、全体貯留量や全体貯留高と比較した結果、海水ポンプの継続運転により貯留堰内の水位は約0.62m低下するが、全体貯留高は約1.94mであることから、取水量に対する全体貯留量には十分な裕度があり、取水性への影響はないことを確認した。
- また、水路内の砂移動を評価した結果、取水路が閉塞することはないと、貯留堰内の砂の最大堆積高さを考慮した場合においても、全体貯留量の減少はないことから、取水性への影響はないことを確認した。



取水路	ケース※1	貯留堰の天端高さ以下となる時間	時間当たり取水量 (時間当たり水位低下量)	取水量 (水位低下量)	全体貯留量 (全体貯留高)
1, 2号炉	基準津波② (現行モデル)	約8分	1,900m ³ /h×4台 (約0.05m/min)	約1,020m ³ (約0.62m)	約4,800m ³ (約1.94m)

※1 貯留堰の天端を下回る時間が最大となるケース



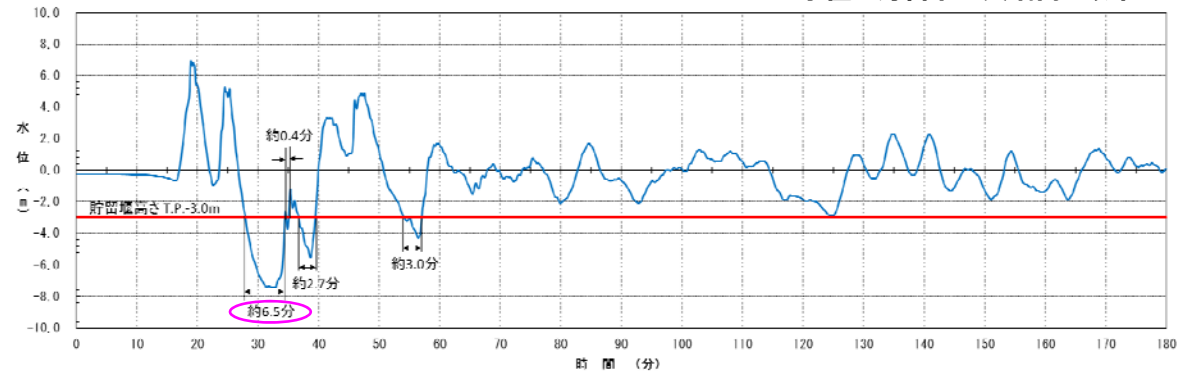
2-3 貯留堰の容量について

水位時刻歴波形 (1, 2号炉 - 現行モデル)

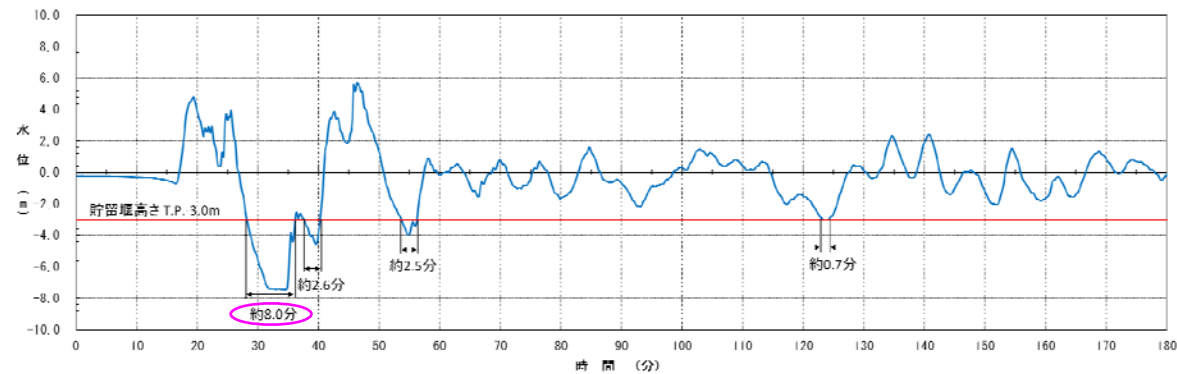
一部修正(H27/8/21審査会合)

○: 水位が貯留堰の天端高さ以下となる時間 (最長時間)

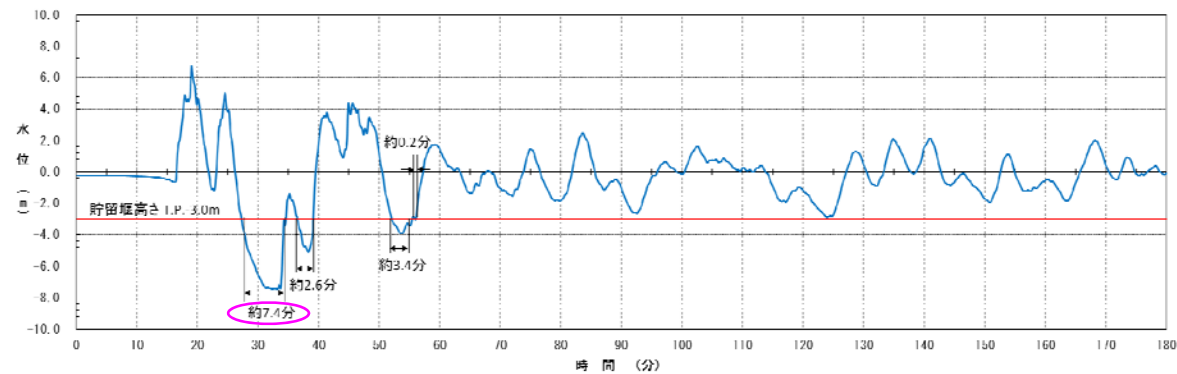
基準津波①



基準津波②



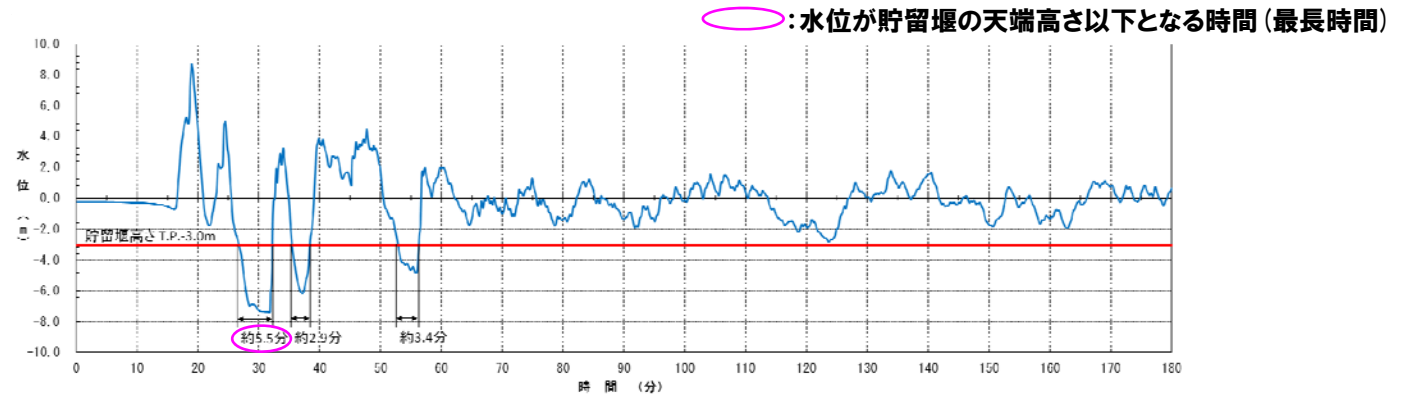
基準津波③



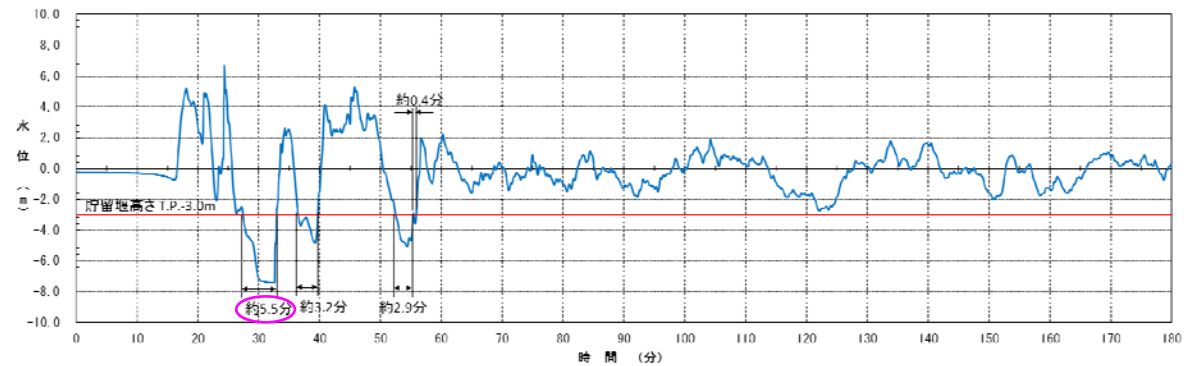
2-3 貯留堰の容量について

水位時刻歴波形 (1, 2号炉 - 防波堤なし, 敷地沈下モデル)

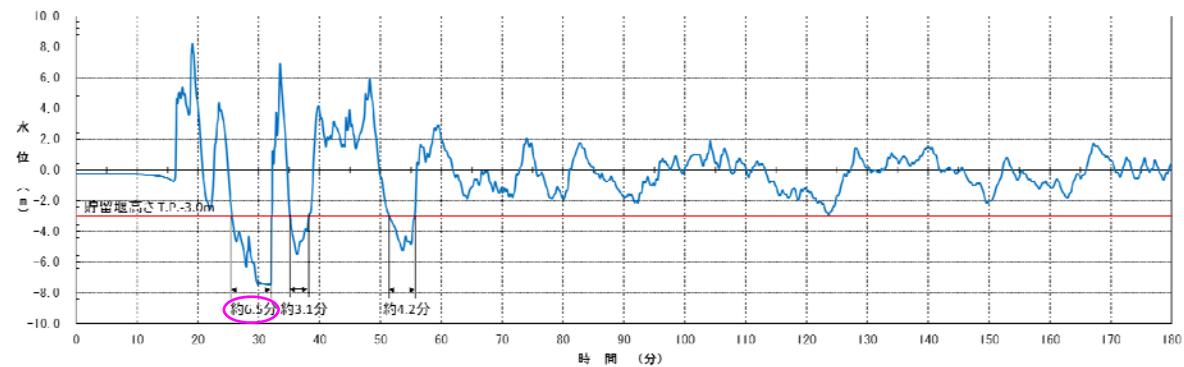
基準津波①



基準津波②



基準津波③



1. 防波堤等の影響検討	3
2. 津波に対する安全性	12
2-1 取水路の水位変動について	14
2-2 砂移動評価について	26
2-2-1 砂移動評価について(平面二次元モデル)	28
2-2-2 砂移動評価について(水路内)	52
2-3 貯留堰の容量について	58
3. 超過確率の参照	68
参考資料	97
参考文献	114

3. 超過確率の参照

評価方針

一部修正(H26/12/5審査会合)

- 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」(日本原子力学会, 2012年2月)(以下,「日本原子力学会(2012)」という。)に基づき算定する。
- 津波ハザード評価における不確実さについては、「日本原子力学会(2012)」及び「確率論的津波ハザード解析の方法」(土木学会, 2011年3月)(以下,「土木学会(2011)」という。)に基づき,以下のとおり取り扱う。
- ロジックツリーは,「土木学会(2011)」を参考としたうえで,2011年東北地方太平洋沖地震後の知見を反映し,日本海東縁部に想定される地震に伴う津波については,連動の不確かさを考慮し,日本海東縁部のMwが既往最大を超える波源を設定する。
- なお,適用するスケーリング則については,「土木学会(2011)」を参考に,「津波評価技術」の式及び「強震動レシピ」の式について,ロジックツリーの分岐を設定する。

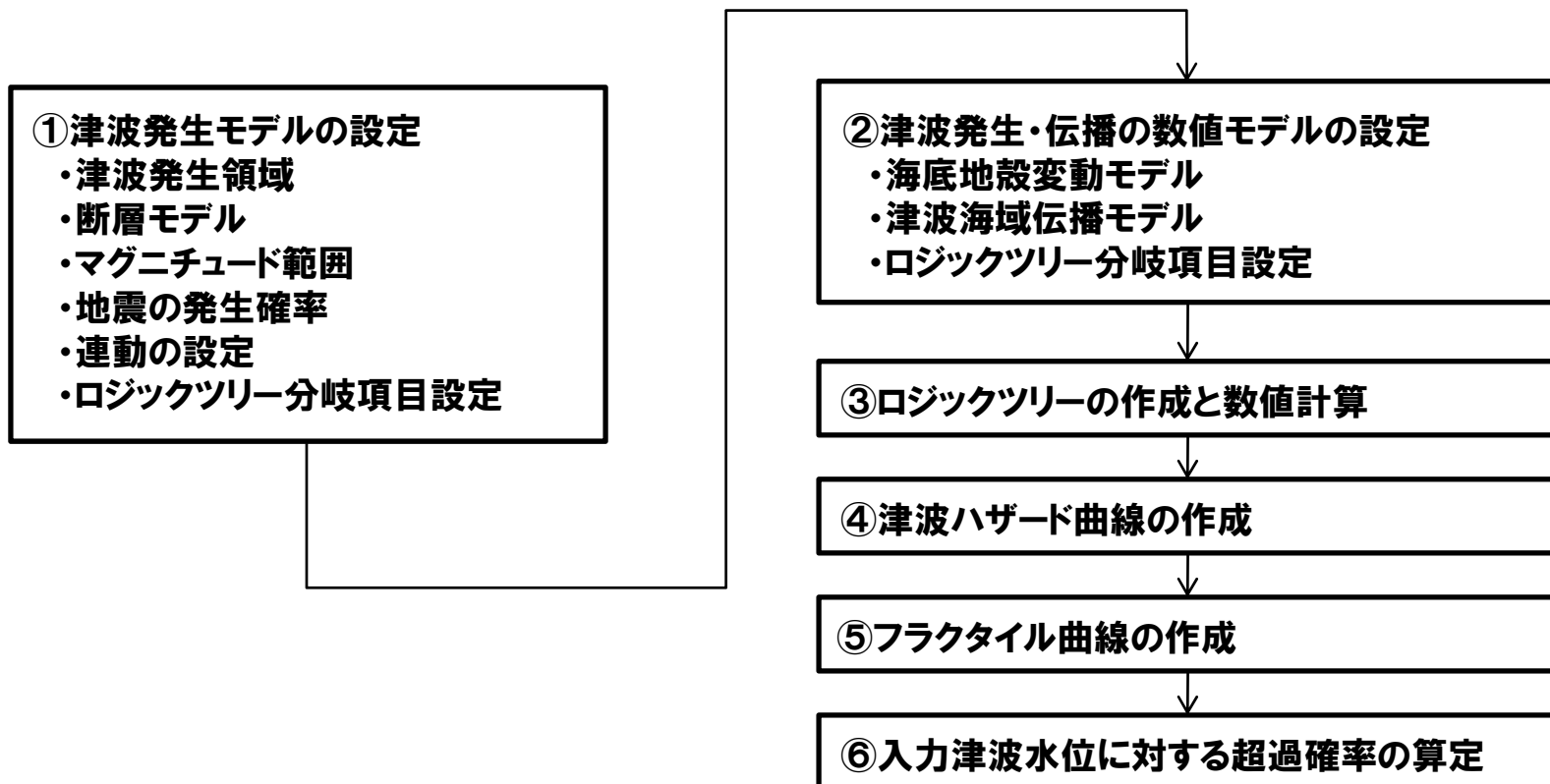
【確率論的津波ハザード評価における不確実さの取り扱い】

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もの。	津波高さ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。

評価手順

再掲(H26/12/5審査会合)

○「日本原子力学会(2012)」を参考に、以下の手順で評価を実施する。



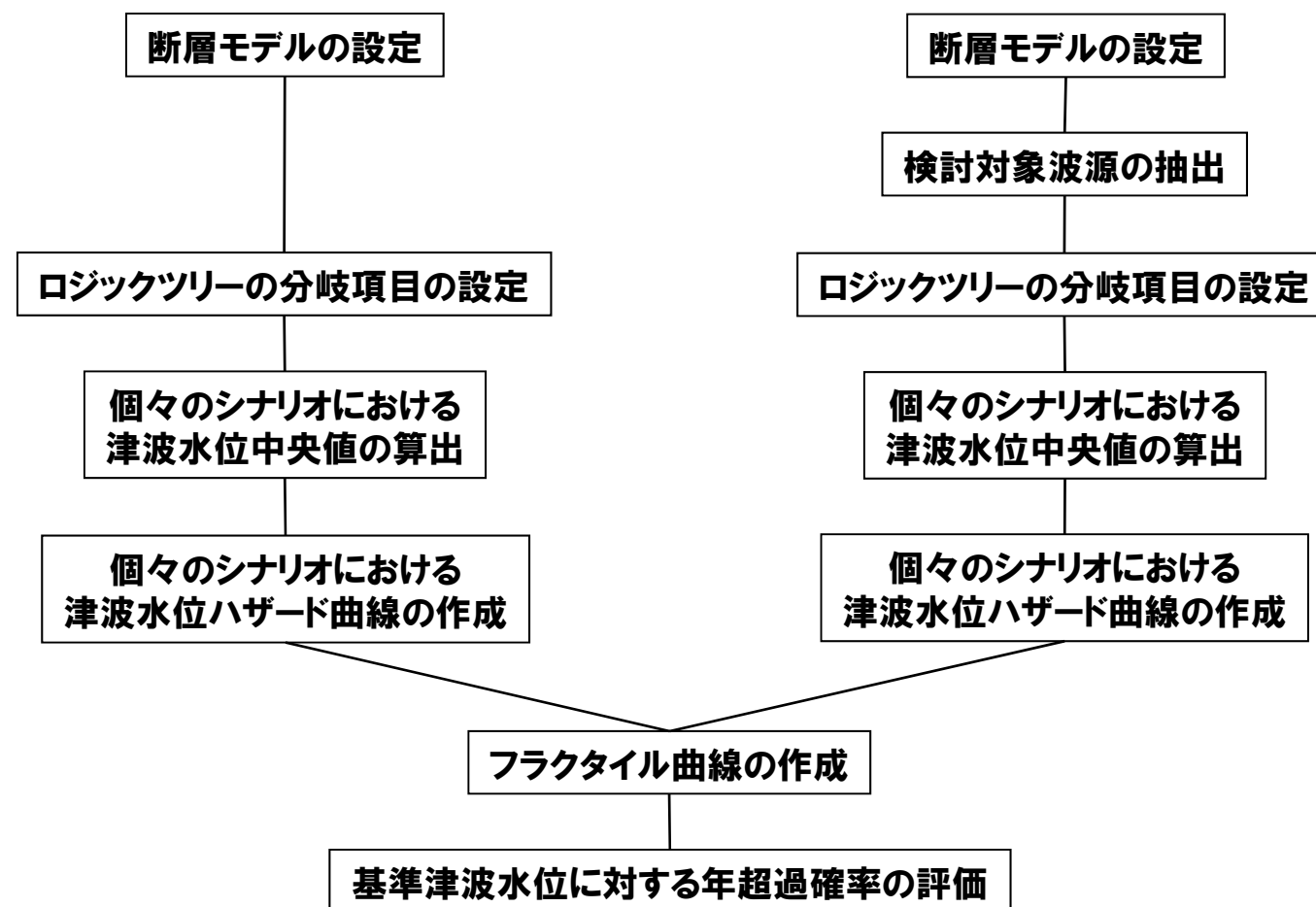
3. 超過確率の参照

検討対象波源

再掲(H26/12/5審査会合)

○日本海東縁部に想定される地震に伴う津波

○海域活断層に想定される地震に伴う津波



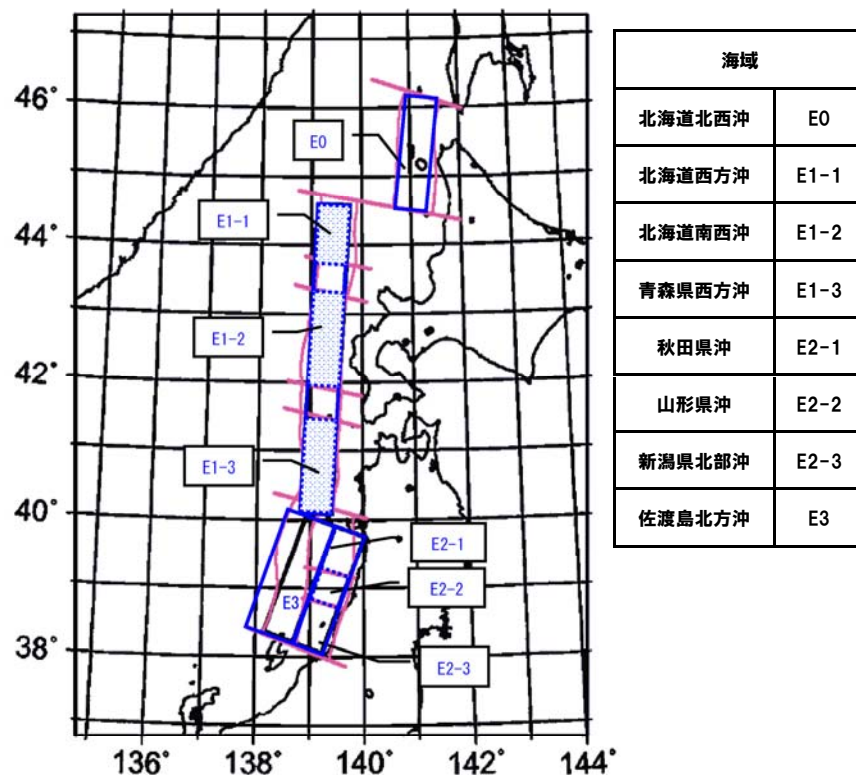
3. 超過確率の参照

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (1/12)

一部修正(H26/12/5審査会合)

- 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。
- 泊発電所においては、日本海東縁部のうち、特に影響の大きいE1(E1-1~1-3)及びE0を対象とする。

【日本海東縁部海域の大地震活動域区分】



土木学会(2011)より

【日本海東縁部及び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)

対象活動域

土木学会(2011)より

3. 超過確率の参照

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (2/12)

再掲(H26/12/5審査会合)

○下記データから、E0及びE1 (E1-1～E1-3) の各領域において、地震発生間隔の分岐を設定。

地震本部 (2003) 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)

 対象活動域

土木学会 (2011) より

3. 超過確率の参照

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (3/12)

一部修正(H26/12/5審査会合)

- 連動の不確かさを考慮し、日本海東縁部のMwが既往最大を超える波源を設定する。
- 連動モデルは、泊サイトに最も影響の大きいE1-2から空白域を含めた連動モデル(連動①:L=200km)及び空白域を挟んだ2領域(E1-1+E1-2)での連動モデル(連動②:L=320km)を考慮する。

(既往最大規模)

「土木学会(2011)」のモデル:E1-2では、既往最大Mw7.8。

(連動の不確かさ)

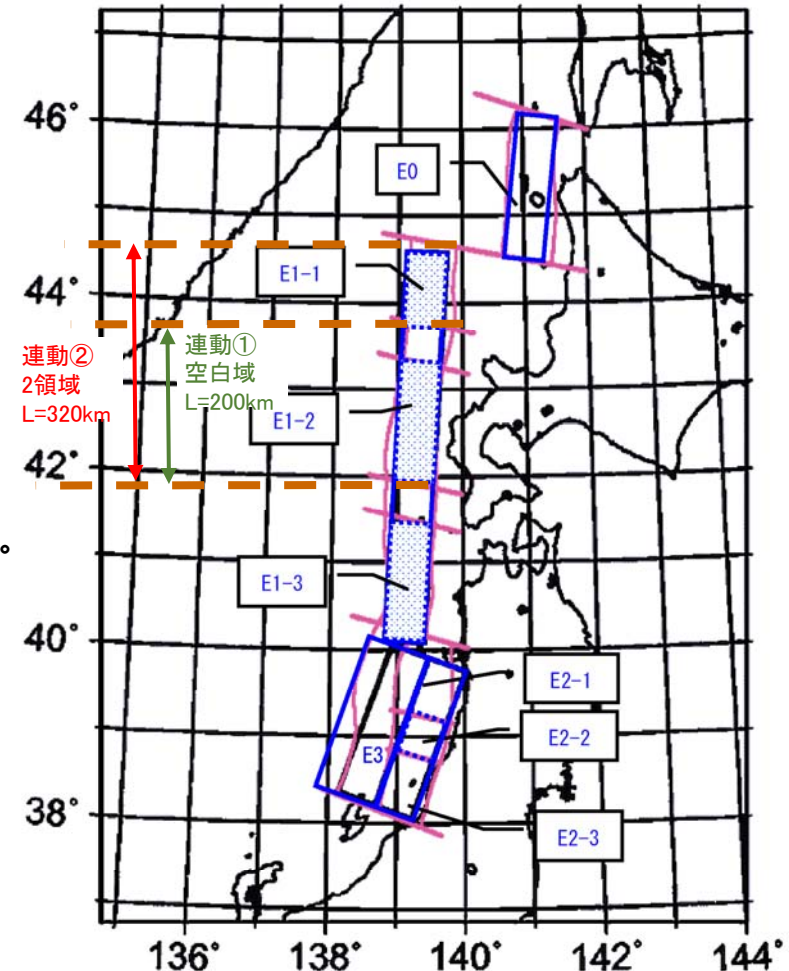
連動①:“E1-2と北側の空白域”が同時に破壊するモデル、最大Mw8.08。

連動②:“E1-1とE1-2”領域が同時に破壊するモデル、最大Mw8.22。

【連動の平均発生間隔の設定】

海域	連動サイクル	平均発生間隔
連動①	6サイクルに1回 3サイクルに1回	E1-2のサイクル(500~1400年)を基準として、1500~8400年
連動②	6サイクルに1回 3サイクルに1回	連動①のサイクル(1500~8400年)の3~6倍として4500~50400年

※連動サイクルは、北海道の“十勝沖+根室沖”の6サイクルに1回(「土木学会(2011)」)を参考とし、保守的に6サイクルに1回、3サイクルに1回の分岐として設定した。



【連動を考慮した場合の地震発生モデル】

土木学会(2011)に一部加筆

3. 超過確率の参照

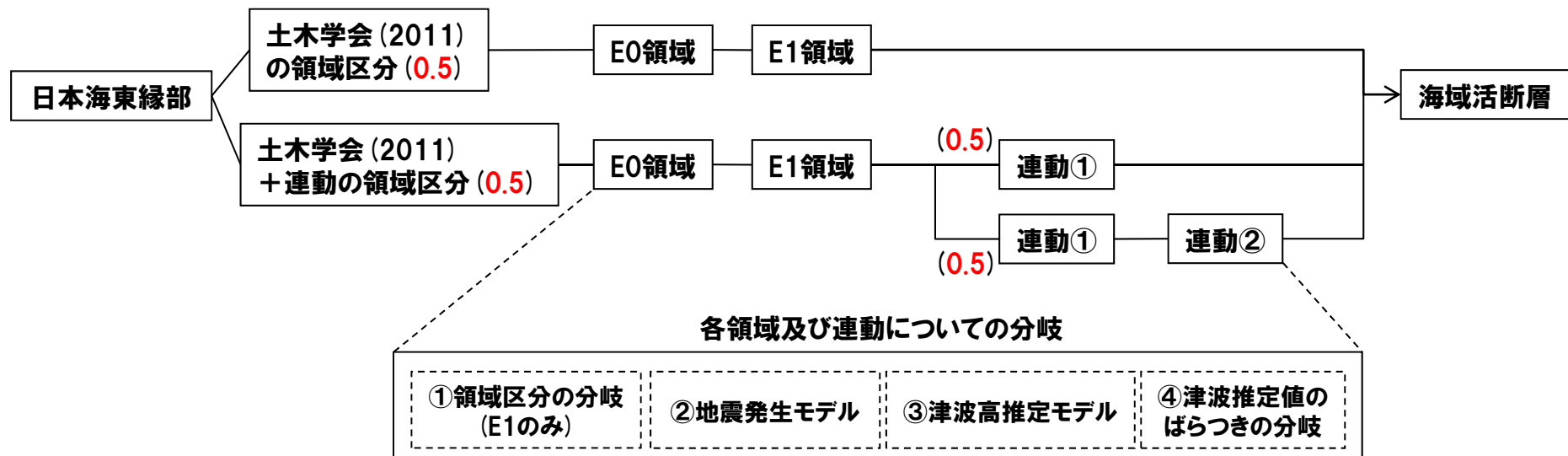
日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (4/12)

再掲(H26/12/5審査会合)

○E0及びE1 (E1-1～E1-3) の領域について、それぞれ評価を行い各領域では、

- ① 領域区分の分岐 (E1の場合)
 - ② 地震発生モデル
 - ③ 津波高推定モデル
 - ④ 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】



※ ()内の赤字は重みを示す。重みは均等配分とした。

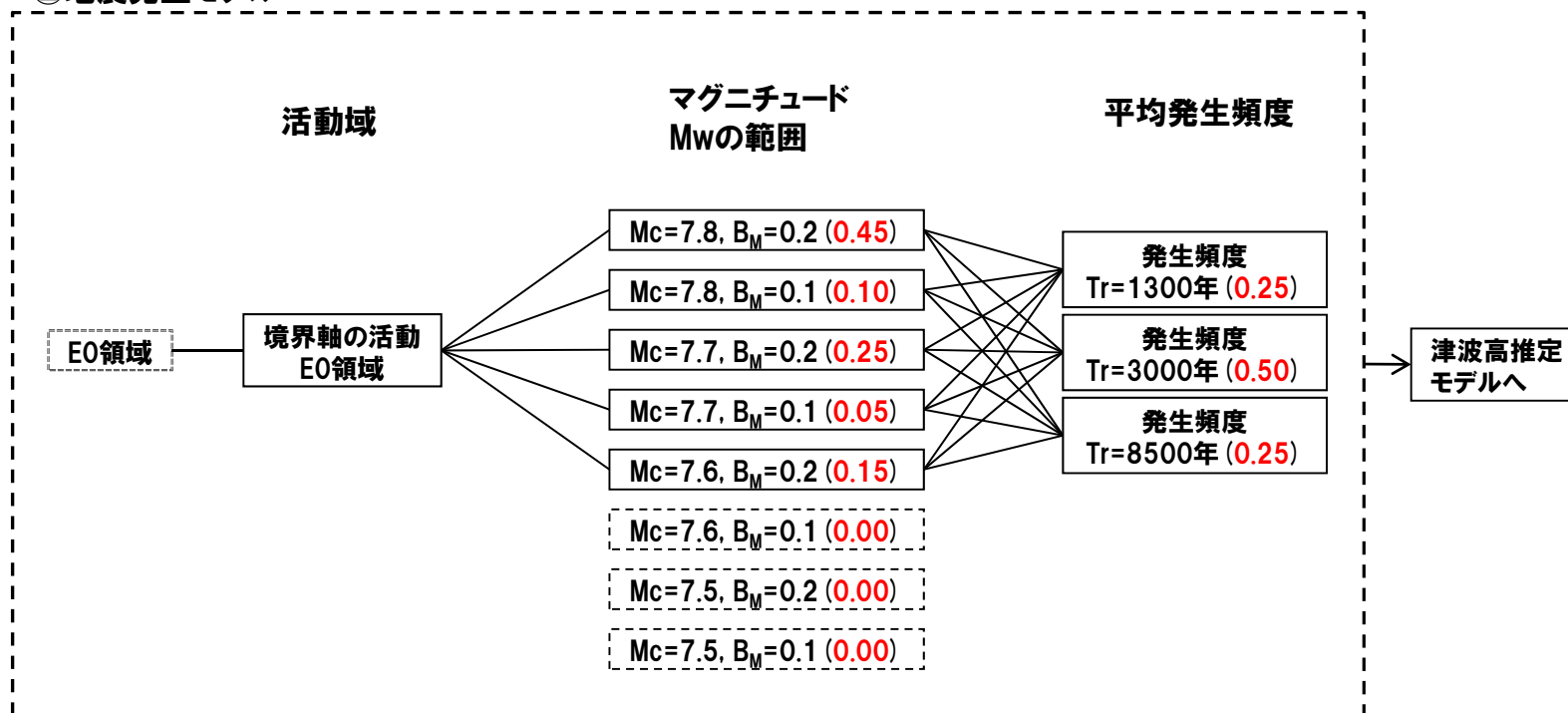
3. 超過確率の参照

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (5/12)

再掲(H26/12/5審査会合)

○E0領域の地震発生モデル

②地震発生モデル



※ロジックツリーの設定については土木学会(2011)による。

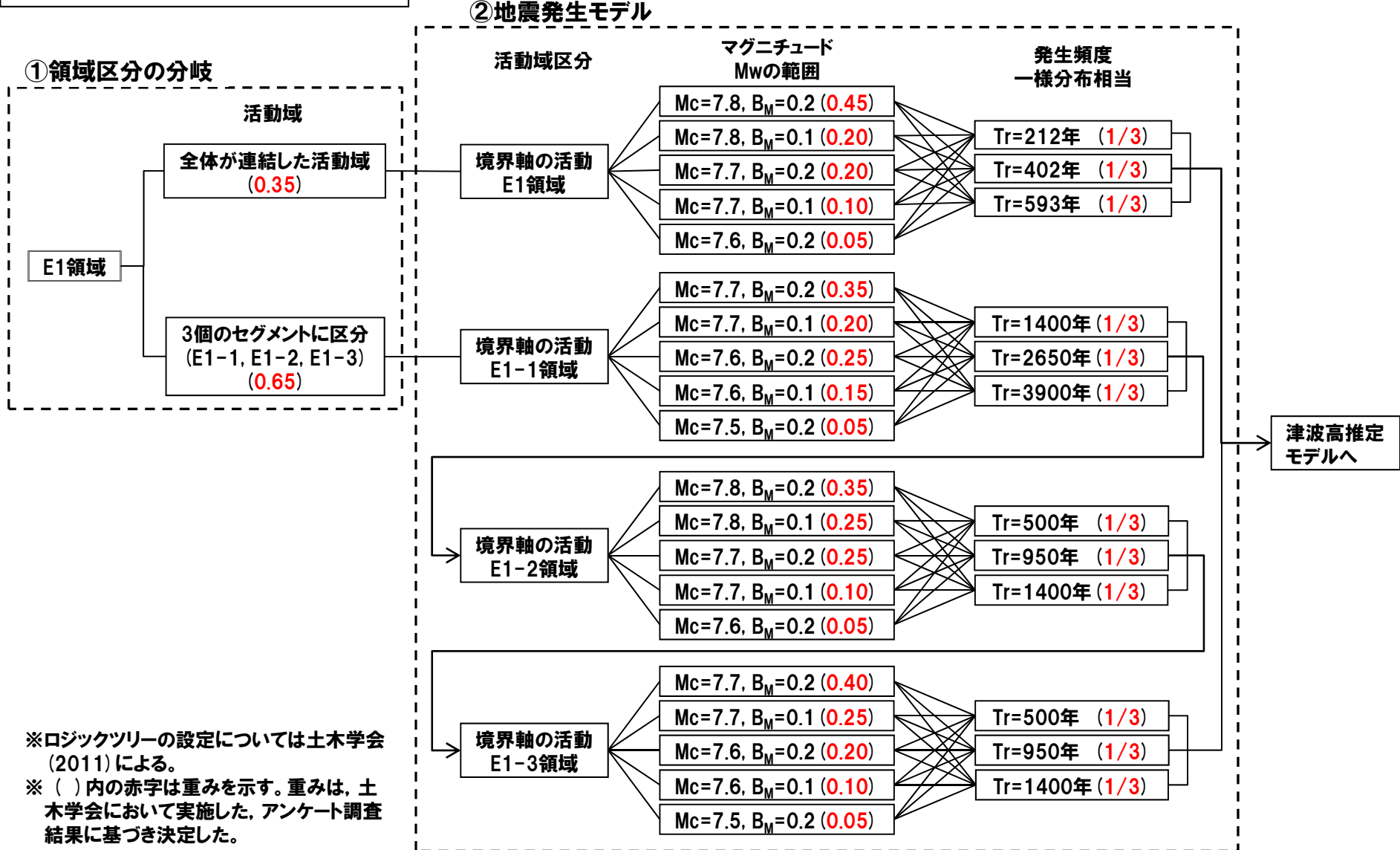
※ ()内の赤字は重みを示す。重みは、土木学会において実施した、アンケート調査結果に基づき決定した。

3. 超過確率の参照

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (6/12)

再掲(H26/12/5審査会合)

○E1領域の地震発生モデル



3. 超過確率の参照

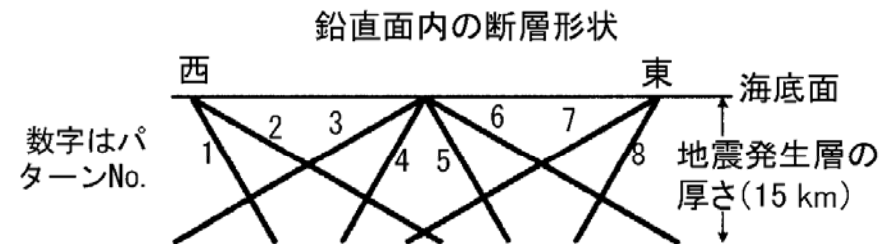
日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (7/12)

再掲(H26/12/5審査会合)

○E0, E1領域の断層パラメータの設定方法

断層長さ	スケーリング則に基づき, M_w から求める。
地震発生層の厚さ	土木学会 (2011) より, 15kmとする。
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	$\log M_0 \text{ (N}\cdot\text{m)} = 1.5M_w + 9.1$, $D = M_0 / \mu LW$ 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 (3° , 183°)。
傾斜角	$30\sim 60^\circ$ 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。
スケーリング則1	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, M_w が大きいとき武村 (1998) の関係 $\log L \text{ (km)} = 0.75M_w - 3.77$, $L \propto D, W = \text{const}$ が, M_w が小さいとき $W = 2/3 L, L \propto W \propto D$ の関係が成り立ち, 両者が連続的に接続するものとする。
スケーリング則2	地震本部の地震動予測手法 (「レシピ」) などで用いられる $M_0 \text{ [N}\cdot\text{m]} = (S \text{ [km}^2] / 4.24 \times 10^{-11})^2 \times 10^{-7}$ (Wells and Coppersmith (1994) などのデータに基づく入倉・三宅 (2001) の提案式, 地震モーメント $7.5 \times 10^{18} \text{ N}\cdot\text{m}$ 以上の地震に適用する) を適用する。

鉛直断面内の断層パターン



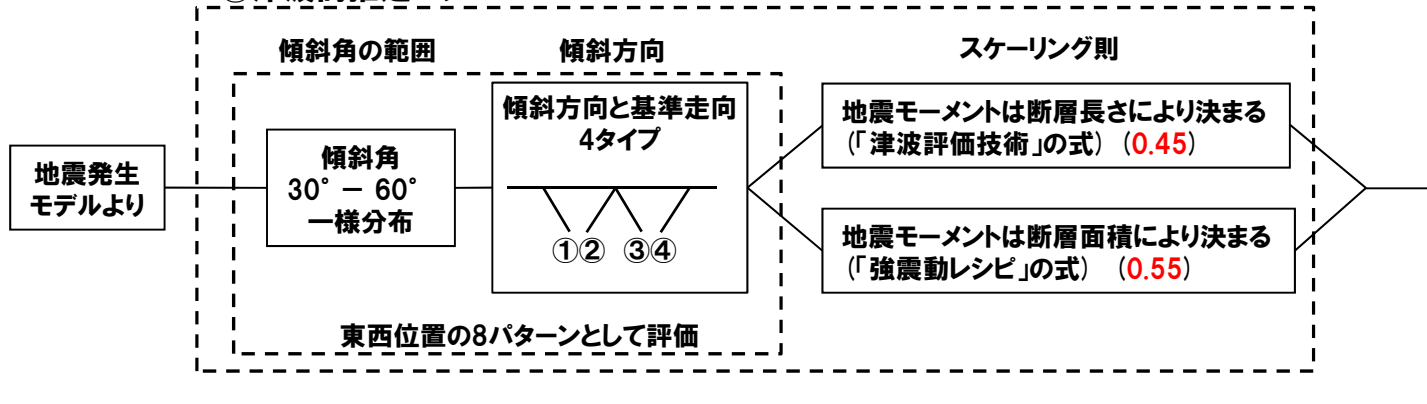
3. 超過確率の参照

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (8/12)

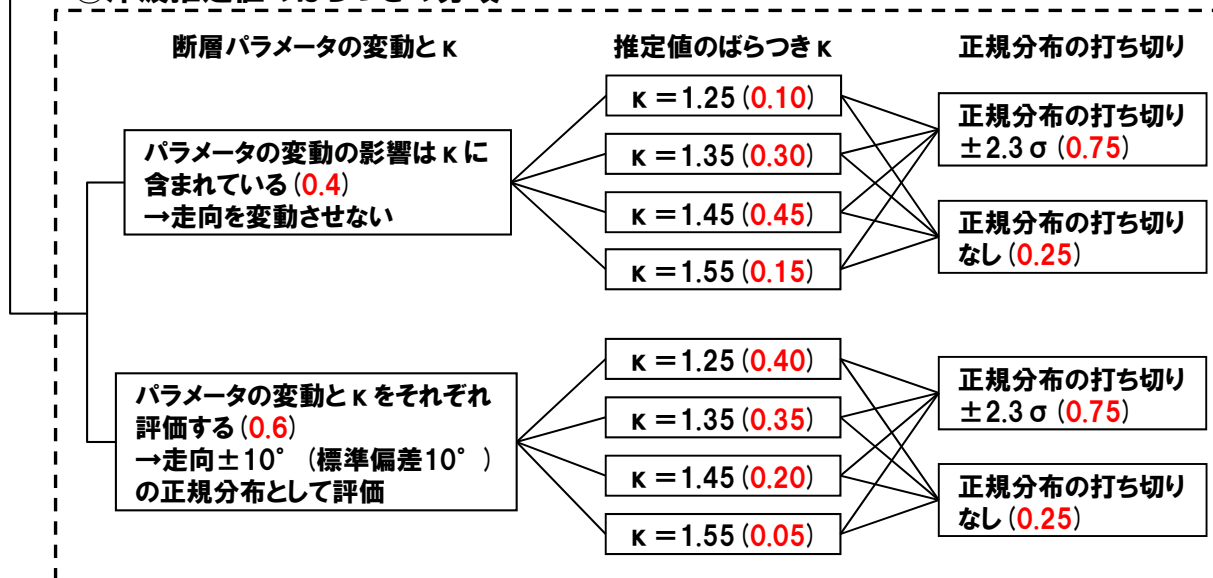
再掲(H26/12/5審査会合)

○E0, E1領域の津波高さの推定モデル, 及び津波推定値のばらつきの分岐

③津波高推定モデル



④津波推定値のばらつきの分岐



※ ()内の赤字は重みを示す。重みは、土木学会において実施した、アンケート調査結果に基づき決定した。

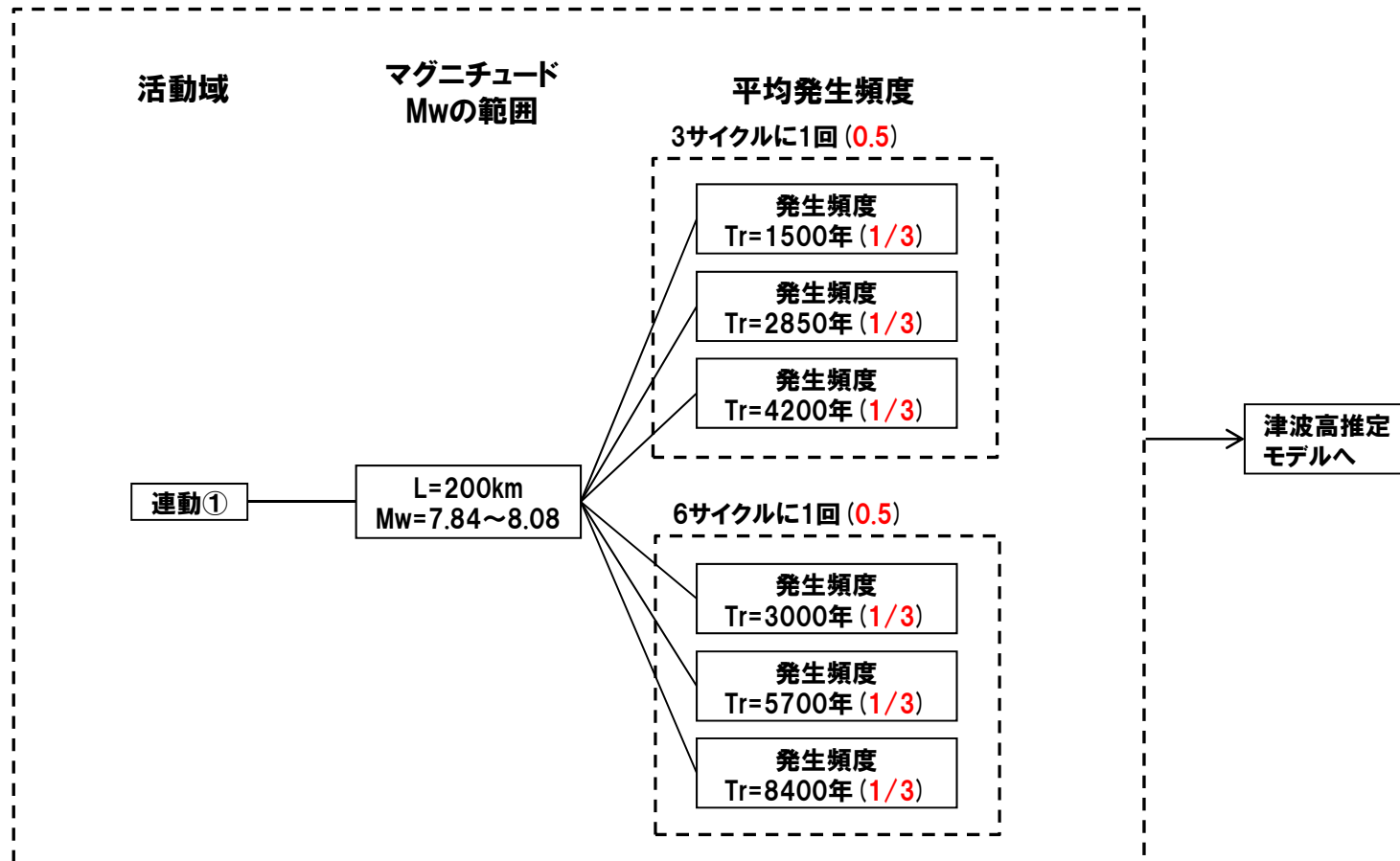
3. 超過確率の参照

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (9/12)

一部修正(H26/12/5審査会合)

○連動の地震発生モデル

②地震発生モデル(連動①)



※ ()内の赤字は重みを示す。重みは均等配分とした。

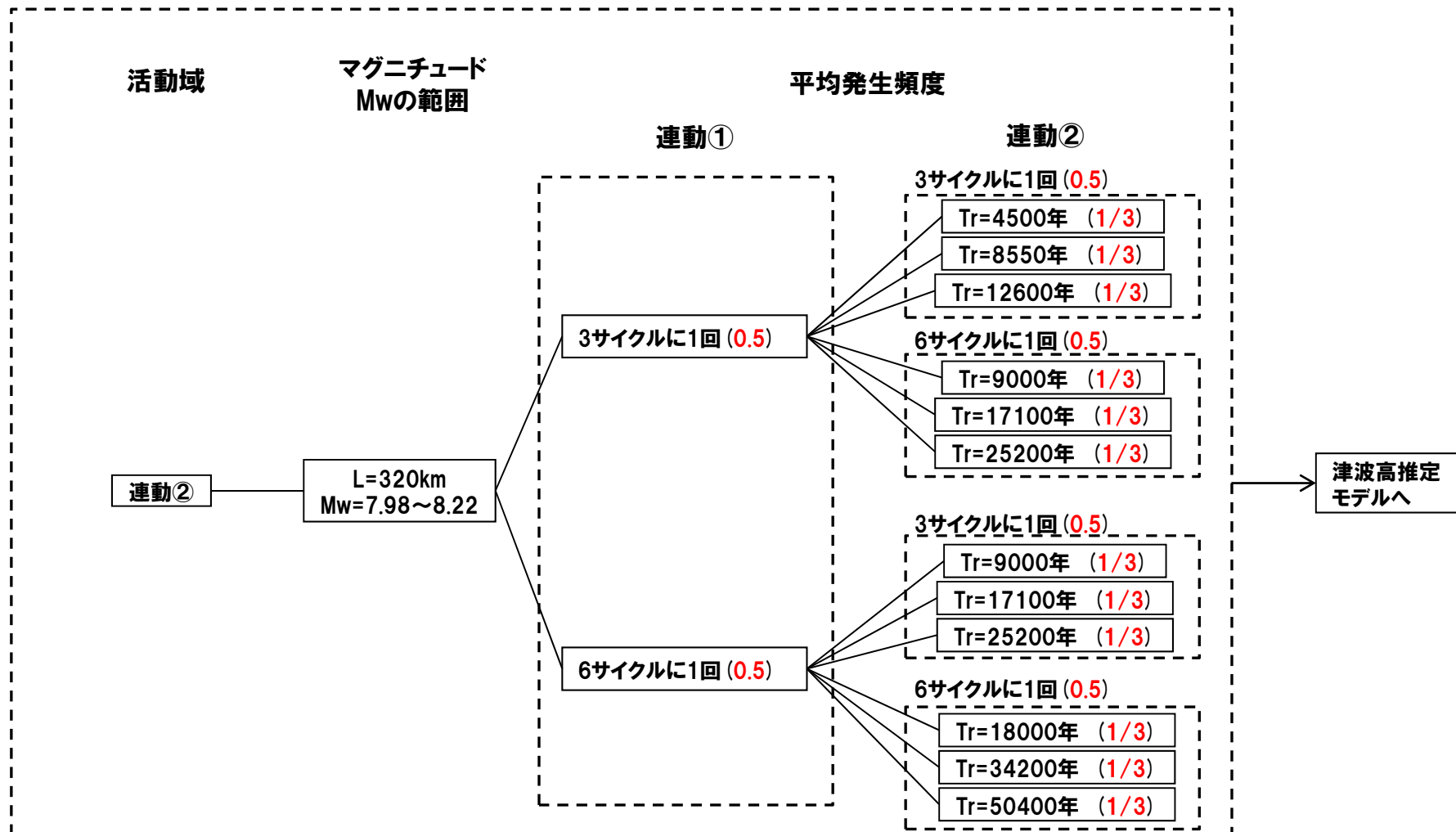
3. 超過確率の参照

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (10/12)

一部修正(H26/12/5審査会合)

○連動の地震発生モデル

②地震発生モデル(連動①-連動②)



※ ()内の赤字は重みを示す。重みは均等配分とした。

3. 超過確率の参照

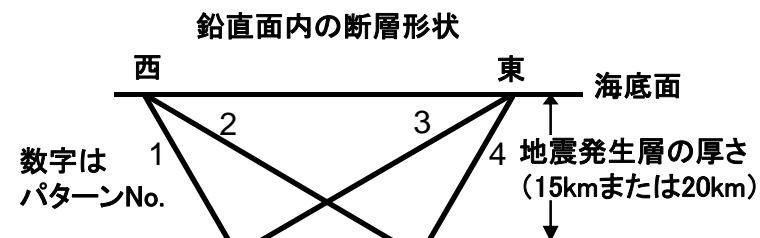
日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (11/12)

再掲(H26/12/5審査会合)

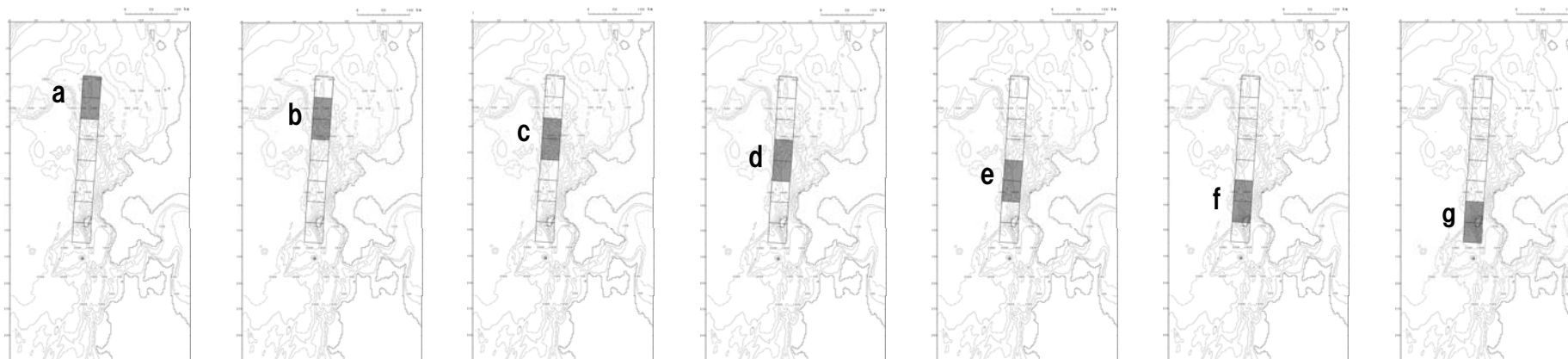
○連動の断層パラメータの設定方法

断層長さ	連動①:L=200km, 連動②:L=320km
地震発生層の厚さ	土木学会(2011)による15kmに加えて, 決定論で考慮した根本ほか(2009)に基づく20kmを分岐として設定する。
幅	地震発生層の厚さ(15km, 20km)を考慮し傾斜角に応じて決める。
すべり量	根本ほか(2009)より, アスペリティ領域のすべり量:Da=12m 背景領域のすべり量:Db=4m
上縁深さ	根本ほか(2009)より, 1kmとする。
走向	海底地形の走向に基づき設定する(3°, 183°)。
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。
アスペリティ位置	L/8ずつ移動(7パターン)。

鉛直断面内の断層パターン



アスペリティの位置のパターン(東端, 西傾斜 $\delta = 30^\circ$ の場合)



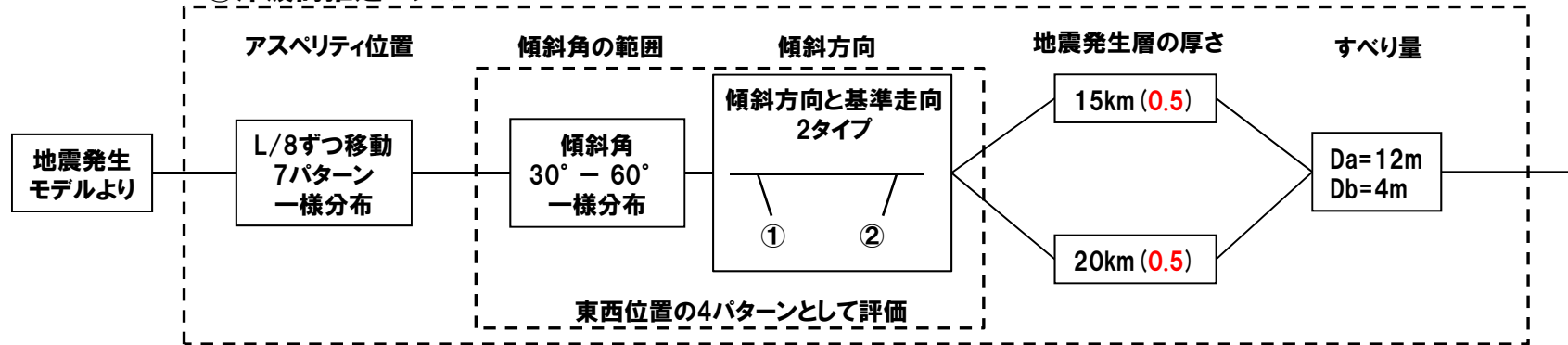
3. 超過確率の参照

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (12/12)

再掲(H26/12/5審査会合)

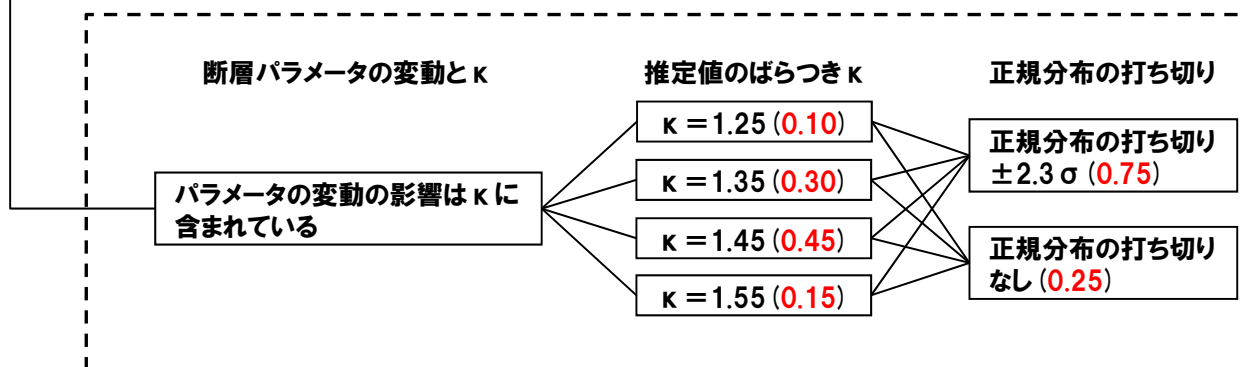
○連動の津波高さの推定モデル, 及び津波推定値のばらつきの分岐

③津波高推定モデル



※ () 内の赤字は重みを示す。重みは均等配分とした。

④津波推定値のばらつきの分岐



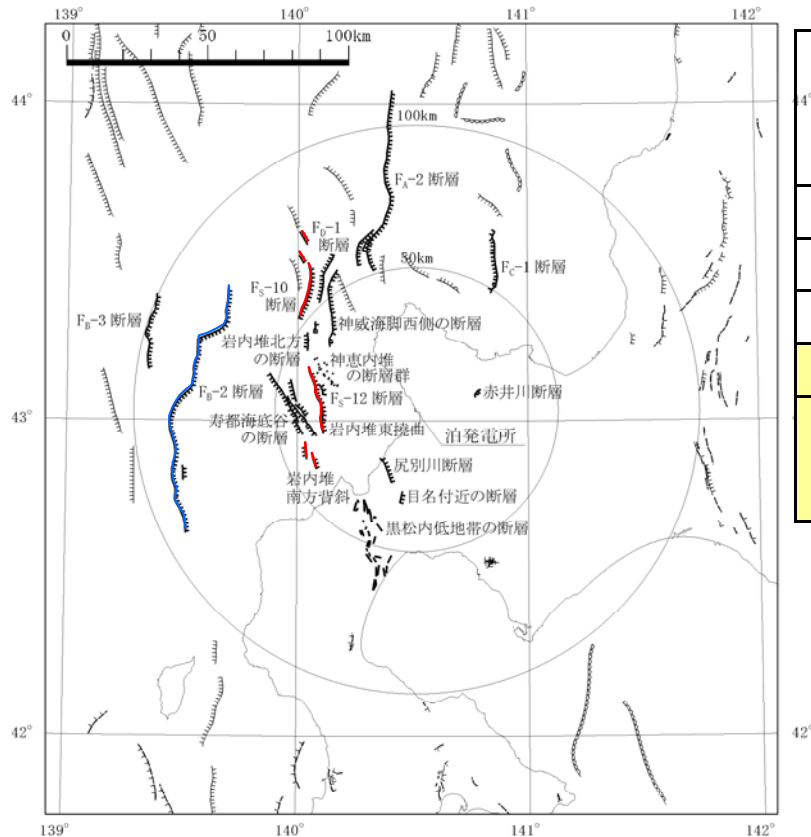
※ () 内の赤字は重みを示す。重みは、土木学会において実施した、アンケート調査結果に基づき決定した。

3. 超過確率の参照

海域活断層に想定される地震に伴う津波 (1/6)

再掲(H26/12/5審査会合)

【海域活断層分布】

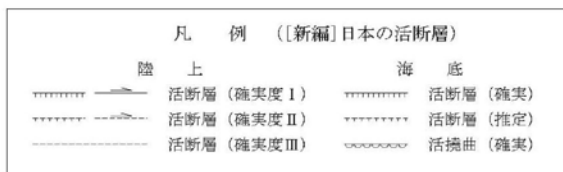


【簡易予測式による推定津波高】

名称	断層長さ L (km)	幅 W (km)	すべり量 D (m)	地震モーメント M_0 (N·m)	モーメントマグニチュード M_w	津波の伝播距離 Δ (km)	推定津波高 H_t (m)
岩内堆東撓曲	23.7	15.8	1.69	2.21×10^{19}	6.8	34	0.9
寿都海底谷の断層	32	17.3	2.28	4.42×10^{19}	7.0	44	1.1
神威海脚西側の断層	31.5	17.3	2.24	4.28×10^{19}	7.0	48	1.0
F_B-2断層	101	17.3	7.19	4.40×10^{20}	7.7	85	2.6
F_S-10断層 ～岩内堆東撓曲 ～岩内堆南方背斜	98	17.3	6.98	4.15×10^{20}	7.7	42	5.1

対象活断層

○敷地に及ぼす影響が大きい断層として、決定論で考慮したF_B-2断層及び、一連の断層として評価する「F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜」について、津波ハザード評価を行う。



太線は主な活断層を示す。

3. 超過確率の参照

海域活断層に想定される地震に伴う津波 (2/6)

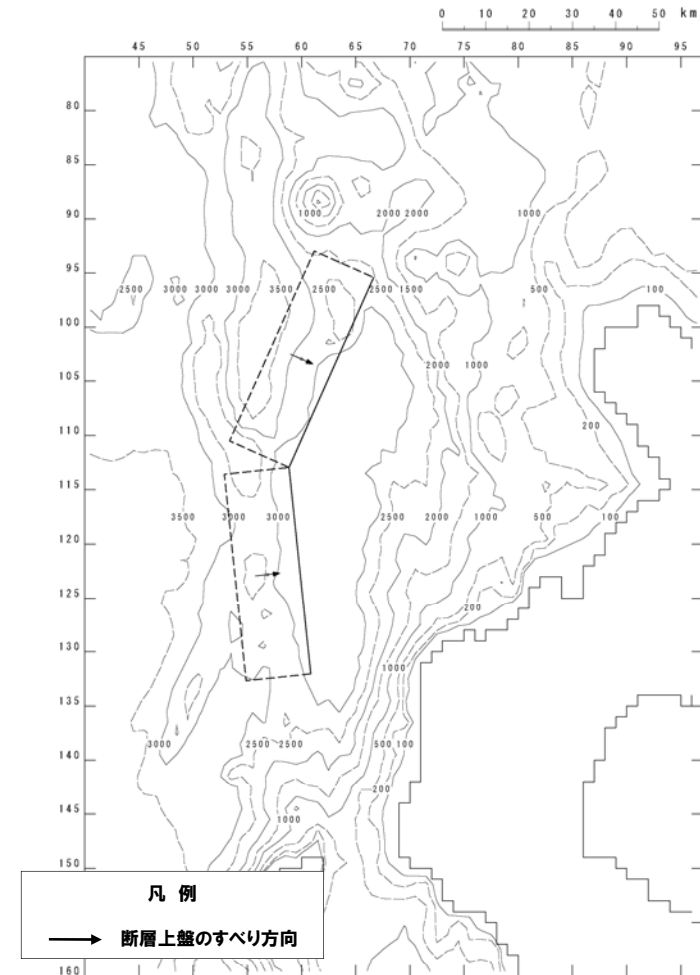
一部修正(H26/12/5審査会合)

断層モデル (F_B-2断層)

- 決定論と同様に、断層位置、断層長さ、走向、傾斜方向を設定。
- 決定論と同様に、北断層48km及び南断層48kmの矩形モデルを設定。
- 断層面上縁深さ、傾斜角、すべり角の不確実さを考慮。

[断層モデル諸元]

断層長さ	決定論より、96km (48km×2) とする。
地震発生層の厚さ	決定論より、15km とする。
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	$\log M_0 \text{ (N}\cdot\text{m)} = 1.5M_w + 9.1$, $D = M_0 / \mu LW$ により算出する。
上縁深さ	0~5km とする。
走向	北断層 204° 南断層 174°
傾斜角	30~60° とする。
すべり角	75~105° とする。
スケール則1	幅 (地震発生層厚さ) に上限あり。 スケール則の変曲点を境に、 M_w が大きいとき武村 (1998) の関係 $\log L \text{ (km)} = 0.75M_w - 3.77$, $L \propto D$, $W = \text{const}$ が、 M_w が小さいとき $W = 2/3 L$, $L \propto W \propto D$ の関係が成り立ち、両者が連続的に接続するものとする。
スケール則2	地震本部の地震動予測手法 (「レシピ」) などで用いられる $M_0 \text{ [N}\cdot\text{m)} = (S \text{ [km}^2 \text{]} / 4.24 \times 10^{-11})^2 \times 10^{-7}$ (Wells and Coppersmith (1994) などのデータに基づく入倉・三宅 (2001) の提案式、地震モーメント $7.5 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$ 以上の地震に適用する) を適用する。



基準断層モデル図

3. 超過確率の参照

海域活断層に想定される地震に伴う津波 (3/6)

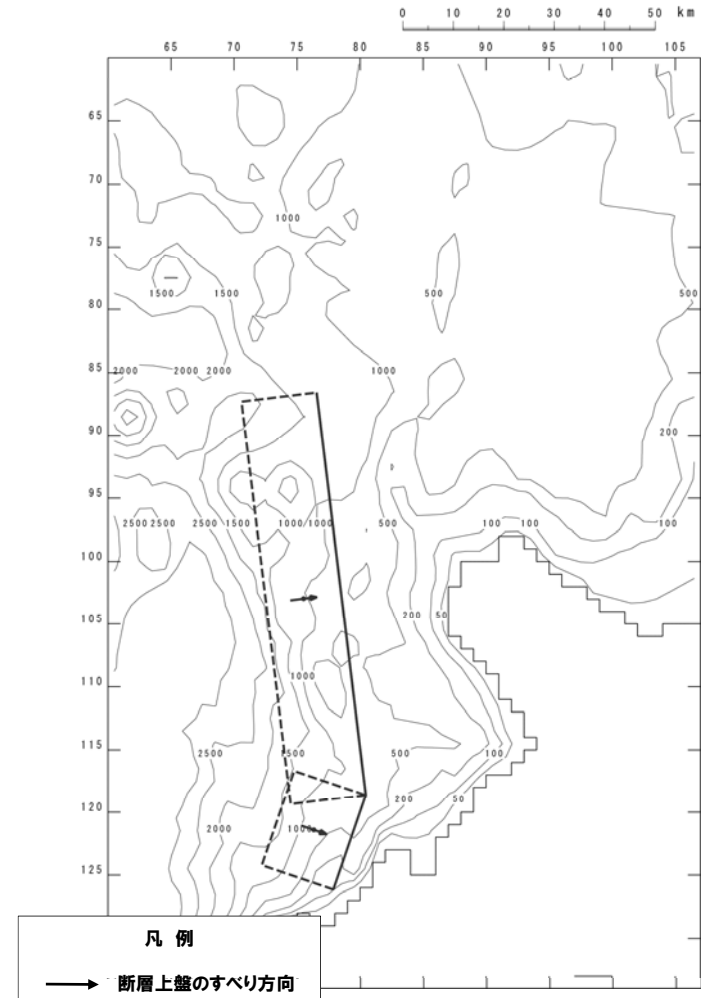
一部修正(H26/12/5審査会合)

断層モデル (F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜)

- 決定論と同様に、断層位置、断層長さ、走向、傾斜方向を設定。
- 決定論と同様に、北断層80.7km及び南断層19.9kmの矩形モデルを設定。
- 断層面上縁深さ、傾斜角、すべり角の不確かさを考慮。

[断層モデル諸元]

断層長さ	決定論より、100.6km (80.7km+19.9km) とする。
地震発生層の厚さ	決定論より、15kmとする。
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	$\log M_0 \text{ (N}\cdot\text{m)} = 1.5M_w + 9.1$, $D = M_0 / \mu LW$ により算出する。
上縁深さ	0～5kmとする。
走向	北断層 173° 南断層 199°
傾斜角	30～60°とする。
すべり角	75～105° とする。
スケーリング則1	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、 M_w が大きいとき武村 (1998) の関係 $\log L \text{ (km)} = 0.75M_w - 3.77$, $L \propto D$, $W = \text{const}$ が、 M_w が小さいとき $W = 2/3 L$, $L \propto W \propto D$ の関係が成り立ち、両者が連続的に接続するものとする。
スケーリング則2	地震本部の地震動予測手法 (「レシピ」) などで用いられる $M_0 \text{ [N}\cdot\text{m)} = (S \text{ [km}^2 \text{]} / 4.24 \times 10^{-11})^2 \times 10^{-7}$ (Wells and Coppersmith (1994) などのデータに基づく入倉・三宅 (2001) の提案式、地震モーメント $7.5 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$ 以上の地震に適用する) を適用する。



基準断層モデル図

3. 超過確率の参照

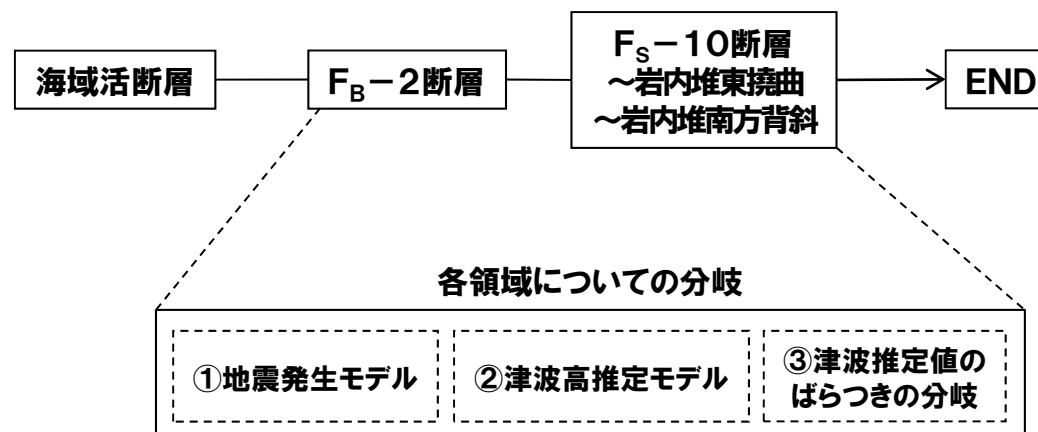
海域活断層に想定される地震に伴う津波 (4/6)

一部修正(H26/12/5審査会合)

○ F_B-2 断層及び F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜について、それぞれ評価を行い、各断層では、

- ① 地震発生モデル
 - ② 津波高推定モデル
 - ③ 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】

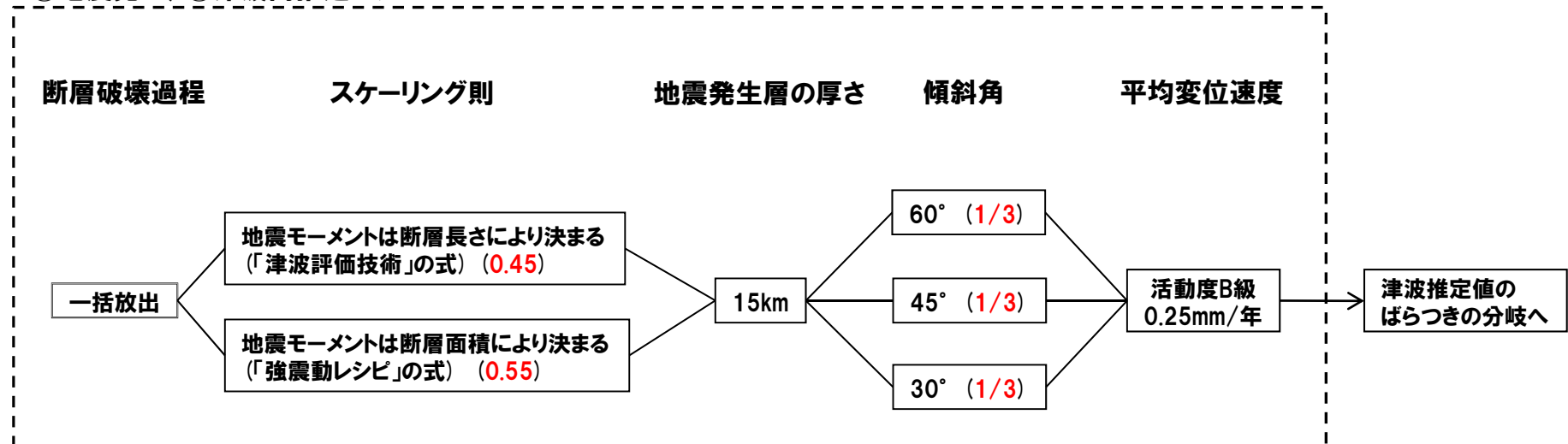


海域活断層に想定される地震に伴う津波 (5/6)

一部修正(H26/12/5審査会合)

○断層の地震発生, 津波高推定モデル

①地震発生, ②津波高推定モデル



※ ()内の赤字は重みを示す。スケーリング則の重みは、土木学会において実施した、アンケート調査結果に基づき決定した。

傾斜角の重みは、均等配分とした。

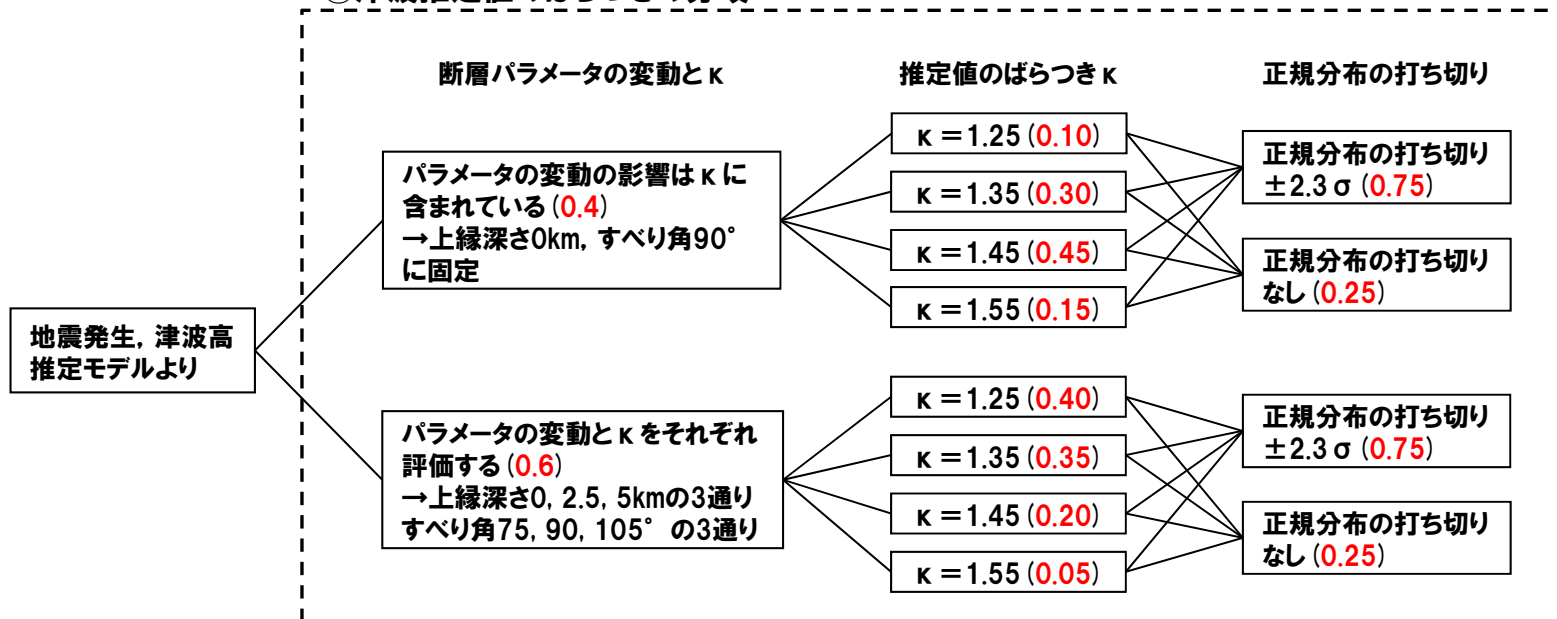
※平均変位速度は、奥村・石川(1998)による。

海域活断層に想定される地震に伴う津波 (6/6)

再掲(H26/12/5審査会合)

○津波推定値のばらつきの分岐

③津波推定値のばらつきの分岐



※ ()内の赤字は重みを示す。重みは、土木学会において実施した、アンケート調査結果に基づき決定した。

3. 超過確率の参照

評価結果

再掲(H26/12/5審査会合)

- ロジックツリーに基づき、各評価点における重み付き算術平均として、年超過確率を取りまとめた。
- なお、複数の活動域を組み合わせる際には、ランダムな組み合わせにより確率を近似するモンテカルロ法を用いた。

3. 超過確率の参照

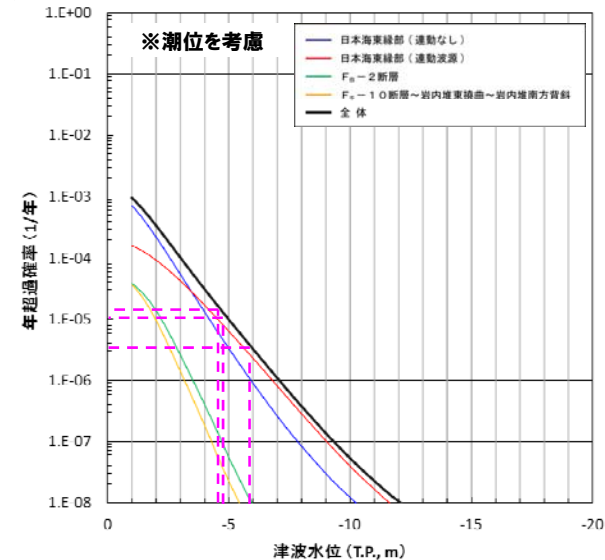
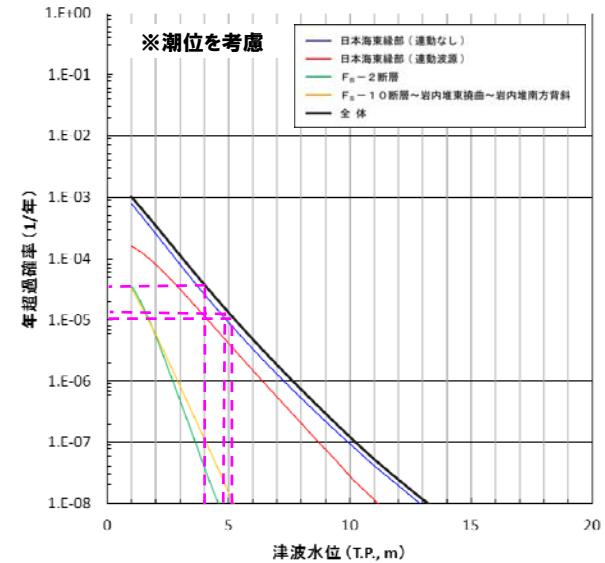
評価結果 (波源別平均ハザード曲線-基準津波策定位置)

基準津波策定位置

- 基準津波の策定位置 (水深100m, 敷地西方約5km) における津波ハザード曲線 (フラクタイル曲線) を算定した。
- 最高水位・最低水位の年超過確率はいずれも $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度であった。

評価点	最高・最低	津波水位	年超過確率
基準津波策定位置 (基準津波①)	最高水位	T.P.+5.1m	1.21×10^{-5}
	最低水位	T.P.-4.6m	1.55×10^{-5}
基準津波策定位置 (基準津波②)	最高水位	T.P.+4.0m	3.82×10^{-5}
	最低水位	T.P.-4.8m	1.23×10^{-5}
基準津波策定位置 (基準津波③)	最高水位	T.P.+4.9m	1.48×10^{-5}
	最低水位	T.P.-5.9m	3.61×10^{-6}

※津波水位は、評価地点における水位変動量に期望平均潮位を考慮し、安全側に小数点第2位を切り上げた値。



基準津波策定位置 (上図: 上昇, 下図: 下降)

3. 超過確率の参照

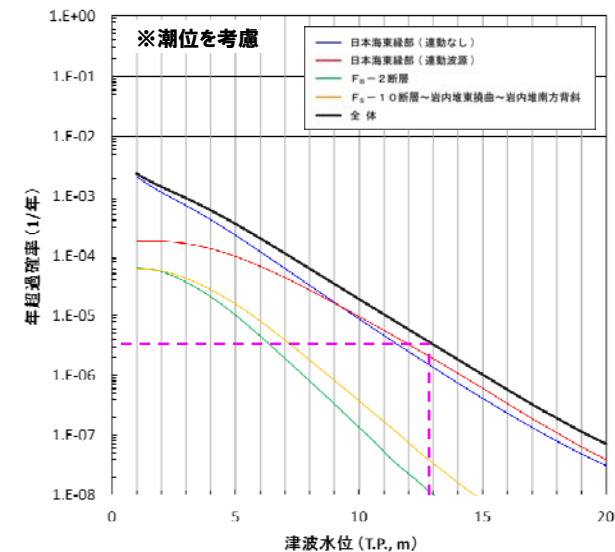
評価結果 (波源別平均ハザード曲線-敷地前面)

敷地前面

- 敷地前面における津波ハザード曲線 (フラクタイル曲線) を算定した。
- 最高水位の年超過確率は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度であった。

評価点	津波水位	年超過確率
敷地前面 (最高水位)	T.P.+12.9m	3.50×10^{-6}

※津波水位は、評価地点における水位変動量に期望平均潮位を考慮し、安全側に小数点第2位を切り上げた値。



敷地前面 (上昇)

3. 超過確率の参照

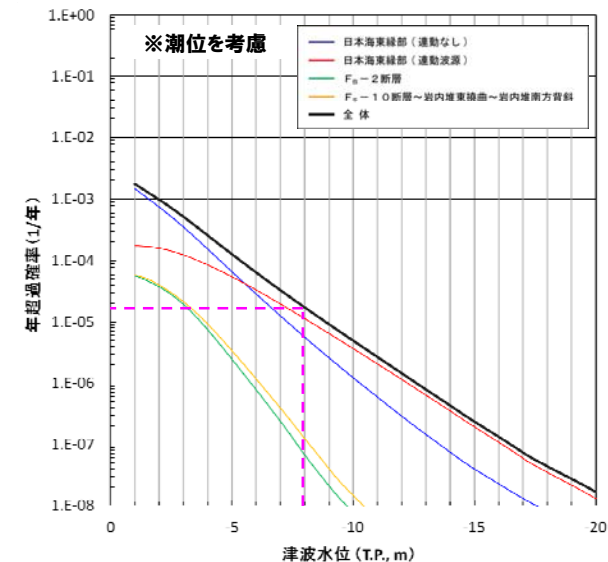
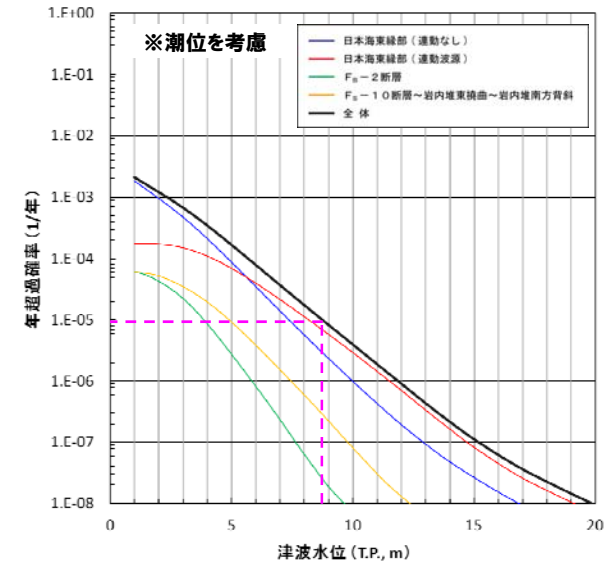
評価結果 (波源別平均ハザード曲線-3号炉取水口)

3号炉取水口

- 3号炉取水口における津波ハザード曲線 (フラクタイル曲線) を算定した。
- 最高水位・最低水位の年超過確率はいずれも $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度であった。

評価点	津波水位	年超過確率
3号炉取水口 (最高水位)	T.P.+8.8m	9.75×10^{-6}
3号炉取水口 (最低水位)	T.P.-8.0m	1.72×10^{-5}

※津波水位は、評価地点における水位変動量に期望平均潮位を考慮し、安全側に小数点第2位を切り上げた値。



3号炉取水口 (上図:上昇, 下図:下降)

3. 超過確率の参照

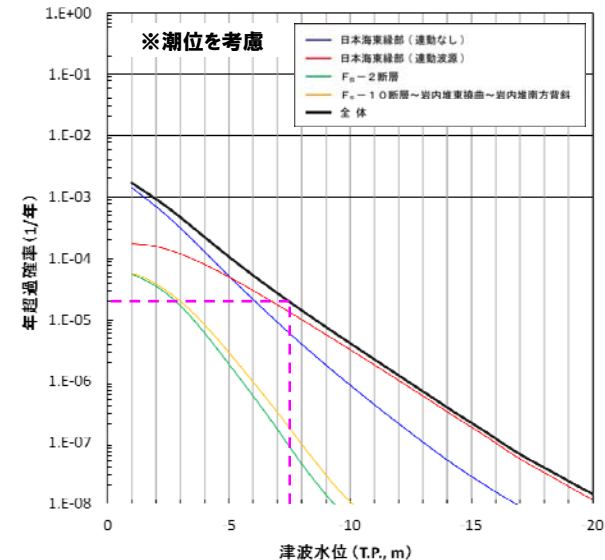
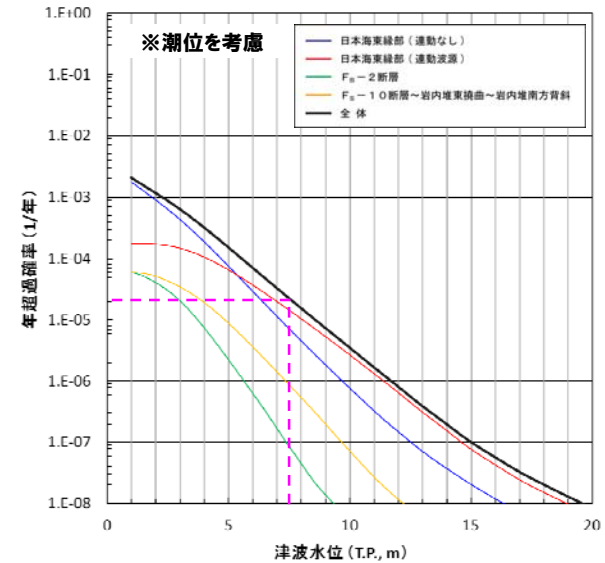
評価結果 (波源別平均ハザード曲線-1, 2号炉取水口)

1, 2号炉取水口

- 1, 2号炉取水口における津波ハザード曲線 (フラクタイル曲線) を算定した。
- 最高水位・最低水位の年超過確率はいずれも $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度であった。

評価点	津波水位	年超過確率
1, 2号炉取水口 (最高水位)	T.P.+7.5m	2.27×10^{-5}
1, 2号炉取水口 (最低水位)	T.P.-7.4m	2.11×10^{-5}

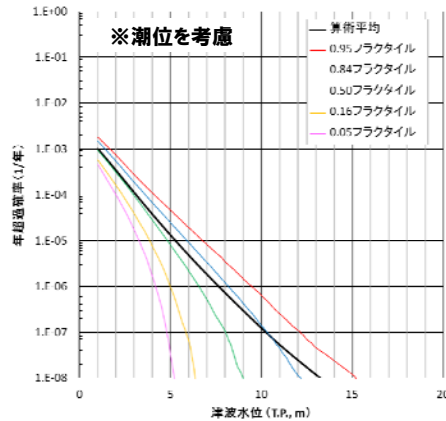
※津波水位は、評価地点における水位変動量に期望平均潮位を考慮し、安全側に小数点第2位を切り上げた値。



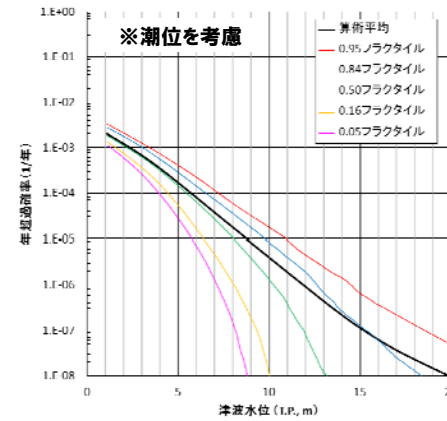
1, 2号炉取水口 (上図:上昇, 下図:下降)

3. 超過確率の参照

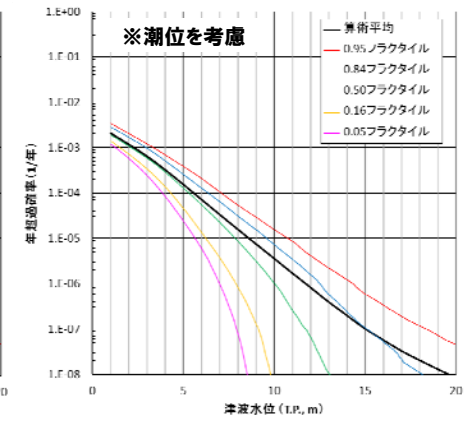
評価結果 (フラクタイル曲線)



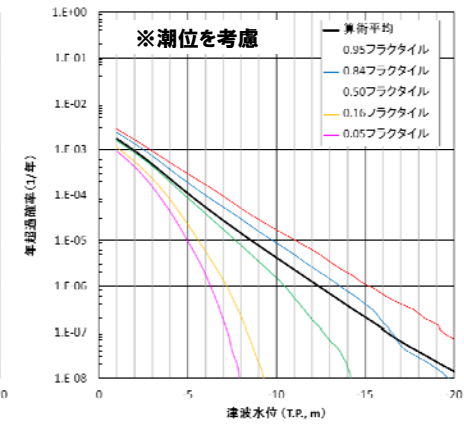
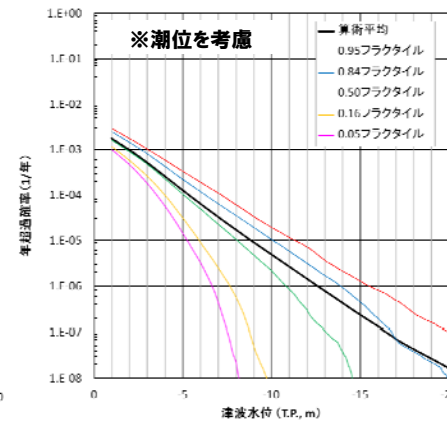
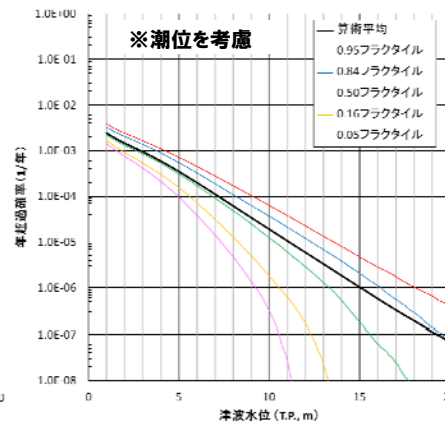
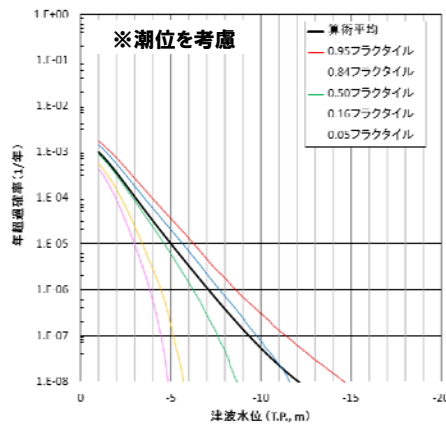
基準津波策定位置
(上図:上昇, 下図:下降)



敷地前面 (上昇)



3号炉取水口
(上図:上昇, 下図:下降)



1, 2号炉取水口
(上図:上昇, 下図:下降)

まとめ

- 確率論的津波ハザードについて、地震による津波を検討対象とし、「日本原子力学会（2012）」及び東北地方太平洋沖地震による津波から得られた知見等に基づき検討を行った。
- 検討対象とする地震は、連動を含む日本海東縁部に想定される地震、敷地周辺の海域活断層に想定される地震とした。
- 波源別寄与度を確認した結果、日本海東縁部が支配的であった。
- 評価地点における、基準津波水位に対する年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度であった。

1. 防波堤等の影響検討	3
2. 津波に対する安全性	12
2-1 取水路の水位変動について	14
2-2 砂移動評価について	26
2-2-1 砂移動評価について(平面二次元モデル)	28
2-2-2 砂移動評価について(水路内)	52
2-3 貯留堰の容量について	58
3. 超過確率の参照	68
参考資料	97
参考文献	114

2-2章関連 高橋ほか(2012)に述べられている高橋ほか(1999)の手法の課題

○高橋(2012)では、高橋ほか(1999)の手法の課題として以下が述べられている。

- ① 粒径依存性(高橋ほか, 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上限浮遊砂体積濃度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

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。

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

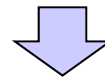
$$\beta = \begin{cases} 7.0 \times 10^{-5} & (d=0.166\text{mm}) \\ 4.4 \times 10^{-5} & (d=0.267\text{mm}) \\ 1.6 \times 10^{-5} & (d=0.394\text{mm}) \end{cases} \quad (9)$$

・現行モデルでは、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、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、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。

・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。



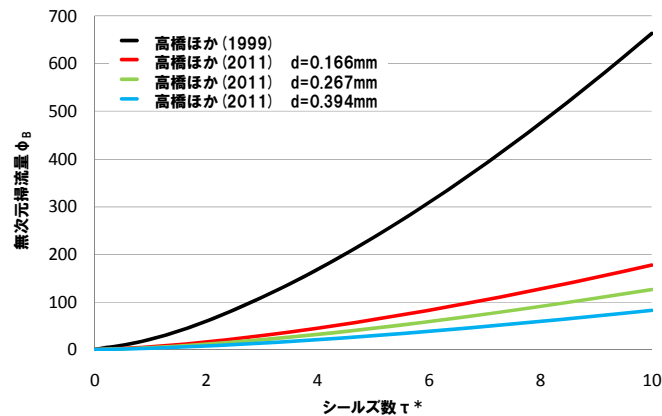
○②, ③では巻き上げ砂が過大に見積もられる危険性があると述べられており、便宜的に導入している上限浮遊砂体積濃度については、適切に設定する必要があると考えられる。

2-2章関連 数値シミュレーション手法の比較について(高橋ほか, 2011)

一部修正(H26/12/5審査会合)

- 高橋ほか(2011)では、津波による土砂移動モデルの高度化を目的として掃流砂量及び巻き上げ量の粒径依存性に関する水理実験を実施し、掃流砂量式及び巻き上げ砂量式を求めている。
- また、高橋ほか(1999)での水理実験内容に一部問題があったとされている。
- 高橋ほか(2011)と高橋ほか(1999)では、シールズ数が大きいほど、掃流砂量及び巻き上げ量の乖離が大きくなる。
- なお、高橋ほか(2011)がシールズ数が概ね1~5程度の実験結果であるのに対し、高橋ほか(1999)はシールズ数が概ね1以下の実験結果である。

[堆積量]



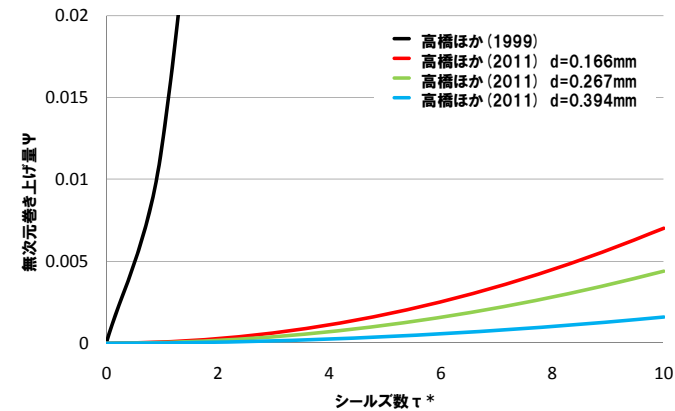
$$\text{高橋ほか(1999)} \quad \Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 21\tau_*^{3/2}$$

$$\text{高橋ほか(2011)} \quad d=0.166\text{mm} \quad \Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 5.6\tau_*^{3/2}$$

$$\text{高橋ほか(2011)} \quad d=0.267\text{mm} \quad \Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 4.0\tau_*^{3/2}$$

$$\text{高橋ほか(2011)} \quad d=0.394\text{mm} \quad \Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 2.6\tau_*^{3/2}$$

[侵食量]



$$\text{高橋ほか(1999)} \quad \Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 0.012\tau_*^2$$

$$\text{高橋ほか(2011)} \quad d=0.166\text{mm} \quad \Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 7.0 \times 10^{-5} \tau_*^2$$

$$\text{高橋ほか(2011)} \quad d=0.267\text{mm} \quad \Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 4.4 \times 10^{-5} \tau_*^2$$

$$\text{高橋ほか(2011)} \quad d=0.394\text{mm} \quad \Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 1.6 \times 10^{-5} \tau_*^2$$

2-2章関連 高橋ほか(1999)の適用事例

- 玉田ほか(2009)によれば、格子サイズが5mメッシュでは上限浮遊砂体積濃度5%で実績値よりも侵食深を過大に評価する傾向があったとされており、詳細な格子サイズとする(当社の場合:5m)場合には、上限浮遊砂体積濃度5%は過大評価になると考えられる。
- 近藤ほか(2012)によれば、上限浮遊砂体積濃度1%でシミュレーションを実施し、土砂移動の全体的な傾向に加えて、防波堤堤頭部の最大洗掘深や断面地形等、定量的にも概ね良い一致を示すとされており、上限浮遊砂体積濃度1%が妥当であると考えられる。
- 藤田ほか(2010)によれば、上限浮遊砂体積濃度5%は過大評価であるが、1~2%であれば、再現性が良いとされていることから、上限浮遊砂体積濃度1%が妥当であると考えられる。

文献	実規模検証	計算使用砂粒径	計算格子間隔	上限浮遊砂体積濃度	上限浮遊砂体積濃度に関する記載
高橋ほか(1999)	気仙沼湾(チリ津波)	0.2mm※1	25m※2	—※3	—※3
玉田ほか(2009)	気仙沼湾(チリ津波)	0.001mm~1mm	25m, 5m	・1%	・詳細格子計算の結果、上限浮遊砂体積濃度5%では実績値より侵食深を過大評価。
近藤ほか(2012)	宮古港(東北地震津波)	0.08mm	10m	・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。
藤田ほか(2010)	八戸港(チリ津波)	0.26mm	10.3m	・1% ・2% ・5%	・上限浮遊砂体積濃度5%は過大評価。 ・上限浮遊砂体積濃度1~2%の場合の再現性が良好。

※1 文献中には記載が無いが、玉田ほか(2009)に記載。

※2 文献中には記載が無いが、高橋(1998)に記載。

※3 文献中に記載がない。

2-2章関連 藤田ほか(2010)における検討(1/3)

一部修正(H26/12/5審査会合)

○藤田ほか(2010)では、高橋ほか(1999)の手法により1960年チリ津波時の八戸港における地形変化事例に対する再現計算を実施し、主に上限浮遊砂体積濃度の設定値の妥当性評価の観点から現地適用性の検証が行われている。

[水深モデル化]

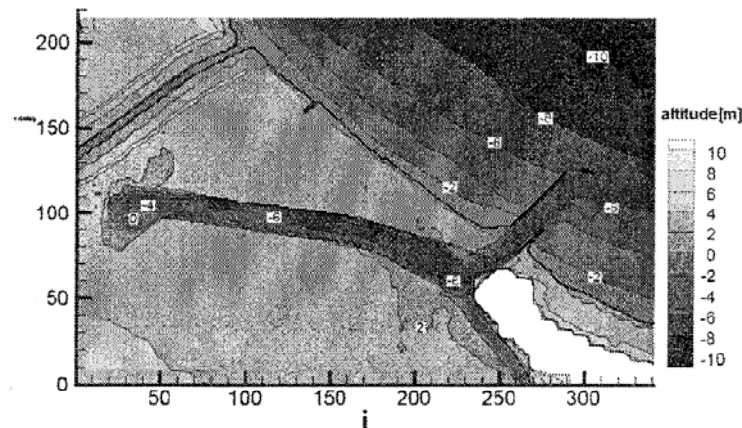


図-9 八戸港周辺の標高のモデル化

[水位波形]

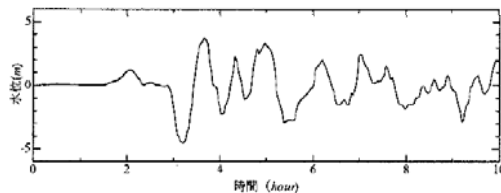


図-10 沖側境界条件に用いた水位時間波形

[計算条件]

表-4 実地形適用計算の計算条件

項目	条件
計算格子間隔	10.3m
計算時間間隔	0.45秒
流体の基礎方程式	非線形長波
計算時間	10時間
陸側境界条件	遡上考慮
沖側境界条件	図-10の時間波形を入力 潮位はT.P.+0.0とする
粒径	0.26mm
砂の密度	2675kg/m ³
空隙率	0.4
沈降速度	0.035m/s
浮遊砂上限濃度	1%, 2%, 5%
粗度係数	0.03
水平渦動粘性係数	10m ² /s

2-2章関連 藤田ほか(2010)における検討 (2/3)

一部修正(H26/12/5審査会合)

- 藤田ほか(2010)では、数値計算による海底地形変化量の検証を行うため、津波来襲前後の深淺測量図から、海底地形変化量の観測データが作成されている。
- 港口で侵食、分岐地点で少量堆積、港奥部で堆積という計測による海底地形変化量の傾向を良く再現できているとされている。

[地形変化量(観測データ)]

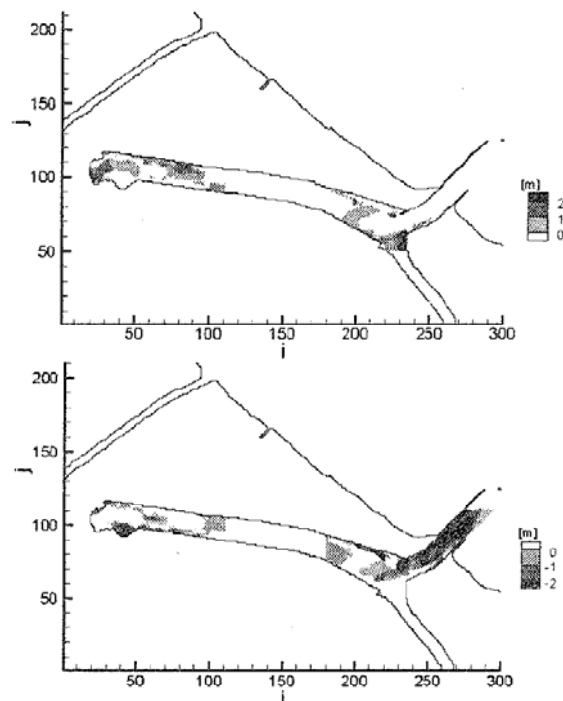


図-11 測量データから作成した地形変化量観測値
上図：堆積深，下図：侵食深

[高橋ほか(1999)の計算結果 地形変化量]

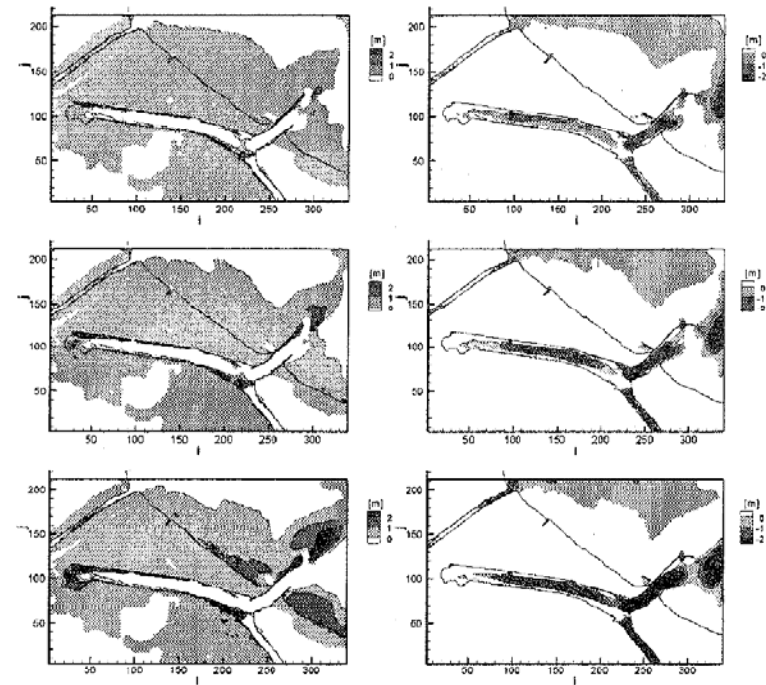


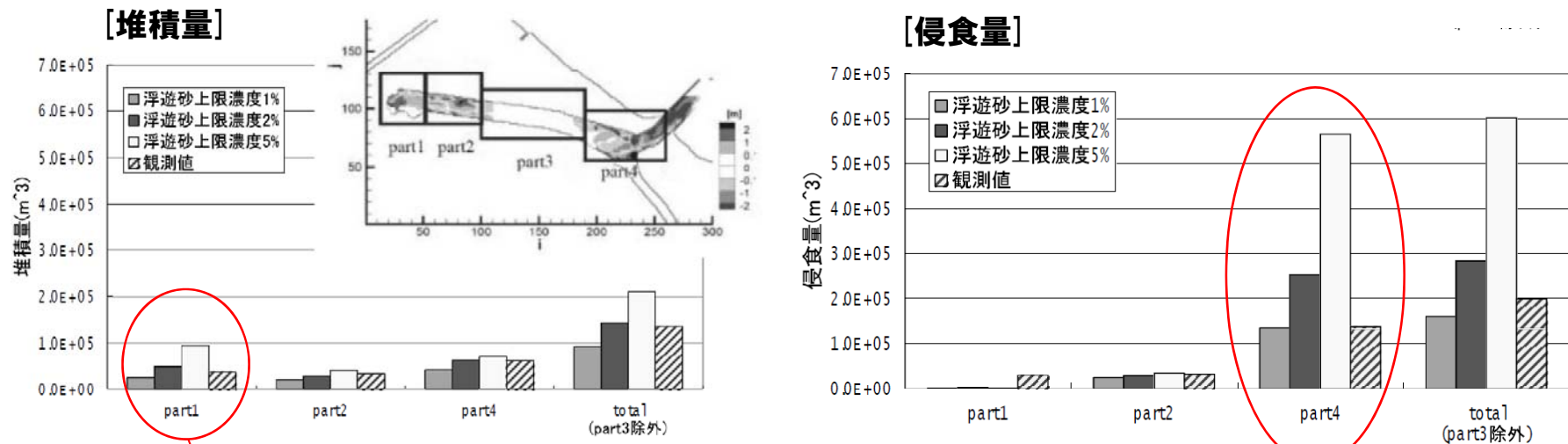
図-12 最終地形変化量分布の比較(高橋ら(1999))
上から $C_{max}=1\%, 2\%, 5\%$, 左図：堆積深, 右図：侵食深

藤田ほか(2010)より

2-2章関連 藤田ほか(2010)における検討 (3/3)

一部修正(H26/12/5審査会合)

- 藤田ほか(2010)では、上限浮遊砂体積濃度を1, 2, 5%に変化させたパラメータスタディを実施し、侵食・堆積量に関して定量的な評価が行われている。
- その結果、上限浮遊砂体積濃度が5%の時は、港口の分岐点周辺(part4)における侵食量と港奥(part1)の堆積量が過大に評価されること、上限浮遊砂体積濃度が1~2%の場合、再現性が良好であることが確認されている。
- 以上のことから、上限浮遊砂体積濃度は、基本的に1~2%程度と設定すれば良いとされている。



領域ごとの堆積量・侵食量 (左図:堆積量, 右図:侵食量)

5%は過大評価

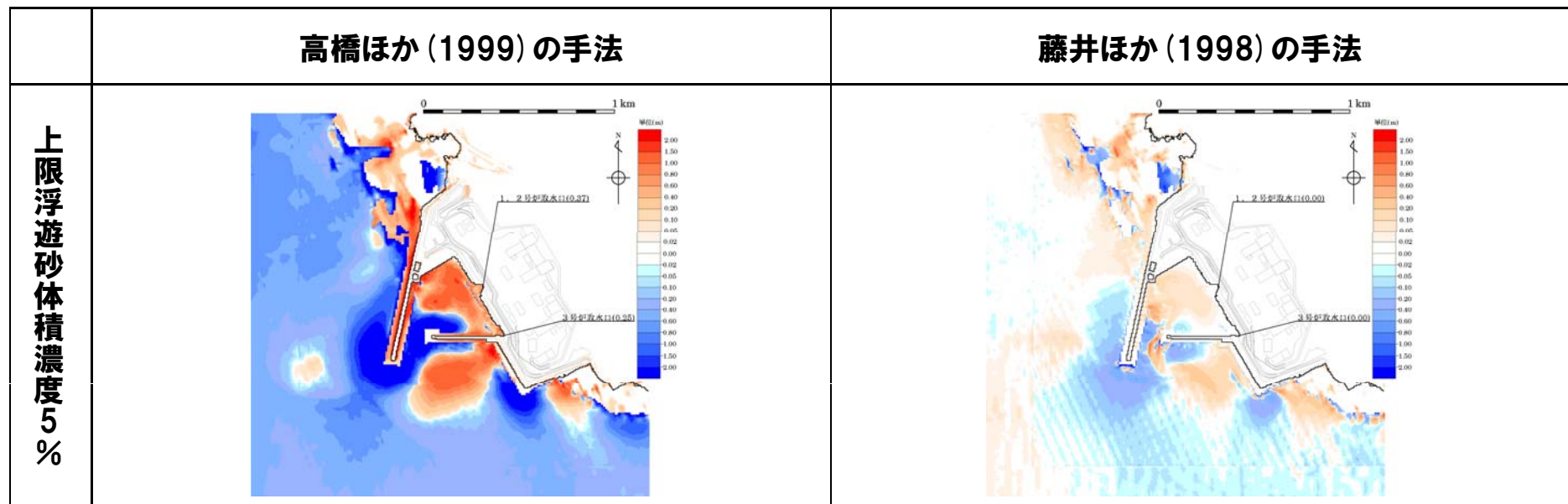
5%は過大評価

藤田ほか(2010)に一部加筆

2-2章関連 数値シミュレーション手法の比較（(高橋ほか, 1999)の分析）

一部修正(H26/12/5審査会合)

- 高橋ほか(1999)の手法による数値シミュレーション結果は、藤井ほか(1998)の手法による結果と比較して、港口周辺の侵食及び港内の堆積が大きくなっている。
- これは、藤田ほか(2010)にも示されているとおり、上限浮遊砂体積濃度を5%としたことで、侵食量及び堆積量が過大に評価されたためと考えられる。
- よって、上限浮遊砂体積濃度は、藤田ほか(2010)で再現性が良好とされている1~2%が妥当と考えられる。



基準津波③による地形変化量

3章関連 ロジックツリーの重みのアンケート結果 土木学会(2011)

再掲(H26/12/5審査会合)

- 確率論的津波ハザード評価に用いたロジックツリーの重みは、土木学会原子力土木委員会津波評価部会において、当部会委員及び幹事、外部専門家を対象に実施したアンケート結果により設定した。
- アンケート調査は、平成16年度、平成20年度に実施されているが、確率論的津波ハザード評価の重みは平成20年度に実施されたアンケート調査結果に基づき設定した。
- アンケート調査の概要は以下のとおり。
 - ・配布先
土木学会原子力委員会津波評価部会 委員及び幹事 34名
外部専門家 5名
 - ・回収数
39名中34名(回収率87%)、各設問について10~28名が回答
- 土木学会による重みの設定手続きは以下のとおり。
 - ①選択肢ごとに重みを合計する。
地震学者の重みを4倍とした。ただし、「津波推定値のばらつき」に関連する重みについては単純平均とした。
 - ②ドント方式により0.05刻みで重みを配分する。
選択肢ごとに得票数(重みの合計)を1, 2, 3...の順に自然数で割っていき、割った数の大きい方から20位までに議席(0.05の重み)を割り振った。この方法により、切り上げ、切り捨ての判断を不要とした。

3章関連 ロジックツリーの重みのアンケート結果抜粋 (1/7)

再掲(H26/12/5審査会合)

3. 日本海東縁部海域の大地震

日本海東縁部海域については、地震の発生履歴や地質学的知見、推本による活動域区分等をもとに、図のような活動域区分を行っています。

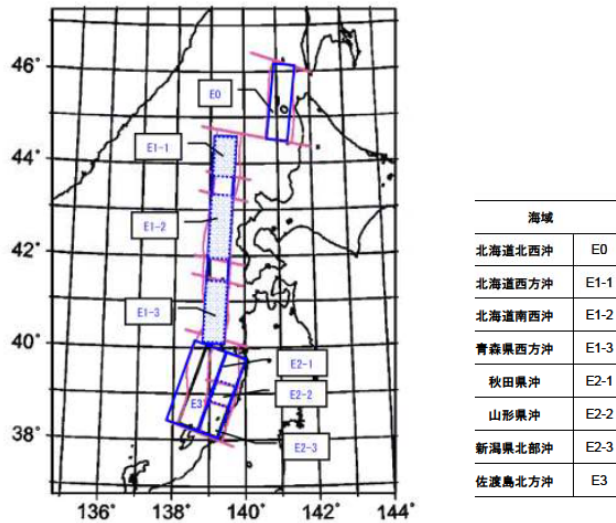


図 23 日本海東縁部海域の大地震活動域区分

「津波評価技術」では、以下のモデルを日本海東縁部の基準断層モデルとしています。

表 13 日本海東縁部の基準断層モデル

モデル	長さ (km)	幅 (km)	すべり 量 (m)	上端深 さ (km)	走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり 角 (°)	剛性率 × 10 ¹⁰ N/m ²	M ₀ ×10 ²⁰ N・m	M _w	スケーリ ング則
高角	120	17	8.7	0	歪集中帯 に平行	60	90	3.5	6.3	7.8	幅に限界 あり
低角		30	5.0	30							

3-1 北海道北西沖海域(E0)についてお聞きします。

この海域では、過去に大地震の明確な記録は残っていません。

海域	発生年	津波モデルの Mw	既往最大 Mw (=Mmax)	「推本」による地震 規模 (信頼度)
北海道北西沖(E0)	なし	—	—	M7.8程度 (D)

既往地震がない海域では、既往最大 Mw である Mmax が決められないため、パターン a (Mmax+0.2) , b (Mmax+0.1~Mmax+0.1) の2つのマグニチュード分布を想定し、この中心となるマグニチュードを仮に Mmax と呼ぶことにします。

Q.3-1 北海道北西沖海域(E0)のマグニチュード分布についてお答えください。

この海域で(超長期にわたる)将来発生する地震のマグニチュード(Mw)の出現範囲を想定します。現在の知見からみて次のいずれがより適切か、重みでお答えください。

パターン	中心 Mw (=Mmax)	Mw の幅	Mw の範囲 (Mmax=8.4) 下段: すべり量(m)								重み【ご記入ください】
			7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	
a-1.	7.8	0.5									0.45[0.45]
b-1.		0.3									0.10[0.10]
a-2.	7.7	0.5									0.25[0.15]
b-2.		0.3									0.05[0.05]
a-3.	7.6	0.5									0.15[0.10]
b-3.		0.3									0.00[0.00]
a-4.	7.5	0.5									0.00[0.10]
b-4.		0.3									0.00[0.05]

特記事項【できるだけご記入ください】

重みの合計
1.0

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

3章関連 ロジックツリーの重みのアンケート結果抜粋 (2/7)

再掲(H26/12/5審査会合)

3-2 北海道西方沖～青森県西方沖海域(E1)についてお聞きします。

この海域では、過去に以下の地震が発生しています。

海域	発生年	津波モデルの Mw	既往最大 Mw (=Mmax)	「推本」による地震規模 (信頼度)
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)

Q.3-2-1 E1の活動域区分についてお答えください。

E1 領域内で(超長期にわたる)将来に発生する大地震を想定するにあたり、現在の知見からみて次のいずれが適切か、重みでお答えください。

分岐	考え方	重み【ご記入ください】
①	E1 (E1-1 北端～E1-3 南端) は一体の活動域で、活動域内のどこでも大地震が発生する	0.35[0.30]
②	E1 は E1-1,E1-2,E1-3 というそれぞれ独立の活動域に分割され、別々の活動域をまたがる破壊は生じない	0.65[0.70]
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

Q.3-2-2 E1の地震規模についてお答えください。

Q.3-2-1の分岐①を前提としたとき、この海域全体で(超長期にわたる)将来発生する地震のマグニチュード(Mw)の出現範囲を想定します。現在の知見からみて次のいずれが適切か、重みでお答えください。なお、Mmaxは7.8とします。

パターン	既往最大との関係	Mwの幅	Mwの範囲 (Mmax=7.8) 下段：すべり量(m)								重み【ご記入ください】
			7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0		
a.	既往最大を上回る地震が発生する	0.5									0.45[0.40]
b.	既往最大を上回る地震が発生する	0.3									0.20[0.20]
c.		0.5									0.20[0.25]
d.	既往最大を上回る地震は発生しない	0.3									0.10[0.10]
e.	既往最大を上回る地震は発生しない	0.5									0.05[0.05]
特記事項【できるだけご記入ください】										重みの合計 1.0	

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

Q.3-2-3 E1-1の地震規模についてお答えください。

Q.3-2-1の分岐②を前提としたとき、この海域で(超長期にわたる)将来発生する地震のマグニチュード(Mw)の出現範囲を想定します。現在の知見からみて次のいずれが適切か、重みでお答えください。

パターン	既往最大との関係	Mwの幅	Mwの範囲 (Mmax=7.7) 下段：すべり量(m)							重み【ご記入ください】
			7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	
a.	既往最大を上回る地震が発生する	0.5								0.35[0.25]
b.		0.3								0.20[0.30]
c.	既往最大を上回る地震は発生しない	0.5								0.25[0.20]
d.		0.3								0.15[0.15]
e.	既往最大を上回る地震は発生しない	0.5								0.05[0.10]
特記事項【できるだけご記入ください】									重みの合計 1.0	

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

Q.3-2-4 E1-2の地震規模についてお答えください。

Q.3-2-1の分岐②を前提としたとき、この海域で(超長期にわたる)将来発生する地震のマグニチュード(Mw)の出現範囲を想定します。現在の知見からみて次のいずれが適切か、重みでお答えください。

パターン	既往最大との関係	Mwの幅	Mwの範囲 (Mmax=7.8) 下段：すべり量(m)								重み【ご記入ください】
			7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0		
a.	既往最大を上回る地震が発生する	0.5									0.35[0.25]
b.	既往最大を上回る地震が発生する	0.3									0.25[0.30]
c.		0.5									0.25[0.20]
d.	既往最大を上回る地震は発生しない	0.3									0.10[0.15]
e.	既往最大を上回る地震は発生しない	0.5									0.05[0.10]
特記事項【できるだけご記入ください】										重みの合計 1.0	

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

3章関連 ロジックツリーの重みのアンケート結果抜粋(3/7)

再掲(H26/12/5審査会合)

Q.3-2-5 E1-3の地震規模についてお答えください。

Q.3-2-1の分岐②を前提としたとき、この海域で(超長期にわたる)将来発生する地震のマグニチュード(Mw)の出現範囲を想定します。現在の知見からみて次のいずれが適切か、重みでお答えください。

パターン	既往最大との関係	Mwの幅	Mwの範囲 (Mmax=7.7) 下段:すべり量(m)							重み【ご記入ください】
			7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	
			3.7	4.3	5.2	6.1	7.3	8.7	10.3	
a.	既往最大を上回る地震が発生する	0.5								0.40[0.30]
b.		0.3								0.25[0.30]
c.		0.5								0.20[0.20]
d.	既往最大を上回る地震は発生しない	0.3								0.10[0.10]
e.		0.5								0.05[0.10]
特記事項【できるだけご記入ください】									重みの合計 1.0	

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

3章関連 ロジックツリーの重みのアンケート結果抜粋 (4/7)

3-5 日本海東縁部の想定津波に適用する断層モデルのスケーリング則についてお聞きします。

「津波評価技術」では、日本海東縁部の基準断層パラメータ設定方法は以下のとおりとしています。

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	$\log M_0(N \cdot m) = 1.5Mw + 9.1$, $D = M_0 / \mu LW$ 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。
スケーリング則	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 $\log L(km) = 0.75Mw - 3.77$, $L \propto D, W = const.$ が、 Mw が小さいとき $W = \frac{2}{3}L, L \propto W \propto D$ の関係が成り立ち、両者が連続的に接続するものとする。

上述の方法では、地震モーメントは断層長さにより決まり、結果的に面積が小さくなる高角の断層の方が大きなすべり量を持ちます。一方、推本の地震動予測手法(「レシビ」)などでは、

$$M_0[N \cdot m] = (S[km^2] / 4.24 \times 10^{-11})^2 \times 10^{-7}$$

(Wells and Coppersmith(1994)などのデータに基づく入倉・三宅(2001)の提案式、地震モーメント $7.5 \times 10^{10}N \cdot m$ 以上の地震に適用する)

を適用する場合があります。これは、余震域や地殻変動データなどの種々の方法で決められた内陸地震の断層面積と地震モーメントの関係で、この関係では、地震モーメントに断層面積が対応します。この関係では、すべり量は傾斜角に依存しません。

Q3-5 日本海東縁部の想定津波に適用する断層モデルのスケーリング則についてお答えください。

現在の知見からみて、いずれの考え方が適切か、重みでお答えください。

分岐	考え方	重み【ご記入ください】
①	地震モーメントは断層長さにより決まる(「津波評価技術」の式)	0.45
②	地震モーメントは断層面積により決まる(「強震動レシビ」の式)	0.55
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

補足

モーメントマグニチュードから①の式により断層長さを求め、②の式により断層面積を求めると、両者の比(断層面積/断層長さ)はほぼ28kmとなる。

したがって、断層幅が28kmより小さい場合には、②の式による断層長さは①の式による断層長さより大きくなり、断層幅が28kmより大きい場合には、②の式による断層長さは①の式による断層長さより小さくなる。すべり量の関係は、幅が同じなので、断層長さの関係と逆になる。

日本海東縁部で用いられる、傾斜角60°、地震発生層の厚さ15kmの場合の断層幅は約17kmなので、②の式によるすべり量の方が①の式によるすべり量よりも小さくなる。傾斜角30°、地震発生層の厚さ15kmの場合の断層幅は30kmなので、②の式によるすべり量の方が①の式によるすべり量よりもわずかに大きくなる(図24参照)。

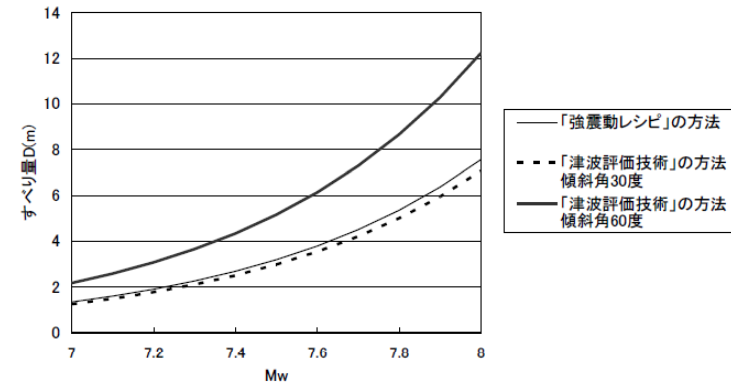


図24 スケーリング則によるすべり量の違い(日本海東縁部)

(注) 地震発生層厚さ15km, 剛性率 $3.5 \times 10^{10}(N/m^2)$ で計算している

3章関連 ロジックツリーの重みのアンケート結果抜粋 (5/7)

4-2 海域活断層の運動時のスケーリング則についてお聞きします

Q.4-1-2 が①のときは、活動セグメントの長さとするべき量を関係づける経験式(栗田,1999)を適用することができます。②の場合について、以下の設問にお答えください。

Q.4-2 Q.4-1-2 が②のとき海域活断層に想定する津波に適用する断層モデルのスケーリング則についてお答えください。

現在の知見からみて、いずれの考え方が適切か、重みでお答えください。

分岐	考え方	重み【ご記入ください】
①	地震モーメントは断層長さにより決まる(「津波評価技術」の式)	0.45
②	地震モーメントは断層面積により決まる(「強震動レシビ」の式)	0.55
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

補足

「津波評価技術」では、海域活断層の活動区間長と地震モーメントは、3-5 に示した日本海東縁部と同様の武村(1998)に基づくスケーリング則で関係づけられている。②は推本で用いられる「強震動レシビ」の式を指している。したがって、本設問の意図は Q3-5 と同様である。ただし、「強震動レシビ」では、地震モーメント $7.5 \times 10^{15} \text{N} \cdot \text{m}$ (Mw6.5 相当) を境に、以下の2式を使い分けている。

- 震源断層の面積が大きい地震
Wells and Coppersmith(1994)などのデータに基づく入倉・三宅(2001)の提案式

$$M_0[N \cdot m] = (S[km^2]/4.24 \times 10^{-11})^2 \times 10^{-7}$$

- 震源断層の面積が小さい地震
過去の大地震の強震記録を用いた震源インバージョン結果をもとにして Somerville et al. (1999) が回帰した式

$$M_0[N \cdot m] = (S[km^2]/2.23 \times 10^{-15})^{1.5} \times 10^{-7}$$

海域活断層では傾斜角は一般に高角であるため、②の式によるすべり量の方が①の式によるすべり量よりも小さくなる(図 25 参照)。「津波評価技術」では、傾斜角不明な活断層については、傾斜角 45~90° の範囲で評価することを基本としている。

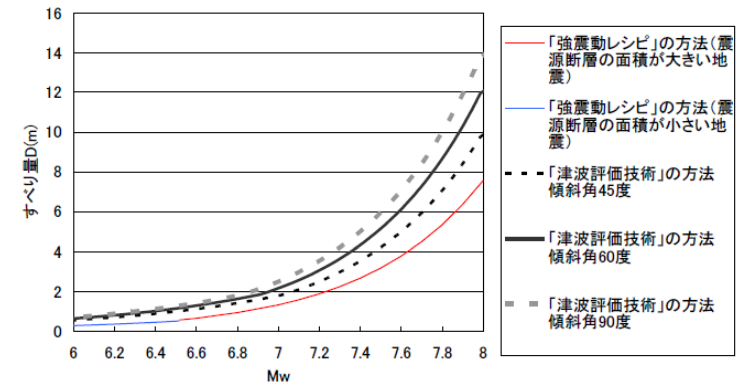


図 25 スケーリング則によるすべり量の違い(海域活断層)

(注) 地震発生層厚さ 15km, 剛性率 $3.5 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ で計算している

3章関連 ロジックツリーの重みのアンケート結果抜粋(6/7)

再掲(H26/12/5審査会合)

8. 津波推定値のばらつき

津波の数値シミュレーションを実施して得られた水位には、誤差が含まれていると考えられます。既往津波の痕跡高と計算値のばらつきを表す指標 κ は、数値シミュレーションの結果、以下のように求められました。

一様すべりモデルの場合

海域	地震津波	κ	比較した痕跡点数
日本海溝沿い	1933年昭和三陸	1.40	572
	1896年明治三陸	1.45	257
	1968年十勝沖	1.41	273
南海トラフ	1946年南海	1.60	159
	1944年東南海	1.58	43
	1854年安政東海	1.47	89
	1854年安政南海	1.42	60
	1707年宝永	1.35	61
日本海東縁部	1993北海道南西沖	1.47	216
	1983日本海中部	1.48	209
南米沖	1960チリ	1.37	764

(11津波の中央値: 1.453、中央値 \pm 標準偏差: 1.380 ~ 1.529)

不均質モデルの場合

海域	地震津波	κ	比較した痕跡点数
日本海溝沿い	1896年明治三陸	1.38	143
	1611年慶長三陸	1.37	17
	1968年十勝沖	1.38	264
	1856年安政三陸	1.45	71
南海トラフ	1946年南海	1.42	96
	1944年東南海	1.44	64
	1854年安政東海	1.48	85
	1854年安政南海	1.32	42
	1707年宝永	1.37	49

これをもとに津波推定値のばらつきに関する分岐を設定します。さらに、計算値と真の値の比が対数正規分布に従うとしたとき、非常に確率の小さい事象が現実(に)生じるかどうかの判断を加え、以下のような分岐を設定します。

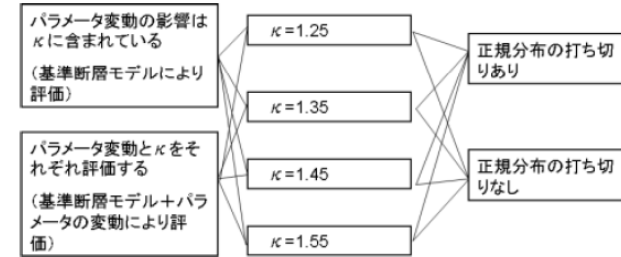


図 29 津波推定値のばらつきの分岐案

Q.8-1-1 方法の選択についてお答えください。

津波高さ分布の推定方法として、現在の知見からみて下記の2つの方法のいずれが適切か、重みでお答えください。ただし、本設問は、一様すべりモデルを前提とします。

分岐	考え方	重み【ご記入ください】
① 方法1	パラメータ変動の影響は κ に含まれている	0.40[0.4]
② 方法2	パラメータ変動と κ をそれぞれ評価する	0.60[0.6]
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

(補足)

特定の場所で特定の規模の地震(津波)が発生した場合に対象地点における津波高さの確率分布をどのように評価するかという問題に関する質問です。

「方法1」は、「原子力発電所の津波評価技術」に基づき設定した基準断層モデル(1つのモデル)による数値計算値を中央値として、その確率分布を、 κ をばらつきとした対数正規分布で評価する方法です。

「方法2」は、実際に発生する断層モデルは基準断層モデルを中心(に)ばらつくとして、①断層モデルパラメータの変動を考慮して複数のモデル(発生確率付)を設定し、②各モデルによる津波の確率分布を、数値計算値を中央値、 κ をばらつきとした対数正規分布で評価し、③最後に全体の確率分布を、各モデルの発生確率を重みとした確率分布の重み付き平均で評価する方法です。断層モデルパラメータの変動は、「原子力発電所の津波評価技術」の確定論的評価で考慮した変動を「1標準偏差」程度として設定します。

3章関連 ロジックツリーの重みのアンケート結果抜粋(7/7)

再掲(H26/12/5審査会合)

Q.8-1-2 方法1を前提とした場合の津波推定値のばらつきについてお答えください。

方法1を用いる場合、津波シミュレーションで得られた水位に含まれるばらつきを推定するにあたり、現在の知見からみて次のいずれが適切か、重みでお答えください。ただし、本設問は、一様すべりモデルを前提とします。

分岐	考え方	重み【ご記入ください】
①	$\kappa=1.25$ に相当する誤差を含む	0.10[0.10]
②	$\kappa=1.35$ に相当する誤差を含む	0.30[0.35]
③	$\kappa=1.45$ に相当する誤差を含む	0.45[0.40]
④	$\kappa=1.55$ に相当する誤差を含む	0.15[0.15]
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

Q.8-2 正規分布の打ち切りについてお答えください。

津波シミュレーションで得られた水位に含まれるばらつきが対数正規分布に従うとしたとき、現在の知見からみて次のいずれが適切か、重みでお答えください。

分岐	考え方	重み【ご記入ください】
①	$\pm 2.3\sigma$ で打ち切り(正規分布の両端1%は現実には起こらない)	0.75[0.75]
②	打ち切りは不要(非常に大きなばらつきも現実には起き得る)	0.25[0.25]
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

Q.8.1-3 方法2を前提とした場合の津波推定値のばらつきについてお答えください。

方法2を用いる場合、津波シミュレーションで得られた水位に含まれるばらつきを推定するにあたり、現在の知見からみて次のいずれが適切か、重みでお答えください。ただし、本設問は、一様すべりモデルを前提とします。

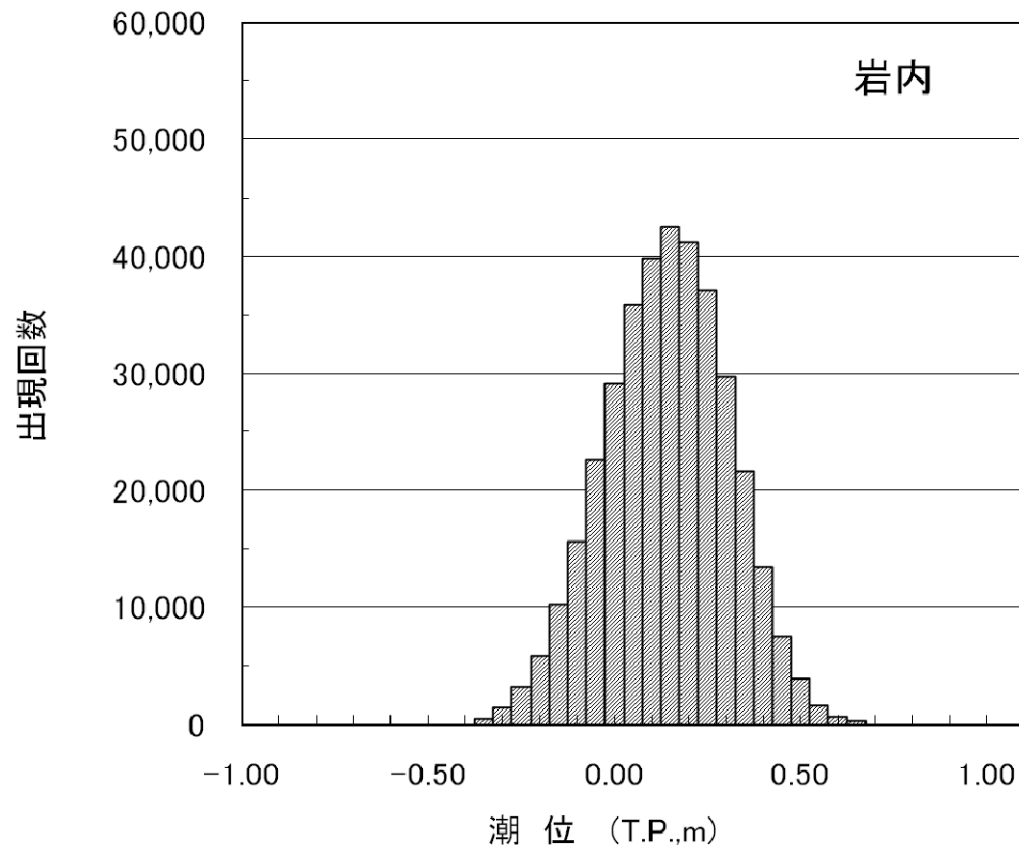
分岐	考え方	重み【ご記入ください】
①	$\kappa=1.25$ に相当する誤差を含む	0.40[0.40]
②	$\kappa=1.35$ に相当する誤差を含む	0.35[0.35]
③	$\kappa=1.45$ に相当する誤差を含む	0.20[0.20]
④	$\kappa=1.55$ に相当する誤差を含む	0.05[0.05]
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

3章関連 津波ハザード評価における潮位の考慮について

再掲(H26/12/5審査会合)

- 潮位分布は、土木学会(2011)に基づき、津波ハザード結果に潮位の相対頻度(全体が1となる分布)の畳み込みを行うことで評価した。
- 潮位分布は、岩内港における1965年8月から2012年12月の観測記録を使用した。



1. 防波堤等の影響検討	3
2. 津波に対する安全性	12
2-1 取水路の水位変動について	14
2-2 砂移動評価について	26
2-2-1 砂移動評価について(平面二次元モデル)	28
2-2-2 砂移動評価について(水路内)	52
2-3 貯留堰の容量について	58
3. 超過確率の参照	68
参考資料	97
参考文献	114

- (1) 土木学会 (1999):水理公式集(平成11年版), p.245, pp.374-376.
- (2) 千秋信一(1967):発電水力演習, 学献社, pp.83-87.
- (3) 電力土木技術協会(1995):火力・原子力発電所土木構造物の設計(増補改訂版), p.788, pp.828-833.
- (4) 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.
- (5) 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.
- (6) 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.
- (7) 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫(1998):GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.356-360.
- (8) 土木学会(2002):「原子力発電所の津波評価技術」, 土木学会原子力土木委員会津波評価部会.
北海道に津波被害をもたらす想定地震の再検討ワーキンググループ.
- (9) 国立天文台(2011):理科年表, 平成23年(机上版), p.378.
- (10) 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.
- (11) 土木学会(2011):確率論的津波ハザード解析の方法, 土木学会原子力土木委員会津波評価部会.
- (12) 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について, 地震調査研究推進本部.
- (13) 武村雅之(1998):日本列島における地殻内地震のスケーリング則—地震断層の影響および地震被害との関連—, 地震第2輯, 第51巻, pp.211-228.
- (14) 地震調査委員会(2009):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 地震調査研究推進本部地震調査委員会.
- (15) Wells, D.L. and K.J. Coppersmith(1994):New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bulletin of the Seismological Society of America, 84, pp.974-1002.
- (16) 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110, pp.849-875.
- (17) 根本信・高瀬嗣郎・長谷部大輔・横田崇(2009):日本海におけるアスペリティを考慮した津波波源モデルの検討, 土木学会論文集, Vol.B2-65, No.1, 2009, pp.346-350.
- (18) 活断層研究会(1991):新編 日本の活断層—分布図と資料—, 東京大学出版会.
- (19) 奥村俊彦・石川裕(1998):活断層の活動度から推定される平均変位速度に関する検討, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 第I部(B), pp.554-555.
- (20) 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, 第2号, pp.149-155.

- (21) 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水理実験, 土木学会論文集 B2, Vol.67, No.2, pp.L231-L235.
- (22) 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.B2-65, No.1, pp.301-305.
- (23) 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, pp.396-400.
- (24) 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.
- (25) 高橋智幸 (1998):津波による土砂移動に関する研究, 東北大学博士論文.