

# 島根原子力発電所 2号炉 基準津波に伴う砂移動評価について

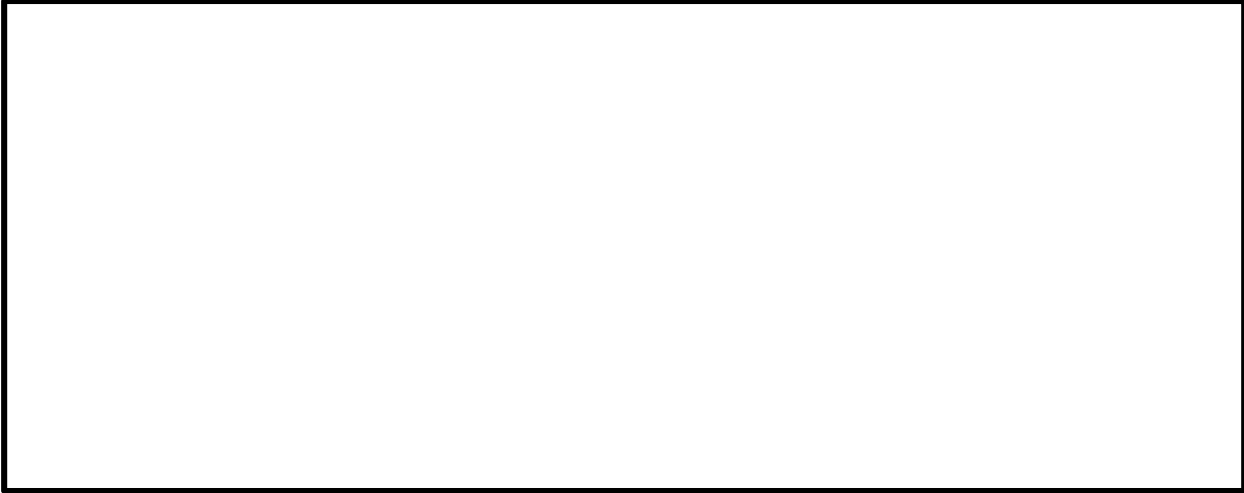
---

平成31年3月18日  
中国電力株式会社

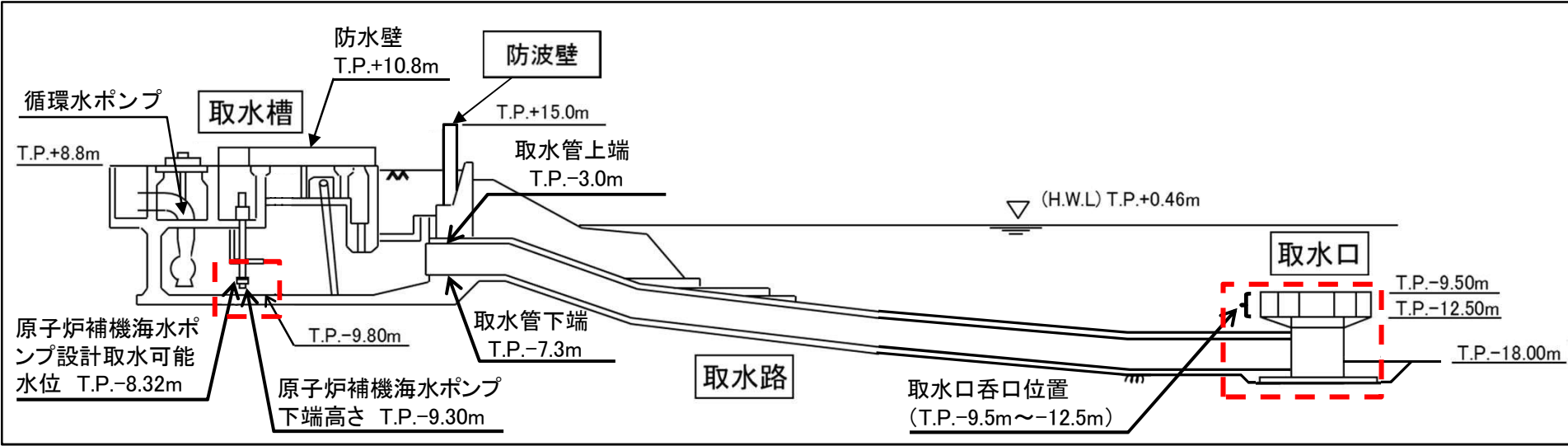
本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

# 1. 砂移動評価 評価方針

- 【取水口周辺における砂の堆積】
  - ・基準津波に伴う砂移動について評価を実施し、取水口が閉塞しないことを確認する。
- 【取水槽における砂の堆積】
  - ・取水槽における砂の堆積厚さを評価し、原子炉補機海水ポンプの取水に影響が無いことを確認する。



本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



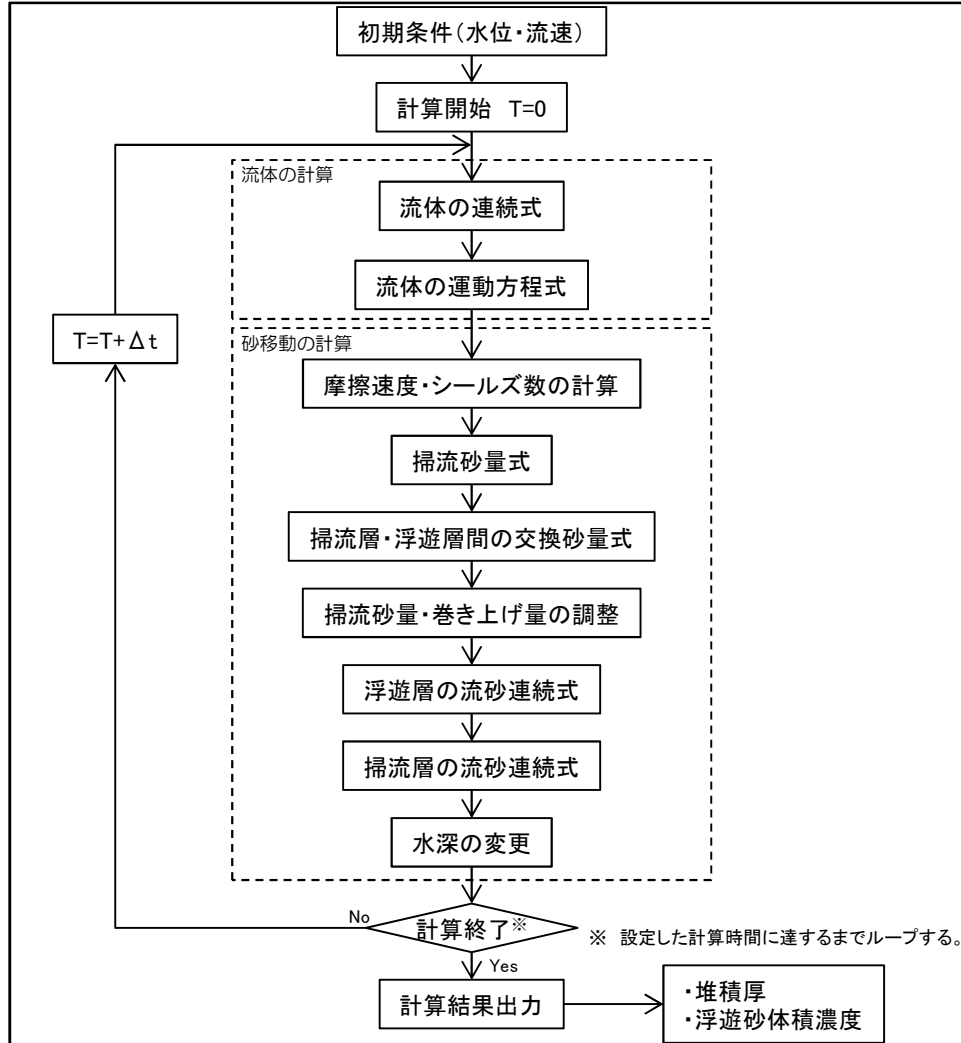
2号炉取水施設

## 2. 砂移動評価(取水口周辺)

### 2.1 検討概要

- ・津波水位変動以外の事象に対する評価として、基準津波に伴う砂移動について数値シミュレーションを実施する。
- ・数値シミュレーションは、藤井ほか(1998)<sup>(1)</sup>及び高橋ほか(1999)<sup>(2)</sup>の手法に基づき、津波の挙動とそれに伴う砂移動を同時に計算した。
- ・数値シミュレーションフローは左下図、主な計算条件は右下表のとおり。

【数値シミュレーションフロー】



【主な計算条件】

設定項目	設定値
砂移動モデル	藤井ほか(1998), 高橋ほか(1999)
計算時間間隔	0.05秒
沖側境界条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開境界部分は自由透過, 領域結合部は, 水位と流速を接続<sup>(3)</sup></li> <li>・解析領域境界での砂の流入出を考慮</li> </ul>
陸側境界条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・静水面より上昇する津波に対しては完全反射条件, または小谷ほか(1998)<sup>(4)</sup>の遡上条件とする。</li> <li>・静水面より下降する津波に対しては小谷ほか(1998)の移動境界条件を用いて海底露出を考慮する。</li> </ul>
浮遊砂上限濃度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・藤井ほか(1998): 1%, 5%</li> <li>・高橋ほか(1999): 1%</li> </ul>
計算時間	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本海東縁部に想定される地震による津波は地震発生後6時間まで</li> <li>・海域活断層から想定される地震による津波は地震発生後3時間まで</li> </ul>
初期砂層厚	砂層は無限に供給されるものとして設定

## 2. 砂移動評価(取水口周辺)

### 2.2 計算条件(砂移動計算)

・藤井ほか(1998)及び高橋ほか(1999)の手法を下表に示す。

	藤井ほか(1998)の手法	高橋ほか(1999)の手法
地盤高の連続式	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \alpha \left( \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{E - S}{\sigma(1 - \lambda)} = 0$	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1 - \lambda} \left( \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{E - S}{\sigma} \right) = 0$
浮遊砂濃度連続式	$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} - \frac{E - S}{D} = 0$	$\frac{\partial(C_S D)}{\partial t} + \frac{\partial(MC_S)}{\partial x} - \frac{E - S}{\sigma} = 0$
流砂量式	小林ほか(1996) <sup>(5)</sup> 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	$S = wC_b$	$S = wC_S \cdot \sigma$
摩擦速度の計算式	log-wake則を鉛直方向に積分した式より算出	マンニング則より算出 $u_* = \sqrt{gn^2 U^2 / D^{1/3}}$

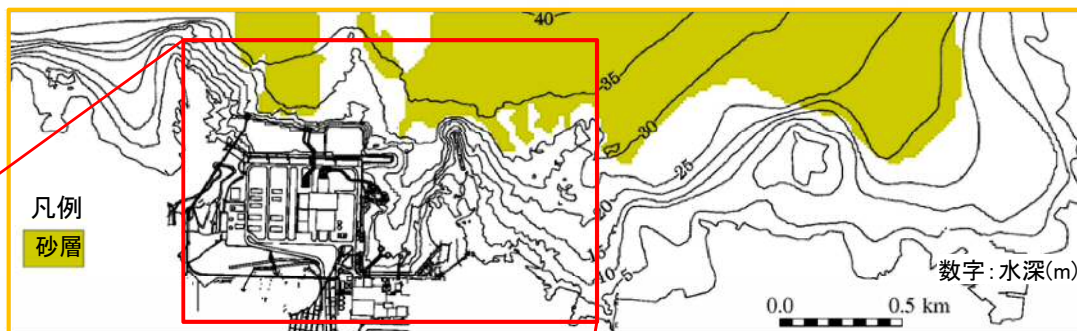
$Z$  : 水深変化量(m)                       $t$  : 時間(s)                       $x$  : 平面座標  
 $Q$  : 単位幅, 単位時間当たりの掃流砂量 (m<sup>3</sup>/s/m)                       $\tau_*$  : シールズ数  
 $\sigma$  : 砂の密度(=2.76g/cm<sup>3</sup>, 自社調査結果より(次ページ参照))                       $s$  :  $=\sigma/\rho-1$   
 $d$  : 砂の粒径(=0.3mm, 自社調査結果より(次ページ参照))                       $g$  : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)  
 $U$  : 流速(m/s)                       $D$  : 全水深(m)                       $\rho$  : 海水の密度(=1.03g/cm<sup>3</sup>, 国立天文台編(2017)<sup>(7)</sup>より)  
 $\lambda$  : 空隙率(=0.4, 藤井ほか(1998)より)                       $M$  : 単位幅あたりの流量(m<sup>2</sup>/s)  
 $n$  : Manningの粗度係数(=0.03m<sup>-1/3</sup>s, 土木学会(2002)<sup>(6)</sup>より)  
 $\alpha$  : 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, 藤井ほか(1998)より)  
 $w$  : 土粒子の沈降速度(Rubey式より算出)(m/s)                       $z_0$  : 粗度高さ(=ks/30)(m)  
 $k_z$  : 鉛直拡散係数(=0.2 $\kappa u_* h$ , 藤井ほか(1998)より)(m<sup>2</sup>/s)                       $ks$  : 相当粗度(=(7.66ng<sup>1/2</sup>)<sup>6</sup>)(m)  
 $\kappa$  : カルマン定数(=0.4, 藤井ほか(1998)より)                       $h$  : 水深(m)  
 $C, C_b$  : 浮遊砂濃度, 底面浮遊砂濃度(藤井ほか(1998)より浮遊砂濃度から算出)(kg/m<sup>3</sup>)  
 $C_s$  : 浮遊砂体積濃度  
 log-wake則: 対数則  $u_* / U = \kappa / \{ \ln(h/z_0) - 1 \}$  にwake関数(藤井ほか(1998)より)を付加した式

## 2. 砂移動評価(取水口周辺)

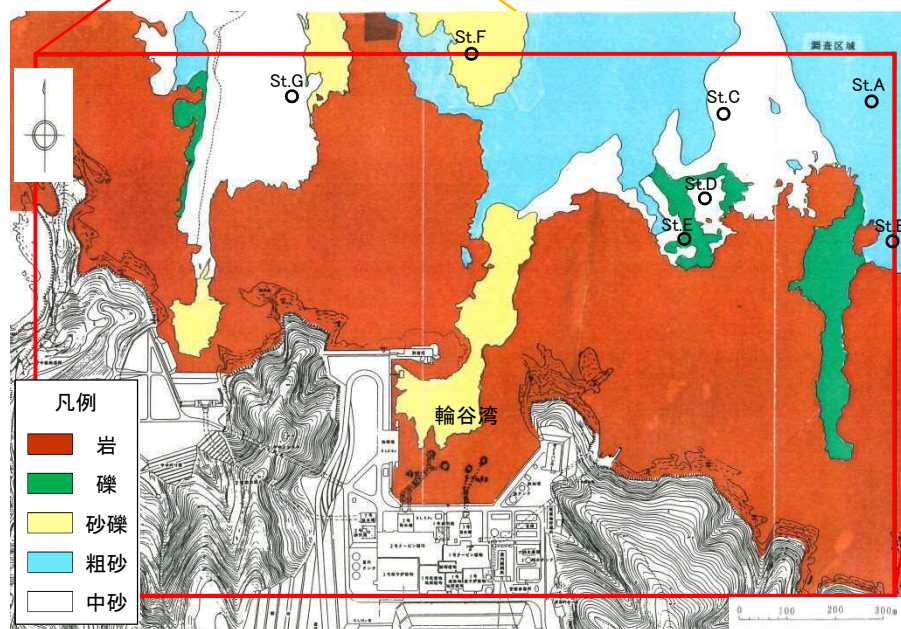
### 2.2 計算条件(初期砂層分布)

6

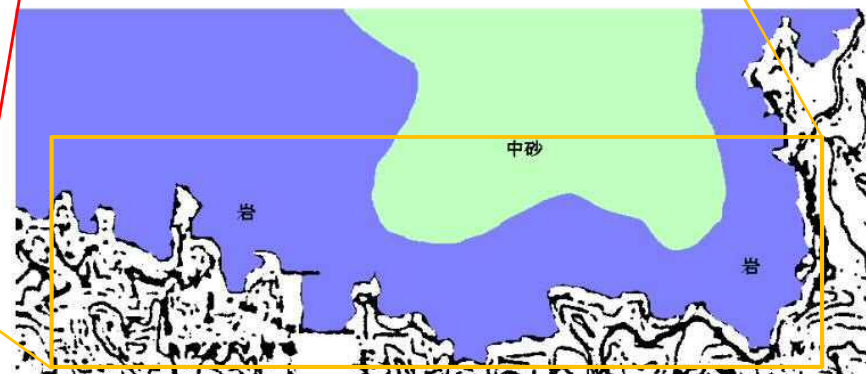
・砂移動解析領域における初期砂層分布は、輪谷湾周辺は当社による底質調査結果、輪谷湾周辺以遠は海上保安庁水路部(1992)<sup>(8)</sup>による底質調査結果を参照し設定した。



砂移動解析領域における初期砂層分布



輪谷湾周辺の底質分布



輪谷湾周辺以遠の底質分布  
海上保安庁水路部(1992)に加筆

- ・輪谷湾周辺は、中砂及び粗砂分布域を砂層分布域とした。
- ・輪谷湾周辺以遠は、中砂分布域を砂層分布域とした。

下図の地形は3号炉造成前であり、上図の現在の地形とは土地形状が異なる。

## 2. 砂移動評価(取水口周辺)

### 2.3 評価結果 まとめ

・基準津波を評価対象として、砂移動の数値シミュレーションを実施した結果のうち、取水口位置における最大堆積厚さを下表に示す。

基準津波	波源	防波堤の有無	砂移動モデル	浮遊砂上限濃度	取水口堆積層厚さ(m) <sup>※1</sup>		評価結果図	
					2号炉取水口(東)	2号炉取水口(西)	堆積浸食分布図等	時刻歴波形
基準津波1	地方自治体独自の波源モデルに基づく検討(鳥取県(2012))	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P9	P25
				5%	0.00	0.00	P9	P26
			高橋ほか(1999)	1%	0.02[0.020]	0.02[0.011]	P10	P27
		無	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P11	P28
				5%	0.00	0.00	P11	P29
			高橋ほか(1999)	1%	0.00	0.00	P12	P30
基準津波2	地震発生領域の連動を考慮した検討(断層長さ350km)	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P13	P31
				5%	0.00	0.00	P13	P32
			高橋ほか(1999)	1%	0.01	0.00	P14	P33
基準津波3	地震発生領域の連動を考慮した検討(断層長さ350km)	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P15	P34
				5%	0.00	0.00	P15	P35
			高橋ほか(1999)	1%	0.00	0.00	P16	P36
基準津波4	土木学会に基づく検討(F-Ⅲ~F-V断層)	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P17	P37
				5%	0.00	0.00	P17	P38
			高橋ほか(1999)	1%	0.00	0.00	P18	P39
		無	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P19	P40
				5%	0.00	0.00	P19	P41
			高橋ほか(1999)	1%	0.00	0.00	P20	P42
基準津波5	地震発生領域の連動を考慮した検討(断層長さ350km)	無	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P21	P43
				5%	0.00	0.00	P21	P44
			高橋ほか(1999)	1%	0.00	0.00	P22	P45
基準津波6	地震発生領域の連動を考慮した検討(断層長さ350km)	無	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P23	P46
				5%	0.00	0.00	P23	P47
			高橋ほか(1999)	1%	0.00	0.00	P24	P48

※1 計算結果は小数第3位で切り上げて示す。

・取水口位置における最大堆積厚さは、基準津波1での高橋ほか(1999)の浮遊砂上限濃度1%の2号炉取水口(東)において0.02mであり、海底面から取水口呑口下端までの高さ(5.50m)<sup>※2</sup>に対して十分に小さく、取水への影響はないことを確認した。

※2 海底面:T.P.-18.00m, 取水口呑口下端:T.P.-12.50m (P2参照)

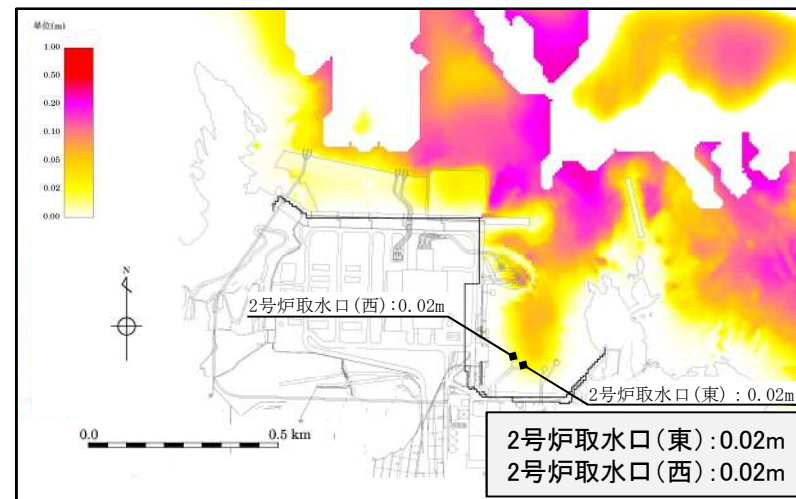
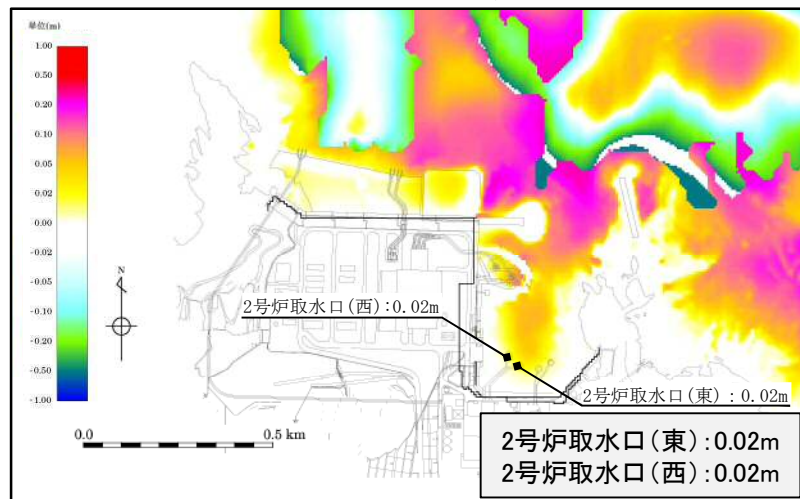
## 2. 砂移動評価(取水口周辺)

### 2.3 評価結果 堆積浸食分布図(最終地形) 基準津波1

10

・基準津波1(防波堤有)による堆積浸食分布(最終地形)及び最大堆積厚分布を以下に示す。

高橋ほか(1999)の手法(浮遊砂上限濃度1%)

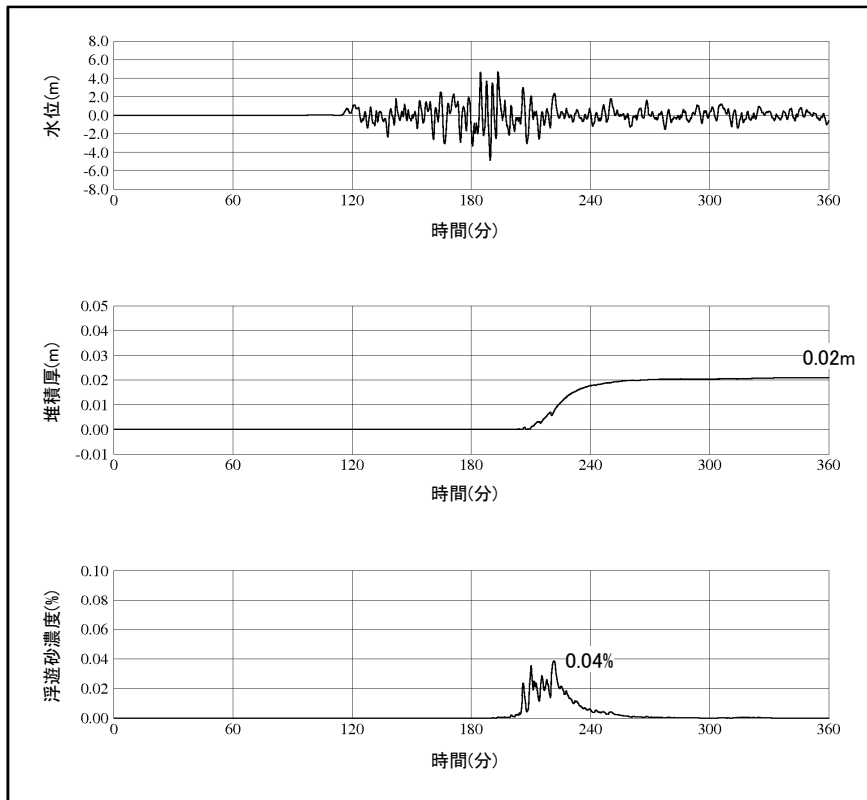


## 2. 砂移動評価(取水口周辺)

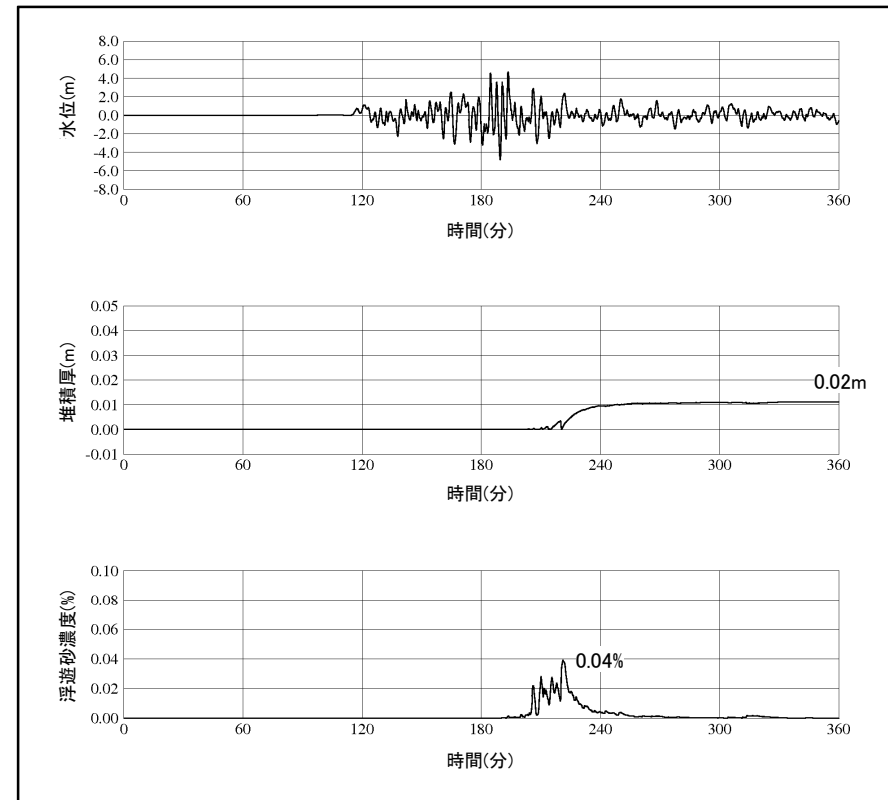
### 2.3 評価結果 取水口位置による水位, 堆積厚及び浮遊砂濃度の時刻歴波形 基準津波1

・基準津波1(防波堤有)による水位, 堆積厚及び浮遊砂濃度の時刻歴波形を以下に示す。

高橋ほか(1999)の手法(浮遊砂上限濃度1%)



2号炉取水口(東)



2号炉取水口(西)

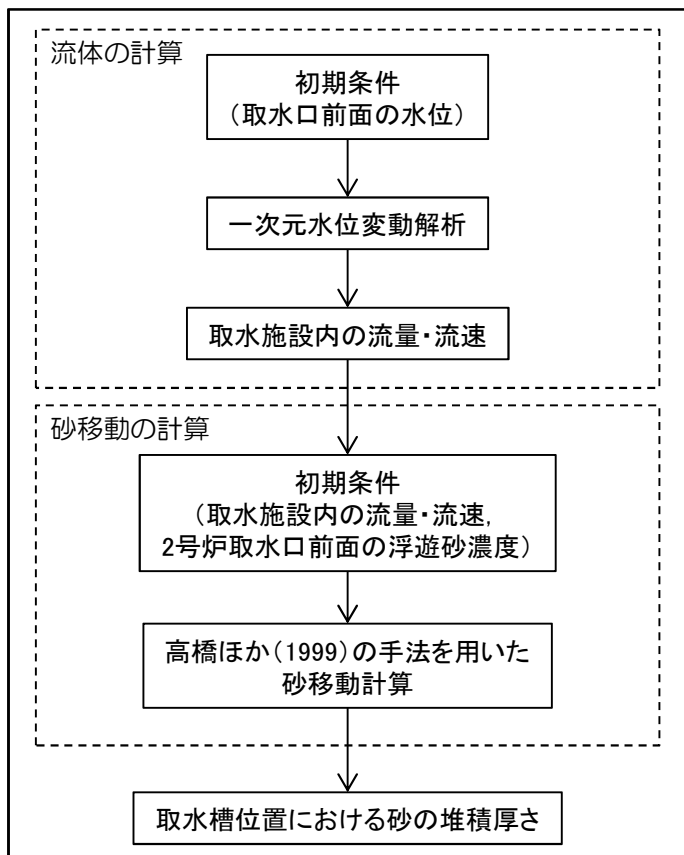


### 3. 砂移動評価(取水槽)

#### 3.1 検討概要

- ・基準津波1～6について、取水槽における砂の堆積厚さを評価し、原子炉補機海水ポンプの取水に影響が無いことを確認する。
- ・取水口前面の浮遊砂濃度を境界条件として、高橋ほか(1999)の手法を用いて砂移動解析を実施し、取水施設内の浮遊砂濃度を算定し、取水槽における砂の堆積厚さを算定する。
- ・上記評価に用いる取水施設内の流量及び流速は、取水施設の水利特性を考慮した管路計算により算定する。
- ・数値シミュレーションフローは左下図、主な計算条件は右下表のとおり。

【数値シミュレーションフロー】



【主な計算条件】

項目	計算条件
計算領域	2号炉取水口 ~ 取水管 ~ 取水槽
計算時間間隔	0.01秒
基礎方程式	非定常管路及び開水路流れの連続式及び運動方程式 (次ページ参照)
取水槽側境界条件 (ポンプ取水量)	2号炉 循環水ポンプ運転時 : 59m <sup>3</sup> /s, 循環水ポンプ停止時 : 2.3m <sup>3</sup> /s
摩擦損失係数 (マンニングの粗度係数)	取水管 : 0.014m <sup>-1/3</sup> ·s 取水トンネル, 取水路, 取水槽漸拡部 : 0.015m <sup>-1/3</sup> ·s (塩素注入あり)
貝の付着代	塩素注入しているため、貝の付着代は考慮せず
局所損失係数	土木学会(1999)等 <sup>(13)~(15)</sup> による
想定する潮位条件	・水位上昇側 : 朔望平均満潮位T.P. +0.46m ・水位下降側 : 朔望平均干潮位T.P. -0.02m
地盤変動条件	地盤変動量を考慮する
計算時間	・日本海東縁部に想定される地震による津波は地震発生後6時間まで ・海域活断層から想定される地震による津波は地震発生後3時間まで

### 3. 砂移動評価(取水槽)

#### 3.3 評価結果 まとめ

・基準津波を評価対象として、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し、取水槽における砂の堆積厚さを算定した。

波源	上昇側・下降側	防波堤の有無	ポンプ 運転状況	砂移動モデル	浮遊砂 上限濃度	取水槽における 砂の堆積厚さ(m) <sup>※1</sup>	評価結果図
							時刻歴波形
基準津波1	上昇側	有	運転	高橋ほか (1999)	1%	0.02[0.0161]	P53
			停止			0.00	P53
		無	運転			0.01	P54
			停止			0.00	P54
	下降側	有	運転			0.02[0.0162]	P55
			停止			0.00	P55
		無	運転			0.01	P56
			停止			0.00	P56
基準津波2	上昇側	有	運転	0.01	P57		
			停止	0.00	P57		
基準津波3	下降側	有	運転	0.01	P58		
			停止	0.00	P58		
基準津波4	下降側	有	運転	0.00	P59		
			停止	0.00	P59		
		無	運転	0.00	P60		
			停止	0.00	P60		
基準津波5	上昇側	無	運転	0.00	P61		
			停止	0.00	P61		
基準津波6	下降側	無	運転	0.00	P62		
			停止	0.00	P62		

※1 計算結果は小数第3位で切り上げて示す。

・取水槽における最大堆積厚さは、基準津波1(水位下降側)で0.02mとなり、取水槽底面から補機海水ポンプ下端までの高さ(0.50m)<sup>※2</sup>に対して十分に小さく、取水への影響はないことを確認した。

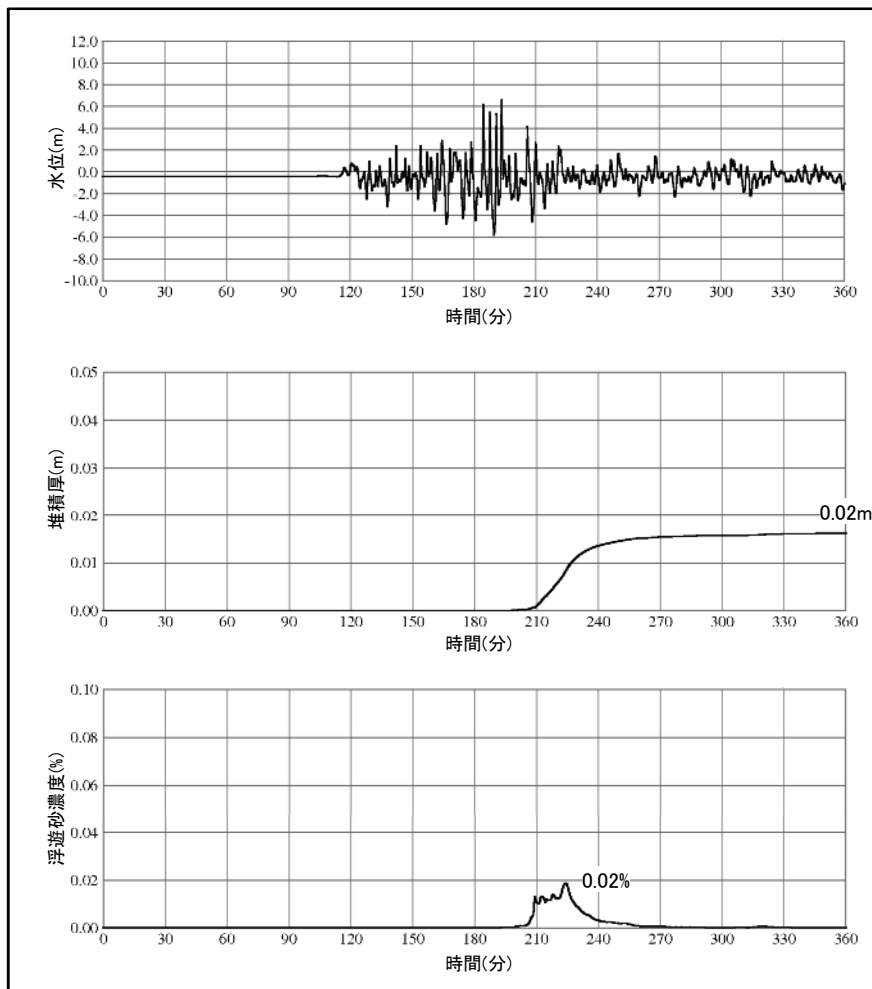
※2 取水槽底面高さ:T.P.-9.80m, 補機海水ポンプ下端:T.P.-9.30m(P2参照)

### 3. 砂移動評価(取水槽)

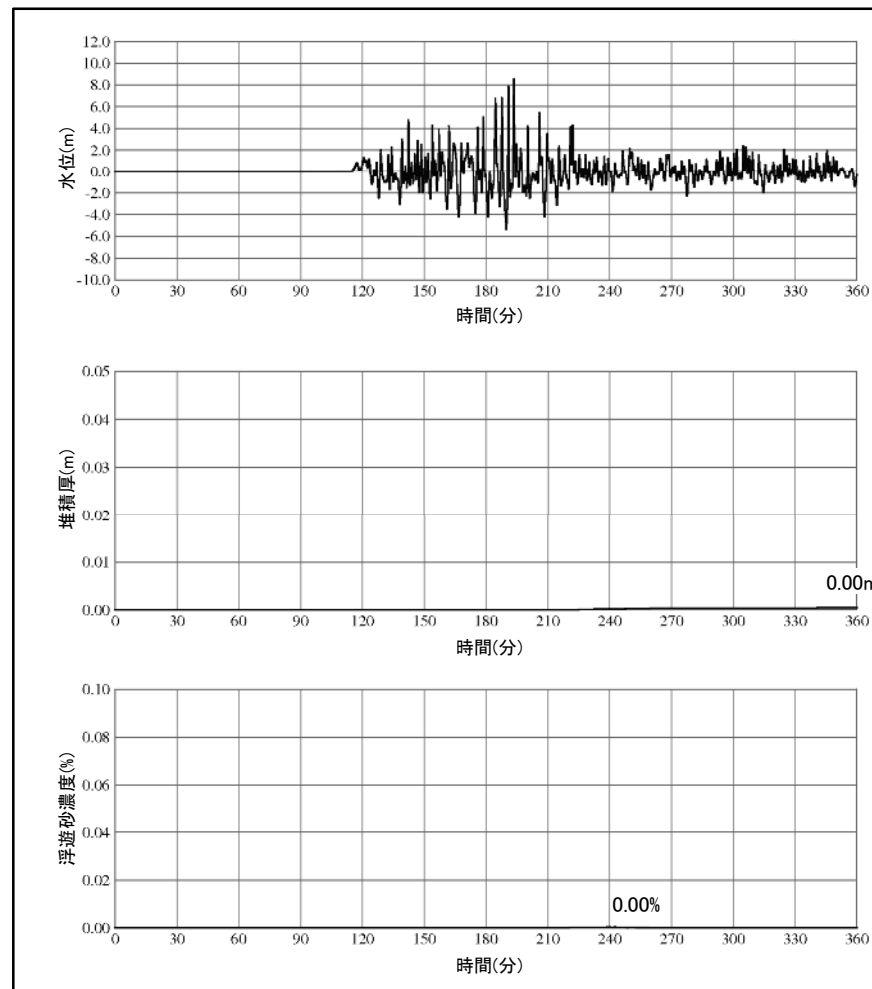
#### 3.3 評価結果(取水槽における水位時刻歴波形)

・基準津波1(下降側)による取水槽の水位, 堆積厚及び浮遊砂濃度の時刻歴を示す。

高橋ほか(1999)の手法(浮遊砂上限濃度1%)



基準津波1(下降側, 防波堤有, ポンプ運転)



基準津波1(下降側, 防波堤有, ポンプ停止)