

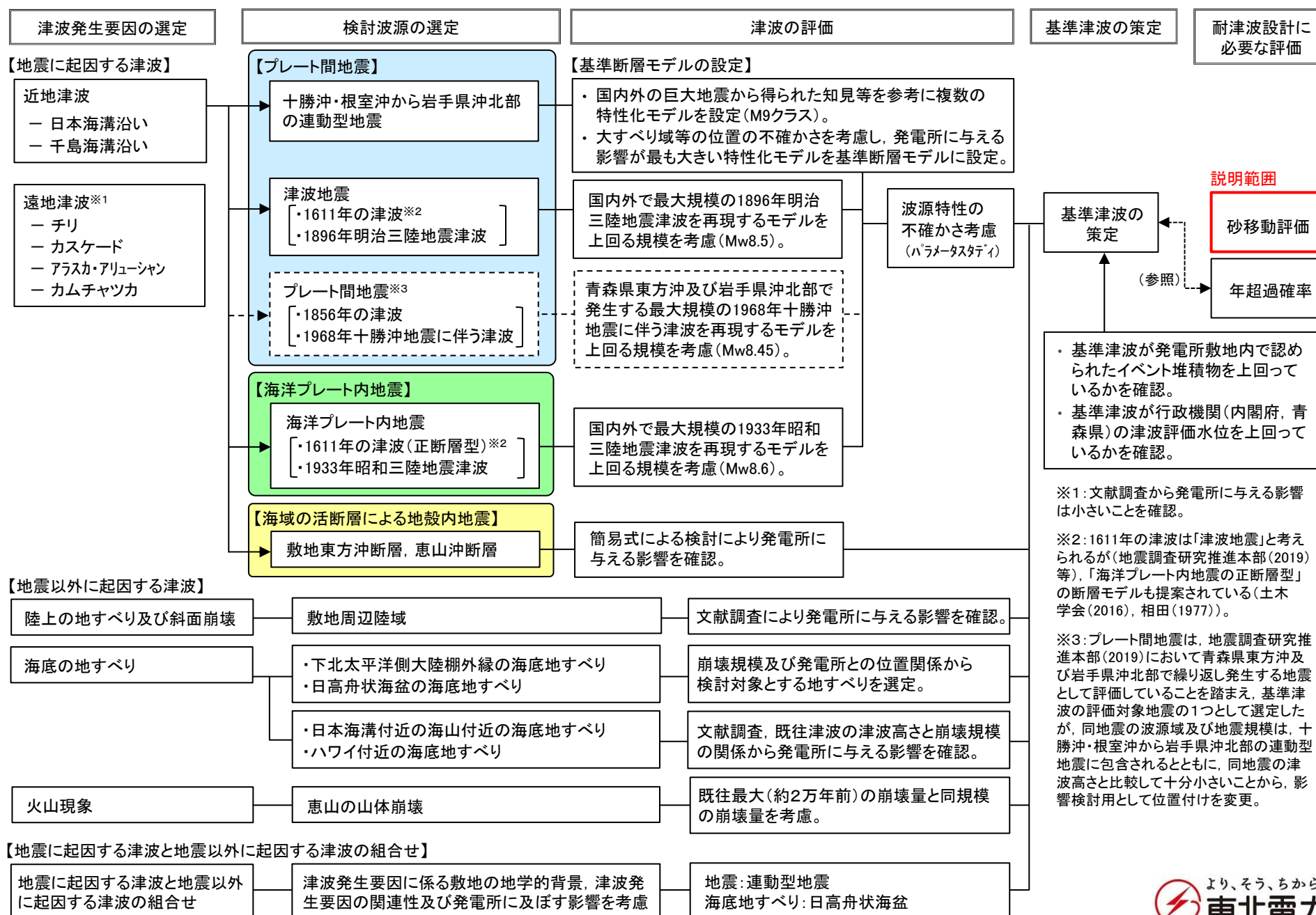
東通原子力発電所 津波の評価について (基準津波に対する安全性〔砂移動評価〕)

2024年7月19日
東北電力株式会社

基準津波評価フロー

第1225回審査会合 (R6.2.9)
資料1-2-1 p2 再掲

1



※1: 文献調査から発電所に与える影響は小さいことを確認。

※2: 1611年の津波は「津波地震」と考えられるが(地震調査研究推進本部(2019)等)、「海洋プレート内地震の正断層型」の断層モデルも提案されている(土木学会(2016)、相田(1977))。

※3: プレート間地震は、地震調査研究推進本部(2019)において青森県東方沖及び岩手県沖北部で繰り返し発生する地震として評価していることを踏まえ、基準津波の評価対象地震の1つとして選定したが、同地震の波源域及び地震規模は、十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震に含まれるとともに、同地震の津波高さと比較して十分小さいことから、影響検討用として位置付けを変更。

申請時(2014.6.15)からの変更内容

- ・ 藤井ほか(1998)の手法のうち浮遊砂濃度上限値について、申請時は1%のみとしていたが、浮遊砂濃度が大きくなる5%も追加設定した。
- ・ 高橋ほか(1999)の手法のうち流砂量式、巻き上げ量の算定式について、申請時は、女川原子力発電所における2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波(以下、「3.11地震津波」という。)による砂移動(海底地形変化)を良好に再現する高橋ほか(2011)の実験式($d=0.166\text{mm}$)を用いていたが、流砂量及び巻き上げ量を大きく算定する高橋ほか(1999)の実験式に変更した。

	藤井ほか(1998)の手法		高橋ほか(1999)の手法	
	申請時	今回変更	申請時	今回変更
流砂量式	小林ほか(1996)の実験式 $Q = 80 \tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$	変更なし	高橋ほか(2011)の実験式 ($d=0.166\text{mm}$ の場合) $Q = 5.6 \tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$	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	$E = \frac{(1-\alpha)Qw^2\sigma(1-\lambda)}{Uk_z \left[1 - \exp\left\{\frac{-wD}{k_z}\right\} \right]}$	変更なし	高橋ほか(2011)の実験式 ($d=0.166\text{mm}$ の場合) $E = 7.0 \times 10^{-5} \tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$	高橋ほか(1999)の実験式 $E = 0.012 \tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$
浮遊砂濃度上限値	1%	1%, 5%	1%	変更なし※

ここに、

Q : 単位幅,単位時間当たりの掃流砂量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

τ_* : シールズ数

$s := \sigma / \rho - 1$

σ : 砂の密度(kg/m^3)

ρ : 海水の密度(kg/m^3)

g : 重力加速度(m/s^2)

d : 砂の粒径(m)

E : 巻き上げ率($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)

k_z : 鉛直拡散係数(m^2/s)

D : 全水深(m)

w : 土粒子の沈降速度(m/s)

λ : 空隙率

α : 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

U : 流速(m/s)

※: 影響評価として、浮遊砂濃度上限値を3%とした場合の評価を実施。詳細は、補足説明資料「5. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価」に記載。

余 白

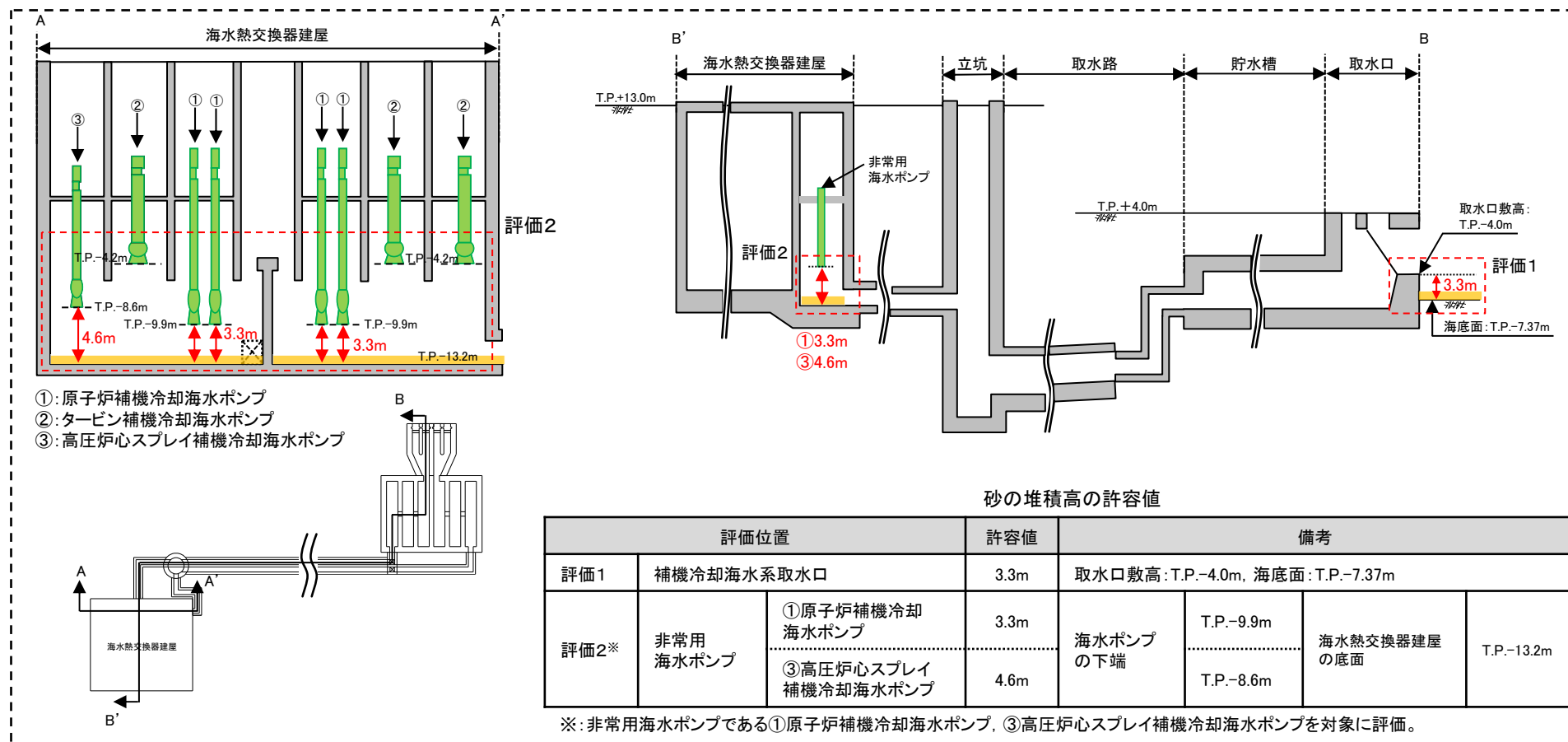
1 評価方針(海底地形変化及び海水熱交換器建屋内における砂の堆積)

■海底地形変化(評価1)

- 基準津波に伴う砂移動(海底地形変化)を評価して、補機冷却海水系取水口前面の砂の堆積高が取水口高さを上回らず(取水口敷高に到達せず)、非常用海水ポンプの取水に影響が無いことを確認する。
- 砂移動解析は、藤井ほか(1998)及び高橋ほか(1999)の手法を用いて実施する。

■海水熱交換器建屋内における砂の堆積(評価2)

- 海水熱交換器建屋内における砂の堆積高を評価して、非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高が非常用海水ポンプの下端に到達せず、非常用海水ポンプの取水に影響が無いことを確認する。
- 砂の堆積高は、非常用取水設備を一次元的にモデル化し、高橋ほか(1999)の手法を用いて算定する。
- 本検討は、各基準津波による海底地形変化の評価(評価1)において、防波堤有り・無しの各条件で、取水口前面における砂の堆積高が最も大きいケースを対象に実施する。



2. 1 海底地形変化(評価1):評価概要

- ・ 藤井ほか(1998)及び高橋ほか(1999)の手法を用いて、各基準津波※に伴う海底地形変化を評価した。計算フローを右図に示す。
- ・ 防波堤について、防波堤有りと防波堤無しで流況(流速, 流向)が異なり、補機冷却海水系取水口前面の堆積高及び浮遊砂濃度の評価に影響を及ぼすことから、防波堤有り・無しの両条件で海底地形変化を評価した。

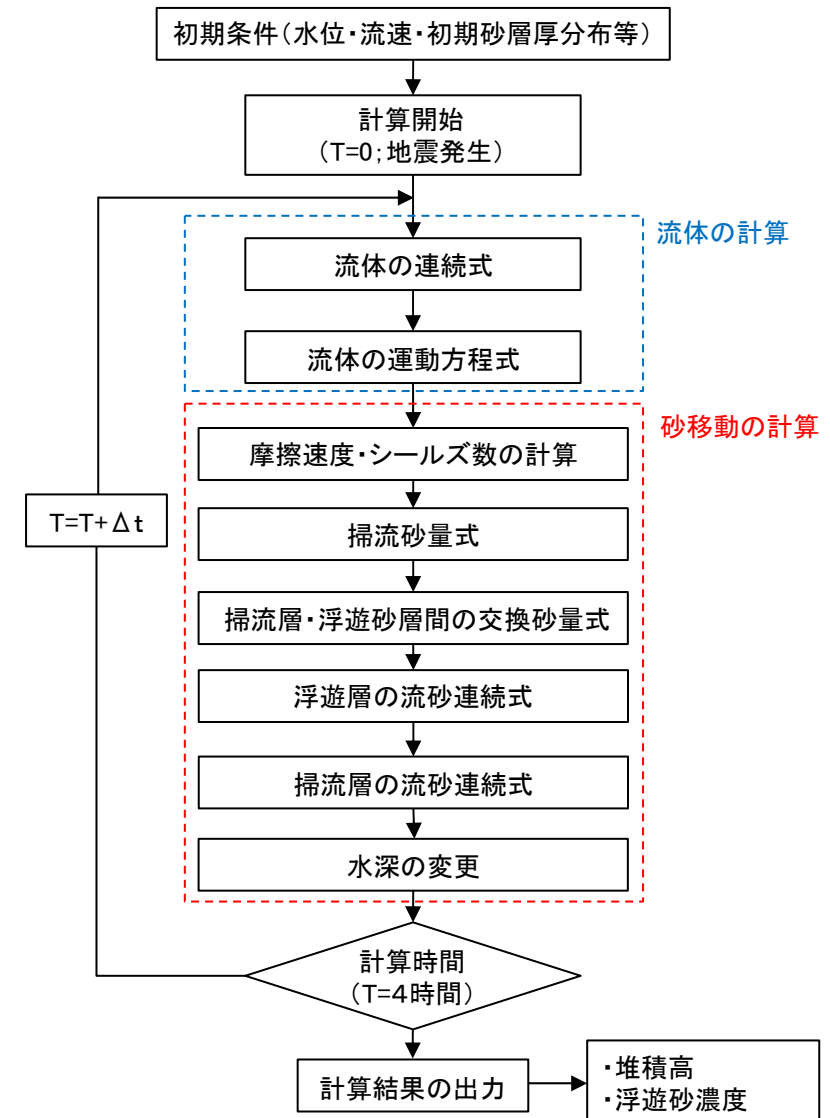
※:基準津波の詳細は、補足説明資料「1. 基準津波の策定」に記載。

■基準津波(水位上昇側)

基準津波	
基準津波 [水位上昇側 (防波堤無し最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル①(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(内閣府(2012)考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波

■基準津波(水位下降側)

基準津波	
基準津波 [水位下降側1 (防波堤有り最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル③(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり分布の不確かさ考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり①単独)との組合せ津波
基準津波 [水位下降側2 (防波堤無し水位最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル②(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさ考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり①単独)との組合せ津波
基準津波 [水位下降側3 (防波堤無し時間最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル②(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさ考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波



全体概要

2. 2 海底地形変化(評価1):浮遊砂濃度上限値の設定

■基本方針

- ・ 藤井ほか(1998)の手法では, 1%, 5%に設定した。
- ・ 高橋ほか(1999)の手法では, 浮遊砂濃度上限値の設定に係る文献調査, 並びに女川原子力発電所周辺における3.11地震津波による砂移動の再現解析を踏まえ1%に設定した。

全体概要

2. 2 海底地形変化(評価1):浮遊砂濃度上限値の設定

■高橋ほか(1999)の手法を用いる際の浮遊砂濃度上限値の設定に係る文献調査

- ・ 高橋ほか(1999)の手法を用いた既往津波による海底地形変化の再現解析に関する文献調査結果を以下に示す。
- ・ 1960年チリ津波による気仙沼湾(玉田ほか(2009)), 八戸港(藤田ほか(2010))の再現解析結果から, 浮遊砂濃度上限値5%は過大評価になると考えられる。
- ・ 上記事例に加え, 3.11地震津波による宮古湾(近藤ほか(2012)), 気仙沼湾(森下・高橋(2014))の再現解析結果から, 浮遊砂濃度上限値1%は妥当な設定値であると考えられる。

文献調査結果

検証箇所 (検証津波)	文献	計算使用 砂粒径	計算格子 間隔	浮遊砂濃度 上限値	浮遊砂濃度上限値に関する評価
気仙沼湾 (1960年チリ津波)	玉田ほか (2009)	0.001~ 1mm	25m, 5m	1%, 5%	・ 計算格子間隔5mの場合, 浮遊砂濃度上限値5%は実績値より浸食深を過大に評価。
八戸港 (1960年チリ津波)	藤田ほか (2010)	0.26mm	10.3m	1%, 2%, 5%	・ 浮遊砂濃度上限値5%は過大に評価。 ・ 浮遊砂濃度上限値1%, 2%の場合の再現性が良好。
宮古湾 (3.11地震津波)	近藤ほか (2012)	0.08mm	10m	1%	・ 土砂移動の全体的な傾向は良く一致。 ・ 防波堤堤頭部の最大洗掘深や断面地形も定量的に概ね良く一致。
気仙沼湾 (3.11地震津波)	森下・ 高橋(2014)	0.3mm	10m	1% 可変※	・ 砂移動評価に影響を及ぼす因子として, 無次元掃流力, 流砂量式係数, 飽和浮遊砂濃度の3つを抽出。 ・ 上記3つの因子を同時に変えたモデルにより, 再現性が向上する可能性を示唆。 ・ 飽和浮遊砂濃度については, 摩擦速度の関数とすることで再現性の向上に繋がることを示唆。

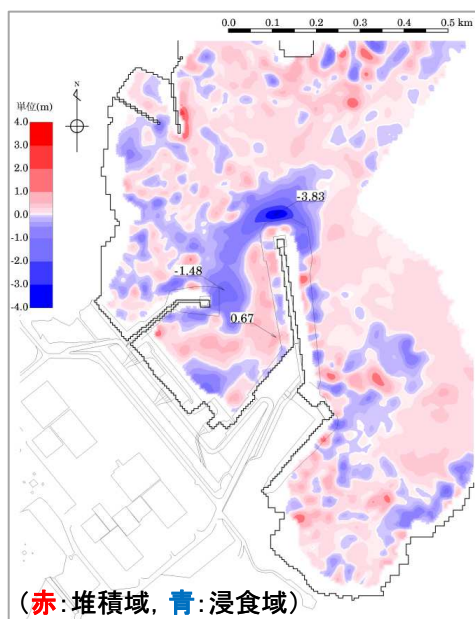
※: 試行的に $C_{sat} = \alpha \times \sqrt{U^2 \times V^2}$ と規定(C_{sat} : 飽和浮遊砂濃度, U, V : 断面平均流速(m/s), $\alpha=0.01$)。

2.2 海底地形変化(評価1):浮遊砂濃度上限値の設定

■高橋ほか(1999)の手法を用いた女川原子力発電所における3.11地震津波に伴う砂移動の再現解析(浮遊砂濃度上限値:1%)

- ・ 浮遊砂濃度上限値について、高橋(2012)は、「高橋ほか(1999)の手法は、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ため、浮遊砂濃度の上限を便宜的に導入している。」としていることから、高橋ほか(1999)の手法を用いる際の浮遊砂濃度上限値に係る文献調査(p7)の結果を踏まえ、浮遊砂濃度上限値を1%に設定した。
- ・ 再現解析は、女川原子力発電所の3.11地震津波を良好に再現する女川再現モデル※1を用いて実施した。
- ・ 流砂量式及び巻き上げ量の算定式は、高橋ほか(1999)並びに高橋ほか(2011)を用いた。 ※1:女川再現モデルの詳細は、補足説明資料「2. 女川再現モデル」に記載。

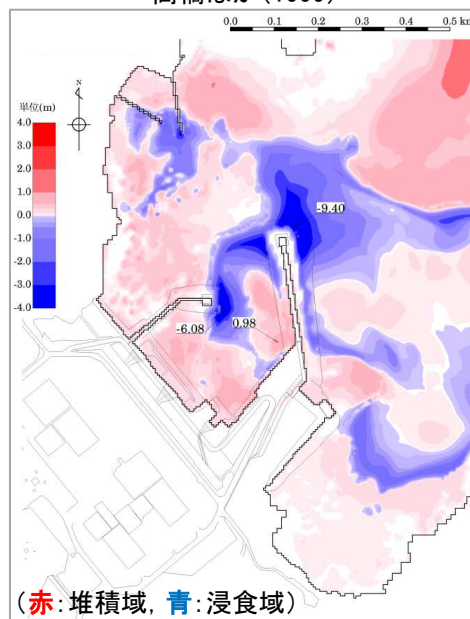
【3.11地震津波による海底地形の変化(実績)※2】



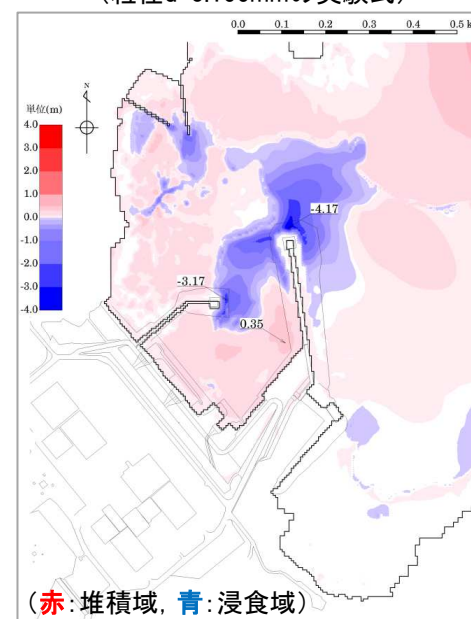
※2:当社深浅測量調査(2010.10, 2011.5)を基に作成(東北電力(2011))

【再現解析結果】

高橋ほか(1999)



高橋ほか(2011)
(粒径d=0.166mmの実験式)



- ・ 高橋ほか(1999)による海底地形変化の分布は、全体的に過大な傾向を示す。
- ・ 一方、高橋ほか(2011)は、全体的な海底地形変化の分布を概ね再現している。高橋ほか(1999)と比較して再現性が向上した要因は、粒径依存性を考慮した流砂量・巻き上げ量の算定式を導入した影響によるものと考えられる※3。

※3:高橋ほか(1999)と高橋ほか(2011)の流砂量式、巻き上げ量の算定式の詳細は、補足説明資料「3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料」に記載。

以上から、高橋ほか(1999)の手法に用いる浮遊砂濃度上限値を1%に設定した。

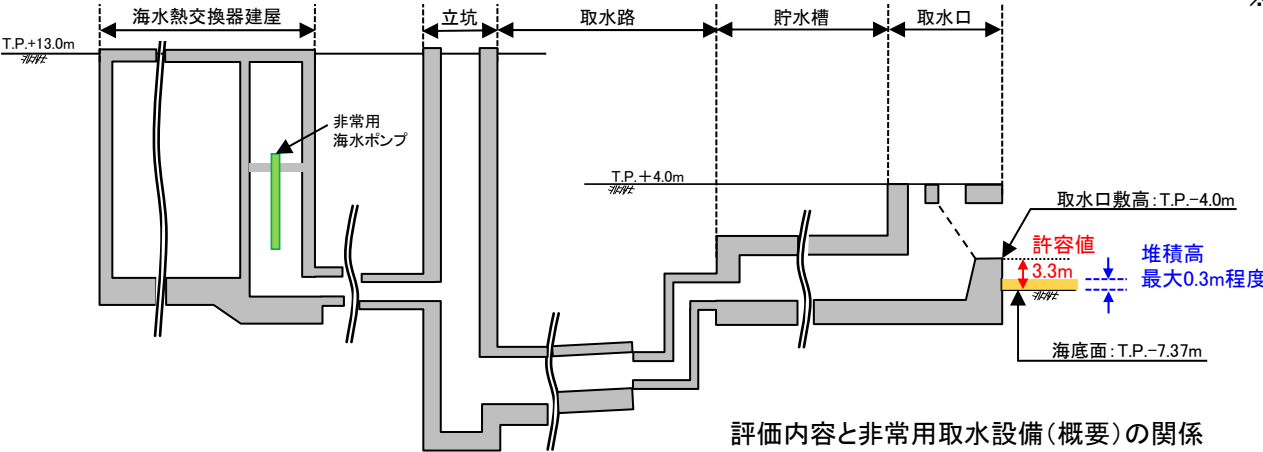
2.3 海底地形変化(評価1):評価結果

- 評価結果の一覧を下表に示す。
- 補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高は最大で0.3m程度であり、取水口敷高を上回らないことを確認した。

下線: 防波堤有り・無し最大ケース

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度 上限値	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)		許容値(m)
			防波堤有り	防波堤無し	
基準津波 (水位上昇側)	藤井ほか(1998)	1%	0.02	0.06	3.3※
		5%	0.02	0.06	
	高橋ほか(1999)	1%	<u>0.21</u>	0.14	
基準津波 (水位下降側1)	藤井ほか(1998)	1%	0.01	0.00	
		5%	0.02	0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	0.08	<u>0.17</u>	
基準津波 (水位下降側2)	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	
		5%	0.00	0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	0.08	0.15	
基準津波 (水位下降側3)	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	
		5%	0.00	0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	0.09	0.16	

※: 取水口敷高T.P.-4.0m, 海底面T.P.-7.37m

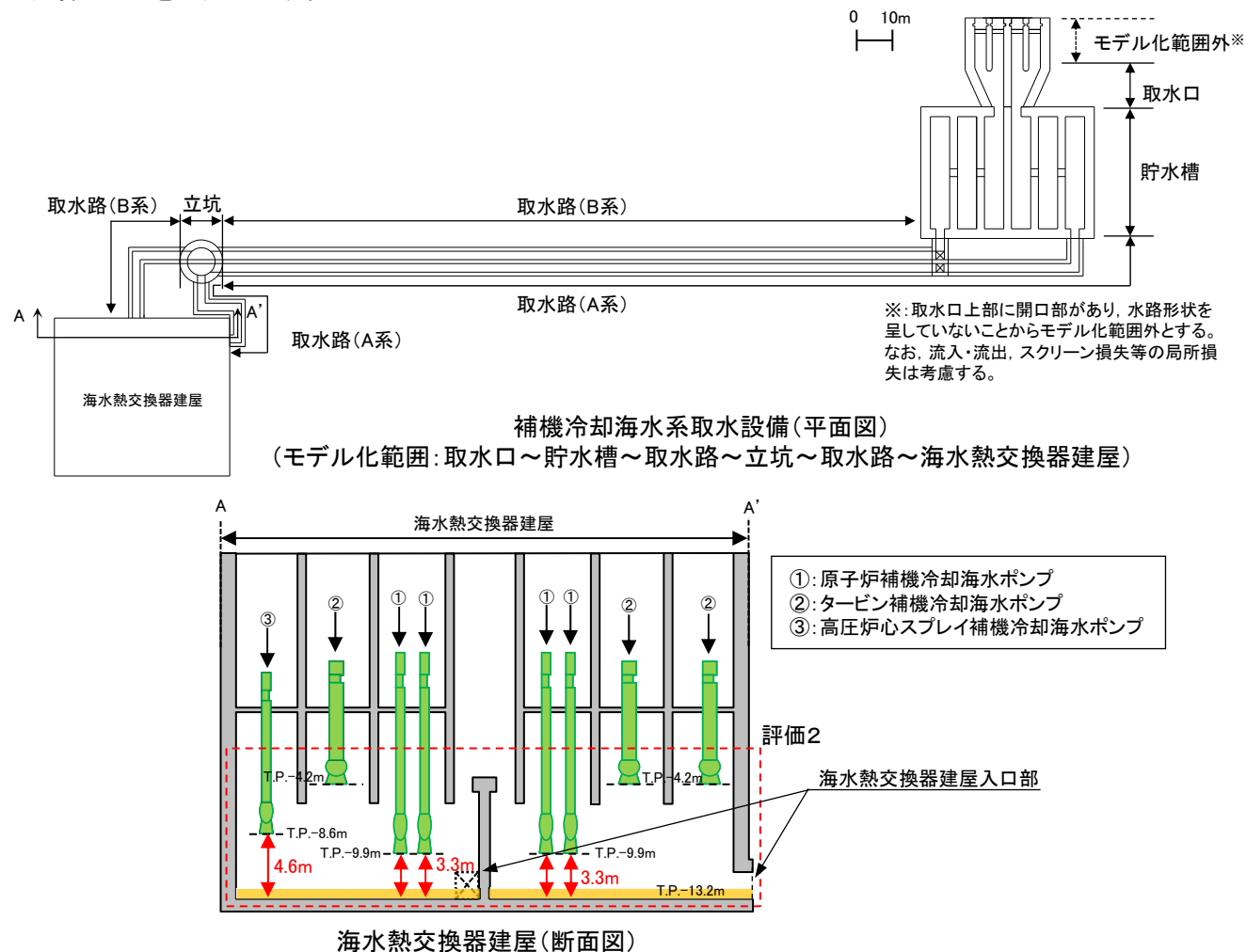


評価内容と非常用取水設備(概要)の関係

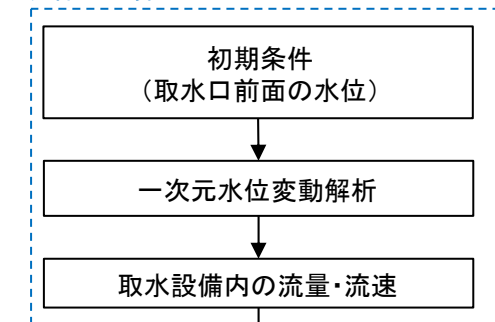
余 白

3. 1 海水熱交換器建屋における砂の堆積(評価2): 評価概要

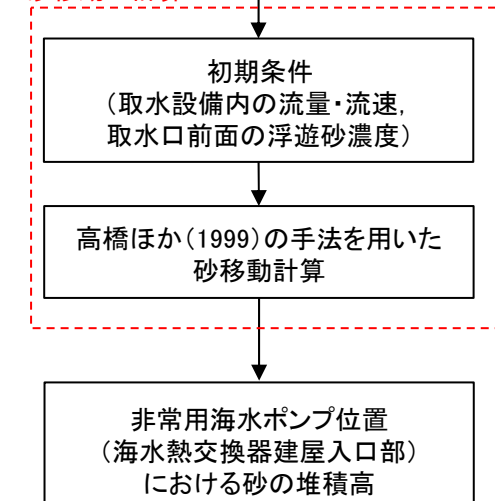
- ・ 海底地形変化の評価(評価1)から得られる補機冷却海水系取水口前面の浮遊砂濃度を境界条件として、高橋ほか(1999)の手法を用いて砂移動解析を実施し、非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高を算定した。
- ・ 本評価に用いる取水設備内の流量及び流速は、取水設備の水利特性を考慮した一次元水位変動解析により算定した。モデル化範囲を下図に示す。
- ・ 海水熱交換器建屋内部における砂の堆積高の算定位置について、海水熱交換器建屋内部は2系統で分割されており、一次元解析で系統別に砂の堆積高を算定することは困難であることから、安全側に海水熱交換器建屋入口部の砂の堆積高を非常用海水ポンプ位置の堆積高として評価した。
- ・ 計算フローを右図に示す。



流体の計算



砂移動の計算



3. 2 海水熱交換器建屋における砂の堆積(評価2): 検討ケース

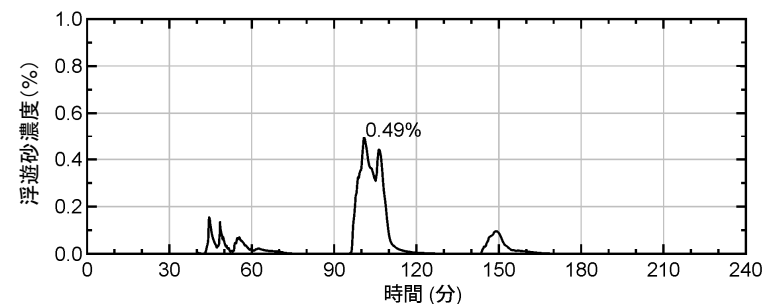
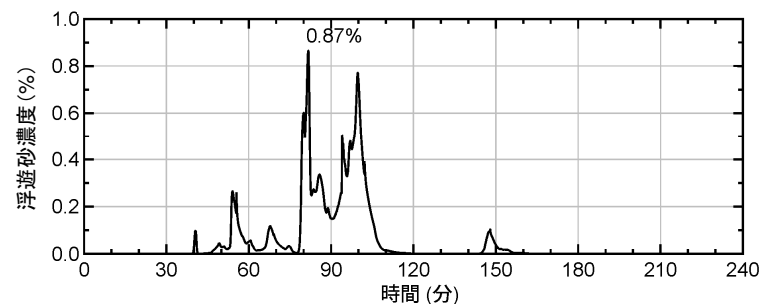
- 各基準津波による海底地形変化の評価(評価1)において、防波堤有り、無しの各条件で、取水口前面における砂の堆積高が最も大きいケースを対象に実施した。

海底地形変化の評価結果

下線: 防波堤有り・無し最大ケース

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度 上限値	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)		備考
			防波堤有り	防波堤無し	
基準津波 (水位上昇側)	藤井ほか(1998)	1%	0.02	0.06	
		5%	0.02	0.06	
	高橋ほか(1999)	1%	<u>0.21</u>	0.14	検討ケース
基準津波 (水位下降側1)	藤井ほか(1998)	1%	0.01	0.00	
		5%	0.02	0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	0.08	<u>0.17</u>	検討ケース
基準津波 (水位下降側2)	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	
		5%	0.00	0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	0.08	0.15	検討ケース
基準津波 (水位下降側3)	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	
		5%	0.00	0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	0.09	0.16	検討ケース

■補機冷却海水系取水口前面における浮遊砂濃度の時系列データ(評価手法: 高橋ほか(1999), 浮遊砂濃度上限値: 1%)



3.3 海水熱交換器建屋における砂の堆積(評価2):評価結果

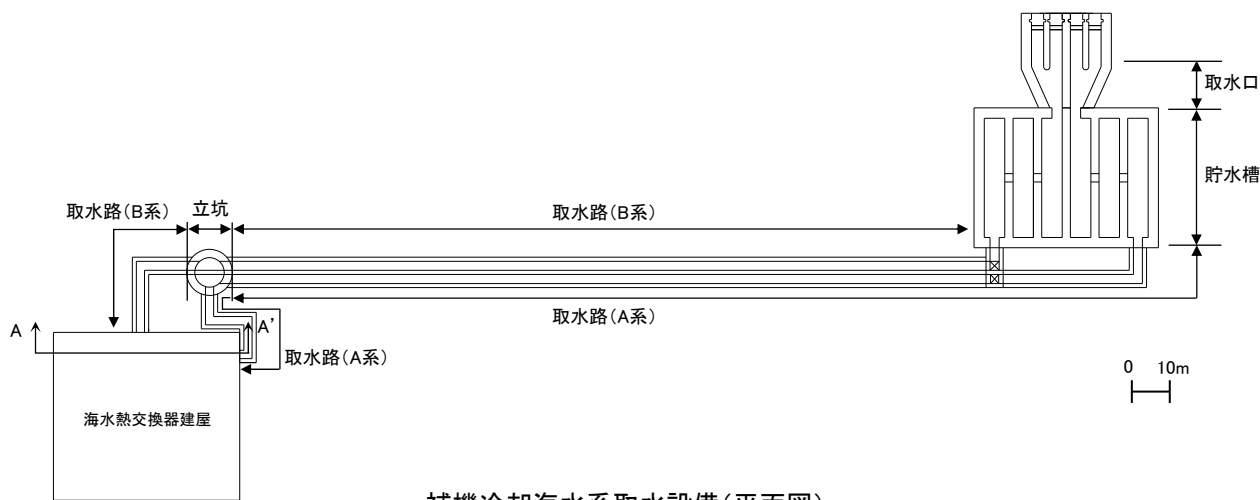
■非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高

- ・ 各非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高は0m程度であり, 各非常用海水ポンプの下端に到達しないことを確認した。
- ・ 以上から, 非常用海水ポンプの取水への影響は無いことを確認した。

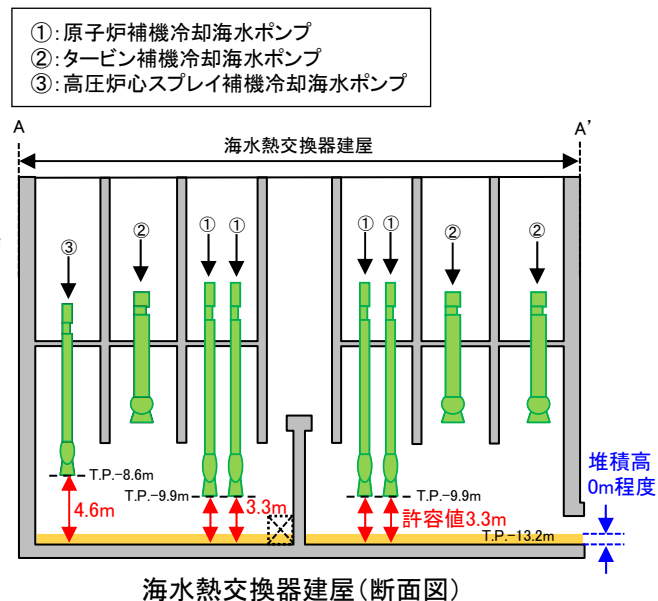
基準津波	評価手法	浮遊砂濃度 上限値	防波堤	原子炉補機冷却海水ポンプ		高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	
				砂の堆積高(m)	許容値(m)	砂の堆積高(m)	許容値(m)
基準津波 (水位上昇側)	高橋ほか(1999)	1%	有り	0.00	3.3m※1	0.00	4.6m※2
	高橋ほか(1999)	1%	無し	0.00		0.00	
基準津波 (水位下降側1)	高橋ほか(1999)	1%	有り	0.00		0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	無し	0.00		0.00	
基準津波 (水位下降側2)	高橋ほか(1999)	1%	有り	0.00		0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	無し	0.00		0.00	
基準津波 (水位下降側3)	高橋ほか(1999)	1%	有り	0.00		0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	無し	0.00		0.00	

※1: 原子炉補機冷却海水ポンプの下端T.P.-9.9m, 海水熱交換器建屋底面T.P.-13.2m

※2: 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの下端T.P.-8.6m, 海水熱交換器建屋底面T.P.-13.2m



補機冷却海水系取水設備(平面図)



海水熱交換器建屋(断面図)

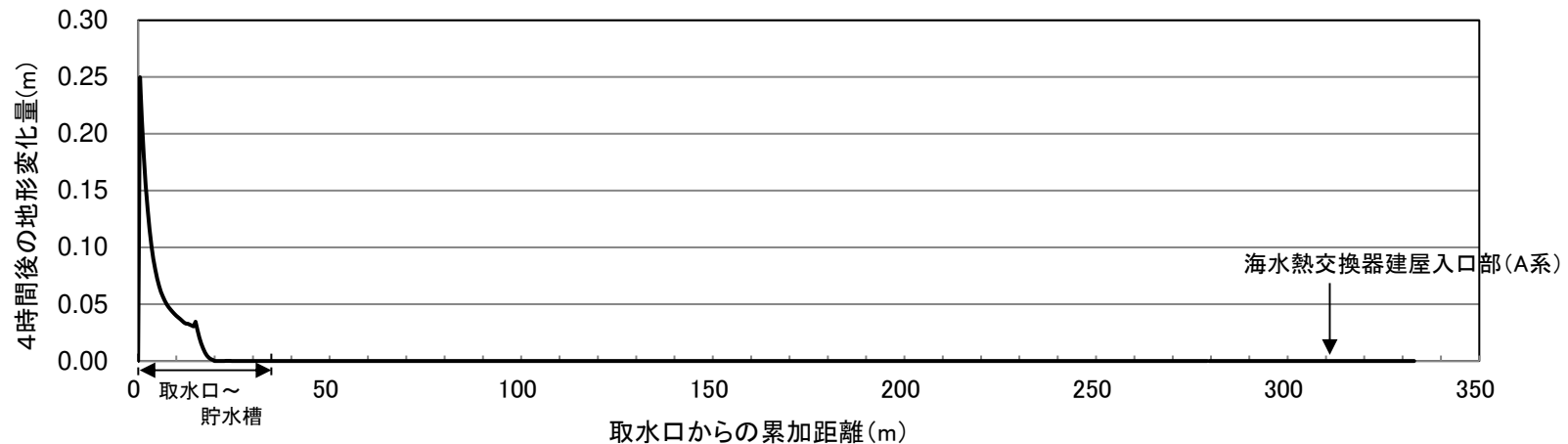
全体概要

3.3 海水熱交換器建屋における砂の堆積(評価2):評価結果

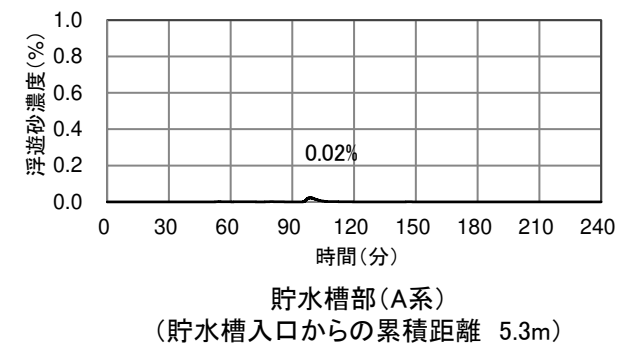
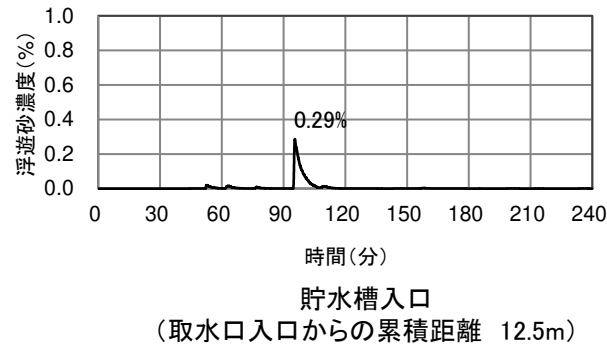
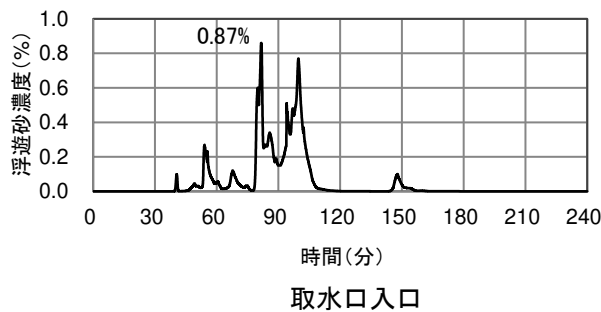
■補機冷却海水系取水設備内(A系)における地形変化量及び浮遊砂濃度の時系列データ：基準津波(水位上昇側)[防波堤有り最大ケース]

- ・ 取水口から海水熱交換器建屋までの地形変化量並びに取水口及び貯水槽位置における浮遊砂濃度の時系列データを以下に示す。
- ・ 浮遊砂は、取水路と比較して流速が遅い取水口～貯水槽範囲で沈降し、海水熱交換器建屋まで到達しないことを確認した。

【取水口から海水熱交換器建屋までの地形変化量(A系)】



【浮遊砂濃度の時系列データ】



目次

1. 評価方針	16
2. 海底地形変化	18
3. 海水熱交換器建屋内における砂の堆積	36
4. まとめ	47

1. 評価方針

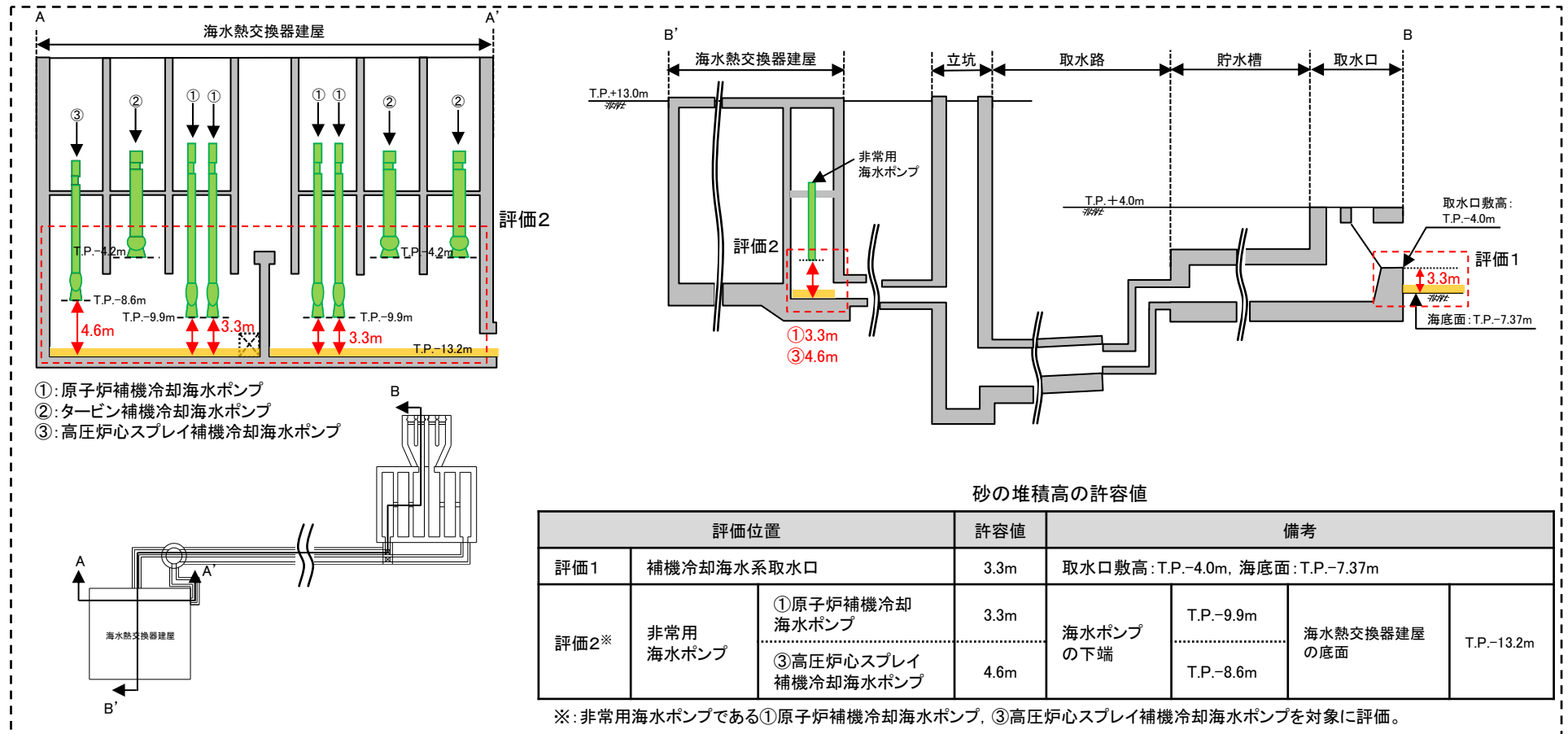
1. 評価方針

■海底地形変化(評価1)

- 基準津波に伴う砂移動(海底地形変化)を評価して、補機冷却海水系取水口前面の砂の堆積高が取水口高さを上回らず(取水口敷高に到達せず)、非常用海水ポンプの取水に影響が無いことを確認する。
- 砂移動解析は、藤井ほか(1998)及び高橋ほか(1999)の手法を用いて実施する。

■海水熱交換器建屋内における砂の堆積(評価2)

- 海水熱交換器建屋内における砂の堆積高を評価して、非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高が非常用海水ポンプの下端に到達せず、非常用海水ポンプの取水に影響が無いことを確認する。
- 砂の堆積高は、非常用取水設備を一次元的にモデル化し、高橋ほか(1999)の手法を用いて算定する。
- 本検討は、各基準津波による海底地形変化の評価(評価1)において、防波堤有り・無しの各条件で、取水口前面における砂の堆積高が最も大きいケースを対象に実施する。



2. 海底地形変化

- 2. 1 評価概要
- 2. 2 計算条件
- 2. 3 評価結果

2. 海底地形変化

2.1 評価概要

- ・ 藤井ほか(1998)及び高橋ほか(1999)の手法を用いて、各基準津波※に伴う海底地形変化を評価した。計算フローを右図に示す。
- ・ 防波堤について、防波堤有りと防波堤無しで流況(流速, 流向)が異なり、補機冷却海水系取水口前面の堆積高及び浮遊砂濃度の評価に影響を及ぼすことから、防波堤有り・無しの両条件で海底地形変化を評価した。

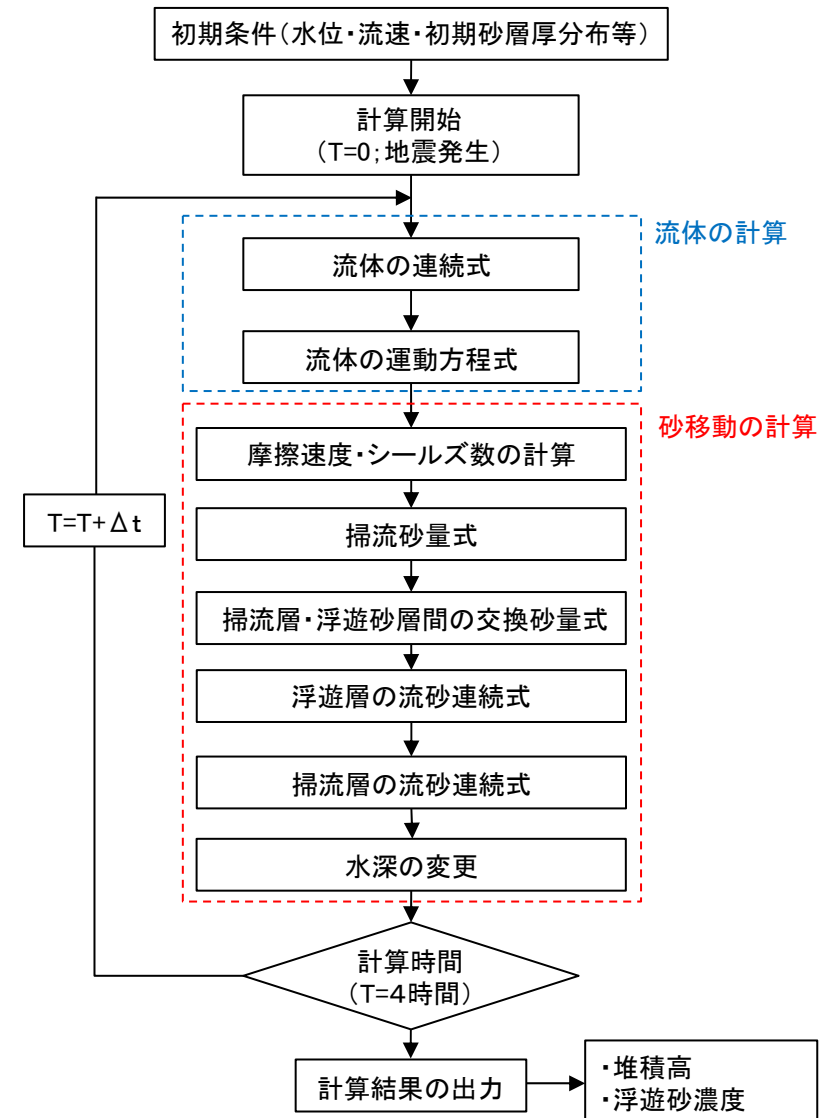
※:基準津波の詳細は、補足説明資料「1. 基準津波の策定」に記載。

■基準津波(水位上昇側)

基準津波	
基準津波 [水位上昇側 (防波堤無し最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル①(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(内閣府(2012)考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波

■基準津波(水位下降側)

基準津波	
基準津波 [水位下降側1 (防波堤有り最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル③(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり分布の不確かさ考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり①単独)との組合せ津波
基準津波 [水位下降側2 (防波堤無し水位最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル②(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさ考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり①単独)との組合せ津波
基準津波 [水位下降側3 (防波堤無し時間最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル②(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさ考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波



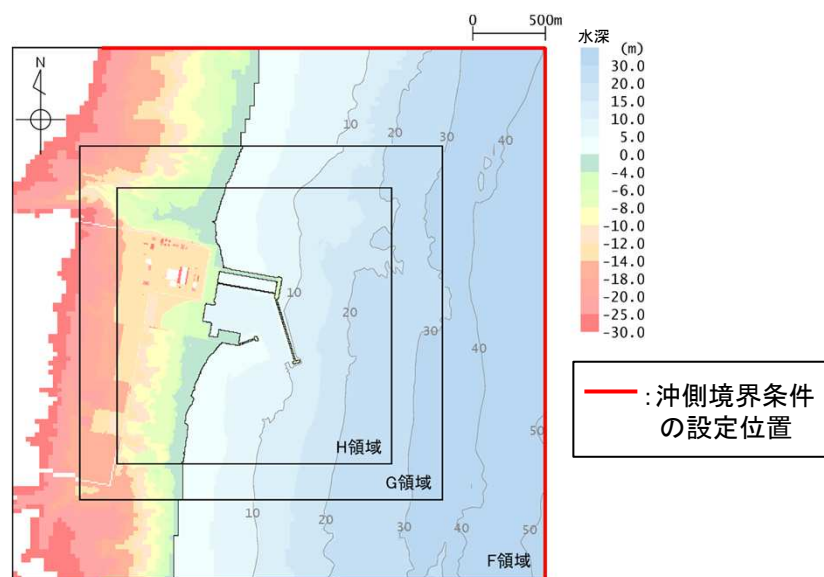
2. 海底地形変化

20

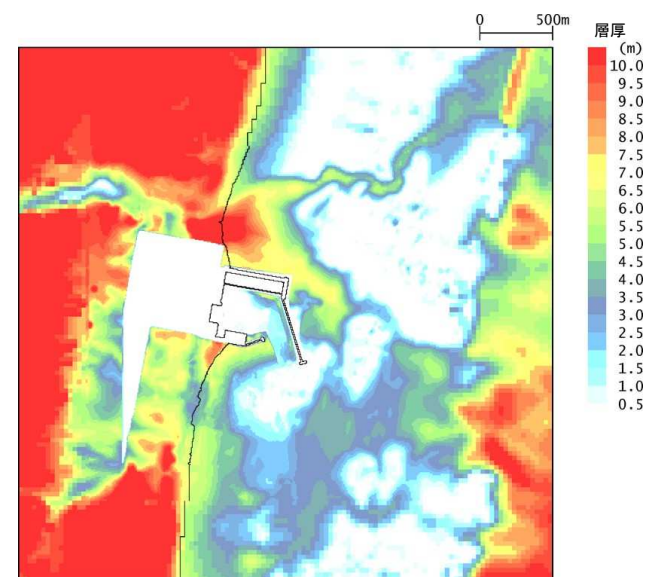
2.2 計算条件: 流体

- 下記の計算条件に基づき流体の計算を実施した。

項目	設定値
砂移動モデル	藤井ほか(1998), 高橋ほか(1999)
空間格子間隔 Δs	F領域: 31m(2500/81), G領域: 10m(2500/243), H領域: 5m(2500/486)
時間格子間隔 Δt	0.05秒
沖側境界条件	- 基準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境界条件として入力 - 解析領域境界での砂の流入出を考慮
陸側境界条件	小谷ほか(1998)の遡上境界条件
海底摩擦	マンニングの粗度係数 $n = 0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$
潮位条件	T.P. $\pm 0.0\text{m}$
計算時間	地震発生後4時間



計算領域の水深と沖側境界条件の設定位置



初期砂層厚分布※

※: 当社調査による基盤等深線図(1993.6), 及び深浅測量図(2011.6)を基に作成。

2. 海底地形変化

2. 2 計算条件:砂移動

- 各評価手法の計算条件を以下に示す。

計算条件

項目	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)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	$E = \frac{(1-\alpha)Qw^2\sigma(1-\lambda)}{Uk_z \left[1 - \exp\left\{\frac{-wD}{k_z}\right\} \right]}$	高橋ほか(1999)の実験式 $E = 0.012 \tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$
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	マニング則より算出 $u_* = \sqrt{gn^2 U^2 / D^{1/3}}$

ここに,

Z : 水深変化量(m) t : 時間(s) x : 平面座標 τ_* : シールズ数 g : 重力加速度(m/s²)
 Q : 単位幅, 単位時間当たりの掃流砂量 (m³/s/m) ρ : 海水の密度(=1,030kg/m³, 一般値) σ : 砂の密度(=2,838kg/m³, 調査結果より)
 d : 砂の粒径(=2.13×10⁻⁴m(中央粒径), 調査結果より) λ : 空隙率(=0.4, 藤井ほか(1998) 他より) $s := \sigma / \rho - 1$
 U : 流速(m/s) D : 全水深(m) $M := U \times D$ (m²/s) n : マニングの粗度係数(=0.03m^{-1/3}s, 土木学会(2016) より)
 α : 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(=0.2ku_{*}h, 藤井ほか(1998) より)(m²/s) ks : 相当粗度(=(7.66ng^{1/2})⁶)(m) h : 水深(m)
 κ : カルマン定数(=0.4, 藤井ほか(1998) より) C_s : 浮遊砂濃度(浮遊砂濃度連続式より算出) u_* : 摩擦速度(m/s)
 C, C_b : 浮遊砂濃度, 底面浮遊砂濃度(浮遊砂濃度連続式より算出) (kg/m³) E : 巻き上げ率(kg/m²/s)
 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. 海底地形変化

2.2 計算条件: 砂の密度, 粒径

- 発電所周辺で実施した調査結果に基づき、砂の密度、粒径（中央粒径）を設定した。

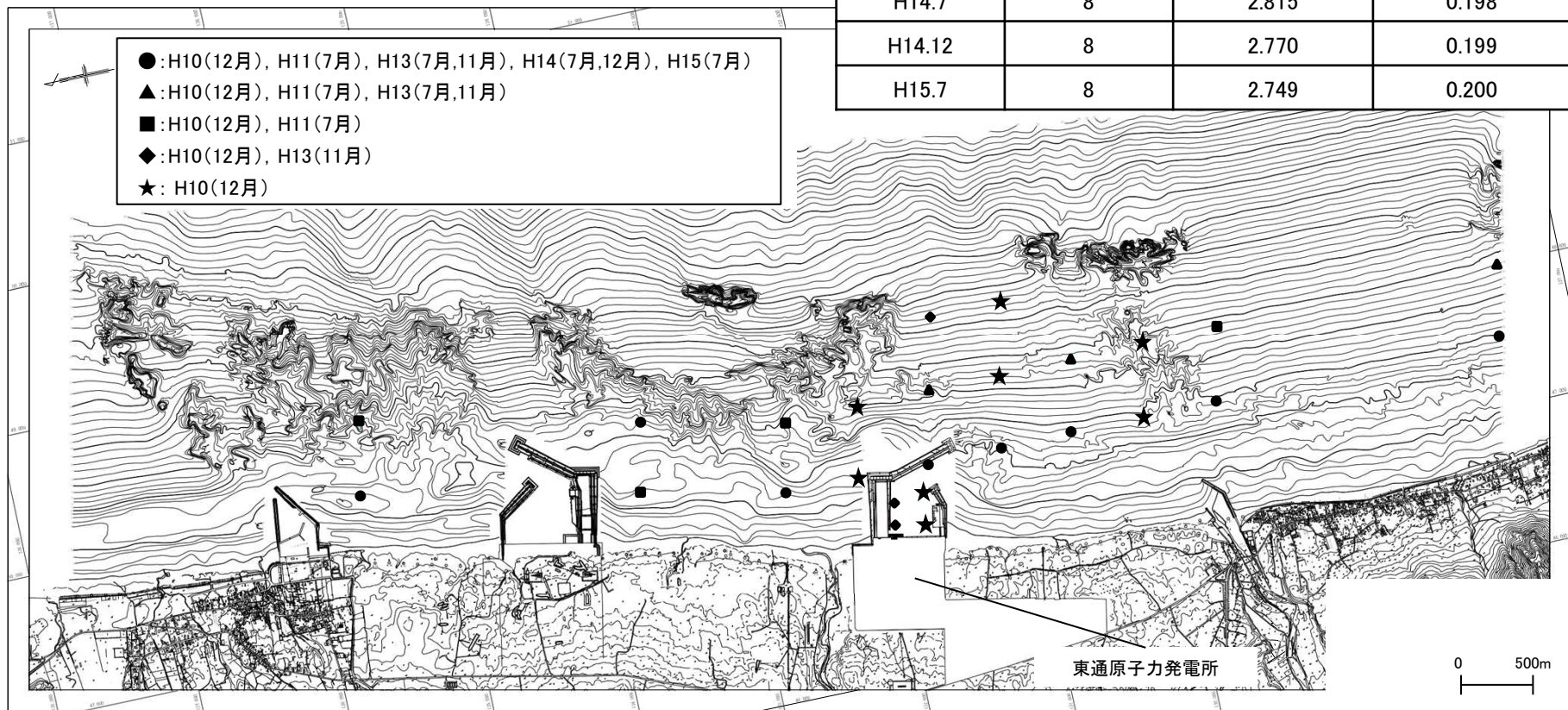
	密度: ρ (g/cm ³)	中央粒径: D_{50} (mm)
設定値※	2.838	0.213

※: 各年の調査結果の平均値

■調査結果

調査年月	調査点数	密度: ρ (g/cm ³)	中央粒径: D_{50} (mm)
H10.12	28	2.829	0.218
H11.7	15	2.910	0.210
H13.7	8	2.890	0.249
H13.11	14	2.852	0.210
H14.7	8	2.815	0.198
H14.12	8	2.770	0.199
H15.7	8	2.749	0.200

■調査位置



2. 海底地形変化

2.2 計算条件:浮遊砂濃度上限値

■基本方針

- ・ 藤井ほか(1998)の手法では, 1%, 5%に設定した。
- ・ 高橋ほか(1999)の手法では, 浮遊砂濃度上限値の設定に係る文献調査(詳細p24に記載。), 並びに女川原子力発電所周辺における3.11地震津波による砂移動の再現解析(詳細はp25～26に記載。)を踏まえ1%に設定した。

2. 海底地形変化

2.2 計算条件:高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度上限値の設定

■高橋ほか(1999)の手法を用いる際の浮遊砂濃度上限値の設定に係る文献調査

- ・ 高橋ほか(1999)の手法を用いた既往津波による海底地形変化の再現解析に関する文献調査結果を以下に示す。
- ・ 1960年チリ津波による気仙沼湾(玉田ほか(2009)), 八戸港(藤田ほか(2010))の再現解析結果から, 浮遊砂濃度上限値5%は過大評価になると考えられる。
- ・ 上記事例に加え, 3.11地震津波による宮古湾(近藤ほか(2012)), 気仙沼湾(森下・高橋(2014))の再現解析結果から, 浮遊砂濃度上限値1%は妥当な設定値であると考えられる。

文献調査結果

検証箇所 (検証津波)	文献	計算使用 砂粒径	計算格子 間隔	浮遊砂濃度 上限値	浮遊砂濃度上限値に関する評価
気仙沼湾 (1960年チリ津波)	玉田ほか (2009)	0.001～ 1mm	25m, 5m	1%, 5%	・ 計算格子間隔5mの場合, 浮遊砂濃度上限値5%は実績値より浸食深を過大に評価。
八戸港 (1960年チリ津波)	藤田ほか (2010)	0.26mm	10.3m	1%, 2%, 5%	・ 浮遊砂濃度上限値5%は過大に評価。 ・ 浮遊砂濃度上限値1%, 2%の場合の再現性が良好。
宮古湾 (3.11地震津波)	近藤ほか (2012)	0.08mm	10m	1%	・ 土砂移動の全体的な傾向は良く一致。 ・ 防波堤堤頭部の最大洗掘深や断面地形も定量的に概ね良く一致。
気仙沼湾 (3.11地震津波)	森下・ 高橋(2014)	0.3mm	10m	1% 可変※	・ 砂移動評価に影響を及ぼす因子として, 無次元掃流力, 流砂量式係数, 飽和浮遊砂濃度の3つを抽出。 ・ 上記3つの因子を同時に変えたモデルにより, 再現性が向上する可能性を示唆。 ・ 飽和浮遊砂濃度については, 摩擦速度の関数とすることで再現性の向上に繋がることを示唆。

※: 試行的に $C_{sat} = \alpha \times \sqrt{U^2 \times V^2}$ と規定(C_{sat} : 飽和浮遊砂濃度, U, V : 断面平均流速(m/s), $\alpha=0.01$)。

2. 海底地形変化

2.2 計算条件:高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度上限値の設定

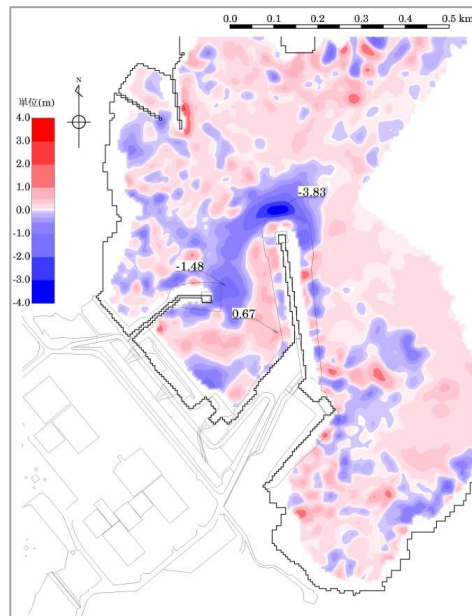
■高橋ほか(1999)の手法を用いた女川原子力発電所における3.11地震津波に伴う砂移動の再現解析:高橋ほか(1999)の流砂量式・巻き上げ量の算定式

- ・ 浮遊砂濃度上限値について、高橋(2012)は、「高橋ほか(1999)の手法は、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ため、浮遊砂濃度の上限を便宜的に導入している。」としていることから※¹、高橋ほか(1999)の手法を用いる際の浮遊砂濃度上限値に係る文献調査(p24)の結果を踏まえ、浮遊砂濃度上限値を1%に設定した。
- ・ 女川原子力発電所の3.11地震津波を良好に再現する女川再現モデル※²を用いて再現解析を実施した結果、全体的な海底地形変化の分布は過大な傾向を示すことを確認した。
- ・ なお、解析から得られる最大流速を用いて、最大シールズ数の空間分布を整理した結果、浸食傾向が見られる防波堤港口部付近では、シールズ数が顕著に大きくなっており、高橋ほか(1999)で論じられている範囲(概ね1以下の実験結果)※¹を大きく超えていることを確認した。

※¹:女川再現モデルの詳細は、補足説明資料「2. 女川再現モデル」に記載。

※²:高橋ほか(1999)の適用範囲と浮遊砂濃度上限に関する説明の詳細は、補足説明資料「3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料」に記載。

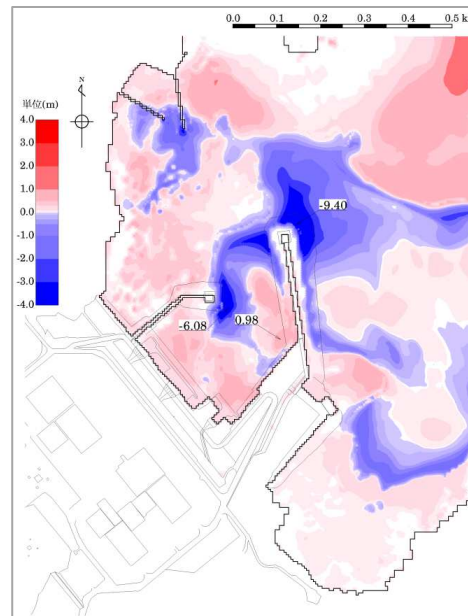
【3.11地震津波による海底地形の変化(実績)※³】



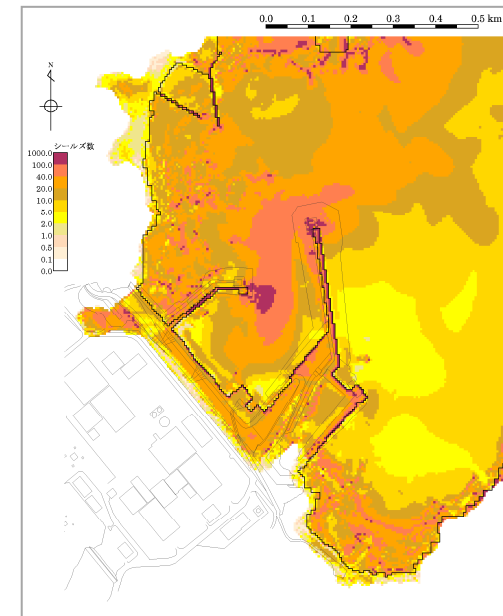
(赤:堆積域, 青:浸食域)

※³:当社深浅測量調査(2010.10, 2011.5)を基に作成(東北電力(2011))

【再現解析結果:高橋ほか(1999)の流砂量式・巻き上げ量の算定式】



海底地形変化
(赤:堆積域, 青:浸食域)



最大シールズ数の空間分布

2. 海底地形変化

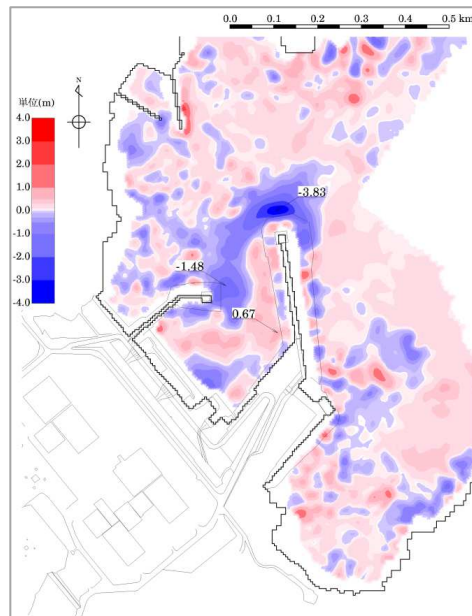
2.2 計算条件: 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度上限値の設定

■高橋ほか(1999)の手法を用いた女川原子力発電所における3.11地震津波に伴う砂移動の再現解析: 高橋ほか(2011)の流砂量式・巻き上げ量の算定式

- 高橋ほか(2011)で示される流砂量式, 巻き上げ量の算定式(粒径 $d=0.166\text{mm}$ の実験式)を用いて, 浮遊砂濃度上限値1%とした場合の再現解析を実施した結果, 全体的な海底地形変化の分布を概ね再現することを確認した。
- 解析から得られる最大流速を用いて, 最大シールズ数の空間分布を整理した結果, 前述した高橋ほか(1999)による解析結果と同様に, 浸食傾向が見られる防波堤港口部付近のシールズ数は顕著に大きく, 高橋ほか(2011)で論じられている範囲(概ね1~5程度の実験結果)を大きく超えているが, 高橋ほか(1999)と比較して再現性が向上している要因は, 粒径依存性を考慮した新たな算定式であること等の影響によるものと考えられる※1。

※1: 高橋ほか(1999)と高橋ほか(2011)の流砂量式, 巻き上げ量の算定式の比較を, 補足説明資料「3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料」に記載。

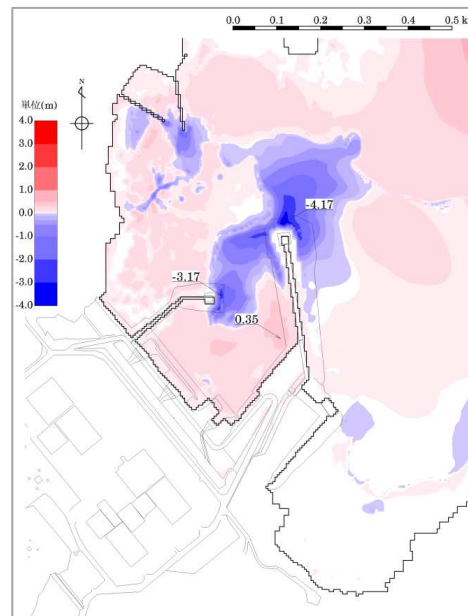
【3.11地震津波による海底地形の変化(実績)※2】



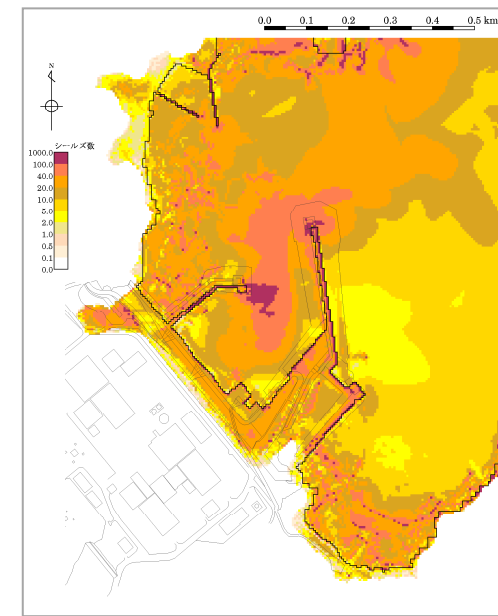
(赤: 堆積域, 青: 浸食域)

※2: 当社深浅測量調査(2010.10, 2011.5)を基に作成(東北電力(2011))

【再現解析結果: 高橋ほか(2011)の流砂量式・巻き上げ量の算定式(粒径 $d=0.166\text{mm}$ の実験式)】



海底地形変化
(赤: 堆積域, 青: 浸食域)



最大シールズ数の空間分布

以上から, 高橋ほか(1999)の手法に用いる浮遊砂濃度上限値を1%に設定した。

2. 海底地形変化

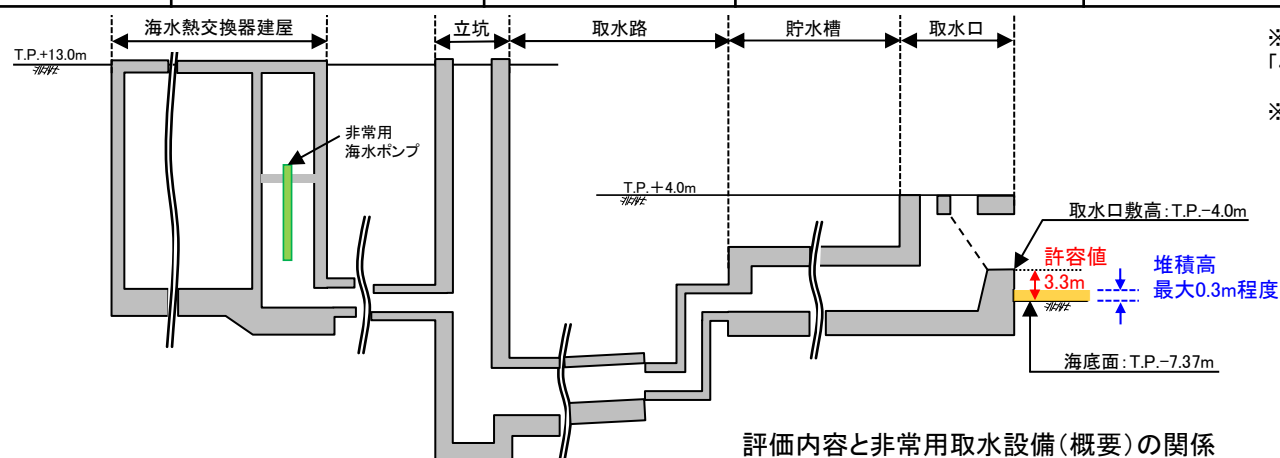
2.3 評価結果

27

- 評価結果の一覧を下表に示す。補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高は最大で0.3m程度であり、取水口敷高を上回らないことを確認した。
- 次頁以降に、防波堤有り、防波堤無し最大ケースの最大堆積厚分布、4時間後の海底地形変化量分布及び補機冷却海水系取水口前面における海底地形変化量等の時刻歴データを示す。また、高橋ほか(1999)の手法の解析結果については、最大シルズ数の空間分布も示す※¹。
- あわせて、補機冷却海水系取水口前面に砂が堆積する時間帯のスナップショットを示す。

下線: 防波堤有り・無し最大ケース

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度 上限値	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)		許容値(m)
			防波堤有り	防波堤無し	
基準津波 (水位上昇側)	藤井ほか(1998)	1%	0.02	0.06	3.3※ ²
		5%	0.02	0.06	
	高橋ほか(1999)	1%	0.21	0.14	
基準津波 (水位下降側1)	藤井ほか(1998)	1%	0.01	0.00	
		5%	0.02	0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	0.08	0.17	
基準津波 (水位下降側2)	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	
		5%	0.00	0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	0.08	0.15	
基準津波 (水位下降側3)	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	
		5%	0.00	0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	0.09	0.16	



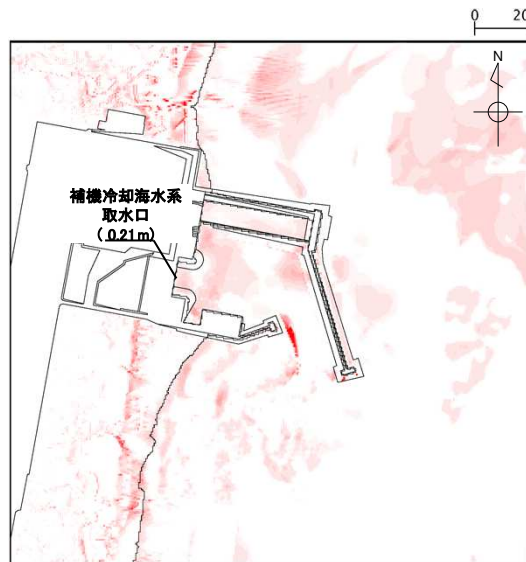
余 白

2. 海底地形変化

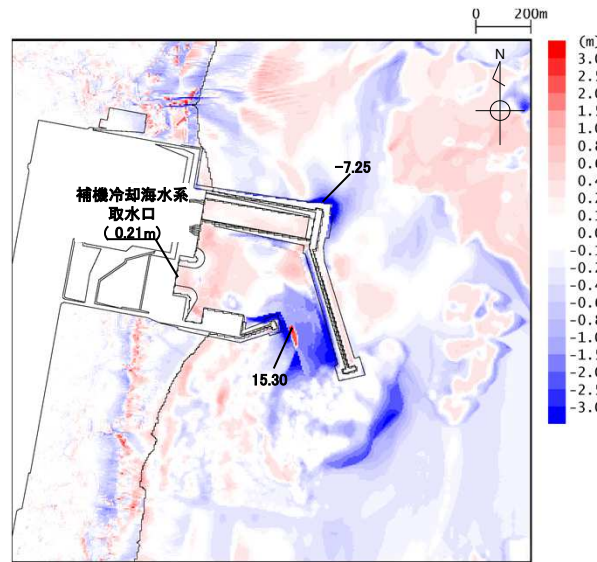
2.3 評価結果：基準津波（水位上昇側）〔防波堤有り最大ケース〕

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	高橋ほか(1999)	1%	有	0.21m

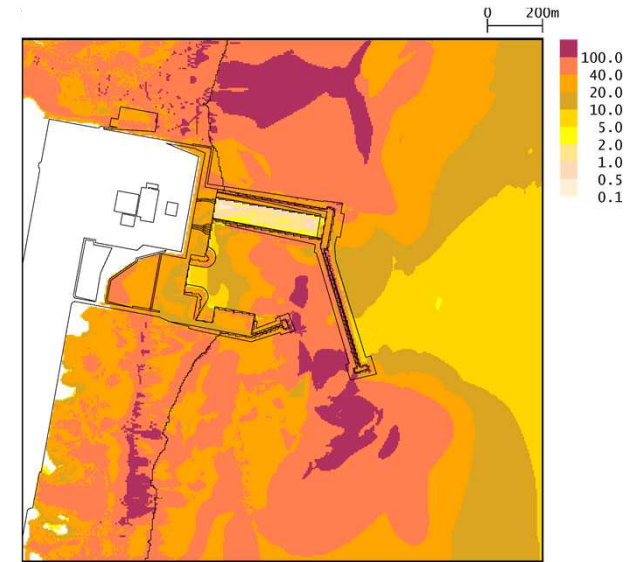
■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布



最大堆積厚分布



4時間後の海底地形変化量分布



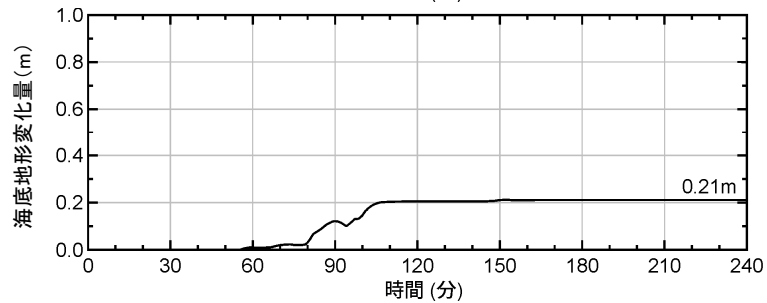
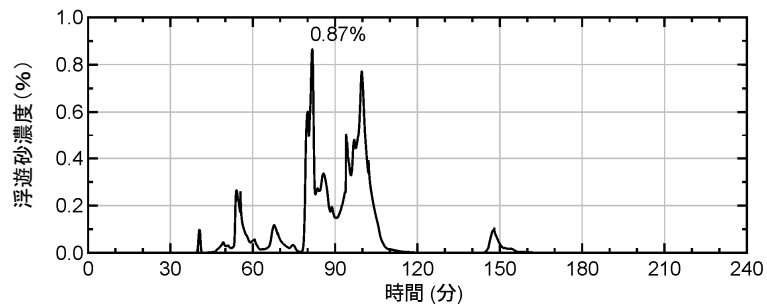
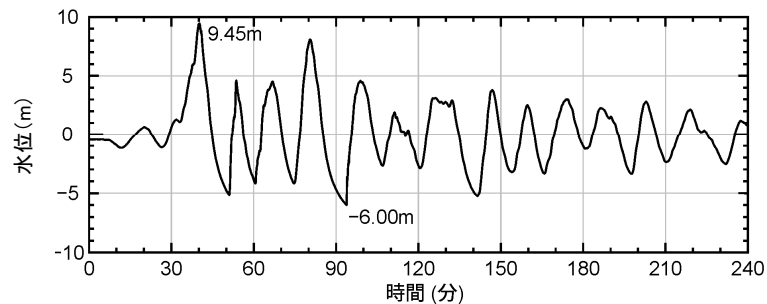
最大シールズ数の空間分布

2. 海底地形変化

2.3 評価結果：基準津波（水位上昇側）〔防波堤有り最大ケース〕

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	高橋ほか(1999)	1%	有	0.21m

■補機冷却海水系取水口前面における水位、浮遊砂濃度、海底地形変化量の時刻歴データ



2. 海底地形変化

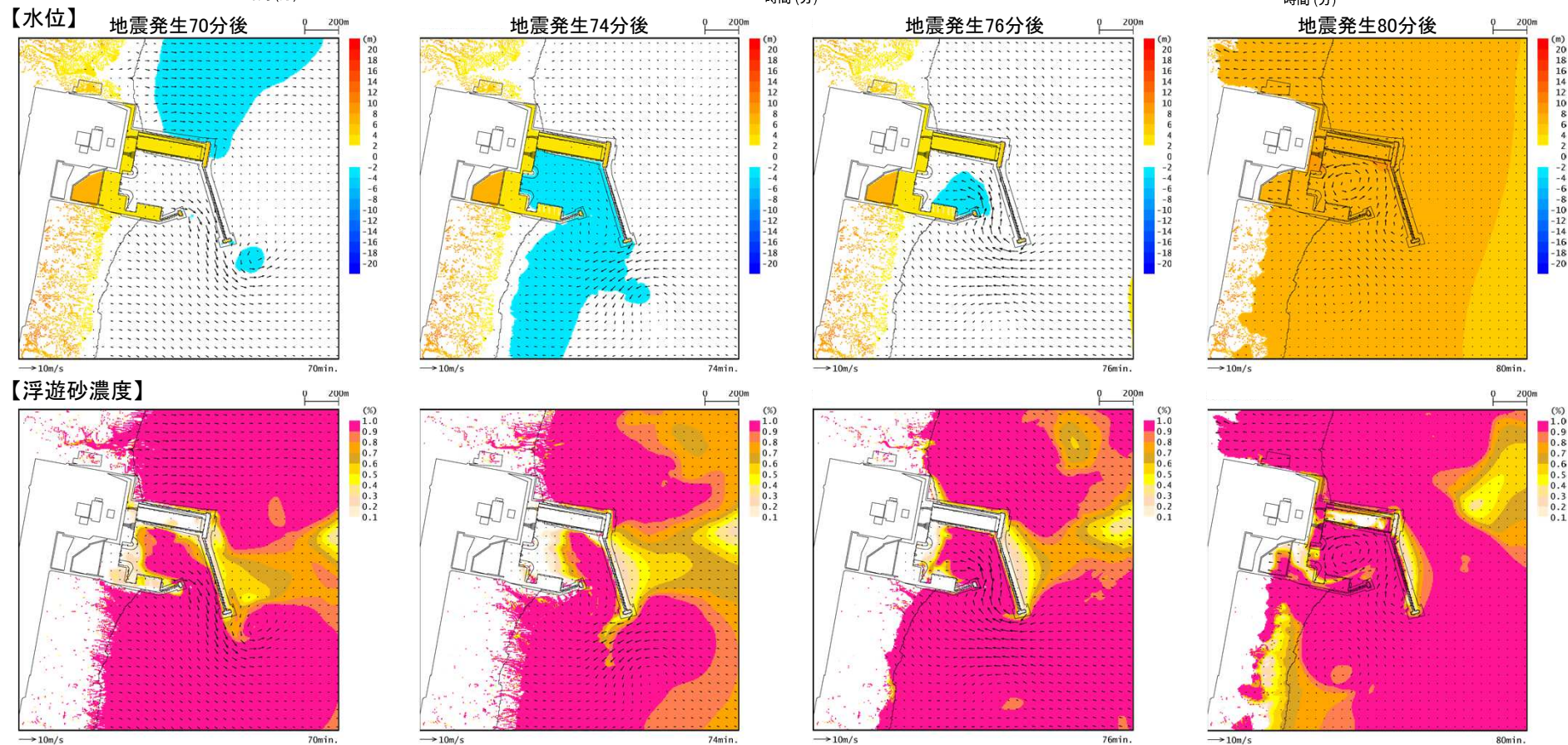
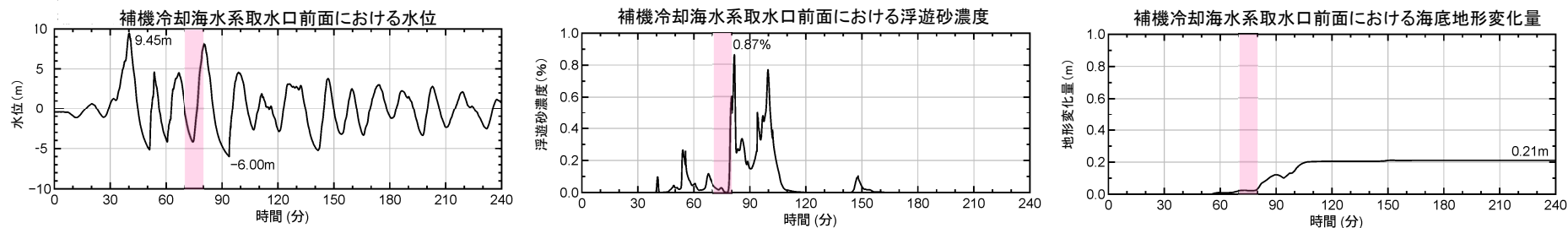
2.3 評価結果：基準津波（水位上昇側）〔防波堤有り最大ケース〕

31

■水位及び浮遊砂濃度のスナップショット

- 補機冷却海水系取水口前面には第3波及び第4波の引き波後に砂が堆積していることから、同時間帯の水位及び浮遊砂濃度のスナップショットを以下に示す。
- いずれも引き波により沖合へ移動した高濃度の浮遊砂が、その後の押し波により取水口前面方向へ移動し、その後に砂が堆積していることを確認した。

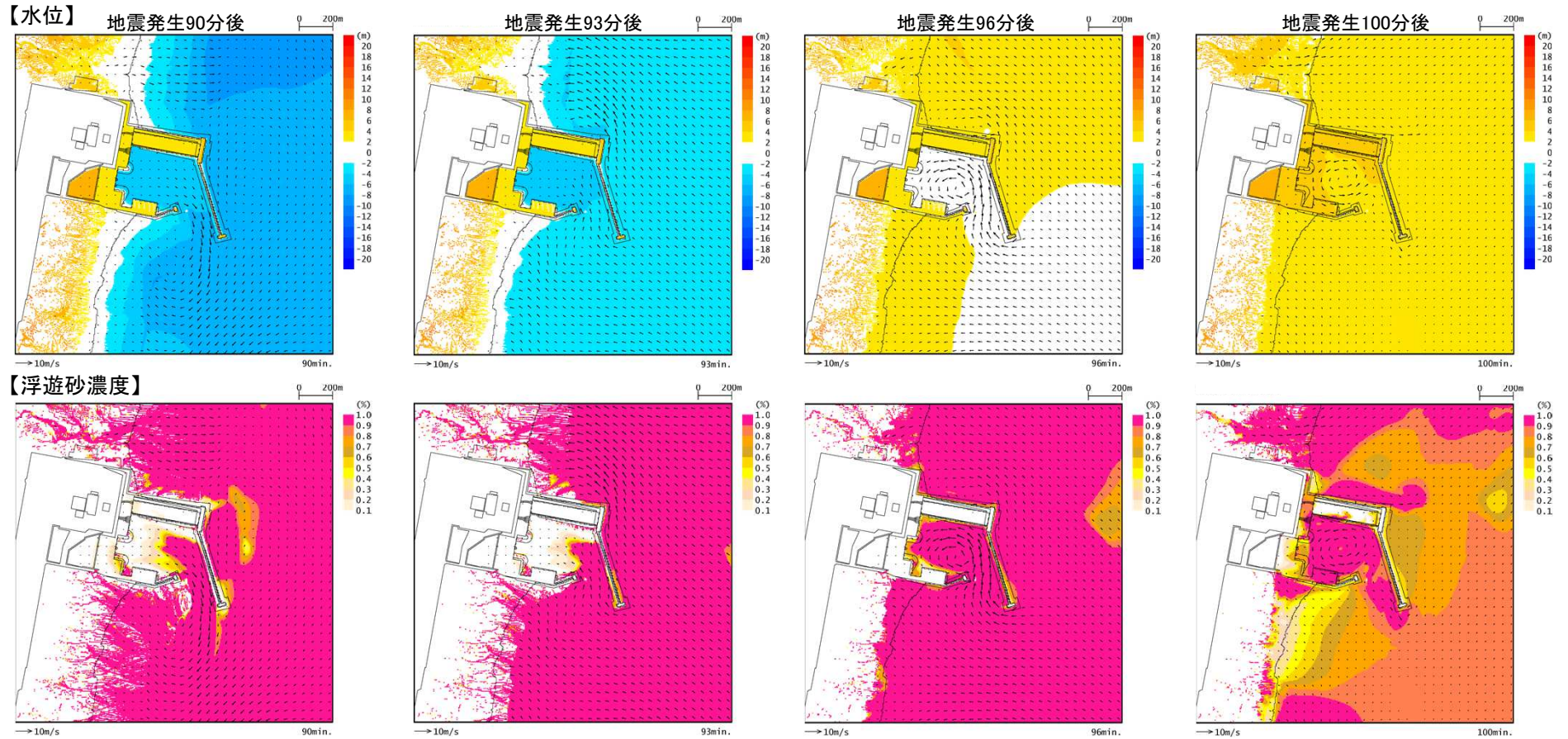
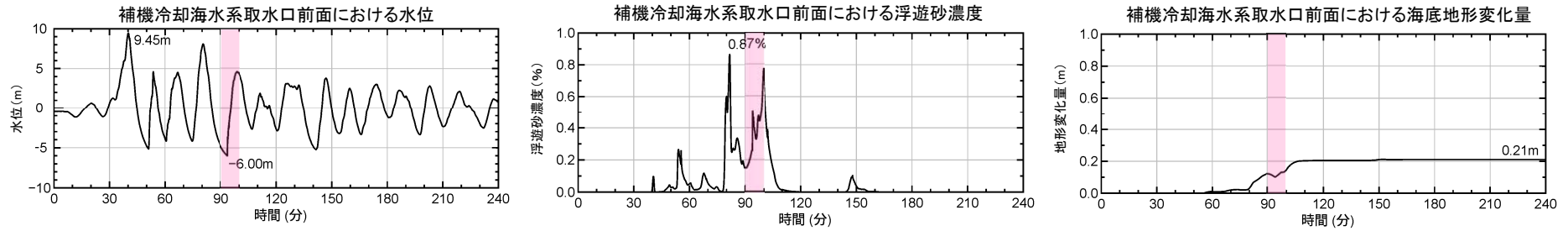
【第3波：地震発生70分後～80分後】



2. 海底地形変化

2.3 評価結果：基準津波（水位上昇側）〔防波堤有り最大ケース〕

【第4波：地震発生90分後～100分後】

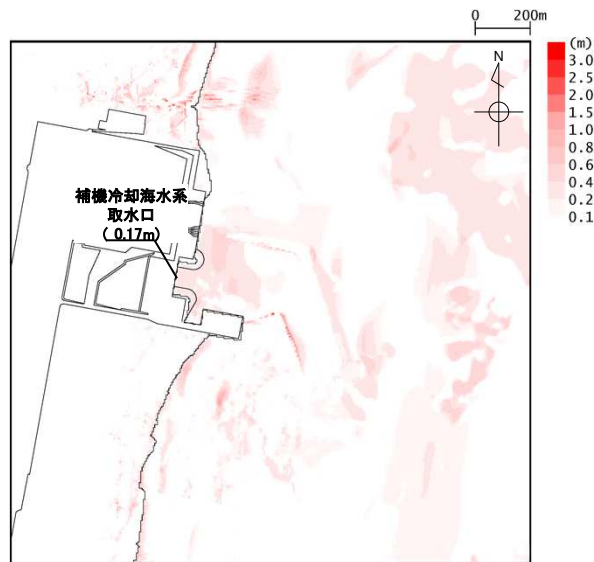


2. 海底地形変化

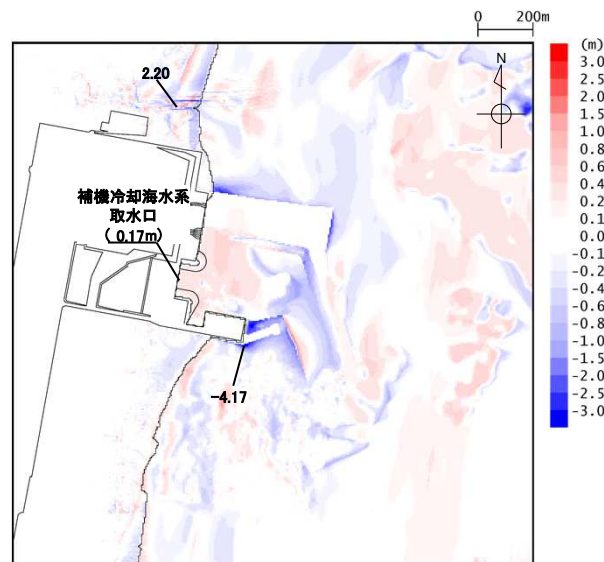
2.3 評価結果：基準津波（水位下降側1）〔防波堤無し最大ケース〕

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	高橋ほか(1999)	1%	無	0.17m

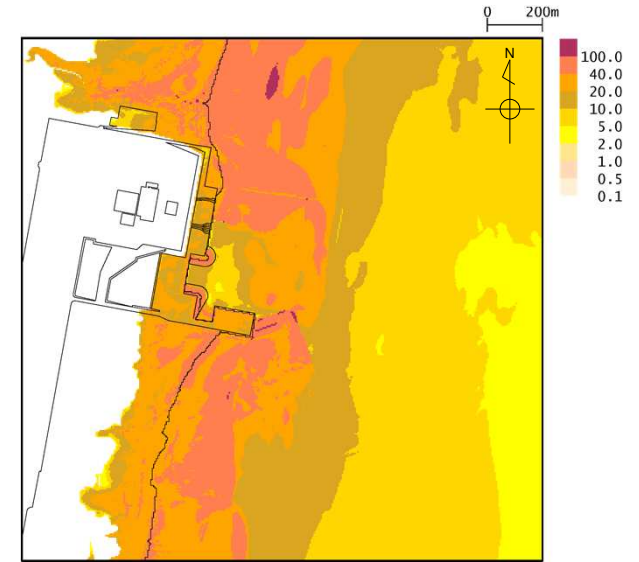
■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シルズ数の空間分布



最大堆積厚分布



4時間後の海底地形変化量分布



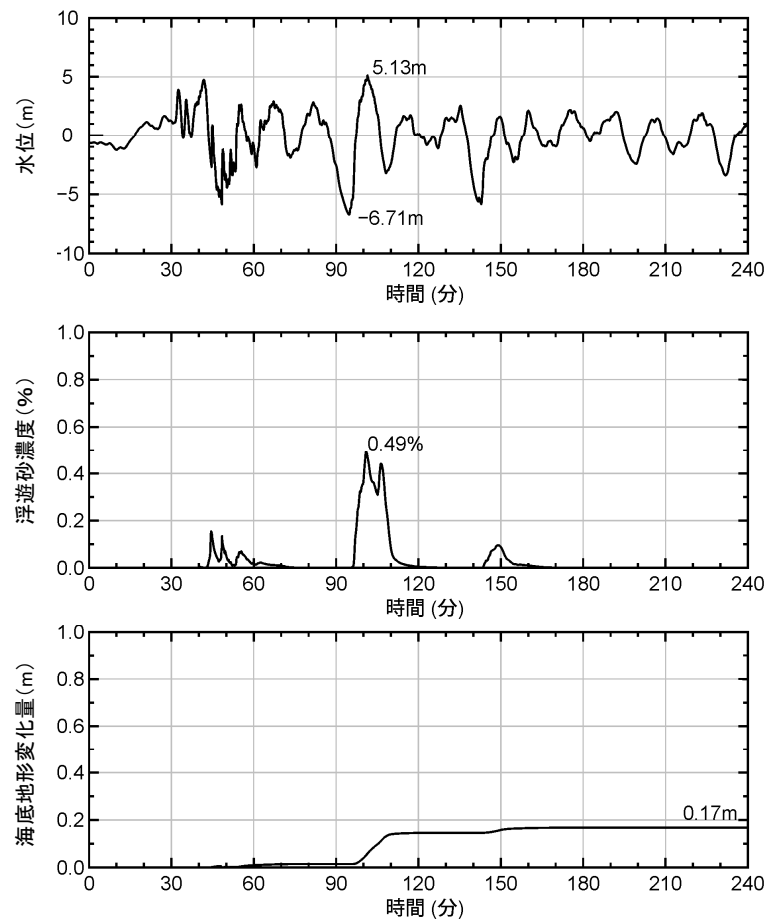
最大シルズ数の空間分布

2. 海底地形変化

2.3 評価結果：基準津波（水位下降側1）〔防波堤無し最大ケース〕

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	高橋ほか(1999)	1%	無	0.17m

■補機冷却海水系取水口前面における水位，浮遊砂濃度，海底地形変化量の時刻歴データ



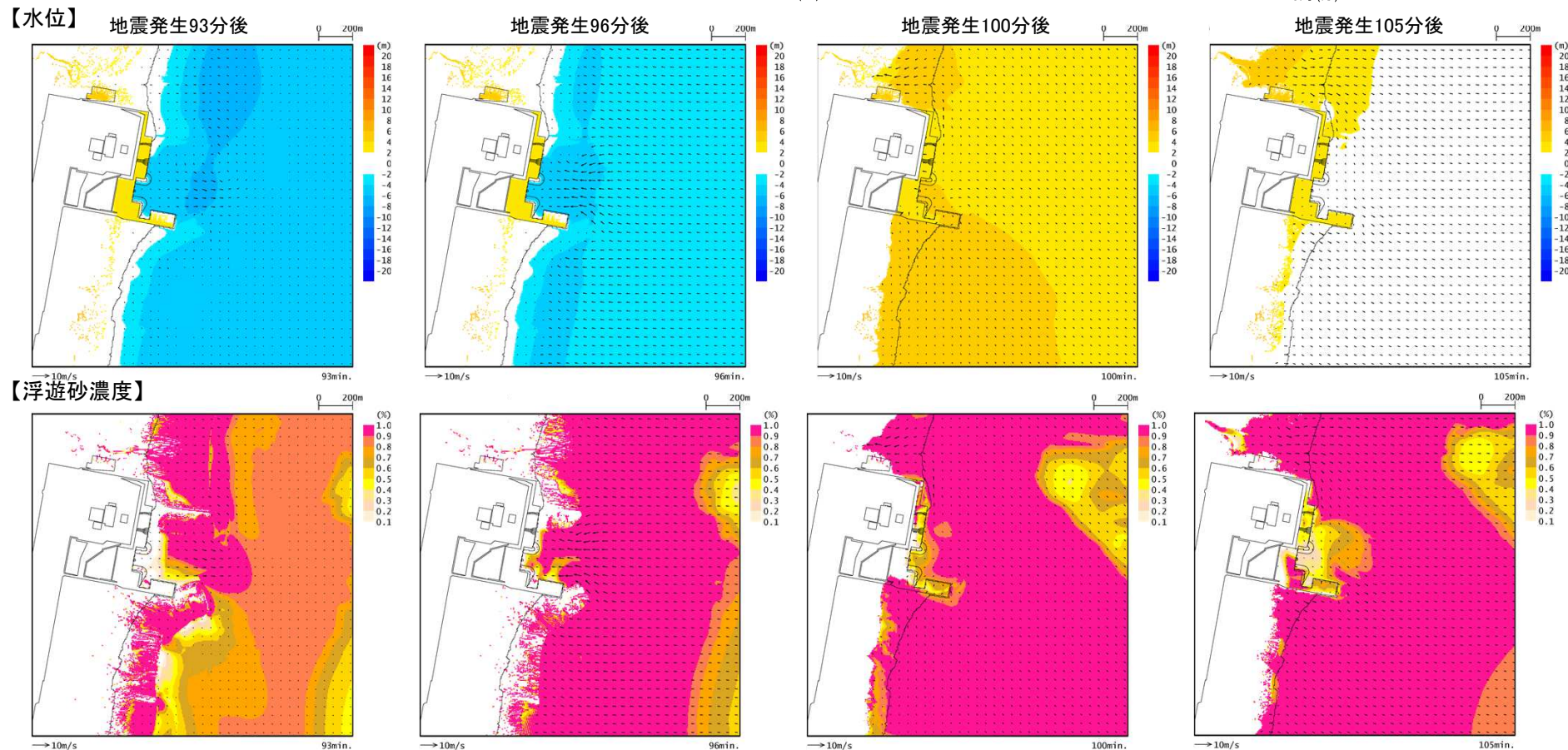
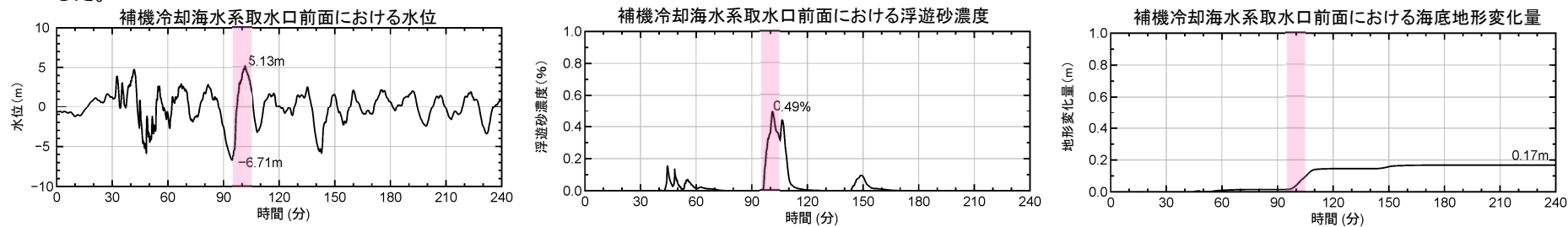
2. 海底地形変化

2.3 評価結果：基準津波（水位下降側1）〔防波堤無し最大ケース〕

35

■水位及び浮遊砂濃度のスナップショット

- 補機冷却海水系取水口前面には第4波の引き波後に砂が堆積していることから、同時間帯（地震発生93分後～105分後）のスナップショットを以下に示す。
- 防波堤有り条件と比較して浮遊砂濃度は小さいものの、防波堤が無いに伴い発電所敷地全体に高濃度の浮遊砂が10分間程度継続して来襲していることを確認した。



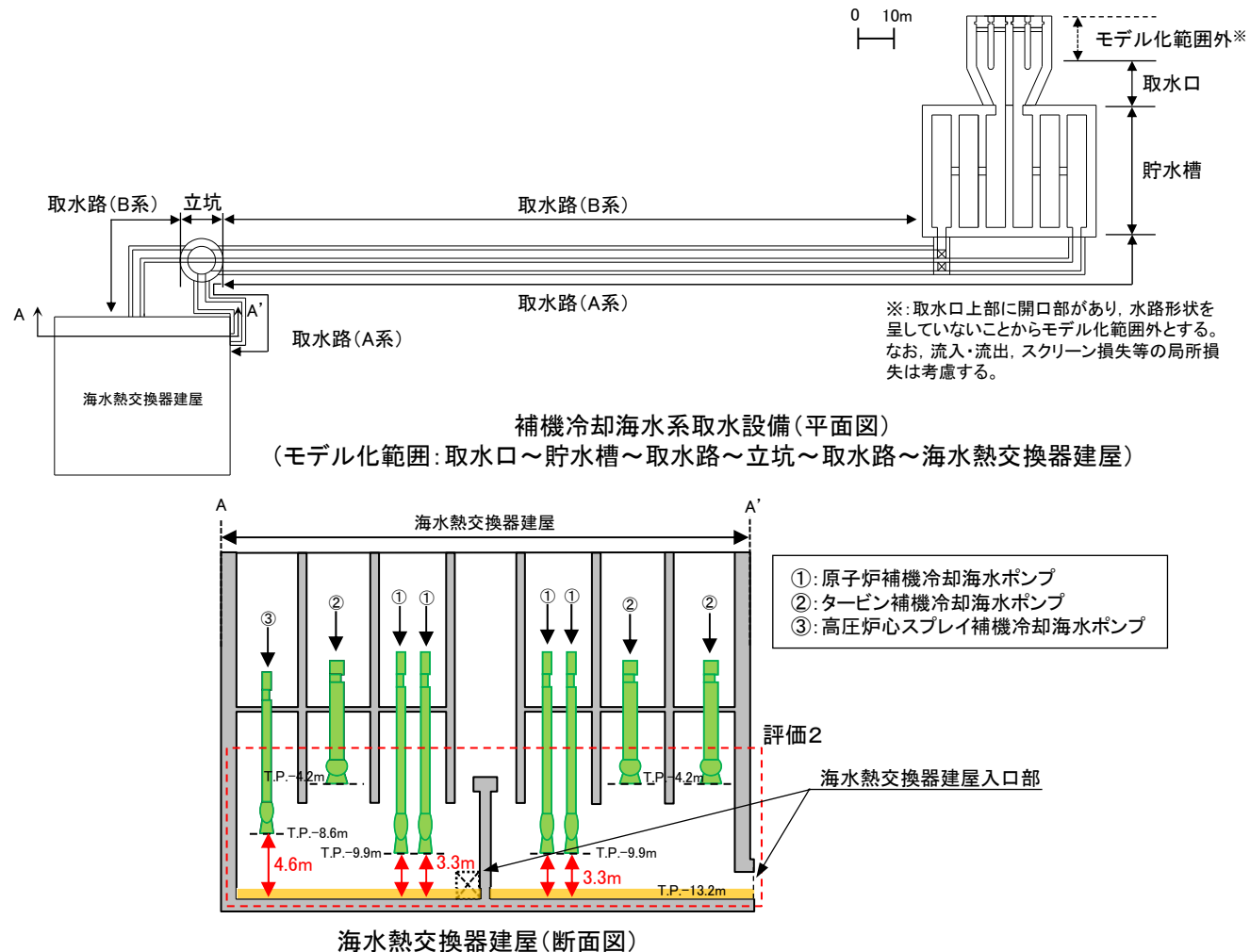
3. 海水熱交換器建屋内における砂の堆積

- 3. 1 評価概要
- 3. 2 計算条件
- 3. 3 評価結果

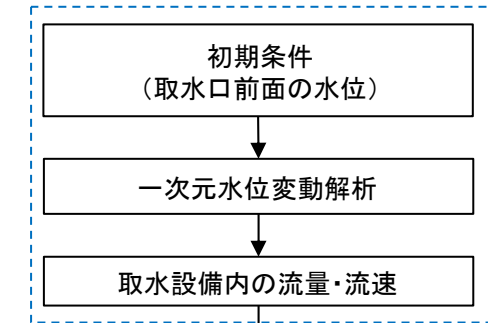
3. 海水熱交換器建屋内における砂の堆積

3.1 評価概要

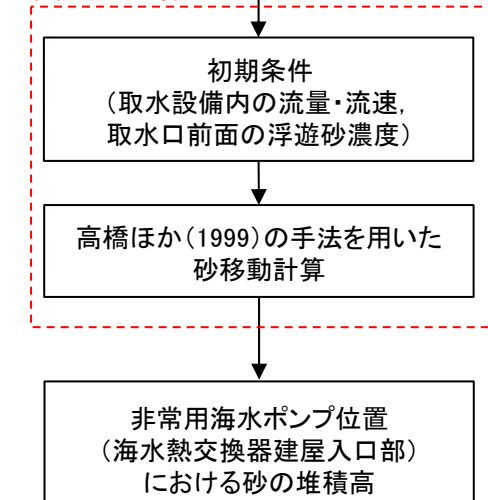
- ・ 海底地形変化の評価(評価1)から得られる補機冷却海水系取水口前面の浮遊砂濃度を境界条件として、高橋ほか(1999)の手法を用いて砂移動解析を実施し、非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高を算定した。
- ・ 本評価に用いる取水設備内の流量及び流速は、取水設備の水利特性を考慮した一次元水位変動解析により算定した。モデル化範囲を下図に示す。
- ・ 海水熱交換器建屋内における砂の堆積高の算定位置について、海水熱交換器建屋内は2系統で分割されており、一次元解析で系統別に砂の堆積高を算定することは困難であることから、安全側に海水熱交換器建屋入口部の砂の堆積高を非常用海水ポンプ位置の堆積高として評価した。
- ・ 計算フローを右図に示す。



流体の計算



砂移動の計算



3. 海水熱交換器建屋内における砂の堆積

38

3.1 評価概要：検討ケース

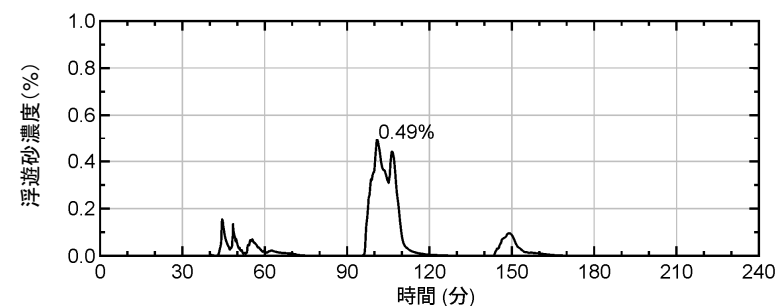
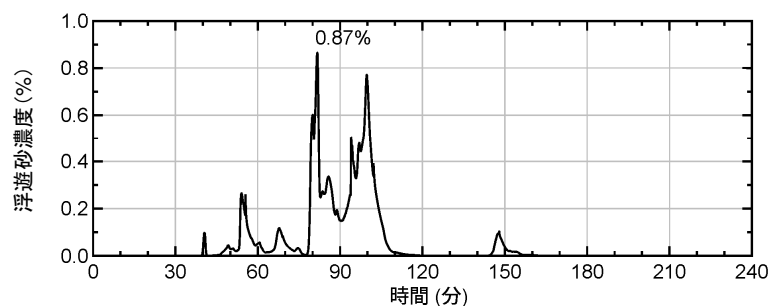
- 各基準津波による海底地形変化の評価(評価1)において、防波堤有り、無しの各条件で、取水口前面における砂の堆積高が最も大きいケースを対象に実施した。

海底地形変化の評価結果

下線：防波堤有り・無し最大ケース

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度 上限値	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)		備考
			防波堤有り	防波堤無し	
基準津波 (水位上昇側)	藤井ほか(1998)	1%	0.02	0.06	
		5%	0.02	0.06	
	高橋ほか(1999)	1%	<u>0.21</u>	0.14	検討ケース
基準津波 (水位下降側1)	藤井ほか(1998)	1%	0.01	0.00	
		5%	0.02	0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	0.08	<u>0.17</u>	検討ケース
基準津波 (水位下降側2)	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	
		5%	0.00	0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	0.08	0.15	検討ケース
基準津波 (水位下降側3)	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	
		5%	0.00	0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	0.09	0.16	検討ケース

■補機冷却海水系取水口前面における浮遊砂濃度の時系列データ(評価手法:高橋ほか(1999), 浮遊砂濃度上限値:1%)



余 白

3. 海水熱交換器建屋内における砂の堆積

3.2 計算条件：取水設備の水理特性を考慮した水位変動解析※

※：砂移動の計算条件(高橋ほか(1999)の手法)の詳細はp21に記載。

- ・ 下記の計算条件に基づき、取水設備の水理特性を考慮した水位変動解析を実施した。

項 目	設 定 内 容
基礎方程式	一次元開水路非定常流の連続式及び運動方程式
計算時間間隔	0.0001秒
計算格子間隔	0.5m
局所損失係数	千秋(1967), 土木学会(1999), 電力土木技術協会(1995) による
貝代	15cm
摩擦損失係数	$n=0.018\text{m}^{-1/3}\text{s}$
海水ポンプの取水条件	①循環水ポンプ：停止 ②原子炉補機冷却海水ポンプ：2,000 $\text{m}^3/\text{hr} \times 2$ 台 ③高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ：停止 ④タービン補機冷却海水ポンプ：1,920 $\text{m}^3/\text{hr} \times 2$ 台(海水熱交換器建屋内水位T.P.-2.357m以下で取水停止)
潮位条件	・水位上昇側：朔望平均満潮位 T.P.+0.61m ・水位下降側：朔望平均干潮位 T.P.-0.87m
基準津波による地盤沈下量	・水位上昇側：0.60m ・水位下降側：考慮しない
計算時間	地震発生後4時間

①基礎方程式：

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

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

t : 時間(s) x : 底面に沿った座標 A : 流水面積(m^2) Q : 流量(m^3/s)
 H : 水位(m) g : 重力加速度(m/s^2) v : 流速(m/s) R : 径深(m)
 n : マニングの粗度係数($\text{m}^{-1/3}\text{s}$) f : 局所損失係数 ΔL : 局所損失区間の長さ(m)

②海水熱交換器建屋の連続式：

$$A_H \frac{dH_P}{dt} = Q_N - Q_P$$

H_P : 水位(m) Q_N : 流入出量(m^3/s) Q_P : ポンプ流量(m^3/s)
 A_H : 海水熱交換器建屋内の水平面積(m^2)

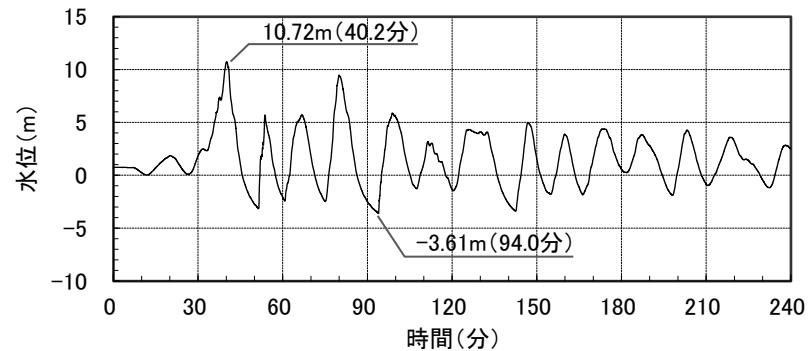
3. 海水熱交換器建屋内における砂の堆積

3.2 計算条件：取水設備の水理特性を考慮した水位変動解析結果

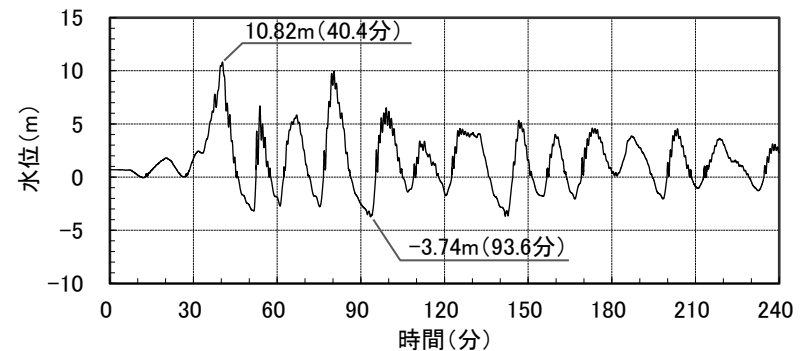
■基準津波(水位上昇側)[防波堤有り最大ケース]

- 補機冷却海水系取水口前面の水位時刻歴波形を用いて算定した海水熱交換器建屋の水位時刻歴波形を以下に示す。

【水位時刻歴波形】

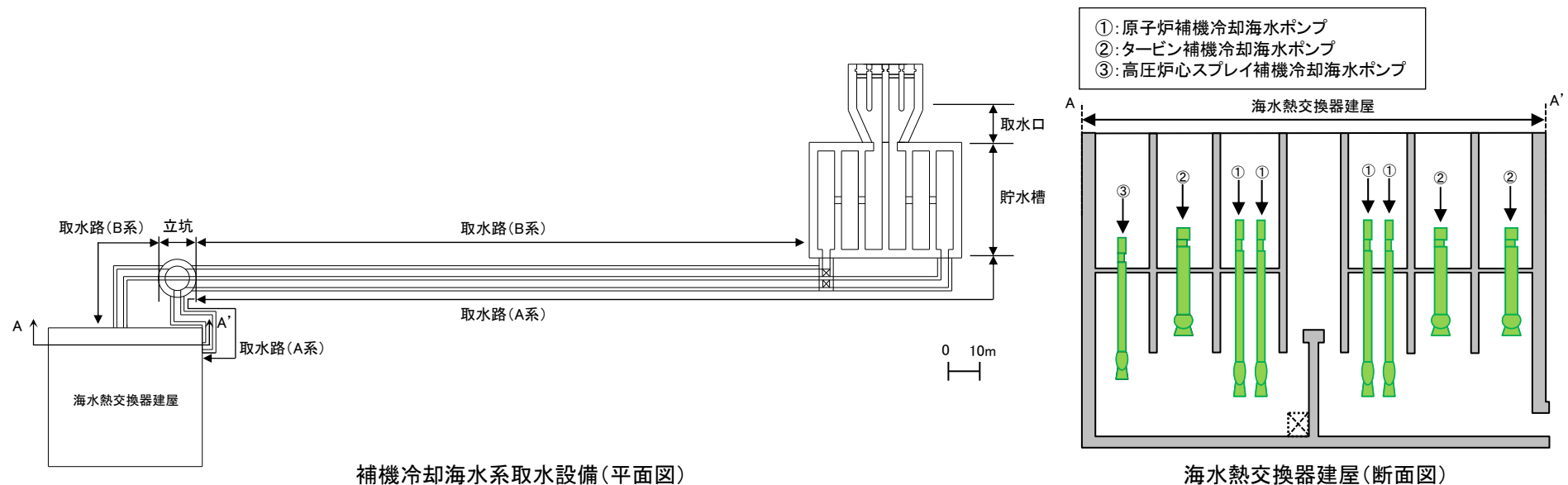


補機冷却海水系取水口前面



海水熱交換器建屋※

※:海水熱交換器建屋内の水平面積を鉛直方向に積算した水位－容積関係を用いて、海水熱交換器建屋内の津波の流入出量及びポンプ流量を考慮して算定した水位時刻歴波形(土木学会(2016))



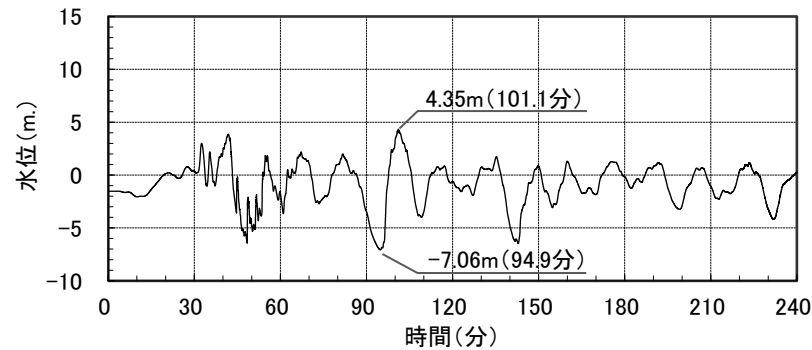
3. 海水熱交換器建屋内における砂の堆積

3.2 計算条件：取水設備の水理特性を考慮した水位変動解析結果

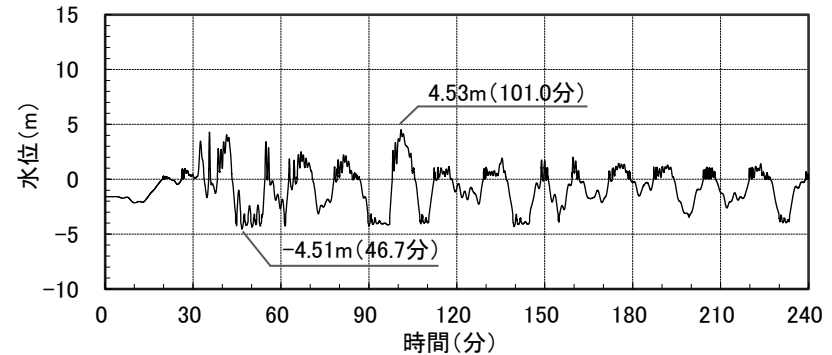
■基準津波(水位下降側1) [防波堤無し最大ケース]

- 補機冷却海水系取水口前面の水位時刻歴波形を用いて算定した海水熱交換器建屋の水位時刻歴波形を以下に示す。

【水位時刻歴波形】

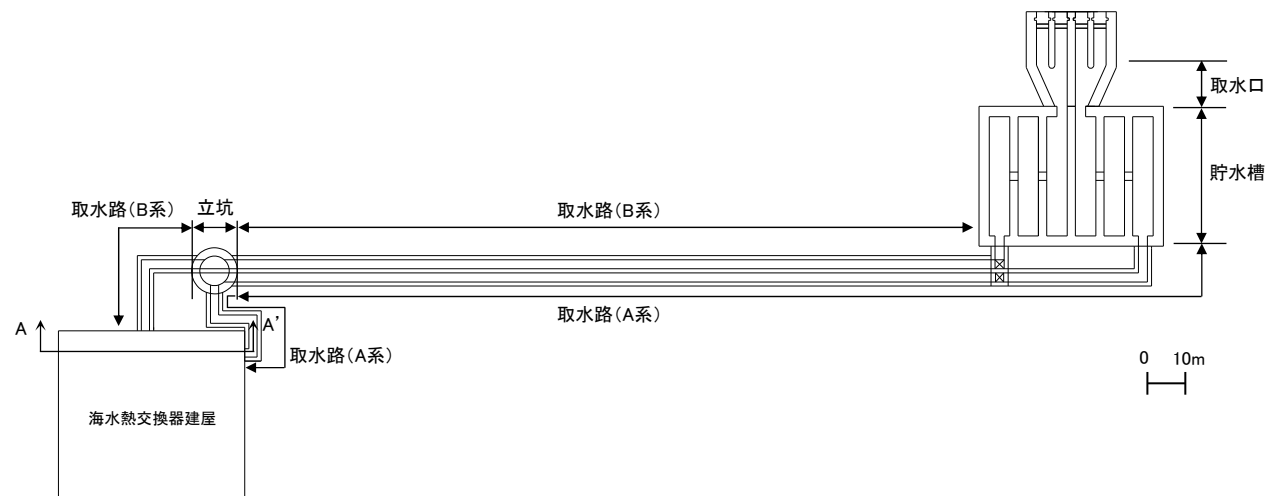


補機冷却海水系取水口前面

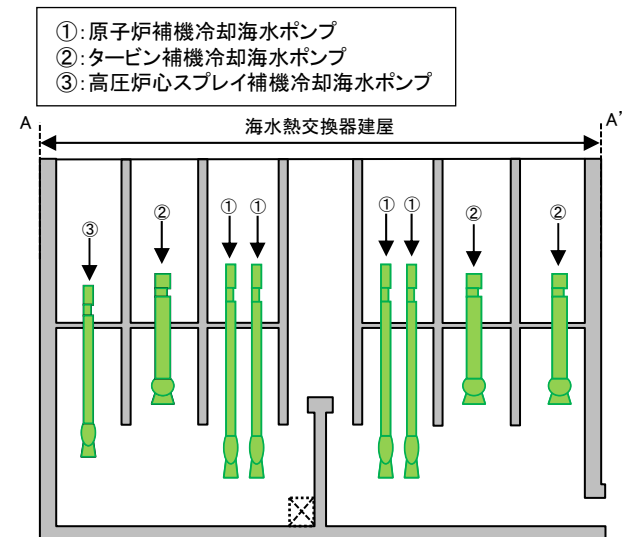


海水熱交換器建屋※

※: 海水熱交換器建屋内の水平面積を鉛直方向に積算した水位－容積関係を用いて、海水熱交換器建屋内の津波の流入出量及びポンプ流量を考慮して算定した水位時刻歴波形(土木学会(2016))



補機冷却海水系取水設備(平面図)



海水熱交換器建屋(断面図)

3. 海水熱交換器建屋内における砂の堆積

43

3.3 評価結果

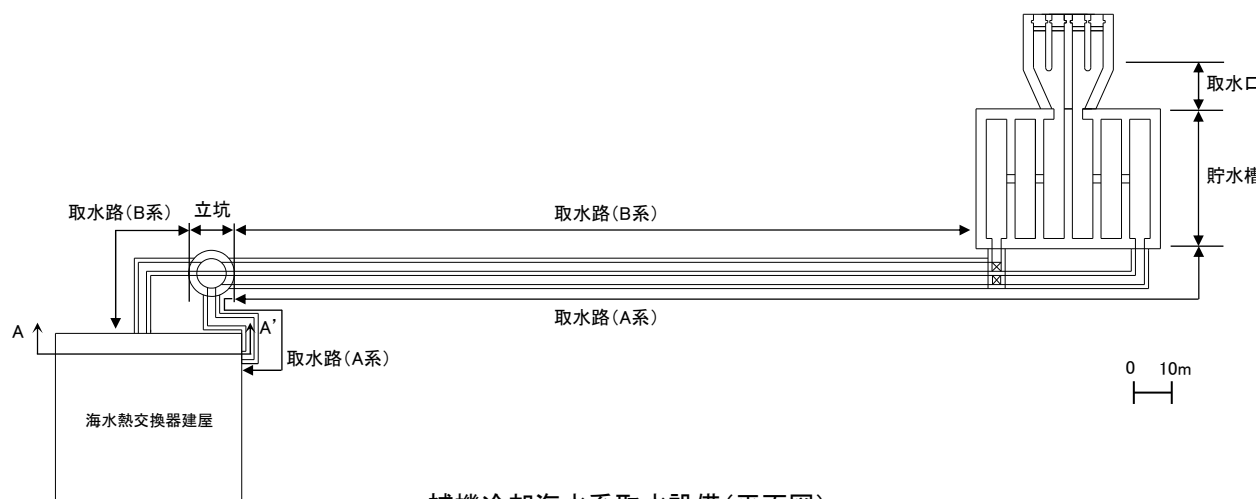
■非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高

- ・ 各非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高は0m程度であり、各非常用海水ポンプの下端に到達しないことを確認した。
- ・ 以上から、非常用海水ポンプの取水への影響は無いことを確認した。

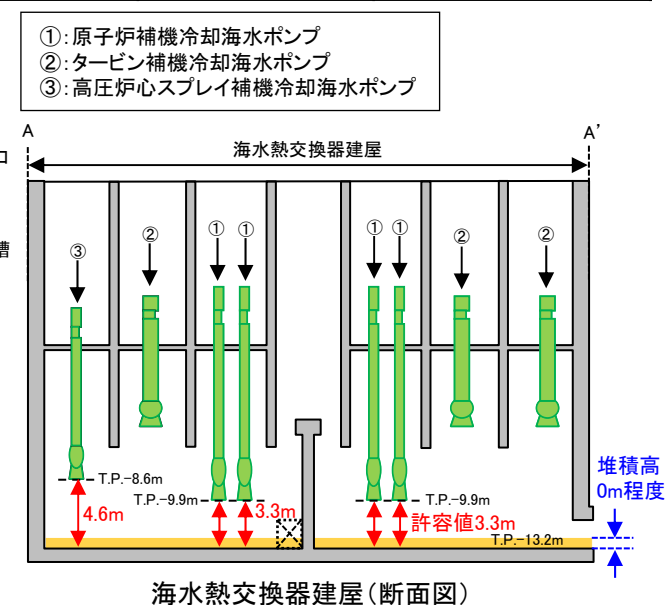
基準津波	評価手法	浮遊砂濃度 上限値	防波堤	原子炉補機冷却海水ポンプ		高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	
				砂の堆積高(m)	許容値(m)	砂の堆積高(m)	許容値(m)
基準津波 (水位上昇側)	高橋ほか(1999)	1%	有り	0.00	3.3m※1	0.00	4.6m※2
	高橋ほか(1999)	1%	無し	0.00		0.00	
基準津波 (水位下降側1)	高橋ほか(1999)	1%	有り	0.00		0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	無し	0.00		0.00	
基準津波 (水位下降側2)	高橋ほか(1999)	1%	有り	0.00		0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	無し	0.00		0.00	
基準津波 (水位下降側3)	高橋ほか(1999)	1%	有り	0.00		0.00	
	高橋ほか(1999)	1%	無し	0.00		0.00	

※1: 原子炉補機冷却海水ポンプの下端T.P.-9.9m, 海水熱交換器建屋底面T.P.-13.2m

※2: 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの下端T.P.-8.6m, 海水熱交換器建屋底面T.P.-13.2m



補機冷却海水系取水設備(平面図)



海水熱交換器建屋(断面図)

余 白

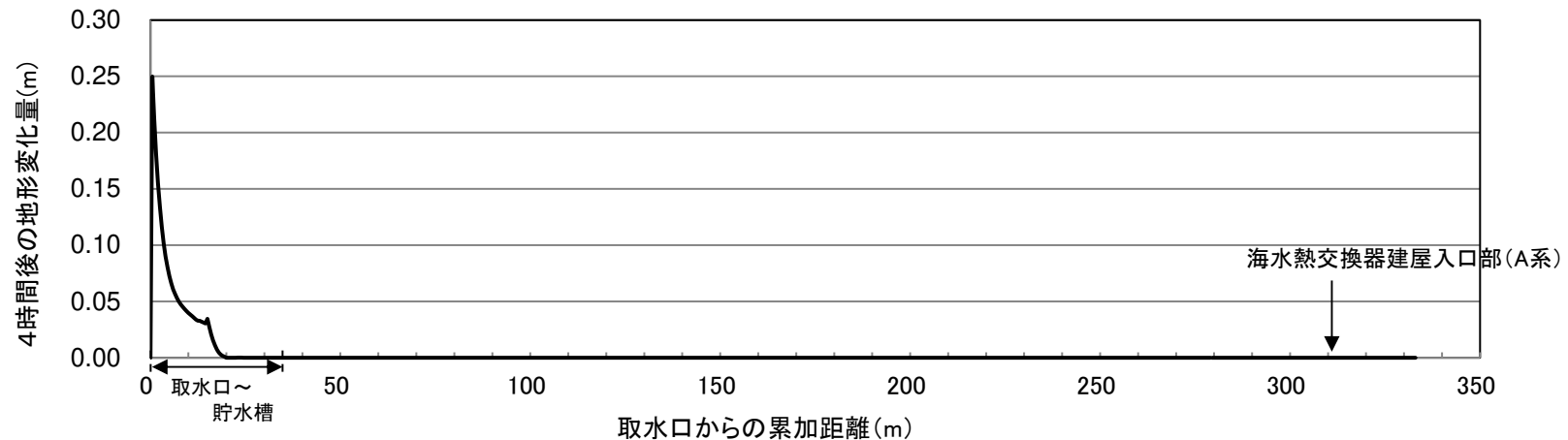
3. 海水熱交換器建屋内における砂の堆積

3.3 評価結果

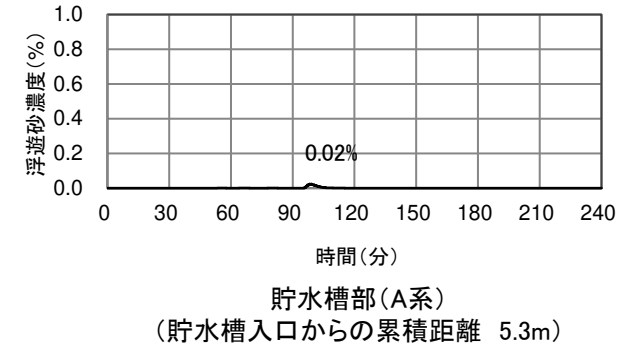
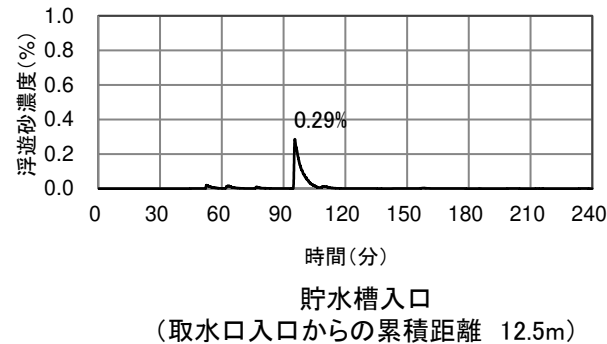
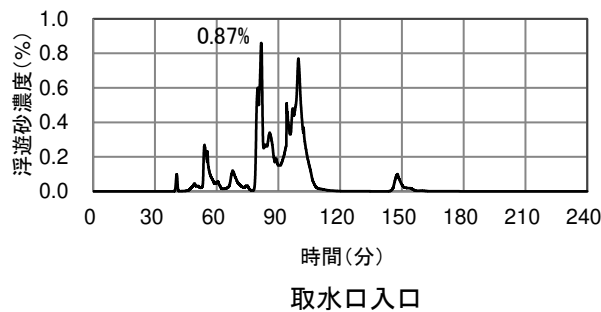
■補機冷却海水系取水設備内(A系)における地形変化量及び浮遊砂濃度の時系列データ：基準津波(水位上昇側)[防波堤有り最大ケース]

- ・ 取水口から海水熱交換器建屋までの地形変化量並びに取水口及び貯水槽位置における浮遊砂濃度の時系列データを以下に示す。
- ・ 浮遊砂は、取水路と比較して流速が遅い取水口～貯水槽範囲で沈降し、海水熱交換器建屋まで到達しないことを確認した。

【取水口から海水熱交換器建屋までの地形変化量(A系)】



【浮遊砂濃度の時系列データ】



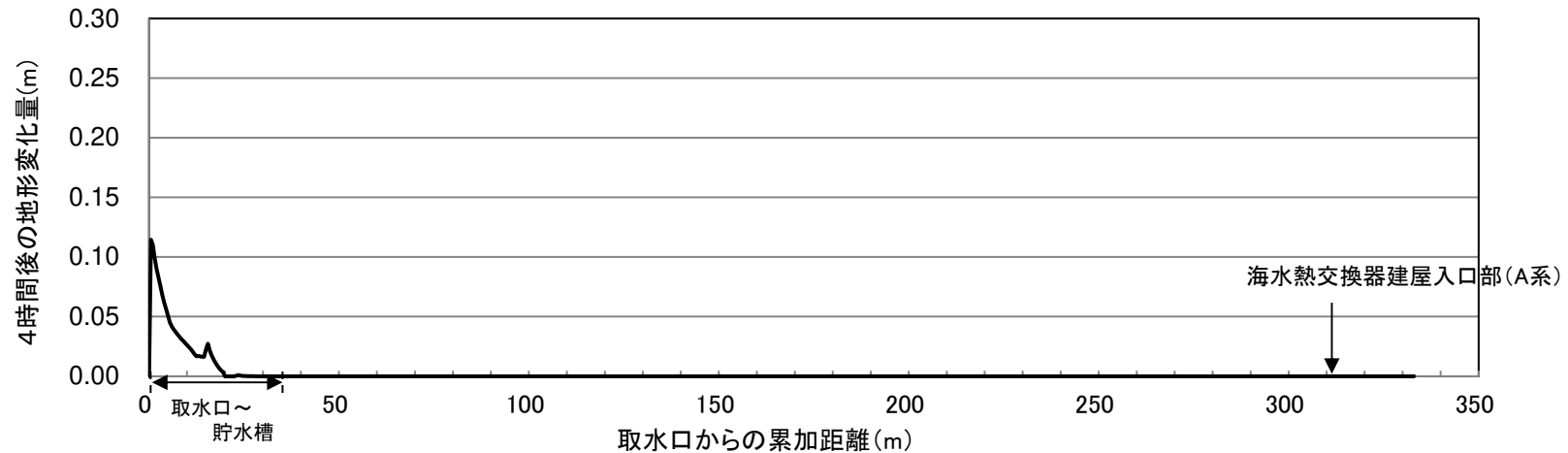
3. 海水熱交換器建屋内における砂の堆積

3. 3 評価結果

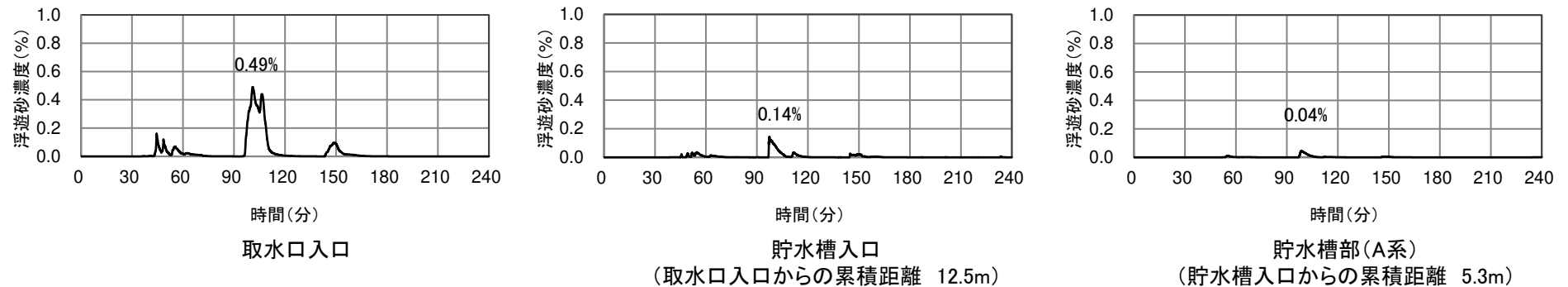
■補機冷却海水系取水設備内(A系)における地形変化量及び浮遊砂濃度の時系列データ：基準津波(水位下降側1)[防波堤無し最大ケース]

- ・ 取水口から海水熱交換器建屋までの地形変化量並びに取水口及び貯水槽位置における浮遊砂濃度の時系列データを以下に示す。
- ・ 浮遊砂は、取水路と比較して流速が遅い取水口～貯水槽範囲で沈降し、海水熱交換器建屋まで到達しないことを確認した。

【取水口から海水熱交換器建屋までの地形変化量(A系)】



【浮遊砂濃度の時系列データ】



4. まとめ

4. まとめ

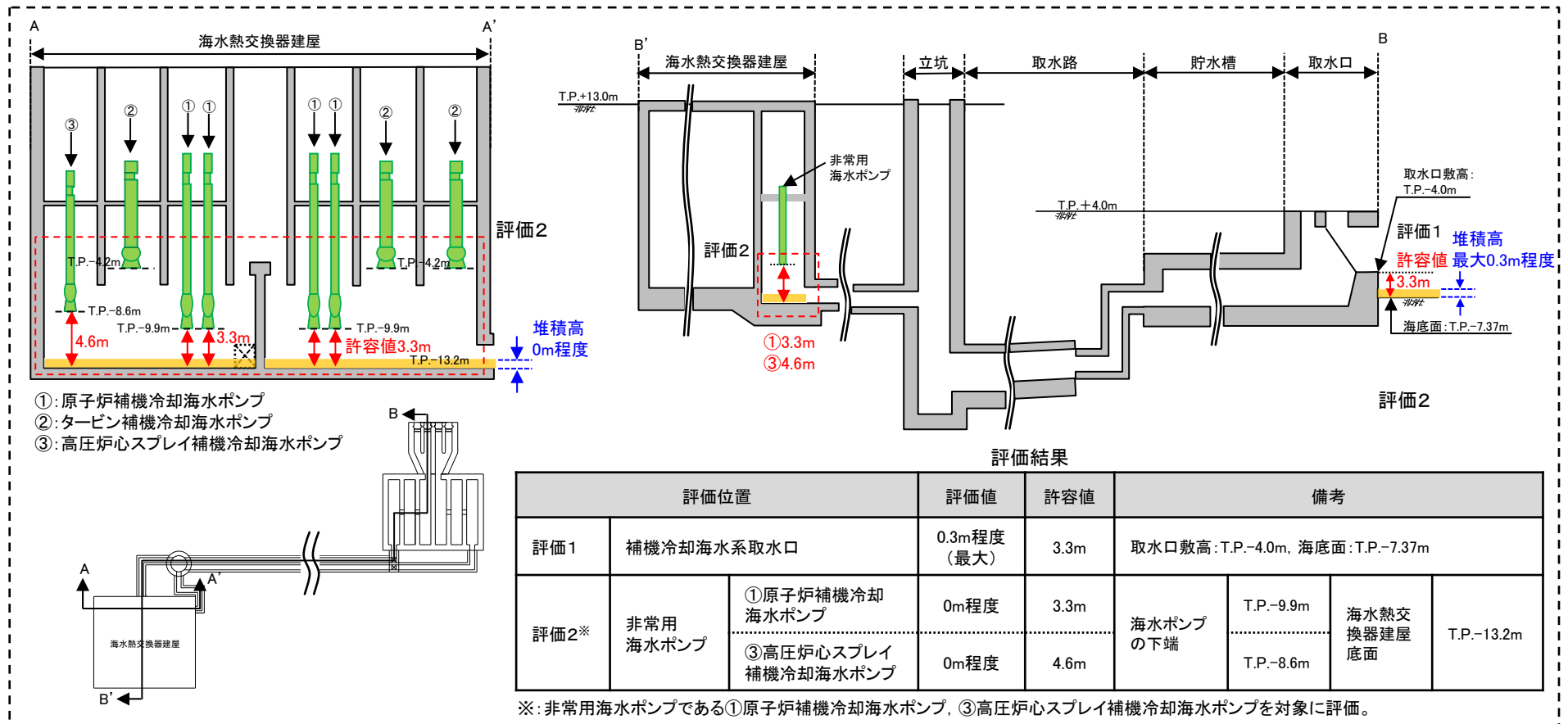
- 基準津波に伴う砂移動による補機冷却海水系取水口前面の砂の堆積高(海底地形変化(評価1))及び海水熱交換器建屋内における砂の堆積高(評価2)を評価し、以下のとおり、非常用海水ポンプの取水への影響は無いことを確認した。

【海底地形変化(評価1)】

- 藤井ほか(1998)及び高橋ほか(1999)の手法を用いて砂移動解析を実施した。
- 検討の結果、補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高は最大で0.3m程度であり、取水口敷高を上回らないことを確認した。

【海水熱交換器建屋内における砂の堆積(評価2)】

- 海底地形変化の評価(評価1)から得られる補機冷却海水系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た。
- 検討の結果、原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ位置における砂の堆積高は0m程度であり、各非常用海水ポンプの下端に到達しないことを確認した。



参考文献

参考文献

1. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2019):日本海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)
2. 公益社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会(2016):原子力発電所の津波評価技術 2016
3. 相田勇(1977):三陸沖の古い津波のシミュレーション, 地震研究所彙報, Vol.52, pp.71-101
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. 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(海岸工学), Vol.67, No.2, I_231-I_235
7. 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
8. 内閣府(2012):南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告) 巻末資料, 南海トラフの巨大地震モデル検討会
9. 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
10. 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
11. 近藤武司・森本徹・藤本典子・殿最浩司・志方建仁(2012):港湾での津波による土砂移動計算の再現性評価, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, I_396-I_400
12. 森下祐・高橋智幸(2014):2011年東北地方太平洋沖地震津波襲来時の気仙沼湾を対象とした津波移動床モデルの再現性向上, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, I_491-I_495
13. 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
14. 東北電力株式会社(2011):女川原子力発電所における平成23年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る報告書, 2011年7月
15. 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
16. 千秋信一(1967):発電水力演習, 学献社
17. 社団法人土木学会(1999):水理公式集[平成11年版]
18. 社団法人電力土木技術協会(1995):火力・原子力発電所土木構造物の設計(増補改訂版)