

## 屋外タンク等からの溢水影響評価について

地震起因による屋外タンク等の破損により生じる溢水の防護対象設備への影響については、「設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性において確認している。また、津波による溢水評価として、上記に加え津波襲来時の補機冷却海水系放水路からの溢水を考慮し、浸水防護重点化範囲（原子炉建屋，制御建屋，タービン建屋，海水ポンプ室補機ポンプエリア及び復水貯蔵タンクエリア）に及ぼす影響を確認した。

## 1. 評価条件

## (1) 地震起因による屋外タンク等の破損により生じる溢水条件

3. 参考資料（「設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性（補足説明資料 31））のとおり。

## (2) 津波襲来時の補機冷却海水系放水路からの溢水条件

津波の襲来によって2号炉放水立坑防潮壁の水位が上昇し逆流防止設備が「閉」となることから、補機冷却海水系放水路より海水が溢れる時間及び溢水量を考慮する。

- a. 溢水時間は、197秒間（地震発生の2,503秒後（41分43秒後）より溢水開始）とする。
- b. 溢水量は、652m<sup>3</sup>とする。
- c. 雨水排水路からの流出や、地盤への浸透は考慮しない。

## 2. 評価結果

屋外タンク破損及び津波襲来時の補機冷却海水系放水路からの溢水による局所的な水位上昇について評価した結果、津波防護対象設備が設置されている建屋・エリアに影響がないこと確認した。

表1に結果を示す。また、溢水伝播挙動を図1に、測定箇所及び浸水深を図2に示す。

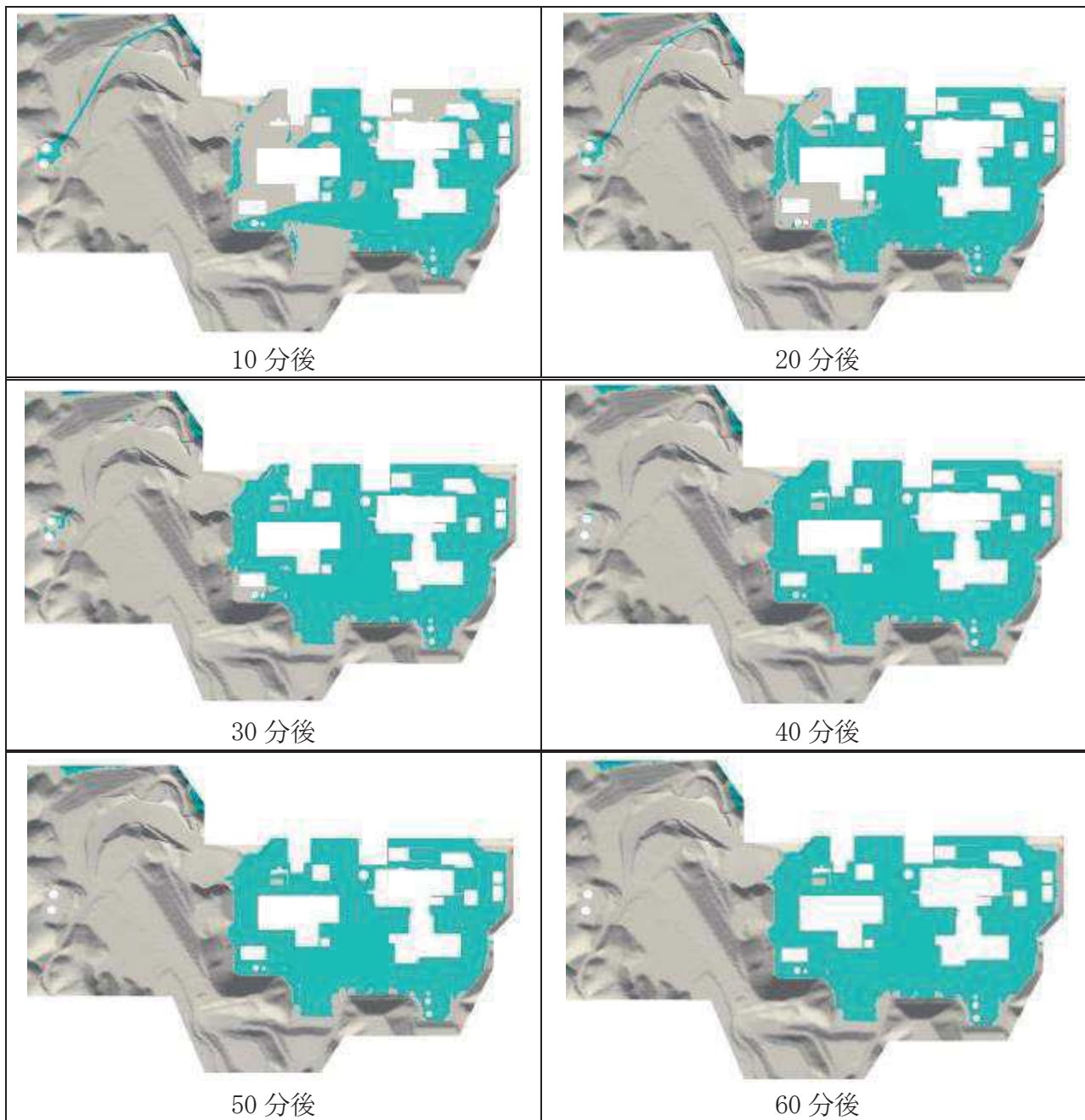
表1 溢水影響評価結果

|                      | カーブ高さ<br>(m)       | 溢水量<br>(m <sup>3</sup> ) | 最大浸水深 <sup>※3</sup><br>(m) | 評価 |
|----------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|----|
| 原子炉建屋                | 0.33 <sup>※1</sup> | 18,192                   | 0.20                       | ○  |
| タービン建屋               | 0.38 <sup>※1</sup> |                          | 0.21                       |    |
| 制御建屋                 | 0.33 <sup>※1</sup> |                          | 0.15                       |    |
| 海水ポンプ室<br>(補機ポンプエリア) | 0.60 <sup>※2</sup> |                          | 0.22                       |    |
| 復水貯蔵タンク              | 0.20 <sup>※1</sup> |                          | 0.09                       |    |

※1 建屋外壁扉の下端レベルから敷地レベル O. P. +13.8m を引いた値

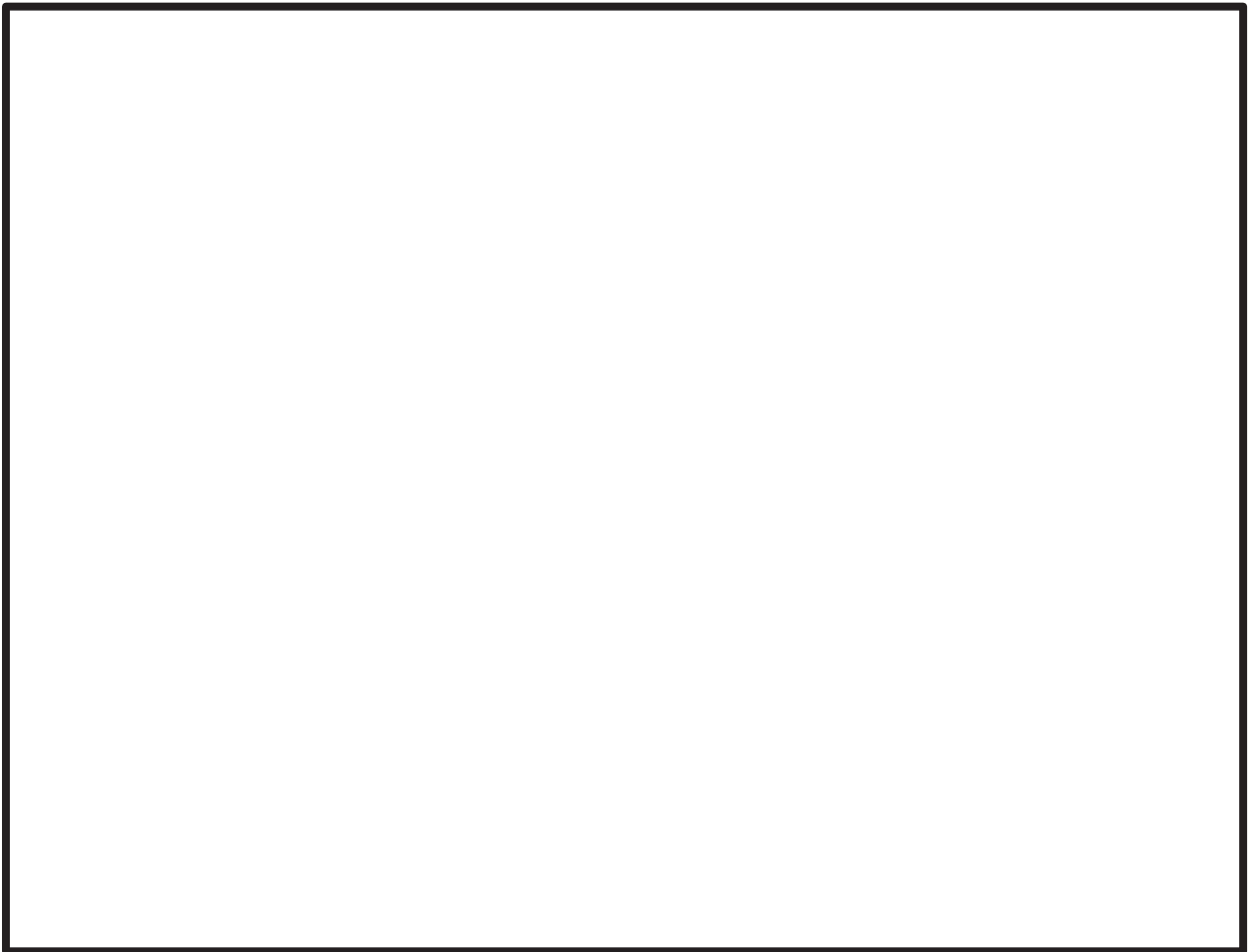
※2 海水ポンプ室浸水防止壁上端から敷地レベル O. P. +13.8m を引いた値

※3 敷地レベル O. P. +13.8m からの最大の浸水深



(浸水範囲を水色で示す。)

図1 溢水伝播挙動



【水位測定箇所】

- ① 原子炉建屋（大物搬出入口前）
- ② 原子炉建屋（DG(A)室前）
- ③ 原子炉建屋（DG(HPCS)室前）
- ④ 原子炉建屋（DG(B)室前）
- ⑤ 制御建屋
- ⑥ 海水ポンプ室1
- ⑦ 海水ポンプ室2
- ⑧ CST エリア
- ⑨ LOT エリア
- ⑩ 敷地1
- ⑪ 敷地2
- ⑫ タービン建屋1
- ⑬ タービン建屋2

図 2-1 水位測定箇所

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

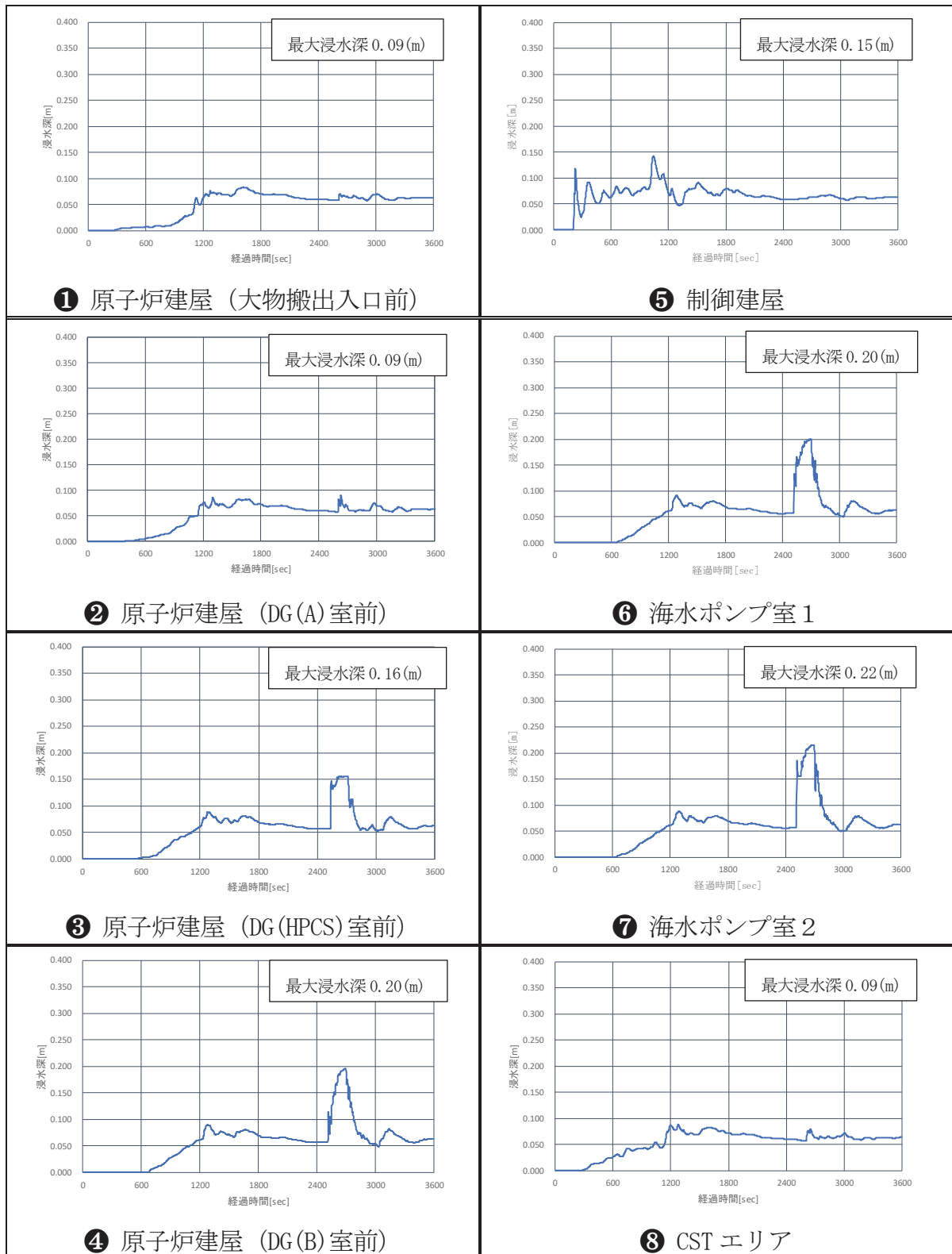


図 2-2 水位測定箇所における浸水深

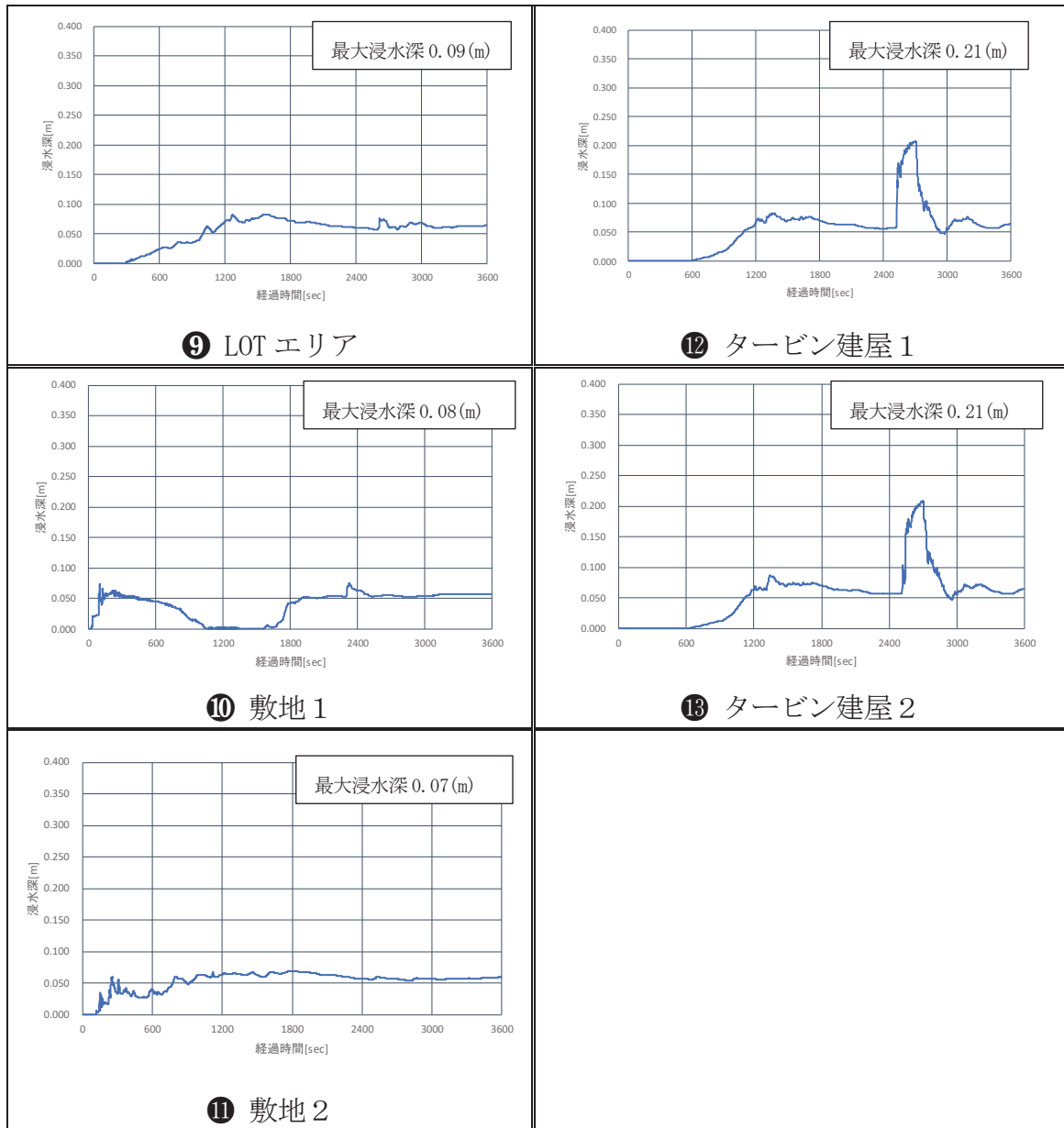


図 2-3 水位測定箇所における浸水深

### 3. 参考資料

補足説明資料 31

#### 屋外タンクからの溢水影響評価について

地震起因による屋外タンク等の破損により生じる溢水が、防護対象設備の設置されている原子炉建屋（廃棄物処理エリアを除く）、制御建屋、海水ポンプ室、復水貯蔵タンクエリア及び軽油タンクエリアに及ぼす影響を確認した。

#### 1. 溢水評価対象となる屋外タンク

女川原子力発電所にある屋外タンクのうち、基準地震動による地震力に対して耐震性が確保されないタンクについて評価を行った。評価の対象となる屋外タンクを表 1 に示す。

表 1 溢水影響評価の対象となる屋外タンク (1/2)

| No.  | タンク名称                     | 基数 | 設置高さ (m)   | 容量 (m <sup>3</sup> ) | 評価に用いる容量 (m <sup>3</sup> ) |
|------|---------------------------|----|------------|----------------------|----------------------------|
| 1    | No.1 純水タンク                | 1  | O.P. +15.1 | 1,000                | 1,000                      |
| 2    | No.2 純水タンク                | 1  | O.P. +15.4 | 2,000                | 2,000                      |
| 3    | 1,2 号ろ過水タンク               | 1  | O.P. +15.1 | 2,000                | 2,000                      |
| 4    | 再生純水タンク                   | 1  | O.P. +15.1 | 1,000                | 0 ※1                       |
| 5    | No.1 サプレッション<br>プール水貯蔵タンク | 1  | O.P. +15.3 | 2,000                | 0 ※1                       |
| 6    | No.2 サプレッション<br>プール水貯蔵タンク | 1  | O.P. +15.3 | 1,000                | 0 ※1                       |
| 7    | 3 号純水タンク                  | 1  | O.P. +15.1 | 1,000                | 1,000                      |
| 8    | 3 号ろ過水タンク                 | 1  | O.P. +15.1 | 2,000                | 2,000                      |
| 9,10 | 原水タンク                     | 2  | O.P. +68.6 | 4,000                | 8,000                      |
| 11-1 | 1 号復水浄化系復水脱塩<br>装置硫酸貯槽    | 1  | O.P. +16.1 | 5.4                  | 5.4                        |
| 11-2 | 1 号復水浄化系復水脱塩<br>装置苛性ソーダ貯槽 | 1  | O.P. +16.2 | 20                   | 20                         |
| 12   | 1 号差圧調合槽                  | 1  | O.P. +15.0 | 2.2                  | 2.2                        |
| 13-1 | 2 号復水浄化系復水脱塩<br>装置苛性ソーダ貯槽 | 1  | O.P. +16.0 | 32                   | 0 ※1                       |
| 13-2 | 2 号復水浄化系復水脱塩<br>装置硫酸貯槽    | 1  | O.P. +16.6 | 7.5                  | 0 ※1                       |
| 13-3 | 2 号硫酸計量槽                  | 1  | O.P. +15.8 | 0.3                  | 0 ※1                       |
| 14   | 2 号バック入り差圧調<br>合装置        | 1  | O.P. +15.4 | 1                    | 1                          |
| 15   | 3 号各種薬液貯蔵及び移<br>送系硫酸貯槽    | 1  | O.P. +16.0 | 2.2                  | 0 ※1                       |
| 16   | 3 号各種薬液貯蔵及び移<br>送系苛性ソーダ貯槽 | 1  | O.P. +16.0 | 10.5                 | 0 ※1                       |
| 17   | 3 号差圧調合槽                  | 1  | O.P. +15.3 | 0.1                  | 0.1                        |

9 条-別添 1-補足 31-1

表1 溢水影響評価の対象となる屋外タンク(2/2)

| No.   | タンク名称              | 基数 | 設置高さ(m)      | 容量(m <sup>3</sup> )   | 評価に用いる容量(m <sup>3</sup> ) |
|-------|--------------------|----|--------------|-----------------------|---------------------------|
| 18-1  | PAC貯槽              | 1  | O.P. +15.3   | 2                     | 2                         |
| 18-2  | 硫酸貯槽               | 1  | O.P. +17.3   | 3.9                   | 3.9                       |
| 18-3  | 苛性ソーダ貯槽            | 1  | O.P. +15.7   | 7                     | 7                         |
| 18-4  | H塔再生用硫酸貯留槽         | 1  | O.P. +16.8   | 0.3                   | 0.3                       |
| 19    | 1,2号給排水建屋          | 1  | O.P. +14.8   | 375.21                | 375.21                    |
| 20    | 3号給排水建屋            | 1  | O.P. +14.8   | 404.88                | 404.88                    |
| 21-1  | 高置水槽(給湯系統)         | 1  | O.P. +33.3   | 6                     | 6                         |
| 21-2  | 高置水槽(給水系統)         | 1  | O.P. +33.3   | 8                     | 8                         |
| 22-1  | No.1高架水槽           | 1  | O.P. +34.7   | 8                     | 8                         |
| 22-2  | No.2高架水槽           | 1  | O.P. +34.7   | 8                     | 8                         |
| 23-1  | 上水高架水槽             | 1  | -            | 9.2                   | 9.2                       |
| 23-2  | 雑用水高架水槽            | 1  | -            | 13.7                  | 13.7                      |
| 24-1  | 高架水槽(飲料用)          | 1  | O.P. +34.8   | 1.2                   | 1.2                       |
| 24-2  | 高架水槽(雑用)           | 1  | O.P. +34.8   | 2.0                   | 2.0                       |
| 24-3  | 氷蓄熱槽(PAI-1)        | 1  | O.P. +19.68  | 1.01                  | 1.01                      |
| 24-4  | 氷蓄熱槽(PAI-3)        | 1  | O.P. +19.68  | 1.49                  | 1.49                      |
| 24-5  | 氷蓄熱槽(PAI-4)        | 1  | O.P. +19.68  | 1.49                  | 1.49                      |
| 24-6  | 高架水槽(飲料水)          | 1  | O.P. +36.55  | 1.5                   | 1.5                       |
| 24-7  | 高架水槽(雑用水)          | 1  | O.P. +36.55  | 2.2                   | 2.2                       |
| 24-8  | 氷蓄熱槽(PAI-1)        | 1  | O.P. +19.68  | 1.49                  | 1.49                      |
| 24-9  | 氷蓄熱槽(PAI-2)        | 1  | O.P. +19.68  | 1.49                  | 1.49                      |
| 24-10 | 氷蓄熱槽(PAI-3)        | 1  | O.P. +19.68  | 1.49                  | 1.49                      |
| 25    | 主復水器用電解鉄イオン注入装置電解槽 | 2  | O.P. +15.613 | 3.4                   | 6.8                       |
| 26    | 氷蓄熱槽(PAI-1)        | 1  | O.P. +14.95  | 1.49                  | 1.49                      |
| 27    | 受水槽                | 1  | O.P. +15.3   | 6                     | 6                         |
| 28-1  | 上水受水槽              | 1  | O.P. +62.9   | 37                    | 37                        |
| 28-2  | 雑用水受水槽             | 1  | O.P. +62.9   | 55                    | 55                        |
| 28-3  | 受水槽                | 1  | O.P. +62.9   | 0.5                   | 0.5                       |
| 29    | 燃料小出槽              | 1  | O.P. +58.592 | 0.95                  | 0.95                      |
| 30    | 給水タンク              | 1  | -            | 2                     | 2                         |
| 31    | 配水池                | 1  | O.P. +69.7   | 300                   | 300                       |
| 32-1  | ろ過タンク(浄水)          | 1  | O.P. +69.7   | 6                     | 6                         |
| 32-2  | ろ過タンク(浄水)          | 1  | O.P. +69.7   | 4                     | 4                         |
| 33    | 消火水タンク             | 1  | O.P. +14.8   | 230                   | 230                       |
|       |                    |    |              | 合計容量(m <sup>3</sup> ) | 17,540                    |

※1 評価に用いる容量は、発電所の所則類に反映し、運用容量を超過しないように管理する。なお、本事項は後段規則での対応が必要となる事項である。(別添2参照)

9条-別添1-補足 31-2

5条-別添1-補足 1-7

## 2. 屋外タンク溢水評価モデルの設定

### (1) 水源の配置

女川原子力発電所の溢水影響評価対象となる屋外タンク配置図を図1に示す。

表1と図1に示すように、評価に影響を及ぼす大型の水源(1,000m<sup>3</sup>以上の大型タンク)は敷地内3箇所に分散配置されている(図1中の赤丸)ことから、これらの大型タンクから溢水した場合の影響について確認するため、表2に示すとおり水源を配置した。

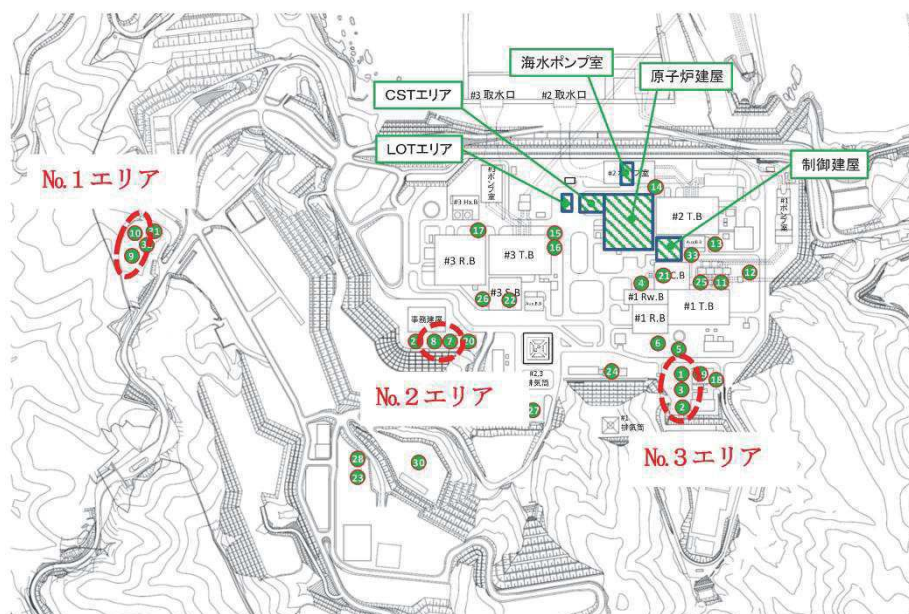


図2 溢水影響評価の対象となる屋外タンク配置図



表2 水源の配置

| No.      | タンク名称      | 基数 | タンク容量<br>(m <sup>3</sup> ) | 評価に用いる<br>容量 <sup>※1</sup> (m <sup>3</sup> ) |
|----------|------------|----|----------------------------|--|
| No.1 エリア | 原水タンク      | 1  | 4,000                      | 4,160  |
|          | 原水タンク      | 1  | 4,000                      | 4,160  |
| No.2 エリア | 3号純水タンク    | 1  | 1,000                      | 1,280  |
|          | 3号ろ過水タンク   | 1  | 2,000                      | 2,280  |
| No.3 エリア | No.1 純水タンク | 1  | 1,000                      | 1,230  |
|          | No.2 純水タンク | 1  | 2,000                      | 2,230  |
|          | 1,2号ろ過水タンク | 1  | 2,000                      | 2,230  |
| 総量       |            |    |                            | 17,570                                       |

※1 評価に用いる容量は、評価対象タンク周りの屋外タンク容量も加算した値。

(2) 評価条件

タンクの損傷形態及び流出水の伝播に係る条件について以下のとおり設定した。

- a. 評価対象タンクは基礎ボルトのない平面タンクであり、地震時にはすべりが発生するためタンクと接続されているすべての配管について全周破断を想定した。
- b. 破断位置については、保守的にタンク付け根部とした。
- c. タンクからの流出については、タンク水頭に応じて流出流量が低下するものとして評価を実施した。
- d. 雨水排水路からの流出や、地盤への浸透は考慮しない。

(3) 解析モデル

解析に使用した敷地モデルを図2に示す。

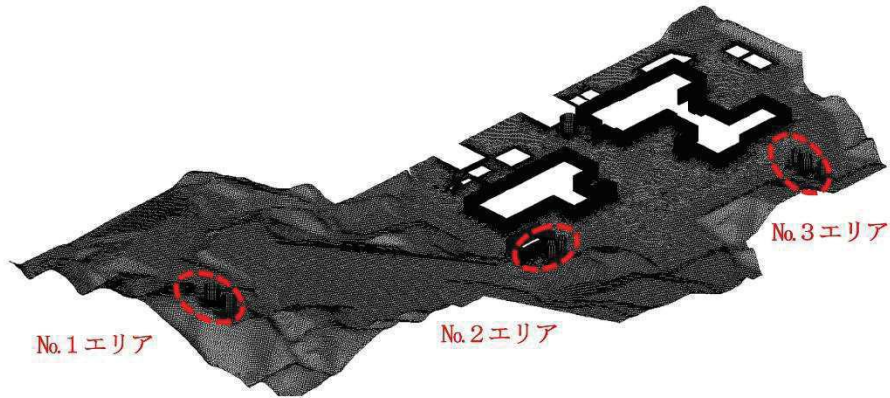


図2 敷地モデル

3. 評価結果

屋外タンク破損時の局所的な水位上昇について評価した結果、防護対象設備が設置されている建屋・エリアのカーブ高さを超えないことを確認した。

表3に結果を示す。また、溢水伝播挙動を図4に、測定箇所及び浸水深を図5-1及び図5-2に示す。

なお、軽油タンクエリアについては、軽油タンクの地下化工事に伴い、水密構造とすることから、溢水影響がないと評価した。

表3 屋外タンクによる溢水影響評価結果

|         | カーブ高さ<br>(m)                             | 溢水量<br>(m <sup>3</sup> ) | 最大浸水深 <sup>※4</sup><br>(m) | 評価 |
|---------|--|--------------------------|----------------------------|----|
| 原子炉建屋   | 0.33 <sup>※1</sup>                       | 17,570                   | 0.09                       | ○  |
| 制御建屋    | 0.33 <sup>※1</sup>                       |                          | 0.15                       |    |
| 海水ポンプ室  | 0.20 <sup>※2</sup> (0.60 <sup>※3</sup> ) |                          | 0.09                       |    |
| 復水貯蔵タンク | 0.20 <sup>※1</sup>                       |                          | 0.09                       |    |

※1 建屋外壁扉の下端レベルから敷地レベル O.P. +14.8m を引いた値 (図3 参照)

※2 海水ポンプ室ピット上端から敷地レベル O.P. +14.8m を引いた値

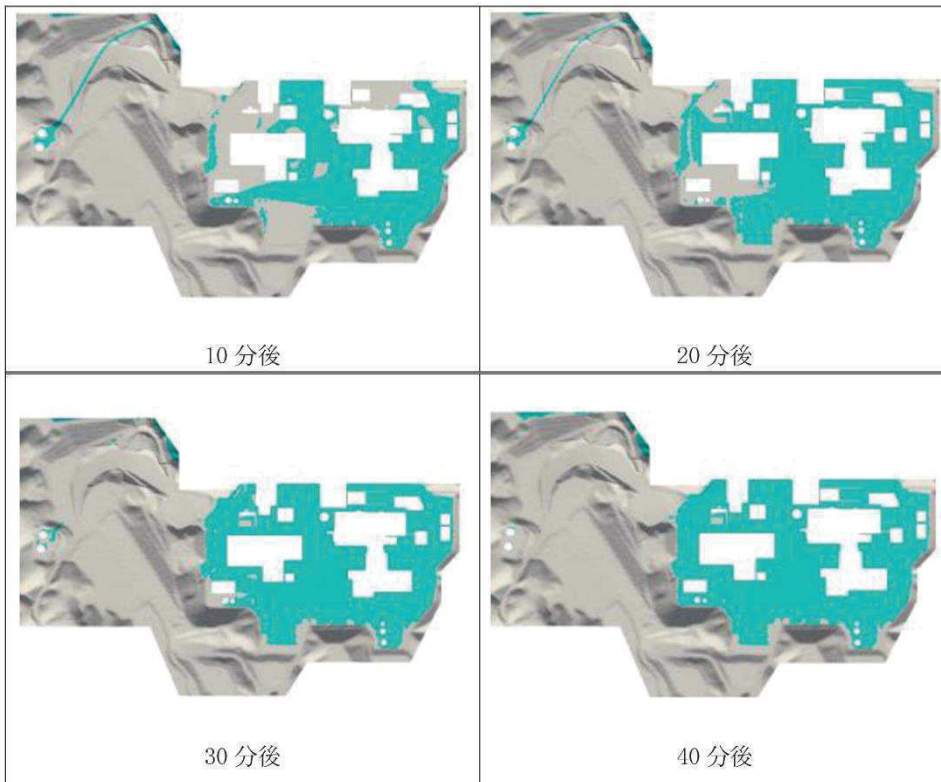
※3 海水ポンプ室浸水防止壁上端から敷地レベル O.P. +14.8m を引いた値

※4 敷地レベル O.P. +14.8m からの最大の浸水深



扉下端レベル  
敷地レベル

図3 建屋外壁扉（代表例）



(浸水範囲を水色で示す。)

図4 溢水伝播挙動

9条-別添1-補足 31-6



【水位測定箇所】

- ① 原子炉建屋（大物搬出入口前）
- ② 原子炉建屋（DG(A)室前）
- ③ 原子炉建屋（DG(HPCS)室前）
- ④ 原子炉建屋（DG(B)室前）
- ⑤ 制御建屋
- ⑥ 海水ポンプ室 1
- ⑦ 海水ポンプ室 2
- ⑧ CST エリア
- ⑨ LOT エリア
- ⑩ 敷地 1
- ⑪ 敷地 2

図 5-1 水位測定箇所

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

9 条-別添 1-補足 31-7

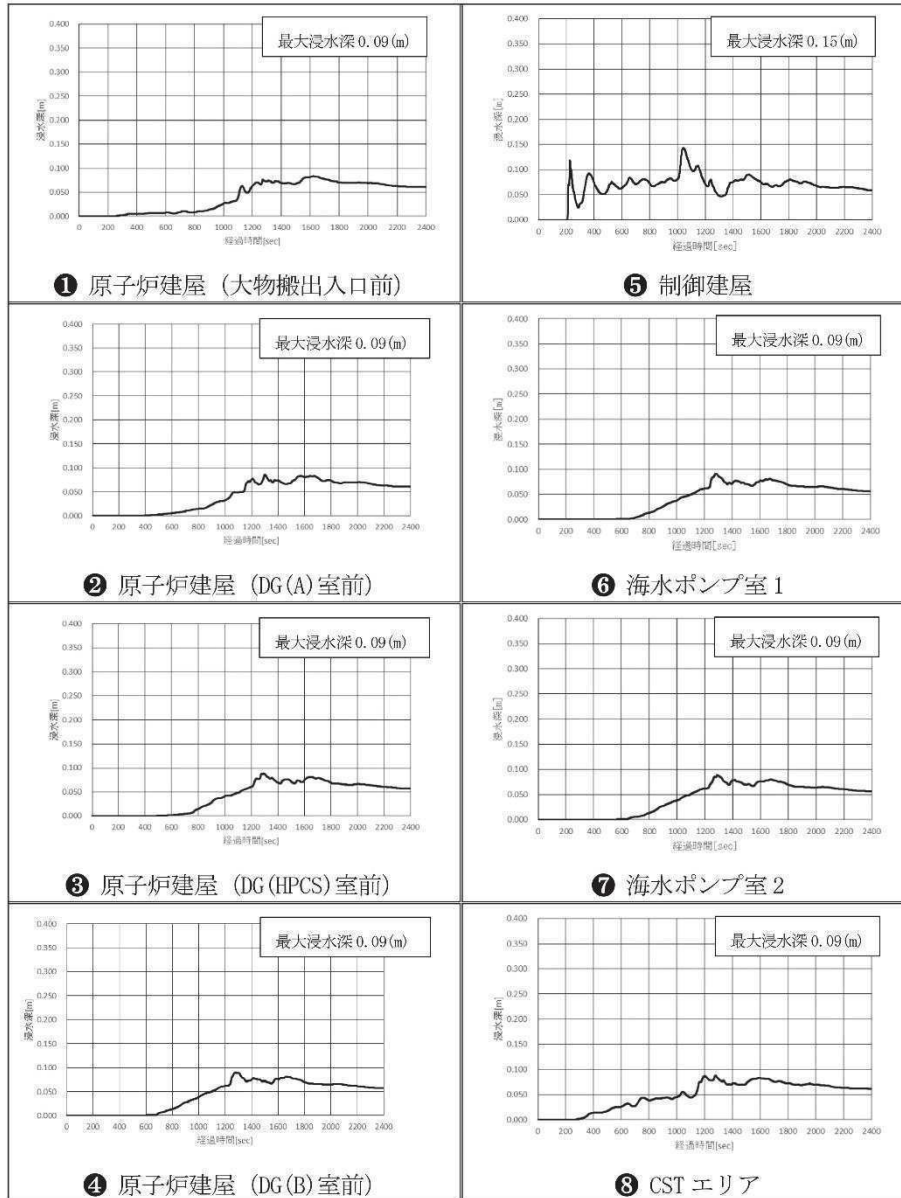


図 5-2 水位測定箇所における浸水深(1/2)

9 条-別添 1-補足 31-8

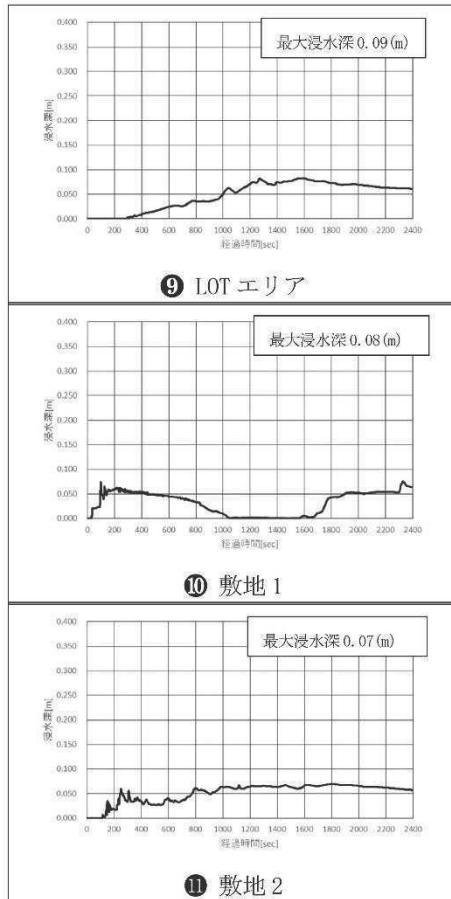


図 5-2 水位測定箇所における浸水深(2/2)

9 条-別添 1-補足 31-9

## 屋外タンク溢水伝播挙動評価に用いた解析コードの妥当性検証

## 1. 概要

使用プログラムFluent(Ver. 16. 0. 0)の動作検証を実施するため、2次元ダムブレイク問題の模擬解析を行い、水面位置の時間変化を実験結果と比較する。

## 2. 対象問題

図1に示すアスペクト比1:2の水柱(水色の領域)を初期条件として、時間の経過とともに図1中破線のように水柱が崩れる問題に対して非定常解析を行う。L=0.5[m]とする。物性値は表1の値を用いる。

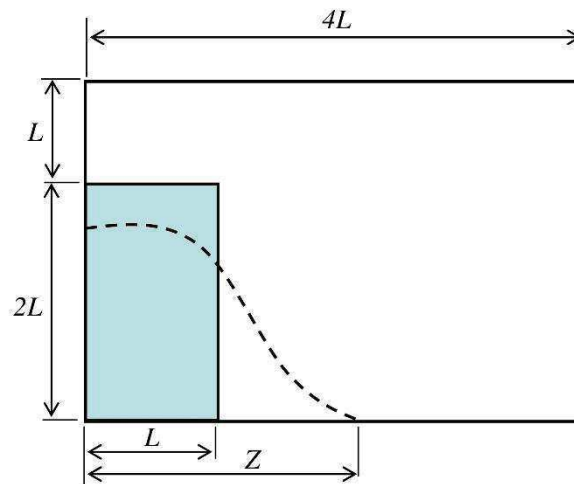


図1 解析対象

表1 物性値

| 水                       |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| 密度 [kg/m <sup>3</sup> ] | $\rho_l = 1000$              |
| 粘性係数 [Pa · s]           | $\mu_l = 1.0 \times 10^{-3}$ |
| 空気                      |                              |
| 密度 [kg/m <sup>3</sup> ] | $\rho_g = 1.0$               |
| 粘性係数 [Pa · s]           | $\mu_g = 1.8 \times 10^{-5}$ |

### 3. 解析モデルと解析条件

#### 3.1 メッシュ分割

図2にメッシュ分割図を示す。全域においてメッシュサイズを鉛直／水平方向とも0.025 [m] (0.05L) とする。

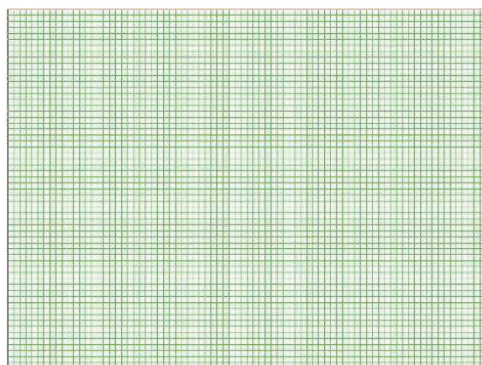


図2 メッシュ分割図

#### 3.2 流体のモデル化

水及び空気の2相流、かつ2相とも非圧縮性粘性流体としてモデル化する。2相の取り扱いについては、VOF法 (Volume Of Fluid法) <sup>1)</sup> を採用する。また、層流解析とし、体積分率の離散化には compressive を採用し、界面処理のオプションとして Interfacial Anti-Diffusion を適用する。

#### 3.3 初期条件

水柱の初期状態を模擬するために、図3に示すような体積分率の初期条件を与える。流速及び圧力は、すべて0とする。なお、赤色は水を、青色は空気を、コンターレンジ途中の色(黄緑色等)は水と空気の混合状態を意味する。

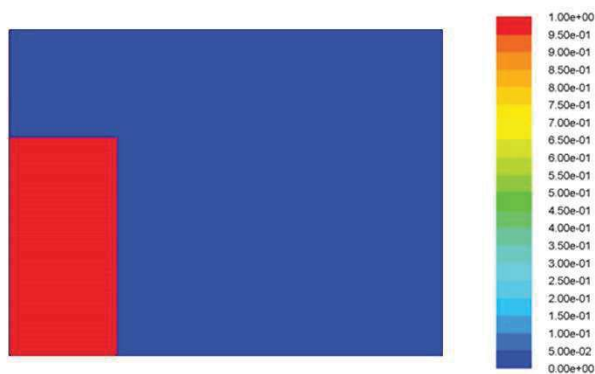


図3 体積分率分布 (初期条件)

9条-別添1-補足31-11



### 3.4 境界条件

メッシュモデル下面及び側面には、滑りなしの境界条件を与えた。また上面は圧力境界条件とする。

### 3.5 重力の取り扱い

鉛直下向きに  $1G$  ( $=9.8\text{m/s}^2$ ) 相当の体積力を与える。

### 3.6 時間積分

非定常計算における時間刻みは、 $0.01$  秒とし、 $100$  時間ステップ ( $=1.0$  秒間) の解析を行う。

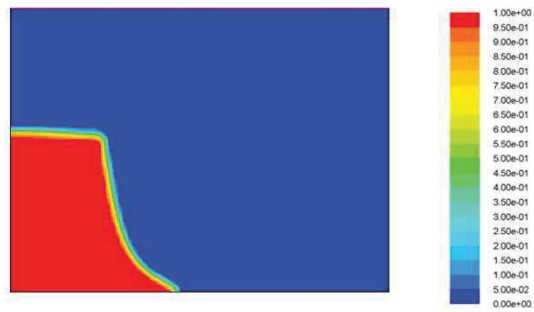
### 3.7 数値解析

圧力と速度の連成には SIMPLE 法<sup>[2]</sup>、運動量の離散化には 1 次精度風上を採用し、1 時間ステップあたり 20 スイープの繰り返し計算を行った。

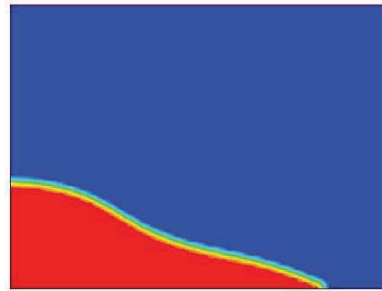
## 4. 解析結果及びまとめ

図 4 に、体積分率分布を示す。ここで、図中の  $t$ : 経過時刻[s],  $g$ : 重力加速度を示す。時間の経過に伴って水柱が崩壊し、モデル右側面に衝突した水流が壁面を伝って上昇している様子が分かる。

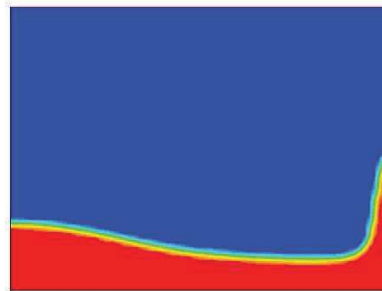
実験結果<sup>[2]</sup>及び他の数値解法<sup>[3]</sup>との比較を、図 5 及び図 6 に示す。図 5 は水の先端(右端)の位置の時間変化を、図 6 はモデル左端における水面の高さの時間変化を無次元化して整理したグラフである。これらの図において、本解析結果は他の解法・コードで計算した結果とよく一致している。図 5 の水の先端位置の時間変化において、解析結果が実験結果と比べて先行する傾向があるが、これは実験においては水ダムのスリットの開放が有限時間で行われることや、3次元性の影響があると思われる。



(a) 0.2 秒後 ( $t\sqrt{g/L} = 0.886$ )



(b) 0.4 秒後 ( $t\sqrt{g/L} = 1.772$ )



(c) 0.6 秒後 ( $t\sqrt{g/L} = 2.658$ )

図4 水面 (体積分率分布) の変化

9 条-別添 1-補足 31-13

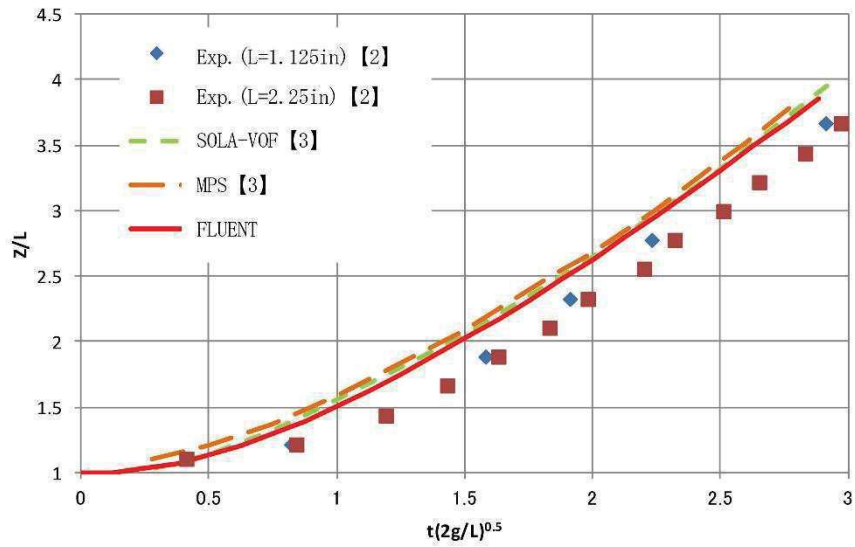


図5 先端位置  $Z$  の時間変化

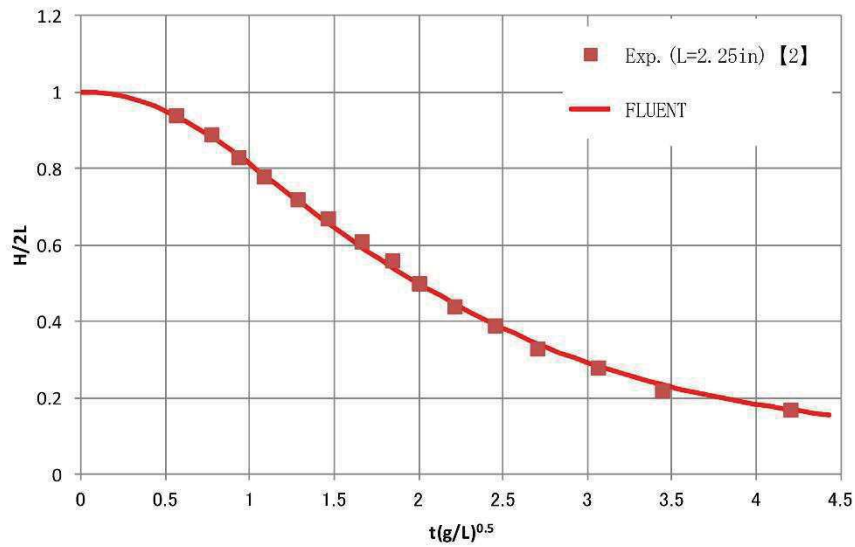


図6 水柱高さ  $H$  の時間変化

9 条-別添 1-補足 31-14

参考文献

- [1] Hirt, C. W. and Nicholls, B. D., : Volume of fluid (VOF) method for dynamics of free boundaries, J. Comput. Phys., Vol 39, pp.201-221, 1981
- [2] Ferziger, J. H. and Peric, M. : Computational Method for Fluid Dynamics 3rd Edition, Springer, 2002.
- [3] Martin, J. C. and Moyce, W. J. : Part IV. An Experimental Study of the Collapse of Liquid Columns on a Rigid Horizontal Plane, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Science, Vol. 244, No. 882, pp. 312-324, 1952

9 条-別添 1-補足 31-15

5 条-別添 1-補足 1-20

## 耐震壁等のひび割れからの漏水影響について

建屋外周地下部における地下水位の上昇（揚水ポンプが停止することにより生じる建屋周囲の地下水位の上昇）に対する浸水量評価については、地下外壁のアスファルト防水と防水層の上に保護板を設置することによる浸水防止や、地震時に想定される残留ひび割れの評価結果（ひび割れ幅の評価基準値 0.2mm 未満）から、「地震時において揚水ポンプが停止した場合でも、地下水が防護対象設備を設置している区画へ流入することはない。」としている。

一方で、地震時に想定される溢水の最終貯留区画の耐震壁等について、ひび割れの影響を整理している。（参考資料「設置許可基準規則第 9 条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性（補足説明資料 24）参照）

この中で耐震壁等のひび割れからの漏水影響について、参考に溢水が長期間滞留する最終貯留区画の耐震壁等のひび割れ幅からの漏水影響の確認をしている。

その結果、以下の理由により水密区画の残留ひび割れから想定される漏水は溢水影響評価へ影響を及ぼさないと判断した。

- ・地震に起因する RC 壁の残留ひび割れは、水密性の観点からの評価基準値を下回っている。
- ・残留ひび割れからの漏水を想定した場合においても、単位時間当たりの漏水量は「0.558 リットル/h」であり、溢水評価における裕度<sup>\*</sup>に対し相当に小さい値であるため溢水評価に影響を与えることはない。
- ・万一漏水が発生した場合は、手動ポンプによって漏水の移送・回収、また、補修材による止水補修を実施する。

※最終貯留区画が設置されているフロアについて、残留ひび割れからの漏水量による溢水影響評価を実施した結果、裕度が最も小さい原子炉建屋地下 3 階に設置されている FPMUW ポンプの機能喪失高さまでの溢水量裕度は約 1.4m<sup>3</sup> であり、溢水回収対策を実施しない場合においても、溢水による機能喪失に至るまで約 2501 時間（約 104 日）の時間的余裕があることを確認した。

以上

参考資料「設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性（補足説明資料 24）

補足説明資料 24

内部溢水評価における耐震壁等の確認について

1. はじめに

地震時の内部溢水評価の対象である女川2号炉原子炉建屋及びタービン建屋において、地震時に想定される溢水の最終貯留区画の耐震壁等について、ひび割れの影響を整理した。

2. 評価上の耐震壁等の確認について

図1のフローにより、最終貯留区画の耐震壁等の種類に応じ、評価上期待する壁及び評価上期待しない壁の整理を行い、評価上期待する壁について、地震によるひび割れの影響を確認する。

なお、地震により耐震壁等に発生するひび割れのうち、曲げひび割れについては水平方向に発生するため地震後の残留ひび割れは自重により閉じることから、せん断ひび割れを対象とする。

9条-別添1-補足24-1

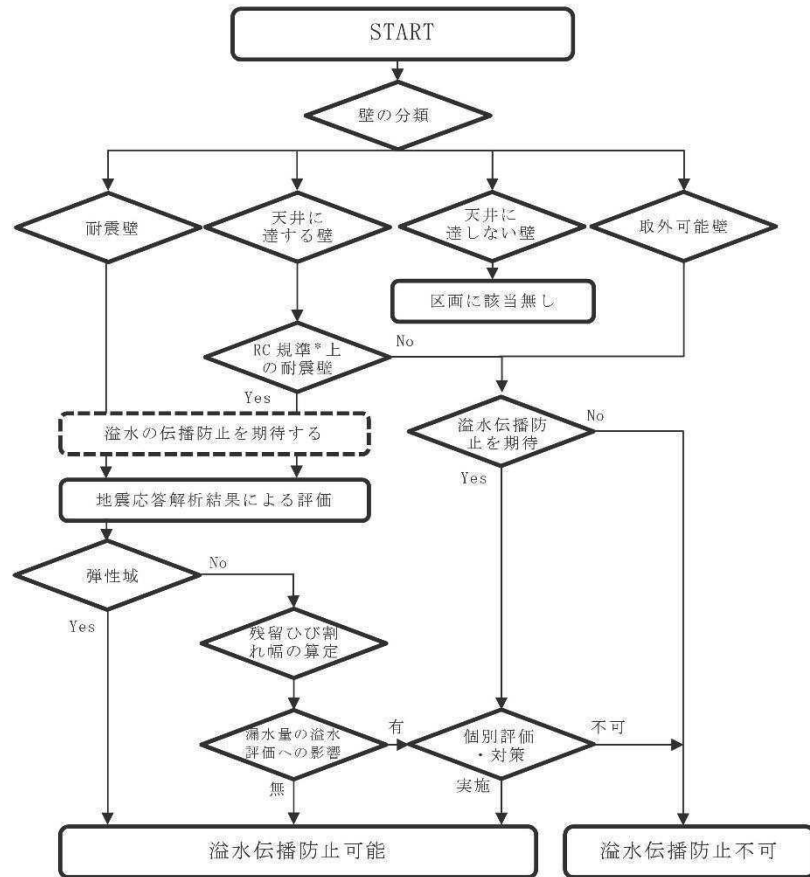


図1 最終貯留区画の耐震壁等の確認フロー

\*：「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）」  
 （本資料においては、「RC規準」という。）

### 3. RC規準上の耐震壁について

最終貯留区画の壁のうち、天井に達する壁（中間の床で耐震壁と一体となった壁を含む）は、床及び天井と一体となった構造体であるため、地震により生じるせん断変形は耐震壁と同様となり、地震応答解析結果から得られる耐震壁のせん断変形による評価が可能であり、地震応答解析上の耐震壁として扱っていない壁について、RC規準上の耐震壁と同等であることを表1のとおり確認した。これら壁の配置状況を、別添資料1「女川2号炉 最終貯留区画の耐震壁等配置図」に示す。

表1 構造規定への適合性確認結果 [RC規準19条7項関係]

| 確認事項      | 要求事項                        | 確認結果                                      | 判定 |
|-----------|-----------------------------|---|----|
| ① 壁厚      | 120mm以上かつ<br>壁板内法高さの1/30以上  | 最大高さ 6300mm/30=210mm<br>210mm<300mm（最小壁厚） | 適合 |
| ② せん断補強筋比 | 直交する各方向<br>0.25%以上          | 0.25%以上                                   | 適合 |
| ③ 壁筋の複筋配置 | 壁厚200mm以上は<br>複筋配置          | 複筋配置                                      | 適合 |
| ④ 壁筋の径と間隔 | D10以上の異形鉄筋<br>かつ鉄筋間隔300mm以下 | D13以上の異形鉄筋<br>かつ鉄筋間隔200mm                 | 適合 |

### 4. 天井に達しない壁の確認について

最終貯留区画において、溢水の伝播防止を期待する天井に達しない壁はない。



5. 地震応答解析結果（基準地震動 S<sub>s</sub>）による評価

(1) 耐震壁等のひび割れの可能性について

原子炉建屋の地震時に想定される溢水は地下3階、地下3階中間階及び1階に貯留される。

タービン建屋の地震時の溢水は地下2階に貯留される。

最終貯留区画のある階について、基準地震動 S<sub>s</sub> による壁の最大応答せん断ひずみ度を表2に示す。

壁のひび割れ発生の有無は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1 9 9 1 追補版」によるせん断変形（ $\tau$ - $\gamma$ 関係）の第一折点が参考となるが、算定される第一折点は  $0.2 \times 10^{-3}$  前後の値であるため、表2の結果から基準地震動 S<sub>s</sub> によって壁にせん断ひび割れが発生すると推測される。

表2 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果一覧

| 評価対象  |                                     | 各層の最大応答せん断ひずみ度 ( $\times 10^{-3}$ ) |       |
|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|
| 建屋名   | 階                                   | NS                                  | EW    |
| 原子炉建屋 | 1階<br>O.P. 15.0m~22.5m              | 0.743                               | 0.711 |
|       | 地下3階<br>地下3階中間階<br>O.P. -8.1m~-0.8m | 0.803                               | 0.589 |
|       | タービン建屋                              | 地下2階<br>O.P. 0.8m~7.6m              | 0.882 |

(2) 残留ひび割れ幅の算定

地震応答解析によるせん断ひずみ度より、「鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断ひびわれ性状に関する検討（昭和63年 コンクリート工学年次論文報告集）」に基づき、残留ひび割れ幅を算定し比較する。

a. 残留ひび割れ幅の算定

・残留ひび割れ幅の総計

図2より、せん断ひずみ度(X)から、(Y)の値を読み取り

$$Y = (110 \sim 250) \times 10^{-6}$$

ここで、

Y: 残留ひび割れ幅の総計 / 測定区間長さ (図2の上限)

X: せん断ひずみ度

$$((0.589 \sim 0.803) \times 10^{-3})$$

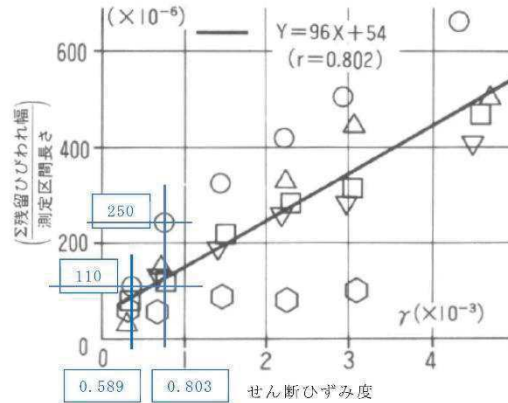


図2 残留ひび割れ幅の総計/測定区間長さ

・平均ひび割れ間隔の算定

$$\begin{aligned} A &= B \times C \\ &= 200 \times (6.8 \sim 3.5) \\ &= 1360 \sim 700 \text{ mm} \end{aligned}$$

ここで、

A: 平均ひび割れ間隔 (mm)

B: 最大鉄筋間隔 (mm)

C: 平均ひび割れ間隔 / 鉄筋間隔 (図3の上限)

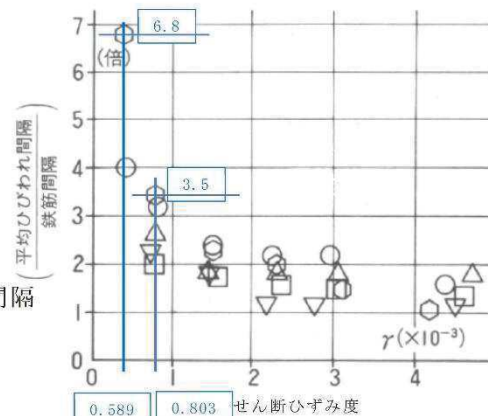


図3 平均ひび割れ間隔/鉄筋間隔

・残留ひび割れ幅の算定

$$\begin{aligned} t &= Y \times A \\ &= (110 \sim 250) \times 10^{-6} \times (1360 \sim 700) \\ &= 0.150 \sim 0.175 \text{ mm} \end{aligned}$$

ここで、

t: 残留ひび割れ幅 (mm)

Y: 残留ひび割れ幅の総計/測定区間長さ

A: 平均ひび割れ間隔 (mm)

b. 残留ひび割れ幅の推測値

既往実験結果から、原子炉建屋及びタービン建屋の最終貯留区画の壁に生じる残留ひび割れ幅は0.150mm～0.175mmと算定される。

参考に、原子炉建屋及びタービン建屋について、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震及び2011年4月7日宮城県沖の地震(以下、「当該地震」という。)後の点検調査による壁の残留ひび割れ幅と残留ひび割れ総長の集計結果を図4及び図5に示す。

平均残留ひび割れ幅(ひび割れ長さによる加重平均、原子炉建屋0.19mm、タービン建屋0.18mm)は、既往実験結果による残留ひび割れ幅と同程度である。

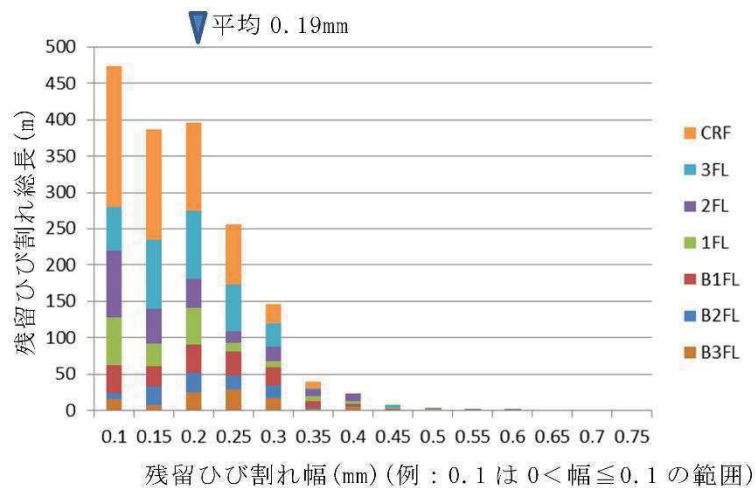


図 4 残留ひび割れ幅と残留ひび割れ総長（原子炉建屋 耐震壁・遮蔽壁）

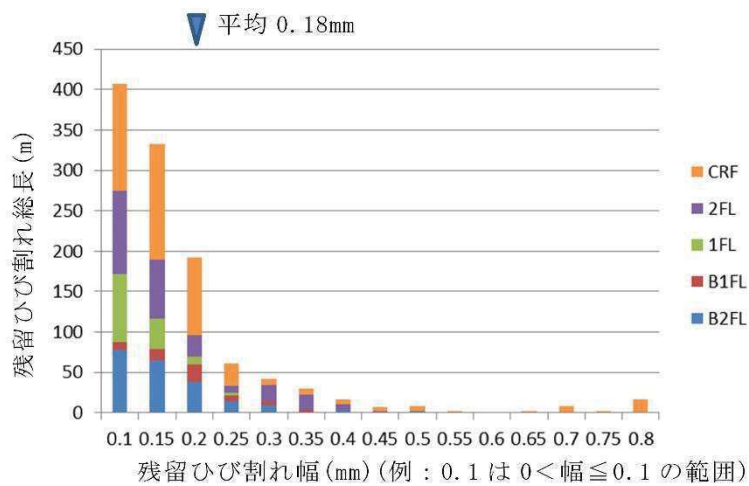


図 5 残留ひび割れ幅と残留ひび割れ総長（タービン建屋 耐震壁（外壁））

9 条-別添 1-補足 24-7

(3) 残留ひび割れによる内部溢水評価への影響確認

a. 原子炉建屋

残留ひび割れ幅は、既往実験結果からは 0.175mm、当該地震後の調査結果からは 0.19mm であることから、「原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説（日本建築学会）（以下、「維持管理指針」という。）」に示される、コンクリート構造物の使用性（水密）の観点から設定されたひび割れ幅の評価基準「0.2mm 未満」を満足する。

また、最終貯留区画の耐震壁等は、水圧による応力が長期許容応力度以下となるため、残留ひび割れからの漏水による内部溢水評価への影響はない。

b. タービン建屋

残留ひび割れ幅は、既往実験結果からは 0.175mm、当該地震後の調査結果からは 0.18mm であることから、「維持管理指針」に示される、コンクリート構造物の使用性（水密）の観点から設定されたひび割れ幅の評価基準「0.2mm 未満」を満足する。

また、最終貯留区画の耐震壁等は、水圧による応力が長期許容応力度以下となるため、残留ひび割れからの漏水による内部溢水評価への影響はない。

6. まとめ

地震時に想定される溢水の最終貯留区画の耐震壁等について、残留ひび割れからの漏水による内部溢水評価への影響がないことを確認した。

別添資料 1 女川 2 号炉 最終貯留区画の耐震壁等配置図

(原子炉建屋, タービン建屋 地震時の最終貯留区画)

9 条-別添 1-補足 24-9

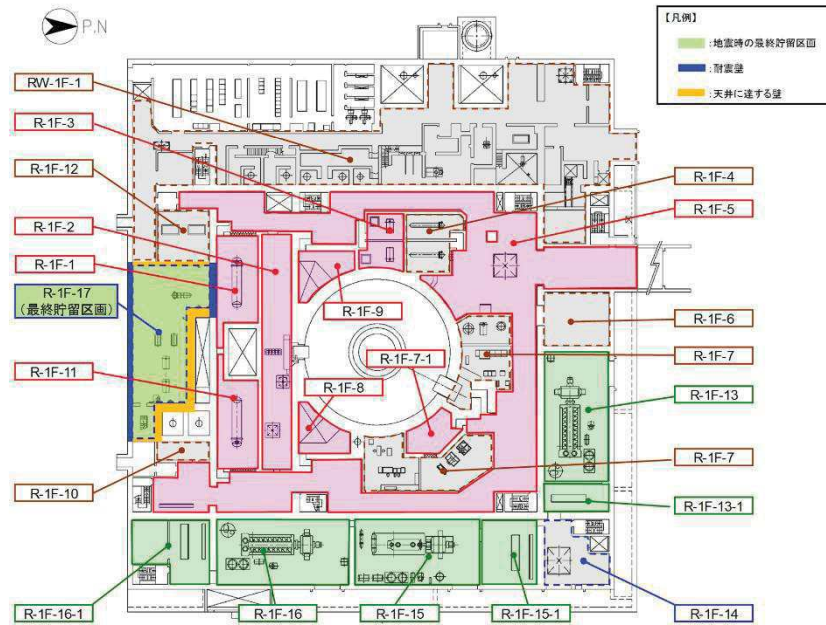


図6 原子炉建屋 1階 地震時の最終貯留区画 耐震壁等配置

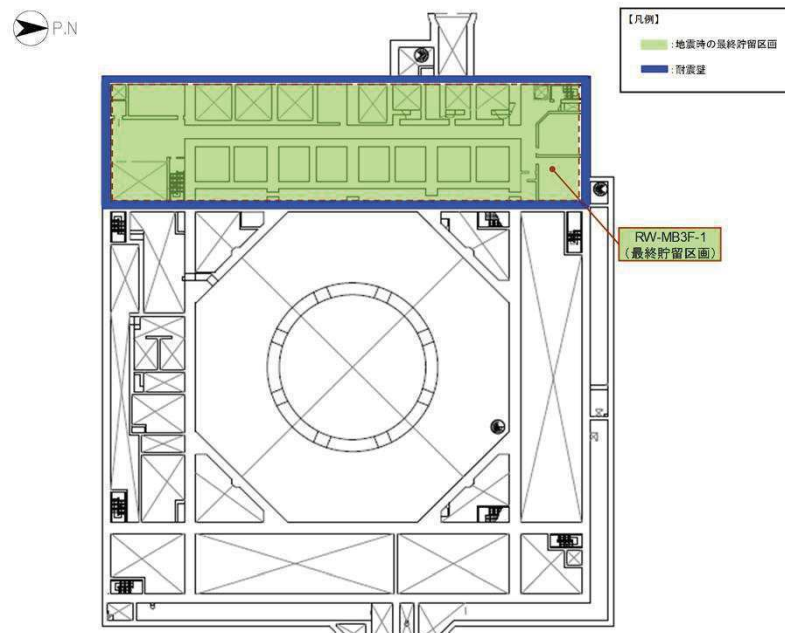


図7 原子炉建屋 地下3階中間階 地震時の最終貯留区画 耐震壁等配置

9条-別添1-補足24-10

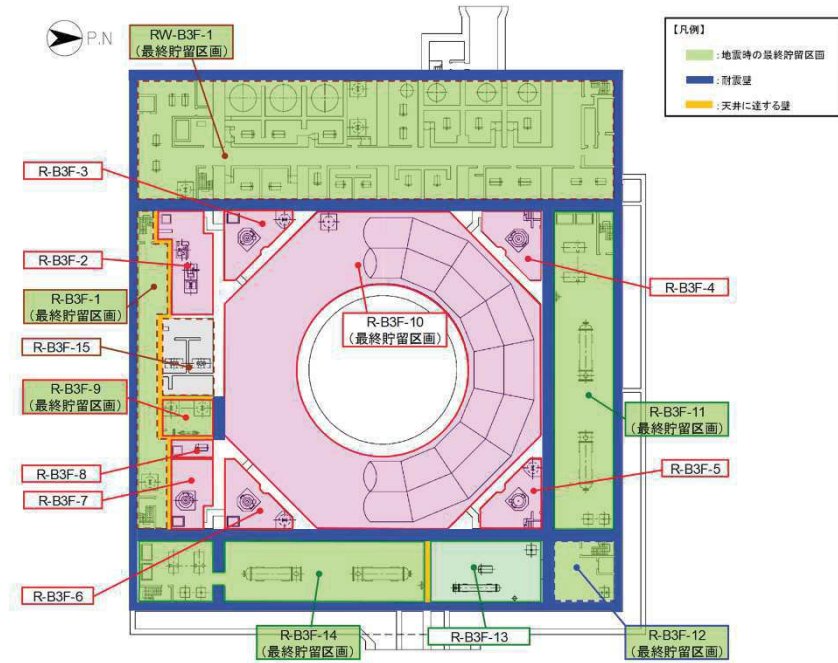


図8 原子炉建屋 地下3階 地震時の最終貯留区画 耐震壁等配置

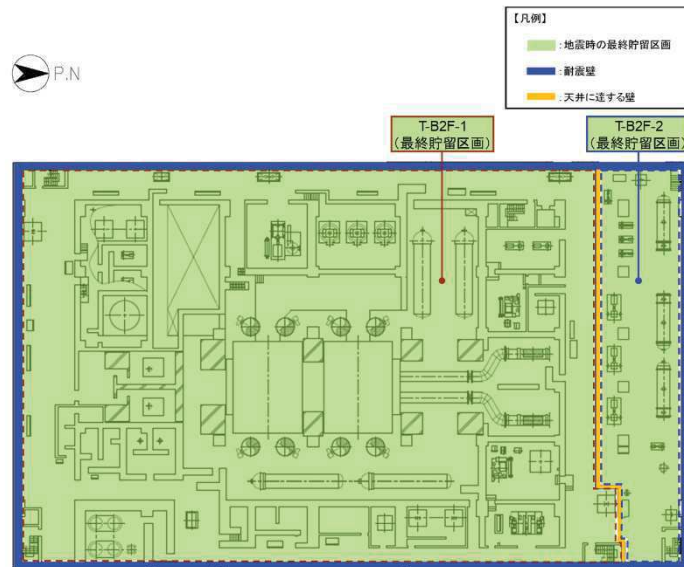


図9 タービン建屋 地下2階 地震時の最終貯留区画 耐震壁等配置

9条-別添1-補足24-11



別添資料 2 残留ひび割れ幅算定式の適用性について

9 条-別添 1-補足 24-12

5 条-別添 1-補足 2-13

## 1. はじめに

地震時の耐震壁等に生じる残留ひび割れ幅算定式の適用性について説明する。

## 2. 算定式の適用性

地震時に建屋の鉄筋コンクリート壁に生じる残留ひび割れ幅については、地震応答解析におけるせん断ひずみ度から、(財)原子力工学試験センターで実施された原子炉建屋の耐震壁の試験結果を取りまとめた文献に基づき算定している。

当文献では、骨材径、配筋方法等をパラメーターとして実施された複数の試験を基にせん断ひび割れ性状を検討している。文献における試験体と、耐震壁（耐震壁同等の壁を含む）の諸元比較を表3に示す。

試験体と実機を比較した結果は以下のとおり。

- ① 壁厚については、実機の最小壁厚は30cmであり、試験体（S-1を除く）と同程度である。
- ② 骨材径については、実機は20mmであり、試験体S-2、S-3と同程度である。
- ③ 配筋方法に関しては実機と異なるが、試験における平均ひび割れ間隔は、部分的なばらつきはあるものの、配筋方法によらずほぼ同等である。

以上のことから、当文献の試験結果を適用することに支障はないと判断し、図10及び図11に示すとおり試験全体のばらつきを考慮し、残留ひび割れ幅を大きく算定する値を用いて評価を実施している。

表 3 試験体と実機壁の諸元比較

|     |     | 諸元          |             |             |              |                         |          |
|-----|-----|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------------------|----------|
|     |     | 壁長さ<br>(cm) | 壁高さ<br>(cm) | ①壁厚<br>(cm) | ②骨材径<br>(mm) | ③配筋方法<br>段数-径@間隔        | 図の<br>凡例 |
| 試験体 | S-1 | 150         | 120         | 8           | 10           | 2-D6@50                 | ○        |
|     | S-2 | 450         | 360         | 24          | 25           | 2-D19@150               | △        |
|     | S-3 | 450         | 360         | 24          | 25           | 4-D10@74                | □        |
|     | S-4 | 450         | 360         | 24          | 10           | 2-D19@150               | ▽        |
|     | S-5 | 450         | 360         | 24          | 10           | 4-D10@74                | ◇        |
| 実機壁 |     | 910*1       | 630*1       | 30~180      | 20           | 2-D13@200~<br>4-D38@200 | —        |

\* 1 : 代表例

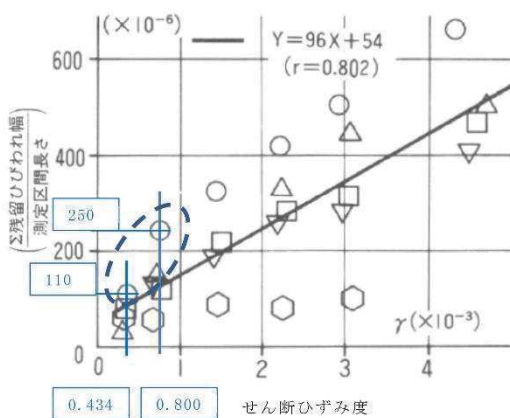


図 1 0 残留ひび割れ幅の総計/測定区間長さ

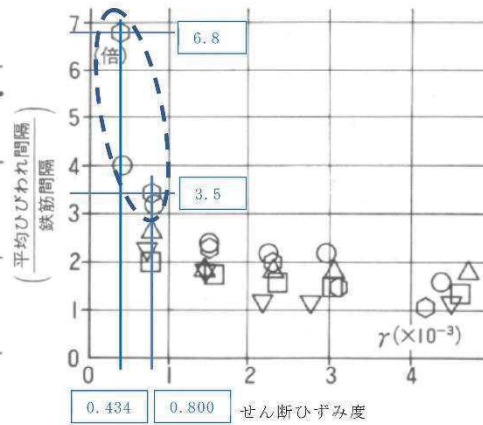


図 1 1 平均ひび割れ間隔/鉄筋間隔

9 条-別添 1-補足 24-14

別添資料 3 維持管理指針における評価基準「0.2mm 未満」について

9 条-別添 1-補足 24-15

5 条-別添 1-補足 2-16

1. はじめに

内部溢水評価における，浸水範囲の境界壁である耐震壁等のひび割れ幅の評価基準について整理した。

2. 設定した評価基準「0.2mm 未満」について

内部溢水評価におけるひび割れ幅の評価基準「0.2mm 未満」は，維持管理指針において，既往の指針類\*1を参考に「コンクリート建造物の使用性（水密）\*2」の観点から設定している。（表4及び表5参照）

\*1：「コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針 -2003-（社団法人 日本コンクリート工学協会）」

\*2：主に液体状の放射性物質の漏えい拡大を防止するために設置されている堰及び堰で囲まれる壁・床に求められている漏えい防止機能に関連する性能（維持管理指針より）

表4 維持管理指針におけるひび割れ幅の評価基準

（「維持管理指針 解説表7-1 ひび割れに対する評価区分と評価基準」より，一部加筆）

| 影響する性能 | 評価区分と評価基準                              |  |   |
|--------|--|--|---|
|        | A1（健全）                                 | A2（経過観察）   | A3（要検討）                                 |
| 構造安全性  | 構造安全性に影響を与えるひび割れがない                    | —  | 構造安全性に影響を与えるひび割れがある                     |
| 使用性    | ひび割れ幅が<br>0.3mm 未満（屋外）<br>0.4mm 未満（屋内） | ひび割れ幅が<br>0.3mm 以上<br>0.8mm 未満（屋外）<br>0.4mm 以上<br>1.0mm 未満（屋内） | ひび割れ幅が<br>0.8mm 以上（屋外）<br>1.0mm 以上（屋内）  |
|        | 水密                                     | 塗膜にひび割れがない*3<br>ひび割れ幅が<br>0.05mm 以下*4                          | —<br>ひび割れ幅が<br>0.05mm を超え<br>0.2mm 未満*4 |
| 遮蔽性    | 使用性の評価区分に準ずる                           |  |   |

\*3：塗膜で使用性（水密）を評価する場合

\*4：コンクリートで使用性（水密）を評価する場合

表5 評価区分  
 (「維持管理指針 7. 2. b (1) 健全性評価の区分」より)

|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| A 1 (健全)   | 点検結果が評価基準を満足する場合                      |
| A 2 (経過観察) | 劣化が顕在化しているが点検結果は <u>評価基準を満足している場合</u> |
| A 3 (要検討)  | すでに点検結果が評価基準を満足していない場合                |

3. 維持管理指針におけるひび割れ幅の評価基準の適応性について

「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 -2003- (社団法人 日本コンクリート工学協会)」においては、既往の研究による水密性からの許容ひび割れ幅として表6 が示されている。

壁厚による影響を考慮した坂本らの研究によると、漏水が生じるひび割れ幅は、壁厚 18cm までは 0.1mm 以上、壁厚 26cm では 0.2mm 以上とされている。

ひび割れからの漏水影響を考慮する必要がある最終貯留区画の最低壁厚 30cm を考慮すると、評価基準「0.2mm 未満」は適用可能と考える。

以上より、内部溢水評価における、浸水範囲の境界壁である耐震壁等のひび割れ幅の評価基準として、維持管理指針に示される評価基準「0.2mm 未満」と設定することは問題ないと考える。

表6 既往の研究による水密性からの許容ひび割れ幅  
 (「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2003-解説表-4.4」より、一部加筆)

| 研究者名                         | 許容ひび割れ幅 (mm) | 要 旨   |
|------------------------------|--------------|---|
| 狩野春一ほか <sup>(9)</sup>        | 0.06         | 数年にわたる調査研究によると、12 cm 厚のスラブで、ひび割れの見つけ幅が 0.04 mm ではほとんど降雨による漏水は認められなかった。0.06 mm 前後が危険度約 20% 程度の漏水限界幅と思われる。ただし水圧の大きいところでは当然さらに小さい幅でも危険である。   |
| 仕入豊和 <sup>(9)</sup>          | 0.05         | 厚さ 10 cm のコンクリート供試体について、水圧 0.001 N/mm <sup>2</sup> (風速 50 m/s 時の風圧に相当する) で連続 1 時間の透水実験を行い、ひび割れ幅が約 0.05 mm 以下ではほとんど透水は認められないことを示した。また、実在 RC 造建物におけるひび割れ幅と漏水の有無についての調査を行い、実用防水上支障がないと考えられるひび割れ幅は 0.05 mm とした。 |
| 浜田 稔 <sup>(7)</sup>          | 0.03         | ひび割れ幅と雨もりの有無とを実際のアパートについて調査した結果、最初は 0.06 mm が雨もりを認める限界の幅であるとされたが、最近では、0.03 mm でも雨もりを認める場合があるようになった。   |
| 向井 毅 <sup>(9)</sup>          | 0.06         | 5×10×30 cm モルタル、水頭 10 cm での試験結果では、ひび割れ幅が 0.06 mm 以下では、たとえ 0.03 mm でも試験体表面のひび割れ部から透水を示し「湿り」がみられたが漏水は 0.07 mm でもほとんどみられなかった。しかし、それ以上のひび割れ幅の場合は明らかに漏水現象がみられた。  |
| 神山幸弘・石川広三 <sup>(10)</sup>    | (0.06 以下)    | 壁体が飽水状態にあるとき、無風もしくは微風時に漏水を生ずる最小のひび割れ幅は 0.06~0.08 mm 付近にある。  |
| 重倉祐光 <sup>(9)</sup>          | (0.12 以下)    | φ15×4 cm のモルタル、水頭 30 cm (0.003 N/mm <sup>2</sup> ) での試験結果では、ひび割れ幅 0.12 mm (これ以下の試験はしていない) では透水はゼロに近い。   |
| 松下清夫ほか <sup>(11)</sup>       | (0.08 以下)    | 幅が片面 0.08 mm、片面 0.3 mm の水平ひび割れを有する厚 15 cm のモルタル供試体で、細い側から長時間放水したとき、1 分でしみ発生、5.5 分で泡発生、10 分で流れ始め、その速では、0 分でしみ発生、8.5 分で流れ始め。  |
| 石川広三 <sup>(10)</sup>         | (0.15 以下)    | 気乾状態のコンクリート供試体、厚 8 cm、圧力差 0.0002 N/mm <sup>2</sup> 、実験時間：原則として 3 時間では、ひび割れ幅が 0.15 mm 以下では、ひび割れ周辺部ににじみが生ずる程度で、漏水にはいたらない。   |
| 坂本照夫・石橋敏・嵩英雄 <sup>(12)</sup> | 壁厚によって異なる    | 漏水にはひび割れ幅、壁厚が影響し、模型実験において漏水するひび割れ幅は、壁厚 10、18 cm で 0.1 mm 以上、壁厚 26 cm では 0.2 mm 以上であり、壁厚が厚くなるほうが漏水に対して有利である。   |

9 条-別添 1-補足 24-18

#### 4. 耐震壁等のひび割れからの漏水影響について

参考として、溢水が長期間滞留する最終貯留区画の耐震壁等のひび割れ幅からの漏水影響の確認方法を以下に示す。

##### ① ひび割れからの漏水量の算定

「コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針 -2009- 付：ひび割れの調査と補修・補強事例（社団法人 日本コンクリート工学協会）」に示される下式に基づき算定する。

(漏水量算定式)

$$Q = C_w \cdot L \cdot w^3 \cdot \Delta p / (12 \nu \cdot t)$$

ここに、

- Q : 漏水量 (mm<sup>3</sup>/s)
- C<sub>w</sub> : 低減係数
- L : ひび割れ長さ (mm)
- w : ひび割れ幅 (mm)
- ν : 水の粘性係数 [1.14×10<sup>-9</sup> N・s/mm<sup>2</sup>とする]
- Δp : 作用圧力 (N/mm<sup>2</sup>)
- t : 部材の厚さ (ひび割れ深さ) (mm)

(算定条件)

- C<sub>w</sub> : 最終貯留区画の壁厚さを考慮し、「沈埋トンネル側壁のひび割れからの漏水と自癒効果の確認実験（コンクリート工学年次論文報告集 Vol.17, No.1 1995）」に基づき設定する。
- L : 地震時のせん断ひび割れを対象としていることから、壁面全面に45度で×型に入ると仮定。(ひび割れ間隔は200mm×3.5=700mmとする。)
- w : 対象壁に生じると推定される残留ひび割れ幅の値を0.175mmとする。
- Δp : 溢水高さ及び比重を考慮した静水圧分布。



② 溢水影響評価への影響確認

①により算定した漏水量が、当該エリアの溢水評価に影響がないことを確認する。

- ・地震に起因する RC 壁の残留ひび割れは、水密性の観点からの評価基準値を下回っている。
- ・残留ひび割れからの漏水を想定した場合においても、単位時間当たりの漏水量は「0.558 リットル/h」であり、溢水評価における裕度※に対し相当に小さい値であるため溢水評価に影響を与えることはない。
- ・万一漏水が発生した場合は、手動ポンプによって漏水の移送・回収、また、補修材による止水補修を実施する。

以上により、水密区画の残留ひび割れから想定される漏水は溢水影響評価に影響を及ぼさないと判断した。

※最終貯留区画が設置されているフロアについて、残留ひび割れからの漏水量による溢水影響評価を実施した結果、裕度が最も小さい原子炉建屋地下3階に設置されている FPMUW ポンプの機能喪失高さまでの溢水量裕度は約 1.4m<sup>3</sup>であり、溢水回収対策を実施しない場合においても、溢水による機能喪失に至るまで約 2501 時間（約 104 日）の時間的余裕があることを確認した。

別添資料 4 躯体のひび割れ及びエポキシ樹脂塗装の保守管理について

9 条-別添 1-補足 24-21

5 条-別添 1-補足 2-22

### 1. はじめに

通常時における原子炉建屋等の躯体等のひび割れの保守管理については、「個-女-土建-2 ひび割れエポキシ塗装点検の手引き」及び「個-女-土建-3 ひび割れ・補修実績管理の手引き」に基づき適切に管理を行っている。ひび割れの保守管理について整理した。

### 2. 点検項目

ひび割れの具体的な状況把握のため、ひび割れの推定成因、ひび割れの位置(床からの高さ)、ひび割れの幅、ひび割れの長さ、ひび割れの方向(角度)を点検調査し、ひび割れ幅やエポキシ樹脂塗装面の点検結果から健全性を判定している。この判定結果に基づき、建屋ごとの重要度に応じた補修計画を策定し、修繕を実施する管理としている。

また、地震発生後には、地震の規模に応じたパトロールを実施することとしており、建物・構築物等の健全性を確認することが定められている。

### 3. 最終貯留区画の保守管理について

今後、溢水の最終貯留区画を含む建屋範囲については、耐漏えい性を必要とする重要度を考慮した対応として、点検結果が、維持管理指針におけるA1(健全)を満足しない判定となる場合は、速やかに補修等の対応をとる管理とする。

## 循環水系におけるインターロックについて

### 1. はじめに

「2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）」において、タービン建屋内の復水器を設置するエリアにおける溢水に対する対策として、循環水系にインターロックを追加することで、津波の浸水を防止する設計としている。

この対策については、「設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性において説明されており、本書ではその該当箇所を抜粋する形で、インターロックに関する具体的な内容を示す。

## 2. 循環水系におけるインターロックの追加について

補足説明資料 12

### 循環水系におけるインターロックの追加について

#### 1. タービン建屋（管理区域）における地震時溢水評価について

女川2号炉の管理区域内において、海水系配管が敷設されている建屋として該当するものは、タービン建屋のみであり、対象となる系統は循環水系の一系統である。循環水系配管がタービン建屋（管理区域）で破断した場合は、溢水量が増大する可能性があることから、対応が必要となる。（図1参照）

- (1) 基準地震動が発生し、耐震B、Cクラス設備が機能喪失（耐震B、Cクラス設備が損傷し、保有水全量が瞬時に漏えい）
- (2) 漏えいした流体（微量な放射性物質を含む）は、最地下階に貯留
- (3) 循環水ポンプについては、耐震Cクラスであり、機能喪失するものと考えられるが、保守的に通常運転状態が継続されるものとして評価
- (4) 循環水ポンプの運転継続を仮定した場合、最地下階で溢水水位が上昇

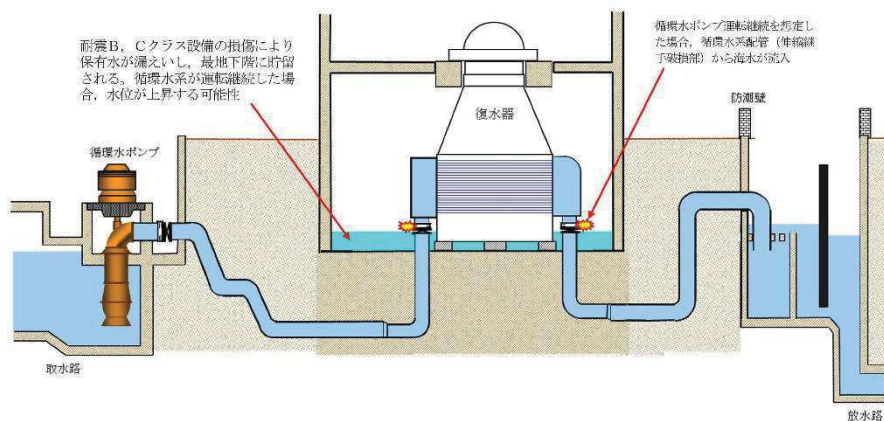


図1 タービン建屋（管理区域）における地震時溢水（イメージ）

9条-別添1-補足12-1

## 2. タービン建屋（管理区域）からの溢水防止対策の検討

### (1) 運転員の手動操作による対応

運転員の手動操作による対応が可能であるが、基準地震動発生直後の状況下（スクラム対応中の状況）において、確実に運転操作（弁の閉止操作が必要であり、CSを全開保持（1分程度）する必要がある等）を実施することは困難と考えられることから、自動化（インターロック）による対応が必要と判断した。

### (2) 自動化（インターロック追加）による対応

循環水系に以下の対策を実施する。（図2参照）

- a. 復水器室に漏えい検知器を設置
- b. 復水器出入口弁の「全閉」インターロック追加
- c. 循環水ポンプのトリップインターロック追加
- d. 上記に関する電源系の強化（非常用電源への接続）

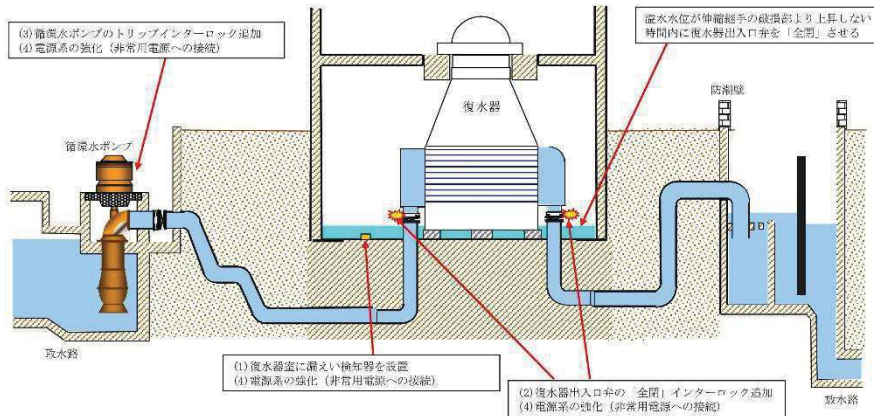


図2 循環水系における対策内容

## 3. 循環水系に追加するインターロックについて

追加するインターロックは以下のとおり設定する。（図3、4参照）

- (1) 基準地震動（Ss）発生により、循環水配管（伸縮継手部）が破断し、溢水開始
- (2) 溢水開始 20 秒後に復水器室で漏えいを検知し、循環水ポンプトリップ
- (3) 循環水ポンプトリップは、誤動作を防止する観点から、「原子炉スクラム信号」との and 条件を設定
- (4) 循環水ポンプの遊転が停止した以降に全閉するように、漏えい検知の 120 秒後から、復水器出入口弁（全 8 弁）が開動作開始

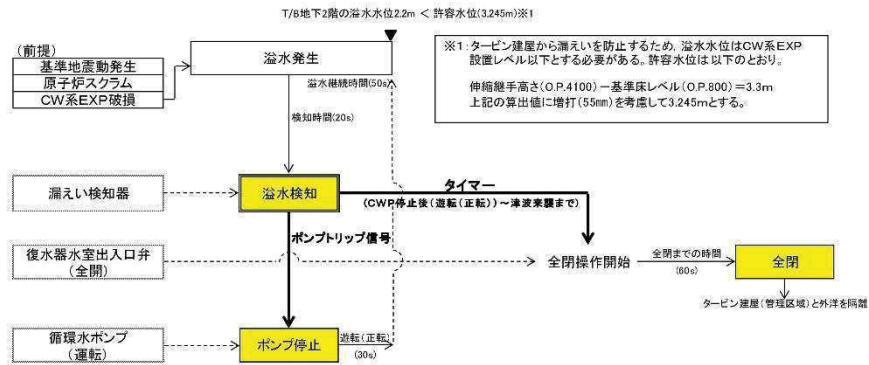


図3 インターロックの概要

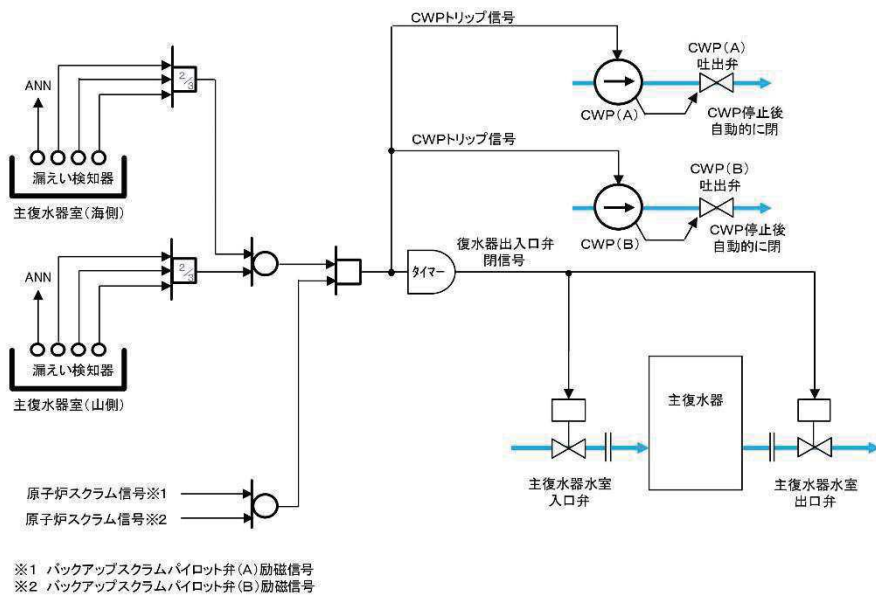


図4 循環水配管溢水対策インターロックロジック概要

9条-別添1-補足12-3

4. 漏えい検知までの時間設定 (20 秒) について

循環水系からの漏えい発生 20 秒後におけるタービン建屋 (管理区域) 最地下階の浸水深から、漏えい検出器の設置高さを設定する。

(1) 評価に必要な前提条件の整理

表 1 及び表 2 に漏えい検知までの時間算出に必要な諸条件を示す。

表 1 諸条件 (ポンプ吐出流量)

| 項目                 | 吐出流量<br>(m <sup>3</sup> /min/台) | 設置<br>台数        | 流量<br>(m <sup>3</sup> /min) | 備考                        |
|--------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------|
| 循環水ポンプ             | 1662                            | 2               | 3324                        | 循環水系配管 (伸縮継手破損部) からの漏えい流量 |
| T/B 床ドレン<br>サンプポンプ | 0.17                            | 4 <sup>※1</sup> | 0.68                        | 床ドレンポンプが運転することを保守的に仮定     |

※1 タービン建屋高電導度ドレンサンプポンプ (2 台) を含む

表 2 タービン建屋 (管理区域) 最地下階の床面積

| 区画        | 床面積 (m <sup>2</sup> ) |
|-----------|-----------------------|
| 復水器エリア    | 1621.5                |
| 復水器エリア以外  | 1140.4                |
| 復水器廻りの掘込部 | 840 <sup>※1</sup>     |

※1 復水器廻りの掘込部における貯留容量 (m<sup>3</sup>)



(2) 溢水発生 20 秒後の浸水深

a. 復水器エリアに貯留を仮定した場合

復水器エリアは床上 130mm のカーブにより囲われており、循環水系配管（伸縮継手破損部）からの漏えい流量は、建屋内配水系の排水容量（ここでは保守的に建屋内排水系による排水を考慮する）より大きいため、復水器エリアにて床上 130mm まで貯留された後、最地下階全体へ浸水していくものと考えられる。

20秒後の没水高さ(m)

$$\begin{aligned} &= \left[ (\text{漏えい流量}(\text{m}^3/\text{min}) - \text{排水流量}(\text{m}^3/\text{min})) \times \frac{20(\text{s})}{60(\text{s})} - \text{復水器廻りの掘込部貯留容量}(\text{m}^3) \right] \\ &\quad \div \text{復水器エリアの滞留面積}(\text{m}^2) \\ &= \left[ (3324 - 0.68) \times \frac{1}{3} - 840 \right] \div 1621.5 \\ &= 0.16(\text{m}) \quad (\text{小数第3位切り捨て}) \end{aligned}$$

b. 最地下階（全域）に貯留されることを仮定した場合

復水器エリアのカーブを考慮せず、循環水系配管（伸縮継手破損部）からの漏えい水が最地下階全域に浸水すると仮定した場合でも、96mm の浸水深となる。

20秒後の没水高さ(m)

$$\begin{aligned} &= \left[ (\text{漏えい流量}(\text{m}^3/\text{min}) - \text{排水流量}(\text{m}^3/\text{min})) \times \frac{20(\text{s})}{60(\text{s})} - \text{復水器廻りの掘込部貯留容量}(\text{m}^3) \right] \\ &\quad \div \text{タービン建屋（管理区域）最地下階の滞留面積}(\text{m}^2) \\ &= \left[ (3324 - 0.68) \times \frac{1}{3} - 840 \right] \div (1621.5 + 1140.4) \\ &= 0.096(\text{m}) \quad (\text{小数第4位切り捨て}) \end{aligned}$$

(3) 漏えい検知器の設定高さについて

溢水発生 20 秒後の浸水深から、漏えい検知器は、タービン建屋（管理区域）最地下階の基準床面 (O.P. +800) から 90mm 以下の高さで漏えい検知が可能のように設置する。

具体的には、漏えい検知器の精度（今回設置する電極式レベルスイッチでは、±10mm）を考慮し、タービン建屋（管理区域）最地下階の基準床面 (O.P. +800) から 80mm 以下の高さに設置する。図 5 に漏えい検知器概略図を示す。

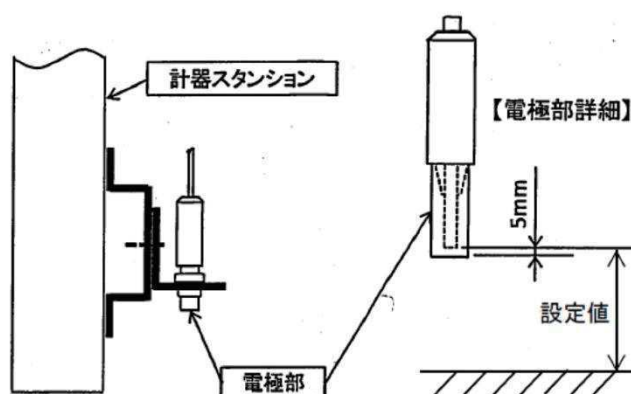


図 5 漏えい検知器概略図

9 条-別添 1-補足 12-6

## 参考資料 2

女川原子力発電所における津波評価について  
(基準津波に対する安全性 (砂移動評価))

女川原子力発電所2号機 津波評価について  
(基準津波に対する安全性(砂移動評価))  
(コメント回答)

---

平成29年2月3日  
東北電力株式会社

## 審査会合におけるコメント

| No.  | コメント時期                   | コメント内容   | 説明資料                          |
|------|--------------------------|--|-------------------------------|
| S160 | 平成28年12月16日<br>第423回審査会合 | 最大シールズ数の空間分布, 浮遊砂体積濃度等のスナップショットを用いて, 高橋ほか(1999)の浮遊砂濃度上限値1%の説明性向上を図ること。また, 影響評価として実施した3%についても同様に示すこと。 | 本資料 第2章<br>補足説明資料<br>第3章, 第4章 |

## 目次

---

|                    |    |
|--------------------|----|
| 1. 評価方針            | 3  |
| 2. 海底地形変化          | 5  |
| 3. 海水ポンプ室内における砂の堆積 | 31 |

### 補足説明資料

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1. 設置変更許可申請時からの変更点について         | 41 |
| 2. 基準津波の策定                     | 43 |
| 3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料       | 53 |
| 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価 | 57 |

## 1. 評価方針

---

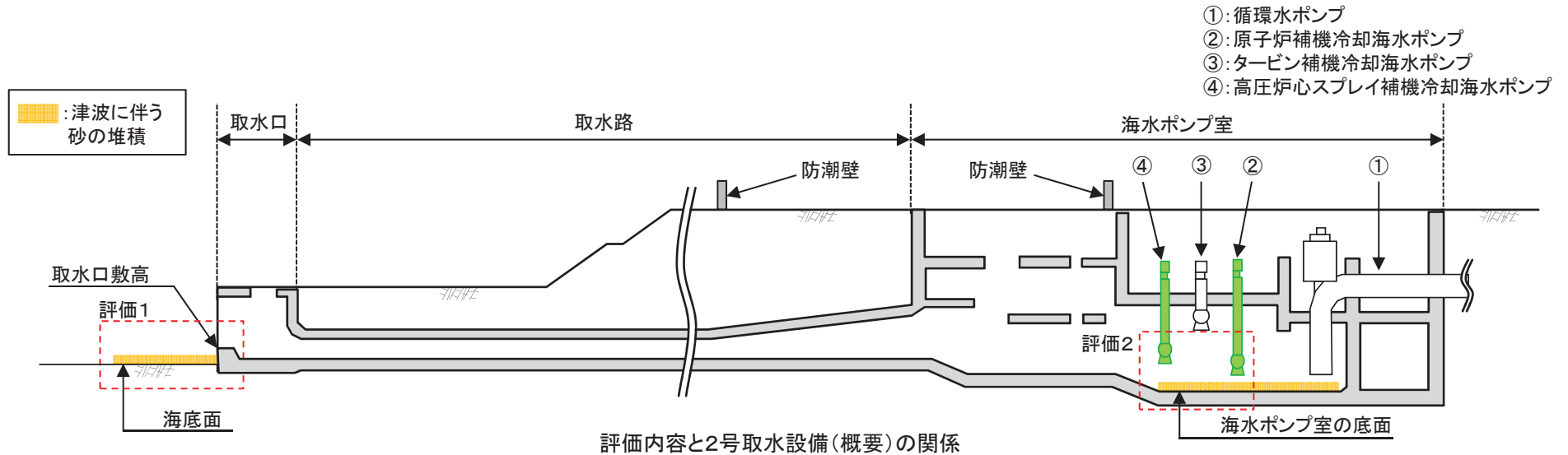
# 1. 評価方針

## ■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、2号取水口前面の砂の堆積高さ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。
- ※:基準津波の詳細は、補足説明資料「2. 基準津波の策定」に記載。

## ■海水ポンプ室内における砂の堆積(評価2)

- ・ 2号海水ポンプ室内における砂の堆積高さを評価して、非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高さが海水ポンプの高さを上回らず(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。
- ・ 砂の堆積高さは、2号取水設備を1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。
- ・ なお、本検討は、海底地形変化の検討(評価1)において、取水口前面の砂の堆積高さが最も大きいケースを対象に実施する。



評価内容と2号取水設備(概要)の関係

取水口高さ, 非常用海水ポンプの高さ

|             |                   | 設定値   | 備考                                |             |           |            |
|-------------|-------------------|-------|-----------------------------------|-------------|-----------|------------|
| 取水口高さ       |                   | 1.20m | 取水口敷高: O.P.*-6.3m, 海底面: O.P.-7.5m |             |           |            |
| 非常用海水ポンプの高さ | 原子炉補機冷却海水ポンプ      | 1.15m | 海水ポンプの下端                          | O.P.-11.25m | 海水ポンプ室の底面 | O.P.-12.4m |
|             | 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ | 2.45m |                                   | O.P.-9.95m  |           |            |

※: O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面(T.P.)-0.74m



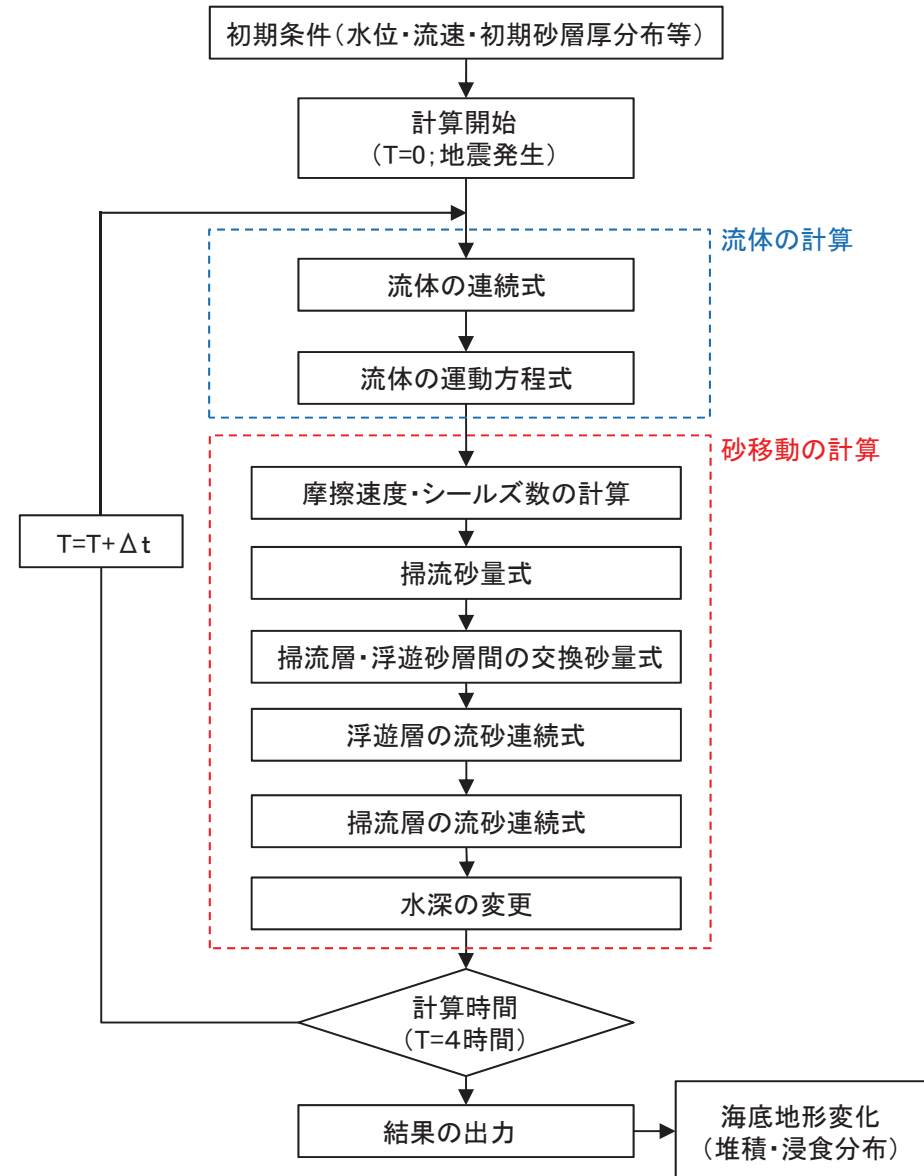
## 2. 海底地形変化

---

|           |       |    |
|-----------|-------|----|
| 2. 1 評価概要 | ..... | 6  |
| 2. 2 計算条件 | ..... | 7  |
| 2. 3 評価結果 | ..... | 15 |

## 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、基準津波(水位上昇側・水位下降側)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。



1487

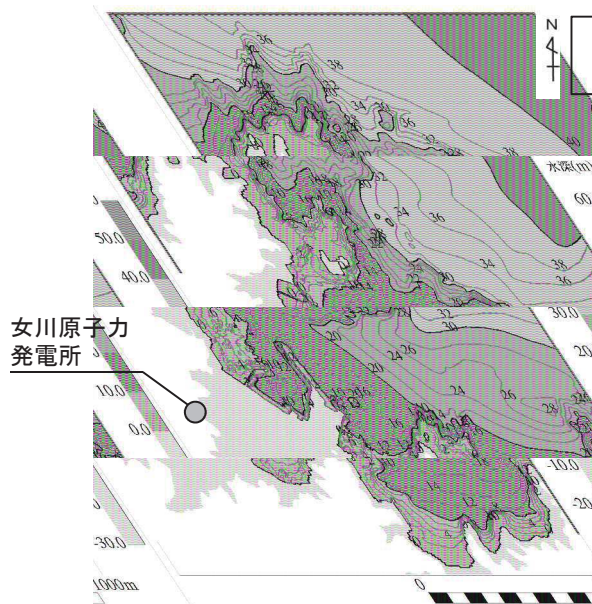
## 2. 海底地形変化

### 2.2 計算条件:流体

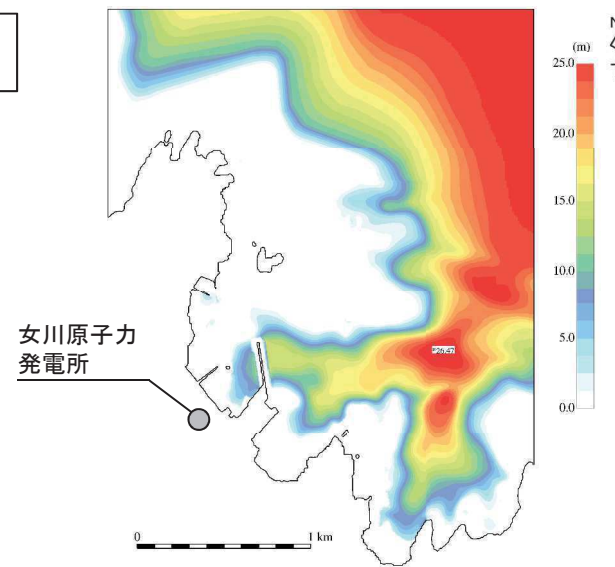
- 下記の計算条件に基づき流体の計算を実施した。

主な計算条件

| 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 $\Delta s$ | 5m(2500/486)  |
| 時間格子間隔 $\Delta t$ | 0.05秒   |
| 沖側境界条件            | <ul style="list-style-type: none"> <li>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</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            | 小谷ほか(1998)の遡上境界条件   |
| 海底摩擦              | マニングの粗度係数 $n = 0.03\text{m}^{-1/3}/\text{s}$  |
| 潮位条件              | T.P.±0.0  |
| 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(1980.9), 深浅測量図(2011.5)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。
- 砂の密度・粒径, 各評価手法に用いた浮遊砂濃度上限値の詳細は, 次頁以降に示す。

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<br>$Q = 80 \tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$  | 高橋ほか(1999)の実験式<br>$Q = 21 \tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$  |
| 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<br>$E = 0.012 \tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$  |
| 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 $u_* = \sqrt{gn^2 U^2 / D^{1/3}}$   |

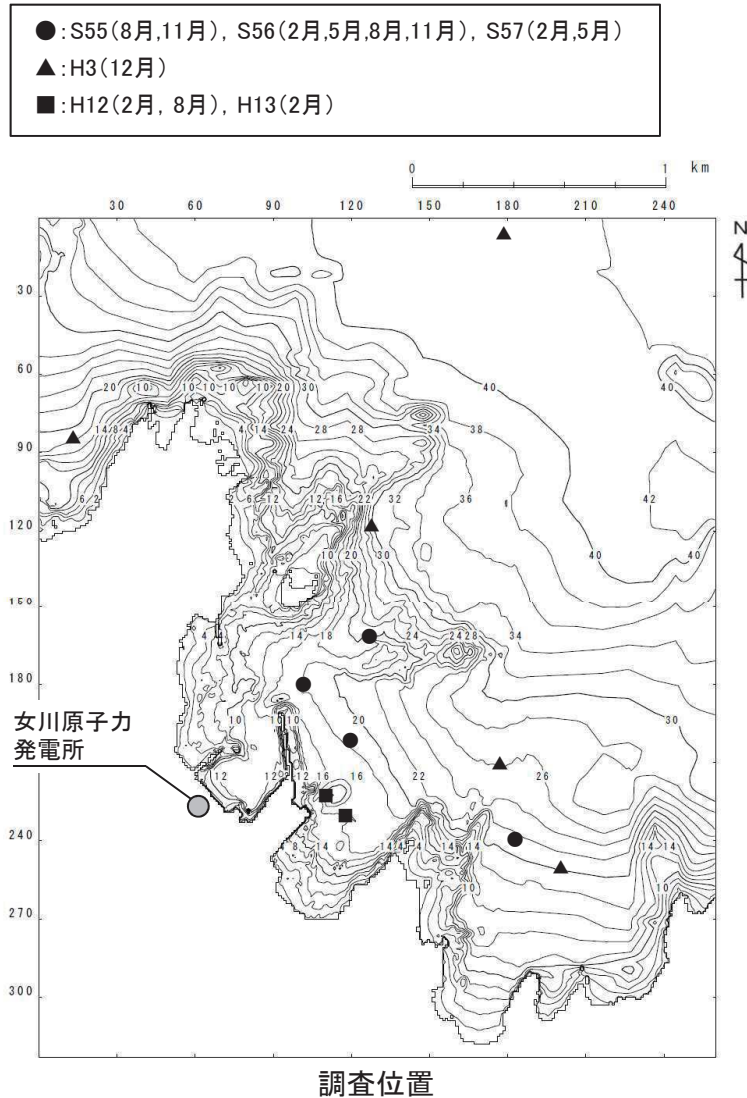
ここに,

- Z:水深変化量(m)      t:時間(s)      x:平面座標       $\tau_*$ :シールズ数      g:重力加速度(m/s<sup>2</sup>)  
 Q:単位幅,単位時間当たりの掃流砂量 (m<sup>3</sup>/s/m)       $\rho$ :海水の密度(=1,030kg/m<sup>3</sup>, 一般値)       $\sigma$ :砂の密度(=2,716kg/m<sup>3</sup>, 調査結果より)  
 d:砂の粒径(=2.15 × 10<sup>-4</sup>m(中央粒径), 調査結果より)       $\lambda$ :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 × D(m<sup>2</sup>/s)      n:マンングの粗度係数(=0.03m<sup>-1/3</sup>s, 土木学会(2002)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<sub>0</sub>:粗度高さ(=ks/30)(m)      k<sub>z</sub>:鉛直拡散係数(=0.2ku<sub>\*</sub>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)      h:水深(m)  
 $\kappa$ :カルマン定数(=0.4, 藤井ほか(1998)より)      C<sub>s</sub>:浮遊砂体積濃度(浮遊砂濃度連続式より算出)      u<sub>\*</sub>:摩擦速度(m/s)  
 C, C<sub>b</sub>: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/m<sup>3</sup>)  
 log-wake則:対数則u<sub>\*</sub>/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。



#### ■調査結果

| 調査年月   | 密度: $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 中央粒径: $D_{50}$ (mm) |
|--------|---------------------------------|---------------------|
| S55.8  | 2.698                           | 0.190               |
| S55.11 | 2.706                           | 0.200               |
| S56.2  | 2.706                           | 0.163               |
| S56.5  | 2.699                           | 0.195               |
| S56.8  | 2.709                           | 0.223               |
| S56.11 | 2.696                           | 0.240               |
| S57.2  | 2.699                           | 0.170               |
| S57.5  | 2.714                           | 0.320               |
| H3.12  | 2.708                           | 0.179               |
| H12.2  | 2.703                           | 0.179               |
| H12.8  | 2.741                           | 0.156               |
| H13.2  | 2.810                           | 0.368               |

#### ■設定値※

|     | 密度: $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 中央粒径: $D_{50}$ (mm) |
|-----|---------------------------------|---------------------|
| 設定値 | 2.716                           | 0.215               |

※: 各年の調査結果の平均値

1490

余白

## 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, 浮遊砂濃度上限値に関する文献調査(詳細はp12に記載。), 並びに発電所周辺における平成23年(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。)による砂移動の再現解析(詳細はp13~14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①

#### ■文献調査:再現解析

- ・ 上限値5%の検証結果から、浮遊砂濃度上限値5%は過大評価になると考えられる。
- ・ 上限値1%の検証結果から、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<br>(検証津波)      | 文献              | 計算使用<br>砂粒径   | 計算格子<br>間隔 | 浮遊砂濃度<br>上限値 | 浮遊砂濃度上限値に関する評価  |
|---------------------|-----------------|---------------|------------|--------------|---|
| 気仙沼湾<br>(1960年チリ津波) | 玉田ほか<br>(2009)  | 0.001~<br>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<br>(1960年チリ津波)  | 藤田ほか<br>(2010)  | 0.26mm        | 10.3m      | 1%,2%,5%     | ・ 浮遊砂濃度上限値5%は過大に評価<br>・ 浮遊砂濃度上限値1%, 2%の場合の再現性が良好  |
| 宮古湾<br>(3.11地震津波)   | 近藤ほか<br>(2012)  | 0.08mm        | 10m        | 1%           | ・ 土砂移動の全体的な傾向は良く一致<br>・ 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<br>(3.11地震津波)  | 森下・<br>高橋(2014) | 0.3mm         | 10m        | 1%<br>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<br>・ 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<br>・ 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),  $\alpha=0.01$ )



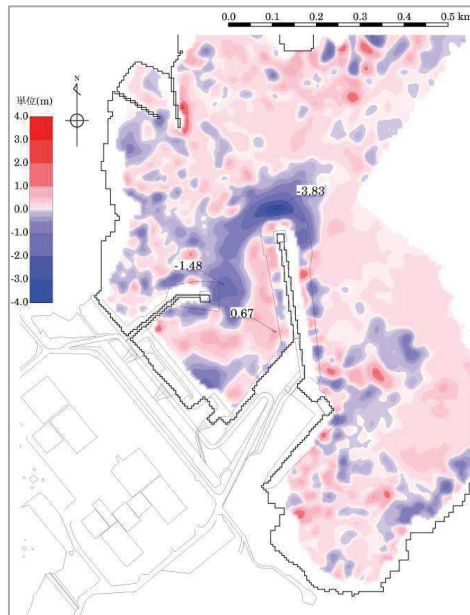
## 2. 海底地形変化

### 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②

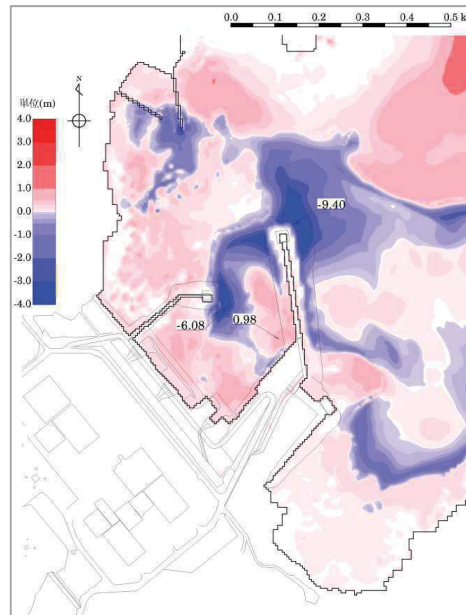
#### ■ 発電所周辺における3.11地震津波に伴う砂移動の再現解析:高橋ほか(1999)

- ・ 発電所周辺の3.11地震津波を良好に再現する女川再現モデルを用いて、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は過大な傾向を示すことを確認した。
- ・ 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、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)\*を大きく超えている。
- ・ 浮遊砂体積濃度上限値の設定について、高橋(2012)によれば、「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\*。
- ・ 以上から、浮遊砂濃度上限値1%は保守的な設定値と考えられる。

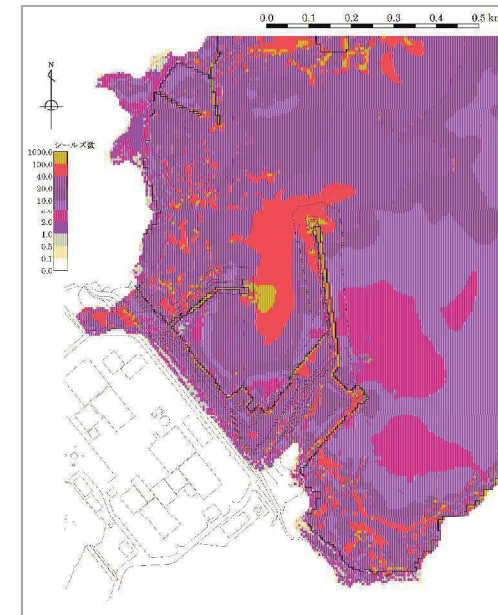
※:高橋ほか(1999)の適用範囲と浮遊砂濃度上限に関する説明の詳細は、補足説明資料「3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料」に記載。



3.11地震に伴う津波による  
海底地形の変化(実績)\*  
(赤:堆積域, 青:浸食域)



海底地形変化(再現解析)  
(赤:堆積域, 青:浸食域)



最大シールズ数の空間分布  
(再現解析)

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

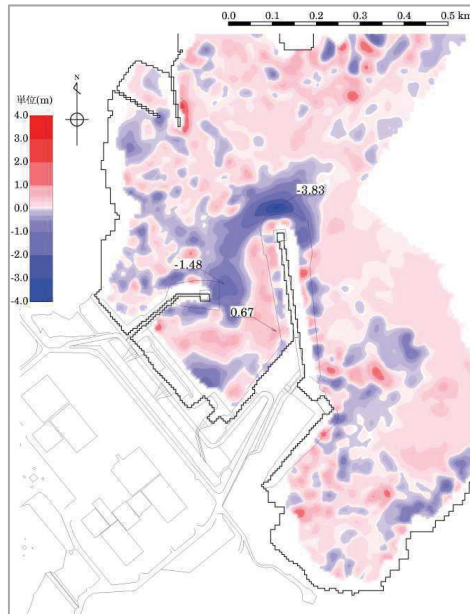
## 2. 海底地形変化

### 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②

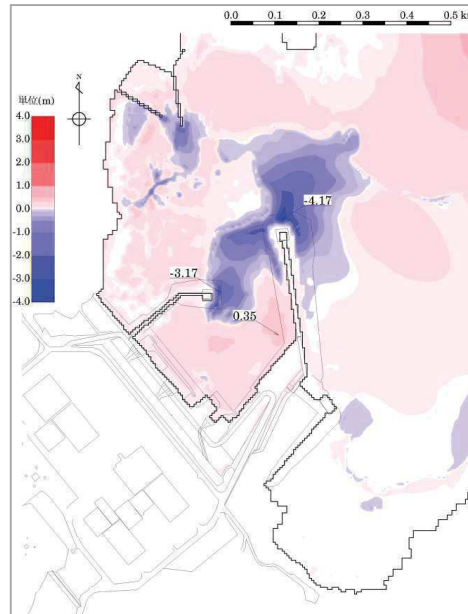
#### ■発電所周辺における3.11地震津波に伴う砂移動の再現解析:高橋ほか(2011)(流砂量式・巻き上げ量算定式:粒径 $d=0.166\text{mm}$ の実験式)

- ・ 参考に、高橋ほか(2011)で示される流砂量式、巻き上げ量算定式(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\*。

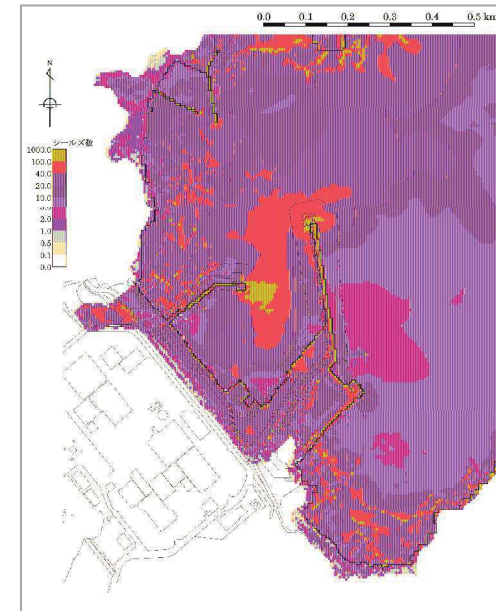
※:高橋ほか(1999)と高橋ほか(2011)の流砂量式、巻き上げ量の算定式の比較を、補足説明資料「3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料」に記載。



3.11地震に伴う津波による  
海底地形の変化(実績)  
(赤:堆積域, 青:浸食域)



海底地形変化(再現解析)  
(赤:堆積域, 青:浸食域)



最大シールズ数の空間分布  
(再現解析)

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

## 2. 海底地形変化

### 2.3 評価結果

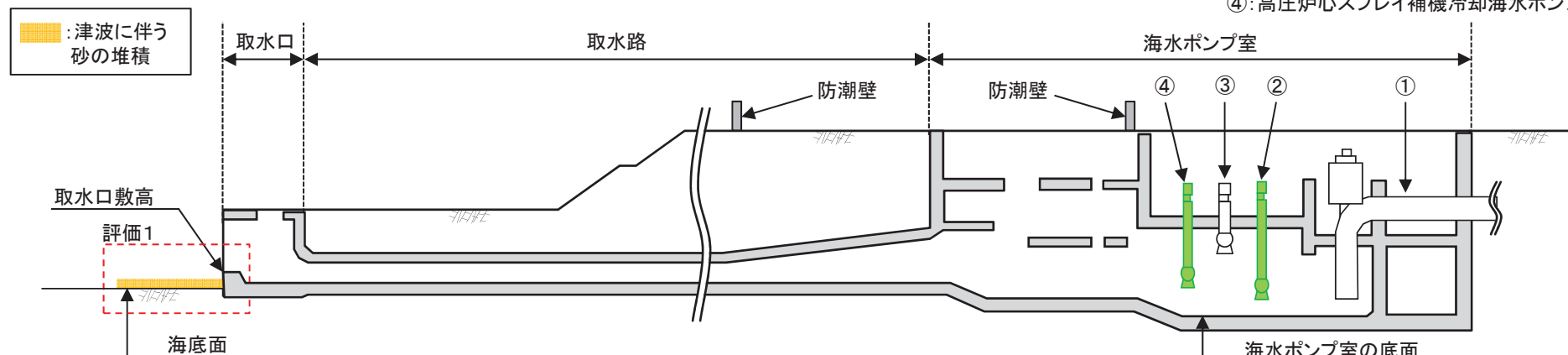
- 2号取水口前面における砂の堆積高さは最大で0.3m程度であり、取水口高さを上回らない。
- 以上から、非常用海水ポンプの取水への影響は無いことを確認した。
- 各検討ケースの最大堆積厚分布、4時間後の海底地形変化量分布及び2号取水口前面における海底地形変化量等の時刻歴データを次頁以降に示す。なお、高橋ほか(1999)の手法による解析結果については、最大シルズ数の空間分布及び水位、浮遊砂体積濃度のスナップショットも合わせて示す。

評価結果

| 基準津波  | 評価手法       | 浮遊砂濃度<br>上限値 | 2号取水口前面における<br>砂の堆積高さ(m) | 取水口高さ<br>(m) |
|-------|------------|--------------|--------------------------|--------------|
| 水位上昇側 | 藤井ほか(1998) | 1%           | 0.04                     | 1.20※        |
|       | 高橋ほか(1999) | 5%           | 0.04                     |              |
| 水位下降側 | 藤井ほか(1998) | 1%           | 0.04                     |              |
|       | 高橋ほか(1999) | 5%           | 0.04                     |              |
| 水位下降側 | 藤井ほか(1998) | 1%           | 0.04                     |              |
|       | 高橋ほか(1999) | 1%           | 0.18                     |              |

※: 取水口敷高: O.P.-6.3m, 海底面: O.P.-7.5m

- ①: 循環水ポンプ
- ②: 原子炉補機冷却海水ポンプ
- ③: タービン補機冷却海水ポンプ
- ④: 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ



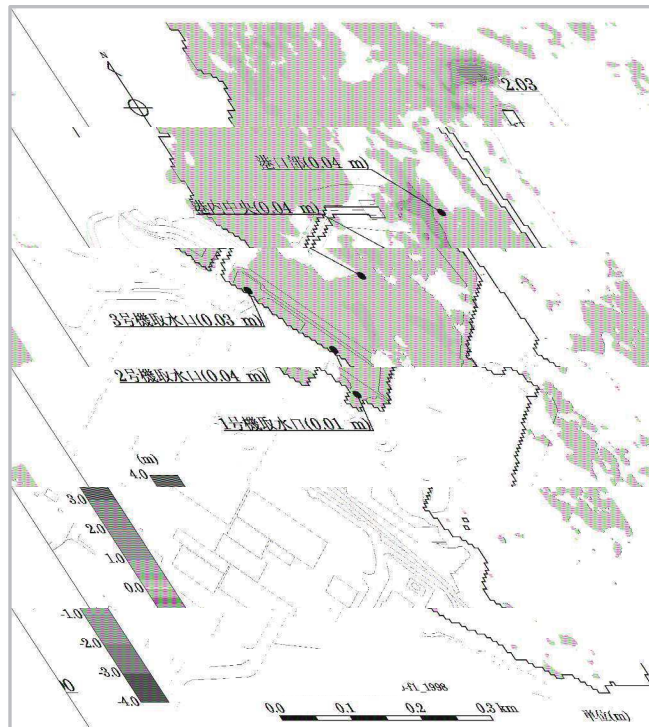
評価内容と2号取水設備(概要)の関係

2. 海底地形変化

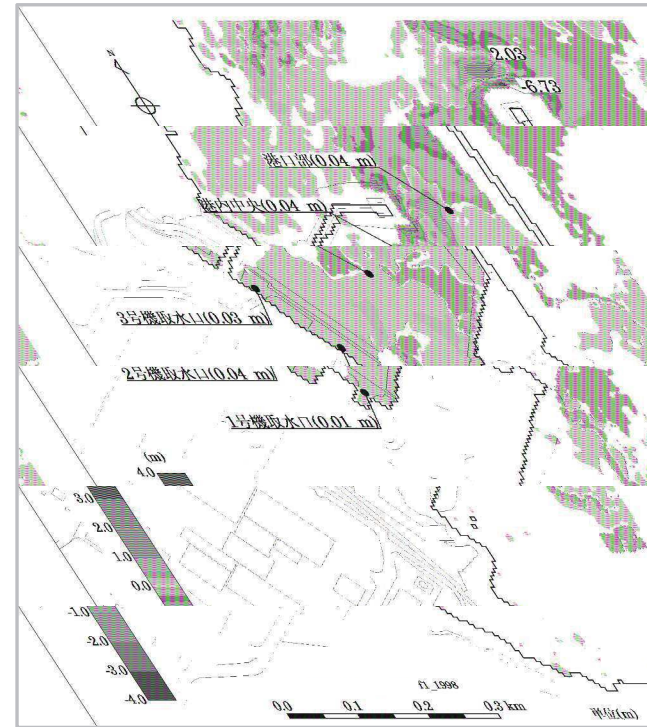
2.3 評価結果:基準津波(水位上昇側)①

| 基準津波  | 評価手法       | 浮遊砂濃度上限値 |
|-------|------------|----------|
| 水位上昇側 | 藤井ほか(1998) | 1%       |

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



4時間後の海底地形変化量分布

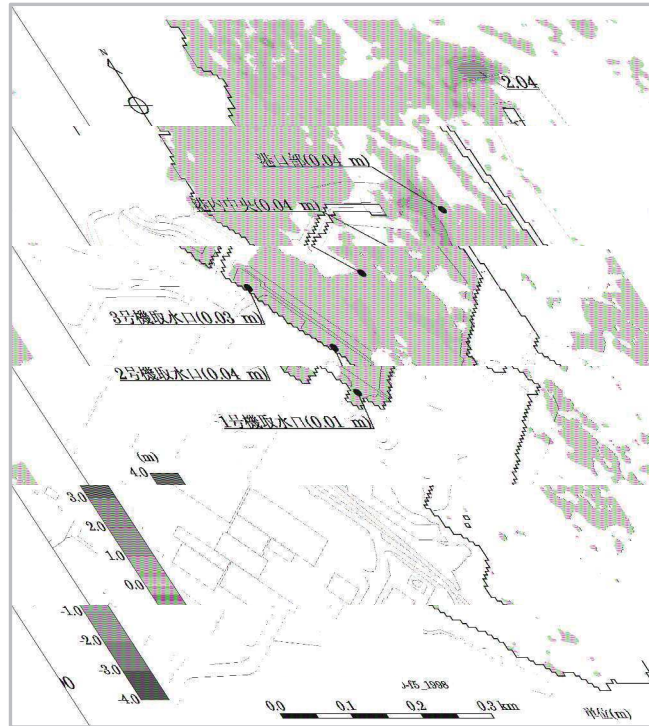
1497

2. 海底地形変化

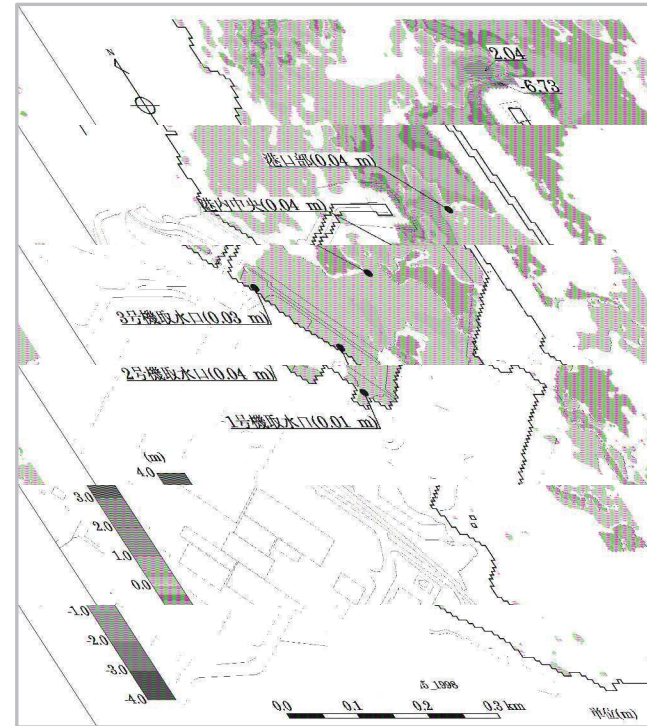
2.3 評価結果: 基準津波(水位上昇側)②

| 基準津波  | 評価手法       | 浮遊砂濃度上限値 |
|-------|------------|----------|
| 水位上昇側 | 藤井ほか(1998) | 5%       |

■ 最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



4時間後の海底地形変化量分布

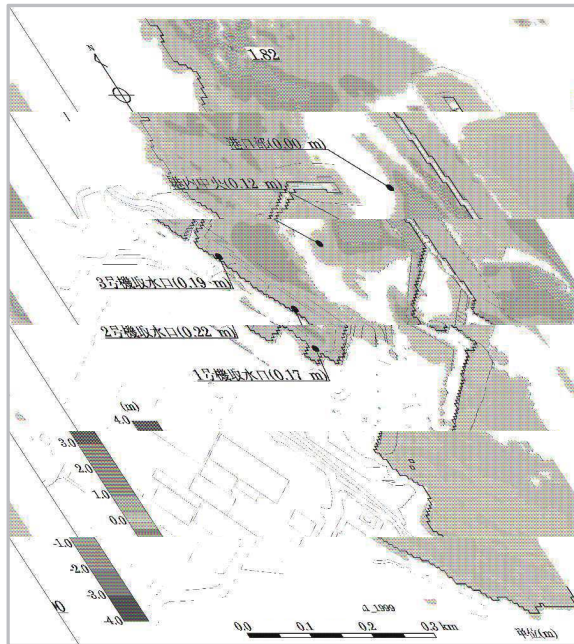
1498

2. 海底地形変化

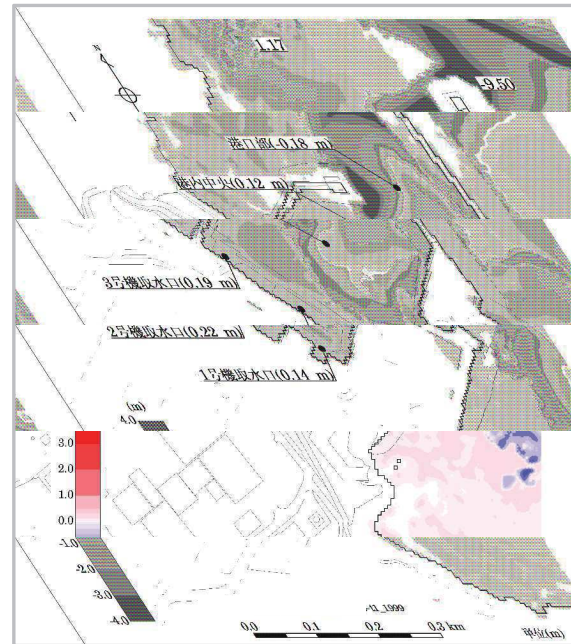
2.3 評価結果:基準津波(水位上昇側)③

| 基準津波  | 評価手法       | 浮遊砂濃度上限値 |
|-------|------------|----------|
| 水位上昇側 | 高橋ほか(1999) | 1%       |

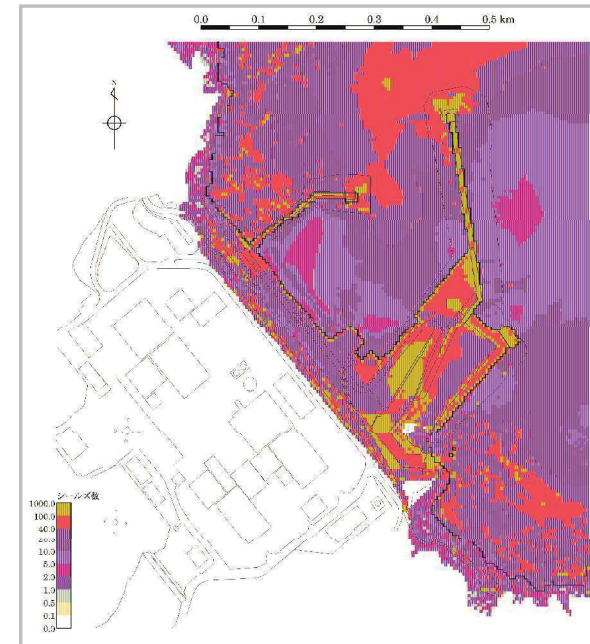
■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布



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

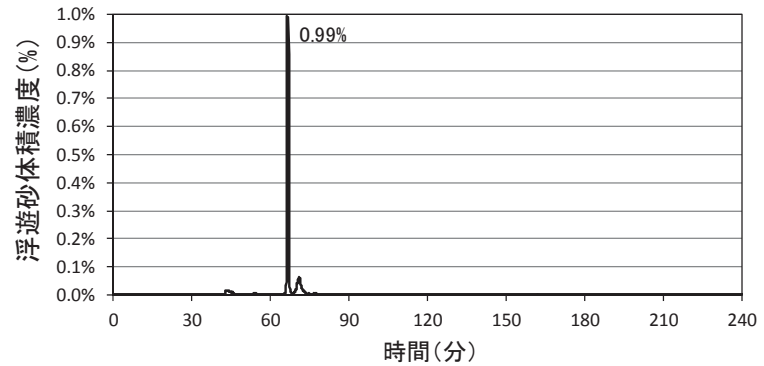
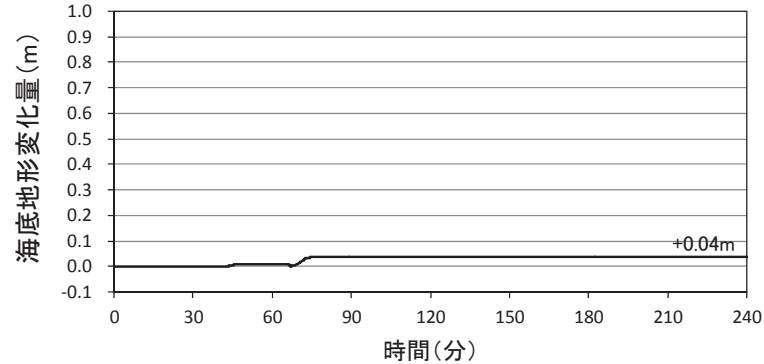
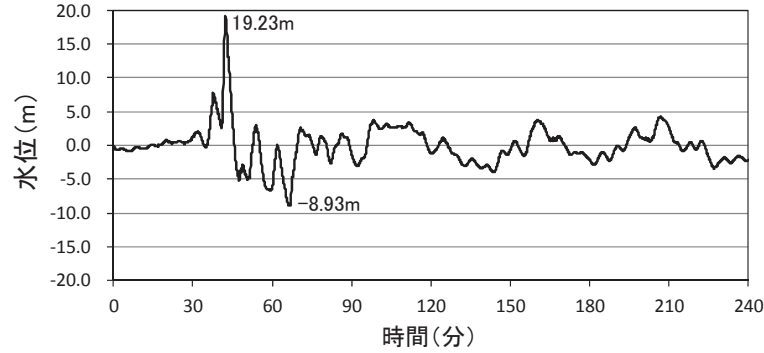
1499

## 2. 海底地形変化

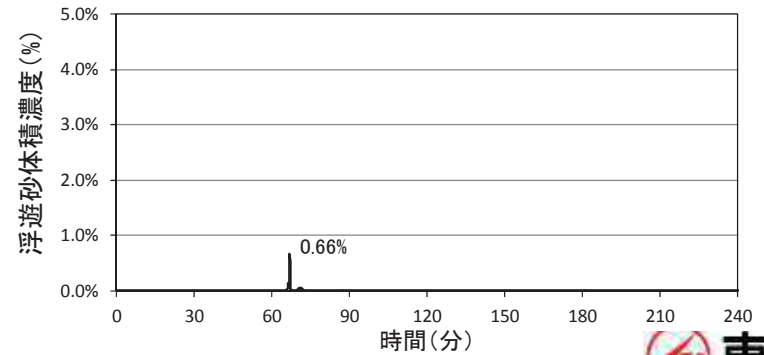
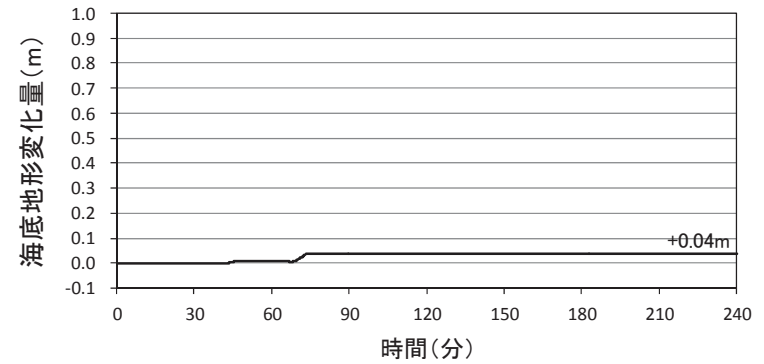
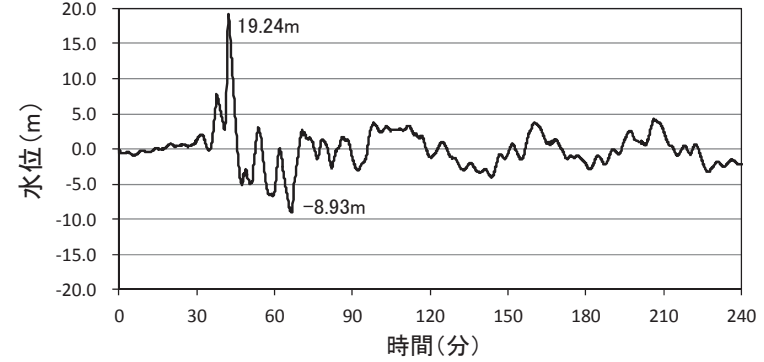
### 2.3 評価結果: 基準津波(水位上昇側)④

■ 2号取水口前面における水位, 海底地形変化量, 浮遊砂体積濃度の時刻歴データ

【藤井ほか(1998), 浮遊砂濃度上限値: 1%】



【藤井ほか(1998), 浮遊砂濃度上限値: 5%】

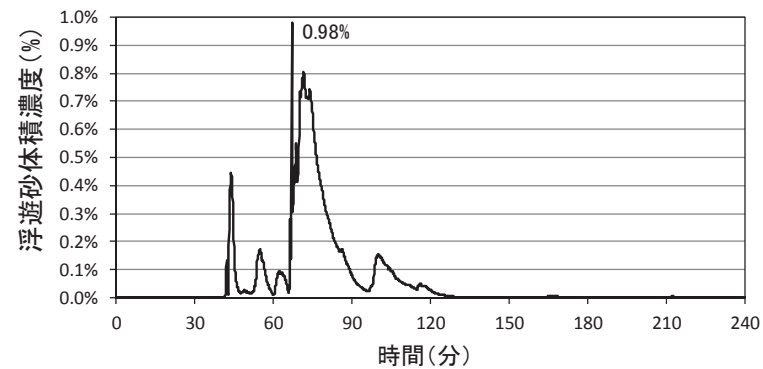
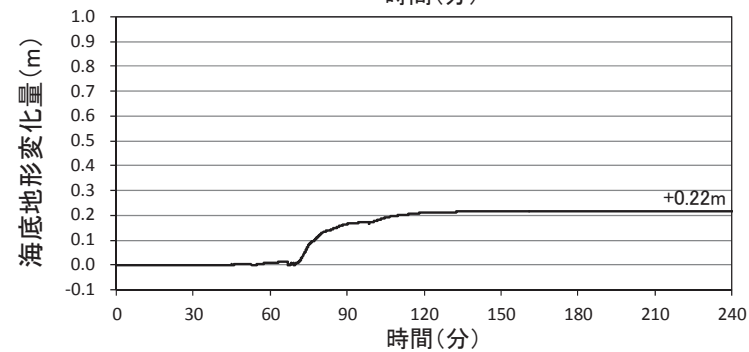
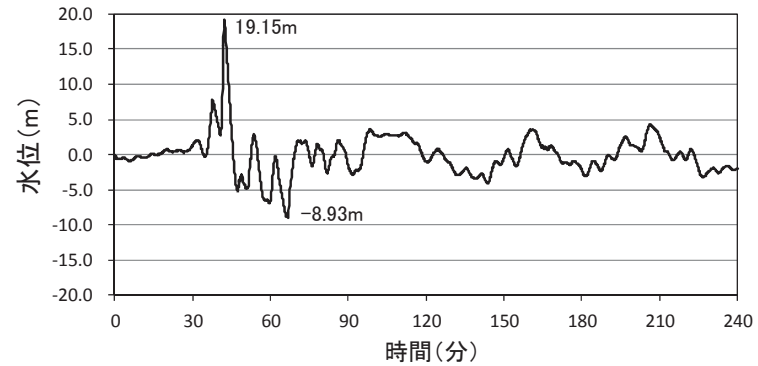


## 2. 海底地形変化

### 2.3 評価結果: 基準津波(水位上昇側)④

■ 2号取水口前面における水位, 海底地形変化量, 浮遊砂体積濃度の時刻歴データ

【高橋ほか(1999), 浮遊砂濃度上限値: 1%】

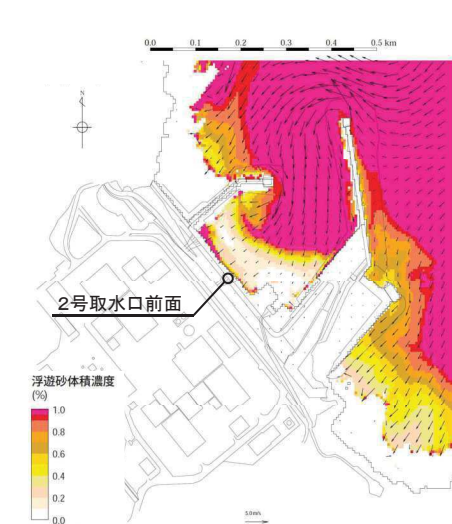
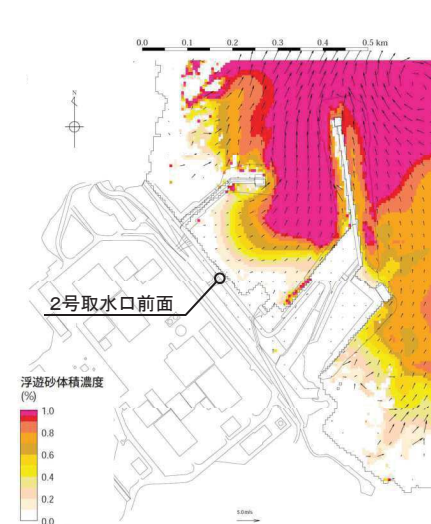
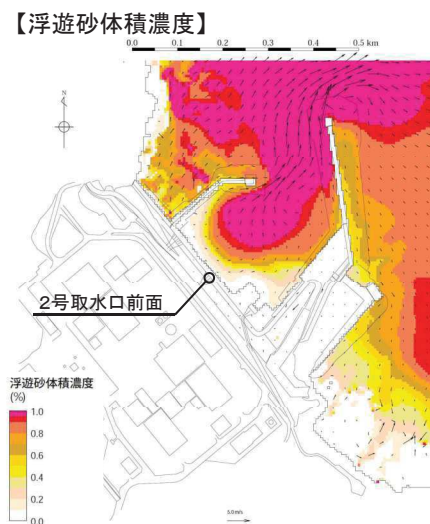
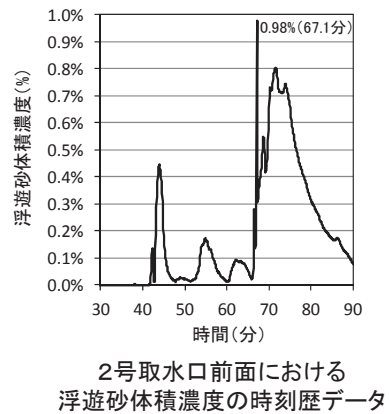
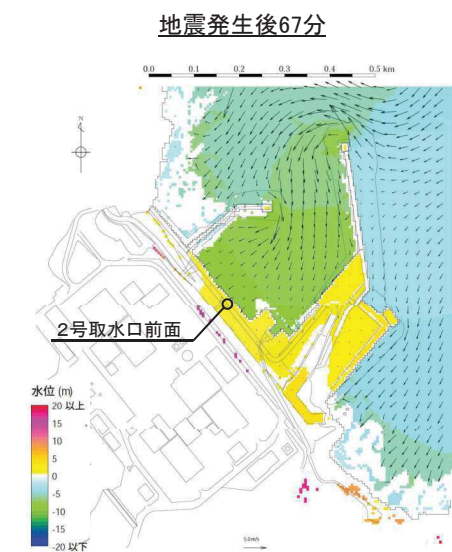
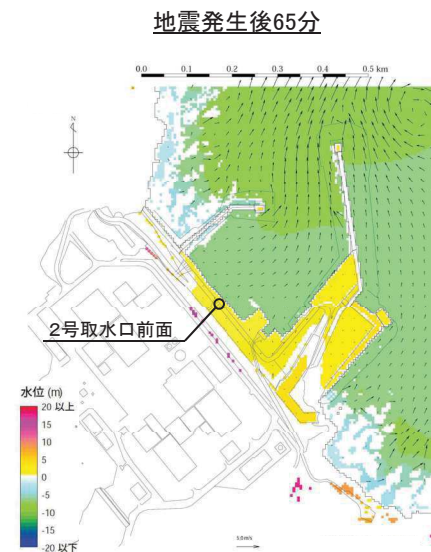
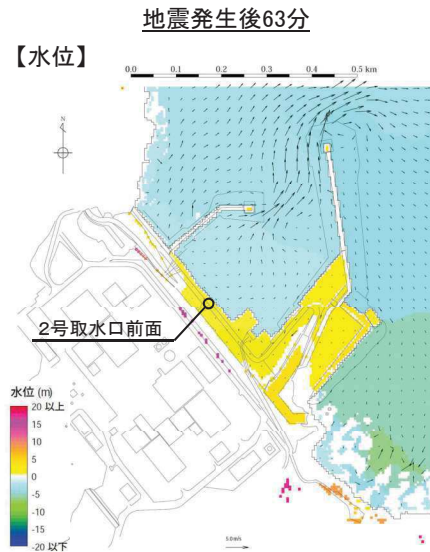
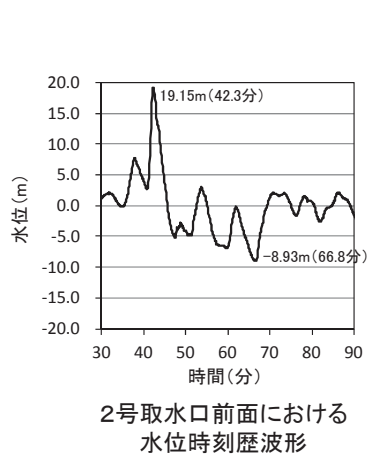




2.3 評価結果：基準津波(水位上昇側)⑤

■高橋ほか(1999)：水位，浮遊砂体積濃度のスナップショット(地震発生後63分～71分)①

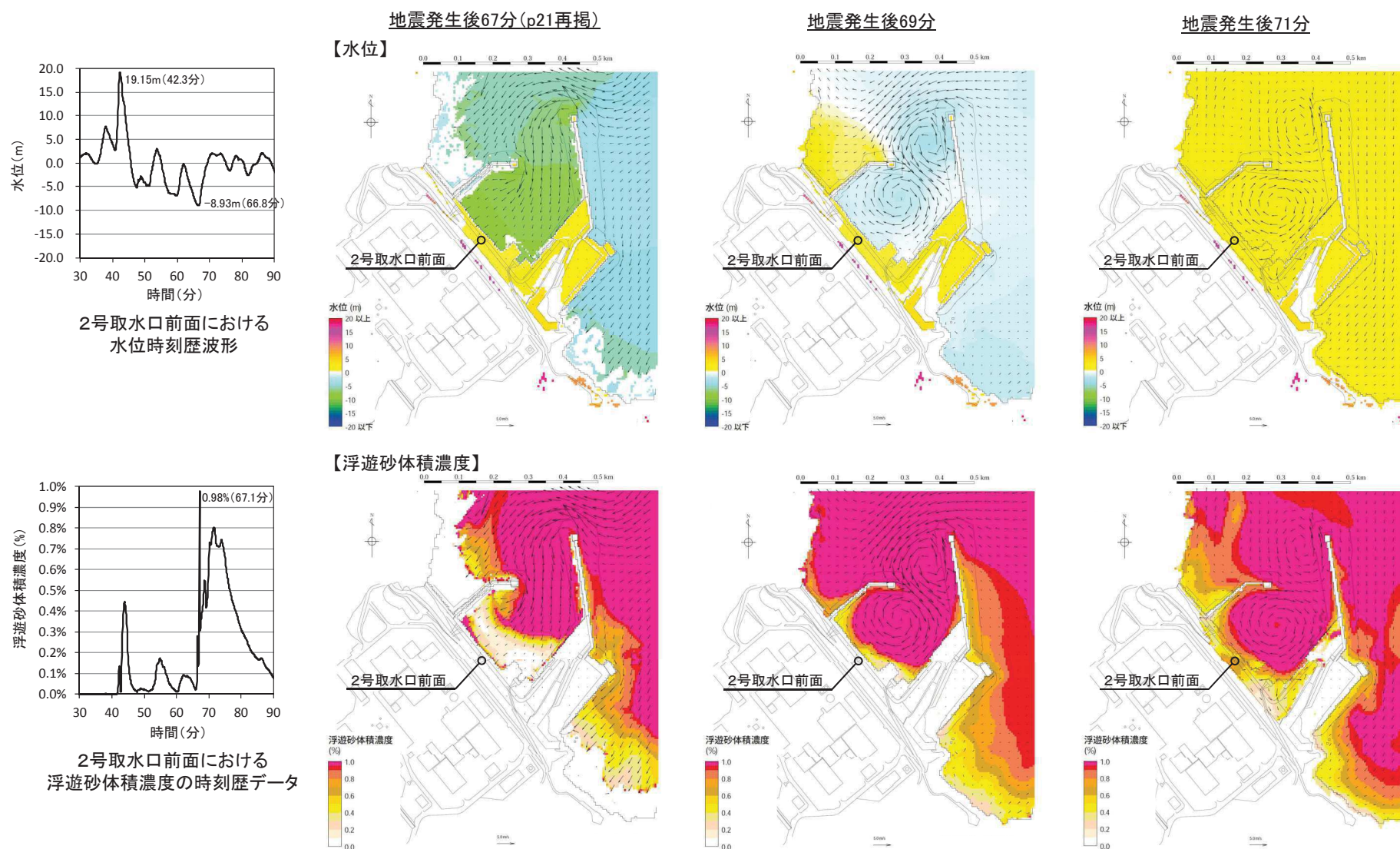
- ・ 浮遊砂体積濃度が最大となる地震発生後約67分前後の水位，浮遊砂体積濃度のスナップショットを以下に示す。
- ・ 水位低下時(63分～65分)に沖合いへ移動した濃度が高い浮遊砂が，水位上昇時に敷地方向へ移動し，2号取水口前面における浮遊砂体積濃度が高くなるが(67分)，その後，津波は港湾内で渦状になりながら水位上昇するため，2号取水口前面の浮遊砂体積濃度は低くなっていく(69分～71分(次頁記載))。



## 2. 海底地形変化

## 2.3 評価結果: 基準津波(水位上昇側)⑤

■ 高橋ほか(1999): 水位, 浮遊砂体積濃度のスナップショット(地震発生後63分~71分)②

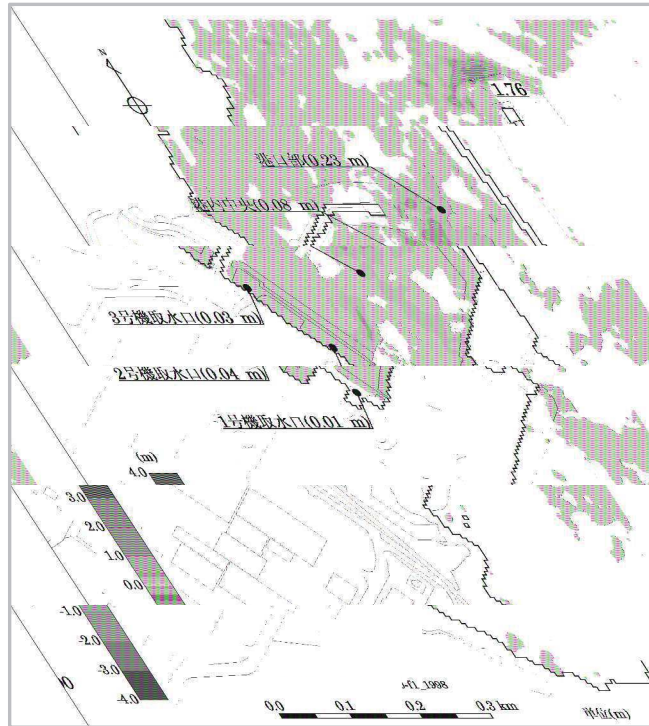


2. 海底地形変化

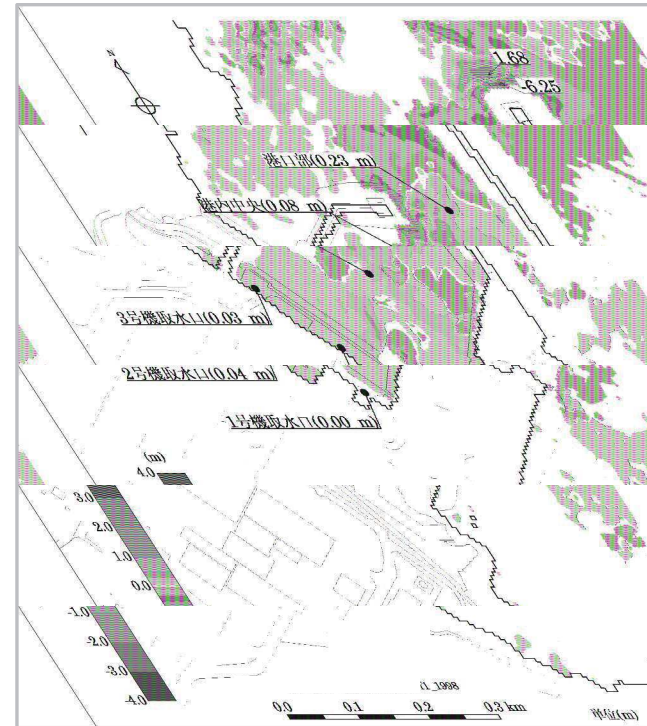
2.3 評価結果: 基準津波(水位下降側)①

| 基準津波  | 評価手法       | 浮遊砂濃度上限値 |
|-------|------------|----------|
| 水位下降側 | 藤井ほか(1998) | 1%       |

■ 最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



4時間後の海底地形変化量分布

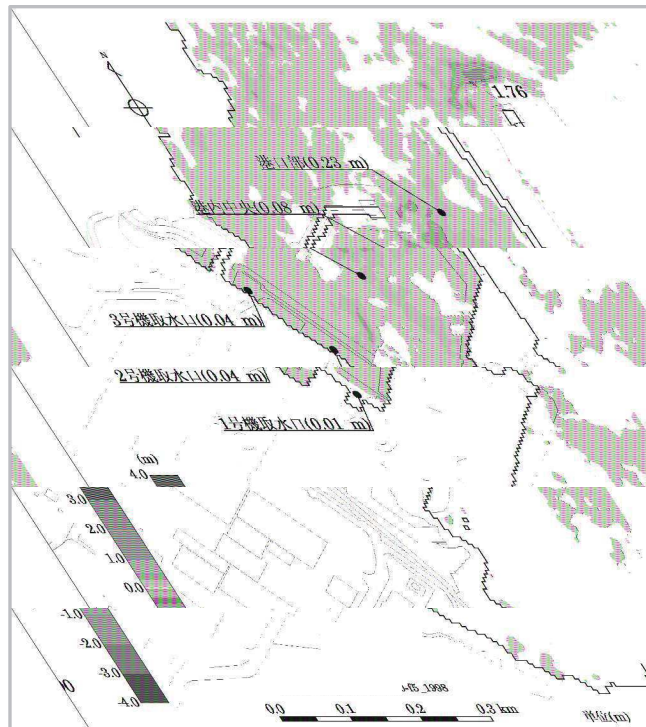
1504

2. 海底地形変化

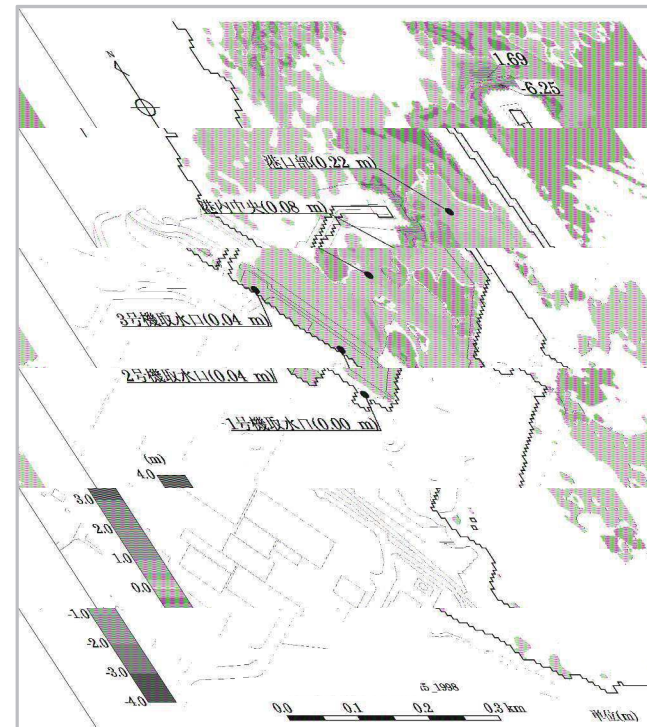
2.3 評価結果: 基準津波(水位下降側)②

| 基準津波  | 評価手法       | 浮遊砂濃度上限値 |
|-------|------------|----------|
| 水位下降側 | 藤井ほか(1998) | 5%       |

■ 最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



4時間後の海底地形変化量分布

1505

2. 海底地形変化

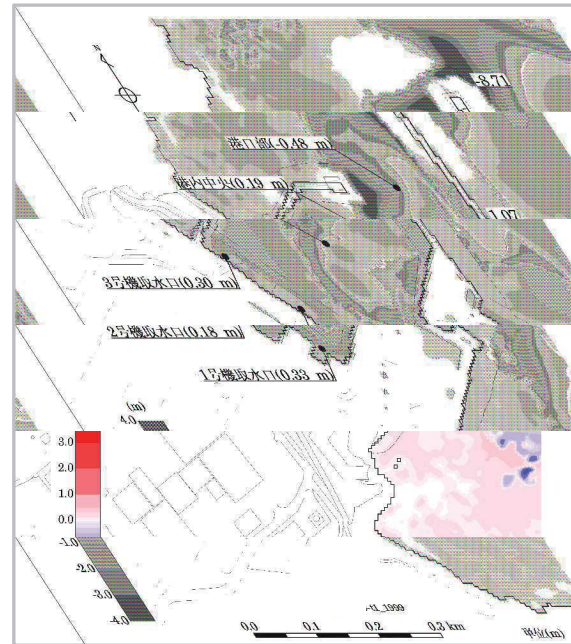
2.3 評価結果:基準津波(水位下降側)③

| 基準津波  | 評価手法       | 浮遊砂濃度上限値 |
|-------|------------|----------|
| 水位下降側 | 高橋ほか(1999) | 1%       |

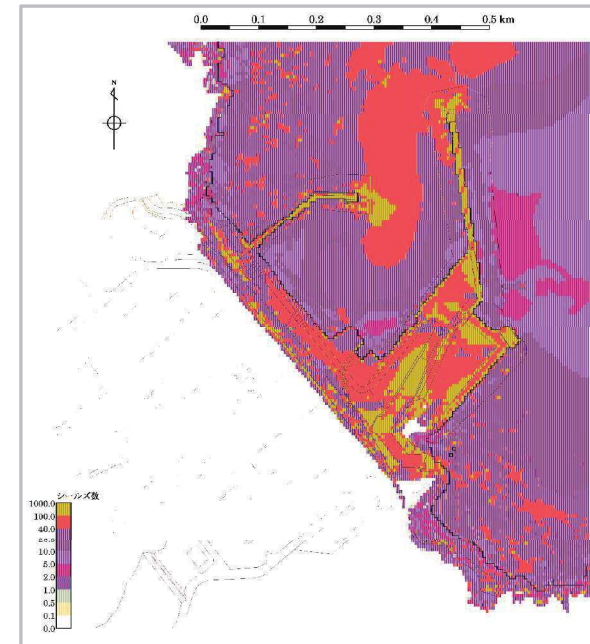
■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布



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

1506

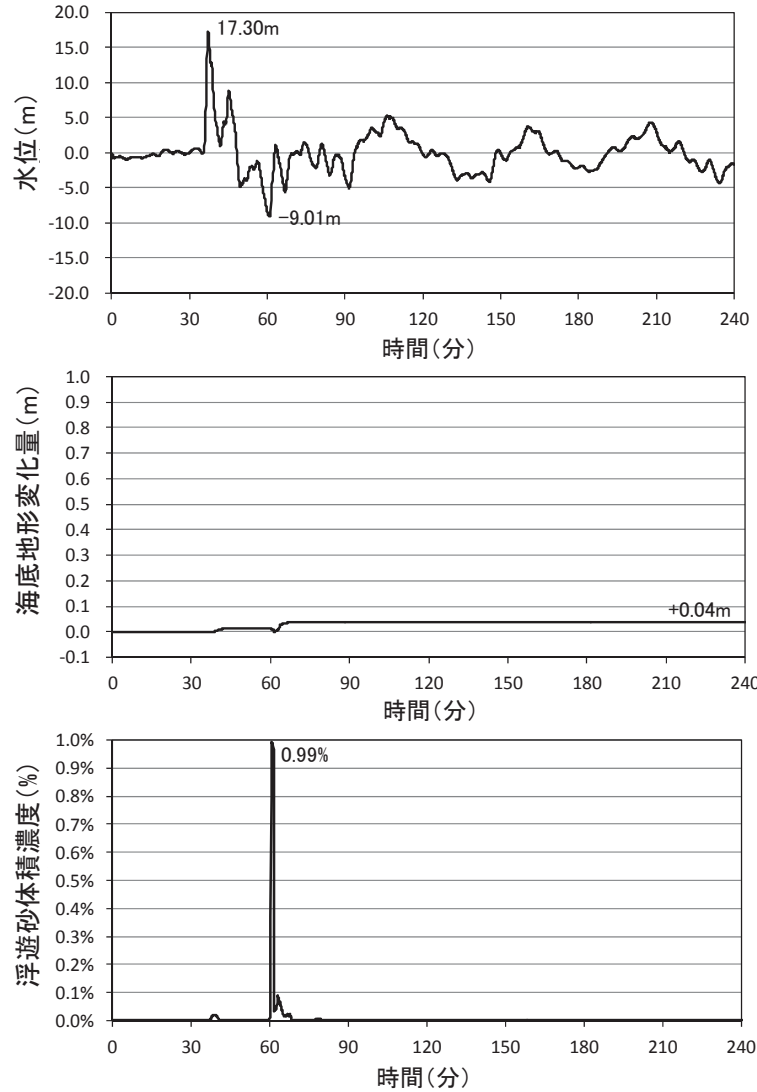
余白

## 2. 海底地形変化

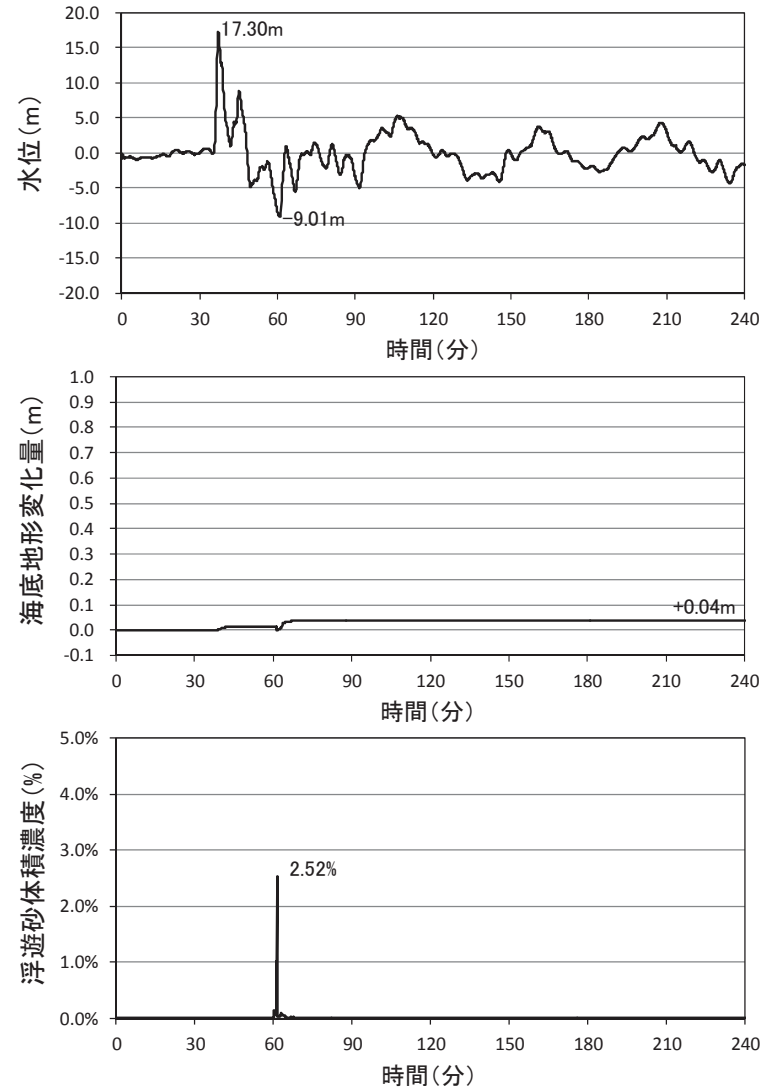
### 2.3 評価結果: 基準津波(水位下降側)④

■ 2号取水口前面における水位, 海底地形変化量, 浮遊砂体積濃度の時刻歴データ

【藤井ほか(1998), 浮遊砂濃度上限値: 1%】



【藤井ほか(1998), 浮遊砂濃度上限値: 5%】

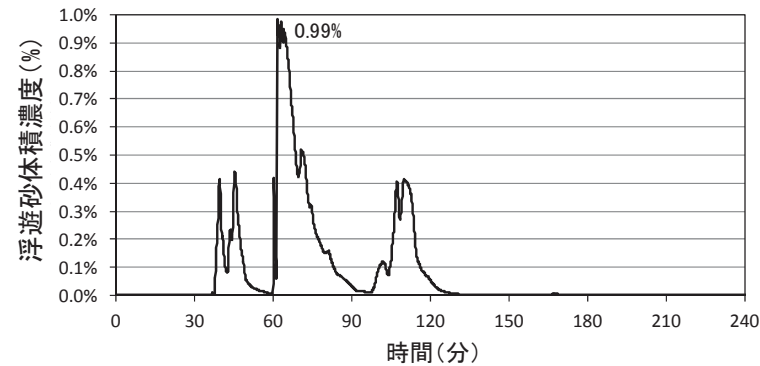
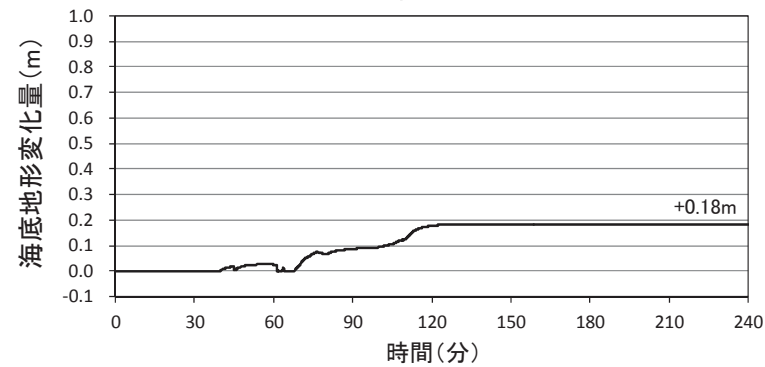
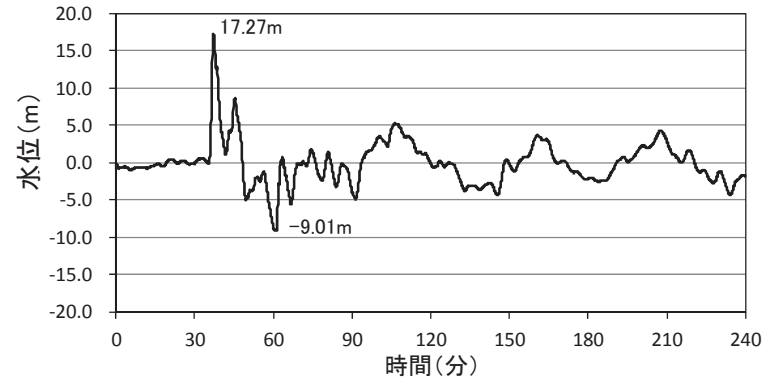


## 2. 海底地形変化

### 2.3 評価結果: 基準津波(水位下降側)④

■ 2号取水口前面における水位, 海底地形変化量, 浮遊砂体積濃度の時刻歴データ

【高橋ほか(1999), 浮遊砂濃度上限値: 1%】

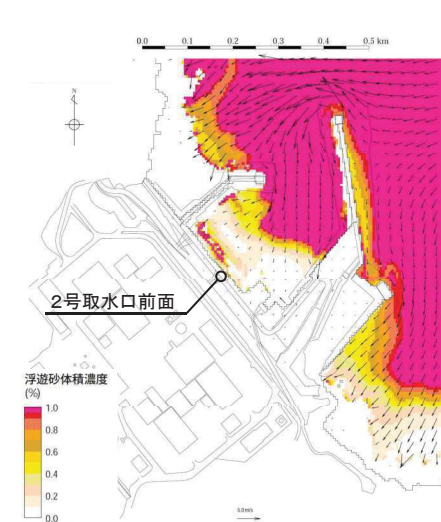
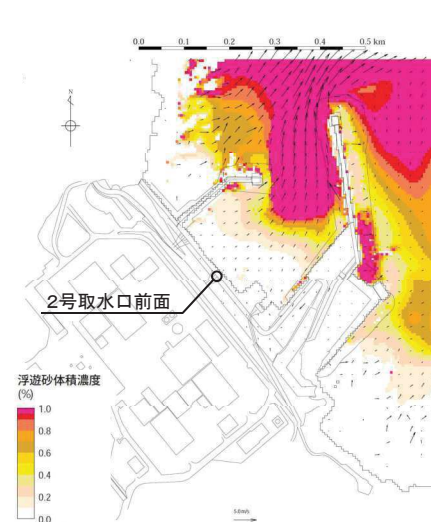
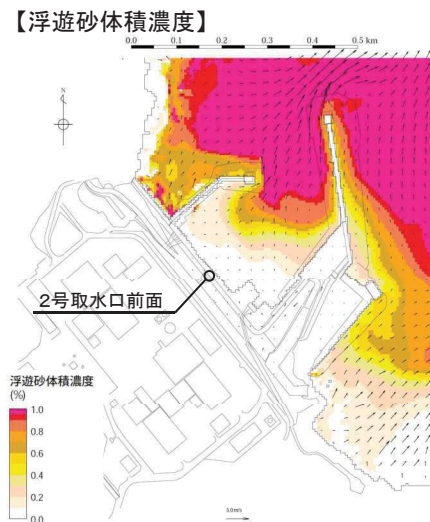
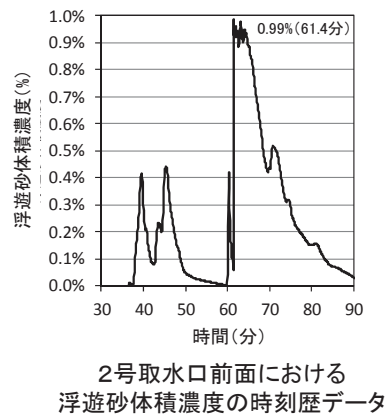
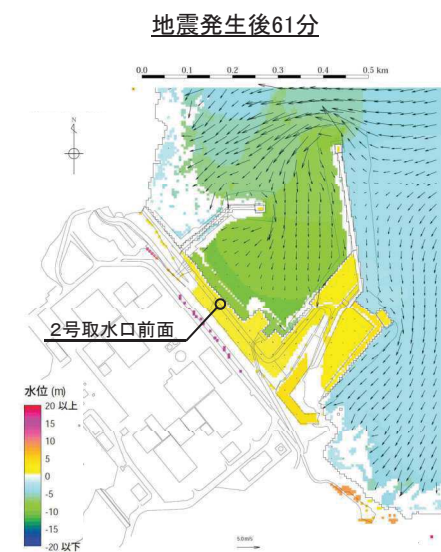
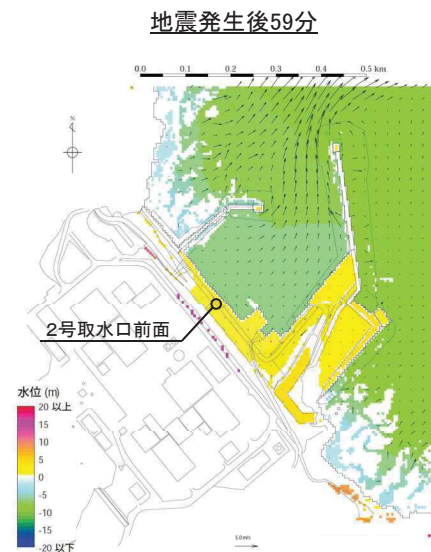
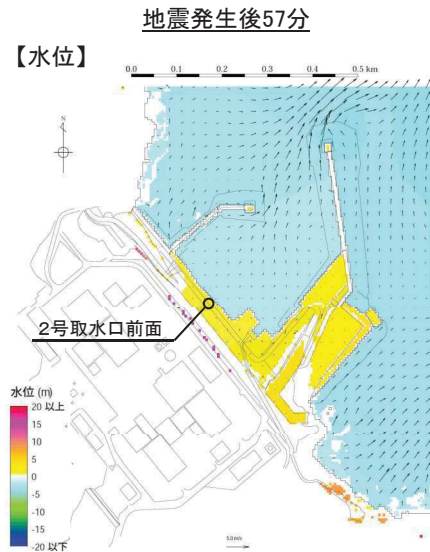
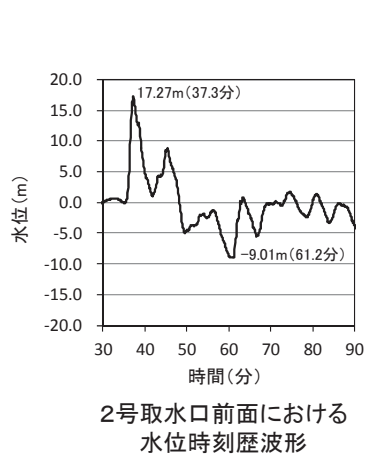




2.3 評価結果：基準津波（水位下降側）⑤

■高橋ほか(1999)：水位，浮遊砂体積濃度のスナップショット（地震発生後57分～67分）①

- ・ 浮遊砂体積濃度が最大となる地震発生後約61分前後の水位，浮遊砂体積濃度のスナップショットを以下に示す。
- ・ 水位低下時（57分～59分）に沖合いへ移動した濃度が高い浮遊砂が，水位上昇時に敷地方向へ移動し，2号取水口前面における浮遊砂体積濃度が高くなるが（61分），その後，津波は港湾内で渦状になりながら水位上昇するため，2号取水口前面の浮遊砂体積濃度は低くなっていく（64分～67分（次頁記載））。

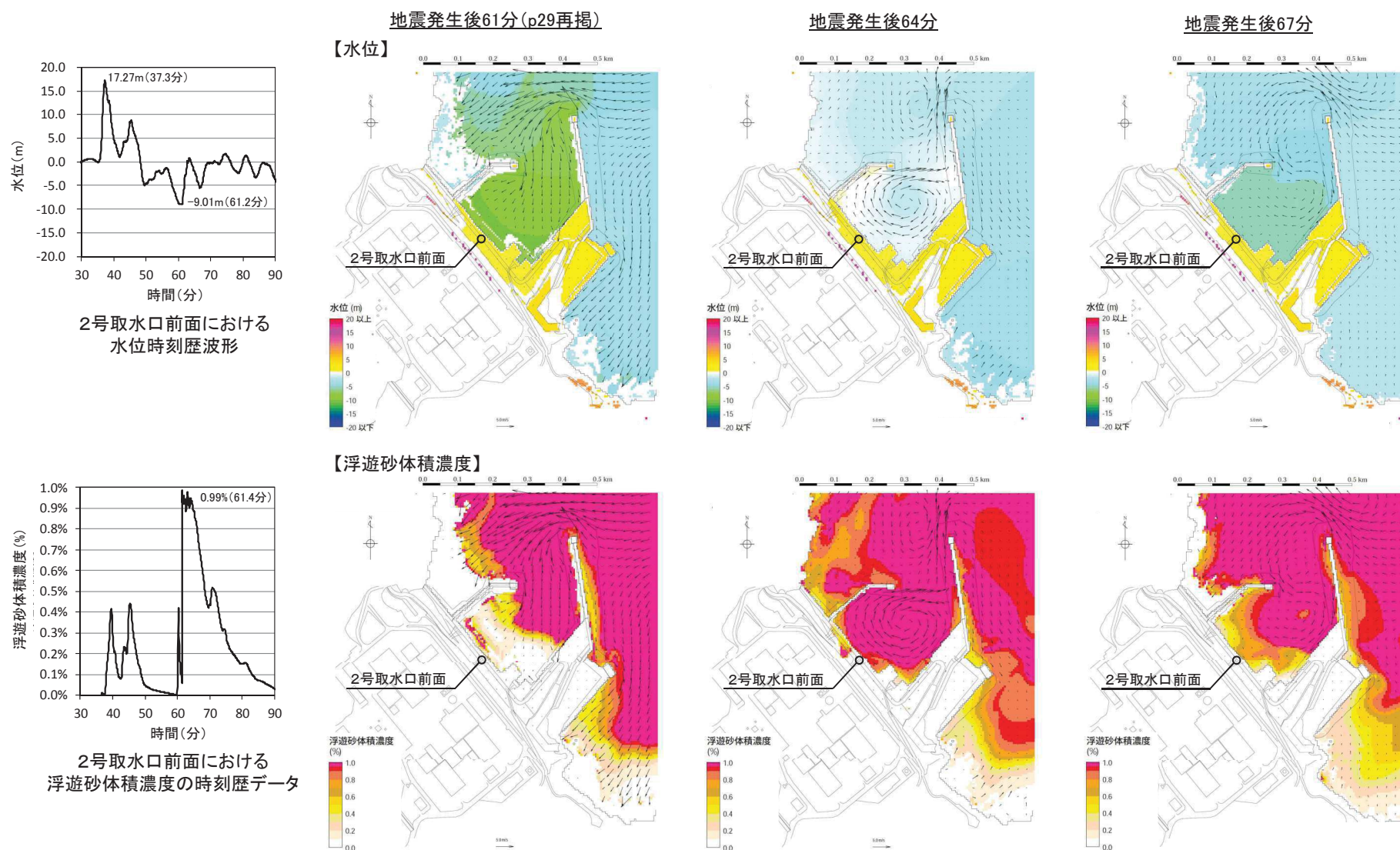


1510

## 2. 海底地形変化

## 2.3 評価結果: 基準津波(水位下降側)⑤

■ 高橋ほか(1999): 水位, 浮遊砂体積濃度のスナップショット(地震発生後57分~67分)②



### 3. 海水ポンプ室内における砂の堆積

---

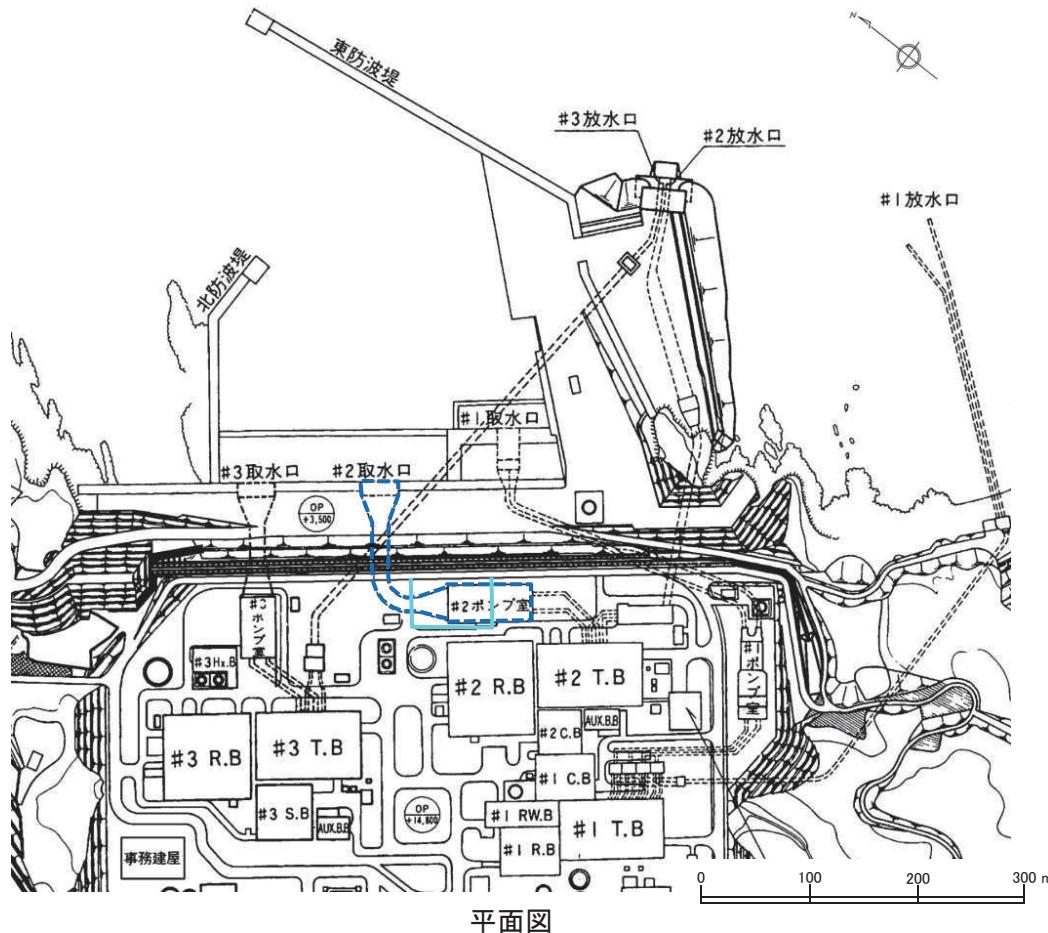
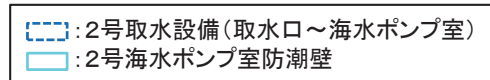
|           |       |    |
|-----------|-------|----|
| 3. 1 評価概要 | ..... | 33 |
| 3. 2 計算条件 | ..... | 35 |
| 3. 3 評価結果 | ..... | 38 |

余白

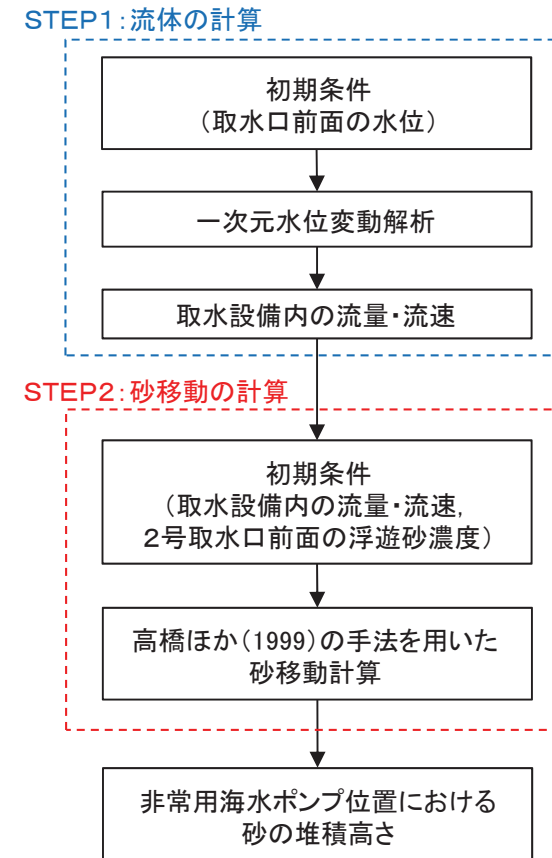
### 3. 海水ポンプ室内における砂の堆積

#### 3.1 評価概要

- 前項「2. 海底地形変化」の評価から得られ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、非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高さを算定した。
- なお、上記評価に用いる取水設備内の流量及び流速は、取水設備の水理特性を考慮した一次元水位変動解析により算定した。
- 計算フローを右図に示す。



計算フロー



1514

### 3. 海水ポンプ室内における砂の堆積

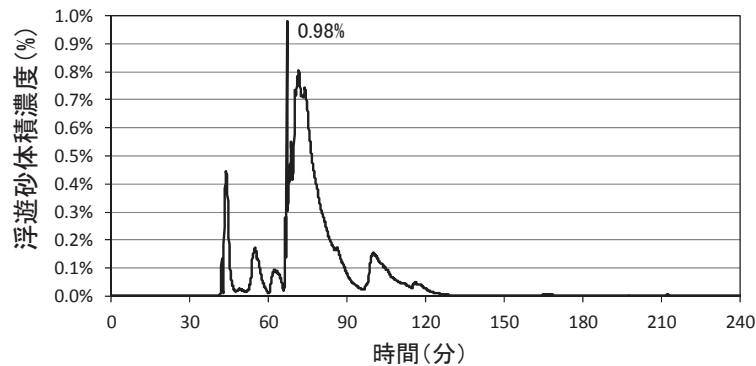
#### 3.1 評価概要: 検討ケース

- 前項「2. 海底地形変化」の評価において、2号取水口前面における砂の堆積高さが最も大きい以下のケースを対象に実施した。

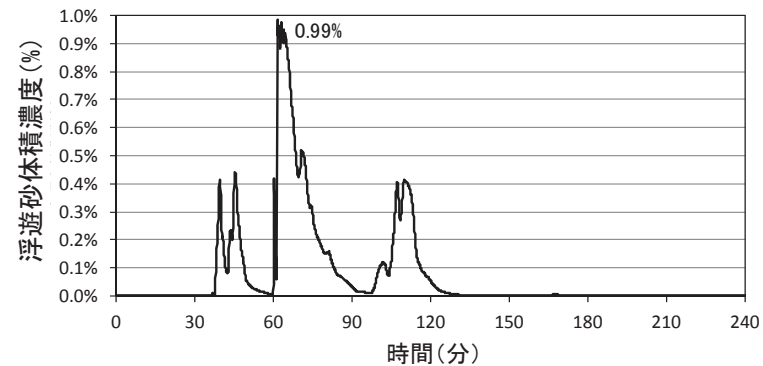
海底地形変化の評価結果

| 基準津波  | 評価手法       | 浮遊砂濃度<br>上限値 | 2号取水口前面における<br>砂の堆積高さ(m) | 備考    |
|-------|------------|--------------|--------------------------|-------|
| 水位上昇側 | 藤井ほか(1998) | 1%           | 0.04                     |       |
|       |            | 5%           | 0.04                     |       |
|       | 高橋ほか(1999) | 1%           | 0.22                     | 検討ケース |
| 水位下降側 | 藤井ほか(1998) | 1%           | 0.04                     |       |
|       |            | 5%           | 0.04                     |       |
|       | 高橋ほか(1999) | 1%           | 0.18                     | 検討ケース |

■2号取水口前面における浮遊砂濃度(評価手法:高橋ほか(1999), 浮遊砂濃度上限値:1%)



基準津波(水位上昇側) (p20再掲)



基準津波(水位下降側) (p28再掲)

### 3. 海水ポンプ室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p8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       | $n=0.018m^{-1/3}s$  |
| 海水ポンプの取水条件   | ①循環水ポンプ: 停止<br>②原子炉補機冷却海水ポンプ: 1900m <sup>3</sup> /hr × 2台<br>③高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ: 停止<br>④タービン補機冷却海水ポンプ: 2250m <sup>3</sup> /hr × 2台(海水ポンプ室内水位O.P.-2.080m以下で取水停止) |
| 潮位条件         | ・水位上昇側: 朔望平均満潮位 O.P.+1.43m<br>・水位下降側: 朔望平均干潮位 O.P.-0.14m  |
| 基準津波による地盤沈下量 | ・水位上昇側: -0.72m<br>・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<sup>2</sup>)      Q : 流量(m<sup>3</sup>/s)  
H : 水位(m)      g : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)      v : 流速(m/s)      R : 径深(m)  
n : マニングの粗度係数(m<sup>-1/3</sup>s)      f : 局所損失係数      ΔL : 局所損失区間の長さ(m)

#### ②海水ポンプ室の連続式

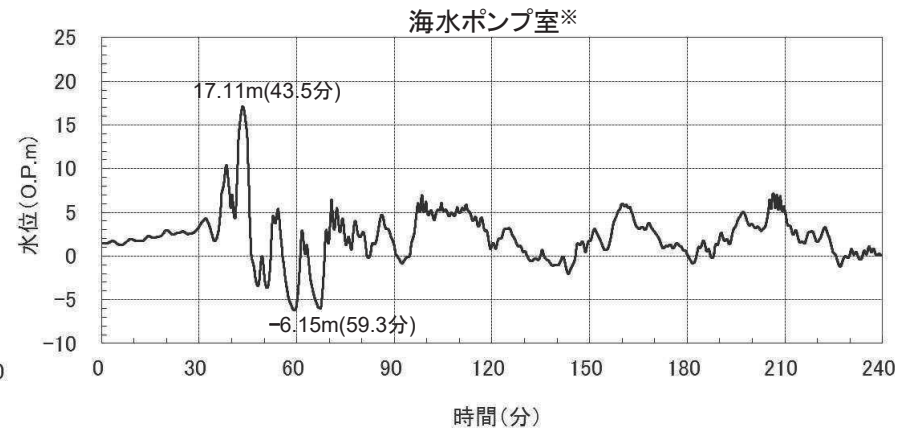
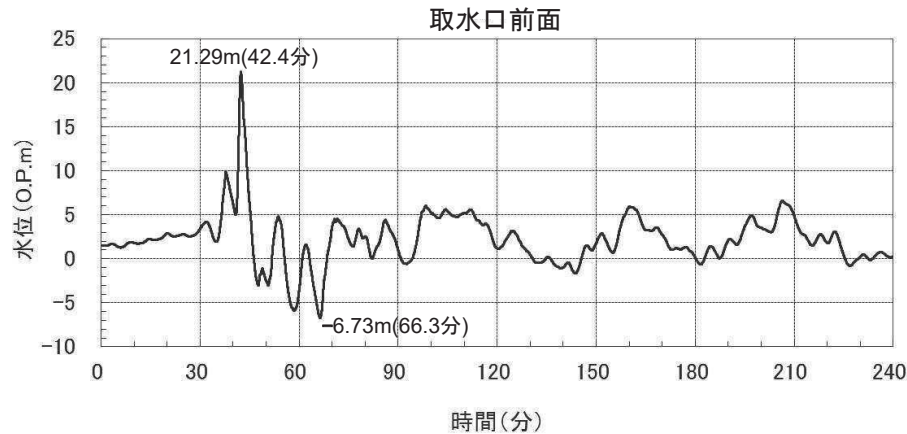
$$A_H \frac{dH_P}{dt} = Q_N - Q_P$$

H<sub>P</sub>: 水位(m)      Q<sub>N</sub>: 流入量(m<sup>3</sup>/s)      Q<sub>P</sub>: ポンプ流量(m<sup>3</sup>/s)  
A<sub>H</sub>: 海水ポンプ室内の水平面積(m<sup>2</sup>)

### 3. 海水ポンプ室内における砂の堆積

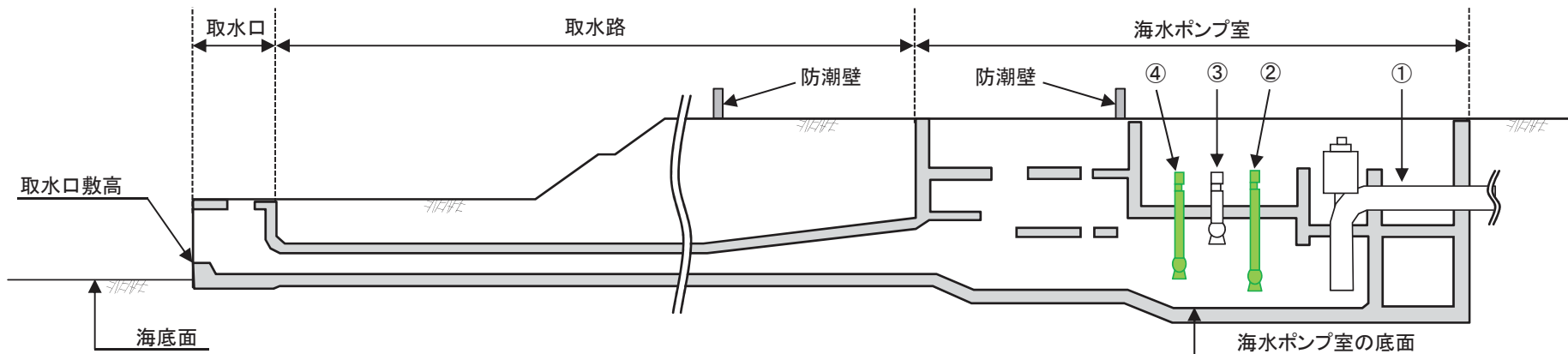
#### 3.2 計算条件: 取水設備の水利特性を考慮した水位変動解析結果(基準津波(水位上昇側))

- 基準津波(水位上昇側)による取水口前面の水位時刻歴波形を用いて算定した海水ポンプ室の水位時刻歴波形を以下に示す。



※: 海水ポンプ室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、海水ポンプ室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))。

- ①: 循環水ポンプ
- ②: 原子炉補機冷却海水ポンプ
- ③: タービン補機冷却海水ポンプ
- ④: 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ



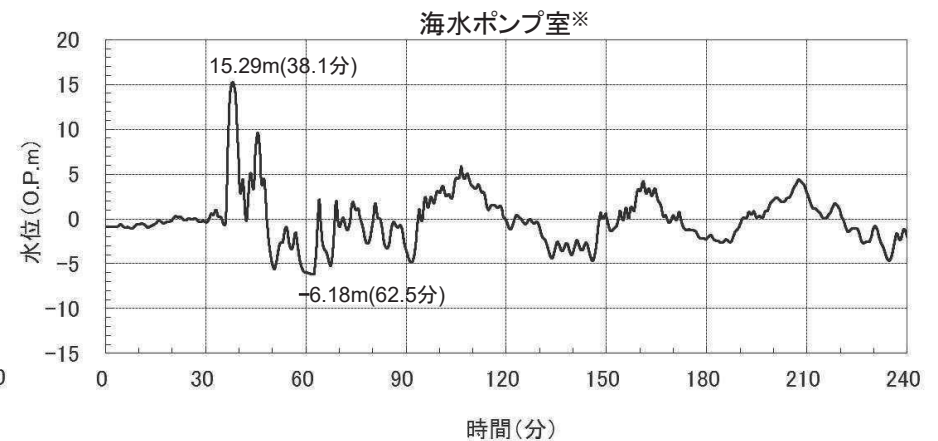
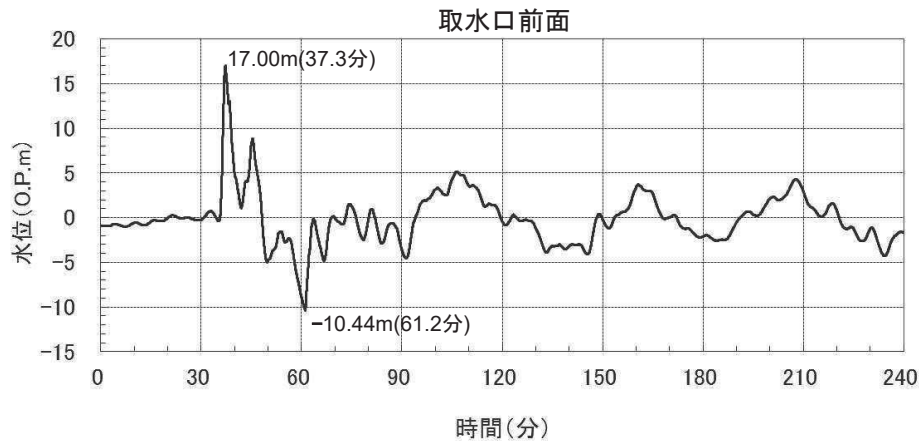
2号取水設備(概要)



### 3. 海水ポンプ室内における砂の堆積

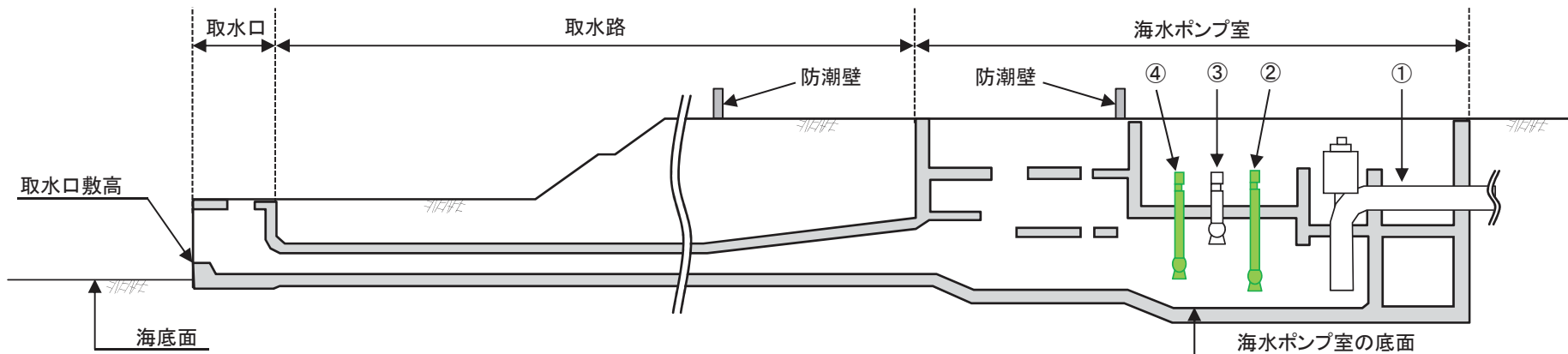
#### 3.2 計算条件: 取水設備の水利特性を考慮した水位変動解析結果(基準津波(水位下降側))

- 基準津波(水位下降側)による取水口前面の水位時刻歴波形を用いて算定した海水ポンプ室の水位時刻歴波形を以下に示す。



※: 海水ポンプ室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、海水ポンプ室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))。

- ①: 循環水ポンプ
- ②: 原子炉補機冷却海水ポンプ
- ③: タービン補機冷却海水ポンプ
- ④: 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ



2号取水設備(概要)

### 3. 海水ポンプ室内における砂の堆積

#### 3.3 評価結果

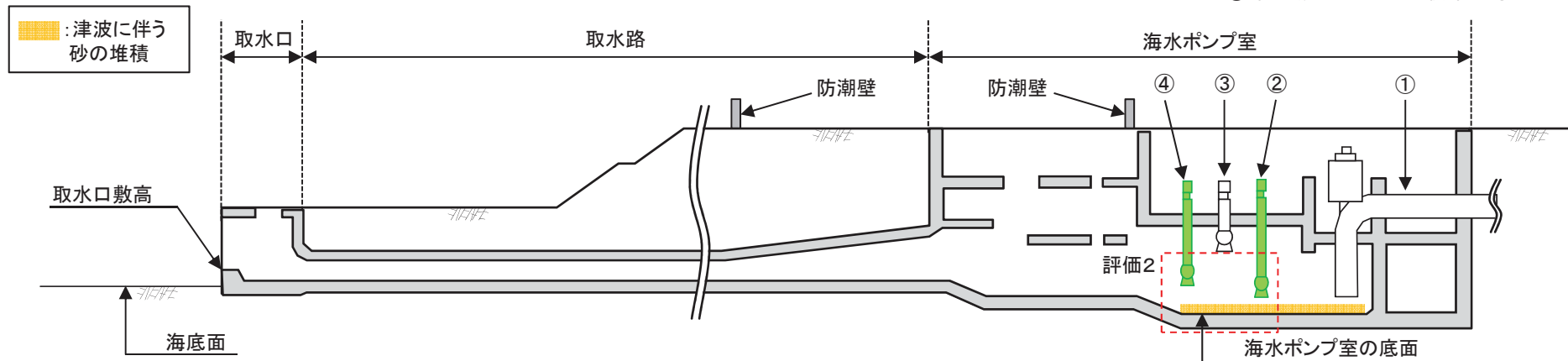
- 各非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高さは最大で0.1m程度であり、各海水ポンプの高さを上回らない。
- 以上から、非常用海水ポンプの取水への影響は無いことを確認した。

評価結果

| 基準津波  | 浮遊砂体積濃度    |              | 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ |                 | 原子炉補機冷却海水ポンプ  |                 |
|-------|------------|--------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|
|       | 評価手法       | 浮遊砂濃度<br>上限値 | 砂の堆積高さ<br>(m)     | 海水ポンプの高さ<br>(m) | 砂の堆積高さ<br>(m) | 海水ポンプの高さ<br>(m) |
| 水位上昇側 | 高橋ほか(1999) | 1%           | 0.05              | 2.45※1          | 0.01          | 1.15※2          |
| 水位下降側 | 高橋ほか(1999) | 1%           | 0.10              |                 | 0.02          |                 |

※1: 海水ポンプの下端: O.P.-9.95m, 海水ポンプ室底面: O.P.-12.4m  
 ※2: 海水ポンプの下端: O.P.-11.25m, 海水ポンプ室底面: O.P.-12.4m

- ①: 循環水ポンプ
- ②: 原子炉補機冷却海水ポンプ
- ③: タービン補機冷却海水ポンプ
- ④: 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ



評価内容と2号取水設備(概要)の関係

## 参考文献

---

## 参考文献

1. 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
2. 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅野大輔(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
3. 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
4. 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
5. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002):原子力発電所の津波評価技術
6. 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
7. 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.213-216
8. 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
9. 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
10. 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
11. 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
12. 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
13. 千秋信一(1967):発電水力演習, 学献社
14. 社団法人土木学会(1999):水理公式集[平成11年版]
15. 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)
16. 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

## 補足説明資料

### 1. 設置変更許可申請時からの変更点について

---

補足説明資料

1. 設置変更許可申請時からの変更点について

■変更概要

- 既往の検討事例を踏まえ、流砂量式、巻き上げ量の算定式等について以下のとおり変更した。

|           | 藤井ほか(1998)   |        | 高橋ほか(1999)  |  |
|-----------|--|--------|---|--|
|           | 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<br>$Q = 80 \tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$   | 変更なし   | 高橋ほか(2011)の実験式<br>(d=0.166mmの場合)<br>$Q = 5.6 \tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$                       | 高橋ほか(1999)の実験式<br>$Q = 21 \tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$           |
| 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<br>(d=0.166mmの場合)<br>$E = 7.0 \times 10^{-5} \tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$ | 高橋ほか(1999)の実験式<br>$E = 0.012 \tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$ |
| 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 (m<sup>3</sup>/s/m)       $\tau_*$  : シールズ数       $s := \sigma / \rho - 1$        $\sigma$  : 砂の密度(kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho$  : 海水の密度(kg/m<sup>3</sup>)       $g$  : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)       $d$  : 砂の粒径(m)       $\alpha$  : 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  
 $w$  : 土粒子の沈降速度(m/s)       $\lambda$  : 空隙率       $U$  : 流速(m/s)       $k_z$  : 鉛直拡散係数(m<sup>2</sup>/s)       $D$  : 全水深(m)

※: 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「4. 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。

## 補足説明資料

### 2. 基準津波の策定

---

|              |       |    |
|--------------|-------|----|
| 2. 1 策定方針    | ..... | 44 |
| 2. 2 各津波の評価  | ..... | 45 |
| 2. 3 基準津波の策定 | ..... | 51 |

補足説明資料 2. 基準津波の策定

2.1 策定方針

【水位上昇側】

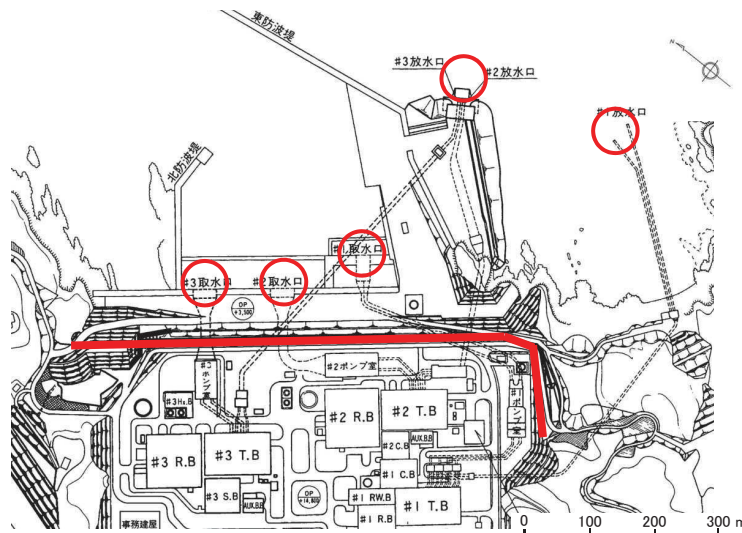
- ✓ 重要な安全機能を有する施設の設置された敷地 (O.P.約+13.8m) への基準津波の到達, 流入を防止するため, 津波防護施設 (防潮堤, 防潮壁) を設置することから, 「最大水位上昇量」に「地震に伴う沈下量」を考慮した相対的な津波水位の最大ケースを『基準津波 (水位上昇側)』とした。

【水位下降側】

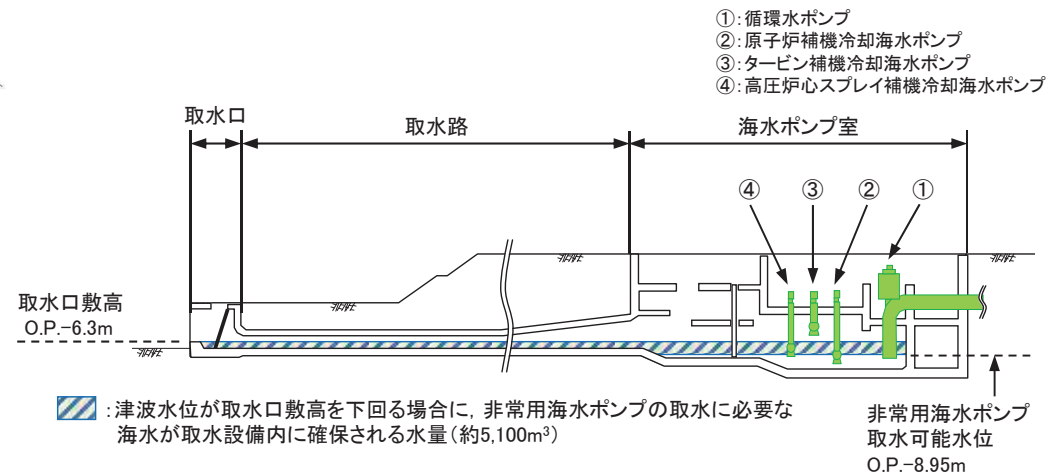
- ✓ 津波水位が取水口敷高を下回る場合における非常用海水ポンプの取水に必要な海水の貯留容量に関する評価, 津波による水位変動に伴う砂の移動・堆積及び漂流物に対する取水路の通水性に関する評価の観点から, 「最大水位下降量」に「地震に伴う隆起量」を考慮した相対的な津波水位の最大ケースを『基準津波 (水位下降側)』とした。

評価位置

| 評価項目  | 敷地前面 | 1号取水口前面 | 2号取水口前面 | 3号取水口前面 | 1号放水口前面 | 2・3号放水口前面 |
|-------|------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| 水位上昇側 | ○    | ○       | ○       | ○       | ○       | ○         |
| 水位下降側 | —    | —       | ○       | —       | —       | —         |



評価位置 (平面図)



2号取水設備断面図 (概要)



### 2.2.1 水位上昇側:最大水位上昇量

- 各津波の最大ケースの整理結果を下表に示す。
- 決定ケースは、「最大水位上昇量」に「地震に伴う沈下量」を考慮した相対的な津波水位上昇量が最大となる「東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル③)」に起因する津波である。

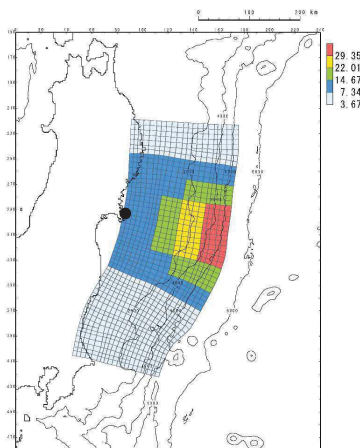
上段 最大水位上昇量, [ ]:地殻変動量(+:隆起, -:沈下)  
下段 最大水位上昇量に地震に伴う沈下量を考慮した相対的な津波水位

| 発生要因               | 種別          | 波源モデル                                  |                  | 最大水位上昇量(m)       |                  |                  |                  |                  |                  |
|--------------------|-------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                    |             |  |                  | 敷地前面             | 1号取水口前面          | 2号取水口前面          | 3号取水口前面          | 1号放水口前面          | 2・3号放水口前面        |
| 地震                 | プレート間地震     | 東北地方太平洋沖型の地震                           | 基準断層モデル①         | 18.42<br>[-0.58] | 17.33<br>[-0.58] | 17.32<br>[-0.58] | 17.15<br>[-0.58] | 16.04<br>[-0.58] | 16.20<br>[-0.58] |
|                    |             |  |                  | 19.00            | 17.91            | 17.90            | 17.73            | 16.62            | 16.78            |
|                    |             |  | 基準断層モデル②         | 18.86<br>[-0.77] | 17.03<br>[-0.77] | 17.40<br>[-0.77] | 17.55<br>[-0.77] | 15.50<br>[-0.77] | 15.34<br>[-0.77] |
|                    |             |  |                  | 19.63            | 17.80            | 18.17            | 18.32            | 16.27            | 16.11            |
|                    |             |  | 基準断層モデル③         | 21.58<br>[-0.72] | 18.85<br>[-0.72] | 19.50<br>[-0.72] | 19.60<br>[-0.72] | 16.46<br>[-0.72] | 17.16<br>[-0.72] |
|                    |             |  |                  | 22.30            | 19.57            | 20.22            | 20.32            | 17.18            | 17.88            |
|                    | 津波地震        | 21.82<br>[+0.03]                       | 17.21<br>[+0.03] | 17.61<br>[+0.03] | 17.20<br>[+0.03] | 14.39<br>[+0.03] | 15.01<br>[+0.03] |                  |                  |
|                    |             | 21.82                                  | 17.21            | 17.61            | 17.20            | 14.39            | 15.01            |                  |                  |
|                    | 海洋プレート内地震   | 正断層型の地震                                | 22.05<br>[-0.03] | 12.92<br>[-0.03] | 16.45<br>[-0.02] | 15.12<br>[-0.03] | 14.26<br>[-0.04] | 12.74<br>[-0.03] |                  |
|                    |             |  | 22.08            | 12.95            | 16.48            | 15.15            | 14.29            | 12.77            |                  |
| 海域の活断層による地殻内地震     | F-6断層～F-9断層 | 1.2m(阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)           |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| 地震以外               | 地すべり及び斜面崩壊  | 発電所へ与える影響は極めて小さい。                      |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|                    | 火山現象        | 発電所へ与える影響は極めて小さい。                      |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| 地震と地震以外に起因する津波の組合せ |             | 地震以外に起因する津波が発電所へ与える影響は極めて小さいことから評価しない。 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

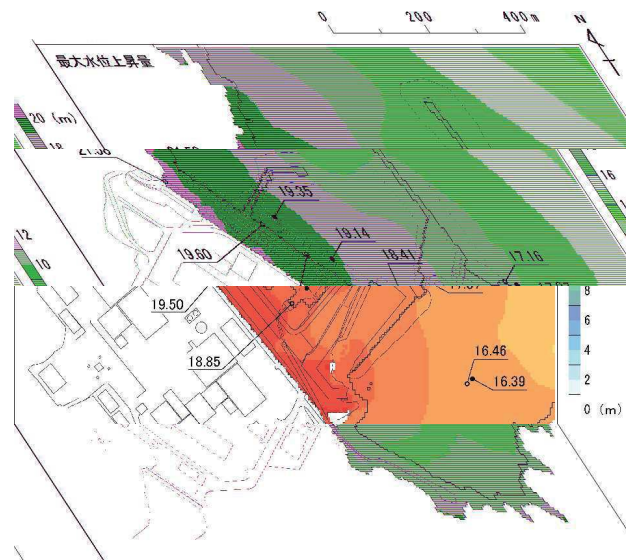
1526

### 2.2.1 水位上昇側:水位分布及び水位時刻歴波形

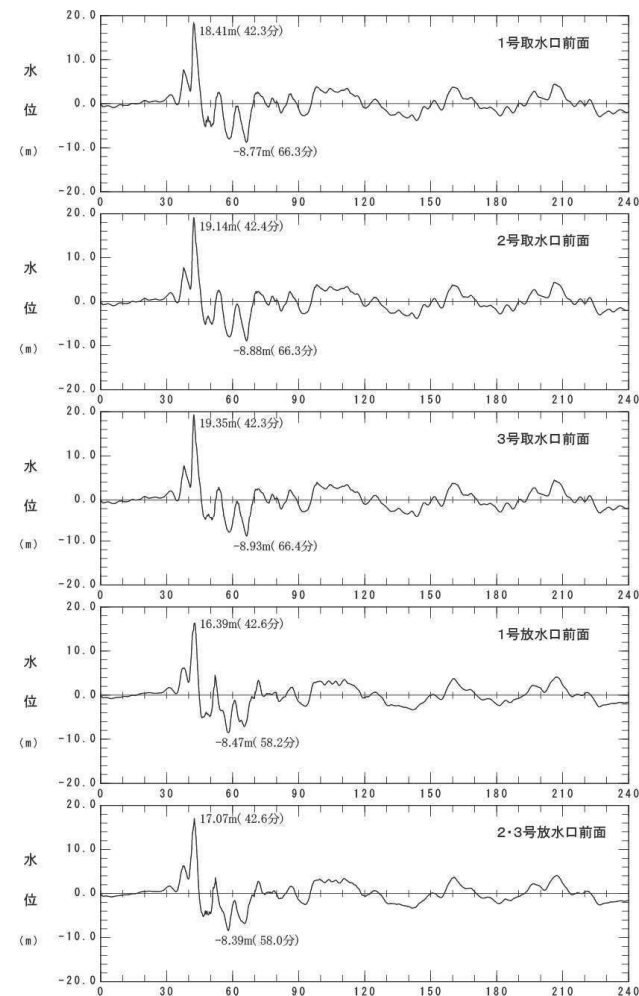
| モデル                    | 大すべり域・超大すべり域の位置 | 破壊開始点    | 破壊伝播速度 |
|------------------------|-----------------|----------|--------|
| 東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル③) | 基準              | 基準(同時破壊) | —      |



すべり量分布



最大水位上昇量分布



水位時刻歴波形※

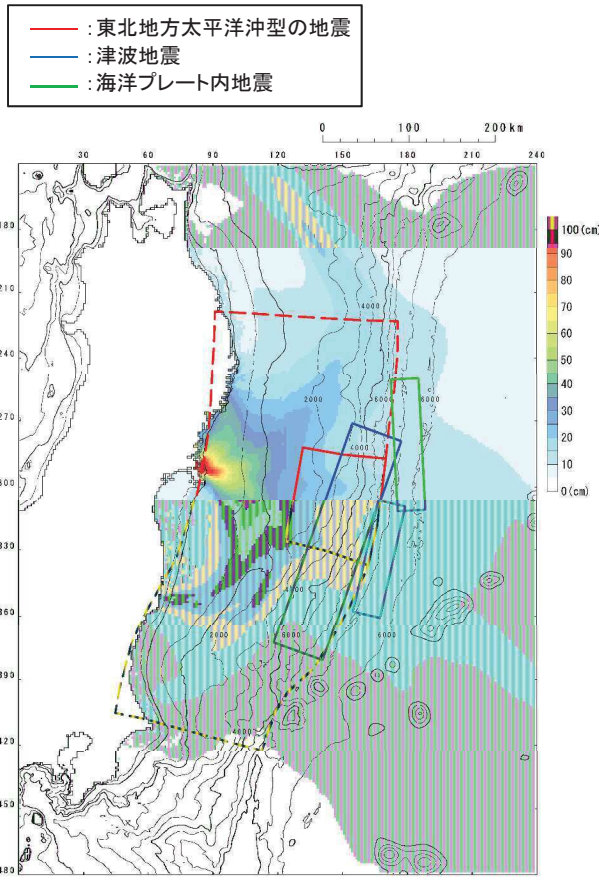
※:水位時刻歴波形は、各取放水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出。

1527

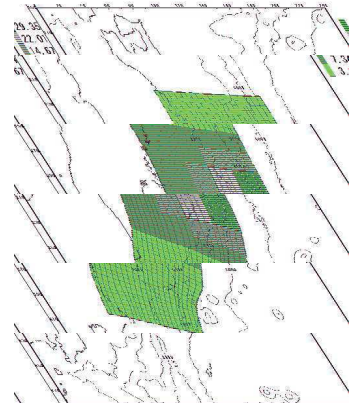
補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.2 各津波の評価

2.2.1 水位上昇側:敷地前面における最大水位上昇量の比較

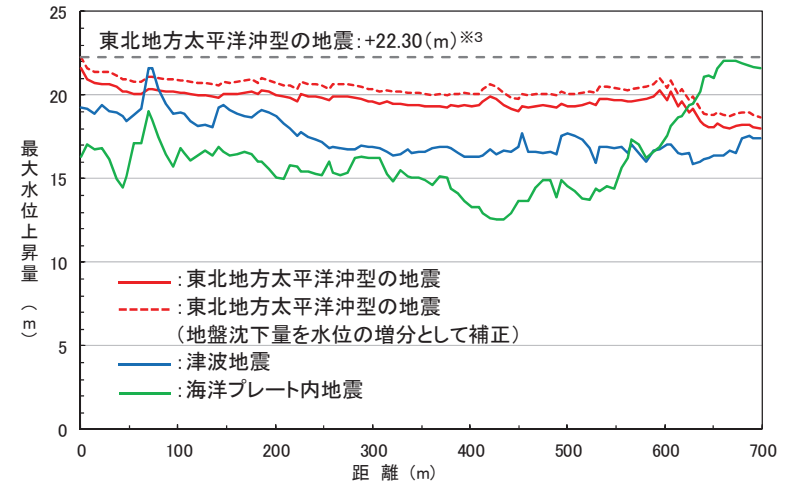
- 「東北地方太平洋沖型の地震」、「津波地震」及び「海洋プレート内地震」の敷地前面最大ケースを対象に、敷地前面における最大水位上昇量を比較した結果を下図に示す。



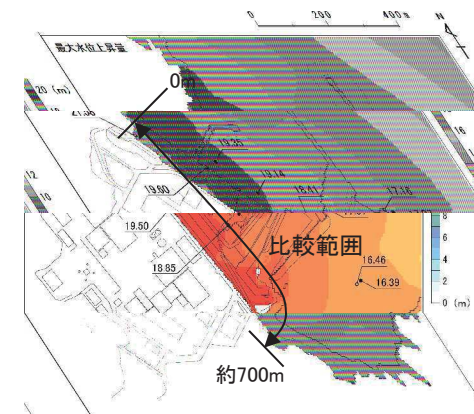
波源モデル重ね合わせ図※1, 2



東北地方太平洋沖型の地震  
(基準断層モデル③)



敷地前面における最大水位上昇量の比較



最大水位上昇量分布  
(東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル③))

※1:各地震の敷地前面最大ケース  
 ※2:背景は津波伝播特性の検討結果  
 ※3:最大水位上昇量(+21.58m)+地震に伴う地盤沈下量(-0.72m)=+22.30(m)

1528

補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.2 各津波の評価  
 2.2.2 水位下降側:最大水位下降量

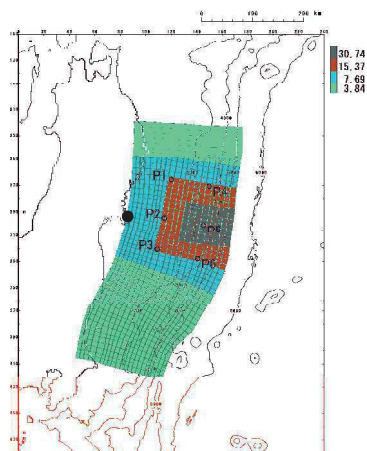
- 各津波の最大ケースの整理結果を下表に示す。
- 決定ケースは、「最大水位下降量」に「地震に伴う隆起量」を考慮した相対的な津波水位下降量が最大となる「東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル②)」に起因する津波である。

上段 最大水位下降量, [ ]:地殻変動量(+:隆起, -:沈下)  
 下段 最大水位下降量に地震に伴う隆起量を考慮した相対的な津波水位

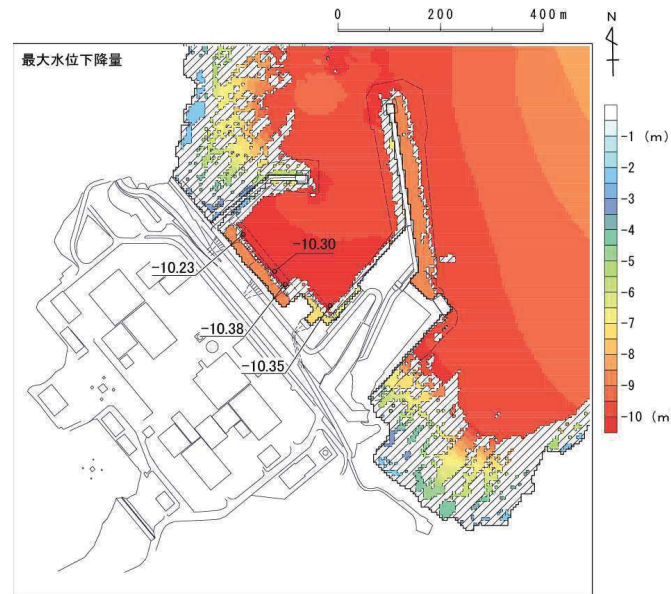
| 発生要因                 | 種別             | 波源モデル        | 2号取水口前面                                |                          |     |
|----------------------|----------------|--------------|--|--------------------------|-----|
|                      |                |              | 最大水位下降量(m)                             | 継続時間(分)                  |     |
| 地震                   | プレート間地震        | 東北地方太平洋沖型の地震 | 基準断層モデル①                               | -10.22 [-0.58]<br>-10.22 | 2.6 |
|                      |                |              | 基準断層モデル②                               | -10.38 [-0.77]<br>-10.38 |     |
|                      |                |              | 基準断層モデル③                               | -9.78 [-0.72]<br>-9.78   |     |
|                      |                | 津波地震         |  | -9.17 [+0.03]<br>-9.20   | 1.9 |
|                      |                |              |  |                          |     |
|                      |                | 海洋プレート内地震    | 正断層型の地震                                | -10.13 [±0.00]<br>-10.13 | 2.6 |
|                      | 海域の活断層による地殻内地震 | F-6断層～F-9断層  | -1.2m(阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)          |                          |     |
| 地震以外                 | 地すべり及び斜面崩壊     |              | 発電所へ与える影響は極めて小さい。                      |                          |     |
|                      | 火山現象           |              | 発電所へ与える影響は極めて小さい。                      |                          |     |
| 地震と地震以外に起因する津波の組合せ   |                |              | 地震以外に起因する津波が発電所へ与える影響は極めて小さいことから評価しない。 |                          |     |
| 2号機非常用海水ポンプの運転可能継続時間 |                |              | 約26                                    |                          |     |

補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.2 各津波の評価  
2.2.2 水位下降側:水位分布及び水位時刻歴波形

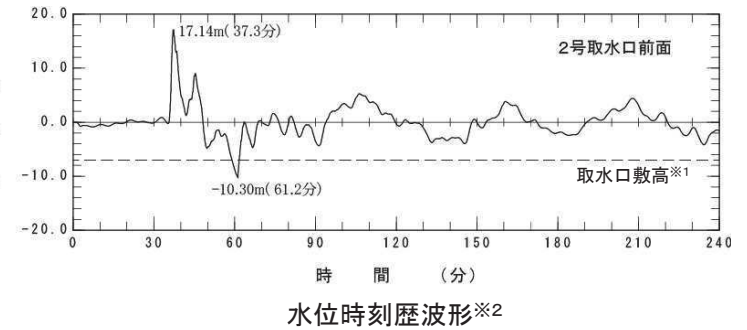
| モデル                    | 大すべり域・超大すべり域の位置 | 破壊開始点 | 破壊伝播速度    |
|------------------------|-----------------|-------|-----------|
| 東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル②) | 基準              | P5    | 1.0(km/s) |



すべり量分布, 破壊開始点位置



最大水位下降量分布



※1: T.P.-7.04m (O.P.-6.3m)

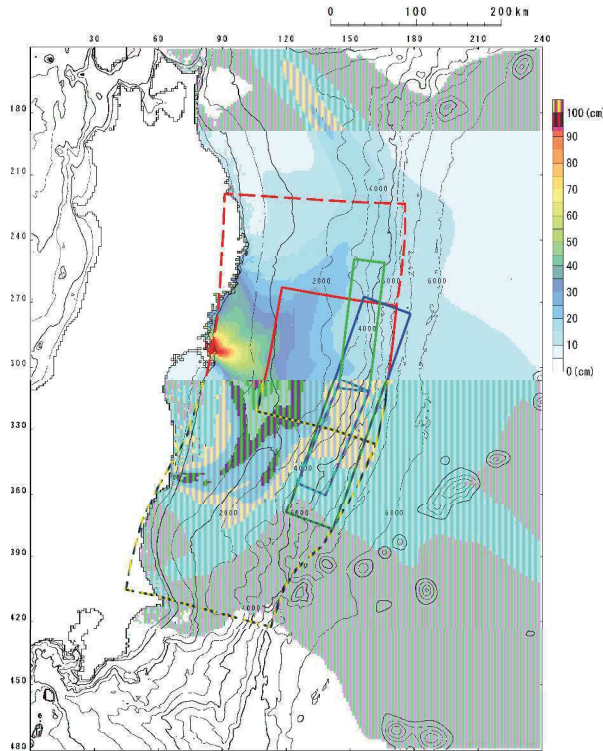
※2: 水位時刻歴波形は, 2号取水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出。

補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.2 各津波の評価

2.2.2 水位下降側:取水口前面における最大水位下降量の比較

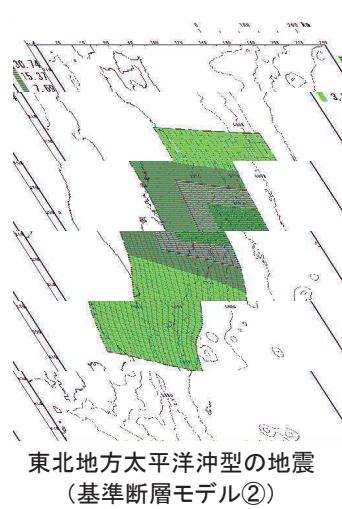
- 「東北地方太平洋沖型の地震」,「津波地震」及び「海洋プレート内地震」の2号取水口前面最大ケースを対象に,取水口前面における最大水位下降量を比較した結果を下図に示す。

— : 東北地方太平洋沖型の地震  
— : 津波地震  
— : 海洋プレート内地震

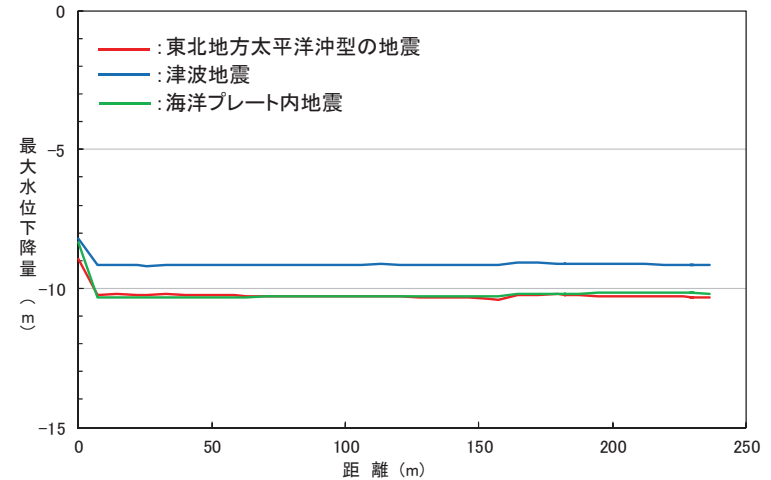


波源モデル重ね合わせ図※1,2

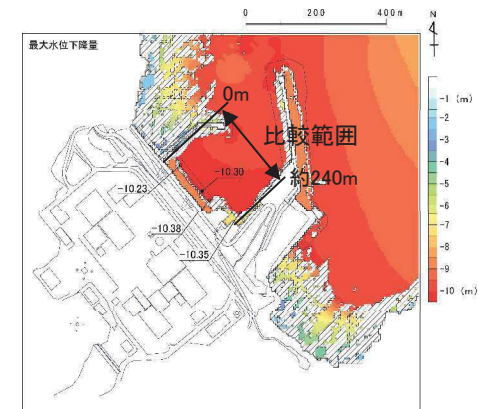
※1:各地震の2号取水口前面最大ケース  
※2:背景は津波伝播特性の検討結果



東北地方太平洋沖型の地震  
(基準断層モデル②)



取水口前面における最大水位下降量の比較



最大水位下降量分布  
(東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル②))

1531

補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.3 基準津波の策定  
2.3.1 基準津波の策定

- 各津波の評価結果を踏まえ、発電所に与える影響が最も大きい「東北地方太平洋沖型の地震」に起因する津波を基準津波とした。

■基準津波(水位上昇側)

| 発生要因 | 種別           | 波源モデル    | 最高水位<br>(敷地前面)           |
|------|--------------|----------|--------------------------|
| 地震   | 東北地方太平洋沖型の地震 | 基準断層モデル③ | O.P.+23.1m <sup>※1</sup> |

※1:最大水位上昇量(+21.58m)に、朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)を考慮した水位

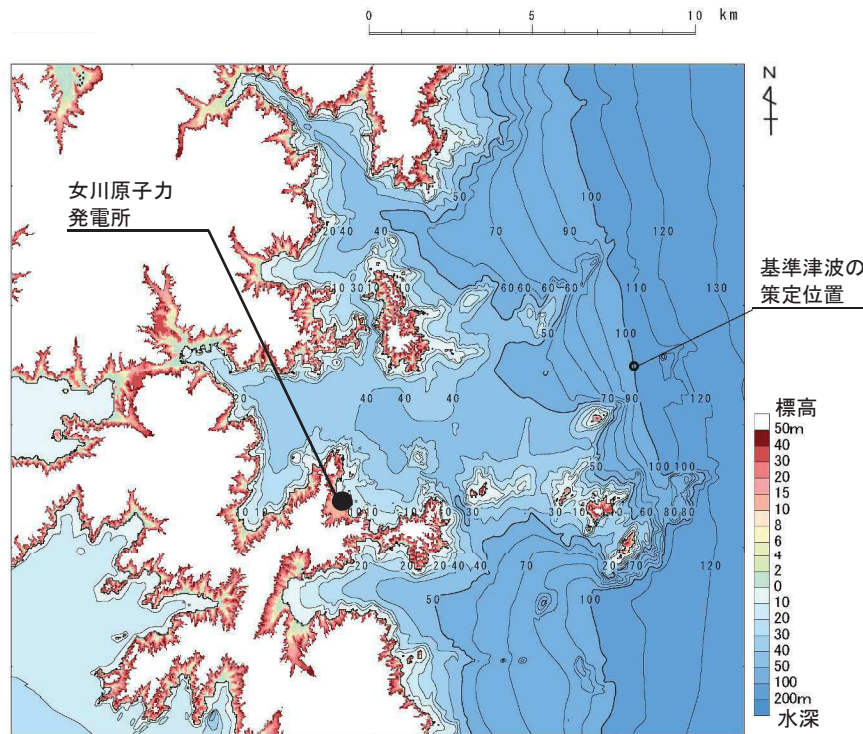
■基準津波(水位下降側)

| 発生要因 | 種別           | 波源モデル    | 最低水位<br>(2号取水口前面)        |
|------|--------------|----------|--------------------------|
| 地震   | 東北地方太平洋沖型の地震 | 基準断層モデル② | O.P.-10.6m <sup>※2</sup> |

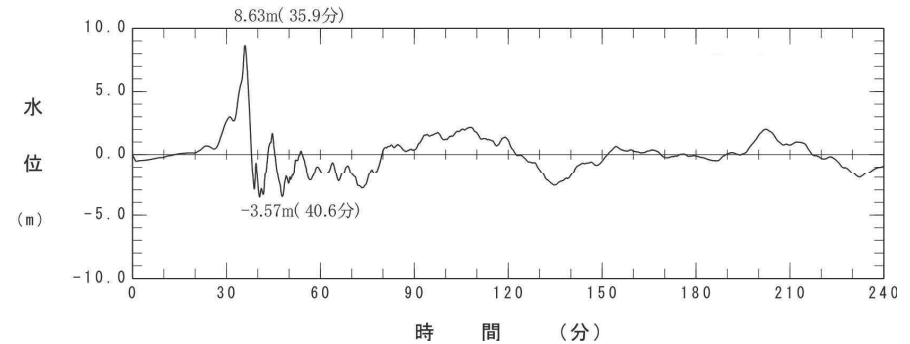
※2:最大水位下降量(-10.38m)に、朔望平均干潮位(O.P.-0.14m)を考慮した水位

補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.3 基準津波の策定  
2.3.2 基準津波策定位置における水位時刻歴波形

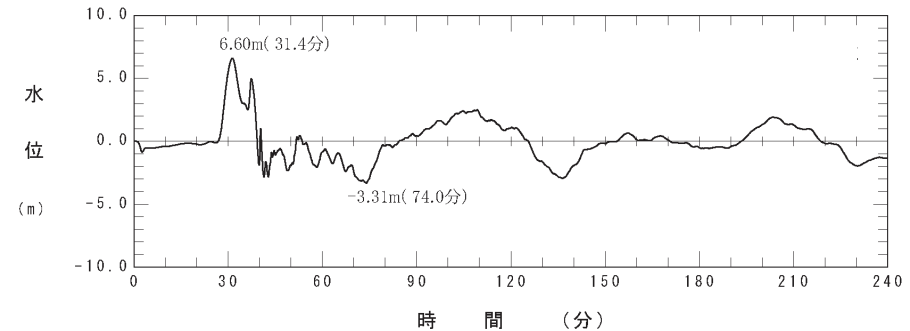
- 基準津波は、敷地前面の海底地形の特徴を踏まえ、時刻歴波形に対して施設からの反射波の影響が微小となるよう、敷地から沖合へ約10km離れた位置(水深100m)で策定した。



基準津波の策定位置



基準津波(水位上昇側)  
(東北地方太平洋沖型の地震, 基準断層モデル③)



基準津波(水位下降側)  
(東北地方太平洋沖型の地震, 基準断層モデル②)



## 補足説明資料

### 3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料

---

- 3. 1 高橋ほか(1999)の適用範囲と浮遊砂濃度上限について ..... 55
- 3. 2 高橋ほか(1999)と高橋ほか(2011)の掃流砂量・巻き上げ量の比較 ..... 56

余白

## 補足説明資料 3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料

## 3.1 高橋ほか(1999)の適用範囲と浮遊砂濃度上限について

- 高橋ほか(1999)では、掃流砂量及び巻き上げ量の測定実験が行われ、シールズ数(無次元掃流力)で整理されており、実験範囲はシールズ数が概ね0.2~1程度となっている。
- 高橋ほか(2012)によれば、高橋ほか(1999)の手法において、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されている。

高橋ほか(1999)による掃流砂量とシールズ数の関係

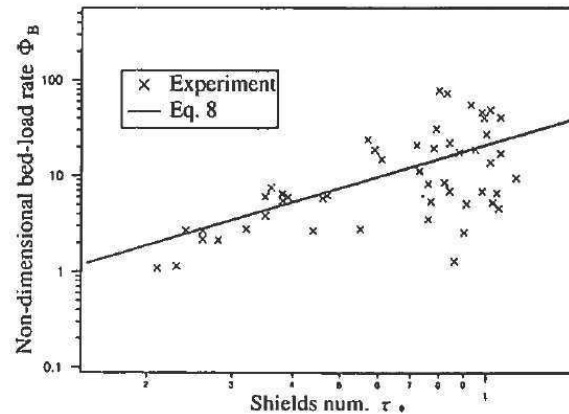


図-4 実験から求めた掃流砂量とシールズ数の関係

高橋ほか(1999)による巻き上げ砂量とシールズ数の関係

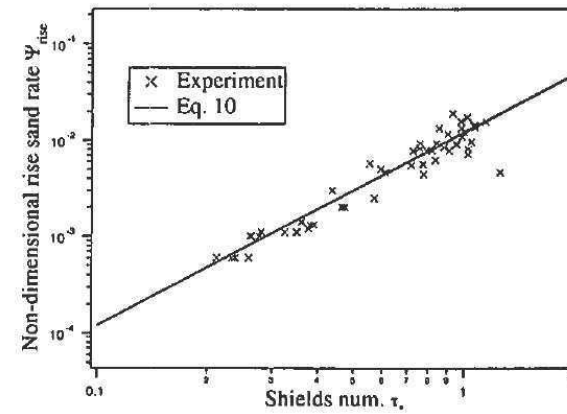


図-5 実験から求めた巻き上げ砂量とシールズ数の関係

## 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。

- ・ 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に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もある。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。

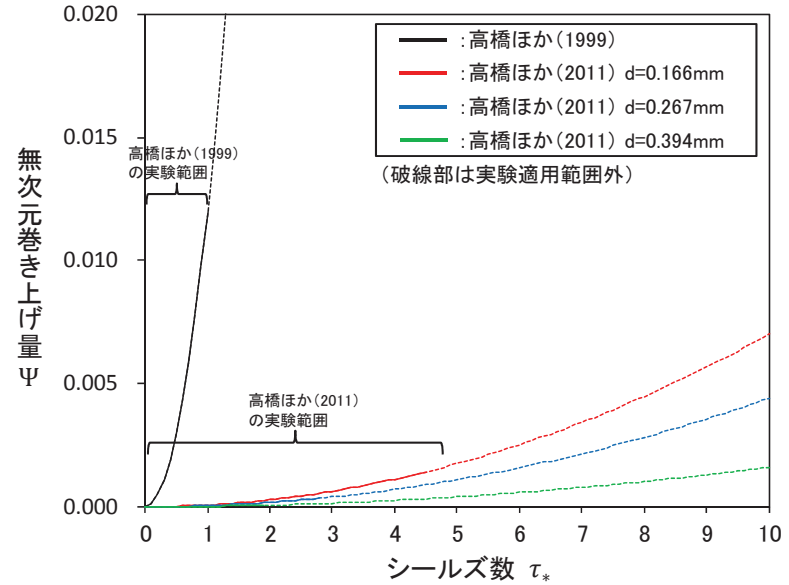
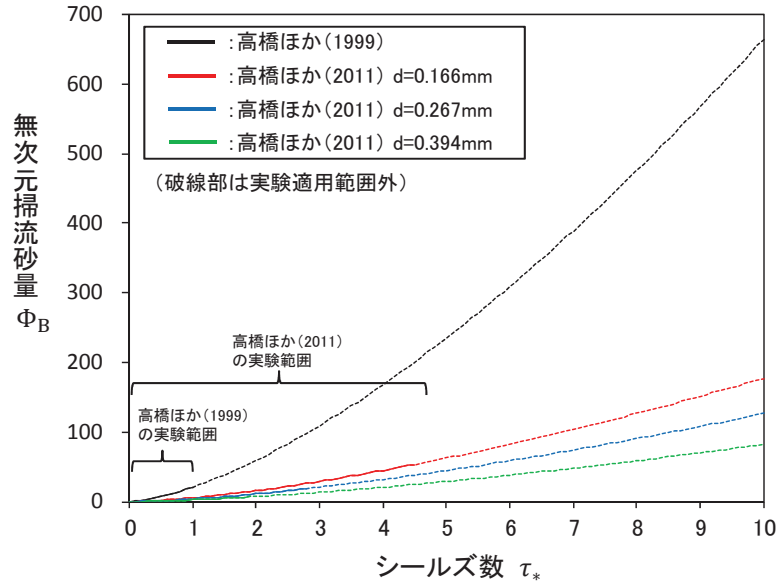
・ 固定床計算領域(流水のみを計算する領域)と移動床計算領域(流水と流砂の両方を計算する領域)の境界条件が確立されていない。特に浅海域では流砂量の不連続が生じて、計算の不安定性を招きやすいため、物理的な境界条件の検討と計算スキームの改良が必要である。

高橋ほか(2012)に一部加筆

補足説明資料 3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料

3.2 高橋ほか(1999)と高橋ほか(2011)の掃流砂量・巻き上げ量の比較

- 掃流砂量及び巻き上げ量の算定式の係数について、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のに対し、高橋ほか(2011)はシールズ数が概ね1~5程度の実験結果であり、シールズ数が大きくなるほど両者の乖離が顕著に大きくなる。
- 上記について、高橋ほか(2011)によれば、高橋ほか(1999)は、ヘッドタンクから細い円管で水路内に導く際の整流化が十分ではなかった等の問題の可能性があるとしている。



| 評価手法                 | 無次元掃流砂量   |
|----------------------|---|
| 高橋ほか(1999)           | $\Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 21\tau_*^{1.5}$  |
| 高橋ほか(2011) d=0.166mm | $\Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 5.6\tau_*^{1.5}$ |
| 高橋ほか(2011) d=0.267mm | $\Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 4.0\tau_*^{1.5}$ |
| 高橋ほか(2011) d=0.394mm | $\Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 2.6\tau_*^{1.5}$ |

| 評価手法                 | 無次元巻き上げ量   |
|----------------------|--|
| 高橋ほか(1999)           | $\Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 0.012\tau_*^2$              |
| 高橋ほか(2011) d=0.166mm | $\Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 7.0 \times 10^{-5}\tau_*^2$ |
| 高橋ほか(2011) d=0.267mm | $\Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 4.4 \times 10^{-5}\tau_*^2$ |
| 高橋ほか(2011) d=0.394mm | $\Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 1.6 \times 10^{-5}\tau_*^2$ |

ここに、 $\Phi_B$  : 無次元掃流砂量

$q_B$  : 掃流砂量

$\Psi$  : 無次元巻き上げ量

$q_s$  : 巻き上げ量

$\tau_*$  : シールズ数

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

$\sigma$  : 砂の密度(kg/m<sup>3</sup>)

$\rho$  : 海水の密度(kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)

$d$  : 砂の粒径(m)

1537

## 補足説明資料

### 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

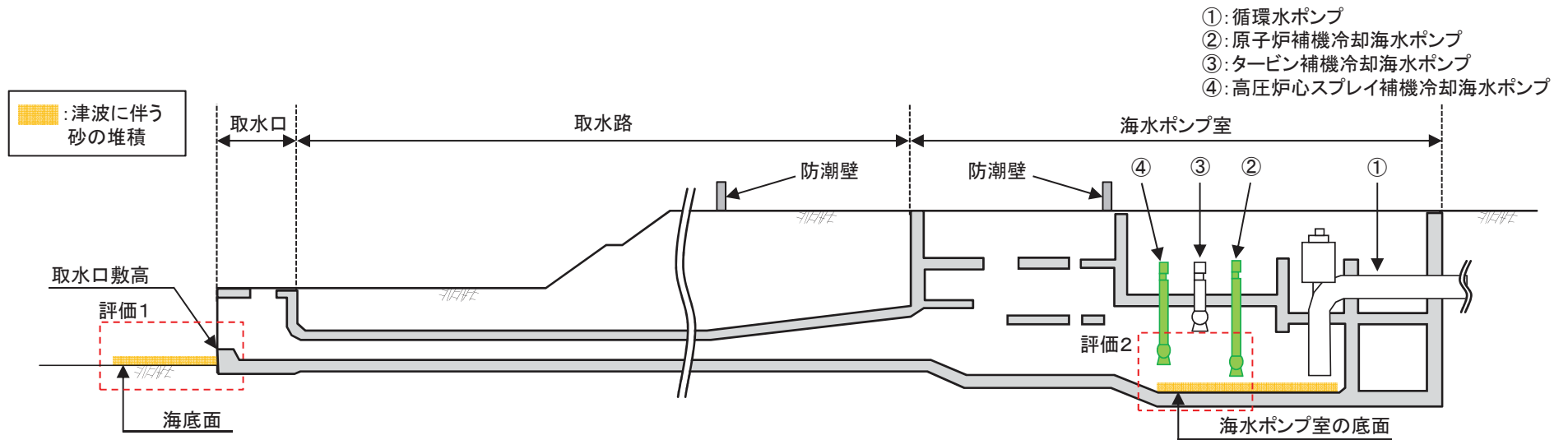
---

|      |                 |    |
|------|-----------------|----|
| 4. 1 | 評価方針            | 58 |
| 4. 2 | 浮遊砂濃度上限値の設定     | 59 |
| 4. 3 | 海底地形変化          | 60 |
| 4. 4 | 海水ポンプ室内における砂の堆積 | 69 |
| 4. 5 | まとめ             | 71 |

補足説明資料 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.1 評価方針

- 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度上限値を3%とした場合の非常用海水ポンプの取水に及ぼす影響を確認するため、基準津波に伴う砂移動(海底地形変化)(下図:評価1)及び2号海水ポンプ室内における砂の堆積高さ(下図:評価2)を評価した。
- 浮遊砂濃度上限値3%の設定根拠を次頁に示す。



評価内容と2号取水設備(概要)の関係

取水口高さ, 非常用海水ポンプの高さ

|             |                   | 設定値   | 備考                               |             |           |            |
|-------------|-------------------|-------|----------------------------------|-------------|-----------|------------|
| 取水口高さ       |                   | 1.20m | 取水口敷高: O.P.-6.3m, 海底面: O.P.-7.5m |             |           |            |
| 非常用海水ポンプの高さ | 原子炉補機冷却海水ポンプ      | 1.15m | 海水ポンプの下端                         | O.P.-11.25m | 海水ポンプ室の底面 | O.P.-12.4m |
|             | 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ | 2.45m |                                  | O.P.-9.95m  |           |            |

補足説明資料 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.2 浮遊砂濃度上限値の設定

- 高橋ほか(1999)の砂移動評価に関する文献調査, 並びに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結果を踏まえ, 浮遊砂濃度上限値1%を基本とし, 各検証箇所(各検証津波)(下表)を再現する浮遊砂濃度上限値を上回る3%を影響評価用の設定値とした。

■文献調査(p12再掲)

- ✓ 上限値5%の検証結果から, 浮遊砂濃度上限値5%は過大評価になると考えられる。
- ✓ 上限値1%の検証結果から, 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<br>(検証津波)      | 文献              | 計算使用<br>砂粒径   | 計算格子<br>間隔 | 浮遊砂濃度<br>上限値 | 浮遊砂濃度上限値に関する評価   |
|---------------------|-----------------|---------------|------------|--------------|--|
| 気仙沼湾<br>(1960年チリ津波) | 玉田ほか<br>(2009)  | 0.001~<br>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<br>(1960年チリ津波)  | 藤田ほか<br>(2010)  | 0.26mm        | 10.3m      | 1%, 2%, 5%   | ・ 浮遊砂濃度上限値5%は過大に評価<br>・ 浮遊砂濃度上限値1%, 2%の場合の再現性が良好   |
| 宮古湾<br>(3.11地震津波)   | 近藤ほか<br>(2012)  | 0.08mm        | 10m        | 1%           | ・ 土砂移動の全体的な傾向は良く一致<br>・ 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<br>(3.11地震津波)  | 森下・<br>高橋(2014) | 0.3mm         | 10m        | 1%<br>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<br>・ 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<br>・ 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),  $\alpha = 0.01$ )

補足説明資料 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.3 海底地形変化: 評価結果

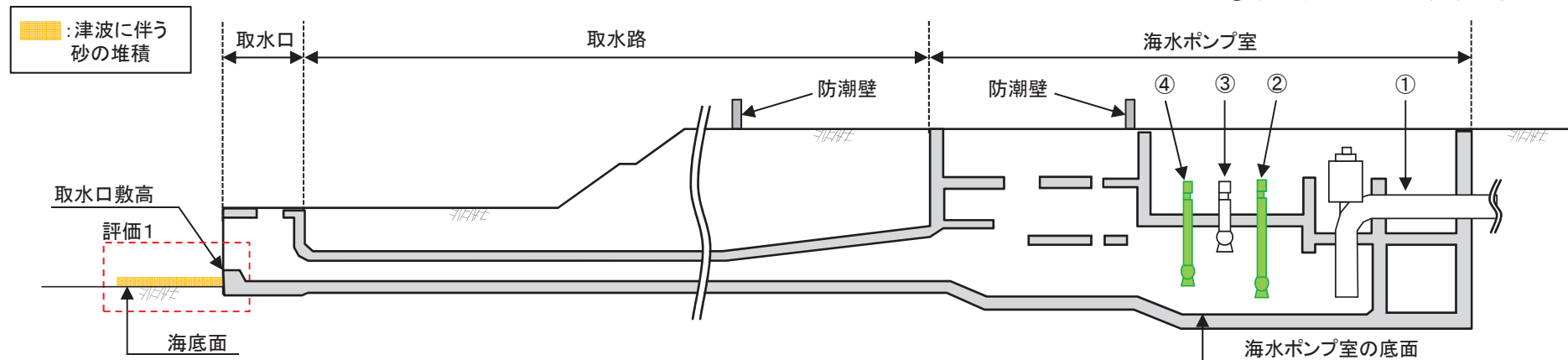
- 2号取水口前面における砂の堆積高さは最大で0.5m程度であり、取水口高さを上回らない。
- 以上から、非常用海水ポンプの取水への影響は無いことを確認した。
- 各検討ケースの最大堆積厚分布、2号取水口前面における海底地形変化量の時刻歴データ及び水位、浮遊砂体積濃度のスナップショット等を次頁以降に示す。

評価結果

| 基準津波  | 評価手法       | 浮遊砂濃度<br>上限値 | 2号取水口前面における<br>砂の堆積高さ(m) | 取水口高さ<br>(m) |
|-------|------------|--------------|--------------------------|--------------|
| 水位上昇側 | 高橋ほか(1999) | 3%           | 0.45                     | 1.20※        |
| 水位下降側 | 高橋ほか(1999) | 3%           | 0.37                     |              |

※: 取水口敷高: O.P.-6.3m, 海底面: O.P.-7.5m

- ①: 循環水ポンプ
- ②: 原子炉補機冷却海水ポンプ
- ③: タービン補機冷却海水ポンプ
- ④: 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ



評価内容と2号取水設備(概要)の関係



補足説明資料 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

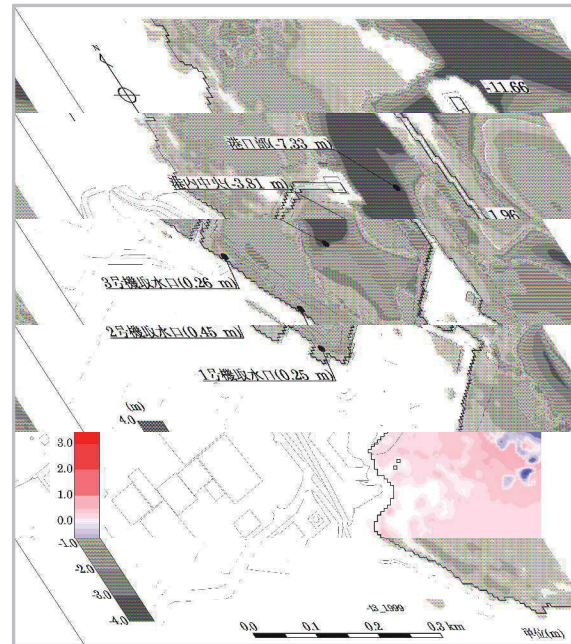
4.3 海底地形変化: 評価結果 基準津波(水位上昇側)①

| 基準津波  | 評価手法       | 浮遊砂濃度上限値 |
|-------|------------|----------|
| 水位上昇側 | 高橋ほか(1999) | 3%       |

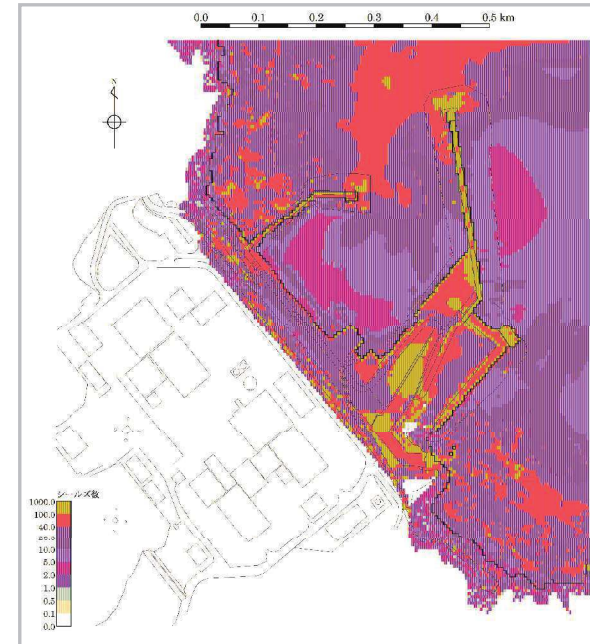
■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布



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

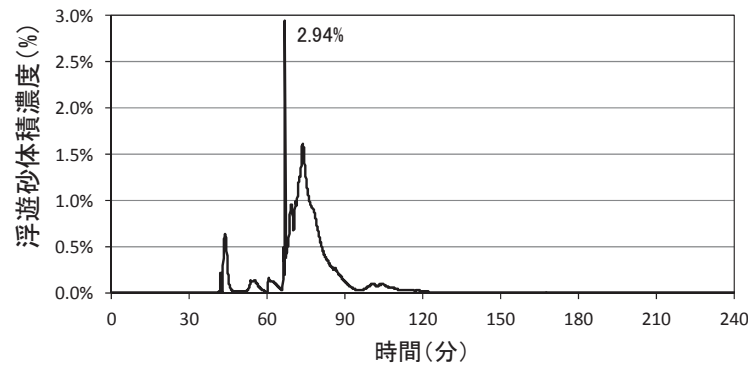
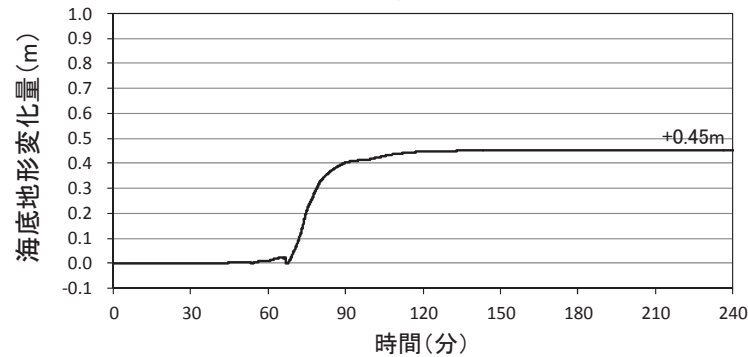
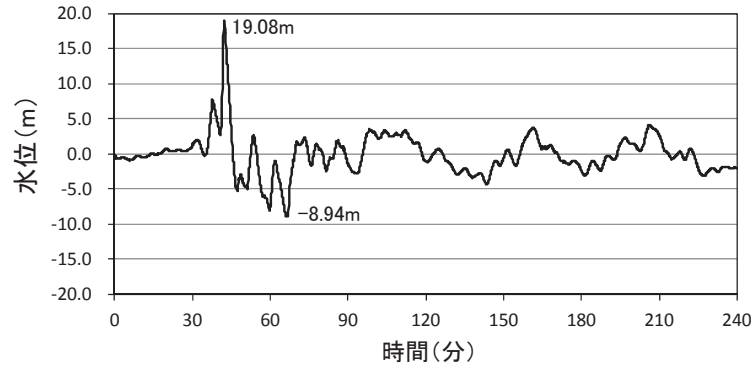
1542

補足説明資料 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.3 海底地形変化:評価結果 基準津波(水位上昇側)②

■2号取水口前面における水位, 海底地形変化量, 浮遊砂体積濃度の時刻歴データ

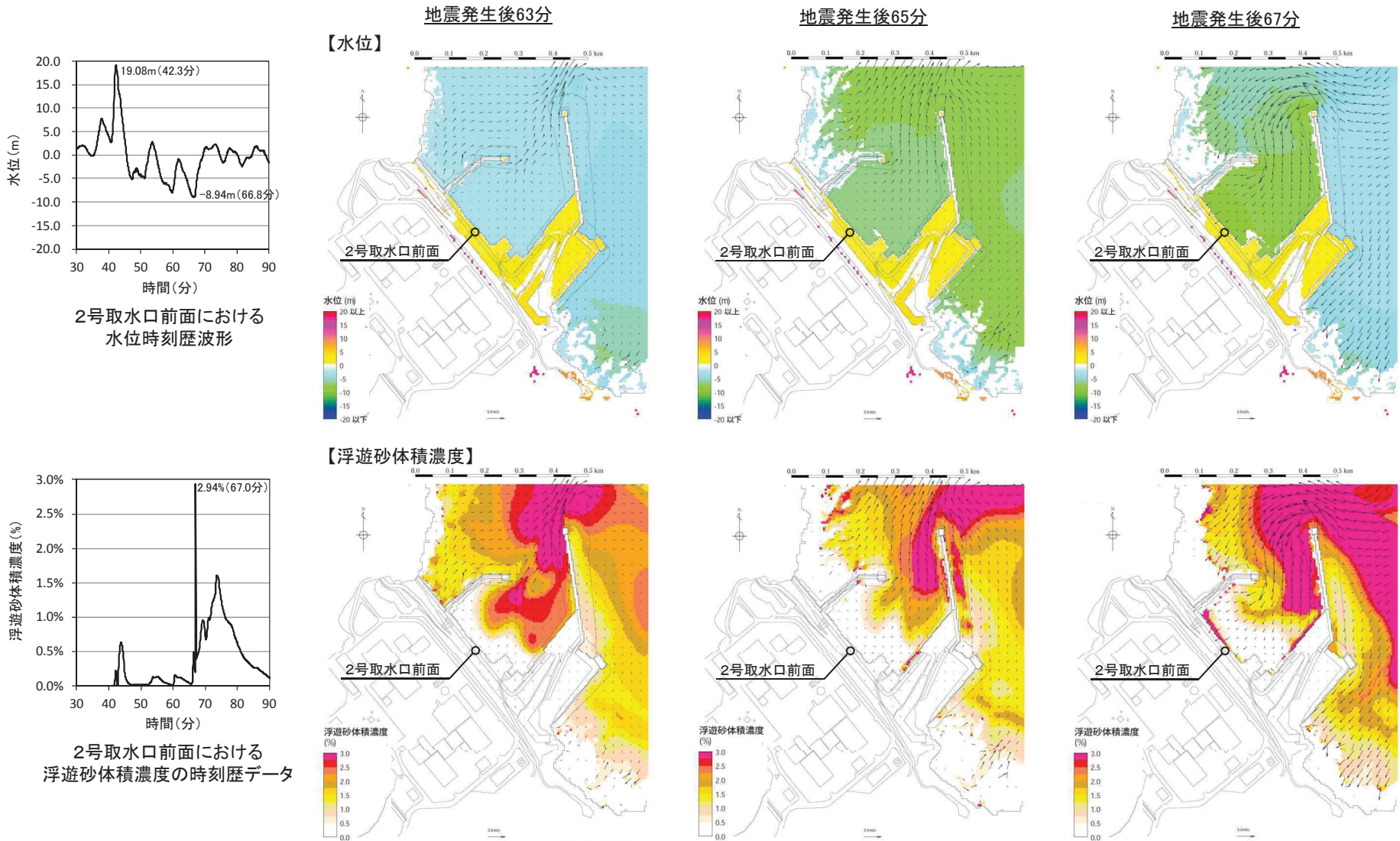
【高橋ほか(1999), 浮遊砂濃度上限値:3%】



### 4.3 海底地形変化:評価結果 基準津波(水位上昇側)③

■高橋ほか(1999):水位,浮遊砂体積濃度のスナップショット(地震発生後63分~71分)①

- ・ 浮遊砂体積濃度が最大となる地震発生後約67分前後の水位,浮遊砂体積濃度のスナップショットを以下に示す。
- ・ 水位低下時(63分~65分)に沖合いへ移動した濃度が高い浮遊砂が,水位上昇時に敷地方向へ移動し,2号取水口前面における浮遊砂体積濃度が高くなるが(67分),その後,津波は港湾内で渦状になりながら水位上昇するため,2号取水口前面の浮遊砂体積濃度は低くなっていく(69分~71分(次頁記載))。

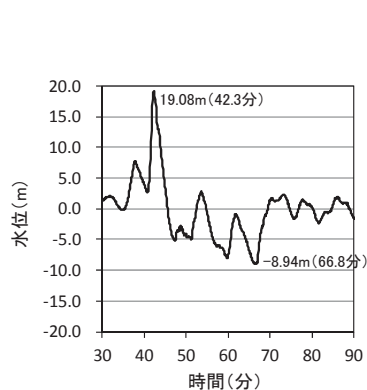
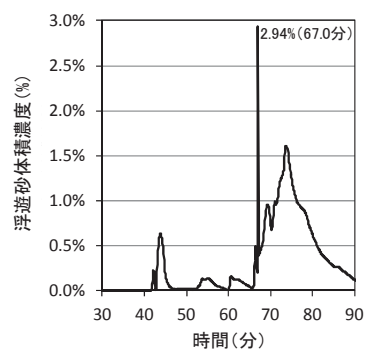
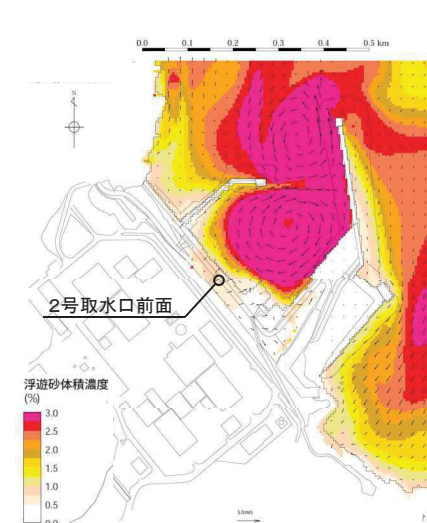
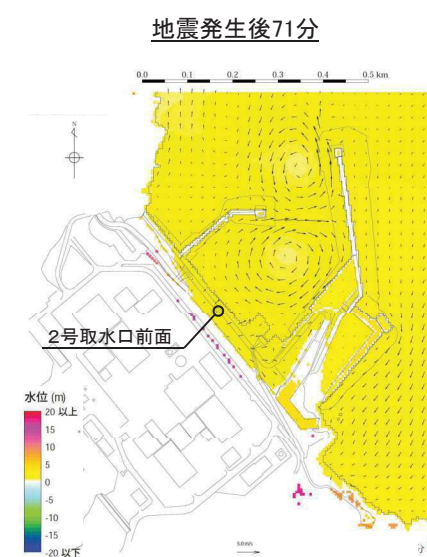
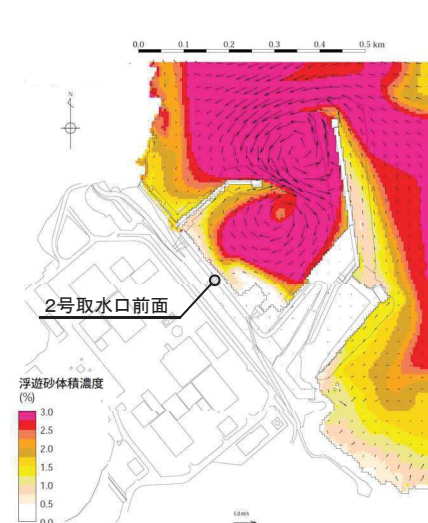
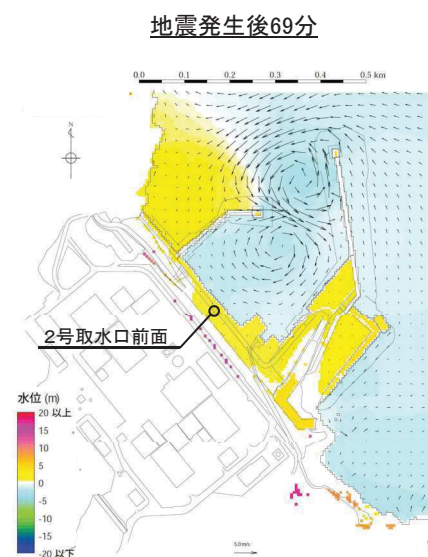
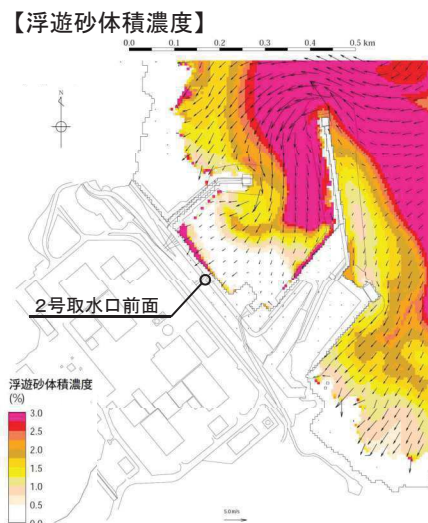


1544

## 補足説明資料 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

## 4.3 海底地形変化: 評価結果 基準津波(水位上昇側)③

## ■高橋ほか(1999): 水位, 浮遊砂体積濃度のスナップショット(地震発生後63分~71分)②

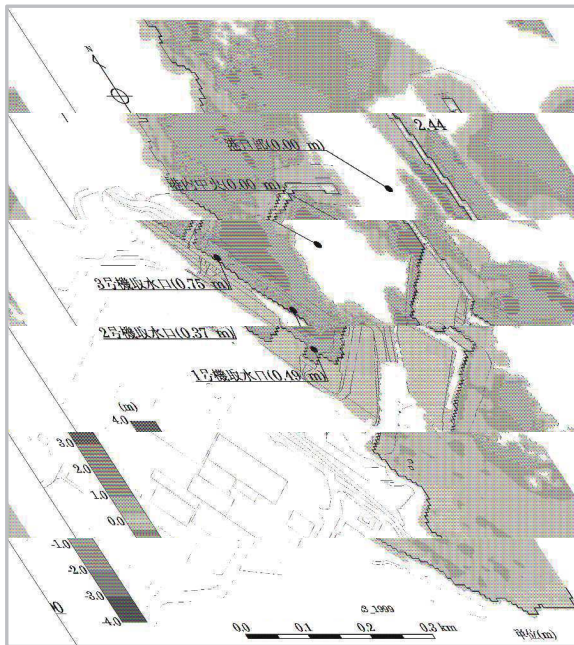
2号取水口前面における  
水位時刻歴波形2号取水口前面における  
浮遊砂体積濃度の時刻歴データ

補足説明資料 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

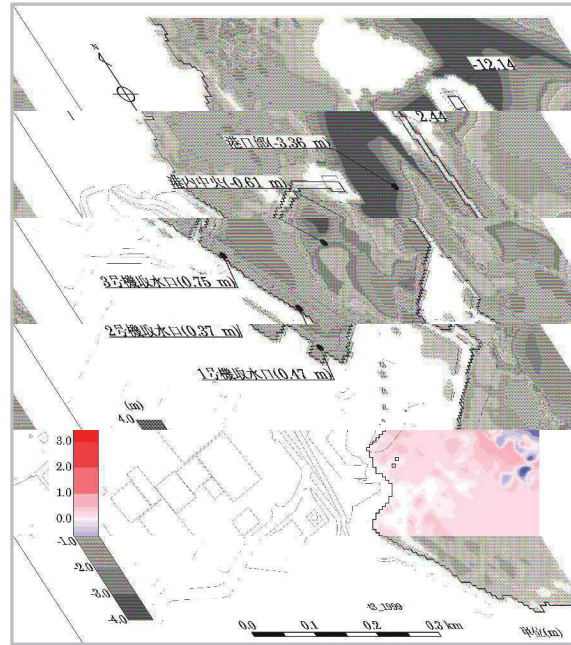
4.3 海底地形変化: 評価結果 基準津波(水位下降側)①

| 基準津波  | 評価手法       | 浮遊砂濃度上限値 |
|-------|------------|----------|
| 水位下降側 | 高橋ほか(1999) | 3%       |

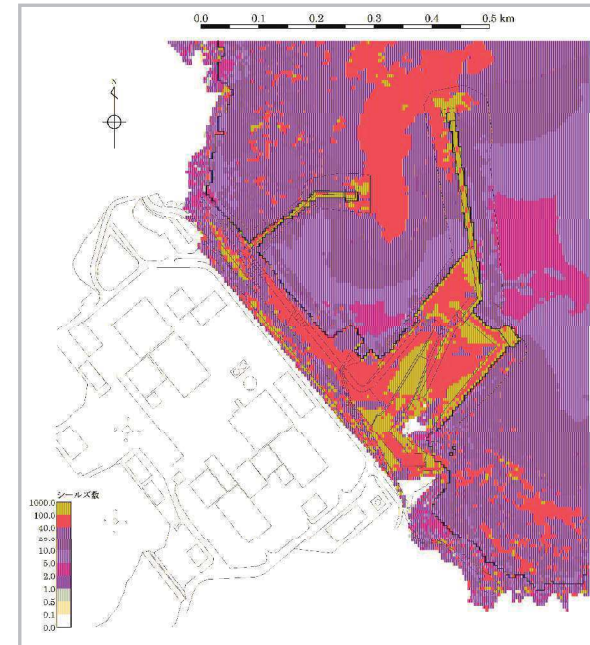
■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布



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

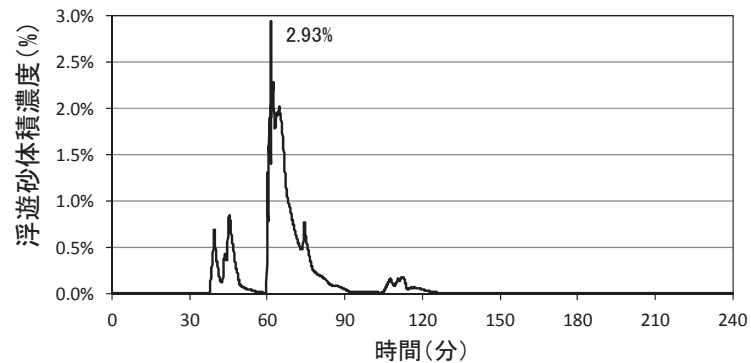
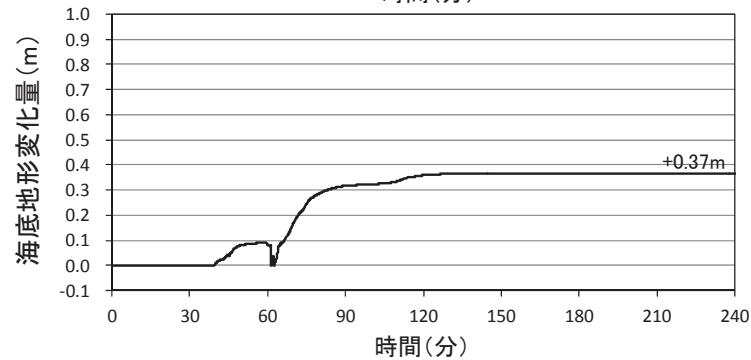
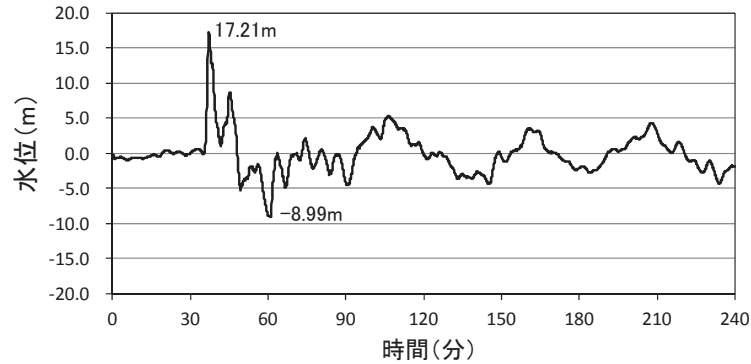
1546

補足説明資料 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.3 海底地形変化:評価結果 基準津波(水位下降側)②

■2号取水口前面における水位, 海底地形変化量, 浮遊砂体積濃度の時刻歴データ

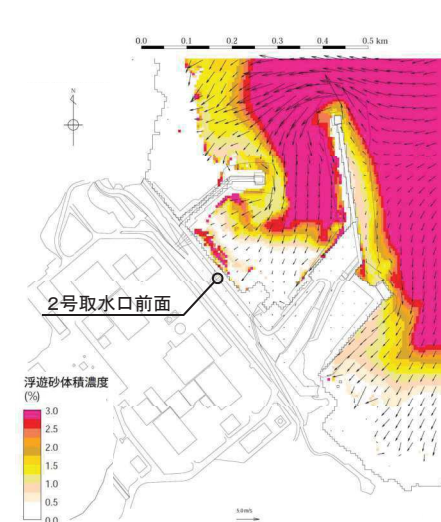
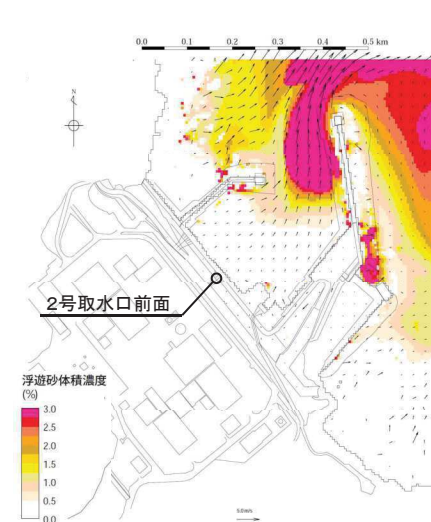
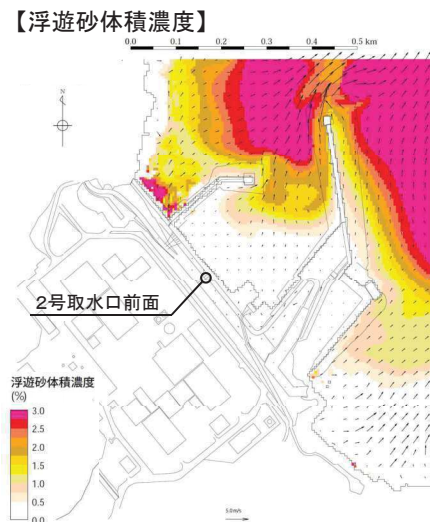
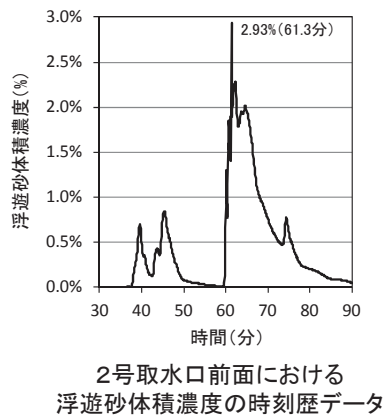
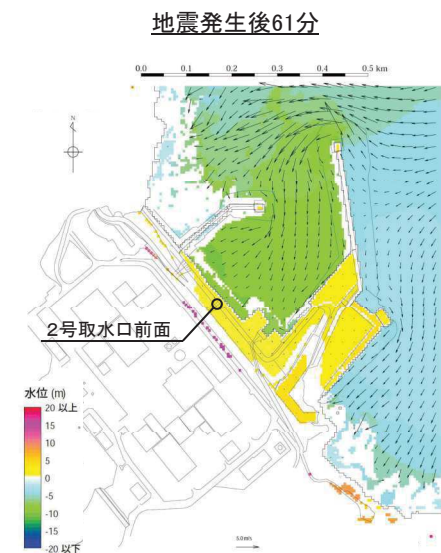
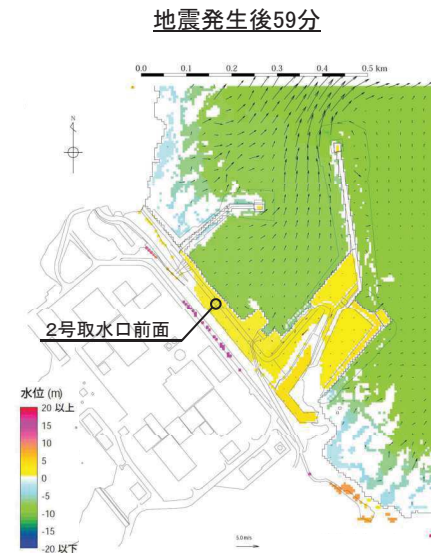
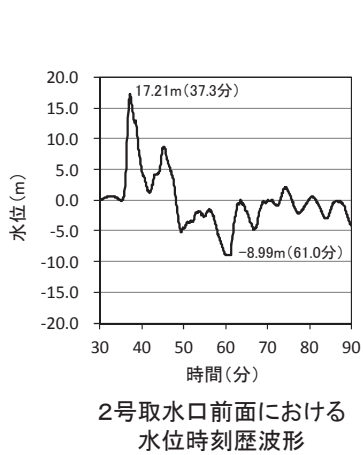
【高橋ほか(1999), 浮遊砂濃度上限値:3%】



### 4.3 海底地形変化:評価結果 基準津波(水位下降側)③

■高橋ほか(1999):水位,浮遊砂体積濃度のスナップショット(地震発生後57分~65分)①

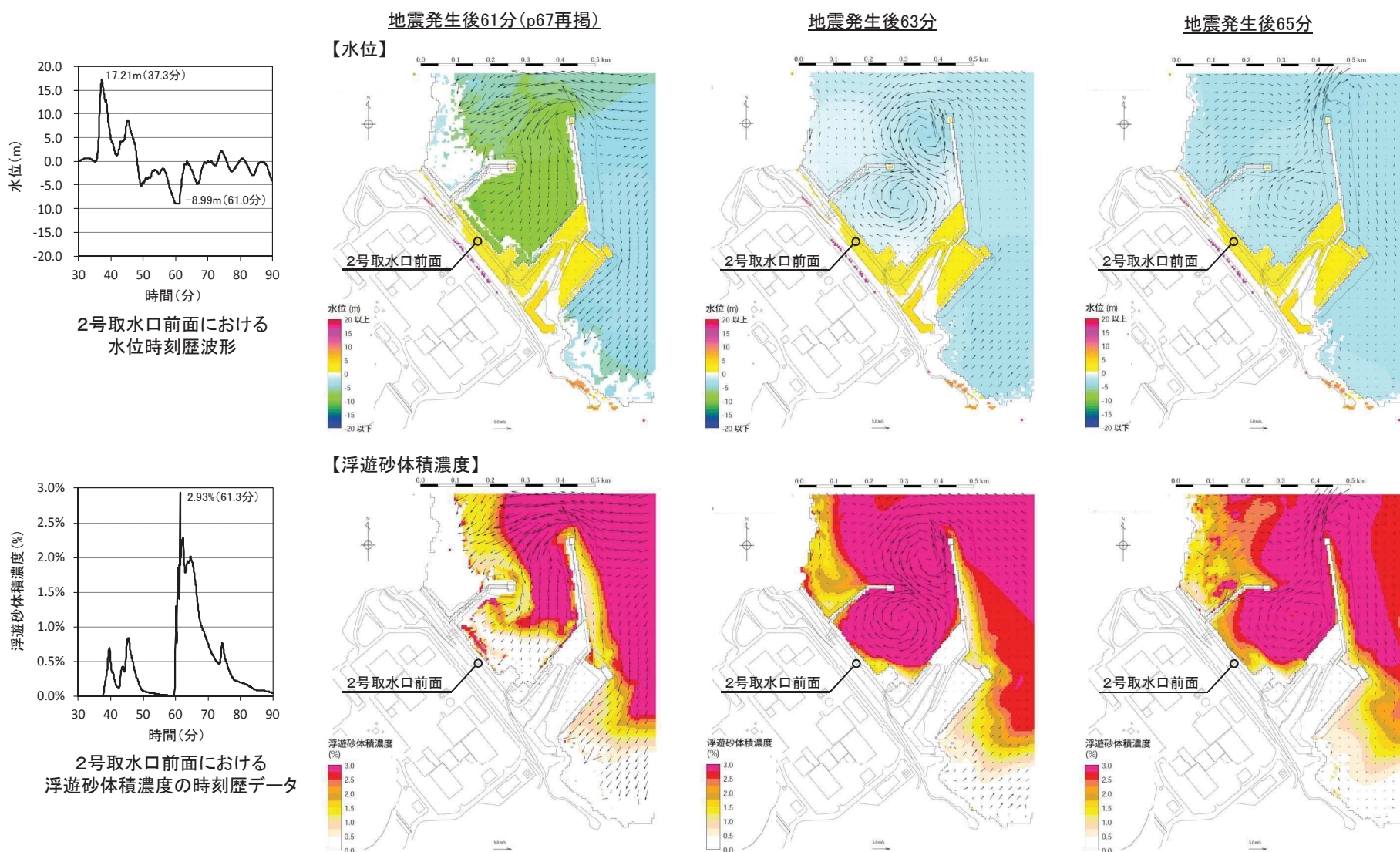
- ・ 浮遊砂体積濃度が最大となる地震発生後約61分前後の水位,浮遊砂体積濃度のスナップショットを以下に示す。
- ・ 水位低下時(57分~59分)に沖合いへ移動した濃度が高い浮遊砂が,水位上昇時に敷地方向へ移動し,2号取水口前面における浮遊砂体積濃度が高くなるが(61分),その後,津波は港湾内で渦状になりながら水位上昇するため,2号取水口前面の浮遊砂体積濃度は低くなっていく(63分~65分(次頁記載))。



## 補足説明資料 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

## 4.3 海底地形変化:評価結果 基準津波(水位下降側)③

## ■高橋ほか(1999):水位, 浮遊砂体積濃度のスナップショット(地震発生後57分~65分)②



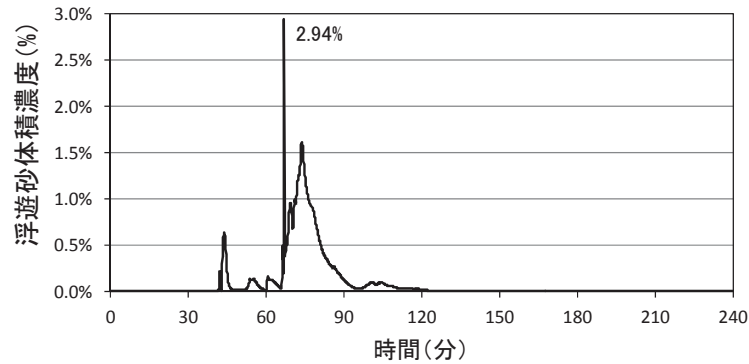


## 補足説明資料 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

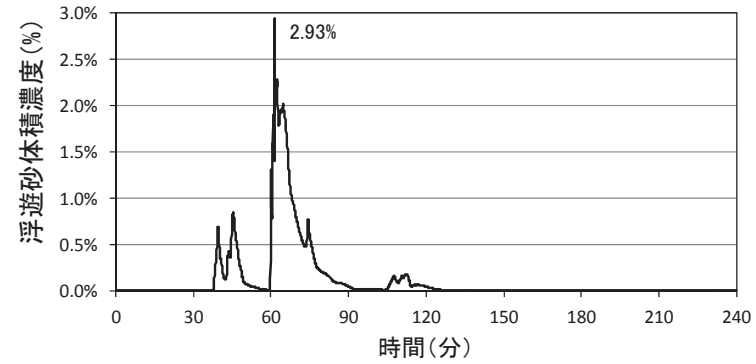
### 4.4 海水ポンプ室内における砂の堆積: 検討方法

- 本資料「2.3 海底地形変化」の評価から得られる2号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さを算定した。
- なお、上記評価に用いる取水設備内の流量及び流速は、取水設備の水理特性を考慮した一次元水位変動解析(p35～p37)により算定した。

■ 2号取水口前面における浮遊砂濃度



基準津波(水位上昇側) (p62再掲)



基準津波(水位下降側) (p66再掲)

補足説明資料 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.4 海水ポンプ室内における砂の堆積: 評価結果

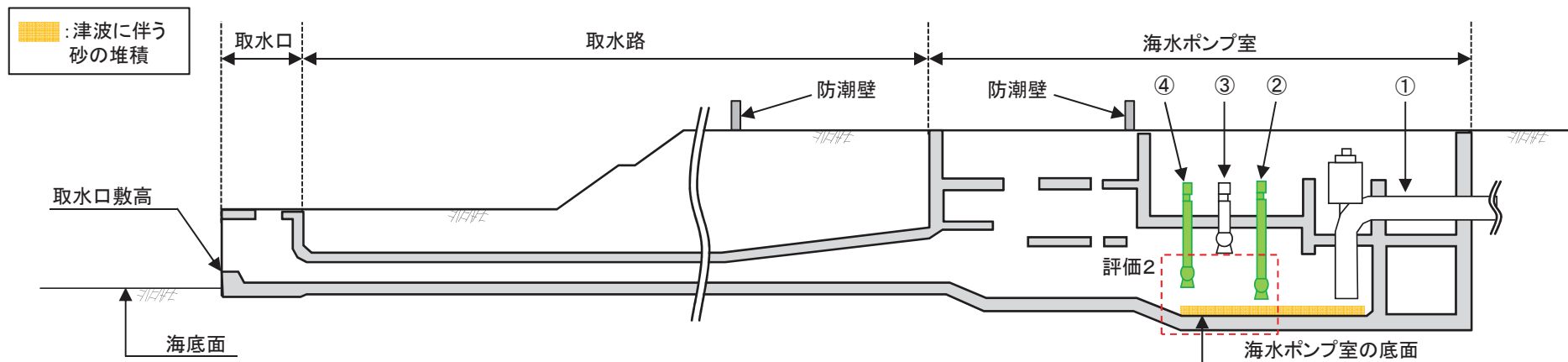
- ・ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ位置における砂の堆積高さは最大で0.2m程度, 原子炉補機冷却海水ポンプ位置における砂の堆積高さは最大で0.1m程度であり, 各海水ポンプの高さを上回らない。
- ・ 以上から, 非常用海水ポンプの取水への影響は無いことを確認した。

評価結果

| 基準津波  | 浮遊砂体積濃度    |              | 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ |                 | 原子炉補機冷却海水ポンプ  |                 |
|-------|------------|--------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|
|       | 評価手法       | 浮遊砂濃度<br>上限値 | 砂の堆積高さ<br>(m)     | 海水ポンプの高さ<br>(m) | 砂の堆積高さ<br>(m) | 海水ポンプの高さ<br>(m) |
| 水位上昇側 | 高橋ほか(1999) | 3%           | 0.08              | 2.45※1          | 0.01          | 1.15※2          |
| 水位下降側 | 高橋ほか(1999) | 3%           | 0.18              |                 | 0.03          |                 |

※1: 海水ポンプの下端: O.P.-9.95m, 海水ポンプ室底面: O.P.-12.4m  
 ※2: 海水ポンプの下端: O.P.-11.25m, 海水ポンプ室底面: O.P.-12.4m

- ①: 循環水ポンプ
- ②: 原子炉補機冷却海水ポンプ
- ③: タービン補機冷却海水ポンプ
- ④: 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ



評価内容と2号取水設備(概要)の関係

1551

## 補足説明資料 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

### 4.5 まとめ

---

- ・ 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度上限値を3%とした場合の非常用海水ポンプの取水に及ぼす影響を確認するため、基準津波に伴う砂移動(海底地形変化)及び2号海水ポンプ室内における砂の堆積高さを算定した。
- ・ 検討の結果、①2号取水口前面における砂の堆積高さは取水口高さを上回らないこと、②各非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高さは各海水ポンプの高さを上回らないことを確認した。
- ・ 以上から、浮遊砂濃度上限値を3%にした場合でも、非常用海水ポンプの取水に及ぼす影響は無いことを確認した。

## 参考文献

---

## 参考文献

1. 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
2. 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
3. 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅野大輔(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
4. 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
5. 阿部勝征(1989):地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測, 東京大学地震研究所彙報, Vol.64, pp.51-69
6. 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
7. 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
8. 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.213-216
9. 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
10. 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

女川原子力発電所 2 号炉  
運用，手順説明資料  
津波による損傷の防止

# 第5条 津波防護

設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波（以下「基準津波」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

添付六、八への反映事項  
(設計に関する事項) 工・保

設計基準対象施設の津波防護対象設備に大きな影響を及ぼすおそれがある津波（基準津波）に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

設計基準対象施設の津波防護対象設備  
(耐震Sクラス設備、重要度分類クラス1及び2)

設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建屋及び区画の選定

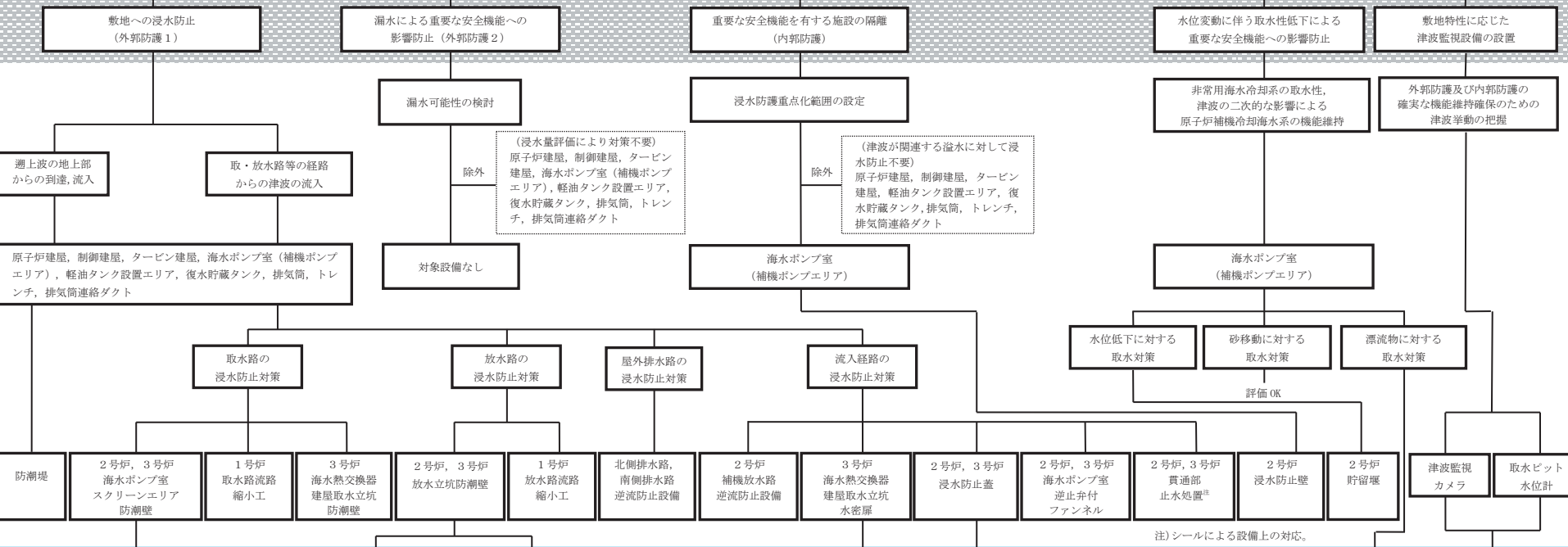
原子炉建屋、制御建屋、タービン建屋、海水ポンプ室（補機ポンプエリア）、  
軽油タンク設置エリア、復水貯蔵タンク、排気筒、トレンチ、排気筒連絡ダクト

敷地の地形・施設の配置等の把握  
敷地周辺の遡上・浸水域の確認  
入力津波の設定

入力津波の決定

継続的な系統・機器及び建屋・構築物の追設、改造及び移設時の津波防護対策の実施

ガイド\*評価



注) シールによる設備上の対応。



添付六、八への反映事項  
(手順等に関する事項)

※基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド (平成 25 年 6 月)

【後段規制との対応】  
工: 工認 (基本設計方針、添付書類)  
保: 保安規定 (下位文書含む)  
核: 核防規定 (下位文書含む)

【添付六、八への反映事項】  
□: 添付六、八に反映  
□: 当該条文に関係しない (他条文での反映事項ほか)

表1 運用, 手順に関わる対策等 (設計基準)

| 設置許可基準<br>対象条文        | 対象項目                       | 区分  | 運用対策等   |
|-----------------------|----------------------------|---|---|
| 第5条<br>津波による<br>損傷の防止 | 防潮壁鋼製扉閉止                   | 運用・手順                                     | ・原則閉運用とし, 開放後の確実な閉止操作についての手順を定める。   |
|                       |                            | 体制  | ・担当箇所による閉止操作  |
|                       |                            | 保守・点検                                     | —   |
|                       |                            | 教育・訓練                                     | ・運用, 手順に関する教育   |
|                       | 大津波警報発令時の循環水ポンプ停止 (プラント停止) | 運用・手順                                     | ・大津波警報発令時の循環水ポンプ停止 (プラント停止) 操作の手順を定める。  |
|                       |                            | 体制  | ・運転員によるポンプ停止操作  |
|                       |                            | 保守・点検                                     | —   |
|                       |                            | 教育・訓練                                     | ・運用, 手順に関する教育   |
|                       | 水密扉閉止                      | 運用・手順                                     | ・原則閉運用とし, 開放後の確実な閉止操作についての手順を定める。   |
|                       |                            | 体制  | ・担当箇所による閉止操作  |
|                       |                            | 保守・点検                                     | —   |
|                       |                            | 教育・訓練                                     | ・運用, 手順に関する教育   |
|                       | 浸水防止蓋閉止                    | 運用・手順                                     | ・原則閉運用とし, 開放後の確実な閉止操作についての手順を定める。   |
|                       |                            | 体制  | ・担当箇所による閉止操作  |
|                       |                            | 保守・点検                                     | —   |
|                       |                            | 教育・訓練                                     | ・運用, 手順に関する教育   |
|                       | 燃料等輸送船の緊急退避                | 運用・手順                                     | ・津波警報等が発令された場合において, 荷役作業を中断し, 陸側作業員及び輸送物を退避させるとともに, 緊急離岸する船側と退避状況に関する情報連絡を行う手順を定める。 |
|                       |                            | 体制  | ・担当箇所—船会社間の情報連絡体制   |
|                       |                            | 保守・点検                                     | —   |
|                       |                            | 教育・訓練                                     | ・運用, 手順に関する教育   |
| 津波襲来状況監視              | 運用・手順                      | ・津波監視カメラ及び取水ピット水位計による津波の襲来状況の監視に係る手順を定める。 |   |
|                       | 体制                         | ・運転員による監視体制                               |   |
|                       | 保守・点検                      | —   |   |
|                       | 教育・訓練                      | ・運用, 手順に関する教育                             |   |



女川原子力発電所 2 号炉  
耐津波設計において  
現場確認を要するプロセス

## 目 次

1. はじめに
2. 遡上解析に関する敷地モデルの作成プロセス
  2. 1 基準要求
  2. 2 作成プロセス
  2. 3 現場確認記録の品質保証上の取扱い
  2. 4 今後の対応
3. 耐津波設計に関する入力条件等の設定プロセス
  3. 1 基準要求
  3. 2 入力条件等の設定プロセス
  3. 3 現場確認記録の品質保証上の取扱い
  3. 4 今後の対応

## 1. はじめに

耐津波設計を行うに当たって現場確認を要するプロセスとして、遡上解析に必要な敷地モデルの作成プロセスと耐津波設計の入力条件等（各施設及び設備の配置、寸法等）の設定プロセスの2つがある。現場確認を含めたこれらのプロセスをそれぞれ以下に示す。

## 2. 遡上解析に関する敷地モデルの作成プロセス

### 2. 1 基準要求

#### 【第五条】

設置許可基準規則第五条（津波による損傷の防止）においては、設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないことを要求されている。また、解釈の別記3により、遡上波の到達防止に当たっては、敷地及び敷地周辺の地形とその標高などを考慮して、敷地への遡上の可能性を検討することが規定されている。

当該基準要求を満足するに当たっては、「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」において、遡上解析上、影響を及ぼすものの考慮が要求されており、具体的には、敷地及び敷地周辺の地形とその標高、伝播経路上の人工構造物を考慮した遡上解析を実施することとしている。

### 2. 2 作成プロセス

上記要求事項を満足するために、第2-1 図に示すフローに従って敷地モデルを作成した。次の(1)～(4)にプロセスの具体的内容を示す。

#### (1) 敷地及び敷地周辺の地形と標高のモデル化

敷地及び敷地周辺の地形と標高について、QMS 図書として維持管理されている図面等を確認し、遡上域のメッシュサイズを踏まえて、適切な形状にモデル化を行った。

#### (2) 津波伝播経路上の人工構造物の調査

敷地において津波伝播経路上に存在する人工構造物として抽出すべき対象物をあらかじめ「津波伝播経路上の人工構造物」として定義し調査を実施した。

具体的な対象物は、耐震性や耐津波性を有する恒設の人工構造物である。その他の津波伝播経路上の人工構造物については、構造物が存在することで津波の影響軽減効果が生じ、遡上範囲を過小に評価する可能性があることから、遡上解析上、保守的な評価となるよう対象外とした。

#### a. 図面等による調査

上記で定義した対象物となる既設の人工構造物については、高さ、寸法について、QMS 図書として維持管理されている図面等の確認を実施した。また、将来設置される計画がある人工構造物のうち、上記で定義した対象物に該当するものについては、計画図面等により調査を実施した。

海底地形及び陸域の地形については、日本水路協会の最新の地形データ及び国土地理院発行の地形図からデータを抽出した。発電所敷地内の地形及び構造物のデータについては、建設時の工事竣工図からデータを抽出した。

なお、東北地方太平洋沖地震前のデータを用いる際には地震による沈下を考慮して標高を設定した。

#### b. 現場確認

上記a. で実施した図面等による調査において確認した既設の人工構造物については、社員による現場ウォークダウンにより図面等と相違ないことを確認した。また、図面に反映されていない人工構造物について、遡上解析に影響する変更がないことを確認した。

発電所敷地における構造物、地盤などの変位及び変形については、発電所における定期保守業務で特定地点の計測、深浅測量の結果を反映した。

#### (3) 敷地モデルの作成

(2) で実施した調査結果を踏まえ、敷地モデルの作成を実施した。

#### (4) 敷地モデルの管理

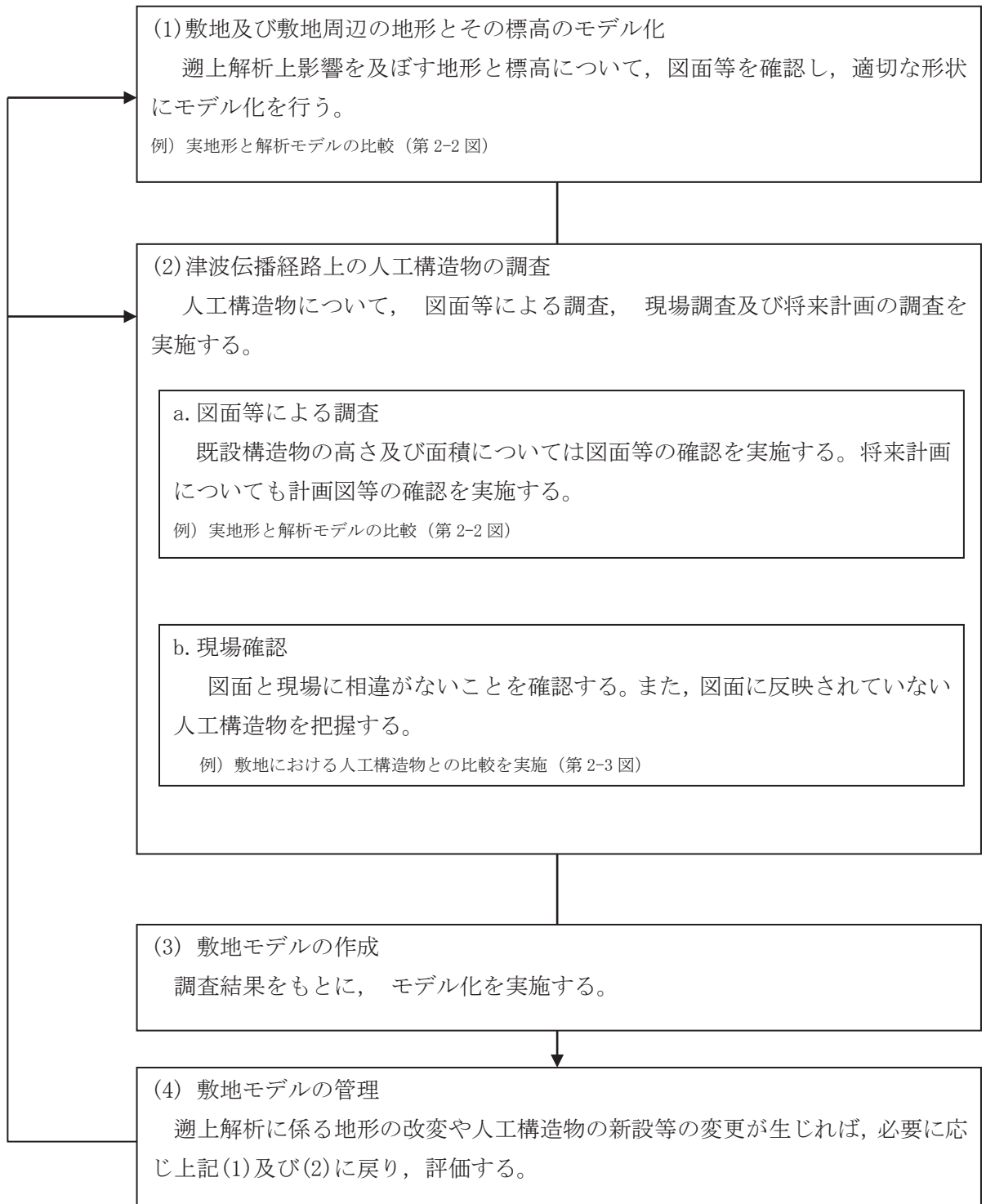
遡上解析に係る津波伝播経路上の人工構造物の変更が生じれば、必要に応じ上記(1)及び(2)に戻り再度モデルを構築する。

### 2. 3 現場確認記録の品質保証上の取り扱い

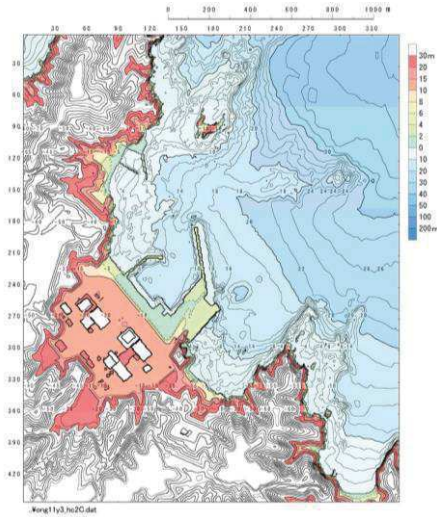
現場確認手順及び確認結果の記録について、品質保証記録として管理する。

### 2. 4 今後の対応

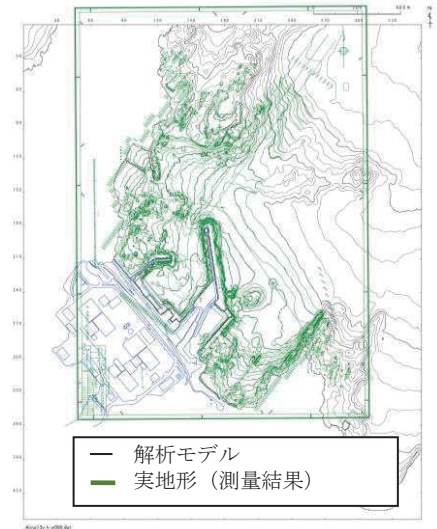
今後、改造工事等により、津波伝播経路上の敷地の状況が変更（地形の改変、人工構造物の新設等）となる場合は、その変更が耐津波設計の評価に与える影響の有無を検討し、必要に応じて遡上解析を実施する。



第 2-1 図 敷地モデルの作成・管理プロセスフロー図

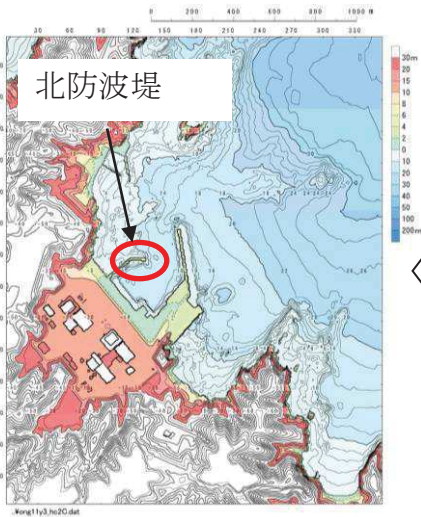


(a) 解析モデル

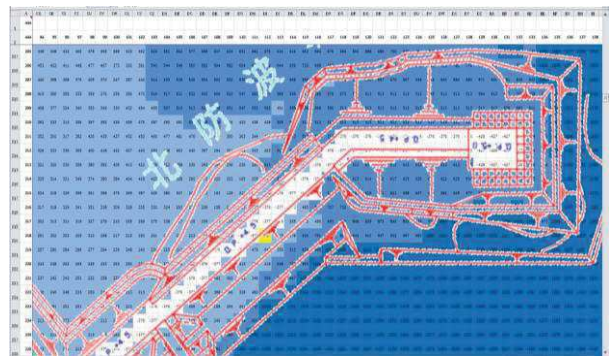


(b) 実地形と解析モデル化の比較

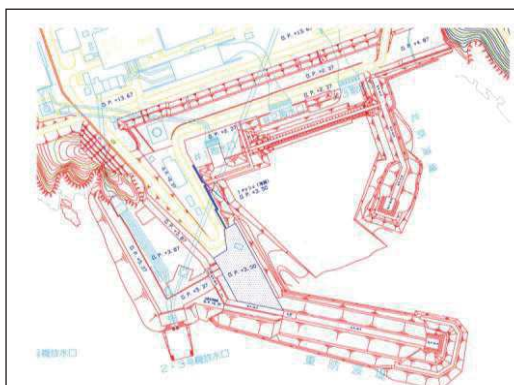
第2-2 図 解析モデルの確認例



(a) 解析モデル



(b) 構造物・解析モデル比較



(c) 平面図



(d) 現場確認

第2-3 図 調査による確認例

防護上の観点又は機密に係わる事項を含むため、公開できません。

### 3. 耐津波設計に関する入力条件等の設定プロセス

#### 3. 1 基準要求

##### 【第五条】

設置許可基準規則第五条（津波による損傷の防止）においては、設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないことを要求されている。また、解釈の別記3及び「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」において、敷地への浸水の可能性のある経路の特定、バイパス経路からの流入経路の特定、取水・放水施設や地下部等における漏水の可能性の検討、浸水想定範囲の境界における浸水の可能性のある経路の特定、浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路の特定及び漂流物の可能性の検討を行うこととしている。

##### 【第四十条】

設置許可基準規則第四十条（津波による損傷の防止）においては、重大事故等対処施設は、基準津波に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないことを要求しており、解釈は同解釈の別記3に準じるとしている。

#### 3. 2 入力条件等の設定プロセス

上記要求事項を満足するために、第3-1 図に示すフローに従って耐津波設計において必要となる入力条件等を設定した。次の(1)～(3)にプロセスの具体的内容を示す。なお、本資料において、設計基準対象施設の津波防護対象設備と重大事故等対処施設の津波防護対象設備を併せて、「津波防護対象設備」とする。

##### (1) 入力条件等の設定・確認

耐津波設計において必要となる入力条件等は、下記a. 及びb. のとおり設定し、確認する。

##### a. 図面等による入力条件等の調査及び設定

耐津波設計に係る各施設・設備について、図面等を用いて設置箇所・寸法等を調査し、入力条件等を設定する。

##### b. 現場確認

a. で実施した図面等による調査により設定した入力条件等について、現場ウォークダウンにより現場と相違ないことを確認する。

各施設・設備における入力条件等の設定及び確認内容の詳細を以下に記載する。

1) 津波防護対象設備について

設置許可基準規則第五条及び第四十条においては、設計基準対象施設の安全機能及び重大事故等対処施設の重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないことが要求されている。そのため、津波防護対象設備を設定し、想定している建屋及び区画以外に津波防護対象設備が設置されていないことを確認する。

2) 外郭防護1（遡上波の地上部からの到達及び流入防止）について

津波防護対象設備を内包する建屋及び区画は、基準津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置する、又は、津波防護施設及び浸水防止設備を設置することで流入を防止することが要求されている。そのため、各施設・設備が設置されている敷地高さを調査し、基準津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置されていること又は津波防護施設及び浸水防止設備により流入を防止されていることを確認する。

また、浸水対策が必要となる箇所については、現場状況を確認する。

3) 外郭防護1（取水路、放水路等の経路からの流入防止）について

取水路、放水路等の経路から津波が流入する可能性を検討し特定すること及び必要に応じて浸水対策を行うことが要求されている。そのため、海水が流入する可能性のある経路を網羅的に調査し、特定する。

また、浸水対策が必要となる箇所については、現場状況を確認する。

4) 外郭防護2（漏水による重要な安全機能への影響防止）について

取水・放水設備の構造上の特徴等を考慮して、取水・放水施設や地下部等における漏水の可能性を検討すること、浸水想定範囲の境界において浸水の可能性のある経路及び浸水口（扉、開口部、貫通口等）を特定すること並びに特定した経路及び浸水口に対して浸水対策を施し、浸水範囲を限定することが要求されている。そのため、漏水の可能性並びに浸水想定範囲の境界における浸水の可能性のある経路及び浸水口を調査し、特定する。浸水想定範囲内に津波防護対象設備がある場合は、その重要な安全機能又は重大事故等に対処する機能に影響を与える閾値（機能喪失高さ）を調査し、設定する。また、浸水対策が必要となる箇所については、現場状況を確認する。

5) 内郭防護（重要な安全機能を有する施設の隔離）について

浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路及び浸水口（扉、開口部、貫通口等）を特定し、それらに対して浸水対策を施すことが要求されている。そのため、浸水の可能性のある経路及び浸水口を特定し、浸水対策が必要な箇所の現場状況を確認する。



#### 6) 漂流物について

基準津波に伴う取水口付近の漂流物については、遡上解析結果における取水口付近を含む敷地前面及び遡上域の寄せ波及び引き波の方向及び速度の変化を分析した上で、漂流物となる可能性を検討することが要求されている。そのため、遡上解析を踏まえた上で漂流物調査を網羅的に行い、取水性に影響を与えないことを確認する。

#### (2) 耐津波設計の成立性の確認

上記(1)で実施した設定・確認結果を踏まえ、耐津波設計の成立性を確認する。また、新たに必要となる浸水対策がある場合は実施する。

#### (3) 入力条件等の管理

設備改造等により耐津波設計の入力条件等が変更となる可能性がある場合は、必要に応じ上記(1)に戻り、評価する。

#### 3. 3 現場確認記録の品質保証上の取り扱い

現場確認手順及び確認結果の記録について、品質保証記録として管理する。

#### 3. 4 今後の対応

今後、改造工事等により、耐津波設計に用いる入力条件等の変更が生じた場合、その変更が耐津波設計の評価に与える影響の有無を検討し、必要に応じて入力条件等の再設定・再確認を実施する。

(1) 入力条件等の設定・確認

耐津波設計において必要となる入力条件等を下記 a. 及び b. のとおり設定し、確認する。設定・確認内容の詳細は下記 1) ～6) のとおりとする。

a. 図面等による入力条件等の調査及び設定

耐津波設計に係る各施設・設備について、設置箇所・寸法等を図面等で確認し、入力条件等を設定する。

b. 現場確認

各施設・設備について、設置箇所・寸法等が図面等と現場とで相違ないことを確認する。

1) 津波防護対象設備

津波防護対象設備が、想定している建屋及び区画以外に設置されていないことを確認する。

2) 外郭防護 1 (遡上波の地上部からの到達及び流入防止)

津波防護対象設備を設置している建屋及び区画が、基準津波による遡上波が到達しない敷地高さに設置されていること又は津波防護施設及び浸水防止設備を設置することにより流入の防止が図られていることを確認する。また、浸水対策が必要となる箇所の現場状況を確認する。

3) 外郭防護 1 (取水路・放水路等の経路からの流入防止)

取水路、放水路等の経路から津波が流入する可能性を検討し、流入経路を特定する。また、浸水対策が必要となる箇所の現場状況を確認する。

4) 外郭防護 2 (漏水による重要な安全機能への影響防止)

取水・放水施設や地下部等における漏水の可能性を検討する。また、浸水想定範囲の境界において浸水の可能性のある経路及び浸水口(扉、開口部、貫通口等)を特定する。浸水想定範囲内に津波防護対象設備がある場合は、その必要な機能に影響する閾値を設定する。浸水対策が必要となる箇所については、現場状況を確認する。

5) 内郭防護 (重要な安全機能を有する施設の隔離)

浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路及び浸水口(扉、開口部、貫通口)を特定する。また、浸水対策が必要となる箇所の現場状況を確認する。

6) 漂流物

遡上解析の結果を踏まえて、漂流物となる可能性のある施設・設備等を特定し、取水性に影響を与えないことを確認する。

(2) 耐津波設計の成立性の確認

上記(1)の設定・確認結果をもとに、耐津波設計の成立性に問題がないことを確認する。

必要に応じ、新たに浸水対策を実施

(3) 入力条件等の管理

設備改造等により耐津波設計の入力条件等が変更となる可能性がある場合は、必要に応じ上記(1)に戻り、再評価する。

第 3-1 図 入力条件等の設定プロセスフロー図