

柏崎刈羽原子力発電所 1号機及び5号機
「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」
の改訂に伴う耐震安全性評価

地震随伴事象に対する考慮
津波に対する安全性

平成21年12月8日
東京電力株式会社



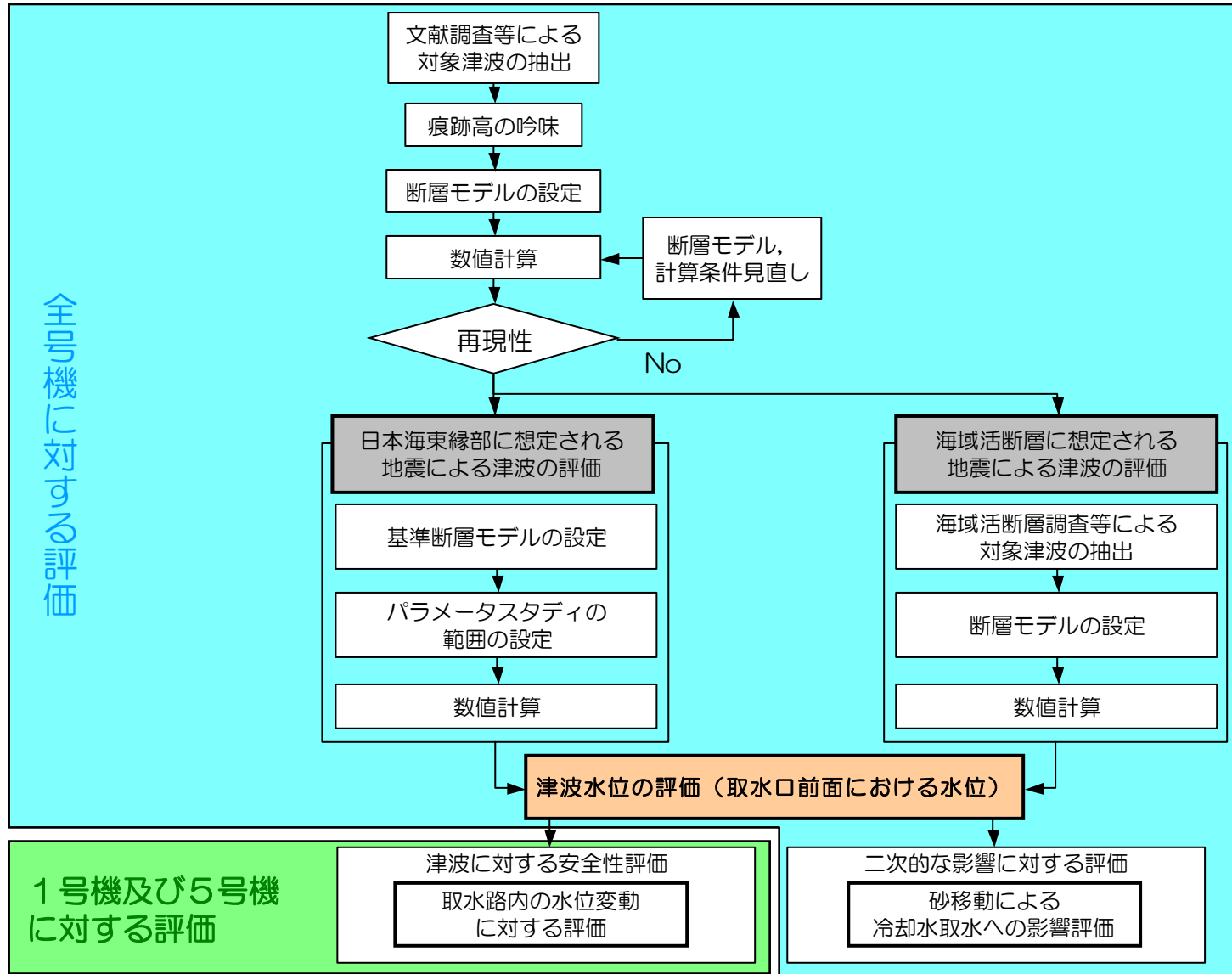
東京電力

1. 津波評価方針
2. 津波の想定及び数値シミュレーション
 - 2-1 解析条件
 - 2-2 既往津波の再現性検討
 - 2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討
 - 2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討
3. 津波に対する安全性評価
 - 3-1 津波による水位上昇及び水位低下に対する安全性
 - 3-2 取水施設の水理特性による水位変動への影響評価（1号機，5号機）
4. 二次的な影響に対する評価（砂移動）
5. 評価のまとめ

1. 津波評価方針
2. 津波の想定及び数値シミュレーション
 - 2-1 解析条件
 - 2-2 既往津波の再現性検討
 - 2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討
 - 2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討
3. 津波に対する安全性評価
 - 3-1 津波による水位上昇及び水位低下に対する安全性
 - 3-2 取水施設の水理特性による水位変動への影響評価（1号機，5号機）
4. 二次的な影響に対する評価（砂移動）
5. 評価のまとめ

1. 津波評価方針

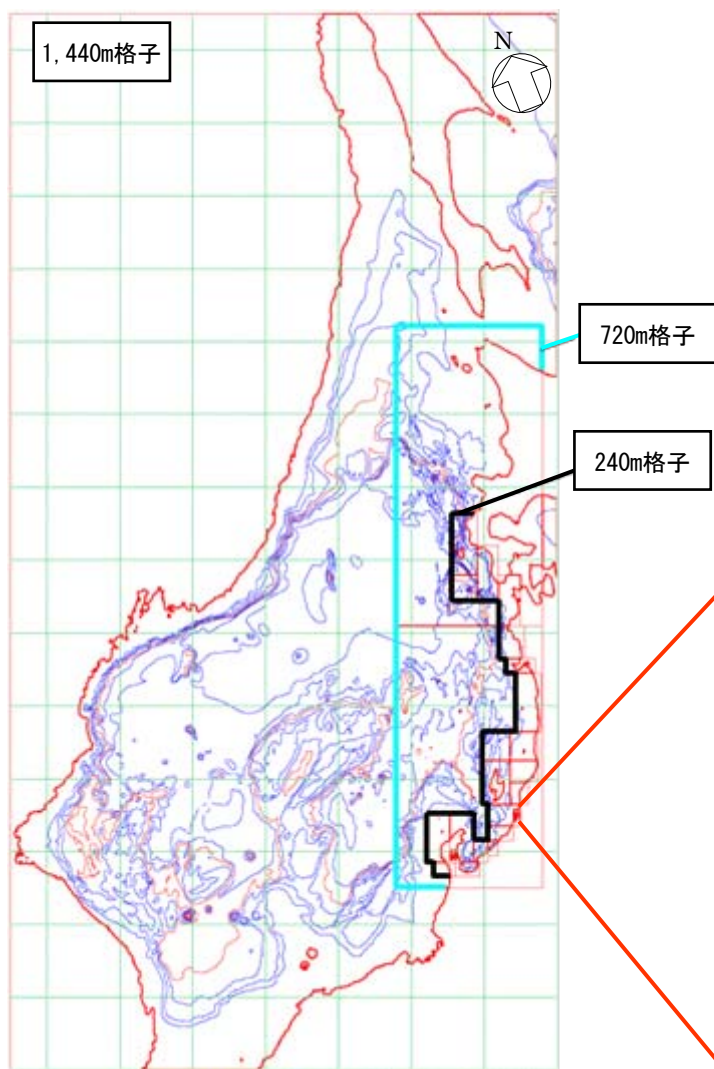
津波評価フロー



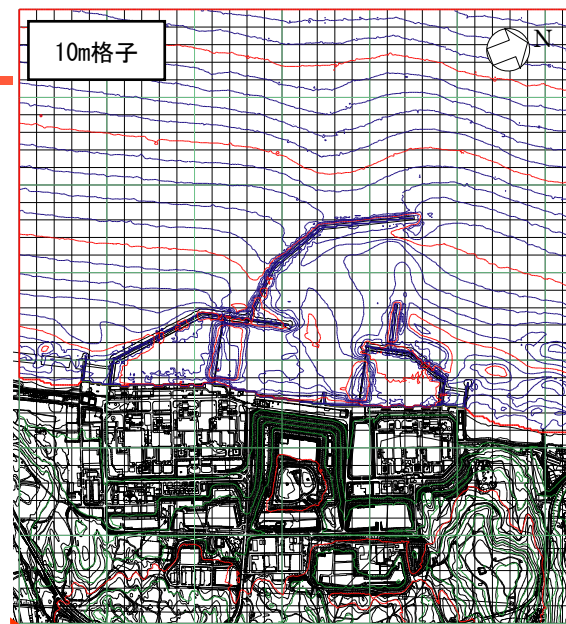
1. 津波評価方針
2. 津波の想定及び数値シミュレーション
 - 2-1 解析条件
 - 2-2 既往津波の再現性検討
 - 2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討
 - 2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討
3. 津波に対する安全性評価
 - 3-1 津波による水位上昇及び水位低下に対する安全性
 - 3-2 取水施設の水理特性による水位変動への影響評価（1号機，5号機）
4. 二次的な影響に対する評価
5. 評価のまとめ

2-1 解析条件

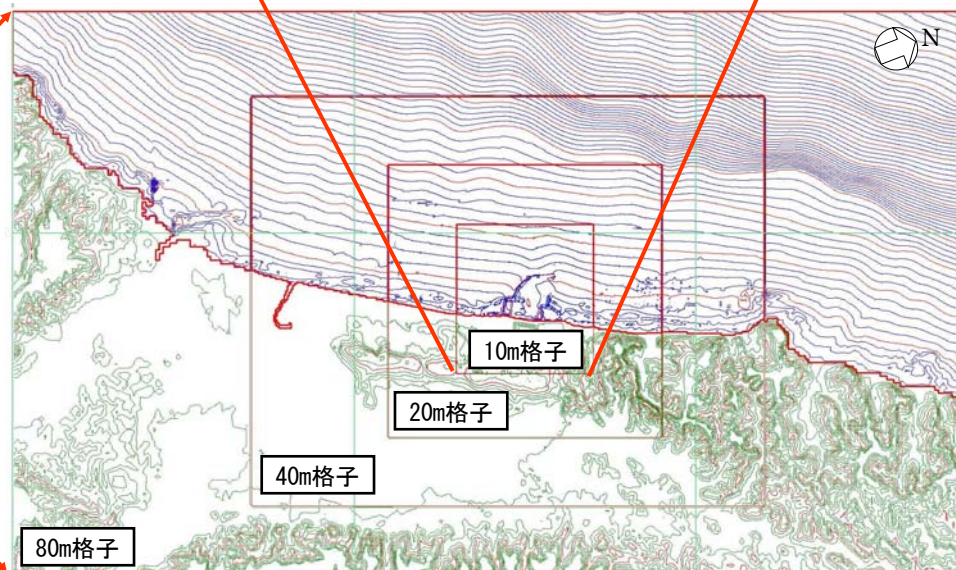
① 計算格子分割



計算格子分割と水深～全域
(水深コンター間隔：500m)



計算格子分割と水深～発電所近傍 (水深コンター間隔：1m)



計算格子分割と水深～発電所周辺 (水深コンター間隔：2m)

2-1 解析条件

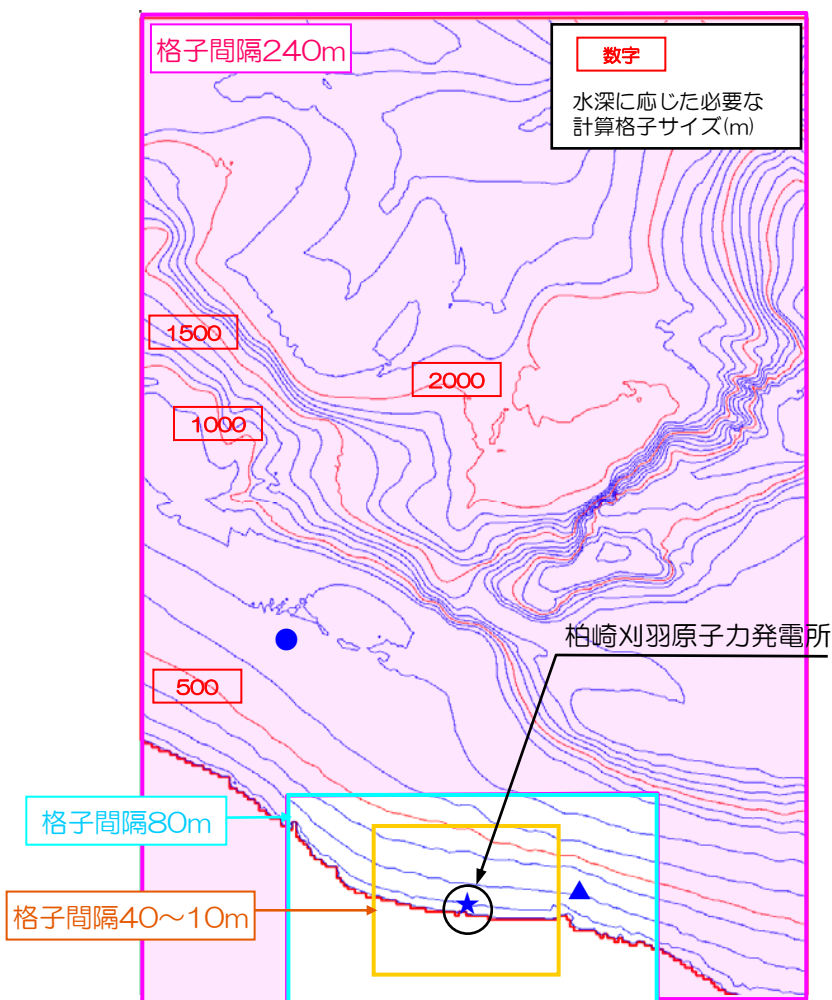
②各種条件

| 項目 | 計算条件 |
|---------------------|--|
| 計算時間間隔 | C.F.L条件を満たすように以下のとおりに設定 格子間隔 1,440m~240mの領域：0.5秒 格子間隔 80m~10mの領域：0.25秒 |
| 基礎方程式 及び数値計算スキーム | 非線形長波理論（浅水理論）に基づく後藤・小川(1982)の方法 |
| 沖側境界条件 | 後藤・小川(1982)の自由透過の条件 |
| 陸側境界条件 | ・敷地周辺（計算格子間隔80m~10m）の領域は小谷ほか(1998)の陸上遡上境界条件 ・それ以外は完全反射条件 |
| 越流境界条件 | 越流を本間公式(1940)や相田公式(1977)で考慮 |
| 初期条件 | Mansinha and Smylie(1971)の方法により海底面の鉛直変位分布を求めて初期水位として与えている |
| 海底摩擦係数 | マンニングの粗度係数 ($n=0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$) |
| 水平渦動粘性係数 | 考慮していない |
| 再現時間 | 港内での重複波の影響も考慮し、断層変位後4時間の計算を実施した。 |

2-1 解析条件

③計算格子モデルの妥当性検証

数値シミュレーションに用いた計算格子モデルが、必要な計算格子サイズの条件を満たしているかどうか、長谷川・首藤ほか(1987)の知見を元に確認を行った。



長谷川・首藤ほか(1987)提案の方法

計算格子間隔は津波の空間波形の1波長Lの1/20以下に設定すればよい

$$\Delta x \leq \frac{L}{20}$$

ここに、 Δx ：計算格子間隔
L：1波長

$$L = \sqrt{gh} \times T$$

g：重力加速度
h：水深
T：周期

*) ここでは波の周期を7分と仮定

計算例 (左図の各ポイント)

| ポイント | 水深 (m) | L (m) | L/20 (m) | 計算格子間隔 (m) | 比較 | 判定 |
|------|--------|--------|----------|------------|-----------|----|
| ● | 100 | 13,148 | 657 | 240 | 657 > 240 | ○ |
| ▲ | 10 | 4,157 | 207 | 80 | 207 > 80 | ○ |
| ★ | 6 | 3,220 | 161 | 10 | 161 > 10 | ○ |

設定した計算格子は、必要な計算格子サイズの条件を満たしていることを確認

1. 津波評価方針
2. 津波の想定及び数値シミュレーション
 - 2-1 解析条件
 - 2-2 既往津波の再現性検討
 - 2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討
 - 2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討
3. 津波に対する安全性評価
 - 3-1 津波による水位上昇及び水位低下に対する安全性
 - 3-2 取水施設の水理特性による水位変動への影響評価（1号機，5号機）
4. 二次的な影響に対する評価
5. 評価のまとめ

2-2 既往津波の再現性検討

敷地及び敷地近傍における津波の痕跡高及び検潮記録

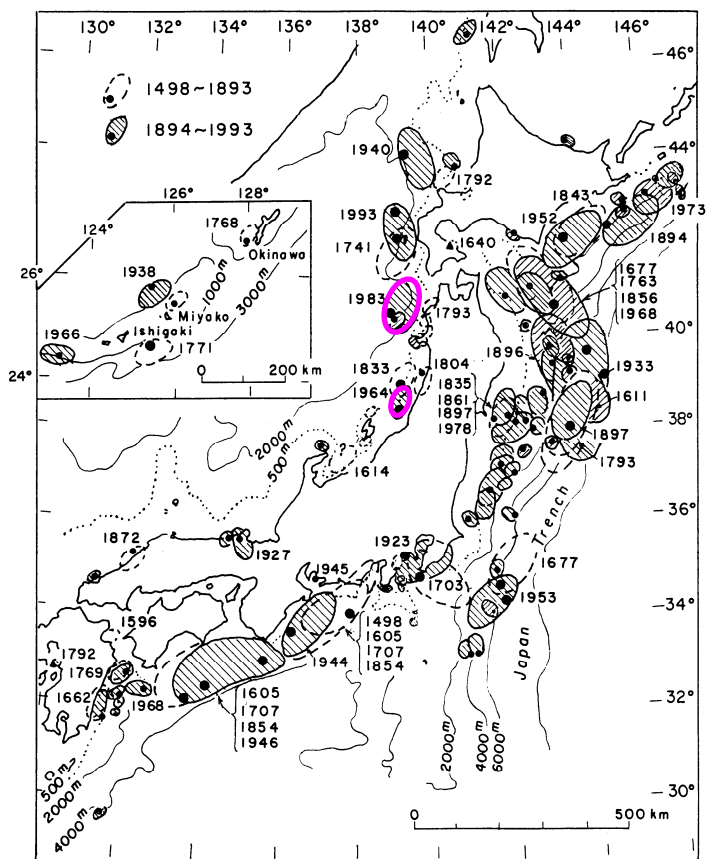
| 発生年月日 | 波源 | M | 痕跡高・検潮記録 | 備考 |
|-----------|----------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 1964/6/16 | 新潟地震 | 7.5 ^{*1)} | 敷地付近 1.2~1.5m | 土木学会(1966) 相田ほか(1964) |
| 1983/5/26 | 日本海中部地震 | 7.7 ^{*1)} | 敷地前面 0.6m | 気象庁(1984) |
| 1993/7/12 | 北海道南西沖地震 | 7.8 ^{*1)} | 敷地前面 0.93m | |
| 2007/7/16 | 新潟県中越沖地震 | 6.8 ^{*2)} | 港外海象計 最大上昇量：0.27m 最大下降量：0.44m | |

*1) 宇佐美(2003)による

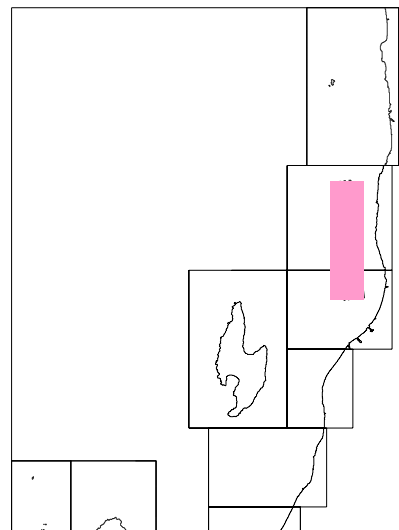
*2) 気象庁による

2-2 既往津波の再現性検討

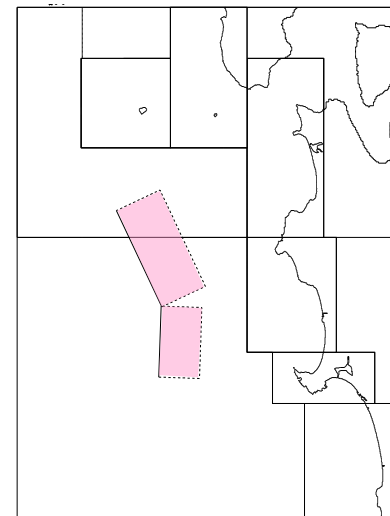
下記の津波のうち、痕跡高が比較的多く揃っており、震源が発電所敷地に近い1964年新潟地震津波、及び1983年日本海中部地震津波を対象に再現性を検証



日本近海で発生した津波の波源域分布
(羽鳥(1994)に一部加筆)



1964年新潟地震断層モデル



1983年日本海中部地震断層モデル

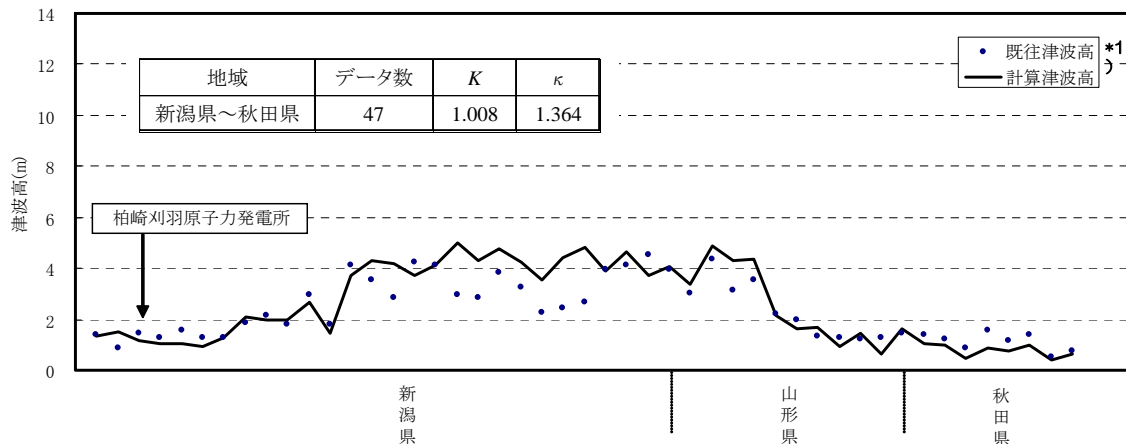
既往地震断層モデル諸元

| | Mw | 断層長 L(km) | 断層幅 W(km) | すべり量 D(m) | 断層上縁深さ d(km) | 走向 $\theta(^{\circ})$ | 傾斜角 $\delta(^{\circ})$ | すべり角 $\lambda(^{\circ})$ | 備考 |
|--------------|------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1964年新潟地震 | 7.43 | 65 | 20 | 3.85 | 0 | 194 | 56 | 90 | 東電 オリジナル モデル |
| 1983年日本海中部地震 | 7.74 | 40 | 30 | 7.60 | 2 | 22 | 40 | 90 | 相田 (1984) Model-10 |
| | | 60 | 30 | 3.05 | 3 | 355 | 25 | 80 | |

2-2 既往津波の再現性検討

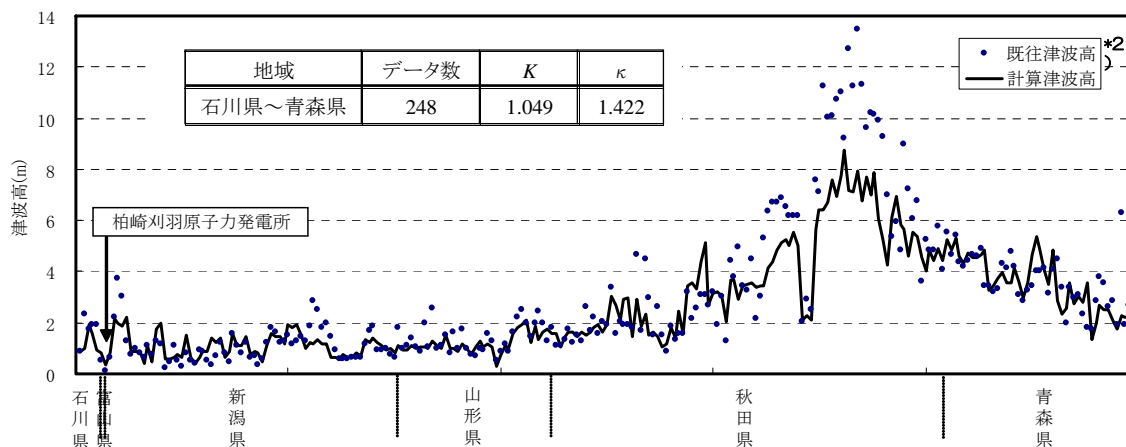
痕跡高と計算値との比較

1964年 新潟地震



*1) 既往痕跡高は、相田ほか(1964), 土木学会(1966)による

1983年 日本海中部地震



*2) 既往痕跡高は、首藤ほか(1984), 気象庁(1984), 土木学会(1986)による

既往津波の痕跡高を用いた再現性評価の指標 (土木学会(2002))

相田(1977)の痕跡高と計算値の空間的な適合度を示す指標Kとκが下記条件を満たすことを目安とする

$0.95 < K < 1.05$ かつ $\kappa < 1.45$

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log K_i$$

$$\log \kappa = \left[\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - n(\log K)^2 \right\} \right]^{1/2}$$

ここに、K：幾何平均

κ：幾何標準偏差

n：地点数

$K_i = R_i / H_i$

R_i ：i番目の地点での痕跡高

H_i ：i番目の地点での計算高

既往津波の再現性を検証した結果、いずれの津波に対しても再現性評価の指標が適合度を満たしていることを確認

⇒ 計算格子モデルを含む、数値シミュレーションモデル及び計算手法は妥当

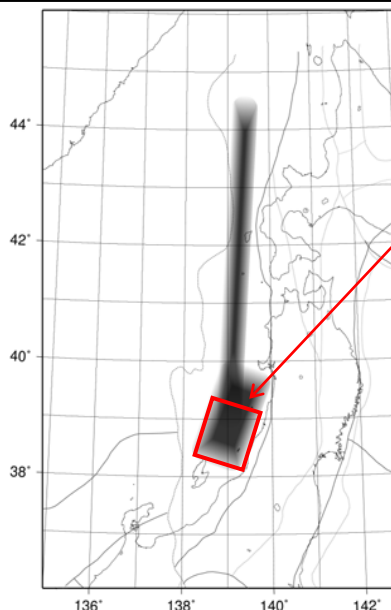
1. 津波評価方針
2. 津波の想定及び数値シミュレーション
 - 2-1 解析条件
 - 2-2 既往津波の再現性検討
 - 2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討
 - 2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討
3. 津波に対する安全性評価
 - 3-1 津波による水位上昇及び水位低下に対する安全性
 - 3-2 取水施設の水理特性による水位変動への影響評価（1号機，5号機）
4. 二次的な影響に対する評価
5. 評価のまとめ

2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の評価方針

- 土木学会(2002)に示される日本海東縁部に想定される地震の基準断層モデルによるパラメータスタディを実施
- 地点への影響を考慮して、土木学会(2002)に示される地震活動域のうち、新潟～山形沖の領域を対象
- モーメントマグニチュード (M_w) は1993年北海道南西沖地震の津波を再現するモデルの $M_w 7.84$ を下回らないよう $M_w=7.85$ に設定
- パラメータスタディは概略検討用の計算格子モデル(最小計算格子=40m)により実施し、抽出した最高水位、最低水位を示すモデルについてのみ本検討用の計算格子モデル(最小計算格子=10m)による数値シミュレーションを実施する

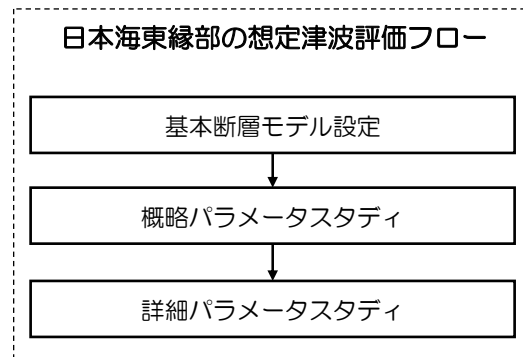
①基準断層モデルの設定



断層設定領域
(新潟～山形沖の領域)

日本海東縁部の地震活動域
(土木学会(2002))

日本海東縁部の想定津波評価フロー



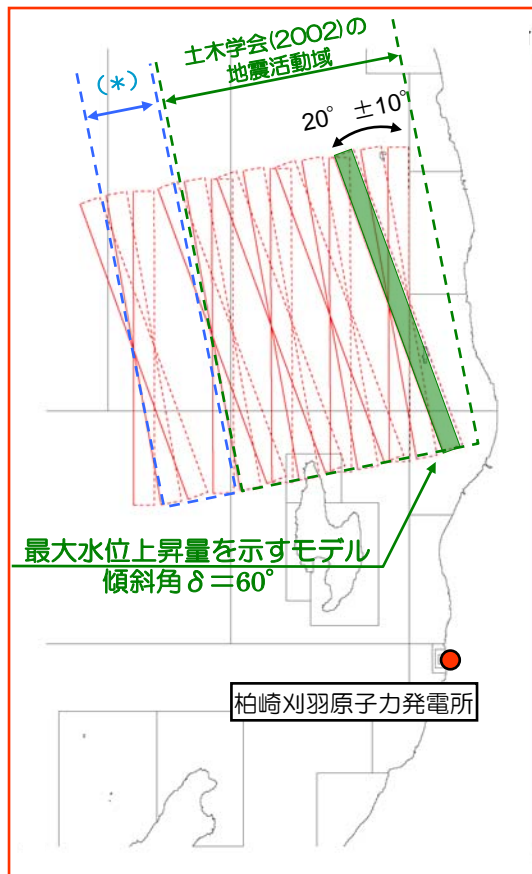
日本海東縁部に想定される地震の基準断層モデル諸元

| | M_w | 断層長 L(km) | 断層幅 W(km) | すべり量 D(m) | 断層上縁深さ d(km) | 走向 $\theta(^{\circ})$ | 傾斜角 $\delta(^{\circ})$ | すべり角 $\lambda(^{\circ})$ |
|-------|-------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 高角モデル | 7.85 | 131.1 | 17.3 | 9.44 | 0 | 20・200 | 60 | 90 |
| 低角モデル | 7.85 | 131.1 | 30.0 | 5.45 | 0 | 20・200 | 30 | 90 |

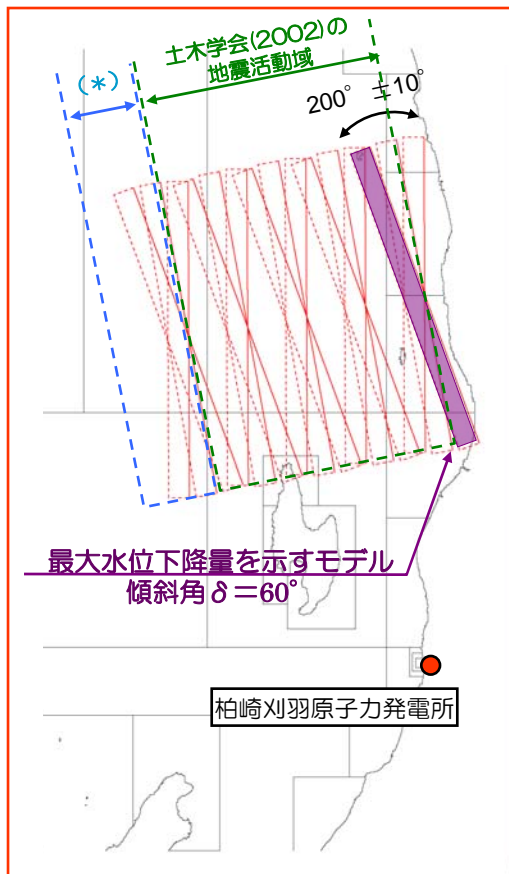
2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

②概略パラメータスタディ

基本断層モデルについて、「位置」、「走向」、「傾斜角」、及び「傾斜方向」を変化させた概略パラメータスタディを実施



東傾斜モデルのパラメータスタディ
(走向=20°)

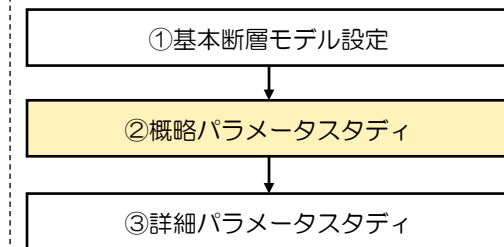


西傾斜モデルのパラメータスタディ
(走向=200°)

概略パラメータスタディ検討内容

| 諸元 | パラメータ設定範囲 | ケース数 |
|--------------|------------------------------------|------|
| 位置 | 新潟～山形沖の活動域に東西方向約25km間隔を基本に設定 | 5 |
| 走向 θ | 基準, 基準 $\pm 10^\circ$ | 3 |
| 傾斜角 δ | 高角(60°), 低角(30°) | 2 |
| 傾斜方向 | 東傾斜, 西傾斜 | 2 |
| 組合せ計 | | 60 |

日本海東縁部の想定津波評価フロー

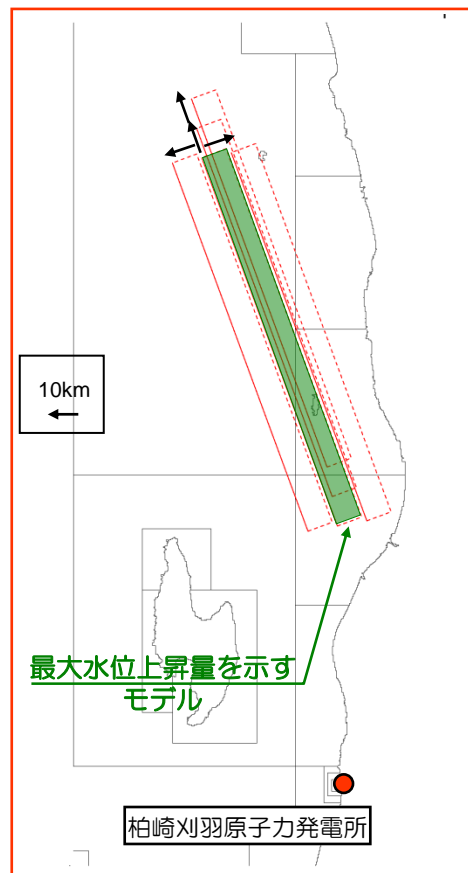


(*) 地震調査研究推進本部(2003)による日本海東縁部の長期評価に示される地震活動域で、土木学会(2002)に示される範囲を超える部分

2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

③詳細パラメータスタディ

- 概略パラメータスタディで最大水位上昇量，最大水位下降量を示すモデルを抽出
- 抽出したモデルの「位置」を変化させてパラメータスタディを実施してさらに最大水位上昇量，最大水位下降量示すモデルを抽出
- 抽出したモデルの「断層上縁深さ」，「傾斜角」を変化させた詳細パラメータスタディを実施



最大水位上昇量モデルのパラメータスタディ



最大水位下降量モデルのパラメータスタディ

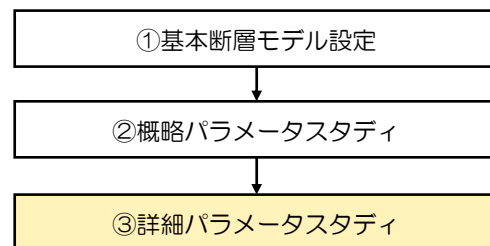
詳細パラメータスタディ検討内容

| 諸元 | パラメータ設定範囲 | ケース数 |
|----|------------------------------|------|
| 位置 | 最大水位上昇量(下降量)モデルを基準に10km単位で移動 | 5 |

↓
最大水位上昇量(下降量)を示すモデルに対して以下のパラメータスタディ実施

| | | |
|--------------|-----------------|----|
| 断層上縁深さd | 0, 2.5km, 5.0km | 3 |
| 傾斜角 δ | 60°, 52.5°, 45° | 3 |
| 組合せ計 | | 14 |

日本海東縁部の想定津波評価フロー



2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

②数値シミュレーション結果

詳細パラメータスタディで抽出した最大水位上昇量，最大水位下降量を示す断層モデルと数値シミュレーション結果は以下のとおり

最大水位上昇量，最大水位下降量を示す断層モデル

| | 断層長 L(km) | 断層幅 W(km) | すべり量 D(m) | 断層上縁深さ d(km) | 走向 $\theta(^{\circ})$ | 傾斜角 $\delta(^{\circ})$ | すべり角 $\lambda(^{\circ})$ |
|------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 最大水位上昇量モデル | 131.1 | 17.3 | 9.44 | 2.5 | 10 | 60 | 90 |
| 最大水位下降量モデル | 131.1 | 17.3 | 9.44 | 2.5 | 190 | 60 | 90 |

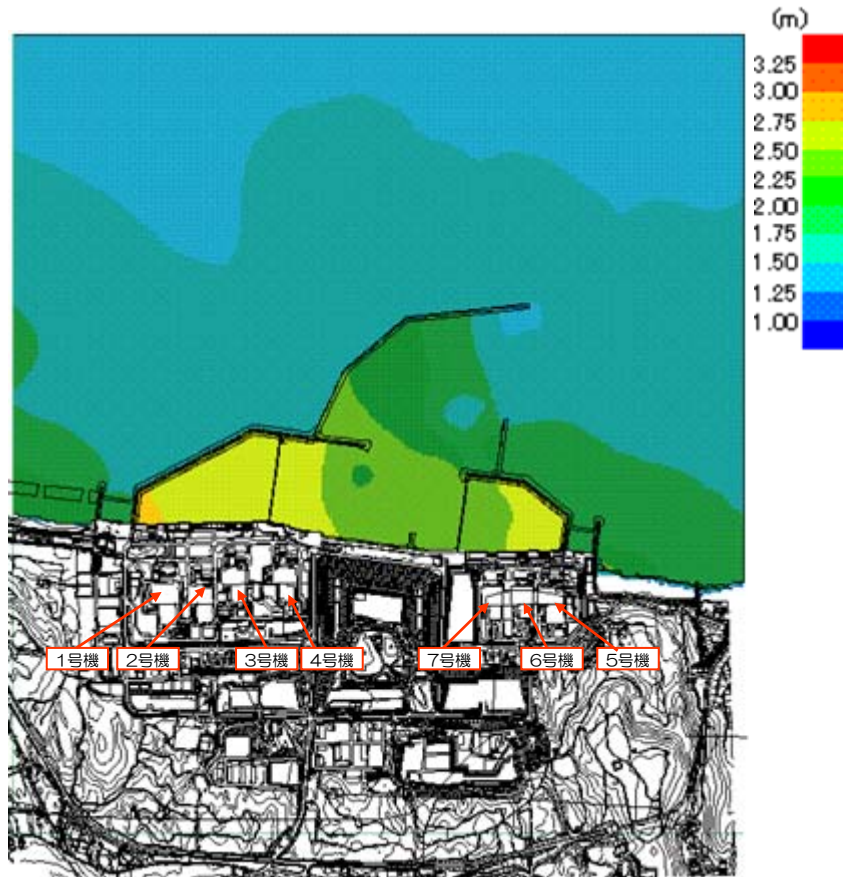
日本海東縁部の想定津波による水位（取水口前面）

（単位：m）

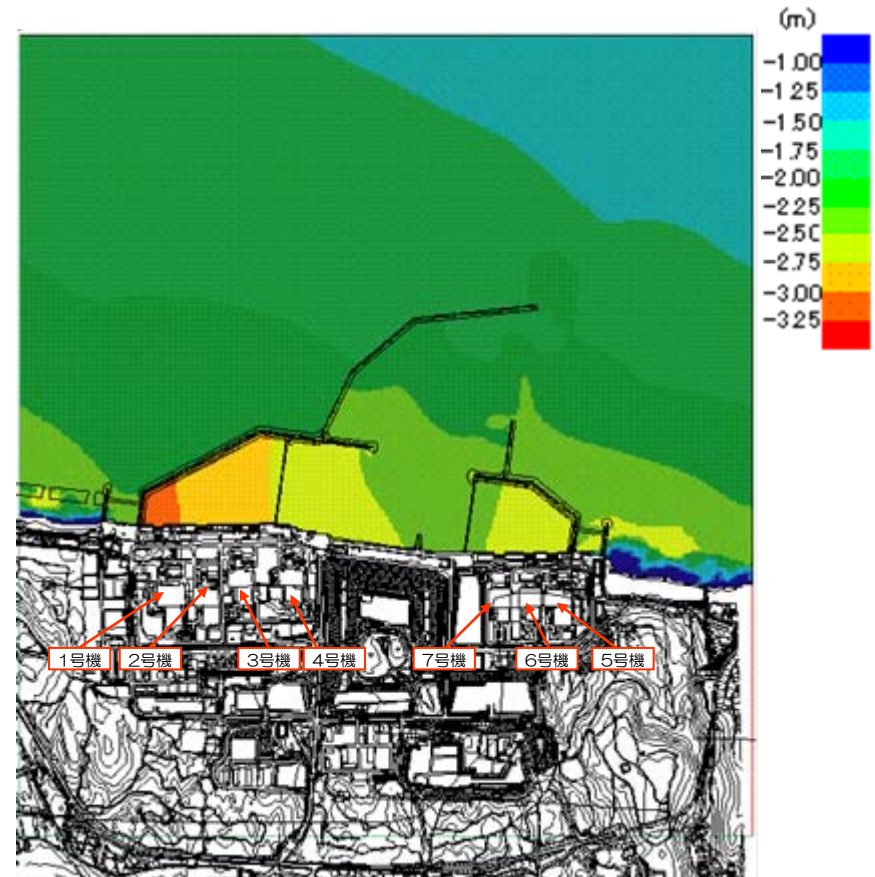
| プラント | 最大水位上昇量 | 最大水位下降量 |
|------|---------|---------|
| 1号機 | +2.76 | -3.05 |
| 2号機 | +2.73 | -2.95 |
| 3号機 | +2.70 | -2.85 |
| 4号機 | +2.68 | -2.81 |
| 5号機 | +2.57 | -2.60 |
| 6号機 | +2.54 | -2.60 |
| 7号機 | +2.46 | -2.54 |

2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

②数値シミュレーション結果



最大水位上昇量分布図



最大水位下降量分布図

1. 津波評価方針
2. 津波の想定及び数値シミュレーション
 - 2-1 解析条件
 - 2-2 既往津波の再現性検討
 - 2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討
 - 2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討
3. 津波に対する安全性評価
 - 3-1 津波による水位上昇及び水位低下に対する安全性
 - 3-2 取水施設の水理特性による水位変動への影響評価（1号機，5号機）
4. 二次的な影響に対する評価
5. 評価のまとめ

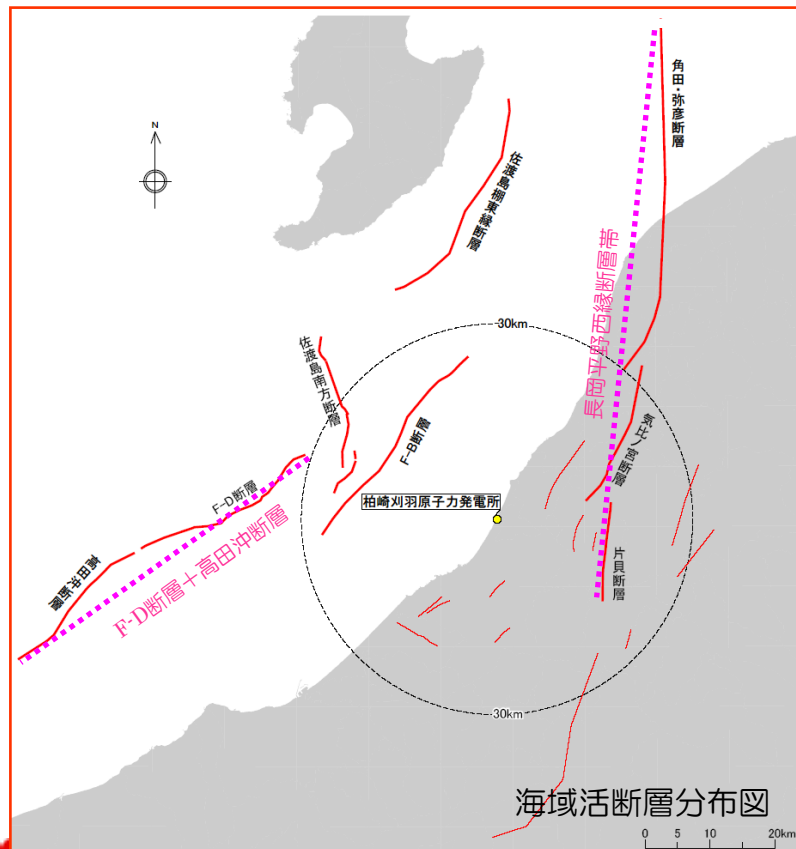
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

海域活断層に想定される地震に伴う津波の評価方針

- 2007年7月16日の新潟県中越沖地震発生後，発電所敷地前面海域において海上音波探査および海底地形調査などを実施した結果と，既往の調査結果（他機関の調査結果を含む）を基に敷地前面海域における海域活断層を再評価
- 敷地周辺において地震動評価において考慮すべき海域活断層について数値シミュレーションを実施
- 土木学会(2002)の方法によりすべり量が一般的な矩形断層モデルを適用

基準断層モデル

海域活断層の基準断層モデル諸元



| | 断層長 L(km) | 断層幅 W(km) | すべり量 D(m) | 断層上縁深さ d(km) | 走向 $\theta(^{\circ})$ | 傾斜角 $\delta(^{\circ})$ | すべり角 $\lambda(^{\circ})$ |
|---|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 佐渡島棚東縁断層 | 37 | 18.3 | 2.52 | 0 | 209 | 55 | 90 |
| F-D断層 | 36 | 24.0 | 1.72 | 0 | 39 | 35 | 90 |
| 佐渡島南方断層 | 29 | 19.3 | 1.70 | 0 | 0 | 45 | 62 |
| F-D断層+高田冲断層*1) | 55 | 26.2 | 2.62 | 0 | 55 | 35 | 96 |
| 長岡平野西縁断層帯*2) ($\delta=35^{\circ}$) | 91 | 26.2 | 4.34 | 0 | 187 | 35 | 72 |
| 長岡平野西縁断層帯*2) ($\delta=50^{\circ}$) | 91 | 19.6 | 5.80 | 0 | 187 | 50 | 72 |

*1) : F-D断層+高田冲断層：F-D断層と高田冲断層について安全評価上，同時活動を考慮したもの

*2) : 長岡平野西縁断層帯：角田・弥彦断層，気比ノ宮断層，および片貝断層の3つの断層について，安全評価上，同時活動を考慮したもの

2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

海域活断層モデルの数値シミュレーション結果

海域活断層による取水口前面における水位 (赤字：各号機の最大)

(単位：m)

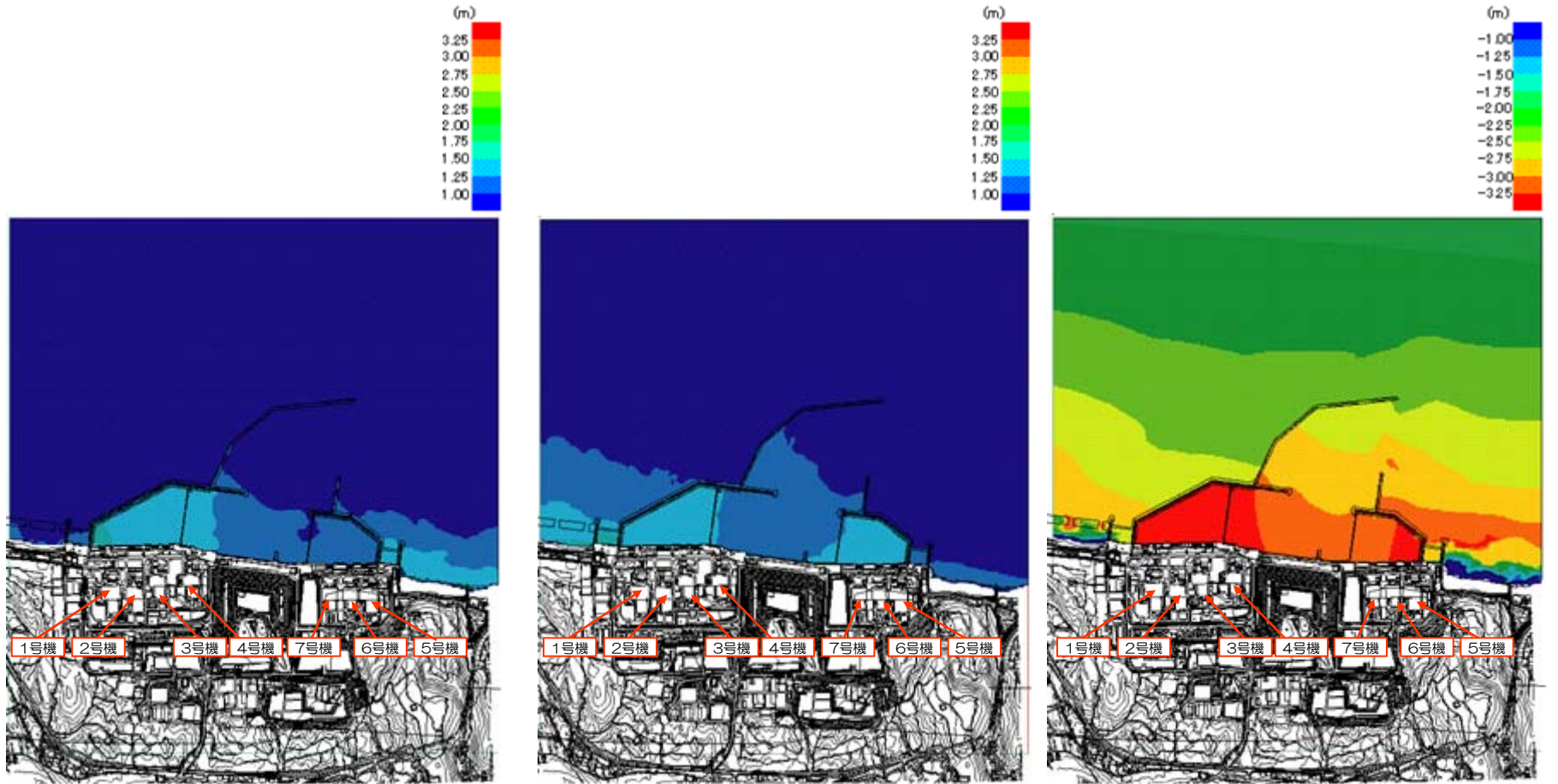
| プラント | 佐渡島棚東縁断層 | | F-B断層 | | 佐渡島南方断層 | | F-D断層+高田沖断層 | | 長岡平野西縁断層帯 (δ=35°) | | 長岡平野西縁断層帯 (δ=50°) | |
|------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------------|--------------|-------------------|-------------|
| | 最大水位 上昇量 | 最大水位 下降量 | 最大水位 上昇量 | 最大水位 下降量 | 最大水位 上昇量 | 最大水位 下降量 | 最大水位 上昇量 | 最大水位 下降量 | 最大水位 上昇量 | 最大水位 下降量 | 最大水位 上昇量 | 最大水位 下降量 |
| 1号機 | +1.57 | -1.39 | +1.33 | -2.35 | +1.17 | -1.05 | +1.41 | -1.69 | +0.60 | -3.48 | +1.28 | -3.32 |
| 2号機 | +1.47 | -1.34 | +1.24 | -2.26 | +1.07 | -1.03 | +1.36 | -1.63 | +0.57 | -3.45 | +1.25 | -3.23 |
| 3号機 | +1.44 | -1.31 | +1.18 | -2.15 | +0.99 | -0.97 | +1.32 | -1.51 | +0.55 | -3.42 | +1.19 | -3.15 |
| 4号機 | +1.45 | -1.28 | +1.15 | -2.09 | +0.94 | -0.98 | +1.29 | -1.44 | +0.53 | -3.39 | +1.15 | -3.11 |
| 5号機 | +1.11 | -1.15 | +1.08 | -2.10 | +0.82 | -0.88 | +1.42 | -1.11 | +0.47 | -3.31 | +1.04 | -3.07 |
| 6号機 | +1.06 | -1.15 | +1.05 | -2.10 | +0.79 | -0.88 | +1.39 | -1.12 | +0.47 | -3.27 | +1.04 | -3.05 |
| 7号機 | +1.07 | -1.09 | +1.01 | -2.05 | +0.74 | -0.84 | +1.35 | -1.10 | +0.45 | -3.21 | +1.03 | -3.01 |



- 海域活断層による津波水位のうち、最大水位上昇量は日本海東縁部の津波水位を下回る
- 海域活断層による津波水位のうち、最大水位下降量は日本海東縁部の津波水位を上回る

2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

海域活断層モデルの数値シミュレーション結果



最大水位上昇量分布図 (1~4号機)

— 佐渡島棚東縁断層 —

最大水位上昇量分布図 (5~7号機)

— F-D断層+高田沖断層 —

最大水位下降量分布図

— 長岡平野西縁断層帯($\delta=35^\circ$) —

1. 津波評価方針
2. 津波の想定及び数値シミュレーション
 - 2-1 解析条件
 - 2-2 既往津波の再現性検討
 - 2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討
 - 2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討
3. 津波に対する安全性評価
 - 3-1 津波による水位上昇及び水位低下に対する安全性
 - 3-2 取水施設の水理特性による水位変動への影響評価（1号機，5号機）
4. 二次的な影響に対する評価
5. 評価のまとめ

3-1 津波の上昇水位及び下降水位に対する安全性

- 最大水位上昇量は、日本海東縁部の想定津波による+2.76m~+2.46mであり、朔望平均満潮位（H.W.L.=T.M.S.L.+0.48m）を考慮すると、評価用の最高水位は T.M.S.L.+3.3m~+3.0m程度

⇒原子炉建屋等の重要施設の設置レベル（1~4号機：T.M.S.L.+5.0m，5~7号機：T.M.S.L.+12.0m）まで到達しない
- 最大水位下降量は、海域活断層のうち長岡平野西縁断層帯（ $\delta=35^\circ$ ）による津波の-3.48m~-3.21mであり、朔望平均干潮位（L.W.L.=T.M.S.L.-0.02m）を考慮すると、評価用の最低水位は T.M.S.L.-3.5m~-3.3m程度

⇒原子炉補機冷却海水ポンプの設計最低水位（T.M.S.L.-5.24m~-4.22m）を下回らず、原子炉補機冷却系の海水を取水することは可能

取水口前面における津波水位

| | 日本海東縁部 | 海域活断層 |
|------|---|---|
| 最高水位 | T.M.S.L.+3.3m~+3.0m (1号機：T.M.S.L.+3.3m) (5号機：T.M.S.L.+3.1m) | T.M.S.L.+2.1m~+1.9m (1号機：T.M.S.L.+2.1m) (5号機：T.M.S.L.+1.9m) |
| 最低水位 | T.M.S.L.-3.1m~-2.6m (1号機：T.M.S.L.-3.1m) (5号機：T.M.S.L.-2.7m) | T.M.S.L.-3.5m~-3.3m (1号機：T.M.S.L.-3.5m) (5号機：T.M.S.L.-3.4m) |

1. 津波評価方針
2. 津波の想定及び数値シミュレーション
 - 2-1 解析条件
 - 2-2 既往津波の再現性検討
 - 2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討
 - 2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討
3. 津波に対する安全性評価
 - 3-1 津波による水位上昇及び水位低下に対する安全性
 - 3-2 取水施設の水理特性による水位変動への影響評価（1号機，5号機）
4. 二次的な影響に対する評価（砂移動）
5. 評価のまとめ

3-2 取水設備の水理特性による水位変動の影響評価

- 1号機及び5号機の取水口前面における津波による水位時刻歴を入力値として、取水路の水理特性を考慮した応答解析を実施し、原子炉補機冷却海水ポンプの取水への影響を検討
- 対象津波は、取水口前面において最低水位を示す長岡平野西縁断層帯(δ=35°)による想定津波

水位変動の解析条件

| 項目 | 計算条件 | |
|------------------------|--|---|
| | 1号機 | 5号機 |
| 計算領域 | 補機取水路取水口～補機取水路～スクリーン室 ～補機海水ポンプ室※ ※1号機は補機系取水路独立 | 取水口～スクリーン室～取水路～取水ピット 取水路分岐～補機取水路 |
| 計算時間間隔 | 0.005sec | |
| 基礎方程式 | 非正常管路及び開水路流れの連続式及び運動方程式 | |
| 取水量 | 補機冷却海水ホ [°] ソ [°] (SW)：3000 (m ³ /h/台)×4 台 残留熱除去海水ホ [°] ソ [°] (RHSW)：2300 (m ³ /h/台)×4 台 高圧炉心ス [°] レ [°] イ [°] セ [°] ル補機冷却海水ホ [°] ソ [°] (HPSW) ：500 (m ³ /h/台)×1 台 | 循環水ホ [°] ソ [°] (CWP)：停止 原子炉補機冷却海水ホ [°] ソ [°] (RSW)：2,500 (m ³ /h/台)×4 台 タービン補機冷却海水ホ [°] ソ [°] (TSW)：2,700 (m ³ /h/台)×3 台 高圧炉心ス [°] レ [°] イ [°] セ [°] ル補機冷却海水ホ [°] ソ [°] (HPSW) ：400 (m ³ /h/台)×1 台 |
| 摩擦損失係数 (マンニングの粗度係数) | マンニングの粗度係数 (n=0.02m ^{-1/3} s) | |
| 局所損失係数 | 電力土木技術協会(1995), 千秋(1967), 及び土木学会(1999)による | |
| 貝の付着代 | 貝代10cmを考慮 | |
| 初期水位 | 下降側：L.W.L.(=T.M.S.L.-0.02m) | |
| 計算時間間隔 | 断層変位後4時間 | |

開水路の連続式と運動方程式

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

管路の連続式と運動方程式

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

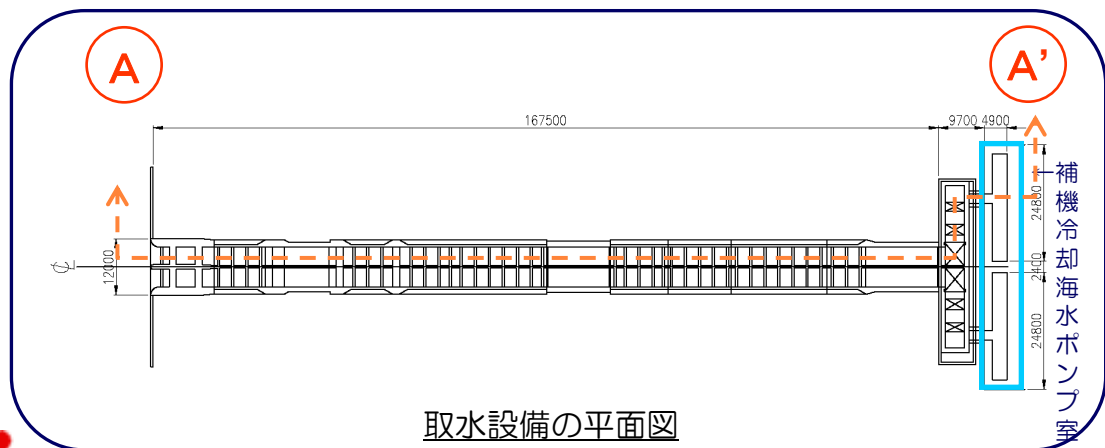
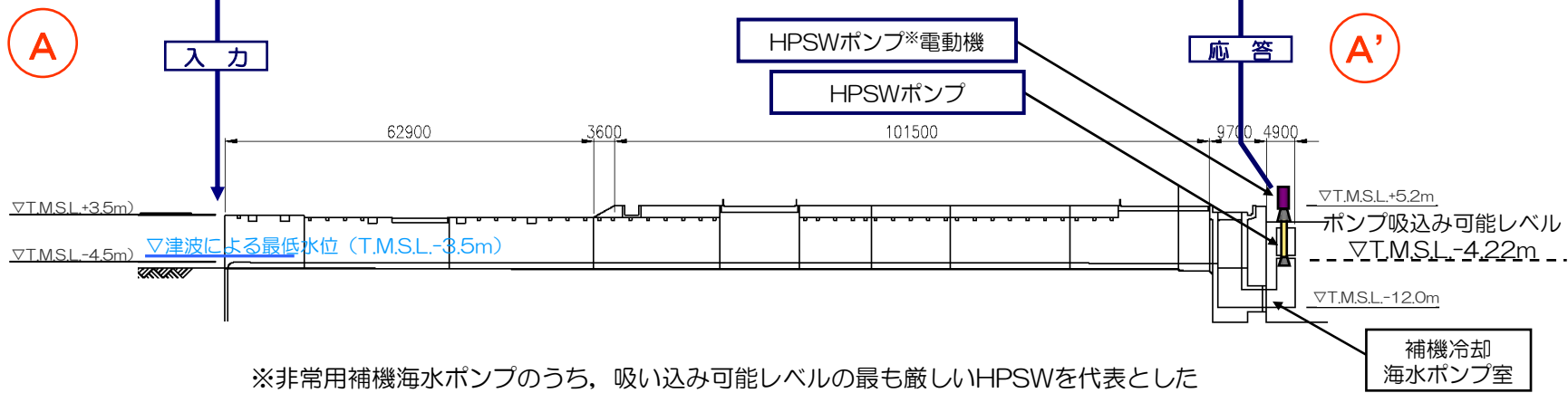
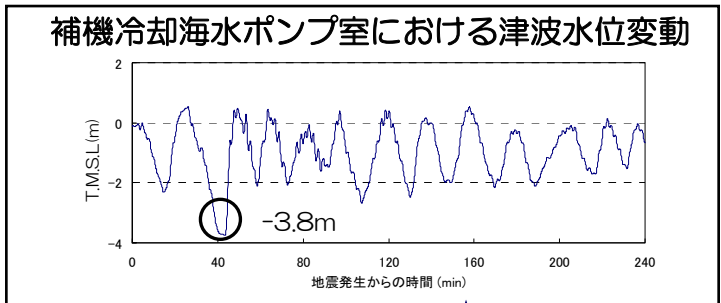
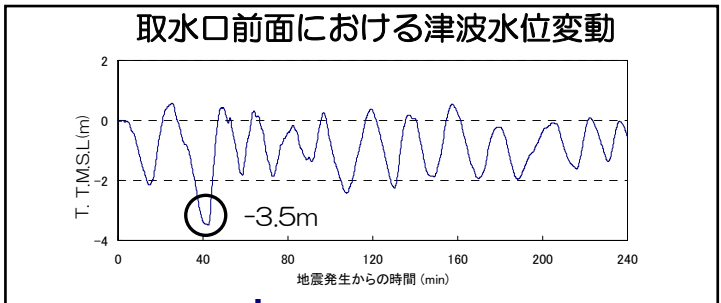
ここに、 t ：時間(s), Q ：流量(m³/s), v ：流速(=Q/A) (m/s)
 x ：管底に沿った座標(m), A ：流水断面積(m²/s)
 H ：圧力水頭+位置水頭(管路の場合), 位置水頭(開水路の場合) (m)
 z ：管底高(m), g ：重力加速度(m/s²)
 n ：マンニングの粗度係数(m^{-1/3}s)
 R ：径深(m), Δx ：管路の流れ方向の長さ(m), f ：局所損失係数

水槽および立坑部

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

ここに、 A_p ：水槽の平面積(水位の関数となる) (m²/s)
 H_p ：水槽水位(m)
 Q_s ：水槽へ流入する流量の総和(m³/s), t ：時間(s)

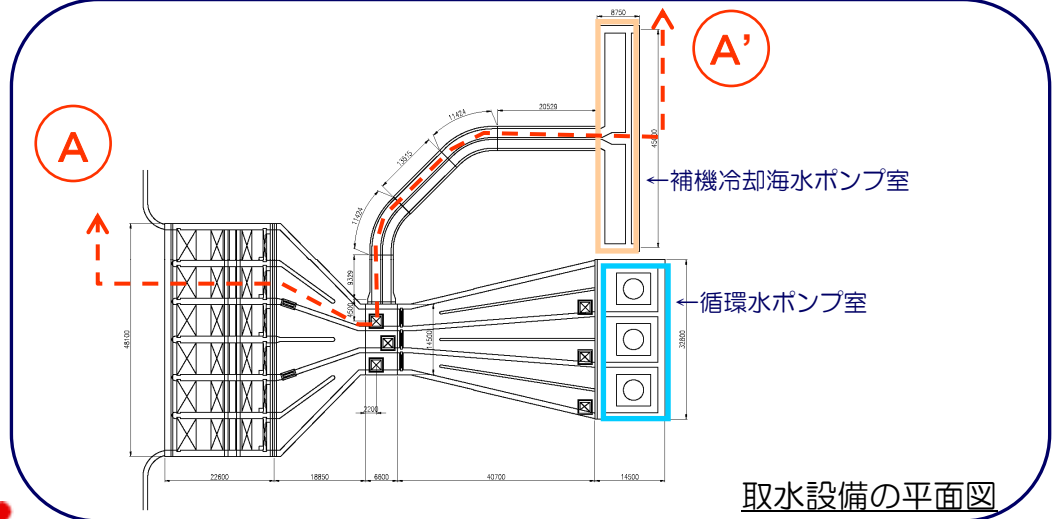
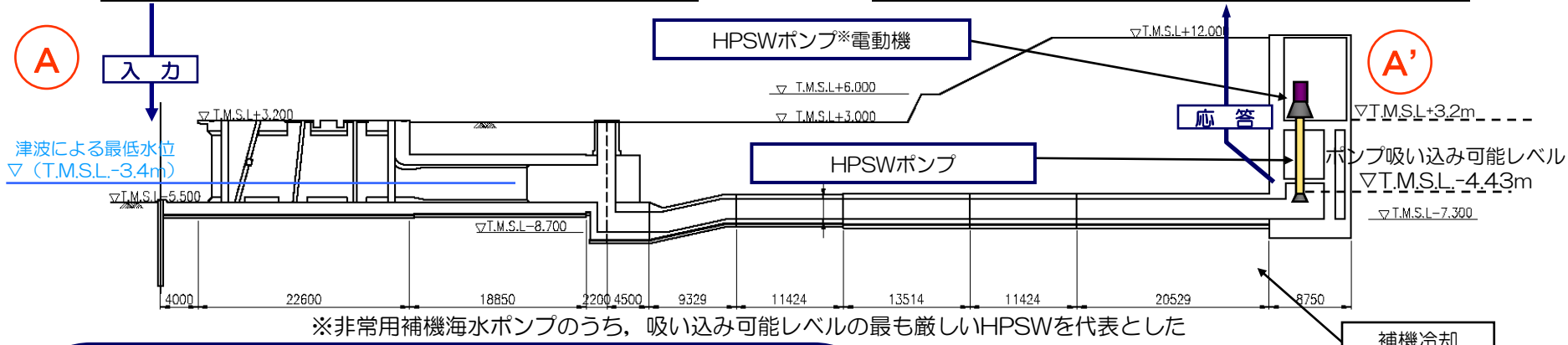
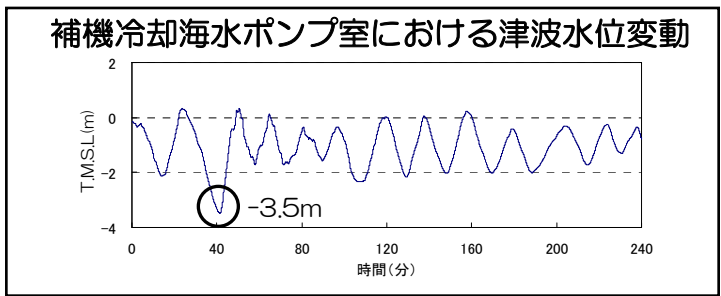
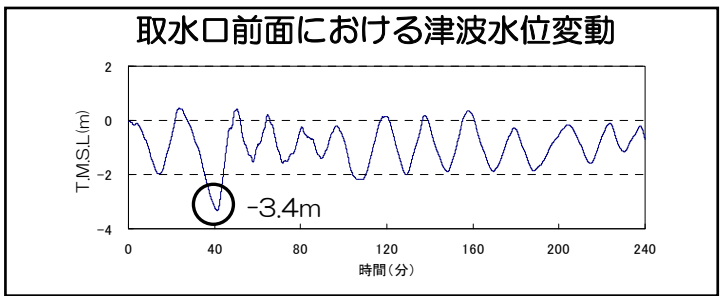
3-2 取水設備の水理特性による水位変動の影響評価（1号機）



取水設備の断面図（A-A' 断面）

海水ポンプ室内の最低水位は、T.M.S.L.-3.8m程度であり、補機冷却海水ポンプの取水に影響はない

3-2 取水設備の水理特性による水位変動の影響評価（5号機）



取水設備の断面図（A-A' 断面）

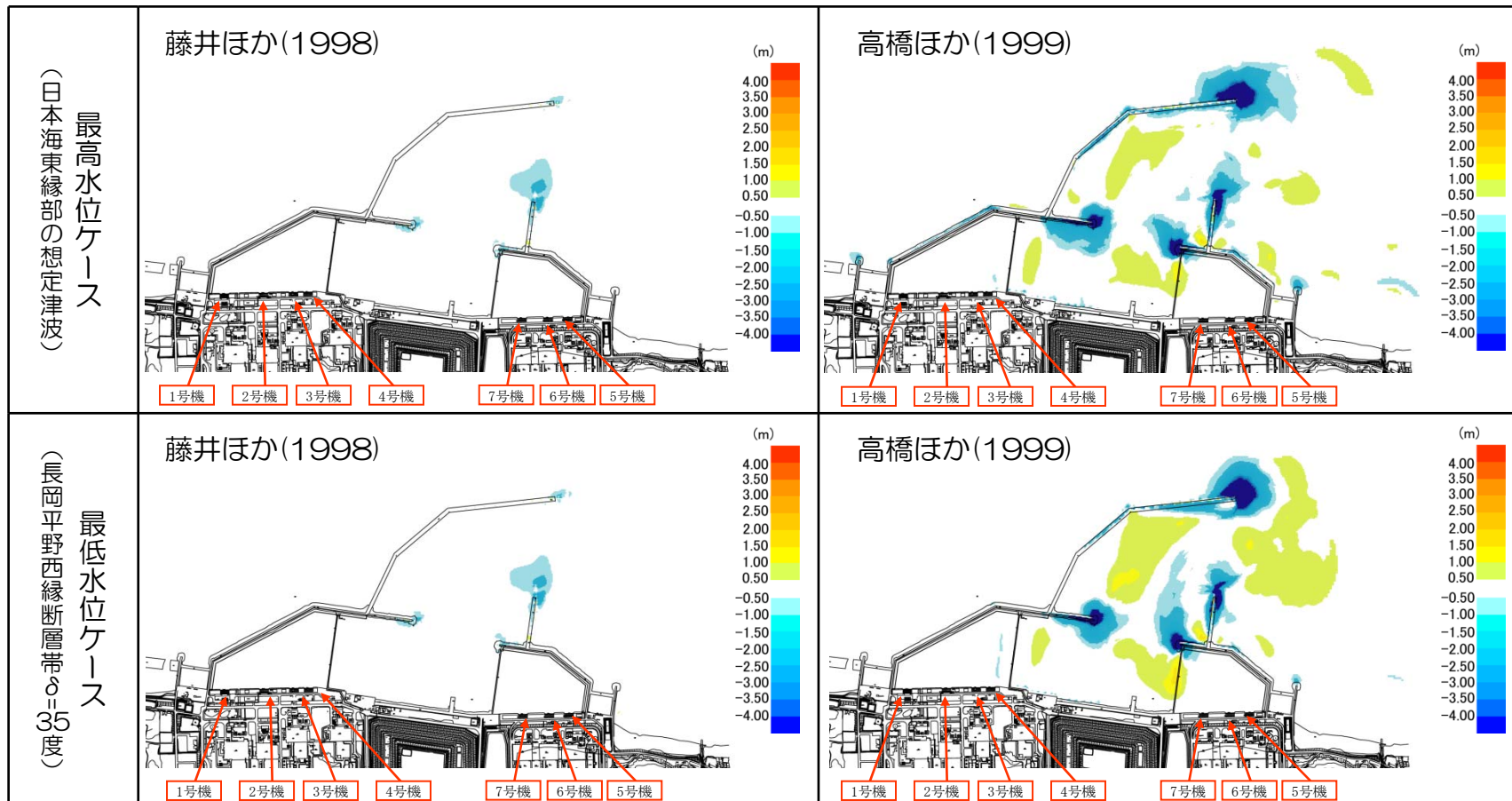
海水ポンプ室内の最低水位は、T.M.S.L.-3.5mであり、補機冷却海水ポンプの取水に影響はない

1. 津波評価方針
2. 津波の想定及び数値シミュレーション
 - 2-1 解析条件
 - 2-2 既往津波の再現性検討
 - 2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討
 - 2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討
3. 津波に対する安全性評価
 - 3-1 津波による水位上昇及び水位低下に対する安全性
 - 3-2 取水施設の水理特性による水位変動への影響評価（1号機，5号機）
4. 二次的な影響に対する評価（砂移動）
5. 評価のまとめ

4. 二次的な影響に対する評価（砂移動）

- 津波による砂移動の取水への影響について検討を実施
- 数値シミュレーションは、藤井ほか(1998) , 及び高橋ほか(1999)の手法による
- いずれの手法も浮遊砂濃度の上限値を1%に設定
- 対象津波は、取水口前面において最高水位を示す日本海東縁部の想定津波と、最低水位を示す長岡平野西縁断層帯($\delta = 35^\circ$)による想定津波

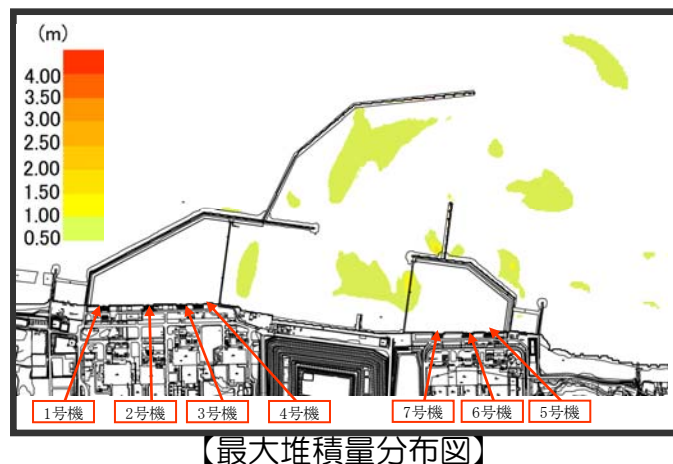
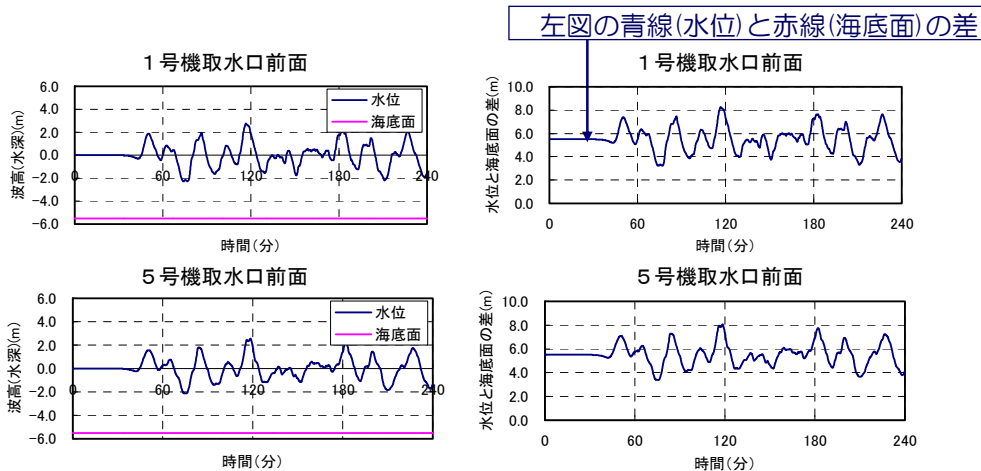
敷地周辺の海底地形変化量（地震発生後4時間）



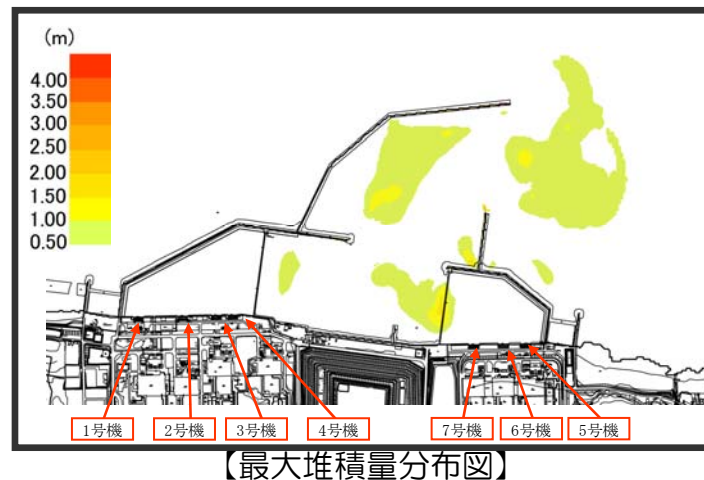
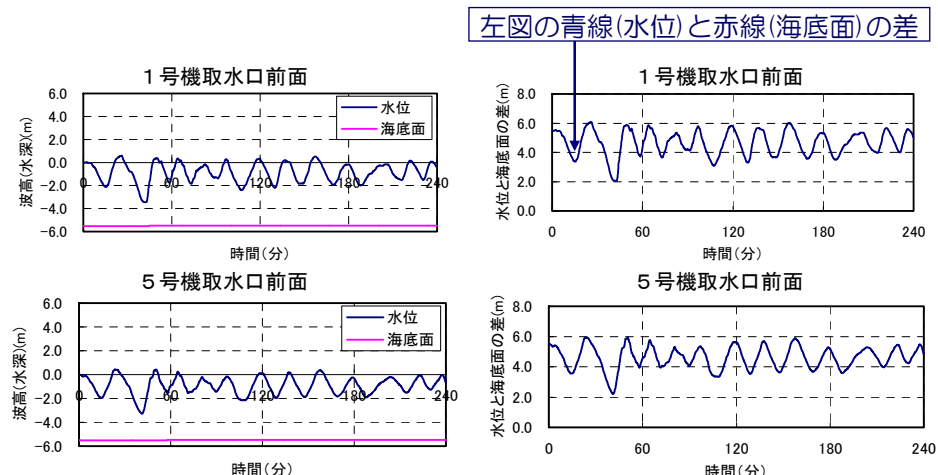
⇒取水口前面の堆砂量は最大でも約30cmであり、原子炉補機冷却海水ポンプの取水は可能

4. 二次的な影響に対する評価（砂移動）

取水口前面における津波水位と海底面の変動：最高水位ケース
 — 高橋ほか(1999)のモデル, $C_{max}=1.0\%$ —



取水口前面における津波水位と海底面の変動：最低水位ケース
 — 高橋ほか(1999)のモデル, $C_{max}=1.0\%$ —



⇒取水口前面では常に水深が2m程度以上確保されており、取水への影響はない

1. 津波評価方針
2. 津波の想定及び数値シミュレーション
 - 2-1 解析条件
 - 2-2 既往津波の再現性検討
 - 2-3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討
 - 2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討
3. 津波に対する安全性評価
 - 3-1 津波による上昇水位及び下降水位に対する安全性
 - 3-2 取水施設の水理特性による水位変動への影響評価（1号機，5号機）
4. 二次的な影響に対する評価（砂移動）
5. 評価のまとめ

5. 評価のまとめ

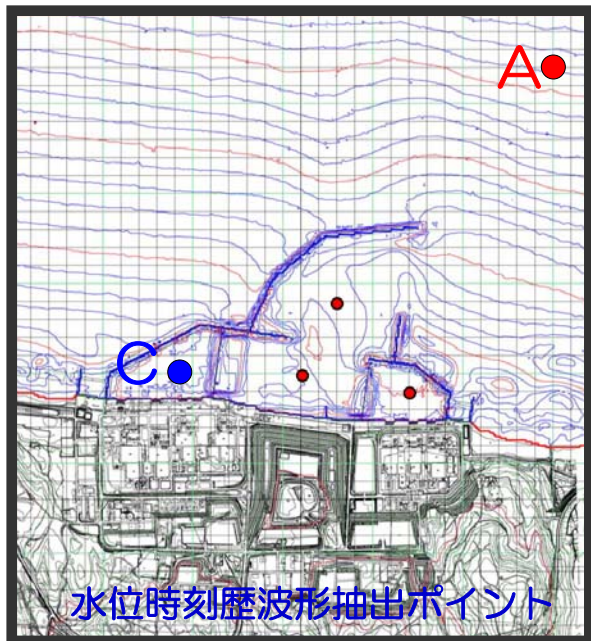
想定津波による上昇水位，及び下降水位に対して検討し，柏崎刈羽原子力発電所1号機及び5号機の安全性に問題とならないことを確認した（第23回合同WGにてご説明済み）。また，取水設備については，水理特性による水位変動への影響も検討し，原子炉施設の安全性に問題とならないことを確認した。

参考文献

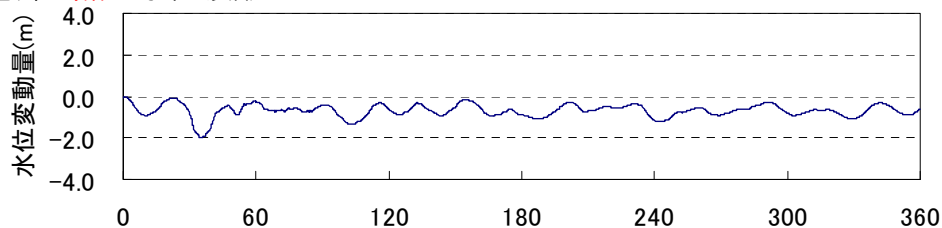
- 土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002)：原子力発電所の津波評価技術，321p.
- 後藤智明・小川由信(1982)：Leap-frog法を用いた津波の数値計算法，東北大学工学部土木工学科資料，52p.
- 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫(1998)：GISを利用した津波遡上計算と被害推定法，海岸工学論文集，第45巻，pp.356-360.
- 本間仁(1940)：低溢流堰堤の流量係数，土木学会誌，第26巻，第6号，pp.635-645.，第9号，pp.849-862.
- 相田勇(1977)：三陸沖の古い津波のシミュレーション，東京大学地震研究所彙報，Vol.52，pp.71-101.
- Mansinha,L. and D.E.Smylie(1971)：The Displacement Fields of Inclined Faults, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.61, No.5, pp.1433-1440.
- 長谷川賢一・鈴木孝夫・稲垣和男・首藤伸夫(1987)：津波の数値実験における格子間隔と時間積分間隔に関する研究，土木学会論文集，No.381/II-7，pp.111-120.
- 宇佐美龍夫(2003)：最新版日本被害地震総覧 [416] -2001，東京大学出版会，605p.
- 羽鳥徳太郎(1994)：歴史津波一危険度の地域性，地震工学振興会ニュース，No.135，pp.5-9.
- 相田勇(1984)：1983年日本海中部地震の波源数値モデル，東京大学地震研究所彙報，Vol.59，pp.93-104.
- 相田勇・梶浦欣二郎・羽鳥徳太郎・桃井高夫(1964)：1964年6月16日新潟地震にともなう津波の調査，東京大学地震研究所彙報，第42号第4冊，pp.741-780.
- 土木学会新潟震災調査委員会(1966)：昭和39年新潟地震震害調査報告，904p.
- 首藤伸夫・卯花政孝(1984)：1983年日本海中部地震津波の痕跡高，東北大学工学部津波防災実験所研究報告，第1号.
- 気象庁(1984)：昭和58年(1983年)日本海中部地震調査報告-災害時自然現象報告書-，気象庁技術報告，第106号，252p.
- 土木学会日本海中部地震震害調査委員会編(1986)：1983年日本海中部地震震害調査報告書，土木学会，pp.933.
- 羽鳥徳太郎(1984)：日本海の歴史津波，月刊海洋科学，Vol.16, No.9, pp.538-545.
- 首藤伸夫・明田定満・都司嘉宣・松富英夫(1997)：4.津波，1993年北海道南西沖地震震害調査報告，土木学会，pp.76-106.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2003)：日本海東縁部の地震活動の長期評価，35p.
- 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-補強改訂版一，1102p.
- 千秋信一(1967)：発電水力演習，学献社，423p.
- 土木学会(1999)：水理公式集 [平成11年版]，713p.
- 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.
- 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔(1999)：掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発，海岸工学論文集，第46巻，pp.606-610.

(参考) 1号機取水路の固有周期によるポンプ室水位への影響について(1)

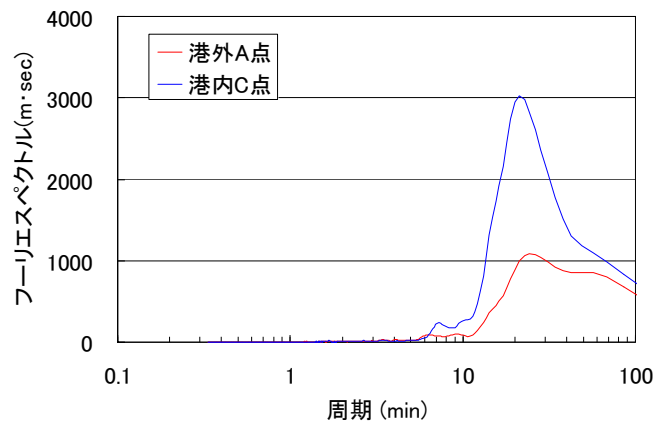
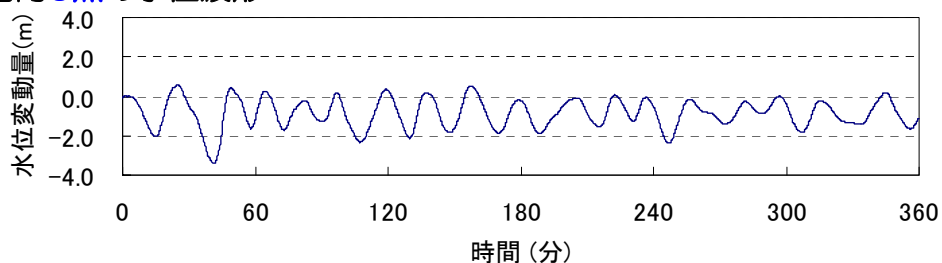
- 津波波形の代表例として、最低水位ケースの長岡平野西縁断層帯(35°)による津波波形とフーリエスペクトルを以下に示す。
- 津波の主要な周期は約10数分～約30分である。



港外A点の水位波形



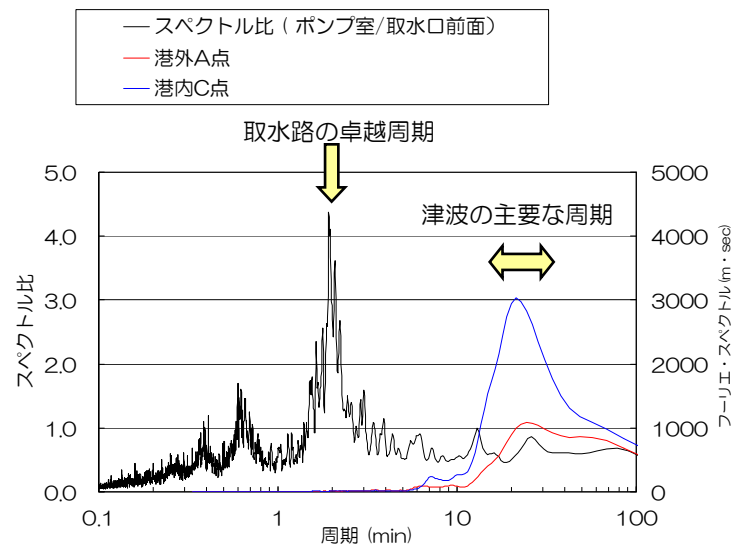
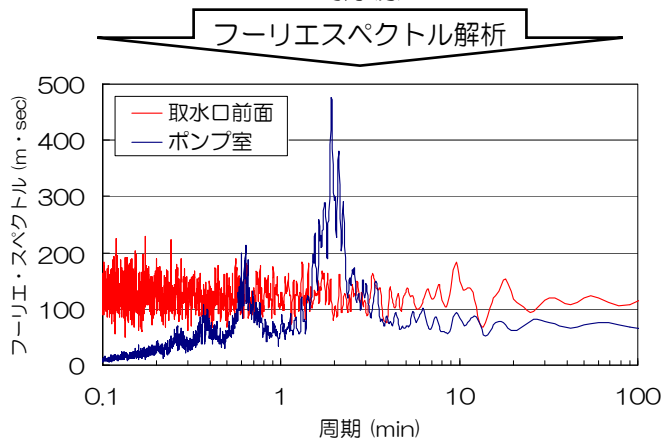
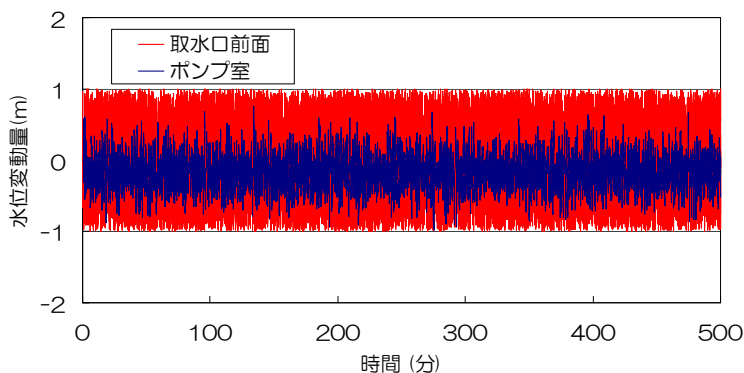
港内C点の水位波形



(参考) 1号機取水路の固有周期によるポンプ室水位への影響について(2)

- 1号機取水路の周期特性を調べるため、各周期帯で概ね一様なエネルギーを持つ擬似水位波形を作成して取水口前面の入力値とし、取水路内の応答計算を実施した。
- 取水口前面とポンプ室それぞれの水位波形をフーリエスペクトル解析し、両者の比を取った結果によると、取水路には2分付近に卓越周期があると考えられる。
- 一方、津波の主要な周期は約10数分～約30分であり、取水路の卓越周期とは一致しないことから、取水路の周期特性による水位増幅への影響はないものと考えられる。

【1号機取水口前面の擬似水位波形とポンプ室の応答波形】

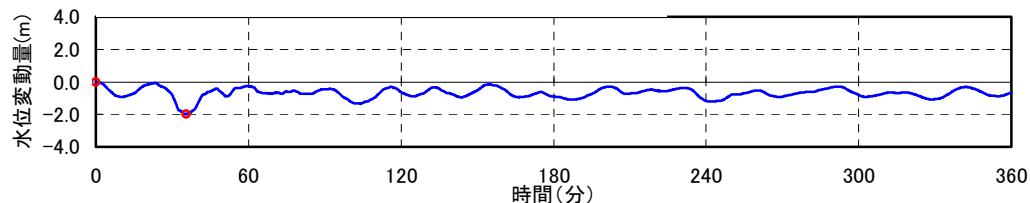


(参考) 5号機取水路の固有周期によるポンプ室水位への影響について(1)

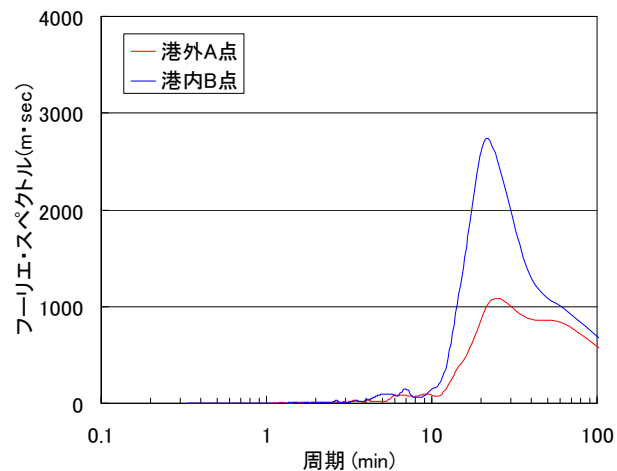
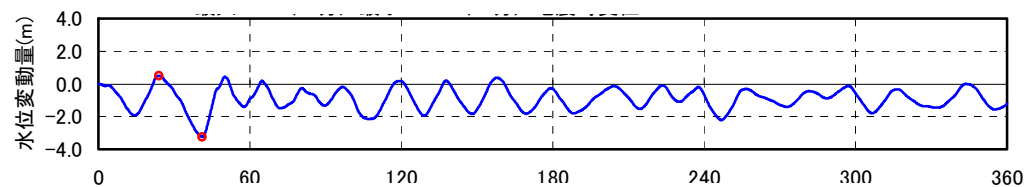
- 津波波形の代表例として、最低水位ケースの長岡平野西縁断層帯(35°)による津波波形とフーリエスペクトルを以下に示す。
- 津波の主要な周期は約10数分～約30分である。



港外A点の水位波形



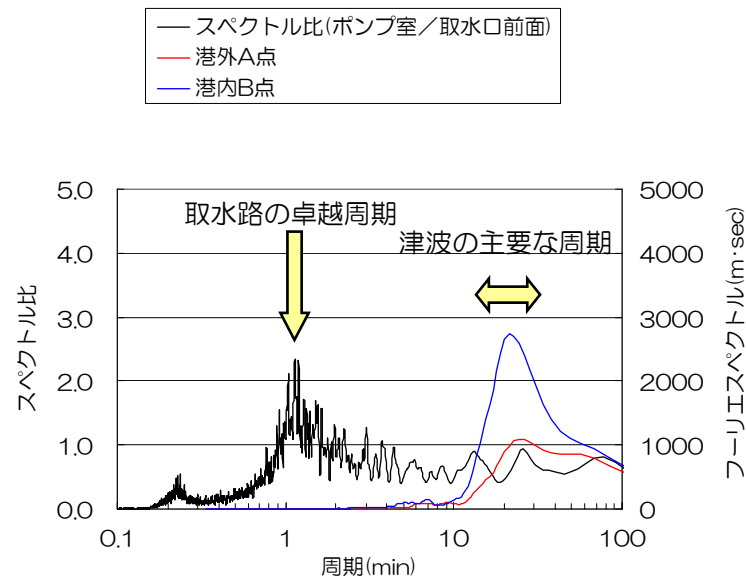
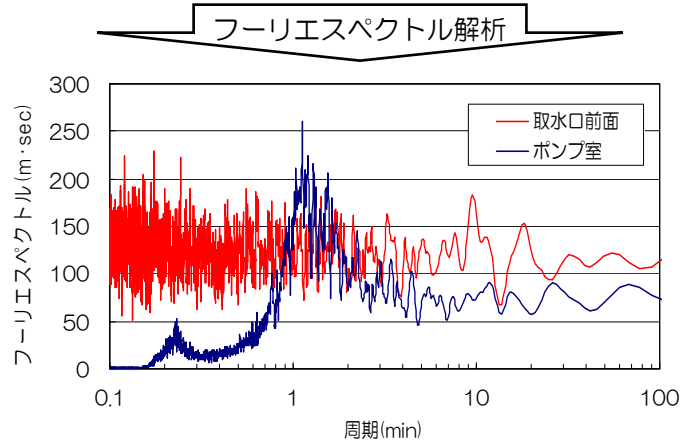
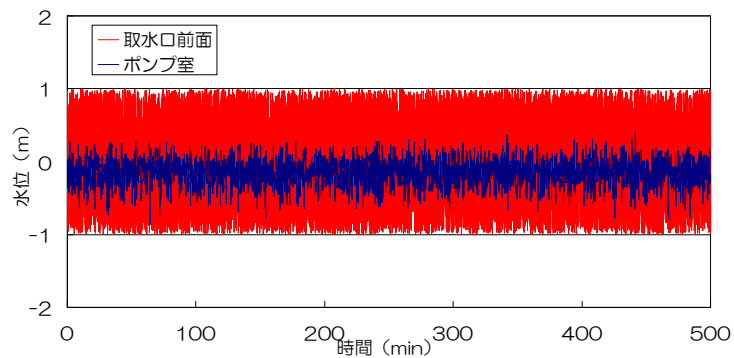
港内B点の水位波形



(参考) 5号機取水路の固有周期によるポンプ室水位への影響について(2)

- 5号機取水路の周期特性を調べるため、各周期帯で概ね一様なエネルギーを持つ擬似水位波形を作成して取水口前面の入力値とし、取水路内の応答計算を実施した。
- 取水口前面とポンプ室それぞれの水位波形をフーリエスペクトル解析し、両者の比を取った結果によると、取水路には1分付近に卓越周期があると考えられる。
- 一方、津波の主要な周期は約10数分～約30分であり、取水路の卓越周期とは一致しないことから、取水路の周期特性による水位増幅への影響はないものと考えられる。

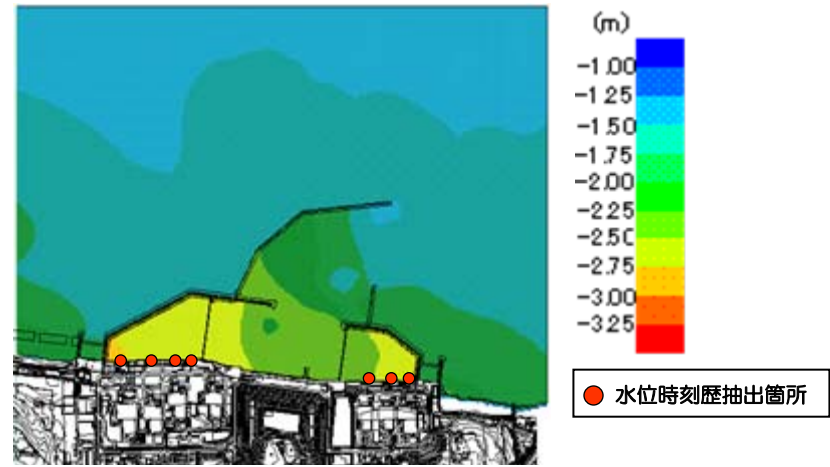
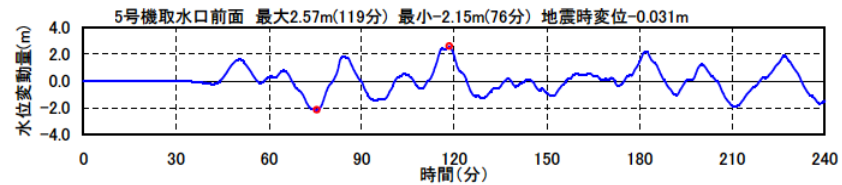
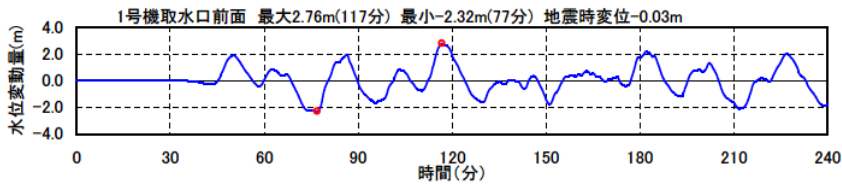
【5号機取水口前面の擬似水位波形とポンプ室の応答波形】



(参考) 取水口前面における水位時刻歴

最高水位ケースの取水口前面の水位時刻歴※

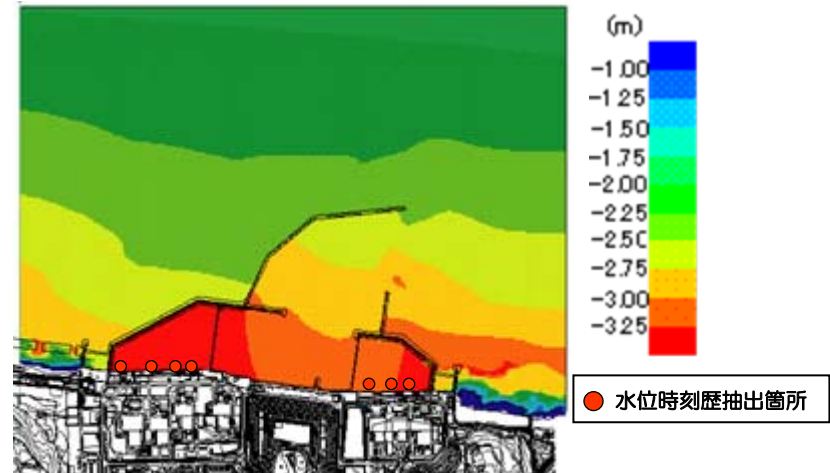
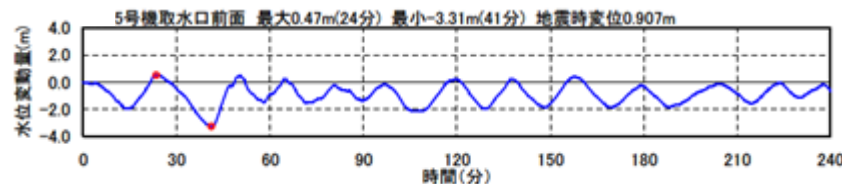
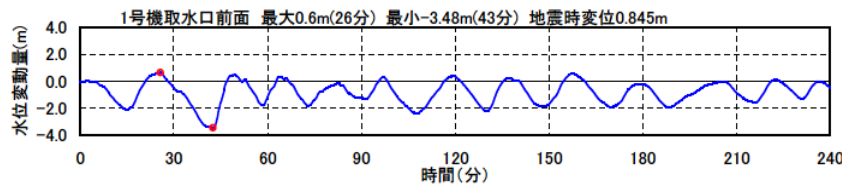
— 日本海東縁部の想定津波 —



最大水位上昇量分布図

最低水位ケースの取水口前面の水位時刻歴※

— 長岡平野断層帯($\delta = 35^\circ$)による想定津波 —



最大水位下降量分布図

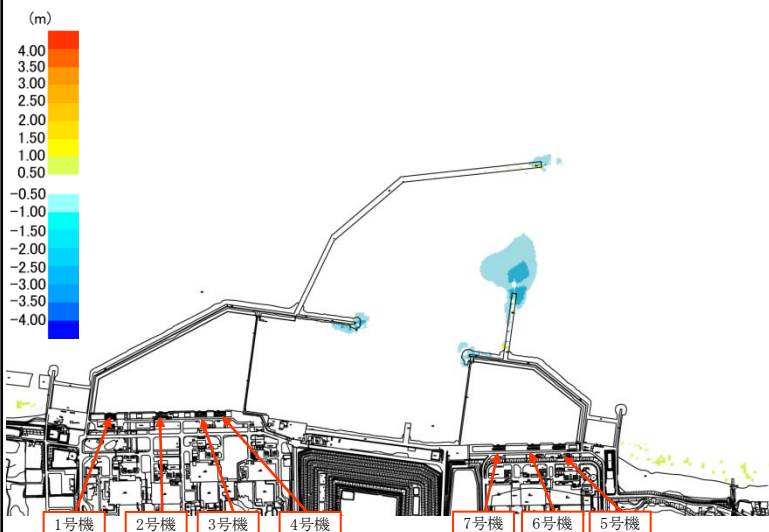
※期望平均潮位, 地震時変位(地震時の地盤変動量)を除いた値

(参考) 砂移動に係る検討 (浮遊砂上限濃度=5%)

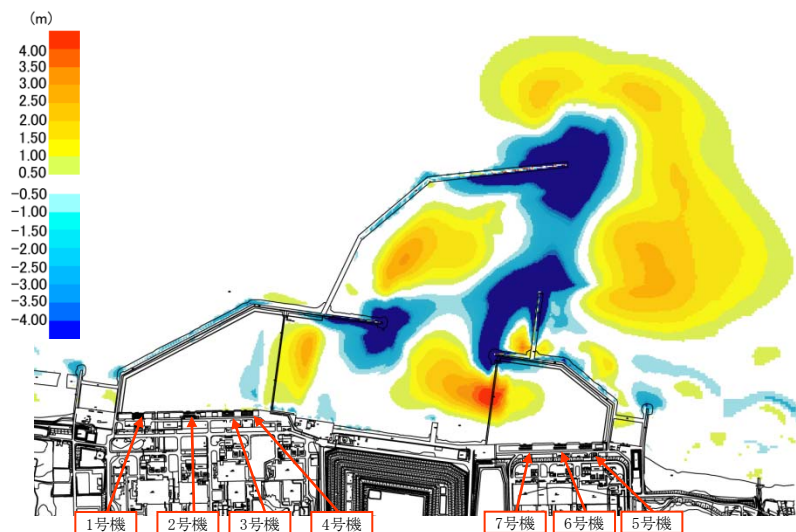
敷地周辺の海底地形変化量 (地震発生後4時間)

最高水位ケース
(日本海東縁部の想定津波)

藤井ほか(1998)

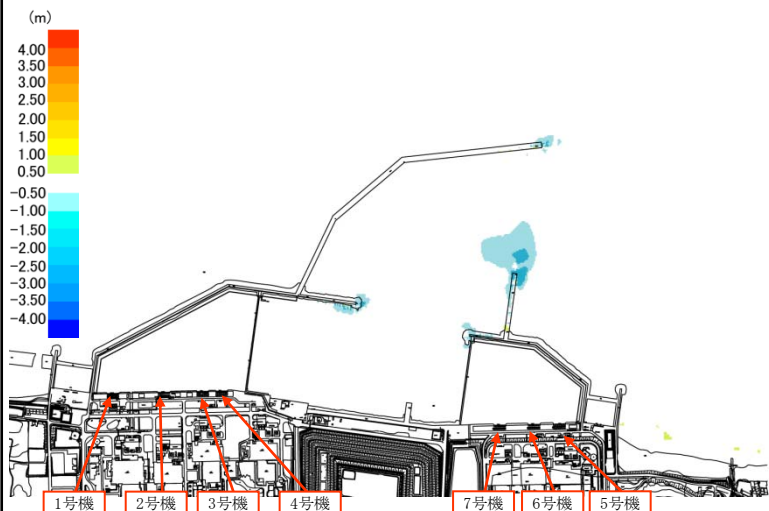


高橋ほか(1999)

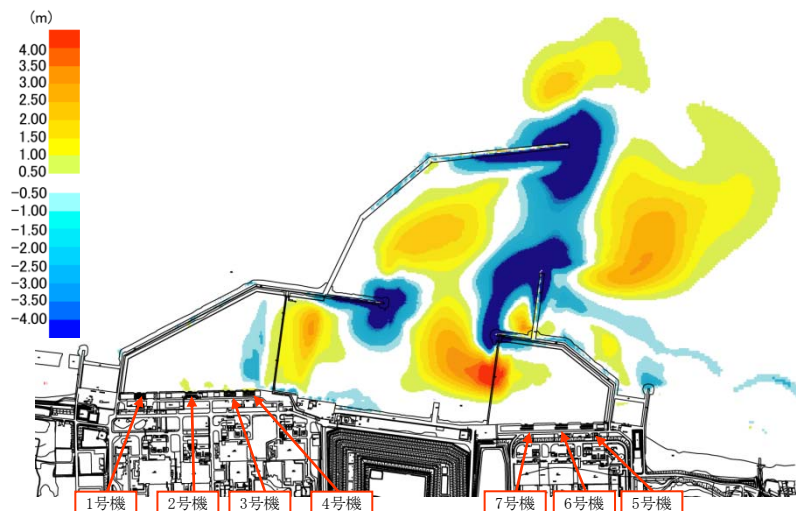


最低水位ケース
(長岡平野西縁断層帯 $\delta=35$ 度)

藤井ほか(1998)

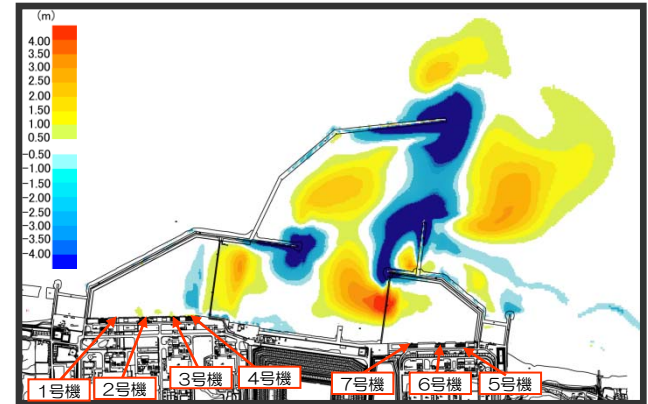
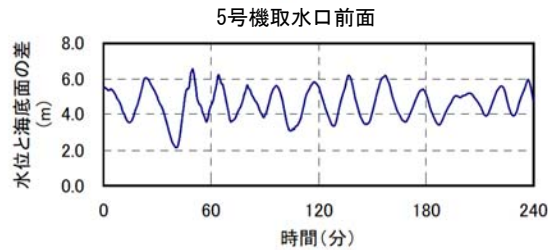
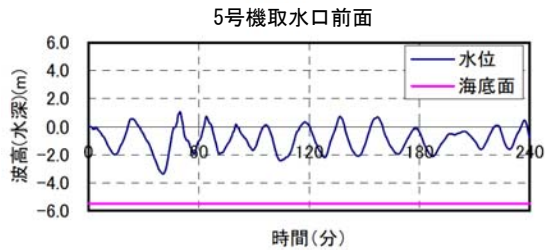
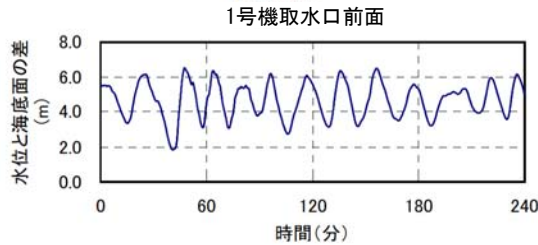
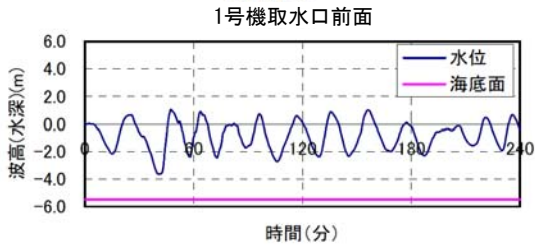


高橋ほか(1999)



(参考) 砂移動に係る検討 (浮遊砂上限濃度=5%)

取水口前面における津波水位と海底面の変動：最低水位ケース
(高橋ほか(1999)のモデル)



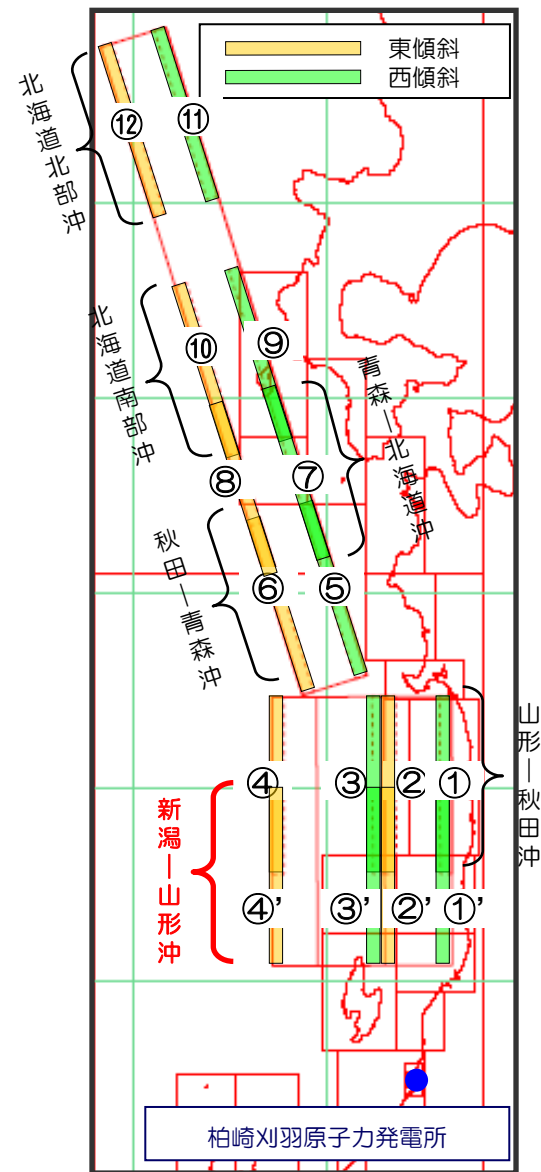
(参考) パラメータスタディ実施範囲の妥当性について

- 土木学会(2002)に示される日本海東縁部の地震活動域全域において基準断層モデルによる概略パラメータスタディ実施
- 地震活動域全域には地震調査研究推進本部(2003)に示される地震活動域を含む
- 基準断層モデルには、新潟～山形沖の領域において実施したパラメータスタディで最大水位上昇量・下降量を示す高角度モデル（傾斜角 60° ）を用いた

日本海東縁部に想定される地震の基準断層モデル諸元^{*)}

| | Mw | 断層長 L(km) | 断層幅 W(km) | すべり量 D(m) | 断層上縁深さ d(km) | 走向 $\theta(^{\circ})$ | 傾斜角 $\delta(^{\circ})$ | すべり角 $\lambda(^{\circ})$ |
|-------|------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 高角モデル | 7.85 | 131.1 | 17.3 | 9.44 | 0 | 20・200 | 60 | 90 |

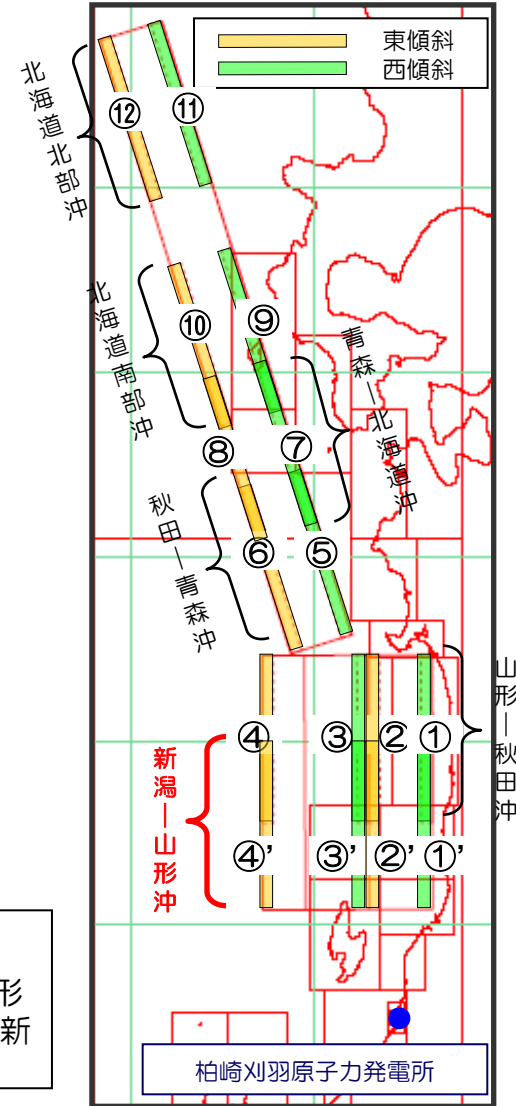
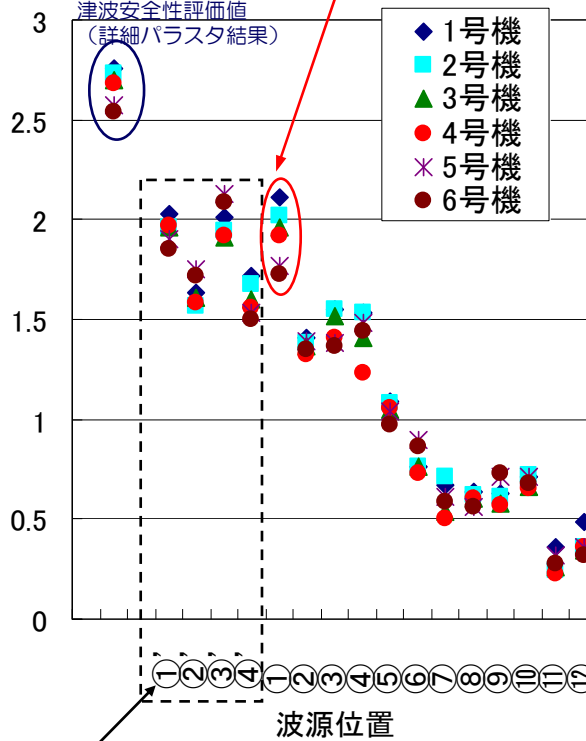
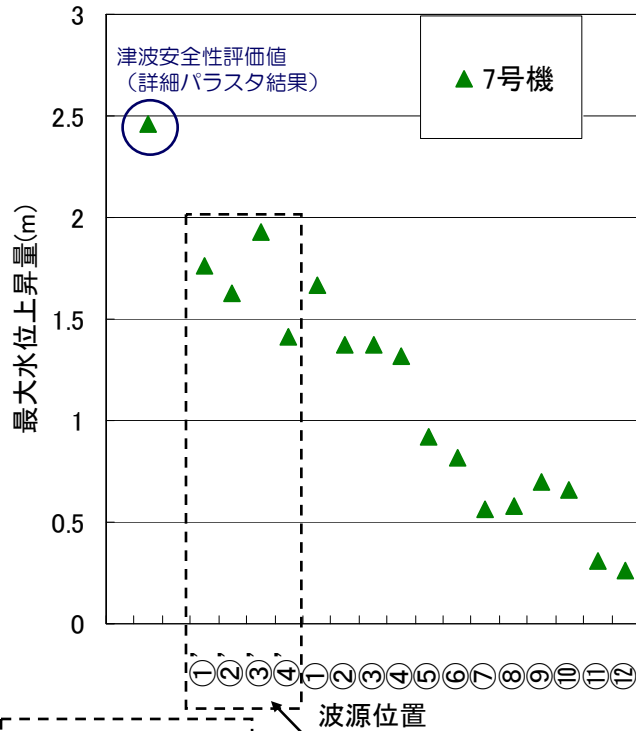
^{*)} 基準断層モデルの設定についてはP7参照



(参考) パラメータスタディ実施範囲の妥当性について

数値シミュレーション結果 (最大水位上昇量)

1号機, 2号機のみ「新潟～山形沖」の領域よりも若干大きな値を示すが、他号機はすべて「新潟～山形沖」の領域のほうが大きい



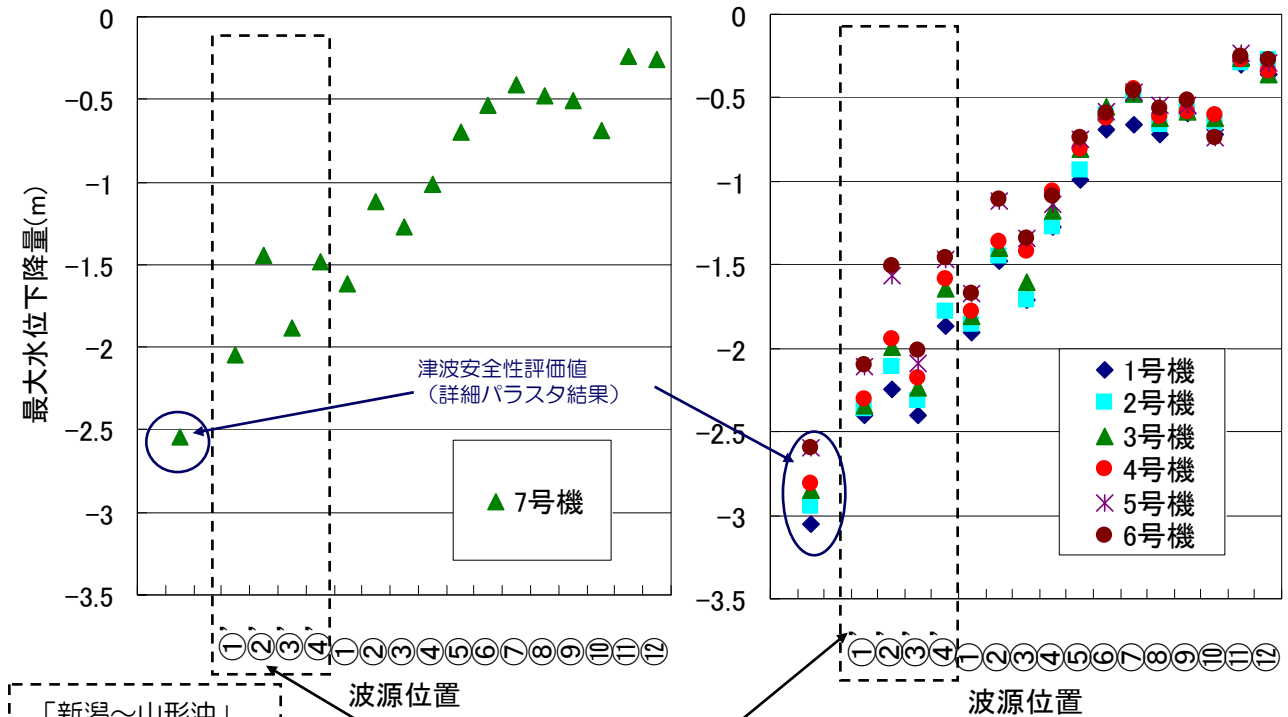
「新潟～山形沖」の領域による影響が最も大きい

詳細パラメータスタディを実施した「新潟～山形沖」の領域

- ◇ 波源が遠くなるほど、津波による影響は小さくなる
- ◇ ただし、1号機及び2号機のみ、「新潟～山形沖」(①'～④')に比べて「山形～秋田沖」のうち波源①による水位が若干大きくなるものの、他号機はすべて「新潟～山形沖」のほうが大きい

(参考) パラメータスタディ実施範囲の妥当性について

数値シミュレーション結果 (最大水位下降量)



「新潟～山形沖」の領域による影響が最も大きい

詳細パラメータスタディを実施した「新潟～山形沖」の領域

◇ 波源が遠くなるほど、津波による影響は小さくなる

- ✓ 最大水位上昇量の概略パラメータスタディにおいて、1・2号機のみ「新潟～山形沖」より若干影響が大きい波源があるが、その量は小さいこと、今回評価対象としている7号機を含むそれ以外の号機はすべて「新潟～山形沖」による影響が最も大きい。
- ✓ したがって、「新潟～山形沖」を詳細パラメータスタディの対象としたことは妥当と考えられる

