

【関連質問への回答】

地震後の設備健全性確認

<(4)震災時の津波調査> (No.4関連)

平成27年7月29日

東北電力株式会社



目 次

◆第2回安全性検討会「資料－3」

「女川原子力発電所における東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果および設備被害について」に対するご質問回答

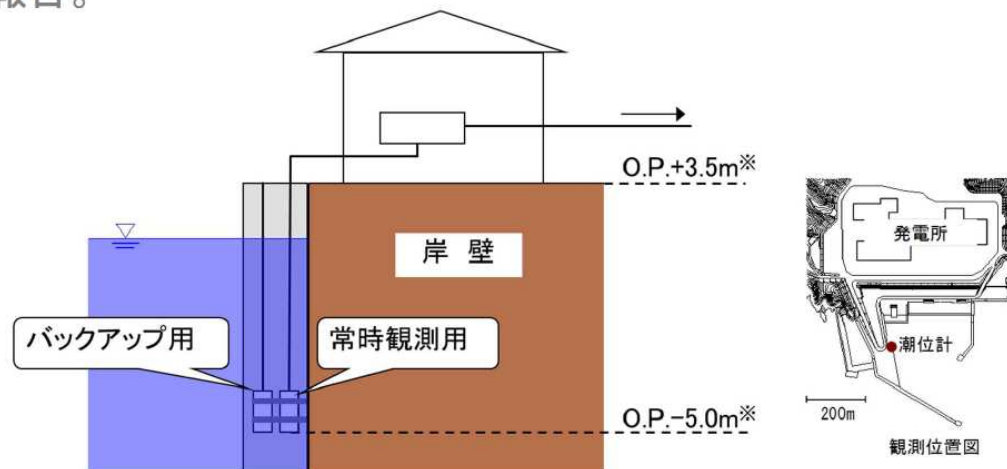
1. 前回のご説明とご質問の内容
2. 常時観測用潮位計の欠測原因と対策について
3. 発電所付近の地形の固有周期について
4. 津波再現解析に用いた痕跡高について
5. 津波の周波数領域での再現性について

1. 前回のご説明とご質問の内容 (1/3)

(第2回検討会 資料-3 再掲)

1.1 東北地方太平洋沖地震により発生した津波調査結果(1/4)

◆ 東北地方太平洋沖地震による津波の調査結果を、平成23年4月7日に国へ報告。



※ 設置時の標高にて表示 (今回の地震発生後に公表された国土地理院による女川原子力発電所周辺の地殻変動(一約1m:速報値)は考慮されていない)

・潮位計は、発電所前面の港内静穏域に設置。
常時観測用 (測定範囲 -5m~+5m) ⇒ 津波により欠測
バックアップ用 (測定範囲 -5m~+20m) ⇒ 観測記録取得



Tohoku Electric Power Co., Inc.

3

ご質問事項

■ 震災時に常時観測用潮位計が欠測した原因を踏まえ、どのように対策したか。また、測定範囲は防潮堤高さ(29m)まで測定できるか。

1. 前回のご説明とご質問の内容 (2/3)

(第2回検討会 資料-3 再掲)

1.1 東北地方太平洋沖地震により発生した津波調査結果(2/4)



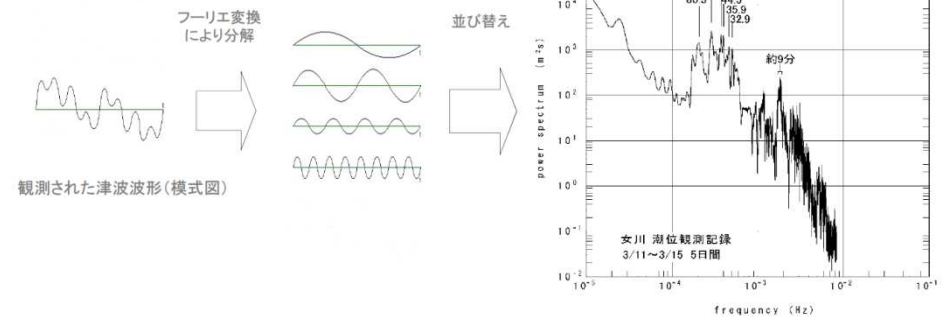
潮位計で観測された津波の高さは、O.P. 約+13m※であった。

※ O.P.(女川の基準面: 東京湾平均海面-0.74m)にて表示。
今回の地震発生後に公表された国土地理院による女川原子力発電所周辺の地殻変動(約1m:速報値)を考慮。

1.2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 敷地内外における津波調査(3/5)

(2) 津波の周期の分析

- 女川原子力発電所で観測された津波波形を分析し、津波の主要な周期を把握。津波の主要な周期は、概ね50分前後



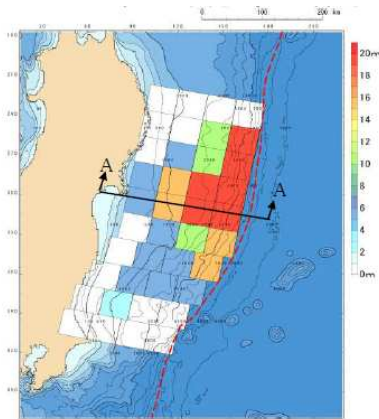
- 津波の主要な周期(50分前後)は、発電所周辺の地形等の固有周期とは合致せず、地形等の影響により顕著な波高の増幅は生じなかったと考えられる。

ご質問事項

■ 地形等の固有周期は何分か。また、短い成分の9分と固有周期がどう対応するのか解析すること。

1. 前回のご説明とご質問の内容 (3/3)

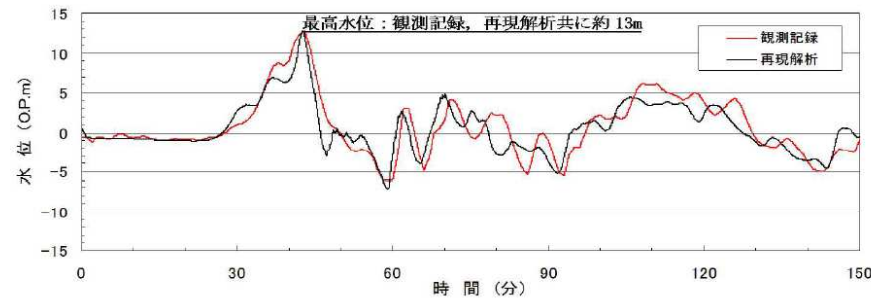
1.2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 津波の再現解析結果(4/4)



再現解析に使用した断層モデル

再現性の確認

- 女川原子力発電所の潮位計で観測された水位と解析で得られた水位は良く一致している



- 調査で得られた痕跡高と解析で得られた痕跡高も良く一致している(発電所近傍)

	K	κ
再現解析の結果	K=1.00	κ=1.04
土木学会(2002)による再現性の目安	0.95 < K < 1.05	κ < 1.45

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

$$K_i = R_i / H_i$$

n : 地点数, R_i : i番目の地点での観測値(痕跡高),
H_i : i番目の地点での再現解析結果

※: K, κは再現解析と痕跡調査結果との差やばらつきを度を表す指標

ご質問事項

- 痕跡高の調査範囲や地点数を具体的に示すこと。
- 時間領域の波形だけでなく、周波数領域での再現性を示すこと。



Tohoku Electric Power Co., Inc.

16

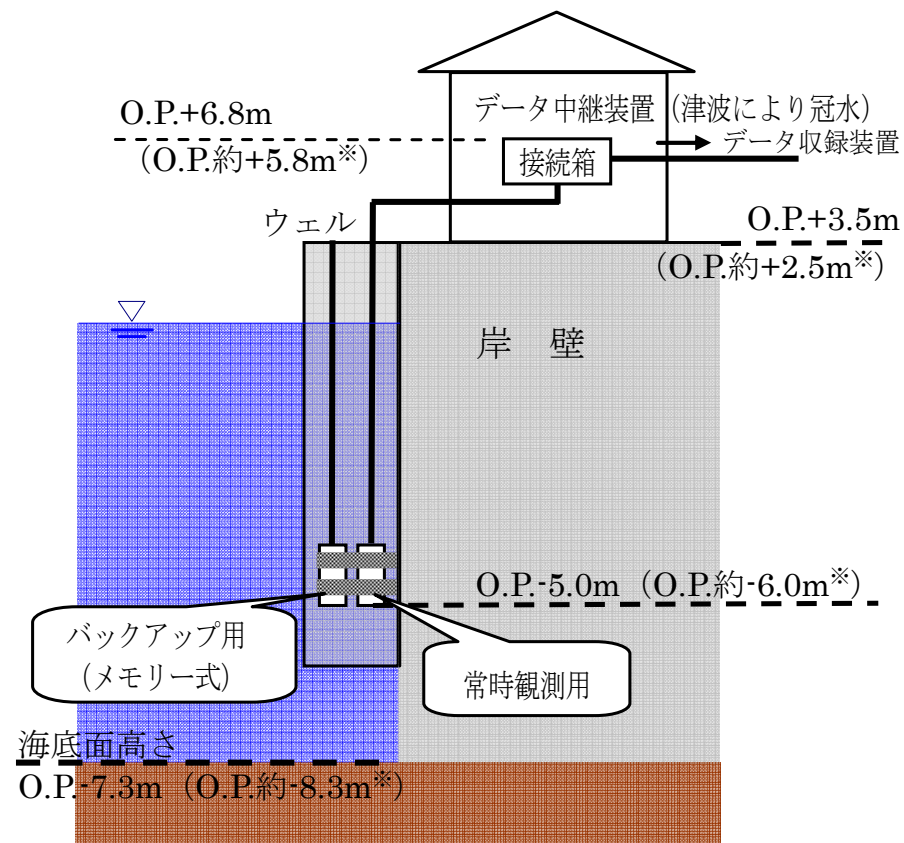
2. 常時観測用潮位計の欠測原因と対策について (1/2)

【ご質問事項】

- 震災時に常時観測用潮位計が欠測した原因を踏まえ、どのように対策したか説明して欲しい。また、測定範囲は、防潮堤高さ(29m)まで測定できるか説明して欲しい。

[震災時の状況]

- ・岸壁(O.P.+3.5m)に設置していたデータ中継装置(接続箱)が津波により冠水し、常時観測用潮位計は使用不能となった。
- ・バックアップ用潮位計は正常に機能し、津波時の水位変化を捉えることができた(津波後に潮位計本体を回収し、データを収集)。

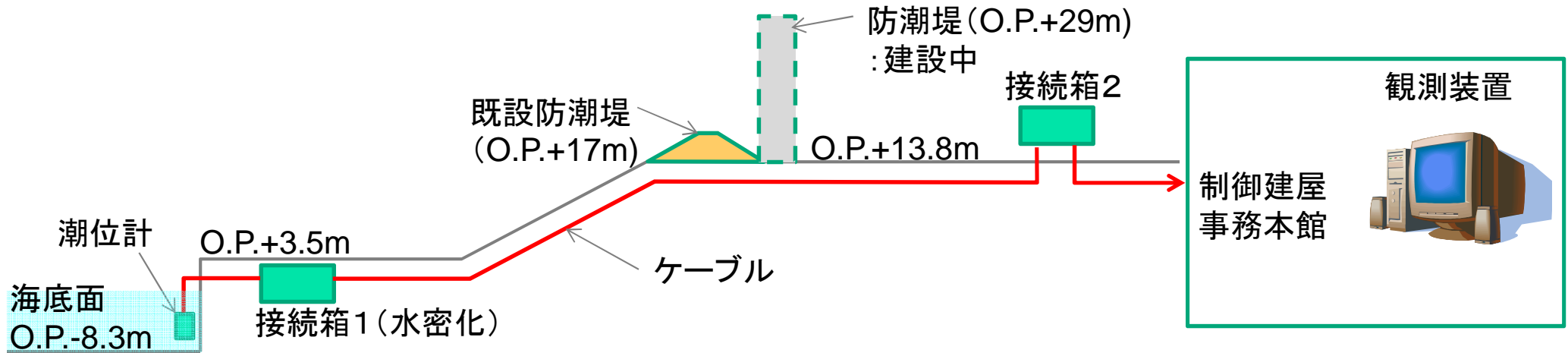


※地盤変動量約-1.0mを考慮した値

2. 常時観測用潮位計の欠測原因と対策について (2/2)

欠測原因 : データ中継装置(接続箱)が津波により冠水し、使用不能となったこと。

対策 : 接続箱を水密化し、地中(マンホール内)へ設置。地中ケーブルで建屋へ接続。



また、測定範囲を以下のとおり拡大し、防潮堤高さ(O.P.+29m)以上まで計測可能とした。

潮位計	設置時期	方式	測定範囲 (※)	測定間隔
常時観測用 (改良前)	1号機建設時	水晶式 (有線テレメーター)	O.P. +5.0m ~ O.P. -5.0m	2秒
常時観測用 (改良後)	平成24年3月	同上	O.P. +42.5m ~ O.P. -7.5m	同上
バックアップ用 (改良前)	平成22年3月	圧力式 (メモリー)	O.P. +20.0m ~ O.P. -5.0m	60秒
バックアップ用 (改良後)	平成24年3月	同上	O.P. +92.5m ~ O.P. -7.5m	同上

(※) O.P. -7.5mより水位低下側は計測できないが、監視カメラなどで津波の状況を確認する。

また、O.P. -7.5mより水位低下した場合でも、取水設備内に海水を貯留できる構造となっており冷却水は確保できる。



3. 発電所付近の地形の固有周期について(1/8)

【ご質問事項】

- 今回観測された津波の周期は50分前後で地形等の固有周期とは合致せずとあるが、実際に固有周期は何分であるのか示して欲しい。また、スペクトル解析において、短い成分で9分というのがあるが、これが固有周期とどういう対応なのかを解析していただきたい。

検討概要

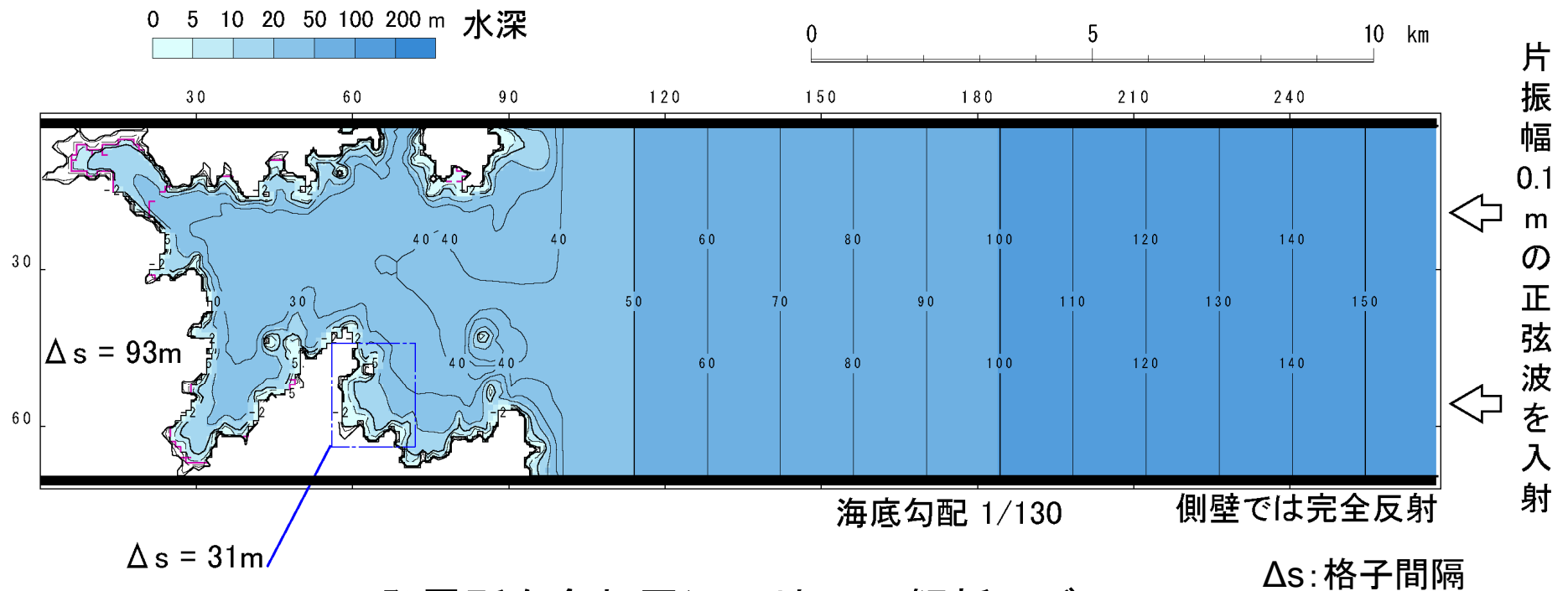
- ①発電所周辺の地形モデルを作成し、周期を1分刻みで変化させた正弦波を沖合いから入射波として作用させた数値シミュレーションを実施した。
- ②周期と各抽出点での水位増幅(卓越モード)の関係をグラフ化した。
- ③解析の結果、発電所を含む周辺地形の固有周期は、6分、10分、13分であり、発電所港湾の固有周期は4分であることを確認した。
- ④スペクトル解析から得られる約9分のピークは発電所敷地前面の湾形状を呈する地形の固有周期(10分)に対応したものと考えられる。

3. 発電所付近の地形の固有周期について(2/8)

地形等による湾の増幅特性(固有周期)の検討

■ 検討方法

発電所を含む周辺の地形をモデル化し, その沖合いから一定振幅(0.1m)の正弦波を入射波として与え, 各水位抽出点(次頁)の水位増幅(卓越モード)を把握した。

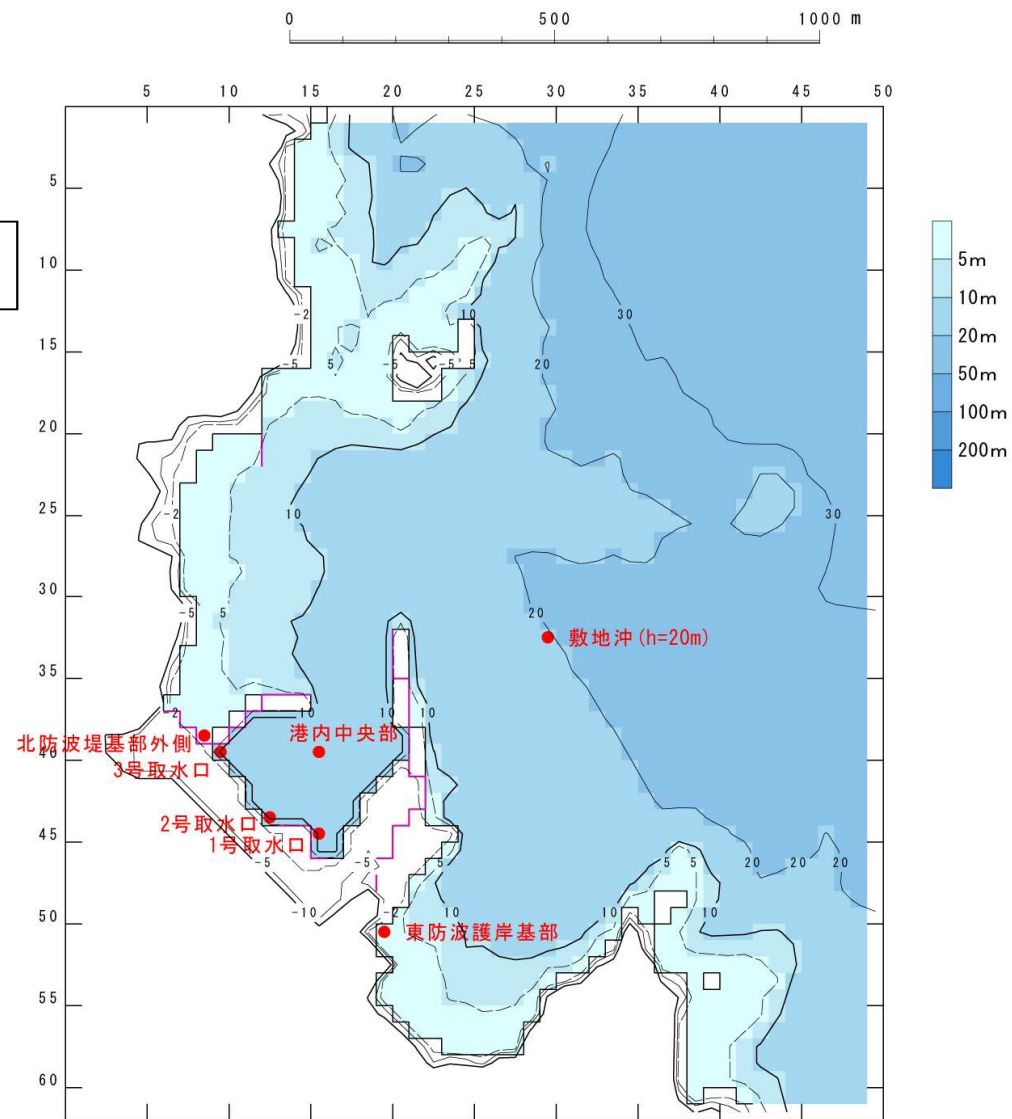


発電所を含む周辺の地形の解析モデル

3. 発電所付近の地形の固有周期について(3/8)

■ 水位抽出点

凡 例
● 水位抽出点



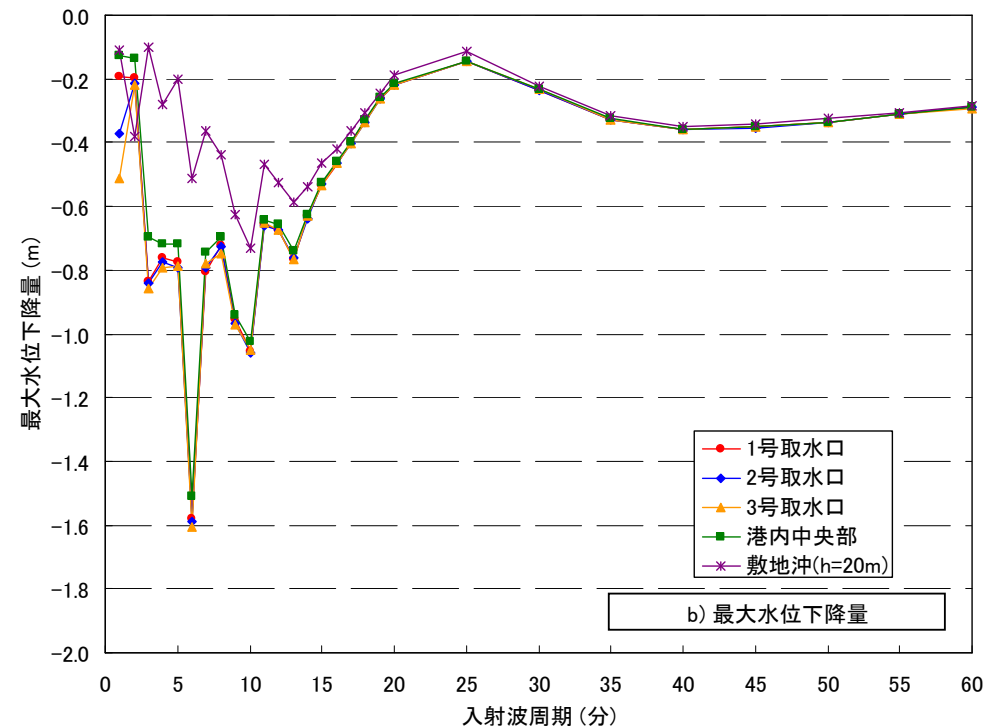
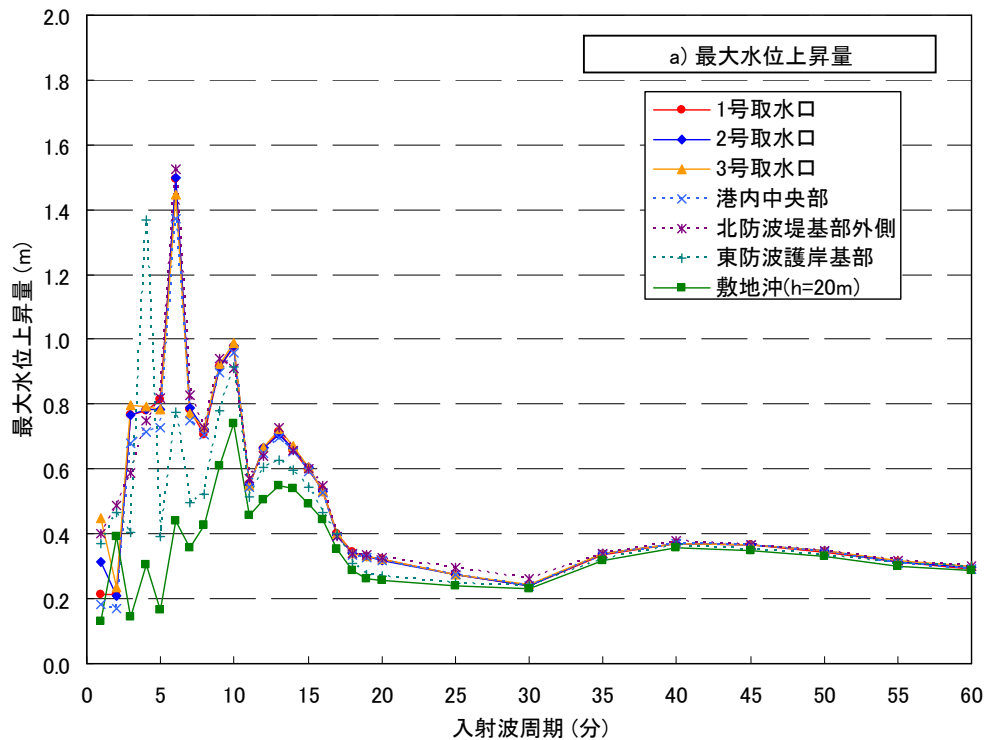
3. 発電所付近の地形の固有周期について(4/8)

■ 解析結果

解析の結果, 1号~3号取水口において, 周期6分, 10分, 13分の卓越モードがあることを確認した。

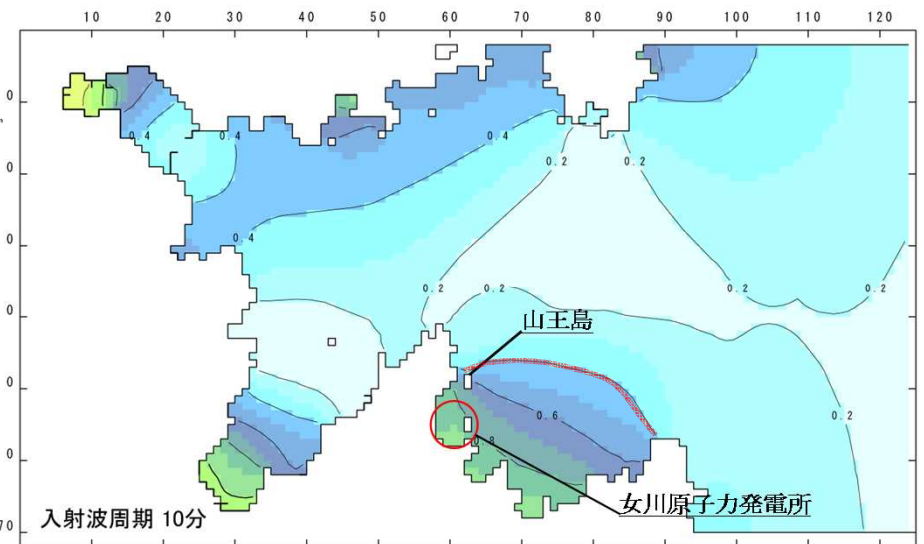
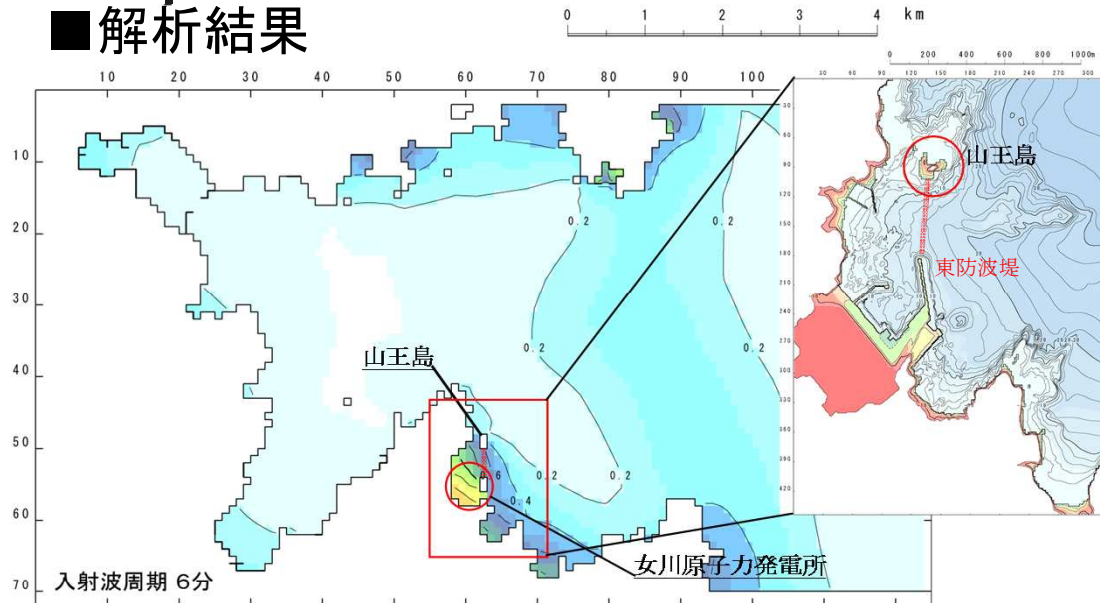
また, 港湾中央部においては, 周期4分にも卓越モードがあることを確認した。

⇒港湾モデルを用いた解析を実施(後述)。



3. 発電所付近の地形の固有周期について(5/8)

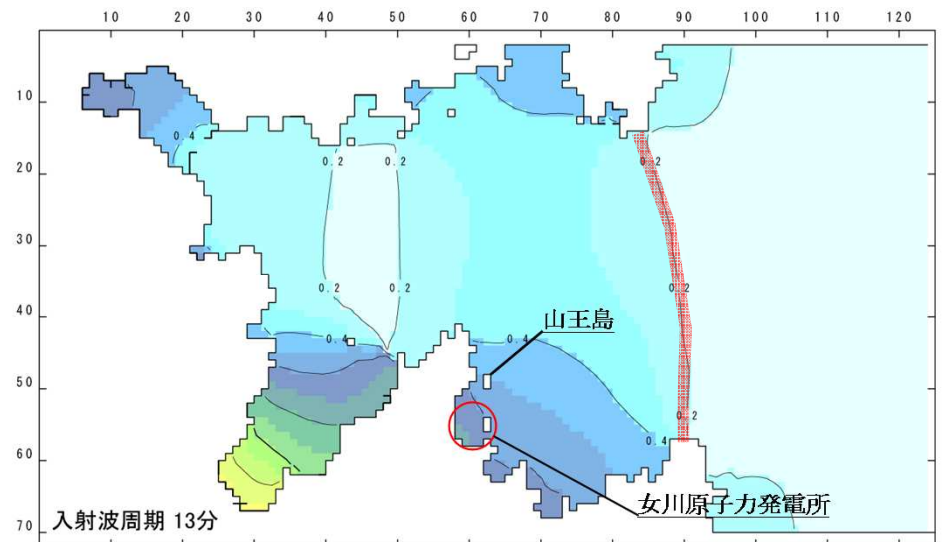
■解析結果



■ 発電所港湾東防波堤先端と山王島を結ぶ線を節とする地形の固有周期:6分(上図)

■ 発電所敷地前面の湾形状を呈する地形の固有周期:10分(右上図)

■ 微弱ではあるが、女川湾湾口部を節とする13分の卓越モードが確認される(右下図)

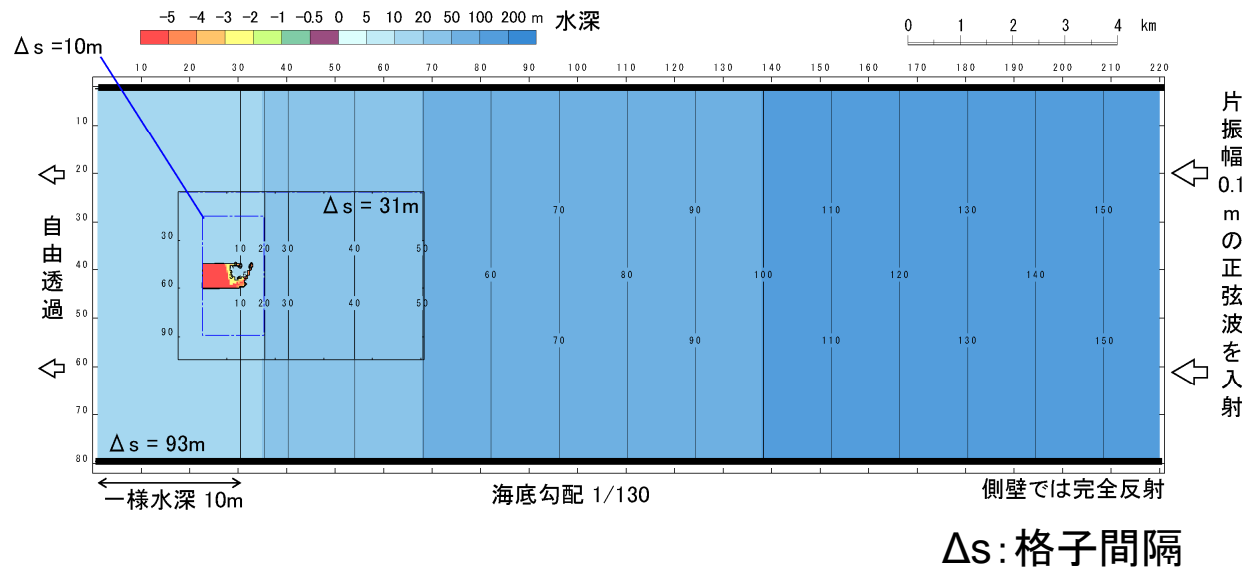


3. 発電所付近の地形の固有周期について(6/8)

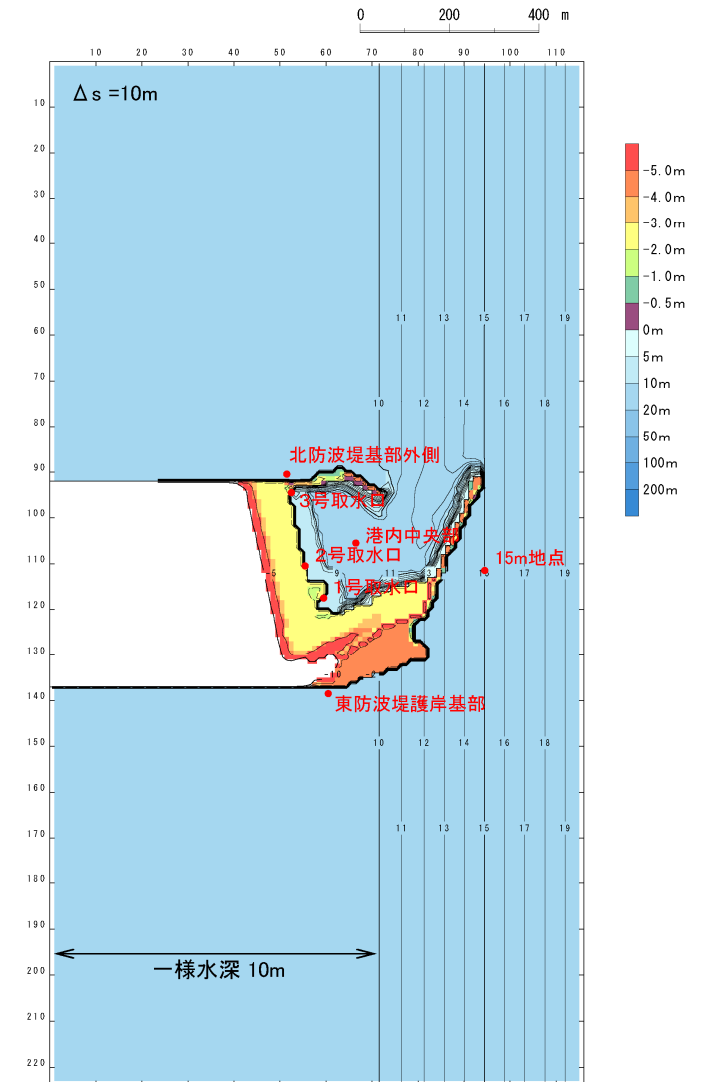
発電所港湾の固有周期の検討

■ 検討方法

発電所港湾をモデル化し、その沖合いから一定振幅(0.1m)の正弦波を入射波として与え、各水位抽出点(次頁)の水位増幅(卓越モード)を把握した。



発電所港湾の解析モデル

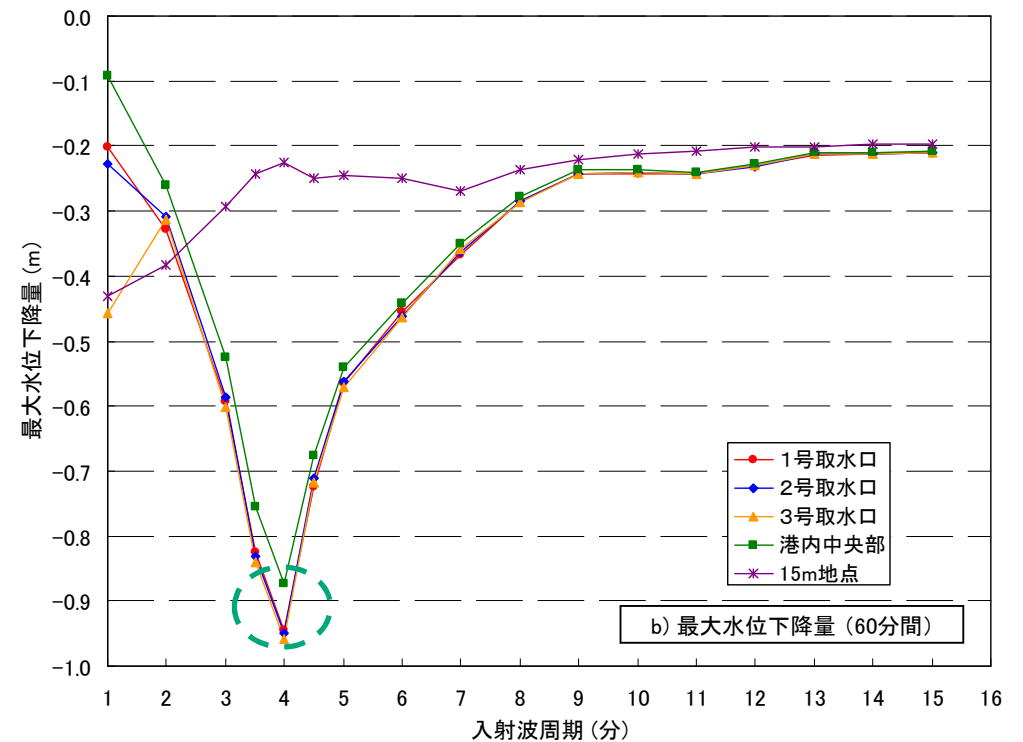
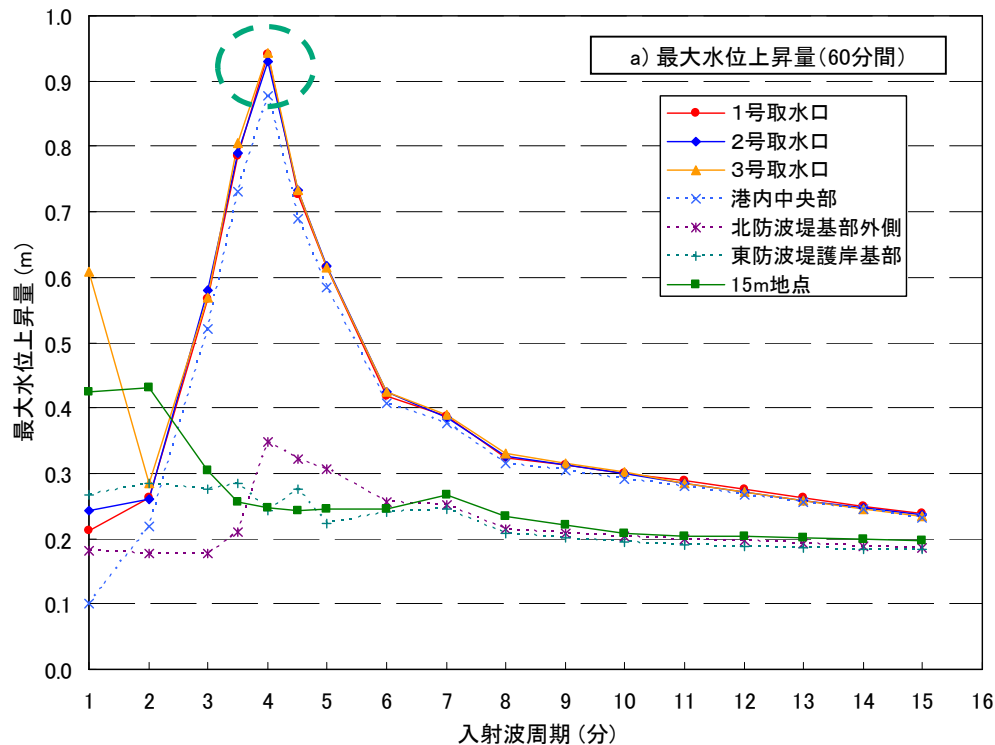


港湾部の拡大図

3. 発電所付近の地形の固有周期について(7/8)

■ 解析結果

解析の結果、港口部を節とする入射波約4分のモードが卓越することを確認した。



3. 発電所付近の地形の固有周期について(8/8)

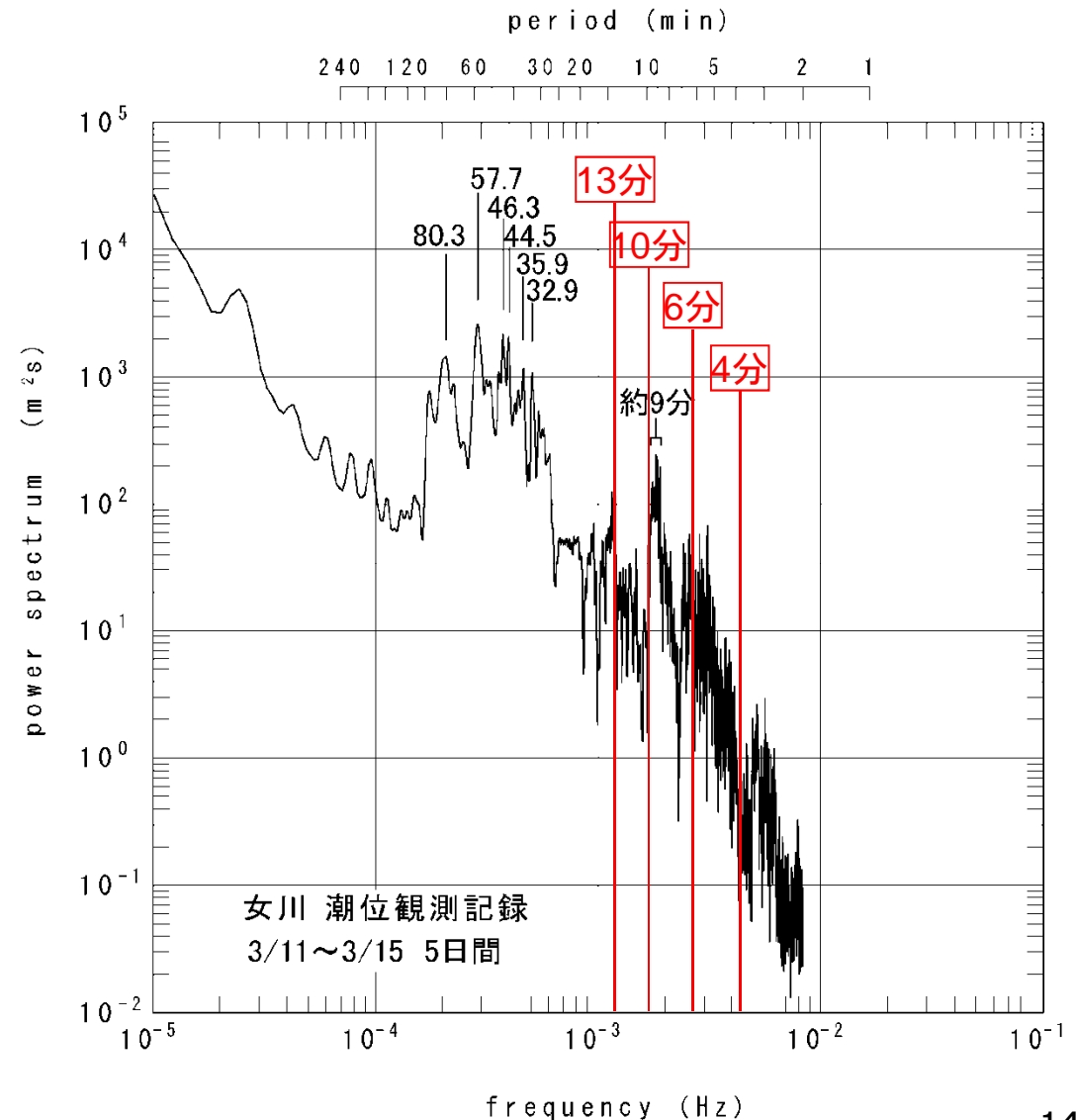
■ スペクトル解析結果との対応

・3. 11地震津波の観測波形のスペクトル解析から得られる約9分のピークは、発電所敷地前面の湾形状を呈する地形の固有周期10分に対応したものと考えられる。

・また、微弱ではあるが女川湾湾口部を節とする13分の卓越モード、並びに東防波堤先端～山王島を節とする地形の固有周期6分に対応した小さなピークも確認できる。

・なお、発電所港湾の固有周期4分付近にも幾つかの小さなピークはあるものの、対応は明確には確認できない。

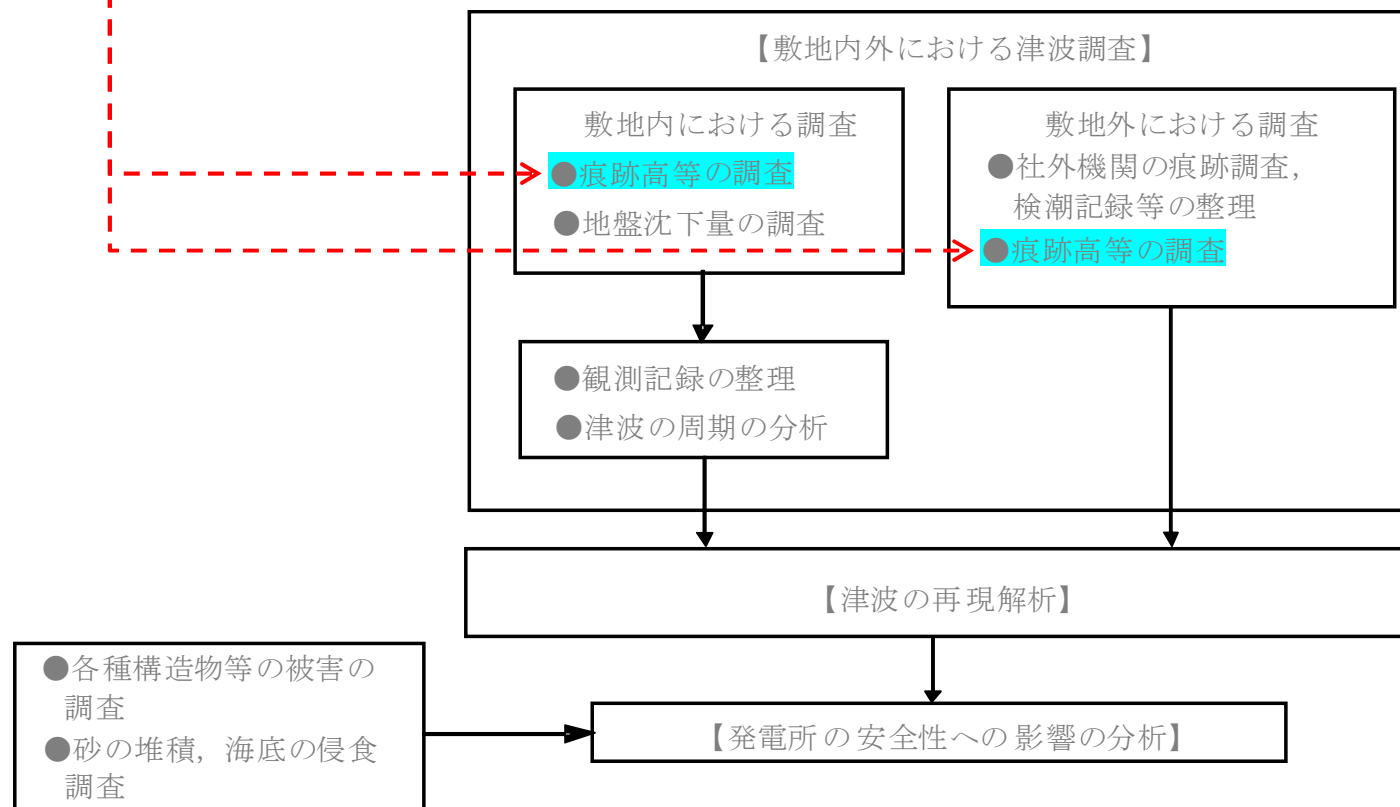
・以上のとおり、女川原子力発電所の周辺の地形等による固有周期は、今回観測された3. 11地震津波の周期(50分前後)よりも短いことを確認した。



4. 津波再現解析に用いた痕跡高について(1/6)

【ご質問事項】

- 津波再現性解析の妥当性根拠としている痕跡高の調査範囲や地点数について具体的に示してほしい。



津波の影響の分析に係る検討の流れ(再掲)

4. 津波再現解析に用いた痕跡高について(2/6)

津波再現解析結果の妥当性確認に用いた調査データ

項目		東北電力の調査データ	社外機関による調査データ
①	地盤変動	・陸域:GPS基準点測量	・陸域:国土交通省 ・海域:海上保安庁
②	痕跡高	・女川発電所敷地 ・宮城県牡鹿郡女川町～宮城県石巻市	・東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ等
③	検潮記録	・女川発電所専用港湾に設置したバックアップ用潮位計による観測記録	・気象庁, 国土地理院, 港湾局等で公開した検潮記録 ・東京電力(株)福島第一発電所, 日本原子力発電(株)東海第二発電所で取得した観測記録
④	浸水域	・女川発電所敷地における浸水域	・国土地理院による浸水域 ・東京電力(株), 日本原子力発電(株)による福島県および東海村の浸水域

4. 津波再現解析に用いた痕跡高について(3/6)

痕跡高の調査範囲・地点数(1/2)

(1) 当社の調査によるデータ

■ 女川原子力発電所敷地および宮城県牡鹿郡女川町尾浦から宮城県石巻市泊浜泊を対象に、痕跡調査(調査期間:平成23年3月26日~4月6日)を実施。

■ 海水により運搬された漂流物、建物に残った痕跡跡を、RTK-GPS法及び水準測量により浸水高あるいは遡上高を計測し、発電所敷地内で11地点、発電所敷地周辺で22地点のデータを取得。

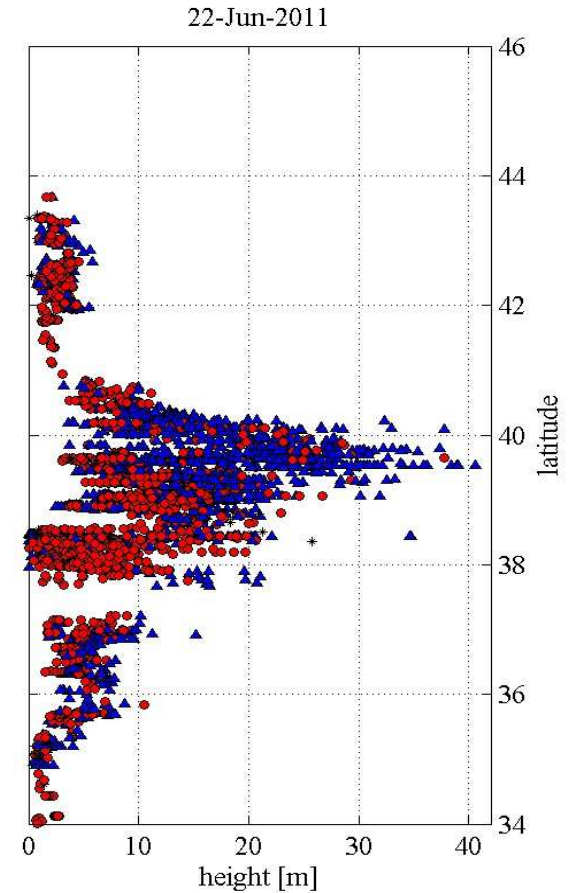
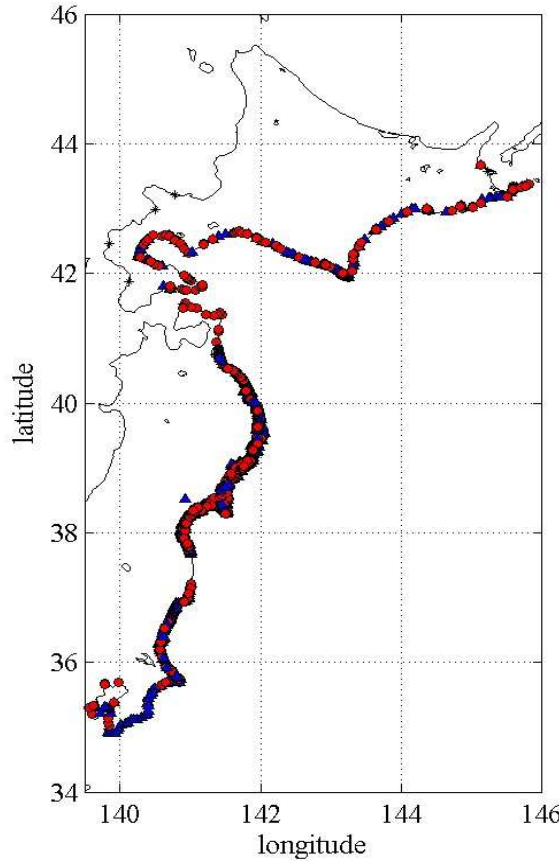
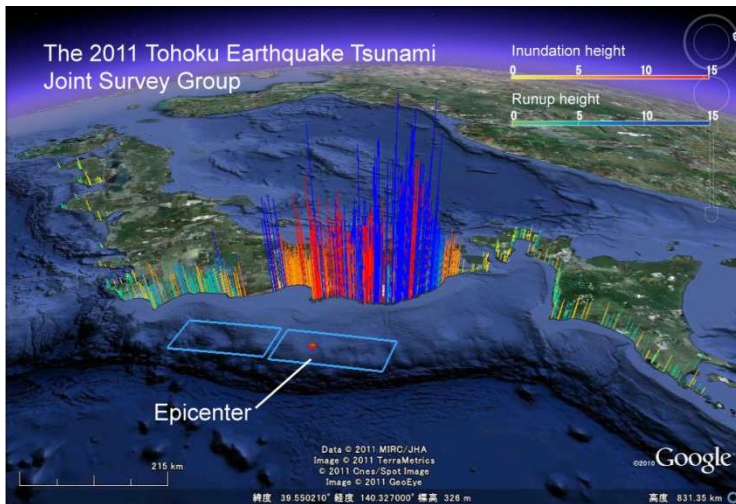


4. 津波再現解析に用いた痕跡高について(4/6)

痕跡高の調査範囲・地点数(2/2)

(2) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによるデータ

■ 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループの調査結果から、北海道太平洋北部沿岸から千葉県房総半島沿岸部のデータを取得(合計2,635点※)。



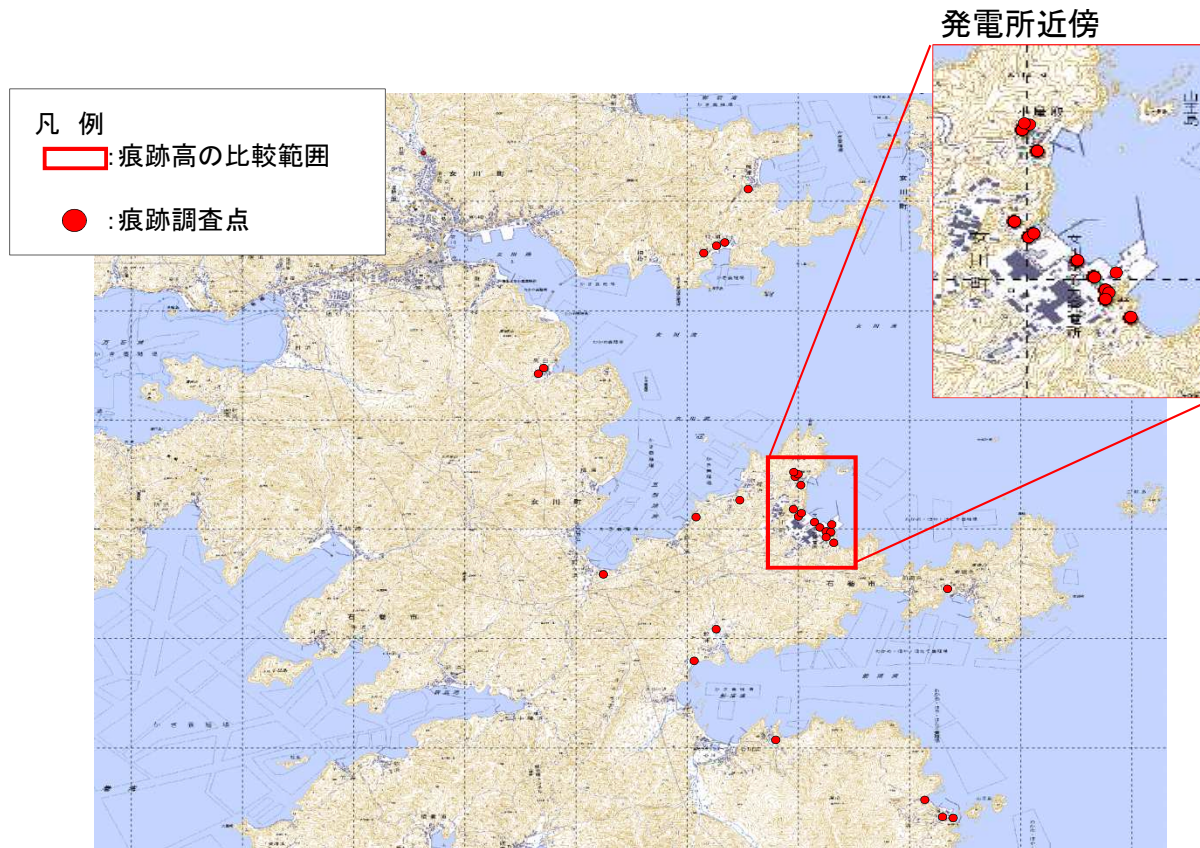
浸水高(赤色丸)・遡上高(青色三角)

※: 位置情報や浸水高の記載がないデータや、信頼度がDまたはW(微弱な津波)のデータ等を除外した合計2,635点を使用。

4. 津波再現解析に用いた痕跡高について(5/6)

痕跡高の再現性(発電所近傍)

- 「東北電力」, 「東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ」による発電所近傍の痕跡高と計算値を比較し, 良好な再現性を確認。



再現性の確認結果

K	κ	n
1.00	1.04	14

相田(1977)による再現性の評価指標(K, κ)

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

$$K_i = R_i / H_i$$

ここで,

n: 地点数,

R_i : i番目の地点での観測値(痕跡高),

H_i : i番目の地点での数値シミュレーション結果

【土木学会(2002)※による再現性の目安】

$$0.95 < K < 1.05, \quad \kappa < 1.45$$

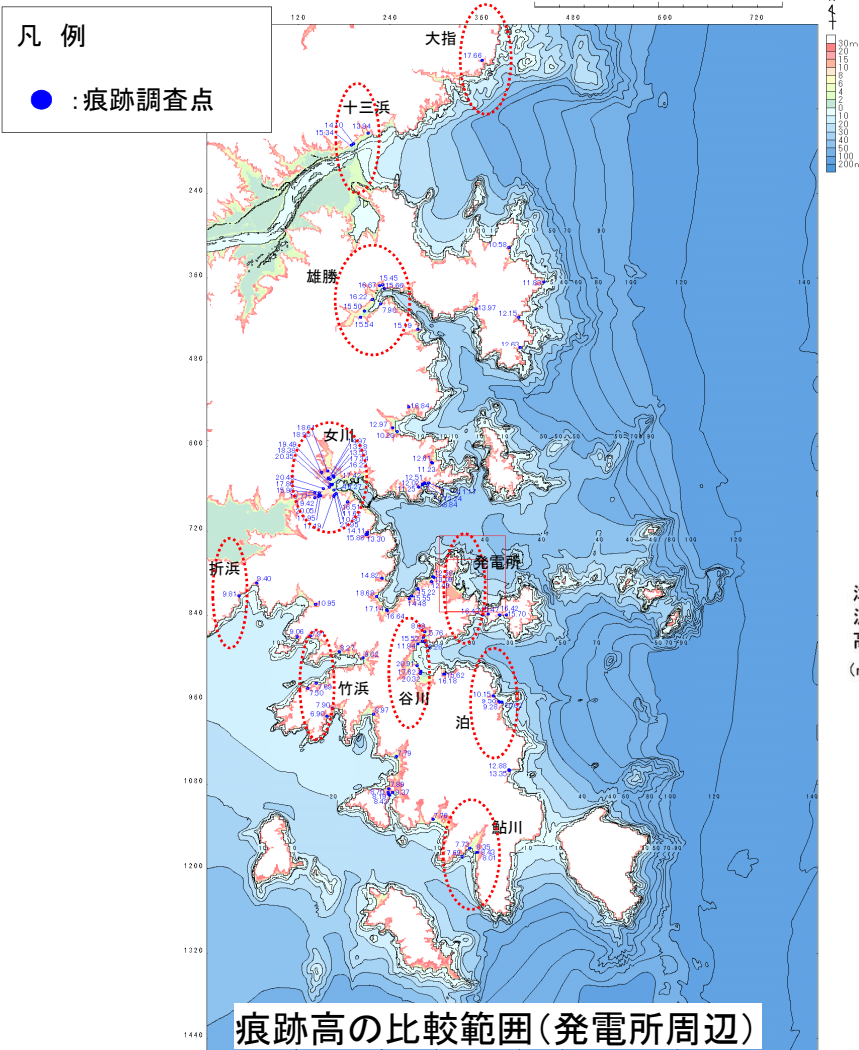
※: 原子力発電所の津波評価技術
(平成14年2月 土木学会 原子力土木委員会)

痕跡高の比較範囲(発電所近傍)

4. 津波再現解析に用いた痕跡高について(6/6)

痕跡高の再現性(発電所周辺)

■「東北電力」,「東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ」による発電所周辺の痕跡高と計算値を比較し,概ね痕跡高を再現できていることを確認。



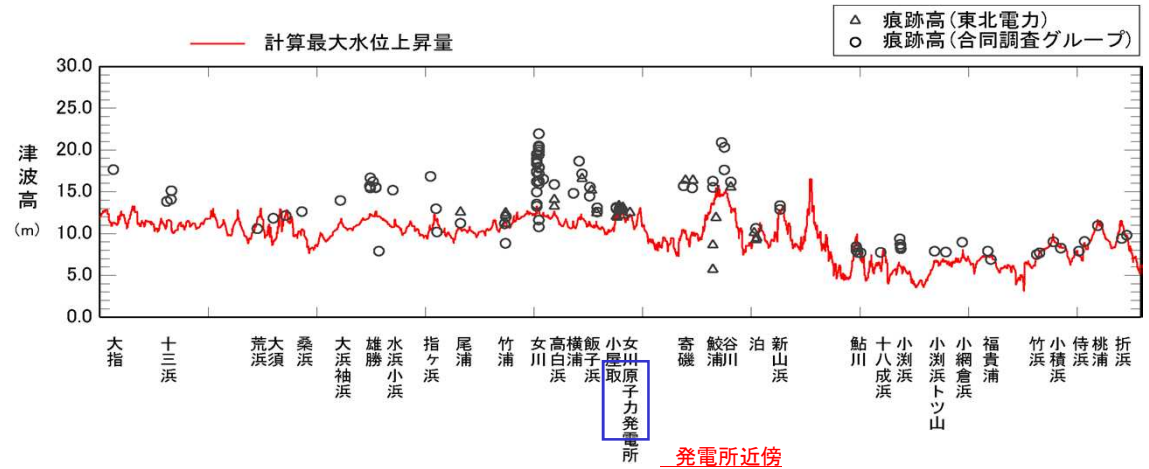
再現性の確認結果

K	κ	n
1.15	1.24	123

【土木学会(2002)※による再現性の目安】

$$0.95 < K < 1.05, \kappa < 1.45$$

※:原子力発電所の津波評価技術
(平成14年2月 土木学会 原子力土木委員会)



痕跡高と計算値の比較(発電所周辺)

5. 津波の周波数領域での再現性について(1/3)

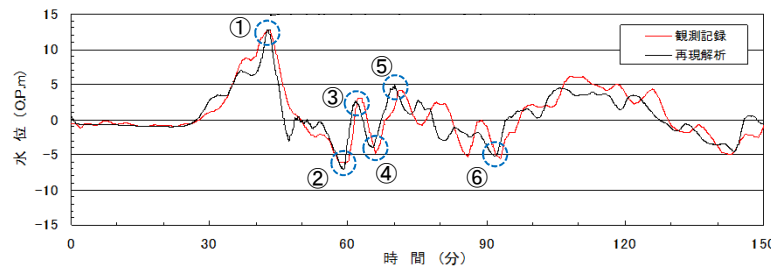
【ご質問事項】

■資料3のP16の再現性について、時間領域の波形だけではなく、周波数領域での再現性を示すこと。

(P16一部加筆)

再現性の確認

●女川原子力発電所の潮位計で観測された水位と解析で得られた水位は良く一致している



	観測記録	再現解析
①	+12.25m	+12.23m
②	-6.58m	-7.57m
③	+2.53m	+2.17m
④	-5.41m	-4.54m
⑤	+3.47m	+4.15m
⑥	-6.18m	-5.76m



●調査で得られた痕跡高と解析で得られた痕跡高も良く一致している(発電所近傍)

	K	κ
再現解析の結果	K=1.00	κ=1.04
土木学会(2002)による再現性の目安	0.95 < K < 1.05	κ < 1.45

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

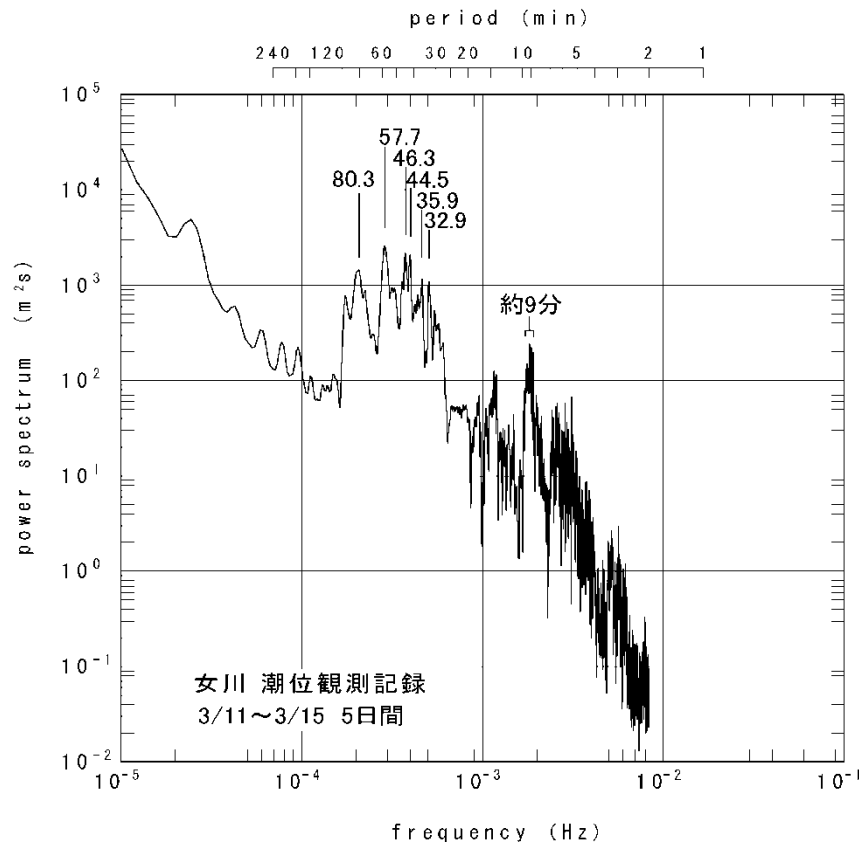
$$K_i = R_i / H_i$$

n : 地点数, R_i : i 番目の地点での観測値(痕跡高),
 H_i : i 番目の地点での再現解析結果

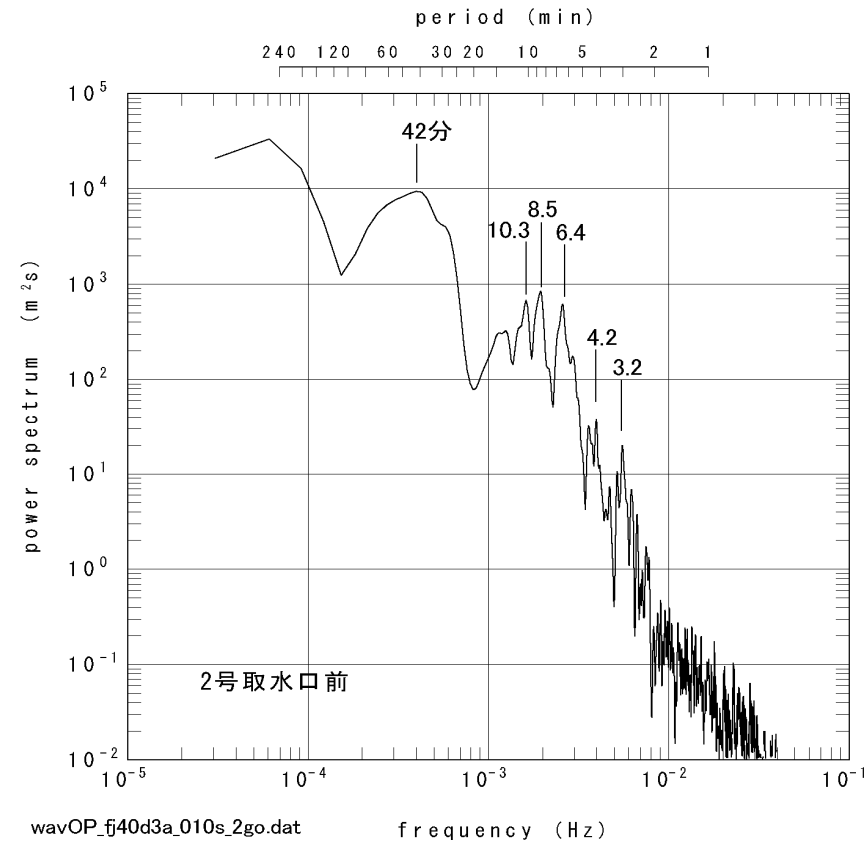
※:K, κは再現解析と痕跡調査結果との差やばらつきを度を表す指標

5. 津波の周波数領域での再現性について(2/3)

■ 潮位観測記録, 再現解析のスペクトル解析結果は以下のとおり。



潮位観測記録を用いたスペクトル解析結果



女川再現モデルの水位時刻歴波形を用いたスペクトル解析結果

5. 津波の周波数領域での再現性について(3/3)

■ 潮位観測記録と再現解析のスペクトル解析結果を重ね合わせた。

- ・ 津波最高水位を記録した第1波の周期(40分~50分)の周波数が整合的であることを確認した。
- ・ 9分程度の比較的短周期の成分も整合的である。

