

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う
泊発電所 1 号機、2 号機及び 3 号機の耐震安全性評価に係る
クロスチェック解析の報告書

- 地震随伴事象（津波）に対する安全性評価に係る解析 -

平成 22 年 1 月 29 日

独立行政法人 原子力安全基盤機構

目 次

1. クロスチェック解析の目的及び概要	2
1.1 目的	2
1.2 概要	2
2. 対象施設の立地条件	3
3. クロスチェック解析の基本方針	4
3.1 津波に対する安全性判断基準	4
3.2 クロスチェック解析のフロー	4
4. 対象とする津波波源の設定	6
5. 津波水位に係る安全性評価	9
5.1 津波解析手法及び解析条件	9
5.2 津波解析結果及び事業者解析結果との比較	9
6. 取水ピットポンプ室内水位に係る安全性評価	27
6.1 取水設備内の流動解析手法及び解析条件	27
6.2 流動解析結果及び事業者解析結果との比較	27
7. まとめ	31
参考文献	32

添付資料 1 既往津波による再現性確認

添付資料 2 津波解析による水位変動のスナップショット

- ・ 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (NE_High ケース)
- ・ FB-2 断層に想定される地震に伴う津波 (FB2_D60_ASP1 ケース)

1. クロスチェック解析の目的及び概要

1.1 目的

原子力安全・保安院（以下、「保安院」という。）の指示書「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針等の改訂に伴う泊発電所 1 号機、2 号機及び 3 号機の耐震安全性評価に係るクロスチェック解析について」（平成 21 年 7 月 22 日付け平成 21・07・15 原院第 2 号）に基づき、泊発電所の津波に対する安全評価に係るクロスチェック解析を実施した。

本解析では、北海道電力株式会社（以下、「事業者」という。）より、保安院に提出された「泊発電所 3 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結果報告書」（平成 21 年 10 月 7 日北電原第 217 号）及び「泊発電所 1 号機及び 2 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結果報告書」（平成 21 年 3 月 30 日北電原第 395 号）（以下、「事業者報告書」という。）に記載された地震随伴事象（津波）に係る報告内容について、クロスチェック解析を実施した。

1.2 概要

本クロスチェック解析では、土木学会の「原子力発電所の津波評価技術 2002」（以下、「土木学会マニュアル」という。）に準拠し、施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性のある津波を想定して、その津波による当該施設への影響を検討した。具体的には、津波来襲時の押し波時の水位上昇による重要機器の浸水や、引き波時の水位低下による取水障害によって、当該施設の安全機能が損なわれることがないか、検討を行った。

津波を発生させる波源として、特に敷地に重大な影響を及ぼす可能性がある敷地前面海域の活断層と日本海東縁部の地震を対象とした。また、海域活断層により発生する地震の規模は、これまで耐震バックチェック報告を審議する合同 WG における専門委員の意見を踏まえ、土木学会マニュアルに従った津波評価で用いられている方法と基準地震動の評価で用いられている方法の双方のケースについて検討した。

2. 対象施設の立地条件

泊発電所は、日本海東縁部に面した北海道西岸に立地する。

北海道西方沖から新潟県西方沖にかけての日本海東縁部では、M7.5クラスの地震とこれに伴う津波が空間的に連続して発生している。当該施設に影響を及ぼした既往の津波としては、例えば1993年北海道南西沖地震津波において、敷地付近の泊村で3m、岩内町で3.6mの津波高が記録されており、津波の来襲を経験している。

津波来襲時の浸水ルートとして、敷地前面の沿岸部からの直接ルートに加えて、敷地北側の国道との取付け道路（トンネル）からの回り込みルートも考慮する必要がある。

また、原子炉機器冷却用水は、港内に設けられた取水口から取水する構造となっており、津波による港内の水位変動を検討する必要がある。



図 2.1 泊発電所の立地位置



図 2.2 泊発電所の敷地周辺状況

3. クロスチェック解析の基本方針

3.1 津波に対する安全性判断基準

本クロスチェック解析では、想定津波に対して当該施設が安全であることを確認するために、①想定津波が敷地内に浸入し重要機器が浸水しないこと、及び②原子炉機器冷却系の取水に支障がないこと、等を確認する。各項目について以下に示す安全性判断基準を設ける。

- ① 想定津波が敷地内に浸入し重要機器が浸水しないこと
 - ・ 想定津波による津波波高（遡上高）が、敷地レベル（T.P.+10m）を上回らないこと。
 - ・ 想定津波による津波波高が敷地レベルを上回る場合には、想定津波による浸水範囲を評価し、その範囲内に重要機器が存在しないこと、あるいは、浸水範囲内の水位が重要機器の機能喪失レベルを上回らないこと。
- ② 原子炉機器冷却系の取水に支障がないこと
 - ・ 想定津波による引き波時の取水ピットポンプ室内水位が、原子炉補機冷却海水ポンプの設計最低水位（1,2号機 T.P.-4.17m、3号機 T.P.-6.3m）を下回らないこと。
 - ・ 想定津波に伴う海底の土砂移動により、取水口前面における堆砂高が、取水口の開口高（1,2号機 3.5m、3号機 4.25m）を上回らないこと。

（注）敷地レベル及び原子炉補機冷却海水ポンプ設計最低水位は、事業者報告書の記載値、また、取水口の開口高は、保安院からの提供データに基づく値である。

3.2 クロスチェック解析のフロー

本クロスチェック解析のフロー及び対象範囲を図 3.1 に示す。本解析は、基本的に土木学会マニュアルの評価方法に基づいて実施する。

当該施設が 3.1 節の安全性判断基準を満たすことを確認するために、想定される津波波源を設定し、その津波による敷地沿岸部における津波水位及び取水ピットポンプ室内水位をそれぞれ評価する。想定津波波源は、事業者が設定した敷地周辺の海域活断層に想定される地震に伴う津波波源のうち最も敷地に影響が大きい波源（F_B-2 断層）と、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波について、土木学会マニュアルに設定されている波源を対象とする。また、取水ピットポンプ室内水位の評価では、事業者の評価で、取水ピットポンプ室内水位が、原子炉補機冷却海水ポンプ設計最低水位を 1 次的に下回る結果となっている 1, 2 号機取水設備を対象とする。

なお、取水口前面における堆砂高の評価については、事業者評価において堆砂高 2~3cm 程度であることから、安全上十分余裕があると判断し、本クロスチェック解析の対象外とする。

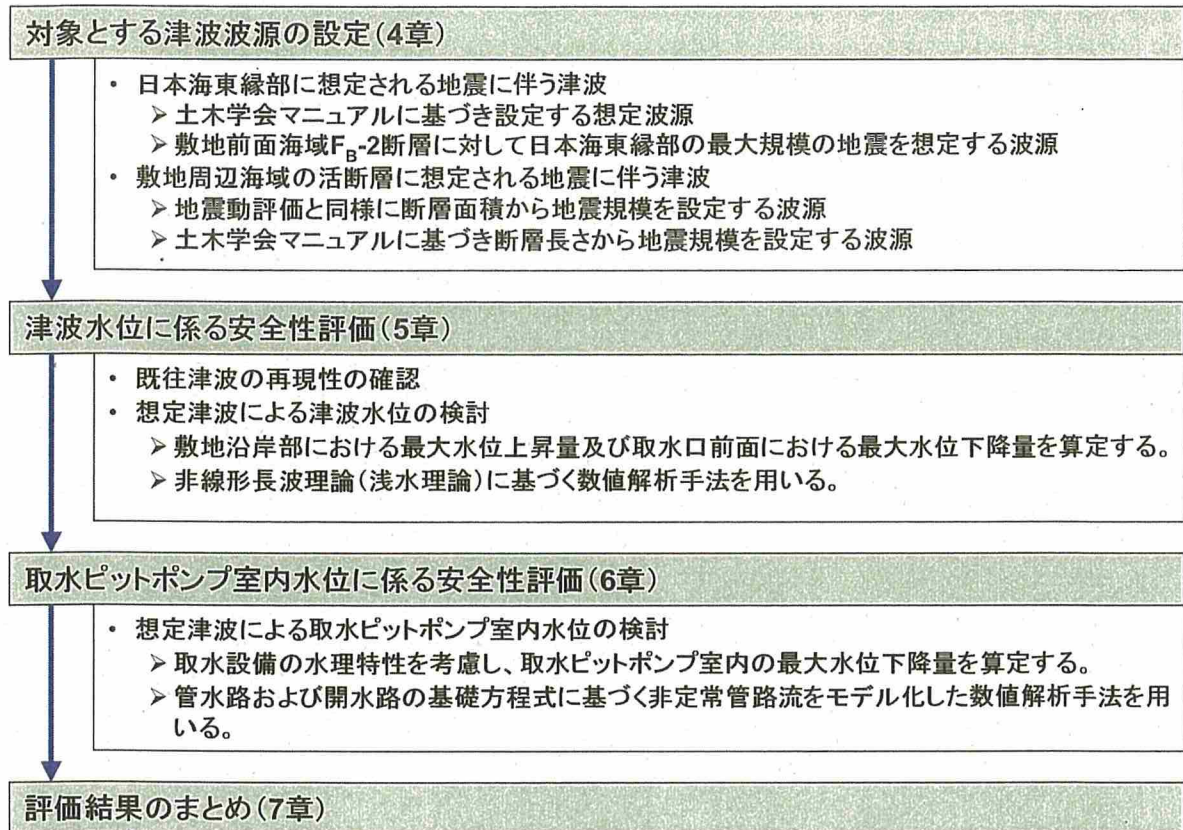


図 3.1 クロスチェック解析のフロー及び対象範囲

4. 対象とする津波波源の設定

本クロスチェック解析では、泊発電所が日本海東縁部に面して立地していることを考慮し、津波波源として、日本海東縁部に想定される地震と敷地前面海域の活断層による地震を評価対象とする。

日本海東縁部で想定される地震に伴う波源の設定において、土木学会マニュアルでは、図 4.1 に示すように、北海道西方沖から新潟県西方沖までの広域を波源設定位置とし、また、この海域における既往最大規模に相当する矩形断層が基準断層モデルとして示されている。土木学会マニュアルでは、基本的に日本海東縁部の広い範囲を対象とし、保守性や不確実さを考慮して震源モデルを設定して、津波を評価することとしている。事業者は、土木学会マニュアルに基づき、基準断層モデルに対して断層位置、走行、傾斜角等を変動させたパラメータスタディを行い、津波を評価している。

一方、当該施設への津波による影響範囲を考慮すると、日本海東縁部で想定される地震に伴う津波の波源位置は当該施設の前面海域と重なり、その前面海域に対しては事業者が詳細な活断層調査を実施している。その調査の結果から、図 4.1 に示す F_B-2 断層が前面海域を塞ぐように分布していることが確認されており、地震学的な観点から、同断層がこの海域で日本海東縁部の地震を引き起こす最も大きな震源と想定される(地震学の専門家に意見聴取して確認した)。土木学会マニュアルで設定している日本海東縁部の地震に対する基準断層モデルは、F_B-2 断層と比較するとかかなり保守的な設定となっており、事業者がパラメータスタディで設定している波源位置の変動範囲内には、敷地周辺海域の活断層調査結果から見ても、このような大規模な波源がある可能性は低い。

また、当該施設周辺海域の活断層の中で、F_B-2 断層は最も大きく、且つその敷地との位置関係から、最も大きな津波を発生させる波源であることは容易に推定できる。

以上のような敷地周辺海域における津波波源の状況や事業者の波源設定条件を踏まえて、本解析では以下のように解析対象波源を設定した。

1) 日本海東縁部で想定される地震に伴う波源の設定

①土木学会マニュアルに基づき設定する想定波源

事業者が、土木学会マニュアルに基づき基準断層モデルを設定し、パラメータスタディを行った津波解析結果において、最大水位上昇量と最大水位下降量を発生させる断層を波源モデルとして設定する。

②敷地前面海域の F_B-2 断層に対して想定する波源

F_B-2 断層に対して、日本海東縁部の既往最大の地震規模を想定し、波源を設定する。

なお、以降の章では、上記の F_B-2 断層の波源を設定は、敷地周辺海域の活断層として取り扱う。

2) 敷地前面海域の活断層に対して想定する波源の設定

F_B-2 断層による地震を敷地への影響が最も大きい波源として想定し、以下の波源モデルを設定する。

- ①地震動評価と同様に断層面積から地震規模を設定し、断層傾斜角やアスペリティの配置の不確実さを考慮して、波源モデルを設定する。
- ②土木学会マニュアルに基づき地震規模を設定する。事業者が、パラメータスタディを行った津波解析結果において、最大水位上昇量と最大水位下降量を発生させる断層を波源モデルとして設定する。

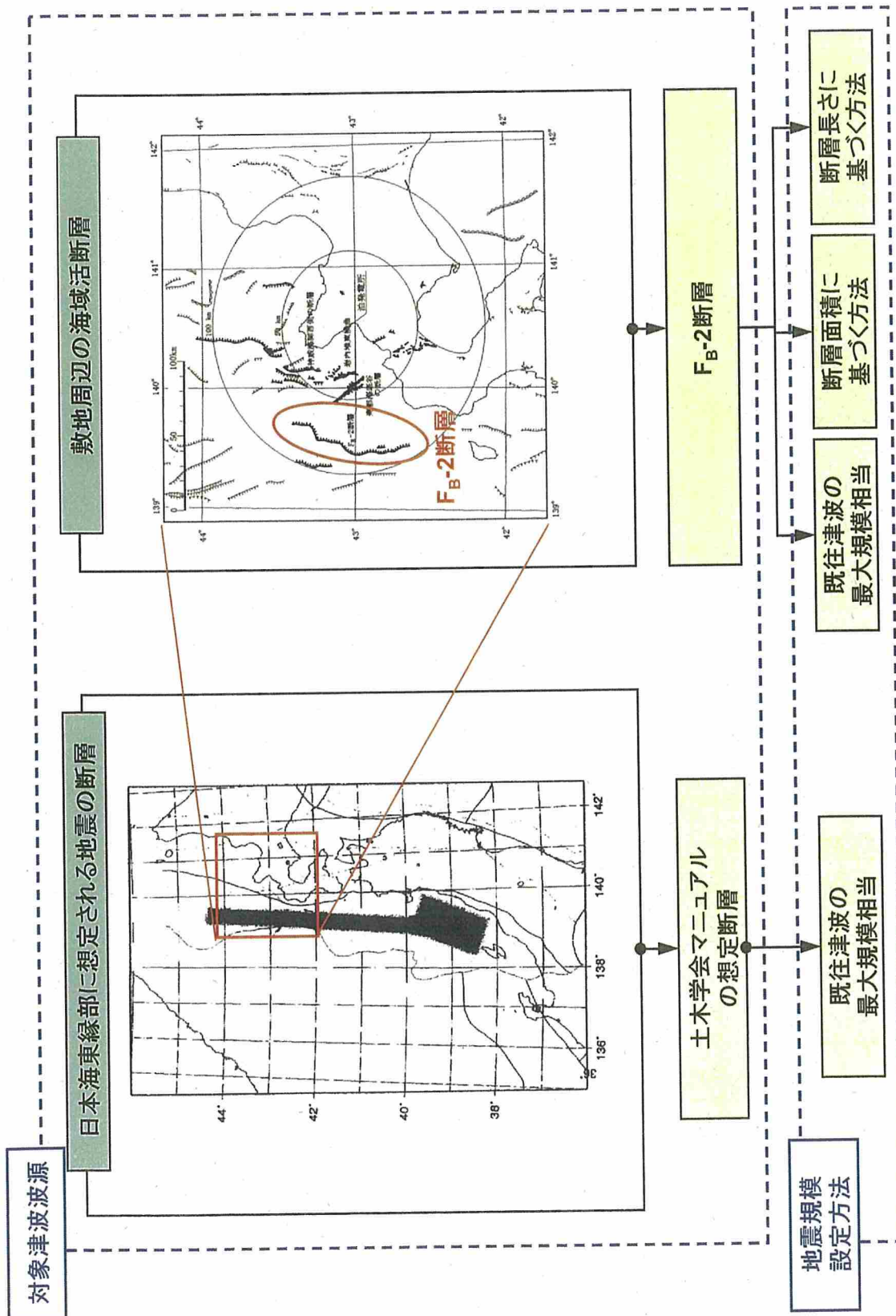


図 4.1 クロスチェック解析の対象津波波源

5. 津波水位に係る安全性評価

5.1 津波解析手法及び解析条件

想定津波による敷地沿岸部における津波水位の評価にあたり、波源から評価対象地点までの津波伝播特性及び地形特性等をモデル化した数値解析手法を用いる。

本クロスチェック解析で用いる計算領域等の解析条件を表 5.1 に示す。計算領域は、A 領域から F 領域までとし、各領域の空間格子間隔を 1215m から 5m まで 1/3 接続とした地形モデルを用いる。時間格子間隔も空間格子間隔に合わせて 1/3 接続とし、F 領域では 0.006 秒とする。基礎方程式としては、浅海域における波の前傾化を考慮できる非線形長波理論を採用する。水平渦動粘性項については、事業者の解析条件と異なり本クロスチェック解析では考慮しないこととする。事業者は、水平渦動粘性項を考慮し、係数 $10\text{m}^2/\text{s}$ の値を設定している。水平渦動粘性項は、土木学会マニュアルでも「導入することもある。」とし、特に適用を否定するものではないが、津波による水位変動を小さくする効果があるため、本クロスチェック解析では考慮しないこととした。

図 5.1 に本クロスチェック解析に用いる地形モデルの各計算領域及び水深を示す。これらの地形モデルは、(財) 日本水路協会の海底地形デジタルデータ M7000 シリーズを元に作成した。ただし、F 領域については、保安院から提供を受けた事業者データ（敷地の配置図、港湾施設の構造図等）を元に作成した。ただし、本クロスチェック解析では、敷地北側のトンネルルートからの津波遡上を考慮できるように、トンネル上部の山体地形を取り除いて地形モデルを作成した。

また、4 章で示したように、津波波源として土木学会マニュアルの日本海東縁部の想定断層と敷地周辺の海域活断層 F_B-2 断層を設定した。土木学会マニュアルの日本海東縁部の想定断層（最大水位上昇ケースと最大水位下降ケース、それぞれ NE-High, NE-Low と表す。）を図 5.2 に示す。F_B-2 断層の基準断層モデルは、事業者が地震動評価に用いた基本震源モデルに基づき、断層長さ、断層幅、断層上端深さ、モーメントマグニチュード M_w を設定した。事業者の地震動評価の基本震源モデルを図 5.3 に示す。同断層モデルについて、図 5.4 に示すとおり、 M_w の設定方法、傾斜角、アスペリティの有無とその配置を以下のように変動させて解析を行った。

- (A) 断層面積に基づいて M_w を設定し、傾斜角を 30° , 45° , 60° とした一様すべりの場合
- (B) 日本海東縁部における既往最大規模 $M_w 7.85$ を設定し、傾斜角を 30° , 45° , 60° 、アスペリティを考慮しその配置を変化させた場合
- (C) 土木学会マニュアルに従い、断層長さに基づき M_w を設定した場合（事業者の F_B-2 断層の検討のうち、最大水位上昇ケース及び最大水位下降ケースの断層パラメータを参照した。それぞれ KFB2-D60, KFB2-D30 と表す。）

5.2 津波解析結果及び事業者解析結果との比較

津波解析結果として、表 5.2 に、各解析ケースの敷地沿岸部における最大遡上高と敷地北側の

トンネルルートからの津波先端の遡上高を示し、図 5.5 に、敷地沿岸各部の最大遡上高の比較を示す。また、図 5.6(a)～図 5.6(o)には、各解析ケースの最大水位上昇分布を示す。同図中には、敷地沿岸部における最大遡上高及びトンネルルートからの津波先端の遡上高、トンネル入口部分の遡上高を示した。津波解析結果の値はいずれも東京湾平均海面（T.P.）を基準としている。

検討した解析ケースで、敷地沿岸部において最も影響を与えるのは、土木学会マニュアルの日本海東縁部の想定断層 NE-High（事業者最大水位上昇ケース）であり、最大遡上高は T.P.+9.2 mであった。また、トンネルルートからの遡上については、土木学会マニュアルの日本海東縁部の想定断層 NE-Low（事業者最大水位下降ケース）であり、最大遡上高は T.P.+9.4m であった。朔望平均満潮位（T.P.+0.26m）を考慮すると、想定津波による最大水位上昇量は、T.P.+9.7m 程度である。

想定津波による 1・2 号機取水口及び 3 号機取水口における最大水位下降量を表 5.3 に示す。検討した解析ケースで、最も影響を与えるのは、土木学会マニュアルの日本海東縁部の想定断層 NE-Low（事業者最大水位下降ケース）であり、1,2 号機取水口及び 3 号機取水口における最大水位下降量は、それぞれ T.P.-5.9m、T.P.-6.4m であった。

また、事業者の解析条件と同じ土木学会マニュアルの日本海東縁部の想定断層 NE-High ケースについて、JNES と事業者の結果を比較した。図 5.7 に最大水位上昇量分布について両者の解析結果の比較を示す。また、代表地点位置（湾口部、湾内中央部、1・2 号機取水口及び 3 号機取水口）における水位変動の結果の比較を図 5.8 に示す。いずれの結果も、事業者の結果は JNES の解析結果とほぼ一致しており、事業者の解析結果は妥当であると判断される。

表 5.1 津波水位評価のための数値計算条件

項目	JNESの計算条件						事業者の計算条件
計算領域	A領域	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域	A領域～G領域
空間格子間隔(m)	1215	405	135	45	15	5	5000～10
時間格子間隔(秒)	1.458	0.486	0.162	0.054	0.018	0.006	一律0.25
基礎方程式	非線形長波						A領域: 線形長波 B～G領域: 非線形長波
陸側境界条件	完全反射		小谷ら(1998)の遡上境界				E～G領域: 岩崎ら(1979)の遡上境界
海底摩擦係数	マニングの粗度係数 $n=0.025\text{m}^{-1/3}\text{s}$						$0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$
水平渦動粘性	考慮しない						$10\text{m}^2/\text{s}$
初期条件	・Mansinha and Smylieの方法により計算される海底地殻変位を海面上の初期水位として設定する。						同左
計算対象現象時間	・地震発生後3時間						同左

表 5.2 津波解析結果一覧（最大水位上昇量）

解析ケース	敷地沿岸部 最大遡上高(m)	トンネルルート 遡上高(m)
NE_High	9.2	8.4
NE_Low	8.4	9.4
FB2_D30	4.7	遡上なし
FB2_D45	4.4	遡上なし
FB2_D60	3.8	遡上なし
FB2_D30_ASP1	6.9	6.8
FB2_D30_ASP2	6.2	6.7
FB2_D30_ASP3	5.2	遡上なし
FB2_D30_ASP4	4.9	遡上なし
FB2_D45_ASP1	7.9	8.6
FB2_D45_ASP2	7.7	8.4
FB2_D60_ASP1	8.8	9.2
FB2_D60_ASP2	8.6	9.0
KFB2_D30	6.6	6.3
KFB2_D60	7.4	8.0
事業者解析結果 (最大水位上昇ケース)	9.55	-

注記) トンネル上部の山体を取り除いた地形モデルを用いて解析したトンネルルートからの遡上高を示す。

表 5.3 津波解析結果一覧（最大水位下降量）

解析ケース	1,2号機取水口 前面水位 (m)	3号機取水口 前面水位 (m)
NE_High	-5.0	-5.0
NE_Low	-5.9	-6.4
FB2_D30	-3.1	-3.3
FB2_D45	-2.4	-2.6
FB2_D60	-1.8	-2.0
FB2_D30_ASP1	-3.6	-3.6
FB2_D30_ASP2	-3.5	-3.6
FB2_D30_ASP3	-3.3	-3.4
FB2_D30_ASP4	-3.0	-3.0
FB2_D45_ASP1	-4.3	-4.4
FB2_D45_ASP2	-3.7	-4.0
FB2_D60_ASP1	-4.5	-5.1
FB2_D60_ASP2	-4.3	-4.3
KFB2_D30	-3.6	-3.8
KFB2_D60	-3.4	-3.4
事業者解析結果 (最大水位下降ケース)	-5.83	-6.06*

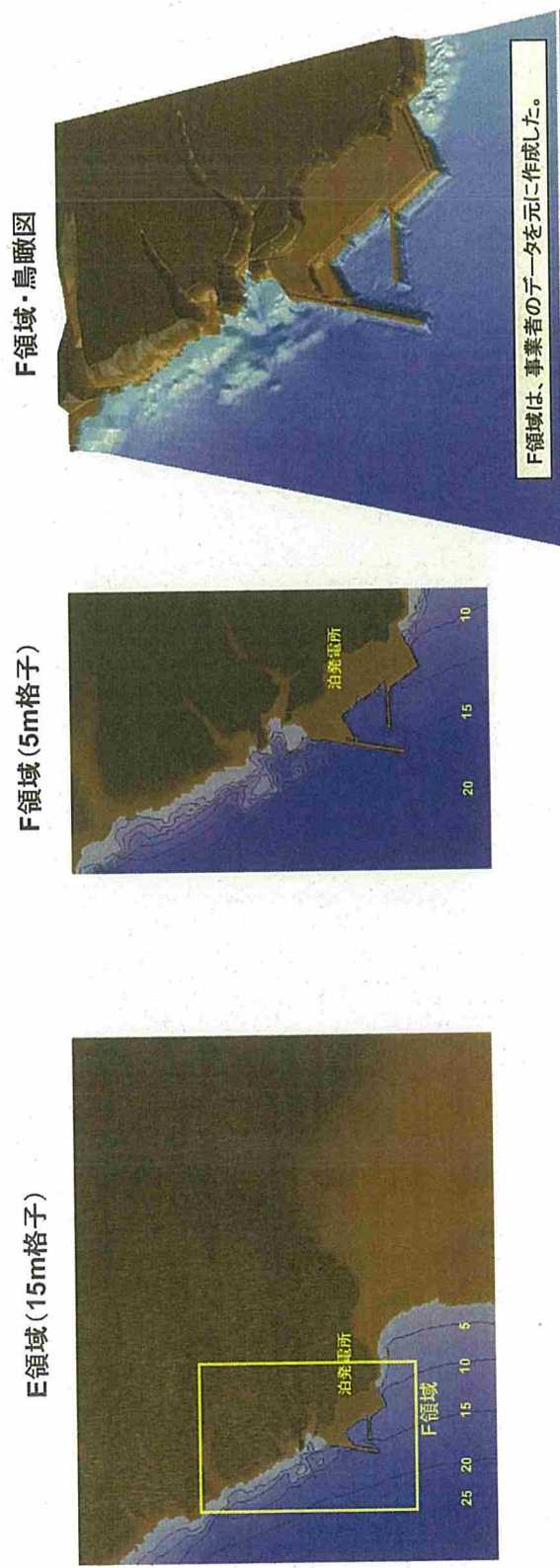
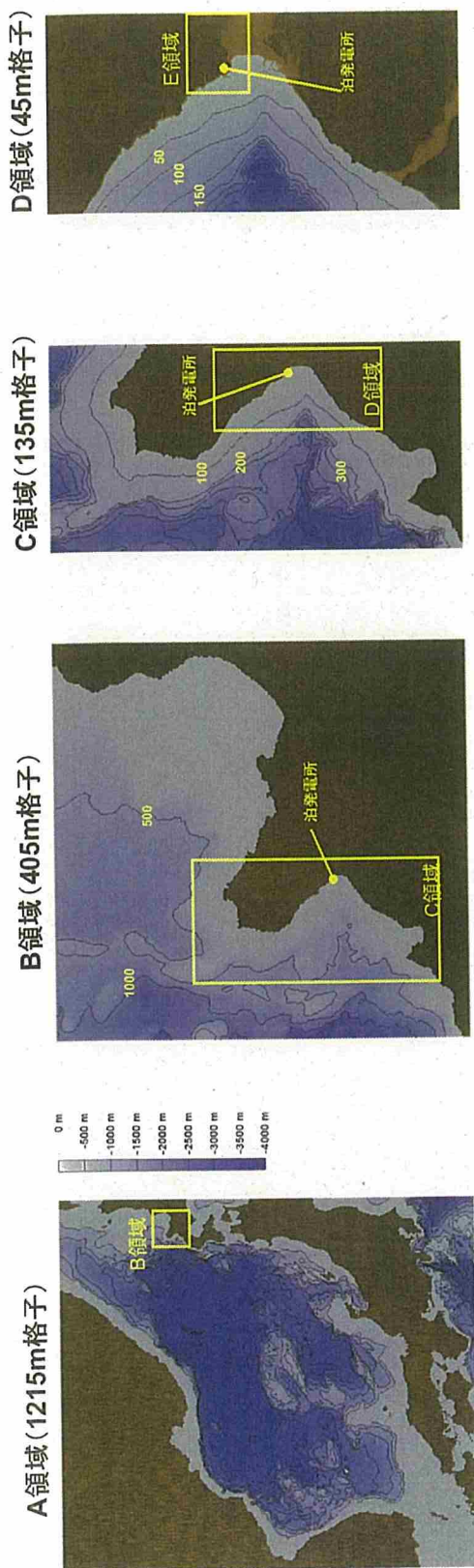


図 5.1 津波解析に用いる地形モデルの計算領域と水深 (m)

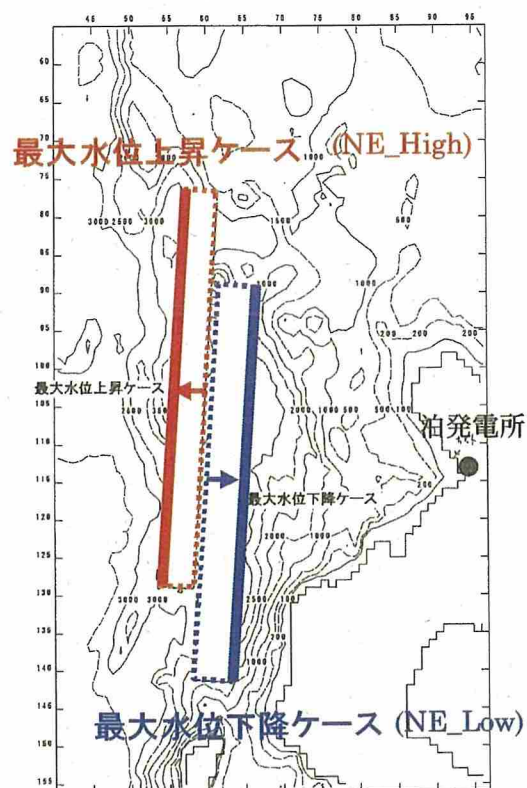


図 5.2 土木学会マニュアルの日本海東縁部の想定断層モデル

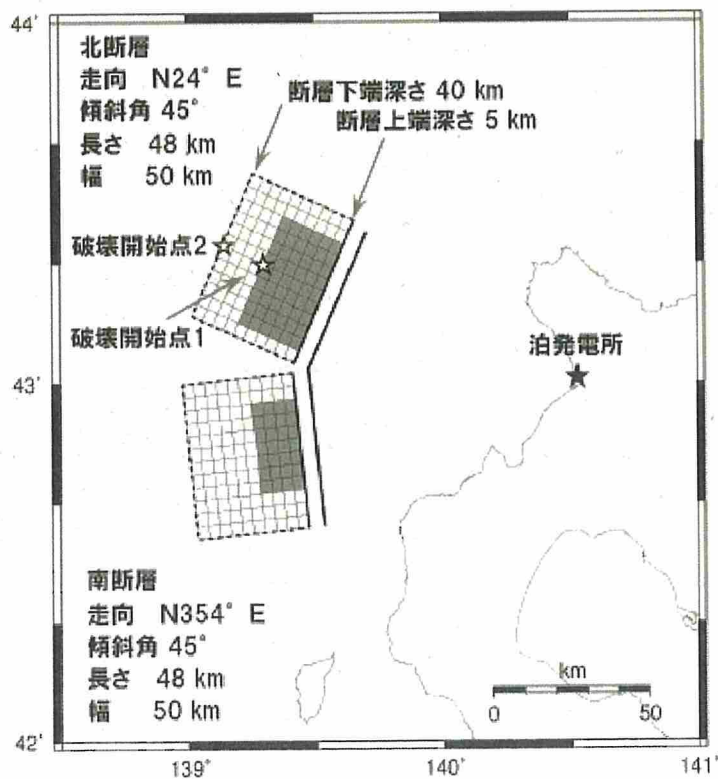


図 5.3 事業者の地震動評価における FB-2 断層の基本震源モデル

A)断層面積に基づきMwを設定

記号	FB2_D30
断層形状	
	傾斜角(°)
	Mw
	断層幅(km)
平均すべり量(m)	2.65
記号	FB2_D45
断層形状	
	傾斜角(°)
	Mw
	断層幅(km)
平均すべり量(m)	2.24
記号	FB2_D60
断層形状	
	傾斜角(°)
	Mw
	断層幅(km)
平均すべり量(m)	2.00

B)既往最大規模のMwを設定(アスペリティ考慮)

記号	FB2_D30_ASP1	FB2_D30_ASP2	FB2_D30_ASP3	FB2_D30_ASP4
断層形状				
	傾斜角(°)	30	30	30
	Mw	7.85	7.85	7.85
	断層幅(km)	70	70	70
平均すべり量(m)	2.65	2.65	2.65	2.65
(背景,アスペリティ)	(1.33, 5.30)	(1.33, 5.30)	(1.33, 5.30)	(1.33, 5.30)
記号	FB2_D45_ASP1	FB2_D45_ASP2		
断層形状				
	傾斜角(°)	45	45	
	Mw	7.85	7.85	
	断層幅(km)	50	50	
平均すべり量(m)	3.73	3.73		
(背景,アスペリティ)	(1.88, 7.46)	(1.88, 7.46)		
記号	FB2_D60_ASP1	FB2_D60_ASP2		
断層形状				
	傾斜角(°)	60	60	
	Mw	7.85	7.85	
	断層幅(km)	40	40	
平均すべり量(m)	4.66	4.66		
(背景,アスペリティ)	(2.34, 9.32)	(2.34, 9.32)		

C)断層長さに基づきMwを設定

記号	KFB2_D30*
断層形状	
	傾斜角(°)
	Mw
	断層幅(km)
平均すべり量(m)	4.00
記号	KFB2_D60*
断層形状	
	傾斜角(°)
	Mw
	断層幅(km)
平均すべり量(m)	6.92

* KFB2_D30、KFB_D60は、事業者のFB-2断層の検討のうち、各最大水位下降量及び最大水位上昇量を示した断層パラメータを参照する。

図 5.4 FB-2 断層に想定される地震に伴う津波の検討ケース一覧

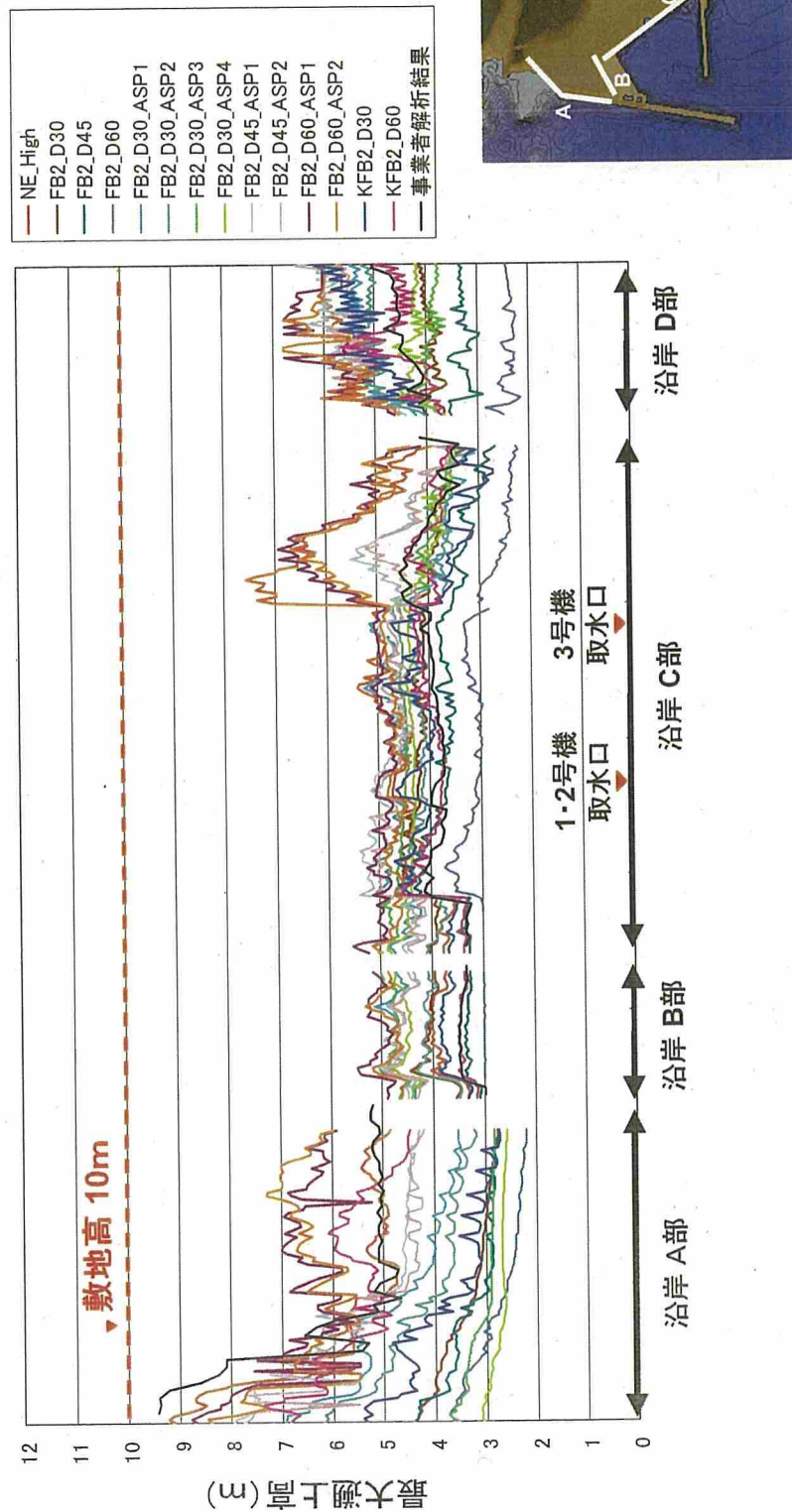
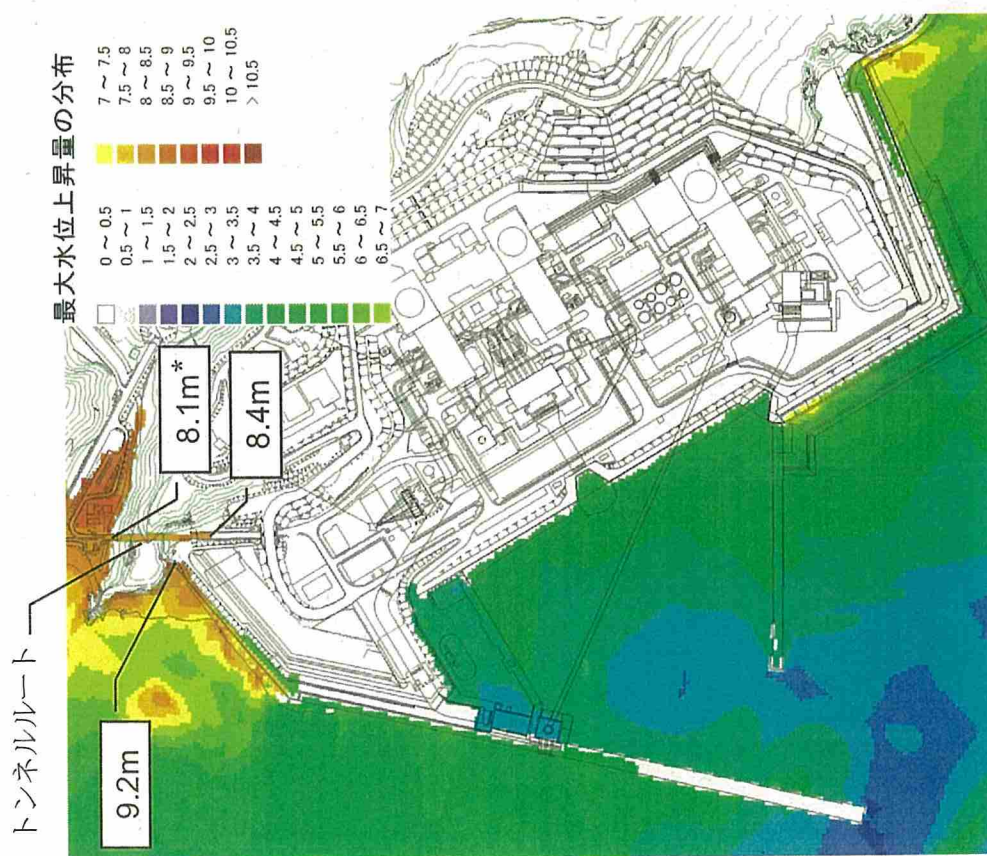


図 5.5 敷地沿岸部における最大遡上高 (m)



*注記 トンネル入口部における遡上高を示す。

図 5.6(a)最大水位上昇量分布 NE_high

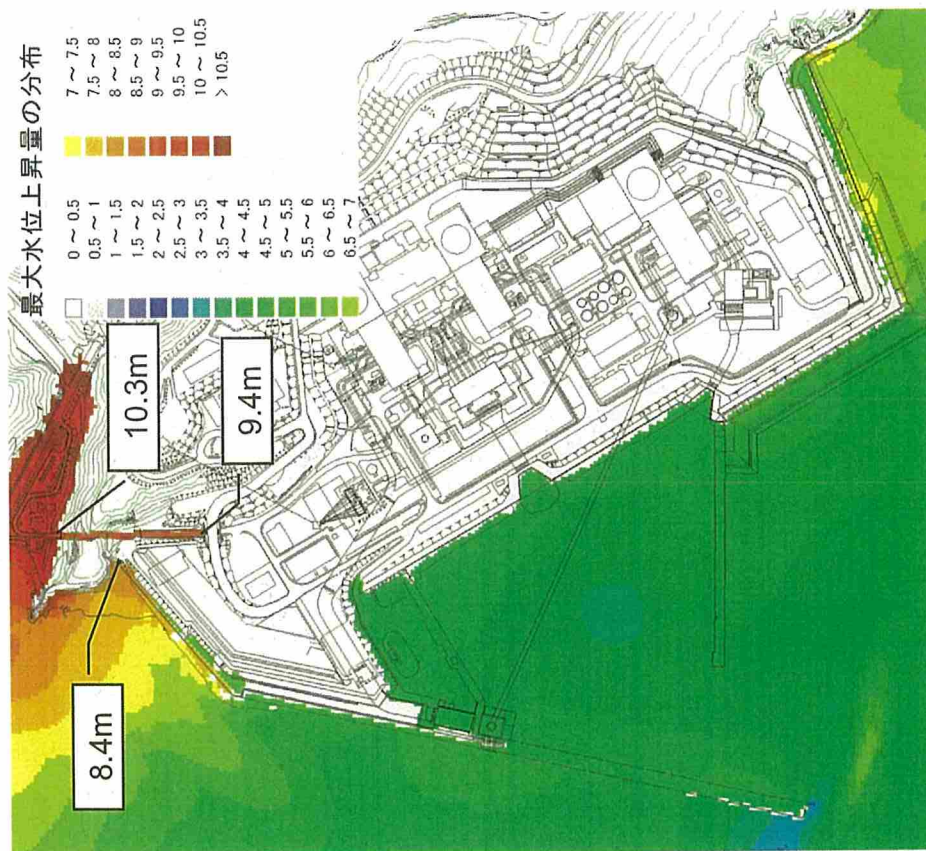


図 5.6(b)最大水位上昇量分布 NE_Low

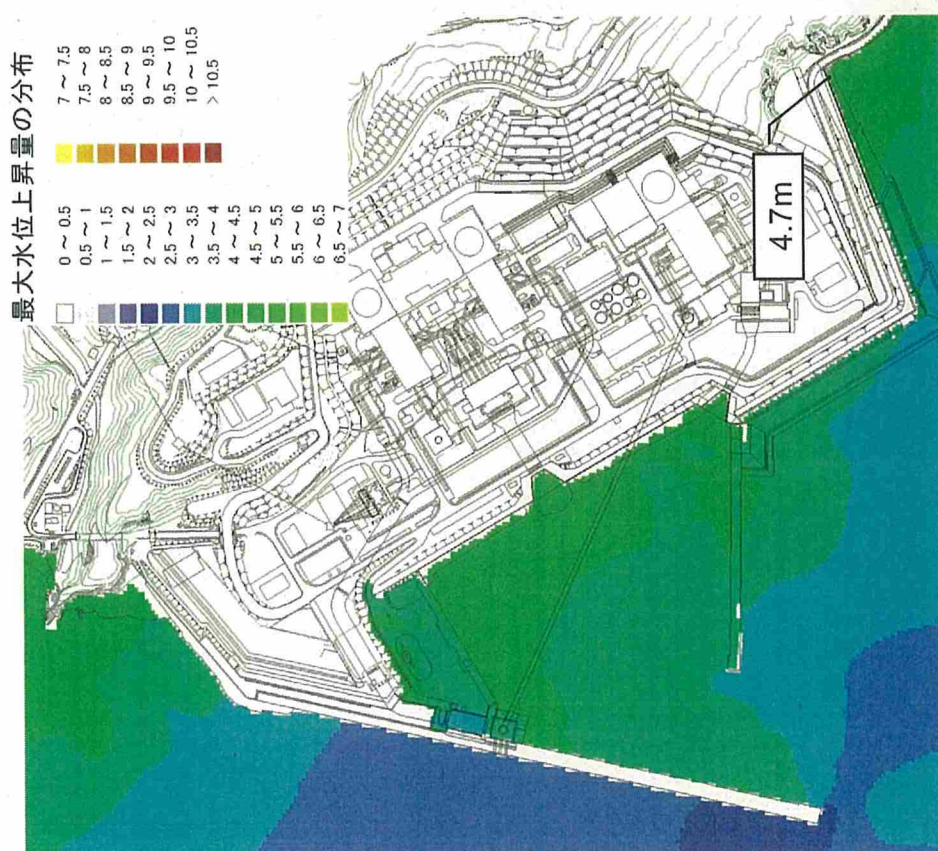


図 5.6(c)最大水位上昇量分布 FB2_D30

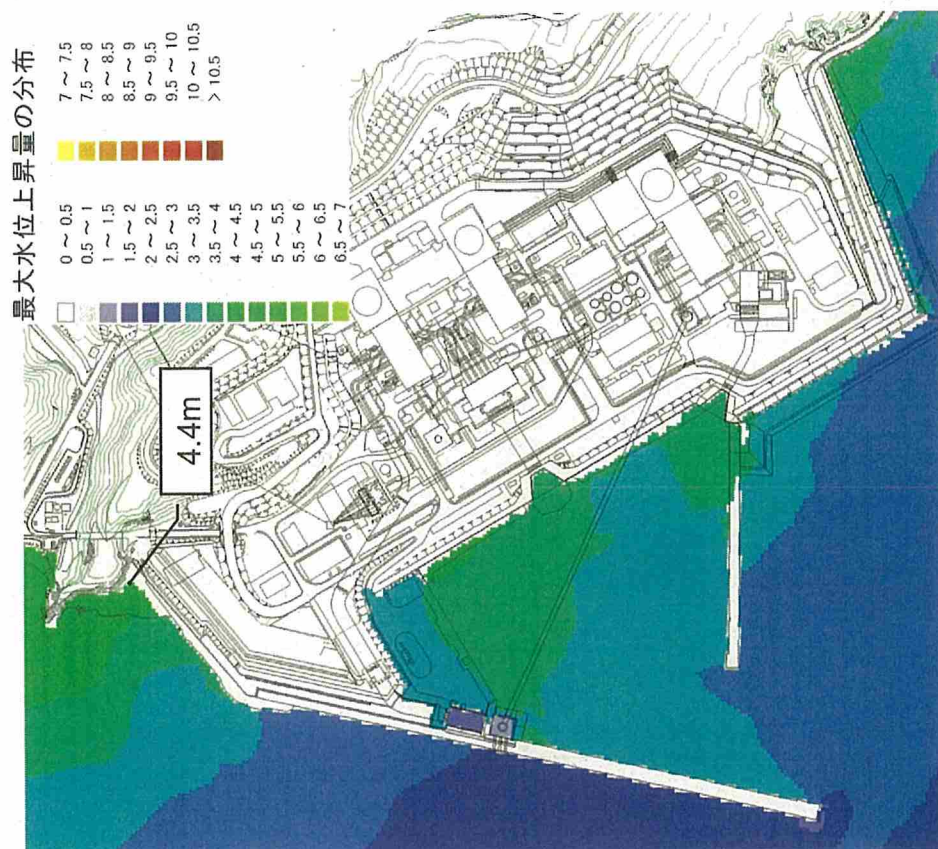


図 5.6(d)最大水位上昇量分布 FB2_D45

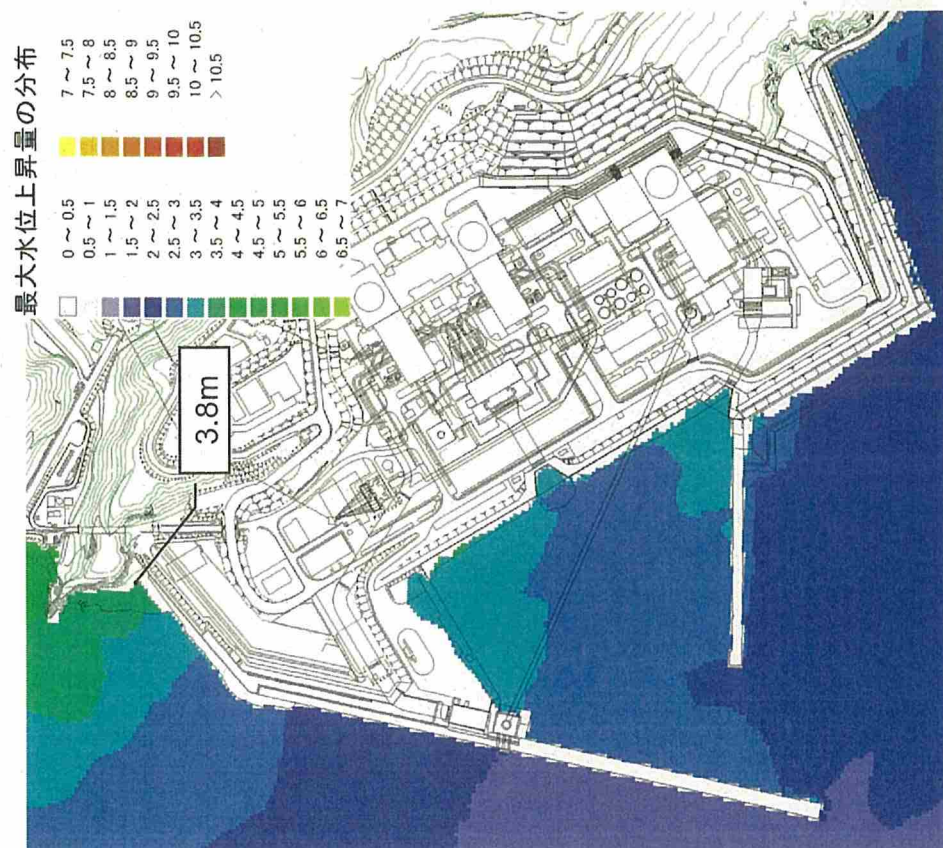


図 5.6(e)最大水位上昇量分布 FB2_D60

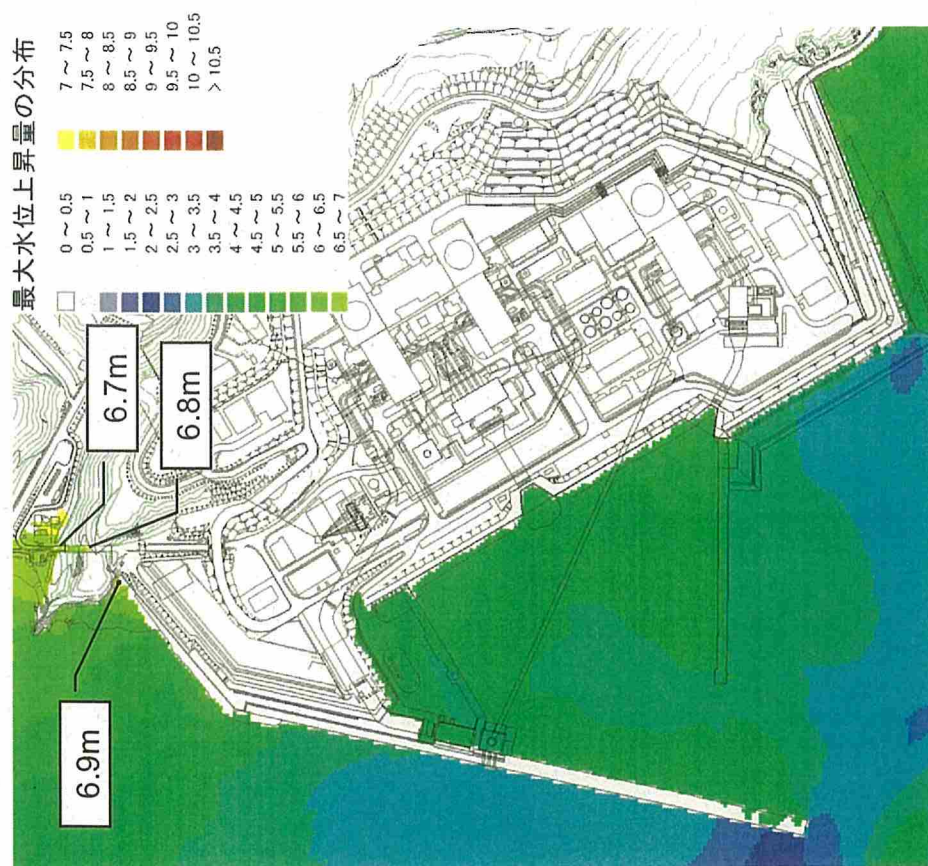


図 5.6(f)最大水位上昇量分布 FB2_D30_ASP1

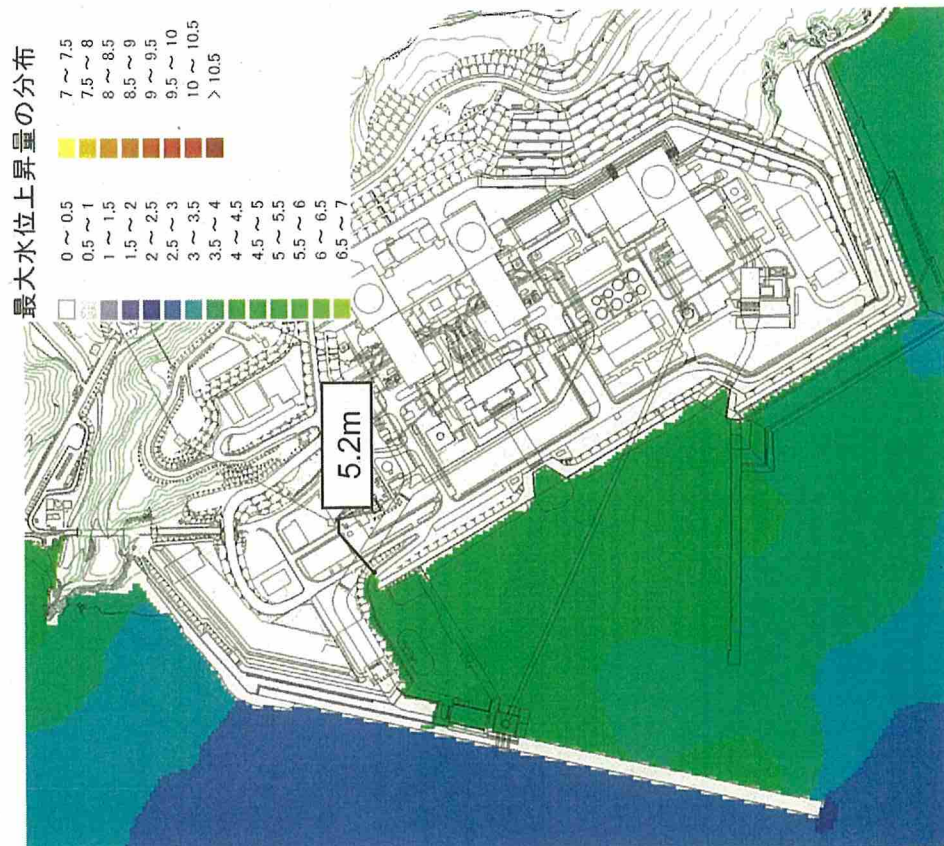


図 5.6(h)最大水位上昇量分布 FB2_D30_ASP3

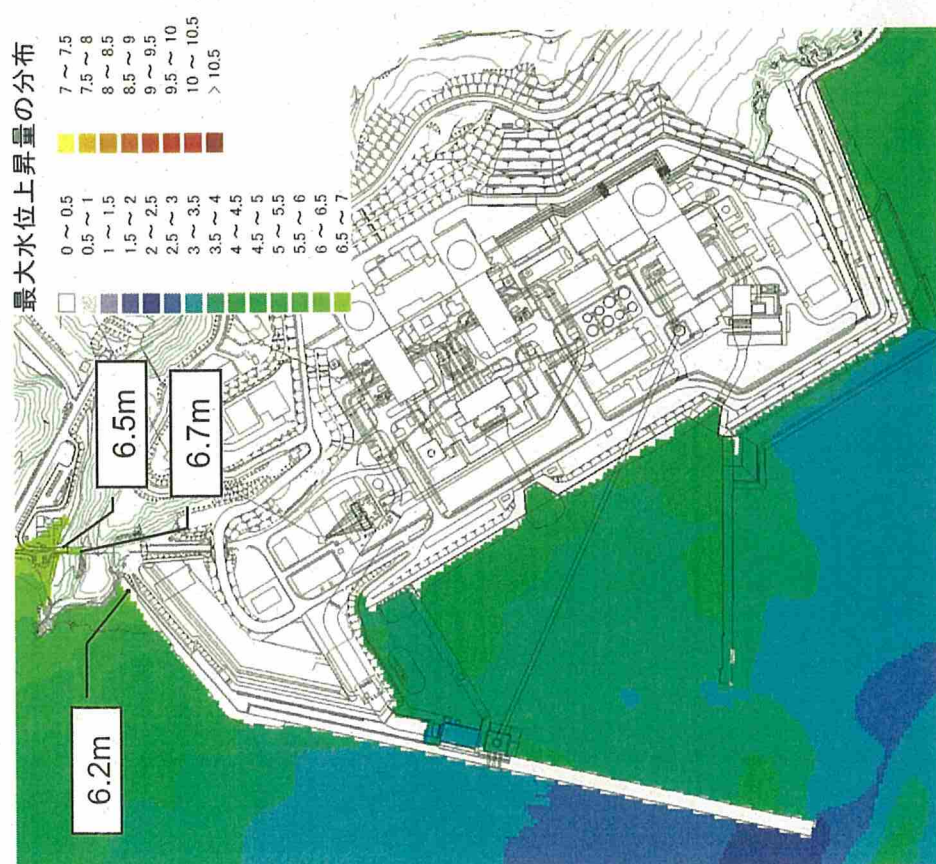


図 5.6(g)最大水位上昇量分布 FB2_D30_ASP2

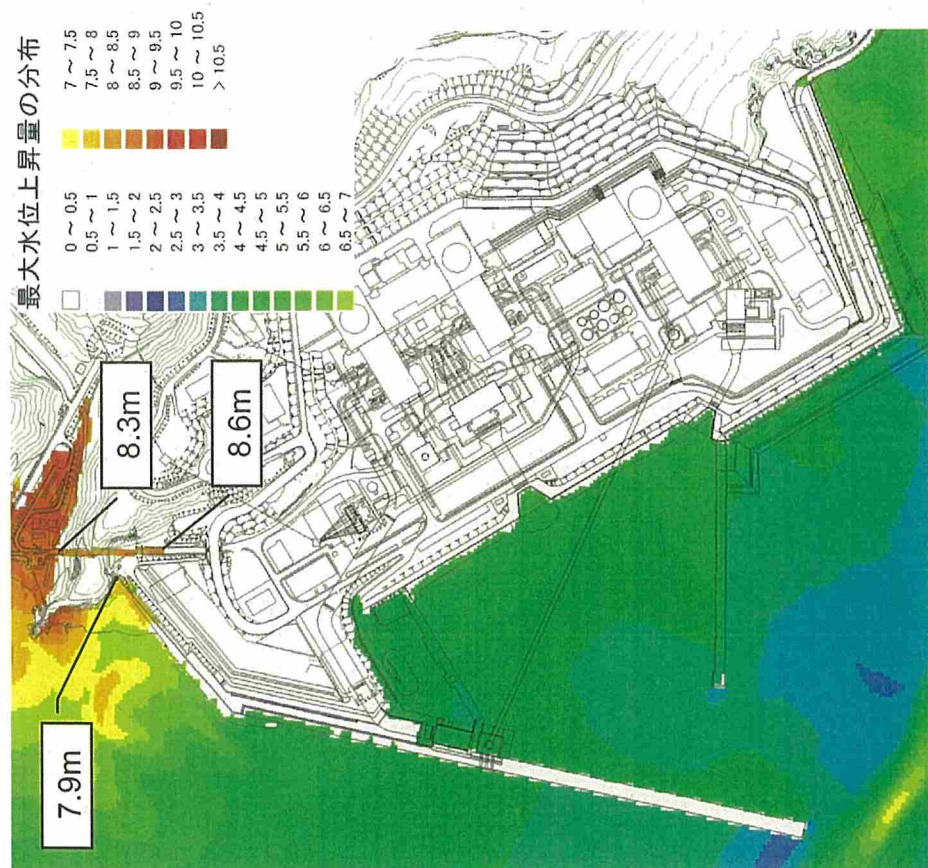


図 5.6(i)最大水位上昇量分布 FB2_D45_ASP1

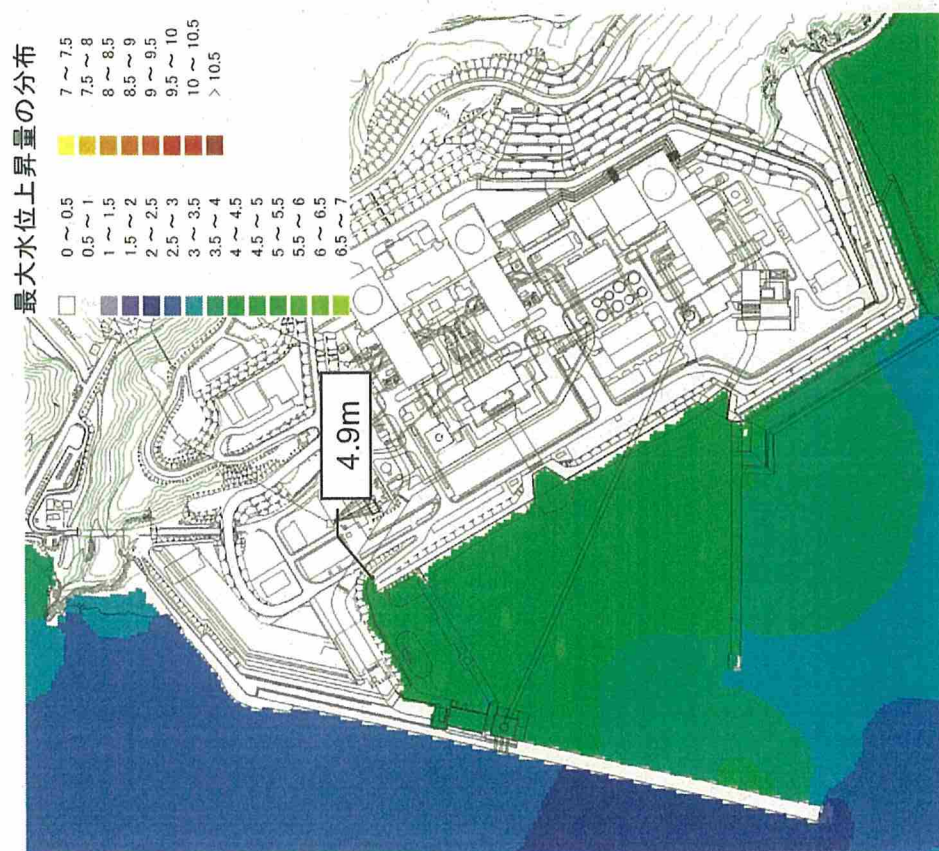


図 5.6(i)最大水位上昇量分布 FB2_D30_ASP4

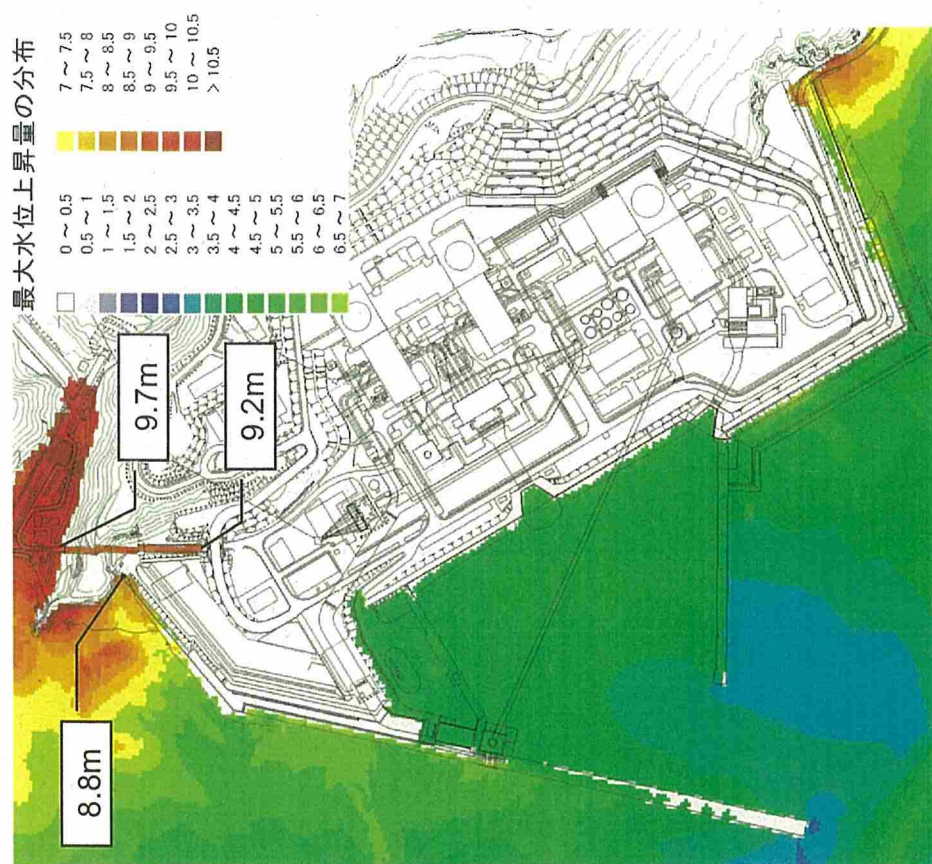


図 5.6(1)最大水位上昇量分布 FB2_D60_ASP1

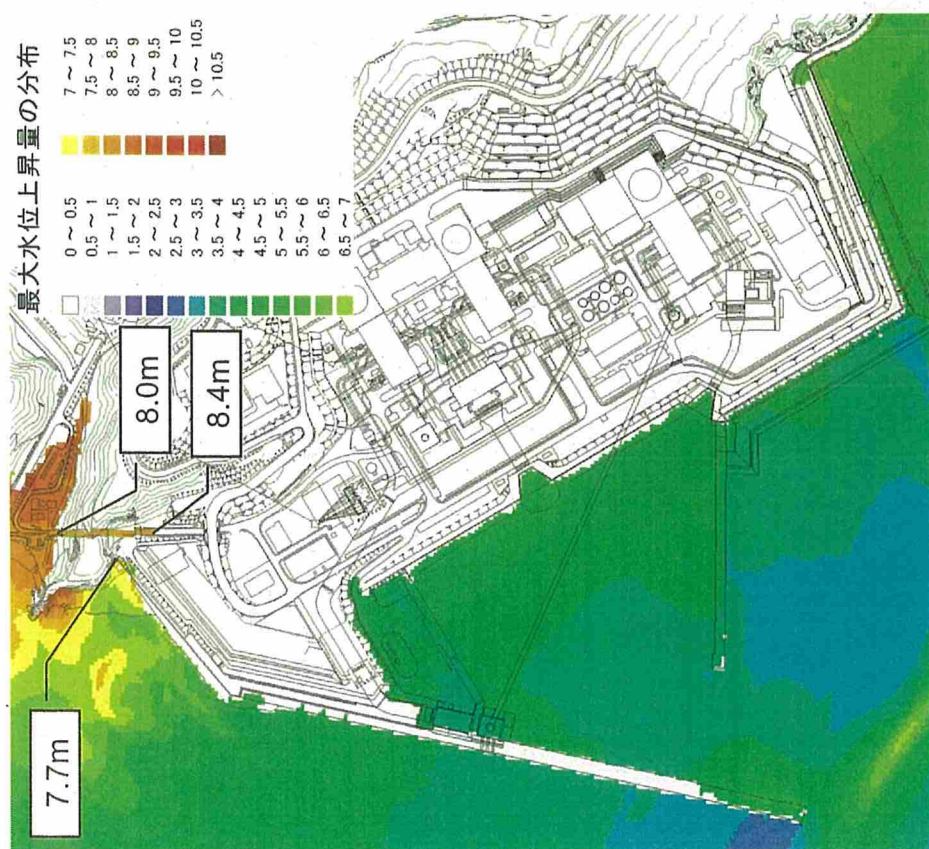


図 5.6(k)最大水位上昇量分布 FB2_D45_ASP2

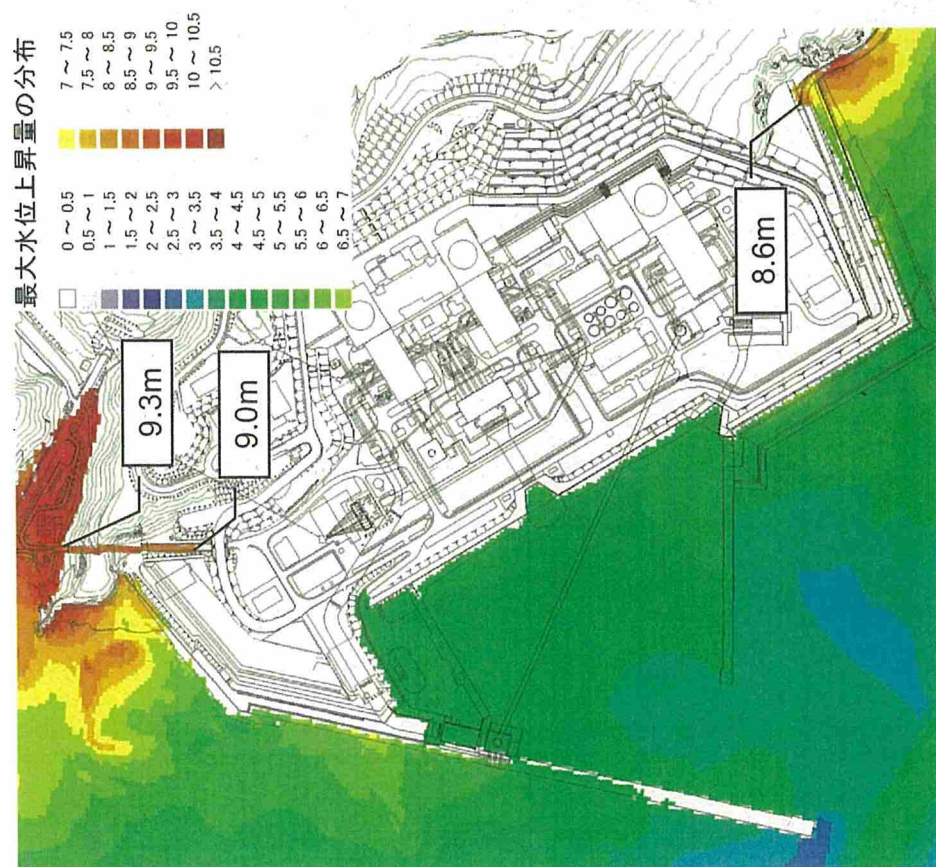


図 5.6(m)最大水位上昇量分布 FB2_D60_ASP2

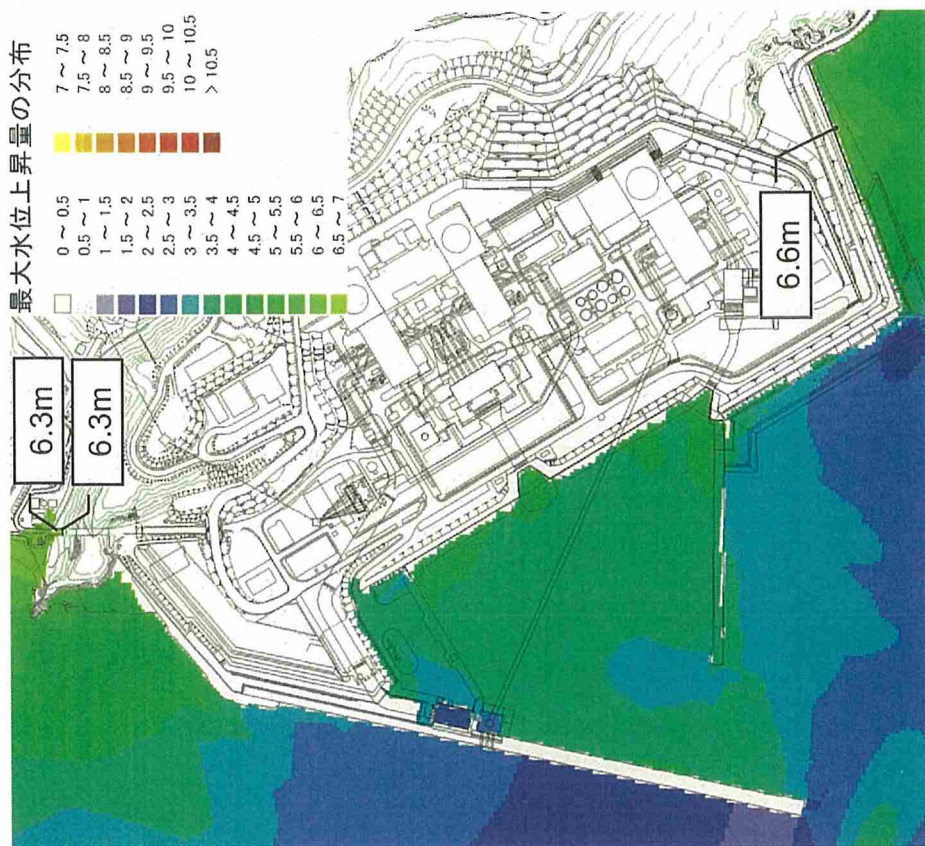


図 5.6(n)最大水位上昇量分布 KFB2_D30

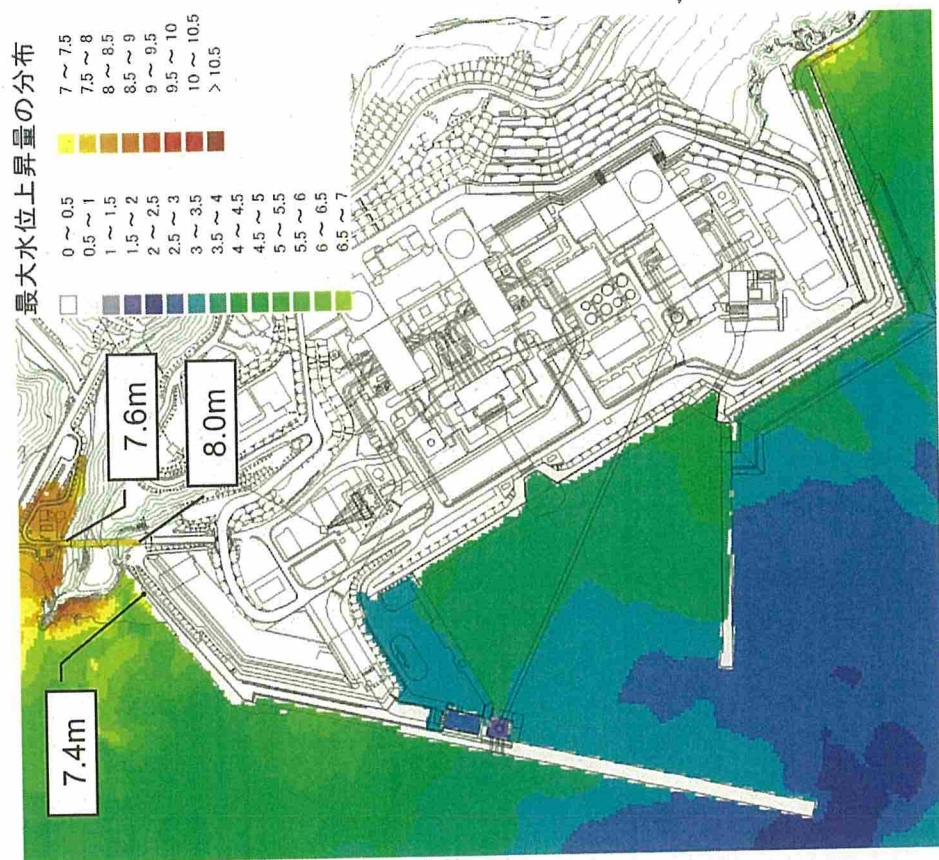
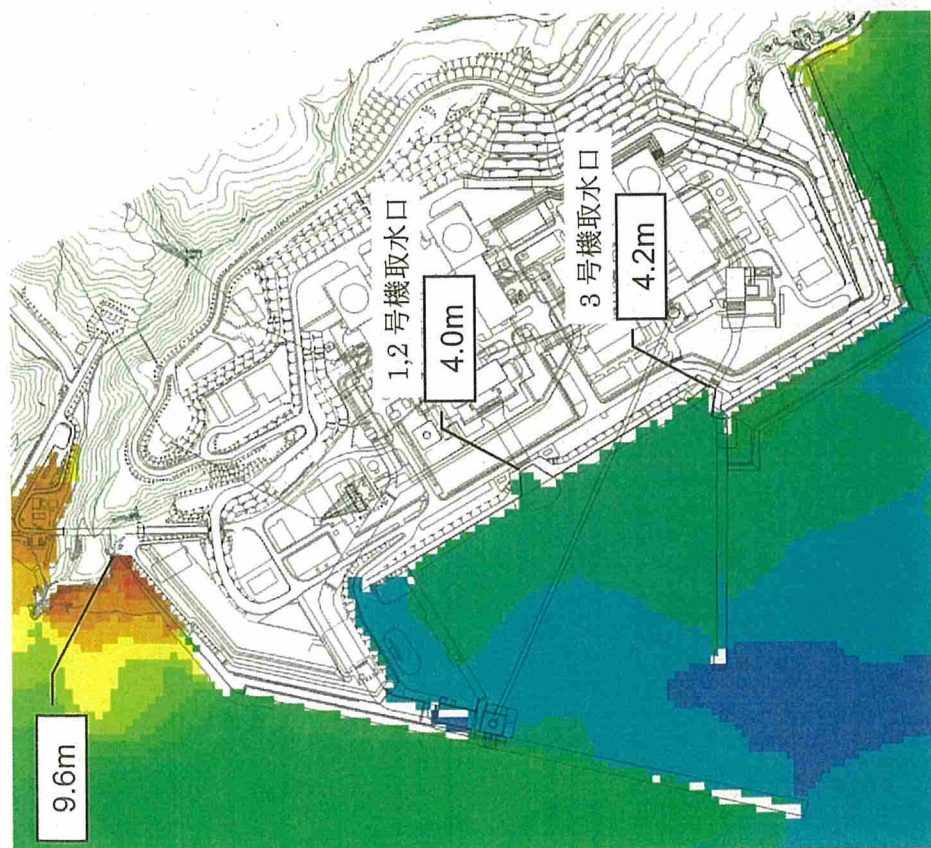
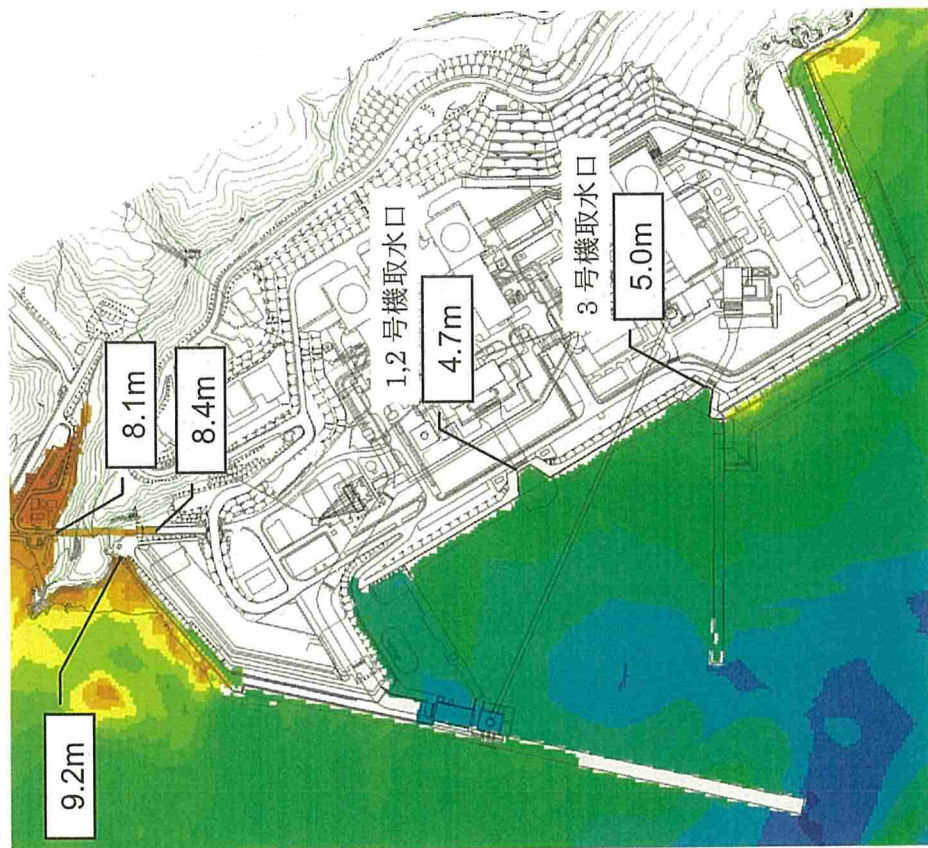


図 5.6(o)最大水位上昇量分布 KFB2_D60



(a) 事業者解析結果



(b) JNES 解析結果

図 5.7 最大水位上昇量分布による事業者解析結果との比較

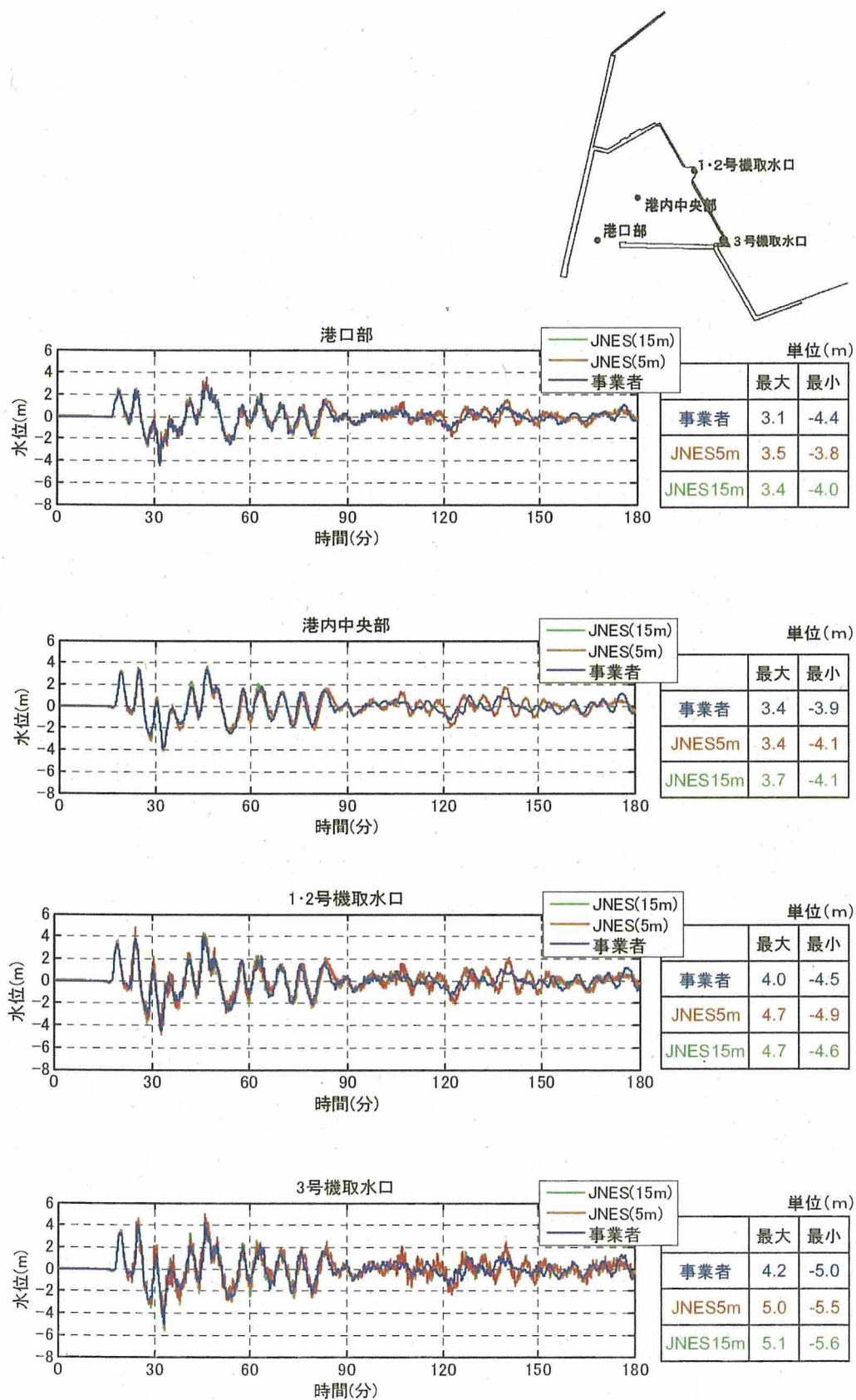


図 5.8 代表地点位置における水位時系列による事業者解析結果との比較

6. 取水ピットポンプ室内水位に係る安全性評価

6.1 取水設備内の流動解析手法及び解析条件

取水設備の水理特性を考慮し、取水ピットポンプ室内の水位低下に対する安全性を確認するために、管水路及び開水路の基礎方程式に基づく非定常管路流をモデル化した数値解析手法を用いる。本クロスチェック解析で用いる計算領域等の解析条件を表 6.1 に示す。

本解析では、事業者の評価において、取水ピットポンプ室内水位が、原子炉補機冷却海水ポンプ設計最低水位を 1 次的に下回る結果となった、1,2 号機取水設備を対象とする。1,2 号機取水設備の概要を図 6.1 に示す。また、解析モデルのメッシュ分割を図 6.2 に、解析モデルの諸元を表 6.2 にそれぞれ示す。

また、事業者解析結果の妥当性を確認するために、入力条件は、事業者が解析に用いた土木学会マニュアルの日本海東縁部の想定断層（1,2 号機取水口における最大水位下降ケース）による水位変動とする。これらの解析モデル及び入力条件の各種データは、保安院より提供された事業者データを利用した。

6.2 流動解析結果及び事業者解析結果との比較

6.1 節の解析条件により算出した 1,2 号機取水ピットポンプ室内の最大水位低下量を表 6.3 に示す。同表には、事業者の解析結果も合わせて示した。また、図 6.4 に、1,2 号機取水ピットポンプ室内の水位変動について、JNES と事業者の解析の比較を、図 6.5 には、同水位変動のうち、地震発生後 20 分から 40 分までを抜粋して示す。

これらの解析結果から、1,2 号機取水ピットポンプ室内の水位は、T.P.-5.8m まで低下し、原子炉補機冷却海水ポンプの設計最低水位（T.P.-4.17m）を下回り、水位低下の継続時間は、約 2 分であることがわかる。事業者の解析結果も JNES とほぼ同じ結果になっている。

また、1,2 号機取水ピットポンプ室内の水位の時刻歴は、JNES と事業者で概ね一致しているが、上昇側の水位^{注記)}は、JNES と比べて事業者の結果が大きくなっている。

注記) 水位の時刻歴は、解析上取水ピットポンプ室の天井高を上回っているが、実際には、水位の超過分は、ポンプ室の天井部分に圧力として作用する。

表 6.1 取水設備の流動解析の計算条件一覧

項目	計算条件
計算領域	取水口～取水トンネル～取水ピットポンプ室
メッシュ数	341メッシュ
メッシュ幅	0.5m
計算時間間隔 Δt	0.001秒
基礎方程式	非定常開水路の連続式及び運動方程式 プライスマンのスロットモデルで管路流れに対応
境界条件	4.0m ³ /s (循環水ポンプ停止状態)
取水路の摩擦損失係数	マンニングの粗度係数 $n=0.012\text{m}^{-1/3}\text{s}$ (完成時の摩擦損失係数)
潮位条件	水位下降側:朔望平均干潮位T.P.-0.14m
地盤変動条件	地盤変動量を考慮
計算時間	地震発生後3時間

表 6.2 取水設備の流動解析モデルの諸元

要素名		メッシュ数	長さ [m]	流路幅 [m]		マンニングの 粗度係数	圧力損失係数		初期水位 [m]	底面敷高 [m]		天井敷高 [m]	
				取水口側	ポンプ室側		順流時	逆流時		取水口側	ポンプ室側	取水口側	ポンプ室側
I1	取水口	60	30	12.50	3.75	0.012	0.5	1	-0.14	10.3	-7	10.3	-7
I2		12	6	3.75	3.75	0.012	0.872	2.444	-0.14	-3.5	-7	-3.5	-7
I3	ピット	6	3	3.75	3.75	0.012	0	0	-0.14	10.3	-7	10.3	-7
I4		138	69	3.75	3.75	0.012	0	0	-0.14	-3.5	-7	-3.5	-7
I5		20	10	3.75	6.11	0.012	0.264	0.038	-0.14	-3.5	-7	-3.5	-7
I6		16	8	6.11	6.60	0.012	0.764	0.476	-0.14	-3.5	-7	-3.5	-7
I7		4	2	6.60	6.60	0.012	0	0	-0.14	-3.5	-7	-3.5	-7
I8		4	2	6.60	6.60	0.012	0	0	-0.14	-3.5	-7	-3.5	-7
I9	ピット	3	1.5	6.60	6.60	0.012	1	0.5	-0.14	9.3	-7	9.3	-7
I10		4	2	6.60	6.60	0.012	0	0	-0.14	1.5	-7	1.5	-7
I11	バースクリーン	6	3	6.60	6.60	0.012	0.117	0.158	-0.14	9.3	-7	9.3	-7
I12		11	5.5	6.60	6.60	0.012	0	0	-0.14	1.5	-7	1.5	-7
I13	トラベルスクリーン	4	2	6.60	6.60	0.012	5.353	5.353	-0.14	9.3	-7	9.3	-7
I14		2	1	6.60	6.60	0.012	0	0	-0.14	1.5	-7	1.5	-7
I15		6	3	6.60	6.60	0.012	0.57	0.006	-0.14	1.5	-7	1.5	-8.5
I16		5	2.5	6.60	6.60	0.012	0	0	-0.14	1.5	-8.5	1.5	-8.5
I17	補機冷却海水ポンプ	7	3.5	6.60	6.60	0.012	0	0	-0.14	-2.21	-8.5	-2.21	-8.5
I18		27	13.5	6.60	6.60	0.012	0	0	-0.14	-2.21	-8.5	-2.21	-8.5
I19	循環水ポンプ	6	3	6.60	6.60	0.012	0	0	-0.14	-2.21	-8.5	-2.21	-8.5

表 6.3 1,2号機取水ピットポンプ室内の最大水位低下量及び水位低下継続時間

	事業者解析結果	JNES解析結果	補機冷却海水ポンプ 設計最低水位(m)
最大水位低下量(m)	T.P-6.1	T.P-5.8	T.P-4.17
水位低下継続時間	約2分	約2分	—



図 6.1 1,2 号機取水設備の概要

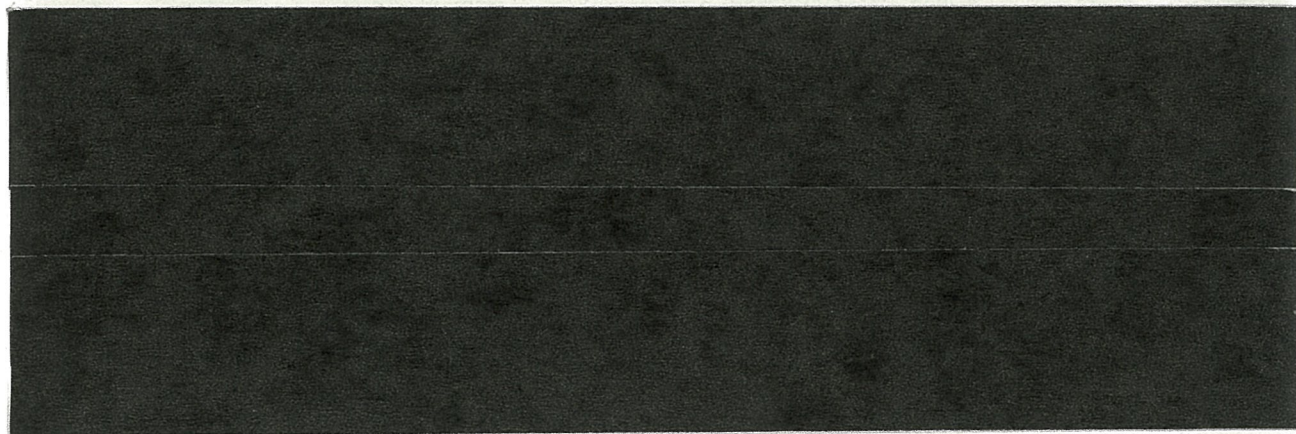


図 6.2 取水設備の流動解析モデルのメッシュ分割

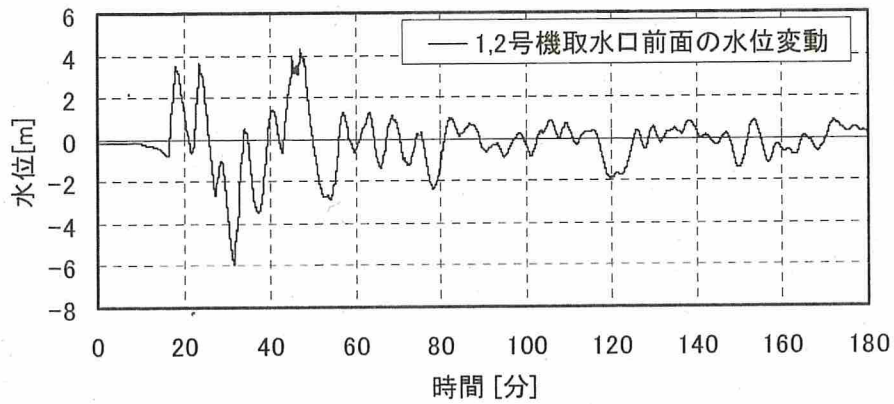


図 6.3 1,2 号機取水設備の流動解析の入力波形（事業者の入力データ）

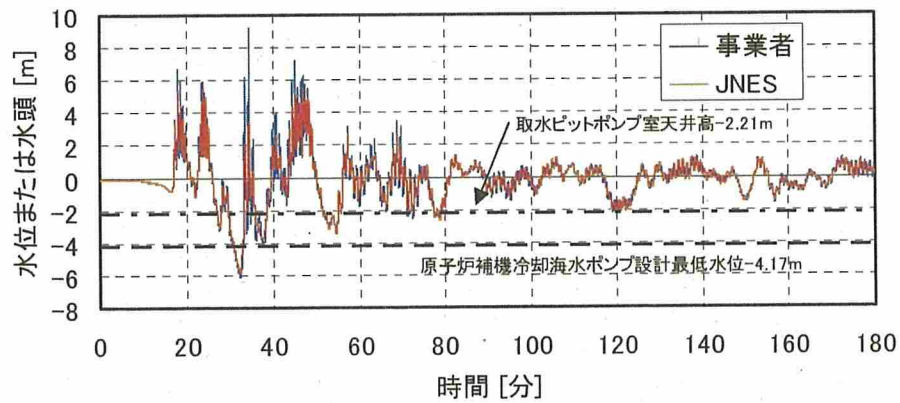


図 6.4 1,2 号機取水ピットポンプ室内の水位変動における事業者解析との比較

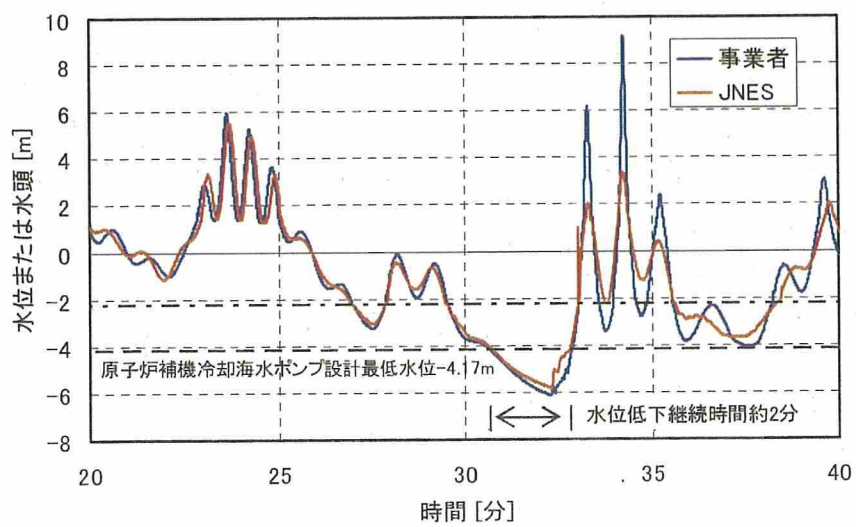


図 6.5 1,2 号機取水ピットポンプ室内の水位変動における事業者解析との比較
(地震発生後、20 分から 40 分まで)

7. まとめ

本クロスチェック解析の結果を以下にまとめる。

- (1) 泊原子力発電所の津波に対する安全性を評価するとともに、一部解析ケースについて事業者の解析結果の妥当性について検討した。津波評価は、基本的に土木学会マニュアルに基づき実施し、敷地への影響が大きい日本海東縁部の想定地震と、敷地前面海域の活断層・F_B-2断層を評価対象波源とした。日本海東縁部の想定地震として、事業者が、土木学会マニュアルに基づきパラメータスタディを実施した解析において、最大水位上昇量と最大水位下降量を発生させる断層を波源として設定した。
また、F_B-2断層に対しては、この海域が日本海東縁部の想定地震の震源域と重なることを考慮し、日本海東縁部の既往最大規模の地震を設定するとともに、断層傾斜角やアスペリティの配置の不確実さを考慮した波源モデルを設定した。
- (2) 上記の津波解析結果から、水位上昇側で敷地に対して最大水位上昇量を与える波源は、土木学会マニュアルに基づく日本海東縁部の想定地震であり、朔望平均満潮位(T.P.+0.26m)を考慮した最大遡上高は約 T.P.+9.7m となった。敷地北側のトンネルルートでの津波の浸入を考慮すると、日本海東縁部の想定地震のうち、事業者が最大水位下降量を発生させる波源において最大遡上高が発生した。
当該施設の重要機器が設置されている敷地レベルは T.P.+10m であり、津波による最大遡上高さは、いずれのケースも敷地レベルを下回ることを確認した。
- (3) 上記の津波解析結果から、水位下降側で敷地に対して最大波高を与える波源は、土木学会マニュアルに基づく日本海東縁部の想定地震で、1,2号機取水口及び3号機取水口における最大水位下降量は、それぞれ T.P.-5.9m、T.P.-6.4m となった。これらの結果から、津波による水位低下に対する安全性評価として、1,2号機取水設備を対象に、取水ピットポンプ室内の水位変動を評価した。その結果、朔望平均干潮位(T.P.-0.14m)を考慮した最大水位下降量は、T.P.-5.8m であり、原子炉補機冷却海水ポンプの設計最低水(T.P.-4.17m)を一時的に下回り、その水位低下継続時間は2分程度となった。
- (4) 上記の津波解析において、解析条件が同じ土木学会マニュアルに基づく日本海東縁部の想定地震による津波解析結果について、JNES と事業者の結果を比較した。事業者の結果は、最大波高とその発生位置、最大水位の上昇量分布、各号機の取水口等の津波波高の時刻歴等 JNES の結果とほぼ一致した。
また、同様に取水設備の流動解析結果について JNES と事業者を比較したところ、事業者の取水ピットポンプ室内の水位変動の時刻歴の性状は JNES の結果とほぼ一致し、水位低下継続時間はいずれも2分程度となった。

参考文献

- 1) 北海道電力株式会社：泊発電所 3 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結果報告書，平成 21 年 10 月．
- 2) 北海道電力株式会社：泊発電所 1 号機及び 2 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結果報告書，平成 21 年 3 月．
- 3) 土木学会原子力土木委員会津波評価部会：原子力発電所の津波評価技術，平成 14 年 2 月．
- 4) 東北大学工学部災害制御研究センター：1993 年北海道南西沖地震津波の痕跡高，津波工学研究報告，第 11 号，第 2 編，pp.1-120，1994．
- 5) 小谷美佐，今村文彦，首藤伸夫：GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法，第 45 回海岸工学講演会論文集，pp.356-360，1998．
- 6) 岩崎敏夫，真野明：オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算，第 26 回海岸工学講演会論文集，pp.70-74，1979．
- 7) Mansinha, L. and D. E. Smylie : The displacement field of inclined faults, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.61, No.5, pp.1433-1440, 1971.
- 8) 武村雅之：日本列島における地殻内地震のスケーリング則 - 地震断層の影響および地震被害との関連 - ，地震第 2 輯，第 51 巻，pp.211-228，1998．

添付資料 1 既往津波による再現性確認

本クロスチェック解析に用いる津波解析コード SANNAMI(+TUNAMI)と地形モデルの妥当性を確認するために、既往津波による再現性確認を行った。既往津波として、1993 年北海道南西沖地震津波を対象とする。

添付図 1 に対象津波の断層パラメータ及び津波初期水位分布を示す。

添付図 2 に解析対象範囲と格子分割を示す。

添付図 3 に既往津波の痕跡高と計算値の比較を示す。

土木学会マニュアルに従い、相田の指標である幾何平均 K 及び幾何標準偏差 k を算出したところ、広域及びサイト近傍においていずれも再現性の目安とされている範囲内に収まっていることを確認した。

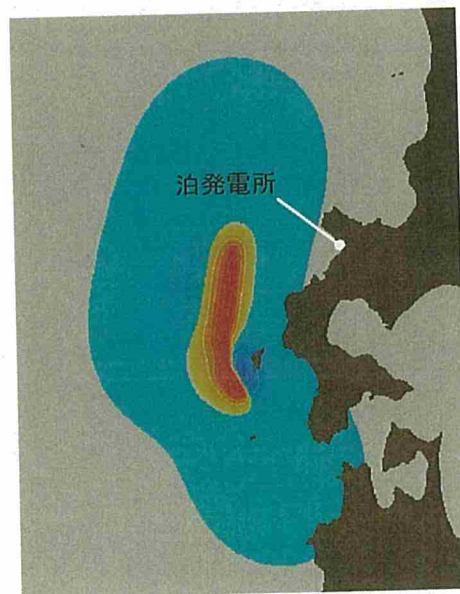
■対象津波： 1993年北海道南西沖地震津波

1993年北海道南西沖地震津波の断層パラメータ(DCRC-26^{*1})

	長さ (km)	幅 (km)	深さ (km)	走行 (Deg)	傾斜角 (Deg)	すべり角 (Deg)	すべり量 (m)
北部	90	25	10	188	35	80	5.71
中央	26	25	5	175	60	105	4.00
南部	31	15	5	150	60	105	12.0



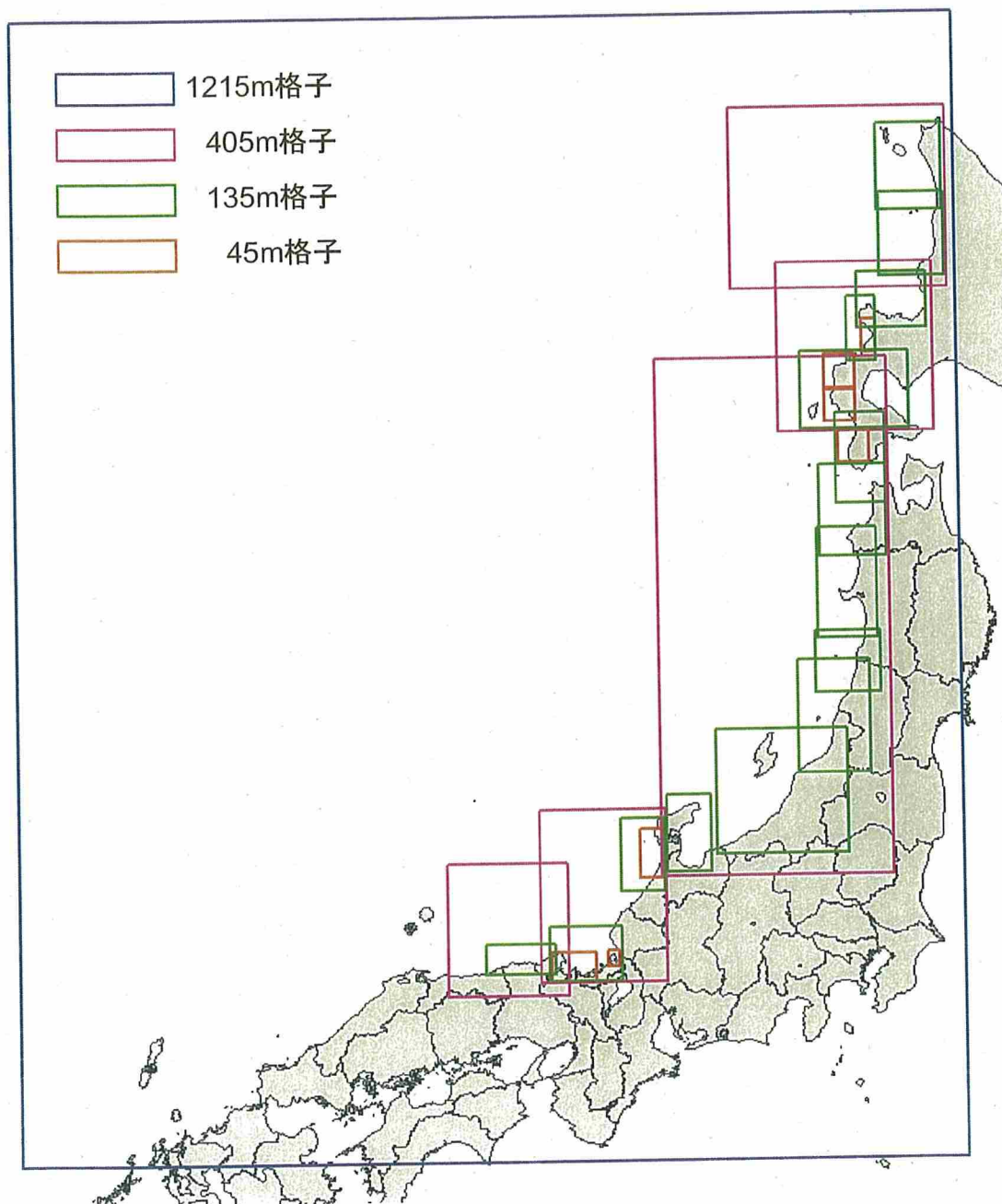
断層の位置と形状



津波初期水位分布

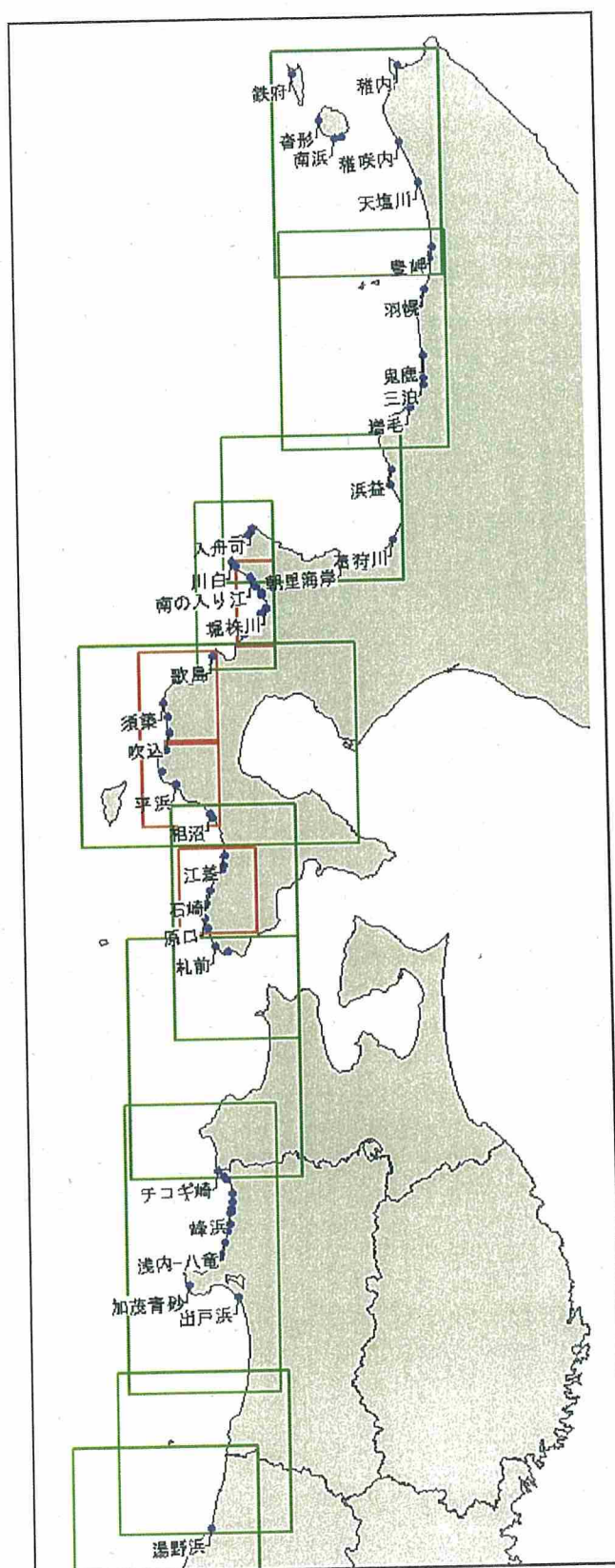
添付図 1 対象津波の断層パラメータ及び津波初期水位分布

*1 高橋ほか (1995) : 北海道南西沖地震津波の波源の再検討、土木学会東北支部技術研究発表会講演梗概 (平成 6 年度)。



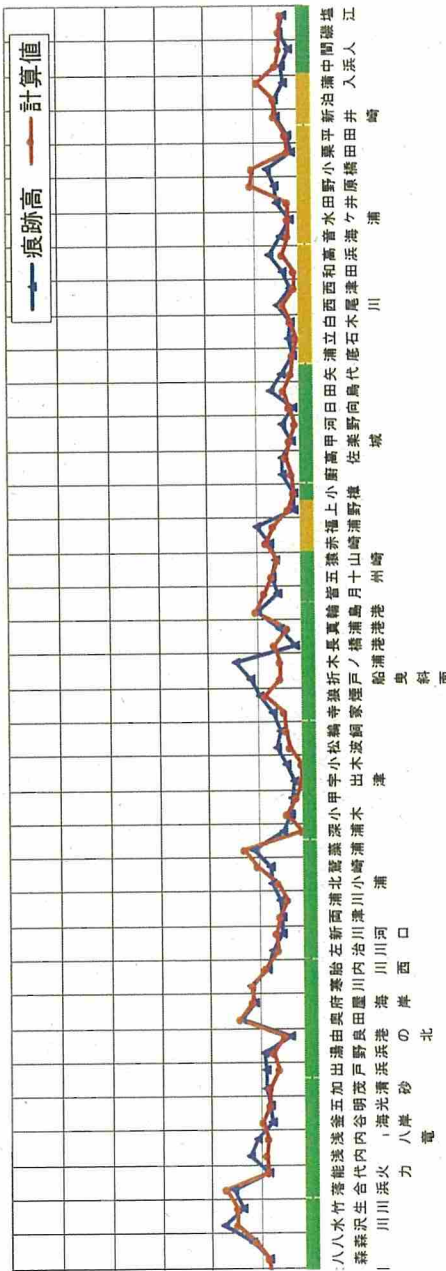
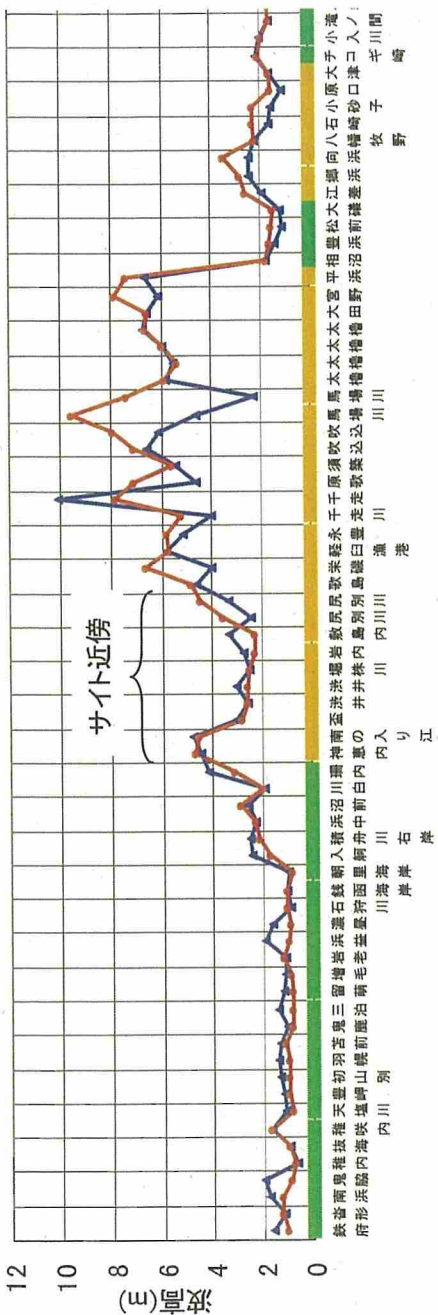
添付図 2(a) 解析対象範囲と格子分割

- 1215m格子
- 405m格子
- 135m格子
- 45m格子



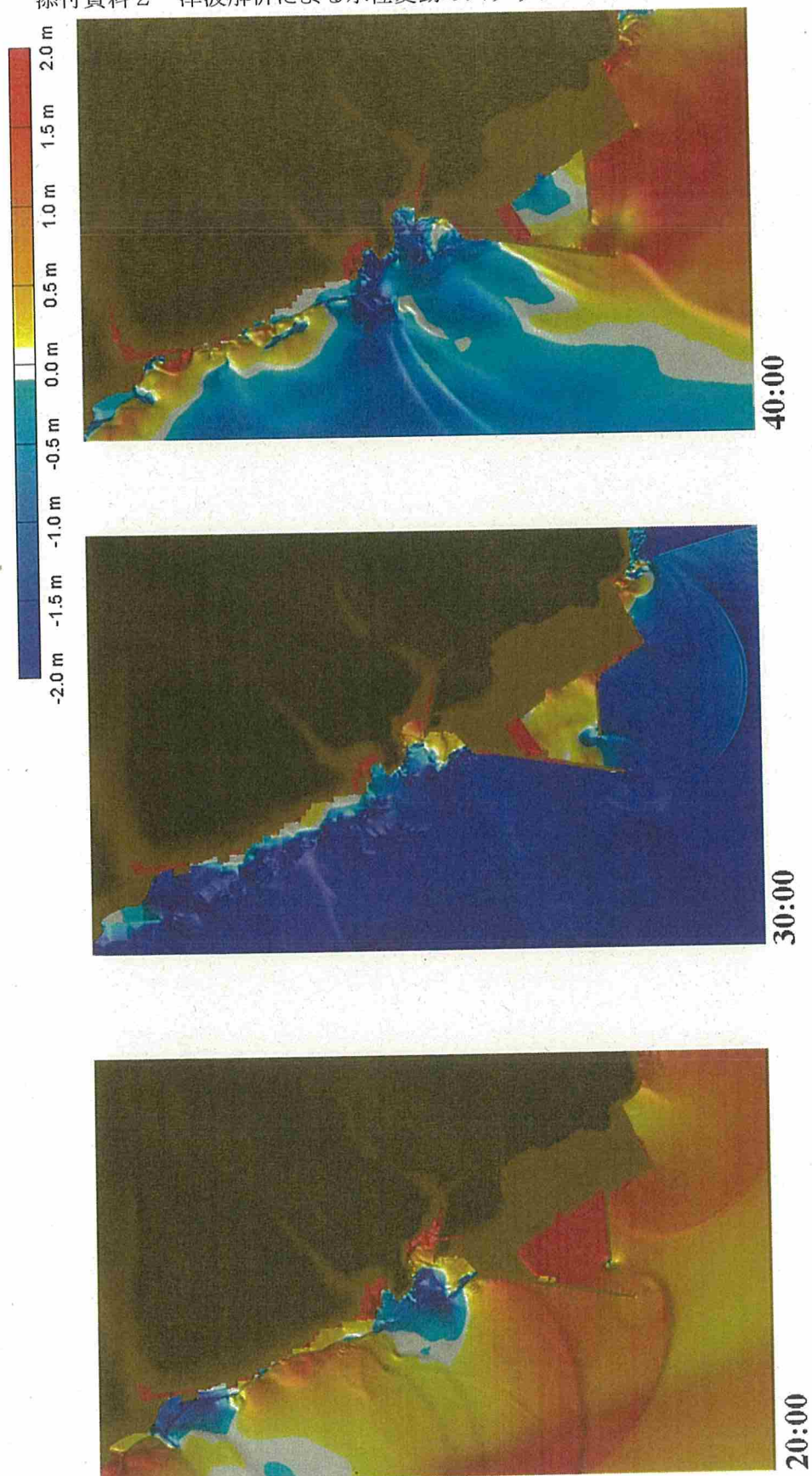
添付図 2(b) 解析対象範囲と格子分割

広域	$K=1.05$, $\kappa=1.43$	(146点)
サイト近傍	$K=1.01$, $\kappa=1.23$	(10点)

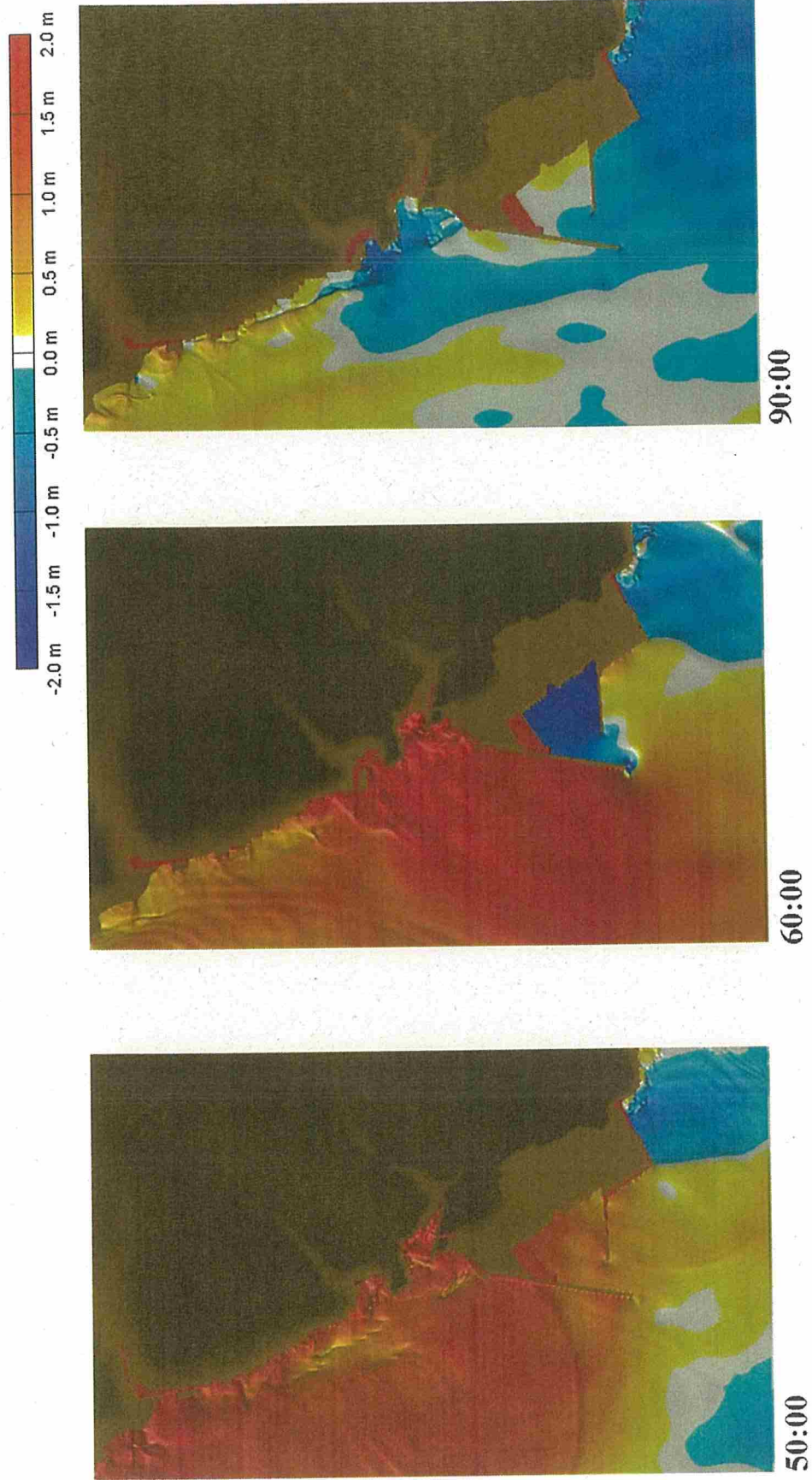


添付図3 既往津波の痕跡高と計算値の比較

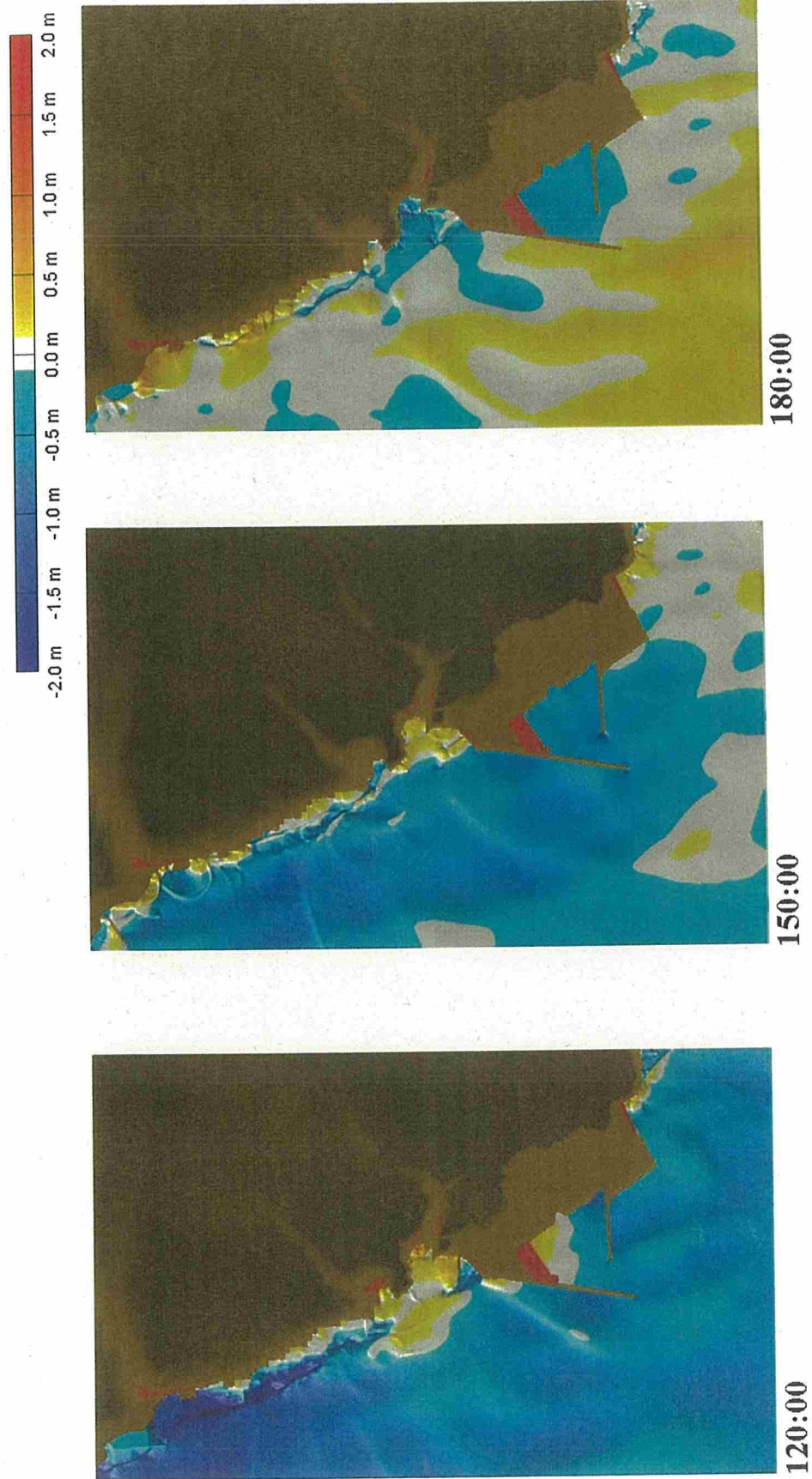
添付資料2 津波解析による水位変動のスナップショット



添付図 4(a) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (NE_High ケース) の水位変動のスナップショット

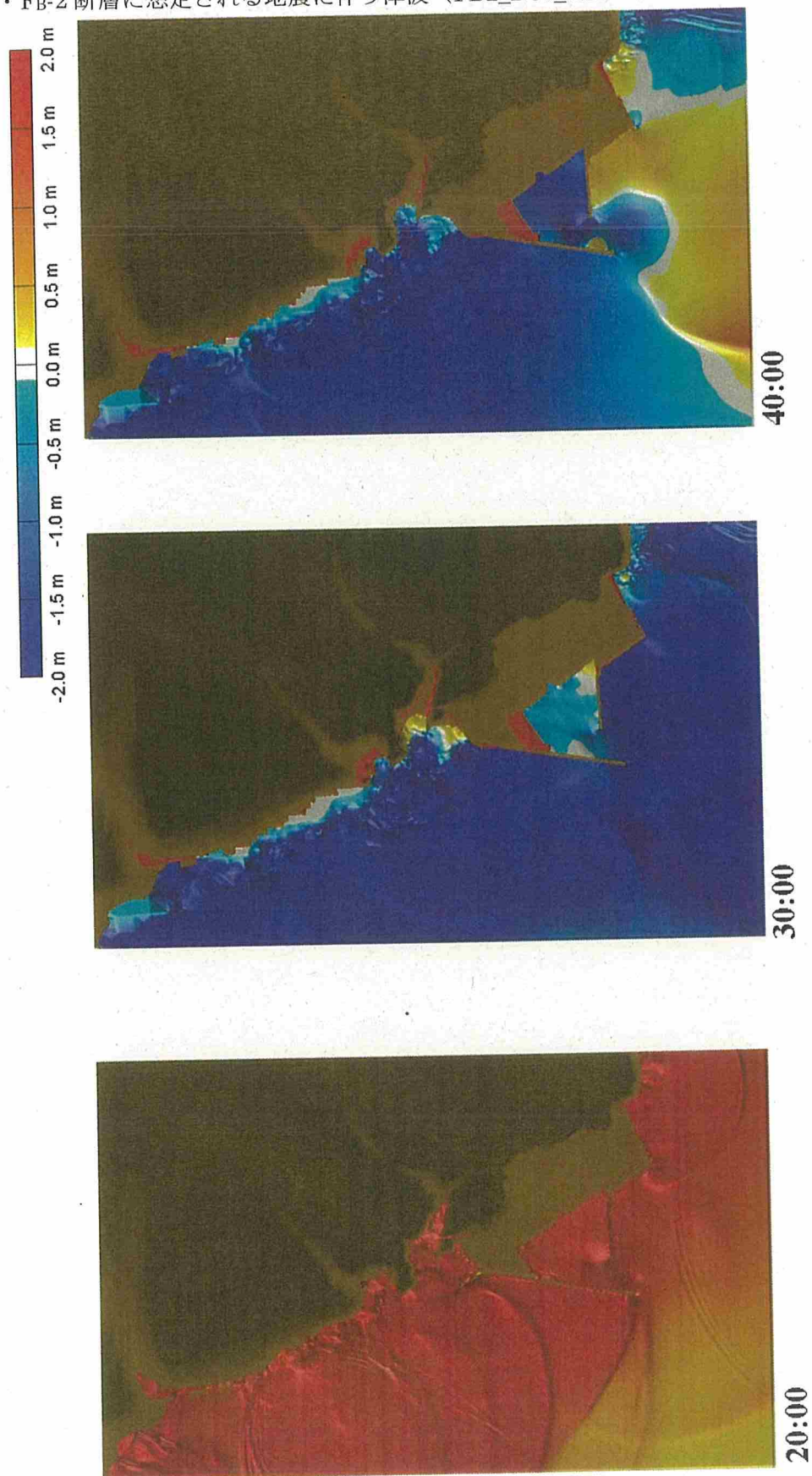


添付図 4(b) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (NE_High ケース) の水位変動のスナップショット

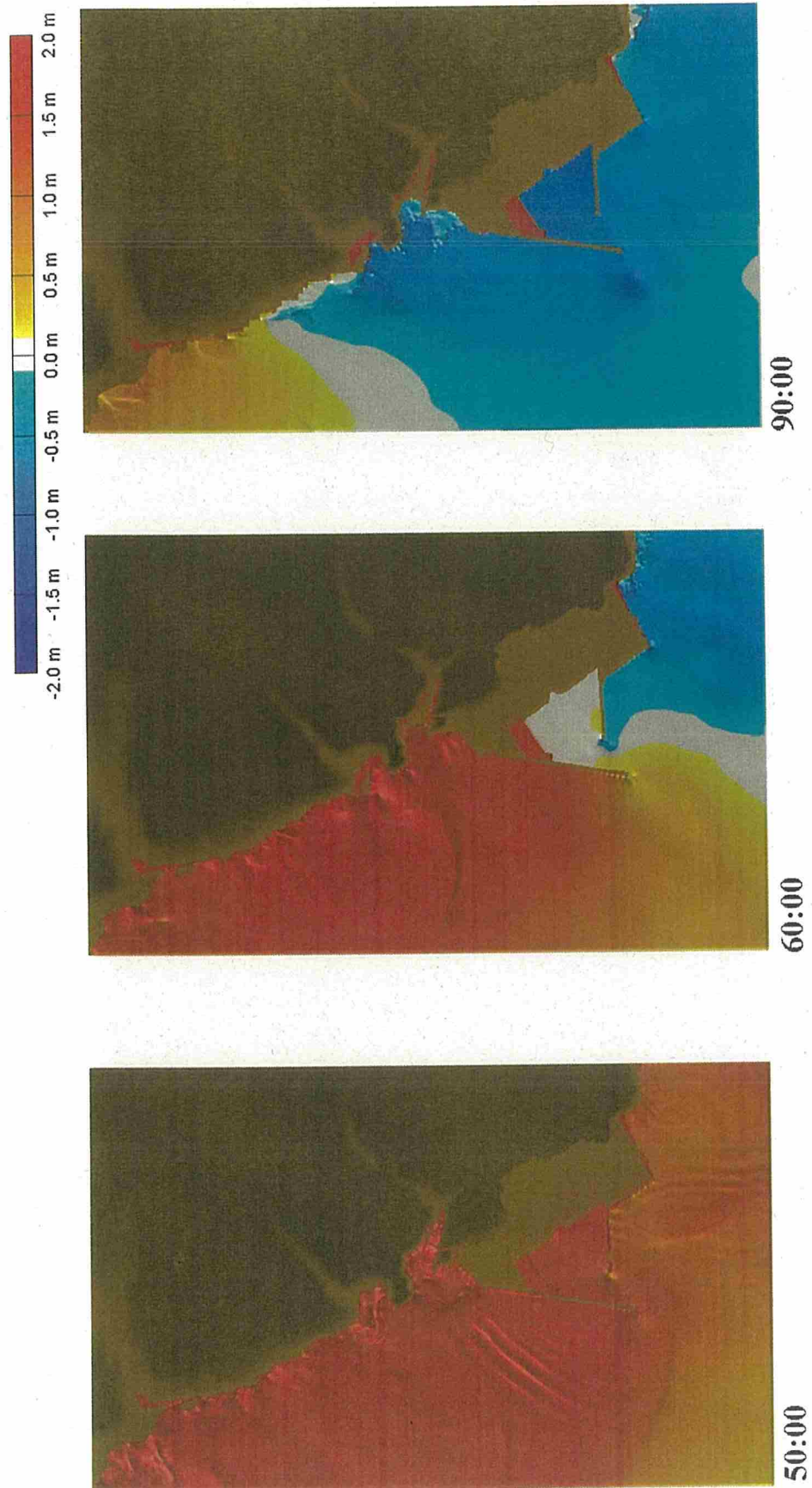


添付図 4(c) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (NE_High ケース) の水位変動のスナップショット

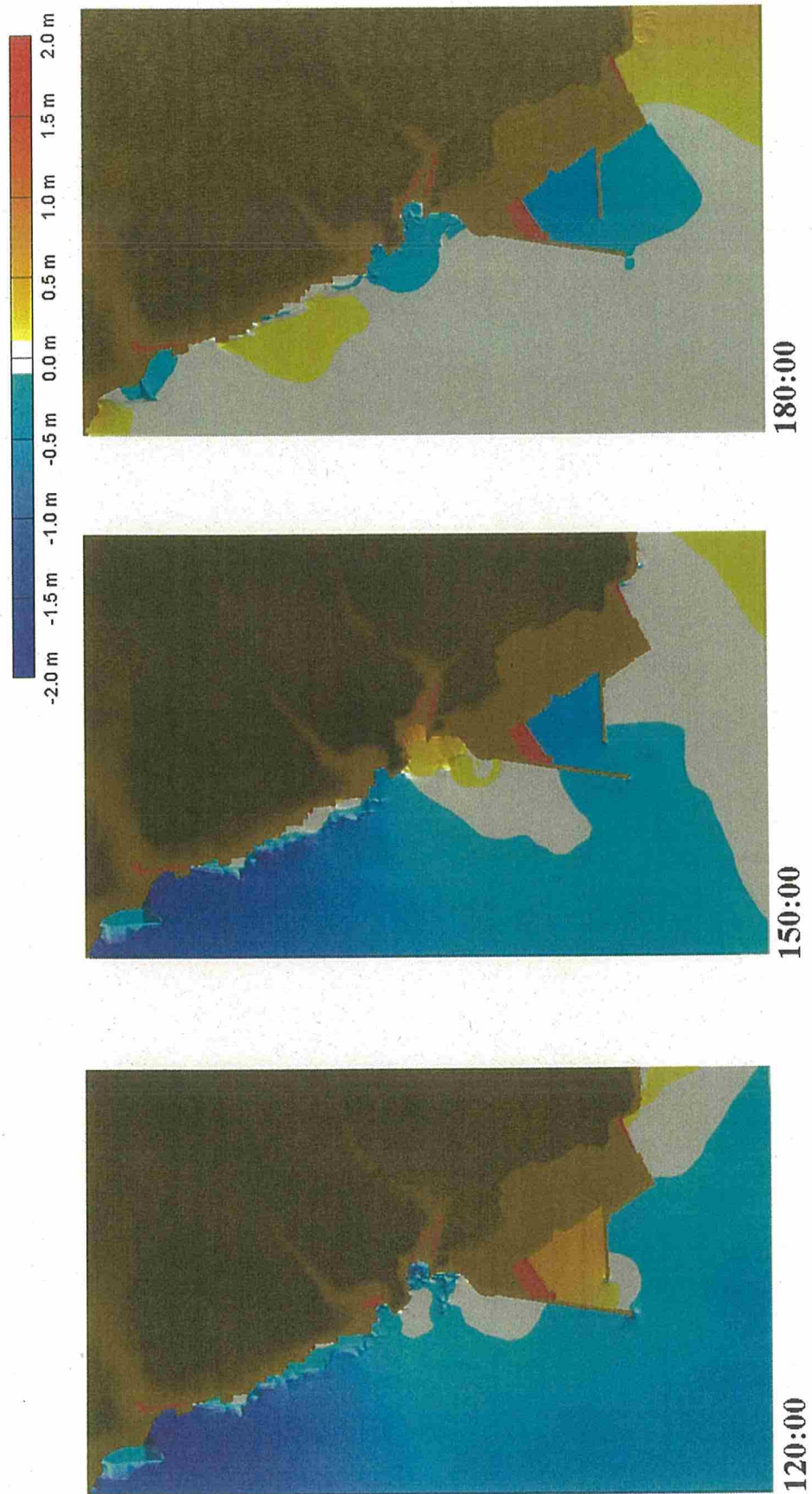
・FB-2断層に想定される地震に伴う津波 (FB2_D60_ASP1 ケース)



添付図 5(a) FB-2断層に想定される地震に伴う津波 (FB2_D60_ASP1 ケース) の水位変動のスナップショット



添付図 5(b) FB-2 断層に想定される地震に伴う津波 (FB2_D60_ASP1 ケース) の水位変動のスナップショット



添付図 5(c) FB-2 断層に想定される地震に伴う津波 (FB2_D60_ASP1 ケース) の水位変動のスナップショット

JNESのコメント

事業者報告書記載内容

1. 分析の主なポイント

事業者の耐震バックチェック報告書を分析する際の主なポイントを以下に示す。

- ・津波に対する施設の安全性を評価するための項目は十分か。
- ・想定津波の設定は適切か。
- ・解析方法や解析モデル等の評価方法は、適切か。(最新知見の反映、既往津波の再現)

2. 事業者報告書の分析

■評価方針

- ・施設の供用期間中に可能性のある津波を想定する。
- ・想定津波による水位変化を評価する。
- ・想定津波による2次的影響として海底の砂移動を評価する。

以上により、施設の安全性に問題がないことを確認する。

■評価方法

- ・想定津波として、以下を対象とする。
 - (1)海域活断層に想定される地震に伴う津波
 - (2)日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
- ・上記の想定津波を対象とした、数値解析を行い津波水位を評価する。
- ・取水設備の水理特性を考慮した管路解析を行い、海水ポンプ室内の水位変動を評価する。
- ・想定津波による海底の砂移動解析を行い、取水口前面の堆砂高を評価する。

事業者の評価方針および評価方法は、当該施設の津波に対する安全性を評価する上で、評価項目に抜けはなく、いずれも妥当である。

■想定津波

(1)海域活断層に想定される地震に伴う津波

- ・敷地周辺の海域活断層について、簡易予測式により推定津波高を検討した結果、F_B-2断層が最も大きい推定津波高を示し、これを抽出している。
- ・土木学会(2002)*1に従い、F_B-2断層の基準断層モデルを設定している。

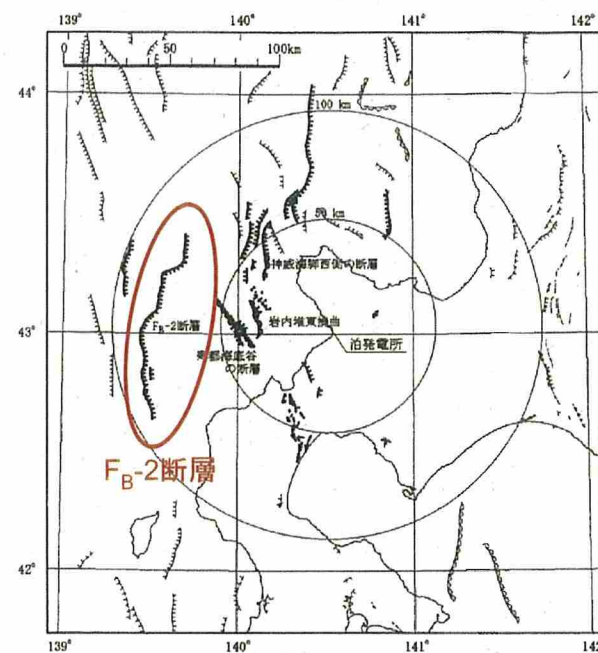
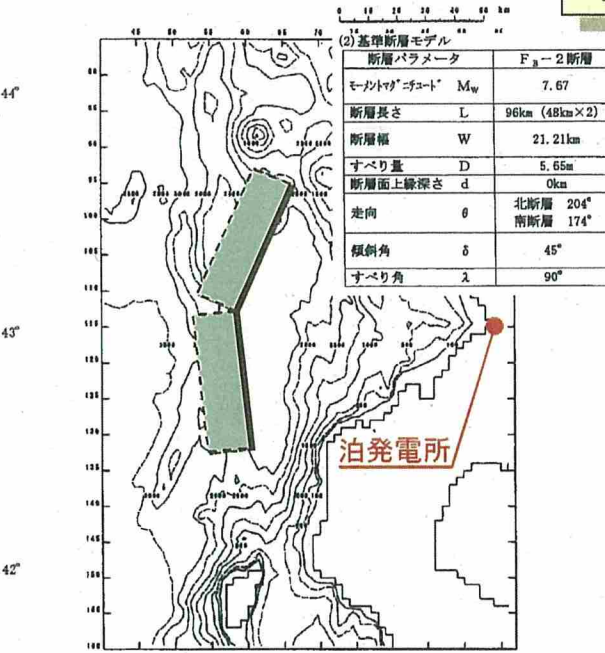
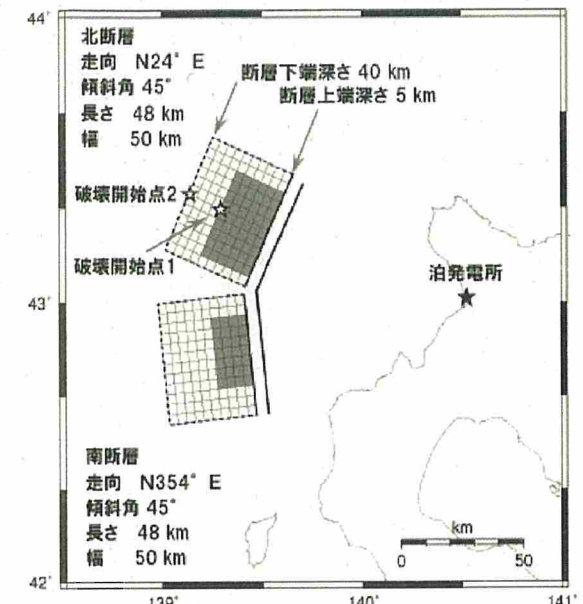


図1 海域活断層分布

図2 F_B-2断層の基準断層モデル(津波評価用)図3 F_B-2断層の断層モデル(地震動評価用)

(2)日本海東縁部に想定される地震に伴う津波

- ・1993年北海道南西沖地震津波を再現するモデルのM_w(7.84)を下回らないようにM_w=7.85とし、基準断層モデルを設定している。
- ・土木学会(2002)*1に従い、波源位置及び傾斜パターンの不確実さを考慮している。

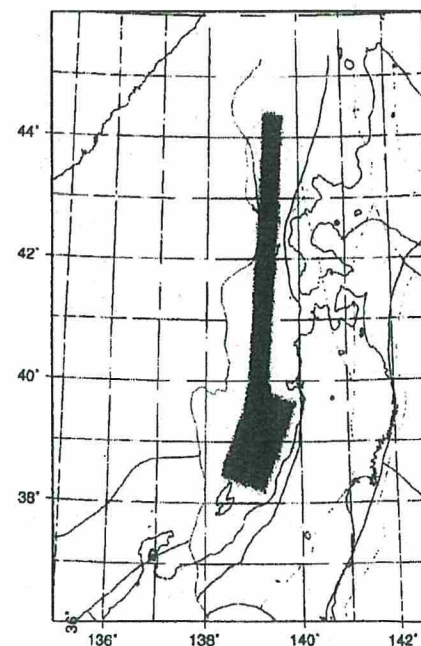


図4 日本海東縁部の地震の活動域

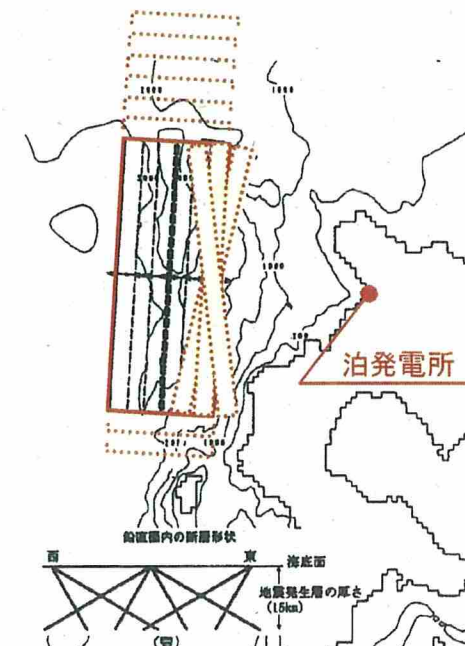


図5 基準とする波源位置とパターン

・既往の調査記録(海洋地質図等)を基に周辺海域を広く見渡してもF_B-2断層の規模を越える断層は見当たらない。事業者が想定津波としてF_B-2断層を抽出したことは妥当である。

・ただし、F_B-2断層の基準断層モデルは、事業者の地震動評価用の震源モデルと整合していない。

・土木学会(2002)に従った検討としては十分であるが、土木学会(2002)は津波評価用であり、地震動評価とは整合していない。

・当該サイトへの影響範囲が前面海域に限定され、活断層調査が実施されていることを考慮すれば、かなり保守的である。

・専門家の意見を踏まえると、むしろ、活断層調査を基にした、上記のF_B-2断層に代表させて検討する必要がある。

*1 土木学会(2002);原子力発電所の津波評価技術

事業者の耐震バックチェック報告書の分析ー泊発電所ー(2/6)

■想定津波の検討

(1) 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

- (1) はじめに、傾斜角とすべり角を組み合わせた9ケースの数値シミュレーションを行い、水位上昇及び水位下降に関する各々の最大ケースを抽出した。(上昇側1ケース, 下降側2ケース)
- (2) 次に(1)で得られた最大ケースについて、断層面上縁深さ3ケースの数値シミュレーションを実施した。

(1) 概略パラメータスタディ結果

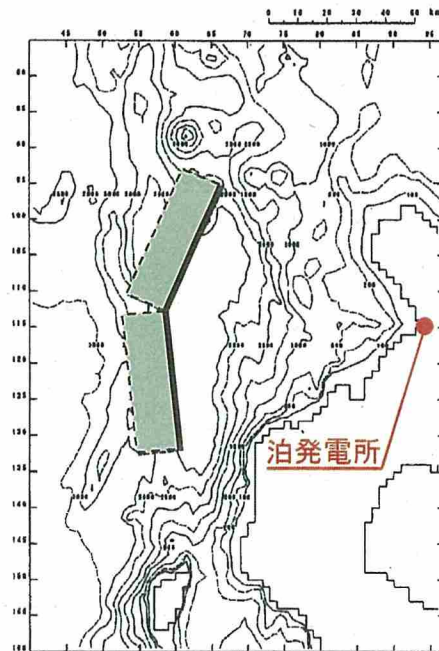
パラメータ項目	パラメータ変動範囲	ケース数	計算水位 (m)	
			最大水位上昇量	最大水位下降量 (1・2号機取水口)
a) 傾斜角	30, 45, 60°	3	+5.64	-3.13
b) すべり角	75, 90, 105°	3		(-3.10°)

* 最大水位下降ケースと同等と考え抽出

(2) 詳細パラメータスタディ結果

区分	パラメータ項目	パラメータ変動範囲	ケース数	計算水位 (m)	
				最大水位上昇量	最大水位下降量 (1・2号機取水口)
概略最大水位 上昇ケース	断層面 上縁深さ	0, 2.5, 5km	3	+6.24	-2.51
概略最大水位 下降ケース			3×2	+4.65	-3.36

— : 最大水位上昇ケース
— : 最大水位下降ケース



(2) 基準断層モデル

断層パラメータ	F _B -2断層
モーメントマグニチュード M _w	7.67
断層長さ L	96km (48km×2)
断層幅 W	21.21km
すべり量 D	5.65m
断層面上縁深さ d	0km
走向 θ	北断層 204° 南断層 174°
傾斜角 δ	45°
すべり角 λ	90°

- ・F_B-2断層の地震規模は、津波評価用モデルは断層長さに基づいて、地震動評価用モデルは断層面積に基づいて、それぞれ評価されている。評価式が整合していない。
- ・地震発生層の厚さが、津波評価用で15km、地震動評価用で35kmと整合していない。
- ・地震動評価用の基本震源モデルを津波評価用の基準断層モデルとして検討する必要がある。
- ・断層の傾斜角は、沿岸部の津波波高に及ぼす影響が大きいため、地震動評価と同様に不確実さを考慮する必要がある。

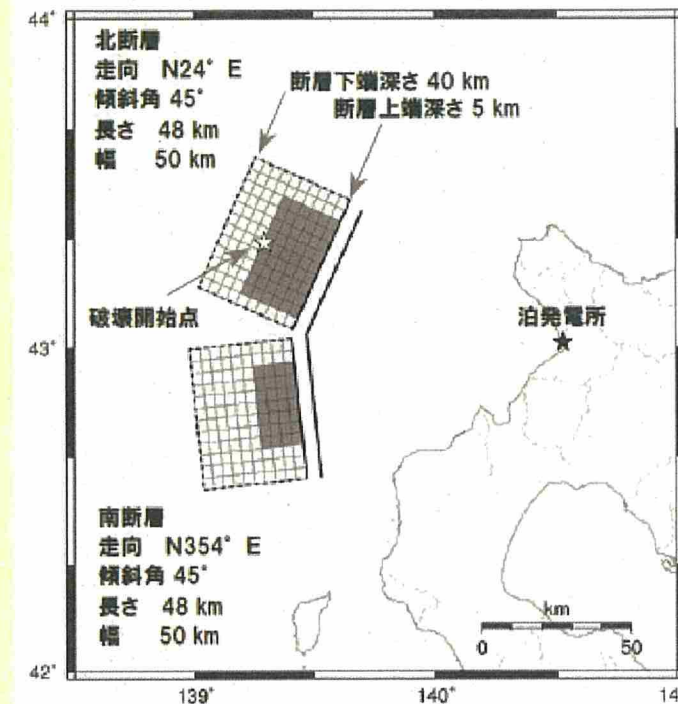


図6 F_B-2断層の基準断層モデル(基本震源モデルを参照)

傾斜角	45°
断層長さ	96km (48km×2)
断層幅	50km
地震モーメント Mo	4.51 × 10 ²⁰ N·m
モーメントマグニチュード Mw	7.70
平均すべり量	2.24m
アスペリティ すべり量	4.48m
上縁深さ	5km
すべり角	90°

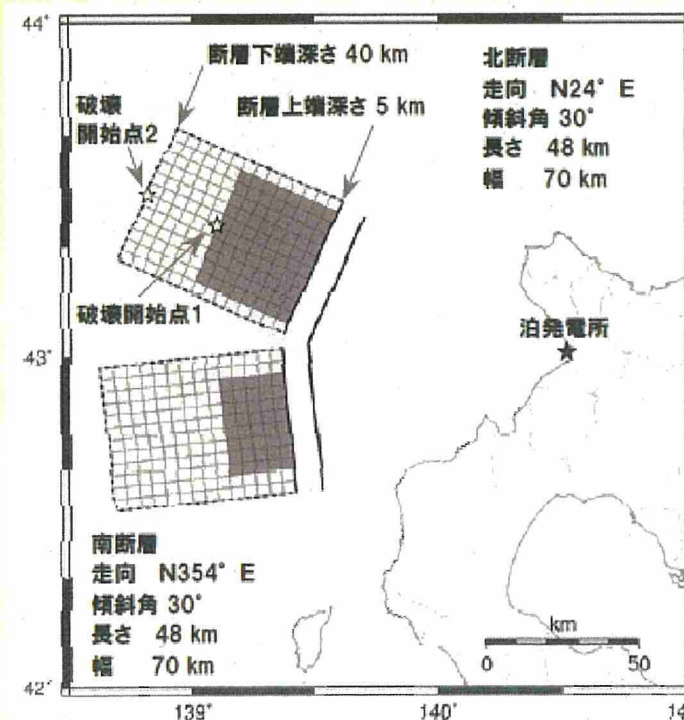


図7 F_B-2断層の不確かさ考慮モデル(傾斜角)

傾斜角	30°
断層長さ	96km (48km×2)
断層幅	70km
地震モーメント Mo	7.46 × 10 ²⁰ N·m
モーメントマグニチュード Mw	7.85
平均すべり量	2.65m
アスペリティ すべり量	5.30m
上縁深さ	5km
すべり角	90°

事業者の耐震バックチェック報告書の分析－泊発電所－(3/6)

■想定津波の検討

(2) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

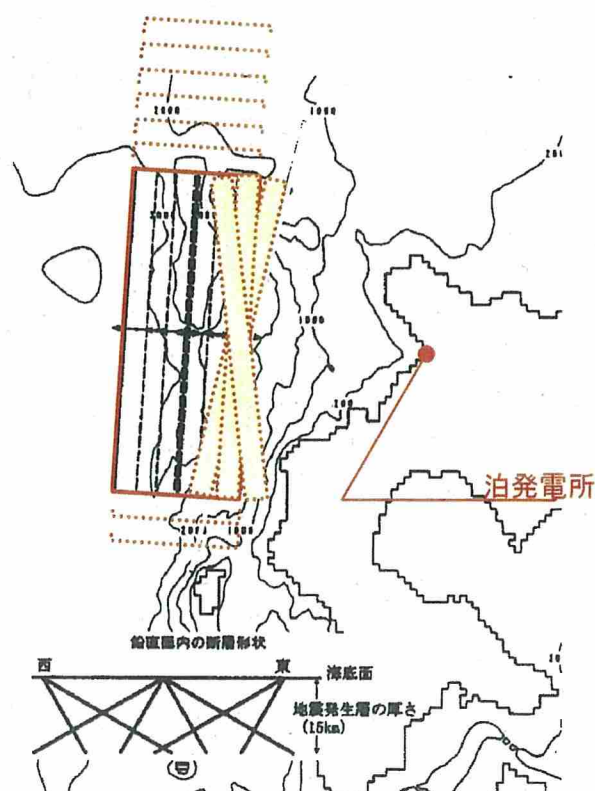
- はじめに位置(南北方向とパターン)と走向を組み合わせた216ケースの数値シミュレーションを行い、水位上昇及び水位下降に関しての各々の最大ケースを抽出した。
- 次に(1)で得られた最大ケースについて、傾斜角と断層面上縁深さを組み合わせた18ケースの数値シミュレーションを実施した。

(1) 概略パラメータスタディ結果

パラメータ項目	パラメータ変動範囲	ケース数	計算水位 (m)	
			最大水位上昇量	最大水位下降量 (1・2号機取水口)
a) 南北方向位置	基準, 南に10, 20 km, 北に10, 20, 30, 40, 50, 60 km 移動	9	+9.48	-5.22
b) 東西方向位置	8パターン	8		
c) 走向	基準, $\pm 10^\circ$	3		

(2) 詳細パラメータスタディ結果

区分	パラメータ項目	パラメータ変動範囲	ケース数	計算水位 (m)	
				最大水位上昇量	最大水位下降量 (1・2号機取水口)
概略最大水位 上昇ケース	a) 傾斜角	45, 52.5, 60°	3	+9.55	-4.54
	b) 断層面上縁深さ	0, 2.5, 5km	3		
概略最大水位 下降ケース	a) 傾斜角	45, 52.5, 60°	3	+8.10	-5.83
	b) 断層面上縁深さ	0, 2.5, 5km	3		



(3) 基準断層モデル

断層パラメータ	日本海東縁部
モーメントマグニチュード M_w	7.85
断層長さ L	131.1km
断層幅 W	30, 17.3km
すべり量 D	5.45, 9.45m
断層面上縁深さ d	0 km
走向 θ	3, 183°
傾斜角 δ	30, 60°
すべり角 λ	90°

■津波水位に対する安全性の評価

事業者報告書の要約

- ✓ 敷地前面における最高水位を与える評価用の想定津波は、日本海東縁部に想定される地震津波である。
- ✓ 最大水位上昇量は、朔望平均満潮位を考慮しても敷地高を超えることはない。
- ✓ 取水口における最低水位を与える評価用の想定津波は、日本海東縁部に想定される地震津波である。
- ✓ 最大水位下降量は、朔望平均干潮位を考慮しても取水口敷高を下回ることではない。

表1 津波水位の評価

	対象津波	最大水位 (m)	潮位考慮 (m)	閾値 (m)
水位 上昇側	日本海東縁部	TP+9.55	TP+9.8	TP+10 (敷地高)
水位 下降側	日本海東縁部	TP-5.83	TP-6.0	TP-7.0 (取水口敷高)

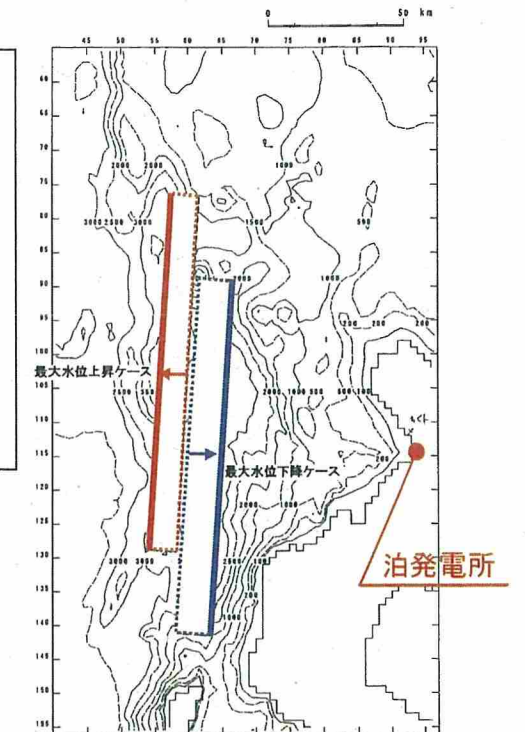


図6 敷地に最も影響の大きい津波の断層(赤:最大水位上昇ケース、青:最大水位下降ケース)

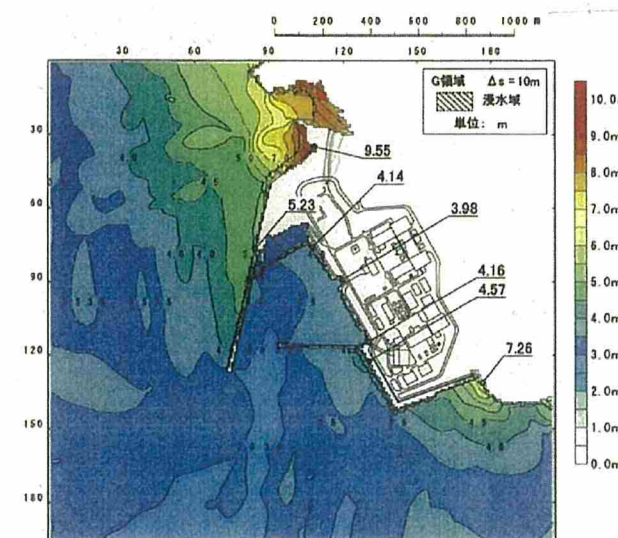


図7 最大水位上昇量分布
日本海東縁部の地震津波(最大水位上昇ケース)

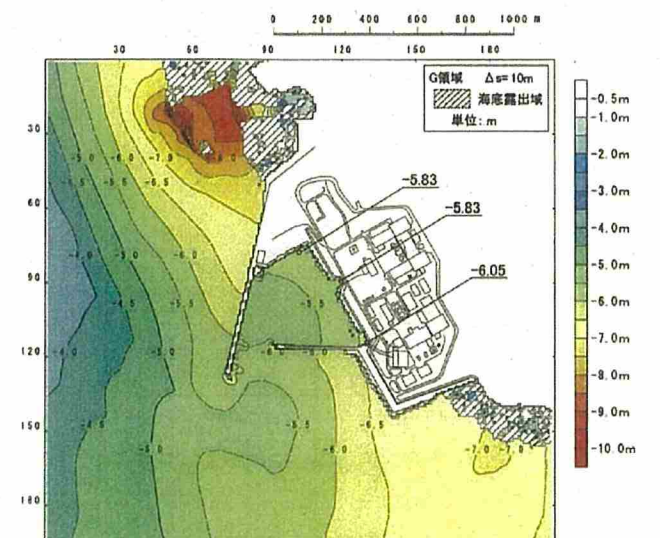


図8 最大水位下降量分布
日本海東縁部の地震津波(最大水位下降ケース)

・日本海東縁部に想定される地震に伴う津波について、土木学会(2002)に従い、波源位置や傾斜パターン等について十分なパラメータスタディを実施しているという点で、妥当である。

事業者の耐震バックチェック報告書の分析ー泊発電所ー(4/6)

■取水設備の水理特性による水位変動への影響

事業者報告書の要約

- ✓ 評価用の想定津波(下降側)を対象に、取水設備の水理特性による水位変動について数値シミュレーションを実施した。
- ✓ 原子炉補機冷却海水ポンプ位置の最低水位は、設計最低水位を下回り、当該ポンプは一時的に取水不能となる。
- ✓ この場合の対処として、運転要領に従い海水ポンプを一旦停止させ、水位回復後に再起動することとしている。
- ✓ 海水ポンプの取水機能を維持するため、対策工事をすみやかに実施する。

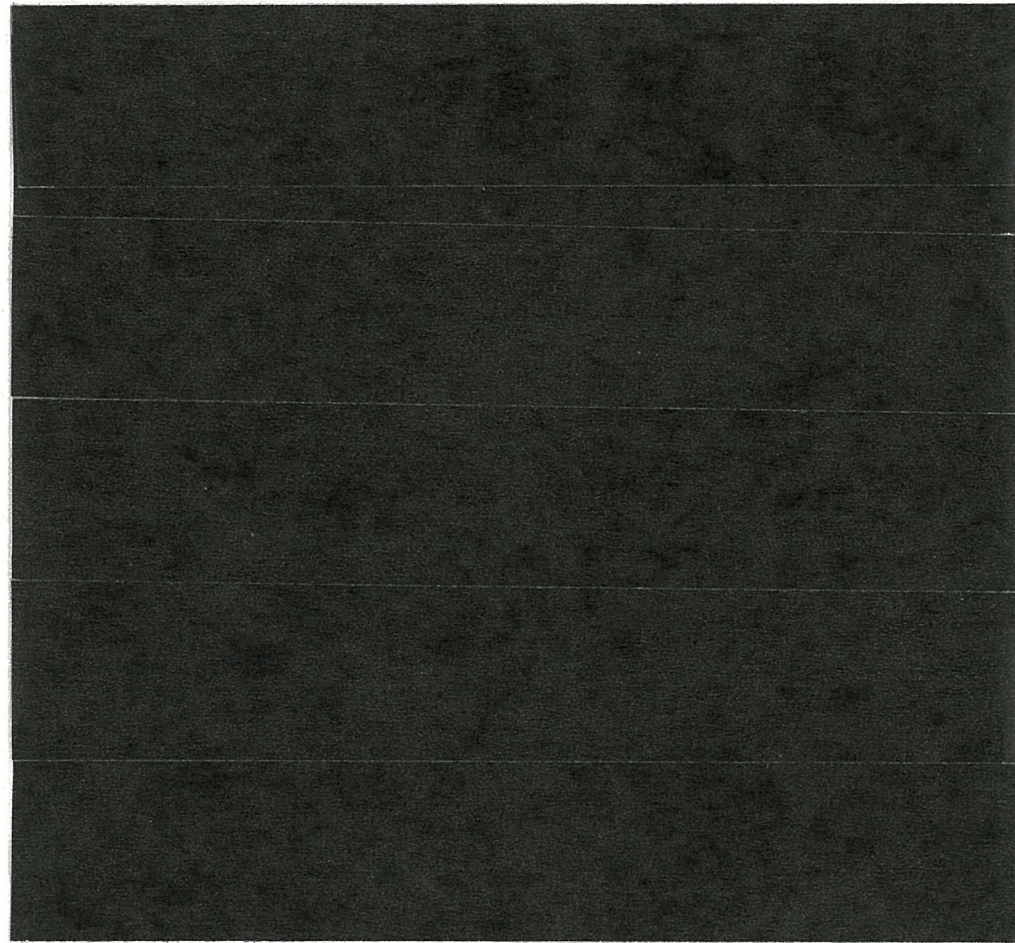


図11 取水設備概要図(1, 2号機)

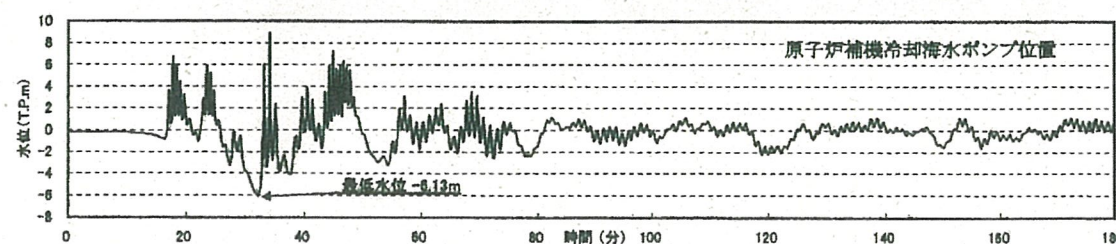


図12 取水設備の水理特性に関する計算水位の時系列変化
日本海東縁部の地震津波(最大水位下降ケース)

海水ポンプ位置の水位が海水ポンプの設計最低水位を下回り、一時的に取水不能となるとし、運転要領でカバーするとしているが、判断を誤ることも考えられるため、取水機能維持のための対策工事は必要である。

■二次的な影響(津波に伴う海底の砂移動)に対する評価

事業者報告書の要約

- ✓ 津波に伴う海底の砂移動の影響を数値シミュレーションにより評価した結果、取水口付近の砂の堆積は1cm~3cm程度であり、取水への支障はない。

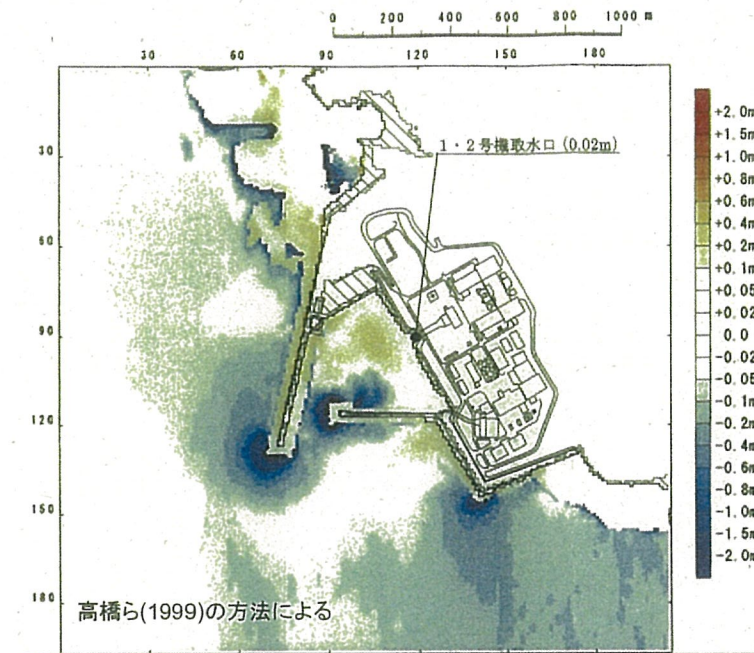


図13 砂移動に伴う地形変化量(水位上昇側、日本海東縁部)

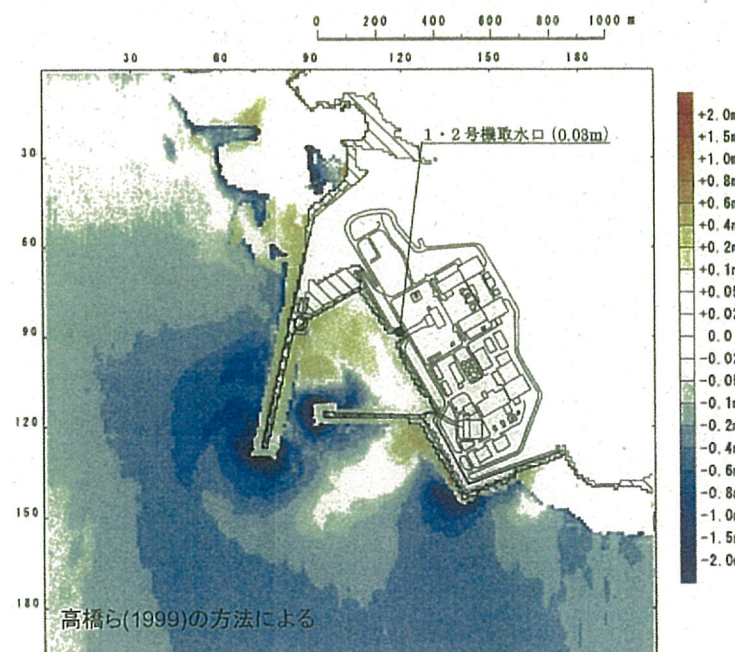


図14 砂移動に伴う地形変化量(水位下降側、日本海東縁部)

- 取水口開口高が約3mであるため、開口部が閉塞する可能性は低い。
- 砂移動解析の解析条件のうち飽和浮遊砂濃度が明記されていない。
- 解析結果として地震発生3時間後の地形変化が示されているが、最大地形変化量が不明である。

事業者の耐震バックチェック報告書の分析ー泊発電所ー(5/6)

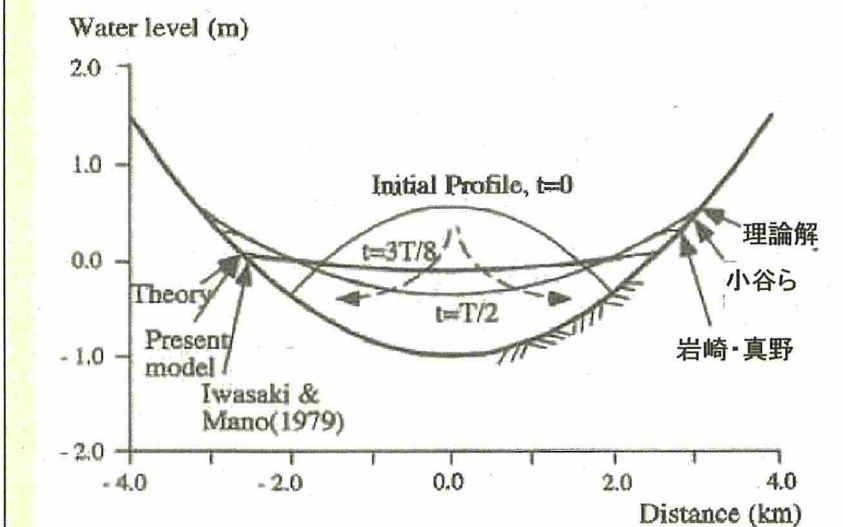
■津波解析の計算条件

表2 事業者の津波解析の計算条件

領域 項目	A領域	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域	G領域
計算領域	日本海全域（南北約 1,500km, 東西約 1,200km）						
計算格子間隔 Δs	5 km	2.5 km	833 m (2500/3)	278 m (2500/9)	93 m (2500/27)	31 m (2500/81)	10 m (2500/243)
計算時間間隔 Δt	0.25 秒						
基礎方程式	線形長波	非線形長波					
沖合境界条件	自由透過	外側の大格子領域と、水位・流量を接続					
陸側境界条件	完全反射				岩崎・真野(1979) ⁽³⁶⁾ の 遡上境界条件		
初期条件	地震断層モデルを用いて Mansinha and Smylie(1971) ⁽³⁵⁾ の方法により計算される海底地殻変位を初期水位として海面上に与える。						
海底摩擦	考慮しない	マニングの粗度係数 $n = 0.03 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$					
水平渦動粘性	考慮しない	係数 $K_h = 1.0 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$					
計算潮位	検証計算：T.P. $\pm 0.0\text{m}$ 予測計算：M.S.L. = T.P. + 0.21m						
計算時間	地震発生後 3 時間						

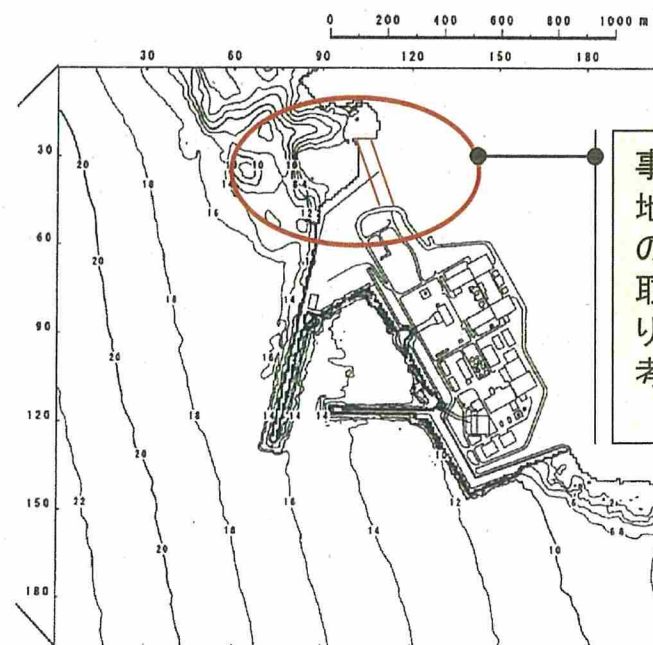
G領域の計算格子間隔が10mとなっており、港内の水位評価に用いる地形モデルとして十分かどうか、より詳細な計算格子間隔による検討が必要である。

岩崎・真野(1979)の方法は、広く利用されてきたが、最近ではこの方法を見直した小谷ら(1998)の方法が提案されている。小谷らの方法で検討しておく必要がある。(SANNAMI(+TUNAMI)は、小谷らの方法を基本とする。)



水平渦動粘性係数の導入は、土木学会(2002)でも否定していない。しかし、この値が大きいほど水位変動が小さくなる効果がある。水平渦動粘性係数を導入しない場合についても検討しておく必要がある。

港内の水位変動の共振も考えられるため、地震発生後3時間の計算では短い。計算時間を延長し、港内の水位変動が十分に減衰していることを確認する必要がある。



事業者の最大水位上昇ケースでは、敷地北側での津波の遡上高が大きい。この部分には、敷地外との出入りのために取り付け道路があり、トンネルとなっており、トンネルを経由した浸水の可能性も考慮する必要がある。

図15 事業者の地形モデル(G領域)

3. 分析結果のまとめ

■津波に対する施設の安全性を評価するための項目は適切か。

- ✓ 事業者は、施設の供用期間中に可能性のある津波を想定し、敷地沿岸部および原子炉補機冷却海水ポンプ位置における津波による水位変化や海底の土砂移動を項目として挙げており、津波に対する施設の安全性評価の項目は適切である。

■想定津波の設定は適切か。

- ✓ 事業者は、土木学会(2002)に従い、敷地周辺の海域活断層および日本海東縁部に想定される地震に伴う津波を対象としており、想定津波の設定として適切である。

(海域活断層に想定される地震に伴う津波について)

- ✓ 事業者は、敷地周辺の海域活断層の中から敷地に影響が大きい断層として、F_B-2断層を抽出している。このことは、海洋地質図などを基に周辺海域を広く見渡してもF_B-2断層の規模(長さを目安として)を超える断層は見当たらず、妥当である。
- ✓ 事業者は、F_B-2断層の基準断層モデルの設定に際し土木学会(2002)に従い、活断層の長さに基づき、武村(1998)のスケーリング則を適用してMw7.67と設定している。しかし、これは事業者の地震動評価における断層モデルの設定方法と整合していない。また、地震発生層の厚さについても津波評価用(15km)と地震動評価用(35km)とで食い違っており、これらを統一して評価する必要がある。
- ✓ F_B-2断層について、地震動評価を参考に傾斜角の不確かさを考慮してモーメントマグニチュードを評価するとMw7.7～7.85となり、事業者検討モデルよりも大きくなるため、これらのモデルでも評価する必要がある。

(日本海東縁部に想定される地震に伴う津波について)

- ✓ 事業者は、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の規模として、既往の1993年北海道南西沖地震津波の規模(Mw7.84)を下回らないようにMw7.85とした。また、土木学会(2002)を参考に、基準断層モデルを設定し、波源位置や傾斜パターンについても不確かさを考慮して検討されている。
- ✓ 土木学会(2002)では、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波として、広域を対象に保守的な基準断層モデルが設定されているが、当該サイトへの影響範囲が前面海域に限定されること、ならびに当該海域の活断層調査が詳細に行われていることを考慮すれば、不確かさの幅を小さくできると考えられる。
- ✓ 上記の観点から、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波は、土木学会(2002)の方法に加えて、活断層調査で存在が明らかになっている上記のF_B-2断層に代表させた検討も必要である。

■解析方法や解析モデル等の評価方法は適切か。

(津波解析の計算条件について)

- ✓ 事業者は、陸側境界条件として岩崎・真野(1979)の方法を採用しているが、最近ではこの方法を見直した小谷ら(1998)の方法が提案されている。最新知見の反映という意味でも、小谷らの方法を用いた検討が必要である。
- ✓ 地形モデルの計算格子間隔について、他サイトの審査ではあるが、合同WGの委員から5m程度でも検討するようコメントがあった。事業者が設定した計算格子間隔10mで当該サイトにおいて十分かどうか、より詳細な計算格子間隔での検討が必要である。
- ✓ 津波来襲時には、港内の水位変動の共振も考えられるため、計算時間が地震発生後3時間では十分ではない。計算時間を延長して、港内の水位変動が十分減衰することを確認する必要がある。

(既往津波の再現性について)

- ✓ 事業者は、数値解析手法および地形モデルの検証のため、1993年北海道南西沖地震津波を対象に、再現計算を行っている。
- ✓ 事業者の結果は、再現性の評価指標として、相田(1977)の幾何平均値Kと幾何標準偏差 κ を用いると、広域でK=0.93、 κ =1.37、サイト近傍でK=0.86、 κ =1.17と報告されている。
- ✓ 土木学会(2002)では、再現性の目安として、下記の条件を設定しているが、事業者の結果は、この条件を満たしていない。

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

■懸念事項

- ✓ 土木学会(2002)の日本海東縁部に想定される地震に伴う津波に関する取扱いは、津波評価用に限ったものであり、地震動評価と整合していない。
- ✓ また、現状では地震動評価と津波評価が独立して検討され、同じ活断層を対象とした場合でも、規模評価が異なるなどの不具合が生じている。

4. 日本海東縁部の地震津波の取扱いに関する専門家へのヒアリング調査

上記の懸念事項について、専門家にヒアリング調査を行った結果、以下の意見が得られた。

- ✓ 「現段階では津波と地震動は独立して評価しているが、今後、調整が必要である。」
(津波の専門家の意見)
- ✓ 「活断層調査に基づく海域活断層を対象に検討しておけば十分である。」
(地震、活断層の専門家の意見)