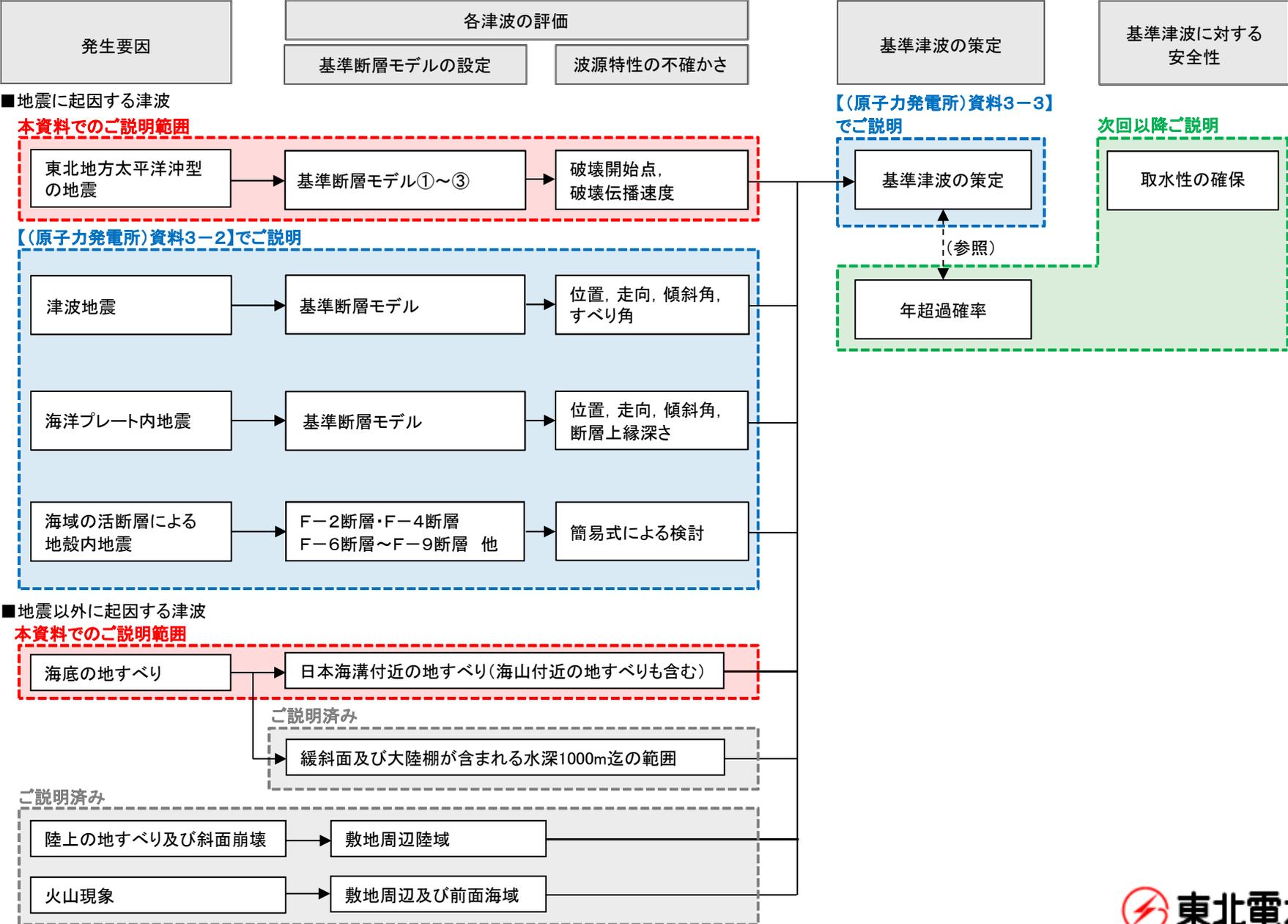


女川原子力発電所2号機 基準津波の策定のうち
「東北地方太平洋沖型の地震」に起因する津波の評価について
(コメント回答)

平成28年9月30日
東北電力株式会社

基準津波の評価の全体概要



審査会合におけるコメント①

No.	コメント時期	コメント内容	説明資料
S54	平成27年1月23日 第185回審査会合	分岐断層及び海底活断層に関する最新の知見を収集し、評価への反映の要否について検討すること。	Ⅱ．第2章 Ⅱ．第5章
S56	平成27年1月23日 第185回審査会合	三陸沖北部への連動性を考えるにあたっては、3.11ですべりを生じた福島県沖の固着に関する最新の知見も分析に加え、総合的に考察すること。	平成27年10月23日第286回 審査会合でご説明済
S57	平成27年1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。	平成27年10月23日第286回 審査会合でご説明済
S58	平成27年1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの設定方法のうち、大すべり域・超大すべり域を設定することによるMwの調整を、波源域全体で調整しているが、背景領域を設定して調整した場合にどのような影響があるか説明すること。	平成27年10月23日第286回 審査会合でご説明済
S59	平成27年1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの波源域全体に占める大すべり域の割合を変化させた場合にどのような影響があるか説明すること。	平成27年10月23日第286回 審査会合でご説明済
S60	平成27年1月23日 第185回審査会合	すべりの不均質性を考慮した内閣府モデル、女川再現モデル、特性化モデルの大すべり域が、最も厳しい位置となっているか確認すること。	平成27年10月23日第286回 審査会合でご説明済
S61	平成27年1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの破壊伝播速度及びライズタイムの不確かさを考慮した場合の影響を検討すること。	平成27年10月23日第286回 審査会合でご説明済
S62	平成27年1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの剛性率の妥当性について説明すること。	平成27年10月23日第286回 審査会合でご説明済

審査会合におけるコメント②

No.	コメント時期	コメント内容	説明資料
S76	平成27年3月20日 第210回審査会合	小平ほか(2012)で示されている3.11地震時における海溝付近の海底地すべりが発生した場合の影響を検討すること。	Ⅱ. 第3章 Ⅱ. 第5章
S77	平成27年3月20日 第210回審査会合	日本海溝海側の海山付近における海底地すべりについて、最新の知見を収集すること。	Ⅱ. 第3章 Ⅱ. 第5章

No.	コメント時期	コメント内容	説明資料
S92	平成27年10月23日 第286回審査会合	「東北地方太平洋沖型の地震」について、前震や非地震性すべりが宮城県沖の破壊を助長させた知見を踏まえ、破壊過程の説明性向上を図ること。	平成28年7月8日第378回 審査会合でご説明済
S93	平成27年10月23日 第286回審査会合	2004年スマトラ～アンダマン地震以外に、他の海域で発生している巨大地震の知見を加え、地震規模の妥当性に関する説明性の充実化を図ること。	平成28年7月8日第378回 審査会合でご説明済
S94	平成27年10月23日 第286回審査会合	特性化モデルの不確かさ検討にあたっては、種々の基準断層モデル間で評価比較を行い、整理すること。	平成28年7月8日第378回 審査会合でご説明済
S95	平成27年10月23日 第286回審査会合	基準津波の水位下降側評価にあたっては、取水設備の貯留機能を考慮し、水位評価のみならず、取水口敷高を下回る継続時間も踏まえて整理すること。	平成28年7月8日第378回 審査会合でご説明済
S96	平成27年10月23日 第286回審査会合	茨城県沖と房総沖の構造境界の形状等、資料中の図や文章表現について、記載の適正化を図ること。	平成28年7月8日第378回 審査会合でご説明済

No.	コメント時期	コメント内容	説明資料
S149	平成28年7月8日 第378回審査会合	水位下降側の評価値が妥当であるかを確認するため、各基準断層モデルの大すべり域・超大すべり域の位置前後を対象に、破壊開始点を設定した検討を実施すること。	I. 第1章
S150	平成28年7月8日 第378回審査会合	大すべり域・超大すべり域と破壊開始点の位置関係に関する影響検討の各ケースについて、水位下降側の解析結果も示すこと。	I. 第2章

本説明(コメント回答)と「東北地方太平洋沖型の地震」に起因する津波の評価の関係

1. 想定波源域及び地震規模の設定

①地震調査研究推進本部(2012, 2014)の評価

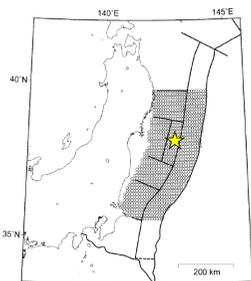
②想定波源域及び地震規模の確認

- 【検討項目】
- i. 固着等に関する分析
 - ii. 破壊伝播の検討
(世界の巨大地震との比較を含めて検討)

③3.11地震発生後の応力状態の確認

④想定波源域及び地震規模の設定

- ・想定波源域: 三陸沖中部～茨城県沖
- ・地震規模: Mw9.0

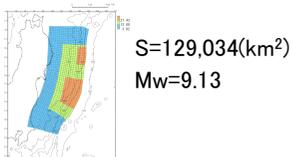


東北地方太平洋沖型の地震
(地震調査研究推進本部(2014))

2. 基準断層モデルの設定

⑤-1: 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定

- 【確認項目】
- 青森県北部～茨城県南部の痕跡高の再現性

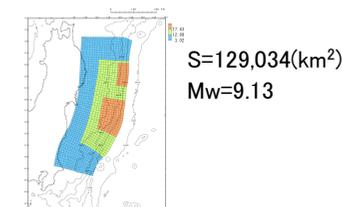


S150

⑤-2: 宮城県沖の大すべり域の位置

- 大すべり域の破壊位置にゆらぎが存在する可能性を考慮(南北約10km単位で移動させた検討を実施)
- 防波堤の有無による影響を確認

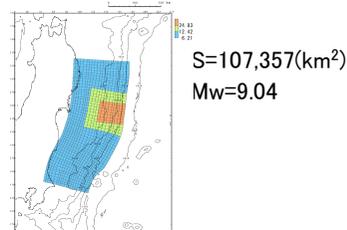
- 破壊開始点との位置関係による影響を確認



⑤-3: 基準断層モデル①(水位上昇側・下降側)の設定

⑥-1: 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定

- 【確認項目】
- i. 地殻変動量(プレート境界の破壊)
 - ii. 沖合いの観測波形(津波伝播)
 - iii. 発電所の津波水位(津波遡上)



⑥-2: 宮城県沖の大すべり域の位置

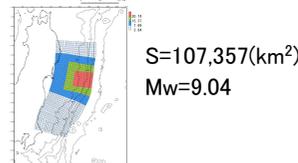
- 大すべり域の破壊位置にゆらぎが存在する可能性を考慮(南北約10km単位で移動させた検討を実施)
- 防波堤の有無による影響を確認

- 破壊開始点との位置関係による影響を確認

S150

⑥-3: 基準断層モデル②(水位上昇側・下降側)の設定

- 震源断層モデルと津波波源モデルの断層面積の違いをすべり量の増分として考慮(約20%)



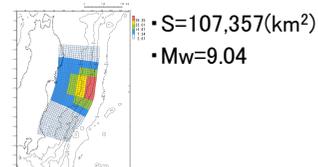
⑥-4: 基準断層モデル③(水位上昇側・下降側)の設定

- 杉野ほか(2013)を踏まえ、短周期の波の発生要因を考慮

S54

S76

S77



3. 波源特性の不確かさの考慮

⑦大すべり域の破壊伝播特性に関する不確かさ

⑦-1: 破壊開始点の位置

- 最も影響が大きい破壊開始点を抽出

⑦-2: 破壊伝播速度

- 1.0, 1.5, 2.0, 2.5(km/s)

S149

- 上昇側・下降側それぞれについて、各評価位置における最大ケース(⑦-2)の大すべり域の位置と、各基準断層モデルの大すべり域位置(⑤-2,⑥-2)が異なる場合、最大ケース(⑦-2)の大すべり域の位置を南北約10km移動させた津波予測計算を実施し、最大ケース(⑦-2)の妥当性を確認する。

目次

I. 水位下降側評価の妥当性

- 1. 基準断層モデル 7
- 2. 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置に関する追加検討 17

II. 各津波発生要因に関する評価とその知見の反映

- 1. 本説明(コメント回答)の基本方針 23
- 2. その他の地震に起因する津波 25
- 3. 日本海溝付近の海底地すべりに起因する津波 29
- 4. 基準断層モデル③の津波特性 33
- 5. まとめ 35

余白

I . 水位下降側評価の妥当性

1. 基準断層モデル

1. 1 本説明(コメント回答)内容	8
1. 2 津波予測計算	9
1. 3 まとめ	15

1.1 本説明(コメント回答)内容

No.	コメント内容
S149	水位下降側の評価値が妥当であるかを確認するため、各基準断層モデルの大すべり域・超大すべり域の位置前後を対象に、破壊開始点を設定した検討を実施すること。

- 各基準断層モデルの大すべり域・超大すべり域の評価位置前後を対象に破壊開始点、破壊伝播速度の不確かさを考慮した検討を実施し、水位下降側評価の妥当性を確認する。

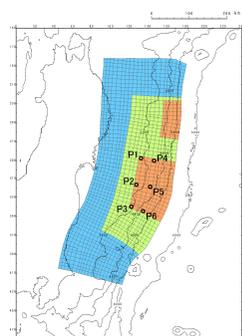
【水位下降側の評価(第378回審査会合でご説明した内容)】

特性化モデル	大すべり域・超大すべり域の位置	波源特性の不確かさ		2号取水口前面
		破壊開始点	破壊伝播速度	最大水位下降量(m)
基準断層モデル①-1	北へ約30km移動	P6	1.0(km/s)	-10.22
基準断層モデル②-1	基準	P5	1.0(km/s)	-10.38
基準断層モデル③-1	基準	P5	1.0(km/s)	-9.78

【検討ケース】

基準断層モデル①-1

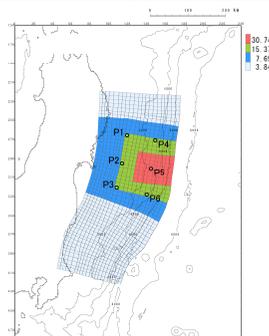
位置	備考
北へ約40km移動	追加検討
北へ約30km移動	評価位置
北へ約20km移動	追加検討



位置: 北へ約30km移動

基準断層モデル②-1

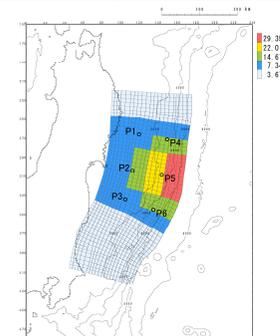
位置	備考
北へ約10km移動	追加検討
基準	評価位置(決定位置)
南へ約10km移動	追加検討



位置: 基準

基準断層モデル③-1

位置	備考
北へ約10km移動	追加検討
基準	評価位置
南へ約10km移動	追加検討



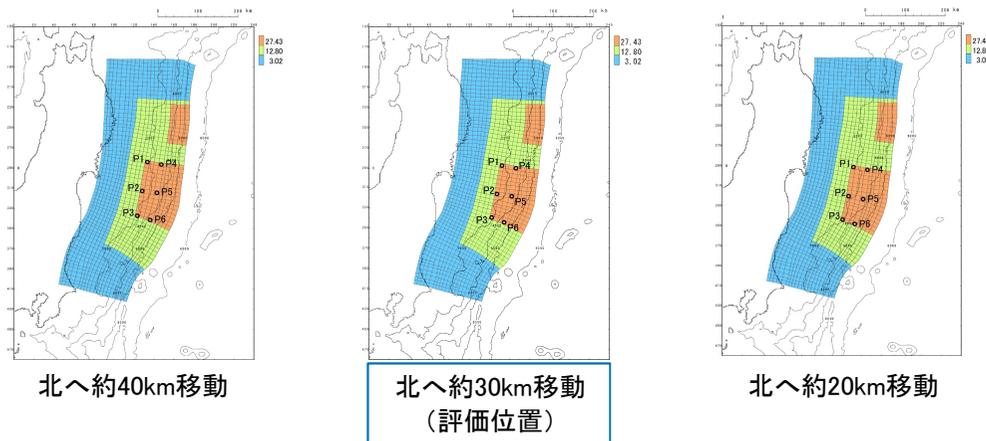
位置: 基準

I. 水位下降側評価の妥当性 1. 基準断層モデル

1.2 津波予測計算: 基準断層モデル①(最大水位下降量)

- 「北へ約20km移動ケース」が最大となったものの、「北へ約30km移動ケース(評価位置)」の最大水位下降量と比較して、有意な差は認められないことを確認した。
- なお、「北へ約20km移動ケース」の最大水位下降量は、水位下降側評価最大ケース(基準断層モデル②)の最大水位下降量に包含される。

■ 検討モデル



■ 津波予測計算結果

① 破壊開始点の不確かさの考慮(破壊伝播速度: 2.0(km/s))

破壊開始点	最大水位下降量(m)			備考
	北へ約40km移動	北へ約30km移動	北へ約20km移動	
基準(同時破壊)	-8.81	-8.61	-8.26	
P1	-9.04	-8.86	-8.54	
P2	-9.73	-9.63	-9.54	
P3	-9.81	-9.66	-9.54	
P4	-9.02	-8.85	-8.58	
P5	-9.77	-9.74	-9.63	
P6	-10.01	-9.97	-9.83	破壊伝播速度検討ケース

② 破壊伝播速度の不確かさの考慮

破壊伝播速度	北へ約40km移動(破壊開始点:P6)		北へ約30km移動(破壊開始点:P6)		北へ約20km移動(破壊開始点:P6)	
	最大水位下降量(m)	継続時間(分) [※]	最大水位下降量(m)	継続時間(分) [※]	最大水位下降量(m)	継続時間(分) [※]
基準(同時破壊)	-8.81	1.9	-8.61	1.8	-8.26	1.5
1.0(km/s)	<u>-10.25</u>	2.6	<u>-10.22</u>	2.6	<u>-10.26</u>	2.6
1.5(km/s)	-10.16	2.5	-10.14	2.5	-10.02	2.5
2.0(km/s)	-10.01	2.5	-9.97	2.5	-9.83	2.4
2.5(km/s)	-9.91	2.5	-9.79	2.4	-9.58	2.3

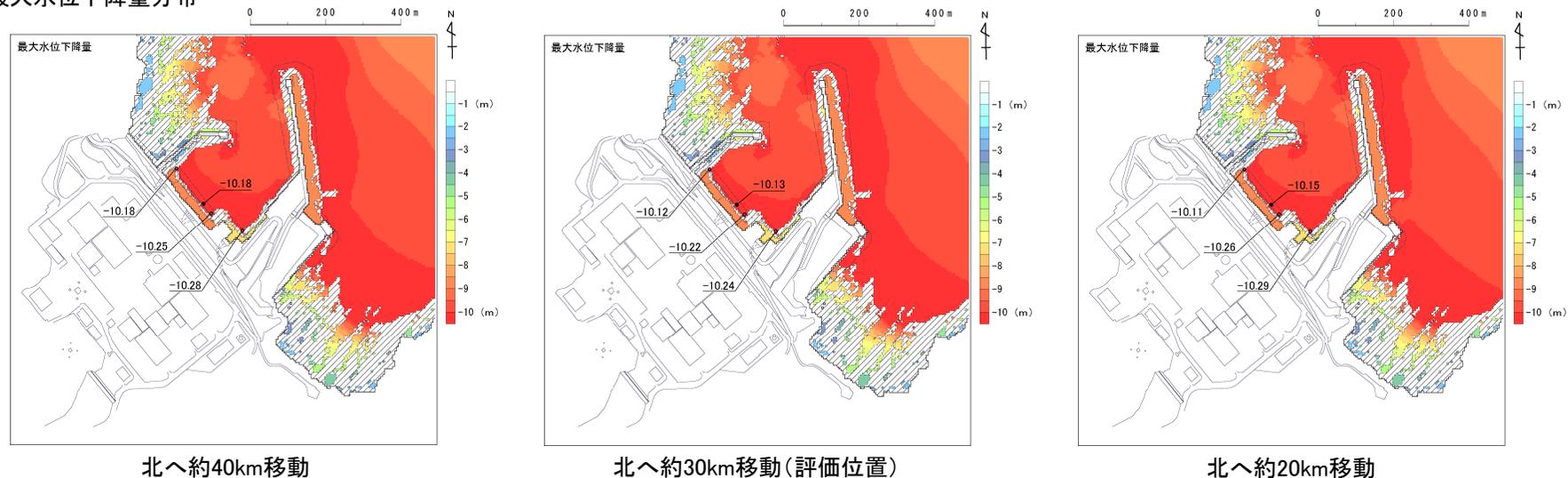
※: 取水口敷高(T.P.-7.04m(O.P.-6.3m))を下回る継続時間

I. 水位下降側評価の妥当性 1. 基準断層モデル

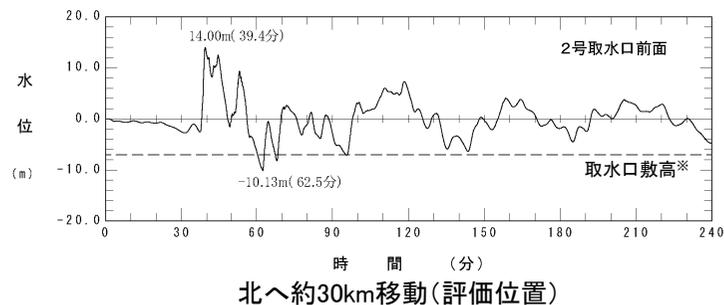
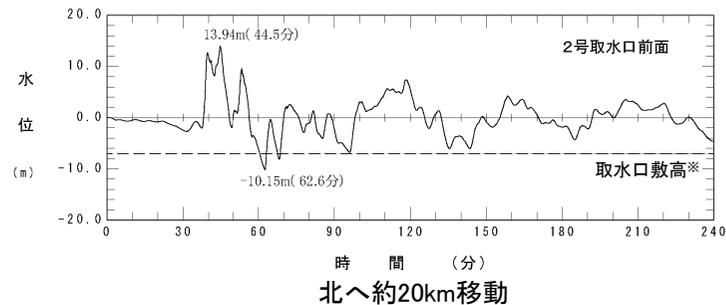
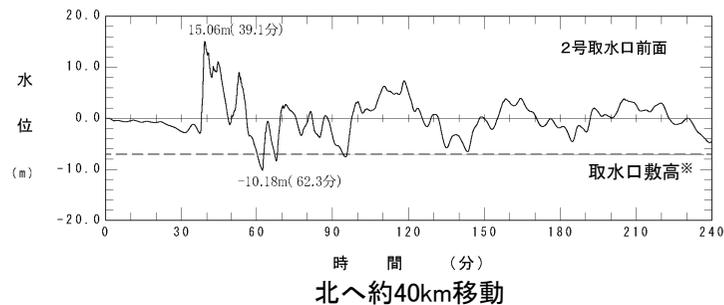
1.2 津波予測計算:基準断層モデル①(水位分布及び水位時刻歴波形)

- 各断層モデル最大ケースの最大水位下降量分布, 2号取水口前面における水位時刻歴波形を以下に示す。

■最大水位下降量分布



■2号取水口前面における水位時刻歴波形



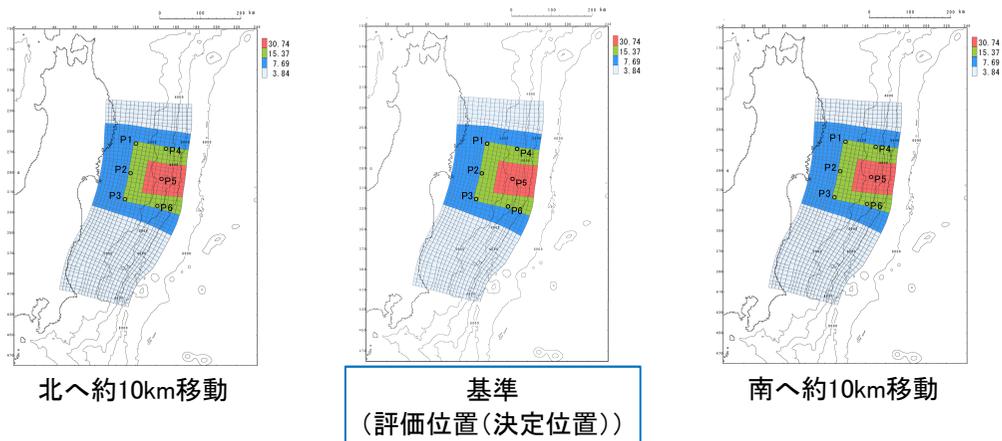
※: T.P.-7.04m(O.P.-6.3m)

I. 水位下降側評価の妥当性 1. 基準断層モデル

1.2 津波予測計算: 基準断層モデル②(最大水位下降量)

- 検討の結果, 評価値(水位下降側評価最大ケース)に変更は無いことを確認した。

■ 検討モデル



■ 津波予測計算結果

① 破壊開始点の不確かさの考慮(破壊伝播速度: 2.0(km/s))

破壊開始点	最大水位下降量(m)			備考
	北へ約10km移動	基準	南へ約10km移動	
基準 (同時破壊)	-7.64	-7.72	-8.23	
P1	-7.69	-7.73	-7.47	
P2	-8.13	-8.28	-8.21	
P3	-8.41	-8.61	-8.64	
P4	-8.19	-8.35	-8.46	
P5	-9.33	-9.42	-9.37	破壊伝播速度 検討ケース
P6	-8.95	-9.07	-9.03	

② 破壊伝播速度の不確かさの考慮

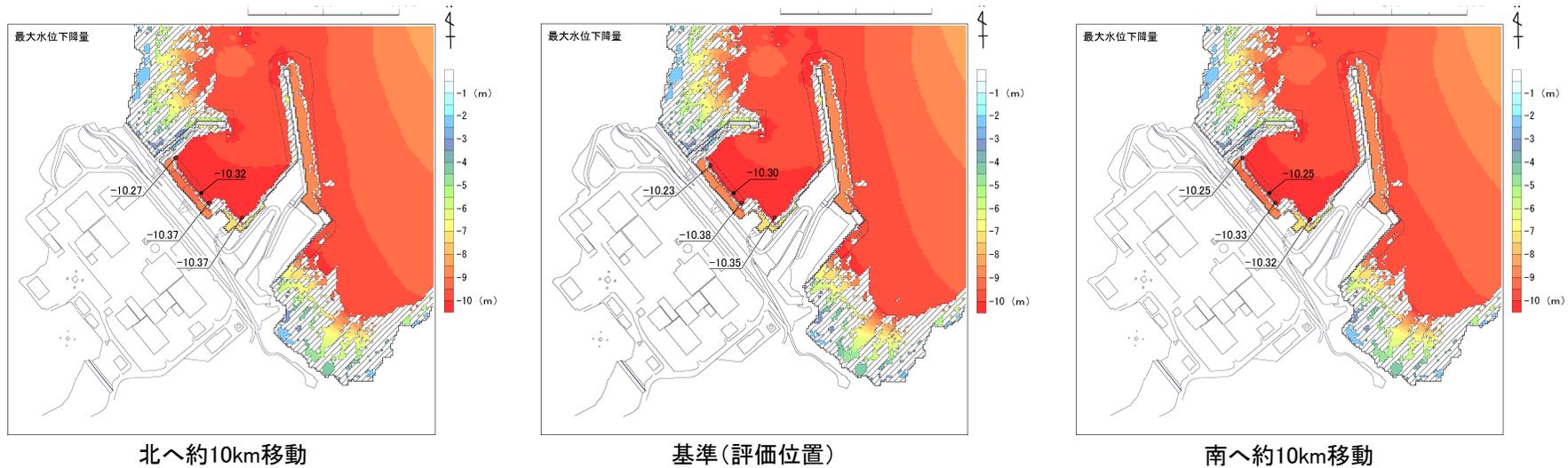
破壊伝播速度	北へ約10km移動 (破壊開始点:P5)		基準 (破壊開始点:P5)		南へ約10km移動 (破壊開始点:P5)	
	最大水位 下降量(m)	継続時間 (分) [※]	最大水位 下降量(m)	継続時間 (分) [※]	最大水位 下降量(m)	継続時間 (分) [※]
基準 (同時破壊)	-7.64	2.3	-7.72	2.4	-8.23	2.2
1.0(km/s)	<u>-10.37</u>	2.7	<u>-10.38</u>	2.6	<u>-10.33</u>	2.6
1.5(km/s)	-9.87	2.8	-9.89	2.7	-9.84	2.7
2.0(km/s)	-9.33	2.8	-9.42	2.7	-9.37	2.7
2.5(km/s)	-9.01	2.8	-9.08	2.7	-9.03	2.6

※: 取水口敷高(T.P.-7.04m(O.P.-6.3m))を下回る継続時間

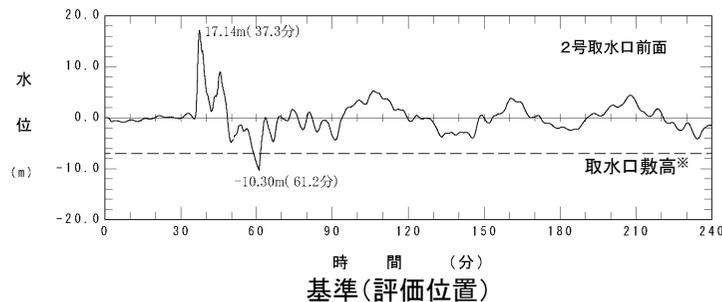
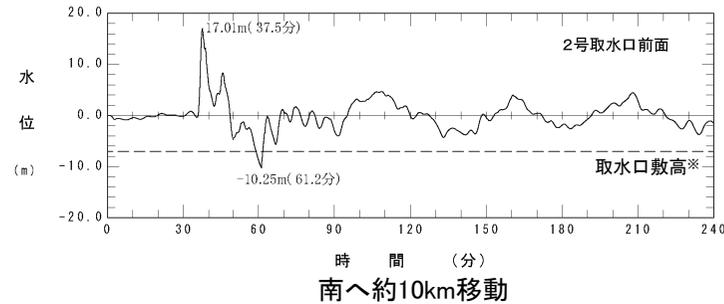
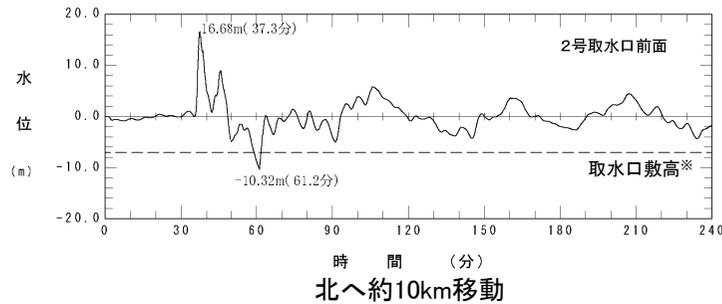
1.2 津波予測計算: 基準断層モデル②(水位分布及び水位時刻歴波形)

- 各断層モデル最大ケースの最大水位下降量分布, 2号取水口前面における水位時刻歴波形を以下に示す。

■最大水位下降量分布



■2号取水口前面における水位時刻歴波形



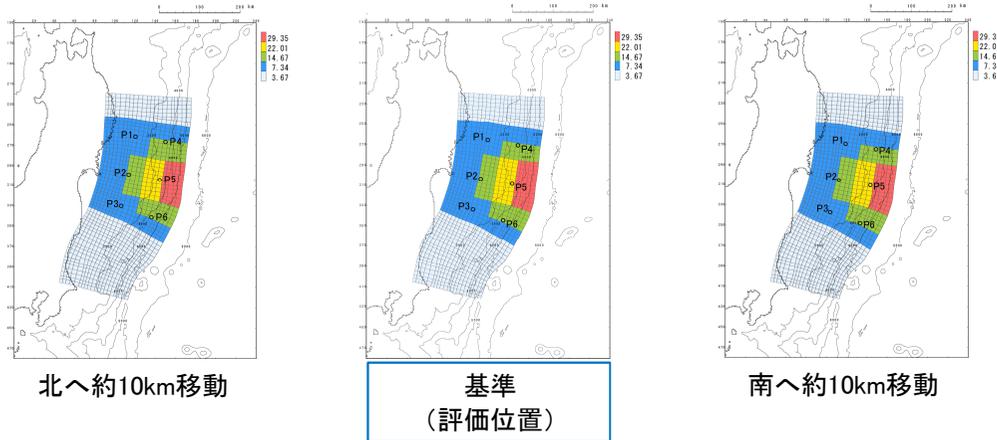
※: T.P.-7.04m(O.P.-6.3m)

I. 水位下降側評価の妥当性 1. 基準断層モデル

1.2 津波予測計算:基準断層モデル③(最大水位下降量)

- 検討の結果, 評価値に変更は無いことを確認した。

■検討モデル



■津波予測計算結果

①破壊開始点の不確かさの考慮(破壊伝播速度:2.0(km/s))

破壊開始点	最大水位下降量(m)			備考
	北へ約10km移動	基準	南へ約10km移動	
基準 (同時破壊)	-9.01	-8.98	-8.91	
P1	-8.70	-8.70	-8.70	
P2	-8.52	-8.46	-8.47	
P3	-8.56	-8.46	-8.42	
P4	-8.47	-8.39	-8.41	
P5	-8.78	-8.94	-8.86	破壊伝播速度 検討ケース
P6	-8.79	-8.79	-8.81	破壊伝播速度 検討ケース

②破壊伝播速度の不確かさの考慮

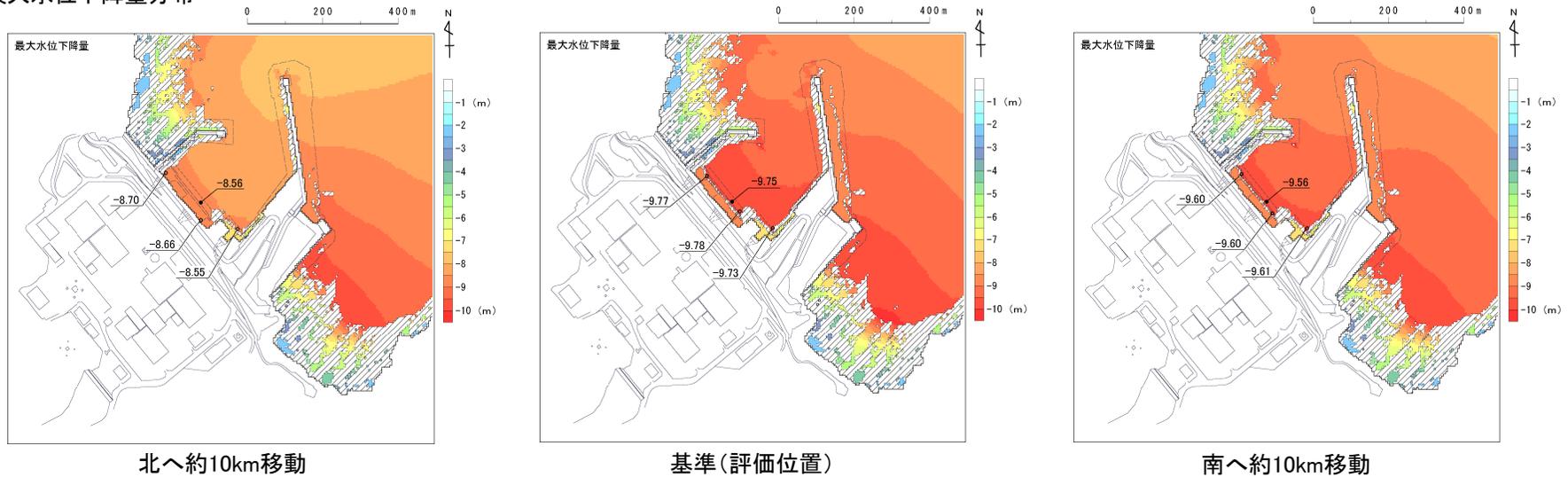
破壊伝播速度	北へ約10km移動 (破壊開始点:P6)		基準 (破壊開始点:P5)		南へ約10km移動 (破壊開始点:P5)	
	最大水位 下降量(m)	継続時間 (分) [※]	最大水位 下降量(m)	継続時間 (分) [※]	最大水位 下降量(m)	継続時間 (分) [※]
基準 (同時破壊)	<u>-9.01</u>	2.0	-8.98	2.3	-8.91	2.2
1.0(km/s)	-8.66	3.0	<u>-9.78</u>	2.9	<u>-9.60</u>	2.8
1.5(km/s)	-8.74	2.7	-9.23	2.8	-9.13	2.7
2.0(km/s)	-8.79	2.6	-8.94	2.7	-8.86	2.6
2.5(km/s)	-8.83	2.5	-8.76	2.7	-8.69	2.5

※: 取水口敷高(T.P.-7.04m(O.P.-6.3m))を下回る継続時間

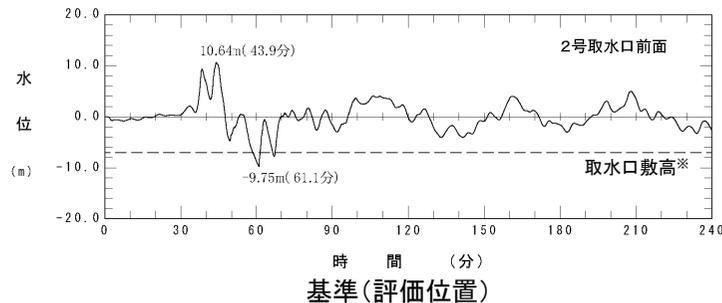
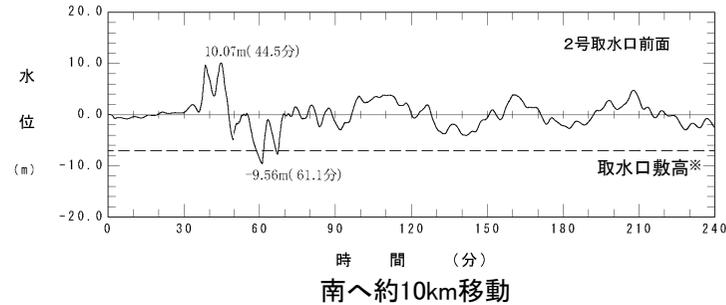
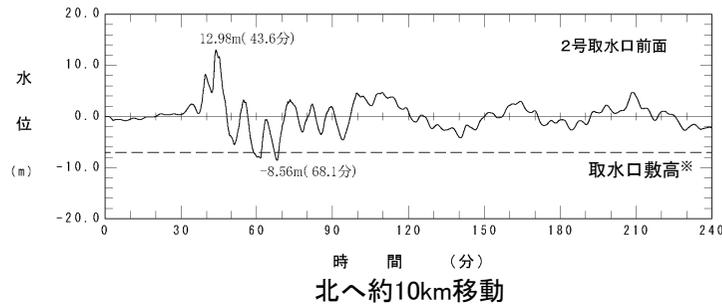
1.2 津波予測計算: 基準断層モデル③(水位分布及び水位時刻歴波形)

- 各断層モデル最大ケースの最大水位下降量分布, 2号取水口前面における水位時刻歴波形を以下に示す。

■最大水位下降量分布



■2号取水口前面における水位時刻歴波形



※: T.P.-7.04m(O.P.-6.3m)

I. 水位下降側評価の妥当性 1. 基準断層モデル

1.3 まとめ

- 各基準断層モデルの大すべり域・超大すべり域の評価位置前後を対象に破壊開始点、破壊伝播速度の不確かさを考慮した検討を実施し、水位下降側の評価は妥当であることを確認した※。

※:本検討ケースの最大水位上昇量は、(原子力発電所)資料3-4「II. 1. 水位下降側評価の妥当性検討における水位上昇側の津波予測計算結果」に記載。

【水位下降側】

特性化モデル	大すべり域・ 超大すべり域 の位置	波源特性の不確かさ		2号取水口前面	
		破壊開始点	破壊伝播速度	最大水位下降量 (m)	取水口敷高を下回る 継続時間(分)
基準断層モデル ①-1	北へ約30km 移動	P6	1.0(km/s)	-10.22	2.6
基準断層モデル ②-1	基準	P5	1.0(km/s)	-10.38	2.6
基準断層モデル ③-1	基準	P5	1.0(km/s)	-9.78	2.9
2号機非常用海水ポンプの運転可能継続時間					約26

余白

I . 水位下降側評価の妥当性

2. 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置に関する追加検討

2. 1 本説明(コメント回答)内容	18
2. 2 広域の津波特性を考慮した特性化モデル	19
2. 3 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル	20
2. 4 まとめ	21

I. 水位下降側評価の妥当性 2. 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置に関する追加検討

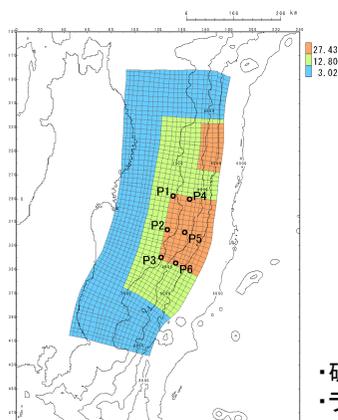
2.1 本説明(コメント回答)内容

No.	コメント内容
S150	大すべり域・超大すべり域と破壊開始点の位置関係に関する影響検討の各ケースについて、水位下降側の解析結果も示すこと。

- ・水位上昇側の検討として実施した各特性化モデルにおける水位下降側の解析結果を整理し、同時破壊の条件下で設定した基準断層モデル(①-1, ②-1, ③-1)を用いて水位下降側を評価することの妥当性を確認する。
- ・なお、参考に検討した「港湾部の防波堤無し」の地形を用いた解析結果についても合わせて整理する。

■ 広域の津波特性を考慮した特性化モデル

	位置	備考
水位上昇側	北へ約40km移動	
	北へ約30km移動	選定位置
	北へ約20km移動	

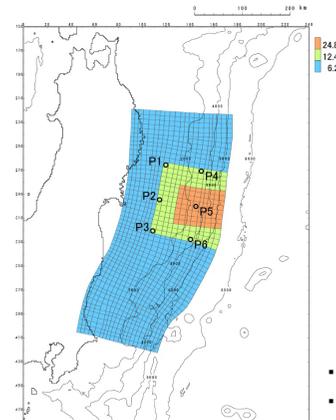


- ・破壊伝播速度: 2.0(km/s)
- ・ライズタイム: 60(s)

水位上昇側
(選定位置: 北へ約30km移動)

■ 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル

	位置	備考
水位上昇側	北へ約10km移動	
	基準位置	選定位置
	南へ約10km移動	



- ・破壊伝播速度: 2.0(km/s)
- ・ライズタイム: 60(s)

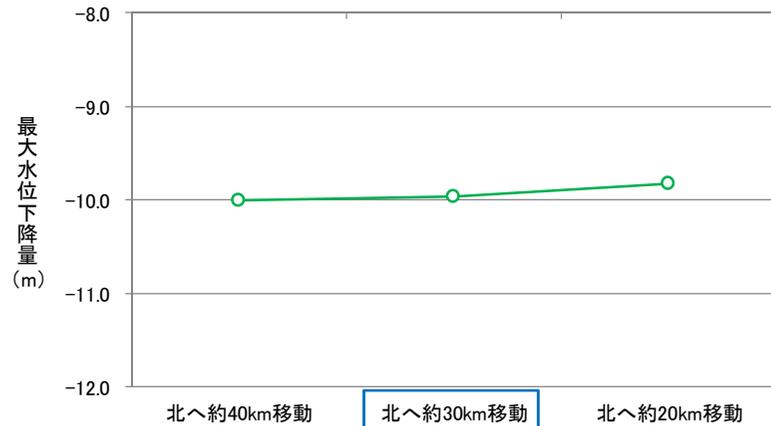
水位上昇側
(選定位置: 基準位置)

I. 水位下降側評価の妥当性 2. 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置に関する追加検討

2.2 広域の津波特性を考慮した特性化モデル

- ・ 発電所の津波高さに与える影響(傾向)に有意な差は認められないことを確認した。
- ・ 以上から、同時破壊の条件下で設定した基準断層モデル①-1を用いた水位下降側の評価は妥当であることを確認した。

■防波堤有りの地形による検討結果

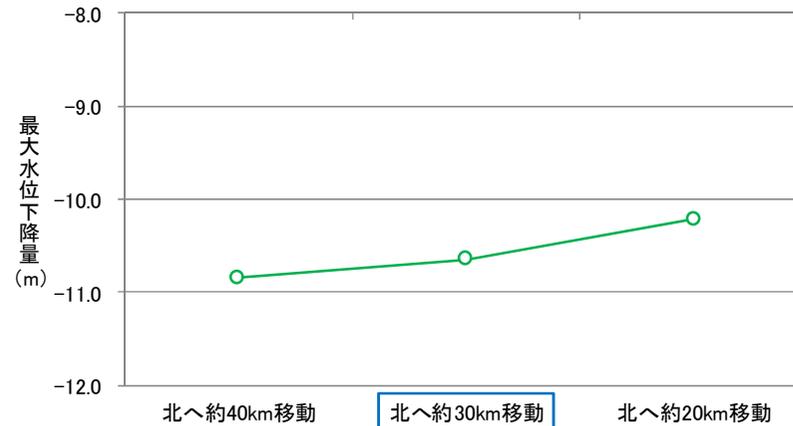


最大水位下降量の比較

解析結果

破壊開始点	最大水位下降量(m)		
	北へ約40km移動	北へ約30km移動	北へ約20km移動
基準 (同時破壊)	-8.81	-8.61	-8.26
P1	-9.04	-8.86	-8.54
P2	-9.73	-9.63	-9.54
P3	-9.81	-9.66	-9.54
P4	-9.02	-8.85	-8.58
P5	-9.77	-9.74	-9.63
P6	<u>-10.01</u>	<u>-9.97</u>	<u>-9.83</u>

(参考)防波堤無しの地形による検討結果



最大水位下降量の比較

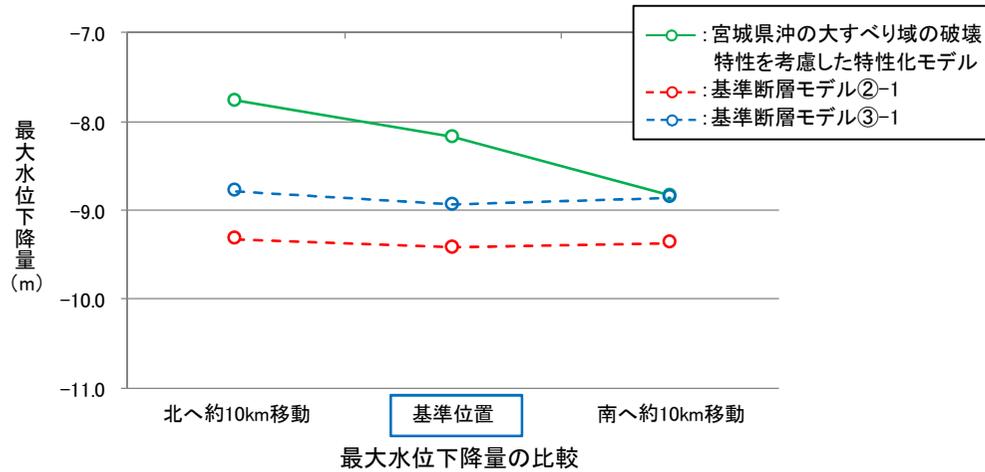
解析結果

破壊開始点	最大水位下降量(m)		
	北へ約40km移動	北へ約30km移動	北へ約20km移動
基準 (同時破壊)	-8.07	-7.67	-7.17
P1	-8.74	-8.32	-7.88
P2	-9.67	-9.51	-9.30
P3	-10.26	-9.84	-9.38
P4	-8.22	-7.90	-7.67
P5	-9.78	-9.69	-9.64
P6	<u>-10.85</u>	<u>-10.65</u>	<u>-10.22</u>

2.3 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル

- 防波堤有りの地形を用いた検討については、発電所の津波高さに与える影響(傾向)に差が認められるものの、基準断層モデル②-1, 基準断層モデル③-1を用いた検討では、同時破壊の条件下で設定した大すべり域・超大すべり域の位置が最も影響が大きい位置であることを確認した。
- 以上から、同時破壊の条件下で設定した基準断層モデル②-1, 基準断層モデル③-1を用いた水位下降側の評価は妥当であることを確認した。

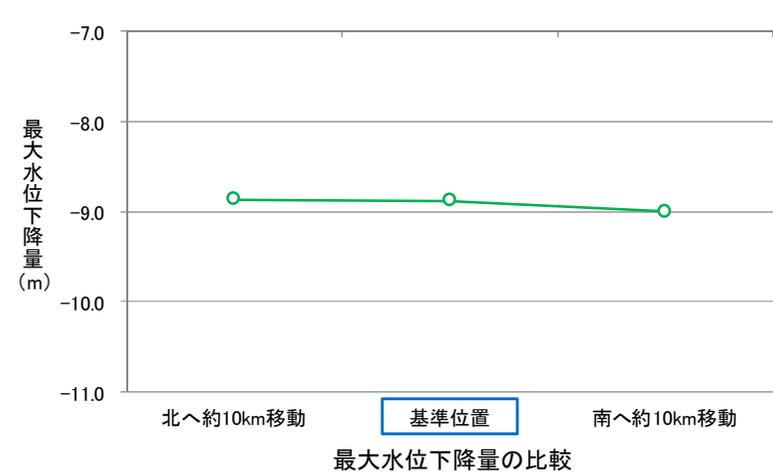
■防波堤有りの地形による検討結果



解析結果

モデル	破壊開始点	最大水位下降量(m)			備考
		北へ約10km移動	基準	南へ約10km移動	
宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル	基準(同時破壊)	-7.31	-8.18	-8.84	
	P1	-6.31	-7.08	-7.78	
	P2	-6.38	-6.58	-7.27	
	P3	-6.82	-7.10	-7.13	
	P4	-6.04	-6.85	-7.50	
	P5	-7.75	-7.88	-7.85	
	P6	-7.77	-7.82	-7.87	
基準断層モデル②-1		-9.33	-9.42	-9.37	破壊開始点検討ケース(p11参照)
基準断層モデル③-1		-8.79	-8.94	-8.86	破壊開始点検討ケース(p13参照)

(参考)防波堤無しの地形による検討結果



解析結果

モデル	破壊開始点	最大水位下降量(m)		
		北へ約10km移動	基準	南へ約10km移動
宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル	基準(同時破壊)	-7.57	-8.39	-9.00
	P1	-7.29	-7.30	-7.96
	P2	-7.90	-7.76	-7.57
	P3	-7.93	-8.16	-7.90
	P4	-6.88	-6.92	-7.41
	P5	-8.62	-8.63	-8.44
	P6	-8.87	-8.88	-8.71

I. 水位下降側評価の妥当性 2. 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置に関する追加検討

2.4 まとめ

- ・ 水位上昇側の検討として実施した各特性化モデルにおける水位下降側の解析結果を整理した。
- ・ 上記の結果, 同時破壊の条件下で設定した基準断層モデル(①-1, ②-1, ③-1)を用いて水位下降側を評価することは妥当であることを確認した。

Ⅱ. 各津波発生要因に関する評価とその知見の反映

1. 本説明(コメント回答)の基本方針	23
2. その他の地震に起因する津波	25
3. 日本海溝付近の海底地すべりに起因する津波	29
4. 基準断層モデル③の津波特性	33
5. まとめ	35

1. 本説明(コメント回答)の基本方針

■「その他の地震」に関するコメント

No.	コメント時期	コメント内容
S54	平成27年1月23日 第185回審査会合	分岐断層及び海底活断層に関する最新の知見を収集し、評価への反映の要否について検討すること。

■「日本海溝付近の海底地すべり」に関するコメント

No.	コメント時期	コメント内容
S76	平成27年3月20日 第210回審査会合	小平ほか(2012)で示されている3.11地震時における海溝付近の海底地すべりが発生した場合の影響を検討すること。
S77	平成27年3月20日 第210回審査会合	日本海溝海側の海山付近における海底地すべりについて、最新の知見を収集すること。



■本説明(コメント回答)の基本方針

・各津波発生要因について以下の検討を実施し、それから得られる知見が基準断層モデル③に適切に反映されていることを確認する。

【その他の地震】

分岐断層

- (1) 規模に関する評価
 - ・南海トラフ沿いに認められる規模の分岐断層が、日本海溝沿いにも認められるかどうかを地質構造の観点から検討する。
- (2) 津波特性に関する知見の整理
 - ・地質構造・地震学的見地から発生要因に関する分析を実施して、同断層に伴う津波の特性を整理する。

海底活断層

- (1) 津波特性に関する知見の整理
 - ・最新の知見を収集し、同断層に伴う津波の特性を確認する。

【日本海溝付近の海底地すべり】

日本海溝陸側斜面の海底地すべり

- (1) 津波水位の評価
 - ・小平ほか(2012)で示されている海底地すべりを対象に津波解析を実施する。
- (2) 発電所(沿岸)の津波高さに与える影響(知見)の整理
 - ・(1)の結果を踏まえ、日本海溝付近で発生する海底地すべりが発電所(沿岸)の津波高さに与える影響を整理する。

海山付近の海底地すべり

- (1) 規模に関する評価
 - ・最新の知見を収集し、海底地すべりの規模を検討する。
- (2) 発電所(沿岸)の津波高さに与える影響(知見)の整理
 - ・(1)の結果並びに「日本海溝付近の海底地すべり」に関する評価結果を踏まえ、発電所(沿岸)の津波高さに与える影響を整理する。



【基準断層モデル③の津波特性】

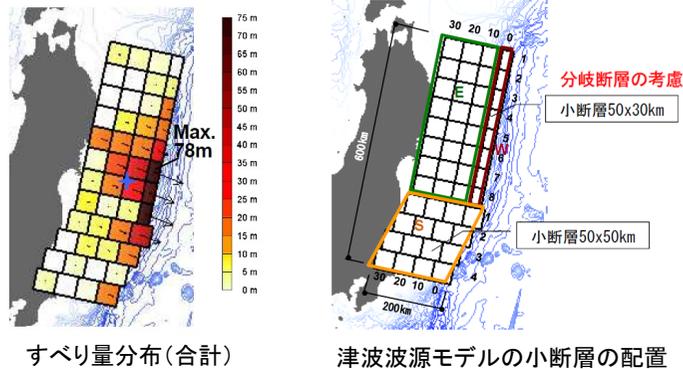
- (1) 地殻変動量分布
 - ・短周期の波を発生させる分岐断層の地殻変動量分布と比較し、類似性が見られるかを確認する。
- (2) 周期特性
 - ・基準津波策定位置における水位時刻歴波形を用いてスペクトル解析を実施し、短周期成分の波が卓越する波形特性を有しているかを確認する。
- (3) 各津波発生要因から得られた知見との比較
 - ・(1), (2)の結果を踏まえ、各津波発生要因に関する知見が、基準断層モデル③に適切に反映されていることを確認する。

Ⅱ. 各津波発生要因に関する評価とその知見の反映

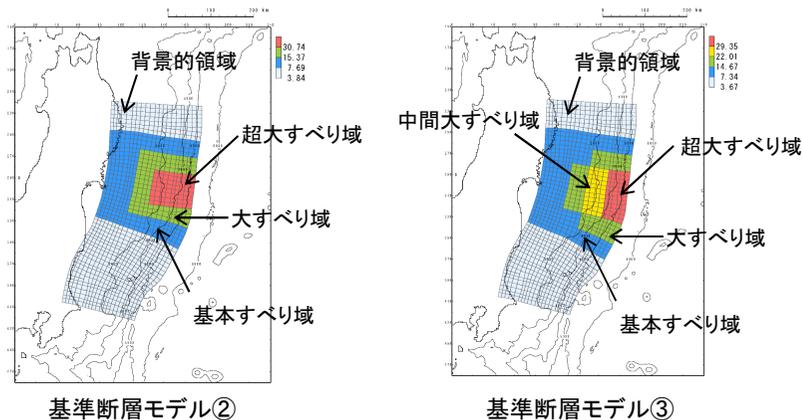
1. 本説明(コメント回答)の基本方針:基準断層モデル③の概要

- ・ 杉野ほか(2013)では, 3.11地震に伴う津波の沖合い観測波形に見られた短周期と長周期の異なる性質の波の発生要因を分岐断層の活動によるものと仮定して津波波源モデルを設定している。
- ・ 3.11地震後の日本海溝付近における海底調査や, 3.11地震の各種のすべり分布モデル等から, 上記要因は分岐断層によるものではないと考えられるが, 分岐断層や日本海溝付近の海底地すべりは短周期の波を発生させる要因の1つと考えられることから, 同要因は基準断層モデルに反映する必要があると考えられる。
- ・ 以上を踏まえ, 基準断層モデル②を基本として, 未知なる分岐断層や海底地すべり等が存在する可能性を考慮した基準断層モデル③を設定した。

【杉野ほか(2013)モデル】



【基準断層モデル】

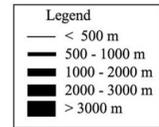
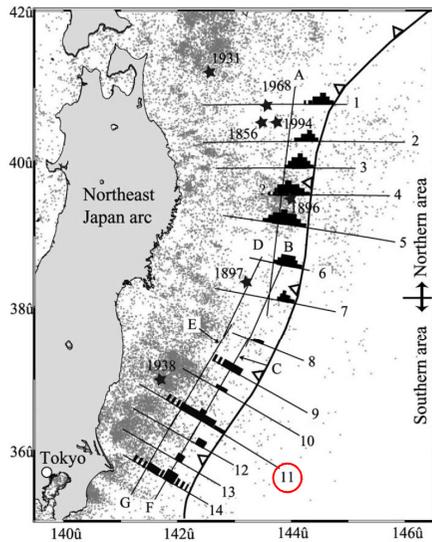


諸元		基準断層モデル②	基準断層モデル③
モーメントマグニチュード(Mw)		9.04	9.04
断層面積(S)		107,357(km ²)	107,357(km ²)
平均応力降下量(Δσ)		3.11MPa	3.17MPa
地震モーメント(Mo)		4.49 × 10 ²² (Nm)	4.58 × 10 ²² (Nm)
すべり量	基本すべり域 (面積及び面積比率)	7.69(m) (49,872(km ²), 46.5%)	7.34(m) (56,675(km ²), 47.2%)
	背景的領域 (面積及び面積比率)	3.84(m) (57,485(km ²), 53.5%)	3.67(m) (50,675(km ²), 52.8%)
	大すべり域 (面積及び面積比率)	15.37(m) (22,192(km ²), 20.7%)	14.67(m) (24,875(km ²), 23.2%)
	中間大すべり域 (面積及び面積比率)		22.01(m) (11,732(km ²), 10.9%)
	超大すべり域 (面積及び面積比率)	30.74(m) (8,078(km ²), 7.5%)	29.35(m) (6,201(km ²), 5.8%)
	平均すべり量	8.37(m)	8.53(m)

II. 各津波発生要因に関する評価とその知見の反映 2. その他の地震に起因する津波

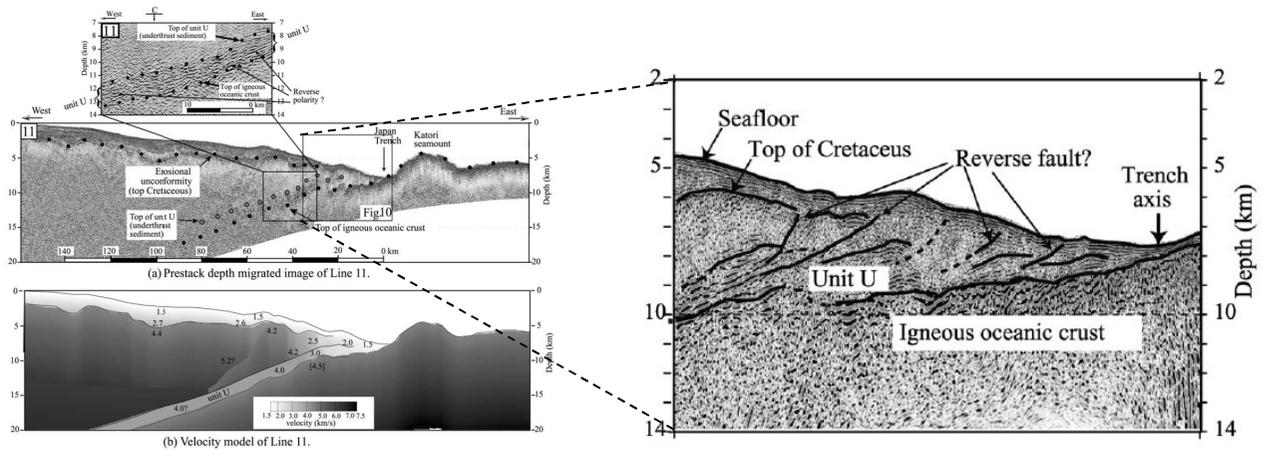
2.1 分岐断層: 規模に関する評価

- 地質構造の観点から、日本海溝沿いには南海トラフ沿いに認められる規模の分岐断層は存在しないものの、逆断層センスの変形構造を有する付加体が存在する。
- 上記変形構造は、地質構造に関する知見並びに地震学的見地から、南海トラフ沿いに認められる分岐断層と同様に、プレート境界地震に伴う副次的な活動で発生したものと考えられる。



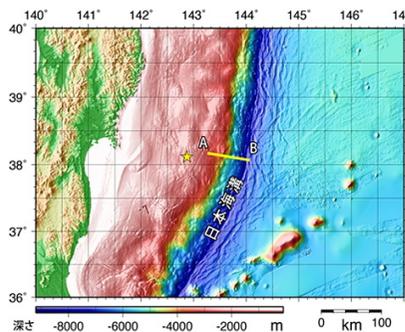
低速度堆積ユニットの厚さの地域的变化 (Tsuru et al.(2002)に一部加筆)

■ 東南北部(Line11)における付加体の形状

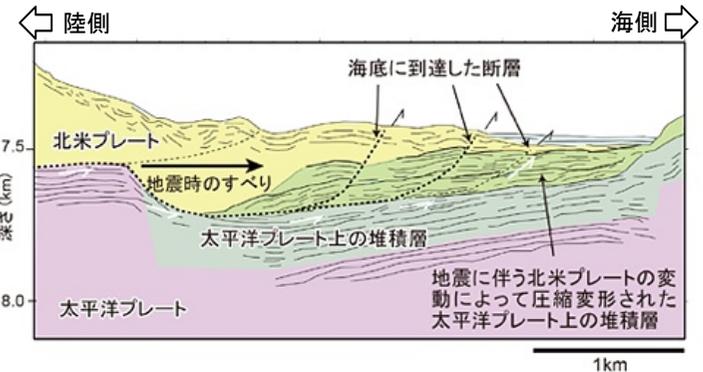


東南北部(Line11)における付加体の形状 (Tsuru et al.(2002))

■ 3.11地震時における宮城県沖における海溝軸の変形構造



調査位置 (JAMSTEC(2012))



3.11地震後の宮城県沖における地下構造の解釈図 (JAMSTEC(2012))

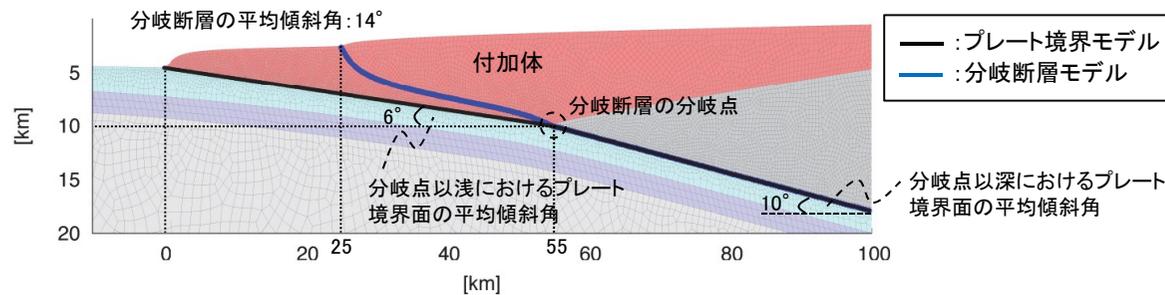
II. 各津波発生要因に関する評価とその知見の反映 2. その他の地震に起因する津波

2.1 分岐断層: 津波特性に関する知見の整理

- 奥村・後藤(2013)による南海トラフの熊野灘外縁部に認められる分岐断層に係る断層破壊シミュレーション※¹, 並びに同シミュレーションから得られる地殻変動を用いた津波伝播シミュレーション※²から, 分岐断層に伴う津波特性は以下のとおり整理される。

- 分岐断層による破壊シナリオに伴う津波は, プレート境界による破壊シナリオに伴う津波よりも周期が短い。
- これは, 分岐断層による破壊シナリオの方が, 周期特性が表れる海溝沿いにおける隆起域の距離が短い(断層幅が小さい)ためと考えられる。

■地質構造モデル(奥村・後藤(2013))に一部加筆



※1: 動力モデル(断層に働く応力状態, 断層面の摩擦特性をモデル化し, すべりそのものを力学に基づいて発生させる方法)を用いて実施。

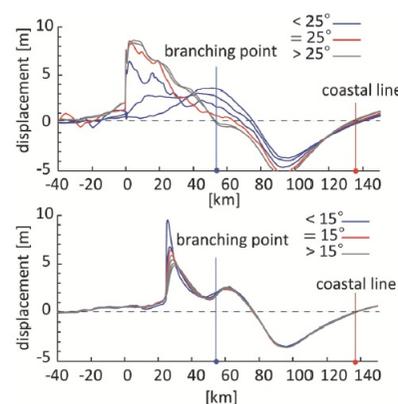
※2: 非線形長波理論を用いて実施。空間格子間隔: 50m, 時間格子間隔: 0.1秒, 計算時間: 1.5時間。

■津波伝播シミュレーション※²結果(奥村・後藤(2013))

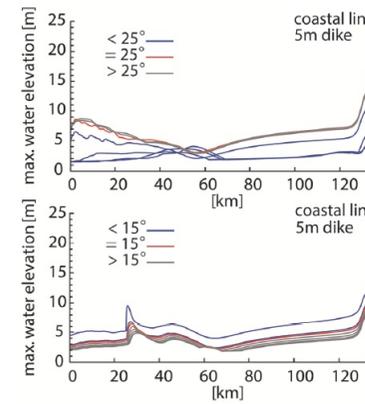
上: プレート境界の破壊シナリオ
下: 分岐断層の破壊シナリオ
角度: 最大主応力方向

※3: 横軸は, 地質構造モデルの横軸に対応する距離。

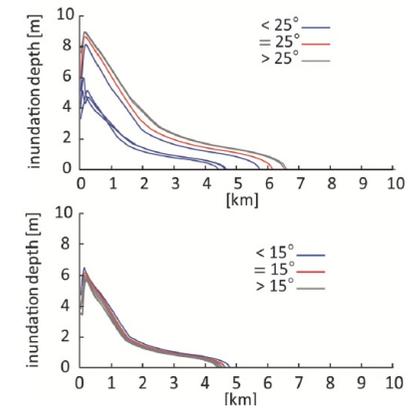
※4: 横軸は, 海岸線から内陸方向への距離。



地殻の上下変動の比較※³



海面の最大変位分布※³



津波の浸水深の比較※⁴

日本海溝沿いには南海トラフ沿いに認められる規模の分岐断層は存在しないものの, プレート境界地震に伴う副次的な活動で発生したと考えられる逆断層センスの変形構造を有する付加体が存在する。なお, 分岐断層に伴う津波はプレート境界地震と比較して断層幅が小さいため, 同津波の周期は短い※。

※: 評価の詳細は, (原子力発電所)資料3-4「V. 1. 分岐断層」に記載。

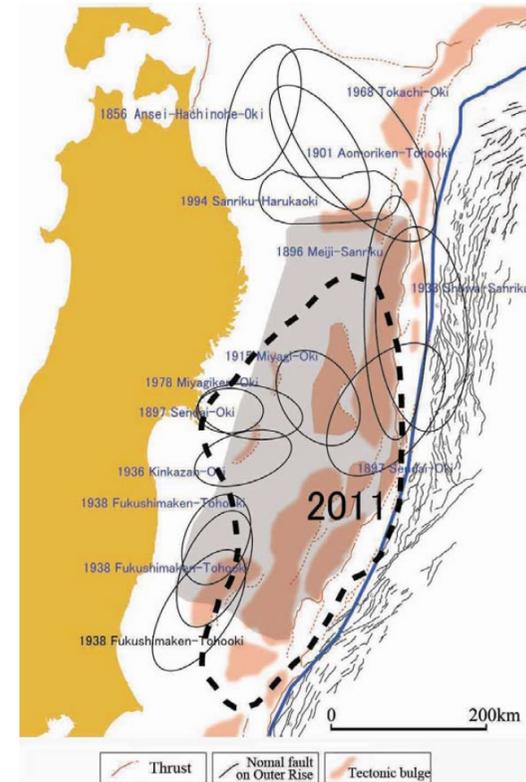
Ⅱ. 各津波発生要因に関する評価とその知見の反映 2. その他の地震に起因する津波

2.2 海底活断層:最新の知見の収集

- Nakata et al.(2012)は、150mグリッドDEMデータを基にした海底地形画像解析から、日本海溝沿い周辺の海底地形には既往地震に対応する変動地形や海底活断層が分布するとしている。
- そのうち、3.11地震は、三陸沖中部から茨城県沖の海溝陸側斜面下部に連続する長大な海底活断層が活動したものであるとしている。



日本海溝沿い周辺の海底地形
(Nakata et al.(2012))



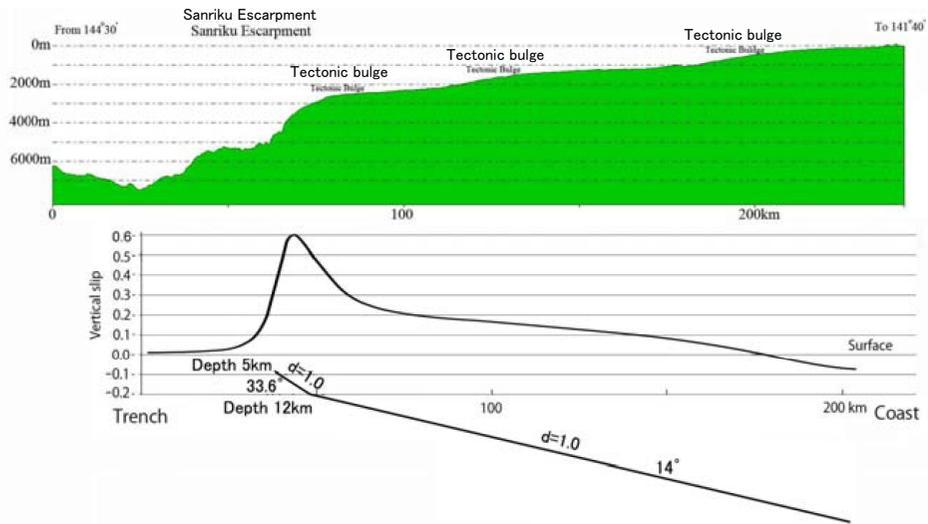
変動地形並びに海底活断層の分布と既往地震の関係
(Nakata et al.(2012))

岡村(2012)は、Nakata et al.(2012)について「反射断面に認められている海底下の地質構造や、3.11地震の変動については全く考慮していない。」としている。したがって、海底活断層に関する研究動向については、引き続き注視する必要がある。

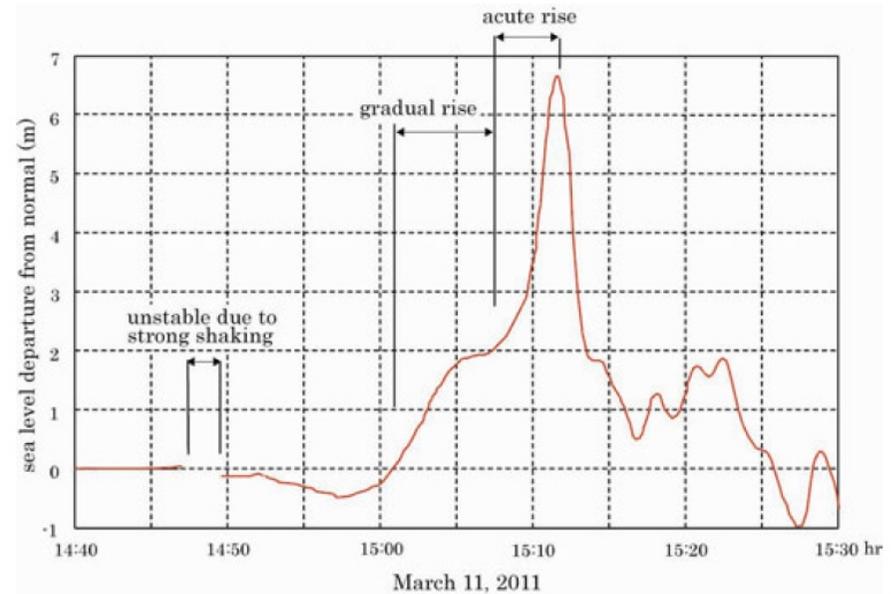
Ⅱ. 各津波発生要因に関する評価とその知見の反映 2. その他の地震に起因する津波

2.2 海底活断層: 津波特性に関する知見の整理

- Nakata et al.(2012)は単一の断層面を仮定した海底地形変動のシミュレーションを実施し、同シミュレーションから得られる海底地形変動は、海溝陸側斜面上部に認められる幅約20kmの地形的高まりを再現できるとともに、3.11地震時に岩手県南部沖のGPS波浪計で取得した津波の第一波の波形と同様のパターンを示すとしている。
- 以上から、海底活断層により発生する津波は、短周期の波が卓越する特性を有すると考えられる。



海底地形変動のシミュレーション結果
(Nakata et al.(2012)に一部加筆)



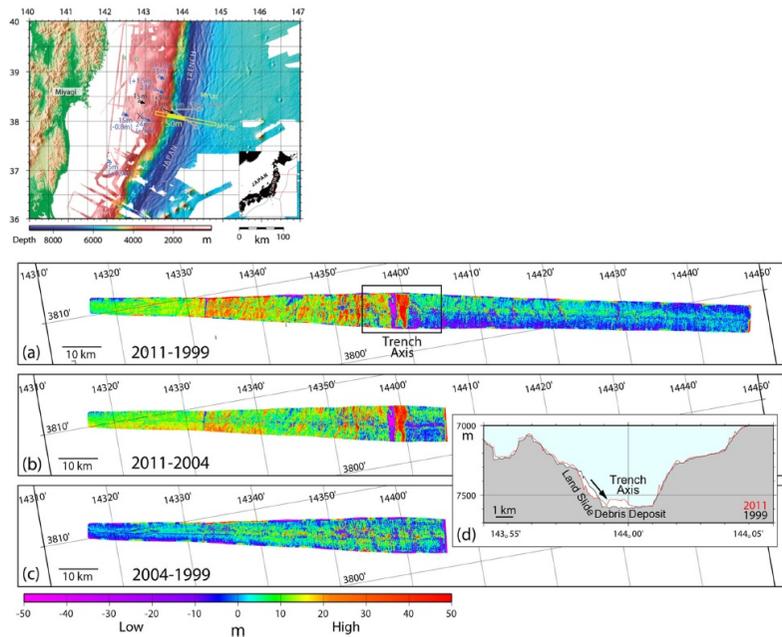
港湾空港技術研究所 岩手県南部沖GPS波浪計
で捉えた3.11地震に伴う津波の第一波
(Nakata et al.(2012))

- 3.11地震は、三陸沖中部から茨城県沖の海溝陸側斜面下部に連続する長大な海底活断層によるものと指摘する知見があるが、「反射断面に認められている海底下の地質構造や、3.11地震の変動については全く考慮していない。」との指摘もあるため、今後の研究動向を引き続き注視する必要がある。
- なお、仮に、3.11地震の発生要因が、長大な海底活断層とした場合、同断層に伴う津波は短周期の波が卓越する特性を有すると考えられる。

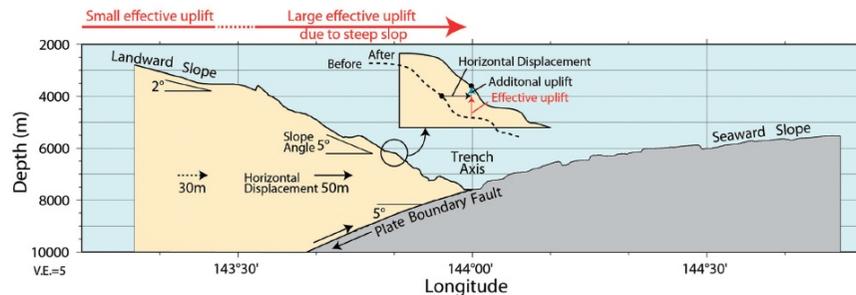
Ⅱ. 各津波発生要因に関する評価とその知見の反映 3. 日本海溝付近の海底地すべりに起因する津波

3.1 日本海溝陸側斜面の海底地すべり: 2011年東北地方太平洋沖地震で発生した海底地すべり

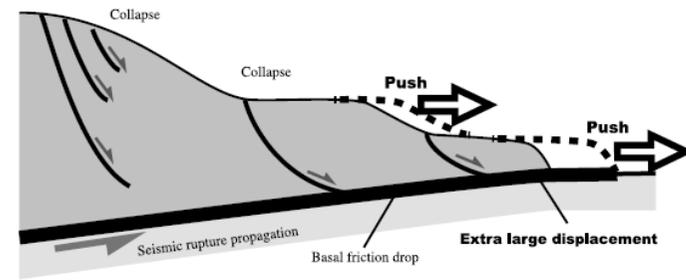
- 小平ほか(2012)は、3.11地震前後の海底地形データの比較から、陸側海溝斜面で海底地すべり※が発生していたとしている。
 - Kawamura et al.(2012)は、同地震による大きなプレートの運動(水平移動)によって、不安定な状態が潜在していた海底地すべりが活動したとしている。
- ※: 長さ1kmにわたって崩落し、海溝底に東西幅1.5km、高さ50mのデブリとして堆積。



地形データの偏差(小平ほか(2012))



3.11地震に伴う海底変動の模式図(小平ほか(2012))

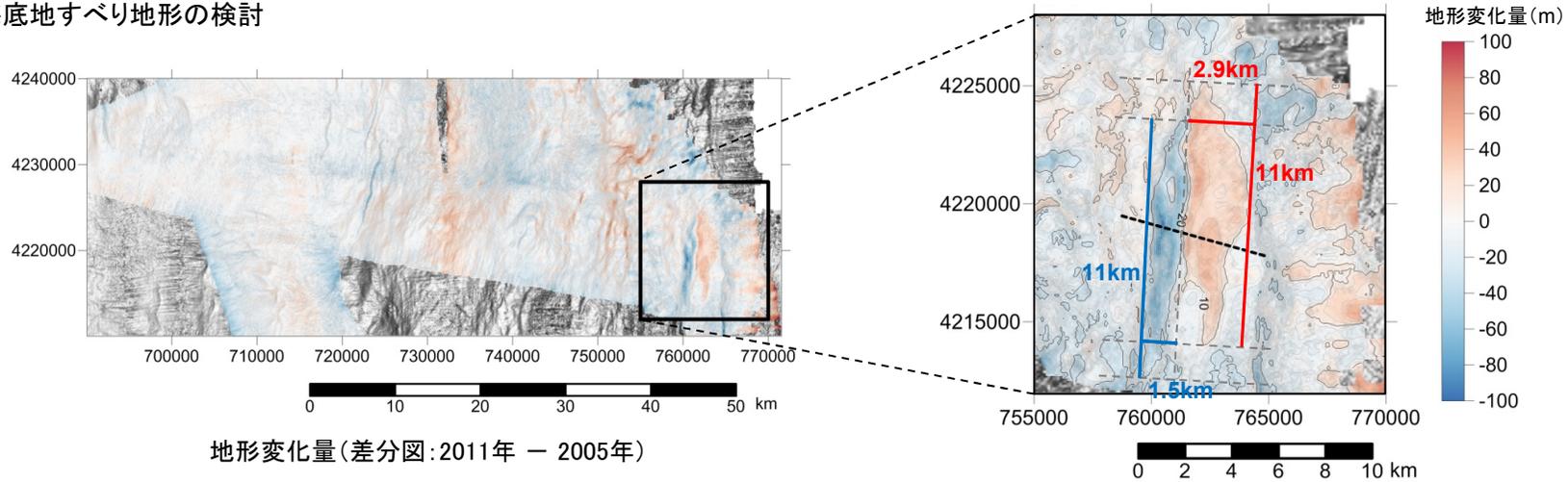


海溝斜面先端部におけるすべりの模式図
(Kawamura et al.(2012))

3.1 日本海溝陸側斜面の海底地すべり: 津波水位の評価

- ・ 小平ほか(2012)と同様に, JAMSTEC(藤本(2005), 海宝(2011))によって取得された3.11地震前後のデータを用いて地すべり地形を検討し, 海底地すべり位置の水深効果が考慮されているWatts et al.(2005)による予測式により算定される初期水位分布を用いて津波解析を実施した。
- ・ 検討の結果, 同海底地すべりによる最大水位上昇量は0.4m程度であり, 発電所(沿岸)の津波高さに与える影響は小さいことを確認した。

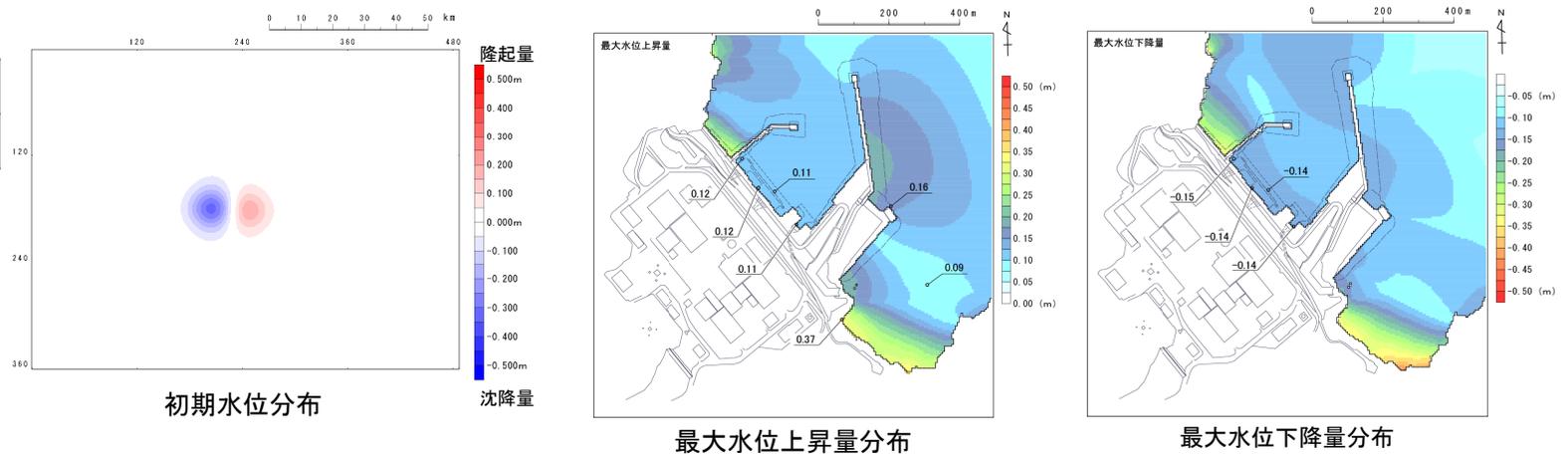
■ 海底地すべり地形の検討



■ 津波解析

波源振幅の推定値

$\eta_{0,2D}(m)$	0.56
$\eta_{0,3D}(m)$	0.32



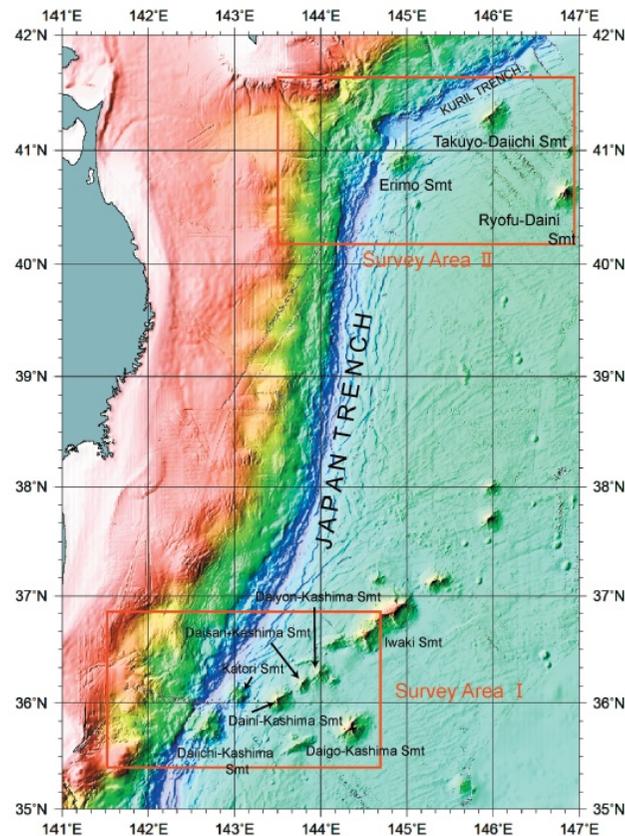
日本海溝陸側斜面で発生する海底地すべりに伴う津波は, 水深が7000~8000mと深いため海底地すべり位置の津波振幅が小さく, 発電所(沿岸)の津波高さに与える影響は小さい*。

*: 評価の詳細は, (原子力発電所)資料3-4「VI. 1. 日本海溝付近の海底地すべり」に記載。

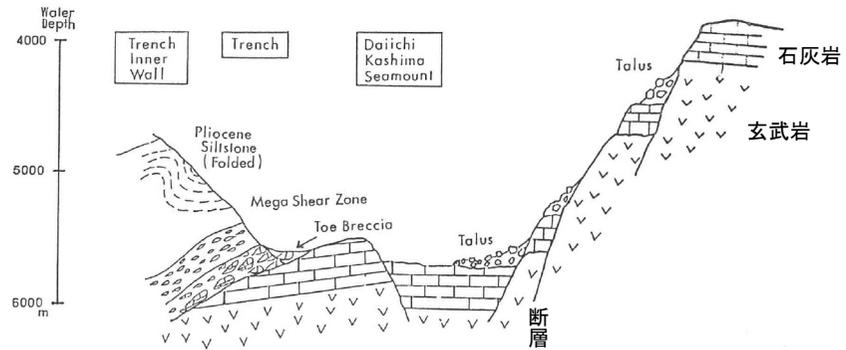
Ⅱ. 各津波発生要因に関する評価とその知見の反映 3. 日本海溝付近の海底地すべりに起因する津波

3. 2 海山付近の海底地すべり

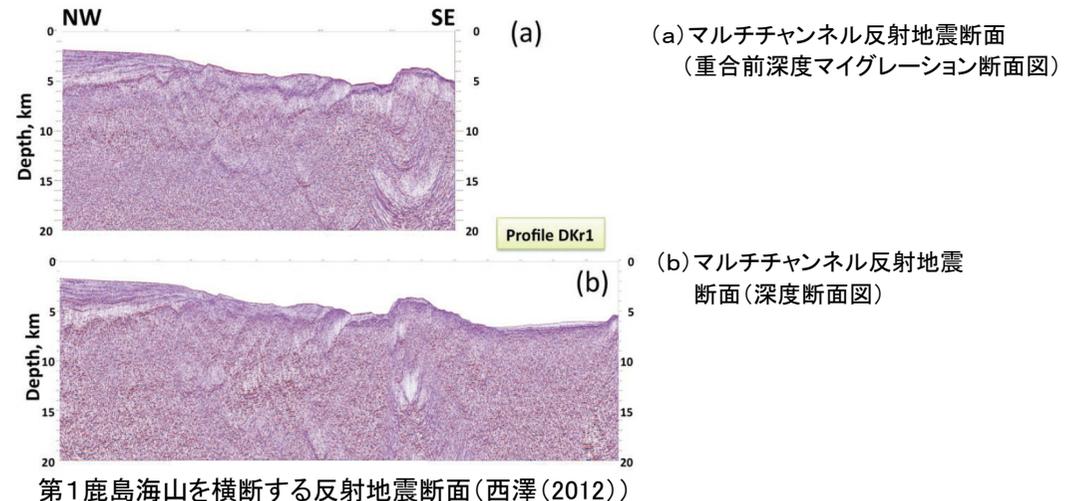
- 第一鹿島海山、襟裳海山に関する最新の知見を収集した結果、両海山付近に大規模な海底地すべり地形は確認されないものの、第一鹿島海山には断層の活動に伴う小規模な崩壊地形が存在する。



日本海溝付近の海山（渡邊ほか(2007)）



第1鹿島海山付近の模式地質断面（藤岡・平(1987)に一部加筆）



第一鹿島海山には断層の活動に伴う小規模な崩壊地形が存在するが、水深が深い海底地すべり位置の津波振幅は小さいことを踏まえると、同海山の山頂水深は約4000m以深と深いため、発電所（沿岸）の津波高さに与える影響は小さいと考えられる※。

※：評価の詳細は、（原子力発電所）資料3-4「Ⅵ. 2. 海山付近の海底地すべり」に記載。

余白

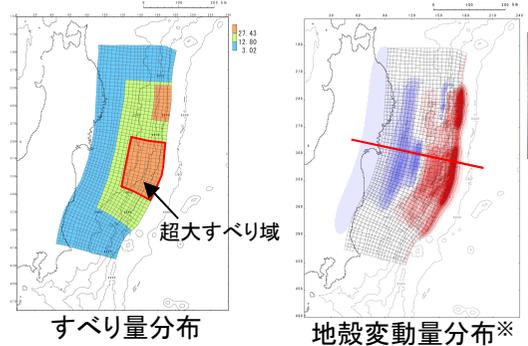
II. 各津波発生要因に関する評価とその知見の反映 4. 基準断層モデル③の津波特性

4.1 地殻変動量分布

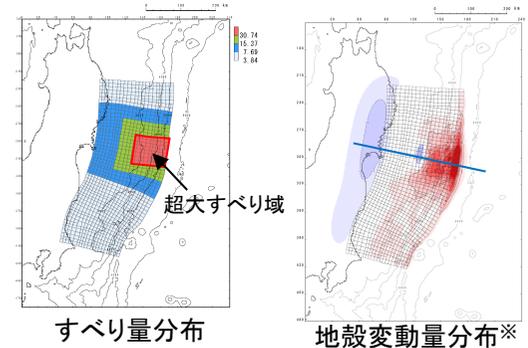
- 基準断層モデル③-1は、基準断層モデル①-1、基準断層モデル②-1と比較して超大すべり域の幅が小さいことから、奥村・後藤(2013)に示される南海トラフ沿いの分岐断層の地殻変動量分布に類似していることを確認した。

■すべり量分布と地殻変動量分布

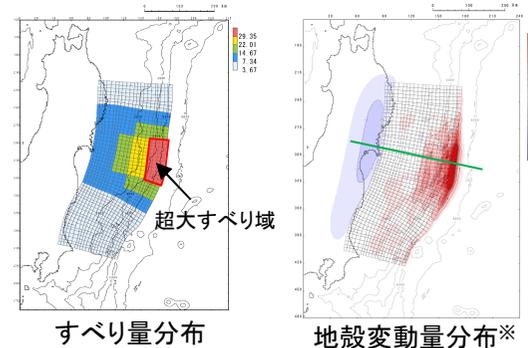
➤ 基準断層モデル①-1



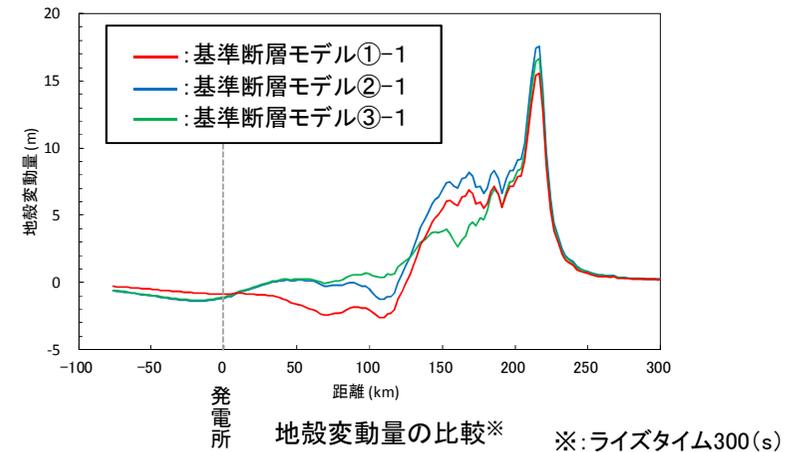
➤ 基準断層モデル②-1



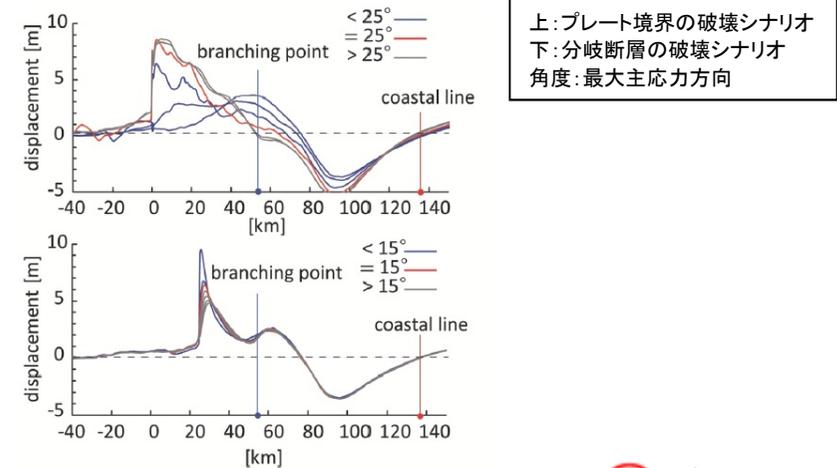
➤ 基準断層モデル③-1



■各基準断層モデルの地殻変動量分布の比較



■南海トラフ沿いにおける分岐断層の地殻変動量分布



地殻の上下変動の比較(奥村・後藤(2013))

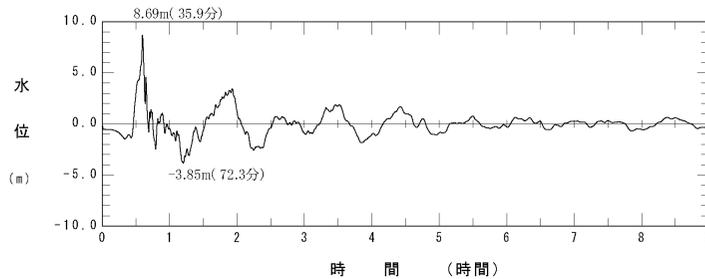
Ⅱ. 各津波発生要因に関する評価とその知見の反映 4. 基準断層モデル③の津波特性

4.2 周期特性

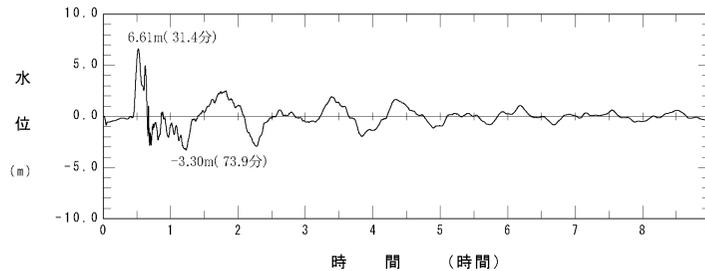
- 各基準断層モデルの敷地前面最大ケース(水位上昇側)の基準津波策定位置における水位時刻歴波形を用いて、スペクトル解析を実施した。
- 基準断層モデル③-1による津波は、基準断層モデル①-1並びに基準断層モデル②-1と比較して、短周期成分の波(8分～13分程度)が卓越していることを確認した。

■ 基準津波策定位置における水位時刻歴波形

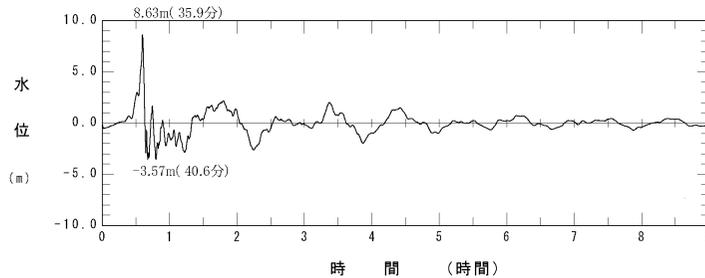
➤ 基準断層モデル①-1



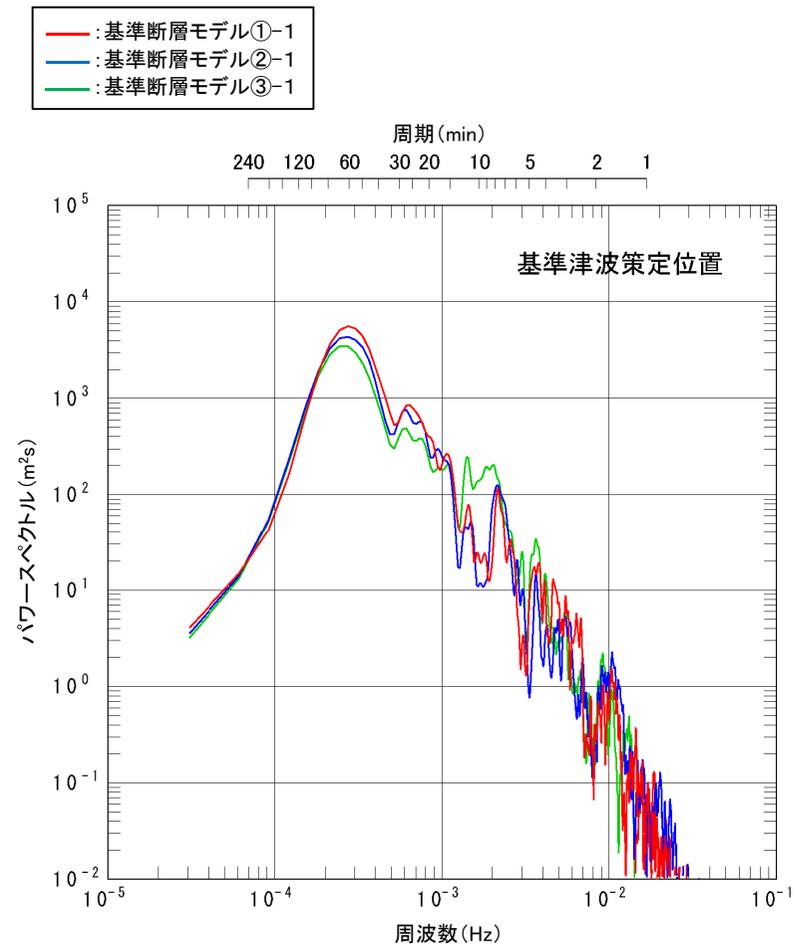
➤ 基準断層モデル②-1



➤ 基準断層モデル③-1



■ 各基準断層モデルの周期特性(スペクトル解析結果)



II. 各津波発生要因に関する評価とその知見の反映

5. まとめ

- 以下のとおり、「その他の地震」に起因する津波、「日本海溝付近の海底地すべり」に起因する津波に関する知見が、基準断層モデル③に適切に反映されていることを確認した※。

津波発生要因		知見の整理及び評価		基準断層モデル③の津波特性 (知見の反映)
その他の地震	分岐断層	知見の整理	南海トラフ沿いに認められる規模の分岐断層は存在しないものの、プレート境界地震に伴う副次的な活動で発生したと考えられる逆断層センスの変形構造を有する付加体が存在。	【地殻変動量分布】 南海トラフ沿いに認められる分岐断層に類似した地殻変動量分布を示す。 【周期特性】 短周期成分の波(8分～13分程度)が卓越する波形特性を有する。
		評価	プレート境界地震と比較して周期が短い。	
	海底活断層	知見の整理	3.11地震は、三陸沖中部から茨城県沖の海溝陸側斜面下部に連続する長大な海底活断層によるものと指摘する知見があるが(Nakata et al.(2012))、「反射断面に認められている海底下の地質構造や、3.11地震の変動については全く考慮していない。」との指摘もあるため(岡村(2012))、今後の研究動向を引き続き注視する必要がある。	
		評価	短周期の波が卓越する。	
日本海溝付近の海底地すべり	日本海溝陸側斜面	知見の整理	<ul style="list-style-type: none"> ・3.11地震によるプレートの運動(水平移動)によって、不安定な状態が潜在していた海底地すべりが活動。 ・水深が7000～8000mと深いため、海底地すべり位置の津波振幅は小さい。 	
		評価	発電所の津波高さに与える影響は小さい。	
	海山	知見の整理	<ul style="list-style-type: none"> ・第一鹿島海山には断層の活動に伴う小規模な崩壊地形が存在。 ・水深が4000m以深と深いため、海底地すべり位置の津波振幅は小さいと考えられる。 	
		評価	発電所の津波高さに与える影響は小さい。	

※:ハワイ付近の海底地すべりに起因する津波の評価の詳細は、(原子力発電所)資料3-4「VI. 3. ハワイ付近の海底地すべり」に記載。

参考文献

参考文献

1. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012):三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について
2. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2014):全国地震動予測地図 2014年版 ~全国の地震動ハザードを概観して~ 付録-1
3. 杉野英治・呉長江・是永眞理子・根本信・岩渕洋子・蛭沢勝三(2013):原子力サイトにおける2011東北地震津波の検証, 日本地震工学会論文集, 第13巻, 第2号(特集号)
4. 小平秀一・富士原敏也・中村武史(2012):2011年東北地方太平洋沖地震:海底地形データから明らかにされた海底変動, 地質学雑誌, 第118巻, 第9号, pp.530-534
5. Tetsuro Tsuru, Jin-Oh Park, Seiichi Miura, Shuichi Kodaira, Yukari Kido, Tsutomu Hayashi(2002): Along-arc structural variation of the plate boundary at the Japan Trench margin: Implication of interplate coupling, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 107, NO. B12, 2357, doi:10.1029/2001JB001664
6. JAMSTEC(2012):海溝軸まで及んだ東北地方太平洋沖地震の地震断層を確認, プレスリリース
7. 奥村与志弘・後藤浩之(2013):海溝型地震の分岐断層破壊シナリオで発生する津波の特徴に関する一考察, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.69, No.4(地震工学論文集第32巻), I_750-I_757
8. Takashi NAKATA, Hideaki GOTO, Mitsuhsa WATANABE, Yasuhiro SUZUKI, Azusa NISHIZAWA, Noriaki IZUMI, Daishi HORIUCHI and Yukari KIDO(2012): Active Faults along Japan Trench and Source Faults of Large Earthquakes, Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, pp.254-262
9. 岡村行信(2012):地質から東北地方太平洋沖地震を考える, 地震予知総合研究振興会, 地震ジャーナル, 第54号, pp.1-12
10. Kiichiro Kawamura, Tomoyuki Sasaki, Toshiya Kanamatsu, Arito Sakaguchi, and Yujiro Ogawa(2012): Large submarine landslides in the Japan Trench: A new scenario for additional tsunami generation, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 39, L05308, doi:10.1029/2011GL050661
11. 藤本博巳(2005):深海調査研究船「かいれい」KR05-07 調査航海三陸沖日本海溝周辺海域クルーズレポート, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokosuka, Japan
12. 海宝由佳(2011):R/V Kairei Cruise Report KR11-05 Leg2, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokosuka, Japan
13. Philip Watts, Stéphan T. Grilli, M. ASCE, David R. Tappin and Gerard J. Fryer(2005): Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. II: Predictive Equations and Case Studies, JOURNAL OF WATERWAY, PORT, COASTAL, AND OCEAN ENGINEERING, ASCE, pp.298-310
14. 渡邊奈保子・田賀傑・西下厚志・河原木一・及川光弘・倉持幸志・泉紀明(2007):第1鹿島海山および襟裳海山周辺海域における精密地殻構造探査:DKr1およびERr1測線, 海上保安庁, 海洋情報部技報, Vol.25, pp.40-50
15. 藤岡換太郎・平朝彦(1987):海山・島弧の衝突と付加テクトニクスー第一鹿島海山の衝突・付加一, 月刊海洋科学, Vol.19, No.7, pp.390-394
16. 西澤あずさ(2012):平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の概要, 海上保安庁, 海洋情報部研究報告第49号, pp.1-14