

【関連質問への回答】
新規制基準適合性審査申請
自然現象等
<(2)津波：基準津波>
(No.51関連)

平成29年11月1日
東北電力株式会社



1. 本日の説明内容

(1) これまでの説明内容(津波関係)

■ 第2回検討会

東北地方太平洋沖地震により発生した津波に関する調査結果を説明。

(津波観測記録, 再現解析結果 等)

■ 第6回検討会

第2回検討会における質問事項への回答について説明。

■ 第12回検討会

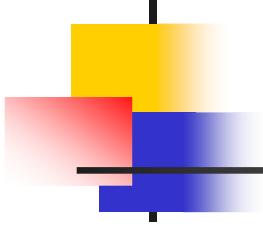
新規制基準適合性審査の審査会合で審議された「基準津波」について説明。

(基準津波の検討内容, 砂移動評価, 年超過確率, 適合性審査状況 等)

(2) 本日の説明内容

第12回検討会における質問事項について説明。

- ・不確かさの考慮について
- ・津波地震の地震規模について
- ・津波シミュレーションの計算精度について 等



目 次

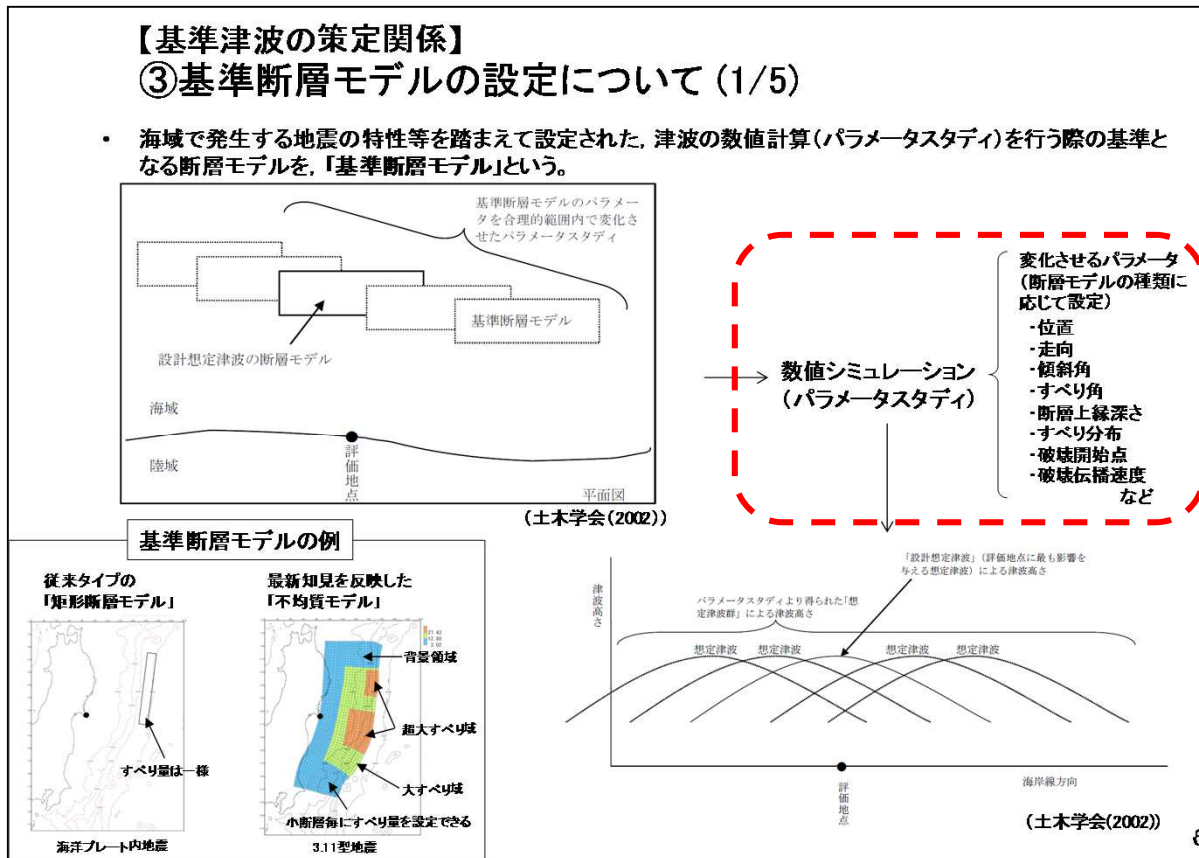
1. 不確かさの考慮について
2. 津波地震の地震規模について
3. 防潮堤工事について
4. 津波シミュレーションの計算精度について
5. 港湾構造物による津波水位への影響について
6. 基準津波の年超過確率について

参考文献

1. 不確かさの考慮について

ご質問:「不確かさ」の考慮の検討にあたり, どのようなロジックでその手法を選択したのか。

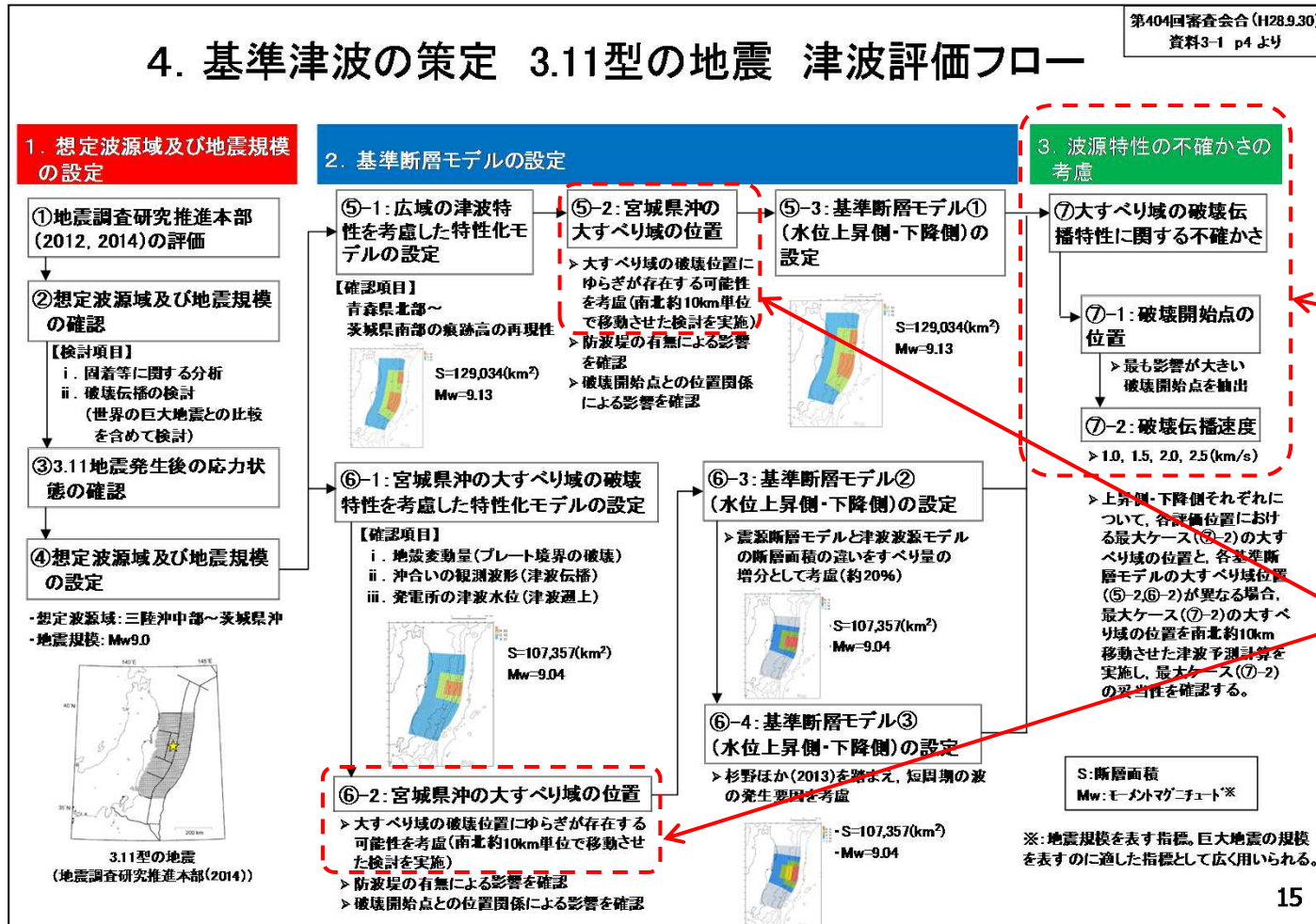
- 津波高さに影響を与え得る津波波源特性(波源の位置や走向, 地震の破壊開始点や破壊伝播速度など)及び計算誤差は, “不確かさ”として多ケースの数値シミュレーション(パラメータスタディ)を実施して考慮する(確定論的な検討)



＝不確かさの考慮＝

土木学会(2016)においても同様の考えであることを確認。

1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 1/10)



①破壊伝播特性に関する不確かさとして、「破壊開始点」、「破壊伝播速度」の不確かさを考慮。

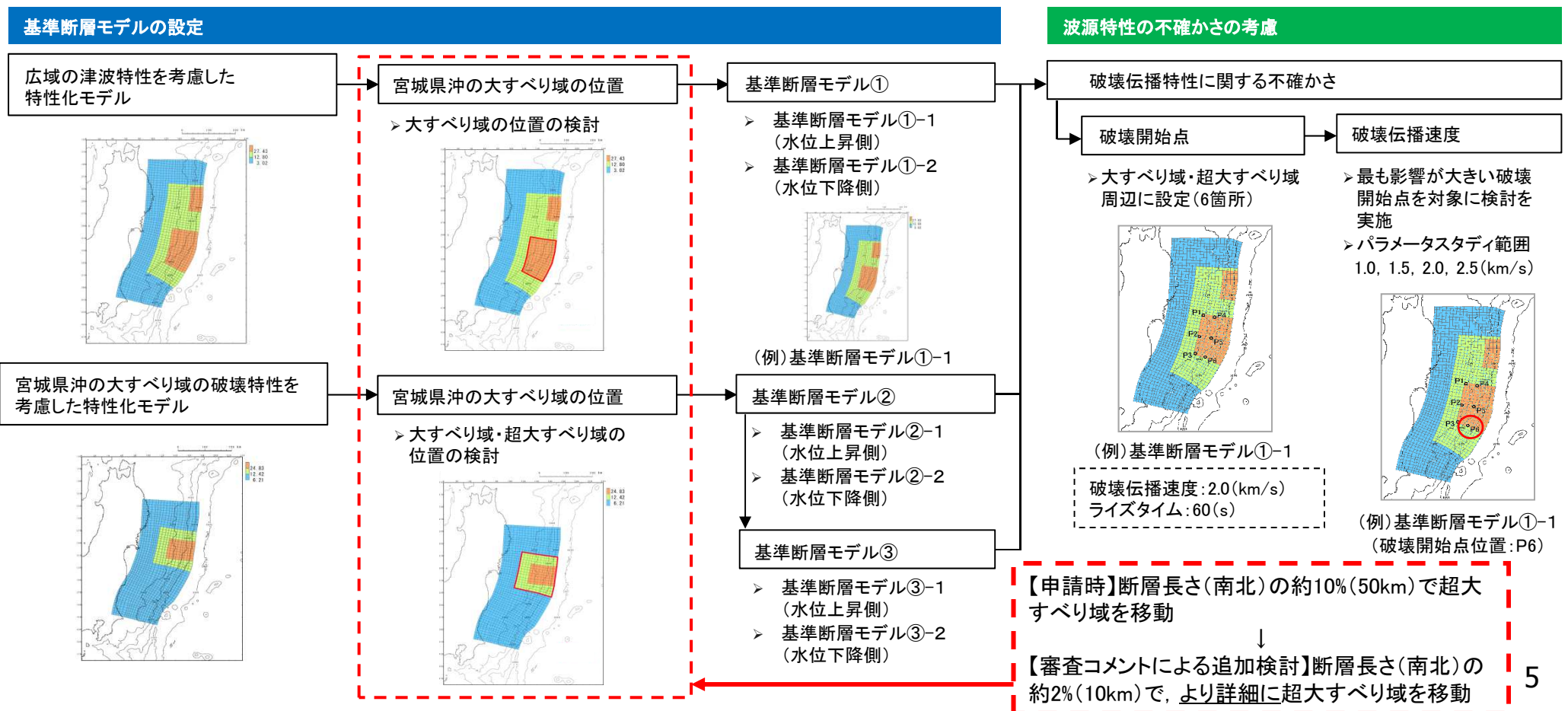
②プレート境界面は確定しているため、断層モデル全体の位置は固定し、大すべり域・超大すべり域の位置の不確かさを考慮。

(評価フロー上は、保守的な基準断層モデルを設定するプロセスの中で考慮)

1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 2/10)

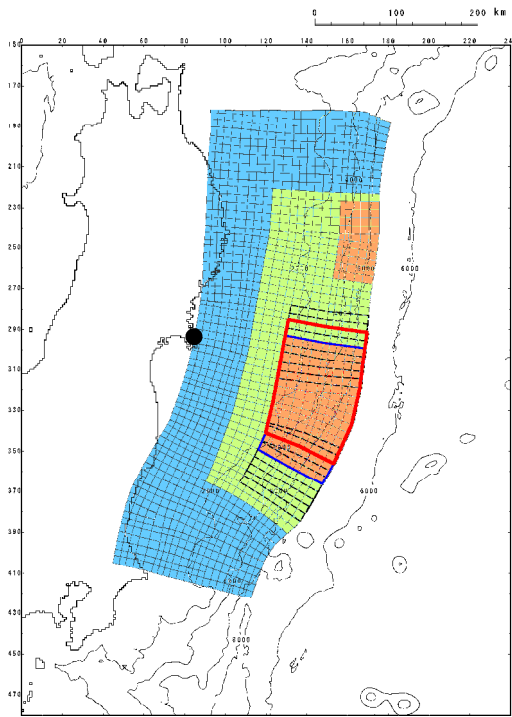
ご質問: 審査における主な指摘事項において、「最も厳しい位置となっていることを確認すること」とあるが、最も厳しいものであることをどのように確認したのか示すこと。

- 基準断層モデルの設定にあたり、次の「東北地方太平洋沖型の地震」が、3.11地震と同様の破壊形態で発生するとは限らないことを踏まえ、発電所の津波高さに与える影響が大きい宮城県沖の大すべり域(固着域)の破壊位置にゆらぎが存在する可能性を考慮して、大すべり域・超大すべり域の位置を検討した(南北約10km単位で移動させた検討を実施)。



1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 3/10)

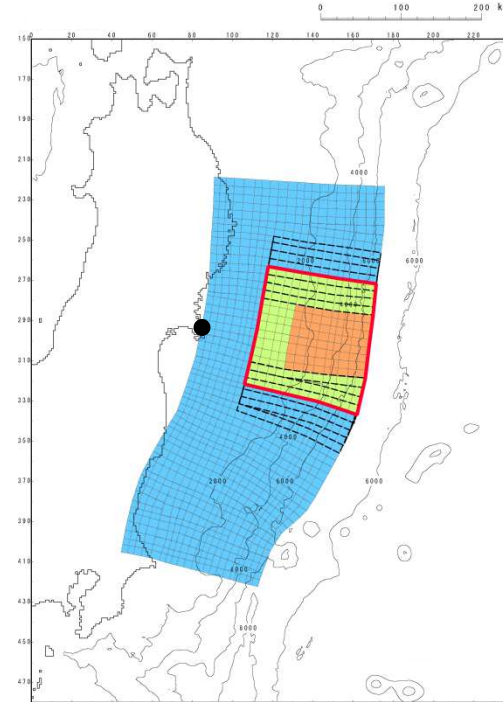
広域の津波特性を考慮した特性化モデル



位置	敷地前面 水位上昇量(m)
北へ約50km移動	18.23
北へ約40km移動	18.22
北へ約30km移動	18.42
北へ約20km移動	18.19
北へ約10km移動	18.15
基準位置	17.88
南へ約10km移動	17.57
南へ約20km移動	17.46
南へ約30km移動	16.53
南へ約40km移動	16.58
南へ約50km移動	15.66

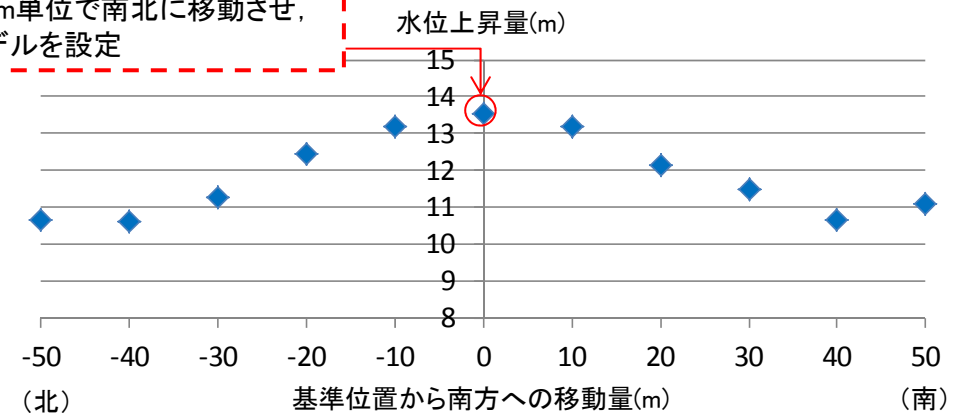
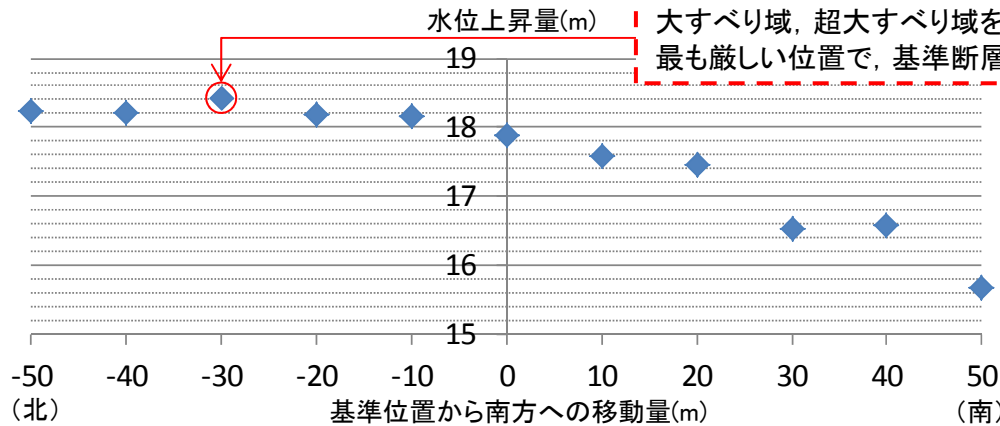
検討した超大すべり域の位置

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	敷地前面 水位上昇量(m)
北へ約50km移動	10.63
北へ約40km移動	10.62
北へ約30km移動	11.25
北へ約20km移動	12.44
北へ約10km移動	13.19
基準位置	13.55
南へ約10km移動	13.20
南へ約20km移動	12.15
南へ約30km移動	11.48
南へ約40km移動	10.67
南へ約50km移動	11.07

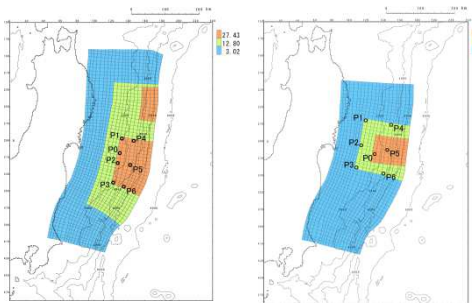
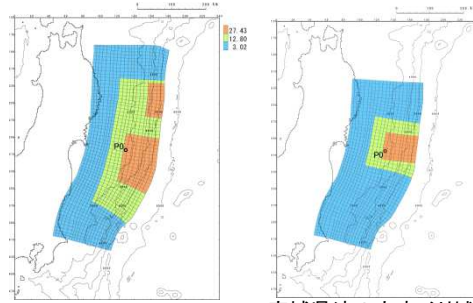
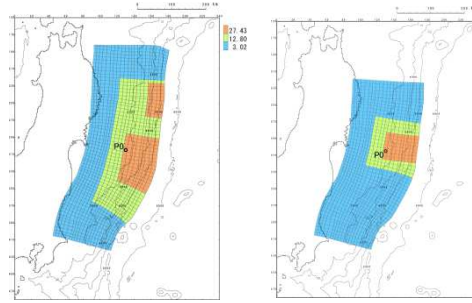
検討した大すべり域・超大すべり域の位置



1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 4/10)

- 「広域の津波特性を考慮した特性化モデル」, 「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」を対象に, 破壊開始点, 破壊伝播速度, ライズタイム^{※1}の不確かさが発電所の津波高さに与える影響を定量的に把握した。

■ 検討内容

項目	破壊開始点の影響把握	破壊伝播速度の影響把握 ^{※2}	ライズタイムの影響把握 ^{※2}
破壊開始点	3.11地震の震源位置(P0), 大すべり域の周辺(P1~P6)	3.11地震の震源位置(P0)	3.11地震の震源位置(P0)
破壊伝播速度	2.0(km/s)	1.0(km/s), 1.5(km/s), 2.0(km/s), 2.5(km/s)	2.0(km/s)
ライズタイム	60(s)	60(s)	60(s), 90(s), 120(s), 180(s), 300(s)
波源モデル	 <p>広域の津波特性を考慮した特性化モデル 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</p> <p>○: 破壊開始点(同心円状に破壊)</p>	 <p>広域の津波特性を考慮した特性化モデル 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</p> <p>○: 破壊開始点(同心円状に破壊)</p>	 <p>広域の津波特性を考慮した特性化モデル 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</p> <p>○: 破壊開始点(同心円状に破壊)</p>

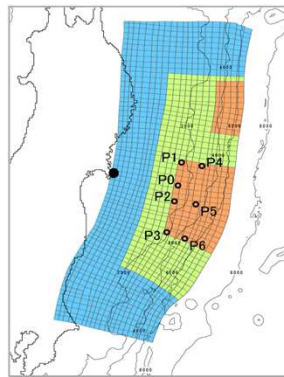
※1: すべり(破壊)を生じる際の破壊開始から破壊終了までの時間をライズタイムという。

※2: 3.11地震を含む世界の巨大地震の破壊伝播速度は1.0~2.25(km/s), ライズタイムは180~300(s)であることを踏まえ, 各パラメータの変動範囲を上表のとおり設定した。

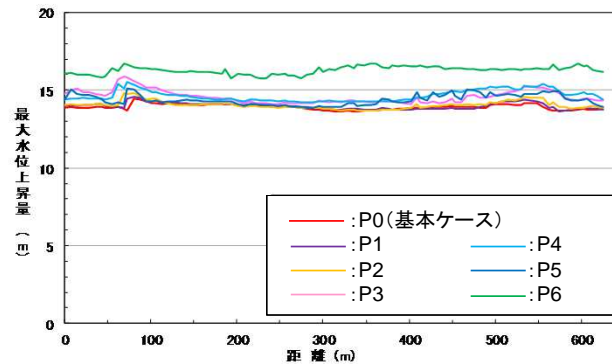
1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 5/10)

- 水位上昇側については、各ケースの敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量を比較した。
- 水位下降側については、取水口前面(南北方向)における最大水位下降量を比較した。なお、ライズタイムの影響確認にあたっては、2号取水口前面における水位時刻歴波形についても比較した。

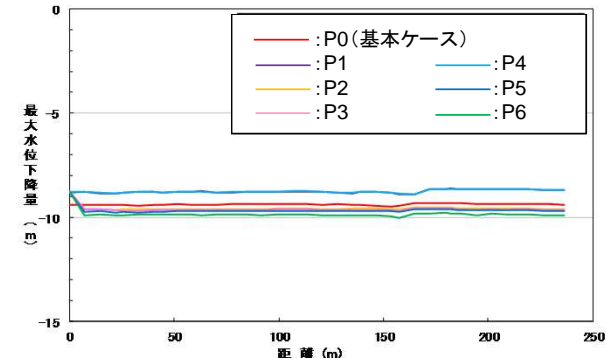
■比較方法(例: 広域の津波特性を考慮した特性化モデル)



破壊開始点位置



敷地前面における最大水位上昇量の比較

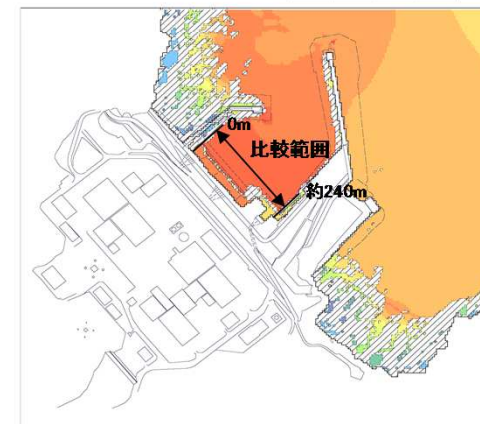


取水口前面における最大水位下降量の比較

破壊開始点は、地震調査研究推進本部(2009)を参考として、プレート間地震発生領域における大すべり域・超大すべり域を囲むように複数設定。



最大水位上昇量分布(破壊開始点位置:P0)

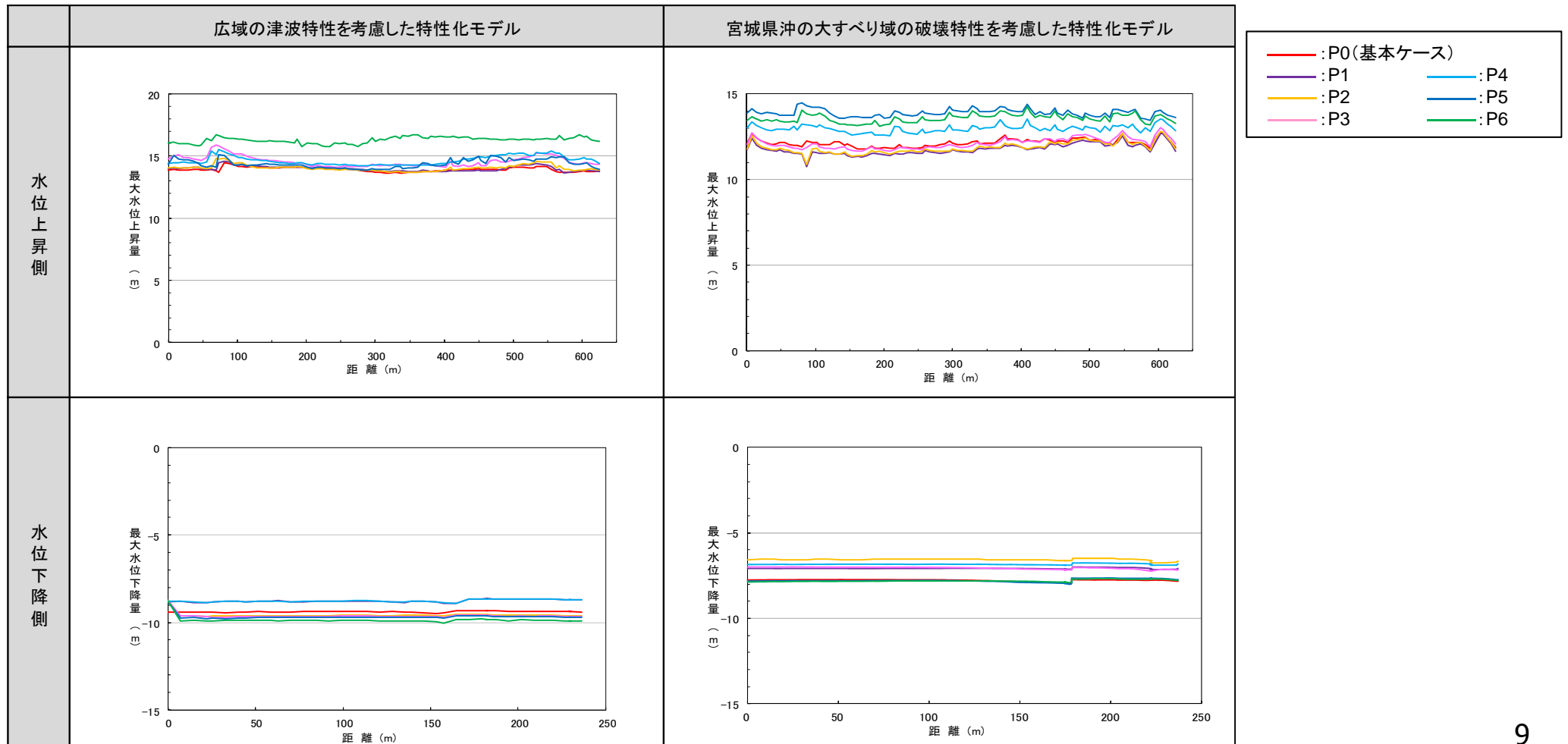


最大水位下降量分布(破壊開始点位置:P0)

1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 6/10)

■ 破壊開始点の不確かさの影響

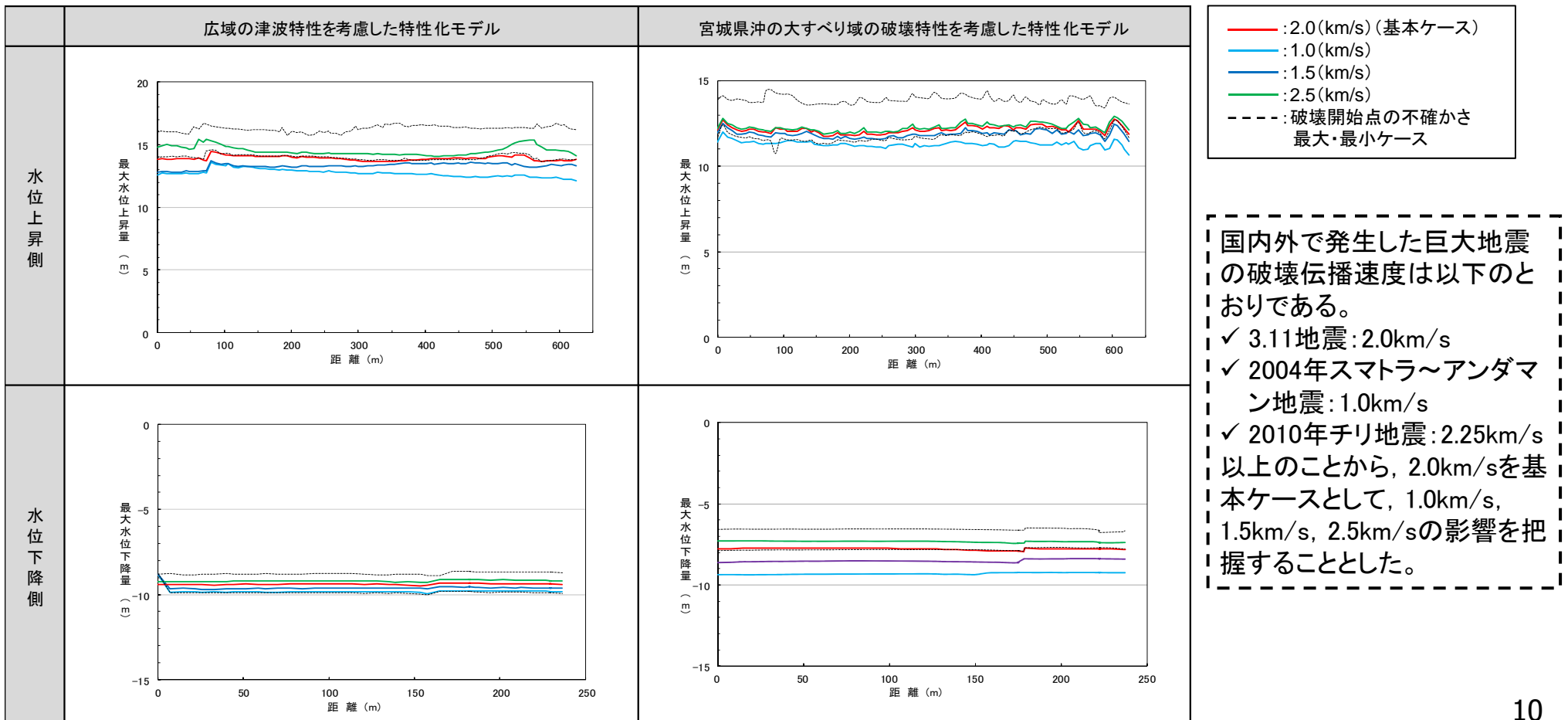
- 水位上昇側: 基本ケース(P0)に対して水位が大きく上昇する破壊開始点が存在する。
- 水位下降側: 基本ケース(P0)に対して水位が大きく下降する破壊開始点が存在する。



1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 7/10)

■ 破壊伝播速度の不確かさの影響

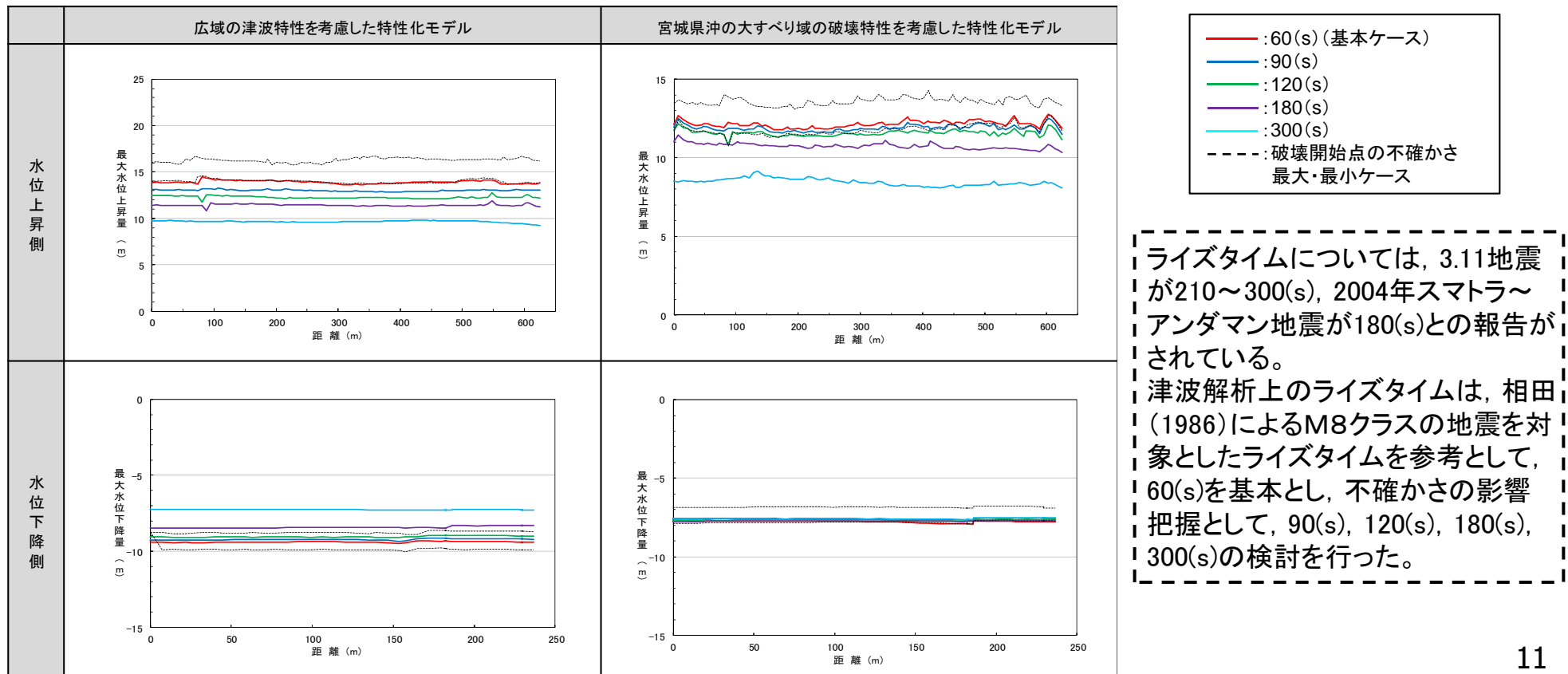
- 水位上昇側: 基本ケース(2.0(km/s))に対して水位が上昇するケースが存在するが, その上昇量は破壊開始点の不確かさの影響よりも小さい。
- 水位下降側: 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルについて, 基本ケース(2.0(km/s))に対して水位が大きく下降するケース(1.0(km/s))が存在し, その下降量は破壊開始点の不確かさの影響よりも大きい。



1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 8/10)

■ライズタイムの不確かさの影響①

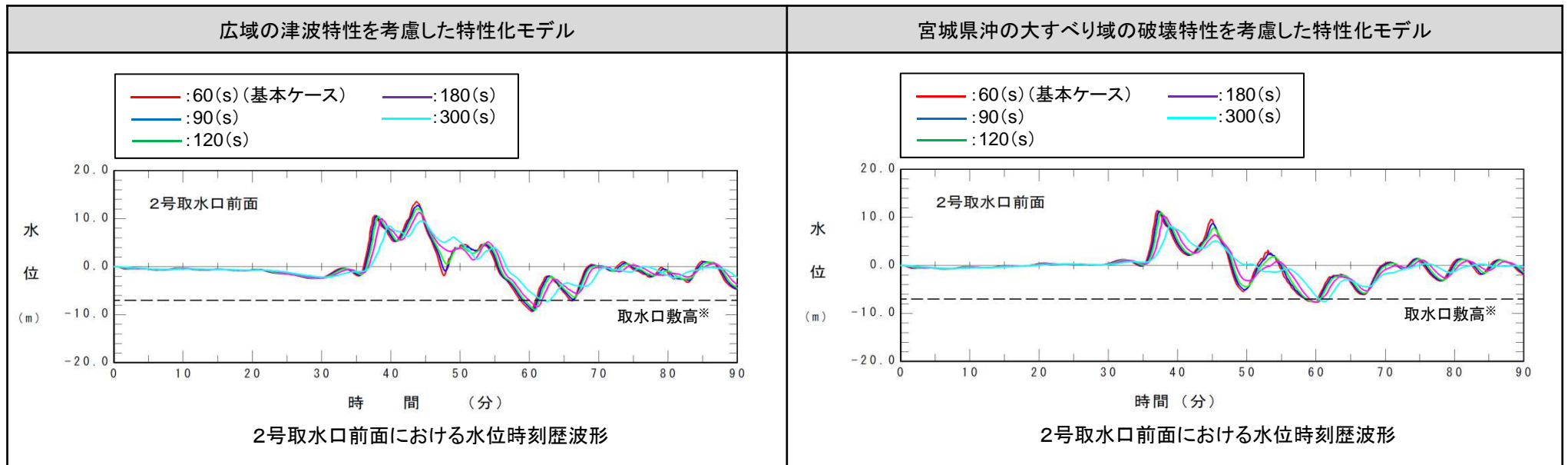
- 水位上昇側: 基本ケース(60(s))に対して各ケースの上昇量は小さい(=ライズタイムの不確かさは破壊開始点の不確かさの影響よりも小さい)。
- 水位下降側: 広域の津波特性を考慮した特性化モデルは, 基本ケース(60(s))に対して各ケースの下降量は小さく, 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルについては, 両者に有意な差は認められない(=ライズタイムの不確かさは破壊開始点の不確かさの影響よりも小さい)。



1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 9/10)

■ ライズタイムの不確かさの影響②

- 基本ケース(60(s))に対して、各ケースの取水口敷高を下回る継続時間は短い。



※: T.P.-7.04m(O.P.-6.3m)

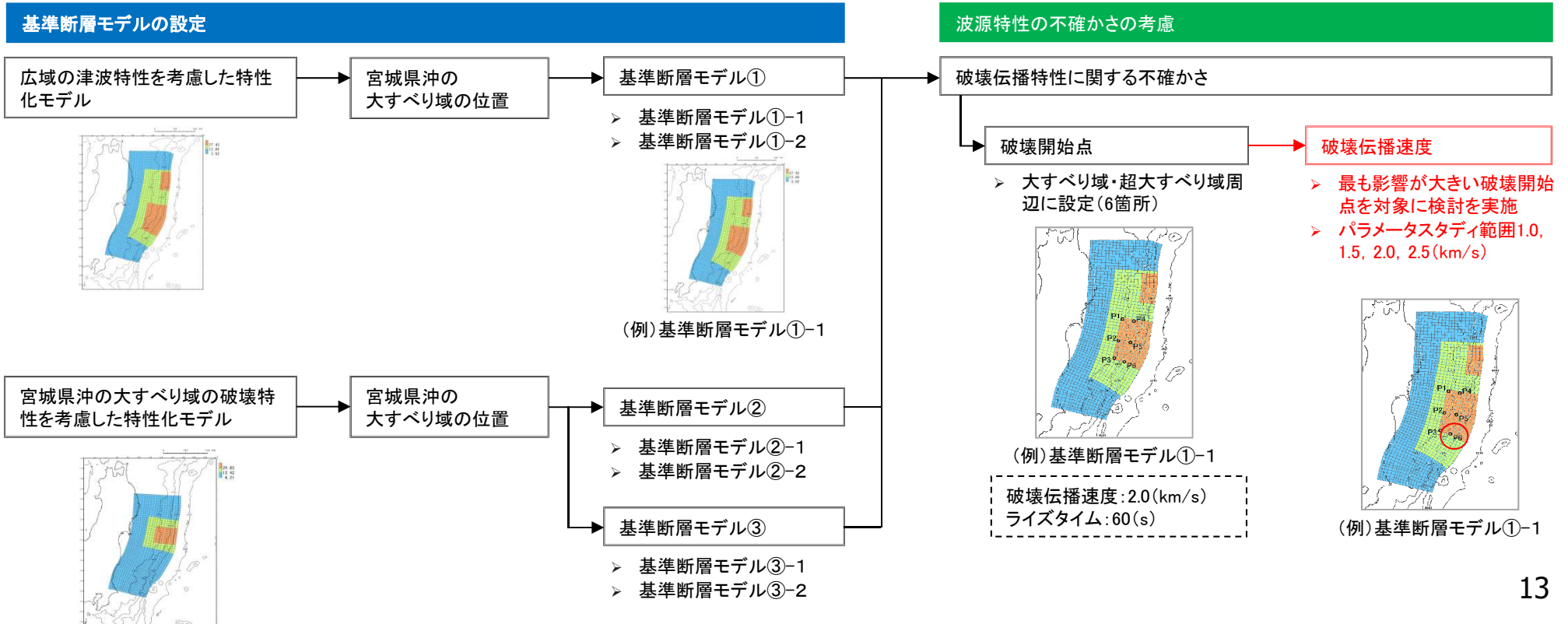
2号取水口敷高を下回る継続時間と2号機非常用海水ポンプの運転可能継続時間の関係

ライズタイム	広域の津波特性を考慮した特性化モデル	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	2号機非常用海水ポンプの運転可能継続時間
60(s) (基本ケース)	2.2(分)	1.9(分)	約26(分)
90(s)	2.1(分)	1.9(分)	
120(s)	2.0(分)	1.8(分)	
180(s)	1.8(分)	1.7(分)	
300(s)	1.0(分)	1.3(分)	

1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 10/10)

- 破壊開始点, 破壊伝播速度, ライズタイムの不確かさが, 発電所の津波高さに与える影響を定量的に把握した結果, 破壊開始点の不確かさが発電所の津波高さに与える影響と比較して, 水位上昇側は, 破壊伝播速度とライズタイムの不確かさの影響は小さいが, 水位下降側については, 「宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル」について, 破壊伝播速度の不確かさの影響が大きいことを確認した。
- 本検討結果を踏まえ, 破壊伝播特性に関する不確かさ項目(申請時は破壊開始点のみ)に, 破壊伝播速度の不確かさを追加した。

朱書き部: 審査による変更箇所



1. 不確かさの考慮について (津波地震 1/2)

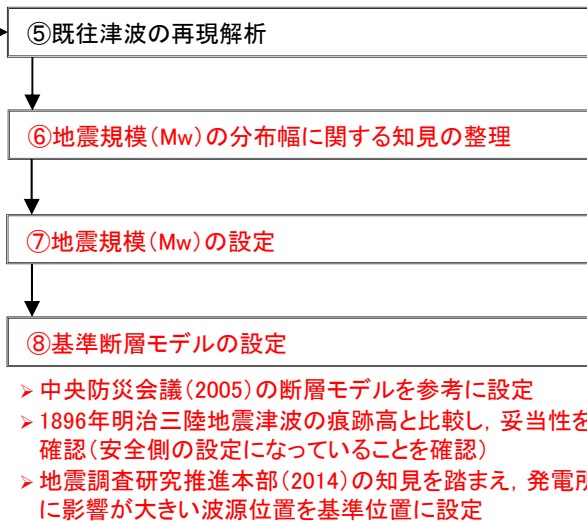
- 津波地震については、評価手法が体系化されている土木学会(2002)を参考として評価した。なお、土木学会(2016)においても同様の考えであることを確認している。
- 評価フローのとおり、波源位置及び走向を変動させた概略パラメータスタディを実施し、各評価位置で水位上昇量及び水位下降量が最大となるケースについて、傾斜角及びすべり角を変動させた詳細パラメータスタディを実施した。

【評価フロー】

1. 地震規模に関する知見の整理

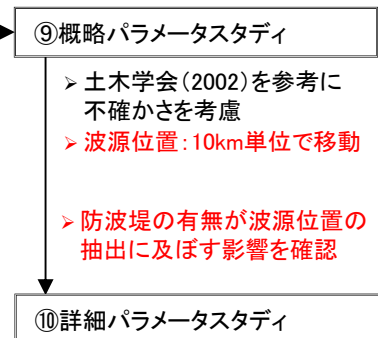


2. 基準断層モデルの設定



朱書き部: 審査による変更箇所

3. 波源特性の不確かさの考慮



1. 不確かさの考慮について (津波地震 2/2)

ご質問(再掲): 審査における主な指摘事項において、「最も厳しい位置となっていることを確認すること」とあるが、最も厳しいものであることをどのように確認したのか示すこと。

- 土木学会(2002)を参考として波源位置及び走向を変動させた概略パラメータスタディを実施し、各評価位置で水位上昇量及び水位下降量が最大となるケースについて、傾斜角及びすべり角を変動させた詳細パラメータスタディを実施した。
- 位置の変動範囲については、発電所に最も影響が大きい波源位置を評価するため、発電所の津波高さに与える影響が大きい範囲を対象に、10km単位で移動させた。
- 走向、傾斜角、すべり角の変動範囲については、土木学会(2002)を参考に設定*した。

【概略パラメータスタディ】

項目	変動範囲
位置	基準 北へ10km, 20km, 30km, 40km, 50km移動 南へ10km, 20km, 30km, 40km, 50km移動
走向	基準, 基準±5°

【詳細パラメータスタディ】

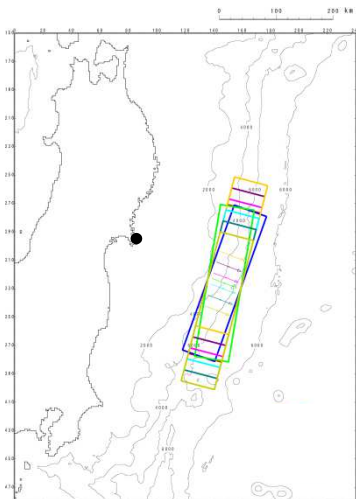
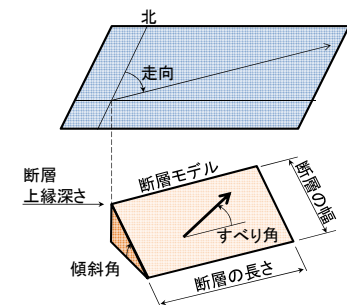
項目	変動範囲
傾斜角	基準, 基準±5°
すべり角	基準, 基準±10°

最大水位上昇量・
下降量最大ケース



朱書き部: 審査による変更箇所

(参考)断層パラメータ



- 位置: 基準, 走向: 基準
- 位置: 基準, 走向: 基準+5°
- 位置: 基準, 走向: 基準-5°
- 位置: 北へ10km移動, 走向: 基準
- 位置: 北へ30km移動, 走向: 基準
- 位置: 北へ50km移動, 走向: 基準
- 位置: 南へ10km移動, 走向: 基準
- 位置: 南へ30km移動, 走向: 基準
- 位置: 南へ50km移動, 走向: 基準

【申請時】断層長さ(南北)の約10%(20km)で位置を移動



【審査コメントによる追加検討】断層長さ(南北)の約5%(10km)で、より詳細に位置を移動

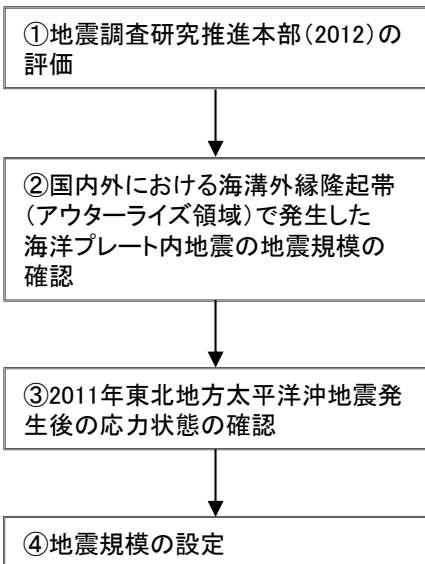
*: 土木学会(2002)では、プレート間逆断層地震のハーバードCMTによる発震機構解(1976.1~2000.1に発生したMw6.0以上、深さ60km以下の地震)及び既往の断層モデルのばらつきから変動範囲を設定。

位置、走向の不確かさの考慮方法

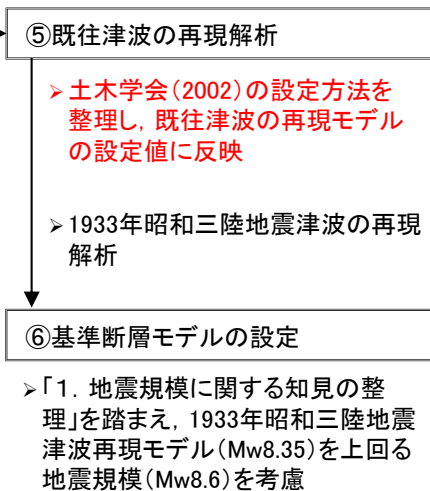
1. 不確かさの考慮について (海洋プレート内地震 1/4)

- 海洋プレート内地震については、評価手法が体系化されている土木学会(2002)を参考として評価した。なお、土木学会(2016)においても同様の考えであることを確認している。
- 評価フローのとおり、波源位置及び走向を変動させた概略パラメータスタディを実施し、各評価位置で水位上昇量及び水位下降量が最大となるケースについて、傾斜角及び断層上縁深さを変動させた詳細パラメータスタディを実施した。
【評価フロー】

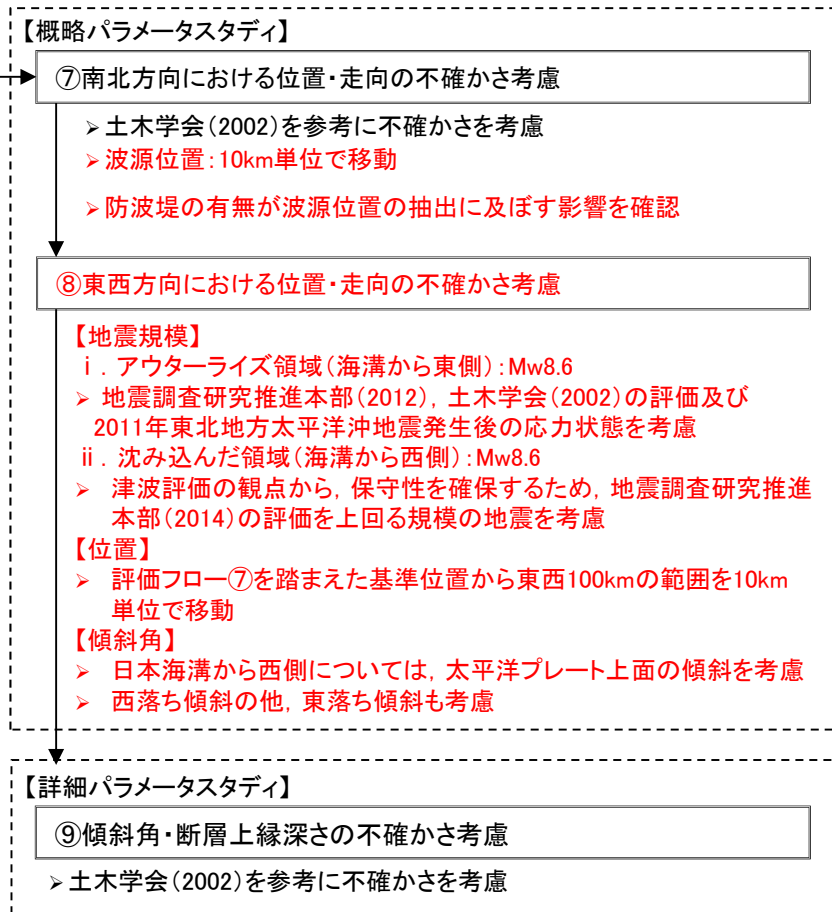
1. 地震規模に関する知見の整理



2. 基準断層モデルの設定



3. 波源特性の不確かさの考慮



朱書き部: 審査による変更箇所

1. 不確かさの考慮について (海洋プレート内地震 2/4)

ご質問(再掲): 審査における主な指摘事項において、「最も厳しい位置となっていることを確認すること」とあるが、最も厳しいものであることをどのように確認したのか示すこと。

■ 南北方向の位置の不確かさ考慮方法(概略パラメータスタディ)

朱書き部: 審査による変更箇所

- 位置の変動範囲については、発電所に最も影響が大きい波源位置を評価するため、発電所の津波高さに与える影響が大きい範囲を対象に10km単位で移動させた(追加検討)。
- 走向の変動範囲については、土木学会(2002)を参考に設定した。なお、日本海溝が北緯約38°を境に地下構造が変化する(Tsuru et al.(2002)) ことを踏まえ、北緯約38°を跨ぐ津波波源については、科学的想像力を発揮して、発電所に与える影響が大きくなるように南北2枚の断層として考慮した。

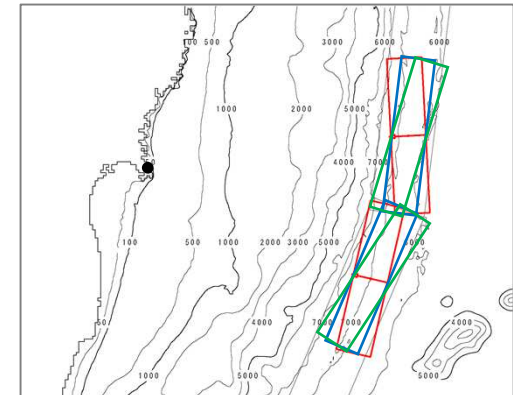
【概略パラメータスタディ(南北方向の位置, 走向)】

項目	変動範囲
位置	基準, 北へ20km, 40km, 南へ20km, 40km, 60km, 80km, 100km, 110km, 120km, 130km, 140km, 150km, 160km, 170km, 180km, 190km, 200km, 220km, 240km, 260km, 280km, 300km移動
走向	基準, 基準±10°

【申請時】断層長さ(南北)の約10%(20km)で位置を移動



【審査コメントによる追加検討】断層長さ(南北)の約5%(10km)で、より詳細に位置を移動



走向の不確かさの考慮方法(概念)

1. 不確かさの考慮について (海洋プレート内地震 3/4)

■ 東西方向の位置の不確かさ考慮にあたっての地震規模の設定

- 地震調査研究推進本部(2014)の評価から、海溝より西側の位置・走向の不確かさを考慮する際の地震規模は、基準断層モデルの地震規模(Mw8.6)よりも小さいと考えられる。
- ただし、海溝付近で発生する地震に伴う津波は発電所に与える影響が大きいことを踏まえ、保守性を確保する観点から、基準断層モデルの地震規模(Mw8.6)を考慮した。

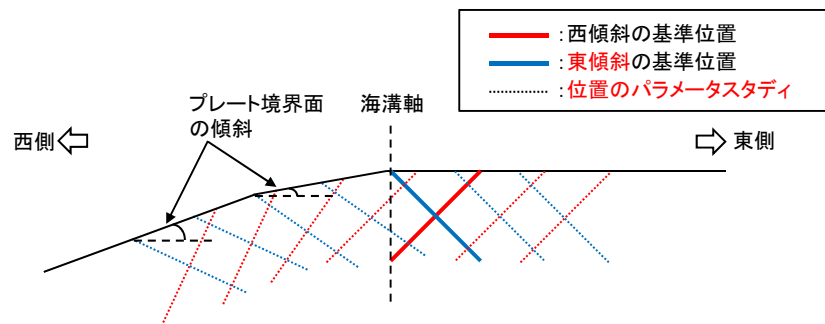
■ 東西方向の位置の不確かさ考慮方法(概略パラメータスタディ)

- 地震調査研究推進本部(2014)の評価を踏まえ、基準位置から東西100km範囲を10km単位で移動させる。
- なお、沈み込んだ海洋プレート内地震の断層モデルの傾斜角は、プレート境界面の傾斜を考慮する。

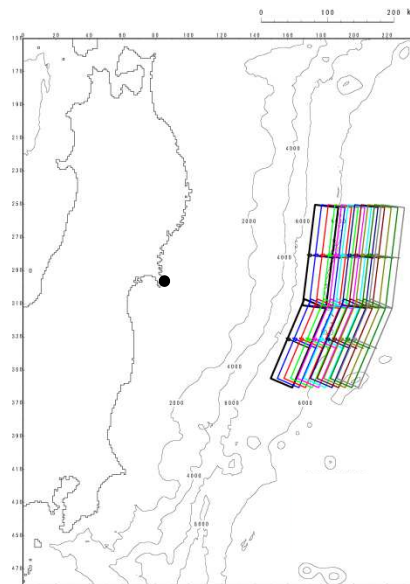
朱書き部: 審査による変更箇所

【概略パラメータスタディ(東西方向の位置, 走向, 断層の傾斜)】

項目	変動範囲
位置	基準, 東へ100kmまで10km単位で移動, 西へ100kmまで10km単位で移動
走向	基準, 基準±10°
断層の傾斜	西傾斜(基準), 東傾斜

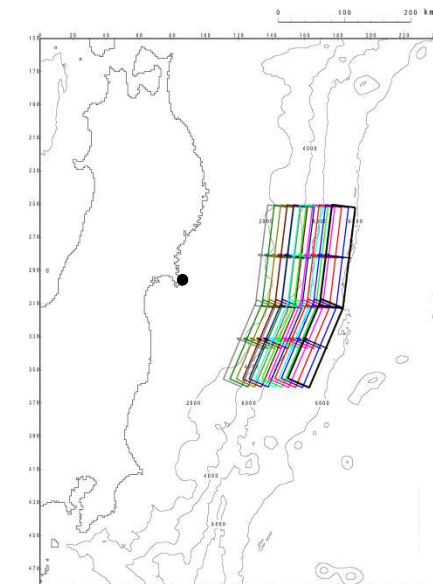


東西方向の位置, 断層の傾斜に関する
不確かさの考慮方法(概念)



東方向の位置に関する不確かさの考慮

- 位置(南北方向): 南へ130km移動
- 走向: 基準
- 断層の傾斜(西傾斜)



西方向の位置に関する不確かさの考慮

- 位置(南北方向): 南へ130km移動
- 走向: 基準
- 断層の傾斜(西傾斜)

1. 不確かさの考慮について (海洋プレート内地震 4/4)

■ 傾斜角・断層上縁深さの不確かさ考慮方法(詳細パラメータスタディ)

- 土木学会(2002)を参考として、概略パラメータスタディの各評価位置における最大水位上昇ケース、最大水位下降ケースを対象に、傾斜角及び断層上縁深さを変動させた詳細パラメータスタディを実施した。
- 各パラメータの変動範囲については、土木学会(2002)等を参考に設定※1, 2した。

※1:土木学会(2002)では、プレート間逆断層地震のハーバードCMTによる発震機構解(1976.1~2000.1に発生したMw6.0以上、深さ60km以下の地震)及び既往の断層モデルのばらつきから変動範囲を設定。

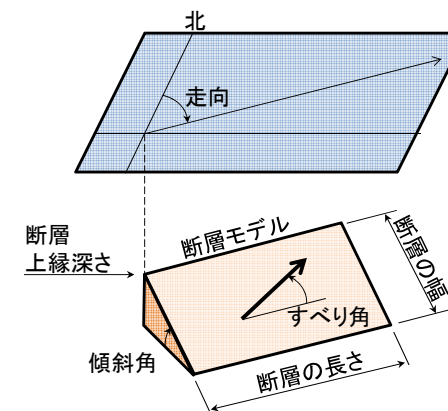
※2:日本海溝沿いでは、2005年11月15日(Mw7.1)、2011年3月11日(Mw7.7)に海洋プレート内地震が発生しており、傾斜角はそれぞれ約45°(岩淵(2013)), 42°(Lay et al.(2011))である。

朱書き部: 審査による変更箇所

【詳細パラメータスタディ】

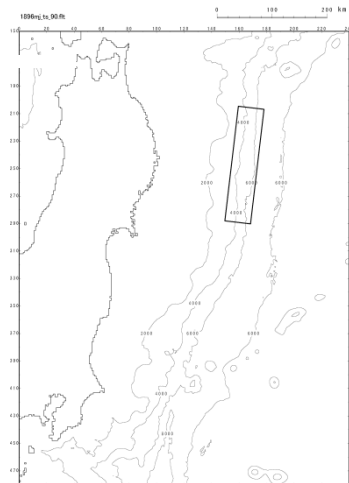
項目		変動範囲
傾斜角		基準, 基準±5°
断層上縁深さ	アウターライズ領域 (海溝から東側)	0km, 1km(基準), 2km
	沈み込んだ領域 (海溝から西側)	各波源位置のプレート境界面からの深さ: 0km, 1km(基準), 2km

(参考)断層パラメータ

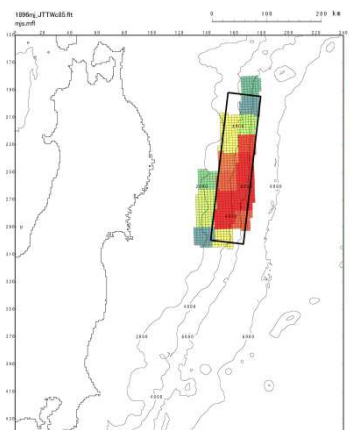


2. 津波地震の地震規模について

ご質問:「津波地震」の地震規模(Mw)を申請時の8.3から8.5に見直したことが津波評価にどの程度影響するのか定量的に明示すること。



再現モデル(Mw8.28)



背景: 中央防災会議(2005)の断層モデル
黒線: 見直し後のモデル(Mw8.5)

■ 申請時の評価

- 1896年明治三陸地震津波の再現モデル(Mw8.28)を基本として、基準断層モデル(Mw8.30)を設定した。

1896年明治三陸地震津波の痕跡高との比較(K, κ)※

断層モデル	K	κ	地点数n	既往津波高
再現モデル(Mw8.28)	1.00	1.44	246	伊木(1897), 松尾(1933)

■ 地震規模の見直し

- 保守性を確保する観点から、中央防災会議(2005)等を参考として、地震規模をMw8.5に見直した。

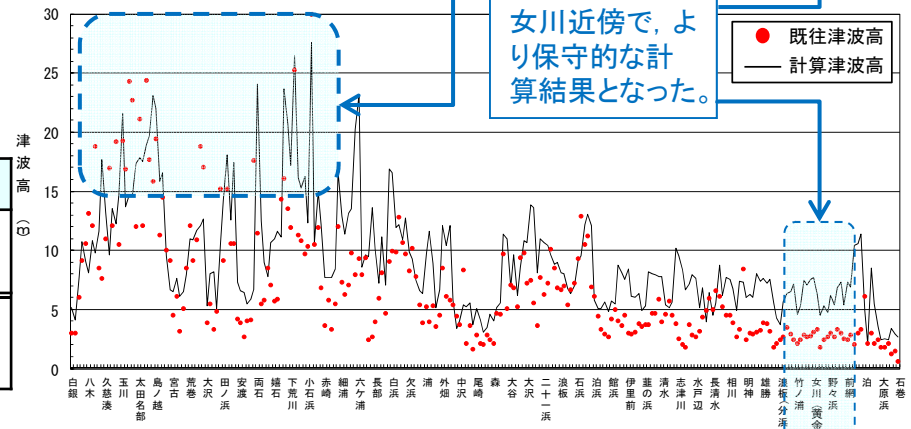
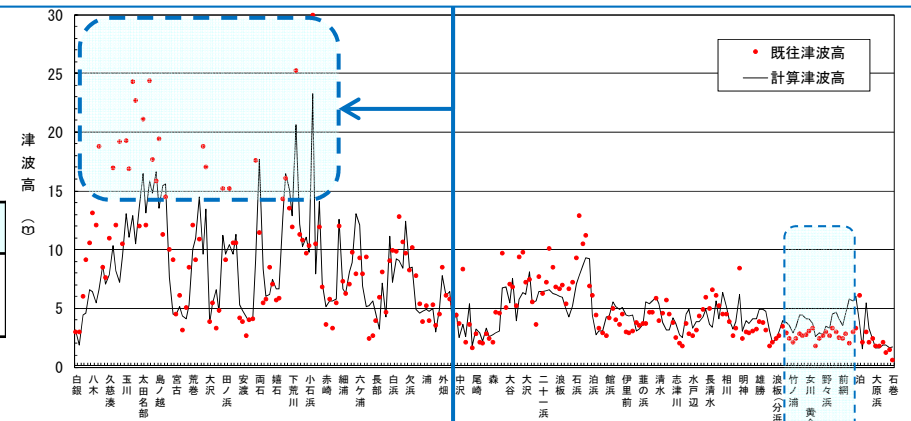
1896年明治三陸地震津波の痕跡高との比較(K, κ)※

断層モデル	K	κ	地点数n	既往津波高
基準断層モデル(Mw8.5)	0.66	1.54	246	伊木(1897), 松尾(1933)
(参考) 中央防災会議(2005)	0.77	1.4	143	伊木

※: 再現性の目安 $0.95 < K < 1.05$, $\kappa < 1.45$ (土木学会(2002))。

Kが小さい程、計算津波高が既往津波高より平均的に大きいことを示す。

全体の再現性は良好で、女川近傍もやや大きめの計算値。女川付近以外では計算メッシュが粗い(278m)ため、「計算結果<痕跡値」の範囲がある。



1896年明治三陸地震津波の痕跡高と計算津波高の比較

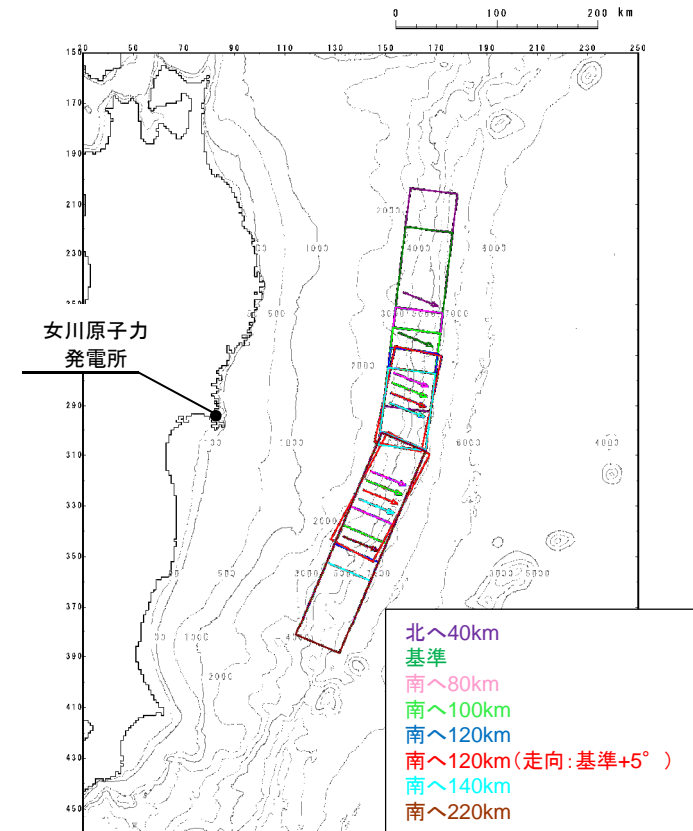
2. 津波地震の地震規模について (Mw8.3 1/2)

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

■概略パラメータスタディ結果

(単位:m)

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
北へ40km 移動	基準-5°	6.75 (北側)	5.70	5.56	5.38	4.65	4.33	
	基準	5.89 (北側)	5.17	5.06	4.88	4.04	3.74	
	基準+5°	5.34 (北側)	4.58	4.46	4.30	3.52	3.28	
基準	基準-5°	11.10 (北側)	8.97	8.73	8.53	7.95	7.62	
	基準	10.20 (北側)	8.27	7.84	7.65	7.06	6.63	
	基準+5°	8.99 (北側)	7.48	7.12	6.93	6.14	5.88	
南へ80km 移動	基準-5°	18.22 (北側)	14.37	15.10	15.18	13.67	14.07	
	基準	18.09 (北側)	14.15	14.65	14.91	13.39	13.78	
	基準+5°	17.59 (北側)	13.92	14.43	14.53	13.14	13.36	
南へ100km 移動	基準-5°	19.45 (北側)	14.80	15.79	15.84	13.99	14.67	
	基準	19.50 (北側)	14.79	15.88	15.94	14.01	14.76	詳細パラメータスタディ①
	基準+5°	18.90 (北側)	14.63	15.66	15.68	13.89	14.61	
南へ120km 移動	基準-5°	18.91 (北側)	14.45	15.08	15.37	13.72	14.14	
	基準	19.31 (北側)	14.77	15.69	15.80	14.02	14.62	
	基準+5°	19.26 (北側)	14.96	16.17	16.06	14.10	14.89	詳細パラメータスタディ②
南へ140km 移動	基準-5°	17.67 (北側)	13.83	14.10	14.32	12.84	13.06	
	基準	18.08 (北側)	14.23	14.60	14.86	13.36	13.62	
	基準+5°	18.22 (北側)	14.41	15.09	15.25	13.66	14.15	
南へ220km 移動	基準-5°	10.15 (北側)	8.46	7.94	7.72	6.83	6.40	
	基準	11.41 (北側)	9.63	9.17	8.88	8.18	7.67	
	基準+5°	12.35 (北側)	10.72	10.15	9.72	9.08	9.02	



不確かさの考慮ケース

2. 津波地震の地震規模について (Mw8.3 2/2)

■ 詳細パラメータスタディ結果

■ 詳細パラメータスタディ①

(単位:m)

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	すべり角							
基準-5°	基準-10°	17.91(北側)	13.03	14.01	14.06	12.90	13.00	
	基準	18.37(北側)	13.15	14.29	14.23	13.19	13.27	
	基準+10°	18.23(北側)	13.02	14.14	14.13	13.11	13.18	
基準	基準-10°	18.92(北側)	14.63	15.32	15.57	13.79	14.39	
	基準	19.50(北側)	14.79	15.88	15.94	14.01	14.76	敷地前面決定ケース
	基準+10°	19.37(北側)	14.73	15.75	15.82	14.02	14.68	
基準+5°	基準-10°	18.69(北側)	15.84	16.23	16.32	14.08	14.96	
	基準	18.93(北側)	16.08	16.74	16.73	14.33	15.36	
	基準+10°	19.03(北側)	16.03	16.71	16.68	14.32	15.32	

【詳細パラメータスタディ】

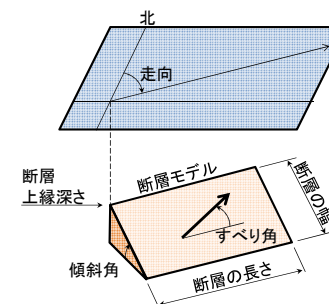
項目	変動範囲
傾斜角	基準, 基準±5°
すべり角	基準, 基準±10°

■ 詳細パラメータスタディ②

(単位:m)

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	すべり角							
基準-5°	基準-10°	17.73(北側)	12.93	13.93	14.02	13.02	13.12	
	基準	18.20(南側)	13.26	14.30	14.27	13.36	13.42	
	基準+10°	18.22(南側)	13.24	14.35	14.27	13.35	13.41	
基準	基準-10°	18.86(北側)	14.72	15.50	15.62	13.78	14.46	
	基準	19.26(北側)	14.96	16.17	16.06	14.10	14.89	
	基準+10°	19.44(北側)	14.88	16.05	16.07	14.11	14.91	
基準+5°	基準-10°	18.57(北側)	15.82	16.21	16.39	14.16	15.08	
	基準	18.83(北側)	16.11	16.74	16.77	14.43	15.44	3号取水口前面, 2・3号放水口前面決定 ケース
	基準+10°	18.80(北側)	16.14	16.81	16.73	14.44	15.43	1,2号取水口前面, 1号放水口前面決定 ケース

(参考)断層パラメータ



2. 津波地震の地震規模について (Mw8.5 1/2)

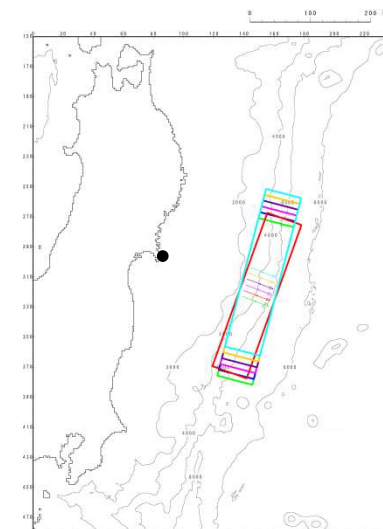
■概略パラメータスタディ結果

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

(単位:m)

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
北へ50km 移動	基準-5°	18.54(北側)	14.20	14.52	15.12	12.24	13.09	追加検討
	基準	19.84(北側)	14.86	15.01	15.68	12.81	13.60	追加検討
	基準+5°	20.54(北側)	15.12	15.54	15.93	13.08	13.93	追加検討
北へ40km 移動	基準-5°	18.36(北側)	14.17	14.48	15.06	12.19	13.06	追加検討
	基準	19.91(北側)	14.94	15.09	15.70	12.86	13.64	追加検討
	基準+5°	20.82(北側)	15.21	15.74	16.10	13.23	14.11	追加検討
北へ30km 移動	基準-5°	18.20(北側)	14.14	14.41	14.99	12.14	12.96	追加検討
	基準	20.07(北側)	15.01	15.19	15.78	12.93	13.65	追加検討
	基準+5°	21.09(北側)	15.43	15.96	16.34	13.39	14.34	追加検討
北へ20km 移動	基準-5°	17.90(北側)	14.04	14.30	14.84	12.05	12.79	追加検討
	基準	20.22(北側)	15.17	15.25	15.87	13.01	13.66	追加検討
	基準+5°	21.45(北側)	15.65	16.17	16.55	13.58	14.60	追加検討
北へ10km 移動	基準-5°	17.31(北側)	13.72	14.00	14.47	11.86	12.39	追加検討
	基準	20.02(北側)	15.13	15.21	15.79	13.01	13.67	追加検討
	基準+5°	21.67(北側)	15.72	16.30	16.73	13.78	14.81	詳細パラメータスタディ① 追加検討
基準	基準-5°	16.77(北側)	13.27	13.42	13.92	11.48	11.90	追加検討
	基準	19.63(北側)	14.87	14.90	15.49	12.82	13.46	追加検討
	基準+5°	21.63(北側)	15.57	16.24	16.68	13.89	14.90	詳細パラメータスタディ② 追加検討

—	位置: 基準, 走向: 基準
—	位置: 北へ10km移動, 走向: 基準
—	位置: 北へ10km移動, 走向: 基準+5°
—	位置: 北へ20km移動, 走向: 基準
—	位置: 北へ30km移動, 走向: 基準
—	位置: 北へ40km移動, 走向: 基準
—	位置: 北へ50km移動, 走向: 基準



不確かさの考慮ケース

2. 津波地震の地震規模について (Mw8.5 2/2)

【詳細パラメータスタディ①(波源位置:北へ10km, 走向:基準+5°)】

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	すべり角							
基準-5°	基準-10°	18.99	13.64	14.64	14.77	12.50	13.22	追加検討
	基準	19.95	14.09	15.20	15.14	12.96	13.71	追加検討
	基準+10°	20.10	14.21	15.21	15.24	13.00	13.79	追加検討
基準	基準-10°	20.97	15.35	15.92	16.26	13.37	14.30	追加検討
	基準	21.67	15.72	16.30	16.73	13.78	14.81	追加検討
	基準+10°	21.68	15.86	16.47	16.79	13.81	14.84	追加検討
基準+5°	基準-10°	20.17	16.73	16.91	16.64	13.94	14.21	追加検討
	基準	20.84	17.08	17.47	17.09	14.35	14.75	追加検討
	基準+10°	20.84	17.21	17.61	17.20	14.392	14.72	各取水口前面最大ケース 追加検討

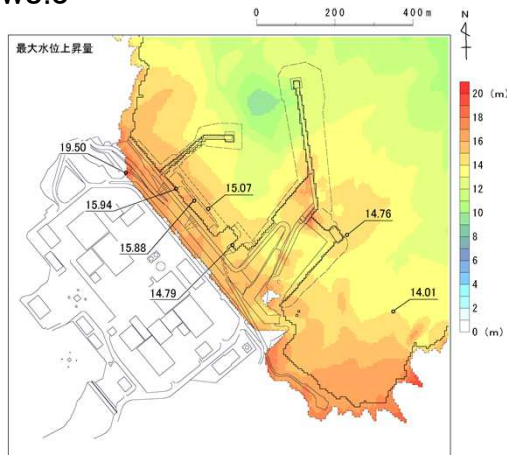
【詳細パラメータスタディ②(波源位置:基準, 走向:基準+5°)】

(単位:(m))

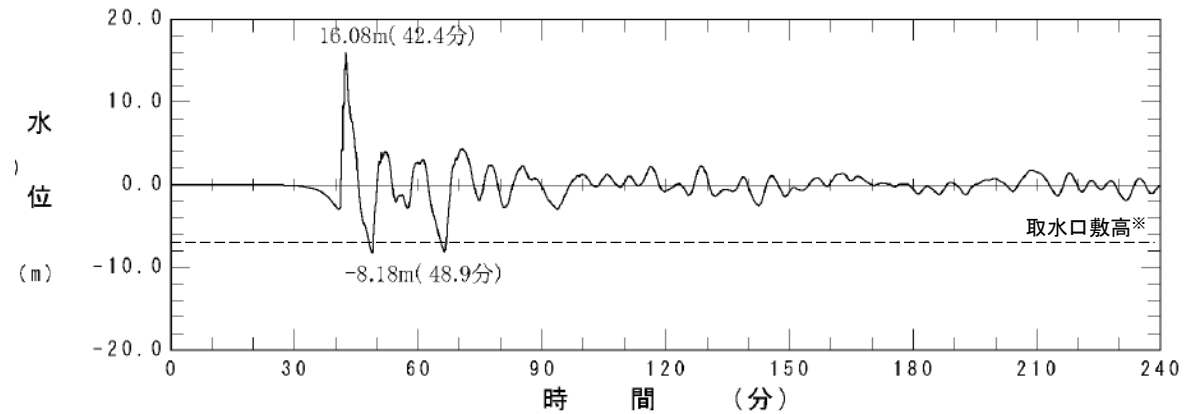
パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	すべり角							
基準-5°	基準-10°	19.11	13.67	14.74	14.71	12.70	13.33	追加検討
	基準	20.22	14.09	15.25	15.23	13.24	13.91	追加検討
	基準+10°	20.53	14.21	15.39	15.37	13.37	14.06	追加検討
基準	基準-10°	20.95	15.21	15.85	16.15	13.35	14.32	追加検討
	基準	21.63	15.57	16.24	16.68	13.89	14.90	追加検討
	基準+10°	21.82	15.80	16.39	16.80	13.98	15.01	敷地前面最大ケース 2・3号放水口前面最大ケース 追加検討
基準+5°	基準-10°	19.96	16.53	16.66	16.54	13.86	14.19	追加検討
	基準	20.76	17.05	17.31	17.04	14.32	14.75	追加検討
	基準+10°	20.73	17.13	17.45	17.18	14.393	14.80	1号放水口前面最大ケース 追加検討

2. 津波地震の地震規模について (水位の比較 1/2)

■ Mw8.3

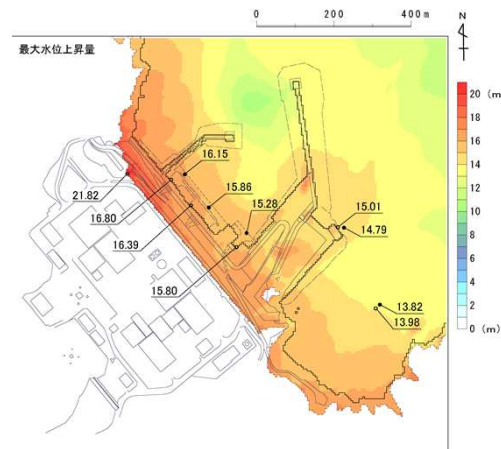


最大水位上昇量分布(敷地前面最大ケース)

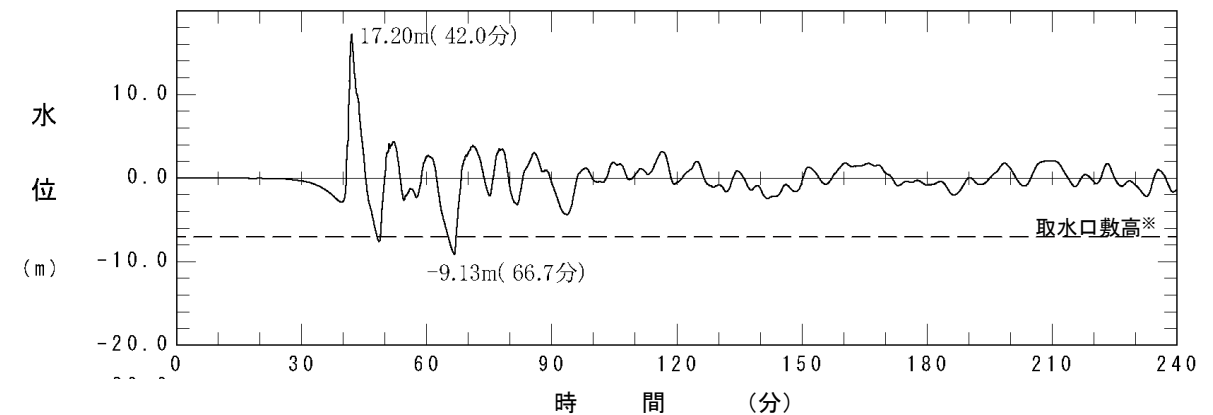


2号取水口前面の水位時刻歴波形(2号取水口前面最大ケース)

■ Mw8.5



最大水位上昇量分布(敷地前面最大ケース)



2号取水口前面の水位時刻歴波形(2号取水口前面最大ケース)

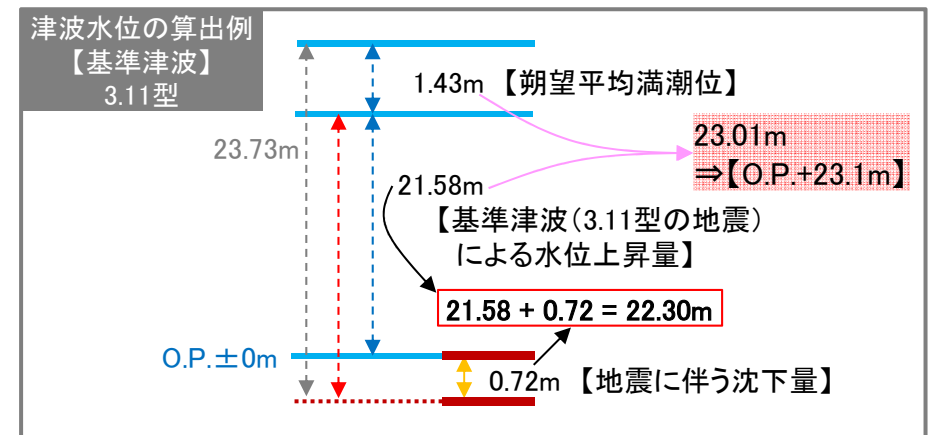
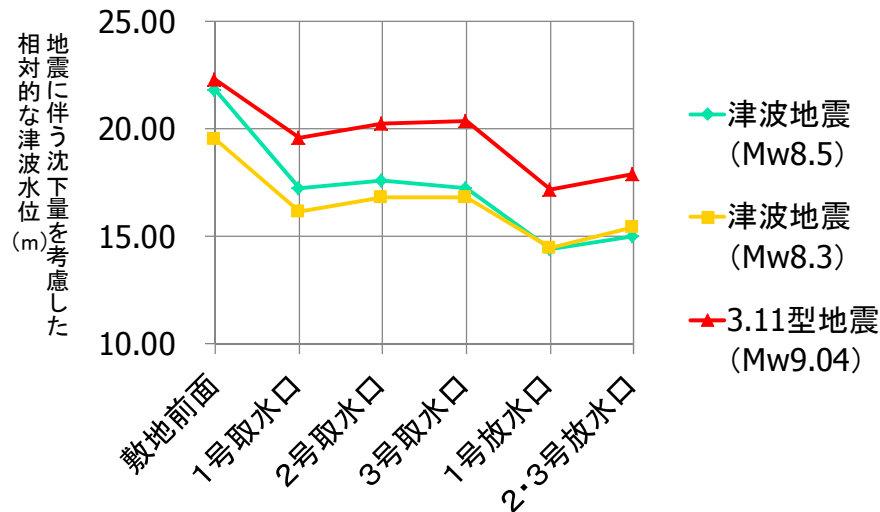
※: T.P.-7.04m(O.P.-6.3m)

2. 津波地震の地震規模について（水位の比較 2/2）

- 各評価位置における水位上昇側の最大ケースの一覧を以下に示す。
- 津波地震についてMw8.3からMw8.5に見直したことで、敷地前面では 19.50m から 21.82m となり、2m以上水位が高くなった。ただし、Mwを見直しても、津波地震は3.11型の地震(Mw9.04)の 22.30m より低い結果であることを確認した。

【水位上昇側】

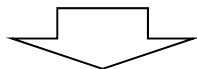
波源モデル	波源特性の不確かさ				地震に伴う沈下量を考慮した相対的な津波水位(m)					
	位置	走向	傾斜角	すべり角	敷地前面	1号取水口前面	2号取水口前面	3号取水口前面	1号放水口前面	2・3号放水口前面
津波地震(Mw8.3)					19.50	16.14	16.81	16.77	14.44	15.44
津波地震(Mw8.5)	基準	基準+5°	基準	基準+10°	21.82	15.80	16.39	16.80	13.98	15.01
	北へ10km	基準+5°	基準+5°	基準+10°	20.84	17.21	17.61	17.20	14.392	14.72
	基準	基準+5°	基準+5°	基準+10°	20.73	17.13	17.45	17.18	14.393	14.80
(参考)基準津波(3.11型の地震(Mw9.04))					22.30	19.57	20.22	20.32	17.18	17.88



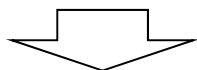
3. 防潮堤工事について

ご質問: 基準津波を設定する前から防潮堤工事を進めているが、「結果ありき」の評価となっていないことを説明すること。

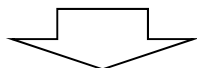
- 3.11地震以降、当社では3.11や南海トラフ等の最新知見を取り入れ、自主的に津波評価を実施し、発電所敷地前面に到達する津波の最大遡上水位をO. P. +23.1mと評価した。これを踏まえつつ、より安全性を高め、地域の皆さまにご安心いただくため、防潮堤かさ上げ工事を開始した。(H25.5.14公表)



- その後、H25.7.8に新規制基準が施行されたことを踏まえ、この基準に照らした津波評価を実施し、改めて発電所敷地前面に到達する津波の最大遡上水位をO. P. +23.1mと評価した。



- H25.12.27に適合性審査を申請し、多くの審査過程を経て、H28.9.30の審査会合では原子力規制委員会より「基準津波の策定については、概ね妥当な検討がなされている」とされた。



- 防潮堤工事は継続中であるが、新たな知見の反映等により、追加工事が必要となった場合には適切に対応する。

お知らせ

平成25年5月14日
東北電力株式会社

女川原子力発電所における防潮堤のかさ上げについて

当社は、平成23年東北地方太平洋沖地震に関わる知見や、平成25年7月の施行に向けた「新規制基準」に関する議論の動向を踏まえながら、津波評価の検討を進めておりますが、このたび、極めて厳しい条件での評価として、女川原子力発電所前面の防潮堤に到達する津波の最大遡上水位を、O. P. ※1約+2.3mと評価いたしました。

この規模の津波が発生した場合でも、既に実施している緊急安全対策等により、発電所の安全停止状態を維持することが可能と評価しておりますが、より安全性を高め、地域の皆さまにご安心いただく観点から、自主的な対策として、現在の防潮堤※2（高さ約3m、O. P. 約+1.7m）をかさ上げし、防潮堤高さを約1.5m（O. P. 約+2.9m）にする工事を実施することといたしました。

なお、工事については、今後、準備が整い次第開始し、平成28年3月に完了する予定としております。

津波評価および防潮堤かさ上げの概要については、別紙のとおりです。

当社では、今後も引き続き新たな知見の収集に努めるとともに、適切な対策を実施することによって、発電所のさらなる安全性の向上に取り組んでまいります。

以上

※1 O. P. とは女川の工食用基準面のことで、O. P. ±0.0mは東京湾平均海面（T. P.）-0.74mに相当。

※2 平成23年12月1日工事開始、平成24年4月26日工事完了

(別紙)

女川原子力発電所における防潮堤かさ上げについて（概要）

4. 津波シミュレーションの計算精度について 1/3

ご質問: 津波数値計算の結果として4桁の数値(例: 21.58m)が示されているが, 計算誤差, 確度はどの程度か。4桁の有効数字を示すことができるのか。

- 不確かさを考慮する際のパラメータスタディにおいては, 各ケース間の比較が必要であるため, 小数点第2桁(場合によっては第3桁)まで表示して比較しているが, 数値計算に含まれる誤差を踏まえると, 小数点第2桁までの精度は無いと考えられるため, 最終的な基準津波の評価としては, 0.1m単位で切り上げている。

(p.21の表の一部を再掲)

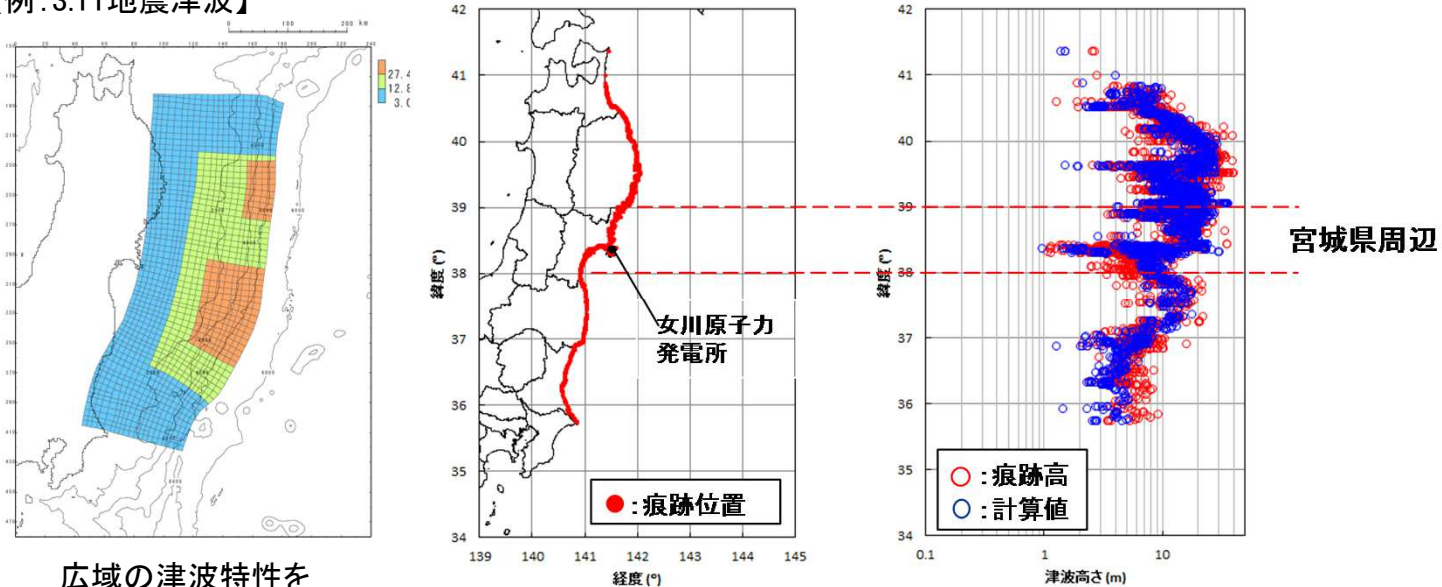
パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
(省 略)								
南へ80km 移動	基準-5°	18.22 (北側)	14.37	15.10	15.18	13.67	14.07	
	基準	18.09 (北側)	14.15	14.65	14.91	13.39	13.78	
	基準+5°	17.59 (北側)	13.92	14.43	14.53	13.14	13.36	
南へ100km 移動	基準-5°	19.45 (北側)	14.80	15.79	15.84	13.99	14.67	
	基準	19.50 (北側)	14.79	15.88	15.94	14.01	14.76	詳細パラメータスタディ①
	基準+5°	18.90 (北側)	14.63	15.66	15.68	13.89	14.61	
(省 略)								

ケース間の
比較が必要

4. 津波シミュレーションの計算精度について 2/3

- 再現解析においては、土木学会(2002)の再現性の目安を満足することで数値シミュレーションの妥当性、ならびに断層モデルの妥当性を確認している。

【例:3.11地震津波】



広域の津波特性を考慮した特性化モデル

幾何平均 K	幾何標準偏差 κ	地点数 n	既往津波高
0.98	1.39	2,686	東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012)

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】

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

4. 津波シミュレーションの計算精度について 3/3

■ 津波シミュレーションにおける誤差等の考慮について

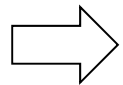
想定津波の予測計算には次に挙げる不確定性や誤差が含まれるため、過小評価とならないように、設計津波水位はこれらの項目を取り込んだものとして評価される必要がある。

- ①波源の不確定性 ……波源(断層モデル)の位置, 走向, 傾斜角 等
- ②数値計算上の誤差 ……各種計算条件に起因する計算誤差
- ③海底地形, 海岸地形等のデータの誤差 ……海底地形図自体の精度, 津波痕跡の信頼性等による誤差

しかしながら、上記誤差をひとつひとつ分解して定量的に示すことは困難であること、将来発生する津波の波源をひとつに限定することができないこと等から、本体系化原案では、断層モデルの諸条件つまり断層パラメータを合理的範囲内で変化させた数値計算を多数実施し(パラメータスタディ)、その結果得られる想定津波群の中から、評価地点における影響が最も大きい津波を設計想定津波として選定することにより、上記①～③を考慮した設計津波水位を得ることができる。

(土木学会(2002)に一部加筆)

土木学会(2016)においても同様の考えであることを確認。



- 誤差の要因を踏まえつつ、土木学会(2002)等を参考に、適切な計算条件、地形モデルの設定、計算結果の確認等を行っている。
- 数値シミュレーションの妥当性については、痕跡データが多数存在する3.11地震津波、1933年昭和三陸地震津波等の再現解析により確認している。

5. 港湾構造物による津波水位への影響について

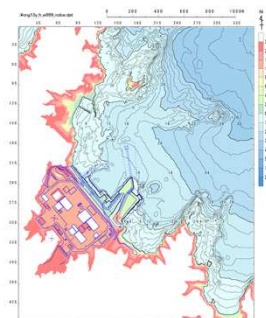
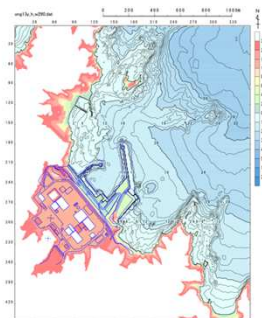
ご質問: 最大水位上昇量は、港湾内の防波堤などの構造物によって変化していると思われる。これら構造物は考えている津波(地震)によって損傷を受けることはないのか。

- 防波堤の有無による基準津波の評価への影響については、以下のとおり確認している。
- なお、港湾内の構造物が地震によって損傷を受けることを想定し、耐津波設計(今後説明予定)においては、設計の基本となる入力津波の算定の際に、防波堤の損傷を考慮した地形モデルによる数値シミュレーションを説明する予定。

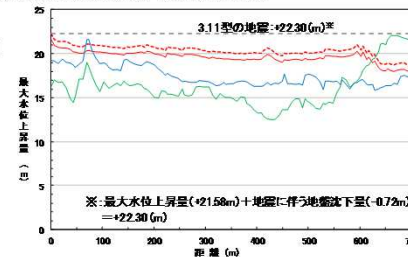
【基準津波の策定関係】

⑤防波堤の有無による影響について

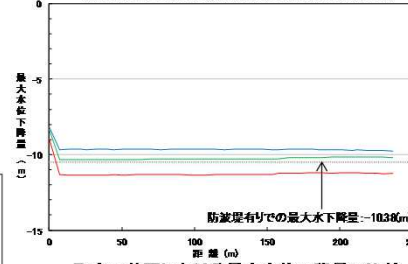
- ・ 防波堤の有無が津波水位に与える影響を把握するため、「3.11型の地震」、「津波地震」及び「海洋プレート内地震」の敷地前面最大ケース、2号取水口前面最大ケースを対象に、防波堤無しの場合にて津波計算を実施した。
- ・ 水位上昇側については、いずれの地震においても、防波堤有りの水位が防波堤無しの水位を上回っており、防波堤の有無が各津波の評価に及ぼす影響は無いことを確認した(説明資料 p.28の水位比較図から変更なし)。
- ・ 水位下降側については、防波堤無しの水位が防波堤有りの水位を下回る(説明資料 p.29の水位比較図から変更ありが、「3.11型の地震」が決定ケースであることに変更は無いことを確認した)。



- 3.11型の地震
- - - 3.11型の地震 (地震沈下量を水位の増分として補正)
- 津波地震
- 海洋プレート内地震



敷地前面における最大水位上昇量の比較



取水口前面における最大水位下降量の比較

(第12回検討会 資料-2
データ集p.12再掲)

6. 基準津波の年超過確率について 1/3

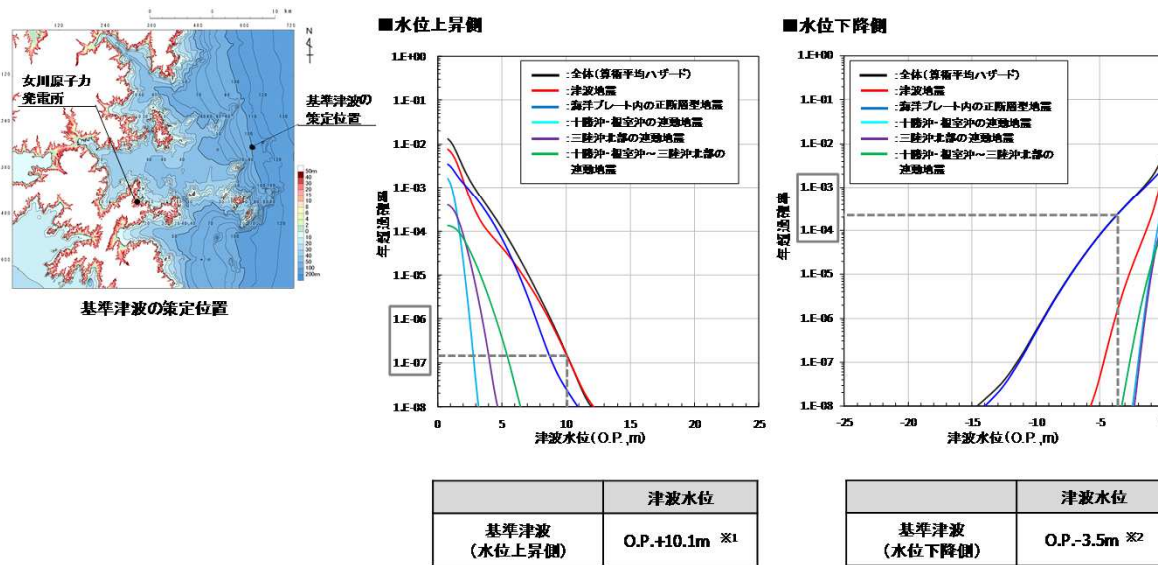
ご質問: 津波ハザード曲線はどのような考えから導かれたのか(確率論的津波リスク評価の考え方)、またその意味するところは何かなどをもう少し分かりやすく説明いただきたい。特に横軸の津波水位は中央値を示すものであり、その値を超える確率があることなどをよく説明していただきたい。

6. 基準津波の年超過確率の参照 (2/2)

第466回審査会合(H29.4.28)
資料1 p5 より

■評価結果

- 基準津波の年超過確率は、水位上昇側で 10^{-6} ~ 10^{-7} 程度、水位下降側で 10^{-3} ~ 10^{-4} 程度である。



※1: p.39上段の時刻歴波形の最高値8.63m+朔望平均満潮位O.P.+1.43m=O.P.+10.06m → O.P.+10.1mに丸めた津波水位。

※2: p.39下段の時刻歴波形の最低値-3.31m+朔望平均干潮位O.P.-0.14m=O.P.-3.45m → O.P.-3.5mに丸めた津波水位。

(第12回検討会 資料-2
p.44再掲)

6. 基準津波の年超過確率について 2/3

確率論的津波評価を行う背景

- 確定論的な津波評価(例:基準津波)と並行して, 確率論的な津波評価については3.11以前から検討されてきた。
- 3.11に伴う福島第一事故の教訓から, 新規制基準では, 設計を超える津波に対する耐性確保(右図で, 第3層よりも外の部分)のため, 確率論的津波リスク評価(津波PRA)を行うこととされている。
- 津波PRAの基礎データとなるのが津波ハザード曲線である。

設計(基準津波)を超える確率を把握するために、「基準津波の年超過確率」を参照するもの。

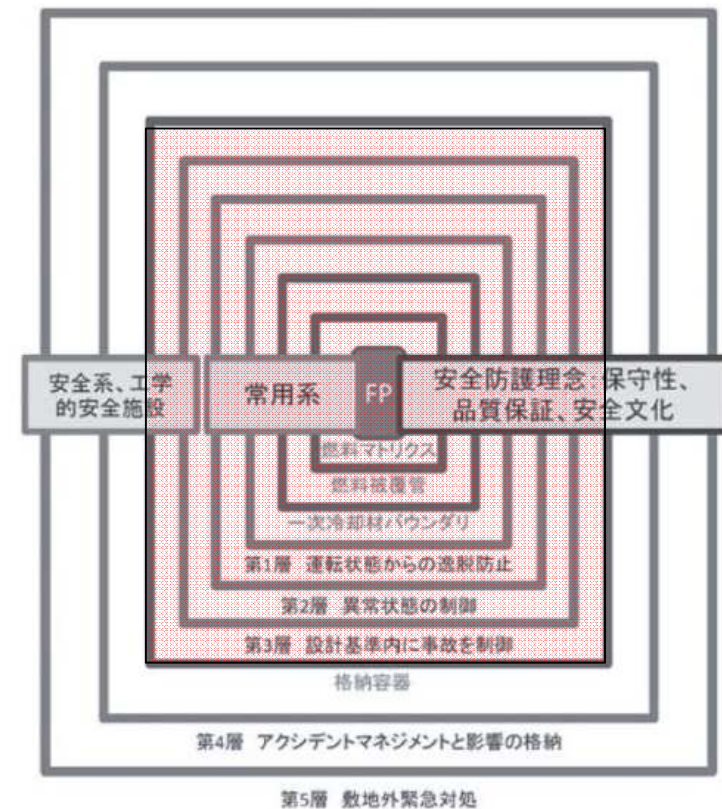


図 2.1-1 IAEA による深層防護 (山口, 2012)
(土木学会(2016)に加筆)

6. 基準津波の年超過確率について 3/3

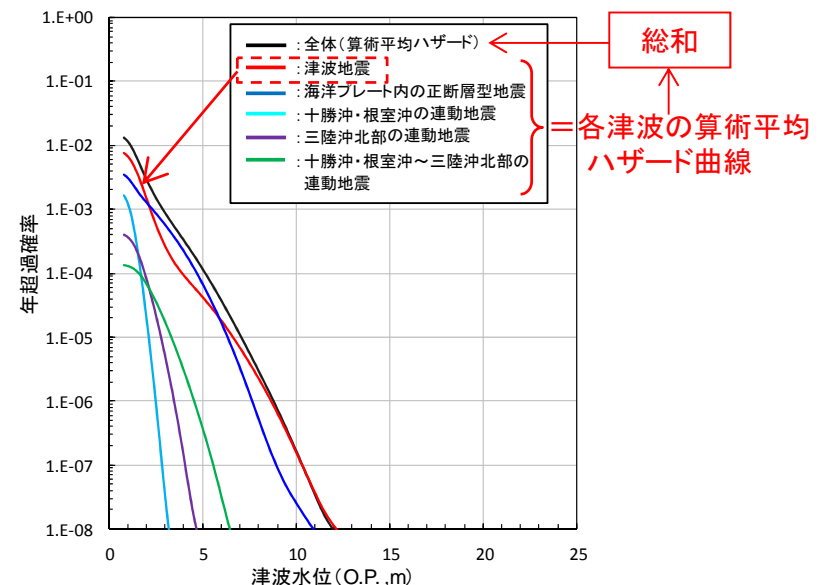
ご質問(続き): 基準津波の策定は、確定論的に行われること、ただし津波波源特性(地震の破壊開始点や破壊伝播速度など)や計算誤差は、“不確かさ”として考慮されることなどもはっきり分かるように示すこと。

⇒ご指摘のとおり、基準津波の策定は、確定論的に検討したものである。また、不確かさの考慮については第1章参照。

ご質問(続き):
津波ハザード曲線に、“全体(算術平均ハザード)”との凡例があるが、文字通り解釈すれば、津波地震など各津波のハザード曲線の算術平均を“全体”として示しているように誤解する。意味するところは、各タイプの地震による津波の算術平均ハザード曲線を求め、それらの総和を、“基準津波”のハザード曲線とするのではないか。

⇒ご指摘のとおり。各タイプの津波の算術平均ハザード曲線の総和が“基準津波の津波ハザード曲線”である。

■ 水位上昇側



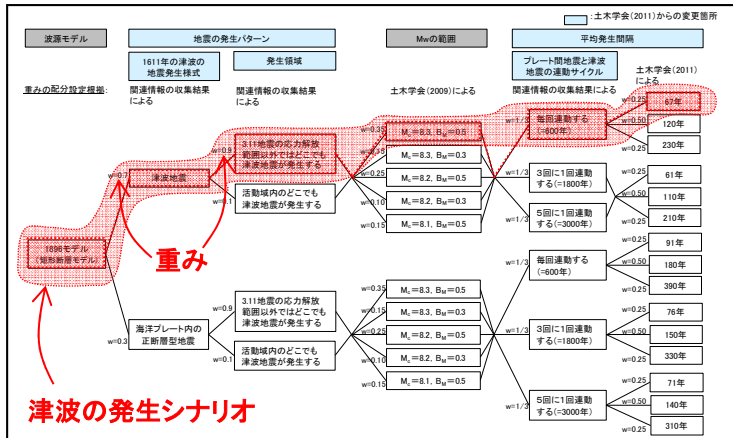
6. 基準津波の年超過確率について (参考)

・各津波ごとの算術平均ハザードの算定手順は以下のとおり。

(②~④の図は、土木学会(2009)を加工)

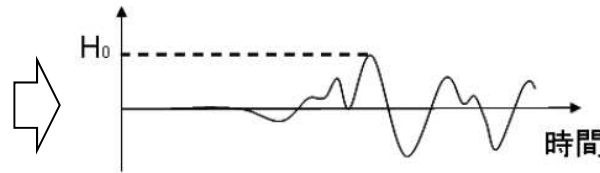
① 「津波地震」の発生シナリオを設定

「津波地震」のロジックツリー



② 設定したシナリオによる数値シミュレーション

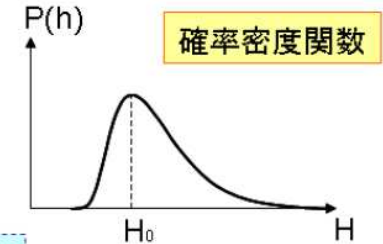
評価地点 (例: 基準津波の策定位置) での最高値 (H_0) を算定



H_0 : 津波シミュレーション結果 (最高または最低値)

③ 確率密度関数の作成

H_0 を中央値として、ばらつき σ を与えると、下図のような確率密度関数 (グラフ) ができる。

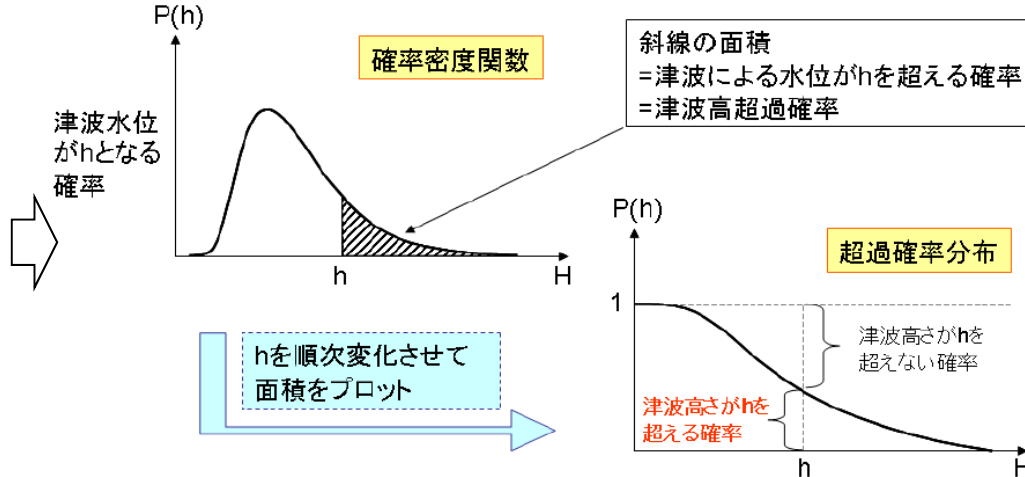


中央値 H_0 の周りにばらつき σ で対数正規分布

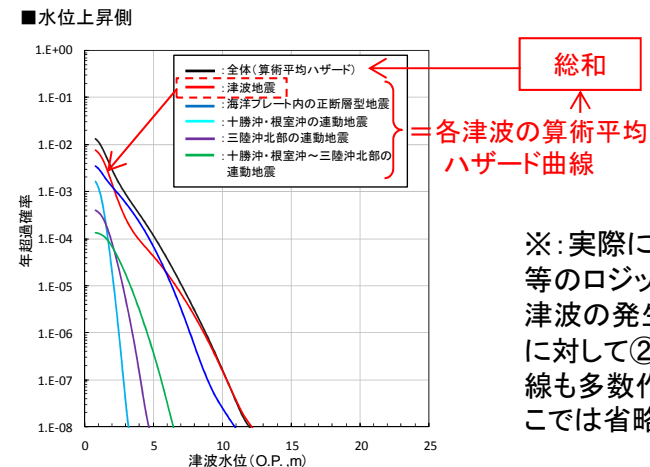
$P(h)$: 津波水位が h となる確率

④ 超過確率分布の作成

確率密度曲線で h を順次変化させ、斜線の面積 (= 超過確率) を求めてプロットし、超過確率のグラフを作成する。



津波の発生シナリオ毎に①~④を繰り返し、各シナリオの重みを掛けながら足し合わせると、「津波地震」の算術平均ハザード曲線が得られる*。



*: 実際には、ばらつき σ 等のロジックツリーもあり、津波の発生シナリオ (①) に対して②の確率密度曲線も多数作成されるが、ここでは省略した。



参考文献

1. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002):原子力発電所の津波評価技術
2. 公益社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会(2016):原子力発電所の津波評価技術2016
3. 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
4. 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
5. 杉野英治・呉長江・是永真理子・根本信・岩淵洋子・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)
6. 地震調査研究推進本部(2009):付録3 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
7. 相田勇(1986):津波波源の推定, 水工学シリーズ86-8-2, 土木学会水理委員会
8. 内閣府中央防災会議事務局(2005):資料1 中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会(第10回) 強震動及び津波高さの推計について
9. Tsuru Tetsuro, Jin-Oh Park, Seiichi Miura, Shuichi Kodaira, Yukari Kido, and 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
- 10.岩淵洋(2013):日本海溝海側斜面における地殻伸張速度及びそこで発生する正断層地震について, 海洋情報部研究報告第50号
- 11.Thorne Lay, Charles J. Ammon, Hiroo Kanamori, Marina J. Kim, and Lian Xue(2011): Outer trench-slope faulting and the 2011 Mw 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, 713-718
- 12.伊木常誠(1897):三陸地方津浪実況取調報告, 震災予防調査会報告, 第11号, pp.5-34
- 13.松尾春雄(1933):三陸津浪調査報告, 内務省土木試験所報告, 第24号, pp.83-112
- 14.東北電力株式会社(2013):女川原子力発電所における防潮堤のかさ上げについて, プレスリリース, 平成25年5月14日
- 15.東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012):痕跡調査結果(2012年10月3日リリース版)
- 16.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