

女川原子力発電所2号機 津波評価について
(基準津波の年超過確率の参照)
(コメント回答)

平成29年4月28日
東北電力株式会社

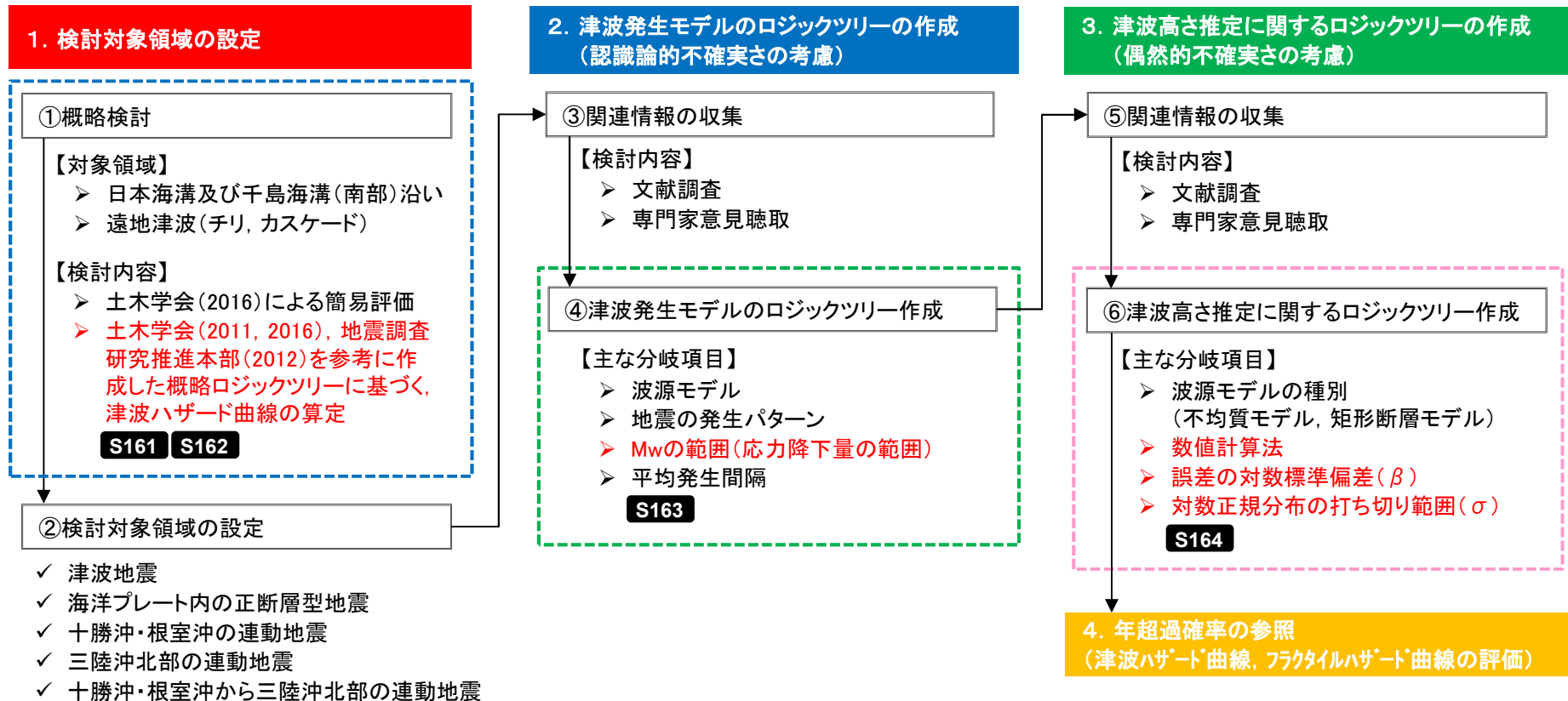
審査会合におけるコメント

No.	コメント時期	コメント内容	説明資料
S161	平成29年2月3日 第439回審査会合	基準津波の波源である東北地方太平洋沖型地震の取扱いについて、地震調査研究推進本部(2012)の長期評価も含めて再整理し、あらためて説明すること。	第2章
S162	平成29年2月3日 第439回審査会合	東北地方太平洋沖型地震の発生領域でのM8クラスの地震、択捉島沖～房総沖の連動地震がハザードに与える影響を示すこと。	第2章
S163	平成29年2月3日 第439回審査会合	海洋プレート内の正断層型地震のロジックツリーの設定(地震規模、平均発生間隔、重み配分)について検討すること。	第2章 補足説明 第6章
S164	平成29年2月3日 第439回審査会合	矩形断層モデルに、誤差の対数標準偏差のばらつきに関する最新知見を評価に取り入れることについて、関連情報を再整理し、あらためて説明すること。	第3章 補足説明 第7章

本説明(コメント回答)と確率論的津波ハザード評価の関係

SO : 審査会合コメントNo.
朱書き部: 新規追加 or 変更箇所

- 検討対象領域(詳細検討を実施する領域)設定にあたっての概略検討(事前検討)として、各津波波源が年超過確率に与える影響を定量的に確認するため、土木学会(2011,2016)、地震調査研究推進本部(2012)を参考に概略ロジックツリーを作成し、津波ハザード曲線を算定。
- 海洋プレート内の正断層型地震の津波発生モデルのロジックツリーのうちMwの範囲について、新たに地震規模、各機関の評価事例に係る関連情報を収集するとともに、専門家意見聴取を実施し、中央マグニチュード(Mc)を1611年の津波の地震規模(Mw8.6)から1933年昭和三陸地震津波の地震規模(Mw8.4)に変更。
- 津波高さ推定に関するロジックツリーのうち一様すべりの矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差(β)等について、新たに波源特性のばらつき($\beta_{波源}$)に係る関連情報を収集するとともに、専門家意見聴取を実施し、不均質モデルと同じロジックツリーを適用できることを確認。



目次

1. 評価概要	4
2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)	9
3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的な不確実さの考慮)	37
4. 評価結果	51

補足説明資料

1. 設置変更許可申請時からの変更点について	59
2. 基準津波の策定	61
3. 津波解析条件	71
4. 土木学会(2011)のロジックツリー	75
5. 津波波源モデルの設定方法	79
6. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討	87
7. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討	93
8. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果	101

1. 評価概要

1. 1 評価方針	.....	5
1. 2 ロジックツリーの作成	.....	6
1. 3 分岐の重み配分設定	.....	8

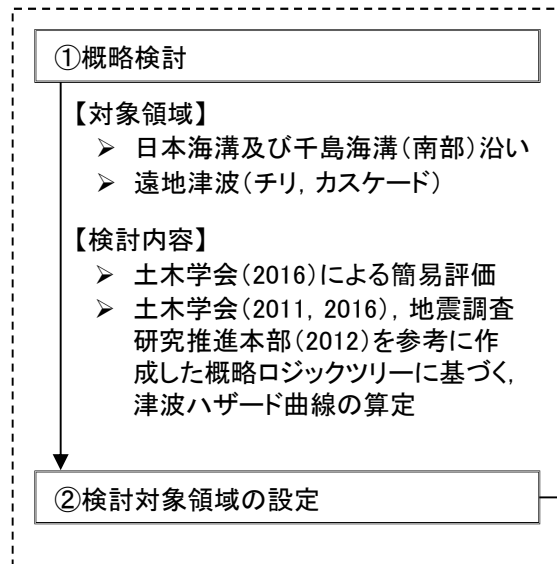
1. 評価概要

1.1 評価方針

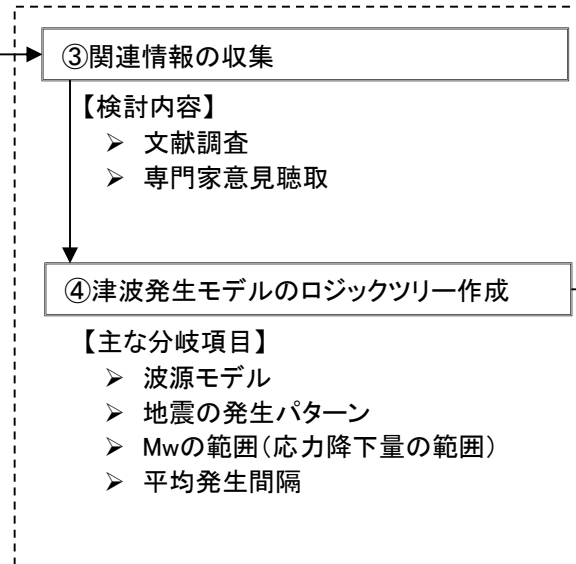
- ・ 確率論的津波ハザード評価は、日本原子力学会(2012)、土木学会(2011)、土木学会(2016)及び平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(以下、「3.11地震」という。)から得られた知見等を踏まえて実施した。
- ・ 評価フローを以下に示す。

■評価フロー

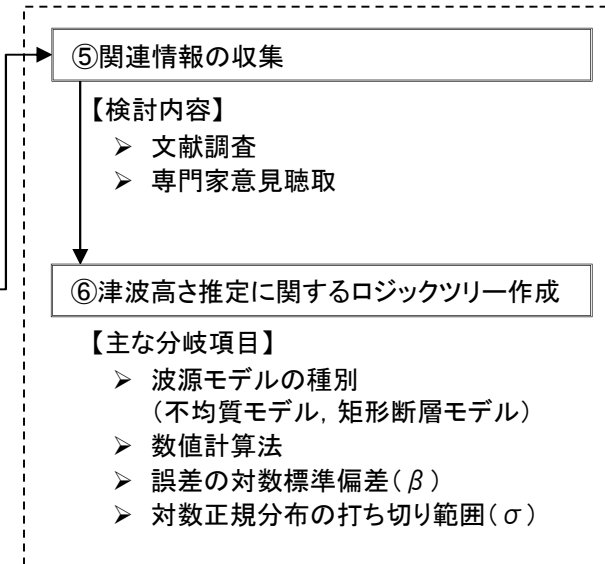
1. 検討対象領域の設定



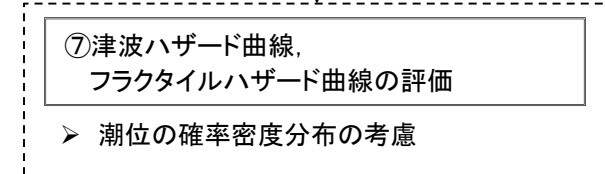
2. 津波発生モデルのロジックツリーの作成



3. 津波高さ推定に関するロジックツリーの作成



4. 年超過確率の参照



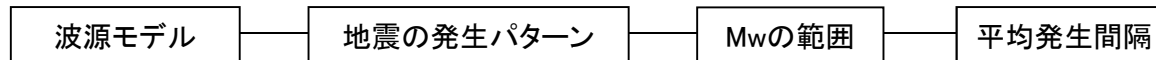
1. 評価概要

1.2 ロジックツリーの作成:概要

- ・ 認識論的不確実さは、波源モデル、地震の発生パターン、Mwの範囲及び平均発生間隔等を考慮した津波発生モデルのロジックツリーとして表現した。
- ・ 偶然的な不確実さは、数値計算法、誤差の対数標準偏差(β)及び対数正規分布の打ち切り範囲(σ)を考慮した津波高さ推定に関するロジックツリーとして表現した。

■認識論的不確実さの考慮:津波発生モデルのロジックツリー

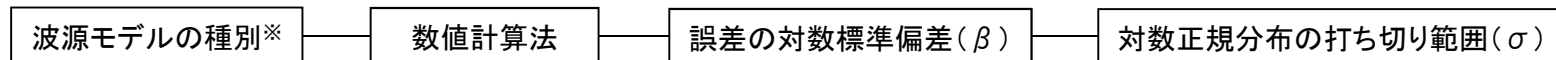
(1)各津波発生領域のロジックツリー



(2)津波発生領域の組合せに関するロジックツリー

- ・ 3.11地震から得られた知見を踏まえ、これまで発生した記録、知見がない津波発生領域(セグメント)の連動を考慮した地震を評価することから、各連動地震の発生確率に関する重み付けを行うため、地震の組合せに関するロジックツリーを追加した。

■偶然的な不確実さの考慮:津波高さ推定に関するロジックツリー



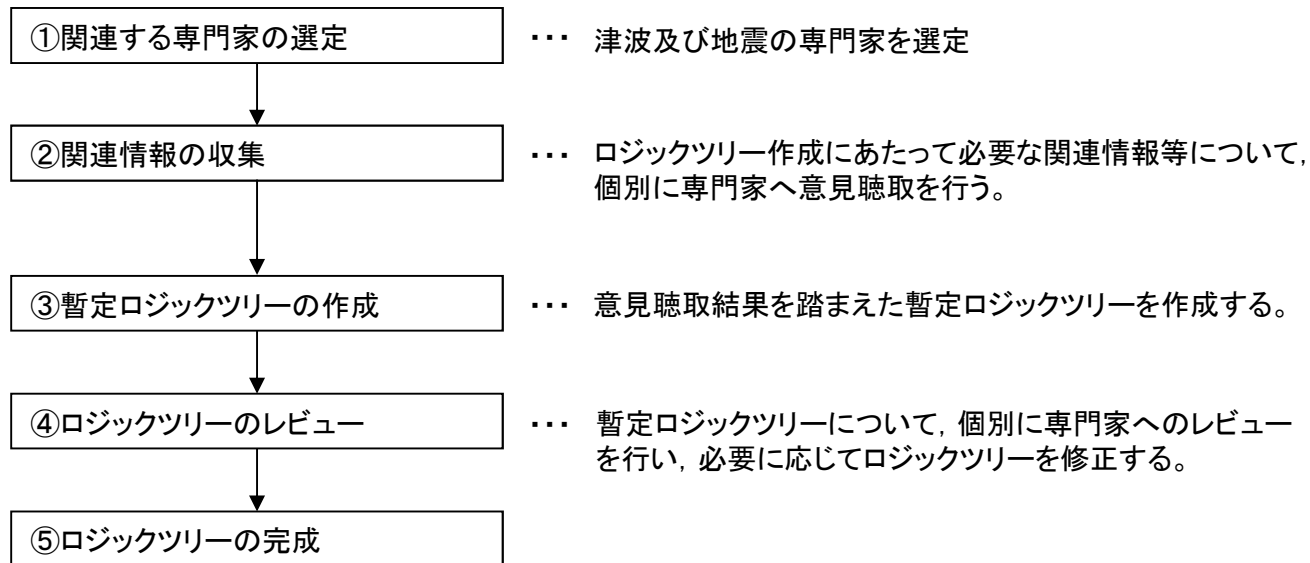
※:不均質モデル, もしくは一様すべりの矩形断層モデル(以下,「矩形断層モデル」という。)

1. 評価概要

1.2 ロジックツリーの作成: 専門家活用水準

- 3.11地震の発生に伴い分岐の項目、重み配分等について専門家意見が分かれることが想定されるため、日本原子力学会(2012)に示される専門家活用水準のうち専門家活用水準2を採用した。
- ロジックツリーの作成フローを以下に示す。

■ロジックツリーの作成フロー



1. 評価概要

1.3 分岐の重み配分設定

- 日本原子力学会(2012), 土木学会(2011)の分岐を流用するものについては, 土木学会(2009)によるアンケート結果を踏まえた重みや, 土木学会(2011)による正規分布に対する分岐設定方法の重みを用いた。
- 新たに追加した分岐や修正した分岐の重みについては, 関連する情報を収集のうえ, 下表に示す考え方にに基づき設定した。

重みの配分設定方法

重みの配分 (分岐が2つの場合)	設定方法
0.5:0.5	現時点の知見で重み付けの判断が困難な場合は, 日本原子力学会(2012)に基づき, 均等配分とする。
0.3:0.7	地震調査研究推進本部, 土木学会等の評価や関連情報の収集結果から, 重みが大きいと考えられる分岐については, その重みを0.7とする。
0.1:0.9	関連情報の収集結果から, 基本的に分岐を設ける必要が無いと考えられるものの, 分岐として成立する可能性が残される分岐については, その重みを0.1とする。

2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

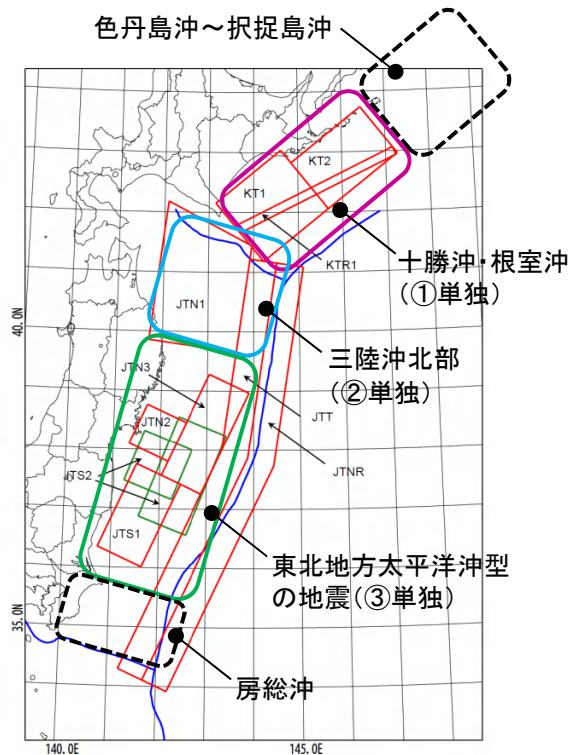
- 2. 1 検討対象領域の設定 10
- 2. 2 津波地震, 海洋プレート内の正断層型地震 19
- 2. 3 十勝沖・根室沖の連動地震 25
- 2. 4 三陸沖北部の連動地震 31
- 2. 5 十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動地震 33
- 2. 6 地震の組合せに関するロジックツリー 35

2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.1 検討対象領域の設定:基本方針

コメントNo.161, 162

- 3.11地震から得られた知見を踏まえ、日本原子力学会(2012)に示される日本海溝及び千島海溝(南部)沿いの津波発生領域に、プレート間地震と津波地震の連動地震を追加設定した。
- 検討対象領域(詳細検討を実施する領域)は、概略検討により各津波波源が年超過確率に与える影響を把握し、年超過確率に与える影響が大きいと考えられる津波波源に該当する領域とした。
- 概略検討の詳細を次頁以降に示す。



日本海溝及び千島海溝(南部)沿い海域
の津波発生領域区分
(日本原子力学会(2012)に一部加筆)

■ 検討対象領域の設定

□ : 検討対象とした領域

コード	名称	備考
JTN2	宮城県沖	概略検討:p11～13
JTN3	三陸沖南部海溝寄り	概略検討:p11～13
JTN2+JTN3	宮城県沖+三陸沖南部海溝寄り(連動)	概略検討:p11～13
JTS1	福島県沖プレート間	概略検討:p11～13
JTT	津波地震	概略検討:p11～13
JTNR	海洋プレート内の正断層型地震	
①単独	十勝沖・根室沖の連動地震	
②単独	三陸沖北部の連動地震	
③単独	東北地方太平洋沖型の地震	概略検討:p14～16
①+②	十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動地震	
択捉島沖～房総沖	択捉島沖から房総沖の連動地震	概略検討:p17,18

2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.1 検討対象領域の設定:3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震, 津波地震及び遠地津波

- 3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震に伴う津波, 津波地震及び遠地津波が年超過確率に与える影響について, 土木学会(2016)を参考に検討した結果を以下に示す。
- 本検討から, 津波地震は年超過確率に与える影響は大きいと考えられる。

■土木学会(2016)

評価対象となる水位(X)の年超過確率に有意な影響を与える波源を評価対象とすればよく, 評価対象水位(X)と活動域による評価地点の最大水位上昇(下降)量(H)が, 以下の関係となる活動域は, 最終的な年超過確率に与える影響は微小であるとしている。

$$|X| > |H| \cdot \kappa^{2.3}$$

ここで, X:評価対象となる水位(敷地高や取水可能レベル), H:評価地点前面の最大水位上昇(下降)量, κ :津波高さに含まれるばらつき

- Hを既往津波高, 津波高さに含まれるばらつき κ を1.4とすると, $H \times \kappa^{2.3} = H \times 1.4^{2.3} \approx 2H$ となり, 評価対象水位(X)に対し, 既往津波高(H)が約1/2以下であれば, 年超過確率に与える影響は小さいと考えられる。
- 各津波の既往津波高(H)は下表のとおりであり, 評価対象水位(X)を基準津波に伴う敷地前面における最大水位上昇量21.58mとすると, 津波地震を除いて※1, 評価対象水位(X)の約1/2以下(21.58m/2=10.8m以下)である。

※1:津波地震は日本海溝沿いのどこでも発生すると評価することから(詳細はp22に記載), 1896年明治三陸地震津波の波源域に正対する岩手県の既往最大津波高を採用。

種別	津波発生領域(コード)	既往津波(Mw)※2	既往津波高:H	備考(既往津波高の参考文献)
3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震に伴う津波	宮城県沖(JTN2)	1978年(Mw7.7)	1.1m(宮城県女川町)※3	渡辺(1998)(全振幅)
	三陸沖南部海溝寄り(JTN3)	1897年(Mw7.8)	3.0m(宮城県女川町)※3	今村(1899)
	宮城県沖+三陸沖南部海溝寄り(連動)(JTN2+JTN3)	1793年(Mw8.2)	2m(宮城県女川町)※3	羽鳥(2000)
	福島県沖プレート間(JTS1)	1938年(Mw7.9)	0.55m(宮城県女川町)※3	渡辺(1998)(全振幅)
津波地震	三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート間地震(JTT)	1896年(Mw8.3)	3.5m(宮城県女川町)※3 26.2m(岩手県大船渡市)※4	中央气象台(1933), 伊木(1897), 松尾(1933)
遠地津波	チリ	1960年(Mw9.5)	3.3m(宮城県女川町鳴浜(敷地)) 6.1m(宮城県南三陸町)※5	チリ津波合同調査班(1961)
	カスケード	1700年(Mw9.1)	5m(岩手県大槌町)※5	Satake et al.(2003)

※2:土木学会(2011)を引用, ※3:発電所周辺における既往最大津波高, ※4:1896年明治三陸地震津波の波源域に正対する岩手県における既往最大津波高

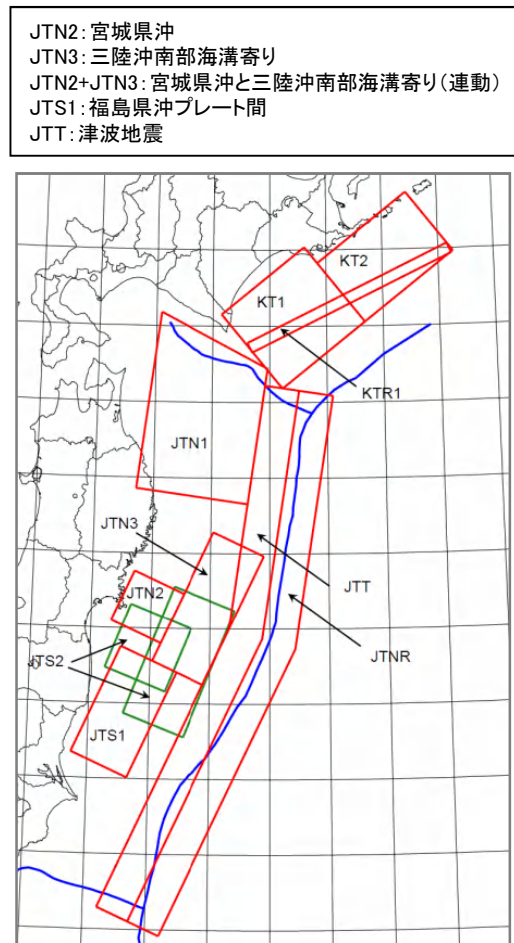
※5:東日本太平洋沿岸における既往最大津波高

2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.1 検討対象領域の設定:3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震, 津波地震①

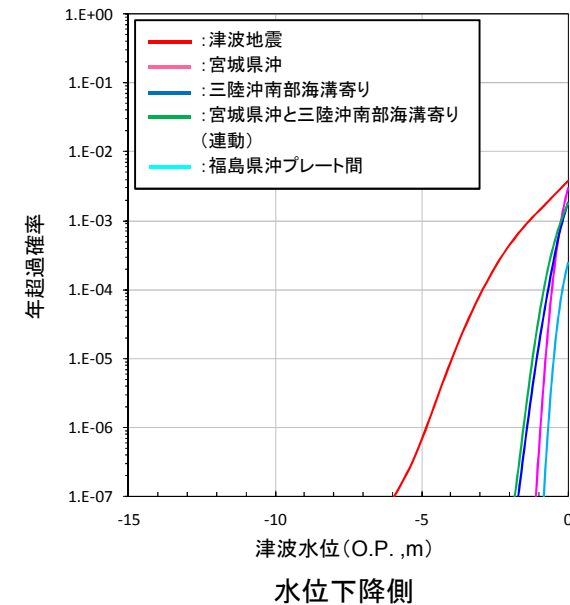
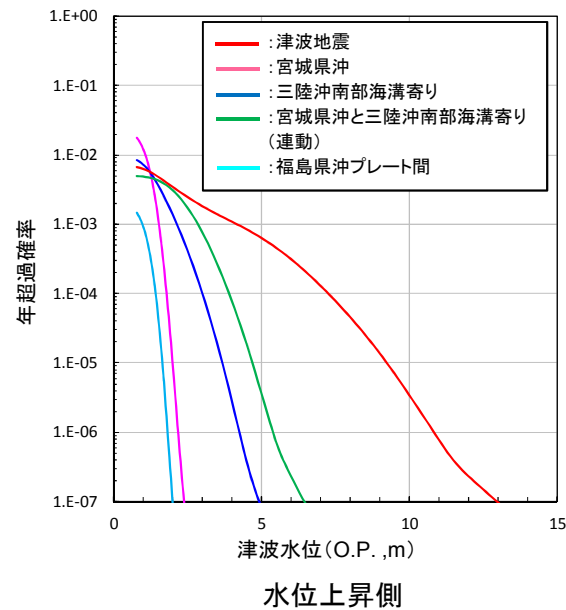
コメントNo.162

- 3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震に伴う津波, 津波地震を対象に, 土木学会(2011)を参考に設定した概略ロジックツリー(詳細は次頁に示す)を用いて算定した津波ハザード曲線を以下に示す。
- 本検討から, 津波地震は, 3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震に伴う津波と比較して年超過確率に与える影響は大きいことを確認した。



日本海溝及び千島海溝(南部)沿い海域
 の津波発生領域区分
 (日本原子力学会(2012))

■基準津波策定位置における津波ハザード曲線の比較



2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.1 検討対象領域の設定: 3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震, 津波地震②

コメントNo.162

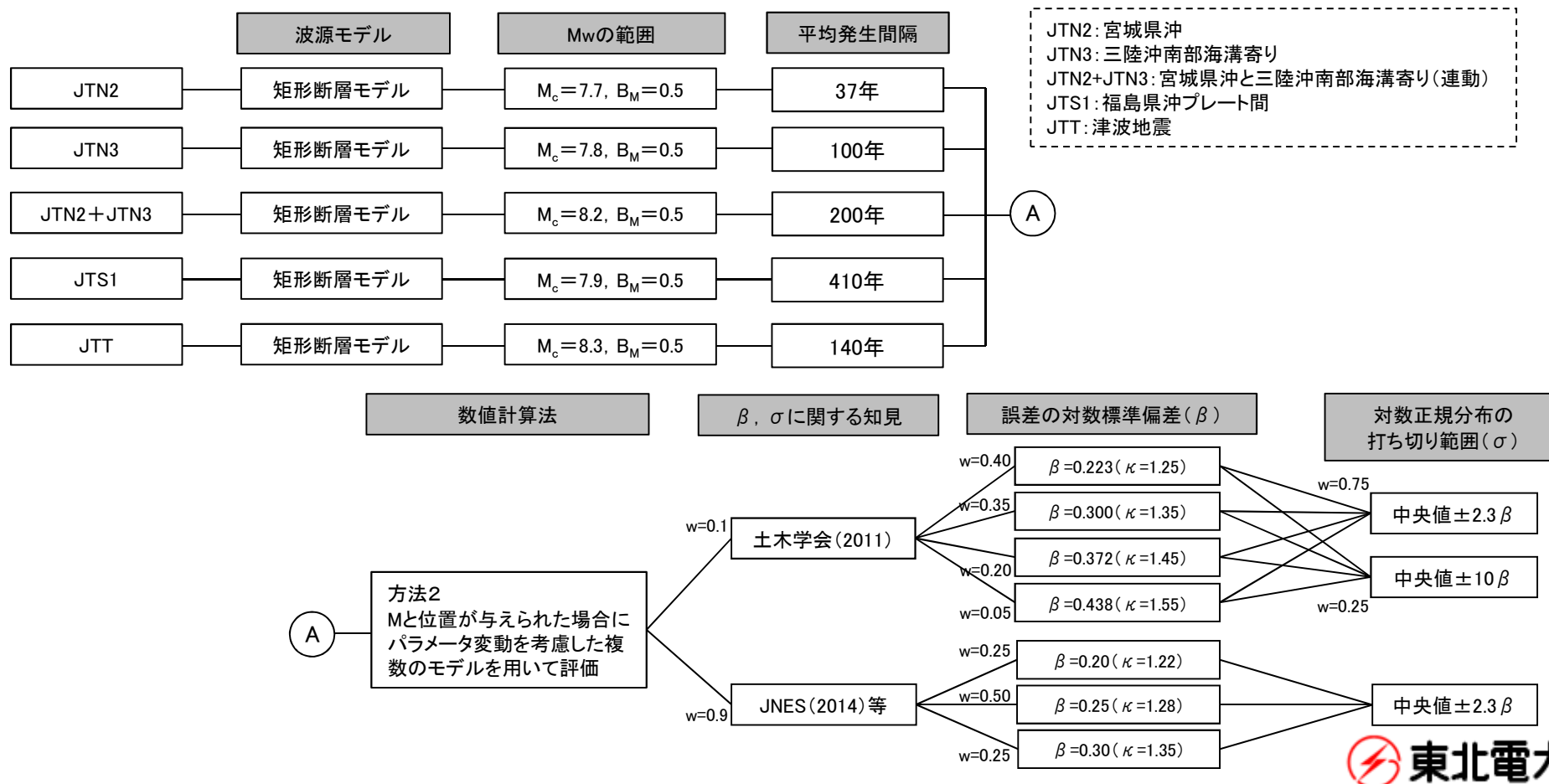
【概略ロジックツリー】

■ 津波発生モデルのロジックツリー

- ✓ 土木学会(2011)に示される各津波波源領域のロジックツリーを参考に作成した。平均発生間隔, M_w の範囲については, 各分岐のうち平均的な設定値を示す分岐を選定した。

■ 津波高さ推定に関するロジックツリー

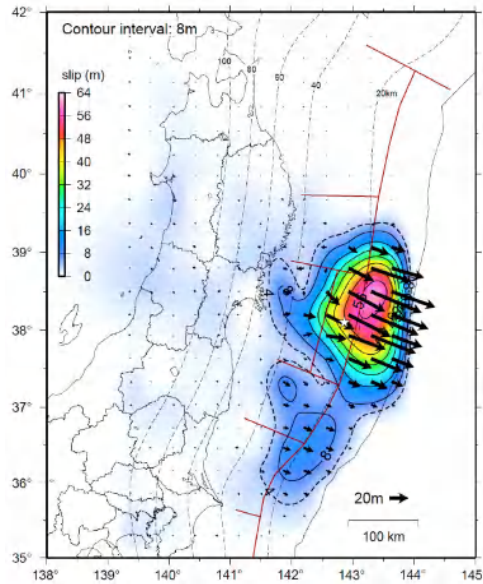
- ✓ 詳細検討に用いるロジックツリーと同じロジックツリーを用いた(ロジックツリーの詳細は, p38に記載)。



2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.1 検討対象領域の設定:東北地方太平洋沖型の地震①

- 地震調査研究推進本部(2012)では、次の東北地方太平洋沖型の地震の発生確率について、今後100年以内の発生確率をほぼ0%と評価している。



東北地方太平洋沖型地震の震源域
(地震調査研究推進本部(2012))

次の東北地方太平洋沖型地震の発生確率等
(地震調査研究推進本部(2012))

項目	将来の地震発生確率等 ^{注1}	備考	評価の信頼度 ^{注4}
今後10年以内の発生確率 今後20年以内の発生確率 今後30年以内の発生確率 今後40年以内の発生確率 今後50年以内の発生確率 今後100年以内の発生確率 今後300年以内の発生確率	ほぼ0% ほぼ0% ほぼ0% ほぼ0% ほぼ0% ほぼ0% 0.2%程度	津波堆積物調査で判明した過去3000年で4回の津波をもたらした地震及び2011年東北地方太平洋沖地震より、BPT分布モデルに平均発生間隔600年及び発生間隔のばらつき $\alpha = 0.24$ (データから最尤法により求めた値) を適用して算出した。	C
集積確率	ほぼ0%		
地震後経過率	0.00	経過時間0.8年を発生間隔600年で除した値。	
次の地震の規模	Mw8.4 ~9.0	過去に発生した地震のM, Mt, Mwを参考にし、総合的に判断した。	C

注1 評価時点は全て2012年1月1日現在。

注4 評価の信頼度

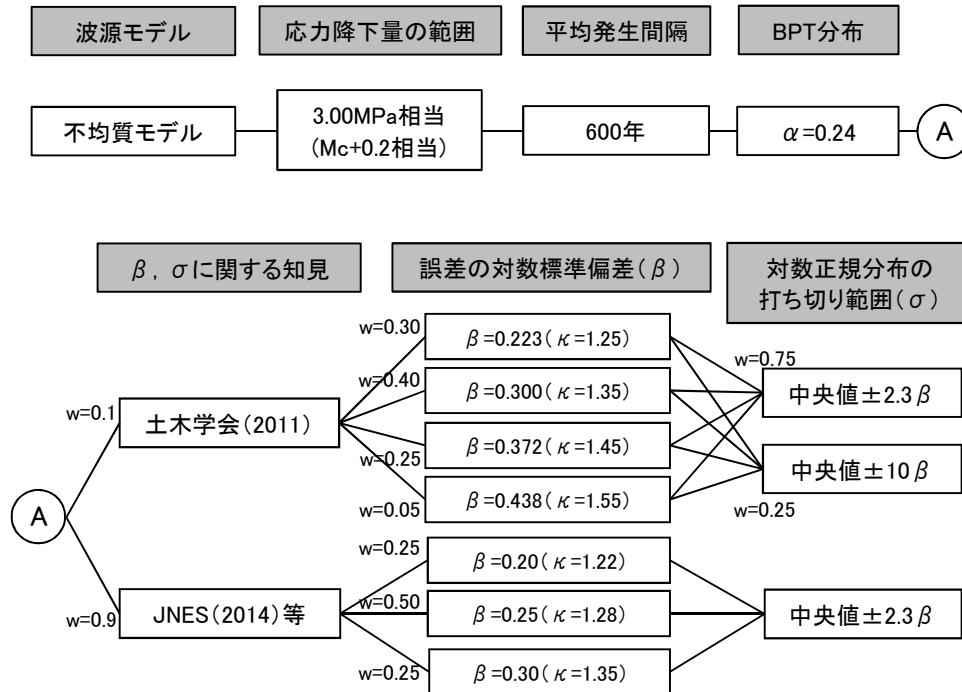
■ 発生確率の評価の信頼度: C

想定地震と同様な過去の地震データが少なく、必要に応じ地震学的知見を用いて発生確率を求めたため、発生確率の値の信頼性はやや低い。今後の新しい知見により値が大きく変わり得る。

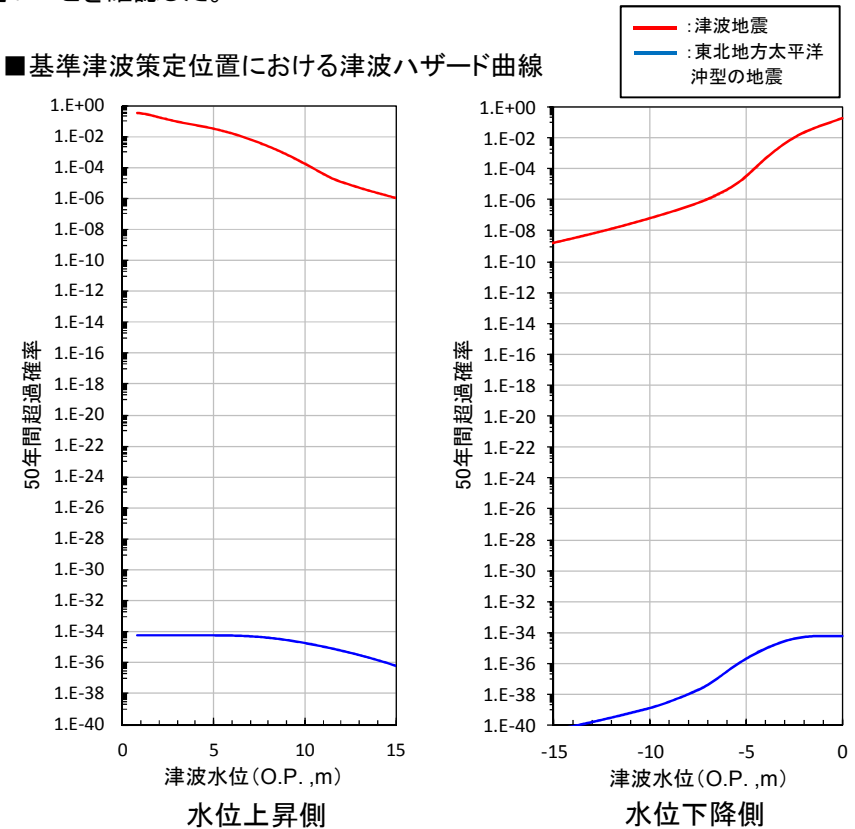
2.1 検討対象領域の設定: 東北地方太平洋沖型の地震②

- 土木学会(2016), 地震調査研究推進本部(2012)を参考に設定した概略ロジックツリーを用いて(各項目の詳細は次頁に記載), 評価基準日を2017年3月11日として算定した今後50年間の津波ハザード曲線を以下に示す。
- 本検討から, 東北地方太平洋沖型の地震が年超過確率に与える影響は十分に小さいことを確認した。

■概略ロジックツリー



■基準津波策定位置における津波ハザード曲線



(参考) 評価基準日(時間軸原点)の違いによる今後50年の地震発生確率

	評価基準日	今後50年の地震発生確率
東北地方太平洋沖型の地震	2011年3月11日	20~30%※1
	2017年3月11日	ほぼ0% (10 ⁻³⁵ ※2)

※1: 地震調査研究推進本部(2012)による評価

※2: 平均発生間隔600年, 最新活動時期2011年3月11日, α=0.24で算定

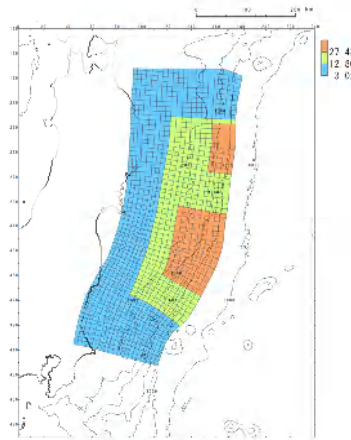
2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.1 検討対象領域の設定:東北地方太平洋沖型の地震③

■波源モデル

- 広域の津波特性を考慮した特性化モデル※を用いた。

※:特性化モデルの設定方法の詳細は、補足説明資料「5. 津波波源モデルの設定方法」に記載。



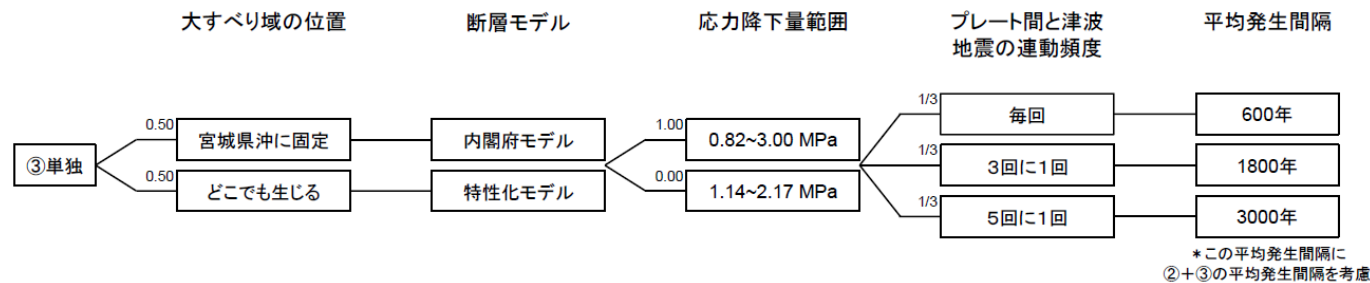
広域の津波特性を考慮した特性化モデル

主な断層諸元

断層パラメータ	設定値	
モーメントマグニチュード(Mw)	9.13	
断層面積(S)	129,034(km ²)	
平均応力降下量($\Delta\sigma$)	3.26MPa	
地震モーメント(Mo)	6.21×10^{22} (Nm)	
すべり量	平均すべり量(D)	9.82(m)
	大すべり域(1.4D)	12.80(m)
	超大すべり域(3D)	27.43(m)
	背景領域(0.33D)	3.02(m)

■応力降下量の範囲

- 土木学会(2016)に示される応力降下量の範囲のうち上限に相当する応力降下量を用いた。



東北地方太平洋沖型の地震(③単独)のロジックツリー(土木学会(2016))

■平均発生間隔, BPT分布

- 地震調査研究推進本部(2012)を参考に設定した。

■津波高さ推定に関するロジックツリー

- 詳細検討に用いるロジックツリーと同じロジックツリーを用いた(ロジックツリーの詳細は、p38に記載)。

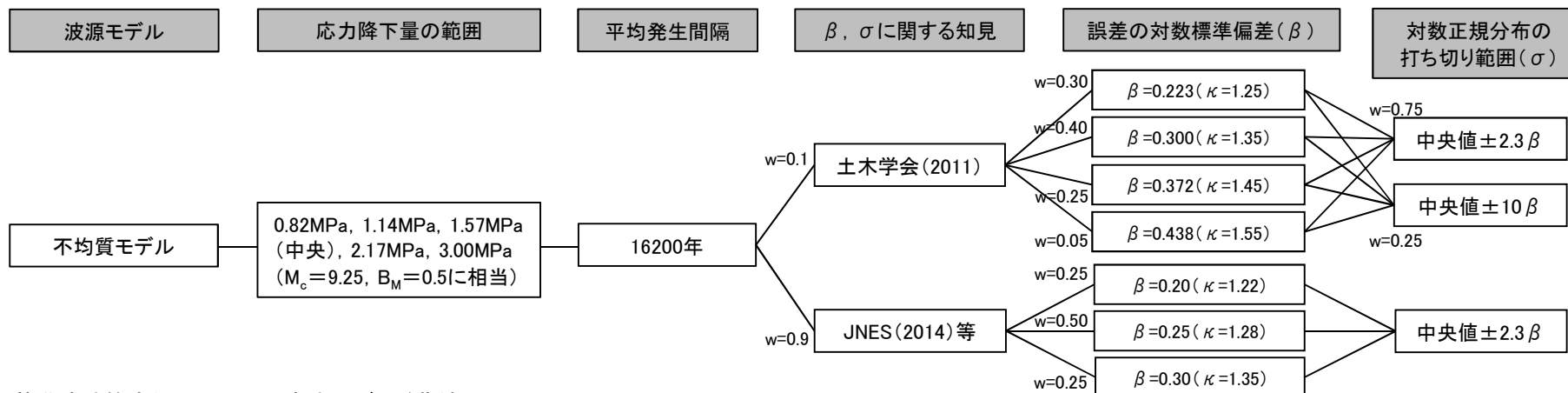
2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.1 検討対象領域の設定: 択捉島沖から房総沖の連動地震①

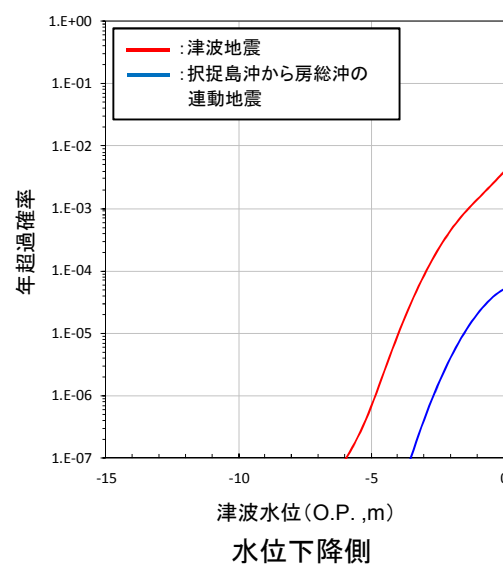
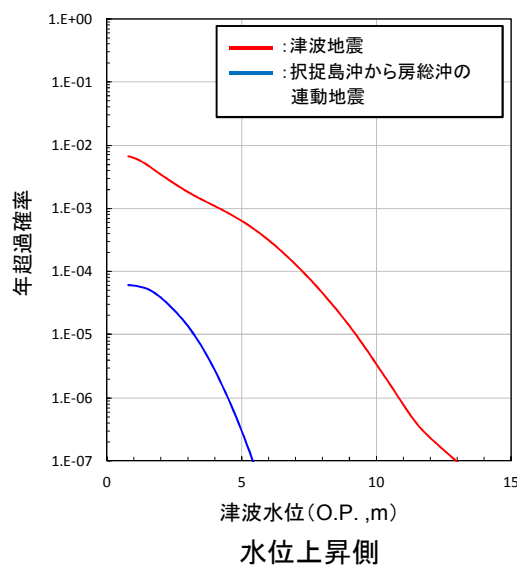
コメントNo.162

- 土木学会(2016)等を参考に設定した概略ロジックツリーを用いて算定した津波ハザード曲線を以下に示す(各項目の詳細は次頁に記載)。
- 本検討から、択捉島から房総沖の連動地震は、津波地震と比較して年超過確率に与える影響は小さいことを確認した。

■概略ロジックツリー



■基準津波策定位置における津波ハザード曲線

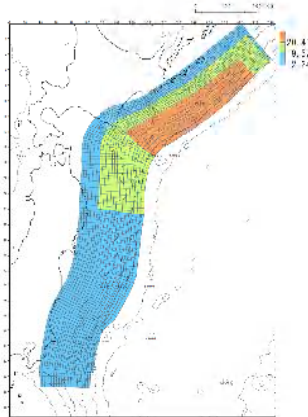


2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.1 検討対象領域の設定: 択捉島沖から房総沖の連動地震②

■波源モデル

- 広域の津波特性(痕跡高)を考慮できる杉野ほか(2014)の方法を用いて設定した。



特性化モデル
($M_w(M_c)=9.25$)

主な断層諸元

断層パラメータ	設定値	備考
モーメントマグニチュード(M_w)	9.25	
断層面積(S)	278,498(km^2)	
平均応力降下量($\Delta\sigma$)	1.57MPa	Murotani et al.(2013)で示される平均値
地震モーメント(M_0)	9.47×10^{22} (Nm)	
すべり量	平均すべり量(D)	6.80(m)
	大すべり域(1.4D)	9.52(m)
	超大すべり域(3D)	20.41(m)
	背景領域(0.33D)	2.24(m)

■応力降下量の範囲

- 土木学会(2016)を参考に設定した(詳細は, p29 に記載)。

■平均発生間隔

- 土木学会(2016)に示される十勝沖・根室沖から茨城県沖の連動地震の平均発生間隔の平均的な設定値を示す分岐を選定した。

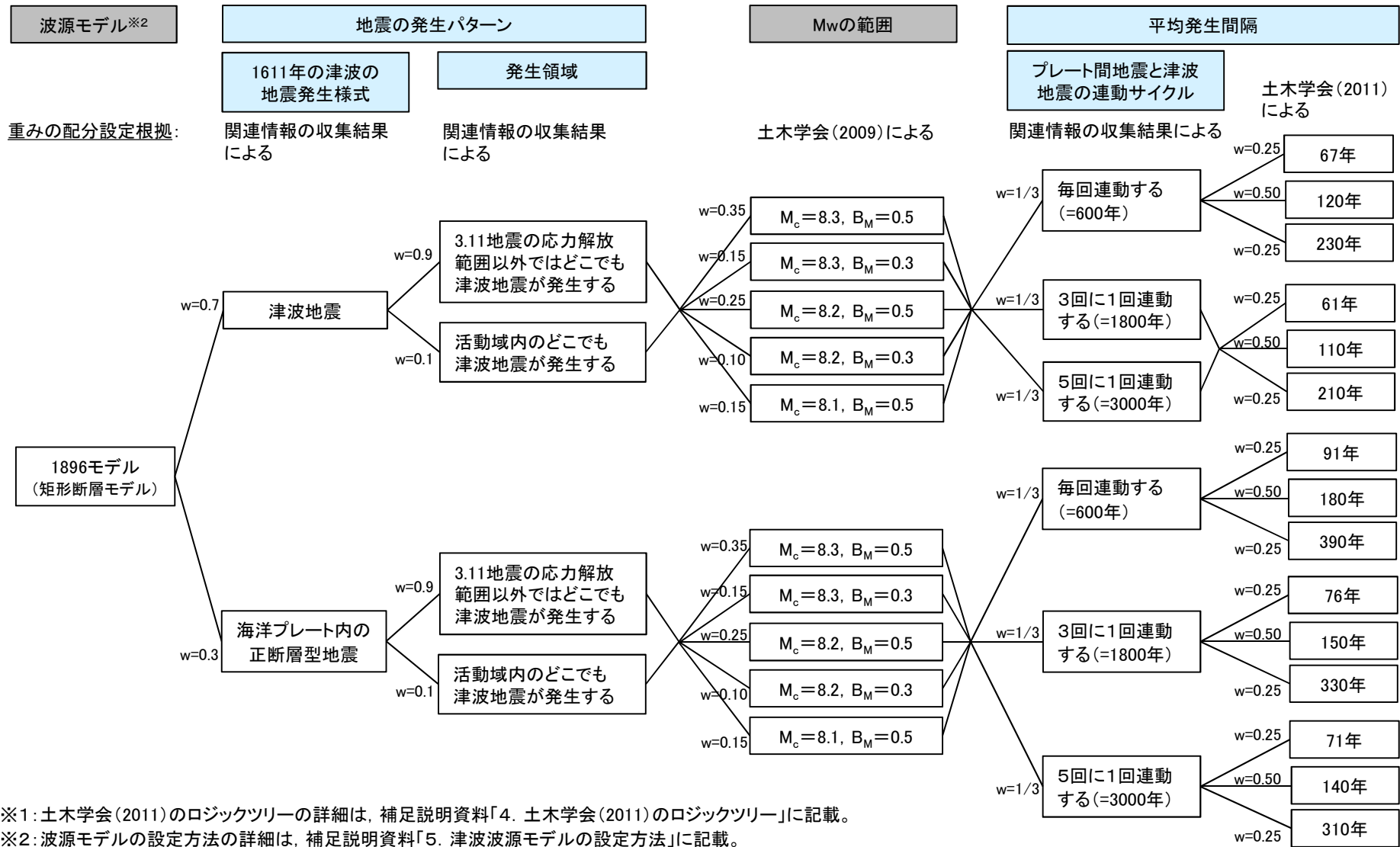
■津波高さ推定に関するロジックツリー

- 詳細検討に用いるロジックツリーと同じロジックツリーを用いた(ロジックツリーの詳細は, p38に記載)。

2.2 津波地震, 海洋プレート内の正断層型地震: 津波地震のロジックツリー

- 土木学会(2011)のロジックツリー※1を基本に, 3.11地震から得られた知見等を踏まえてロジックツリーを作成した。
- なお, Mwの範囲と平均発生間隔の組み合わせ(ロジックツリー)は, 土木学会(2011)と同様に, 各項目の分岐を一律に組み合わせた。

□ : 土木学会(2011)からの変更箇所



※1: 土木学会(2011)のロジックツリーの詳細は, 補足説明資料「4. 土木学会(2011)のロジックツリー」に記載。

※2: 波源モデルの設定方法の詳細は, 補足説明資料「5. 津波波源モデルの設定方法」に記載。

2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

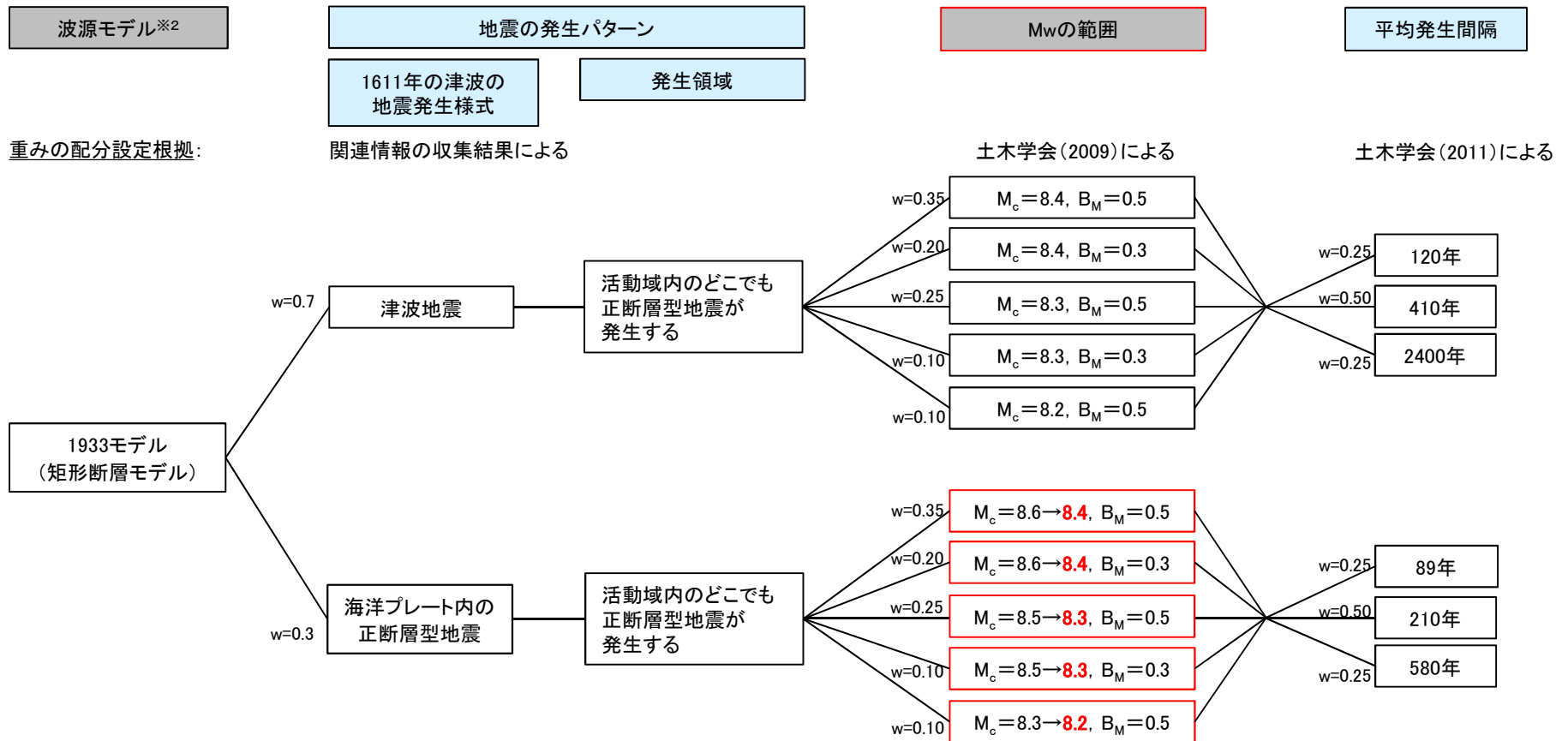
2.2 津波地震, 海洋プレート内の正断層型地震: 海洋プレート内の正断層型地震のロジックツリー

- 土木学会(2011)のロジックツリー※1を基本に, 3.11地震から得られた知見等を踏まえてロジックツリーを作成した。
- なお, Mwの範囲と平均発生間隔の組み合わせ(ロジックツリー)は, 土木学会(2011)と同様に, 各項目の分岐を一律に組み合わせた。

コメントNo.163

□: 土木学会(2011)からの変更箇所

□: 第439回審査会合(H29.2.3)コメントを踏まえた修正箇所



※1: 土木学会(2011)のロジックツリーの詳細は, 補足説明資料「4. 土木学会(2011)のロジックツリー」に記載。
 ※2: 波源モデルの設定方法の詳細は, 補足説明資料「5. 津波波源モデルの設定方法」に記載。

2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.2 津波地震, 海洋プレート内の正断層型地震: 1611年の津波の地震発生様式

- 土木学会(2011), 地震調査研究推進本部(2012)等では1611年の津波を津波地震と評価しているが, 土木学会(2002)では海洋プレート内の正断層型地震であった場合, その地震規模をMw8.6と評価している。
 - 今井ほか(2012)は, 1611年の津波痕跡に基づく数値シミュレーション, 並びに史料記述の再解釈から, 1611年の津波が海洋プレート内の正断層型地震であった可能性を指摘している。
 - 以上を踏まえ, 1611年の津波の地震発生様式に関する分岐(=津波地震/海洋プレート内の正断層型地震)を追加設定した。
 - 上記分岐のうち海洋プレート内地震のMc(中央マグニチュード)は, 地震規模, 並びに各機関の評価事例に係る関連情報の収集結果を踏まえ8.4とした^{※1}。
 - 重み配分については, 1611年の津波の発生様式に係る知見の収集結果から, 津波地震の重みを0.7, 海洋プレート内の正断層型地震の重みを0.3とした。
- ※1: 専門家意見聴取結果を踏まえて設定した。意見聴取結果の詳細は, 補足説明資料「6. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討」に記載。

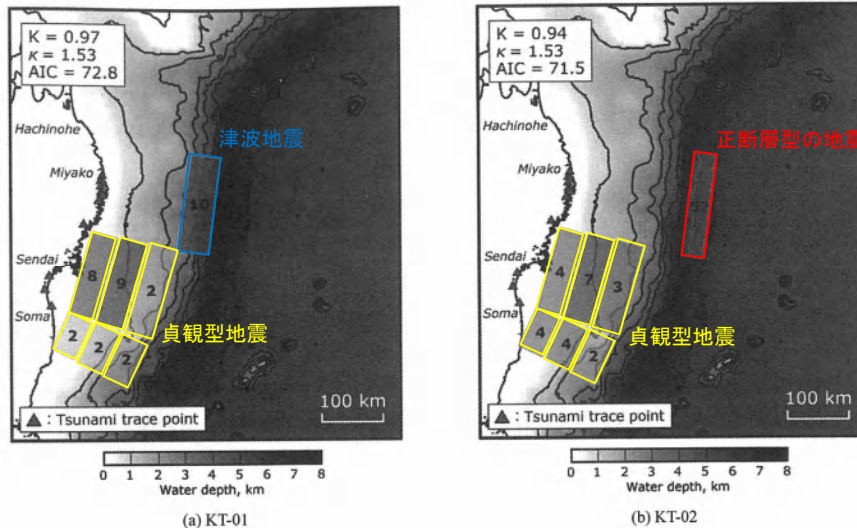
【今井ほか(2012)】

- プレート境界地震の断層面に加え, アウターライズ領域の正断層地震の断層面を考慮して痕跡高の逆解析を実施した結果, 以下の2つの地震モデル(KT-01, KT-02)が得られた^{※2}。
- 宮古由来記には, 津波来襲前に轟音が鳴り響いたといった宏観現象の記述が残されている。
- アウターライズ領域で発生する正断層型地震はプレート境界地震と密接に関係することも踏まえると, 正断層型地震の方がより矛盾なく解釈できるが, 津波地震を完全に否定することはできない。

※2: 逆断層地震と正断層地震の発生時間差は考慮していないが, 沿岸の津波高さに与える影響は小さいことを確認。

【1611年の津波の発生様式に係る知見の収集結果】

関連情報	1611年の津波の発生様式
相田(1977)	海洋プレート内の正断層型地震
土木学会(2002)	津波地震, 海洋プレート内の正断層型地震
地震調査研究推進本部(2002)	津波地震
中央防災会議(2005)	津波地震
土木学会(2009)	津波地震
地震調査研究推進本部(2012)	津波地震
今井ほか(2012)	海洋プレート内の正断層型地震
岩淵(2013)	津波地震

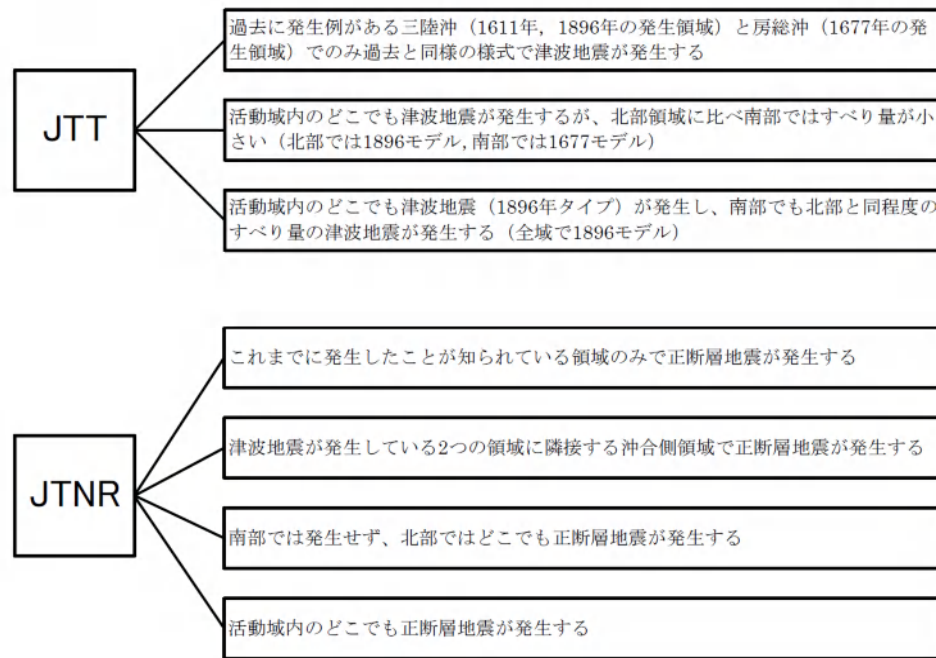


津波痕跡高から得られた1611年の津波のすべり量分布
(断層面内の数字はすべり量(m))
(今井ほか(2012)に一部加筆)

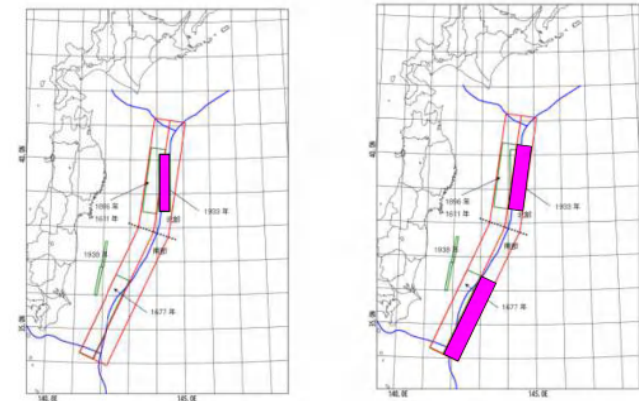
2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.2 津波地震, 海洋プレート内の正断層型地震: 地震の発生パターン

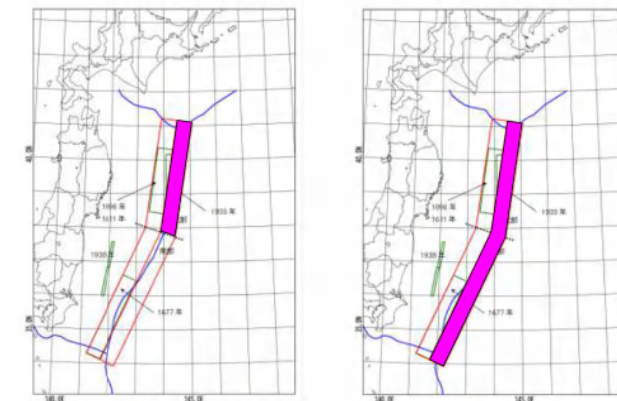
- 土木学会(2011)では, 地震の発生パターンに分岐を設定しているが, 地震調査研究推進本部(2012)の評価, 3.11地震で得られた知見を踏まえ, 日本海溝沿いのどこでも地震が発生する分岐のみとした。
- なお, 津波地震については, M9クラスの巨大地震と同様に, 3.11地震の応力解放範囲で発電所供用期間中に地震が発生する可能性は小さいと考えられるものの, 津波地震単独で活動する際に必要な歪みは, M9クラスの巨大地震と比較して小さいことを踏まえ, 応力解放範囲で津波地震が発生する場合の分岐を設定した。重み配分については, 重みの配分設定方法(p8)に基づき設定した。



地震の発生パターンに関する分岐
(JTT: 津波地震, JTNR: 海洋プレート内の正断層型地震)
(土木学会(2011))



①これまでに発生したことが知られている領域のみで発生する
②津波地震が発生している2つの領域に隣接する沖合側領域で発生する



③南部では発生せず, 北部ではどこでも発生する
④活動域内のどこでも発生する

海洋プレート内の正断層型地震の発生位置
(土木学会(2009))

2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.2 津波地震, 海洋プレート内の正断層型地震: 平均発生間隔①

コメントNo.163

■基本方針

- ・ 土木学会(2011), 土木学会(2016)と同様に固有地震モデルに基づく方法を用いて, 以下の考え方に基づき, 平均発生間隔を設定した。

津波発生領域	1611年の津波は津波地震			1611年の津波は正断層型地震		
	既往地震	中央マグニチュード (Mc)	発生間隔等	既往地震	中央マグニチュード (Mc)	発生間隔等
津波地震 (JTT)	1611年 1677年 1896年	8.3 (1896年)	1600年以降 約400年間におい て発生は4回 (3.11地震を含む)。	1677年 1896年	8.3 (1896年)	1600年以降 約400年間におい て発生は3回 (3.11地震を含む)。
海洋プレート内の 正断層型地震 (JTNR)	1933年	8.4 (1933年)	1600年以降 約400年間におい て発生は1回。	1611年 1933年	8.4 (1933年)	1600年以降 約400年間におい て発生は2回。

2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.2 津波地震, 海洋プレート内の正断層型地震: 平均発生間隔②

■津波地震の平均発生間隔の設定

- プレート間地震と津波地震の連動地震である東北地方太平洋沖型の地震, 三陸沖北部の連動地震の平均発生間隔と重複しないように(=連動サイクルを考慮して)設定した。
- 東北地方太平洋沖型の地震, 三陸沖北部の連動地震の平均発生間隔の設定方法を以下に示す。
- 重み配分については, 現時点の知見で判断するのは困難であることから, 均等配分とした。

【東北地方太平洋沖型の地震の平均発生間隔の設定】

- 600年間隔で, 毎回プレート間地震と津波地震が連動する。
- 15世紀の津波と869年の津波はプレート間地震単独であったとの前提に立ち, 3回に1回のサイクルで津波地震と連動する。
- 3.11地震より前の4回の地震は全てプレート間地震単独であったとの前提に立ち, 5回に1回のサイクルで津波地震と連動する。

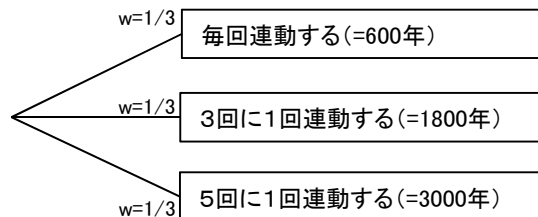
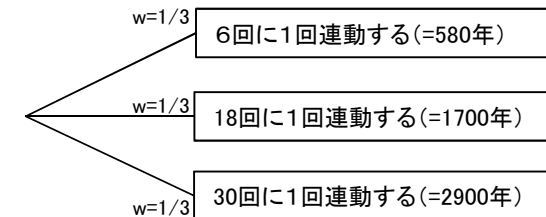
地震調査研究推進本部(2012)による東北地方太平洋沖型の地震の評価

地震発生領域	地震発生日月日	地震の平均的発生頻度等 注1	地震規模			死傷者数注5	
			M 注2	Mt 注3	Mw 注4	死者	負傷者
東北地方太平洋沖型の地震	2011/ 3/11 14:46	平均発生間隔は600年程度	9.0 注2	9.1 ~ 9.4	9.0	16,019 行方不明 3,805	6,121
	15世紀 869/ 7/13 4-5世紀 紀元前3-4世紀		8.3		8.4~ 注4	多数	-

※: 注1~注5の解説については省略

【三陸沖北部の連動地震の平均発生間隔の設定】

- プレート間地震と津波地震の連動地震が発生した記録が無いことを踏まえ, 東北地方太平洋沖型の地震(③単独)の平均発生間隔(600年)を参考に, プレート間地震(1677年, 1763年, 1856年, 1968年)の平均発生間隔(97年)の6回に1回(600年間隔に相当), 18回に1回(1800年間隔に相当), 30回に1回(3000年間隔に相当)のサイクルで津波地震と連動するとした。

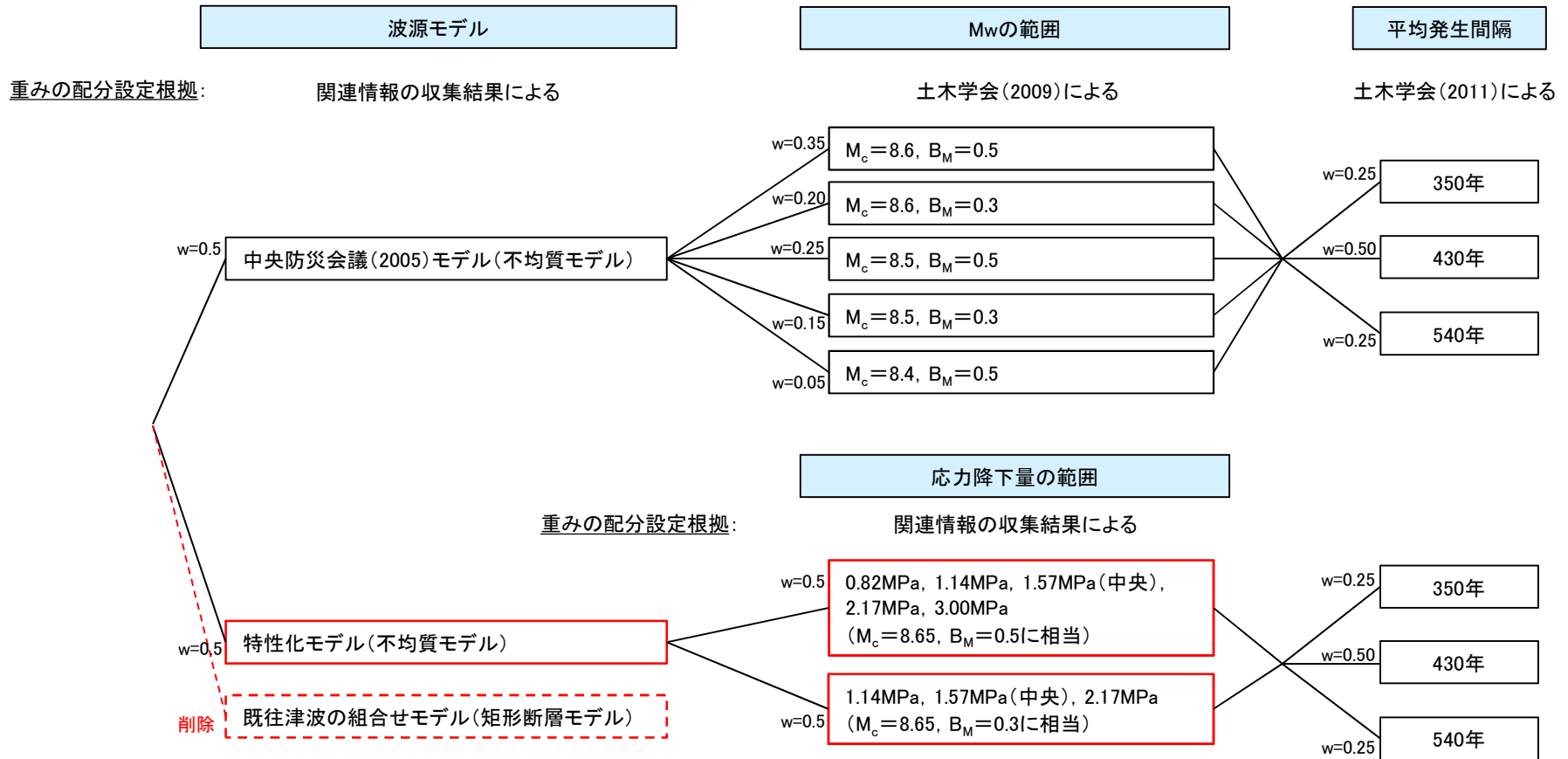


2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.3 十勝沖・根室沖の連動地震:ロジックツリー

■ : 土木学会(2011)からの変更箇所(新規設定)

■ : 申請時からの変更箇所



2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.3 十勝沖・根室沖の連動地震:波源モデル, 平均発生間隔

■波源モデル

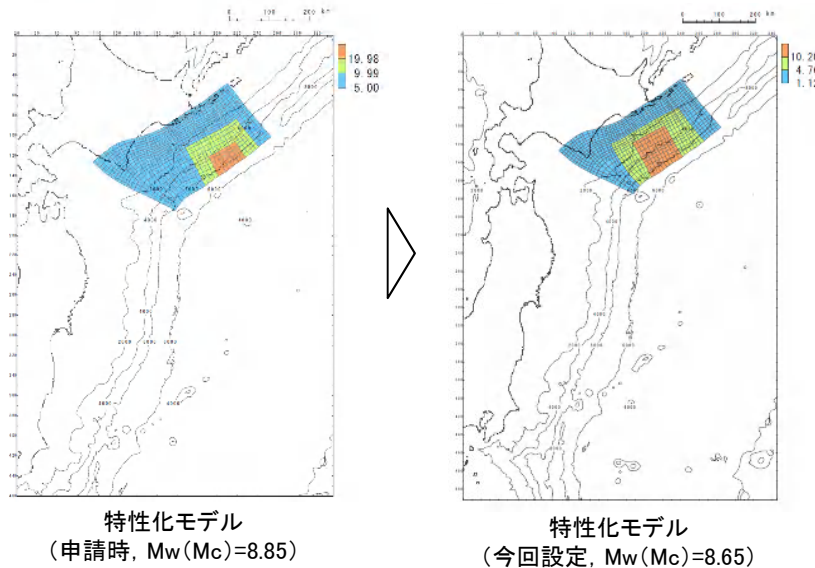
【中央防災会議(2005)モデル】

- 北海道太平洋岸で確認された津波堆積物から推定される津波高を用いたインバージョンモデル(Mw8.6)(詳細は次頁に記載)。

【特性化モデル(申請時から変更(審査結果の反映))】

- 申請時は, 3.11地震における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方法*を用いたが, 確率論的ハザードを評価するうえでは広域の津波特性(痕跡高)を考慮することが重要であると考え, 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定方法(以下,「杉野ほか(2014)の設定方法」という。)*を用いた。

※:各特性化モデルの設定方法の詳細は, 補足説明資料「5. 津波波源モデルの設定方法」に記載。

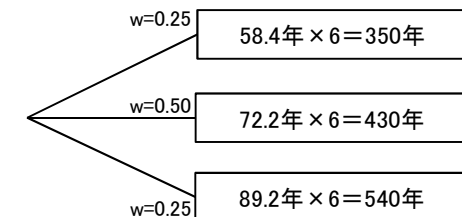


主な断層諸元

断層パラメータ		設定値	備考
モーメントマグニチュード (Mw)		8.65	
断層面積(S)		69,513(km ²)	
平均応力降下量($\Delta\sigma$)		1.57MPa	Murotani et al.(2013)で示される平均値
地震モーメント(Mo)		1.18×10^{22} (Nm)	
すべり量	平均すべり量(D)	3.40(m)	
	大すべり域(1.4D)	4.76(m)	
	超大すべり域(3D)	10.20(m)	
	背景領域(0.33D)	1.12(m)	

■平均発生間隔

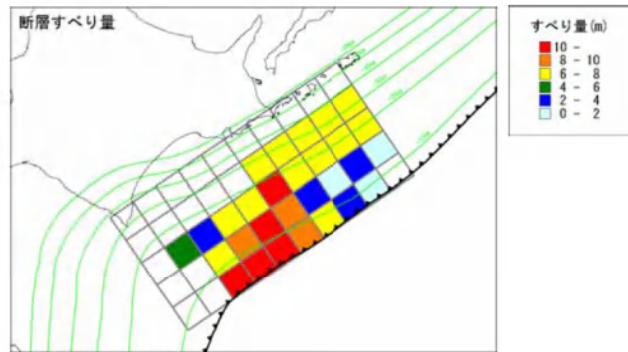
- 十勝沖, 根室沖, 色丹島沖, 択捉島沖で発生している各地震の平均発生間隔(72.2年)(地震調査研究推進本部(2004)), 並びに十勝沖の地震と根室沖の地震の連動サイクル(6回に1回連動)(土木学会(2011))を基に, 土木学会(2011)に示される固有地震の平均発生間隔の誤差を考慮して設定した。
- 重み配分については, 土木学会(2011)の正規分布に対する分岐設定方法を用いて設定した。



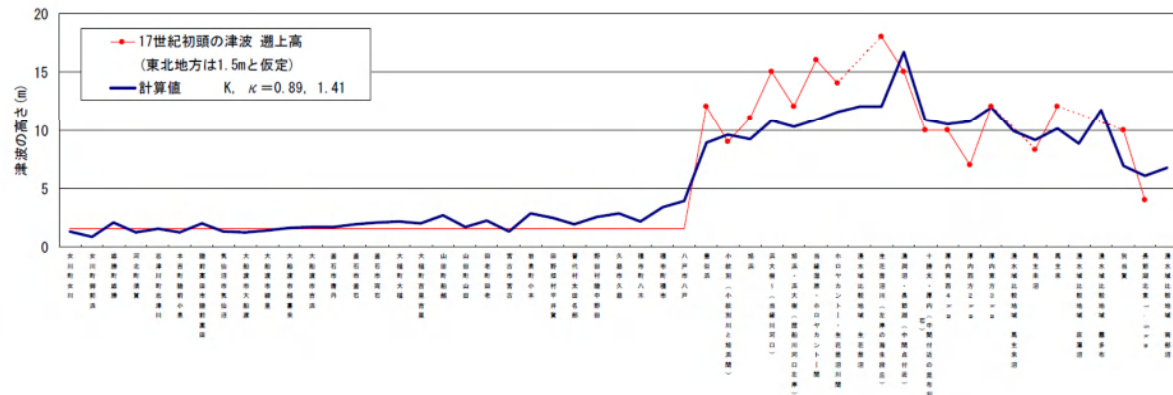
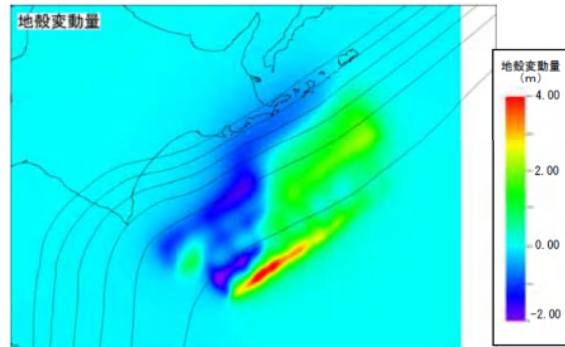
2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.3 十勝沖・根室沖の連動地震:中央防災会議(2005)モデル

- 津波堆積物から推定された北海道沿岸の津波高さ及び浸水域の広がり参照して、インバージョン手法により、500年間隔地震の想定断層を推定したモデルである。



Mw=8.6		各セグメントのすべり量分布(m)									
深度	走向方向										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0.0	1.2	3.6	6.7	9.8	12.9	17.2	12.8	0.0	0.0	
2	0.5	2.3	1.7	3.9	8.7	12.6	9.1	6.1	0.0	0.0	
3	7.0	7.0	7.0	7.0	10.1	7.3	6.1	3.0	5.8	0.0	
4	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	



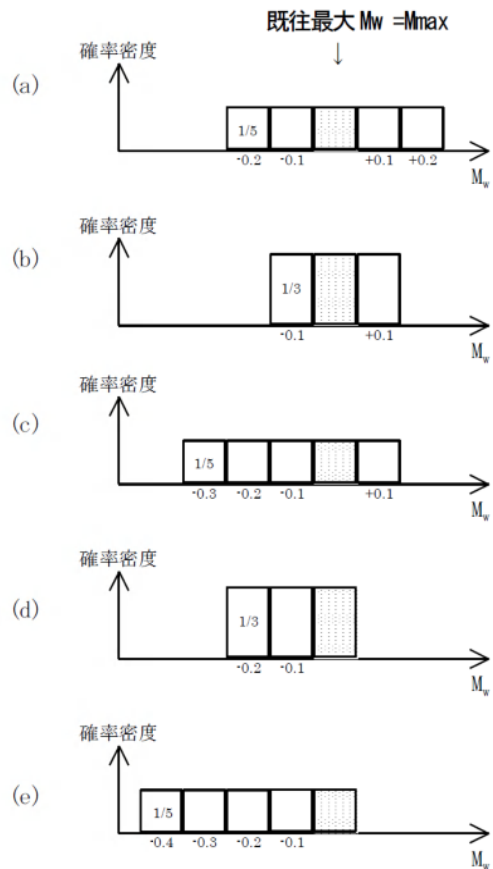
断層モデル及び17世紀初頭の津波の遡上高と計算値の比較等
(内閣府中央防災会議(2005))

2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.3 十勝沖・根室沖の連動地震:Mwの範囲①

■中央防災会議(2005)モデル

- 土木学会(2011)を参考に、中央防災会議(2005)モデルの地震規模(Mw8.6)をMc(中央マグニチュード)とし、Mwの範囲は0.3、0.5とした。
- 重み配分については、土木学会(2009)による十勝沖と根室沖の連動地震の重みを準用した。



Mwの範囲の分岐
(土木学会(2009))

十勝沖(KT1)と根室沖(KT2)の連動地震のMwの範囲の重みに関するアンケート結果
(土木学会(2009))

パターン	既往最大との関係	Mwの幅	Mwの範囲 (Mmax=8.6) 下段:すべり量(m)							重み【ご記入ください】
			8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	
			4.2	4.7	5.3	5.9	6.7	7.5	8.4	
a.	既往最大を上回る地震が発生する	0.5								0.35[0.40]
b.		0.3							0.20[0.15]	
c.		0.5							0.25[0.20]	
d.	既往最大を上回る地震は発生しない	0.3								0.15[0.20]
e.		0.5								0.05[0.05]
特記事項【できるだけご記入ください】									重みの合計 1.0	

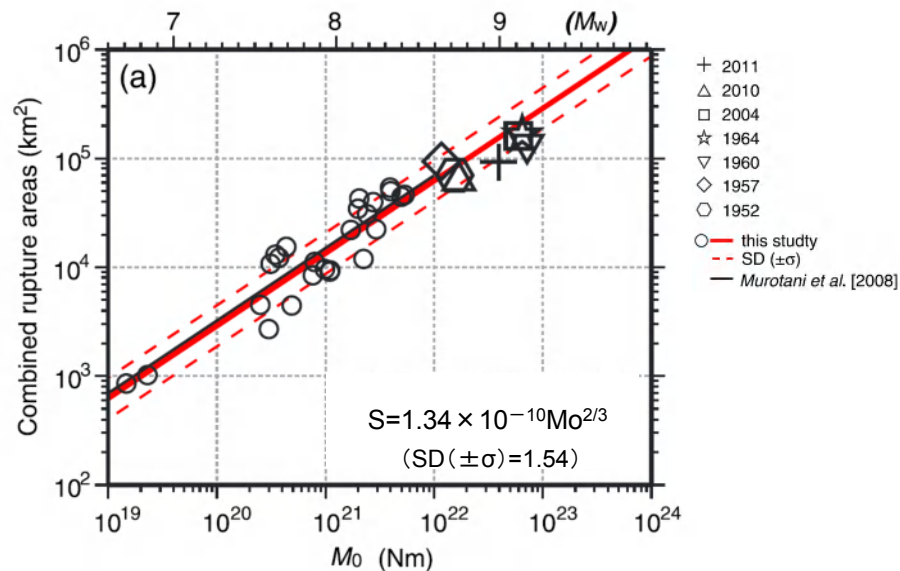
[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.3 十勝沖・根室沖の連動地震: M_w の範囲②

■特性化モデル(申請時から変更(最新知見の反映))

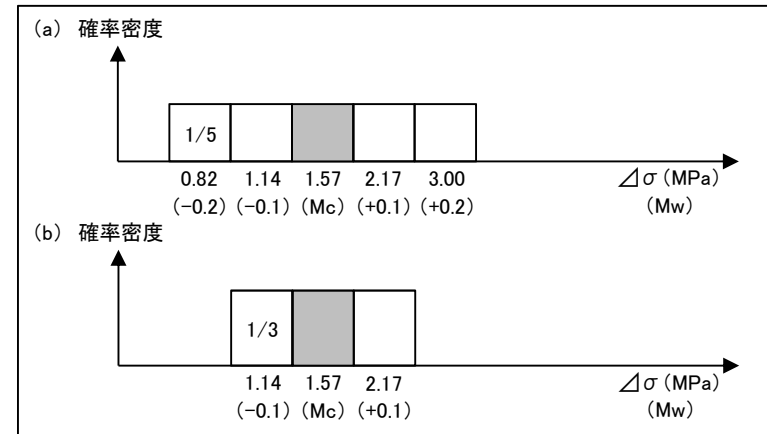
- 土木学会(2016)は, Murotani et al.(2013)のスケーリング則による応力降下量の平均値1.57MPaに, ばらつきとして $\pm 1\sigma$ を考慮した場合の応力降下量の範囲は0.82~3.00MPa, $\pm 0.5\sigma$ を考慮した場合は1.14~2.17MPaであり, M_w の範囲としてそれぞれ $M_w \pm 0.2$, $M_w \pm 0.1$ となるが, これは土木学会(2011)で採用している M_w の範囲にほぼ相当するため, ロジックツリーの分岐として考えることができるとしている。また, Murotani et al.(2013)の関係から応力降下量3.0MPaは, パラメータの標準偏差の範囲で上限的な応力降下量であるとしている。
- 以上から, 応力降下量の範囲(M_w の範囲)の分岐を以下のとおり設定し, 重み配分については均等配分とした。



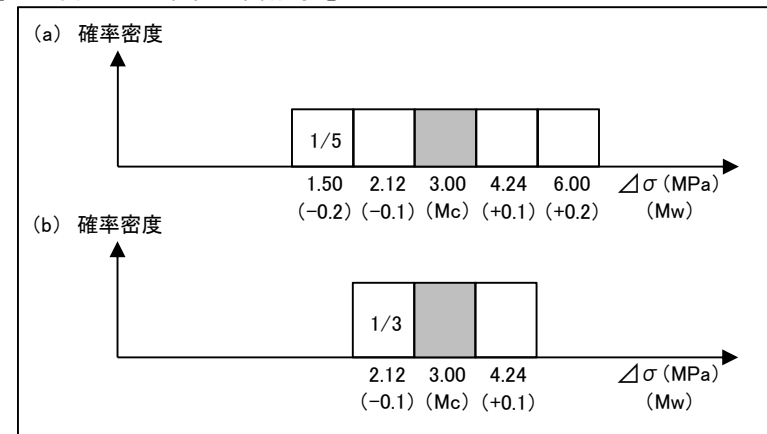
平均応力降下量 $\Delta\sigma = 1.57\text{MPa}$
 $S + 1\sigma$ 時の平均応力降下量 $\Delta\sigma = 0.82\text{MPa}$
 $S - 1\sigma$ 時の平均応力降下量 $\Delta\sigma = 3.00\text{MPa}$
 $S + 0.5\sigma$ 時の平均応力降下量 $\Delta\sigma = 1.14\text{MPa}$
 $S - 0.5\sigma$ 時の平均応力降下量 $\Delta\sigma = 2.17\text{MPa}$

破壊領域(S)と M_o の関係
 (Murotani et al.(2013))

【応力降下量の範囲(今回変更)】



【応力降下量の範囲(申請時)】



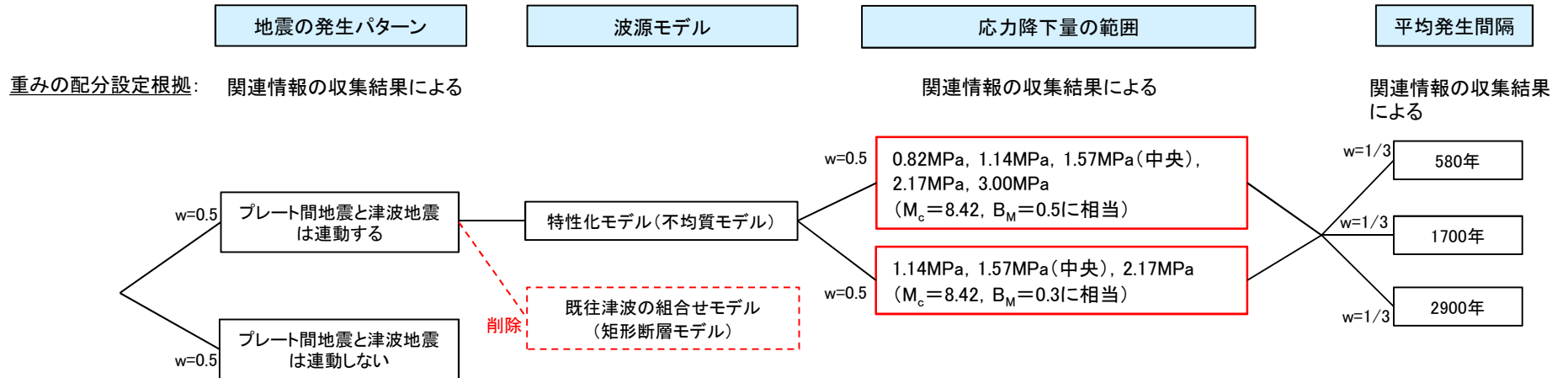
余白

2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.4 三陸沖北部の連動地震:ロジックツリー

: 土木学会(2011)からの変更箇所(新規設定)

: 申請時からの変更箇所



2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

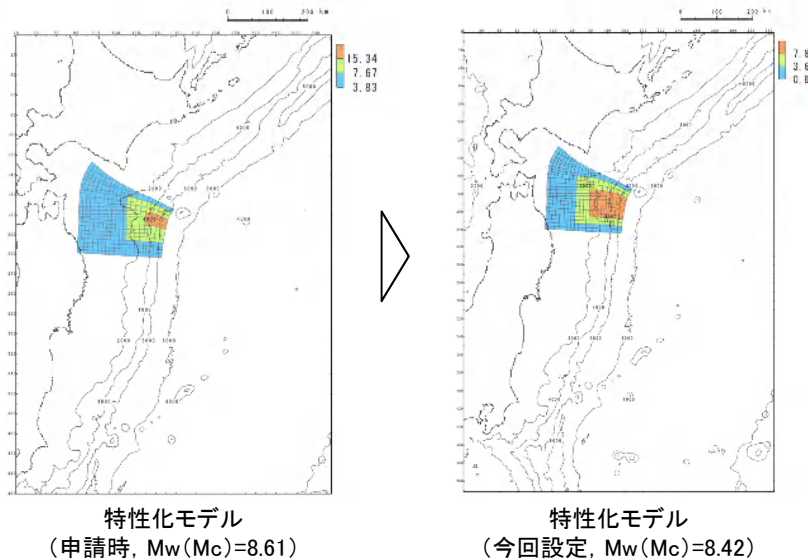
2.4 三陸沖北部の連動地震:地震の発生パターン, 波源モデル, 応力降下量の範囲, 平均発生間隔

■地震の発生パターン

- 本領域では, プレート間地震と津波地震の連動地震が発生した記録が無いことを踏まえ, 地震発生様式に関する分岐(=プレート間地震と津波地震は連動する/連動しない)を追加設定した。
- 重み配分については, 現時点の知見で判断するのは困難であることから, 均等配分とした。

■波源モデル(申請時から変更(審査結果の反映))

- 十勝沖・根室沖の連動地震と同様に, 杉野ほか(2014)の設定方法を用いた。



主な断層諸元

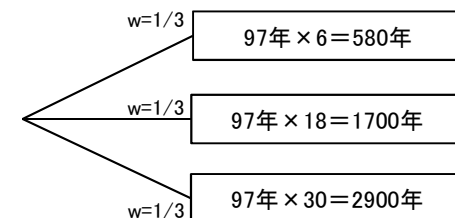
断層パラメータ		設定値	備考
モーメントマグニチュード (Mw)		8.42	
断層面積(S)		40,959 (km ²)	
平均応力降下量($\Delta\sigma$)		1.57MPa	Murotani et al.(2013)で示される平均値
地震モーメント(Mo)		5.43×10^{21} (Nm)	
すべり量	平均すべり量(D)	2.61 (m)	
	大すべり域(1.4D)	3.65 (m)	
	超大すべり域(3D)	7.83 (m)	
	背景領域(0.33D)	0.86 (m)	

■応力降下量の範囲(申請時から変更(最新知見の反映))

- 十勝沖・根室沖の連動地震と同様の考え方で分岐・重みを設定した。

■平均発生間隔

- 本領域では, プレート間地震と津波地震の連動地震が発生した記録がないことを踏まえ, 東北地方太平洋沖型の地震の平均発生間隔(600年)を参考として, プレート間地震(1677年, 1763年, 1856年, 1968年)の平均発生間隔(97年)の6回に1回(600年間隔に相当), 18回に1回(1800年間隔に相当), 30回に1回(3000年間隔に相当)発生するとした。
- 重み配分については, 現時点の知見で判断するのは困難であることから, 均等配分とした。

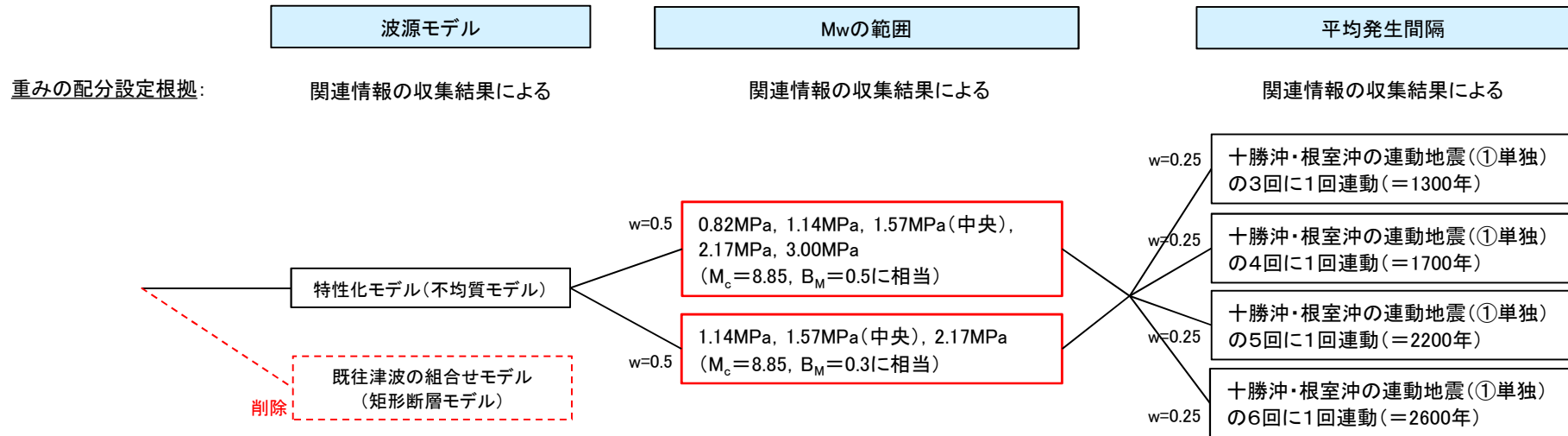


2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.5 十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動地震:ロジックツリー

 : 土木学会(2011)からの変更箇所(新規設定)

 : 申請時からの変更箇所

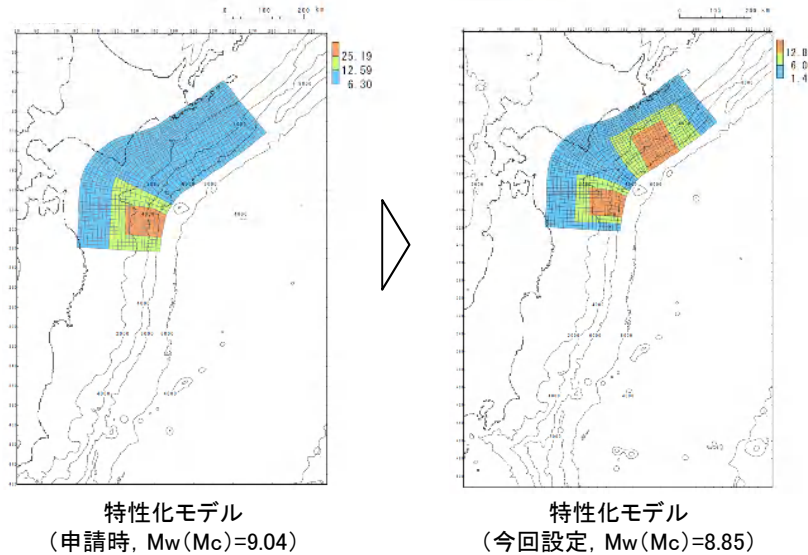


2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.5 十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動地震:波源モデル, 応力降下量の範囲, 平均発生間隔

■波源モデル(申請時から変更(審査結果の反映))

- 十勝沖・根室沖の連動地震と同様に, 杉野ほか(2014)の設定方法を用いた。



主な断層諸元

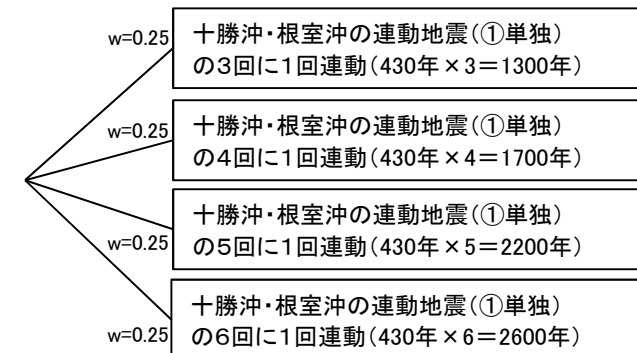
断層パラメータ	設定値	備考
モーメントマグニチュード(Mw)	8.85	
断層面積(S)	110,472(km ²)	
平均応力降下量($\Delta\sigma$)	1.57MPa	Murotani et al.(2013)で示される平均値
地震モーメント(Mo)	2.37×10^{22} (Nm)	
すべり量	平均すべり量(D)	4.28(m)
	大すべり域(1.4D)	6.00(m)
	超大すべり域(3D)	12.85(m)
	背景領域(0.33D)	1.41(m)

■応力降下量の範囲(申請時から変更(最新知見の反映))

- 十勝沖・根室沖の連動地震と同様の考え方で分岐・重みを設定した。

■平均発生間隔

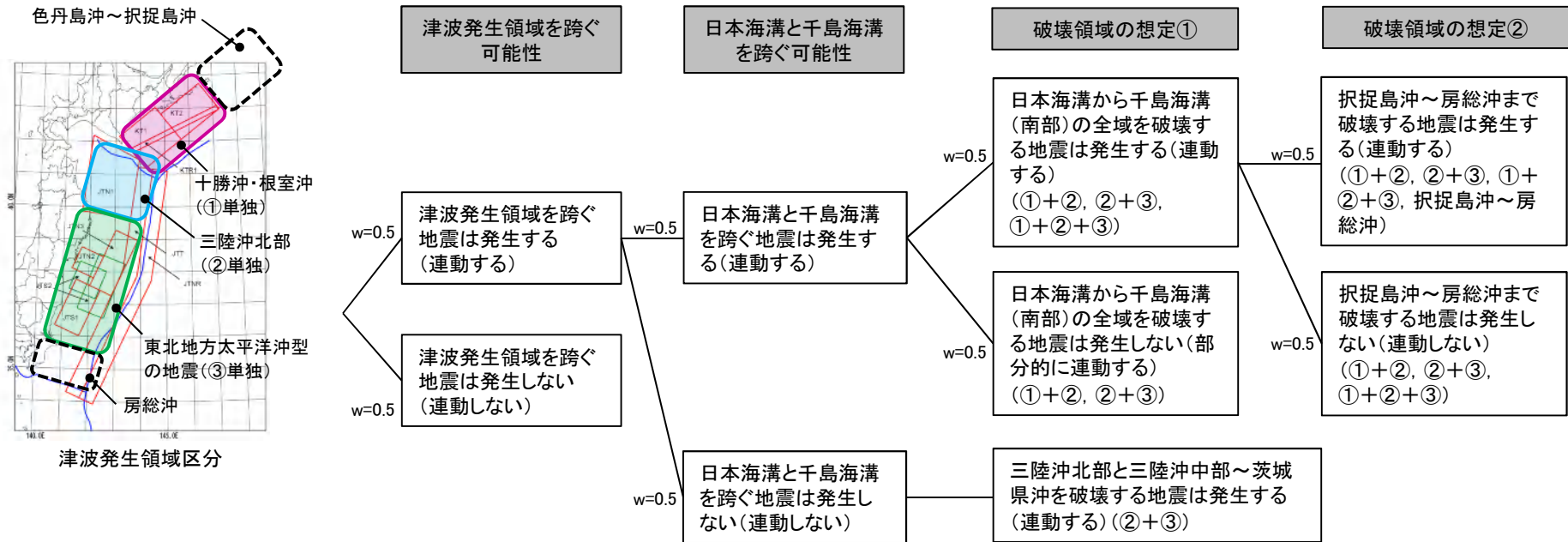
- 領域を跨ぐ連動地震が発生した記録・知見がないことを踏まえ, 以下の国内外の地震の連動サイクルを踏まえ, 十勝沖・根室沖の連動地震の平均発生間隔を基に設定した。
 - ✓ 南米チリの地震: 3回に1回連動
 - ✓ 十勝沖・根室沖の連動地震: 6回に1回連動
 - ✓ 宮城県沖と三陸沖南部海溝寄りの連動地震(1793年の地震): 5回に1回連動
- 重み配分については, 現時点の知見で判断するのは困難であることから, 均等配分とした。



2.6 地震の組合せに関するロジックツリー

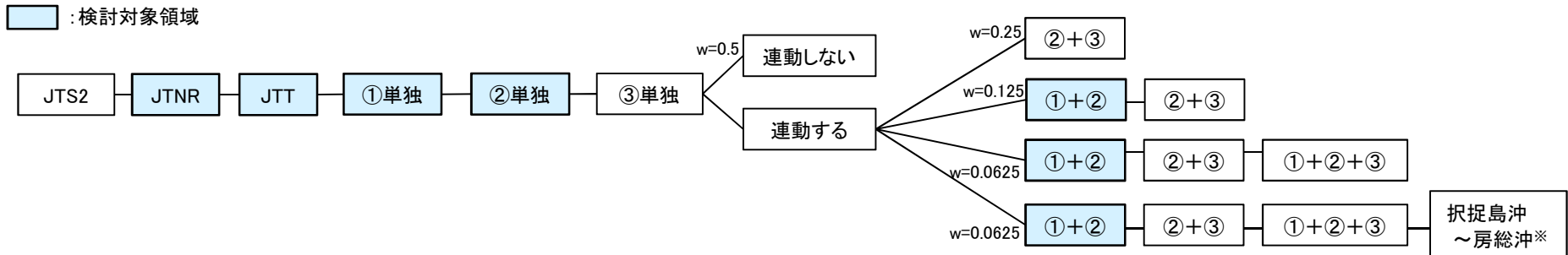
津波発生領域の連動パターン

- 3.11地震から得られた知見を踏まえ、これまで発生した記録、知見がない津波発生領域(セグメント)の連動を考慮した地震を評価することから、各連動地震の発生確率に関する重み付けを行うため、以下のとおり、連動パターンを考慮した。
- 各分岐の重み配分については、現時点の知見で判断するのは困難であることから、均等配分とした。



地震の組合せに関するロジックツリー

- 上記に基づき設定したロジックツリーを以下に示す。



※: 択捉島沖から房総沖の連動地震は、津波地震(JTT)と比較して年超過確率に与える影響は小さいことを確認。確認結果の詳細は、p17～18に記載。

余白

3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

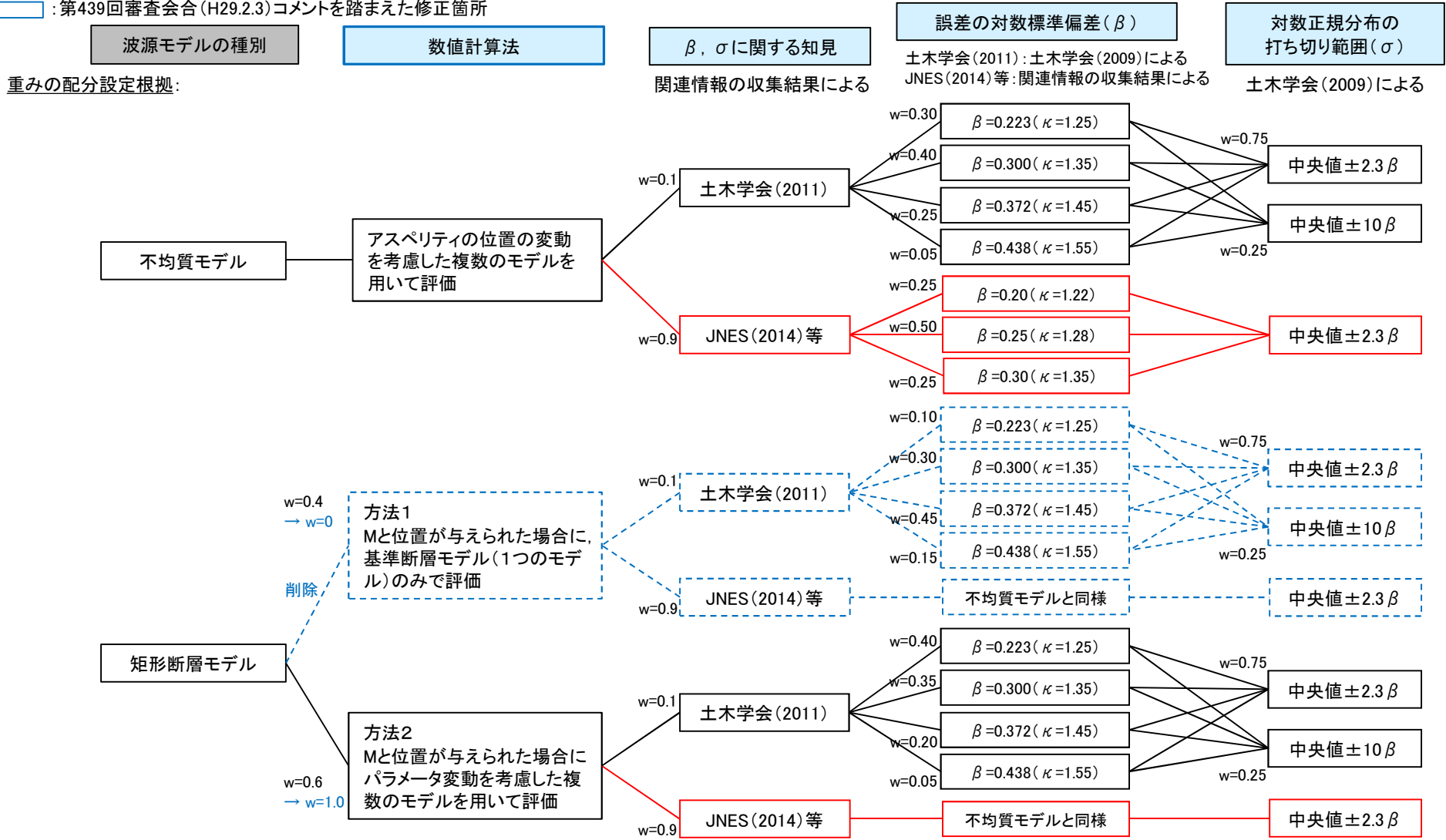
3. 1	津波高さ推定に関するロジックツリー	38
3. 2	誤差の対数標準偏差(β)に関する3.11地震から得られた知見	39
3. 3	矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差(β)等の分岐設定	43
3. 4	津波高さ推定に関するロジックツリーの設定	49

3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

3.1 津波高さ推定に関するロジックツリー

・ 偶然的不確かさ要因は、日本原子力学会(2012)、土木学会(2011)及び土木学会(2016)*を踏まえて、津波高さ推定に関するロジックツリーとして設定した。
※:土木学会(2016)のロジックツリーの詳細は、補足説明資料「7. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討」に記載。

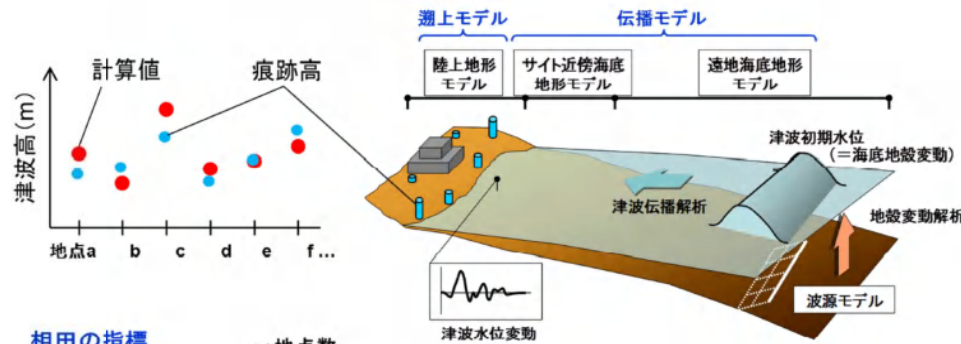
- : 土木学会(2011)からの変更箇所
- : 申請時からの変更箇所
- : 第439回審査会合(H29.2.3)コメントを踏まえた修正箇所



3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

3.2 誤差の対数標準偏差(β)に関する3.11地震から得られた知見

- 津波高さのばらつき(β)は、津波波源モデル($\beta_{\text{波源}}$)、海底地形を含めた海上伝播($\beta_{\text{伝播}}$)、陸上地形を含めた陸上遡上($\beta_{\text{遡上}}$)のモデル化上のばらつきが混在する。さらには、痕跡情報である津波高さや位置情報の不確かさも含まれる(杉野ほか(2014))。
- 杉野ほか(2014)は、3.11地震に伴う津波を再現する特性化波源モデル(杉野ほか(2013))による痕跡高と計算値の関係から、津波高さのばらつき($\beta_{\text{特性化}}$)を整理し、土木学会(2011)のばらつき β (およそ0.28~0.47)に対して、 $\beta_{\text{特性化}}$ は0.24~0.27と大きく低減したとしている。



相田の指標

n : 地点数

$$\ln K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln K_i, \quad K_i = \frac{\text{痕跡高 } R_i}{\text{計算値 } H_i}$$

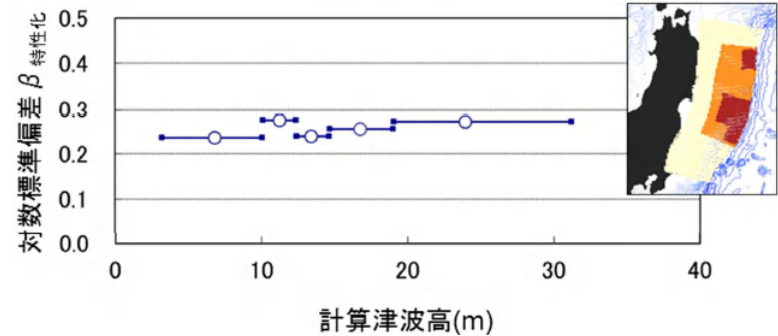
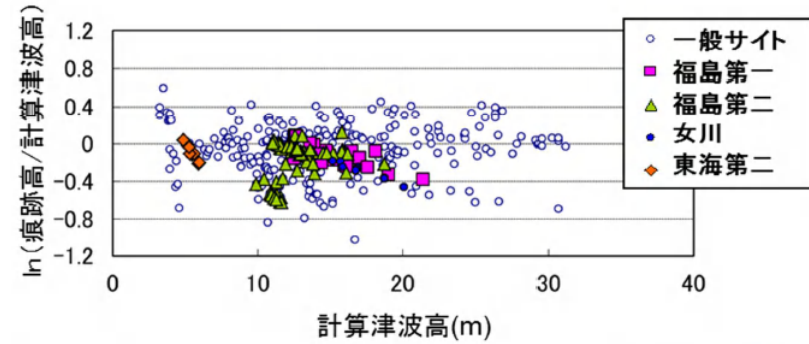
$$\ln \kappa = \left[\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n (\ln K_i)^2 - n(\ln K)^2 \right\} \right]^{1/2} = \beta$$

津波高のばらつき β の内訳

津波高(中央値) = $f(\text{遡上モデル} \times \text{伝播モデル} \times \text{波源モデル})$

$$\text{対数標準偏差 } \beta = \sqrt{\beta_{\text{遡上}}^2 + \beta_{\text{伝播}}^2 + \beta_{\text{波源}}^2}$$

津波伝播モデルの構成と津波高のばらつき要因
(杉野ほか(2014))



特性化波源モデルの $\beta_{\text{特性化}}$ と計算津波高の関係
(杉野ほか(2014))

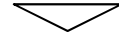
3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

3.2 誤差の対数標準偏差(β)に関する3.11地震から得られた知見

- 杉野ほか(2014)は、土木学会(2011)のばらつきよりも小さくなった理由について、以下のとおり種々の要因が重なった結果によるものとしている。

■要因

- ✓ 波源特性において特性化波源モデルとして不均一なすべり分布を取り入れたこと。
- ✓ 遡上特性では航空レーザー測量による標高データに基づいて陸上地形モデルの空間格子間隔を詳細化したこと。
- ✓ 痕跡情報では土木学会(2011)の痕跡情報は歴史記録に基づいているのに対し、今回対象とした3.11地震津波の痕跡情報はGPS測量に基づいた詳細な情報を有していること。



これらの各種モデル化や痕跡情報の精度向上が、ばらつきの低減に寄与した。

津波伝播によるばらつき β に関する土木学会(2011)との比較
(杉野ほか(2014))

	1) 波源特性	2) 伝播特性	3) 遡上特性	4) 痕跡情報	津波高のばらつき β (κ)
土木学会 2011.9	• 一様すべりモデル	• 海底地形	• 地形格子 100~200m • 遡上なしの全反射	• 痕跡点の位置情報 の精度:小	日本海溝:0.34~0.37 (1.40~1.45) 南海トラフ:0.30~0.47 (1.35~1.60)
	• 不均一モデル	• 海底地形	• 地形格子 50m • 遡上なしの全反射	• 痕跡点の位置情報 の精度:小	日本海溝:0.31~0.37 (1.37~1.45) 南海トラフ:0.28~0.39 (1.32~1.48)
東北地震 津波	• 特性化波源モデル (不均一モデル)	• 海底地形	• 地形格子 5.6m • 遡上あり • 建屋あり	• 痕跡点の位置情報 の精度:高	日本海溝:0.24~0.27 (1.27~1.31)

各種モデル化精度の向上

3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

3.2 誤差の対数標準偏差(β)に関する3.11地震から得られた知見

- JNES(2014)及び杉野ほか(2015)では、杉野ほか(2014)の知見を踏まえたハザード評価への適用方法、適用事例を以下のとおり示している。

■JNES(2014)

不確実さ要因の設定方法(JNES(2014)に一部加筆)

(1) ばらつき β について

- 津波伝播モデルのばらつきは、計算水位を中央値とする確率分布(対数正規分布)を仮定したときの対数標準偏差 β で定義する。
- 津波伝播モデルのばらつき β の値は、津波ハザード評価の結果に大きく影響することに留意し、用いる津波解析手法、解析モデルに対して、最新知見を反映して適切に設定する。

(2) 打ち切りについて

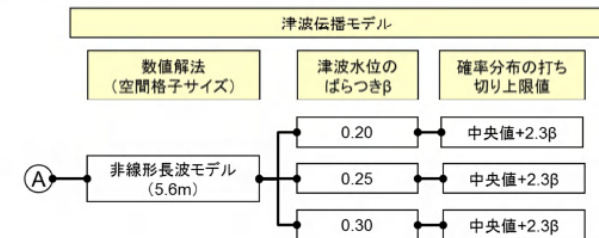
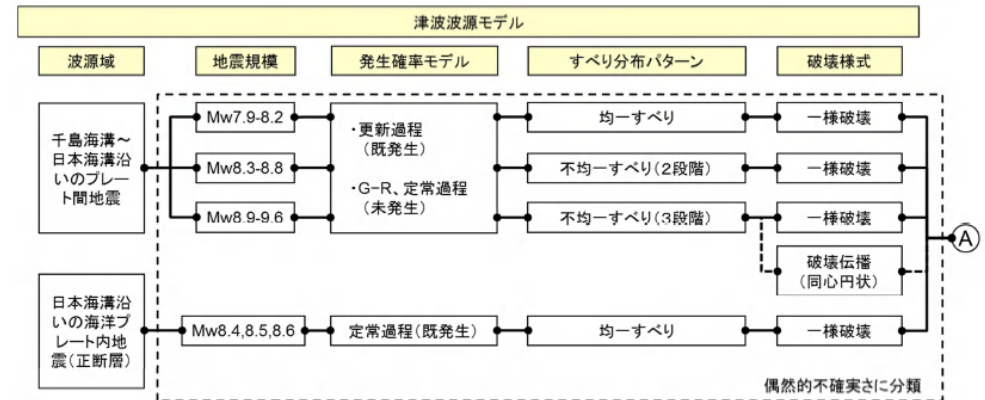
- 推定値の不確実性は、打ち切りのある対数正規分布で表現するため、パラメータとして対数標準偏差 β と打ち切り範囲を設定する。

(解説)

- (1) ばらつき β について
- 津波伝播モデルによる津波高さに関する評価結果と痕跡高は完全に一致することは少なく、ばらつきが存在する。
 - 「6.6.3.1 津波評価手法の選択」で選択された津波伝播モデルによって推定された津波高さに含まれるばらつきの大きさを対数標準偏差で定義し、ロジックツリーの分岐として考量する。
 - 評価サイトの地形モデルの格子サイズが5m程度の場合、津波伝播モデルのばらつき β は0.20~0.30の範囲で設定する。
- (2) 津波伝播モデルにおける対数正規分布の打ち切りの設定
- 「6.6.3.1 津波評価手法の選択」で選択された津波伝播モデルによって推定された津波高さに含まれるばらつきが対数正規分布に従うとした場合に、正規分布の打ち切りについて、ロジックツリーの分岐として考量する。
- 例えば、「分布の両側の各1%に入る現象は実際には起こらない」とする場合、表6.11のように分布の両側1%を打ち切る。

表 6.11 打ち切りの設定パターン(例)

ばらつきの考慮範囲	打ち切り	打ち切り範囲
正規分布の99%まで	1%	$\pm 2.3\sigma$



ロジックツリーの概要
(JNES(2014))

3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

3.2 誤差の対数標準偏差(β)に関する3.11地震から得られた知見

■杉野ほか(2015):千島海溝から日本海溝沿いにおけるロジックツリー

津波伝播モデルに係るロジックツリーの設定方法 (杉野ほか(2015)に一部加筆)

図9は津波伝播モデルに係るロジックツリーである。同図中の左端のA及びBは、図7及び図8から繋がる記号であり、Aは新津波想定モデルの場合を、Bは旧津波想定モデルの場合を表す。いずれも認識論的不確実さ要因として津波伝播モデルに係る津波高のばらつき β の値を分岐として設定する。Aの場合には杉野ほか⁴⁾の特性化波源モデルの検証結果を踏まえて、0.20、0.25、0.30の3つの値を分岐とする。Bの場合には東北地震津波の発生前までの知見として土木学会の報告書³⁾に示される、0.223、0.300、0.372、0.438の4つの値を分岐とする。また、確率分布の打ち切り上限値については、東北地震発生後も更新された知見は知られていないため、A,Bいずれの場合も土木学会の報告書³⁾を参考とする。

※杉野ほか⁴⁾:杉野ほか(2014)
土木学会の報告書³⁾:土木学会(2011)

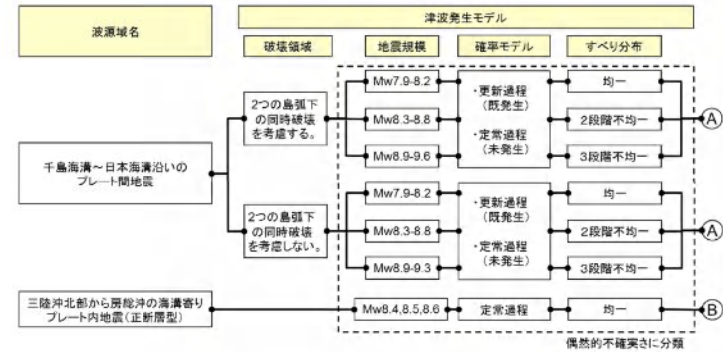


図7 新津波想定モデルを適用する場合の津波発生モデルのロジックツリー

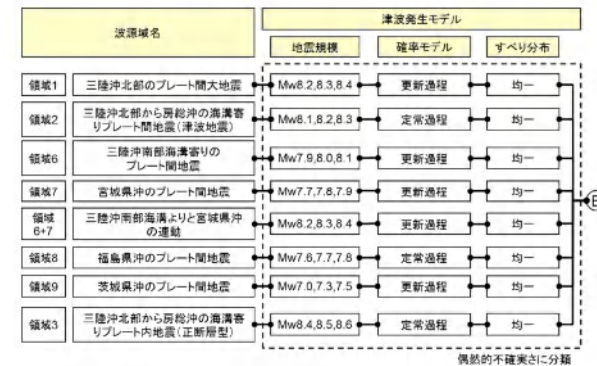


図8 旧津波想定モデルを適用する場合の津波発生モデルのロジックツリー

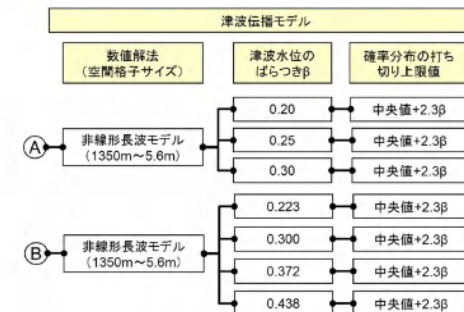


図9 津波伝播モデルのロジックツリー

3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

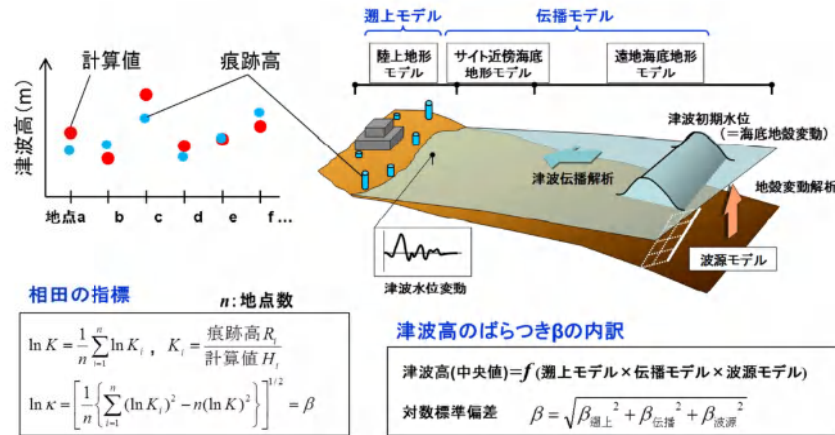
3.3 矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差(β)等の分岐設定

コメントNo.164

■ 検討概要

- ・ 杉野ほか(2014)は不均質モデルを対象とした検討であるとともに、杉野ほか(2015)に示される矩形断層モデルのロジックツリーは、土木学会(2011)の設定方法を引用し、3.11地震から得られた知見は反映されていない。
- ・ 以上を踏まえ、矩形断層モデルに、不均質モデルと同じロジックツリーを適用できるかを確認するため、既往津波の再現解析、並びに土木学会(2009)の評価から、モデルの違いが波源特性のばらつき($\beta_{波源}$)に与える影響について考察した[※]。

※:伝播特性、遡上特性のばらつき($\beta_{伝播}$, $\beta_{遡上}$)は、解析に用いる地形データ等が同一であることから、モデルの違いが各ばらつきに与える影響は無いと考えられる(下表)。



津波伝播モデルの構成と津波高のばらつき要因(杉野ほか(2014))

モデルの違いが伝播特性・遡上特性のばらつきに与える影響に関する考察

津波高さのばらつき要因	内容
伝播特性 ($\beta_{伝播}$)	解析に用いる海底地形等は同一であることから、モデルの違いによる影響は無い。
遡上特性 ($\beta_{遡上}$)	解析に用いる地形データ、空間格子間隔等は同一であることから、モデルの違いによる影響は無い。

津波伝播によるばらつき β に関する土木学会(2011)との比較(杉野ほか(2014))

	1) 波源特性	2) 伝播特性	3) 遡上特性	4) 痕跡情報	津波高のばらつき β (κ)
土木学会 2011.9	・一様すべりモデル	・海底地形	・地形格子 100~200m ・遡上なしの全反射	・痕跡点の位置情報 の精度:小	日本海溝:0.34~0.37 (1.40~1.45) 南海トラフ:0.30~0.47 (1.35~1.60)
	・不均一モデル	・海底地形	・地形格子 50m ・遡上なしの全反射	・痕跡点の位置情報 の精度:小	日本海溝:0.31~0.37 (1.37~1.45) 南海トラフ:0.28~0.39 (1.32~1.48)
東北地震 津波	・特性化波源モデル (不均一モデル)	・海底地形	・地形格子 5.6m ・遡上あり ・建屋あり	・痕跡点の位置情報 の精度:高	日本海溝:0.24~0.27 (1.27~1.31)

各種モデル化精度の向上

3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

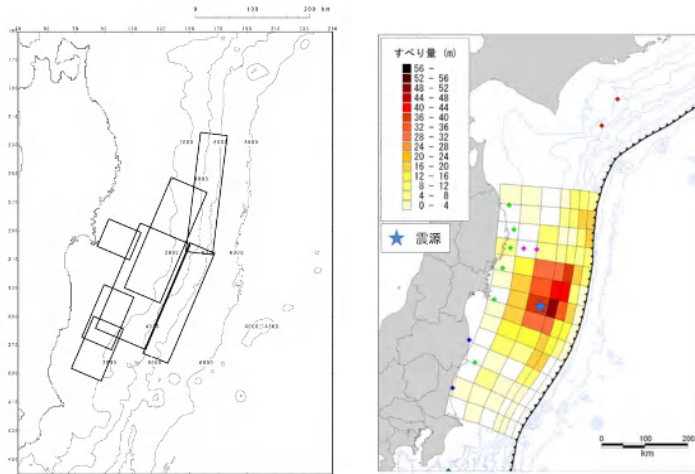
3.3 矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差(β)等の分岐設定

コメントNo.164

■ 既往津波の再現解析: 3.11地震に伴う津波

- 土木学会(2002)等で示される既往津波の波源モデル(矩形断層モデル)を組み合わせた既往津波の組合せモデルと、内閣府(2012)モデルを用いて再現解析を実施した結果、発電所地点及び発電所周辺における津波高さのばらつき(κ)は同程度であることを確認した。
- さらに、最小空間格子間隔が5mである発電所地点のばらつきは、同間隔が31mである発電所周辺のばらつきと比較して、十分に小さいことを確認した。
- 以上から、波源特性のばらつきは($\beta_{\text{波源}}$)は、矩形断層モデルと不均質モデルで有意な差はなく、かつ津波高さのばらつき(β)に与える影響は、遡上特性のばらつき($\beta_{\text{遡上}}$)よりも小さいと考えられる。

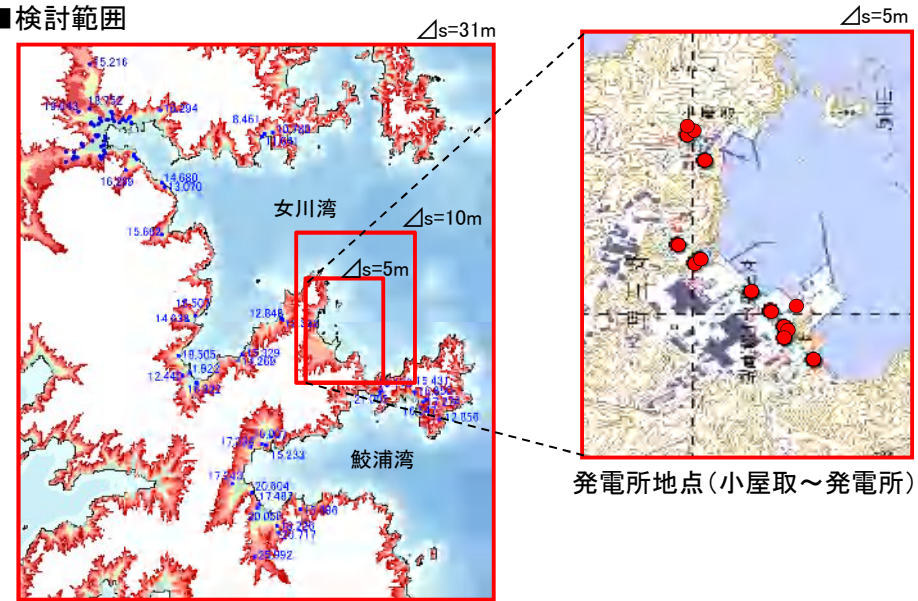
■ 検討モデル



既往津波の組合せモデル
(菅野ほか(2012))

内閣府(2012)モデル

■ 検討範囲



発電所周辺(女川湾～鮫浦湾)

発電所地点(小屋取～発電所)

■ 再現性の評価結果

範囲	基準断層モデル	K	κ	n
発電所地点 ($\Delta s=5m$)	既往津波の組合せモデル	0.97	$\beta_{\text{波源}}$ 同程度	14
	内閣府(2012)モデル	0.97	1.06	
発電所周辺 ($\Delta s=31m$)	既往津波の組合せモデル	0.99	$\beta_{\text{波源}}$ 同程度	111
	内閣府(2012)モデル	0.87	1.25	

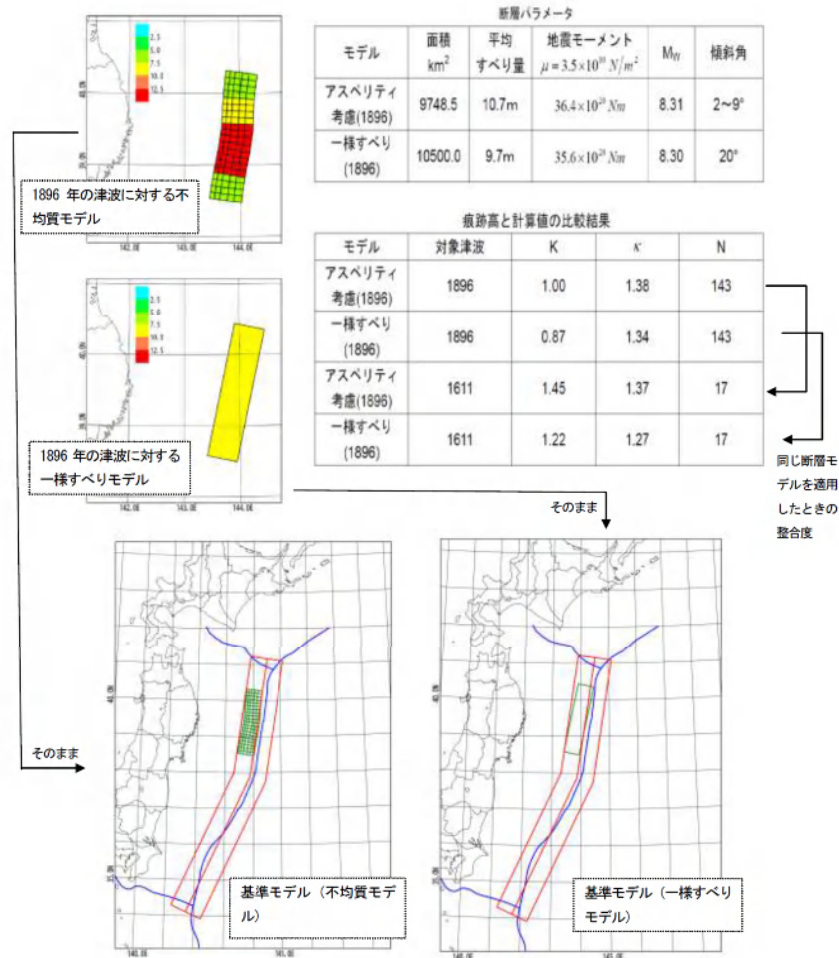
3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

3.3 矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差(β)等の分岐設定

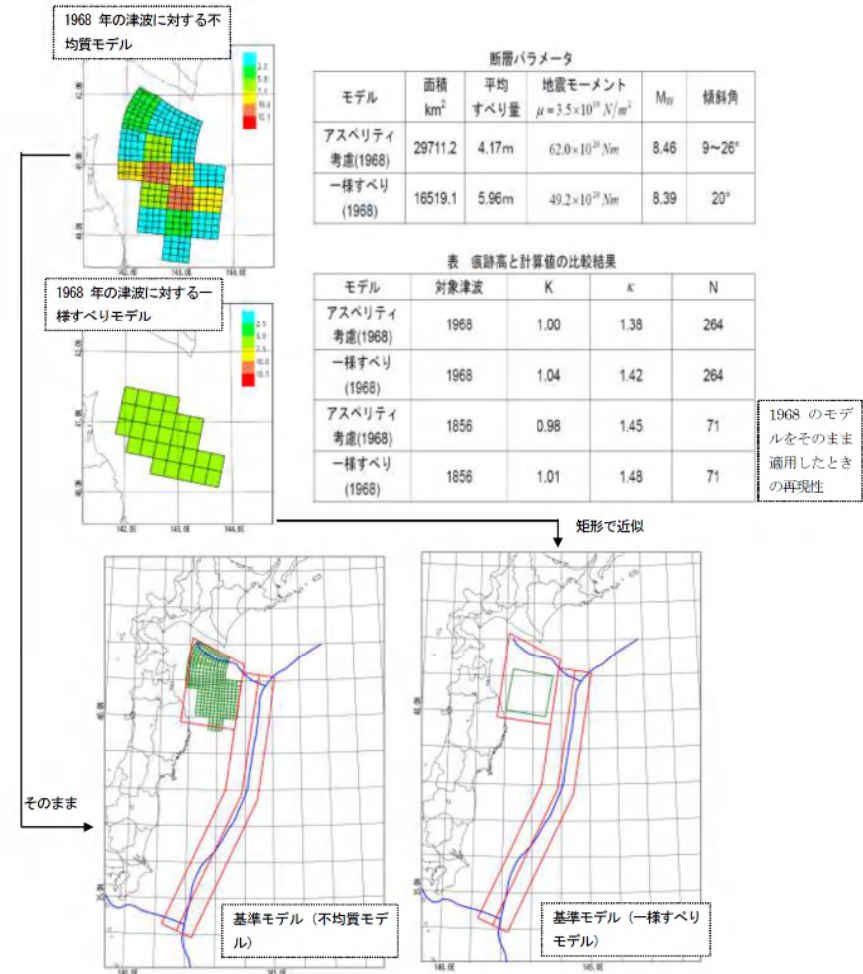
■ 既往津波の再現解析: 1896年明治三陸地震津波, 1968年十勝沖地震に伴う津波

- 土木学会(2009)では, 1896年明治三陸地震津波, 1968年十勝沖地震に伴う津波の痕跡高を用いたインバージョンモデルと矩形断層モデルを用いて再現解析を実施し, 両モデルのばらつき(κ)は同程度であることを示している。
- 以上から, 波源特性のばらつき($\beta_{\text{波源}}$)は, 矩形断層モデルと不均質モデルで有意な差は無いと考えられる。

【1896年明治三陸地震津波(土木学会(2009))】



【1968年十勝沖地震に伴う津波(土木学会(2009))】

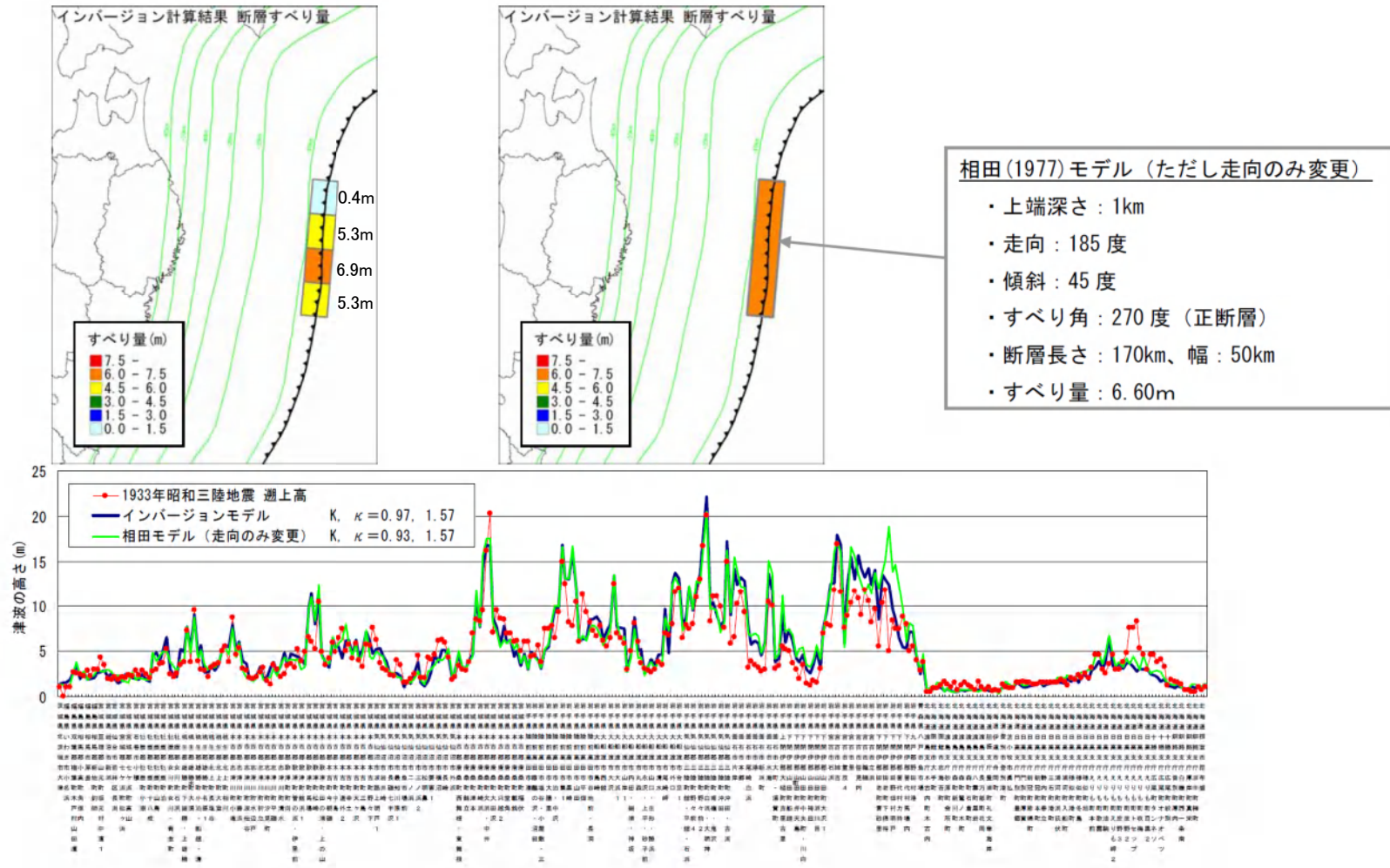


3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

3.3 矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差(β)等の分岐設定

■ 既往津波の再現解析: 1933年昭和三陸地震津波

- 中央防災会議(2005)では、1933年昭和三陸地震津波の痕跡高を用いたインバージョンモデルと矩形断層モデルを用いて再現解析を実施し、両モデルのばらつき(κ)は同程度であることを示している。
- 以上から、波源特性のばらつき($\beta_{波源}$)は、矩形断層モデルと不均質モデルで有意な差は無いと考えられる。



1933年昭和三陸地震津波のインバージョンモデルと相田(1977)モデル(矩形断層モデル)との比較 (中央防災会議(2005)に一部加筆)

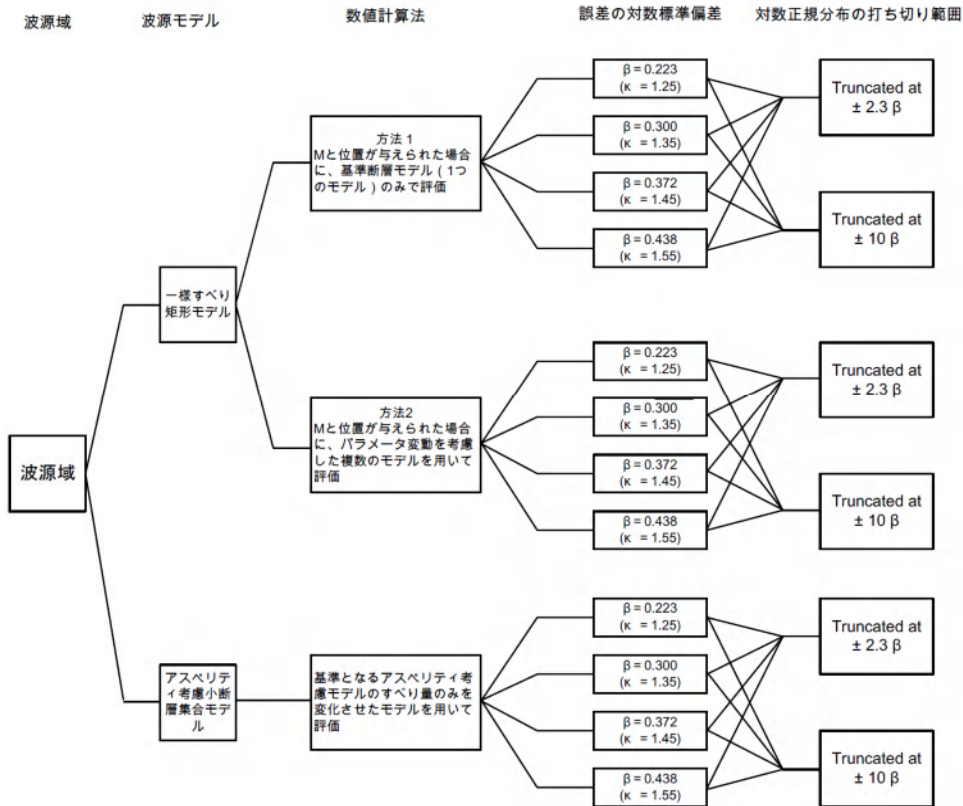


3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

3.3 矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差(β)等の分岐設定

■ 土木学会(2009)の評価

- 土木学会(2009)では、矩形断層モデル、並びに不均質モデルで得られた計算水位に含まれるばらつきに関するアンケート結果を踏まえロジックツリーを作成しており、矩形断層モデルの不確かさを考慮した分岐(方法2)と不均質モデルの分岐で、ほぼ同程度の重みを設定している。



津波高さ推定に関するロジックツリー
(土木学会(2009))

■ アンケート結果(土木学会(2009))

【矩形断層モデル(一様すべり矩形モデル):方法1】

分岐	考え方	重み【ご記入ください】
①	$\kappa=1.25$ に相当する誤差を含む	0.10[0.10]
②	$\kappa=1.35$ に相当する誤差を含む	0.30[0.35]
③	$\kappa=1.45$ に相当する誤差を含む	0.45[0.40]
④	$\kappa=1.55$ に相当する誤差を含む	0.15[0.15]
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

【矩形断層モデル(一様すべり矩形モデル):方法2】

分岐	考え方	重み【ご記入ください】
①	$\kappa=1.25$ に相当する誤差を含む	0.40[0.40]
②	$\kappa=1.35$ に相当する誤差を含む	0.35[0.35]
③	$\kappa=1.45$ に相当する誤差を含む	0.20[0.20]
④	$\kappa=1.55$ に相当する誤差を含む	0.05[0.05]
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

【不均質モデル(アスペリティ考慮小断層集合モデル)】

分岐	考え方	重み【ご記入ください】
①	$\kappa=1.25$ に相当する誤差を含む	0.30
②	$\kappa=1.35$ に相当する誤差を含む	0.40
③	$\kappa=1.45$ に相当する誤差を含む	0.25
④	$\kappa=1.55$ に相当する誤差を含む	0.00
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

3.3 矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差(β)等の分岐設定

コメントNo.164

■まとめ

- ・ 既往津波の再現解析から、波源特性のばらつき($\beta_{\text{波源}}$)は、矩形断層モデルと不均質モデルで有意な差は無いと考えられる。
- ・ また、土木学会(2009)では、アンケート結果を踏まえ、矩形断層モデルの不確かさを考慮した分岐(方法2)と不均質モデルの分岐で同程度の重みを設定している。
- ・ 以上から、矩形断層モデルに、不均質モデルと同じロジックツリーを適用できることを確認した。

3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

3.4 津波高さ推定に関するロジックツリーの設定

- 誤差の対数標準偏差(β)に関する3.11地震から得られた知見の評価への反映について、評価に用いる解析条件等は、下表のとおり、JNES(2014)等に表示される設定方法を反映する条件を満足すると考えられることから、同知見を評価に反映した。なお、杉野ほか(2014)の検討は、Mw8.9以上の巨大地震に分類される3.11地震の1ケースのみであり、これ以外の地震規模についても同様の検証が必要と考えられることから、土木学会(2011)の設定方法も分岐として考慮した^{※1}。
- β 、 σ に関する知見に関する分岐の重み配分については、重み配分設定方法(p8)に基づき、土木学会(2011)の重みを0.1、JNES(2014)等の重みを0.9とした。また、JNES(2014)等の β に関する分岐の重み配分については、土木学会(2011)の正規分布に対する分岐設定方法を用いた^{※1}。

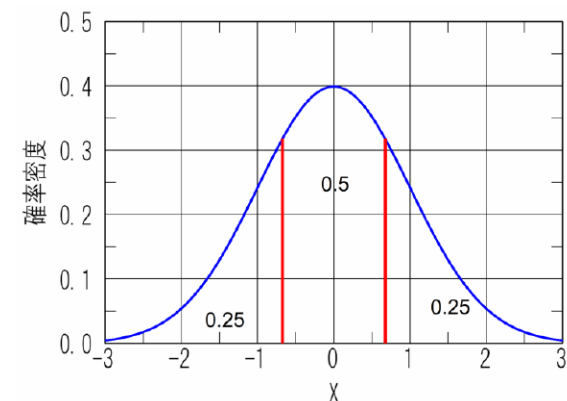
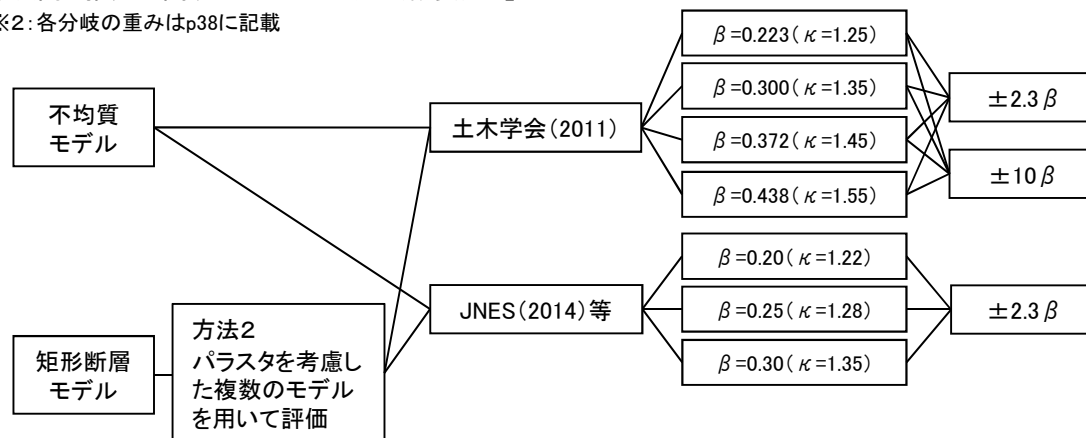
※1: 専門家意見聴取結果を踏まえてロジックツリー、重み配分を設定した。意見聴取結果の詳細は、補足説明資料「7. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討」に記載。

【津波ハザード評価の解析条件等】

項目		設定内容
最小空間格子間隔		<ul style="list-style-type: none"> 5m(2500/486)。 発電所周辺及び津波の周期特性に関する検討から、計算水位に複雑な地形の影響が適切に考慮されていることを確認。
計算条件		各津波の再現解析により妥当性を確認。
津波波源モデル	特性化モデル	広域の津波特性を考慮できる杉野ほか(2014)を踏まえて設定。
	矩形断層モデル	既往津波の再現解析、土木学会(2009)の評価内容から、波源特性のばらつき($\beta_{波源}$)は、矩形断層モデルと不均質モデルで有意な差は無いことを確認。

【津波高さ推定に関するロジックツリー(概要)^{※2}】

※2: 各分岐の重みはp38に記載



正規分布に対する分岐設定方法
(土木学会(2011))

余白

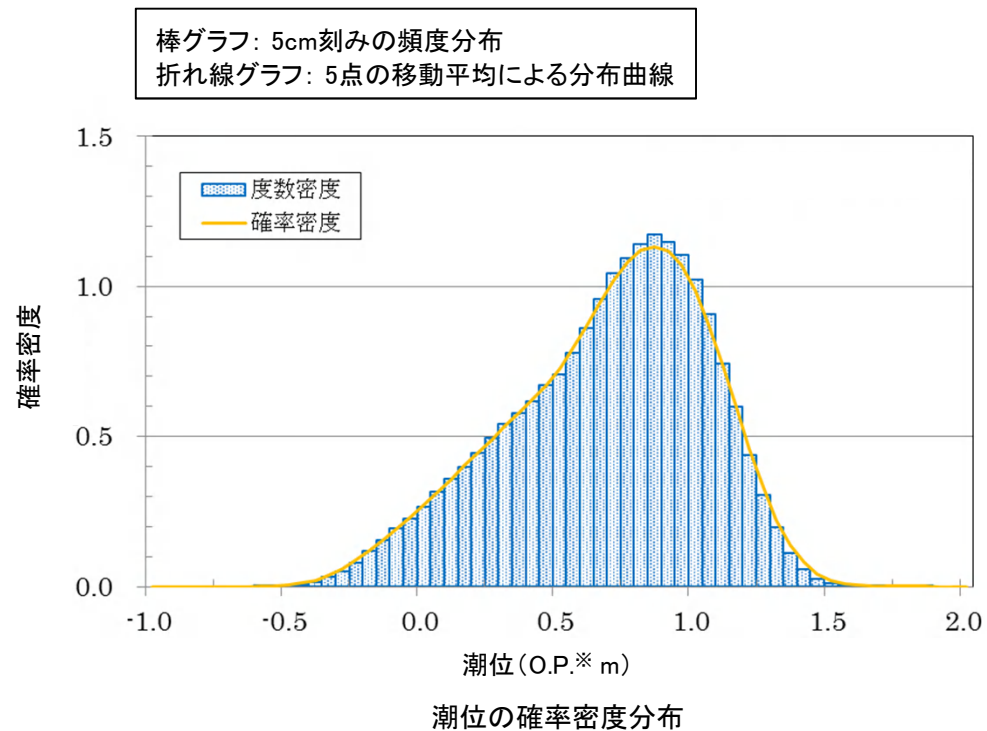
4. 評価結果

- 4. 1 津波ハザード曲線の評価概要 52
- 4. 2 年超過確率の参照 53
- (参考)既評価と今回評価の比較 55

4. 評価結果

4.1 津波ハザード曲線の評価概要

- 津波ハザード曲線は、津波発生領域毎に計算した全分岐に対するハザード曲線を組合せる際、モンテカルロ手法により5,000本のサンプルを抽出して算定した。
- 潮位の確率密度分布については、敷地南方約11kmに位置する気象庁鮎川検潮所における1970年～2010年の観測記録を用いて算定した。



※: O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74m

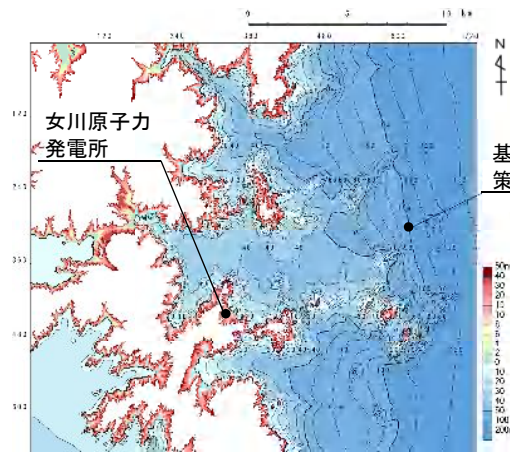
4. 評価結果

4.2 年超過確率の参照

- 基準津波の年超過確率は、水位上昇側で $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 程度、水位下降側で $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度である※1, 2。

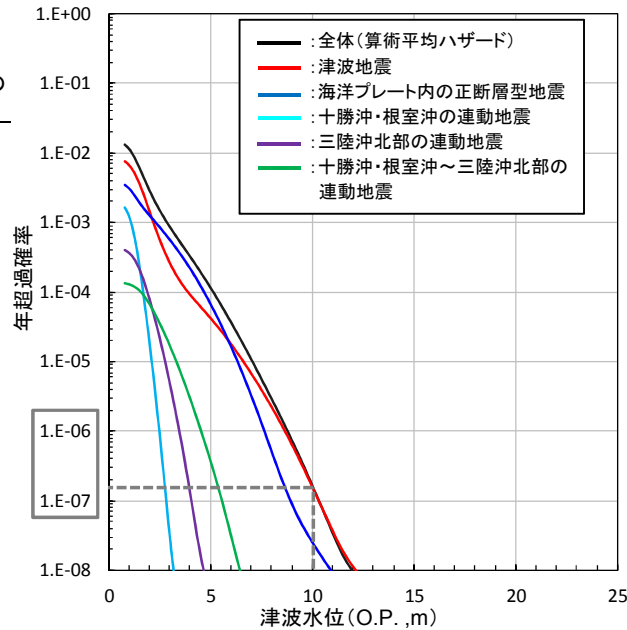
※1: 基準津波の詳細は、補足説明資料「2. 基準津波の策定」に記載。

※2: 敷地前面(水位上昇側), 2号取水口前面(水位下降側)における津波ハザード評価結果は、補足説明資料「8. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果」に記載。



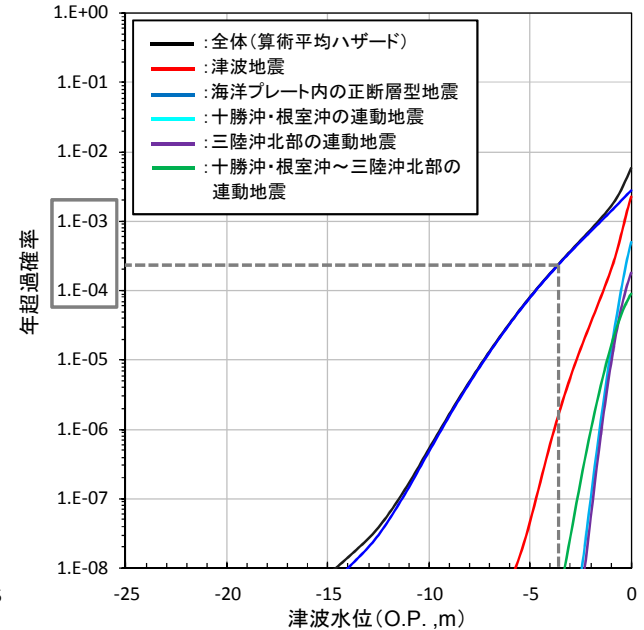
基準津波の策定位置

■ 水位上昇側



	津波水位
基準津波 (水位上昇側)	O.P.+10.1m

■ 水位下降側



	津波水位
基準津波 (水位下降側)	O.P.-3.5m

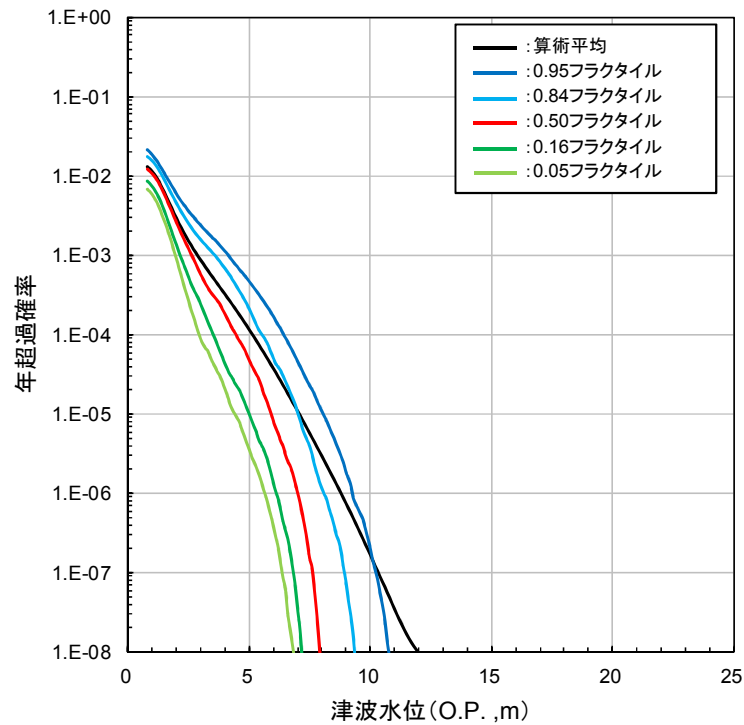
4. 評価結果

4.2 年超過確率の参照: フラクタイルハザード曲線

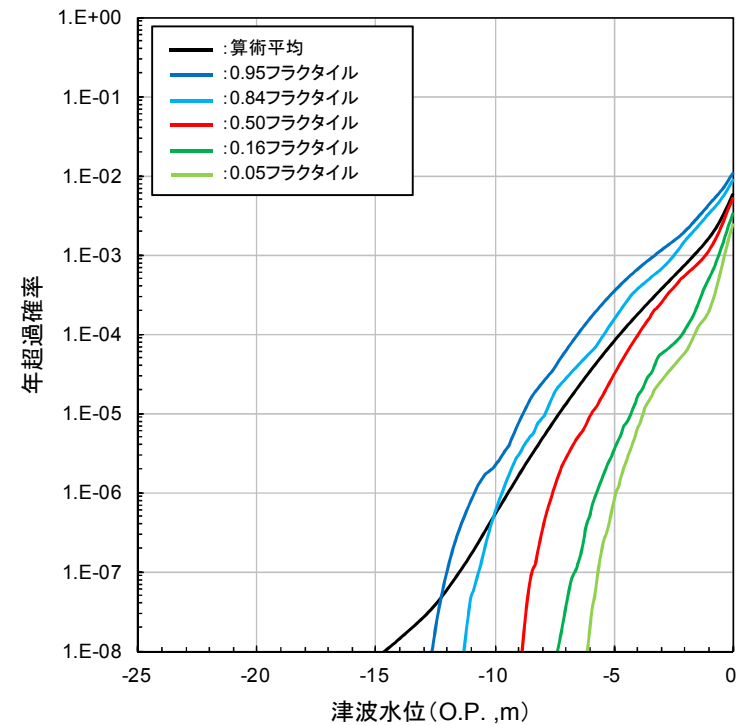
- ・ 水位上昇側, 水位下降側のフラクタイルハザード曲線を以下に示す※。

※: 敷地前面(水位上昇側), 2号取水口前面(水位下降側)における津波ハザード評価結果は, 補足説明資料「8. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果」に記載。

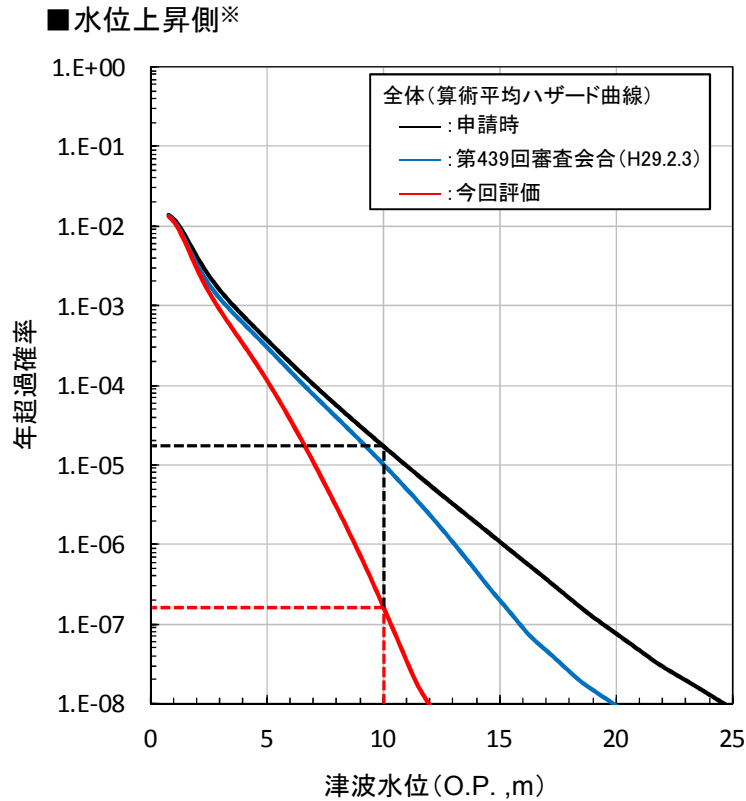
■ 水位上昇側



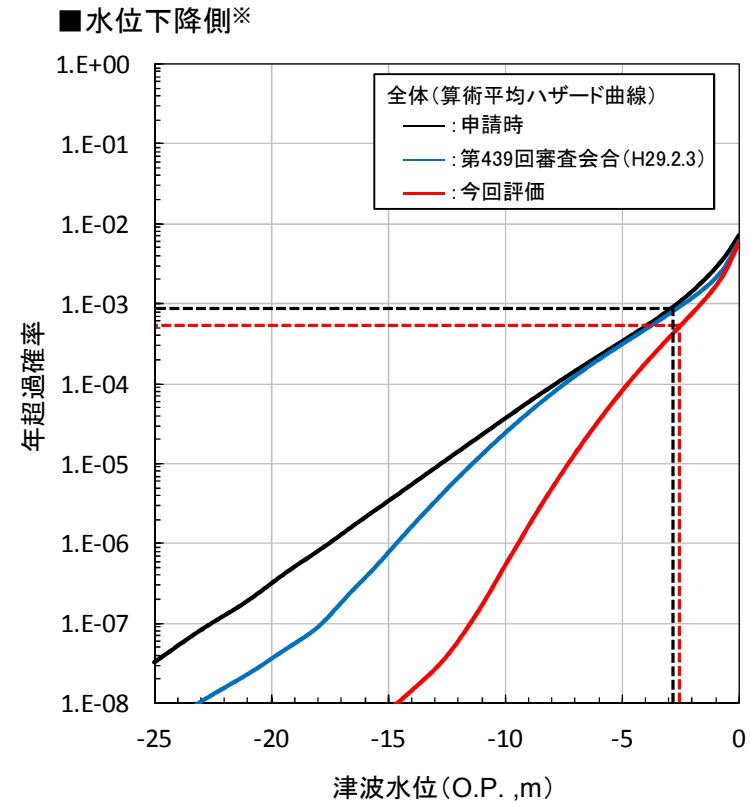
■ 水位下降側



(参考)既評価と今回評価の比較



基準津波 (水位上昇側)	津波水位	年超過確率
申請時	O.P.+10.1m	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵ 程度
今回	O.P.+10.1m	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁷ 程度



基準津波 (水位下降側)	津波水位	年超過確率
申請時	O.P.-3.7m	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴ 程度
今回	O.P.-3.5m	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴ 程度

※:敷地前面(水位上昇側), 2号取水口前面(水位下降側)における津波ハザード評価結果の比較は, 補足説明資料「8. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果」に記載。

余白

参考文献

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(2011):確率論的津波ハザード解析の方法
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. 一般社団法人日本原子力学会(2012):日本原子力学会標準 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2011
5. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2009):確率論的津波ハザード解析の方法(案)
6. 渡辺偉夫(1998):日本被害津波総覧[第2版],東京大学出版会
7. 今村明恒(1899):三陸津浪取調報告,震災予防調査会報告,vol.29,pp.17-32
8. 羽鳥徳太郎(2000):三陸沖歴史津波の規模の再検討,津波工学研究報告17,pp.39-48
9. 中央気象台(1933):昭和八年三月三日三陸沖強震及津波報告,験震時報,Vol.7, No.2別刷
10. 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
11. 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
12. チリ津波合同調査班(1961):1960年5月24日チリ地震津波に関する論文及び報告,丸善
13. Kenji Satake, Kelin Wang, Brian F. Atwater(2003):Fault slip and seismic moment of the 1700 Cascadia earthquake inferred from Japanese tsunami descriptions, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.108, NO.B11, 2535
14. 独立行政法人原子力安全基盤機構(JNES)(2014):確率論的手法に基づく基準津波策定手引き,2014年2月
15. 杉野英治・岩淵洋子・橋本紀彦・松末和之・蛭沢勝三・亀田弘行・今村文彦(2014):プレート間地震による津波の特性化波源モデルの提案,日本地震工学会論文集,第14巻,第5号
16. Satoko Murotani, Kenji Satake, Yushiro Fujii(2013):Scaling relations of seismic moment,rupture area,average slip,and asperity size for M~9 subduction zone earthquakes, Geophysical Research Letters,Vol.40,pp.5070-5074
17. 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
18. 今井健太郎・菅原大助・今村文彦(2012):津波痕跡と史料から解釈した1611年慶長地震,第31回日本自然災害学会学術講演会,Ⅲ-2-2
19. 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
20. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2002):三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について
21. 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
22. 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
23. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2004):千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版)について
24. 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)
25. 杉野英治・岩淵洋子・阿部雄太・今村文彦(2015):確率論的津波ハザード評価における津波想定の影響,日本地震工学会論文集,第15巻,第4号
26. 菅野剛・大内一男・平田一穂(2012):女川原子力発電所における津波の評価および対策,電力土木, No.362
27. 内閣府(2012):南海トラフの巨大地震モデル検討会(第12回),参考資料1 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の津波断層モデルについて

補足説明資料

1. 設置変更許可申請時からの変更点について

補足説明資料

1. 設置変更許可申請時からの変更点について

コメントNo.163.164

■変更概要

- ・ 日本原子力学会(2012)に準じて、津波ハザード評価に非常に大きな影響を及ぼす可能性がある申請以降に公表された最新知見を反映。
- ・ 基準津波の策定に関する審査結果、並びに第439回審査会合コメントを踏まえた検討結果を反映。

変更理由	変更内容			
	対象領域	ロジックツリー	項目	変更概要
最新知見の反映	プレート間地震と津波地震の連動地震	津波発生モデル (認識論的不確実さ)	特性化モデルのMwの範囲	土木学会(2016)を踏まえ、Mc(中央マグニチュード)の設定に用いる平均応力降下量を3.0MPaから1.57MPaに変更。
	共通	津波高さの推定 (偶然的不確実さ)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 誤差の対数標準偏差(β) ・ 対数正規分布の打ち切り範囲(σ) 	3.11地震から得られた知見を踏まえ、土木学会(2011)及びJNES(2014)等の設定方法を分岐として考慮。
審査結果等の反映	プレート間地震と津波地震の連動地震	津波発生モデル (認識論的不確実さ)	海洋プレート内地震のMwの範囲	地震規模、並びに各機関の評価事例に係る関連情報の収集結果を踏まえ、1611年の津波が正断層型地震の場合のMc(中央マグニチュード)を8.6から8.4に変更。
			波源モデル (特性化モデルの設定方法)	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方法から、広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定方法(杉野ほか(2014))に変更。
			波源モデル (既往津波の組合せモデルの取扱い)	既往津波の組合せモデルは、土木学会(2002)で示される不確かさの考慮方法を適用した場合の影響を検討するモデルであり、地震の破壊現象を表すモデルではないことを踏まえ分岐から削除。
	共通	津波高さの推定 (偶然的不確実さ)	矩形断層モデルの数値計算法	既往津波の再現解析、並びに土木学会(2009)の評価内容を踏まえ、方法1(1つのモデルのみで評価)を削除。

補足説明資料

2. 基準津波の策定

2. 1 策定方針	.....	62
2. 2 各津波の評価	.....	63
2. 3 基準津波の策定	.....	69

補足説明資料 2. 基準津波の策定

2.1 策定方針

【水位上昇側】

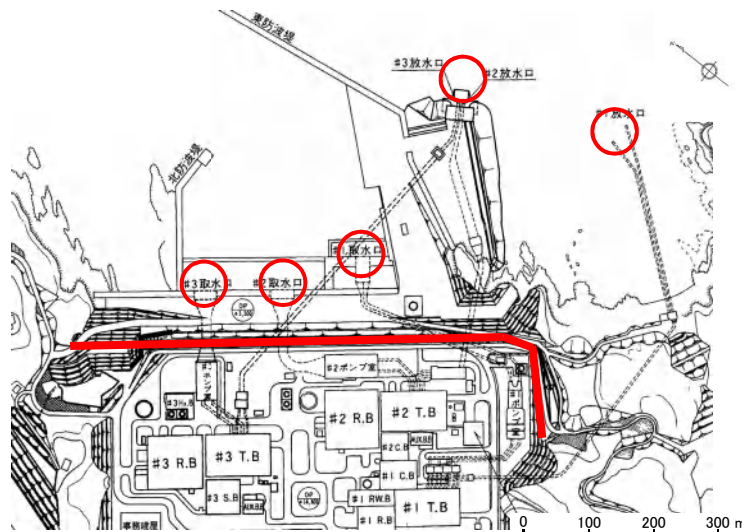
- ✓ 重要な安全機能を有する施設の設置された敷地(O.P.約+13.8m)への基準津波の到達, 流入を防止するため, 津波防護施設(防潮堤, 防潮壁)を設置することから, 「最大水位上昇量」に「地震に伴う沈下量」を考慮した相対的な津波水位の最大ケースを『基準津波(水位上昇側)』とした。

【水位下降側】

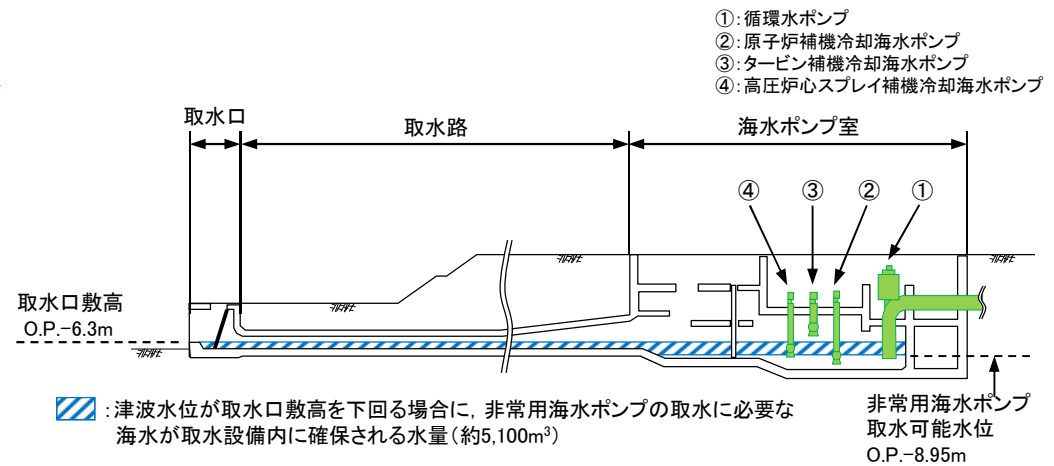
- ✓ 津波水位が取水口敷高を下回る場合における非常用海水ポンプの取水に必要な海水の貯留容量に関する評価, 津波による水位変動に伴う砂の移動・堆積及び漂流物に対する取水路の通水性に関する評価の観点から, 「最大水位下降量」に「地震に伴う隆起量」を考慮した相対的な津波水位の最大ケースを『基準津波(水位下降側)』とした。

評価位置

評価項目	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
水位上昇側	○	○	○	○	○	○
水位下降側	—	—	○	—	—	—



評価位置(平面図)



2号取水設備断面図(概要)

2.2.1 水位上昇側:最大水位上昇量

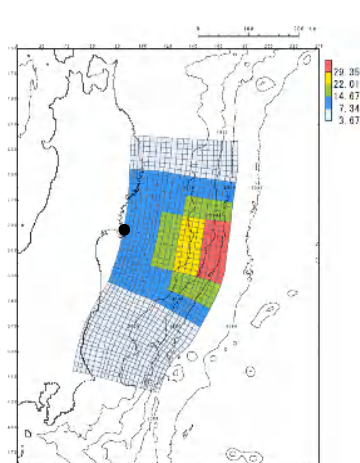
- 各津波の最大ケースの整理結果を下表に示す。
- 決定ケースは、「最大水位上昇量」に「地震に伴う沈下量」を考慮した相対的な津波水位上昇量が最大となる「東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル③)」に起因する津波である。

上段 最大水位上昇量, []:地殻変動量(+:隆起, -:沈下)
下段 最大水位上昇量に地震に伴う沈下量を考慮した相対的な津波水位

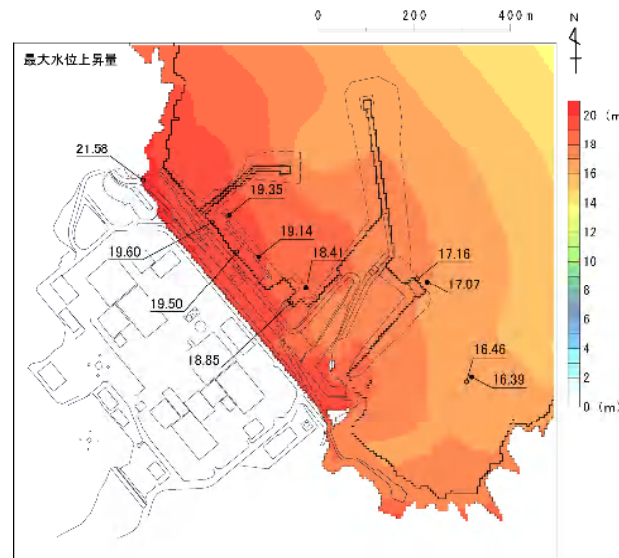
発生要因	種別	波源モデル		最大水位上昇量(m)					
				敷地前面	1号取水口前面	2号取水口前面	3号取水口前面	1号放水口前面	2・3号放水口前面
地震	プレート間地震	東北地方太平洋沖型の地震	基準断層モデル①	18.42 [-0.58]	17.33 [-0.58]	17.32 [-0.58]	17.15 [-0.58]	16.04 [-0.58]	16.20 [-0.58]
				19.00	17.91	17.90	17.73	16.62	16.78
			基準断層モデル②	18.86 [-0.77]	17.03 [-0.77]	17.40 [-0.77]	17.55 [-0.77]	15.50 [-0.77]	15.34 [-0.77]
		19.63		17.80	18.17	18.32	16.27	16.11	
		基準断層モデル③	21.58 [-0.72]	18.85 [-0.72]	19.50 [-0.72]	19.60 [-0.72]	16.46 [-0.72]	17.16 [-0.72]	
			22.30	19.57	20.22	20.32	17.18	17.88	
	津波地震	21.82 [+0.03]	17.21 [+0.03]	17.61 [+0.03]	17.20 [+0.03]	14.39 [+0.03]	15.01 [+0.03]		
		21.82	17.21	17.61	17.20	14.39	15.01		
	海洋プレート内地震	正断層型の地震	22.05 [-0.03]	12.92 [-0.03]	16.45 [-0.02]	15.12 [-0.03]	14.26 [-0.04]	12.74 [-0.03]	
			22.08	12.95	16.48	15.15	14.29	12.77	
海域の活断層による地殻内地震	F-6断層～F-9断層	1.2m(阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)							
地震以外	地すべり及び斜面崩壊	発電所へ与える影響は極めて小さい。							
	火山現象	発電所へ与える影響は極めて小さい。							
地震と地震以外に起因する津波の組合せ		地震以外に起因する津波が発電所へ与える影響は極めて小さいことから評価しない。							

2.2.1 水位上昇側:水位分布及び水位時刻歴波形

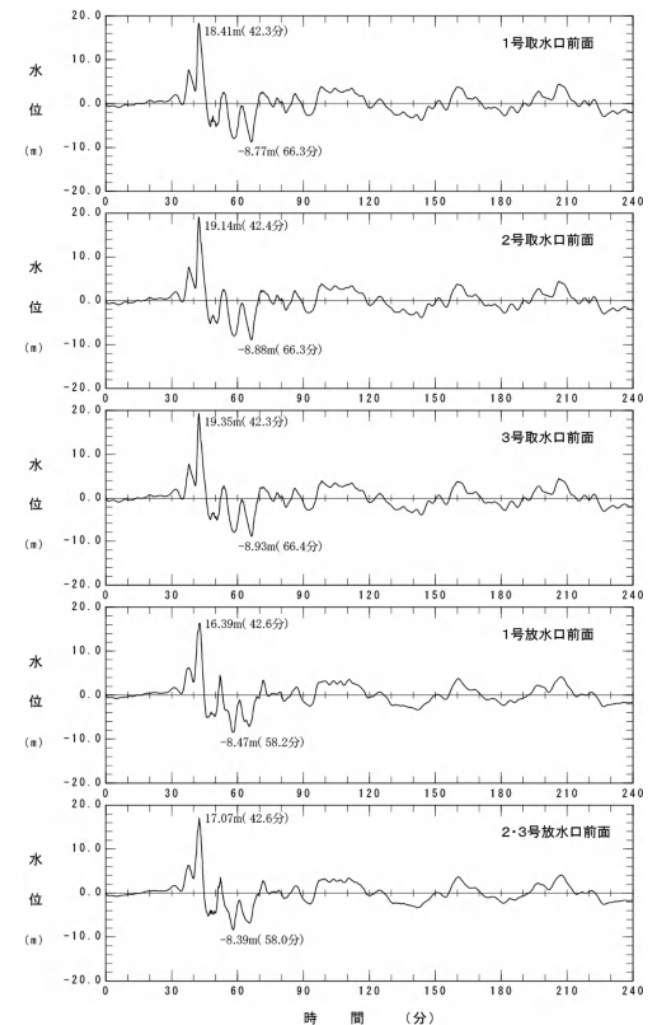
モデル	大すべり域・超大すべり域の位置	破壊開始点	破壊伝播速度
東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル③)	基準	基準(同時破壊)	—



すべり量分布



最大水位上昇量分布



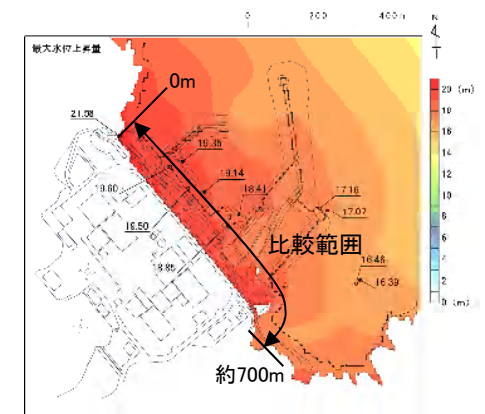
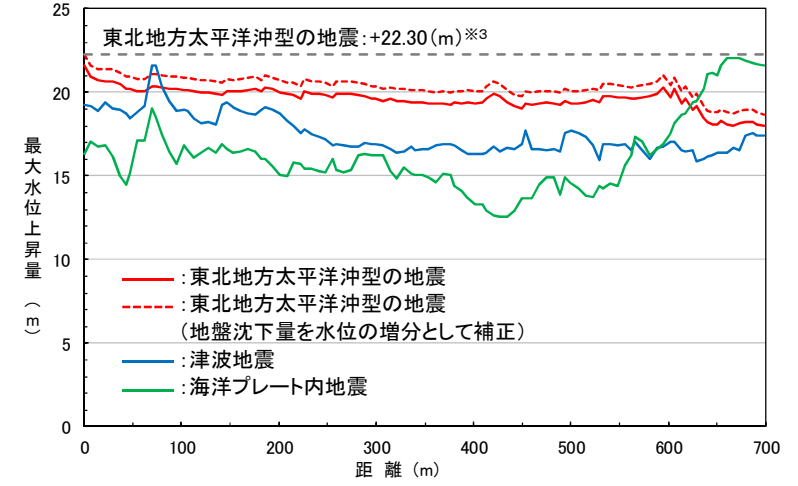
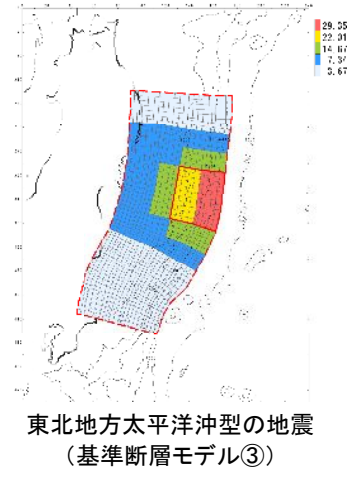
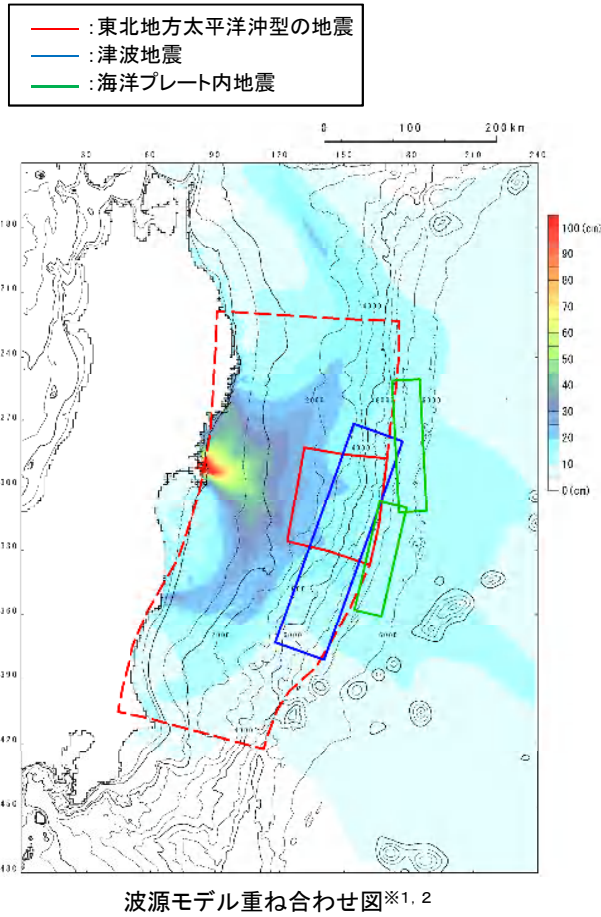
水位時刻歴波形※

※:水位時刻歴波形は、各取放水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出。

補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.2 各津波の評価

2.2.1 水位上昇側:敷地前面における最大水位上昇量の比較

- 「東北地方太平洋沖型の地震」、「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を対象に、敷地前面における最大水位上昇量を比較した結果を下図に示す。



※1: 各地震の敷地前面最大ケース
 ※2: 背景は津波伝播特性の検討結果
 ※3: 最大水位上昇量(+21.58m)+地震に伴う地盤沈下量(-0.72m)=+22.30(m)

2.2.2 水位下降側:最大水位下降量

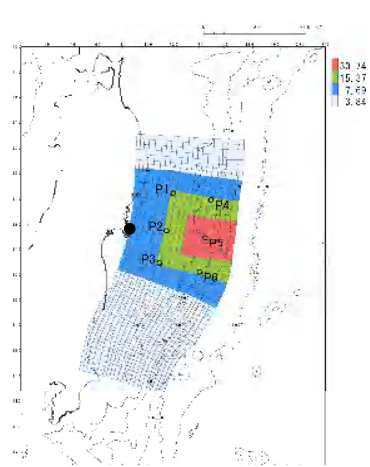
- 各津波の最大ケースの整理結果を下表に示す。
- 決定ケースは、「最大水位下降量」に「地震に伴う隆起量」を考慮した相対的な津波水位下降量が最大となる「東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル②)」に起因する津波である。

上段 最大水位下降量, []:地殻変動量(+:隆起, -:沈下)
下段 最大水位下降量に地震に伴う隆起量を考慮した相対的な津波水位

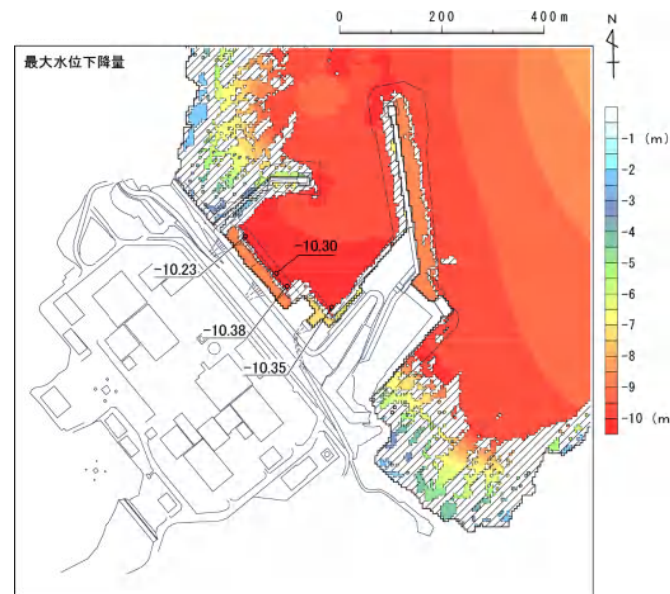
発生要因	種別	波源モデル	2号取水口前面		
			最大水位下降量(m)	継続時間(分)	
地震	プレート間地震	東北地方太平洋沖型の地震	基準断層モデル①	-10.22 [-0.58]	2.6
				-10.22	
			基準断層モデル②	-10.38 [-0.77]	2.6
			-10.38		
		基準断層モデル③	-9.78 [-0.72]	2.9	
			-9.78		
		津波地震		-9.17 [+0.03]	1.9
			-9.20		
	海洋プレート内地震	正断層型の地震		-10.13 [±0.00]	2.6
				-10.13	
	海域の活断層による地殻内地震	F-6断層～F-9断層		-1.2m(阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)	
地震以外	地すべり及び斜面崩壊		発電所へ与える影響は極めて小さい。		
	火山現象		発電所へ与える影響は極めて小さい。		
地震と地震以外に起因する津波の組合せ			地震以外に起因する津波が発電所へ与える影響は極めて小さいことから評価しない。		
2号機非常用海水ポンプの運転可能継続時間					約26

補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.2 各津波の評価
2.2.2 水位下降側:水位分布及び水位時刻歴波形

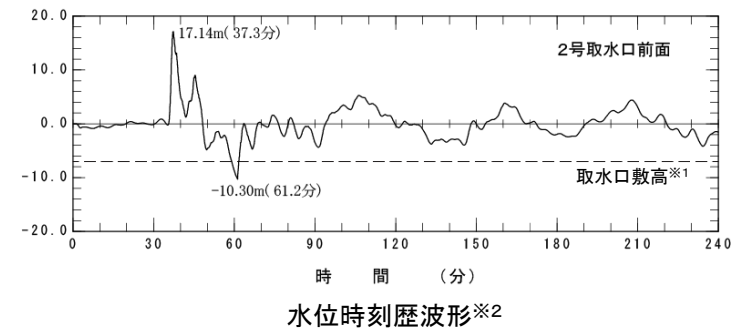
モデル	大すべり域・超大すべり域の位置	破壊開始点	破壊伝播速度
東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル②)	基準	P5	1.0(km/s)



すべり量分布, 破壊開始点位置



最大水位下降量分布



※1: T.P.-7.04m(O.P.-6.3m)

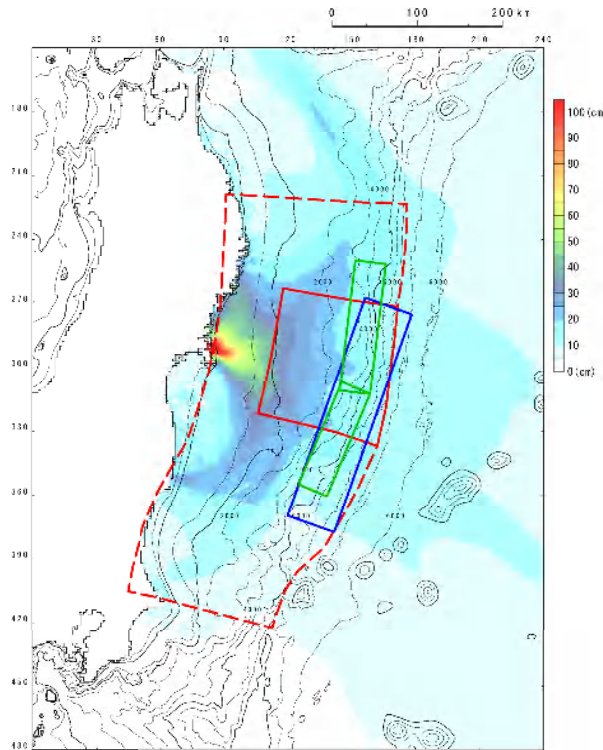
※2: 水位時刻歴波形は, 2号取水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出。

補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.2 各津波の評価

2.2.2 水位下降側:取水口前面における最大水位下降量の比較

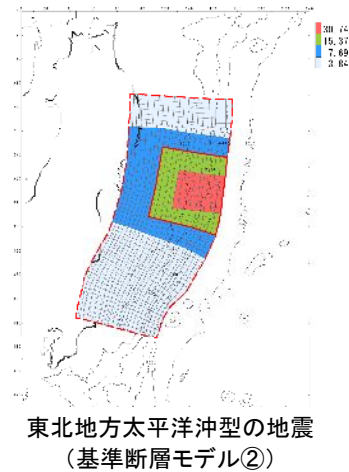
- 「東北地方太平洋沖型の地震」, 「津波地震」及び「海洋プレート内地震」の2号取水口前面最大ケースを対象に, 取水口前面における最大水位下降量を比較した結果を下図に示す。

— : 東北地方太平洋沖型の地震
 — : 津波地震
 — : 海洋プレート内地震

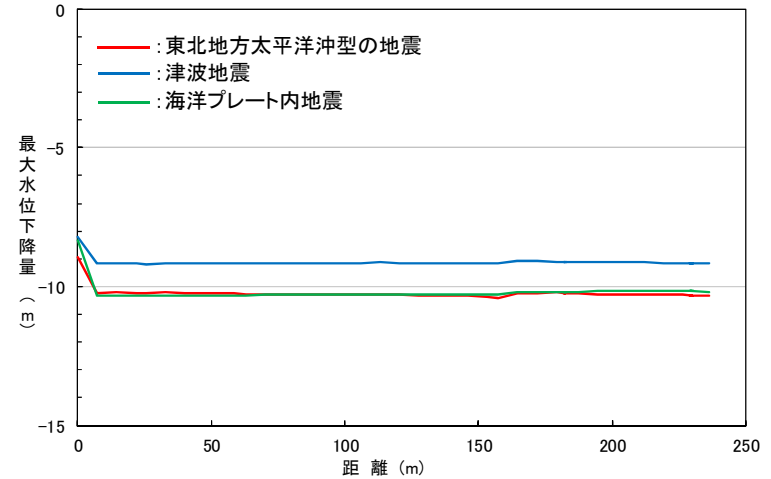


波源モデル重ね合わせ図※1, 2

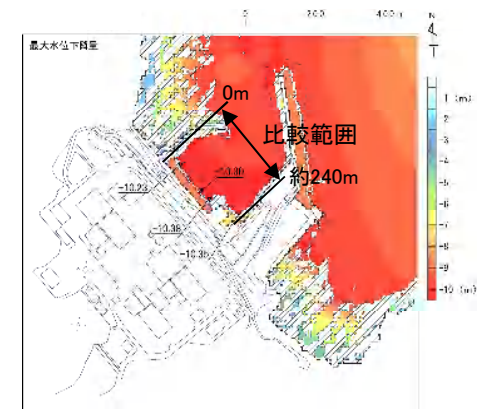
※1: 各地震の2号取水口前面最大ケース
 ※2: 背景は津波伝播特性の検討結果



東北地方太平洋沖型の地震
 (基準断層モデル②)



取水口前面における最大水位下降量の比較



最大水位下降量分布
 (東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル②))

補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.3 基準津波の策定

2.3.1 基準津波の策定

- 各津波の評価結果を踏まえ、発電所に与える影響が最も大きい「東北地方太平洋沖型の地震」に起因する津波を基準津波とした。

■基準津波(水位上昇側)

発生要因	種別	波源モデル	最高水位 (敷地前面)
地震	東北地方太平洋沖型の地震	基準断層モデル③	O.P.+23.1m ^{※1}

※1:最大水位上昇量(+21.58m)に、朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)を考慮した水位

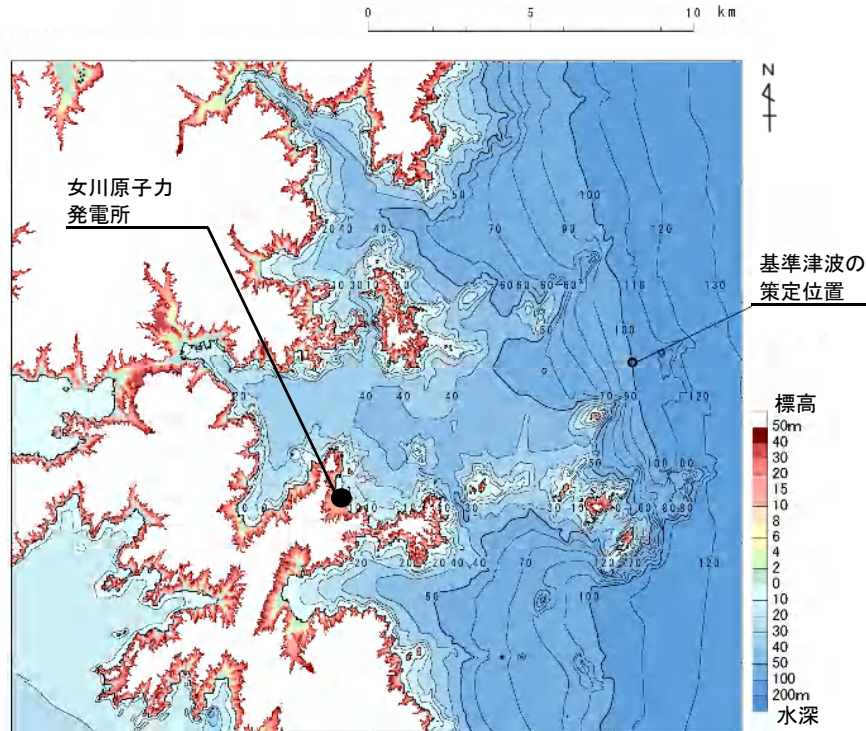
■基準津波(水位下降側)

発生要因	種別	波源モデル	最低水位 (2号取水口前面)
地震	東北地方太平洋沖型の地震	基準断層モデル②	O.P.-10.6m ^{※2}

※2:最大水位下降量(-10.38m)に、朔望平均干潮位(O.P.-0.14m)を考慮した水位

補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.3 基準津波の策定
2.3.2 基準津波策定位置における水位時刻歴波形

- 基準津波は、敷地前面の海底地形の特徴を踏まえ、時刻歴波形に対して施設からの反射波の影響が微小となるよう、敷地から沖合へ約10km離れた位置(水深100m)で策定した。



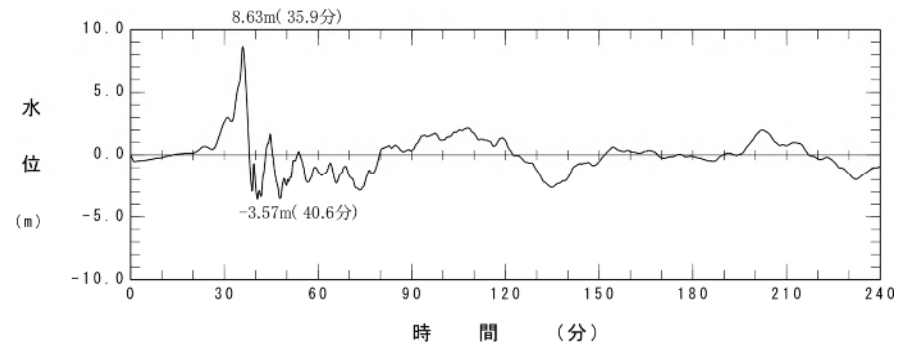
基準津波の策定位置

基準津波の策定位置での津波水位

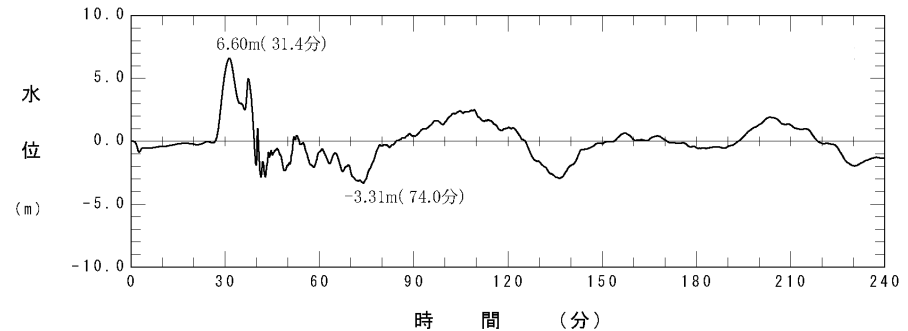
基準津波	種別	波源モデル	最高水位/最低水位
基準津波 (水位上昇側)	東北地方太平洋沖型の地震	基準断層モデル③	O.P.+10.1m※1
基準津波 (水位下降側)	東北地方太平洋沖型の地震	基準断層モデル②	O.P.-3.5m※2

※1: 最大水位上昇量(+8.63m)に、朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)を考慮した水位

※2: 最大水位下降量(-3.31m)に、朔望平均干潮位(O.P.-0.14m)を考慮した水位



基準津波(水位上昇側)
(東北地方太平洋沖型の地震, 基準断層モデル③)



基準津波(水位下降側)
(東北地方太平洋沖型の地震, 基準断層モデル②)

補足説明資料

3. 津波解析条件

3. 1 計算条件	.....	73
3. 2 計算領域とその水深	.....	74

余白

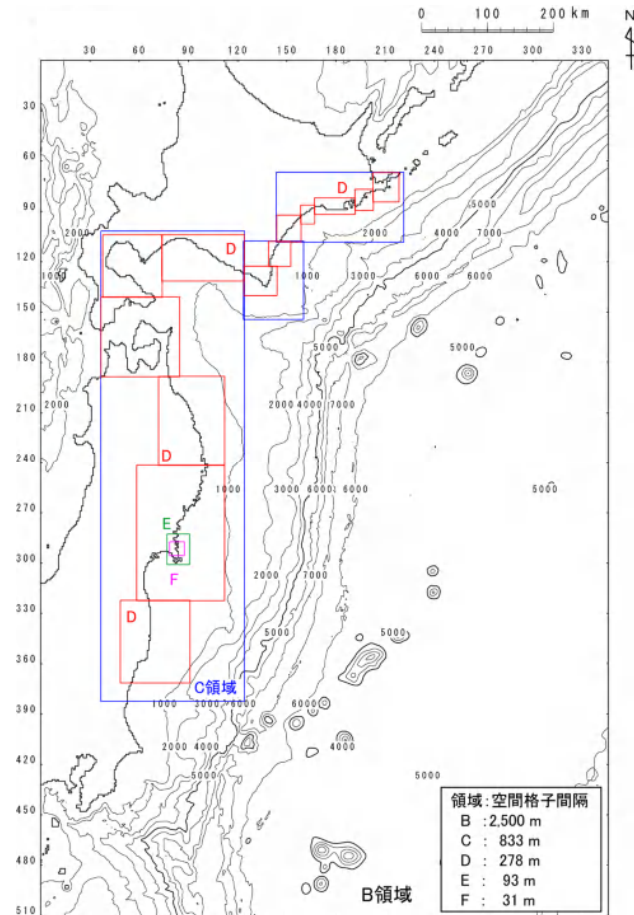
補足説明資料 3. 津波解析条件

3.1 計算条件

- 下記の計算条件に基づき津波解析を実施した。

主な計算条件

	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域	G領域	H領域
空間格子間隔 Δs	2.5 km	833 m (2500/3)	278 m (2500/9)	93 m (2500/27)	31 m (2500/81)	10m (2500/243)	5m (2500/486)
時間格子間隔 Δt	0.1秒						
基礎方程式	線形 長波式	非線形長波式(浅水理論) ^{※1}					
沖側境界条件	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	完全反射 (海底露出を考慮)	小谷ほか(1998)の遡上境界条件				
初期海面変動	波源モデルを用いてMansinha and Smylie(1971)の方法により計算される鉛直変位を海面上に与える						
海底摩擦	考慮 しない	マンニングの粗度係数 $n = 0.03\text{m}^{-1/3}/\text{s}$ (土木学会(2002)より)					
水平渦動粘性 係数	考慮しない						
潮位条件	T.P.±0.0m ^{※2}						
計算再現時間	地震発生後4時間 ^{※3}						



計算領域^{※4}とその水深及び格子分割

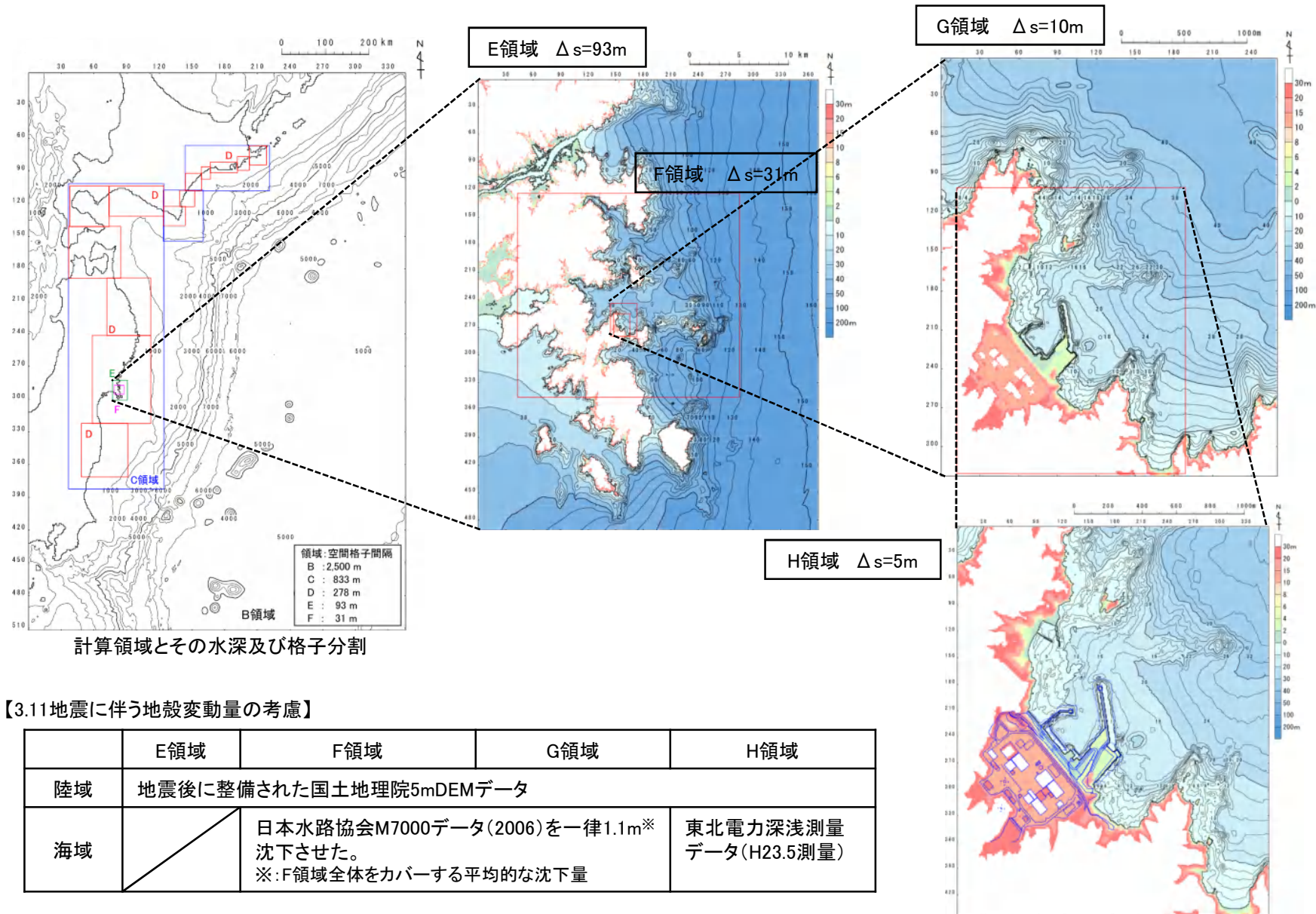
※1:土木学会(2002)では、水深200m以浅の海域を目安に非線形長波式を適用するとしている。これを十分に満足するようC領域以下(水深1500m以浅)で非線形長波式(浅水理論)を適用した。

※2: T.P.±0.0m=O.P.+0.74m(O.P.は女川原子力発電所工事用基準面)

※3: 日本海溝沿いで発生する近地津波を評価するにあたって、十分な計算時間となるよう設定した。

※4: 計算領域範囲は、日本海溝沿い・千島海溝沿い南部の津波発生領域が含まれる範囲及び北海道・東日本沿岸からの反射波が発電所に与える影響を考慮して設定した。

補足説明資料 3. 津波解析条件
3.2 計算領域とその水深



【3.11地震に伴う地殻変動量の考慮】

補足説明資料

4. 土木学会(2011)のロジックツリー

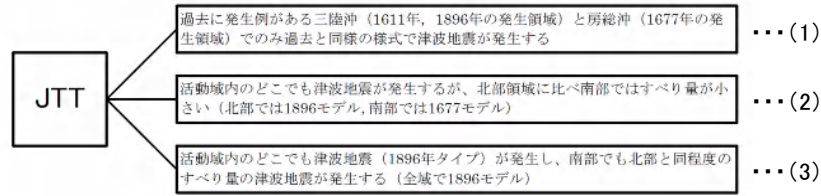
4. 1 津波地震	.....	77
4. 2 海洋プレート内地震	.....	78

余白

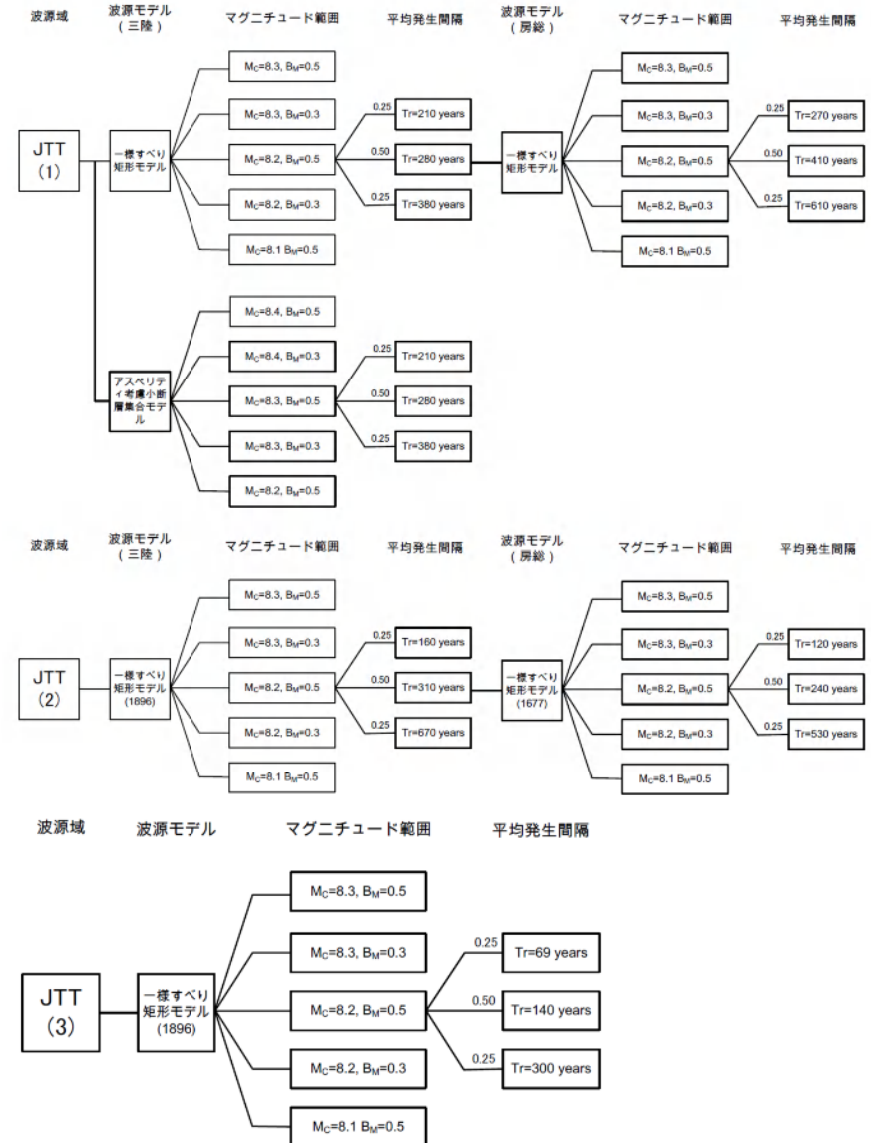
補足説明資料 4. 土木学会(2011)のロジックツリー

4.1 津波地震

■発生領域に関する分岐



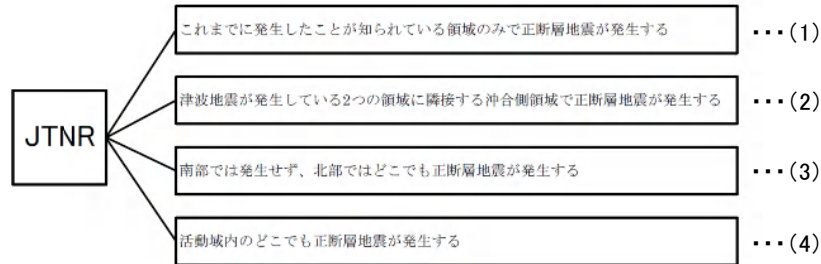
■津波発生モデルのロジックツリー



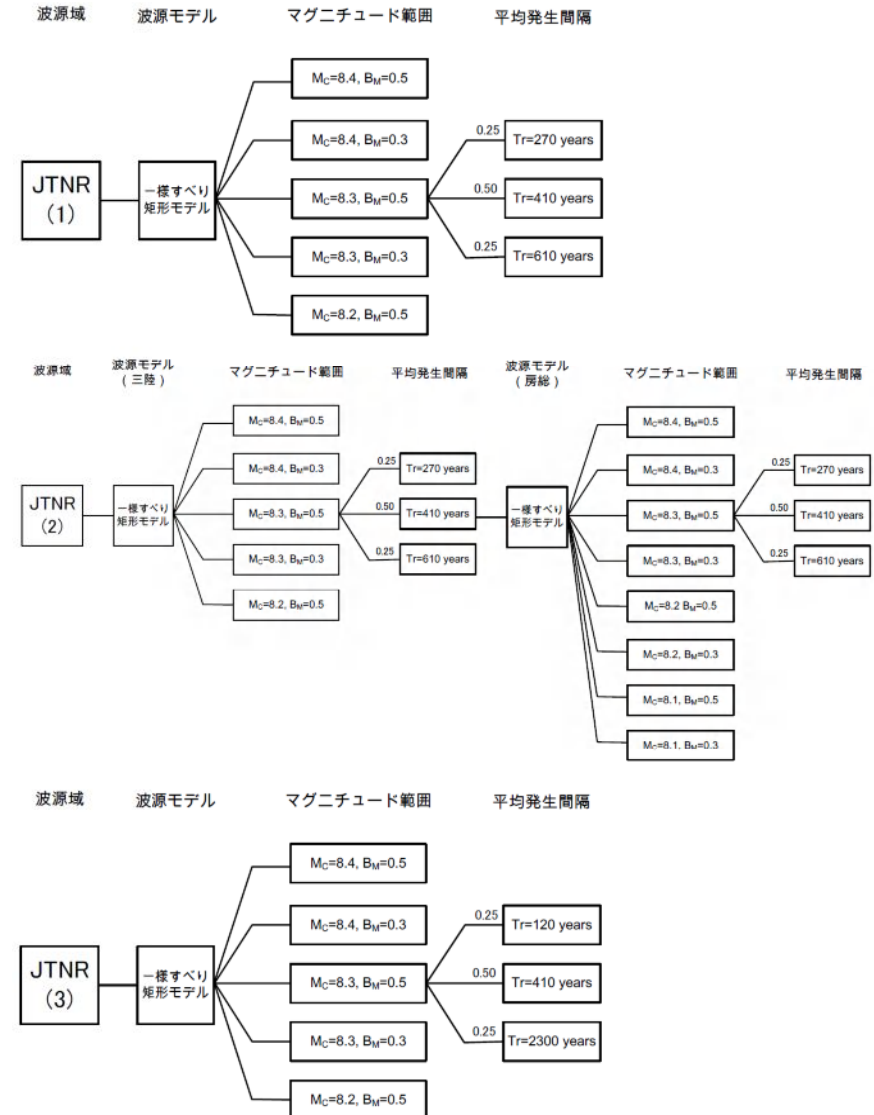
補足説明資料 4. 土木学会(2011)のロジックツリー

4.2 海洋プレート内地震

■発生領域に関する分岐



■津波発生モデルのロジックツリー※



※:JTNR(4)のロジックツリーは、JTNR(3)のロジックツリーと同一であるため記載省略。

補足説明資料

5. 津波波源モデルの設定方法

5. 1 津波地震	81
5. 2 海洋プレート内地震	82
5. 3 広域の津波特性を考慮した特性化モデル	83
5. 4 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	85

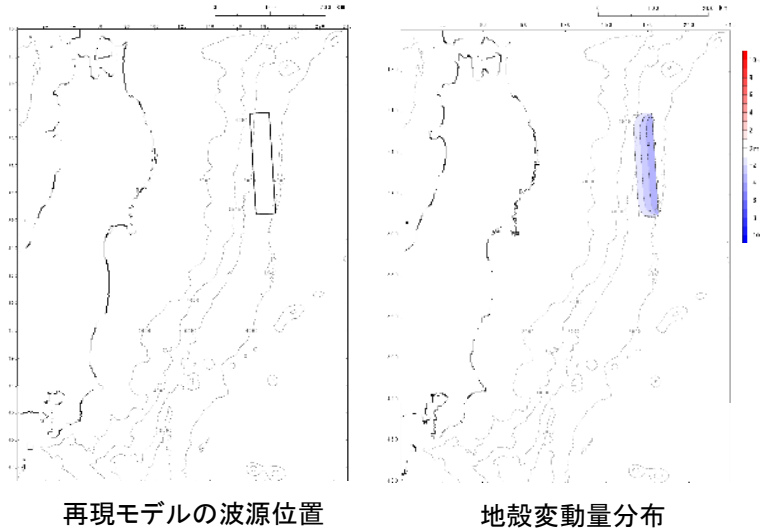
余白

補足説明資料 5. 津波波源モデルの設定方法

5.2 海洋プレート内地震

■再現モデルの設定

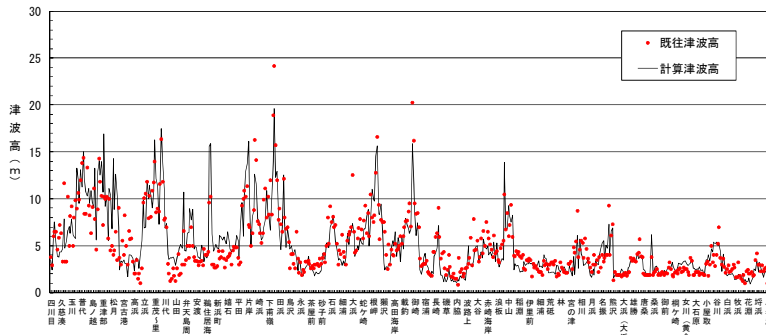
- 土木学会(2002)を参考として、1933年昭和三陸地震津波の再現モデルを設定した。



断層パラメータ		設定方法	設定値
モーメントマグニチュード	Mw	$(\log M_0 - 9.1) / 1.5$	8.35
長さ	L(km)	土木学会(2002)	185
幅	W(km)	土木学会(2002)	50
剛性率	μ (N/m ²)	土木学会(2002)	7.0×10^{10}
すべり量	D _{max} (m)	土木学会(2002)	6.6
地震モーメント	M ₀ (Nm)	μ LWD	4.27×10^{21}
走向	θ (°)	土木学会(2002)	180
断層上縁深さ	d(km)	土木学会(2002)	1
傾斜角	δ (°)	土木学会(2002)	45
すべり角	λ (°)	土木学会(2002)	270
ライズタイム	τ (s)	相田(1986)	60

■再現性の確認結果

- 土木学会(2002)の目安を満足しており、各断層パラメータの設定値が妥当であることを確認した。

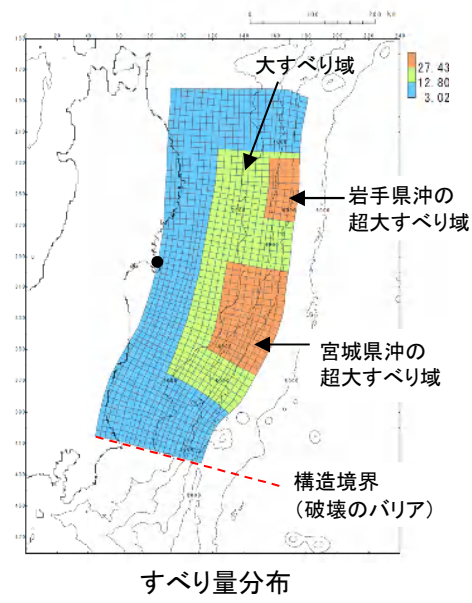
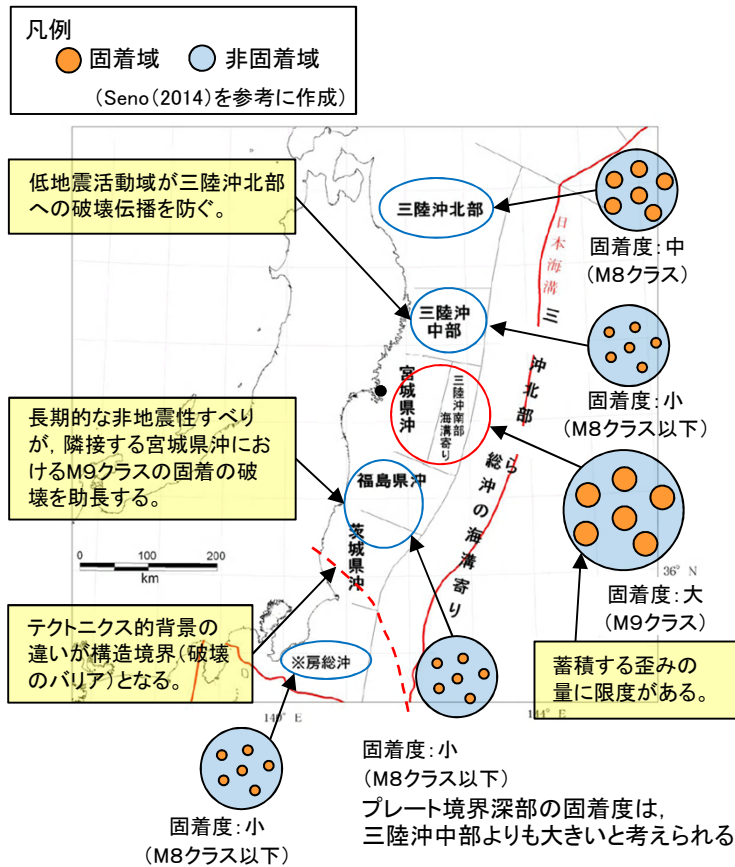


既往津波	K	K	n	既往津波高
1933年昭和三陸地震津波	1.00	1.43	553	松尾(1933), 地震研究所(1934)

補足説明資料 5. 津波波源モデルの設定方法

5.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデル①

- ・ 想定波源域は, 3.11地震に伴う津波の再現モデルのうち津波波形等をインバージョンした内閣府(2012a)モデル, Satake et al.(2013)55枚モデル, 杉野ほか(2013)モデルを参考に設定した。
- ・ 大すべり域・超大すべり域は, 広域の津波特性(痕跡高)を考慮するため, 内閣府(2012b)で示されている大すべり域・超大すべり域の面積よりも大きい面積を示している杉野ほか(2014)を参考に設定した。
- ・ また, 大すべり域・超大すべり域の位置は, 各領域の固着等に関する分析結果を踏まえて設定した。



断層パラメータ	設定値	
モーメントマグニチュード(Mw)	9.13	
断層面積(S)	129,034(km ²)	
平均応力降下量(Δσ)	3.26(MPa)	
地震モーメント(Mo)	6.21 × 10 ²² (Nm)	
剛性率(μ)	5.0 × 10 ¹⁰ (N/m ²)	
すべり量	平均すべり量	9.62(m)
	背景領域(面積及び面積比率)	3.02(m) (72,841(km ²), 56.5%)
	大すべり域(面積及び面積比率)※	12.80(m) (35,497(km ²), 27.5%)
	超大すべり域(面積及び面積比率)	27.43(m) (20,696km ²), 16.0%)
ライズタイム(τ)	60(s)	

※: 超大すべり域を除いた面積及び面積比率

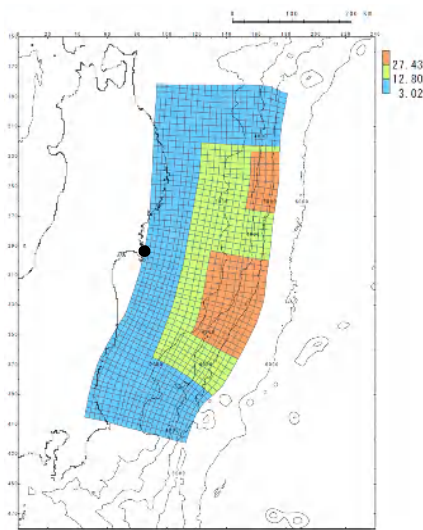
各領域の固着等に関する分析結果
(地震調査研究推進本部(2012)に一部加筆)

補足説明資料 5. 津波波源モデルの設定方法

5.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデル②

- ・ 設定した特性化モデルは、土木学会(2002)の再現性の目安を満足するとともに、津波高が大きい岩手県沿岸～福島県沿岸の痕跡高を良好に再現しており、広域の津波特性を適切に考慮していることを確認した。
- ・ さらに、女川地点を含む宮城県周辺(北緯39°～北緯38°)については、痕跡高に対して計算値の方が大きく($K=0.86$, $\kappa=1.36$, $n=836$)、安全側のモデルになっていることを確認した。

【広域の津波特性を考慮した特性化モデル】

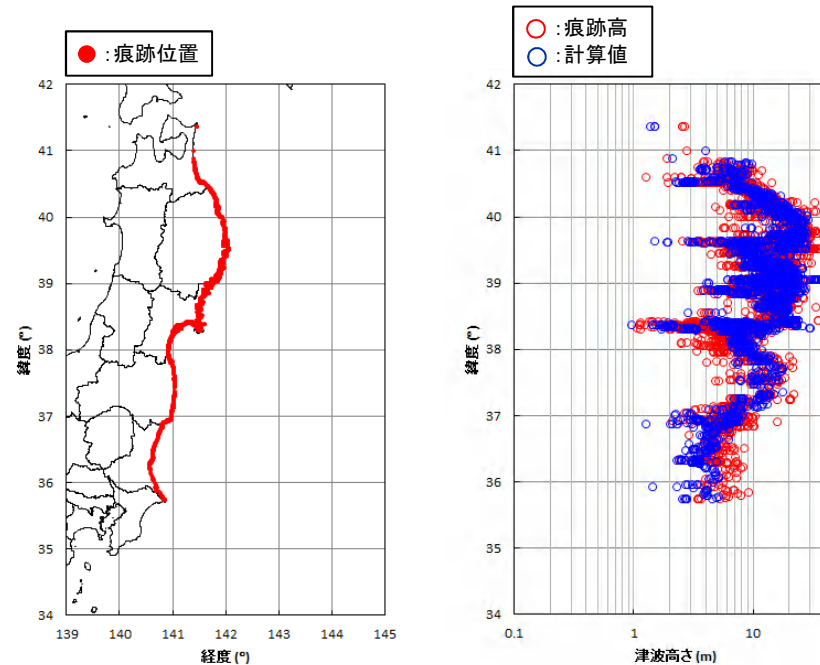


すべり量分布

【痕跡高の再現性の確認結果】

	K	κ	n	既往津波高
広域の津波特性を考慮した特性化モデル	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)

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

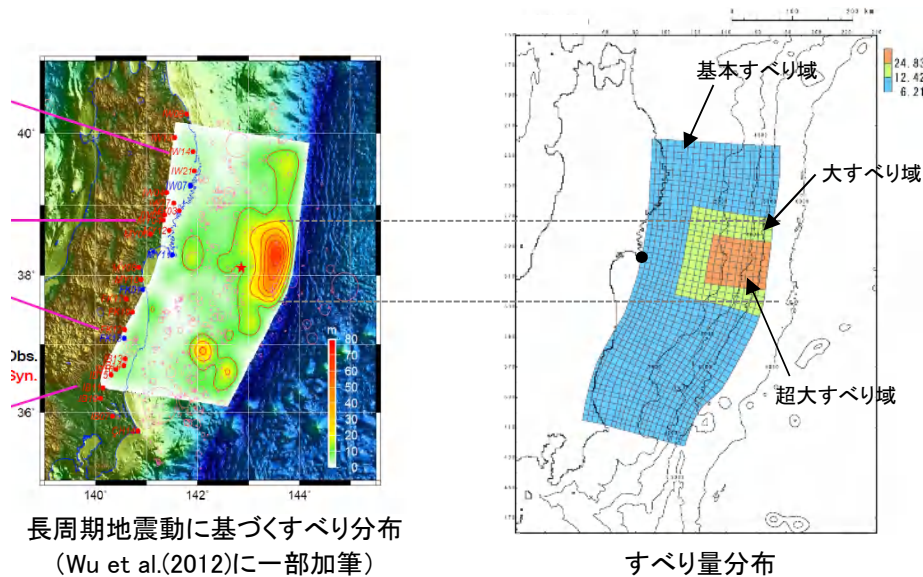


痕跡高と計算値の比較

補足説明資料 5. 津波波源モデルの設定方法

5.4 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①

- 想定波源域は、宮城県沖の大すべり域の破壊特性(地震特性)を特性化モデルに反映する観点から、地震調査研究推進本部(2012, 2014)による「東北地方太平洋沖型の地震」と同様に、三陸沖中部～茨城県沖に設定した。
- 大すべり域・超大すべり域は、国内外の巨大地震の解析事例の調査に基づき大すべり域・超大すべり域のすべり量及び全体面積に占める面積比率を示している内閣府(2012b)を参考に設定した。
- なお、大すべり域・超大すべり域の面積は、震源の全体的な破壊の動きを捉えていると考えられる長周期観測地震動に基づいて推定された震源断層モデル(Wu et al.(2012))のすべり分布を参考として(杉野ほか(2013)), 内閣府(2012b)に示されている面積比率よりも大きく設定した。



諸元

断層パラメータ		設定値
モーメントマグニチュード(Mw)		9.04
断層面積(S)		107,357(km ²)
平均応力降下量($\Delta\sigma$)		3.13(MPa)
地震モーメント(Mo)		4.52 × 10 ²² (Nm)
剛性率(μ)		5.0 × 10 ¹⁰ (N/m ²)
すべり量	平均すべり量	8.43(m)
	基本すべり域 (面積及び面積比率)	6.21(m) (85,165(km ²), 79.3%)
	大すべり域 (面積及び面積比率)※	12.42(m) (22,192(km ²), 20.7%)
	超大すべり域 (面積及び面積比率)	24.83(m) (8,078km ²), 7.5%)
ライズタイム(τ)		60(s)

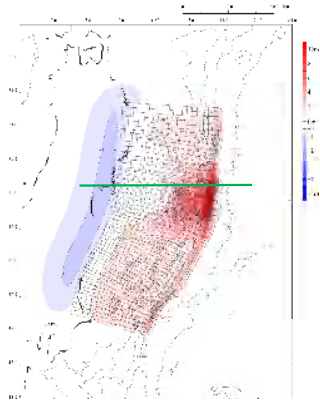
※: 大すべり域と超大すべり域をあわせた領域の面積比率

補足説明資料 5. 津波波源モデルの設定方法

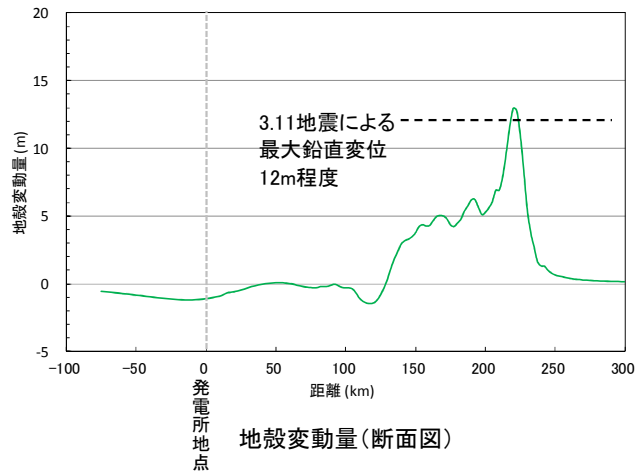
5.4 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル②

- 設定した特性化モデルは、破壊特性が表れる地殻変動量(プレート境界の破壊)、沖合いの観測波形(津波伝播)及び発電所の津波水位(津波遡上)を良好に再現しており、宮城県沖の大すべり域の破壊特性を適切に考慮していることを確認した。

■地殻変動量(プレート境界の破壊)の比較



地殻変動量分布
(ライズタイム: 300(s)相当)

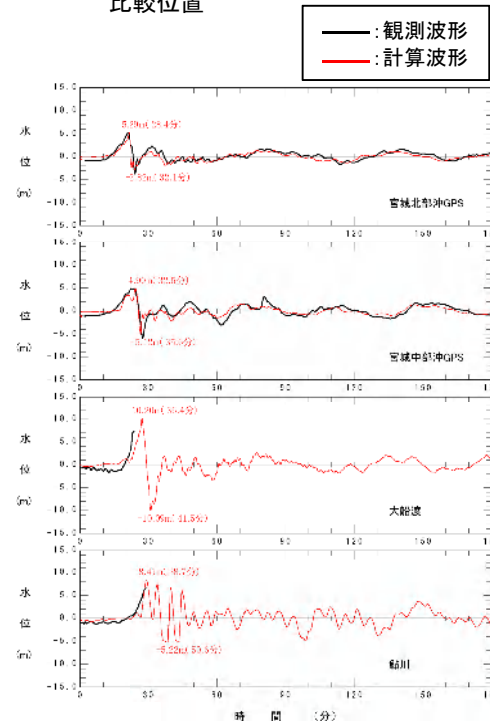


地殻変動量(断面図)

■沖合いの観測波形(津波伝播)の比較

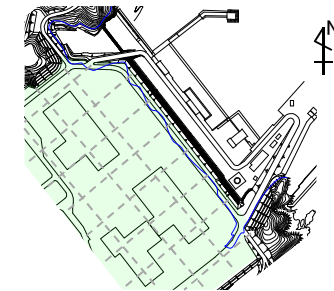
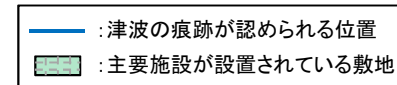


比較位置

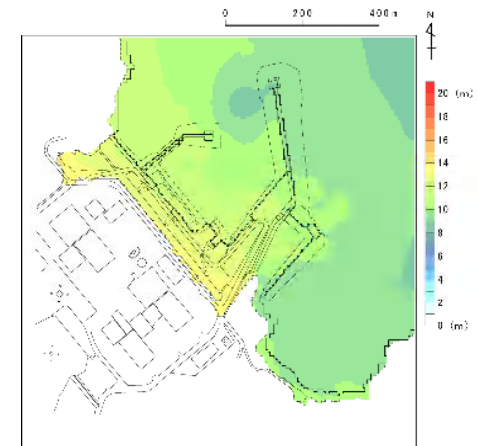


観測波形と計算波形の比較

■発電所の津波水位(津波遡上)の比較



発電所敷地における痕跡調査結果
(東北電力(2011)を一部修正)



最大水位上昇量分布

補足説明資料

6. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討

6. 1	地震規模に関する知見	.....	88
6. 2	専門家意見聴取結果	.....	91

6.1 地震規模に関する知見:

国内外における海溝外縁隆起帯で発生した海洋プレート内地震の地震規模

コメントNo.163

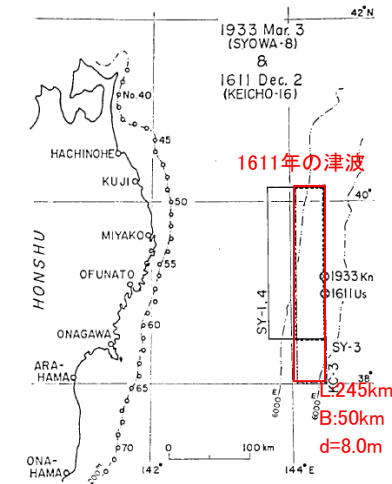
- 1933年昭和三陸地震津波は, 国内外における海溝外縁隆起帯 (outer rise) で発生した最大規模の海洋プレート内地震である。

海溝外縁隆起帯で発生した主な海洋プレート内地震の断層パラメータ (Alvarez-Gomez et al.(2012))

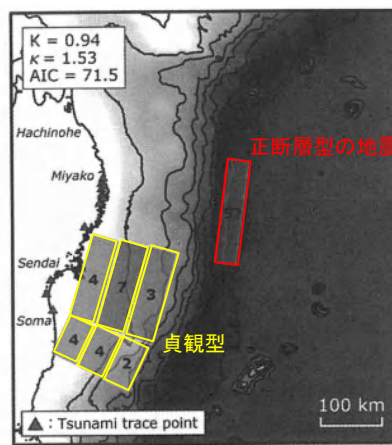
Id.	Date dd/mm/yyyy	Place	M_w	Length km	Width km	Bottom km	Dip °	Slip m	Rigidity Nm^{-2}	Reference
a	03/02/1933	Sanriku	8.4	185	100	70	45	3.3	-	Kanamori (1971)
b	03/02/1933	Sanriku	8.4	220	35	25	45	8	7.0×10^{10}	Kirby et al. (2008)
c	30/03/1965	Rat Island	7.2	50	80	60	50	1.2	7.0×10^{10}	Abe (1972)
d	30/03/1965	Rat Island	7.2	50	40	30	50	6	5.0×10^{10}	Beck and Christensen (1991)
e	19/08/1977	Sunda	8.2	200	70	40	45	3	6.4×10^{10}	Gusman et al. (2009)
f	19/08/1977	Sunda	8.2	200	25	29	45	9	4.0×10^{10}	Spence (1986), Lynnes and Lay (1988)
g	04/05/1990	Mariana	7.3	40	25	29	48	3.4	4.0×10^{10}	Satake et al. (1992)
h	04/05/1990	Mariana	7.3	70	40	40	48	1.5	4.0×10^{10}	Satake et al. (1992)
i	04/05/1990	Mariana	7.3	70	40	-	48	-	-	Yoshida et al. (1992)
j	04/09/2001	Juan Fernandez Ridge	6.7	70	26	30	51	1	4.0×10^{10}	Fromm et al. (2006)
k	13/01/2007	Kuril	7.9	120	40	35	45	1.9	5.0×10^{10}	Fujii and Satake (2008)
l	13/01/2007	Kuril	8.0	130	30	-	37	6.4	4.0×10^{10}	Tanioka et al. (2008)

6.1 地震規模に関する知見：今井ほか(2012)

- 今井ほか(2012)は、1611年の津波の津波痕跡、震源域及び地震動と津波の史料記述を再整理し、それらに対する相田(1977)モデルの矛盾点を以下のとおり指摘している。
- 今井ほか(2012)モデル(KT-02)は、痕跡高の逆解析から、宮城県沖のプレート境界面と海溝外縁隆起帯のすべりを推定している(Mw=8.5)。
- 同モデルの海溝外縁隆起帯におけるすべり分布(すべり量、断層長さ)は、相田(1977)モデルよりも小さく、1933年昭和三陸地震津波と同程度である。



相田(1977)モデル(KC-3)



今井ほか(2012)モデル(KT-02)

【今井ほか(2012)】

■津波痕跡

- ✓ 1611年の津波は三陸沿岸の一部で3.11地震に匹敵する津波痕跡が残されているといわれており、仙台湾沿岸部においても地質学的痕跡が確認されている。

■震源域

- ✓ 史料の再精査から1611年の震源域は三陸沖から仙台湾沖まで広がっていた可能性が示唆されている。

■史料に残された地震動と津波

- ✓ 各地の史料を総合的にみると、午前8～10時に仙台湾から江戸に至る広域で有感地震あり。
- ✓ 仙台湾における津波来襲時刻は不明であるが、三陸沿岸に津波が来襲した時刻は午後2時頃であったと解釈できる。

■相田(1977)モデルの矛盾点

三陸沿岸の津波痕跡高を説明できるが、仙台湾沿岸ではせいぜい2m程度の津波高となり説明できない。

江戸での最大震度はせいぜい4程度であり、仙台湾平野や江戸での地震有感時刻と三陸沿岸の津波来襲時刻の時間差を合理的に説明することは難しい。

<今井ほか(2012)モデル(KT-02)>

- 痕跡高の逆解析の結果、宮城県沖とその北側海溝軸付近における逆断層地震(KT-01) (p3)と、宮城県沖の逆断層地震とその北側アウターライズ領域の正断層地震(KT-02)の2つの地震モデルが得られた。
- 両モデルともに869年の地震の震源域のすべりが必要になり、各モデルの地震規模はMw=8.5程度と推定される。
- 津波痕跡、震源域、史料記述を踏まえると、KT-02の方がより矛盾無く解釈できる。ただし、KT-01を完全に否定することもできない。

補足説明資料 6. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討

6.1 地震規模に関する知見：ハザード評価事例

コメントNo.163

- 杉野ほか(2015), 藤原ほか(2015), 土木学会(2016)は, 地震調査研究推進本部(2012)の長期評価を参考に, 1933年昭和三陸地震の地震規模を基本にそのばらつきを考慮して, 確率論的津波ハザード評価を実施しており, 上限Mwを8.6としている(杉野ほか(2015), 土木学会(2016))。

■杉野ほか(2015)

表5 日本海溝沿いの地震活動の長期評価結果と津波波源モデルの一覧

番号	日本海溝沿いの地震活動の長期評価		長期評価を踏まえた津波波源モデル					備考
	地震発生領域	次の地震規模	Mw	長さ(km)	幅(km)	すべり量(m)		
1	三陸沖北部のプレート間大地震	M8.0前後	8.2, 8.3, 8.4	200*1	100*1	2.5, 3.5, 5.0	-	
2	三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート間大地震(津波地震)	M8.2前後	8.1, 8.2, 8.3	200*2	50*2	4.0, 5.6, 7.9	-	
3	三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート内大地震(正断層型)	M8.2前後	8.4, 8.5, 8.6	200*2	100*2	3.2, 4.5, 6.4	-	
4	三陸沖北部(M7クラス)	M7.1~M7.6	-	-	-	-	対象地点への影響が小さいと判断し除外	
5	三陸沖中部	評価なし	-	-	-	-	長期評価結果で除外	
6	三陸沖南部海溝寄り	M7.7前後	7.9, 8.0, 8.1	200*3	50*3	1.8, 2.5, 3.5	-	
7	宮城県沖	M7.5前後	7.7, 7.8, 7.9	49*4	130*4	0.9, 1.3, 1.8	-	
6+7	三陸沖南部海溝寄りと宮城県沖の連動	M8.0前後	8.2, 8.3, 8.4	283*5	71*5	2.5, 3.5, 5.0	-	
8	福島県沖	M7.4前後	7.6, 7.7, 7.8	92*6	55*6	1.1, 1.6, 2.2	-	
9	茨城県沖	M6.7~7.2	7.0, 7.3, 7.5	43*7	47*7	0.5, 1.5, 3.0	-	
10	房総沖	評価なし	-	-	-	-	長期評価結果で除外	

*1 長期評価報告書¹⁴⁾の図読取
 *2 長期評価報告書¹⁴⁾記載
 *3 1897宮城県沖地震の相田(1977)モデル⁹⁾の長さ幅比を参照
 *4 1978宮城県沖地震の瀬野他(1979)モデル²¹⁾の長さ幅比を参照

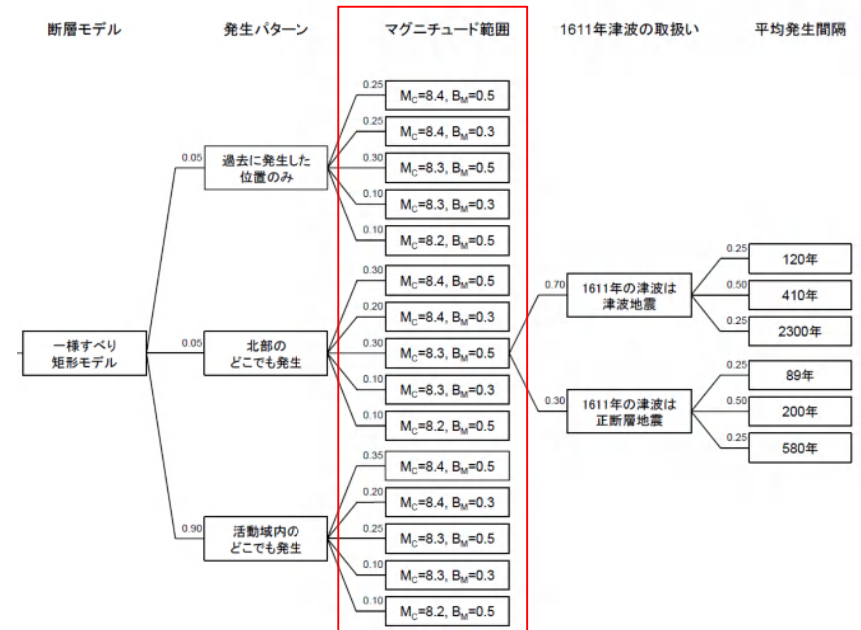
*5 1793宮城県沖地震の相田(1977)モデル⁹⁾の長さ幅比を参照
 *6 1938塩屋崎沖地震のAbe(1977)モデル²²⁾の長さ幅比を参照
 *7 長期評価報告書¹⁴⁾の図読取値の長さ幅比を参照

■藤原ほか(2015)

4.2.1.6 プレート内地震(正断層型)

三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート内地震(正断層型)(以下, プレート内地震と呼ぶ)は, 地震調査委員会(2011)によって M8.2 前後の地震が, 三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの領域内のいずれかの場所で, 400~750 年の間隔で発生していると評価されている。本研究では, プレート内地震として設定した Mw8.2 の波源断層モデル 14 個に対して, 地震調査委員会(2011)で評価された発生間隔 400 年から 750 年の中央値 575 年を平均発生間隔と考え発生確率を算定した。

■土木学会(2016)



補足説明資料 6. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討

6.2 専門家意見聴取結果

コメントNo.163

- ・ 前述した地震規模に関する知見の収集結果を踏まえ(「6.1」), 1611年の津波が海洋プレート内地震の場合のMwの範囲を見直すことについて, 専門家へ意見聴取を行い, 必要な関連情報等を収集した。

■ 関連情報: 海洋プレート内地震のロジックツリーの見直しについて

- ✓ 1611年の津波の地震発生様式の分岐のうち海洋プレート内地震の場合のMwの範囲について, 地震規模ならびに各機関の評価事例に係る関連情報の収集結果から, 中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更することについて(上限Mwを8.8から8.6に変更することについて)

専門家のご意見
<ul style="list-style-type: none"> ・ 1611年の津波は未だ研究途上にあるが, 最新知見を反映した今井ほか(2012)モデルは, 現時点で最も信頼できるモデル(妥当なモデル)と考えられる。 ・ 今井ほか(2012)モデルのアウトサイズ領域のすべりは1933年昭和三陸地震津波と同程度であることを踏まえると, “1611年の津波が正断層型地震、の中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更する(上限Mwを8.8から8.6に変更する)ことは妥当である。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 現状のロジックツリーを維持し, 各分岐の重みを変更する方法も考えられるが, 上限Mwを8.8から8.6に変更する今回の方法は, 土木学会(2016)等とも整合しており, 異論はない。 ・ なお, ロジックツリーは, 5年, 10年経つと変わる可能性があるため, 最新知見の収集に努めること。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 1611年の津波は未だ議論があるところであり, 津波痕跡など新しい情報は増えてきているものの, 相田(1977)モデルをベースとした土木学会(2002)モデル(Mw8.6)の否定までには至っていないと考える。 ・ 以上から, “1611年の津波が正断層型地震、の中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更するという「Mwの範囲」の分岐を見直す方法ではなく, 「波源モデル」の分岐を新たに追加する方法(例えば, 相田(1977)モデル, 今井ほか(2012)モデルを分岐で処理するなど)が考えられる。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 1611年の津波について, 相田(1977)が基にした痕跡データから情報が増えており, 今後, 波源そのものを再検討する動きがあると聞いている。したがって, 相田(1977)モデルをベースとした土木学会(2002)モデル(Mw8.6)に固執する必要は無いと考える。 ・ 1933年昭和三陸地震津波(Mw8.4)は, 国内外で最大規模のアウトサイズ地震であるとともに, 1611年の津波がアウトサイズ地震であった場合, 三陸沖の同じ領域において, M8クラスのプレート間地震と同程度のすべりが約300年間の間に生じたことになり, 地震学的に考えにくいのではないかと考える。 ・ 以上から, “1611年の津波が正断層型地震、の中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更する(上限Mwを8.8から8.6に変更する)ことは妥当である。

上記, 意見聴取結果を踏まえ, 中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更することについてレビューを行い(詳細は次頁に記載), その妥当性について評価を得た。

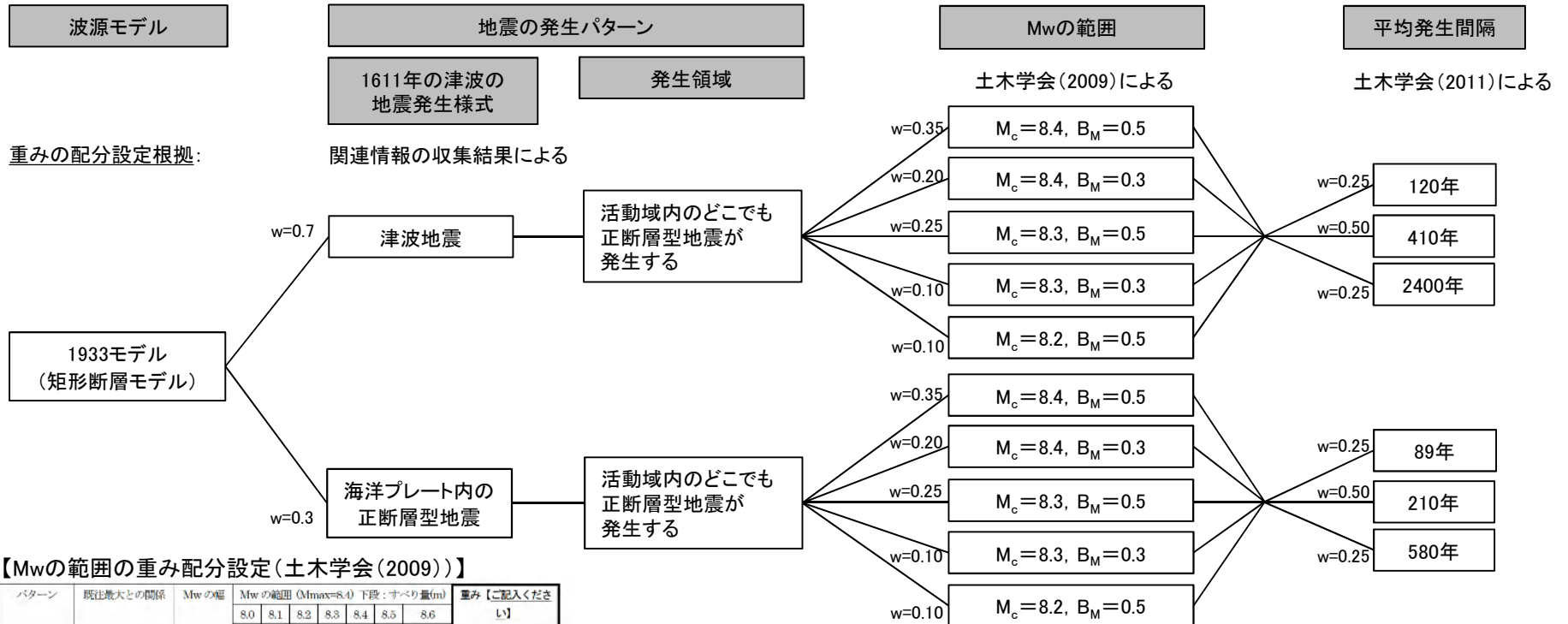
補足説明資料 6. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討

6.2 専門家意見聴取結果:レビュー内容

コメントNo.163

■ 専門家意見聴取結果を踏まえて作成したロジックツリー

- 各専門家意見を総合的に踏まえ、中央マグニチュード(M_c)は、1611年の津波の地震発生様式によらず、国内外で最大規模の1933年昭和三陸地震津波規模(M_w 8.4)とし、 M_w の範囲の重みは土木学会(2009)を流用する。
- なお、引き続き、最新知見の収集に努め、本評価の見直しが必要な知見が得られた場合には、適切に対応していく。



【 M_w の範囲の重み配分設定(土木学会(2009))】

パターン	既往最大との関係	M_w の幅	M_w の範囲 ($M_{max}=8.4$) 下段: すべり量(m)							重み【ご記入ください】
			8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	
a.	既往最大を上回る	0.5								0.35
b.	地震が発生する	0.3								0.20
c.		0.5								0.25
d.	既往最大を上回る	0.3								0.10
e.	地震は発生しない	0.5								0.10

特記事項【できるだけご記入ください】

重みの合計
1.0

補足説明資料

7. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

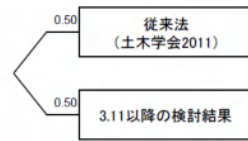
7. 1 土木学会(2016)のロジックツリー	.....	94
7. 2 専門家意見聴取結果	.....	95

補足説明資料 7. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

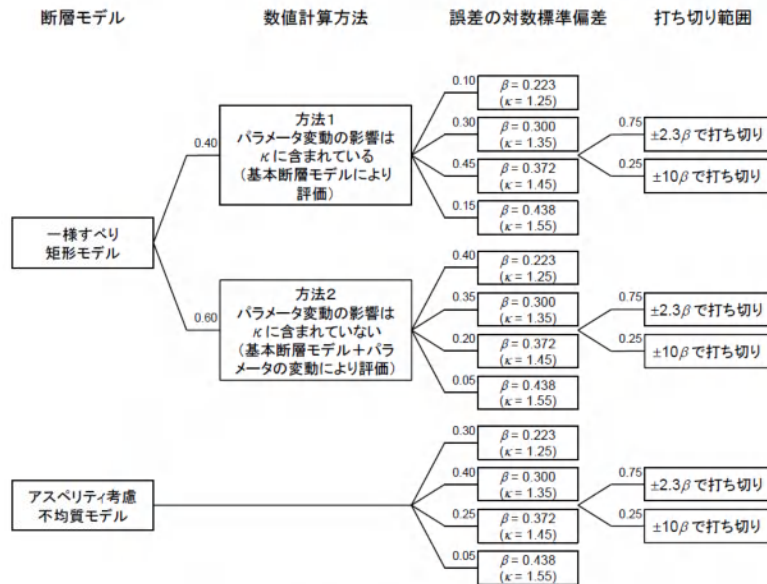
7.1 土木学会(2016)のロジックツリー

- 土木学会(2016)では、3.11地震に伴う津波の再現解析等から津波高さ推定値のばらつきに関する検討を実施し、それから得られた知見を以下のとおり、津波高さ推定に関するロジックツリーに反映している。

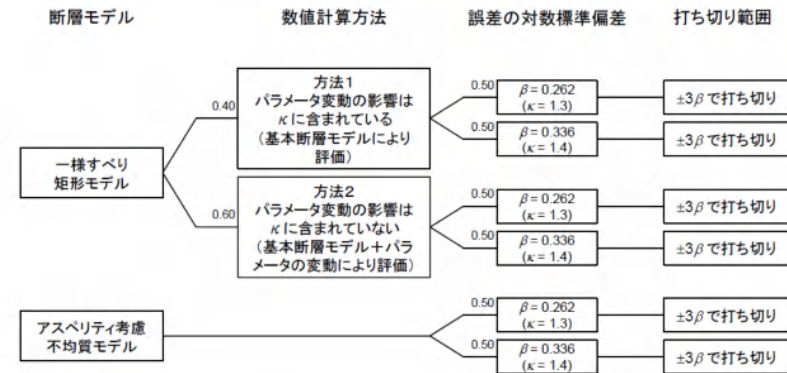
ばらつきと打ち切りの考え方



(a) ばらつきと打ち切りの考え方に関する分岐



(b) 従来法 (土木学会, 2011)



(c) 東北地方太平洋沖地震以降の検討結果

津波高さ推定に関するロジックツリー
(土木学会(2016))

補足説明資料 7. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

7.2 専門家意見聴取結果

コメントNo.164

- ・ JNES(2014)等の設定方法, 並びに矩形断層モデルに適用するロジックツリーを評価に反映するにあたり, 専門家へ意見聴取を行い, 必要な関連情報等を収集した。
- ・ 各専門家の意見聴取結果を踏まえ, 津波高さ推定に関するロジックツリーを作成・レビューを行い, その妥当性について評価を得た。

【収集した関連情報等】

■ 関連情報1: 土木学会(2011)を参考に設定したロジックツリーを変更することについて

- ✓ 誤差の対数標準偏差(β), 対数正規分布の打ち切り範囲(σ)の定義とその特徴から, 同パラメータは, ハザード評価に与える影響が大きいと判断され, 各指針類の要求事項に照らして, JNES(2014)による最新知見をロジックツリーに反映することは必要と判断することについて。

■ 関連情報2: JNES(2014)の内容とハザード評価の解析条件等との対比に関する考察について

■ 関連情報3: ロジックツリーの見直し及び重み配分設定方法の妥当性について

- ✓ JNES(2014)の内容の分析及びハザード評価の解析条件等との対比から, 津波水位のばらつきはJNES(2014)の設定範囲 $\beta=0.20\sim 0.30$ が妥当であり, 土木学会(2011)の設定方法からJNES(2014)等の設定方法に見直すことについて(土木学会(2011)の設定方法を削除することについて)。

■ 関連情報4: 津波高さの推定に関するロジックツリーのうち矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差(β)等の分岐設定について

- ✓ 不均質モデルと一様すべりの矩形断層モデルのモデル特性の違いが, 津波高さのばらつき(β)要因である波源特性($\beta_{\text{波源}}$), 伝播特性($\beta_{\text{伝播}}$), 遡上特性($\beta_{\text{遡上}}$)に及ぼす影響について追加検討を実施した。
- ✓ 上記結果を踏まえ, 両モデルに同じ分岐・重み配分を適用することは妥当と評価することについて

補足説明資料 7. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

7.2 専門家意見聴取結果: 関連情報1

■関連情報1: 土木学会(2011)を参考に設定したロジックツリーを変更することについて

- ✓ 誤差の対数標準偏差(β), 対数正規分布の打ち切り範囲(σ)の定義とその特徴から, 同パラメータは, ハザード評価に与える影響が大きいと判断され, 各指針類の要求事項に照らして, JNES(2014)による最新知見をロジックツリーに反映することは必要と判断することについて

専門家のご意見

- JNES(2014)にもあるように, 土木学会(2011)での検討では, 空間格子間隔が現時点より粗い(100m~200m)ので, ばらつきが大きくなるのは当然の結果である。また, 土木学会(2011)ではすべりの不均質性をほとんど考慮していないのに対し, 今回は不均質性を考慮しているのばらつきは小さくなる。以上より, JNES(2014)の最新知見を評価に反映することは必要。
- 3.11津波再現モデルによる広域の痕跡高に対する計算値のばらつき κ は1.35程度であり, 11の歴史津波を対象とした土木学会(2011)での検討結果 $\kappa=1.45$ と比較して小さくなっていることから, JNES(2014)等の最新知見を評価に反映することは必要。
- 3.11地震から得られた知見を考慮したJNES(2014)の知見は, 評価に取り入れるべき。

補足説明資料 7. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

7.2 専門家意見聴取結果: 関連情報2

■関連情報2: JNES(2014)の内容とハザード評価の解析条件等との対比に関する考察について

専門家のご意見

- ・ ハザード評価の解析条件等は, JNES(2014)の設定方法を評価に反映する条件を満足している。

補足説明資料 7. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

7.2 専門家意見聴取結果: 関連情報3

■関連情報3: ロジックツリーの見直し及び重み配分設定方法の妥当性について

- ✓ JNES(2014)の内容の分析及びハザード評価の解析条件等との対比から、津波水位のばらつきはJNES(2014)の設定範囲 $\beta=0.20\sim0.30$ が妥当であり、土木学会(2011)の設定方法からJNES(2014)等の設定方法に見直すことについて(土木学会(2011)の設定方法を削除することについて)

専門家のご意見
<ul style="list-style-type: none"> 誤差の対数標準偏差(β)については、JNES(2014)のみで良いと考えるが、対数正規分布の打ち切り範囲(σ)について、打ち切りなし($\pm 10\sigma$)の分岐を削除する明確な知見は無いのが現状。具体的には、土木学会(2011)の感度解析を例に考えると、中央値水位15m、$\kappa=1.35$のとき、$\pm 2.3\sigma$の曲線から算定される最大水位が30m、$\pm 10\sigma$の曲線から算定される最大水位が300mとなる。300mの津波水位は非現実的だが、30mを超える可能性は無いかと考えた場合、ゼロとは言えないので、分岐として考慮することが必要と考える。 その場合の重みは、分岐として成立する可能性が残されると考えて、土木学会(2011)の重みを0.1、JNES(2014)の重みを0.9。
<ul style="list-style-type: none"> JNES(2014)の検討は3.11地震津波だけを対象としたものであり、分岐を変更するからには、歴史津波のうち比較的痕跡高の信頼性が高い1960年以降の津波も対象に検証を行う必要があると考える。ただし、JNES(2014)の知見反映は必要と考えられることから、JNES(2014)の分岐設定と土木学会(2011)の分岐設定をロジックツリーとして表現することが考えられる。 その場合の重みについて、取り敢えずは「JNES(2014)の対案として土木学会(2011)」と考えることができるので、均等配分(0.5:0.5)。
<ul style="list-style-type: none"> JNES(2014)の分岐を採用する方向性に問題はないと考えるが、土木学会(2011)を完全に削除して良いかどうかは判断が難しい。したがって、土木学会(2011)を削除するという点については、慎重な対応が必要。
<ul style="list-style-type: none"> JNES(2014)は、土木学会(2011)の課題であった10^{-5}以下の低頻度における評価値の改善に繋がっていると考えられる。ハザード評価の解析条件等の比較に矛盾はないことから、JNES(2014)の設定方法を採用することに問題はない。

補足説明資料 7. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

7.2 専門家意見聴取結果: 関連情報4

コメントNo.164

■関連情報4: 津波高さの推定に関するロジックツリーのうち矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差(β)等の分岐設定について

- ✓ 不均質モデルと一様すべりの矩形断層モデルのモデル特性の違いが、津波高さのばらつき(β)要因である波源特性($\beta_{\text{波源}}$), 伝播特性($\beta_{\text{伝播}}$), 遡上特性($\beta_{\text{遡上}}$)に及ぼす影響について追加検討を実施した。
- ✓ 上記結果を踏まえ、両モデルに同じ分岐・重み配分を適用することは妥当と評価することについて

専門家のご意見
<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波地震, 正断層型地震は, 1枚の矩形断層モデルと不均質モデルを比較し, 波源特性のばらつき($\beta_{\text{波源}}$)が同程度であることを確認していることから, 不均質モデルと同じ分岐, 重みを適用することは妥当である。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 従来のM8クラスの津波については, 土木学会(2009)での検討事例も踏まえると, 矩形断層モデルと不均質モデルでκの差は無いと考えられる。また, 3.11地震のような不均質性が見られる連動型地震については, 矩形断層モデルを使用していない。 ・ 以上から, 今回の検討内容を根拠に, 矩形断層モデルと不均質モデルに同じ分岐・重み配分を適用することは妥当である。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 土木学会(2009)での検討事例も踏まえると, 矩形断層モデルと不均質モデルでκの差は無いと考えられる。 ・ 上記要因について, 不均質モデルはプレート境界面の形状を固定することが大きな制約となる。一方, 矩形断層モデルは自由度を持って傾斜角を設定できること等から, モデルの違いによるκの差がそれほど見られないと考えている。 ・ 以上から, 矩形断層モデルと不均質モデルに同じ分岐・重み配分を適用することは妥当である。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 土木学会(2009)のアンケート結果にもあるように, 矩形断層モデルは不確かさを考慮すれば, 不均質モデルと同程度のκになると考える。 ・ 広域(広い範囲)のκと比較して, 確率論で評価する特定地点(狭い範囲)のκは小さいことも踏まえれば, 不確かさを考慮した矩形断層モデルであれば, 不均質モデルと同等の分岐・重みを用いることが出来ると考える。 ・ 以上から, 矩形断層モデルの数値計算法のうち不確かさを考慮しない「方法1」の分岐は削除する必要があるのではないかと。

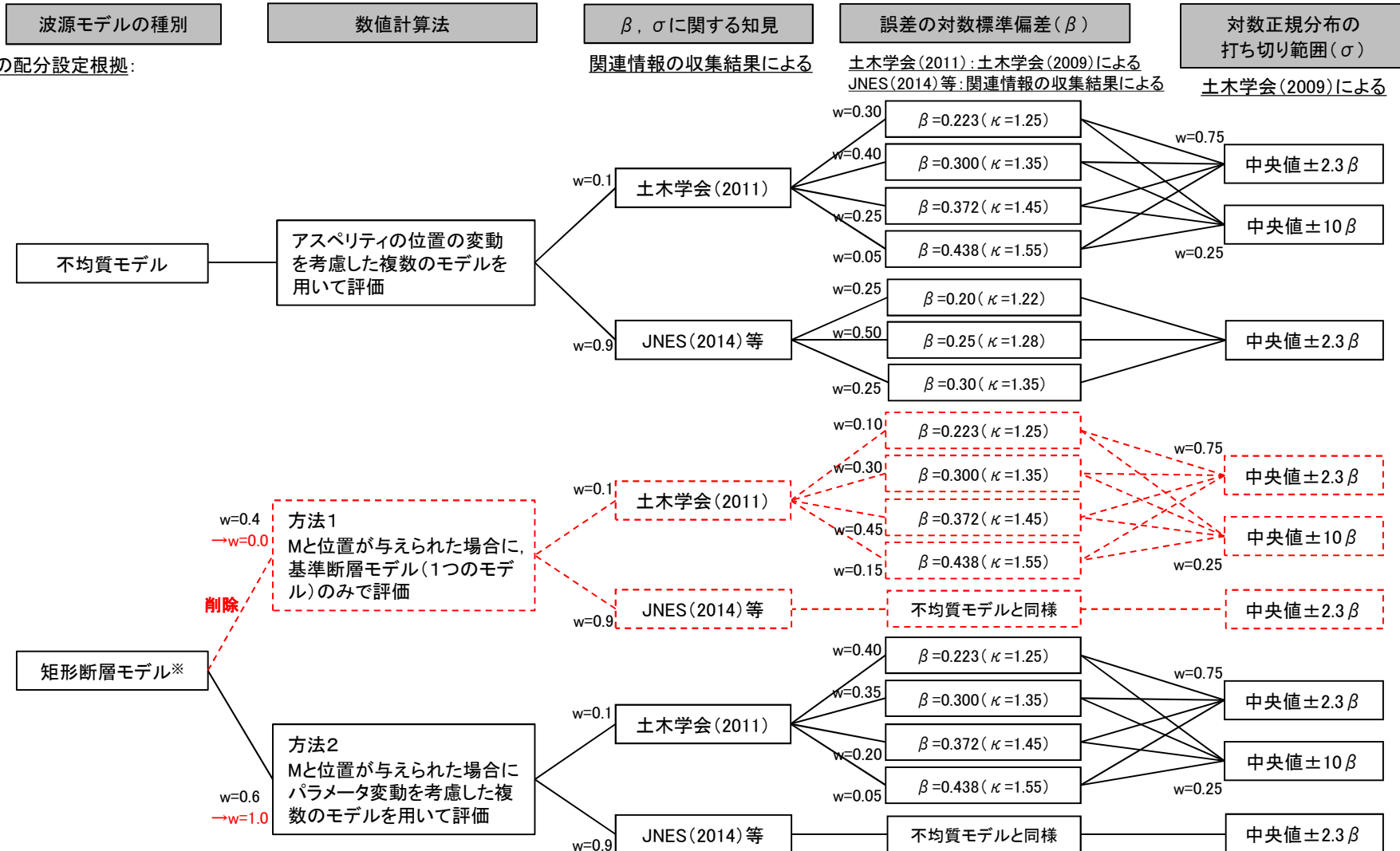
▼

各関連情報に対する専門家の意見聴取結果を踏まえ、津波高さ推定に関するロジックツリーを作成・レビューを行い(詳細は次頁に記載)、その妥当性について評価を得た。

7.2 専門家意見聴取結果:レビュー内容

■ 専門家意見聴取結果を踏まえて作成したロジックツリー

各専門家意見を総合的に踏まえ、 β 、 σ についてはJNES(2014)の分岐設定と土木学会(2011)の分岐設定をロジックツリーとして表現し、重み配分は、JNES(2014)を0.9、土木学会(2011)を0.1とする。矩形断層モデルについては、パラメータの変動を考慮した複数のモデルを用いて評価することを基本とし(=方法1を削除)、不均質モデルと同じ β 、 σ の分岐・重み配分を適用する。



※: M9クラスの巨大地震については、不均質モデルを用いて評価している(矩形断層モデルは用いていない)。

補足説明資料

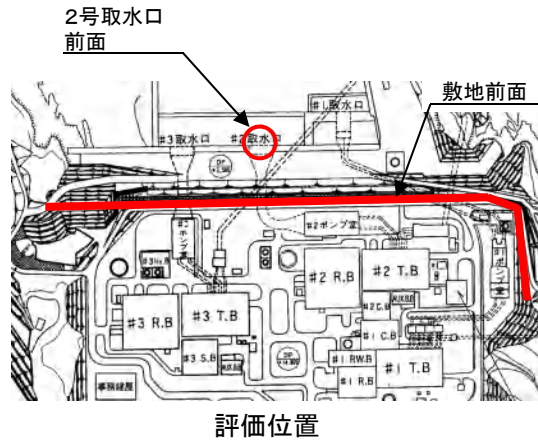
8. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

8. 1 年超過確率の参照	.....	102
8. 2 既評価と今回評価の比較	.....	104

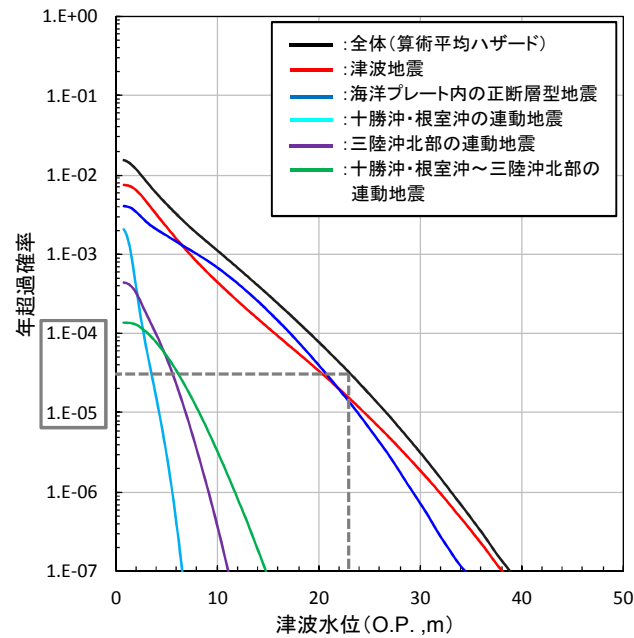
補足説明資料 8. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

8.1 年超過確率の参照

- 基準津波による各評価位置の津波水位に対する年超過確率は、敷地前面(水位上昇側)で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度、2号取水口前面(水位下降側)で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度である。

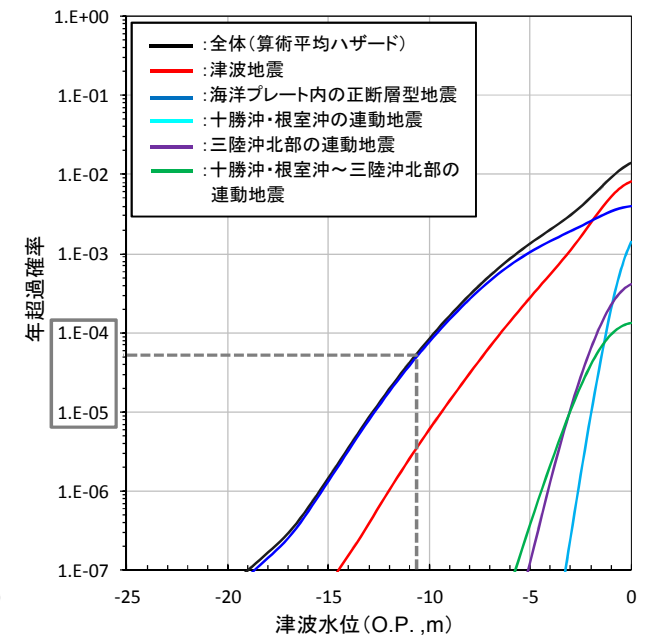


■敷地前面(水位上昇側)



	津波水位
基準津波 (水位上昇側)	O.P.+23.1m

■2号取水口前面(水位下降側)



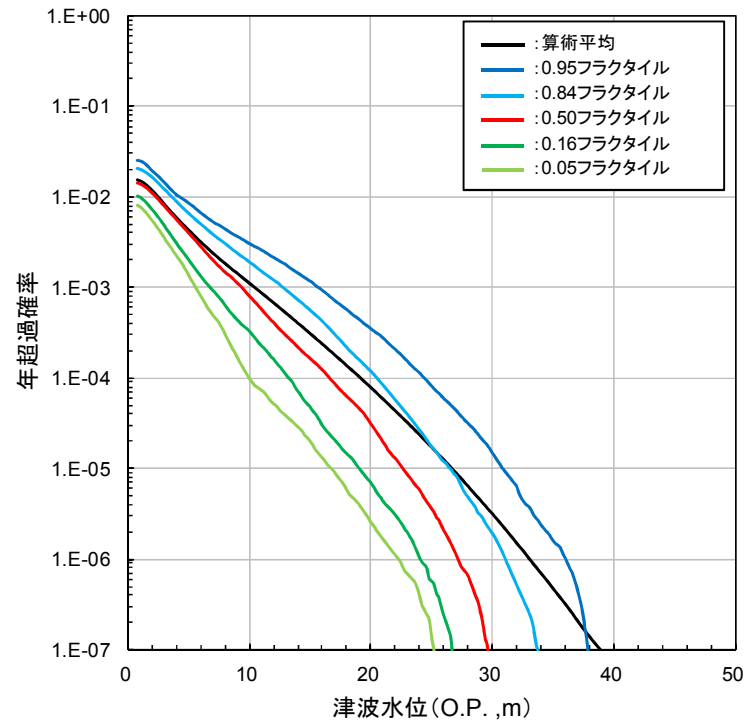
	津波水位
基準津波 (水位下降側)	O.P.-10.6m

補足説明資料 8. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

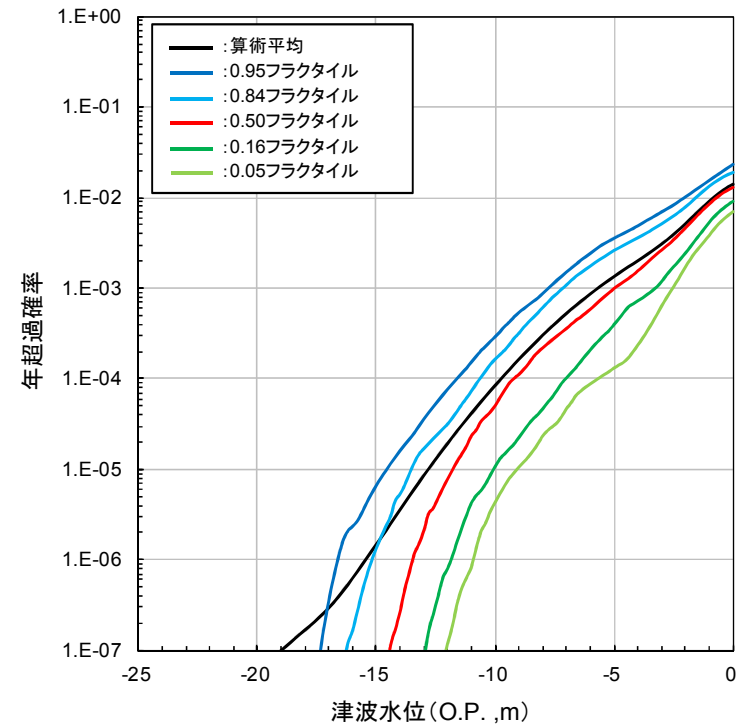
8.1 年超過確率の参照: フラクタイルハザード曲線

- 敷地前面(水位上昇側), 2号取水口前面(水位下降側)のフラクタイルハザード曲線を以下に示す。

■敷地前面(水位上昇側)

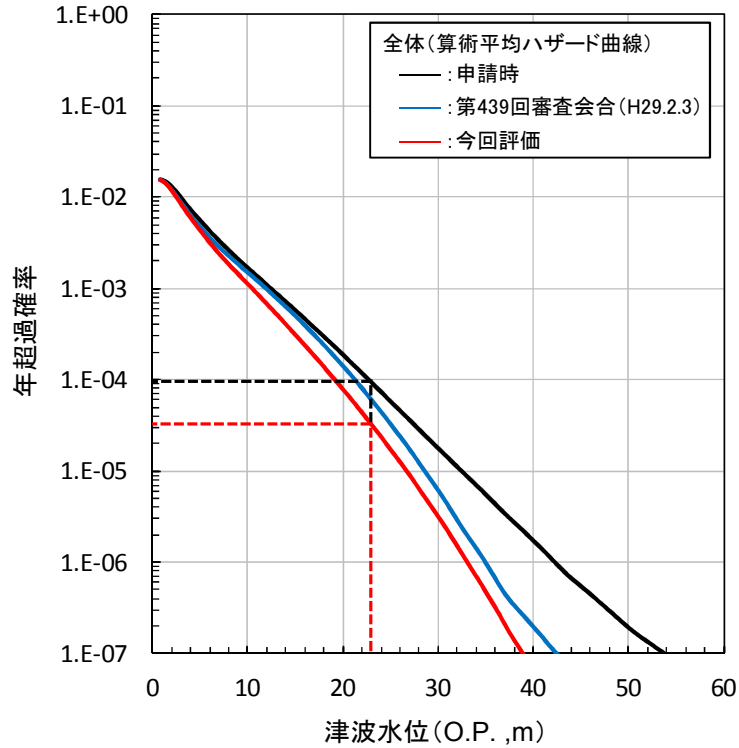


■2号取水口前面(水位下降側)



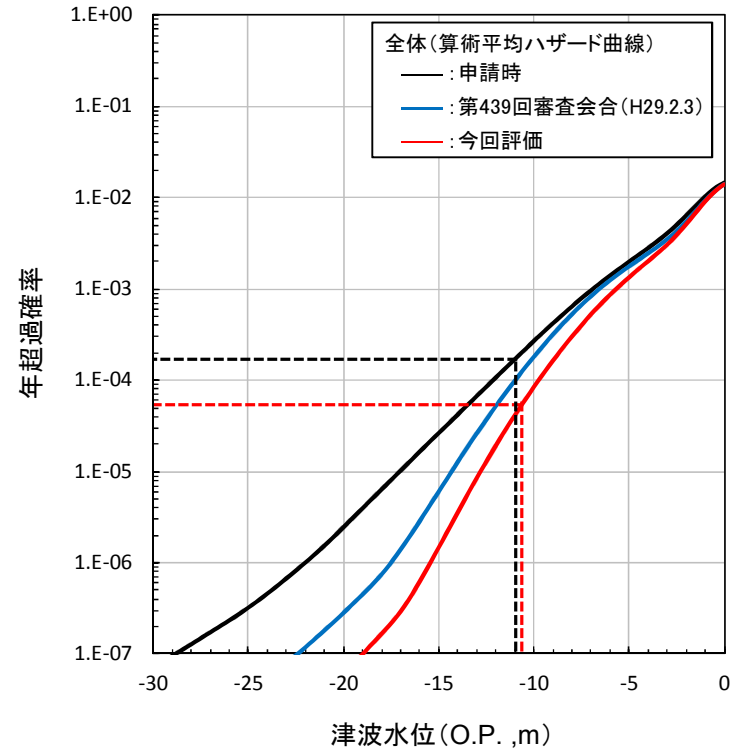
補足説明資料 8. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果
8.2 既評価と今回評価の比較

■敷地前面(水位上昇側)



基準津波 (水位上昇側)	津波水位	年超過確率
申請時	O.P.+23.1m	10 ⁻⁴ 程度
今回	O.P.+23.1m	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵ 程度

■2号取水口前面(水位下降側)



基準津波 (水位下降側)	津波水位	年超過確率
申請時	O.P.-11.0m	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴ 程度
今回	O.P.-10.6m	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵ 程度

参考文献

参考文献①

1. 一般社団法人日本原子力学会(2012):日本原子力学会標準 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2011
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. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2011):確率論的津波ハザード解析の方法
4. 独立行政法人原子力安全基盤機構(JNES)(2014):確率論的手法に基づく基準津波策定手引き, 2014年2月
5. 杉野英治・岩淵洋子・橋本紀彦・松末和之・蛭澤勝三・亀田弘行・今村文彦(2014):プレート間地震による津波の特性化波源モデルの提案, 日本地震工学会論文集, 第14巻, 第5号
6. 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
7. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2009):確率論的津波ハザード解析の方法(案)
8. 阿部勝征(1989):地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測, 東京大学地震研究所彙報, Vol.64, pp.51-69
9. 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫(1998):GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.356-360
10. Mansinha, L. and D.E. Smylie (1971): The displacement fields of inclined faults, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.61, No.5, pp.1433-1440
11. 財団法人日本水路協会(2006):海底地形デジタルデータM7000シリーズ
12. 相田勇(1986):津波波源の推定, 水工学シリーズ86-B-2, 土木学会水理委員会
13. 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
14. 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
15. 地震研究所(1934):昭和8年3月3日三陸地方津浪に関する論文及報告, 東京帝国大学地震研究所彙報, 別冊第1号
16. 内閣府(2012a):南海トラフの巨大地震モデル検討会(第12回), 参考資料1 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の津波断層モデルについて
17. Kenji Satake, Yushiro Fujii, Tomoya Harada, and Yuichi Namegaya(2013): Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 103, No. 2B, pp. 1473-1492, doi:10.1785/0120120122
18. 杉野英治・呉長江・是永眞理子・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)
19. 内閣府(2012b):南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告) 巻末資料, 南海トラフの巨大地震モデル検討会
20. 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
21. Tetsuzo Seno (2014): Stress drop as a criterion to differentiate subduction zones where Mw 9 earthquakes can occur, Tectonophysics 621, 198-210
22. 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), <http://www.coastal.jp/ttjt/>
23. 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

参考文献②

24. Changjiang Wu, Hideaki Tsutsumi, Hongjun Si, Yusuke Saijo (2012) : Rupture Process of the 2011Mw9.0 Tohoku Earthquake And StrongMotion Simulation from the Viewpoint of NPP Seismic Design, 15th World Conference on Earthquake Engineering
25. 東北電力株式会社(2011) : 女川原子力発電所における平成23年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果に係る報告書, 2011年7月
26. Jose A. Alvarez-Gomez, Omar Q. Gutierrez Gutierrez, Inigo Aniel-Quiroga, M. Gonzalez (2012) : Tsunamigenic potential of outer-rise normal faults at the Middle America trench in Central America, Tectonophysics 574-575, 133-143
27. 今井健太郎・菅原大助・今村文彦(2012) : 津波痕跡と史料から解釈した1611年慶長地震, 第31回日本自然災害学会学術講演会, III-2-2
28. 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
29. 杉野英治・岩渕洋子・阿部雄太・今村文彦(2015) : 確率論的津波ハザード評価における津波想定の影響, 日本地震工学会論文集, 第15巻, 第4号
30. 藤原広行・平田賢治・中村洋光・長田正樹・森川信之・河合伸一・大角恒雄・青井真・松山尚典・遠山信彦・鬼頭直・村嶋陽一・村田泰洋・井上拓也・斎藤龍・秋山伸一・是永真理子・阿部雄太・橋本紀彦(2015) : 日本海溝に発生する地震による確率論的津波ハザード評価の手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, 第400号