
東海第二発電所
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)

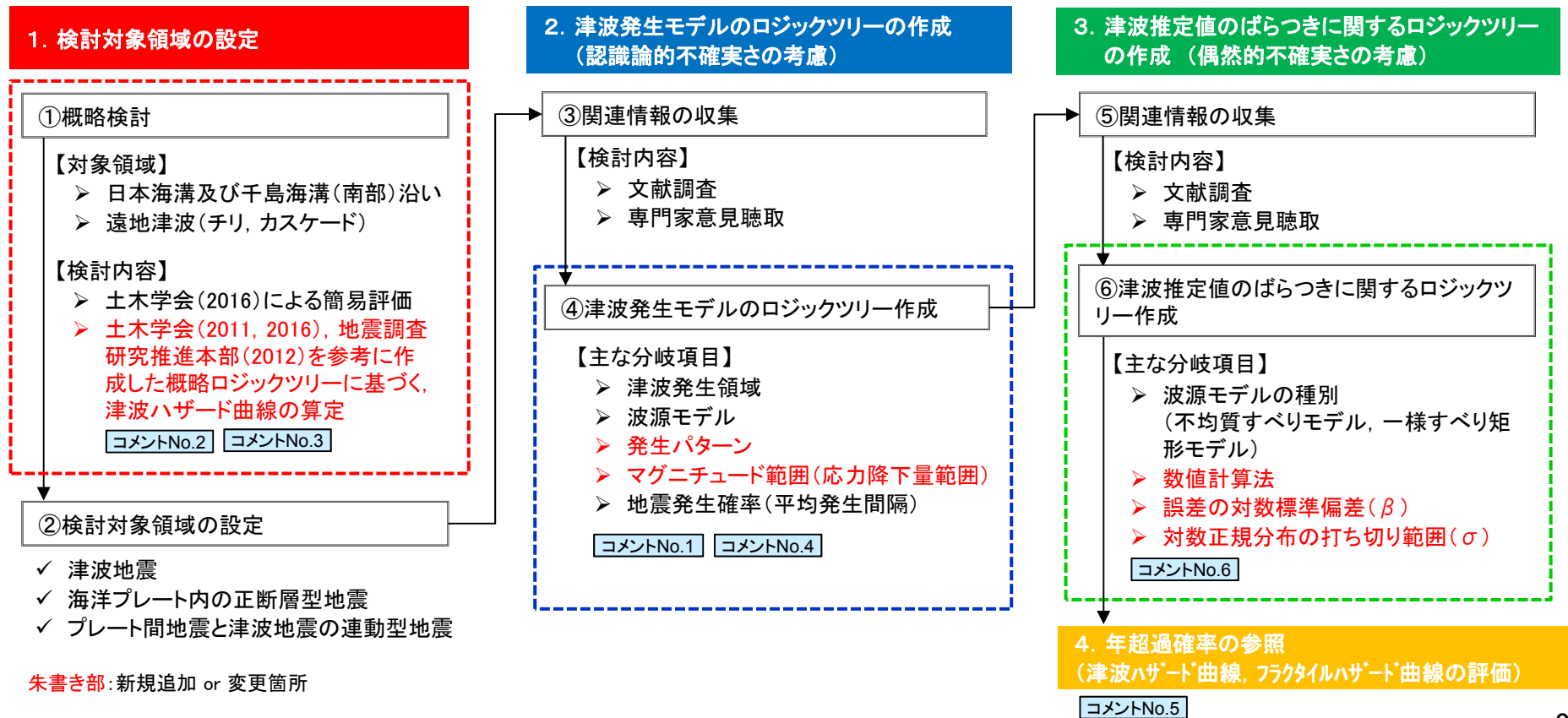
平成29年4月11日
日本原子力発電株式会社

審査会合(H29.2.3)におけるコメント内容及び回答

No.	コメント内容	コメント回答	該当箇所
1	プレート間地震のロジックツリーにおける基準津波の波源(Mw8.7)の取扱いについて、検討すること。	<ul style="list-style-type: none"> 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴と関連する知見を踏まえ、基準津波の波源(Mw8.7)を考慮することとし、波源領域の南限の分岐として「房総沖まで」を追加 	<ul style="list-style-type: none"> 第1.2章 補足説明 第4章
2	2011年東北地方太平洋沖地震の発生確率について、具体的に示すこと。	<ul style="list-style-type: none"> 地震調査研究推進本部(2012)を参考に、2017年3月11日における今後50年の地震発生確率を算定すると、ほぼ0%(10^{-35})であり、年超過確率に与える影響は極めて小さいことを確認 	<ul style="list-style-type: none"> 第1.2章
3	東北地方太平洋沖型の地震の発生領域でのM8クラスの地震がハザードに与える影響を示すこと。	<ul style="list-style-type: none"> 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した結果、2011年東北地方太平洋沖地震の発生領域でM8クラスの地震がハザードに与える影響は小さいことを確認 	<ul style="list-style-type: none"> 第1.2章
4	海洋プレート内の正断層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。	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 第1.2章 補足説明 第6章
5	海洋プレート内の正断層地震については、敷地前面と基準津波策定位置では異なる傾向を示すことから、追加説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響について、フーリエ・スペクトル等による周波数特性を確認し、海洋プレート内の正断層地震の短周期成分が基準津波策定位置から敷地前面(取水口前面)に向かうにつれ減衰傾向にあり、そのため敷地前面と基準津波策定位置では異なる傾向を示したことを確認 	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明 第8章
6	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。	<ul style="list-style-type: none"> 波源特性のばらつき($\beta_{\text{波源}}$)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 	<ul style="list-style-type: none"> 第1.3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

- 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。
- 地震調査研究推進本部(2012)を参考に、2017年3月11日における今後50年の地震発生確率を算定すると、ほぼ0%(10^{-35})であり、年超過確率に与える影響は極めて小さいことを確認。
- 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴と関連する知見を踏まえ、基準津波の波源(Mw8.7)を考慮することとし、波源領域の南限の分岐として「房総沖まで」を追加。
- 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。
- 津波推定値のばらつき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($\beta_{\text{波源}}$)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。
- 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響について、フーリエ・スペクトル等による周波数特性を確認し、海洋プレート内の正断層地震の短周期成分が基準津波策定位置から敷地前面(取水口前面)に向かうにつれ減衰傾向にあり、そのため敷地前面と基準津波策定位置では異なる傾向を示したことを確認。



目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照	
1.1 評価概要	5
1.2 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)	10
1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的な不確実さの考慮)	29
1.4 評価結果	42
2. 参考文献	46
補足説明資料	
1. 基準津波の策定	48
2. 入力津波の年超過確率の参照	55
3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較	58
4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討	62
5. 土木学会(2011)のロジックツリー	65
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	68
7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討	74
8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響	82
9. 参考文献	86

目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照

1.1 評価概要

1.2 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)

1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

1.4 評価結果

2. 参考文献

補足説明資料

1. 基準津波の策定

2. 入力津波の年超過確率の参照

3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較

4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討

5. 土木学会(2011)のロジックツリー

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

7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討

8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響

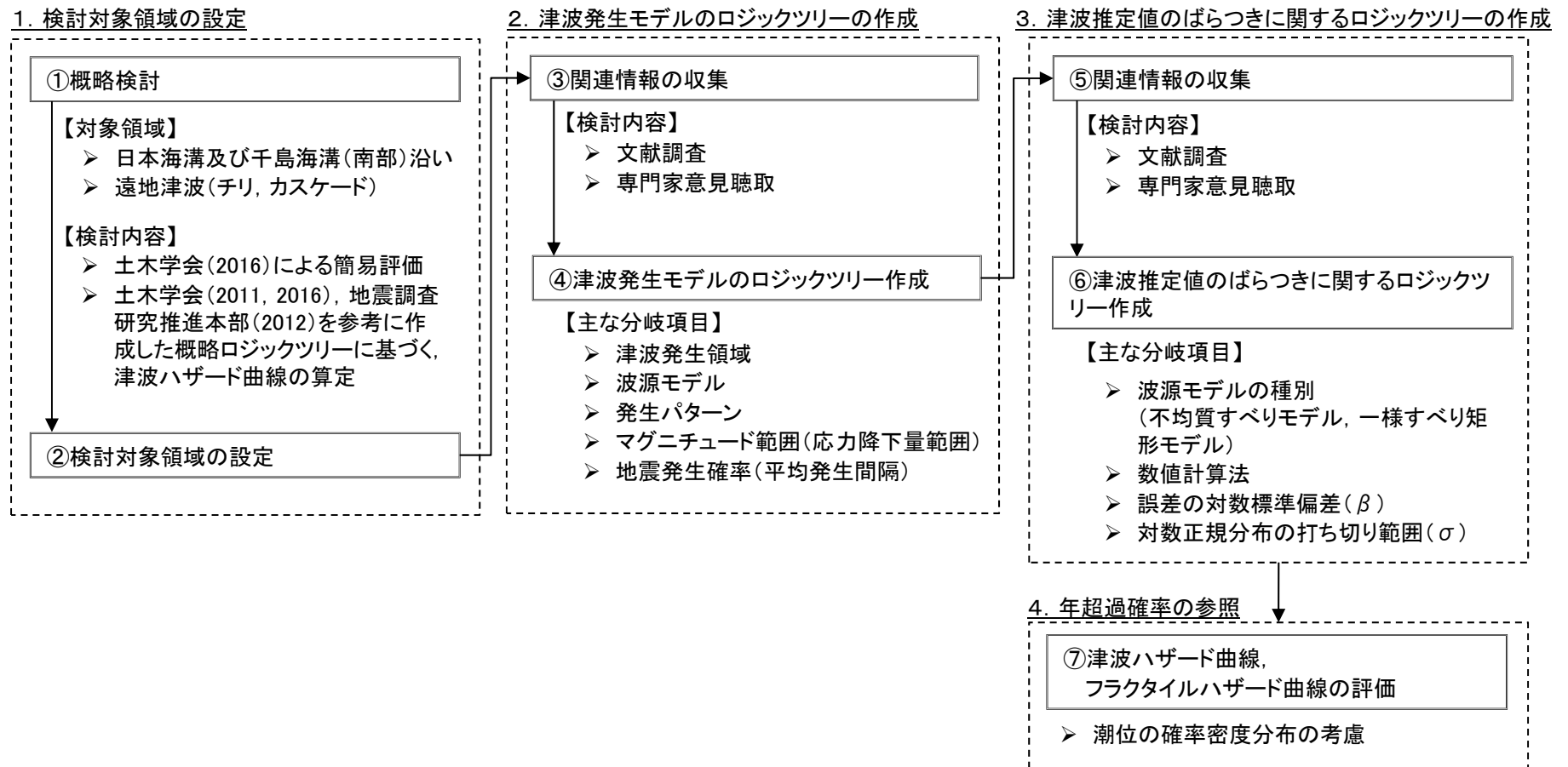
9. 参考文献

1. 基準津波の年超過確率の参照 1.1 評価概要

1.1.1 評価概要

- 確率論的津波ハザード評価については、日本原子力学会(2012)、土木学会(2002, 2009, 2011, 2016)、原子力安全基盤機構(2014)(以下、「JNES(2014)」という。)、地震調査研究推進本部(2012, 2014)等を踏まえて実施した。
- また、2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴い、当該地震の発生領域に蓄積していたひずみはほぼ解消し、今後数百年オーダーの期間に、プレート境界部で2011年東北地方太平洋沖地震と同程度の規模のすべりの発生が起こる可能性が小さいことも考慮した。

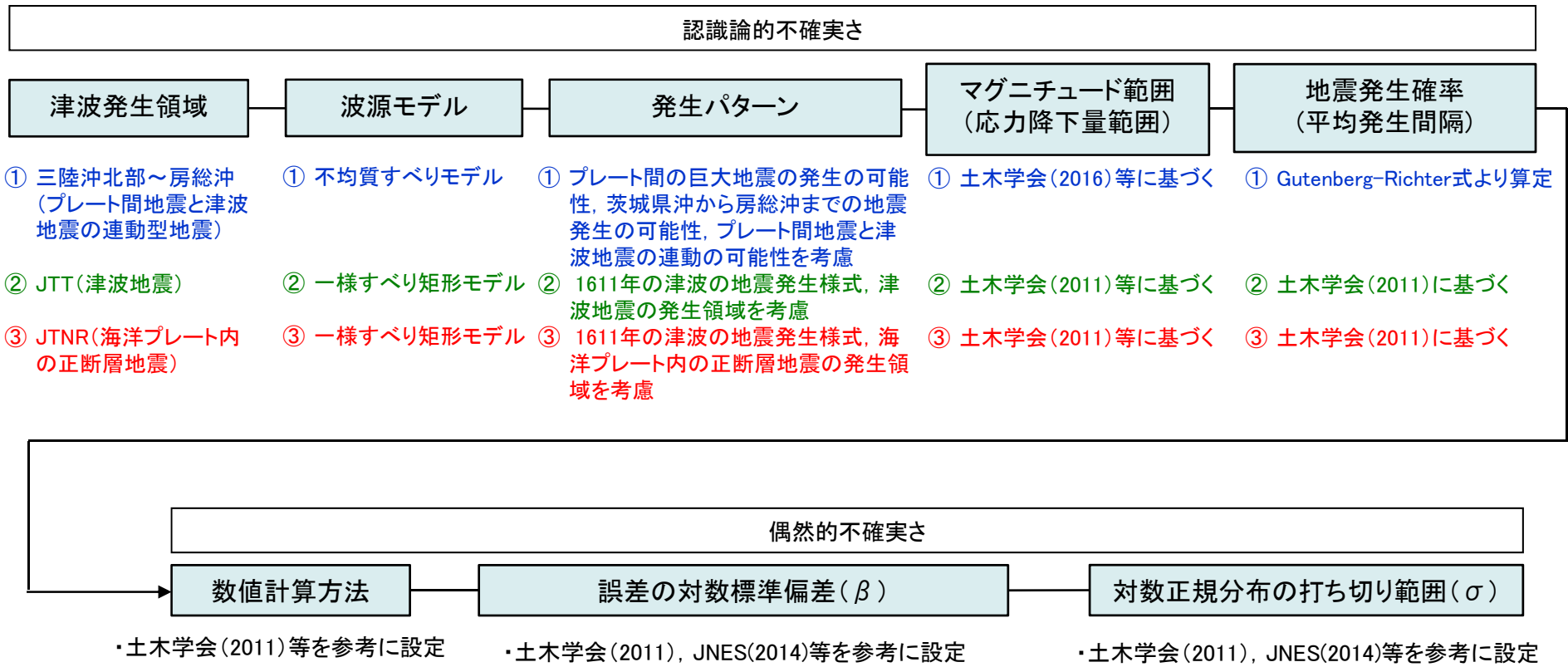
■評価フロー



1. 基準津波の年超過確率の参照 1.1 評価概要

1.1.2 ロジックツリーの概要

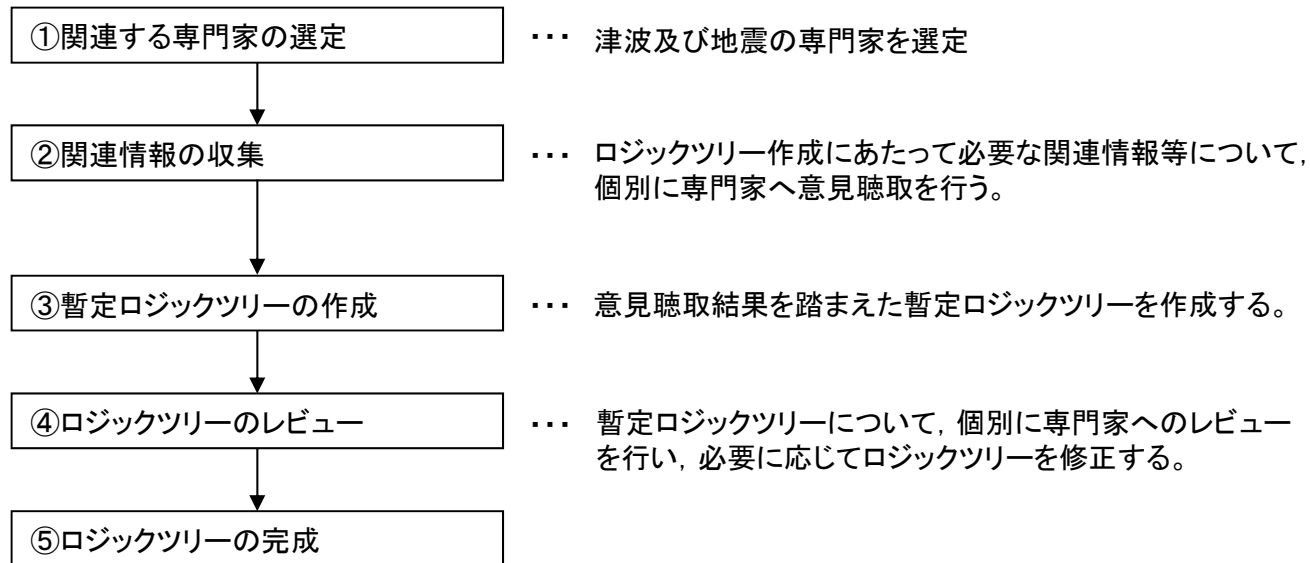
- ロジックツリーの作成にあたっては、日本原子力学会(2012)、土木学会(2009, 2011, 2016)等を参考に設定することを基本とし、三陸沖北部から房総沖の領域については、2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見を踏まえ、プレート間地震と津波地震の連動型地震も考慮した。
- ロジックツリーの分岐については、日本原子力学会(2012)及び土木学会(2011)を参考に設定することを基本とした。



1.1.3 専門家活用水準

- 2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴い、プレート間地震等の分岐の項目、重み配分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



1.1.4 重みの設定

- ロジックツリーの重みについては、具体的数値が示されている土木学会(2016)等を参考に設定することを基本とした。

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)を参考に、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。

目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照

1.1 評価概要

1.2 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)

1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

1.4 評価結果

2. 参考文献

補足説明資料

1. 基準津波の策定

2. 入力津波の年超過確率の参照

3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較

4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討

5. 土木学会(2011)のロジックツリー

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

7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討

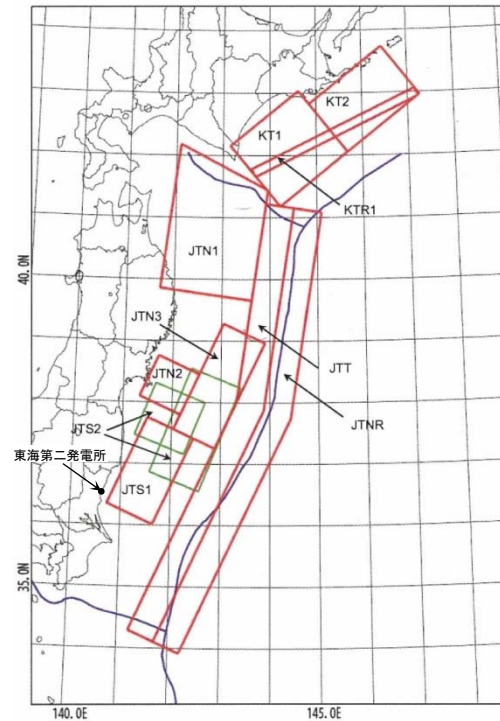
8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響

9. 参考文献

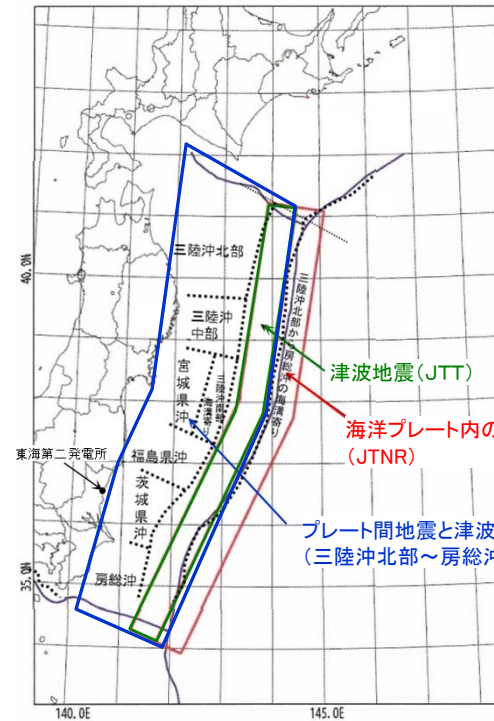
1. 基準津波の年超過確率の参照 1.2 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

1.2.1 津波発生領域の設定

- 評価対象とする津波発生領域は、敷地に与える津波の影響が大きい日本海溝沿いの海域とした。
- 日本海溝沿いの津波発生領域は、日本原子力学会(2012), 土木学会(2009)等に示される領域を参考に設定した。
- 三陸沖北部から房総沖の領域については、2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見を踏まえ、プレート間地震と津波地震の連動型地震も考慮した。



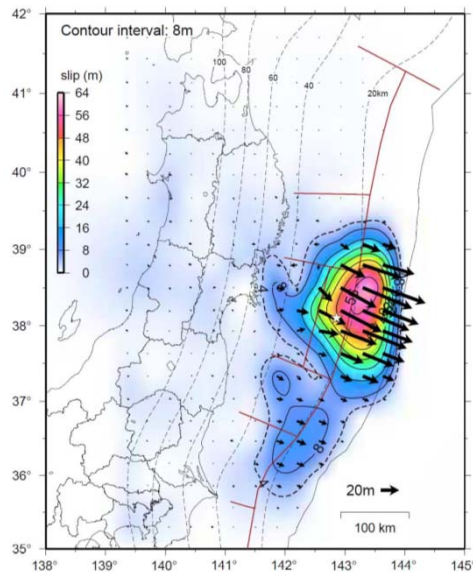
日本海溝及び千島海溝(南部)沿い
海域の津波発生領域区分
(日本原子力学会(2012)に加筆)



評価対象とした津波発生領域
(地震調査研究推進本部(2012)に加筆)

1.2.1 津波発生領域の設定(地震調査研究推進本部(2012)の評価)

- 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。



2011年東北地方太平洋沖地震の震源域
(地震調査研究推進本部(2012))

次の東北地方太平洋沖型の地震の発生確率等
(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 評価地点は全て2012年1月1日現在。

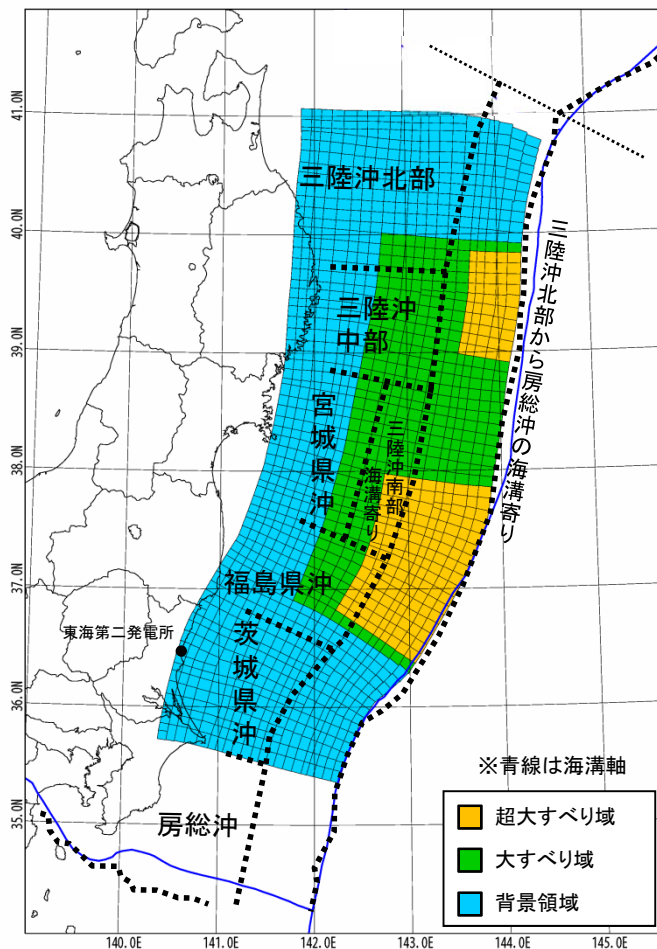
注4 評価の信頼度

■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。

1.2.1 津波発生領域の設定(東北地方太平洋沖型の地震の地震発生確率)

- 地震調査研究推進本部(2012)を参考に、2017年3月11日における今後50年の地震発生確率を算定すると、ほぼ0%(10^{-35})であり、年超過確率に与える影響は極めて小さいことを確認した。



東北地方太平洋沖型の地震の
特性化波源モデル

断層名	Mw	平均発生間隔 (年) ^{※1}
東北地方太平洋沖型の地震	Mw9.1	600 ^{※2}

※1 地震調査研究推進本部(2012)に基づく。

※2 地震調査研究推進本部(2012)に基づき更新過程として扱い、示されている50年発生確率0%より、年発生確率を算出する。

参考: 東北地方太平洋沖型の地震に関する時間軸原点の違いによる発生確率の違い

断層名	時間軸原点	50年発生確率
東北地方太平洋沖型の地震	2011年3月11日	20~30% ^{※3}
	2017年3月11日	ほぼ0% (10^{-35} ^{※4})

※3 地震調査研究推進本部(2012)に基づく。

※4 平均発生間隔600年, 最新活動時期は2011年3月11日, $\alpha=0.24$ で算出。

1. 基準津波の年超過確率の参照 1.2 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)

1.2.1 津波発生領域の設定(プレート間地震と津波地震の連動型地震の検討)

- 三陸沖北部～房総沖の連動型地震の発生領域については、固着の程度が異なること等による破壊伝播のバリアが存在するため、領域を三陸沖北部、三陸沖中部～福島県沖、茨城県沖～房総沖の3つの領域に区分した。
- このうち、津波が敷地に与える影響が大きい茨城県沖～房総沖を検討の対象とした。

ロジックツリー(津波発生領域)

プレート間地震と津波地震の連動型地震

(三陸沖北部～房総沖の連動型地震の発生領域)

三陸沖北部

敷地に影響を与える津波は発生しない。

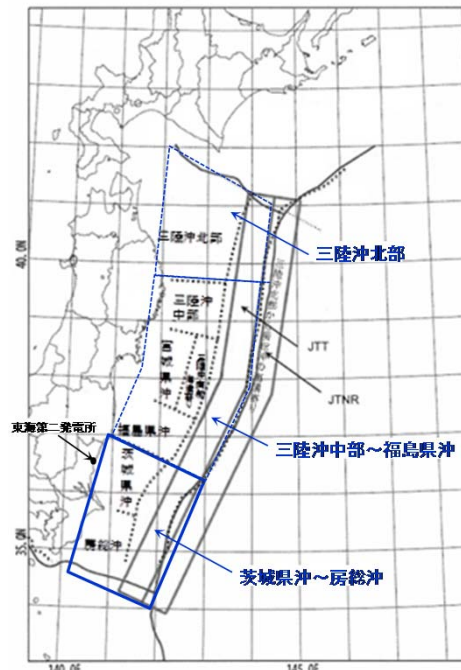
三陸沖中部～福島県沖

年超過確率に与える影響は極めて小さい。

茨城県沖～房総沖

津波地震
(JTT)

海洋プレート内の
正断層地震
(JTNR)



三陸沖北部～房総沖の津波発生領域

1.2.1 津波発生領域の設定(検討対象領域の設定に対する検討)

- 土木学会(2016)を参考に、年超過確率に与える影響が大きい津波発生領域を検討した結果を下記に示す。
- これらを踏まえ、検討対象領域として津波地震及び海洋プレート内の正断層地震を設定した。
- 土木学会(2016)では、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)は下表の通りであり、評価対象水位(X)を基準津波に伴う防潮堤前面における最大水位上昇量15.96mとすると、津波地震、海洋プレート内の正断層地震を除いて※1、評価対象水位(X)の約1/2以下(15.96m/2=8.0m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p26に記載)、1896年明治三陸沖地震津波の波源域に正対する岩手県の既往最大津波高、1677年延宝房総沖地震の波源域に正対する千葉県岩船浦の既往最大津波高、1933年昭和三陸沖地震の波源域に正対する岩手県岩泉市の既往津波高を採用

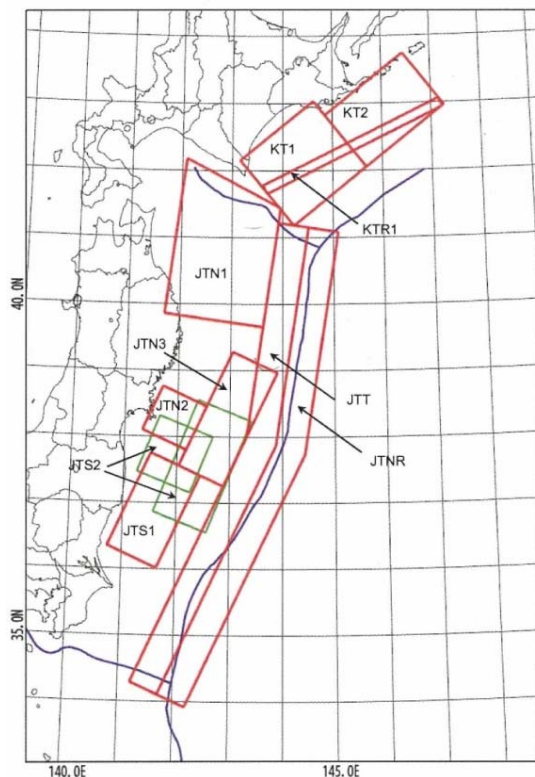
種別	津波発生領域	既往津波(Mw)※2	既往津波高:H	備考(既往津波高の参考文献)	
千島海溝沿い	十勝沖・根室沖	17世紀初頭地震(M8クラス)	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない	佐竹他(2003)	
日本海溝沿い	三陸沖北部	青森県東方沖	1968年(Mw8.2)	宇佐美他(2013)、渡辺(1998)及び国立天文台(2014)	
	2011年東北地方太平洋沖地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震に伴う津波	宮城県沖(JTN2)	1978年(Mw7.7)	0.3m(茨城県日立港)※3	渡辺(1998)(全振幅)
		三陸沖南部海溝寄り(JTN3)	1897年(Mw7.8)	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない	今村(1899)
		宮城県沖+三陸沖南部海溝寄り(連動)(JTN2+JTN3)	1793年(Mw8.2)		羽鳥(2000)
		福島県沖プレート間(JTS1)	1938年(Mw7.9)	0.9m(茨城県祝町)※3	渡辺(1998)(全振幅)
	JTT	津波地震	1677年(Mw8.2) 1896年(Mw8.3)	約8m(千葉県岩船浦)※5 26.2m(岩手県大船渡市)※4	渡辺(1998) 松尾(1933)
JTNR	海洋プレート内の正断層地震	1933年(Mw8.4)	17.0m(岩手県岩泉町)※6	渡辺(1998)	
遠地津波	チリ	1960年(Mw9.5)	約2.3m(茨城県久慈港)※3	チリ津波合同調査班(1961)	
	カスケード	1700年(Mw9.1)	2m(茨城県那珂湊)※3	渡辺(1998)	

※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年明治三陸沖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 1677年延宝房総沖地震の波源域に正対する千葉県における既往最大津波高 ※6 1933年昭和三陸沖地震の波源域に正対する岩手県岩泉市の既往津波高

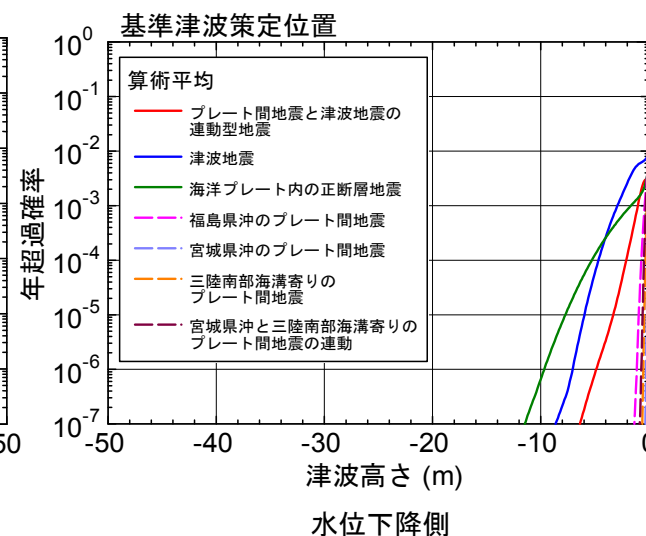
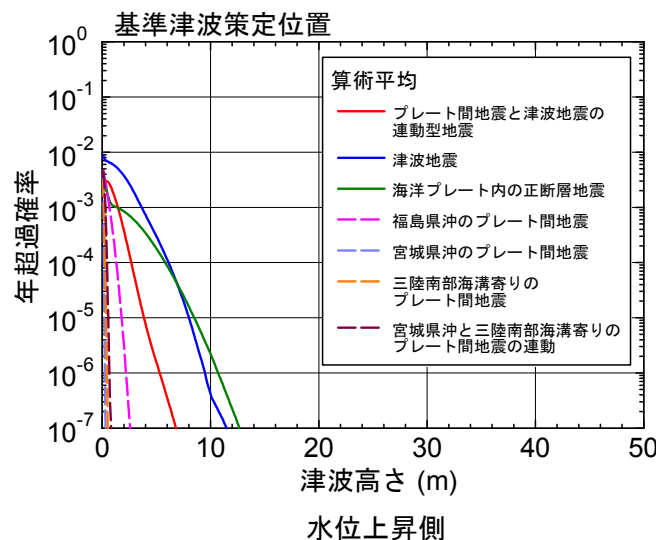
1.2.1 津波発生領域の設定(検討対象領域の設定に対する検討)

- 2011年東北地方太平洋沖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を対象に、土木学会(2011)及び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(詳細は次頁に示す)を用いて算定したハザード曲線を以下に示す。
- 本検討から、2011年東北地方太平洋沖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は年超過確率に与える影響は小さいことを確認した。

JTN2: 宮城県沖
 JTN3: 三陸沖南部海溝寄り
 JTN2+JTN3: 宮城県沖と三陸沖南部海溝寄り(連動)
 JTS1: 福島県沖プレート間

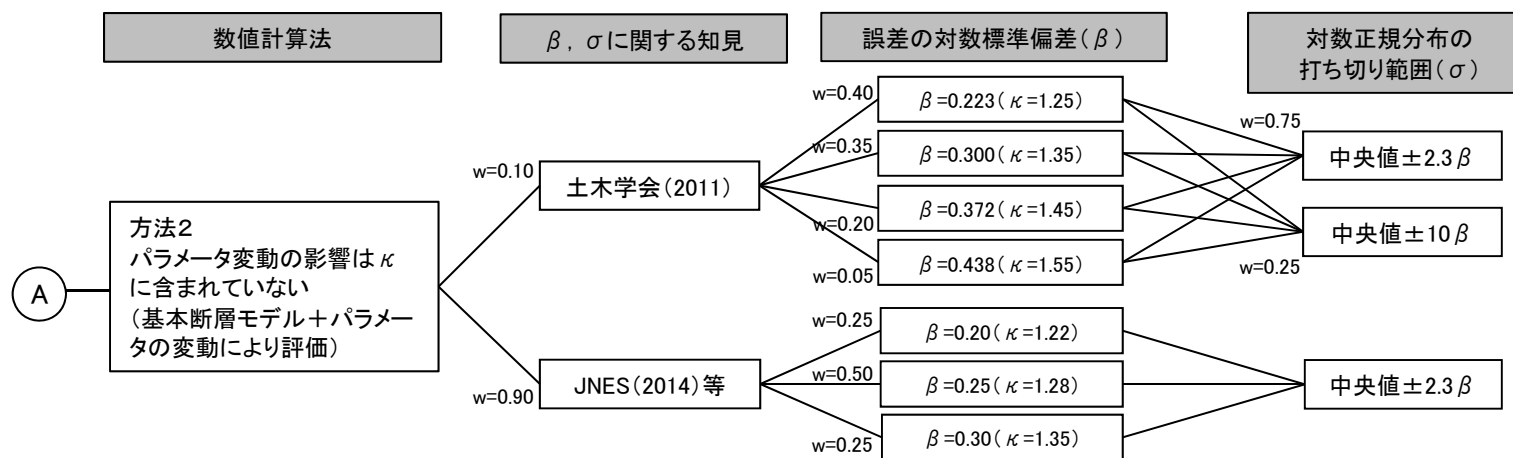
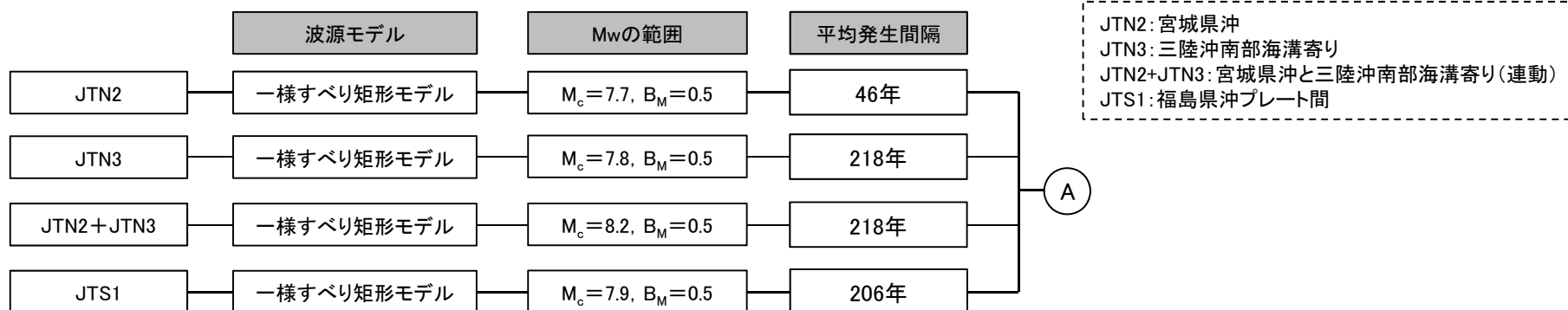


日本海溝及び千島海溝(南部)沿い海域
 の津波発生領域区分
 (日本原子力学会(2012))



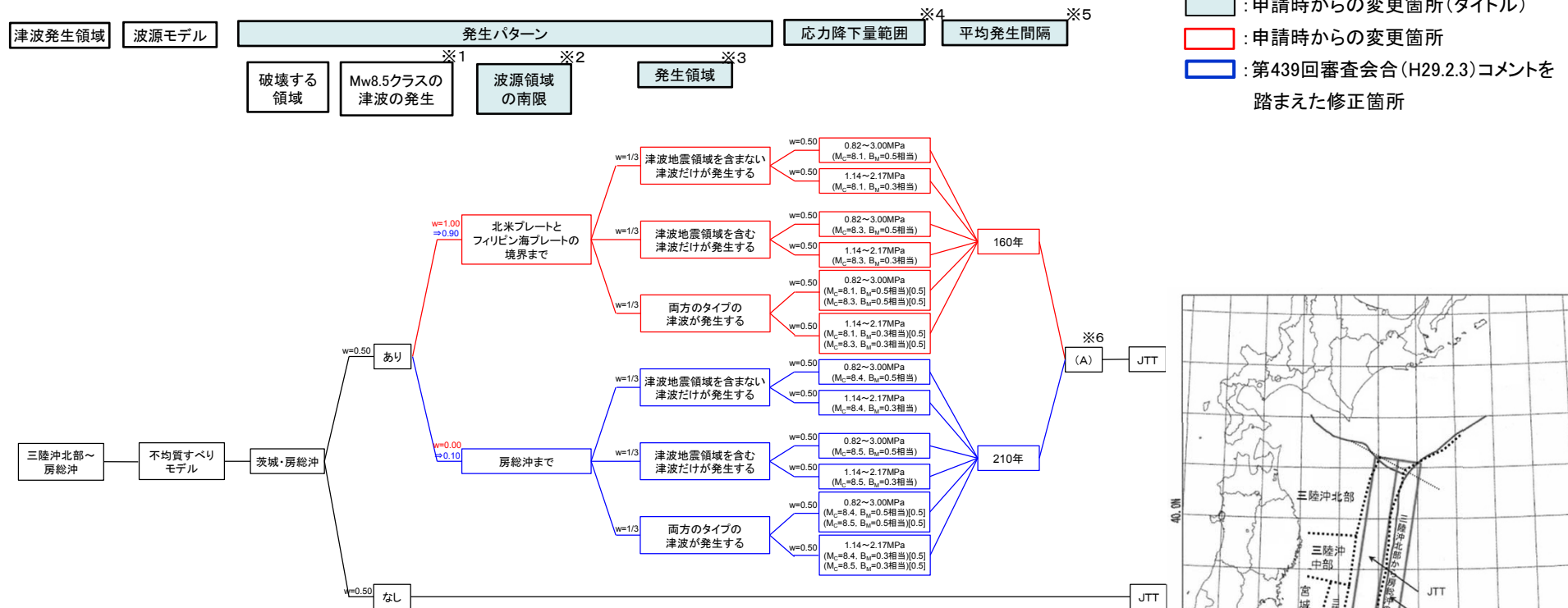
1.2.1 津波発生領域の設定(検討対象領域の設定に対する検討)

- 津波発生モデルのロジックツリーについては、土木学会(2011)及び地震調査研究推進本部(2012)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。
- 津波推定値のばらつきに関するロジックツリーについては、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、p30に記載)。

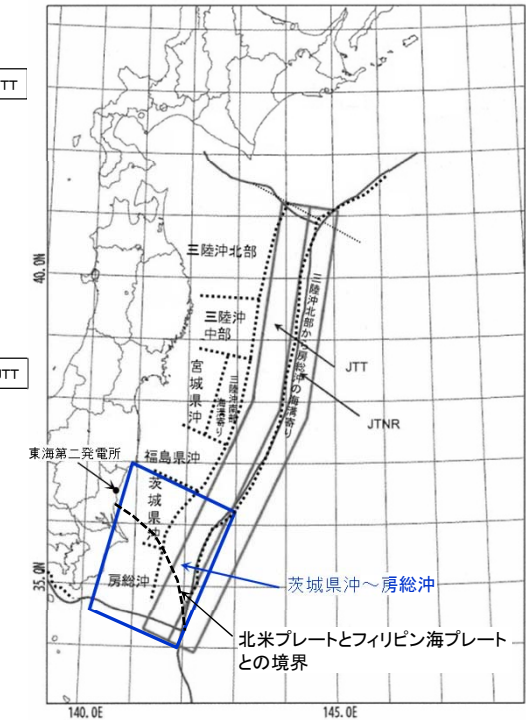


1.2.2 プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリー

ロジックツリー(プレート間地震と津波地震の連動型地震)



□ : 申請時からの変更箇所(タイトル)
 □ : 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



津波発生領域
(茨城県沖～房総沖)

※1 過去に発生したという知見はないが、今後起きることを考慮して分岐及び重みを設定

※2 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴と関連する知見を考慮して設定

※3 貞観地震は2011年東北地方太平洋沖地震と同様に津波地震領域が連動しているという考え方と連動していないという考え方があるため、分岐として設定

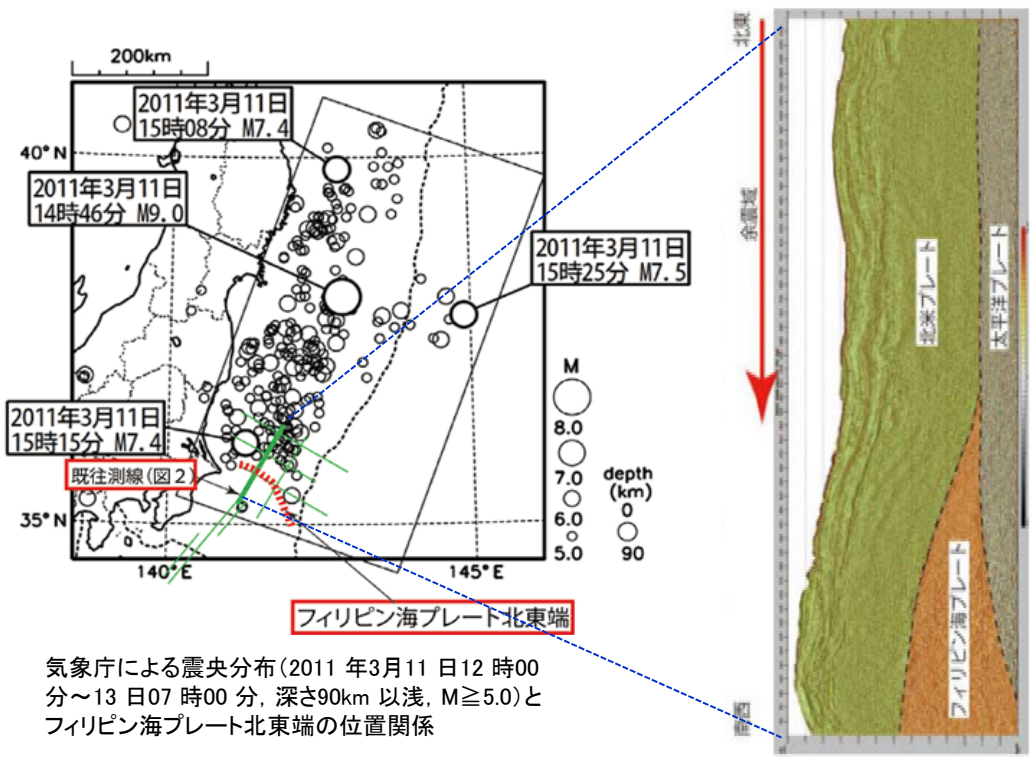
※4 土木学会(2016)等を参考に分岐及び重みを設定

※5 Gutenberg-Richter式を参考に、分岐及び重みを設定

※6 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的な不確実さの考慮)

1. 基準津波の年超過確率の参照 1.2 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)
1.2.2 プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリー(発生パターン)

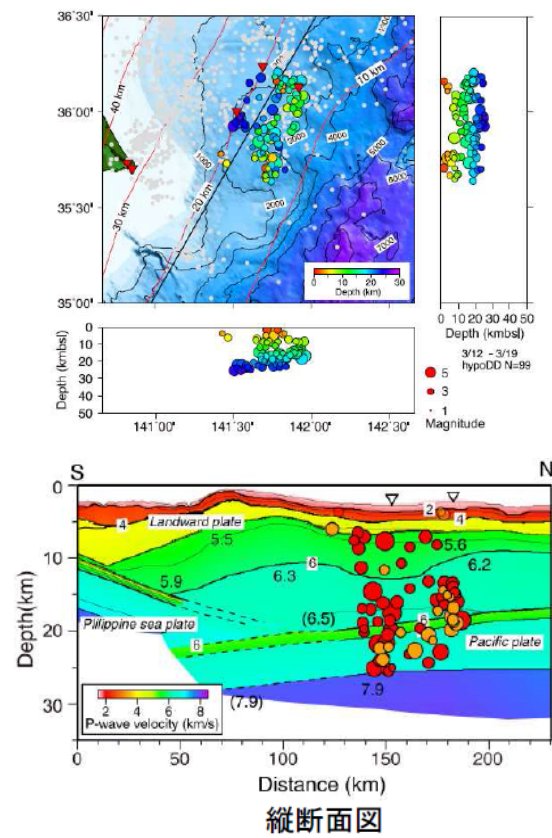
- 波源領域の南限については、2011年東北地方太平洋沖地震の特徴と関連する知見を踏まえて、北米プレートとフィリピン海プレートとの境界とした。



気象庁による震央分布(2011年3月11日12時00分~13日07時00分、深さ90km以浅、 $M \geq 5.0$)とフィリピン海プレート北東端の位置関係

反射法地震探査に基づく解釈図
房総沖では、銚子付近から南東方向に向って、フィリピン海プレート北東端が太平洋プレートと接している

(海洋研究開発機構(2012)に加筆)



2011年東北地方太平洋沖地震の余震分布(3月12日-19日)とプレート境界面の位置関係

(Shinohara et al.(2011))

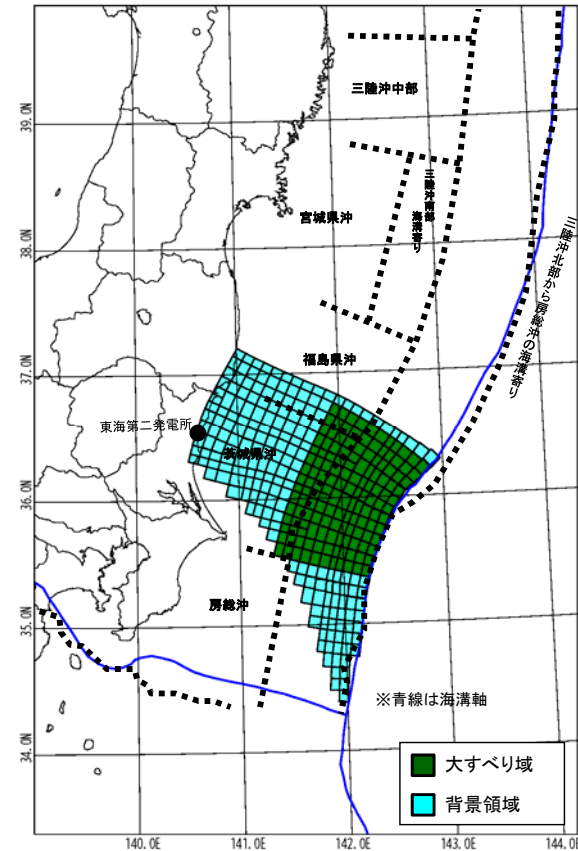
1. 基準津波の年超過確率の参照 1.2 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

1.2.2 プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリー(発生パターン)

- 波源領域の南限を北米プレートとフィリピン海プレートとの境界として設定した波源の諸元を以下に示す。

波源領域の南限を北米プレートとフィリピン海プレートとの境界として設定した波源の諸元

パラメータ		設定値
断層面積:S		29,630 km ²
モーメントマグニチュード:Mw		8.5
平均すべり量:D		4.5 m
すべり量	超大すべり域 (面積比率)	—
	大すべり域:2D (面積比率)	9.0 m (全体面積の 40%)
	背景領域:0.33D	1.5 m



特性化波源モデル

1.2.2 プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリー(発生パターン)

- 敷地前面のプレート間に想定する津波波源については、2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見に基づくと、下記に示す「茨城県沖に想定する津波波源」が妥当であると考えられる。
- しかしながら、基準津波の策定においては、この津波波源に複数の保守的設定を加味した「茨城県沖から房総沖に想定する津波波源」を設定して評価を行っていること及び専門家意見聴取結果を踏まえ、「茨城県沖から房総沖に想定する津波波源」を考慮することとし、波源領域の南限に「房総沖まで」の分岐を追加した。

茨城県沖に想定する津波波源の諸元

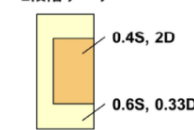
パラメータ		設定値
断層面積:S		29,630 km ²
モーメントマグニチュード:Mw		8.5
平均すべり量:D		4.5 m
すべり量	超大すべり域 (面積比率)	—
	大すべり域:2D (面積比率)	9.0 m (全体面積の40%)
	背景領域:0.33D	1.5 m

茨城県沖から房総沖に想定する津波波源の諸元

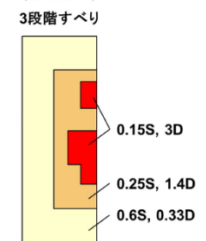
パラメータ		設定値
断層面積:S		53,684 km ²
モーメントマグニチュード:Mw		8.7
平均すべり量:D		6.1 m
すべり量	超大すべり域:4D (面積比率)	24.3 m (全体面積の5%)
	大すべり域:2D (面積比率)	12.1 m (全体面積の15%)
	背景領域:0.62D	3.8 m

保守的設定2. 超大すべり域を設定

大規模
(~Mw8.8)
2段階すべり



超大規模
(Mw8.9~)
3段階すべり



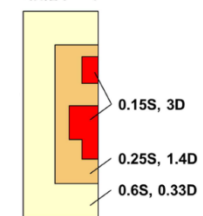
杉野他(2014)では、
Mw8.7の場合、超大すべり
を設定していない

超大すべりを設定

+

保守的設定3. 大すべり域及び超大すべり域のすべり
量を割り増し

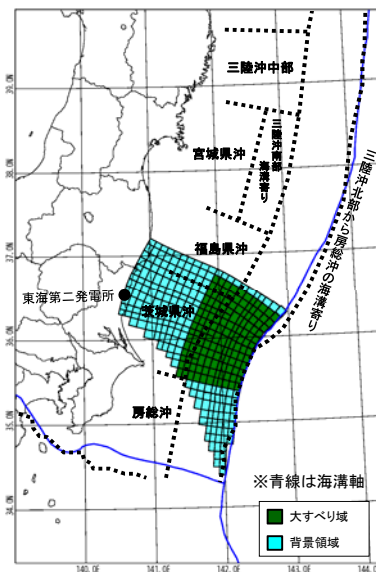
超大規模
(Mw8.9~)
3段階すべり



0.05S, 4D

0.15S, 2D

(杉野他(2014))



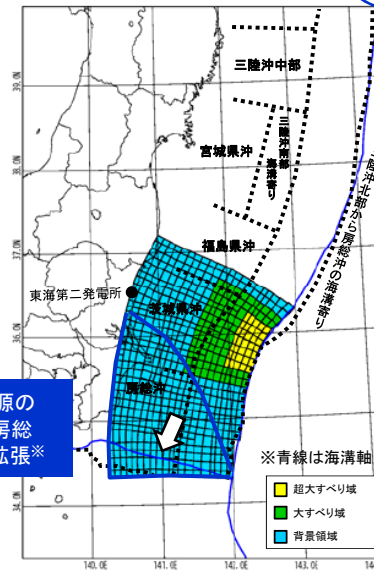
茨城県沖に想定する津波波源

保守的設定1, 2, 3を考慮



保守的設定1. 津波波源の
南限を房総
沖まで拡張*

*北米プレートとフィリ
ピン海プレートの境界を
越えて矩形となるよう
に設定

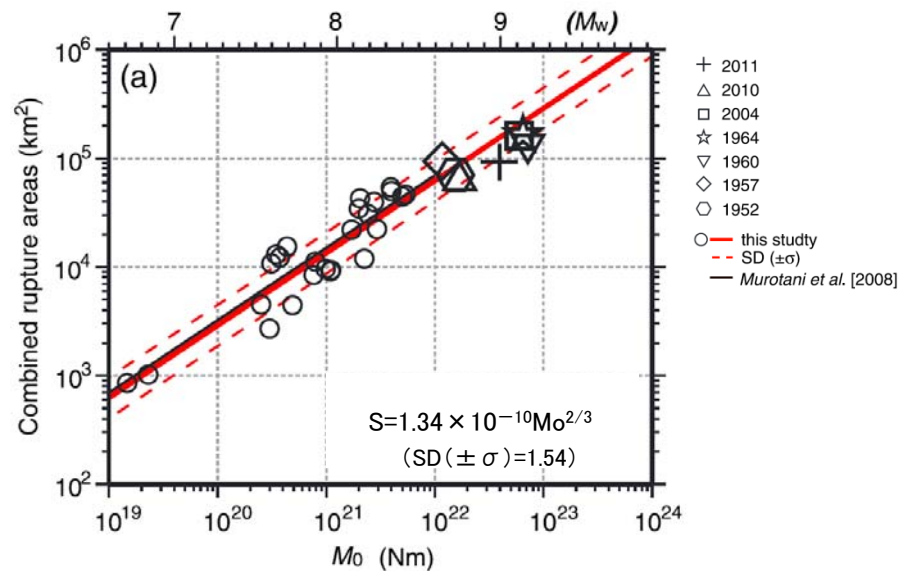


茨城県沖から房総沖に想定する津波波源

1. 基準津波の年超過確率の参照 1.2 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)

1.2.2 プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリー(応力降下量範囲)

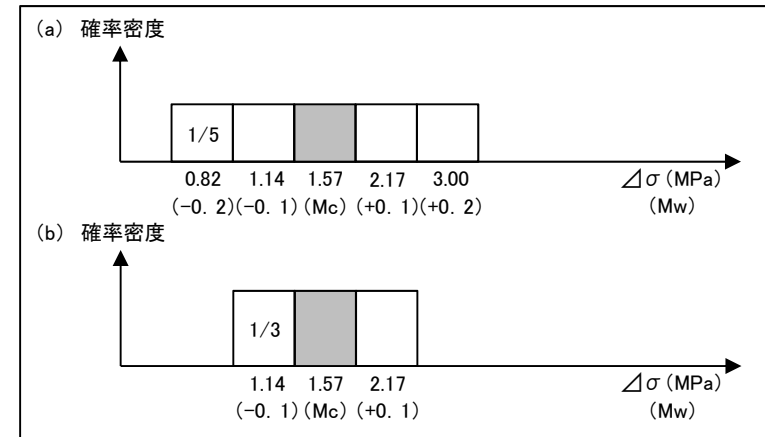
- 土木学会(2016)を踏まえて, Murotani et al.(2013)のスケーリング則による応力降下量の平均値を1.57MPaとし, ばらつきとして $\pm 1\sigma$ とした場合(0.82~3.00MPa)及び $\pm 0.5\sigma$ とした場合(1.14~2.17MPa)を考慮した。
- 重み配分については均等配分とした。



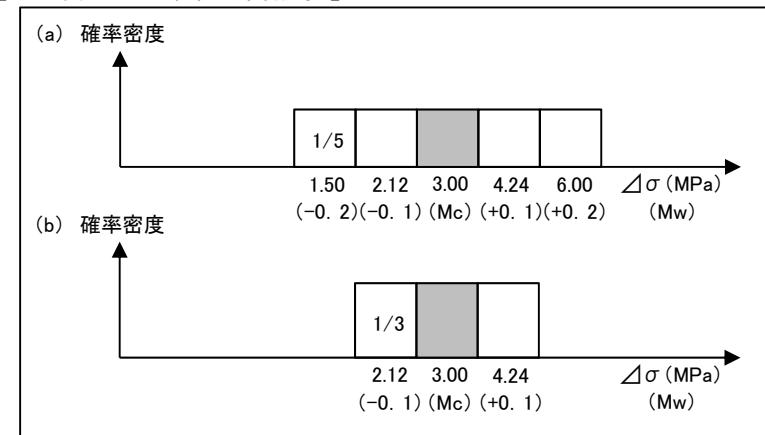
平均応力降下量 $\Delta\sigma = 1.57\text{MPa}$
 $S+1\sigma$ 時の平均応力降下量 $\Delta\sigma = 0.82\text{MPa}$
 $S-1\sigma$ 時の平均応力降下量 $\Delta\sigma = 3.00\text{MPa}$
 $S+0.5\sigma$ 時の平均応力降下量 $\Delta\sigma = 1.14\text{MPa}$
 $S-0.5\sigma$ 時の平均応力降下量 $\Delta\sigma = 2.17\text{MPa}$

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)】

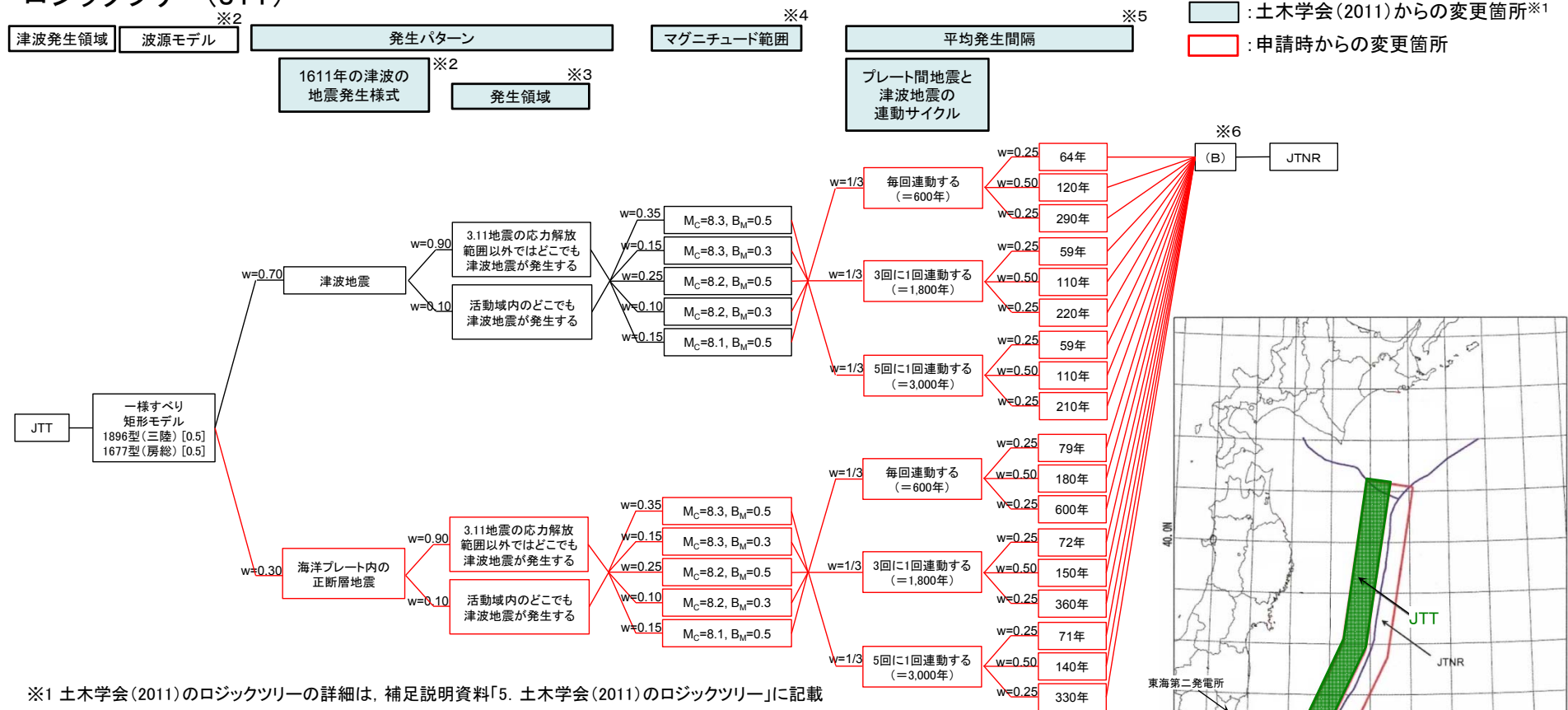


1. 基準津波の年超過確率の参照 1.2 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

1.2.3 津波地震・海洋プレート内の正断層地震のロジックツリー(津波地震)

- 土木学会(2011)のロジックツリー※1を基本に, 2011年東北地方太平洋沖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。

ロジックツリー(JTT)



※1 土木学会(2011)のロジックツリーの詳細は, 補足説明資料「5. 土木学会(2011)のロジックツリー」に記載

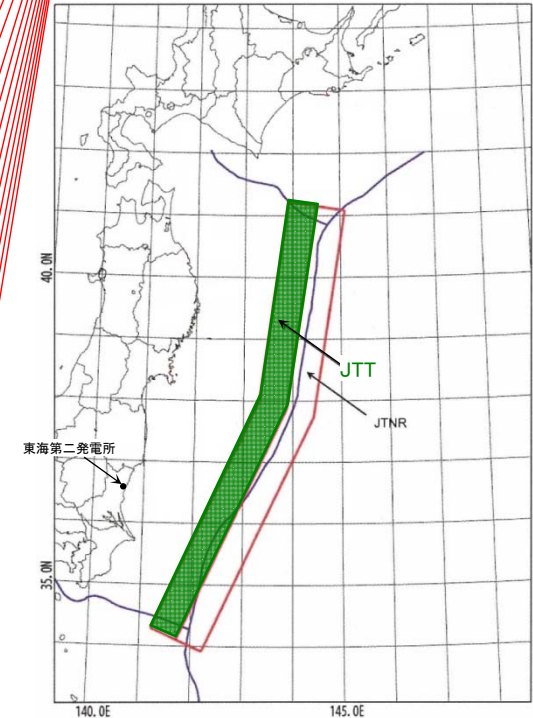
※2 土木学会(2016)等を参考に分岐及び重みを設定

※3 2011年東北地方太平洋沖地震の応力解放範囲で津波地震が発生する可能性については, 2011年東北地方太平洋沖地震の発生により, 同地震で活動した領域に蓄積していたひずみはほぼ解消したため, 発電所の供用期間には同領域で巨大地震は発生しないと考えられる。しかしながら, 津波地震については, 単独で活動する際に必要なひずみは相対的に小さいことを踏まえ, 分岐及び重みを設定

※4 土木学会(2009)等を参考に分岐及び重みを設定

※5 津波地震の平均発生間隔については, 土木学会(2011)を参考に, プレート間地震と津波地震の連動型地震である東北地方太平洋沖型の地震のうち津波地震領域を含む地震の発生間隔を除いて分岐及び重みを設定

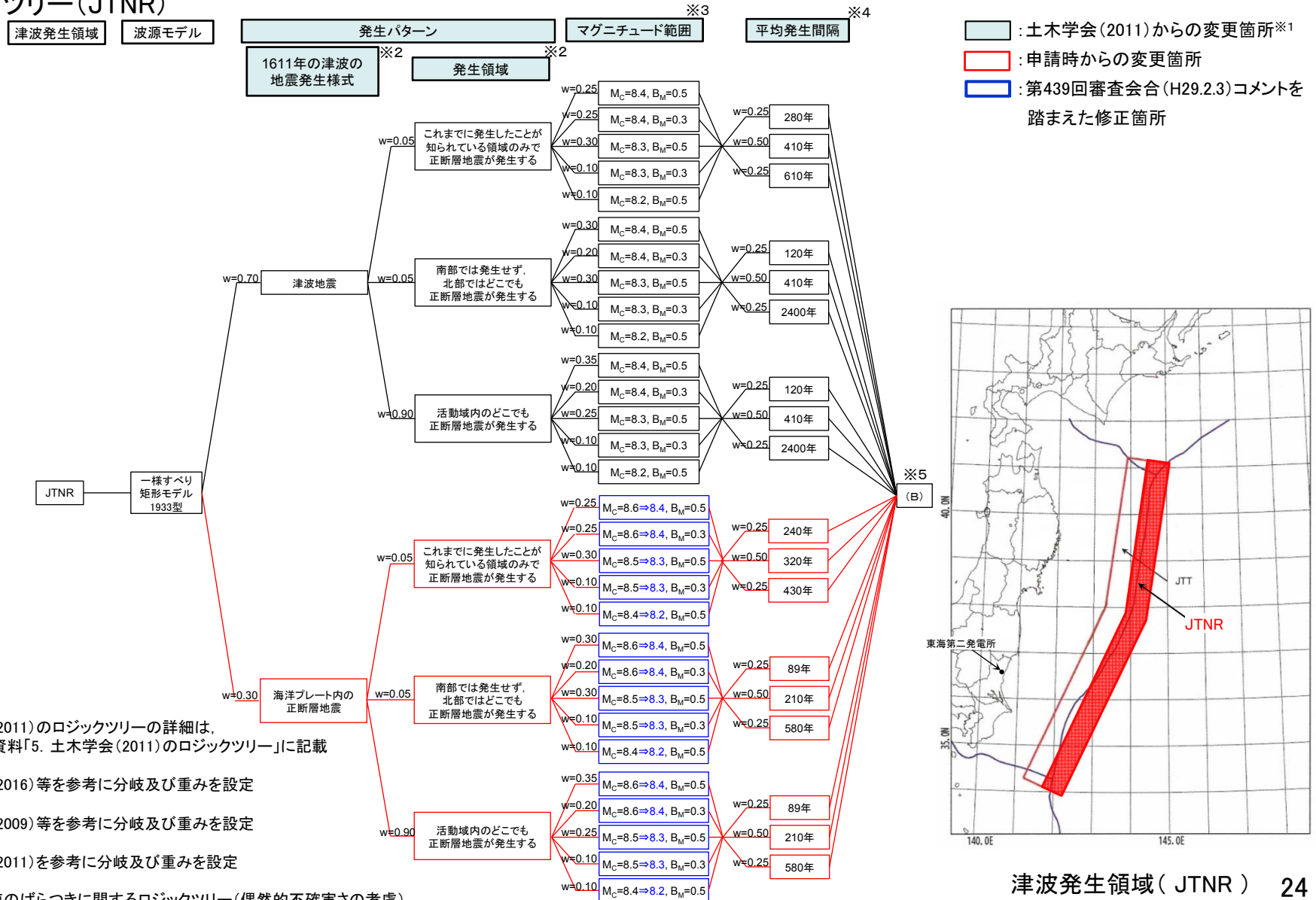
※6 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)



1.2.3 津波地震・海洋プレート内の正断層地震のロジックツリー(海洋プレート内の正断層地震)

- 土木学会(2011)のロジックツリー※1を基本に, 2011年東北地方太平洋沖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。

ロジックツリー(JTNR)



※1 土木学会(2011)のロジックツリーの詳細は, 補足説明資料「5. 土木学会(2011)のロジックツリー」に記載

※2 土木学会(2016)等を参考に分岐及び重みを設定

※3 土木学会(2009)等を参考に分岐及び重みを設定

※4 土木学会(2011)を参考に分岐及び重みを設定

※5 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的な不確実さの考慮)

1.2.3 津波地震・海洋プレート内の正断層地震のロジックツリー(発生パターン)

- 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、海洋プレート内の正断層地震と評価している文献もある。
- 土木学会(2016)が両者を考慮していることを踏まえ、1611年の津波の地震発生様式に海洋プレート内の正断層地震を考慮した分岐を追加し、その M_c (中央マグニチュード)を地震規模、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※。
- 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地震の重みを0.3とした。

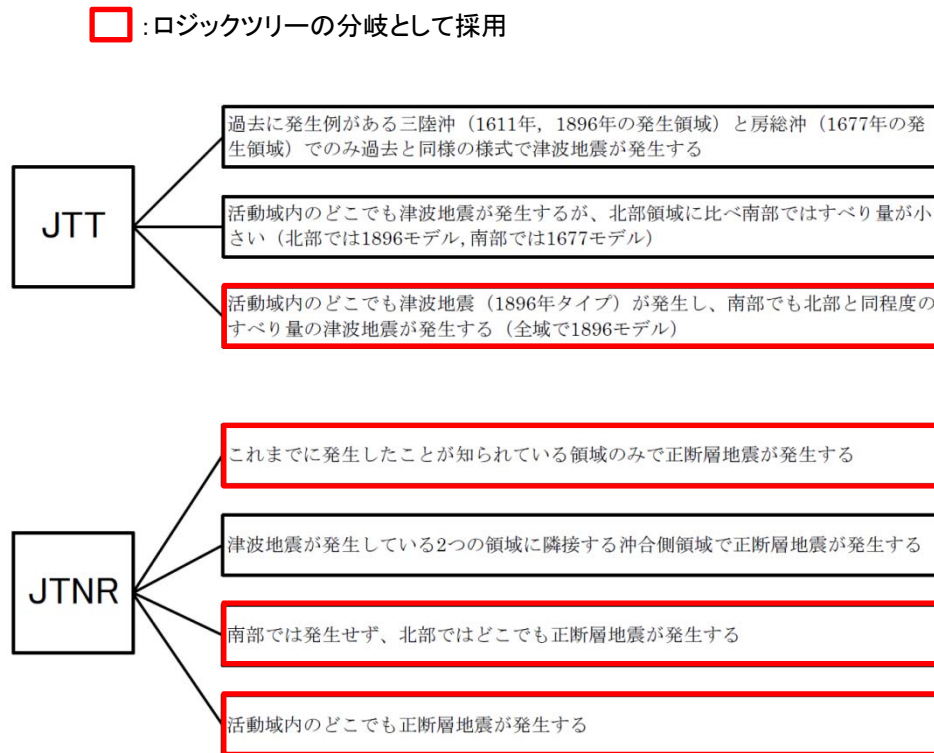
※ 専門家意見聴取結果を踏まえて設定した。意見聴取結果の詳細は、補足説明資料「6. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討」に記載。

【1611年の津波の発生様式に係る知見の収集結果】

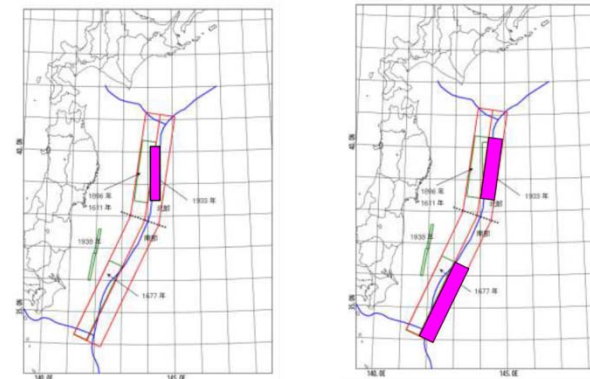
関連情報	1611年の津波の発生様式
相田(1977)	海洋プレート内の正断層地震
土木学会(2002)	津波地震, 海洋プレート内の正断層地震
地震調査研究推進本部(2002)	津波地震
中央防災会議(2005)	津波地震
土木学会(2009)	津波地震
地震調査研究推進本部(2012)	津波地震
今井他(2012)	海洋プレート内の正断層地震
岩淵(2013)	津波地震
土木学会(2016)	津波地震, 海洋プレート内の正断層地震

1.2.3 津波地震・海洋プレート内の正断層地震のロジックツリー(発生パターン)

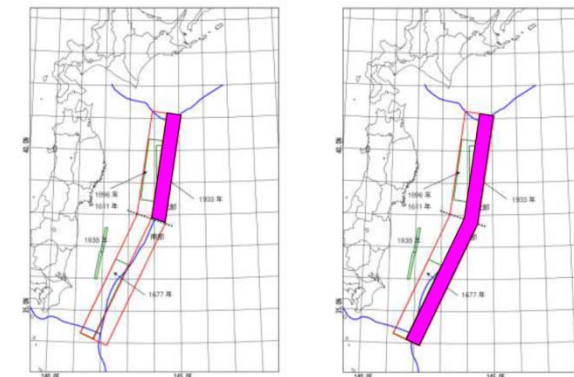
- 津波地震について、土木学会(2011)で設定していた発生パターンの分岐は、2011年東北地方太平洋沖地震の発生を踏まえ、「活動域内のどこでも津波地震が発生し、南部でも北部と同程度のすべり量の津波地震が発生する」の分岐のみとした。
- 海洋プレート内地震について、土木学会(2011)では4つの発生パターンの分岐を設定していたが、津波地震は活動域内のどこでも発生すると考えることにしたことを踏まえ、「津波地震が発生している2つの領域に隣接する沖合側領域で発生する」の分岐を削除した。



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地震)
(土木学会(2011)に加筆)



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

三陸沖から房総沖の海溝寄りの正断層地震の発生位置
(土木学会(2009))

1.2.3 津波地震・海洋プレート内の正断層地震のロジックツリー(平均発生間隔)

- 津波地震及び海洋プレート内の正断層地震の平均発生間隔については、土木学会(2011, 2016)を参考に設定した。

津波発生領域	1611年の津波は津波地震			1611年の津波は正断層地震		
	既往津波	中央マグニチュード [*] (Mc)	発生間隔等	既往津波	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 (2011年東北地方太平洋沖 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 (2011年東北地方太平洋沖 地震を含む)
海洋プレート内の 正断層地震 (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 [*]

※ 固有地震を前提とした場合には、地震発生を1611年と1933年の2回として算出

1. 基準津波の年超過確率の参照 1.2 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)

1.2.3 津波地震・海洋プレート内の正断層地震のロジックツリー(津波地震の平均発生間隔)

- 津波地震の平均発生間隔については、土木学会(2011)を参考に、プレート間地震と津波地震の連動型地震である東北地方太平洋沖型の地震のうち津波地震領域を含む地震の発生間隔を除いて分岐及び重みを設定した。
- 東北地方太平洋沖型の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。

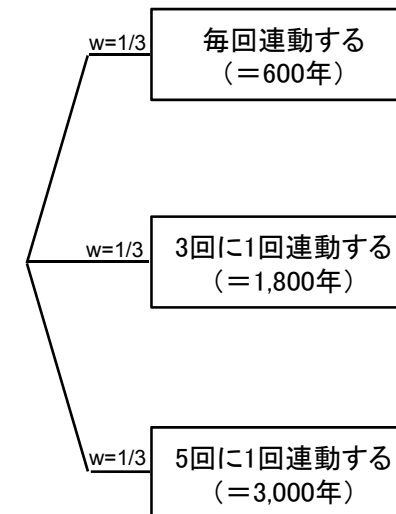
【東北地方太平洋沖型の地震の平均発生間隔の設定】

- 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。
- 2011年東北地方太平洋沖地震より前の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	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



目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照

1.1 評価概要

1.2 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)

1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的な不確実さの考慮)

1.4 評価結果

2. 参考文献

補足説明資料

1. 基準津波の策定

2. 入力津波の年超過確率の参照

3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較

4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討

5. 土木学会(2011)のロジックツリー

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

7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討

8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響

9. 参考文献

1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー

・ 偶然的不確かさは、日本原子力学会(2012), 土木学会(2011), 土木学会(2016)^{※1}等を踏まえて、津波推定値のばらつきに関するロジックツリーとして設定した。

※1: 土木学会(2016)のロジックツリーの詳細は、補足説明資料「7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討」に記載

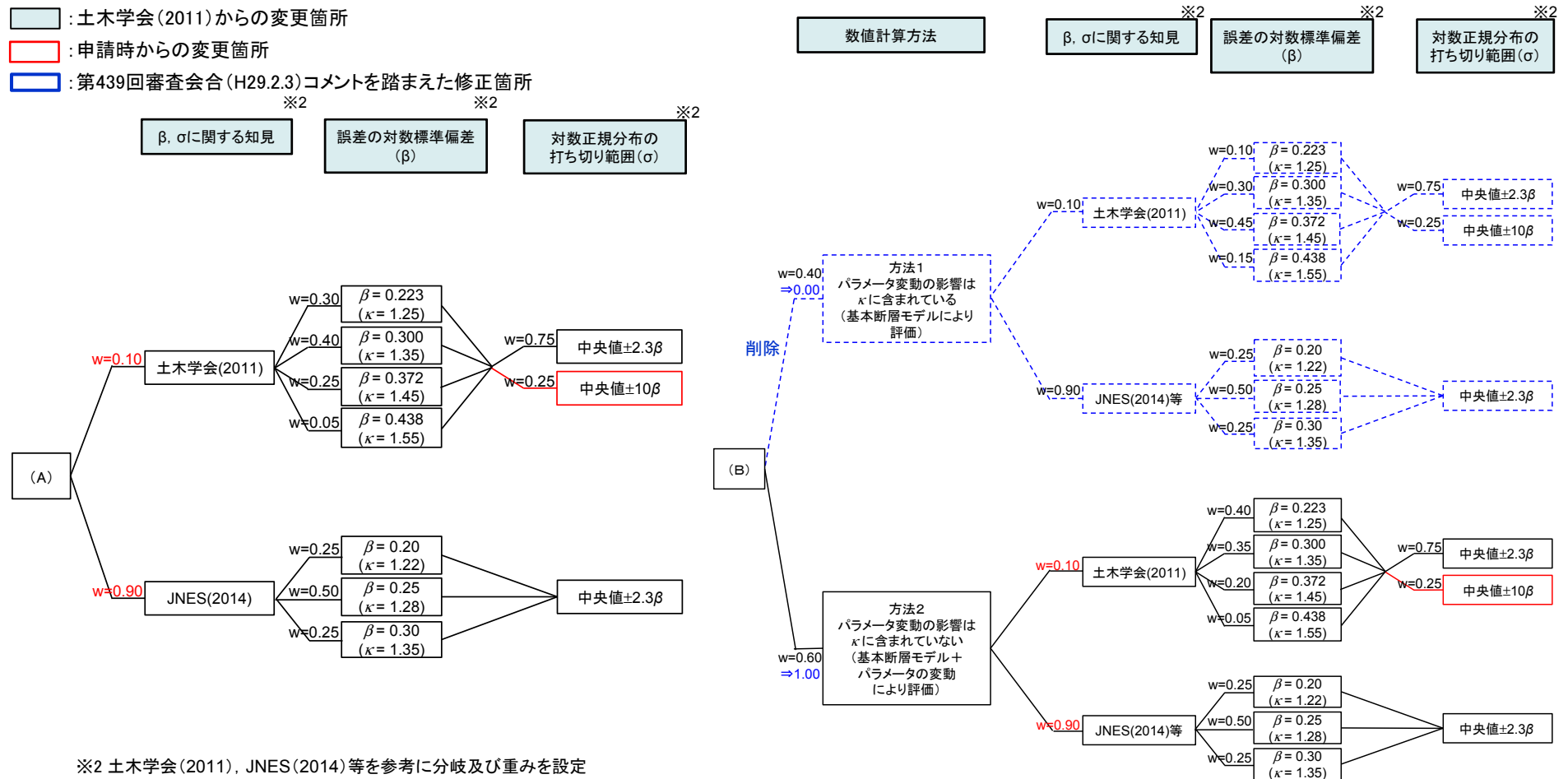
不均質すべりモデル

一様すべり矩形モデル

□ : 土木学会(2011)からの変更箇所

□ : 申請時からの変更箇所

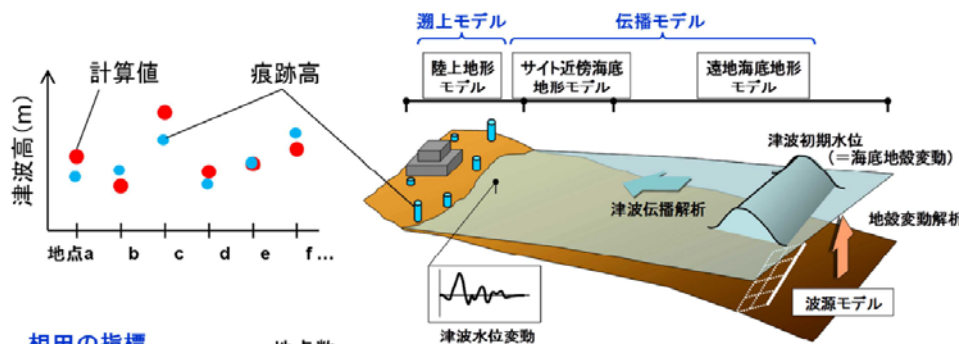
□ : 第439回審査会合(H29.2.3)コメントを踏まえた修正箇所



1. 基準津波の年超過確率の参照 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(誤差の対数標準偏差及び対数正規分布の打ち切り範囲)

- 杉野他(2014)によれば、「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。」としている。
- 杉野他(2014)は、2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波を再現する特性化波源モデル(杉野他(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

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

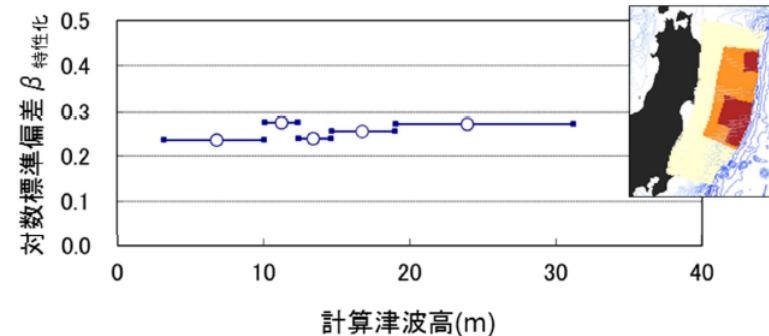
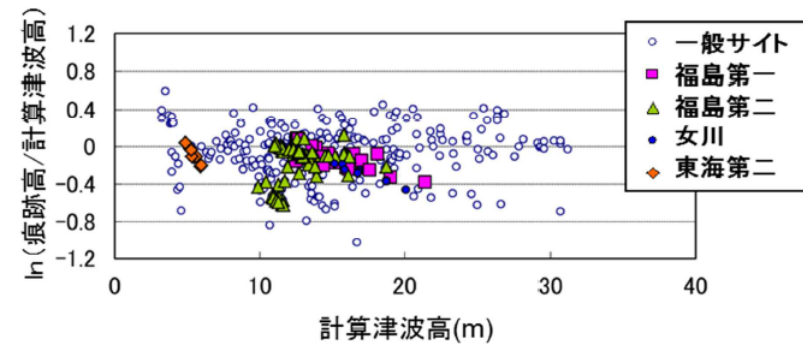
$$\ln \kappa = \left[\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n (\ln K_i)^2 - n(\ln K)^2 \right\} \right]^{1/2} = \beta$$

津波高のばらつき β の内訳

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

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

津波伝播モデルの構成と津波高のばらつき要因
(杉野他(2014))



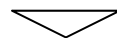
特性化波源モデルの $\beta_{\text{特性化}}$ と計算津波高の関係
(杉野他(2014))

1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(誤差の対数標準偏差及び対数正規分布の打ち切り範囲)

- 杉野他(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2011年東北地方太平洋沖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
(杉野他(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

1. 基準津波の年超過確率の参照 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(誤差の対数標準偏差及び対数正規分布の打ち切り範囲)

- JNES(2014)及び杉野他(2015)では、杉野他(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。

不確かさ要因の設定方法(JNES(2014)に加筆)

(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

- 推定値の不確かさは、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。

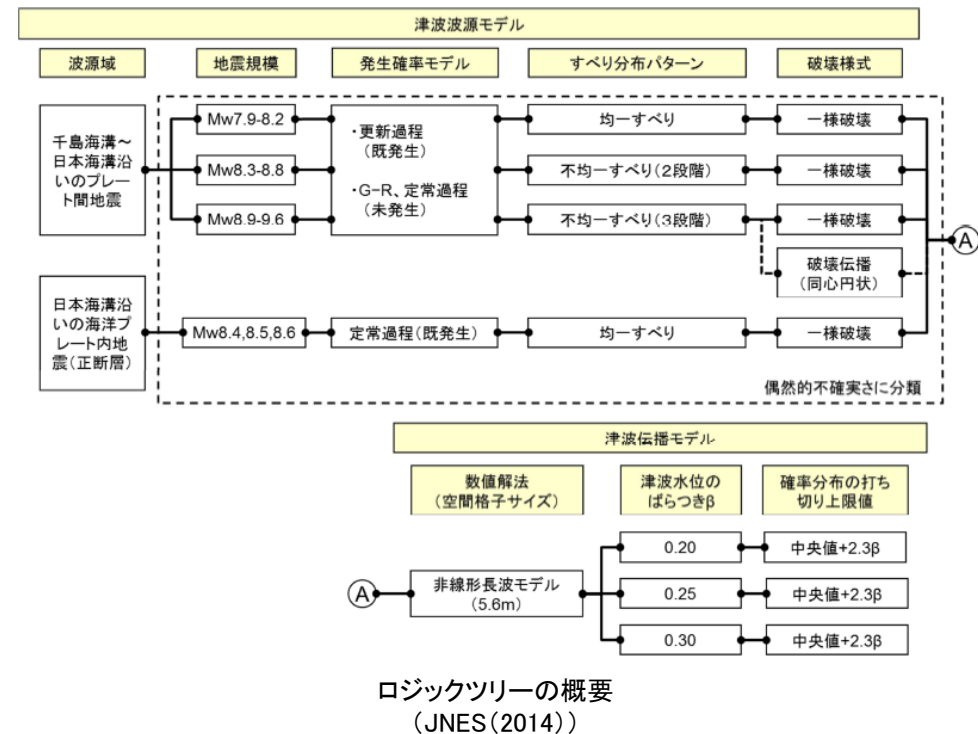
(2) 津波伝播モデルにおける対数正規分布の打ち切りの設定

「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))

1. 基準津波の年超過確率の参照 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(誤差の対数標準偏差及び対数正規分布の打ち切り範囲)

■ 杉野他(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
(杉野他(2015)に加筆)

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か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⁾: 杉野他(2014)
土木学会の報告書³⁾: 土木学会(2011)

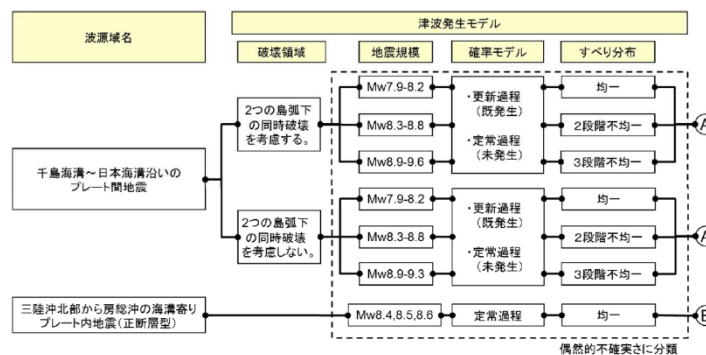


図7 新津波想定モデルを適用する場合の津波発生モデルのロジックツリー

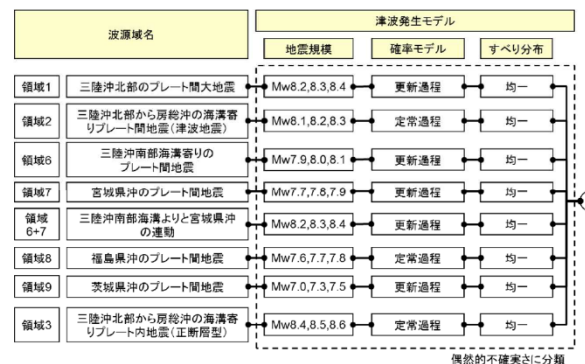


図8 旧津波想定モデルを適用する場合の津波発生モデルのロジックツリー

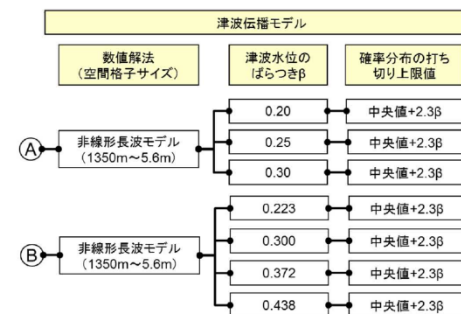
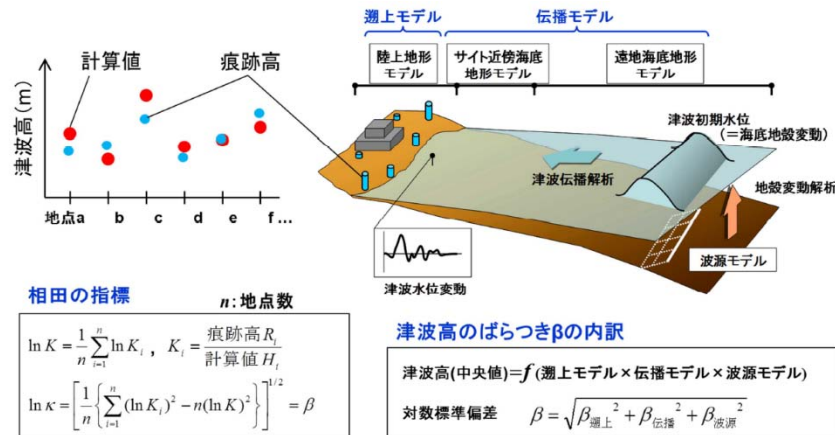


図9 津波伝播モデルのロジックツリー

1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(誤差の対数標準偏差等の分岐設定)

- 杉野他(2014)は不均質モデルを対象とした検討であるとともに、杉野他(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(杉野他(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(杉野他(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)

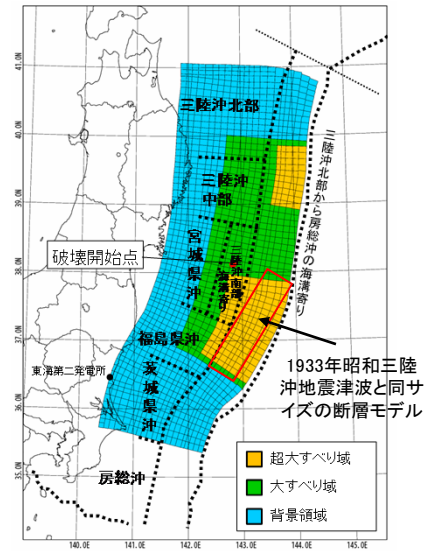
各種モデル化精度の向上

1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(誤差の対数標準偏差等の分岐設定)

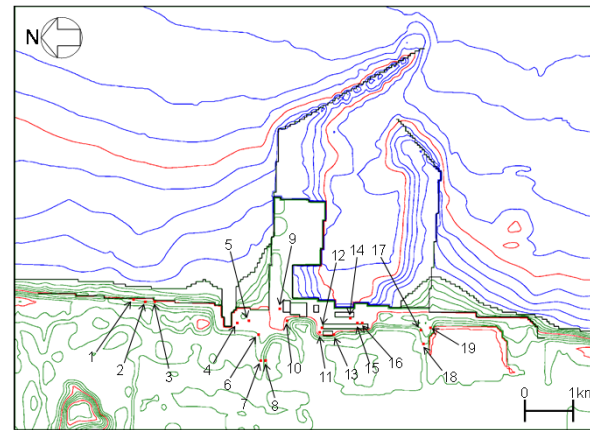
■既往津波の再現解析:2011年東北地方太平洋沖地震津波

- 東北地方太平洋沖型の地震津波と1933年昭和三陸沖地震津波の波源を重ね合わせると、超大すべり域と矩形モデルが概ね一致する。
- 超大すべり域の範囲は均質すべりになっていること、東北地方太平洋沖型の特性化波源モデルは、発電所では幾何標準偏差($\kappa=1.08$)とばらつきが小さいことから、津波高さのばらつき(β)のうち津波波源モデルのばらつき($\beta_{\text{波源}}$)は、矩形(均質)モデルと不均質モデルで有意な差はないと考えられる。

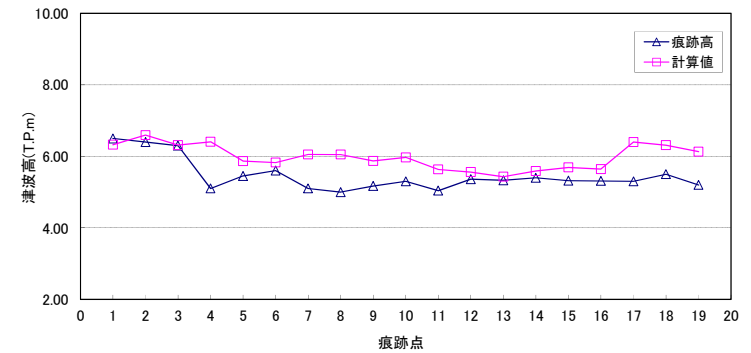
【東北地方太平洋沖型の特性化波源モデル】



破壊開始点 : 震源位置
破壊伝播速度: 3.0km/s
立ち上がり時間: 30秒



敷地内評価点



計算値と痕跡高の比較

東北地方太平洋沖型の地震津波の諸元(不均質モデル)

パラメータ		設定値
超大すべり域	北側の長さ	100km
	北側の幅	50km
	南側の長さ	180km(海溝軸側)
	南側の幅	90km(南側)~100km(北側)
大すべり域	長さ	410km(海溝軸側)
	幅	130km

1933年昭和三陸沖地震津波の諸元(均質モデル)

パラメータ	設定値
長さ	185km
幅	50km

地点数 n	幾何平均 K	幾何標準偏差 κ
19	0.89	1.08

【幾何平均K及び幾何標準偏差 κ の再現性の目安】
 $0.95 < K < 1.05$
 $\kappa < 1.45$

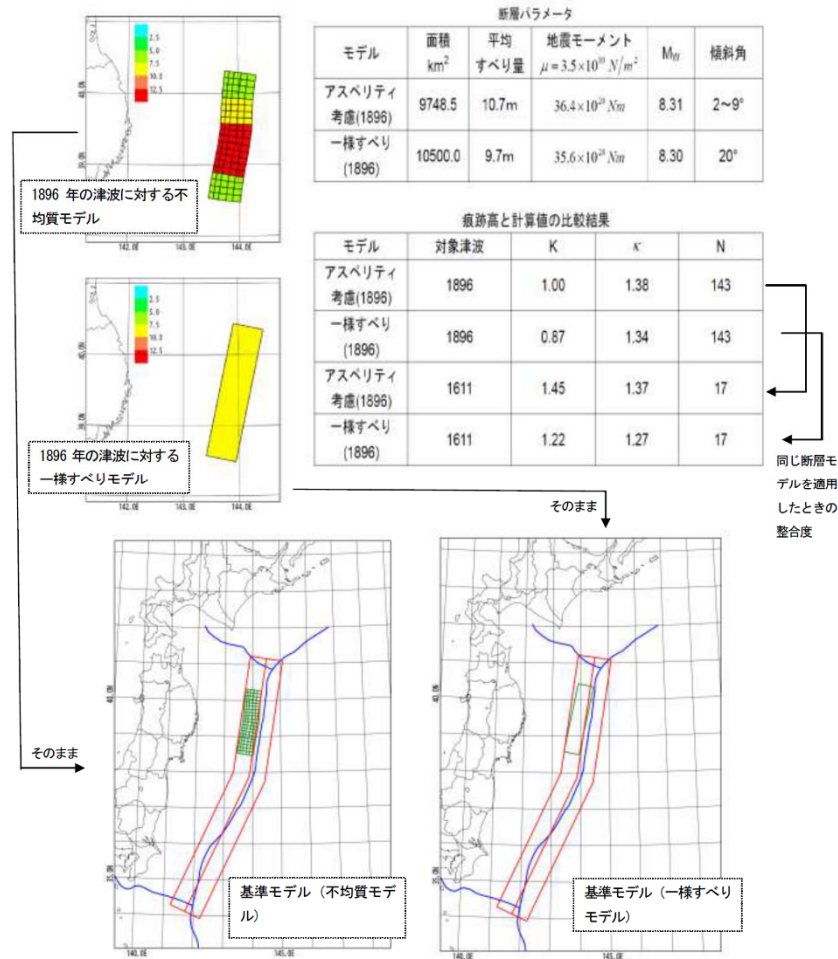
(土木学会(2002))

1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(誤差の対数標準偏差等の分岐設定)

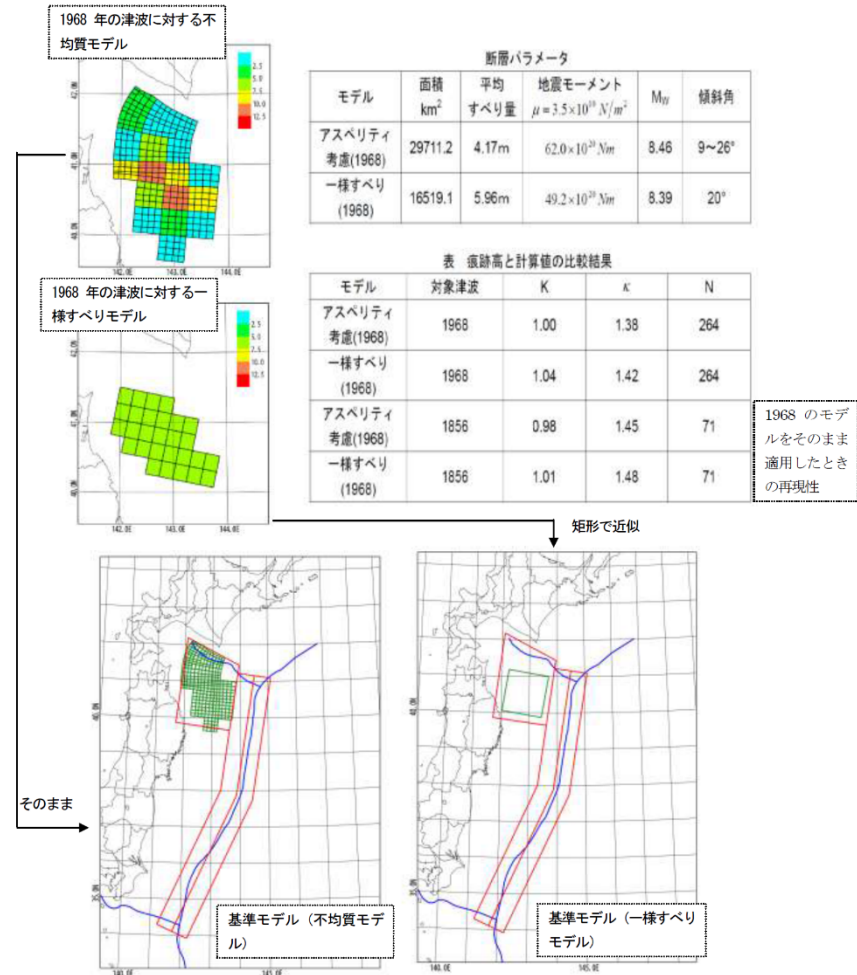
■既往津波の再現解析: 1896年明治三陸地震津波, 1968年十勝沖地震に伴う津波

- 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))】



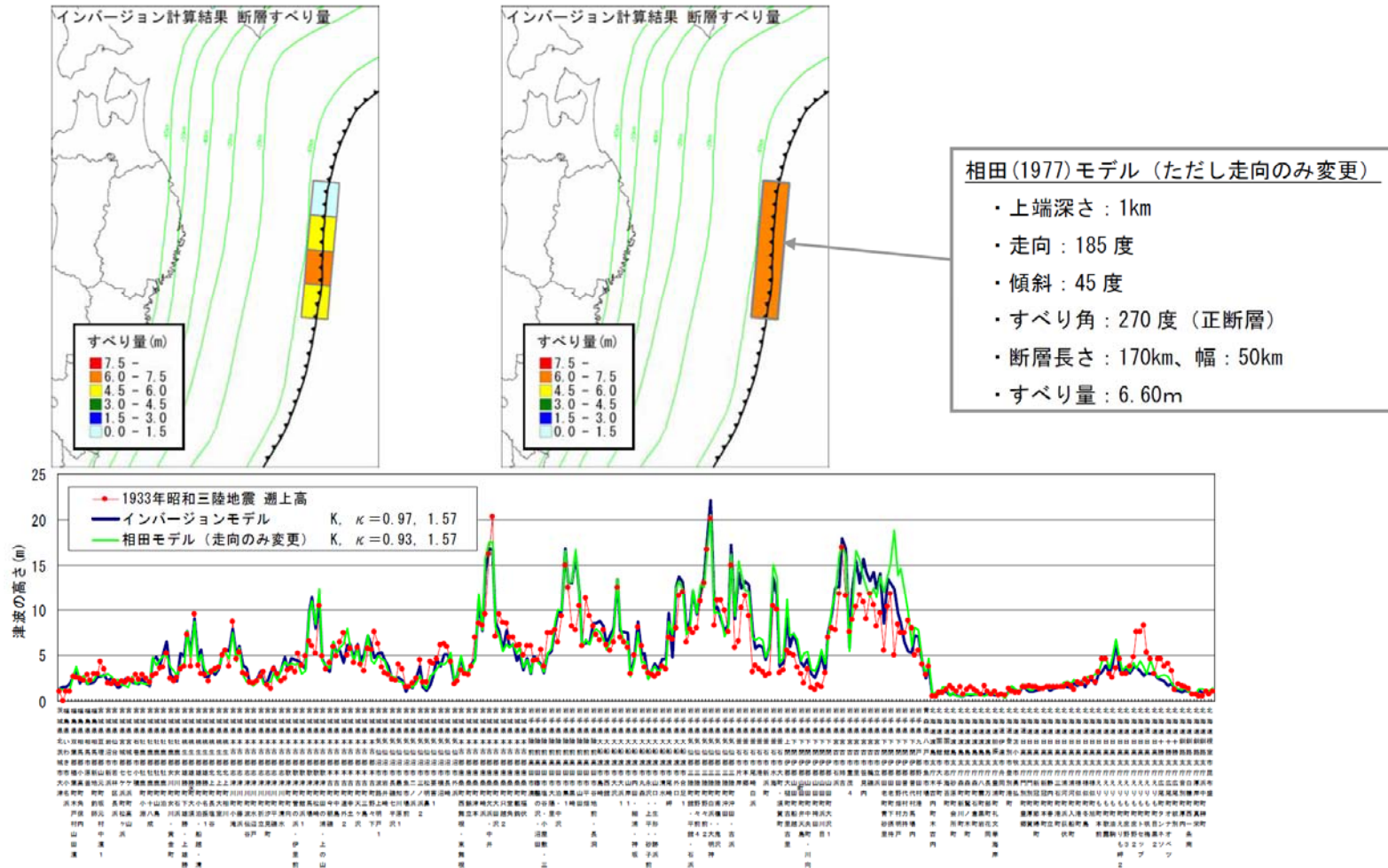
【1968年十勝沖地震に伴う津波(土木学会(2009))】



1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(誤差の対数標準偏差等の分岐設定)

■ 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($\beta_{\text{波源}}$)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。

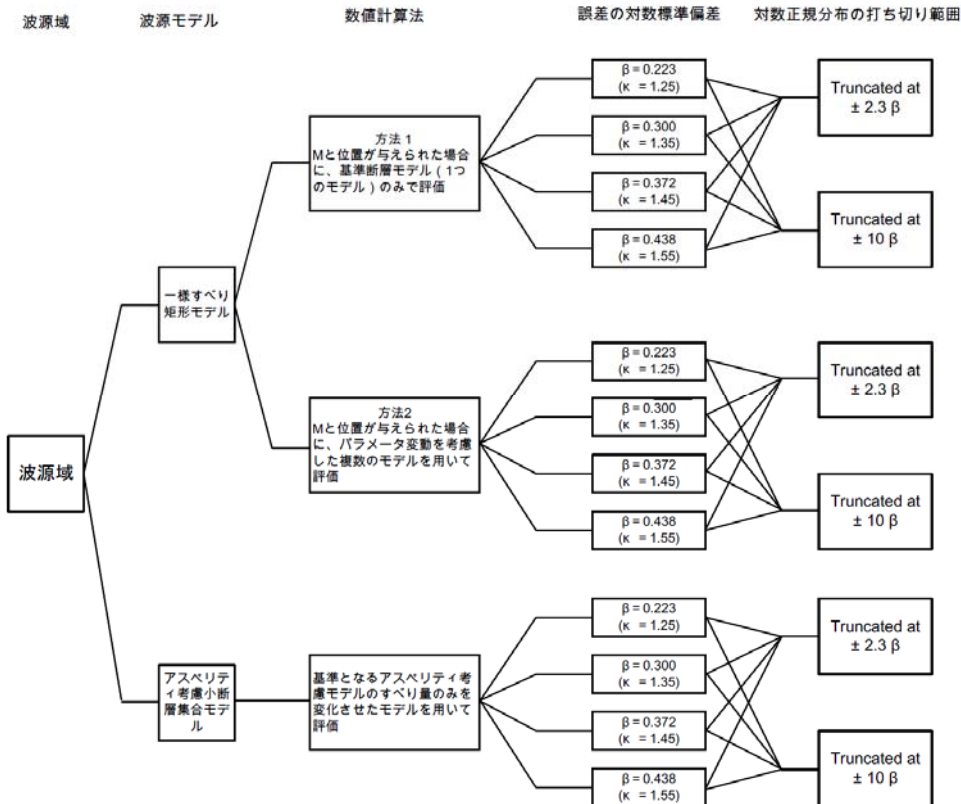


1933年昭和三陸地震津波のインバージョンモデルと相田(1977)モデル(矩形断層モデル)との比較
(中央防災会議(2005)に加筆)

1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(誤差の対数標準偏差等の分岐設定)

■ 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。



津波推定値のばらつき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

1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(誤差の対数標準偏差等の分岐設定)

■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。

1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(誤差の対数標準偏差及び対数正規分布の打ち切り範囲)

- 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、確率論的津波ハザード評価の解析条件等※1はJNES(2014)、杉野他(2015)の設定方法(格子サイズ5m程度)を満足しており、同知見を評価に反映した。なお、杉野他(2014)の検討は、Mw8.9以上の巨大地震に分類される2011年東北地方太平洋沖地震の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であると示されていることから、土木学会(2011)の設定方法も評価に反映し分岐とした※2。
- 重み配分は、土木学会(2011)の重みを0.1、JNES(2014)の重みを0.9とした。また、JNES(2014)等の誤差の対数標準偏差(β)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て設定した※2。

※1 解析条件については津波予測解析(p50)と同様。ただし、潮位条件は平均潮位に変更

※2 専門家意見聴取結果及び矩形断層モデルに関する検討を踏まえてロジックツリー、重み配分を設定した。

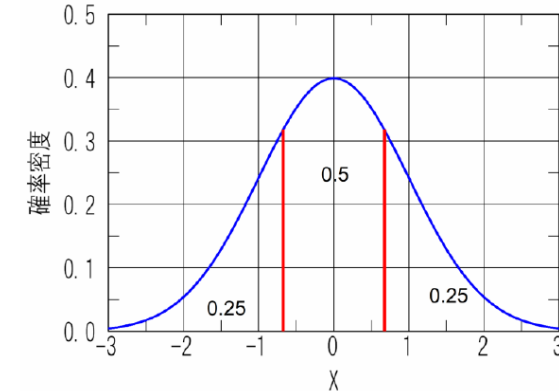
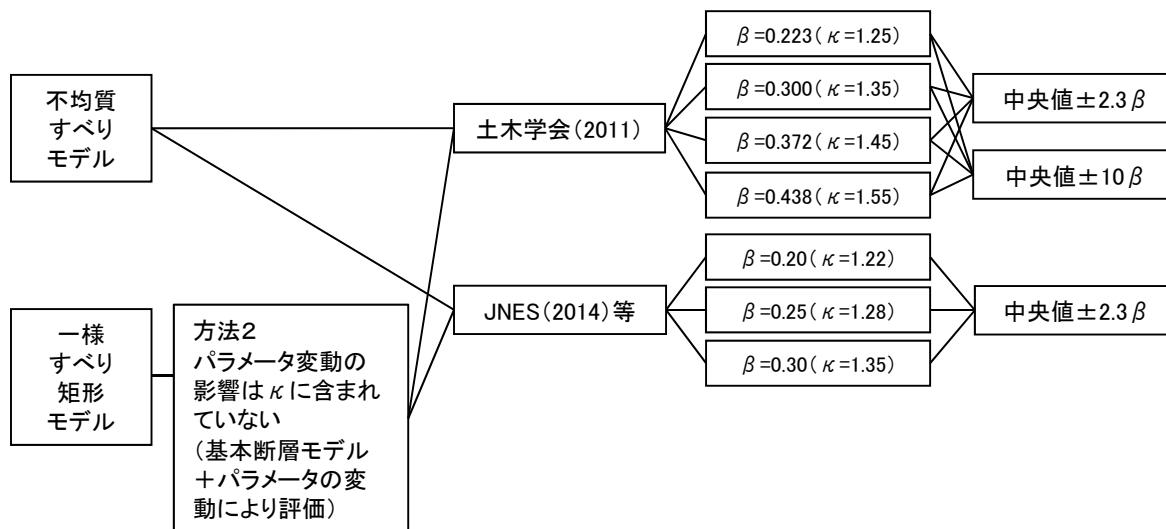
意見聴取結果及び検討結果の詳細は、補足説明資料「7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討」に記載

【津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(概要)※3】

※3 各分岐の重みはp30に記載

誤差の対数標準偏差
(β)

対数正規分布の
打ち切り範囲(σ)



JNES(2014)の設定に用いた
正規分布に対する分岐設定方法(土木学会(2011))

目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照

1.1 評価概要

1.2 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)

1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

1.4 評価結果

2. 参考文献

補足説明資料

1. 基準津波の策定

2. 入力津波の年超過確率の参照

3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較

4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討

5. 土木学会(2011)のロジックツリー

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

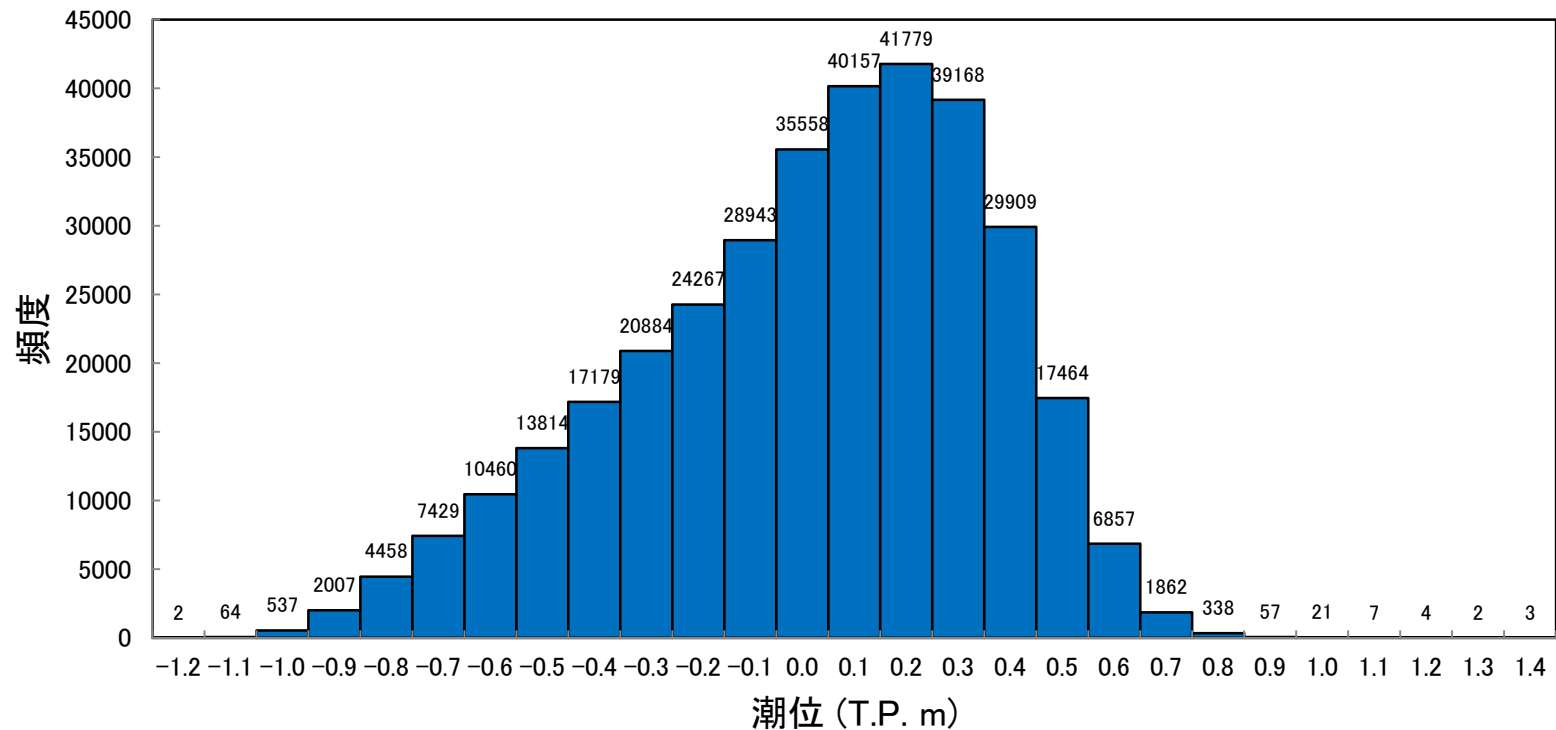
7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討

8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響

9. 参考文献

1.4.1 津波ハザード曲線の評価概要

- 津波ハザード曲線の作成にあたっては、ロジックツリーの分岐の総本数のうち、モンテカルロ手法により10万本のサンプルを抽出して算定した。
- 潮位の頻度分布は、国土交通省関東整備局鹿島港湾・空港整備局より受領した茨城港常陸那珂港区(茨城港日立港区)における1971年～2010年の観測記録を用いた。



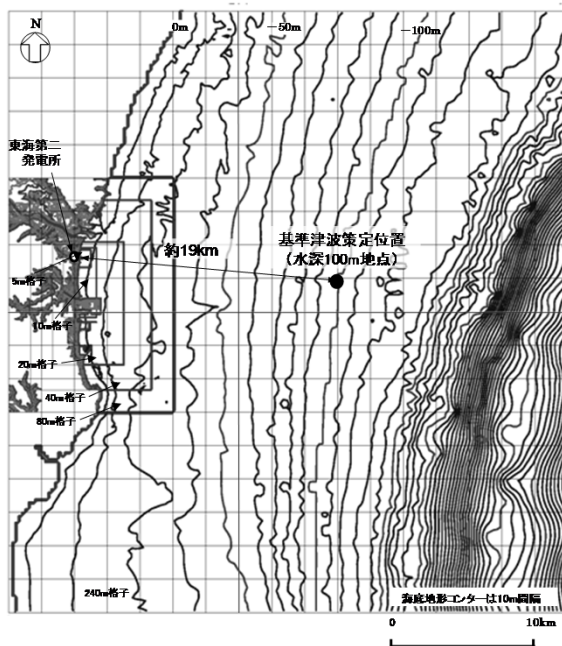
潮位の頻度分布
茨城港常陸那珂港区(茨城港日立港区)

1. 基準津波の年超過確率の参照 1.4 評価結果

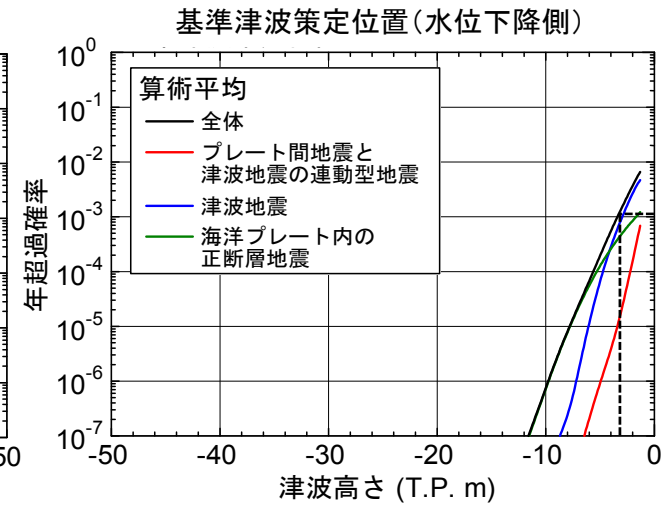
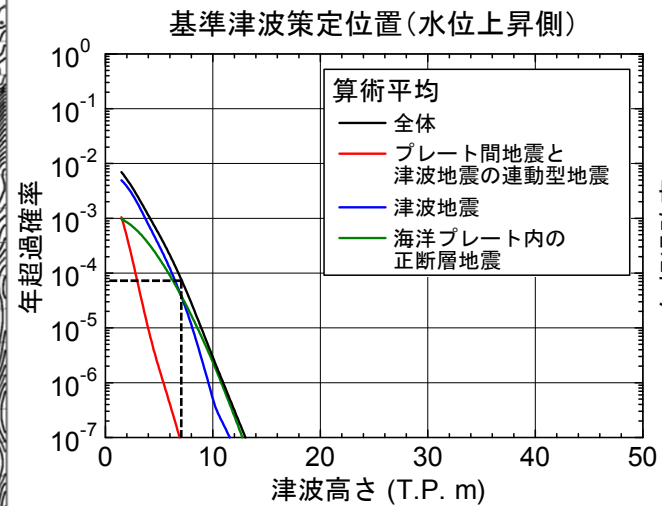
1.4.2 年超過確率の参照

- 基準津波策定位置における平均ハザード曲線は以下のとおりである。
 - ✓ 最高水位の年超過確率は 10^{-4} 程度
 - ✓ 最低水位の年超過確率は 10^{-3} 程度

■ 波源別ハザード曲線



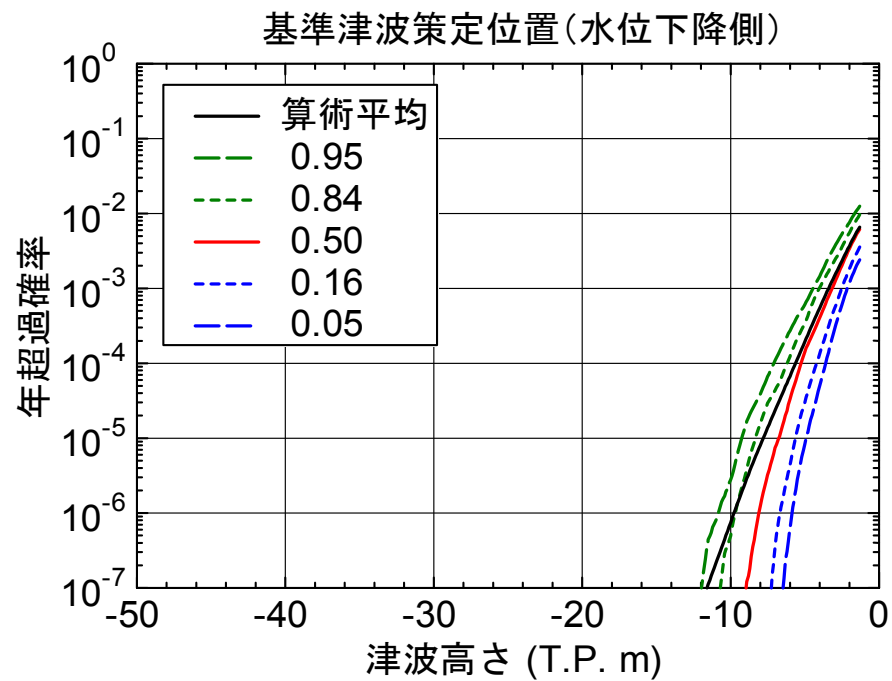
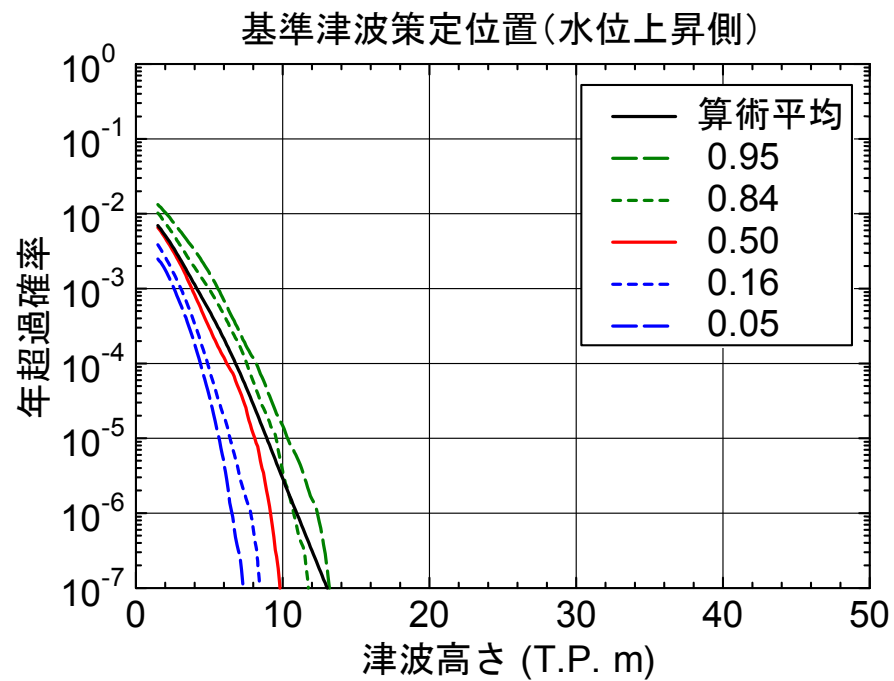
基準津波策定位置図



	津波水位 (最高水位)	津波水位 (最低水位)
基準津波(上昇側)	T.P.+7.1m	T.P.-4.6m
基準津波(下降側)	T.P.+4.1m	T.P.-3.3m

1.4.2 年超過確率の参照

■フラクタイルハザード曲線



目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照

1.1 評価概要

1.2 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)

1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

1.4 評価結果

2. 参考文献

補足説明資料

1. 基準津波の策定

2. 入力津波の年超過確率の参照

3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較

4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討

5. 土木学会(2011)のロジックツリー

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

7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討

8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響

9. 参考文献

2. 参考文献

- 日本原子力学会標準(2012):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
- 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
- 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)
- 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
- 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
- 原子力安全基盤機構(2014):確率論的手法に基づく基準津波策定手引き
- 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
- 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
- 佐竹健治・七山太・山木滋(2003):17世紀に北海道東部で発生した異常な津波の波源モデル, 活断層・古地震研究報告, No.3, p.315-362, 2003
- 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 武村雅之, 松浦律子(2013):日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会
- 渡辺偉夫(1998):日本被害津波総覧 [第2版], 東京大学出版会
- 国立天文台編(2014):理科年表 平成26年, 丸善出版
- 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
- 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
- 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
- チリ津波合同調査班(1961): <http://www.coastal.jp/ttjt/>
- 海洋研究開発機構(2012):東北地方太平洋沖地震, 震源域南限の地下構造, プレスリリース.
- Shinohara, M., T. Yamada, K. Nakahigashi, S. Sakai, K. Mochizuki, K. Uehira, Y. Ito, R. Azuma, Y. Kaiho, T. No, H. Shiobara, R. Hino, Y. Murai, H. Yakiwara, T. Sato, Y. Machida, T. Shinbo, T. Isse, H. Miyamachi, K. Obana, N. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kaneda, K. Hirata, S., Yoshikawa, K. Obara, T. Iwasaki, and N. Hirata (2011): Aftershock observation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake by using ocean bottom seismometer network, Earth Planets Space, 63, pp.835-840.
- 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, 2014
- 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, 1-5, doi:10.1002/grl.50976.
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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)
- 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, 2015

目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照
 - 1.1 評価概要
 - 1.2 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)
 - 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)
 - 1.4 評価結果
2. 参考文献

補足説明資料

1. 基準津波の策定
2. 入力津波の年超過確率の参照
3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較
4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討
5. 土木学会(2011)のロジックツリー
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
7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討
8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響
9. 参考文献

1.2 津波予測解析(計算条件)

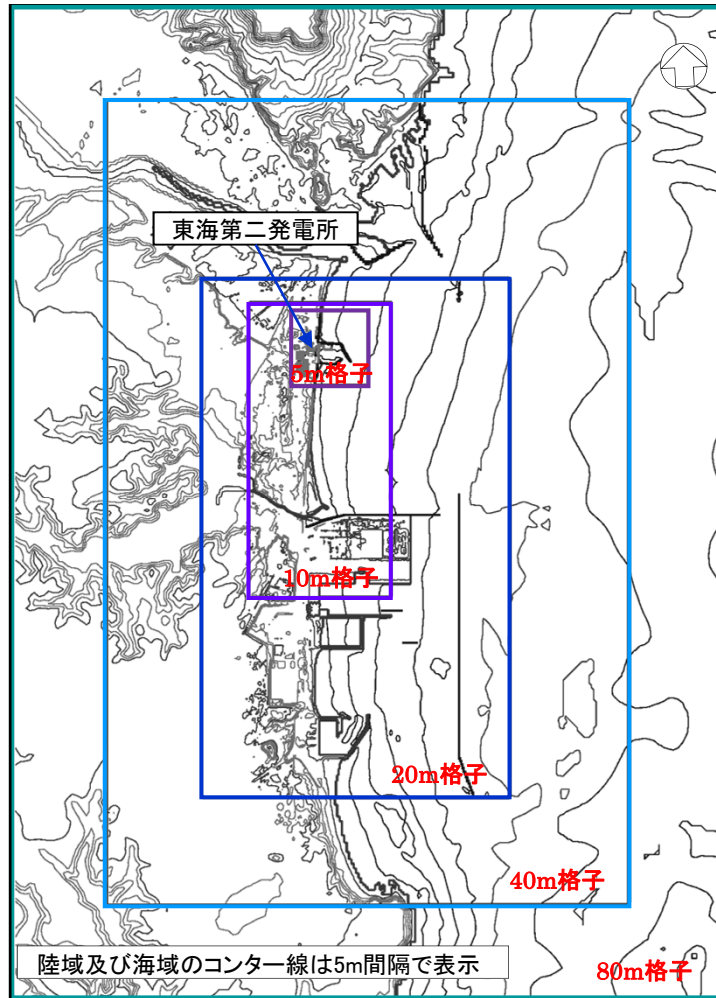
- 津波予測解析にあたっては、下記の計算条件を用いた。

津波予測解析の計算条件

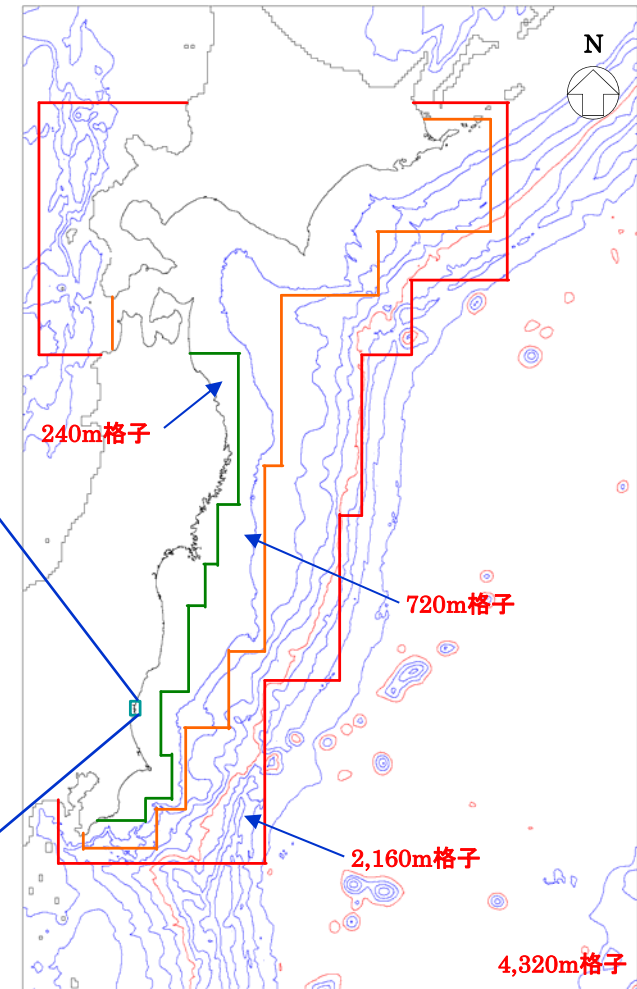
項目	条件		備考
計算領域	北海道から千葉房総付近までの太平洋		
メッシュ構成	沖合4,320m→2,160m→720m→沿岸域240m→発電所周辺80m→40m→20m→10m→5m		長谷川他(1987)
基礎方程式	非線形長波理論		後藤・小川(1982)の方法
計算スキーム	スタッガード格子, リープ・フロッグ法		後藤・小川(1982)の方法
初期変位量	Mansinha and Smylie(1971)の方法		
境界条件	沖側: 後藤・小川(1982)の自由透過の条件 陸側: 敷地周辺(計算格子間隔80m~5m)の領域は小谷他(1998)の陸上遡上境界条件 それ以外は完全反射条件		
越流条件	防波堤: 本間公式(1940) 護岸: 相田公式(1977)		
防潮堤	鉛直無限壁		
海底摩擦係数	マンニングの粗度係数($n=0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$)		
水平渦動粘性係数	考慮していない($Kh=0$)		
計算時間間隔	$\Delta t=0.05$ 秒		C.F.L.条件を満たすように設定
計算時間	津波発生後240分間		十分な計算時間となるように設定
潮位条件	概略パラメータスタディ	T.P.+0.02m	茨城港常陸那珂港区(茨城港日立港区)の潮位表(平成16年~平成21年)を用いて設定
	詳細パラメータスタディ	T.P.+0.61m(上昇側)	
		T.P.-0.81m(下降側)	

津波水位 = 潮位 + 水位変動量 + 2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動量 + 津波予測解析による地殻変動量

1.2 津波予測解析(計算領域)



計算領域と格子分割(発電所周辺)



計算領域と格子分割(沖合～沿岸域)

1.3 評価結果(防潮堤前面の最高水位及び取水口前面の最低水位)

- 地震に起因する津波のうち、発電所に最も影響を与える地震津波は、プレート間地震による津波である。
- 最高水位は防潮堤前面でT.P.+17.1mである。
- 最低水位は取水口前面でT.P.-4.9mである。

【概略パラメータスタディ結果】

地震種別	プレート間地震	海洋プレート内地震	海域の活断層による地殻内地震
波源モデル	茨城県沖から房総沖に想定する津波波源	三陸沖北部から房総沖の海溝寄りに想定する正断層型の津波波源	敷地前面海域の活断層に想定する津波波源 (F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動)
最大水位上昇量 (防潮堤前面)	17.60m	6.44m	1.8m (阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)
最大水位下降量 (取水口前面)	-5.47m	-4.19m	-



【詳細パラメータスタディ結果】

地震種別	プレート間地震
最大水位上昇量 (防潮堤前面)	16.08m
最大水位下降量 (取水口前面)	-4.97m

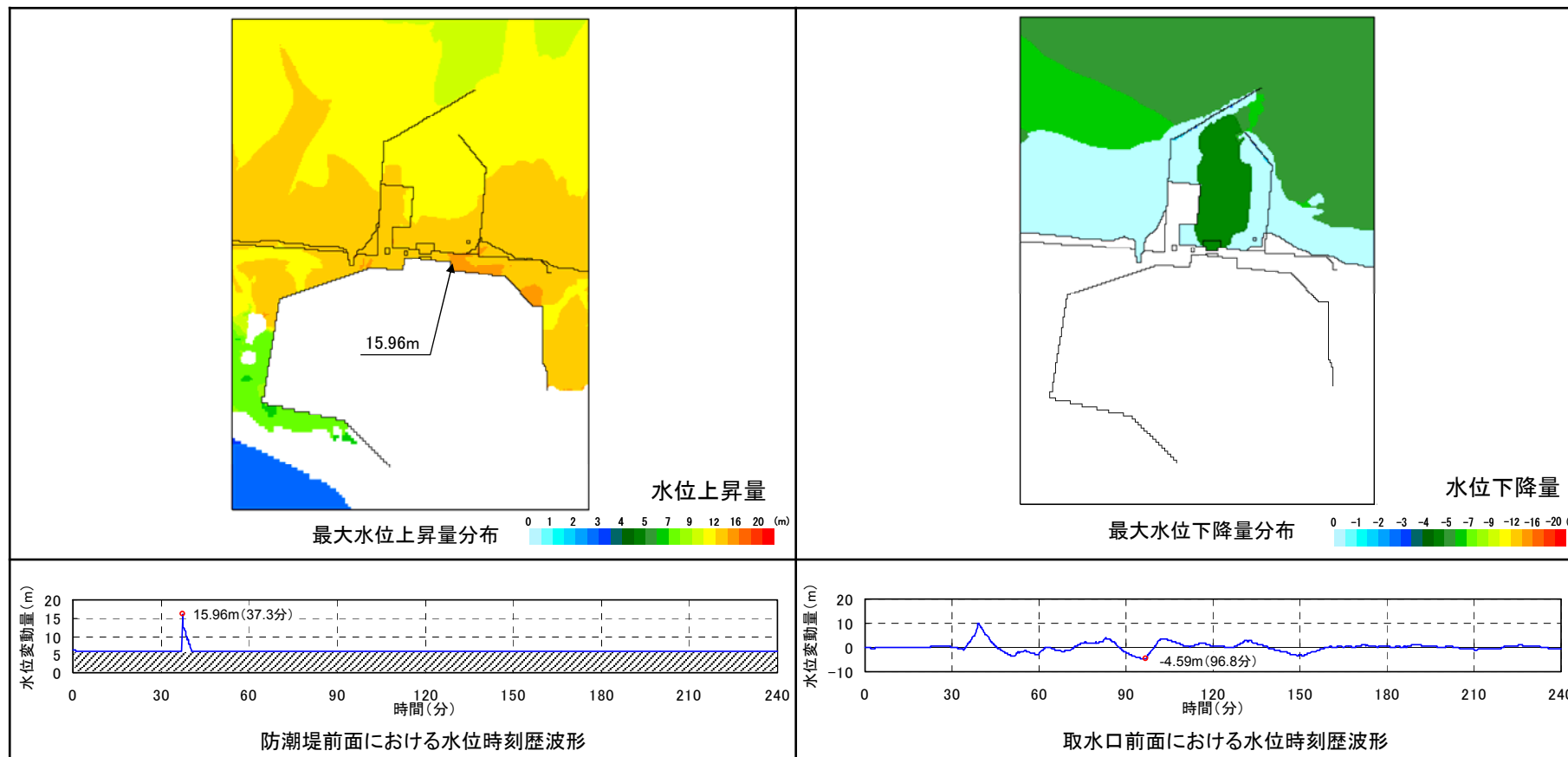


地震種別	プレート間地震
最高水位※ (防潮堤前面)	T.P.+17.1m
最低水位※ (取水口前面)	T.P.-4.9m

※防潮堤の線形形状の見直し、貯留堰の設置及びSA用海水ピット取水塔の設置を計画していることから、それらの設備形状をモデルに反映して評価した水位潮位及び地殻変動量(2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動量も含む)を考慮

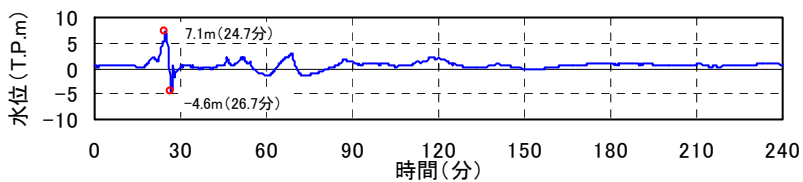
1.3 評価結果(防潮堤前面の最大水位上昇量及び取水口前面の最大水位下降量:水位分布及び時刻歴波形)

【最終設備形状反映モデル】



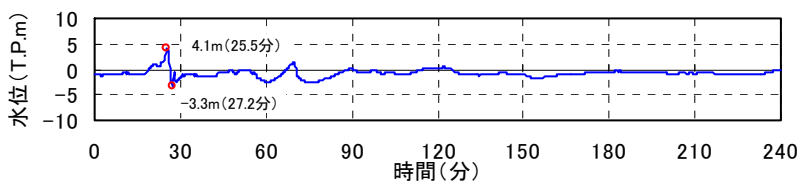
1.3 評価結果(基準津波策定位置)

- 基準津波は、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、敷地前面の沖合い約19km(水深100m地点)の位置で策定した。



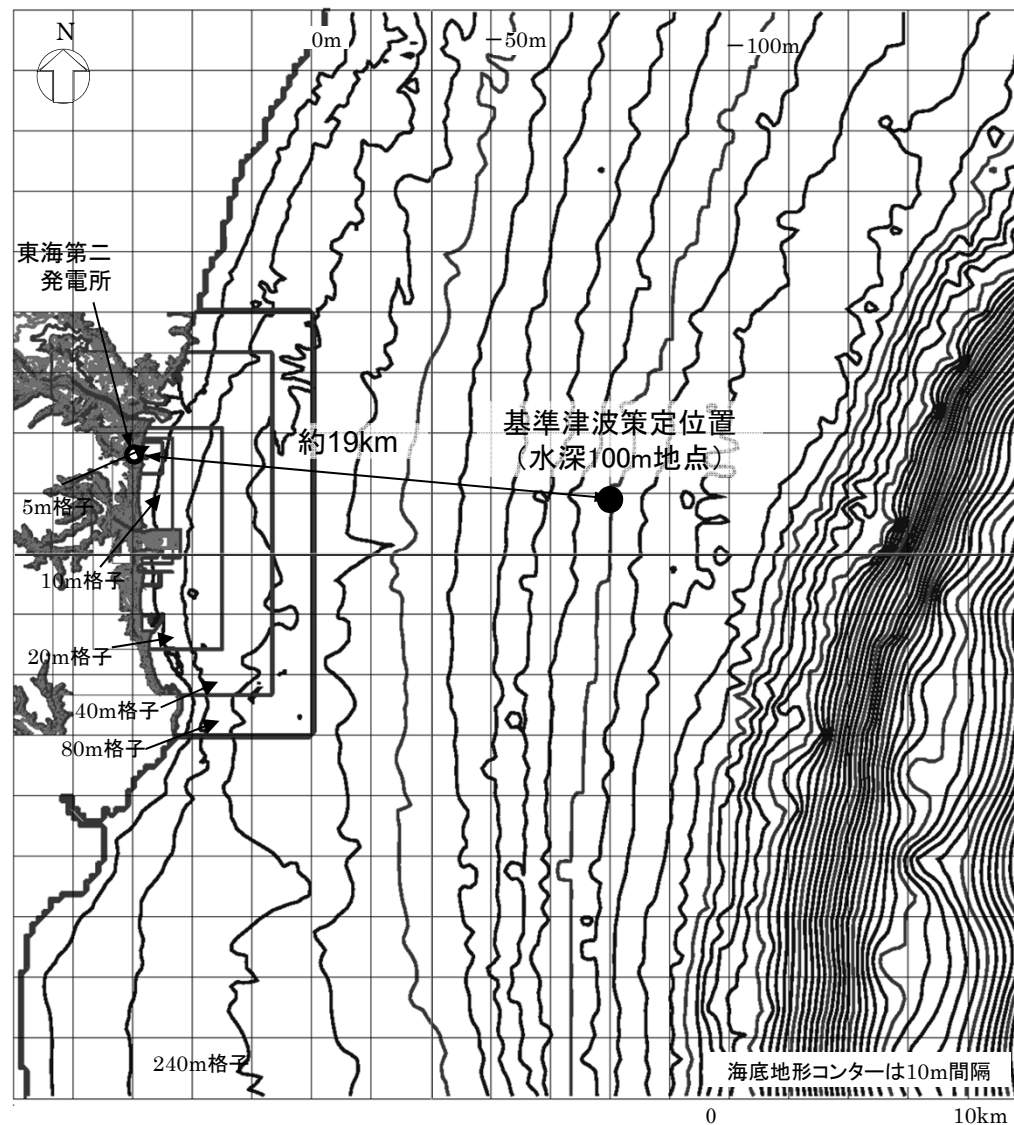
基準津波策定位置における時刻歴波形
(上昇側最大※1)

※1 大すべりの位置: 波源モデルの北限から南へ20km移動(A-3),
破壊開始点⑥, 破壊伝播速度3.0km/s, 立ち上がり時間30秒



基準津波策定位置における時刻歴波形
(下降側最大※2)

※2 大すべりの位置: 波源モデルの北限から南へ40km移動(A-5),
破壊開始点⑤, 破壊伝播速度1.0km/s, 立ち上がり時間30秒



基準津波策定位置図

目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照
 - 1.1 評価概要
 - 1.2 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)
 - 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)
 - 1.4 評価結果
2. 参考文献

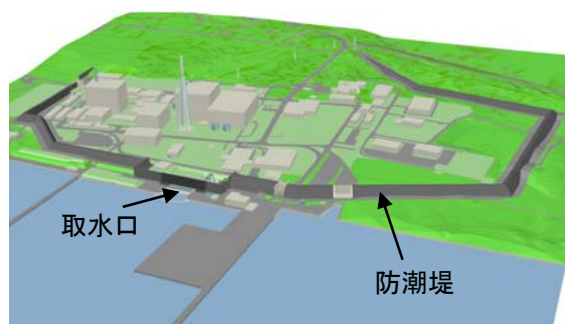
補足説明資料

1. 基準津波の策定
2. 入力津波の年超過確率の参照
3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較
4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討
5. 土木学会(2011)のロジックツリー
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
7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討
8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響
9. 参考文献

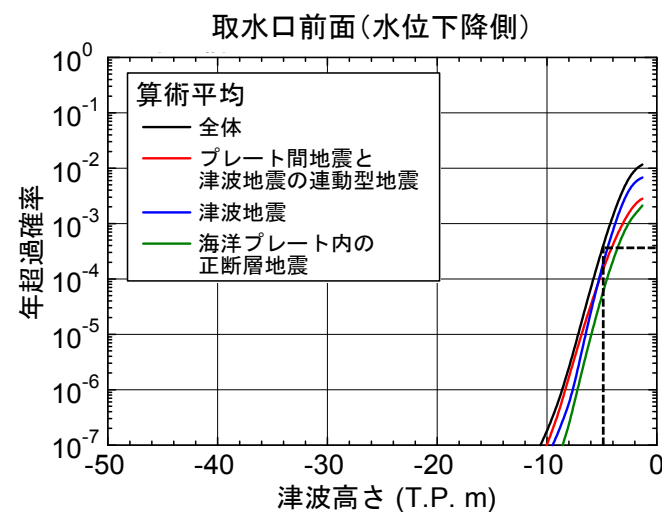
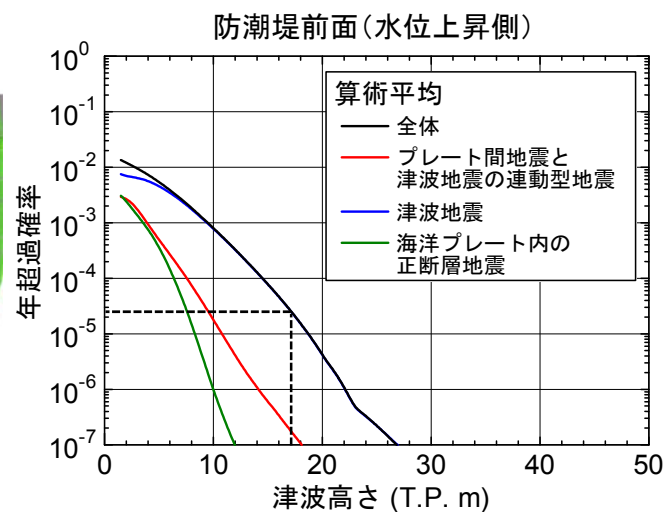
2.1 評価結果(防潮堤前面及び取水口前面)

- 防潮堤前面(水位上昇側)及び取水口前面(水位下降側)における平均ハザード曲線は以下のとおりである。
 - ✓ 最高水位の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度
 - ✓ 最低水位の年超過確率は $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度

■ 波源別ハザード曲線



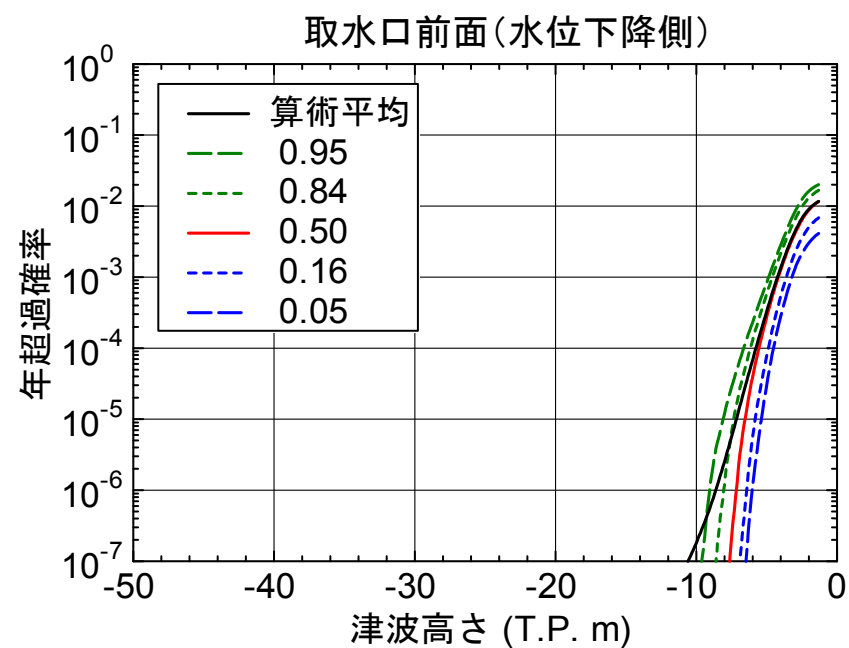
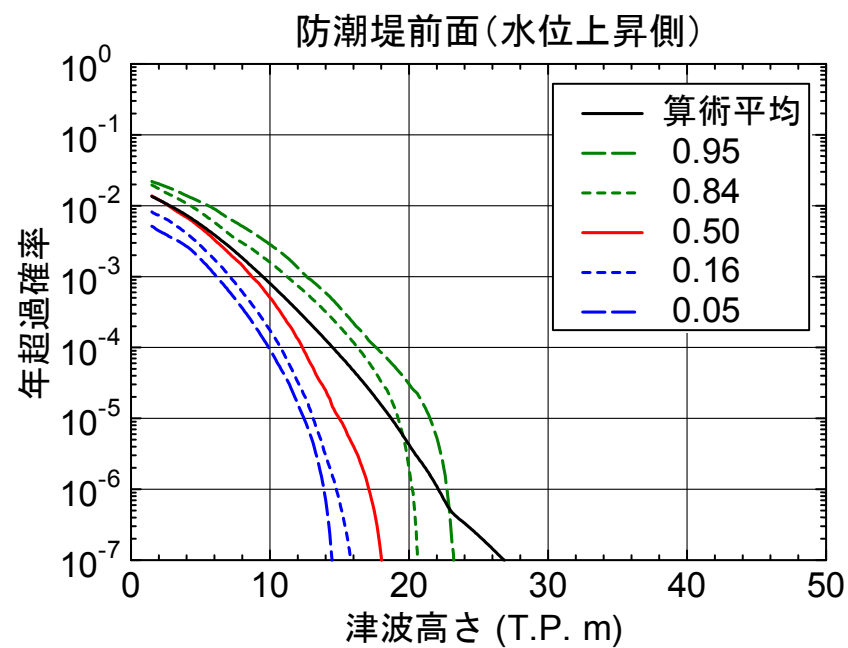
評価位置図



	津波水位
最高水位(防潮堤前面)	T.P.+17.1m
最低水位(取水口前面)	T.P.-4.9m

2.1 評価結果(防潮堤前面及び取水口前面)

■フラクタイルハザード曲線



目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照
 - 1.1 評価概要
 - 1.2 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)
 - 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)
 - 1.4 評価結果
2. 参考文献

補足説明資料

1. 基準津波の策定
2. 入力津波の年超過確率の参照
3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較
4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討
5. 土木学会(2011)のロジックツリー
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
7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討
8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響
9. 参考文献

3.1 変更点

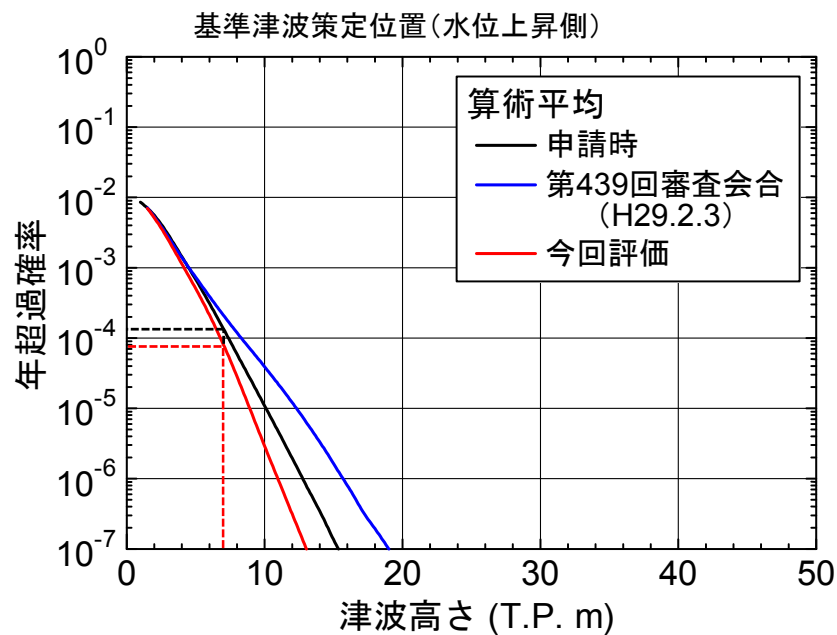
■ 変更概要

- ・ 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反映

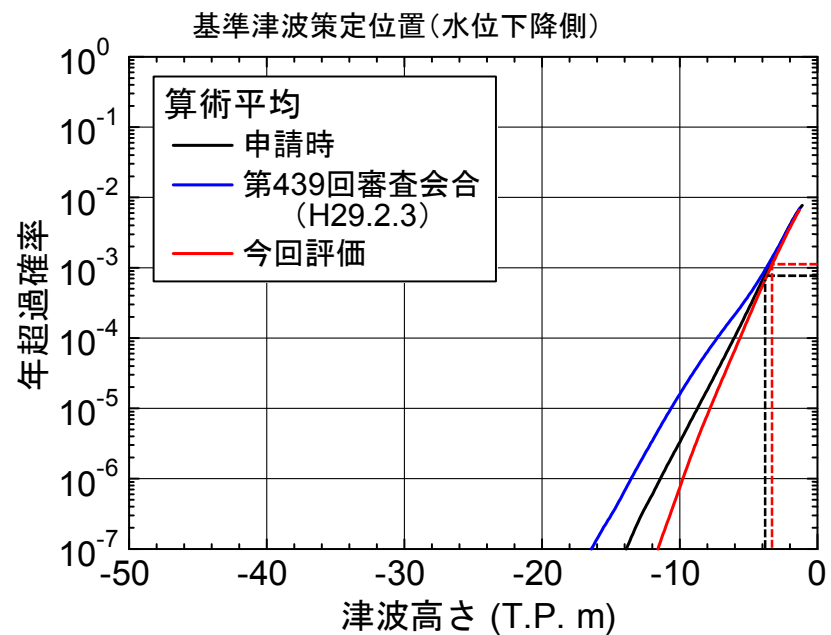
変更理由	変更内容		
	対象領域	項目	変更概要
最新知見の反映	三陸沖北部～房総沖	マグニチュード範囲	土木学会(2016)を踏まえ, M_c (中央マグニチュード)の設定に用いる平均応力降下量を3.00MPaから1.57MPaに変更
	津波地震	1611年の津波の地震発生様式	土木学会(2016)等を踏まえ, 1611年の津波の地震発生様式を分岐として追加
	海洋プレート内の正断層地震		
	全ての領域	β , σ に関する知見 対数正規分布の打ち切り範囲(σ)	JNES(2014)等を踏まえ, 誤差の対数標準偏差(β)及び対数正規分布の打ち切り範囲(σ)を分岐として追加
	全ての領域	潮位の頻度分布	潮位の頻度分布(1971年～2010年の観測記録)を評価に追加
審査結果等の反映	三陸沖北部～房総沖	波源領域の南限	2011年東北地方太平洋沖地震の特徴と関連する知見を踏まえ, 波源領域の南限として「北米プレートとフィリピン海プレートの境界まで」と「房総沖まで」の分岐を設定
	海洋プレート内の正断層地震	マグニチュード範囲	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 M_c (中央マグニチュード)を8.6から8.4に変更
	全ての領域	数値計算法 (一様すべり矩形モデル)	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

3.2 評価結果の比較(基準津波策定位置)

■算術平均ハザード曲線



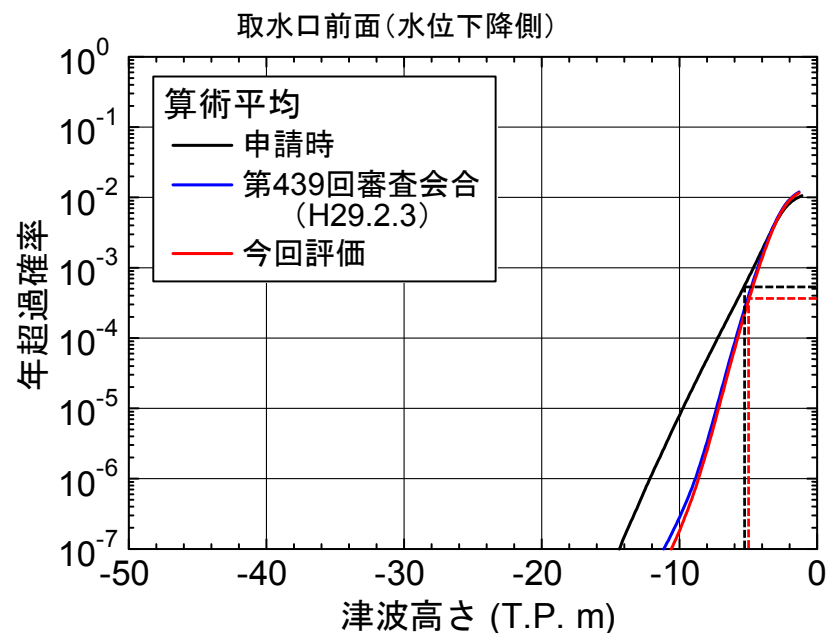
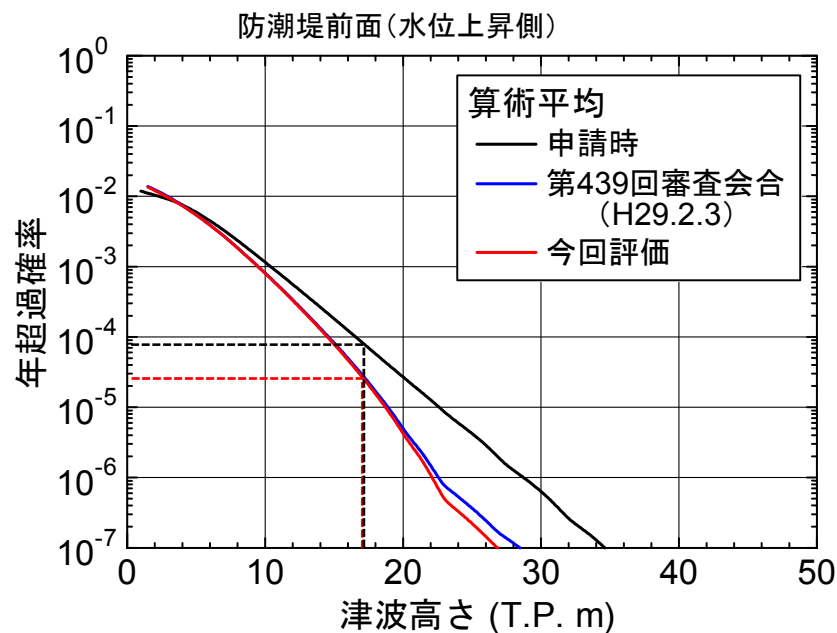
基準津波 (水位上昇側)	津波水位 (最高水位)	年超過確率
申請時	T.P.+7.1m	10 ⁻⁴ 程度
今回評価	T.P.+7.1m	10 ⁻⁴ 程度



基準津波 (水位下降側)	津波水位 (最低水位)	年超過確率
申請時	T.P.-3.8m	10 ⁻³ 程度
今回評価	T.P.-3.3m	10 ⁻³ 程度

3.2 評価結果の比較(防潮堤前面及び取水口前面)

■算術平均ハザード曲線



防潮堤前面 (水位上昇側)	津波水位 (最高水位)	年超過確率
申請時	T.P.+17.2m	10 ⁻⁴ 程度
今回評価	T.P.+17.1m	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵ 程度

取水口前面 (水位下降側)	津波水位 (最低水位)	年超過確率
申請時	T.P.-5.3m	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴ 程度
今回評価	T.P.-4.9m	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴ 程度

目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照
 - 1.1 評価概要
 - 1.2 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)
 - 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)
 - 1.4 評価結果
2. 参考文献

補足説明資料

1. 基準津波の策定
2. 入力津波の年超過確率の参照
3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較
4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討
5. 土木学会(2011)のロジックツリー
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
7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討
8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響
9. 参考文献

4.1 専門家意見聴取結果

- プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーにおける基準津波の波源の取扱いについて、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：プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーにおける基準津波の波源の取扱いについて

- ✓ 敷地前面のプレート間に想定する津波波源については、2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見に基づくと、津波波源の南限を北米プレートとフィリピン海プレートの境界とする「茨城県沖に想定する津波波源」が妥当であると考えた。
- ✓ しかしながら、基準津波の策定においては、この津波波源に複数の保守的設定を加味し、津波波源の南限を房総沖までに拡張した「茨城県沖から房総沖に想定する津波波源」を設定して評価を行った。
- ✓ 年超過確率の評価においては、より合理的な津波波源と考えられる「茨城県沖に想定する津波波源」を用い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"> 構造的に房総沖と茨城県沖には構造境界があることから、茨城県に想定する津波波源を基本とすることは妥当である。
<ul style="list-style-type: none"> 確定論で保守的に考慮した波源が、確率論に入っていないというのはおかしくないと思う。仮に分岐として考慮するのであれば、低い重みを設定すべき。 波源の規模の設定については、専門外の内容になるのでコメントは控えさせていただく。
<ul style="list-style-type: none"> 確定論で考慮している波源については、保守的に設定したものであっても確率論でも考慮するほうが良い。ただし、重みは低くても良い。
<ul style="list-style-type: none"> 確定論で考慮している波源については、保守的に設定したものであっても確率論でも考慮するほうが良い。ただし、重みは低くても良い。 具体的には、保守的に設定したものの重みを0.1とすることが考えられる。



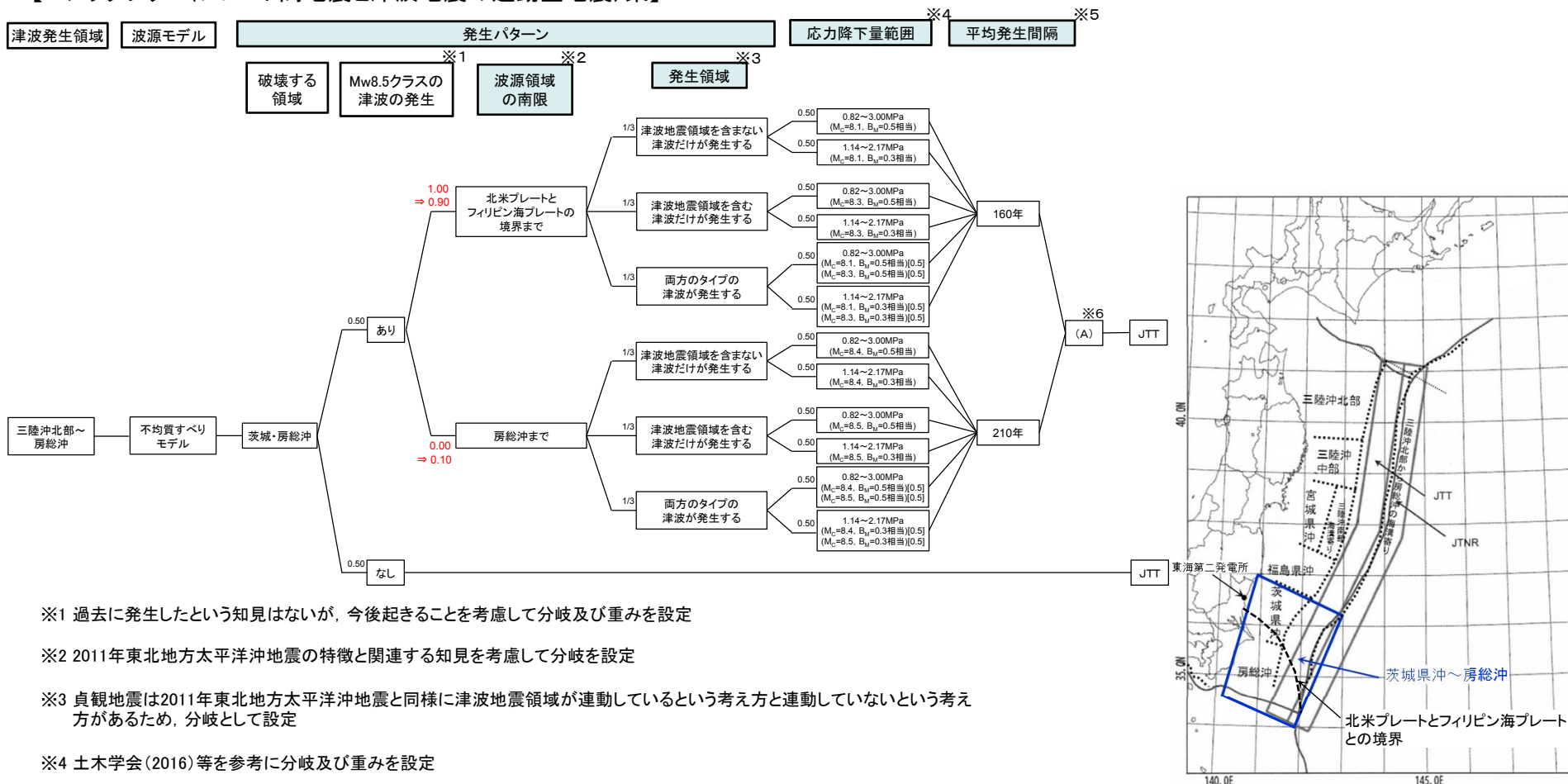
上記、意見聴取結果を踏まえ、プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーを作成・レビューを行い、その妥当性について評価を得た。

4.1 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、波源領域の南限として「北米プレートとフィリピン海プレートの境界まで」と「房総沖まで」の分岐を設定する。重み配分については、「北米プレートとフィリピン海プレートの境界まで」の重みを0.9、「房総沖まで」の重みを0.1とする。

【ロジックツリー(プレート間地震と津波地震の連動型地震)案】



- ※1 過去に発生したという知見はないが、今後起きることを考慮して分岐及び重みを設定
- ※2 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴と関連する知見を考慮して分岐を設定
- ※3 貞観地震は2011年東北地方太平洋沖地震と同様に津波地震領域が連動しているという考え方や連動していないという考え方があるため、分岐として設定
- ※4 土木学会(2016)等を参考に分岐及び重みを設定
- ※5 Gutenberg-Richter式を参考に、分岐及び重みを設定
- ※6 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

津波発生領域
(茨城県沖～房総沖)

目 次

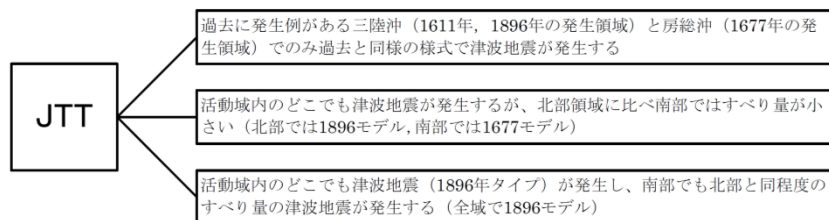
1. 基準津波の年超過確率の参照
 - 1.1 評価概要
 - 1.2 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)
 - 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)
 - 1.4 評価結果
2. 参考文献

補足説明資料

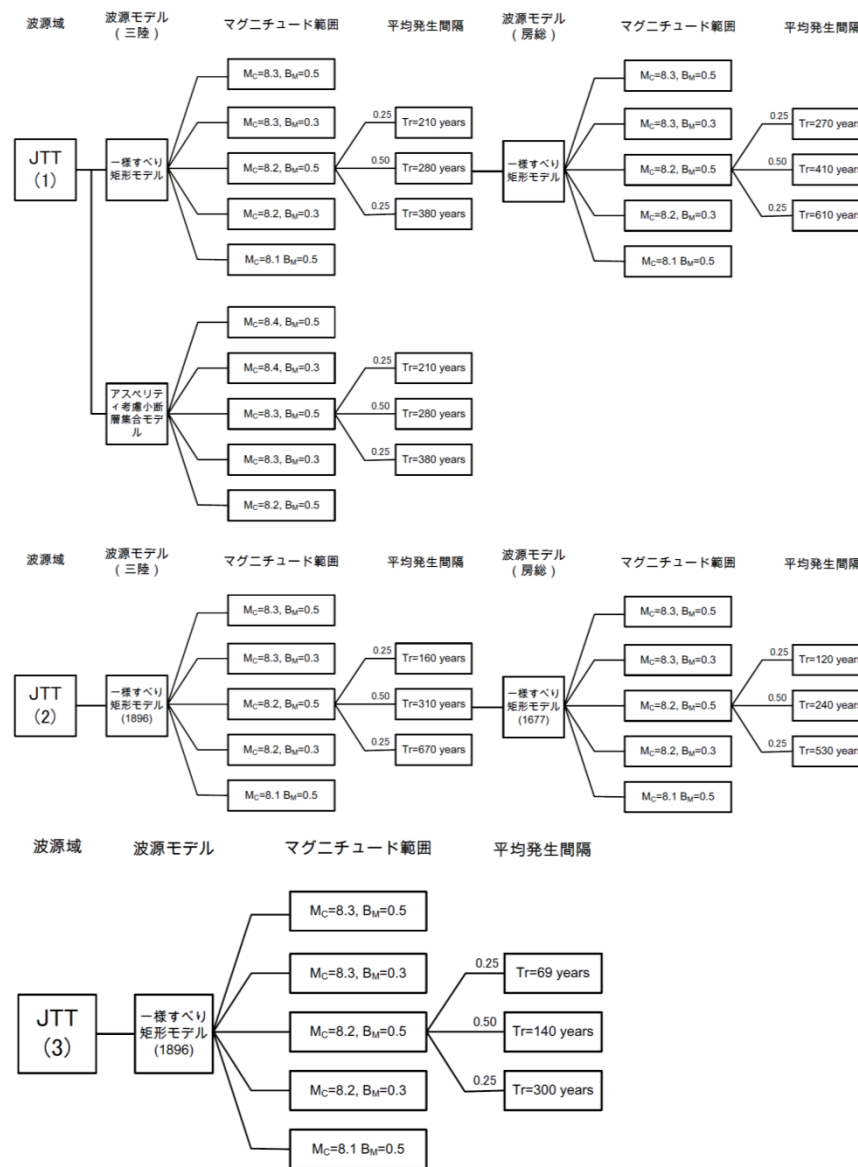
1. 基準津波の策定
2. 入力津波の年超過確率の参照
3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較
4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討
5. 土木学会(2011)のロジックツリー
6. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討
7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討
8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響
9. 参考文献

5.1 津波地震

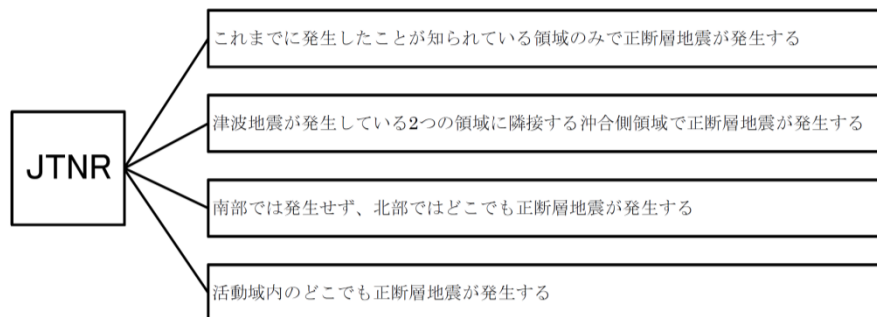
■発生領域に関する分岐



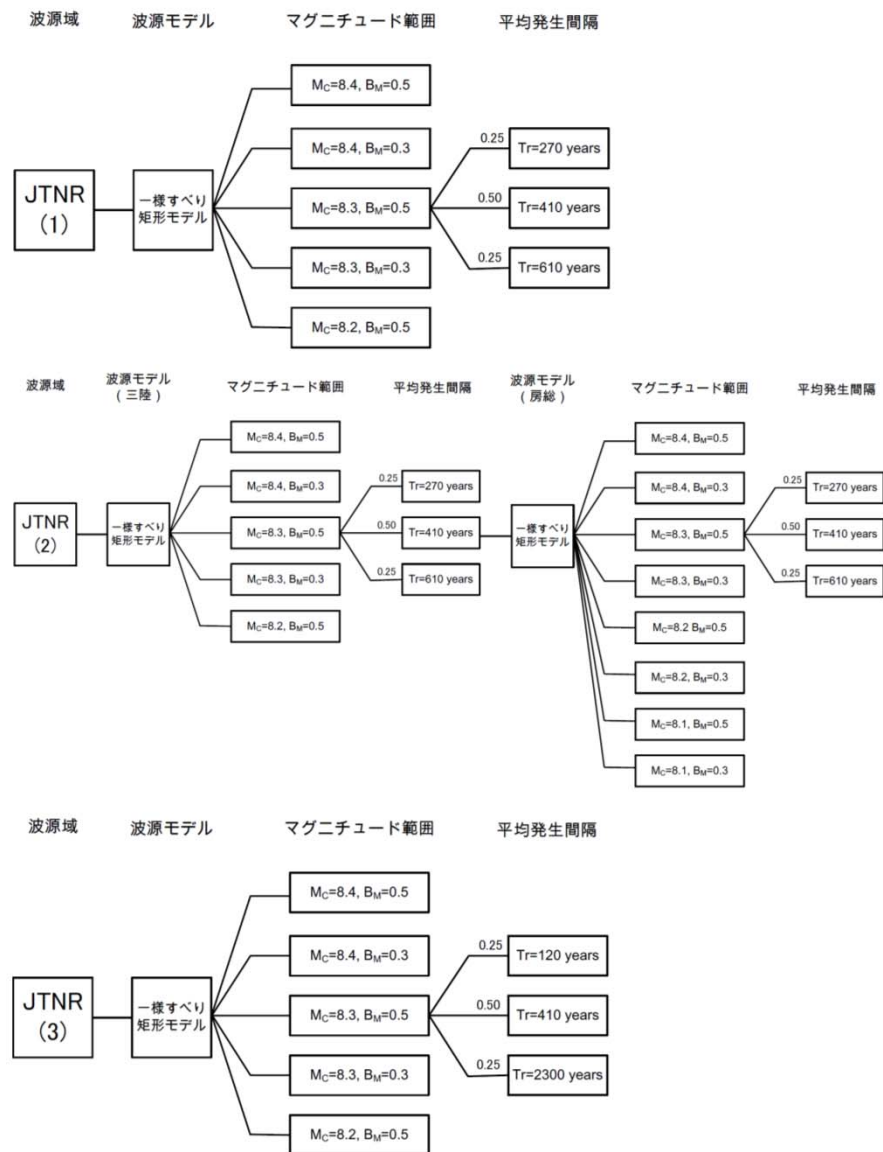
■津波発生モデルのロジックツリー



■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



目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照
 - 1.1 評価概要
 - 1.2 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)
 - 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)
 - 1.4 評価結果
2. 参考文献

補足説明資料

1. 基準津波の策定
2. 入力津波の年超過確率の参照
3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較
4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討
5. 土木学会(2011)のロジックツリー
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
7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討
8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響
9. 参考文献

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の正断層地震の地震規模)

- Alvarez-Gomez et al.(2012)に基づけば、1933年昭和三陸沖地震津波は、海溝外縁隆起帯(outer rise)で発生した地震では最大規模の地震である。

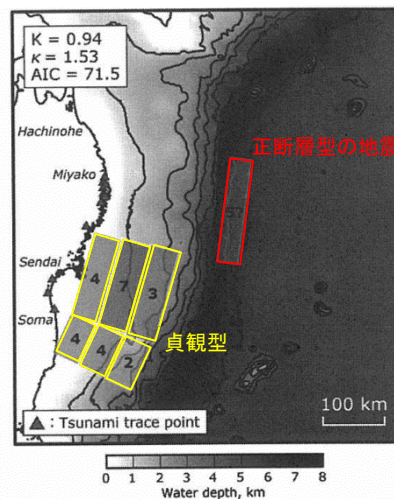
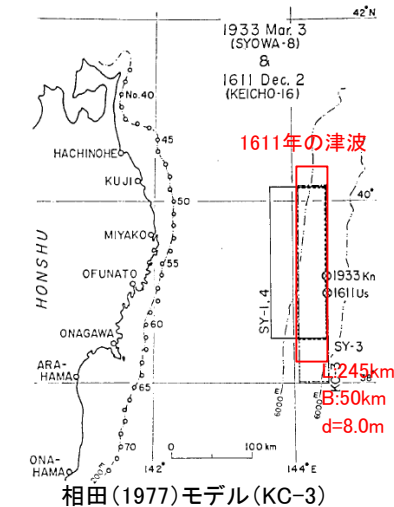
海溝外縁隆起帯で発生した主な海洋プレート内地震の断層パラメータ

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)

(Alvarez-Gomez et al.(2012)に加筆)

6.1 地震規模に関する知見(今井他(2012))

- 今井他(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。
- 今井他(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。



【今井他(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時に仙台藩から江戸に至る広域で有感地震あり。
- ✓ 仙台平野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。

<今井他(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)と、宮城県沖の逆断層地震とその北側 OUTER-RISE 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。

6.1 地震規模に関する知見(ハザード評価事例)

- 杉野他(2015), 藤原他(2015)及び土木学会(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(杉野他(2015), 土木学会(2016))。

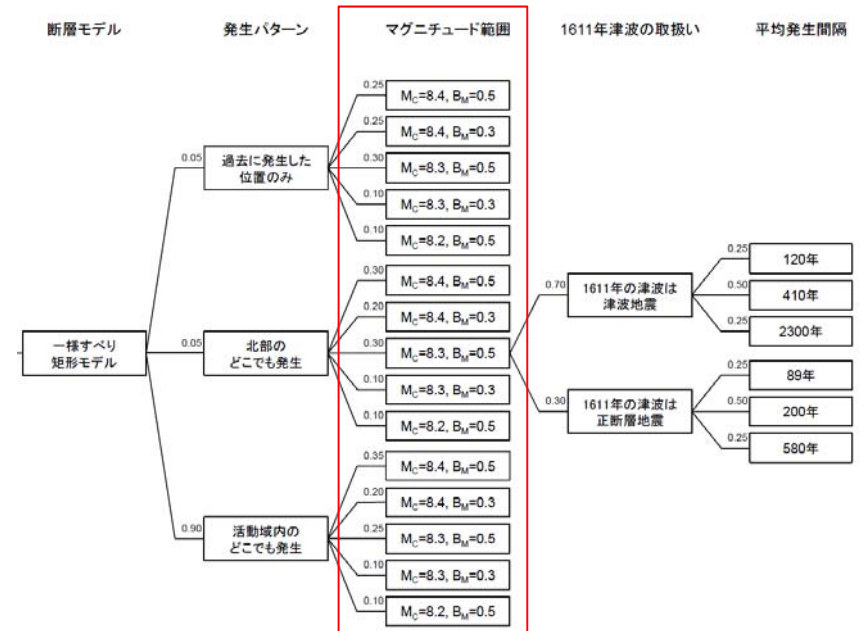
■杉野他(2015)に加筆

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				
	地震発生領域	次の地震規模	Mw	長さ (km)	幅 (km)	すべり量 (m)	備考
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

■土木学会(2016)に加筆



■藤原他(2015)に加筆

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。

6.2 専門家意見聴取結果

- 前述した地震規模に関する知見の収集結果を踏まえ(「5.1」), 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, 地震規模並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)

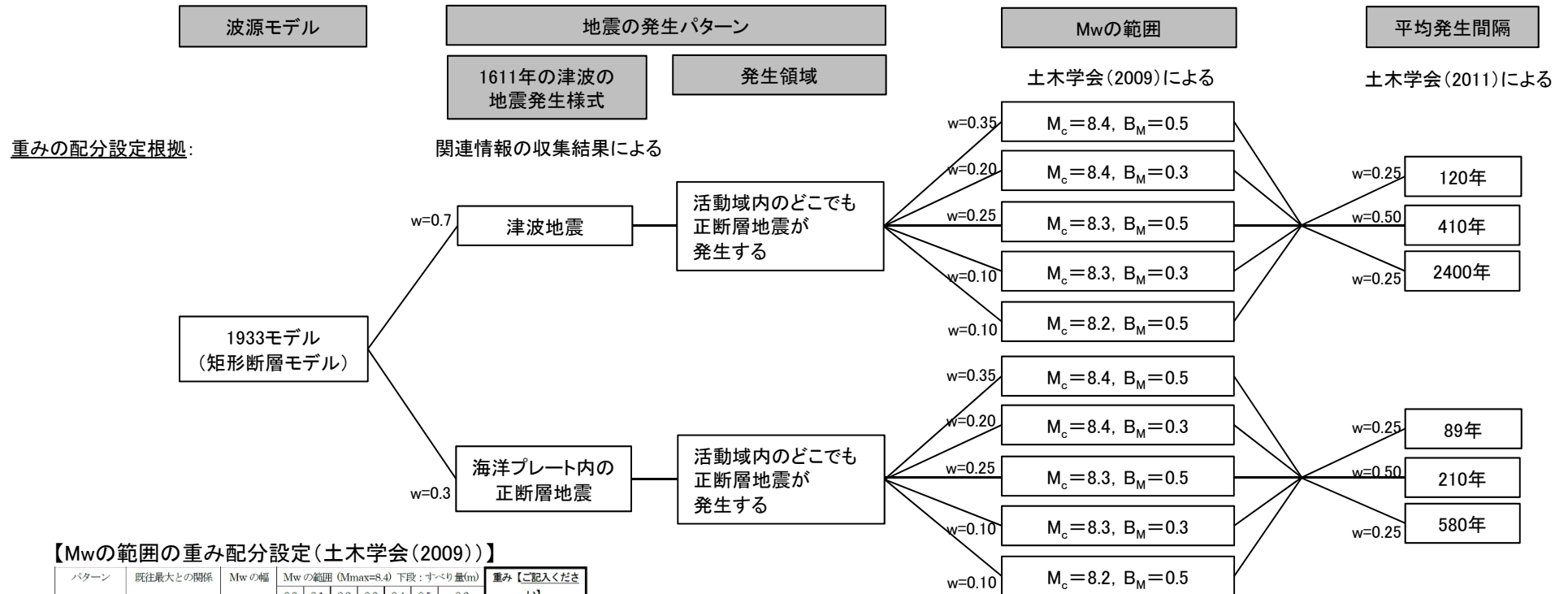
専門家のご意見
<ul style="list-style-type: none"> • 1611年の津波は未だ研究途上にあるが, 最新知見を反映した今井他(2012)モデルは, 現時点で最も信頼できるモデル(妥当なモデル)と考えられる。 • 今井他(2012)モデルのアウトサイズ領域のすべりは1933年昭和三陸地震津波と同程度であることを踏まえると, “1611年の津波が正断層型地震、の中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更する(上限Mwを8.8から8.6に変更する)ことは妥当である。
<ul style="list-style-type: none"> • 現状のロジックツリーを維持し, 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, 今井他(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, その妥当性について評価を得た。

6.2 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、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年昭和三陸沖地震津波規模($M_w 8.4$)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	Mwの幅	Mwの範囲 (Mmax=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

目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照
 - 1.1 評価概要
 - 1.2 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)
 - 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)
 - 1.4 評価結果
2. 参考文献

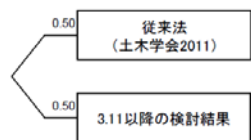
補足説明資料

1. 基準津波の策定
2. 入力津波の年超過確率の参照
3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較
4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討
5. 土木学会(2011)のロジックツリー
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
7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討
8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響
9. 参考文献

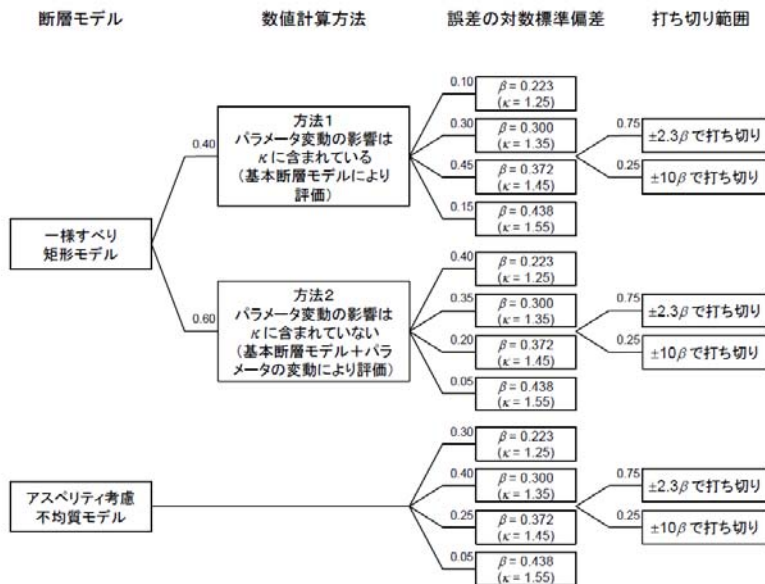
7.1 土木学会(2016)のロジックツリー

- 土木学会(2016)では、2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の再現解析等から津波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、津波推定値のばらつきに関するロジックツリーに反映している。

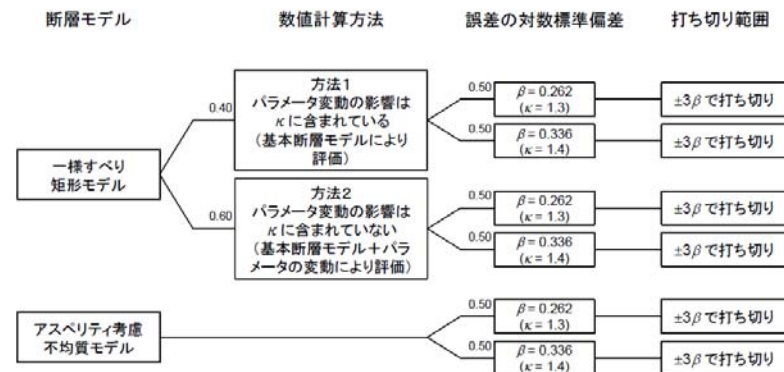
ばらつきと打ち切りの考え方



(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

津波推定値のばらつきに関するロジックツリー
(土木学会(2016))

7.2 専門家意見聴取結果

- JNES(2014)等の設定方法,並びに一様すべり矩形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,津波推定値のばらつき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:津波推定値のばらつき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($\beta_{波源}$),伝播特性($\beta_{伝播}$),遡上特性($\beta_{遡上}$)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

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では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。

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。

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

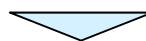
- ✓ JNES(2014)の内容の分析及びハザード評価の解析条件等との対比から、津波水位のばらつきはJNES(2014)の設定範囲 $\beta = 0.20 \sim 0.30$ が妥当であり、土木学会(2011)の設定方法からJNES(2014)等の設定方法に見直すことについて(土木学会(2011)の設定方法を削除することについて)

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たと考えて、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。

7.2 専門家意見聴取結果: 関連情報4

- 関連情報4: 津波推定値のばらつき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。

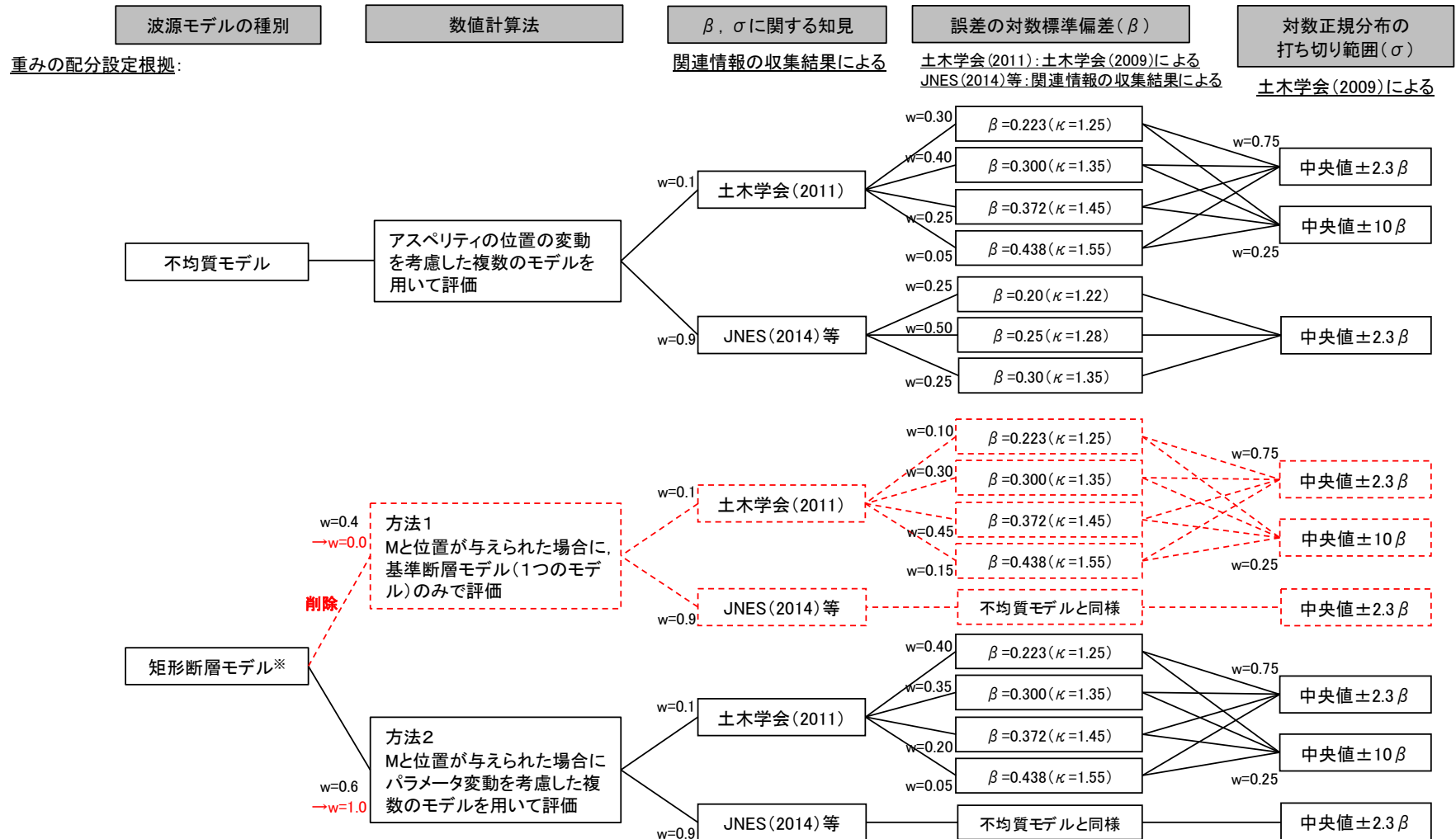


各関連情報に対する専門家の意見聴取結果を踏まえ、津波推定値のばらつきに関するロジックツリーを作成・レビューを行い、その妥当性について評価を得た。

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)

目 次

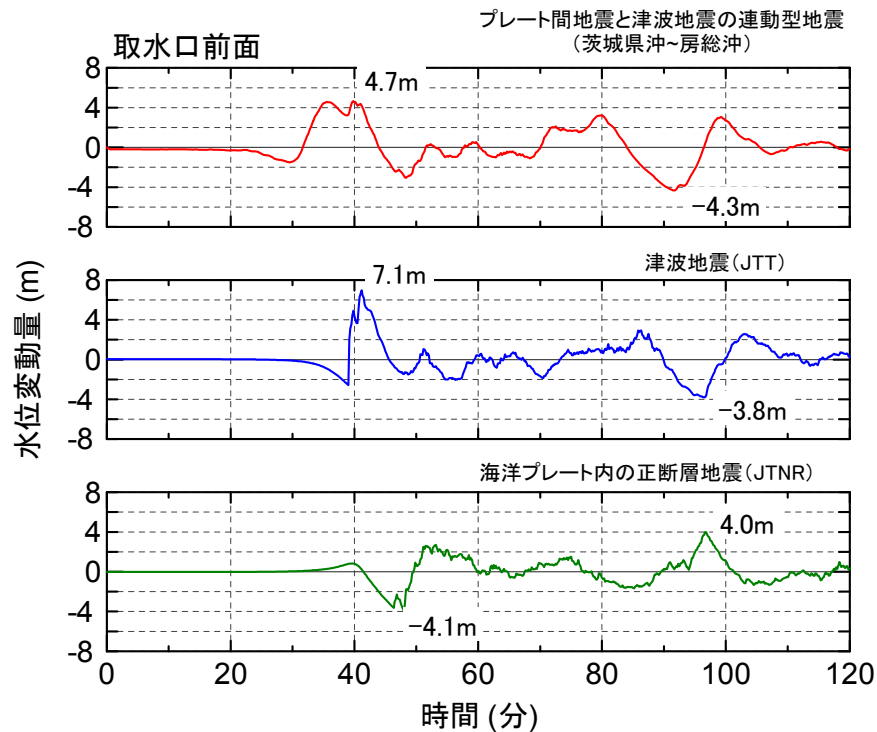
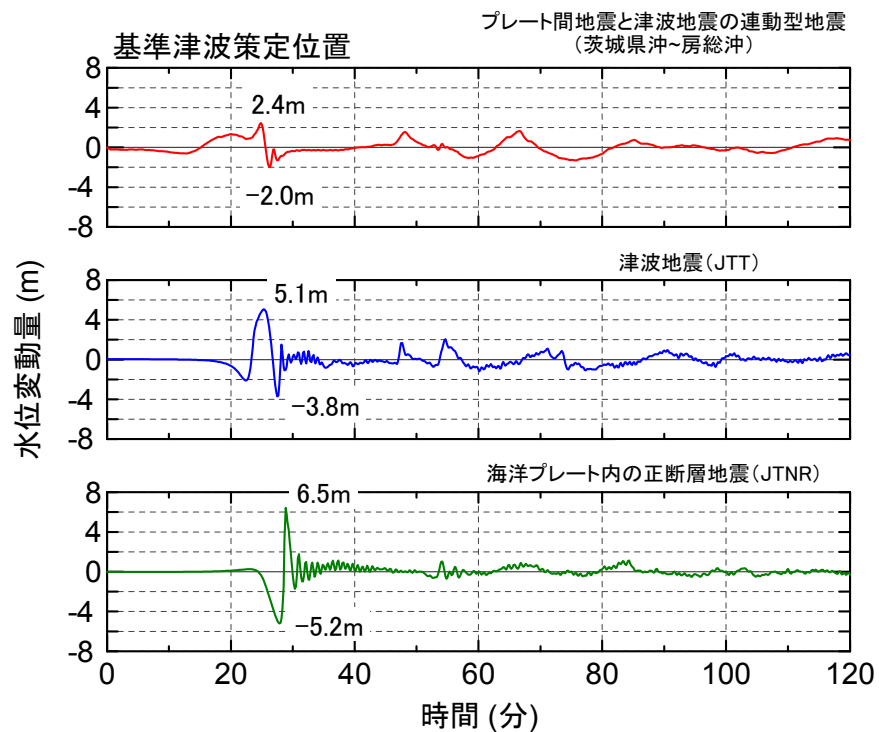
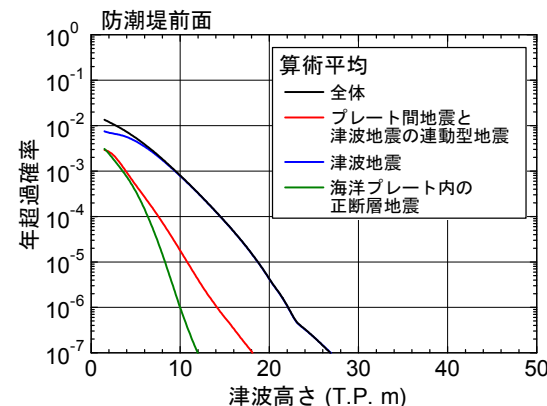
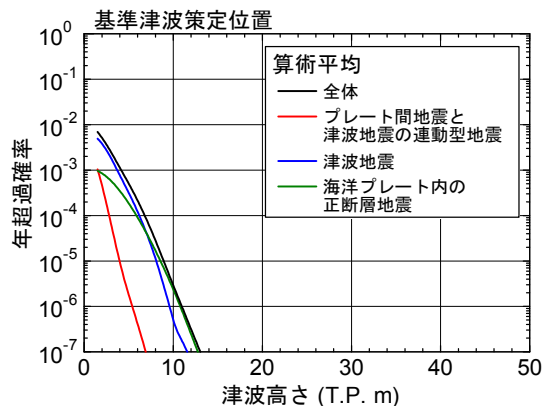
1. 基準津波の年超過確率の参照
 - 1.1 評価概要
 - 1.2 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)
 - 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)
 - 1.4 評価結果
2. 参考文献

補足説明資料

1. 基準津波の策定
2. 入力津波の年超過確率の参照
3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較
4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討
5. 土木学会(2011)のロジックツリー
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
7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討
8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響
9. 参考文献

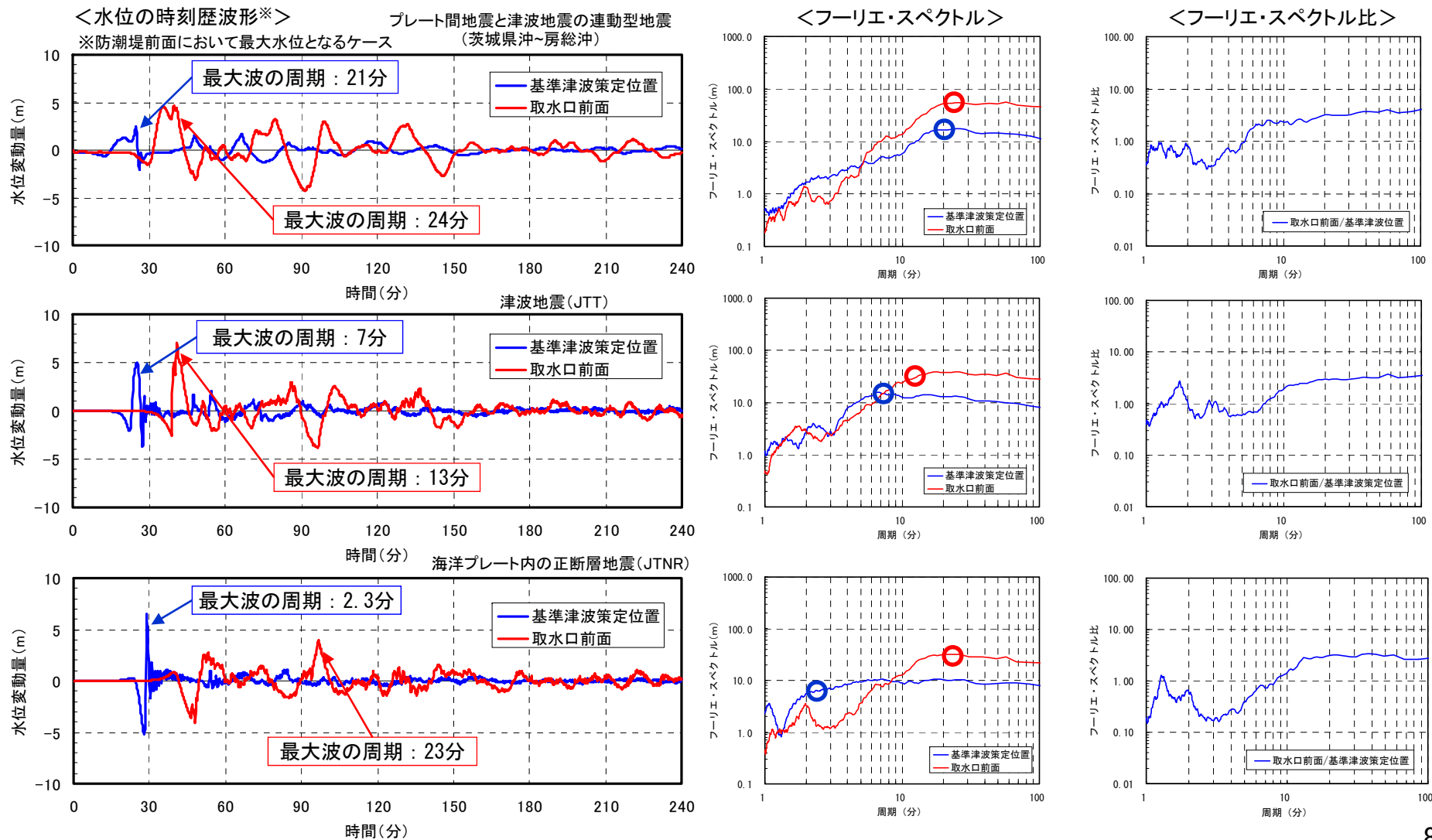
8.1 基準津波策定位置と防潮堤前面における寄与度について

- 基準津波策定位置での海洋プレート内の正断層地震の津波の時刻歴波形に着目すると、上昇側の周期は短い。
- 周期の短い波は敷地付近で大きく減衰している。
- このことから、基準津波策定位置では海洋プレート内の正断層地震の寄与度が高く、敷地では寄与度が低くなっていると考えられる。



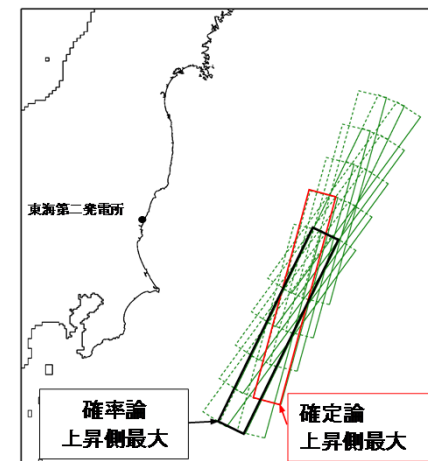
8.1 基準津波策定位置と防潮堤前面における寄与度について

- 基準津波策定位置でのフーリエ・スペクトルをみると、海洋プレート内の正断層地震(JTNR)では2~5分の短周期成分が多く含まれ、最大波の周期も2.3分と「プレート間地震と津波地震の連動型地震(茨城県沖~房総沖)」(21分)及び「津波地震(JTT)」(7分)に比べて短い。
- また、各波源におけるフーリエ・スペクトル比から、基準津波策定位置から取水口前面に進むにつれて、比較的短周期(2~5分)では減衰し、長周期(概ね10分以上)では増幅する傾向が見られる。
- 以上より、基準津波策定位置での「海洋プレート内の正断層地震」の短周期成分は取水口前面に向かうにつれ、減衰したと考えられる。



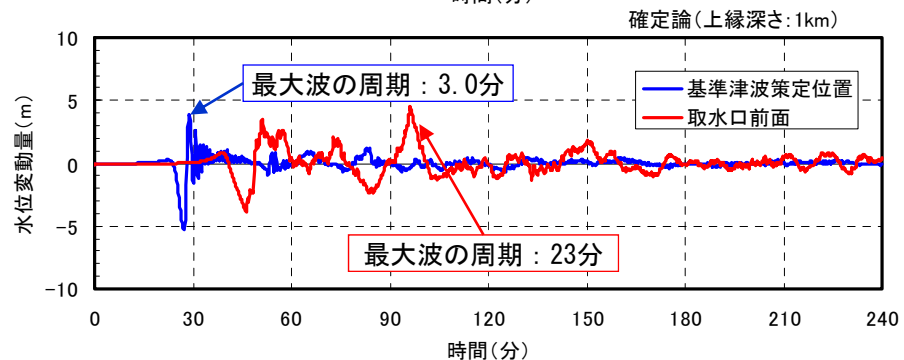
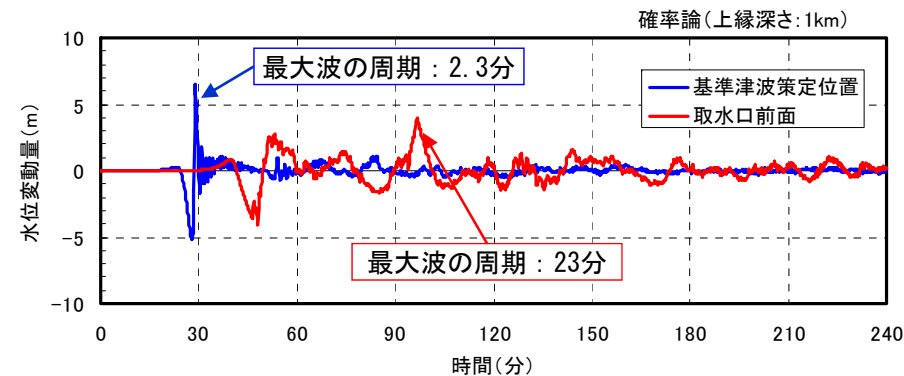
8.1 基準津波策定位置と防潮堤前面における寄与度について

- 基準津波策定位置でのフーリエ・スペクトルをみると、確定論の海洋プレート内の正断層地震(JTNR)は2~5分の短周期成分が多く含まれ、最大波の周期も3.0分と確率論と同様の傾向が見られる。
- また、フーリエ・スペクトル比から、確率論と同様に、基準津波策定位置から取水口前面に進むにつれて、比較的短周期(2~5分)では減衰し、長周期(概ね10分以上)では増幅する傾向が見られる。
- 以上より、「海洋プレート内の正断層地震」の確率論と確定論は同様の傾向を示すことが確認された。

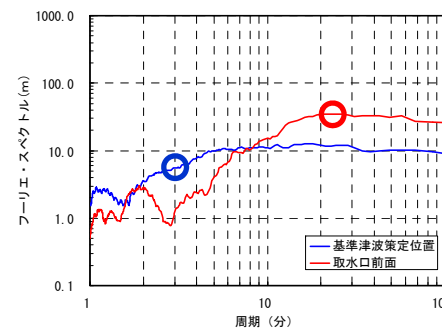
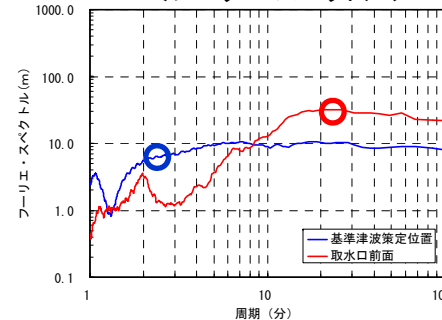


<水位の時刻歴波形※>

※防潮堤前面において最大水位となるケース 海洋プレート内の正断層地震(JTNR)

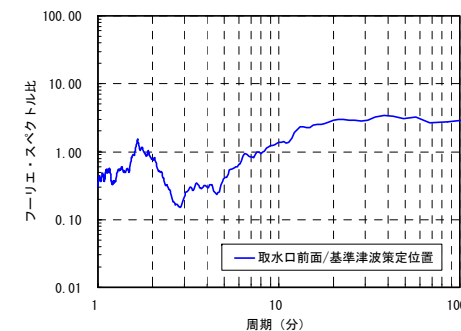
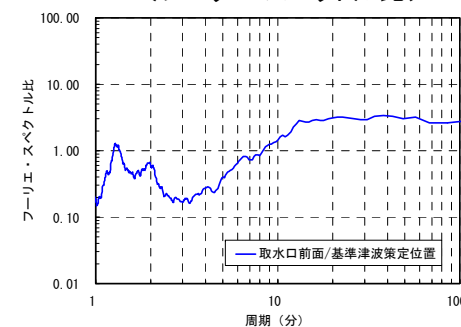


<フーリエ・スペクトル>



波源の位置

<フーリエ・スペクトル比>



目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照
 - 1.1 評価概要
 - 1.2 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)
 - 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)
 - 1.4 評価結果
2. 参考文献

補足説明資料

1. 基準津波の策定
2. 入力津波の年超過確率の参照
3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較
4. プレート間地震と津波地震の連動型地震のロジックツリーに関する検討
5. 土木学会(2011)のロジックツリー
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
7. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討
8. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響
9. 参考文献

9. 参考文献

- 長谷川賢一・鈴木孝夫・稲垣和男・首藤伸夫(1987):津波の数値実験における格子間隔と時間積分間隔に関する研究,土木学会論文集 第381号/Ⅱ-7, PP.111-120
- 後藤智明・小川由信 (1982): Leap-frog法を用いた津波の数値計算法, 東北大学工学部土木工学科, 52p.
- L. MANSINHA AND D. E. SMYLIE (1971): THE DISPLACEMENT FIELDS OF INCLINED FAULTS , Bulletin of the Seismological Society of America.Vol.61,No5,PP1433-1440.
- 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,土木学会,PP.356-360
- 本間仁(1940): 低溢流堰堤の流量係数, 土木学会誌, 第26巻, pp635-645
- 相田勇(1977): 陸上に溢れる津波の数値実験—高知県須崎および宇佐の場合—, 東京大学地震研究所彙報, Vol.52, pp.441-460.
- 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
- 原子力安全基盤機構(2014): 確率論的手法に基づく基準津波策定手引き
- 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)
- 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
- 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
- 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
- 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, 2015
- 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
- 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
- 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