

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)

平成29年2月3日
日本原子力発電株式会社

目 次

1. 基準津波の年超過確率の参照	
1.1 評価概要	3
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)	7
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)	22
1.4 評価結果	28
2. 参考文献	32

補足説明資料

1. 基準津波の策定	34
2. 入力津波の年超過確率の参照	42
3. 設置変更許可申請時からの変更点と評価結果の比較	45
4. 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	48
5. 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	58
6. 参考文献	62

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

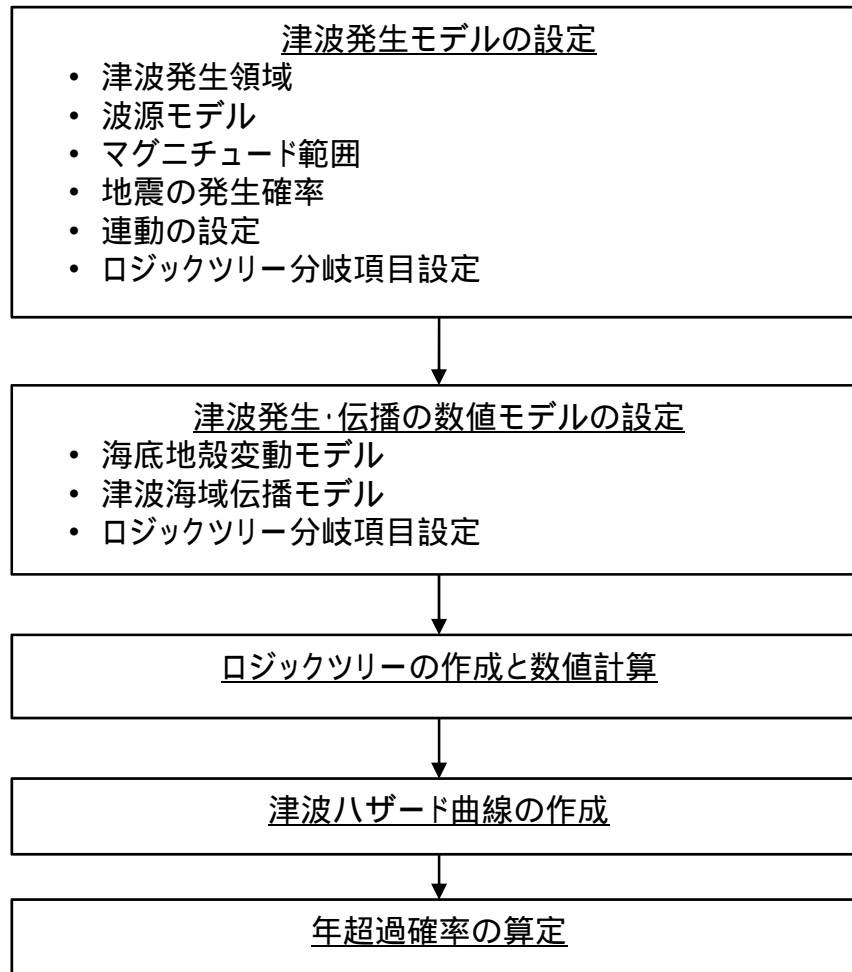
4. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討

5. 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

6. 参考文献

1.1.1 評価概要

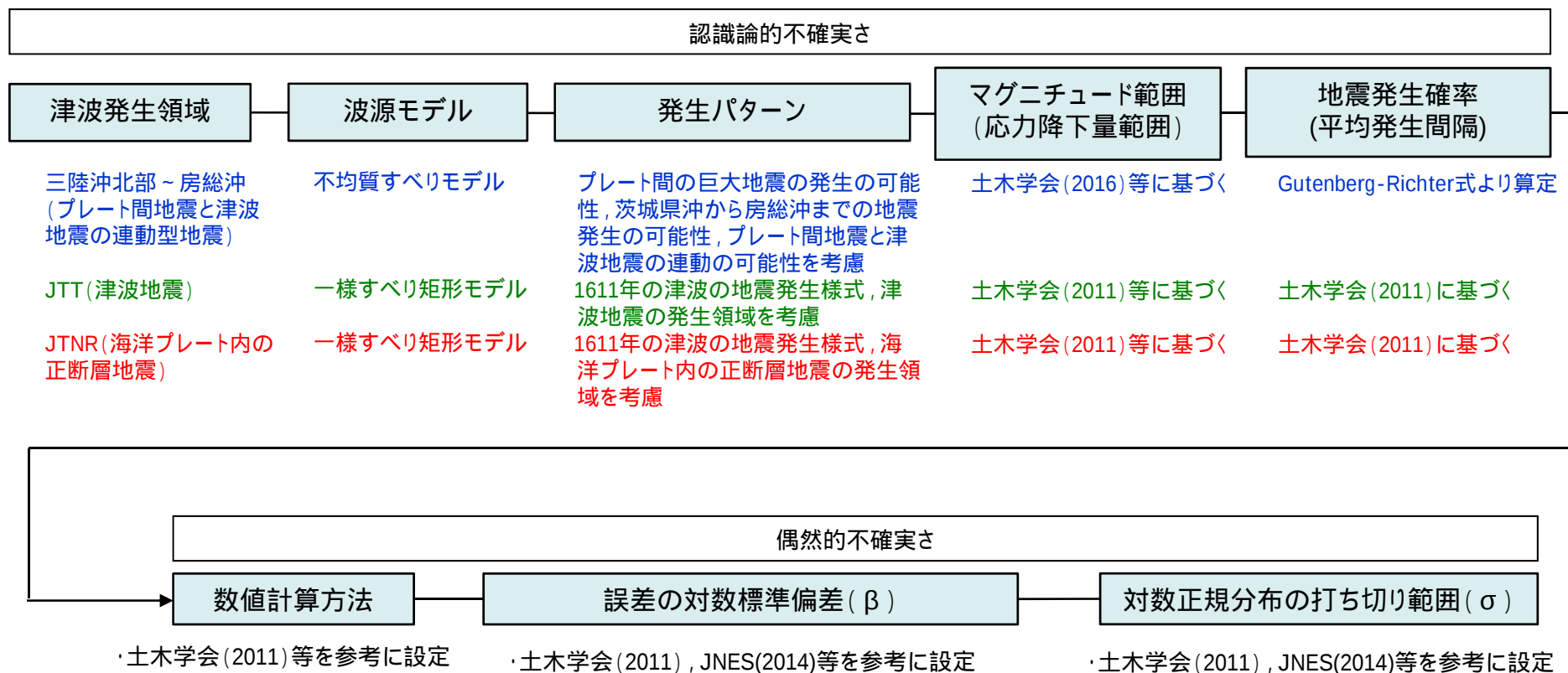
- 確率論的津波ハザード評価については、日本原子力学会(2012)、土木学会(2002, 2009, 2011, 2016)、原子力安全基盤機構(2014)(以下、「JNES(2014)」という。)、地震調査研究推進本部(2012, 2014)等を踏まえて実施した。
- また、2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴い、当該地震の発生領域に蓄積していたひずみはほぼ解消し、今後数百年オーダーの期間に、プレート境界部で2011年東北地方太平洋沖地震と同程度の規模のすべりの発生が起こる可能性が小さいことも考慮した。



考慮する不確実さ		考慮方法
偶然的 不確実さ	現実には存在しているが、 現状では予測不可能と 考えられるばらつき	津波水位の確率分布 で考慮
認識論的 不確実さ	研究が進展すれば確 定できるが現状では予 測不可能なもの	ロジックツリーの分岐 で考慮

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。(専門家活用水準2)



1.1.3 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。

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

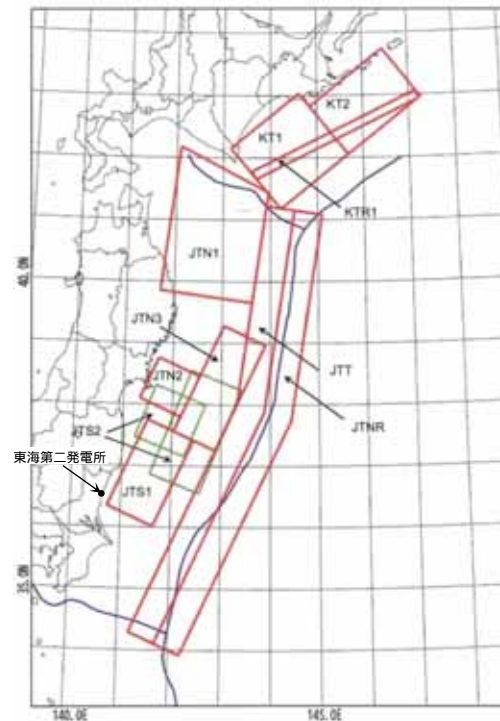
4. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討

5. 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

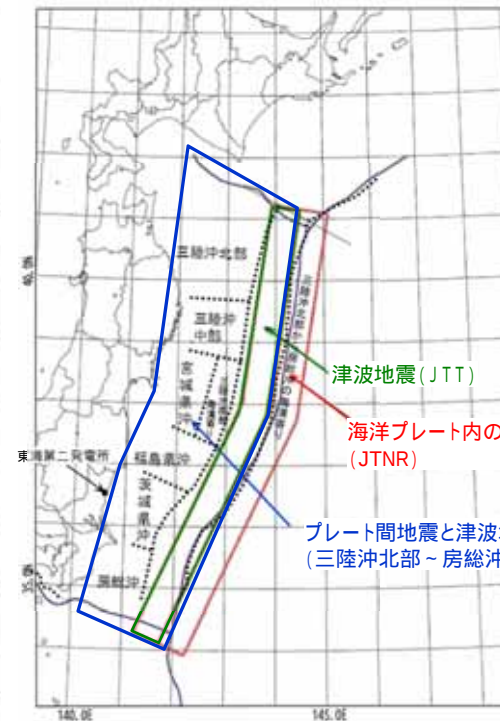
6. 参考文献

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。
- 三陸沖中部～福島県沖の領域については、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M9クラスの超巨大地震は発生しないものとした。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て検討の対象とした。



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))

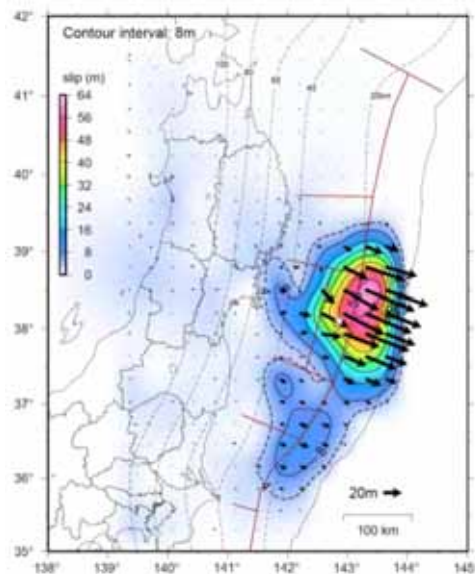


評価対象とした津波発生領域
(地震調査研究推進本部(2012)に加筆)

1. 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(地震調査研究推進本部(2012))の評価)

- 評価対象とする津波発生領域のうち, 2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴う応力解放範囲で今後100年間に大きなすべりが生じる確率はほぼ0%(地震調査研究推進本部(2012))であることを考慮し, 発電所供用期間中に同領域でM9クラスの巨大地震は発生しないものとして設定した。



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 (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。

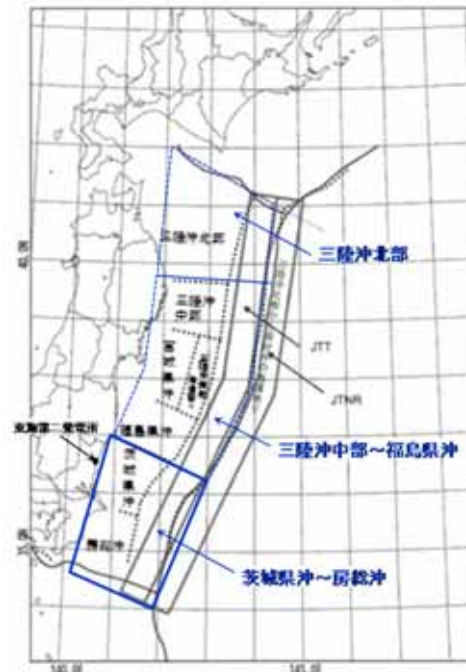
三陸沖中部～福島県沖

2011年東北地方太平洋沖地震によって、蓄積していたひずみはほぼ解消したため、M9クラスの超巨大地震は発生しない。

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. 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 (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p19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

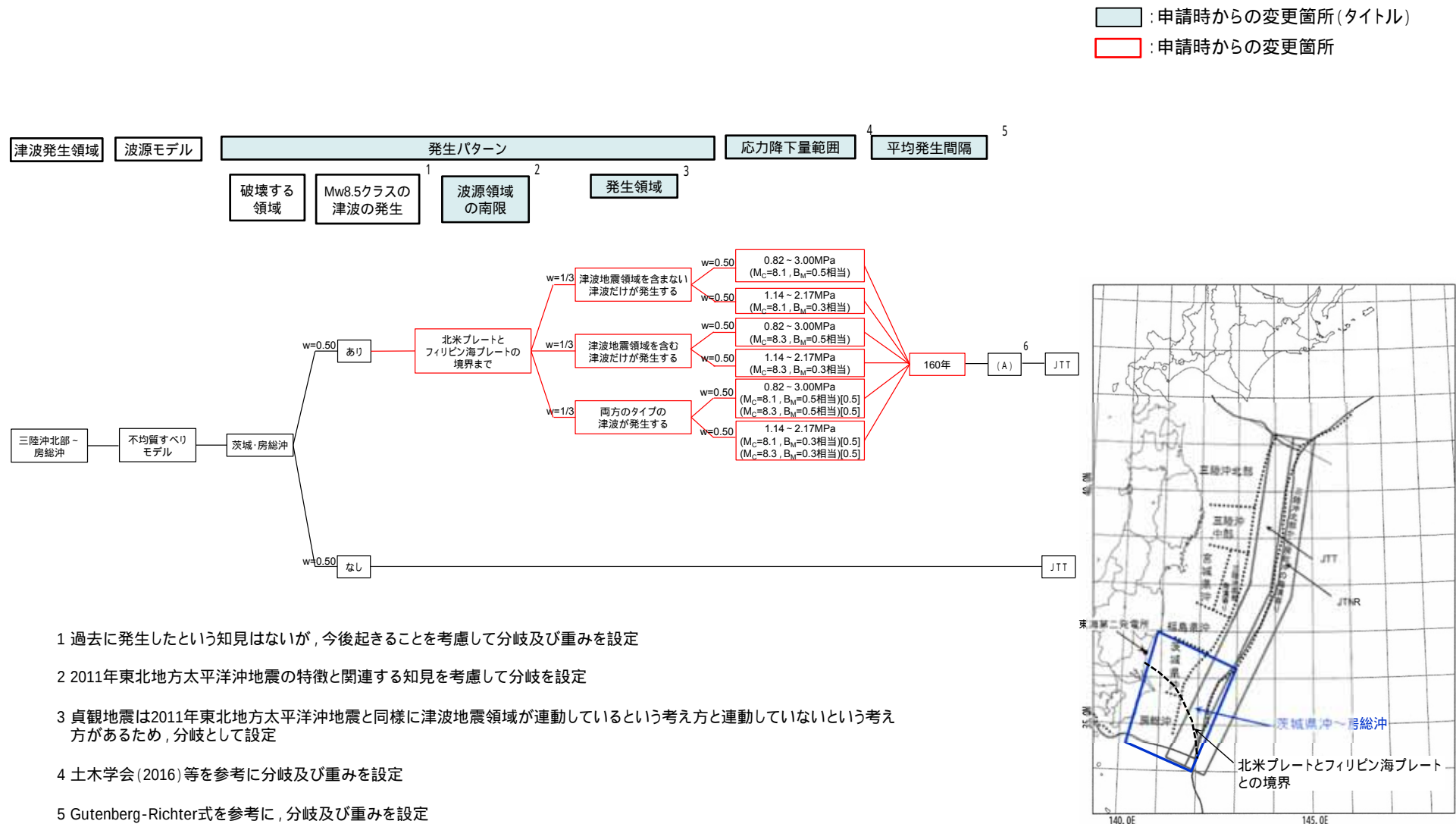
種別	津波発生領域	既往津波(Mw) ²	既往津波高:H	備考(既往津波高の参考文献)
千島海溝沿い	十勝沖・根室沖	17世紀初頭地震(M8クラス)	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない	佐竹他(2003)
日本海溝沿い	三陸沖北部	青森県東方沖	1968年(Mw8.2)	宇佐美他(2013)、渡辺(1998)及び国立天文台(2014)
	2011年東北地方太平洋沖地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震に伴う津波	宮城県沖(JTN2)	1978年(Mw7.7)	0.3m(茨城県日立港) ³
		三陸沖南部海溝寄り(JTN3)	1897年(Mw7.8)	渡辺(1998)(全振幅)
		宮城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

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)

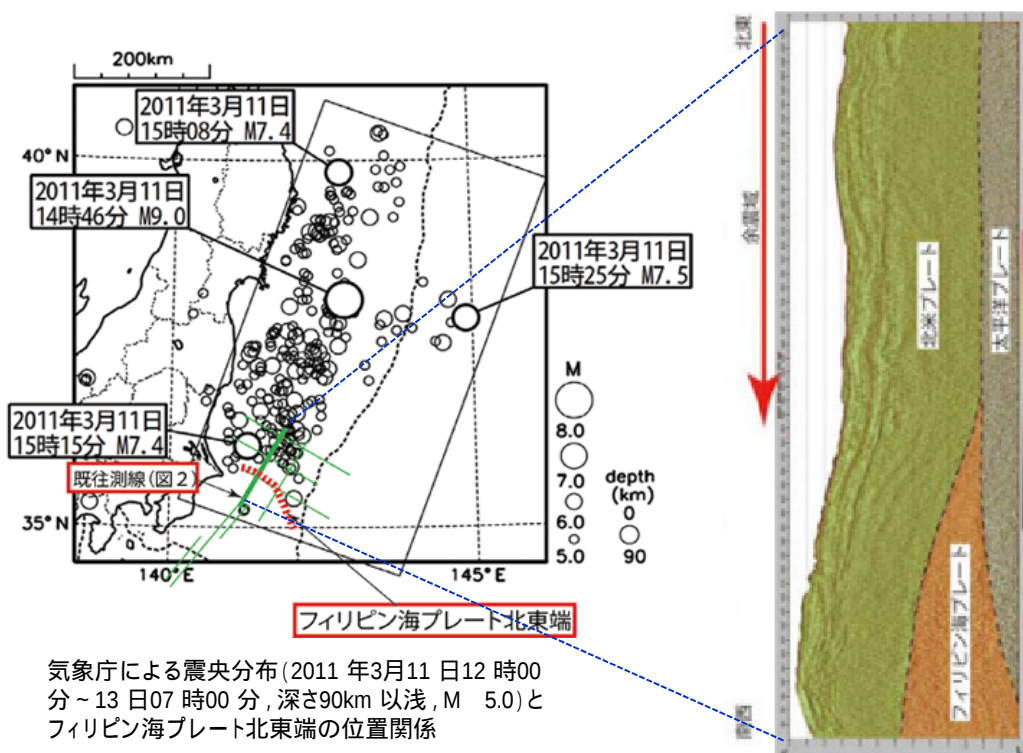


- 過去に発生したという知見はないが、今後起きることを考慮して分岐及び重みを設定
- 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴と関連する知見を考慮して分岐を設定
- 貞観地震は2011年東北地方太平洋沖地震と同様に津波地震領域が連動しているという考え方と連動していないという考え方があるため、分岐として設定
- 土木学会 (2016) 等を参考に分岐及び重みを設定
- Gutenberg-Richter式を参考に、分岐及び重みを設定
- 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー (偶然的な不確実さの考慮)

津波発生領域
(茨城県沖～房総沖)

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)

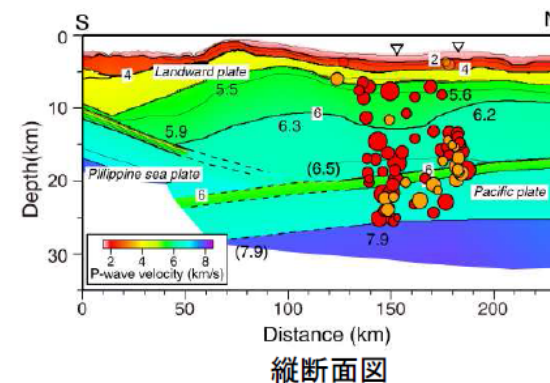
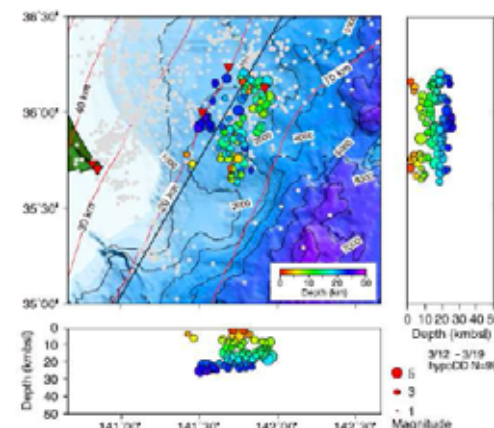
- 波源領域の南限については, 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴と関連する知見を踏まえて, 北米プレートとフィリピン海プレートとの境界とした。



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 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かって, 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

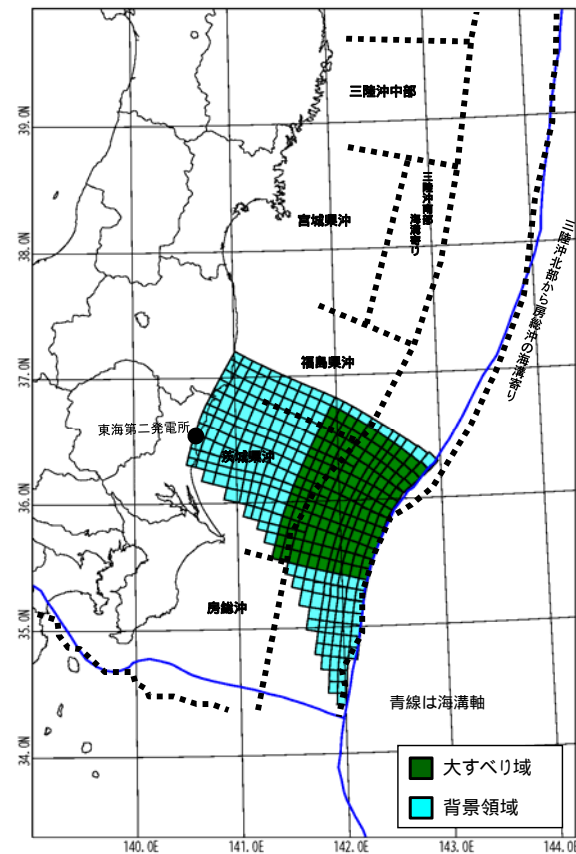
(Shinohara et al. (2011))

1.2.2 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

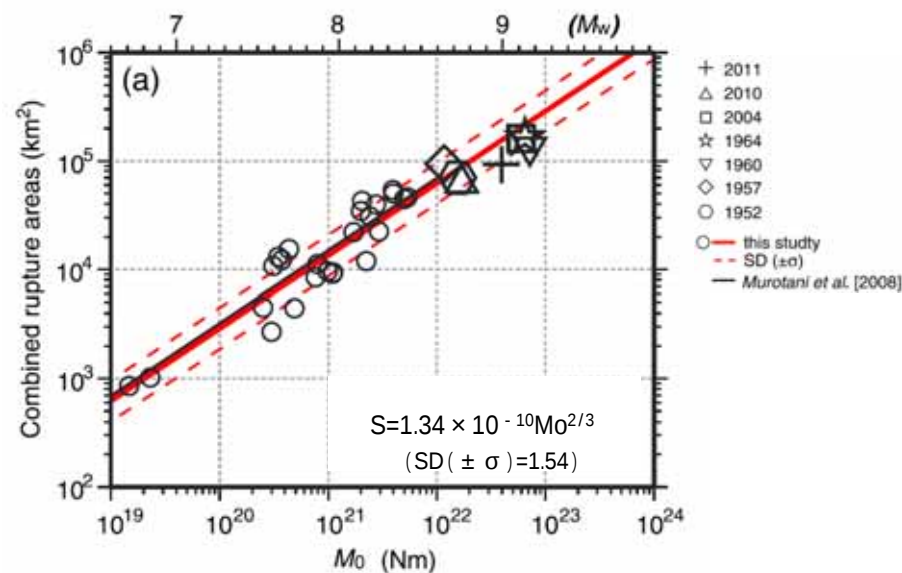
パラメータ		設定値
断層面積:S		29,630 km ²
モーメントマグニチュード:Mw		8.5
平均すべり量:D		4.5 m
すべり量	超大すべり域 (面積比率)	-
	大すべり域:2D (面積比率)	9.0 m (全体面積の40%)
	背景領域:0.33D	1.5 m



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 (応力降下量範囲)

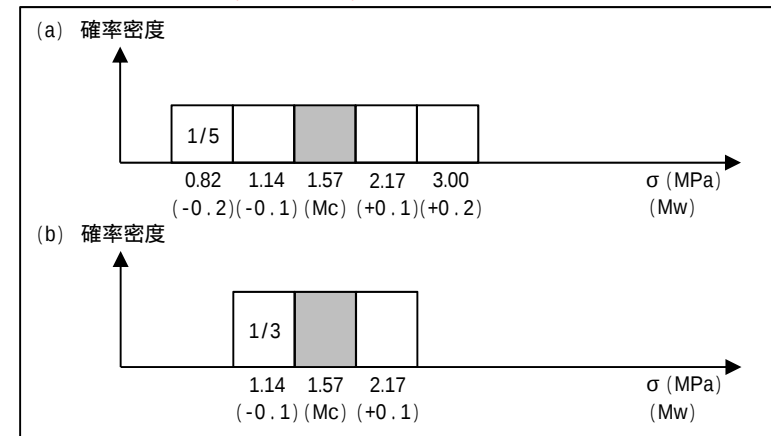
- 土木学会(2016)を踏まえて, Murotani et al.(2013)のスケーリング則による応力降下量の平均値を1.57MPaとし, ばらつきとして $\pm 1\sigma$ とした場合(0.82~3.00MPa)及び $\pm 0.5\sigma$ とした場合(1.14~2.17MPa)を考慮した。
- 重み配分については均等配分とした。



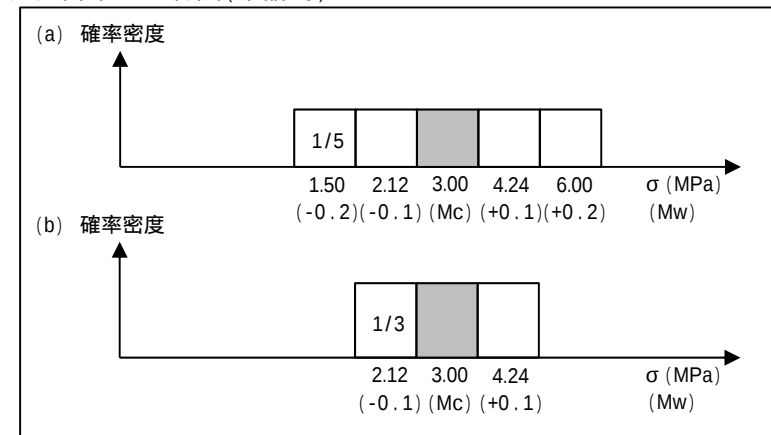
平均応力降下量 $\sigma = 1.57\text{MPa}$
 $S + 1\sigma$ 時の平均応力降下量 $\sigma = 0.82\text{MPa}$
 $S - 1\sigma$ 時の平均応力降下量 $\sigma = 3.00\text{MPa}$
 $S + 0.5\sigma$ 時の平均応力降下量 $\sigma = 1.14\text{MPa}$
 $S - 0.5\sigma$ 時の平均応力降下量 $\sigma = 2.17\text{MPa}$

破壊領域(S)と M_0 の関係 (Murotani et al.(2013))

【応力降下量の範囲 (今回変更)】



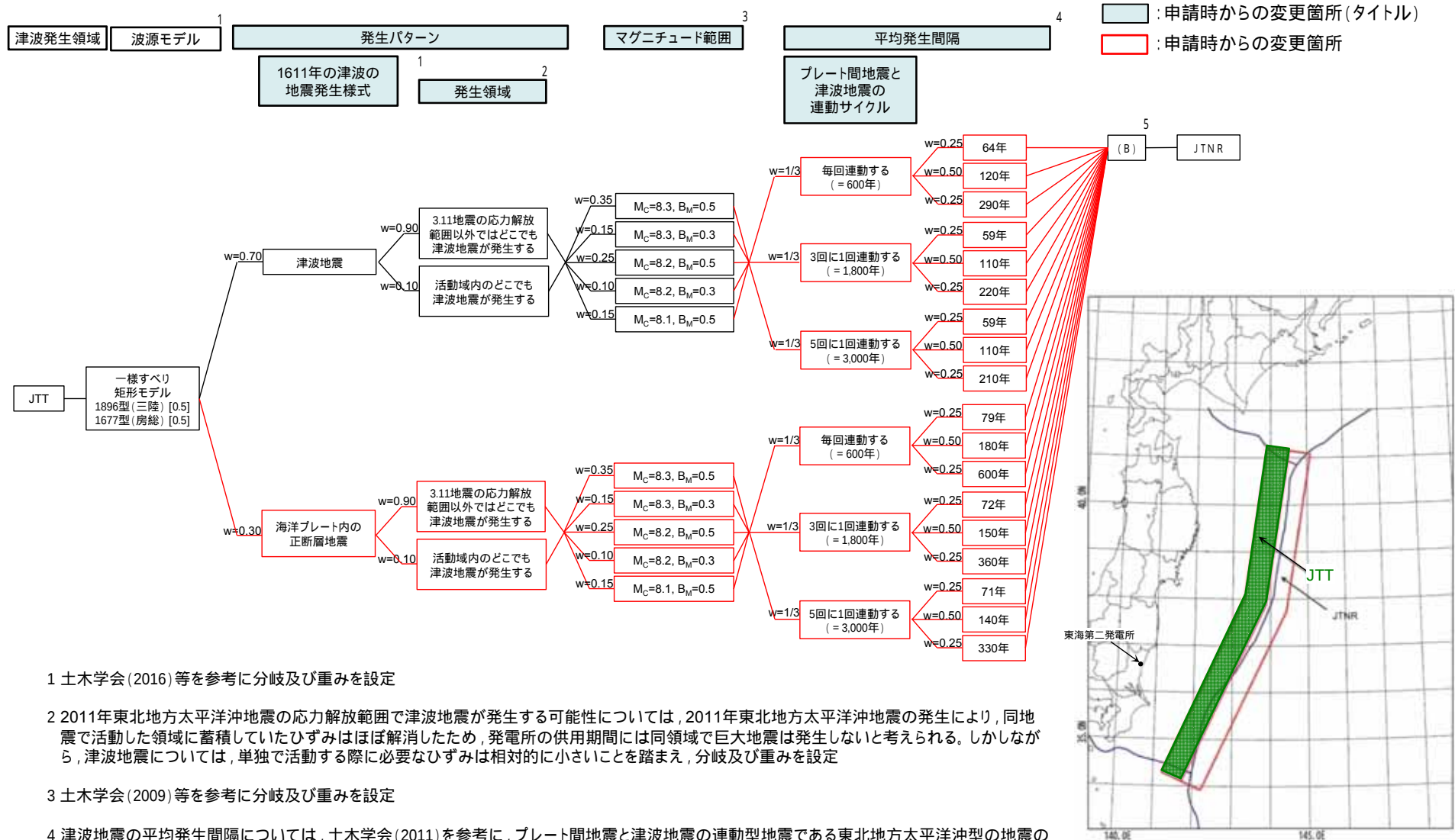
【応力降下量の範囲 (申請時)】



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)

ロジックツリー (JTT)



津波発生領域 (JTT)

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)

Figure 1 is a complex diagram illustrating the relationship between seismic hazard models and the resulting seismic hazard map for the Nankai Trough. The diagram is organized into four main sections:

- 1. Model Selection (発生パターン, マグニチュード範囲, 平均発生間隔):** This section defines the basic parameters for the hazard models. It includes a legend indicating that blue boxes represent the model selection process and red boxes represent the model output.
- 2. Model Parameters (発生領域, 津波発生様式):** This section details the specific parameters for the hazard models, including the occurrence area (発生領域) and the tsunami occurrence pattern (津波発生様式).
- 3. Model Results (津波地震, 海洋プレート内の正断層地震):** This section presents the results of the hazard models, showing the estimated tsunami hazard (津波地震) and the hazard from normal faults within the oceanic plate (海洋プレート内の正断層地震).
- 4. Model Output (津波発生領域):** This section shows the final output of the hazard models, which is a map of the Nankai Trough area with a red shaded region indicating the high hazard area.

The diagram also includes a legend for the map, indicating that blue boxes represent the model selection process and red boxes represent the model output. The map shows the Nankai Trough area with a red shaded region indicating the high hazard area. The legend indicates that blue boxes represent the model selection process and red boxes represent the model output.

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Mc(中央マグニチュード)を土木学会(2002, 2016)を踏まえ8.6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。

1611年の津波を津波地震と評価した場合のMwは8.4である。

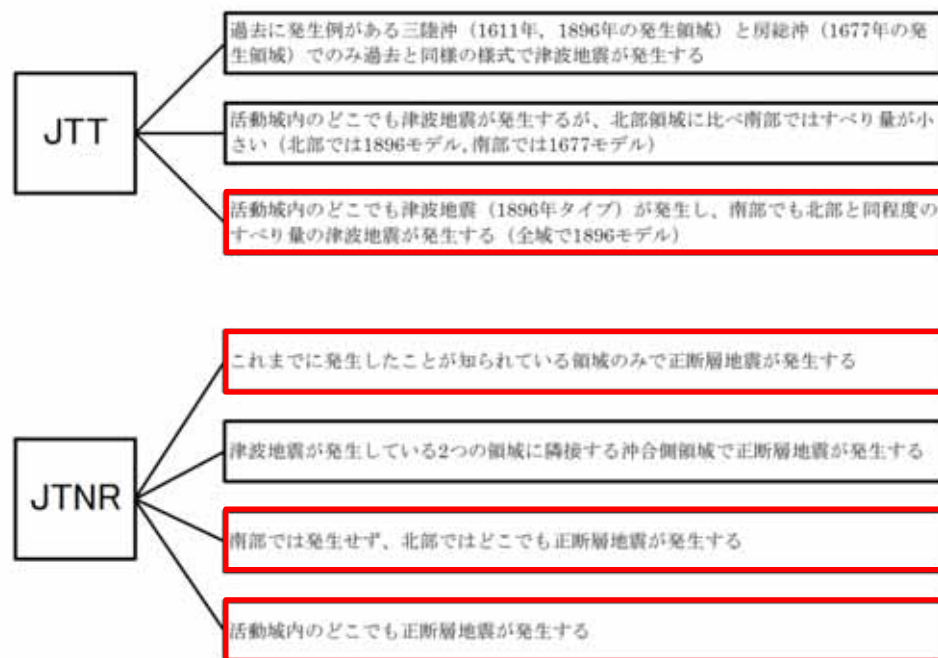
【1611年の津波の発生様式に係る知見の収集結果】

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

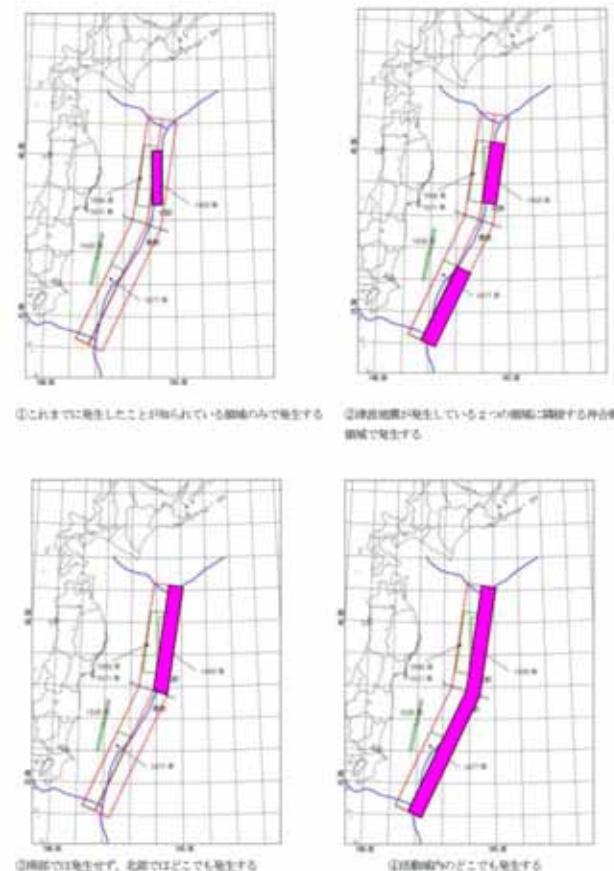
1.2.3 津波地震・海洋プレート内の正断層地震のロジックツリー (発生パターン)

- 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。

□ : ロジックツリーの分岐として採用



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)



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	8.6 (1611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

1.2.3 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。

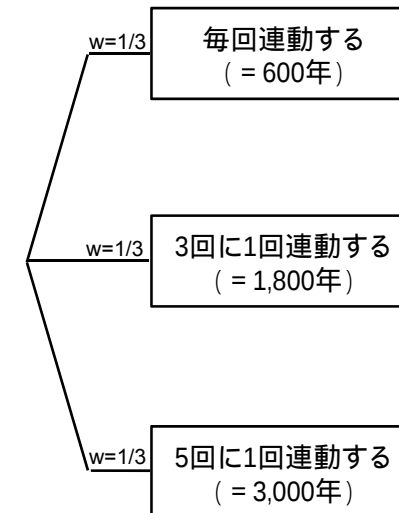
15世紀の津波と869年の津波はプレート間地震単独であったとの前提に立ち、3回に1回のサイクルで津波地震と連動する。

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	地震発生年月日	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		8.3		8.4~ 注4	多数	—
	4-5世紀 紀元前3-4世紀						

: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. 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

5. 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

6. 参考文献

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 (偶然的不確実さの考慮)

1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー

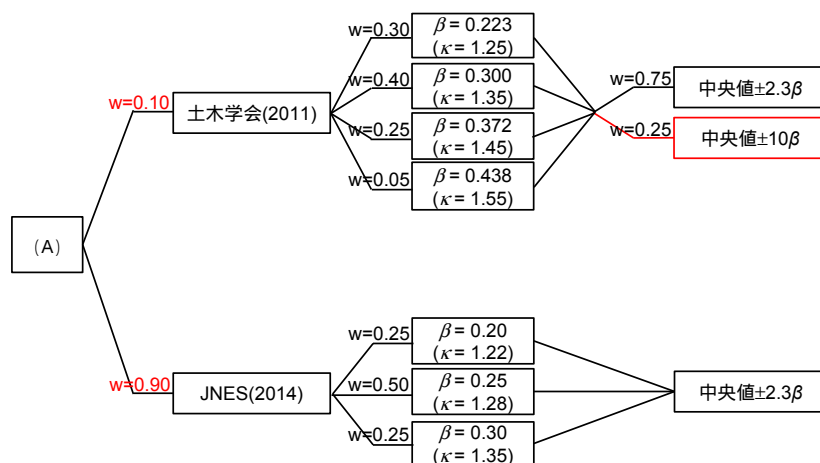
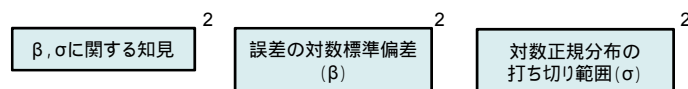
- ・ 偶然的不確実さは、日本原子力学会(2012)、土木学会(2011)、土木学会(2016)¹等を踏まえて、津波推定値のばらつきに関するロジックツリーとして設定した。

1: 土木学会(2016)のロジックツリーの詳細は、補足説明資料「4. 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

申請時からの変更箇所(タイトル)

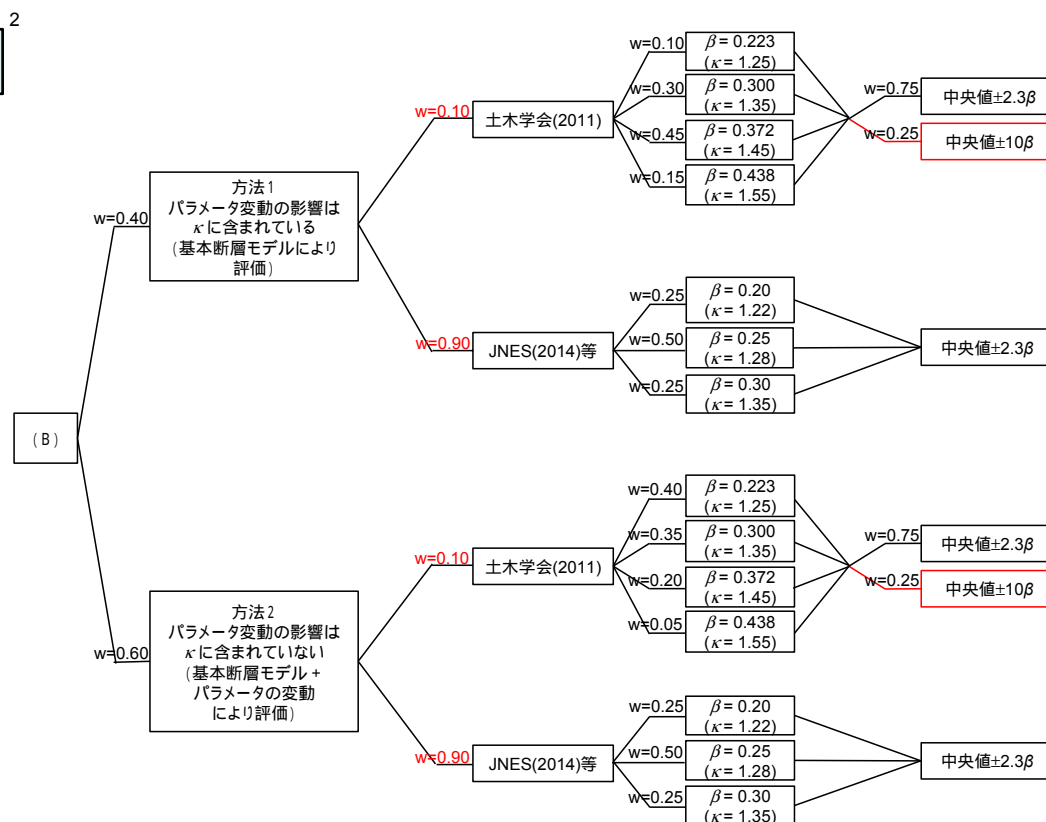
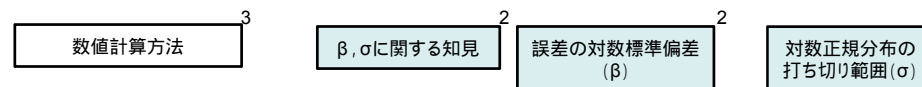
申請時からの変更箇所



2 土木学会(2011)、JNES(2014)等を参考に分岐及び重みを設定

3 土木学会(2011)等を参考に分岐及び重みを設定

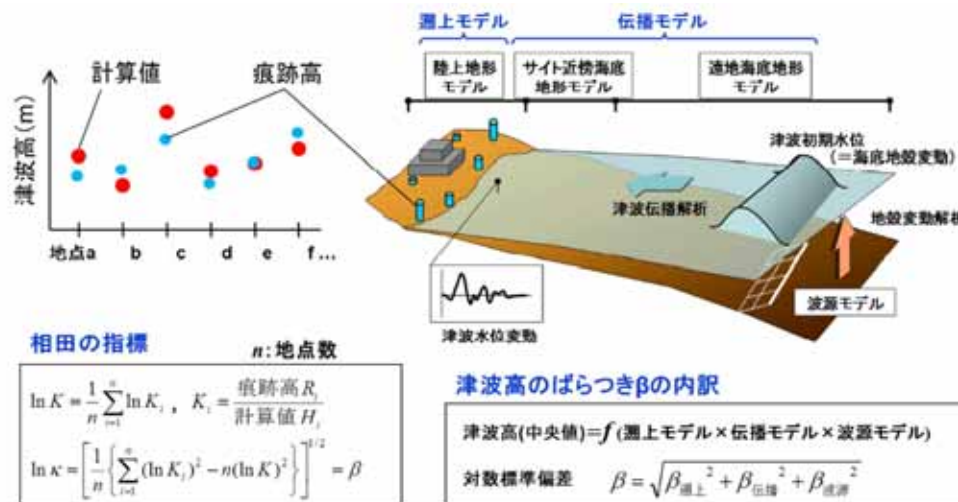
一様すべり矩形モデル



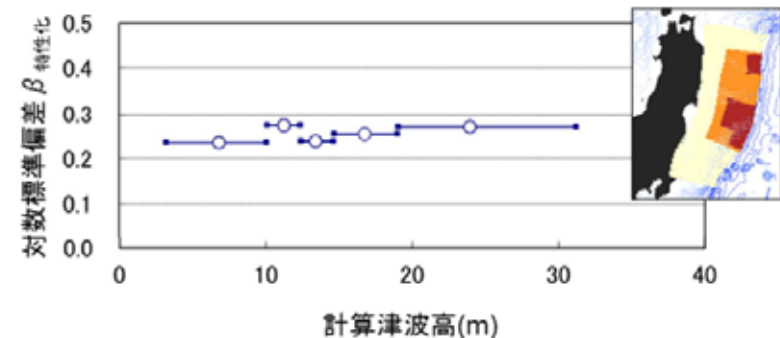
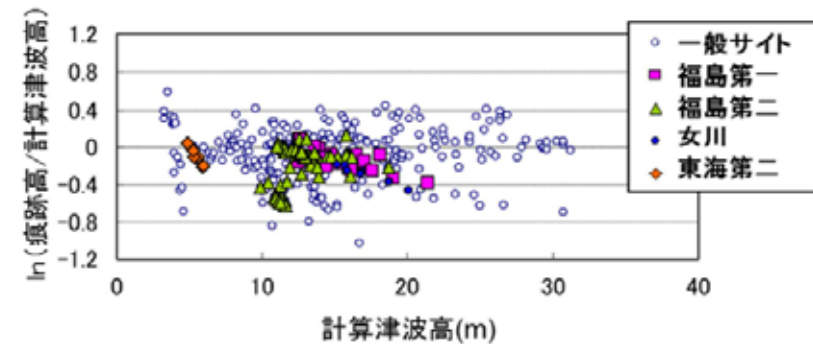
1. 基準津波の年超過確率の参照 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

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。



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))

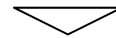
1. 基準津波の年超過確率の参照 1.3 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

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)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

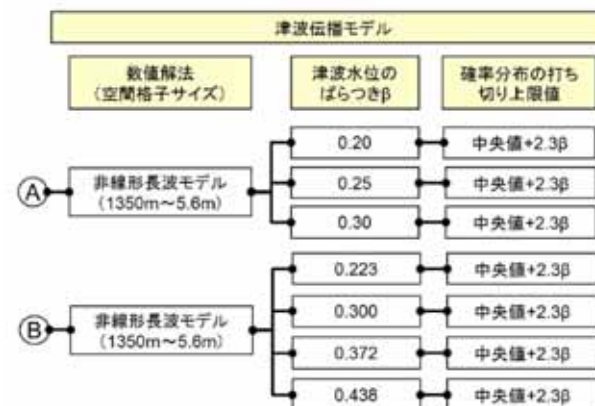
1.3.1 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー（誤差の対数標準偏差及び対数正規分布の打ち切り範囲）

- 不確実さ要因の設定方法 (JNES (2014) に加筆)

- ・推定値の不確定性は、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 δ と打ち切り範囲を設定する。

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3.11のように分布の両側1%を打ち切る。

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 %	$\pm 2.3 \sigma$



プレート内地震(正断層型)(均一すべりモデル)の津波伝播モデルについては、2011年東北地方太平洋沖地震発生前までの知見として土木学会(2011)を参考にしている。

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(偶然的不確実さの考慮)

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)

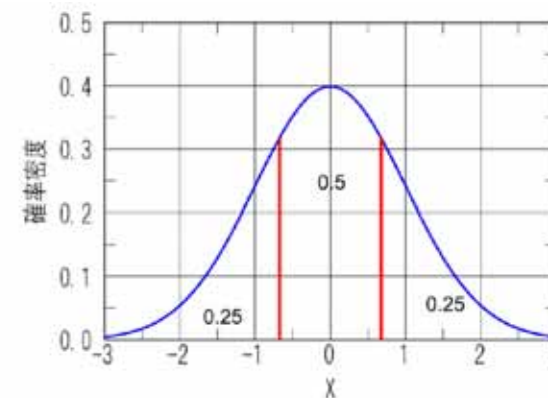
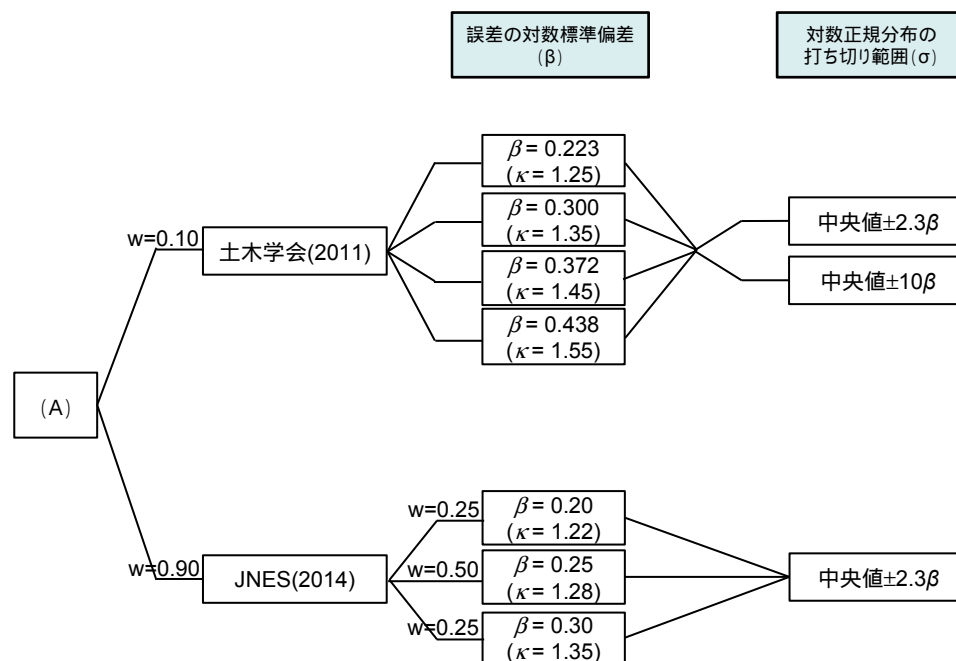
- 確率論的津波ハザード評価の解析条件等¹はJNES(2014), 杉野他(2015)の設定方法(格子サイズ5m程度)を満足しており, 同知見を評価に反映した。なお, 杉野他(2014)の検討は, Mw8.9以上の巨大地震に分類される2011年東北地方太平洋沖地震の1ケースのみであり, これ以外の地震規模についても同様の検証が必要であると示されていることから, 土木学会(2011)の設定方法も評価に反映し分岐とした²。
- 重み配分は, 土木学会(2011)の重みを0.1, JNES(2014)の重みを0.9とした。また, JNES(2014)等の誤差の対数標準偏差(β)の重み配分については, 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(補足説明資料p36)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「4. 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

【ロジックツリー】



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

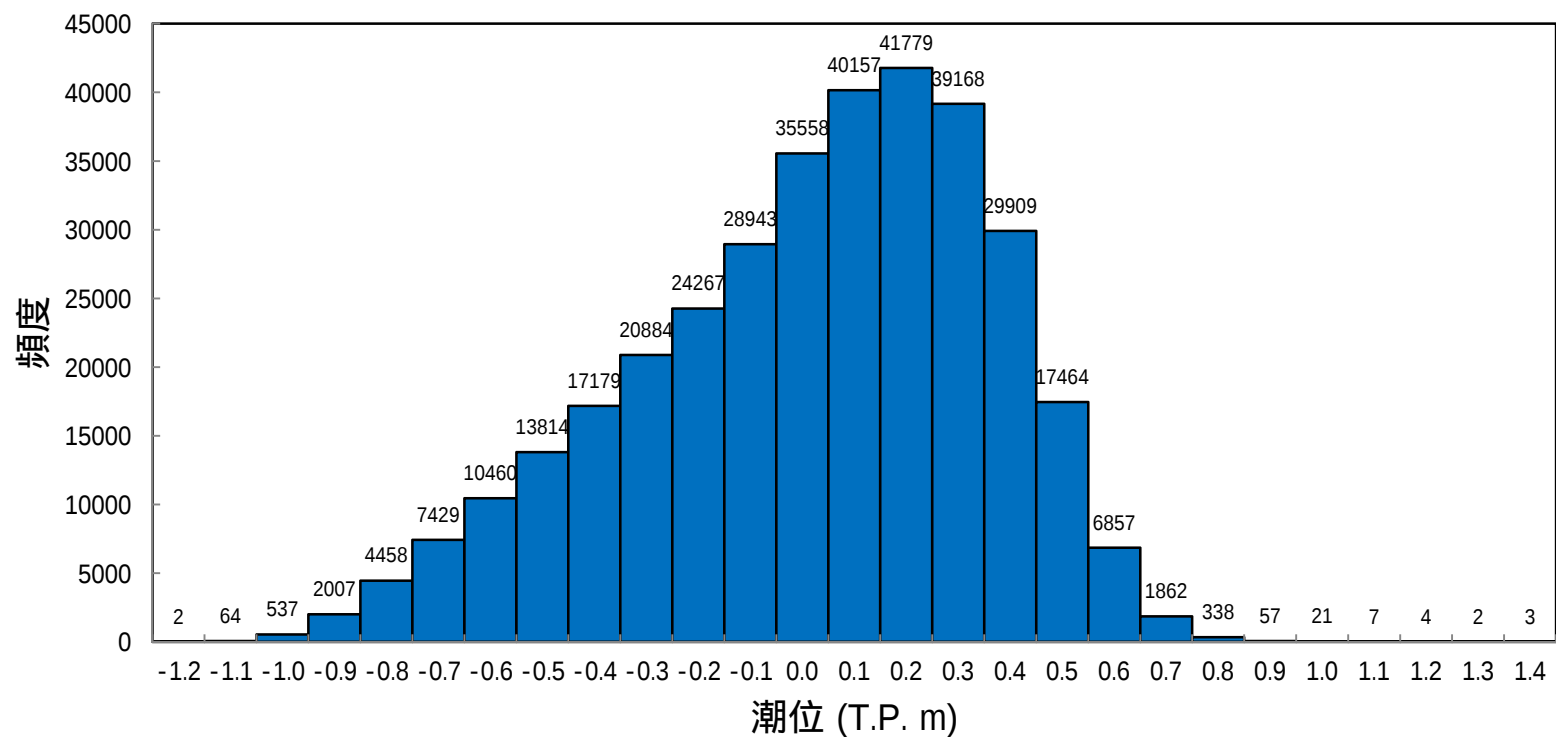
4. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討

5. 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

6. 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。

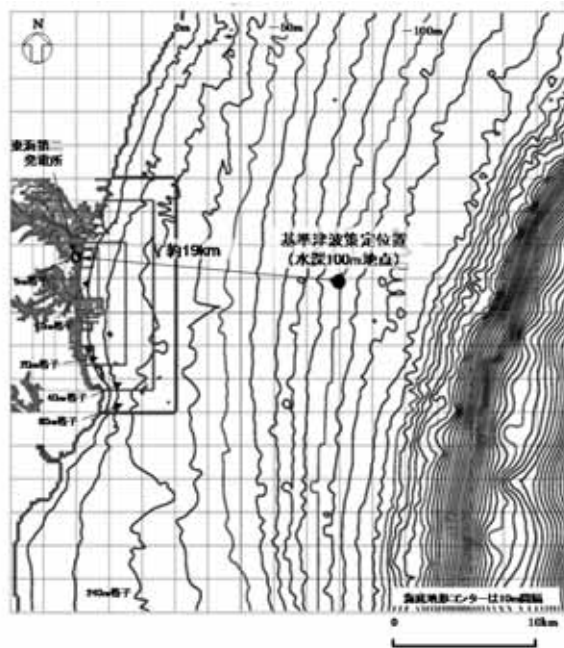


潮位の頻度分布
茨城港常陸那珂港区(茨城港日立港区)

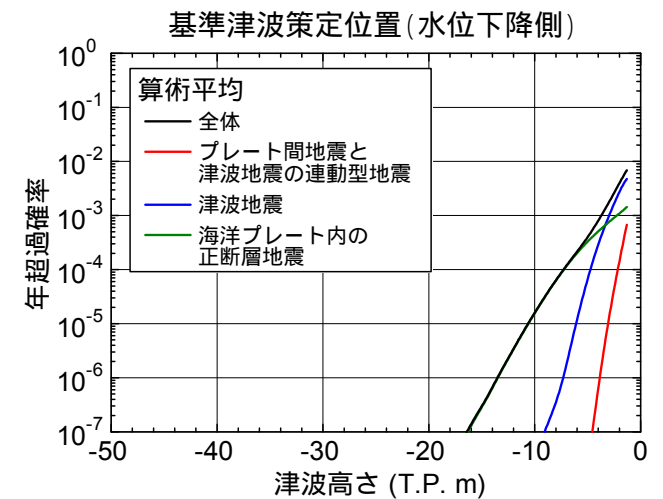
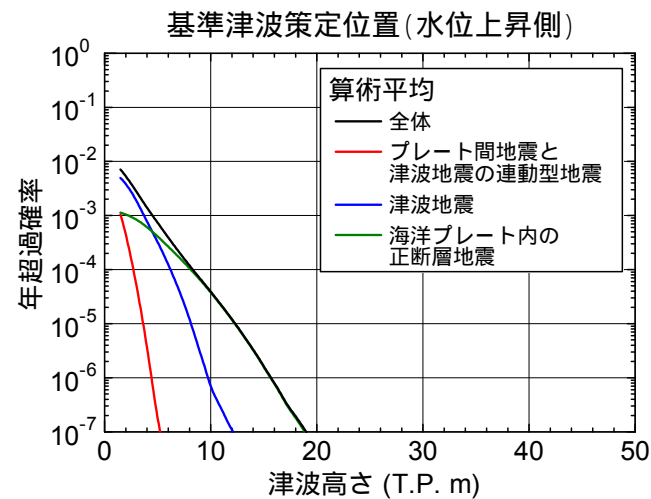
1.4.2 年超過確率の参照

- 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 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 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



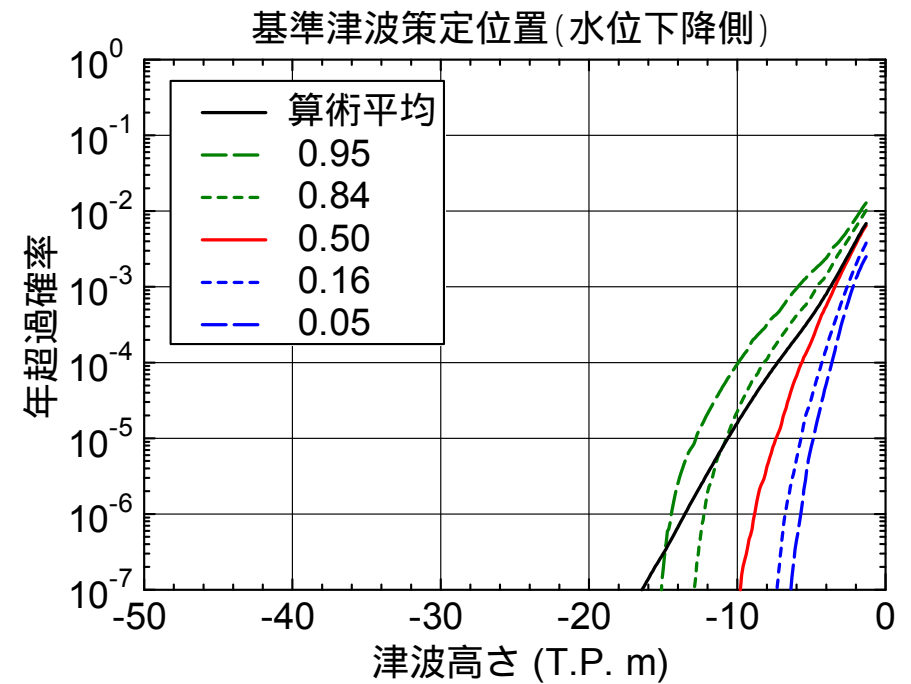
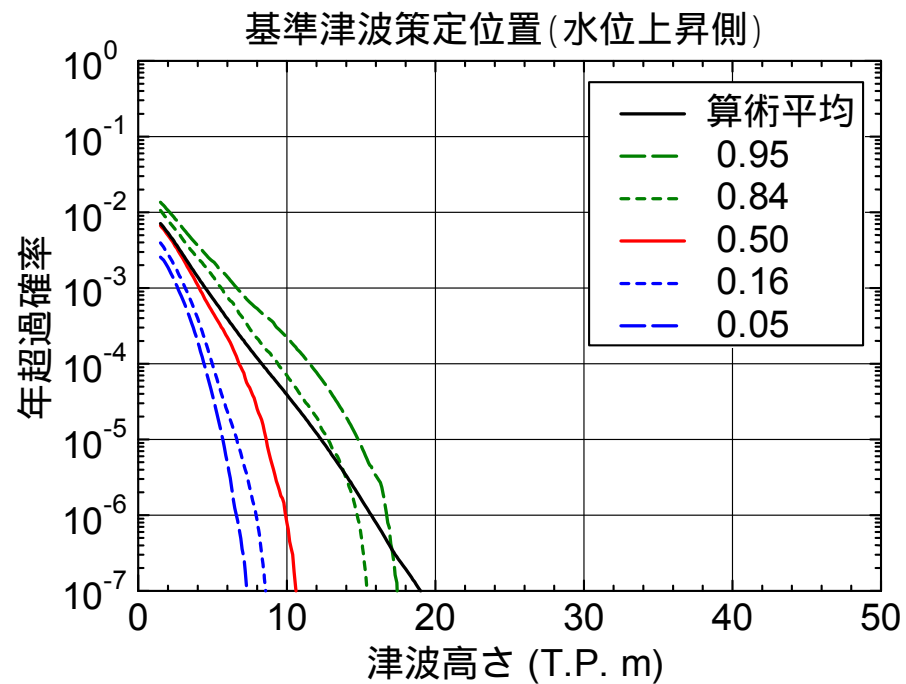
基準津波策定位置図



	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. - 3.8m

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. 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

5. 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

6. 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(2013):第197回地震予知連絡会重点検討課題「世界の巨大地震・津波」概要,地震予知連絡会会報 第89巻
- 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.
- Satoko Murotani, Kenji Satake, Yushiro Fujii (2013): Scaling relations of seismic moment, rupture area, average slip, and asperity size for $M \sim 9$ 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, -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・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
- 杉野英治・呉長江・是永真理子・根本信・岩淵洋子・蛭澤勝三(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

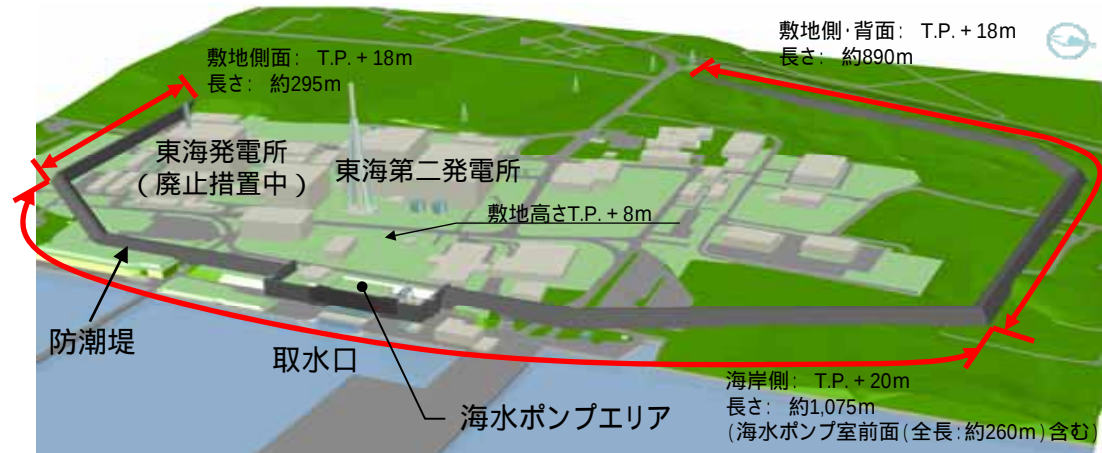
4. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討

5. 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

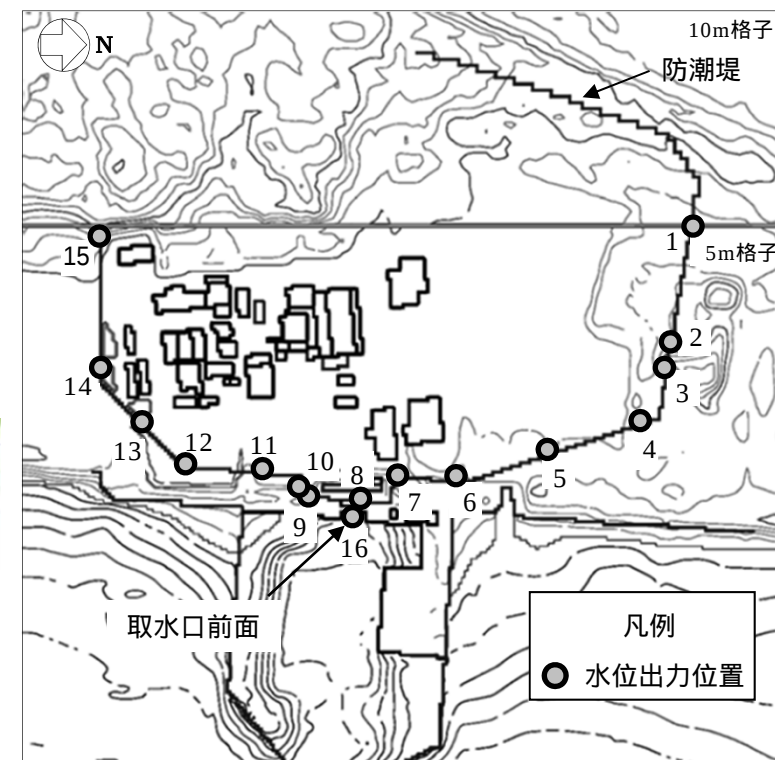
6. 参考文献

1.1 津波水位の出力位置

- 重要な安全機能を有する施設の設置された敷地 (T.P.+8m) に基準津波による遡上波を到達, 流入させないため, 津波防護施設として防潮堤を設置することから, 防潮堤位置を津波水位 (上昇側) の出力位置とした。
- 取水路内の水位変動に伴う非常用海水ポンプの取水性を評価することから, 取水口前面を津波水位 (下降側) の出力位置とした。



< 防潮堤の概要 (イメージ図) >



出力位置

1.2 津波予測解析(計算条件)

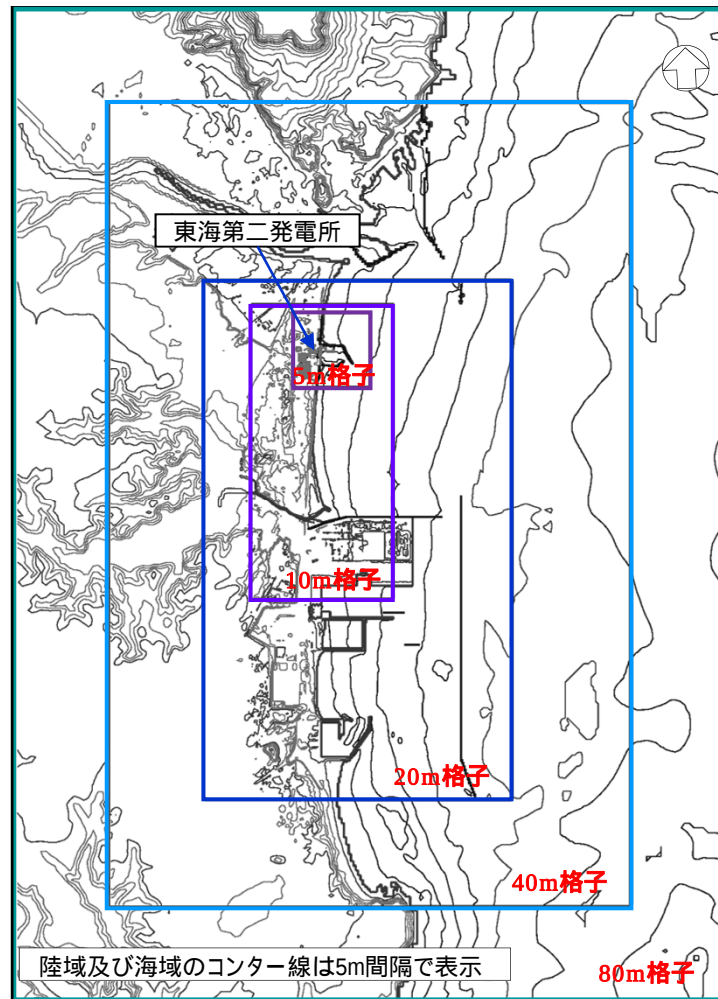
- 津波予測解析にあたっては、下記の計算条件を用いた。

津波予測解析の計算条件

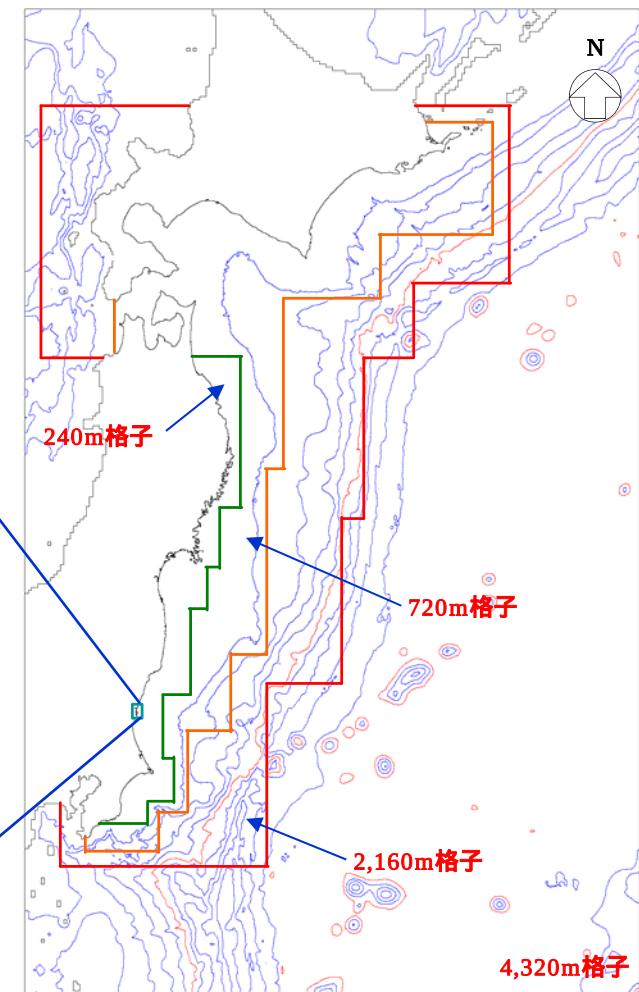
項目	条件		備考
計算領域	北海道から千葉房総付近までの太平洋		
メッシュ構成	沖合4,320m→2,160m→720m→沿岸域240m→発電所周辺80m→40m→20m→10m→5m		長谷川他(1987)
基礎方程式	非線形長波理論		後藤・小川(1982)の方法
計算スキーム	スタガード格子, リープ・フロッグ法		後藤・小川(1982)の方法
初期変位量	Mansinha and Smylie(1971)の方法		
境界条件	沖側:後藤・小川(1982)の自由透過の条件 陸側:敷地周辺(計算格子間隔80m～5m)の領域は小谷他(1998)の陸上遡上境界条件 それ以外は完全反射条件		
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	$\Delta t = 0.05\text{秒}$		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

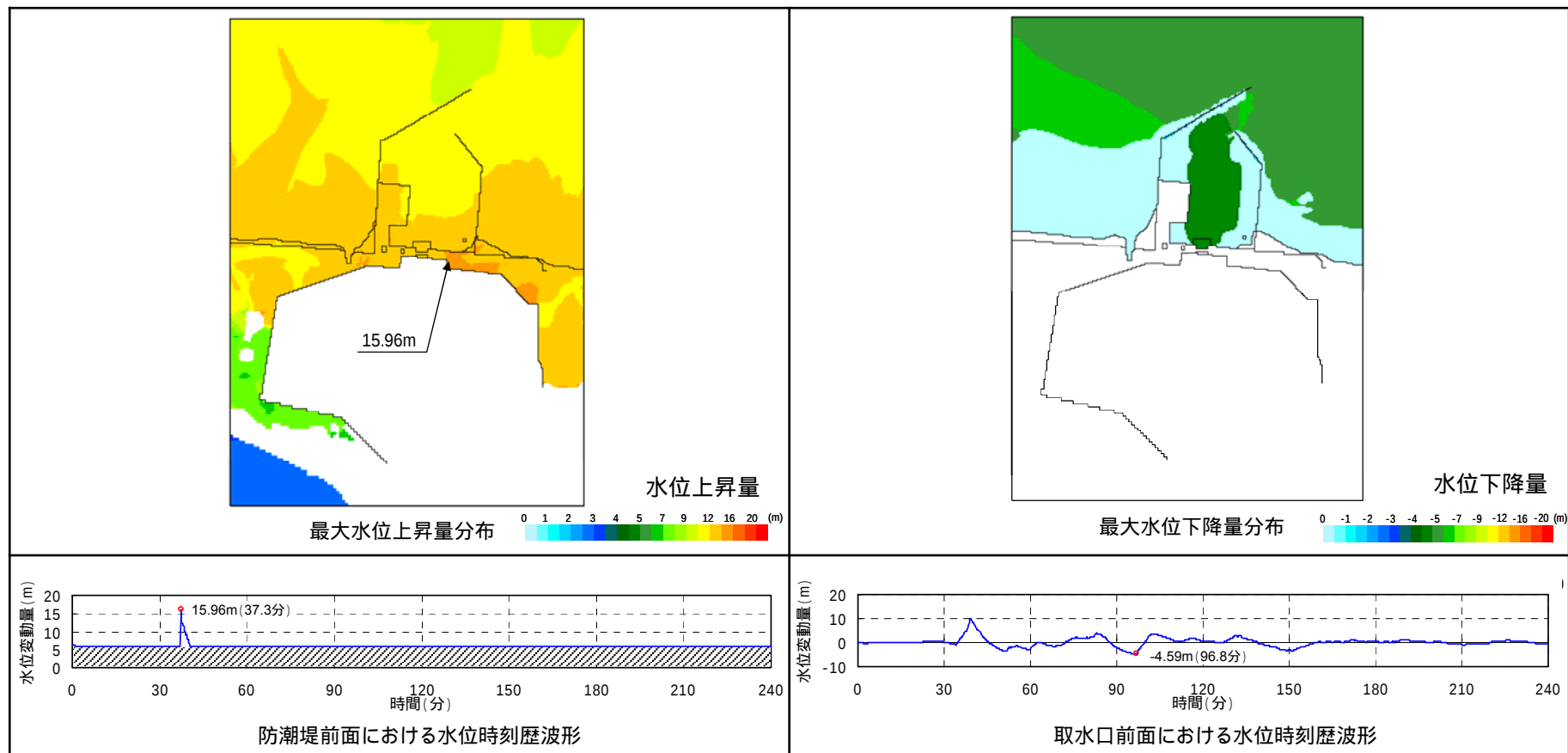


地震種別	プレート間地震
最高水位 (防潮堤前面)	T.P.+17.1m
最低水位 (取水口前面)	T.P.-4.9m

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

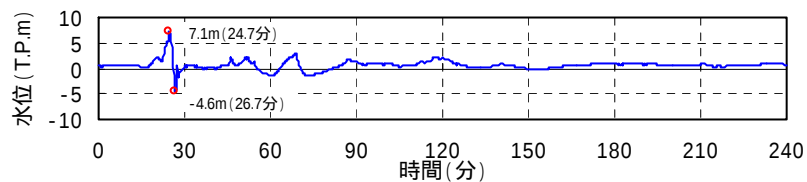
1.3 評価結果(防潮堤前面の最大水位上昇量及び取水口前面の最大水位下降量:水位分布及び時刻歴波形)

【最終設備形状反映モデル】



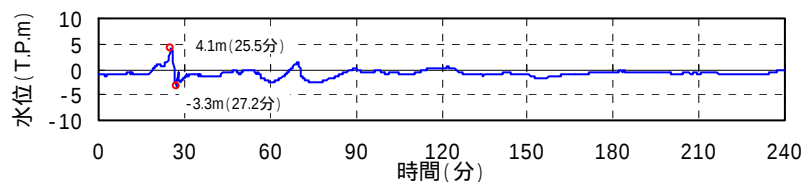
1.3 評価結果(基準津波策定位置)

- 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。



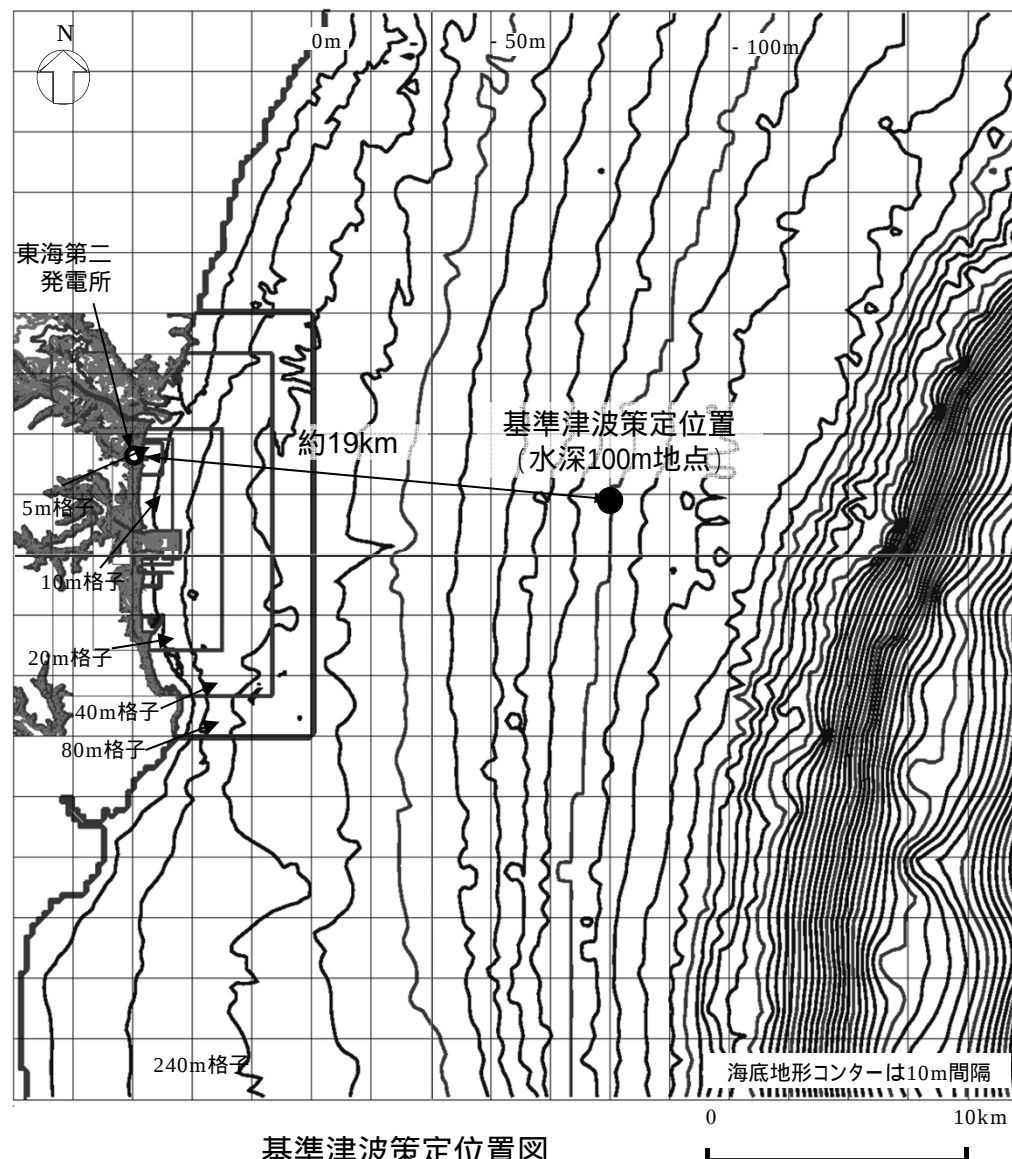
基準津波策定位置における時刻歴波形
(上昇側最大 ¹⁾)

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, 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, 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

1.4 年超過確率の参照における津波波源の検討(プレート間地震と津波地震の連動型地震)

- 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た。
- 年超過確率の評価においては、上記のうち、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」を用いて評価を行った。

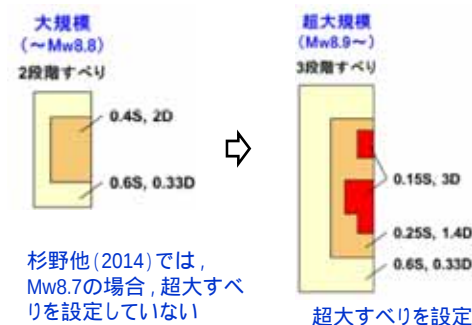
茨城県沖に想定する津波波源の諸元

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

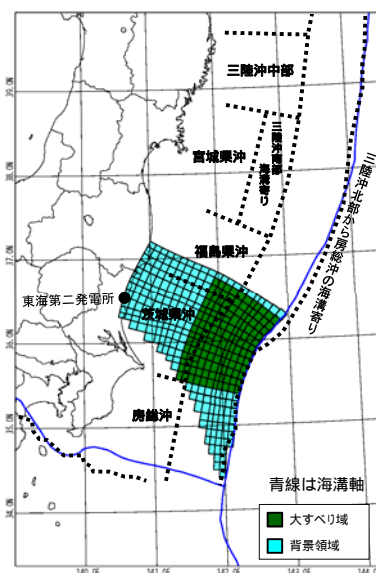
茨城県沖から房総沖に想定する津波波源の諸元

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

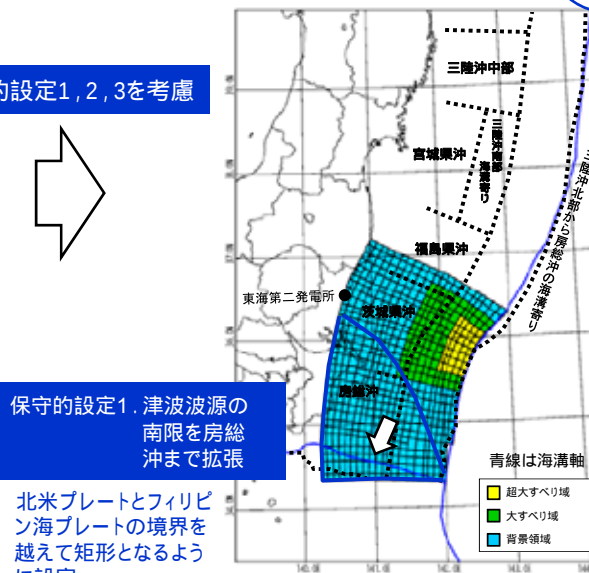
保守的設定2. 超大すべり域を設定



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



茨城県沖に想定する津波波源



茨城県沖から房総沖に想定する津波波源

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. 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

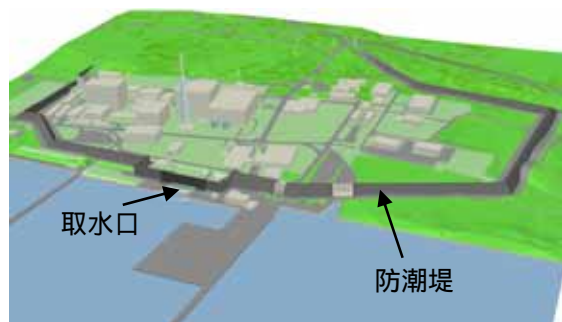
5. 海洋プレート内の正断層地震が津波ハザード曲線に与える影響

6. 参考文献

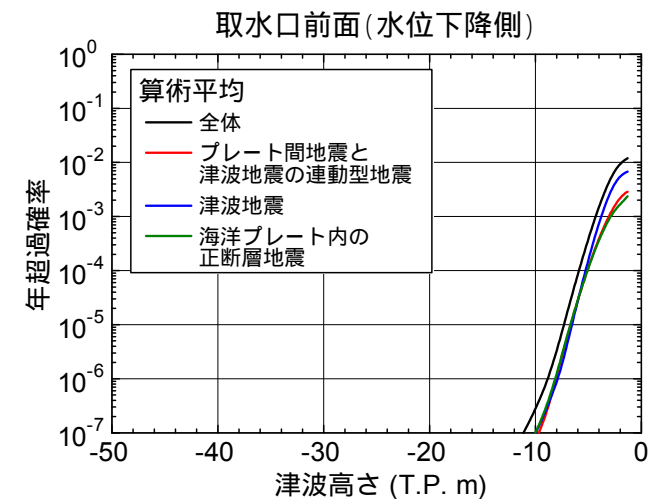
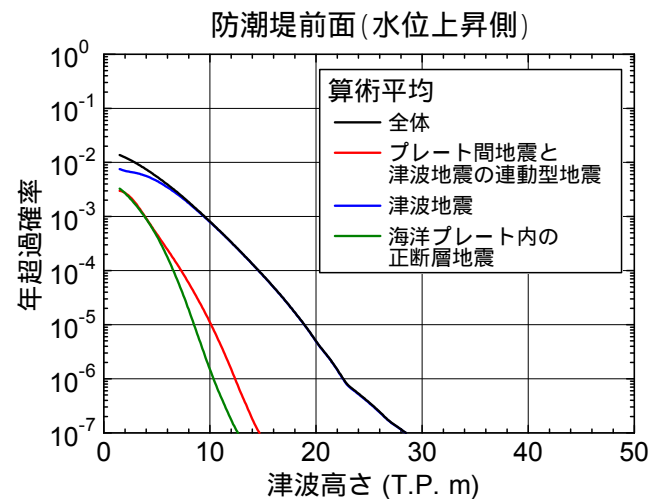
2.1 評価結果(防潮堤前面及び取水口前面)

- 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



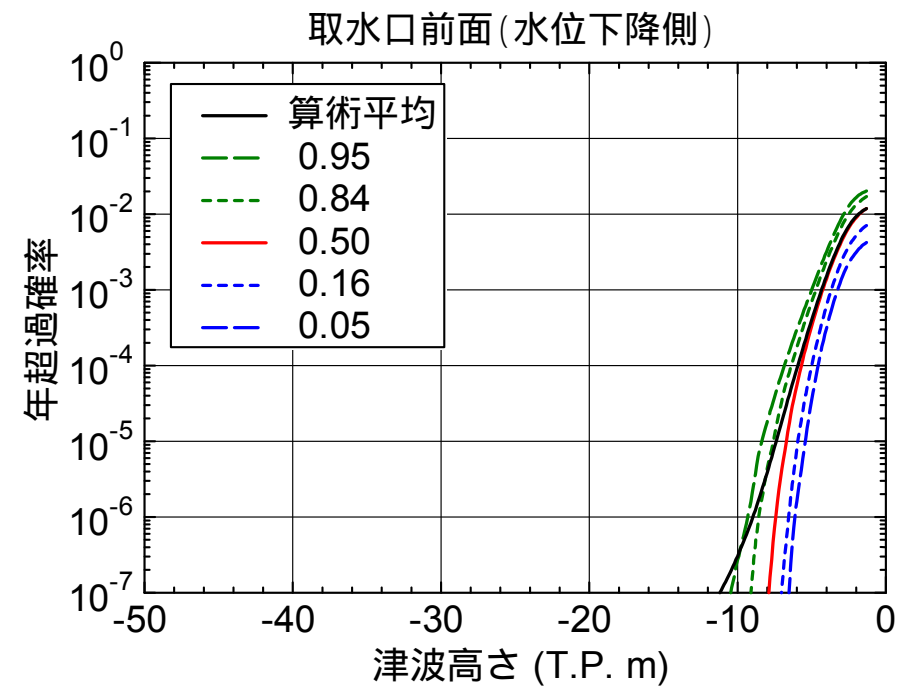
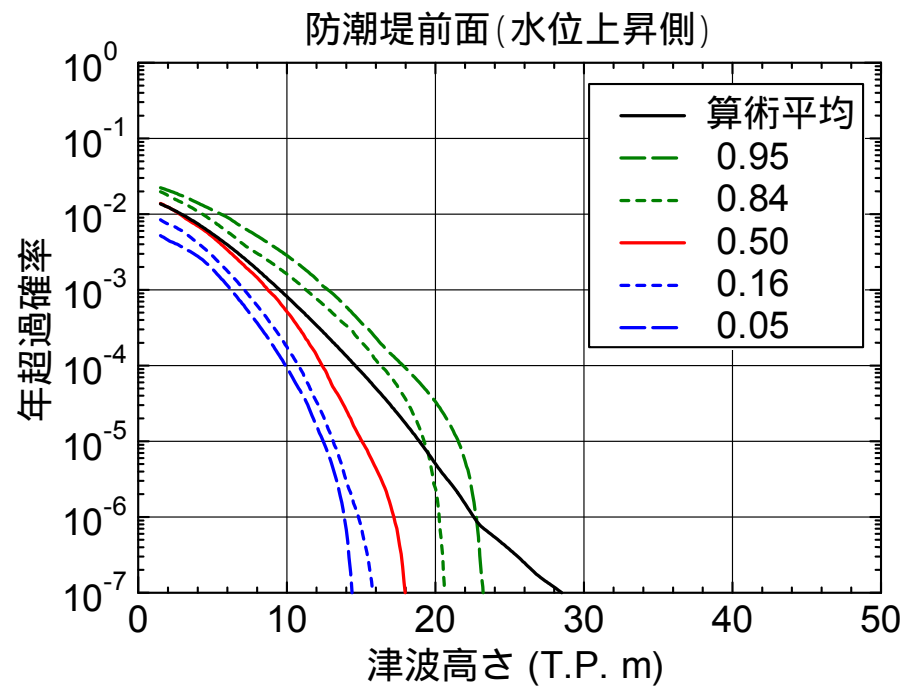
評価位置図



	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. 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

5. 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

6. 参考文献

3.1 変更点

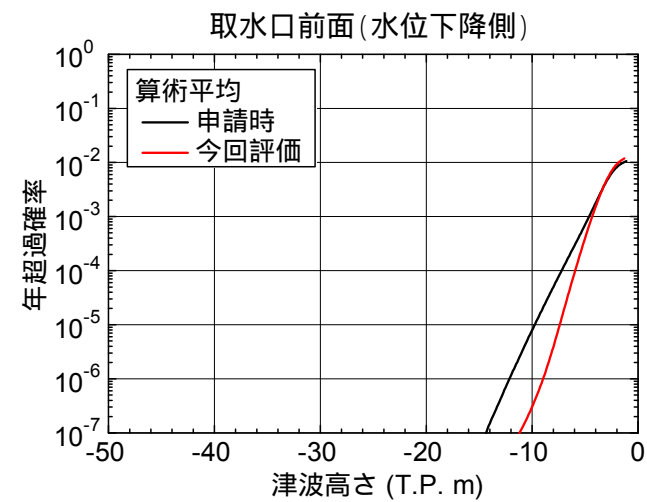
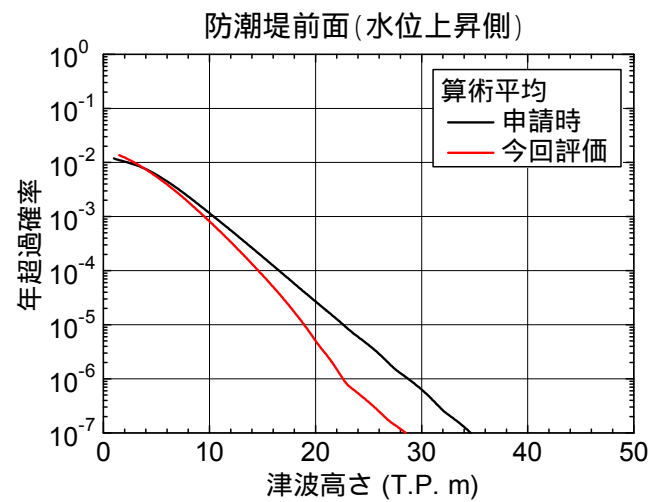
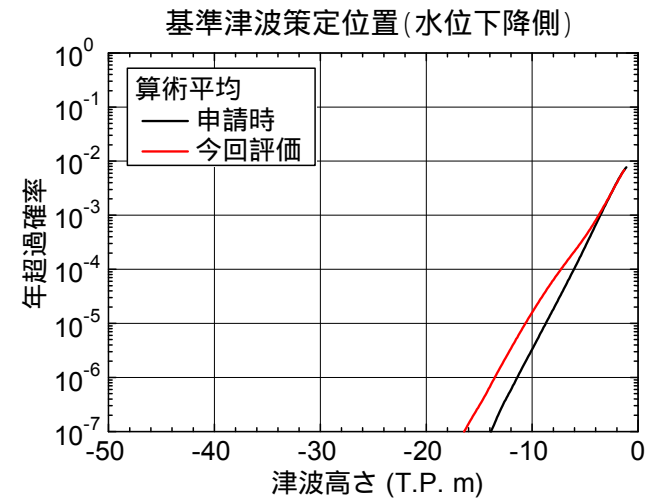
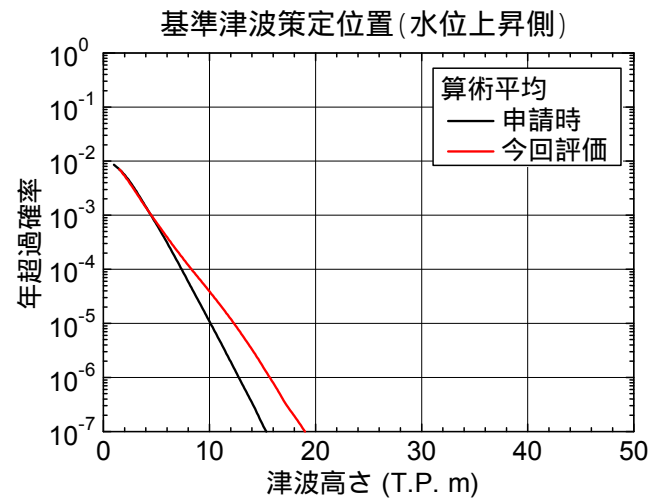
■ 変更概要

- ・ 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実績を反映

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
審査実績 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から、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の境界に変更

3.2 評価結果の比較

■ 算術平均ハザード曲線



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

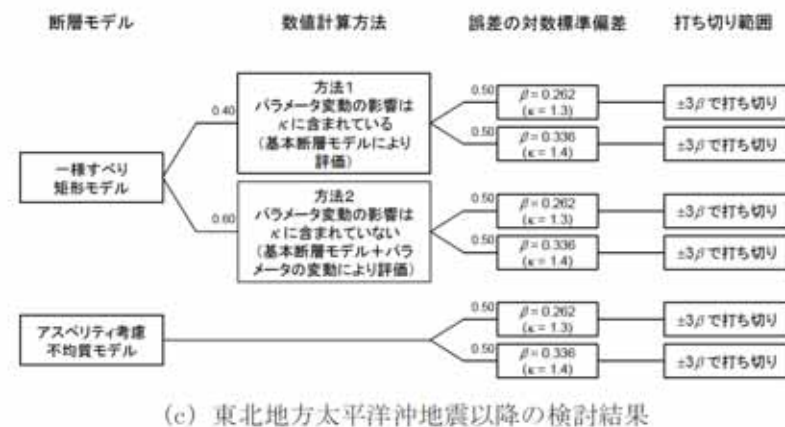
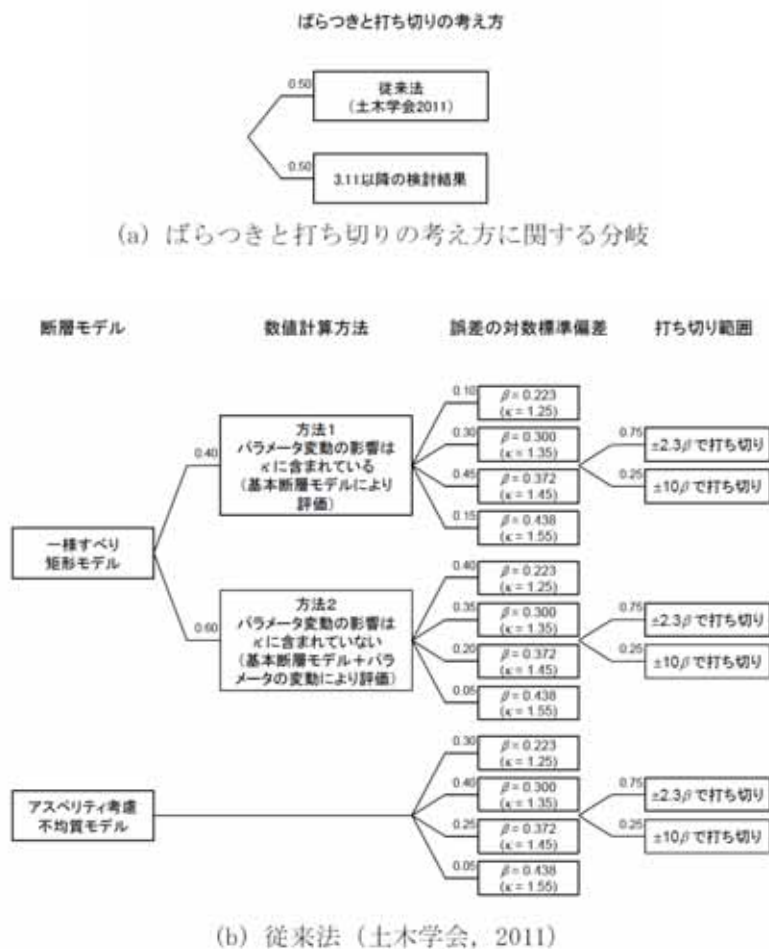
4. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討

5. 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

6. 参考文献

4.1 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。



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))

4.2 専門家意見聴取結果

- ・ JNES(2014)等の設定方法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,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)のロジックツリーを作成し,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 $\beta=0.20\sim0.30$ 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)

4.2 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。

4.2 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

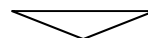
- ・ ハザード評価の解析条件等は, JNES(2014)の設定方法を評価に反映する条件を満足している。

4.2 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
- 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则认为、土木学会(2011)の重みを0.1、JNES(2014)の重みを0.9。
- 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)。
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。
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。



各関連情報に対する専門家の意見聴取結果を踏まえ、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)のロジックツリーを作成し、その妥当性について評価を得た。

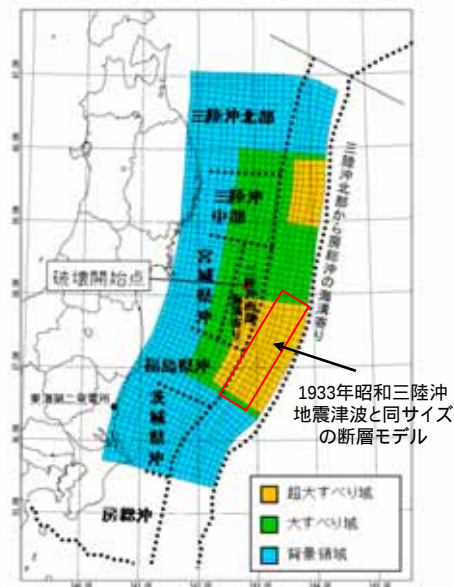
4.3 矩形断層モデルに関する検討

- ・ 杉野他(2014)は特性化波源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津波伝播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、2011年東北地方太平洋沖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、東北地方太平洋沖型の地震に伴う津波、津波地震(1896年明治三陸沖地震津波)、海洋プレート内の正断層型地震(1933年昭和三陸沖地震津波)を対象に、矩形断層モデルによる津波高さのばらつきに関する検討(考察)を行い、同モデルの津波推定値のばらつきに関するロジックツリーにJNES(2014)等の設定方法を反映することの妥当性を確認した。

4.3 矩形断層モデルに関する検討(東北地方太平洋沖型の地震津波)

- 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。

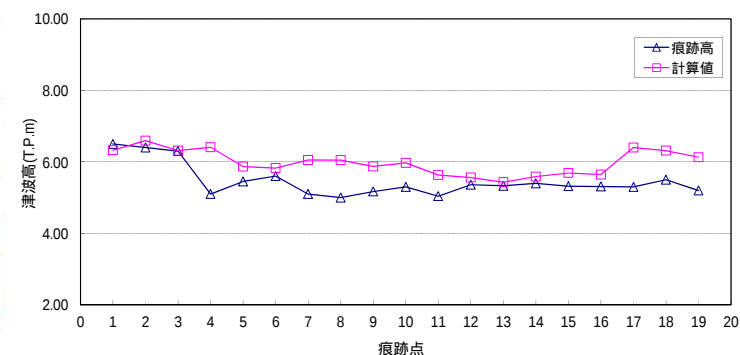
【東北地方太平洋沖型の特性化波源モデル】



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
大すべり域	南側の長さ
	180km(海溝軸側)
大すべり域	南側の幅
	90km(南側) ~ 100km(北側)
大すべり域	長さ
	410km(海溝軸側)
大すべり域	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))

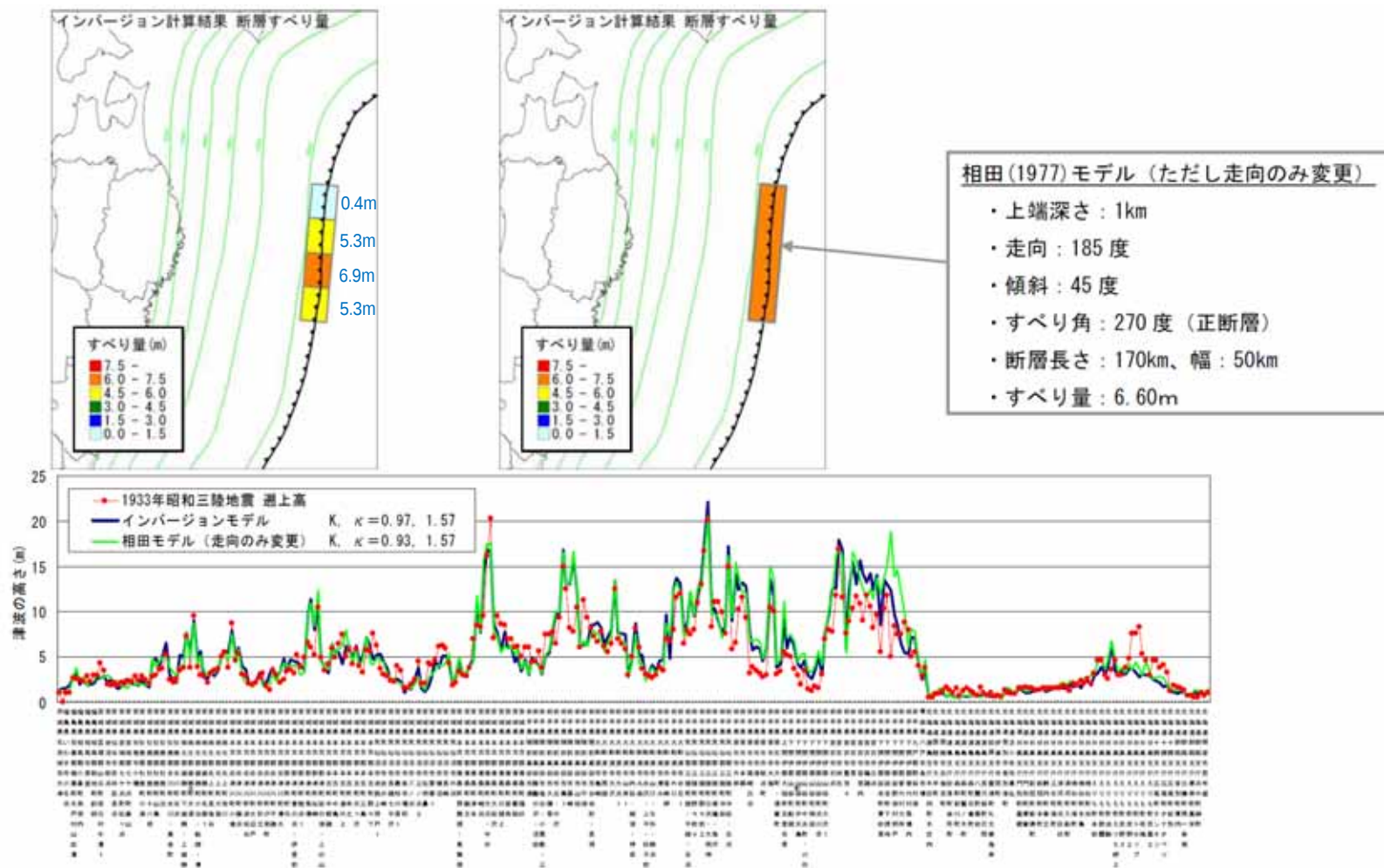
4.3 矩形断層モデルに関する検討(津波地震:1896年明治三陸沖地震津波)

- 中央防災会議(2005)では,1896年明治三陸沖地震津波の痕跡高を用いたインバージョン手法により,不均質性を考慮した断層モデルを推定している。
- 沿岸の津波水位に影響が大きいTanioka and Satake(1996)による断層範囲のすべり分布に着目すると,同領域における平均すべり量(約10.3m)の2倍以上となるすべり領域は見られず,プレート間地震と比較してすべりの不均質性は小さい。
- また,同断層モデルのばらつき(κ)は1.4であることから,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。



4.3 矩形断層モデルに関する検討(海洋プレート内の正断層地震:1933年昭和三陸沖地震津波)

- 中央防災会議(2005)では,1933年昭和三陸沖地震津波の痕跡高を用いたインバージョン手法により,不均質性を考慮した断層モデルを推定している。
- プレート間地震と比較してすべりの不均質性は小さいとともに,ばらつき(κ)は矩形断層モデル(相田(1977)モデル)と同等であることを確認した。
- 以上から,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無いと考えられる。



1933年昭和三陸沖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)

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

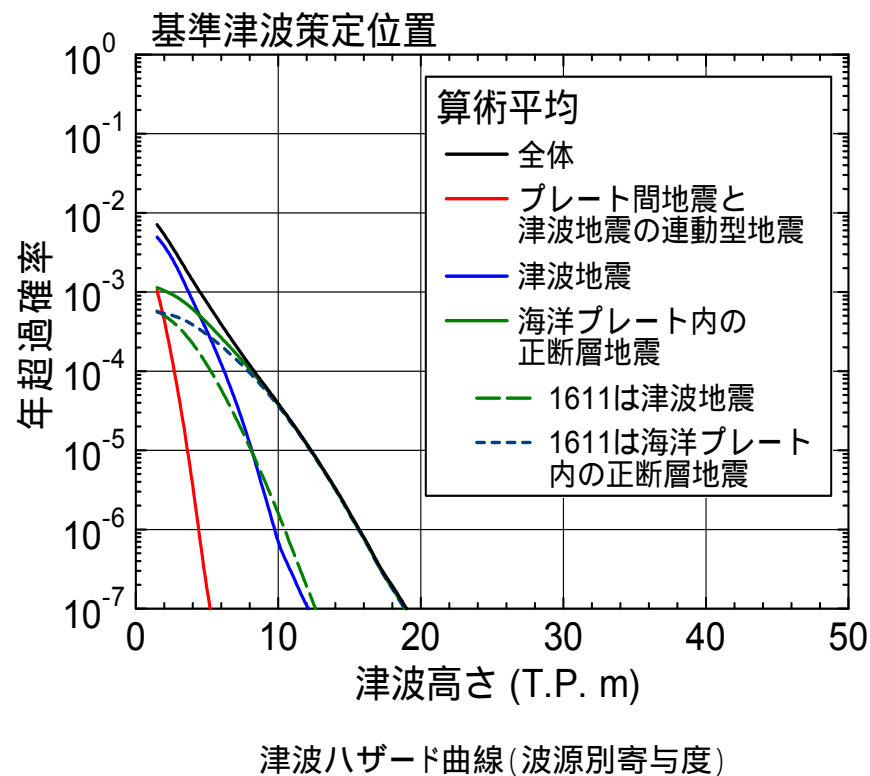
4. 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー設定に関する検討

5. 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

6. 参考文献

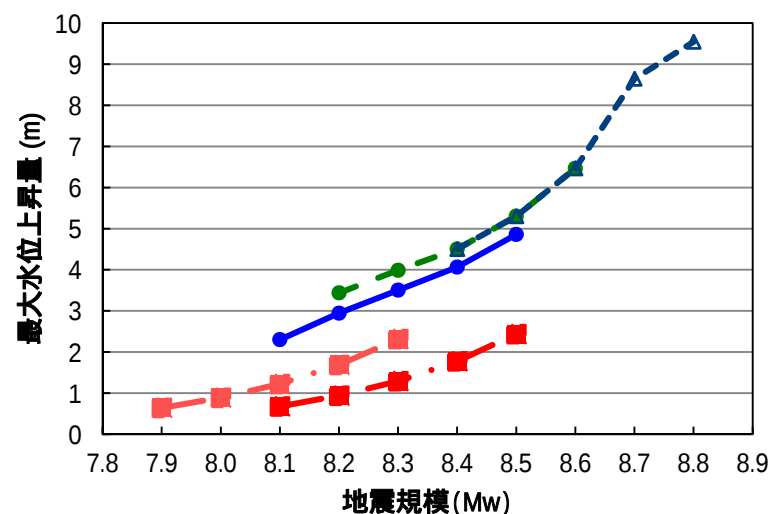
5.1 水位上昇側

- ・ 津波ハザード曲線(波源別寄与度)から, 海洋プレート内の正断層地震の津波ハザード曲線は, 「1611年の津波は正断層地震」の分岐が支配的である。
- ・ 検討対象地震全ての平均発生間隔は同じオーダーであり, 海洋プレート内の正断層地震による水位が最も大きい。
- ・ また, 海洋プレート内の正断層地震において, 「1611年の津波は正断層地震」とした場合は, 「1611年の津波は津波地震」とした場合よりも地震規模が大きくなるため, 「1611年の津波は津波地震」とした場合よりも寄与率が大きくなっている。
- ・ 以上より, 海洋プレート内の正断層地震の寄与率が大きくなる。

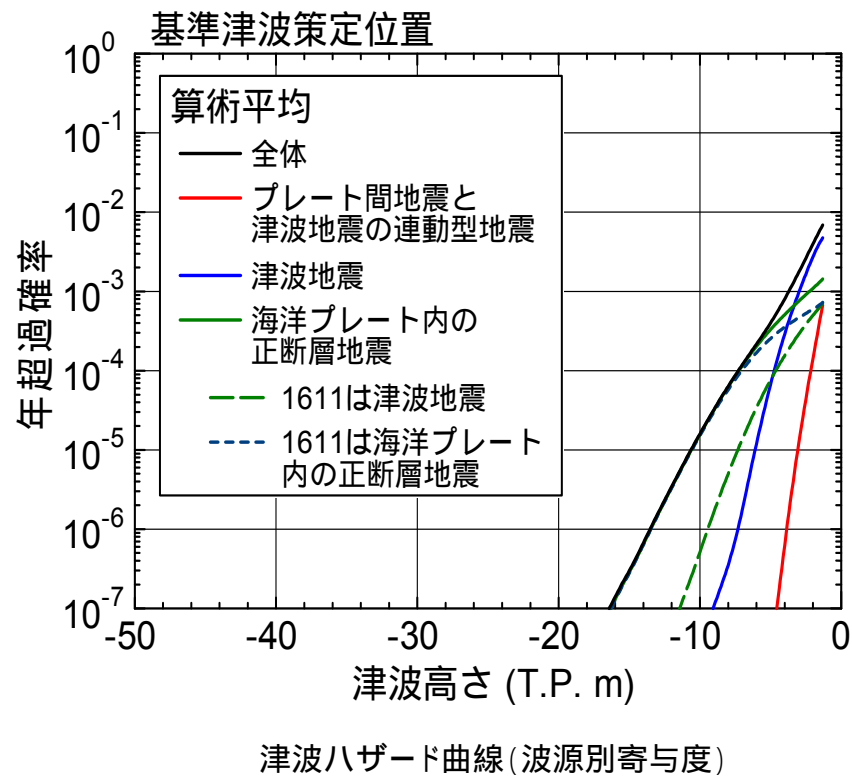


地震規模 (Mw) と最大水位上昇量の関係

凡例	津波発生領域	1611年の発生様式	Mwの範囲	平均発生間隔	波源位置
→	プレート間地震	-	$M_c=8.1, B_M=0.5$	160年	敷地に正対
→	プレート間地震と津波地震の連動型地震	-	$M_c=8.3, B_M=0.5$		
●	津波地震	津波地震	$M_c=8.3, B_M=0.5$	110年	敷地に正対(走向:基準)
●	海洋プレート内の正断層地震	津波地震	$M_c=8.4, B_M=0.5$	410年	敷地に正対(走向:基準)
●	海洋プレート内の正断層地震	正断層地震	$M_c=8.6, B_M=0.5$	210年	敷地に正対(走向:基準)

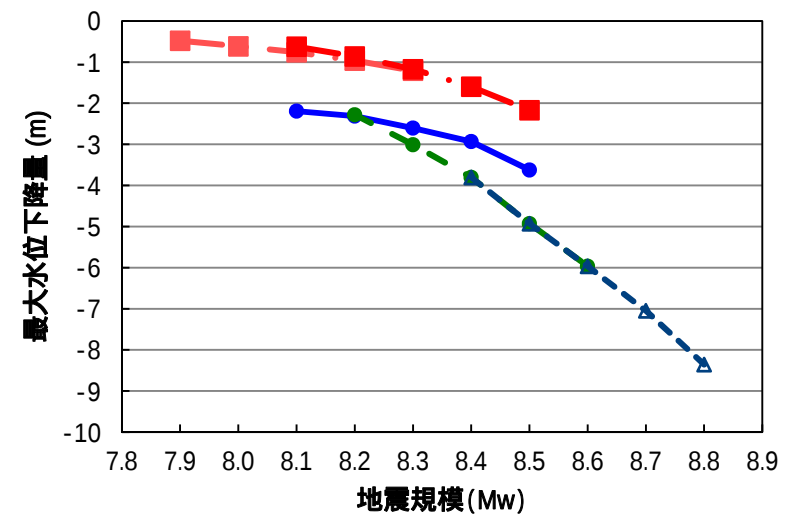


5.2 水位下降側



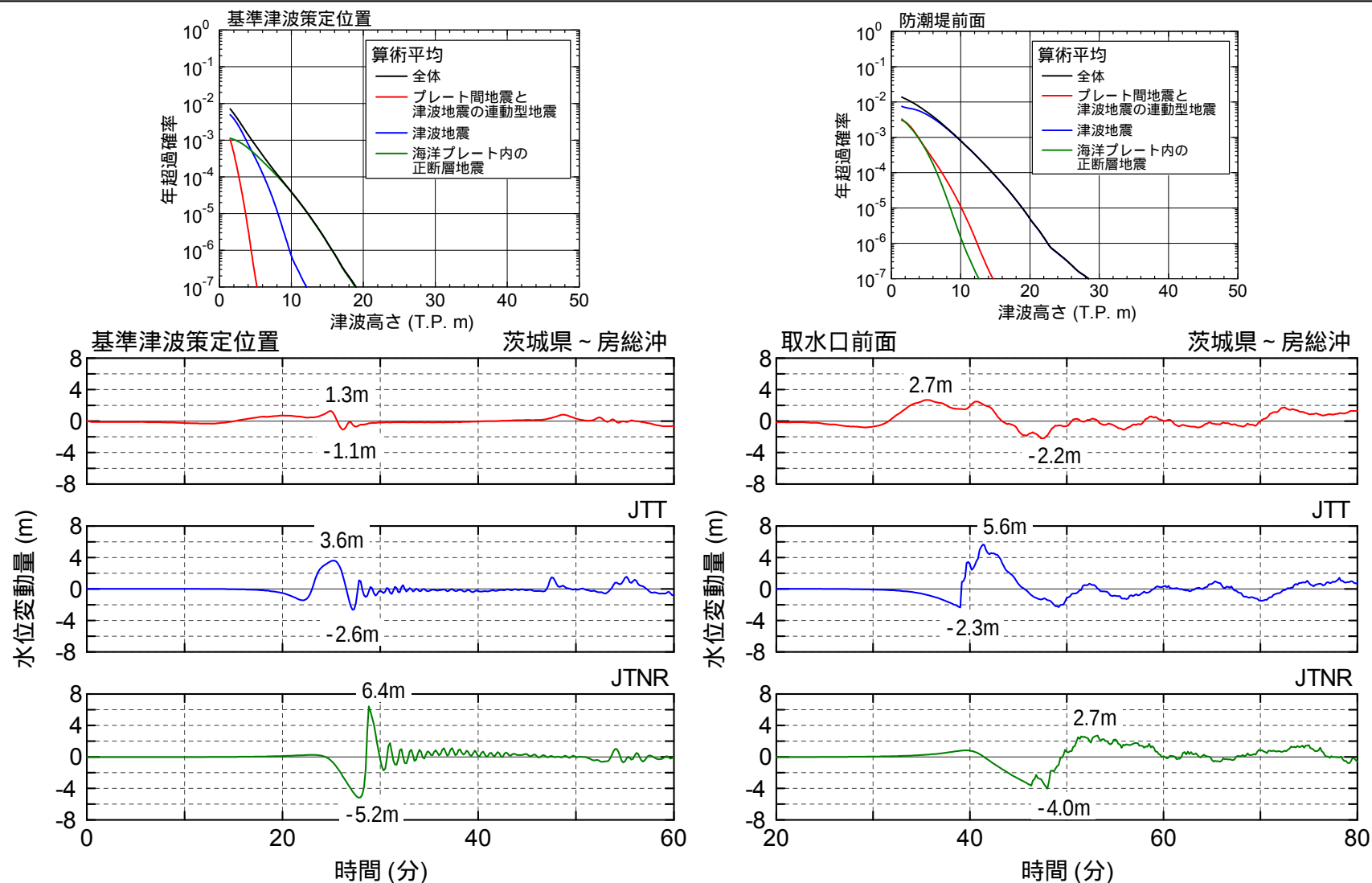
地震規模 (Mw) と最大水位下降量の関係

凡例	津波発生領域	1611年の発生様式	Mwの範囲	平均発生間隔	波源位置
—●—	プレート間地震	-	$M_c=8.1, B_M=0.5$	160年	敷地に正対
—●—	プレート間地震と津波地震の連動型地震	-	$M_c=8.3, B_M=0.5$		
—●—	津波地震	津波地震	$M_c=8.3, B_M=0.5$	110年	敷地に正対 (走向: 基準)
—●—	海洋プレート内の正断層地震	津波地震	$M_c=8.4, B_M=0.5$	410年	敷地に正対 (走向: 基準)
—●—	海洋プレート内の正断層地震	正断層地震	$M_c=8.6, B_M=0.5$	210年	敷地に正対 (走向: 基準)



5.3 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。



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. 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

5. 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

6. 参考文献

6. 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 / -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. SMYLYE (1971): THE DISPLACEMENT FIELDS OF INCLINED FAULTS, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.61, No.5, PP.1433-1440.
- 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, pp.635-645
- 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.
- 杉野英治・岩渕洋子・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
- 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(2011): 確率論的津波ハザード解析の方法
- 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
- 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
- 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)強振動及び津波高さの推計について
- Yuichiro Tanioka, Kenji Satake(1996): Fault parameters of the 1896 Sanriku tsunami earthquake estimated from tsunami numerical modeling, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, Vol.23, No.13, pp.1549-1552
- 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