

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

---

平成29年2月3日  
東北電力株式会社

## 目次

---

1. 評価概要	2
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
3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)	29
4. 評価結果	35

### 補足説明資料

1. 設置変更許可申請時からの変更点について	43
2. 基準津波の策定	45
3. 津波解析条件	55
4. 津波波源モデルの設定方法	59
5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討	67
6. 海洋プレート内地震が津波ハザード曲線に与える影響	77
7. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果	81

# 1. 評価概要

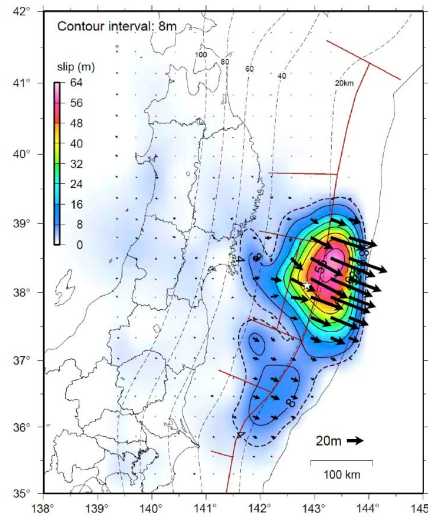
---

- 1. 1 評価方針 ..... 3
- 1. 2 ロジックツリーの作成 ..... 4
- 1. 3 分岐の重み配分設定 ..... 6

# 1. 評価概要

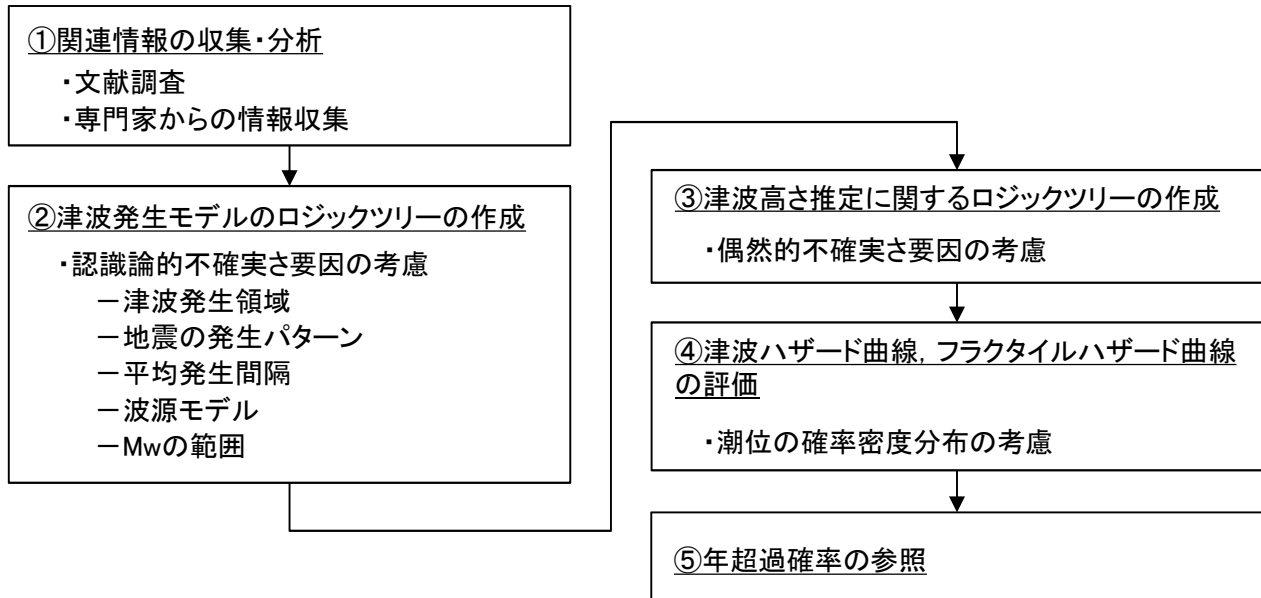
## 1.1 評価方針

- 確率論的津波ハザード評価は、日本原子力学会(2012)、土木学会(2011)、土木学会(2016)及び平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(以下、「3.11地震」という。)から得られた知見等を踏まえて実施した。
- 基準津波の年超過確率の参照に用いる津波ハザード曲線は、3.11地震の発生に伴いこれまで蓄積してきた歪みはほぼ解消し、今後数百年オーダーの期間に3.11地震と同程度のすべりが発生する可能性は小さい(地震調査研究推進本部(2012))ことを考慮した。
- 評価フローを以下に示す。



東北地方太平洋沖型地震の震源域  
(地震調査研究推進本部(2012))

### ■ 評価フロー





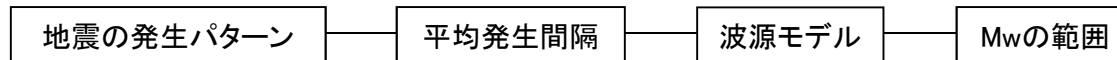
## 1. 評価概要

### 1.2 ロジックツリーの作成: 概要

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

#### ■ 認識論的不確実さの考慮: 津波発生モデルのロジックツリー

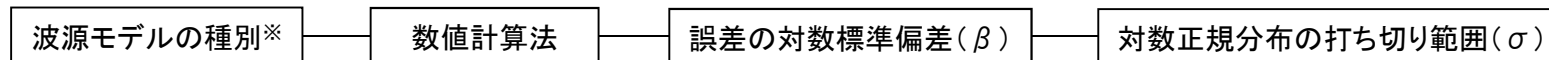
##### (1) 各津波発生領域のロジックツリー



##### (2) 津波発生領域の組合せに関するロジックツリー

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

#### ■ 偶然的な不確実さの考慮: 津波高さ推定に関するロジックツリー



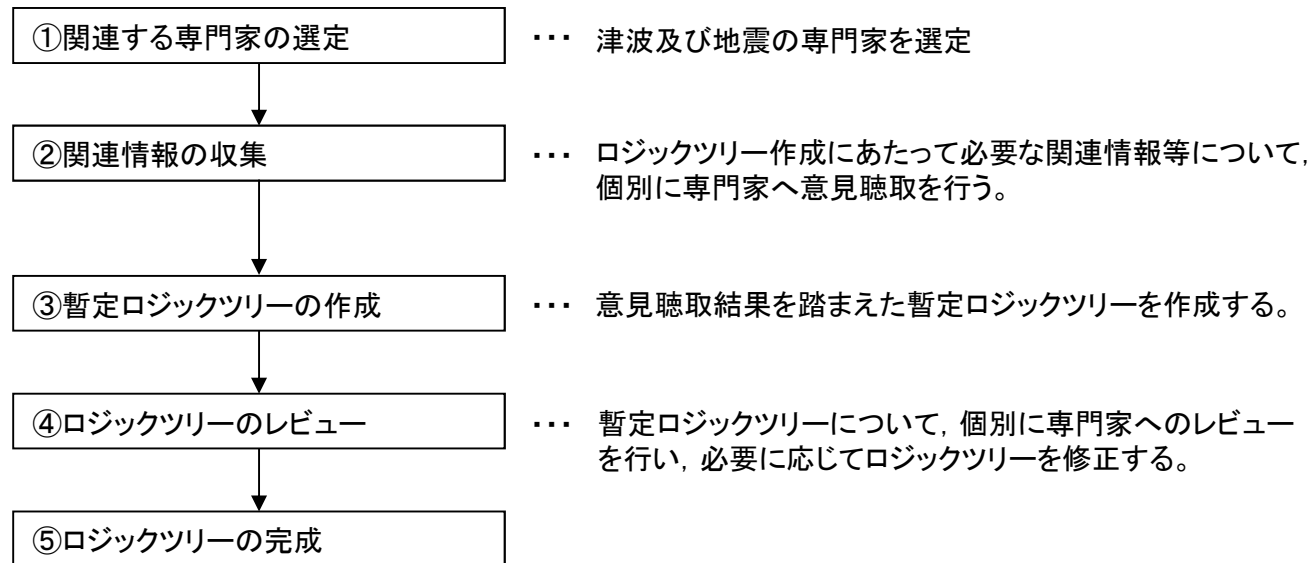
※: 不均質モデル, もしくは一様すべりの矩形断層モデル(以下,「矩形断層モデル」という。)

## 1. 評価概要

### 1.2 ロジックツリーの作成: 専門家活用水準

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

#### ■ロジックツリーの作成フロー



## 1. 評価概要

### 1.3 分岐の重み配分設定

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

重みの配分設定方法

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

## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

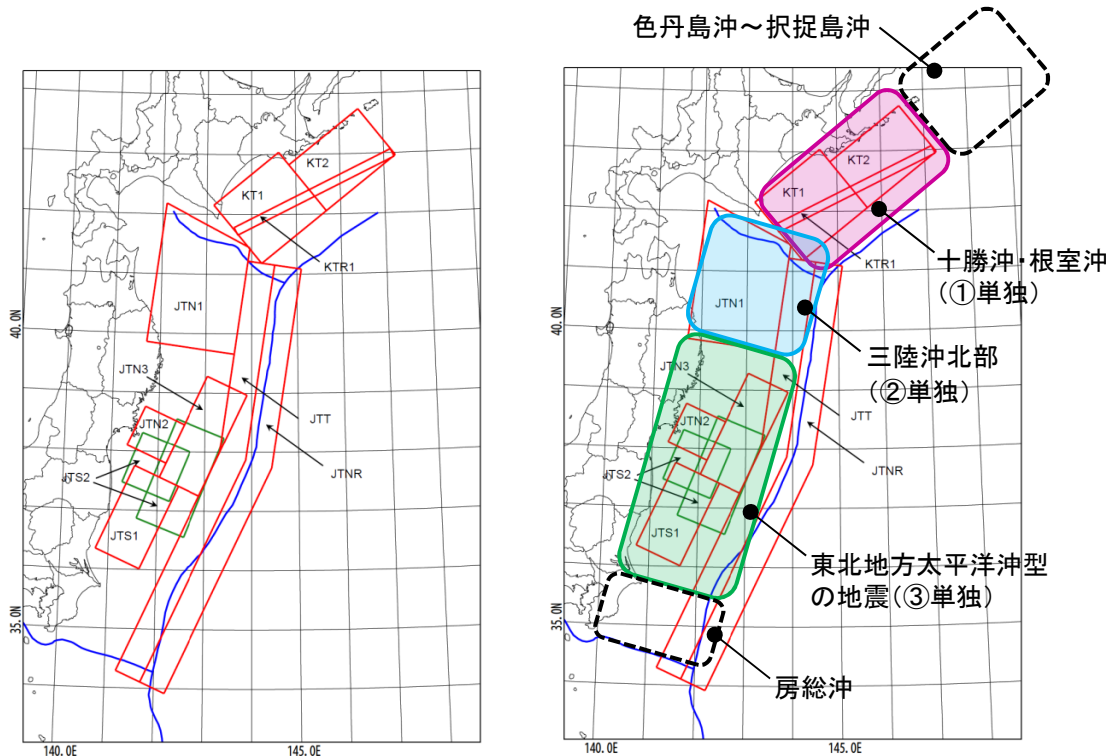
---

2. 1	検討対象領域の設定	8
2. 2	津波地震, 海洋プレート内の正断層型地震	11
2. 3	十勝沖・根室沖の連動地震	17
2. 4	三陸沖北部の連動地震	23
2. 5	十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動地震	25
2. 6	地震の組合せに関するロジックツリー	27

## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

### 2.1 検討対象領域の設定:基本方針

- 3.11地震から得られた知見を踏まえ、日本原子力学会(2012)に示される日本海溝及び千島海溝(南部)沿いの津波発生領域に、プレート間地震と津波地震の連動地震を追加設定した。
- 検討対象領域は、3.11地震の発生に伴い同地震で活動した領域に蓄積していた歪みはほぼ解消し、今後100年以内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)、詳細は次頁に記載)であることを踏まえ、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。
- なお、津波地震については、M9クラスの巨大地震と同様に、3.11地震の応力解放範囲で発電所供用期間中に地震が発生する可能性は小さいと考えられるものの、津波地震単独で活動する際に必要な歪みは、M9クラスの巨大地震と比較して小さいと考えられることから検討の対象とした。



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))

プレート間地震と津波地震の連動地震の津波発生領域区分  
(新規設定)

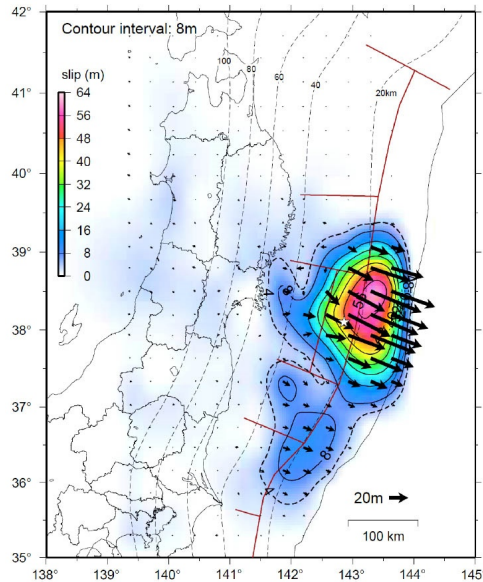
検討対象領域

コード	名称
JTT	津波地震
JTNR	海洋プレート内の正断層型地震
①単独	十勝沖・根室沖の連動地震 (プレート間地震と津波地震の連動地震)
②単独	三陸沖北部の連動地震 (プレート間地震と津波地震の連動地震)
①+②	十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動地震 (プレート間地震と津波地震の連動地震)

## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

### 2.1 検討対象領域の設定: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。



東北地方太平洋沖型地震の震源域  
(地震調査研究推進本部(2012))

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

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

注1 評価時点は全て2012年1月1日現在。

注4 評価の信頼度

■発生確率の評価の信頼度:C

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

## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

### 2.1 検討対象領域の設定: 検討対象領域の設定に関する検討

- 土木学会(2016)を参考に、3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震に伴う津波、津波地震及び遠地津波が年超過確率に与える影響について以下のとおり検討を行い、検討対象領域を設定した。

#### ■土木学会(2016)

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

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

ここで、X: 評価対象となる水位(敷地高や取水可能レベル)、H: 評価地点前面の最大水位上昇(下降)量、 $\kappa$ : 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 $\kappa$ を1.4とすると、 $H \times \kappa^{2.3} = H \times 1.4^{2.3} \approx 2H$  となり、評価対象水位(X)に対し、既往津波高(H)が約1/2以下であれば、年超過確率に与える影響は小さいと考えられる。
- ✓ 各津波の既往津波高(H)は下表のとおりであり、評価対象水位(X)を基準津波に伴う敷地前面における最大水位上昇量21.58mとすると、津波地震を除いて※1、評価対象水位(X)の約1/2以下(21.58m/2=10.8m以下)である。

※1: 津波地震は日本海溝沿いのどこでも発生すると評価することから(詳細はp13に記載)、1896年明治三陸地震津波の波源域に正対する岩手県の既往最大津波高を採用。

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

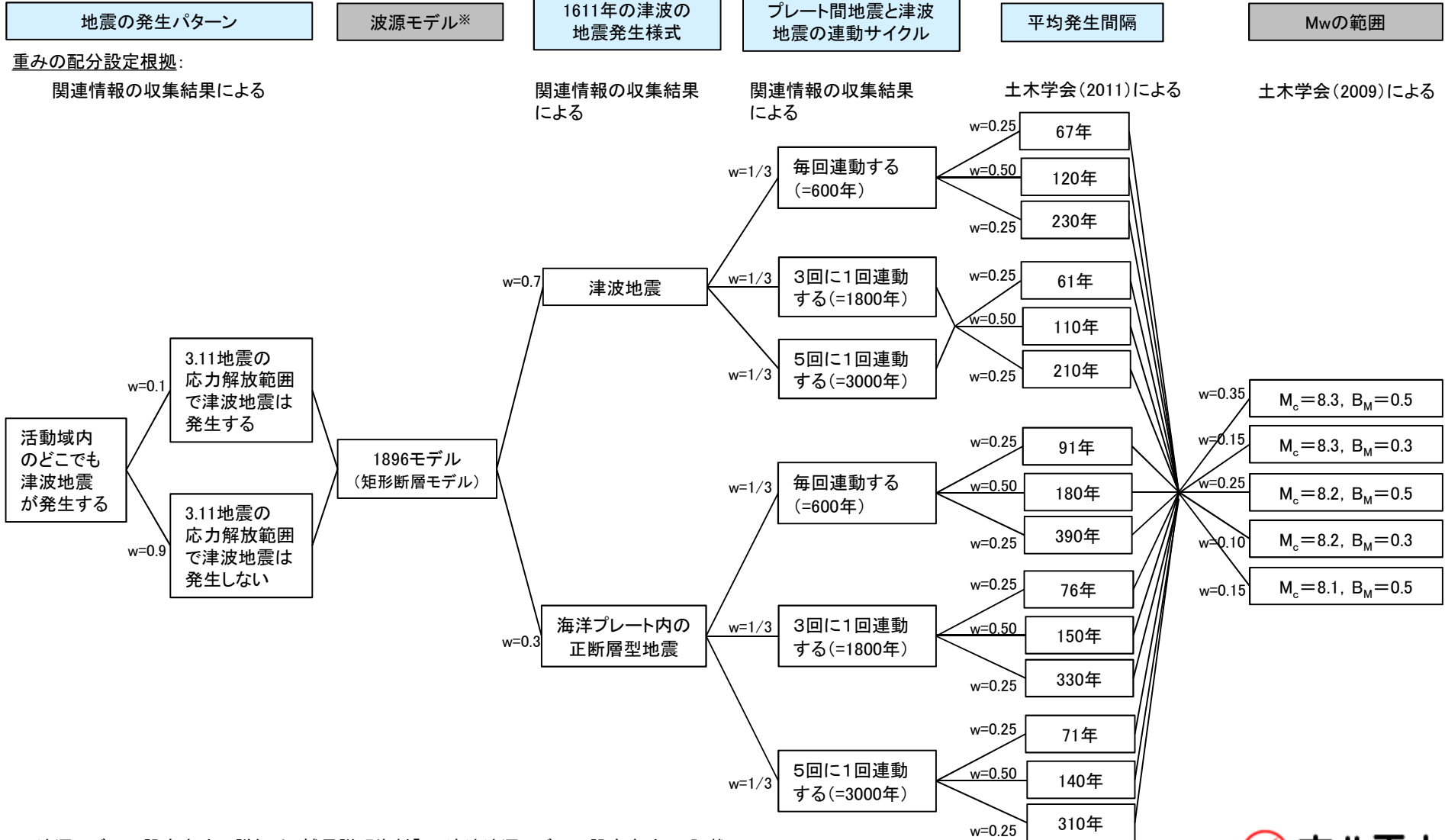
※2: 土木学会(2011)を引用、 ※3: 発電所周辺における既往最大津波高、 ※4: 1896年明治三陸地震津波の波源域に正対する岩手県における既往最大津波高

※5: 東日本太平洋沿岸における既往最大津波高

2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

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

□ : 土木学会(2011)からの変更箇所



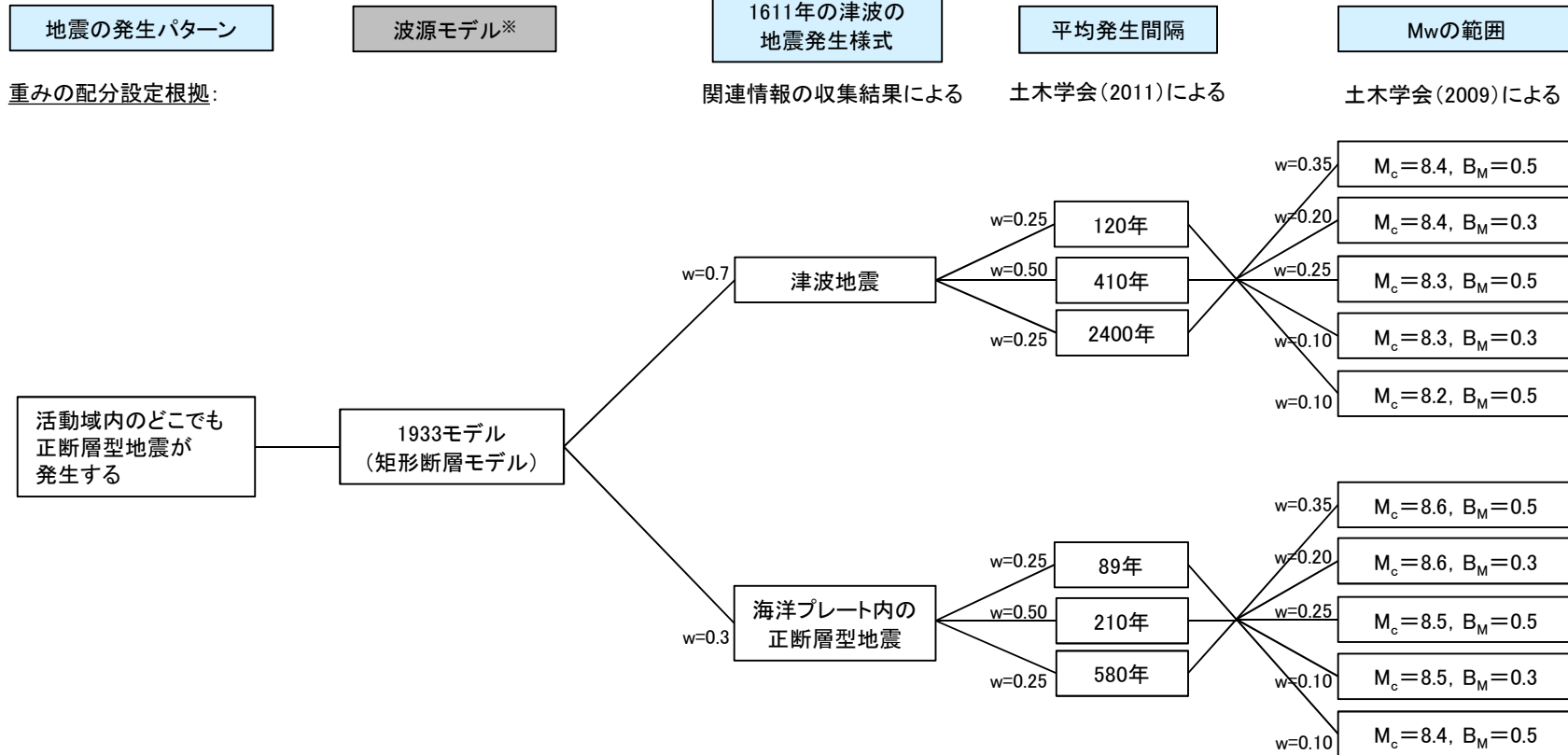
※: 波源モデルの設定方法の詳細は, 補足説明資料「4. 津波波源モデルの設定方法」に記載。



## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

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

□: 土木学会(2011)からの変更箇所

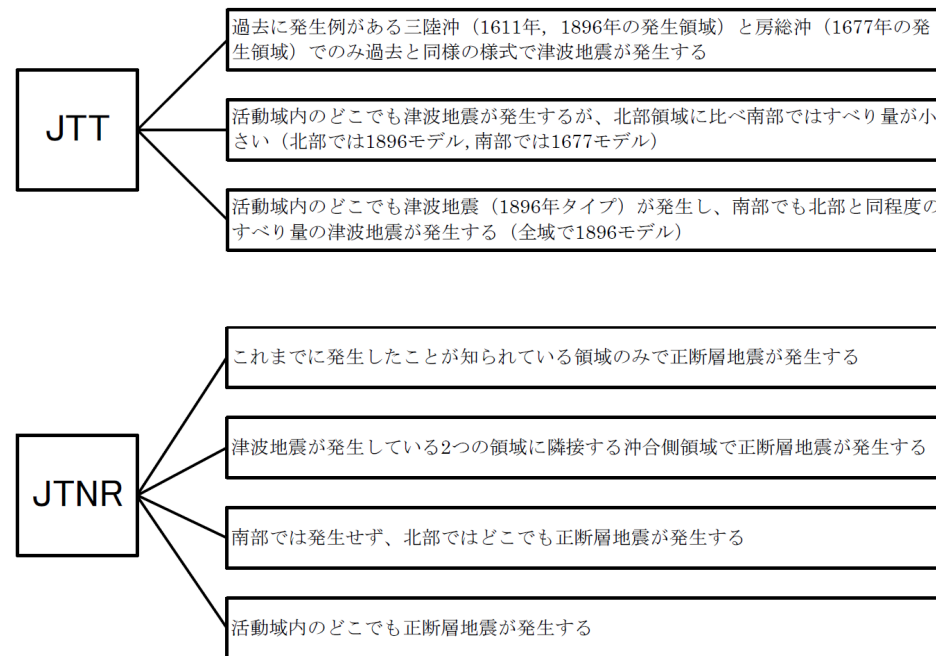


※: 波源モデルの設定方法の詳細は、補足説明資料「4. 津波波源モデルの設定方法」に記載。

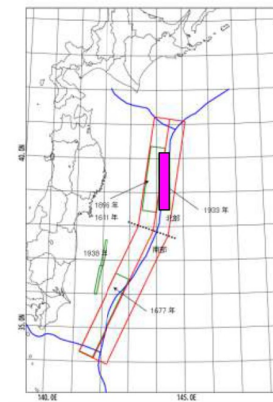
## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

### 2.2 津波地震, 海洋プレート内の正断層型地震: 地震の発生パターン

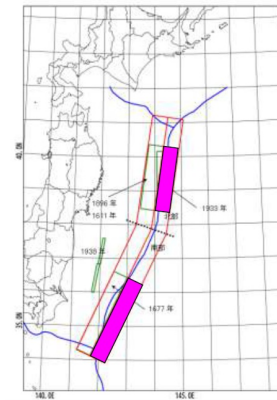
- 土木学会(2011)では, 地震の発生パターンに分岐を設定しているが, 地震調査研究推進本部(2012)の評価, 3.11地震で得られた知見を踏まえ, 日本海溝沿いのどこでも地震が発生する分岐のみとした。
- なお, 津波地震については, M9クラスの巨大地震と同様に, 3.11地震の応力解放範囲で発電所供用期間中に地震が発生する可能性は小さいと考えられるものの, 津波地震単独で活動する際に必要な歪みは, M9クラスの巨大地震と比較して小さいことを踏まえ, 応力解放範囲で津波地震が発生する場合の分岐を設定した。重み配分については, 重みの配分設定方法(p6)に基づき設定した。



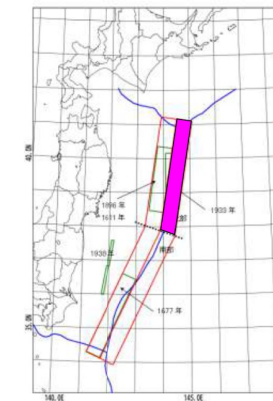
地震の発生パターンに関する分岐  
(JTT: 津波地震, JTNR: 海洋プレート内の正断層型地震)  
(土木学会(2011))



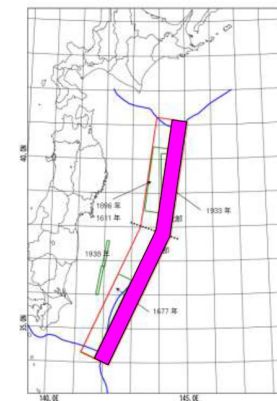
①これまでに発生したことが知られている領域のみで発生する



②津波地震が発生している2つの領域に隣接する沖合側領域で発生する



③南部では発生せず, 北部ではどこでも発生する



④活動域内のどこでも発生する

海洋プレート内の正断層型地震の発生位置  
(土木学会(2009))

## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

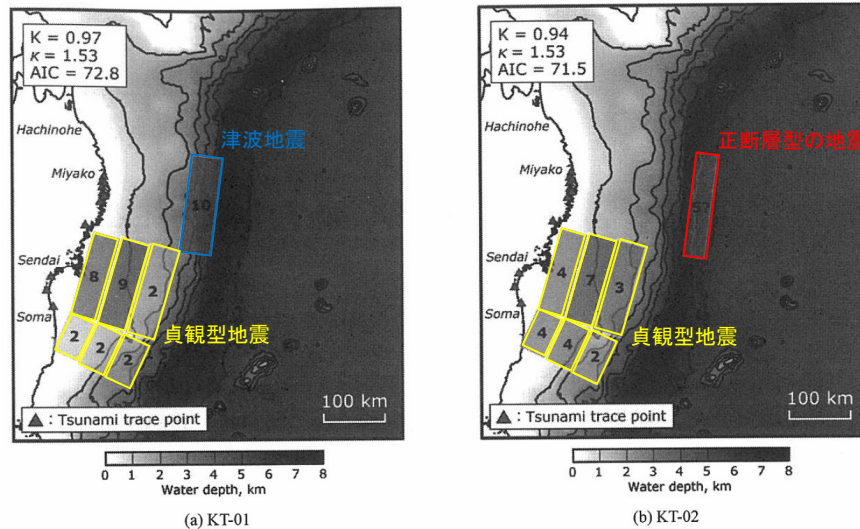
### 2.2 津波地震, 海洋プレート内地震の正断層型地震: 1611年の津波の地震発生様式

- 土木学会(2011), 地震調査研究推進本部(2012)等では1611年の津波を津波地震と評価しているが, 土木学会(2002)では海洋プレート内の正断層型地震であった場合, その地震規模をMw8.6と評価している。
- 今井ほか(2012)は, 1611年の津波痕跡に基づく数値シミュレーション, 並びに史料記述の再解釈から, 1611年の津波が海洋プレート内の正断層型地震であった可能性を指摘している。
- 以上を踏まえ, 1611年の津波の地震発生様式に関する分岐(=津波地震/海洋プレート内の正断層型地震)を追加設定した。
- 上記分岐のうち海洋プレート内地震の $M_c$ (中央マグニチュード)は, 土木学会(2002)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型地震の重みを0.3とした。

#### 【今井ほか(2012)】

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

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



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

#### 【1611年の津波の発生様式に係る知見の収集結果】

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

## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

### 2.2 津波地震, 海洋プレート内の正断層型地震: 平均発生間隔

#### ■基本方針

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

津波発生領域	1611年の津波は津波地震			1611年の津波は正断層型地震		
	既往地震	中央マグニチュード (Mc)	発生間隔等	既往地震	中央マグニチュード (Mc)	発生間隔等
津波地震 (JTT)	1611年 1677年 1896年	8.3 (1896年)	1600年以降 約400年間におい て発生は4回 (3.11地震を含む)。	1677年 1896年	8.3 (1896年)	1600年以降 約400年間におい て発生は3回 (3.11地震を含む)。
海洋プレート内の 正断層型地震 (JTNR)	1933年	8.4 (1933年)	1600年以降 約400年間におい て発生は1回。	1611年 1933年	8.6 (1611年)	1600年以降 約400年間におい て発生は2回。

## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

### 2.2 津波地震, 海洋プレート内の正断層型地震: 平均発生間隔

#### ■津波地震の平均発生間隔の設定

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

#### 【東北地方太平洋沖型の地震の平均発生間隔の設定】

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

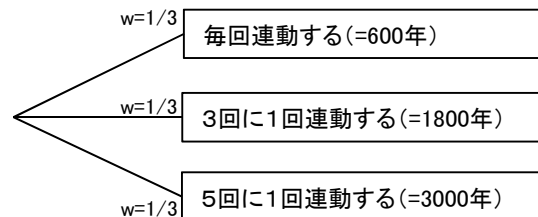
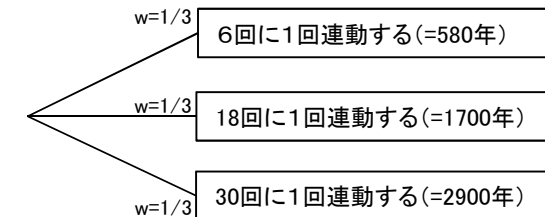
地震調査研究推進本部(2012)による東北地方太平洋沖型の地震の評価

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

※: 注1~注5の解説については省略

#### 【三陸沖北部の連動地震の平均発生間隔の設定】

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

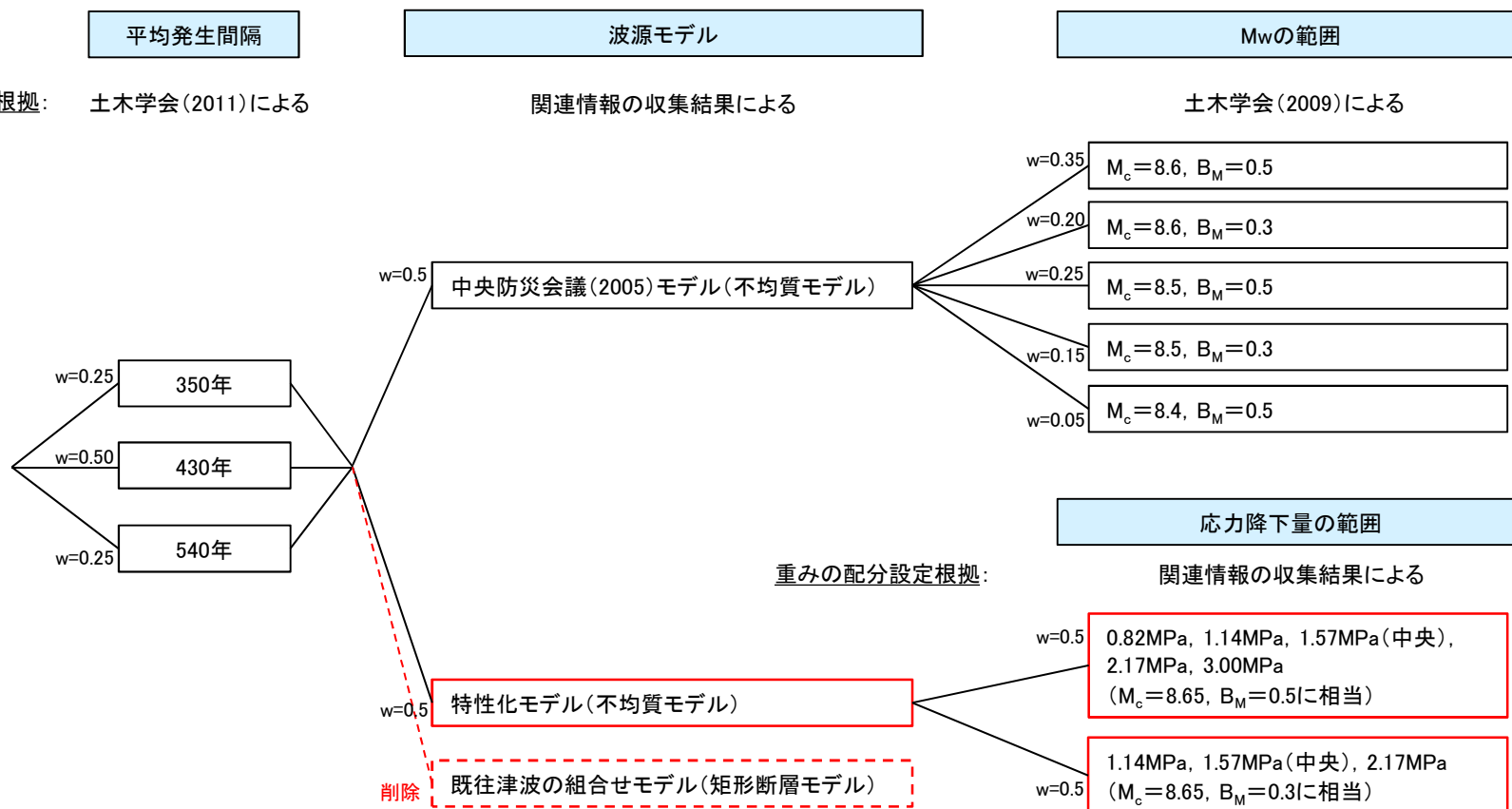


## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

## 2.3 十勝沖・根室沖の連動地震:ロジックツリー

□ : 土木学会(2011)からの変更箇所(新規設定)

□ : 申請時からの変更箇所



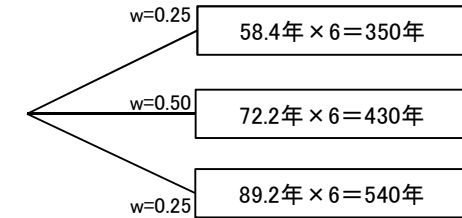


## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

### 2.3 十勝沖・根室沖の連動地震:平均発生間隔, 波源モデル

#### ■平均発生間隔

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



#### ■波源モデル

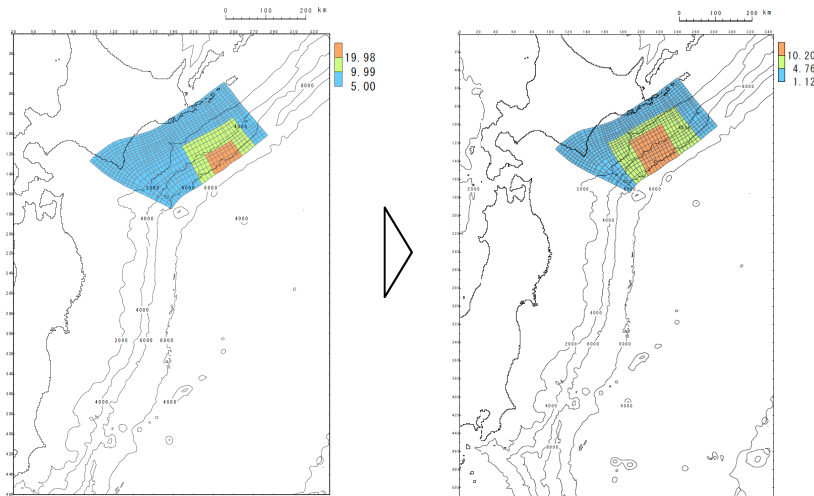
##### 【中央防災会議(2005)モデル】

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

##### 【特性化モデル(申請時から変更(審査実績の反映))】

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

※:各特性化モデルの設定方法の詳細は, 補足説明資料「4. 津波波源モデルの設定方法」に記載。



特性化モデル  
(申請時, Mw(Mc)=8.85)

特性化モデル  
(今回設定, Mw(Mc)=8.65)

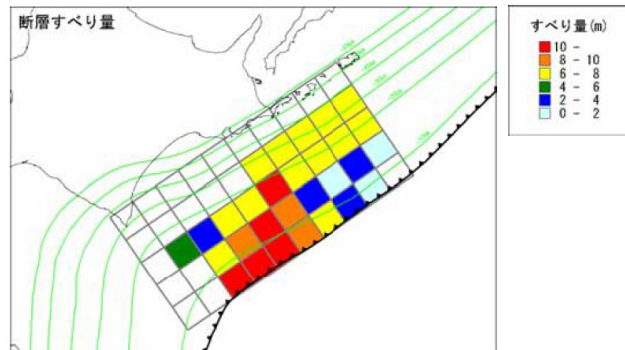
#### 主な断層諸元

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

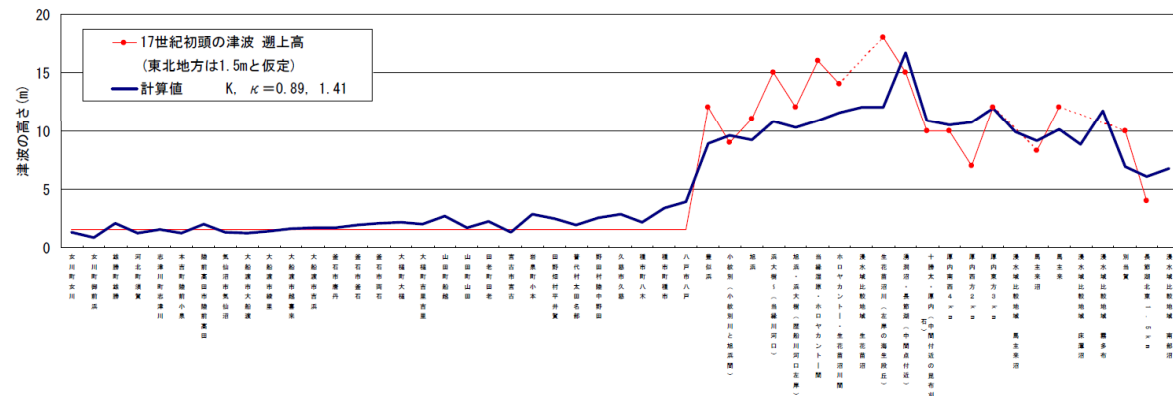
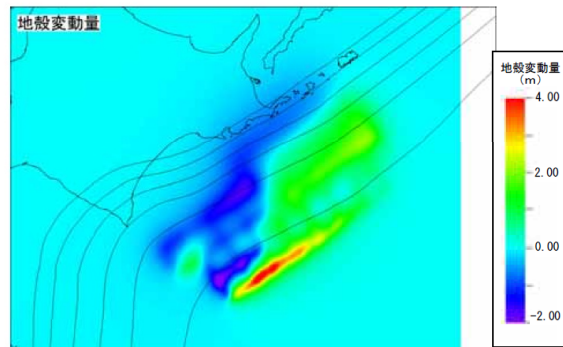
## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

### 2.3 十勝沖・根室沖の連動地震: 中央防災会議(2005)モデル

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



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



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

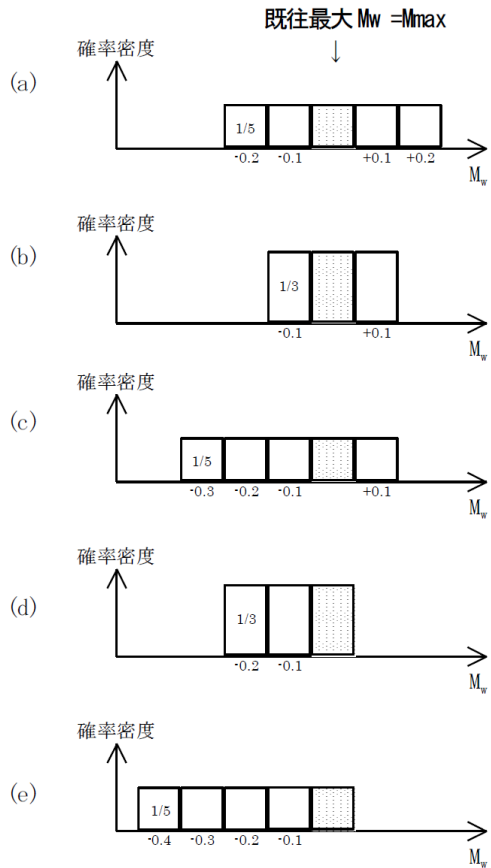


2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

2.3 十勝沖・根室沖の連動地震:Mwの範囲①

■中央防災会議(2005)モデル

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



Mwの範囲の分岐  
(土木学会(2009))

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

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

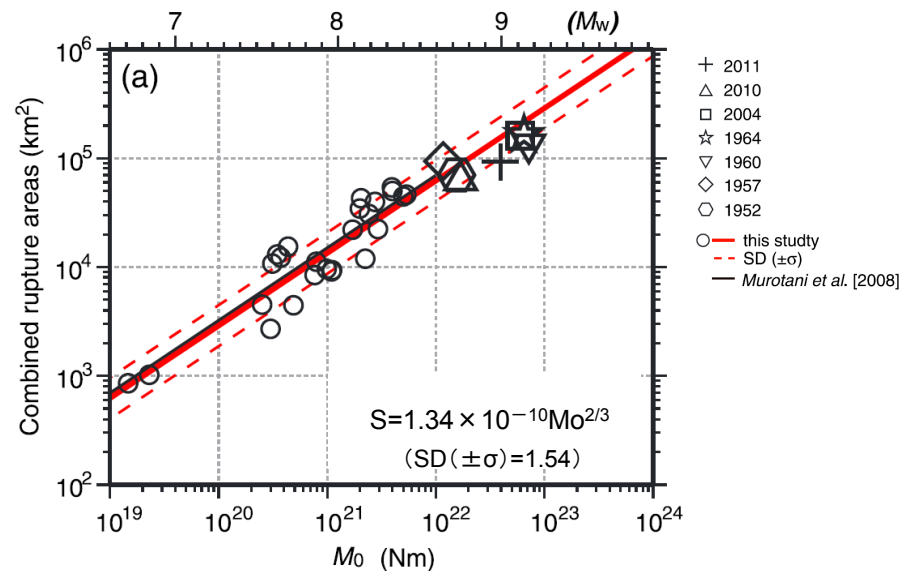
[ ]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

### 2.3 十勝沖・根室沖の連動地震: $M_w$ の範囲②

#### ■ 特性化モデル(申請時から変更(最新知見の反映))

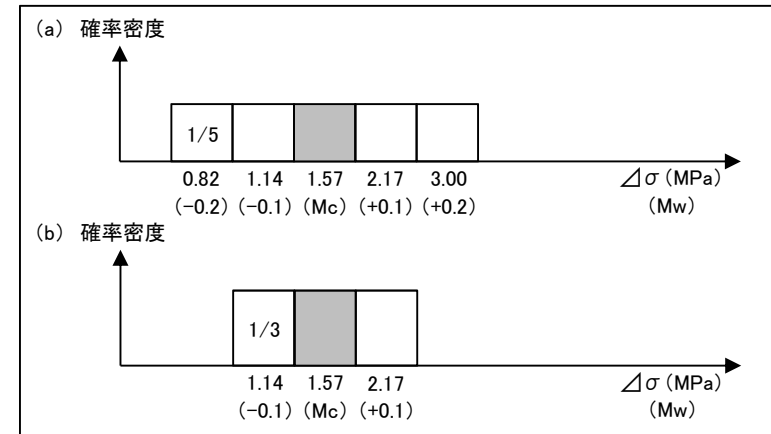
- 土木学会(2016)は, Murotani et al.(2013)のスケーリング則による応力降下量の平均値1.57MPaに, ばらつきとして $\pm 1\sigma$ を考慮した場合の応力降下量の範囲は0.82~3.00MPa,  $\pm 0.5\sigma$ を考慮した場合は1.14~2.17MPaであり,  $M_w$ の範囲としてそれぞれ $M_w \pm 0.2$ ,  $M_w \pm 0.1$ となるが, これは土木学会(2011)で採用している $M_w$ の範囲にほぼ相当するため, ロジックツリーの分岐として考えることができるとしている。また, Murotani et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



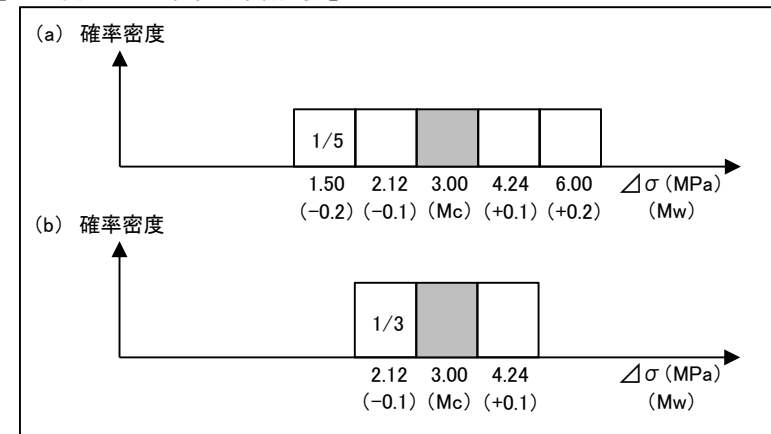
平均応力降下量  $\Delta\sigma = 1.57\text{MPa}$   
 $S+1\sigma$ 時の平均応力降下量  $\Delta\sigma = 0.82\text{MPa}$   
 $S-1\sigma$ 時の平均応力降下量  $\Delta\sigma = 3.00\text{MPa}$   
 $S+0.5\sigma$ 時の平均応力降下量  $\Delta\sigma = 1.14\text{MPa}$   
 $S-0.5\sigma$ 時の平均応力降下量  $\Delta\sigma = 2.17\text{MPa}$

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

#### 【応力降下量の範囲(今回変更)】



#### 【応力降下量の範囲(申請時)】



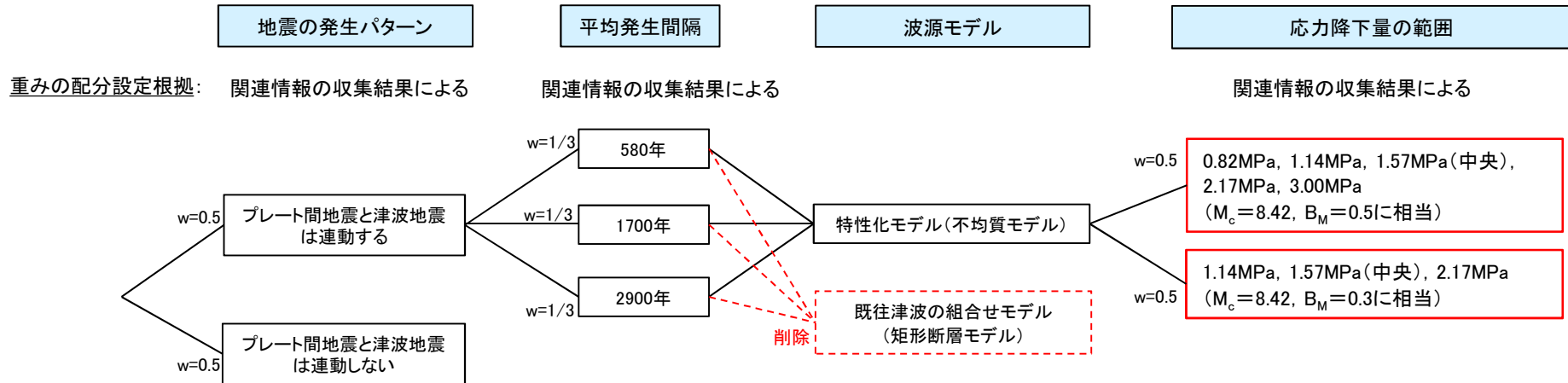
余白

## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

### 2.4 三陸沖北部の連動地震:ロジックツリー

: 土木学会(2011)からの変更箇所(新規設定)

: 申請時からの変更箇所



## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

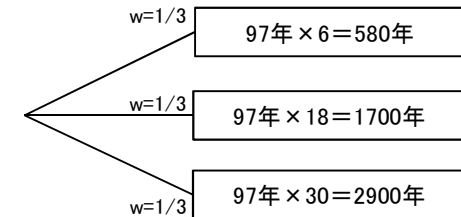
### 2.4 三陸沖北部の連動地震:地震の発生パターン, 平均発生間隔, 波源モデル, 応力降下量の範囲

#### ■地震の発生パターン

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

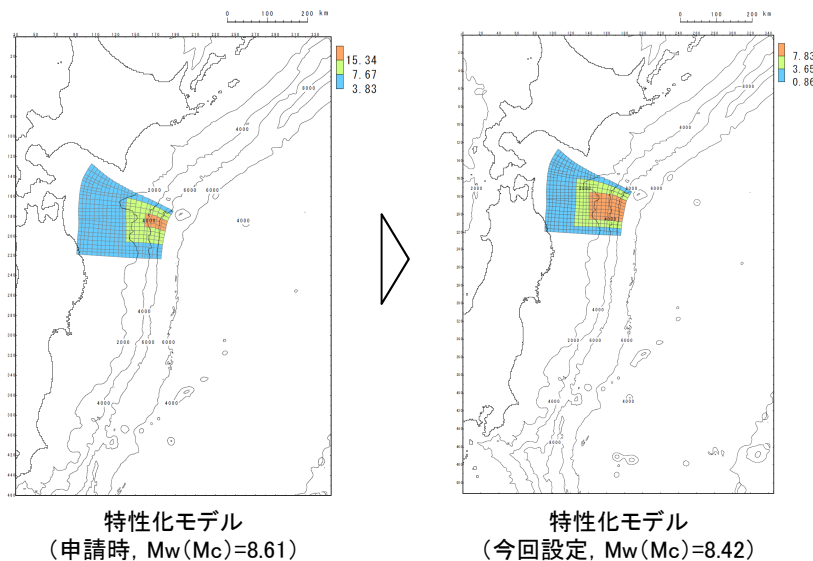
#### ■平均発生間隔

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



#### ■波源モデル(申請時から変更(審査実績の反映))

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



主な断層諸元

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

#### ■応力降下量の範囲(申請時から変更(最新知見の反映))

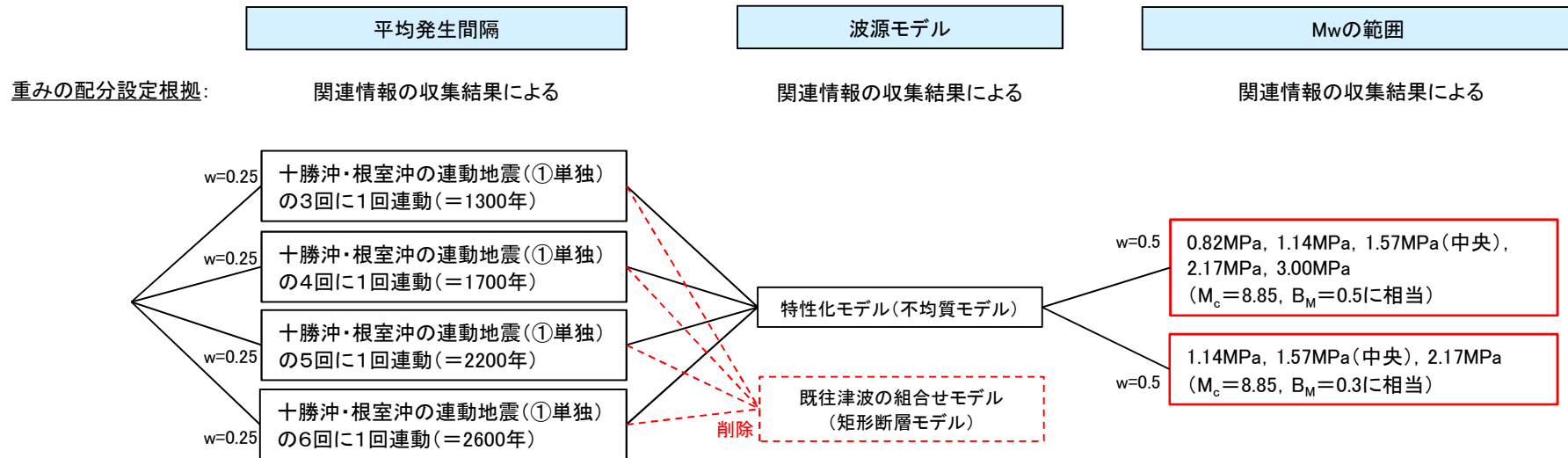
- 十勝沖・根室沖の連動地震と同様の考え方で分岐・重みを設定した。

## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

### 2.5 十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動地震:ロジックツリー

: 土木学会(2011)からの変更箇所(新規設定)

: 申請時からの変更箇所

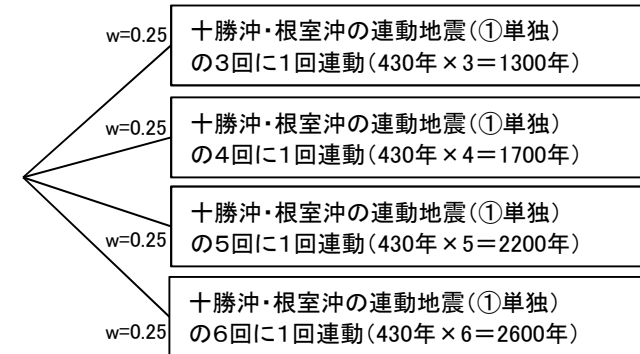


## 2. 津波発生モデルのロジックツリー(認識論的不確実さの考慮)

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

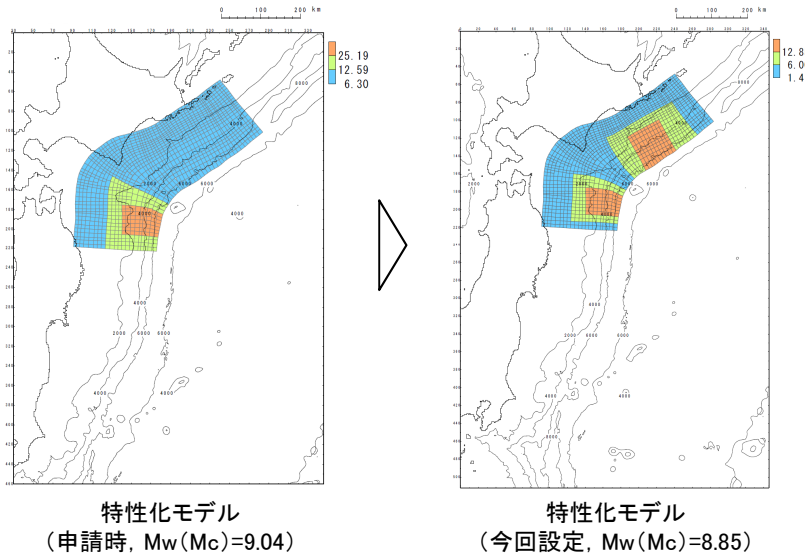
#### ■平均発生間隔

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



#### ■波源モデル(申請時から変更(審査実績の反映))

- 十勝沖・根室沖の連動地震と同様に、杉野ほか(2014)の方法を用いて設定した。



主な断層諸元

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

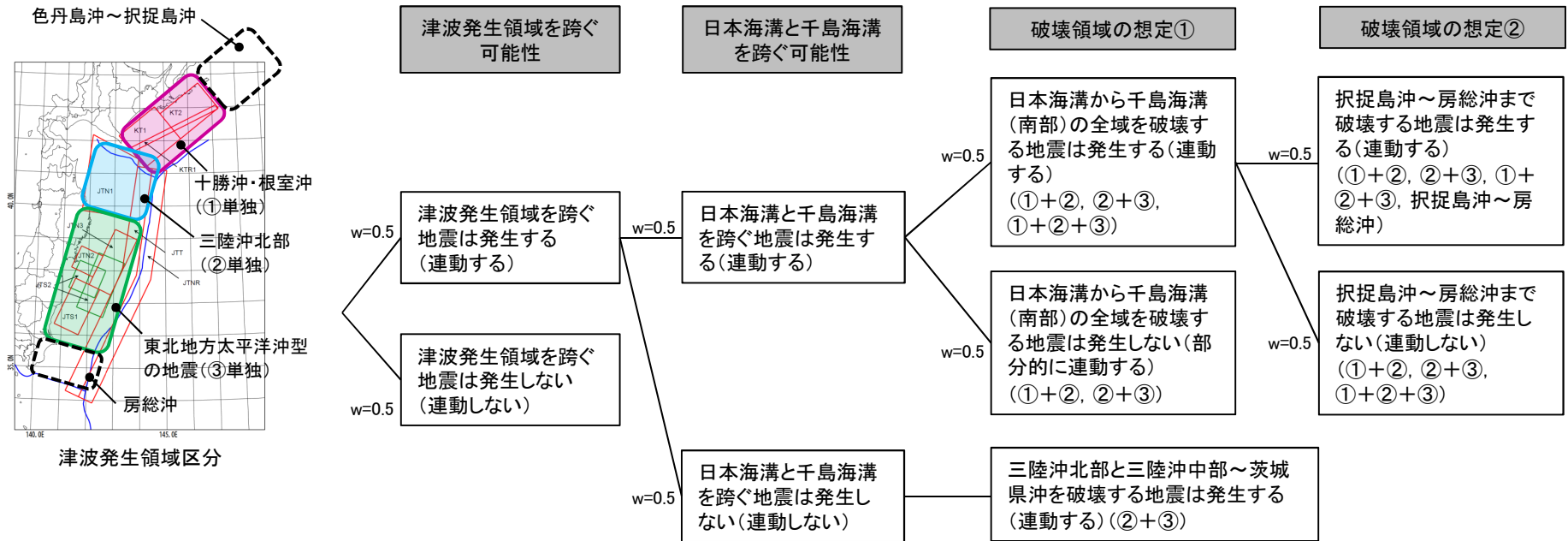
#### ■応力降下量の範囲(申請時から変更(最新知見の反映))

- 十勝沖・根室沖の連動地震と同様の考え方で分岐・重みを設定した。

2.6 地震の組合せに関するロジックツリー

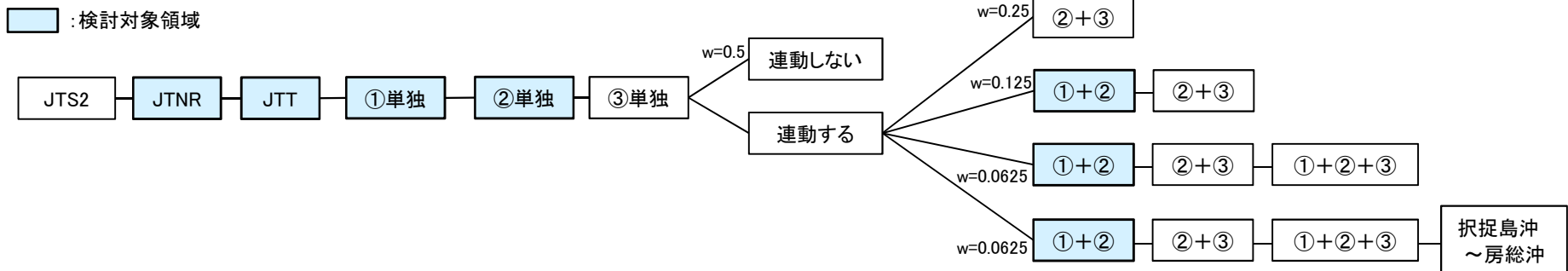
津波発生領域の連動パターン

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



地震の組合せに関するロジックツリー

- 上記に基づき設定したロジックツリーを以下に示す。





余白

### 3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

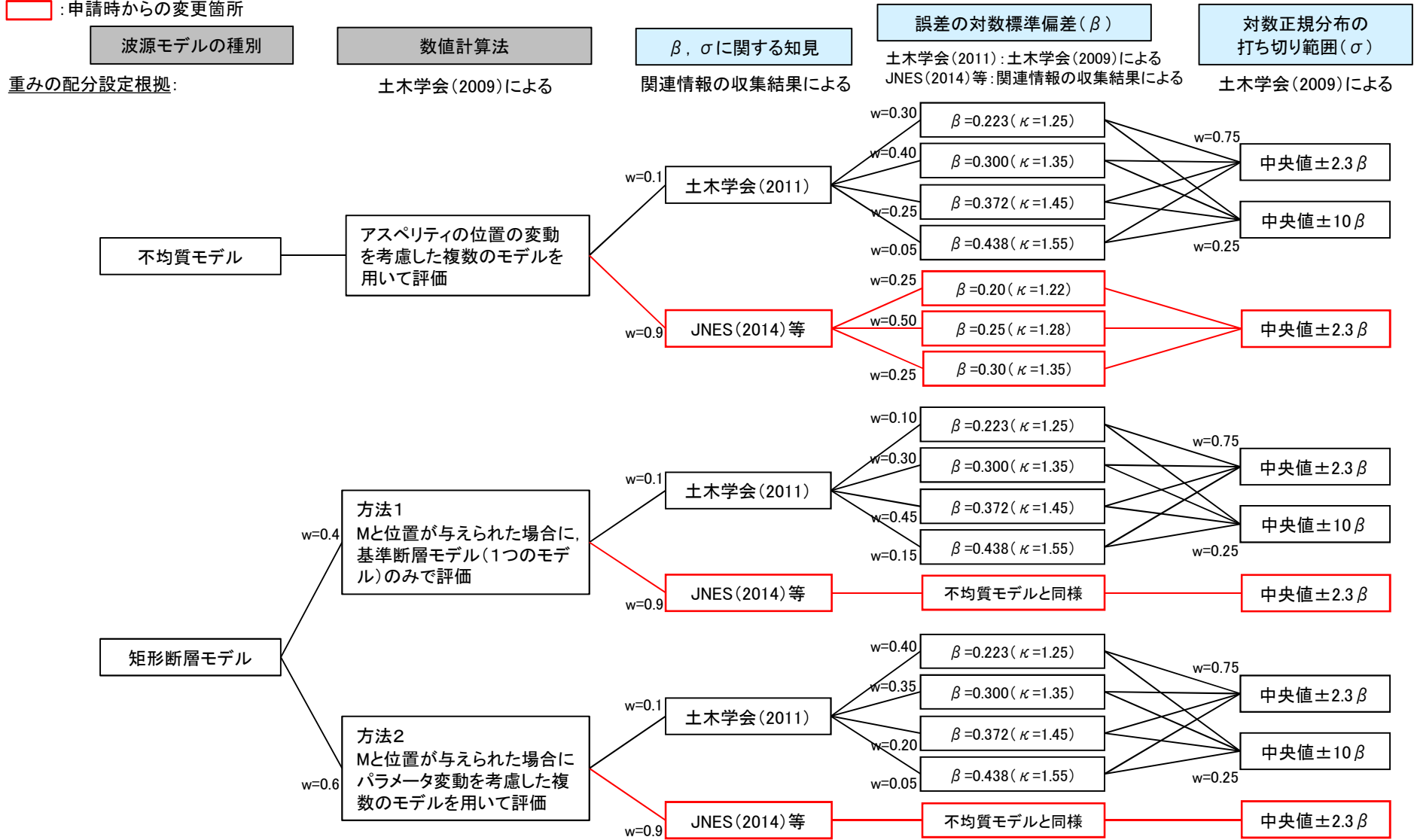
---

3. 1	津波高さ推定に関するロジックツリー	.....	30
3. 2	誤差の対数標準偏差に関する3.11地震から得られた知見	.....	31
3. 3	誤差の対数標準偏差及び対数正規分布の打ち切り範囲に関するロジックツリーの設定	..	34

3.1 津波高さ推定に関するロジックツリー

- 偶然的不確実さ要因は、日本原子力学会(2012)、土木学会(2011)及び土木学会(2016)\*を踏まえて、津波高さ推定に関するロジックツリーとして設定した。  
 ※:土木学会(2016)のロジックツリーの詳細は、補足説明資料「5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討」に記載。

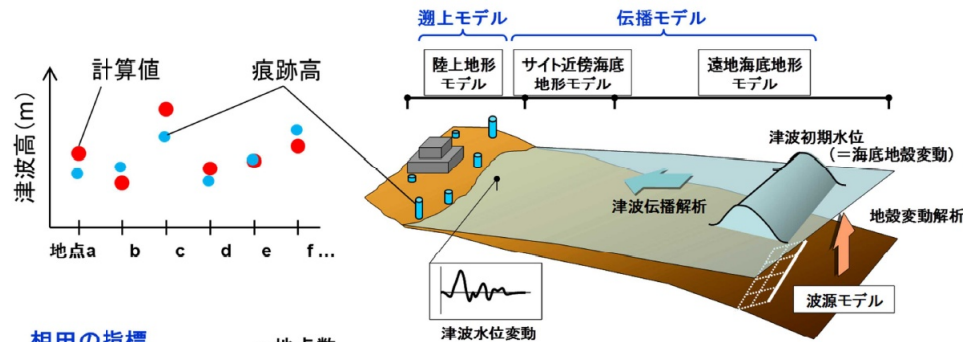
  : 土木学会(2011)からの変更箇所  
  : 申請時からの変更箇所



### 3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

#### 3.2 誤差の対数標準偏差( $\beta$ )に関する3.11地震から得られた知見

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

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

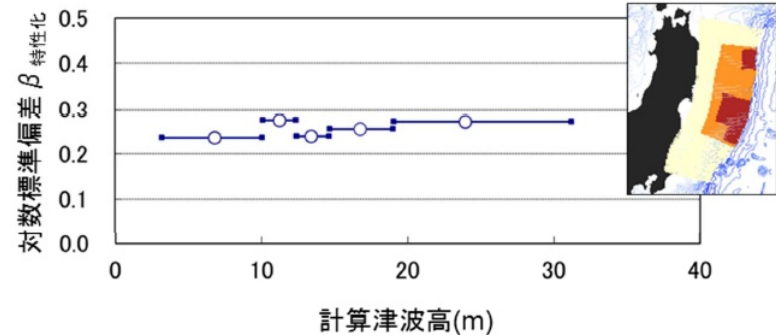
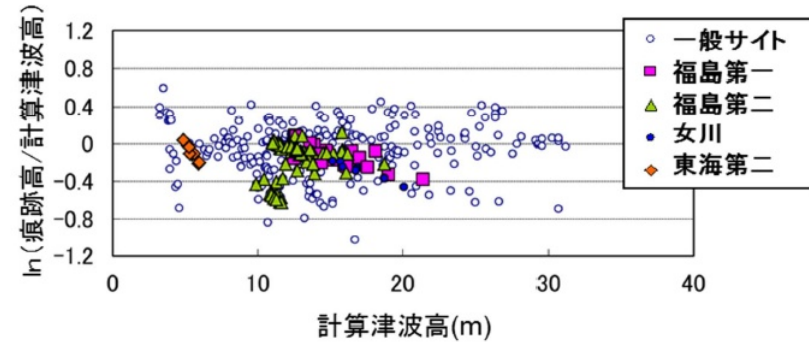
$$\ln \kappa = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln K_i)^2 - n(\ln K)^2 \right]^{1/2} = \beta$$

津波高のばらつき $\beta$ の内訳

津波高(中央値) =  $f$ (遡上モデル × 伝播モデル × 波源モデル)

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

津波伝播モデルの構成と津波高のばらつき要因  
(杉野ほか(2014))



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

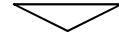
### 3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

#### 3.2 誤差の対数標準偏差( $\beta$ )に関する3.11地震から得られた知見

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

##### ■要因

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



これらの各種モデル化や痕跡情報の精度向上が、ばらつきの低減に寄与した。

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

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

各種モデル化精度の向上

### 3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

#### 3.2 誤差の対数標準偏差( $\beta$ )に関する3.11地震から得られた知見

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

##### 不確かさ要因の設定方法(JNES(2014)に一部加筆)

###### (1) ばらつき $\beta$ 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 $\beta$ で定義する。
- 津波伝播モデルのばらつき $\beta$ 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 $\beta$ と打ち切り範囲を設定する。

##### (解説)

###### (1) ばらつき $\beta$ 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 $\beta$ は0.20~0.30の範囲で設定する。

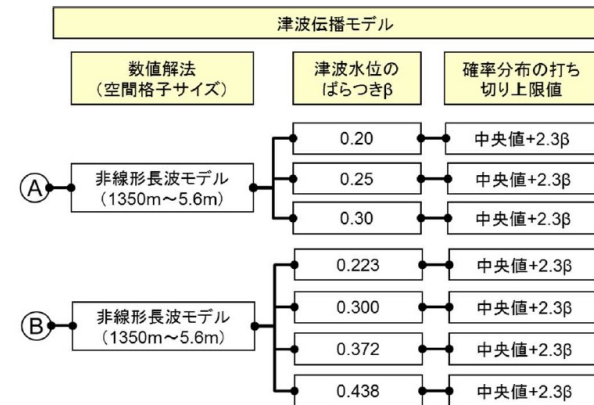
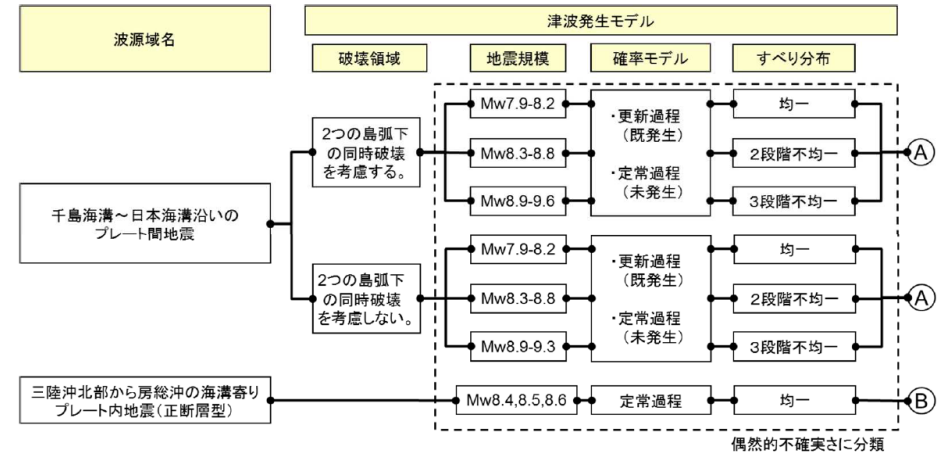
###### (2) 津波伝播モデルにおける対数正規分布の打ち切りの設定

「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%	$\pm 2.3\sigma$



千島海溝から日本海溝沿いにおけるロジックツリーの概要※  
(杉野ほか(2015))

※: 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、3.11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。

### 3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確実さの考慮)

#### 3.3 誤差の対数標準偏差及び対数正規分布の打ち切り範囲に関するロジックツリーの設定

- 津波ハザード評価の解析条件等は、下表のとおり、JNES(2014)、杉野ほか(2015)に示される設定方法を反映する条件を満足すると考えられることから、同知見を評価に反映した。なお、杉野ほか(2014)の検討は、Mw8.9以上の巨大地震に分類される3.11地震の1ケースのみであり、これ以外の地震規模についても同様の検証が必要と考えられることから、土木学会(2011)の設定方法も分岐として考慮した<sup>※1</sup>。
- 重み配分については、重み配分設定方法(p6)に基づき、土木学会(2011)の重みを0.1、JNES(2014)等の重みを0.9とした。また、JNES(2014)等の誤差の対数標準偏差( $\beta$ )の重み配分については、土木学会(2011)の正規分布に対する分岐設定方法を用いた<sup>※1</sup>。

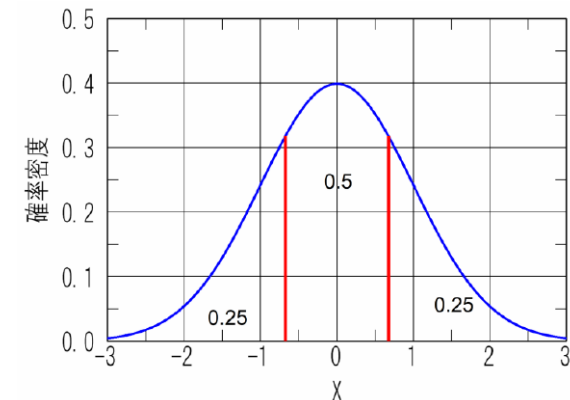
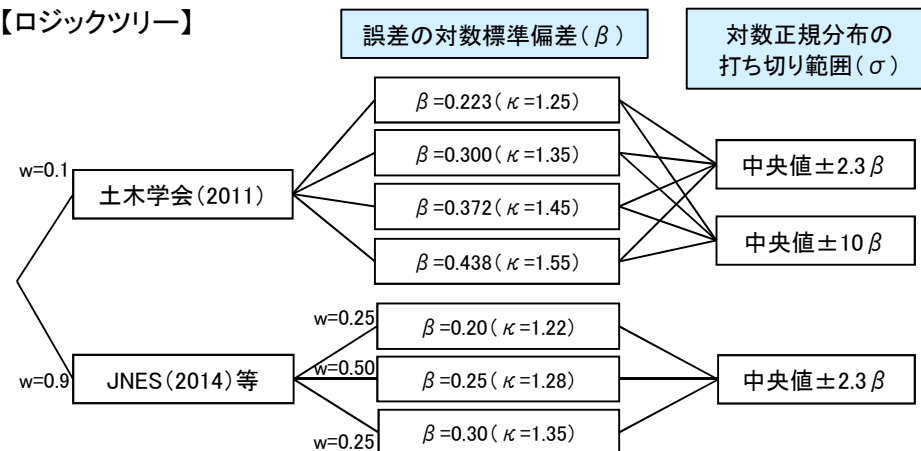
※1: 専門家意見聴取結果を踏まえてロジックツリー、重み配分を設定した。意見聴取結果の詳細は、補足説明資料「5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討」に記載。

##### 【津波ハザード評価の解析条件等】

項目		設定内容
最小空間格子間隔		<ul style="list-style-type: none"> <li>5m(2500/486)。</li> <li>発電所周辺及び津波の周期特性に関する検討から、計算水位に複雑な地形の影響が適切に考慮されていることを確認。</li> </ul>
計算条件		各津波の再現解析により妥当性を確認。
津波波源モデル	特性化モデル	広域の津波特性を考慮できる杉野ほか(2014)を踏まえて設定。
	矩形断層モデル <sup>※2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既往津波の組合せモデル(矩形断層モデル)を用いた発電所地点及び発電所敷地周辺における3.11地震に伴う津波の再現解析から、津波高さのばらつきは不均質モデルと同等であることを確認<sup>※2</sup>。</li> <li>津波地震、海洋プレート内の正断層型地震は、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、既往津波の再現解析による痕跡高と計算津波高のばらつき(<math>\kappa</math>)は同等であることを確認<sup>※3</sup>。</li> </ul>

※2, 3: 各検討の詳細は、補足説明資料「5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討」に記載。

##### 【ロジックツリー】



正規分布に対する分岐設定方法  
(土木学会(2011))



## 4. 評価結果

---

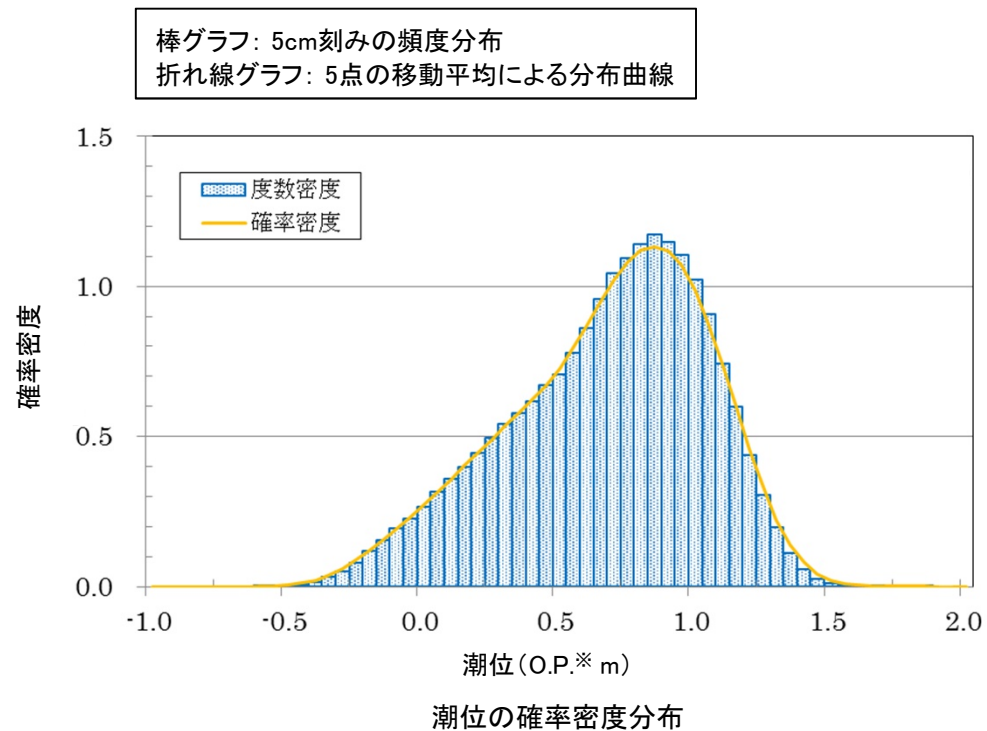
4. 1 津波ハザード曲線の評価概要	.....	36
4. 2 年超過確率の参照	.....	37
(参考)申請時と今回評価の比較	.....	39



## 4. 評価結果

### 4.1 津波ハザード曲線の評価概要

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



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

## 4. 評価結果

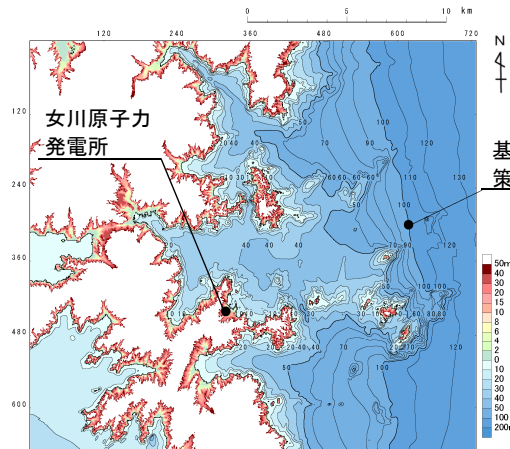
### 4.2 年超過確率の参照

- 基準津波の年超過確率は、水位上昇側で $10^{-5}$ 程度、水位下降側で $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度である※1, 2, 3。

※1: 基準津波の詳細は、補足説明資料「2. 基準津波の策定」に記載。

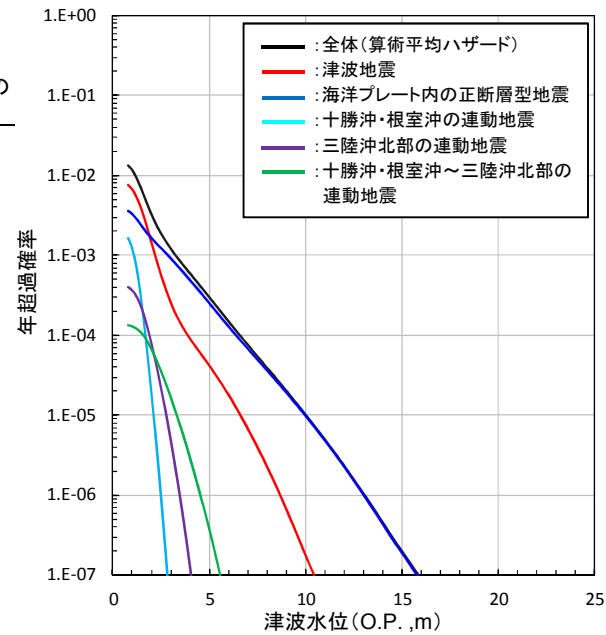
※2: 津波ハザード曲線に海洋プレート内の正断層型地震が支配的となる要因の詳細は、補足説明資料「6. 海洋プレート内地震が津波ハザード曲線に与える影響」に記載。

※3: 敷地前面(水位上昇側), 2号取水口前面(水位下降側)における津波ハザード評価結果は、補足説明資料「7. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果」に記載。



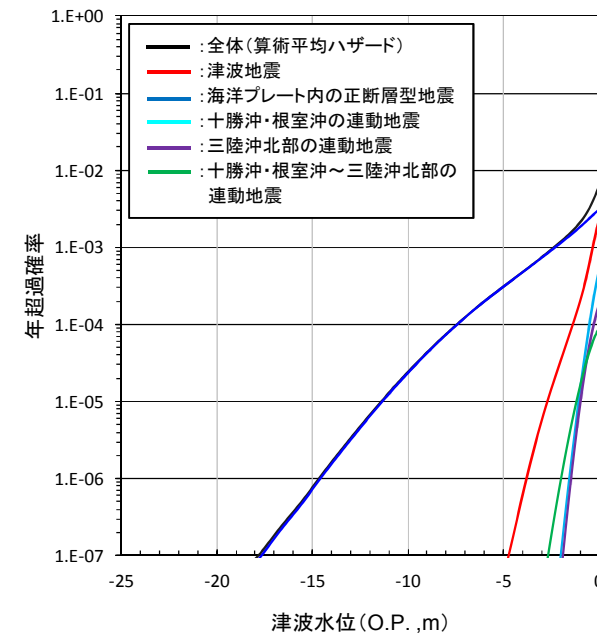
基準津波の策定位置

#### ■ 水位上昇側



	津波水位	年超過確率
基準津波 (水位上昇側)	O.P.+10.1m	$9.55 \times 10^{-6}$
基準津波 (水位下降側)	O.P.+8.1m	$3.71 \times 10^{-5}$

#### ■ 水位下降側



	津波水位	年超過確率
基準津波 (水位上昇側)	O.P.-3.8m	$5.21 \times 10^{-4}$
基準津波 (水位下降側)	O.P.-3.5m	$5.94 \times 10^{-4}$

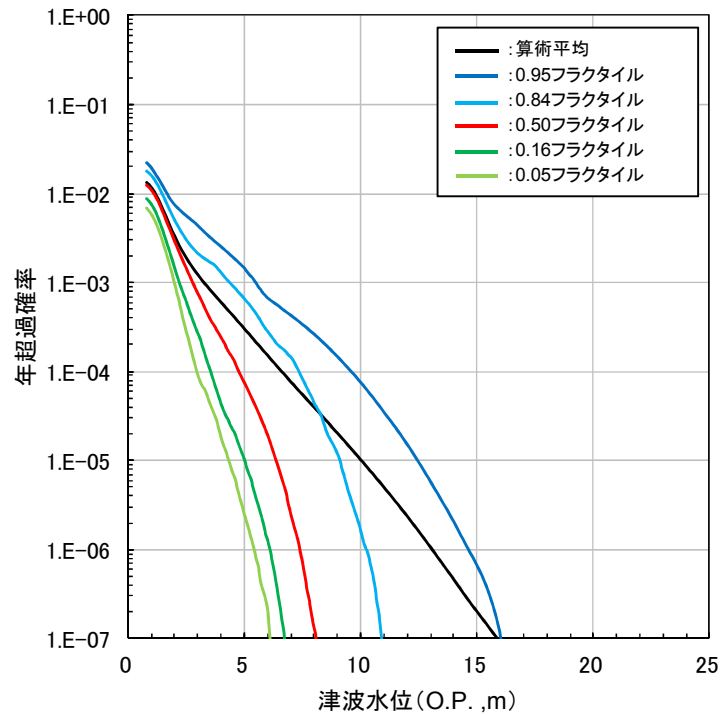
#### 4. 評価結果

### 4.2 年超過確率の参照:フラクタイルハザード曲線

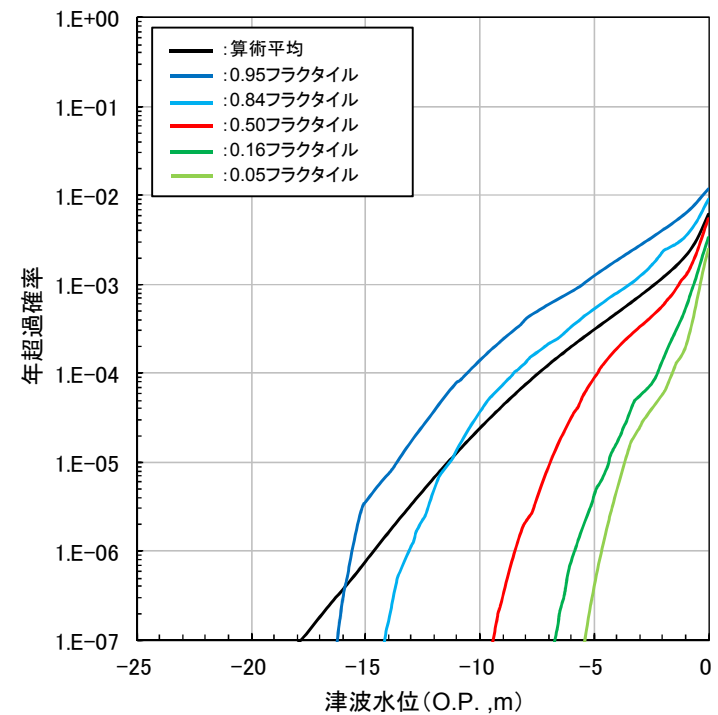
- ・ 水位上昇側, 水位下降側のフラクタイルハザード曲線を以下に示す※。

※: 敷地前面(水位上昇側), 2号取水口前面(水位下降側)における津波ハザード評価結果は, 補足説明資料「7. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果」に記載。

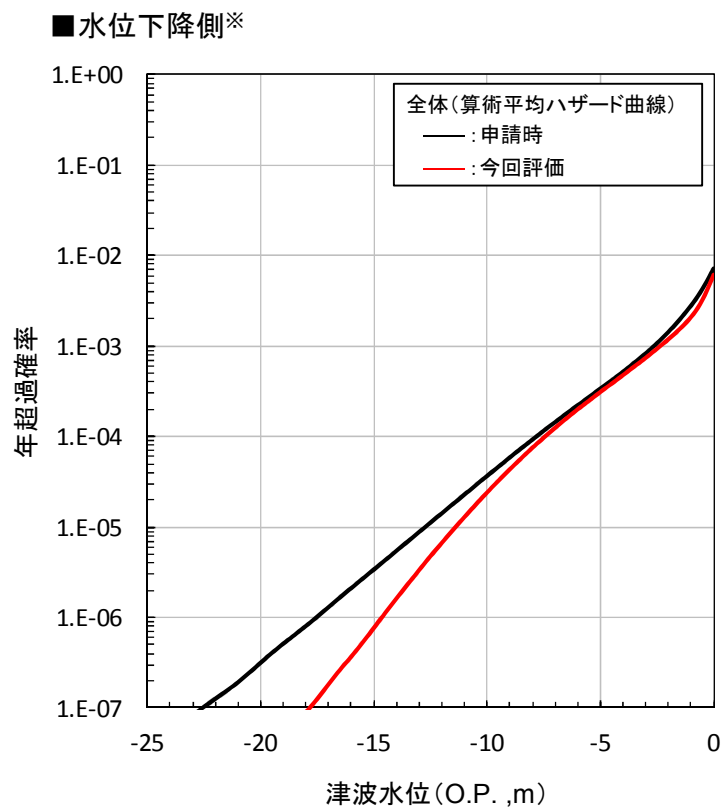
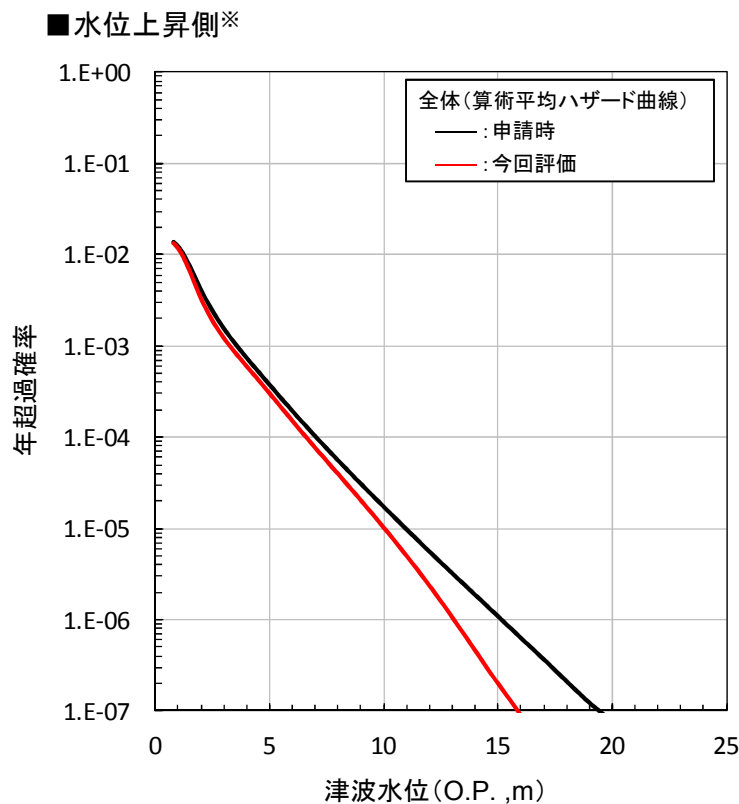
■ 水位上昇側



■ 水位下降側



### (参考) 申請時と今回評価の比較



※: 敷地前面(水位上昇側), 2号取水口前面(水位下降側)における津波ハザード評価結果の比較は, 補足説明資料「7. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果」に記載。

余白

## 参考文献

---

## 参考文献

1. 一般社団法人日本原子力学会(2012):日本原子力学会標準 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2011
2. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2011):確率論的津波ハザード解析の方法
3. 公益社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会(2016):原子力発電所の津波評価技術2016
4. 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
5. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2009):確率論的津波ハザード解析の方法(案)
6. 渡辺偉夫(1998):日本被害津波総覧[第2版],東京大学出版会
7. 今村明恒(1899):三陸津浪取調報告,震災予防調査会報告,vol.29,pp.17-32
8. 羽鳥徳太郎(2000):三陸沖歴史津波の規模の再検討,津波工学研究報告17,pp.39-48
9. 中央気象台(1933):昭和八年三月三日三陸沖強震及津波報告,験震時報,Vol.7, No.2別刷
- 10.伊木常誠(1897):三陸地方津浪実況取調報告,震災予防調査会報告,第11号,pp.5-34
- 11.松尾春雄(1933):三陸津浪調査報告,内務省土木試験所報告,第24号,pp.83-112
- 12.チリ津波合同調査班(1961):1960年5月24日チリ地震津波に関する論文及び報告,丸善
- 13.Kenji Satake, Kelin Wang, Brian F. Atwater(2003):Fault slip and seismic moment of the 1700 Cascadia earthquake inferred from Japanese tsunami descriptions, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.108, NO.B11, 2535
- 14.社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002):原子力発電所の津波評価技術
- 15.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
- 16.相田勇(1977):三陸沖の古い津波のシミュレーション,東京大学地震研究所彙報,Vol.52,pp.71-101
- 17.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
- 18.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
- 19.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
- 20.地震調査研究推進本部地震調査委員会(2004):千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版)について
- 21.杉野英治・岩淵洋子・橋本紀彦・松末和之・蛭沢勝三・亀田弘行・今村文彦(2014):プレート間地震による津波の特性化波源モデルの提案,日本地震工学会論文集,第14巻,第5号
- 22.Satoko Murotani, Kenji Satake, Yushiro Fujii(2013):Scaling relations of seismic moment,rupture area,average slip,and asperity size for M~9 subduction zone earthquakes, Geophysical Research Letters,Vol.40,pp.5070-5074
- 23.独立行政法人原子力安全基盤機構(JNES)(2014):確率論的手法に基づく基準津波策定手引き,2014年2月
- 24.杉野英治・呉長江・是永真理子・根本信・岩淵洋子・蛭沢勝三(2013):原子力サイトにおける2011東北地震津波の検証,日本地震工学会論文集,第13巻,第2号(特集号)
- 25.杉野英治・岩淵洋子・阿部雄太・今村文彦(2015):確率論的津波ハザード評価における津波想定の影響,日本地震工学会論文集,第15巻,第4号

## 補足説明資料

### 1. 設置変更許可申請時からの変更点について

---



## 補足説明資料

## 1. 設置変更許可申請時からの変更点について

## ■変更概要

- ・ 日本原子力学会(2012)に準じて、津波ハザード評価に非常に大きな影響を及ぼす可能性がある申請以降に公表された最新知見を反映。
- ・ 基準津波の策定に関する審査実績を反映。

変更理由	変更内容			
	対象領域	ロジックツリー	項目	変更概要
最新知見の反映	プレート間地震と津波地震の連動地震	津波発生モデル (認識論的不確実さ)	特性化モデルのMwの範囲	土木学会(2016)を踏まえ、Mc(中央マグニチュード)の設定に用いる平均応力降下量を3.0MPaから1.57MPaに変更。
	共通	津波高さの推定 (偶然的不確実さ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 誤差の対数標準偏差(<math>\beta</math>)</li> <li>・ 対数正規分布の打ち切り範囲(<math>\sigma</math>)</li> </ul>	3.11地震から得られた知見を踏まえ、土木学会(2011)及びJNES(2014)等の設定方法を分岐として考慮。
審査実績の反映	プレート間地震と津波地震の連動地震	津波発生モデル (認識論的不確実さ)	波源モデル (特性化モデルの設定方法)	宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定方法から、広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定方法(杉野ほか(2014))に変更。
			波源モデル (既往津波の組合せモデルの取扱い)	既往津波の組合せモデルは、土木学会(2002)で示される不確かさの考慮方法を適用した場合の影響を検討するモデルであり、地震の破壊現象を表すモデルではないことを踏まえ分岐から削除。

## 補足説明資料

### 2. 基準津波の策定

---

2. 1 策定方針	.....	46
2. 2 各津波の評価	.....	47
2. 3 基準津波の策定	.....	53

補足説明資料 2. 基準津波の策定

2.1 策定方針

【水位上昇側】

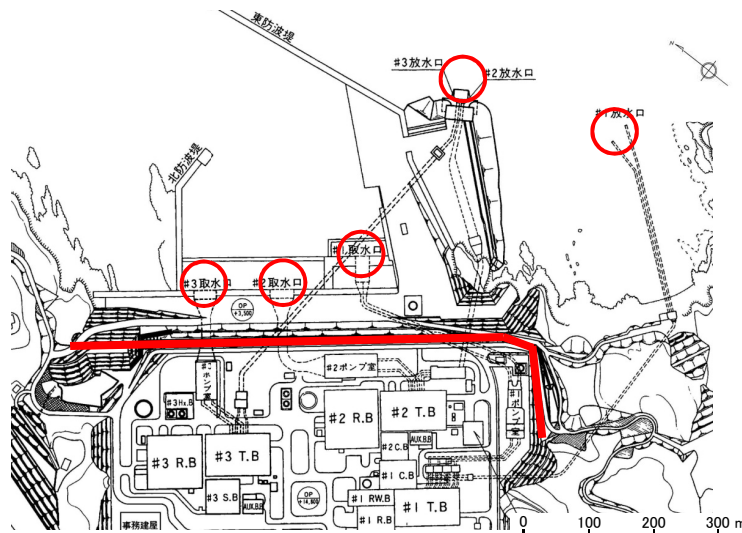
- ✓ 重要な安全機能を有する施設の設置された敷地 (O.P.約+13.8m)への基準津波の到達, 流入を防止するため, 津波防護施設(防潮堤, 防潮壁)を設置することから, 「最大水位上昇量」に「地震に伴う沈下量」を考慮した相対的な津波水位の最大ケースを『基準津波(水位上昇側)』とした。

【水位下降側】

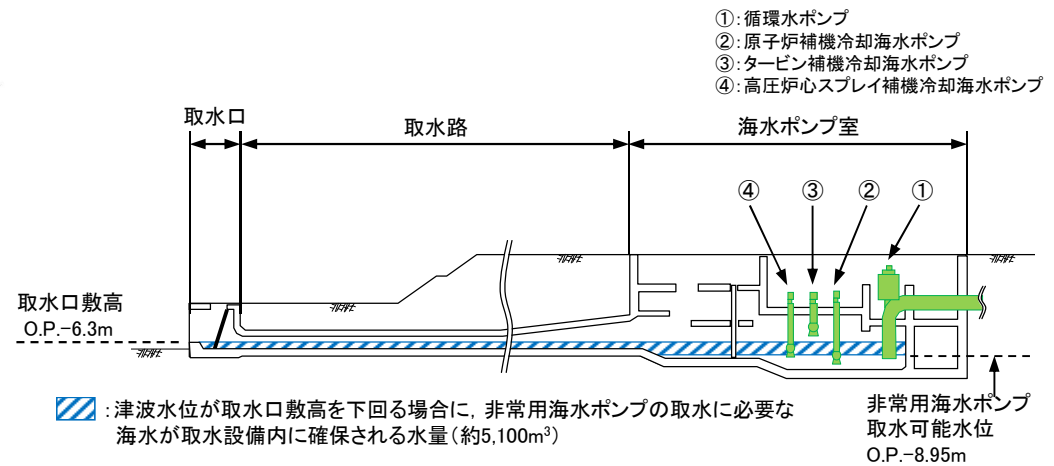
- ✓ 津波水位が取水口敷高を下回る場合における非常用海水ポンプの取水に必要な海水の貯留容量に関する評価, 津波による水位変動に伴う砂の移動・堆積及び漂流物に対する取水路の通水性に関する評価の観点から, 「最大水位下降量」に「地震に伴う隆起量」を考慮した相対的な津波水位の最大ケースを『基準津波(水位下降側)』とした。

評価位置

評価項目	敷地前面	1号取水口前面	2号取水口前面	3号取水口前面	1号放水口前面	2・3号放水口前面
水位上昇側	○	○	○	○	○	○
水位下降側	—	—	○	—	—	—



評価位置(平面図)



2号取水設備断面図(概要)

### 2.2.1 水位上昇側:最大水位上昇量

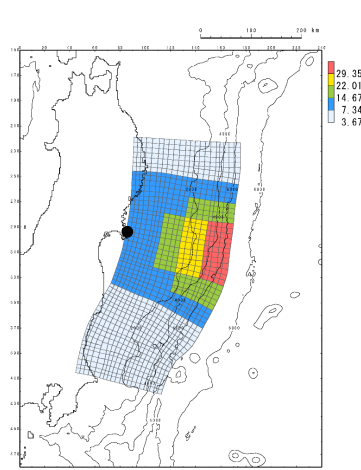
- 各津波の最大ケースの整理結果を下表に示す。
- 決定ケースは、「最大水位上昇量」に「地震に伴う沈下量」を考慮した相対的な津波水位上昇量が最大となる「東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル③)」に起因する津波である。

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

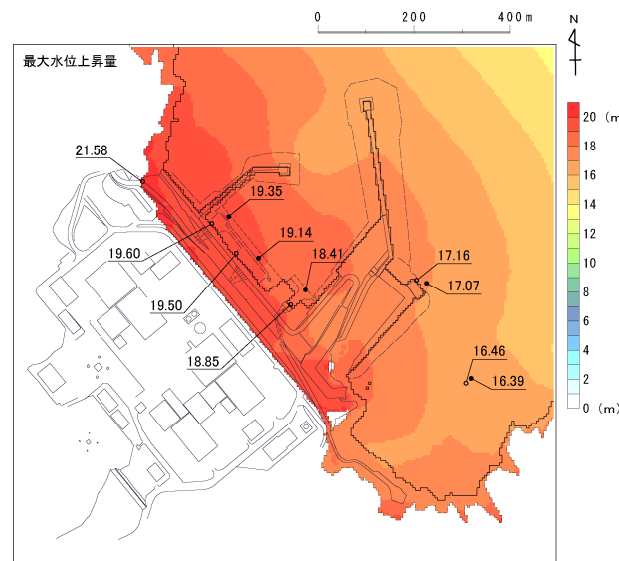
発生要因	種別	波源モデル		最大水位上昇量(m)					
				敷地前面	1号取水口前面	2号取水口前面	3号取水口前面	1号放水口前面	2・3号放水口前面
地震	プレート間地震	東北地方太平洋沖型の地震	基準断層モデル①	18.42 [-0.58]	17.33 [-0.58]	17.32 [-0.58]	17.15 [-0.58]	16.04 [-0.58]	16.20 [-0.58]
				19.00	17.91	17.90	17.73	16.62	16.78
			基準断層モデル②	18.86 [-0.77]	17.03 [-0.77]	17.40 [-0.77]	17.55 [-0.77]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

### 2.2.1 水位上昇側:水位分布及び水位時刻歴波形

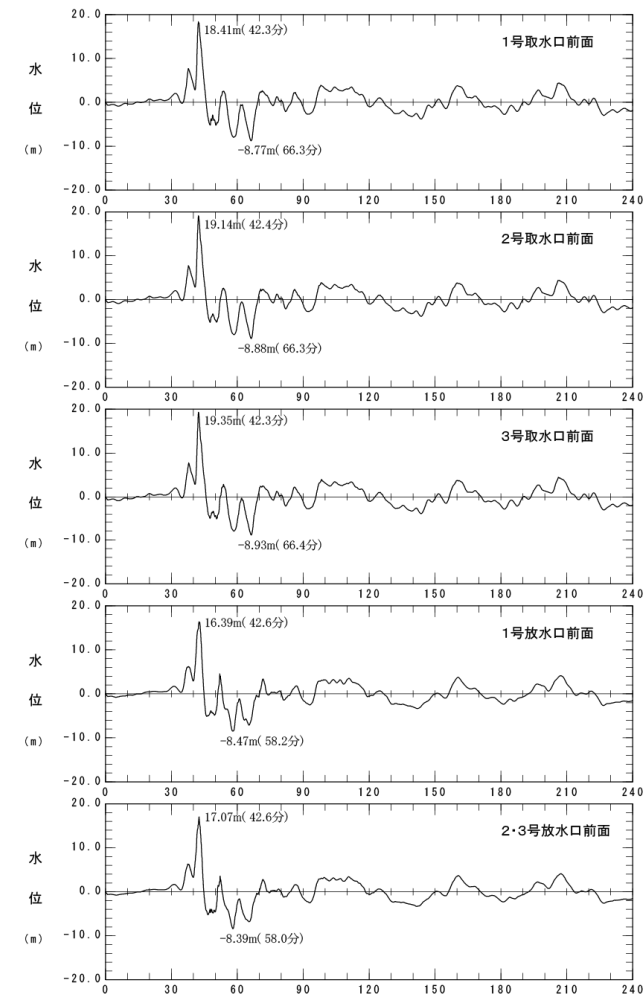
モデル	大すべり域・超大すべり域の位置	破壊開始点	破壊伝播速度
東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル③)	基準	基準(同時破壊)	—



すべり量分布



最大水位上昇量分布



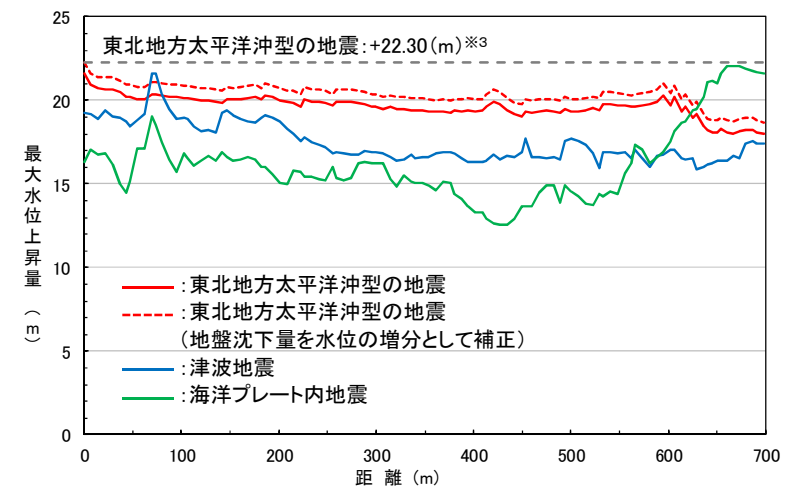
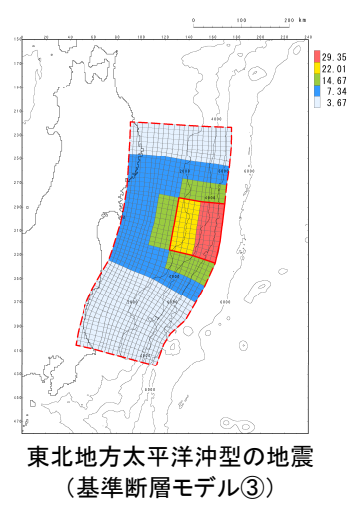
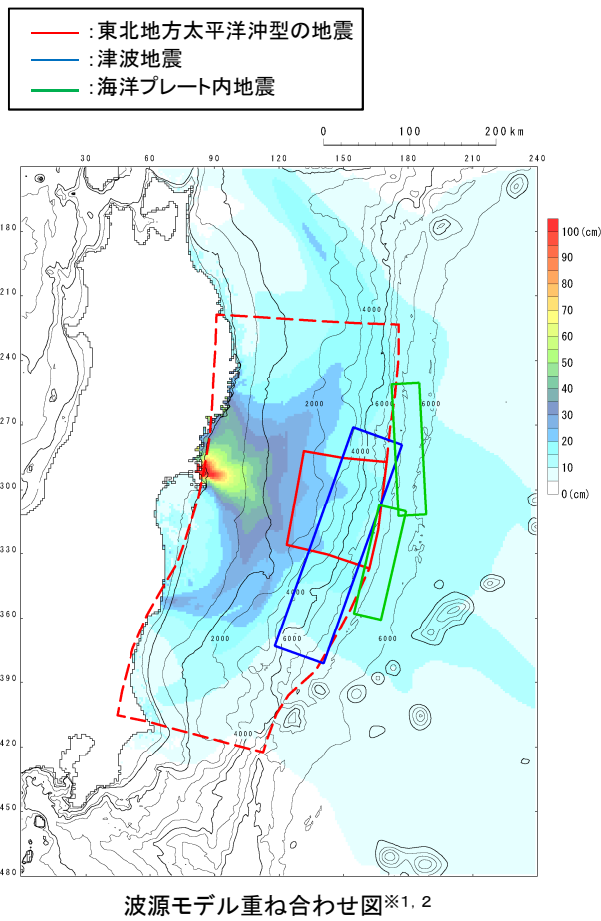
水位時刻歴波形※

※:水位時刻歴波形は、各取放水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出。

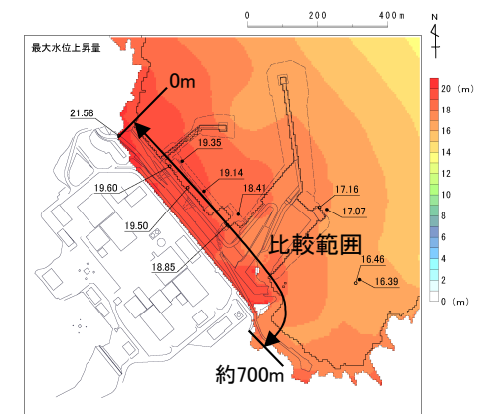
補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.2 各津波の評価

2.2.1 水位上昇側:敷地前面における最大水位上昇量の比較

- 「東北地方太平洋沖型の地震」,「津波地震」及び「海洋プレート内地震」の敷地前面最大ケースを対象に, 敷地前面における最大水位上昇量を比較した結果を下図に示す。



敷地前面における最大水位上昇量の比較



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

最大水位上昇量分布  
(東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル③))

### 2.2.2 水位下降側:最大水位下降量

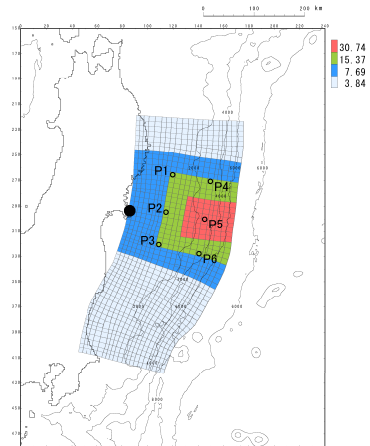
- 各津波の最大ケースの整理結果を下表に示す。
- 決定ケースは、「最大水位下降量」に「地震に伴う隆起量」を考慮した相対的な津波水位下降量が最大となる「東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル②)」に起因する津波である。

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

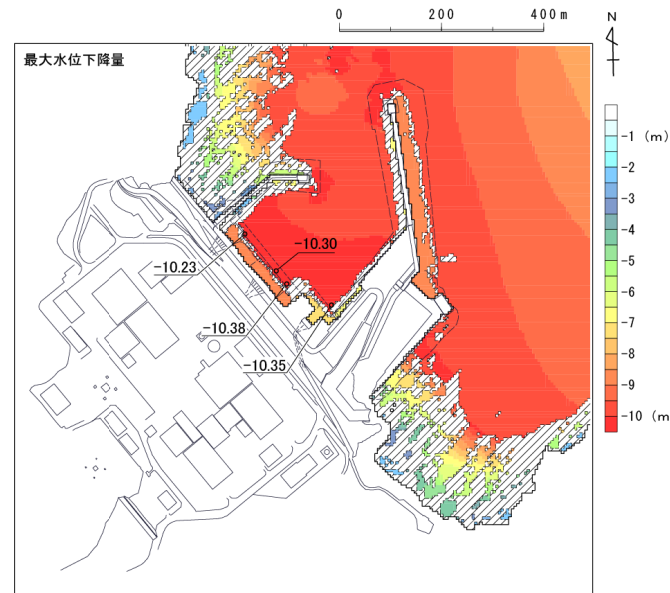
発生要因	種別	波源モデル	2号取水口前面		
			最大水位下降量(m)	継続時間(分)	
地震	プレート間地震	東北地方太平洋沖型の地震	基準断層モデル①	-10.22 [-0.58]	2.6
				-10.22	
			基準断層モデル②	-10.38 [-0.77]	2.6
			-10.38		
		基準断層モデル③	-9.78 [-0.72]	2.9	
			-9.78		
		津波地震		-9.17 [+0.03]	1.9
			-9.20		
	海洋プレート内地震	正断層型の地震		-10.13 [±0.00]	2.6
				-10.13	
	海域の活断層による地殻内地震	F-6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

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

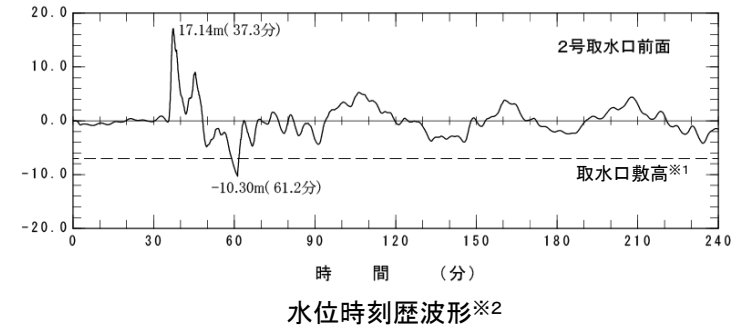
モデル	大すべり域・超大すべり域の位置	破壊開始点	破壊伝播速度
東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル②)	基準	P5	1.0(km/s)



すべり量分布, 破壊開始点位置



最大水位下降量分布



水位時刻歴波形※2

※1: T.P.-7.04m(O.P.-6.3m)

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

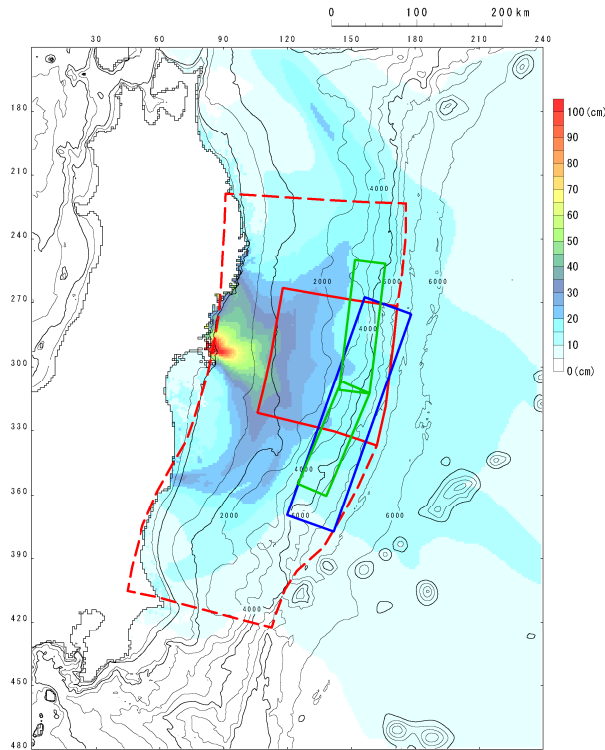


補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.2 各津波の評価

2.2.2 水位下降側:取水口前面における最大水位下降量の比較

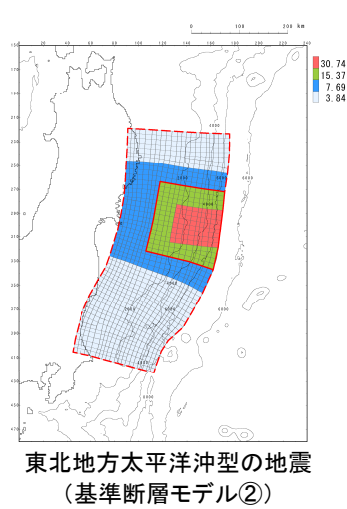
- 「東北地方太平洋沖型の地震」, 「津波地震」及び「海洋プレート内地震」の2号取水口前面最大ケースを対象に, 取水口前面における最大水位下降量を比較した結果を下図に示す。

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

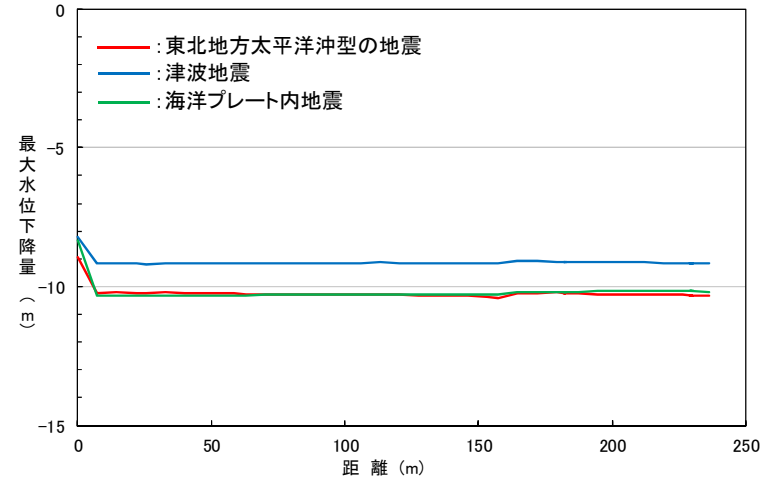


波源モデル重ね合わせ図※1, 2

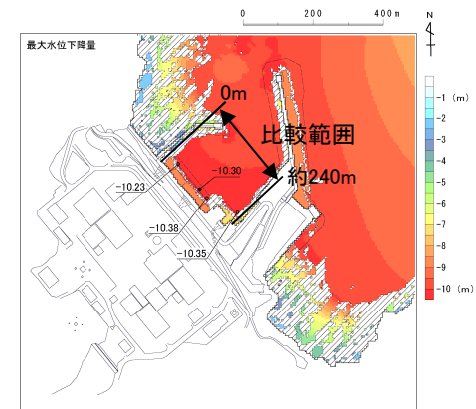
※1: 各地震の2号取水口前面最大ケース  
※2: 背景は津波伝播特性の検討結果



東北地方太平洋沖型の地震  
(基準断層モデル②)



取水口前面における最大水位下降量の比較



最大水位下降量分布  
(東北地方太平洋沖型の地震(基準断層モデル②))

補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.3 基準津波の策定  
2.3.1 基準津波の策定

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

■基準津波(水位上昇側)

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

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

■基準津波(水位下降側)

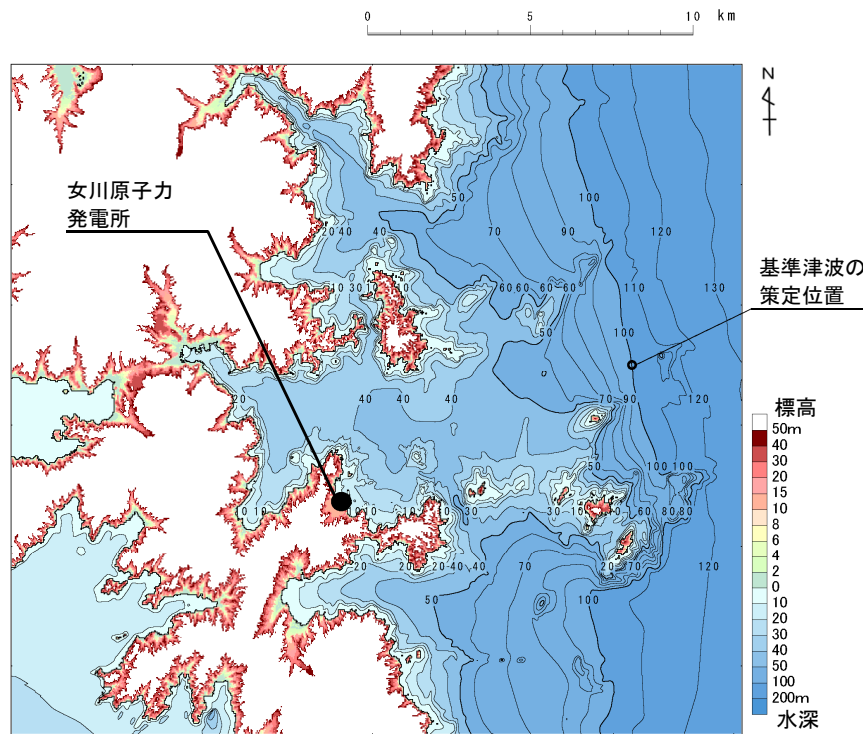
発生要因	種別	波源モデル	最低水位 (2号取水口前面)
地震	東北地方太平洋沖型の地震	基準断層モデル②	O.P.-10.6m <sup>※2</sup>

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

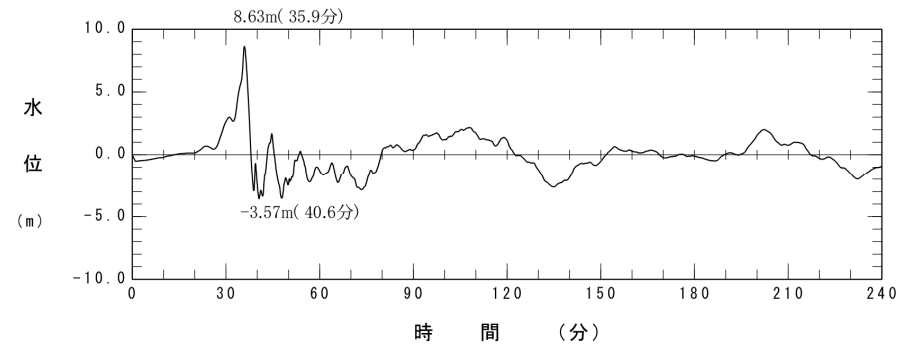
補足説明資料 2. 基準津波の策定 2.3 基準津波の策定

2.3.2 基準津波策定位置における水位時刻歴波形

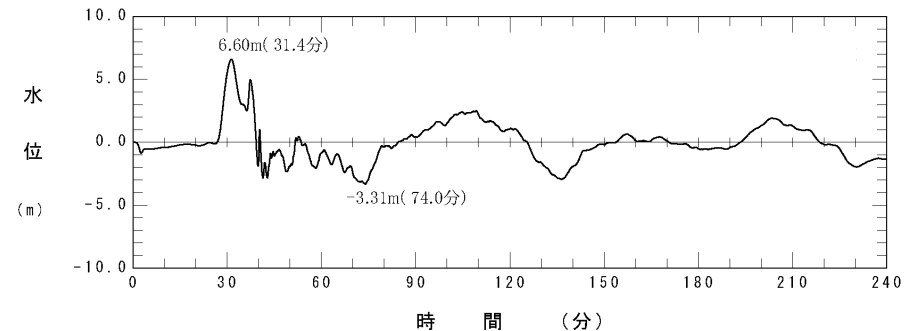
- 基準津波は、敷地前面の海底地形の特徴を踏まえ、時刻歴波形に対して施設からの反射波の影響が微小となるよう、敷地から沖合へ約10km離れた位置(水深100m)で策定した。



基準津波の策定位置



基準津波(水位上昇側)  
(東北地方太平洋沖型の地震, 基準断層モデル③)



基準津波(水位下降側)  
(東北地方太平洋沖型の地震, 基準断層モデル②)

## 補足説明資料

### 3. 津波解析条件

---

3. 1 計算条件	.....	57
3. 2 計算領域とその水深	.....	58

余白

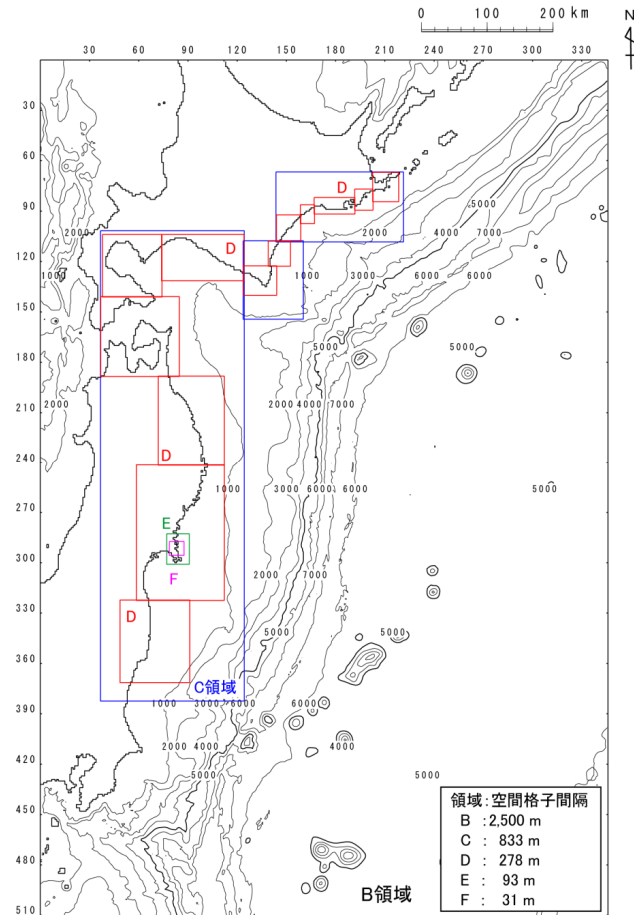
補足説明資料 3. 津波解析条件

3.1 計算条件

- 下記の計算条件に基づき津波解析を実施した。

主な計算条件

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



計算領域<sup>※4</sup>とその水深及び格子分割

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

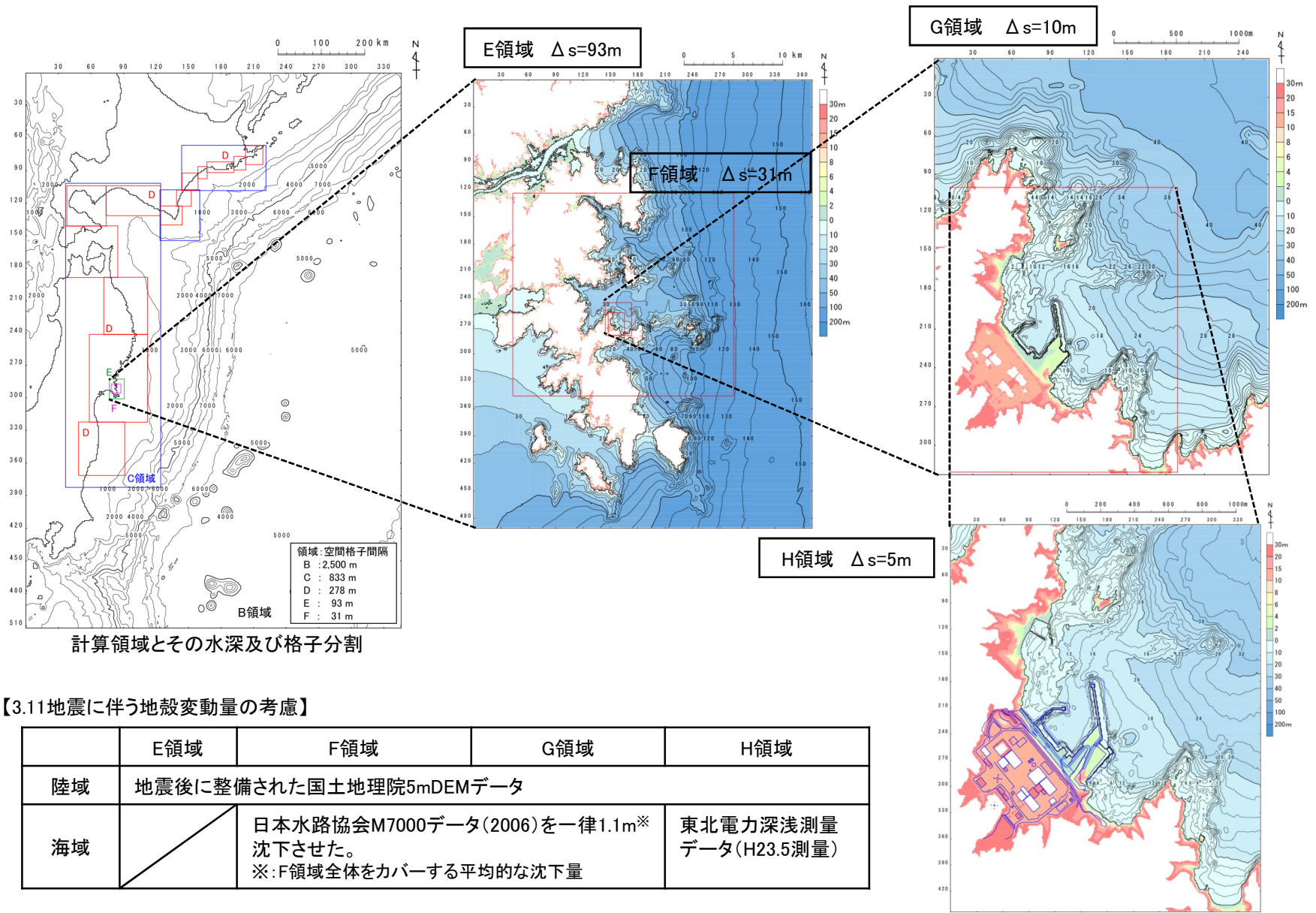
※2: T.P.±0.0m=O.P.+0.74m(O.P.は女川原子力発電所工事用基準面)

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

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

### 補足説明資料 3. 津波解析条件

## 3.2 計算領域とその水深





## 補足説明資料

### 4. 津波波源モデルの設定方法

---

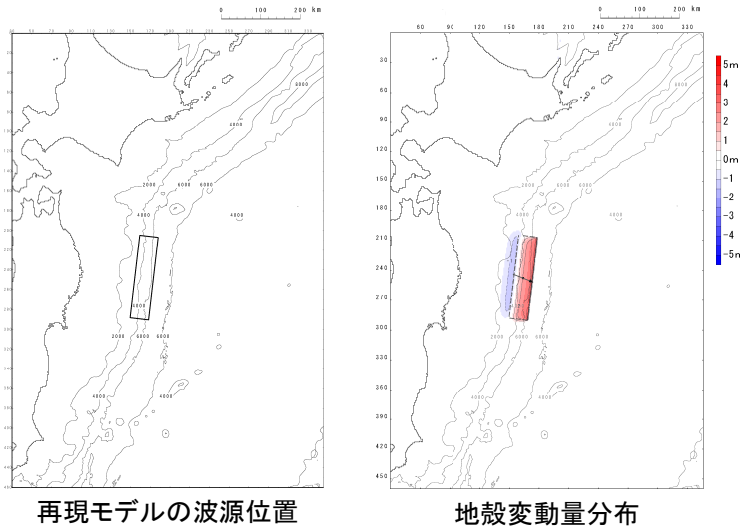
4. 1 津波地震	61
4. 2 海洋プレート内地震	62
4. 3 広域の津波特性を考慮した特性化モデル	63
4. 4 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル	65



余白

■再現モデルの設定

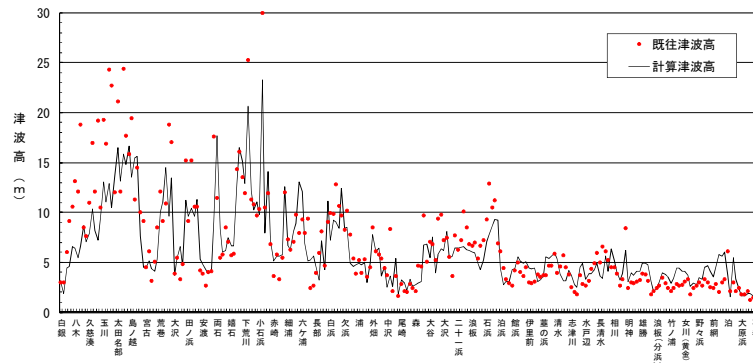
- 土木学会(2002)を参考として、1896年明治三陸地震津波の再現モデルを設定した。



断層パラメータ		設定方法	設定値
モーメントマグニチュード*	Mw	$(\log M_0 - 9.1)/1.5$	8.28
長さ	L(km)	土木学会(2002)	210
幅	W(km)	土木学会(2002)	50
剛性率	$\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	土木学会(2002)	$3.5 \times 10^{10}$
すべり量	D(m)	土木学会(2002)を基本として、再現性が確認できるすべり量に補正。	9.0
地震モーメント	Mo(Nm)	$\mu$ LWD	$3.31 \times 10^{21}$
走向	$\theta$ (°)	土木学会(2002)を基本として、再現性が確認できる走向に補正。	190
断層上縁深さ	d(km)	土木学会(2002)	1
傾斜角	$\delta$ (°)	土木学会(2002)	20
すべり角	$\lambda$ (°)	土木学会(2002)を基本として、再現性が確認できるすべり角に補正。	75
ライズタイム	$\tau$ (s)	相田(1986)	60

■再現性の確認結果

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



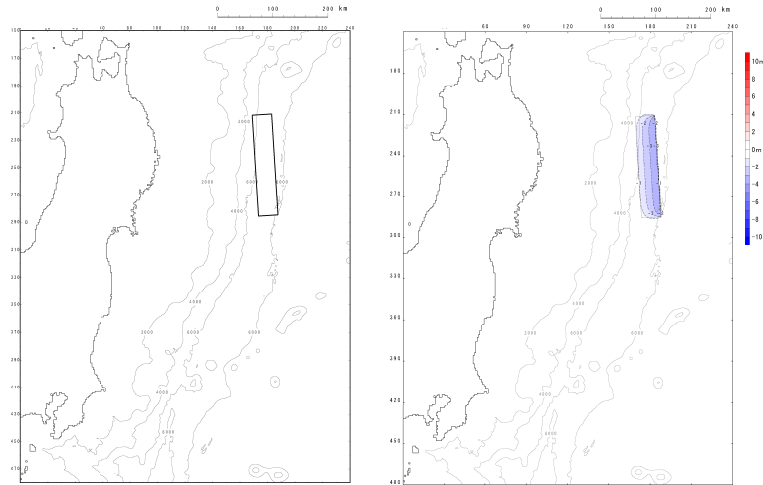
既往津波	K	Kc	n	既往津波高
1896年明治三陸地震津波	1.00	1.44	246	伊木(1897), 松尾(1933)

## 補足説明資料 4. 波源モデルの設定方法

### 4.2 海洋プレート内地震

#### ■再現モデルの設定

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



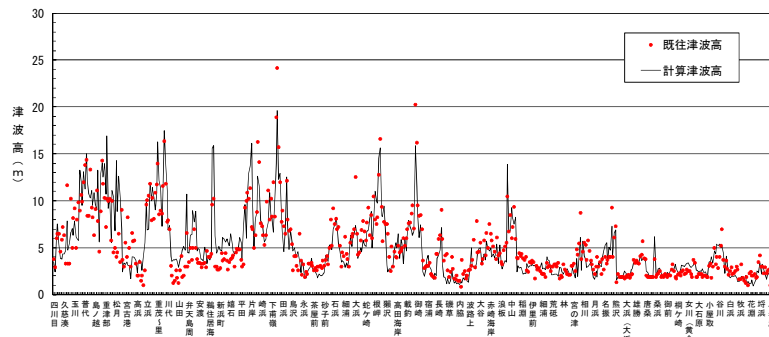
再現モデルの波源位置

地殻変動量分布

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

#### ■再現性の確認結果

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

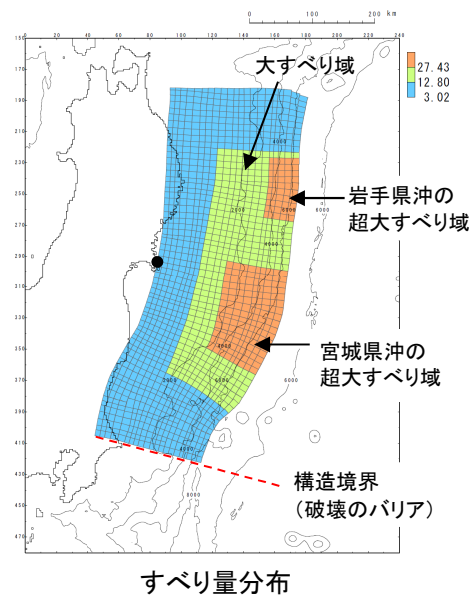
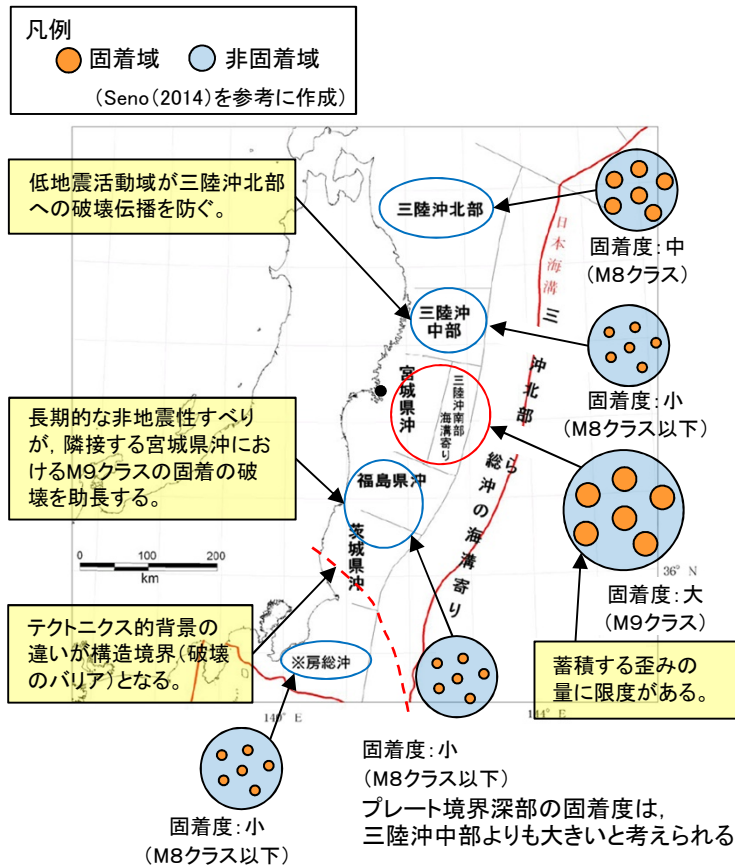


既往津波	K	K	n	既往津波高
1933年昭和三陸地震津波	1.00	1.43	553	松尾(1933), 地震研究所(1934)

補足説明資料 4. 特性化モデルの設定方法

4.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデル①

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



諸元

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

※: 超大すべり域を除いた面積及び面積比率

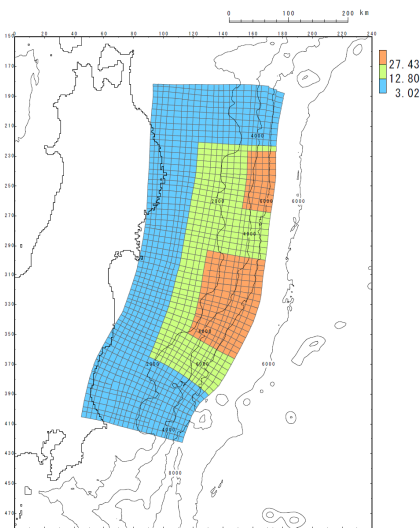
各領域の固着等に関する分析結果  
(地震調査研究推進本部(2012)に一部加筆)

補足説明資料 4. 特性化モデルの設定方法

4.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデル②

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

【広域の津波特性を考慮した特性化モデル】

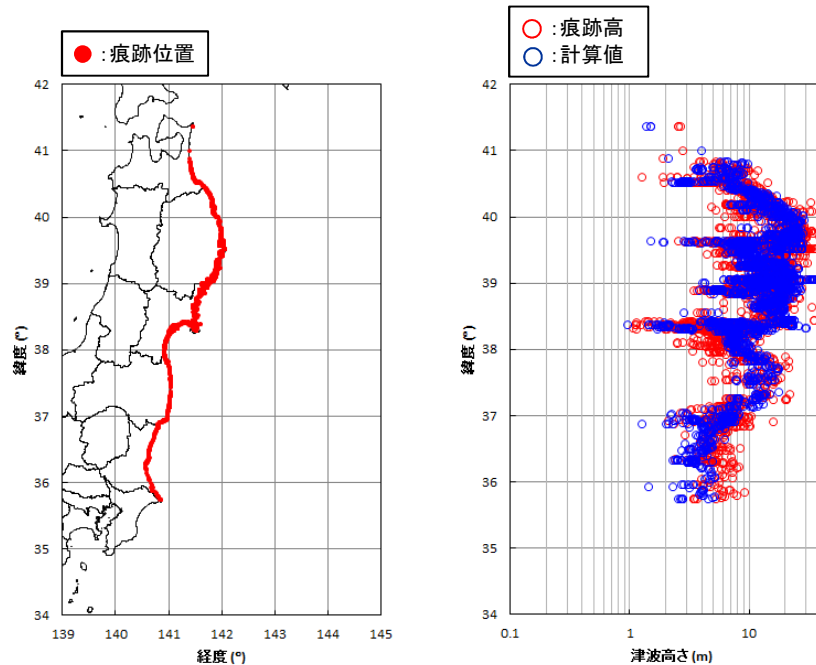


すべり量分布

【痕跡高の再現性の確認結果】

	K	$\kappa$	n	既往津波高
広域の津波特性を考慮した特性化モデル	0.98	1.39	2,686	東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012)

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

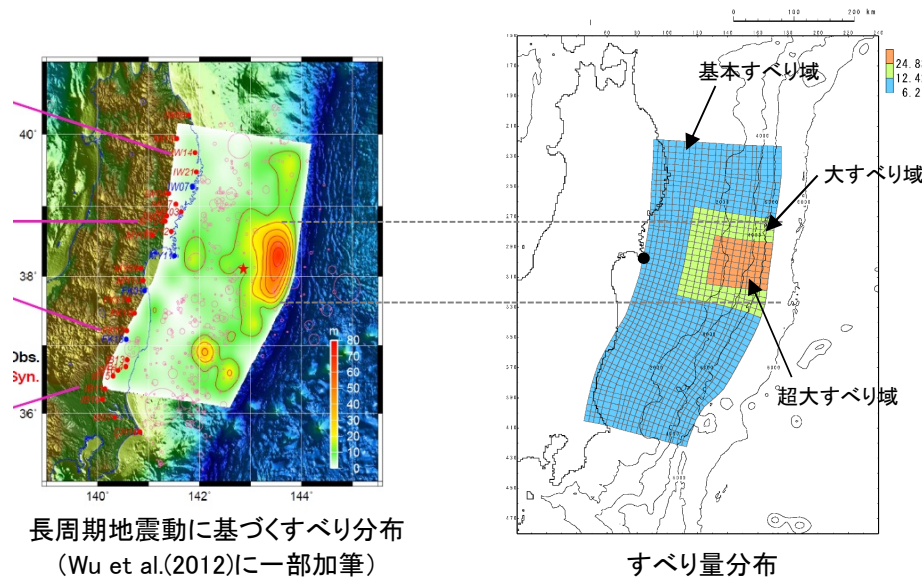


痕跡高と計算値の比較

補足説明資料 4. 特性化モデルの設定方法

4.4 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル①

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



諸元

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

※: 大すべり域と超大すべり域をあわせた領域の面積比率

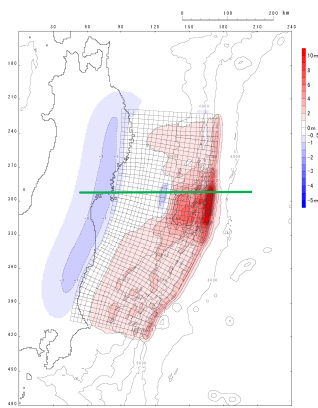


補足説明資料 4. 特性化モデルの設定方法

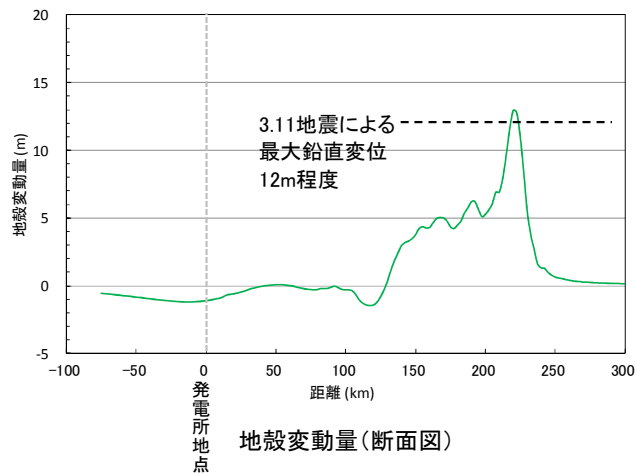
4.4 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル②

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

■地殻変動量(プレート境界の破壊)の比較



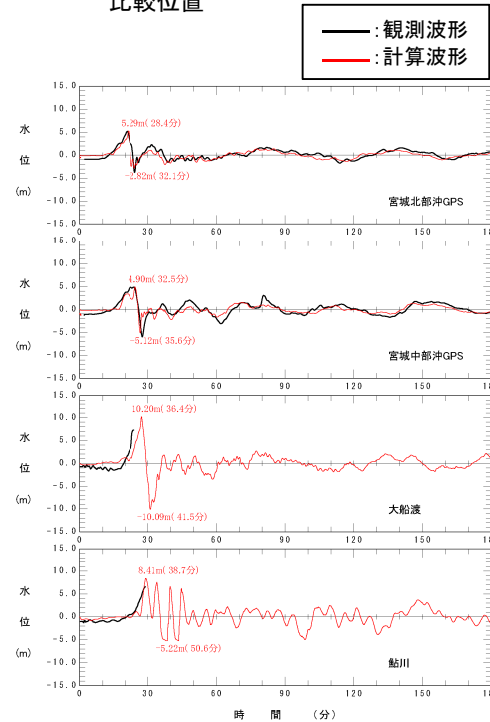
地殻変動量分布  
(ライズタイム: 300(s)相当)



■沖合いの観測波形(津波伝播)の比較

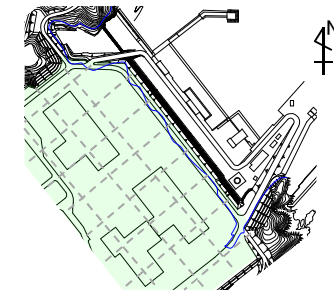
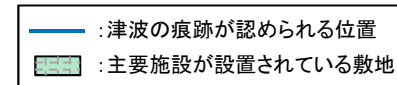


比較位置

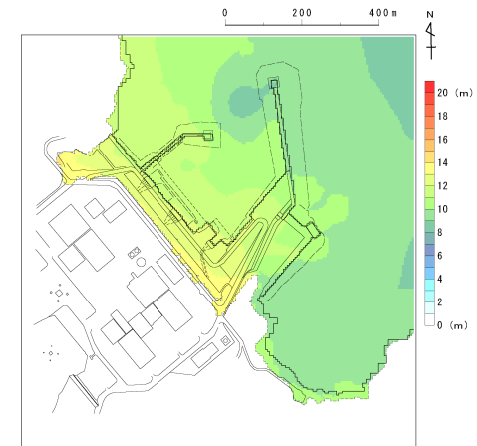


観測波形と計算波形の比較

■発電所の津波水位(津波遡上)の比較



発電所敷地における痕跡調査結果  
(東北電力(2011)を一部修正)



最大水位上昇量分布

## 補足説明資料

### 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

---

5. 1	土木学会(2016)のロジックツリー	68
5. 2	専門家意見聴取結果	69
5. 3	矩形断層モデルに関する検討	73

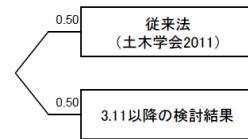


## 補足説明資料 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

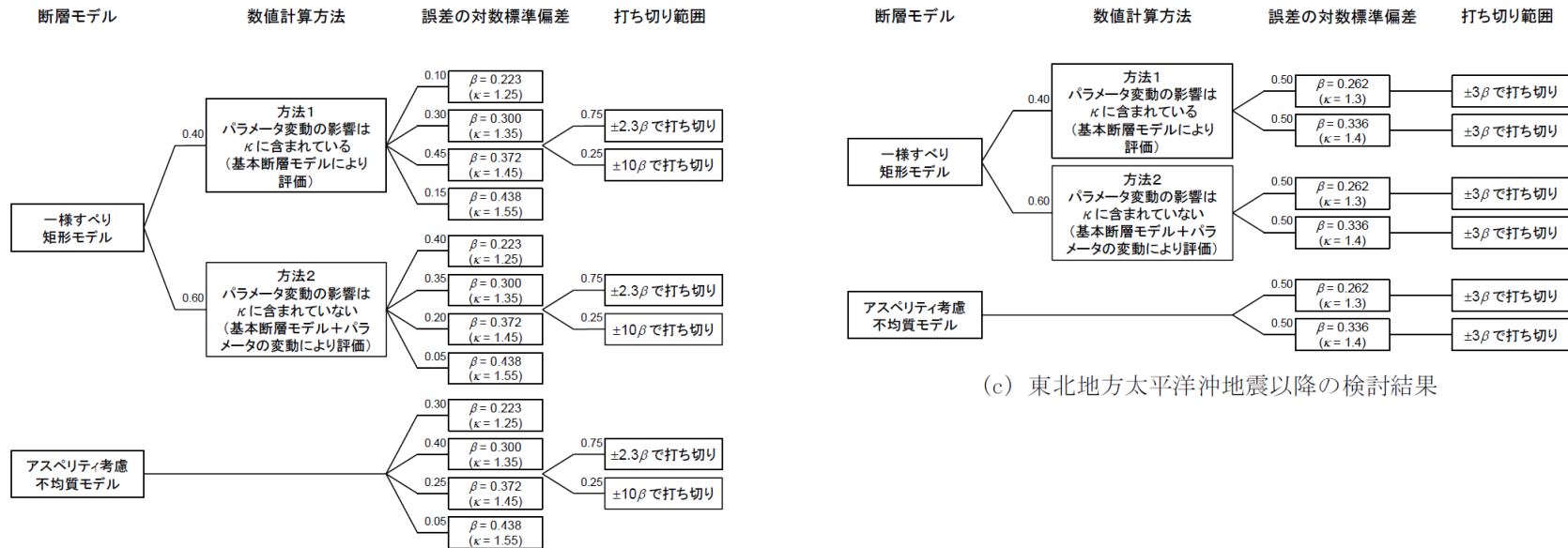
### 5.1 土木学会(2016)のロジックツリー

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

ばらつきと打ち切りの考え方



(a) ばらつきと打ち切りの考え方に関する分岐



(b) 従来法 (土木学会, 2011)

津波高さ推定に関するロジックツリー  
(土木学会(2016))

## 補足説明資料 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

### 5.2 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( $\beta$ )及び対数正規分布の打ち切り範囲( $\sigma$ )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( $\beta$ )、対数正規分布の打ち切り範囲( $\sigma$ )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)

## 補足説明資料 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

## 5.2 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( $\beta$ ), 対数正規分布の打ち切り範囲( $\sigma$ )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
<ul style="list-style-type: none"> <li>• JNES(2014)にもあるように, 土木学会(2011)での検討では, 空間格子間隔が現時点より粗い(100m~200m)ので, ばらつきが大きくなるのは当然の結果である。また, 土木学会(2011)ではすべりの不均質性をほとんど考慮していないのに対し, 今回は不均質性を考慮しているのばらつきは小さくなる。以上より, JNES(2014)の最新知見を評価に反映することは必要。</li> <li>• 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<math>\kappa</math>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<math>\kappa=1.45</math>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。</li> <li>• 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。</li> </ul>

補足説明資料 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

## 5.2 専門家意見聴取結果: 関連情報2

---

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

### 専門家のご意見

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

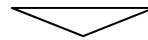
## 補足説明資料 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

## 5.2 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"> <li>誤差の対数標準偏差(<math>\beta</math>)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(<math>\sigma</math>)について、打ち切りなし(<math>\pm 10\sigma</math>)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、<math>\kappa=1.35</math>のとき、<math>\pm 2.3\sigma</math>の曲線から算定される最大水位が30m、<math>\pm 10\sigma</math>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。</li> <li>その場合の重みは、分岐として成立する可能性が残されると考えて、土木学会(2011)の重みを0.1、JNES(2014)の重みを0.9。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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)。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>JNES(2014)は、土木学会(2011)の課題であった<math>10^{-5}</math>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。</li> </ul>



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( $\beta$ )及び対数正規分布の打ち切り範囲( $\sigma$ )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。

## 補足説明資料 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

### 5.3 矩形断層モデルに関する検討

---

#### ■検討の目的

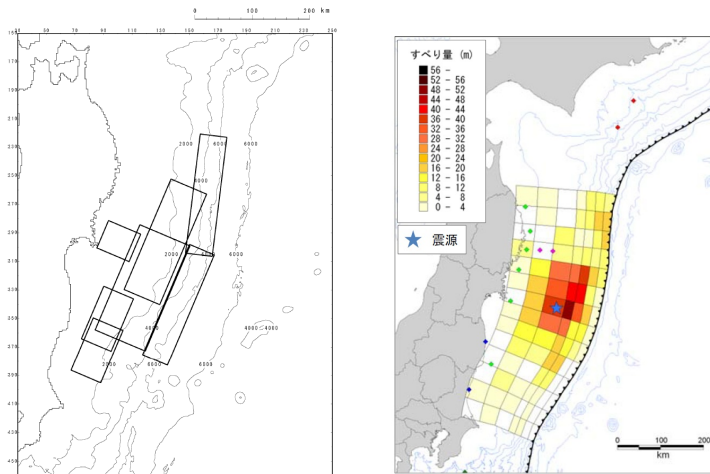
- ・ 杉野ほか(2014)は特性化波源モデルを対象とした検討であるとともに、杉野ほか(2015)に示される矩形断層モデルの津波伝播モデルのロジックツリーは、土木学会(2011)の設定方法を引用し、3.11地震から得られた知見は反映されていない。
- ・ 以上を踏まえ、3.11地震に伴う津波、津波地震(1896年明治三陸地震津波)、海洋プレート内の正断層型地震(1933年昭和三陸地震津波)を対象に、矩形断層モデルによる津波高さのばらつきに関する検討(考察)を行い、同モデルの津波高さ推定に関するロジックツリーにJNES(2014)等の設定方法を反映することの妥当性を確認した。

## 補足説明資料 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

## 5.3 矩形断層モデルに関する検討: 3.11地震に伴う津波

- 土木学会(2002)等で示されている既往津波の波源モデル(矩形断層モデル)を組合せた既往津波の組合せモデルを用いて、3.11地震に伴う津波の再現解析を実施した結果、発電所地点及び発電所敷地周辺における痕跡高と計算津波高のばらつきは内閣府(2012)モデル(不均質モデル)と同等であるとともに、杉野ほか(2014)に示される特性化波源モデルのばらつき $\beta$ 特性化の範囲 $\beta=0.20(\kappa=1.22) \sim \beta=0.30(\kappa=1.35)$ に含まれることを確認した。

## ■ 検討モデル

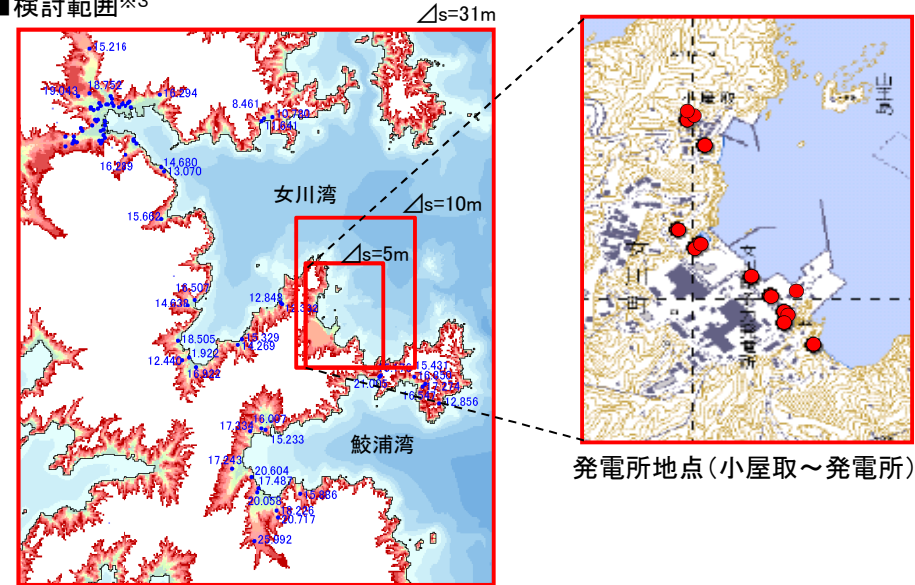
既往津波の組合せモデル  
(菅野ほか(2012))※1

内閣府(2012)モデル※2

※1: 平成27年1月23日第185回審査会合資料1-2(p.34)より引用

※2: 平成27年1月23日第185回審査会合資料1-2(p.32)より引用

## ■ 検討範囲※3



発電所敷地周辺(女川湾～鮫浦湾)

## ■ 再現性の評価結果※3

範囲	基準断層モデル	K	$\kappa$	n
発電所 地点	既往津波の組合せモデル	0.97	1.03	14
	内閣府(2012)モデル	0.97	1.06	
発電所 敷地周辺	既往津波の組合せモデル	0.99	1.25	111
	内閣府(2012)モデル	0.87	1.25	

※3: 平成27年1月23日第185回審査会合資料1-2(p.42)一部修正

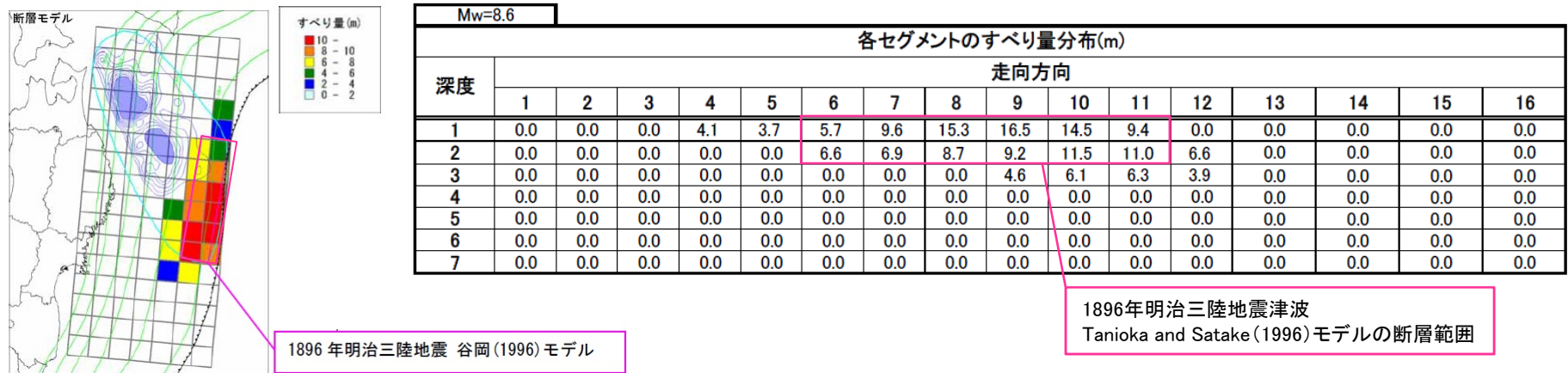
以上から、津波高さのばらつき( $\beta$ )のうち津波波源モデルのばらつき( $\beta_{\text{波源}}$ )は、矩形断層モデルと不均質モデルで有意な差は無いと考えられる。



補足説明資料 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

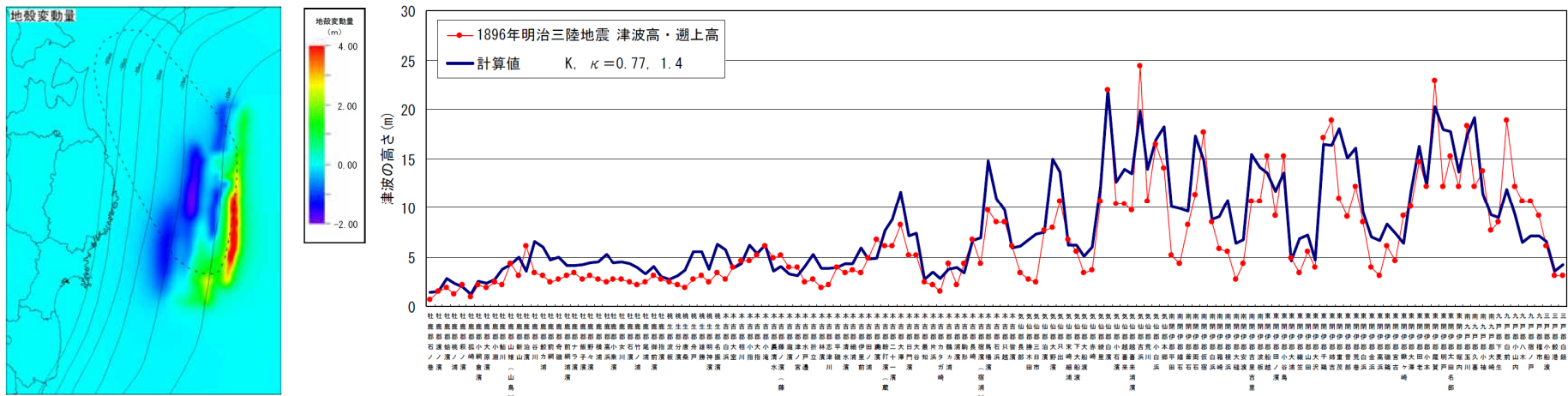
5.3 矩形断層モデルに関する検討: 津波地震(1896年明治三陸地震津波)

- 中央防災会議(2005)では, 1896年明治三陸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( $\kappa$ )は1.4であり, 当社が実施した矩形断層モデルを用いた再現解析によるばらつき( $\kappa$ )1.44(p61)と同等であることを確認した。



1896年明治三陸地震 谷岡(1996)モデル

1896年明治三陸地震津波 Tanioka and Satake(1996)モデルの断層範囲



1896年明治三陸地震津波のインバージョンモデルおよび遡上高(平均潮位)(中央防災会議(2005)を一部加工・加筆)

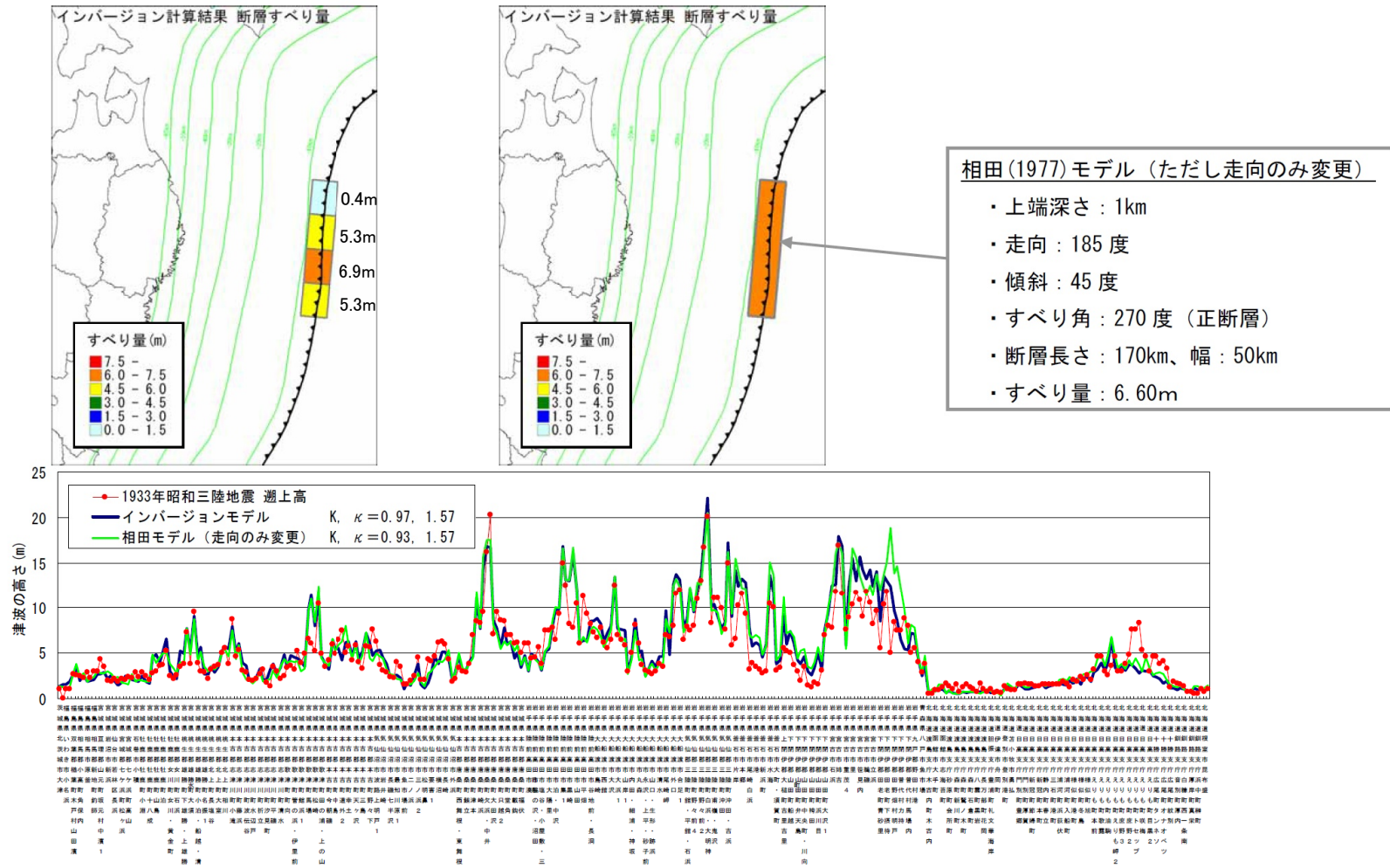
以上から, 津波高さのばらつき( $\beta$ )のうち津波波源モデルのばらつき( $\beta_{波源}$ )は, 矩形断層モデルと不均質モデルで有意な差は無いと考えられる。



補足説明資料 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

5.3 矩形断層モデルに関する検討: 海洋プレート内の正断層型地震(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( $\kappa$ )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( $\beta$ )のうち津波波源モデルのばらつき( $\beta_{\text{波源}}$ )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。

## 補足説明資料

### 6. 海洋プレート内地震が津波ハザード曲線に与える影響

---

6. 1	水位上昇側	.....	79
6. 2	水位下降側	.....	80

余白

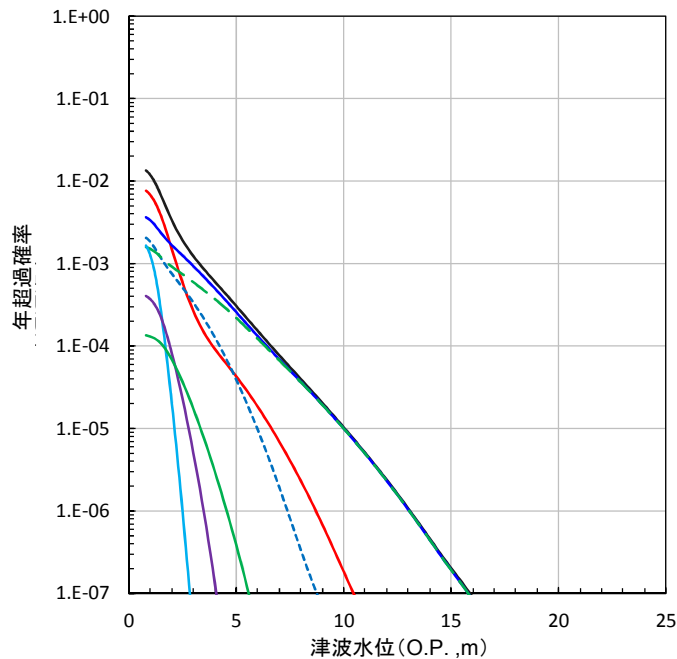
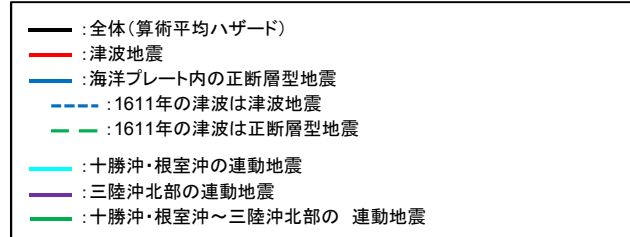
## 補足説明資料 6. 海洋プレート内地震が津波ハザード曲線に与える影響

### 6.1 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型地震の津波ハザード曲線は、「1611年の津波は正断層型地震」の分岐が支配的である。
- これは、平均発生間隔を土木学会(2011, 2016)と同様に固有地震モデルに基づく方法を用いて設定しているため、「1611年の津波は正断層型地震」の分岐の平均発生間隔は、「1611年の津波は津波地震」の分岐の平均発生間隔と比較して短いとともに、地震規模(Mw)と最大水位上昇量の関係から、水位も高いためと考えられる。

■津波ハザード曲線(波源別寄与度)

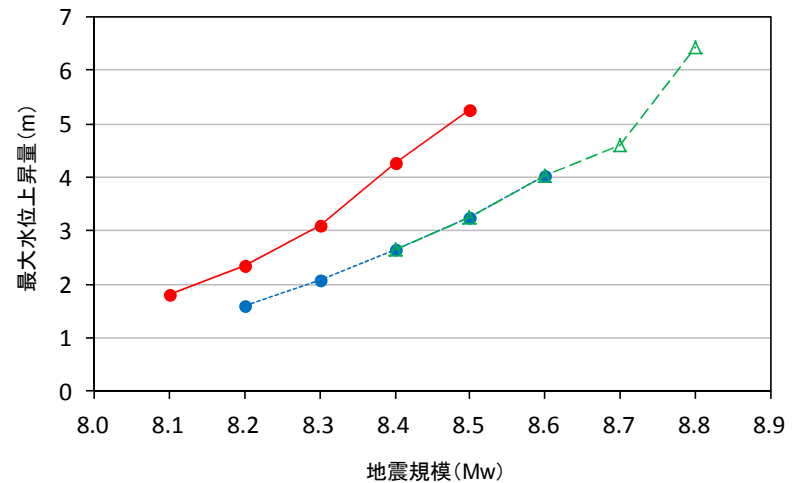
凡例



■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	波源位置	平均発生間隔
●	津波地震	津波地震	$M_c=8.3, B_M=0.5$	敷地に正対(走向:基準)	110年
●	正断層型地震	津波地震	$M_c=8.4, B_M=0.5$	敷地に正対(走向:基準)	410年
△	正断層型地震	正断層型地震	$M_c=8.6, B_M=0.5$	敷地に正対(走向:基準)	220年



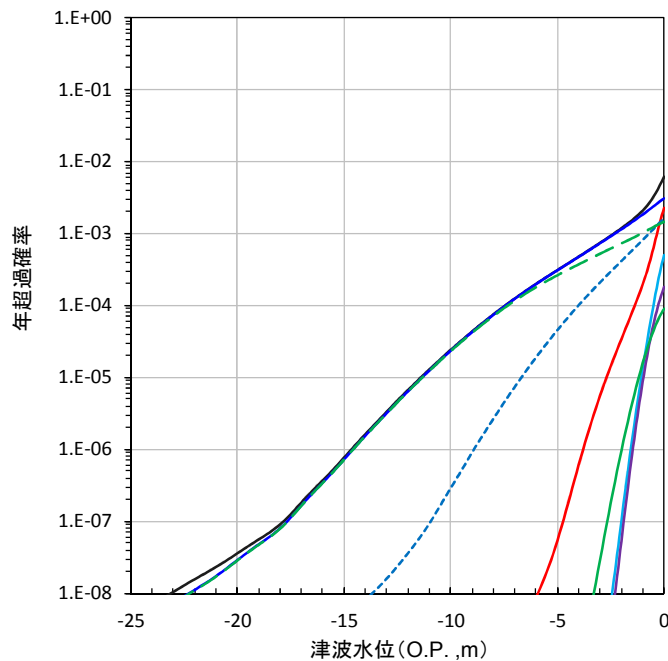
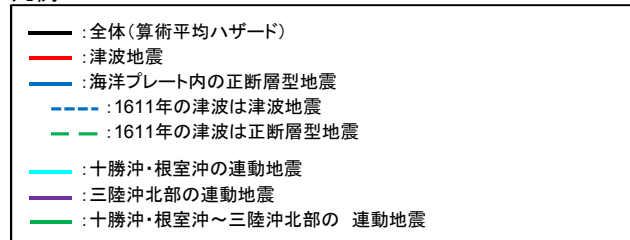
## 補足説明資料 6. 海洋プレート内地震が津波ハザード曲線に与える影響

### 6.2 水位下降側

- 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型地震の津波ハザード曲線は、「1611年の津波は正断層型地震」の分岐が支配的である。
- これは、平均発生間隔を土木学会(2011, 2016)と同様に固有地震モデルに基づく方法を用いて設定しているため、「1611年の津波は正断層型地震」の分岐の平均発生間隔は、「1611年の津波は津波地震」の分岐の平均発生間隔と比較して短いとともに、地震規模(Mw)と最大水位下降量の関係から、水位も低いと考えられる。

■津波ハザード曲線(波源別寄与度)

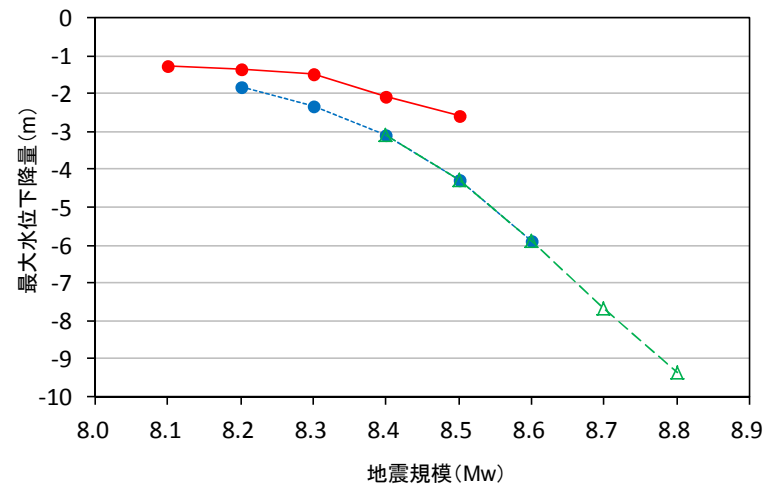
凡例



■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	波源位置	平均発生間隔
●	津波地震	津波地震	$M_c=8.3, B_M=0.5$	敷地に正対(走向:基準)	110年
●	正断層型地震	津波地震	$M_c=8.4, B_M=0.5$	敷地に正対(走向:基準)	410年
△	正断層型地震	正断層型地震	$M_c=8.6, B_M=0.5$	敷地に正対(走向:基準)	220年



## 補足説明資料

### 7. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

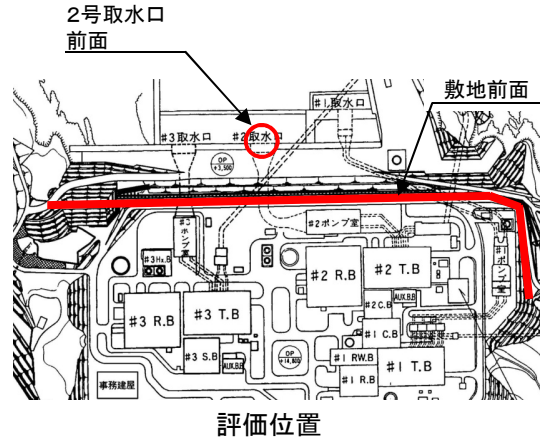
---

7. 1 年超過確率の参照	.....	82
7. 2 申請時と今回評価の比較	.....	84

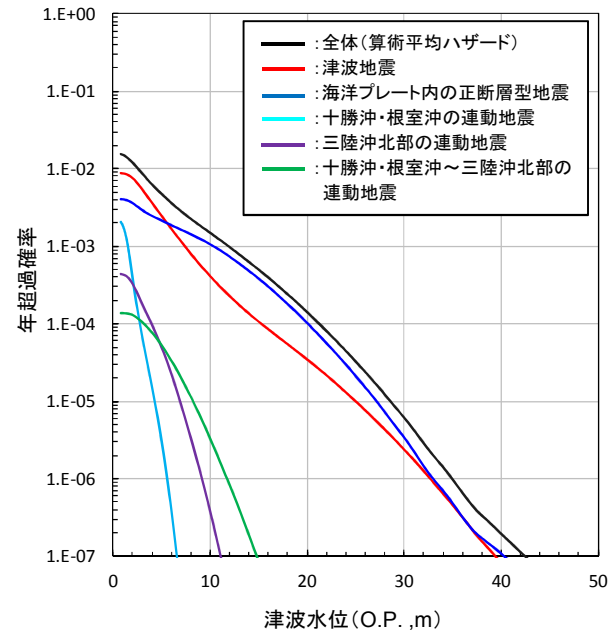
## 補足説明資料 7. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

### 7.1 年超過確率の参照

- 基準津波による各評価位置の津波水位に対する年超過確率は、水位上昇側で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度、水位下降側で $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度である。

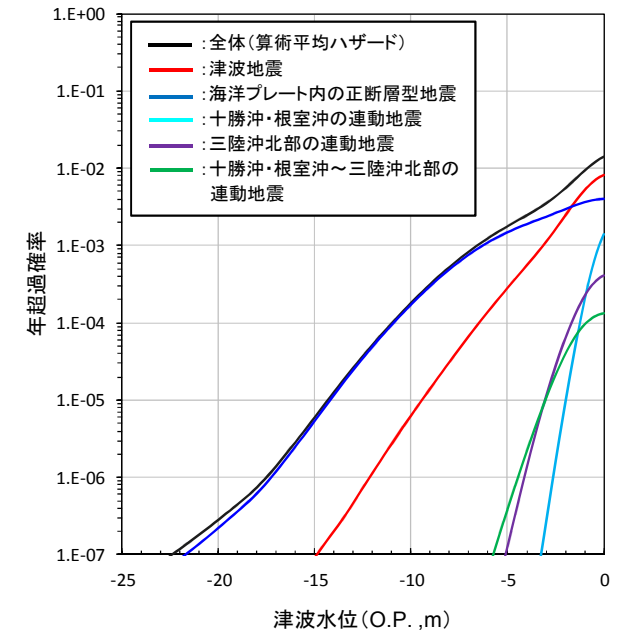


■敷地前面(水位上昇側)



	津波水位	年超過確率
基準津波 (水位上昇側)	O.P.+23.1m	$5.84 \times 10^{-5}$
基準津波 (水位下降側)	O.P.+20.3m	$1.30 \times 10^{-4}$

■2号取水口前面(水位下降側)



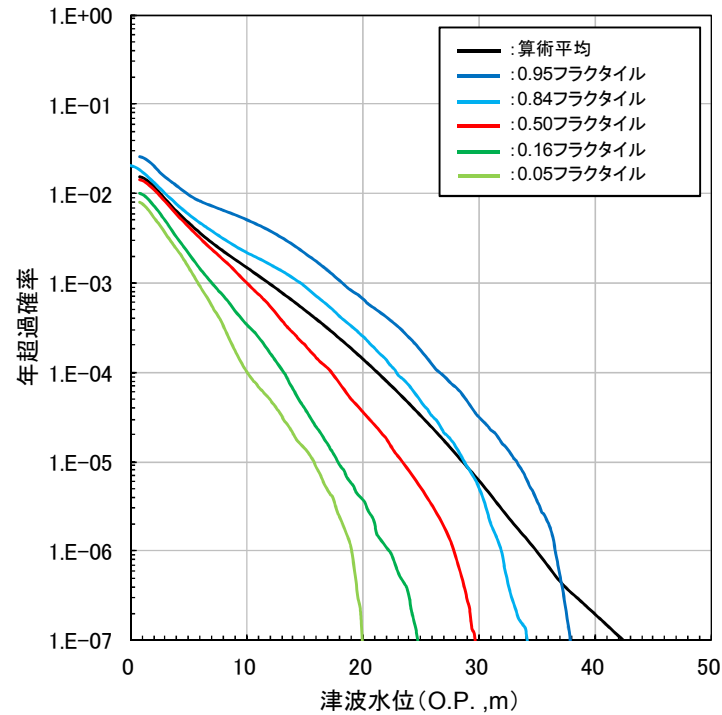
	津波水位	年超過確率
基準津波 (水位上昇側)	O.P.-10.0m	$1.81 \times 10^{-4}$
基準津波 (水位下降側)	O.P.-10.6m	$1.27 \times 10^{-4}$

## 補足説明資料 7. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

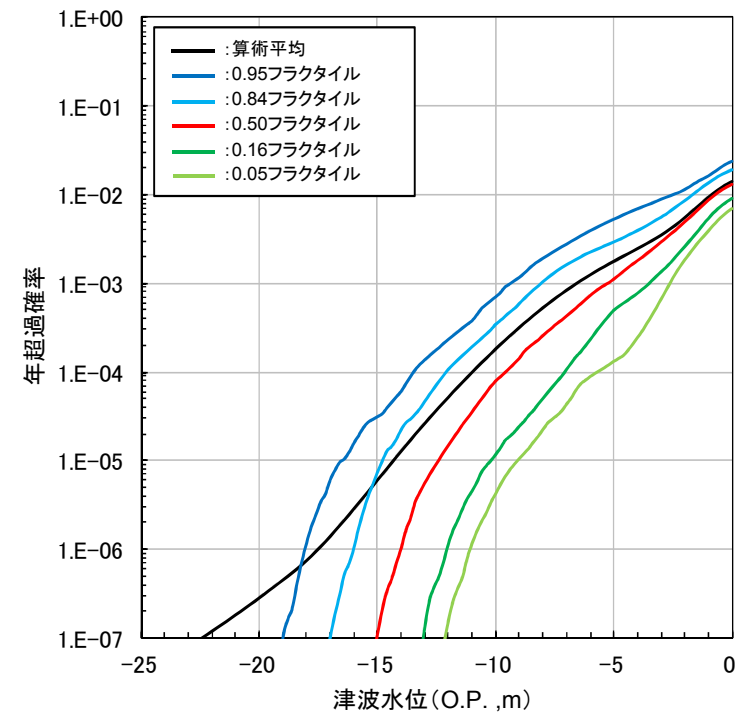
### 7.1 年超過確率の参照: フラクタイルハザード曲線

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

■敷地前面(水位上昇側)



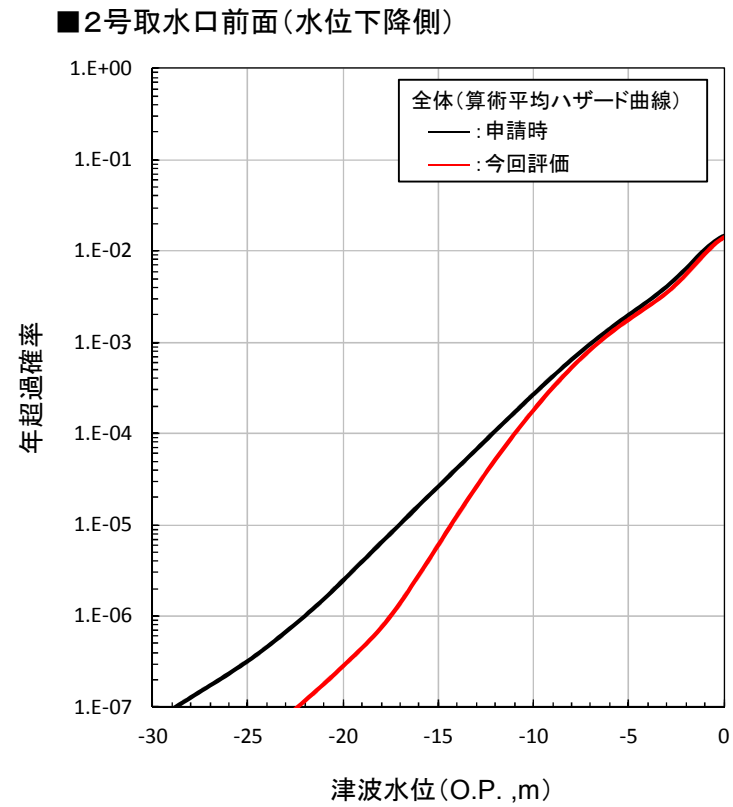
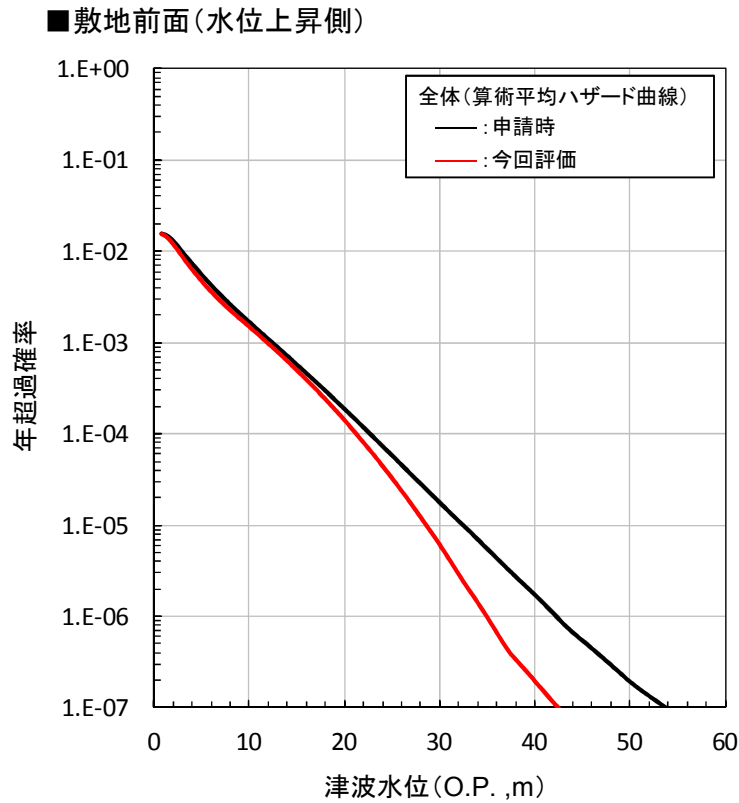
■2号取水口前面(水位下降側)





## 補足説明資料 7. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

## 7.2 申請時と今回評価の比較



## 参考文献

---

## 参考文献①

1. 一般社団法人日本原子力学会(2012):日本原子力学会標準 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2011
2. 公益社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会(2016):原子力発電所の津波評価技術2016
3. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2011):確率論的津波ハザード解析の方法
4. 独立行政法人原子力安全基盤機構(JNES)(2014):確率論的手法に基づく基準津波策定手引き, 2014年2月
5. 杉野英治・岩淵洋子・橋本紀彦・松末和之・蛭澤勝三・亀田弘行・今村文彦(2014):プレート間地震による津波の特性化波源モデルの提案, 日本地震工学会論文集, 第14巻, 第5号
6. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002):原子力発電所の津波評価技術
7. 阿部勝征(1989):地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測, 東京大学地震研究所彙報, Vol.64, pp.51-69
8. 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫(1998):GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.356-360
9. Mansinha, L. and D.E. Smylie(1971):The displacement fields of inclined faults, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.61, No.5,pp.1433-1440
- 10.財団法人日本水路協会(2006):海底地形デジタルデータM7000シリーズ
- 11.相田勇(1986):津波波源の推定, 水工学シリーズ86-B-2, 土木学会水理委員会
- 12.伊木常誠(1897):三陸地方津浪実況取調報告, 震災予防調査会報告, 第11号, pp.5-34
- 13.松尾春雄(1933):三陸津浪調査報告, 内務省土木試験所報告, 第24号, pp.83-112
- 14.地震研究所(1934):昭和8年3月3日三陸地方津浪に関する論文及報告, 東京帝国大学地震研究所彙報, 別冊第1号
- 15.内閣府(2012a):南海トラフの巨大地震モデル検討会(第12回), 参考資料1 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の津波断層モデルについて
- 16.Kenji Satake, Yushiro Fujii, Tomoya Harada, and Yuichi Namegaya(2013):Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 103, No. 2B, pp. 1473-1492, doi:10.1785/0120120122
- 17.杉野英治・呉長江・是永眞理子・根本信・岩淵洋子・蛭沢勝三(2013):原子力サイトにおける2011東北地震津波の検証, 日本地震工学会論文集, 第13巻, 第2号(特集号)
- 18.内閣府(2012b):南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告) 巻末資料, 南海トラフの巨大地震モデル検討会
- 19.地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012):三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について
- 21.Tetsuzo Seno(2014):Stress drop as a criterion to differentiate subduction zones where Mw 9 earthquakes can occur, Tectonophysics 621, 198-210
- 22.東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012):痕跡調査結果(2012年10月3日リリース版), <http://www.coastal.jp/ttjt/>
- 23.地震調査研究推進本部地震調査委員会(2014):全国地震動予測地図 2014年版 ~全国の地震動ハザードを概観して~ 付録-1

## 参考文献②

---

24. Changjiang Wu,Hideaki Tsutsumi, Hongjun Si, Yusuke Saijo (2012) : Rupture Process of the 2011Mw9.0 Tohoku Earthquake And StrongMotion Simulation from the Viewpoint of NPP Seismic Design,15th World Conference on Earthquake Engineering
25. 東北電力株式会社(2011) : 女川原子力発電所における平成23年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果に係る報告書, 2011年7月
26. 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
27. 菅野剛・大内一男・平田一穂(2012) : 女川原子力発電所における津波の評価および対策, 電力土木, No.362
28. 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
29. 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,pp1549-1552
30. 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