

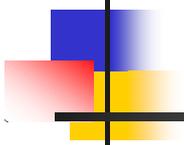
女川原子力発電所 2 号機の安全性に  
関する検討会 説明資料

---

論点番号 4 9

(意見番号 5 1)



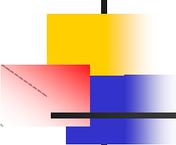


# 新規制基準適合性審査申請 自然現象等 ＜(2)津波:基準津波＞ (No.51関連)

平成29年6月8日  
東北電力株式会社

枠囲いの内容は、商業機密または防護上の観点から公開できません。

All rights reserved. Copyrights © 2017, Tohoku Electric Power Co., Inc.



## 目次

1. 本日の説明内容
2. 基準津波に係る基本事項
3. 女川原子力発電所の津波の特徴
4. 基準津波の策定
5. 取水性の確保(砂移動評価)
6. 基準津波の年超過確率の参照
7. 今後の対応について
8. 適合性審査状況

参考文献

# 1. 本日の説明内容

## (1)これまでの説明内容(津波関係)

### ■第2回検討会

東北地方太平洋沖地震により発生した津波に関する調査結果を説明。

(津波観測記録, 再現解析結果 等)

### ■第6回検討会

第2回検討会における質問事項への回答について説明。

## (2)本日の説明内容

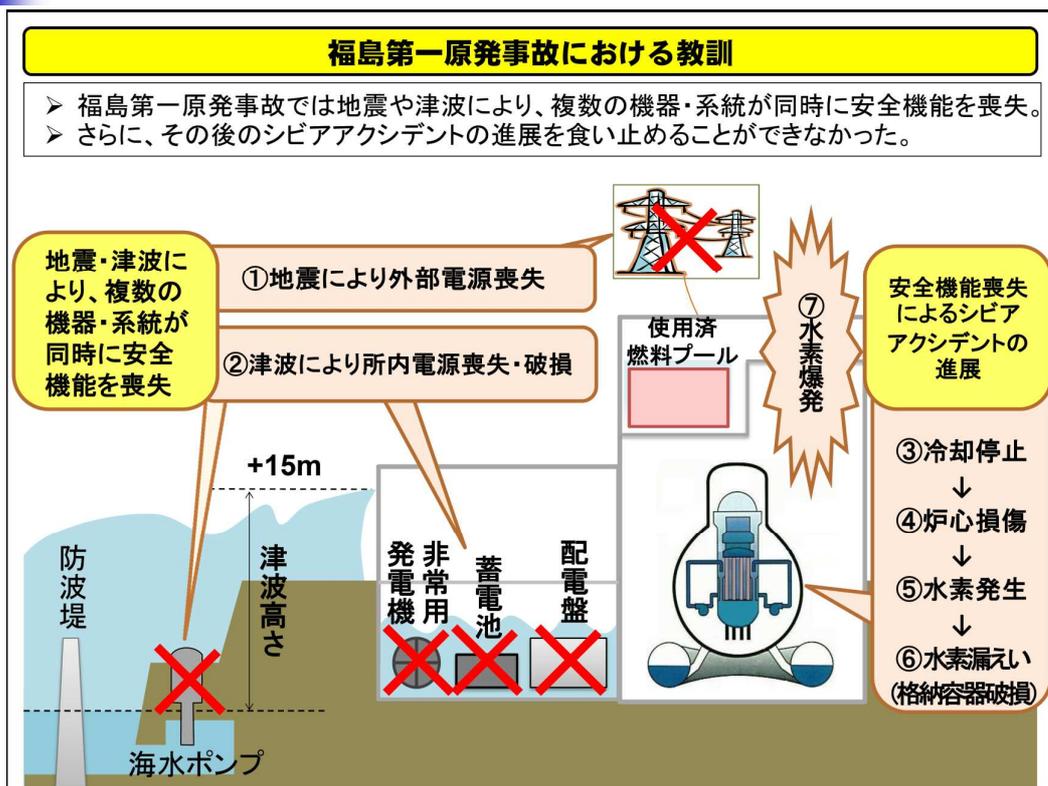
新規制基準適合性審査の審査会合で審議された「基準津波」について説明。

- ・「基準津波」に係る基本事項 ……基本的な考え方, 審査ガイド 等
- ・女川原子力発電所の津波の特徴
- ・女川原子力発電所における基準津波の検討内容
- ・砂移動評価(基準津波に対する安全性), 基準津波の年超過確率の検討内容
- ・今後の対応について
- ・適合性審査状況

なお, 津波に対する安全対策については, 今後の「耐津波設計」の審議後に説明予定。

2

# 2. 基準津波に係る基本事項 (1/5)



## 2. 基準津波に係る基本事項 (2/5)

### 新規制基準の基本的な考え方

- 新規制基準では、「深層防護」を基本とし、共通要因による安全機能の喪失を防止する観点から、自然現象の想定と対策を大幅に引き上げ。
- また、自然現象以外でも、共通要因による安全機能の喪失を引き起こす可能性のある事象(火災など)について対策を強化。

#### ① 「深層防護」の徹底

目的達成に有効な複数の(多層の)対策を用意し、かつ、それぞれの層の対策を考えると、他の層での対策に期待しない。

#### ② 共通要因故障をもたらす自然現象等に係る想定的大幅な引き上げとそれに対する防護対策を強化

地震・津波の評価の厳格化、津波浸水対策の導入、多様性・独立性を十分に配慮  
火山・竜巻・森林火災の評価も厳格化

#### ③ 自然現象以外の共通要因故障を引き起こす事象への対策を強化

火災防護対策の強化・徹底、内部溢水対策の導入、停電対策の強化(電源強化)

#### ④ 基準では必要な「性能」を規定(性能要求)

基準を満たすための具体策は事業者が施設の特性に応じて選択

出典:原子力規制委員会ホームページ (<https://www.nsr.go.jp/data/000070101.pdf>)に一部加筆

4

## 2. 基準津波に係る基本事項 (3/5)

### 従来規制基準と新規制基準との比較

- 従来と比較すると、シビアアクシデントを防止するための基準を強化するとともに、万一シビアアクシデントやテロが発生した場合に対処するための基準を新設

#### <従来規制基準>

シビアアクシデントを防止するための基準(いわゆる設計基準)  
(単一の機器の故障を想定しても炉心損傷に至らないことを確認)

自然現象に対する考慮
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

#### <新規制基準>

意図的な航空機衝突への対応
放射性物質の拡散抑制対策
格納容器破損防止対策
炉心損傷防止対策 (複数の機器の故障を想定)
内部溢水に対する考慮(新設)
自然現象に対する考慮 (火山・竜巻・森林火災を新設)
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

(テロ対策)  
新設  
(シビアアクシデント対策)  
新設  
強化又は新設

強化

出典:原子力規制委員会ホームページ (<https://www.nsr.go.jp/data/000070101.pdf>)に一部加筆

5

## 2. 基準津波に係る基本事項 (4/5)

- ・3.11震災以前は、津波は「地震随件事象」と定義されていた。
- ・「基準津波」の策定および対策については、新規規制基準の中で規制要求として明確化された。

### 津波対策の大幅な強化

- 既往最大を上回るレベルの津波を「基準津波」として策定し、基準津波への対応として防潮堤等の津波防護施設等の設置を要求。
- 津波防護施設等は、地震により浸水防止機能等が喪失しないよう、原子炉圧力容器等と同じ耐震設計上最も高い「Sクラス」とする。

#### <津波対策の例(津波防護の多重化)>

○津波防護壁の設置  
(敷地内への浸水を防止)

○防潮扉の設置  
(建屋内への浸水を防止)

出典：原子力規制委員会ホームページ (<https://www.nsr.go.jp/data/000070101.pdf>)に一部加筆

6

## 2. 基準津波に係る基本事項 (5/5)

### 「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」(H25.6.19 原子力規制委員会決定)

本ガイドは、発電用軽水型原子炉施設の設置許可段階の基準津波策定に係る審査において、基準津波策定の妥当性等を厳格に確認するために活用することを目的とする。

基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド

平成25年6月  
原子力規制委員会

#### I. 基準津波 ⇒「4. 基準津波の策定」～「6. 基準津波の年超過確率の参照」

##### 2. 基本方針

施設の安全設計に用いる基準津波は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、波源海域から敷地周辺までの海底地形、地質構造及び地震活動性等の地震学的見地から想定することが適切なものとして策定すること。

また、基準津波は、地震のほか、地すべり、斜面崩壊等地震以外の要因、及びこれらの組合せによるものを複数選定し、不確かさを考慮して数値解析を実施し、策定すること。

以下、上記方針に基づいた詳細確認内容について記載。

#### II. 耐津波設計方針 ⇒「7. 今後の対応について」

##### 2. 基本方針

##### 2.1 基本方針の概要

原子炉施設の耐津波設計の基本方針については、『重要な安全機能を有する施設は、施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがある津波(基準津波)に対して、その安全機能を損なわない設計であること』である。この基本方針に関して、設置許可に係る安全審査において、以下の要求事項を満たした設計方針であることを確認する。

以下、各要求事項に関する詳細確認内容について記載。

出典：原子力規制委員会ホームページ (<https://www.nsr.go.jp/data/000050756.pdf>)より抜粋

7

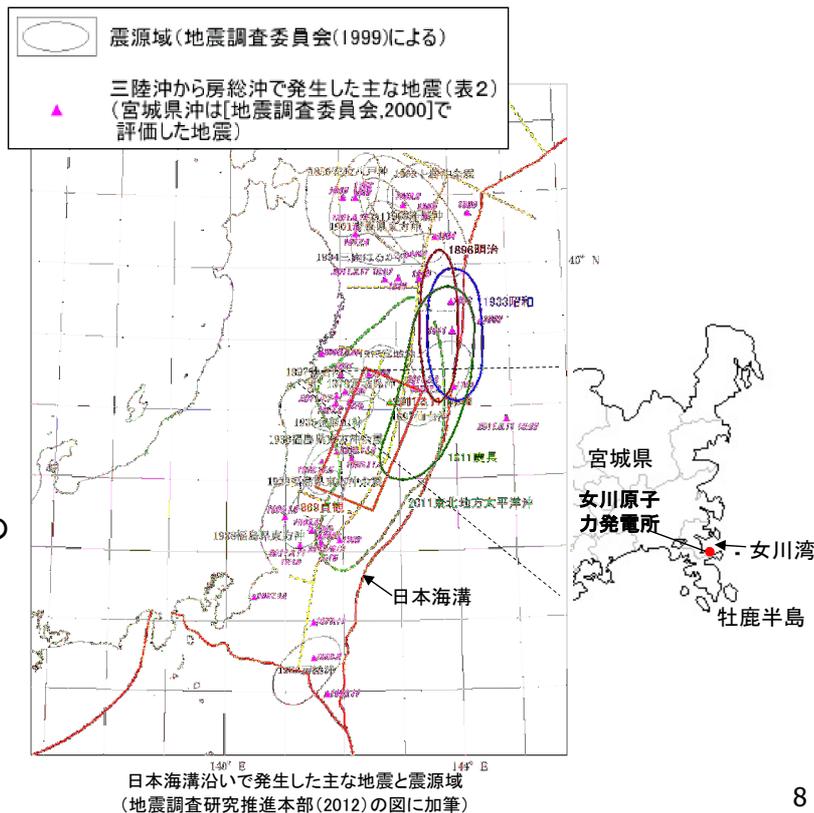
### 3. 女川原子力発電所の津波の特徴

#### ■立地的特徴

- ・三陸南部(リアス式海岸)に立地(複雑な湾形状による津波の増大等)
- ・敷地前面海域に日本海溝が存在
- ・牡鹿半島北側の女川湾 湾口部に立地

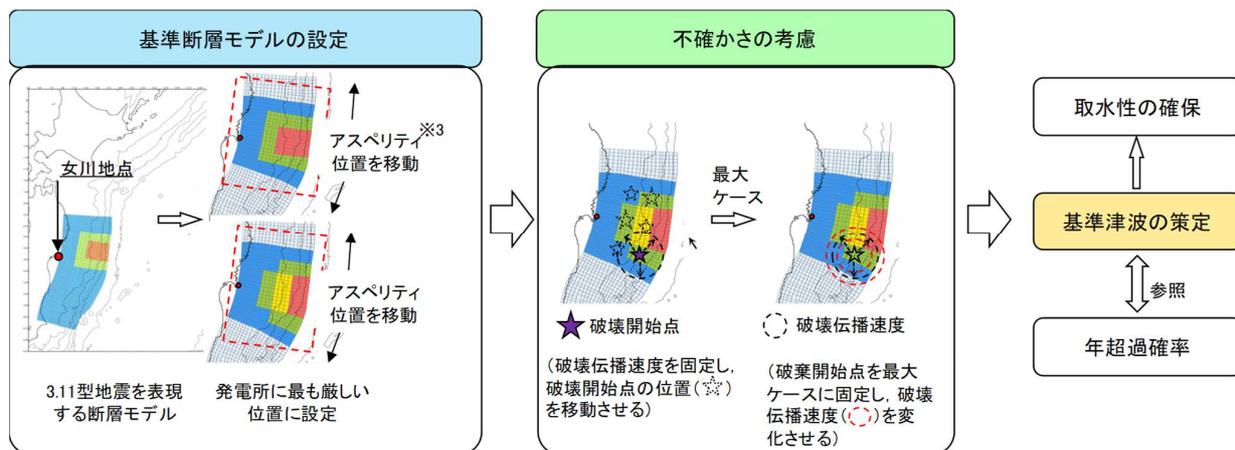
#### ■女川の津波の特徴

- ・古くから多くの津波が来襲(869貞観, 1611慶長, 1896明治, 1933昭和, 1960チリ, 2011東北地方太平洋沖 等)
- ・海溝型の近地津波(プレート間地震など)の影響が大きく, 2011年東北地方太平洋沖地震(以下, 「3.11地震」という。)に伴う津波が最大
- ・遠地津波(1960チリ 等)は, 周期が長い特徴があるが, 近地津波(上述)と比較して影響は小さい



### 4. 基準津波の策定 評価概要

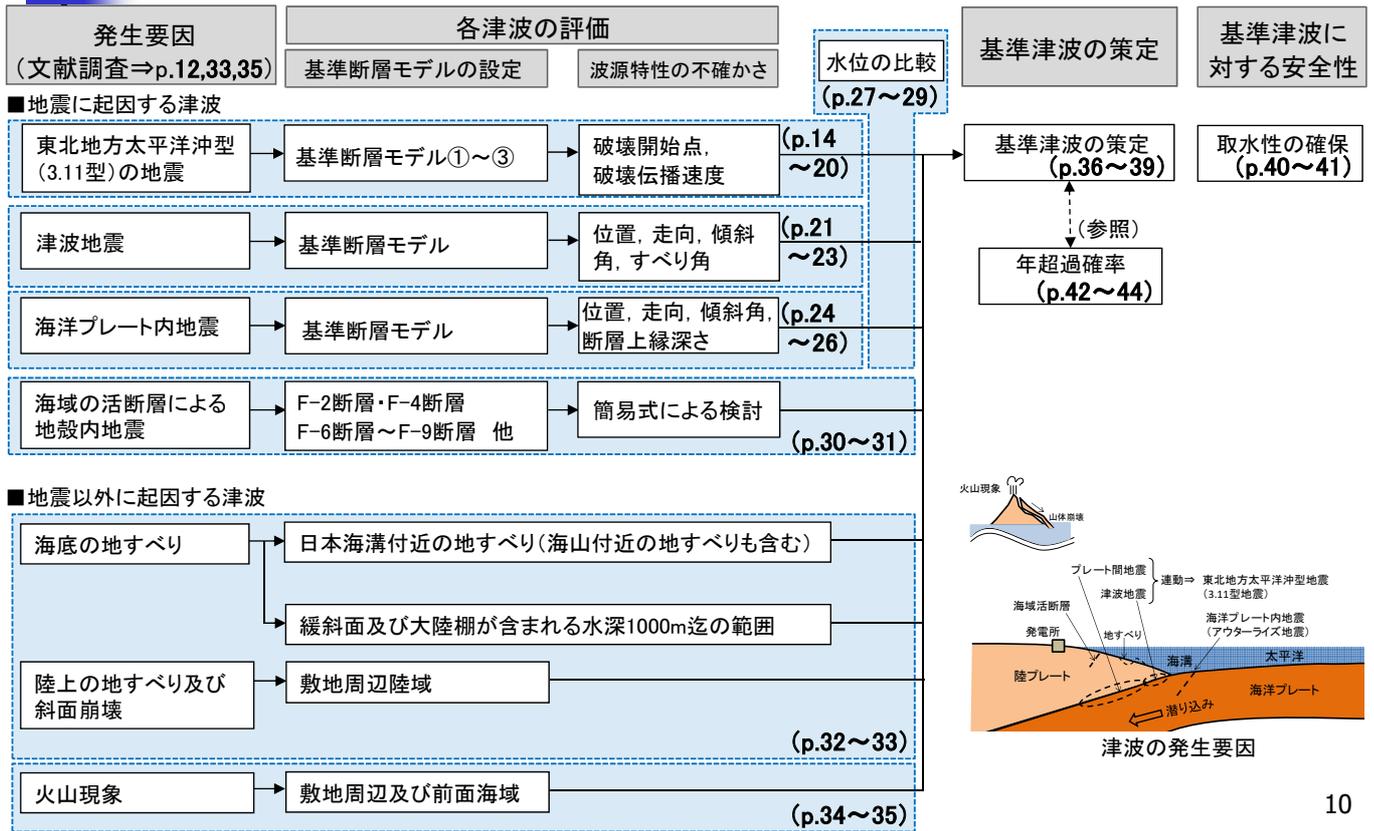
・基準津波は, 新規規制基準・審査ガイドならびに最新の科学的知見を踏まえ, 「基準断層モデル」※1を設定し, 「不確かさ」※2を考慮して策定する。



基準津波の評価の概要

※1: 海域で発生する地震の特性等を踏まえて設定された, 津波の数値計算(パラメータスタディ)を行う際の基準となる断層モデルを, 基準断層モデルという。参考資料 p.6を参照。  
 ※2: 津波波源の不確かさや, 計算誤差などを考慮し, 合理的な範囲で断層モデルの諸元(パラメータ)を変化させることを, 不確かさの考慮という。  
 ※3: 地震時に大きくすべる領域を, アスペリティという。以降, 「大すべり域」・「超大すべり域」と表記する。

## 4. 基準津波の策定 評価フロー



## 4. 基準津波の策定 評価条件・評価位置

### 【水位上昇側】

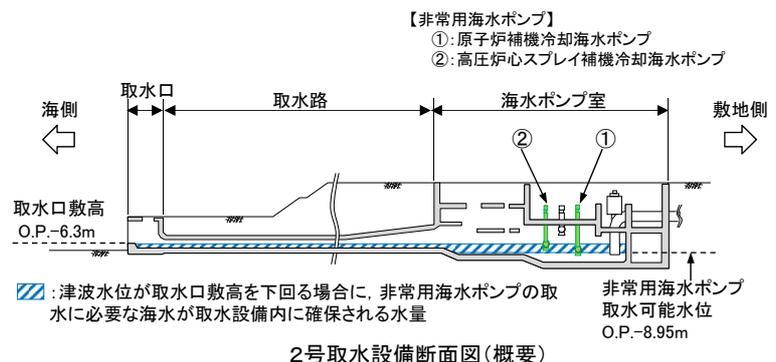
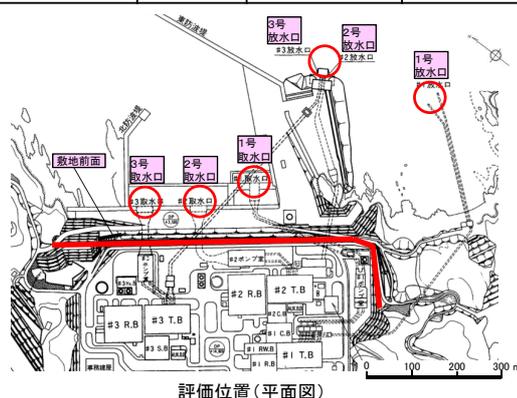
- 重要な安全機能を有する施設の設置された敷地(O.P.\*約+13.8m)への基準津波の到達, 流入を防止するため, 津波防護施設(防潮堤, 防潮壁)を設置することから, 「最大水位上昇量」に「地震に伴う沈下量」を考慮した各評価位置の最大ケースを『基準津波(水位上昇側)』とする。 ※:O.P.は女川原子力発電所工用基準面であり, 東京湾平均海面(T.P.)-0.74m。

### 【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」を考慮した最大ケースを『基準津波(水位下降側)』とする。

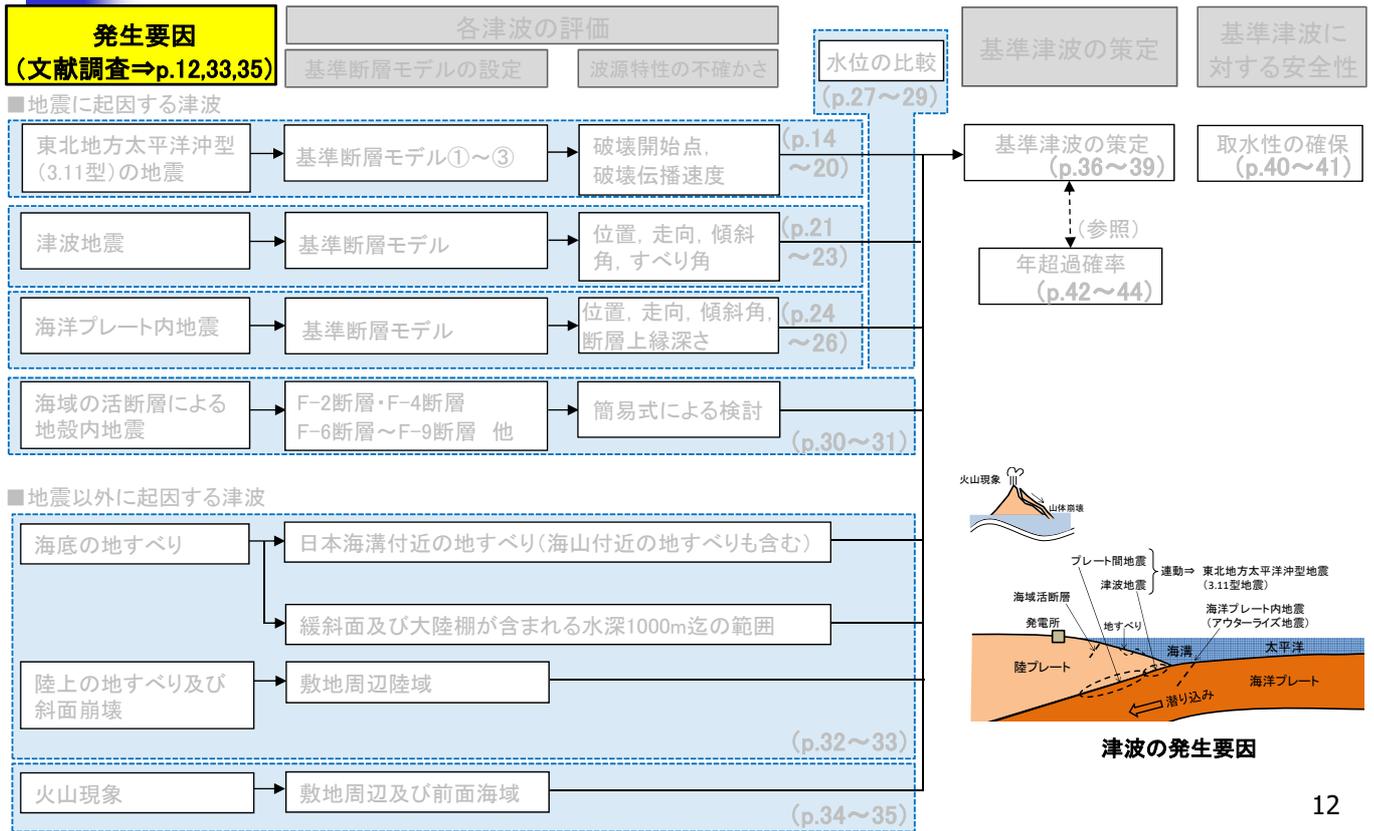
### 評価位置

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	評価位置の選定の考え方
水位上昇側	○	○	○	○	○	○	敷地への津波の到達・流入の観点
水位下降側	—	—	○	—	—	—	申請号機(2号機)の安全性の観点



## 4. 基準津波の策定 津波の発生要因(文献調査結果)

評価フロー(p.10)再掲



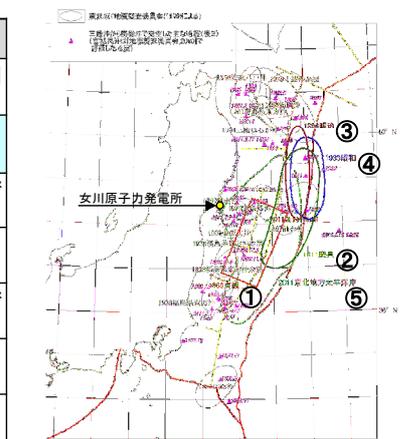
12

## 4. 基準津波の策定 津波の発生要因(文献調査結果)

第185回審査会合(H27.1.23) 資料1-1 p7より

- 文献調査の結果, 敷地に最も影響を及ぼしたと考えられる津波は日本海溝沿いの津波で, 敷地に来襲した津波の最高水位は3.11地震に伴う津波のO.P.約+13mである。

区分	地震種別	名称	文献調査結果	
近地津波	日本海溝沿い	プレート間地震	①869年の津波	3.11地震に伴う津波と同等もしくは下回る規模。
			⑤3.11地震に伴う津波	敷地前面でO.P.約+13m。
	津波地震	②1611年の津波※1	敷地近傍の記録はないが, 三陸沿岸で最大25m程度。	
		③1896年明治三陸地震津波	敷地近傍で2.7m。(三陸沿岸で最大38m程度。)	
		④1933年昭和三陸地震津波 (正断層型)	敷地近傍で約3.6m。(三陸沿岸で最大29m程度。)	
海洋プレート内地震	②1611年の津波※1 (正断層型)	敷地近傍の記録はないが, 三陸沿岸で最大25m程度。		
遠地津波※2	プレート間地震	④1933年昭和三陸地震津波 (正断層型)	敷地近傍で約3.6m。(三陸沿岸で最大29m程度。)	
		500年間隔地震	・敷地周辺で3m以下。 ・日本海溝沿いで発生する近地津波を上回るものではなく, 影響は小さい。	
		1700年カスケード地震	敷地近傍の記録はないが, 三陸沿岸で3m程度。	
		1952年カムチャッカ地震	敷地近傍の記録はないが, 三陸沿岸で数m程度。	
1960年チリ地震	・遠地津波として既往最大。 ・敷地周辺でT.P.+3.3m。(三陸沿岸で最大6.1m。)			
1964年アラスカ地震	敷地近傍の記録はないが, 三陸沿岸で数m程度。			



日本海溝沿いで発生した  
主な地震と震源域  
(地震調査研究推進本部(2012)の図に加筆)

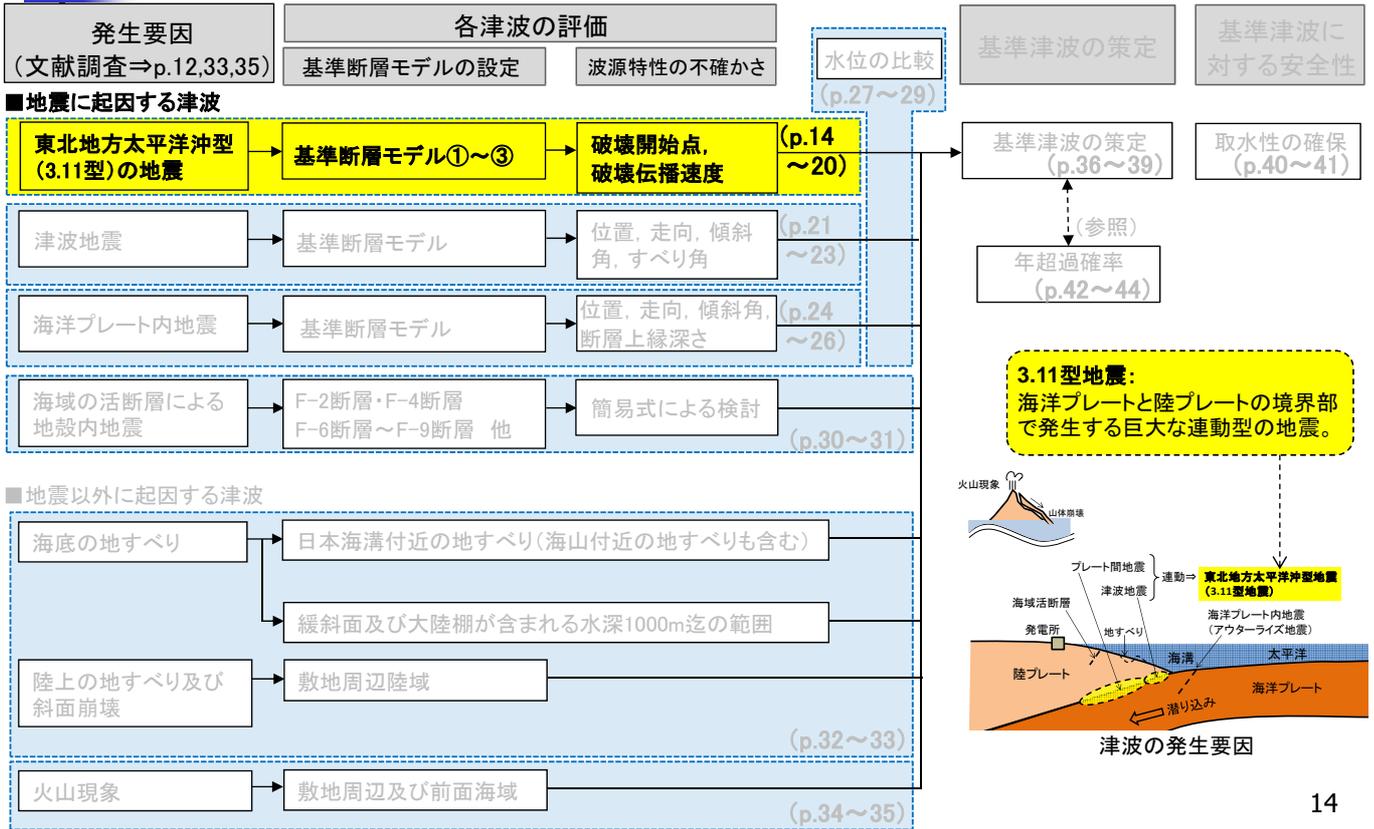
※1:地震調査研究推進本部(2012)では, 1611年の津波を「津波地震」と評価しているが, 「正断層型の海洋プレート内地震」の断層モデルも提案されている(土木学会(2002), 相田(1977))。

※2:遠地津波については, 参考資料 p.4~5を参照。

13

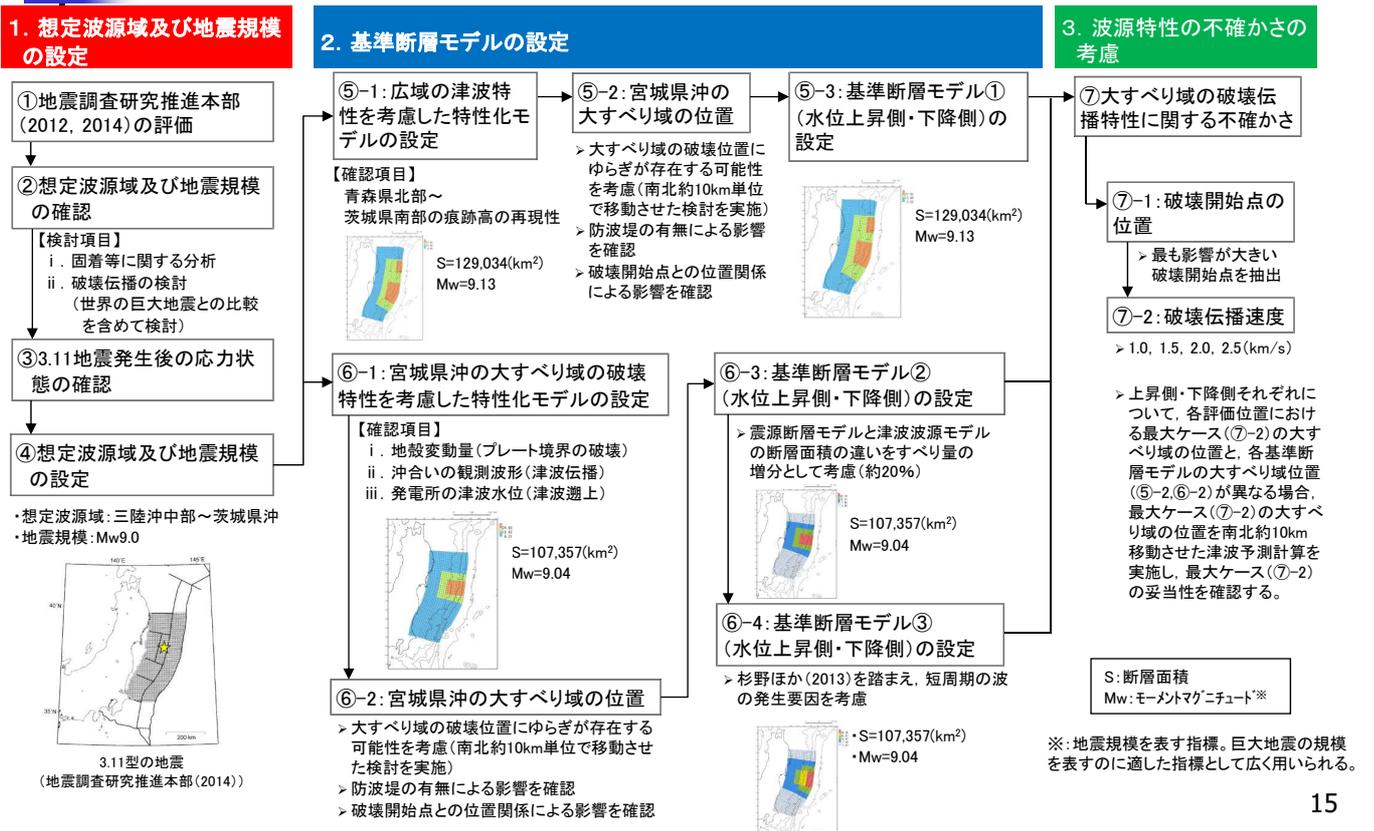
# 4. 基準津波の策定 3.11型の地震

評価フロー(p.10)再掲



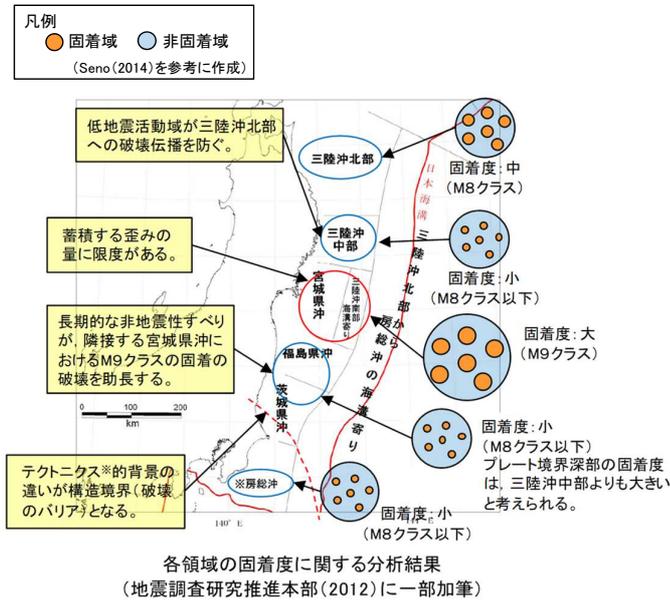
# 4. 基準津波の策定 3.11型の地震 津波評価フロー

第404回審査会合(H28.9.30) 資料3-1 p4より



## 4. 基準津波の策定 3.11型の地震 想定波源域

- 固着等に関する分析, 破壊伝播の検討から, 宮城県沖の固着域を起点(震源)とする破壊伝播の北端は三陸沖中部, 南端は茨城県沖と評価した。



地震本部の領域区分	破壊伝播範囲	破壊伝播の検討結果
三陸沖北部		<ul style="list-style-type: none"> <li>M8クラスの地震で歪みは解放し, M9クラスの巨大地震を発生させる歪みは蓄積しない。</li> </ul>
三陸沖中部	北端	<ul style="list-style-type: none"> <li>プレート境界深部の低地震活動域が, 隣接する領域からの破壊伝播を防ぐ。</li> </ul>
宮城県沖	起点(震源)	<ul style="list-style-type: none"> <li>蓄積する歪みの量には限度があり, 3.11地震よりもさらに応力を高めることはできない。</li> </ul>
福島県沖・茨城県沖	南端	<ul style="list-style-type: none"> <li>プレート境界深部で発生する長期的な非地震性すべり領域が, 隣接する宮城県沖におけるM9クラスの固着の破壊を助長する。</li> </ul>
房総沖		<ul style="list-style-type: none"> <li>フィリピン海プレートの北東端が, 隣接する領域からの破壊伝播のバリアとなる。</li> </ul>

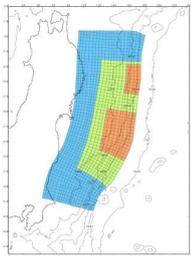
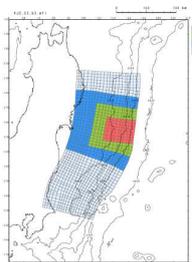
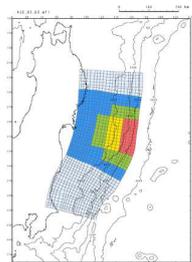
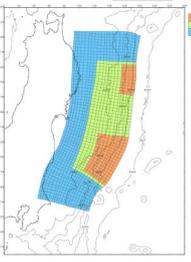
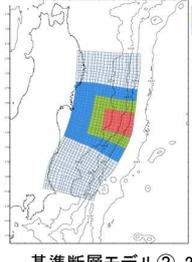
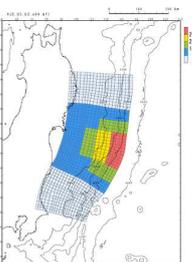
※:地球表面で起きるプレート運動などを研究する学問分野をテクニクスと言う。

## 4. 基準津波の策定 3.11型の地震 基準断層モデル

- 3.11地震および世界の巨大地震を含めた既往の研究成果を踏まえ, 以下の3種類の基準断層モデルを設定した。
- なお, 水位上昇側・水位下降側でそれぞれ最大となる超大すべり域等の位置を検討し, 2個ずつ設定した(3種類×2=6個)。

基準断層モデル	基準断層モデル①	基準断層モデル②	基準断層モデル③
設定の考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>広域の津波特性を考慮したモデル</li> <li>申請以降の最新知見を踏まえて追加したモデル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル</li> <li>既往研究を踏まえ, 超大すべり域等のすべり量を20%割増し</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>基準断層モデル②の海溝側のすべり量を割増したモデル</li> <li>未知の分岐断層や海底地すべり等による短周期の波を考慮</li> </ul>
モデル図	<p>基準断層モデル①-1 (超大すべり域の位置:基準位置より北へ約30km移動)</p>	<p>基準断層モデル②-1 (大すべり域・超大すべり域の位置:基準)</p>	<p>基準断層モデル③-1 (大すべり域・超大すべり域の位置:基準)</p>
主な諸元	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層面積 129,034 (km<sup>2</sup>)</li> <li>モーメントマグニチュード 9.13</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層面積 107,357 (km<sup>2</sup>)</li> <li>モーメントマグニチュード 9.04</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層面積 107,357 (km<sup>2</sup>)</li> <li>モーメントマグニチュード 9.04</li> </ul>

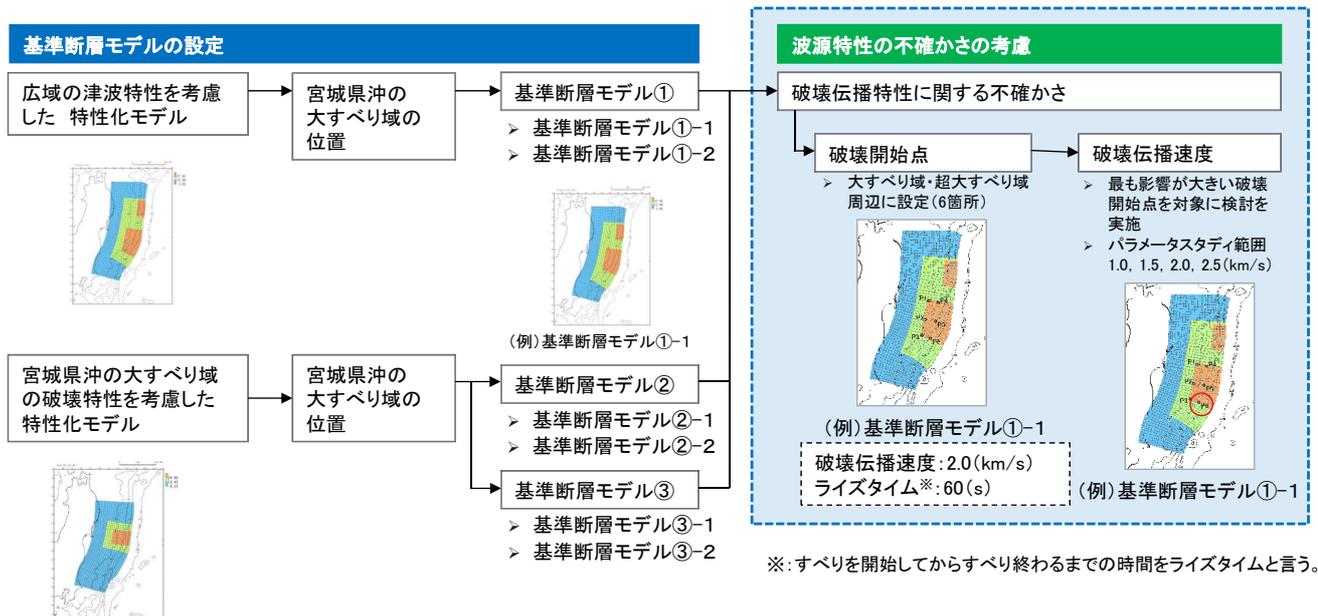
## 4. 基準津波の策定 3.11型の地震 基準断層モデルまとめ

広域の津波特性を考慮した特性化モデル	宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル	
基準断層モデル①	基準断層モデル②	基準断層モデル③
 <p>基準断層モデル①-1 (超大すべり域の位置: 北へ約30km移動)</p>	 <p>基準断層モデル②-1 (大すべり域・超大すべり域の位置: 基準)</p>	 <p>基準断層モデル③-1 (大すべり域・超大すべり域の位置: 基準)</p>
 <p>基準断層モデル①-2 (超大すべり域の位置: 南へ約60km移動)</p>	 <p>基準断層モデル②-2 (大すべり域・超大すべり域の位置: 南へ約40km移動)</p>	 <p>基準断層モデル③-2 (大すべり域・超大すべり域の位置: 南へ約40km移動)</p>

18

## 4. 基準津波の策定 3.11型の地震 不確かさの考慮

- 破壊開始点, 破壊伝播速度, ライズタイムが発電所の津波高さに与える影響を定量的に把握した上で, 津波高さに与える影響が大きい破壊開始点, 破壊伝播速度の不確かさを以下のとおり考慮した。



## 4. 基準津波の策定 3.11型の地震 計算結果

- 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算の結果、基準断層モデル③-1に波源特性を不確かさを考慮したケースが水位上昇側の決定ケースであり、基準断層モデル②-1に波源特性の不確かさを考慮したケースが水位下降側の決定ケースとなることを確認した。

### 【水位上昇側】

特性化モデル	大すべり域・ 超大すべり域 の位置	波源特性の不確かさ		最大水位上昇量(m)					
		破壊開始点	破壊伝播速度	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
基準断層モデル①-1	北へ約30km 移動	基準 (同時破壊)	基準 (同時破壊)	18.42(北側)	17.33	17.32	17.15	16.04	16.20
基準断層モデル②-1	基準	P5	1.0(km/s)	18.86(北側)	17.03	17.40	17.55	15.50	15.34
基準断層モデル③-1	基準	基準 (同時破壊)	基準 (同時破壊)	<b>21.58(北側)</b>	<b>18.85</b>	<b>19.50</b>	<b>19.60</b>	<b>16.46</b>	<b>17.16</b>

### 【水位下降側】

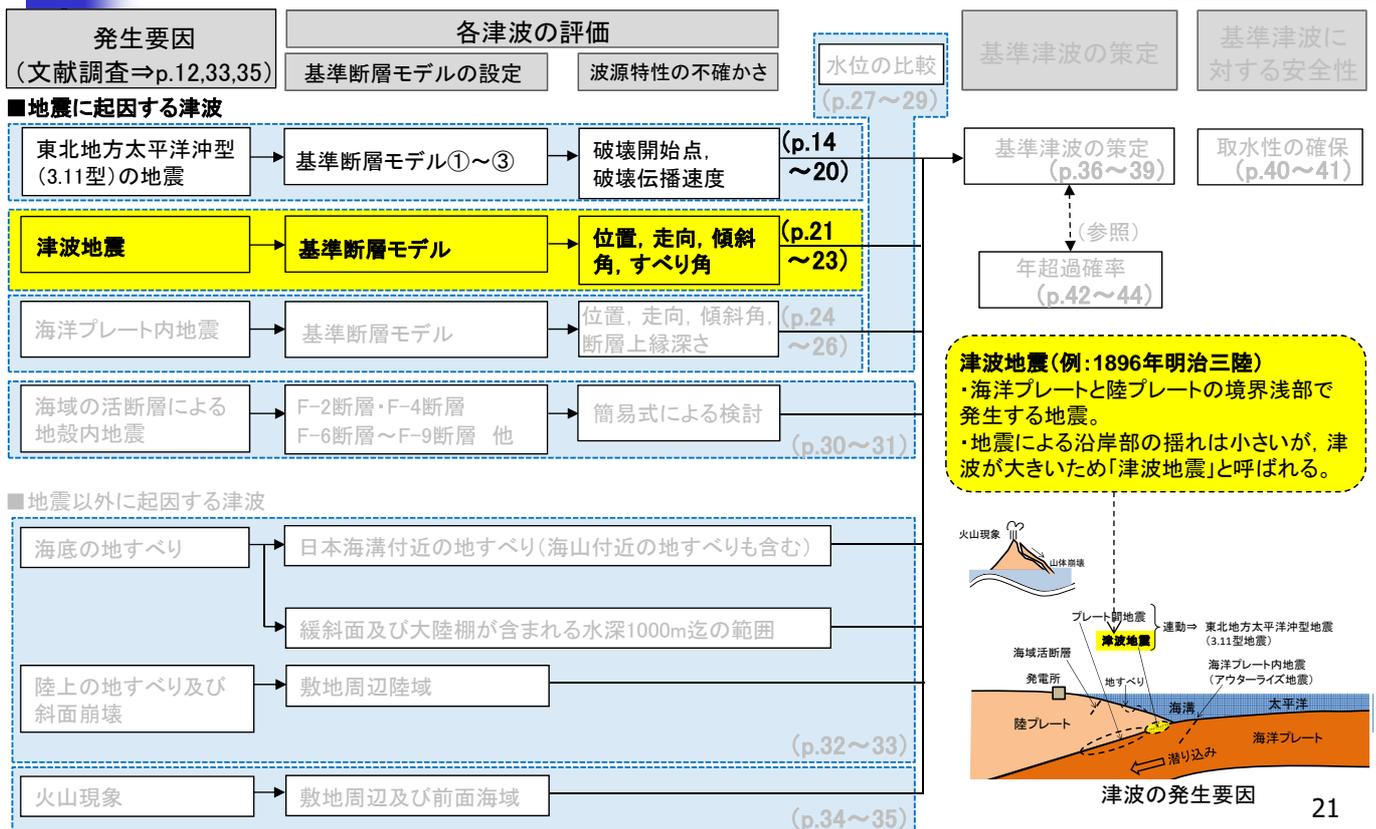
特性化モデル	大すべり域・ 超大すべり域 の位置	波源特性の不確かさ		2号取水口前面	
		破壊開始点	破壊伝播速度	最大水位下降量 (m)	継続時間* (分)
基準断層モデル①-1	北へ約30km 移動	P6	1.0(km/s)	-10.22	2.6
基準断層モデル②-1	基準	P5	1.0(km/s)	<b>-10.38</b>	2.6
基準断層モデル③-1	基準	P5	1.0(km/s)	-9.78	2.9
2号機非常用海水ポンプの運転可能継続時間					約26

※: 津波水位が取水口敷高  
を下回る時間(p.11参照)

20

## 4. 基準津波の策定 津波地震

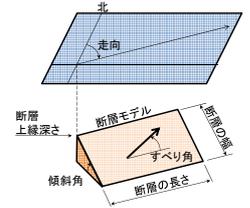
評価フロー(p.10)再掲



## 4. 基準津波の策定 津波地震

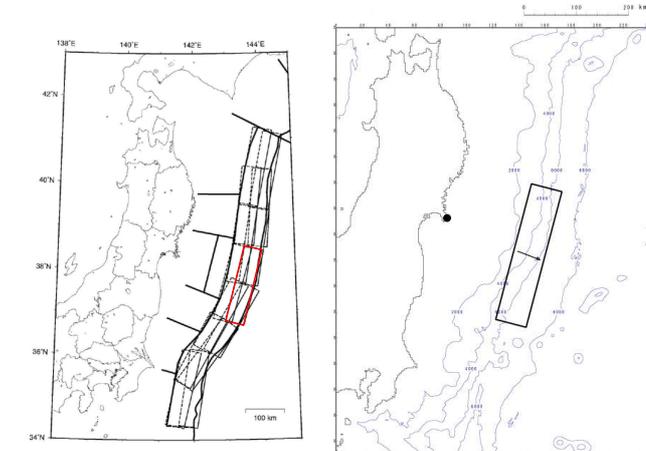
- 地震調査研究推進本部(2014)による津波地震の断層面の設定方法を参考として、発電所に影響が大きい位置を基準位置とした。地震規模(Mw)は、申請時の8.3から8.5に見直した。
- 断層位置※、走向、傾斜角およびすべり角の不確かさを考慮した。

(参考)断層パラメータ



### 諸元

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	地震規模(Mw)の分布幅に関する 知見等を踏まえて設定	8.5
断層の長さ	L(km)	既往津波再現モデル、中央防災会 議(2005)のすべり分布を参考に設 定。	271
断層の幅	W(km)		64
すべり量	D(m)		11.60
剛性率	$\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	既往津波再現モデルに基づき設定。	$3.5 \times 10^{10}$
地震モーメント	Mo(Nm)	$\mu$ LWD	$7.08 \times 10^{21}$
走向	$\theta$ (°)	地震調査研究推進本部(2014)の 津波地震の断層面を参考に設定。	197
断層上縁深さ	d(km)	既往津波再現モデルに基づき設定。	1
傾斜角	$\delta$ (°)		20
すべり角	$\lambda$ (°)	走向とすべり方向に基づき設定。	83.6
ライズタイム	$\tau$ (s)	既往津波再現モデルに基づき設定。	60



三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの  
プレート間地震(津波地震)の断層面  
(地震調査研究推進本部(2014)に一部加筆)

基準断層モデル  
(波源位置:基準)

※:断層位置の不確かさは、申請時は20km単位で南北に移動  
させて評価したが、審査コメントを踏まえ、10km単位の移動  
に見直した。

## 4. 基準津波の策定 津波地震 計算結果

- 各評価位置における水位上昇側、水位下降側の最大ケースを以下に示す。

### 【水位上昇側】

波源モデル	波源特性の不確かさ				最大水位上昇量(m)					
	位置	走向	傾斜角	すべり角	敷地 前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面
津波地震	基準	基準+5°	基準	基準+10°	21.82 (北側)	15.80	16.39	16.80	13.98	15.01
	北へ10km	基準+5°	基準+5°	基準+10°	20.84 (北側)	17.21	17.61	17.20	14.392	14.72
	基準	基準+5°	基準+5°	基準+10°	20.73 (北側)	17.13	17.45	17.18	14.393	14.80
《参考》 申請時の評価					19.50 (北側)	16.14	16.81	16.77	14.44	15.44

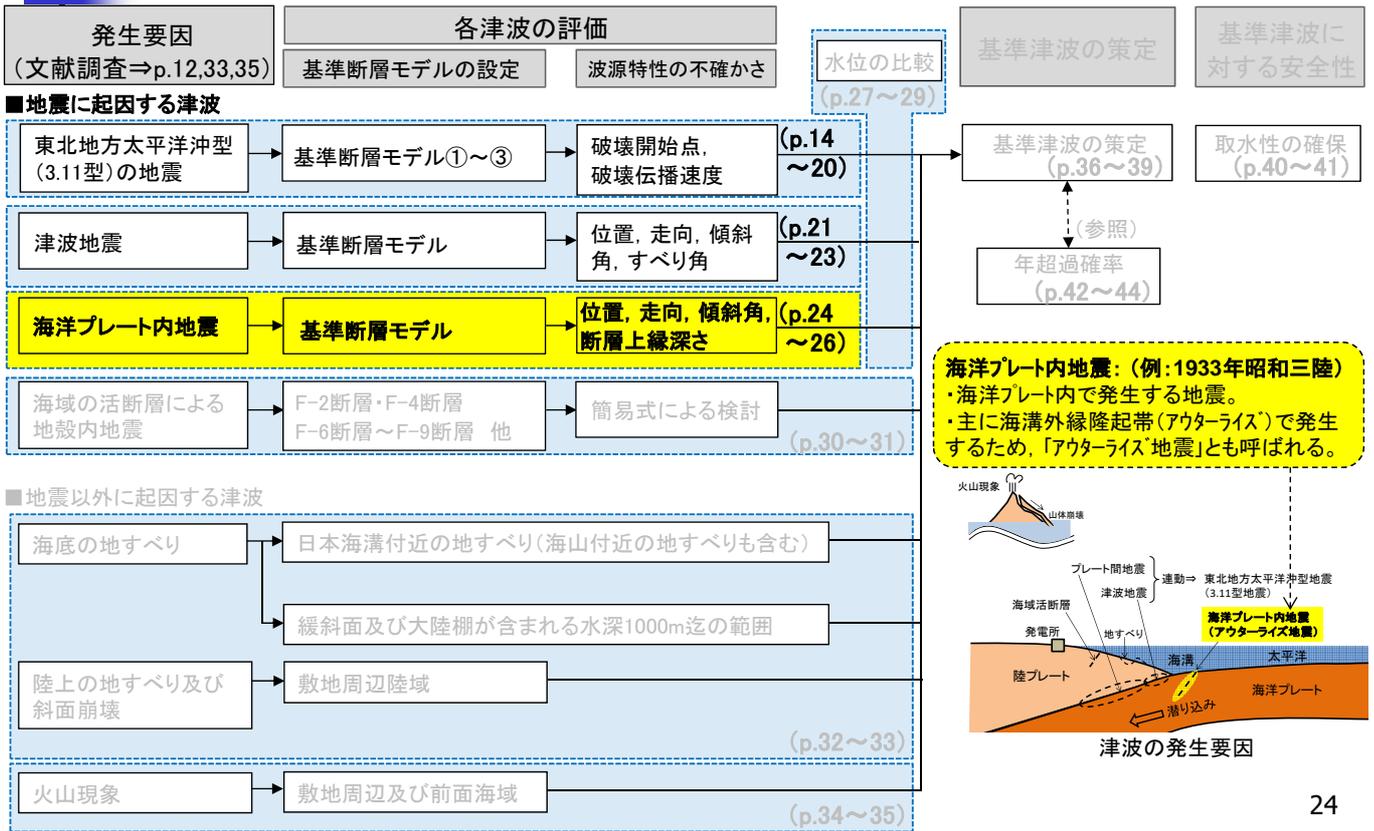
### 【水位下降側】

波源モデル	波源特性の不確かさ				2号取水口前面	
	位置	走向	傾斜角	すべり角	最大水位下降量 (m)	継続時間※ (分)
津波地震	北へ10km	基準+5°	基準+5°	基準+10°	-9.17	1.9
2号機非常用海水ポンプの運転可能継続時間						約26
《参考》 申請時の評価					-8.48	1.3

※:津波水位が取水口敷高  
を下回る時間(p.11参照)

# 4. 基準津波の策定 海洋プレート内地震

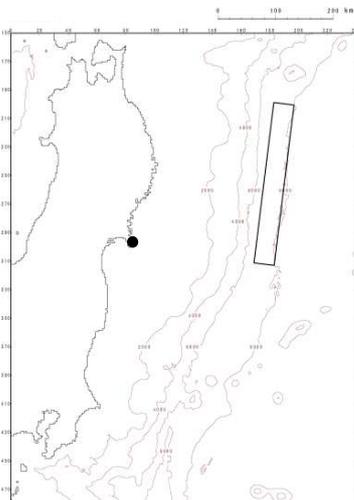
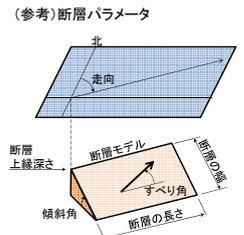
評価フロー(p.10)再掲



# 4. 基準津波の策定 海洋プレート内地震

第404回審査会合(H28.9.30) 資料3-2 p59 より

- 基準断層モデルの地震規模(Mw)は、地震調査研究推進本部(2012), 土木学会(2002)の評価及び3.11地震発生後の応力状態を考慮して、国内外における海溝外縁隆起帯で発生した地震のうち最大規模の1933年昭和三陸地震津波を再現するモデル(Mw8.35)を基本として、これを上回るよう土木学会(2002)を参考にMw8.6にスケーリングして設定した。
- 断層位置※1, 傾斜方向※2, 走向, 傾斜角, 断層上縁深さの不確かさを考慮した。



諸元

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	土木学会(2002)	8.6
断層の長さ	L(km)	既往津波再現モデルに、Mwに関連する断層パラメータのスケーリング則(幅に限界あり)を適用して設定。	283
断層の幅	W(km)		50
すべり量	D(m)		10.1
剛性率	$\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	既往津波再現モデルに基づき設定。	$7.0 \times 10^{10}$
地震モーメント	Mo(Nm)	$\mu$ LWD	$1.00 \times 10^{22}$
走向	$\theta$ (°)	日本海溝の形状に合わせて設定。	190
断層上縁深さ	d(km)	既往津波再現モデルに基づき設定。	1
傾斜角	$\delta$ (°)		45
すべり角	$\lambda$ (°)	走向とすべり方向に基づき設定。	270
ライズタイム	$\tau$ (s)	既往津波再現モデルに基づき設定。	60

※1:断層位置の不確かさは、申請時は20km単位で南北に移動させて評価したが、審査コメントを踏まえ、南北・東西方向の10km単位の移動に見直した。

※2:申請時は西落ち傾斜のみ評価したが、審査コメントを踏まえ、東落ち傾斜の場合も考慮した。

## 4. 基準津波の策定 海洋プレート内地震 計算結果

・各評価位置における水位上昇側・水位下降側の最大ケースを以下に示す。

【水位上昇側】

波源特性の不確かさ						最大水位上昇量(m)					
位置		断層の傾斜	走向	傾斜角	断層上縁深さ	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
南北方向	東西方向										
南へ130km	西へ10km	西傾斜	基準-10°	基準+5° (51°)	1km	22.05 (南側)	12.14	15.19	15.01	14.12	12.05
南へ130km	西へ80km	西傾斜	基準-10°	基準+5° (58°)	9km	20.39 (北側)	12.92	16.10	14.73	12.80	12.51
南へ130km	西へ50km	東傾斜	基準+10°	基準-5° (35°)	10km	18.12 (南側)	11.79	16.45	13.48	11.69	11.00
南へ130km	西へ20km	西傾斜	基準-10°	基準+5° (52°)	2km	21.94 (南側)	12.42	15.26	15.12	14.16	12.26
南へ130km	西へ10km	西傾斜	基準-10°	基準 (46°)	0km	21.30 (南側)	11.86	14.85	14.11	14.26	11.84
南へ130km	東へ40km	西傾斜	基準-10°	基準+5° (50°)	2km	19.17 (南側)	11.26	14.92	13.12	12.60	12.74
《参考》申請時の評価						21.38 (南側)	11.85	15.15	14.19	13.86	12.07

【水位下降側】

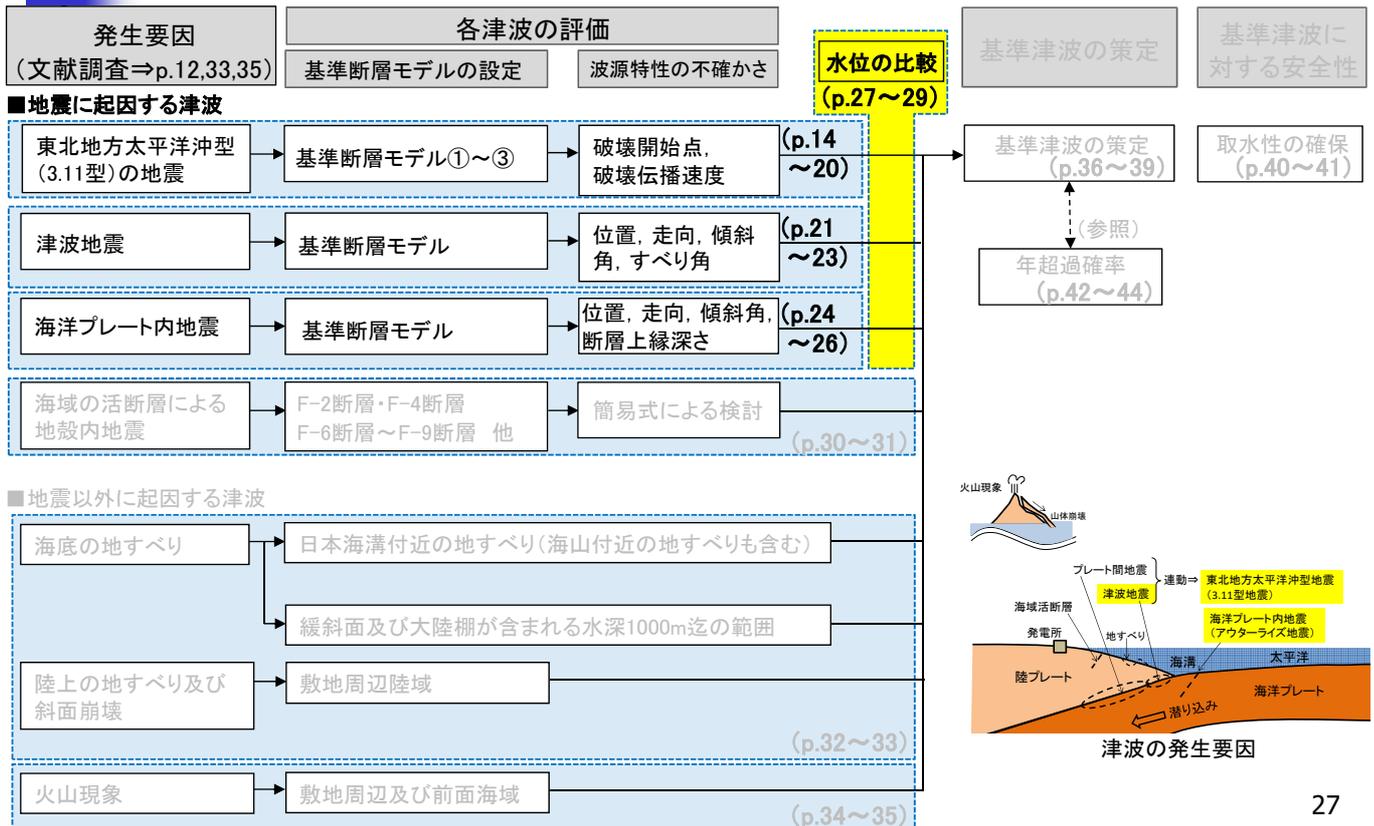
波源特性の不確かさ						2号取水口前面	
位置		断層の傾斜	走向	傾斜角	断層上縁深さ	最大水位下降量(m)	継続時間※(分)
南北方向	東西方向						
南へ130km	西へ60km	東傾斜	基準	基準+5° (44°)	11km	-10.13	2.6
2号機非常用海水ポンプの運転可能継続時間							約26
《参考》申請時の評価						-9.30	1.5

※:津波水位が取水口敷高を下回る時間 (p.11参照)

26

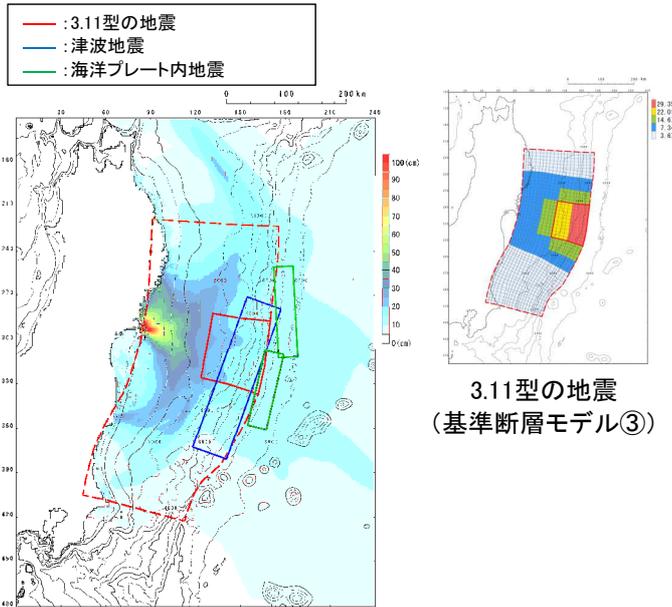
## 4. 基準津波の策定 水位上昇側計算結果の比較

評価フロー (p.10)再掲



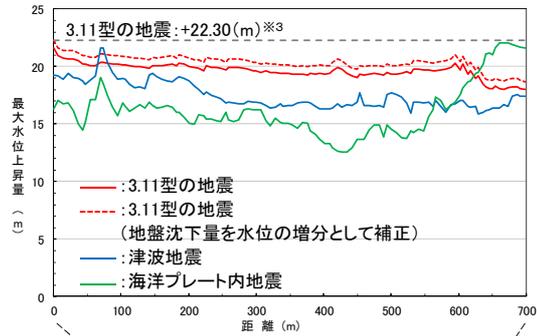
## 4. 基準津波の策定 水位上昇側計算結果の比較

- 「3.11型の地震」、「津波地震」及び「海洋プレート内地震」の敷地前面最大ケースを対象に、敷地前面における最大水位上昇量を比較した結果を下图に示す。

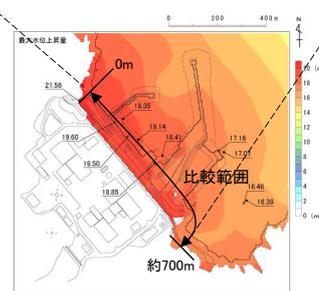


波源モデル重ね合わせ図※1, 2

- ※1: 各地震の敷地前面最大ケース
- ※2: 背景は、発電所位置を波源と仮定した場合の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)



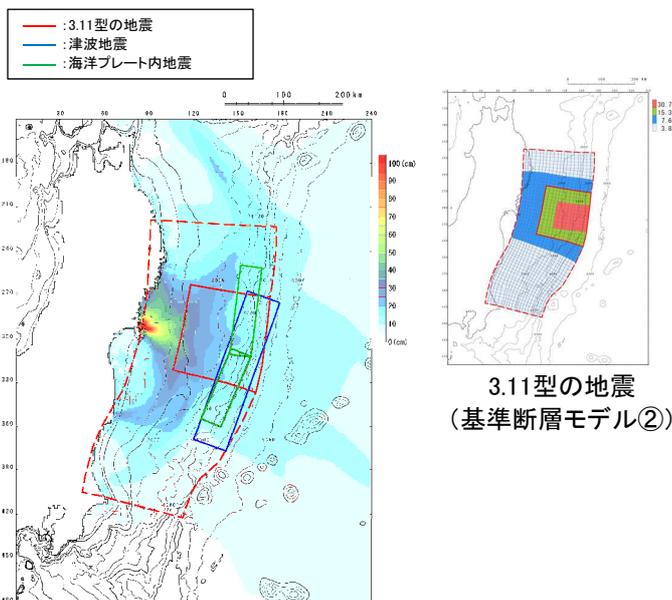
敷地前面における最大水位上昇量の比較



最大水位上昇量分布  
(3.11型の地震(基準断層モデル③))

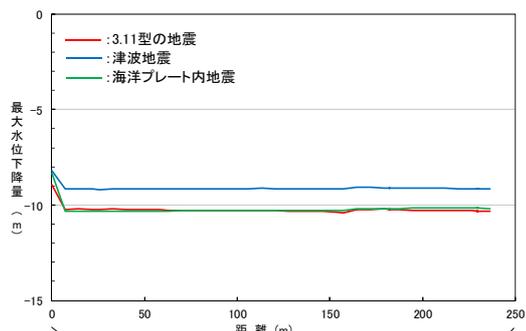
## 4. 基準津波の策定 水位下降側の計算結果の比較

- 「3.11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图に示す。

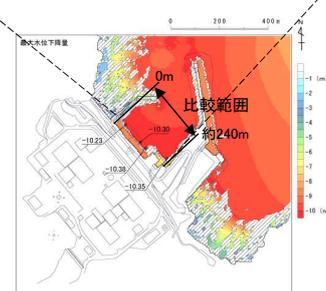


波源モデル重ね合わせ図※1, 2

- ※1: 各地震の敷地前面最大ケース
- ※2: 背景は、発電所位置を波源と仮定した場合の津波伝播特性の検討結果



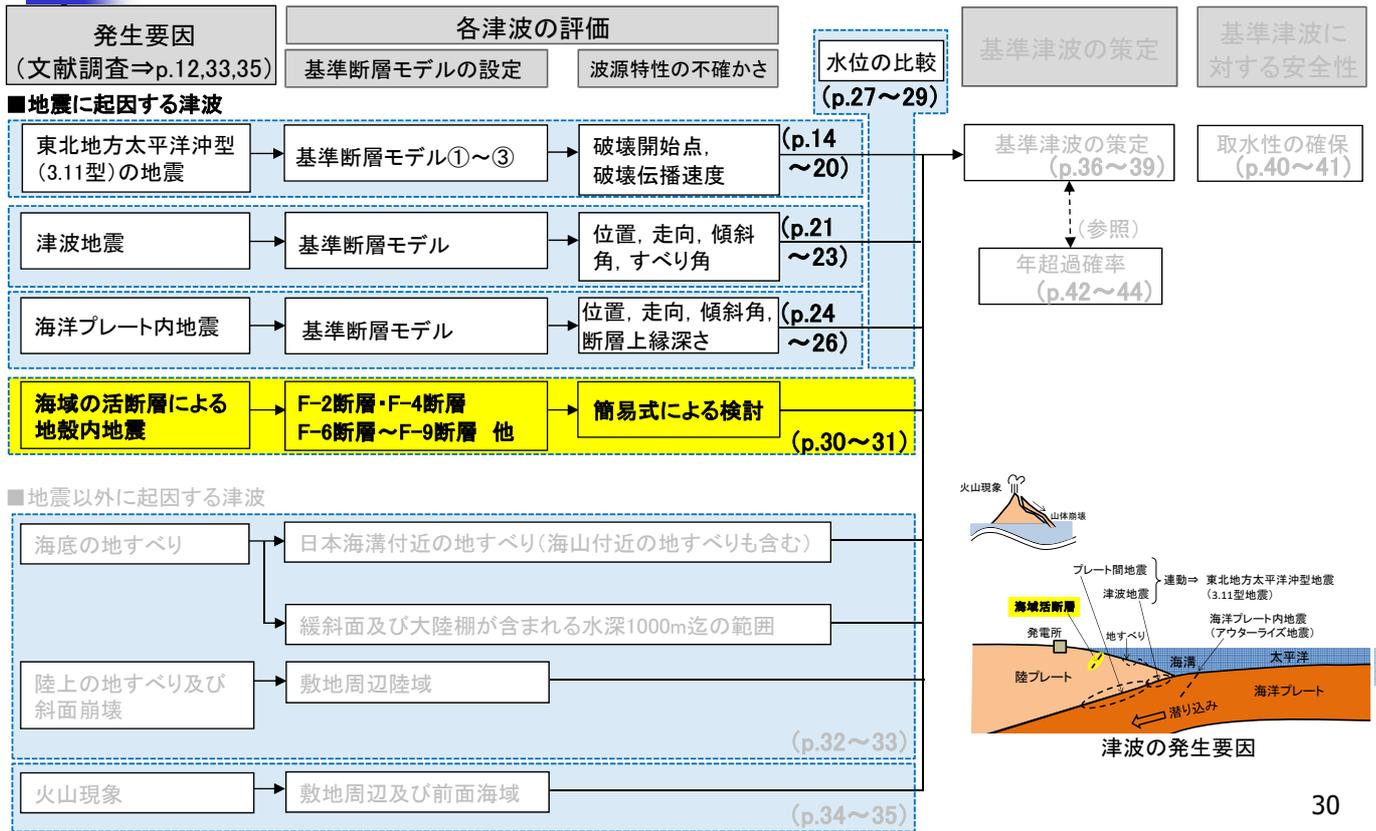
取水口前面における最大水位下降量の比較



最大水位下降量分布  
(3.11型の地震(基準断層モデル②))

## 4. 基準津波の策定 海域活断層による地殻内地震

評価フロー(p.10)再掲

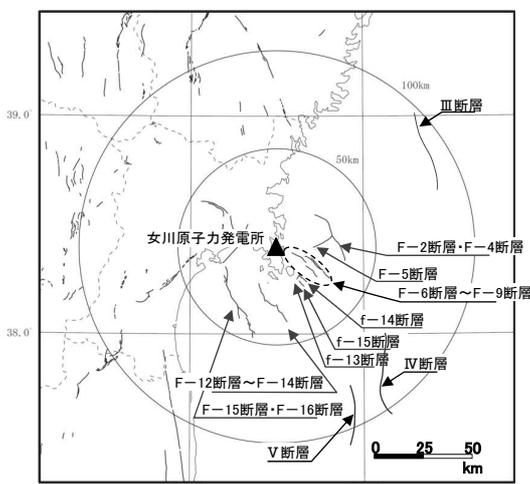


30

## 4. 基準津波の策定 海域活断層による地殻内地震

第404回審査会合(H28.9.30)  
資料3-2 p95, p96 より

- 敷地周辺の地質・地質構造において、後期更新世以降の活動性を考慮している断層を検討の対象とした。
- 津波高さは、上記断層のうち発電所と断層の位置関係、断層長さ及び敷地からの距離を考慮し、F-2断層・F-4断層、F-5断層、F-6断層～F-9断層、Ⅲ断層、Ⅳ断層(下表の      部分)を対象に、阿部(1989)の簡易予測式を用いて算定した。
- 推定津波高は最大1.2mであり、プレート間地震及び海洋プレート内地震に起因する津波と比較して小さいことを確認した。



敷地周辺海域の活断層分布

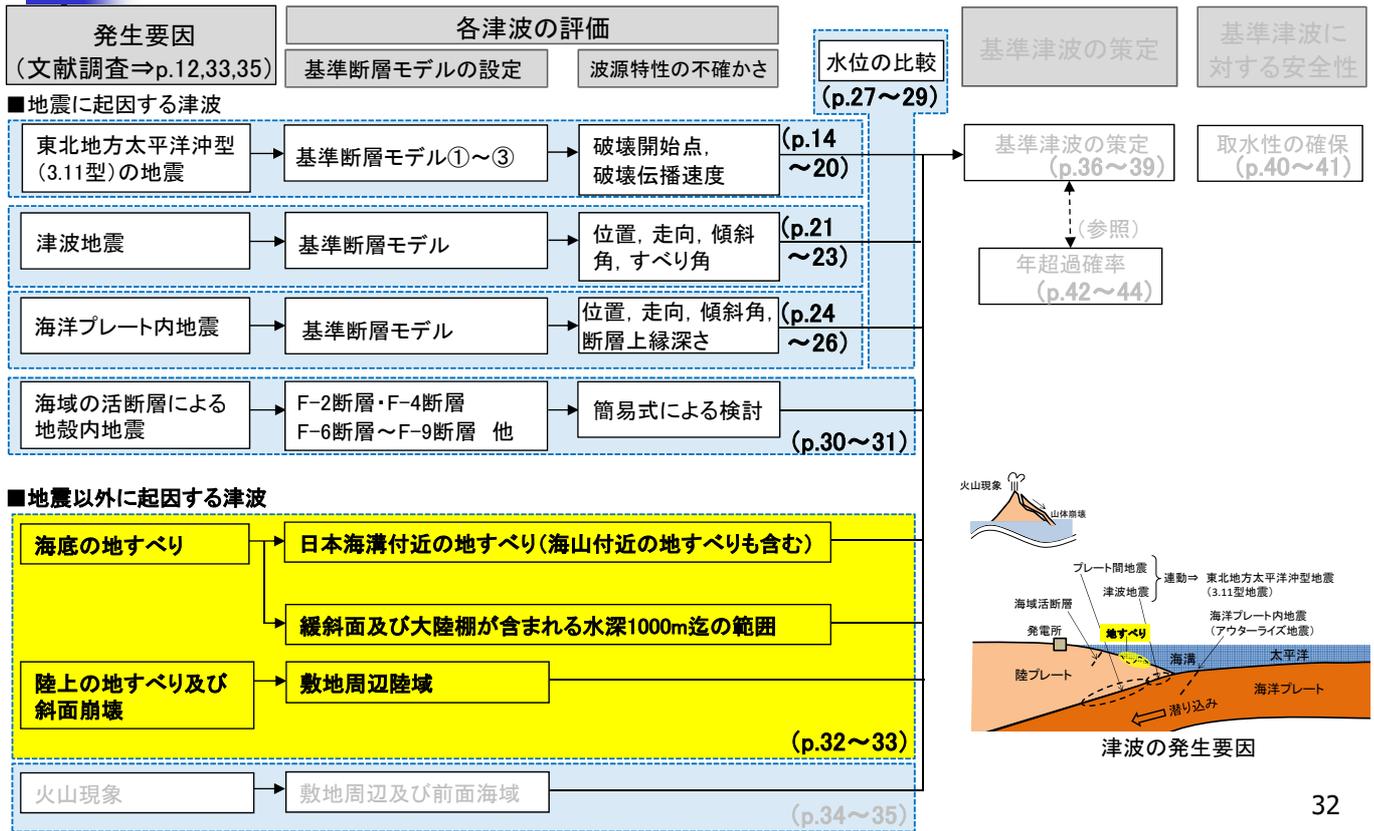
断層名	断層長さ L(km)	敷地からの距離 <sup>*</sup> Δ(km)	推定津波高(m)	備考
F-2断層・F-4断層	約27.8	27.0	1.1	
F-5断層	約11.2	23.2	0.2	
F-6断層～F-9断層	約23.7	19.8	1.2	申請時: L=約22km, Δ=15.0km
F-12断層～F-14断層	約24.2	28.3	—	発電所との位置関係から除外
F-15断層・F-16断層	約38.7	34.0	—	発電所との位置関係から除外
f-13断層	約3.3	18.5	—	断層長さから除外
f-14断層	約5.1	20.8	—	断層長さから除外
f-15断層	約3.7	22.4	—	断層長さから除外
Ⅲ断層	約41	90.0	0.5	審査を踏まえ追加
Ⅳ断層	約43	86.2	0.6	審査を踏まえ追加
V断層	約31	93.4	—	Ⅲ断層、Ⅳ断層と比較して断層長さが短いことから除外

※: 断層中心から敷地までの平面距離

31

## 4. 基準津波の策定 地すべり及び斜面崩壊

評価フロー(p.10)再掲

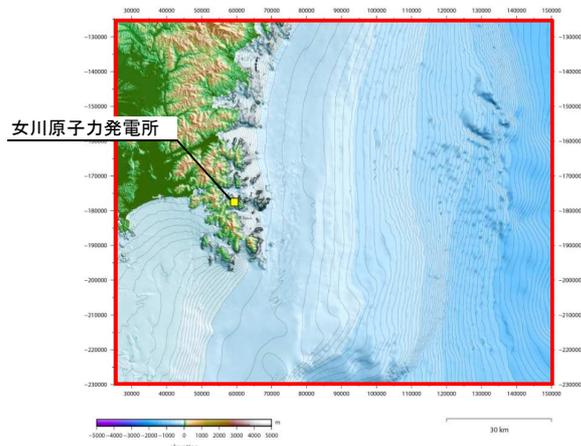


32

## 4. 基準津波の策定 地すべり及び斜面崩壊

第210回審査会合(H27.3.20)  
資料2-1 p67, p68, p76 より

- 文献調査の結果, 敷地周辺において陸上及び海底の地すべり, 並びに斜面崩壊による歴史津波の記録はない。
- 防災科学技術研究所(2009)の地すべり地形分布図データベース, 日本地すべり学会東北支部(1992)による東北の地すべり・地すべり地形によれば, 敷地周辺陸域の地形について, 陸上の地すべり及び斜面崩壊地形は認められない。
- 海底地すべり地形の特徴等を踏まえ, 緩斜面及び大陸棚が含まれる範囲を対象に海底地すべり地形判読を実施した結果, 明瞭な馬蹄形を呈する地すべりを示唆する痕跡は認められない。

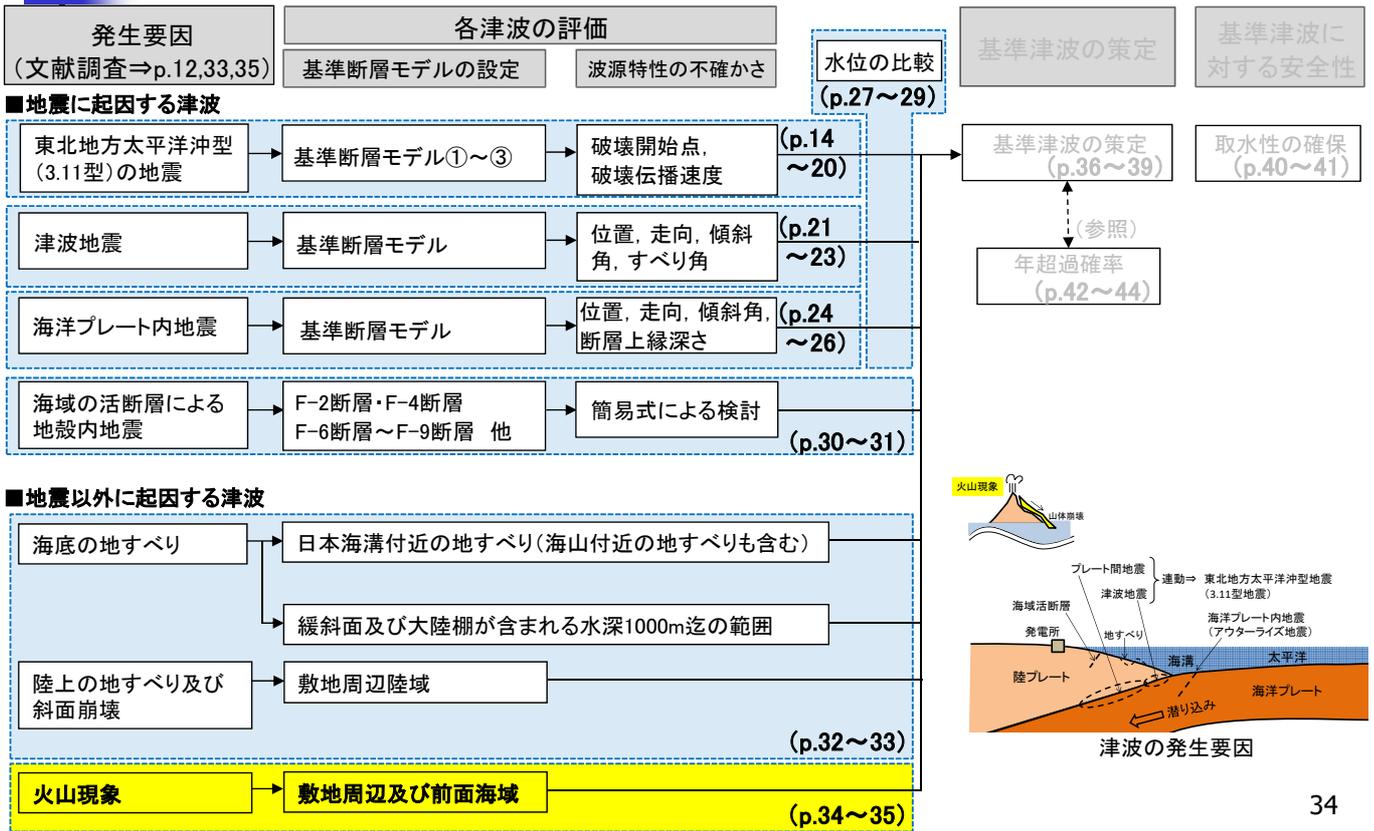


以上から, 地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の影響は極めて小さいと考えられる。

33

# 4. 基準津波の策定 火山現象

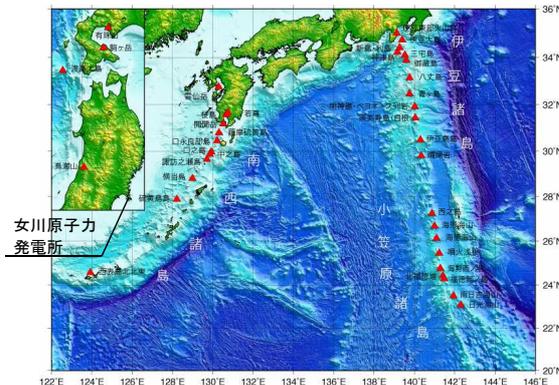
評価フロー(p.10)再掲



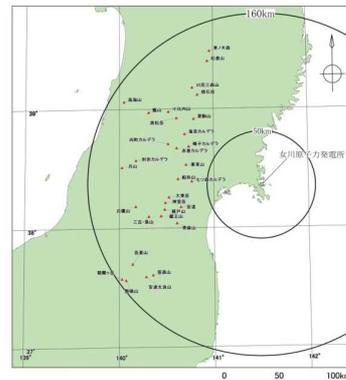
# 4. 基準津波の策定 火山現象

第210回審査会合(H27.3.20)  
資料2-1 p79, p80 より

- 文献調査の結果、敷地周辺において火山現象による歴史津波の記録はない。  
 【調査した文献】① 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  
 ② 渡辺偉夫(1998): 日本被害津波総覧 [第2版], 東京大学出版会  
 ③ 気象庁(1951~2010): 地震月報ほか  
 ④ 国立天文台編(2013): 理科年表, 平成25年, 丸善
- 海上保安庁の海域火山データベース及び産業技術総合研究所の「日本の火山(第3版)」によれば、敷地周辺および前面海域に津波を発生させる火山は認められない。



海域の火山  
(海上保安庁(2013)に一部加筆)

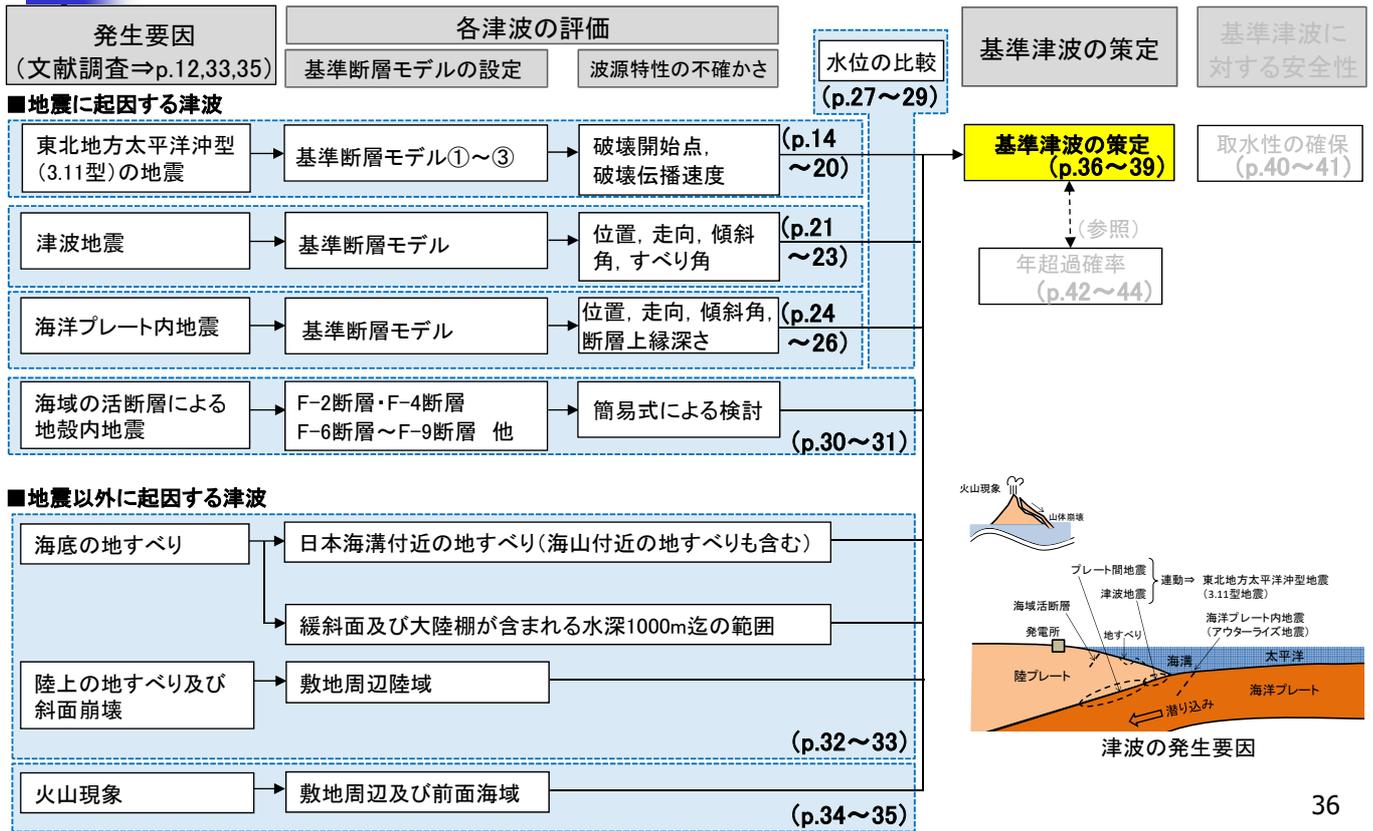


敷地を中心とする半径160km範囲の陸域の第四紀火山  
(産業技術総合研究所編(2013)に一部加筆)

以上から、火山現象に起因する津波の影響は極めて小さいと考えられる。

# 4. 基準津波の策定

評価フロー(p.10)再掲



# 4. 基準津波の策定 水位上昇側の計算結果まとめ

第404回審査会合(H28.9.30)  
資料3-3 p6より

- 各津波の最大ケースの整理結果を下表に示す。
- 「最大水位上昇量」に「地震に伴う沈下量」を考慮した各評価位置の決定ケースは、「3.11型の地震(基準断層モデル③)」に起因する津波である。

[ ]: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	基準断層モデル①	18.42 [19.00]	17.33 [17.91]	17.32 [17.90]	17.15 [17.73]	16.04 [16.62]	16.20 [16.78]
		基準断層モデル②	18.86 [19.63]	17.03 [17.80]	17.40 [18.17]	17.55 [18.32]	15.50 [16.27]	15.34 [16.11]
		基準断層モデル③	<b>21.58</b> <b>[22.30]</b>	18.85 [19.57]	19.50 [20.22]	19.60 [20.32]	16.46 [17.18]	17.16 [17.88]
	津波地震	21.82 [21.82] (隆起+0.03)	17.21 [17.21] (隆起+0.03)	17.61 [17.61] (隆起+0.03)	17.20 [17.20] (隆起+0.03)	14.39 [14.39] (隆起+0.03)	15.01 [15.01] (隆起+0.03)	
	海洋プレート内地震	正断層型の地震	22.05 [22.08]	12.92 [12.95]	16.45 [16.48]	15.12 [15.15]	14.26 [14.29]	12.74 [12.77]
	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, 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。					

## 4. 基準津波の策定 水位下降側の計算結果まとめ

- 各津波の最大ケースの整理結果を下表に示す。
- 「最大水位下降量」に「地震に伴う隆起量」を考慮した決定ケースは、「3.11型の地震(基準断層モデル②)」に起因する津波である。

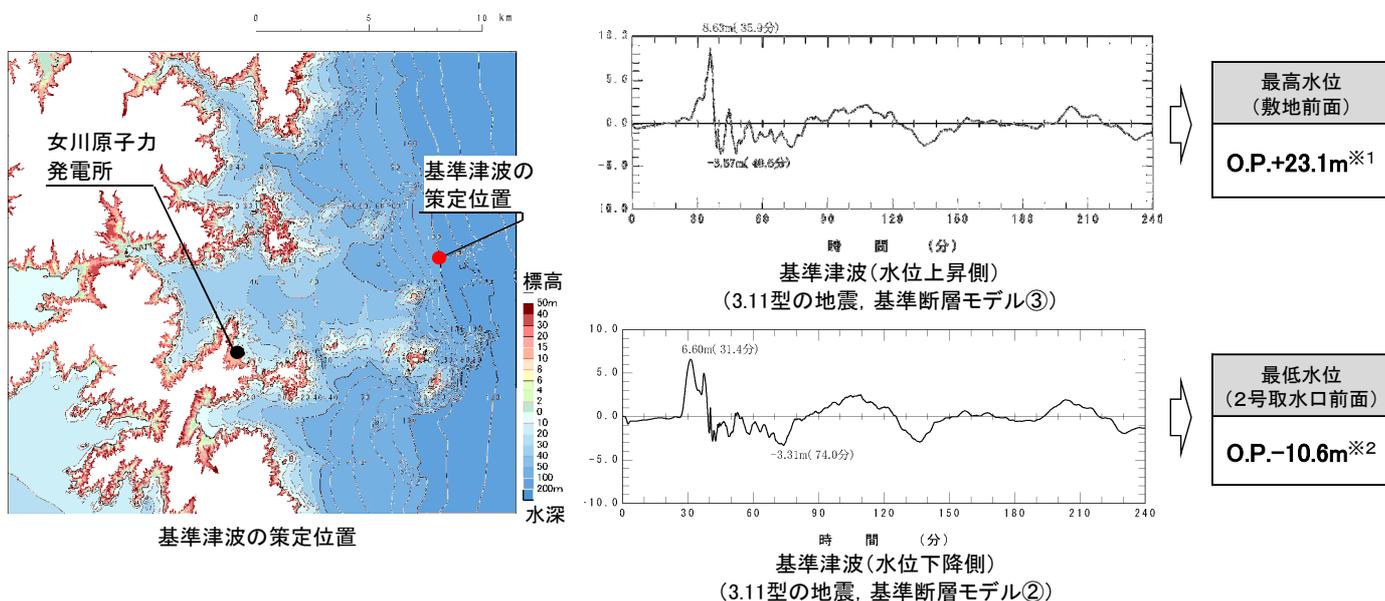
[ ]: 地震に伴う隆起量を考慮した相対的な津波水位

発生要因	種別	波源モデル	最大水位下降量(m)		
			2号取水口前面	継続時間*(分)	
地震	プレート間地震	3.11型の地震	基準断層モデル①	-10.22 [-10.22] (沈下-0.58)	2.6
			基準断層モデル②	-10.38 [-10.38] (沈下-0.77)	2.6
			基準断層モデル③	-9.78 [-9.78] (沈下-0.72)	2.9
		津波地震	-9.17 [-9.20]	1.9	
	海洋プレート内地震	正断層型の地震	-10.13 [-10.13]	2.6	
	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, 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		

※: 津波水位が取水口敷高を下回る時間(p.11参照)

## 4. 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「3.11型の地震」に起因する津波を基準津波とした。
- 基準津波は、敷地前面の海底地形の特徴を踏まえ、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(下図の●の位置)で策定した。

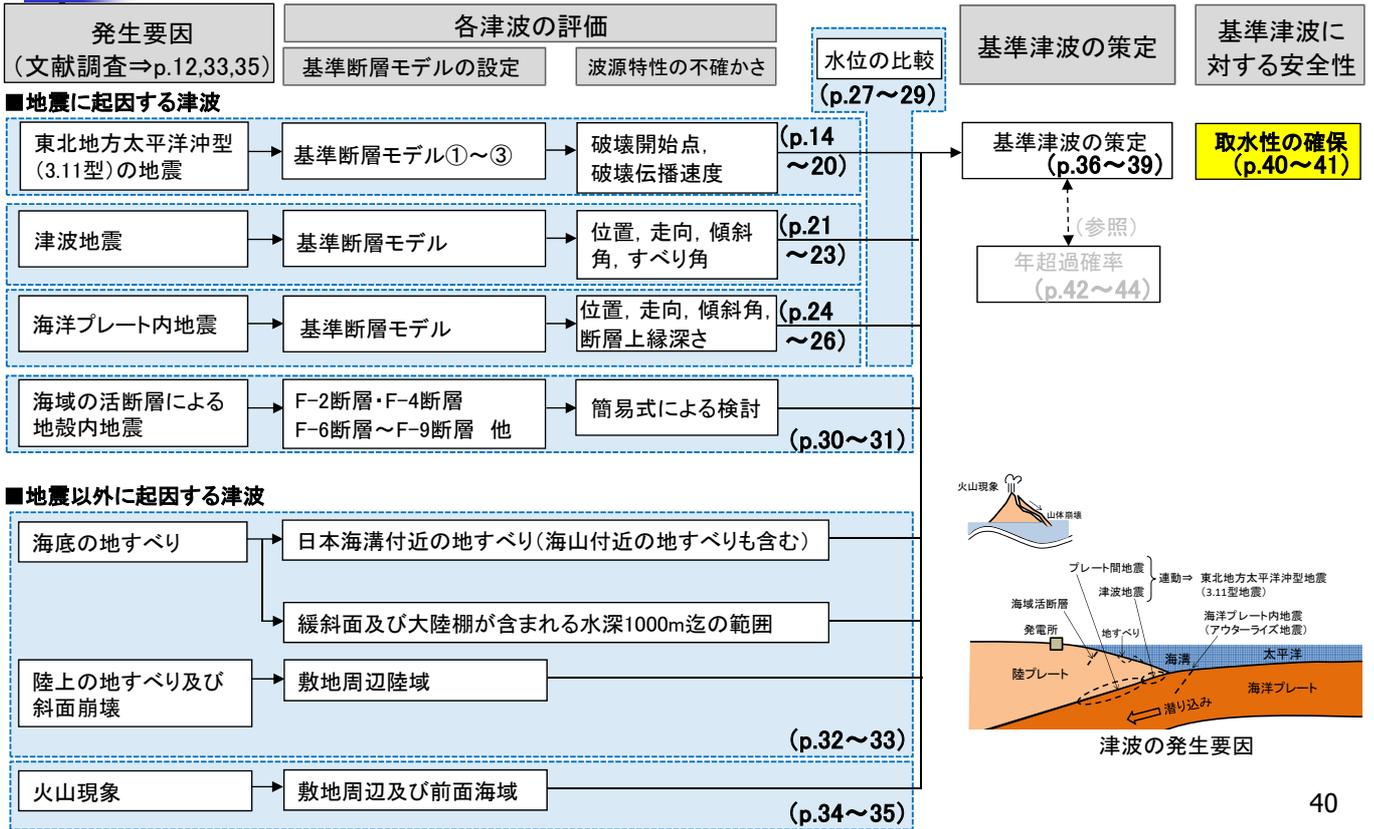


※1:p.37の敷地前面での最大水位上昇量(+21.58m)に、満潮位(O.P.+1.43m)を加算し、保守的に0.1m単位に丸めた水位

※2:p.38の2号取水口前面での最大水位下降量(-10.38m)に、干潮位(O.P.-0.14m)を加算し、保守的に0.1m単位に丸めた水位

# 5. 取水性の確保(砂移動評価)

評価フロー(p.10)再掲



# 5. 取水性の確保(砂移動評価)

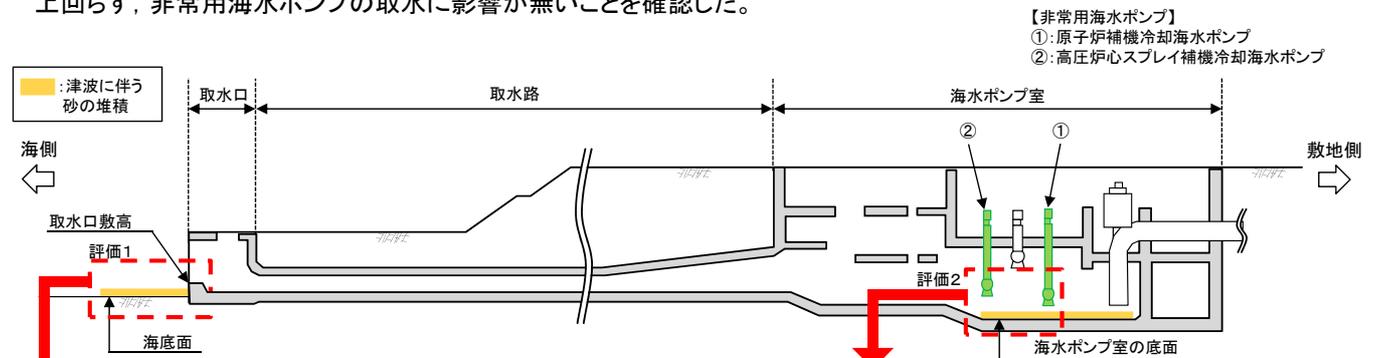
第439回審査会合(H29.2.3)  
資料1-1 p4, p15, p38 より

## ■海底地形変化の評価(評価1)

- 基準津波に伴う砂移動を評価し、取水口前面の砂の堆積高さが取水口高さを上回らないことを確認した(砂移動の解析は、藤井ほか(1998)及び高橋ほか(1999)の手法を用いて実施)。

## ■海水ポンプ室内における砂の堆積の評価(評価2)

- 海水ポンプ室内における砂の堆積高さを評価し、非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高さが海水ポンプの高さを上回らず、非常用海水ポンプの取水に影響が無いことを確認した。



評価結果(評価1)

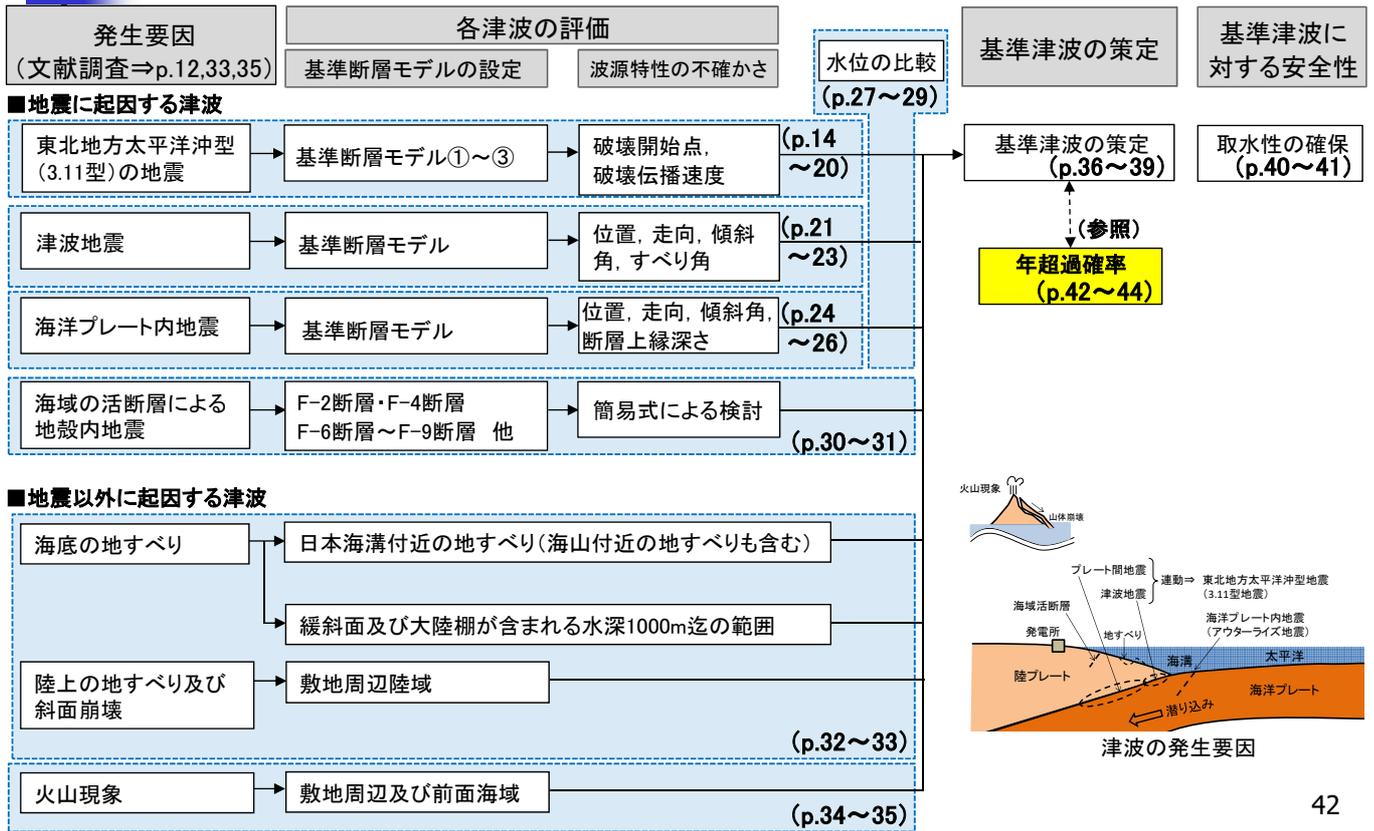
基準津波	評価手法	浮遊砂濃度 上限値	砂の堆積 高さ(m)	取水口 高さ(m)
水位上昇側	藤井ほか(1998)	1%	0.04	1.20 (最大ケース)
	高橋ほか(1999)	1%	<b>0.22</b>	
水位下降側	藤井ほか(1998)	1%	0.04	
	高橋ほか(1999)	5%	0.04	
		1%	<b>0.18</b>	(最大ケース)

評価結果(評価2)

基準津波	高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ		原子炉補機冷却 海水ポンプ	
	砂の堆積 高さ(m)	海水ポンプ の高さ(m)	砂の堆積 高さ(m)	海水ポンプ の高さ(m)
水位上昇側	0.05	2.45	0.01	1.15
水位下降側	<b>0.10</b>		<b>0.02</b>	

## 6. 基準津波の年超過確率の参照

評価フロー(p.10)再掲



42

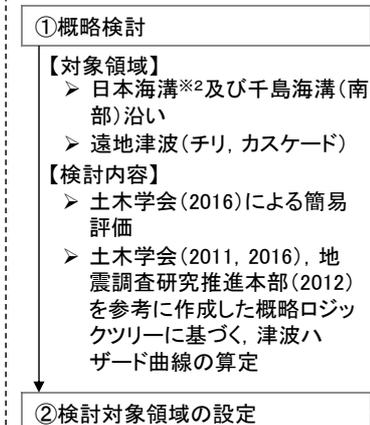
## 6. 基準津波の年超過確率の参照 (1/2)

第466回審査会合(H29.4.28)  
資料1 p5より

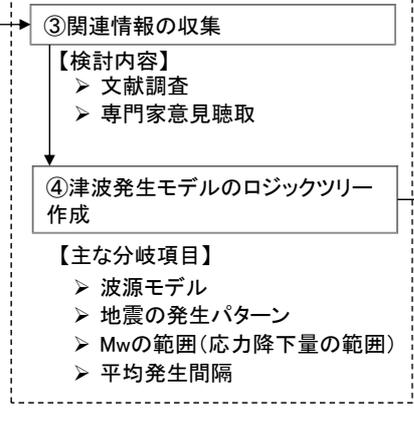
- 日本原子力学会標準「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2011」及び3.11地震による津波から得られた知見等を踏まえて、確率論的津波ハザード評価を実施し、基準津波の年超過確率<sup>※1</sup>を評価した。

### ■評価フロー

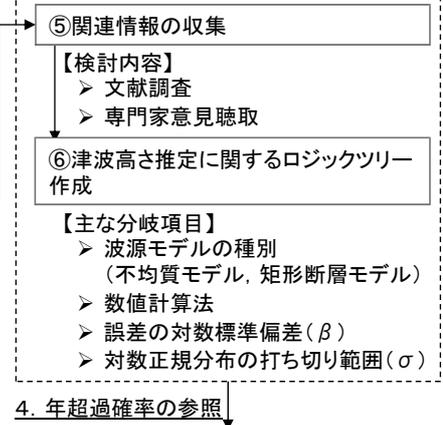
#### 1. 検討対象領域の設定



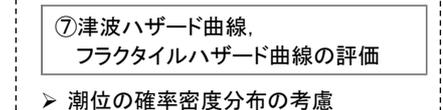
#### 2. 津波発生モデルのロジックツリーの作成



#### 3. 津波高さ推定に関するロジックツリーの作成



#### 4. 年超過確率の参照



※1: 基準津波を超える高さの津波が発生する1年あたりの確率。

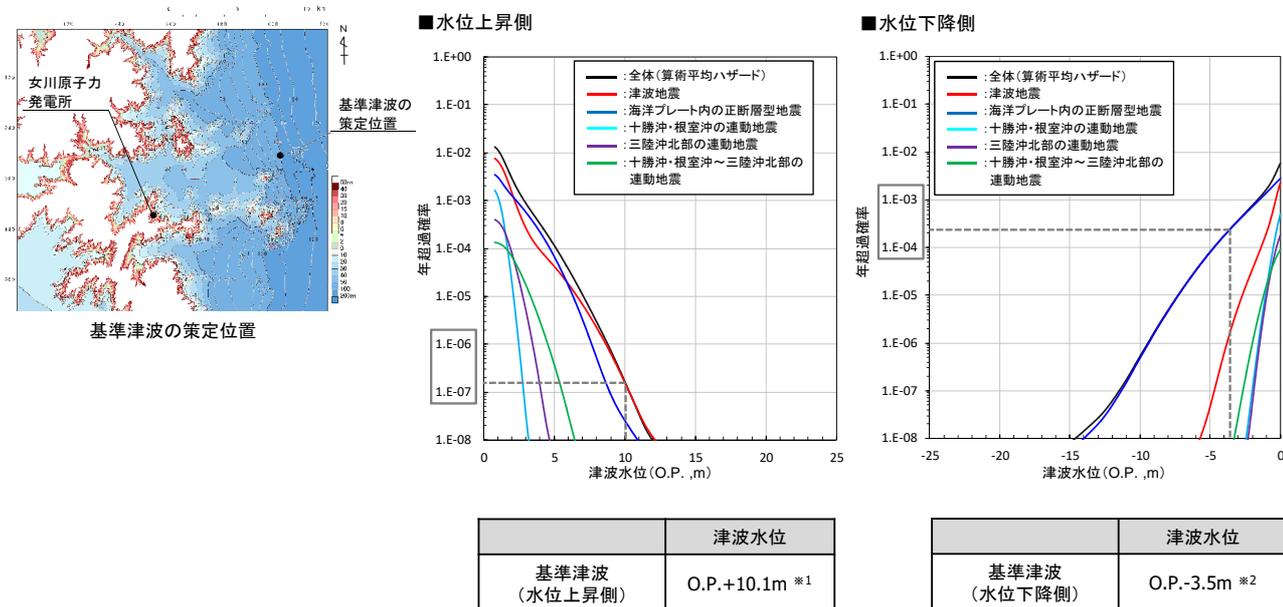
※2: 基準津波を決定した3.11型の地震に関する概略検討結果は、参考資料 p.18を参照。

43

## 6. 基準津波の年超過確率の参照 (2/2)

### ■ 評価結果

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



※1:p.39上段の時刻歴波形の最高値8.63m+期望平均満潮位O.P.+1.43m=O.P.+10.06m → O.P.+10.1m に丸めた津波水位。  
 ※2:p.39下段の時刻歴波形の最低値-3.31m+期望平均干潮位O.P.-0.14m=O.P.-3.45m → O.P.-3.5m に丸めた津波水位。

## 7. 今後の対応について (1/3)

### (1) 耐津波設計方針の概要

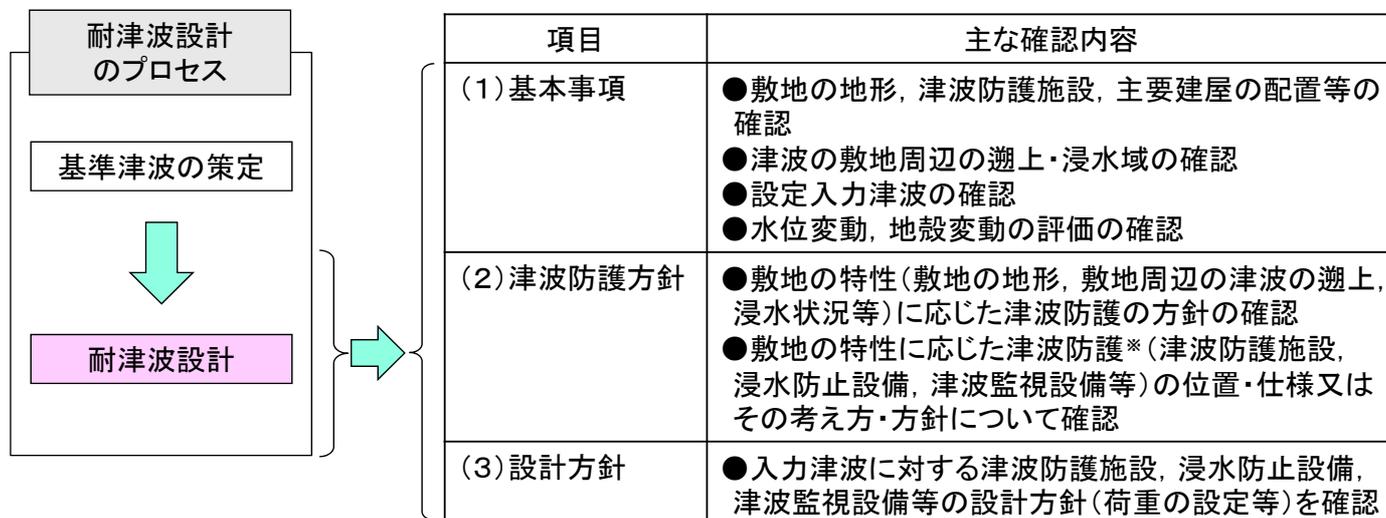
基準津波の策定結果を基本に、今後、耐津波設計方針に係る審査として、「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド(原子力規制委員会)」に示される以下の要求事項への対応を説明していく。

- 津波の敷地への流入防止  
重要な安全機能を有する施設の設置された敷地において、基準津波による遡上波を地上部から到達、流入させない。また、取水路、放水路等の経路から流入させない。
- 漏水による安全機能への影響防止  
取水・放水施設、地下部において、漏水可能性を考慮の上、漏水による浸水範囲を限定して、重要な安全機能への影響を防止する。
- 津波防護の多重化  
上記2方針のほか、重要な安全機能を有する施設については、浸水防護をすることにより津波による影響等から隔離すること。
- 水位低下による安全機能への影響防止  
水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響を防止する。

## 7. 今後の対応について (2/3)

### (2) 耐津波設計方針の審査事項

耐津波設計方針に係る審査事項は、「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド(原子力規制委員会)」に従い、(1)基本事項、(2)津波防護方針、(3)設計方針について確認される予定。



※:津波防護に関する施設・設備の例は以下のとおり。

津波防護施設:防潮堤, 防潮壁 等

浸水防止設備:水密扉, 壁・床の開口部・貫通部の浸水対策設備(シール処理) 等

津波監視設備:取水ビット水位計, 屋外監視カメラ 等

46

## 7. 今後の対応について (3/3)

### (3) 津波防護施設の工事状況

① 防潮堤

② 防潮壁



## 8. 適合性審査状況

- 3.11型の地震、津波地震、海洋プレート内地震等に起因する津波の評価、基準津波の策定、砂移動評価、基準津波の年超過確率の参照について、当社はこれまでに8回の審査会合で説明※

※:審査の経過等については、参考資料 p.20~21を参照。

### 主な質問、指摘事項

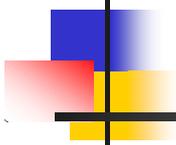
主な質問・指摘事項	回答状況
【3.11型】 特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 申請時の宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(Mw9.04)に加え、②津波特性の観点:広域の津波特性を考慮したモデル(Mw9.13)を基準断層モデルとして追加設定した。</li> <li>✓ 大すべり域・超大すべり域を南北10km単位(申請時:50km単位)で移動させ、最も厳しい位置となっていることを確認した。</li> </ul>
【3.11型】 すべりの不均質性を考慮した内閣府モデル、女川再現モデル、特性化モデルの大すべり域が、最も厳しい位置となっているか確認すること。	
【津波地震・海洋プレート内地震】 地震規模の設定並びに波源特性の不確かさの考慮方法が女川地点の評価決定ケースとして十分厳しくなっているか、地震調査研究推進本部の知見等も踏まえ、再度説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 津波地震(申請時:Mw8.3)について、保守性を確保する観点から、地震規模の不確かさを考慮した基準断層モデル(Mw8.5)を設定した。</li> </ul>
【津波地震・海洋プレート内地震】 評価決定ケースが最も厳しい位置となっているか確認すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 基準断層モデルを南北10km単位(申請時:20km単位)で移動させ、最も厳しい位置となっていることを確認した。</li> </ul>

48

## 参考文献

- 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
- 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
- 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(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
- 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)
- Tetsuzo Seno (2014): Stress drop as a criterion to differentiate subduction zones where Mw 9 earthquakes can occur, Tectonophysics 621, 198-210
- 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
- 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
- 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
- 気象庁(1951~2010):地震月報ほか
- 国立天文台編(2013):理科年表, 平成25年, 丸善
- 防災科学技術研究所(2009):地すべり地形分布図 第40集「一関・石巻」, 防災科学技術研究所研究資料, 第325
- 日本地すべり学会東北支部(1992):東北の地すべり・地すべり地形
- 海上保安庁(2013):海域火山データベース, 海洋情報部, (<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/kaiikiDB/list-2.htm>)
- 産業技術総合研究所編(2013):日本の火山(第3版)
- 藤井直樹・大森政則・高尾誠・金山進・大谷英夫(1998):津波による海底地形変化に関する研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.376-380
- 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅野大輔(1999):掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.606-610
- 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

49

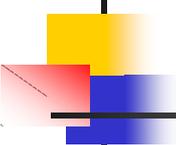


# 新規制基準適合性審査申請 自然現象等 ＜(2)津波:基準津波＞ (No.51関連)

## データ集

平成29年6月8日  
東北電力株式会社

All rights reserved. Copyrights © 2017, Tohoku Electric Power Co., Inc.



## 目次

### 【基準津波の策定関係】

- ① 津波シミュレーションの計算条件
- ② 遠地津波について
- ③ 基準断層モデルの設定について
- ④ 3.11地震津波の広域の再現性について
- ⑤ 防波堤の有無による影響について

### 【砂移動評価関係】

- ⑥ 砂移動評価のフロー
- ⑦ 海底地形変化の計算結果

### 【基準津波の年超過確率関係】

- ⑧ 検討対象領域
- ⑨ ロジックツリー
- ⑩ 3.11型の地震が年超過確率に与える影響について
- ⑪ 津波ハザード曲線の比較

### 【その他】

- ⑫ 適合性審査の経過
- ⑬ 申請時からの変更点

参考文献

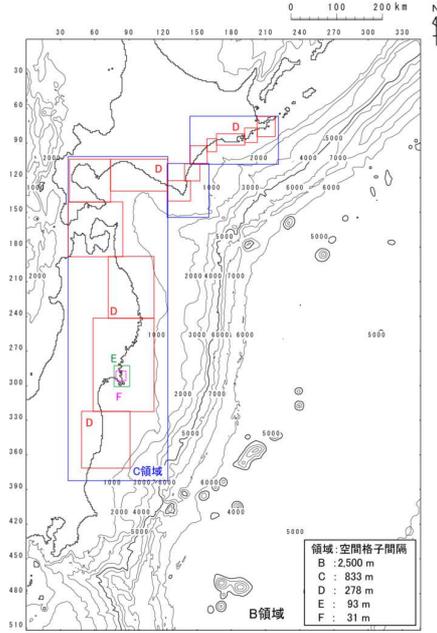
## 【基準津波の策定関係】

### ①津波シミュレーションの計算条件 (1/2)

- 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以浅の海域を主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)

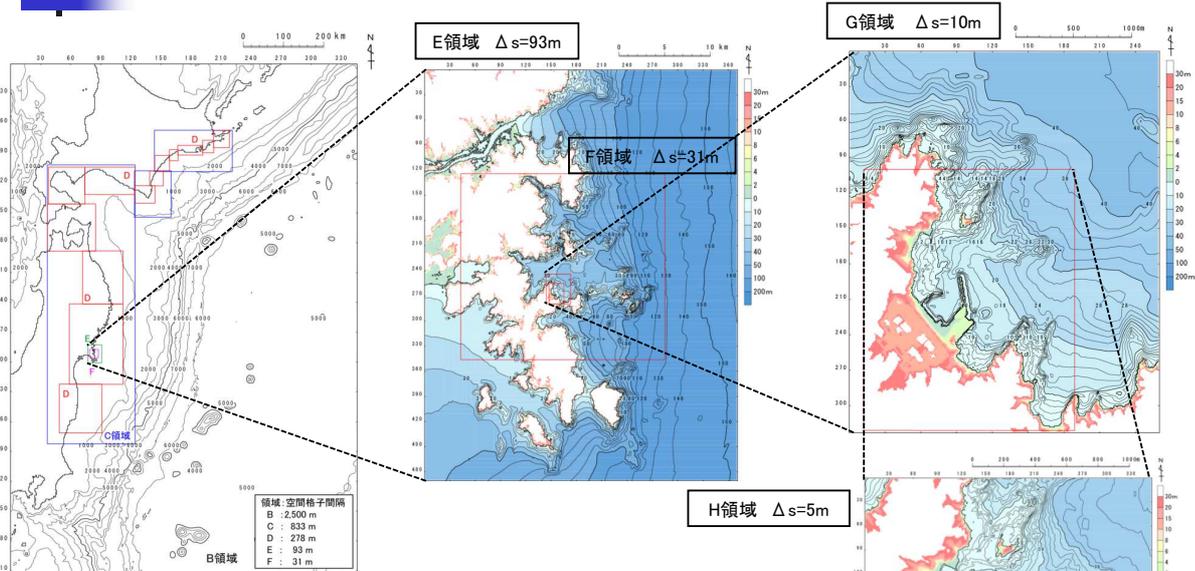
※3: 日本海溝沿いで発生する近地津波を評価するにあたって、十分な計算時間となるよう設定した。

※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。

2

## 【基準津波の策定関係】

### ①津波シミュレーションの計算条件 (2/2)



計算領域とその水深及び格子分割

#### 【3.11地震に伴う地殻変動量の考慮】

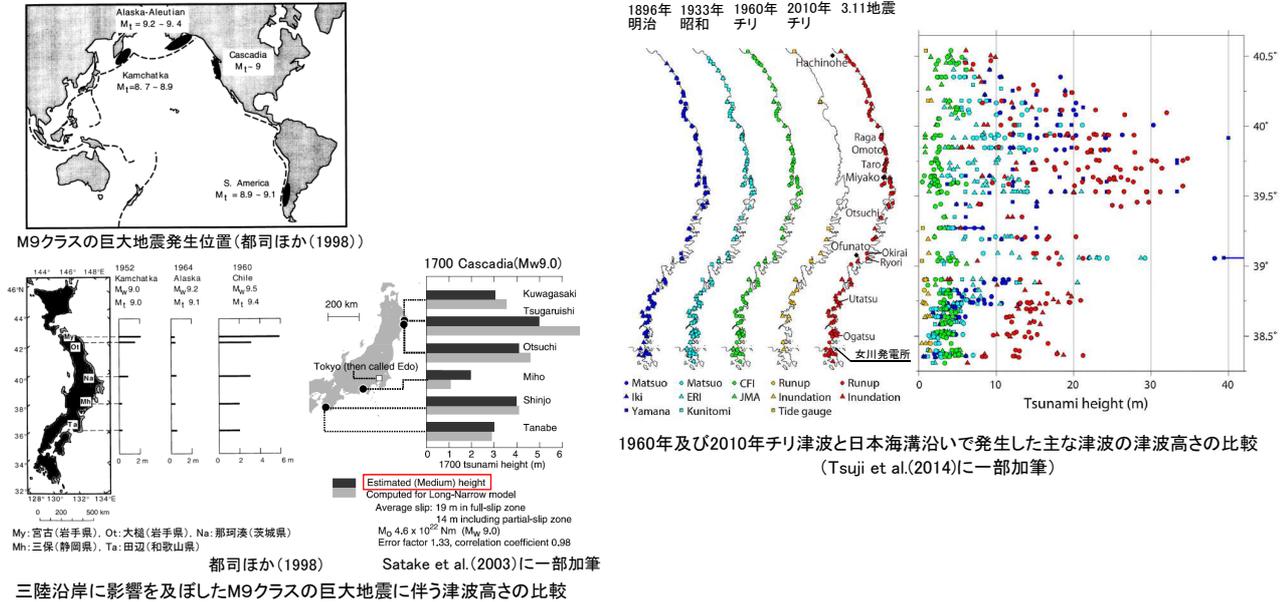
	E領域	F領域	G領域	H領域
陸域	地震後に整備された国土地理院5mDEMデータ			
海域	日本水路協会M7000データ(2006)を一律1.1m <sup>※</sup> 沈下させた。 ※: F領域全体をカバーする平均的な沈下量		東北電力深淺測量データ(H23.5測量)	

3

# 【基準津波の策定関係】

## ② 遠地津波について (1/2)

- 過去に世界で発生したM9クラスの巨大地震のうち三陸沿岸に最も影響を及ぼした遠地津波は、1960年チリ地震 (Mw9.5) に伴う津波であり、その津波高さは最大で6.1m(宮城県南三陸町)である。
- 佐竹ほか(2014)は、3.11地震と過去の津波高さの定量的比較を行い、三陸沿岸における3.11地震に伴う津波の高さは、1960年チリ津波(Mw9.5)の約4倍、2010年チリ津波(Mw8.8)の約14倍であったことを示している。

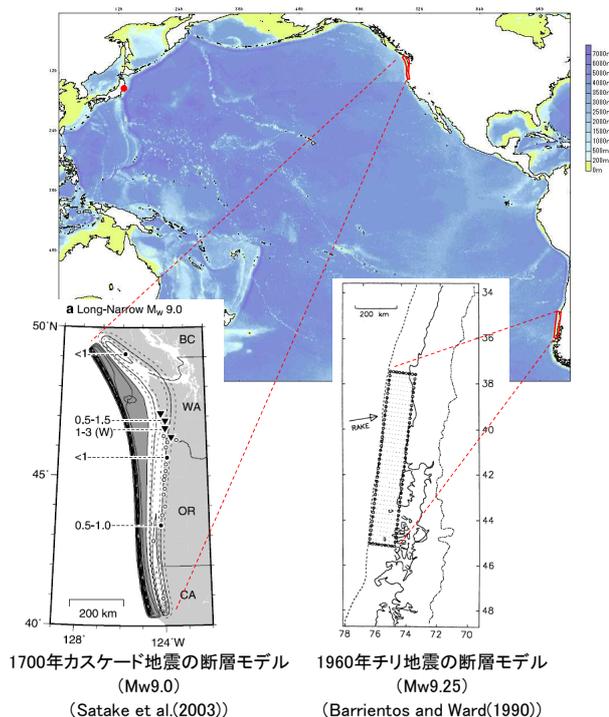


以上から、遠地津波は、日本海溝沿いで発生する近地津波を上回るものではないと考えられる。

# 【基準津波の策定関係】

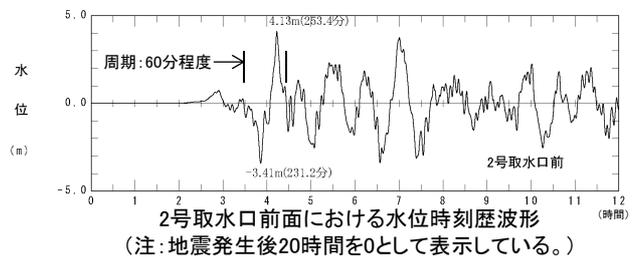
## ② 遠地津波について (2/2)

- 遠地津波の敷地への影響を確認するため、1960年チリ地震および1700年カスケード地震を対象として数値シミュレーションを実施した結果、基準津波(3.11型)と比較して最大水位上昇量・下降量ともに十分小さいことを確認した。



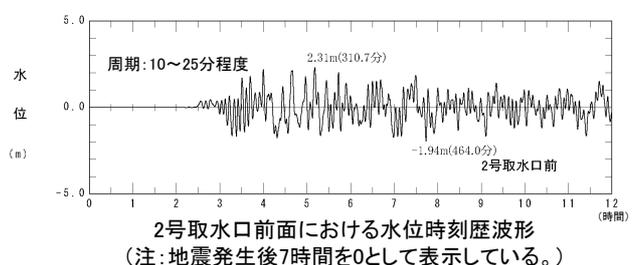
### 【1960年チリ地震】

- 発電所の敷地前面における最大水位上昇量: **4.24m**
- 2号取水口前面における最大水位下降量: **-3.41m**



### 【1700年カスケード地震】

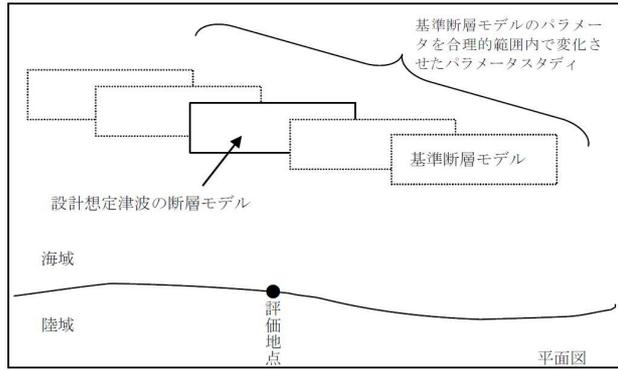
- 発電所の敷地前面における最大水位上昇量: 2.53m
- 2号取水口前面における最大水位下降量: -1.96m



## 【基準津波の策定関係】

### ③基準断層モデルの設定について (1/5)

- 海域で発生する地震の特性等を踏まえて設定された、津波の数値計算(パラメータスタディ)を行う際の基準となる断層モデルを、「基準断層モデル」という。

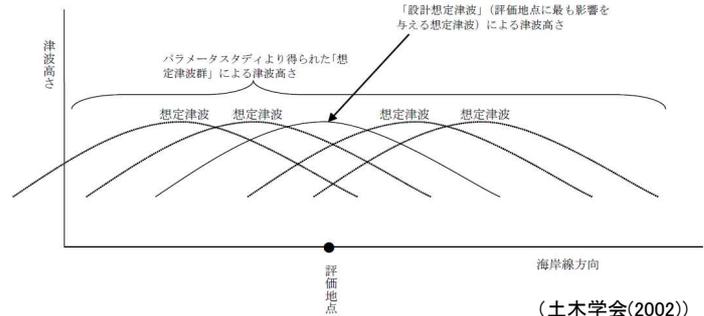
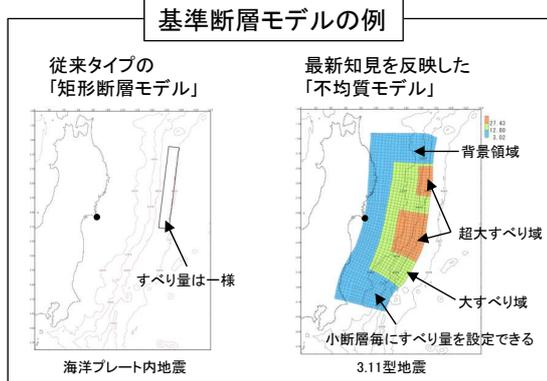


(土木学会(2002))

→ 数値シミュレーション  
(パラメータスタディ)

変化させるパラメータ  
(断層モデルの種類に応じて設定)

- ・位置
- ・走向
- ・傾斜角
- ・すべり角
- ・断層上縁深さ
- ・すべり分布
- ・破壊開始点
- ・破壊伝播速度 など



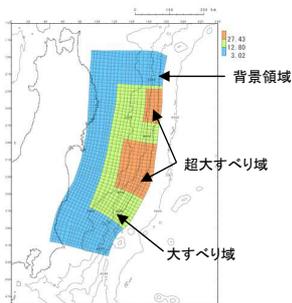
(土木学会(2002))

6

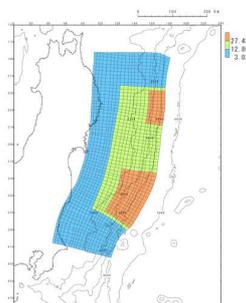
## 【基準津波の策定関係】

### ③基準断層モデルの設定について (2/5)

- 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置を南北約10km単位で移動させた検討結果から、広域の津波特性を考慮した特性化モデル(参考資料④参照)のうち発電所の津波高さに与える影響が最も大きいケースを基準断層モデル①として設定した。



基準断層モデル①-1  
(超大すべり域の位置: 基準位置より北へ約30km移動)



基準断層モデル①-2  
(超大すべり域の位置: 基準位置より南へ約60km移動)

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) (20,696(km <sup>2</sup> ), 16.0%)
ライズタイム(τ)	60(s)	

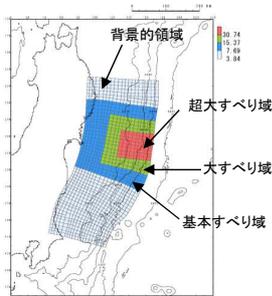
※: 超大すべり域を除いた面積及び面積比率

7

## 【基準津波の策定関係】

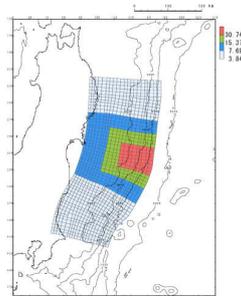
### ③基準断層モデルの設定について (3/5)

- 既往研究による3.11地震に伴う津波を広域に再現する津波波源モデルの断層面積(約11~12万(km<sup>2</sup>))は、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断層面積(約10.7万(km<sup>2</sup>))よりも大きいことを考慮して断層面積を保持した上で、発電所の津波高さに与える影響が大きい、大すべり域・超大すべり域のすべり量を約20%割増した基準断層モデル②を設定した。



基準断層モデル②-1

(大すべり域・超大すべり域の位置: 基準)



基準断層モデル②-2

(大すべり域・超大すべり域の位置: 基準位置より南へ約40km移動)

#### 諸元

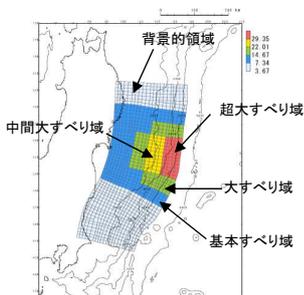
断層パラメータ	設定値	
モーメントマグニチュード(Mw)	9.04	
断層面積(S)	107,357(km <sup>2</sup> )	
平均応力降下量(Δσ)	3.11(MPa)	
地震モーメント(Mo)	4.49 × 10 <sup>22</sup> (Nm)	
剛性率(μ)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )	
すべり量	平均すべり量	8.37(m)
	基本すべり域 (面積及び面積比率)*1	7.69(m) (49,872(km <sup>2</sup> ), 46.5%)
	背景的領域 (面積及び面積比率)	3.84(m) (57,485(km <sup>2</sup> ), 53.5%)
	大すべり域 (面積及び面積比率)*2	15.37(m) (22,192(km <sup>2</sup> ), 20.7%)
	超大すべり域 (面積及び面積比率)	30.74(m) (8,078(km <sup>2</sup> ), 7.5%)
ライズタイム(τ)	60(s)	

※1: 大すべり域と超大すべり域をあわせた領域の面積比率  
 ※2: 超大すべり域をあわせた領域の面積比率

## 【基準津波の策定関係】

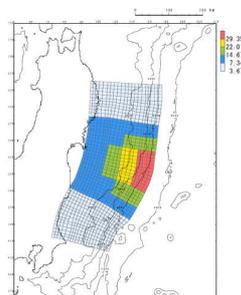
### ③基準断層モデルの設定について (4/5)

- 基準断層モデル②を基本として、杉野ほか(2013)の知見を参考に、短周期の波を発生させる要因と考えられる未知なる分岐断層や海底地すべり等が存在する可能性を考慮した基準断層モデル③を設定した。



基準断層モデル③-1

(大すべり域・超大すべり域の位置: 基準)



基準断層モデル③-2

(大すべり域・超大すべり域の位置: 基準位置より南へ約40km移動)

#### 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(Δσ)	3.17(MPa)	
地震モーメント(Mo)	4.58 × 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	8.53(m)
	基本すべり域 (面積及び面積比率)*1	7.34(m) (56,675(km <sup>2</sup> ), 52.8%)
	背景的領域 (面積及び面積比率)	3.67(m) (50,682(km <sup>2</sup> ), 47.2%)
	大すべり域 (面積及び面積比率)*2	14.67(m) (24,875(km <sup>2</sup> ), 23.2%)
	中間大すべり域 (面積及び面積比率)*3	22.01(m) (11,732(km <sup>2</sup> ), 10.9%)
	超大すべり域 (面積及び面積比率)	29.35(m) (6,201(km <sup>2</sup> ), 5.8%)
ライズタイム(τ)	60(s)	

※1: 大すべり域、中間大すべり域及び超大すべり域をあわせた領域の面積比率

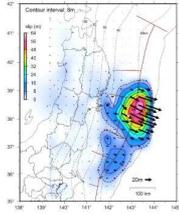
※2: 中間大すべり域、超大すべり域をあわせた領域の面積比率

※3: 超大すべり域をあわせた領域の面積比率

## 【基準津波の策定関係】

### ③基準断層モデルの設定について (5/5)

- 申請時は「女川再現モデル」、「内閣府(2012)モデル」、「既往津波の組合せモデル」、「特性化モデル」を基準断層モデルとして設定した。⇒ 審査過程における諸検討を踏まえ、特性化モデルのみを基準断層モデルとして再整理した。



「3.11型の地震」の震源域  
(地震本部(2012)に一部加筆)

#### ■ 女川再現モデル・内閣府(2012)モデル

3.11地震時に見られた宮城県沖における大すべり域の位置の不確かさが発電所の津波高さに与える影響を検討するモデルであるとともに、特性化モデル設定にあたって反映が必要な知見を整理する(基となる)モデルでもあることを踏まえ、基礎検討用モデルとして位置付けを変更。

#### ■ 既往津波の組合せモデル

3.11地震を基本として、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、プレート境界面の形状や3.11地震の破壊現象を表すモデルでは無いことを踏まえ、影響検討用モデルとして位置付けを変更。

#### ■ 基礎検討用モデル

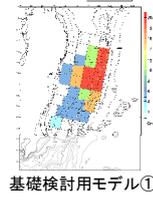
##### 宮城県沖の大すべり域の位置の不確かさ

##### ➢ 女川再現モデル

藤井・佐竹40枚断層モデル(ver.4.0)を基本としてすべり量を調整したモデル。

##### 【3.11地震の再現項目】

- 沖合いの観測波形
- 発電所前面海域の観測波形



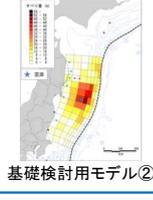
基礎検討用モデル①

##### ➢ 内閣府(2012)モデル

内閣府(2012)で示されたモデル。

##### 【3.11地震の再現項目】

- 広域の痕跡高
- 沖合いの観測波形
- 発電所前面海域の観測波形



基礎検討用モデル②

#### ■ 影響検討用モデル

##### 波源モデル形状(走向、傾斜角等)の不確かさ

##### ➢ 既往津波の組合せモデル

土木学会(2002)等で示された既往津波の波源モデルを組合わせたモデル(菅野ほか(2012))。

##### 【3.11地震の再現項目】

- 沖合いの観測波形
- 発電所前面海域の観測波形

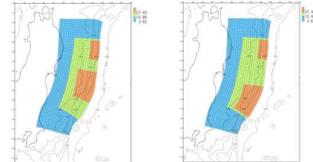


影響検討用モデル

#### ■ 基準断層モデル

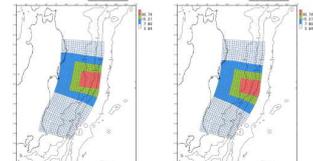
##### 大すべり域の位置の検討、破壊伝播特性の不確かさ

##### ➢ 広域の津波特性を考慮したモデル

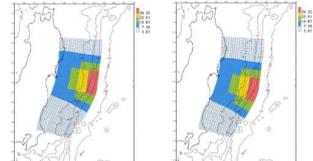


基準断層モデル①-1 基準断層モデル①-2

##### ➢ 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル



基準断層モデル②-1 基準断層モデル②-2



基準断層モデル③-1 基準断層モデル③-2

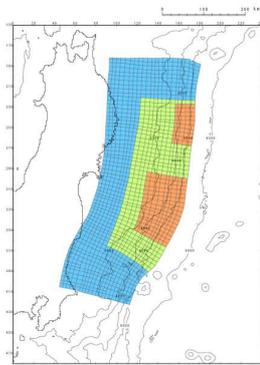
知見の反映  
⇒

10

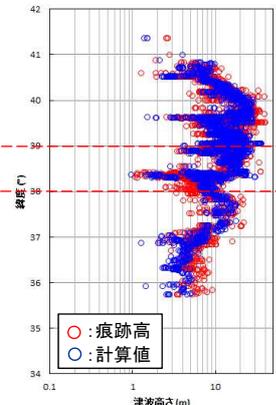
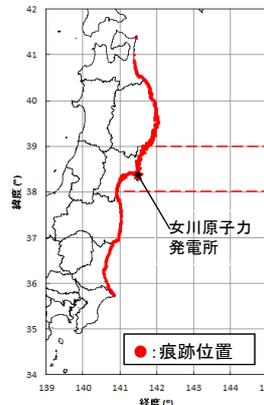
## 【基準津波の策定関係】

### ④3.11地震津波の広域の再現性について

- 広域の津波特性を考慮した特性化モデル<sup>※1</sup>は、土木学会(2002)の再現性の目安<sup>※2</sup>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、3.11地震の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<sup>※1</sup>



モデル	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)

※2: 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

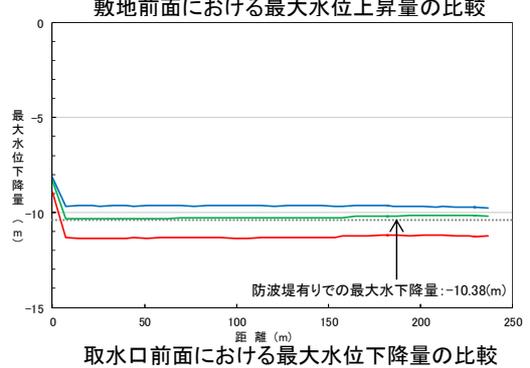
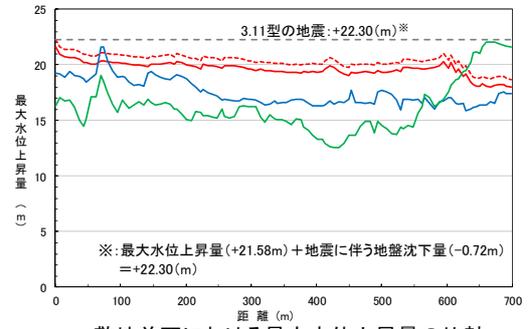
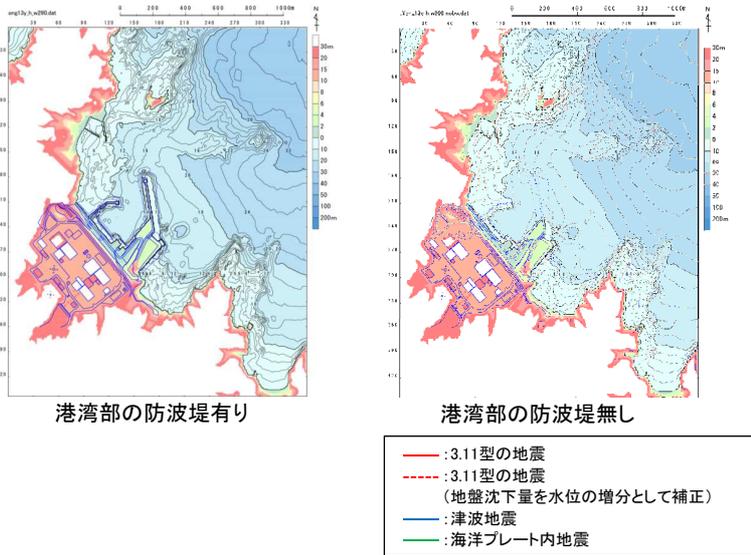
※1: 本モデルを基本として、基準断層モデル①(p.7)を設定している。

11

## 【基準津波の策定関係】

### ⑤防波堤の有無による影響について

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

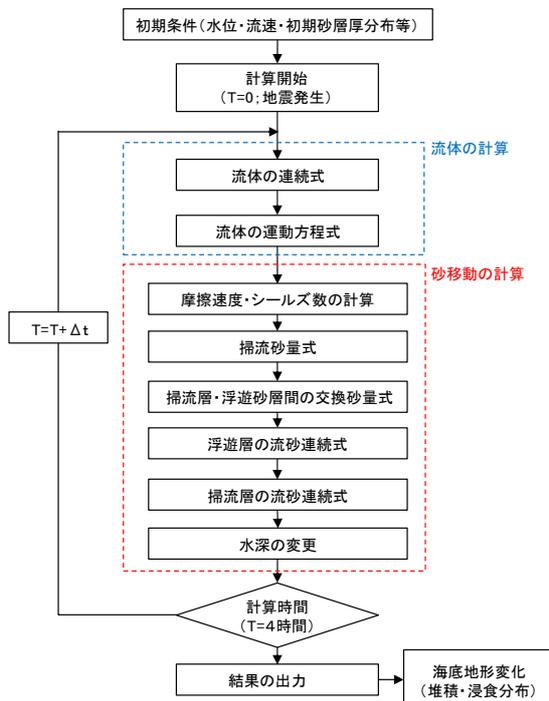


## 【砂移動評価関係】

### ⑥砂移動評価のフロー

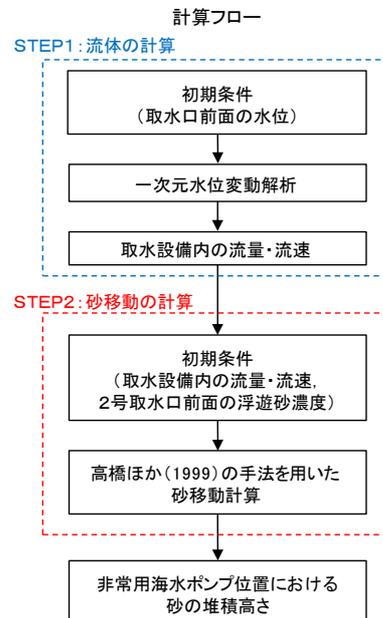
#### ■評価1(説明資料 p.41 海底地形変化)の評価フロー

- 藤井ほか(1998)及び高橋ほか(1999)の手法を用いて、基準津波(水位上昇側・水位下降側)に伴う海底地形変化を評価した。



#### ■評価2(説明資料 p.41 海水ポンプ室内における砂の堆積)の評価フロー

- 左記(評価1)から得られる取水口前面の浮遊砂濃度を境界条件として、高橋ほか(1999)の手法を用いて砂移動解析を実施し、非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高さを算定した。
- 取水設備内の流量及び流速は、取水設備の水理特性を考慮した一次元水位変動解析により算定した。

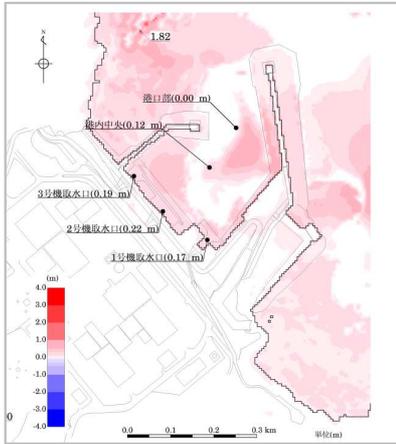


## 【砂移動評価関係】

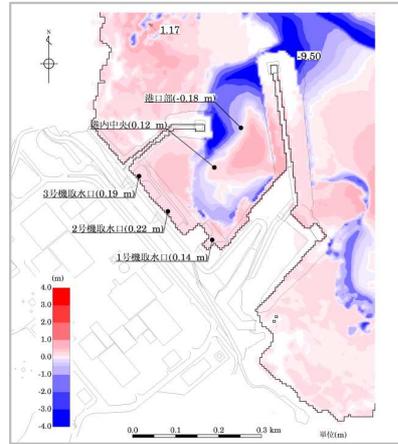
### ⑦海底地形変化の計算結果

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値
水位上昇側	高橋ほか(1999)	1%

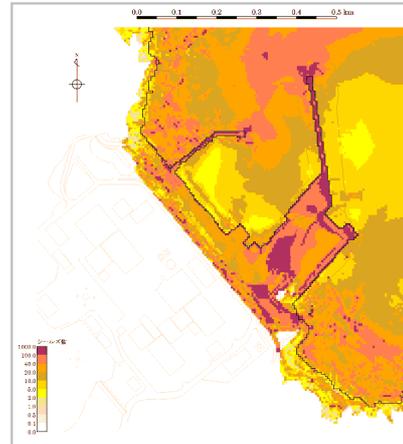
■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数※の空間分布



最大堆積厚分布



4時間後の海底地形変化量分布



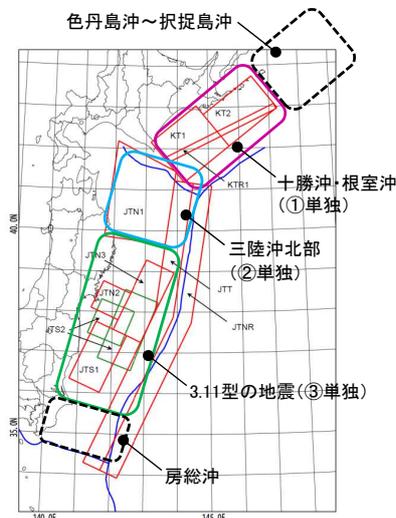
最大シールズ数※の空間分布

※: 砂移動の活発さを示す無次元パラメータ。なお, 本検討では, 高橋ほか(1999)で論じられているシールズ数(概ね1以下)を大きく超えているが, 保守的な検討結果となっている。

## 【基準津波の年超過確率関係】

### ⑧検討対象領域

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



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

#### ■検討対象領域の設定

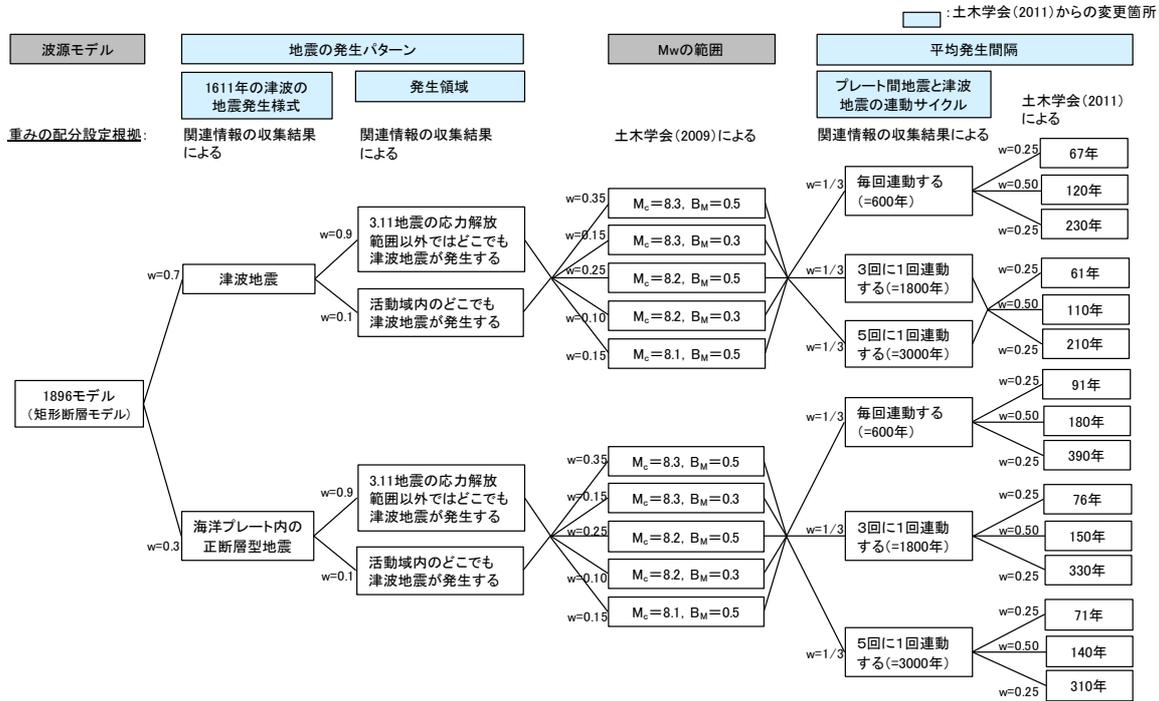
□: 検討対象とした領域

コード	名称	備考
JTN2	宮城県沖	概略ロジックツリーを用いた津波ハザード曲線の比較(概略検討)の結果, 津波地震よりも影響が小さいことを確認。
JTN3	三陸沖南部海溝寄り	
JTN2+JTN3	宮城県沖+三陸沖南部海溝寄り(連動)	
JTS1	福島県沖プレート間	
JTT	津波地震	
JTR	海洋プレート内の正断層型地震	
①単独	十勝沖・根室沖の連動地震	
②単独	三陸沖北部の連動地震	
③単独	3.11型の地震	概略検討の結果, 津波地震よりも影響が小さいことを確認(p.18参照)。
①+②	十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動地震	
択捉島沖～房総沖	択捉島沖から房総沖の連動地震	概略検討の結果, 津波地震よりも影響が小さいことを確認。

# 【基準津波の年超過確率関係】

## ⑨ロジックツリー(1/2)

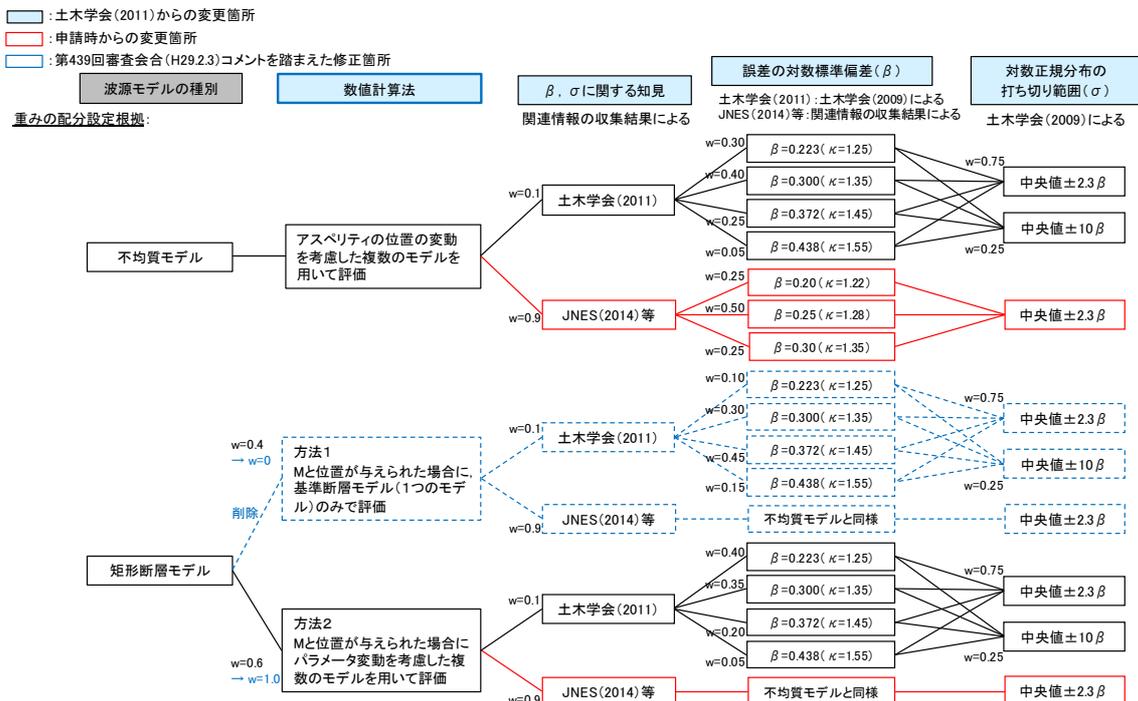
- 土木学会(2011)のロジックツリーを基本に、3.11地震から得られた知見等を踏まえて津波発生モデルのロジックツリーを作成した。
- 「津波地震」(下図)と同様に、検討対象領域の各地震についてロジックツリーを作成した。



# 【基準津波の年超過確率関係】

## ⑨ロジックツリー(2/2)

- 津波高さ推定のばらつき( $\beta$ ,  $\sigma$ )を評価するため、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(下図)を設定した。

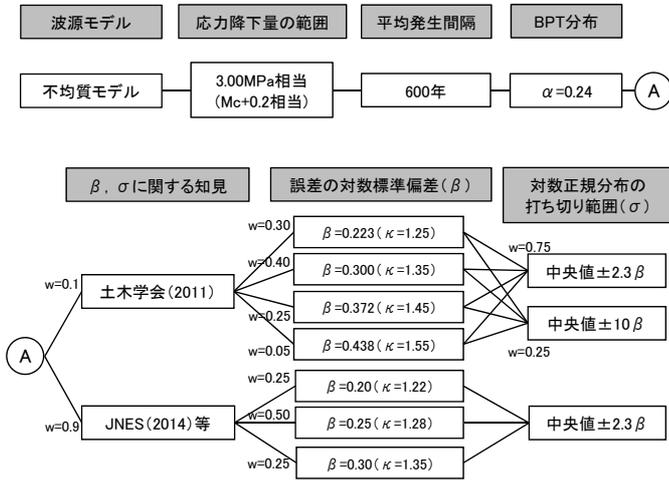


# 【基準津波の年超過確率関係】

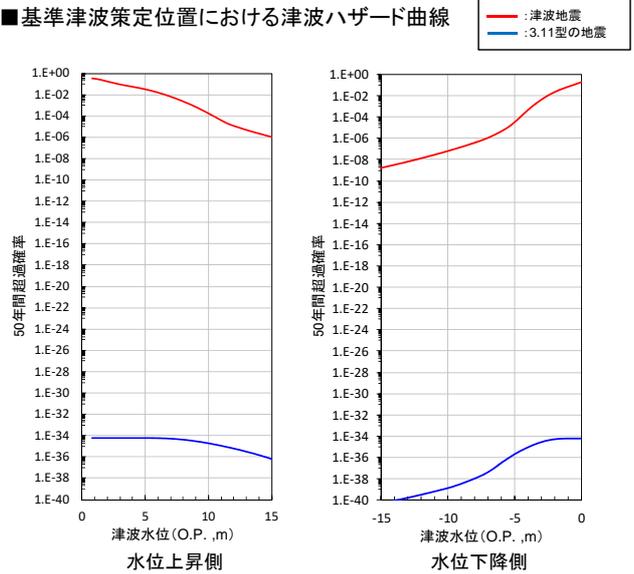
## ⑩ 3.11型の地震が年超過確率に与える影響について

- 土木学会(2016), 地震調査研究推進本部(2012)を参考に設定した概略ロジックツリーを用いて(各項目の詳細は次頁に記載), 評価基準日を2017年3月11日として算定した今後50年間の津波ハザード曲線を以下に示す。
- 本検討から, 3.11型の地震が年超過確率に与える影響は十分に小さいことを確認した。

### ■概略ロジックツリー

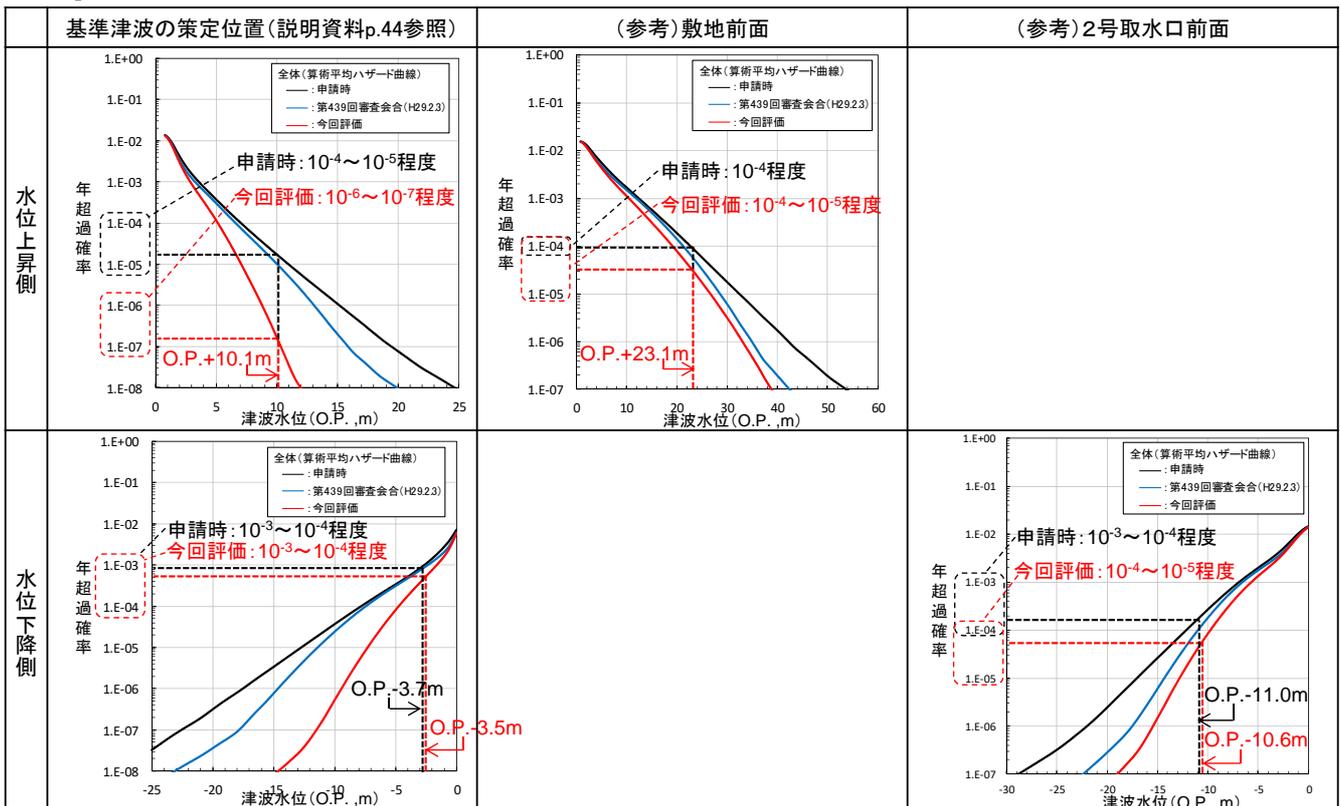


### ■基準津波策定位置における津波ハザード曲線



# 【基準津波の年超過確率関係】

## ⑪ 津波ハザード曲線の比較



【その他】

⑫ 適合性審査の経過

- 女川原子力発電所の立地的特徴、津波の特徴を踏まえ、発電所への影響が比較的大きい海溝型の津波(3.11型の地震、津波地震、海洋プレート内地震)について、重点的に審査がなされた。
- 基準津波関係では、計8回の審査会合が開催された。

審査会合の実績(基準津波関係)

回数	年月日	審査会合の審議内容	審議結果の概要
1	H27.1.23	基準津波の策定(全体概要) 3.11型の地震(詳細)	地震規模、波源モデル設定、不確かさ考慮方法等に関し保守的評価の観点でコメント。
2	H27.3.20	津波地震、海洋プレート内地震等(詳細)	上記と同様に、保守的評価の観点でコメント。
3	H27.10.23	3.11型の地震(コメント回答)	広域の津波を考慮したモデルの追加、評価フローの見直し等の追加検討結果を説明。説明性向上等の観点でコメント。
4	H28.7.8	3.11型の地震(コメント回答)	水位低下側の追加検討に関しコメント。
5	H28.9.30	基準津波の策定、3.11型の地震(コメント回答)、津波地震、海洋プレート内地震等(コメント回答)	各コメントを踏まえた追加検討結果、ならびに全ての検討結果を総合した基準津波の策定について説明し、概ね妥当との評価を得た。
6	H28.12.16	基準津波に対する安全性(砂移動評価)	評価内容の保守性に関する資料追加のコメント。
7	H29.2.3	砂移動評価(コメント回答)、 基準津波の年超過確率の参照	砂移動に関し、概ね妥当との評価を得た。年超過確率について、ロジックツリーの妥当性に関しコメント。
8	H29.4.28	基準津波の年超過確率の参照(コメント回答)	年超過確率に関し、概ね妥当との評価を得た。

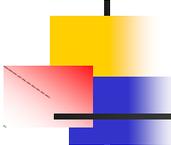
※ 上記の審査会合(計8回)への対応にあたっては、ヒアリング(計25回)で資料内容を原子力規制庁へ説明。

【その他】

⑬ 申請時からの変更点

- 新規制基準適合性審査申請時からの主な変更点は、下記のとおり。

大項目	小項目	変更内容
基準津波の策定	3.11型の地震に起因する津波	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 広域の津波特性を考慮した基準断層モデルの追加</li> <li>• 基準断層モデルの再整理</li> <li>• 不確かさ考慮方法の見直し(破壊伝播速度の不確かさを追加)</li> </ul>
	津波地震に起因する津波	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 地震規模の見直し(Mw8.3→8.5)</li> <li>• 不確かさ考慮方法の見直し(位置を南北方向に20km単位→10km単位で移動)</li> </ul>
	海洋プレート内地震に起因する津波	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 不確かさ考慮方法の見直し(東落ち傾斜も考慮。南北方向(20km→10km)に加え、東西方向にも10km単位で移動。)</li> </ul>
	評価条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 基準津波の策定では、防波堤有りの条件に統一</li> </ul>
砂移動評価	評価結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 水位上昇側(敷地前面でO.P.+23.1m)は申請時から変更なし</li> <li>• 水位下降側は申請時(2号取水口前面)のO.P.-11.0m→O.P.-10.6mに変更</li> </ul>
	評価手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高橋ほか(2011)の手法から、より保守的な高橋ほか(1999)に変更</li> </ul>
年超過確率	評価結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 砂の堆積高さ(2号取水口前面)を申請時の0.14m→0.22mに変更</li> </ul>
	ロジックツリー	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 津波高さのばらつきについて、最新知見(JNES(2014))を反映(p.17参照)</li> <li>• 海洋プレート内地震の地震規模を、最新知見の反映により見直し</li> </ul>
	評価結果(基準津波の策定位置)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 水位上昇側の年超過確率は、申請時の<math>10^{-4} \sim 10^{-5}</math>→<math>10^{-6} \sim 10^{-7}</math>に変更</li> <li>• 水位下降側は<math>10^{-3} \sim 10^{-4}</math>であり、幅は申請時から変更なし(p.19参照)</li> </ul>



## 参考文献

1. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002):原子力発電所の津波評価技術
2. 藤井直樹・大森政則・高尾誠・金山進・大谷英夫(1998):津波による海底地形変化に関する研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.376-380
3. 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅野大輔(1999):掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.606-610
4. 一般社団法人日本原子力学会(2012):日本原子力学会標準 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2011
5. 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
6. Mansinha, L. and D.E. Smylie(1971):The displacement fields of inclined faults, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.61, No.5,pp.1433-1440
7. 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
8. 佐竹健治・都司嘉宣・原田智也・石辺岳男・西山昭仁・楠本聡(2014):2011年東北地方太平洋沖地震と過去の津波高さの定量的比較, 日本地球惑星科学連合大会2014年大会, HDS27-03
9. 都司嘉宣・上田和枝・佐竹健治(1998):日本で記録された1700年1月(元禄十二年十二月)北米巨大地震による津波, 地震第2輯, 第51巻, pp.1-17
- 10.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
- 11.YOSHINOBU TSUJI, KENJI SATAKE, TAKEO ISHIBE, TOMOYA HARADA, AKIHITO NISHIYAMA, and SATOSHI KUSUMOTO(2014):Tsunami Heights along the Pacific Coast of Northern Honshu Recorded from the 2011 Tohoku and Previous Great Earthquakes, Pure and Applied Geophysics
- 12.Barrientos, S. E., and Ward, S. N. (1990):The 1960 Chile earthquake - inversion for slip distribution from surface deformation, Geophysical Journal International, Vol.103(3), pp.589-598
- 13.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)
- 14.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
- 15.内閣府(2012):南海トラフの巨大地震モデル検討会(第12回), 参考資料1 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の津波断層モデルについて
- 16.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
- 17.東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによるデータ(<http://www.coastal.jp/ttjt/>), 2012/12/29
- 18.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
- 19.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)
- 20.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
- 21.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

# 【関連質問への回答】

## 新規制基準適合性審査申請

### 自然現象等

### <(2)津波:基準津波>

(No.51関連)

平成29年11月1日  
東北電力株式会社

All rights reserved. Copyrights © 2017, Tohoku Electric Power Co., Inc.

## 1. 本日の説明内容

### (1)これまでの説明内容(津波関係)

#### ■第2回検討会

東北地方太平洋沖地震により発生した津波に関する調査結果を説明。

(津波観測記録, 再現解析結果 等)

#### ■第6回検討会

第2回検討会における質問事項への回答について説明。

#### ■第12回検討会

新規制基準適合性審査の審査会合で審議された「基準津波」について説明。

(基準津波の検討内容, 砂移動評価, 年超過確率, 適合性審査状況 等)

### (2)本日の説明内容

第12回検討会における質問事項について説明。

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

# 目次

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

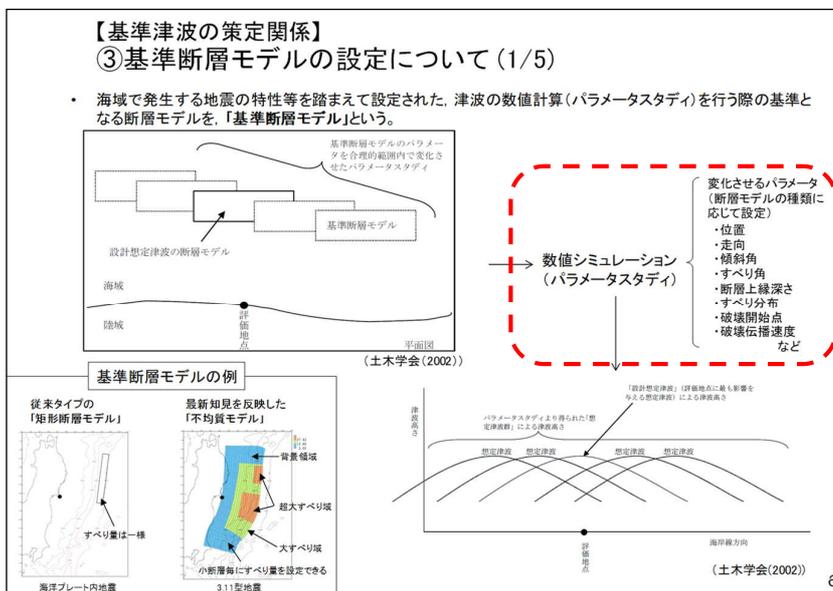
## 参考文献

2

## 1. 不確かさの考慮について

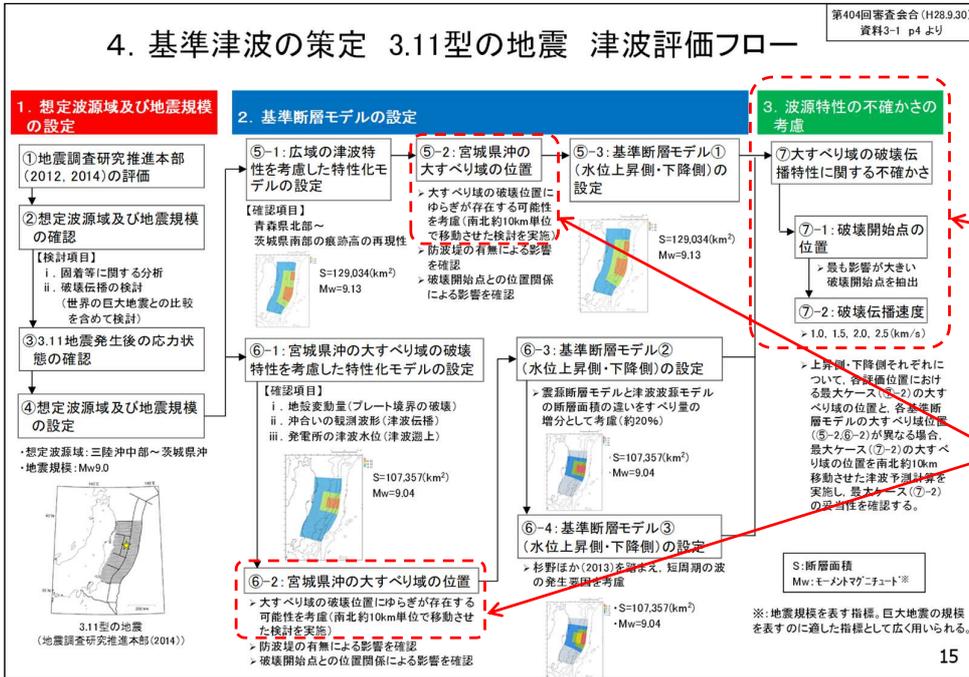
ご質問:「不確かさ」の考慮の検討にあたり, どのようなロジックでその手法を選択したのか。

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



3

# 1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 1/10)



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

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

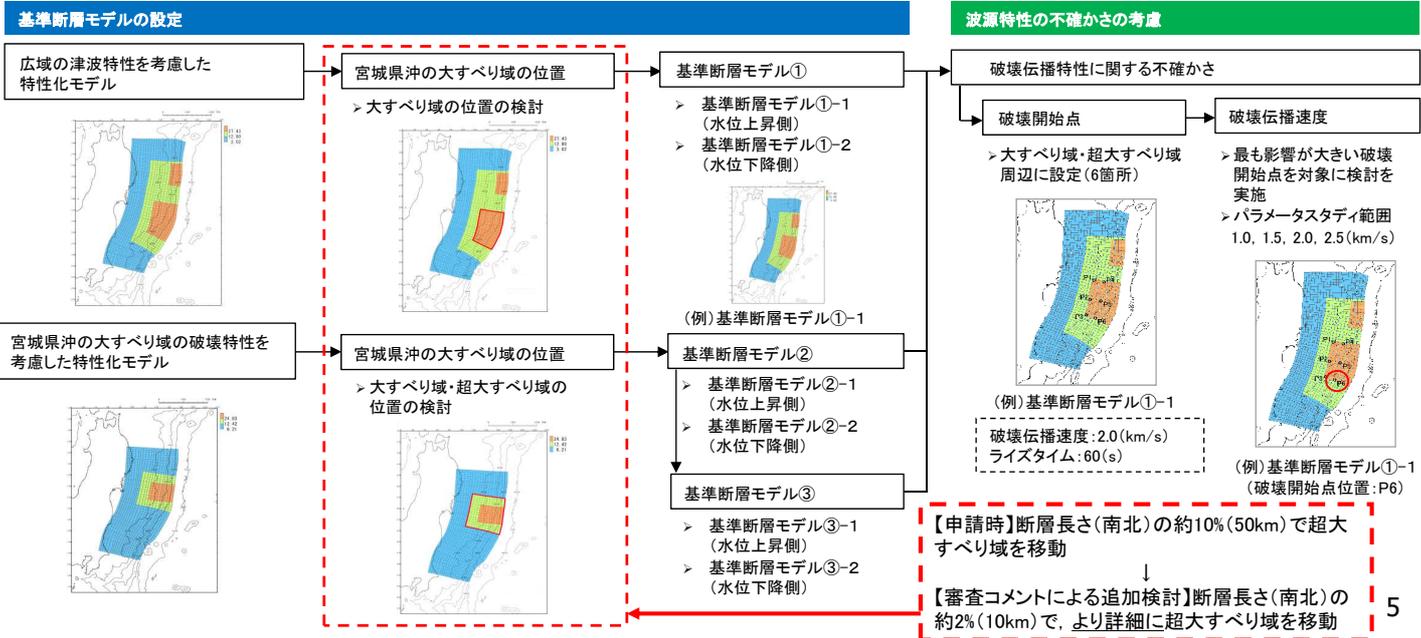
(評価フロー上は、保守的な基準断層モデルを設定するプロセスの中で考慮)

(第12回検討会 資料-2 p.15再掲・加筆)

# 1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 2/10)

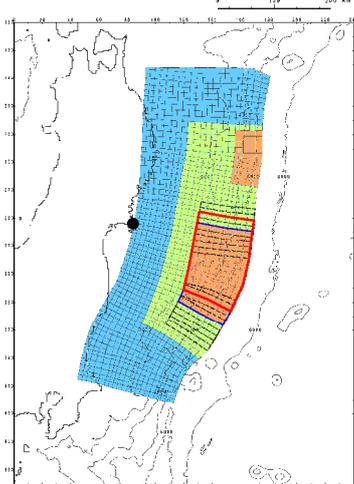
ご質問: 審査における主な指摘事項において、「最も厳しい位置となっていることを確認すること」とあるが、最も厳しいものであることをどのように確認したのか示すこと。

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



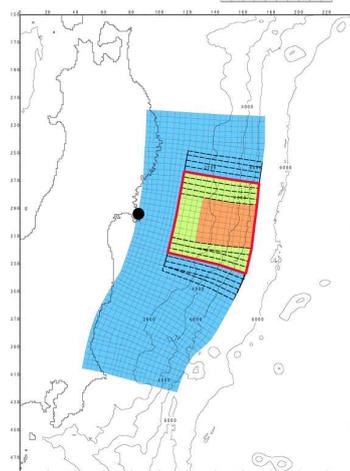
# 1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 3/10)

広域の津波特性を考慮した特性化モデル



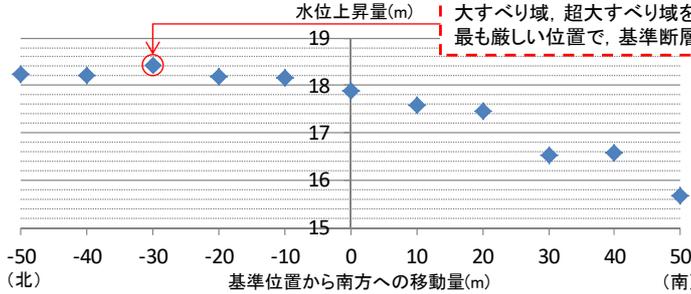
位置	敷地前面 水位上昇量(m)
北へ約50km移動	18.23
北へ約40km移動	18.22
北へ約30km移動	18.42
北へ約20km移動	18.19
北へ約10km移動	18.15
基準位置	17.88
南へ約10km移動	17.57
南へ約20km移動	17.46
南へ約30km移動	16.53
南へ約40km移動	16.58
南へ約50km移動	15.66

宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル



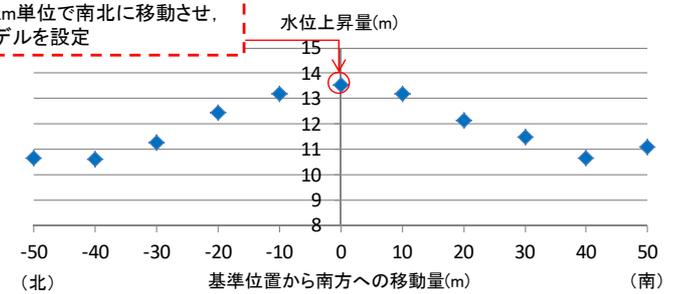
位置	敷地前面 水位上昇量(m)
北へ約50km移動	10.63
北へ約40km移動	10.62
北へ約30km移動	11.25
北へ約20km移動	12.44
北へ約10km移動	13.19
基準位置	13.55
南へ約10km移動	13.20
南へ約20km移動	12.15
南へ約30km移動	11.48
南へ約40km移動	10.67
南へ約50km移動	11.07

検討した超大すべり域の位置



大すべり域、超大すべり域を10km単位で南北に移動させ、最も厳しい位置で、基準断層モデルを設定

検討した大すべり域・超大すべり域の位置



6

# 1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 4/10)

- 「広域の津波特性を考慮した特性化モデル」、「宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル」を対象に、破壊開始点、破壊伝播速度、ライズタイム※1の不確かさが発電所の津波高さに与える影響を定量的に把握した。

■検討内容

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

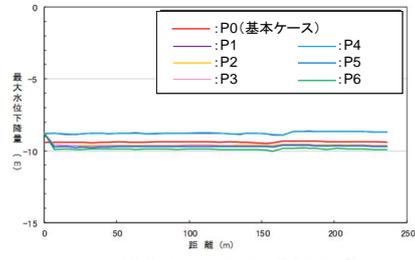
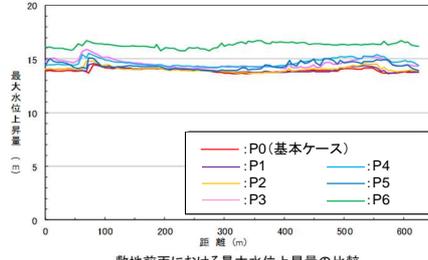
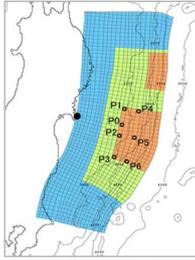
※1:すべり(破壊)を生じる際の破壊開始から破壊終了までの時間をライズタイムという。

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

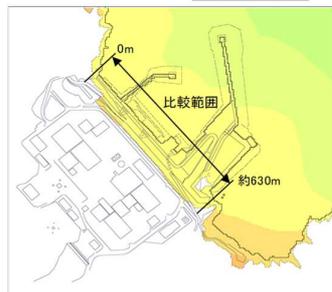
# 1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 5/10)

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

■比較方法(例:広域の津波特性を考慮した特性化モデル)



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



最大水位上昇量分布(破壊開始点位置:P0)

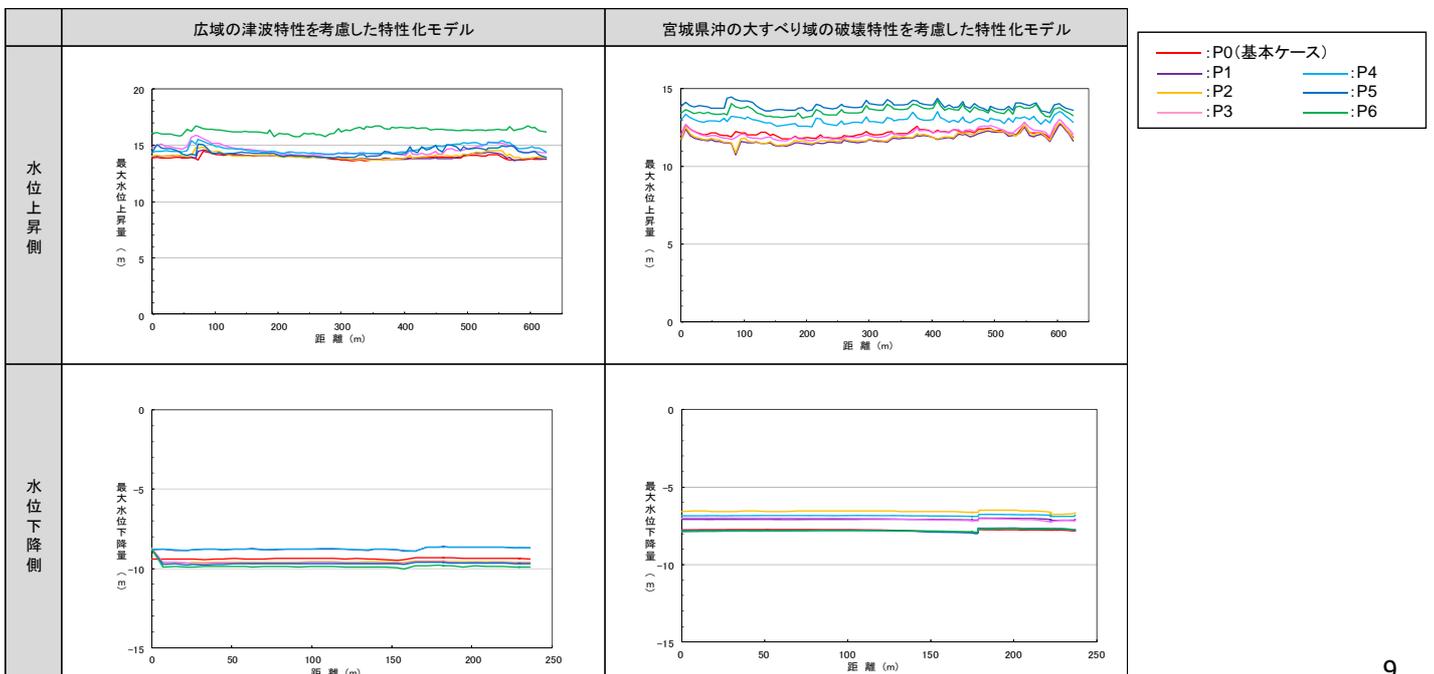


最大水位下降量分布(破壊開始点位置:P0)

# 1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 6/10)

■破壊開始点の不確かさの影響

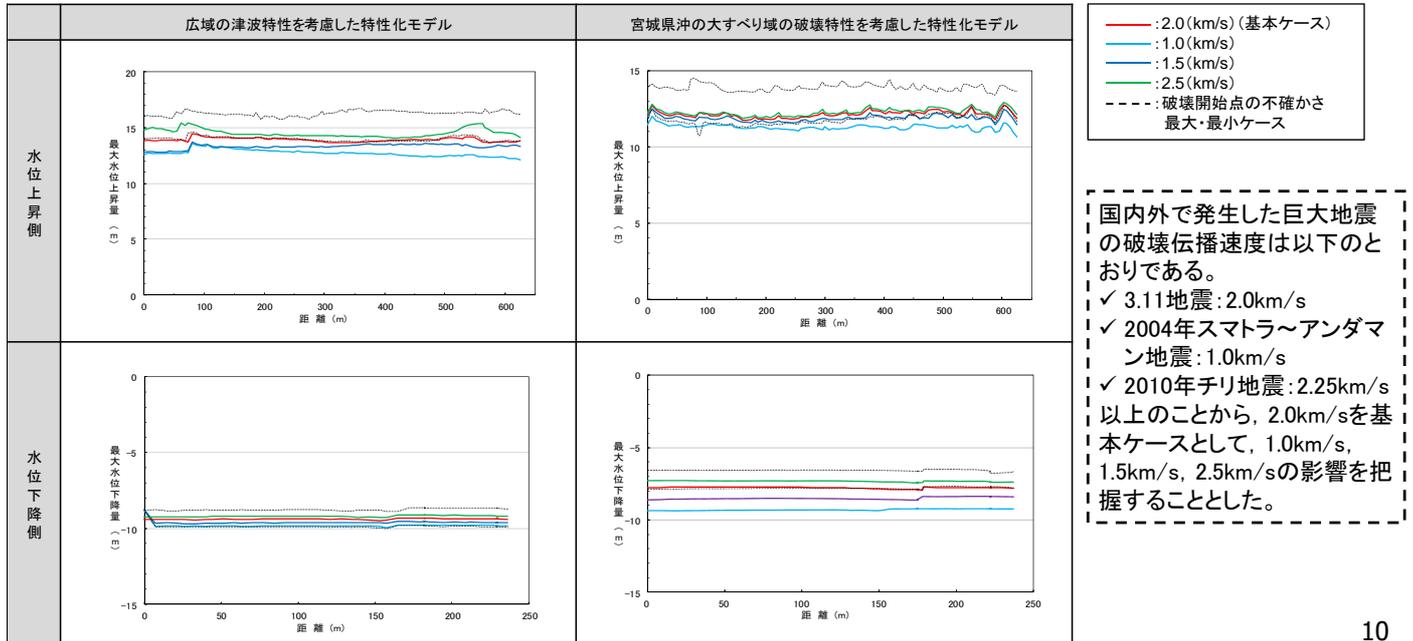
- 水位上昇側:基本ケース(P0)に対して水位が大きく上昇する破壊開始点が存在する。
- 水位下降側:基本ケース(P0)に対して水位が大きく下降する破壊開始点が存在する。



# 1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 7/10)

## ■破壊伝播速度の不確かさの影響

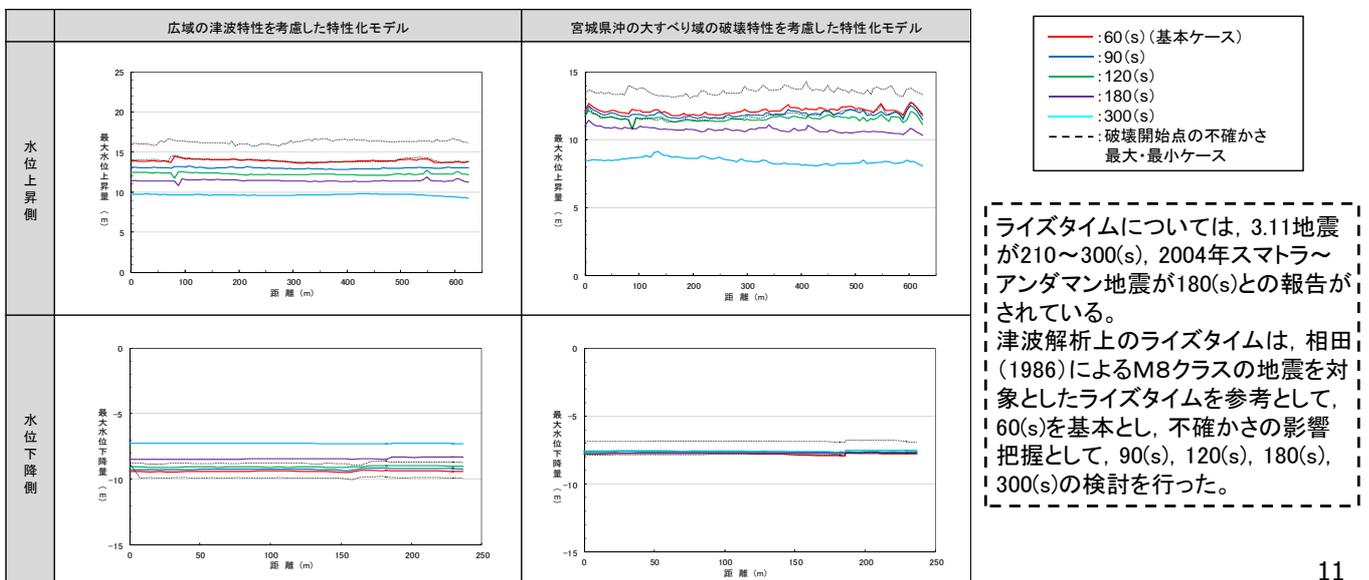
- 水位上昇側:基本ケース(2.0(km/s))に対して水位が上昇するケースが存在するが、その上昇量は破壊開始点の不確かさの影響よりも小さい。
- 水位下降側:宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルについて、基本ケース(2.0(km/s))に対して水位が大きく下降するケース(1.0(km/s))が存在し、その下降量は破壊開始点の不確かさの影響よりも大きい。



# 1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 8/10)

## ■ライズタイムの不確かさの影響①

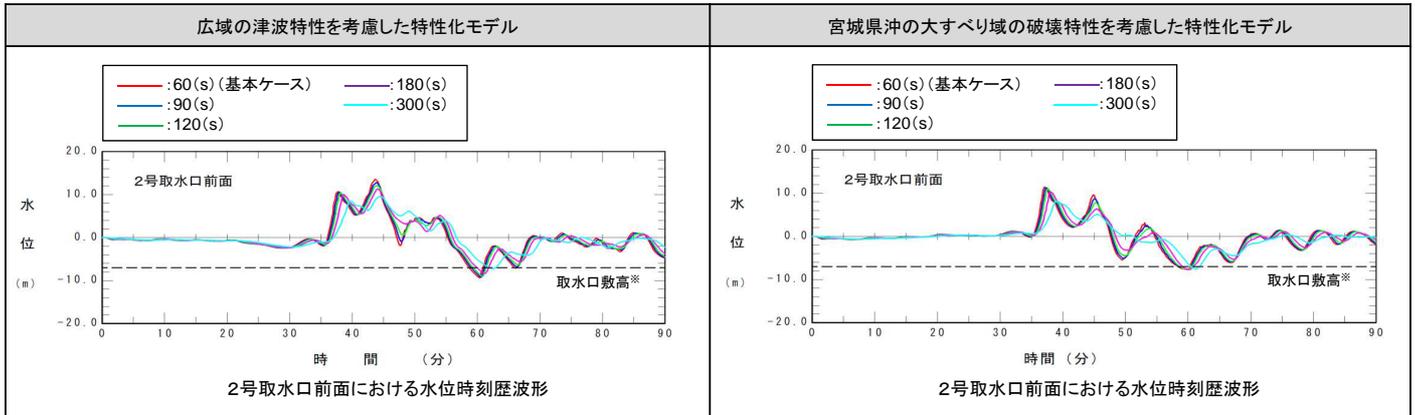
- 水位上昇側:基本ケース(60(s))に対して各ケースの上昇量は小さい(=ライズタイムの不確かさは破壊開始点の不確かさの影響よりも小さい)。
- 水位下降側:広域の津波特性を考慮した特性化モデルは、基本ケース(60(s))に対して各ケースの下降量は小さく、宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルについては、両者に有意な差は認められない(=ライズタイムの不確かさは破壊開始点の不確かさの影響よりも小さい)。



# 1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 9/10)

## ■ライズタイムの不確かさの影響②

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



※: T.P.-7.04m (O.P.-6.3m)

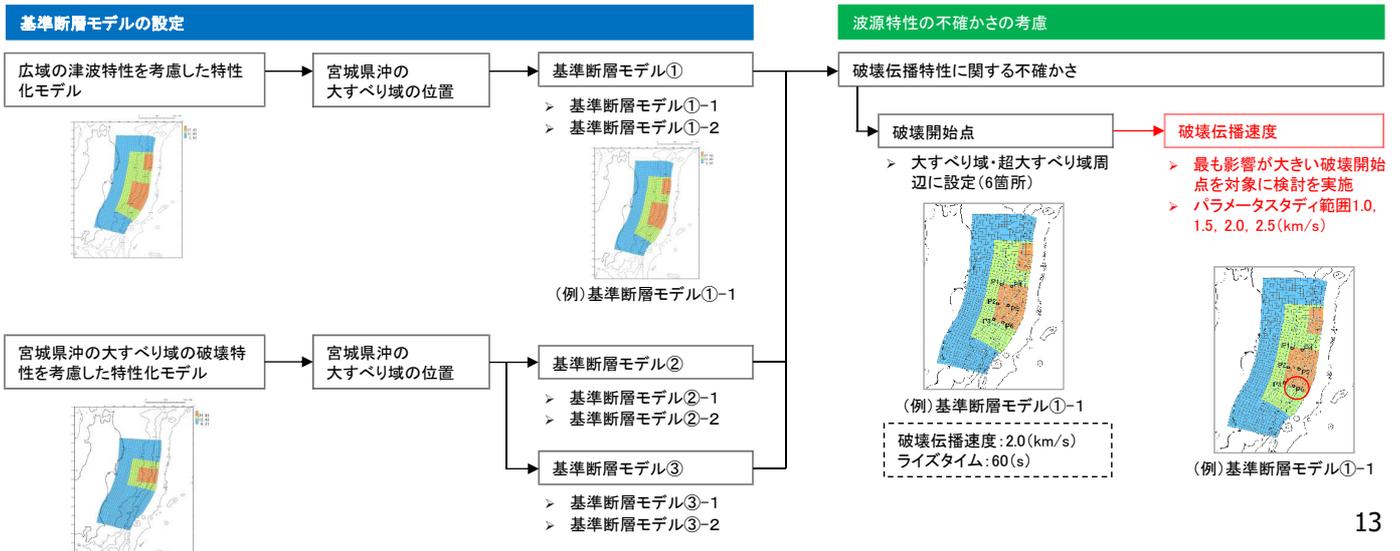
2号取水口敷高を下回る継続時間と2号機非常用海水ポンプの運転可能継続時間の関係

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

# 1. 不確かさの考慮について (3.11型の地震 10/10)

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

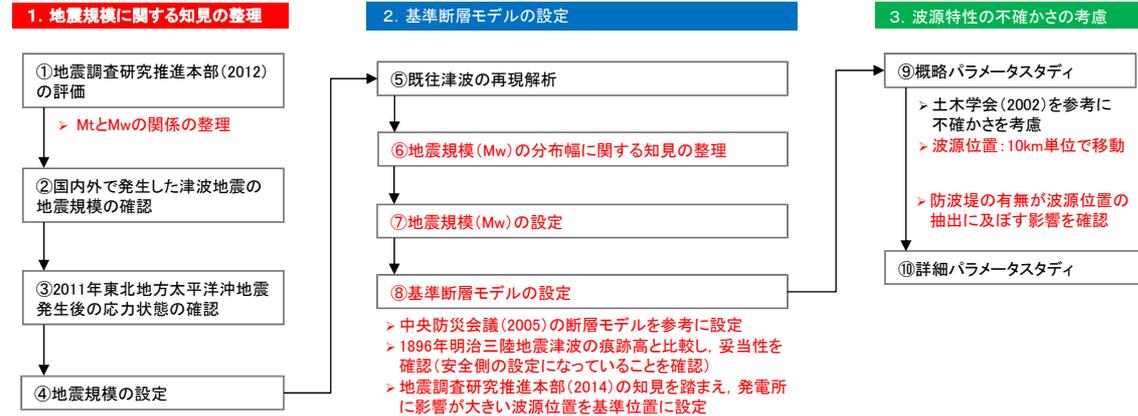
朱書き部: 審査による変更箇所



# 1. 不確かさの考慮について (津波地震 1/2)

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

【評価フロー】



# 1. 不確かさの考慮について (津波地震 2/2)

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

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

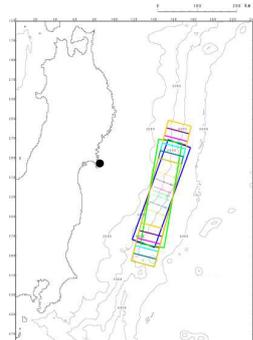
【概略パラメータスタディ】

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

最大水位上昇量・  
下降量最大ケース

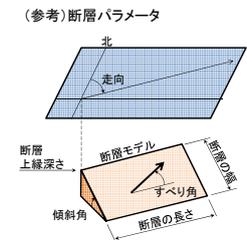
【詳細パラメータスタディ】

項目	変動範囲
傾斜角	基準, 基準±5°
すべり角	基準, 基準±10°



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

朱書き部: 審査による変更箇所



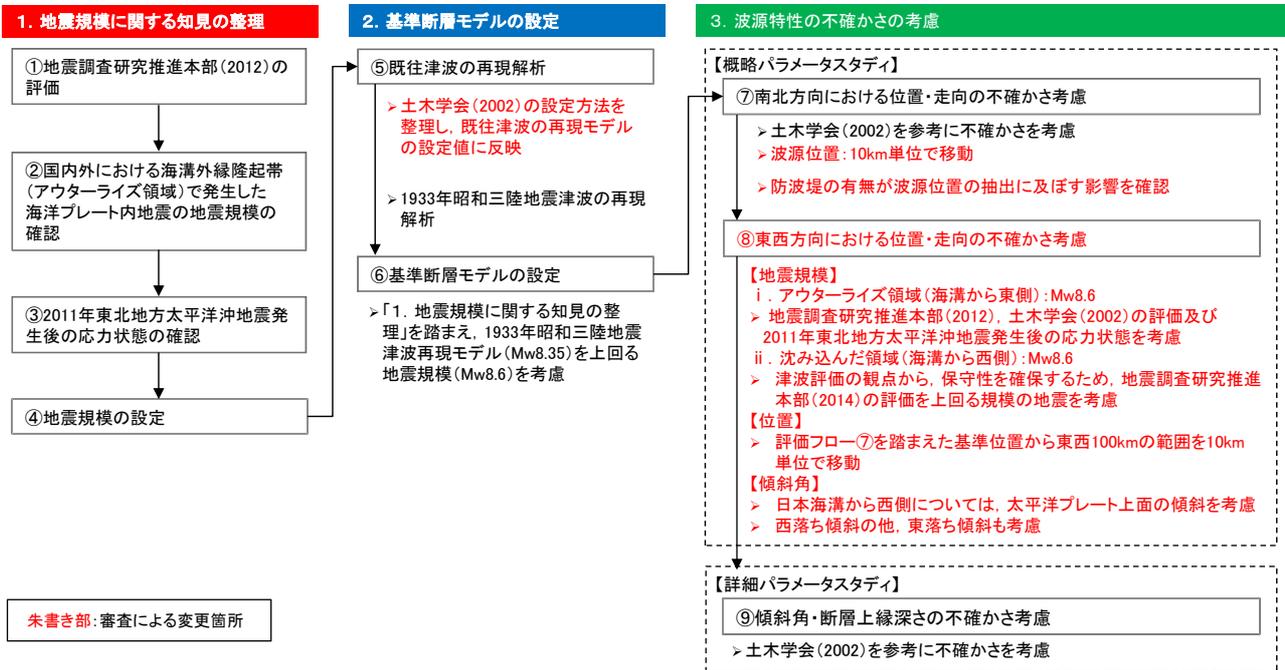
【申請時】断層長さ(南北)の約10%(20km)で位置を移動  
 ↓  
 【審査コメントによる追加検討】断層長さ(南北)の約5%(10km)で、より詳細に位置を移動

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

位置、走向の不確かさの考慮方法

# 1. 不確かさの考慮について (海洋プレート内地震 1/4)

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



# 1. 不確かさの考慮について (海洋プレート内地震 2/4)

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

## ■南北方向の位置の不確かさ考慮方法(概略パラメータスタディ)

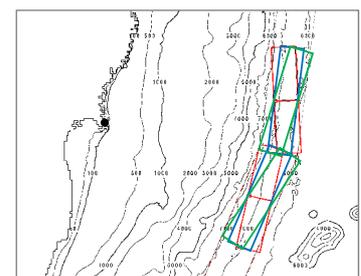
- 位置の変動範囲については、発電所に最も影響が大きい波源位置を評価するため、発電所の津波高さに与える影響が大きい範囲を対象に10km単位で移動させた(追加検討)。
- 走向の変動範囲については、土木学会(2002)を参考に設定した。なお、日本海溝が北緯約38°を境に地下構造が変化する(Tsuru et al.(2002))ことを踏まえ、北緯約38°を跨ぐ津波波源については、科学的想像力を発揮して、発電所に与える影響が大きくなるように南北2枚の断層として考慮した。

朱書き部: 審査による変更箇所

【概略パラメータスタディ(南北方向の位置, 走向)】

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

【申請時】断層長さ(南北)の約10%(20km)で位置を移動  
↓  
【審査コメントによる追加検討】断層長さ(南北)の約5%(10km)で、より詳細に位置を移動



走向の不確かさの考慮方法(概念)

# 1. 不確かさの考慮について (海洋プレート内地震 3/4)

## ■ 東西方向の位置の不確かさ考慮にあたっての地震規模の設定

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

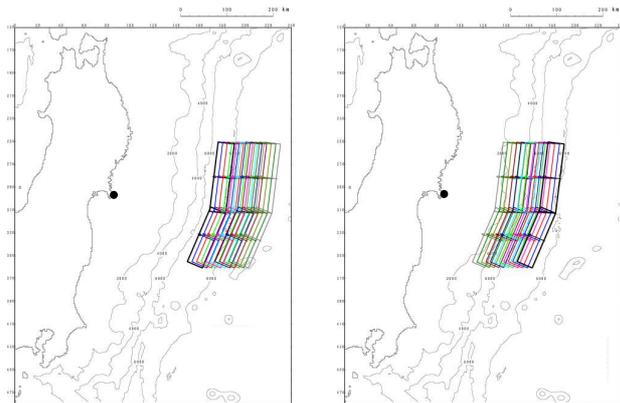
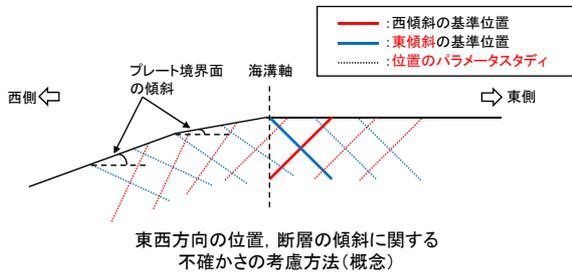
## ■ 東西方向の位置の不確かさ考慮方法(概略パラメータスタディ)

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

朱書き部: 審査による変更箇所

【概略パラメータスタディ(東西方向の位置, 走向, 断層の傾斜)】

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



東方向の位置に関する不確かさの考慮

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

西方向の位置に関する不確かさの考慮

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

# 1. 不確かさの考慮について (海洋プレート内地震 4/4)

## ■ 傾斜角・断層上縁深さの不確かさ考慮方法(詳細パラメータスタディ)

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

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

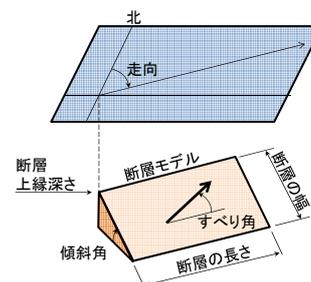
※2: 日本海溝沿いでは、2005年11月15日(Mw7.1)、2011年3月11日(Mw7.7)に海洋プレート内地震が発生しており、傾斜角はそれぞれ約45°(岩淵(2013)), 42°(Lay et al.(2011))である。

朱書き部: 審査による変更箇所

【詳細パラメータスタディ】

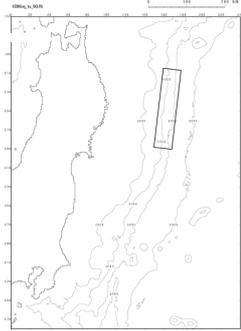
項目	変動範囲	
傾斜角	基準, 基準±5°	
断層上縁深さ	アウトライズ領域 (海溝から東側)	0km, 1km(基準), 2km
	沈み込んだ領域 (海溝から西側)	各波源位置のプレート境界面からの深さ: 0km, 1km(基準), 2km

(参考)断層パラメータ



## 2. 津波地震の地震規模について

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



再現モデル(Mw8.28)

### ■申請時の評価

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

1896年明治三陸地震津波の痕跡高との比較(K,  $\kappa$ )※

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

### ■地震規模の見直し

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

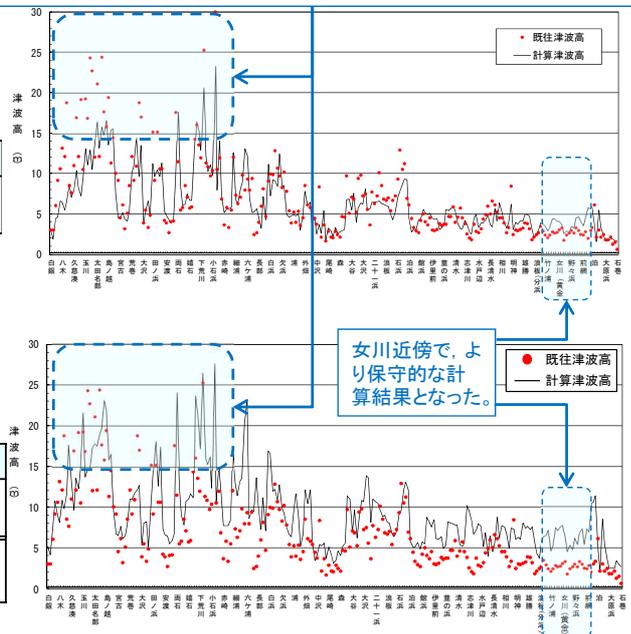
1896年明治三陸地震津波の痕跡高との比較(K,  $\kappa$ )※

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

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

※: 再現性の目安  $0.95 < K < 1.05$ ,  $\kappa < 1.45$  (土木学会(2002)).  
Kが小さい程、計算津波高が既往津波高より平均的に大きいことを示す。

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



1896年明治三陸地震津波の痕跡高と計算津波高の比較

20

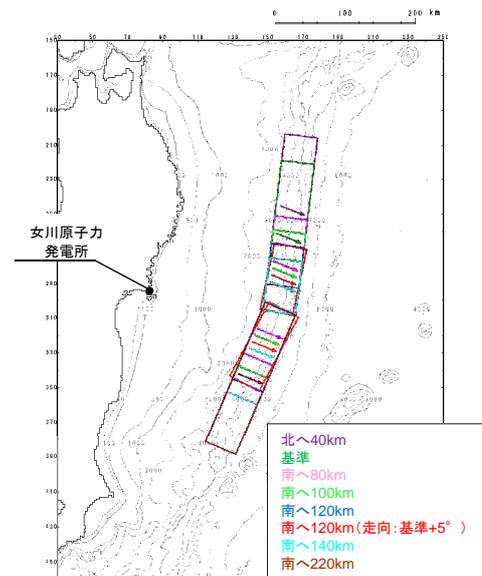
## 2. 津波地震の地震規模について (Mw8.3 1/2)

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

### ■概略パラメータスタディ結果

(単位:m)

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



不確かさの考慮ケース

21

## 2. 津波地震の地震規模について (Mw8.3 2/2)

### ■詳細パラメータスタディ結果

#### ■詳細パラメータスタディ①

(単位:m)

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

#### 【詳細パラメータスタディ】

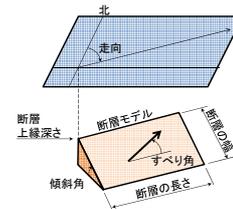
項目	変動範囲
傾斜角	基準, 基準±5°
すべり角	基準, 基準±10°

#### ■詳細パラメータスタディ②

(単位:m)

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

(参考)断層パラメータ



22

## 2. 津波地震の地震規模について (Mw8.5 1/2)

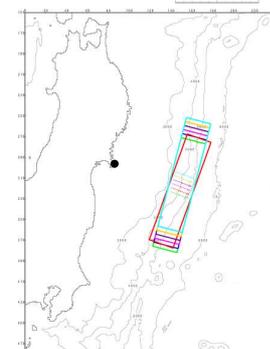
### ■概略パラメータスタディ結果

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

(単位:m)

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

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



不確かさの考慮ケース

23

## 2. 津波地震の地震規模について (Mw8.5 2/2)

【詳細パラメータスタディ①(波源位置:北へ10km, 走向:基準+5°)】

(単位:(m))

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

【詳細パラメータスタディ②(波源位置:基準, 走向:基準+5°)】

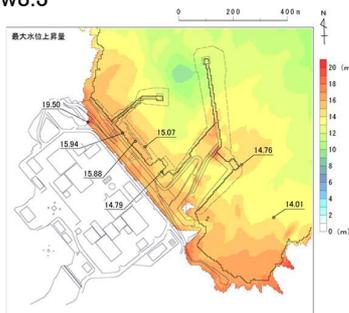
(単位:(m))

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

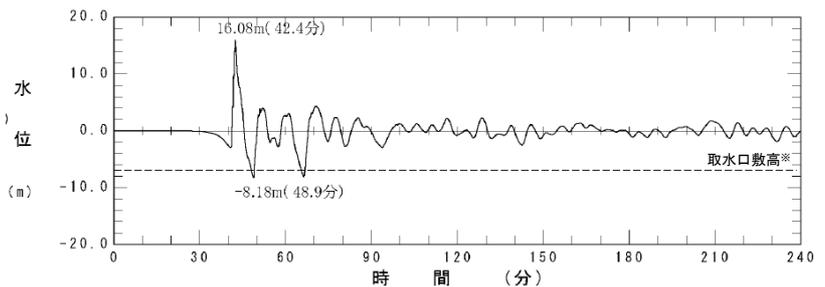
24

## 2. 津波地震の地震規模について (水位の比較 1/2)

■ Mw8.3

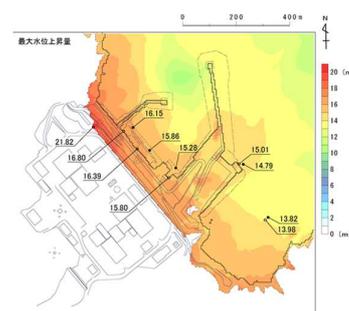


最大水位上昇量分布(敷地前面最大ケース)

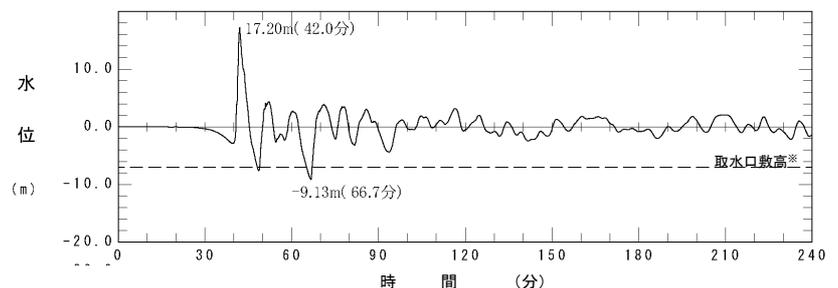


2号取水口前面の水位時刻歴波形(2号取水口前面最大ケース)

■ Mw8.5



最大水位上昇量分布(敷地前面最大ケース)



2号取水口前面の水位時刻歴波形(2号取水口前面最大ケース)

※:T.P.-7.04m(O.P.-6.3m)

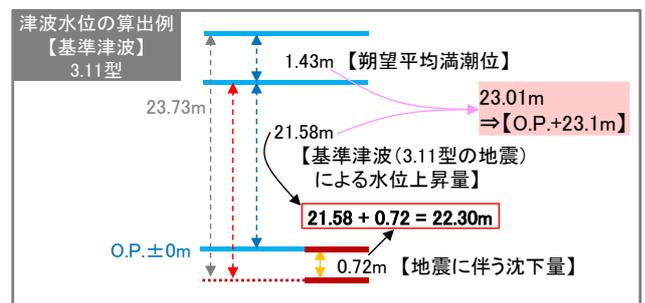
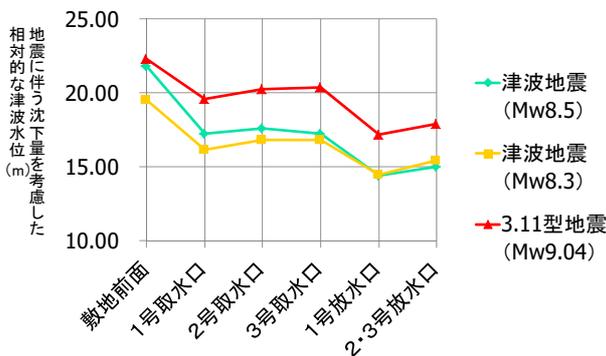
25

## 2. 津波地震の地震規模について（水位の比較 2/2）

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

【水位上昇側】

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



26

## 3. 防潮堤工事について

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

- 3.11地震以降、当社では3.11や南海トラフ等の最新知見を取り入れ、自主的に津波評価を実施し、発電所敷地前面に到達する津波の最大遡上水位をO. P. +23.1mと評価した。これを踏まえつつ、より安全性を高め、地域の皆さまにご安心いただくため、防潮堤かさ上げ工事を開始した。(H25.5.14公表)
- その後、H25.7.8に新規規制基準が施行されたことを踏まえ、この基準に照らした津波評価を実施し、改めて発電所敷地前面に到達する津波の最大遡上水位をO. P. +23.1mと評価した。
- H25.12.27に適合性審査を申請し、多くの審査過程を経て、H28.9.30の審査会合では原子力規制委員会より「基準津波の策定については、概ね妥当な検討がなされている」とされた。
- 防潮堤工事は継続中であるが、新たな知見の反映等により、追加工事が必要となった場合には適切に対応する。

### お知らせ

平成25年5月14日  
東北電力株式会社

#### 女川原子力発電所における防潮堤のかさ上げについて

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

この規模の津波が発生した場合でも、既の実施している緊急安全対策等により、発電所の安全停止状態を維持することが可能と評価しておりますが、より安全性を高め、地域の皆さまにご安心いただく観点から、自主的な対策として、現在の防潮堤<sup>※2</sup>(高さ約3m、O. P. 約+17m)をかさ上げし、防潮堤高さを約1.5m(O. P. 約+29m)にする工事を実施することといたしました。なお、工事については、今後、準備が整い次第開始し、平成28年3月に完了する予定としております。

津波評価および防潮堤かさ上げの概要については、別紙のとおりです。

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

以上

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

※2 平成23年12月1日工事開始、平成24年4月26日工事完了

(別紙)

女川原子力発電所における防潮堤かさ上げについて(概要)

(当社HPより)

27

## 4. 津波シミュレーションの計算精度について 1/3

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

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

(p.21の表の一部を再掲)

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

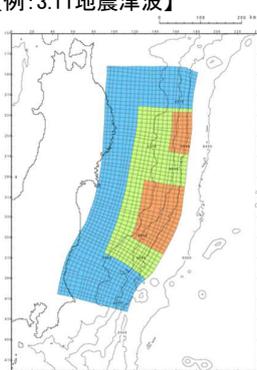
ケース間の比較が必要

28

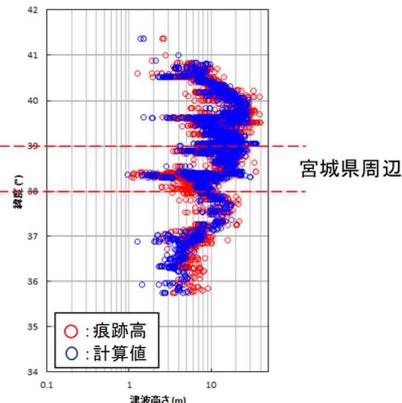
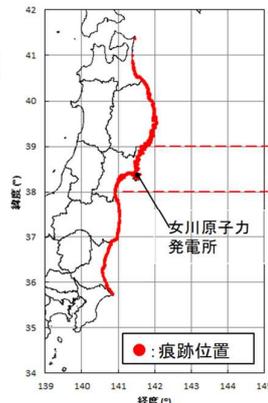
## 4. 津波シミュレーションの計算精度について 2/3

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

【例: 3.11地震津波】



広域の津波特性を考慮した特性化モデル



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

相田(1977)による再現性の評価指標(K,  $\kappa$ )

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

$$K_i = R_i / H_i$$

ここで,

n : 地点数,

$R_i$  : i番目の地点での観測値(痕跡高),

$H_i$  : i番目の地点での数値シミュレーション結果

【土木学会(2002)による再現性の目安】

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

29

## 4. 津波シミュレーションの計算精度について 3/3

### ■津波シミュレーションにおける誤差等の考慮について

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

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

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

(土木学会(2002)に一部加筆)  
土木学会(2016)においても同様の考えであることを確認。



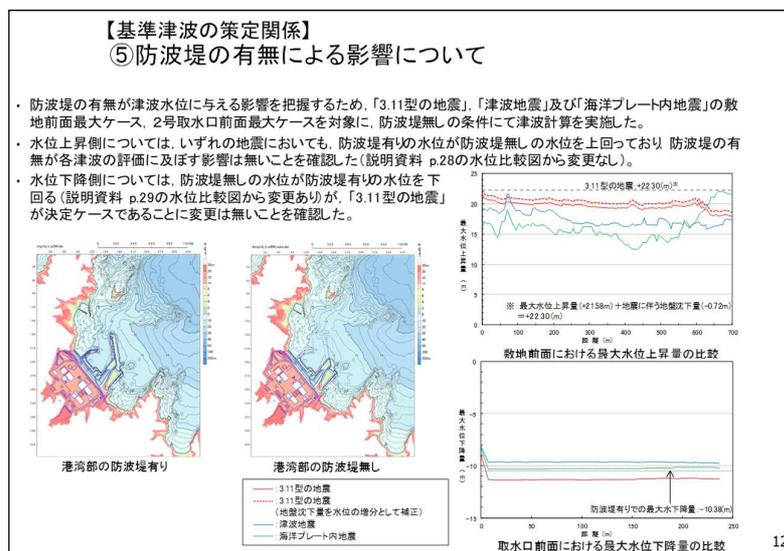
- 誤差の要因を踏まえつつ、土木学会(2002)等を参考に、適切な計算条件、地形モデルの設定、計算結果の確認等を行っている。
- 数値シミュレーションの妥当性については、痕跡データが多数存在する3.11地震津波、1933年昭和三陸地震津波等の再現解析により確認している。

30

## 5. 港湾構造物による津波水位への影響について

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

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

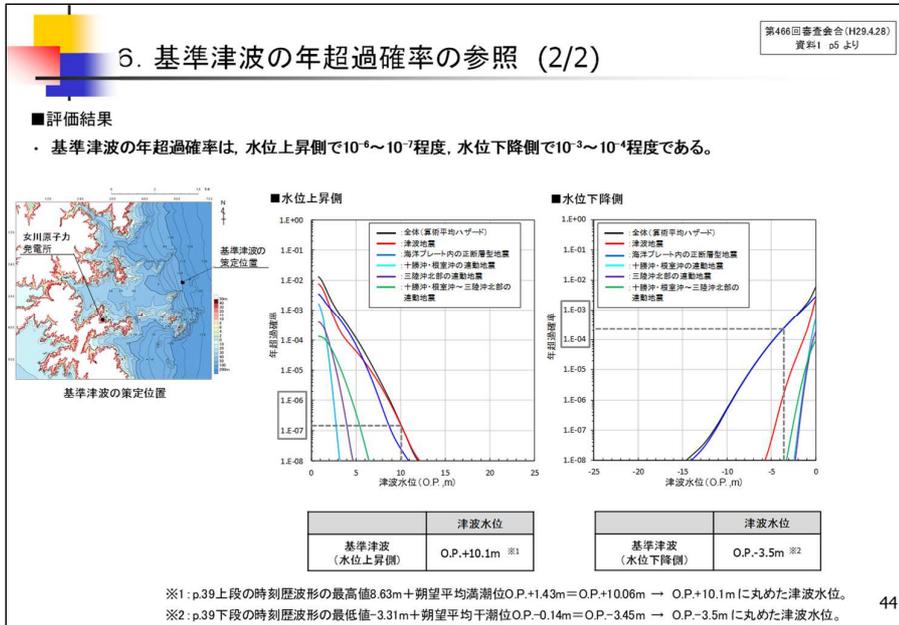


(第12回検討会 資料-2  
データ集p.12再掲)

31

## 6. 基準津波の年超過確率について 1/3

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



(第12回検討会 資料-2 p.44再掲)

32

## 6. 基準津波の年超過確率について 2/3

確率論的津波評価を行う背景

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

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

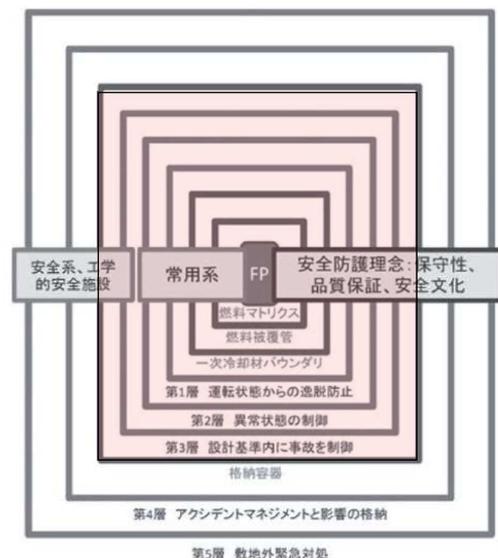


図 2.1-1 IAEA による深層防護 (山口, 2012) (土木学会(2016)に加筆)

33

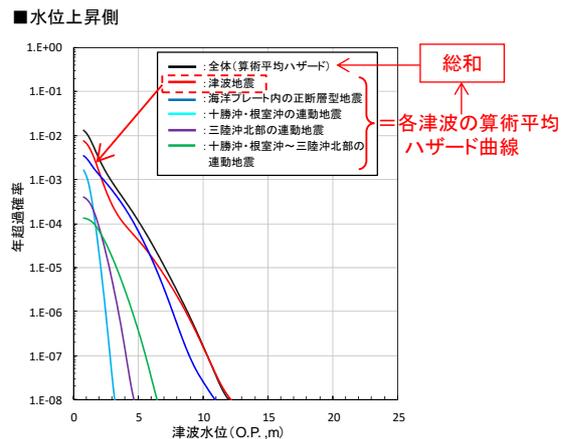
# 6. 基準津波の年超過確率について 3/3

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

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

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

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

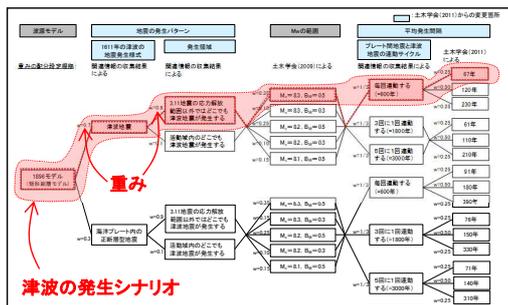


# 6. 基準津波の年超過確率について (参考)

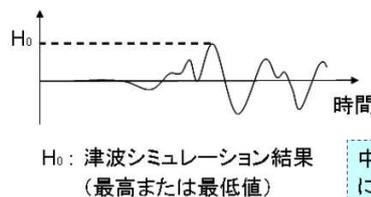
各津波ごとの算術平均ハザードの算定手順は以下のとおり。

(②～④の図は、土木学会(2009)を加工)

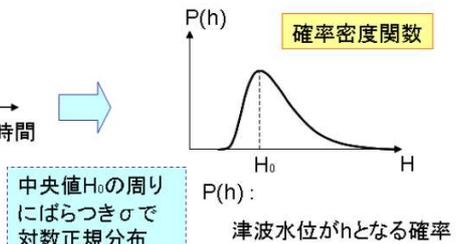
① 「津波地震」の発生シナリオを設定  
「津波地震」のロジックツリー



② 設定したシナリオによる数値シミュレーション  
評価地点(例: 基準津波の策定位置)での最高値( $H_0$ )を算定

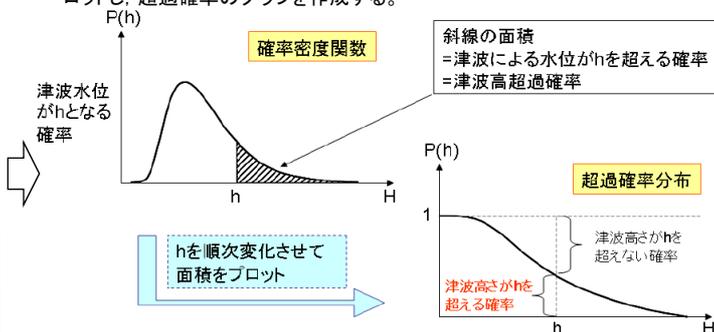


③ 確率密度関数の作成  
 $H_0$ を中央値として、ばらつき $\sigma$ を与えると、下図のような確率密度関数(グラフ)ができる。

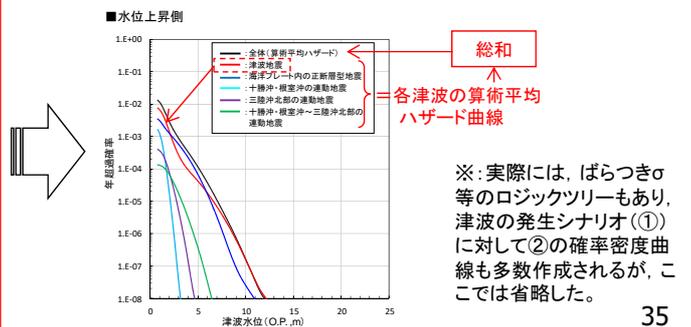


④ 超過確率分布の作成

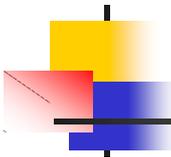
確率密度曲線でhを順次変化させ、斜線の面積(=超過確率)を求めてプロットし、超過確率のグラフを作成する。



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



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



## 参考文献

1. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002):原子力発電所の津波評価技術
2. 公益社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会(2016):原子力発電所の津波評価技術2016
3. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012):三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について
4. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2014):全国地震動予測地図 2014年版 ~全国の地震動ハザードを概観して~ 付録-1
5. 杉野英治・呉長江・是永眞理子・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)
6. 地震調査研究推進本部(2009):付録3 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
7. 相田勇(1986):津波波源の推定, 水工学シリーズ86-8-2, 土木学会水理委員会
8. 内閣府中央防災会議事務局(2005):資料1 中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会(第10回) 強震動及び津波高さの推計について
9. Tsuru Tetsuro, Jin-Oh Park, Seiichi Miura, Shuichi Kodaira, Yukari Kido, and Tsutomu Hayashi(2002): Along-arc structural variation of the plate boundary at the Japan Trench margin: Implication of interplate coupling, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 107, NO. B12, 2357,doi:10.1029/2001JB001664
- 10.岩淵洋(2013):日本海溝海側斜面における地殻伸張速度及びそこで発生する正断層地震について, 海洋情報部研究報告第50号
- 11.Thorne Lay, Charles J. Ammon, Hiroo Kanamori, Marina J. Kim, and Lian Xue(2011): Outer trench-slope faulting and the 2011 Mw 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, 713-718
- 12.伊木常誠(1897):三陸地方津浪実況取調報告, 震災予防調査会報告, 第11号, pp.5-34
- 13.松尾春雄(1933):三陸津浪調査報告, 内務省土木試験所報告, 第24号, pp.83-112
- 14.東北電力株式会社(2013):女川原子力発電所における防潮堤のかさ上げについて, プレスリリース, 平成25年5月14日
- 15.東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012):痕跡調査結果(2012年10月3日リリース版)
- 16.相田勇(1977):三陸沖の古い津波のシミュレーション, 東京大学地震研究所彙報, Vol.52, pp.71-101