

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。



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。

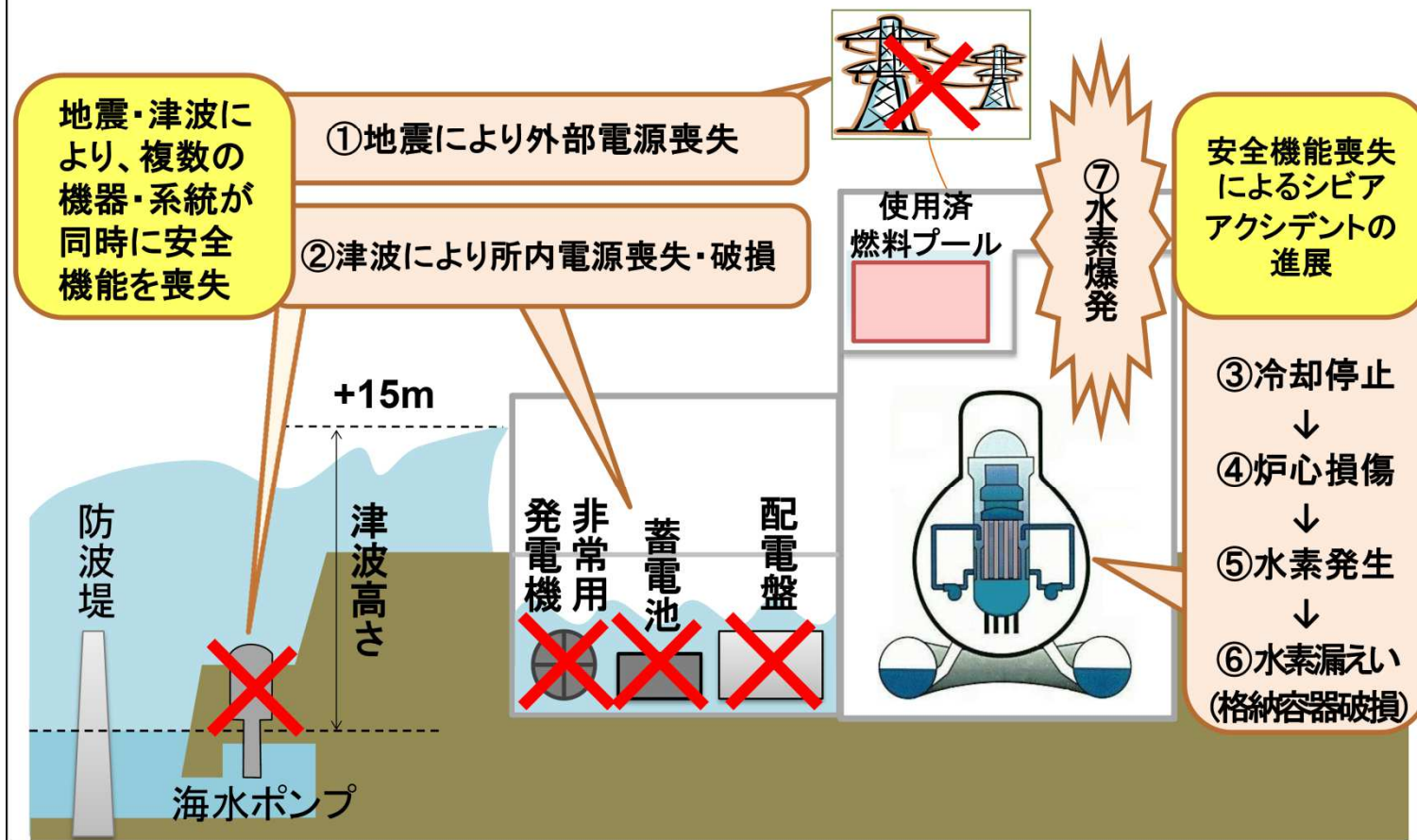
- ・「基準津波」に係る基本事項 …… 基本的な考え方, 審査ガイド 等
- ・女川原子力発電所の津波の特徴
- ・女川原子力発電所における基準津波の検討内容
- ・砂移動評価(基準津波に対する安全性), 基準津波の年超過確率の検討内容
- ・今後の対応について
- ・適合性審査状況

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. 基準津波に係る基本事項 (1/5)

福島第一原発事故における教訓

- 福島第一原発事故では地震や津波により、複数の機器・システムが同時に安全機能を喪失。
- さらに、その後のシビアアクシデントの進展を食い止めることができなかった。



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
えるとき、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)

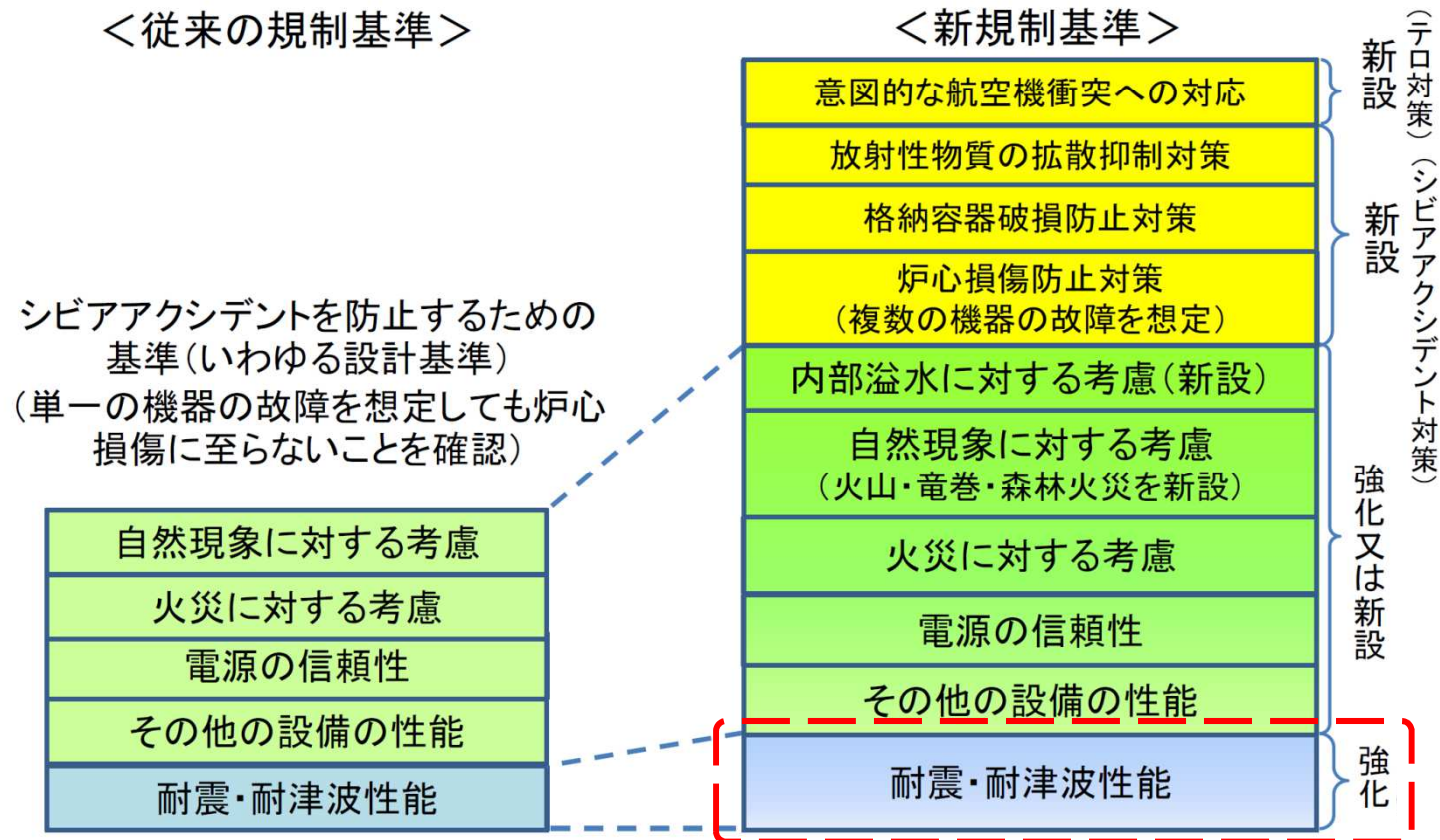
④ 基準では必要な「性能」を規定(性能要求)

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

2. 基準津波に係る基本事項 (3/5)

従来の規制基準と新規規制基準との比較

- ▶ 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



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

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。

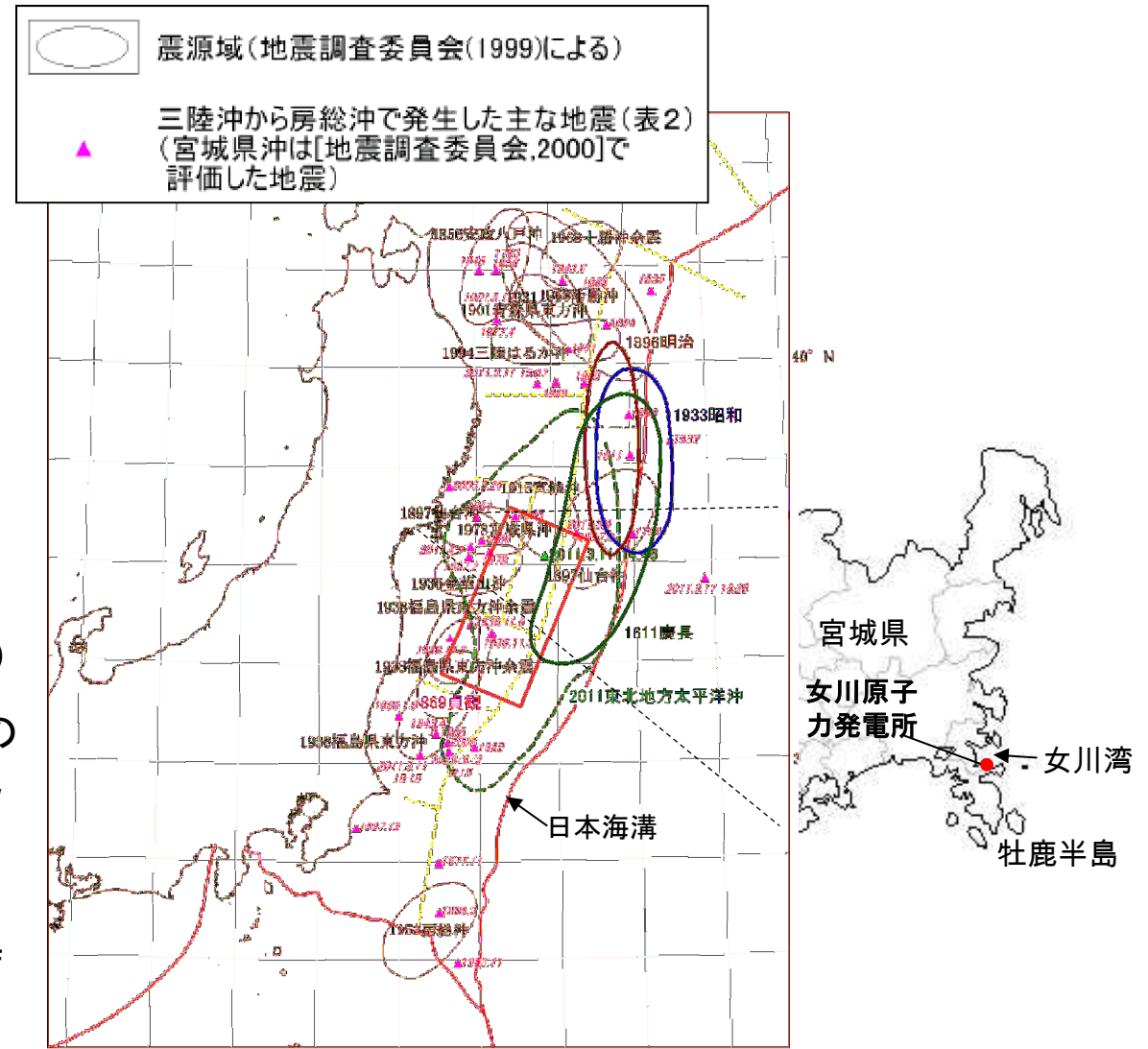
3. 女川原子力発電所の津波の特徴

■ 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

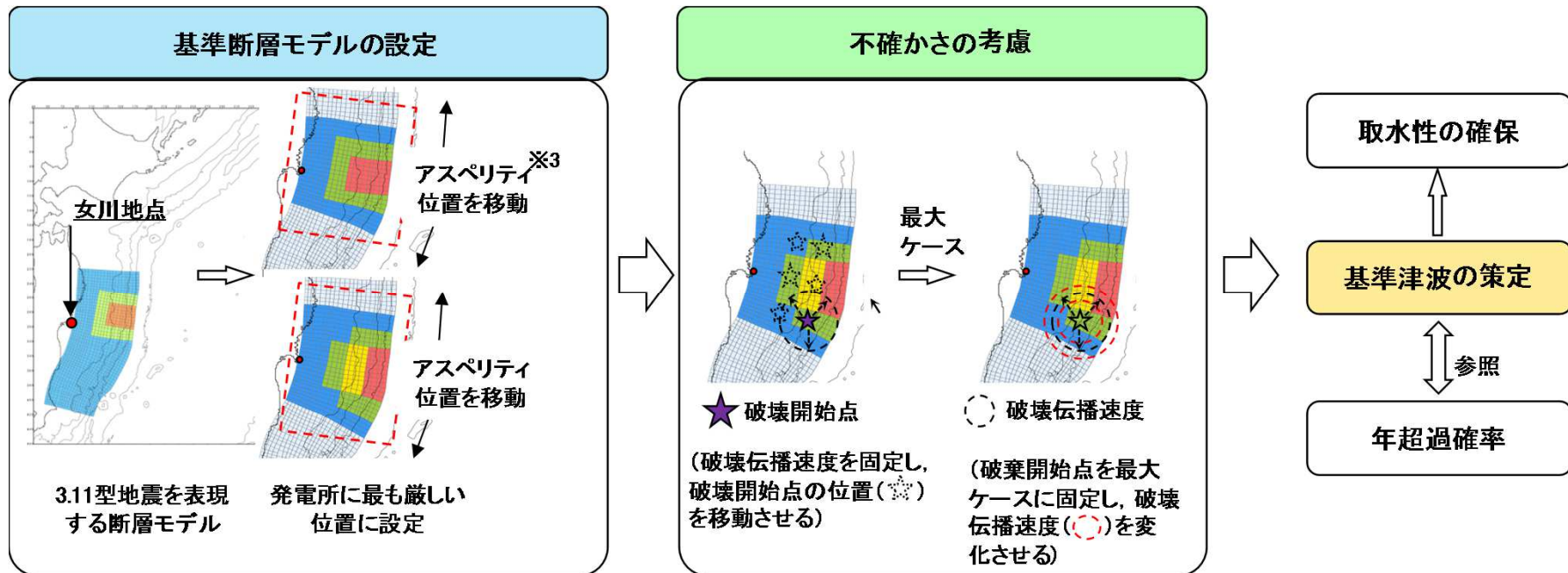
- ・古くから多くの津波が来襲(869貞観, 1611慶長, 1896明治, 1933昭和, 1960チリ, 2011東北地方太平洋沖 等)
- ・海溝型の近地津波(プレート間地震など)の影響が大きく, 2011年東北地方太平洋沖地震(以下, 「3.11地震」という。)に伴う津波が最大
- ・遠地津波(1960チリ 等)は, 周期が長い特徴があるが, 近地津波(上述)と比較して影響は小さい



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)

4. 基準津波の策定 評価概要

- ・ 基準津波は、新規基準・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。



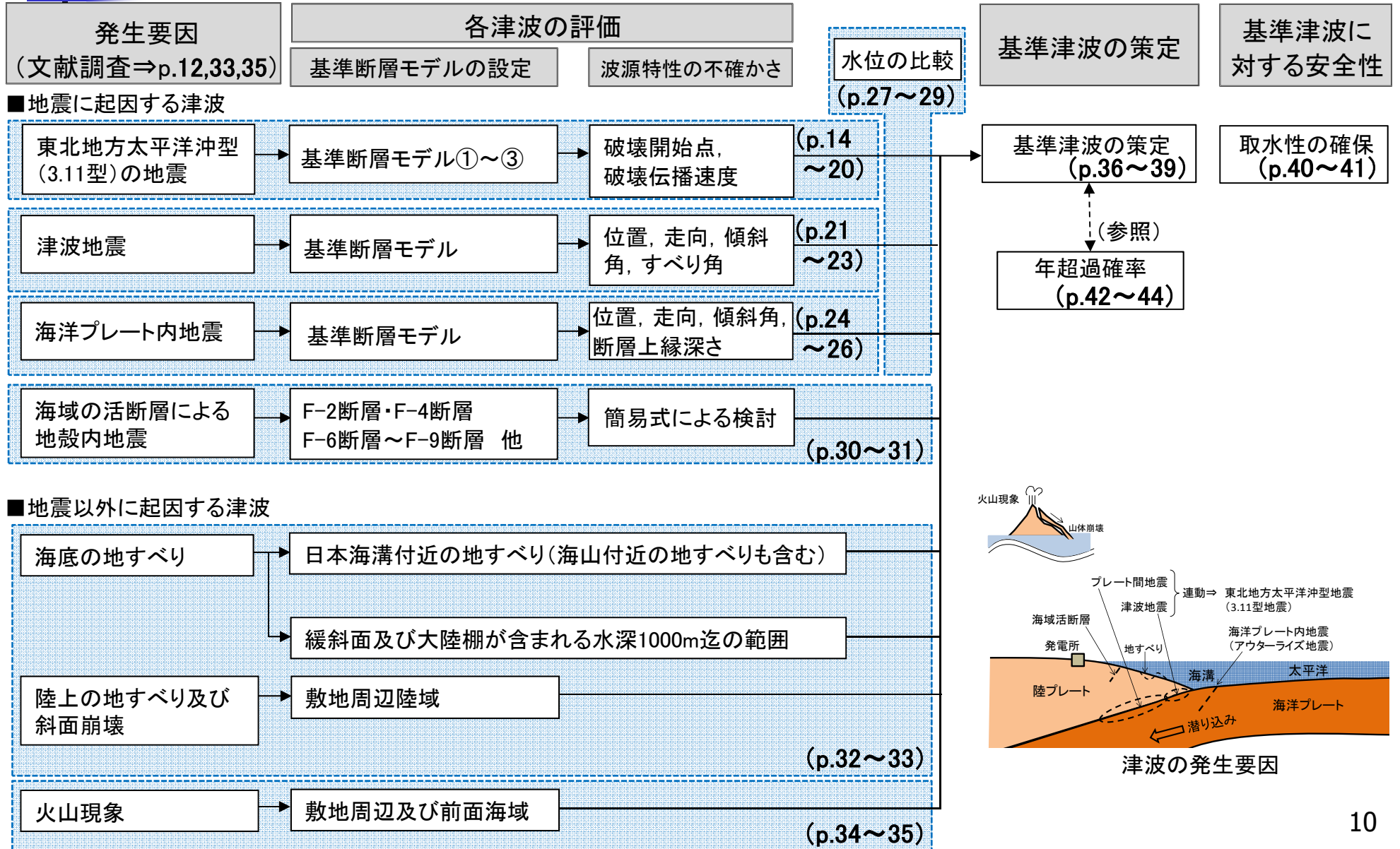
基準津波の評価の概要

※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】

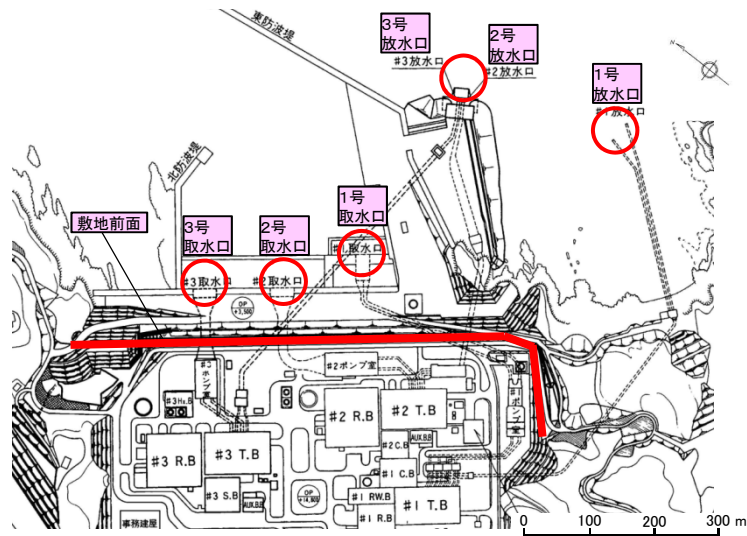
- ✓ 重要な安全機能を有する施設の設置された敷地(O.P.※約+13.8m)への基準津波の到達, 流入を防止するため, 津波防護施設(防潮堤, 防潮壁)を設置することから, 「最大水位上昇量」に「地震に伴う沈下量」を考慮した各評価位置の最大ケースを『基準津波(水位上昇側)』とする。 ※:O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面(T.P.)-0.74m。

【水位下降側】

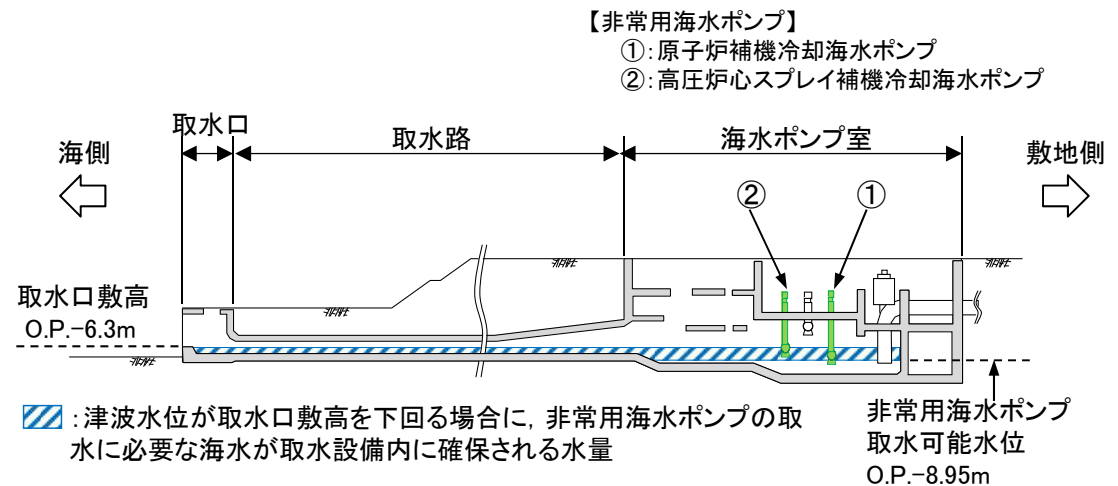
- ✓ 津波水位が取水口敷高を下回る場合における非常用海水ポンプの取水に必要な海水の貯留容量に関する評価, 津波による水位変動に伴う砂の移動・堆積及び漂流物に対する取水路の通水性に関する評価の観点から, 「最大水位下降量」に「地震に伴う隆起量」を考慮した最大ケースを『基準津波(水位下降側)』とする。

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



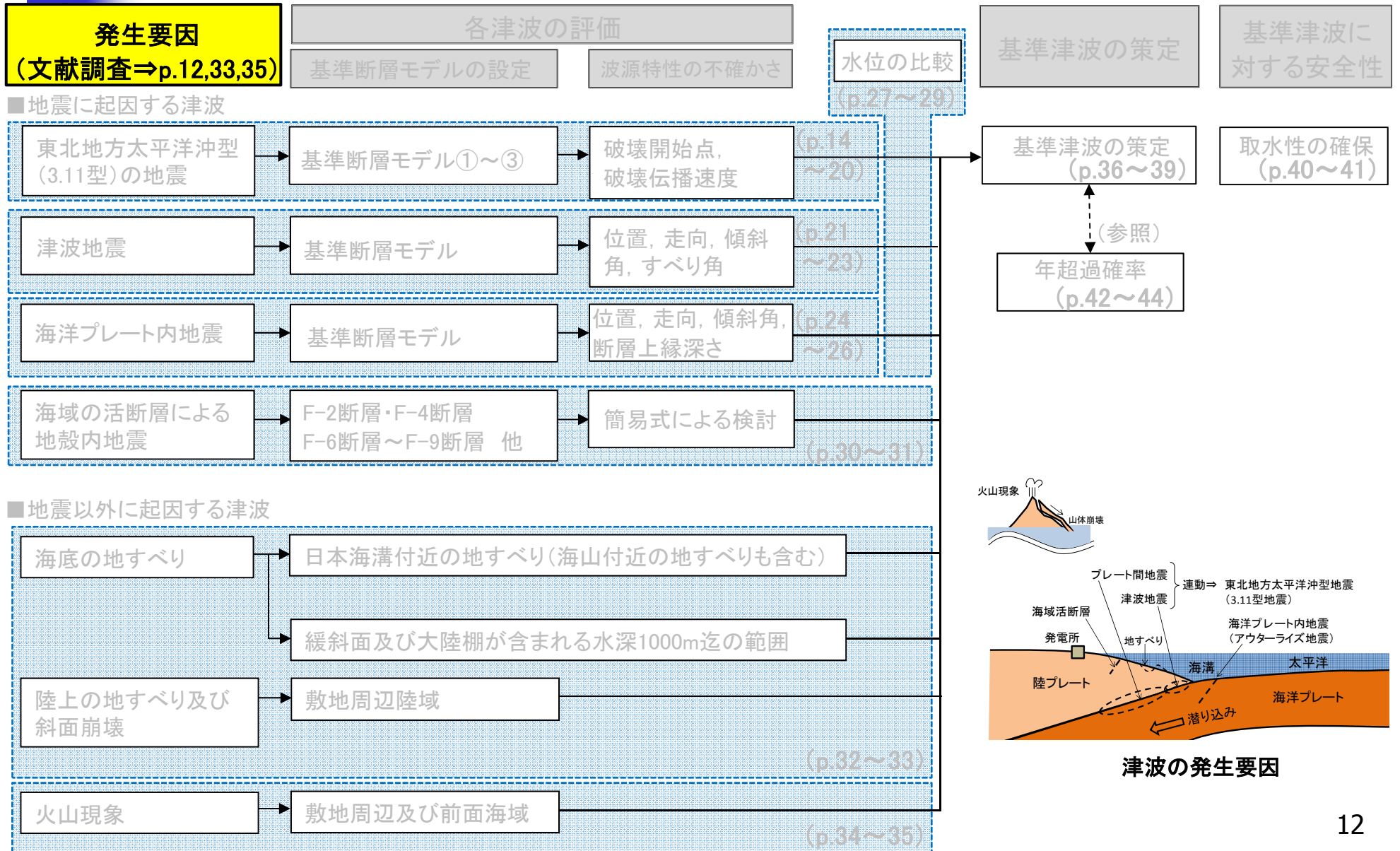
評価位置(平面図)



2号取水設備断面図(概要)

4. 基準津波の策定 津波の発生要因(文献調査結果)

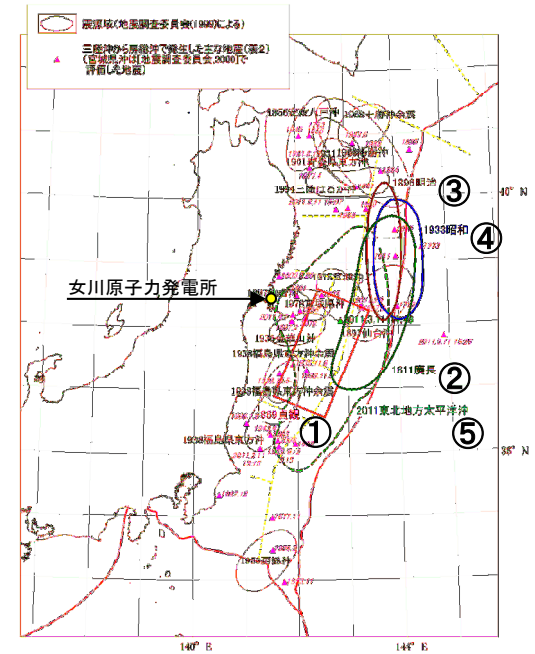
評価フロー(p.10)再掲



4. 基準津波の策定 津波の発生要因(文献調査結果)

- 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	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。
		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。)
	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。
		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。)
		溝沿い千島海	プレート間地震
遠地津波※2	プレート間地震	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	<ul style="list-style-type: none"> 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。



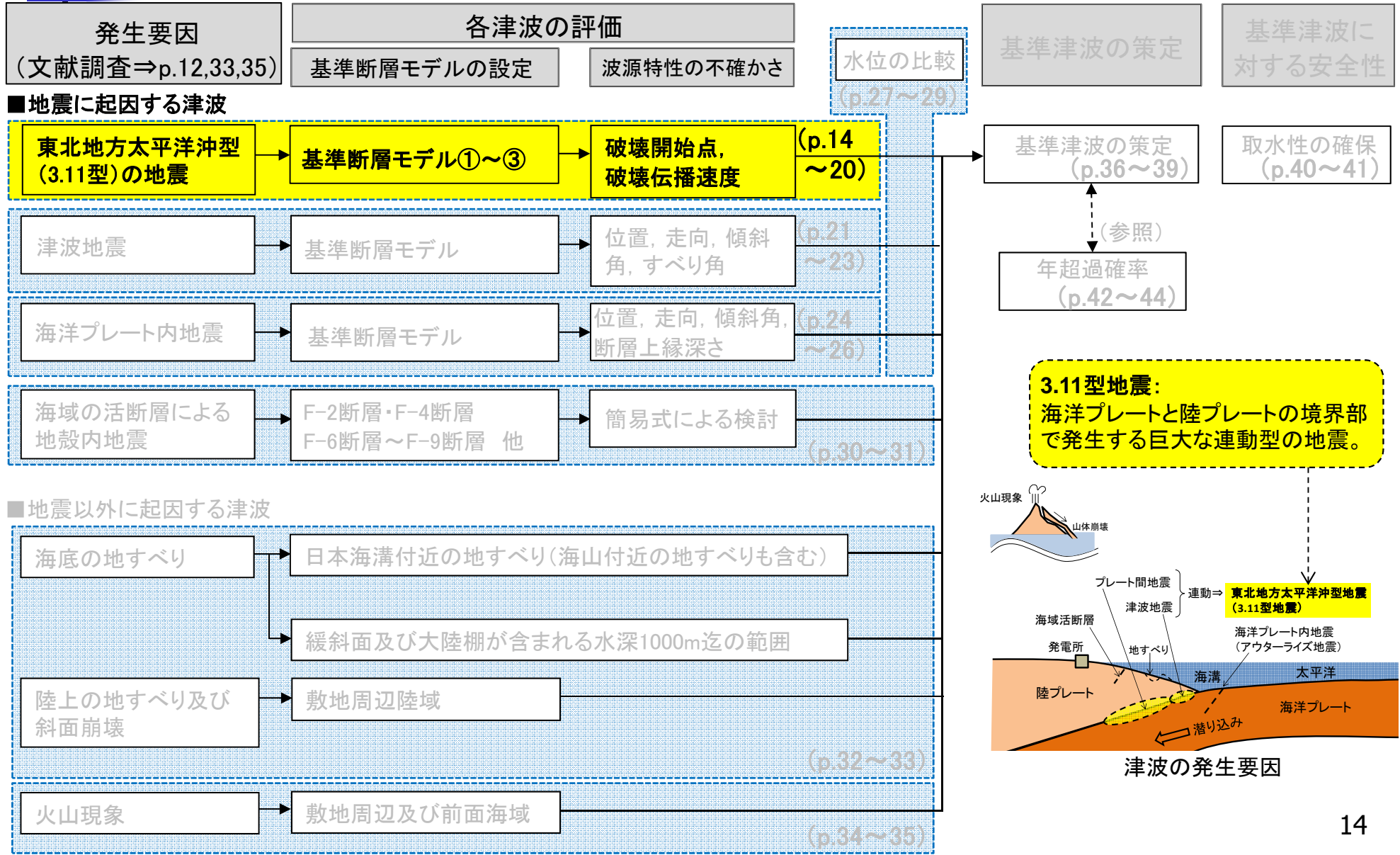
日本海溝沿いで発生した
主な地震と震源域
(地震調査研究推進本部(2012)の図に加筆)

※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。

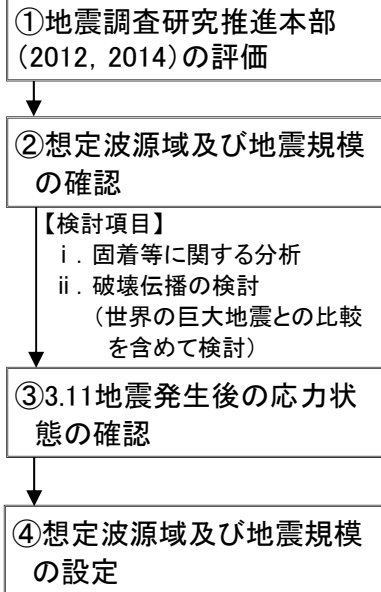
4. 基準津波の策定 3.11型の地震

評価フロー(p.10)再掲

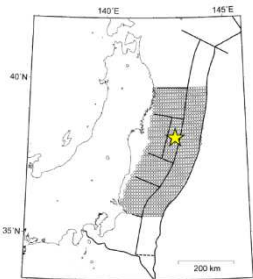


4. 基準津波の策定 3.11型の地震 津波評価フロー

1. 想定波源域及び地震規模の設定



・想定波源域: 三陸沖中部～茨城県沖
・地震規模: Mw9.0

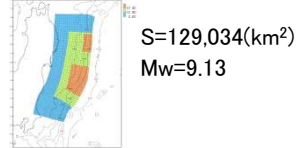


3.11型の地震
(地震調査研究推進本部(2014))

2. 基準断層モデルの設定

⑤-1: 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定

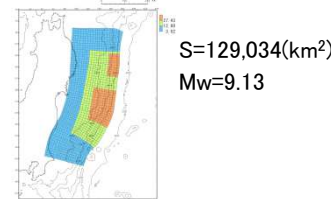
【確認項目】
青森県北部～茨城県南部の痕跡高の再現性



⑤-2: 宮城県沖の大すべり域の位置

- 大すべり域の破壊位置にゆらぎが存在する可能性を考慮(南北約10km単位で移動させた検討を実施)
- 防波堤の有無による影響を確認
- 破壊開始点との位置関係による影響を確認

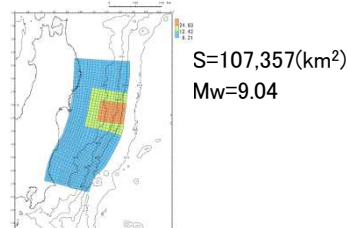
⑤-3: 基準断層モデル①(水位上昇側・下降側)の設定



⑥-1: 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

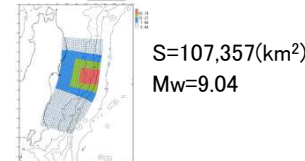
【確認項目】

- i. 地殻変動量(プレート境界の破壊)
- ii. 沖合いの観測波形(津波伝播)
- iii. 発電所の津波水位(津波遡上)



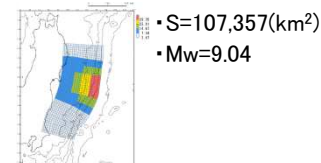
⑥-3: 基準断層モデル②(水位上昇側・下降側)の設定

➢ 震源断層モデルと津波波源モデルの断層面積の違いをすべり量の増分として考慮(約20%)



⑥-4: 基準断層モデル③(水位上昇側・下降側)の設定

➢ 杉野ほか(2013)を踏まえ、短周期の波の発生要因を考慮



⑥-2: 宮城県沖の大すべり域の位置

- 大すべり域の破壊位置にゆらぎが存在する可能性を考慮(南北約10km単位で移動させた検討を実施)
- 防波堤の有無による影響を確認
- 破壊開始点との位置関係による影響を確認

3. 波源特性の不確かさの考慮

⑦大すべり域の破壊伝播特性に関する不確かさの考慮

⑦-1: 破壊開始点の位置

- 最も影響が大きい破壊開始点を抽出

⑦-2: 破壊伝播速度

- 1.0, 1.5, 2.0, 2.5(km/s)

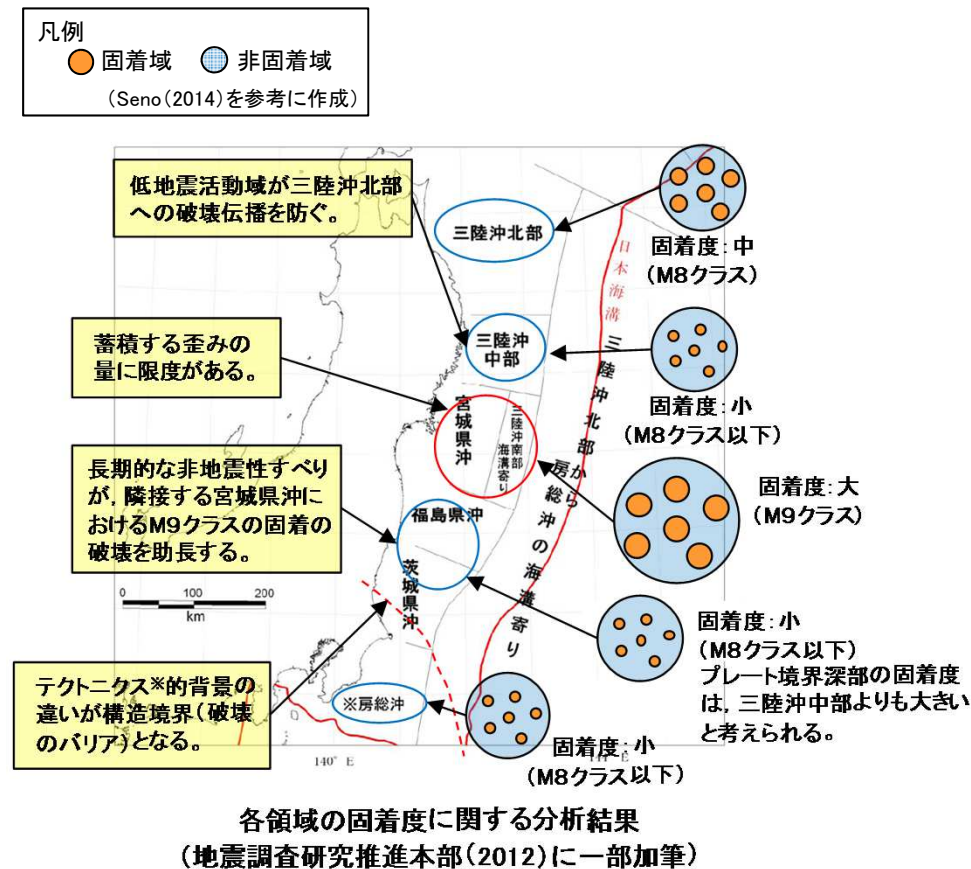
➢ 上昇側・下降側それぞれについて、各評価位置における最大ケース(⑦-2)の大すべり域の位置と、各基準断層モデルの大すべり域位置(⑤-2,⑥-2)が異なる場合、最大ケース(⑦-2)の大すべり域の位置を南北約10km移動させた津波予測計算を実施し、最大ケース(⑦-2)の妥当性を確認する。

S: 断層面積
Mw: モーメントマグニチュード※

※: 地震規模を表す指標。巨大地震の規模を表すのに適した指標として広く用いられる。

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。

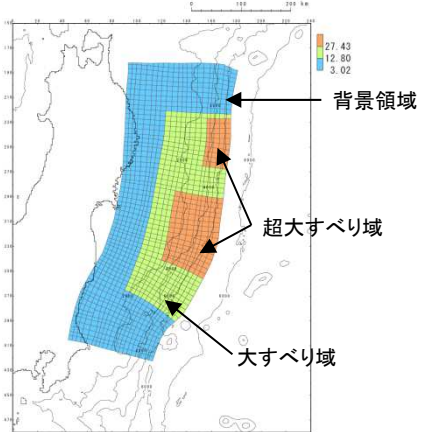
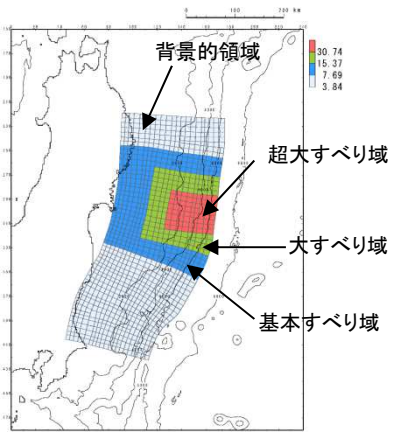
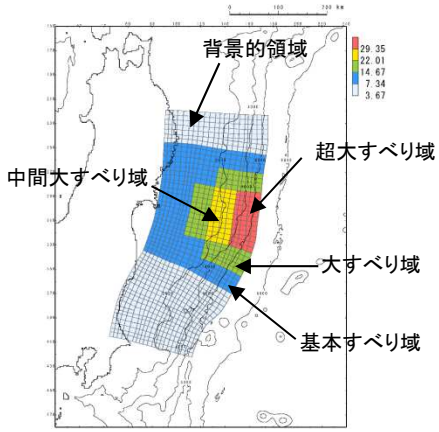


地震本部の領域区分	破壊伝播範囲	破壊伝播の検討結果
三陸沖北部		<ul style="list-style-type: none"> M8クラスの地震で歪みは解放し, M9クラスの巨大地震を発生させる歪みは蓄積しない。
三陸沖中部	北端 ↑	<ul style="list-style-type: none"> プレート境界深部の低地震活動域が, 隣接する領域からの破壊伝播を防ぐ。
宮城県沖	起点 (震源)	<ul style="list-style-type: none"> 蓄積する歪みの量には限度があり, 3.11地震よりもさらに応力を高めることはできない。
福島県沖・茨城県沖	↓ 南端	<ul style="list-style-type: none"> 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。
房総沖		<ul style="list-style-type: none"> 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。

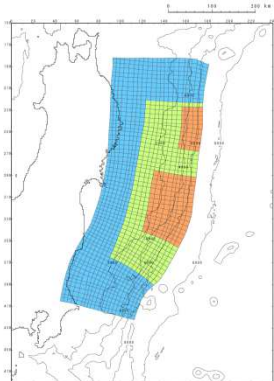
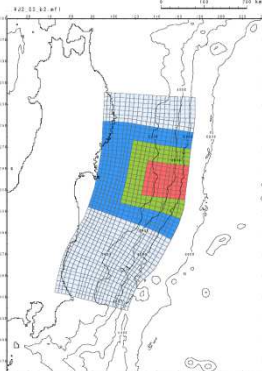
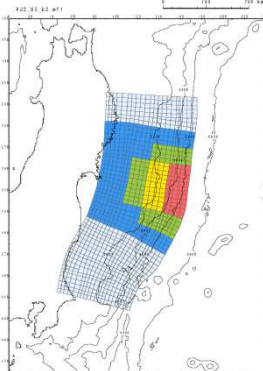
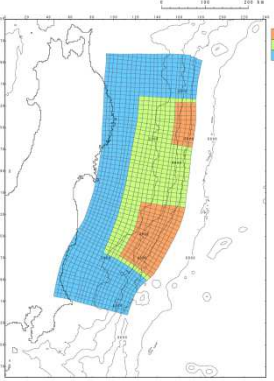
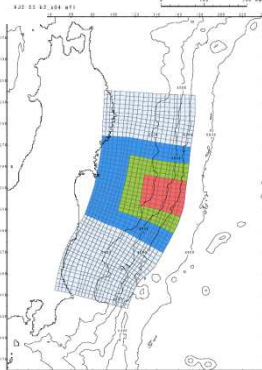
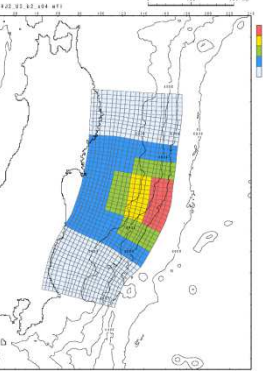
*: 地球表面で起きるプレート運動などを研究する学問分野をテクトニクスと言う。

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)。

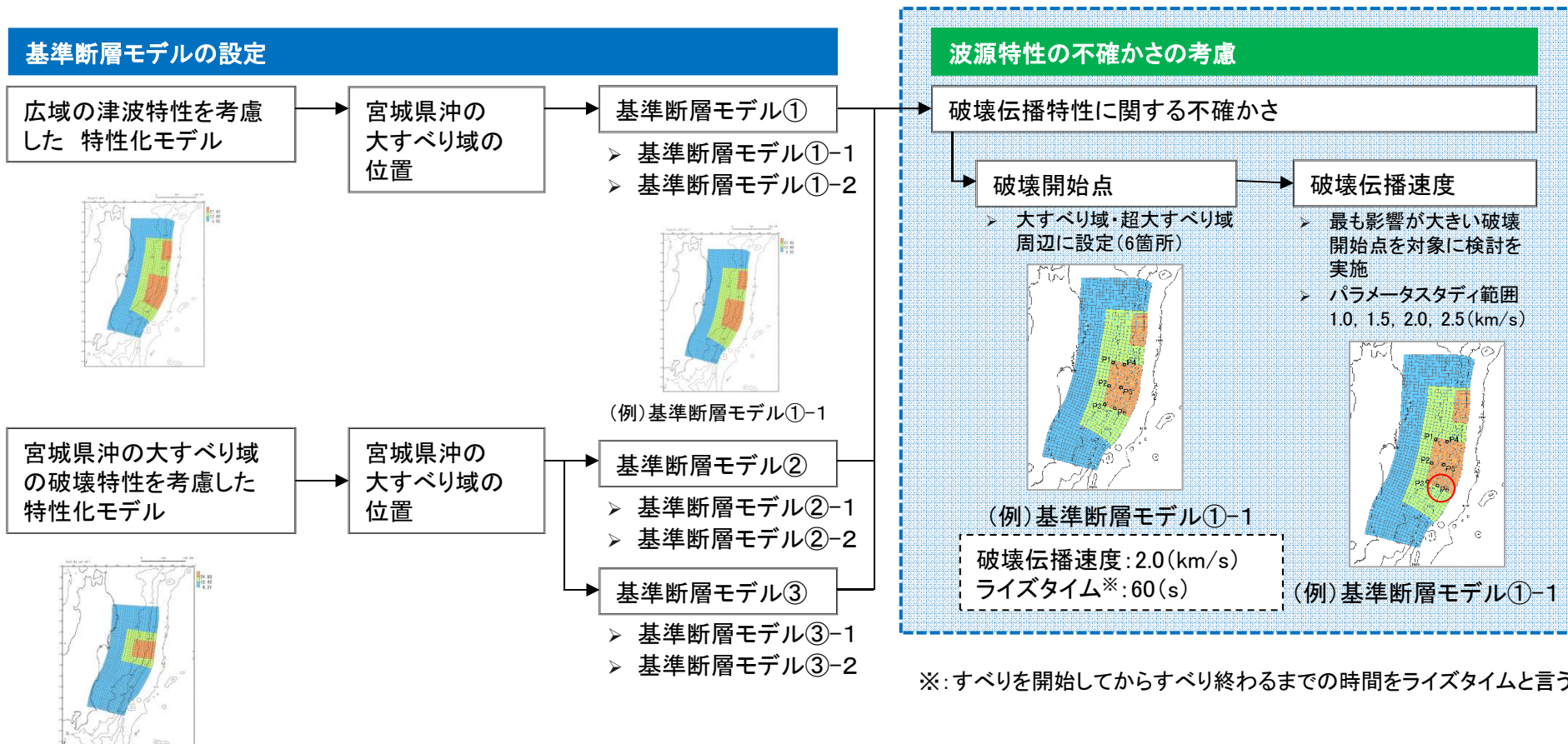
基準断層モデル	基準断層モデル①	基準断層モデル②	基準断層モデル③
設定の考え方	<ul style="list-style-type: none"> 広域の津波特性を考慮したモデル 申請以降の最新知見を踏まえて追加したモデル 	<ul style="list-style-type: none"> 宮城県沖の巨大すべり域の破壊特性を考慮したモデル 既往研究を踏まえ、巨大すべり域等のすべり量を20%割増し 	<ul style="list-style-type: none"> 基準断層モデル②の海溝側のすべり量を割増したモデル 未知の分岐断層や海底地すべり等による短周期の波を考慮
モデル図	 <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"> 断層面積 129,034 (km²) モーメントマグニチュード 9.13 	<ul style="list-style-type: none"> 断層面積 107,357 (km²) モーメントマグニチュード 9.04 	<ul style="list-style-type: none"> 断層面積 107,357 (km²) モーメントマグニチュード 9.04

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>

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)	21.58(北側)	18.85	19.50	19.60	16.46	17.16

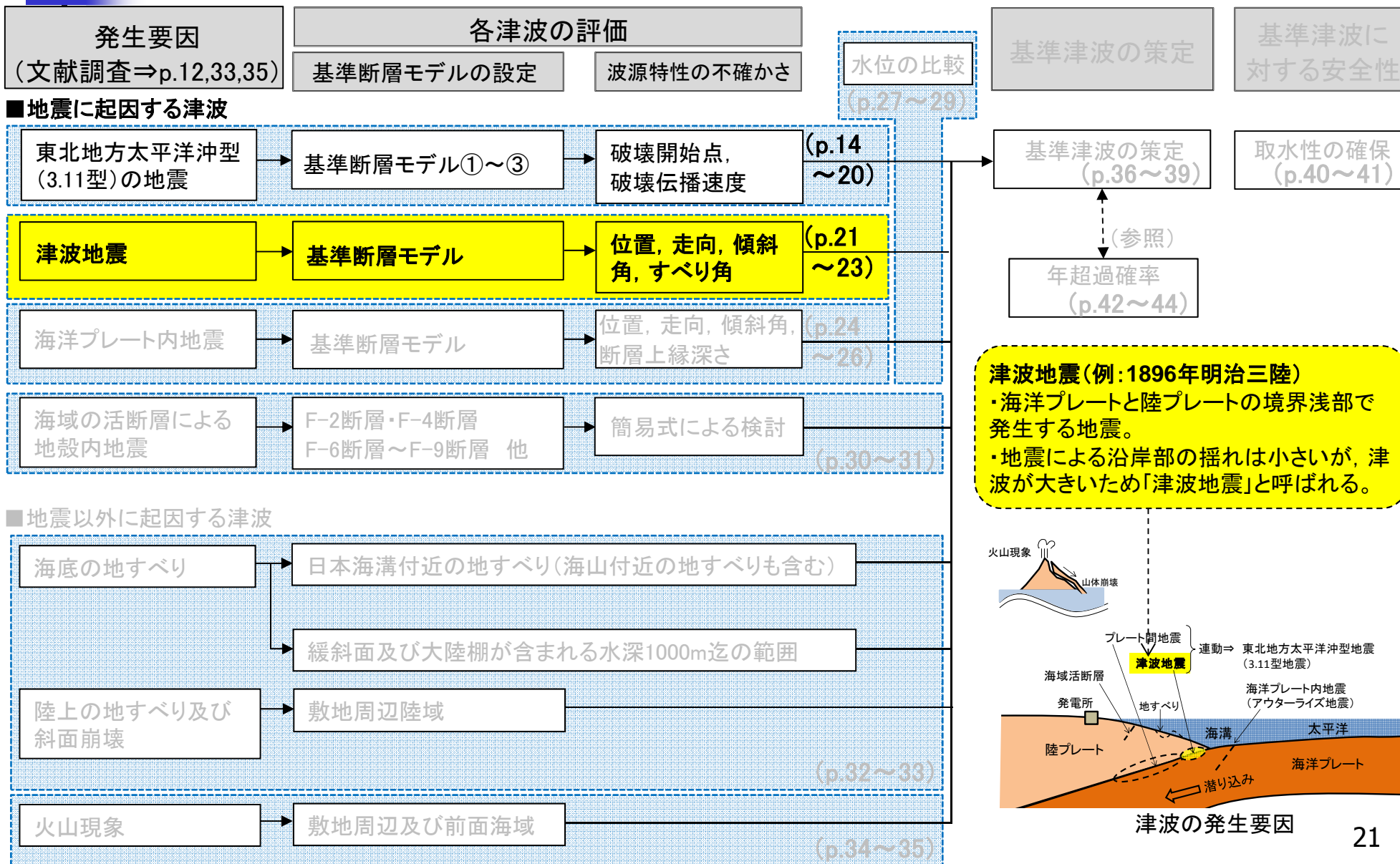
【水位下降側】

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)	-10.38	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)

4. 基準津波の策定 津波地震

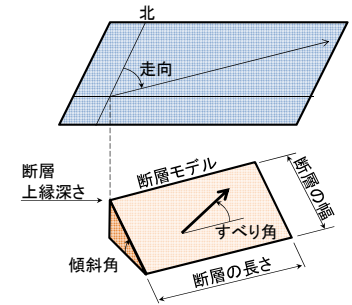
評価フロー(p.10)再掲



4. 基準津波の策定 津波地震

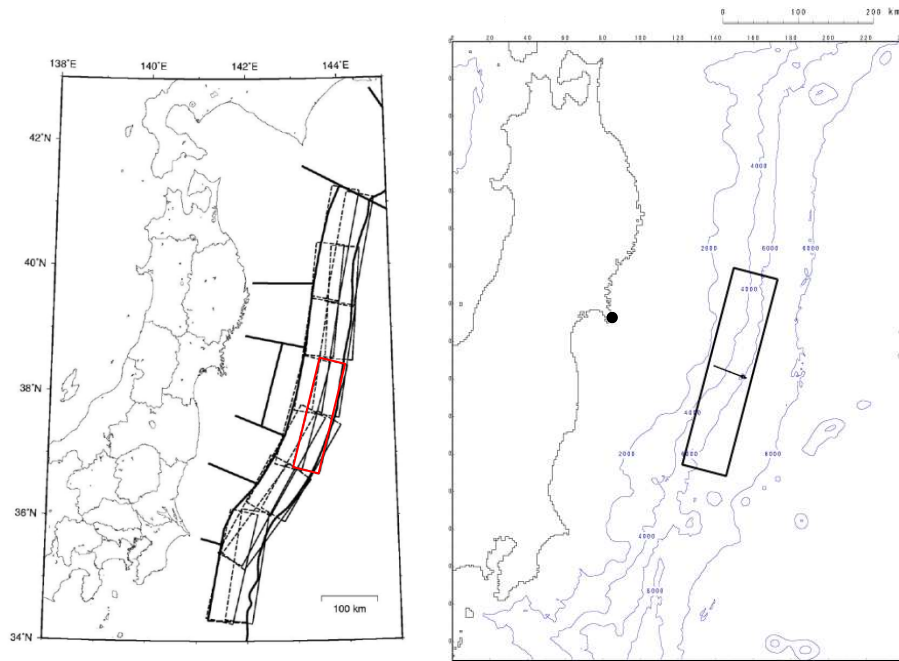
- 地震調査研究推進本部(2014)による津波地震の断層面の設定方法を参考として、発電所に影響が大きい位置を基準位置とした。地震規模(Mw)は、申請時の8.3から8.5に見直した。
- 断層位置※、走向、傾斜角およびすべり角の不確かさを考慮した。

(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	μ (N/m ²)	既往津波再現モデルに基づき設定。	3.5×10^{10}
地震モーメント	Mo(Nm)	μ LWD	7.08×10^{21}
走向	θ (°)	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	δ (°)		20
すべり角	λ (°)	走向とすべり方向に基づき設定。	83.6
ライズタイム	τ (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

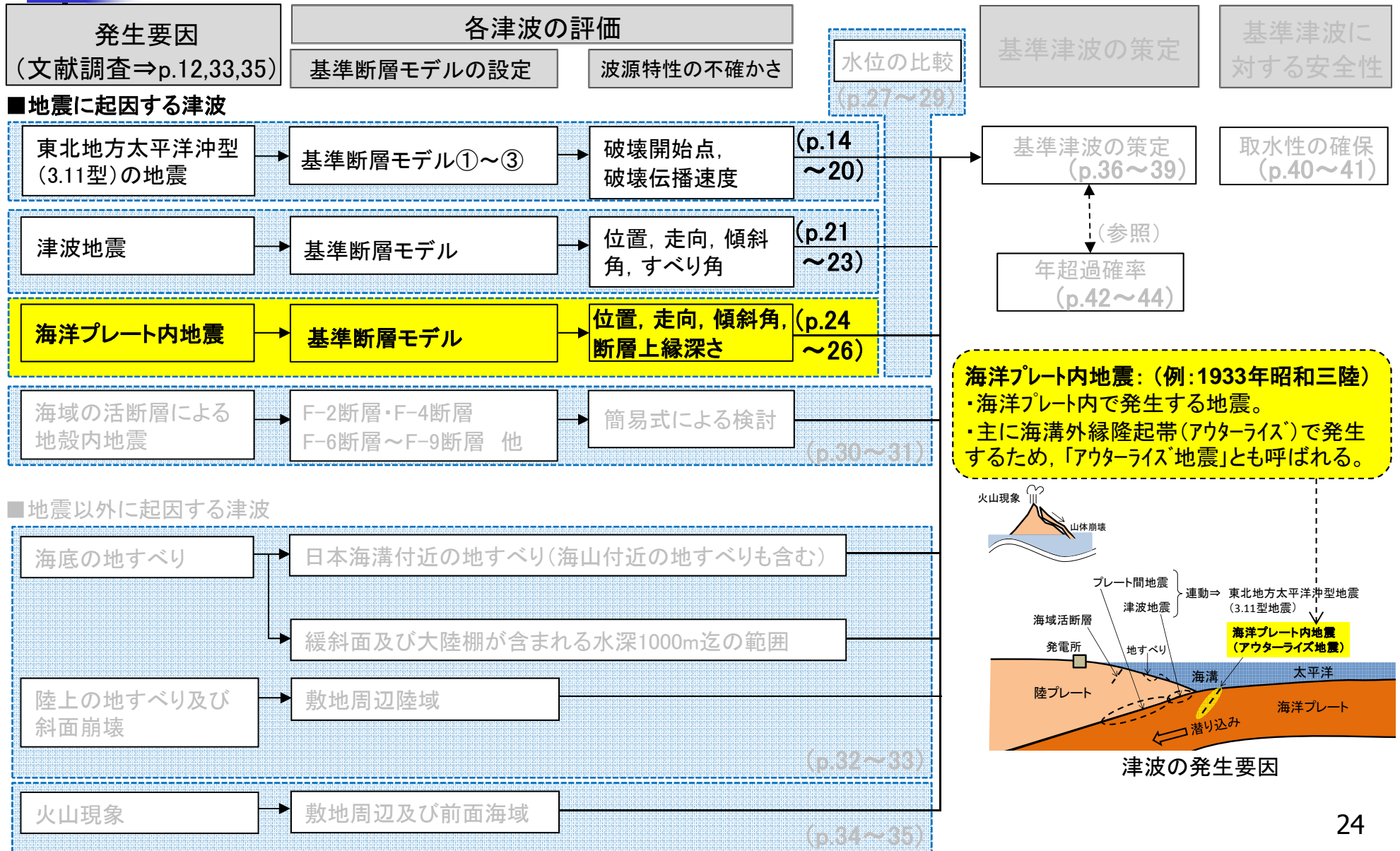
【水位下降側】

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

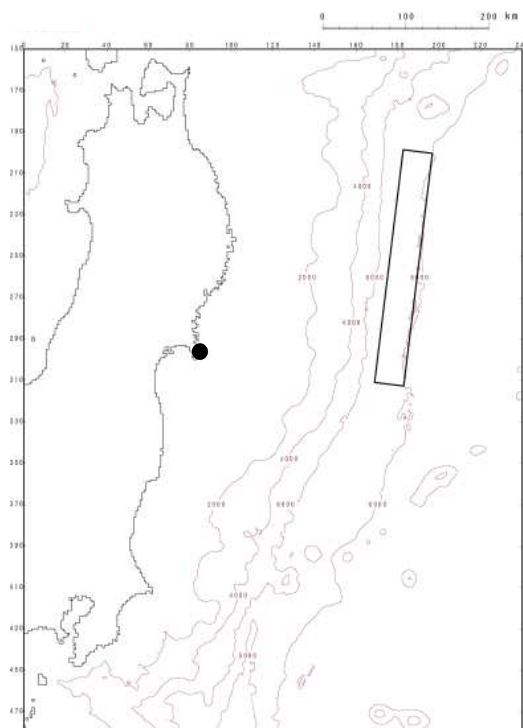
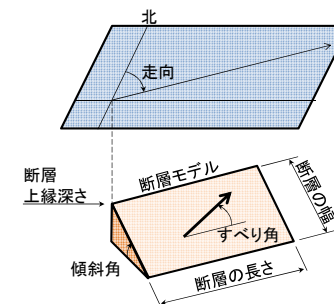
評価フロー (p.10) 再掲



4. 基準津波の策定 海洋プレート内地震

- 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にスケール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。

(参考)断層パラメータ



基準断層モデル

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ルリング則(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	μ (N/m ²)	既往津波再現モデルに基づき設定。	7.0×10^{10}
地震モーメント	Mo(Nm)	μ LWD	1.00×10^{22}
走向	θ (°)	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	δ (°)		45
すべり角	λ (°)	走向とすべり方向に基づき設定。	270
ライズタイム	τ (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

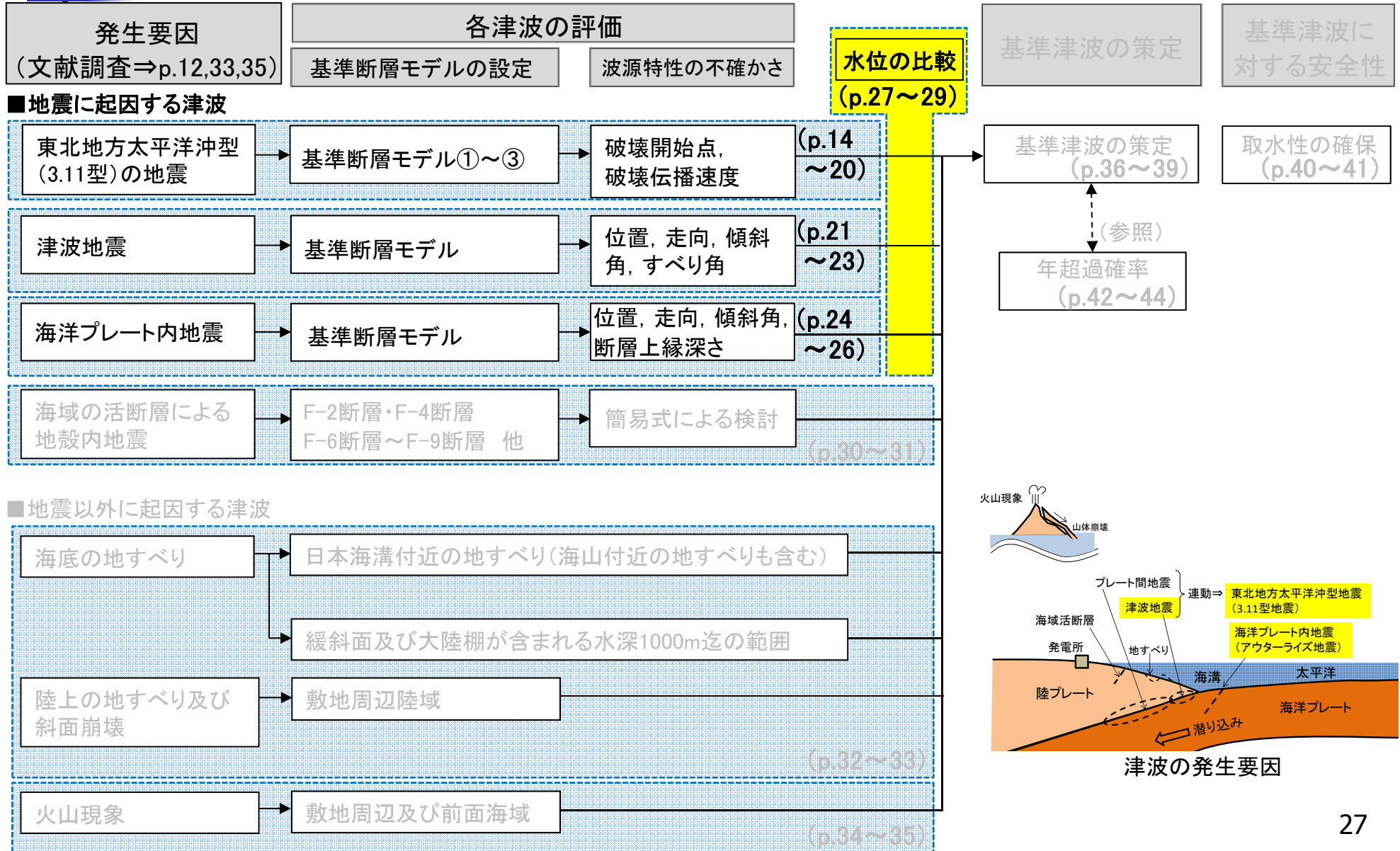
【水位下降側】

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)

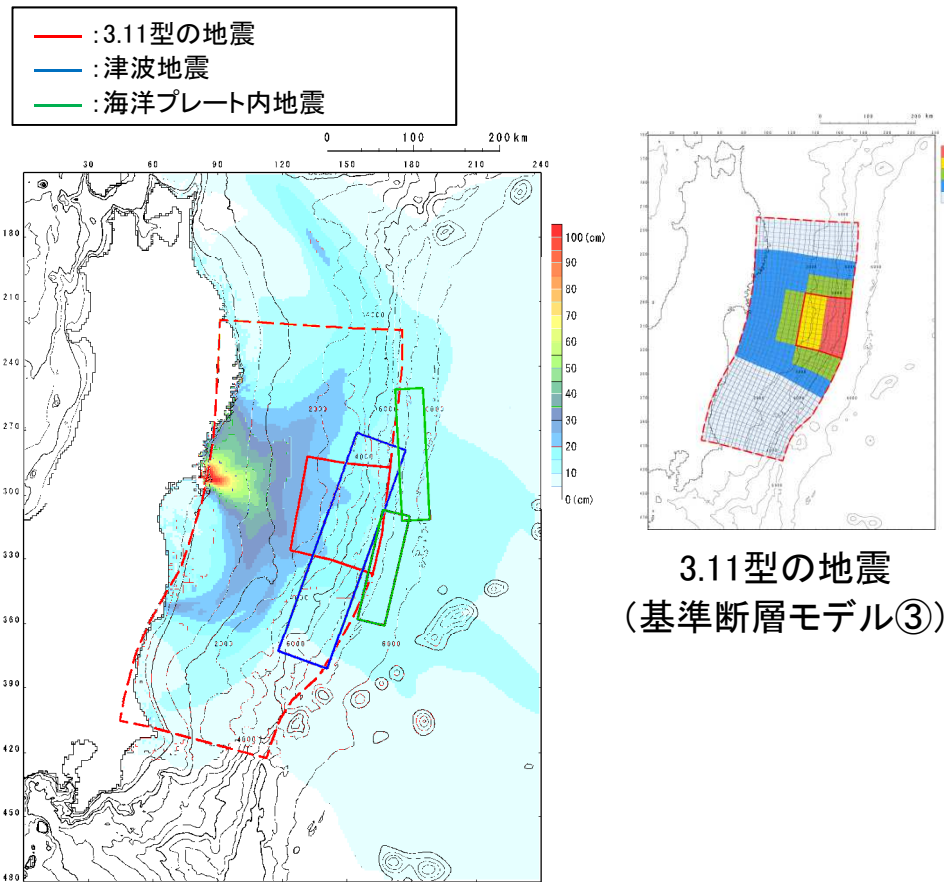
4. 基準津波の策定 水位上昇側計算結果の比較

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図に示す。

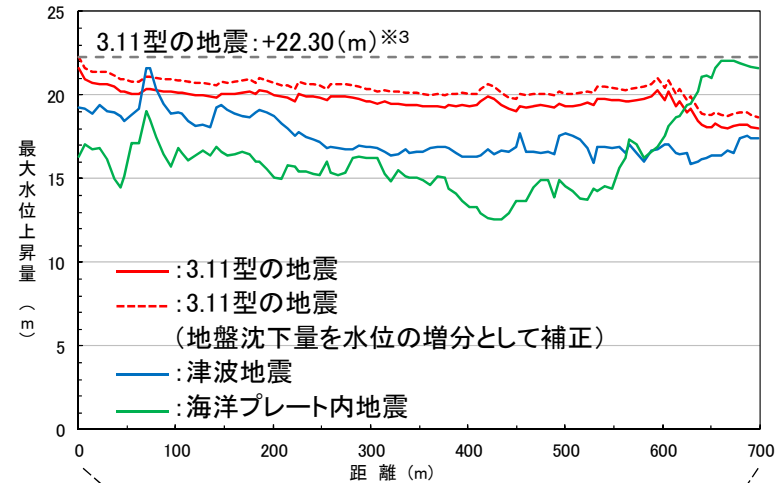


波源モデル重ね合わせ図※1, 2

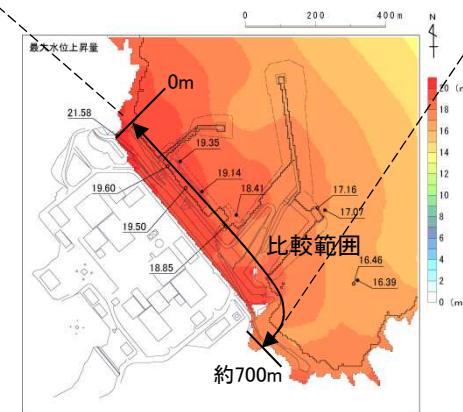
※1: 各地震の敷地前面最大ケース

※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)



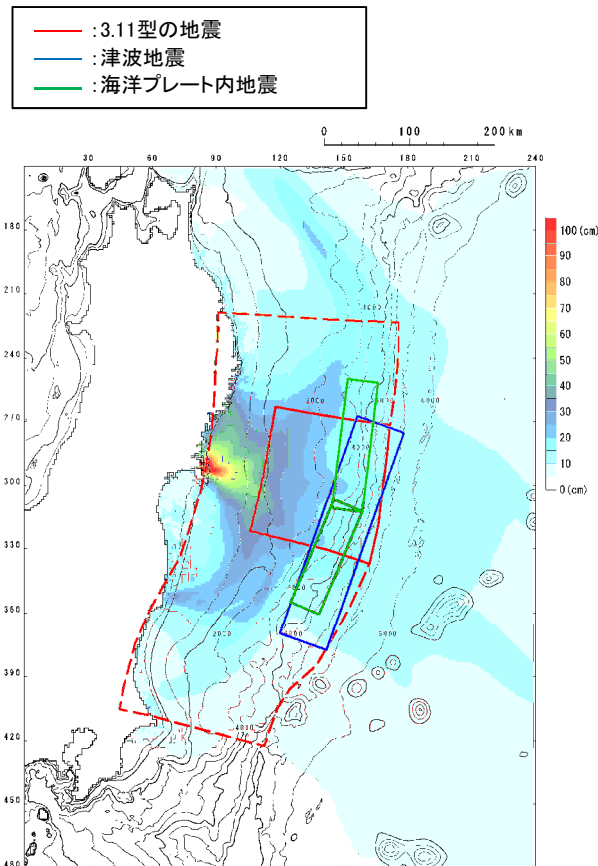
敷地前面における最大水位上昇量の比較



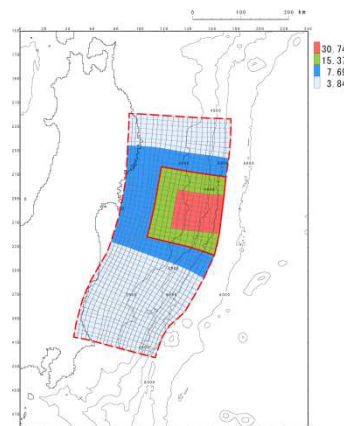
最大水位上昇量分布
(3.11型の地震(基準断層モデル③))

4. 基準津波の策定 水位下降側の計算結果の比較

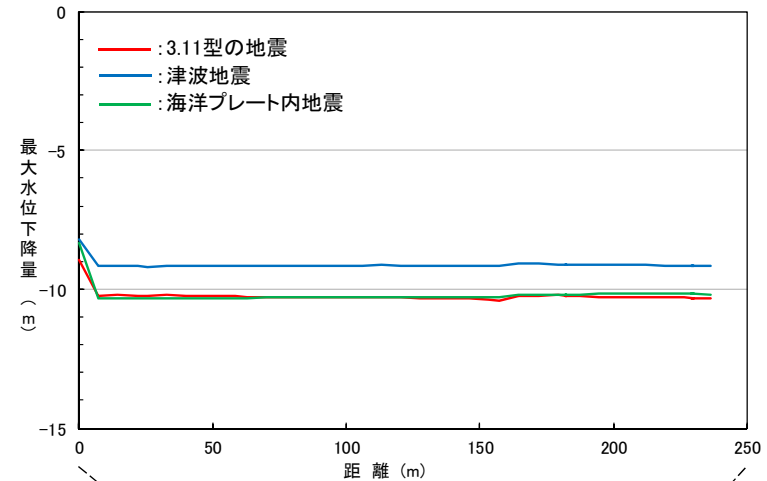
- 「3.11型の地震」、「津波地震」及び「海洋プレート内地震」の2号取水口前面最大ケースを対象に、取水口前面における最大水位下降量を比較した結果を下図に示す。



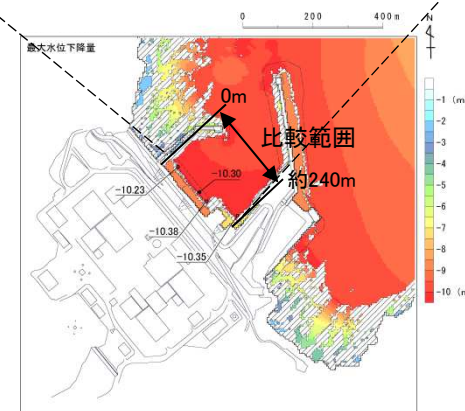
波源モデル重ね合わせ図※1, 2



3.11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



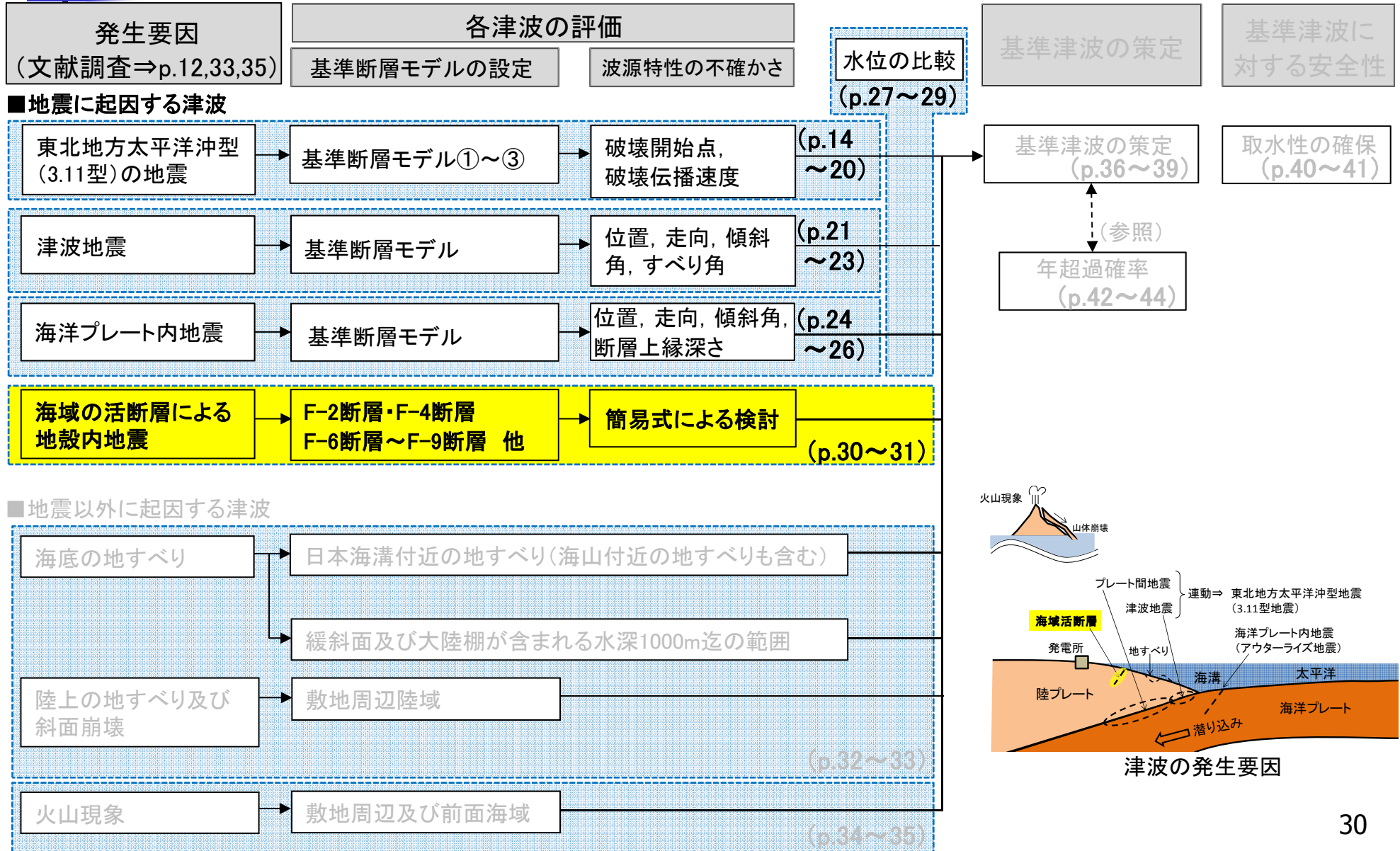
最大水位下降量分布
(3.11型の地震(基準断層モデル②))

※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

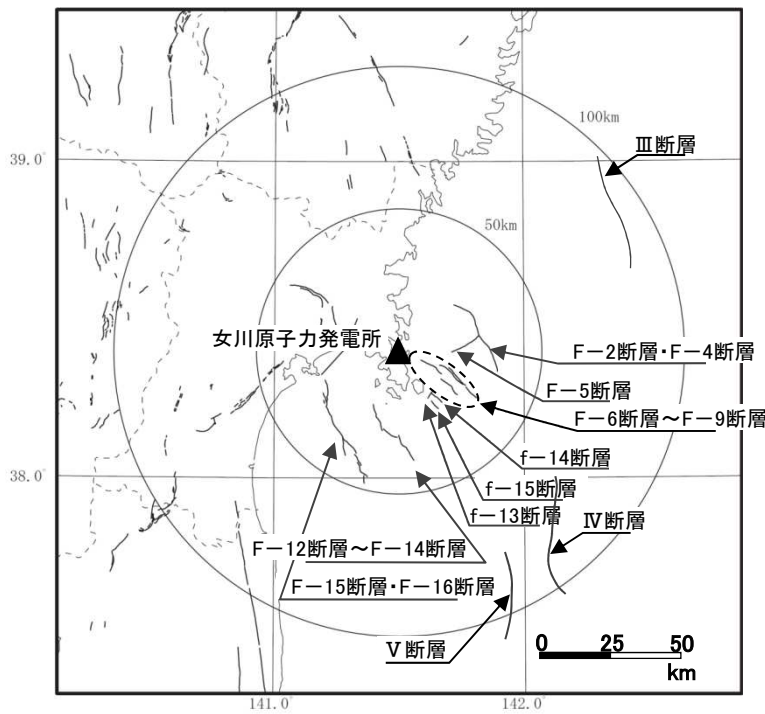
4. 基準津波の策定 海域活断層による地殻内地震

評価フロー (p.10) 再掲



4. 基準津波の策定 海域活断層による地殻内地震

- 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。



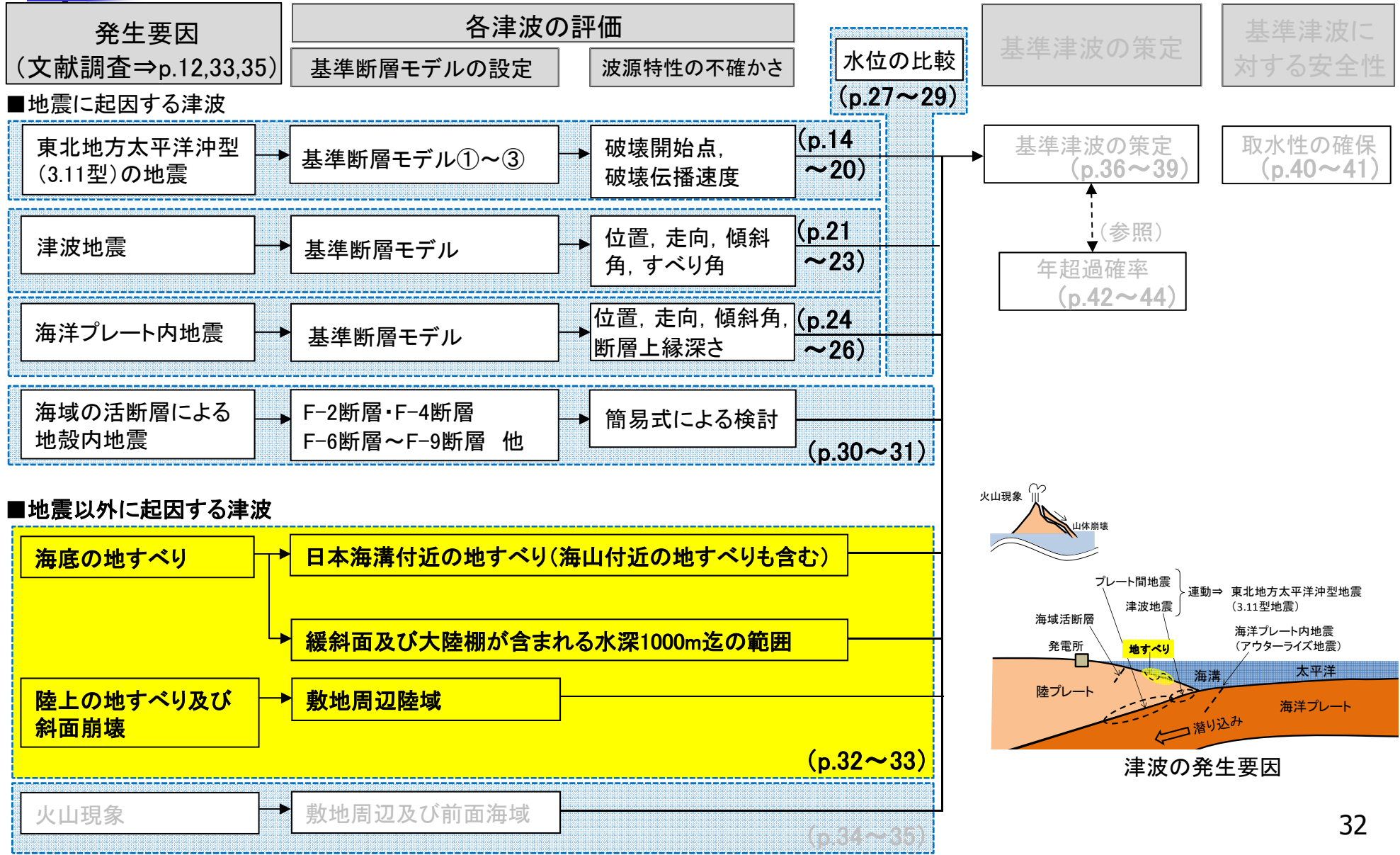
敷地周辺海域の活断層分布

断層名	断層長さ L(km)	敷地からの距離※ 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

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

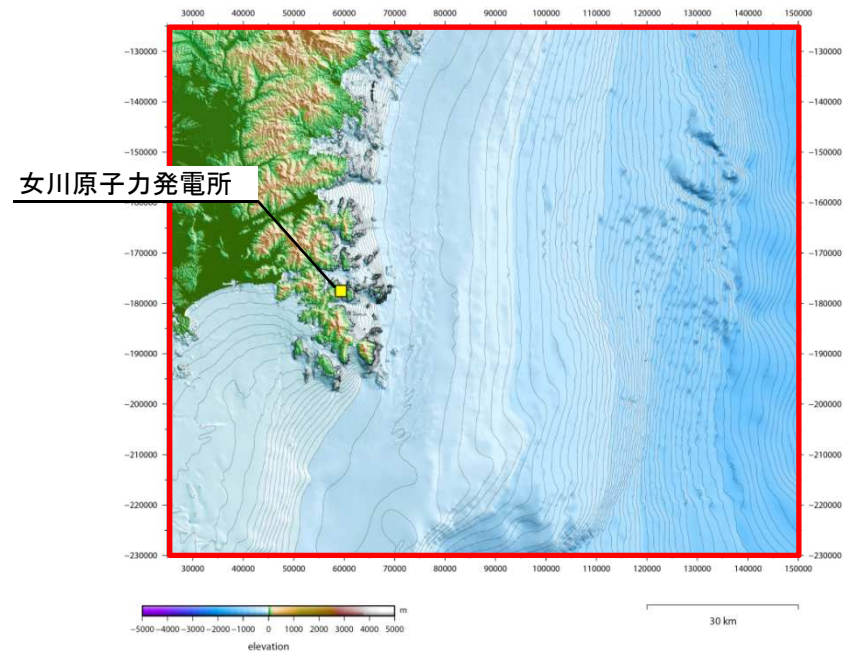


4. 基準津波の策定 地すべり及び斜面崩壊

- 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。



東北の地すべり・地すべり地形
(日本地すべり学会東北支部(1992)に一部加筆)

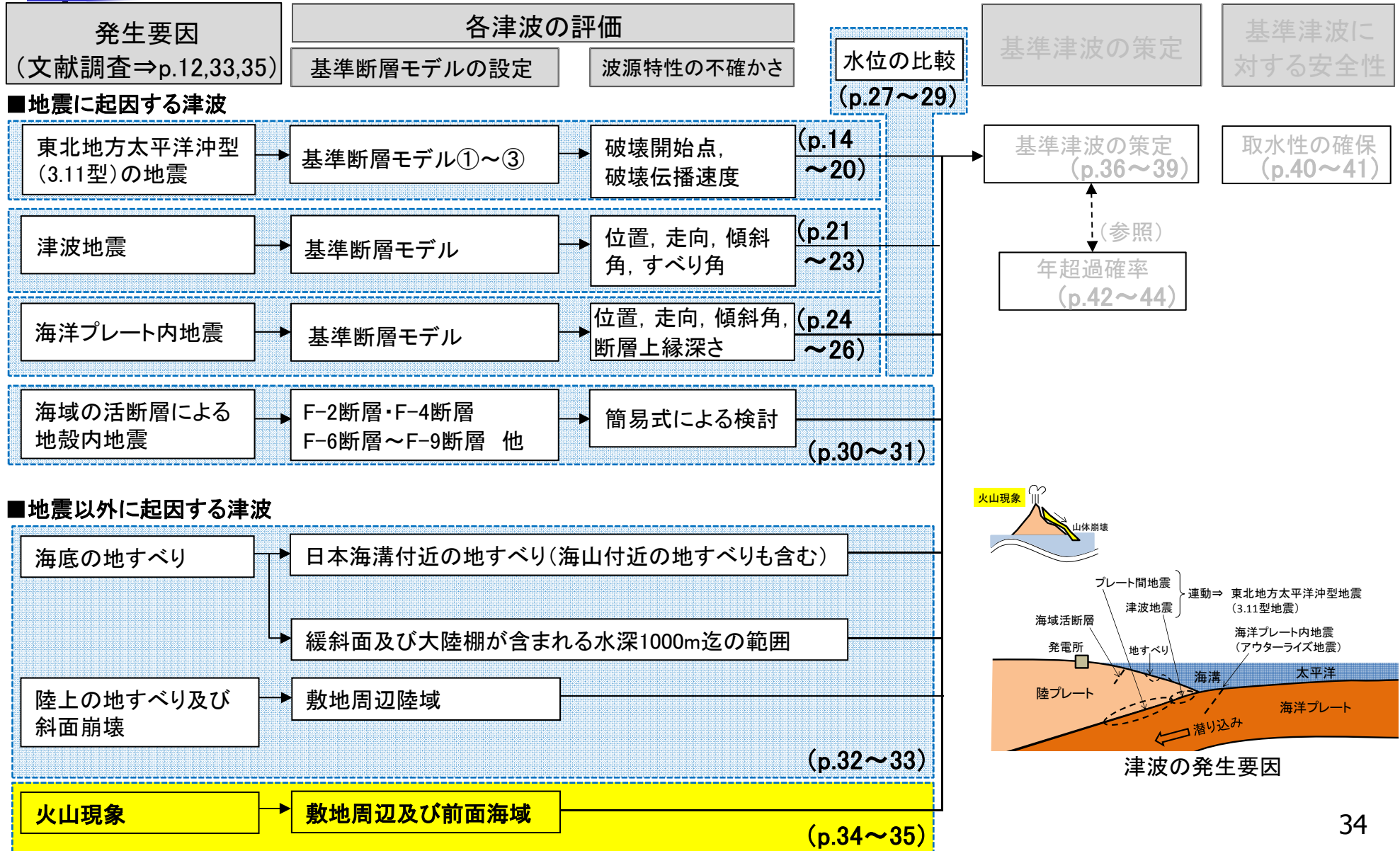


海底地すべり調査範囲

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。

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

- 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。

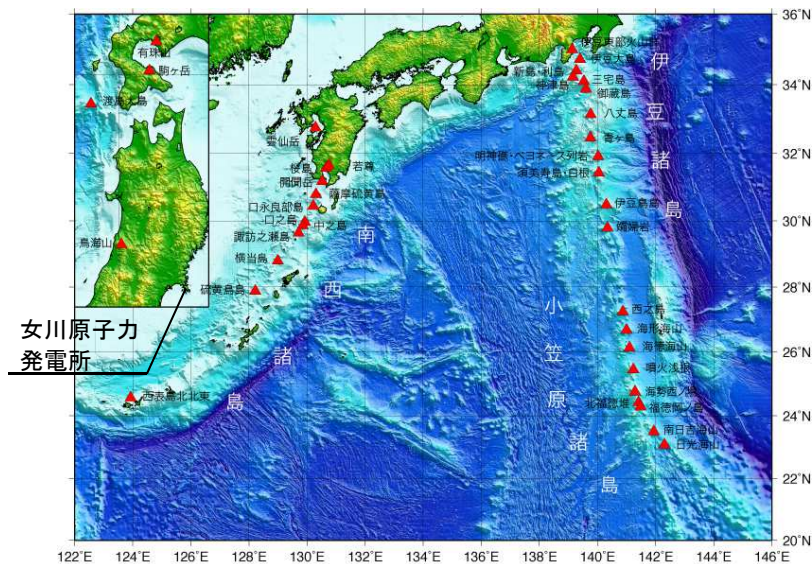
【調査した文献】① 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013):日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会

② 渡辺偉夫(1998):日本被害津波総覧 [第2版], 東京大学出版会

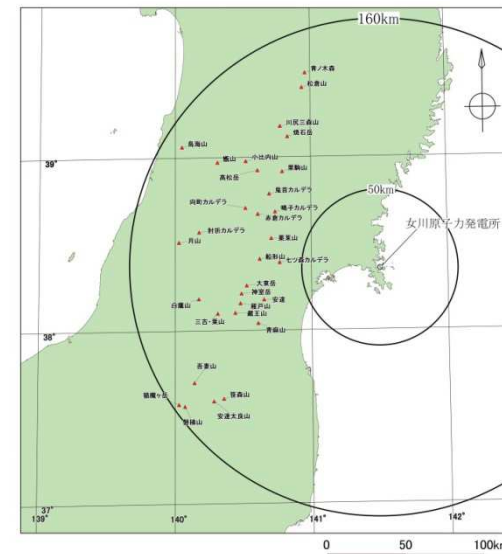
③ 気象庁(1951~2010):地震月報ほか

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)

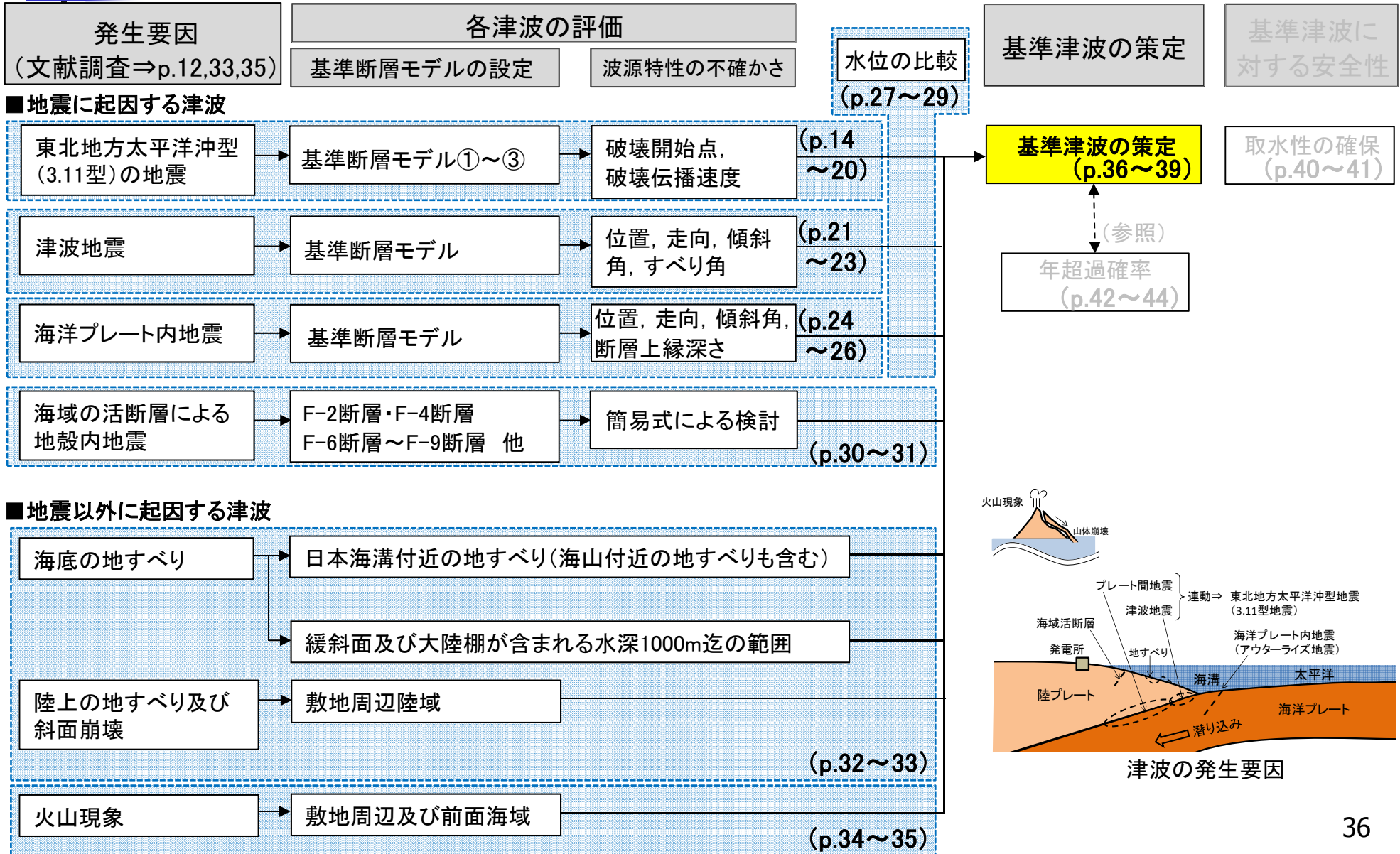


敷地を中心とする半径160km範囲の陸域の第四紀火山
(産業技術総合研究所編(2013)に一部加筆)

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

- 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	3.11型の地震	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	21.58 [22.30]	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。

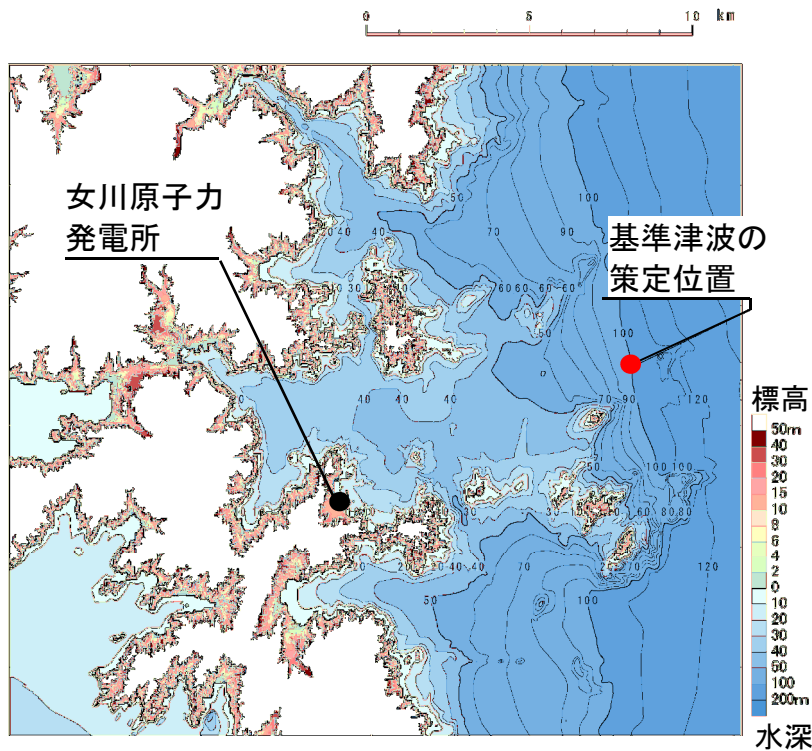
[]:地震に伴う隆起量を考慮した相対的な津波水位

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	

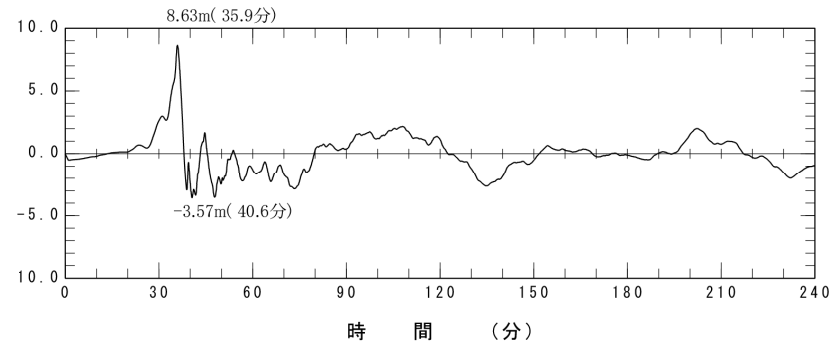
※:津波水位が取水口敷高を下回る時間(p.11参照)

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。



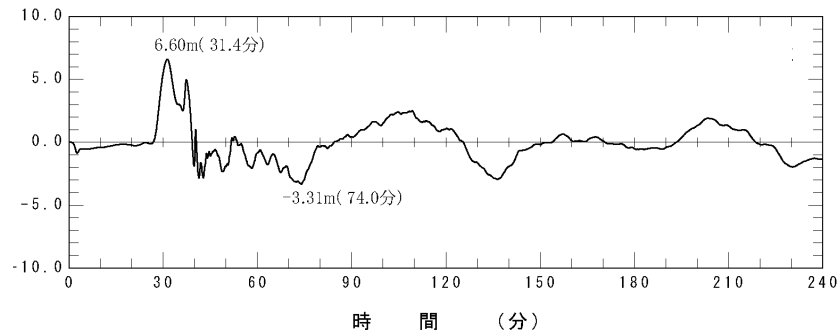
基準津波の策定位置



基準津波(水位上昇側)
(3.11型の地震, 基準断層モデル③)

最高水位
(敷地前面)

O.P.+23.1m^{※1}



基準津波(水位下降側)
(3.11型の地震, 基準断層モデル②)

最低水位
(2号取水口前面)

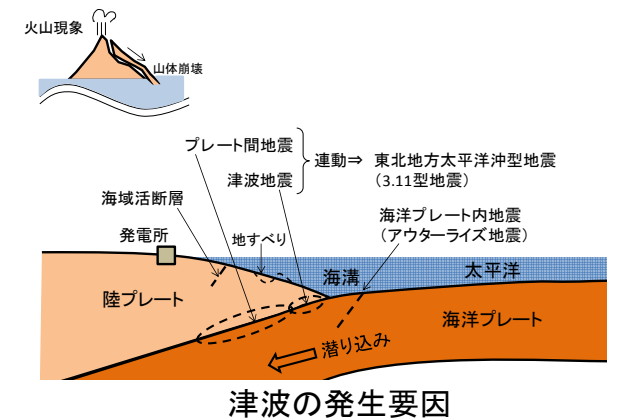
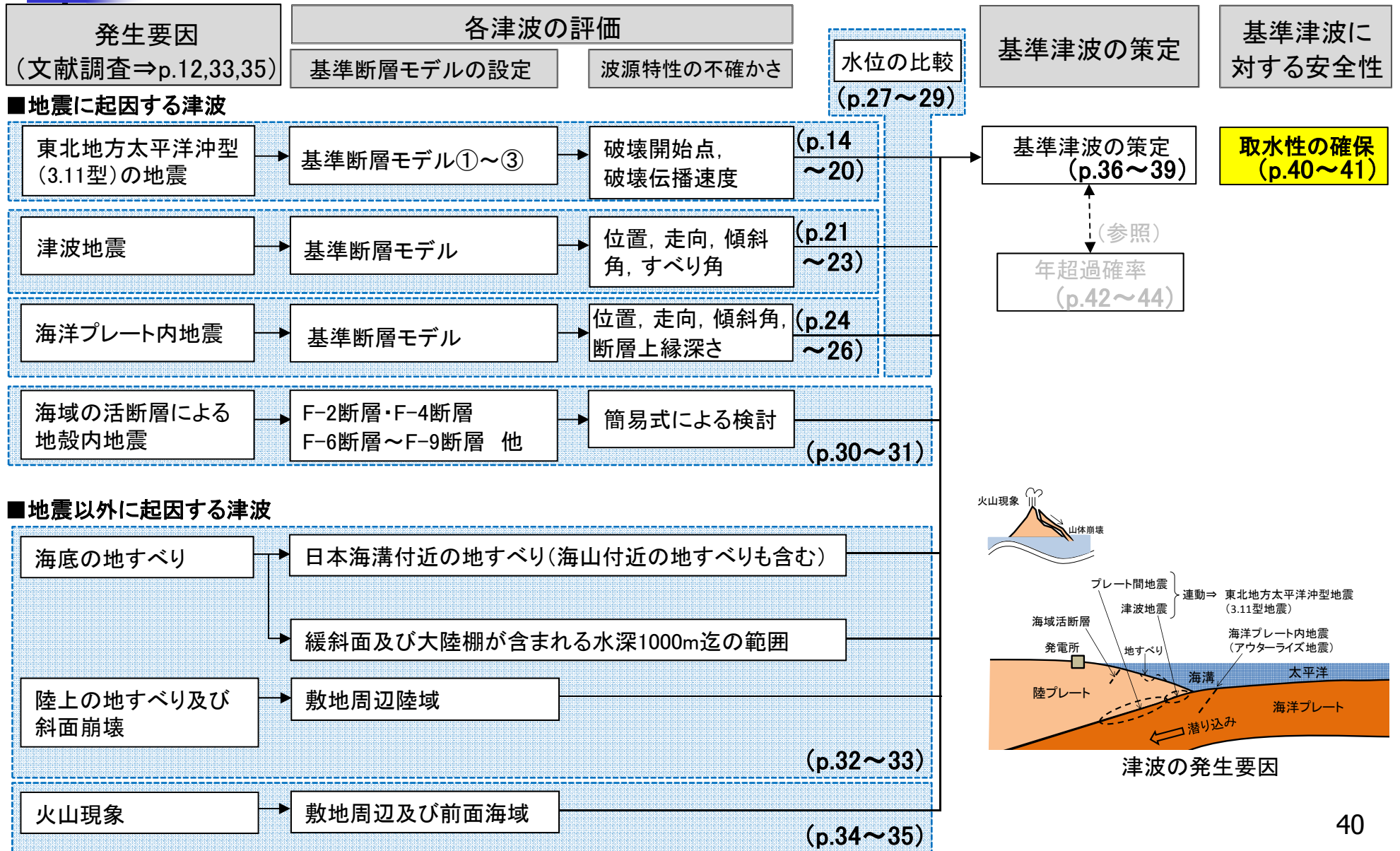
O.P.-10.6m^{※2}

※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



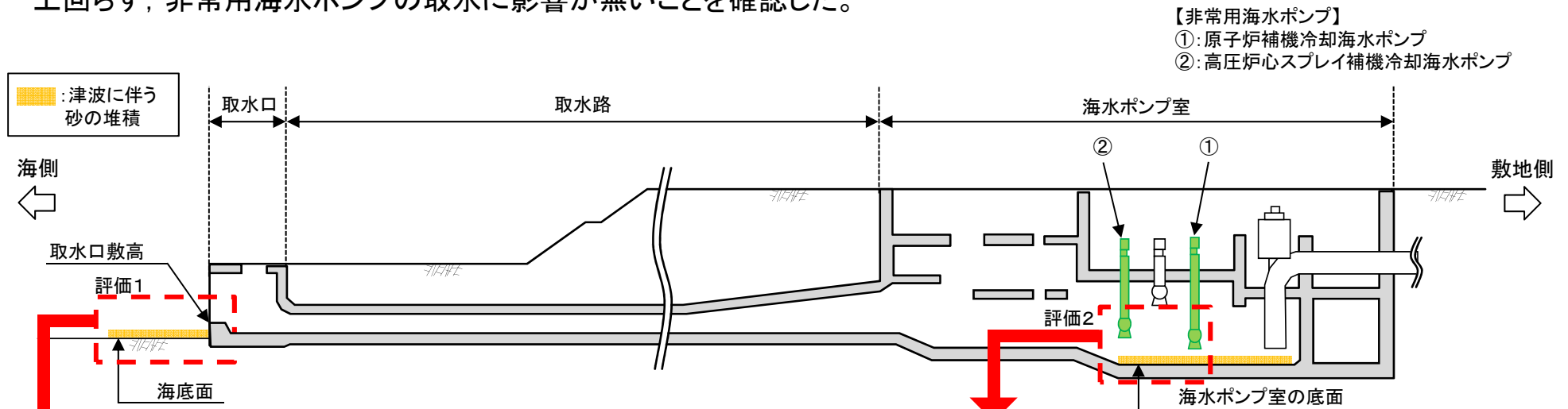
5. 取水性の確保(砂移動評価)

■ 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)

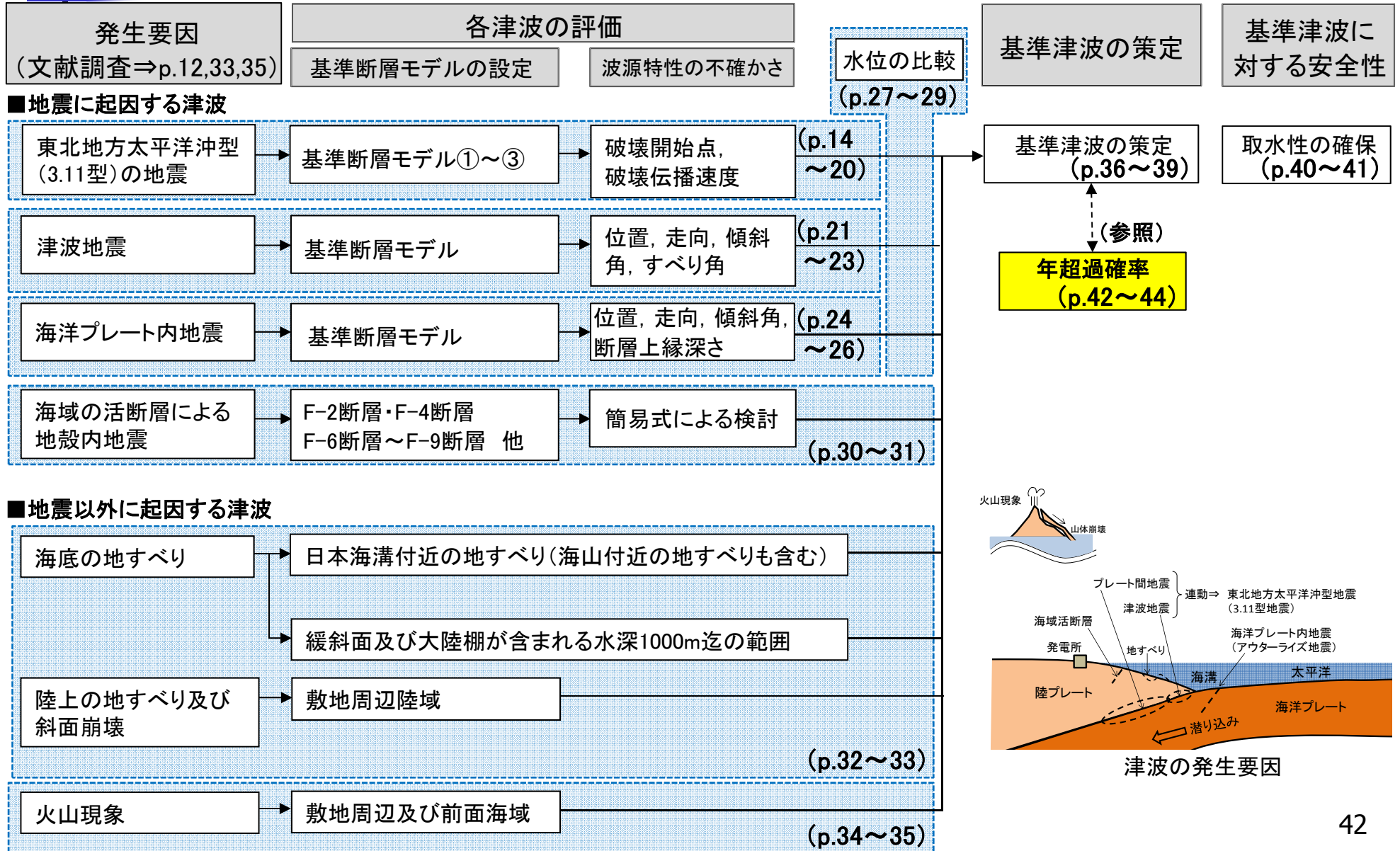
基準津波	評価手法	浮遊砂濃度 上限値	砂の堆積 高さ(m)	取水口 高さ(m)
水位上昇側	藤井ほか(1998)	1%	0.04	(最大ケース) 1.20
	高橋ほか(1999)	1%	0.22	
水位下降側	藤井ほか(1998)	1%	0.04	
	高橋ほか(1999)	1%	0.18	

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	0.10		0.02	

6. 基準津波の年超過確率の参照

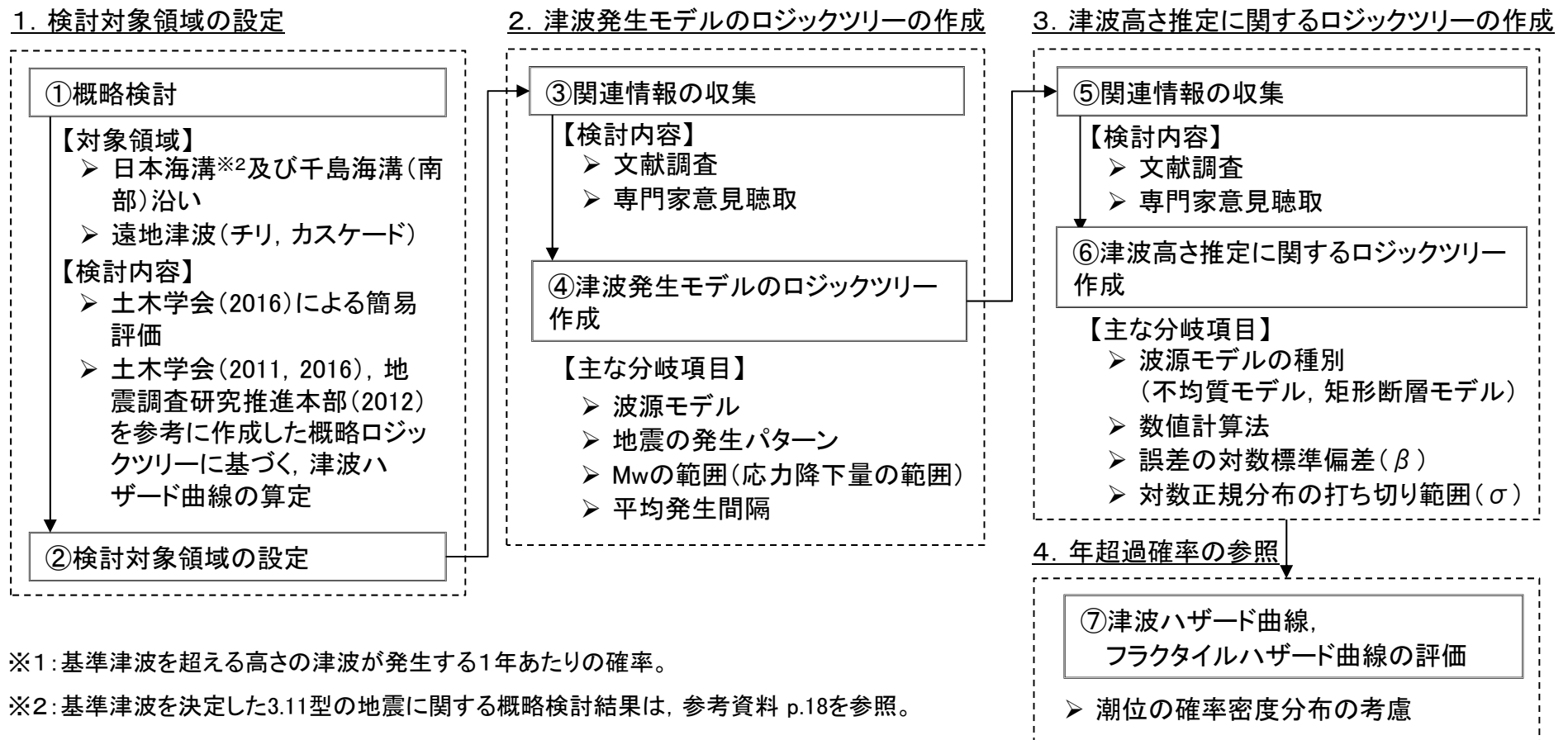
評価フロー (p.10) 再掲



6. 基準津波の年超過確率の参照 (1/2)

- 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※¹を評価した。

■評価フロー



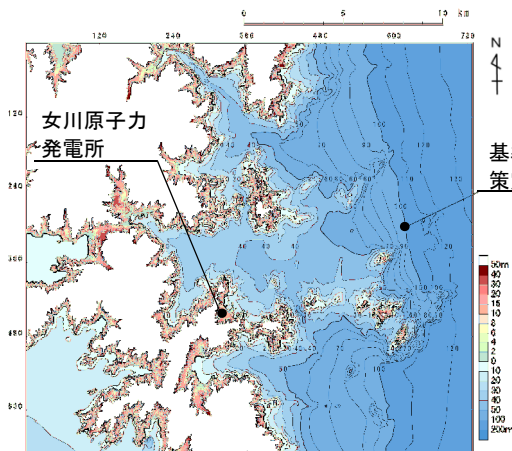
※¹: 基準津波を超える高さの津波が発生する1年あたりの確率。

※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。

6. 基準津波の年超過確率の参照 (2/2)

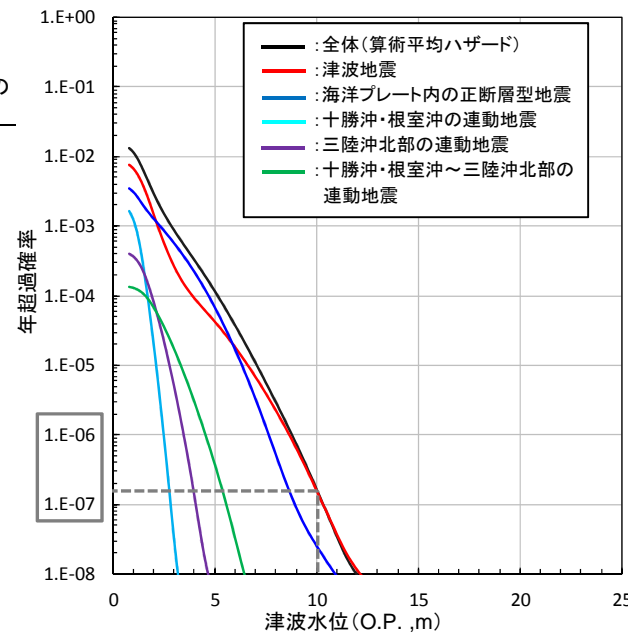
■ 評価結果

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



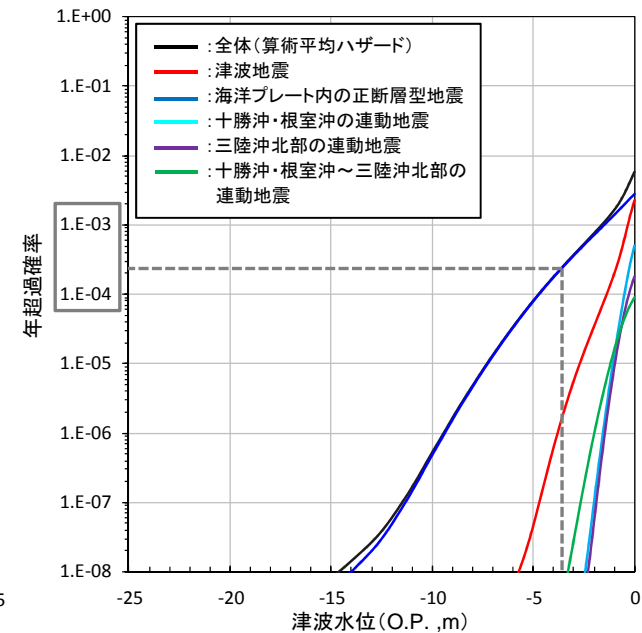
基準津波の策定位置

■ 水位上昇側



	津波水位
基準津波 (水位上昇側)	O.P.+10.1m ※1

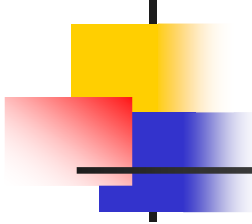
■ 水位下降側



	津波水位
基準津波 (水位下降側)	O.P.-3.5m ※2

※1 : p.39上段の時刻歴波形の最高値8.63m+朔望平均満潮位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+朔望平均干潮位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。

a. 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。

b. 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。

c. 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。

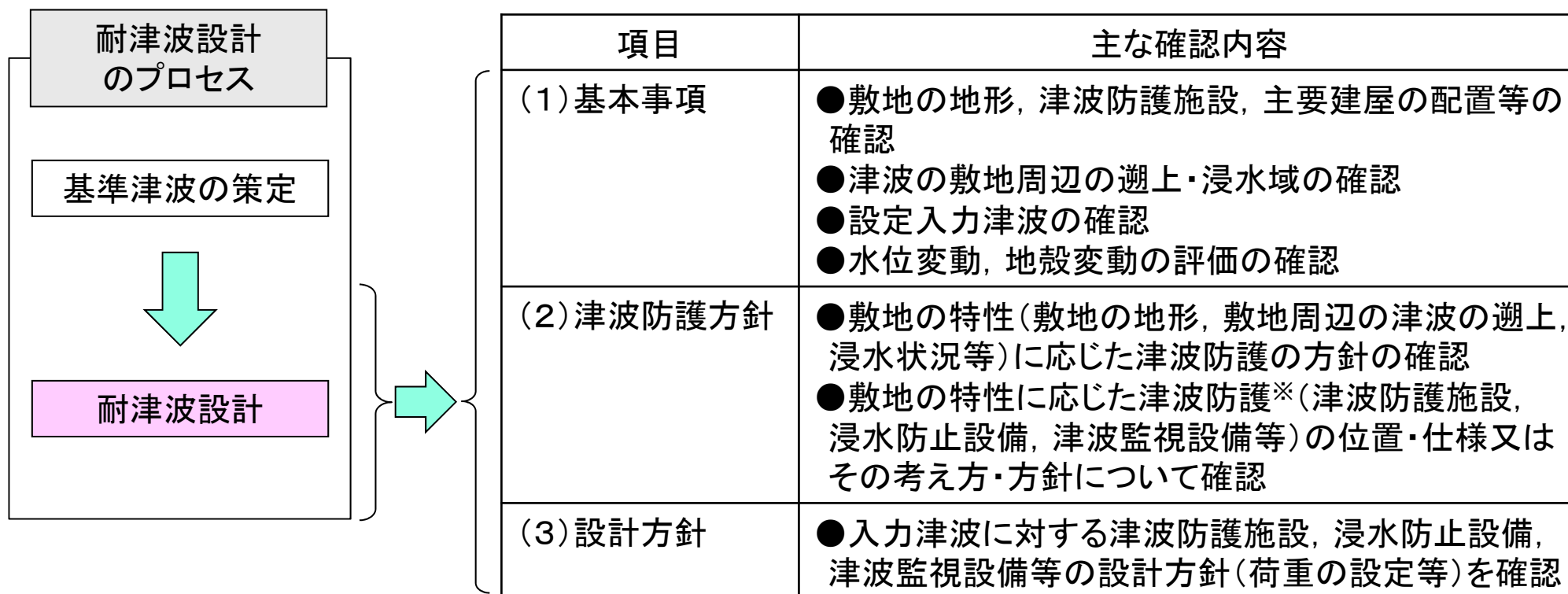
d. 水位低下による安全機能への影響防止

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: 取水ピット水位計, 屋外監視カメラ 等

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
<p>【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。</p>	<p>✓ 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。</p> <p>✓ 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。</p>
<p>【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。</p>	
<p>【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。</p>	<p>✓ 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。</p>
<p>【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。</p>	<p>✓ 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。</p>



参考文献

1. 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
2. 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
3. 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
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)
6. Tetsuzo Seno (2014): Stress drop as a criterion to differentiate subduction zones where Mw 9 earthquakes can occur, Tectonophysics 621, 198-210
7. 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
8. 阿部勝征(1989):地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測, 東京大学地震研究所彙報, Vol.64, pp.51-69
9. 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
10. 渡辺偉夫(1998):日本被害津波総覧[第2版], 東京大学出版会
11. 気象庁(1951 ~2010):地震月報ほか
12. 国立天文台編(2013):理科年表, 平成25年, 丸善
13. 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
14. 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
15. 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>)
16. 産業技術総合研究所編(2013):日本の火山(第3版)
17. 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
18. 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
19. 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