

東通原子力発電所における 津波に係る社内評価結果の概要

平成24年4月13日
東北電力株式会社

1. 安全性の評価方法

- (1) 津波に対する安全性の評価方法
- (2) 地震動に対する安全性の評価方法

2. 津波に対する安全性の評価

- (1) 津波の想定および数値シミュレーション
- (2) 文献調査
- (3) 津波堆積物調査
- (4) 設計基準津波の妥当性の確認
- (5) 津波水位に対する安全性の評価結果
- (6) 砂移動に対する安全性の評価結果
- (7) 津波の基準断層モデルに対する地震動の評価

3. まとめ

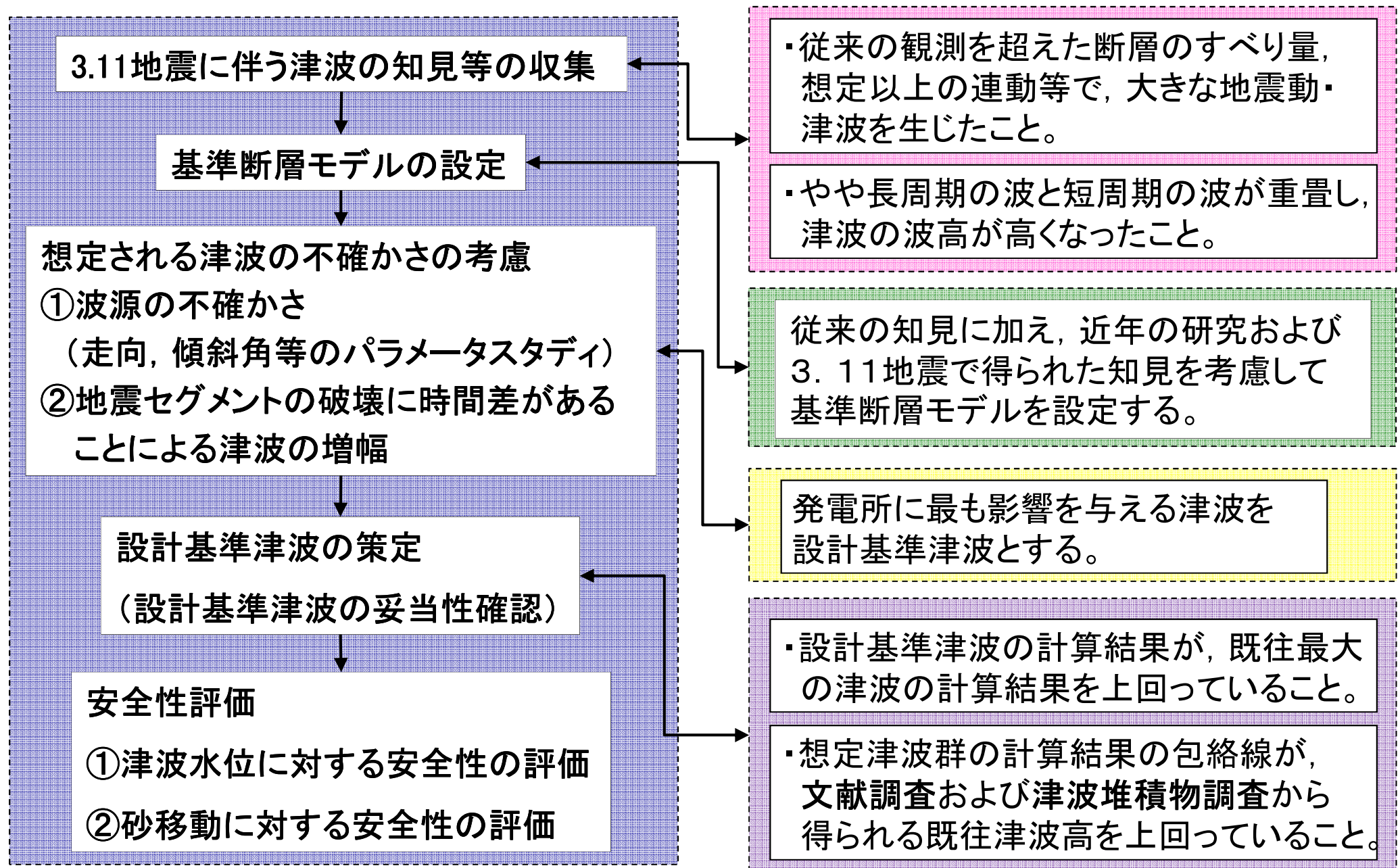
(参考資料1) 防潮堤のかさ上げについて

(参考資料2) 東通原子力発電所における過去の津波評価

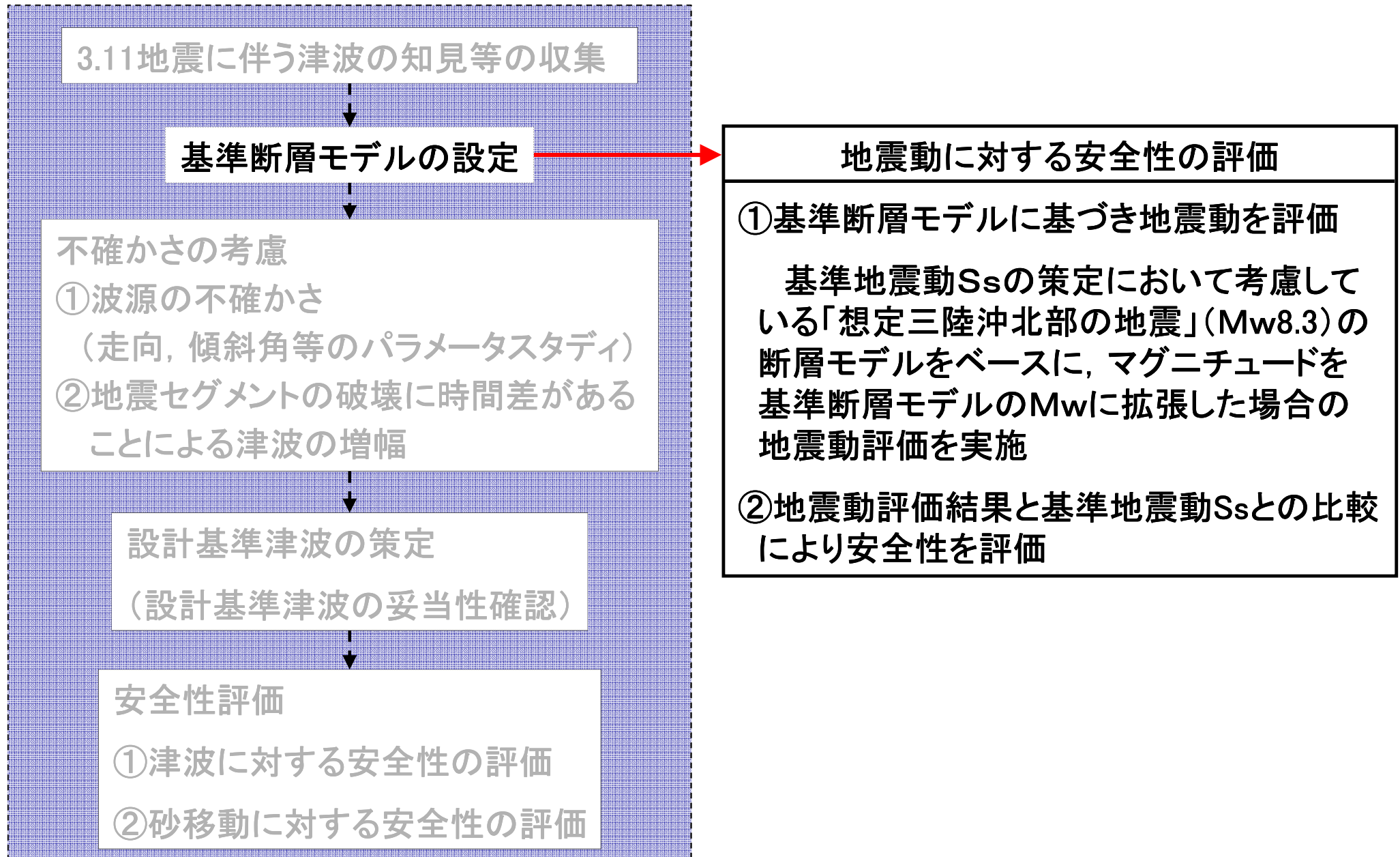
※: 以下, 平成23年東北地方太平洋沖地震を「3.11地震」という。



1. (1) 津波に対する安全性の評価方法



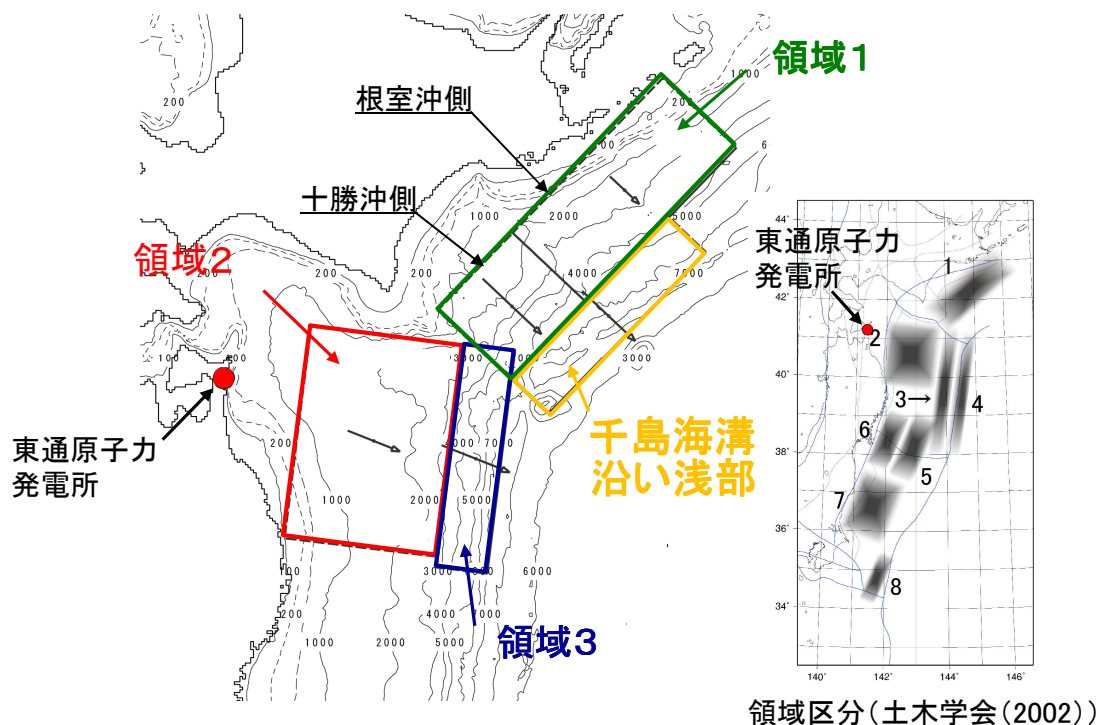
1. (2)地震動に対する安全性の評価方法



2. (1)津波の想定および数値シミュレーション①

5

■基準断層モデルの設定



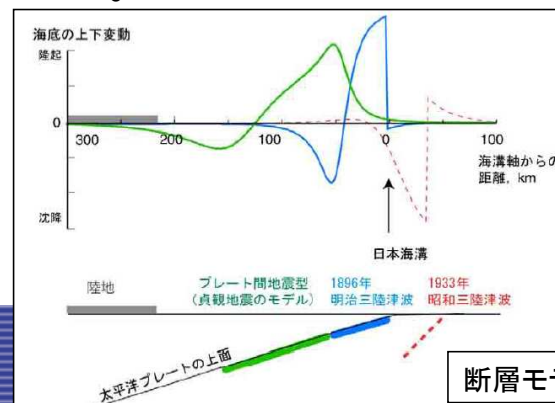
領域	内容	すべり量	Mw
領域1	500年間隔地震 (17世紀の巨大津波)	十勝沖側: 15.0m 根室沖側: 7.5m	8.72
千島海溝沿い浅部	1896年明治三陸地震による津波	13.5m	8.50
領域2	1968年十勝沖地震による津波	10.35m	8.73
領域3	1896年明治三陸地震による津波	13.5m	8.50
連動させた場合のMw=			9.03

(1)地震セグメントの運動

- 日本海溝沿いおよび千島海溝沿いで想定される最大規模の波源を設定した。
- 3.11地震に伴う津波は、過去に津波の発生が確認されていなかった福島県沖の日本海溝沿い浅部で大きなすべりを伴ったことを踏まえ、千島海溝沿い浅部にも波源を設定した。
- 連動に伴うすべり量の増大を考慮し、既往津波の断層モデルのすべり量を1.5倍とした。

(2)長周期と短周期の波の重畳

- 佐竹※によると、プレート間のやや深部でのすべりによるものを長周期の波とし、海溝沿い浅部でのすべりによるものを短周期の波としている。
- 日本海溝沿いにおける**領域2(プレート間)**と**領域3(日本海溝沿い浅部)**、千島海溝沿いにおける**領域1(プレート間)**と**領域1の沖合い(千島海溝沿い浅部)**の4つが連動して活動することを想定した。



※: 佐竹健治(2011):
「東北地方太平洋沖地震の津波について 過去の津波との比較も含めて」
(防災科学研究所「緊急報告会—東日本大震災への対応—」)

2. (1) 津波の想定および数値シミュレーション②

6

■ 想定される地震に伴う津波の不確かさの考慮

- 設計基準津波の策定に当たって、土木学会(2002)※、3.11地震で明らかとなった知見等を踏まえ、「①波源の不確かさ」および「②地震セグメントの破壊時間差の不確かさ」を考慮した。
- これらの検討から、**発電所に最も影響を与える津波を設計基準津波とした。**

※:「原子力発電所の津波評価技術」 土木学会(2002)

① 波源の不確かさの考慮

土木学会(2002)を参考に、基準断層モデルを用いて、断層モデルの諸条件について合理的と考えられる範囲内で断層パラメータを変化させたパラメータスタディを実施した。

【概略パラメータスタディ】

パラメータ項目	変動範囲
走向 θ	基準, 基準 $\pm 10^\circ$

【詳細パラメータスタディ】

パラメータ項目	変動範囲
傾斜角 δ	基準, 基準 $\pm 5^\circ$
すべり角 λ	基準, 基準 $\pm 10^\circ$

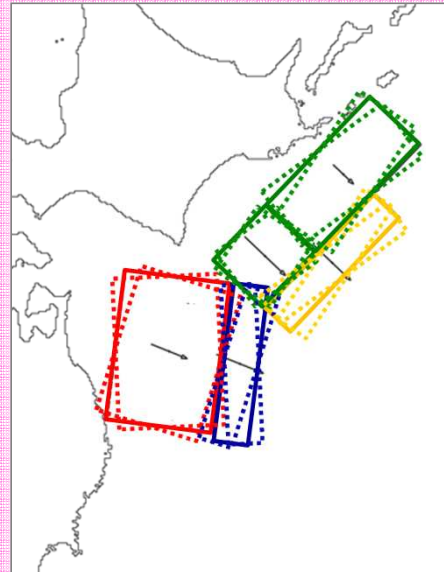


図1: 基準断層モデル
(概略パラメータスタディ)

② 地震セグメントの破壊時間差の不確かさの考慮

基準断層モデルに破壊開始点※を設け、地震セグメントの破壊時間差があることに伴う波の増幅を考慮した数値シミュレーションを実施した。

※: 地震および津波は、プレート境界のずれ(破壊)によって生じるが、そのずれ(破壊)は、一瞬にして全部の範囲がずれる(破壊する)のではなく、ある1点でずれ(破壊)が始まり、次第に広がっていく。このずれ(破壊)が始まる点を破壊開始点という。

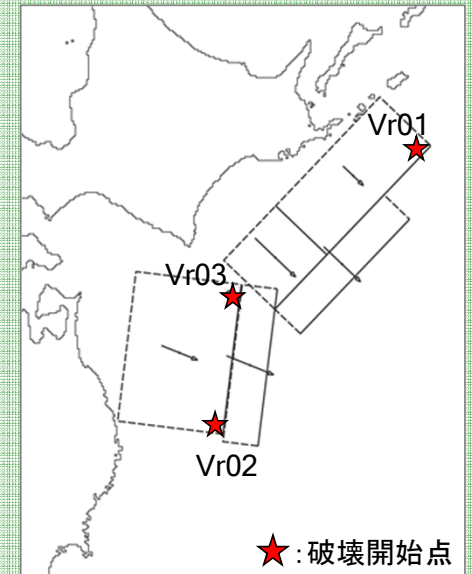


図2: 破壊開始点位置
(基準断層モデル)

【解析条件】

破壊開始点位置	Vr01, Vr02, Vr03
破壊伝播速度	2.0(km/s)
破壊形態	同心円状



2. (1) 津波の想定および数値シミュレーション③

7

●「①波源の不確かさ」を考慮した検討結果

区 分	計算結果		備 考
	最大水位上昇量	最大水位下降量	
基準ケース	+6.30m	-3.58m	走向:基準, 傾斜角:基準, すべり角:基準
最大水位上昇ケース	<u>+9.41m</u>	-3.58m	走向:基準+10°, 傾斜角:基準+5°, すべり角:基準-10°
最大水位下降ケース	+5.02m	<u>-3.78m</u>	走向:基準-10°, 傾斜角:基準+5°, すべり角:基準+10°

●「②地震セグメントの破壊時間差の不確かさ」を考慮した検討結果

区 分	計算結果		備 考
	最大水位上昇量	最大水位下降量	
最大水位 上昇・下降ケース	+7.33m	-3.65m	破壊開始点位置をVr01としたケース。最大水位上昇・下降の両方で, Vr01がVr02とVr03を上回った。



最大水位上昇ケース, 最大水位下降ケースのいずれも, 「①波源の不確かさ」を考慮した検討ケースが, 発電所に最も影響を与えることから, これを設計基準津波とする。



文献調査, 津波堆積物調査から得られる既往津波高との比較から, 設計基準津波の妥当性の確認を行う。



2. (2) 文献調査

- 設計基準津波の妥当性の確認に用いるため、青森県北部太平洋岸に影響を及ぼした既往津波(近地津波, 遠地津波)の津波高に関する文献調査を実施した。調査結果を下図に示す。

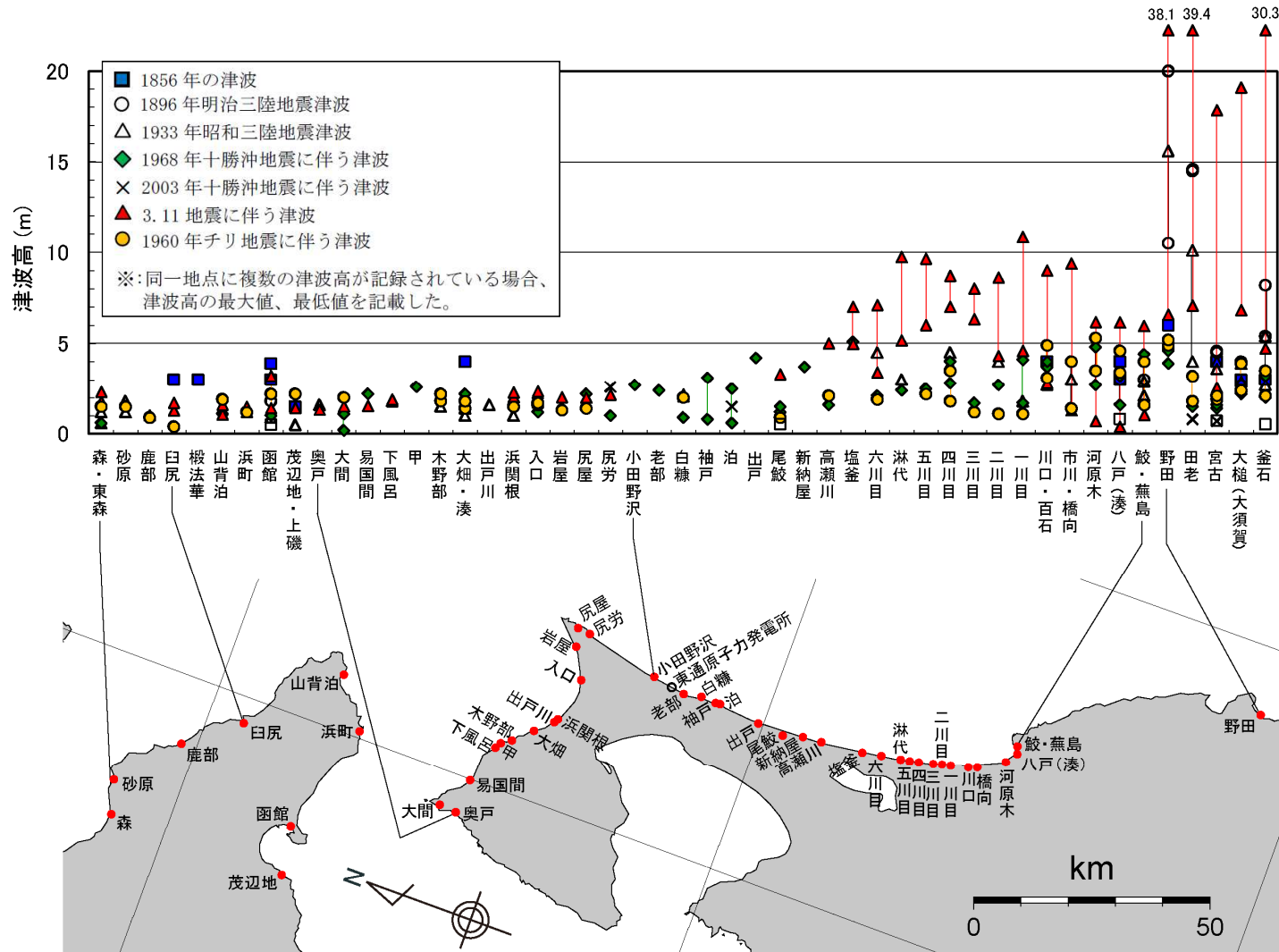


図: 主な既往津波高の記録



2. (3) 津波堆積物調査①

- 設計基準津波の妥当性を確認するため、津波堆積物調査※結果を整理した。

※：過去に敷地に影響を及ぼした可能性のある津波の痕跡（津波堆積物の分布・年代，遡上高等）を調査するため，青森県北部太平洋岸を対象に，東京電力株式会社と共同で平成22年4月～平成23年3月に実施。

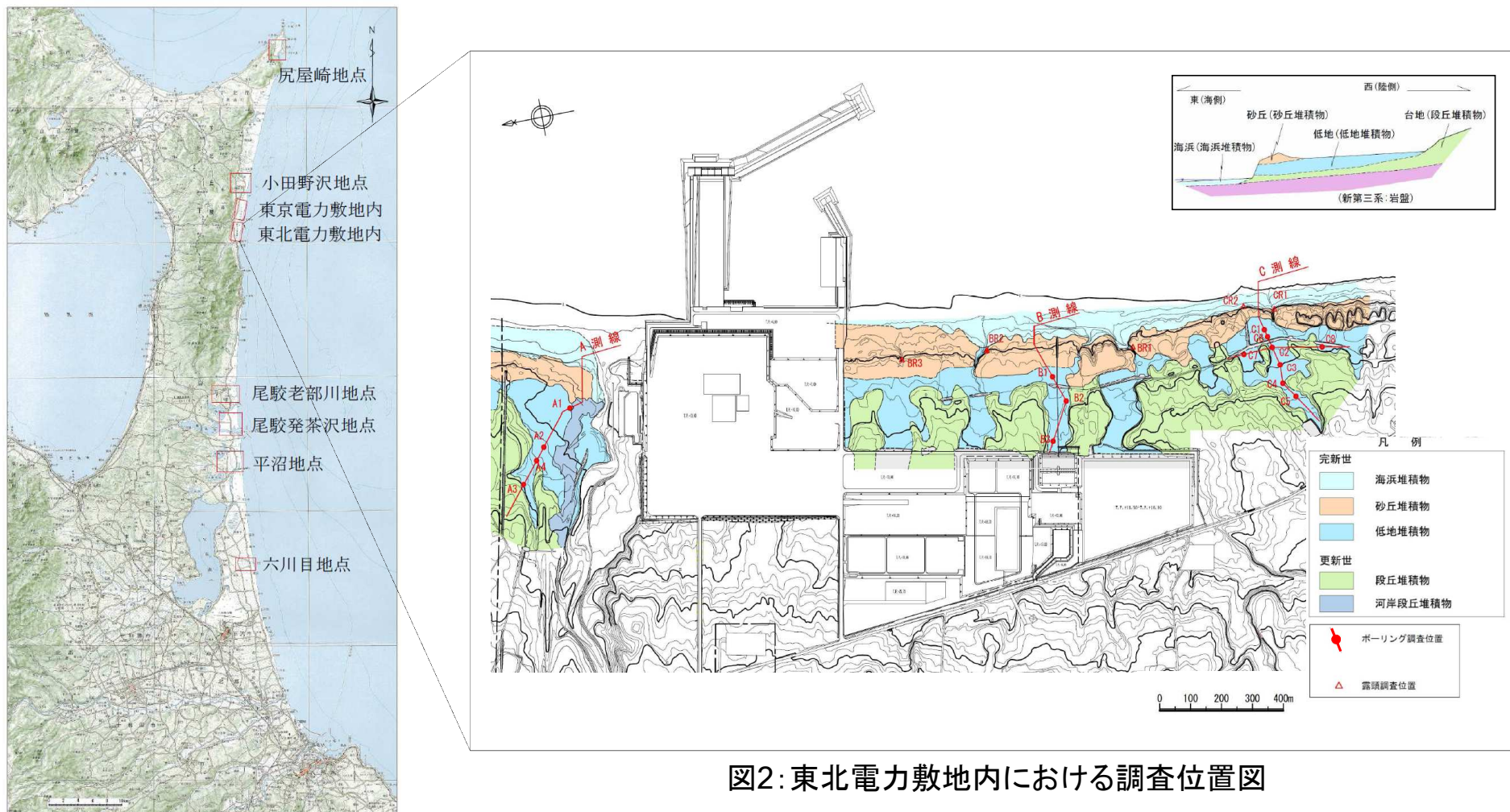


図1: 調査位置図



2. (3) 津波堆積物調査②

- 地質調査(ボーリング調査, 露頭調査)から堆積物を把握するとともに, 火山灰分析, 放射性年代測定および珪藻化石分析を実施し, 津波堆積物の可能性がある砂層※¹(イベント堆積物)の分布を調査した結果を下表に示す。

地点名	最上位のイベント堆積物		備 考
	分布最高値(T.P.※ ²)	遡上高※ ³ (T.P.※ ²)	
尻屋崎地点	—	—	イベント堆積物は確認されなかった。
小田野沢地点	4.0m	5m程度	
東京電力敷地内	7.4m	8m程度	
東北電力敷地内(A測線)	6.1m	7.9m程度	
東北電力敷地内(B測線)	—	—	人工改変物が介在し, イベント堆積物の分布を確認できなかった。
東北電力敷地内(C測線)	7.6m	8.4m程度	
尾駁老部川地点	1.9m	3m程度	
尾駁発茶沢地点	6.2m	6.2m以上	
平沼地点	1.6m	2m程度	
六川目地点	2.5m	6m程度	

※¹: 通常, 静かな環境下で堆積する泥炭層や粘土層中等に細～中砂層が狭在している場合, この砂層は, 津波・高潮・暴浪・河川の氾濫など, 何らかの「イベント」時に堆積したものと考えられる。本調査では, この砂層を津波堆積物の可能性がある砂層(イベント堆積物)として認定した。

※²: 東京湾平均海面(Tokyo Peil:T.P.)を基準とした標高

※³: 実際の津波の遡上域および遡上高は, イベント堆積物の分布域および分布高度よりも高い可能性があり, 必ずしもイベント堆積物の分布高度と津波の遡上高が一致するものではなく, イベント堆積物の分布のみから津波の遡上高を推定することはできない。したがって, 今回の評価に当たっては, 最上位となるイベント堆積物が認められなかったボーリング孔において, 当該イベント堆積物が堆積した年代にあたる地層の標高を津波の遡上高と仮定した。



2. (4) 設計基準津波の妥当性の確認

- 設計基準津波の妥当性については、土木学会(2002)を参考として、以下の項目を満足することを確認した。

項目	確認結果
1	評価地点において、設計基準津波の計算結果が、発電所に到達した既往最大の津波の計算結果を上回っていることを確認した。
2	評価地点付近において、想定津波群の計算結果の包絡線が、文献調査から得られる既往津波の痕跡高を上回っていることを確認した。
3	評価地点付近において、想定津波群の計算結果の包絡線または浸水域が、津波堆積物調査から得られる既往津波の遡上高を上回っていることを確認した。

上記のうち、項目1の確認結果を以下に示す。

敷地において、設計基準津波の計算結果が、発電所に到達した既往最大の1856年の津波の計算結果を上回っていることを確認。

	最大水位上昇量
設計基準津波	+9.41m
1856年の津波	+6.41m※1

※1: 今回の数値シミュレーション結果。

(参 考)

	最高水位※2
原子炉設置許可申請時(H8.8) ※3	T.P. +6.5m
土木学会(2002) ※3	T.P. +8.8m

※2: 朔望平均満潮位(T.P.+0.61m)を考慮した値。また、計算条件(空間格子間隔など)は今回と一部異なる。

※3: 参考資料2参照(P19～21)



2. (5) 津波水位に対する安全性の評価結果①

12

- 断層モデルを連動させた津波の数値シミュレーションにおいて、発電所敷地では地盤沈下（水位上昇側のケースで0.63m, 水位下降側のケースで0.66m）が生じる結果となった。
- 設計基準津波による津波高の検討の結果から、水位上昇および水位下降に対して、発電所の安全性には影響がないものと評価した（表1, 図1）。

表1: 津波水位に対する安全性の評価結果

設計基準津波	水位上昇量・ 水位下降量 (A)	朔望平均満潮位・ 朔望平均干潮位 (B)	評価用の水位 (A) + (B)	現状の敷地高さ・ 取水口敷高 (C)	地盤沈下量 (D)	地震後の敷地高さ・ 取水口敷高 (C) - (D)
水位上昇側	+9.41m	T.P.+0.61m	<u>T.P.+10.1m</u>	T.P.+13.0m	0.63m	<u>T.P.+12.3m</u>
水位下降側	-3.78m	T.P.-0.87m	<u>T.P.-4.7m</u>	T.P.-5.5m	0.66m	<u>T.P.-6.1m</u>

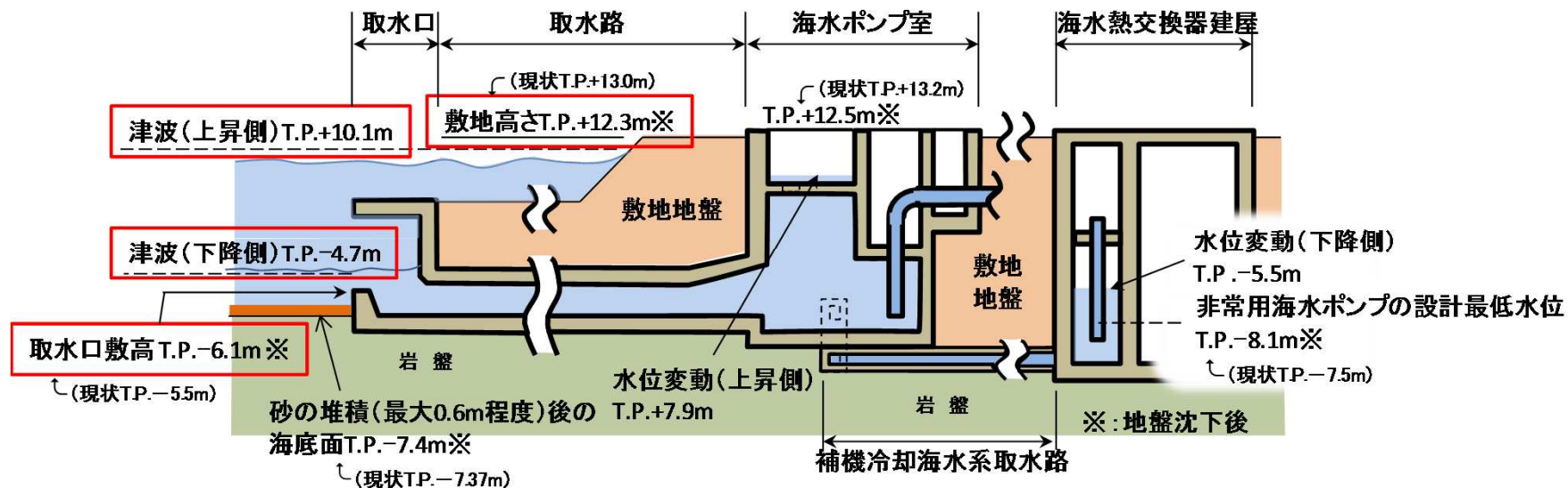


図1: 津波水位に対する安全性の評価結果概要



2. (5) 津波水位に対する安全性の評価結果②

- 取水設備内の水位変動への影響に関する検討の結果から、水位上昇および水位下降に対して、発電所の安全性には影響がないものと評価した(表1, 図1)。

表1: 取水設備内の水位変動に対する安全性の評価結果

設計基準津波	海水ポンプ室の 最高水位・海水熱 交換器建屋の最 低水位	現状の海水ポンプ室の天端高さ・ 海水熱交換機建屋内の 非常用海水ポンプの設計最低水位 (A)	地盤沈下量 (B)	地震後の海水ポンプ室の天端高さ・ 海水熱交換機建屋内の 非常用海水ポンプの設計最低水位 (A) - (B)
水位上昇側	<u>T.P.+7.9m</u>	T.P.+13.2m	0.63m	<u>T.P.+12.5m</u>
水位下降側	<u>T.P.-5.5m</u>	T.P.-7.5m	0.66m	<u>T.P.-8.1m</u>

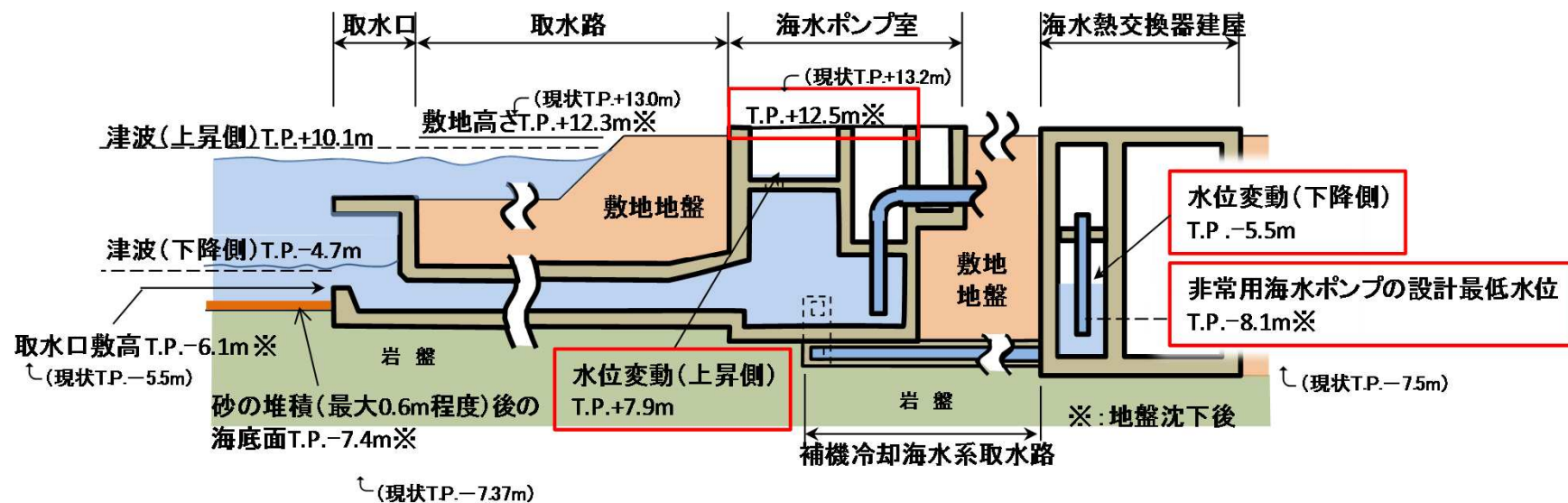


図1: 取水設備内の水位変動に対する安全性の評価結果概要



2. (6)砂移動に対する安全性の評価結果

14

- 砂移動の影響に対する検討の結果から、津波来襲後の取水口付近における砂の堆積高さは最大でも0.6m程度であり、取水口前の海底面が取水口敷高を上回らないことから、非常用海水ポンプの取水に支障が生じることはなく、発電所の安全性には影響がないものと評価した(表1, 図1)。

表1: 砂移動に対する安全性の評価結果

	現状の取水口前の海底面の高さ (A)	地盤沈下量 (B)	地震後の取水口前の海底面の高さ (A) - (B)	砂の堆積高さ (C)	津波来襲後の取水口前の海底面の高さ (A) - (B) + (C)	現状の取水口敷高 (D)	地震後の取水口敷高 (D) - (B)
最大堆砂ケース	T.P.-7.37m	0.63m	T.P.-8.0m	0.6m	<u>T.P.-7.4m</u>	T.P.-5.5m	<u>T.P.-6.1m</u>

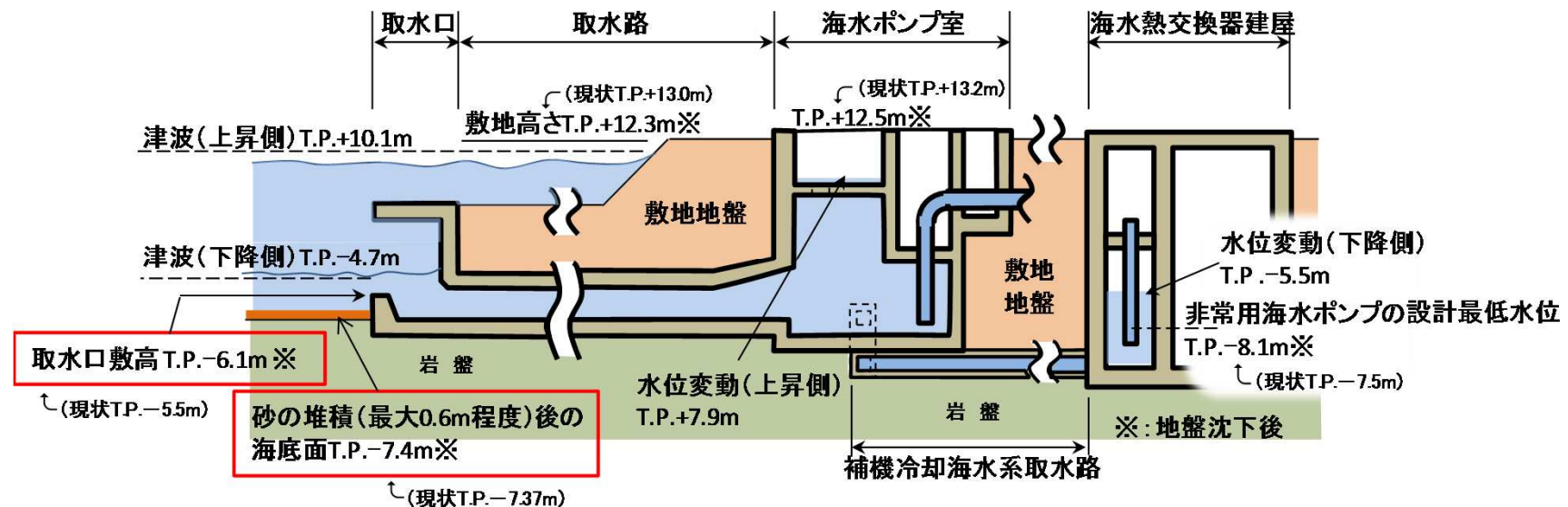


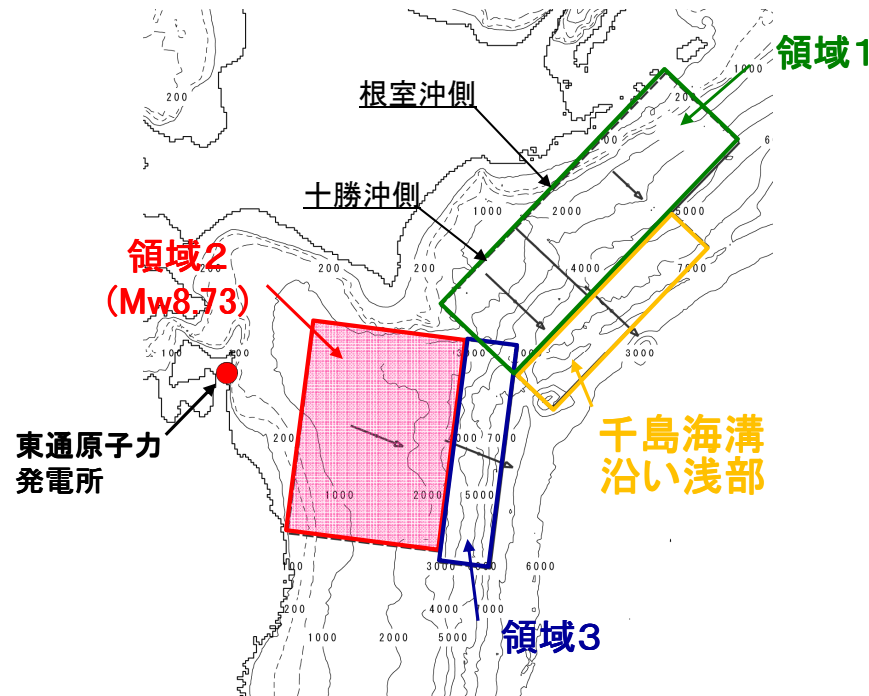
図1: 砂移動に対する安全性の評価結果概要



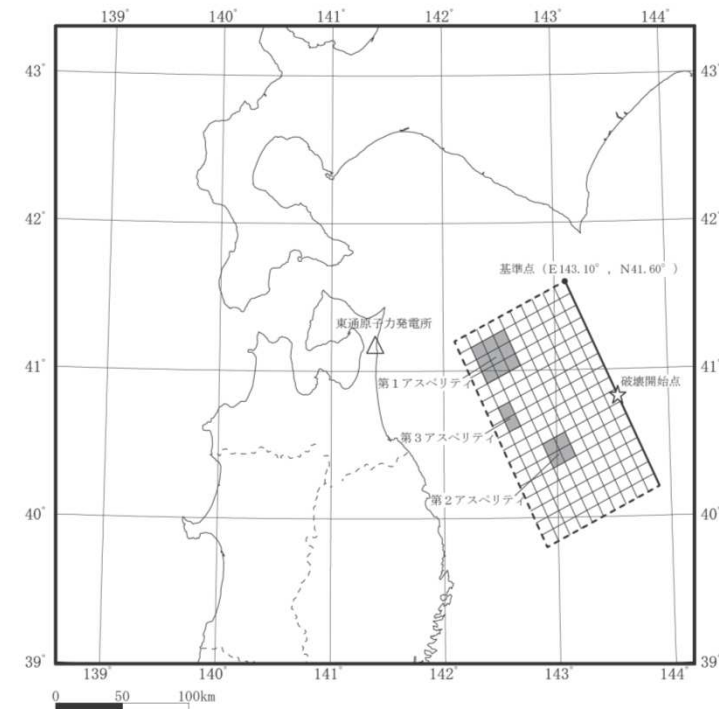
2. (7) 津波の基準断層モデルに対する地震動の評価①

15

- 津波の基準断層モデルに対する地震動評価は、各地震セグメントのうち領域1, 領域3, 千島海溝沿い浅部からの地震動の影響は小さいことを確認した上で、領域2を対象として概略の地震動評価を行った。
- 領域2では、 $M_w8.73$ の大きさの地震を考慮していることから、基準地震動 S_s の策定において考慮している「想定三陸沖北部の地震」($M_w8.3$)の断層モデルをベースに、マグニチュードを $M_w8.73$ に拡張した場合の地震動評価を行った。



基準断層モデル



「想定三陸沖北部の地震」($M_w8.3$)の断層モデル

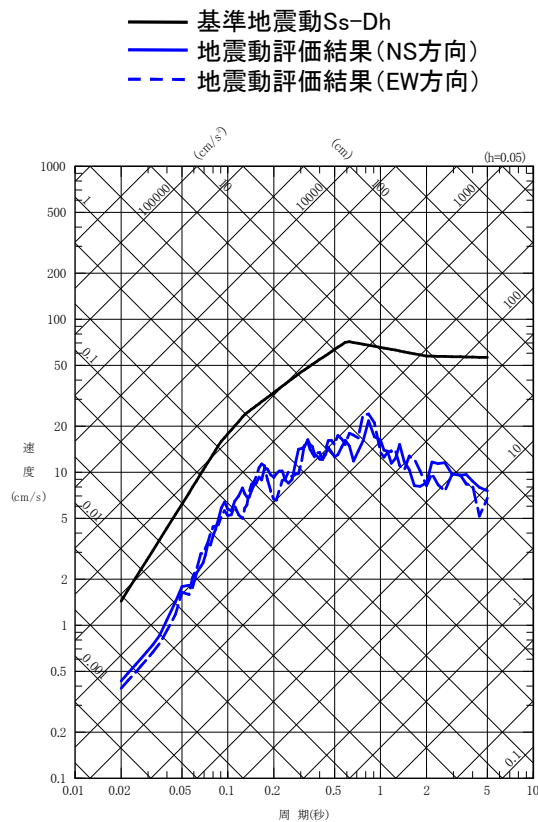


2. (7) 津波の基準断層モデルに対する地震動の評価②

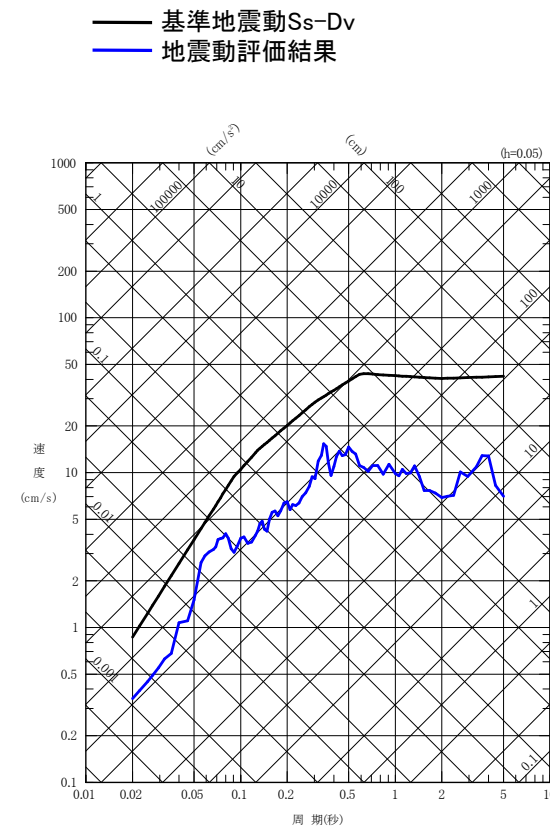
16

地震動評価結果の例

- 評価結果は、基準地震動Ssを十分に下回っていることから、敷地へ与える影響は小さいことを確認した。



水平方向



鉛直方向



(1) 津波に対する安全性の評価

- 3.11地震から現時点までに明らかとなった知見ならびに文献調査、津波堆積物調査等を踏まえて策定した設計基準津波による水位変化に対して、地盤沈下を考慮しても発電所の安全性には影響がないものと評価した。
- あわせて、取水設備内の水位変動に対して、地盤沈下を考慮しても発電所の安全性には影響がないものと評価した。
- また、津波による水位変化以外の事象として、設計基準津波に伴う砂移動による影響に対して、地盤沈下を考慮しても発電所の安全性には影響がないものと評価した。

(2) 津波の基準断層モデルに対する地震動の評価

- 津波の基準断層モデルに対する地震動評価結果は、基準地震動 S_s を十分に下回っており、敷地へ与える影響は小さいことを確認した。

以上のことから、3.11地震から得られる知見等を踏まえて想定した津波に対して、東通原子力発電所の安全性には影響がないものと評価した。

また、地盤沈下量(0.63m)を考慮し、念のため現在建設中の防潮堤についてかさ上げを実施することとした。

(参考資料1参照(P18))

引き続き津波評価に係る新たな知見の収集に努め、必要に応じて対策に反映していく。



参考資料1 防潮堤のかさ上げについて

18

防潮堤の概要

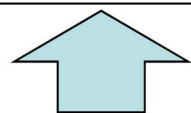
目的：敷地への浸水防止

構造：セメント改良土※¹による堤防

高さ：約3m (T. P. ※²約+16m)

長さ：約2km

完成時期：平成25年5月（予定）



津波評価結果を踏まえて防潮堤を+1mかさ上げ

防潮堤の概要（平成24年3月16日お知らせ済）

目的：敷地への浸水防止

構造：セメント改良土※¹による堤防

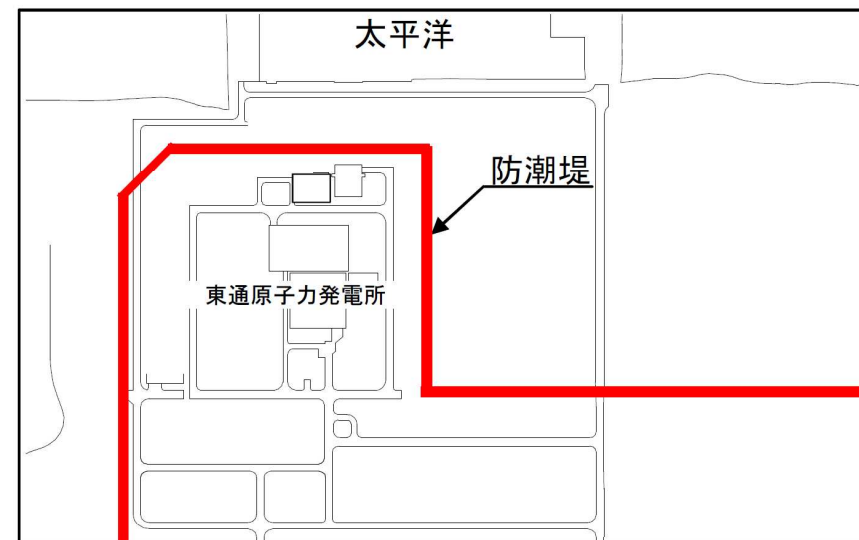
高さ：約2m (T. P. ※²約+15m)

長さ：約2km

完成時期：平成24年12月（予定）

※¹ 土にセメントを加えて強度を高めたもの

※² 東京湾平均海面（Tokyo Peil）を基準とした標高

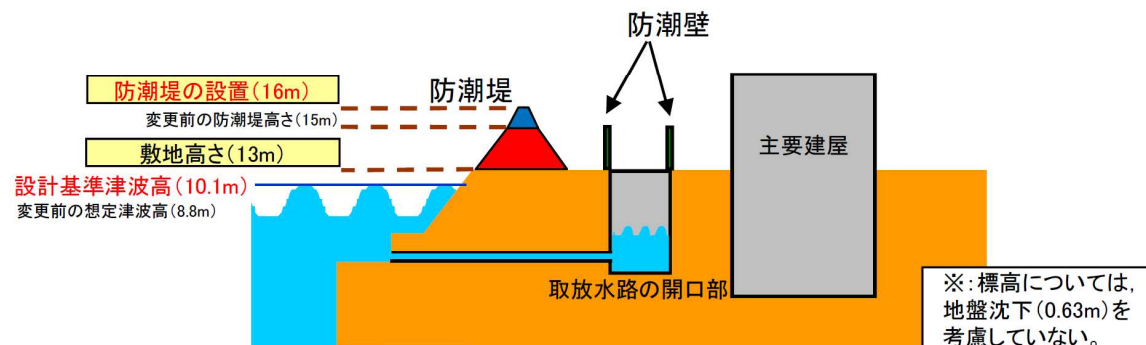


防潮堤配置計画図

工事スケジュール

平成24年12月まで：高さ約2mを完成

平成25年5月まで：1mかさ上げ分を完成



防潮堤の変更イメージ図



Tohoku Electric Power

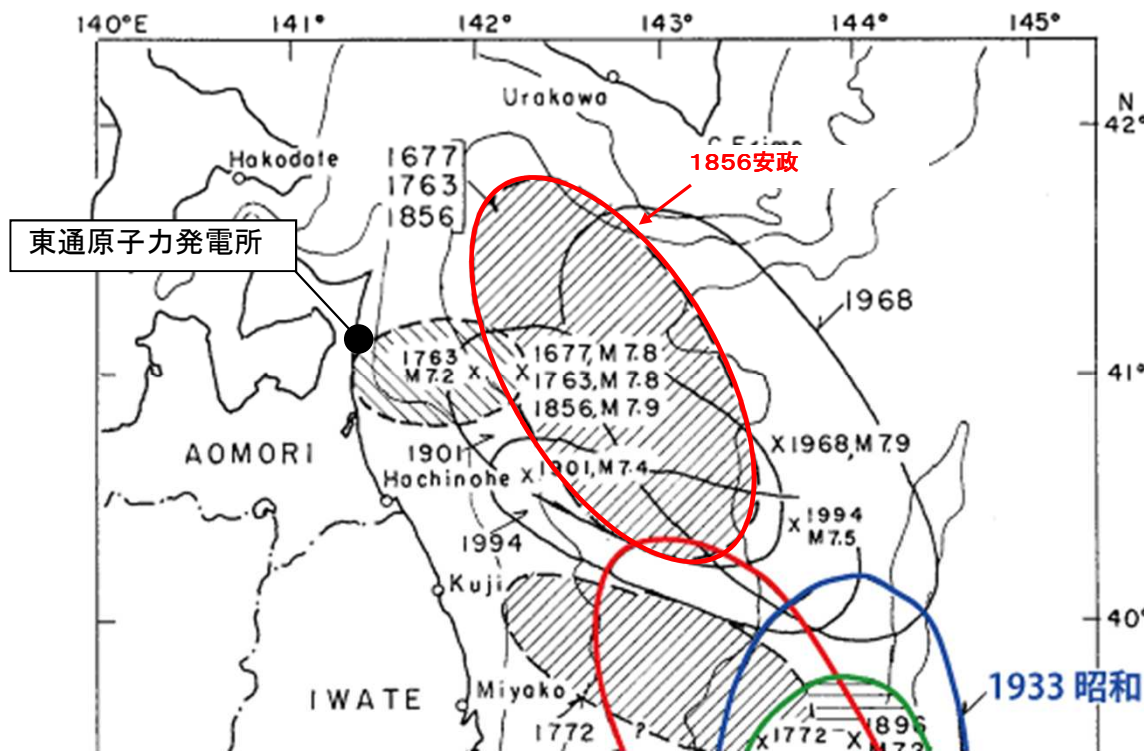
参考資料2 東通原子力発電所における過去の津波評価①

(平成23年11月18日お知らせ資料より再掲)

19

原子炉設置許可申請時(H8. 8)の津波評価＝T.P.+6.5m

- 文献調査等により、敷地に最も影響を及ぼした津波として 1856年(安政3年)の津波を抽出。
- 1856年(安政3年)の津波の数値シミュレーションより得られる敷地前面の最高水位に朔望平均満潮位※を考慮し、津波による敷地前面の最高水位を評価。



■ 敷地付近での比較的規模の大きな津波

1856年(安政3年)

1896年(明治29年)

1968年(昭和43年)

■ 敷地付近で記録があるのは、1968年の津波のみ(老部でT.P.+2.4m)

※朔望平均満潮位: 朔(新月)および望(満月)の日から5日以内に現れる、各月の最高満潮面の平均値。
(設置許可申請書記載値: T.P.+0.61m)



参考資料2 東通原子力発電所における過去の津波評価②

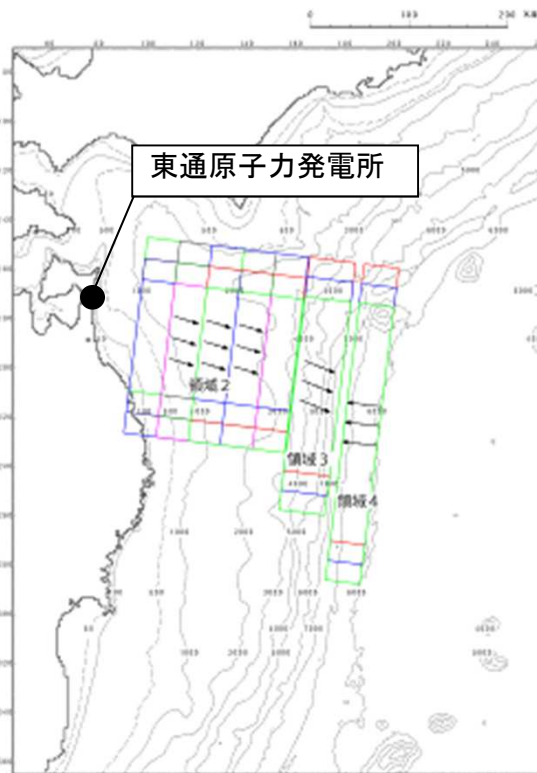
(平成23年11月18日お知らせ資料を一部修正)

20

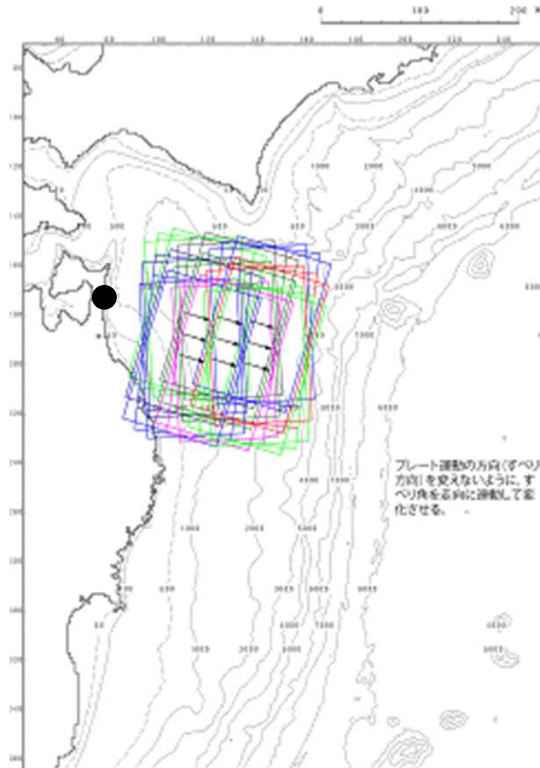
土木学会(2002)※による想定津波高さ = T.P.+8.8m

➤土木学会(2002)※により、波源、数値シミュレーションの誤差等の不確かさを考慮したパラメータスタディを実施し、敷地に最も影響を与える設計津波高さ(領域3)を策定して評価。

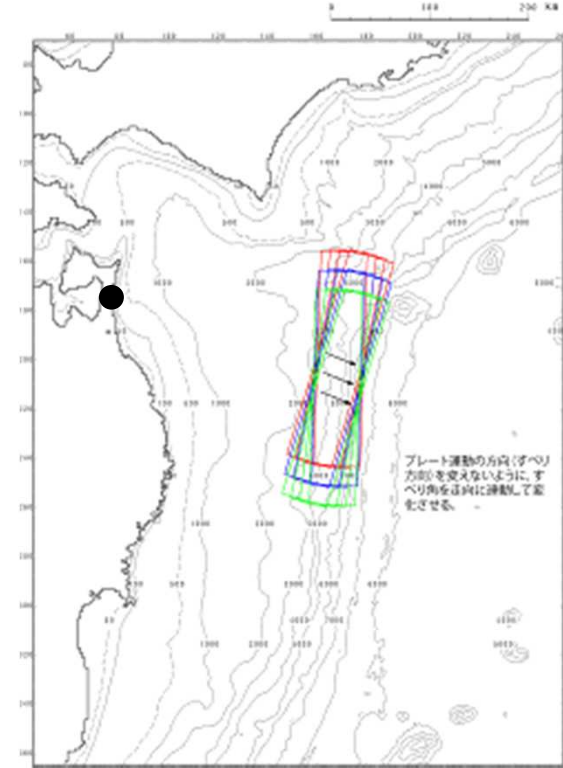
➤なお、新耐震設計審査指針(H18.9改訂)に基づいた耐震バックチェックにおいても、ほぼ同様の手法により評価を実施中であった。



各領域内の波源位置



領域2のパラスタ例



領域3のパラスタ例

※:「原子力発電所の津波評価技術」(土木学会2002)



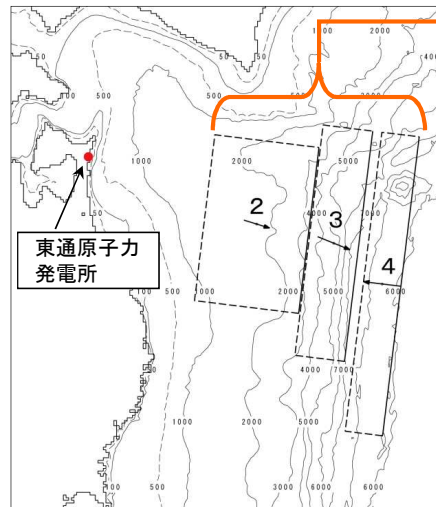
Tohoku Electric Power

参考資料2 東通原子力発電所における過去の津波評価③

(平成23年11月18日お知らせ資料を一部修正) 21

土木学会(2002)と今回の評価の違い

【土木学会(2002)】



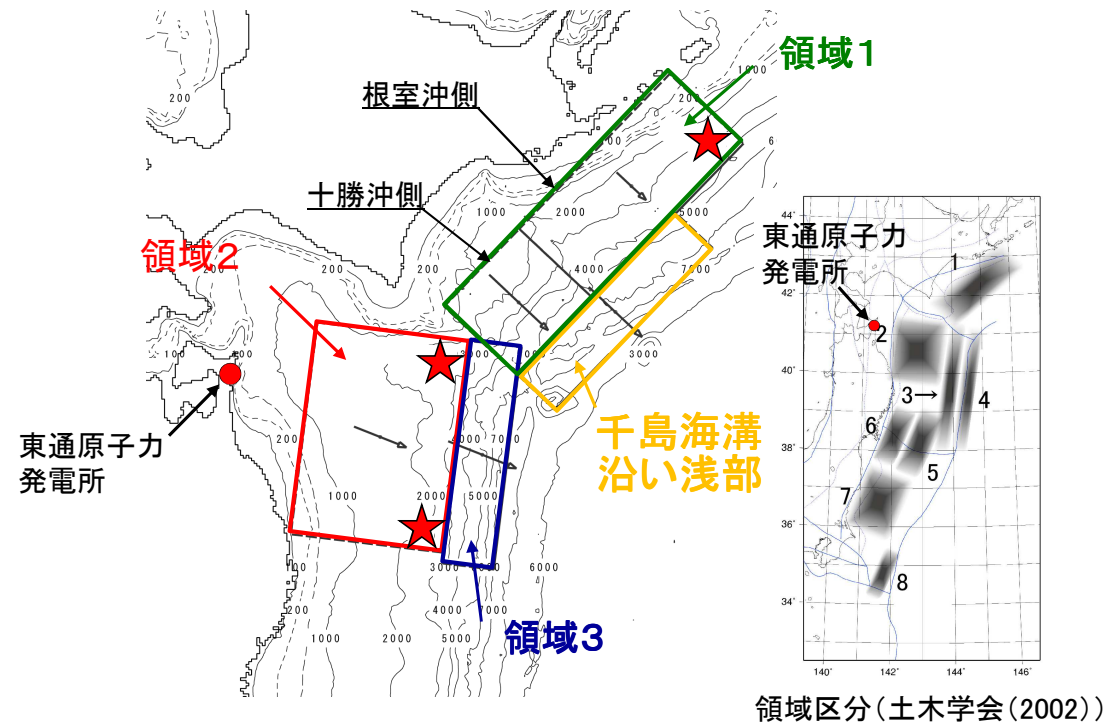
土木学会(2002)
に基づき、既往
最大のMwを設定

ただし、領域2に
ついては、1968
年十勝沖地震津
波のMw=8.41を
下回らないよう
に設定

	L(km)	W(km)	すべり 量(m)	Mw
領域2	157	105	7.23	8.45
領域3	218	50	9.32	8.3
領域4	283	50	10.1	8.6

⇒領域2, 3, 4について、別々にパラメータ
スタディを実施して津波を評価。

【今回の評価】



- ・土木学会手法(H14. 2)では別々に評価した領域2, 3を連動させ、領域1, 千島海溝沿い浅部も合わせて連動させる。
- ・すべり量を1.5倍に拡大。
- ・各断層の破壊開始する時間差を考慮。

