

東通原子力発電所1号炉審査資料	
資料番号	A1-CA-0134(改2)
提出年月日	2024年1月29日

東通原子力発電所 基準津波の策定について (補足説明資料)

2024年1月29日
東北電力株式会社

目次

I. 計算条件等

1. 津波解析条件	2
2. 潮位条件	6
3. 津波水位の評価位置	9

II. 内閣府(2020)

1. 津波波源モデルの取扱い及び津波評価の反映方法	19
---------------------------	----

I . 計算条件等

1. 津波解析条件

- 1. 1 計算条件
- 1. 2 計算領域
- 1. 3 防波堤有無の解析に用いる地形

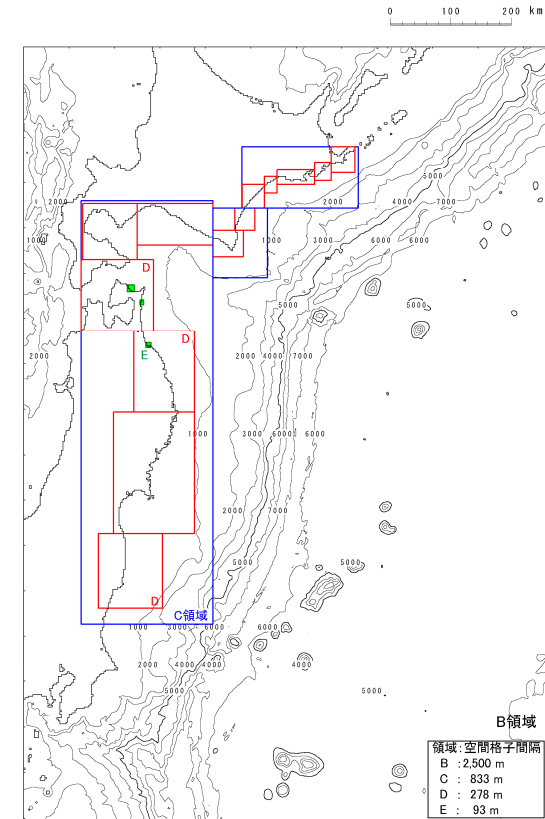
I. 計算条件等 1. 津波計算条件

1.1 計算条件

- ・ 津波予測計算は、次の計算条件等に基づき実施した。
- ・ なお、数値シミュレーションの手法の妥当性は、既往津波の再現性の評価を実施して確認した。

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 Δs	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 Δt^{*1}	0.1秒						
基礎方程式	線形 長波式	非線形長波式(浅水理論) ^{*1}					
沖側境界条件	自由透過	外側の大格子領域と水位・流量を接続					
陸側境界条件	完全反射	完全反射 (海底露出を考慮)	小谷ほか(1998)の遡上境界条件				
初期海面変動	波源モデルを用いてMansinha and Smylie(1971)の方法により計算される鉛直変位を海面上に与える						
海底摩擦	考慮 しない	マンニングの粗度係数 $n = 0.03m^{-1/3}s$ (土木学会(2016)より)					
水平渦動粘性 係数	考慮しない						
潮位条件	T.P.±0.0m						
計算時間	地震発生後4時間						

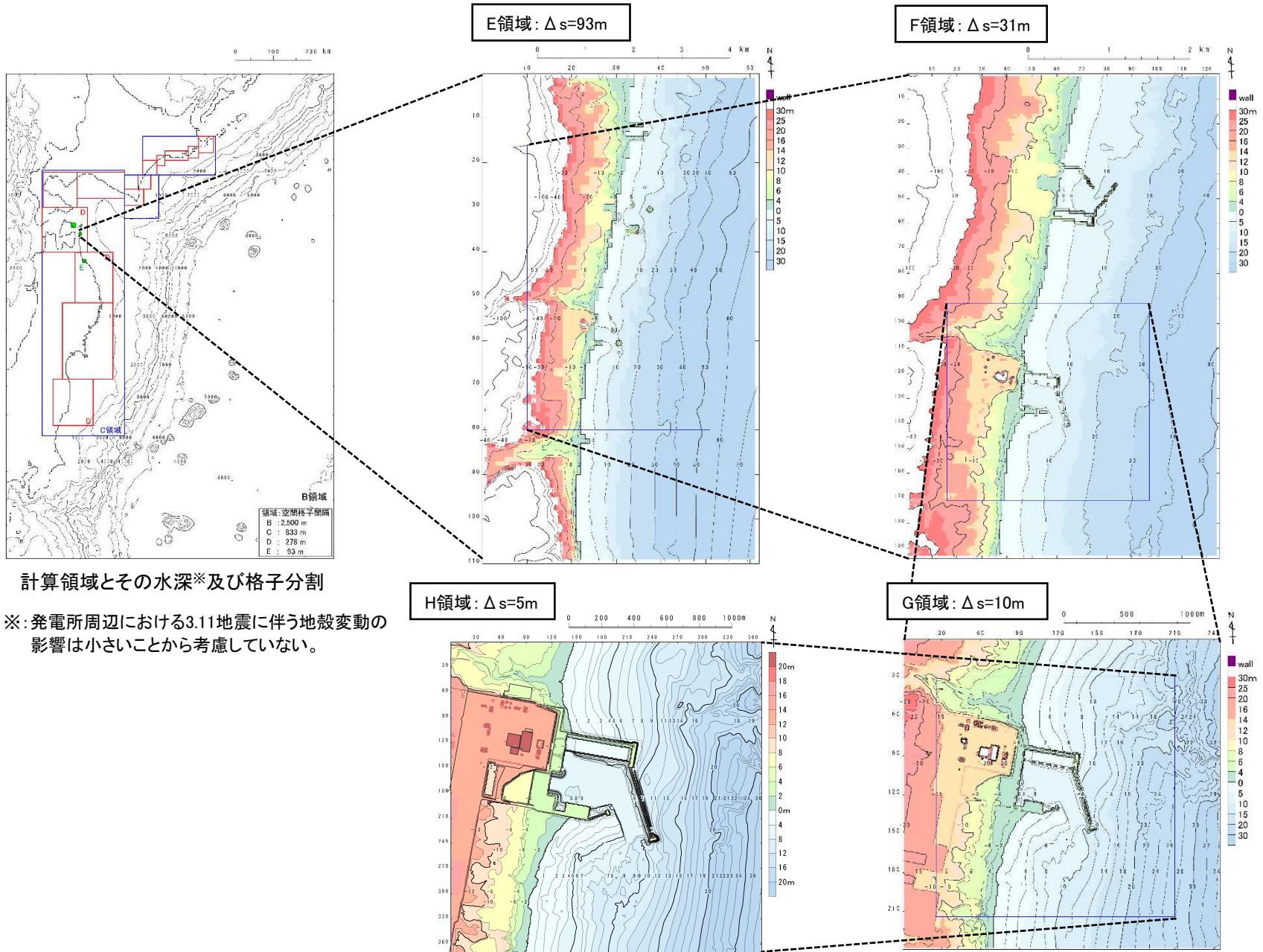


計算領域^{*2}とその水深及び格子分割

※1:土木学会(2016)では、水深200m以浅の海域を目安に非線形長波式を適用するとしている。これを十分に満足するようC領域以下(水深1500m以浅)で、非線形長波式(浅水理論)を適用した。

※2: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。

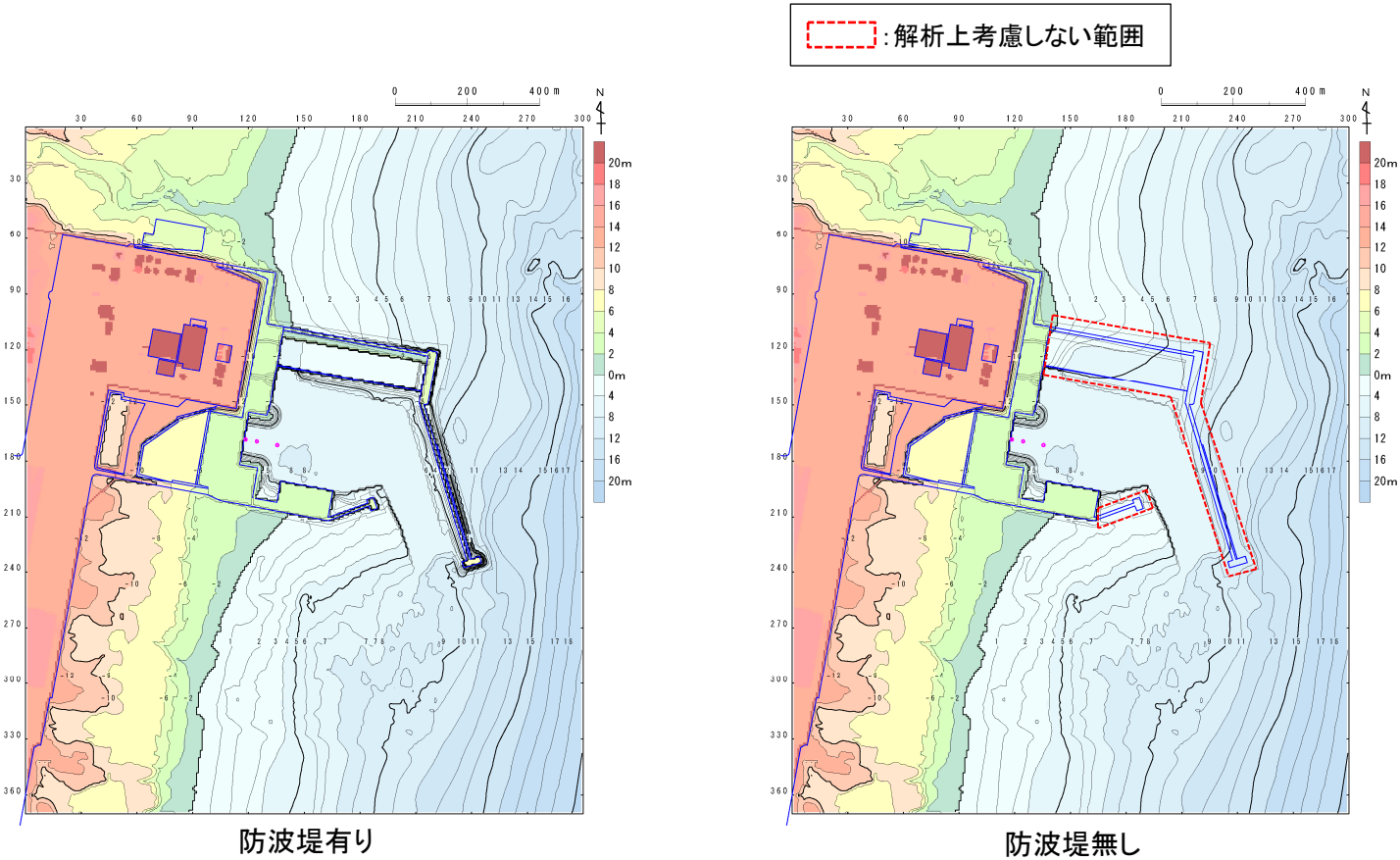
1.2 計算領域



I. 計算条件等 1. 津波計算条件

1.3 防波堤有無の解析に用いる地形

- 防波堤有無の解析に用いる地形を以下に示す。



I . 計算条件等

2. 潮位条件

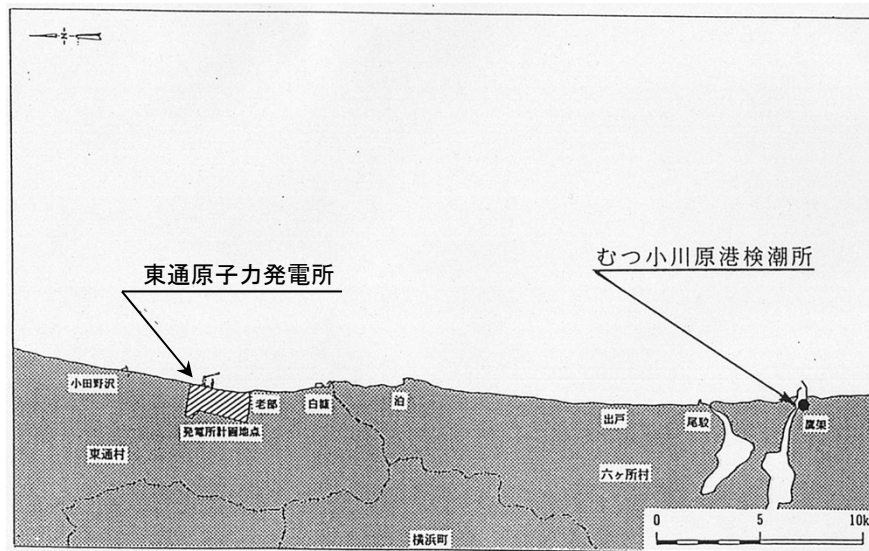
2. 1 潮位条件

2. 2 朔望平均潮位の妥当性

I. 計算条件等 2. 潮位条件

2.1 潮位条件

- 基準津波評価で考慮している朔望平均潮位は、敷地南方約29kmに位置する国土交通省東北地方整備局むつ小川原港検潮所における1988年～1992年の観測記録を用いて算定した。



発電所とむつ小川原港検潮所の位置図

基準津波評価で考慮している朔望平均潮位

朔望平均満潮位	T.P.+0.61m
朔望平均干潮位	T.P.-0.87m

I. 計算条件等 2. 潮位条件

2.2 朔望平均潮位の妥当性

- 近年(2016年～2020年)の観測記録^{※1}を用いて朔望平均潮位を算定した結果、朔望平均満潮位はT.P.+0.63m、朔望平均干潮位はT.P.-0.77mであり、基準津波評価で考慮している朔望平均潮位と有意な差がないことを確認した^{※2}。

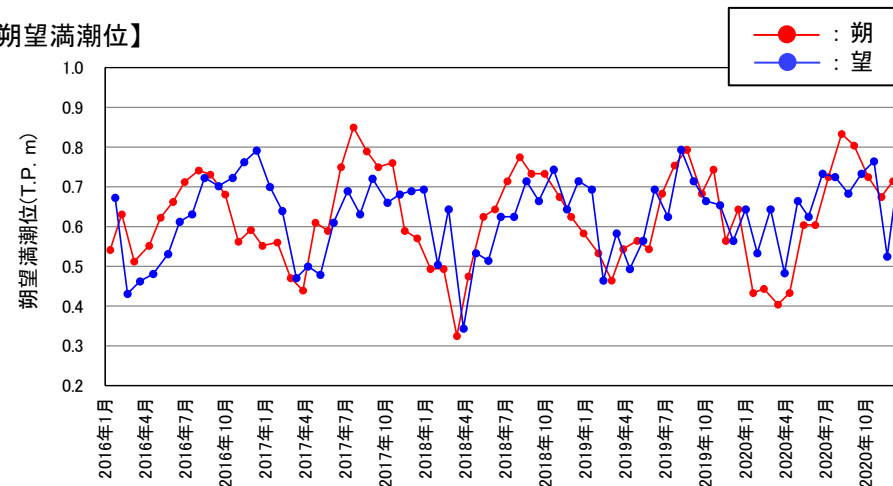
※1: 潮位記録は、「日本海洋データセンター」の資料を使用した。また、朔望平均潮位は、毎正時の朔望の前2日、後4日の期間における最高潮位または最低潮位を平均して算定した。

※2: 基準津波評価で考慮している朔望平均潮位と近年の朔望平均潮位の差は、潮位のばらつきとして、津波に対する安全性評価で考慮する。

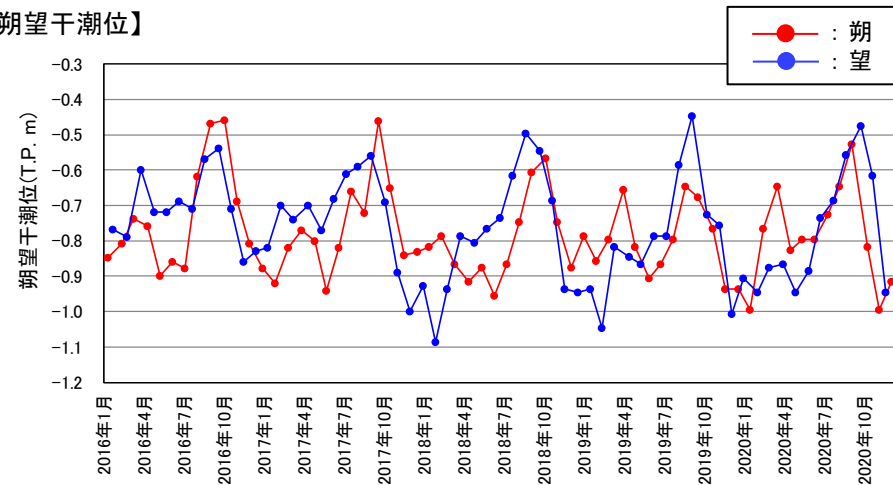
朔望平均潮位の比較

	①基準津波評価 (1988年～1992年)	②近年 (2016年～2020年)	差 (①-②)
朔望平均満潮位	T.P.+0.61m	T.P.+0.63m	-0.02m
朔望平均干潮位	T.P.-0.87m	T.P.-0.77m	-0.10m

【朔望満潮位】



【朔望干潮位】



各月の朔望潮位の経時変化

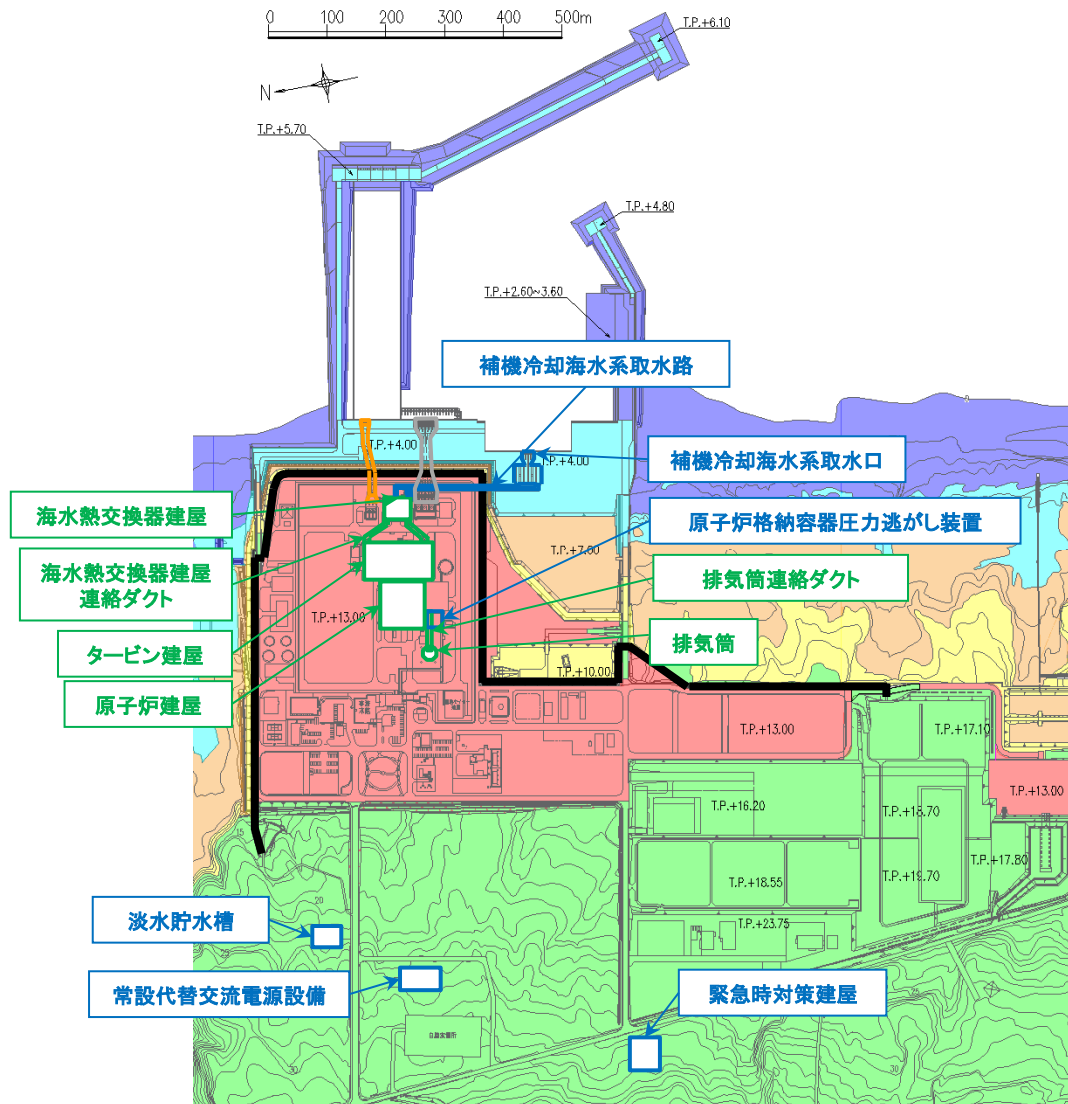
I . 計算条件等

3. 津波水位の評価位置

- 3. 1 発電所敷地及び耐震重要施設等の配置
- 3. 2 津波水位の評価位置
- 3. 3 時刻歴波形抽出位置

3.1 発電所敷地及び耐震重要施設等の配置

- 東通原子力発電所の主要設備が設置される敷地はT.P.+4.0m, T.P.+13.0mであり, その主要設備周辺はT.P.+4.0m~T.P.+23.75mに整地されている。
- 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の一部はT.P.+13.0mに設置し, 緊急時対策建屋等の常設重大事故等対処施設の一部はT.P.+13.0mよりもさらに高い敷地に設置する。
- 耐震重要施設等が設置された敷地 (T.P.+13.0m) への津波の流入経路は, 常用系の海水を取水する取水路, 非常用系の海水を取水する補機冷却海水系取水路, 並びに常用系・非常用系を放水する放水路がある。



【標高(T.P., m)】

0 ≤	< 4
4 ≤	< 7
7 ≤	< 10
10 ≤	< 13
13 =	
13 <	

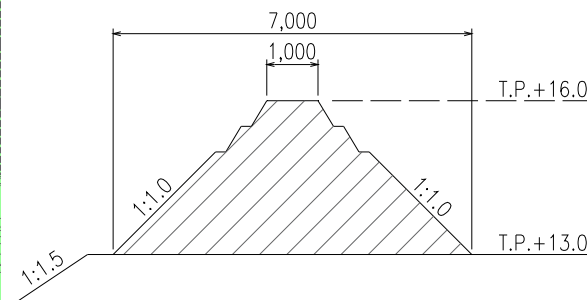
【施設位置】

—	: 防潮堤 (自主対策設備)※1
□ (green)	: 耐震重要施設※2及び 常設重大事故等対処施設※3
□ (blue)	: 常設重大事故等対処施設
□ (yellow)	: 放水設備
□ (grey)	: 取水設備

※1 緊急安全対策の更なる安全性向上のための対策として設置。設置標高はT.P.+13.0mであり津波が到達しないことから, 解析結果には影響しない。

※2 設置許可基準規則第3条の対象となる耐震重要施設 (間接支持構造物を含む)

※3 設置許可基準規則第38条の対象となる常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設 (特定重大事故等対処施設を除く)



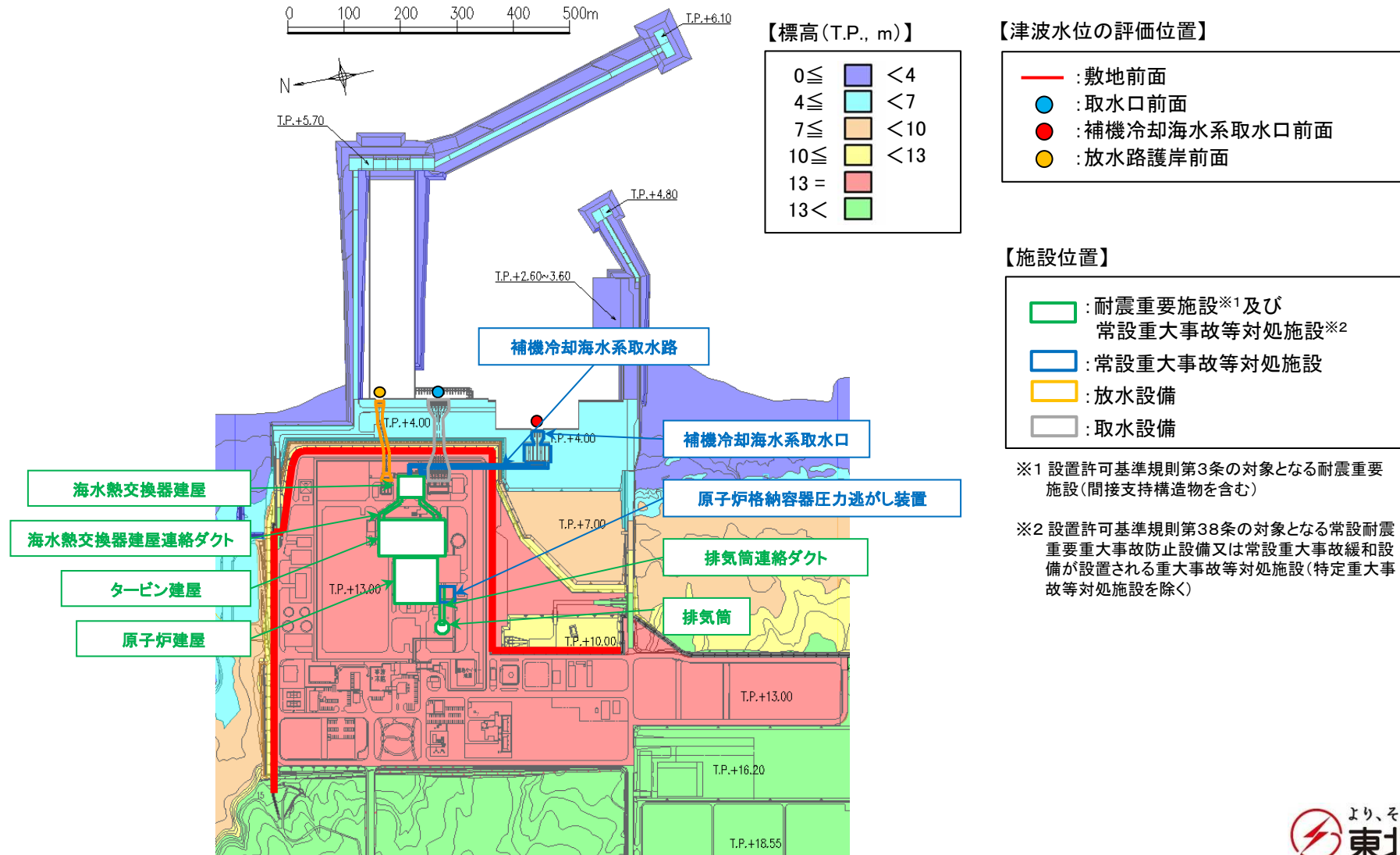
防潮堤 (セメント改良土) 標準断面図

I. 計算条件等 3. 津波水位の評価位置

3.2 津波水位の評価位置:水位上昇側

■敷地前面

- 耐震重要施設等が設置された敷地 (T.P.+13.0m) へ津波が遡上するかを評価するため敷地前面 (下図: 赤線) を津波水位の評価位置とする。
- なお, 津波水位が低く, 敷地前面位置まで津波が遡上しない場合には, 敷地前面周辺での最大水位を抽出する。

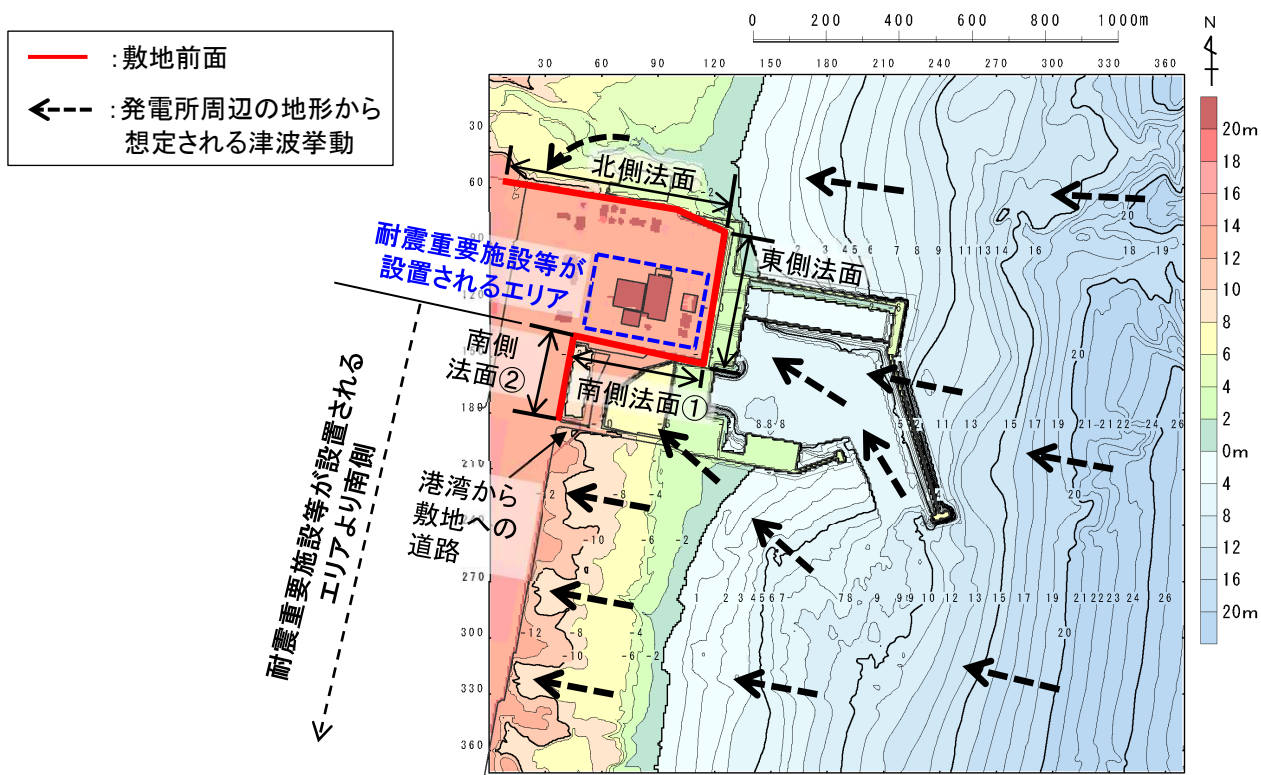


3.2 津波水位の評価位置:水位上昇側

■敷地前面の設定の考え方

- 発電所周辺の地形から想定される津波挙動を考慮し、敷地 (T.P.+13.0m) のうち耐震重要施設等が設置されるエリア (以下、「エリア」という。) を取り囲むように津波水位の評価位置を設定した (敷地前面を北側法面, 東側法面, 南側法面①, 南側法面②で構成した)。

- 北側法面: 東から来襲した津波が谷状地形に沿って遡上し, エリアへの遡上波の回り込みが想定されることから評価位置とし, 北側法面の西側の端部はT.P.+16.0mの地山に擦りつく位置に設定した。
- 東側法面: 東から来襲した津波が直接来襲することが想定されることから, 評価位置に設定した。
- 南側法面①: 東から来襲した津波が海底地形の影響により北西方向に回折し, エリアへの遡上波の回り込みが想定されることから評価位置に設定した。
- 南側法面②: エリアより南側は, 東から来襲した津波が海底地形の影響によりそのまま西方向へ遡上することが想定されるため, エリアへの遡上波の回り込みはなく, 津波水位の評価位置として設定する必要はない。ただし, 「南側法面①」の西側の端部がエリアに近接することから, 一定の離隔を確保する観点で「南側法面②」を評価位置に設定し, その端部は港湾から敷地への道路の交差部までとした。以上から, 南側法面②よりさらに南側は評価位置に設定しない。

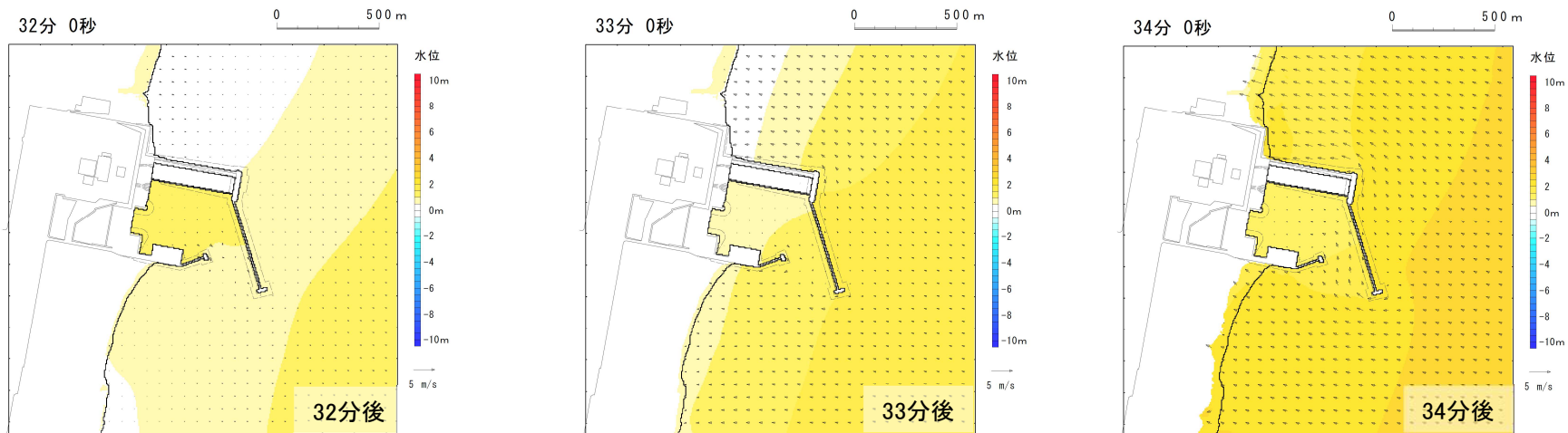


3.2 津波水位の評価位置:水位上昇側

- 敷地前面の設定範囲の妥当性について、十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル①(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(内閣府(2012)考慮))]の津波来襲特性から以下のとおり確認した。

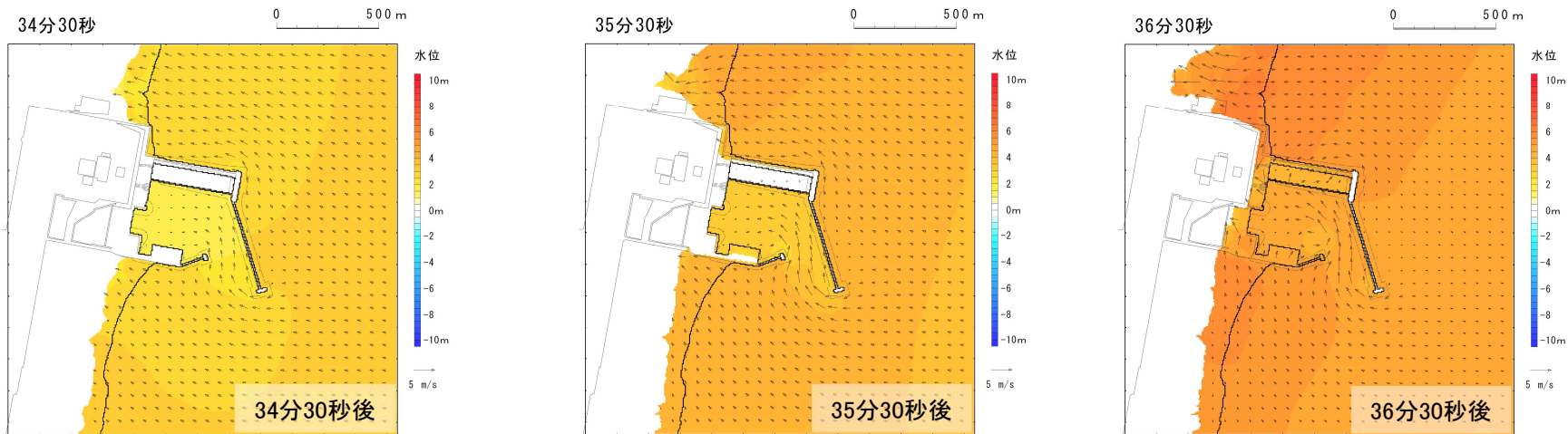
■ 第1波の来襲状況

- 津波は発電所に対し東から来襲する。



■ 耐震重要施設等が設置されるエリアの北側の遡上状況

- 東から来襲した津波は谷状地形に沿って遡上する。

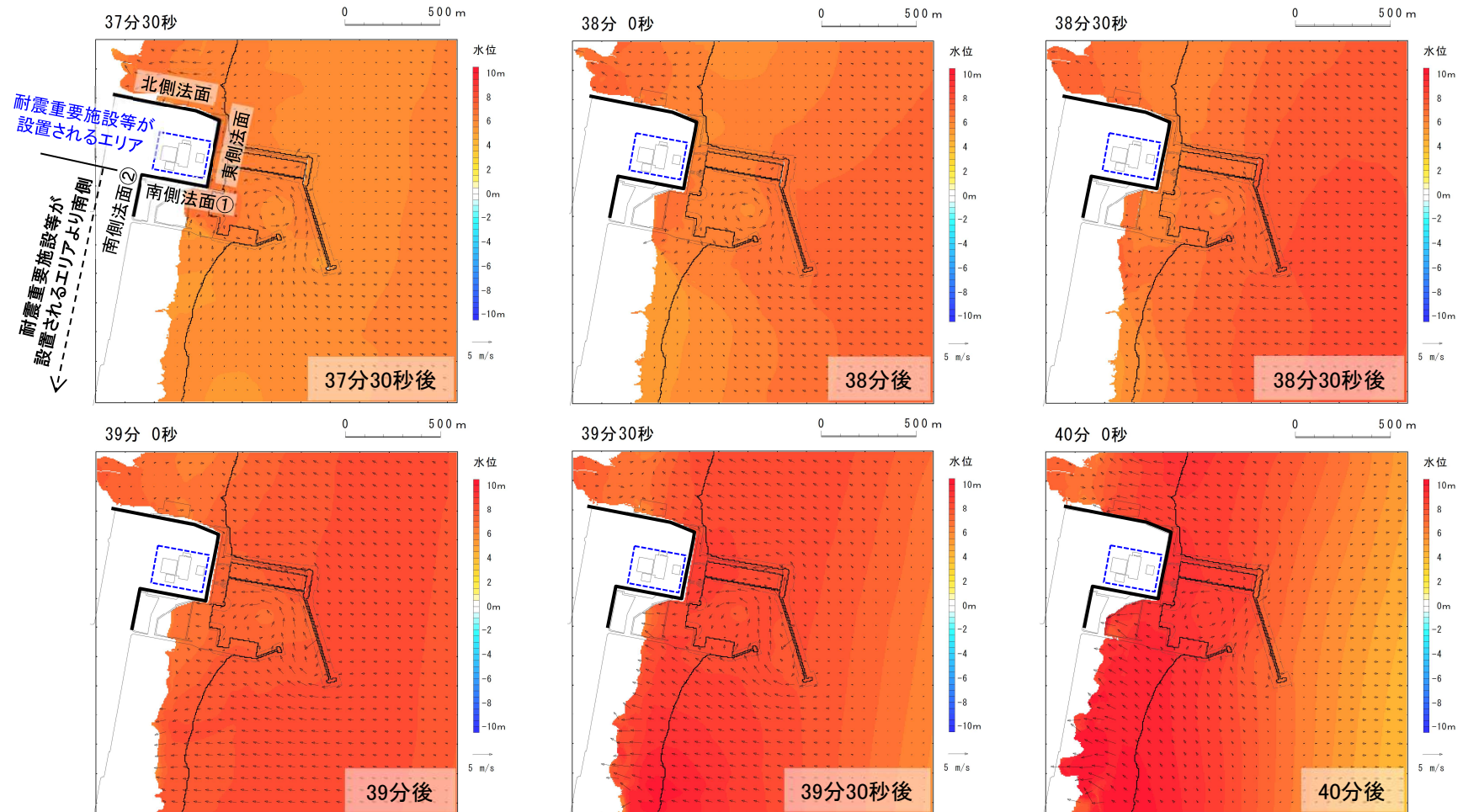


3.2 津波水位の評価位置:水位上昇側

■敷地前面の設定の妥当性(耐震重要施設等が設置されるエリアへの来襲状況)

・ エリアに対する津波の来襲状況から、敷地前面の設定範囲の妥当性を以下のとおり確認した。

- 北側法面: 谷状地形に沿って遡上した津波が、エリアに回り込むように遡上する(地震発生38分30秒~40分後)。
- 東側法面: 東から来襲した津波がエリアに直接来襲する(地震発生37分30秒~40分後)。
- 南側法面①: 東から来襲した津波が海底地形の影響により北西方向に回折し、エリアの南側に回り込むように遡上する(地震発生39分~40分後)。
- 南側法面②(エリアより南側): 東から来襲した津波が海底地形の影響によりそのまま西方向へ遡上し、エリアへの回り込みはない(地震発生39分~40分後)。

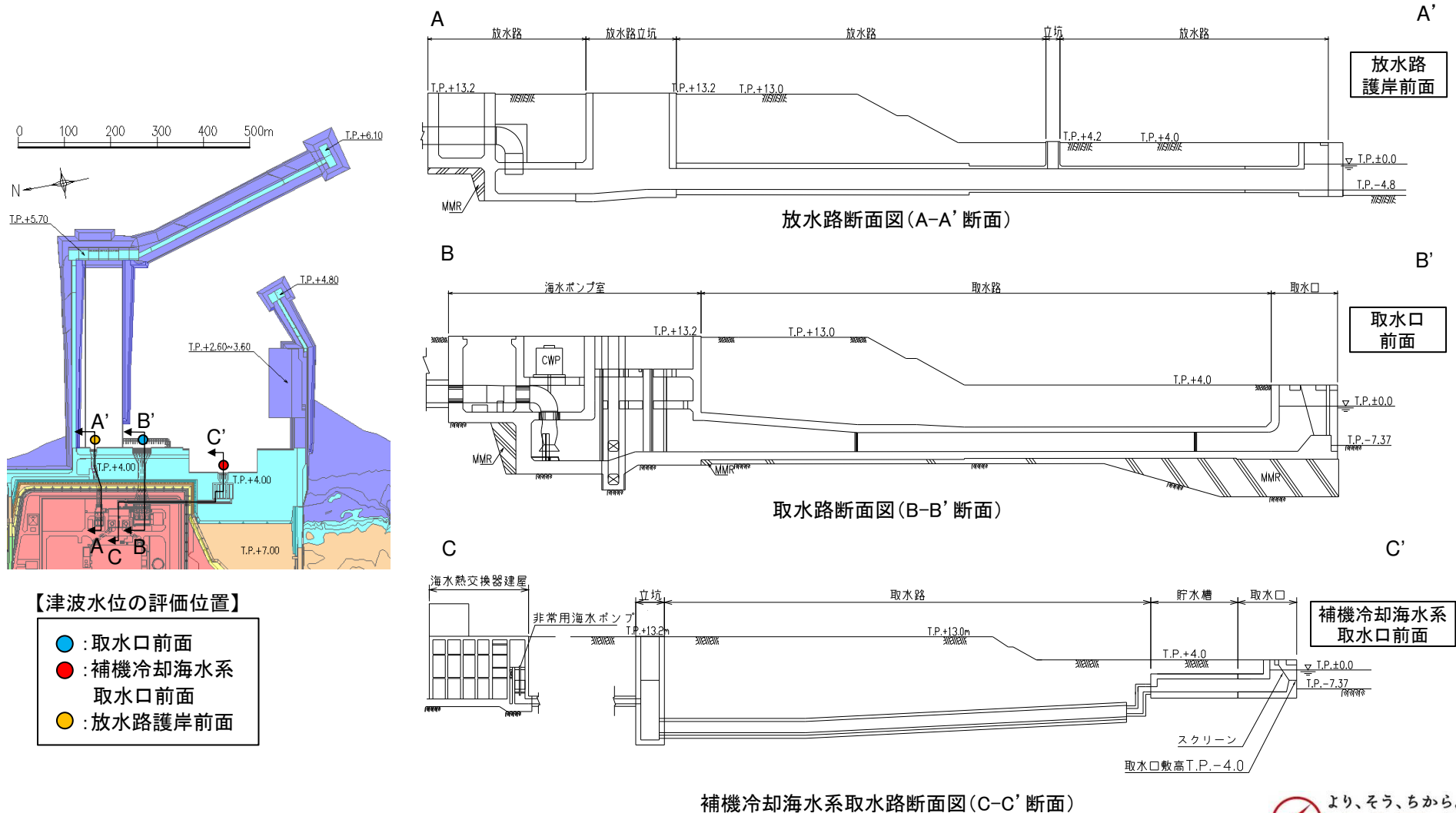


I. 計算条件等 3. 津波水位の評価位置

3.2 津波水位の評価位置:水位上昇側

■取水口前面, 補機冷却海水系取水口前面, 放水路護岸前面

- 取水路及び放水路を介し, 重要な安全機能を有する施設の設置された敷地 (T.P.+13.0m) へ津波が流入する可能性を評価するため, 取水口前面, 補機冷却海水系取水口前面及び放水路護岸前面を津波水位の水位上昇側の評価位置とする。



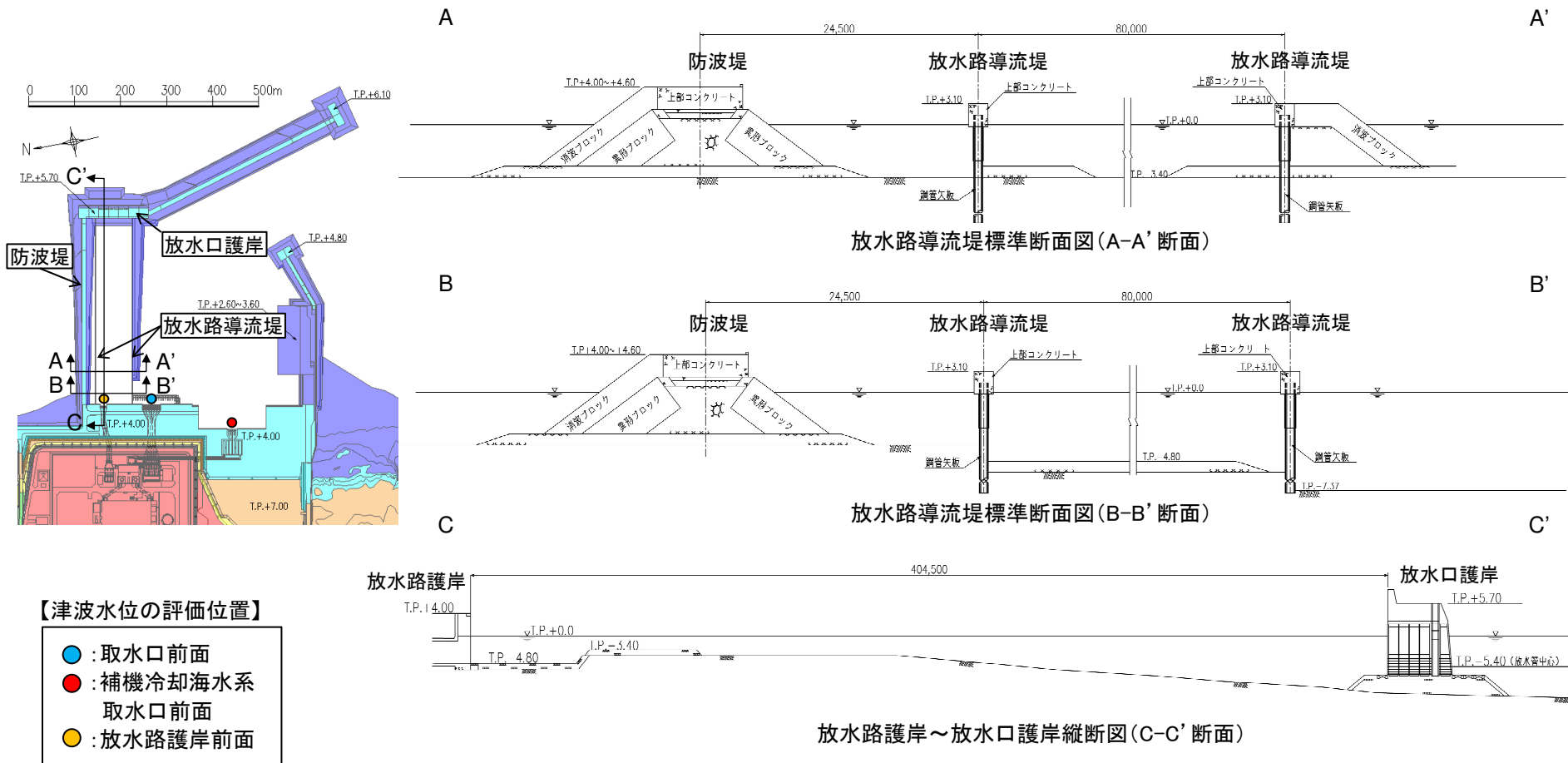
補機冷却海水系取水路断面図 (C-C' 断面)

I. 計算条件等 3. 津波水位の評価位置

3.2 津波水位の評価位置:水位上昇側

■放水路護岸前面

- 放水路護岸～放水口護岸までの構造は下図のとおりであり、放水路護岸前面は高さT.P.+3.1mの放水路導流堤及びT.P.+5.7mの放水口護岸で囲まれた区域内に位置するため、それらを越波しない限り、津波は到達しない。



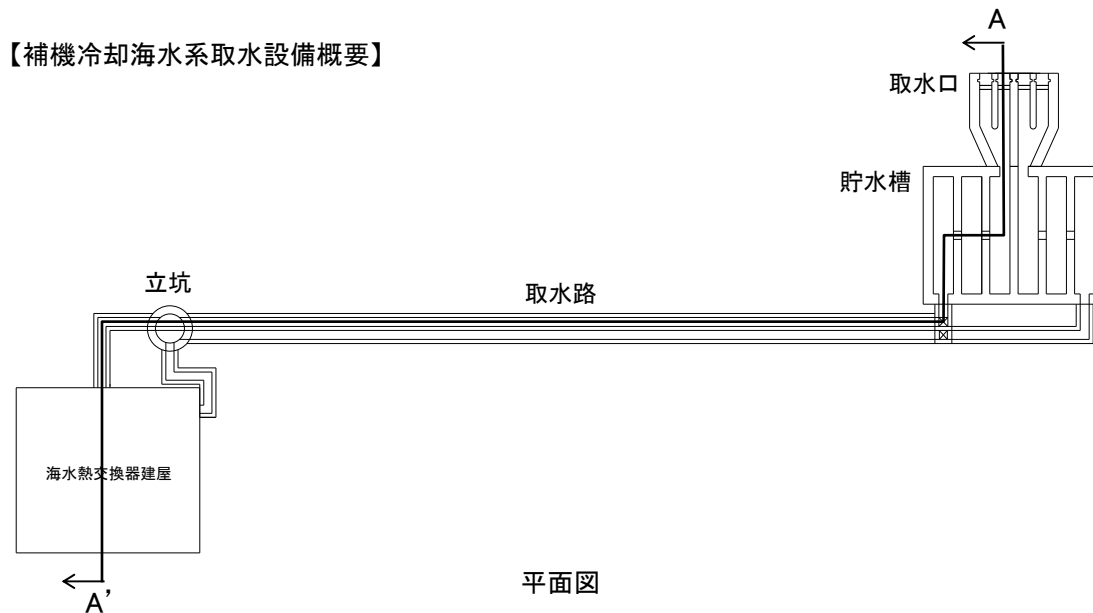
I. 計算条件等 3. 津波水位の評価位置

3.2 津波水位の評価位置:水位下降側

■補機冷却海水系取水口前面

- 非常用海水ポンプ(原子炉補機冷却海水ポンプ, 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ)の取水性を評価するため, 補機冷却海水系取水口前面を津波水位の水位下降側の評価位置とする。
- 補機冷却海水系取水設備は, 津波が取水口敷高(T.P.-4.0m)を下回る場合の非常用海水ポンプの運転に必要な海水を貯留する構造を兼ねていることから, 補機冷却海水系取水口敷高を下回る継続時間についても評価する。

【補機冷却海水系取水設備概要】



■非常用海水ポンプの運転可能継続時間

(A)有効貯水量:約5,000(m³)

取水口敷高(T.P.-4.0m)から非常用海水ポンプの取水可能水位(T.P.-7.5m)までの容量

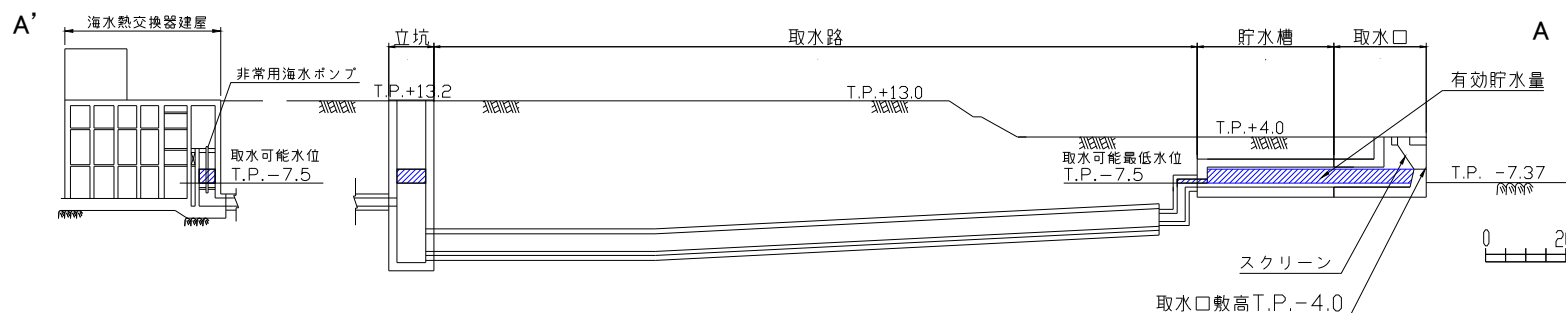
(B)非常用海水ポンプの運転可能継続時間:約35(分)


(A)/非常用海水ポンプの取水量
=5,000(m³)/8,340(m³/hr)×60=約35分

非常用海水ポンプの取水量

	運転台数*	流量 (m ³ /hr)	取水量 (m ³ /hr)
原子炉補機冷却海水ポンプ	2台×2系統	8,000	8,340
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	1台×1系統	340	

※:非常用海水ポンプの最大運転台数を考慮



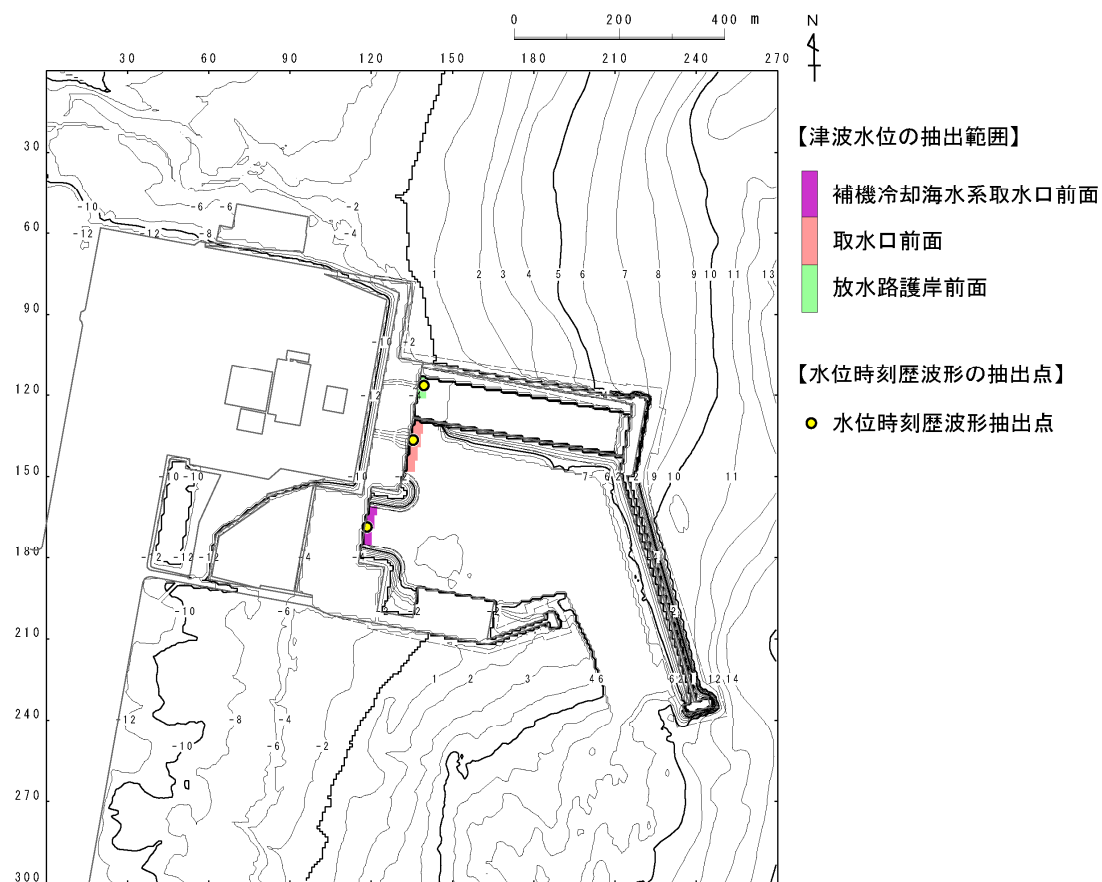
 :津波水位が取水口敷高を下回る場合に, 非常用海水ポンプの取水に必要な海水が設備内に確保される範囲(約5,000m³)

断面図(A-A'断面)

I. 計算条件等 3. 津波水位の評価位置

3.3 時刻歴波形抽出位置

- 津波解析は、設定する波源により発電所港湾内における流れ場が異なることから、津波水位(最大水位上昇量・最大水位下降量)の抽出位置を下図のとおり設定した。
- 水位時刻歴波形の抽出位置は、上記の代表点として各取放水設備前面の中央位置とした。



津波水位の抽出位置

Ⅱ．内閣府(2020)

1. 津波波源モデルの取扱い及び津波評価の反映方法

II. 内閣府(2020)

1. 津波波源モデルの取扱い及び津波評価の反映方法

【検討方針】

- 震源の断層面積(S)と地震モーメント(M_0)は自己相似の関係があり(例えば, Kanamaori and Anderson(1975), Somerville et al.(1999)), この関係は円形破壊面を仮定した場合, 断層面全体における平均応力降下量($\Delta\sigma$)は地震規模(M_w)に依らず一定であることに対応する(入倉(2004))。
- Murotani et al.(2013)は, 国内外で発生したM9クラスの巨大地震*の地震モーメントと断層面積の関係は, 日本付近で発生したM7~8クラスのプレート境界地震の関係(Murotani et al.(2008))と同様であり, その平均応力降下量は0.82MPa~3.00MPaの範囲にあるとしている。
- 以上を踏まえ, 特性化モデル①~④は, 内閣府(2012), 杉野ほか(2014)と同様に, 円形破壊面を仮定したスケーリング則を用いて設定している。
- ここでは, 内閣府(2020)による津波波源モデルと国内外で発生したM9クラスの巨大地震の平均応力降下量及びスケーリング則との比較から, 基準津波策定にあたっての内閣府(2020)による津波波源モデルの取扱い及び内閣府(2020)による津波評価の反映方法を整理する。

※: 3.11地震, 2020年チリ地震, 2004スマトラ地震, 1964年アラスカ地震, 1960年チリ地震, 1957年アリューシャン地震, 1952年カムチャツカ地震

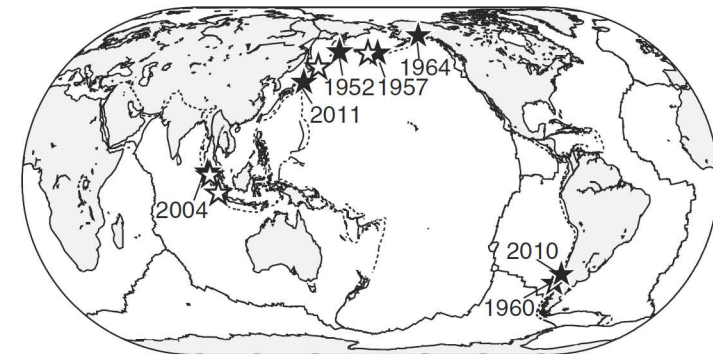
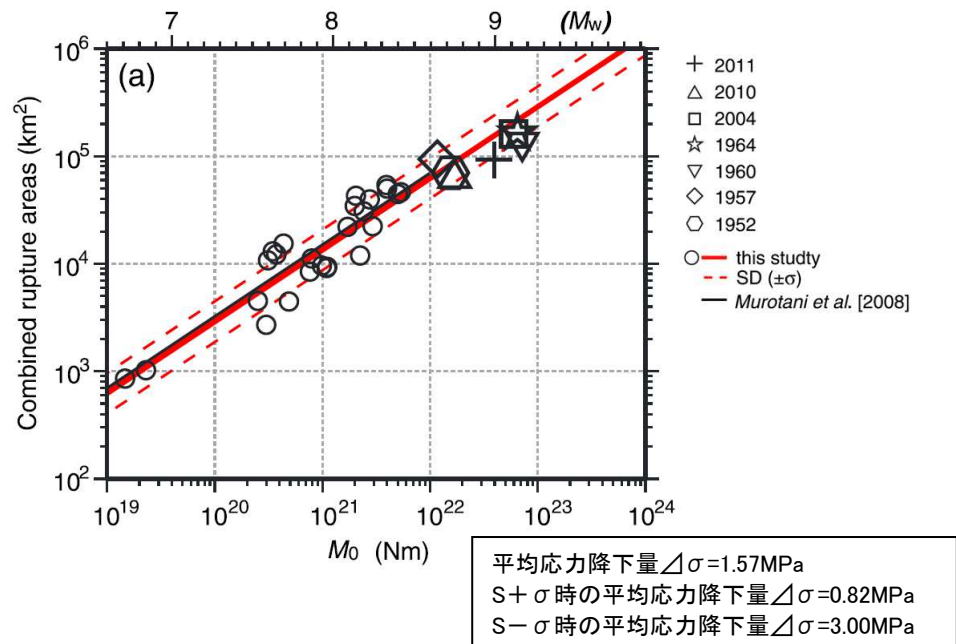


Figure 1. Plate-boundary earthquakes of $M_w \geq 8.5$ (white stars) that have occurred since 1950 from USGS and the seven earthquakes compiled in this paper (black stars). Solid lines indicate transform and spreading plate boundaries. Dashed lines represent subduction boundaries.

M9クラスの巨大地震発生域
(Murotani et al.(2013))

M7~9クラスの地震の断層面積(S)と地震モーメントの関係(Murotani et al.(2013))

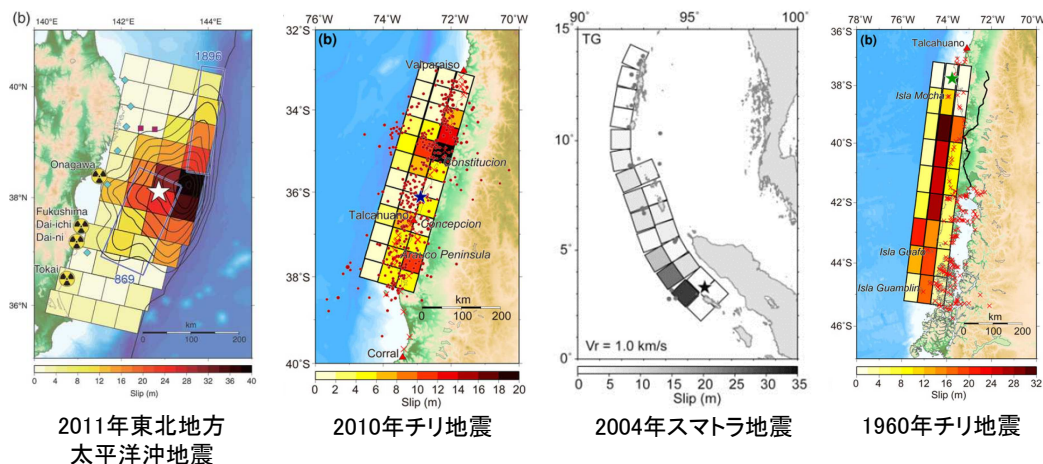
II. 内閣府(2020)

1. 津波波源モデルの取扱い及び津波評価の反映方法

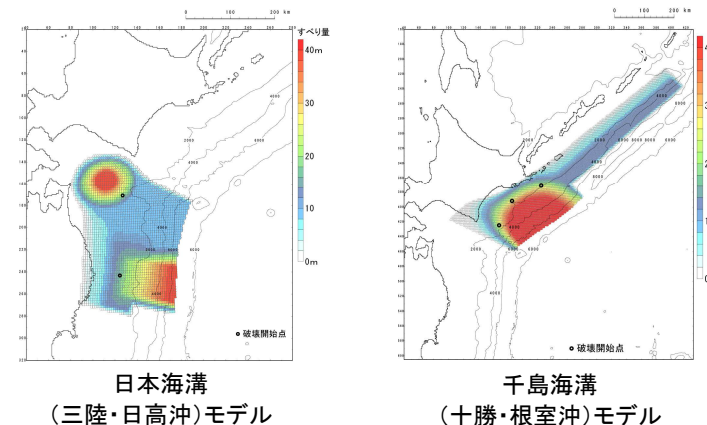
- Murotani et al.(2013)で整理されているM9クラスの巨大地震の断層モデルと内閣府(2020)の日本海溝(三陸・日高沖)モデル及び千島海溝(十勝・根室沖)モデルの地震規模(Mw), 断層面積(S), 地震モーメント(Mo)及び平均応力降下量($\Delta\sigma$)の比較を以下に示す。
- 日本海溝(三陸・日高沖)モデル, 千島海溝(十勝・根室沖)モデルの平均応力降下量($\Delta\sigma$)は約6(MPa)であり, M9クラスの巨大地震の平均応力降下量を大きく上回ることを確認した。

地震	地震規模 Mw	断層面積 S (10 ³ km ²)	地震モーメント Mo (10 ²² Nm)	平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	備考
2011年東北地方太平洋沖地震	9.0	110	3.9	2.60	Satake et al.(2013)
2010年チリ地震	8.8	90	1.7	1.53	Fujii and Satake (2013)
2004年スマトラ地震	9.1	220	6.0	1.42	Fujii and Satake (2007)
1964年アラスカ地震	9.1	184.16	6.5	2.00	Johnson et al.(1996)
1960年チリ地震	9.2	135	7.2	3.54	Fujii and Satake (2013)
1957年アリューシャン地震	8.6	172.5	1.2	0.41	Johnson et al.(1994)
1952年カムチャツカ地震	8.7	120	1.5	0.88	Johnson and Satake (1999)
日本海溝(三陸・日高沖)モデル	9.1	76.3	5.2	6.02	内閣府(2020)
千島海溝(十勝・根室沖)モデル	9.3	123.14	10.7	6.03	内閣府(2020)

【Murotani et al.(2013)で用いた巨大地震(代表例)】



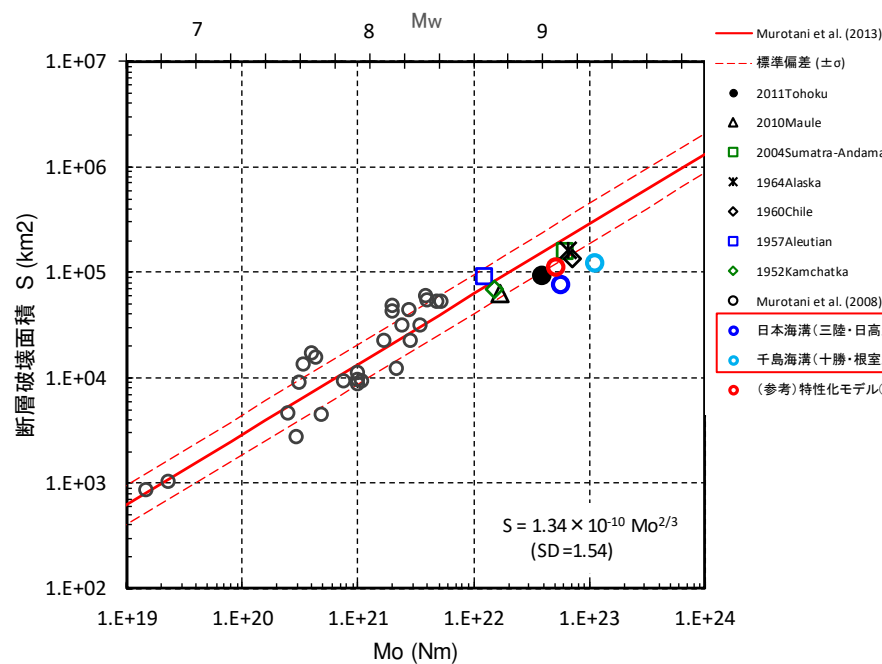
【内閣府(2020)】



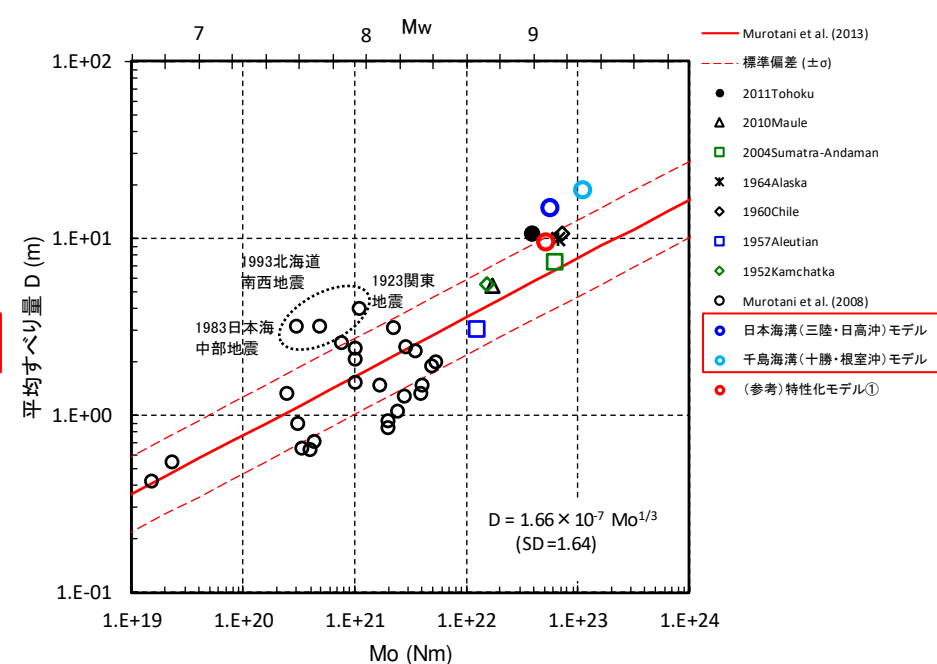
II. 内閣府(2020)

1. 津波波源モデルの取扱い及び津波評価の反映方法

- Murotani et al.(2013)によるM7~9クラスの地震の断層面積(S)と地震モーメント(M_0), 平均すべり量(D)と地震モーメント(M_0)の関係に対する内閣府(2020)による日本海溝(三陸・日高沖)モデル, 千島海溝(十勝・根室沖)モデルの比較を以下に示す。
- 内閣府(2020)モデルは, 断層面積に対して地震モーメント, 平均すべり量が大きく, 過去に発生した巨大地震のスケーリング則から大きく外れることを確認した。



断層面積(S)と地震モーメント(M_0)の関係
(Murotani et al.(2013)一部修正・加筆)



平均すべり量(D)と地震モーメント(M_0)の関係
(Murotani et al.(2013)一部修正・加筆)

Ⅱ. 内閣府(2020)

1. 津波波源モデルの取扱い及び津波評価の反映方法

- ・ 内閣府(2020)による津波波源モデルの評価上の反映方法を整理するため、国内外で発生したM9クラスの地震の平均応力降下量, Murotani et al. (2013)によるM7~9クラスの地震の断層面積(S)と地震モーメント(M_0), 平均すべり量(D)と地震モーメント(M_0)の関係と比較した。
- ・ 検討の結果, 内閣府(2020)による津波波源モデルは, そのモデル設定の特性^{※1}から, 過去に発生した巨大地震の平均応力降下量を大きく上回るとともに, スケーリング則から大きく外れることを確認した。
- ・ 以上から, 基準津波の策定にあたっては, 内閣府(2020)によるすべり量等のモデル化の手法は考慮せず, 行政機関による既往評価^{※2}と位置付けて, 内閣府(2020)の津波波源モデルによって評価される津波水位との比較を行う。

※1: 岩手県から北海道太平洋沿岸地域における過去6000年間の津波堆積物資料を基に推定されたモデル

※2: 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, 平成25年6月

参考文献

参考文献

1. 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
2. Mansinha, L. and D.E. Smylie (1971) : The displacement fields of inclined faults, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.61, No.5, pp.1433-1440
3. 公益社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会(2016) : 原子力発電所の津波評価技術 2016
4. 内閣府(2012) : 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告) 巻末資料, 南海トラフの巨大地震モデル検討会
5. 内閣府(2020) : 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について(概要報告), 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会
6. Kanamori, H. and D. L. Anderson (1975) : Theoretical basis of some empirical relations in seismology, Bulletin of the Seismological Society of America, 65, 1073-1095.
7. Somerville, P.G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada (1999) : Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, 70, pp.59-80.
8. 入倉孝次郎(2004) : 強震動予測レシピ — 大地震による強震動の予測手法 —, 京都大学防災研究所年報 第47号 A
9. Satoko Murotani, Kenji Satake and Yushiro Fujii (2013) : Scaling relations of seismic moment, rupture area, average slip and asperity size for M~9 subduction zone earthquakes, Geophysical Research Letters, Vol.40, pp.5070-5074
10. Satoko Murotani, Hiroe Miyake, and Kazuki Koketsu (2008) : Scaling of characterized slip models for plate-boundary earthquakes, Earth Planets Space, 60, 987-991.
11. 杉野英治・岩淵洋子・橋本紀彦・松末和之・蛭澤勝三・亀田弘行・今村文彦(2014) : プレート間地震による津波の特性化波源モデルの提案, 日本地震工学会論文集, 第14巻, 第5号
12. Kenji Satake, Yushiro Fujii, Tomoya Harada and Yuichi Namegaya (2013) : Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data, Bulletin of the Seismological Society of America, 103 (2B): 1473-1492
13. YUSHIRO FUJII and KENJI SATAKE (2013) : Slip Distribution and Seismic Moment of the 2010 and 1960 Chilean Earthquakes Inferred from Tsunami Waveforms and Coastal Geodetic Data, Pure and Applied Geophysics, DOI 10.1007/s00024-012-0524-2
14. Yushiro Fujii and Kenji Satake (2007) : Tsunami Source of the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake Inferred from Tide Gauge and Satellite Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 97, No. 1A, pp. S192-S207, doi: 10.1785/0120050613
15. Jean M. Johnson, Kenji Satake, Sanford R. Holdahl and Jeanne Sauber (1996) : The 1964 Prince William Sound earthquake: Joint inversion of tsunami and geodetic data, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 101, NO. B1, PAGES 523-532
16. Johnson, J.M., Y. Tanioka, L. J. Ruff, K. Satake, H. Kanamori, and L. R. Sykes (1994) : The 1957 great Aleutian earthquake, Pure Appl. Geophys., 142, 3-28.
17. Jean M. Johnson and Kenji Satake (1999) : Asperity Distribution of the 1952 Great Kamchatka Earthquake and its Relation to Future Earthquake Potential in Kamchatka, Pure and Applied Geophysics, pp.541-553