

東海第二発電所

津波対策について

平成31年3月22日

日本原子力発電株式会社

目 次

1. 津波評価のあらまし	2- 1
2. 津波の区分と防護方針	2- 8
3. 基準津波に対する対策	2- 9
4. 敷地に遡上する津波に対する対策	2-13
補 足	2-18
解 説	2-27

1. 津波評価のあらまし(1) (東海第二発電所 位置図)



- 東海第二発電所は東海村の北東部に位置し、発電所敷地の広さは約75万 m^2 であり、太平洋に面して位置する。
- 東海第二発電所の原子炉建屋等の設置位置はT.P.+8mである。
- 発電所を取り囲むように、防潮堤を設置する。(高さ T.P.+18m～T.P.+20m)



1. 津波評価のあらまし(2) (津波評価の流れ)



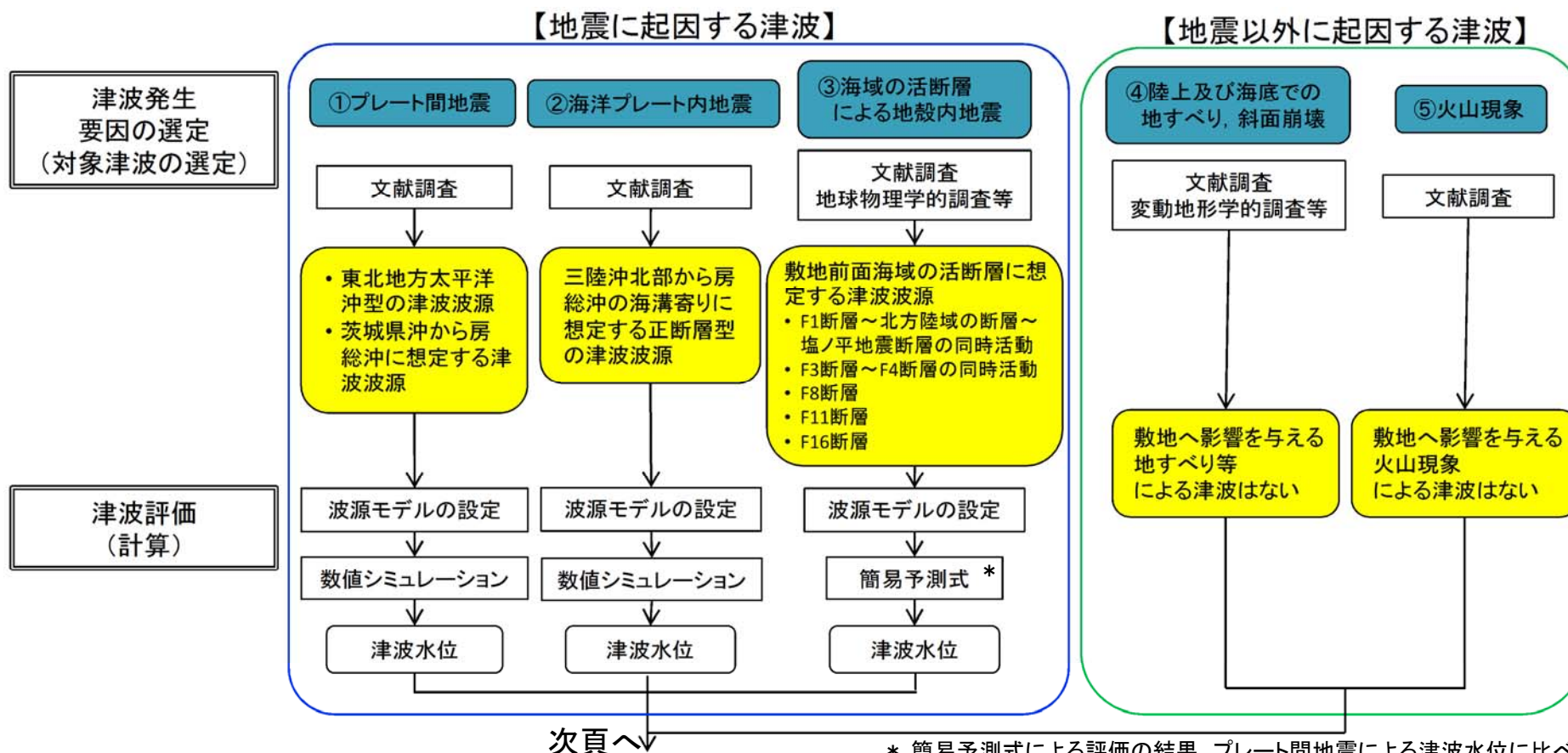
● 津波発生要因の選定

最新の知見等を踏まえ、津波を発生させる以下の要因を検討し、それぞれの対象津波を選定する。

- ①プレート間地震, ②海洋プレート内地震, ③海域の活断層による地殻内地震,
- ④陸上及び海底での地すべり, 斜面崩壊, ⑤火山現象

● 津波の評価(計算)

津波の波源モデルを設定し、数値シミュレーションにより津波水位を計算する。



* 簡易予測式による評価の結果、プレート間地震による津波水位に比べ水位が低いことが推定されるため、数値シミュレーションを省略

1. 津波評価のあらまし(3) (津波評価の流れ)



● 基準津波の選定

それぞれの対象津波による津波水位を比較し、発電所に与える影響が最も大きい津波を基準津波として選定

⇒「①プレート間地震」による「茨城県沖から房総沖」で発生する津波が発電所に最も大きな影響を与えることを確認

⇒上記の津波を基準津波として選定

● 基準津波を踏まえた対策

選定した基準津波に対して、発電所を防護するための津波対策(耐津波設計)を実施

「① プレート間地震」を選定

前頁より

基準津波の選定	①プレート間地震	「茨城県沖から房総沖」で発生する津波が発電所に最も大きな影響を与える。	
	②海洋プレート内地震	プレート間地震による津波の最大高さを上回る津波はない。	
	③海域の活断層による地殻内地震		
	④地すべりや斜面崩壊	敷地へ影響を与える地すべり、火山現象等による津波はない。	
	⑤火山現象		

津波対策(耐津波設計)

基準津波の選定(①プレート間地震)

最高水位 : T.P.+17.1m (防潮堤前面)

最低水位 : T.P. -4.9m (取水口前面)

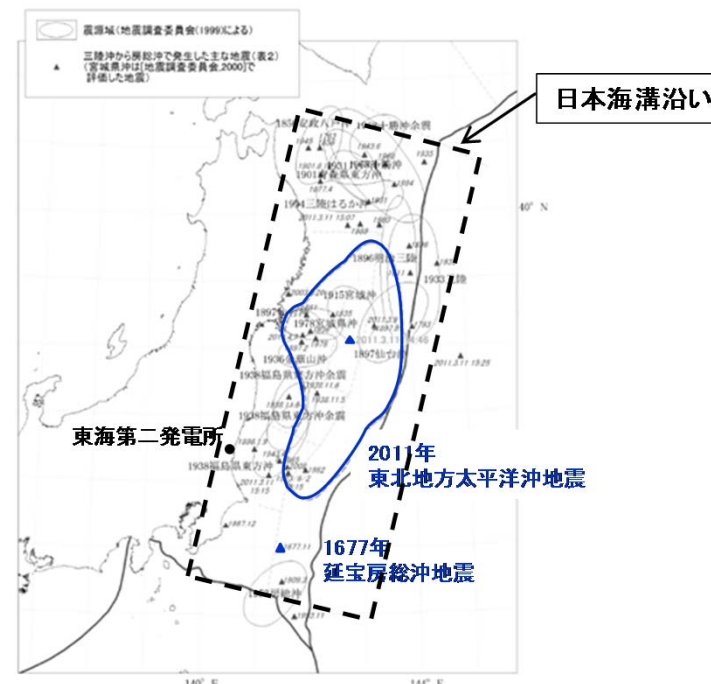
1. 津波評価のあらまし(4) (地震に起因する津波 ①プレート間地震に起因する津波)



- 過去に発生した地震規模M8以上(国外においてはM9クラス)の津波の中で、敷地に比較的大きな影響を及ぼしたと考えられる既往津波は、**日本海溝沿いで発生したプレート間地震による津波**である。
- ・1677年延宝房総沖地震津波: 茨城県那珂湊(現ひたちなか市): 4.5~5.5m
 - ・2011年東北地方太平洋沖地震津波(東海第二発電所): 概ね5~6m(最大6.5m)

過去に発生した大規模な地震

領域		名称	地震規模		文献調査結果
			Mj	Mw	
近地津波	日本海溝沿い	869年の津波	8.3 ±1/4	—	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
		1611年の津波	≒8.1	8.3	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
		1677年延宝房総沖地震津波	≒8.0	8.2	茨城県那珂湊(現ひたちなか市)で4.5～5.5m
		1793年宮城県沖地震に伴う津波	8.0～8.4	—	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
		1896年明治三陸地震津波	8・1/4	8.3	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
		2011年東北地方太平洋沖地震津波	8.4	9.0	発電所で概ね5～6m(最大6.5 m)
	千島海溝沿い	1968年十勝沖地震に伴う津波	7.9	8.2	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
		17世紀初頭の地震(500年間隔地震)に伴う津波	—	8.8	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
	伊豆・小笠原海溝沿い	1972年八丈島東方沖地震津波	7.2	M ₁₀ 7.5	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
遠地津波		1700年カスケード地震津波	—	9.0	茨城県那珂湊(現ひたちなか市)で約2m
		1952年カムチャッカ地震津波	—	9.0	福島県沿岸で約0.5～1.5m
		1960年チリ地震津波	—	9.5	茨城県久慈港で約2.3m
		1964年アラスカ地震津波	—	9.2	小名浜で0.35m, 銚子で0.36m



三陸沖から房総沖にかけての主な地震と主な震源域
(地震調査研究推進本部(2012)に加筆)

1. 津波評価のあらまし(5) (地震に起因する津波 ①プレート間地震に起因する津波)



●過去に発生した津波を調査した上で、日本海溝沿いで生じた地震津波のうち、2011年東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえて下記の二つの波源を設定した。

I. 東北地方太平洋沖型の津波波源

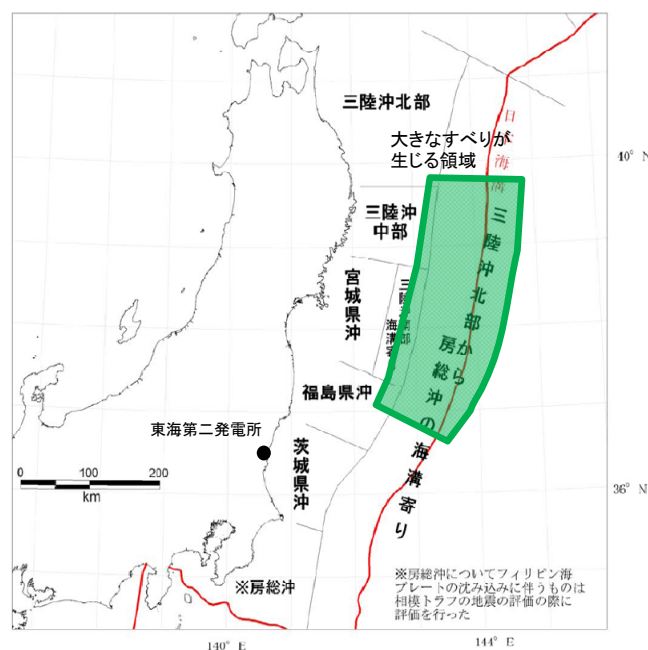
- ・2011年東北地方太平洋沖地震が東海第二発電所の敷地に影響を及ぼしたことを踏まえ設定する。
- ・東北地方太平洋沖型の津波波源で大きなすべりが生じる領域は、三陸沖中部から福島県沖及びその沖合の海溝軸付近の領域とする。

II. 茨城県沖に想定する津波波源

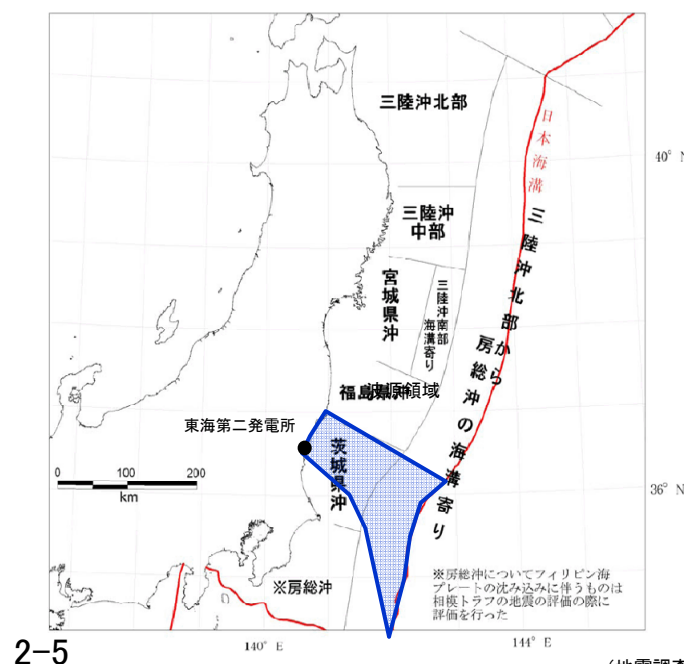
- ・1677年延宝房総沖地震が東海第二発電所立地地域に影響を及ぼしたことを踏まえ茨城県沖に設定する。
- ・茨城県沖に想定する津波波源については、2011年東北地方太平洋沖地震で大きなすべりが生じていない領域とする。なお、領域の南限については、北米プレートとフィリピン海プレートの境界とする。*

* 津波波源の地震は北米プレートへの太平洋プレートの沈み込みに伴い発生するため、南側はフィリピン海プレートが境界となる。

【東北地方太平洋沖型の津波波源】



【茨城県沖に想定する津波波源】

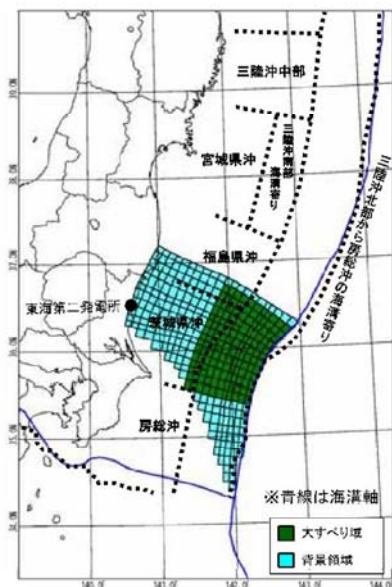


1. 津波評価のあらまし(6) (地震に起因する津波 ①プレート間地震に起因する津波)



- 茨城県沖に想定する津波波源については、波源領域の拡大、超大すべり域の設定及びすべり量の割り増しなど保守性を考慮した(茨城県沖から房総沖に想定する津波波源)。
(津波評価に際しては、4つの保守的な設定を反映し、津波高さを高めに評価)

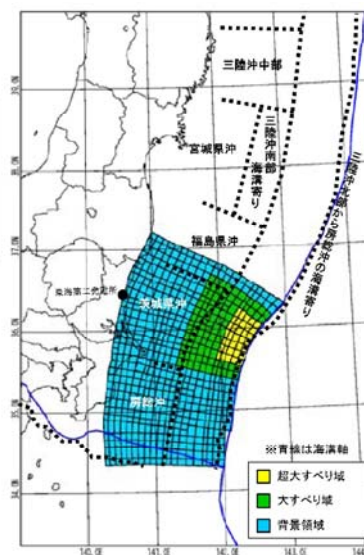
【茨城県沖に想定する津波波源】



保守的設定 1.
波源の南限を房総沖
まで拡大



【茨城県沖から房総沖に想定する津波波源】

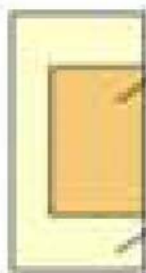


保守的設定 4
大すべり域及び超大す
べり域がプレート境界を
跨いだケースも考慮

保守的設定 2
超大すべり域を
設定



大規模
2段階すべり



超大規模
3段階すべり



保守的設定 3
大すべり域及び超大すべり域
のすべり量を割り増し

* 大すべり, 超大すべりはプレート間の波源領域がすべる大きさを示し、この量と割合を多く設定することで津波高さを高くする効果がある。

1. 津波評価のあらまし(7) (基準津波の選定)



●津波評価の結果は以下のとおり。これを基準津波として選定した。

- ・発電所に最も影響を与える津波は、プレート間地震による津波
- ・最高水位：防潮堤前面 T.P. +17.1 m
- ・最低水位：取水口前面 T.P. - 4.9 m

[概略パラメータスタディ結果]

プレート間地震	防潮堤前面 最大水位上昇量 (m)	取水口前面 最大水位下降量 (m)
東北地方太平洋 沖型の津波波源	8.13	-3.69
茨城県沖に想定 する津波波源	8.17	-4.52

・4つの保守的な設定を追加

プレート間地震	茨城県沖から房総沖 に想定する津波波源
防潮堤前面 最大水位上昇量(m) ※	15.96
取水口前面 最大水位下降量(m) ※	-4.59

・潮位や地殻変動量の考慮

プレート間地震	茨城県沖から房総沖 に想定する津波波源
防潮堤前面 最大水位※	T.P.+17.1m
取水口前面 最大水位※	T.P.-4.9m

基準津波
として策定

※ 申請時から防潮堤の設置ルート等を変更したモデルにおける評価水位

- ・太平洋に面する東海第二発電所における津波に対する安全対策の特徴として、防護対象とする津波高さを以下の二つのとおり設定し、それぞれの津波の特徴に応じた形で発電所の安全確保を図る。

①基準津波(防潮堤前面最高水位T.P.+17.1m)

- ⇒1. に示したとおり、発電所の供用期間中に発電所の安全施設に大きな影響を及ぼす恐れがある津波を定義したもの。
- ⇒発電所に設置する防潮堤(高さT.P.+20m)等により、基準津波を敷地に流入させない対策を図ることで、発電所の安全施設の機能を維持する。

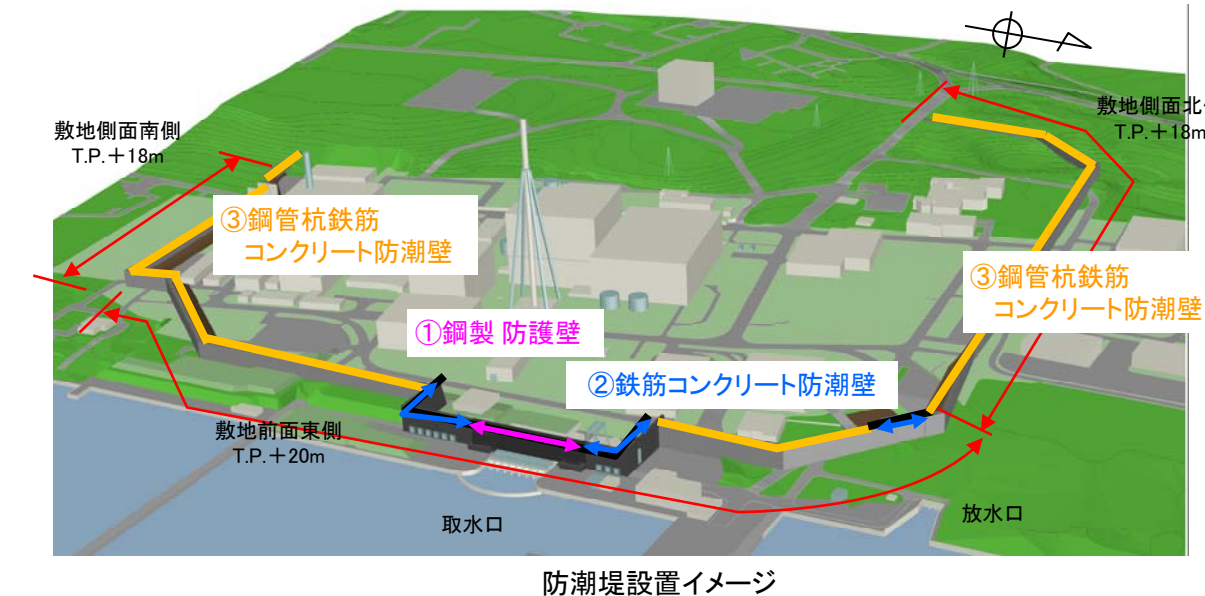
②敷地に遡上する津波(防潮堤前面最高水位T.P.+24m(無限鉛直壁))

- ⇒確率論的評価を用いた津波PRA結果に基づき、基準津波の防潮堤前面高さ(T.P.+17.1m)を上回り、防潮堤高さ(T.P.+20m)を超える津波に対して発電所の防護を行う。
- ⇒防潮堤を超えて敷地に遡上する津波に対して、原子炉建屋の外壁や重大事故等対処設備等に水密対策を施すことで、重大事故対処設備を活用して原子炉等の冷却を可能とする。

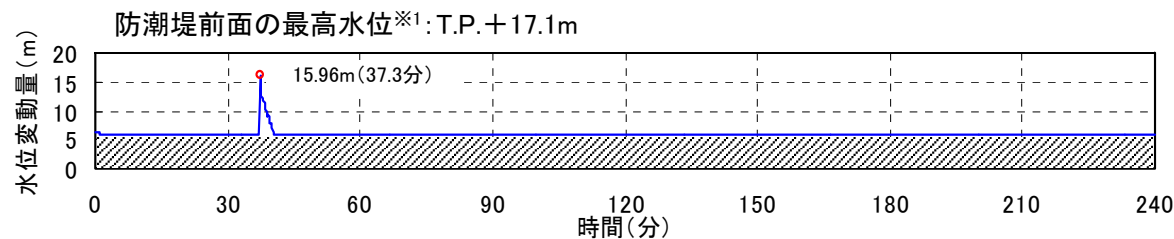
3. 基準津波に対する対策(1)

● 防潮堤の設置

・地上部から敷地への津波の流入を防止するため、敷地を取り囲む形で防潮堤を設置する。



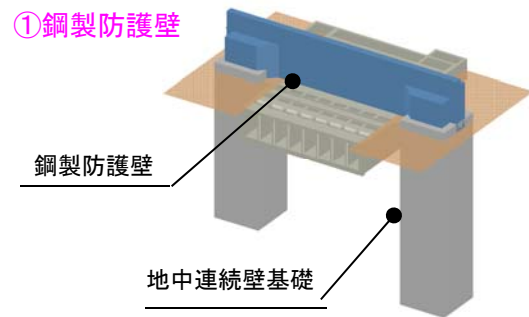
防潮堤設置イメージ



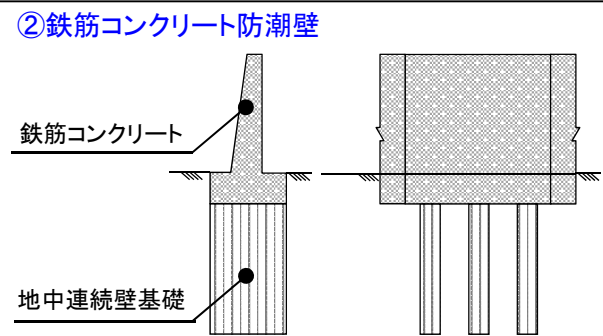
防潮堤前面の最高水位の時刻歴波形

※1: 最大水位上昇量(15.96m)に朔望平均満潮位(T.P.+0.61m)及び地殻変動量(2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動量も含む)を考慮(0.31m, 0.2m)
 $* 15.96 + 0.61 + 0.31 + 0.2 \div 17.1 \text{ m}$

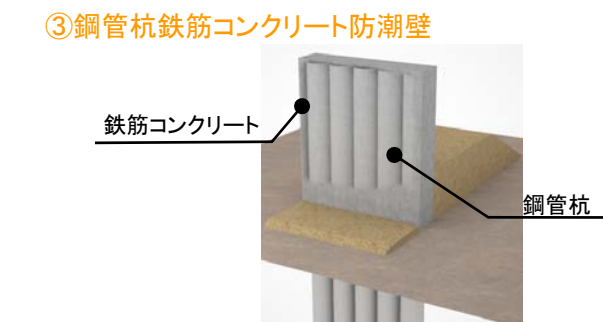
①鋼製防護壁



②鉄筋コンクリート防潮壁



③鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

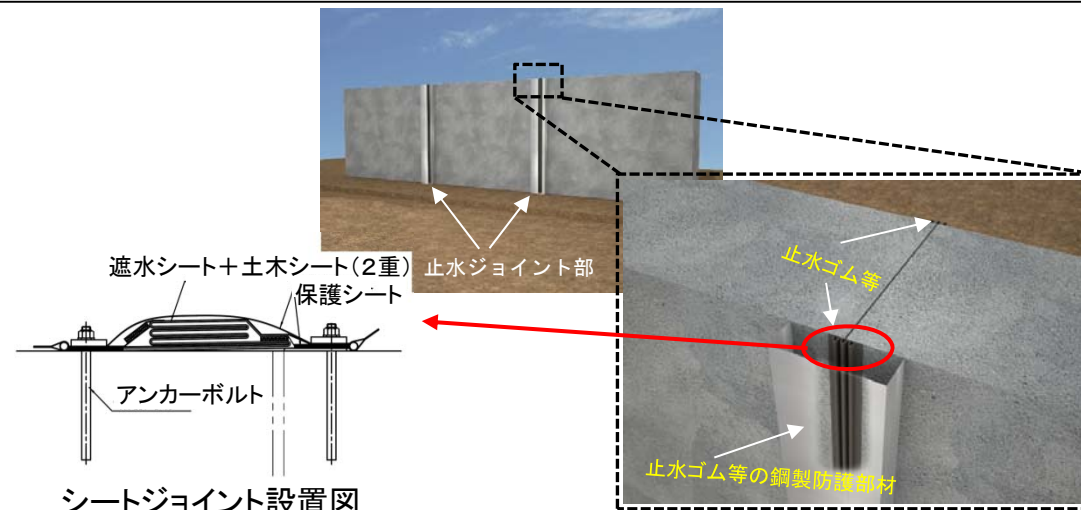
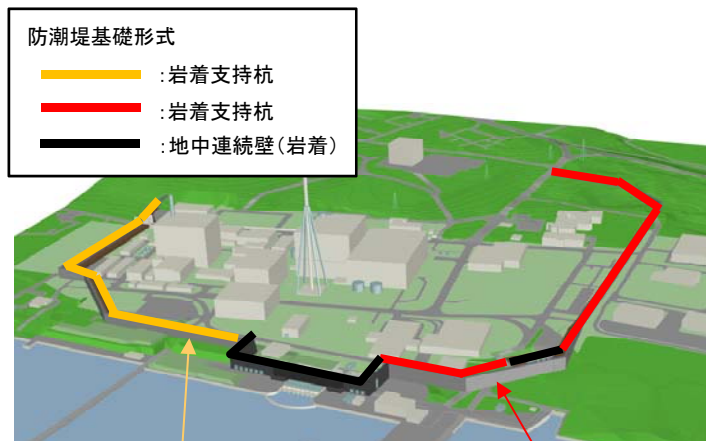


防潮堤の構造イメージ

3. 基準津波に対する対策(2)

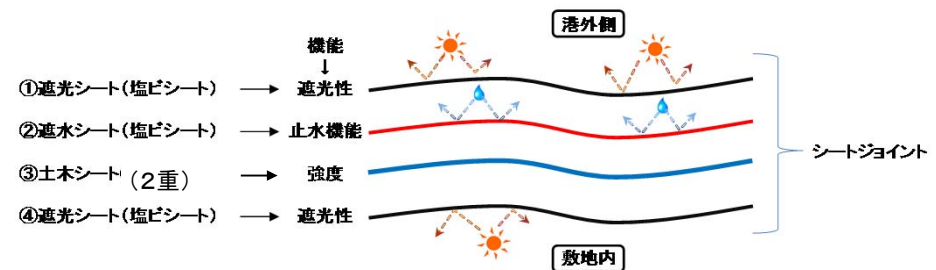
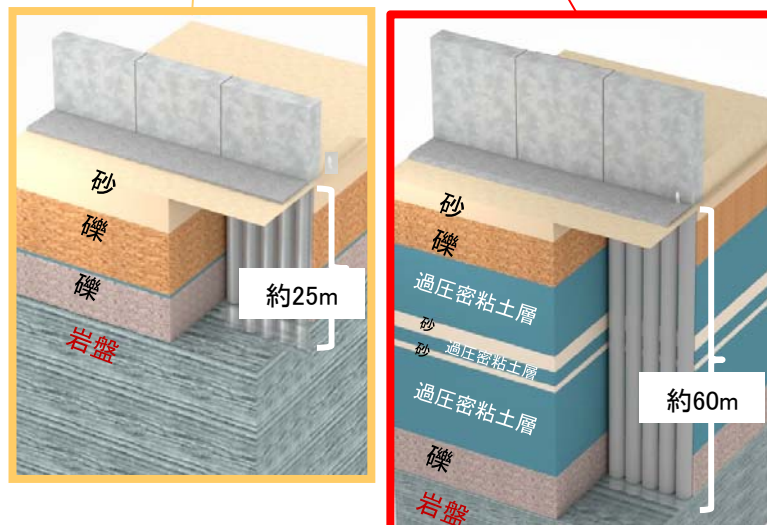
● 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造概要

- ・鋼管杭を地震・津波荷重に耐える構造躯体とし、杭管から津波の浸水を防止する観点で鉄筋コンクリートを被覆する上部構造とした。支持形式については、岩盤に支持させる岩着支持杭形式とする。
- ・防潮壁間には、地震時や津波時の変形量に追随し、津波の浸水を防止する止水ジョイントを設置する。



シートジョイント設置図

- シートジョイントは、遮光シート、遮水シート、土木シートからなり、算定した止水ジョイント部の変形量以上の長さのシートを設置する(各シートを折りたたんで設置する)。
- 遮水シートの耐圧試験を実施し、敷地に遡上する津波の波圧に対しても問題ないことを確認した。
- 耐候性試験を実施し、紫外線に対しても15年以上の健全性を確認した。

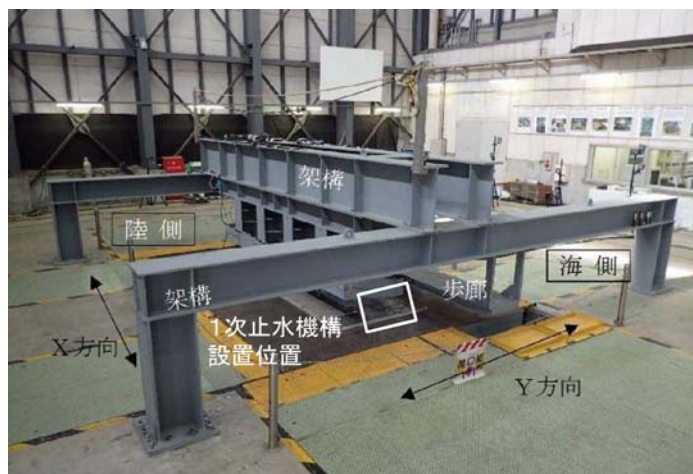
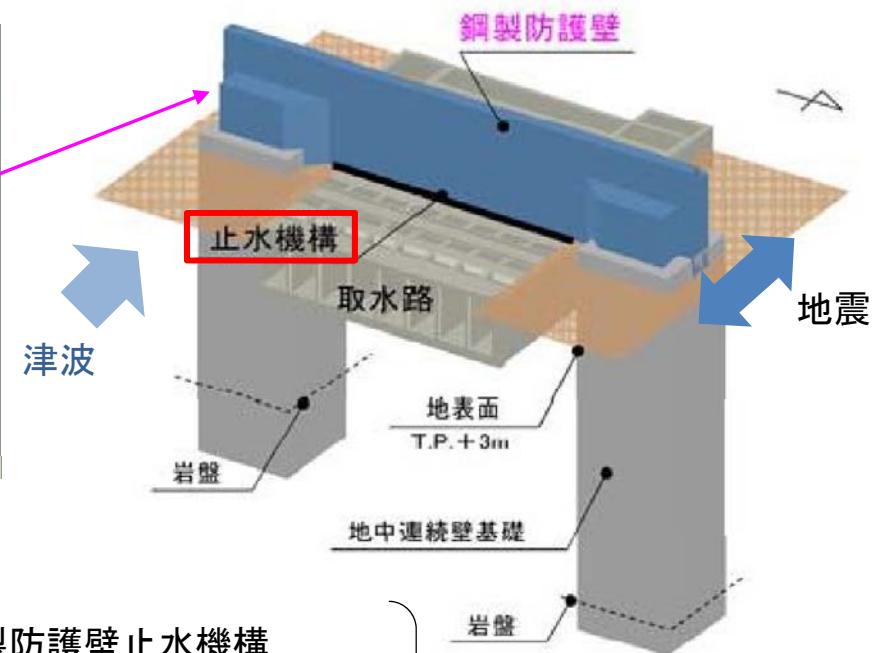


シートジョイント模式図

3. 基準津波に対する対策(3)

● 鋼製防潮壁の構造概要

- ・ 鋼製防護壁の両端に鉄筋コンクリート柱の基礎を岩着させる。鋼製防護壁の下には取水路が位置することから、津波が鋼製防護壁と取水路の隙間から浸水しないよう止水機構を設置する。
- ・ 止水機構は地震及び津波を考慮して試験にて必要な性能を有することを確認している。



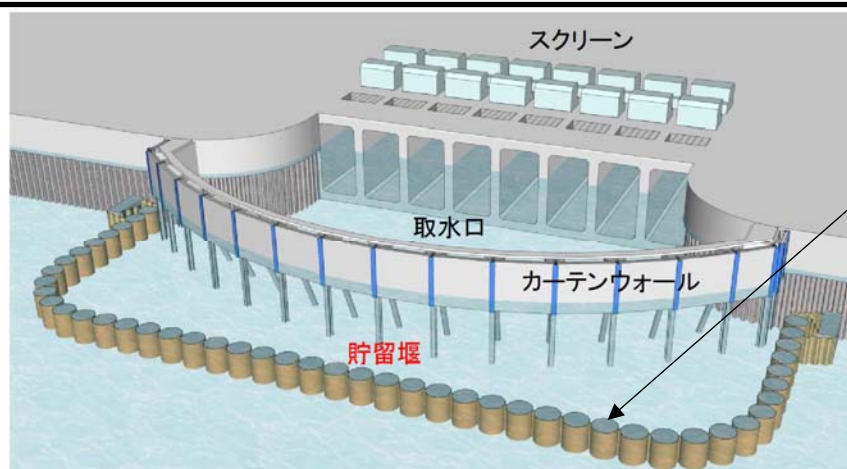
鋼製防護壁止水機構 実証試験状況

- ・ 加振試験装置により、地震による鋼製防護壁と取水路の揺れを模擬
- ・ 止水機構が揺れに追従し、地震後の水密性が損なわれないことを確認

3. 基準津波に対する対策(4)

● 貯留堰の設置

- ・引き波による取水ピット水位の低下に対して、非常用の海水ポンプの取水性を維持するために取水口前面に貯留堰を設置し、水位低下時もポンプを運転可能とする。
- ・貯留堰の有効貯留容量はポンプ全7台が約30分運転継続可能な量(約 $2,370\text{m}^3$)を確保し、津波による水位低下時も残留熱除去系海水ポンプ等の非常用海水ポンプの運転継続性に問題は生じない。
(水位が貯留堰天端高さを下回るのは約3分間)



＜取水口～取水ピット断面図＞

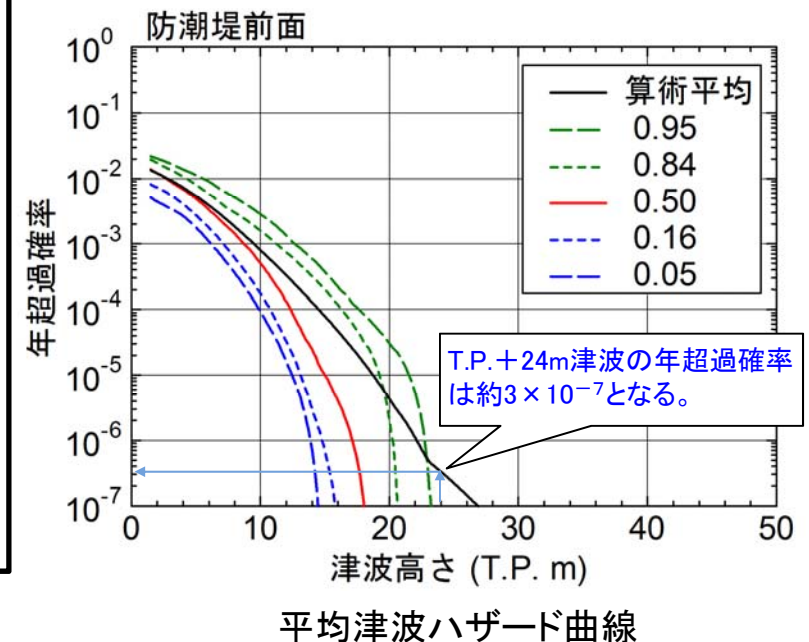
＜貯留堰設置イメージ＞

4. 敷地に遡上する津波に対する対策(1)



●敷地に遡上する津波高さの影響評価

- ・防潮堤前面T.P.+24mの津波を想定
- ・T.P.+24mの津波の発生は、年超過確率が100万年に1回を下回る極めて稀な事象
- ・T.P.+24mの津波襲来時の挙動をシミュレーションした遡上解析を実施、原子炉建屋付近で1m以下の津波浸水が発生することを確認



敷地に遡上する津波による敷地の最大浸水深分布

●敷地に遡上する津波に対する対応方針

防潮堤を越える高さ(T.P.+24m)に至る敷地に遡上する津波の襲来時は、敷地内への浸水により屋外作業が制限されることを踏まえ、重大事故等対処設備の対応方針について以下のとおりとする。

①津波防護を施した常設設備による対応を基本とする。

原子炉の熱を海に逃がすための常設設備として、緊急用海水系を設置するとともに、浸水深さの範囲にある施設の開口部を水密化して、防潮堤を越える津波に対して防護する。

②高所に配置した可搬型重大事故等対処設備による対応も可能とする。

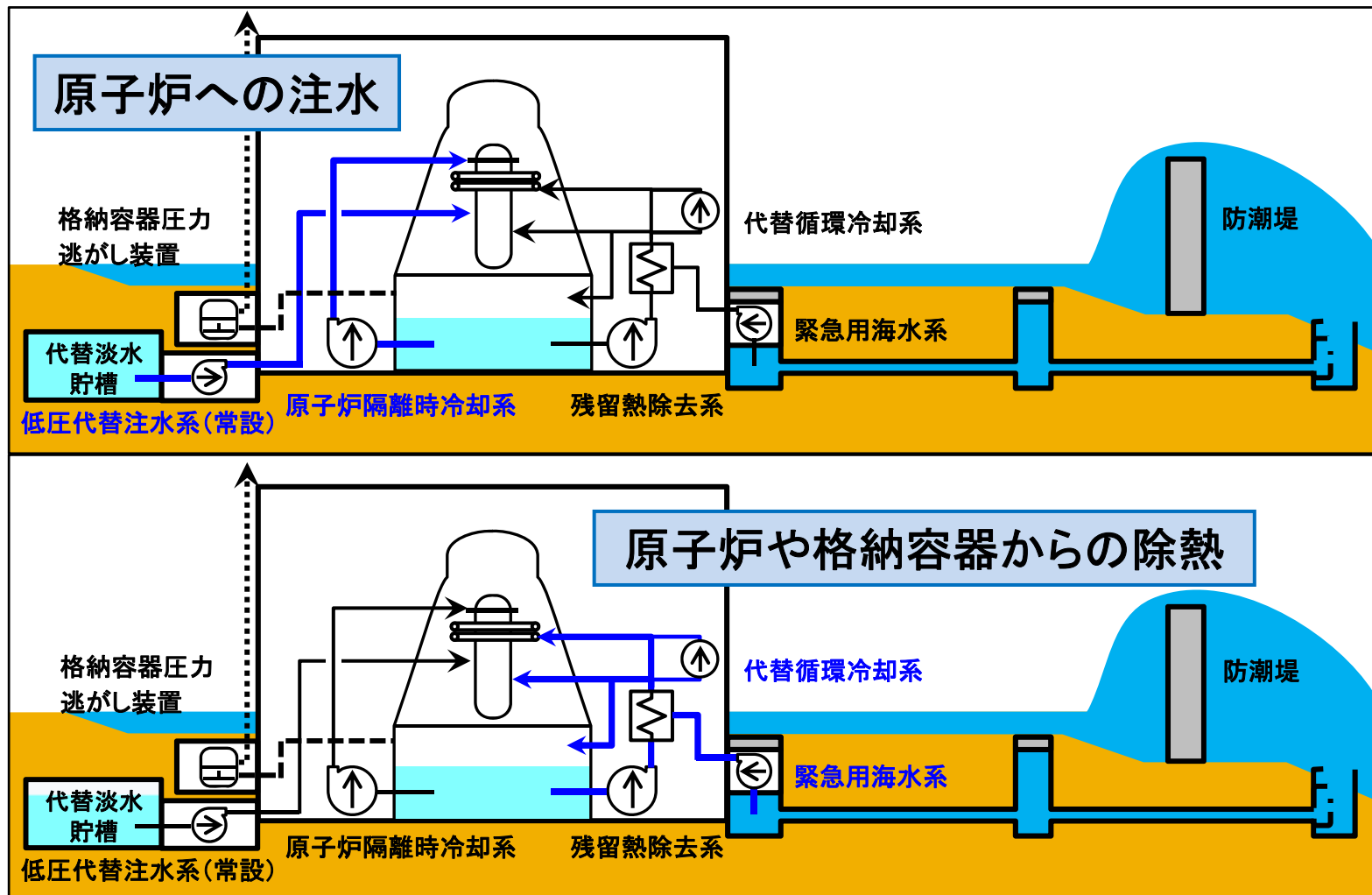
不測の事態により、上記の常設設備が一定期間は使用できない場合も想定し*，可搬型設備による対応を確実にするため、津波の影響がない高所に注水用の接続口及び水源を設置する。

* 全交流電源喪失が1日継続することを想定し、この間は常設設備が運転不能と仮定する。
(実際には交流電源を早期に確保可能だが、保守的な扱いを仮定)

4. 敷地に遡上する津波に対する対策(3)

●①津波防護を施した常設設備による対応

- ・敷地に遡上する津波時の対応として、屋外作業を要せずに原子炉注水や海(最終ヒートシンク)への熱輸送を行う常設設備として、緊急用海水系等を設置する。
- ・これらの設備を水密化して、敷地に遡上する津波に対して防護する。

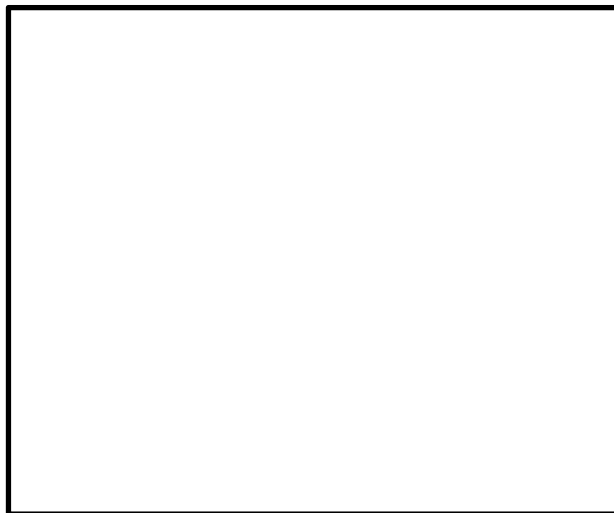


4. 敷地に遡上する津波に対する対策(4)

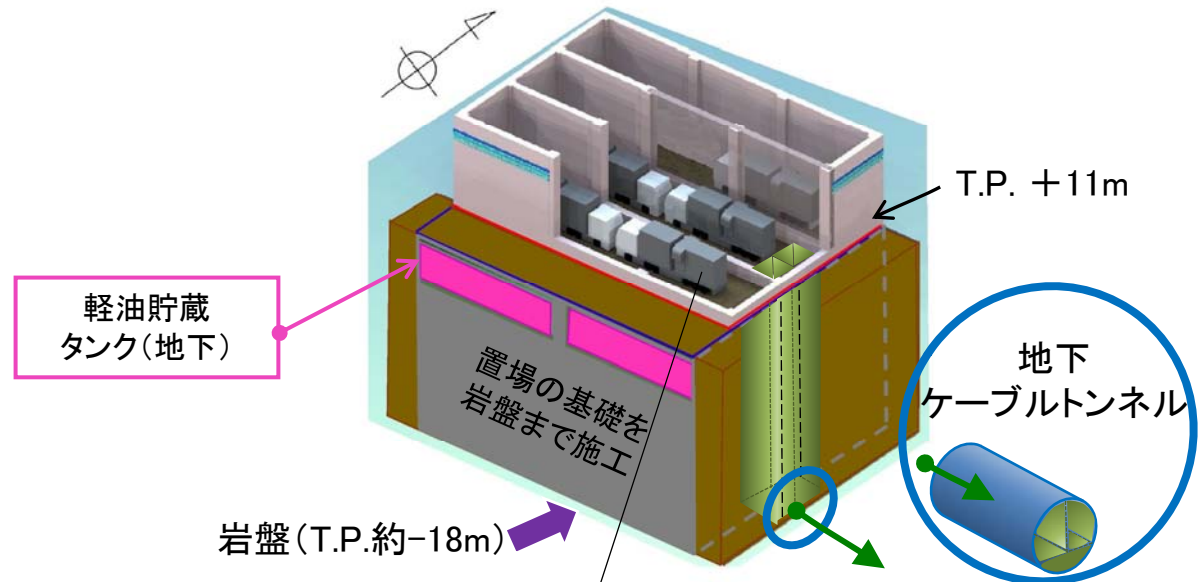


●①津波防護を施した常設設備による対応

- ・高所(T.P.+11m)に常設代替高圧電源装置を設置, 地下ケーブルトンネル経由で重大事故等時の電源を確保
- ・電源装置燃料を貯蔵する軽油貯蔵タンクは防火対策で地下化, 事故後100%負荷で7日間分の容量確保
- ・中央制御室から遠隔操作により電源装置を起動可能, 燃料補給も自動補給可能で現場作業は不要



常設代替高圧電源装置設置場所



常設代替高圧電源装置

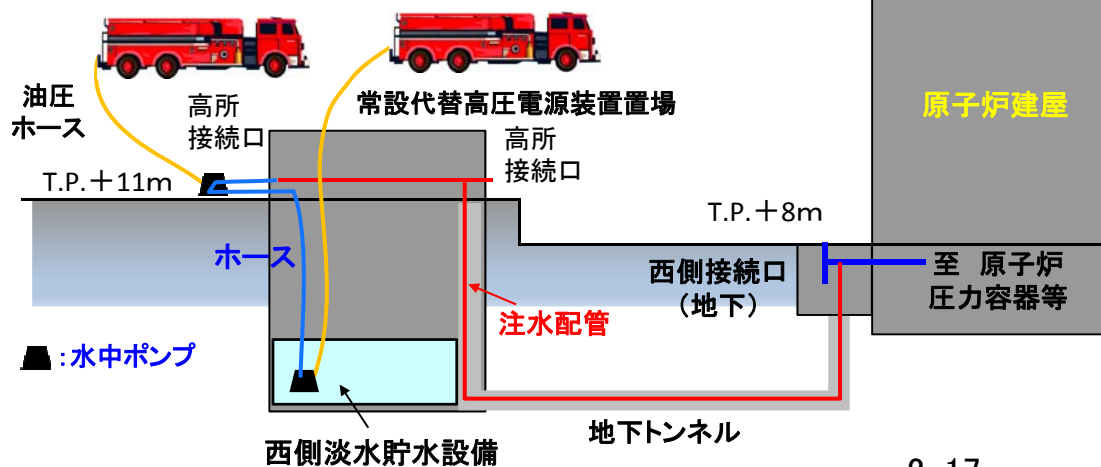
- 主な仕様
- ・エンジン:
ディーゼルエンジン
 - ・容量: 1,725kVA
 - ・電圧: 6,600V
 - ・台数: 5(予備1)

4. 敷地に遡上する津波に対する対策(5)



●②高所に配備した可搬型設備による対応

可搬型代替注水中型ポンプ 可搬型代替注水中型ポンプ



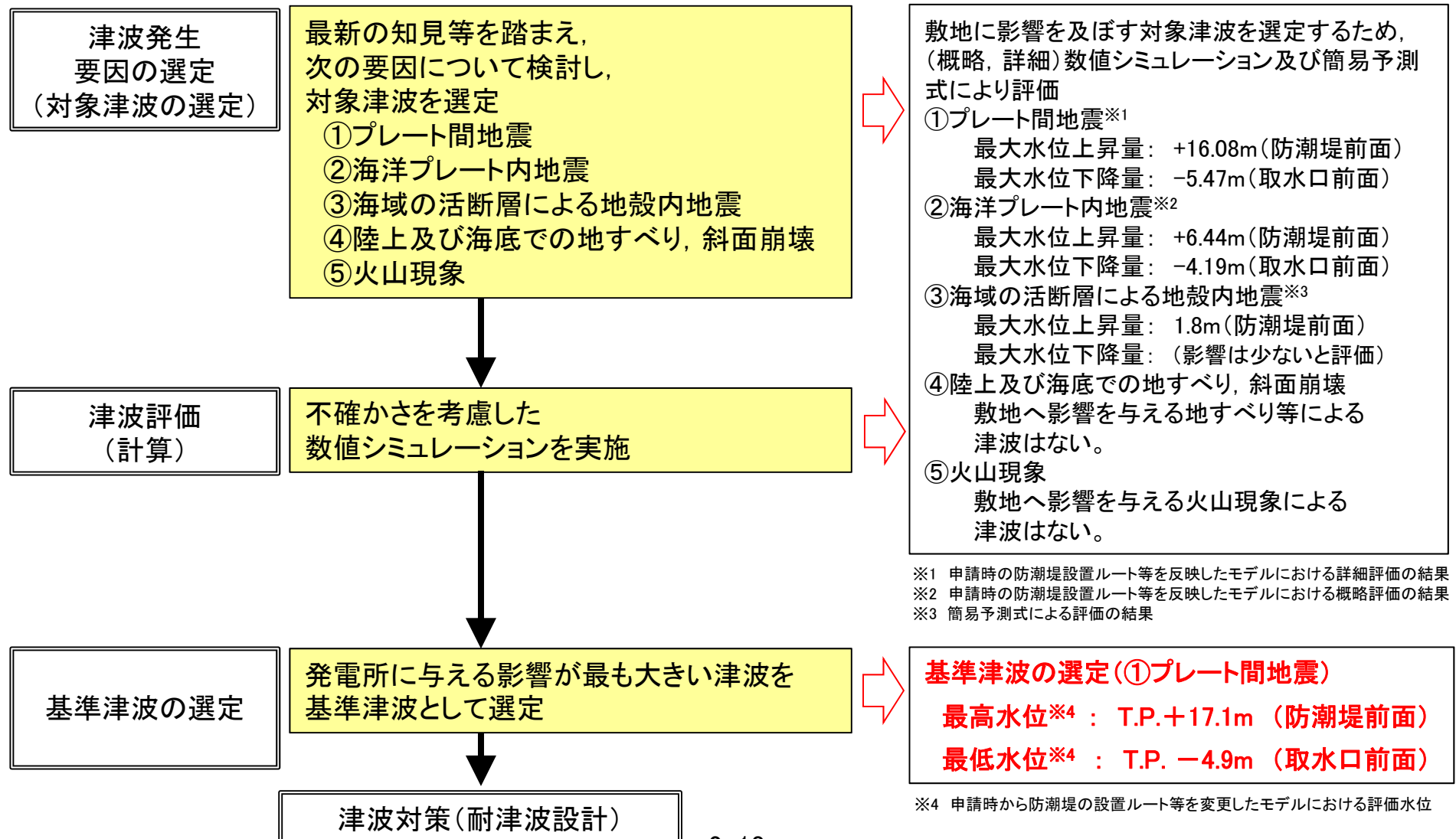
高台 (T.P. +25m) に配備されたポンプ車を
高所のアクセスルートを経由して
T.P. +11m 高さまで移動

西側淡水貯水設備に水中ポンプを投入
送水用ホースを高所接続口に接続
注水配管を経由して原子炉建屋側に送水

- ・敷地に遡上する津波の影響を受けない
敷地高さ (T.P. +11m 以上) で外部作業完結
- ・可搬型設備で原子炉等への注水達成

● 基準津波の評価

東海第二発電所の津波発生要因の選定、津波評価及び基準津波の選定の結果は以下のとおり。



【補 足】 発電所敷地概要(1) 安全性向上対策後の発電所イメージ



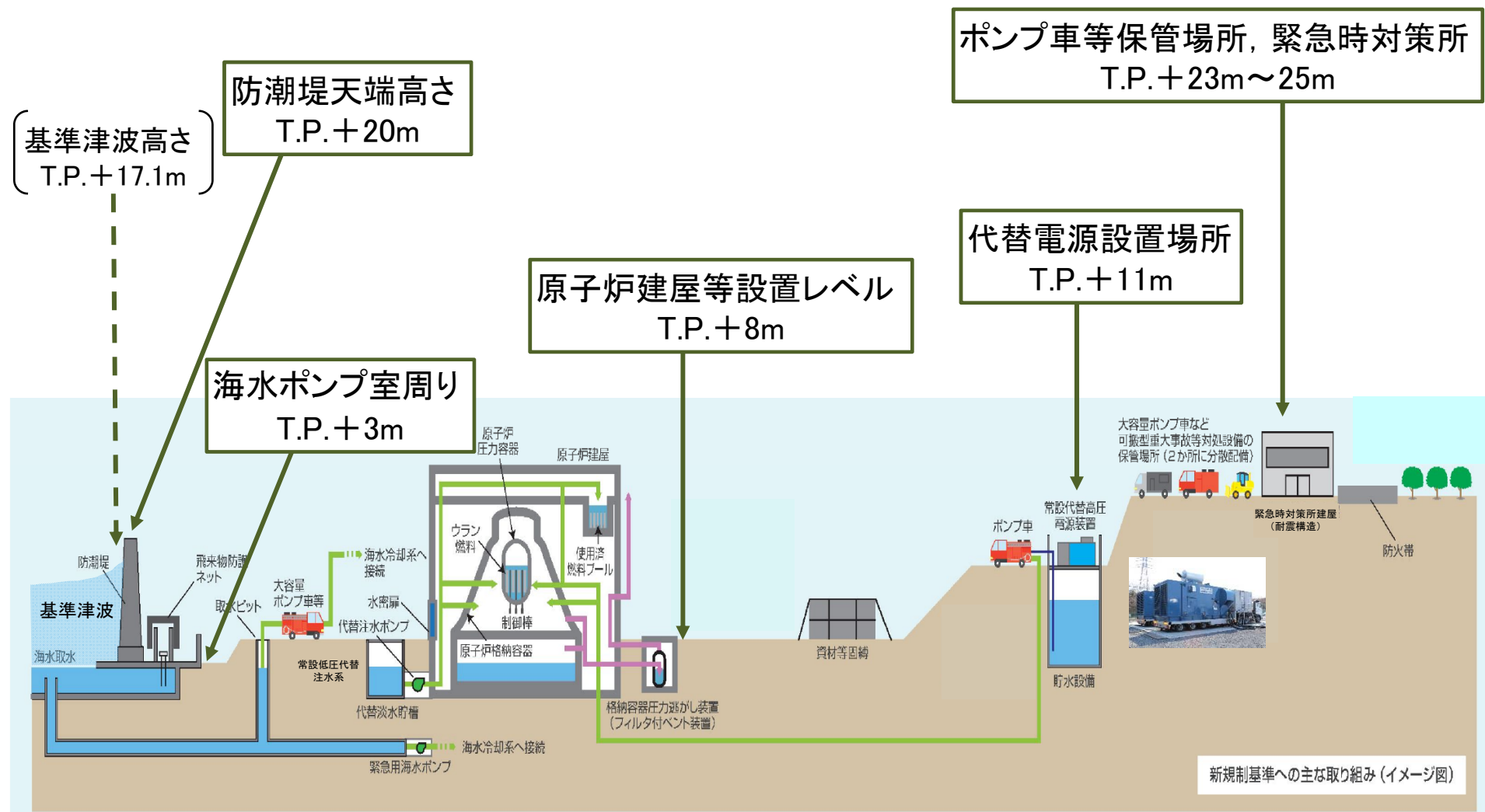
- 発電所の敷地を取り囲むように防潮堤を設置, 防潮堤内に複数のアクセスルートを確保
- 東海第二発電所の現在の敷地は低所T.P.+3m～高所T.P.+11m。これに加えて敷地に遡上する津波の影響を受けない, より高い敷地(～T.P.+25m)を確保し, 可搬型重大事故等対処設備(ポンプ車, 電源車等)を配備。また緊急時対策所を設置

【補 足】 発電所敷地概要(2) 各施設の設置高さ



● 東海第二発電所の各施設の設置高さの関係は下図のとおり。

- ・ 低所T.P.+3m～高所T.P.+11m
- ・ 敷地に遡上する津波の影響を受けない, より高い敷地(～T.P.+25m)も確保



【補 足】 基準津波に対する対策



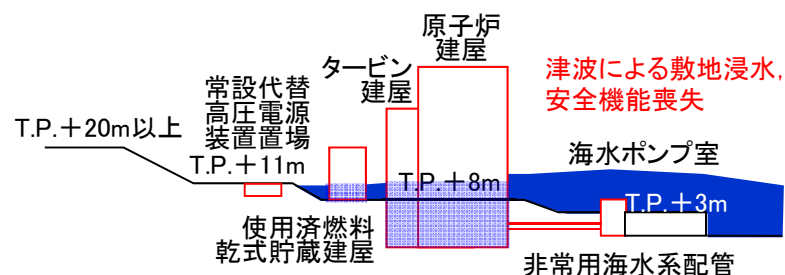
● 基準津波に対する防護方針

- ・防潮堤等の設置により，津波が襲来した場合でも敷地内への津波の流入を防ぐことが可能
- ・非常用の海水ポンプや原子炉建屋内機器の機能維持，電源機能・原子炉冷却機能等を確保可能

津波防護対象施設※1	設置標高
①原子炉建屋	T.P.+8m
②タービン建屋	
③排気筒	
④使用済燃料乾式貯蔵建屋	
⑤常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部，立坑及びカルバート含）	T.P.+8m（地下部）
⑥常設代替高圧電源装置置場（軽油貯蔵タンク，燃料移送ポンプ，東側DB立坑含）	T.P.+11m
⑦海水ポンプ室	T.P.+3m
⑧非常用海水系配管	T.P.+3m～ T.P.+8m

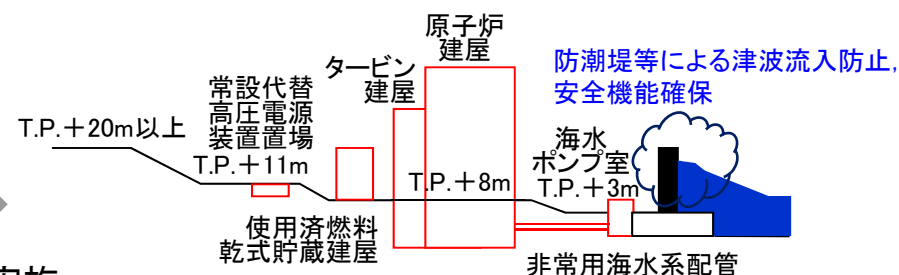
□ : 設計基準対象施設の津波防護対象

東海第二発電所 設計基準対象施設の津波防護対象 配置図



①防潮堤等設置 前

津波対策実施
2-21



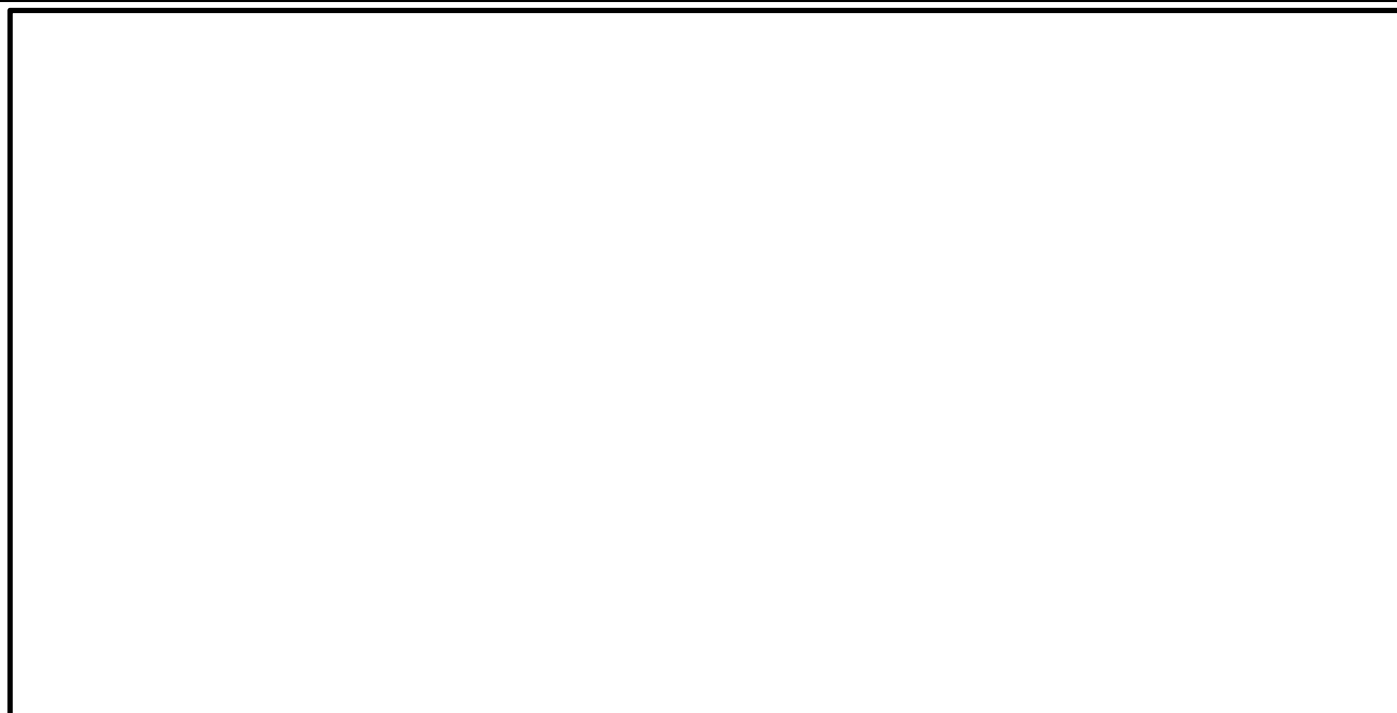
②防潮堤等設置 後

【補 足】 敷地に遡上する津波に対する対策(1)



●敷地に遡上する津波に対する防護方針

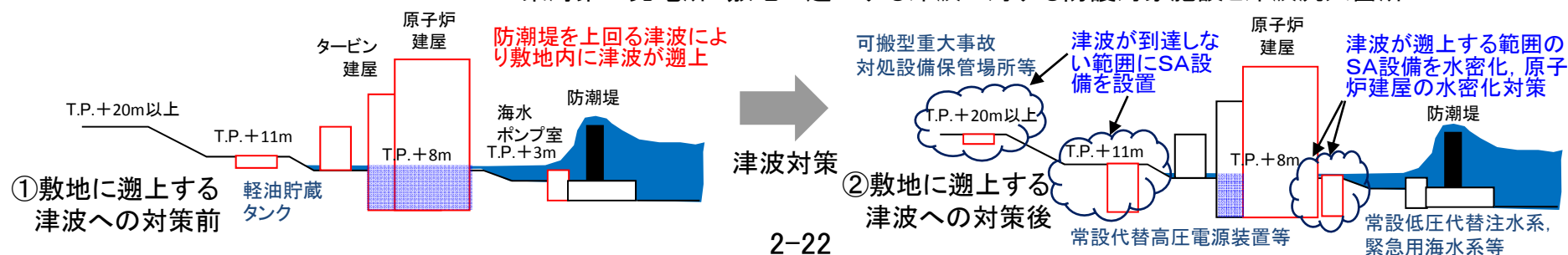
- ・設備の水密化対策, 津波が到達しない高さへの設備の設置等により, 津波の影響を緩和
- ・代替の電源, 注水ポンプ, 海水系, 電源車, ポンプ車等が活用可能, 原子炉冷却等の機能を確保



□ : 敷地に遡上する津波に対する防護対象施設

□ : 地下部からの津波の流入経路

東海第二発電所 敷地に遡上する津波に対する防護対象施設と津波流入箇所



【補 足】 敷地に遡上する津波に対する対策(2)

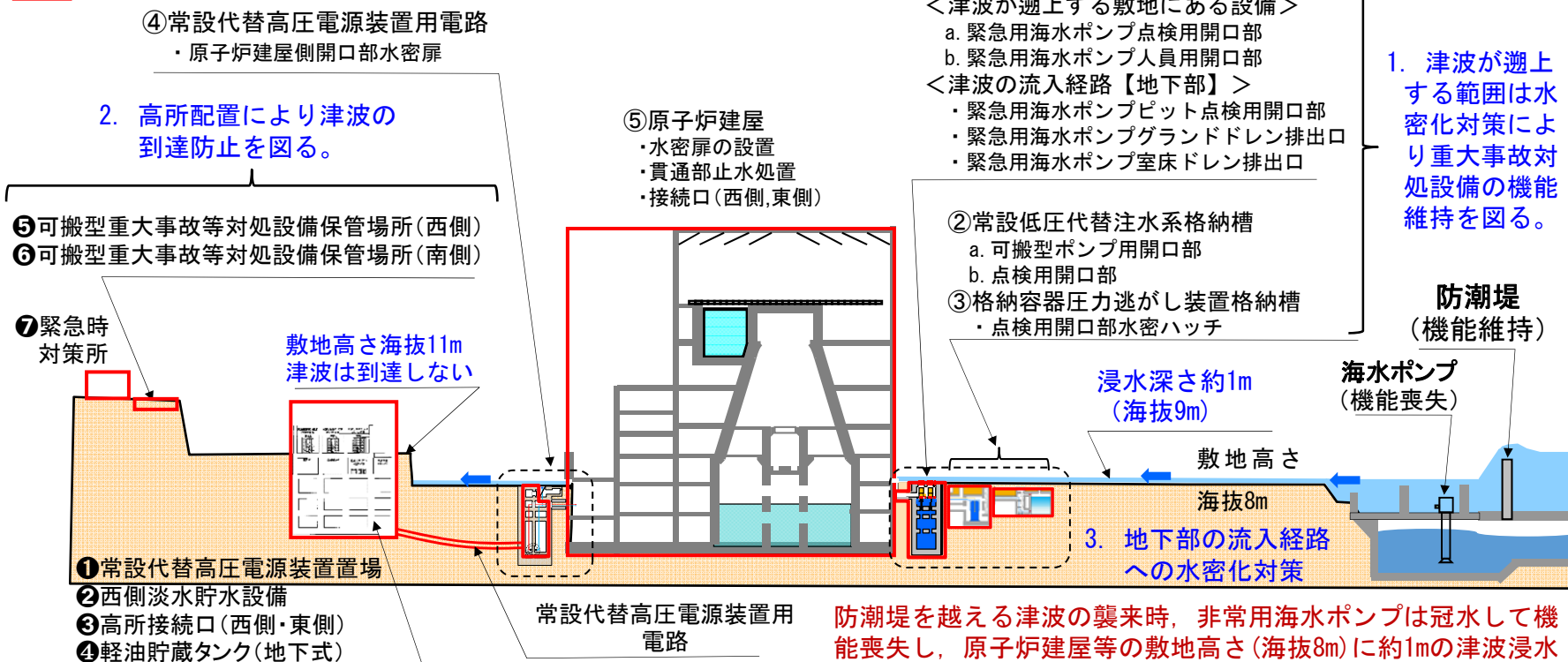


● 防潮堤を越える津波の到達範囲に応じて、防護対象施設の防護方策を策定

- ・津波が遡上する敷地にある設備 : 開口部の水密化等により津波から防護可能(常設設備)
- ・遡上する津波より高所にある設備 : 高所配置により津波の到達防止が可能(主に可搬型設備)

配置区分	高さ	対策方針	対象設備
1. 津波が遡上する敷地にある設備	海拔8m	浸水防止蓋, 水密ハッチ, 水密扉の設置等	図の①～⑤
2. 遡上する津波より高所にある設備	海拔11m～	高所配置による津波の到達防止	図の①～⑦
3. 津波の流入経路【地下部】	海拔8m以下	浸水防止蓋, 逆止弁の設置等	図の①【地下部】

□ : 浸水防護重点化範囲



防潮堤を越える津波の襲来時、非常用海水ポンプは冠水して機能喪失し、原子炉建屋等の敷地高さ(海拔8m)に約1mの津波浸水が発生する。

●①津波防護を施した常設設備による対応

- ・敷地に遡上する津波の発生時, 緊急用海水系により最終ヒートシンクを確保する。
- ・原子炉建屋近傍に水密化した緊急用海水系ポンプピットを設置, 取水トンネル経由で海水取水

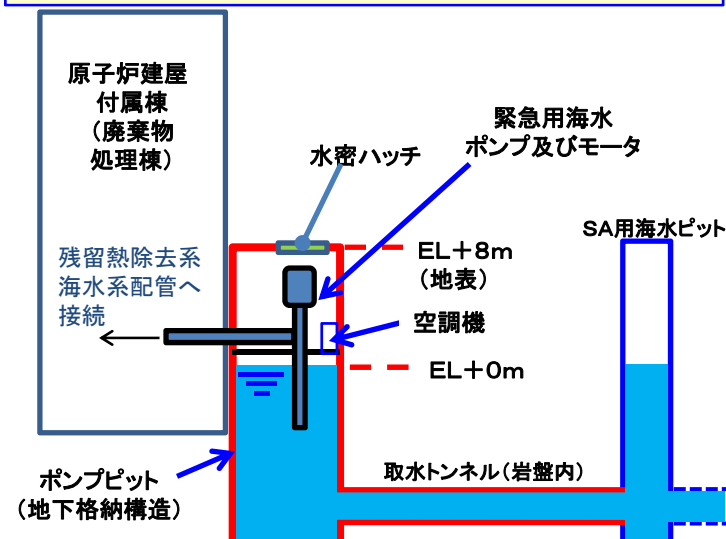
<配置場所>

原子炉建屋東側

- ・ポンプピット(緊急用海水ポンプを含む)を建屋近傍に設置
- ・ポンプピットは, SA用海水ピットと取水トンネル(岩盤内設置)により接続し, 海水を供給

<ポンプピット構造>

- ・地下格納槽構造とし, 敷地に遡上する津波漂流物等から防護
- ・ポンプ排熱のため, 海水ポンプエリアに空調機を設置
- ・海水ポンプ室への津波の流入を防止するため, 流入経路に対して浸水防護対策を実施



【補 足】 敷地に遡上する津波に対する対策(4)



●①津波防護を施した常設設備による対応

緊急用海水系は、残留熱除去系海水系の機能喪失時に、海水との熱交換により原子炉及び使用済燃料プールの燃料の崩壊熱等を海に移行させる機能を有する

【緊急用海水系の機能】

<系統構成>

①残留熱除去系海水系機能喪失時の代替海水供給機能

残留熱除去系海水系の機能喪失時に冷却用の海水を供給し熱交換器を介して崩壊熱等を最終ヒートシンクへ移送する機能

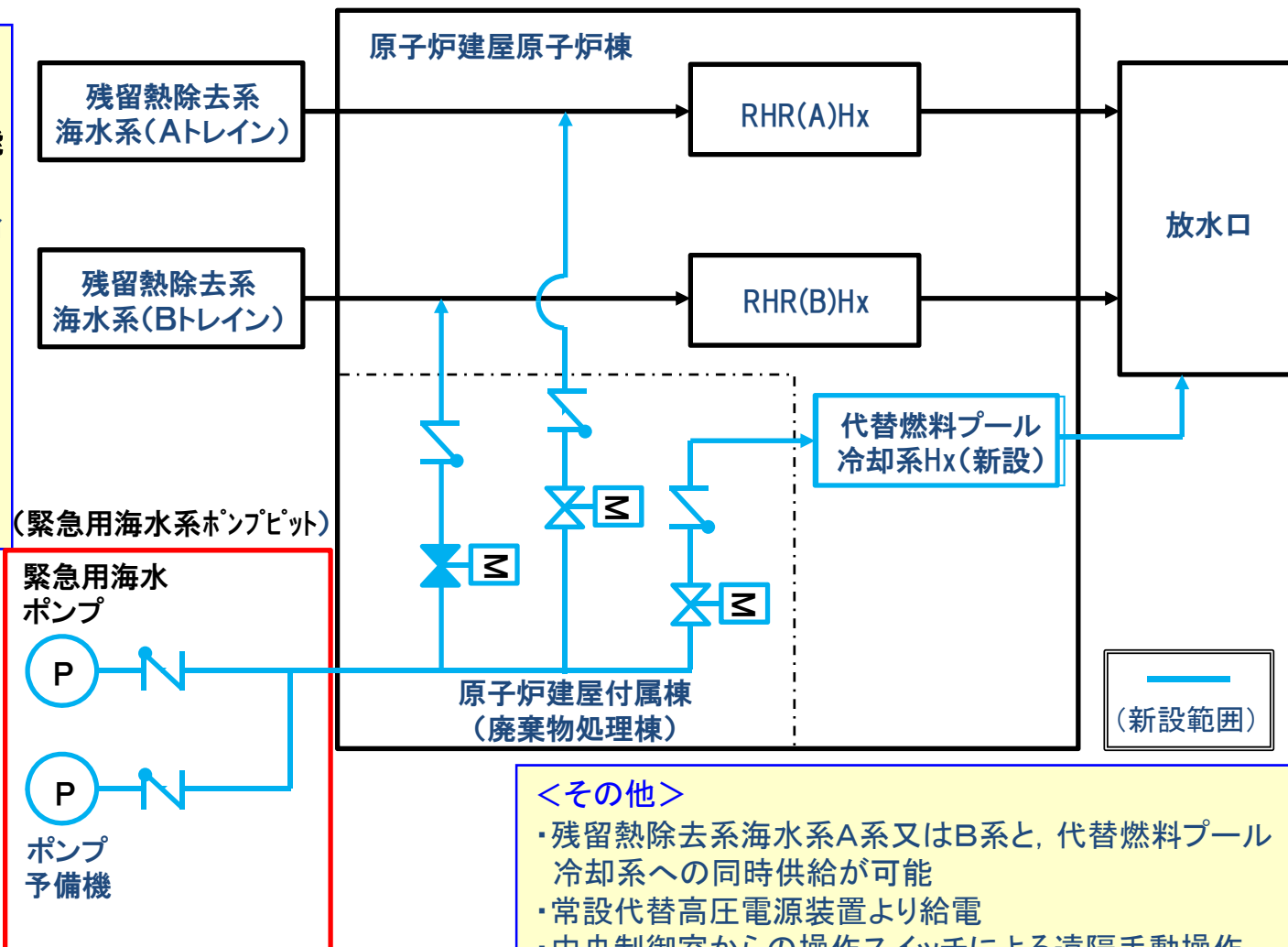
②代替燃料プール冷却系(熱交換器)への海水供給機能

新設する代替燃料プール冷却系への冷却海水供給機能

<容量>

- ・敷地に遡上する津波の発生時に格納容器ベントを行わず、除熱可能な容量を確保
- ・既設燃料プール冷却浄化系と同等の除熱容量を確保

緊急用海水系系統概略



●②高所に配備した可搬型設備による対応

・敷地に遡上した津波への防護対策として、津波浸水が生じない高所(T.P.+11m以上)に、可搬型設備(ポンプ車)、アクセスルート、水源、接続口を設置

- ①可搬型設備保管場所(+23m,+25m)
- ②アクセスルート(+25m～+11m)
- ③西側淡水貯水設備(+11mの地下)
- ④ポンプ車の接続口(+11m)

・これらの設備を活用することで、「敷地遡上する津波+交流電源喪失」時も原子炉への注水を継続可能

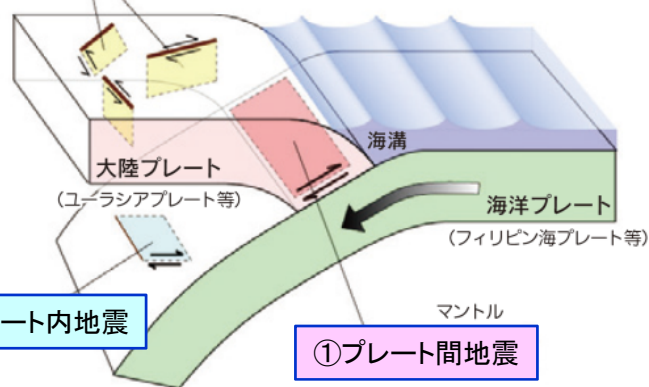
* 基準津波を超え敷地に遡上する津波の高さとして、津波PRAの結果を踏まえて、防潮堤前面でT.P.+24mの津波を考慮

* T.P.+24m津波の襲来時、原子炉建屋周りの敷地(T.P.+8m)が浸水。浸水深さは最高1m、T.P.+11m以上の高所には津波浸水は生じない。

【地震に起因する津波】

■ 地震発生メカニズム(概念図)

③ 海域の活断層による地殻内地震



② 海洋プレート内地震

① プレート間地震

① プレート間地震

大陸プレートが海洋プレートに引きずられて変形するうちに、境界面が支えきれなくなって大陸プレートが跳ね返り、地震が発生します。

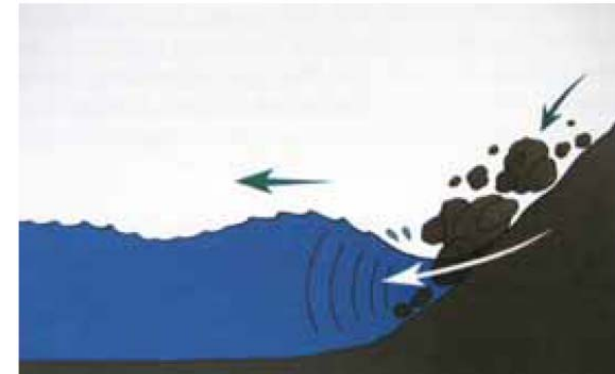
② 海洋プレート内地震

海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込んでいくうちに、内部でひずみが蓄積され、それが解放されるときに地震が発生します。

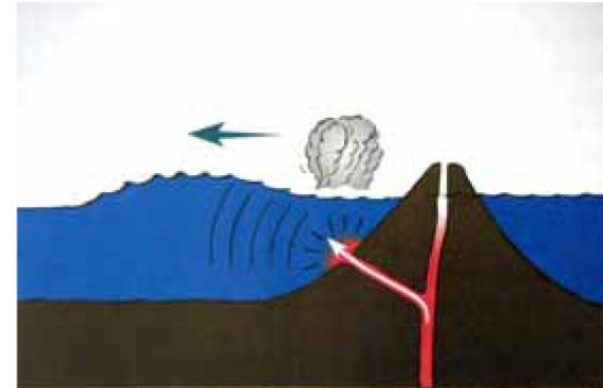
③ 海域の活断層による地殻内地震

大陸プレートが海洋プレートから押され続けているうちに、内部でひずみが蓄積され、それが解放されるときに地震が発生します。

【地震以外に起因する津波】



④ 陸上及び海底での地すべり、斜面崩壊



⑤ 火山現象

図版出典

Sheila B.Reed:Natural and Human-Made Hazards
:Mitigation and Management Issue
Wilderness Medicine 2001:1630p