

原子炉建屋等の内郭防護及び溢水影響評価(全体概要)

●内郭防護として、機器の損傷等を想定し、損傷箇所からの保有水の流出及び津波の流出による溢水の影響を評価した結果、原子炉建屋等への影響はなかった。

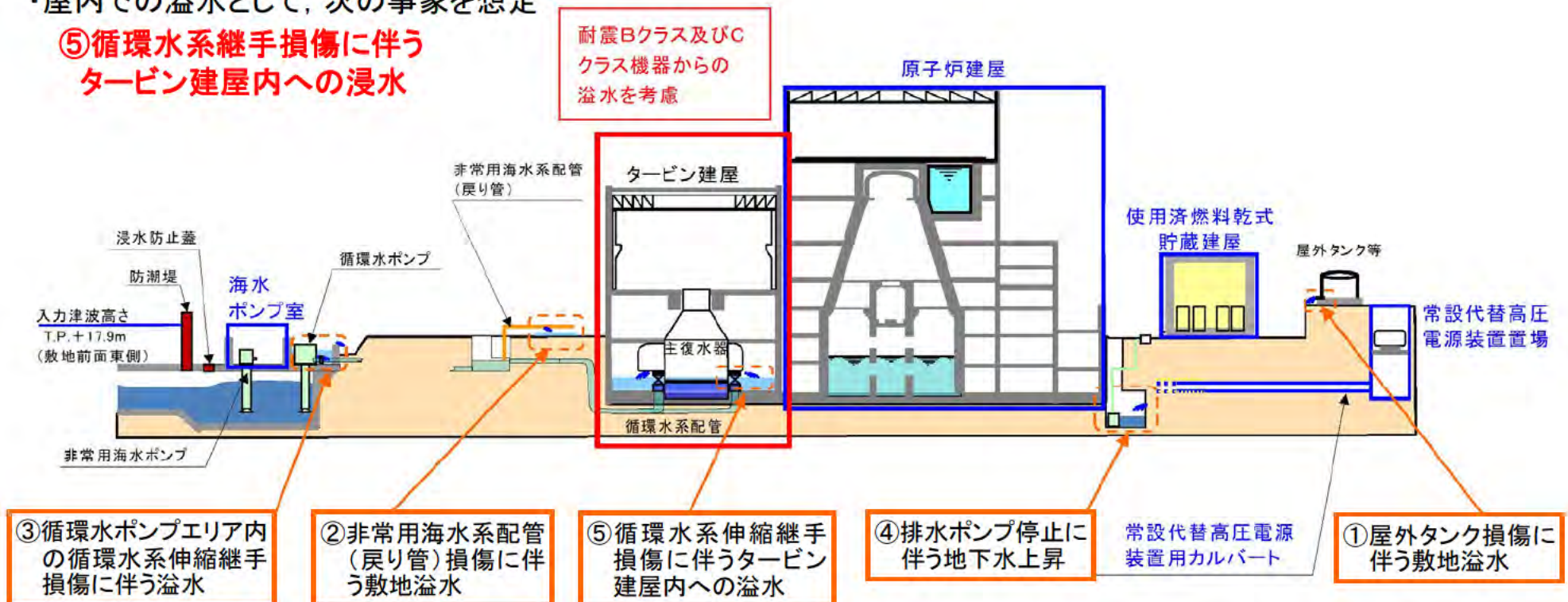
・地震により機器の損傷等が生じることを想定し、損傷箇所からの保有水の流出及び津波の流出による溢水量を評価し、原子炉建屋等への影響を確認

・屋外での溢水として、次の事象を想定

- ①屋外タンク損傷に伴う敷地溢水
- ②非常用海水系配管(戻り管)損傷に伴う敷地浸水
- ③循環水ポンプエリア内の循環水系伸縮継手損傷に伴う浸水
- ④排水ポンプ停止に伴う地下水上昇

・屋内での溢水として、次の事象を想定

- ⑤循環水系継手損傷に伴うタービン建屋内への浸水



屋外で敷地に浸水する溢水

注: 本評価は、屋外タンクの移設を反映して再評価した結果を示す。
 なお、移設前の評価については<別紙1>に示す。

①屋外タンク等の損傷に伴う敷地浸水

◆溢水量評価 その1(溢水浸水深評価)

- ・屋外タンクの損傷により保有水が流出し、滞留する範囲を考慮して評価した結果、浸水深は約0.1m(以下)となった。
- ・T.P.+8mにおける原子炉建屋の床面高さは0.2m, 使用済燃料乾式貯蔵建屋の床面高さは0.3mであり、

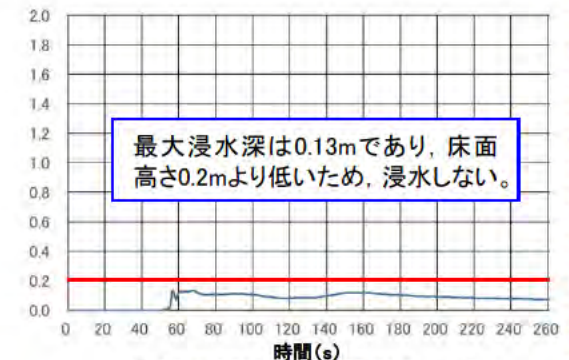
本評価では屋外タンクの損傷に伴う溢水は流入しない。

滞留する範囲を考慮して評価した結果

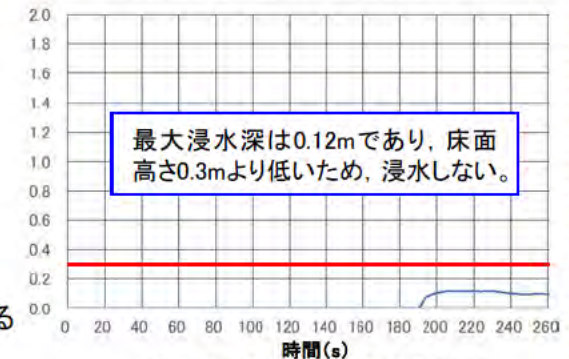
溢水源からの距離・面積に応じた浸水深

範囲	溢水源からの距離	評価浸水深
①	50m	1.61m
②	100m	0.41m
③	200m	0.11m

建屋	許容浸水深(床面の高さ)	敷地浸水深	評価結果
原子炉建屋	0.2m	約0.1m	影響なし
使用済燃料乾式貯蔵建屋	0.3m	0.1m以下	影響なし



①原子炉建屋(機器搬入口前)



②使用済燃料乾式貯蔵建屋

◆溢水量評価その2(溢水伝搬挙動解析)

- ・屋外タンクが損傷して保有水(4500m³)が流出した時の溢水伝搬挙動解析を実施し、原子炉建屋の機器搬入口及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の機器搬入口の浸水水位を評価
- ・原子炉建屋の機器搬入口の浸水水位は、床面高さ0.2mより低く、浸水しないため、**防護対象区画への影響はなし**
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の機器搬入口の浸水水位は、床面高さ0.3mより低く、浸水しないため、**防護対象区画への影響はなし**

⇒原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋等について、**防護対象区画への溢水影響がないことを確認**

評価箇所

評価箇所における浸水深

屋外で敷地に浸水する溢水

②非常用海水系配管(戻り管)損傷に伴う敷地浸水

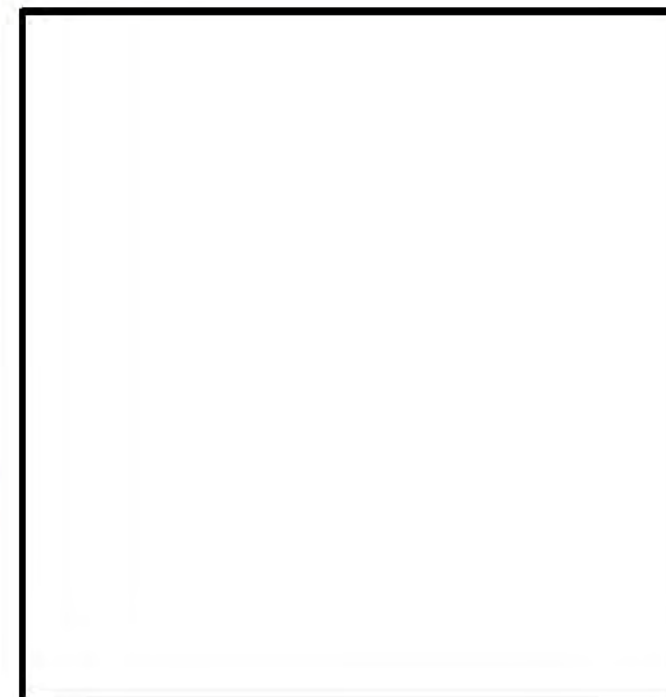
◆溢水影響評価

○非常用海水系配管(戻り管)の損傷部からの非常用海水ポンプの運転に伴う溢水と津波の流入に伴う溢水を考慮して、原子炉建屋及び使用済燃料貯蔵建屋への影響を評価

- ・非常用海水ポンプの運転継続を想定し、ポンプ全7台運転に伴う流量約4321m³/hが流出することを考慮する。
- ・津波の襲来までに放水路ゲートの閉止が可能であることから、放水路を逆流した敷地内への津波の流入は考慮しない。
- ・損傷部から流出した溢水は、敷地に広がるものとして評価する。

○評価の結果→原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋回りの浸水深は0.2m以下となり、床面高さより低いため浸水しない。

⇒原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋等について、防護対象区画への溢水影響がないことを確認



非常用海水系配管(戻り管)設置箇所

(1) 屋外の区画内での溢水

③ 循環水ポンプエリア内での循環水系伸縮継手損傷に伴う浸水

◆ 溢水量評価

- ・ 損傷部からの溢水及び津波の流入を考慮※1

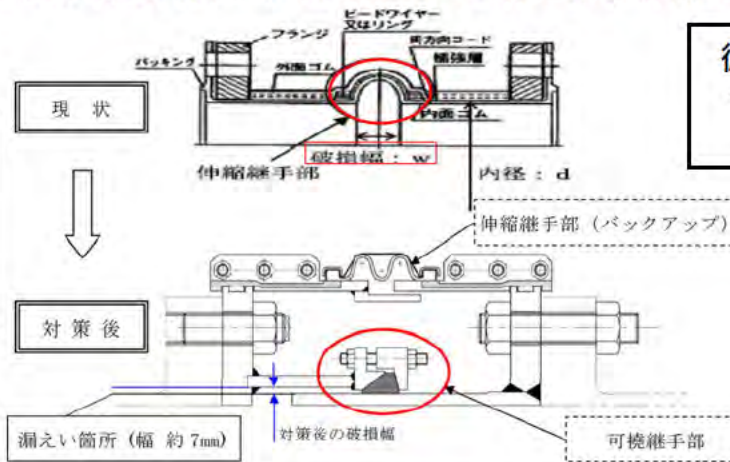
※1 漏洩検知器により損傷部からの溢水を検知し、循環水ポンプを停止して出口弁を閉止するインターロックを設ける。このため、**地震発生からポンプ停止及び出口弁閉止まで(5分間)の間の損傷部から流入する溢水量を考慮する。**

なお、インターロックにより、津波が襲来(約37分後)するまでにポンプ停止及び弁閉止が可能のため、津波の流入を考慮する必要はない。

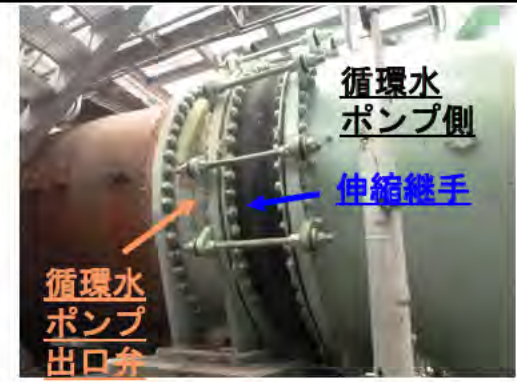
注: インターロックのシステム信頼性評価については別紙3>に示す。

循環水系伸縮継手をゴム製伸縮継手からメカニカル式クローザージョイントに取替実施
⇒現状の伸縮継手からのリング破損による溢水量を大幅に低減※2

※2 流出箇所(損傷箇所)の面積が1/10以下となるので、溢水量を大幅に低減できる。



循環水ポンプ出口弁と伸縮継手配置変更
⇒弁閉止で流入を遮断し津波浸水を防ぐ
<別紙2参照>



変更前(現状)

$$\boxed{\text{溢水量 約}515\text{m}^3} \leq \boxed{\text{循環水ポンプエリア内に貯留可能な容量 約}645\text{m}^3}$$

⇒これらの対策により循環水ポンプエリア内で貯留可能であり他区画への流出がないことを確認

貫通部止水対策は、海水ポンプ室の浸水防護重点化範囲を全て実施

④ 排水ポンプ停止に伴う地下水位上昇

◆ 溢水量評価

- ・ 保守的に、地下部がすべて浸水すると想定しても影響しない。

浸水水位 T.P.+8.0m(敷地地下部)

地下部には止水処置を実施しており、**防護対象区画である原子炉建屋内に浸水することはない。**

(2) 屋内での溢水

⑤ 循環水系伸縮継手損傷に伴うタービン建屋内への浸水

◆ 溢水量評価

- ・ 損傷部からの保有水及び津波の流入(※)と耐震B, Cクラス機器の破損による溢水を考慮
- ・ 溢水量が, タービン建屋の地下部に貯留可能な容量以下となることを確認

※漏洩検知器による循環水ポンプ停止と隔離弁閉インターロックを設ける。ポンプ停止及び弁閉止まで(5分間)の流入量を浸水量評価により算定。また, 漏洩を検知した際のインターロックにより, 津波が襲来するまでにポンプ停止及び弁閉止が可能なため, 津波は流入しない。

地震起因による溢水量

項 目		溢水量(m ³)
循環水系配管伸縮継手部の損傷箇所	地震発生から漏洩検知インターロックによる循環水ポンプ停止および復水器水室出入口弁の閉止までの溢水量	約14,723
	津波の流入量	0
耐震B, Cクラス機器の保有水量		約8,610
屋外タンク等の損傷による溢水の流入量		約101
合 計		約23,434

≦

注: インターロックのシステム信頼性評価については別紙3>に示す。

タービン建屋の溢水を貯留できる空間容積*

タービン建屋階層	空間容積(m ³)
T.P.-4.00~T.P.-1.60m	約2,784
T.P.-1.60~T.P.+5.50m	約17,326
T.P.+5.50~T.P.+8.20m	約6,589
合 計	約26,699

* 溢水を貯留できる空間の大部分は地下部であり, 溢水の滞留に対して貯留できる機能を保持できる。

⇒タービン建屋の地下部に貯留可能であり, 他区画への流出がないことを確認

約23,434m³(地震起因による溢水量) < 約26,699m³(タービン建屋の溢水を貯留できる空間容積)

貫通部止水対策は, 裕度を見込みT.P.+8.2mまで実施

屋外で敷地に浸水する溢水

①屋外タンク等の損傷に伴う敷地浸水

◆溢水量評価 その1(溢水浸水深評価)

- ・屋外タンクの損傷により保有水が流出し、滞留する範囲を考慮して評価した結果、浸水深は約0.1mとなった。
- ・T.P.+8mにおける原子炉建屋の床面高さは0.2m、使用済燃料乾式貯蔵建屋の床面高さは0.3mであり、

本評価では屋外タンクの損傷に伴う溢水は流入しない。

滞留する範囲を考慮して評価した結果

溢水源からの距離・面積に応じた浸水深

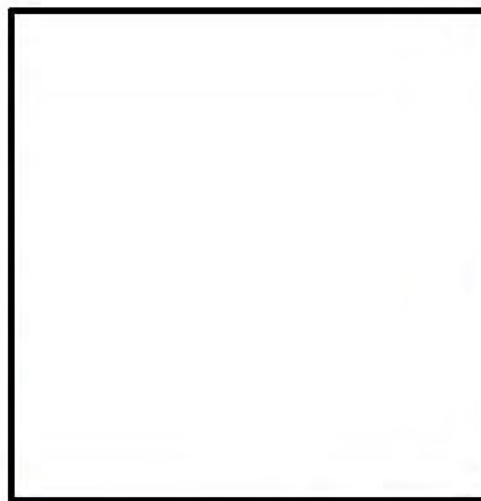
範囲	溢水源からの距離	評価浸水深
①	50m	1.61m
②	100m	0.41m
③	200m	0.11m

建屋	許容浸水深(床面の高さ)	敷地浸水深	評価結果
原子炉建屋	0.2m	約0.1m	影響なし
使用済燃料乾式貯蔵建屋	0.3m	約0.1m	影響なし

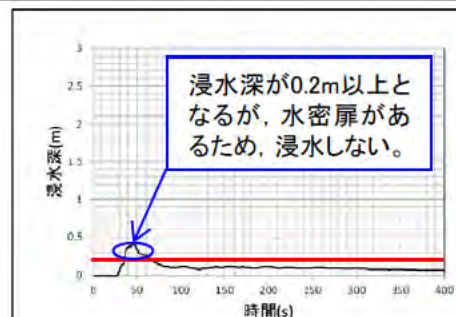
◆溢水量評価その2(溢水伝搬挙動解析)

- ・屋外タンクが損傷して保有水が流出した時の溢水伝搬挙動解析を実施し、原子炉建屋の機器搬入口及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の機器搬入口の浸水水位を評価
- ・原子炉建屋の機器搬入口の浸水水位は、床面高さ0.2mを超えるものの、一時的であり、搬入口には水密扉があるため、防護対象区画への浸水影響はなし
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の機器搬入口の浸水水位は、床面高さ0.3mを超えるものの、一時的であり、浸水量はわずかであり、防護対象区画への影響はなし

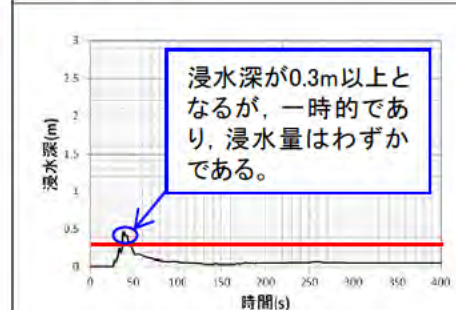
⇒原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋等について、防護対象区画への溢水影響がないことを確認



評価箇所



①原子炉建屋(機器搬入口前)



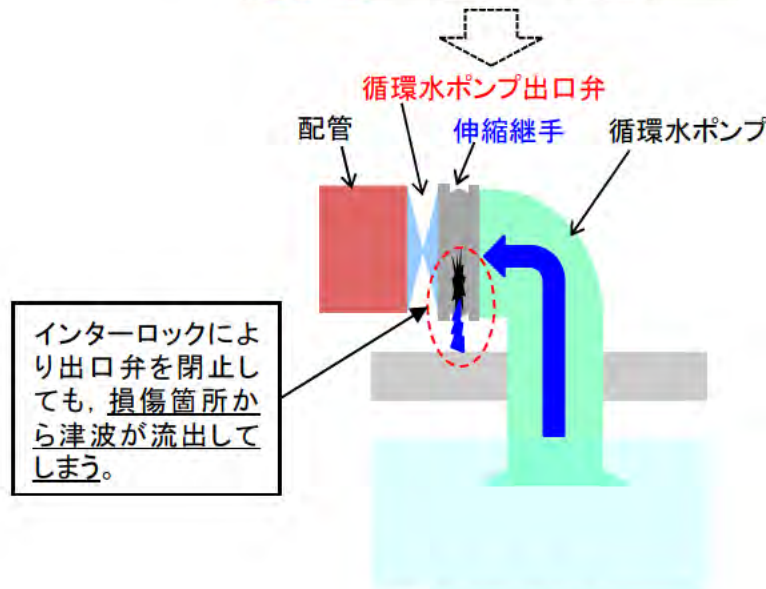
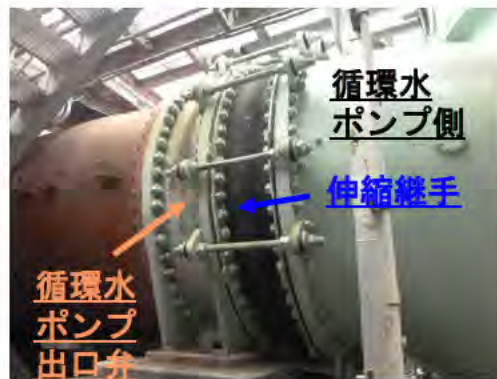
②使用済燃料乾式貯蔵建屋(機器搬入口前)

評価箇所における浸水深

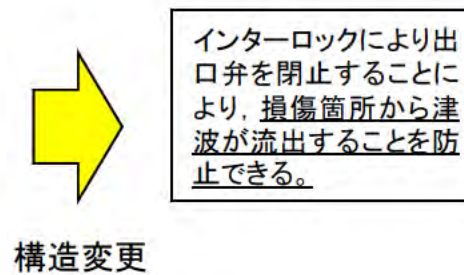
<別紙2> 出口弁と伸縮継手の配置変更による対策について

○循環水ポンプ出口弁と伸縮継手の位置を入替え、循環水ポンプ側からの津波の流入を防止する。

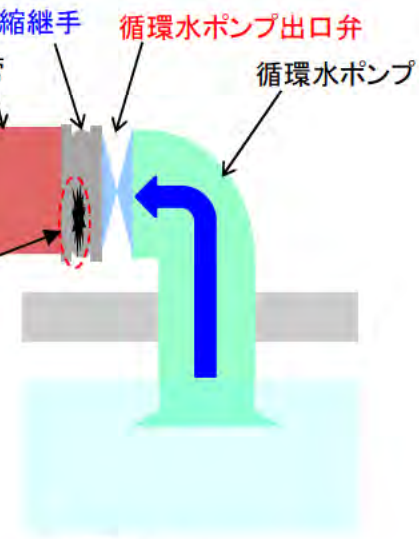
- ・現状は、「循環水ポンプ－伸縮継手－循環水ポンプ出口弁－配管」といった配置となっているため、インターロックにより循環水ポンプ出口弁を閉止しても、循環水ポンプ側から津波が回込み、伸縮継手の損傷箇所から流出してしまうので、循環水ポンプ側から津波が流入してしまう構造となっている。
- ・「循環水ポンプ－循環水ポンプ出口弁－伸縮継手－配管」といった配置に変更し、インターロックにより循環水ポンプ出口弁を閉止することにより、循環水ポンプ側から津波が流入することを防止できる構造とする。



変更前(現状)



構造変更



変更後

＜別紙3＞インターロックのシステム信頼性評価について

○循環水ポンプを停止し、電動弁を閉止するインターロックについて、システム信頼性評価を行った。

- ・本評価では、各検出器から要求されるインターロック(復水器廻り弁閉止など)までの回路の不作動確率を概略評価した。
- ・評価の結果、地震及び溢水発生時に当該インターロック(復水器廻りの弁の閉止信号及び循環水ポンプエリアの弁の閉止信号・循環水ポンプの停止信号)が作動しない確率は 2.8×10^{-4} ／要求時と評価され、信頼性の高い電動弁(海水)の作動失敗の故障確率 3.8×10^{-4} ／要求時と比較して遜色のない十分な信頼性があることを確認した。

○当該インターロックの不作動を津波PRA※で考慮した場合においても、以下のとおり影響はない(補足図: No.35-13ページ)。

※ここでの津波PRAの目的は、有意な頻度・影響の新たな事故シーケンスの有無を確認することである

①タービン建屋(復水器エリア)の溢水

津波PRAでは、地震による機器の損傷は考慮しないPRAであるが、仮に地震による伸縮接手の破損とインターロックの不動作により津波が流入した場合、最終ヒートシンク喪失に至る可能性があるが、この事故シーケンスは既に選定済みであり、新たな事故シーケンスは抽出されない。また、津波PRAでは、炉心損傷防止・影響緩和設備としてタービン建屋に配置した設備に期待していない。

②循環水ポンプエリアの溢水

①の事象と同様に、最終ヒートシンク喪失に至る可能性があるが、この事故シーケンスは既に選定済みであり、新たな事故シーケンスは抽出されない。

○万一、津波到達時に当該インターロックの不作動が発生して津波の流入が継続し、最終的に隣接する非常用の海水ポンプ／モータが冠水、不作動になることを想定しても、SA設備として整備した常設代替高圧電源装置(空冷)、緊急用海水系等により炉心等の冷却は可能である。また、SA対策として原子炉建屋を水密化しているため、タービン建屋からの溢水や津波が原子炉建屋に到達した場合も枢要設備※への影響は無い。

※原子炉の冷却を達成するために、防護すべき必要最低限の設備

<別紙3(補足)>インターロックのシステム信頼性評価について(1/3)

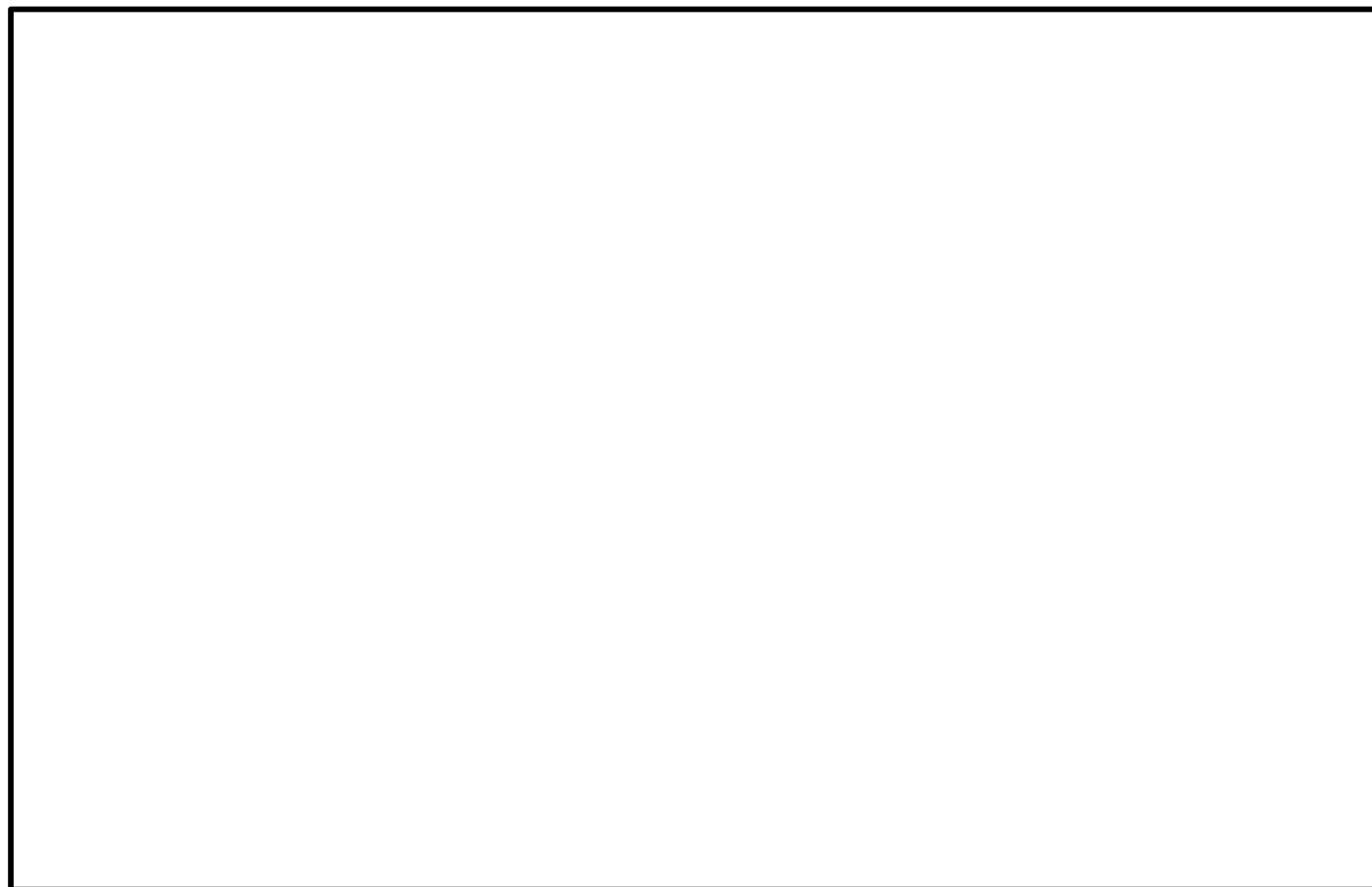


○インターロックの概要図(下図)

- ・青字部分が不作動想定箇所
- ・赤字部分が青字部分の不作動確率算出のためにPRA上不作動や誤動作を考慮した部分
- ・黒字部分は評価上考慮しない

○システム信頼性評価における主な条件

- ・事前分布として29ヵ年故障率データ*1を使用し、東二の実績データを用いたベイズ更新により得られた東二の機器故障率データを用いた。
- ・循環水系の設備については、定期切り替えは無く、定期試験による健全性の確認も出来ないと仮定し、試験間隔は8760時間とした。RPSも試験が出来ないと仮定し、試験間隔を8760時間とした。



*1:「故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定(1982年度～2010年度29ヵ年56基データ)」一般社団法人 原子力安全推進協会, 2016年6月

○システム信頼性評価の方法について

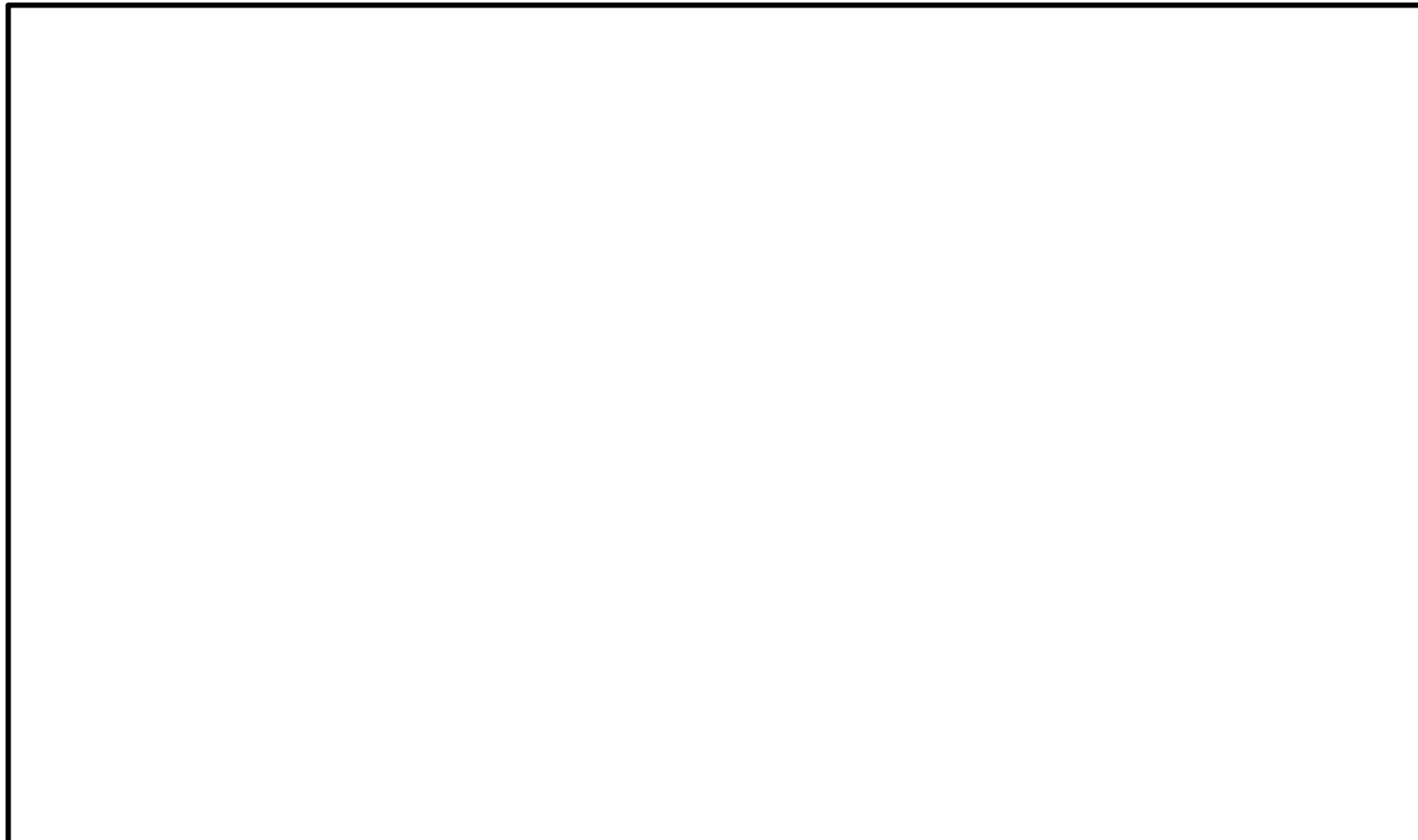
以下のステップでシステム信頼性評価を行った。本評価の範囲は各検出器から要求されるインターロック(復水器廻り弁閉止など)までの回路の不作動確率の算出である。なお、本評価では各検出器から隔離弁閉止信号又は海水ポンプ停止信号の発信に係る信号回路までを対象としており、隔離弁の閉失敗や海水ポンプの停止失敗は含めていない。

ステップ1: 評価シナリオの選定 → 次のスライドで説明

ステップ2: CWDの作成

ステップ3: フォールトツリーの作成

ステップ4: フォールトツリーの定量化



＜別紙3(補足)＞インターロックのシステム信頼性評価について(3/3)

○システム信頼性評価の方法について(ステップ1:評価シナリオの選定)

- 溢水発生エリアによって期待できる検出回路や信号が異なるため、これらを整理し、評価シナリオの選定について検討した。検討結果を以下の表に示す。
- 以下の理由を踏まえ、①を評価シナリオとして選定した。
 - A) 循環水ポンプエリアとタービン建屋(復水器エリア)の両方で溢水が発生した場合は、評価結果はタービン建屋(復水器エリア)で溢水が発生した場合の結果に包絡されることから、循環水ポンプエリアの溢水を含むシナリオは評価対象シナリオから除外する。
 - B) 循環水ポンプエリアで溢水が発生した場合は、復水器水室入口弁・出口弁・バイパス弁の閉は必要ないことから、循環水ポンプエリアの溢水シナリオは評価対象シナリオから除外する。
 - C) 同一エリア内の複数の区画で溢水が発生した場合は、両区画の検出器に期待することができるため、PRAモデル上AND条件となり不作動確率は低くなるため、評価対象シナリオから除外する。一方で、片方の区画における溢水の場合、当該区画の検出器にしか期待できないため、両区画における溢水と比べて不作動確率は高くなる。
 - D) 漏えい検出に関するインターロックは対称であるため、タービン建屋(復水器エリア)の場合、北側と南側のどちらの区画を選定しても同じであり、北側を選定した。

溢水シナリオ	地震発生時の溢水発生場所				要求されるインターロックの動作	評価シナリオと選定理由
	タービン建屋(復水器エリア)		循環水ポンプエリア			
	北側	南側	CWP室	バルブ室		
①	○				復水器廻り弁閉止及び循環水ポンプ停止	○ A)～D)の理由により選定した。
②		○			循環水ポンプ停止	× D)の理由により除外した。
③			○		循環水ポンプ停止	×
④				○		× B)の理由により除外した。
⑤			○	○		×
⑥	○	○			復水器廻り弁閉止及び循環水ポンプ停止	× C)の理由により除外した。
⑦	○		○			× A)の理由により除外した。
⑧	○			○		× A)の理由により除外した。
⑨		○	○			× A)の理由により除外した。
⑩		○		○		× A)の理由により除外した。
⑪	○	○	○			× A), C)の理由により除外した。
⑫	○	○		○		× A), C)の理由により除外した。
⑬	○		○	○		× A), C)の理由により除外した。
⑭		○	○	○		× A), C)の理由により除外した。
⑮	○	○	○	○		× A), C)の理由により除外した。

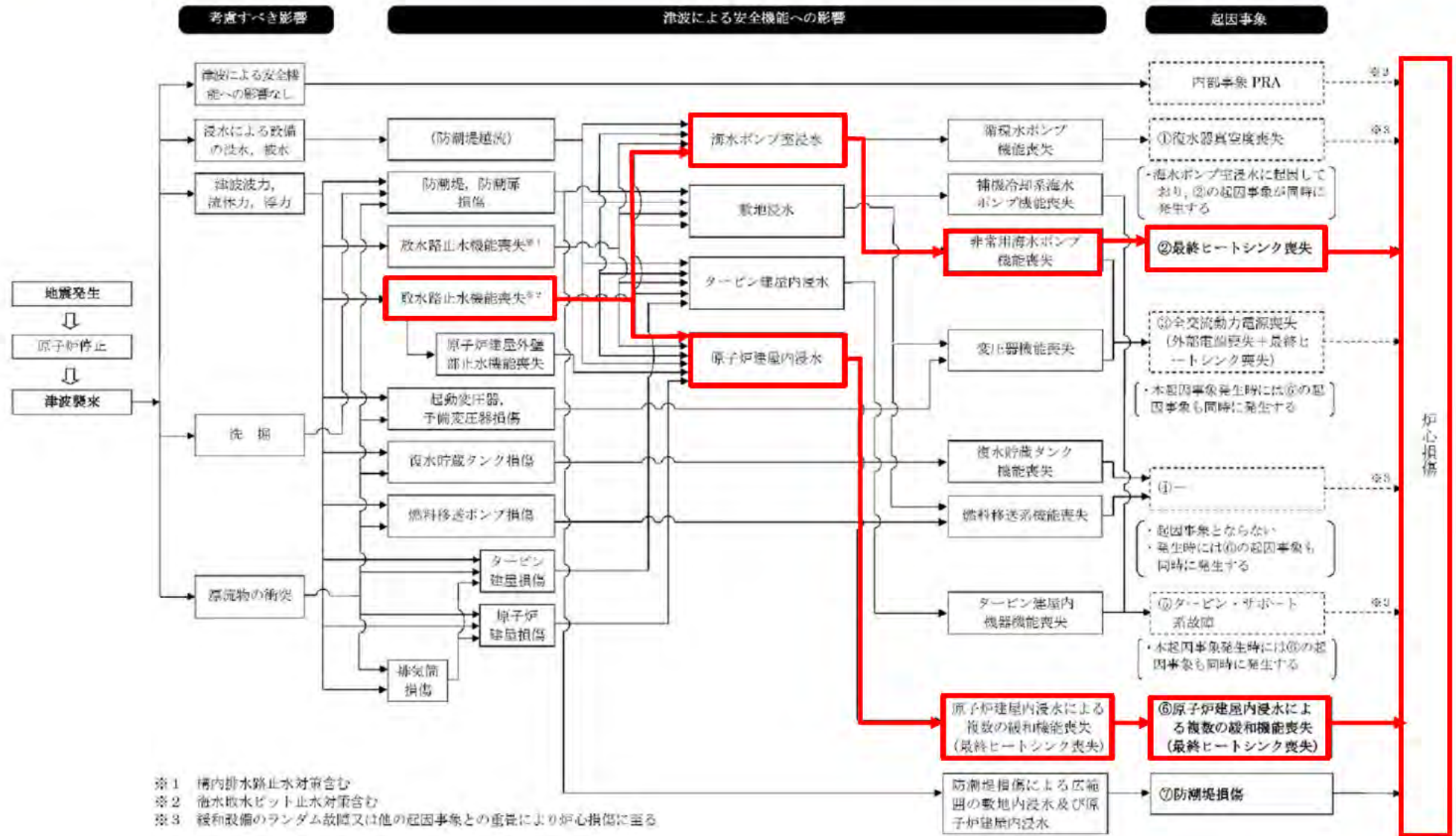
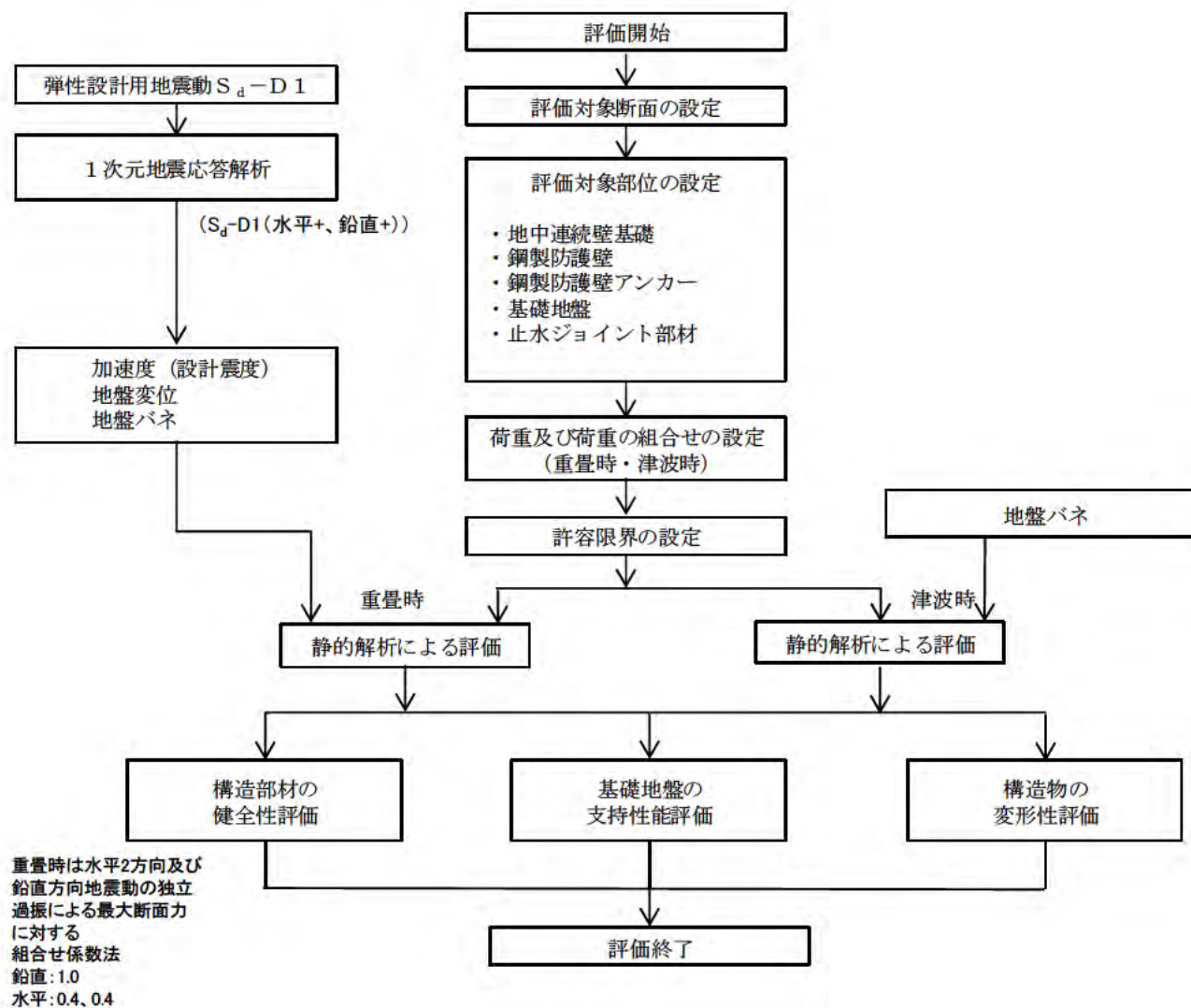


図1 (第3.2.2.1-4図) 事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果

11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮
(防潮堤の耐津波強度に係る評価(1/9))



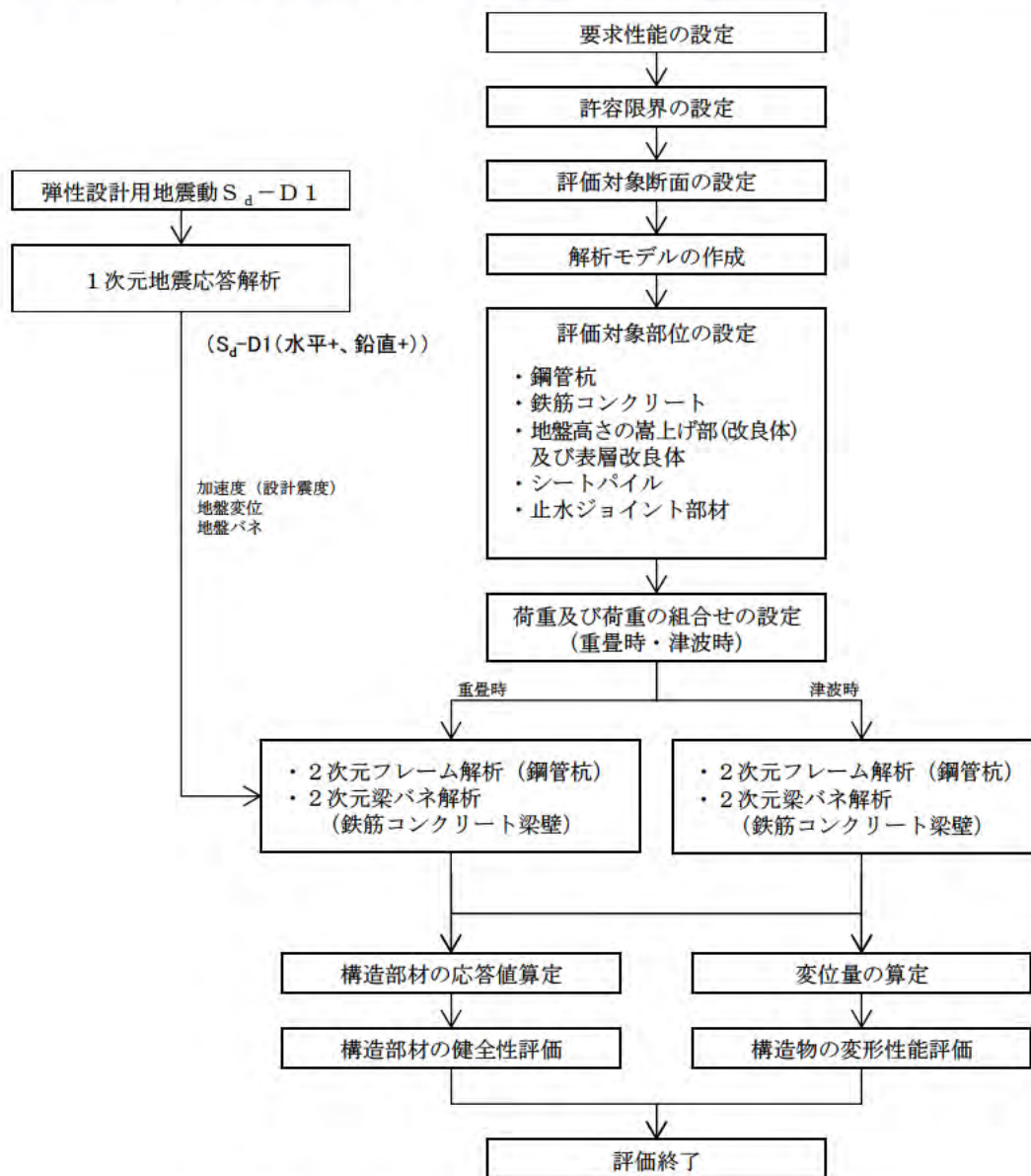
○鋼製防護壁の耐津波強度に係る評価フローを以下に示す。



11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮
(防潮堤の耐津波強度に係る評価(2/9))



○鋼管杭防潮堤の耐津波強度に係る評価フローを以下に示す。

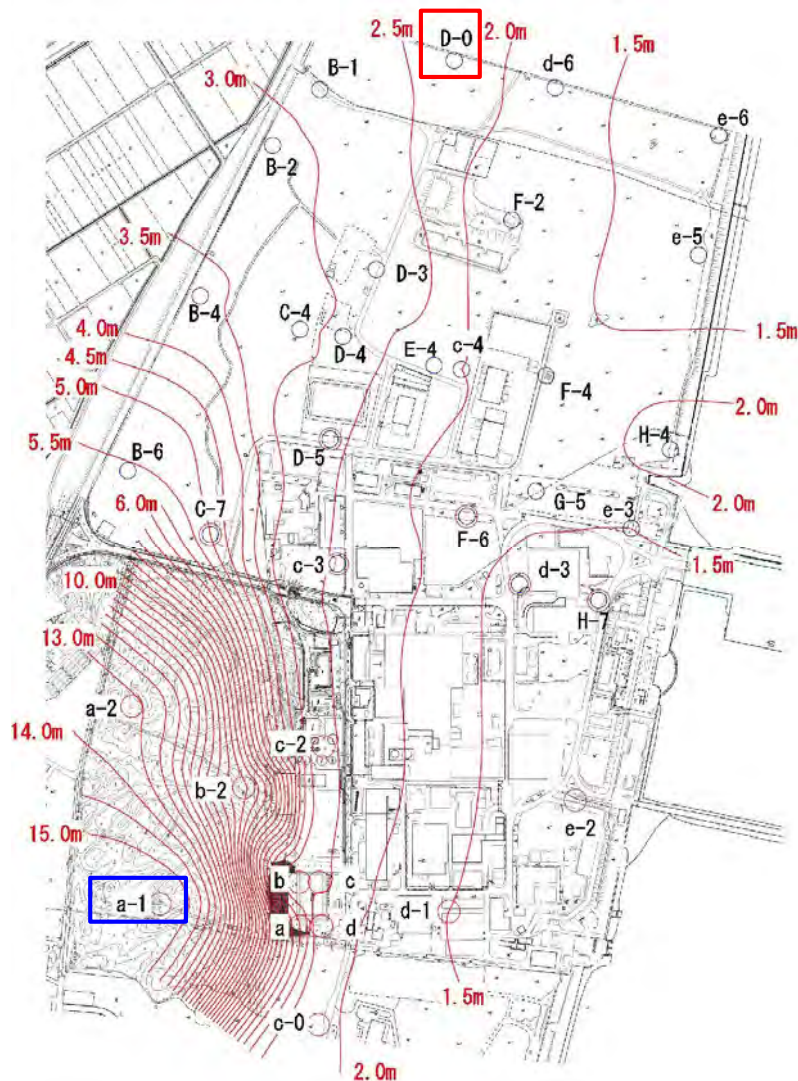


鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の詳細設計フロー
津波対策-222

11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮 (防潮堤の耐津波強度に係る評価(3/9))

○耐震設計における地下水位設定

地下水位は観測結果より観測孔高さより0.74~13.67mの低い位置にあることを確認している。しかしながら, 将来の防潮堤設置による地下水位上昇の可能性を踏まえ, 地下水位を地表面に設定した設計としている。



観測孔名	計測期間	観測孔高さ (T.P.+m)	観測最高地下水位 (T.P.+m)	観測孔高さと観測最高地下水位との差	観測最高地下水位計測時期
a	1995~1999	12.33	3.49	8.84	1998年10月8日
b	1995~1999	11.21	2.52	8.69	1998年9月25日
c	1995~1999	11.18	2.53	8.65	1998年9月22日
d	1995~1999	8.31	2.28	6.03	1998年9月22日
a-1	1995~1999, 2004~2009	29.09	15.42	13.67	2006年8月7日
a-2	2004~2009	22.61	13.60	9.01	2006年7月28日
b-2	2004~2009	15.57	9.06	6.51	2006年7月30日
c-0	1995~1999, 2004~2009	8.92	2.05	6.87	1998年9月19日
c-2	1995~1999, 2004~2017	11.32	2.58	8.74	2012年7月7日
c-3	2004~2017	8.24	2.49	5.75	2012年7月7日
c-4	2004~2017	7.97	2.00	5.97	2012年6月25日
d-1	1995~1999, 2004~2009	8.12	1.50	6.62	1998年9月18日
d-3	2004~2017	8.38	1.44	6.94	2013年10月27日
d-6	2004~2017	5.35	1.58	3.77	2013年10月28日
e-2	2004~2017	8.06	1.38	6.68	2006年10月8日
e-3	2004~2017	4.66	1.50	3.16	2013年10月16日
e-5	2004~2017	8.01	1.30	6.71	2013年10月21日
e-6	2004~2017	6.34	1.26	5.08	2013年10月21日
B-1	2005~2017	5.98	2.90	3.08	2006年7月30日
B-2	2005~2017	8.20	3.09	5.11	2006年7月30日
B-4	2005~2017	9.31	3.56	5.75	2006年7月31日
B-6	2005~2017	15.39	5.51	9.88	2006年8月17日
C-4	2005~2017	5.82	3.17	2.65	2012年6月27日
C-7	2005~2017	12.04	4.99	7.05	2006年8月18日
D-0	2006~2017	3.11	2.37	0.74	2012年6月22日
D-3	2005~2017	3.97	2.88	1.09	2006年10月7日
D-4	2006~2017	8.16	2.76	5.40	2012年6月25日
D-5	2006~2017	7.95	2.54	5.41	2012年7月16日
E-4	2006~2017	8.08	2.26	5.82	2012年6月25日
F-2	2005~2015	12.06	1.74	10.32	2013年10月30日
F-4	2005~2017	7.05	1.55	5.50	2013年10月27日
F-6	2005~2017	7.99	1.77	6.22	2012年6月24日
G-5	2005~2017	7.99	1.53	6.46	2013年10月27日
H-4	2006~2017	7.27	2.13	5.14	2013年10月16日
H-7	2005~2017	8.23	1.33	6.90	2013年10月27日

11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮
(防潮堤の耐津波強度に係る評価(4/9))

○荷重の組合せは, 重畳時及び津波時を評価している。

【重畳時】

・津波による最大荷重(最大波高時における波力)と余震による最大荷重の組合せを考慮する。

【津波時】

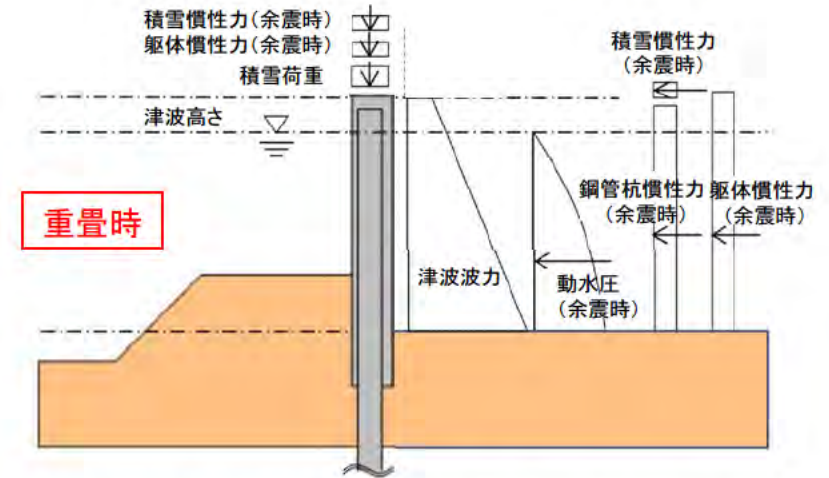
・津波による最大荷重(最大波高時における波力)と漂流物による最大荷重(最大流速時における衝突荷重)の組合せを考慮する。

荷重の組合せの考え方

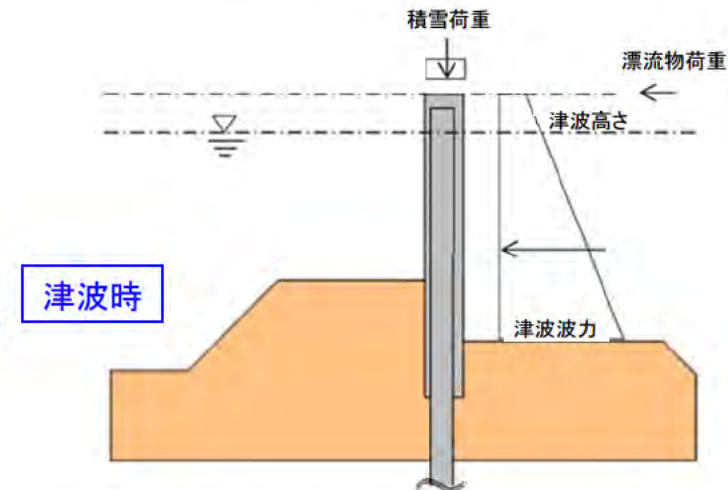
組合せ	津波荷重	余震荷重	漂流物荷重	備考
重畳時	波力 (最大波高)	慣性力+動水圧 (最大加速度)	—	最大荷重の組合せ ※右図(1)参照
津波時	波力 (最大波高)	—	漂流物荷重 (最大流速)	最大荷重の組合せ ※右図(2)参照

* 津波荷重は, 波力を考慮した荷重とする。

このため波力が安全側に大きくなるように、「(津波高さ/2) × 3」の高さに相当する水圧を津波荷重として考慮する。



図(1) 津波荷重+余震荷重による構造物に作用する水平力のイメージ図
(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)



図(2) 津波荷重+漂流物荷重による構造物に作用する水平力のイメージ図
(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)

11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮 (防潮堤の耐津波強度に係る評価(5/9))

○防潮堤は, 地震, 津波後においても使用できること及び津波の繰返しの襲来に対しても安全性を確保できるよう, **許容応力度内の設計を行っている。**

鋼製防護壁の評価

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	地中連続壁基礎 (中実鉄筋コンクリート(ジベル鉄筋含む))	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製防護壁 (スタッド含む)	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製防護壁アンカー (アンカーボルト, 頂版鉄筋コンクリート, 中詰め鉄筋コンクリート)	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力
止水性を損なわないこと	構造部材の健全性	地中連続壁基礎 (中実鉄筋コンクリート(ジベル鉄筋含む))	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製防護壁 (スタッド含む)	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製防護壁アンカー (アンカーボルト, 頂版鉄筋コンクリート, 中詰め鉄筋コンクリート)	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力
構造物の変形性	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量*	

鉄筋コンクリート防潮壁の評価

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート防潮壁	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		フーチング	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		地中連続壁基礎	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力
止水性を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート防潮壁	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		地中連続壁基礎	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力
	構造物の変形性	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量*

注記 * : 原子力安全上、問題となる浸水はさせない
(水が滲む程度は許容)

注記 * : 原子力安全上、問題となる浸水はさせない
(水が滲む程度は許容)

11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮 (防潮堤の耐津波強度に係る評価(6/9))

鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア)の評価

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること。	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認する。	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認する。	極限支持力
止水性を損なわないこと。	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認する。	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認する。	極限支持力
	構造物の変形性	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを確認する。	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量*

注記 *: 原子力安全上、問題となる浸水はさせない
(水が滲む程度は許容)

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮堤の評価

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鋼管杭	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鉄筋コンクリート	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		地盤高さの嵩上げ部(改良体)及び表層改良体	せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	せん断強度
		シートパイル	せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	せん断強度
止水性を損なわないこと	構造部材の健全性	鋼管杭	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鉄筋コンクリート	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		地盤高さの嵩上げ部(改良体)及び表層改良体	せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	せん断強度
		シートパイル	せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	せん断強度
	構造物の変形性	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量*

注記 *: 原子力安全上、問題となる浸水はさせない
(水が滲む程度は許容)

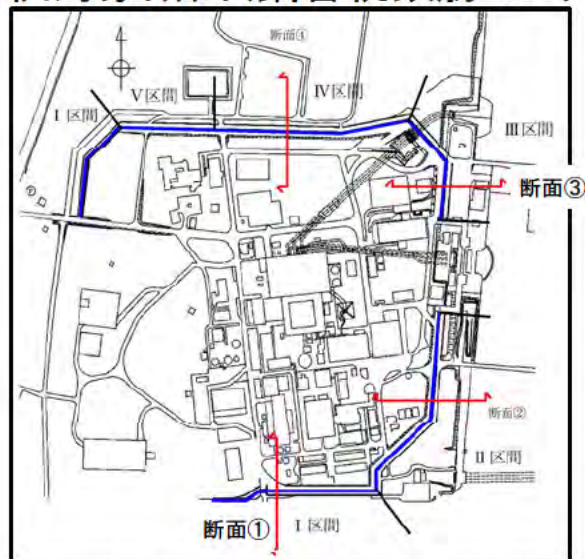
11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮
(防潮堤の耐津波強度に係る評価(7/9))

防潮堤の耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮を明確にし, **構造部材が津波時(津波の繰り返しの襲来や漂流物の衝突荷重を含む)及び余震との重畳時においても, 許容限界(短期許容応力度)を満たしていることを確認している。**

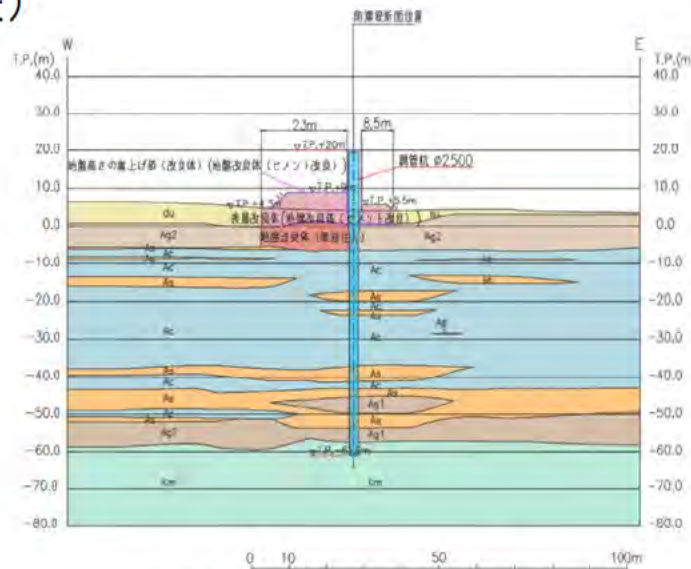
評価箇所	評価結果(照査値最大となる項目を記載)					
	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容限界	照査値※
鋼製防護壁	津波時 (敷地に遡上する津波時)	地中連続壁	せん断力	174627(kN)	264489(kN)	0.67
	重畳時 (敷地に遡上する津波時)	地中連続壁	曲げ引張応力	445(N/mm ²)	478.5(N/mm ²)	0.93
鉄筋コンクリート防潮壁	津波時 (敷地に遡上する津波時)	フーチング	せん断力	3246(kN)	4790(kN)	0.68
	重畳時 (敷地に遡上する津波時)	地中連続壁	曲げ引張応力	423.9(N/mm ²)	478.5(N/mm ²)	0.89
鉄筋コンクリート防潮壁 (放水路エリア)	津波時 (敷地に遡上する津波時)	防潮壁	曲げ引張応力	352.3(N/mm ²)	478.5(N/mm ²)	0.74
	重畳時 (敷地に遡上する津波時)	防潮壁	曲げ引張応力	253.4(N/mm ²)	478.5(N/mm ²)	0.53
鋼管杭鉄筋コンクリート 防潮壁	津波時 (敷地に遡上する津波時)	鉄筋コンクリート壁	曲げ引張応力	428(N/mm ²)	478.5(N/mm ²)	0.90
	重畳時 (敷地に遡上する津波時)	鋼管杭	曲げ応力	352(N/mm ²)	433.5(N/mm ²)	0.82

※ 照査値=発生値/許容限界
(1.0以下であれば許容限界以下(弾性範囲内)でOK)

➤ 評価対象断面(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)



鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の評価対象断面位置

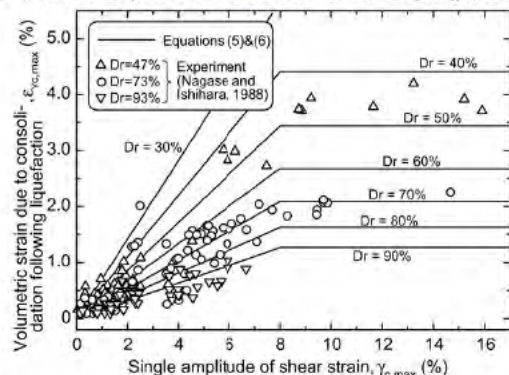


強度評価対象断面図(断面③)

地質時代	地質区分	記号	層相
完新世	砂丘砂層	du	砂
		Ag2	砂礫
		Ac	粘土
沖積層	a1	As	砂
		Ag1	砂礫
		Ac	粘土
第四世	D2	D2c-3	シルト
		D2s-3	砂
		D2g-3	砂礫
	新段丘堆積物	D2b-3	シルト
		D2g-2	砂礫
		Im	ローム
紀世	B1	B1b-1	シルト
		D1g-1	砂礫
新第三世	久米層	Kn	砂質泥岩

➤ 地盤沈下の考慮

津波時及び重畳時は, 地震によって地盤が沈下した状態を想定することで安全側の検討を実施した。堤内側及び堤外側の地盤沈下は, 地下水位を地表面に設定した有効応力解析モデルを用いて地震による残留沈下量を算定し, Ishiharaほか(1992)の地盤の相対密度に応じた最大せん断ひずみと体積ひずみ(沈下率)の関係を用いて地震後の過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量を算定する。



砂の体積ひずみと最大せん断ひずみの関係

$$\epsilon_{vc,max} = 1.5 \exp(-0.025 D_{r,ini}) \gamma_{c,max} \quad \text{if } \gamma_{c,max} \leq 8\%$$

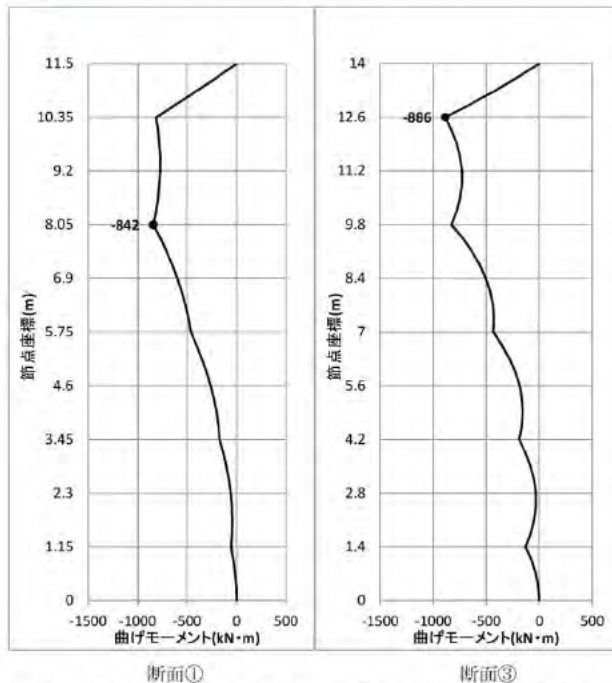
$$\epsilon_{vc,max} = 12.0 \exp(-0.025 D_{r,ini}) \quad \text{if } \gamma_{c,max} > 8\%$$

注記 D_r : 相対密度を示す



沈下量は保守的に設定した。
堤外側1.5m沈下
堤内側1.0m沈下

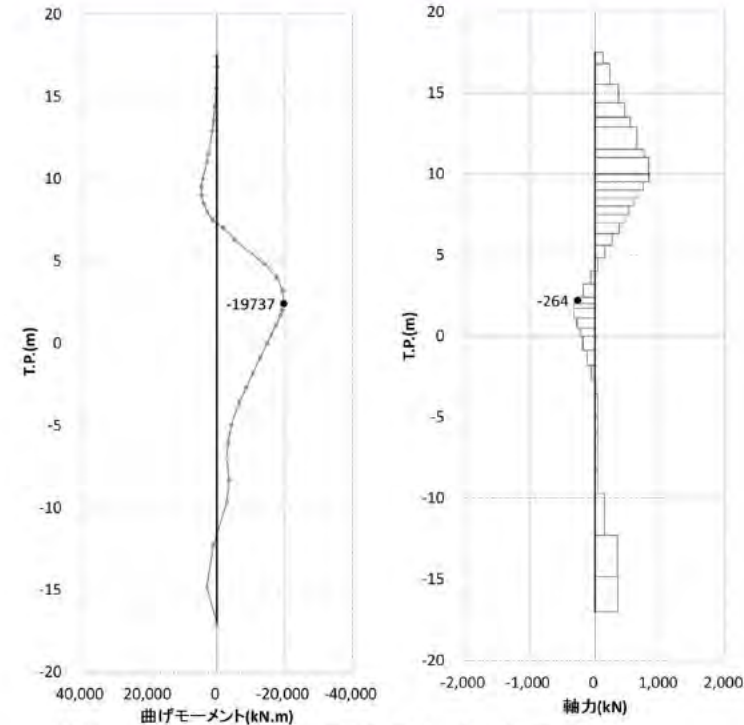
➤ 評価結果



断面① 断面③
注記：節点距離は鉄筋コンクリート壁の横幅方向の位置を示す。
論点No.32-9参照

断面	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	曲げ 引張応力 (N/mm ²)	短期許容応力度(N/mm ²)		曲げ 圧縮応力 照査値	曲げ 引張応力 照査値
					曲げ圧縮	曲げ引張		
断面①	-842	0	13	288	21	435	0.62	0.67
断面③	-886	0	14	303	21	435	0.67	0.70

※ 照査値=発生応力/短期許容応力度
(1.0以下であれば許容限界以下(弾性範囲内)でOK)



注記：鋼管杭の長さ方向の応力を示す。論点No.32-9参照

発生曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生曲げ 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
19737	-264	274	382.5	0.72

※ 照査値=発生応力/短期許容応力度
(1.0以下であれば許容限界以下(弾性範囲内)でOK)

鉄筋コンクリート壁曲げ軸力に対する照査結果(断面③:津波時)

鋼管杭曲げ軸力に対する照査結果(断面①:重畳時)

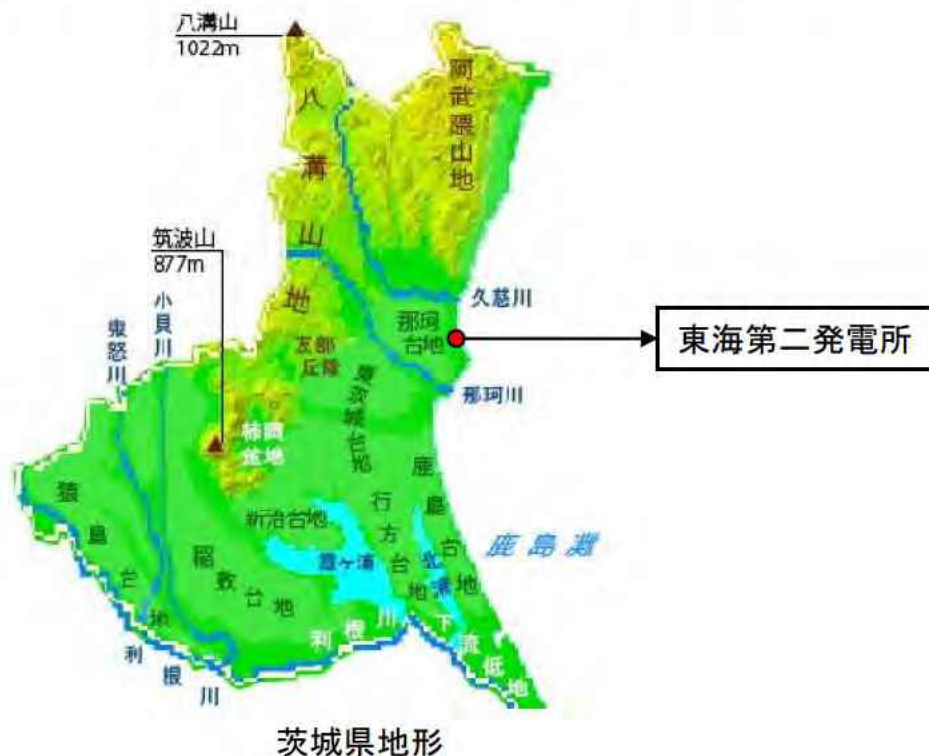
- ・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造部材が津波時(漂流物の衝突荷重を含む)及び余震時の重畳時においても許容限界(短期許容応力度)を満たすことを確認した。
- ・したがって、杭及び鉄筋コンクリート部材は弾性範囲内での挙動でとどまることから、津波の繰り返しの襲来に対しても問題ないことを確認した。

黒い津波の発生メカニズム

- ・陸側に入り込んだ湾のある地形では, 海水の流れも緩く, 河川から流入された土砂と有機物が海底に堆積されていく。
- ・陸側に入り込んだ湾のある地形に津波遡上があると, 波の力は行き場を失う。海底を掘り下げ, 堆積しているヘドロを巻き上げる。
- ・ヘドロを巻き込んだ津波は, 比重が高い。さらに摩擦抵抗により, 後ろからの津波が乗り上げる。
- ・その結果, 波が立ち上がり, 威力を増すとされている。

東海第二発電所では、黒い津波が発生する条件に該当していないことを確認した。

- 海岸の地形は、陸側に入り込んだ湾ではなく、外海の太平洋に面している。
- 敷地前面の海底は調査結果から、堆積物の大半は砂であることを確認している。
- 海水の流れが緩くなる発電所の港内は定期的(2回/年程度以上)に浚渫(しゅんせつ)を行い、表層50cm程度の堆積物を除去している。



[参考]

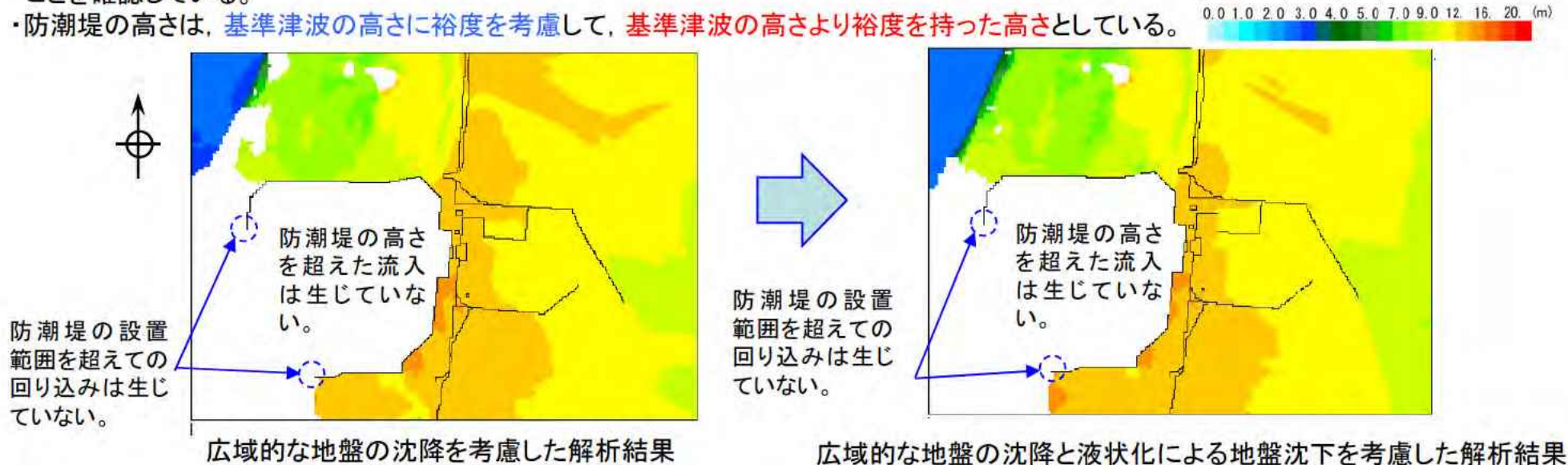
2011年3月11日東北地方太平洋沖地震時の東海第二発電所の敷地に津波の遡上を監視カメラで普通の海水であったことを確認している。ヘドロを巻き込んだ黒い津波ではなかった。

11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮 (防潮堤の高さ及び設置範囲(1/2))



防潮堤の高さは、基準津波の高さより裕度を持った高さとしている。
また、基準津波が回り込まないような範囲で防潮堤を設置する。

- ・地震によって生じる**広域的な地盤の沈降**を考慮して津波の解析を実施し、津波が**防潮堤高さを超えないこと**、**回り込みがないこと**を確認している。
- ・さらに、地震による**液状化**によって生じる**地盤沈下**も考慮して津波の解析を実施し、津波が**防潮堤高さを超えないこと**、**回り込みがないこと**を確認している。
- ・防潮堤の高さは、**基準津波の高さに裕度を考慮して、基準津波の高さより裕度を持った高さ**としている。



広域的な地盤の沈降(0.51mの沈降)*1を考慮して津波の解析を実施した結果、津波は防潮堤の高さを超えず、西側の防潮堤がない箇所からの回り込みもなく、防潮堤の内側には流入しない。
(着色部分が津波の浸水範囲)

さらに、液状化によって地盤沈下(0.5~1.5mの沈下)*2が生じたことを考慮して津波の解析を実施した結果、津波は防潮堤の高さを超えず、西側の防潮堤がない箇所からの回り込みもなく、防潮堤の内側には流入しない。
(着色部分が津波の浸水範囲)

基準津波の高さと防潮堤の高さの関係

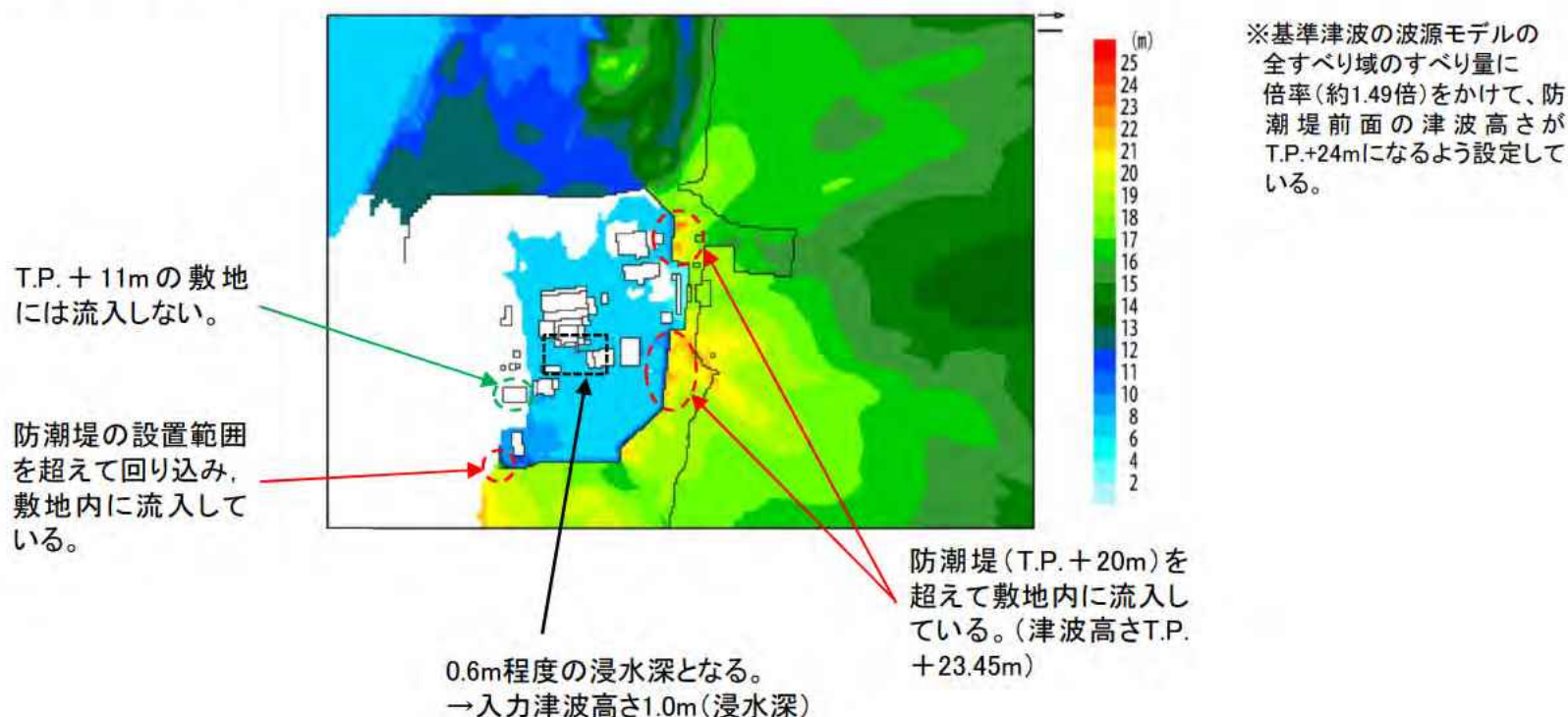
防潮堤の区画	各区画での最大津波高さ	防潮堤高さ
北側	T.P.+12.0m	T.P.+18m
東側	T.P.+17.7m	T.P.+20m
南側	T.P.+16.6m	T.P.+18m

* 1 別紙3参照
* 2 別紙4参照

防潮堤の高さは、基準津波の高さを超えるように設定されている。(1.4m~6.0mの裕度を持って設定されている。)

敷地に遡上する津波※は, 確率論的リスク評価において全炉心損傷頻度に対して津波のリスクが有意になる津波として, 防潮堤を越流させる事象を想定している。

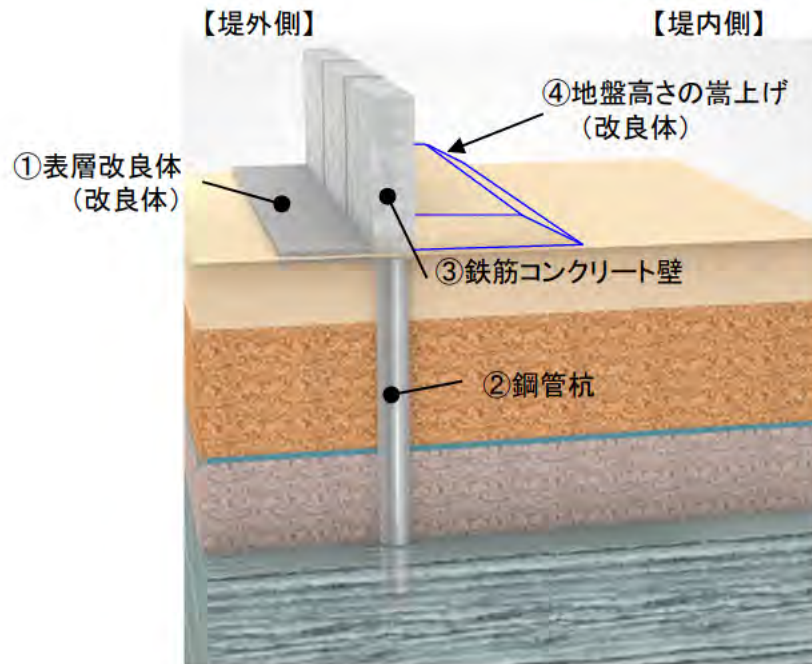
- ・敷地に遡上する津波は, 防潮堤を越えて敷地に流入する。
- ・敷地に遡上する津波は, 敷地南側から回り込み, 敷地に流入する。
- ・津波の防潮堤内側への越流及び回り込みにより, T.P.+8m以下の敷地に浸水して, 重大事故等対処施設が設置される箇所(原子炉建屋南側)で0.6m程度の浸水深となる。
- ・防潮堤内側に流入した津波に対して, 津波が到達しない箇所に設備を設置するか, 水密扉の設置等により建屋への流入を防止するといった対策をし, 敷地に遡上する津波から防護している。



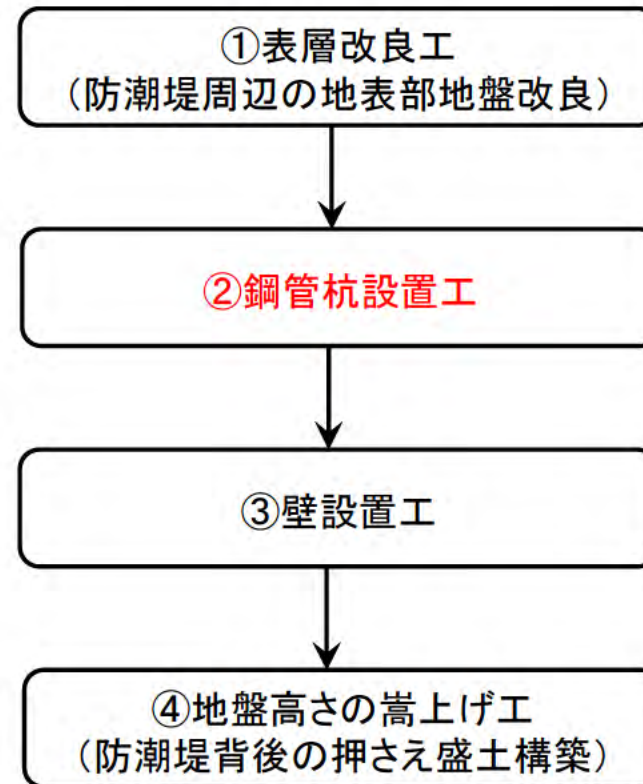
11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の施工(1/2))



- 施工は, 作業フローの通り, 大きくは4つに区分される。
- ②鋼管杭設置工は, 長尺の鋼管杭の置き場の確保や, 複数の大型重機を用いた工事となることから最も大きな作業エリアを必要とする。



鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の概念図

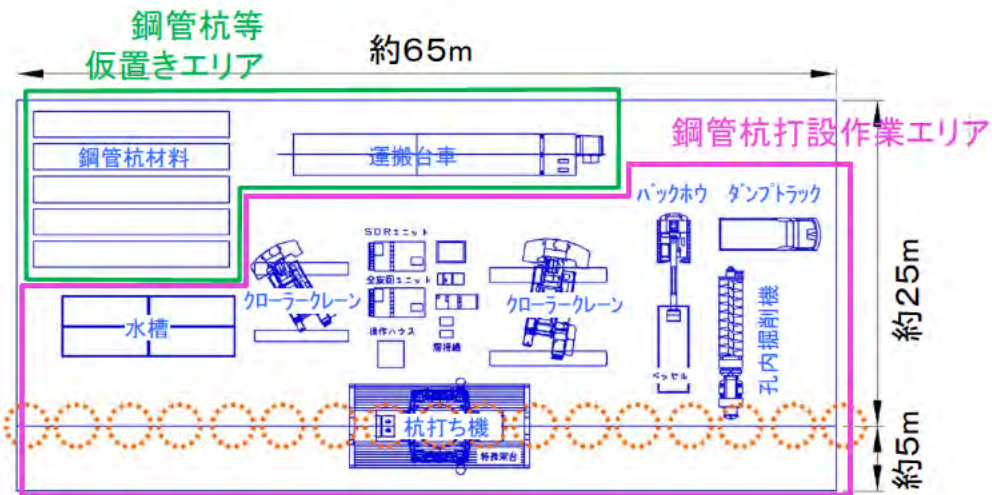


鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の作業フロー

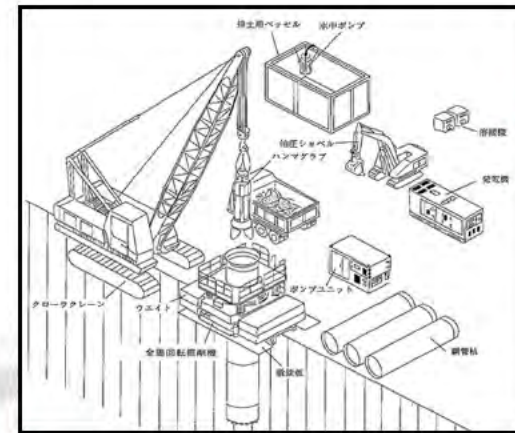
11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮
 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の施工(2/2))



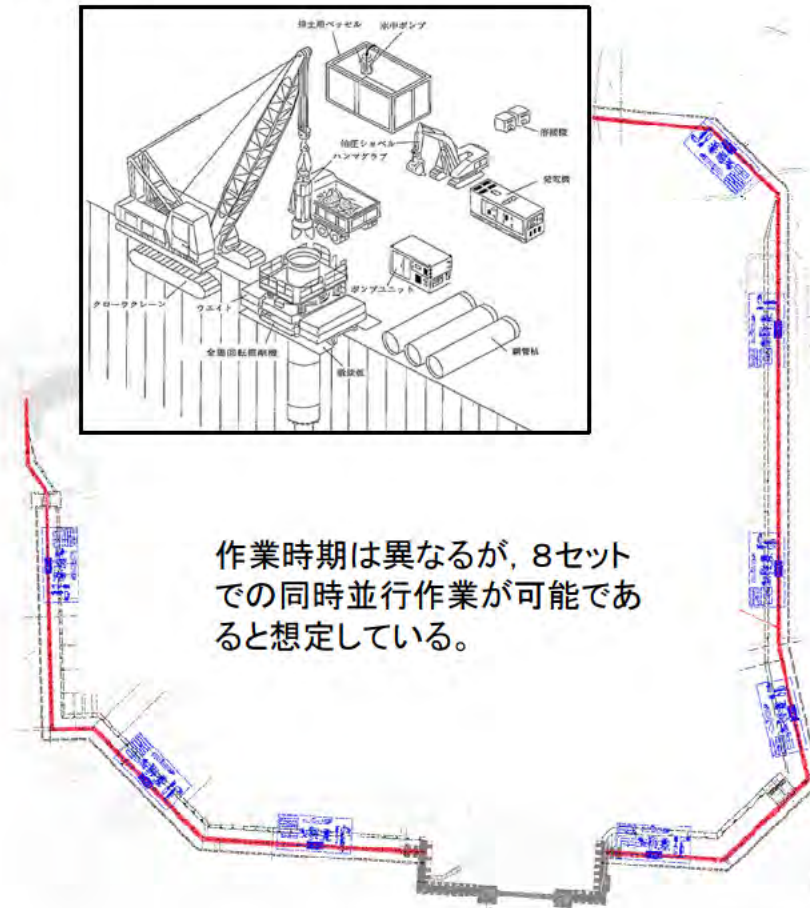
- ②鋼管杭設置工の作業は, 杭打ち機, クローラークレーン等の重機が必要となる。材料置き場を含め約2,000m² (約65m×約30m)の作業エリアが必要となる。
- 約2,000m²作業エリアを1セットの標準型として, 8セットによる同時並行作業を行っても実施可能であることを確認している。
- なお, 必要な作業エリアを十分確保した工事を行うとともに, 当社監理員は工事全体のエリア調整を適宜行い, 定期的なパトロールを行うなど, 安全性の高い工事計画に取り組んでいく。



鋼管杭設置工の必要作業エリア図(1セット)



作業時期は異なるが, 8セットでの同時並行作業が可能であると想定している。

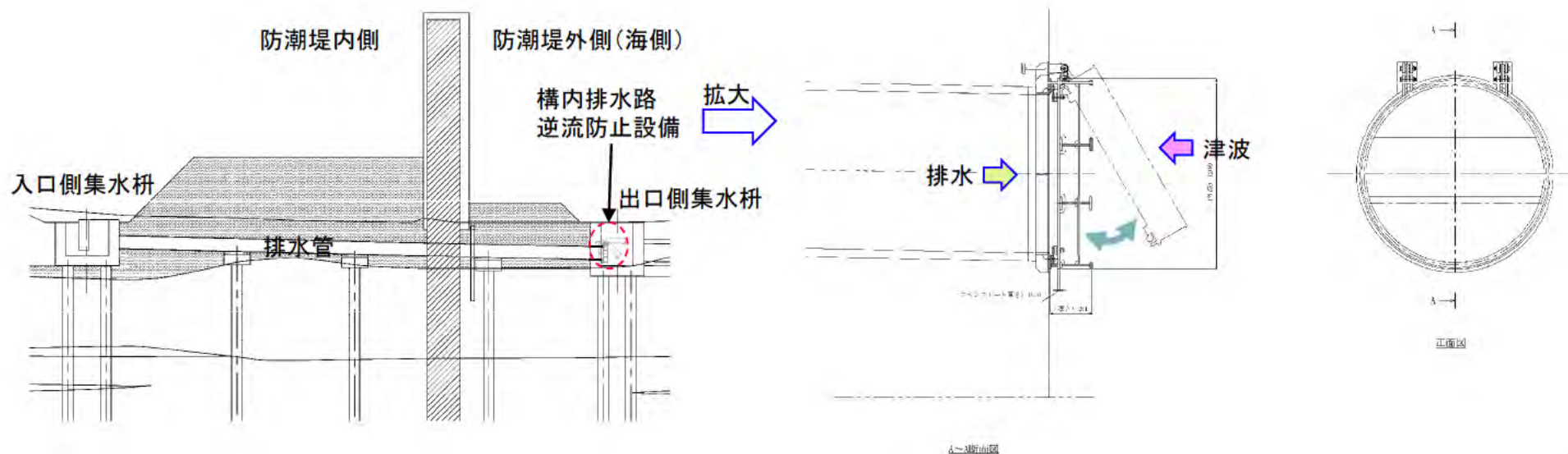


鋼管杭設置工の同時並行作業想定図

- ・防潮堤内の雨水を排水するために, 放水路に接続される場所(1箇所)及び防潮堤の地下部を横断する場所(9箇所)に, 排水路を設置している。
- ・排水路は, 水戸地方気象台の観測記録の日最大降水量81.7mm/hを上回るように, 127.5mm/hの雨水を排水できる設備としている。
- ・防潮堤の地下部を横断する場所には構内排水路逆流防止設備を設置している。



- ・防潮堤内の雨水は, 入口側集水枡に集められ, 防潮堤下部に埋設された排水管により防潮堤外に導かれ, 出口側集水枡を経由して, 海に排水している。
- ・出口側集水枡には, 防潮堤内の入口側集水枡に溜まった雨水等の水圧で開, 防潮堤外の津波の水圧で閉となる構造の構内排水路逆流防止設備を設置し, 排水路から津波が流入することを防止している。
- ・津波が襲来した場合には, 構内排水路逆流防止設備が閉となり排水できない状況となる。しかし, 津波は押し波と引き波が繰り返されることから閉となるのは一時的な状況であり, 日最大降水量81.7mm/hに対して降水量127.5mm/hを排水できるよう余裕を持った設計であるため, 十分な雨水の排水性は確保できる。



11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮 <別紙1> 鋼製防護壁と取水路の隙間の止水について

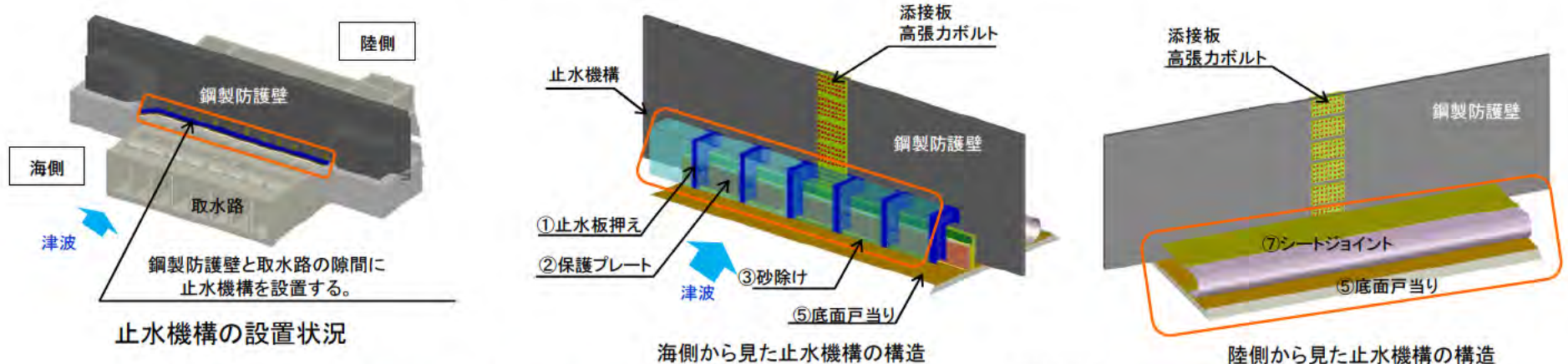


■ 鋼製防護壁と取水路の隙間の止水について

鋼製防護壁と取水路の隙間に止水機構を設置することにより、津波の流入を防止する。

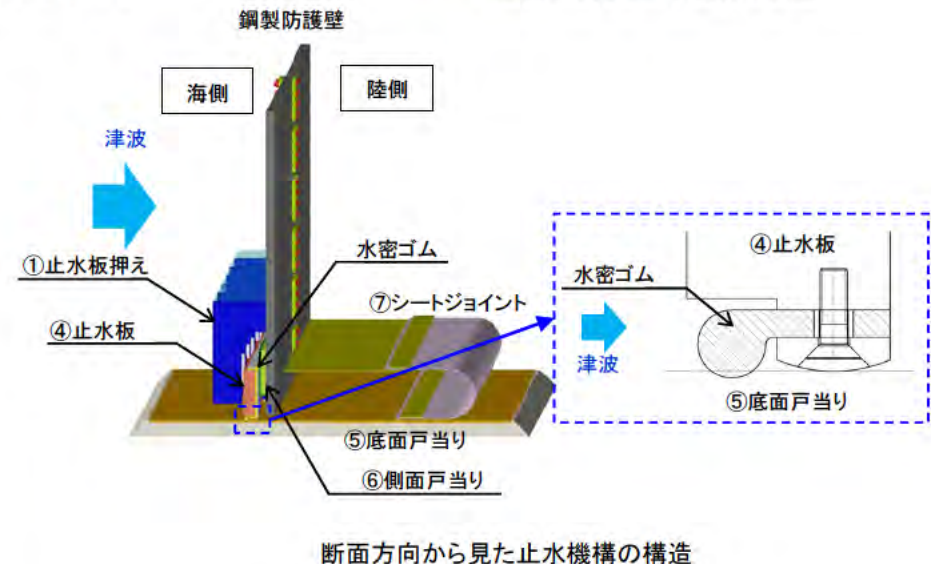
止水機構は、止水板を可動できる構造とし、地震時の鋼製防護壁と取水路の相対変位に追従できる構造としている。また、シートジョイントは、余長をもって設置し、地震時の鋼製防護壁と取水路の相対変位を吸収できる構造とする。

止水板に水密ゴムを取付け、水密ゴムを介して側面戸当り及び底面戸当りとシールすることにより、水密性を確保する。



止水機構を構成する主要部材とその機能

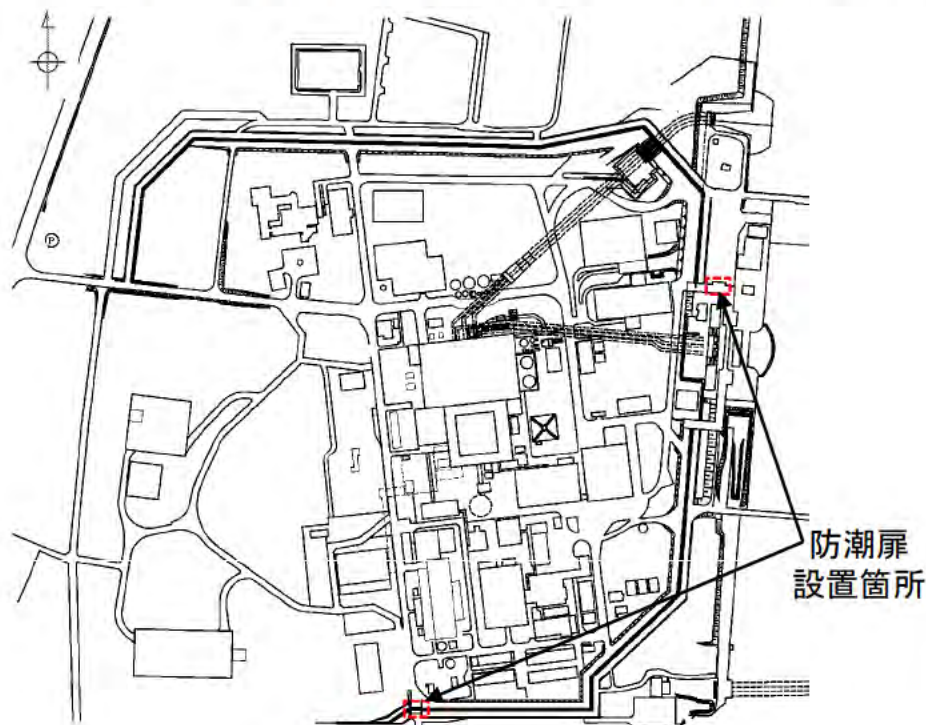
部材名称	機能
①止水板押え	・止水板を支持する。 ・漂流物等から止水板を防護する。
②保護プレート	・漂流物等から止水板を防護する。 ・止水板への異物混入を防止する。
③砂除け	・底面戸当り面への砂等の異物混入を防止する。
④止水板	・鋼製防護壁と取水路の隙間を塞いで浸水を防止する。 ・底面及び側面の戸当りに面する部位に水密ゴムを設置し、シール性を確保する。
⑤底面戸当り	・止水板と取水路とのシール性を確保する。 ・床部(取水路)より100mm嵩上げし異物混入を防止する
⑥側面戸当り	・止水板と鋼製防護壁とのシール性を確保する。
⑦シートジョイント	・止水板からの微少な漏えいを保持する。 ・陸側からの異物混入を防止する。



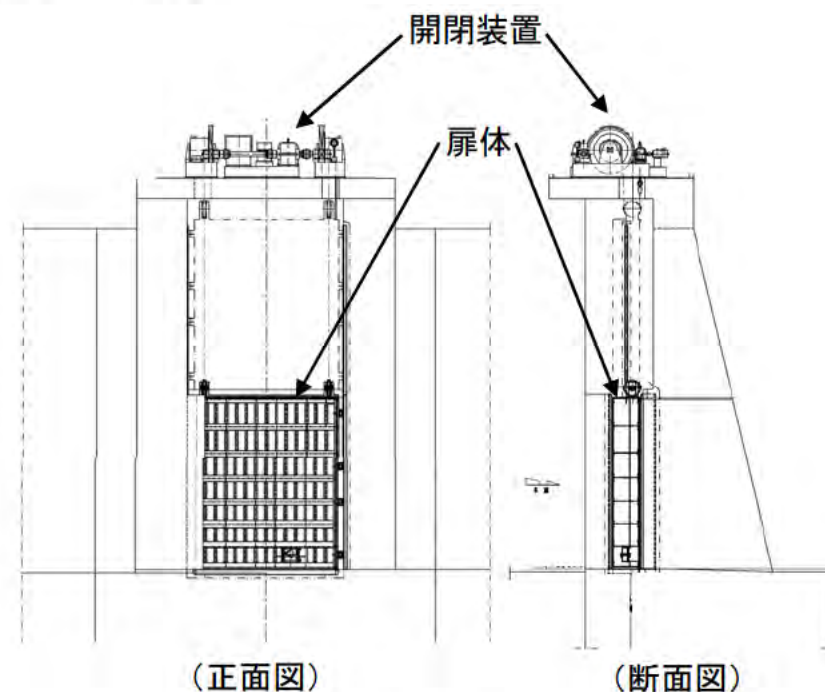
11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮
＜別紙2＞防潮扉の概要及び運用について(1/2)



- 取水口エリア及び南側の防潮堤に防潮扉を設置する。(2箇所)
- 防潮扉は, 頂部に設置する開閉装置により, 扉体を上下にスライドさせることによって開閉する構造となっている。
(上昇時:開, 下降時:閉)
- 防潮扉は, **通常時は閉運用**とするが, 以下に示す事象では開閉する場合がある。
 - ・開閉試験時(1回/年程度)
 - ・災害発生時(火災, 人身災害, 隣接事業所との災害協力等)
 - ・重大事故等時(海上モニタリングの実施に伴う小型船舶の運搬時)
 - ・その他発電所長が必要と認めた時
- 防潮扉の開閉は, 予め定められた手順, 体制に基づき, 確実に実施する。



防潮扉設置位置図



防潮扉構造概要図(閉止の状態)

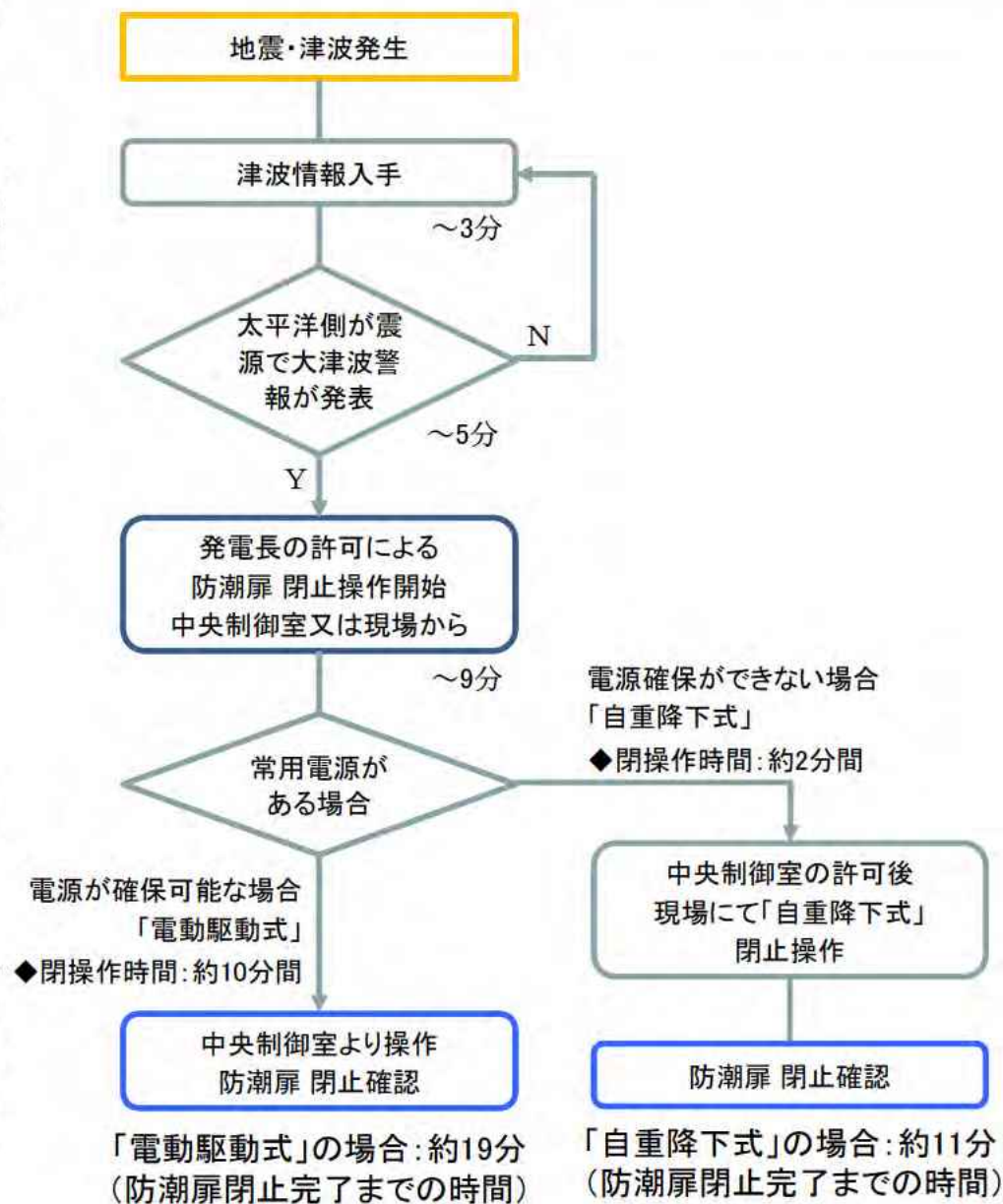
- 防潮扉は, 大津波警報が発表された場合には, ただちに閉操作を実施する運用とする。
- 防潮扉の閉操作は, 現場の安全性が確保されていることを確認のうえ, 中央制御室から電動駆動方式*1により閉止するが, 常用電源が喪失した場合には, 現場にて自重降下式*2により閉止する。
- 基準津波が**約37分後に発電所に到達**することに対して, 電動駆動式の場合は**約19分**, 自重降下式の場合は**約11分**で閉止することが**可能**となっている。

***1 電動駆動式**

開閉装置のブレーキを解除し, 電動機の駆動力により扉体を閉止するもの。ブレーキの解除及び電動機の駆動に電源が必要となる。

***2 自重降下式**

開閉装置のブレーキを解除し, 扉体の自重により, 扉体を降下させ閉止するもの。扉体の自重によって閉止する構造のため, 駆動用の電源は不要である。また, 現場に設置する無停電電源装置により, ブレーキを解除することが可能な仕組みとなっている。



防潮扉の閉止操作フロー及び閉止時間

11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報, 耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮
 <別紙3> 遡上解析において考慮する地殻変動量について



○津波の遡上解析においては, 広域的な地盤の沈降として, 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動と基準津波の起因となる地震に伴う地殻変動を考慮している。

- ・2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動は, 地震の発生に伴う地殻変動に加えて, その後の余効変動を考慮して, 0.2mの沈降としている。
- ・基準津波の起因となる地震に伴う地殻変動として, 0.31mの沈降を考慮している。

➢2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動については以下のとおり, 0.2mの沈降と設定している。

- ・2011年東北太平洋沖地震の前後で, 0.3m程度沈下している。
- ・地震後, 余効変動により回復傾向が続いている。
- ・遡上解析の実施に当たり, 地震後から解析を実施する時点(2017年)までの余効変動を考慮した変動量として0.2m程度の沈降を考慮している。
- ・発電所内のGPS測量結果の0.2m沈降とも一致している。
- ・なお, 遡上解析を実施した2017年以降も回復傾向は続いていることから, 解析結果は地殻の実際の状態に対して保守的な扱いとなっている。

➢基準津波の起因となる地震に伴う地殻変動については, 基準津波の波源モデルを踏まえて, Mansinha and Smylie(1971)の方法により算定し, 0.31mの沈降と設定している。

発電所周辺の電子基準点(日立)の高さ変動量

観測局名	所在地	高さの変動量 [cm]								
		本震前後(※1)	本震翌日から1年後までの累積(※2)	本震1年後から2年後までの累積(※2)	本震2年後から3年後までの累積(※2)	本震3年後から4年後までの累積(※2)	本震4年後から5年後までの累積(※2)	本震5年後から6年後までの累積(※2)	本震翌日から6年間の累積(※3)	本震前から6年間の累積(※4)
日立	茨城県日立市金沢町	-31	4	2	2	1	1	2	12	-19

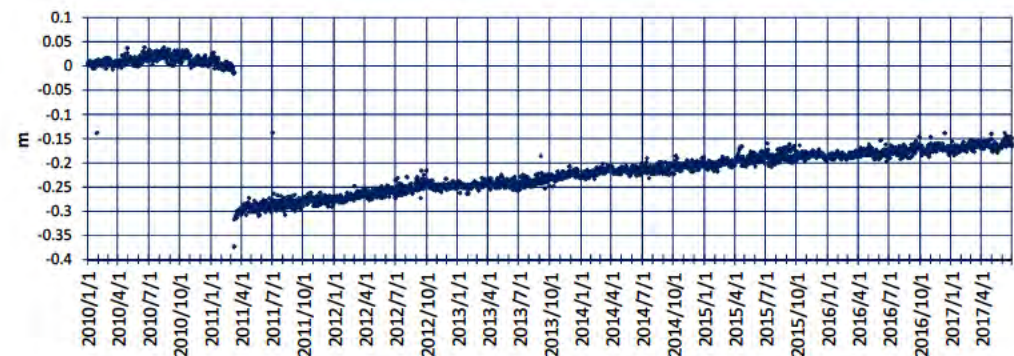
国土地理院(2017)

(※1) 2011年3月10日と2011年3月12日の比較

(※2) 「本震翌日, 1, 2, 3, 4年後から1, 2, 3, 4, 5年後までの累積」は, 2011年, 2012年, 2013年, 2014年, 2015年3月と2012年, 2013年, 2014年, 2015年, 2016年3月をそれぞれ比較したもの, 「本震5年後から6年後までの累積」は2016年2月と2017年2月を比較したもの

(※3) 2011年3月12日と2017年2月の比較

(※4) 2011年2月と2017年2月の比較



※2011年2月の平均値をゼロとしている。

国土地理院(2017)

発電所周辺の電子基準点(日立)の鉛直変動の推移




11. 防潮堤等の具体的な構造や設計情報，耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮
＜別紙4＞ 遡上解析において考慮する沈下量について



津波の遡上解析においては，地震の発生に伴う液状化によって，0.5m～1.5mの地盤沈下が生じることを考慮して解析を実施している。



- ・地震を起因として，地盤が液状化することを仮定し，液状化に伴って地盤沈下する量を評価した。
- ・評価結果より，解析における沈下量を以下のとおり設定する。
 - 海岸線近傍は1.5mの沈下を設定する。
 - 敷地北側は1.0mの沈下を設定する。
 - 敷地南側は0.5mの沈下を設定する。

	:0.5mの沈下を仮定する範囲
	:1.0mの沈下を仮定する範囲
	:1.5mの沈下を仮定する範囲

解析において考慮する沈下量

- 発電所に津波が襲来する恐れを覚知した場合、**人命を最優先として避難活動**を行う。
この際に、**発電所の非常時対応業務への関係の有無**に応じて、避難及び移動先を分ける。

① 発電所の非常時対応に関係しない、所外からの来訪者や見学者及び一般作業員等

⇒ 発電所外の高所の避難場所に避難して安全を確保する。

② 発電所の非常時の対応を担う、運転員を含む災害対策要員

⇒ ②-1 運転員は、出入口を水密化した原子炉建屋内の高所の中央制御室に移動*

⇒ ②-2 運転員以外の災害対策要員は、津波が到達しない高所に設置された緊急時対策所に移動*

*災害対策要員はこれらの場所で津波や発電所の状況を監視・把握し、発電所が津波で被災した際に迅速な対応が行えるよう備える。



12. 波襲来時の作業員の対応と避難との関係

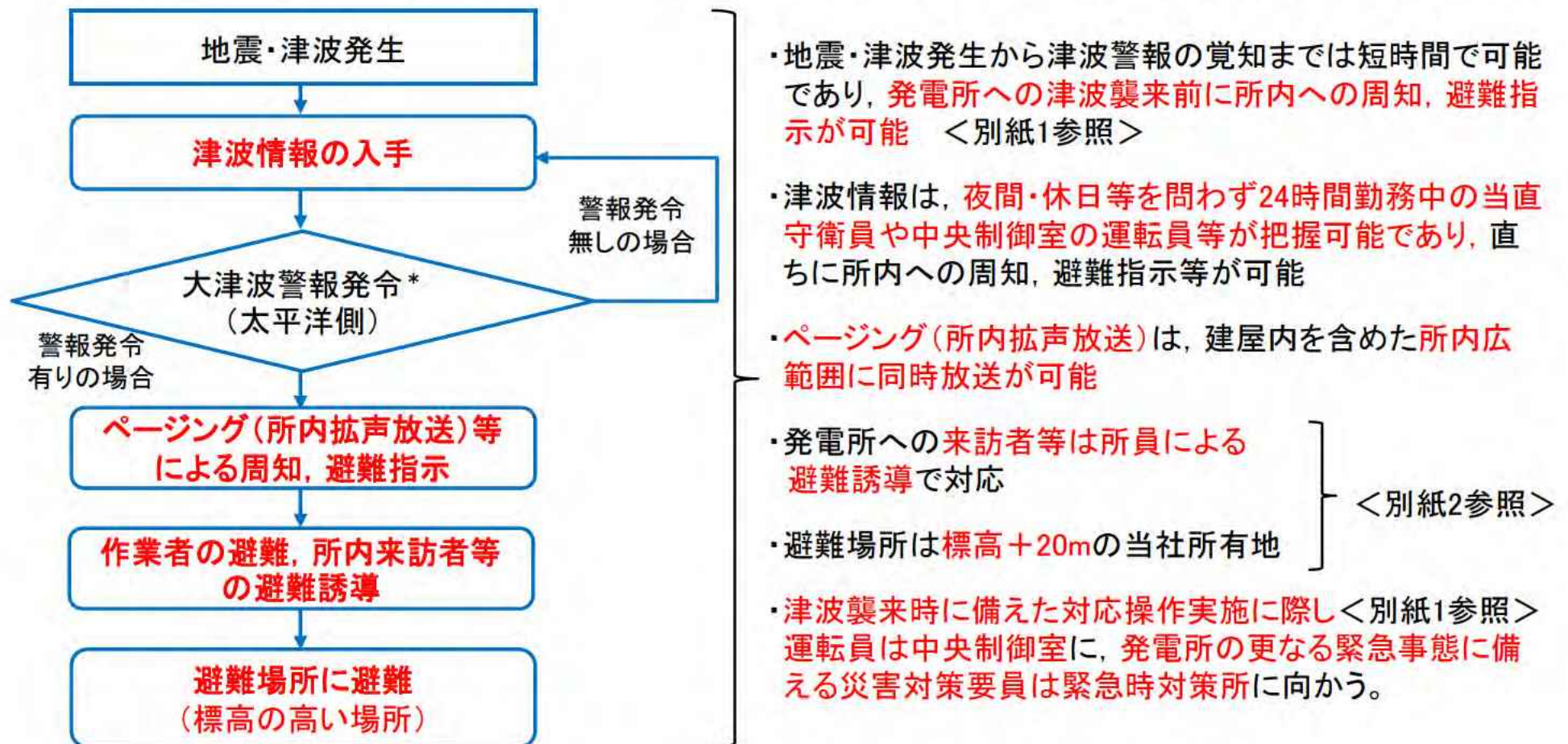
(東海第二発電所における津波襲来時対応(具体的な避難・移動方法))



- 発電所に津波が襲来する恐れを覚知した場合の避難対応フローは以下のとおりとし、人命を最優先として避難活動等を行う。

- ① 発電所に襲来する可能性がある津波情報を覚知し所内に周知、避難指示を出す。
- ② 所内の作業員等は、高所の避難場所に避難し、安全を確保する。

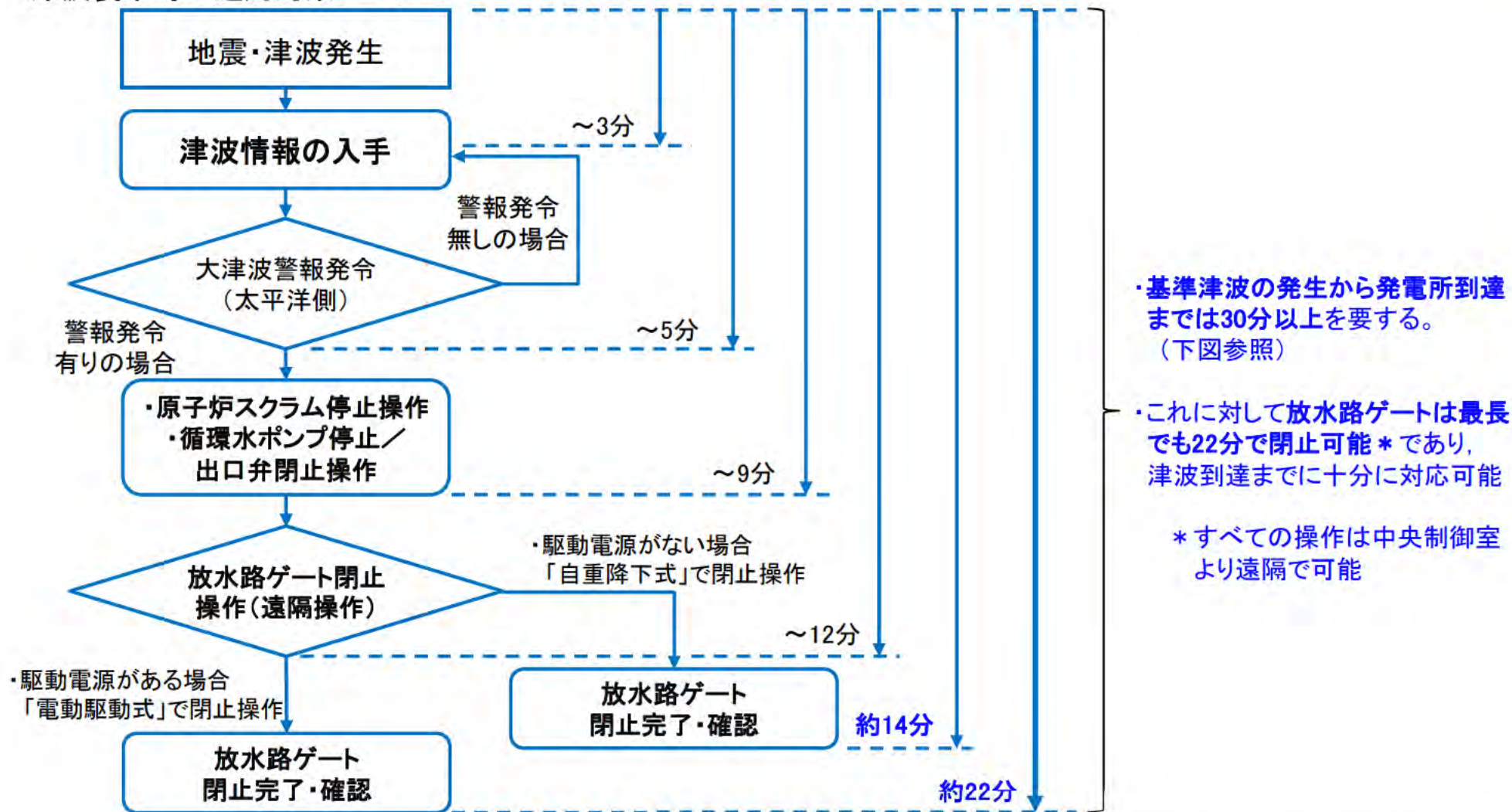
(津波襲来時の発電所運用対策を別紙1に、2011年東北地方太平洋沖地震時の対応状況を別紙2に示す。)



* 大津波警報は、予想される津波の高さが高いところで3mを超える場合に出される。

津波襲来時の運用対策について

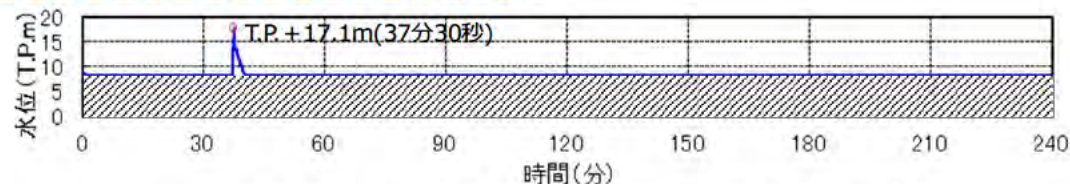
津波発生から各対応操作までの累積時間



・基準津波の発生から発電所到達までは30分以上を要する。
(下図参照)

・これに対して放水路ゲートは最長でも22分で閉止可能*であり、津波到達までに十分に対応可能

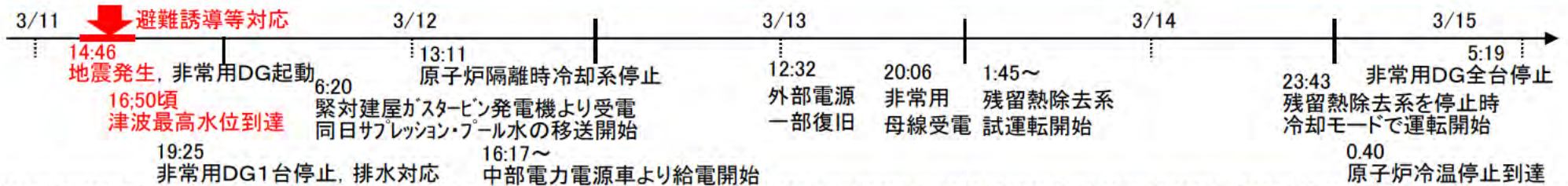
*すべての操作は中央制御室より遠隔で可能



基準津波による防潮堤前面での津波高さの変化

12. 波襲来時の作業員の対応と避難との関係

<別紙2> 2011年東北地方太平洋沖地震発生時の人員の安全確保に係る運営状況



○地震発生直後の避難誘導等の発電所運営状況。発電所内には一般見学者を含め1,000名以上が滞在していたが、プラント自動停止時の対応と並行して、人命最優先で地震と津波警報を受けた避難活動を混乱なく実施

- | | | |
|--------------|---|--|
| ①中央制御室 | : 原子炉停止時対応操作, ページング(所内放送)で地震・津波避難指示, 地震時現場パトロール | |
| ②事務本館・緊急時対策室 | : 発電所本部体制の確立, 避難指示等決定・連絡, 国・自治体等への通報実施, 所員の一部避難 | |
| ③建屋内現場・屋外現場 | : 合計約500名の作業員の避難実施 | } 地震後の屋外への退避及び大津波警報を受けた高所への避難指示・避難誘導実施 |
| ④協力会社棟 | : 約300名の社員の避難実施 | |
| ⑤原子力館・現場見学 | : 一般見学者の避難実施 | |

13. 津波の襲来情報等を得るための潮位計及びその運用
(襲来する津波の監視と対応について(1/4))

●津波の襲来の状況は、中央制御室にて津波・構内監視カメラと公的機関の津波情報により把握

- ・沖合からの津波襲来の様子は原子炉建屋屋上及び防潮堤上部の津波・構内監視カメラで監視可能
- ・原子炉建屋屋上は標高+64m, 防潮堤上部は標高+18m及び標高+20mと高所であり、広く見渡すことが可能。高所からの監視のため発電所の沖合(水平線)約28km先まで視界に収めることができる。
- ・津波・構内監視カメラの映像は中央制御室で確認することができ、津波・構内監視カメラは、可視光方式と赤外線方式が使用できるため、昼夜を問わず監視可能
- ・公的機関(気象庁等)からの津波情報(津波警報・注意報の種類, 津波の高さ予想等)は、中央制御室でFAXで受信, またはパソコン及び電話にて確認し、津波襲来を予測可能
- ・気象庁から大津波警報が発表された場合, 発電所構内への避難指示と共に, 原子炉停止操作開始
- ・公的機関の津波情報と津波・監視カメラにより, 早期に津波襲来の状況把握が中央制御室にて可能

津波・構内監視カメラの主な仕様

	津波・構内監視カメラ
外観	
カメラ構成	可視光及び赤外線
ズーム	デジタルズーム4倍
遠隔可動	水平可動: 360° (連続), 垂直可動: ±90°
夜間監視	可能 (赤外線カメラ)
耐震設計	Sクラス
供給電源	所内常設直流電源設備
風荷重	設計竜巻を考慮した荷重にて設計
積雪荷重, 堆積量	積雪を考慮した荷重及び設置高さにて設計
降下火砕物荷重, 堆積量	降下火砕物を考慮した荷重及び設置高さにて設計
台数	原子炉建屋屋上3台, 防潮堤上部4台



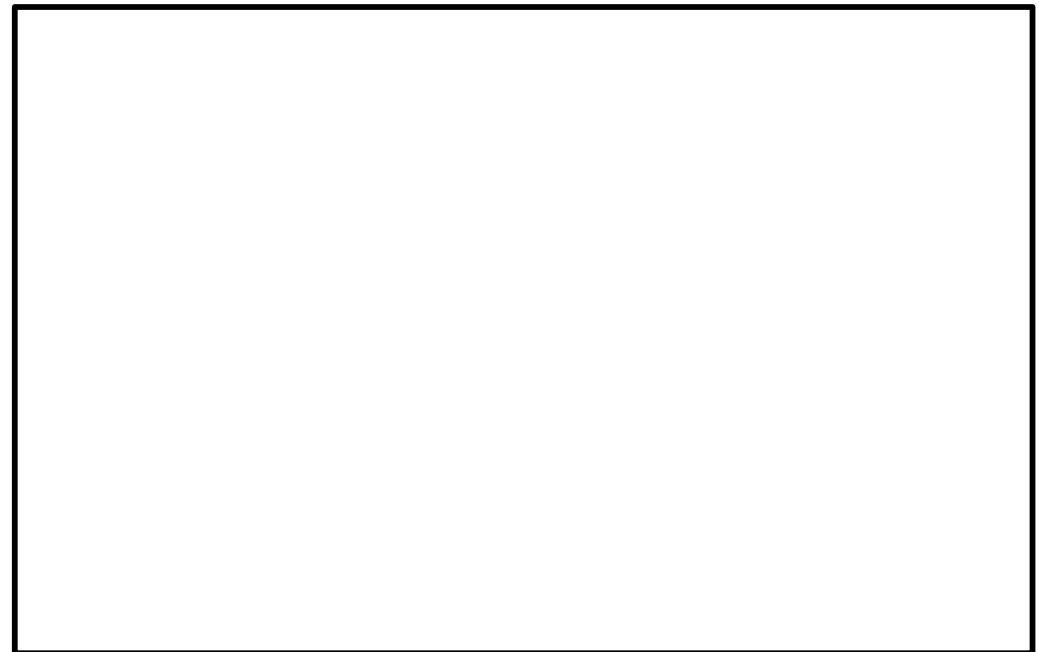
監視カメラの視界のイメージ

13. 津波の襲来情報等を得るための潮位計及びその運用
(襲来する津波の監視と対応について(2/4))

- 襲来した津波による影響は、津波・構内監視カメラ、潮位計及び取水ピット水位計により把握できる。
 - ・発電所に襲来した津波の高さは、取水口付近に設置された潮位計により計測可能
 - ・引き波の状況は潮位計で示される水位で把握可能であり、非常用海水ポンプの取水性も取水ピット水位計で把握可能
 - ・襲来の予測が難しい海底地すべりや斜面崩壊等による地震を伴わない津波については、発電所周圍に同津波を引き起こす可能性のある地形は認められないと評価
 - ・仮にこれらの地震に起因しない津波が発生したことを想定しても、東海第二では、津波高さが小さく、発電所の安全性へ影響を及ぼさないと評価していることから、地震に起因しない津波の発生を察知するのに有効な沖合の潮位計の必要性は小さく、津波監視設備及び外部機関(気象庁)からの津波警報※の発表で津波の襲来を察知して対応することが可能

※気象庁からの津波警報は、地震に起因する津波に対する警報となる。

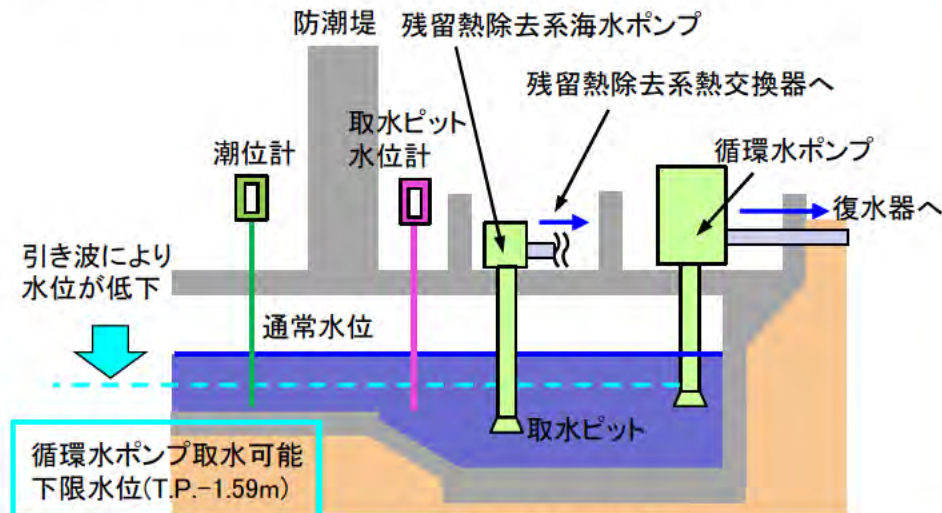
- ・太平洋側で大津波警報が発表された場合には予め原子炉を手動停止。
仮に警報がない場合でも、引き波で取水ピット水位が循環水ポンプの取水可能下限水位(T.P.-1.59m:設計値)まで低下した場合等、原子炉の運転継続に支障がある場合も原子炉を手動停止



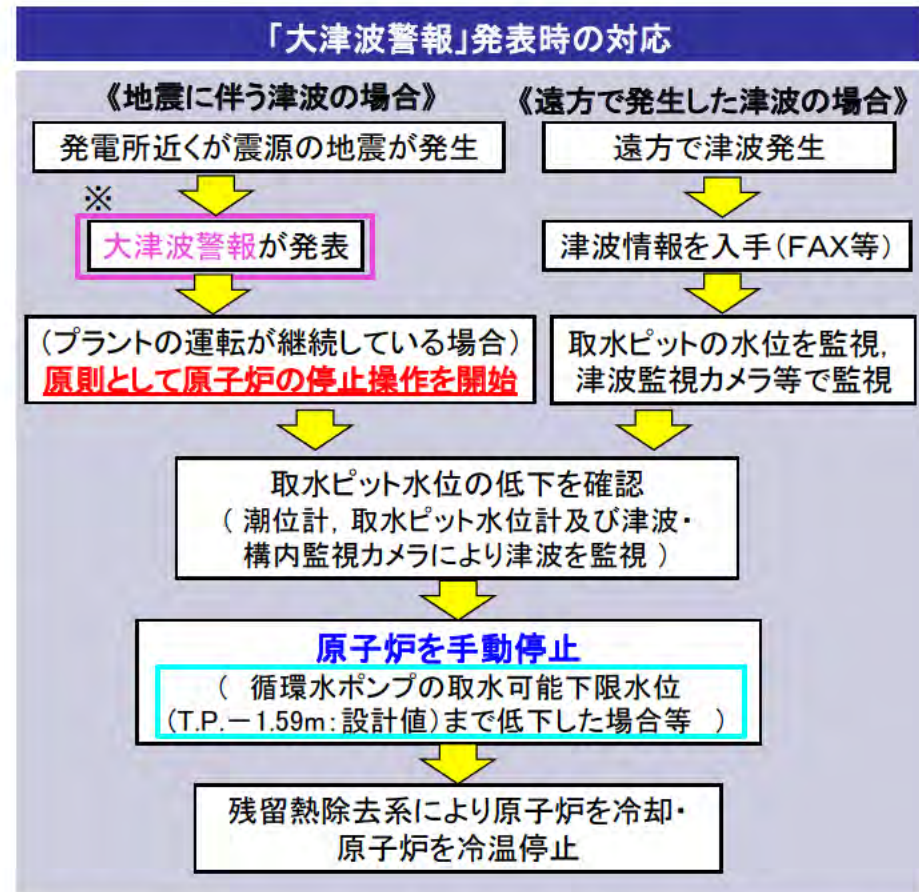
監視カメラ及び潮位計等の構内配置図

●津波による原子炉停止までの流れ

- ・自然災害等の影響によりプラントの原子炉安全に影響を及ぼす可能性がある事象(以下「前兆事象」という。)について、前兆事象として把握できるか、重大事故等を引き起こす可能性があるかを考慮し、設備の安全機能の維持及び事故の未然防止対策をあらかじめ検討しておき、前兆事象を確認した時点で事前の対応ができる体制及び手順を整備する。
- ・津波の規模と発電所への影響として、引き波による除熱機能喪失のリスクがあること、また、発電所近くが震源の場合、発生した津波の波高を確認する時間的余裕がないことや発電所遠方の津波では、波高等の予測精度が低下する可能性があること等を考慮し、「大津波警報」発表時の右図のフローに示す対応を実施する。



取水口断面図



※ 襲来する津波の監視と対応について (4/4)「津波警報・注意報の種類について」参照

●津波警報と津波予報区

・気象庁が定めている津波予報区のうち、発電所を含む地域である「茨城県」区域に対し、発表基準に従い気象庁から大津波警報が発表された場合には、以下の対応を行う。

- 発電所構内に避難指示を行う。
- 原則として原子炉停止操作を開始する。

ただし、以下の場合は除く。

- ① 大津波警報が誤報であった場合
- ② 発電所から遠方で発生した地震に伴う津波であって、津波が到達するまでの間に大津波警報が解除又は見直された場合。

津波警報・注意報の種類について

種類	発表基準	発表される津波の高さ (数値(津波の高さ予想の区分))
大津波警報	予想される津波の高さが高いところで3mを超える場合	10m超 (10m<予想高さ)
		10m (5m<予想高さ≤10m)
		5m (3m<予想高さ≤5m)
津波警報	予想される津波の高さが高いところで1mを超え、3m以下の場合	3m (1m<予想高さ≤3m)
津波注意報	予想される津波の高さが高いところで0.2m以上、1m以下の場合であって、津波による災害のおそれがある場合。	1m (0.2m<予想高さ≤1m)

出典：気象庁ホームページ「津波警報・注意報、津波情報、津波予報について」

気象庁が定める津波予報区



出典：気象庁ホームページ「津波予報区について」

➤ 防潮堤高さを超える津波が襲来した場合の対策を検討するために津波PRA手法を活用する

・津波PRAの条件について

- ・設計基準事故対処設備による対応を基本とし、これまでに整備したAM策，緊急安全対策（水密化を含む）及び重大事故等対処設備は考慮しない（防潮堤は考慮，敷地遡上津波への対応は考慮しない）
- ・防潮堤耐力・敷地内浸水時の影響範囲を踏まえ津波区分を設定（下図参考）

- ① T.P.+20m(防潮堤前面)未満の津波は，敷地内に浸水しないため，津波PRAの対象外
- ② T.P.+24mまでの津波に対して，敷地内浸水時の影響範囲を考慮して津波区分を設定
- ③ T.P.+24mを超える津波に対して，必ず防潮堤が損傷すると仮定（T.P.+24mまでの津波で防潮堤の止水機能が保持されることを確認している）

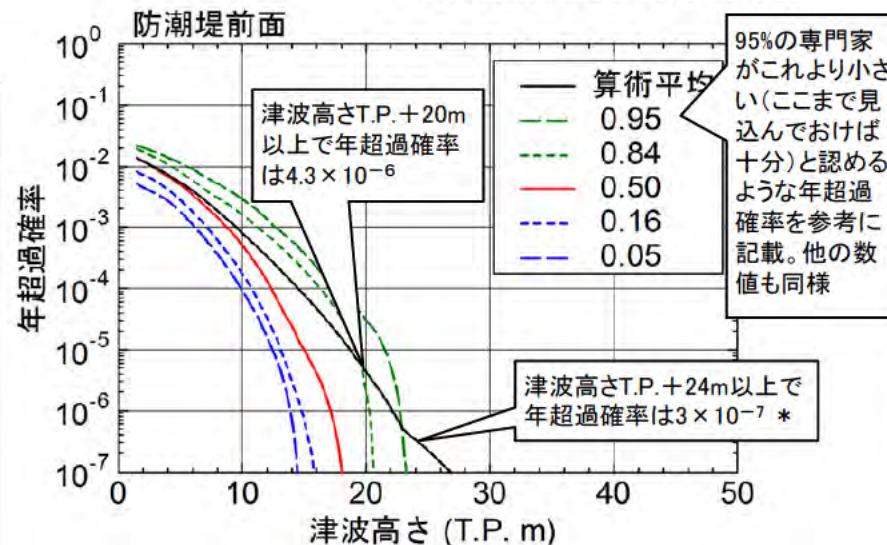
- 津波区分1：T.P.+20m～+22m※
 津波区分2：T.P.+22m※～+24m
 津波区分3：T.P.+24m～

※防潮堤を越流した津波がT.P.+8mの原子炉建屋に到達するかどうかで②を分割

津波 (津波高さ)	防潮堤損傷 (T.P.+24m～)	原子炉建屋内浸水 (T.P.+22m～+24m)	最終ヒートシンク喪失 (T.P.+20m～+22m)	発生する起因事象
			発生なし	① —
		発生なし	発生	最終ヒートシンク喪失 (T.P.+22m～+24m)
	発生なし	発生	発生	原子炉建屋内浸水による 複数の緩和機能喪失* (最終ヒートシンク喪失) (T.P.+22m～+24m)
	発生			防潮堤損傷* (T.P.+24m～)

※炉心損傷直結のためイベントツリーは展開しない。

津波PRAにおける階層イベントツリー



評価に用いる平均津波ハザード曲線

*算術平均は全データの重みつき平均であり，少数でも極端に大きな超過確率を示すデータがあると，平均の超過確率を大きく引き上げ，0.95等の割合が高い値を超える場合がある。

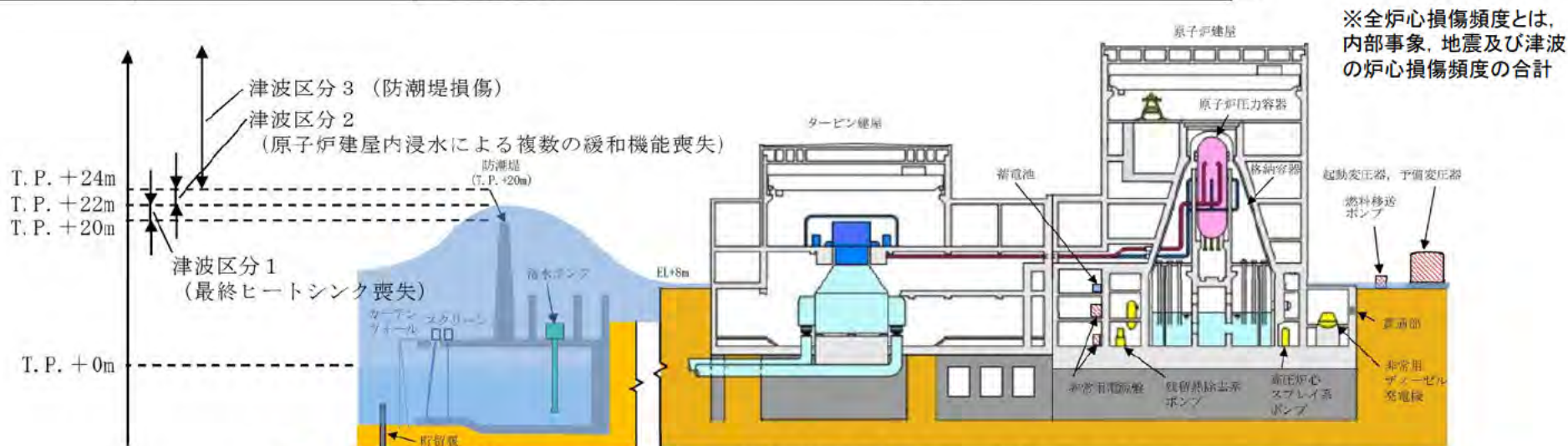
➤津波PRAの結果を踏まえ、津波区分ごとの津波防護対策を実施(対策は②・③参照)

- ・T.P.+20m~+24m(津波区分1, 津波区分2):全炉心損傷頻度に占める割合が有意
- ・T.P.+24m~(津波区分3):全炉心損傷頻度に占める割合が1%未満と小さい

PRAの結果概要

炉心損傷頻度 (/年)			
内部事象	地震	津波	全炉心損傷頻度
6.1E-05	1.0E-05	4.3E-06	7.5E-05

津波区分	津波高さ	津波による影響を受ける建屋・機器	起因事象	
津波区分1	T. P. +20m~T. P. +22m	・ 非常用海水ポンプ機能喪失	・ 最終ヒートシンク喪失	炉心損傷頻度 約 4×10^{-6} /年 (全炉心損傷頻度※ の約5.3%)
津波区分2	T. P. +22m~T. P. +24m	・ 非常用海水ポンプ機能喪失 ・ 起動変圧器, 予備変圧器機能喪失 ・ 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失	・ 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失	
津波区分3	T. P. +24m~	・ 非常用海水ポンプ機能喪失 ・ 起動変圧器, 予備変圧器機能喪失 ・ 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失 ・ 防潮堤損傷	・ 防潮堤損傷	炉心損傷頻度 約 3×10^{-7} /年 (全炉心損傷頻度※ の約0.4%)



プラントの設備配置の概略図(津波浸水イメージ)

* 本評価では重大事故等対処設備がない前提で評価している。

15. 多重防護の観点での津波対策について

➤ 敷地に遡上する津波の襲来も想定した上で以下のとおり多重的な津波対策を実施する

1. 基準津波(防潮堤前面の津波高さ:T.P.+17.1m)

決定論的考え方に基づき、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(基準津波)を敷地内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(基準津波を超える規模の津波)

(1) 防潮堤を越流し、浸水が発生する規模の津波(防潮堤の健全性は維持)

(防潮堤前面の津波高さ:T.P.+20m~24m)

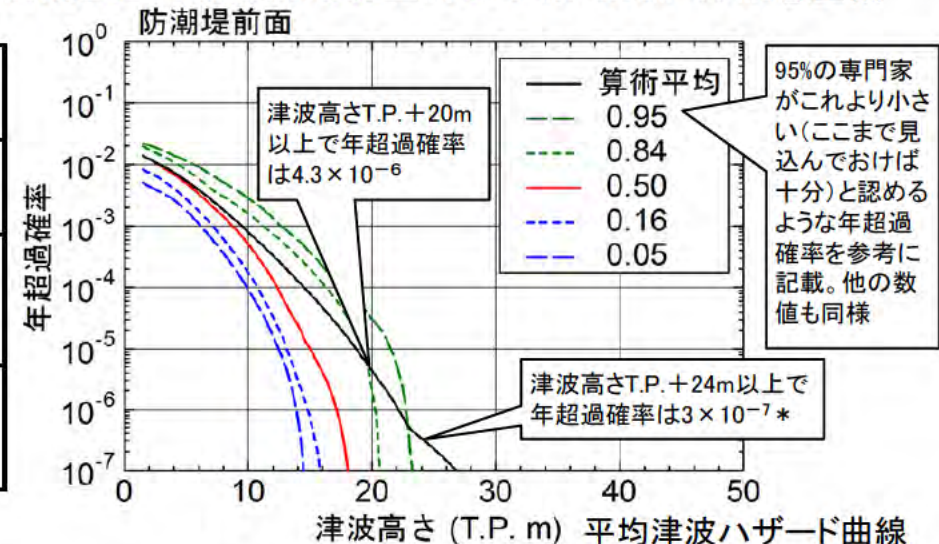
全炉心損傷頻度への寄与が比較的大きいこと、津波による影響の程度が特定できることを考慮し、原子炉建屋の外壁や重大事故等対処設備等に水密対策を施すことにより、常設及び可搬型の重大事故対処設備を活用して原子炉等の冷却を可能とする手順・設備・体制を整備

(2) 防潮堤が損傷する可能性のある津波高さ(防潮堤前面の津波高さ:T.P.+24m~)

防潮堤が損傷する規模の津波が発生する可能性は低いものの、そのような津波が発電所に襲来することも想定し、防潮堤損傷を前提として、高所に配置した可搬型設備を活用した大規模損壊発生時の手順・設備・体制を整備

	津波高さ	津波PRA結果※ (炉心損傷頻度)	対策
1.	~T.P.+20m	津波PRAの 対象外	敷地内に浸水しないための対策を実施
2. (1)	T.P.+20m ~24m	4×10^{-6} /年	敷地内に浸水することを前提に、原子炉建屋・重大事故対処設備の水密対策等を実施
2. (2)	T.P.+24m~	3×10^{-7} /年	防潮堤損傷を前提に大規模損壊の対応

※ 防潮堤以外の津波防護対策を考慮しない評価結果のため、敷地に遡上した場合には必ず炉心損傷に至ると評価 (炉心損傷頻度=年超過確率)

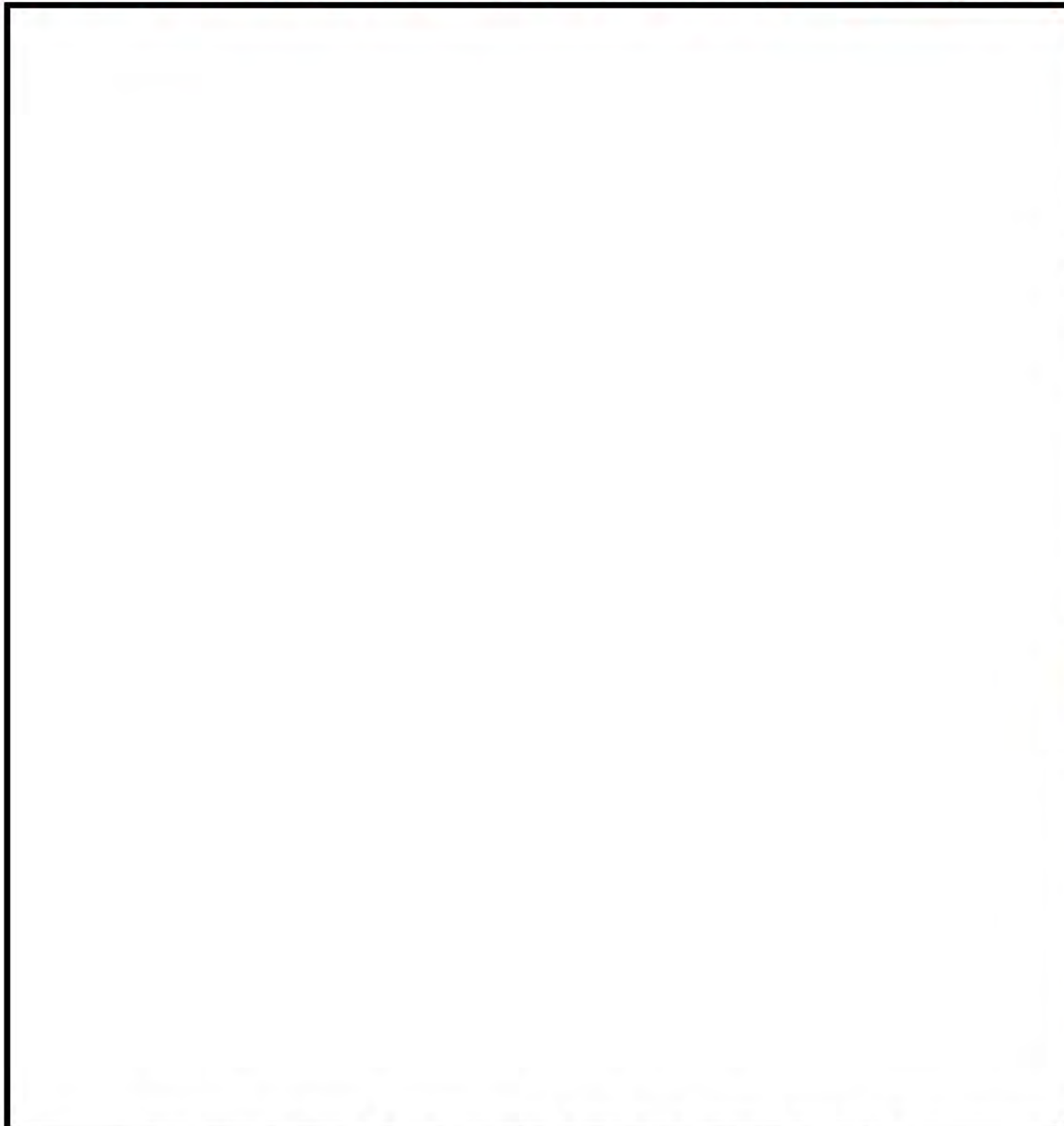


* 算術平均は全データの重みつき平均であり、少数でも極端に大きな超過確率を示すデータがあると、平均の超過確率を大きく引き上げ、0.95等の割合が高い値を超える場合がある。

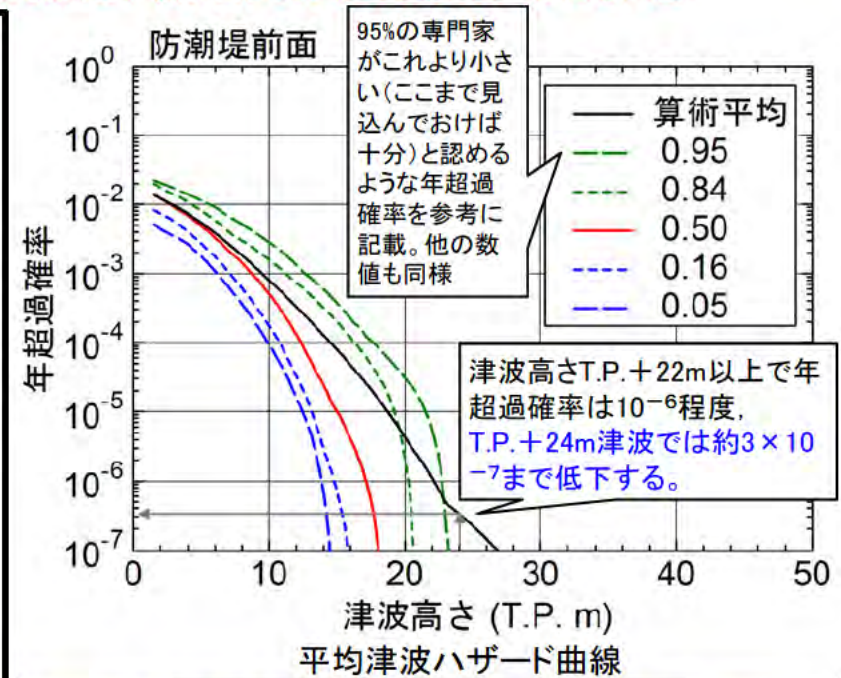
15. 多重防護の観点での津波対策について
 (敷地に遡上する津波[T.P.+20m~24m] (1/2))



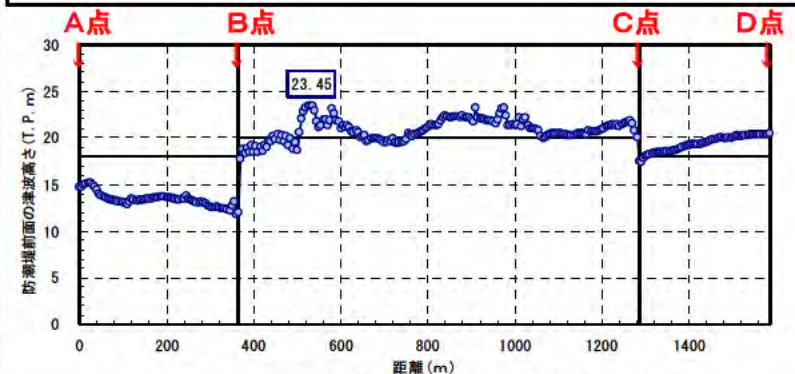
➤T.P.+24m(防潮堤前面)の津波高さを想定した遡上解析を実施し、敷地内の浸水深分布を評価



敷地に遡上する津波による敷地の最大浸水深分布



基準津波を超え敷地に遡上する津波の高さとしては、年超過確率が十分小さくなるT.P.+24m(防潮堤前面)までの津波高さを想定し、津波遡上解析を実施した。

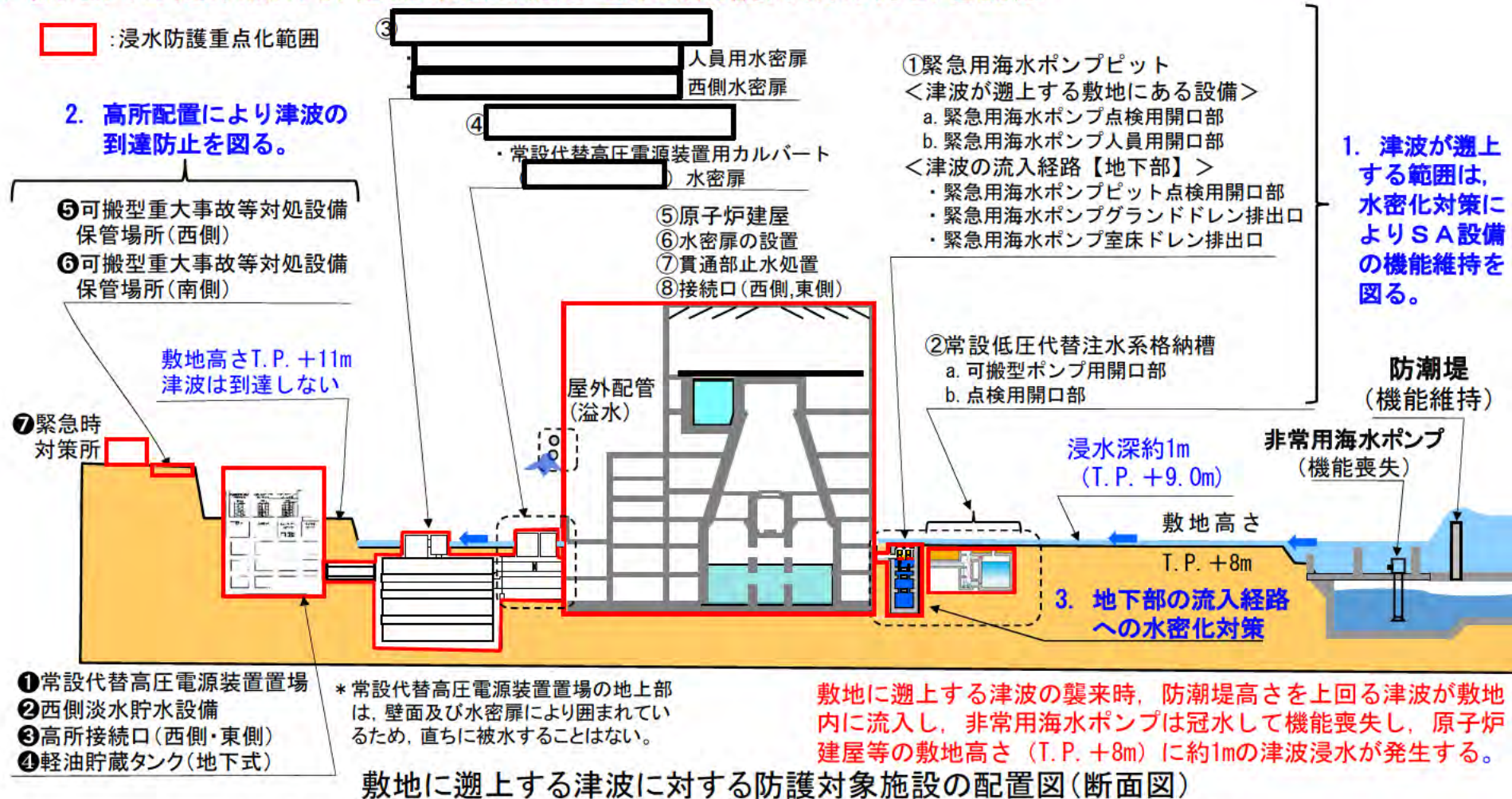


防潮堤前面における敷地遡上津波の高さ

※T.P.+24mの津波は、基準津波の波源モデルの全すべり域のすべり量を調整することにより発生させている。津波高さ(T.P.+24m)は、仮想的に防潮堤位置に無限鉛直壁を設定した場合の防潮堤前面の最高水位(駆け上がり高さ)を示す。

15. 多重防護の観点での津波対策について
 (敷地に遡上する津波[T.P.+20m~24m](2/2))

➤敷地内の浸水深の評価結果を考慮して津波防護対策の方針を設定



敷地に遡上する津波に対する防護対象施設の配置図(断面図)

【敷地に遡上する津波の到達範囲に応じて防護対象施設の防護方を策定】

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	T.P.+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	T.P.+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】	T.P.+8m以下	浸水防止蓋, 逆止弁の設置等	図の①【地下部】

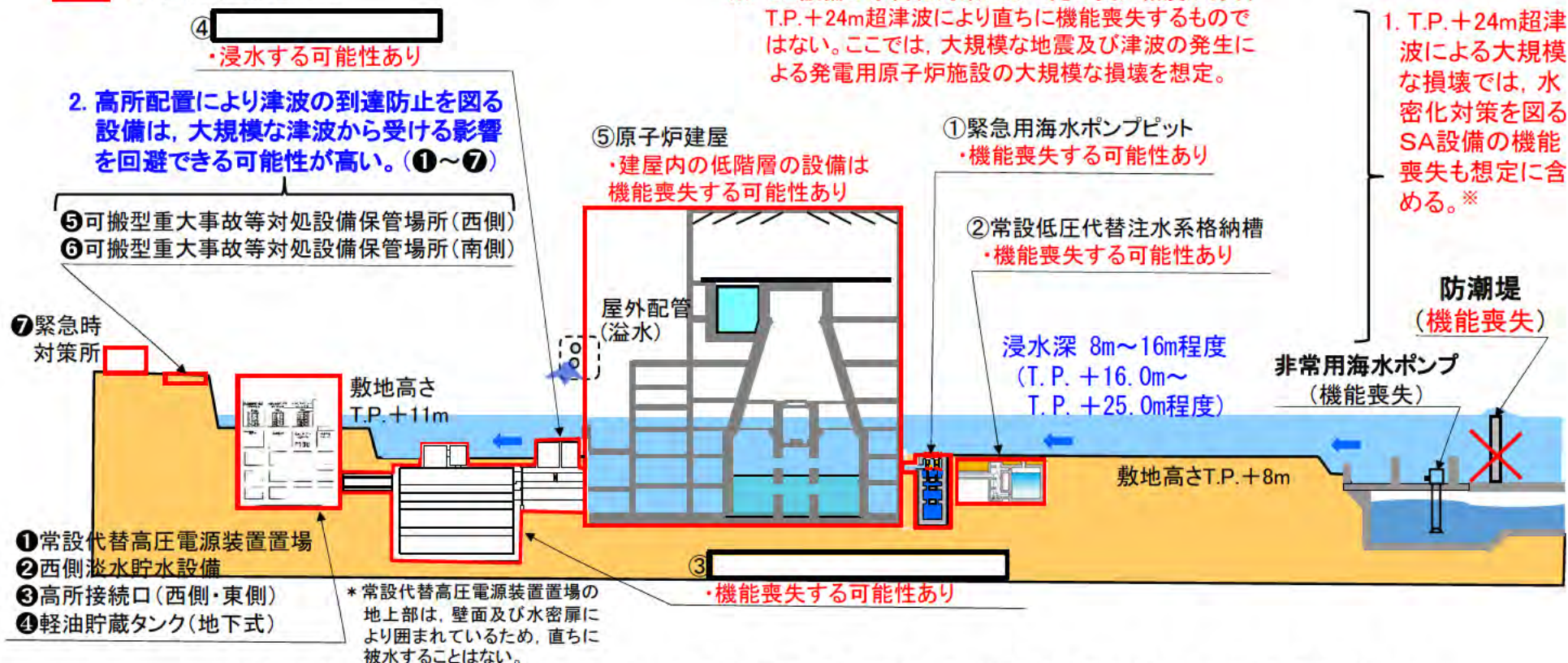
15. 多重防護の観点での津波対策について
 (敷地に遡上する津波[T.P.+24m超] (1/2))

▶ T.P.+24m超津波による発電用原子炉施設の大規模な損壊に対しても、対応のために必要な手順や体制等を整備

- ✓ 防潮堤損傷を前提とした大規模損壊発生時の手順・設備・体制を整備
- ✓ 放水砲を用いた原子炉建屋への放水及び原子炉建屋外側ブローアウトパネル開口部から使用済燃料プールへの注水並びに可搬型計測器を用いた現場でのパラメータ監視等、可搬型重大事故等対処設備を用いた多様性・柔軟性を有する手順書を整備
- ✓ 可搬型重大事故等対処設備は、T.P.+24m超津波による浸水の被害を受けないよう高台に保管
- ✓ 初動の事故対応を行う39名の要員は、発電所構内に分散して待機させ、同時に全ての要員が被災することがない体制を整備
 (要員の中に被災者が発生した場合でも、代替りの要員が到着するまでの間、継続して事故対応が行えるよう体制を整備)

: 浸水防護重点化範囲

※ SA設備の水密化対策には一定の実力裕度があり、T.P.+24m超津波により直ちに機能喪失するものではない。ここでは、大規模な地震及び津波の発生による発電用原子炉施設の大規模な損壊を想定。



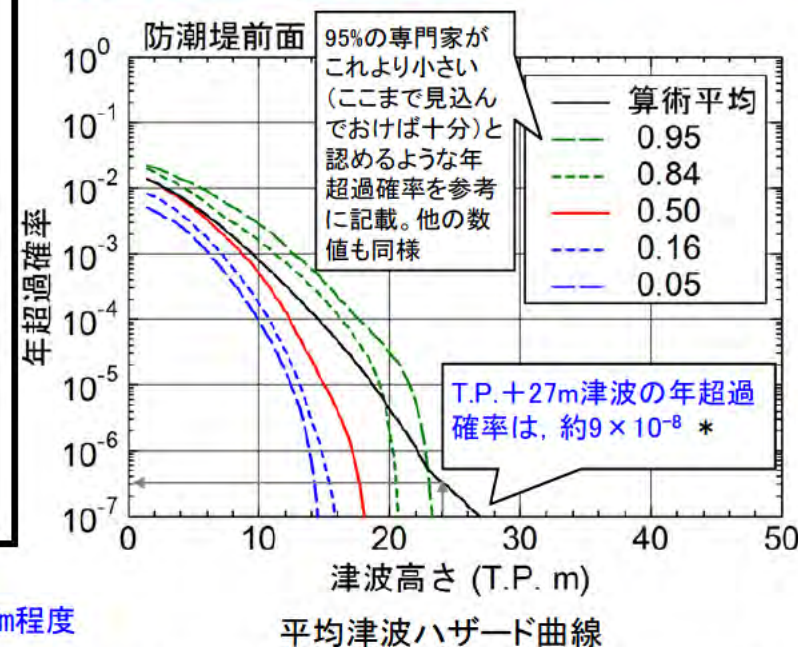
津波区分3のT.P.+24m超津波による発電用原子炉施設の大規模な損壊に対する対応例

15. 多重防護の観点での津波対策について
 (敷地に遡上する津波[T.P.+24m超] (2/2))

防潮堤損傷時における敷地内への浸水状況の一例について確認するためのケーススタディを実施
 (津波高さT.P.+27mを想定)

防潮堤が損傷した場合でも、津波の浸水抑制効果については、ある程度期待できると考えられるが、保守的に防潮堤はないと仮定

本ケースにおいても可搬型重大事故等対処設備の保管場所は浸水しないため津波静定後には設備の活用が可能



防潮堤が損傷する津波を想定したケーススタディ
 (防潮堤なし, T.P.+27m津波※を想定)

浸水深
 8m~16m程度

※T.P.+27mの津波は、基準津波の波源モデルの全すべり域のすべり量を調整することにより発生させている。津波高さ(T.P.+27m)は、仮想的に防潮堤位置に無限鉛直壁を設定した場合の防潮堤前面の最高水位(駆け上がり高さ)を示す。

* 算術平均は全データの重みつき平均であり、少数でも極端に大きな超過確率を示すデータがあると、平均の超過確率を大きく引き上げ、0.95等の割合が高い値を超える場合がある。

16. 電源設備の設置場所・位置的分散及び多様性

- 常設代替電源設備・可搬型代替電源設備は敷地に遡上する津波が到達しない箇所に設置又は保管する等、**電源設備は位置的分散や多様性を図った設計とすることにより、共通要因故障の防止を図っている。**

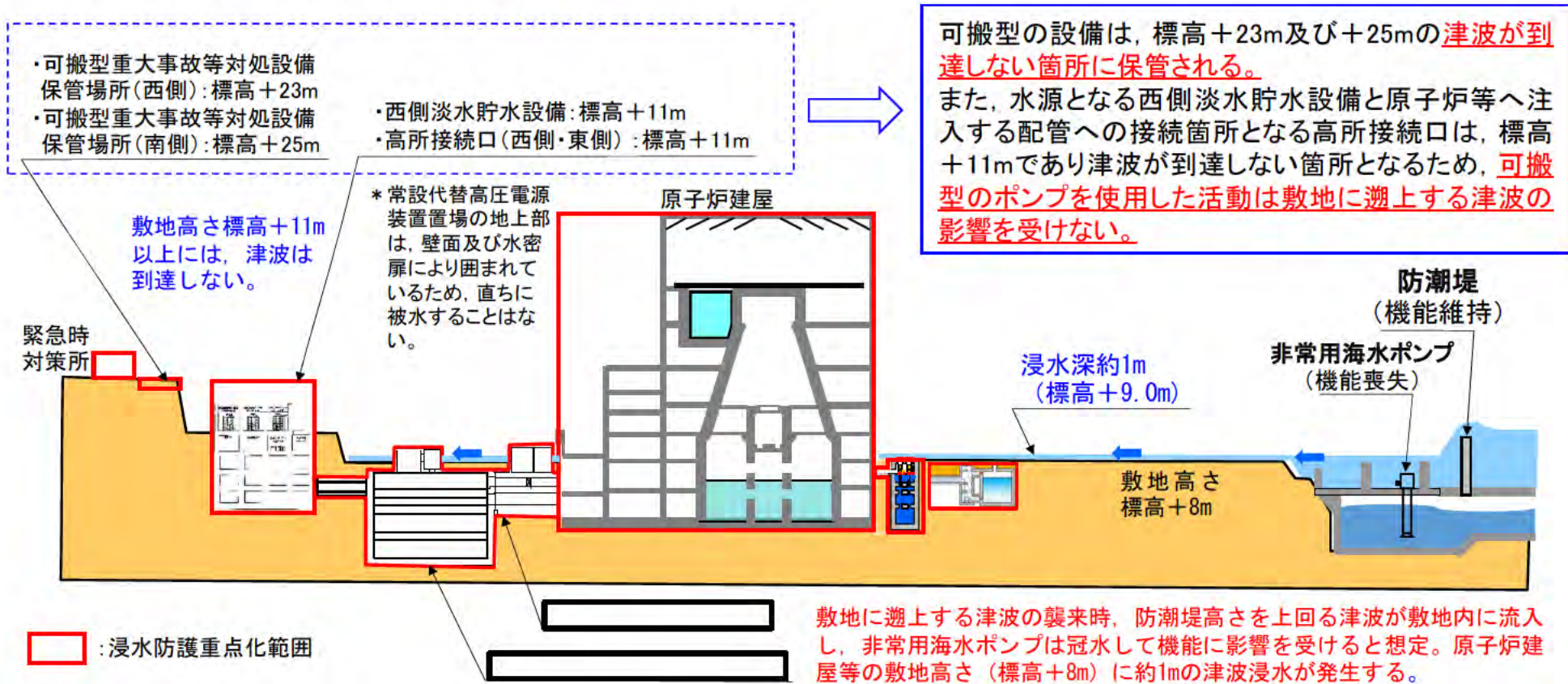
用途	設備名称	位置的分散				多様性
		種別	設置場所※	設置高さ	敷地に遡上する津波に対する防護方策	電源の冷却方式
交流	非常用ディーゼル発電機 (HPCS系含む)	常設	⑤ (付属棟)	T.P.+0.7m	水密化対策	水冷 (非常用海水ポンプ冠水により機能喪失)
	常設代替高圧電源装置	常設	①	T.P.+11m	高所配置	空冷
交流／ 直流	可搬型代替低圧電源車	可搬型	⑤⑥	T.P.約+23m T.P.約+25m	高所配置	空冷
直流	125V系蓄電池2A系	常設	⑤ (付属棟)	T.P.+10.5m	水密化対策	—
	125V系蓄電池2B系			T.P.+8.2m	水密化対策	—
	125V系蓄電池HPCS系			T.P.+10.5m	水密化対策	—
	緊急用125V系蓄電池	常設	⑤ (廃棄物処理棟)	T.P.+8.2m T.P.+10.5m	水密化対策	—
	可搬型整流器	可搬型	⑤⑥	T.P.約+23m T.P.約+25m	高所配置	空冷

※数字は8, 9ページの図に対応

■ : 設計基準事故等対処設備／重大事故等対処設備
 ■ : 重大事故等対処設備

● 可搬型設備は、敷地に遡上する津波が到達しない箇所で保管し、必要な活動を行うことが可能となっている。

- ・敷地に遡上する津波は、標高+8mの敷地で浸水深約1mであり、標高+11m以上の敷地には到達しない。
- ・可搬型設備の保管箇所は、津波が到達しない標高+23m及び標高+25mの箇所とする。
- ・可搬型設備を使用した原子炉の冷却等は、標高+11mの津波が到達しない箇所で、西側淡水貯水設備を水源とし、可搬型のポンプで高所接続口から注水することができる。



敷地に遡上する津波に対する防護対象施設の配置図(断面図)

● 可搬型設備は、敷地に遡上する津波が到達しない箇所で保管し、必要な活動を行うことが可能となっている。

- ・敷地に遡上する津波は、標高+8mの敷地には到達(浸水深0.5~1.5m程度)しているが、標高+11m以上の敷地には到達しない。
- ・可搬型設備の保管箇所及び活動箇所には、敷地に遡上する津波は到達していない。
- ・可搬型設備の保管箇所と活動箇所を結ぶアクセスルートには、敷地に遡上する津波は到達していない。

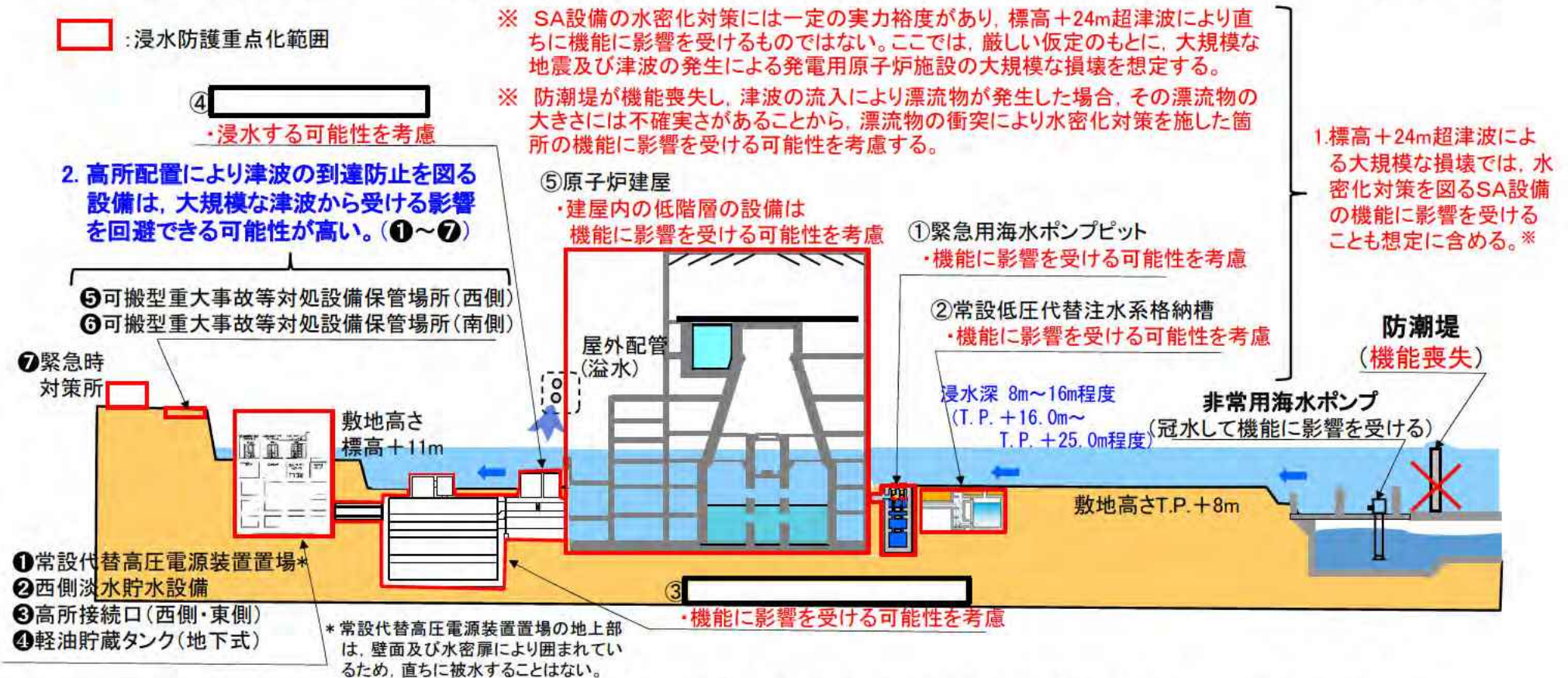
可搬型重大事故等対処
設備保管場所(西側)
【標高+23m】

- ・可搬型重大事故等対処設備保管場所(西側)
 - ・可搬型重大事故等対処設備保管場所(南側)
 - ・西側淡水貯水設備及び高所接続口
 - ・これらを結ぶアクセスルート
- ⇒いずれも津波が到達しない標高+11m以上の箇所となる。

可搬型重大事故等対処
設備保管場所(南側)
【標高+25m】

● 標高+24m超津波による発電用原子炉施設の大規模な損壊に対しても、対応のために必要な手順や体制等を整備

- ✓ 防潮堤損傷を前提とした大規模損壊発生時の手順・設備・体制を整備
- ✓ 放水砲を用いた原子炉建屋への放水及び原子炉建屋外側ブローアウトパネル開口部から使用済燃料プールへの注水並びに可搬型計測器を用いた現場でのパラメータ監視等、可搬型重大事故等対処設備を用いた多様性・柔軟性を有する手順書を整備
- ✓ 可搬型重大事故等対処設備は、標高+24m超津波による浸水の被害を受けないよう高台に保管
- ✓ 初動の事故対応を行う39名の要員は、発電所構内に分散して待機させ、同時に全ての要員が被災することがない体制を整備。また、要員の中に被災者が発生した場合でも、代替りの要員が到着するまでの間、継続して事故対応が行えるよう体制を整備

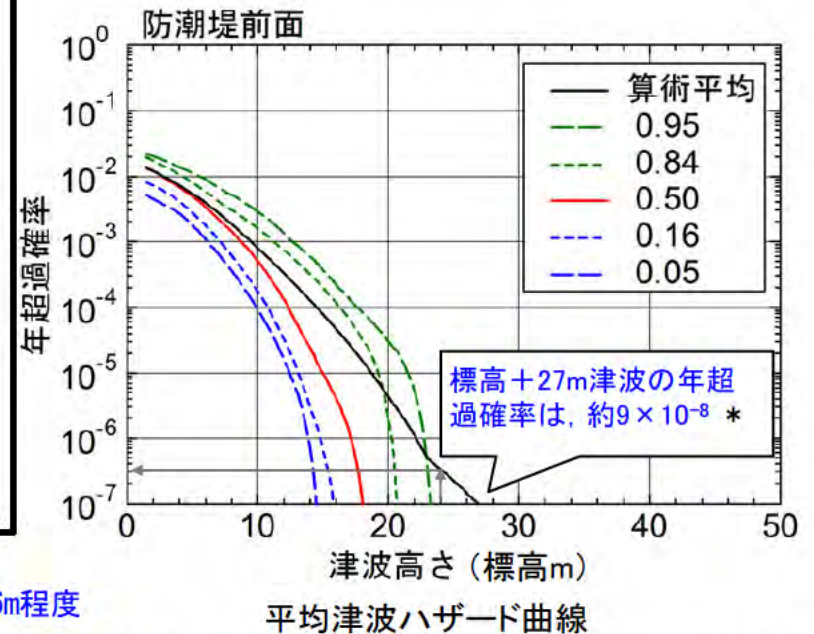


津波区分3の標高+24m超津波による発電用原子炉施設の大規模な損壊に対する対応例

防潮堤損傷時における敷地内への浸水状況の一例について確認するためのケーススタディを実施
 (津波高さ標高+27mを想定)

防潮堤が損傷した場合でも、津波の浸水抑制効果については、ある程度期待できると考えられるが、保守的に防潮堤はないと仮定

本ケースにおいて、可搬型重大事故等対処設備の保管場所は浸水しない



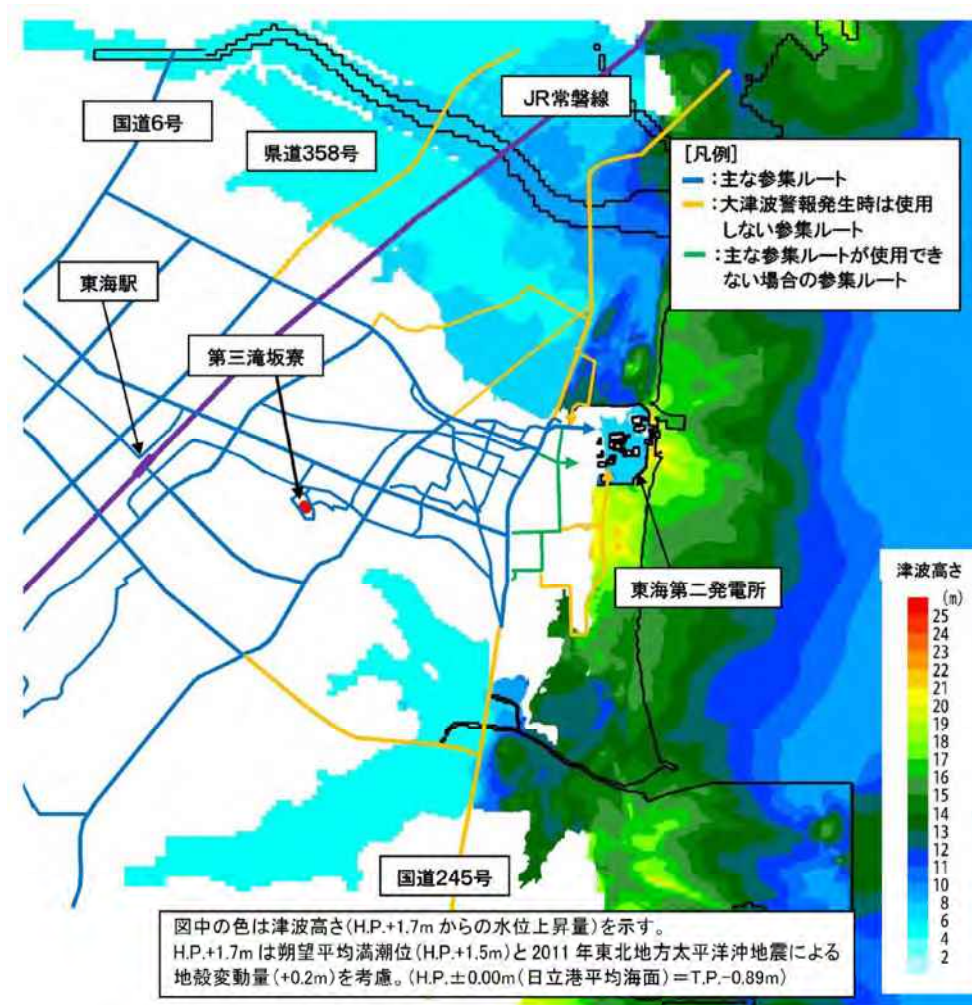
防潮堤が損傷する津波を想定したケーススタディ
 (防潮堤なし、標高+27m津波*を想定)

浸水深
 8m~16m程度

*T.P.+27mの津波は、基準津波の波源モデルの全すべり域のすべり量を調整することにより発生させている。津波高さ(T.P.+27m)は、仮想的に防潮堤位置に無限鉛直壁を設定した場合の防潮堤前面の最高水位(駆け上がり高さ)を示す。

*算術平均は全データの重みつき平均であり、少数でも極端に大きな超過確率を示すデータがあると、平均の超過確率を大きく引き上げ、0.95等の割合が高い値を超える場合がある。

- 敷地遡上津波によって発電所周辺に浸水する範囲が認められるが、東海村中心部から発電所の敷地まで、津波の影響がない範囲があり、津波の影響を避けたルートを選択することで、外部からも参集可能と評価している。



発電所周辺の遡上想定範囲
津波対策-263

- 敷地遡上津波によって発電所周辺に浸水する範囲が認められるが、東海村中心部から発電所の敷地まで、津波の影響がない範囲があり、津波の影響を避けたルートを選択することで、外部からも参集可能と評価している。
- 発電所外に原子力事業所災害対策支援拠点の候補地点をあらかじめ複数選定する。候補地点は標高の高い内陸部にも選定しており、津波の影響がないエリアを通行して発電所の災害対応を支援する。

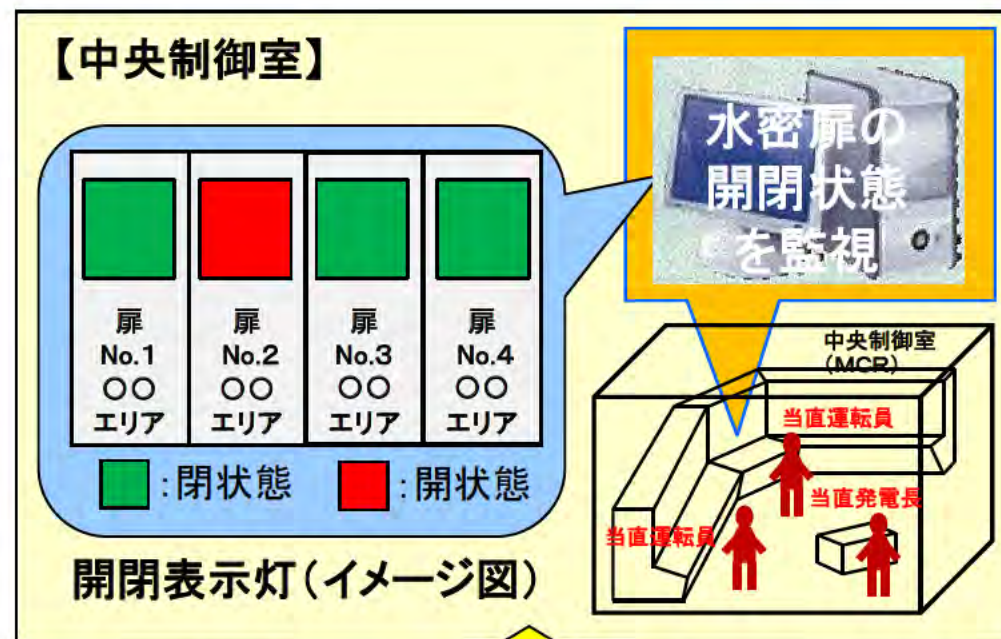


発電所周辺の遡上想定範囲



発電所及び原子力事業所災害対策支援拠点の候補地点の位置

- 重要な区画との境界に設けた水密扉については、通常時から開閉状態を常時把握し、人及び荷物の扉通過時以外は常時閉止する運用管理を行う。
- 中央制御室に水密扉の開閉状態を監視することが可能な開閉表示灯を設置する。
- 水密扉を開放する場合には、中央制御室に連絡又は許可を受けた上で水密扉を開操作する。
- 水密扉の開状態が継続した場合には、現場において注意喚起のブザーが鳴動することで、注意喚起を促す。
- 水密扉の開放が継続された場合には、現場状況を確認し、扉を閉止する。
- 水密扉を開放中に大津波警報が発報された場合には、速やかに水密扉を閉止のと合わせ、他の水密扉の開閉状態を確認し、開放状態の水密扉がある場合には速やかに閉止する。
- 最も大型の水密扉である原子炉建屋大物搬入口扉の閉操作においても、3分以内で実施可能



外部事象発生時に中央制御室で外部の状況を把握する手段について

- ・監視カメラ (津波監視カメラ及び構内監視カメラ) : 外部事象(地震, 津波, 竜巻, 積雪, 落雷, 火山影響(降灰), 森林火災等)の状況及び発電所構内の状況
- ・潮位計／取水ピット水位計 : 津波襲来時の海水面水位変動
- ・気象観測設備, 周辺モニタリング設備 : 風向, 風速, 大気温度, 雨量等, 外部放射線量率
- ・電話, FAX, パソコン : 公的機関からの地震, 津波, 竜巻, 雷・降雨予報, 天気図等

津波・構内監視カメラの主な仕様

津波・構内監視カメラ	
外 観	
カメラ構成	可視光及び赤外線
ズーム	デジタルズーム4倍
遠隔可動	水平可動: 360° (連続), 垂直可動: ±90°
夜間監視	可能 (赤外線カメラ)
耐震設計	Sクラス
供給電源	所内常設直流電源設備
風荷重	設計竜巻を考慮した荷重にて設計
積雪荷重, 堆積量	積雪を考慮した荷重及び設置高さにて設計
降下火砕物荷重, 堆積量	降下火砕物を考慮した荷重及び設置高さにて設計
台 数	原子炉建屋屋上3台, 防潮堤上部4台



監視カメラ等の構内配置図

<監視カメラ>

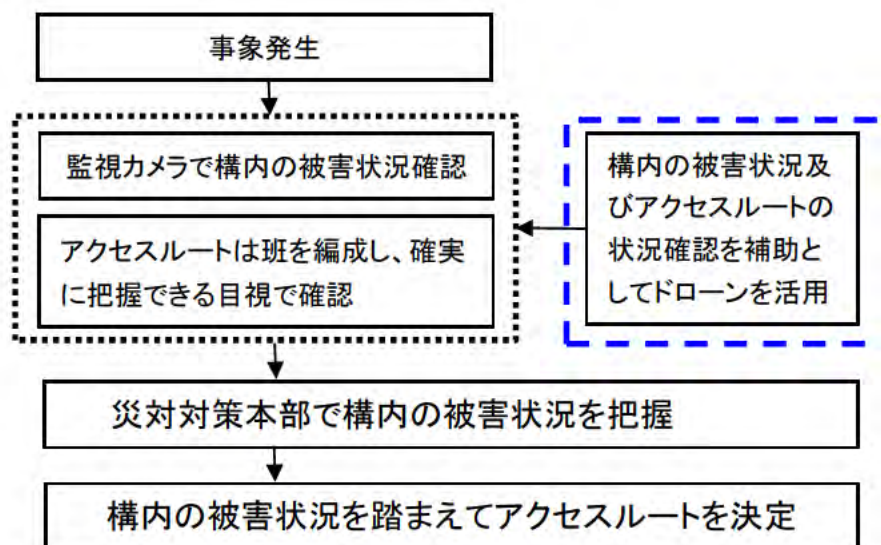
- ・原子炉建屋等の屋上に津波監視カメラ及び構内監視カメラを設置
- ・原子炉施設に影響を及ぼす可能性のある自然現象等の状況及び発電所構内の状況の監視に活用
- ・カメラは地震や風・雪による荷重に耐性を有し, 赤外線映像により夜間も監視可能な設計
- ・カメラは中央制御室より遠隔操作が可能で広範な可動域を有し, 視覚範囲は発電所前面海域及びほぼ構内全域をカバーする。

外部事象発生時の発電所構内の被災状況把握とアクセスルート決定の流れ(例)

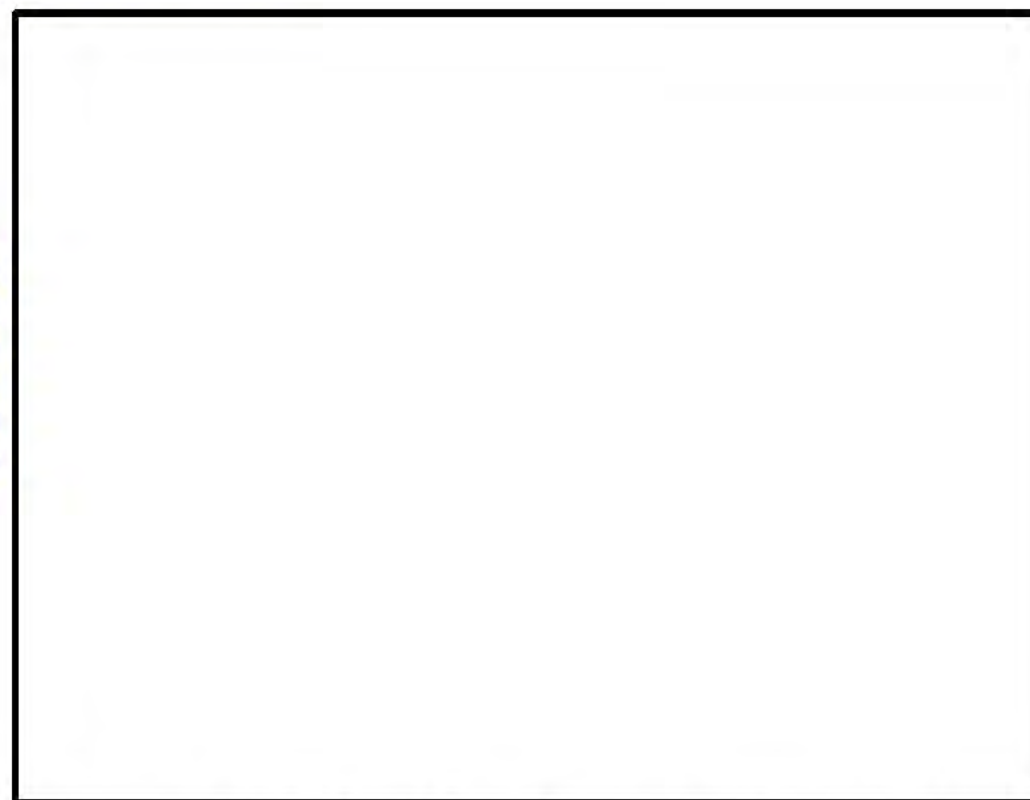
- 事象発生後、構内状況及び複数のアクセスルートの被災状況等を把握するため、災害対策要員は監視カメラの監視映像の確認や目視による直接確認を行い、緊急時対策所の災害対策本部に連絡する。

「ドローン*は上記確認の補助として用い、構内の状況把握を行う。」

【アクセスルートの被害状況等の確認フロー】



*ドローンについては、操作習熟の必要性、落下による破損の恐れ、夜間や強風等の悪天候時には利用が制限される等の不確かさがあることから、自主対策設備の位置付けとする。



発電所構内及びアクセスルートの状況把握のイメージ

東海第二発電所のロケーションを踏まえ、今後具体的な機種選定、運用方法等を検討

【ドローンの機種の一例】



項目	仕様
対角寸法	約35cm
重量	約1.5kg
最高時速	70km/h
飛行時間	約28分
最大転送距離	約3km(障害物なし)
積載物	可視カメラ

【ドローンの運用方法(例)】

以下の計画等に基づき、ドローンを運用していく。

- ・ドローンの配備台数(予備機及び訓練機を含む)
、配備場所等の計画
- ・ドローンの設備点検の計画
- ・ドローンの操作訓練の計画*

*当社社員が美浜原子力緊急事態支援センターに研修に行き、ドローン飛行訓練に参加。要員の技術的能力の向上を図っている。



美浜原子力緊急事態支援センターでの飛行訓練の一例

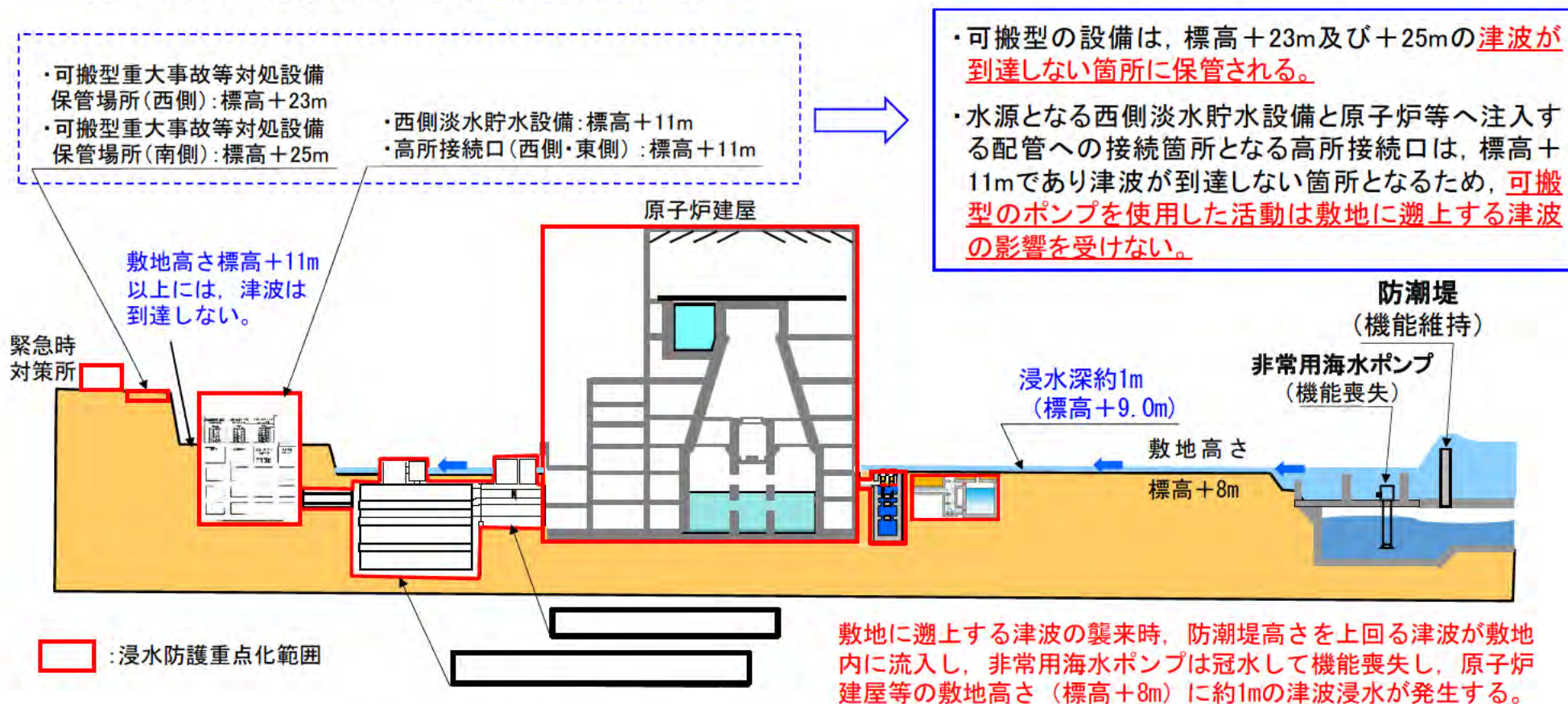
<備 考>

※原子力施設内及び周辺は、『小型無人機等飛行禁止法』に基づき、ドローン等の小型無人機の飛行は禁止されている。
※但し、原子力施設の管理者の同意を得て、当該機を飛行させることは可能であるが、対象施設周辺地域を管轄する警察署を經由して都道府県公安委員会に通報することが求められている。

19. 防潮堤を越えて敷地に遡上する津波の敷地内滞留時間等及び敷地内作業の成立性
(可搬型設備の保管及び活動箇所の高さと津波の高さの関係)

●可搬型設備は、敷地に遡上する津波が到達しない箇所で保管し、原子炉への注水等の必要な活動を行うことが可能となっている。

- ・敷地に遡上する津波は、標高+8mの敷地で浸水深約1mであり、**標高+11m以上の敷地には到達しない。**
- ・**可搬型設備の保管箇所は、津波が到達しない標高+23m及び標高+25mの箇所とする。**
- ・可搬型設備を使用した原子炉の冷却等は、**標高+11mの津波が到達しない箇所**で、西側淡水貯水設備を水源とし、可搬型のポンプで高所接続口から注水することができる。



敷地に遡上する津波に対する防護対象施設の配置図(断面図)

19. 防潮堤を越えて敷地に遡上する津波の敷地内滞留時間等及び敷地内作業の成立性
(可搬型設備の保管及び活動箇所と津波の浸水範囲の関係)

●可搬型設備は、敷地に遡上する津波が到達しない箇所で保管し、原子炉への注水等の必要な活動を行うことが可能となっている。

- ・敷地に遡上する津波は、標高+8mの敷地には到達(浸水深0.5~1.5m程度)しているが、標高+11m以上の敷地には到達しない。
- ・可搬型設備の保管箇所及び活動箇所には、敷地に遡上する津波は到達していない。
- ・可搬型設備の保管箇所と活動箇所を結ぶアクセスルートには、敷地に遡上する津波は到達していない。
- ・防潮堤を越えて敷地に遡上した津波の影響を受けずに必要な活動を行うことは可能であるが、構内排水路及び防潮堤のフラップゲートから排水することができる。

可搬型重大事故等対処
設備保管場所(西側)
【標高+23m】

可搬型重大事故等対処設備保管場所(西側)、可搬型重大事故等対処設備保管場所(南側)、西側淡水貯水設備及び高所接続口とこれらを結ぶアクセスルートは、津波が到達しない標高+11m以上の箇所となる。

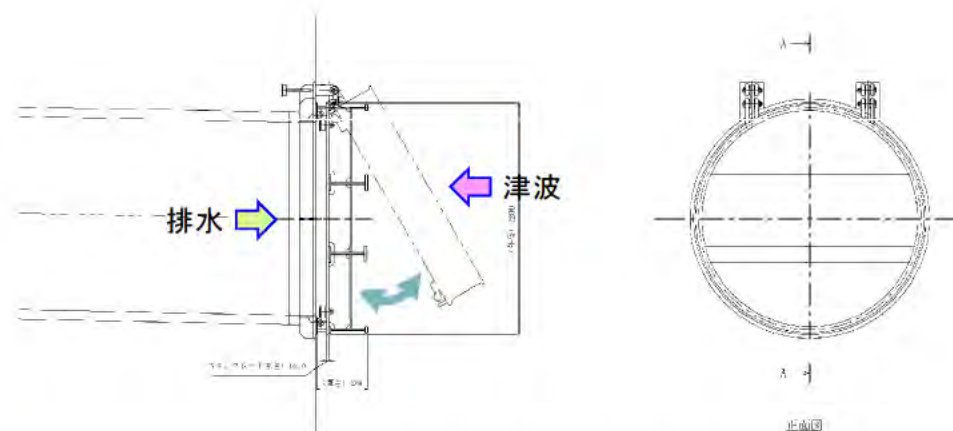
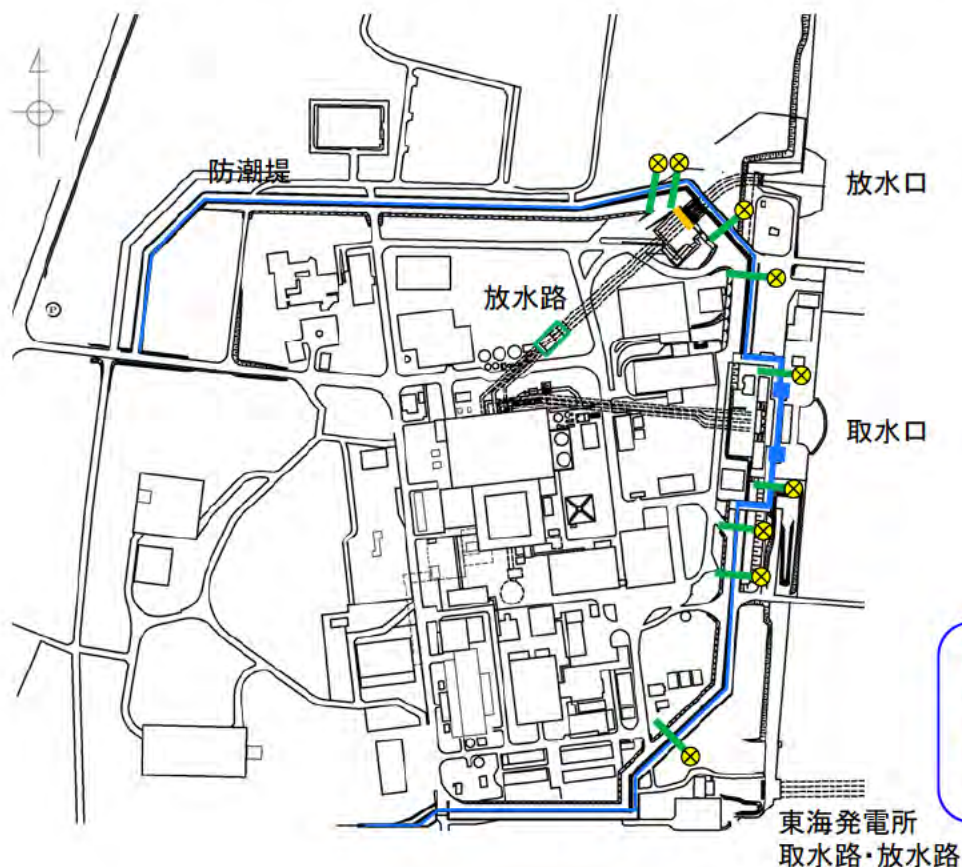
可搬型重大事故等対処
設備保管場所(南側)
【標高+25m】

19. 防潮堤を越えて敷地に遡上する津波の敷地内滞留時間等及び敷地内作業の成立性 (防潮堤内への津波浸水時の構内排水路からの排水)



●防潮堤を越えて敷地に浸水した津波は、雨水の構内排水路から排水が可能

- ・防潮堤内側の雨水を排水するために、放水路に接続される場所(1箇所)及び防潮堤の地下部を横断する場所(9箇所)に、構内排水路を設置する。この構内排水路によって、防潮堤の内側に浸水した津波を排水することができる。
- ・構内排水路は、水戸地方気象台の観測記録の日最大降水量81.7mm/hを上回り、127.5mm/hの雨水を排水できる設備であり、余裕を持った仕様となっている。
- ・なお、構内排水路からの津波の流入を防止するために、放水路に接続される場所には放水路ゲート、防潮堤の地下部を横断する場所には構内排水路逆流防止設備を設置する。



構内排水路逆流防止設備の構造*

- : 放水路に接続される排水路(接続箇所)
- : 防潮堤の地下部を横断する排水路
- : 放水路ゲート設置箇所
- ⊗ : 構内排水路逆流防止設備設置箇所

* 構内排水路逆流防止設備は動力源を要せず、津波の水圧により外部からは閉止され、津波が引いた以降は内部に浸水した水の水圧より開放され排水する機構である。

19. 防潮堤を越えて敷地に遡上する津波の敷地内滞留時間等及び敷地内作業の成立性 (防潮堤内への津波浸水時の防潮堤フラップゲートからの排水)

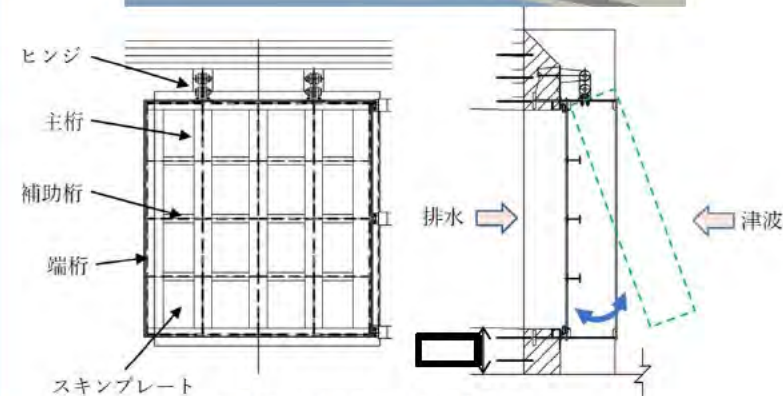
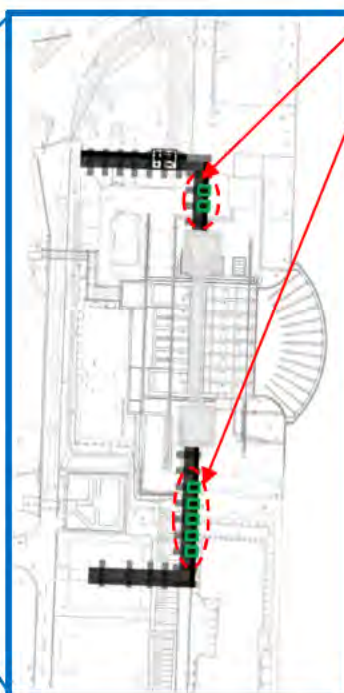


●防潮堤を越えて敷地に浸水した津波は、防潮堤に設置するフラップゲートからも排水が可能

- ・取水路北側の防潮堤に2箇所、取水路南側の防潮堤に5箇所のフラップゲートを設置する。
- ・フラップゲートは、防潮堤の内側に標高+18mの高さまで冠水した状態から、標高+11mまでの排水に約2.4時間、標高+11mから標高+8mまでの排水に約3.7時間となる排水容量*を確保する。これに対して、敷地に遡上する津波の標高+8mの浸水深はほぼ0.5m~1.5m程度(一部を除く。)であることから、原子炉建屋周りの浸水を4時間未満で排水することができる。

*この排水容量評価では構内排水路からの排水は考慮していない

防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)にフラップゲートを設置
・取水口北側:2箇所
・取水口南側:5箇所



フラップゲートの構造*

*フラップゲートは動力源を要せず、津波の水圧により外部からは閉止され、津波が引いた以降は内部に浸水した水の水圧より開放され排水する機構である。

0.5m~1.5m程度の浸水深となっている。

1. 津波防護施設及び浸水防止設備の構造設計方針(1/4)

津波防護施設(防潮堤等の構造物)及び浸水防止設備(逆止弁等の機器・配管設備)は、止水性及び構造健全性を維持する設計としている。

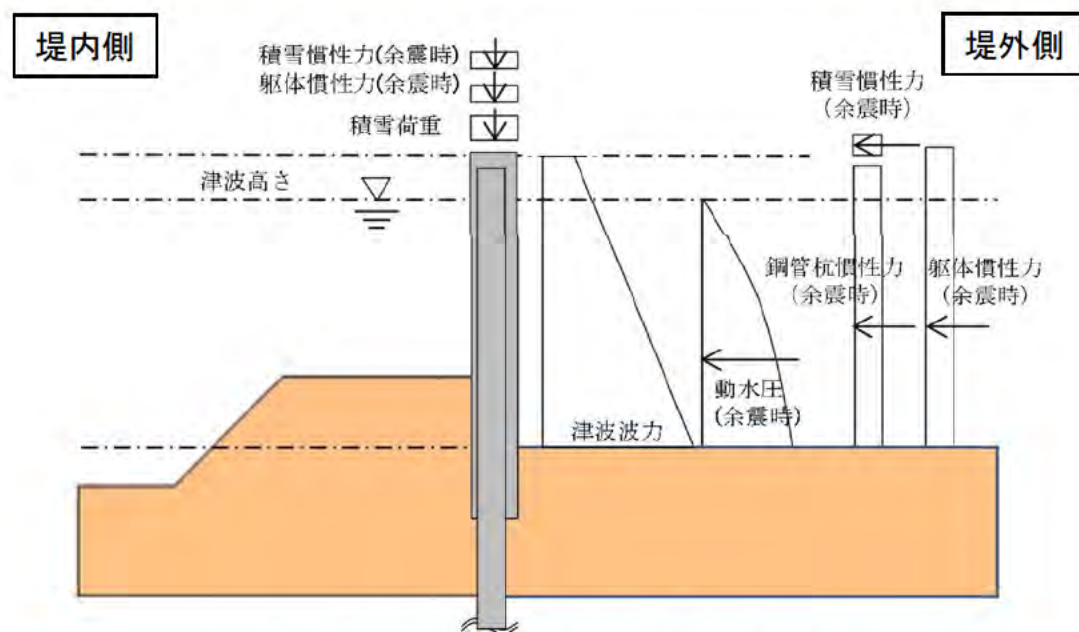
- 津波防護施設及び浸水防止設備は、以下に示す荷重条件に対して、止水性及び構造健全性を維持する設計としている。
 - 津波防護施設及び浸水防止設備は、基準地震動による荷重に風荷重等を考慮した場合でも、主要部材がおおむね弾性範囲にとどまる設計としている。
 - 津波防護施設及び浸水防止設備は、津波荷重に地震(余震)による荷重、積雪荷重等を考慮した場合でも、主要部材がおおむね弾性範囲にとどまる設計としている。
 - 津波防護施設及び浸水防止設備に漂流物が衝突する可能性がある場合には、津波荷重に漂流物の衝突荷重等を考慮した場合でも、主要部材がおおむね弾性範囲にとどまる設計としている。
- 津波防護施設及び浸水防止設備は、地盤の液状化についての評価においても、主要部材がおおむね弾性範囲にとどまること及び支持性能が維持できることを確認し、止水性及び構造健全性が維持できる設計としている。
 - 東海第二発電所の原地盤物性を用いた耐震性評価においては、基準地震動 S_s を入力しても、液状化の発生は認められないことを確認している。
 - 保守的に地盤を強制的に液状化させることを仮定した評価を実施し、その場合でも主要部材がおおむね弾性範囲にとどまり、支持性能が維持できる設計としている。

1. 津波防護施設及び浸水防止設備の構造設計方針(2/4)

津波防護施設の強度計算における津波荷重, 余震荷重及び衝突荷重の組合せは, 以下のとおりである。

①津波荷重＋余震荷重

組合せ	津波荷重	余震荷重	漂流物荷重
津波荷重 ＋余震荷重	波力 (最大波高)	慣性力 ＋動水圧	—

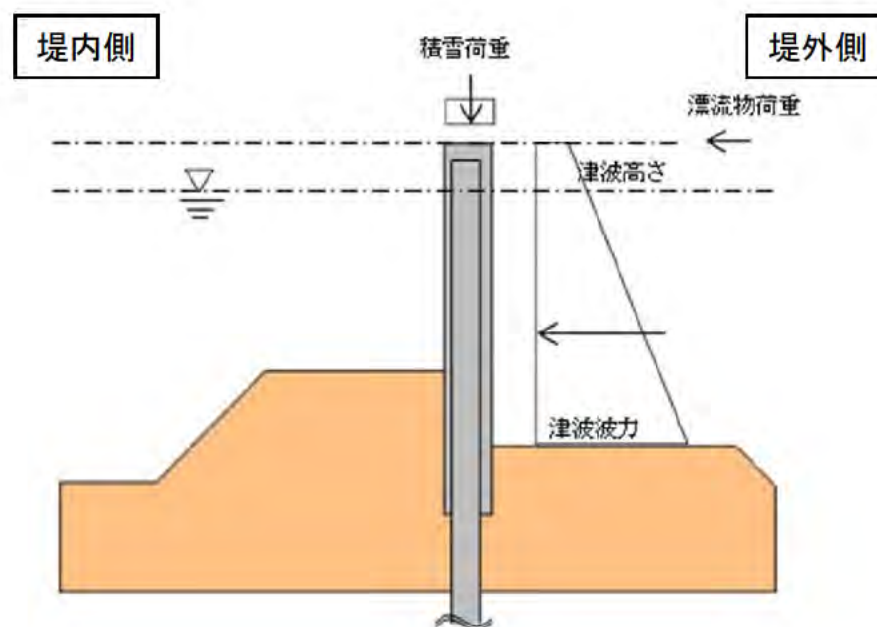


荷重作用図(津波荷重＋余震荷重)

1. 津波防護施設及び浸水防止設備の構造設計方針(3/4)

②津波荷重＋漂流物荷重

組合せ	津波荷重	余震荷重	漂流物荷重
津波荷重 ＋漂流物荷重	波力 (最大波高)	—	漂流物荷重 (最大流速)



荷重作用図(津波荷重＋漂流物荷重)

1. 津波防護施設及び浸水防止設備の構造設計方針(4/4)

(参考: 論点No.32【津波対策】再掲)

防潮堤の耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮を明確にし、**構造部材が津波時(津波の繰り返しの襲来や漂流物の衝突荷重を含む)及び余震との重畳時においても、許容限界(短期許容応力度)を満たしていることを確認している。**

評価箇所	評価結果(照査値最大となる項目を記載)					
	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容限界	照査値※
鋼製防護壁	津波時 (敷地に遡上する津波時)	地中連続壁	せん断力	174627(kN)	264489(kN)	0.67
	重畳時 (敷地に遡上する津波時)	地中連続壁	曲げ引張応力	445(N/mm ²)	478.5(N/mm ²)	0.93
鉄筋コンクリート防潮壁	津波時 (敷地に遡上する津波時)	フーチング	せん断力	3246(kN)	4790(kN)	0.68
	重畳時 (敷地に遡上する津波時)	地中連続壁	曲げ引張応力	423.9(N/mm ²)	478.5(N/mm ²)	0.89
鉄筋コンクリート防潮壁 (放水路エリア)	津波時 (敷地に遡上する津波時)	防潮壁	曲げ引張応力	352.3(N/mm ²)	478.5(N/mm ²)	0.74
	重畳時 (敷地に遡上する津波時)	防潮壁	曲げ引張応力	253.4(N/mm ²)	478.5(N/mm ²)	0.53
鋼管杭鉄筋コンクリート 防潮壁	津波時 (敷地に遡上する津波時)	鉄筋コンクリート壁	曲げ引張応力	428(N/mm ²)	478.5(N/mm ²)	0.90
	重畳時 (敷地に遡上する津波時)	鋼管杭	曲げ応力	352(N/mm ²)	433.5(N/mm ²)	0.82

※ 照査値＝発生値／許容限界
(1.0以下であれば許容限界以下(弾性範囲内)でOK)

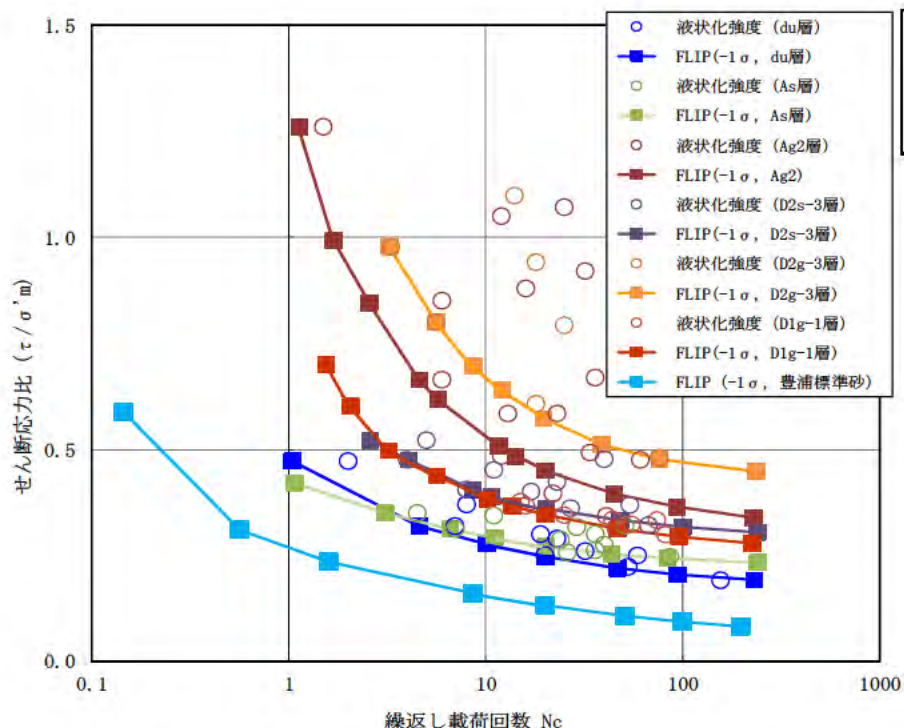
2. 地震時における東海第二発電所敷地内の地盤状況(1/2)

東海第二発電所の原地盤物性を用いた有効応力解析 (FLIP^{注1)}) において、地下水位を地表面に設定して基準地震動 S_s を入力しても、液状化の発生は認められないことを確認している。

- 条件：
- 地下水位を地表面に設定した。
 - 原地盤の液状化強度試験データに基づき、原地盤の液状化強度特性を適切 (平均値 -1σ , σ は標準偏差) に設定した。

確認内容：液状化の影響を考慮した解析を実施し、重要施設の周辺地盤に対し基準地震動 S_s を入力した場合の地震時応答 (液状化の状況) を確認する。

解析結果：防潮堤設置に伴う地下水位上昇の可能性を考慮し、耐震及び耐津波設計時には地下水位を地表面に設定しても地震時に敷地の原地盤の各地層内の過剰間隙水圧比が95%を下回ることから、液状化の発生は認められないことを確認した。



液状化強度試験に基づく原地盤の液状化強度特性

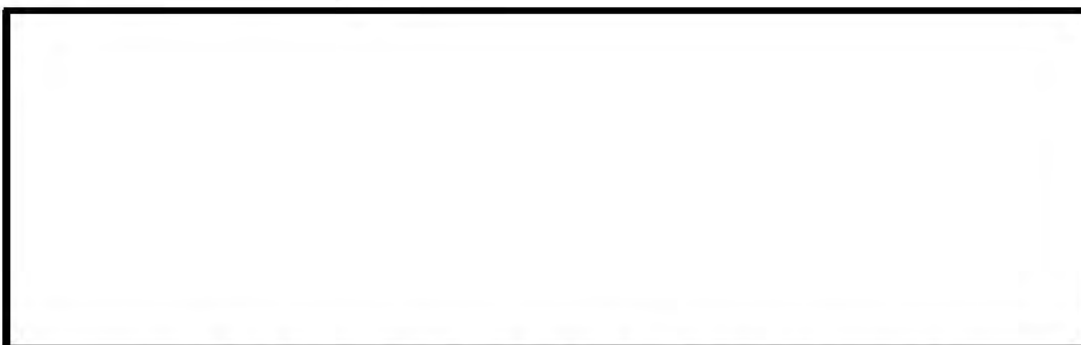
注1) FLIP: Finite element analysis of Liquefaction Program

1988年港湾技術研究所で開発された液状化現象を土の有効応力法に基づく二次元地震応答解析プログラム

【過剰間隙水圧比を指標とした液状化の評価】

規格・基準における記載事例等に基づき、過剰間隙水圧比が95%以上に達した状態を液状化と判定する。

base: TK2-SCR_2D-DYNA_Ss-D1L++
過剰間隙水圧比
絶対値最大

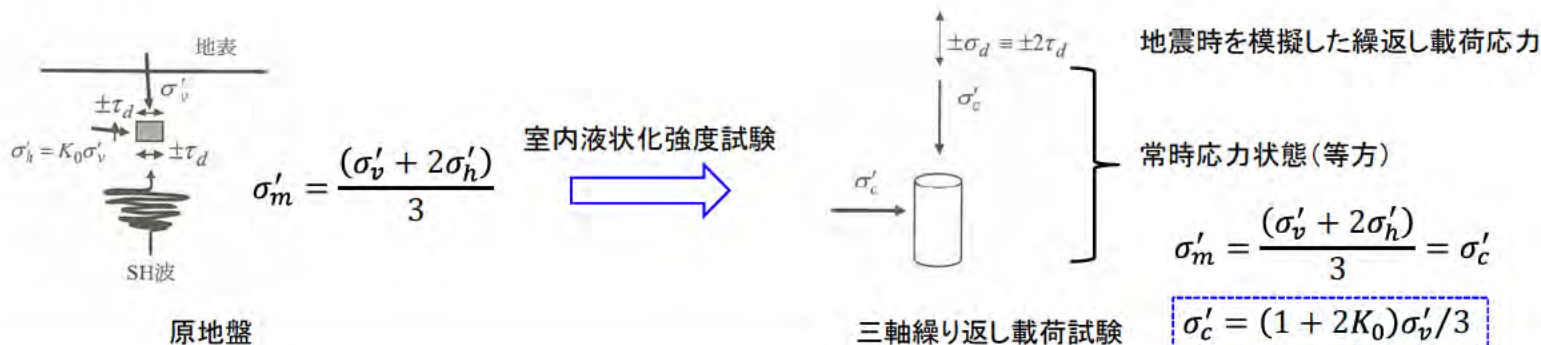


取水構造物周辺地盤の過剰間隙水圧比分布 (S_s -D1)

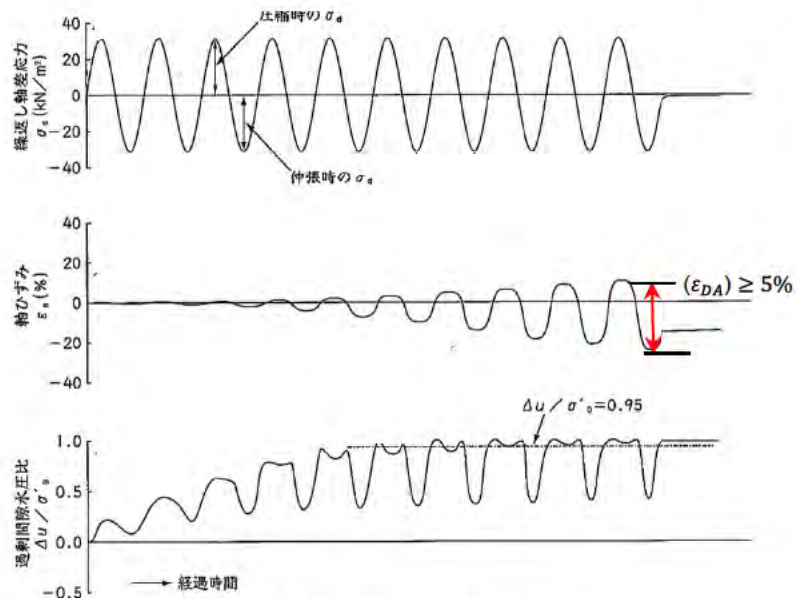
2. 地震時における東海第二発電所敷地内の地盤状況(2/2)



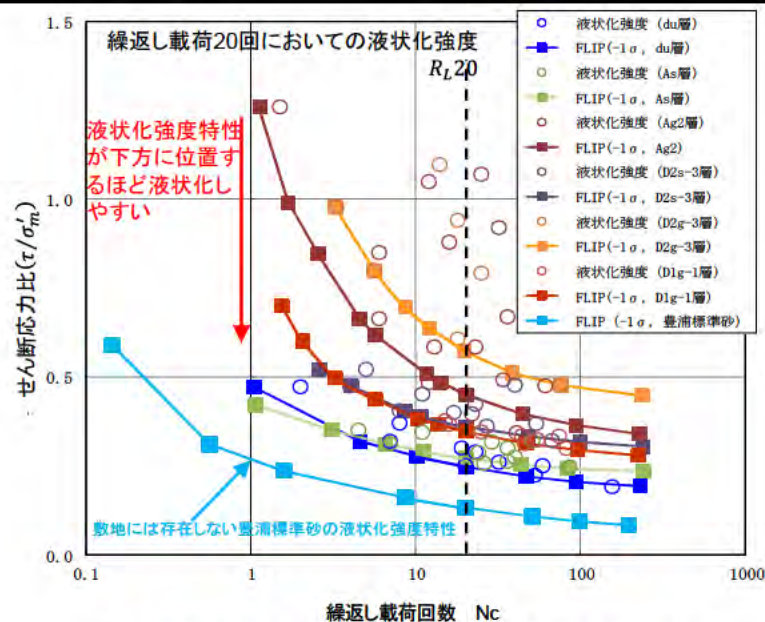
➤ 室内液状化強度試験



- ・原地盤より採取した試料を用いて各層毎に τ_d を変化させ、いくつかのケースの試験を実施し、供試体の過剰間隙水圧(u/σ'_c) $\geq 95\%$ 、または軸ひずみ両振幅(ϵ_{DA}) $\geq 5\%$ に達したときの繰返し載荷回数とせん断応力比(τ/σ'_m)をグラフにプロットする。
- ・各土層の試験結果からデータの平均及びばらつきを考慮した(-1 σ)液状化強度特性を設定する。
- ・試験から得られた各土層の液状化強度特性に基づき、FLIP解析パラメータを設定。



三軸繰返し載荷試験(測定データ)



各土層の液状化強度試験結果及び液状化強度特性

有効応力解析において、液状化の発生は認められないことを確認しているが、地盤の液状化強度特性及びせん断波速度 V_s (地盤の剛性を示す指標)のばらつきを考慮した評価に加え、地盤を強制的に液状化させることを仮定した設計としている。

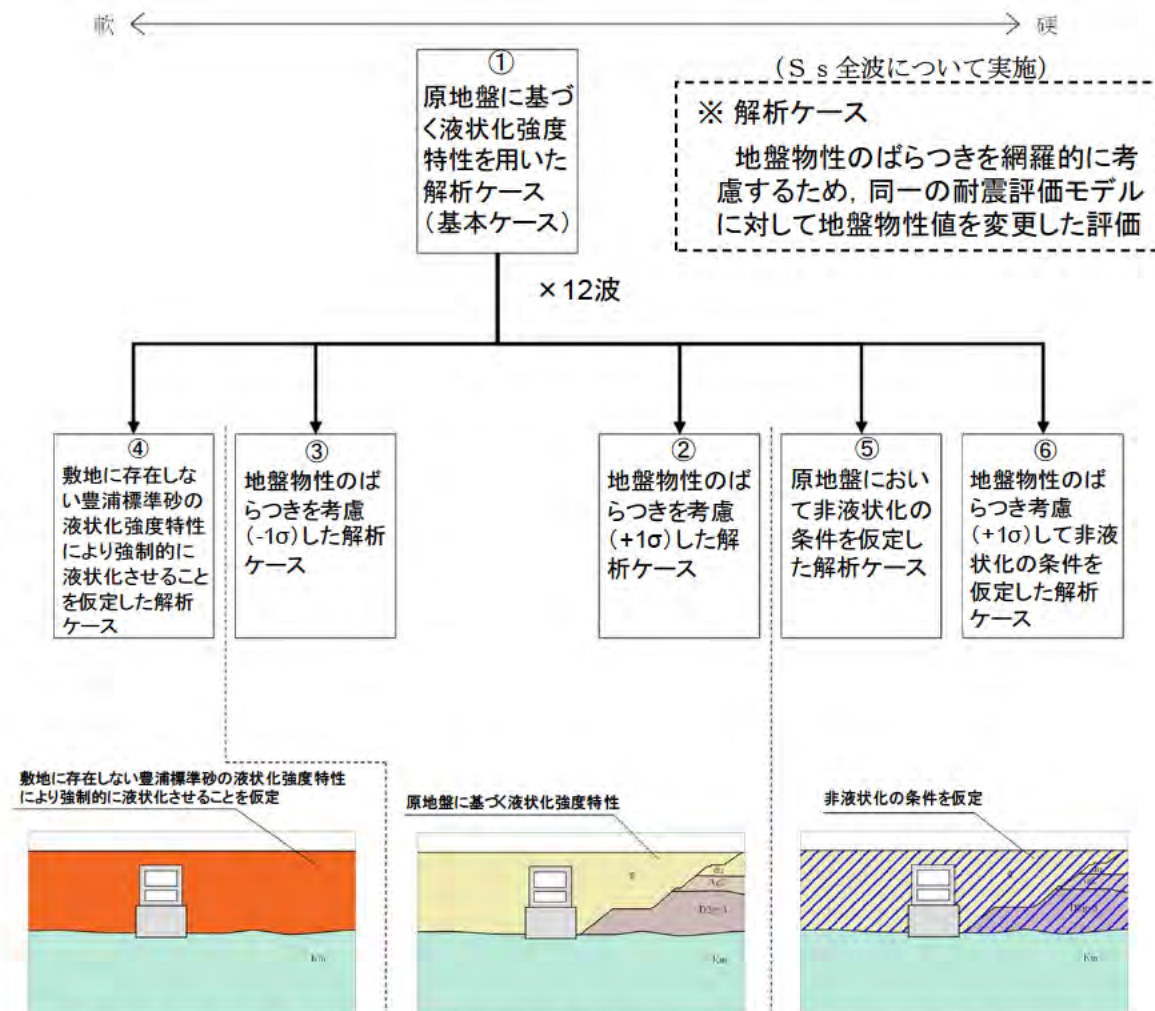
【強制的な液状化を仮定した評価】

地中土木構造物への保守的な配慮として、敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性により地震時に地盤を強制的に液状化させることを仮定した評価を実施し、耐震性を確認している。

【地盤のばらつきを考慮した解析ケース】

上記の解析(解析ケース④)を含めた、以下の解析ケースを実施することで地盤の液状化強度特性及びせん断波速度 V_s (地盤の剛性を示す指標)のばらつきを考慮した耐震評価を行っている。

- ① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)
- ② 地盤物性のばらつきを考慮(+1 σ)した解析ケース
- ③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1 σ)した解析ケース
- ④ 敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した解析ケース
- ⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース
- ⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1 σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース



屋外重要土木構造物及び津波防護施設の耐震評価における検討ケース

敷地内の液状化検討対象土層の抽出方針

- ① 道路橋示方書・同解説(V耐震設計編, 平成24年3月, 社団法人 日本道路協会)の液状化検討対象土層を基本とする。
 - ・ 地下水位が地表面から-10m以内であり, かつ地表面から-20m以内の飽和土層
 - ・ 細粒分含有率 F_c が35%以下, 又は F_c が35%を超えても塑性指数 I_p が15以下の土層
 - ・ 土粒子の平均粒径 D_{50} が10mm以下で, かつ10%粒径 D_{10} が1mm以下である土層
- ② 道路橋示方書では液状化検討対象外としているが、保守的に地表面-20m以深及び更新統土層も液状化検討対象土層とする。

液状化検討対象層の抽出結果

地質記号	層相	道路橋示方書における液状化検討対象層	当社の液状化検討対象層	備考	
al	du	砂	○		
	Ag2	砂礫	○		
	Ac	粘土	—		
	As	砂	○		
	Ag1	砂礫	—	□	・ GL-20m以深に分布するが、保守的に検討対象とする。
D2	D2c-3	シルト	—		
	D2s-3	砂	—	□	・ 更新統であるが保守的に検討対象とする。
	D2g-3	砂礫	—	□	・ 更新統であるが保守的に検討対象とする。
D1	lm	ローム	—		
	D1c-1	シルト	—		
	D1g-1	砂礫	—	□	・ 更新統であるが保守的に検討対象とする。

↑
敷地に分布する地層名

地質記号
 al: 沖積層、最上位の砂層は敷地全体に広く分布する。
 D2: 段丘堆積物、敷地南部に分布する。
 D1: 段丘堆積物、敷地南西部に分布する。

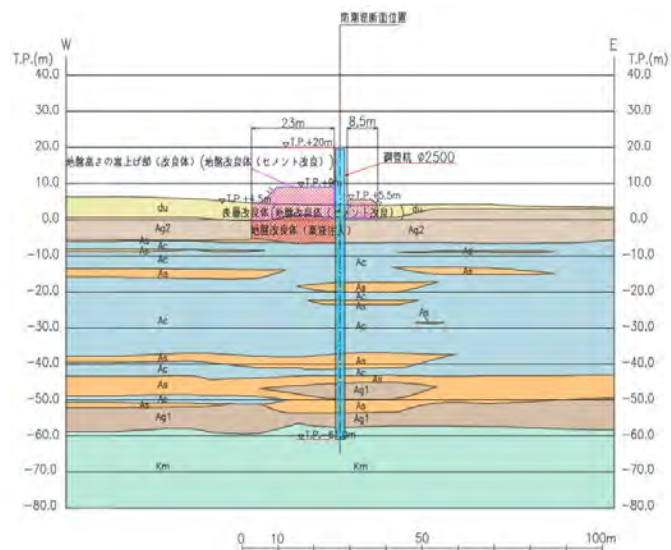
○: 検討対象
 □: 道路橋示方書では検討対象外であるが検討対象とするもの
 —: 検討対象外
 □: 東海第二発電所敷地での液状化検討対象土層とするもの

○ 津波防護施設の耐震性評価結果の一例として、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の照査結果を示す。

- 条件：
- 地下水位を地表面に設定
 - 原地盤の液状化強度試験データに基づき液状化強度特性を適切に設定(平均値-1σ)
 - 敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性も設定(安全側の評価)

確認内容： 液状化の影響を考慮した解析を実施し、地震時における構造部材の健全性を確認する。
(液状化により地盤が流動化し、地中構造物に作用する土圧が大きくなるため、これを考慮した健全性について確認する)。

解析結果： 鋼管杭のせん断、曲げの照査値(応力度評価値/短期許容応力度)は1.0を下回り、防潮壁が構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認した。



地震応答解析対象断面図

鋼管杭のせん断力照査における最大照査値

鋼管杭仕様			発生断面力		応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}	解析ケース
杭径 (mm)	板厚 (mm)	断面積 (m ²)	せん断力 (kN)					
2500	35	0.263	9265		71	217.5	0.33	④S _s -D1

※ 照査値=応力度/短期許容応力度
(1.0以下であれば許容限界以下(弾性範囲内)でOK)

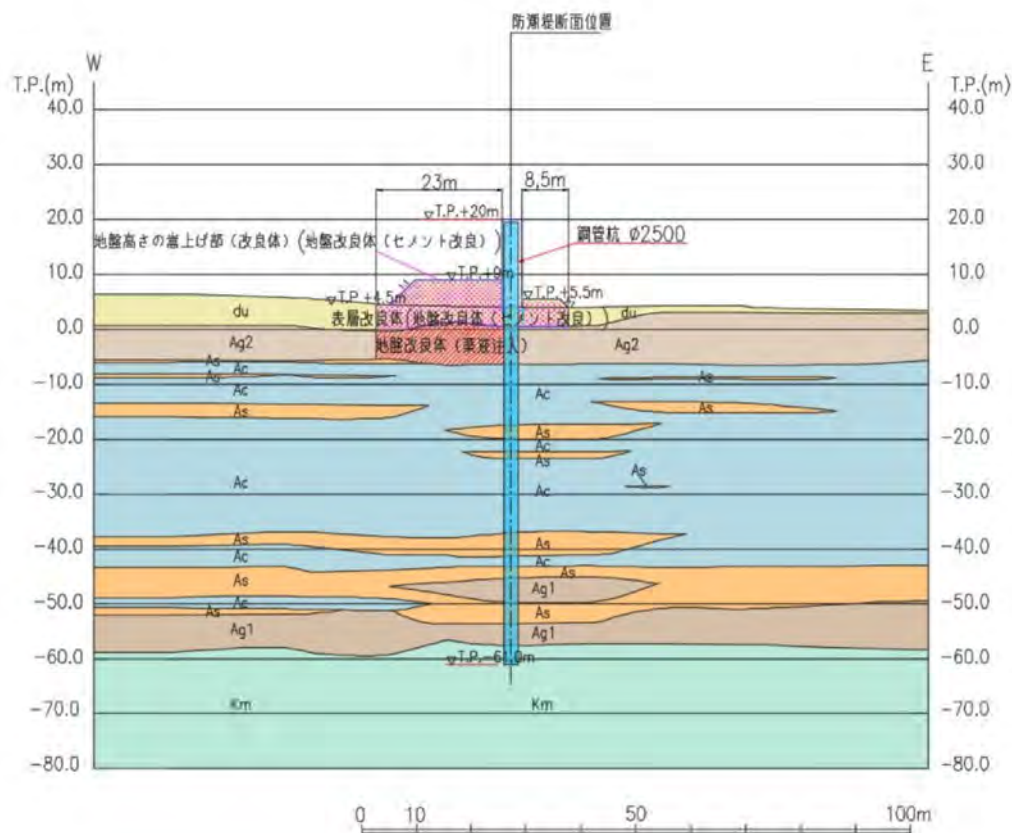
鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値

鋼管杭仕様				発生断面力		応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa1} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa1}	解析ケース
杭径 (mm)	板厚 (mm)	断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)				
2500	35	0.263	0.15995	34955	9015	253	382.5	0.67	②S _s -D1

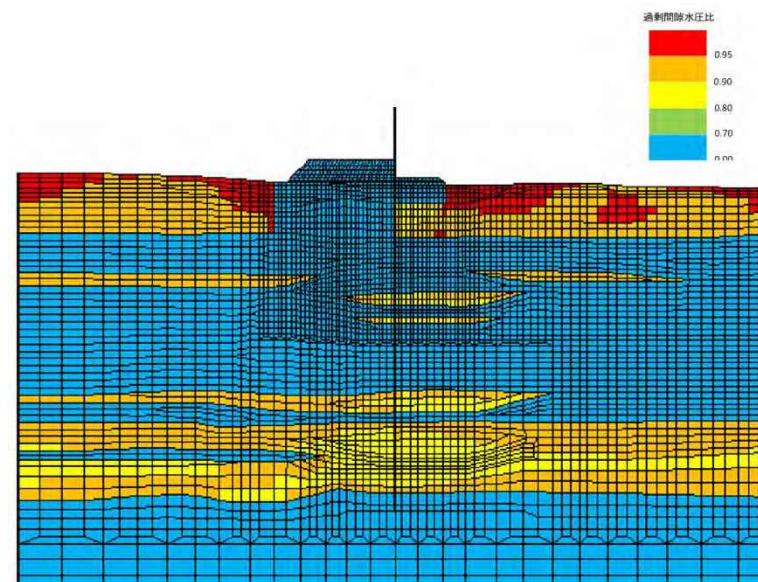
※ 照査値=応力度/短期許容応力度
(1.0以下であれば許容限界以下(弾性範囲内)でOK)

4. 本震及び余震時の原地盤の液状化による構造物への影響

- 豊浦標準砂の液状化強度特性を仮定した十分安全側の耐震評価で防潮堤の構造成立性（部材のせん断，曲げの照査値が1.0を下回り，十分な構造強度を有すること及び止水性を損なわないこと）を確認した。
- 防潮堤周辺の表層地盤は地盤改良（セメント系及び薬液注入系）により液状化対策を実施していることから、本震や余震に起因する周辺地盤の液状化による構造物への影響はない。



防潮堤断面図



敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析結果（過剰間隙水圧比分布， $S_s - D1(H+, V+)$ ）