

女川原子力発電所2号炉 超過津波への考慮について

東北電力株式会社
平成29年11月

目次

1. はじめに
2. 超過津波に対する対応の基本的考え方
3. 確率論的津波ハザード
4. 津波に対するリスク低減について
5. 敷地内浸水時の対策の成立性
6. 津波分類の考え方
7. 津波分類毎の炉心損傷防止対策について
8. 重要事故シーケンス選定の考え方
9. 事故シーケンスの分析結果
10. 津波起因のTBPシーケンスの扱いについて
11. 重大事故等対処設備の津波耐性について

1. はじめに

- ▶ 津波PRAにおいては、建屋に対する津波の流入の有無による緩和設備の機能維持状態を確認するため、35.2m津波(原子炉建屋外壁扉の誤開放時にはRCICが没水により機能喪失しないレベル)及び38.6m津波(原子炉建屋外壁扉の誤開放時にはRCICが没水により機能喪失するレベル)を分類し評価している
- ▶ また、加えて防潮堤の機能喪失により広範囲に緩和設備が機能喪失する、38.6mを超える津波についても選定し、「防潮堤機能喪失」として選定している
- ▶ PRAの結果を踏まえ、重大事故に対する対策の検討を行うに際して、東日本大震災において津波影響を受けたサイトであることを踏まえ、敷地内に対する津波の越流について検討を行った
- ▶ この結果、基準津波による敷地前面の最高水位(以下、「基準津波」という) 23.1mの年超過確率は 3.0×10^{-5} であることを踏まえ、重大事故等対処設備の有効性を確認する観点では、1桁低い年超過確率である30.3m津波 (2.8×10^{-6}) を目安として選定した
- ▶ 30.3m津波に対して敷地内の氾濫解析を行った結果、敷地内は概ね0.1m未満の浸水状況であることを確認した。この様な敷地内の浸水状況においては、可搬型の重大事故等対処設備に期待できることから、24時間は全ての交流動力電源に期待できず原子炉注水に対する余裕時間が短いTBPシーケンスに対しては可搬型の対策を指向することとした

2. 超過津波に対する対応の基本的考え方

➤ 年超過確率 10^{-5} オーダーの津波への対応

基準津波23.1m（年超過確率 3.0×10^{-5} ）に対しては、防潮堤及び防潮壁の設置によりドライサイトを達成する状況にあるが、合理的に可能な限り高い防潮堤を設置（基準津波+6m）し、基準津波を超える津波（超過津波）に対し設計上考慮している

➤ 年超過確率 10^{-6} オーダーの津波への対応

基準津波に対して1桁低い年超過確率である30.3m津波（ 2.8×10^{-6} ）に対しては、防潮堤及び防潮壁により敷地への津波の流入を抑制しつつ、可搬型及び常設設備による対策とした。なお、可搬型重大事故等対処設備については、津波の影響を受けない保管場所に分散配置することで越流津波発生時においても機能を確保している。さらに、代替交流電源設備（常設）については、高台に設置し、電路についても埋設することで越流津波に対して耐性を確保した設計を指向した

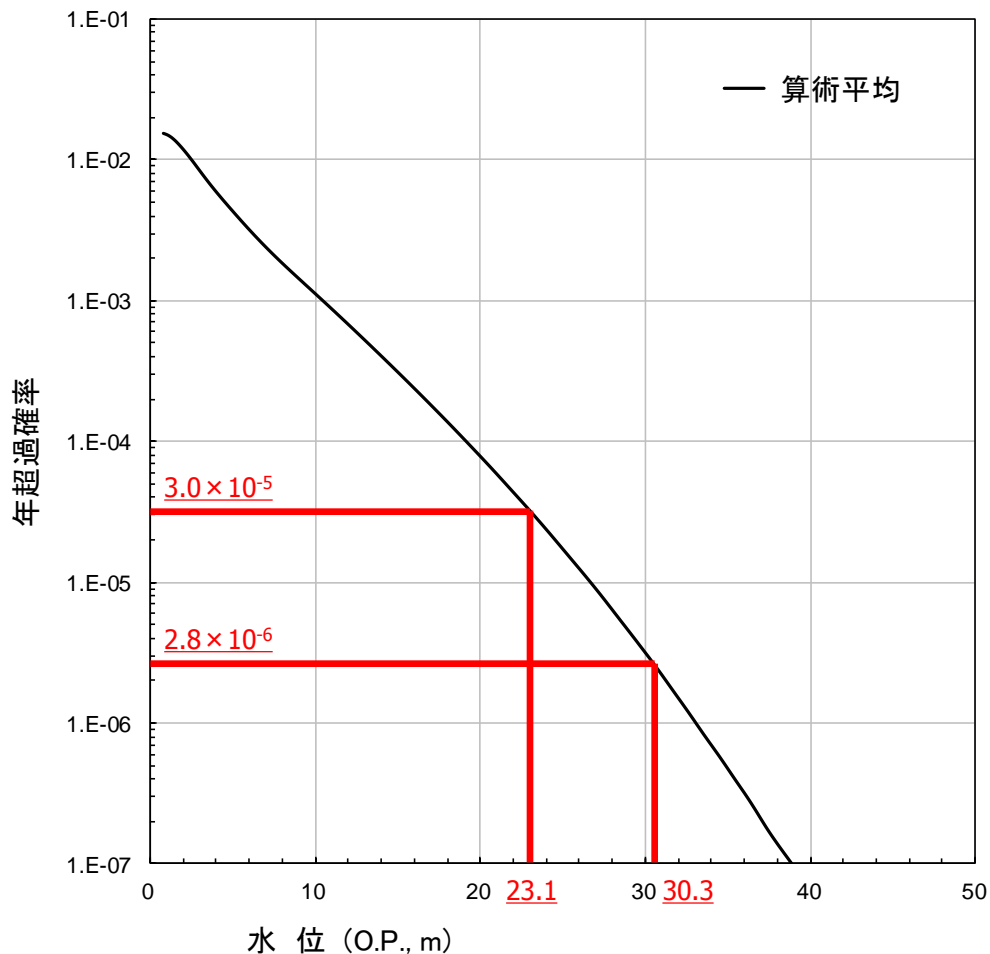
➤ 年超過確率 10^{-7} オーダーの津波への対応

基準津波に対して2桁低い年超過確率が 10^{-7} 以下の領域については、越流津波の不確かさが大きい領域ではあるが、可搬型重大事故等対処設備は使用できないレベルの敷地内浸水状況となるため、常設設備による対応を指向した。また、海水冷却に対しては期待できないため、建屋内に設置する原子炉格納容器フィルタベント系を用いた除熱対応を指向した

3. 確率論的津波ハザード

■ 津波ハザード

- 津波PRAにおいては、女川原子力発電所敷地前面における津波ハザード曲線を用いている
- 本津波ハザード曲線においては、津波発生領域として、2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見等を踏まえ、津波PRA学会標準に示される領域に加え、プレート間地震と津波地震の連動型地震を考慮している

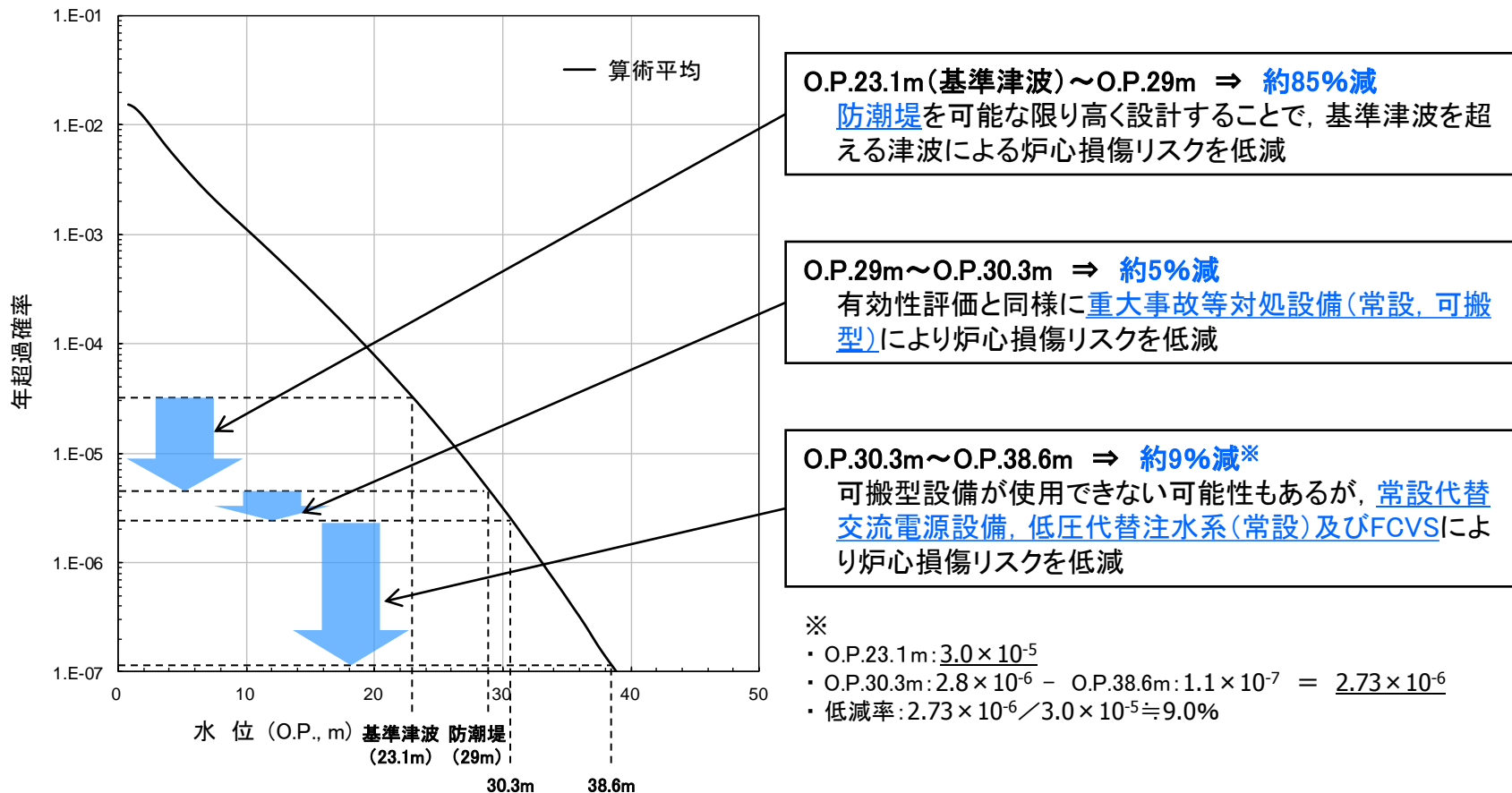


4. 津波に対するリスク低減について

■防潮堤、重大事故等対処設備によるリスク低減効果

- 防潮堤(O.P.29m)の設置, 重大事故等対処設備の整備により, 基準津波(O.P.23.1m)を超過する津波に対するリスク(炉心損傷頻度)を約99%低減
- 防潮堤(O.P.29m)を越える津波による敷地内への浸水を考慮した対策(水密扉の設置等)を実施し, 重大事故等対処設備の機能喪失を回避し, 炉心損傷頻度の低減を図っている

津波に対するリスク低減効果



5. 敷地内浸水時の対策の成立性(1/3)

津波に対する耐性確認結果

No.	構築物, 設備等		確認結果 ^{※1} (津波高さ又は浸水深)
1	浸水経路	防潮堤	津波高さ : O.P.41.7m(HCLPF値)
2		防潮壁 ^{※2}	津波高さ : O.P.30.3m
3		原子炉建屋	津波高さ : O.P.38.6m
4		制御建屋	津波高さ : O.P.38.6m
5		建屋水密扉	津波高さ : O.P.38.6m
6		建屋貫通孔	津波高さ : O.P.38.6m
7		建屋ルーバ	浸水深 : 7.0m ^{※3}

No.	構築物, 設備等		確認結果 ^{※1} (津波高さ又は浸水深)
8	設備	CST	津波高さ : O.P.38.6m
9		海水ポンプ室	津波高さ : O.P.29m
10		LOT室	浸水深さ : 2.2m ^{※4}
11		建屋外部接続口 (配管)	津波高さ : O.P.38.6m
12		建屋外部接続口 (電源ケーブル)	(北側)建屋内設置 (西側)浸水深 : 1.38m
13		第3保管エリア	津波高さ : O.P.29m
14	第5保管エリア	津波高さ : O.P.30.3m	
15	第6保管エリア	津波高さ : O.P.35.2m	
16	その他	屋外埋設電路(GTG)	津波高さ : O.P.38.6m
17		可搬型設備(走行性)	津波高さ : O.P.30.3m

※1 敷地内氾濫解析結果で得られた最大浸水深に基づき確認

※2 O.P.30.3m津波時の氾濫解析によると、敷地内の浸水深は低く、漂流物による影響はないと判断

※3 原子炉補機(B)室排風機室空調ルーバ

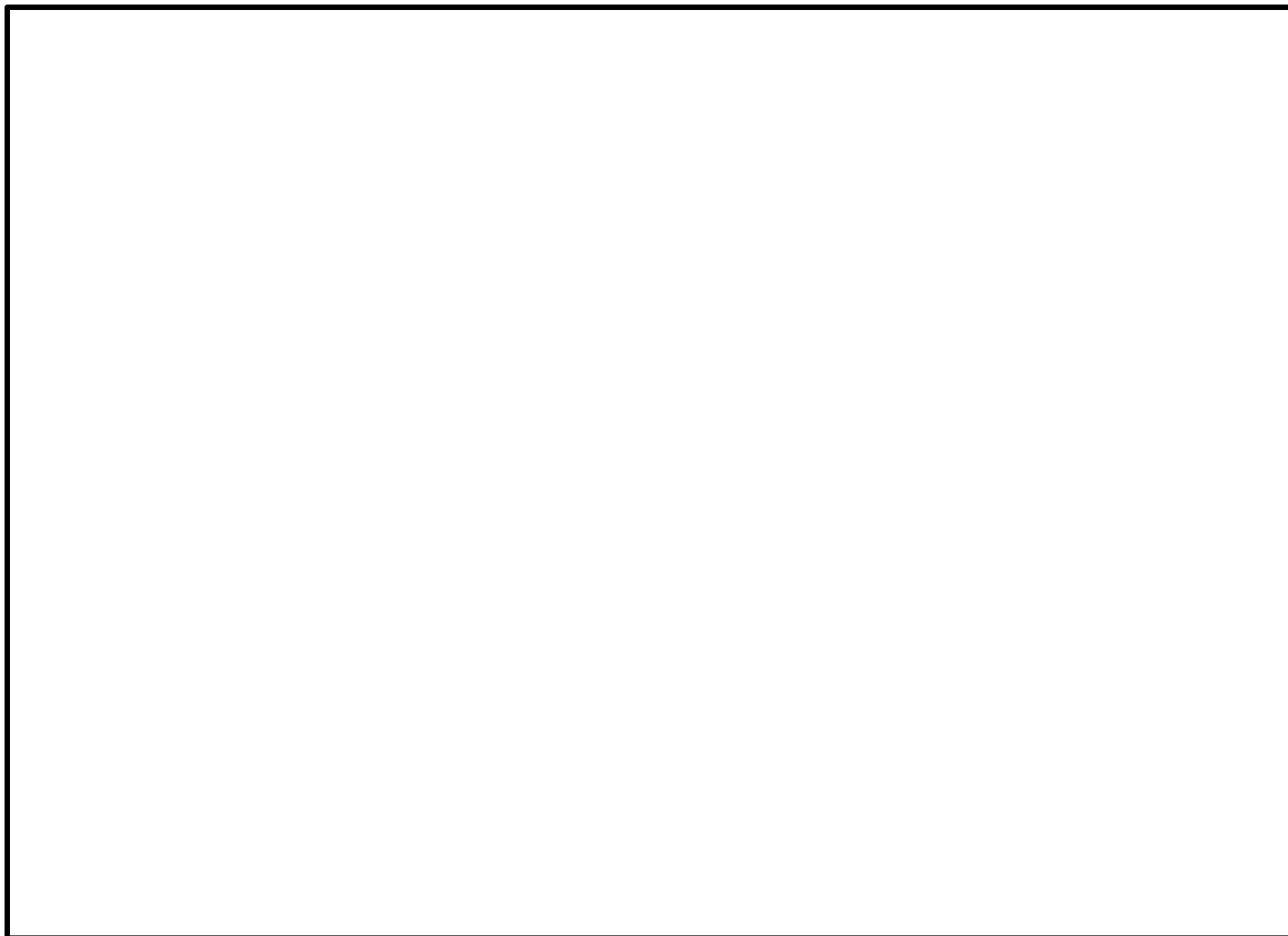
※4 空調ダクト

5. 敷地内浸水時の対策の成立性(2/3)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

■ 保管場所及びアクセスルート

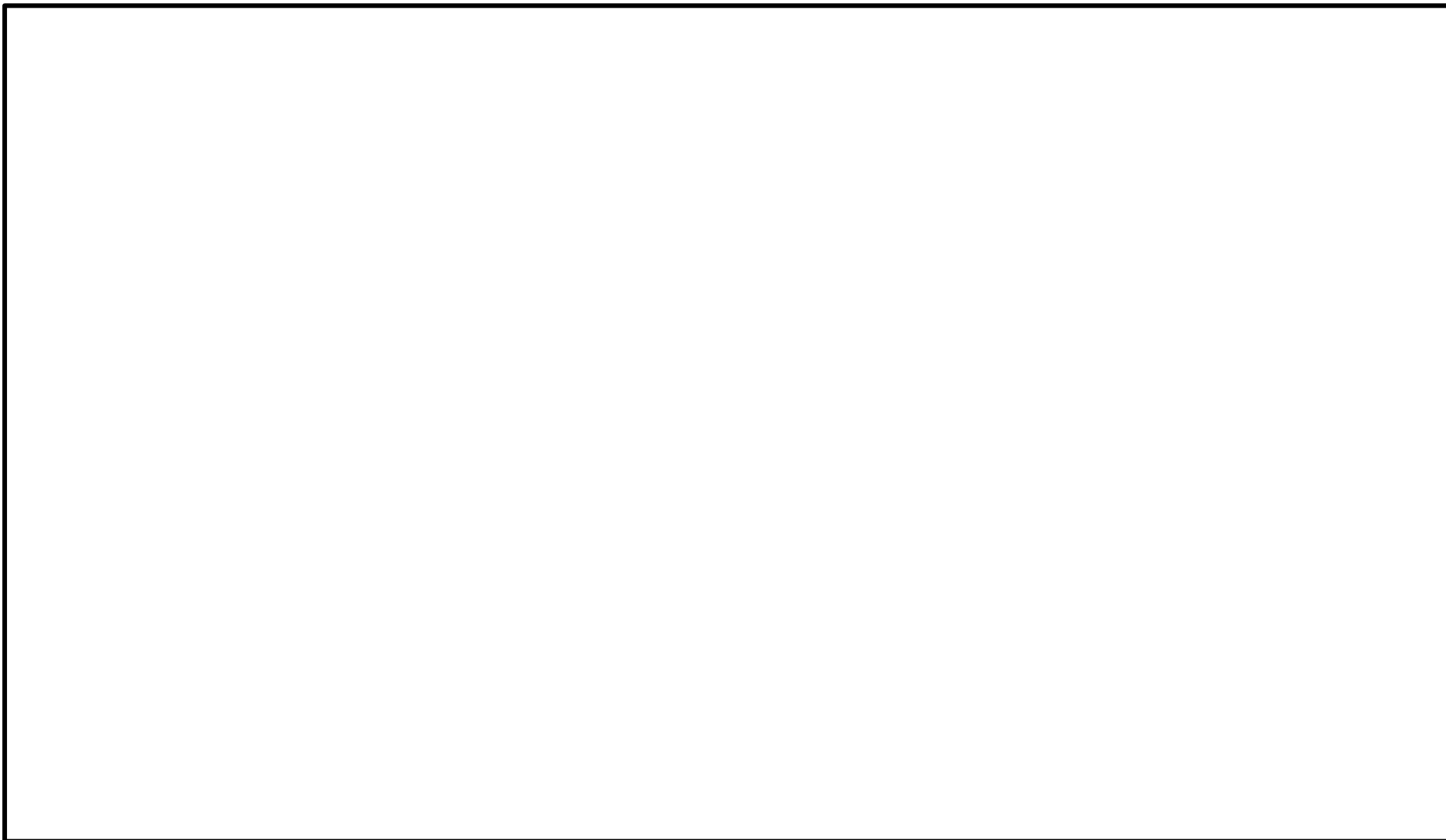
- 可搬型設備の保管場所及びアクセスルートを以下に示す



5. 敷地内浸水時の対策の成立性(3/3)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

■O.P.30.3m津波による敷地内最大浸水深分布



6. 津波分類の考え方

➤ 津波高さ及び防潮堤を越える津波による影響を踏まえ津波分類を以下のとおり設定

津波分類	津波高さ [m]	発生頻度※ (平均値)[/年]	イメージ図	津波分類の考え方	
0	0-1	~23.1 (3.0×10^{-5}) ※23.1m津波の年超過確率		<ul style="list-style-type: none"> ■津波高さが基準津波高さまで ・防潮堤により、敷地内への浸水なし 	
	0-2	23.1~29.0	2.6×10^{-5}		<ul style="list-style-type: none"> ■津波高さが基準津波～防潮堤高さまで ・防潮堤高さは基準津波に対し+6mあるため、敷地内への浸水なし
1	1-1	29.0~30.3	1.7×10^{-6}		<ul style="list-style-type: none"> ■津波による敷地への浸水が女川2号原子炉建屋周辺に及ばない範囲 ・女川2号原子炉建屋周辺に浸水がないため、可搬型設備使用可能 ・女川3号の海水ポンプ室からの湧き上がりによる浸水があるが、女川2号周辺の浸水は10cm以下
	1-2	30.3~35.2	2.4×10^{-6}		<ul style="list-style-type: none"> ■女川2号原子炉建屋周辺への浸水有り ・津波高さによっては、可搬型設備が使用不能となる <p style="text-align: right;">※津波分類を細分化し、詳細分析</p>
2	35.2~38.6	3.3×10^{-7}		<ul style="list-style-type: none"> ■女川2号原子炉建屋周辺への浸水有り ■外壁扉誤開の場合RCIC機能喪失 ・可搬型設備が使用不能となる ・外壁扉誤開の場合RCIC機能喪失となる 	
3	38.6~	1.1×10^{-7}		<ul style="list-style-type: none"> ■女川2号原子炉建屋周辺への浸水有り ■空調ルーバからの建屋内への浸水により全注水機能喪失 ・可搬型設備が使用不能となる ・建屋内への浸水により全注水機能喪失 	

※着目する津波範囲の年超過確率の差分(例えば、津波分類1-1(O.P.29m~30.3m)の発生頻度はO.P.29m年超過確率(4.5×10^{-6}) - O.P.30.3m年超過確率(2.8×10^{-6}) = 1.7×10^{-6} (/年)となる)

7. 津波分類毎の炉心損傷防止対策について(1/4)

■ ~O.P.30.3m津波に対する対策

➤ 女川2号原子炉建屋周辺に浸水がないため、可搬型設備を含めた重大事故等対処設備により対応する

- : 重大事故等対処設備
- : 重大事故等対処設備 (設計基準拡張)
- : 重大事故等対処設備(可搬型)

- : 水を含む配管
- : 蒸気を含む配管
- : 電源系統

原子炉補機
代替冷却水系



大容量送水
ポンプ(タイプ I)

海

主蒸気逃がし
安全弁

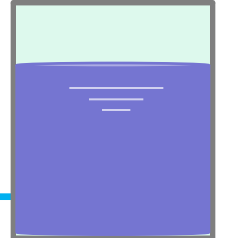
原子炉
圧力
容器

残留熱除去系
(サブレーションブル
水冷却モード)

①
←
①
低圧代替
注水系(常設)

原子炉格納容器

常設代替
交流電源設備



復水貯蔵タンク

原子炉隔離時
冷却系

(可搬型設備を用いた対策例)

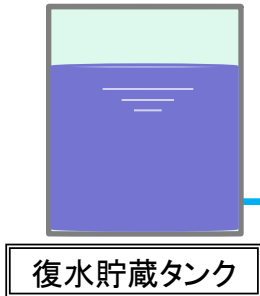
7. 津波分類毎の炉心損傷防止対策について(2/4)

■ O.P.30.3m～38.6m津波に対する対策

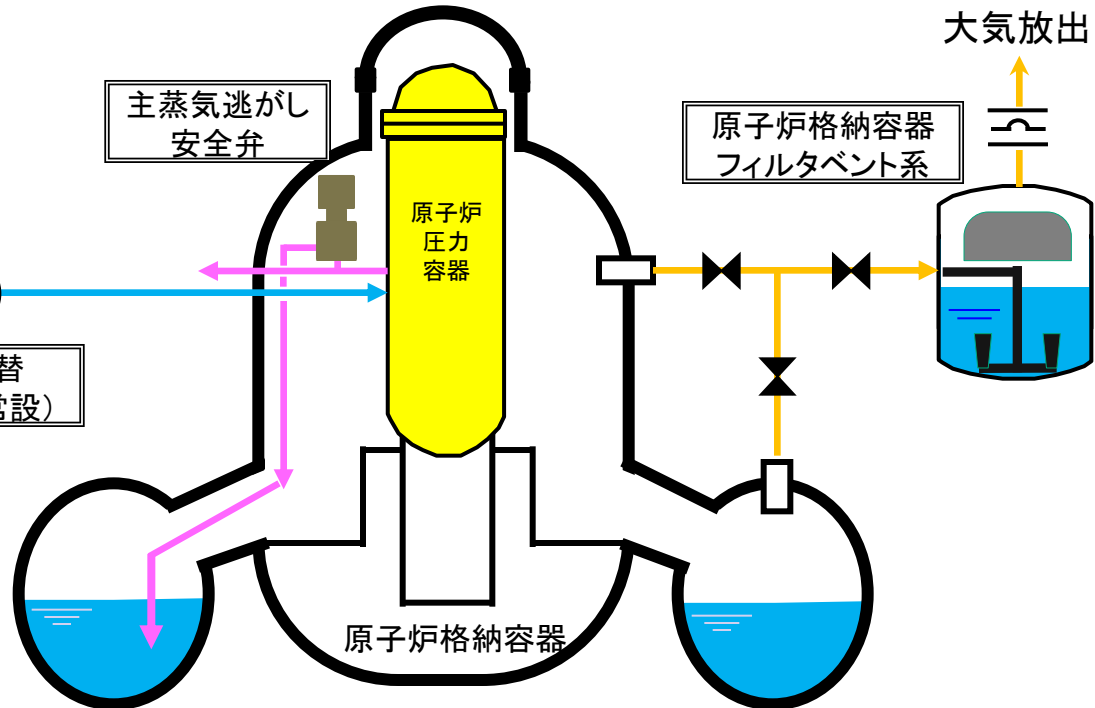
➤ 津波高さによっては、可搬型設備が使用できない可能性があるため、常設の重大事故等対処設備により対応する

□ : 重大事故等対処設備
□ : 重大事故等対処設備
(設計基準拡張)

常設代替
交流電源設備



低压代替
注水系(常設)



7. 津波分類毎の炉心損傷防止対策について(3/4)

■ O.P.30.3mを超える津波時の対応方針

- O.P.30.3mを超える津波発生時においては、可搬型設備の使用が困難であることが想定されるため、常設の設備を用いた対応が基本となる
- 常設設備を用いた対策は「高圧・低圧注水機能喪失」と同じであることから、当該シーケンスのプラント挙動について確認を行った
- 事象発生後15分後に常設代替交流電源より受電し、減圧・低圧代替注水系(常設)による注水後、原子炉格納容器フィルタベント系によるベントにより炉心損傷を防止する

事象進展の概要(有効性評価「高圧・低圧注水機能喪失」)

事象発生後の時間	解析上のイベント	備考
0分	津波により全交流動力電源喪失に至ることを想定する (有効性評価「高圧・低圧注水機能喪失」と同様の事象進展)	—
15分	常設代替交流電源設備より受電	—
25分	逃がし安全弁6個による急速減圧／低圧代替注水系(常設)による注水開始	—
約45時間後	格納容器ベント開始	格納容器圧力1Pd到達

7. 津波分類毎の炉心損傷防止対策について(4/4)

■ O.P.30.3mを超える津波時の対応(事象進展)

- 図1のとおり, 低圧代替注水系(常設)による注水のため, 逃がし安全弁による手動減圧を実施するため, 25分以降原子炉圧力は低下している
- 図2のとおり, 原子炉格納容器代替スプレイ冷却系による格納容器スプレイ実施後, 格納容器ベントを実施することで約45時間経過以降, 格納容器圧力は低下している

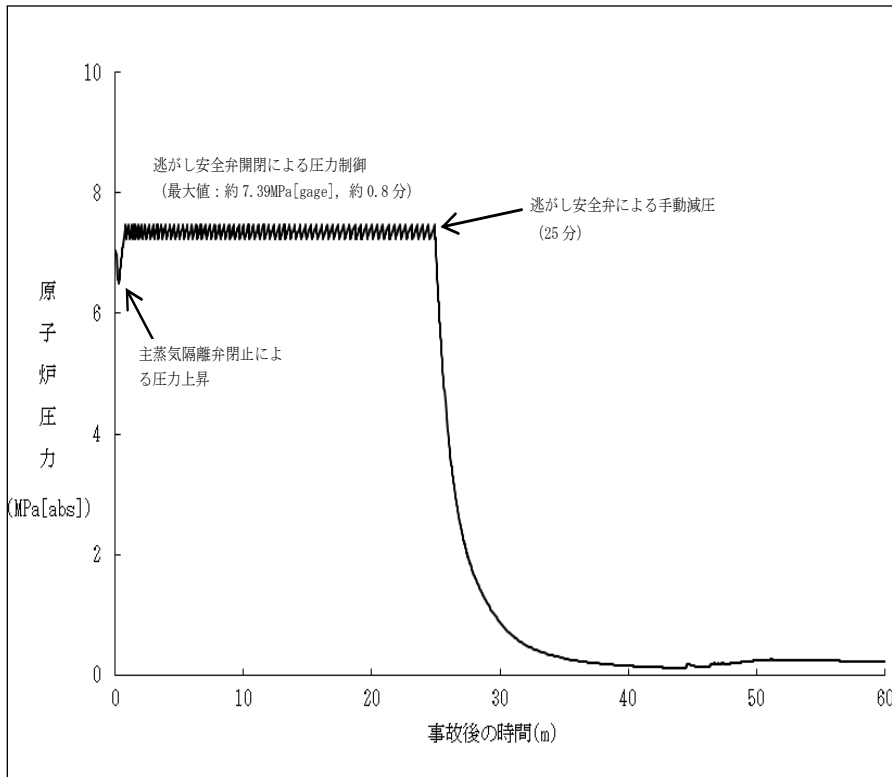


図1 原子炉圧力

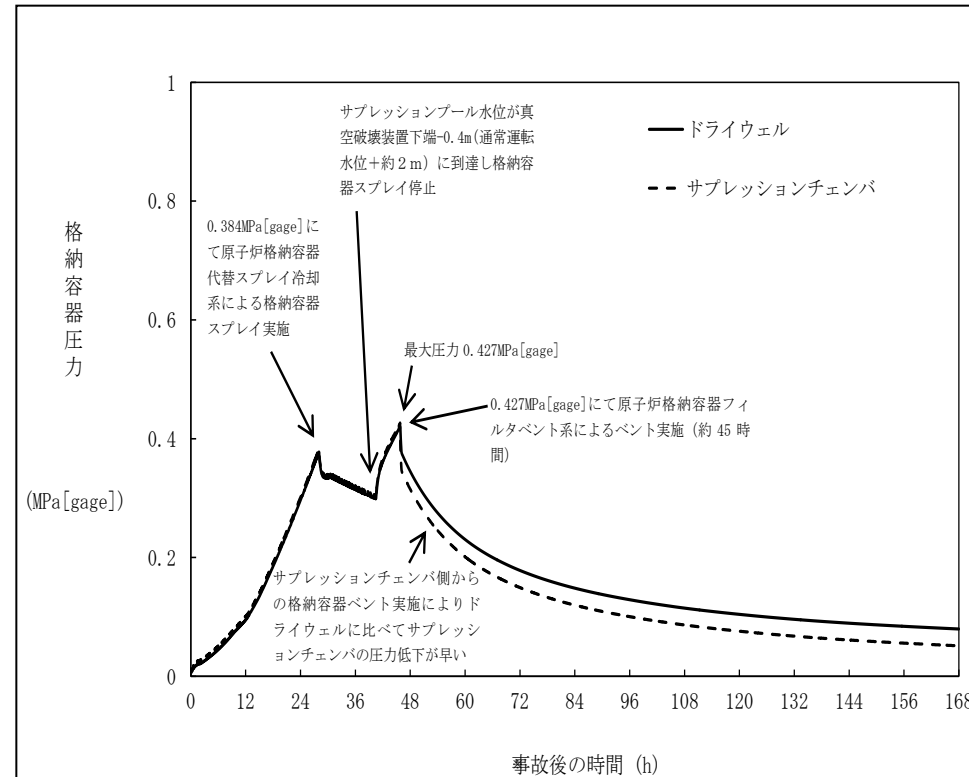


図2 格納容器圧力

8. 重要事故シーケンス選定の考え方(1/2)

■ 津波を起因とした事故シーケンスの重要事故シーケンス選定上の考え方(津波分類1, 2)

- 津波分類1および津波分類2に該当する事故シーケンスは、「9. 事故シーケンスの分析結果」の通り、内部事象と同様の炉心損傷防止対策が有効であるため、「津波を起因とした事故シーケンス」と「内部事象を起因としたシーケンス」を同等と評価
- 一方、津波分類1および津波分類2に該当する事故シーケンスには、一部、「敷地内浸水により可搬型設備が使用できないシーケンス」が含まれる
- 上記シーケンスへの対策は、建屋内への浸水防止等がその対策となるため、重大事故防止対策の有効性を確認するためのシーケンスには適さない。また、頻度・影響度の観点から総合的に判断した場合でも、事故シーケンスグループとして新たに追加することは不要と判断

(頻度の観点)

- 「敷地内浸水により可搬型設備が使用できない恐れのあるシーケンス」の発生頻度は 2.7×10^{-6} ／炉年であり、全炉心損傷頻度(7.8×10^{-5} ／炉年)に対して3.5%程度であり、非常に低い寄与であることを確認した
- また、津波ハザード評価の不確かさが大きい領域であることを踏まえ、たとえば、0.84フラクタイルの値を使用すれば、当該シーケンスの発生頻度は 1.6×10^{-6} ／炉年、2.1%程度、0.50フラクタイルの値を使用すれば、当該シーケンスの発生頻度は 2.0×10^{-8} ／炉年、0.03%程度である(補足4. 確率論的津波ハザードについて参照)

(影響度の観点)

- 敷地内浸水により可搬型設備が使用できない場合でも、常設代替交流電源設備、低圧代替注水系(常設)及びFCVSにより炉心損傷を防止できることを確認
- 防潮堤を可能な限り高く設計することで、基準津波を超える津波による越波の可能性を低く抑えている
- 浸水の規模によっては、可搬型設備が使用可能なケースも含まれており、水密扉の浸水対策やGTGの止水処理等を考慮することによって炉心損傷頻度が低下するための対策を実施している

8. 重要事故シーケンス選定の考え方(2/2)

■ 津波を起因とした事故シーケンスの重要事故シーケンス選定上の考え方(津波分類3)

- 津波分類3に該当する事故シーケンスは、内部事象PRAで想定したシーケンスグループとは別に、津波特有の事故シーケンスグループ「防潮堤機能喪失」として選定
- 「防潮堤機能喪失」は、津波による損傷状態及び機能喪失する機器を特定することは困難であることから、炉心損傷直結シーケンスとして整理
- 有意な頻度又は影響度の観点から、事故シーケンスグループとして新たに追加することは不要と判断

(頻度の観点)

- 「防潮堤機能喪失」の発生頻度は 1.1×10^{-7} /炉年であり、全炉心損傷頻度(7.8×10^{-5} /炉年)に対して0.1%程度と、小さい寄与であることを確認

(影響度の観点)

- 損傷の程度に応じて影響程度が変化する事故シーケンスであるものの、津波による損傷状態及び機能喪失する機器を特定することは困難
- 損傷の規模によっては、RCICなど炉心損傷の防止に必要な監視機能や操作機能が健全ならば、炉心損傷を回避できる可能性がある

9. 事故シーケンスの分析結果(1/3)

■ 事故シーケンス別の対策

- 「防潮堤機能喪失」以外の事故シーケンスは、カットセットレベルまで展開しても、整備された重大事故等対処設備(敷地内浸水状況も考慮)により炉心損傷を防止できることを確認
- 津波分類1-1については、有効性評価で考慮している対策が有効であることを確認
- 津波分類1-2, 津波分類2については、敷地内浸水により可搬型設備が使用できない場合でも、常設代替交流電源設備, 低圧代替注水系(常設)及びFCVSにより炉心損傷を防止できることを確認
- 一方、「防潮堤機能喪失」については、津波による詳細な損傷の程度や影響を評価することは困難

事故シーケンスの分析結果(津波分類1-1)

事故シーケンスグループ		事故シーケンス	カットセットの分析結果			対策	対策有効性
			主要なカットセット	CDF [/炉年]	寄与割合※ [%]		
TB (全交流動力電源喪失) (CDF: 1.7×10^{-9} /炉年)	長期TB	全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +バッテリー枯渇による RCIC機能喪失 (CDF: 1.6×10^{-6} /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ RCIC注水成功	1.6×10^{-6}	100	・原子炉隔離時冷却系 ・低圧代替注水系(常設) ・常設代替交流電源設備(回路含む) ・原子炉補機代替冷却水系	○
	TBU	全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +RCIC機能喪失 (CDF: 4.3×10^{-9} /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ RCICランダム故障	4.3×10^{-9}	100	・高圧代替注水系 ・低圧代替注水系(常設) ・常設代替交流電源設備(回路含む) ・原子炉補機代替冷却水系	○
	TBP	全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +S/R弁再閉鎖失敗 (CDF: 4.5×10^{-9} /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ S/R弁再閉鎖失敗	4.5×10^{-9}	100	・原子炉隔離時冷却系 ・低圧代替注水系(可搬型) ・常設代替交流電源設備(回路含む) ・原子炉補機代替冷却水系	○
	TBD	全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +直流電源喪失 (CDF: 2.8×10^{-13} /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ 直流電源ランダム故障	2.8×10^{-13}	100	・高圧代替注水系 ・低圧代替注水系(常設) ・可搬型代替直流電源設備 ・常設代替交流電源設備(回路含む) ・原子炉補機代替冷却水系	○
TC (原子炉停止機能喪失) (CDF: 2.6×10^{-14} /炉年)		全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +原子炉停止失敗 (CDF: 2.6×10^{-14} /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ スクラム系ランダム故障	2.6×10^{-14}	100	・代替制御棒挿入機能 ・代替原子炉再循環ポンプトリップ機能 ・常設代替交流電源設備(回路含む) ・原子炉補機代替冷却水系	○

※当該事故シーケンスのCDFに対する寄与割合

9. 事故シーケンスの分析結果(2/3)

事故シーケンスの分析結果(津波分類1-2)

事故シーケンスグループ	事故シーケンス	カットセットの分析結果			対策	対策有効性	
		主要なカットセット	CDF [/炉年]	寄与割合※ [%]			
TB (全交流動力電源喪失) (CDF:2.4×10 ⁻⁶ /炉年)	長期TB	全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +バッテリー枯渇による RCIC機能喪失 (CDF:2.4×10 ⁻⁶ /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ RCIC注水成功	2.4×10 ⁻⁶	100	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉隔離時冷却系 低圧代替注水系(常設) 常設代替交流電源設備(電路含む) 原子炉格納容器フィルタベント系 	○
	TBU	全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +RCIC機能喪失 (CDF:6.2×10 ⁻⁹ /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ RCICランダム故障	6.2×10 ⁻⁹	100	<ul style="list-style-type: none"> 高圧代替注水系 低圧代替注水系(常設) 常設代替交流電源設備(電路含む) 原子炉格納容器フィルタベント系 	○
	TBP	全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +S/R弁再閉鎖失敗 (CDF:6.5×10 ⁻⁹ /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ S/R弁再閉鎖失敗	6.5×10 ⁻⁹	100	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉隔離時冷却系 低圧代替注水系(常設) 常設代替交流電源設備(電路含む) 原子炉格納容器フィルタベント系 	○
	TBD	全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +直流電源喪失 (CDF:4.1×10 ⁻¹³ /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ 直流電源ランダム故障	4.1×10 ⁻¹³	100	<ul style="list-style-type: none"> 高圧代替注水系 低圧代替注水系(常設) 常設代替交流電源設備(電路含む) 原子炉格納容器フィルタベント系 	○
TC (原子炉停止機能喪失) (CDF:3.9×10 ⁻¹⁴ /炉年)	全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +原子炉停止失敗 (CDF:3.9×10 ⁻¹⁴ /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ スクラム系ランダム故障	3.9×10 ⁻¹⁴	100	<ul style="list-style-type: none"> 代替制御棒挿入機能 代替原子炉再循環ポンプトリップ機能 常設代替交流電源設備(電路含む) 原子炉格納容器フィルタベント系 	○	

※当該事故シーケンスのCDFに対する寄与割合

9. 事故シーケンスの分析結果(3/3)

事故シーケンスの分析結果(津波分類2)

事故シーケンスグループ	事故シーケンス	カットセットの分析結果			対策	対策有効性
		主要なカットセット	CDF [/炉年]	寄与割合※ [%]		
TB (全交流動力電源喪失) (CDF:3.3×10 ⁻⁷ /炉年)	長期TB 全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +バッテリー枯渇による RCIC機能喪失 (CDF:3.2×10 ⁻⁷ /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ RCIC注水成功	3.2×10 ⁻⁷	100	・原子炉隔離時冷却系 ・低圧代替注水系(常設) ・常設代替交流電源設備(電路含む) ・原子炉格納容器フィルタベント系	○
	TBU 全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +RCIC機能喪失 (CDF:4.7×10 ⁻⁹ /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ RCICランダム故障	8.4×10 ⁻¹⁰	17.6	・高圧代替注水系 ・低圧代替注水系(常設) ・常設代替交流電源設備(電路含む) ・原子炉格納容器フィルタベント系	○
		主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ 原子炉建屋外壁扉(管理区 域)機能喪失+RCIC没水	3.9×10 ⁻⁹	82.4	・高圧代替注水系 ・低圧代替注水系(常設) ・常設代替交流電源設備(電路含む) ・原子炉格納容器フィルタベント系 ・止水対策	○
	TBP 全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +S/R弁再閉鎖失敗 (CDF:8.8×10 ⁻¹⁰ /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ S/R弁再閉鎖失敗	8.8×10 ⁻¹⁰	100	・原子炉隔離時冷却系 ・低圧代替注水系(常設) ・常設代替交流電源設備(電路含む) ・原子炉格納容器フィルタベント系	○
TBD 全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +直流電源喪失 (CDF:5.5×10 ⁻¹⁴ /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ 直流電源ランダム故障	5.5×10 ⁻¹⁴	100	・高圧代替注水系 ・低圧代替注水系(常設) ・常設代替交流電源設備(電路含む) ・原子炉格納容器フィルタベント系	○	
TC (原子炉停止機能喪失) (CDF:5.2×10 ⁻¹⁵ /炉年)	全交流動力電源喪失 +最終ヒートシンク喪失 +原子炉停止失敗 (CDF:5.2×10 ⁻¹⁵ /炉年)	主変圧器等機能喪失+RSW ポンプ機能喪失 +HPSWポンプ機能喪失+ スクラム系ランダム故障	5.2×10 ⁻¹⁵	100	・代替制御棒挿入機能 ・代替原子炉再循環ポンプトリップ機能 ・常設代替交流電源設備(電路含む) ・原子炉格納容器フィルタベント系	○

※当該事故シーケンスのCDFに対する寄与割合

事故シーケンスの分析結果(津波分類3)

事故シーケンスグループ	事故シーケンス	カットセットの分析結果			対策	対策有効性
		主要なカットセット	CDF [/炉年]	寄与割合※ [%]		
防潮堤機能喪失 (CDF:1.1×10 ⁻⁷ /炉年)	防潮堤機能喪失 (CDF:1.1×10 ⁻⁷ /炉年)	防潮堤機能喪失	1.1×10 ⁻⁷	100	—	×

※当該事故シーケンスのCDFに対する寄与割合

10. 津波起因のTBPシーケンスの扱いについて

■津波TBP

- 当該シーケンスは、津波を起因とした敷地内浸水による全交流動力電源喪失発生後、逃がし弁のランダム故障による開固着が重畳することにより発生するものである
- 逃がし弁の開固着の事象自体は、津波を起因として発生するものではない
- 有効性評価条件である「SA設備を含む交流動力電源が24時間使用不可」の条件の下で、可搬型設備が使用できないことを想定すると、炉心損傷防止を回避できないが、有意な頻度・影響度の観点から、総合的に判断した場合でも、事故シーケンスグループとして新たに追加することは不要と判断

（頻度の観点）

- 敷地内浸水により可搬型設備が使用できない恐れのあるシーケンス（津波分類1－2、津波分類2）のうち、TBPシーケンス発生頻度は、津波分類1－2では、 6.5×10^{-9} ／炉年、津波分類2では、 8.8×10^{-10} ／炉年であり、両者の和をとっても、 7.4×10^{-9} ／炉年であり、全炉心損傷頻度（ 7.8×10^{-5} ／炉年）に対して0.01%以下の寄与率であり非常に小さいことを確認した
- 逃がし弁の開固着の発生頻度は、仮想的に全弁開放後何れか1つの弁が故障する評価としているが、過渡事象時に全弁開放することはないため、現実的な発生頻度は、より低くなると考えられる

（影響度の観点）

- 敷地内浸水により可搬型設備が使用できない場合でも、止水処理した常設代替交流電源設備の機能は維持されると考えられる。この場合、常設代替交流電源設備、低圧代替注水系（常設）及びFCVSにより炉心損傷を防止できることを確認している
- 敷地内に浸水した場合でも、除熱機能喪失後ベント実施までは十分な時間余裕（45時間）があることから、漂流物の撤去などにより可搬型設備の使用が可能となるケースも含まれている。この場合、代替循環冷却系による冷却も可能である

11. 重大事故等対処設備の津波耐性について

津波により損傷する重大事故等対処設備と津波分類

No	設備名称	設置場所	設置フロア 高さ [O.P.]	津波分類※1			
				1-1	1-2	2	3
1	高圧代替注水系	原子炉建屋	-1.8m	○	○	△	×
2	低圧代替注水系(常設)	原子炉建屋	-1.8m	○	○	△	×
3	常設代替交流電源設備(電路含む)	緊急用電気品建屋	62m	○	○	○	×
4	原子炉補機代替冷却水系	第1保管エリア	61m	○	○	○	×
		第3保管エリア	18.5m	×	×	×	×
		第4保管エリア	59m	○	○	○	×
	熱交換器ユニット接続口	原子炉建屋北側	14.6m※2	○	×	×	×
		原子炉建屋西側	14.7m※2	○	×	×	×
5	可搬型代替直流電源設備	制御建屋	18.5m	○	○	○	×
	電源車接続口	原子炉建屋西側	15.1m※2	○	×	×	×
		原子炉建屋北側	18.0m※2	○	△	△	×
6	代替制御棒挿入機能	—	—	○	○	○	×
7	代替原子炉再循環ポンプトリップ機能	—	—	○	○	○	×

※1 ○：健全，△：建屋外壁扉の機能喪失(閉め忘れ)した場合に機能喪失，×：機能喪失

※2 接続口中心位置の高さ

補足1. 先行プラントとの比較

■東海第二との比較

- 防潮堤を越える津波の年超過確率は、女川2号： 4.5×10^{-6} 、東海第二： 3.5×10^{-5} ^{※1}と1桁異なる
- 東海第二が有効性評価を実施することとなったシーケンスの炉心損傷頻度は、 3.4×10^{-5} ^{※1}（寄与割合約40%^{※1}）であり、女川2号の同等シーケンスの炉心損傷頻度は、 4.4×10^{-6} （寄与割合約5.6%）と1桁異なる
- 女川2号では、防潮堤を越える津波の年超過確率は 10^{-6} オーダーであり、かつ、防潮堤を越える津波に対しても有効性評価と同様の対応が可能であり、その対策の有効性は現状の有効性評価結果に包絡される

女川原子力発電所2号炉

東海第二発電所

津波分類			津波高さ (m)	発生頻度 ^{※2} (1/年)	寄与割合 (%)	対策	炉心損傷防止	有効性評価の扱い	津波分類			津波高さ (m)	発生頻度 ^{※1,2} (1/年)	寄与割合 (%)	対策	炉心損傷防止	有効性評価の扱い
0	基準津波以下	0-1	~23.1	(3.0×10^{-5})	-	・防潮堤	- (津波による起因事象無)	事故シーケンスが抽出されない	0	基準津波以下	0-1	~17.2	(8×10^{-5})	-	・防潮堤	- (津波による起因事象無)	事故シーケンスが抽出されない
	基準津波～防潮堤	0-2	23.1~29.0	2.6×10^{-5}	-	・防潮堤	- (津波による起因事象無)	事故シーケンスが抽出されない		基準津波～防潮堤	0-2	17.2~20.0	5×10^{-5}	-	・防潮堤	- (津波による起因事象無)	事故シーケンスが抽出されない
1	敷地内浸水 (全可搬型設備使用可能)	1-1	29.0~30.3	1.7×10^{-6}	2.1	・止水対策 ・SA(可搬) ・SA(常設)	・高圧代替注水系 ・低圧代替注水系(常設) ・低圧代替注水系(可搬型) ・可搬型代替直流電源設備 ・常設代替交流電源設備(電路含む) ・原子炉補機代替冷却水系	有効性評価と同様の対応が有効	1	敷地内浸水 (可搬型設備一部使用不能)	1-1	20.0~23.0	2×10^{-5}	30	・津波防護対策 ・SA(可搬) ・SA(常設)	・原子炉隔離時冷却系 ・低圧代替注水系(可搬型) ・代替格納容器スプレイ ・常設代替高圧電源装置	2.8「津波浸水による注水機能喪失」として、有効性評価を実施
	敷地内浸水 (一部可搬型設備使用可能)	1-2	30.3~35.2	2.4×10^{-6}	3.1	・止水対策 ・SA(常設)	・高圧代替注水系 ・低圧代替注水系(常設) ・常設代替交流電源設備(電路含む) ・原子炉格納容器フィルタベント系	内部事象レベル1 PRAと同様の対応が有効		敷地内浸水 原子炉建屋内浸水	1-2	23.0~24.0	3×10^{-6}	3.1		・残留熱除去海水系に代わり緊急用海水系に期待している点を除き「2.3.1 全交流動力電源喪失(長期TB)」と同様	
2	敷地内浸水 (全可搬型設備使用不能)	2	35.2~38.6	3.3×10^{-7}	0.4				2	防潮堤損傷 建屋内への浸水により緩和系喪失	2	24.0~30.0	5×10^{-6}	6.7			
3	建屋内への浸水により緩和系喪失	3	38.6~	1.1×10^{-7}	0.1	・大規模損壊対策	-	「必ず想定する事故シーケンス」に該当しない事故シーケンス									

※1 東海第二が「津波浸水による注水機能喪失」を新たに追加する事故シーケンスとして選定した「第371回審査会合 平成28年6月21日」、「第382回審査会合 平成28年7月19日」時点の値。その後、最新知見を踏まえて更新した津波ハザードを反映して津波PRAの評価結果を更新。

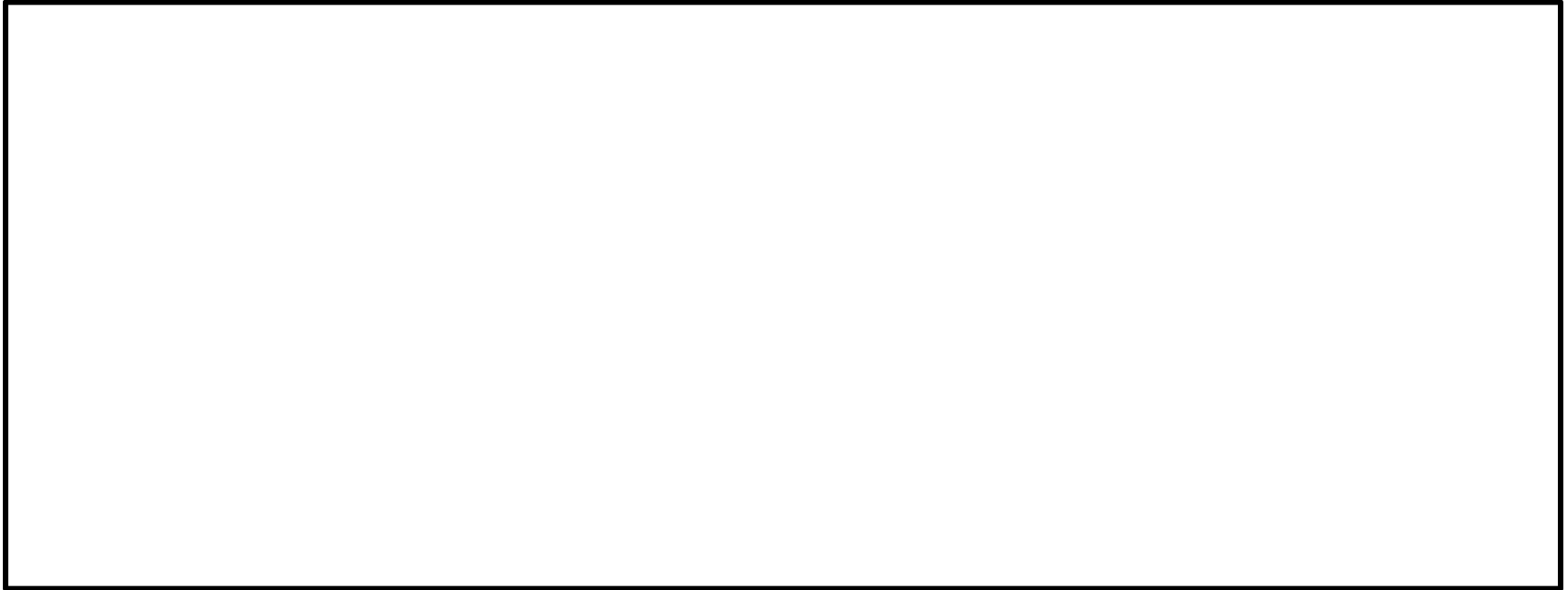
※2 ()は基準津波の年超過確率

補足2. 防潮堤を越える津波リスクへの対応例(1/2)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

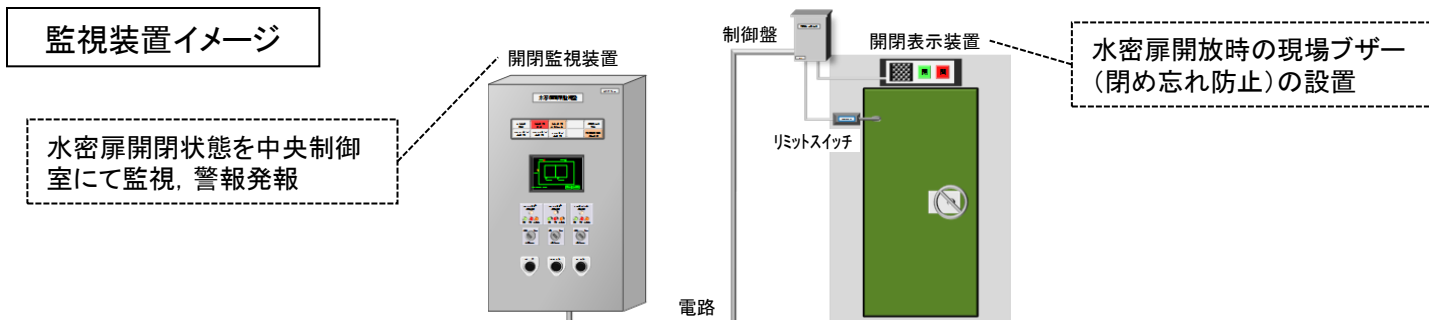
■原子炉建屋及び制御建屋への津波浸水防止対策

- 防潮堤及び防潮壁を越える津波から原子炉建屋及び制御建屋への流入を防止するため水密扉を設置する
- 津波発生時に、作業員がマンドアから屋外へ避難した際に、開放状態が維持された場合、建屋内へ大量の浸水が発生する。このため、中央制御室に開閉監視装置を設置し、マンドアを確実に閉止する



原子炉建屋原子炉棟外壁扉:R/B 1F

制御建屋外壁扉:C/B 1F



補足2. 防潮堤を越える津波リスクへの対応例(2/2)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

■ 常設代替交流電源設備

- ガスタービン発電機を高台(O.P.約62m)に設置し、屋外電路を埋設することで、防潮堤を越える津波の影響を受けない設計としている



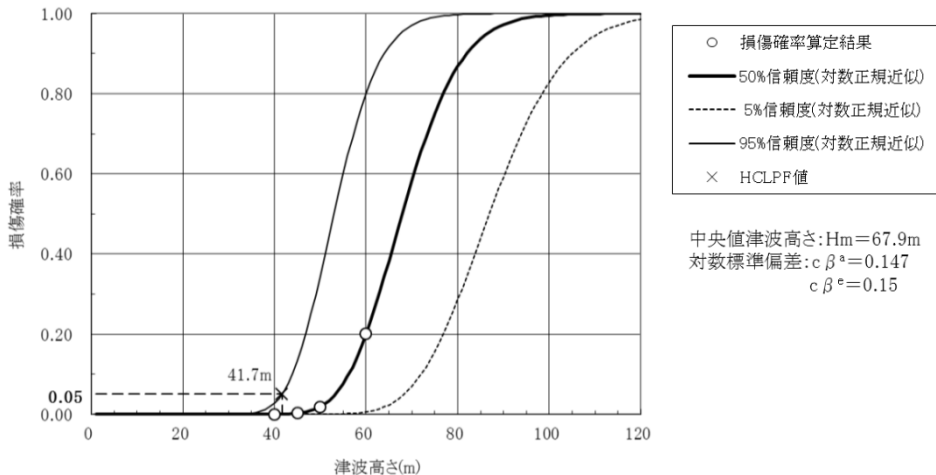
補足3. 防潮堤・防潮壁の耐性

■ 防潮堤

- フラジリティ評価で、津波高さのHCLPF値がO.P.41.7mとなっており、O.P.38.6m津波での損傷率は十分に低い(図1参照)

■ 防潮壁

- 防潮壁内の水位が天端まで上がっても水圧に対して耐性は確保される設計となっている
- 防潮壁から越流した場合、水位がバランスする方向となるため、防潮壁の耐性に影響はない
- O.P.30.3m津波時の氾濫解析によると、敷地内の浸水深は低く、漂流物による影響はないと判断しており、防潮壁の耐性に影響はない(図2参照)



津波高さ(m)	40	45	50	60
損傷確率	3.4×10^{-4}	3.0×10^{-3}	1.8×10^{-2}	2.0×10^{-1}

図1 フラジリティ曲線の算定結果

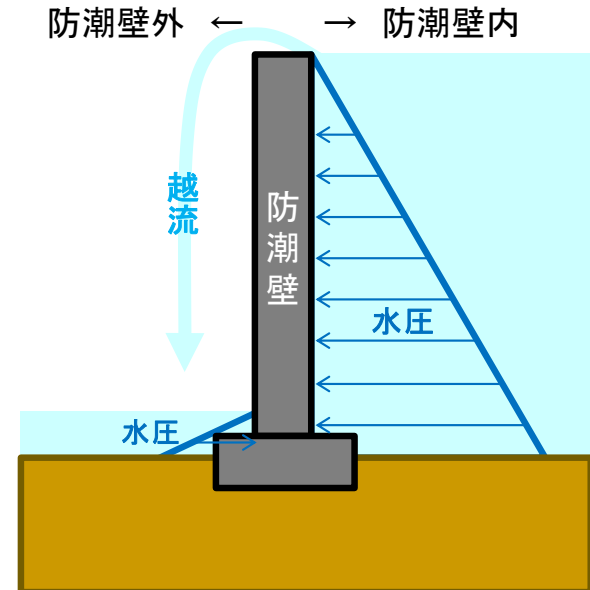
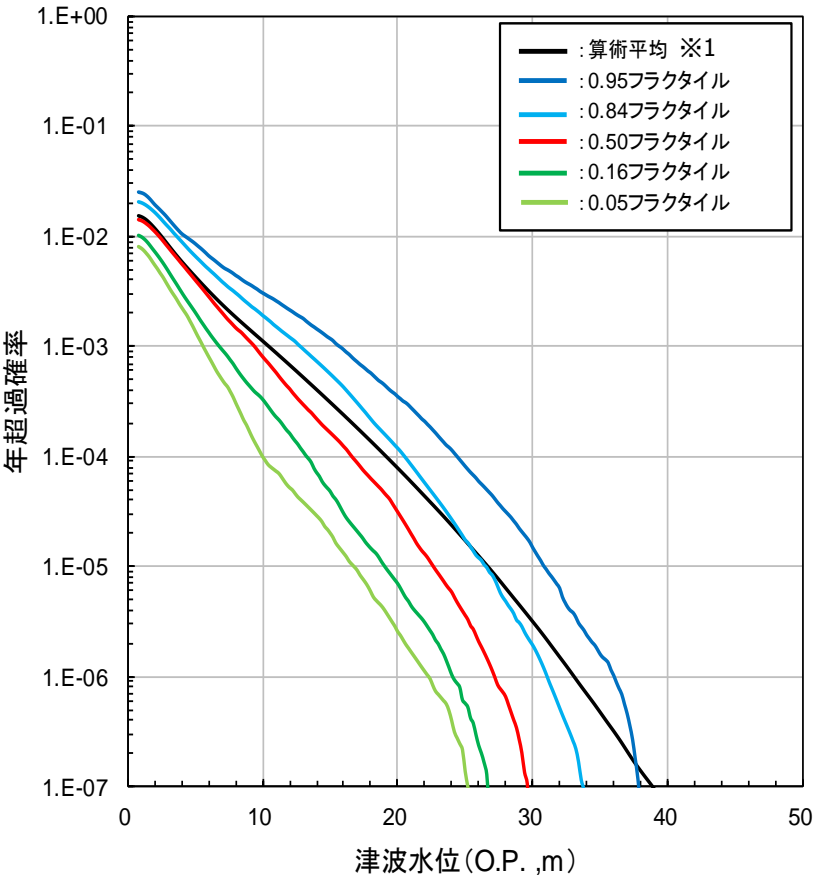


図2 防潮壁における耐性概要

補足4. 確率論的津波ハザードについて(1/3)

■フラクタイルハザード曲線



津波高 (O.P./m)	年超過確率(/年) ※2					
	算術 平均	0.95 フラクタイル	0.84 フラクタイル	0.50 フラクタイル	0.16 フラクタイル	0.05 フラクタイル
23.1	3.0×10^{-5}	1.4×10^{-4}	3.7×10^{-5}	8.0×10^{-6}	1.8×10^{-6}	6.5×10^{-7}
29.0	4.5×10^{-6}	2.2×10^{-5}	3.1×10^{-6}	2.7×10^{-7}	1.1×10^{-12}	1.0×10^{-20}
30.3	2.8×10^{-6}	1.3×10^{-6}	1.7×10^{-6}	2.0×10^{-8}	1.0×10^{-20}	1.0×10^{-20}
35.2	4.4×10^{-7}	1.5×10^{-6}	4.4×10^{-9}	1.0×10^{-20}	1.0×10^{-20}	1.0×10^{-20}
38.6	1.1×10^{-7}	8.6×10^{-9}	1.0×10^{-20}	1.0×10^{-20}	1.0×10^{-20}	1.0×10^{-20}

※2 網掛け部は年超過確率が得られていない

■フラクタイルハザード曲線の特徴

- 確率論的津波ハザードの算術平均を評価する際、少数だが非常に大きなハザードの影響を受けることで、標準偏差が大きく、打切り誤差が大きなパスがあるため、津波水位に対して年超過確率が大きいハザードとなる
- 防潮堤(O.P.29m)を越える津波のハザードは、上記の影響が大きく、0.84フラクタイルを上回っている

敷地前面(水位上昇側)のフラクタイルハザード曲線

※1
 算術平均 : 全ハザード曲線の期待値
 フラクタイル : 津波高さに対して与えられる超過確率を超えないと見なす専門家のコンセンサスの割合

補足4. 確率論的津波ハザードについて(2/3)

■ 確率論的津波ハザードの不確かさの要因

- 確率論的津波ハザード評価の津波高さ推定に関するロジックツリーは土木学会(2011)を踏まえた評価を実施
- 土木学会(2011)の評価においては、対数正規分布の打ち切り範囲(σ)を中央値 $\pm 10\beta$ としている分岐がある
- この設定により、数は少ないが非常に大きな津波高さのハザードが評価されている

■ 津波高さ推定に関するロジックツリー

3. 津波高さ推定に関するロジックツリー(偶然的不確かさの考慮)

第439回審査会合(H29.2.3)
資料1-2 p30 一部修正

38

3.1 津波高さ推定に関するロジックツリー

コメントNo.164

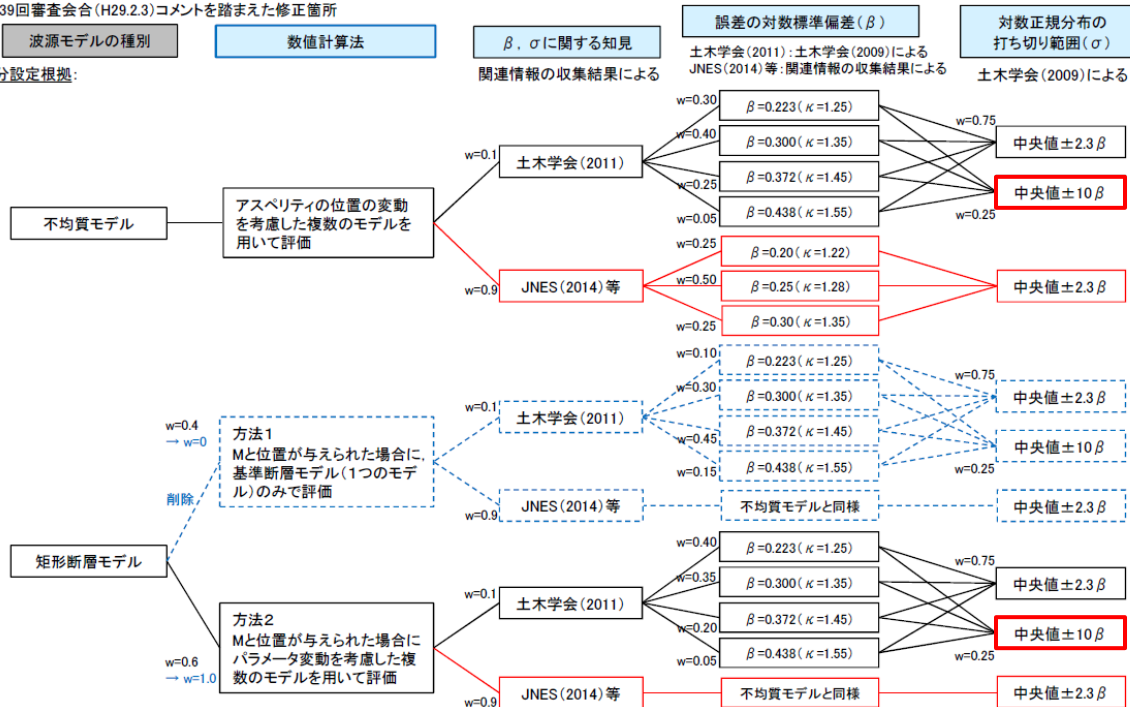
- ・ 偶然的不確かさ要因は、日本原子力学会(2012)、土木学会(2011)及び土木学会(2016)*を踏まえて、津波高さ推定に関するロジックツリーとして設定した。
*：土木学会(2016)のロジックツリーの詳細は、補足説明資料「7. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討」に記載。

■ : 土木学会(2011)からの変更箇所

■ : 申請時からの変更箇所

■ : 第439回審査会合(H29.2.3)コメントを踏まえた修正箇所

重みの配分設定根拠:



第466回審査会合(H29.4.28)
資料1 P38 より抜粋

補足4. 確率論的津波ハザードについて(3/3)

■ 確率論的津波ハザードの不確かさによる炉心損傷頻度への影響

- 算術平均及びフラクタイル別の炉心損傷頻度は下表のとおり、ばらつきが大きい
 - 算術平均を用いた場合の炉心損傷頻度(合計)は0.84フラクタイルと同等であるが、津波分類2の炉心損傷頻度は、算術平均 3.3×10^{-7} /炉年に対して 4.4×10^{-9} /炉年であり2桁異なっている
 - 算術平均と0.50フラクタイルの炉心損傷頻度(合計)は1桁異なっている

算術平均及びフラクタイル別の炉心損傷頻度

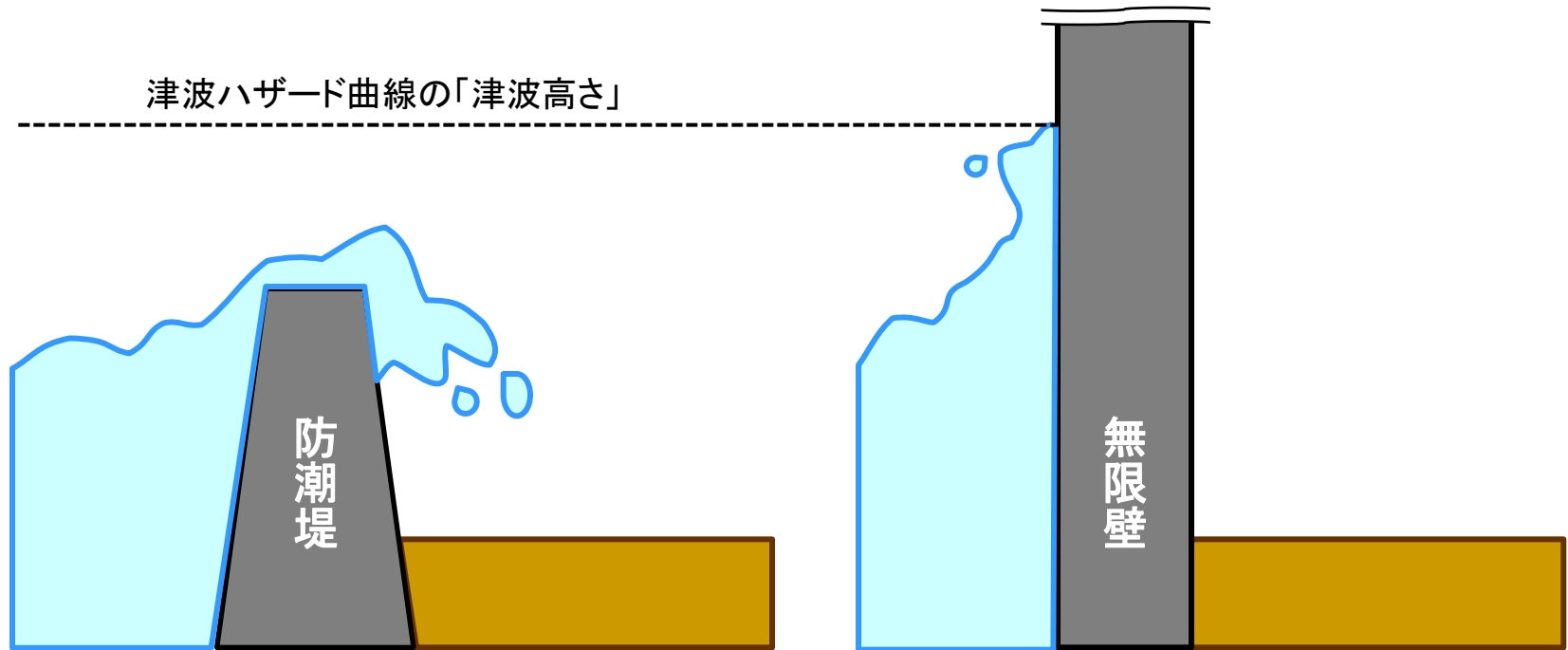
	津波分類[／炉年]				合計 [／炉年]
	1-1	1-2	2	3	
算術平均	1.7×10^{-6}	2.4×10^{-6}	3.3×10^{-7}	1.1×10^{-7}	4.5×10^{-6}
0.95フラクタイル	9.3×10^{-6}	1.1×10^{-5}	1.5×10^{-6}	8.6×10^{-9}	2.2×10^{-5}
0.84フラクタイル	1.4×10^{-6}	1.6×10^{-6}	4.4×10^{-9}	—	3.1×10^{-6}
0.50フラクタイル	2.5×10^{-7}	2.0×10^{-8}	—	—	2.7×10^{-7}
0.16フラクタイル	—	—	—	—	—
0.05フラクタイル	—	—	—	—	—

※網掛け部(—)は年超過確率が小さく(1×10^{-20} 以下)値が得られないため、炉心損傷頻度が計算できない

補足5. 確率論的津波ハザード曲線の「津波高さ」

■「津波高さ」の意味合い

- 確率論的津波ハザード曲線の「津波高さ」は“無限壁”に対して津波が溯上したピーク値を表している
- “無限壁”を想定せずに評価した場合、防潮堤や敷地高さといった施設状況の違いにより差が生じるため、確率論的津波ハザード評価では施設状況に因らない「年超過確率」と「津波高さ」を示すために、“無限壁”を想定した手法としている



確率論的津波ハザード曲線の「津波高さ」のイメージ