

安全性向上への取組みと評価

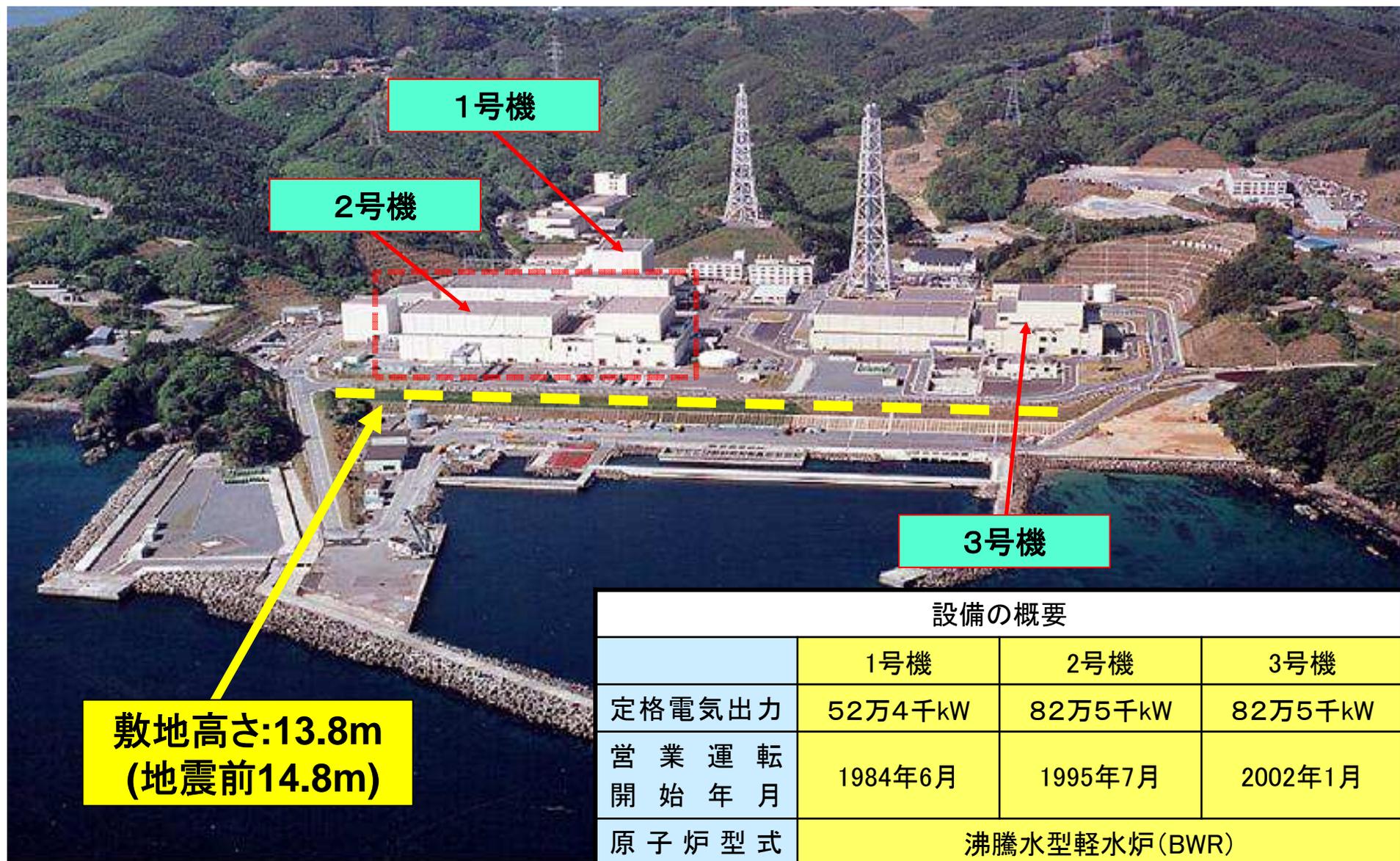
『女川原子力発電所2号機における津波PRA評価』

東北電力株式会社

原子力部 佐藤 大輔



1. 女川原子力発電所の概要

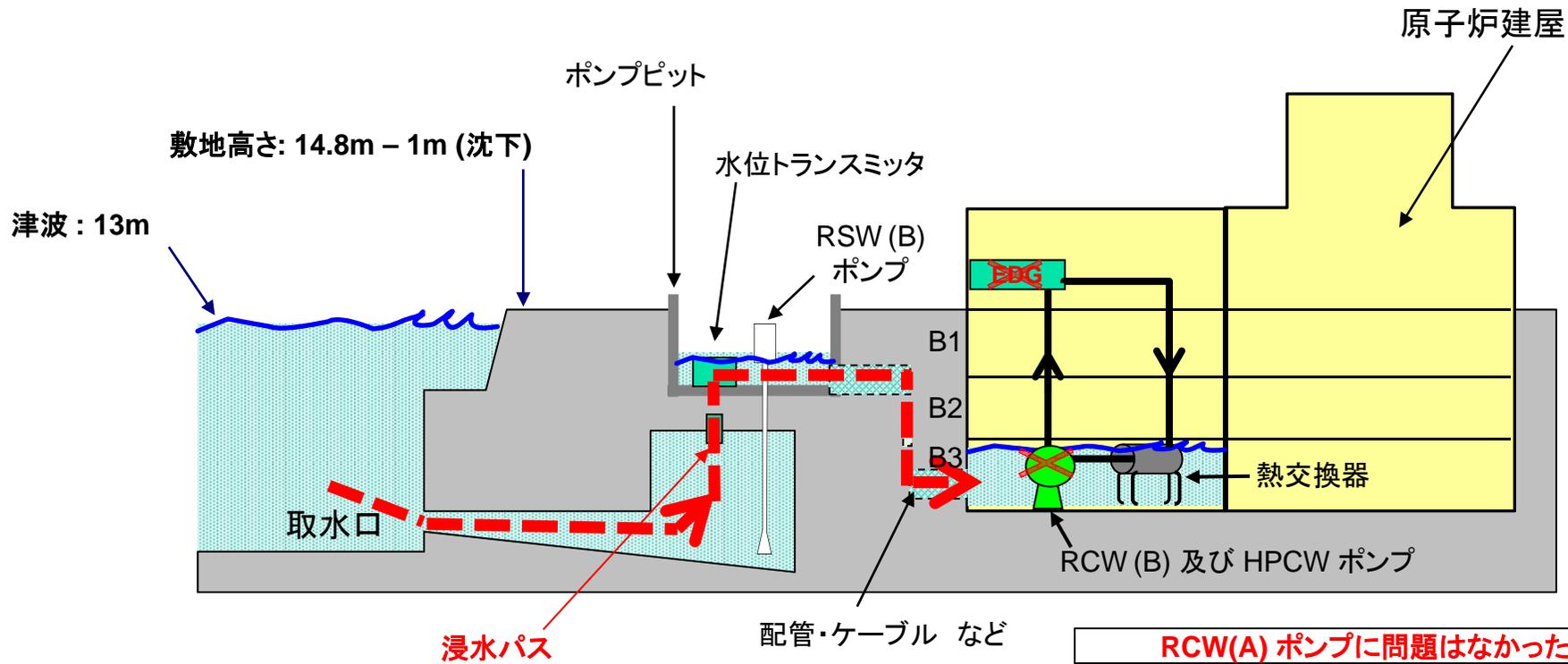


1.1 津波による主な被害 (1/2)



1.1 津波による主な被害 (2/2)

■3月11日に発生した津波による影響 (非常用D/Gの冷却システムの浸水)



	津波高さ(m)
敷地高さ	14.8
3.11 津波	13(1mの沈下考慮)
津波高さ試算値 (土木学会手法による津波評価試算値(平成14年))	13.6

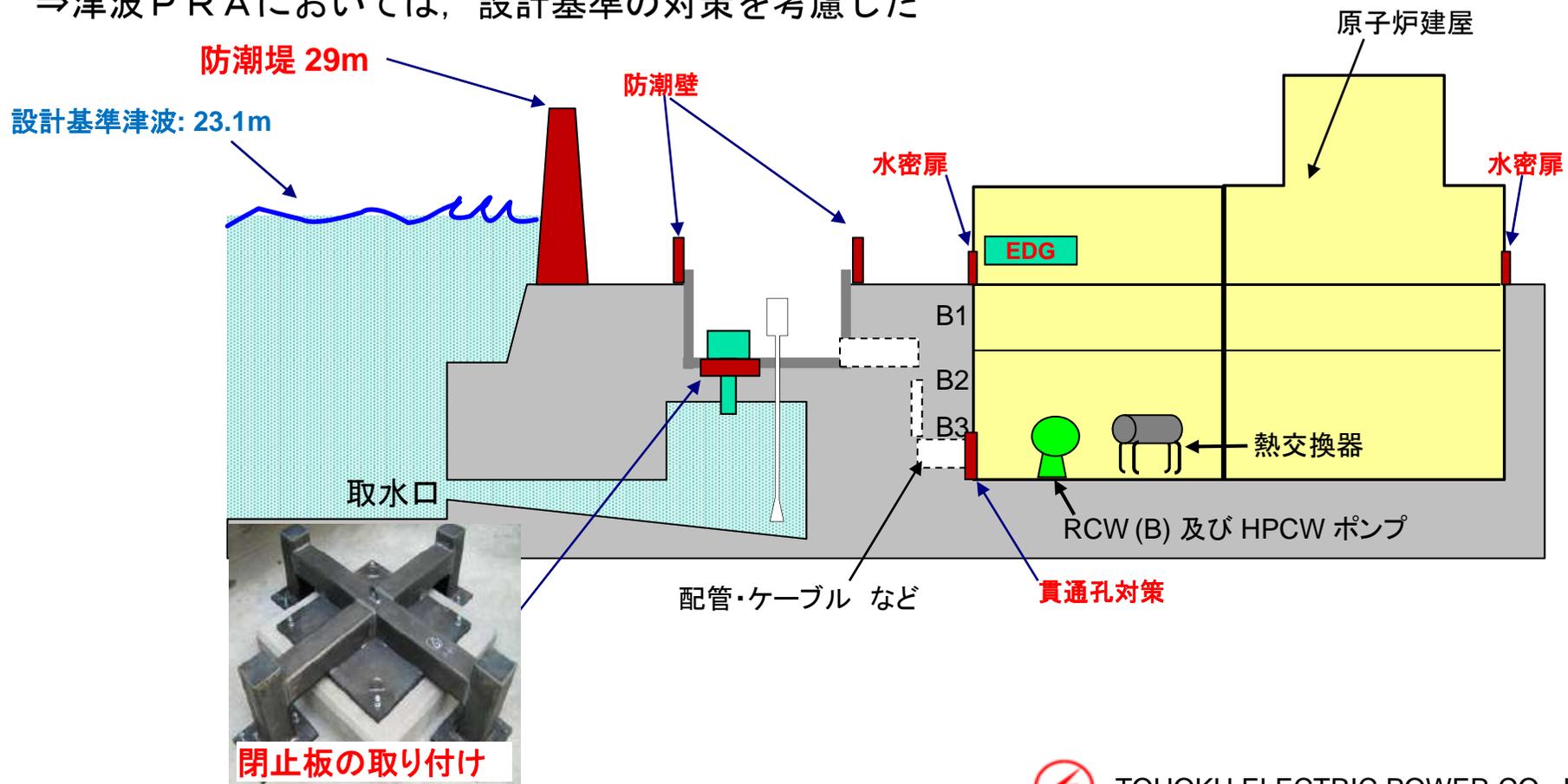
EDG :非常用ディーゼル発電機
 RSW :原子炉補機冷却海水系
 RCW :原子炉補機冷却水系
 HPCW :高圧炉心スプレイ補機冷却水系

2.女川原子力発電所2号機の津波対策 (1/3)

■3月11日に発生した津波を踏まえた対策

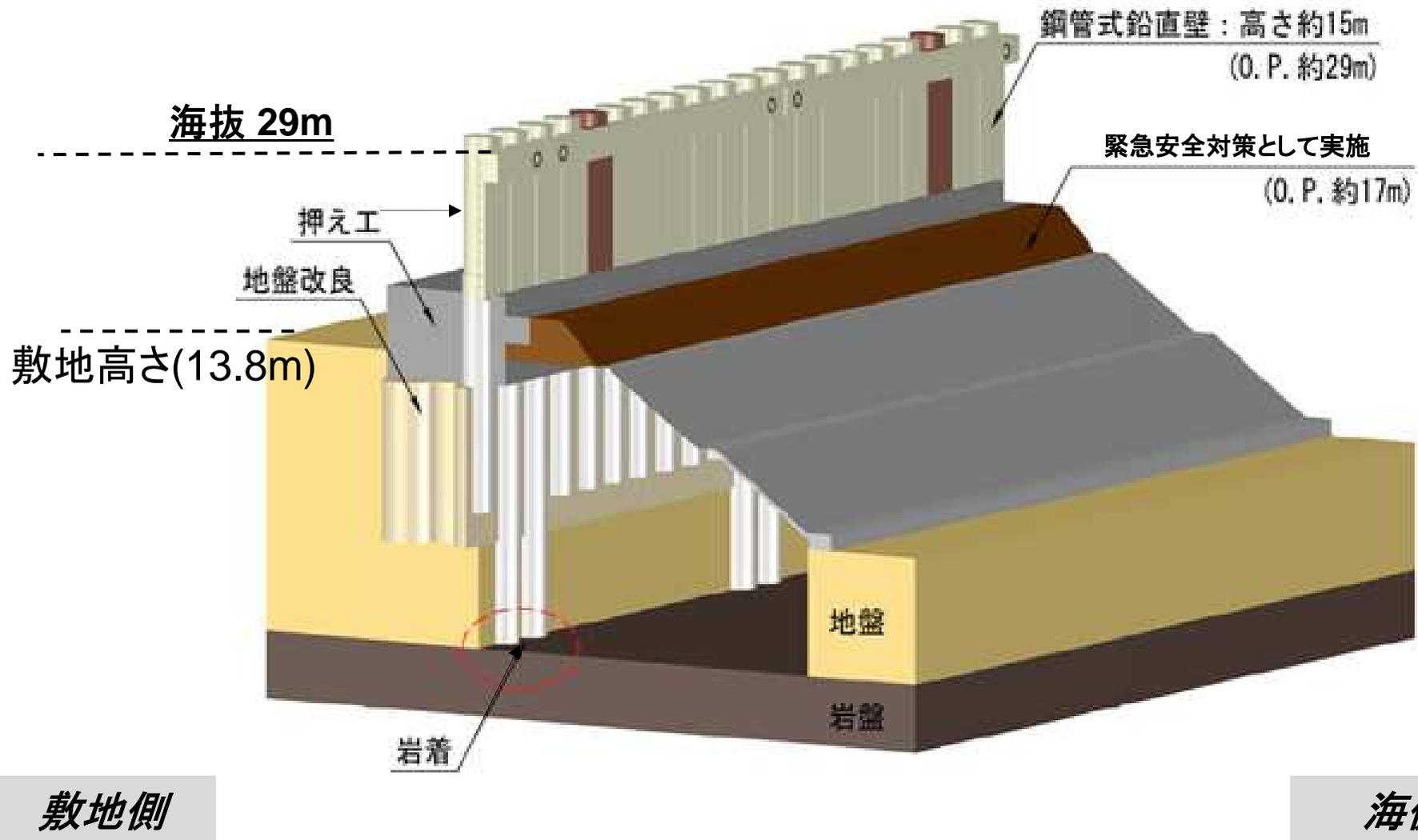
- ・ 設計基準津波高さ： **23.1m**
- ・ 設計基準：敷地は設計基準津波により浸水しない設計とする

⇒津波PRAにおいては、設計基準の対策を考慮した



2.女川原子力発電所2号機の津波対策 (2/3)

■津波対策（防潮堤）



2.女川原子力発電所2号機の津波対策 (3/3)

■防潮堤の状況

2017年6月撮影



海拔約29m

2017年4月撮影



2016年2月撮影



2012年9月撮影



2014年3月撮影



2014年11月撮影



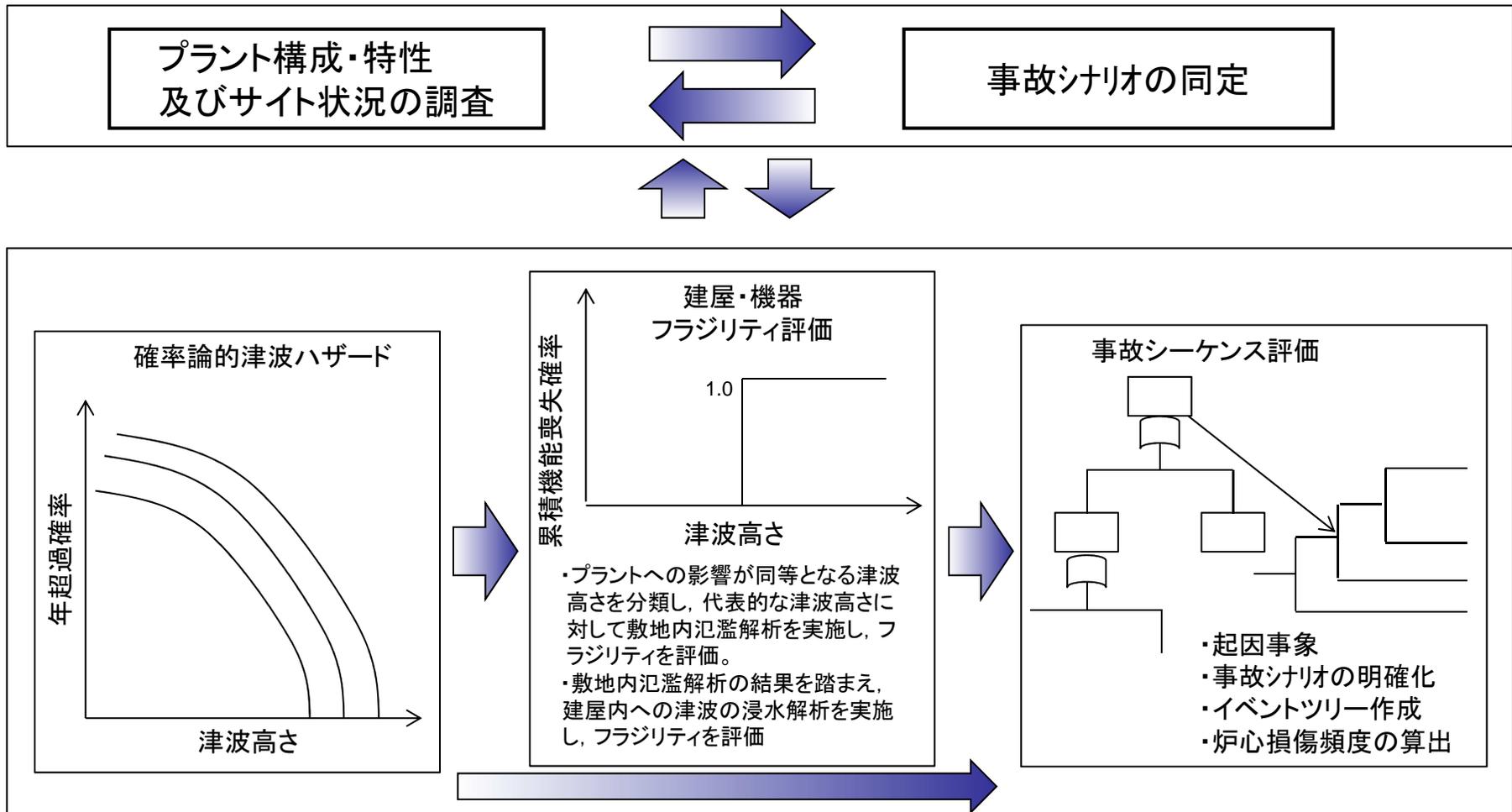
2015年8月撮影



3. 津波PRA (1/9)

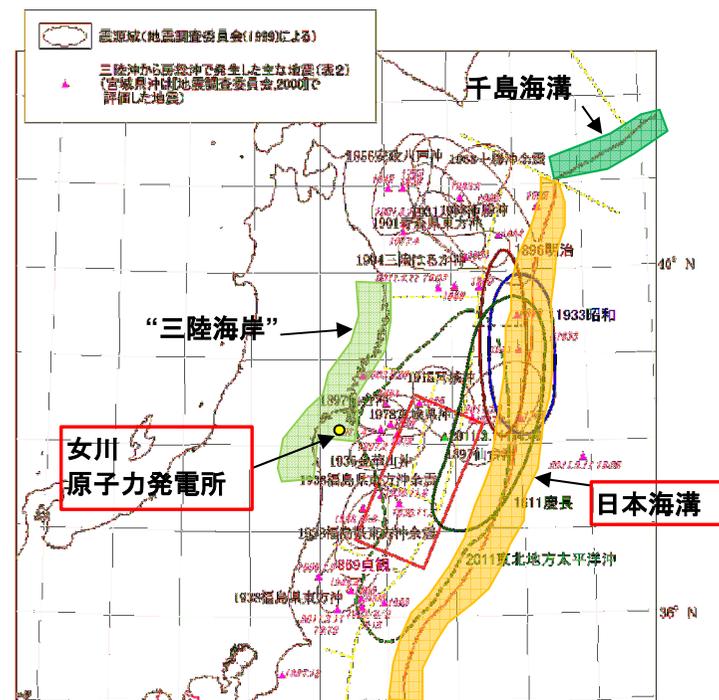
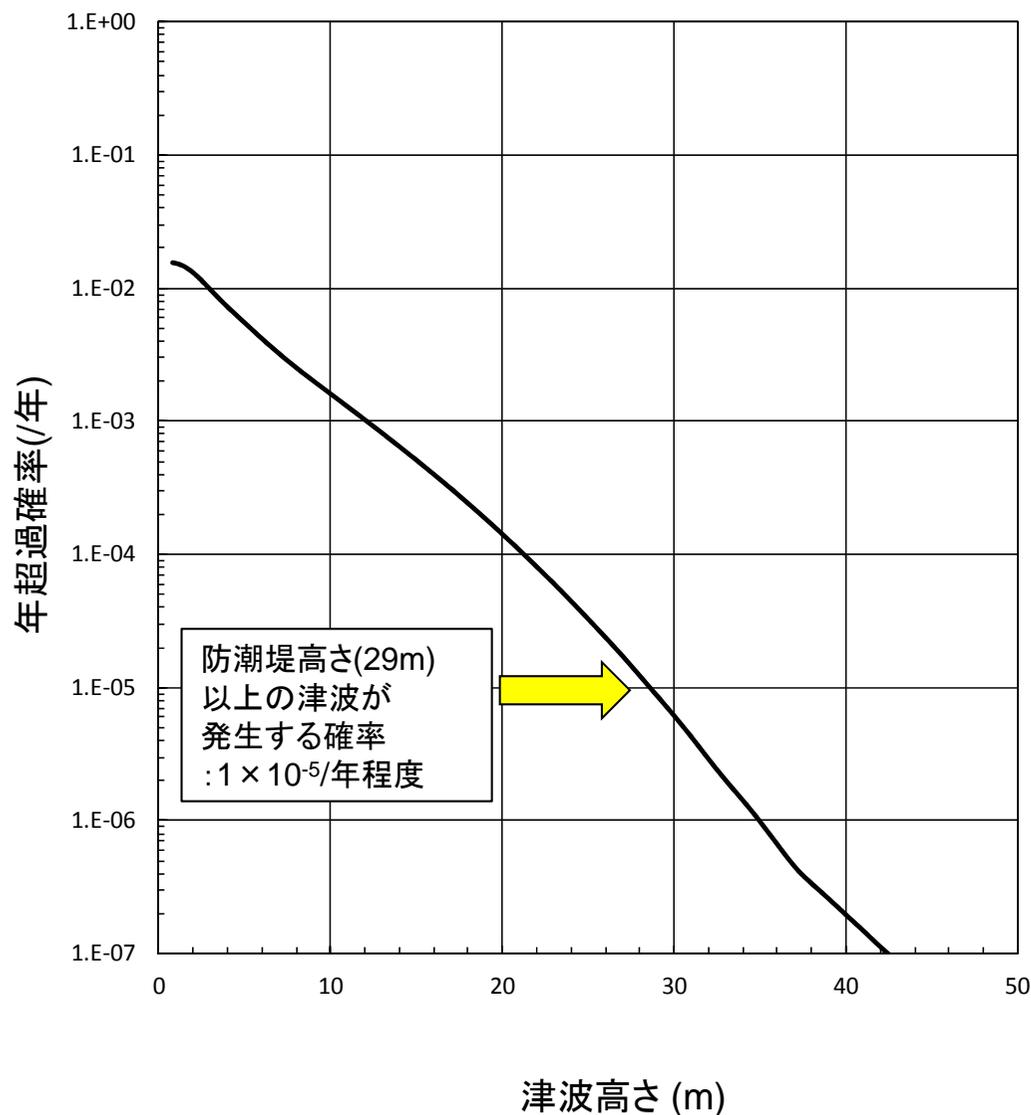
■ PRA手法

外部事象津波レベル1 PRAは、一般社団法人日本原子力学会発行の「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2011」に準拠した手法に評価した。



3. 津波PRA (2/9)

■津波ハザード



- ・原子力学会標準に示される日本海溝及び千島海溝(南部)沿いの津波発生領域に加え、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、典型的なプレート間地震と津波地震の連動型地震を考慮した。
- ・津波発生領域のうち、敷地に及ぼす影響が大きい領域を評価対象として選定した。

29m : 防潮堤高さ

38.6m : 防潮堤機能喪失を想定

3. 津波PRA (3/9)

■ 建屋機器フラジリティ評価 (津波分類)

・プラントへの影響が同等となる津波高さを分類し, 代表的な津波高さとして29m, 35.2m及び38.6mに対して敷地内氾濫解析を実施し, 建屋・機器フラジリティを評価。

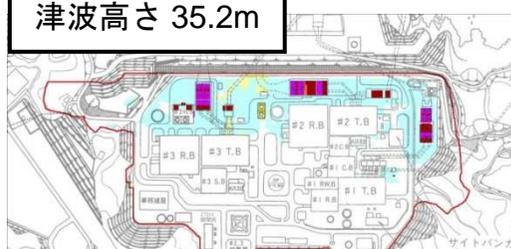
1. 敷地内氾濫解析

津波高さ 29.0m



・機能喪失する機器なし

津波高さ 35.2m



■ 以下の機器が機能喪失

- ・変圧器
- ・RSW, HPSW
- ・非常用D/G (燃料輸送ポンプ)

津波高さ 38.6m

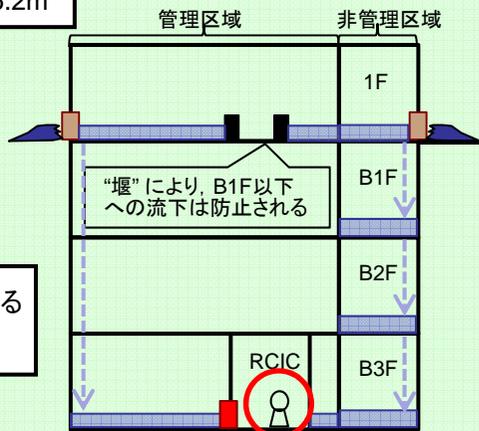


■ 以下の機器が機能喪失

- ・変圧器
- ・RSW, HPSW
- ・非常用D/G (燃料輸送ポンプ)

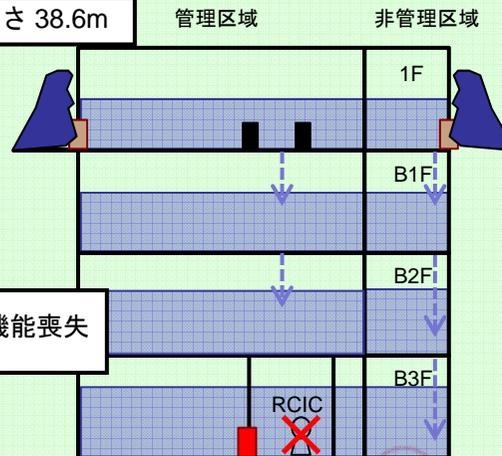
2. 建屋内への津波浸水解析

津波高さ 35.2m



・機能喪失する機器なし

津波高さ 38.6m



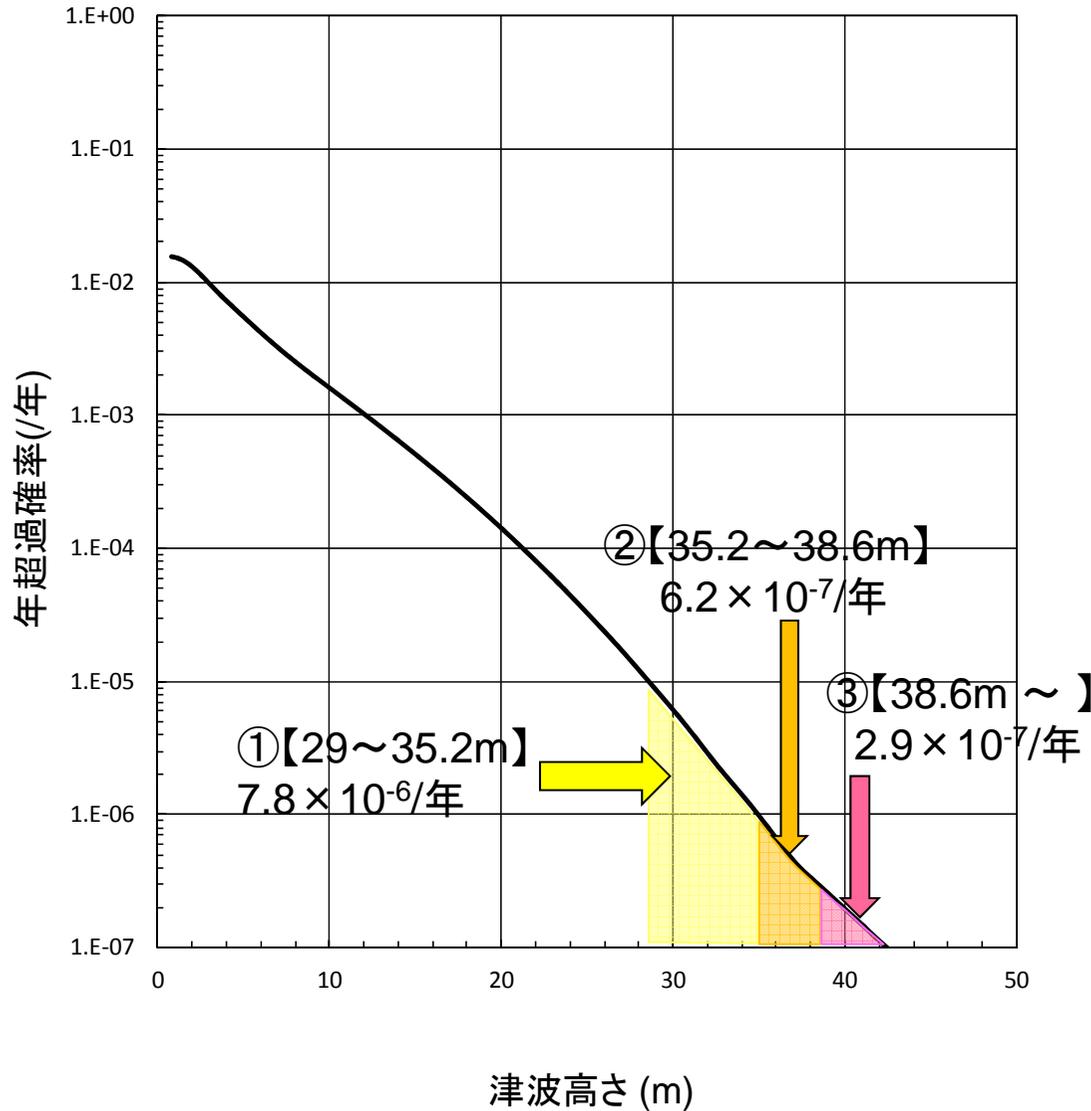
・RCIC機能喪失

■ 津波分類

- ① 津波高さ 29.0~35.2m
- ② 津波高さ 35.2~38.6m
- ③ 津波高さ 38.6m~

3. 津波PRA (4/9)

■津波分類毎の発生頻度



【29m ~ 35.2m】

- 防潮堤超波により, 変圧器, RSW, HPSW及び非常用D/G (燃料輸送ポンプ)が機能喪失

【35.2m ~ 38.6m】

- 防潮堤超波により, 変圧器, RSW, HPSW及び非常用D/G (燃料輸送ポンプ)が機能喪失
- 建屋内への津波の浸水が発生した場合には, RCICが機能喪失する

【38.6m ~】

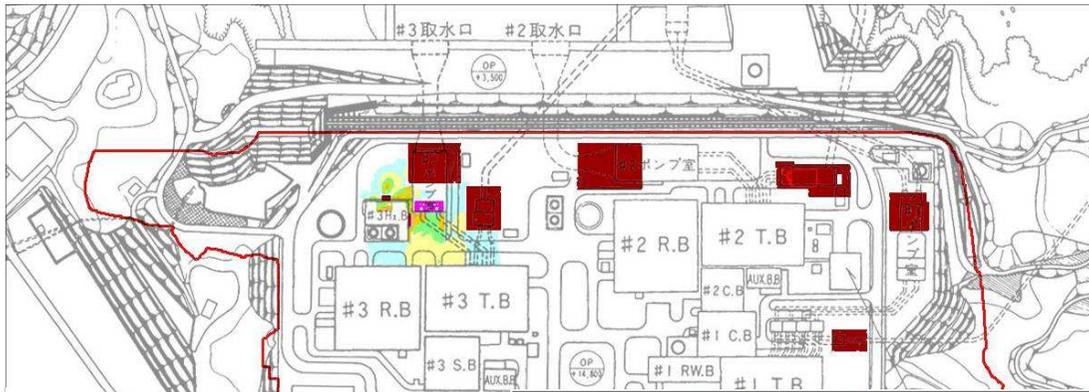
- 防潮堤機能喪失により, 直接炉心損傷に至る事象と整理

3.津波PRA (5/9)

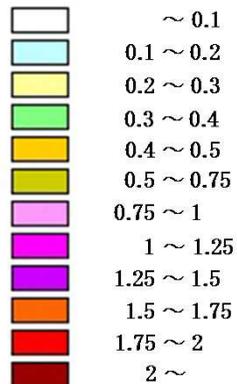
■敷地内浸水解析(1)

- ・ 津波高さ ~ 29.0m

海側

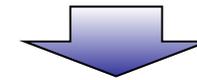


最大浸水深(m)



津波事象	防潮堤	外部電源	R/B外壁厚		直流電源	補機冷却海水系	非常用交流電源	スクラム	損傷クラス	備考
			インナー	アウター						
IE	B	LOP	DOI	DOO	DC	RSW	EDG	C		
									TC	LUHS
									TC	LOSP
									TC	SBO
									TC	SBO
									TBD	SBO
									TC	SBO
									TBD	SBO
									TC	SBO
									TBD	SBO
									TC	SBO
									TBD	SBO
									B	

津波高さ29mまでについては、
設備の機能喪失は発生しない



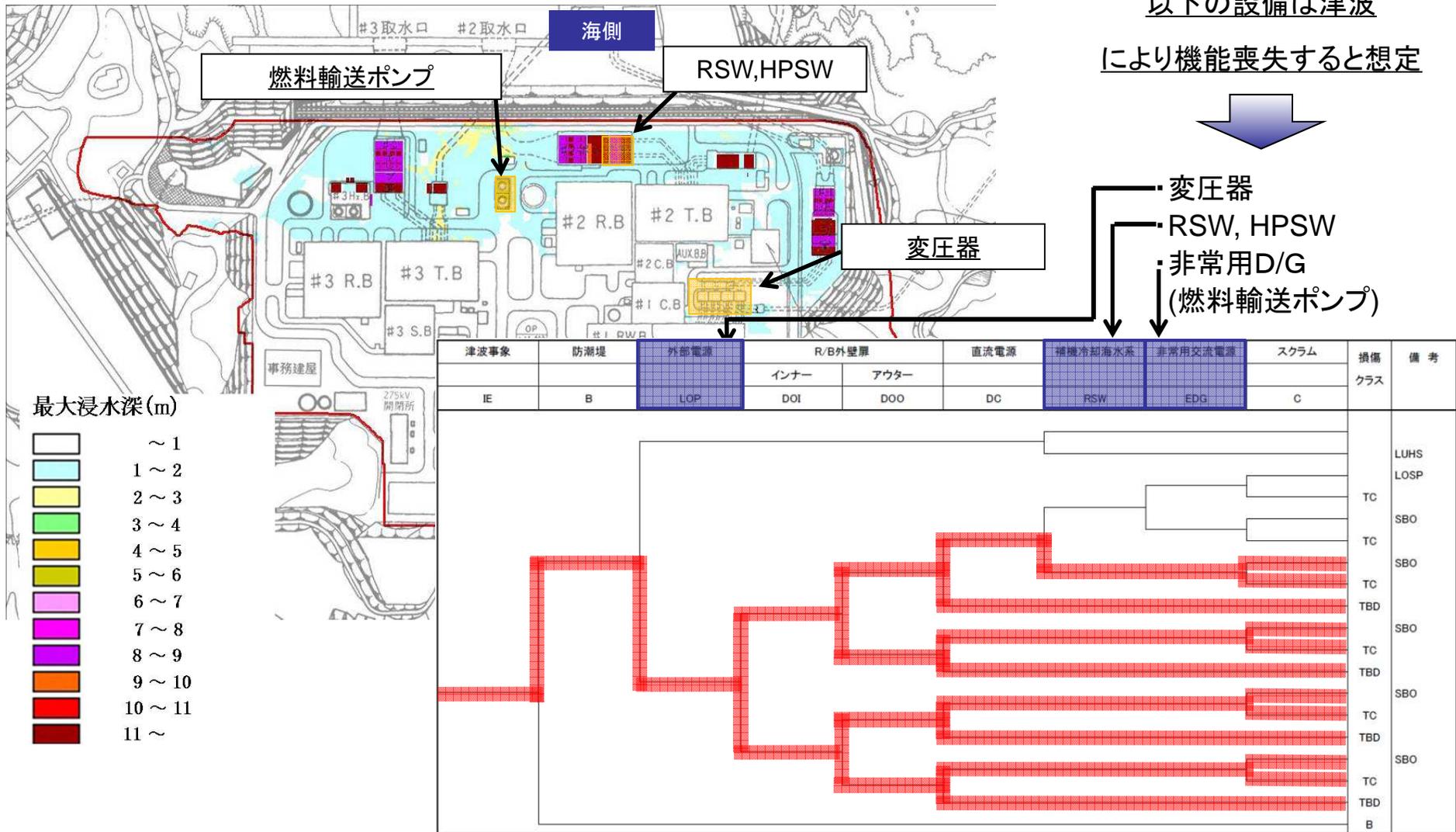
内部事象と同様
(津波PRAの対象外)

(イベントツリー)

3.津波PRA (6/9)

■敷地内浸水解析(2)

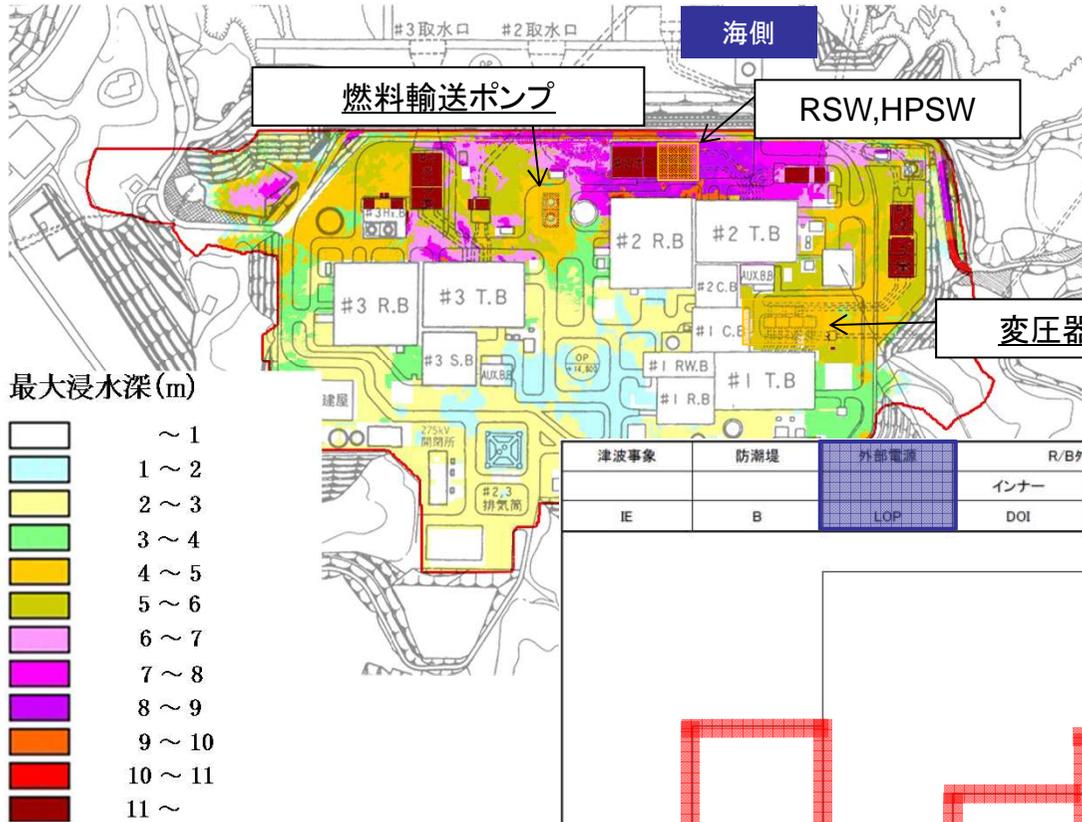
【津波分類①】 29.0~35.2m [7.8×10^{-6} /年]



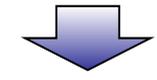
3.津波PRA (7/9)

■敷地内浸水解析(3)

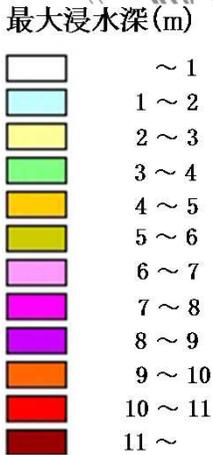
【津波分類②】 35.2~38.6m [6.2×10^{-7} /年]



以下の設備は津波により機能喪失すると想定



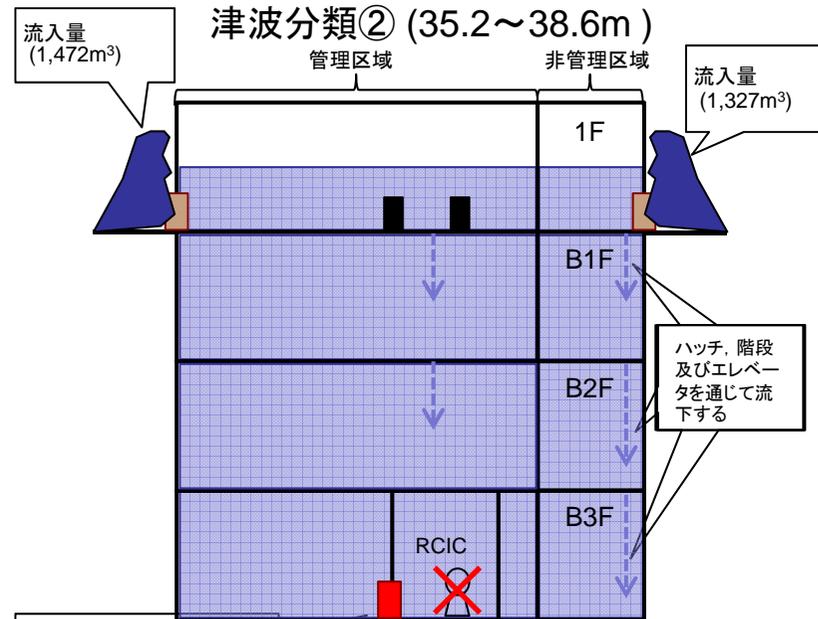
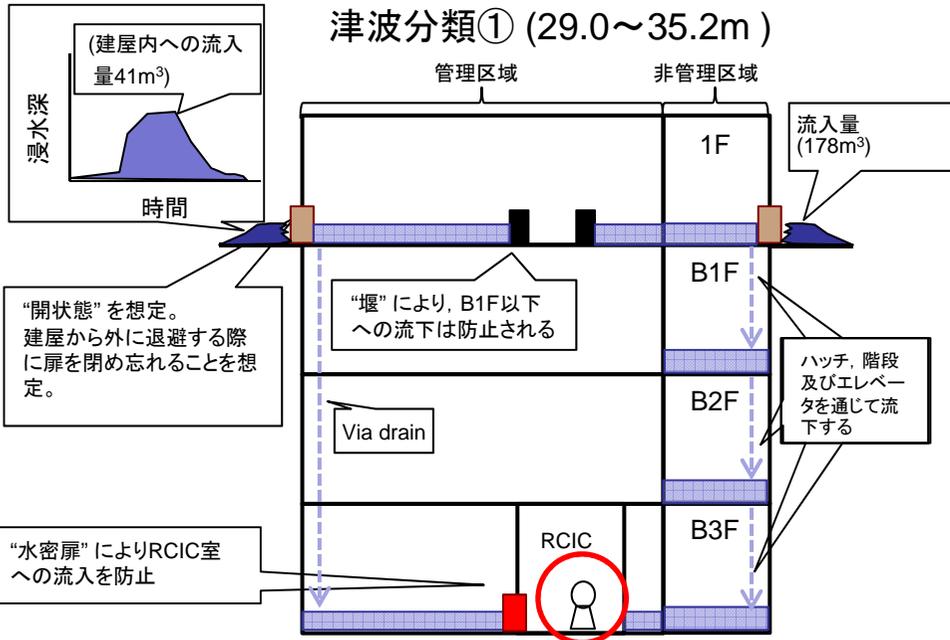
- ・変圧器
- ・RSW, HPSW
- ・非常用D/G (燃料輸送ポンプ) (津波高さ~35.2mと同様)



津波事象	防潮堤	外部電源		R/B外壁扉		直流電源	増設冷却海水系		非常用交流電源	スクラム	損傷クラス	備考
		LOP	DOI	DOO	RSW		EDG	C				
IE	B	LOP	DOI	DOO	DC	RSW	EDG	C				
											LUHS	
											LOSP	
											SBO	
											TC	
											SBO	
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	
											SBO	※
											TC	

■建屋内浸水解析

- 津波発生時に外壁扉の閉め忘れによる、原子炉建屋及び制御建屋内の浸水について評価。



スクラム	圧力制御		高圧系		損傷クラス
	S/R弁開	S/R弁再閉鎖	RCIC	HPCS	
C	PO	PC	UR	UH	

38.6m

SBO

TB

TBU

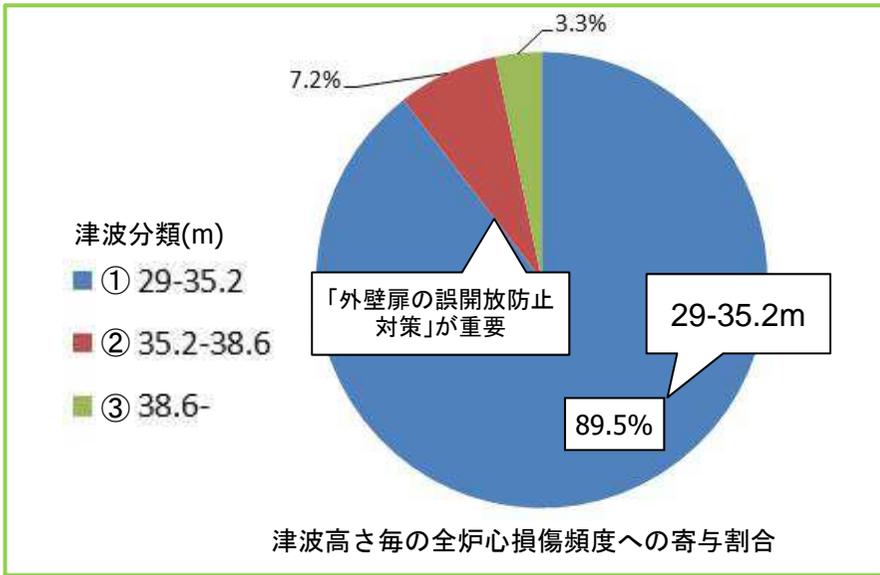
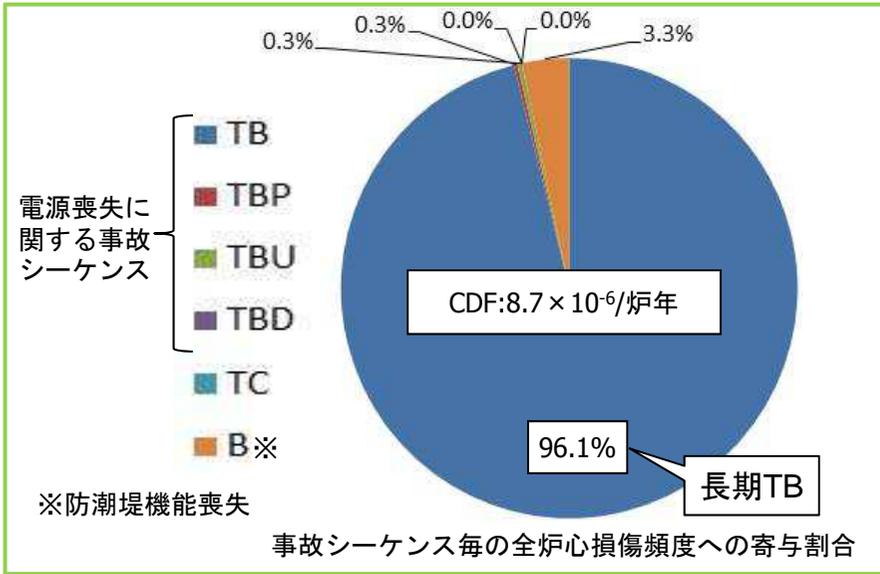
TBP

AE

	扉	35.2	38.6
RCIC	閉	○	○
	開	○	×

- 浸水浸は総流入量を各フロアの面積で割ることで算出した。
- 実際には、流入した水は同じエリアに留まり続けることなく流下するため、保守的な評価となっている。

■津波PRA 結果



- 津波PRAの結果、炉心損傷頻度に対して支配的なシーケンスは長期TBとなった
- 津波高さ毎の全炉心損傷頻度への寄与割合では、津波分類① (29.0~35.2m) が支配的となった

【支配的なシーケンス】
 “長期TB※ (SBO+RCIC 機能喪失(直流電源枯渇))”

【支配的な津波分類】
 “長期TB※ (SBO+RCIC 機能喪失(直流電源枯渇))”

“SBO”は変圧器の機能喪失による外部電源喪失，“RSW”及び“HPSW”の機能喪失による非常用DGの機能喪失により発生する。

・津波の影響を受けず、かつ、海水をヒートシンクとない電源機能の強化が重要となる

空冷のGTG (ガスタービン発電機) (高台設置)

※ 全ての非常用D/Gが機能喪失の状態において、RCICによる注水を継続しているが、長時間経過後直流電源の機能喪失し、炉心損傷に至るシーケンス

津波高さが35.2m以上であり、かつ、外壁扉が開いていた場合、原子炉への注水手段がなくなるため、“電源機能の強化”では対応できない。
 ⇒“外壁扉の誤開放防止対策”が重要な対策となる。

4. 結論

■ 津波PRAを実施することで、PRAの知見を踏まえた対策を抽出した。

・ 支配的なシーケンスは、長期TB

⇒ “津波の影響を受けず、かつ、海水をヒートシンクとしない電源機能の強化が重要”

⇒ 空冷のGTG（ガスタービン発電機）

・ “外壁扉の閉め忘れ”が発生した場合、RCICによる注水機能が喪失する

⇒ 外壁扉の誤開放防止対策

■ SA（シビアアクシデント）対策設備を考慮した津波PRAを実施することにより、SA対策設備を踏まえたリスクプロファイルを把握するとともに、他のPRA結果も踏まえ、更なる自主的安全性向上への取り組みを継続していく。

（参考2参照）

■ 更なる津波リスクの備えとして、既設の交流電源設備に加え、SA対策として設置する交流電源設備の機能喪失および、常設の注水機能が喪失した場合に備えた対応について、更なる安全性の向上として検討を開始。（参考3参照）



参考1 敷地高の設定経緯

- 1号機の設計時に、想定津波を3mとしつつも、専門家を含む社内の「海岸施設研究委員会」において、「貞観津波（869年）や慶長津波（1611年）などを考えれば津波はもっと大きくなることもあるだろう」といった議論を経て、敷地の高さを14.8mと決定。
- 現在は、想定津波23.1mを設定するとともに、余裕を見て海拔29mの防潮堤を建設中。

新知見に対する対応

年	津波評価手法		想定津波高さ	想定津波への対応
1970	女川1号 設置許可申請時	文献調査	3m	<ul style="list-style-type: none"> 敷地高さ 14.8m 海水ポンプ室のピット化
1987	女川2号 設置許可申請時	<ul style="list-style-type: none"> 津波シミュレーション 貞観津波の痕跡調査 	9.1m	<ul style="list-style-type: none"> 敷地海側の法面防護工の設置 (9.7m)
1994	女川3号 設置許可申請時	<ul style="list-style-type: none"> 津波シミュレーション 	9.1m	<ul style="list-style-type: none"> 敷地海側の法面防護工の設置 (9.7m)
2002	土木学会手法による津波評価試算		試算値：13.6m	<ul style="list-style-type: none"> 敷地高さに満たない
2011	東北地方太平洋沖地震による津波		(測定値：13m)	<ul style="list-style-type: none"> 緊急安全対策として防潮堤設置 (17m)
現在	東北地方太平洋沖型の地震による津波		23.1m	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤建設中 (29m)



参考2 SA込の津波PRA

■ SA対策が無い場合においては、防潮堤(29m)を超えて敷地内浸水した津波による全交流動力電源喪失を緩和できず、必ず炉心損傷に至るシーケンスであったが、GTG及び電源車を期待できるようになったため、津波分類1及び津波分類2において、炉心損傷頻度が低下した。

表 津波分類毎の炉心損傷頻度の内訳

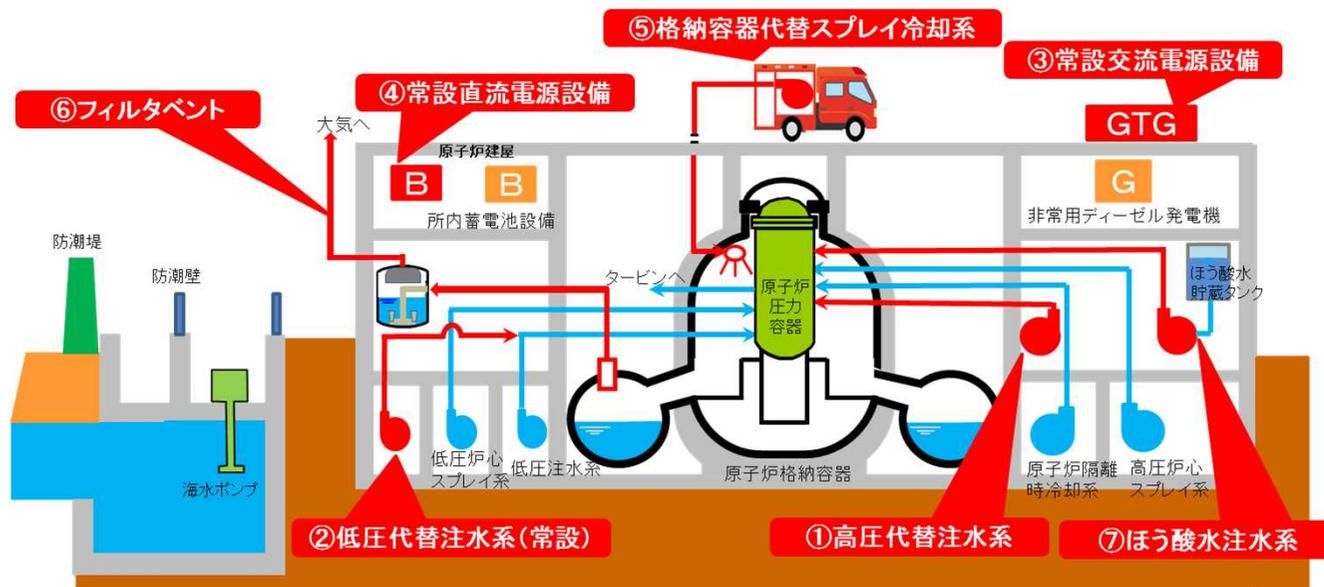
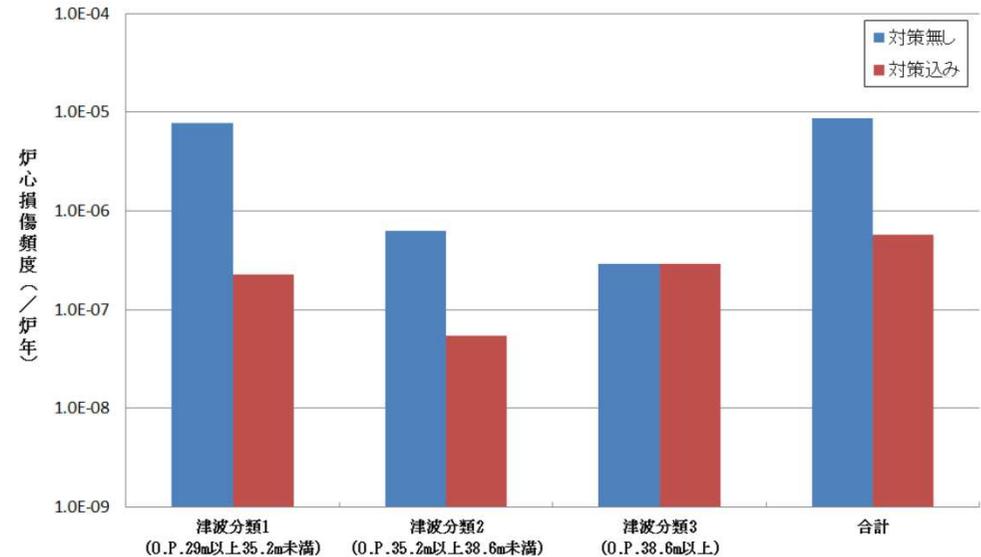
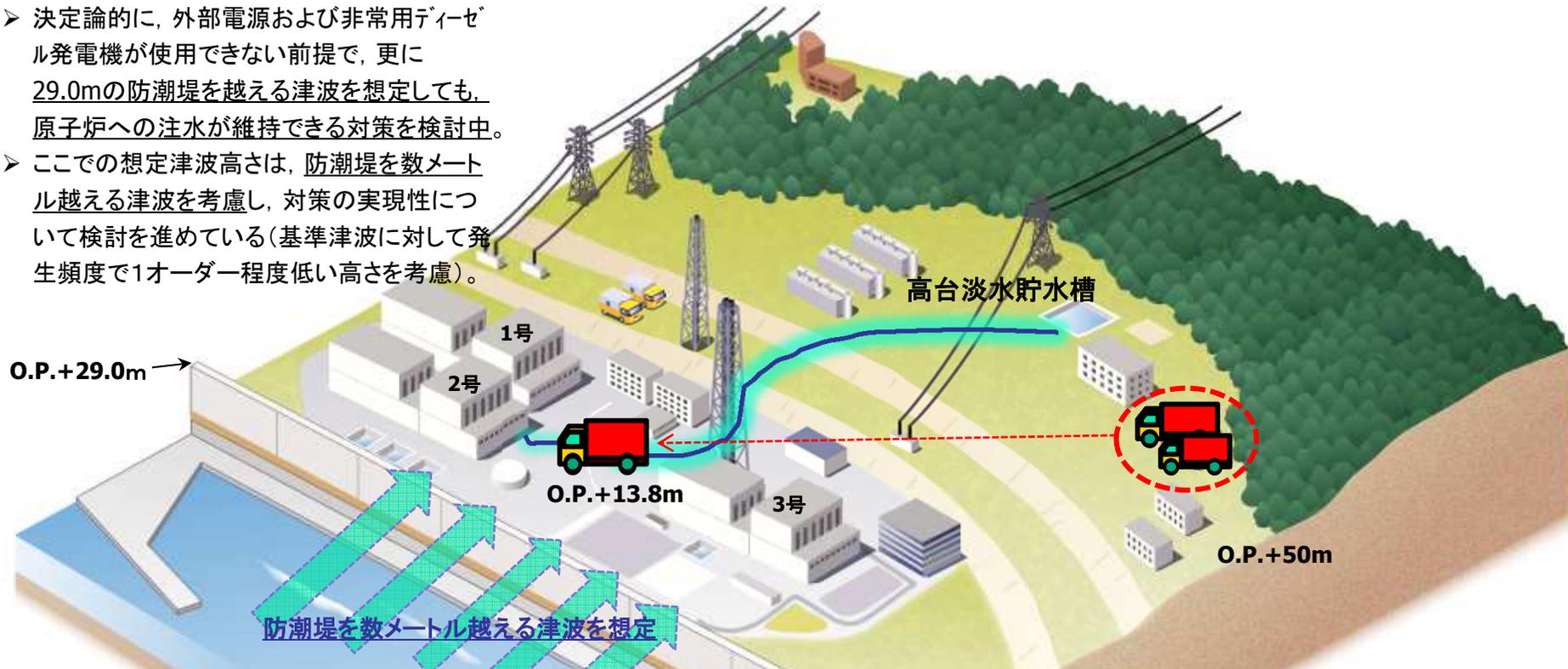


図 SA込みの津波PRAで考慮する範囲

参考3 更なる安全向上の観点から（防潮堤を越える津波への対応）

- ▶ 決定論的に、外部電源および非常用ディーゼル発電機が使用できない前提で、更に29.0mの防潮堤を越える津波を想定しても、原子炉への注水が維持できる対策を検討中。
- ▶ ここでの想定津波高さは、防潮堤を数メートル越える津波を考慮し、対策の実現性について検討を進めている（基準津波に対して発生頻度で1オーダー程度低い高さを考慮）。



防潮堤を越える津波に対する自主的な取組みの検討

- ◆ 外部電源、EDG及びGTGが使用できないことを想定し、交流電源を必要としない、RCICで注水し、原子炉を高圧状態で維持
- ◆ 津波の影響が無い高台等の可搬型重大事故対処設備の保管場所から、送水ポンプ車を移動し、原子炉建屋の接続
- ◆ 送水ポンプ車の接続が完了した時点で、原子炉を減圧し低圧状態の原子炉へ注水を実施
- ◆ ある時間を経過した段階でGTGからの電源供給が可能となる場合には、格納容器の除熱は残留熱除去系により可能
- ◆ 残留熱除去系の使用が困難な場合には、格納容器圧力逃し装置による除熱が可能