日本地震工学会
「原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会」
報告会

津波安全の基本原則
原子力発電所の地震・津波事故シナリオ

2015年4月15日
東京大学　弥生講堂　一条ホール

蛯沢　勝三：電力中央研究所/東京都市大学
中村　隆夫：大阪大学
宮野　　廣：法政大学
成宮　祥介：関西電力

4. 原子力発電所の地震・津波事故シナリオの目次構成

4.1　はじめに
- 4.1.1 地震・津波事故シナリオ同定の基本方針
- 4.1.2 東北地方太平洋沖地震前の津波PRAによる事故シナリオ概要
- 4.1.3 事故シナリオ同定の観点

4.2　東日本大震災における原子力発電所の挙動
- 4.2.1 地震動による影響
- 4.2.2 津波による影響
- 4.2.3 地震・津波後の状況と回復措置
- 4.2.4 事故時に実施された緊急時対応

4.3　津波起因事象の発生・進展への影響要因
- 4.3.1 事故シナリオ同定における前提条件
- 4.3.2 津波ハザードの事故シナリオへ与える事項
- 4.3.3 津波浸水経路の推定と地震・津波事故シナリオの同定
- 4.3.4 単一号機の地震・津波事故シナリオ同定における留意事項
- 4.3.5 複数号機の地震・津波事故シナリオ同定における留意事項
- 4.3.6 敷地外における事故シナリオ同定における留意事項

4.4　4章のまとめ

付属資料4-1　抽出された津波対策事例

4.1　はじめに

4.1.1　地震・津波事故シナリオ同定の基本方針

■ 事故シナリオ同定の基本方針

次の項目を大切にする。

- 「事実」
- 「論理性」
- 「想像力」

■ 具体的内容

① 2011東北地震下での福島第1発電所挙動を事実として受止め、事故シナリオへ反映。

② 事故シナリオ同定には、科学的論理性を踏まえる。

③ 事故シナリオ同定には、既往技術に囚われず、想像力を巡らす。

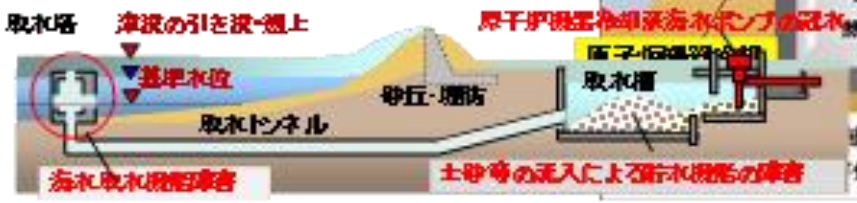
④ NPPサイト周辺地域や人的信頼性との関連する事故シナリオも考慮

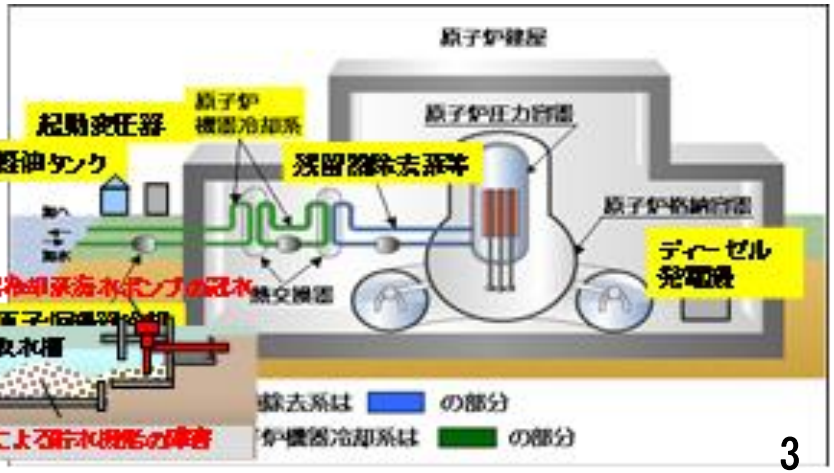
4.1.2東北地方太平洋沖地震前の津波PRAによる事故シナリオの概要

・旧原子力安全基盤機構：2011東北地震前に、津波PRAに基づく事故シナリオを同定・公開していた。
・同事故シナリオ：福島第1原子力発電所事故内容とほぼ一致しており、津波PRAの有用性を示した。

起因事象	屋外			屋内			炉心 状態		
津波遡上による冠水	外部電源	サポート 系		非常用電源	炉心 冷却		短期	格納容器冷却	長期
	起動変圧器	海水ポンプ	軽油タンク	DG	電動駆動ポンプ	蒸気駆動ポンプ	炉心状態	RHR復旧	炉心状態
		O			O		O	O	O
	O	×			×	O	O	O	O
								×	×
敷地内									
			O	O	O		O	O	O
		O	×	×	×	O	O	O	O
	×							×	×
		×		×	×	O	O	O	O
								×	×
建屋内				×	×	×	×		×

○:健全　×:機能喪失(機能喪失の時間により炉心損傷の有無が決まる)





4.1.3　事故シナリオ同定の観点

■事故シナリオ同定の観点

① 既往津波PRA情報報、福島第1原子力発電所(F1-NPP)事故情報等を踏まえ、想像力を駆使して、津波浸入経路を推定し、炉心損傷へ至る事故シナリオを同定

② 地震・津波ハザードと、構造物・システム・機器(SSC)との連関付け

③ 構造物・機器機能喪失と、システム機能喪失との連関付け（複数の構造物・機器の同時損傷）

④ 事故シナリオを炉心損傷前(AM領域)と後(SAM領域)に大別、前者に力点

⑤ SSCの空間的事故シナリオの伝播と、HRを考慮した時間的事故シナリオの伝播共に考慮

4.2 東日本大震災における原子力発電所の挙動

4.2.2 津波による影響

(1) 福島第１原子力発電所

■ 東北地震・津波
- 波源：連動破壊し、波形が重なる。
- 福島第１NPP：O.P.13m
- 福島第2NPP： O.P. 9m

■ 福島第1NPPの事故
- 補機冷却用海水ポンプ施設(O.P.4m)：
  全号機冠水、給水機能喪失
- 原子炉・タービン建屋地下階非常用
  DG・配電盤:6号機除き冠水、非常用
  電源機能喪失
- 6号機： EDG3台の内、DG建屋地上１階の１台冠水せず

1～3号機燃料損傷

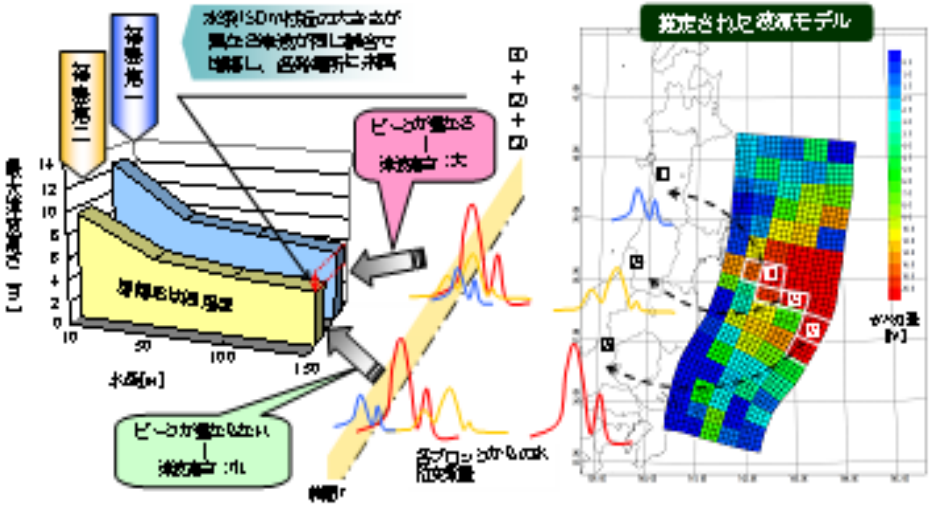
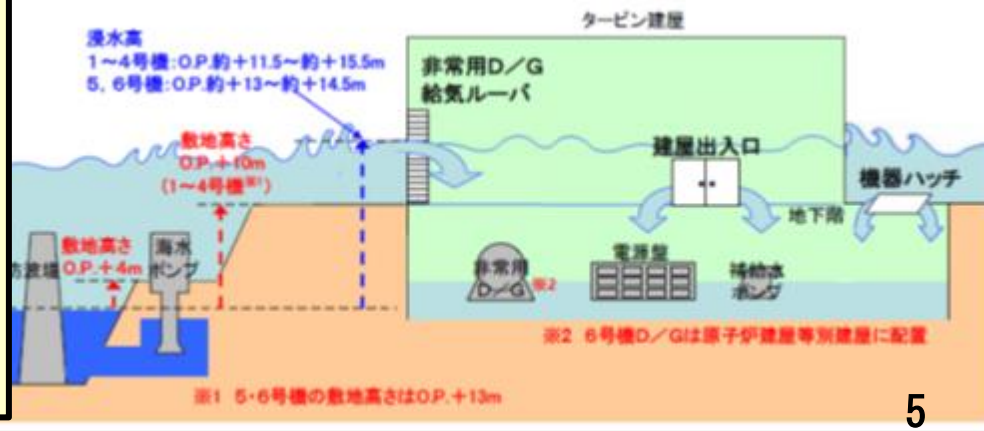


図 4.2.2-2 津波高さの相違の原因 [4.2-1)]



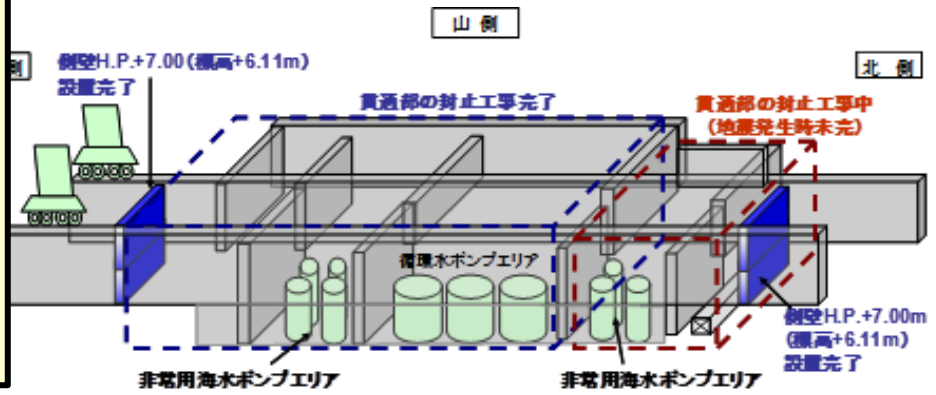
(2) 東海第2原子力発電所

- 津波高さ：H.P.5.7m
- 敷地高さ：4.8m～5.3m
- 非常用海水ポンプ室：側壁工事（H.P.7.0m）完成、貫通部封水工事南側完成、北側未完成

⇒ 北側DG用海水ポンプ冠水
南側DG用海水ポンプ未冠水

⇩

非常用DG2台稼働



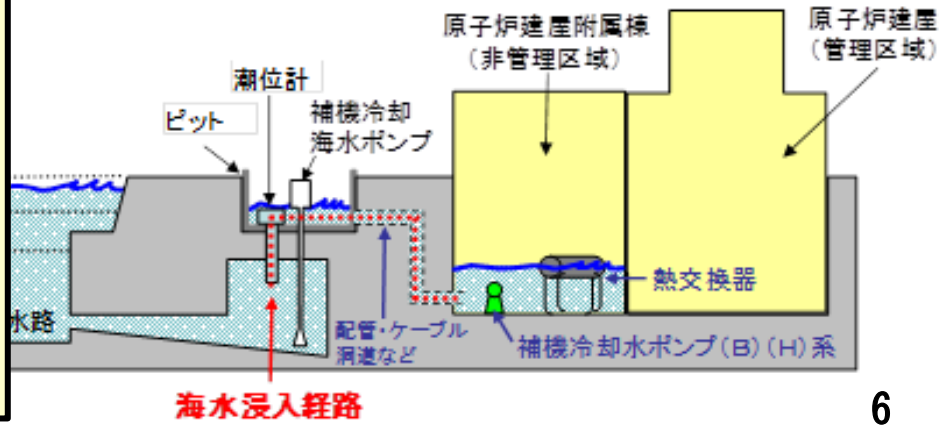
(3) 女川原子力発電所

- 津波高さ：O.P.13m
- 敷地高さ：O.P.14.8m（地盤沈下：O.P.13.8m）
- 海水ポンプピット：海岸から約100mの場所、深さ13mのピット構造

⇒ 潮位計取り付け部から浸水

⇩

非常用海水ポンプ稼働



4.2.4　事故時に実施された緊急時対応

■ 緊急事態への準備と対応のまとめ

〇我が国の防災対策：

米国スリーマイル島事故相当は起こり得ても、
チェルノブイルの事態には至らないとの認識

◇格納容器破損に至るシビアアクシデントへの緊急事態の備え・対応は未整備

◇計画的避難のような一時的移転という長期的防護措置は未検討

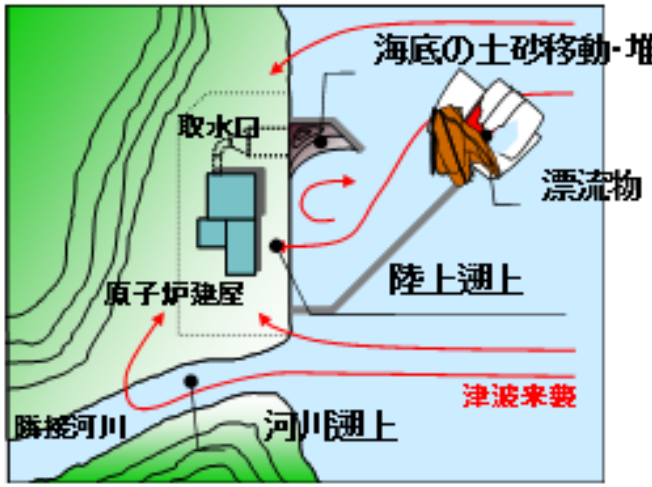
4.3　津波起因事象の発生・進展への影響要因

4.3.2　津波ハザードの事故シナリオへ与える事項

(1) 津波事象
- 地震起因/海底地すべり/斜面崩壊土塊の海中転動/海底火山

(2) 津波関連事象
- 海底砂移動・漂流物・タンク喪失による海面の発火・河川遡上

(3) 地震と津波の重畳
- 地震ハザードと津波ハザードの相関
- 地殻変動に伴う敷地・周辺地盤の隆起、沈降
- 本震から津波到達までの時間の影響



評価すべき項目(現象)
- 津波高さ(超過頻度)
- 浸水範囲
- 河川遡上
- 漂流物流動
- 津波による土砂移動(津波堆積物形生)
- 構造物への作用波力
- 防潮堤の越流

4.3.3. 津波浸水経路の推定と地震・津波事故シナリオの同定

(1) 津波浸水経路の推定

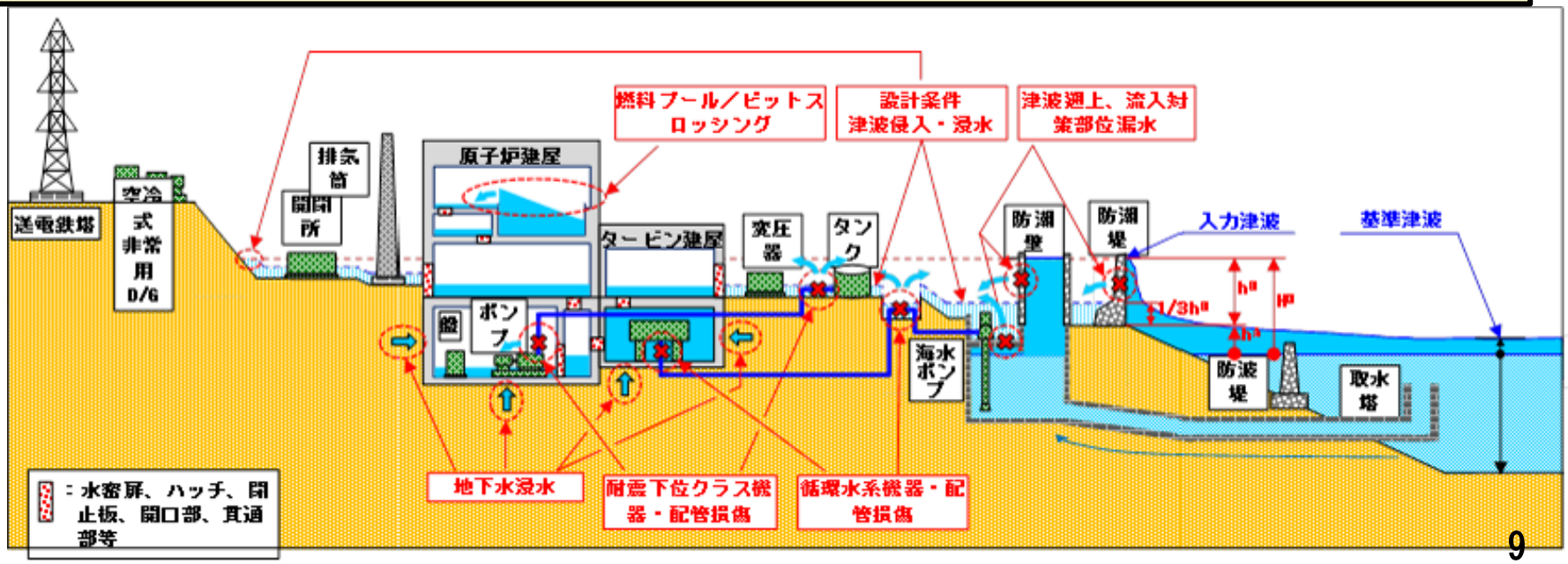
① 敷地内:

①1) 単一号機:

- **屋外の要因:** 防潮堤、取水ピット壁、海水管ダクト、地下見逃し水道
- **屋内の要因:** **建屋外壁:** 大型搬入口、ルーバー、外壁貫通ダクト目地
  内壁関連: 扉、内壁貫通ダクト目地等

①2) 複数号機: 屋外の共有施設(電源融通設備、海水給水設備等)

② 敷地外: 送電鉄塔、河川、周辺道路トンネル



(2) 地震・津波事故シナリオの同定

■ 津波浸入経路とSSCsの機能喪失との関連付けの例

① 海底砂移動による取水口目詰まり⇒海水給水機能喪失⇒炉心損傷

② 取水ピット/海水管ダクト/地下見逃水道⇒海水給水・電気系等機能喪失

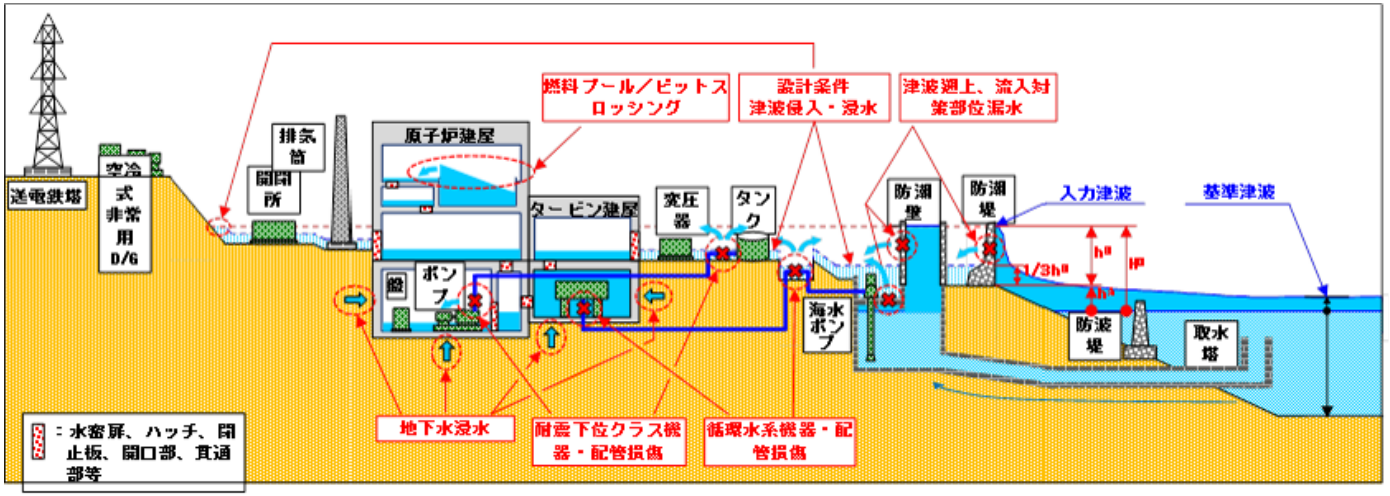
③ 防潮堤を越流（洗掘による変状・倒壊や防潮堤目地からの漏水）

②③-1 敷地建屋外浸入：建屋大型搬入口・ルーバー/外壁貫通ダクト目地等から浸入⇒海水給水・電気系等機能喪失

②③-2 建屋内浸入：建屋内壁扉（内壁貫通ダクト目地から浸水⇒上記同様

④ 河川遡上し河川堤防を越流/周辺道路トンネル経由で浸水⇒③同様

⑤ 敷地外への津波遡上⇒ 敷地外の送電機能喪失、外部電源機能喪失



4.3.4 単一号機における事故シナリオ同定に係る留意事項

(1) 防潮堤及び排水ゲート

① 防潮堤高さと津波高さとの関係で事故シナリオが異なる

⇒ 津波 ＜ 防潮堤，津波 ≒ 防潮堤，津波 ≥ 防潮堤，津波 ≫ 防潮堤

② 排水ゲート機能に伴う津波の敷地内滞留で復旧シナリオが異なる

(2) 海水給水系施設（取水口、海水管ダクト、取水ピット、海水ポンプ）

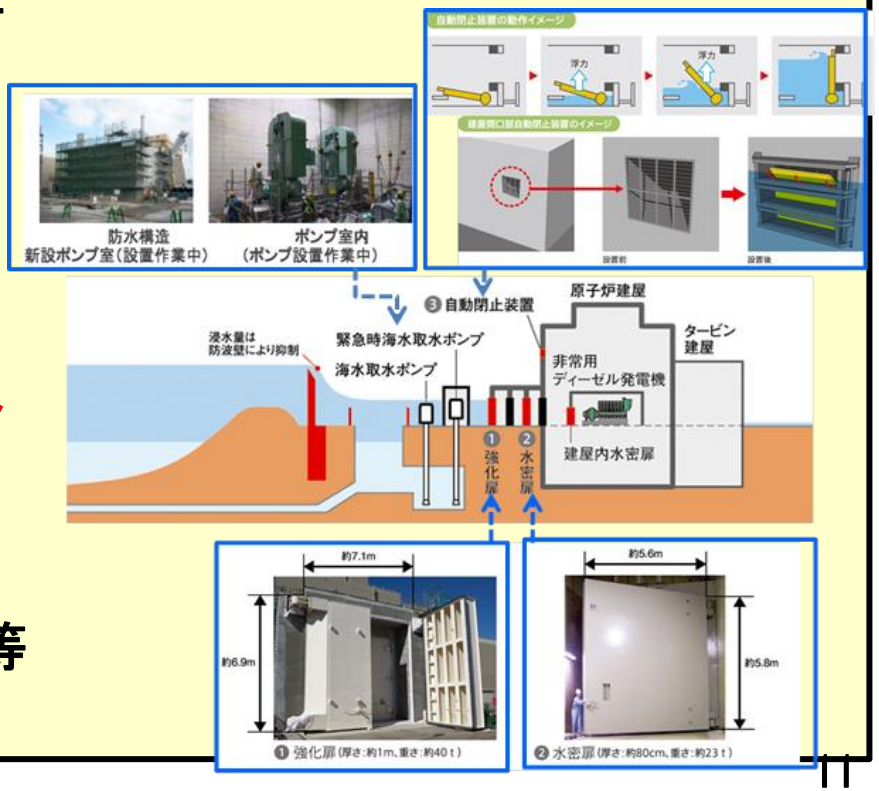
① 同海水給水系施設の設置位置の要件

⇒崩壊熱除去に必要な海水揚水量とポンプ容量に基づく水頭高さ

（海面とポンプ吸い込み口の差）

② 海水管ダクトを通し、海と敷地内は繋がっている

⇒ 防潮堤高さによらず海水が流入



(3) 水密扉及び目地

① 設置場所で効果が異なる

⇒ 建屋外壁、建屋内壁、設備外壁等

② 地震動によるゆがみ

(4) AM対策工及びSAM対策工関連事項

① AM対策の電源車や消防車

⇒ 電源・信号用ケーブルダクトや給水用ダクト・ホースが重要

⇒ 半恒久施設か、可搬施設かによってフラジリティの程度が異なる

(5) 個々の構造物・機器の機能喪失の時間的発生・進展に係る事項

① 複数の構造物・機器の同時損傷と、損傷の相関の考慮

② 冠水設備の機能回復を期待するか

（例：海砂が混入したポンプの洗浄　等）

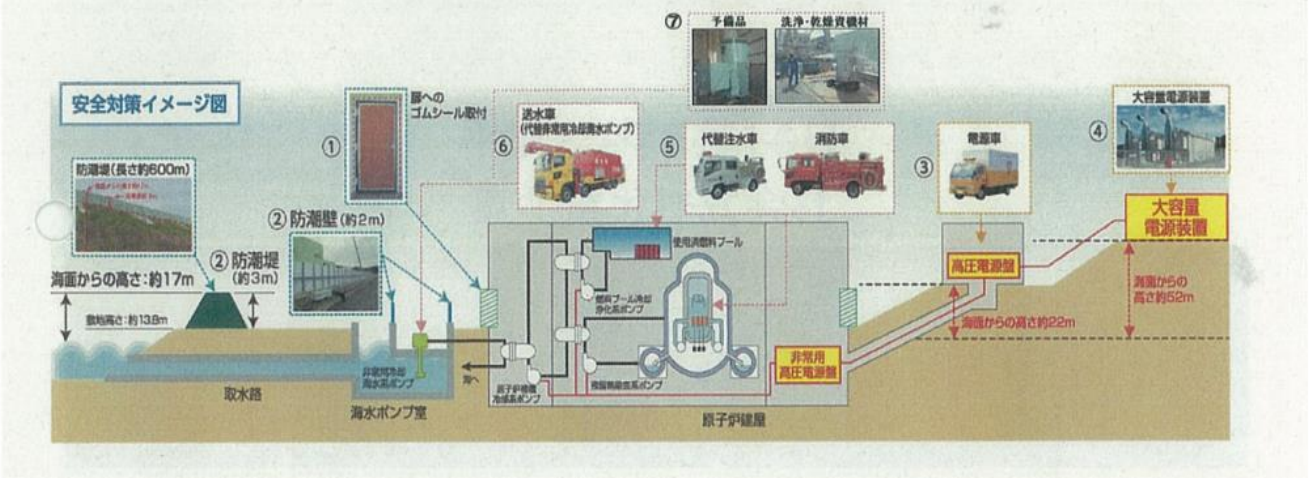
(6) ヒューマン関連事項

① 高ストレス下での誤操作/隣接ユニットへの応援に伴う誤操作/

(7) 情報通信関連事項

① 津波監視・警報設備の効果と機能喪失による回復操作への影響

⇒ 警報システムが発電所と他機関のものとで、どちらを優先するか



4.3.5　複数号機における事故シナリオに係る留意事項

(1) 構造物・機器の同時損傷の影響に係る事項：
　　⇒　複数の構造物・機器の損傷の相関の考慮が複雑になる
(2) AM及びSAM対策工に係る事項：
　　⇒　多数号機の場合、機能確保の可能性が低くなる。
(3) ヒューマン及び情報通信関連に係る事項：
　　⇒　多数号機の場合、高ストレスの度合いが高まる。

4.3.6　敷地外における事故シナリオ同定に係る留意事項

(1) 斜面浸食に係る事項（複数構造物、機器の同時損傷）
(2) 送電網（鉄塔、開閉所・変電所内機器）機能喪失
(3) 敷地外人工ダム水路の氾濫
(4) 陸域遡上や河川遡上による周辺インフラ（港湾、橋梁、道路、鉄道、情報伝達施設等）への影響
(5) 住民避難への支障

付属資料4-1　抽出された津波対策事例

(1) 防潮堤に係る課題

■ 防潮堤洗掘に関する現行土木技術の詳細な構造分析の実施

- 多くの防潮堤が洗掘によって倒壊（左図）
- 岩手県普代水門（高さ約10m）へ津波（約15m）が押し寄せ、越流したものの、洗掘が発生せず、未倒壊（右図）
  - 水門基礎：コンクリート杭基礎で岩盤設置
  - 河床：洗掘防止用コンクリートブロック
  - 水門：両岸岩盤に定着
- 洗掘現象の究明と並行し、普代水門の土木技術を詳細に分析し、原子力防潮堤へ反映の必要あり

(2) 敷地内地下における見逃しみずみちの影響

■敷地内地下における見逃し水道（みずみち）からの海水の吹き上げ

◆原因の例

・プラント建設中の**掘削ダクトの埋戻し土の転圧が不十分**

・地中埋設の海水管ダクト基礎のグリ石の転圧が不十分　等

◆吹き上げの現象

・津波の高水圧が敷地地盤にかかり、水道を通り地表に吹き上がる

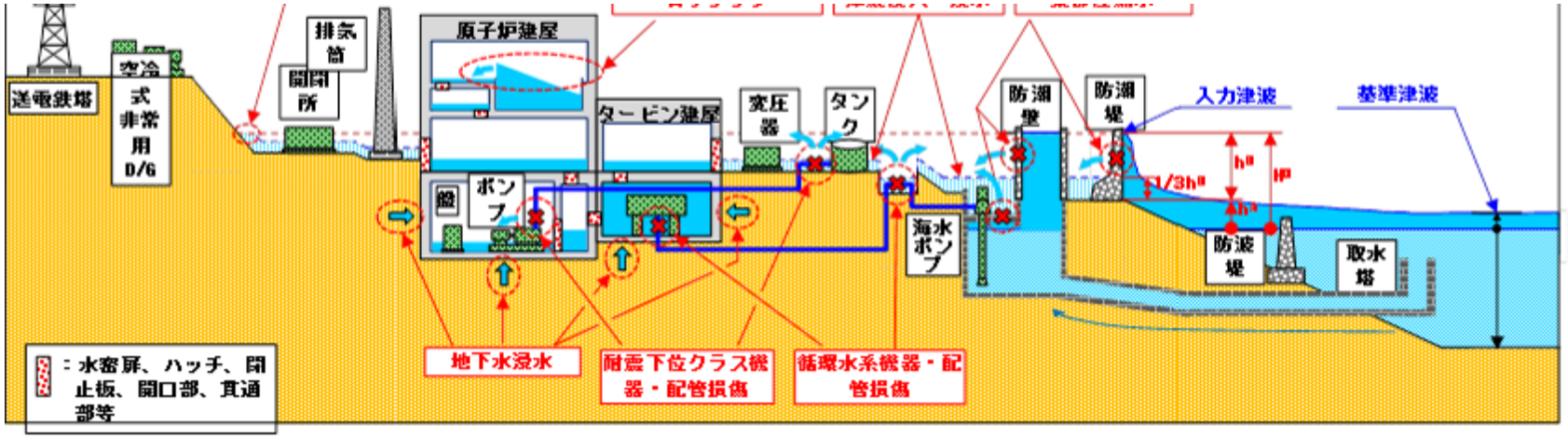
◆総吹き上げ量（Q2）の定量評価の検討

Q2=取水ダクト内流量（Q1）×みずみちの存在確率（P1）

P1=（P11×P12）/P13

P11：敷地総面積S1と埋設ダクトの総基礎面積S2の比（S2/S1）

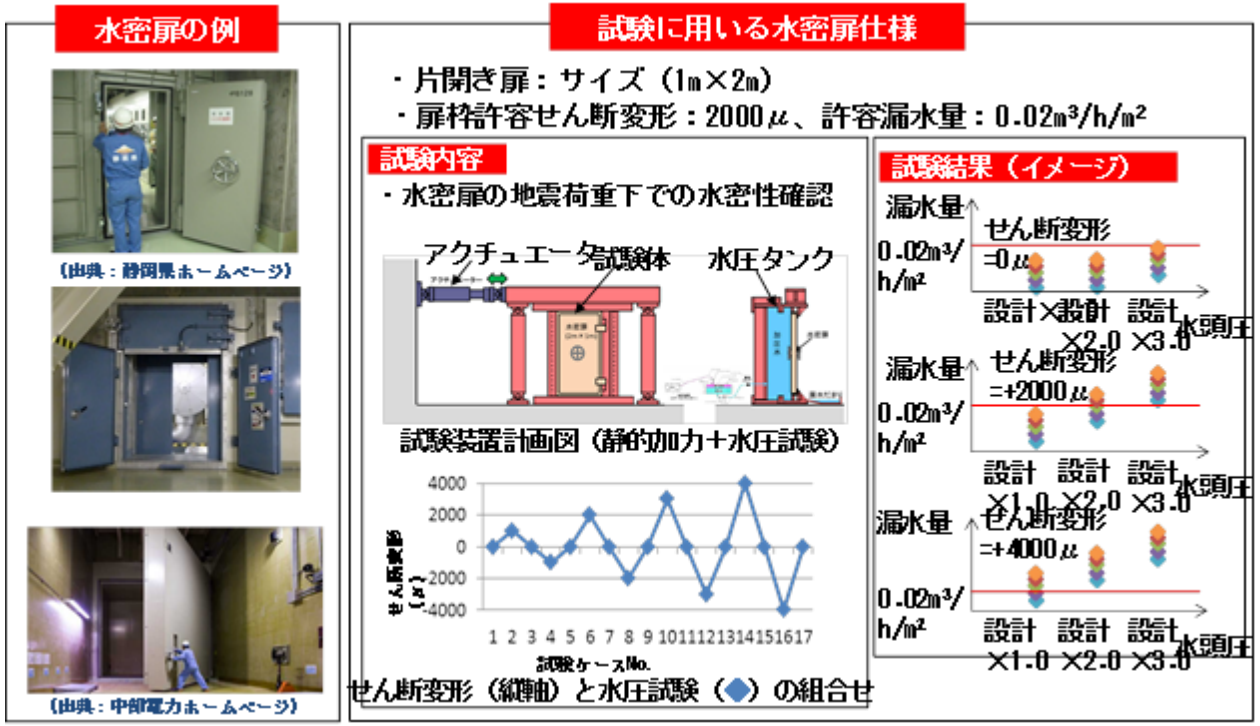
P12：見逃し確率、P13：みずみちの検知確率



(3) 水密扉

■ **水密扉枠の地震動によるゆがみによる隙間からの浸水**
- 現象究明及び浸水量に係る試験の例（下図）
- 浸水対策：　汲み上げポンプ容量の見積もり

■ **水密扉設置の考え方**
- どの構造物、設備、機器機能を確保するかによって、設置個所が建屋外壁、建屋内壁、設備外壁等と異なるので、設置の考え方の明確化が重要



(4) 漂流物

■ 漂流物（貨物船等）の原子炉建屋等への衝突による影響

◆影響

- 建屋耐震壁損傷による建屋内への浸水の可能性よって事故シナリオが大きく影響を受ける
- 漂流物の構造・質量、流速、建屋の衝突部位（建屋外壁設置の水密扉を含む）、漂流の確率を検討

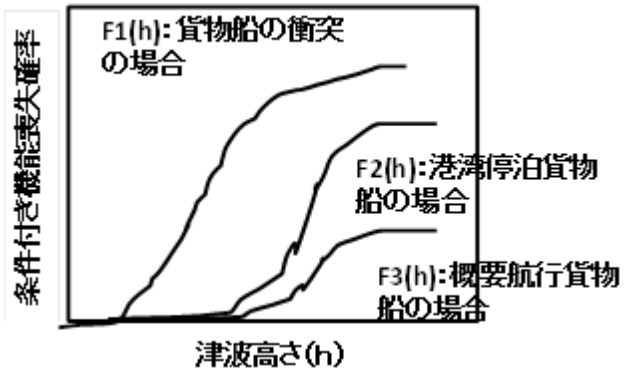
◆フラジリティ評価の例

- 貨物船の湾内係留時の現実的建屋フラジリティ（F2(h)）

  F2(h)=建屋フラジリティ（F1(h)）×年当たり係留確率（P1）
  ×友綱損傷確率（P2）

- 貨物船の湾外航行時の現実的建屋フラジリティ（F3(h)）

  F3(h)=建屋フラジリティ（F1(h)）×沖合航行確率（P3）
  ×湾内への漂流確率（P4）



(5)ハード対応とソフト対応との相互の綿密な連携

■ 東北地震・津波時の福島第二NPPにおける経験からリアルな事故対応状況が整理

① 事故の重要要因は、冷却設備や電源設備の機能喪失
② これらハード対応に加え、ソフト対応との綿密な連携が必須

・複数個所での事故の同時多発や、急速な事故進展において、
・指揮命令系統を維持しつつ、
・対応力の拡張・縮小を柔軟に行える指揮命令システムと、
各級指揮者のリーダシップに係る検討が重要