

特定原子力監視・評価検討会
(第42回)
資料1

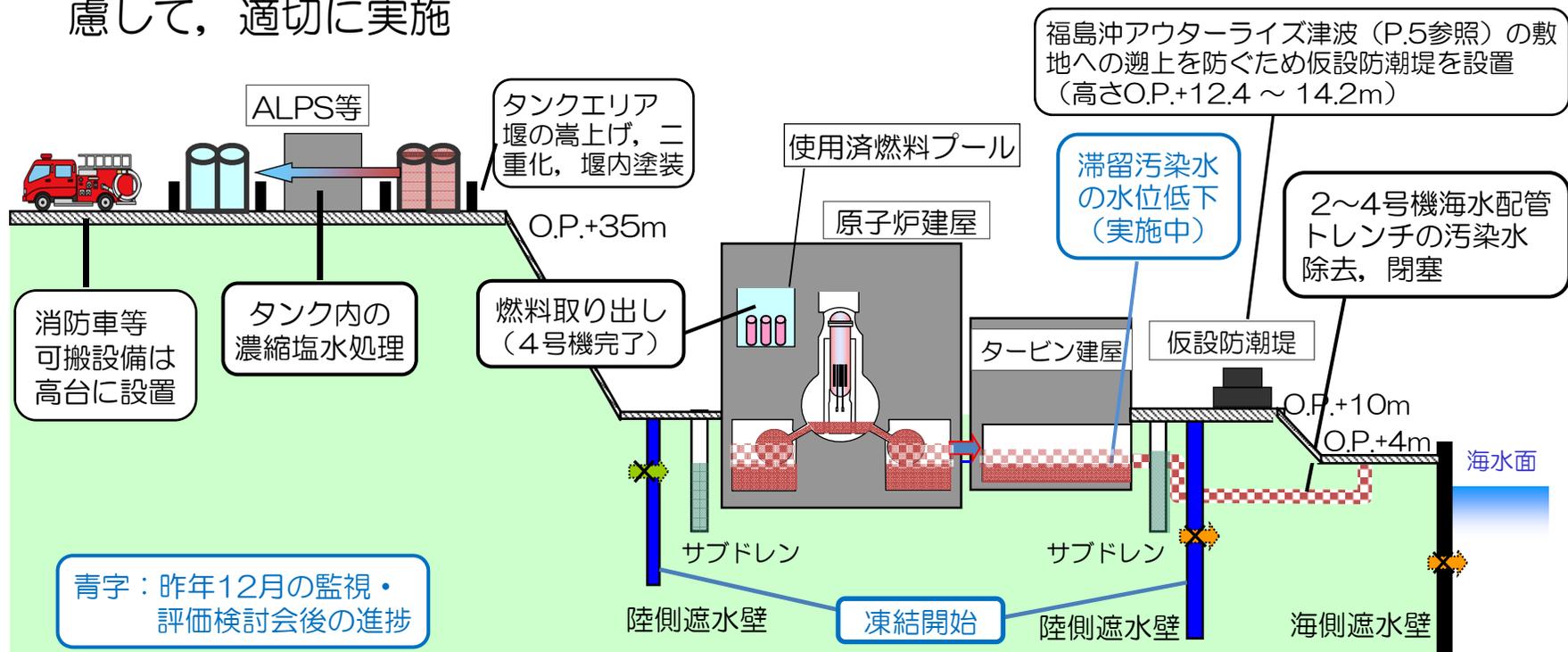
地震・津波対策の実施状況について

2016年4月25日
東京電力ホールディングス株式会社

TEPCO

1.1 地震・津波対策と放射性物質の除去・低減対策

- 地震・津波による放射性物質の追加放出リスクを、効率的かつ現実的に低減していくための対策について、以下のように進めている
 - 放射性物質の除去・低減対策を着実に実施
 - 地震・津波に対しては、これまで実施してきた対策に加え、より大きなハザードへの備えとしての対策を今後も段階的・継続的に実施
 - 地震・津波対策は、放射性物質の除去・低減対策が完了するまでの期間を考慮して、適切に実施



1.2 地震・津波対策の対象

- 地震・津波に対する放射性物質の追加放出リスクを効果的に低減していくため、優先的に検討すべき防護対象を以下の観点から選定
 - 放射性物質の量
 - 性状（漏えいしやすさ）
 - 施設・設備の脆弱性
 - 漏えい対策の有無

- 検討の優先度が高いリスクとして、以下を抽出
 - 地震・津波による燃料デブリの冷却中断
 - 燃料デブリ温度上昇による、格納容器からのセシウム等放出量の増加
 - 地震・津波による使用済燃料の冷却中断
 - 使用済燃料損傷による燃料棒内の放射性物質の放出
 - 地震・津波による地下滞留汚染水の漏えい
 - 地震によるタンク内汚染水の漏えい

2.1 耐震・津波評価および対策実施状況

凡例
 ○：評価基準値未滿，または対策済
 —：対策不要，評価対象外

リスク源	建屋等	評価対象	耐震評価			
			耐震評価		耐津波評価	
			現行基準地震動 600Gal ^{※1}	アウターライズ 津波	15m級津波 ^{※2}	
			評価	評価	評価	対策
燃料 デブリ	1～3号機原子炉建屋	建屋	○	○	○	—
		注水機能（機動的対応の成立性）	○	○	○	—
使用済 燃料 （燃料 プール 等）	1～3号機原子炉建屋	建屋	○	○	○	—
		注水機能（機動的対応の成立性）	○	○	○	—
	共用プール建屋	建屋	○	○	○	—
		注水機能（機動的対応の成立性）	○	○	○	—
	5,6号機原子炉建屋	建屋	○	○	○	—
注水機能（機動的対応の成立性）	○	○	○	—		
	キャスク仮保管設備	乾式キャスク，および支持架台	○	○	— ^{※3}	—
地下滞留 汚染水	1～4号機原子炉建屋	建屋	○	○	対応検討要 ^{※4}	対策検討中
	1,2号機タービン建屋 ^{※6}	建屋	○	○	○	対策済
	3号機タービン建屋 ^{※6}	建屋	○	○	対応検討要 ^{※4}	工程調整中
	4号機タービン建屋 ^{※6}	建屋	○	○	対応検討要 ^{※4}	対策検討中
	5,6号機タービン建屋 ^{※6}	建屋	○	○	— ^{※5}	—
	1～4号機廃棄物処理建屋	建屋	○	○	対応検討要 ^{※4}	対策検討中
	5,6号機廃棄物処理建屋	建屋	○	○	— ^{※5}	—
	高温焼却炉設備建屋	建屋	○	○	○	対策済
	プロセス主建屋	建屋	○	○	対応検討要 ^{※4}	工程調整中
タンク内 汚染水	—	円筒型タンク（Sr処理水貯槽）	○ ^{※7}	— ^{※3}	— ^{※3}	—

※1：東北地方太平洋沖地震相当

※2：東北地方太平洋沖地震に伴う津波

※3：O.P.35m盤に設置

※4：建屋の評価は○であるが，開口部があるため

※5：O.P.13m盤にあり，地下滞留汚染水の放射能インベントリが1～4号機の建屋と比較し低く，対策検討の優先度が低いと評価しているもの

※6：コントロール建屋を含む

※7：1,000m³級のフランジタンク側板，連結ボルト等の応力評価を実施

2.2 主な施設の耐震・津波影響評価状況

■ 安全機能を有する構築物，系統及び機器は，それぞれ耐震設計審査指針のクラス区分を参考に，各施設の重要度に応じて，適切と考えられる耐震性を確保，津波影響評価を実施

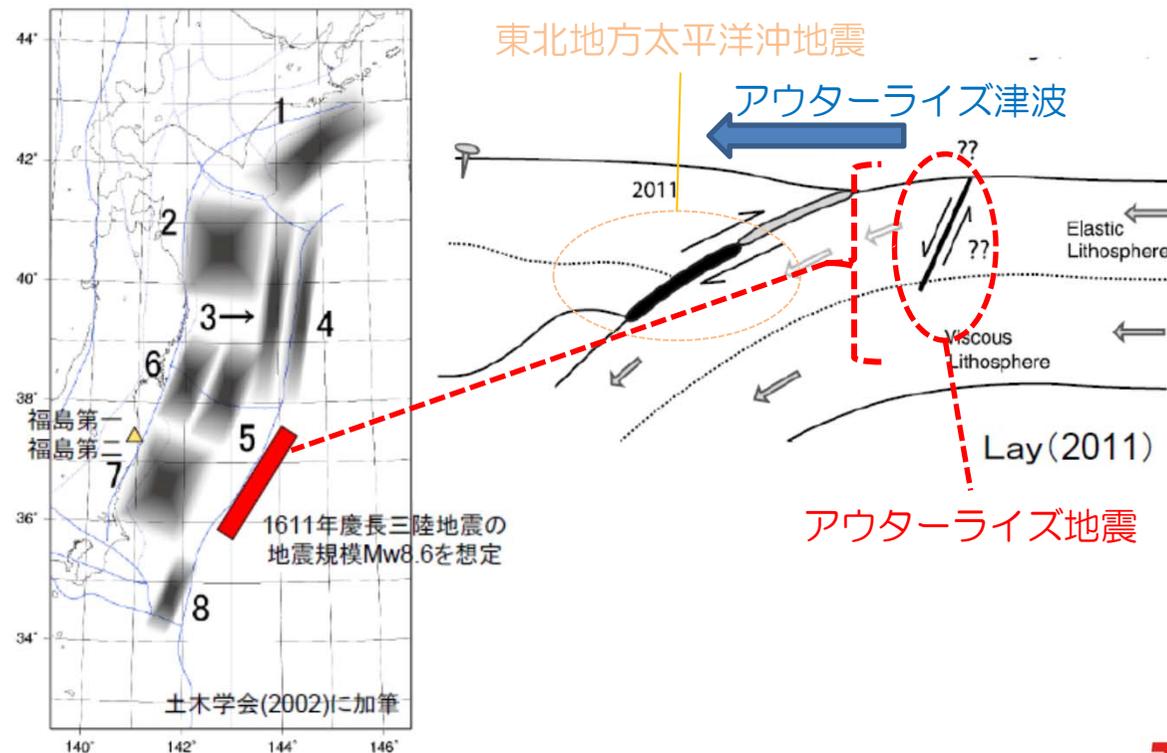
➤ 燃料デブリの冷却・臨界防止，使用済燃料の貯蔵・取扱設備は，重要度が高いと考え，現行基準地震動600Gal，15m級津波にて，機能が維持できることを確認

分類	耐震	津波	主な施設
Sクラス相当	現行基準地震動600Galにて評価	15m級津波影響評価	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器・格納容器注水設備（配管，等） 原子炉格納容器内窒素封入設備（配管，非常用窒素ガス分離装置転倒，等） 使用済燃料プール設備（使用済燃料プール，等） 原子炉圧力容器・格納容器ホウ酸水注入設備（タンク転倒，等） 滞留水を貯留している建屋 電気系統設備（所内共通ディーゼル発電機，等） 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備（燃料取扱機，燃料取り出し用カバー，等） 使用済燃料共用プール設備（プール躯体，等） 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備（乾式キャスク，支持架台，等） 監視室・制御室（免震重要棟の免震装置最大応答変位，等） <p style="text-align: right;">等々</p>
Bクラス相当	耐震Bクラスに要求される地震動で評価 ⇒現行基準地震動600Galでの影響を参考評価※	アウトライズ津波影響評価	<ul style="list-style-type: none"> 汚染水処理設備等（タンク，使用済セシウム吸着塔保管施設，廃スラッジ一時保管施設，高濃度の滞留水を扱う設備等の転倒・応力） 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設（多核種除去設備の地盤，機器基礎ボルト，等） モバイル型ストロンチウム除去装置等（タンク取付けボルト，SSフィルタ，ウルトラフィルタ及び吸着塔の耐震ラグの溶接部位，コンテナ転倒，等） 第二モバイル型ストロンチウム除去装置等（前置フィルタ・吸着塔等のボルト，ユニット転倒，等） RO濃縮水処理設備（地盤，設備の基礎ボルト・取付ボルト，等） <p style="text-align: right;">等々</p>

※：新たに設置する施設については，工事期間，作業員被ばく，廃棄物発生量等を考慮し，総合的に見てリスクが低減できるよう，耐震評価レベルを決定していく。

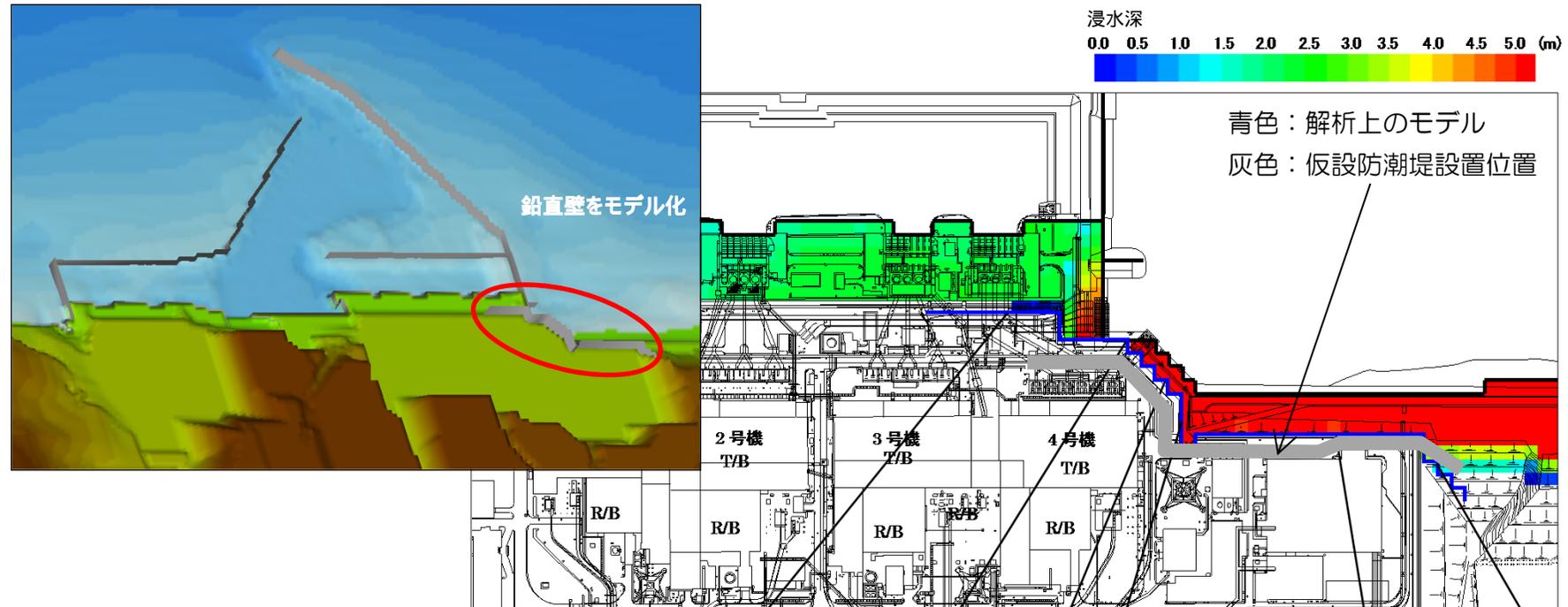
3.1 【アウターライズ津波】 対応状況について

- 東北地方太平洋沖地震の影響によるアウターライズにおける地震の発生が、専門家によって指摘されていることから（Lay et al. (2011) 等），過去に大規模な発生に関する記録はないものの，福島沖のアウターライズにおける地震に伴う津波を想定し，対策を検討
 - アウターライズ津波は，プレート間地震後に発生することが多いと言われているアウターライズ部での正断層地震による津波
- アウターライズ津波対策として仮設防潮堤を，2011年6月末に設置完了

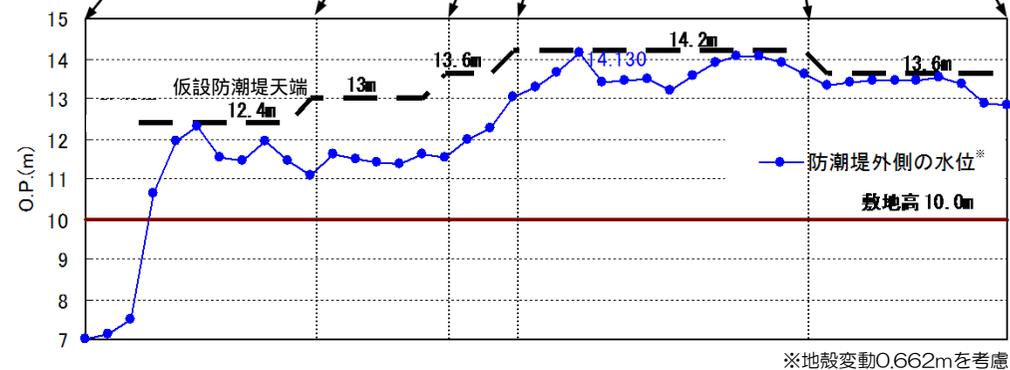


3.2 【アウターライズ津波】 評価水位及び仮設防潮堤による対策

■ 仮設防潮堤をモデル化した解析結果



- ◆ 敷地南東部に仮設防潮堤を鉛直壁としてモデル化
- ◆ 防潮堤外側でのアウターライズ津波による水位を上回るように天端高さを設定
- ◆ 最大O.P.+14.2mの高さとする事で敷地（O.P.+10m）への浸水を防ぐことが可能
 - 浸水エリアは、O.P.+4m盤のエリアのみ



※地殻変動0.662mを考慮

4.1 【現行基準地震動600Gal・15m級津波】影響評価

■ 建屋の影響

➤ 評価対象

- 燃料を内包する建屋（1～6号機原子炉建屋（損傷状況も反映）、共用プール建屋）
- 地下に汚染水が滞留する建屋（1～4号機原子炉・タービン・廃棄物処理・コントロール建屋、プロセス主建屋、高温焼却炉建屋）

➤ 現行基準地震動600Galにて、評価許容値以内であることを確認済

➤ 外壁や柱等の構造躯体に15m級津波による有意な損傷は確認されていない

■ 機器の影響（機能の維持）

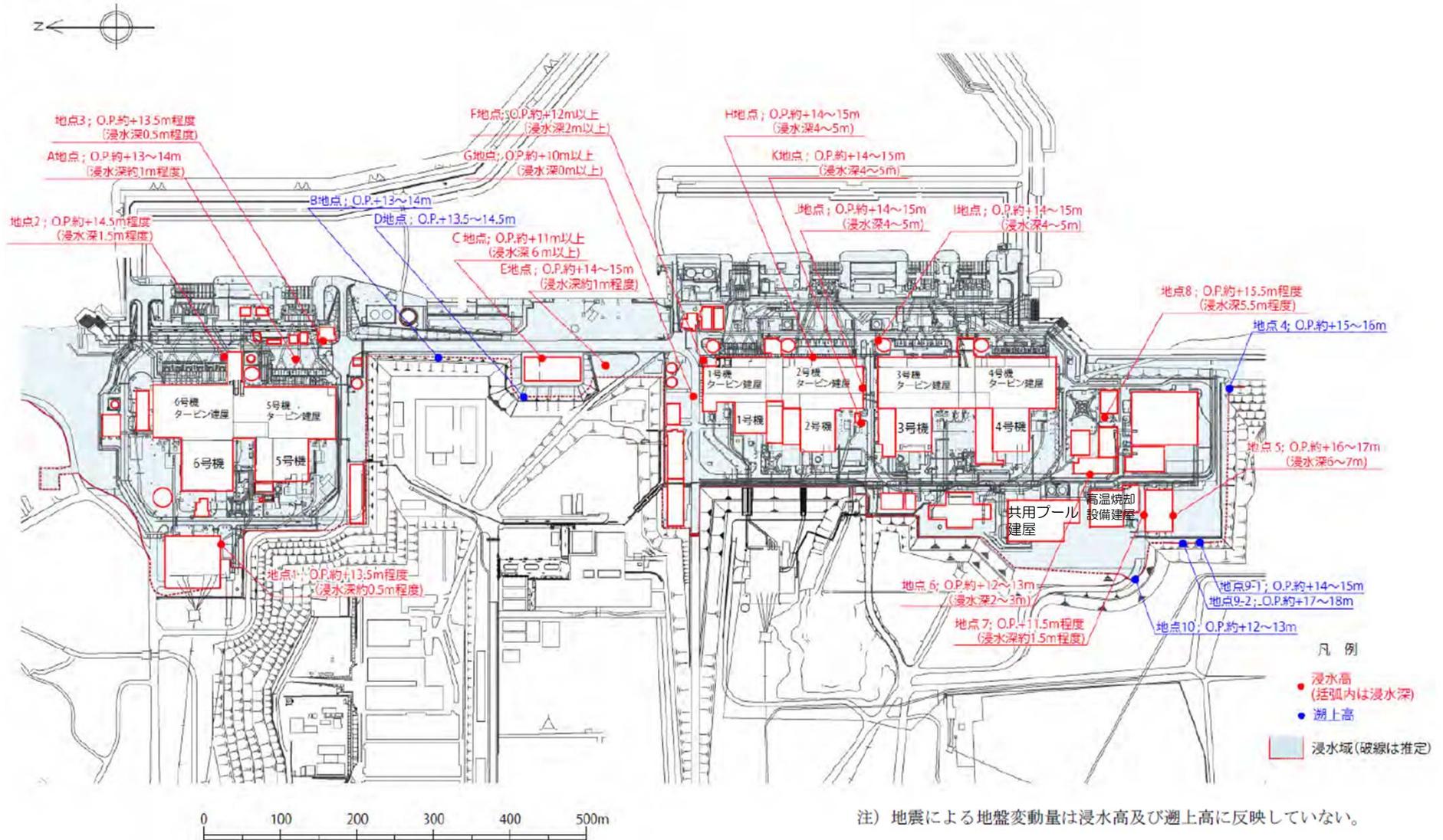
➤ 評価対象

- 原子炉圧力容器・格納容器注水設備、原子炉格納容器内窒素封入設備、使用済燃料プール設備、原子炉圧力容器・格納容器ホウ酸水注入設備、汚染水処理設備等及び電気系統設備

➤ 現行基準地震動600Gal、15m級津波により想定されるリスクを評価し、機能喪失時の代替手段を整備済み

4.2 【15m級津波】 浸水実績

福島第一原子力発電所における津波の調査結果(浸水高、浸水深及び浸水域)



※ 福島原子力事故調査報告書 (平成24年6月20日 東京電力株式会社) に加筆

4.3 【15m級津波】 津波対策設計条件

- 前頁の津波の調査結果に基づき，津波襲来時の地下からの汚染水流出防止等を目的とした，建屋開口部の閉塞工事等の津波対策高さを設定

建屋	建屋近傍の津波の痕跡	津波対策高さ※
1, 2号機タービン建屋 (コントロール建屋含む)	O.P.約14~15m	O.P.15m
共用プール建屋	O.P.約12~13m	
高温焼却設備建屋	O.P.約12~13m	

※ 外壁の開口部塞ぎはO.P.+15m (G.L.+5m) の3倍の静水圧に，建屋内の開口部塞ぎは1倍の静水圧に対して設計

4.4 【15m級津波】対策の実施・検討状況

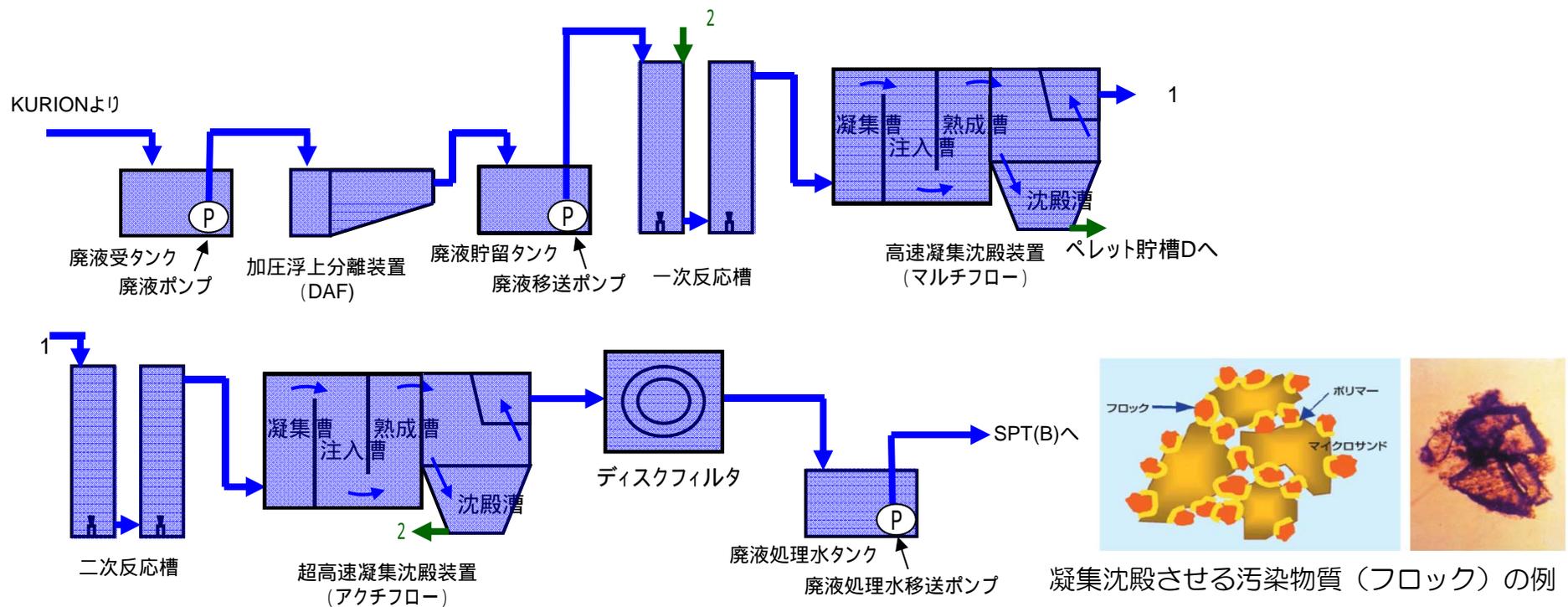
- 1・2号機タービン建屋（コントロール建屋含む），高温焼却炉設備建屋，共用プール建屋
 - 2014年10月対策工事完了
- 3号機タービン建屋（コントロール建屋含む）
 - 汚染水の放射能インベントリ，および開口部の面積等を考慮し，対策工事を計画・工程調整中

工程案	2016年度		2017年度		2018年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
3号機タービン建屋 津波対策工事		現場調査を実施し，工程を調整中				

- プロセス主建屋
 - 対策工事を計画・工程調整中（詳細はP.13のとおり）
- その他の対応要の建屋
 - 建屋滞留水量，現場作業線量，ドライアップスケジュール等を踏まえ，対策を進めていく

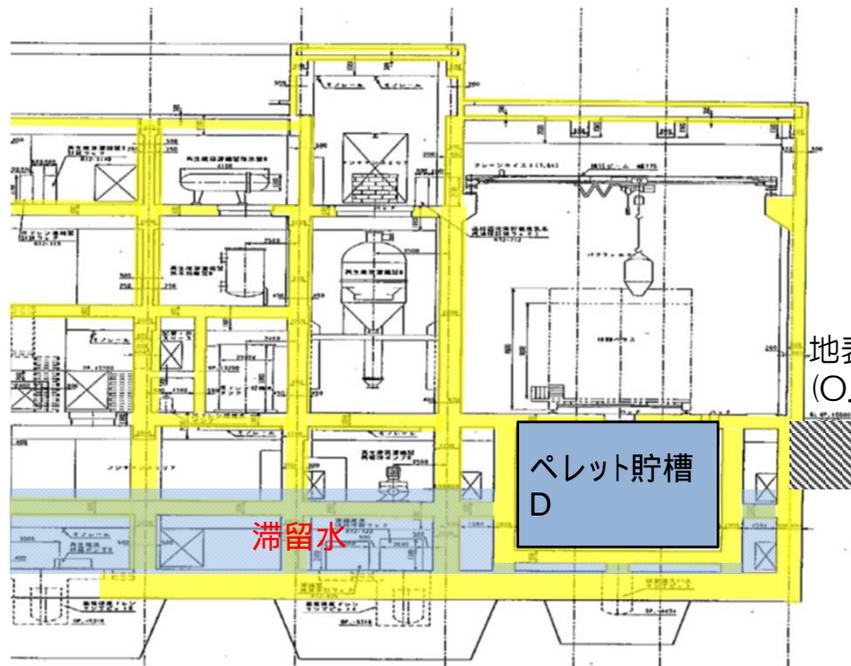
5.1 【個別施設】プロセス主建屋内のAREVA除染装置の概要

- AREVA除染装置は、汚染水処理初期にKURION（Cs吸着装置）の後段に配置し、主にCs, Srを除去
 - 溶解したCs, Srを固化（吸着）させるとともに凝集沈殿を促進するため、プロセス上で薬剤を注入
 - 沈殿槽で沈殿したスラッジを反応槽に戻すことでスラッジを濃縮（汚染物質の粒径を拡大）した後、スラッジを造粒固化体貯槽（ペレット貯槽）Dへ排出
 - なお、AREVA除染装置は2011年10月以降待機状態であり、スラッジ貯蔵量は約600m³（設計上のスラッジ生成量）

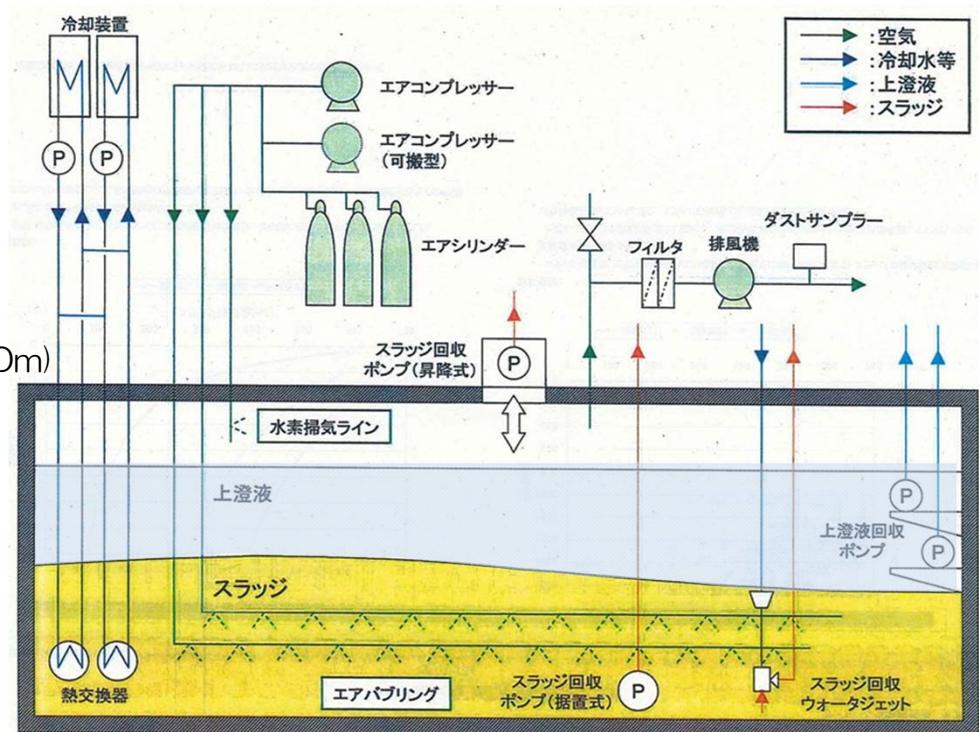


5.2 【個別施設】プロセス主建屋内のペレット貯槽Dの概要

- AREVA除染装置により発生したスラッジは、プロセス主建屋（10m盤に設置）内の造粒固化体貯槽（ペレット貯槽）Dを流用して貯蔵
 - 貯蔵開始前に安全上必要となる設備（冷却機能、スラッジ攪拌機能、送気機能等を有する設備等）を設置するとともに、コンクリート表面に無機系塗料を塗布しており、現在、安定して貯蔵中



プロセス主建屋 縦断面図（抜粋）
（震災前の建屋図面）



ペレット貯槽D系統構成概略図

5.3 【個別施設】 AREVAスラッジの対策

- AREVAスラッジの長期保管に対しては、廃棄体の安全性（長期安定性）検討を含めると、長期間を要する可能性があるため、現状の性状において一定期間、安定的に貯蔵することが必要なことから、プロセス主建屋の15m級津波対策工事（開口部閉塞）を計画・工程調整中

【工程案】	2016年度		2017年度		2018年度		2019年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期
全体	▼ 方針決定							
プロセス主建屋の 15m級津波対策工事 (開口部閉塞)	現場調査・設計		工事		現場調査を実施し、工程を調整中			

6. 【個別施設】 1/2号機排気筒の対策

- 損傷した部材を取り除いた解析モデルで、現行基準地震動600Gal(東北地方太平洋沖地震と同程度)に対して地震応答解析を実施し、耐震安全性が確保されていることを確認済み
- 排気筒下部が高線量であること、および現在は排気筒としての機能を有していないことから、大型クレーンを使用して排気筒を半分まで解体し、耐震上の裕度を確保する
- 現在、遠隔解体等の解体方法について検討中

【遠隔解体装置を採用する場合の開発項目】

① 筒身・鉄塔の切断技術

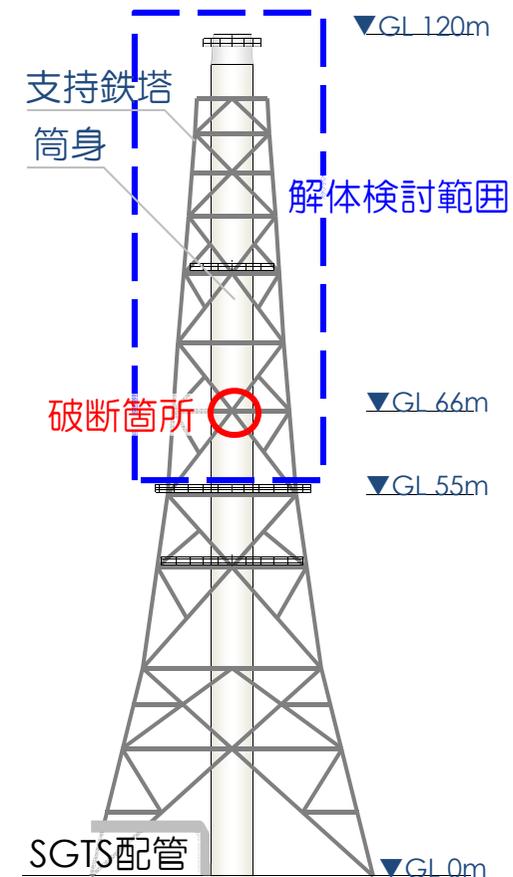
→排気筒の切断位置は高所であり、複雑な構造であることから落下防止のために対象部材の形状に応じて把持しながら切断する機器の開発が必要

② 筒身切断・吊り下ろし時ダスト飛散対策技術

→筒身を解体する際に、ダストが飛散する可能性があるため、飛散抑制対策の検討が必要

【工程案】

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
設計・開発	解体計画, 機器開発・製作, モックアップ			
工事		準備工事	解体工事	
		現場調査を実施し, 工程を調整中		



7.1 【津波漂流物】 検討状況（15m級津波を想定）

■ 考慮すべき主な津波漂流物

- サブドレン集水設備である，集水タンク・中継タンク等
⇒10m盤に設置している安全機能を有する施設については，15m級津波により，機能が喪失することを前提に，機動的対応等を活用した機能の復旧手段を整備しているため，津波漂流物により，リスクが付加されるものではないと評価
- 道路上に設置している鉄板等の重量物
⇒比重が大きく，津波漂流物にならないと評価
- 仮設防潮堤
⇒次頁のとおり
- メガフロート
⇒P.17～18のとおり

7.2 【津波漂流物】 仮設防潮堤に対する津波影響評価

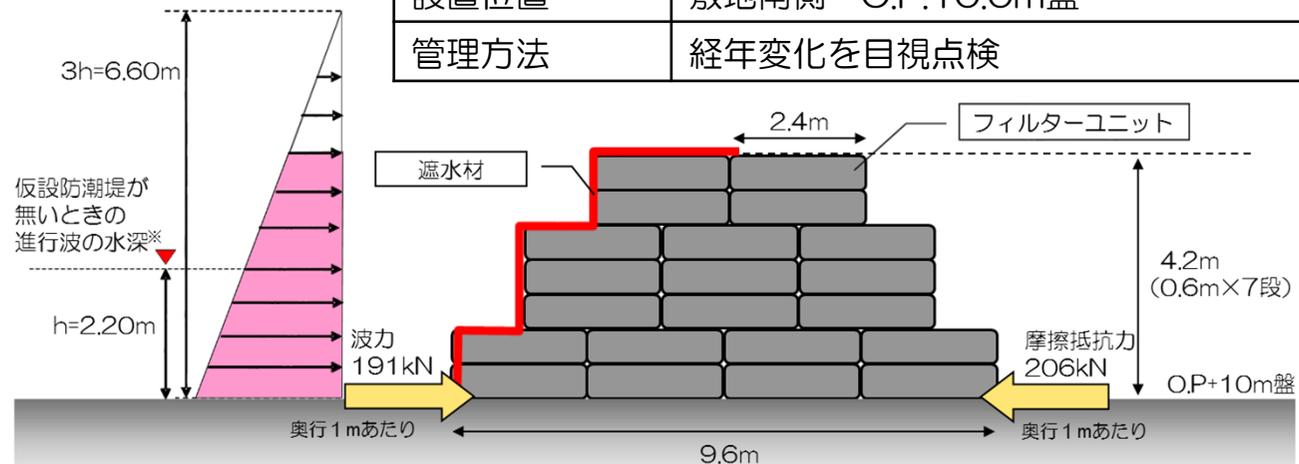
- 仮設防潮堤は、アウターライズ津波に対して、越流せず、波力に対する安定性を保持するよう設計
- 15m級津波に対しては、越流するものの、フィルターユニットの内容物として、砕石（比重2.6以上）を使用していることから、水より比重が大きく、漂流することはないと評価
- 15m級津波の波力による移動は想定されるものの、周辺に安全上重要な施設等はないことから、影響はないものと評価



仮設防潮堤	
材料	フィルターユニット (2.4×2.4×0.6m)
内容物	砕石 (50~250mm 比重2.6以上)
重量	39.2kN/個
摩擦係数	0.6 (地盤-フィルターユニット)
設計津波高さ	設置位置の進行波水深に応じて設定
防潮堤高さ	2.4~4.2m (4~7段積)
設置位置	敷地南側 O.P.10.0m盤
管理方法	経年変化を目視点検

仮設防潮堤の設計
 津波波圧として、仮設防潮堤が無いときのアウターライズ津波による進行波の3倍の水深の静水圧を設定し、津波波力に対する安定性検討を行った

※地殻変動0.662mを考慮



仮設防潮堤 設計の考え方 (7段積の例)

7.3 【津波漂流物】メガフロート設備の概要

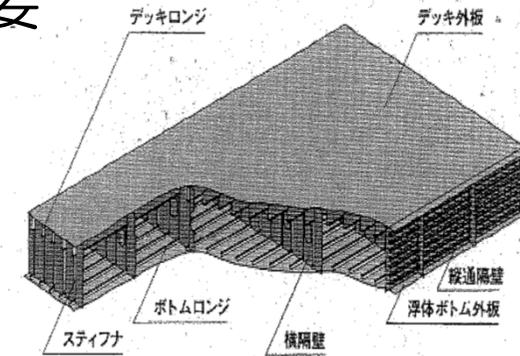
■ 仕様

- 大きさ : 全長約136m, 全高約3m, 全幅約46m
- 主要部材 : 鋼鉄製
- 重量 : 約4,000t (空倉時)
- 貯水量 : 約10,000t

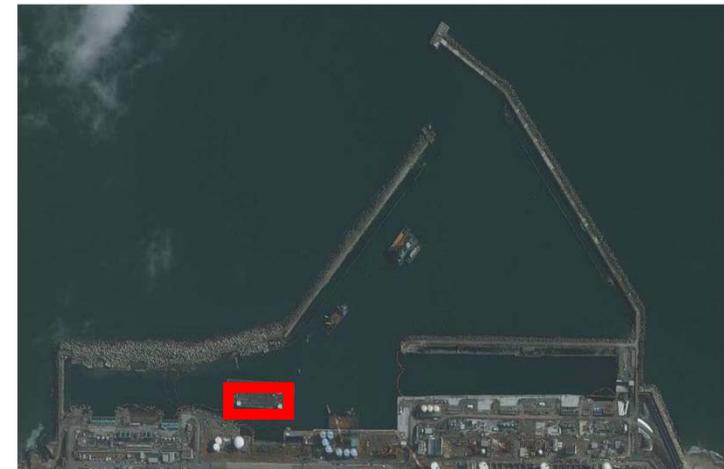
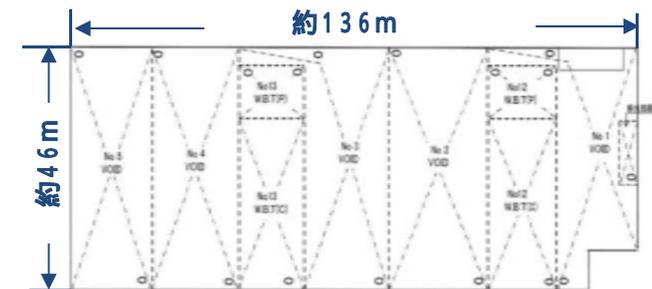
(*) 静岡県清水市にて海釣り公園用に使用→2011年5月に福島第一原子力発電所港湾内に移動。
移動に先立ち係留設備, 移送ラインを設置。
内部は水密隔壁により9区画に分割されている

■ 使用状況

- 2011.5~2012.11
物揚場に係留, 5・6号機タービン建屋滞留水を貯留 (津波により建屋内に流入した海水が主)
- 2012.12~現在 : 物揚場への船舶入港の支障となることから現在の港湾内北側に移動
移動後当時の建屋滞留水の置換を行い, バラスト水としてろ過水を8000m³貯留



メガフロート内部鳥瞰イメージ図



7.4 【津波漂流物】メガフロートの対策

■ リスク低減方法

➤ 以下3案について実現可能性を含めて検討中

①港湾内解体 ②港湾内での有効活用 ③港湾外移動（港湾外で解体）

■ 各案の課題懸案事項

① 港湾内解体

- 解体場所の選定，水中切断の技術開発，物揚場占有可否，解体廃棄物保管場所等の課題あり
- 完遂までに数年要する見込みであり，工程含めて最適な工法について検討中

② 港湾内での有効活用

- 海底土被覆で施工性の悪い箇所へ沈下させて被覆の代替とするなど，リスクを排除しつつ有効活用ができないか検討中
- 港湾は公共用財産であり，実施にあたっては関係省庁等と調整が必要

③ 港湾外移動・解体

- 構外の受入先の有無調査中。実施にあたっては関係省庁等の調整が必要

【①港湾内解体の場合の例】

【工程案】	2016年度		2017年度		2018年度		2019年度	
	上	下	上	下	上	下	上	下
津波リスク対策工事	方針決定 ▼ 工事準備	係留設備設置	メガフロート移動・係留設備に設置	メガフロート内排水	メガフロート解体			

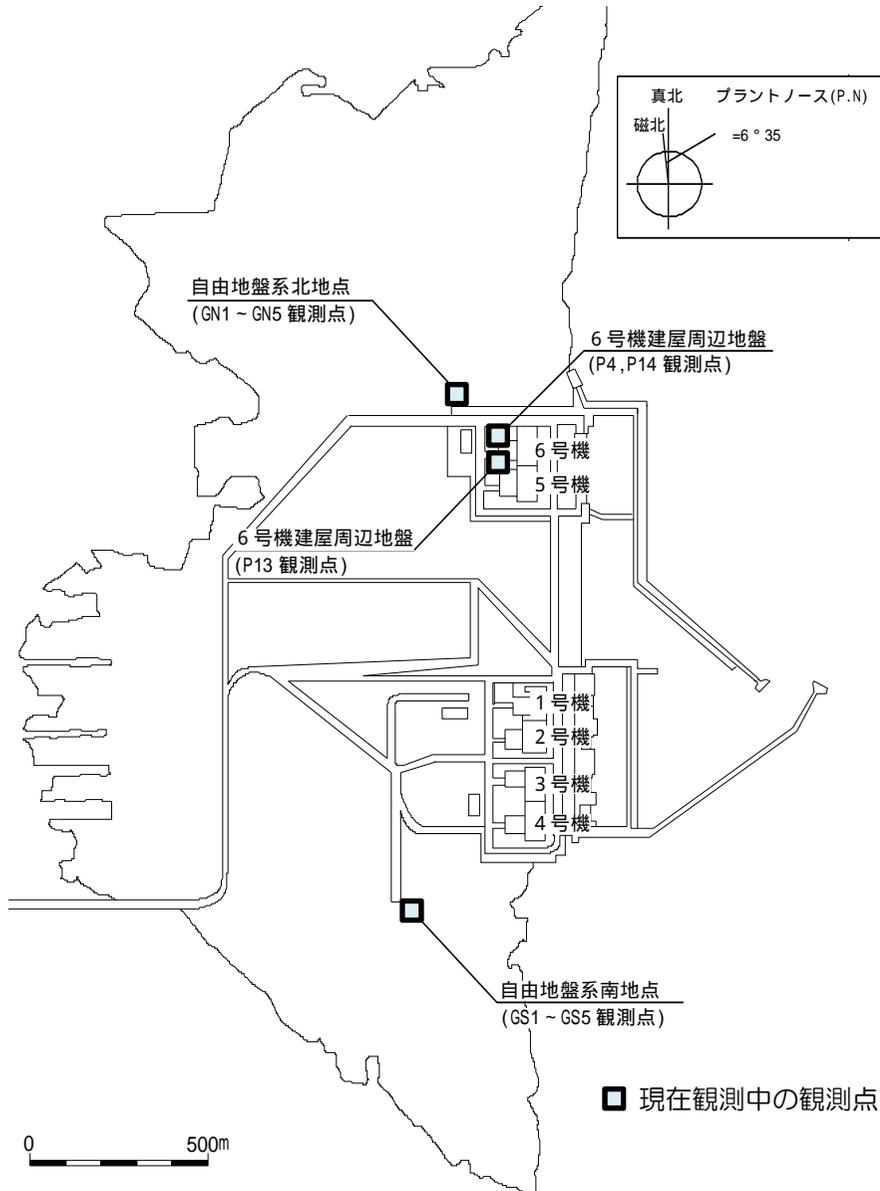
※②港湾内での有効活用，③港湾外移動・解体が実現可能な場合は，着手から対策完了までの工期は1年以内の実施できる見込み

8. まとめ

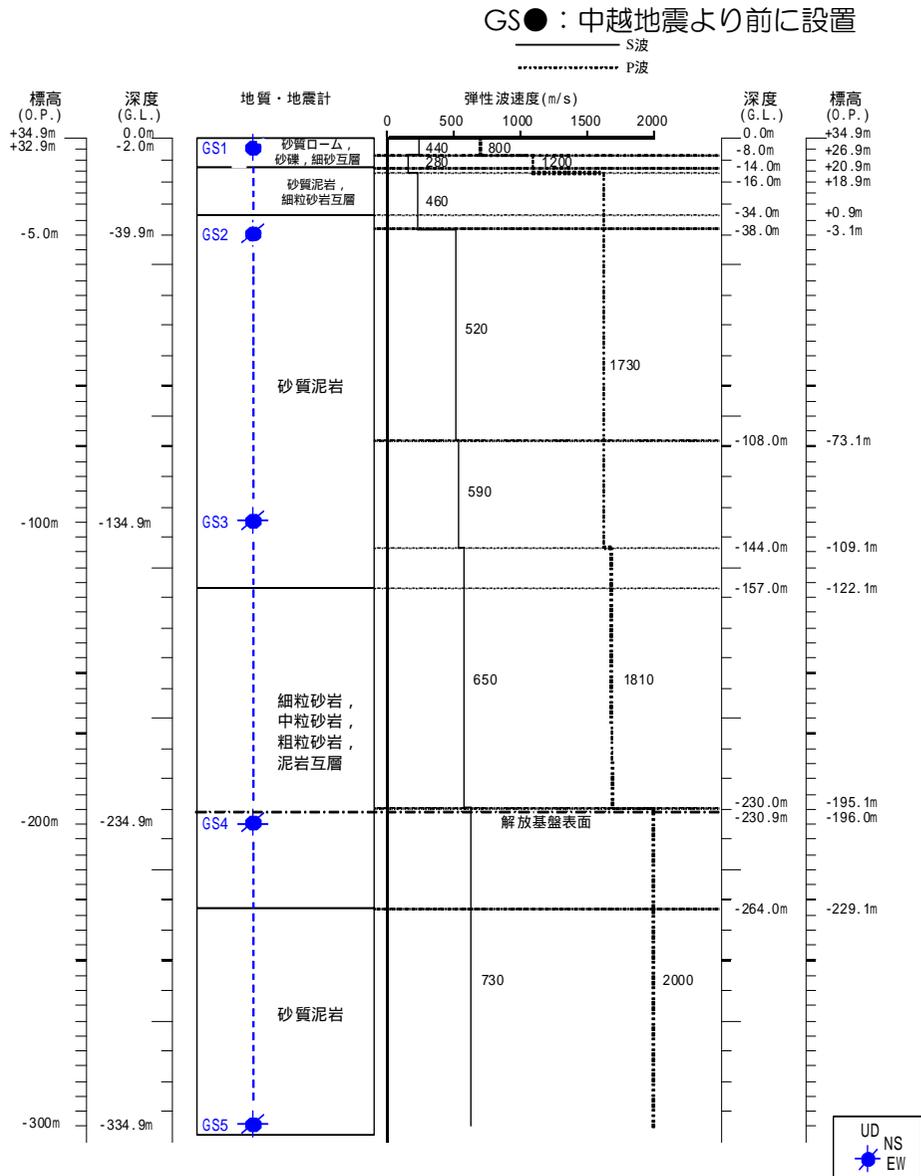
- アウターライズ津波対策
⇒実施済み
- 現行基準地震動600Gal対策
⇒実施済み
- 15m級津波対策
⇒一部実施済み
- 今後、優先度の高いリスクに対して、放射性物質の除去・低減対策と地震・津波対策を適切に組み合わせ、効率的かつ現実的にリスク低減を図っていく
 - 検討用地震動・津波を活用し、機動的対応の信頼性を向上
 - 検討用地震動・津波の活用に関しては、以下を考慮
 - 地震・津波対策が放射性物質の除去・低減対策等の廃止措置工事に干渉する度合い
 - 高線量率等の現場環境を踏まえた実施可能性
 - 廃棄物発生量の増加

他

【参考】 1Fの地震観測の状況 敷地地盤における地震観測点

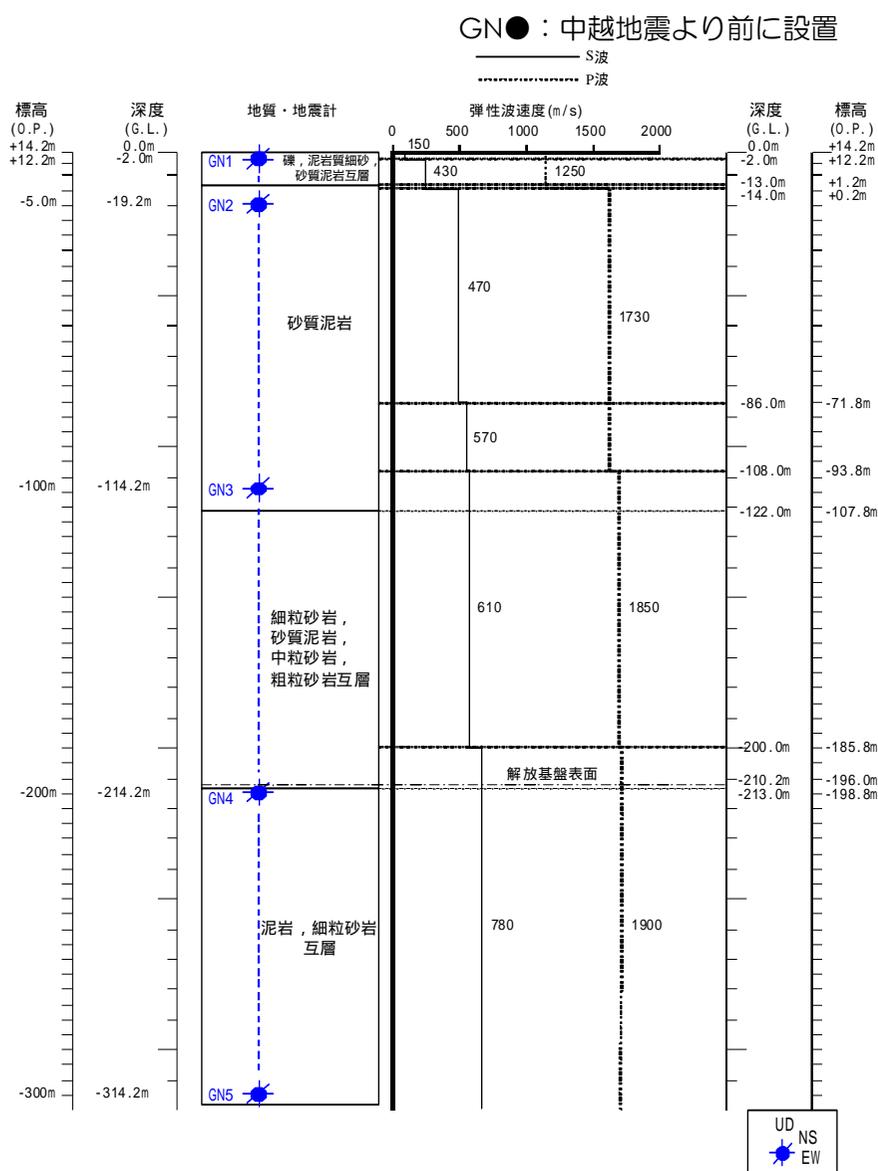


敷地地盤における地震観測点の配置

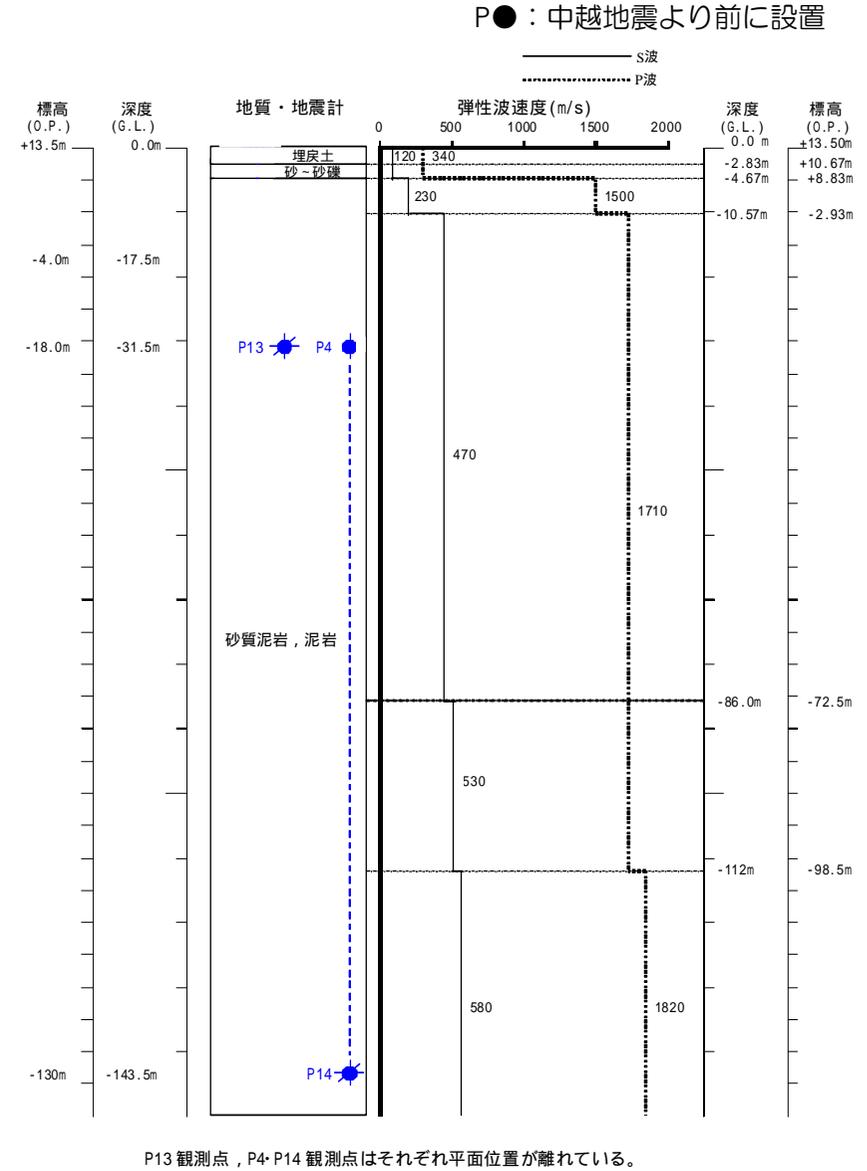


自由地盤系南地点地震観測点の地盤概要

【参考】 1Fの地震観測の状況 敷地地盤における地震観測点



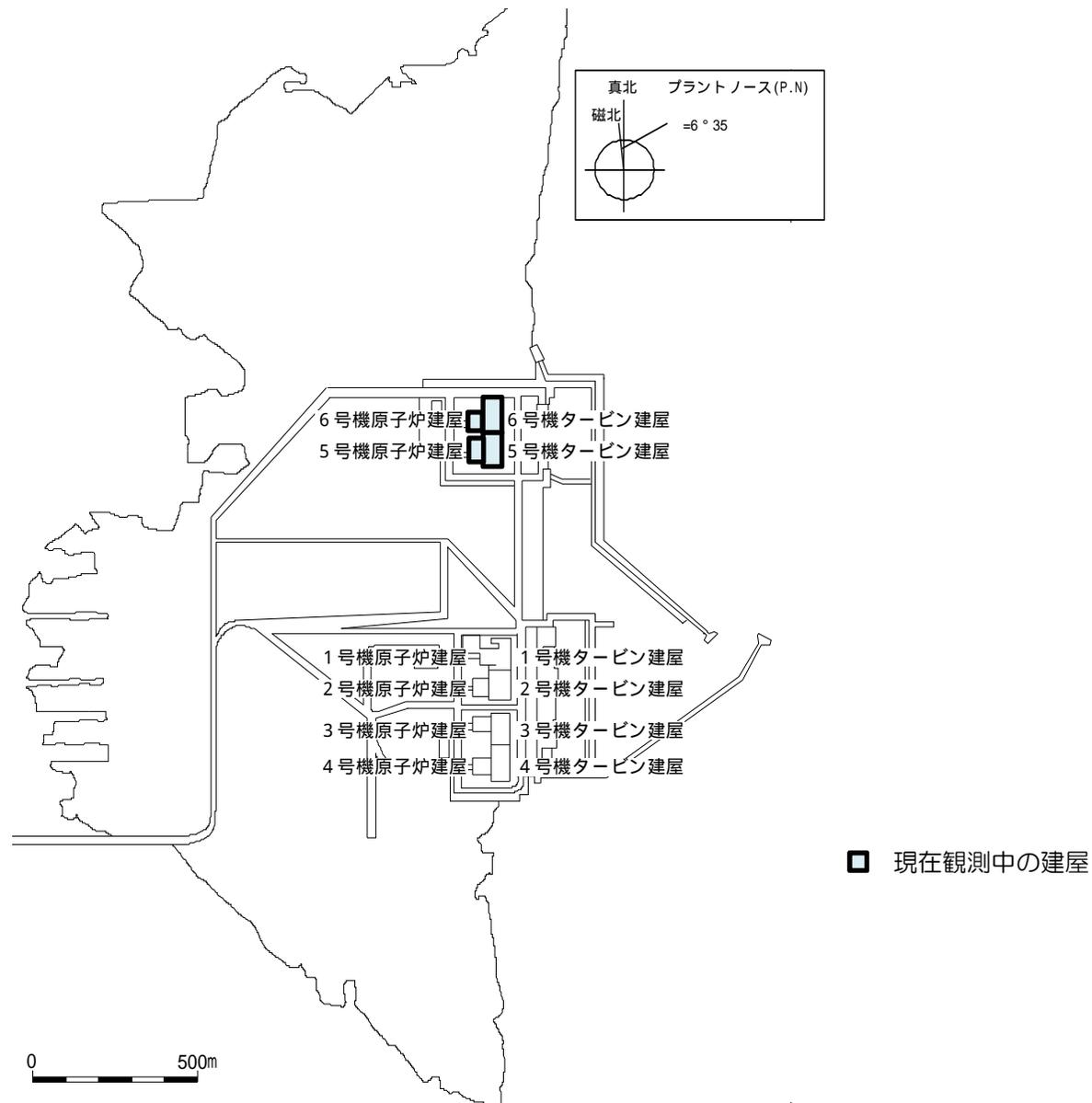
自由地盤系北地点地震観測点の地盤概要



P13 観測点, P4-P14 観測点はそれぞれ平面位置が離れている。
 図中の地質及び弾性波速度は、観測点近傍におけるもの。

6号機建屋周辺地盤地震観測点の地盤概要

【参考】 1Fの地震観測の状況 建屋における地震観測点

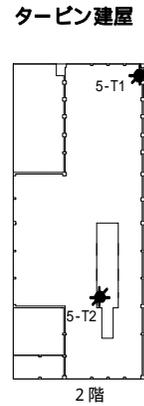
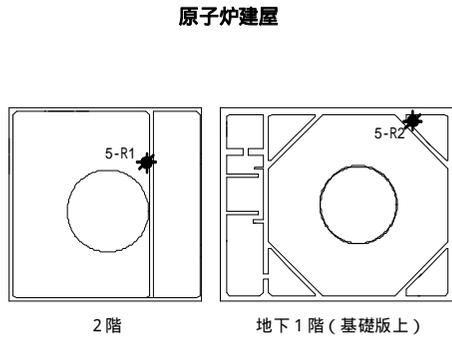


建屋における地震観測点の配置

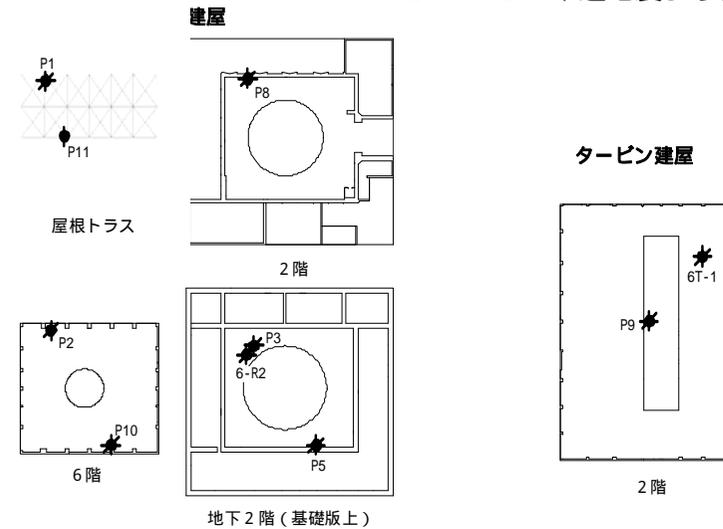
【参考】 1Fの地震観測の状況 建屋における地震観測点

5-R●・5-T●：中越地震より後に設置

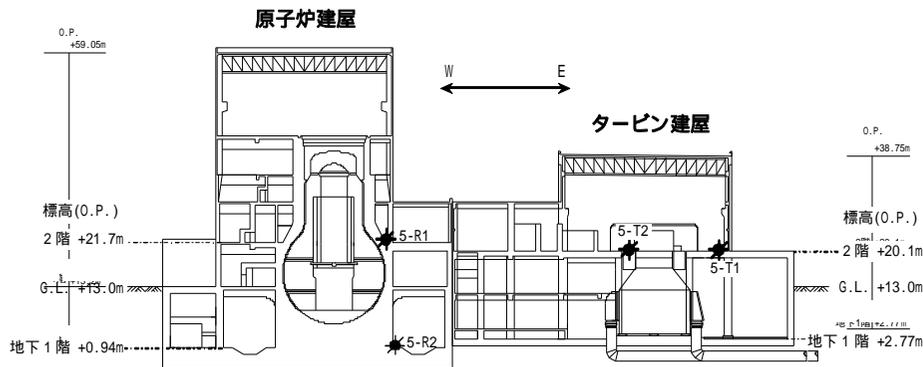
P●：中越地震より前に設置
6-R●・6-T●：中越地震より後に設置



(a) 平面図

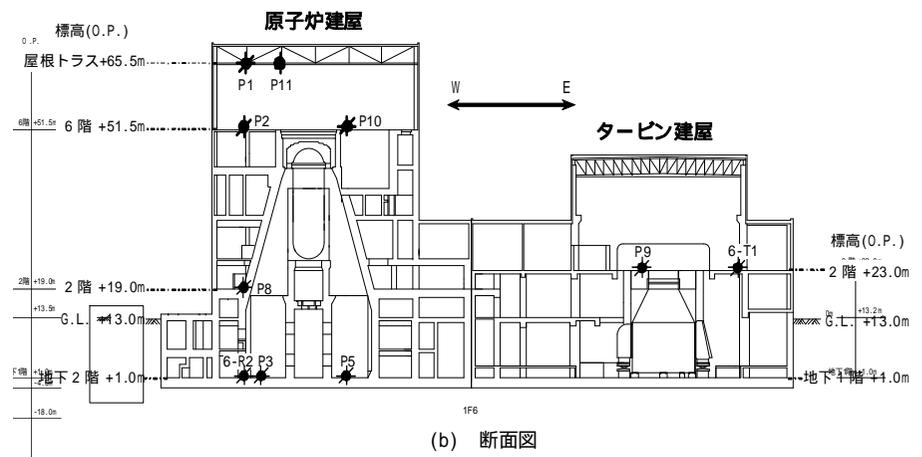


(a) 平面図



(b) 断面図

地震計配置図 (5号機)



(b) 断面図

地震計配置図 (6号機)

【参考】アウターライズ津波による影響範囲

■ 汚染水処理設備等

- アウターライズ津波が遡上しないことを確認
- 滞留水移送装置，処理装置等，O.P.10m のエリアに設置する設備については，仮設防潮堤内に設置

■ 放射性固体廃棄物等

- アウターライズ津波が遡上しないことを確認



【参考】 津波対策の実施状況

津波の調査結果※（浸水高，浸水深および浸水域）に基づき設定

※福島原子力事故調査報告書 平成24年6月20日 東京電力株式会社

1. 1,2号機タービン建屋

- O.P.15mの津波に対する対策
- 壁・床区画併用

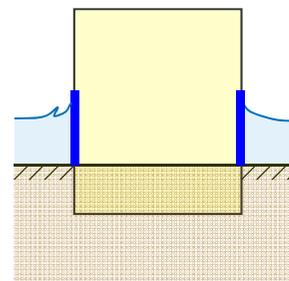
2. 高温焼却炉設備建屋

- O.P.15mの津波に対する対策
- 壁区画

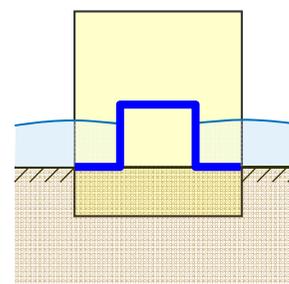
3. 共用プール建屋

- O.P.15mの津波に対する対策
- 壁・床区画併用

A. 壁区画



B. 壁・床区画併用



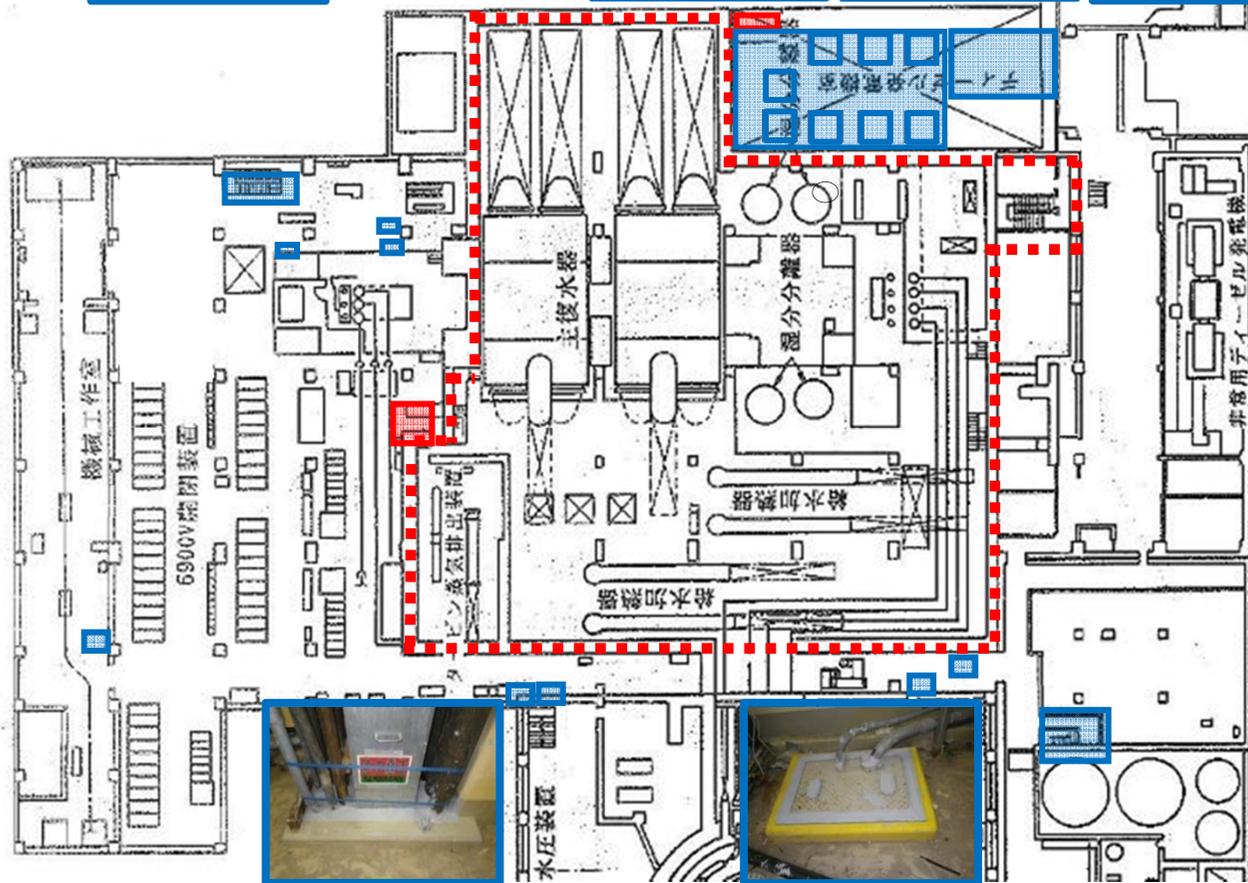
区画イメージ

【参考】 1号機タービン建屋 1階平面図

津波対策実施状況

核物質防護の観点から非表示の箇所あり

■■■■■ 壁区画箇所
 壁対策完了箇所
 床対策完了箇所 (対策箇所には配管貫通部を含む)

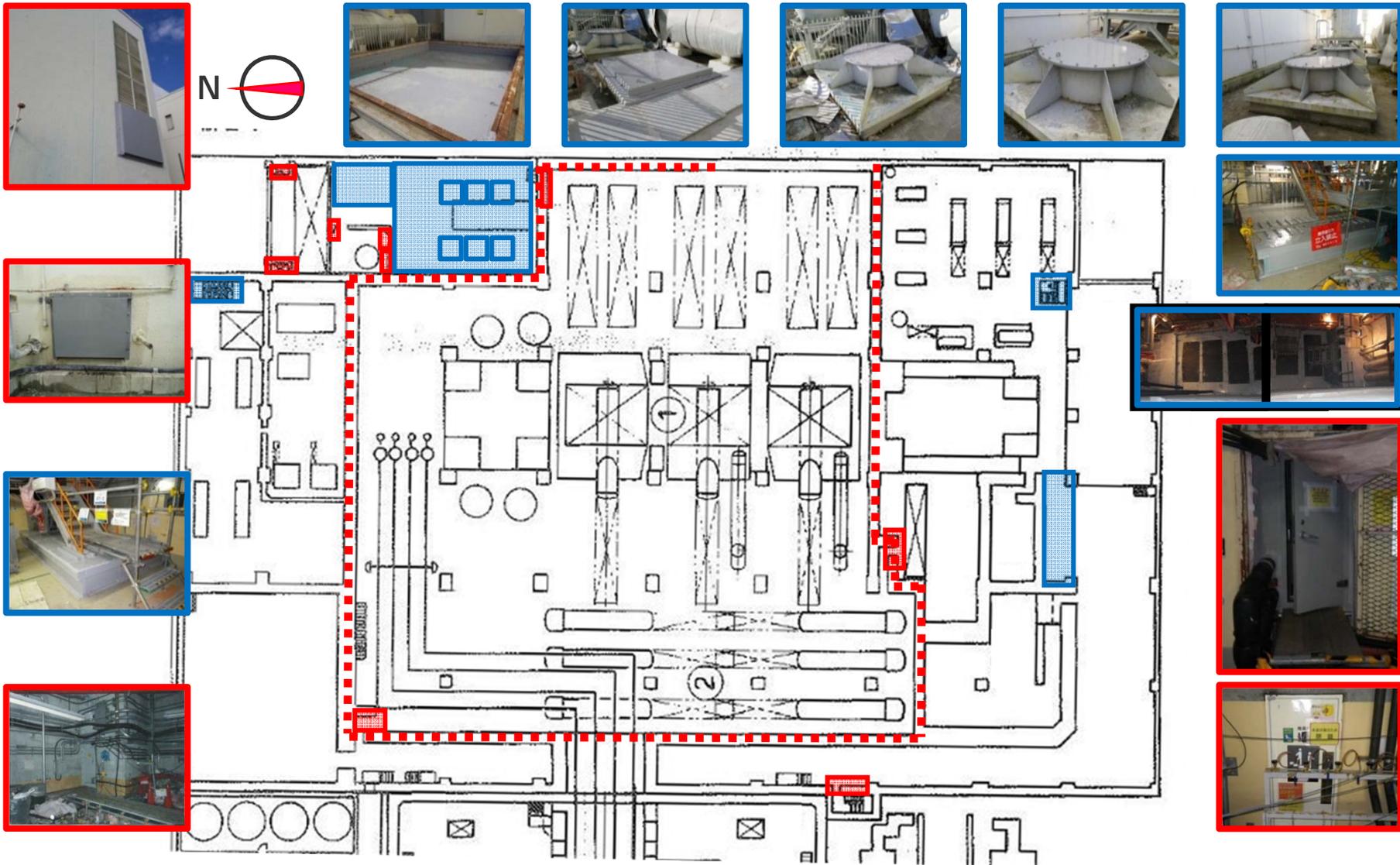


【参考】 2号機タービン建屋 1階平面図

津波対策実施状況

核物質防護の観点から非表示の箇所あり

■■■■■ 壁区画箇所
 ■ 壁対策完了箇所
 ■ 床対策完了箇所 (対策箇所には配管貫通部を含む)



【参考】 1号機タービン建屋

● 送風機



対策前



対策後

● マシンハッチ



対策前



対策後

【参考】 1号機タービン建屋

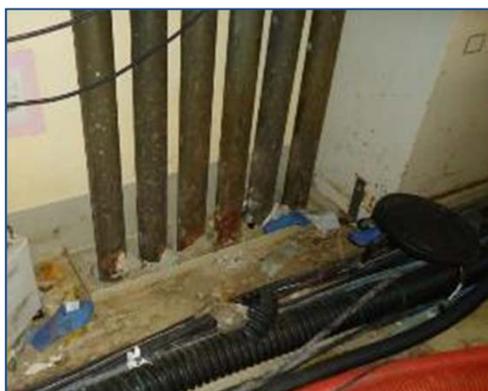
● 床配管貫通部（屋内）



対策前



対策後



対策前



対策後

【参考】 1号機タービン建屋

● 階段



対策後



対策後

● 屋内扉



対策後

● マンホール



対策後

【参考】 2号機タービン建屋

● マシンハッチ, 送風機



対策前



対策後

● 送風機



対策前



対策後

【参考】 2号機タービン建屋

● マシンハッチ



対策前



対策後

● ガラリ



対策前



対策後

【参考】 2号機タービン建屋

● 床開口



対策前



対策後

【参考】 2号機タービン建屋

● 階段

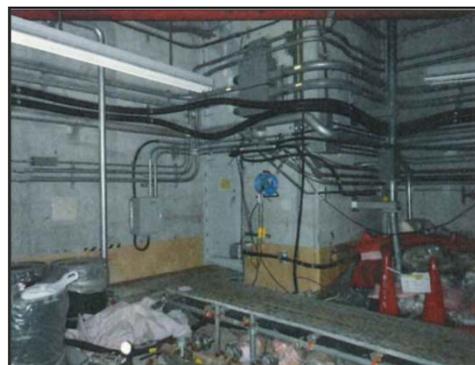


対策後



対策後

● 屋内扉

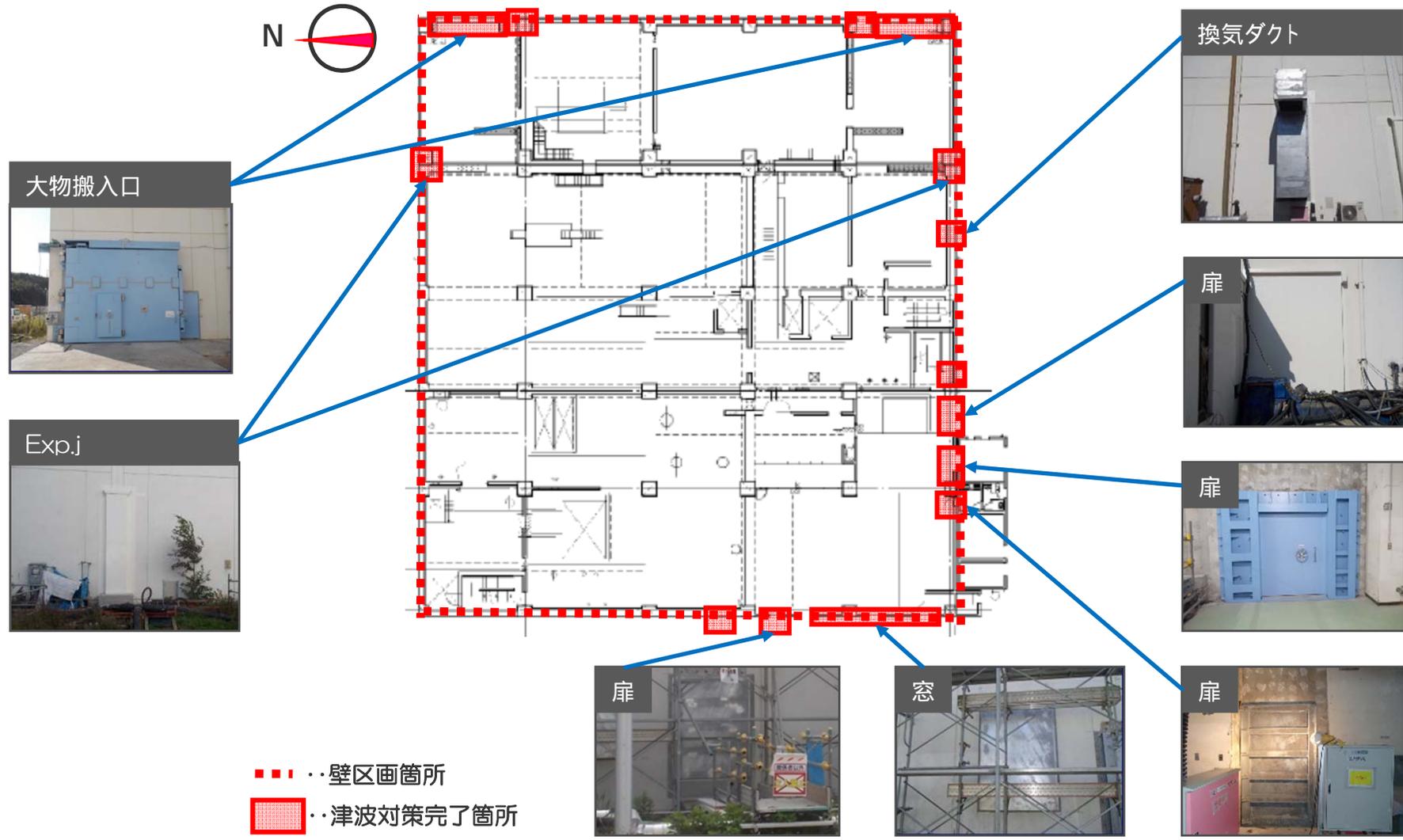


対策後



対策後

【参考】高温焼却炉建屋



高温焼却炉建屋 1階平面図

【参考】 高温焼却炉建屋

● 窓



対策前



対策後

● 大物搬入口



対策前



対策後

【参考】 高温焼却炉建屋

● 扉



対策前



対策後

● ダクト



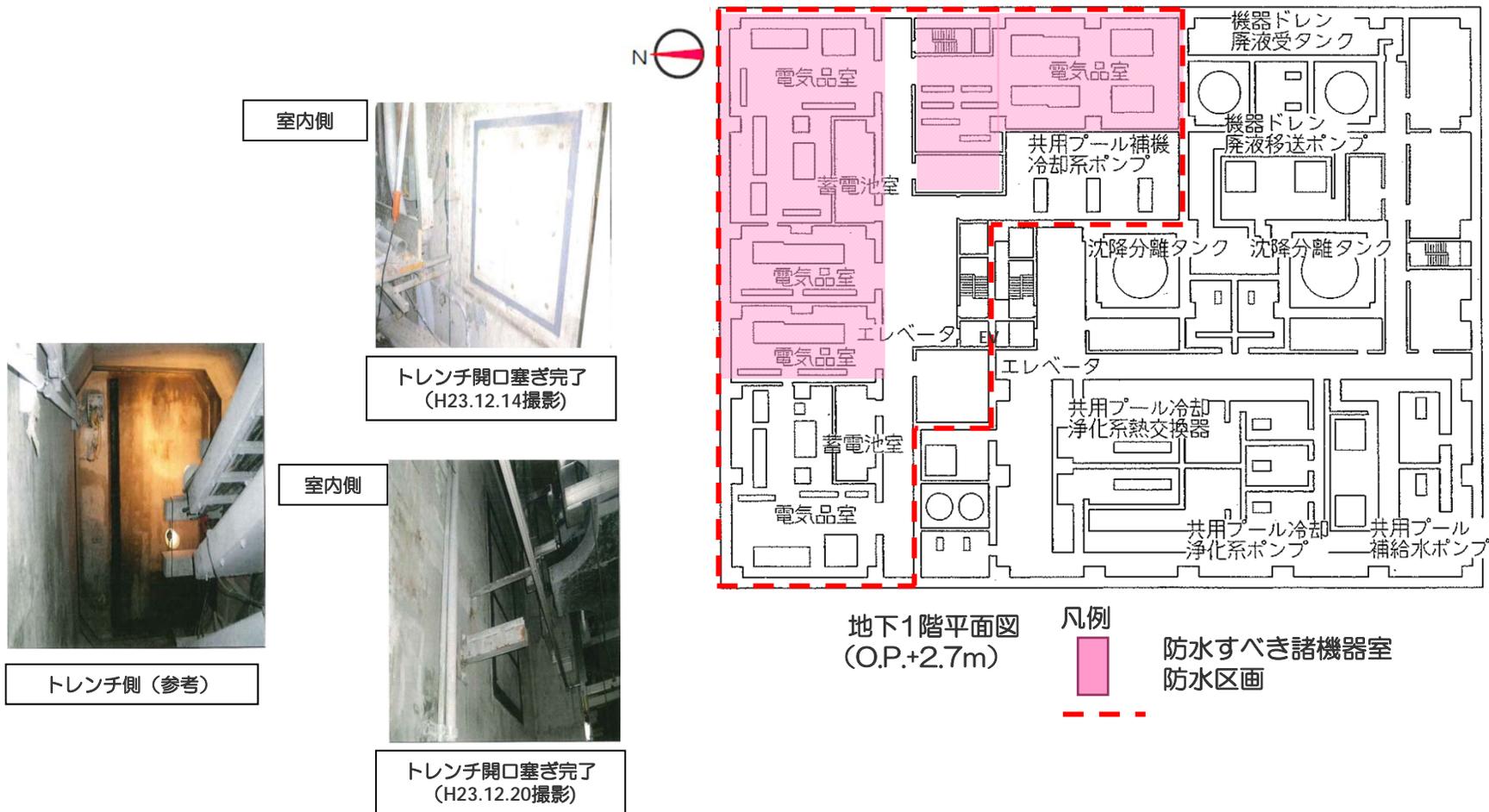
対策前



対策後

【参考】 共用プール建屋 地下1階

- トレンチ開口部については対策済み（2011.12完了）
- その他の開口部は1階にて対策を実施済み



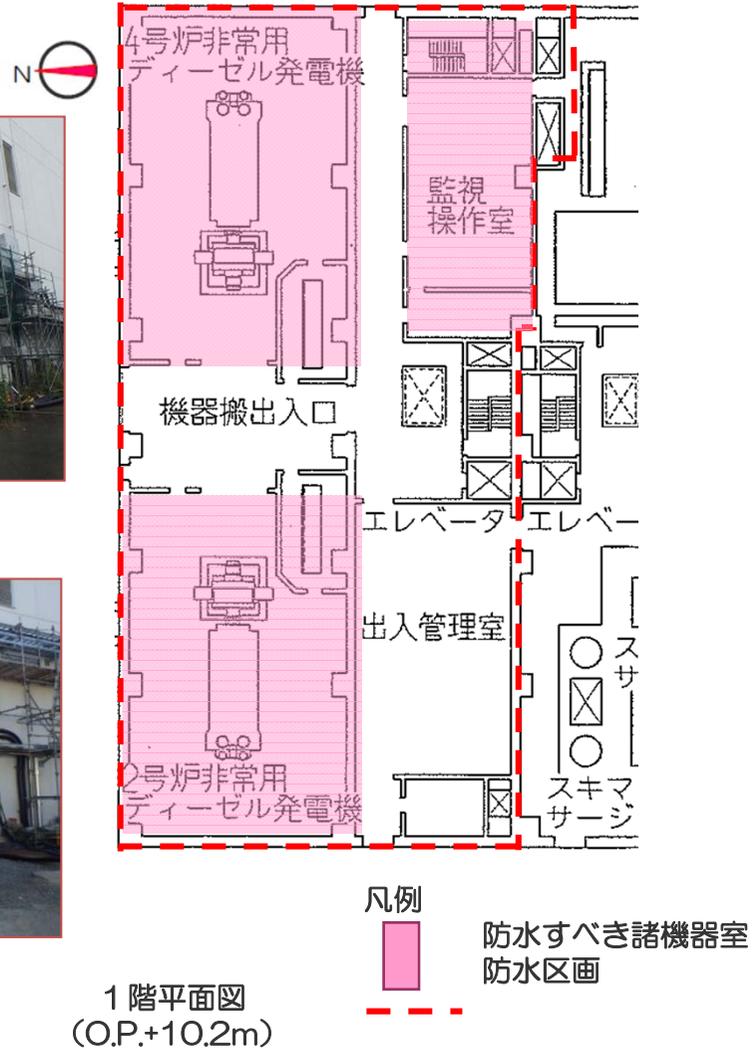
【参考】 共用プール建屋 開口対策（1階）



遮水壁



可動式遮水壁



内壁ｺﾝｸﾘｰﾄ閉塞



建屋内部ｺﾝｸﾘｰﾄ堰