

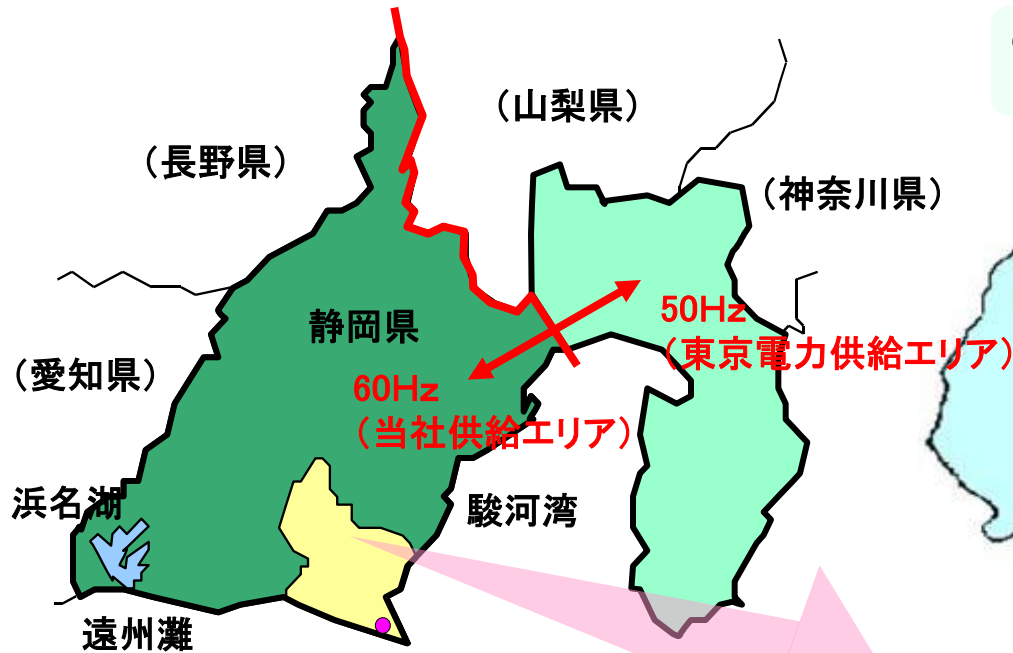
浜岡原子力発電所の地震・津波対策について



平成25年5月16日
中部電力株式会社

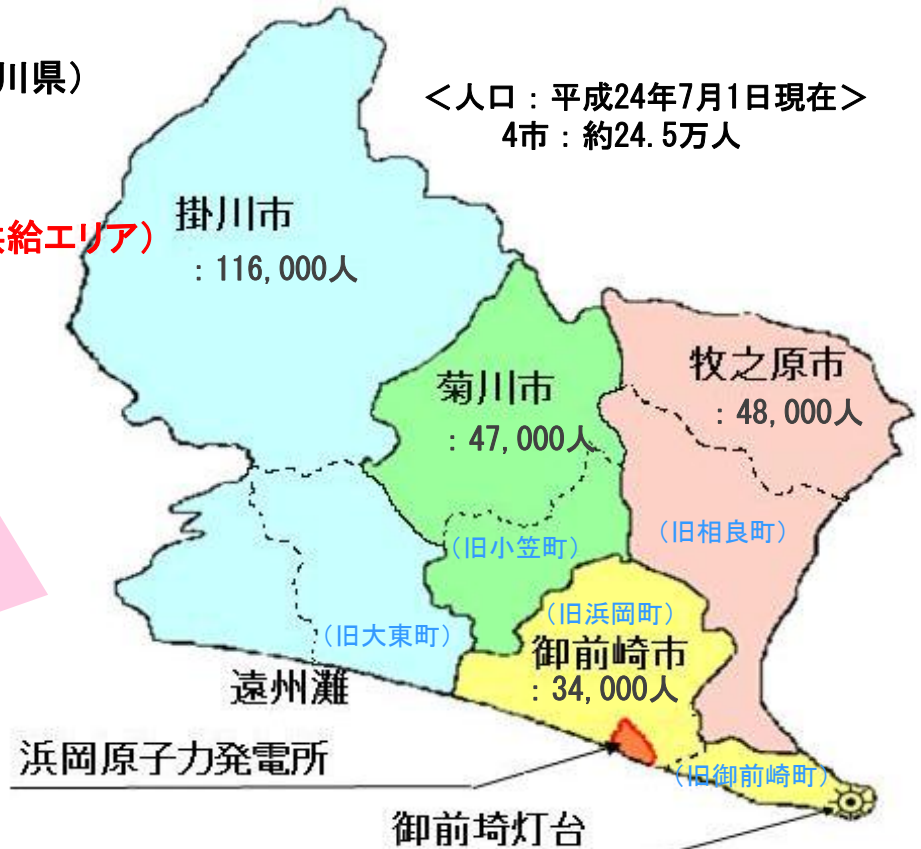
浜岡原子力発電所について

浜岡原子力発電所の立地状況



●静岡県および、御前崎市を始め、牧之原市・掛川市・菊川市（以下4市と表記）と安全協定を結んでいます。

＜人口：平成24年7月1日現在＞
4市：約24.5万人

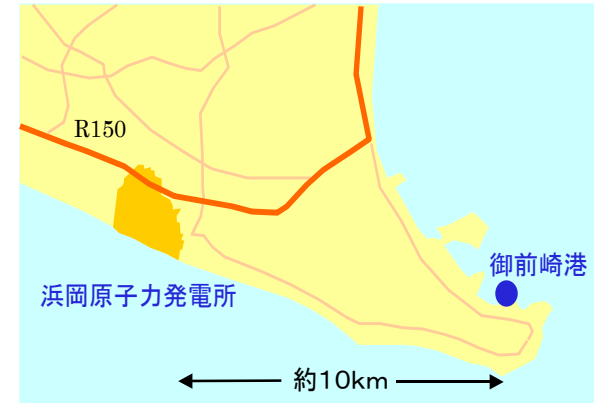


●4市周辺の5市2町（焼津市・藤枝市・島田市・袋井市・磐田市・吉田町・森町）とは、浜岡原子力発電所の事故・故障等における情報提供、及び意見交換を行うことを目的として浜岡原子力発電所情勢連絡会を設置しています。



浜岡原子力発電所 敷地および配置

敷地面積 : 1.6 km² (約50万坪)
中部電力従業員数 : 836人
協力会社従業員数 : 2,828人 (平成25年4月1日現在)



●日本で唯一、敷地前面に専用の港を持たない原子力発電所です。



大型機器等は、発電所から約10km離れた御前崎港との間を陸上輸送しています。

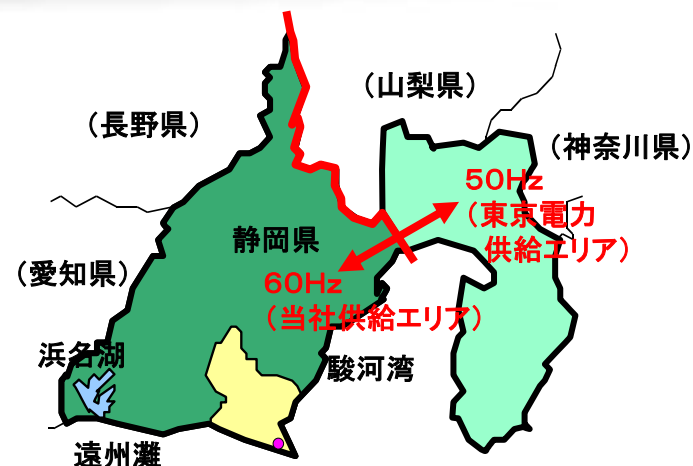
5号機原子炉圧力容器の陸上輸送の様子

●蒸気を冷やす海水は、沖合600mに設置した、取水塔から取水しています。

浜岡原子力発電所 設備概要

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機
原子炉形式	沸騰水型軽水炉（BWR）				改良型沸騰水型軽水炉（ABWR）
電気出力 （万kW）	（54）	（84）	110	113.7	138
総電気出力 （万kW）			361.7		
着工	昭和46年 （1971） 3月	昭和49年 （1974） 3月	昭和57年 （1982） 11月	平成元年 （1989） 2月	平成11年 （1999） 3月
運転開始	昭和51年 （1976） 3月	昭和53年 （1978） 11月	昭和62年 （1987） 8月	平成5年 （1993） 9月	平成17年 （2005） 1月
現在の状況	廃止措置中 （H21.1.30 運転終了）		定期検査中 （H22.11.29～）	定期検査中 ※ （H24.1.25～）	定期検査中 ※ （H24.3.22～）
＜ 津波対策実施中 ＞					

※内閣総理大臣要請を受けて停止(4号機H23.5.13、5号機H23.5.14)



- 中部電力静岡支店管内(静岡県富士川以西)の過去最大電力…445.3万kW
(平成20年8月4日)
- 静岡支店管内年間電力需要(販売電力量)の過去最大実績…219億9800万kWh
(平成20年度)
- 浜岡原子力発電所発電電力量(平成20年度) 228億5800万kWh
- 中部電力発電電力量(平成20年度) 1,256億5600万kWh
(発電電力量に占める原子力の割合:18.2%)

<参考:最近の電力需要実績>

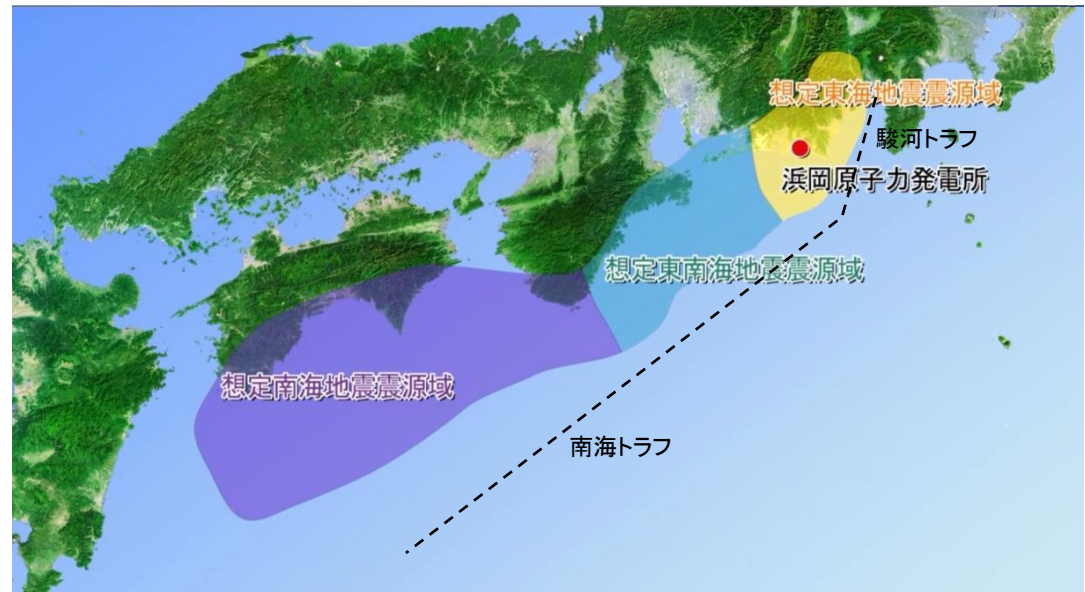
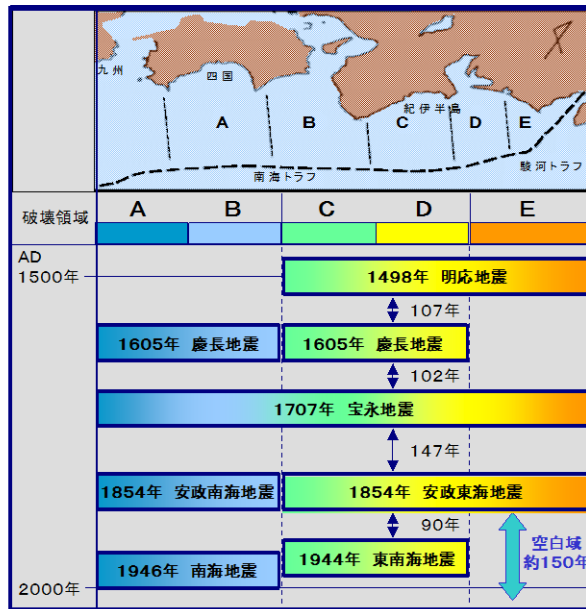
- 中部電力静岡支店管内(静岡県富士川以西)の最大電力…388.3万kW (平成24年7月26日)
- 静岡支店管内年間電力需要(販売電力量)の実績…200億4500万kWh (平成23年度)

浜岡原子力発電所における地震・津波への対応

浜岡原子力発電所の 地震・津波対策について

動画(約15分)をご覧ください。

浜岡原子力発電所の耐震安全性について

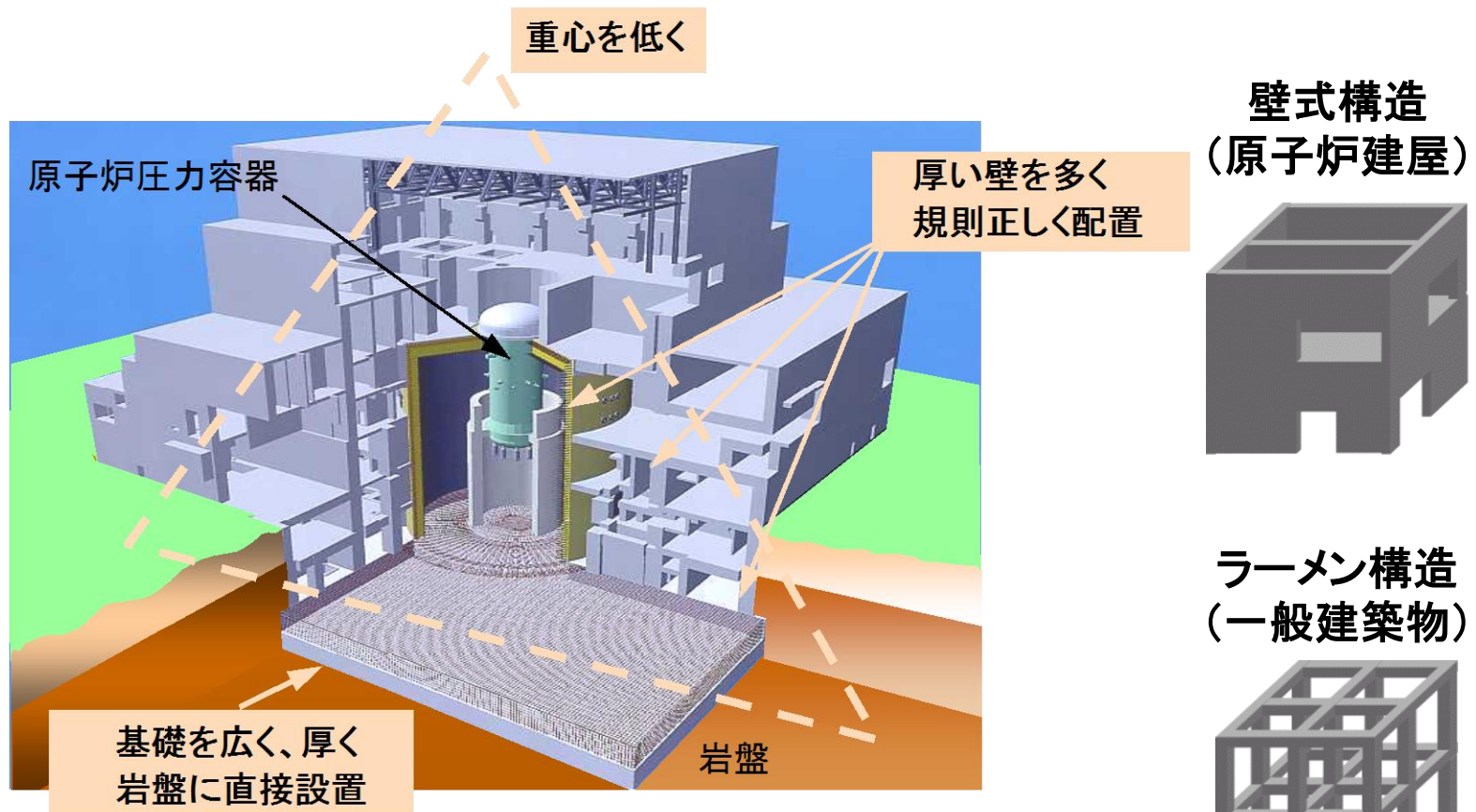


- 南海トラフ沿いでは100年から150年程度の間隔でマグニチュード8クラスのプレート間地震が発生しており、地震の発生状況がよく知られています。
- 浜岡原子力発電所は、想定東海地震はもとより、東海・東南海・南海地震の3連動とされる1707年宝永地震や東海・東南海の2連動とされる1854年安政東海地震にさらに余裕を考慮(600ガル※)して耐震安全性を確保しています。
- 地域のみならずにより安心していただけるよう、目標地震動(岩盤上で約1,000ガル)を自主的に設定し、3～5号機の安全上重要な施設に対して耐震裕度向上工事(平成20年3月完工)を実施しました。

※ 新耐震設計審査指針に照らした耐震安全性評価においては基準地震動Ss800ガル

原子力発電所の耐震上の配慮

- 原子炉建屋の特徴(岩盤に直接設置・剛構造)



原子炉建屋のイメージ図

耐震裕度向上工事について

地域のみなさまにより安心していただけるよう「安政東海地震に余裕をみた地震動」に対し、さらに3割程度余裕のある目標地震動(岩盤で約1,000ガル)を自主的に設定し、余裕を高めるための耐震裕度向上工事を実施しました。
(平成17年1月計画公表、平成20年3月3～5号機について工事完了)

耐震裕度向上工事の項目

配管ダクト周辺地盤改良工事

排気筒改造工事

配管・電路類サポート改造工事

燃料取替レールガイド改造工事

原子炉建屋天井クレーン支持部材改造工事

油タンク建替・改造工事

取水槽ポンプ室土留壁背後地盤改良工事



改造前



改造後

排気筒改造工事



改造前



改造後

配管・電路類サポート改造工事(合計約5,000箇所)

原子炉圧力容器、格納容器などは耐震性に十分な余裕があり、本工事は必要のないことを確認しています。

浜岡原子力発電所の津波対策

浜岡原子力発電所の津波対策の考え方

浸水防止対策1

敷地内への浸水を防ぐ

浸水防止対策2

敷地内が浸水しても建屋内への浸水を防ぐ

緊急時対策の強化

「冷やす機能」を確保する

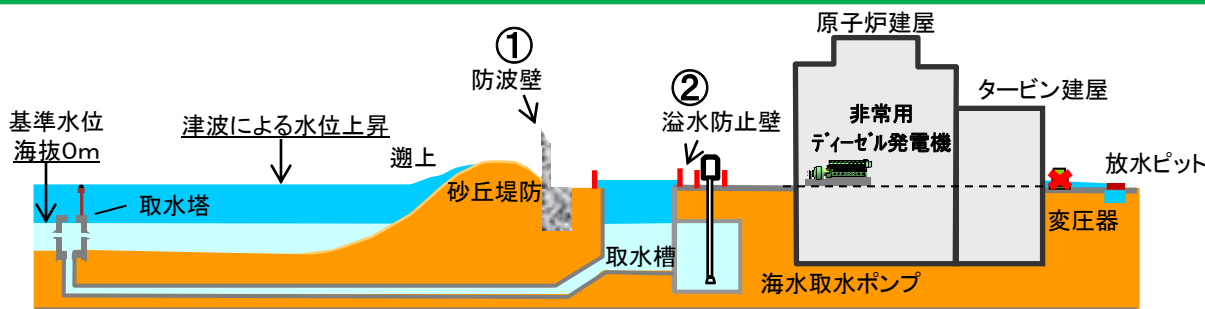


浸水防止対策の概要

◆安全上重要な機器を津波による浸水から防ぐ対策

浸水防止対策1

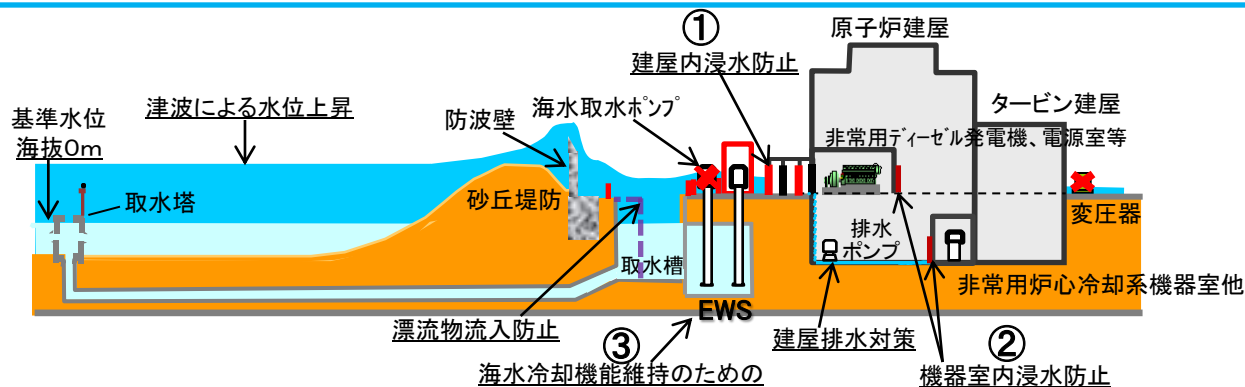
- ①防波壁(海拔22m)の設置等により、津波が発電所敷地内に直接浸入することを防ぐ
 - ②取水槽の周囲へ溢水防止壁を設置し、津波による海面上昇による取水槽から海水が溢れることを防ぐ
- ※②は新規制基準の対応として実施



浸水防止対策2

仮に津波が防波壁を超え、敷地が浸水した場合の対策

- ①建屋内浸水防止、②機器室内浸水防止、③海水冷却機能維持 の対策



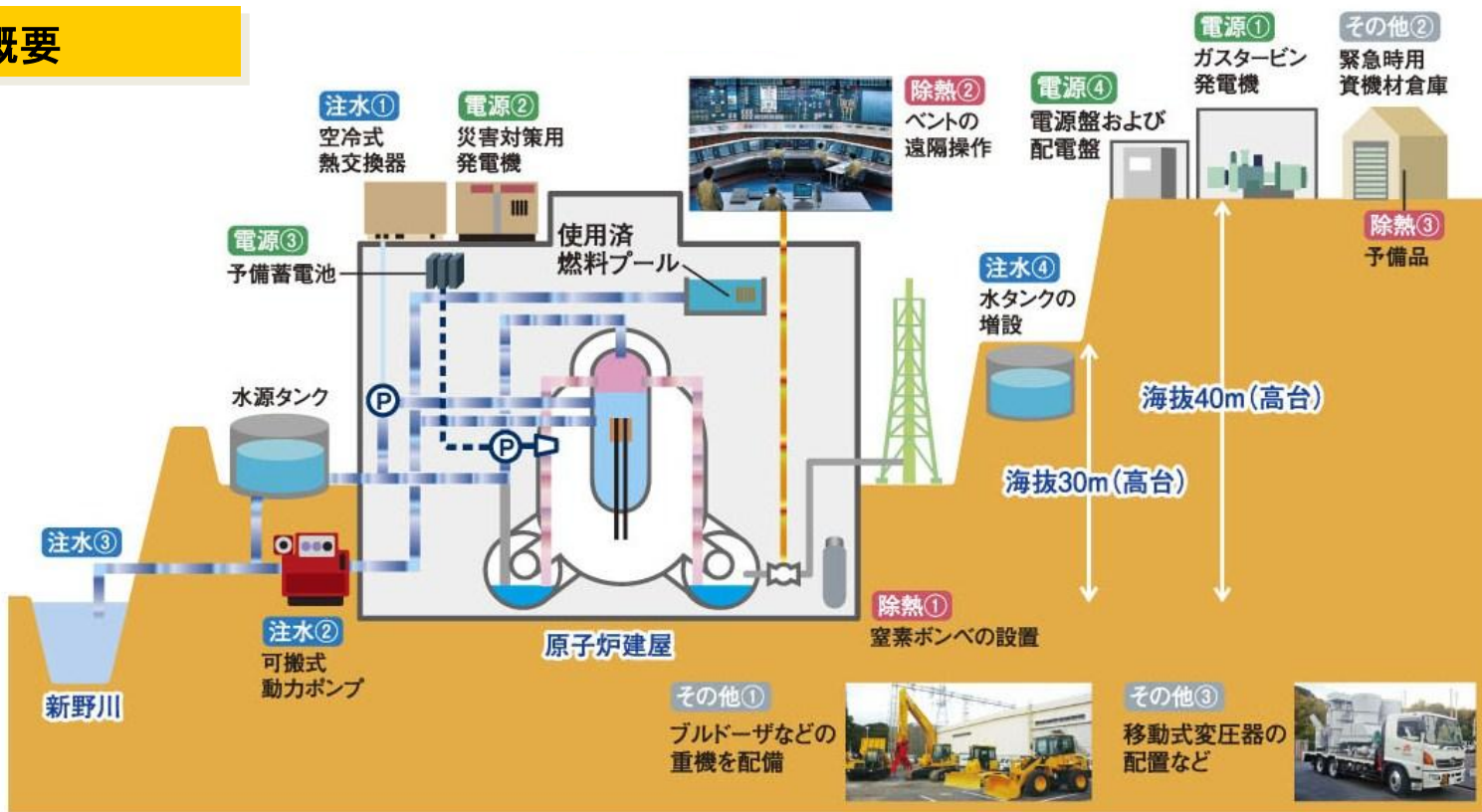
緊急時対策の強化

◆「全交流電源」や「海水冷却機能」を喪失した場合でも冷温停止に導く対策

緊急時対策の強化

- (1) **電源設備対策** ⇒ ・ガスタービン発電機 ・災害対策用発電機 ・予備蓄電池
- (2) **注水設備対策** ⇒ ・高圧注水ポンプ用空冷式熱交換器 ・可搬式動力ポンプ ・水タンクの増設
- (3) **除熱設備対策** ⇒ ・窒素ポンベの配備 ・ベントの遠隔操作 ・冷温停止に必要な機器の予備品確保 等

対策の概要



① 受電用変圧器の高台への設置 (500kV／6.9kV)

屋外変圧器の津波等による浸水等に備え、長期炉心冷却に必要な大容量の電力を供給する受電用変圧器を設置

② 移動式変圧器の高台への配備 (77kV／6.9kV)

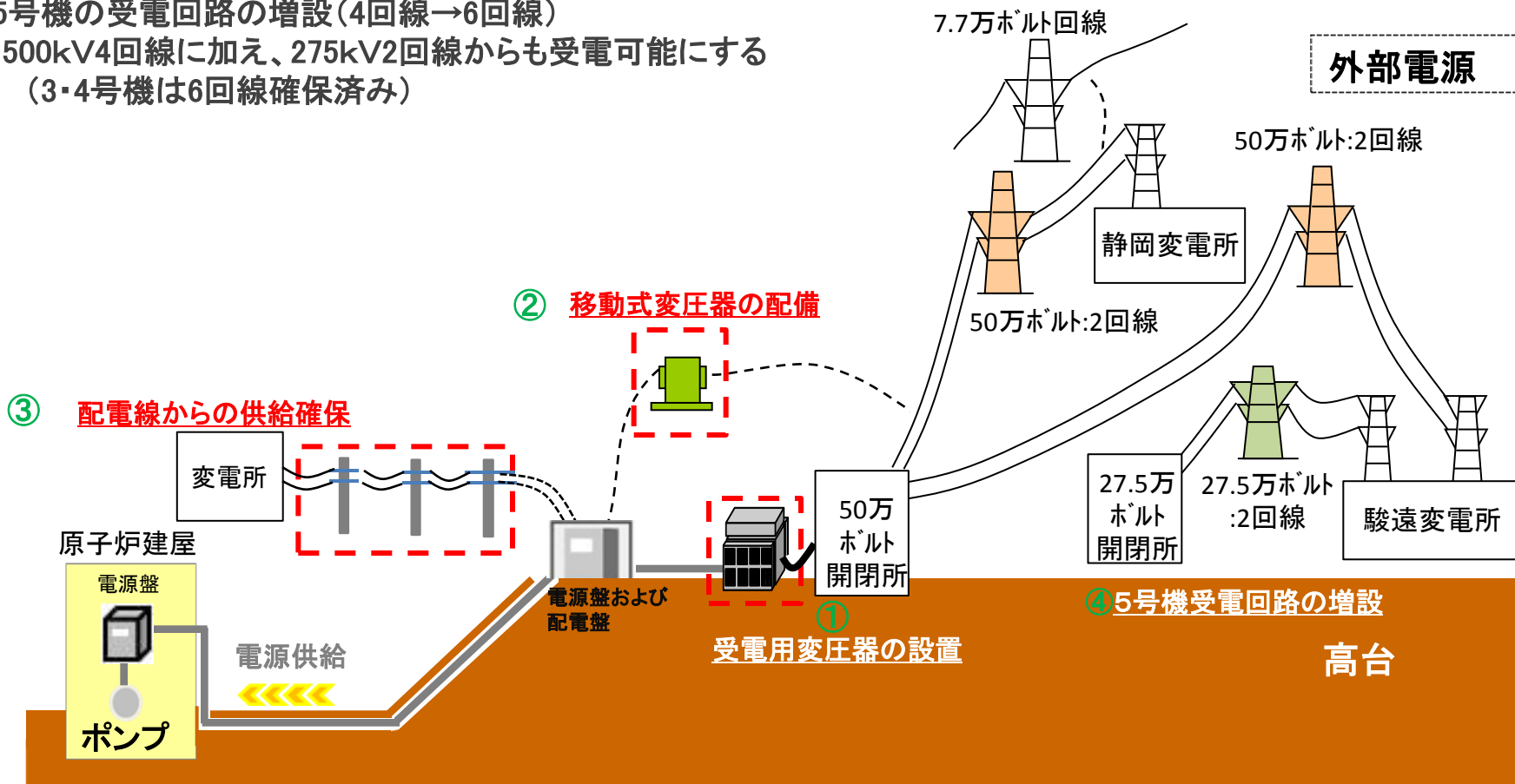
500kVの送電線を使用し、77kVを受電するために移動式変圧器を配備

③ 配電線からの受電ルート強化

発電所構外の一般高圧配電線から非常用母線へ電源を供給するための配電線を敷設

④ 5号機の受電回路の増設 (4回線→6回線)

500kV4回線に加え、275kV2回線からも受電可能にする
(3・4号機は6回線確保済み)

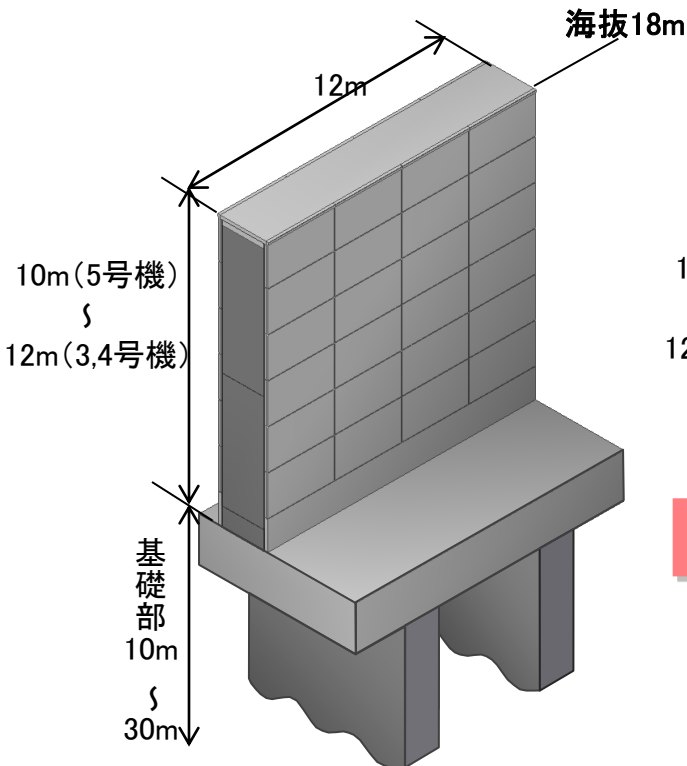


防波壁に作用する波力設計と 水理模型実験について

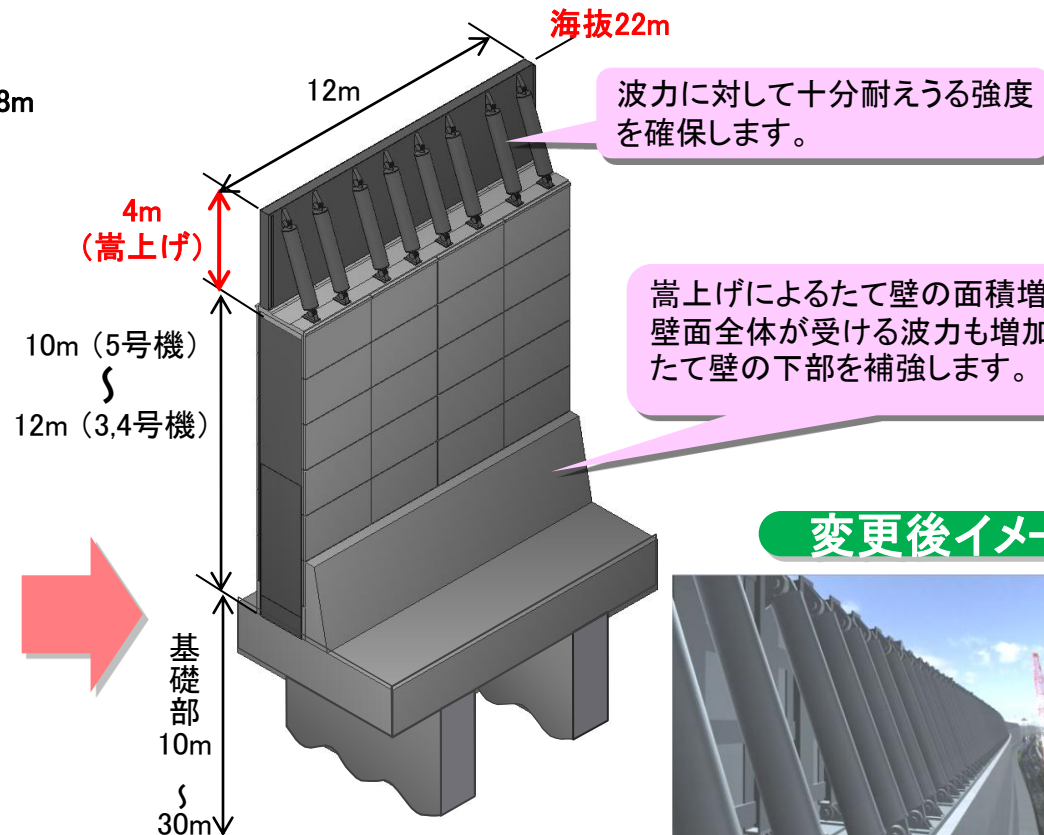
防波壁の嵩上げ

◆敷地内への浸水防止効果を高める観点から、防波壁を現在の海拔18mから海拔22mに嵩上げするとともに、東西盛土を海拔18～20mから海拔22～24mに嵩上げします。

変更前（海拔18m）



変更後（海拔22m）



変更後イメージ



防波壁に作用する津波波力の設定と 防波壁に作用する津波波力に関する水理実験の位置付け

敷地外の津波の数値シミュレーション

防波壁位置の津波水位

防波壁に作用する津波波力
(既存の成果を参照した設定)

防波壁の設計の確認

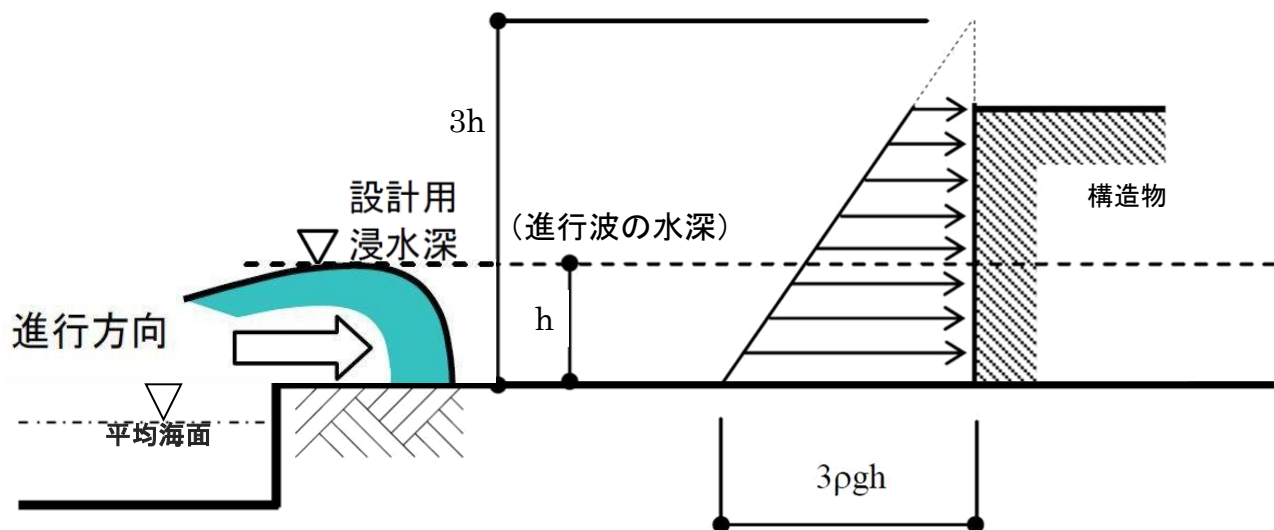
【防波壁に作用する津波波力に関する水理実験】

◆次項の「朝倉らの研究成果」(※)を参照し設定した波力が、
余裕を持った設定であることを実験により確認済

※朝倉ほか(2000),「護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究」

設計用の津波波力の設定の考え方

防波壁は、その前面でせき上がり天端まで達するような津波に、十分余裕を持って耐えるよう設計することとし、その波力は、内閣府の「津波避難ビル等に係るガイドライン」およびここで参考とされている「朝倉らの研究成果」を参照し設定しました。



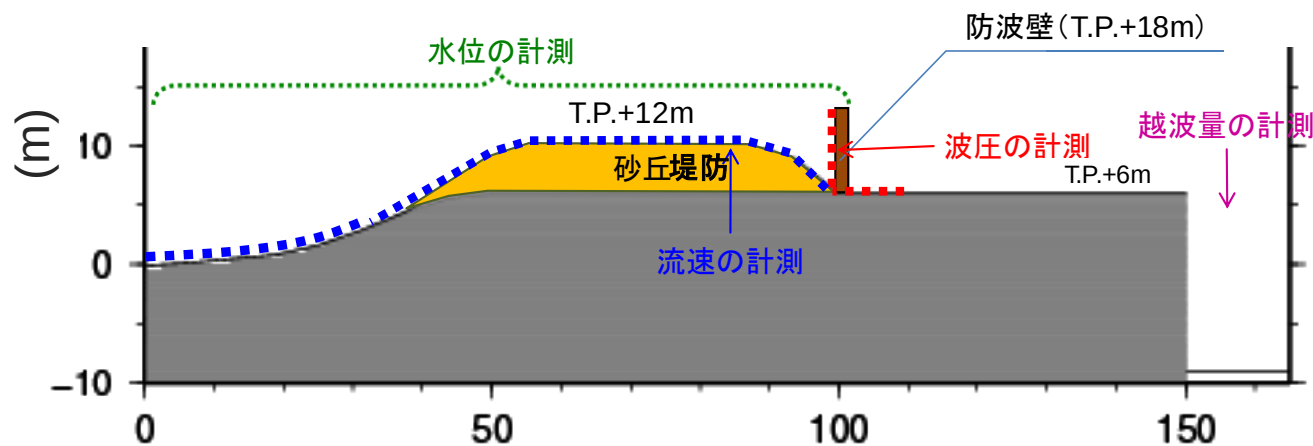
h : 設計用浸水深
 ρ : 水の単位体積重量
 g : 重力加速度
 静水圧: 水が静止した状態の水圧 ($= \rho gh$)

「朝倉らの研究成果」では、構造物にはたらく波力について、構造物がない状態での津波の進行波の水深に対して、その3倍の静水圧分布で評価できるものとしています。

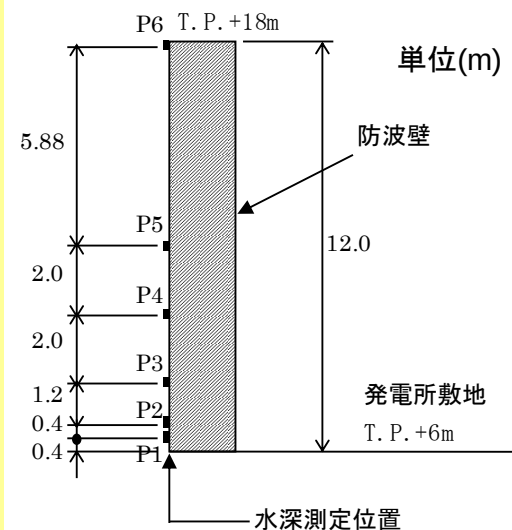
防波壁にはたらく波力については、地上から天端高さ(T.P.+18m→**T.P.+22m**)までの高さの半分に相当する水深の進行波が防波壁で天端までせき上がり、この進行波の水深の3倍に相当する水深の静水圧分布がはたらくものとして設定しました。

防波壁に作用する津波波力に関する水理実験概要

防波壁を越えない津波、防波壁天端程度に達する津波に加えて天端の上を最大5m程度の水深で越流する津波など、津波高さを変えて実験を実施しました。砂丘堤防の有無による違いも実験により確認しました。



実験装置の縮尺は1/40



壁部に作用する波圧を計測し、その波圧分布や波力の時刻歴変化を把握します。

防波壁に作用する津波波力に関する水理実験状況



上流から撮影



下流上部から撮影



防波壁

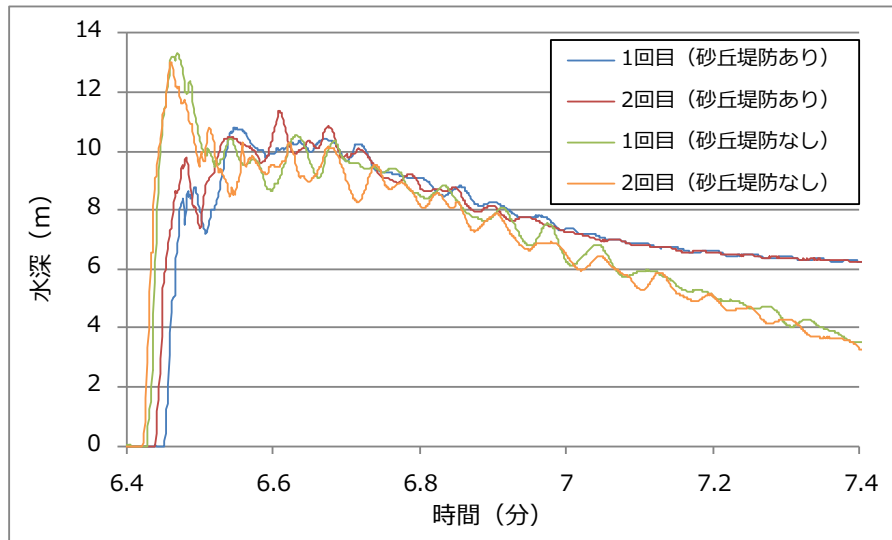
砂丘堤防

(一財)電力中央研究所 大型造波水路

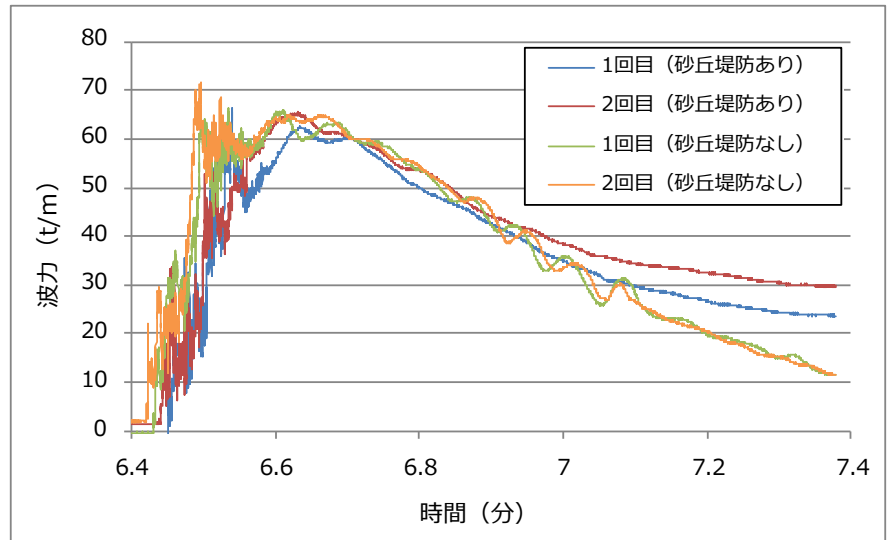
防波壁に作用する津波波力に関する 水理実験の結果概要(1)

■ 防波壁の天端(T.P.+18m)程度に達する津波における防波壁前面での 水深と波力の時刻歴変動 (砂丘堤防ありとなしの場合の比較)

水深



波力



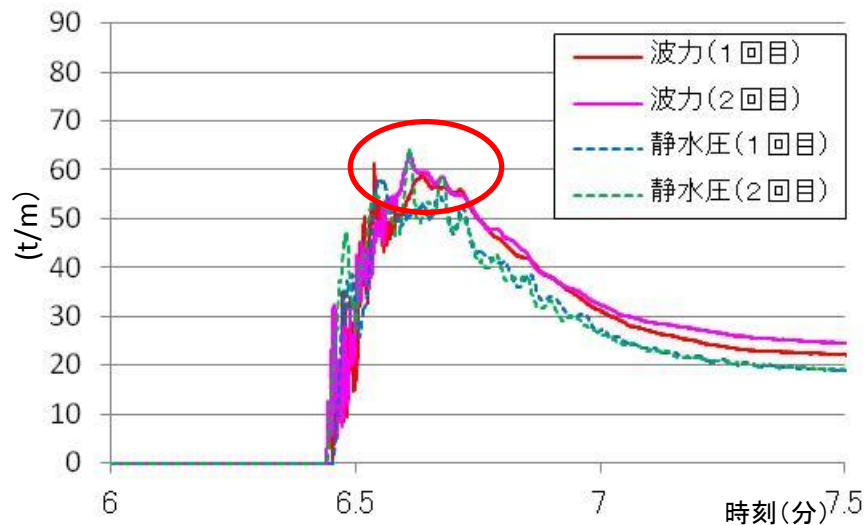
※砂丘堤防あり、なし各々 2回の実験結果を重ねて図示
※波力は、P1～P6で計測された波圧を線形補間し算定

- ・砂丘堤防がない場合には、瞬間的な水位上昇があり多少の越流がありますが、砂丘堤防がある場合には、水位上昇は比較的緩く越流はありません。
- ・津波が到達する直後の大きな波力は、砂丘堤防がない場合にやや大きい場合がありますが、砂丘堤防の有無に関係なく最大波力は概ね同程度です。

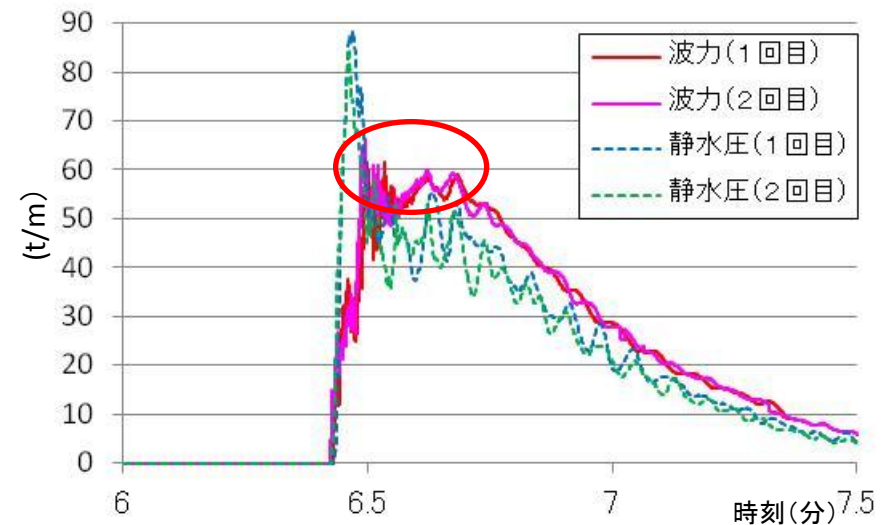
防波壁に作用する津波波力に関する 水理実験の結果概要(2)

■ 防波壁の天端(T.P.+18m)程度に達する津波における防波壁前面での 波力と、水深から算定した静水圧の時刻歴変動

砂丘堤防ありのケース



砂丘堤防なしのケース



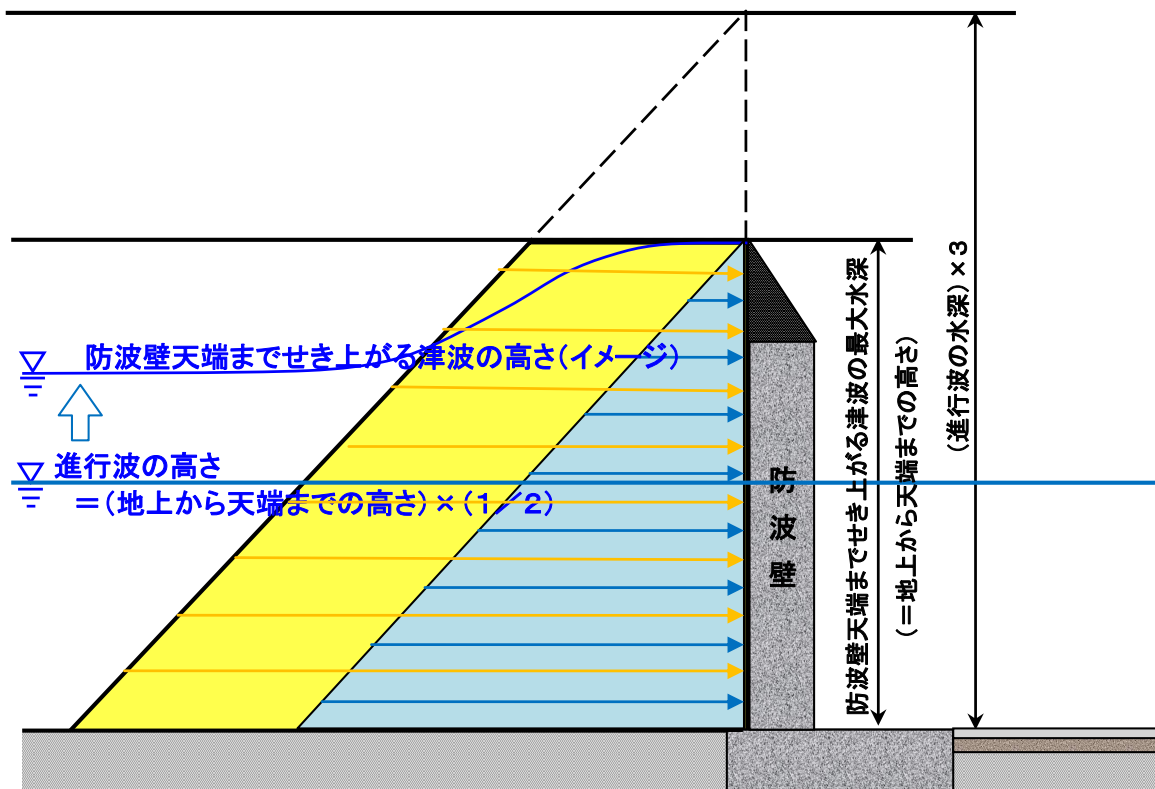
※ 2回の実験結果を重ねて図示

※ 波力は、P1～P6で計測された波圧を線形補間し算定
静水圧は、壁前面における水深から算定

- ・最大波力はその時刻の水深から算定した静水圧に概ね同等。
- ・砂丘堤防なしケースでは津波衝突時に瞬間的に水位が跳ね上がるが、波力としては作用していません。

設計用の津波波力の設定と水理実験結果との関係

(防波壁天端に達する津波の例: イメージ図)

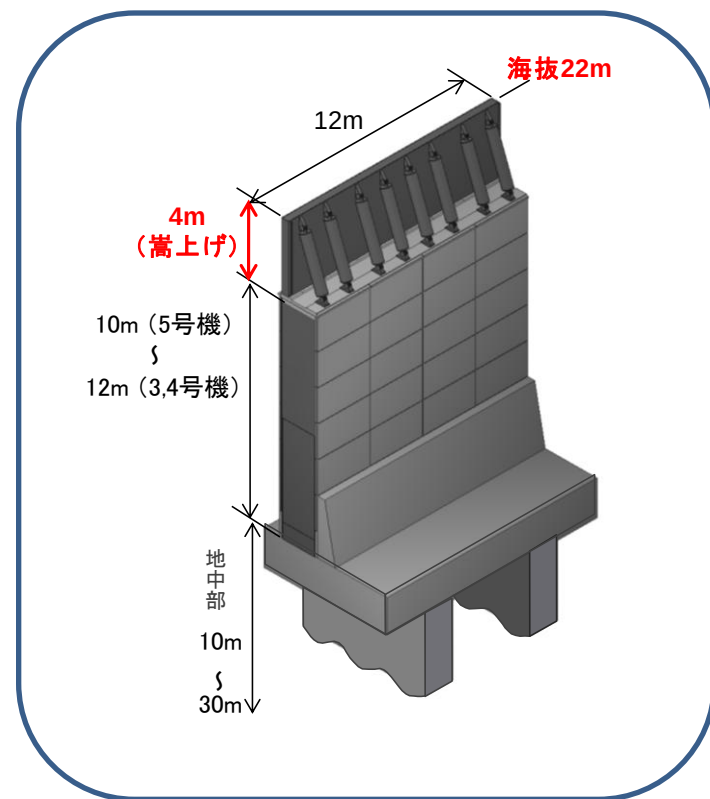
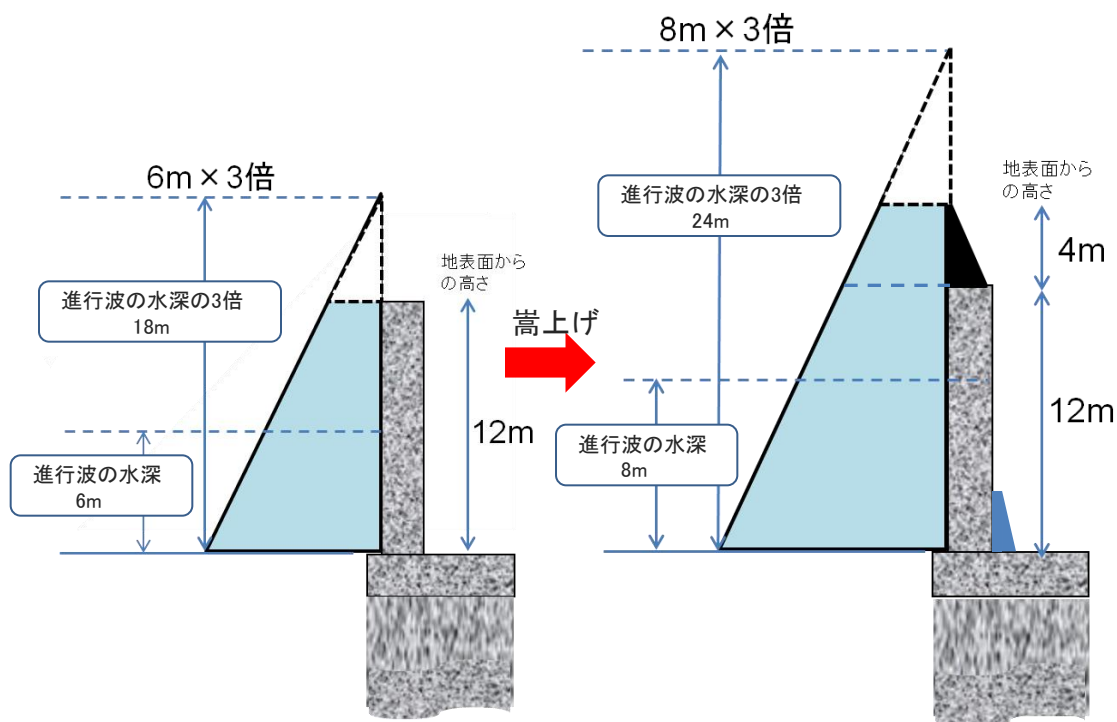


凡 例

-  : 設計において考慮する津波波力の波圧分布 (幅1mあたり約280t/mの波力に相当)
-  : 実験結果から推定される津波波力の波圧分布 (幅1mあたり約140t/mの波力に相当)

「朝倉らの研究成果」を参照した当社の波力設定は、水理実験結果から推定される波圧分布による波力に対して、余裕をもった設定となっています。このことは、防波壁を越流する津波についても同様であることを確認しています。

防波壁嵩上げ時の対応

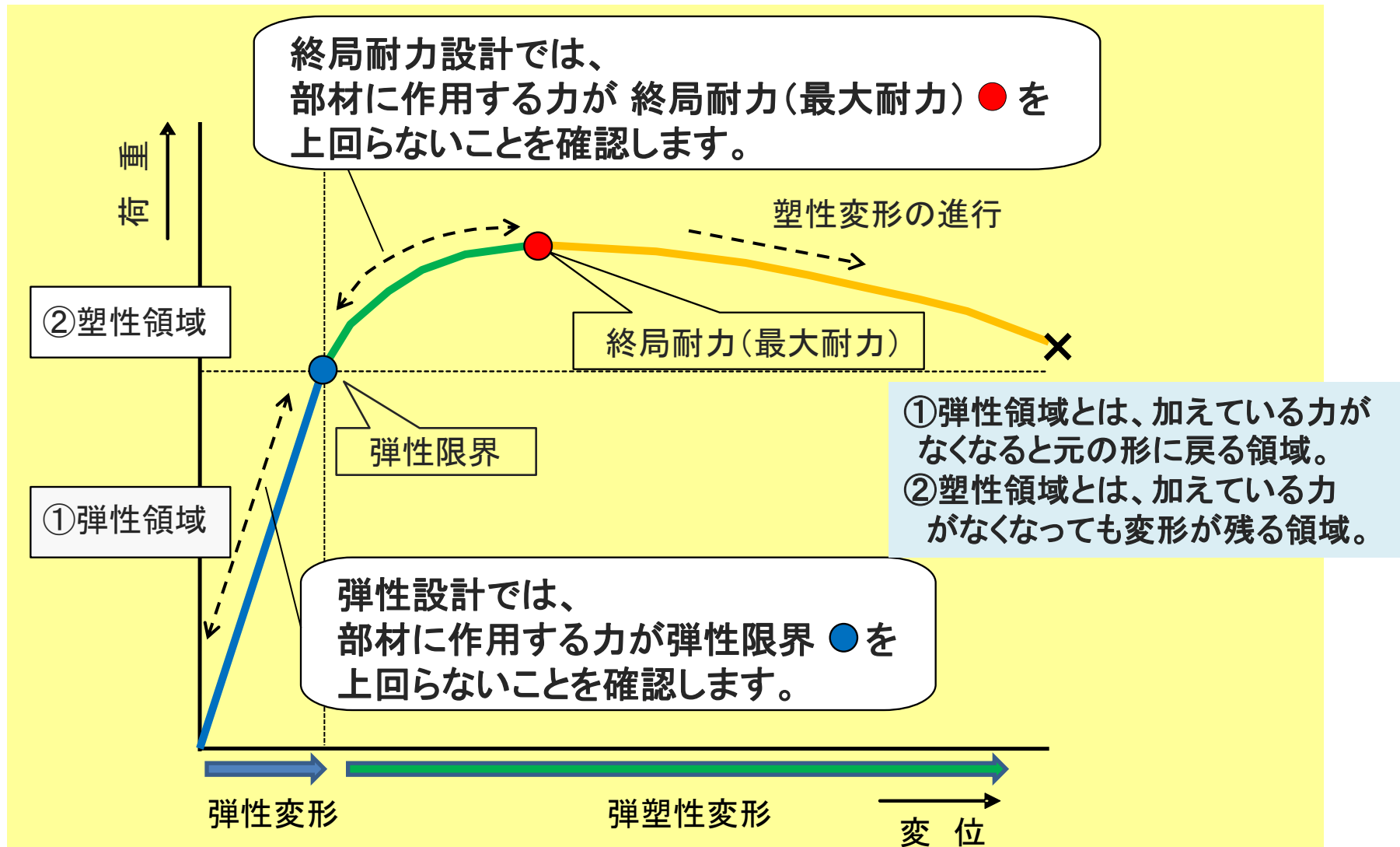


- ・嵩上げによるたて壁の面積増加に伴って壁面全体が受ける波力も増加するため、たて壁の下部を補強します。
- ・嵩上げ部は、比較的小さな波力となり、それに対して十分耐える構造とします。

- ①設計外力〔壁の天端高さ(T. P. +18→22m)に達する津波に相当する波力〕に対して、津波の浸入を防ぐため、防波壁は一時的にわずかに変形しても元の形状に戻ること
→具体的な設計として、作用する力が弾性限界を上回らないことを確認します。(弾性設計)

- ②設計外力を超える入力〔天端を越流する津波(T. P. +25mに達する津波)に相当する波力〕に対しても、津波の越流量を抑制するため、過度な変形が生じないこと
→具体的な設計として、作用する力が終局耐力を上回らないことを確認します。(終局耐力設計)

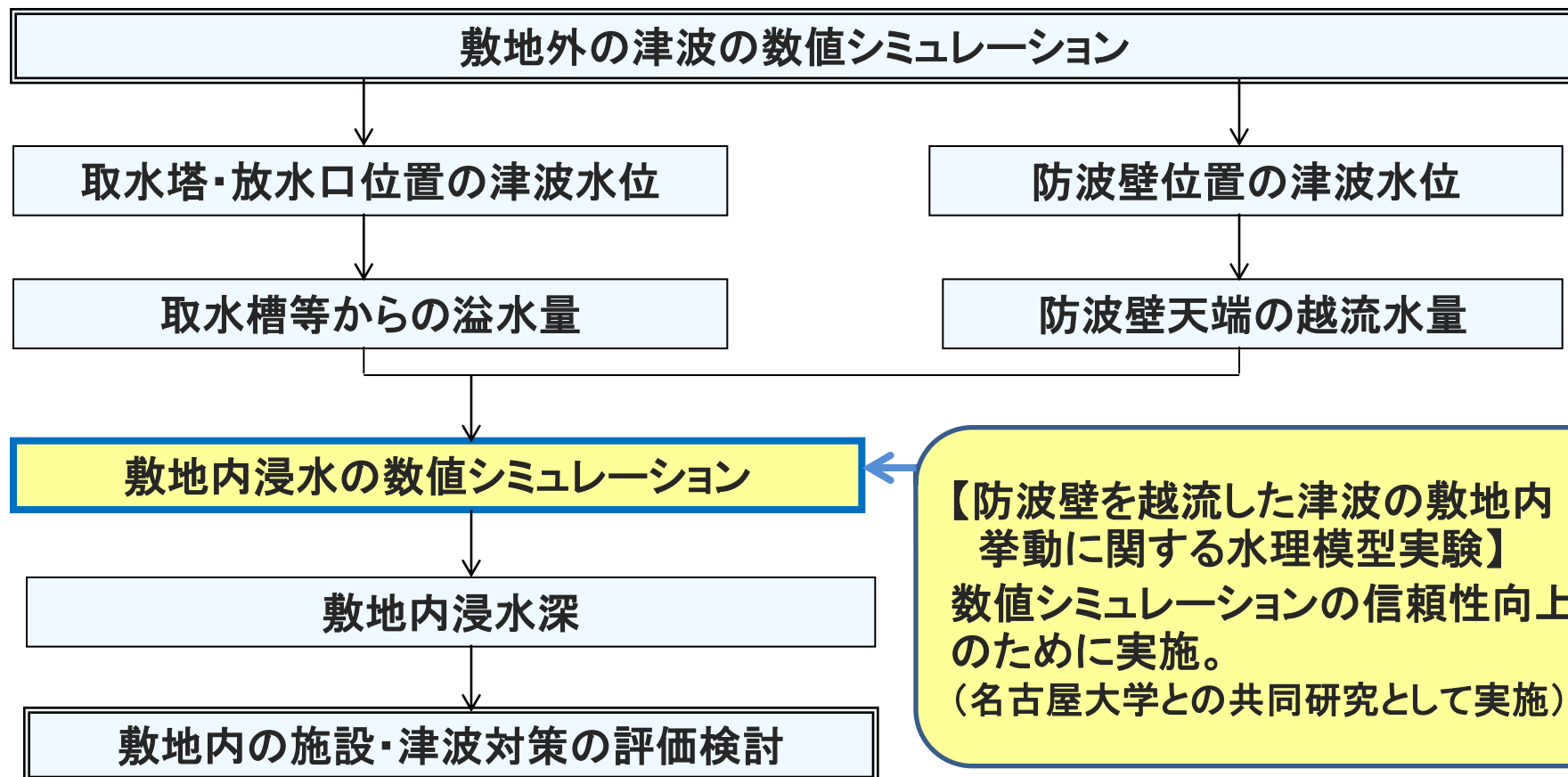
弾性設計と終局耐力設計 (イメージ図)



部材の荷重－変位関係の模式図

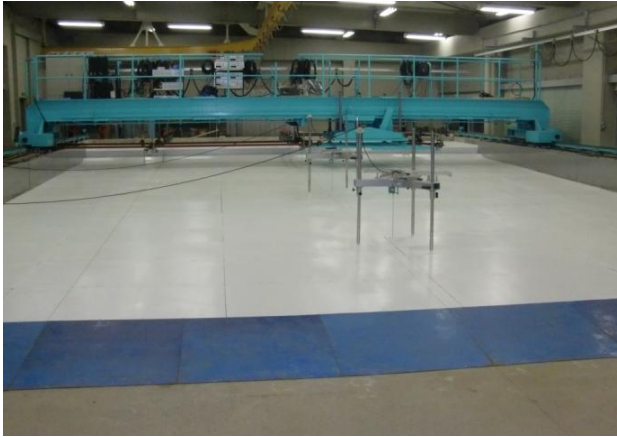
防波壁を越流した津波の敷地内挙動に関する 水理模型実験について

敷地内浸水の数値シミュレーションの信頼性向上

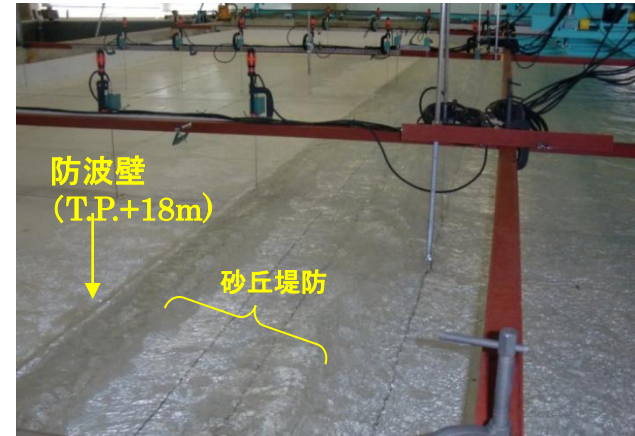


防波壁を越流した津波の敷地内挙動 に関する水理模型実験(状況)

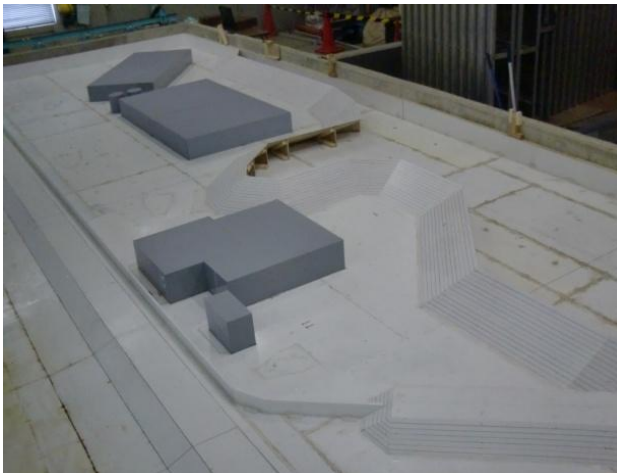
水理模型実験によるデータ収集を完了し、現在、数値シミュレーションによる解析的検討を実施しています。今後、その結果をもとに数値シミュレーションの信頼性向上を図っていきます。



実験模型全景(沖合より撮影)



防波壁越流状況(防波壁・砂丘堤防のみ設置)

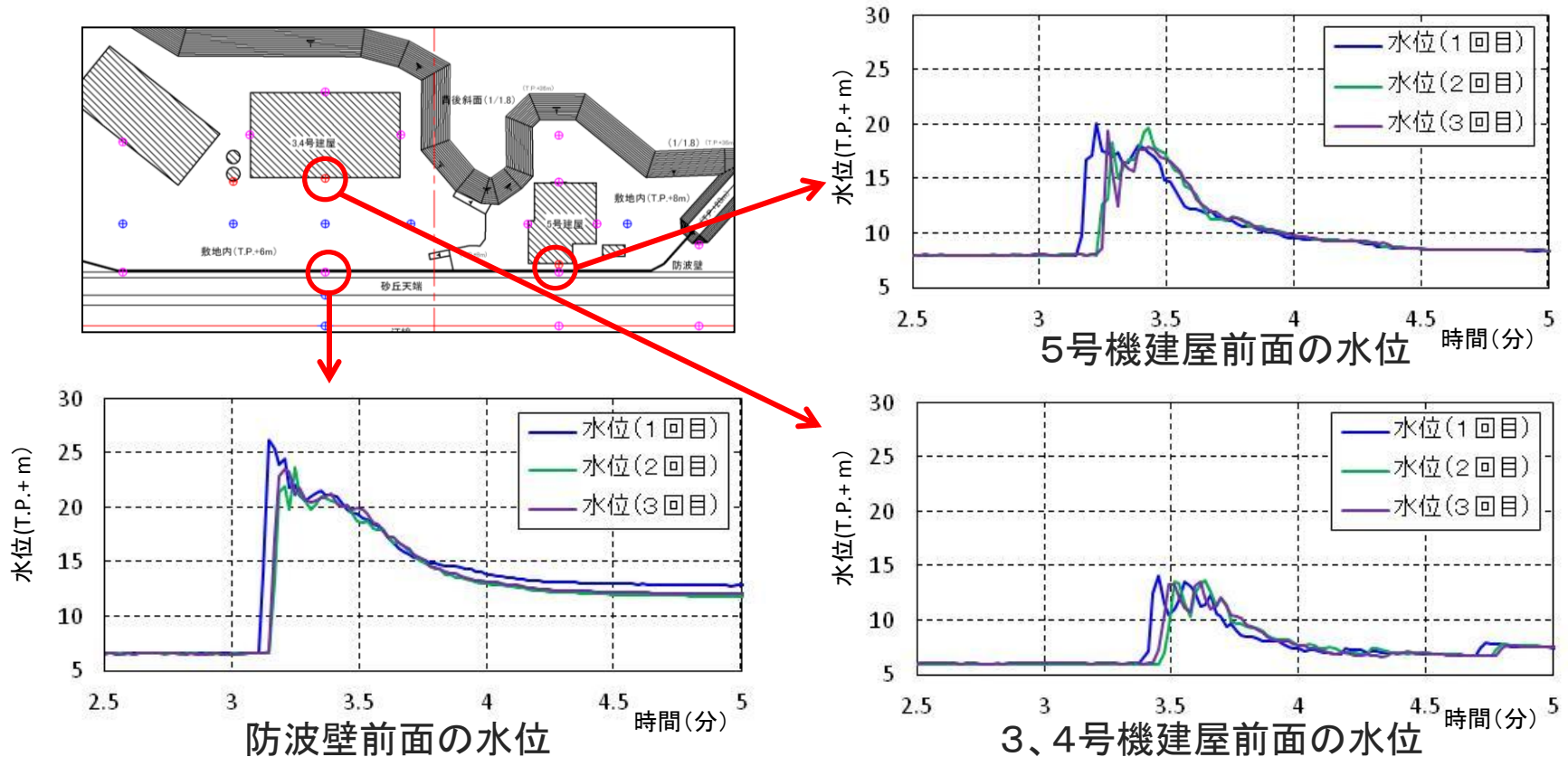


模型状況(陸域・東側より撮影)



模型状況(陸域・西側より撮影)

■ 防波壁 (T.P.+18m) を越流水深5~6mで越流する津波における 防波壁と建屋前面の水位の時刻歴変動

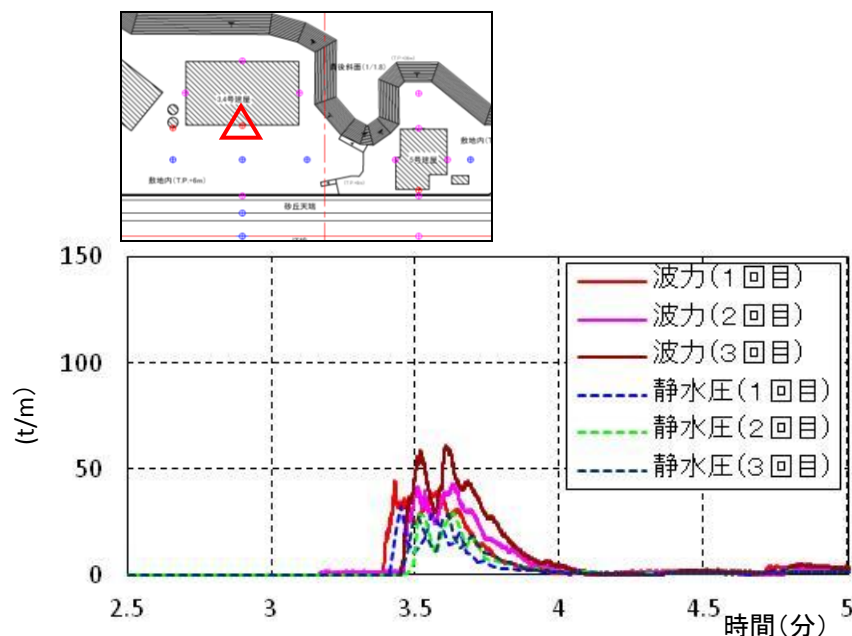


※ 3回の実験結果を重ねて図示

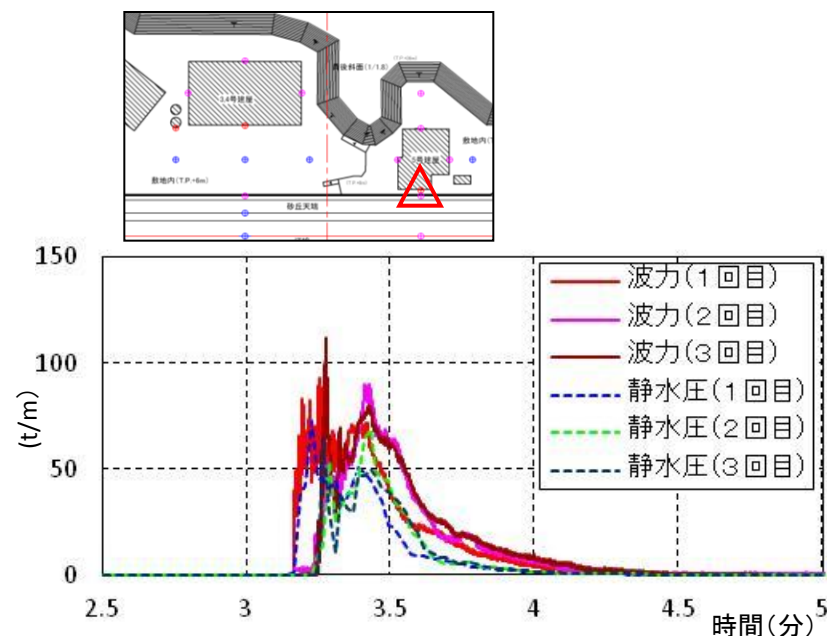
- ・防波壁の越流抑制効果により、敷地内の水位は防波壁前面より低くなります。
- ・5号機建屋前面の水位は、3、4号機建屋前面よりも高くなっています。これは5号機建屋が防波壁に近い位置にあることや、防波壁と建屋の間のスペースが狭く水が抜けにくいことによる影響があると考えられます。

津波の敷地内挙動に関する水理実験の結果概要(2)

■ 防波壁(T.P.+18m)を越流水深5~6mで越流する津波における 建屋前面に作用する波力と静水圧の時刻歴変動



3、4号機建屋前面の波力と静水圧



5号機建屋前面の波力と静水圧

※ 3回の実験結果を重ねて図示

※ 波力は、建屋前面で計測された波圧を線形補間し算定
静水圧は、建屋前面における水深から算定

- ・ 建屋に作用する波力はほとんどの時刻で静水圧を上回っています。これは津波の建屋衝突後も生じている後方からの流れの影響が考えられます。
- ・ 5号機建屋前面の波力は、水位と同様、3、4号機建屋前面よりも大きくなっています。

津波対策工事の概要

■防波壁の設置計画

防波壁を設置し、津波が発電所敷地内に直接浸入することを防ぎます。

また、津波の局所的な集中を防ぐため、砂丘堤防の高さを海拔12m以上確保するよう嵩上げします。
(嵩上げ工事は、平成24年10月4日に完了)



◆ 海拔22mたて壁長さ

● 一般部

約1,300m

● 西側端部

約170m

● 放水路部

約130m

● 全長約1.6km

● 平成24年12月21日に、放水路部のコンクリート打設工事が終了し、海拔18mのたて壁が、1.6kmに亘って立ち並びました。

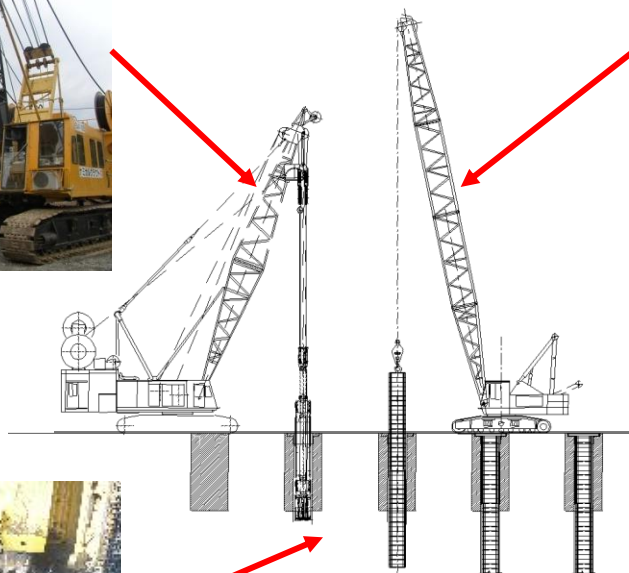
《基礎部構築》・・・特殊な形状部分を除いた218箇所について、
平成24年6月16日に工事完了

- ①基礎部掘削
- ②掘削部に鉄筋建て込み
- ③コンクリート打設



掘削機

(防波壁基礎部構造イメージ)



基礎部掘削作業

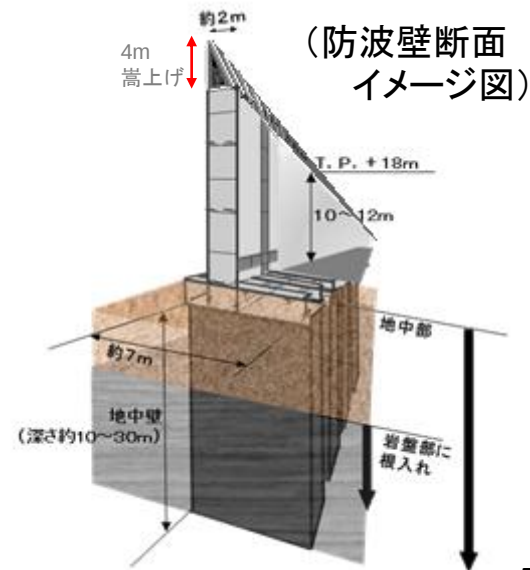
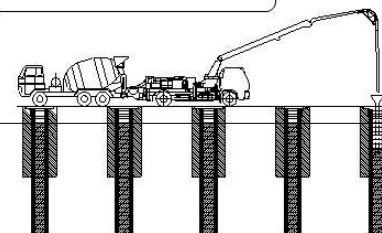


鉄筋建て込み作業



コンクリート打設作業

コンクリートポンプ車



波力に対して十分耐える強度を確保したうえで、地震時の影響を緩和する構造

海拔 22 m

12m

嵩上げ
4m

たて壁

床版

15個のピース(床版5ピース・たて壁10ピース)を約14,000本のボルトで組み立てます

14~16m

補強コンクリートで嵩上げに伴う荷重の増加による影響を緩和

海拔 6 ~ 8 m

7m

6m

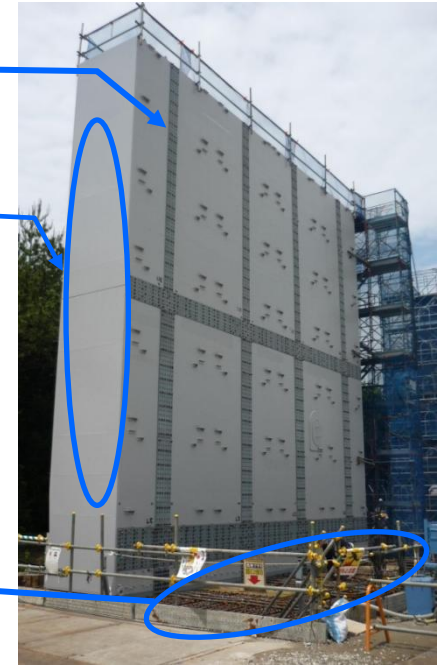
1ブロック(長さ12m)の完成図

たて壁の表面には、腐食防止のためのコンクリートパネルを設置します。

各ブロック間の隙間(3cm程度:鋼材の膨張等を考慮)には目地材を充填します。



床版組立の様子



たて壁組立の様子



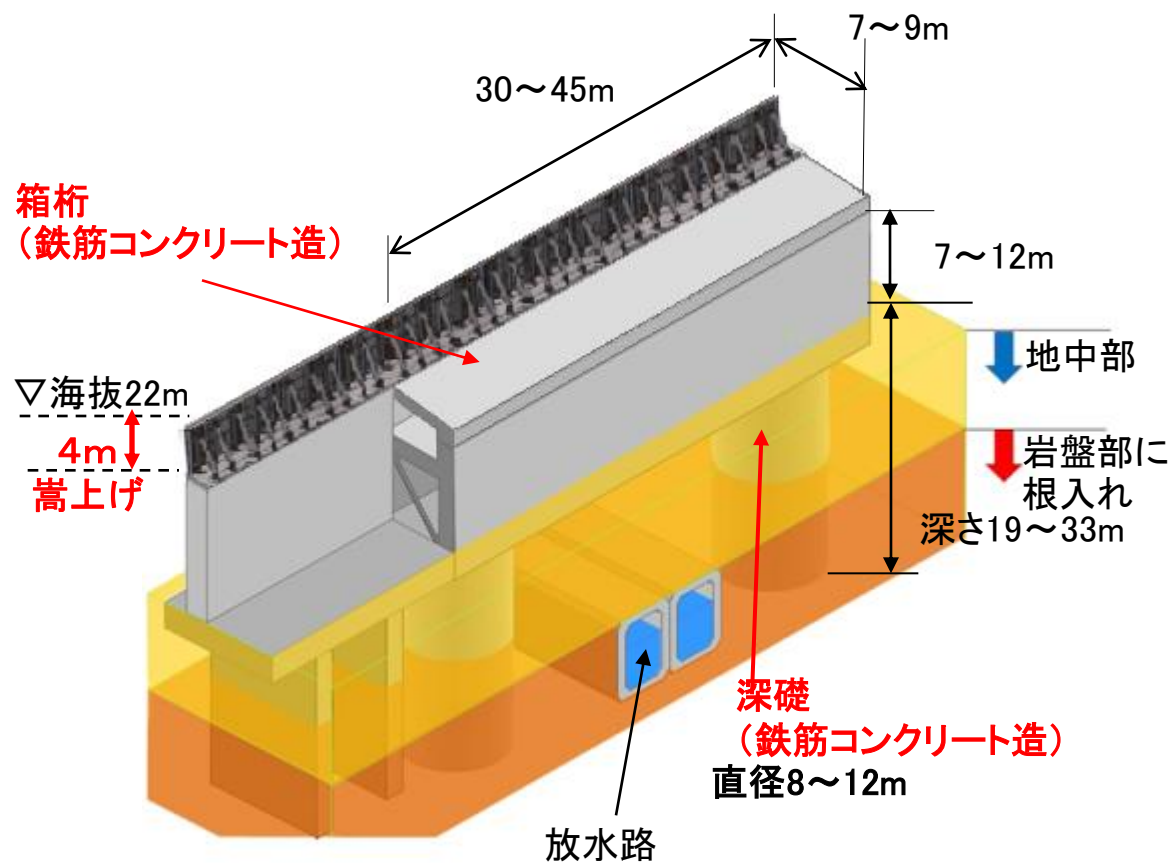
たて壁の設置工事状況

◆たて壁の進捗状況(海拔18m)

- 109箇所の据付終了(平成24年11月19日)
- 現在、錆止め等の付帯工事を実施中。

●「1～5号機の放水路部(4箇所)」について

◆既存の放水路との干渉を避けるため、基礎部の間隔を一般部の地中壁の設置間隔(6m)以上に広くする必要があり、基礎部1箇所あたりで支える荷重が大きくなるため、その荷重に耐えられる構造(深礎)としています。



【深礎工事の流れ】

掘削



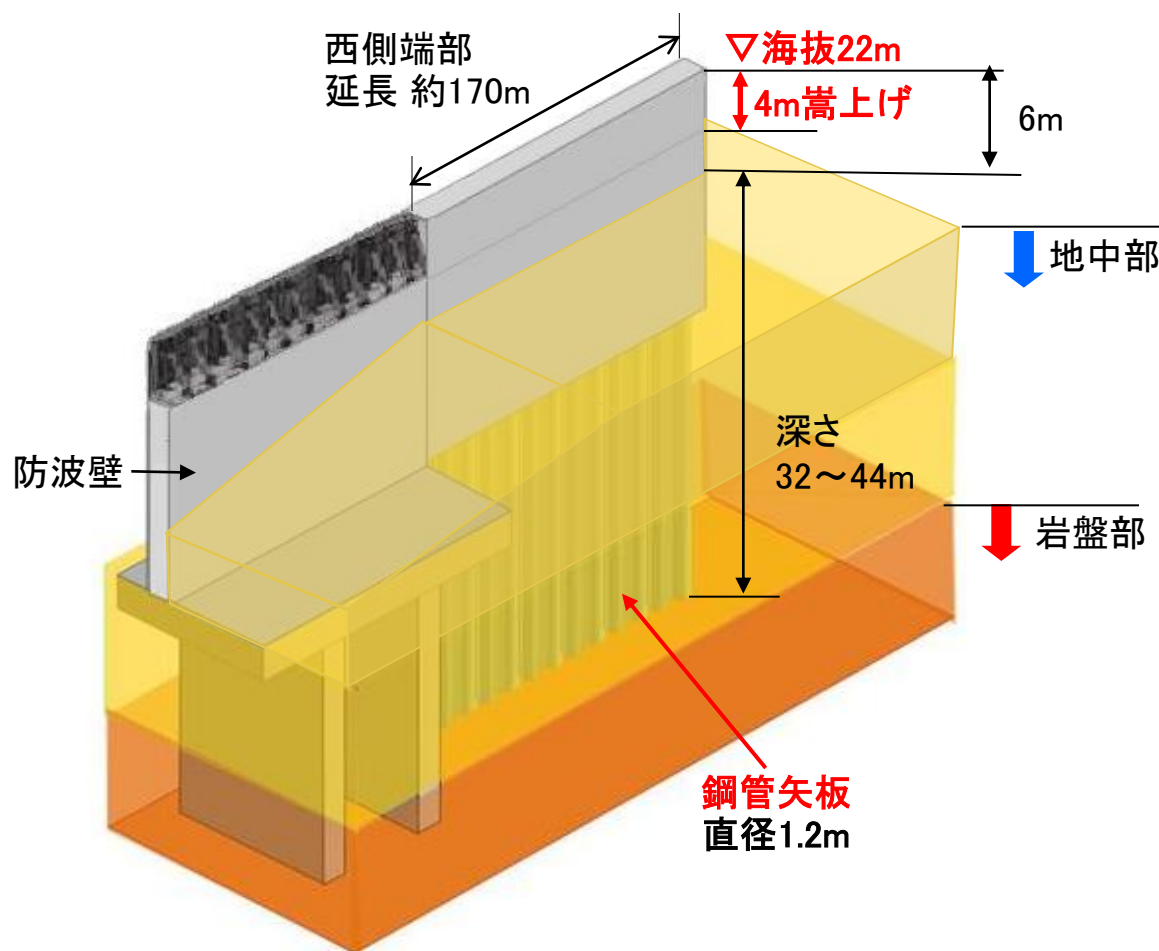
基礎部



基礎部完了

●「西側端部」の構造について

◆敷地西側端部については、設置地盤を海拔16mに整地し、防波壁の壁部高さが6mとなり、一般部(壁部高さ14～16m)に比べて、波力が小さくなるため、鋼管矢板を用いた構造としています。



鋼管矢板の
打ち込み後



鋼管矢板工事
完了後の鉄筋
コンクリート
打設工事



鉄筋コンクリート
打設工事完了
後の状況

- 津波発生時には、取水槽など海につながっている箇所から敷地内に水が溢れ、原子炉施設の冷却に必要な海水取水ポンプが浸水し、停止することのないよう、海水取水ポンプの周囲に高さ1.5mの防水壁を設置します。



防水壁設置前

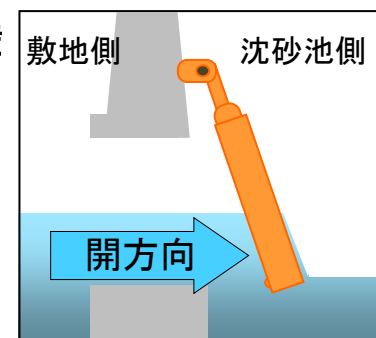
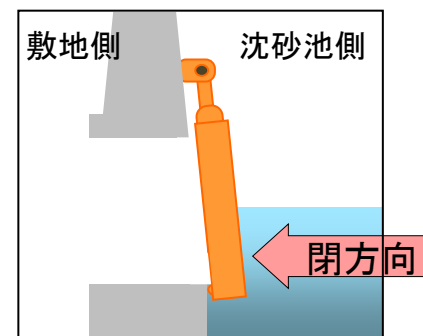
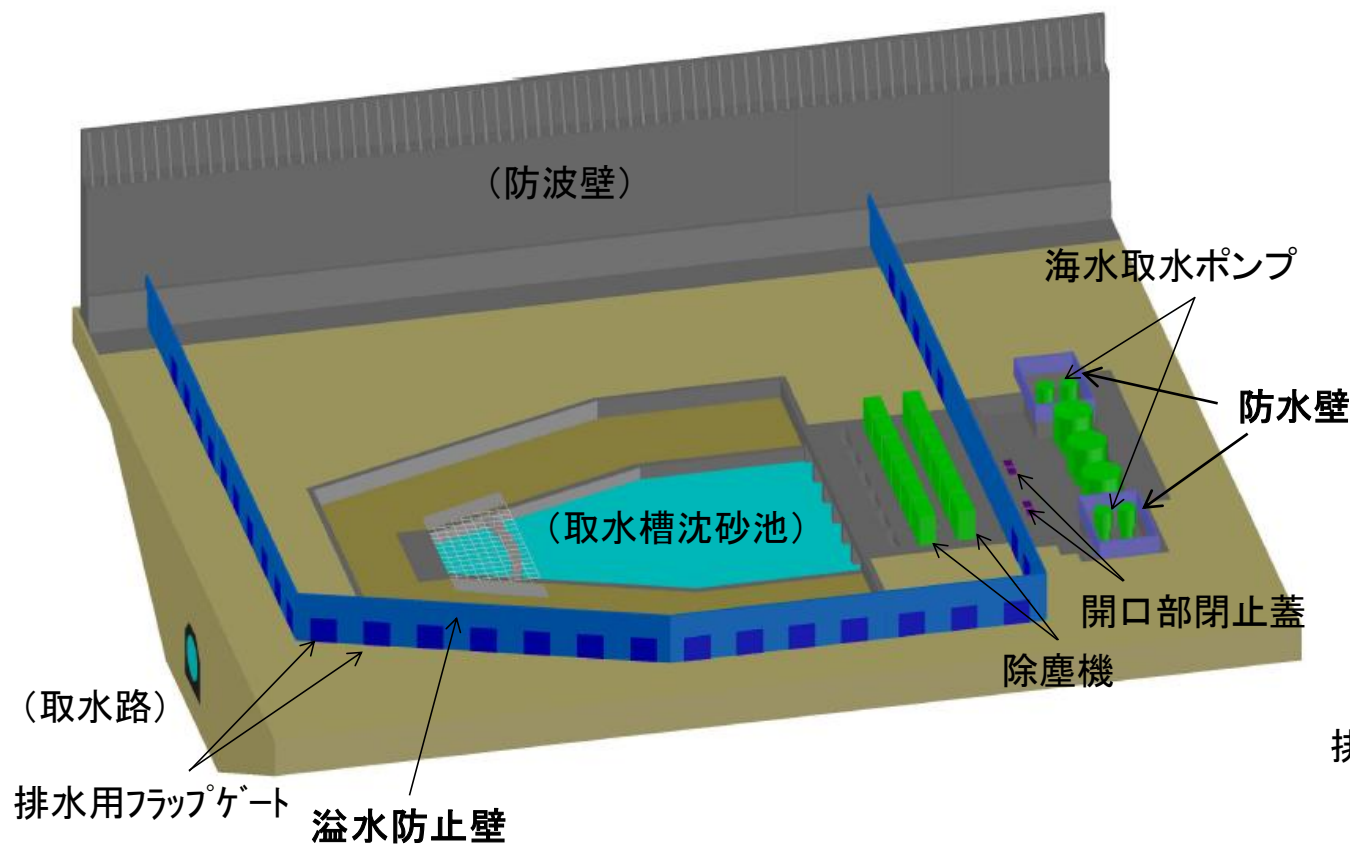


防水壁設置後

4号機海水取水ポンプ(A)系エリア

■津波による取水槽からの溢水を防ぐため、3～5号機の取水槽の周囲に溢水防止壁を設けます。

なお、万一、津波が防波壁を越流し敷地が浸水した場合の排水機能を維持するため、溢水防止壁には、排水用フラップゲートを設けます。



排水用フラップゲートの原理

緊急時海水取水設備の設置

- ◆既設の海水冷却設備のバックアップとして緊急時海水取水設備(EWS)を3～5号機にそれぞれ新たに設置
- ◆EWSポンプは、防水構造の建屋内に設置
- ◆EWSは、2～5号機取水槽連絡トンネルと接続し、取水源を多重化



EWSポンプ(4号機)

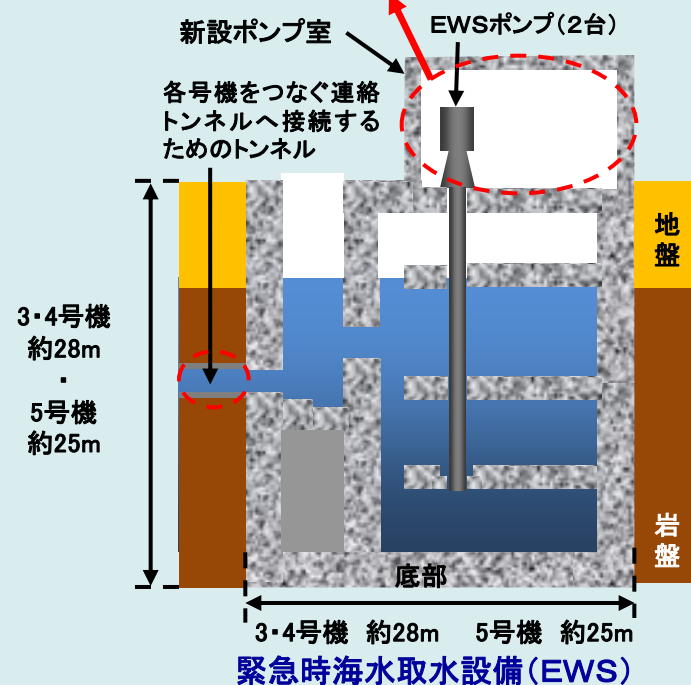
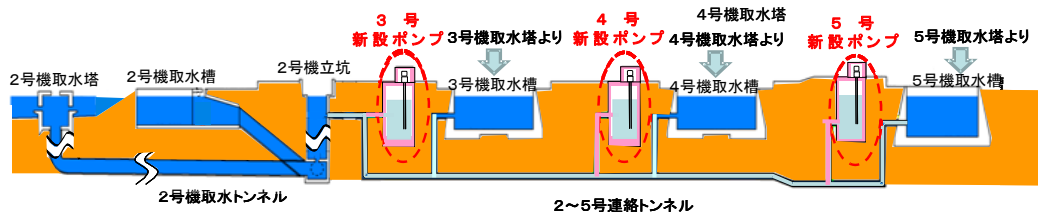
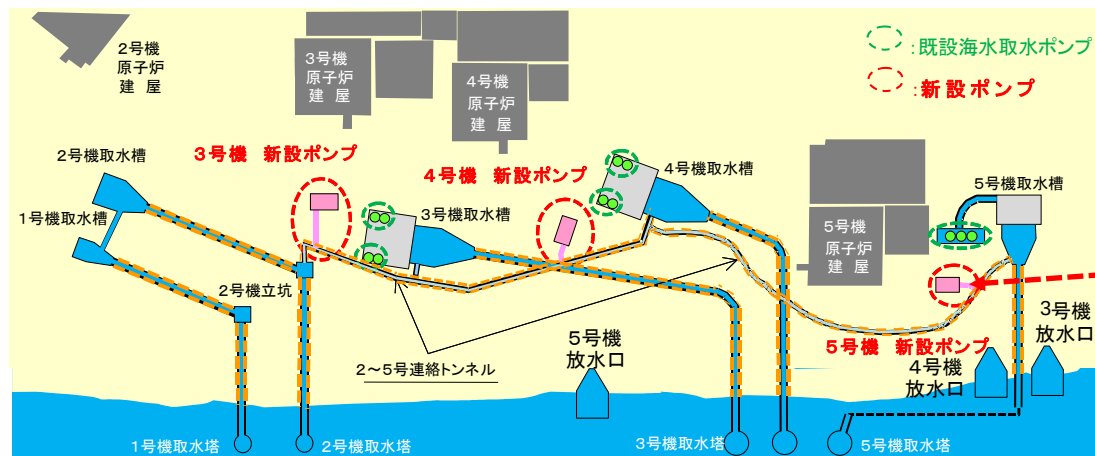


EWSポンプ室(3号機)

浸水防止対策2

＜設置工事業況＞

- 3～5号機
- ・地下水槽コンクリート打設完了
- ・ポンプ据付工事完了
- ・ポンプ室配管工事实施中
- 3・4号機
- ・地下水槽取水完了



建屋内への浸水防止対策

- ◆ 建屋外壁扉の信頼性強化(強化扉・水密扉)や建屋内への水密扉の追加設置・補強を実施中
(工事箇所: 約200箇所) (完了箇所数は平成25年4月13日現在)

建屋外壁の防水構造扉の信頼性強化(57箇所完了)



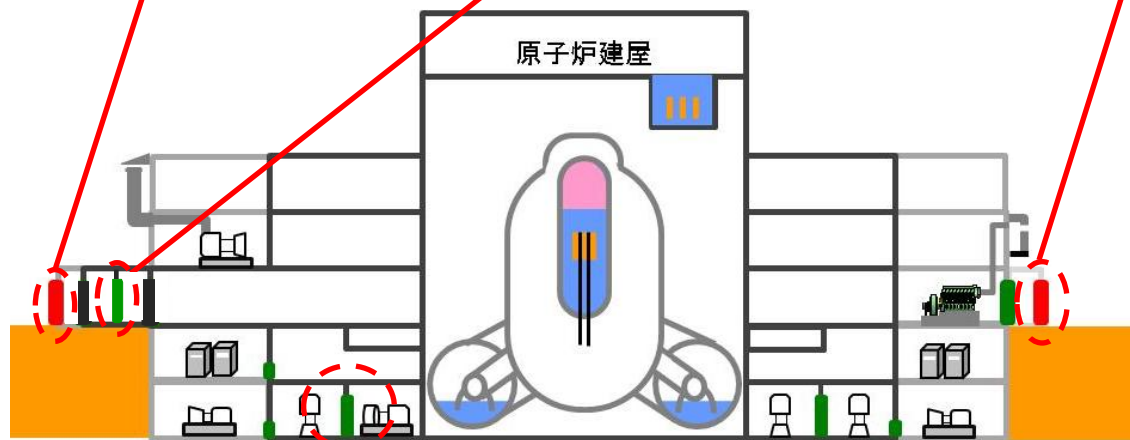
原子炉建屋大物搬入口
(外側)強化扉設置状況(3号機の例)



原子炉建屋大物搬入口
(内部)水密扉設置状況(3号機の例)



強化扉の設置工事の状況
追設(4号機の例)



建屋内への水密扉の追加設置、補強 (100箇所完了)



取替前



取替後

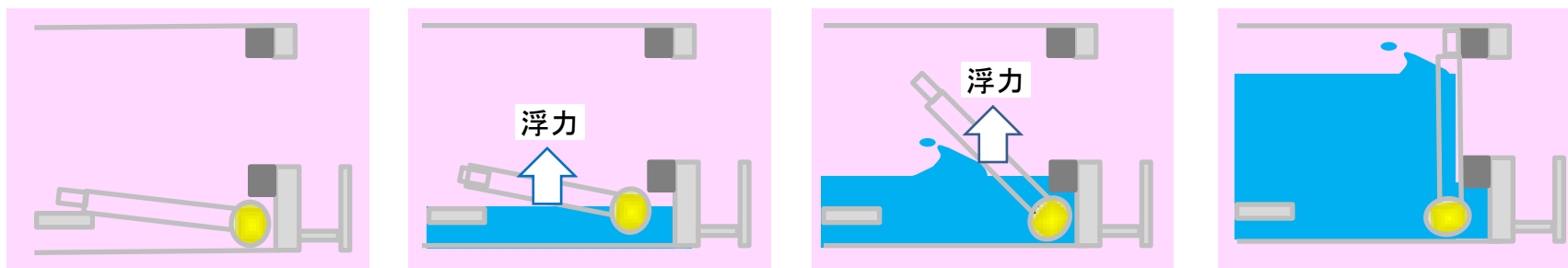
機器室内の水密扉取替状況(3号機の例)

◆今回の津波シミュレーションの結果、5号機の建屋周辺の最大浸水水位は3、4号機よりも5m程度高い結果となったことから、5号機の高所の建屋開口部に、自動閉止装置を新たに設置いたします。

建屋開口部自動閉止装置のイメージ

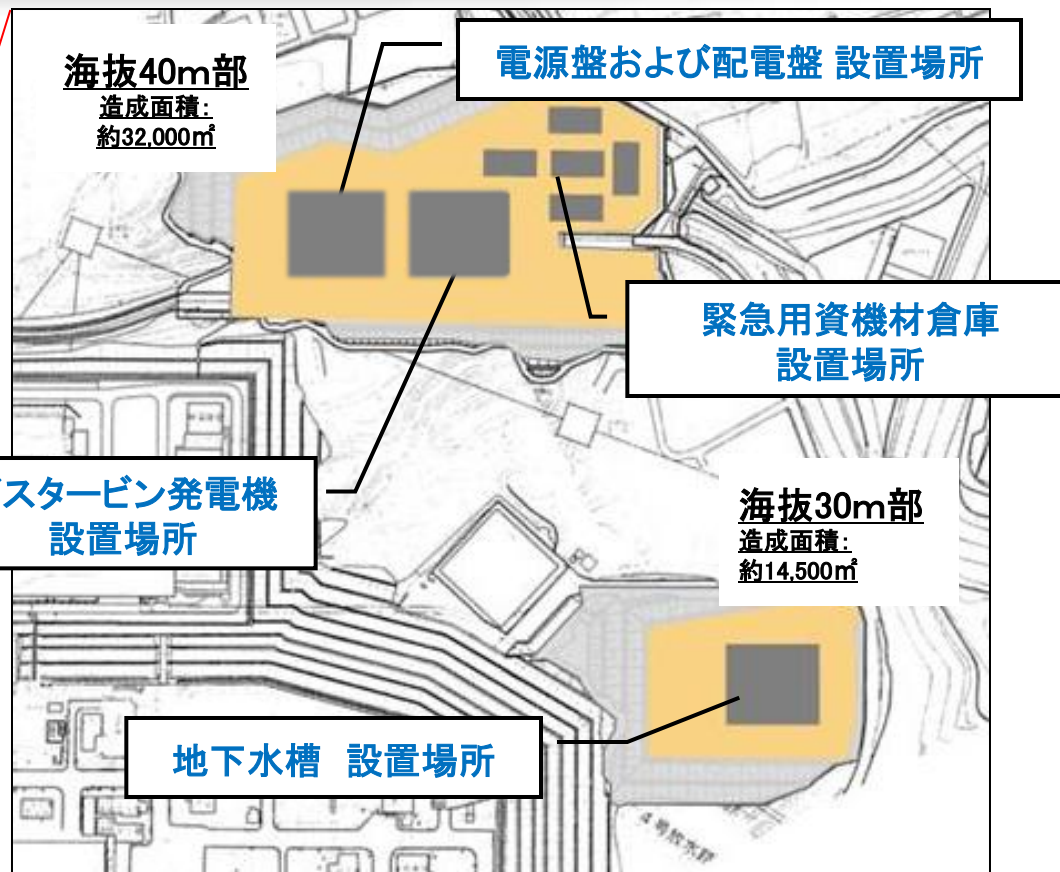


自動開閉装置の動作イメージ



- ① 海拔40m部
敷地造成工事が完了し、
ガスタービン発電機および
電源盤・配電盤等を設置する
建屋の工事を進めています。
- ② 海拔30m部
敷地造成工事が完了し、
地下水槽を設置する工事を
進めています。

< 浜岡原子力発電所敷地概略図 >

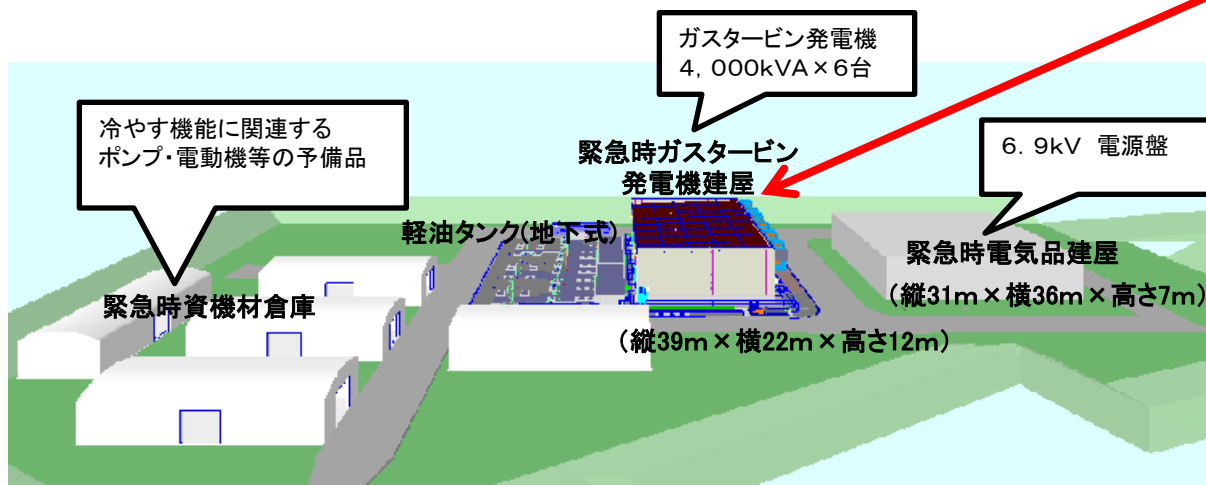


< 断面概略図 >

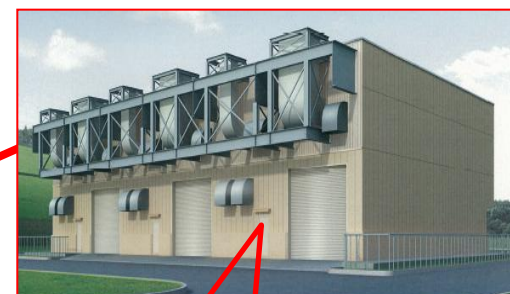




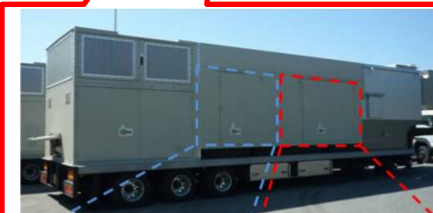
平成25年4月22日撮影



●高台設備完成イメージ(海拔40m、造成面積:約32,000m²)



緊急時ガスタービン
発電機建屋
＜免震構造＞



発電機

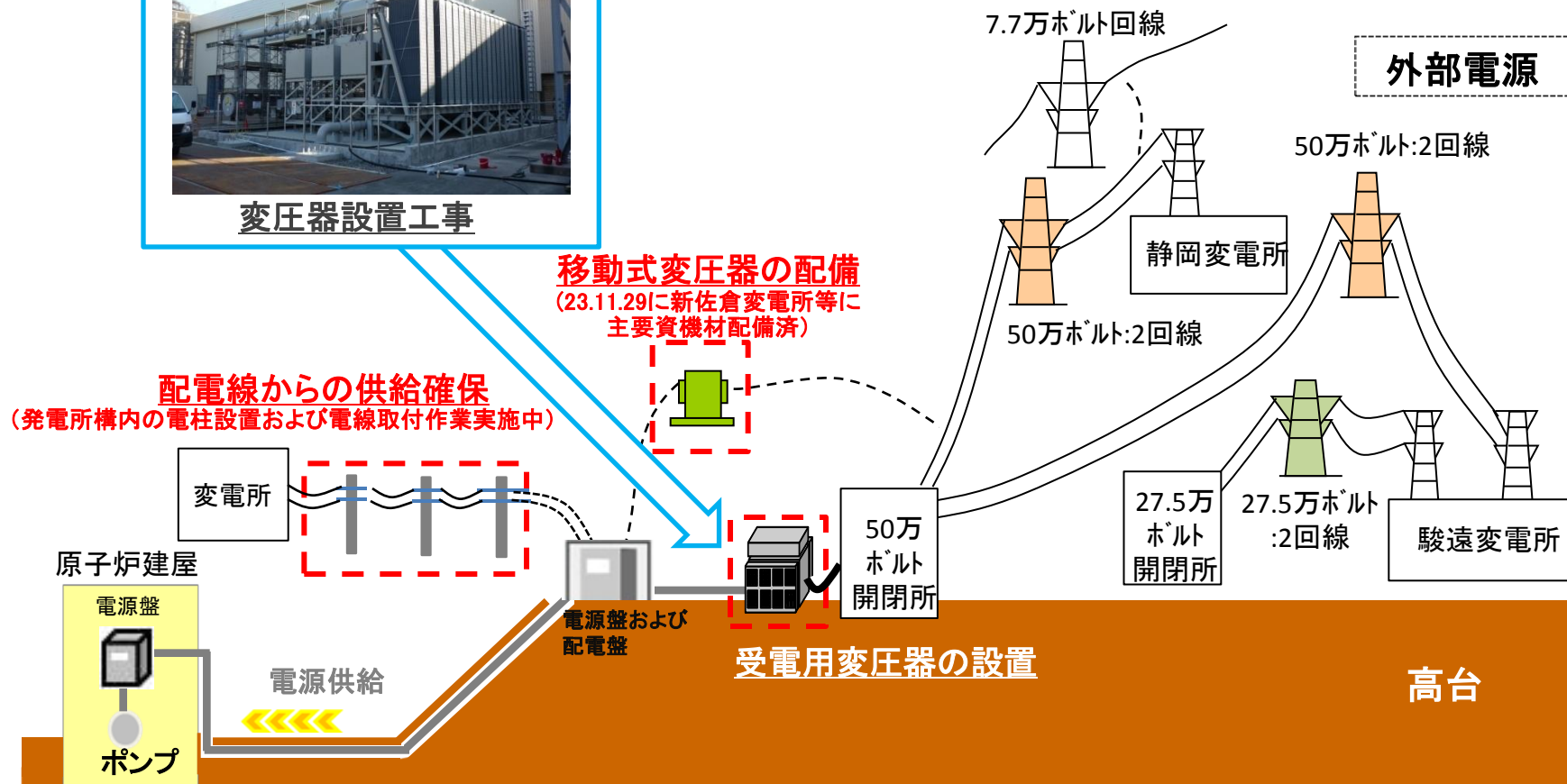
ガスタービン

■受電用変圧器の高台への設置工事の進捗状況

◆平成24年9月5日に受電用変圧器を搬入、平成24年12月 26日に設置工事が終了しました。



変圧器設置工事



津波監視の取組について

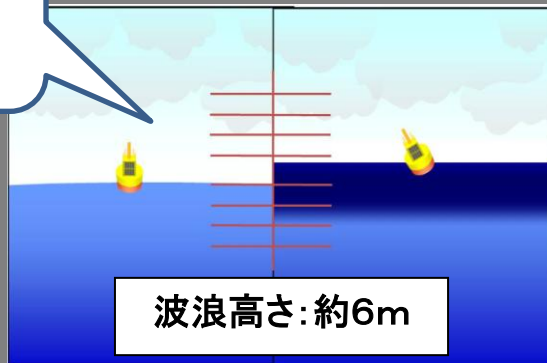
●津波監視技術組み合わせによるシステムのイメージ

レーダー（電波）による
津波監視データ



高感度カメラ画像

高感度カメラにより、沖合
の津波襲来状況を観測



波浪高さ: 約6m

GPS波浪計データ

ブイの上下変動を計測し、
波浪や潮位を観測



沖合に設置したG
PS波浪計のイメージ



津波到達予想時刻

23:56

震源: 駿河湾

震度: 6強

地震発生時刻

23:34

●複数の津波観測データを組み合わせてひとつの画像で表示し、直感的かつ定量的に津波襲来を把握できるシステムの構築を目指してまいります。

●レーダーによる津波監視方法

- ・レーダーを用いて発電所前面海域における海表面の流速を観測し、津波襲来に伴う沖合の流速変化の検知が可能であるかの検証をおこないます。
- ・今回設置したレーダーは、VHF帯(周波数30MHz～300MHz)の電波を用い、沖合約20km程度まで観測が可能です。

●観測開始日

平成25年3月5日



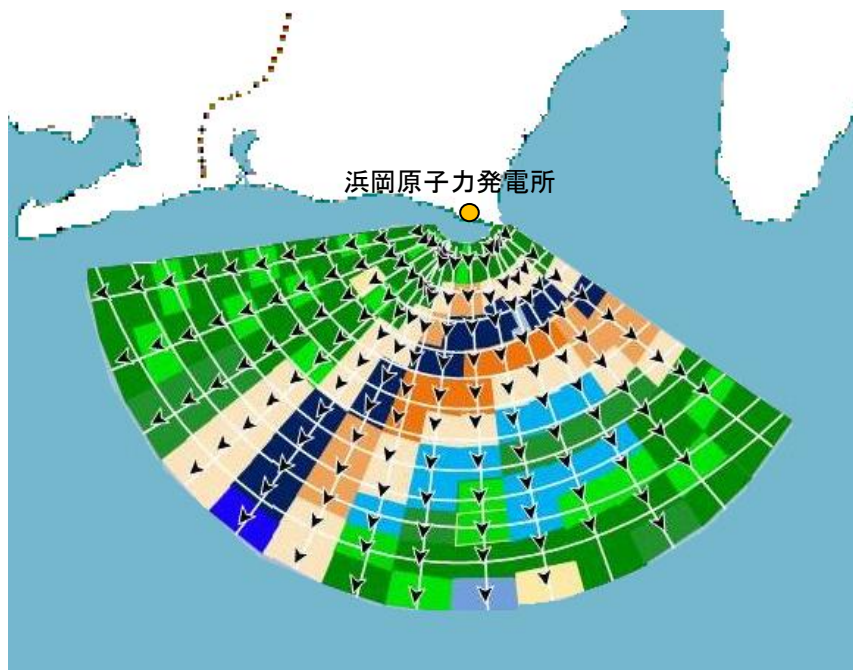
VHFレーダーの設置場所及び観測範囲



設置したVHFレーダーのアンテナおよび観測所

設置場所は、
発電所の
東約7km
海拔38m
の地点です。

- 今回の研究(観測)が実用化できれば、襲来する津波を広範囲にわたって検知できるため、確度の高い津波監視が可能となります。
- より沖合の津波監視が可能と考えられるHF帯(3MHz~30MHz)の電波を用いたレーダー技術の検証についても準備を進めます。



○HFレーダーによる津波監視
の将来イメージ

○流速が速いほど濃色で表示
(例)

流速遅い → 流速速い
肌色 → 緑 → 青 → 濃紺

- 今後、レーダー以外の津波監視技術についても研究を進め、津波監視技術の実用化に向け取り組んでまいります。

シビアアクシデント対策の実施 ～技術的知見への対応について～

- ◆原子力安全・保安院(当時)は、福島第一原子力発電所事故から得られた教訓を、技術的知見としてとりまとめ、今後の規制に反映すべき事項(30項目)を平成24年3月に公表しました。
- ◆この技術的知見を踏まえて、「炉心損傷後の影響緩和策」について検討した結果、浜岡原子力発電所では、「放射性物質の大規模な放出の防止対策」、「格納容器の破損防止対策」、および「非常用直流電源対策」といったシビアアクシデント対策を実施することとしました。

シビアアクシデント対策例の紹介

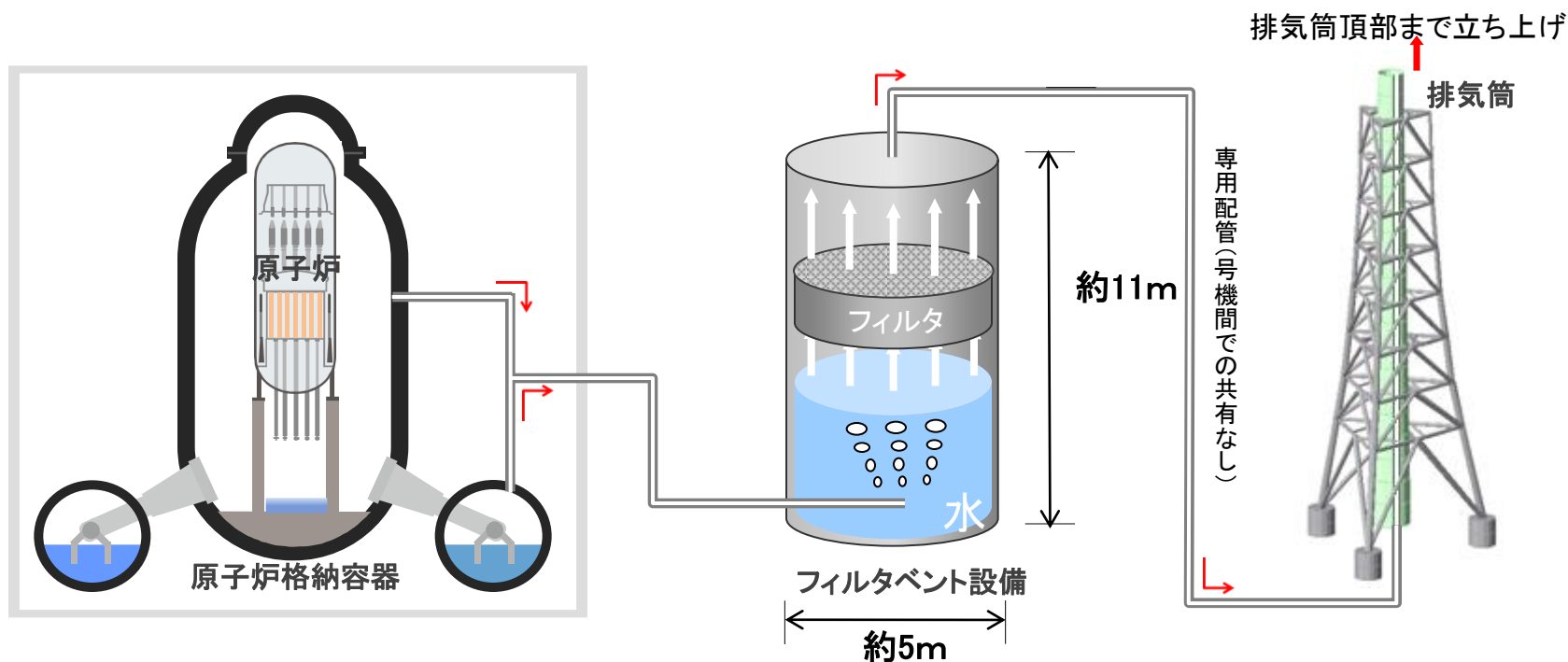
フィルタベント設備の設置

◆放射性物質の大規模な放出の防止

- ・粒子状放射性物質(セシウム等)の放出を1,000分の1以下に低減します。
- ・長期の土壌汚染の要因となる粒子状放射性物質の放出を大幅に低減できるため、周辺住民の方の長期的避難を回避できるものと考えています。

◆工事期間

3, 4号機については2014年度完工を目標、5号機については今後検討していきます。



フィルタベント設備のイメージ