

浜岡原子力発電所の 津波対策の状況

砂丘堤防を有する発電所の 津波対策検討会

検討の概要について

平成24年3月

検討会について

中部電力では、社会の皆さまの原子力発電に対する不安の高まりを真摯に受け止め、浜岡原子力発電所の安全性をより一層高めることを目的に津波対策を計画・実施している。

津波対策の考え方や防波壁の設計などについては、事業者である中部電力のみで検討するのではなく、土木工学の高度な専門知識を有する有識者の意見を反映させながら進めることが望ましいと考える。

このため、(財)地震予知総合研究振興会に「砂丘堤防を有する発電所の津波対策検討会」を設置するとともに、当該発電所の津波対策と防波壁の設計の妥当性に関する検討を委託し実施していただいた。

主たる検討項目は以下のとおり。

- ①浜岡原子力発電所の津波対策の考え方
- ②砂丘堤防の耐震安全性
- ③防波壁の耐震・耐津波設計の考え方
- ④設計の妥当性の検証

(参考) 東北地方太平洋沖地震の津波を踏まえた南海トラフ沿いの津波想定

検討会の委員構成

■実施期間：平成23年7月～平成24年3月

氏名	専門分野	所属・役職など
浅岡 顯(主査)	地盤工学	名古屋大学 名誉教授
河井 正	耐震工学	(財)電力中央研究所地球工学研究所地震工学領域 主任研究員
喜岡 涉	海岸工学	名古屋工業大学大学院工学研究科 教授
菊池 喜昭	地盤工学	(独)港湾空港技術研究所 特別研究官(地盤・構造研究担当)
張 鋒	耐震工学	名古屋工業大学大学院工学研究科 教授
富田 孝史	海岸工学	(独)港湾空港技術研究所アジア・太平洋沿岸防災研究センター 上席研究員
中井 照夫	地盤工学	名古屋工業大学大学院工学研究科 教授
中村 光	コンクリート工学	名古屋大学大学院工学研究科 教授
野田 利弘	地盤工学	名古屋大学大学院工学研究科 教授
松山 昌史	海岸工学	(財)電力中央研究所地球工学研究所流体科学領域 上席研究員
水谷 法美	海岸工学	名古屋大学大学院工学研究科 教授

<事務局> (財)地震予知総合研究振興会、太字の3名は本日出席者

本日の説明者のプロフィール

○浅岡 顕

工学博士

専門:地盤工学

(財)地震予知総合研究振興会 副首席主任研究員
名古屋大学名誉教授

京都大学工学部土木工学科 卒業

同大学院工学研究科博士課程土木工学専攻 修了
前 地盤工学会会長

○喜岡 涉

Ph. D.

専門:海岸工学

名古屋工業大学大学院工学研究科 教授(しくみ領域長)

京都大学工学部土木工学科 卒業

カリフォルニア大学バークレー校大学院工学研究科
博士課程海洋工学専攻 修了

○張 鋒

工学博士

専門:耐震工学

名古屋工業大学大学院工学研究科 教授

(高度防災工学センター長)

南京理工大学 数学・力学学科 卒業

京都大学大学院工学研究科博士課程

交通土木工学専攻 修了

本日の説明内容

1 浅岡主査

検討の概要について

- ①浜岡原子力発電所の津波対策の考え方
- ②砂丘堤防の耐震安全性
- ③防波壁の耐震・耐津波設計の考え方
- ④設計の妥当性の検証

についての検討状況・コメントについての紹介

2 張 教授

防波壁の耐震設計の検証として、

「防波壁に関する遠心模型実験」についての紹介

3 喜岡教授

防波壁の津波波力の検証として、

「防波壁に関する津波波力実験」についての紹介

①浜岡原子力発電所の津波対策の考え方

津波対策の概要

- ◆ 今回の津波対策では、「浸水防止対策」として、まず、①防波壁の設置等による発電所敷地内浸水防止対策、次に②建屋内浸水防止対策を講じることとした。
- ◆ さらに、福島第一原子力発電所で発生した「全交流電源喪失」および「海水冷却機能喪失」を仮定した場合にも、確実かつ安全に冷温停止に導くことができるよう、多重化・多様化の観点から冷却機能を確保する対策とし、「緊急時対策の強化」を図ることとした。

<浸水防止対策>

浸水防止対策1 : 発電所敷地内浸水防止

防波壁(T.P.+18m)の設置等による発電所敷地内への浸水防止

浸水防止対策2 : 建屋内浸水防止

敷地内浸水時の海水冷却機能維持および建屋内への浸水防止

<緊急時対策の強化>

緊急時対策の強化 : 冷却機能確保

全交流電源・海水冷却機能の喪失を仮定した冷却機能の確保

- ◆ 電源・注水・除熱の各機能に対し、多重化・多様化の観点から代替手段を講じることにより、原子炉の安定した高温停止状態を維持し、確実かつ安全に冷温停止状態に導く

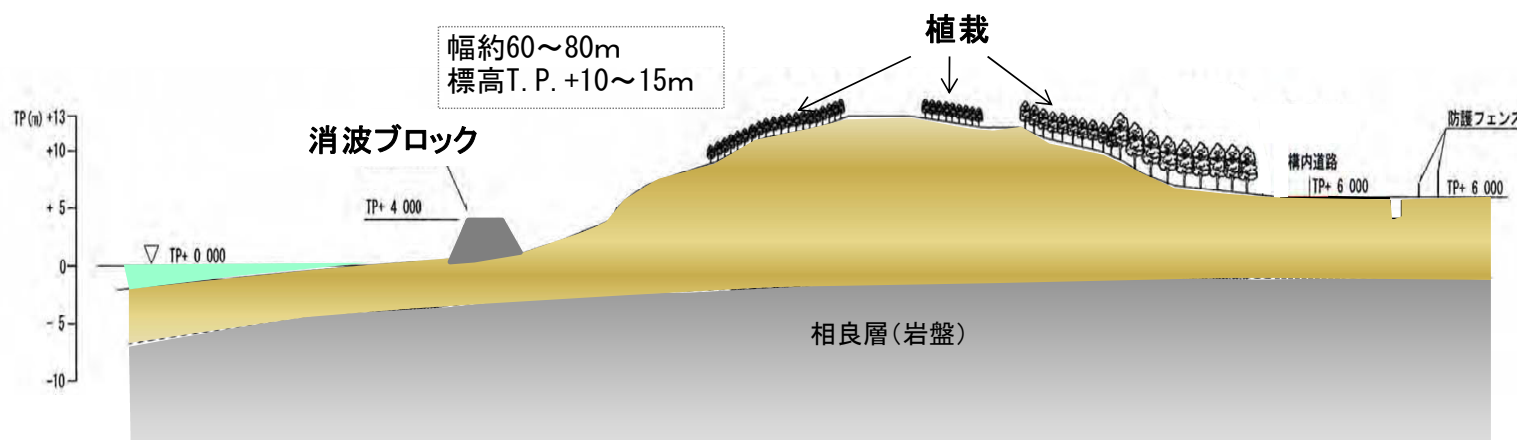
①津波対策の考え方についてのコメント

1. 防波壁により津波を敷地内に入れない「浸水防止対策」に加え、敷地内に入った場合の「建屋内浸水防止対策」の2段構えの対策は妥当と考えられる。
2. 「全交流電源喪失」および「海水冷却機能喪失」を想定し、冷却機能を確保する対策を多重化・多様化していることは妥当と考えられる。日常点検と日常訓練が重要である。
3. 対策の施工は、できるだけ早い時期における、速やかな実施が望まれる。

②砂丘堤防の耐震安全性

砂丘堤防の耐震安全性(1)

中部電力からの
主な説明内容

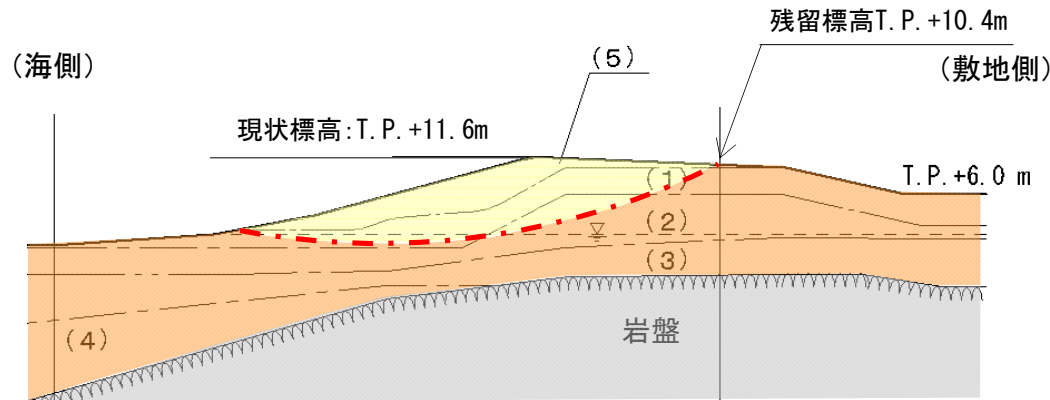


砂丘堤防の耐震安全性(2)

中部電力からの
主な説明内容

■地震時における健全性

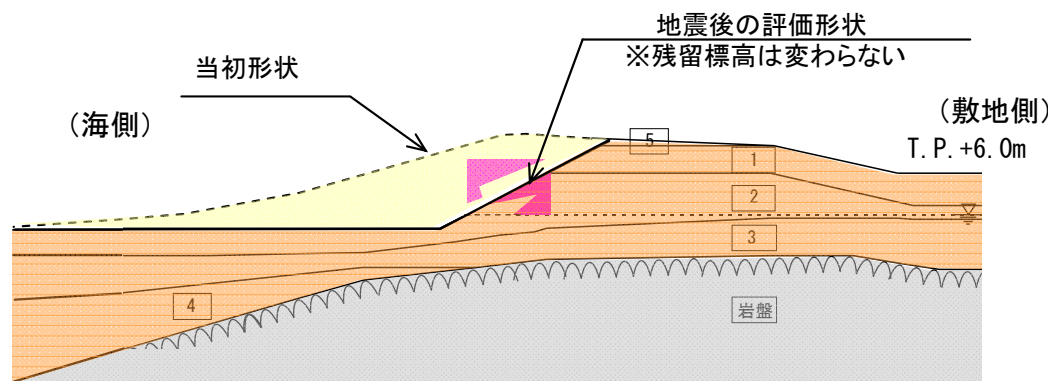
すべり変形による標高の低下を考慮した砂丘の残留標高による評価を実施。一部にすべりが生じて標高低下する可能性があるもののT.P.+10m程度の残留標高は確保できる。



ゾーン	地質
(1)	砂①
(2)	砂②
(3)	砂③
(4)	粘性土
(5)	盛土

■余震を考慮した健全性

地震後の状態において、さらに、余震を想定した場合の健全性も評価しており、その場合でも砂丘の残留標高は確保できる。



ゾーン	地質
(1)	砂①
(2)	砂②
(3)	砂③
(4)	粘性土
(5)	盛土

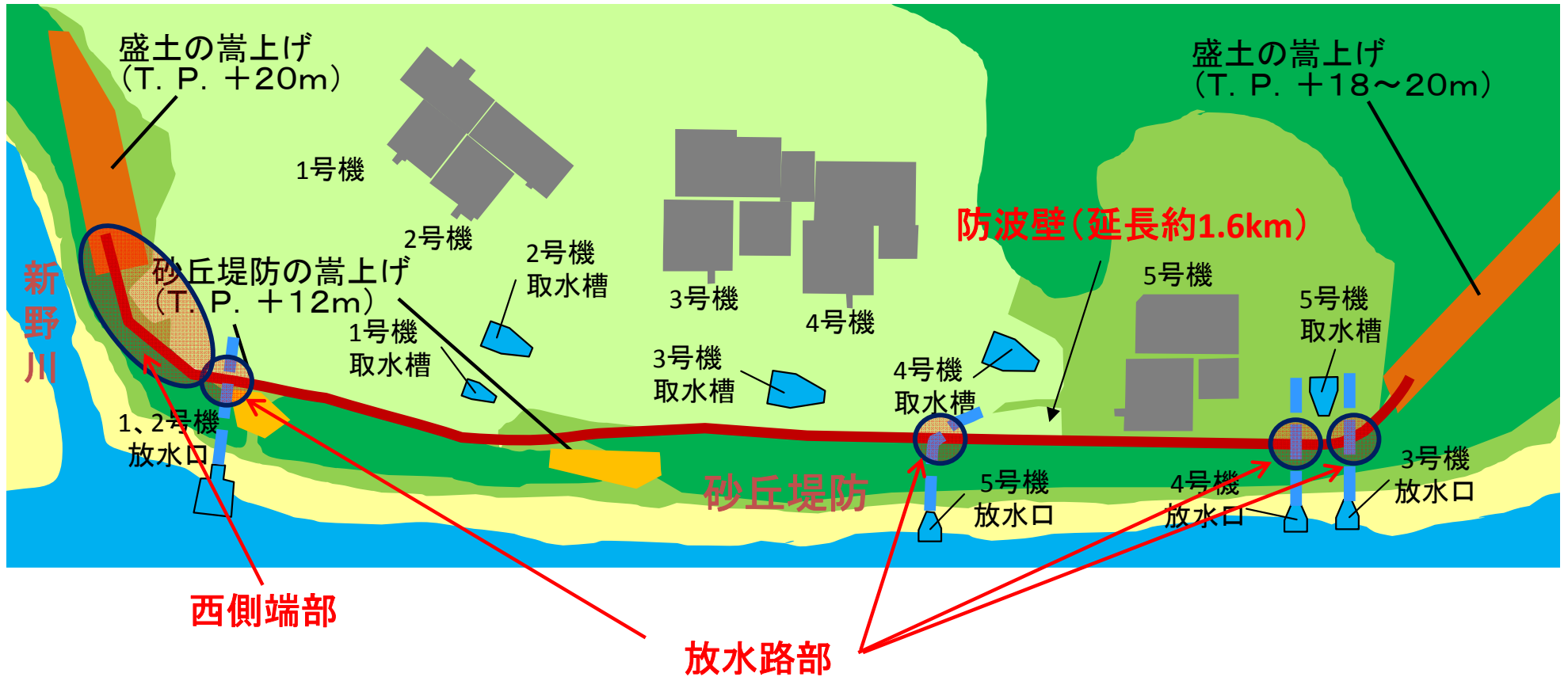
※地震後の評価形状は、1m以上変動した土塊は考慮しないこととしている。

②砂丘堤防の耐震安全性についてのコメント

1. 砂丘堤防は、植生の管理が適切に施されてきており、表面保護は十分と考えられる。「砂丘」の持つ語感は、誤解を与えがちではないか。
2. 砂丘堤防の地下水位以下には、十分に締まった砂や砂礫が分布している。これを含め地層構成を地盤力学的に適正に取り入れ、強震時に一部すべりが起こる可能性も考慮にいった地震時安定解析は妥当なものである。この結果、標高10m以上の残留標高は確保されている。
3. したがって、地震後に想定される大津波に対して、砂丘堤防は一定の防波機能が期待できる。

③防波壁の耐震・耐津波設計の考え方

防波壁の設置



- ◆ 一般部 (約1.3km)
 - 壁部構造 : L型よう壁 (鋼材と鉄骨鉄筋コンクリート造)
 - 基礎構造 : 地中壁 (鉄筋コンクリート造)
- ◆ 放水路部 (4か所計 約150m)
 - 壁部構造 : 箱桁形式 (鉄筋コンクリート造)
 - 基礎構造 : 深礎 (鉄筋コンクリート造)
- ◆ 西側端部 (約170m)
 - 壁部構造 : 鋼管による壁部と基礎の一体構造
 - 基礎構造 :

防波壁の耐震・耐津波設計の考え方

＜設計の基本的な考え方＞

設計外力(地震力, 津波波力)に対して、津波の浸入を防ぐ機能を有すること。

設計外力を超える入力にも、過度な変形を生じさせないことにより、防波壁の機能に余裕を持たせること。

＜設計用の外力＞

地震力 : 目標地震動(約1000ガル)のレベルの地震動

津波波力 : 壁の天端高さ(T.P.+18m)に達する津波に相当する波力

設計外力の与え方 : 地震力を加え、地震終了後地盤に生じる残留変位

による付加的外力が防波壁に作用している状態で、津波波力を作用させる。

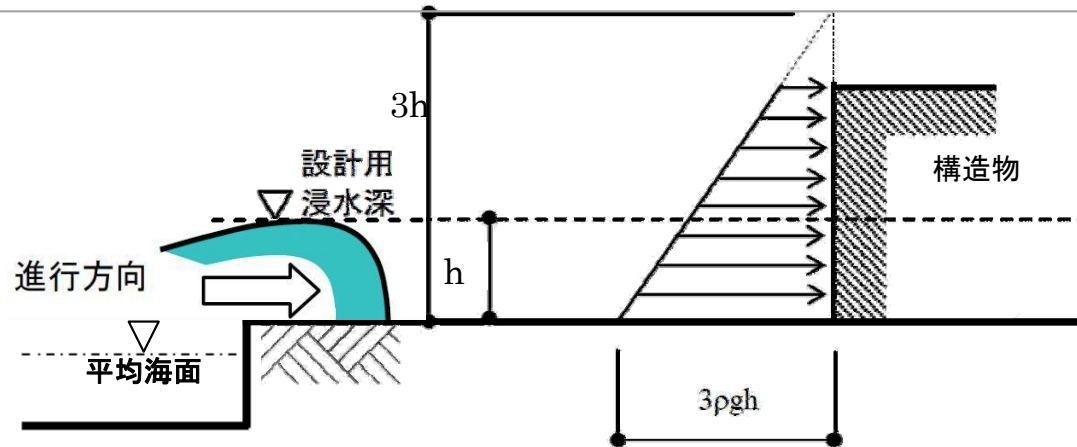
設計用の津波波力の設定の考え方

中部電力からの
主な説明内容

防波壁は、その前面でせき上がり天端に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ものとし、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ほか(2000)を参照し設定している。

「津波避難ビル等に係るガイドライン」に示されている波力の考え方

- ◆ 津波波圧は、設計用浸水深 (h) の3倍の深さの静水圧 (図の矢印“→”の長さ) で表わされる。
- ◆ 構造物に作用する単位幅当たりの津波波力は、津波波圧を地盤レベルから建築物高さまで積分した図の台形の面積で表わされる。
- ◆ なお、静水圧とは、水が静止した状態の水圧で、水深に水の単位体積重量 ρ と重力加速度 g を掛け合わせて得られる。



朝倉ほか(2000)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る。

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)までの高さの半分に相当する水深の進行波が防波壁でせき上がり、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ている。

防波壁(一般部)の構造概要

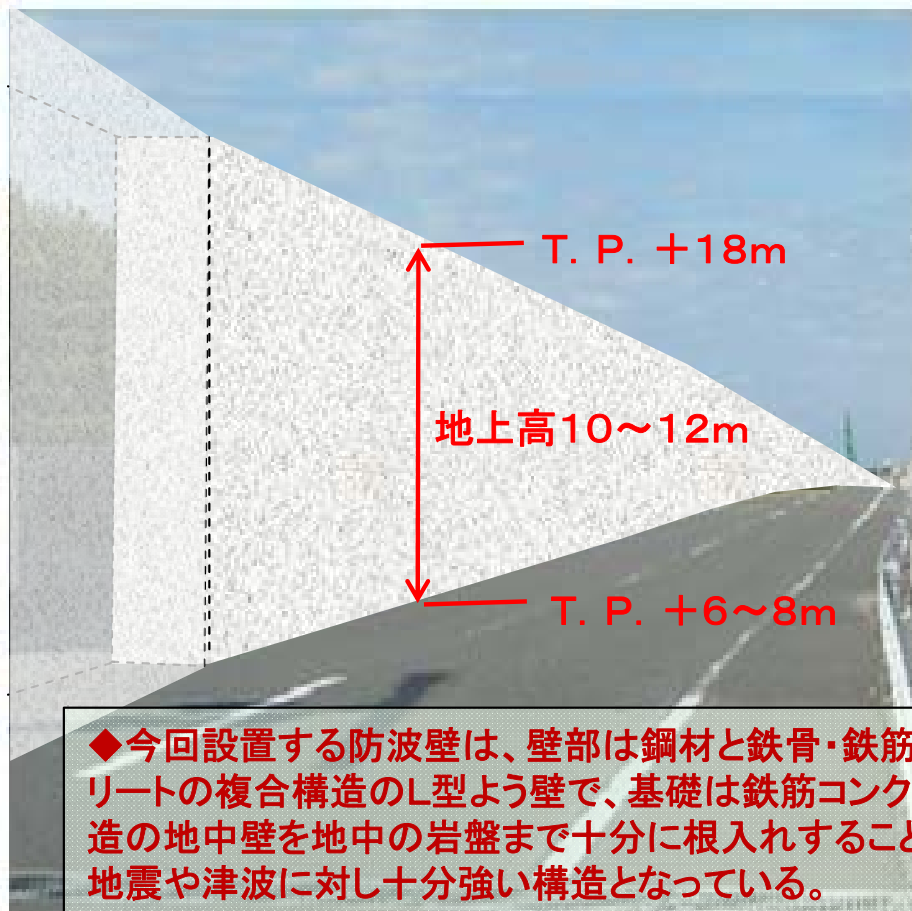
①発電所敷地海側への防波壁の設置

◆ 天端高さ : T. P. +18m

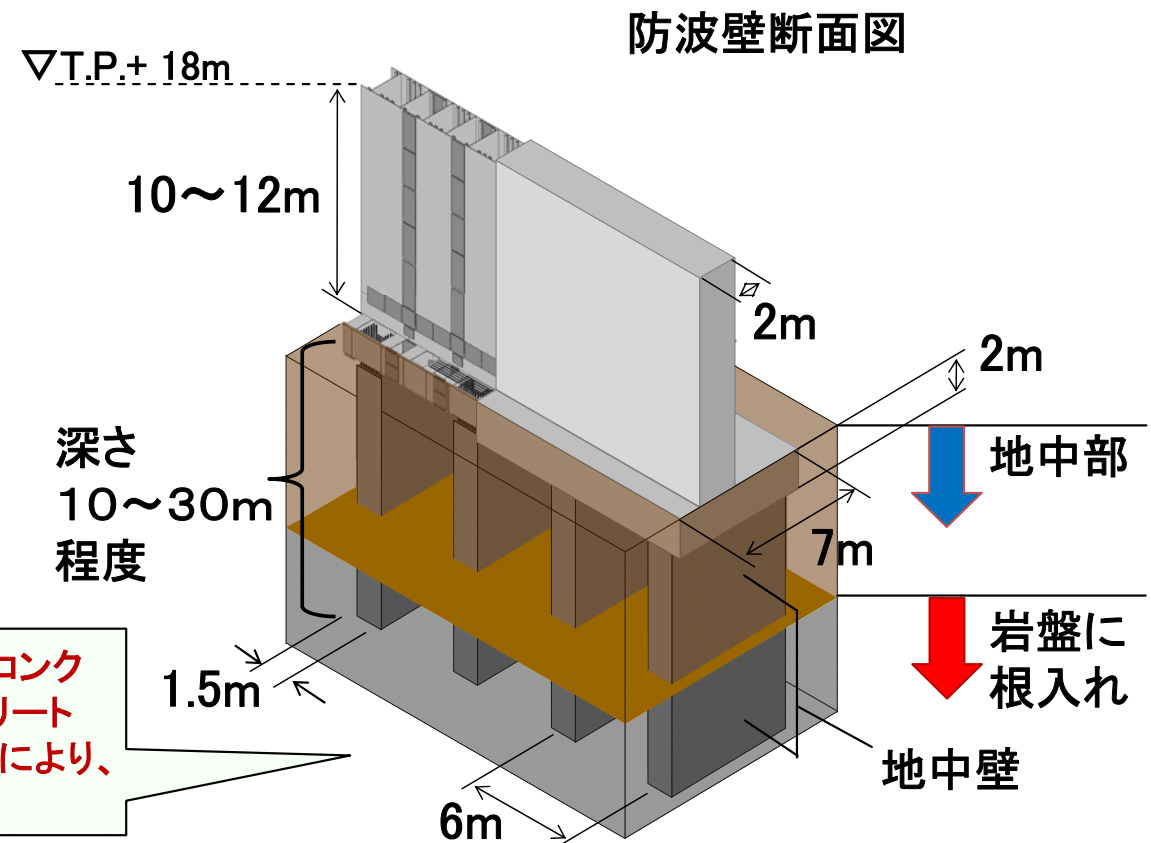
浜岡原子力発電所前面の砂丘堤防高さ(T. P. +10~15m)に、福島第一原子力発電所での津波遡上高(15m程度)も考慮し、防波壁の高さをT. P. +18mとする。

◆ 壁部構造 : L型よう壁(鋼材と鉄骨・鉄筋コンクリート複合構造)

◆ 基礎構造 : 地中壁(鉄筋コンクリート造、岩盤に根入れ)

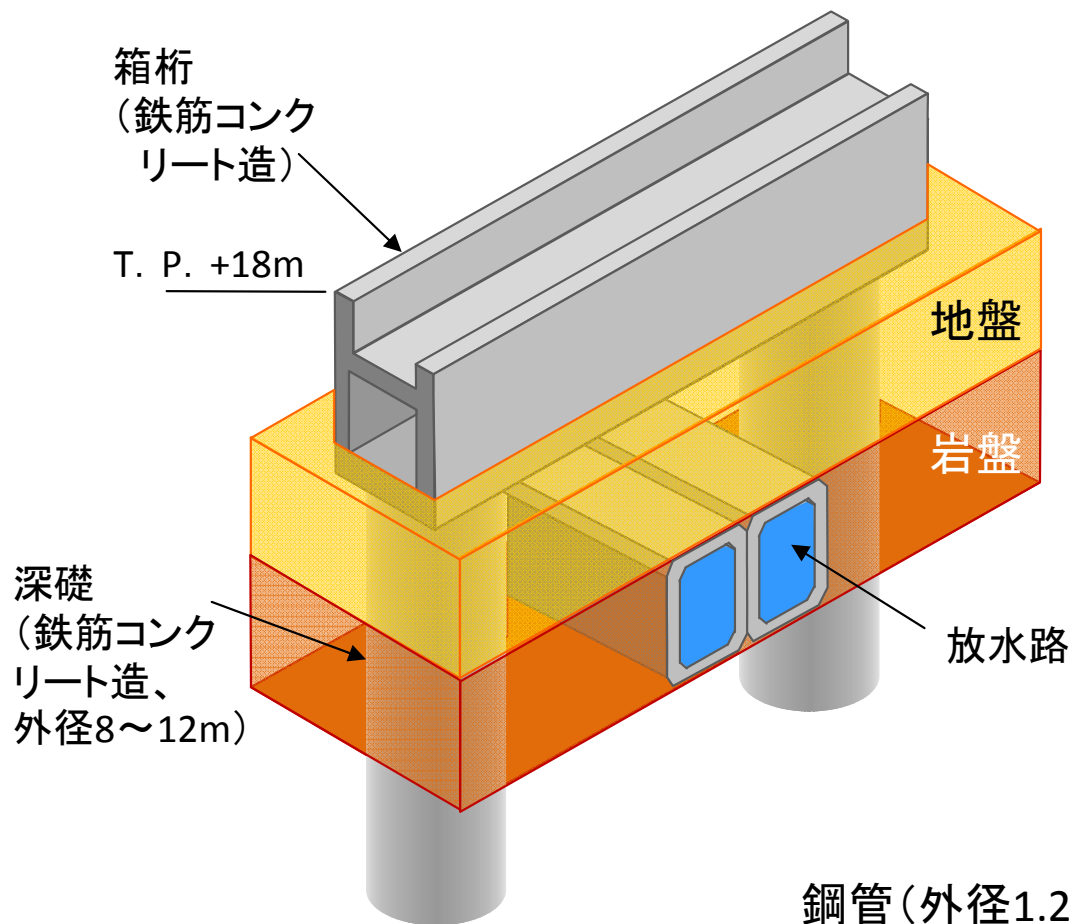


◆今回設置する防波壁は、壁部は鋼材と鉄骨・鉄筋コンクリートの複合構造のL型よう壁で、基礎は鉄筋コンクリート造の地中壁を地中の岩盤まで十分に根入れすることにより、地震や津波に対し十分強い構造となっている。

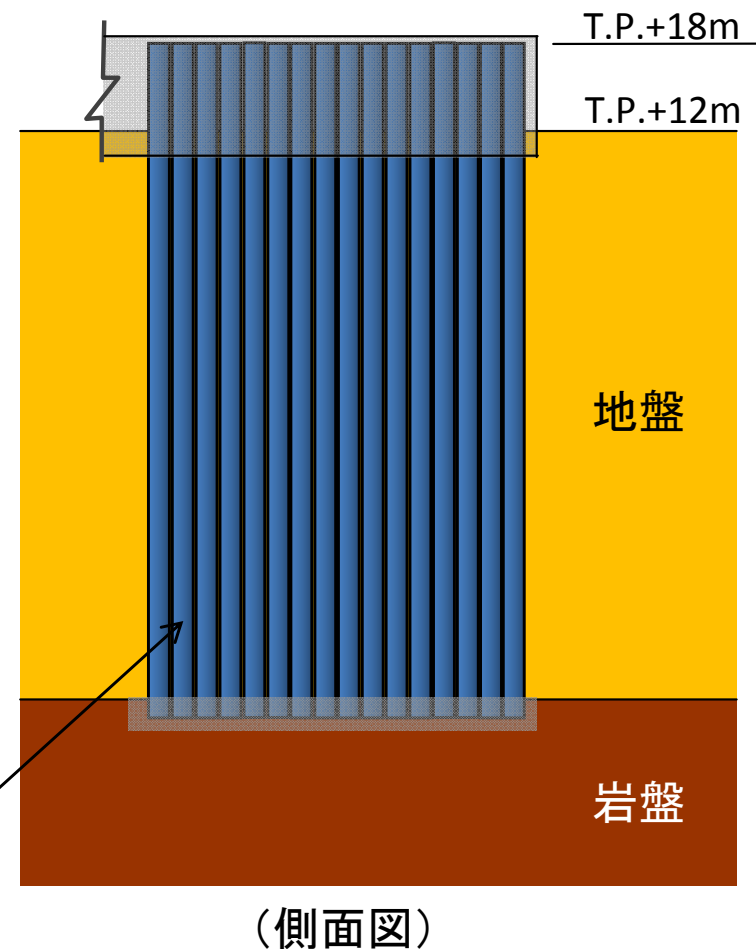


防波壁(放水路部, 西側端部)の構造概要図

中部電力からの
主な説明内容



【放水路部】



【西側端部】

③防波壁の設計の考え方についてのコメント

1. 先の津波被害では、砂礫マウンドの上に置かれただけで、根入れを持たぬ防波堤が、マウンドの洗掘により安定性を失って転倒した事例が数多く見られた。
2. 今回の防波壁は、岩盤に相当程度(2~6m) 根入れされた鉄筋コンクリート製地中連続壁基礎構造を持つ点で、従来の防波堤とは、全く異なる形式の構造物である。
3. 基礎は岩盤まで根入れし、壁部は鋼材・鉄骨・太径の鉄筋を適切に組み合わせた構造であり、東京スカイツリーを含め、同種の構造物と比較しても安定性は相当以上に高いと判断される。
4. 放水路部や西側端部では、地盤状況と既存地中構造物に応じ、合理的な構造形式が採用されている。

④防波壁の設計検証

基礎の照査の考え方

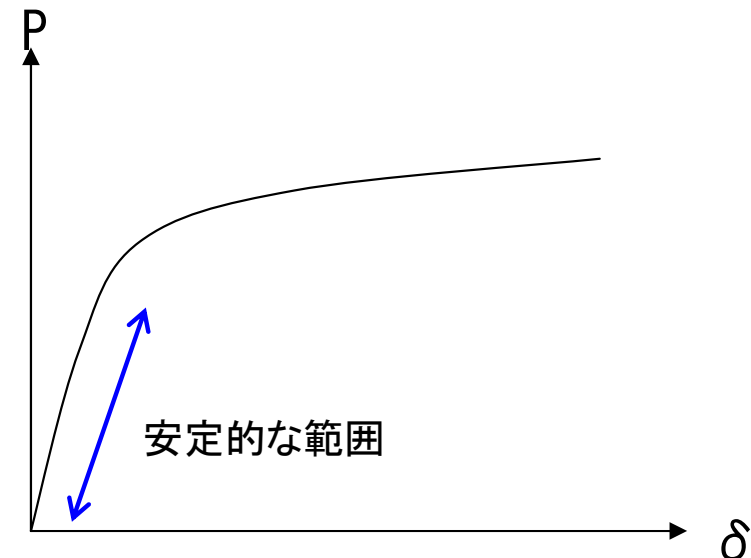
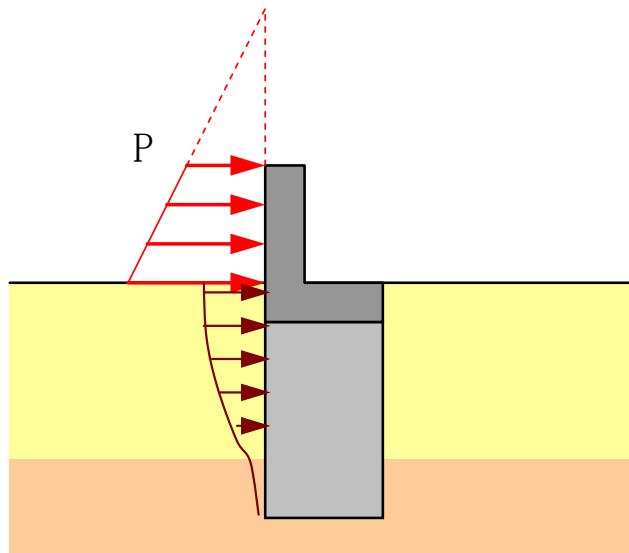
<照査方法>

◆ 躯体の照査

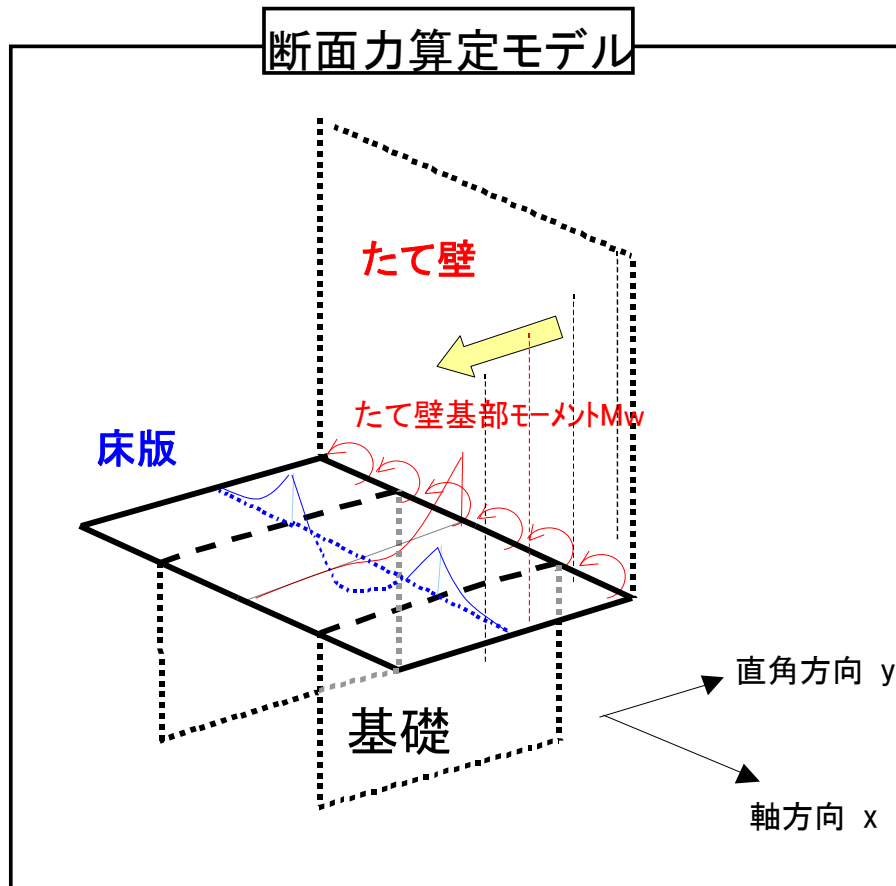
- ① 地中壁を梁要素でモデル化し、応答変位法により断面力を求める。
- ② 求めた断面力(曲げ・せん断)が許容値以内であることを確認する。

◆ 安定性の照査

- ① 荷重を漸増させる解析により荷重(P)—変位(δ)曲線を求める。
- ② 設計外力による変位が、荷重—変位曲線の安定的な範囲内であることを確認する。

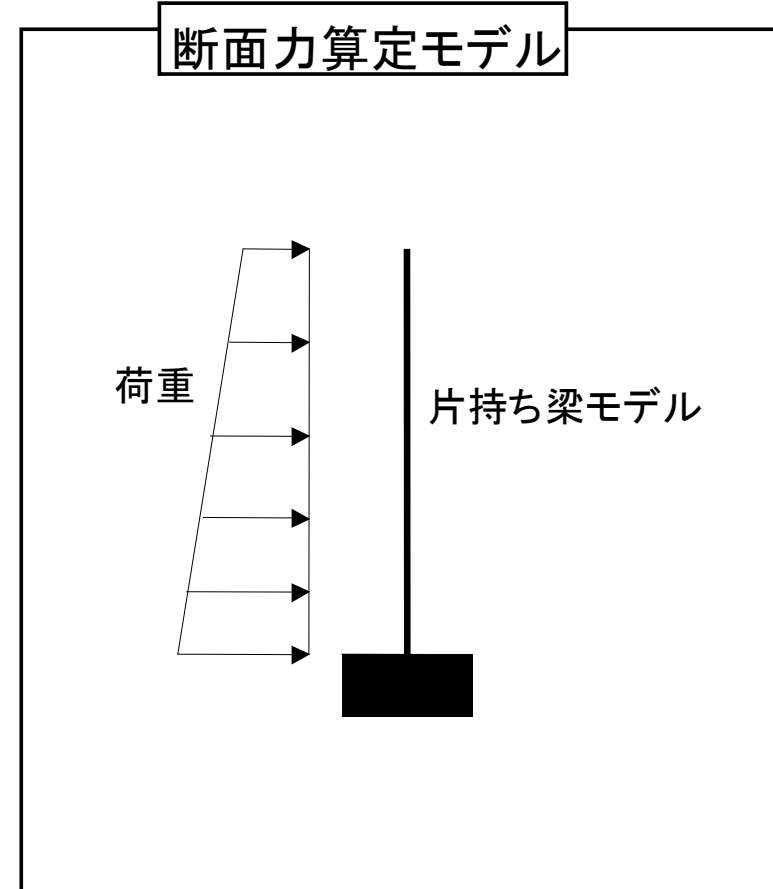


壁部の照査の考え方



- ・床版を基礎で支えられた2方向スラブでモデル化し、断面力を求める。
- ・求めた断面力が材料毎に許容値以内であることを確認する。

【床版部】



- ・たて壁を床版で支えられた片持ち梁としてモデル化し、断面力を求める。
- ・求めた断面力が材料毎に許容値以内であることを確認する。

【たて壁部】

防波壁に関する実験検証

■耐震実験(遠心模型実験)

地盤内に構築された擁壁を支持する地中壁基礎および壁部の地震時挙動を把握



■水理実験(津波波力実験)

陸上(砂丘堤防)に遡上した津波による鉛直壁に作用する波力を把握



④設計の妥当性の検証についてのコメント

1. 地震時の地盤と構造物との連成解析，および地震後の地盤変形を考慮した津波作用時の応答変位法による設計の検証方法は妥当である。
2. 壁部と基礎のジョイント部の固着が重要であり，材料非線形解析等の詳細な解析により検討され，十分な強度があることが確認された。
3. 防波壁の地震時安定性に関する遠心模型実験により，砂丘堤防を含めた防波壁設計が十分に安全側であることが検証された。
4. 津波波力の水理実験により，津波波力に関する設計外力の考え方が十分に安全側であることが検証された。

なお今後，中央防災会議などの新たな知見による地震や津波に対しては，さらに照査を継続することが必要である。

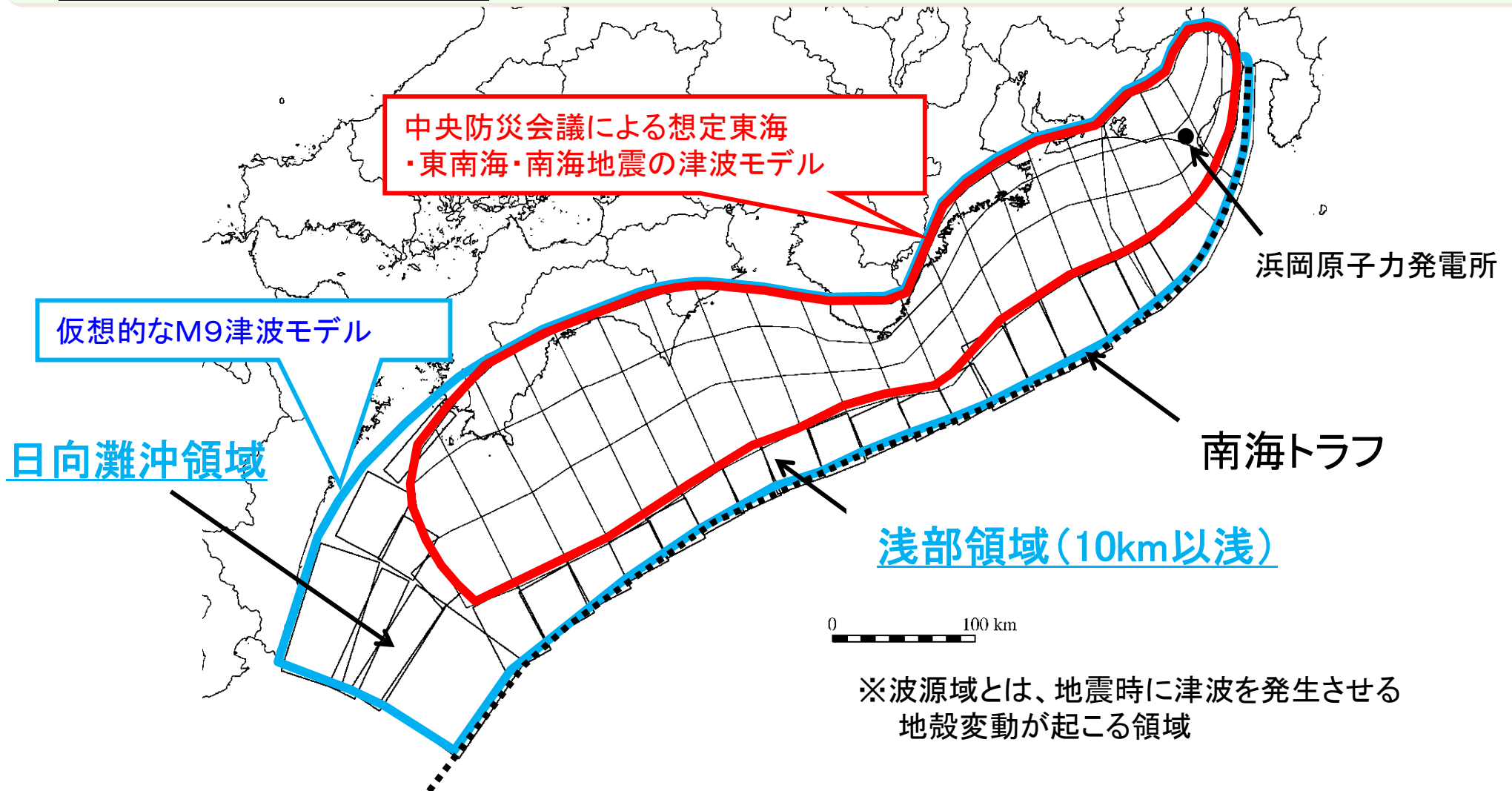
(参考)

**東北地方太平洋沖地震の津波を踏まえた
南海トラフ沿いの津波想定について**

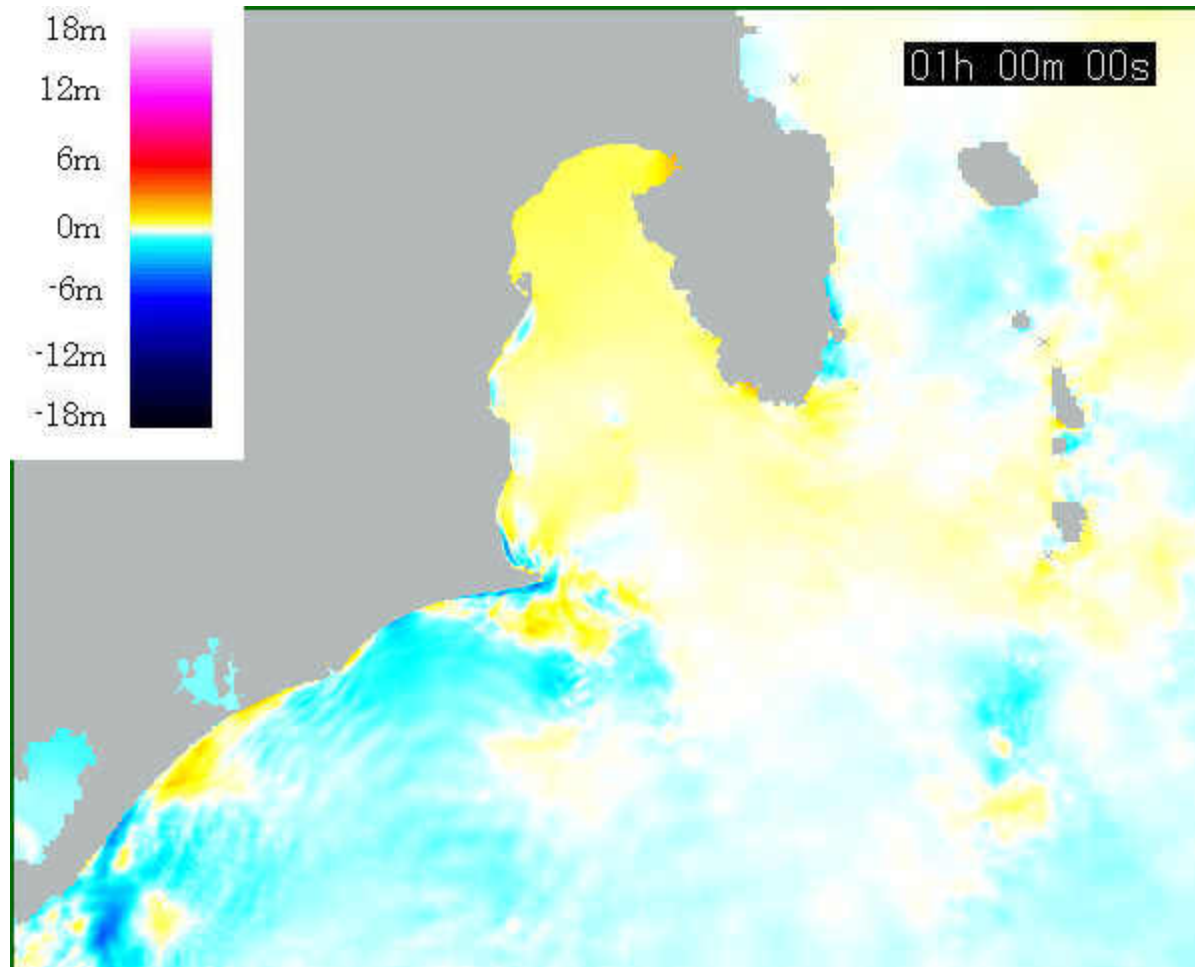
浜岡原子力発電所での仮想的M9津波モデル

中部電力からの
主な説明内容

- ◆東北地方太平洋沖地震の津波発生メカニズムは、今後さらに調査分析がなされるところである。
- ◆設計上考慮していた高さを上回る津波が発生した福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、東海・東南海・南海の3連動地震に対して、日向灘沖および南海トラフ沿いに波源域*を広げて、仮想的にM9規模の津波モデルを作成し、津波遡上高さの試算を行った。



仮想的M9津波モデルによる試算結果(アニメーション)



仮想的M9津波モデルによる試算結果

- ◆津波については、
浜岡原子力発電所での仮想津波遡上高は、T.P.+10m程度



この高さは、発電所前面の砂丘堤防高さ(T.P.+10~15m)を上回るものではない。

現在、中央防災会議の検討などが行われているところであり、今後新たな知見に対し、適切に対応していく。

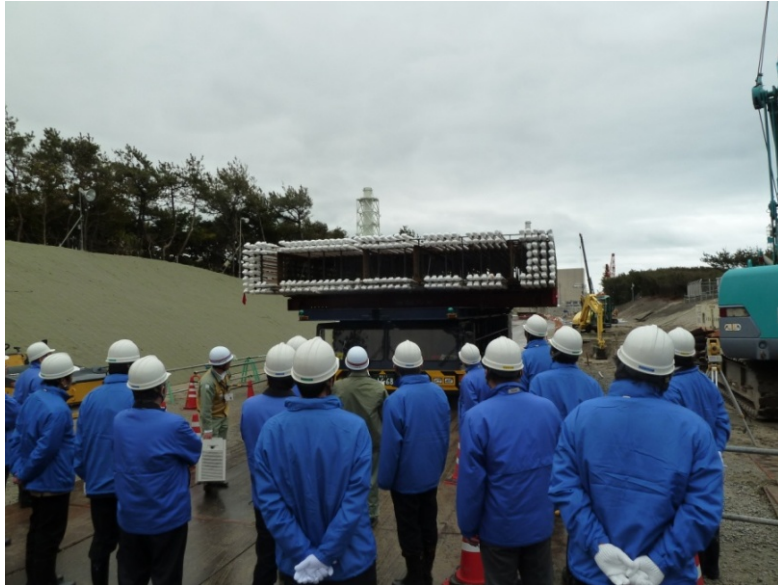
東北地方太平洋沖地震を踏まえた 南海トラフ沿いの津波想定についてのコメント

1. 仮想的に作成したM9規模の津波モデルによる試算結果は、発生する可能性のある最大クラスの津波と同程度と認識される。
2. 最大の津波の襲来方向・時間について、浜岡付近では地震発生後20分頃にトラフ軸付近からと考えられる押し波があり、その後引き波があった後、30分過ぎに東寄りから伝播する津波が最大となっていることが確認された。

なお今後、中央防災会議の新波源モデルなどや津波堆積物の知見を踏まえ、津波想定の妥当性について確認されたい。

津波対策工事の現場視察状況

平成24年3月10日実施



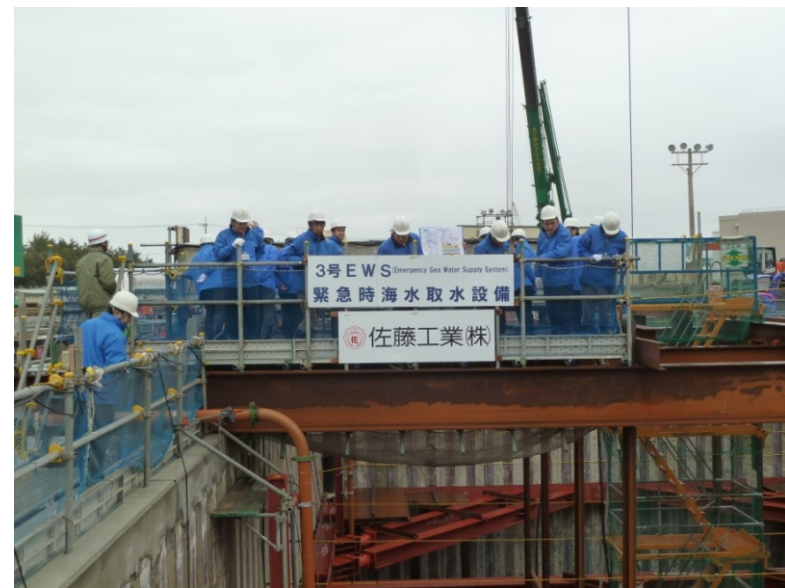
防波壁(一般部 鉄筋籠)



防波壁(西側端部)



砂丘堤防



3号緊急時海水取水設備(EWS)

まとめ

1. 「浸水防止対策」および「建屋内浸水防止対策」の2段構えの対策に加え、冷却機能確保の対策を多重化・多様化していることは妥当と考えられ、これを活かすためには日常点検と日常訓練が重要である。
2. 砂丘堤防については、地盤力学的に適切な地震時安定解析により、標高10mを超える砂丘堤防の耐震安全性について評価がなされている。これにより、地震後に想定される大津波に対して、砂丘堤防は一定の防波機能が期待できる。
3. 防波壁では、基礎は鉄筋コンクリート製地中連続壁を岩盤まで根入れし、壁部は鋼材・鉄骨・太径の鉄筋を適切に組み合わせられており、従来の防波堤とは、全く異なる形式の構造物である。同種の構造物と比較しても、安定性は相当以上に高いと判断される。
4. 地震時の地盤変形を考慮した津波作用時の応答変位法などによる設計の検証方法は妥当であり、遠心模型実験や津波波力の水理実験により、防波壁設計が十分に安全側であることが検証された。

なお今後、中央防災会議などの新たな知見による地震動や津波に対しては、さらに照査を継続することが必要である。