

女川原子力発電所第2号機 地下水位の設定について

2021年3月2日
東北電力株式会社

目次

1. はじめに
2. 地下水位の設定について
3. 地下水位の設定に係る今後の説明事項

1. はじめに

- 第876回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合(令和2年7月14日)において説明した主要説明項目における「詳細設計申送り事項 No.2-1 地下水位の設定, 耐震評価における断面選定」のうち, 設計用地下水位の設定結果として, 浸透流解析を用いた設計用地下水位の設定プロセス及び設定結果を説明する。
- なお, 詳細設計申送り事項 No.2-1のうち地下水位低下設備の設備構成等については今後説明予定。

10

【2-1】地下水位の設定, 耐震評価における断面選定

1. 概要

- 各施設の耐震設計の前提条件となる設計用地下水位の設定について, 女川特有の地下水位低下設備の構成や, 地下水位低下設備の機能を考慮した三次元浸透流解析を用いた地下水位の設定結果について説明する。
- また, 設計用地下水位を踏まえた各施設の解析手法(全応力解析または有効応力解析)の選定結果及び地震応答解析断面の選定結果について説明する。

(a) 解析モデル概要 (盛土・旧表土を非表示)

(b) 揚水井戸・ドレーン配置

図1 三次元浸透流解析モデル

図2 地下水位低下設備の概要

注: 排気管周辺にはドレーンを新設しない (設置変更時設備の検討例より変更)

2. 今後の説明予定

- 地下水位の設定, 各施設の解析手法・断面選定について, 2020年5月提出の説明書等にて説明予定。なお, 地下水位低下設備の耐震性は2020年9月・11月, アクセスルート評価[※]は2020年11月資料提出し, 説明予定。
- ※: アクセスルートは, 地下水位低下設備の機能喪失を想定しても, 地震時の液状化に伴う地下構造物の浮き上がりに対して通行性を一定期間確保する設計とする。

今回説明

2. 地下水位の設定について(1 / 16)

【耐震評価に用いる設計用地下水位の設定方針】

- 工事計画認可では、設置変更許可における方針を踏まえ、液状化検討対象施設を幅広く抽出するため、高めに設計用地下水位を設定。
- 地下水位低下設備の効果が及ぶ範囲の設計用地下水位については、詳細設計の結果を踏まえた防潮堤の沈下対策などの各種工事やドレーン新設等の工事完了段階(以下、「工事完了段階」という。)における施設配置等を反映した浸透流解析結果に基づき設定。

設計用地下水位の設定に係る各審査段階の説明

	設置変更許可	工事計画認可
設計用地下水位の設定方針	<ul style="list-style-type: none"> • 地下水位低下設備の効果が及ぶ範囲(O.P.+14.8m盤) 地下水位低下設備の機能を考慮し設定 (浸透流解析による) • 地下水位低下設備の効果が及ばない範囲 自然水位より保守的に設定した水位又は地表面に設定 	<ul style="list-style-type: none"> • 設置変更許可の内容を踏襲 • 設置変更許可の内容を踏襲
浸透流解析の取扱い	<ul style="list-style-type: none"> • 地盤等を適切にモデル化した浸透流解析を実施し、保守性を確保(水位を高めに設定) • 浸透流解析のうちモデルの妥当性を確認(広域モデル)。また、水位評価モデルを用いた予測解析と、これに基づく設計用地下水位の設定における保守性確保の方針を説明 	<ul style="list-style-type: none"> • 左記の方針を踏まえて、液状化検討対象施設を幅広く抽出するため水位を高めに設定 • 工事完了段階における施設配置等を水位評価モデルに反映した予測解析結果と、これに基づく設計用地下水位を設定 (モデルの妥当性確認は設置変更許可の内容を踏襲)

2. 地下水位の設定について(2/16)

【浸透流解析を用いた設計用地下水位の設定フロー】

- 浸透流解析を用いた設計用地下水位の設定フローと各審査段階での説明内容を示す。
- 設置変更許可段階で設定した広域モデルによるモデルの妥当性確認の結果を踏襲の上、工事完了段階における施設配置等を反映した水位評価モデルにより予測解析を実施。

浸透流解析を用いた設計用地下水位の設定フローと各審査段階での説明内容

設計用地下水位の設定フロー	設置変更許可	工事計画認可
<p>START</p> <p>↓</p> <p>モデル情報の入手</p> <p>↓</p> <p>モデルの妥当性確認 (広域モデルによる非定常解析)</p> <p>↓</p> <p>予測解析 (水位評価モデルによる定常解析)</p> <p>↓</p> <p>設計用地下水位の設定</p> <p>↓</p> <p>耐震評価</p> <p>↓</p> <p>END</p> <p>設計用地下水位の検証</p>	<ul style="list-style-type: none"> モデル構築に必要な基礎情報 (地形・地質, 構造物, 観測水位等) 広域モデルの構築 解析結果 広域モデルの妥当性確認結果 (観測水位との比較による再現性の確認) 水位評価モデルの設定方針 (境界条件, 透水係数, 有効として扱うドレーンの範囲の設定により保守性を確保) 設計用地下水位の設定方針 (予測解析結果を包絡するよう設定) (設計用地下水位の検証として) 工事完了後の地下水位の観測計画 	<ul style="list-style-type: none"> 設置変更許可の内容を踏襲 設置変更許可の内容を踏襲 水位評価モデルの構築 (工事完了段階における施設配置等を反映。保守性確保の考え方は設置変更許可を踏襲) 解析結果 設計用地下水位の設定結果 (設置変更許可の方針に基づく) (設計用地下水位の検証として) 工事完了後の地下水位の観測計画 工事完了以降, 将来的な地形改変等により設計用地下水位に変更が生じる場合の対応方法

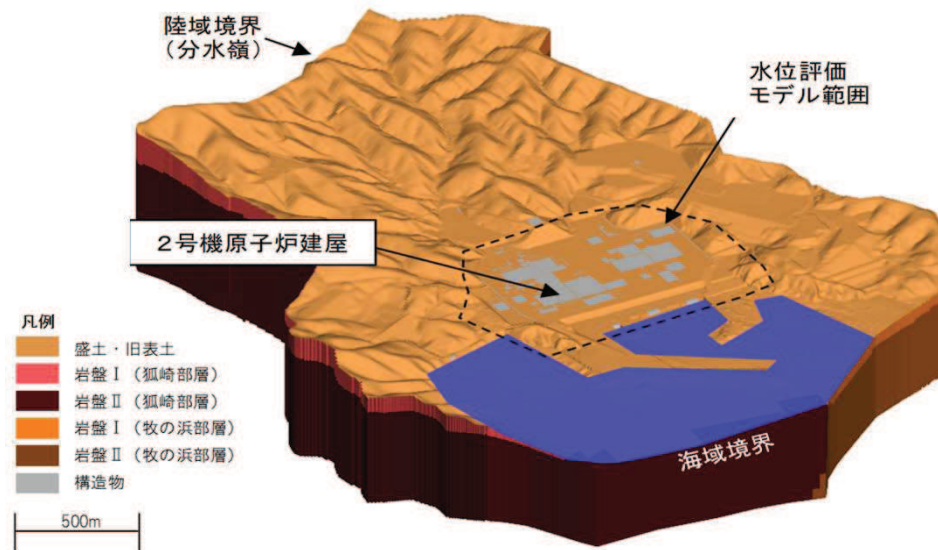
【凡例】 ○:設置変更許可の方針や解析結果を踏襲 ◎:詳細設計により具体化した浸透流解析条件や, この条件に基づく解析結果等を説明

注) 本フロー作成にあたり, 基本的な考え方は「地下水流動解析のガイドラインに関する調査(長谷川琢磨, 地下水学会誌 第48巻第2号 75~86(2006)」を参照し米国ASTMガイドライン等を参考とした。

2. 地下水位の設定について(3 / 16)

【広域モデルによる非定常解析とモデルの妥当性確認(1)】

- 解析モデルの妥当性確認にあたり、設置変更許可の内容を踏襲し、広域モデルに観測降雨条件を付与した非定常解析を実施。
- 得られた解析水位は降雨及び観測水位と概ね連動している。(p.5)



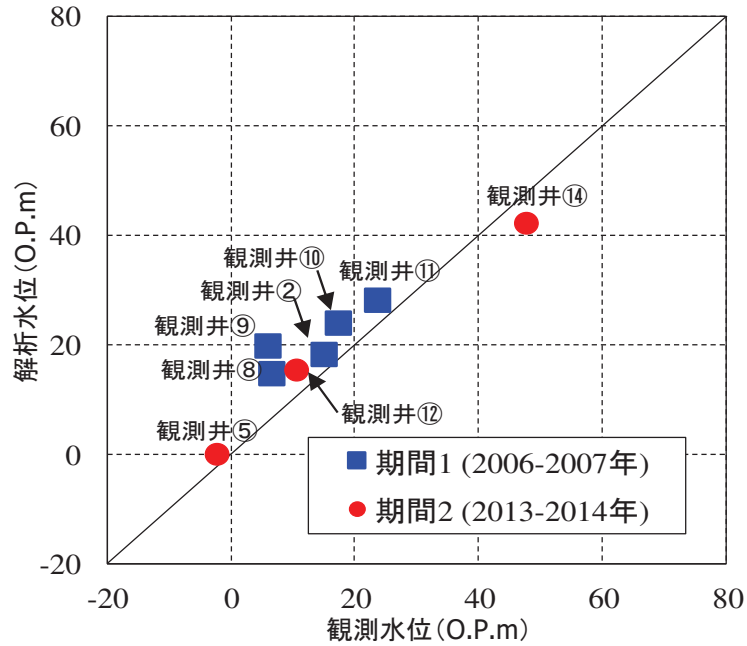
広域モデル鳥瞰図

広域モデルによる非定常解析の概要

- 施設を含む分水嶺までの範囲をモデル化 (施設へ流入する地下水を適切に表現)
- 地下水位観測時における施設配置等をモデル化
- ドレーンは既設全てを考慮 (地下水位観測時の状態を再現するため、新設は考慮しない)
- 地下水位観測時の降雨条件を付与した非定常解析
- 透水係数は試験結果等の平均値

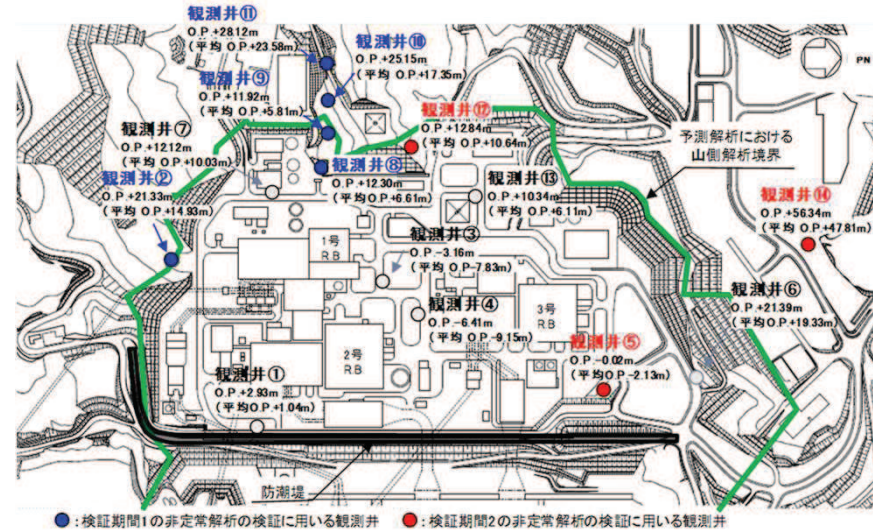
2. 地下水位の設定について(4/16)

【広域モデルによる非定常解析とモデルの妥当性確認(2)】

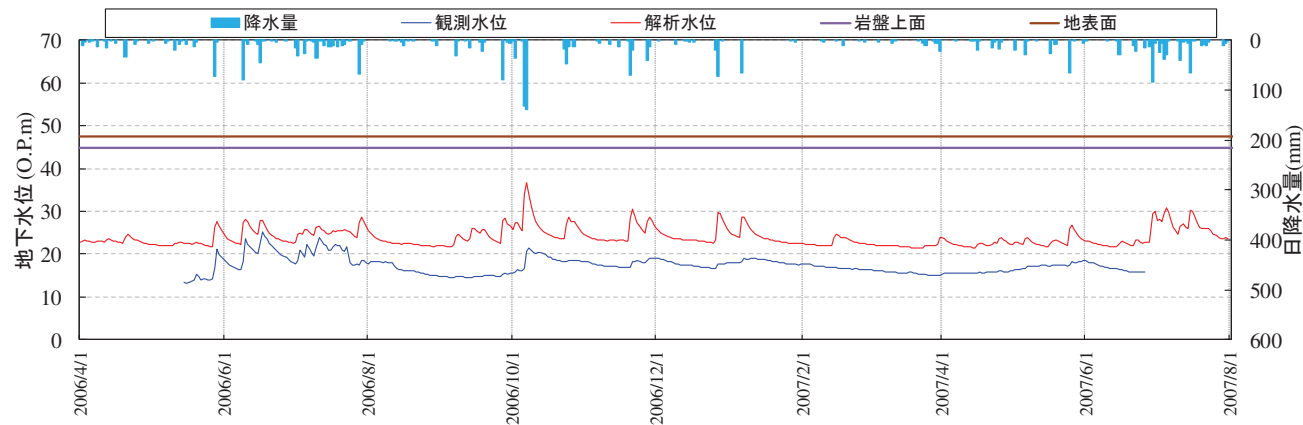


注) 図は平均水位での比較

解析水位と観測水位の比較その1



観測井位置図

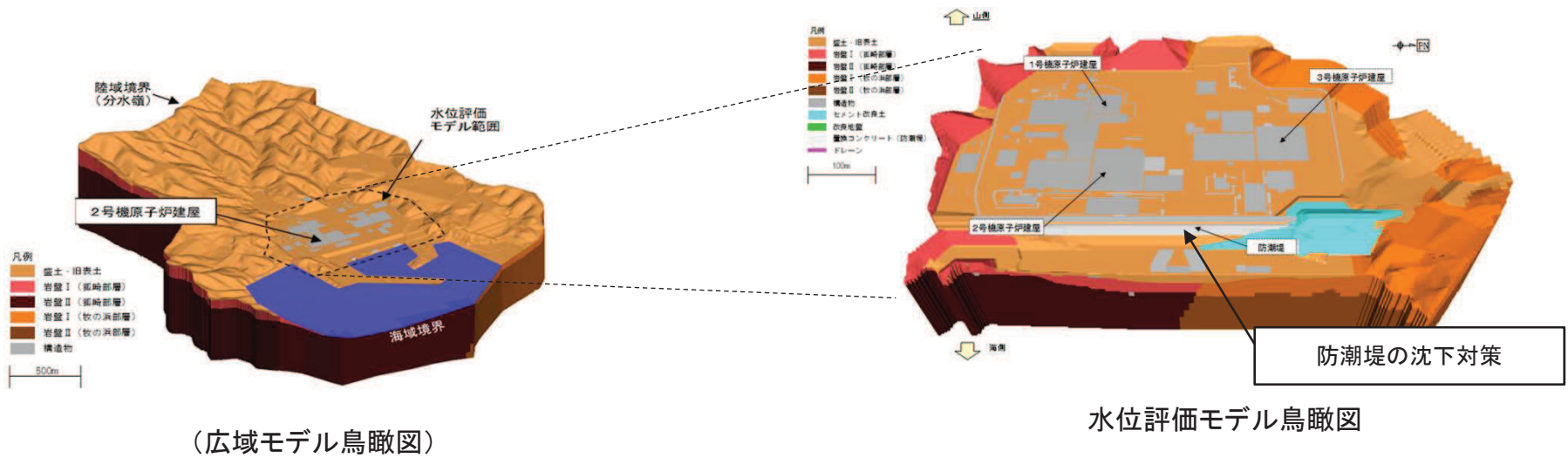


解析水位と観測水位の比較その2(観測井⑩)

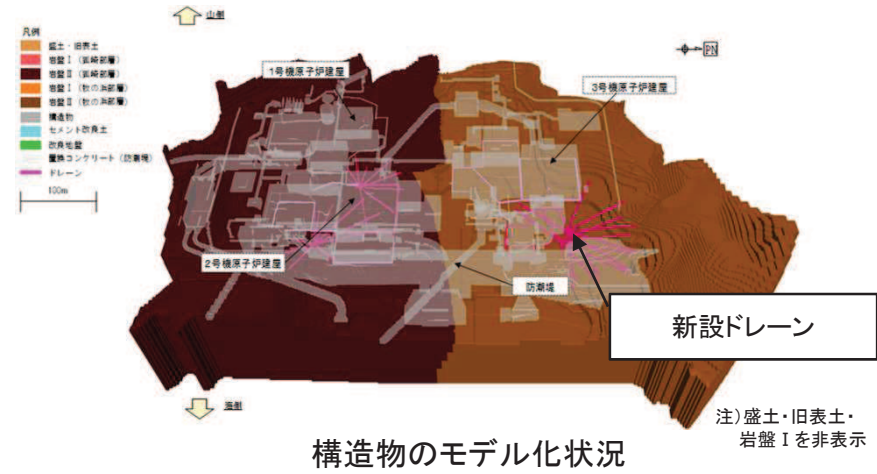
2. 地下水位の設定について(5/16)

【予測解析に用いる水位評価モデル】

- 予測解析に用いる水位評価モデルは、広域モデルをベースに、工事完了段階における施設配置等(防潮堤の沈下対策, 新設ドレーン等)を反映し、施設が配置されるO.P.+14.8m盤周辺領域を切り出し設定。
- 水位を高めめに評価するような解析条件(p.7, p.8)を設定し、定常解析を実施。



- 水位評価モデルによる定常解析の概要
- O.P.+14.8m盤周辺領域をモデル化 (広域モデルより切り出し)
 - 工事完了段階における施設配置等をモデル化
 - 山側境界となる法肩位置に水位を固定した定常解析
 - ドレーンは耐久性・耐震性・保守管理性等の確保状況に応じ有効として扱う範囲を設定
 - 透水係数は岩盤 I を試験結果等の平均値-1σ



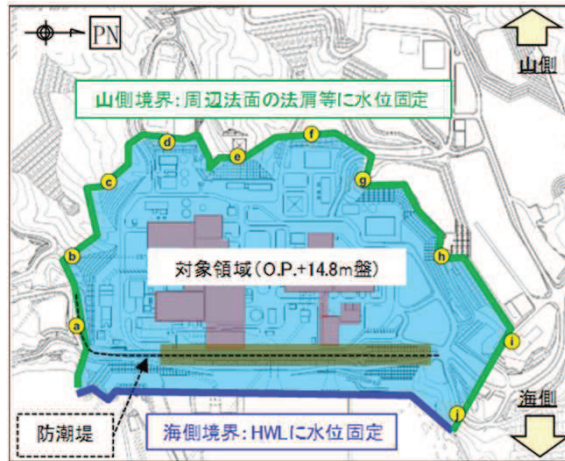
2. 地下水位の設定について(6/16)

【予測解析における保守的な解析条件の設定(1)】

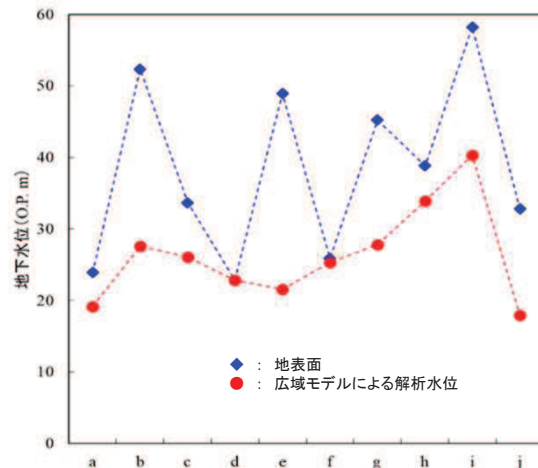
- 設置変更許可の方針と同様に、揚圧力や地下水位が高めに評価されるよう境界条件(以下, A), 透水係数(以下, B)を設定。

A. 解析境界の水位を高い位置に固定

- 山側: 地表面(法肩等), 海側: 朔望平均満潮位に設定



予測解析における境界条件の設定



- 水位評価モデルにおいては、地表面(◆)に水位を固定
- 広域モデルで評価した位置a.~j.における最高水位(●)は地表面と同等か下回る
- 地表面(◆)と広域モデル水位(●)の差が境界条件の設定による余裕に相当

B. 透水係数を小さめに設定

- 揚圧力や水位への感度が大きい浅部岩盤(岩盤 I)の透水係数を平均値-1σとして設定

予測解析に用いる透水係数

地層	設定値 (m/s)	設定根拠	
盛土・旧表土	3.0×10^{-5}	クレーガー法* (平均値)	
狐崎部層	岩盤 I	7.0×10^{-7}	原位置透水試験(平均値-1σ)
	岩盤 II	5.0×10^{-7}	原位置透水試験(平均値)
牧の浜部層	岩盤 I	2.0×10^{-7}	原位置透水試験(平均値-1σ)
	岩盤 II	1.0×10^{-7}	原位置透水試験(平均値)
セメント改良土・改良地盤	2.0×10^{-7}	原位置透水試験(平均値)	
透水層(砕石)	1.0×10^{-2}	室内透水試験(平均値)	
コンクリート構造物(MMR含む)	— (不透水)	—	

* 粒度試験結果に基づく推定方法

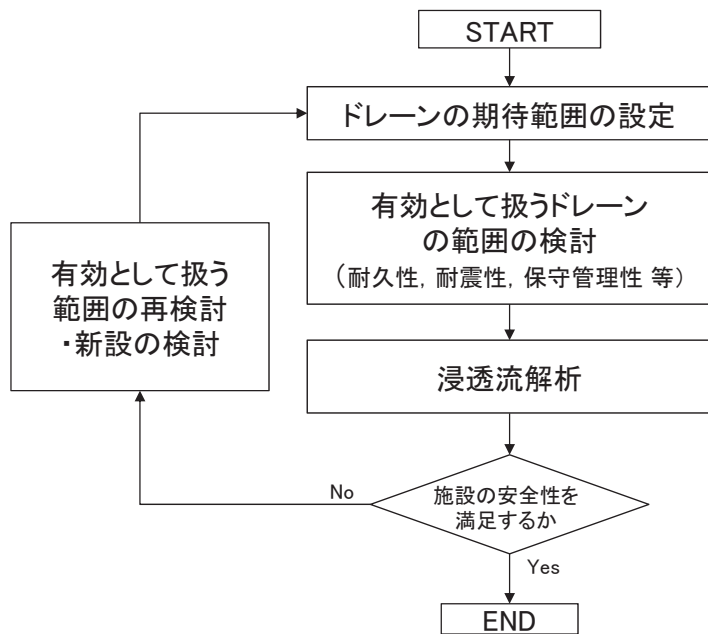
2. 地下水位の設定について(7/16)

【予測解析における保守的な解析条件の設定(2)】

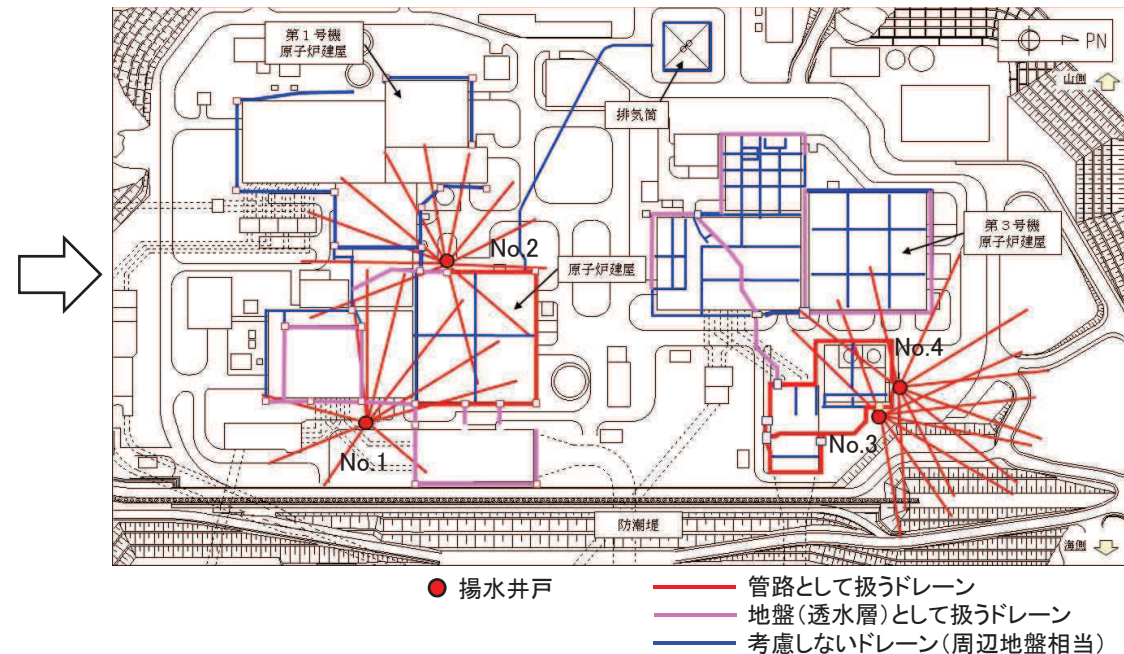
- 工事計画認可では、浸透流解析において有効として扱うドレーンの範囲を詳細検討(以下、C)。
 - 設置変更許可の方針と同様の考え方(フロー)に基づき、予測解析において考慮するドレーンを耐久性・耐震性・保守管理性等の確保状況に応じて設定することにより、揚圧力や地下水位を高め
- に評価。

C. ドレーンの範囲を限定(縮小)

- 既設・新設ドレーンのうち耐震性等の確保された範囲を管路として扱う。



浸透流解析において有効として扱うドレーン範囲設定フロー



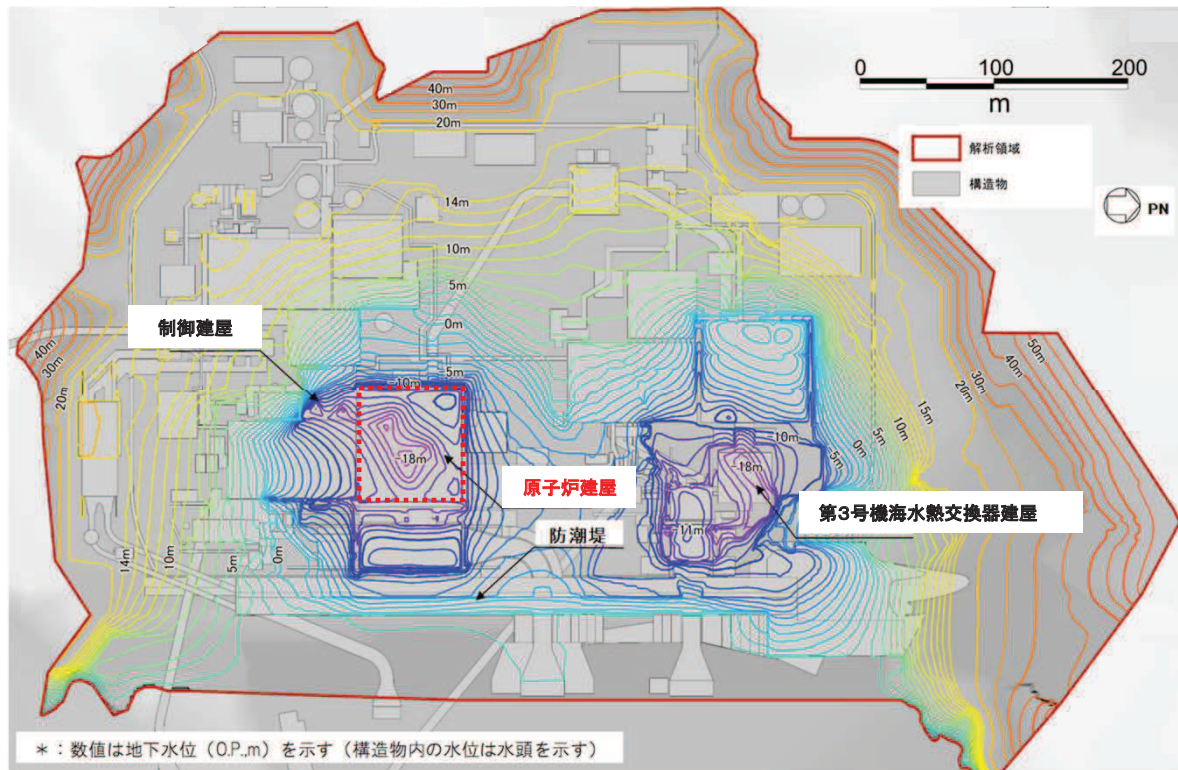
予測解析に用いるドレーンの範囲*

* 詳細設計段階における検討を反映した予測解析モデルにて浸透流解析を行い、必要なドレーン範囲を設定。また、詳細設計段階における検討を踏まえ、排気筒周辺にはドレーンを新設せず、安全性を確保する設計とした。

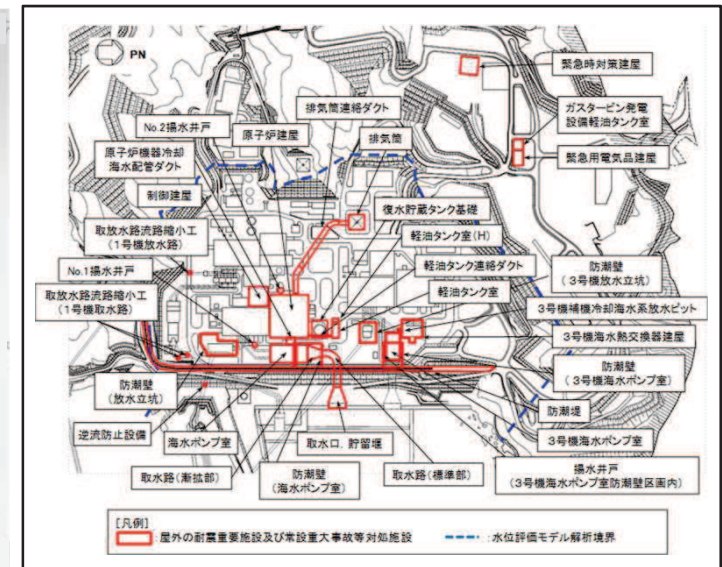
2. 地下水位の設定について(8 / 16)

【予測解析(定常解析)(1)】

- 予測解析にて得られた解析水位分布を示す。
- 原子炉建屋及び第3号機海水熱交換器建屋周辺の地下水位は地下水位低下設備の効果により大きく下がっている。また、解析水位は連続的に分布しており、ドレーンへ向かって地下水が流れる状況に対応する。
- 一方、敷地の西側などドレーンから離れた位置では解析水位が高く、山側の解析境界に向かって地表面に近づいており、距離が離れるにつれて地下水位低下設備の効果が小さくなっている。
- また、防潮堤東側(海側)においては地下水位が解析境界水位(朔望平均満潮位)に向かって高くなる一方、防潮堤西側(敷地側)では地下水位低下設備の効果により地下水位が大きく下がっている。



予測解析結果(各施設の耐震評価用)

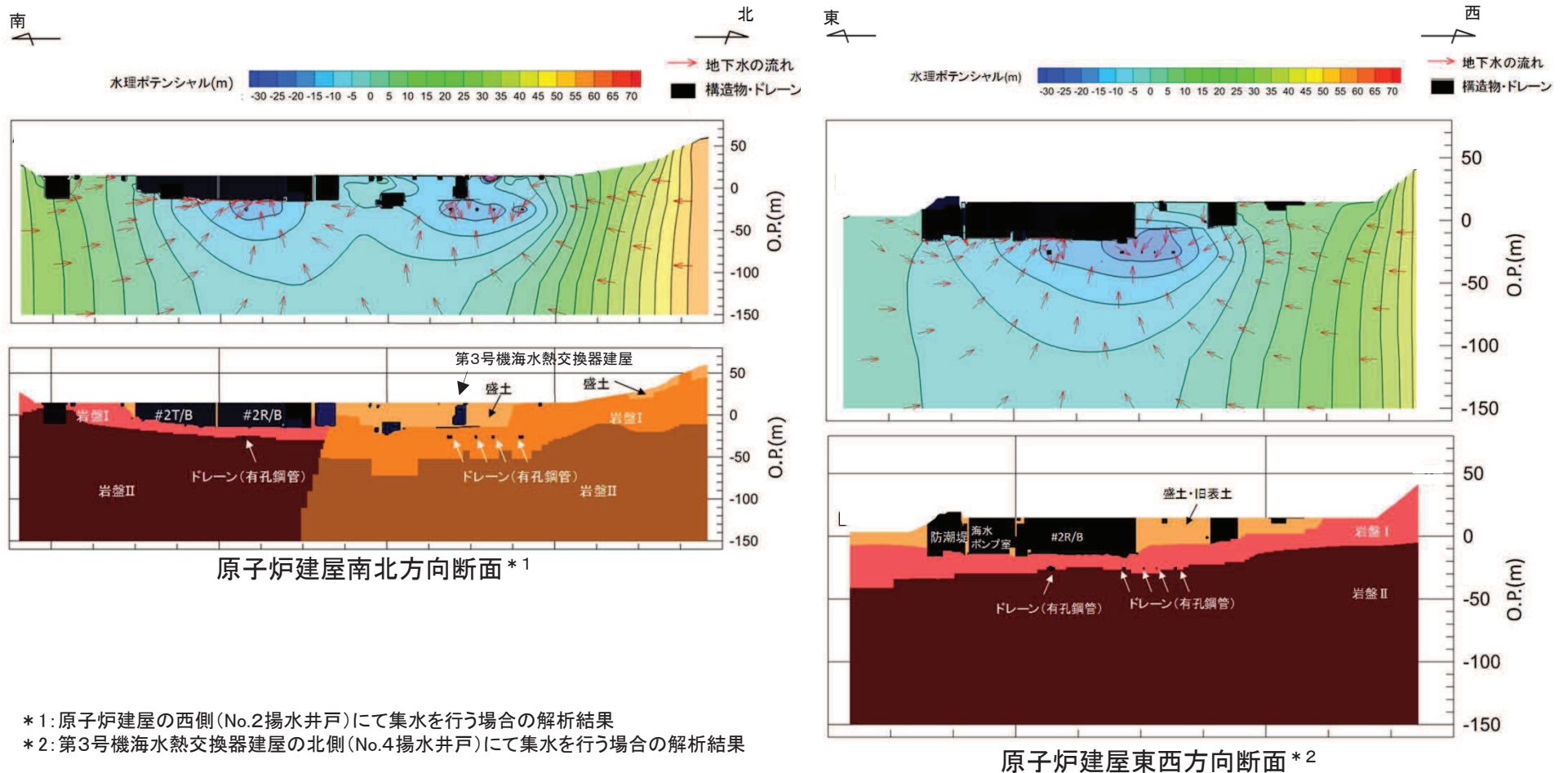


施設の配置

2. 地下水位の設定について(9/16)

【予測解析(定常解析)(2)】

- 予測解析にて得られた流線・水理ポテンシャルを示す。
- 地盤中をドレーンへ向かう流線が形成されており、水理ポテンシャルはドレーンからの距離が離れるにつれて地下水位低下設備の効果が小さくなることに対応している。これはp.9の解析水位分布とも整合的である。
- また、三方(北側, 南側及び西側)からの流入が卓越しているが、防潮堤の沈下対策により海側(東側)からの流入経路が限定されたことに対応している。

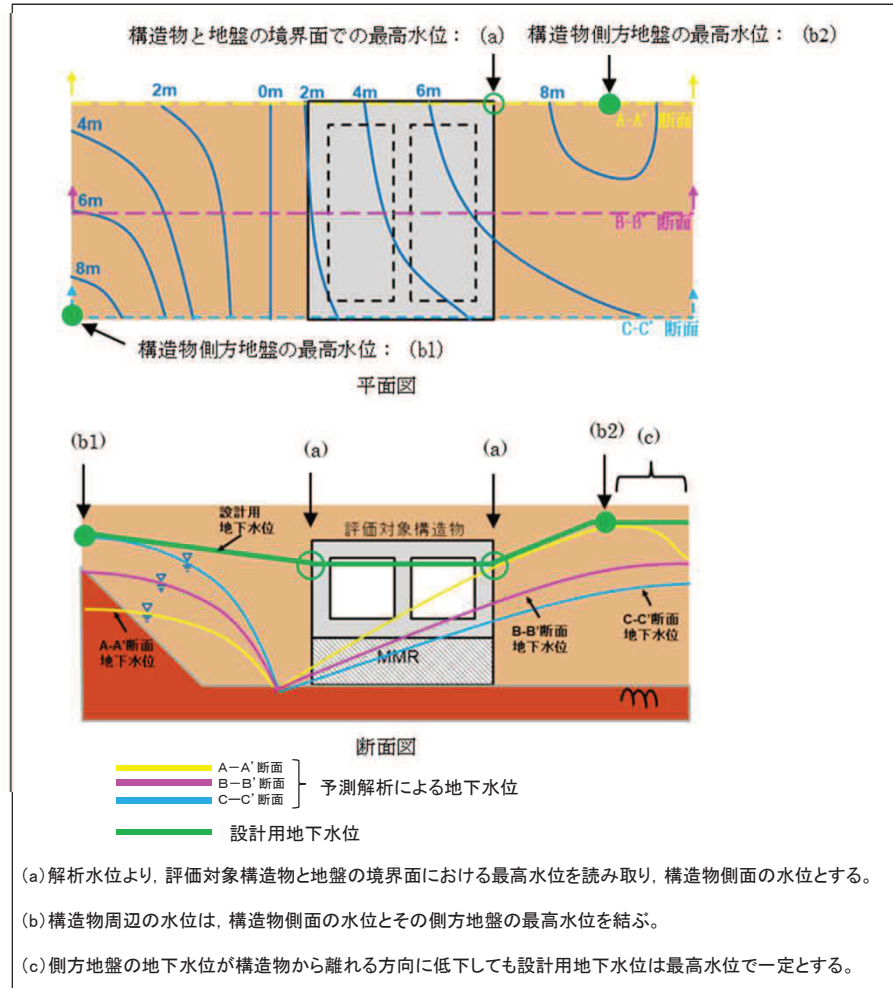


* 1: 原子炉建屋の西側(No.2揚水井戸)にて集水を行う場合の解析結果
 * 2: 第3号機海水熱交換器建屋の北側(No.4揚水井戸)にて集水を行う場合の解析結果

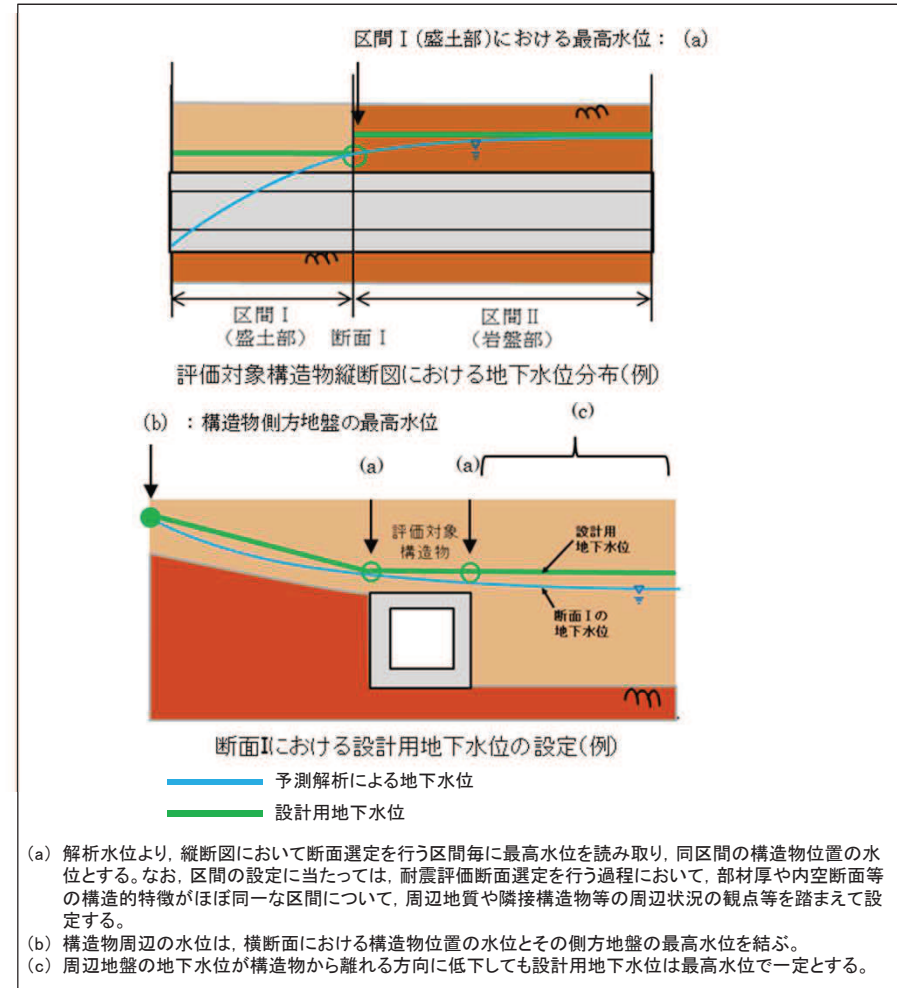
2. 地下水位の設定について(10/16)

【屋外重要土木構造物等における設計用地下水位の設定方法】

- 設計用地下水位は、設置変更許可で検討した設定方法により、予測解析により得られた解析水位を上側に包絡するよう、構造物側面や解析断面境界等の各点での最高水位を結んで設定。



(箱形構造物の場合)



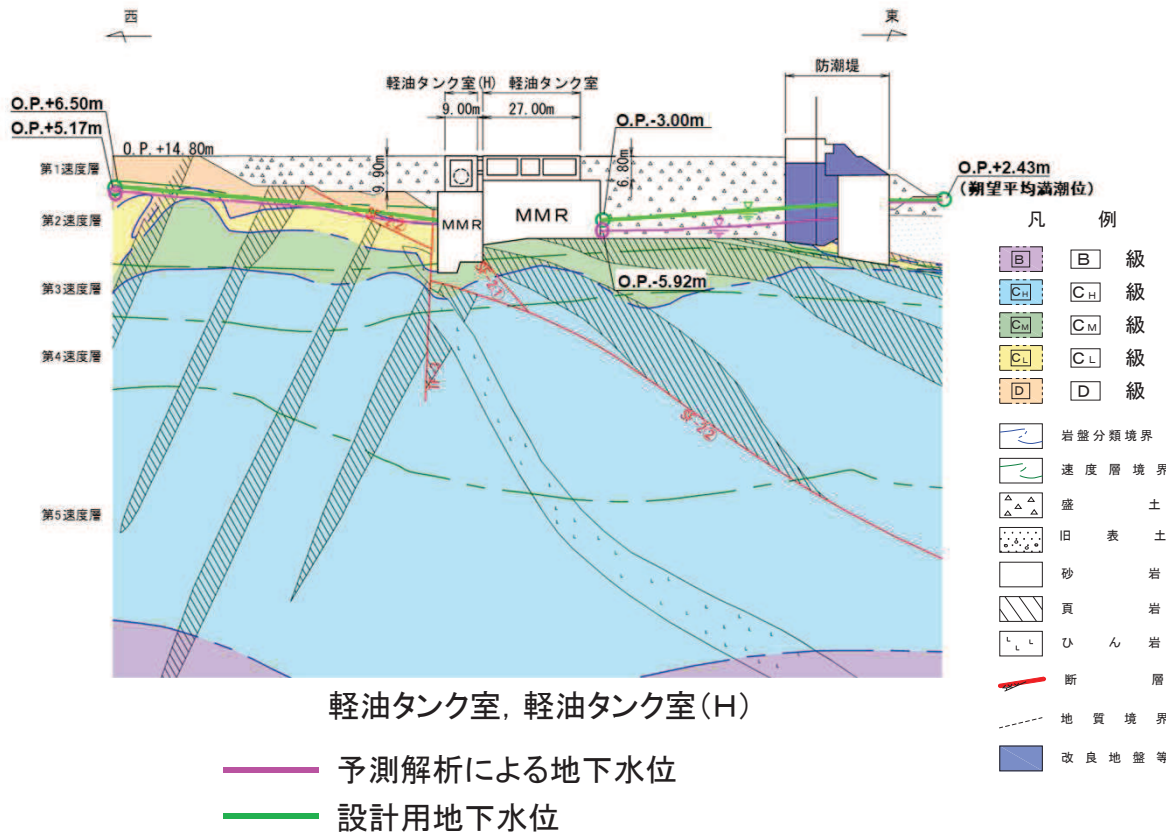
(線状構造物の場合)

予測解析結果を参照した設計用地下水位の設定方法

2. 地下水位の設定について(11/16)

【設計用地下水位の設定(箱形構造物)】

- 軽油タンク室, 軽油タンク室(H)の設計用地下水位の設定を以下に示す。
- 耐震評価に用いる設計用地下水位は, 予測解析による地下水位を高めめに包絡するよう設定。

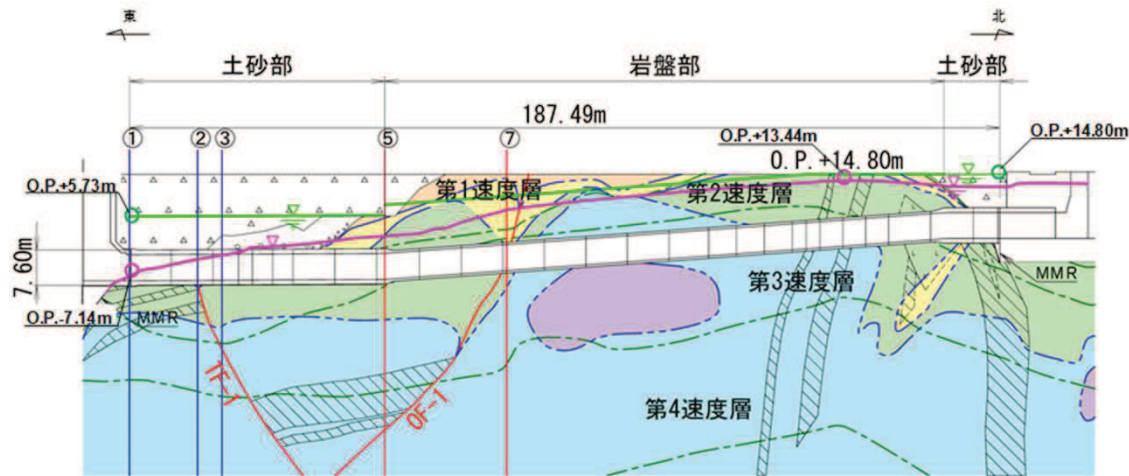


- 同様の考え方で設定した構造物
- 原子炉機器冷却海水配管ダクト
 - 軽油タンク連絡ダクト
 - 海水ポンプ室
 - 取水口
 - 復水貯蔵タンク基礎
 - 第3号機海水ポンプ室
 - 揚水井戸
(第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内)
 - No.1, No.2揚水井戸
 - 第3号機補機冷却海水系放水ピット
 - 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤南側)

2. 地下水位の設定について(12/16)

【設計用地下水位の設定(線状構造物)】

- 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位の設定を以下に示す。
- 耐震評価に用いる設計用地下水位は, 予測解析による地下水位を高めめに包絡するよう設定。



同様の考え方で設定した構造物

- 取水路
- 防潮壁

排気筒連絡ダクト(縦断)

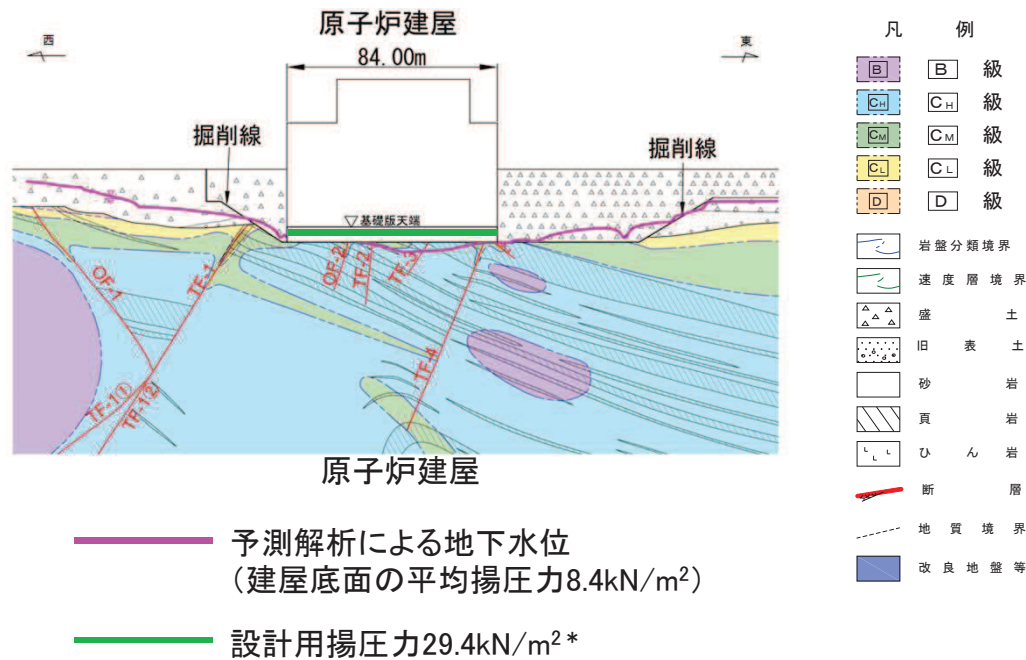
- 予測解析による地下水位
- 設計用地下水位

凡 例	
	B 級
	C_H 級
	C_M 級
	C_L 級
	D 級
	岩盤分類境界
	速度層境界
	盛土
	旧表土
	砂岩
	頁岩
	ひん岩
	断層
	地質境界
	改良地盤等

2. 地下水位の設定について(13/16)

【設計用揚圧力の設定(建物・構築物)】

- 原子炉建屋の設計用揚圧力の設定を以下に示す。
- 耐震評価に用いる設計用揚圧力は、予測解析による建屋底面の平均揚圧力を高めに包絡するよう設定。



同様の考え方で設定した建物

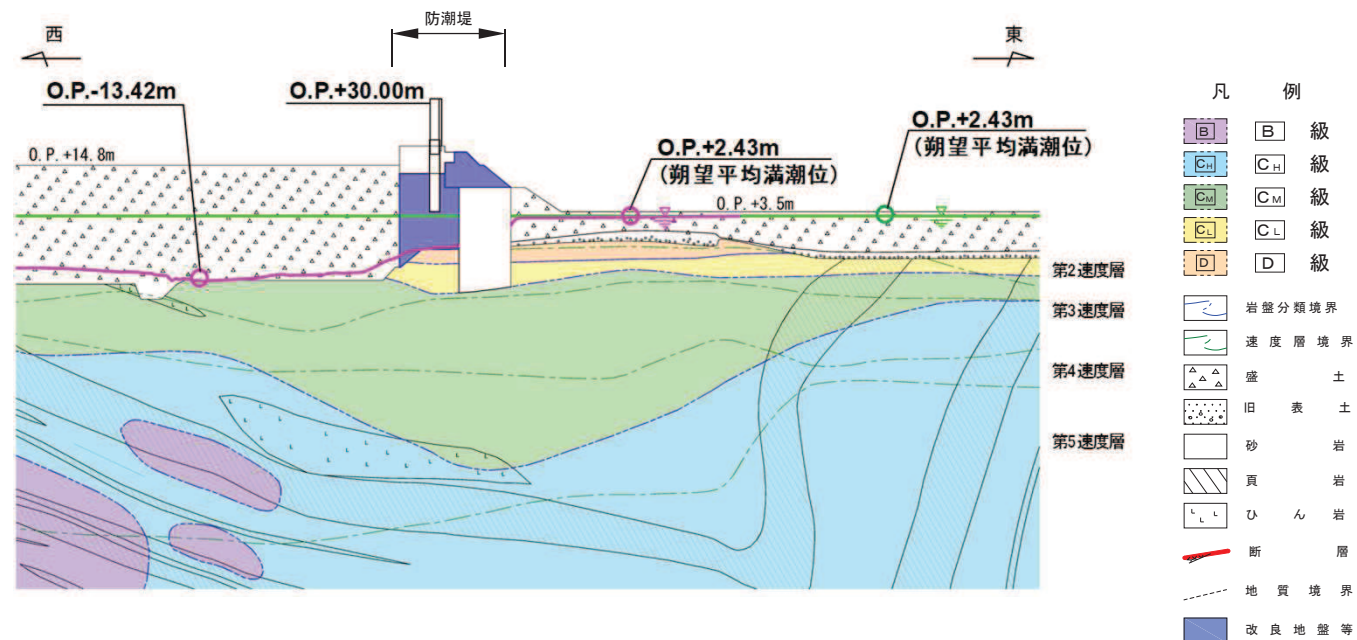
- 制御建屋
- 第3号機海水熱交換器建屋

*: 原子炉建屋は、今回解析で得られた揚圧力を上回る建設時工事計画認可時の設計用揚圧力と同値に設定。

2. 地下水位の設定について(14/16)

【設計用地下水位の設定(防潮堤)】

- 防潮堤(鋼管式鉛直壁(一般部))の設計用地下水位の設定を以下に示す。
- 防潮堤(鋼管式鉛直壁(一般部))の設計用地下水位は、設置変更許可における方針と同様、海側・敷地側とも朔望平均満潮位としており、予測解析による地下水位より高めに設定されていることを確認。



防潮堤(鋼管式鉛直壁(一般部))

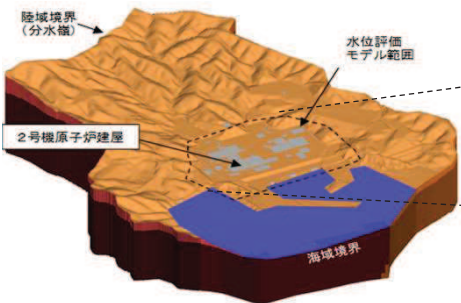
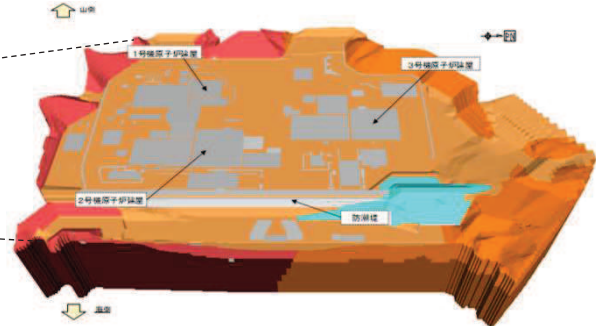
- 予測解析による地下水位
- 設計用地下水位

注) 防潮堤(盛土堤防)の設計用地下水位は、海側を朔望平均満潮位、敷地側を地表面に設定。屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)も同様に設定。

2. 地下水位の設定について(15/16)

【(参考1)浸透流解析モデルの諸元】

広域モデルと水位評価モデルの諸元対比

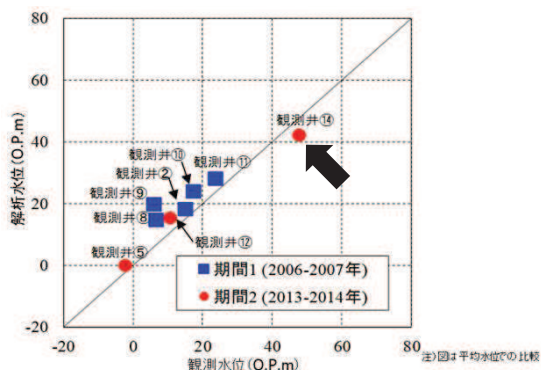
項目	広域モデル	水位評価モデル
1.目的	<ul style="list-style-type: none"> モデル化の妥当性を確認 (観測結果の再現性を確保) 	<ul style="list-style-type: none"> 設計用地下水位の設定において参照 液状化影響検討対象施設を幅広く抽出するため、高めの水位を評価
2.解析領域	<ul style="list-style-type: none"> 施設を含む分水嶺までの範囲 (施設へ流入する地下水を適切に表現) 	<ul style="list-style-type: none"> O.P.+14.8m盤及びO.P.+14.8m盤周辺の法面 
3.解析種別	<ul style="list-style-type: none"> 非定常解析 (検証期間の降雨条件を付与) 	<ul style="list-style-type: none"> 定常解析
4.検証期間	<ul style="list-style-type: none"> 期間1: 2006-2007年 期間2: 2013-2014年 	—
5.モデル	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位観測時(検証期間)における施設配置等を反映 	<ul style="list-style-type: none"> 詳細設計の結果を踏まえた工事完了段階における施設配置等を反映
6.ドレーン	<ul style="list-style-type: none"> 既設全てを管路として扱う(地下水位観測時の状態を再現するため、新設は考慮しない) 	<ul style="list-style-type: none"> 既設・新設のうち耐久性・耐震性・保守管理性等の確保された範囲を管路として扱う(それ以外の範囲については、耐震性等の確保状況に応じて透水層または周辺地盤として扱う)
7.境界条件	<ul style="list-style-type: none"> 実態に則した設定 <ul style="list-style-type: none"> 山側: 閉境界 海側: 平均潮位に水位固定 ドレーン: ドレーン計画高に水位固定 	<ul style="list-style-type: none"> 水位が高めに評価されるよう設定 <ul style="list-style-type: none"> 山側: 地表面(法肩)に水位固定 海側: 朔望平均満潮位に水位固定 ドレーン: ドレーン計画高に水位固定
8.透水係数	<ul style="list-style-type: none"> 試験結果の平均値 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤 I を試験結果の平均値 -1σ (水位が高めに評価されるよう設定)

2. 地下水位の設定について(16/16)

【(参考2)広域モデルによる妥当性確認に係る補足】

観測井⑭における解析水位と観測水位の関係について

- 広域モデルによるモデルの妥当性確認(p.5)において、観測井⑭では解析水位が観測水位を下回っている。
- この要因として、当該観測井が沢部に位置しており、周囲から岩盤表面の地下水が集まりやすい構造のため、地下水位が低い時期においても、観測孔内が一定の水位を保持するためと考えられる。【2019/05/21審査会合にて説明】



解析水位と観測水位
(p.5「解析水位と観測水位の比較その1」へ一部加筆)

4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針 (3)再現解析による検証(2/2)

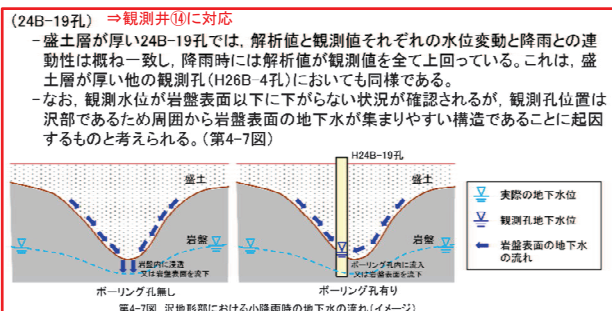
第697回審査会合(H31.3.26)
資料1-1-2 p.27 再掲

【観測値と解析値の差異要因】

- 岩盤が地表付近に近く、主に岩盤内を地下水が流れる観測孔(1Rsy-1~4, 1Rsx-1, 24B-33)において、観測値と解析値の差が比較的大きい結果が得られている。これは、建設時工認において設計用地下水位(揚圧力)を高めに評価するため、岩盤Iの透水係数を-1σ小さく設定していることに起因するものと推察される。(第4-4表)

【水位経時変化の確認】

- 前頁の比較図において比較的裕度の小さい24B-19孔・1Rsx-1孔を例に、解析水位と観測水位の経時変化を示す。(第4-8図)
- 24B-19孔は盛土厚層が大きい地点、1Rsx-1孔は岩盤が地表付近に近い地点であるが、いずれも降雨時には解析値が観測値を上回っており、予測解析において解析値を安全側(地下水位が高め)に評価する目的から、保守的な結果となっている。
- それぞれの観測孔における地下水位の経時変化の傾向は以下の通り。

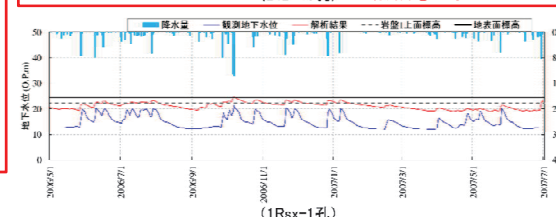
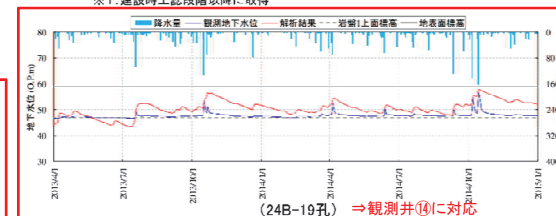


- (1Rsx-1孔)
- 岩盤が地表付近に近い1Rsx-1孔では、解析値と観測値それぞれの水位変動と降雨との連動性は概ね一致し、降雨時には解析値が観測値を全て上回っている。これは、岩盤が地表付近に近い他の観測孔(1Rsy-1~4, 24B-33)においても同様である。

第4-4表 透水係数(建設時工認ベース)

地層区分	透水係数 (m/sec)	設定根拠	
盛土・旧表土	3×10^{-5}	平均値	
2号炉周辺以南	岩盤 I	7×10^{-7}	-1σ
	岩盤 II	5×10^{-7}	平均値
3号炉周辺以北	岩盤 I	2×10^{-7}	-1σ
	岩盤 II	1×10^{-7}	平均値
改良地盤・セメント改良土※1	2×10^{-7}	平均値	
構造物	0(不透水)	-	

※1:建設時工認段階以降に取得



第4-8図 地下水位の経時変化例

2019年5月21日 第715回審査会合(資料2-1-2)に一部加筆

注)第4-8図の地下水位の経時変化例は、水位評価モデル同様、岩盤Iの透水係数を平均値-1σとした場合における結果を示している。

■ 地下水位低下設備の設備構成

- 浸透流解析による地下水流入量の評価^{*1}を踏まえた地下水位低下設備の設備構成(揚水ポンプ, 配管, 水位計等)を説明する。

*1 浸透流解析による地下水流入量の評価においては, 水位評価モデルをベースとして, 流入量が大きめに評価されるような条件を設定

■ 設計用地下水位を踏まえた各施設の解析手法及び地震応答解析断面の選定結果

- 屋外重要土木構造物等の耐震評価^{*2}を行うための評価対象断面の選定, 地盤の液状化特性及びそれを踏まえた解析手法の選定の方針を説明する。

*2 設計用地下水位を高めに設定することを踏まえ, 地下水位が設計用地下水位より低い場合の影響についても考慮