

本資料のうち、枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0001_改2
提出年月日	2021年1月13日

VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針

2021年1月
東北電力株式会社

今回ご説明範囲（本章の詳細目次は次頁参照）

1. 概要
2. 基本方針
3. 地盤の解析用物性値
 - 3.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値
 - 3.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値
 - 3.2.1 全応力解析に用いる解析用物性値
 - 3.2.2 有効応力解析に用いる解析用物性値
 - 3.2.3 その他の解析用物性値
4. 極限支持力
 - 4.1 基礎地盤（狐崎部層・牧の浜部層・改良地盤）の極限支持力
 - 4.2 直接基礎の支持力算定式
 - 4.3 杭基礎の支持力算定式
5. 耐震評価における地下水位設定方針
 - 5.1 基本方針
 - 5.2 浸透流解析
 - 5.3 建物・構築物の耐震評価における地下水位設定
 - 5.4 土木構造物の耐震評価における地下水位設定
 - 5.5 アクセスルートの耐震評価における地下水位設定
 - 5.6 地下水位設定の妥当性など
6. 地質断面図
7. 地盤の速度構造
 - 7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル
 - 7.2 地震応答解析に用いる解析モデル
8. 地盤の液状化強度特性の代表性，網羅性及び保守性
 - 8.1 液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性
 - 8.2 地盤の液状化強度特性における保守性

目次 (5. 耐震評価における地下水位設定方針)

5. 耐震評価における地下水位設定方針	1
5.1 基本方針	1
5.1.1 設計用地下水位の設定方針	1
5.2 浸透流解析	2
5.2.1 浸透流解析を用いた設計用地下水位の設定方法（解析フロー）	2
(1) 浸透流解析の目的	2
(2) 解析手順の設定における考慮事項	2
(3) 解析手順の設定	2
(4) 設計用揚圧力・設計用地下水位の設定フロー	3
(5) 参考文献	5
5.2.2 モデル化方針の設定	6
(1) モデル化の方針	6
(2) モデル化に用いるデータの収集	6
(3) データの十分性	9
(4) 解析コードの選定	9
(5) 対象施設の抽出	9
5.2.3 広域モデルによる非定常解析	12
(1) 広域モデルの作成	12
(2) アウトプット	19
(3) モデルの妥当性に係る検証	21
5.2.4 予測解析（水位評価モデルを用いた定常解析）	23
(1) 水位評価モデルの作成	23
(2) アウトプット	41
5.3 建物・構築物の耐震評価における地下水位設定	42
5.4 土木構造物の耐震評価における地下水位設定	47
5.5 アクセスルートの耐震評価における地下水位設定	78
5.6 地下水位設定の妥当性など	79
5.6.1 設計用地下水位の設計余裕の妥当性の検証	79
(1) 観測水位と解析水位（予測解析）の比較	79
(2) 降雨に対する余裕	82
5.6.2 水位が低い場合の影響確認	89
(1) 概要	89
(2) 解析条件	90

(3)	解析結果	91
(4)	影響確認方針	91
5.6.3	今後実施する浸透流解析の妥当性の検証	91

5. 耐震評価における地下水位設定方針

5.1 基本方針

5.1.1 設計用地下水位の設定方針

防潮堤下部の地盤改良等により山から海に向かう地下水の流れが遮断され敷地内の地下水位が地表面付近まで上昇するおそれがあることを踏まえ、原子炉建屋等に作用する揚圧力の低減及び周辺の土木構造物等に生じる液状化影響の低減を目的とし、地下水位を一定の範囲に保持するための地下水位低下設備を設置する。

耐震評価において、地下水位の影響を受ける施設等（以下、「評価対象施設等*1」という。）について、この地下水位低下設備の効果が及ぶ範囲（0. P. +14. 8m盤）においては、その機能を考慮した設計用地下水位を設定し水圧の影響を考慮する。また、地下水位低下設備の効果が及ばない範囲においては、自然水位*2より保守的に設定した水位又は地表面にて設計用地下水位を設定し水圧の影響を考慮する。

*1 評価対象施設等は、0. P. +14. 8m盤及び0. P. +62m盤エリアに設置される耐震重要施設・常設重大事故等対処施設（間接支持構造物を含む）並びに保管場所・アクセスルート（斜面を含む）が含まれる。

*2 自然水位とは、地下水位低下設備等の人為的な措置の影響が含まれない地下水位を指す。0. P. +14. 8m盤は浸透流解析の境界条件として地下水位低下設備の機能を考慮している一方、0. P. +62m盤の地下水位は地下水位低下設備の影響が含まれない。

設置変更許可段階における審査においては、地下水位を高めを設定することにより保守性が確保されるとの考え方のもと、浸透流解析を用いて設計用地下水位を設定する場合の保守性の確保の方針を説明した。

詳細設計段階の検討においては、設置変更許可段階の方針を踏まえ、保守的な（高めの）設計用地下水位を設定し、その保守性を確認する。また、念のための検討として、地下水位を高く設定することが保守的とならない可能性がある場合の耐震安全性への影響についても併せて確認する（詳細は(6)、(7)にて後述する）。

5.2 浸透流解析

5.2.1 浸透流解析を用いた設計用地下水位の設定方法（解析フロー）

5.1 に示す設計用地下水位の設定方針を踏まえ、本章では地下水位低下設備の機能を考慮し浸透流解析により設計用揚圧力、設計用地下水位を設定する手順について述べる。

なお、防潮堤の設計用地下水位については、設置変更許可段階における設計方針と同様に設定しており、本フローに基づき実施する浸透流解析結果により保守性を確認する。

(1) 浸透流解析の目的

設置変更許可段階の方針を踏まえて、妥当な解析モデルを用いて、将来的な施設配置を考慮した設計用揚圧力・設計用地下水位を保守的に算出することを目的とする。

(2) 解析手順の設定における考慮事項

地下水位低下設備の機能を考慮した設計用揚圧力、設計用地下水位の設定において参照する浸透流解析については、長谷川ら*¹を参考に以下の事項に考慮し解析フローを定めた。

- ・ 地下水流動場を表現するための情報が入手できることを確認する。
- ・ 地下水流動の特徴を表現できるコードを選択する。
- ・ 地下水流動場を表現できる解析領域を設定する。
- ・ 地下水流動に影響を与える要素（地形・地質構造や造成形状、水理特性（透水係数等）、ドレーンや地中構造物等）を適切にモデルに反映する。
- ・ 水理的挙動に影響を与えるパラメータ（透水係数等）を適切に設定する。
- ・ 地下水位の観測値と解析値の比較等によりモデルの妥当性を確認する。

(3) 解析手順の設定

(1)に示した解析の目的及び b. に示した考慮事項を踏まえ、水収支が閉じる領域として、敷地周辺の分水嶺までの範囲を対象とした広域モデルを作成し、観測降雨を付与した非定常解析を行い、地下水位の観測値と解析値の比較を行うことでモデルの妥当性を確認する。

この上で、解析目的を達成するため、以下を考慮した予測解析（定常解析）を行い、各施設の耐震設計において参照する解析水位を算定する。

- ・ 将来的な造成形状、ドレーンや地中構造物等を反映する。
- ・ 保守的な解析結果を得られるよう以下の配慮を行う。
 - －ドレーンは信頼性の確保状況に応じて有効範囲を設定する。

- －水理的挙動に影響を与えるパラメータ（透水係数等）を保守的に設定する。
- －境界条件を保守的に設定する（O.P. +14.8m 盤周辺の法面を含む範囲を切り出し、解析境界（法肩）地表面に地下水位を固定する）。

上記により得られた解析水位を保守的に（高めに）包絡するように、設計用揚圧力、設計用地下水位を設定する。

設定した設計用揚圧力、設計用地下水位が有する保守性について、観測水位との比較*²及び仮想の豪雨を与えた場合の解析水位との比較*³を行い、検証する。

また、地下水位が低い場合の耐震安全性への影響についても併せて確認する。

- *1 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））
- *2 今後実施する防潮堤の沈下対策やドレーン新設によりO.P. +14.8m盤の観測水位は将来的に下がることが予測される。設計用地下水位と観測水位はモデル条件等が異なることに留意し、比較結果を踏まえた考察を行う。
- *3 設計用地下水位が有する保守性把握のため、仮想の豪雨条件を付与した非定常解析を行い、影響を確認する。

(4) 設計用揚圧力・設計用地下水位の設定フロー

前項の整理を踏まえ、地下水位低下設備の機能を考慮する場合の設計用揚圧力、設計用地下水位の設定フローを図 5.1-1 のとおり設定する。

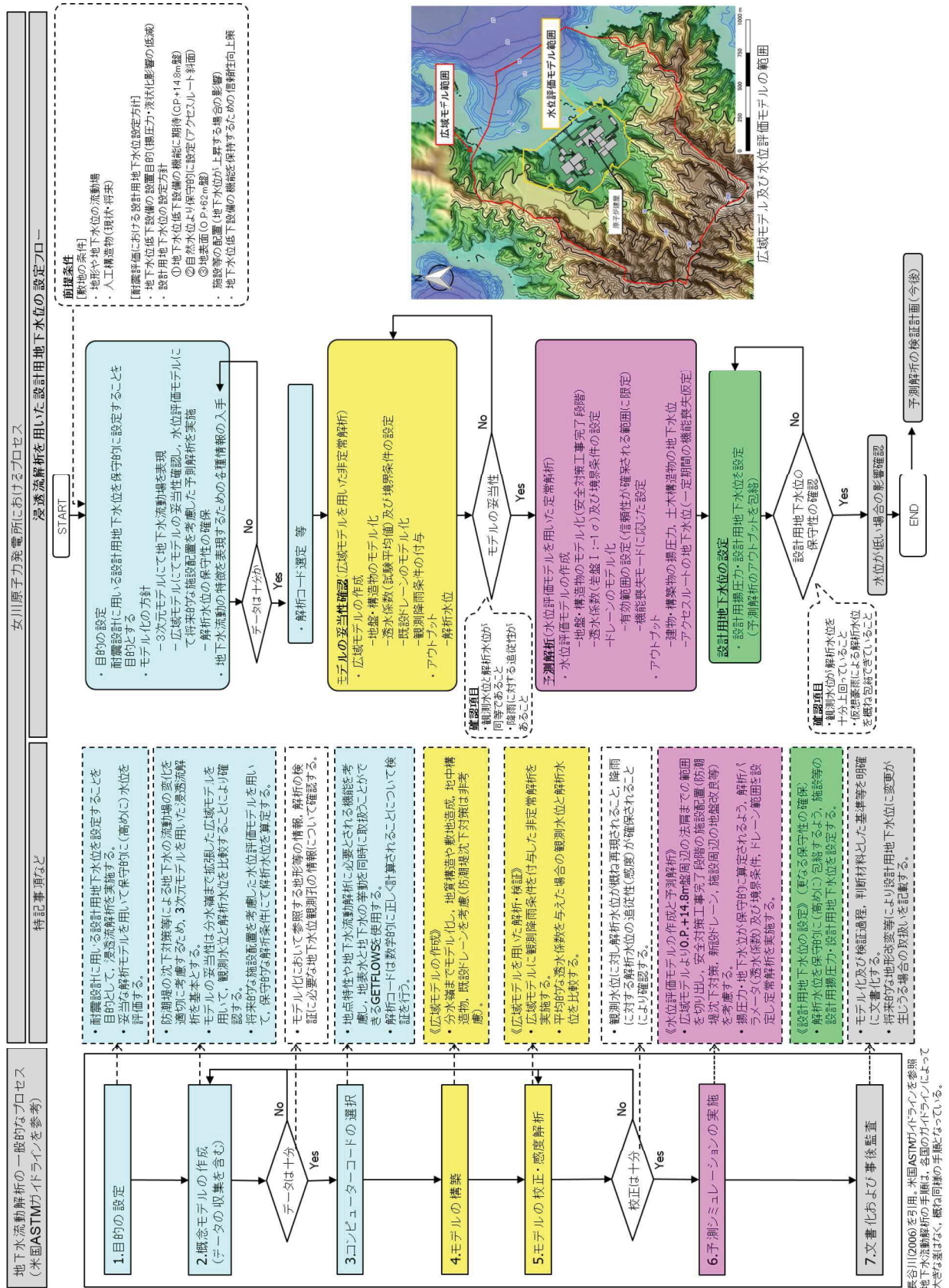


図 5.1-1 設計用地下水水位の設定フロー

(5) 参考文献

- ・ 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））
- ・ 余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方（社団法人土木学会，2008 年 6 月）
- ・ 流域スケールにおける反応性窒素移動過程のモデル化と実流域への適用性検討（森康二ほか，地下水学会誌第 58 巻第 1 号 63～86（2016））
- ・ 水循環解析におけるモデルの設定および再現性の検証事例の報告－福井県大野盆地における事例－（西村宗倫ほか，地下水学会誌第 59 巻第 2 号 125～158（2017））
- ・ 流域モデリングの水循環解析への適用とその実際（田原ほか（2014），日本地下水学会 2014 年度秋季講演会講演予稿，158-163）
- ・ Mori, K., Tada, K., Tawara, Y., Ohno, K., Asami, M., Kosaka, K., and Tosaka, H., 2015. Integrated watershed modeling for simulation of spatiotemporal redistribution of post-fallout radionuclides: Application in radiocesium fate and transport processes derived from the Fukushima accidents, *Environmental Modelling & Software*, 72, 126-146.

5.2.2 モデル化方針の設定

(1) モデル化の方針

女川原子力発電所においては、建設時工事計画認可段階に実施した浸透流解析（2次元浸透流解析）により各施設の設計用揚圧力・設計用地下水位を設定している。

防潮堤の沈下対策や地下水位低下設備の新設により、敷地内の地下水の流動場は従前の山から海に向かう1方向流れから将来的に変化すると考えられることを踏まえ、三次元に拡張した浸透流解析により、定常的な地下水位分布を算定する。

モデルの妥当性は、分水嶺までの範囲を模擬した広域モデルにて観測水位の再現性を確認することにより行うが、発電所敷地の改変（安全対策工事に伴う造成等）時期を考慮し、再現性の確認を行う時期に対応したモデル化を行う。この際に用いる透水係数は、建設時工事計画認可段階やその後に取得されたデータ等に基づき設定する。

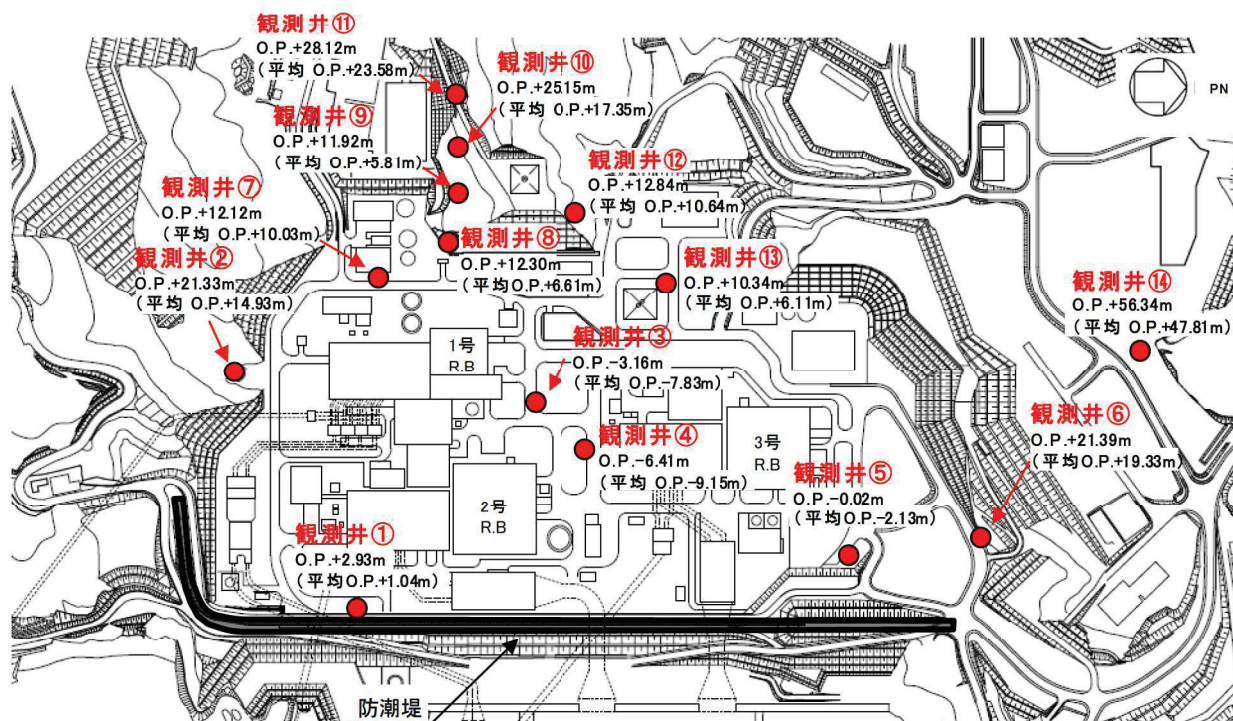
この上で、予測解析においては揚圧力・地下水位が保守的に（高めに）算出されるよう、解析領域を対象施設近傍の C.P. +14.8m 盤周辺領域とし、山側を解析境界の地表面（法肩）に、海側を H.W.L. に水位固定した定常解析を行う。造成形状や構造物は安全対策工事完了段階に対応したモデル化を行い、地下水位低下設備は信頼性が確保された範囲に限定する。この際に用いる透水係数は、解析の再現性（観測水位への追従性）が確保される範囲で保守的に（小さめに）設定する。

(2) モデル化に用いるデータの収集

(1)に示すモデル化の方針を具体化するにあたり、地下水流動場を表現するために参照するデータについて表 5.1-1 のとおり整理した。

表 5.1-1 解析において参照するデータ

種類	内容	参照するデータ
地盤	・地形の情報（図面，数値標高モデル（DEM）等）	・DEM（数値標高モデル，国土地理院） ・工事記録による造成履歴 ・安全対策工事計画（工事完了時の状態）
	・敷地の地質・地質構造の情報（敷地造成を含む）	・地質調査に基づく敷地の地質・地質構造 ・敷地造成に係る図面等
気象	・降水量，気温，日射量，相対湿度，風速	・構内観測所データ ・気象庁データ ・地下水ハンドブック
水理	・水理特性（透水係数） ・検証において参照する地下水位観測記録	・原位置透水試験結果等 ・地下水位観測記録（図 5.1-2，表 5.1-2）
構造物	・地中構造物	・工事記録 ・設計計算書等（今後設置する施設等）
排水設備等	・地下水位低下設備，構内排水	・工事記録 ・設計計算書等（今後設置する地下水位低下設備）
その他	・既往の地下水位設定方法	・建設時工事計画認可段階において実施した2次元浸透流解析



*: 数値は観測最高地下水位，()は平均地下水位を示す

図5.1-2 地下水位観測井位置図

表5.1-2 観測水位一覧表

観測井	観測期間	観測水位 (O.P. m)		観測最高地下水位 計測時期	備考
		最高	平均		
観測井①	2018年6月 ～2020年2月	最高	+2.93	2019年10月13日	O.P. +14.8m盤
		平均	+1.04		
観測井②	2006年5月 ～2007年6月	最高	+21.33	2006年10月7日	法面上 (O.P. +29.4m)
		平均	+14.93		
観測井③	2019年8月 ～2020年2月	最高	-3.16	2019年10月12日	O.P. +14.8m盤
		平均	-7.83		
観測井④	2019年8月 ～2020年2月	最高	-6.41	2019年10月28日	O.P. +14.8m盤
		平均	-9.15		
観測井⑤	2014年9月 ～2014年12月	最高	-0.02	2014年10月14日	O.P. +14.8m盤
		平均	-2.13		
観測井⑥	2016年3月 ～2020年2月	最高	+21.39	2019年10月26日	法面上 (O.P. +27.0m)
		平均	+19.33		
観測井⑦	2018年6月 ～2020年2月	最高	+12.12	2019年10月13日	O.P. +14.8m盤
		平均	+10.03		
観測井⑧	2006年5月 ～2007年6月	最高	+12.30	2006年10月7日	法面上 (O.P. +17.7m)
		平均	+6.61		
観測井⑨	2006年5月 ～2007年6月	最高	+11.92	2006年10月7日	法面上 (O.P. +29.6m)
		平均	+5.81		
観測井⑩	2006年5月 ～2007年6月	最高	+25.15	2006年6月17日	法面上 (O.P. +40.2m)
		平均	+17.35		
観測井⑪	2006年5月 ～2007年6月	最高	+28.12	2006年10月11日	法面上 (O.P. +48.7m)
		平均	+23.58		
観測井⑫	2014年3月 ～2014年12月	最高	+12.84	2014年10月14日	法面上 (O.P. +27.8m)
		平均	+10.64		
観測井⑬	2018年6月 ～2020年2月	最高	+10.34	2019年10月27日	O.P. +14.8m盤
		平均	+6.11		
観測井⑭	2013年5月 ～2014年12月	最高	+56.34	2014年10月15日	O.P. +60.0m
		平均	+47.81		

(3) データの十分性

(2)の整理から，浸透流解析モデルの構築にあたり必要なデータが収集されていることを確認した。

また，モデルの妥当性の確認に用いる観測記録については，施設等が配置される O.P.+14.8m 盤及び施設や敷地造成が地下水位に与える影響が相対的に小さいと考えられる O.P.+14.8m 盤山側や周辺法面に偏りなく複数設定されており，これらのデータを活用し地下水流動場の検証を行うことが可能であることを確認した。

(4) 解析コードの選定

地表水と地下水の挙動を同時に取扱うことができる GETFLOWS (GEneral purpose Terrestrial fluid-FLOW Simulator) バージョン：Ver.6.64.0.2 を使用する。

(5) 対象施設の抽出

地下水位が上昇した場合に評価対象施設等に生じる影響について整理した。

地下水位の上昇による施設の耐震性への影響は，以下のようにステップ1より段階的に生じる。

ステップ1：建物・構築物へ作用する揚圧力の上昇（基礎版の耐震性に影響）

ステップ2：周辺地盤の液状化に伴う施設へ作用する土圧等の変化（躯体の耐震性に影響）

ステップ3：周辺地盤の液状化に伴う地下構造物の浮上り（躯体の安定性に影響）

この傾向を踏まえ，ドレーンの有効範囲（浸透流解析上，集水機能に寄与するドレーンの範囲。(5)にて後述)の検討プロセスのうち新設ドレーンの設定においては，建物・構築物へ作用する揚圧力の上昇影響に着目する。

評価対象施設等の配置を図 5.1-3 及び図 5.1-4 に示す。

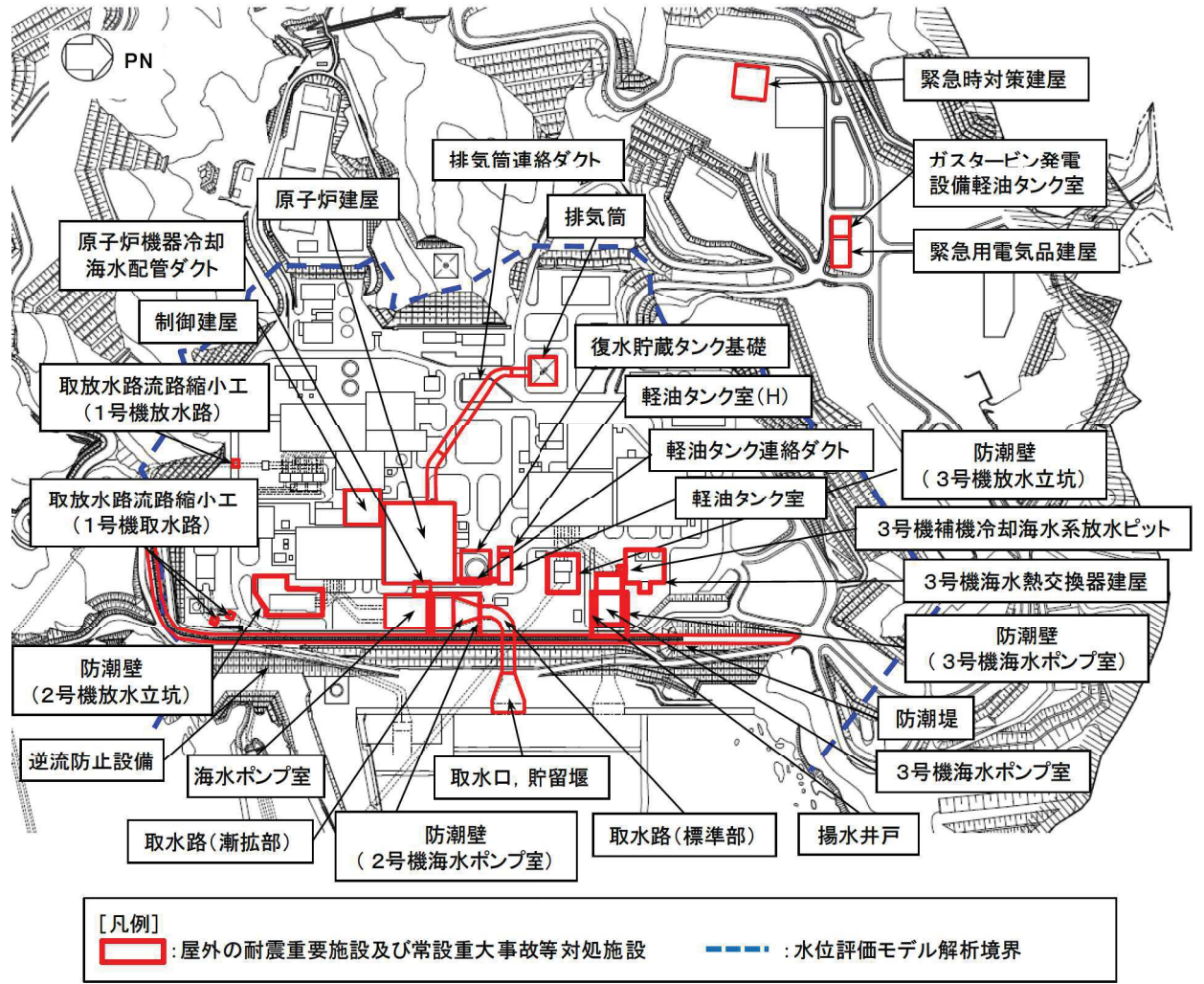


図5.1-3 屋外の評価対象施設の配置図

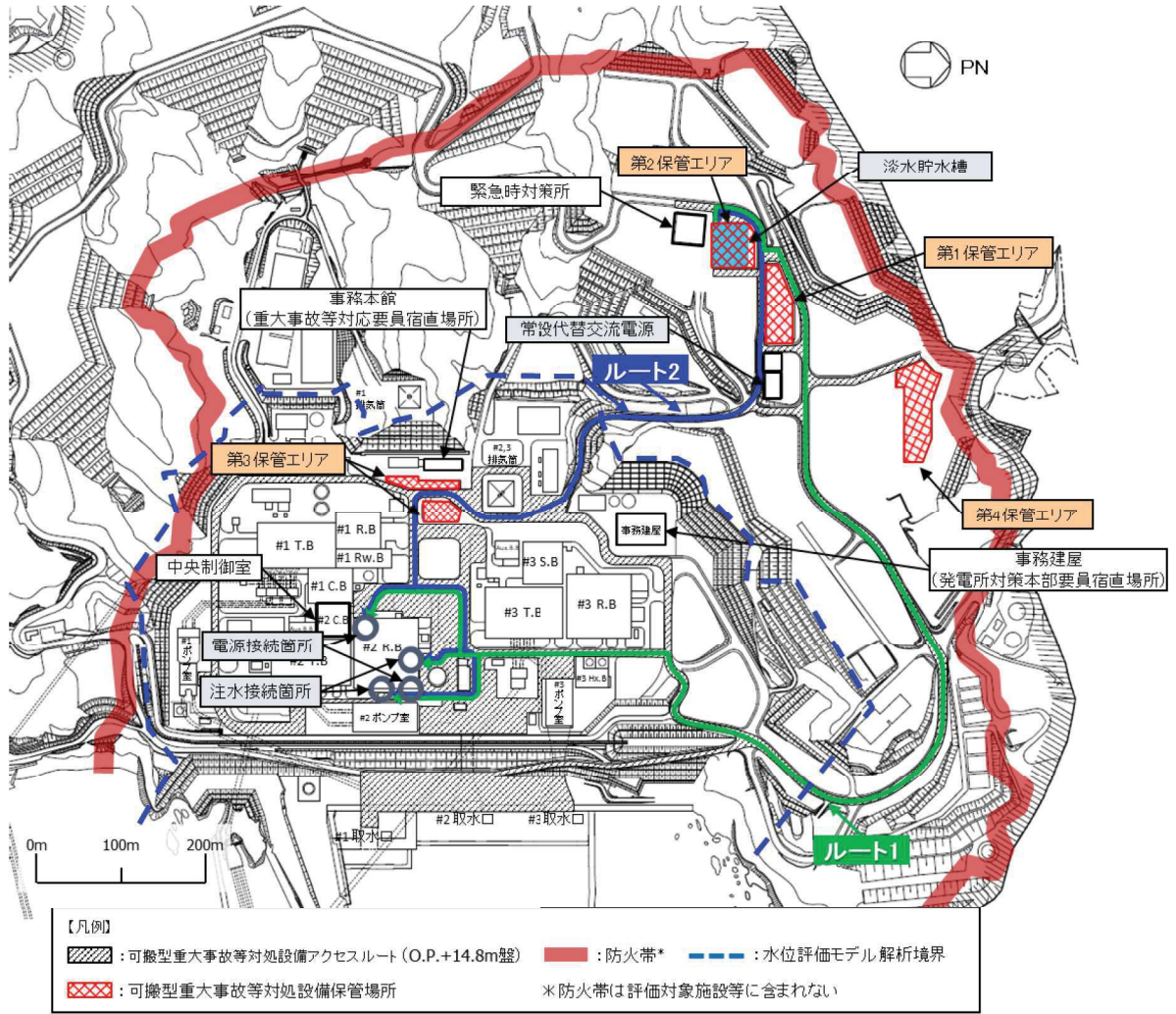


図5.1-4 可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルート配置図

5.2.3 広域モデルによる非定常解析

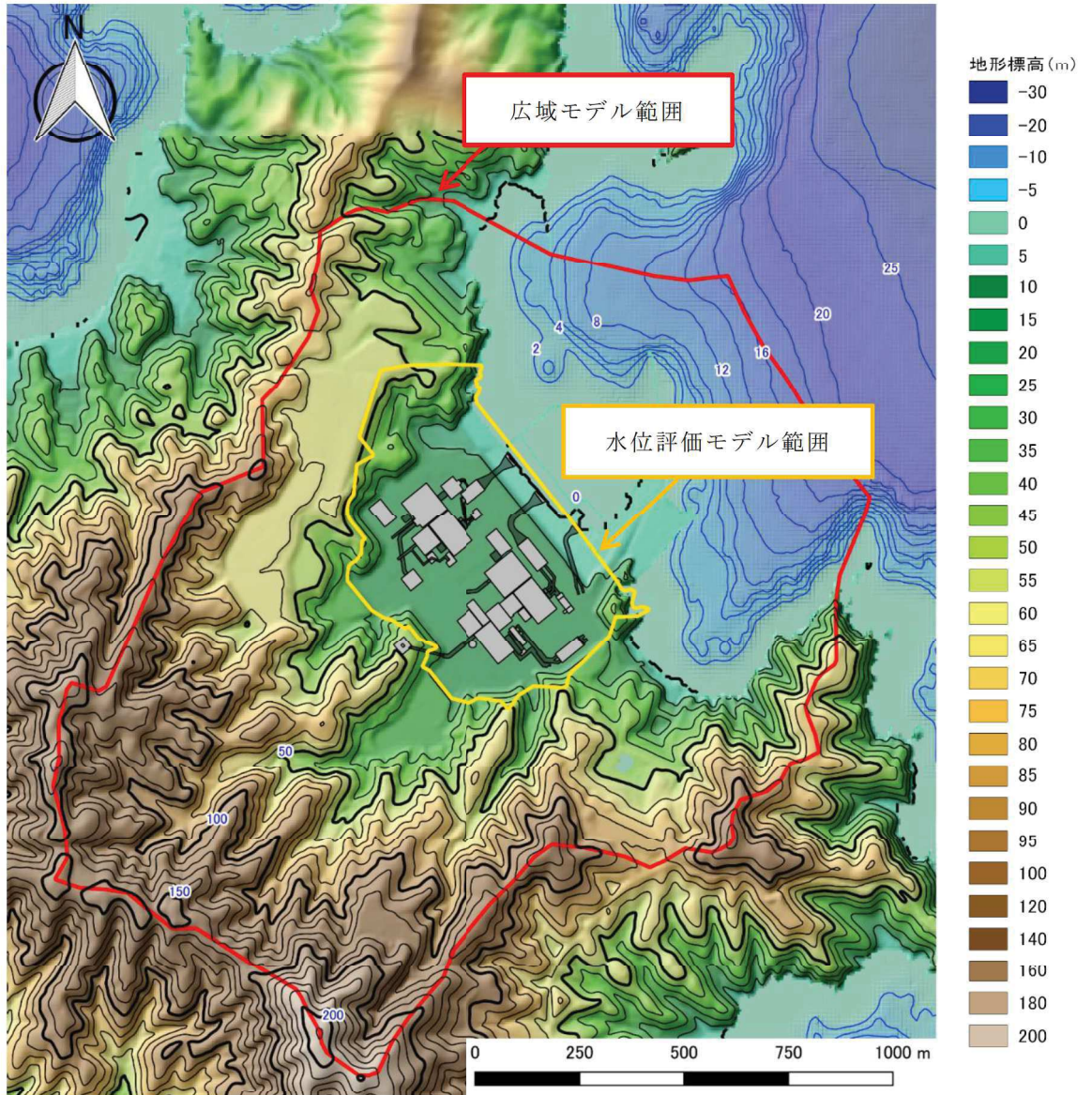
(1) 広域モデルの作成

a. モデル化範囲の設定

広域モデルは、対象施設等を含む分水嶺までの範囲をモデル化する。

モデル化範囲を図 5.1-5 に、広域モデルの鳥瞰図を図 5.1-6～図 5.1-7 に示す。

なお、水位評価モデルの概要については(4)にて後述する。



(検証時期に対応した地形の情報であり、構造物のモデル化状況は後述する)

図 5.1-5 広域モデルの範囲

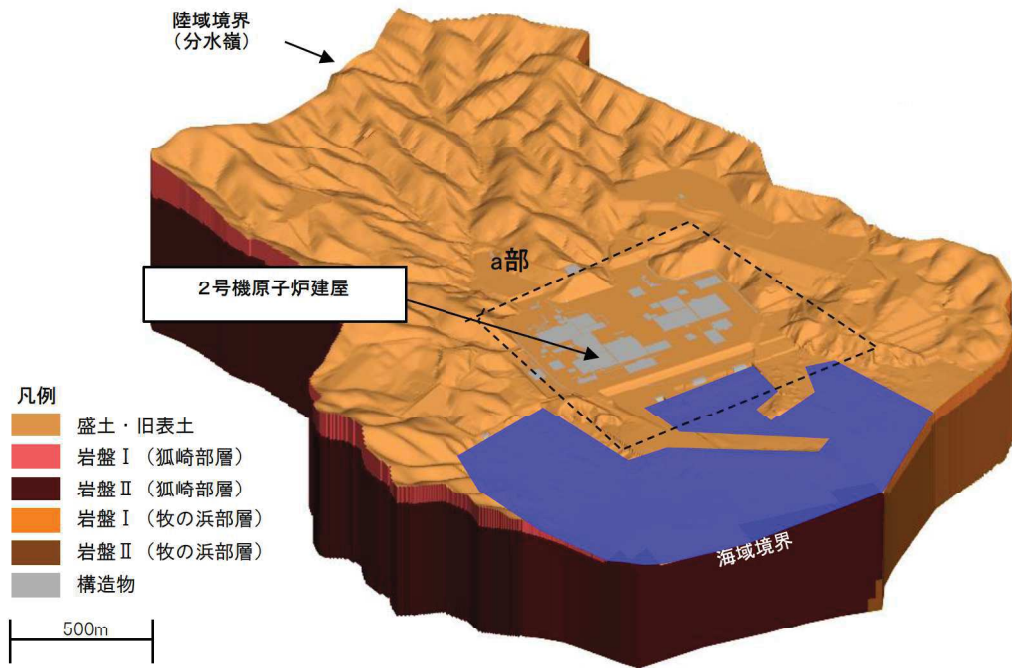
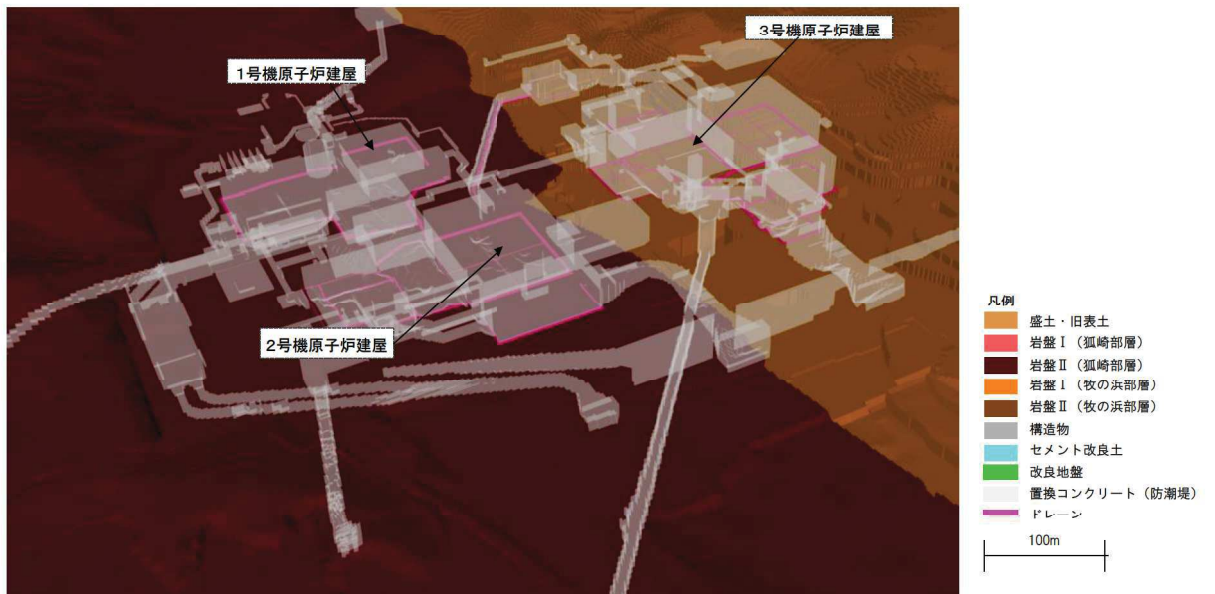


図 5.1-6 広域モデル鳥瞰図
(全体図)



(盛土・旧表土及び岩盤 I を非表示)

図 5.1-7 広域モデル鳥瞰図
(a 部拡大)

b. 格子サイズ

モデルの格子サイズについて、三次元浸透流解析により得られた解析水位に基づき設定される設計用地下水位が各施設等の耐震設計における解析断面上に反映される（二次元動的有限要素法を用いる場合など）ことを考慮し、格子寸法を0.5～6m程度に設定した。（構造物近傍は最小0.5m程度、山側領域は3～6 m程度）

c. 検証期間の設定

検証対象とする観測水位は、安全対策工事による地形改変等が開始される前で、一定数の連続観測水位データが取得されている期間とする。

各観測井のデータ取得時期、地下水流動場の状態（敷地造成等の改変、地下水位低下設備の稼働状況）を表5.1-3に、各観測井の位置を図5.1-8に示す。

この整理を踏まえ、検証期間として下記の2期間を選定する。

検証期間1：2006年4月～2007年7月

検証期間2：2013年2月～2014年12月

d. 地盤・構造物のモデル化

(a) 地形

地形（造成形状）は、検証期間 1 及び 2 における各期間での状態を考慮し設定した。

(b) 地盤

敷地の地質構造や発電所建設時の敷地造成形状を考慮し設定した。断層・シームについてはモデル化していない。

(c) 構造物

- ・ 検証期間における設置状況を踏まえ、図 5.1-7 に示すとおりモデル化を行った（防潮堤の沈下対策等、検証期間において完成していない施設等は考慮しない）。
- ・ 非岩着で基礎の浅い構造物等は地下水流動への影響が軽微でありモデル化していない。
- ・ 舗装はモデル化していない（地山が露出している部分と同様に地下へ浸透）。
- ・ 構内排水路へ流下した水は海へと排水されることからモデル化する（地下への浸透はないものとして扱う）。
- ・ 建屋の屋根排水は構内排水路に集水されるため、建屋屋根部に降雨を考慮しない。

e. 透水係数及び境界条件の設定

地盤及び施設の透水係数は、建設時工事計画認可段階及びその後に得られた試験平均値として設定する。

透水係数の設定値と設定根拠を表 5.1-4 に示す。

表 5.1-4 透水係数の設定値と設定根拠（広域モデルによる非定常解析）

地層		設定値 (m/s)	設定根拠
盛土・旧表土		3.0×10^{-9}	試験結果の平均値に基づき設定
狐崎 部層	岩盤 I	1.6×10^{-6}	
	岩盤 II	5.0×10^{-7}	
牧の浜 部層	岩盤 I	1.1×10^{-6}	
	岩盤 II	1.0×10^{-7}	
セメント改良土・改良地盤		2.0×10^{-7}	
透水層（碎石）		1.0×10^{-2}	試験結果の平均値に基づき設定
コンクリート 構造物 (MMR 含む)		— (不透水)	—

f. ドレインのモデル化

ドレインは、検証期間における供用状態に対応し、1～3号機の既設全ての範囲を考慮する（新設ドレインは考慮しない）。既設ドレインの配置図を図 5.1-9 に示す。

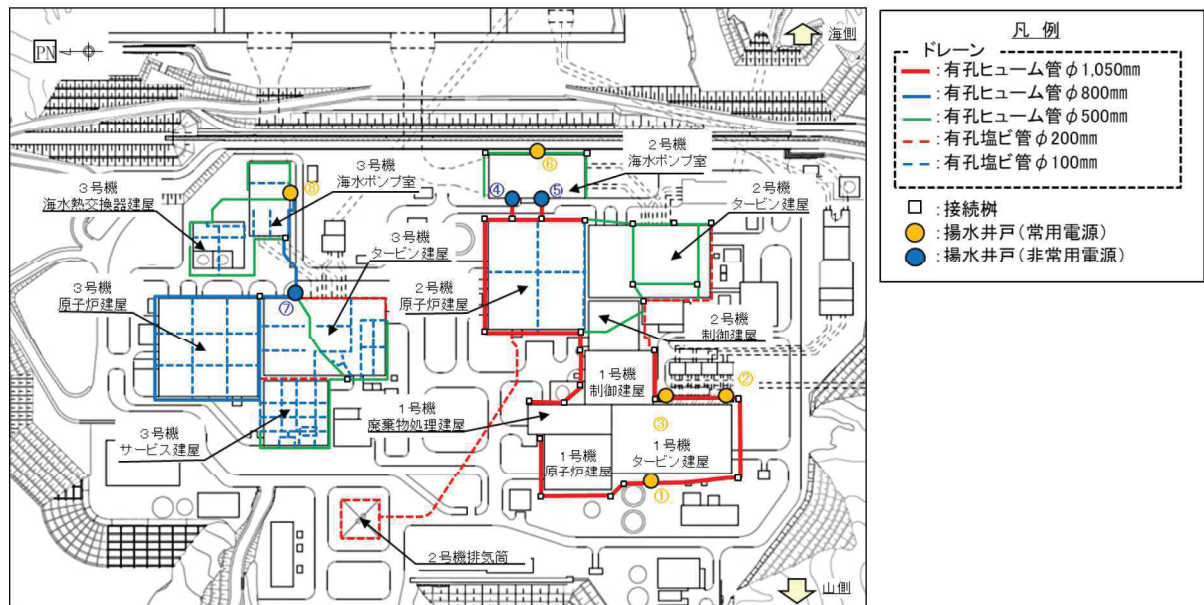


図 5.1-9 既設ドレイン配置図

g. 浸透流解析条件まとめ（広域モデル）

表 5.1-5 に、広域モデルの解析条件一覧を示す。

表 5.1-5 浸透流解析モデル（広域モデル）の概要

項目	広域モデル
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）
2. 解析コード	<ul style="list-style-type: none"> GETFLOWS Ver. 6.64.0.2
3a. 解析領域	<ul style="list-style-type: none"> 分水嶺を山側境界とし水位評価モデルを包絡する範囲 
3b. 格子数	<ul style="list-style-type: none"> 平面格子数：約 33.4 万 総格子数：約 1600 万 格子寸法：0.5～6m 程度（構造物近傍は最小 0.5m 程度，山側領域は 3～6 m 程度）
4. 解析種別	<ul style="list-style-type: none"> 非定常解析
5a. 検証期間	<ul style="list-style-type: none"> 2006-2007 年，2013-2014 年
5b. 気象条件	降水量・気温・日射量・相対湿度・風速：構内観測所データ（欠測値は，周辺気象庁データから欠測補間）
5c. 蒸発散	<ul style="list-style-type: none"> 定常状態：ハーモン法*¹ 非定常状態：熱収支法
6a. モデル（地形）	<ul style="list-style-type: none"> 検証期間に対応した状態
6b. //（地盤）	<ul style="list-style-type: none"> 検証期間に対応した状態
6c. //（構造物）	<ul style="list-style-type: none"> 検証期間に対応した状態
6d. //（ドレーン）	<ul style="list-style-type: none"> 既設の全範囲を管路として考慮
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
8. 透水係数	<ul style="list-style-type: none"> 試験平均値
9. 有効間隙率	<ul style="list-style-type: none"> 文献値*²
10. 粗度係数	<ul style="list-style-type: none"> 文献値*³

* 1：平均気温・平均降水量は発電所内観測値，日照時間は地下水ハンドブックによる
 * 2：地下水ハンドブック（建設産業調査会），水理公式集（土木学会）等を参照し設定
 * 3：水理公式集（土木学会），河川砂防技術基準（国土交通省）等を参照し設定

(2) アウトプット

観測井毎の降水量及び解析水位の経時変化を図 5.1-10 に示す。

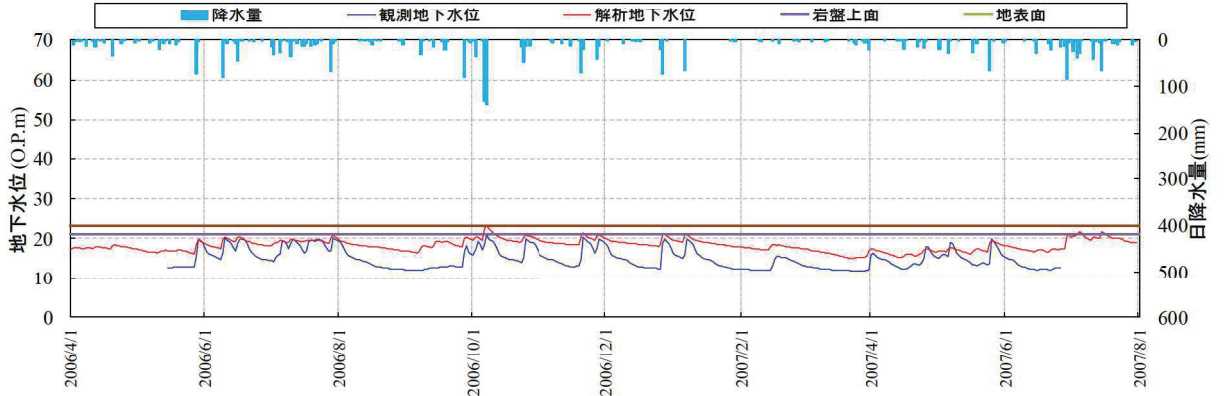


図 5.1-10 (1) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井②) (期間 1)

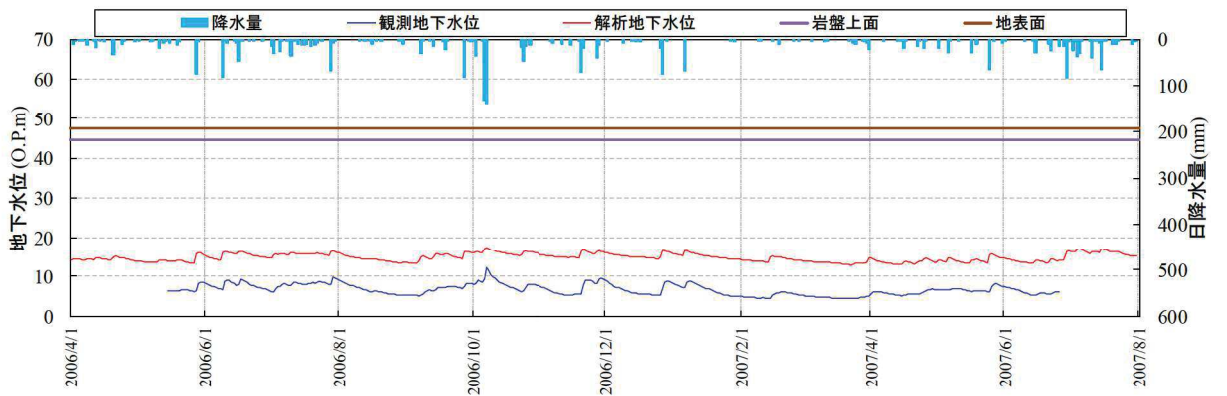


図 5.1-10 (2) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑧) (期間 1)

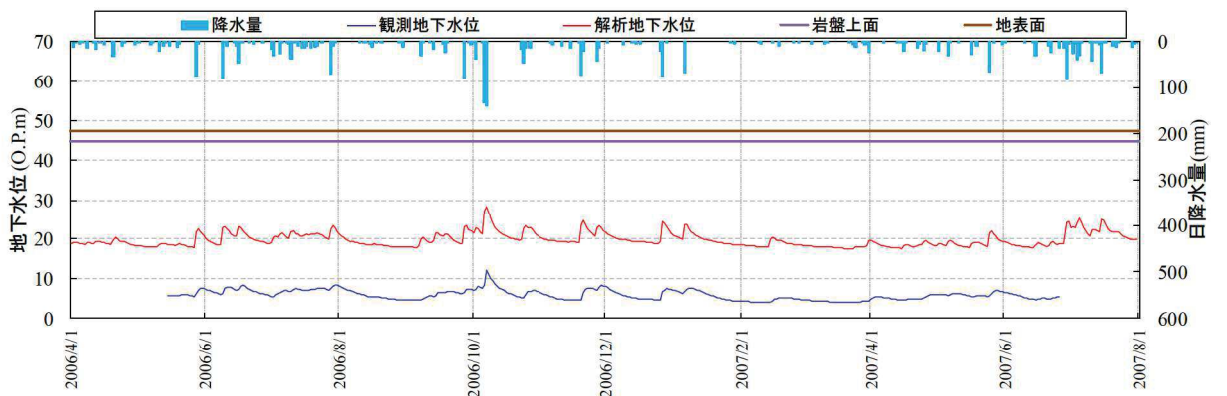


図 5.1-10 (3) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑨) (期間 1)

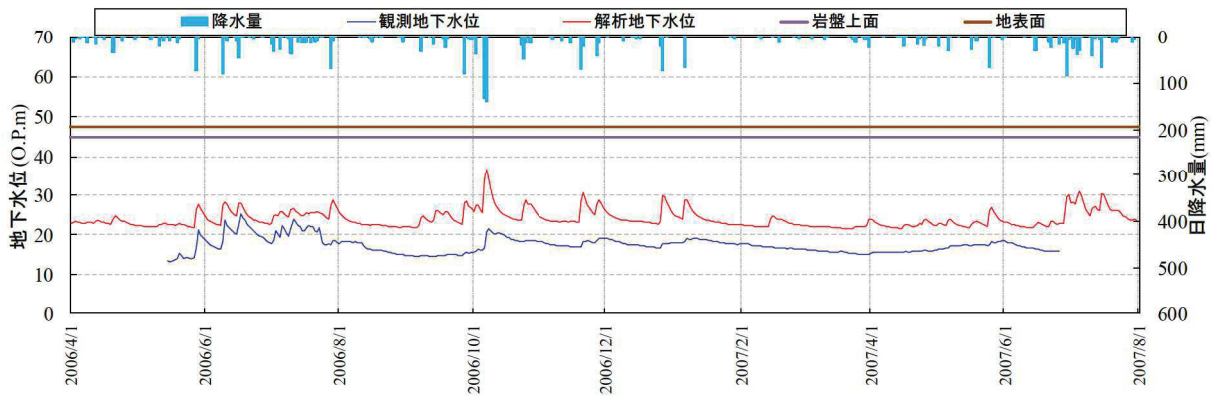


図 5.1-10 (4) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑩) (期間 1)

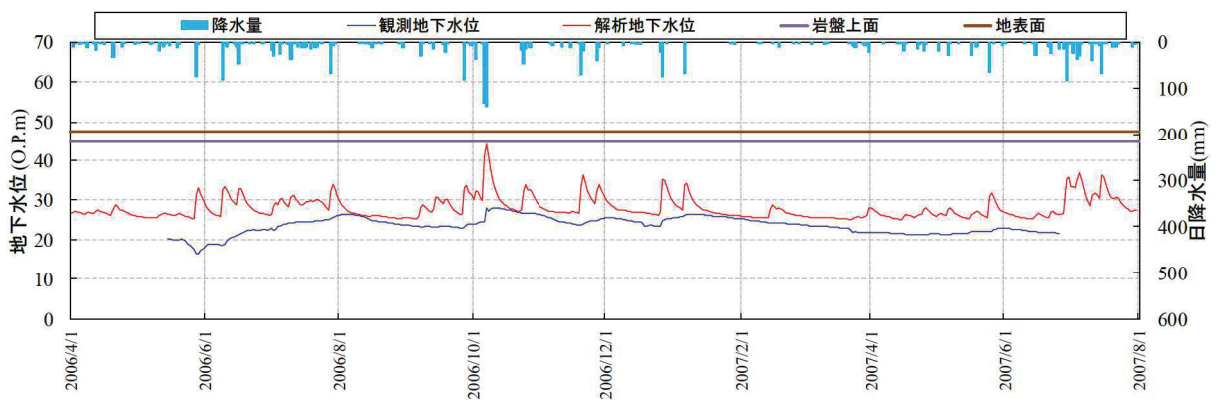


図 5.1-10 (5) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑪) (期間 1)

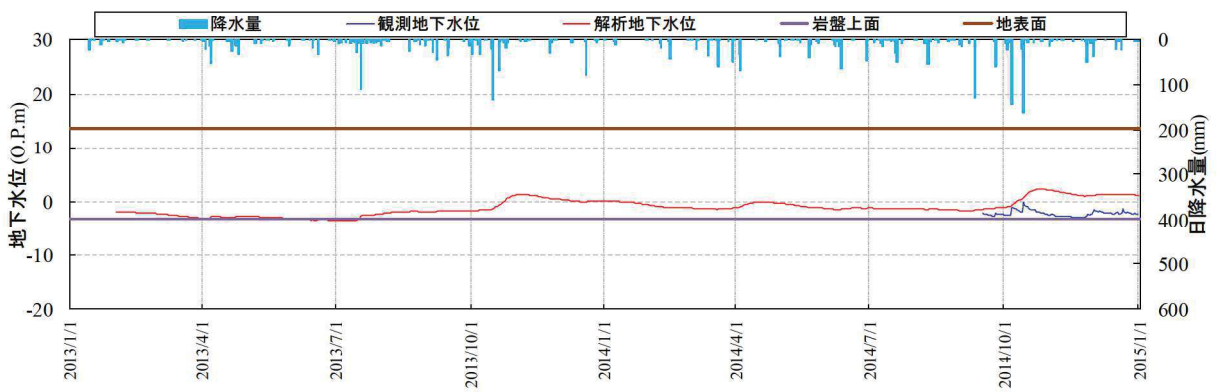


図 5.1-10 (6) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑤) (期間 2)

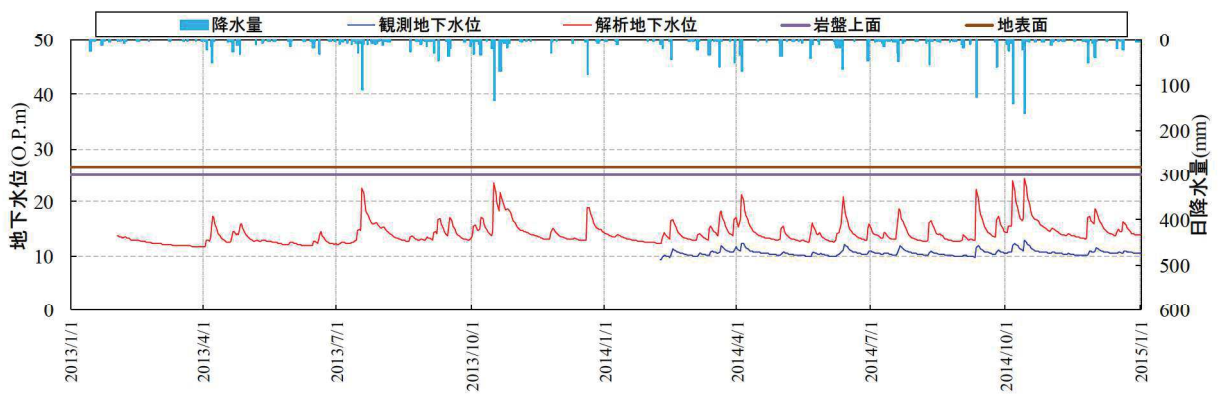


図 5.1-10 (7) 解析水位と観測水位の経時変化（観測井⑫）（期間 2）

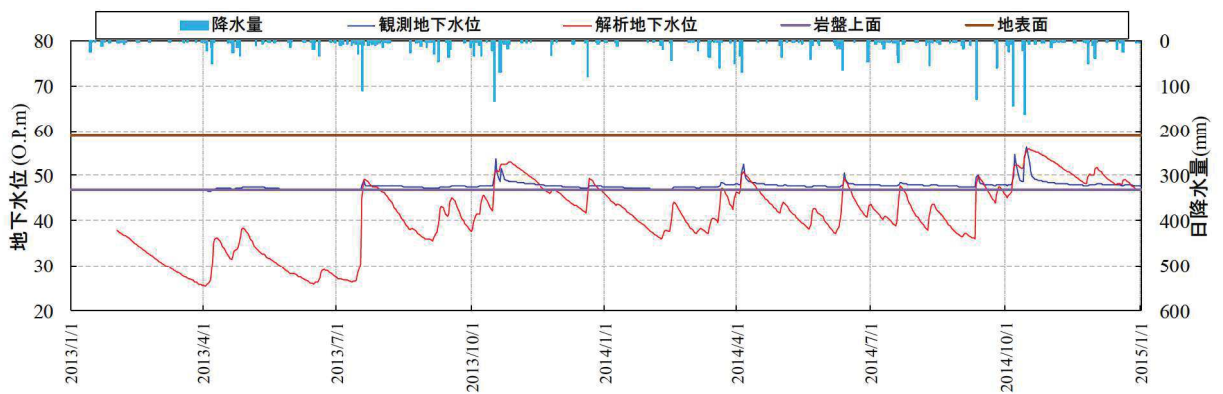


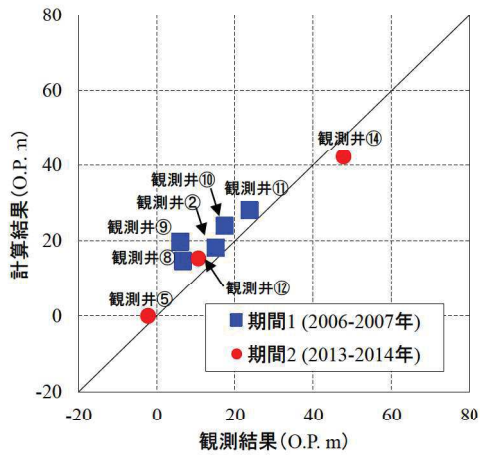
図 5.1-10 (8) 解析水位と観測水位の経時変化（観測井⑭）（期間 2）

(3) モデルの妥当性に係る検証

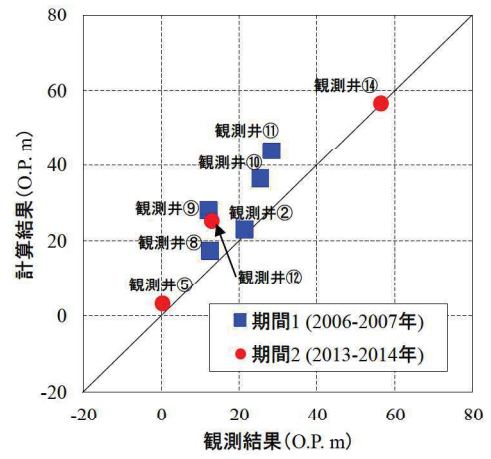
広域モデルとして、検証期間に対応した地盤・構造物の配置をモデル化に反映し、試験データに基づき水理特性（透水係数）を設定した。この広域モデルに観測降雨を付与した非定常解析結果（図 5.1-10）から、解析水位は降雨による観測水位の挙動に追従し連動していることを確認した。

また、検証期間中の各観測孔における平均水位及び最大水位に着目し、解析水位と観測水位との比較を行った（図 5.1-11）。この結果、検証を行った 2 つの期間において、解析水位は観測水位と整合的であることを確認した。

以上から、設定した広域モデルの妥当性を確認した。



(平均水位) * 1



(最大水位) * 1

* 1 : 期間中における観測水位と解析水位それぞれの平均水位及び最大水位のプロットを示す。

図 5.1-11 観測値と解析値の比較

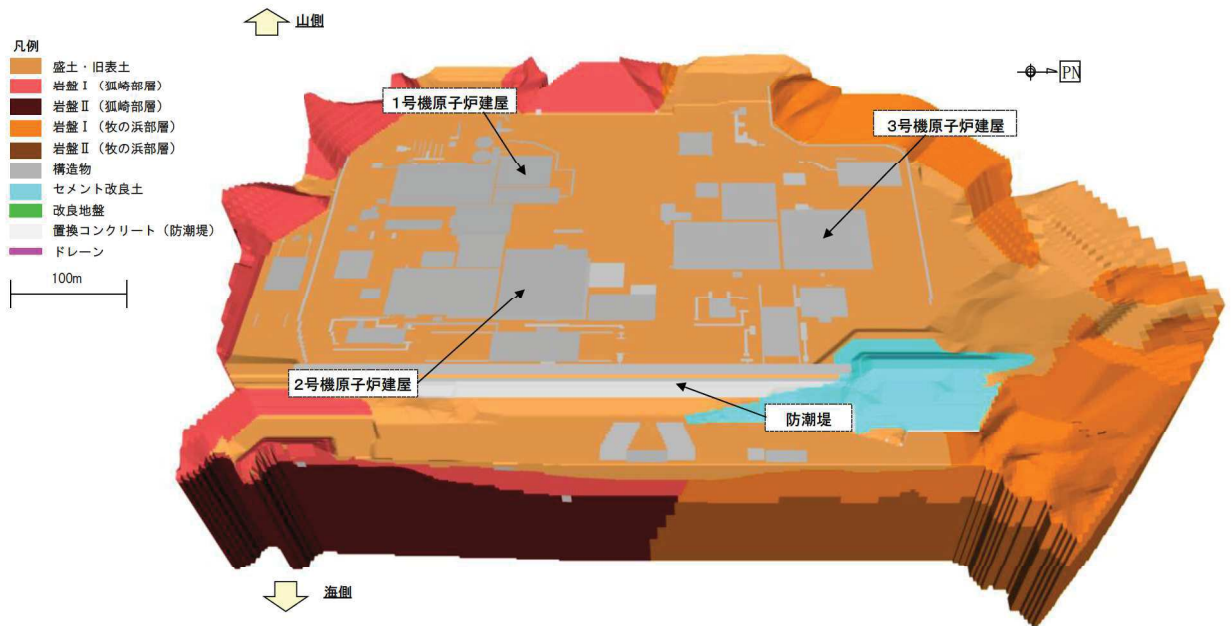
5.2.4 予測解析（水位評価モデルを用いた定常解析）

(1) 水位評価モデルの作成

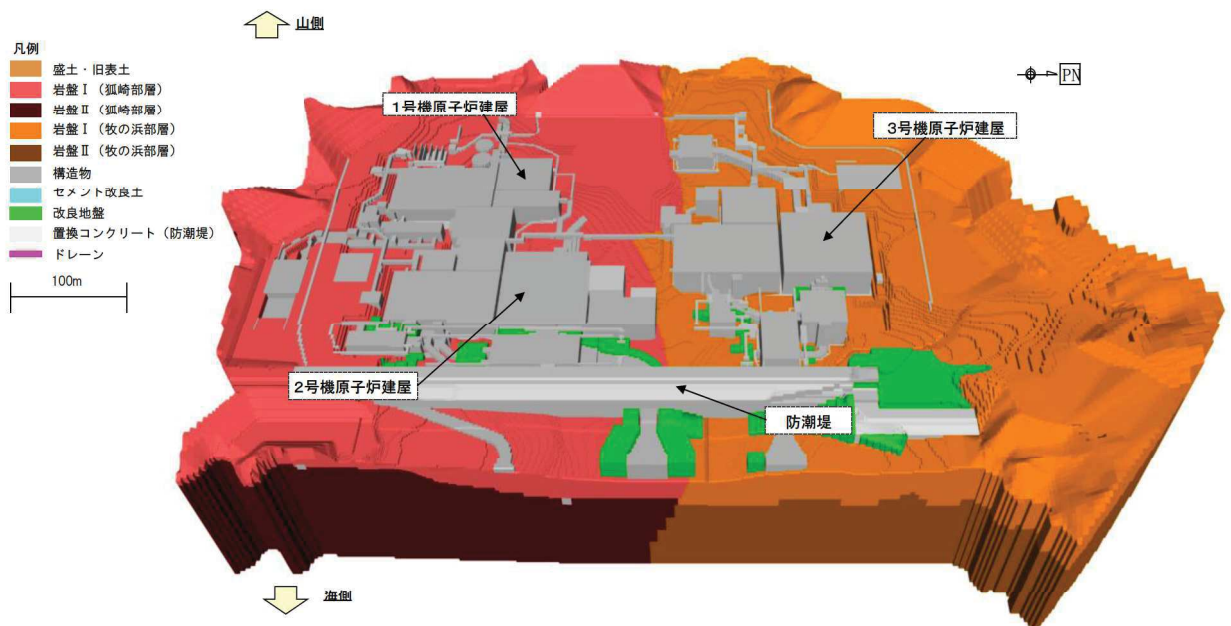
a. モデル化範囲の設定

水位評価モデルは、施設等の揚圧力・地下水位を保守的に（高めに）設定するため、O.P.+14.8m盤及び周辺の法面までをモデル化する。

水位評価モデルのモデル化範囲を図5.1-9に、モデル鳥瞰図を図5.1-12に示す。

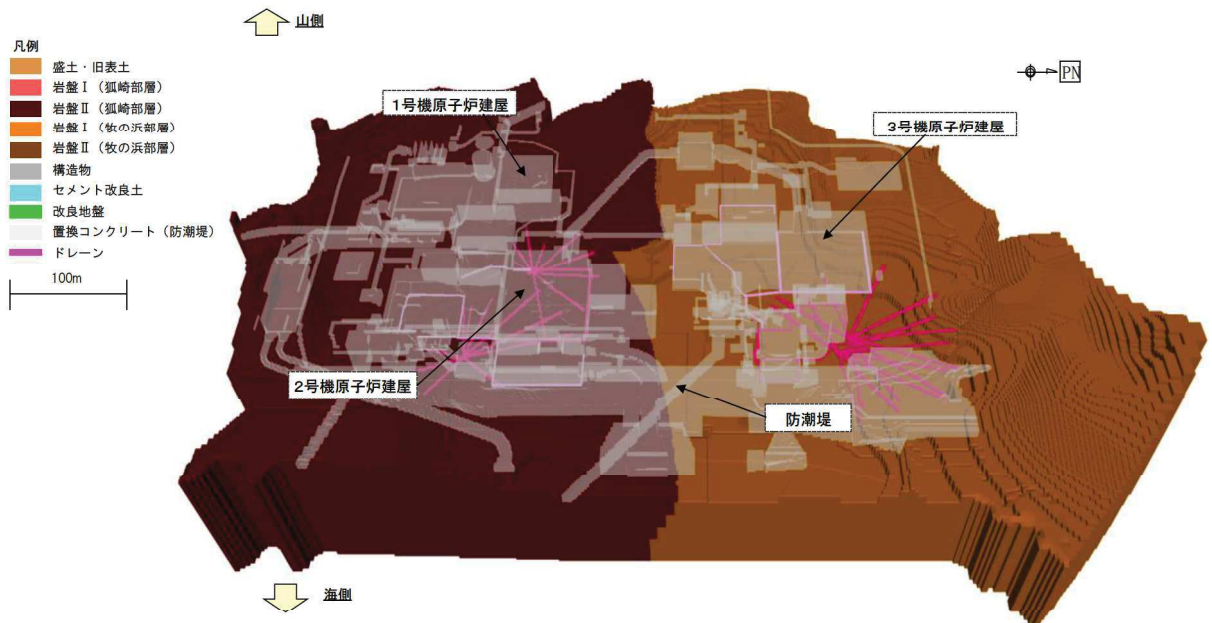


(a) 全体鳥瞰図



(b) 盛土・旧表土を非表示

図 5.1-12(1) 水位評価モデル鳥瞰図



(c) 盛土・旧表土・岩盤 I を非表示，ドレーンを表示

図 5.1-12 (2) 水位評価モデル鳥瞰図

b. 格子サイズ

広域モデルと同様の考え方であるが，広域モデルの山側領域が解析領域より除外されることから，格子サイズを 0.5～2m 程度に設定した（構造物近傍は最小 0.5m 程度）。

c. 地盤・構造物のモデル化

(a) 地形

地形（造成形状）については，安全対策工事完了段階における状態を考慮し設定した。

(b) 地盤

広域モデルをベースに，安全対策工事完了段階における構造物周辺の改良地盤等を考慮した。防潮堤の沈下対策や土木構造物周囲の改良地盤等についても図 5.1-13 のとおりモデル化している。（改良地盤等は，低透水層としてモデル化）なお，断層・シームについてはモデル化していない。

(c) 構造物

広域モデルをベースに，安全対策工事完了段階における施設の配置を表現するため，図 5.1-12 に示す施設等についてモデル化を行った。

また、敷地海側に発電所建設段階に設置した地中連壁（仮設）は、水位を保守的に（高めに）設定する目的から、その影響を考慮していない。

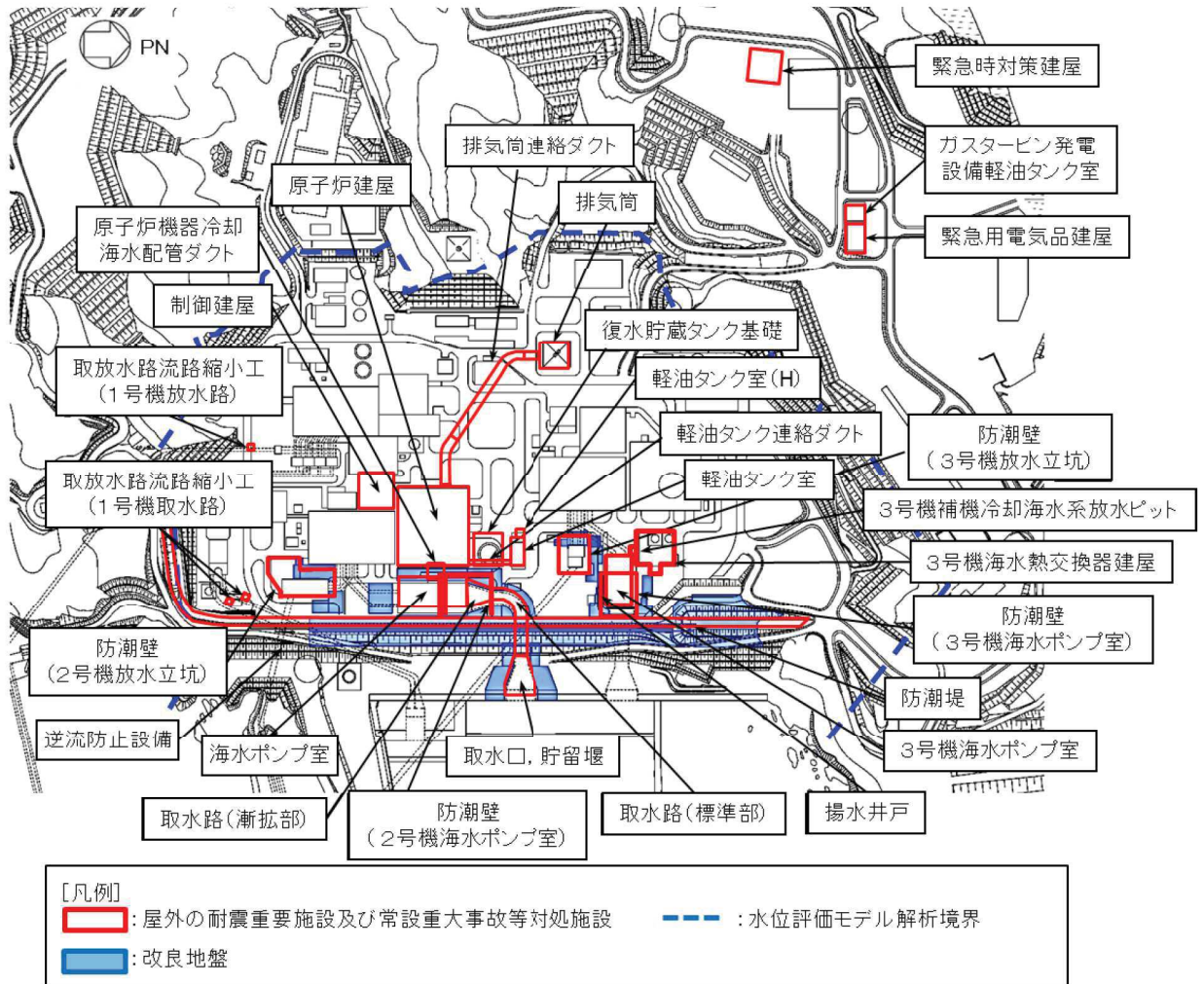


図 5.1-13 土木構造物の配置及び改良地盤の位置図

d. 透水係数及び境界条件の設定

(a) 透水係数

予測解析に用いる透水係数は揚圧力・地下水位が保守的に（高めに）算出されるように設定する必要がある。建設時工事計画認可段階では建屋に生じる揚圧力への影響が最も大きい地盤（岩盤Ⅰ）の透水係数を表 5.1-6 に示すように試験結果の平均値 - 1σ に設定している。この透水係数の設定により揚圧力・地下水位が保守的に（高めに）算出されることを確認したうえで、予測解析に適用する。確認方法は 5.2.3 の広域モデルを用いて、地盤（岩盤Ⅰ）の透水係数のみを変更した非定常解析を実施し、試験平均値の場合の解析値との比較を行う。

表 5.1-7 に比較結果を示す。試験平均値の場合の解析値と比較し、地盤（岩盤Ⅰ）

の透水係数のみを変更した解析水位は高く算出されていることを確認した。また、図 5.1-14 に示すように各観測井における観測水位と解析水位との経時変化の結果から地盤（岩盤Ⅰ）の透水係数を変更した解析水位は高く算出されていることを確認した。

以上から、予測解析に用いる保守的な透水係数を表 5.1-8 として設定する。

表 5.1-6 建設時工認段階の透水係数の設定値

地層		設定値 (m/s)	設定根拠	備考
盛土・旧表土		3.0×10^{-5}	試験結果の平均値に基づき設定	* 2
狐崎 部層	岩盤Ⅰ	7.0×10^{-7}	試験結果の平均値 - 1σ に基づき設定* 1	
	岩盤Ⅱ	5.0×10^{-7}	試験結果の平均値に基づき設定	
牧の浜 部層	岩盤Ⅰ	2.0×10^{-7}	試験結果の平均値 - 1σ に基づき設定* 1	
	岩盤Ⅱ	1.0×10^{-7}	試験結果の平均値に基づき設定	

* 1 : 試験結果に対して、保守性の観点から、建設時工事計画認可段階において、パラメータスタディを実施し、建屋揚圧力への影響が最も大きい物性として、岩盤Ⅰを平均値 - 1σ に設定。

* 2 : 建設時工事計画認可段階と同値

表 5.1-7 広域モデルによる透水係数の保守性の確認

観測孔	解析値* 1 (試験平均値) (A)	解析値* 1 (岩盤Ⅰの透水係数を平均値 - 1σ) (B)	差 (B) - (A)
検証期間 1 : 2006 年 4 月 ~ 2007 年 7 月			
②	18.4m	21.9m	3.5m
⑧	14.8m	17.5m	2.7m
⑨	19.8m	23.1m	3.3m
⑩	24.1m	27.7m	3.6m
⑪	28.2m	32.2m	4.0m
検証期間 2 : 2013 年 2 月 ~ 2014 年 12 月			
⑤	0.1m	3.9m	3.8m
⑫	15.3m	19.8m	4.5m
⑭	42.2m	52.8m	10.6m

* 1 : 期間中における解析水位の平均水位

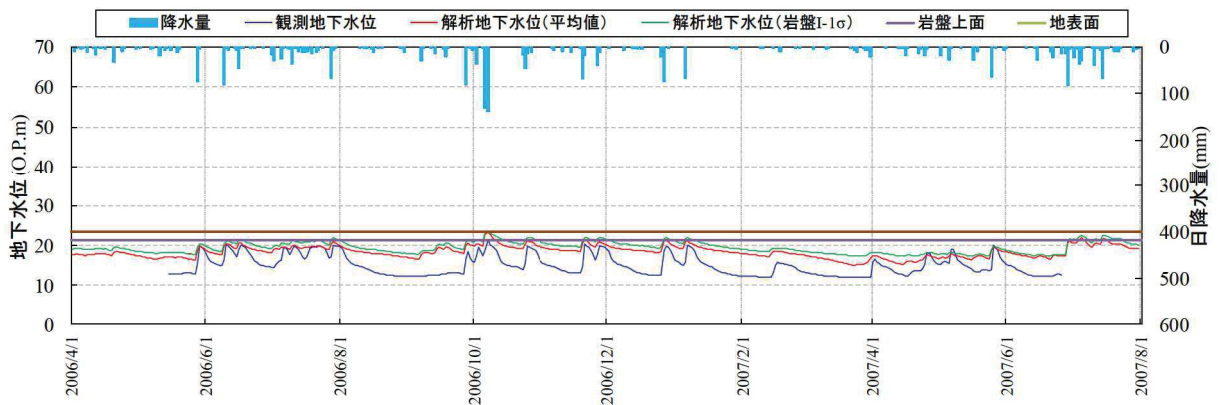


図 5.1-14 (1) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井②) (期間 1)

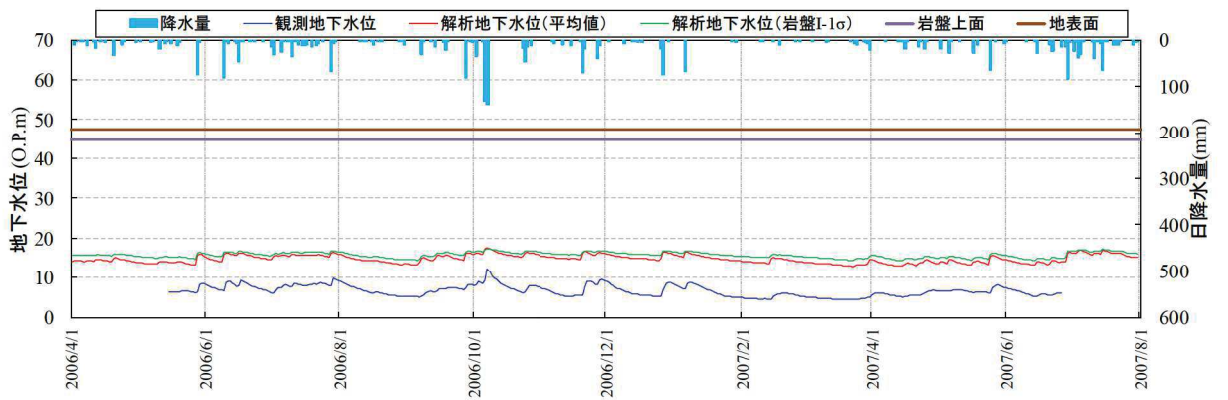


図 5.1-14 (2) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑧) (期間 1)

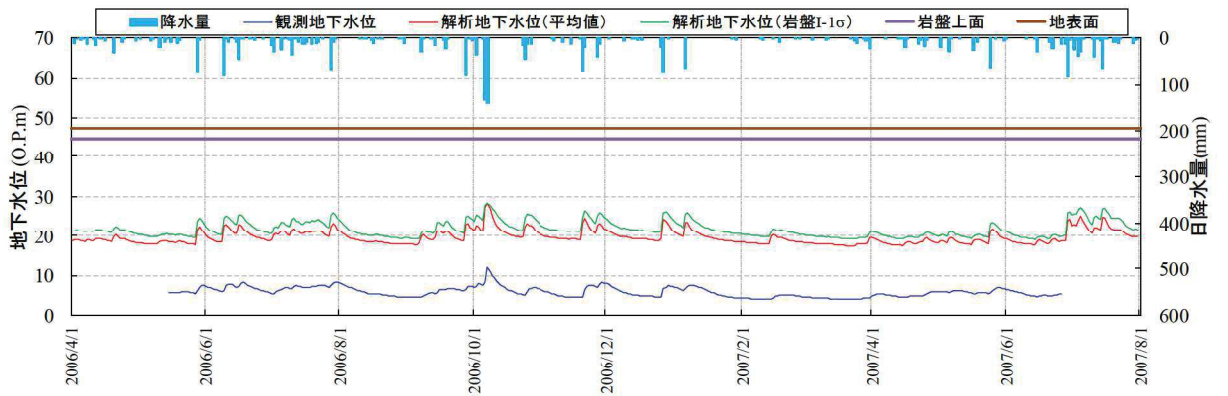


図 5.1-14 (3) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑨) (期間 1)

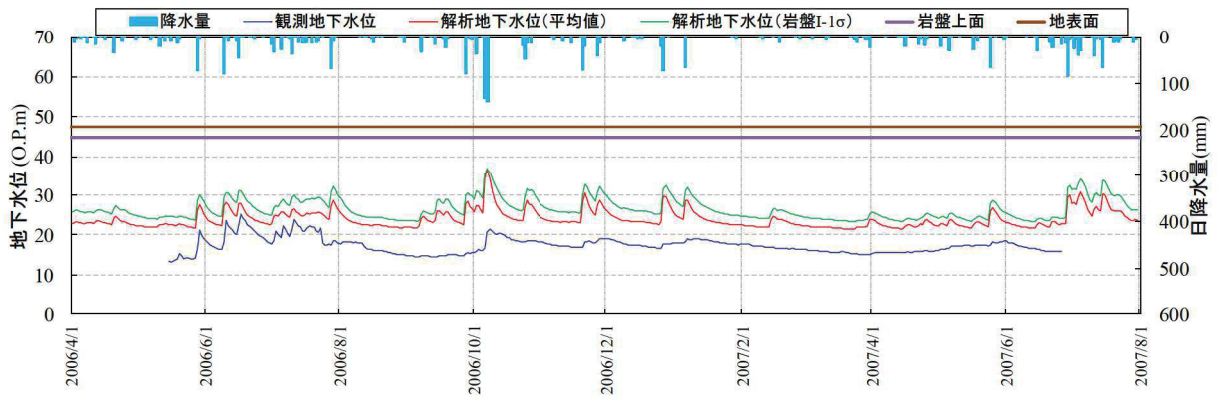


図 5.1-14 (4) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑩) (期間 1)

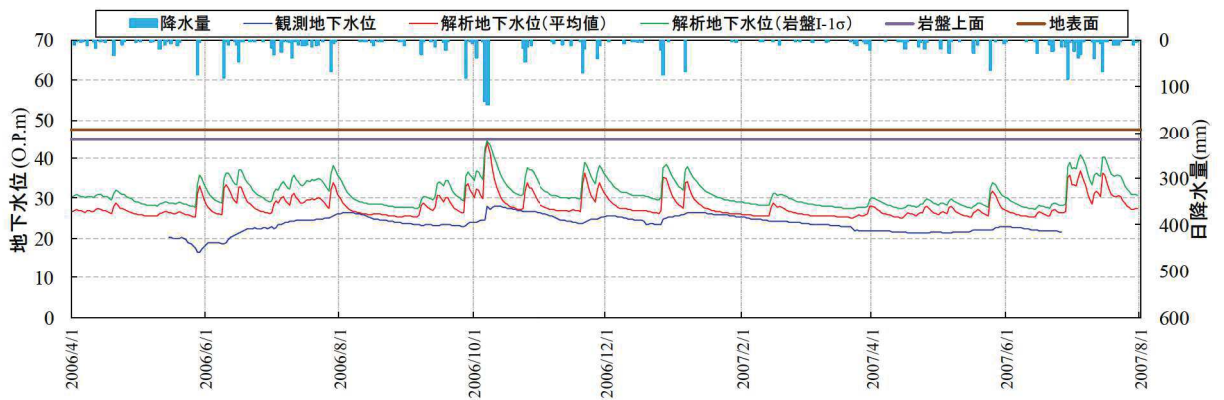


図 5.1-14 (5) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑪) (期間 1)

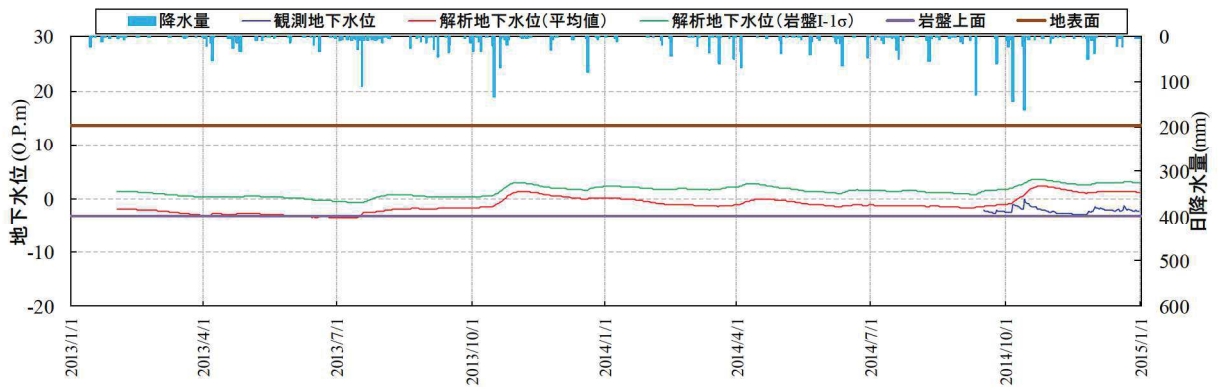


図 5.1-14 (6) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑤) (期間 2)

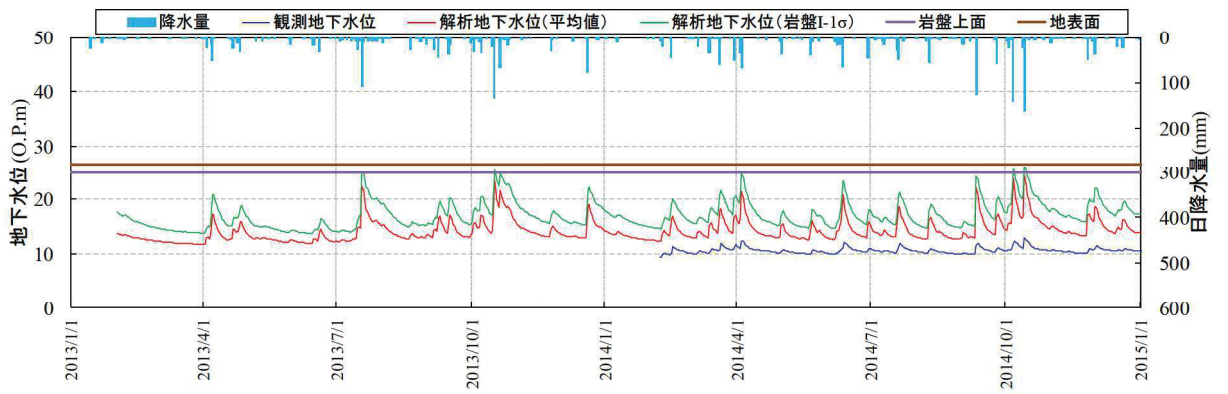


図 5.1-14 (7) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑫) (期間 2)

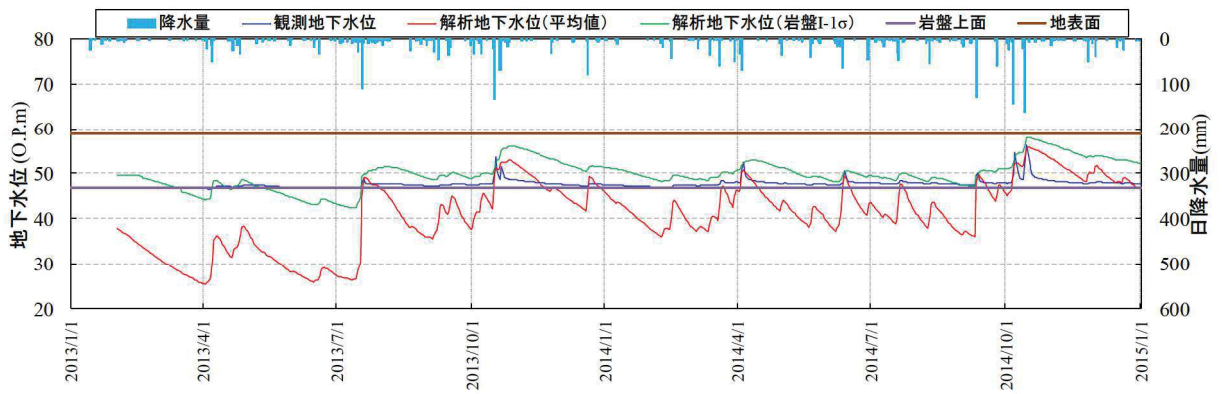


図 5.1-14 (8) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑭) (期間 2)

表 5.1-8 透水係数の設定値と設定根拠（予測解析用）

地層		設定値 (m/s)	設定根拠	備考
盛土・旧表土		3.0×10^{-9}	試験結果の平均値に基づき設定	* 2
狐崎 部層	岩盤 I	7.0×10^{-7}	試験結果の平均値 - 1σ に基づき設定 * 1	
	岩盤 II	5.0×10^{-7}	試験結果の平均値に基づき設定	
牧の浜 部層	岩盤 I	2.0×10^{-7}	試験結果の平均値 - 1σ に基づき設定 * 1	
	岩盤 II	1.0×10^{-7}	試験結果の平均値に基づき設定	
セメント改良 土・改良地盤		2.0×10^{-7}	試験結果の平均値に基づき設定	* 3
透水層（砕石）		1.0×10^{-2}	試験結果の平均値に基づき設定	
コンクリート 構造物 (MMR 含む)		— (不透水)	—	* 4

- * 1 : 試験結果に対して、保守性の観点から、建設時工事計画認可段階において、パラメータスタディを実施し、建屋揚圧力への影響が最も大きい物性として、岩盤 I を平均値 - 1σ に設定。
- * 2 : 建設時工事計画認可段階と同値
- * 3 : 建設時工事計画認可段階は設定なし
- * 4 : 建設時工事計画認可段階においては透水係数を設定（コンクリート工学ハンドブックに基づき 1.0×10^{-11} (m/s)）していたが、岩盤に比べても十分に小さな値であり、影響は軽微と考えられるため不透水として扱う

(b) 境界条件

境界条件の設定は揚圧力、地下水位いずれも保守的に算出されるよう、山側の解析境界を地表面、海側の解析境界を H.W.L. に固定する。

e. ドレーンのモデル化

(a) 有効範囲の設定

集水機能に寄与するドレーンの有効範囲について、新設及び既設範囲のうち信頼性が確認された範囲に限定することで保守性を確保する。

設計用地下水位の算定に用いる予測解析において設定するドレーンの有効範囲は、以下の考え方で設定することにより信頼性を確保する。

- ・ 評価対象施設等の配置などを勘案し、既設ドレーンの期待範囲を設定する。
ドレーンは、耐久性、耐震性並びに保守管理性の3つの観点から、全てを満足するものは管路として、それ以外は設置状況に応じて透水層又は周辺の地盤に分類する。
- ・ 浸透流解析を踏まえ、施設の安全性を確保できるよう、ドレーン有効範囲の設定や必要な範囲への新設を検討する。
- ・ 技術基準規則第14条（安全設備）の要求事項（多重性及び独立性）に配慮した設備構成とする。

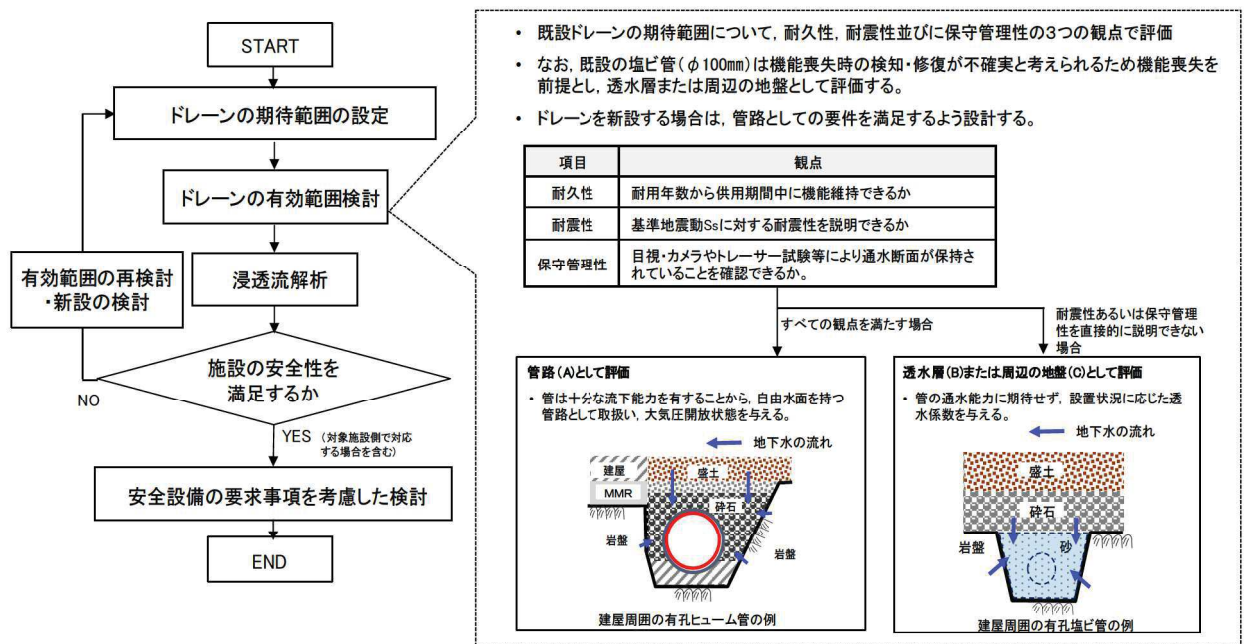
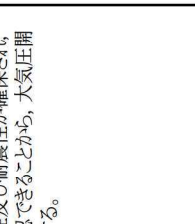
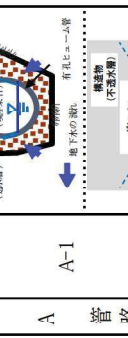
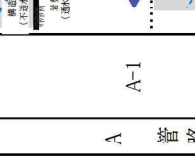
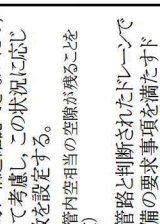
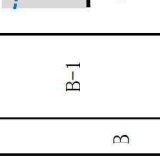
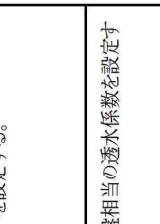



図 5.1-15 集水機能の信頼性に係る基本検討フロー

上記フローに基づき、ドレーンの状態と各観点に対する評価、並びに浸透流解析上の取扱いについて図 5.1-16 に整理した。

分類	ドレーンの状態	該当箇所 の例	各観点に対する評価			浸透流解析上の取扱い	
			耐久性	耐震性	保守管理性		
A-1		有孔ヒューム管	○	○	○	分類*3 A 管路 A-1 A-2	浸透流解析上の取扱い ・ 管の耐久性及び耐震性が確保され、構造を確認できることから、大気圧開放状態とする。 
A-2		(新設する場合)	○	○	○		
B-1		有孔塩ビ管 (3号機Hx/B直下)	○	○	(一)	分類*3 B 透水路 B-1 B-2	・ 岩盤と躯体に囲まれた範囲は保持されるが、直接的に構造確認できないため、透水路として考慮し、この状況に応じた透水係数を設定する。 (透水係数は管内空用当の空隙が残ることを考慮し設定) ・ ただし、A. 管路と切断されたドレーンでも、安全設備の要求事項を満たすドレーン以外はB-1として扱われる。 ・ 管の内空保持が期待できないが、周辺の岩盤形状は保持され、高透水性材料及び上部からも流入する碎石を透水路として考慮し、この状況に応じた透水係数*4を設定する。
B-2		有孔塩ビ管 (R/B~T/B間)	○	(△)	(一)		
C-1		有孔塩ビ管 (排気筒周辺)	○	×	×	分類*3 C 周辺の地盤 C-1 C-2	・ 周辺の地盤相当の透水係数を設定する。 非考慮
C-2		有孔塩ビ管 (3号機T/B直下)	—	—	—		

○:各観点の要求事項を満足する。 △:各観点の要求事項を部分的に満足する。
 ×:各観点の要求事項を満足しない。 —:要求事項なし。
 耐震性を確保する範囲
 透水路として扱う範囲

*1 下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年版)による
 *2 コンクリート標準示方書(構造性能評価編)(2002)による
 *3 A(管路)に区分するドレーンは施設、B(透水路)及びC(周辺の地盤)に区分するドレーンは地盤として取扱い
 本整理を踏まえる上層石層の透水係数を設定可能であるが、以後の検討では保守的に盛土又は岩盤の透水係数を設定している。

図 5.1-16 ドレーンの状態に対応した分類と浸透流解析上の取扱い

図 5.1-15 に示した基本検討フロー並びに図 5.1-16 において分類したドレーンの状態に対応した浸透流解析上の取扱いを踏まえ、詳細検討フローを図 5.1-17 のとおり設定した。

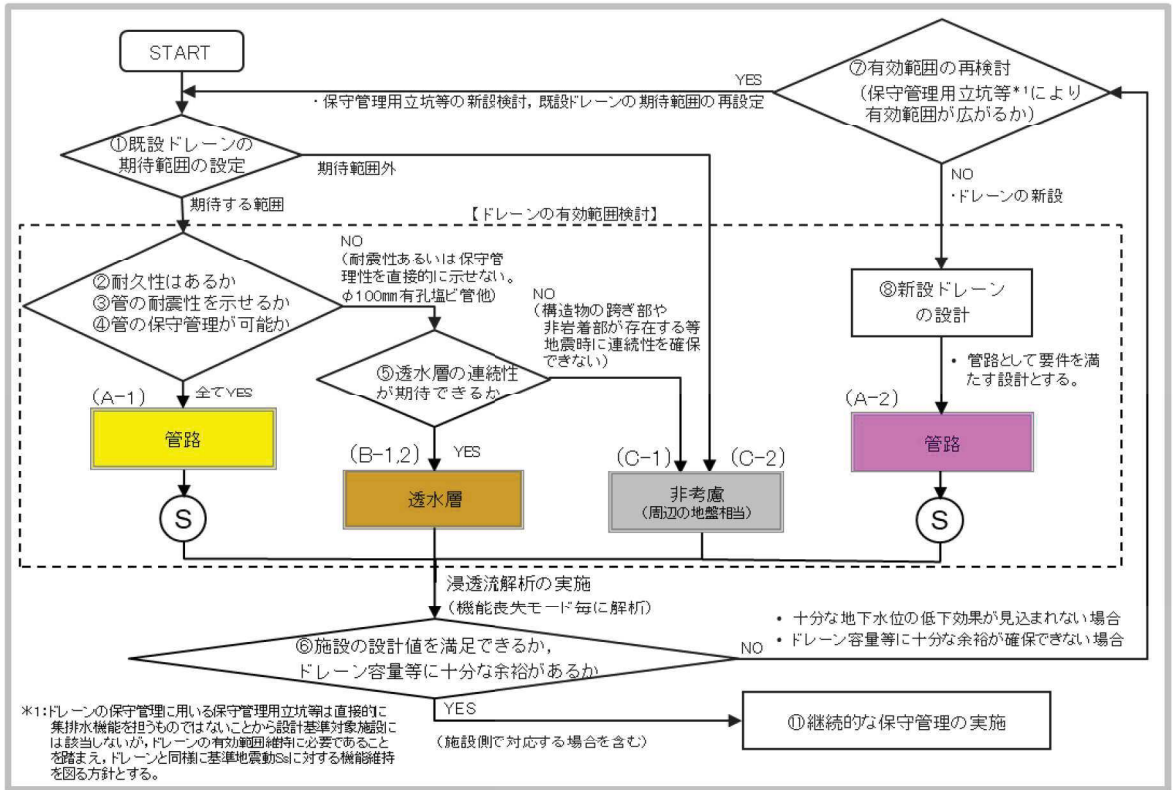
同フローでは、設置変更許可段階で示した方針と同様、ドレーンの期待範囲を設定した上で、耐久性・耐震性・保守管理性の観点等から「A.管路」、「B.透水層」、「C.周辺の地盤」のいずれかに分類し、評価対象施設等の設計値を満足するよう新設も含めドレーン範囲を検討した。

さらに技術基準規則第 14 条（安全設備）の要件を満たすため、ドレーン範囲は揚水ポンプの単一故障やドレーンの部分閉塞を仮定しても機能保持できる範囲としており、施設の設計値確保上必要な範囲に地下水位低下設備を新設する方針である。（既設設備の一部及び新設設備にて施設の設計値確保を図る方針）

なお、既設ドレーンのうち、耐久性・耐震性・保守管理性は確保されるものの、安全設備の要求を満足しない範囲は透水層として砕石相当の透水係数を与え、集水機能への寄与を考慮することとしており、それ以外の範囲は地盤として取扱う。

予測解析において参照する地下水位低下設備の配置は図 5.1-18 のとおりである。

【施設の設計値を満足するドレーン範囲の検討】



【安全設備の要求事項を考慮した検討】

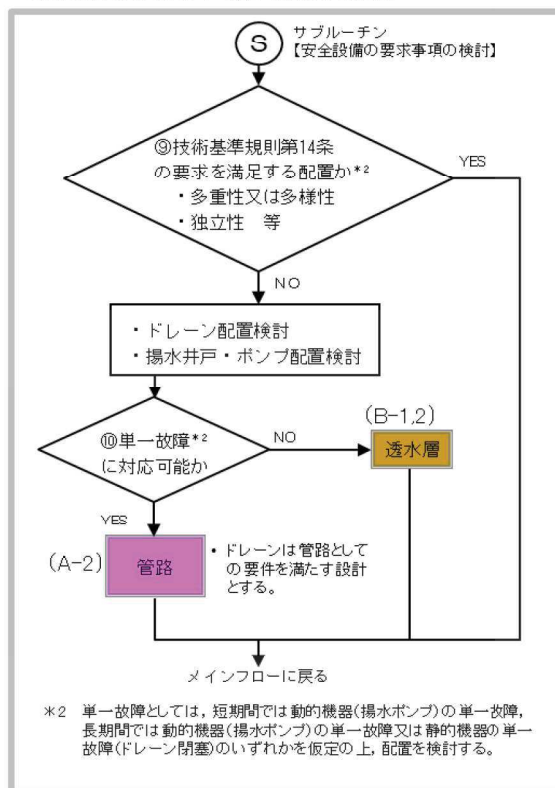


図 5.1-17 集水機能の信頼性に係る詳細検討フロー

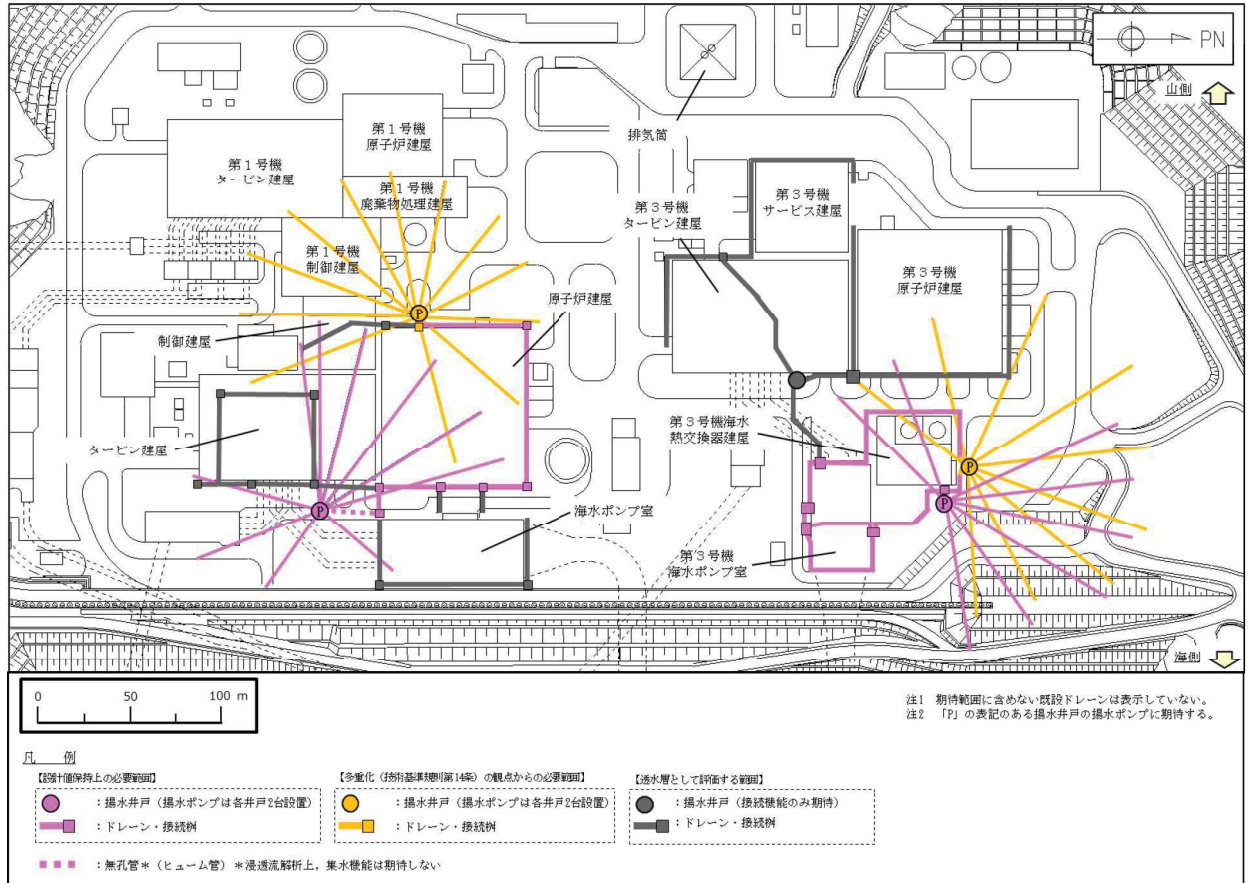


図 5.1-18 予測解析において参照する地下水位低下設備の配置

(b) 機能喪失モードの設定

設置変更許可段階においては、動的機器の単一故障として揚水ポンプ故障、静的機器の単一故障としてドレーンの部分閉塞を仮定し、機能保持の方針を説明していた。

詳細設計段階の検討においては、原子炉建屋エリア・第3号機海水熱交換器建屋エリアにそれぞれ2箇所（合計4箇所）設置する揚水井戸に2台ずつ常設の揚水ポンプを設置し、ポンプ故障時でも当該揚水井戸の排水機能を喪失しない設計としているが、設置変更許可段階の方針を踏まえて、各エリアにおいて1系統機能喪失しても設計を満足する（原子炉建屋等に作用する揚圧力が設計用揚圧力を超過しない）よう、ドレーンの配置において考慮した。

また、水位を保守的に算出するため、1系統喪失が各エリアで発生する状況を仮定した浸透流解析を実施し、これらの包絡水位を解析水位とした。

なお、エリア内の2系統が機能喪失した場合については、運用管理にて機能復旧を図ることから、設計用地下水位算定の前提条件としていない。

設計用地下水位の設定において仮定した機能喪失モードを表 5.1-9 に示す。

各エリアにおいては、揚水ポンプ故障とドレーン部分閉塞について5通りの機能喪失モードが考えられる（表 5.1-8(1), (2)）が、事象としては揚水ポンプ故障に包絡される。エリア毎の組合せを仮定すると、4通りの動的機器（揚水ポンプ）の機能喪失モードにて全ての機能喪失モードが包絡される（表 5.1-8(3)）。

表 5.1-8 の各機能喪失モードに対応した解析ケースを図 5.1-19 に示す。

なお、地下水位低下設備の設備概要と信頼性向上、機能喪失への対応については、「VI-2-1-1-別添 1 地下水位低下設備の設計方針」に示す。

表5.1-9 予測解析において考慮する機能喪失モード

(1) エリア単独 (原子炉建屋エリア)

機能・構成部位			設備構成と機能喪失の状態					備考
			動的機器(排水機能)		静的機器(集水機能)			
			揚水ポンプ(配管含む)		ドレーン(有孔ヒューム管・接続樹)	ドレーン(有孔鋼管)		
			No.1(東側)	No.2(西側)		No.1(東側)	No.2(西側)	
動的機器の単一故障	2-A	揚水ポンプ(No.1井戸)機能喪失	x	—	—	—	—	設計上必要なNo.1(東側)の排水機能喪失を想定。監視・制御機能、電源機能の喪失も本ケースに包絡される。
	2-B	揚水ポンプ(No.2井戸)機能喪失	—	x	—	—	—	No.2(西側)の排水機能喪失を想定。監視・制御機能、電源機能の喪失も本ケースに包絡される。
静的機器の単一故障	2-C	有孔ヒューム管の部分閉塞	—	—	x	—	—	ドレーンの部分的な閉塞が考えられるが、逆勾配となっても流下可能であるため、集水能力に影響しない。
	2-D	有孔鋼管の部分閉塞(No.1井戸)	—	—	—	x	—	揚水井戸単位で機能喪失を仮定するケース2-Aに包絡される。
	2-E	有孔鋼管の部分閉塞(No.2井戸)	—	—	—	—	x	揚水井戸単位で機能喪失を仮定するケース2-Bに包絡される。

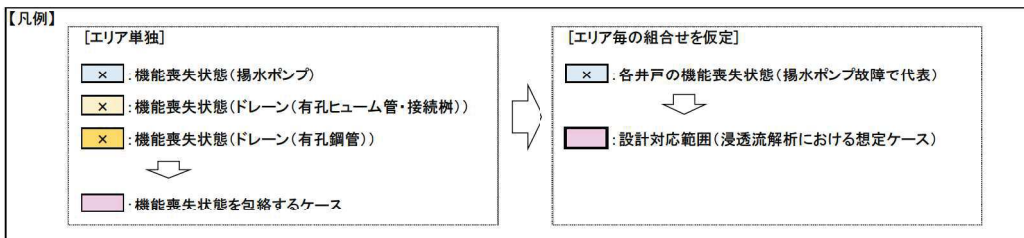
(2) エリア単独 (第3号機海水熱交換器建屋エリア)

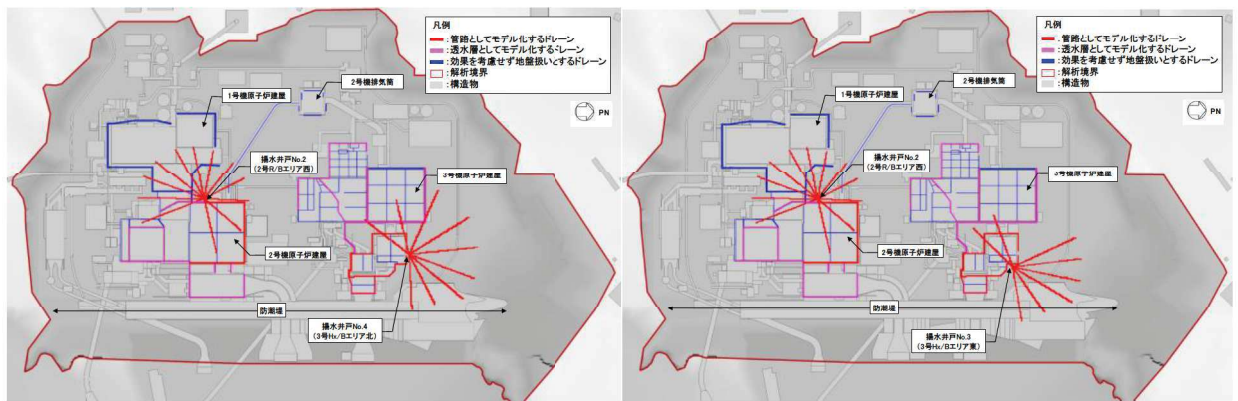
機能・構成部位			設備構成と機能喪失の状態					備考
			動的機器(排水機能)		静的機器(集水機能)			
			揚水ポンプ(配管含む)		ドレーン(有孔ヒューム管・接続樹)	ドレーン(有孔鋼管)		
			No.3(東側)	No.4(北側)		No.3(東側)	No.4(北側)	
動的機器の単一故障	3-A	揚水ポンプ(No.3井戸)機能喪失	x	—	—	—	—	設計上必要なNo.3(東側)の排水機能喪失を想定。監視・制御機能、電源機能の喪失も本ケースに包絡される。
	3-B	揚水ポンプ(No.4井戸)機能喪失	—	x	—	—	—	No.4(北側)の排水機能喪失を想定。監視・制御機能、電源機能の喪失も本ケースに包絡される。
静的機器の単一故障	3-C	有孔ヒューム管の部分閉塞	—	—	x	—	—	ドレーンの部分的な閉塞が考えられるが、逆勾配となっても流下可能であるため、集水能力に影響しない。
	3-D	有孔鋼管の部分閉塞(No.3井戸)	—	—	—	x	—	揚水井戸単位で機能喪失を仮定するケース3-Aに包絡される。
	3-E	有孔鋼管の部分閉塞(No.4井戸)	—	—	—	—	x	揚水井戸単位で機能喪失を仮定するケース3-Bに包絡される。

(3) エリア毎の組合せを仮定

機能喪失の組合せ状態の仮定			機能保持の方法	排水機能・集水機能				備考
				2号R/Bエリア		3号Hx/Bエリア		
				揚水ポンプ(配管含む)		揚水ポンプ(配管含む)		
ケース	各エリアの組合せ			No.1(東側)	No.2(西側)	No.3(東側)	No.4(北側)	
①	2-A and 3-A	2号機側の1系統(No.1井戸)と3号機側の1系統(No.3井戸)が同時に機能喪失	設計	x	—	x	—	
②	2-A and 3-B	2号機側の1系統(No.1井戸)と3号機側の1系統(No.4井戸)が同時に機能喪失	設計	x	—	—	x	
③	2-B and 3-A	2号機側の1系統(No.2井戸)と3号機側の1系統(No.3井戸)が同時に機能喪失	設計	—	x	x	—	
④	2-R and 3-R	2号機側の1系統(No.2井戸)と3号機側の1系統(No.4井戸)が同時に機能喪失	設計	—	x	—	x	設計値保持上の最小組合せ

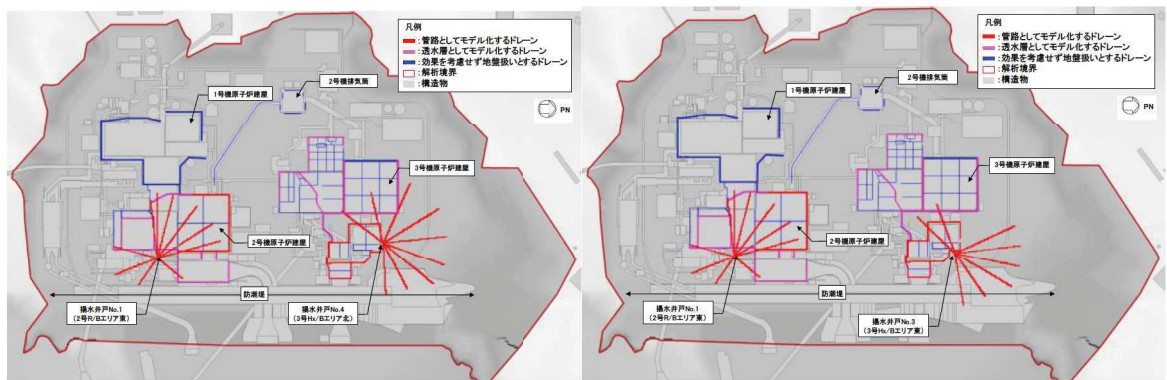
注)同一エリア内の2系統が機能喪失した場合は運用管理にて機能復旧を図る方針であり、浸透流解析における評価ケースに含めない。





(a) ケース①

(b) ケース②



(c) ケース③

(d) ケース④

図5.1-19 各機能喪失モードに対応した解析ケース

なお、静的機器（ドレーン）の単一故障として土砂による閉塞を想定しているが、動的機器（揚水ポンプ）に起因する4通りの機能喪失モードに包絡される。

f. アクセスルートの解析水位算定条件

設置変更許可段階では、地下水位低下設備の機能喪失を仮定したアクセスルートへの影響を評価^{*1}し、対策要否を判断する方針としていた。

詳細設計段階の検討においては、各揚水井戸に 2 台ずつ常設の揚水ポンプを設置し、ポンプ故障時でも当該揚水井戸の排水機能を喪失しない設計としている。

更に、地下水位低下設備の機能喪失を仮定した場合においても、約 25 時間^{*2}の時間余裕の範囲内で可搬型設備による水位低下措置を行う。

このため、アクセスルートの地下水位が地下水位低下設備の機能喪失により継続的に上昇する可能性は極めて小さいが、念のための評価として、地下水位低下設備の機能喪失が一定期間（2 ヶ月程度^{*3}）継続し水位上昇することを仮定し、アクセスルートの地下構造物の浮上り評価を行う。

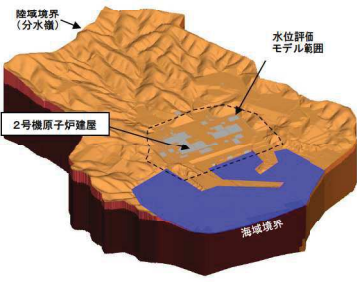
なお、アクセスルートの設計用地下水位の設定において参照する予測解析モデルは、水位評価モデルと同様とし、地下水位低下設備の機能喪失後の水位上昇を非定常解析により評価する。

- *1：地下水位低下設備が機能喪失した場合を想定した地下水位に対して、地震時の液状化に伴う地下構造物の浮き上がりによるアクセスルートへの影響について評価し、アクセスルートの通行性を一定期間（2 か月程度を確保することを目安）確保する設計とする。
- *2：地下水位低下設備の機能喪失を仮定した三次元浸透流解析により、建屋揚圧力の設計値に到達するまでの時間を評価したものであり、最も短い原子炉建屋の値を記載。
- *3：2 ヶ月は、SA 事象の収束に地下水位低下設備の機能が影響を与えないことを示すため、SA 事象の収束に要する時間に対して十分に長い期間として設定したものの。

g. 浸透流解析条件まとめ（水位評価モデル）

表 5.1-10 に、広域モデルと水位評価モデルの解析条件一覧を示す。

表 5.1-10 水位評価モデルの概要

項目	【参考】広域モデル	水位評価モデル
1. 目的	・モデル化の妥当性を確認 (観測結果の再現性を確保)	・保守的な設計用地下水位を設定
2. 解析コード	・GETFLOWS Ver. 6.64.0.2	
3a. 解析領域	<ul style="list-style-type: none"> ・分水嶺を山側境界とし水位評価モデルを包絡する範囲 	<ul style="list-style-type: none"> ・O. P. +14.8m 盤及び O. P. +14.8m 周辺の法面 
3b. 格子数	<ul style="list-style-type: none"> ・平面格子数：約 33.4 万 ・総格子数：約 1600 万 ・格子寸法：0.5～6m 程度 (構造物近傍は最小 0.5m 程度，山側領域は 3～6 m 程度) 	<ul style="list-style-type: none"> ・平面格子数：約 16.7 万 ・総格子数：約 770 万 ・格子寸法：0.5～2m 程度 (構造物近傍は最小 0.5m 程度)
4. 解析種別	・非定常解析	定常解析・非定常解析*1
5a. 検証期間	・2006-2007年，2013-2014年	—
5b. 気象条件	・降水量・気温・日射量・相対湿度・風速：構内観測所データ (欠測値は，周辺気象庁データから欠測補間)	—
5c. 蒸発散	<ul style="list-style-type: none"> ・定常状態：ハーモン法*2 ・非定常状態：熱収支法 	—
6a. モデル (地形)	・検証期間に対応した状態	・安全対策工事完了段階に対応した状態
6b. モデル (地盤)	・検証期間に対応した状態	・安全対策工事完了段階に対応した状態 (施設周辺の地盤改良を考慮)
6c. モデル (構造物)	・検証期間に対応した状態	・安全対策工事完了段階に対応した状態
6d. モデル (ドレイン)	・既設の全範囲を管路として考慮	<ul style="list-style-type: none"> ・保守的に集水機能への寄与範囲を限定 <ul style="list-style-type: none"> — 既設・新設のうち信頼性が確保された範囲を管路相当 — 信頼性の確保状況に応じ透水層相当 ・機能喪失モードを保守的に仮定
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 — ドレイン：ドレイン計画高に水位固定 	<ul style="list-style-type: none"> ・保守的に設定 <ul style="list-style-type: none"> — 山側：地表面に水位固定 — 海側：H. W. L. に水位固定 (地中連壁の影響は保守的に考慮しない) — ドレイン：ドレイン計画高
8. 透水係数	・試験平均値	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水位を保守的に算出するよう設定 (観測水位の再現性と解析水位の保守性を考慮し，岩盤 I を-1σ)
9. 有効間隙率	・文献値*3	—
10. 粗度係数	・文献値*4	—

* 1：アクセスルートの評価においては，地下水位低下設備の機能喪失から 2 ヶ月後の水位分布を参照。また，地下水位低下設備の機能維持の運用方法の検討 (VI-2-1-1 別添 1 地下水位低下設備の設計方針) においては，同モデルを用いた非定常解析により，地下水位低下設備の機能喪失後の時間余裕を評価。

* 2：平均気温・平均降水量は発電所内観測値，日照時間は地下水ハンドブックによる

* 3：地下水ハンドブック (建設産業調査会)，水理公式集 (土木学会) 等を参照し設定

* 4：水理公式集 (土木学会)，河川砂防技術基準 (国土交通省) 等を参照し設定

(2) アウトプット

a. 建物・構築物及び土木構造物

設計用地下水位の設定において参照する地下水位分布を図5.1-29に示す。

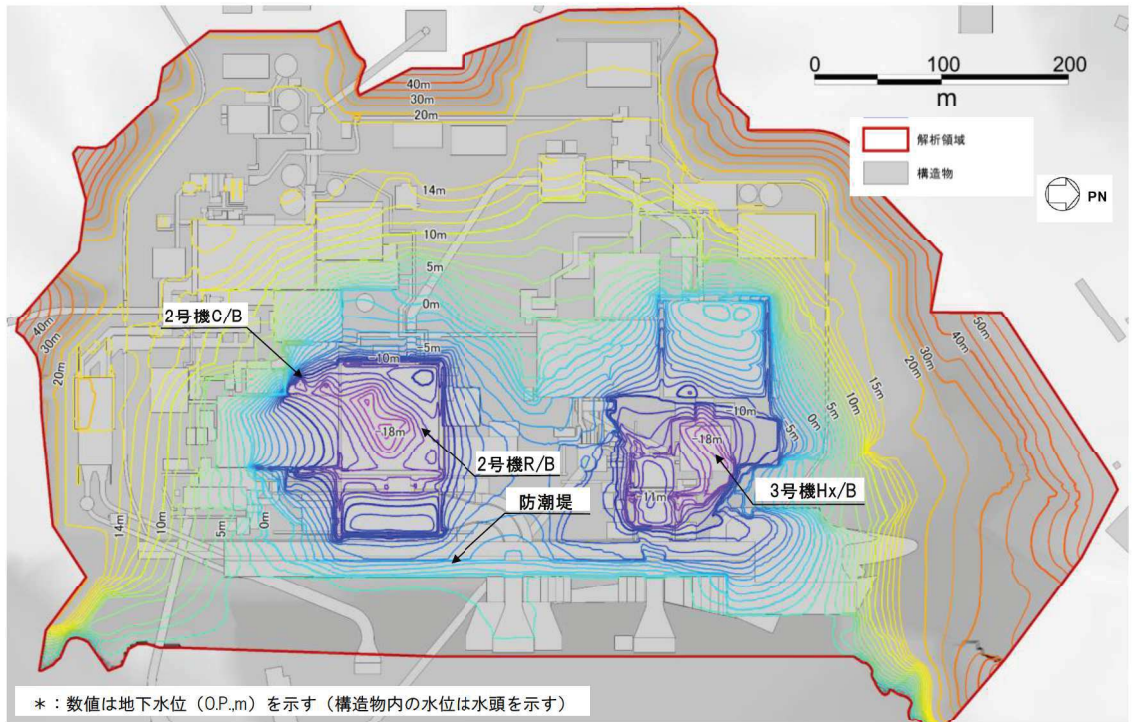


図5.1-20 設計用地下水位の設定において参照する敷地の地下水位分布
(ケース①～④の予測解析により求めた地下水位の包絡水位)

b. アクセスルート

アクセスルートの評価（アクセスルートの地下構造物の浮上りに対する影響評価）において参照する予測解析結果を図5.1-21に示す。

この地下水位分布は、地下水位低下設備が機能喪失してから2カ月後の状態に対応する。

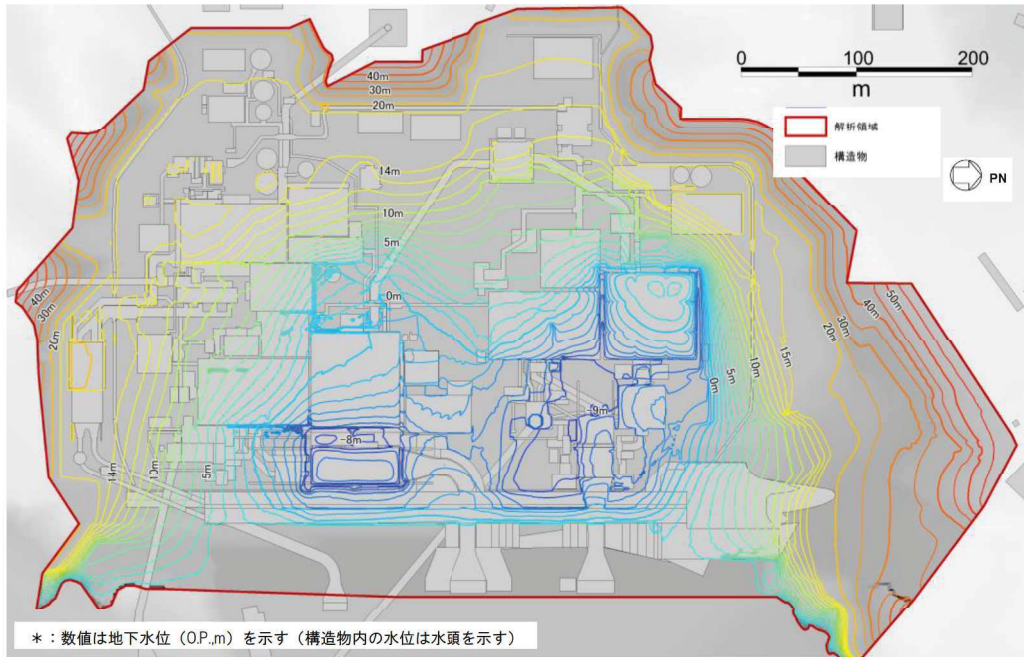


図 5.1-21 アクセスルートの評価において参照する地下水位分布 (O.P., m)

5.3 建物・構築物の耐震評価における地下水位設定

予測解析により得られた建物・構築物における地下水位・揚圧力並びにこれを参照した設計用地下水位・揚圧力について表 5.1-11 に示す。また、浸透流解析結果を参照し設計用地下水位・揚圧力を設定している原子炉建屋、制御建屋、第 3 号機海水熱交換器建屋及び排気筒について周辺の予測解析による地下水位分布を図 5.1-22～図 5.1-26 に示す。

表5.1-11 建物・構築物における設計用地下水位の設定一覧

施設名称	建設時工事計画 認可時の 設計用地下水位 ・揚圧力	予測解析による 地下水位 ・揚圧力	設計用 地下水位 ・揚圧力	備考
原子炉建屋 (基礎底面O.P. -14.1m)	29.4kN/m ² *1	8.4kN/m ² *1	29.4kN/m ² *1	
制御建屋 (基礎底面O.P. -1.5m)	0.0kN/m ² *1	4.6kN/m ² *1	4.9kN/m ² *1	
第3号機 海水熱交換器建屋 (基礎底面O.P. -12.5m～ O.P. -16.25m)	14.7kN/m ² *1	4.3kN/m ² *1	14.7kN/m ² *1	
排気筒 (基礎底面O.P. -4.0m)	O.P. +5.0m	O.P. +13.8m	O.P. +14.8m	地表面
緊急時対策建屋 (基礎底面O.P. +45.5m)	—*2	— (解析領域外)	O.P. +62.0m	地表面
緊急用電気品建屋 (基礎底面O.P. +52.9m)	—*2	— (解析領域外)	O.P. +62.3m	地表面

*1：建屋底面に作用する平均揚圧力

*2：建設時の工事計画認可申請対象外

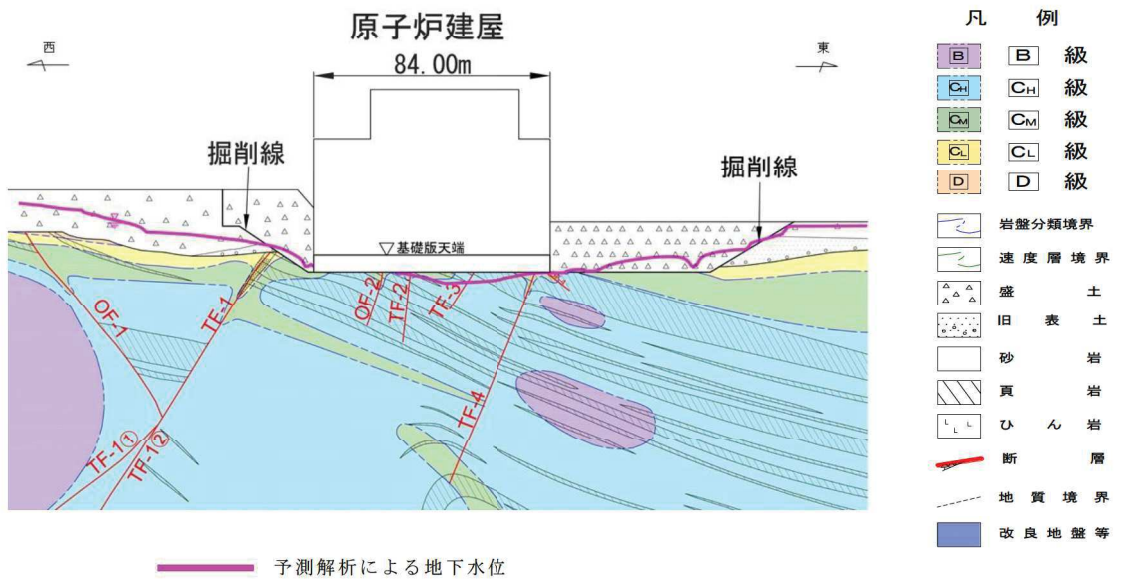


図 5.1-22 原子炉建屋周辺の地下水位分布(東西)

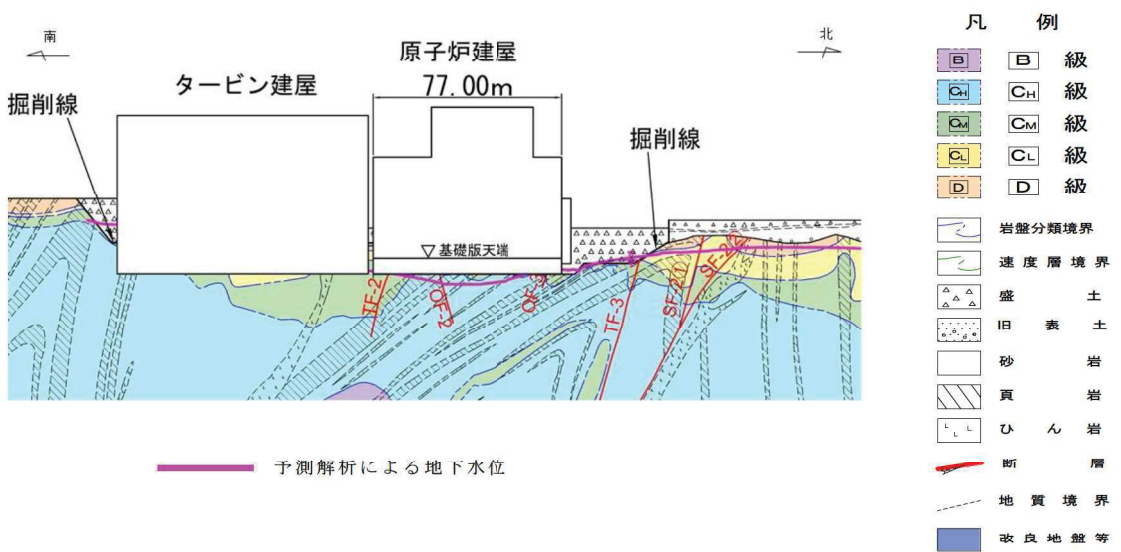


図 5.1-23 原子炉建屋周辺の地下水位分布(南北)

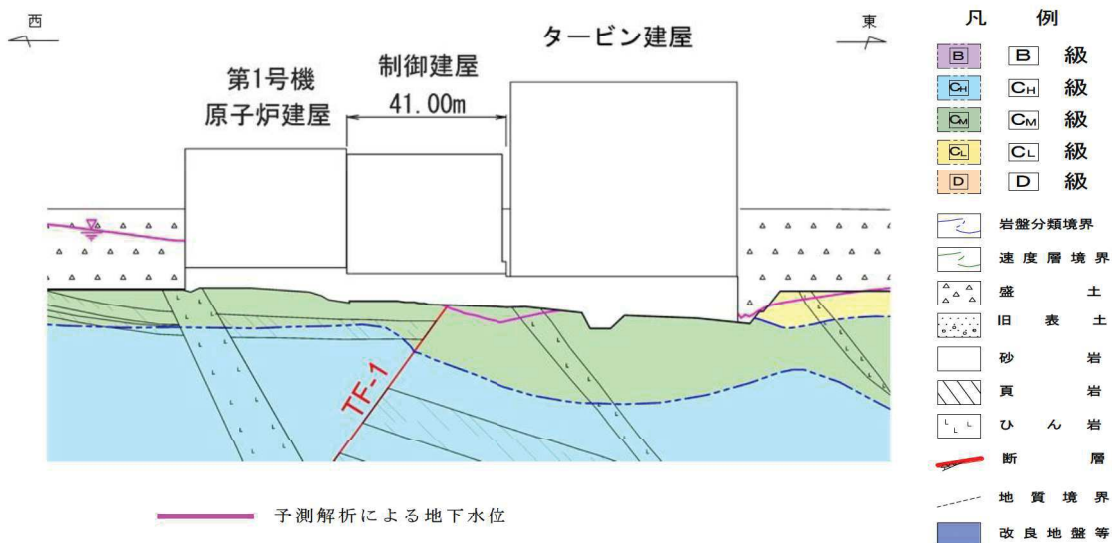


図 5.1-24 制御建屋周辺の地下水位分布

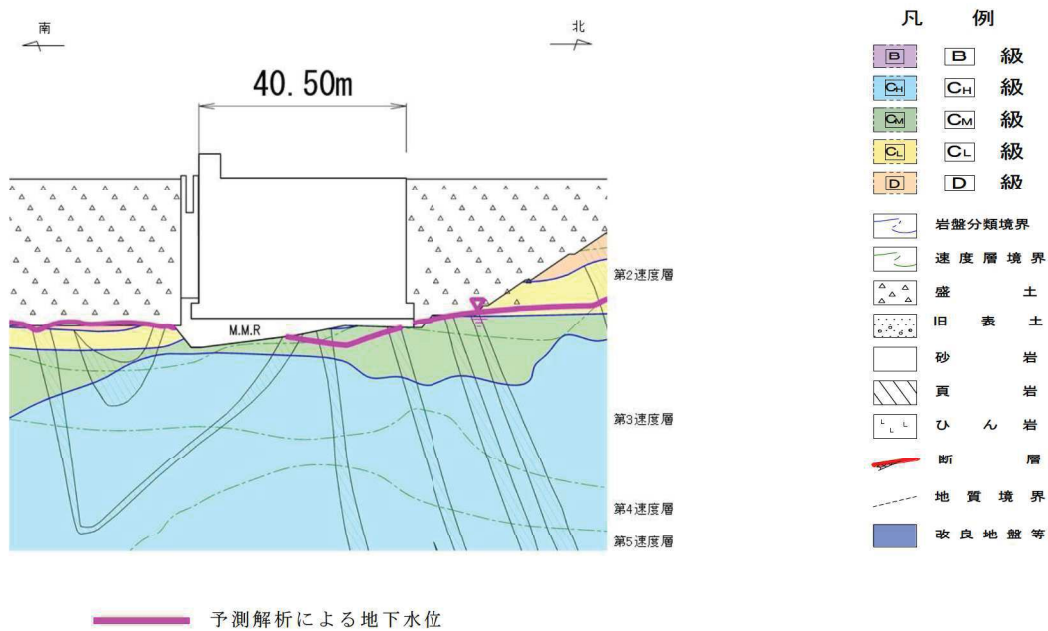


図 5.1-25 第 3 号機海水熱交換器建屋周辺の地下水位分布

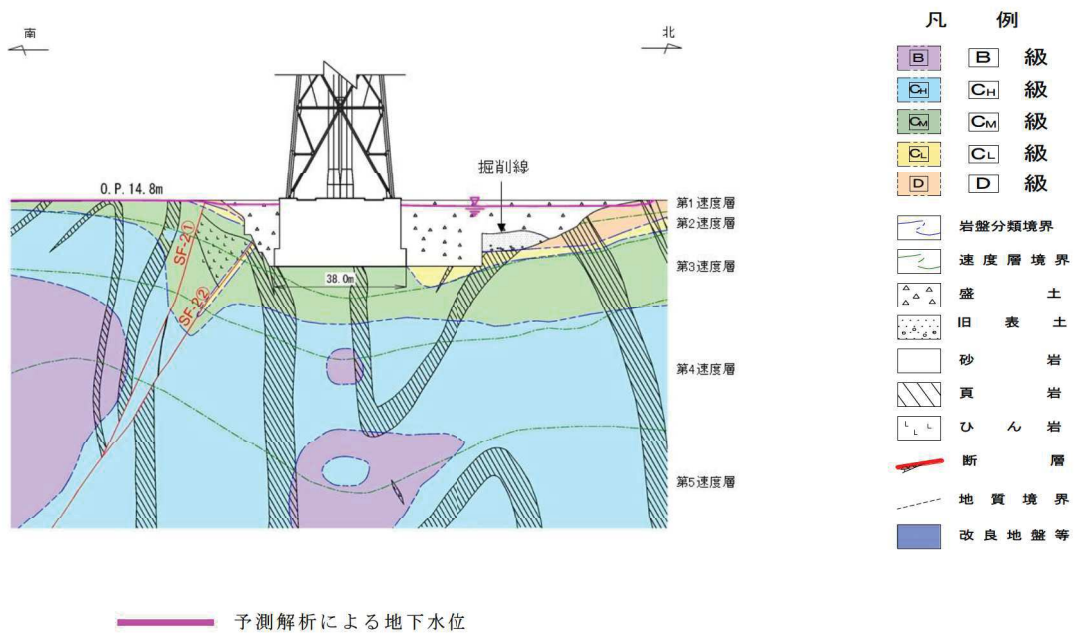


図 5.1-26 排気筒周辺の地下水位分布

5.4 土木構造物の耐震評価における地下水位設定

予測解析により得られた土木構造物周辺における地下水位（解析領域外の施設を除く）並びにこれを参照した設計用地下水位及び建設時工事計画認可時の設計用地下水位（建設時工事計画認可申請対象外の施設を除く）について表 5.1-12 及び図 5.1-27～図 5.1-42 に示す。

設計用地下水位の設定にあたっては、耐震評価における設計用地下水位の設定方針に基づき、気象条件（降雨条件等）の変動要因や観測水位の不確かさ等を考慮して、解析水位に対し概ね 1m～2m 程度の余裕を考慮し設定している。

表5.1-12 (1) 土木構造物における地下水位の設定一覧

施設名称		建設時工事計画 認可時の 設計用地下水位	予測解析による 地下水位	設計用 地下水位	備考
原子炉機器 冷却海水 配管ダクト	横断	O. P. -14. 20m	O. P. -14. 28m～ O. P. -5. 83m	O. P. -10. 50m～ O. P. -3. 50m	
排気筒連絡 ダクト	縦断	O. P. -8. 00m～ O. P. +4. 50m	O. P. -7. 14m～ O. P. +13. 44m	O. P. +5. 73m～ O. P. +14. 80m	
	横断 (断面①)	O. P. -8. 00m	O. P. -7. 17m～ O. P. -3. 98m	O. P. +5. 73m	
	横断 (断面②)	O. P. -8. 00m	O. P. -3. 28m～ O. P. 1. 49m	O. P. +5. 80m	
	横断 (断面③)	O. P. -8. 00m	O. P. -2. 50m～ O. P. -0. 53m	O. P. + 5. 80m	
	横断 (断面⑤)	O. P. -1. 69m	O. P. +1. 10m～ O. P. +7. 97m	O. P. +8. 19m～ O. P. +9. 00m	
	横断 (断面⑦)	O. P. +0. 22m	O. P. +5. 36m～ O. P. +10. 74m	O. P. +10. 10m～ O. P. +12. 00m	
軽油タンク連絡ダクト		—*	O. P. -5. 92m～ O. P. +2. 15m	O. P. -3. 00m～ O. P. +3. 00m	
取水路	縦断	O. P. -14. 10m～ O. P. +2. 43m	O. P. -11. 60m～ O. P. +2. 43m	O. P. -4. 53m～ O. P. +2. 43m	
	横断 (標準部①)	O. P. +2. 43m	O. P. +1. 93m	O. P. +2. 43m	朔望平均 満潮位
	横断 (標準部②)	O. P. +2. 43m	O. P. +0. 30m～ O. P. +2. 19m	O. P. +2. 43m	朔望平均 満潮位
	横断 (標準部③ (防潮堤横 断部))	O. P. +2. 43m	O. P. -4. 83m～ O. P. -2. 26m	O. P. +2. 43m	朔望平均 満潮位
	横断 (標準部④ (防潮堤横 断部))	O. P. +2. 43m	O. P. -6. 21m～ O. P. -3. 18m	O. P. -1. 00m	
曲がり部 南北		O. P. +2. 43m	O. P. -9. 56m～ O. P. -3. 90m	O. P. -1. 01m	

* : 建設時工事計画認可申請対象外

表5.1-12 (2) 土木構造物における地下水位の設定一覧

施設名称		建設時工事計画 認可時の 設計用地下水位	予測解析によ る地下水位	設計用 地下水位	備考
取水路	曲がり部 東西	—*	0. P. -7. 39m～ 0. P. +2. 26m	0. P. -1. 03m～ 0. P. +2. 43m	
	漸拡部 東西	0. P. -14. 10m～ 0. P. +2. 43m	0. P. -14. 13m～ 0. P. +2. 39m	0. P. -4. 53m～ 0. P. +2. 43m	
海水 ポンプ室	縦断	0. P. -14. 10m～ 0. P. +8. 83m	0. P. -12. 64m～ 0. P. +12. 83m	0. P. -8. 50m～ 0. P. +14. 00m	
	横断	0. P. -14. 10m～ 0. P. +2. 43m	0. P. -14. 13m～ 0. P. +2. 39m	0. P. -8. 50m～ 0. P. +2. 43m	
軽油 タンク室	南北	—*	0. P. -14. 29m～ 0. P. -3. 78m	0. P. -3. 00m	
	東西	—*	0. P. -5. 92m～ 0. P. +5. 17m	0. P. -3. 00m～ 0. P. +6. 50m	
軽油 タンク室 (H)	南北	—*	0. P. -12. 80m～ 0. P. -3. 78m	0. P. -3. 00m	
	東西	—*	0. P. -5. 92m～ 0. P. +5. 17m	0. P. -3. 00m～ 0. P. +6. 50m	
取水口 (貯留堰)	南北 (標準部)	0. P. +2. 43m	0. P. +2. 43m	0. P. +2. 43m	朔望平均 満潮位
	南北 (漸縮部)	0. P. +2. 43m	0. P. +1. 95m	0. P. +2. 43m	朔望平均 満潮位
復水貯蔵 タンク基礎	南北	0. P. +2. 00m～ 0. P. +9. 50m	0. P. -14. 29m～ 0. P. -3. 78m	0. P. -3. 00m	
	東西	0. P. -6. 00m	0. P. -5. 92m～ 0. P. +2. 15m	0. P. -3. 00m ～0. P. +3. 00m	
ガスタービン 発電設備 軽油タンク室	南北	—*	— (解析領域外)	0. P. +62. 30m	地表面
	東西	—*	— (解析領域外)	0. P. +62. 30m	地表面

* : 建設時工事計画認可申請対象外

表5.1-12 (3) 土木構造物における地下水位の設定一覧

施設名称		建設時工事計画 認可時の 設計用地下水位	予測解析による 地下水位	設計用 地下水位	備考
防潮堤 (鋼管式 鉛直壁)	横断 (岩盤部①)	—*	O. P. +14.80m	O. P. +3.50m～ O. P. +19.50m	
	横断 (岩盤部②)	—*	O. P. +5.92m～ O. P. +10.18m	O. P. +6.00m～ O. P. +18.00m	
	横断 (一般部①)	—*	O. P. -13.42m～ O. P. +2.43m	O. P. +2.43m	朔望平均 満潮位
	横断 (一般部②)	—*	O. P. -6.07m～ O. P. +2.43m	O. P. +2.43m	朔望平均 満潮位
	横断 (一般部③)	—*	O. P. -15.03m～ O. P. +2.43m	O. P. +2.43m	朔望平均 満潮位
	横断 (一般部④)	—*	O. P. -11.15m～ O. P. +2.43m	O. P. +2.43m～ O. P. +14.80m	
	RC 遮水壁	—*	— (解析領域外)	O. P. +30.0m	地表面
防潮堤 (盛土 堤防)	横断①	—*	O. P. +0.43m～ O. P. +2.86m	O. P. +2.43m～ O. P. +14.80m	
防潮壁	第2号機 海水ポンプ室	—*	O. P. -14.00m～ O. P. -4.25m	O. P. -11.50m～ O. P. -3.00m	
	第2号機 放水立坑	—*	O. P. +1.22m～ O. P. +11.14m	O. P. +4.50m～ O. P. +12.50m	
	第3号機 海水ポンプ室	—*	O. P. -15.59m～ O. P. -8.47m	O. P. -10.00m～ O. P. -6.50m	
	第3号機 放水立坑	—*	O. P. -10.05m～ O. P. -4.73m	O. P. -9.00m～ O. P. +5.00m	
取放水路 流路 縮小工	第1号機取水路	—*	O. P. +11.54m～ O. P. +17.18m	O. P. +14.80m～ O. P. +19.50m	地表面
	第1号機放水路	—*	O. P. +13.75m～ O. P. +14.80m	O. P. +14.80m	地表面

* : 建設時工事計画認可申請対象外

表5.1-12 (4) 土木構造物における地下水位の設定一覧

施設名称		建設時工事計画認可時の設計用地下水位	予測解析による地下水位	設計用地下水位	備考
第3号機 海水ポンプ室	縦断	0. P. -12. 53m～ 0. P. +1. 24m	0. P. -13. 75m～ 0. P. +2. 43m	0. P. -12. 00m～ 0. P. +2. 43m	
	横断	0. P. -12. 79m～ 0. P. +1. 60m	0. P. -13. 14m～ 0. P. -4. 77m	0. P. -12. 00m～ 0. P. -2. 51m	
揚水井戸	南北	— *1	0. P. -13. 09m～ 0. P. -7. 94m	0. P. -12. 50m～ 0. P. -7. 00m	
	東西	— *1	0. P. -13. 09m～ 0. P. -5. 92m	0. P. -12. 50m～ 0. P. -4. 50m	
第3号機補機冷却海水系 放水ピット		— *1	0. P. -14. 99m～ 0. P. -5. 35m	0. P. -14. 00m～ 0. P. -5. 00m	
屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤南側)		— *1	0. P. +5. 92m～ 0. P. +7. 83m	0. P. +6. 00m～ 0. P. +18. 00m	

*1：建設時工事計画認可申請対象外

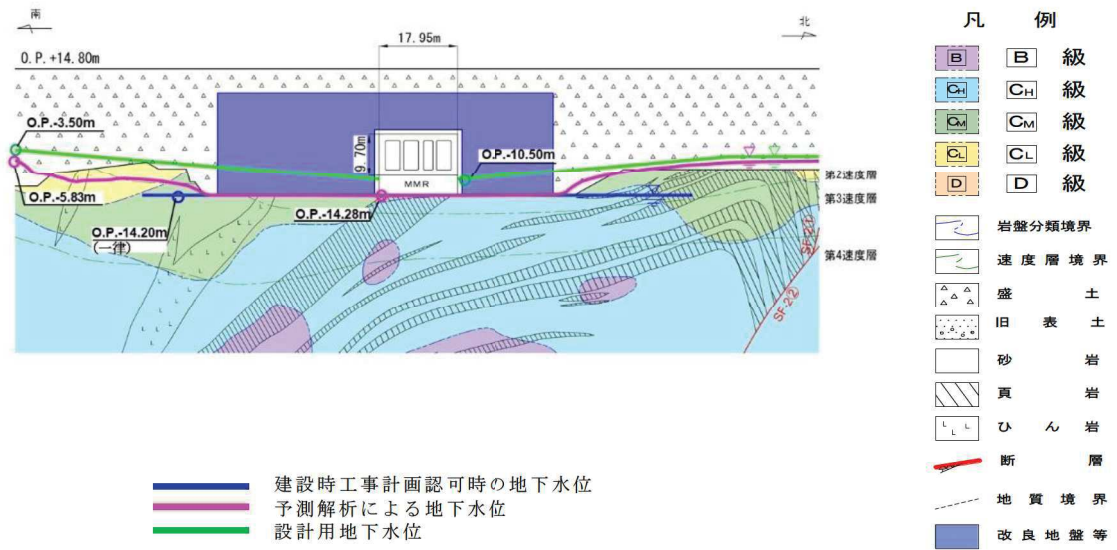


図 5.1-27 原子炉機器冷却海水配管ダクトの設計用地下水位 (横断)

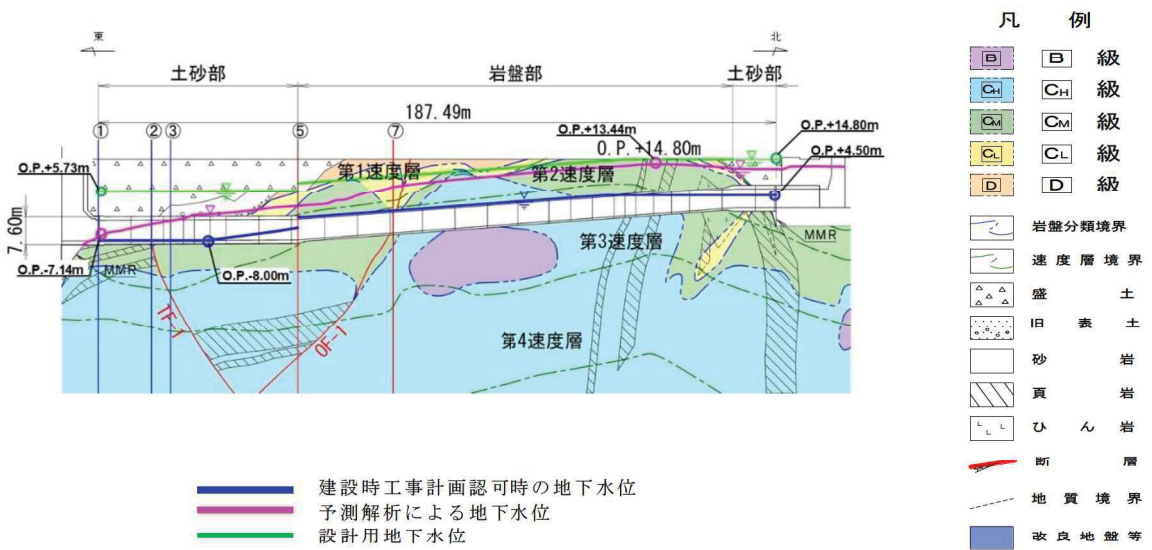


図 5.1-28(1) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (縦断)

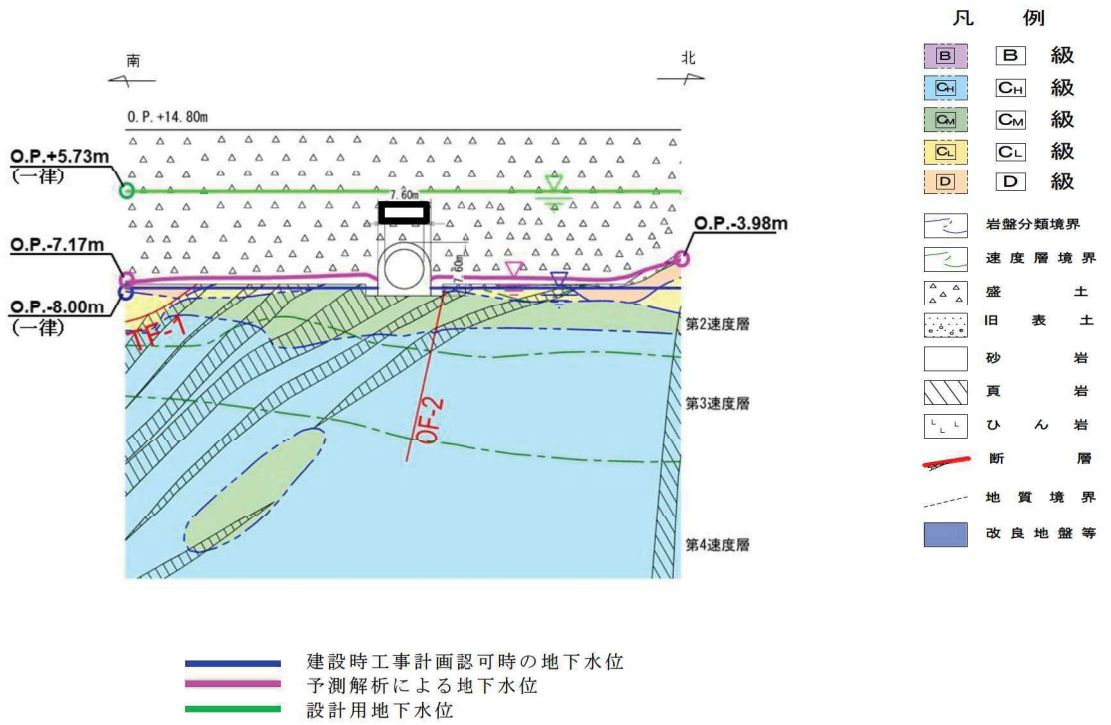


図 5.1-28 (2) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (横断(断面①))

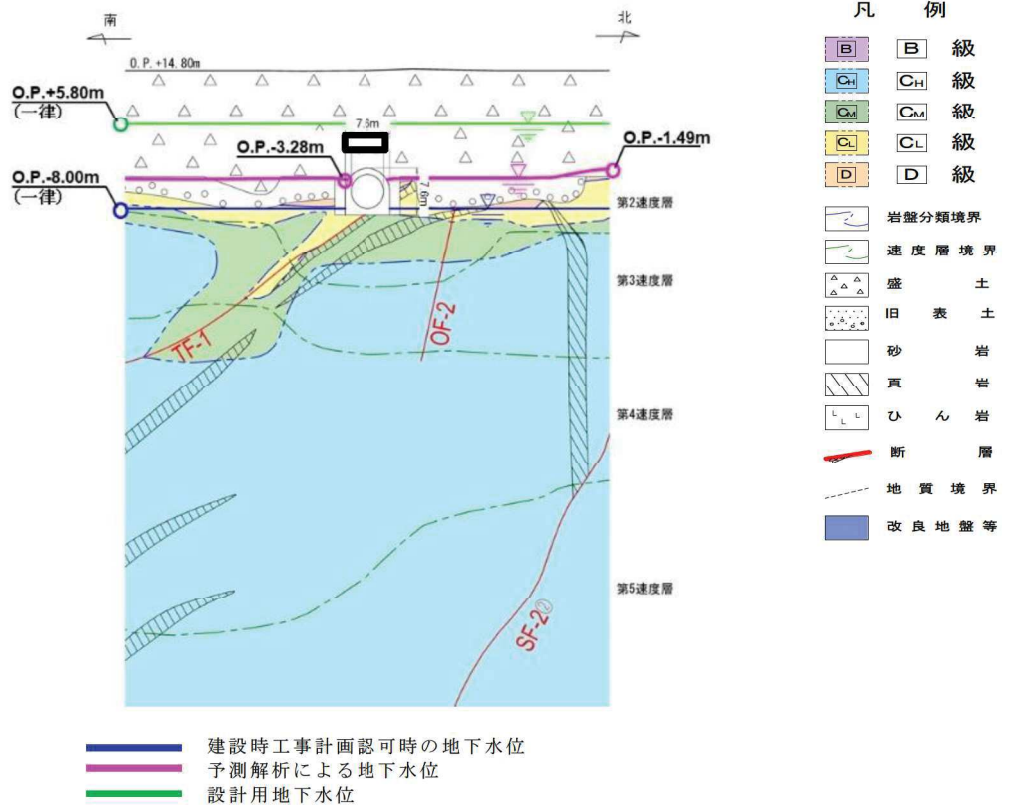


図 5.1-28 (3) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (横断(断面②))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

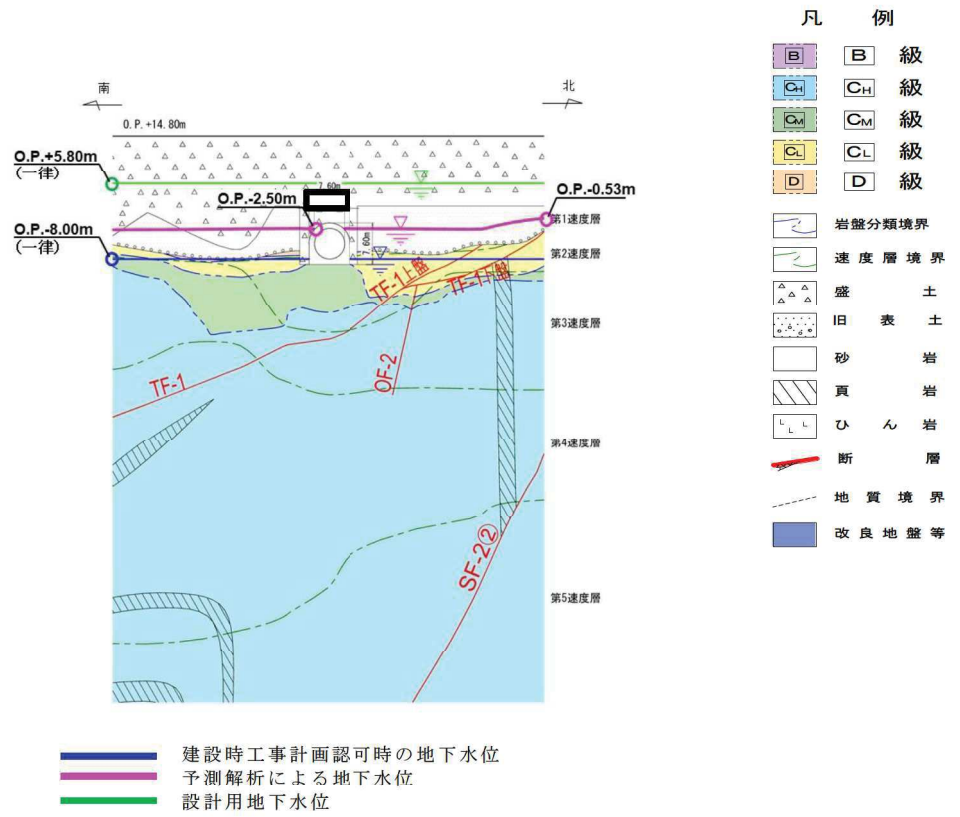


図 5.1-28(4) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (横断(断面③))

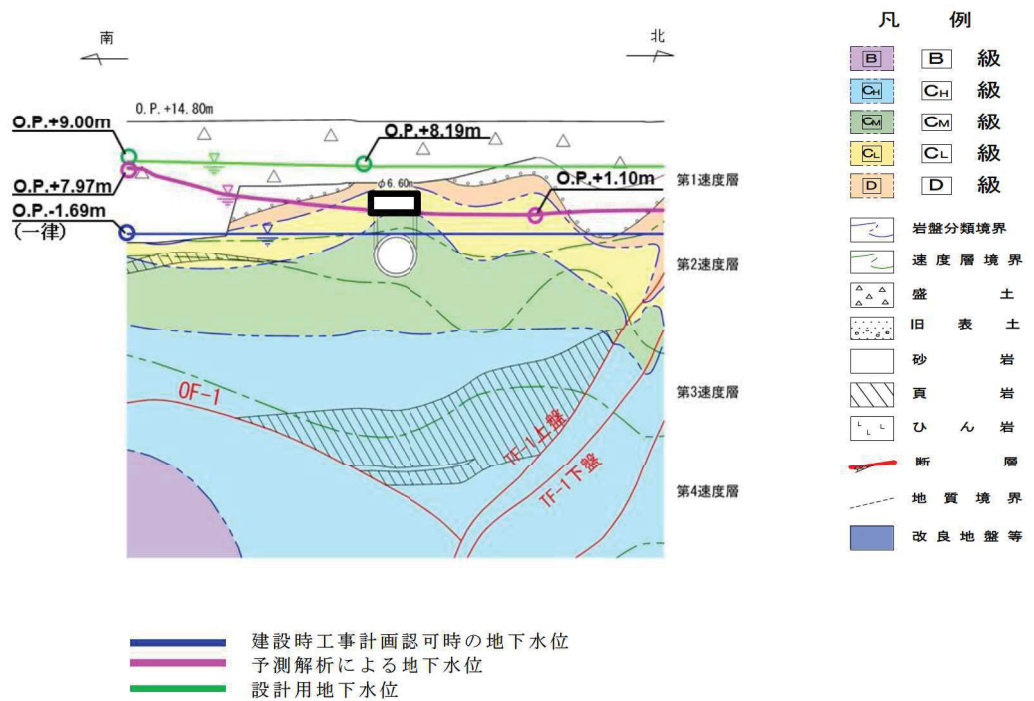


図 5.1-28(5) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (横断(断面⑤))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

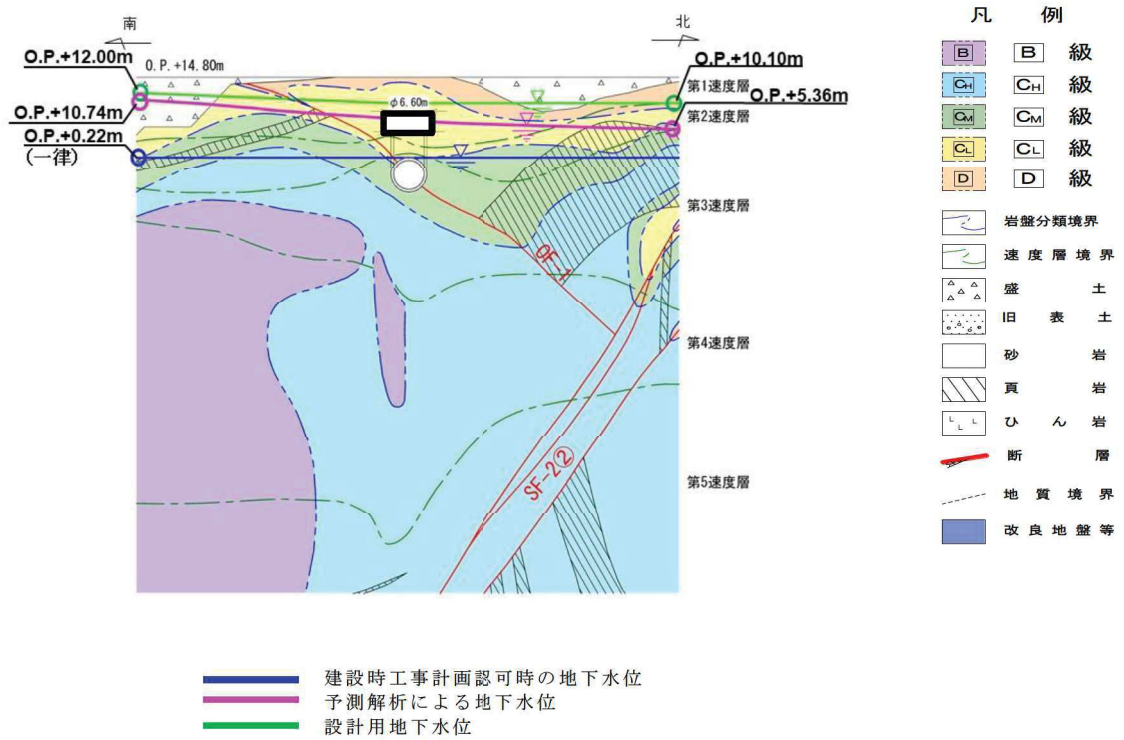


図 5.1-28 (6) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (横断(断面⑦))

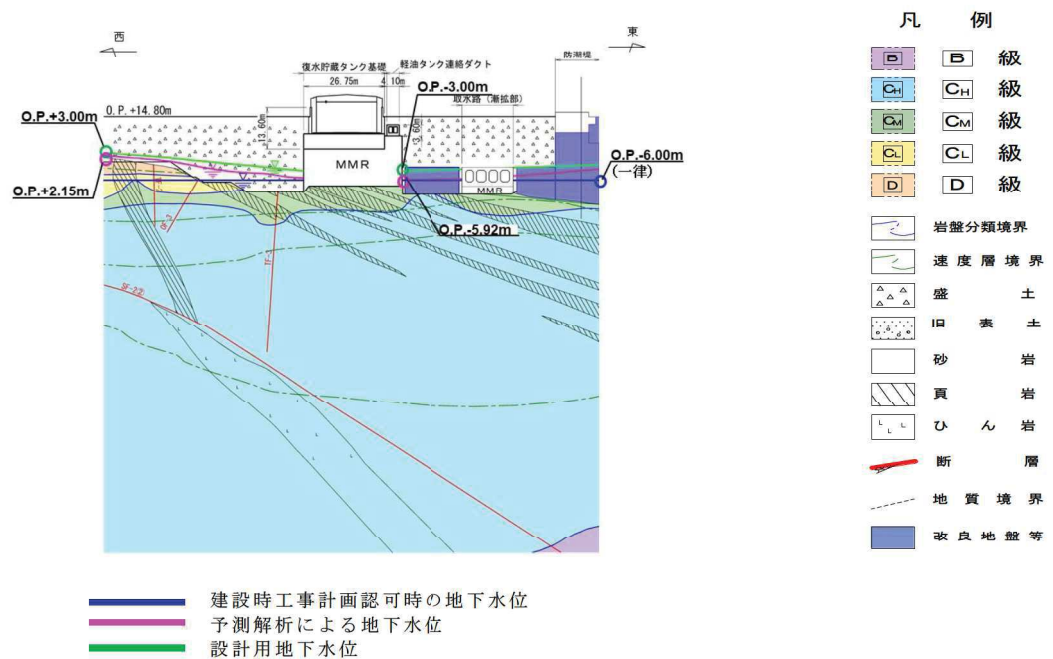


図 5.1-29 軽油タンク連絡ダクトの設計用地下水位 (東西)
(復水貯蔵タンク基礎の東西方向断面の設計用地下水位含む)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

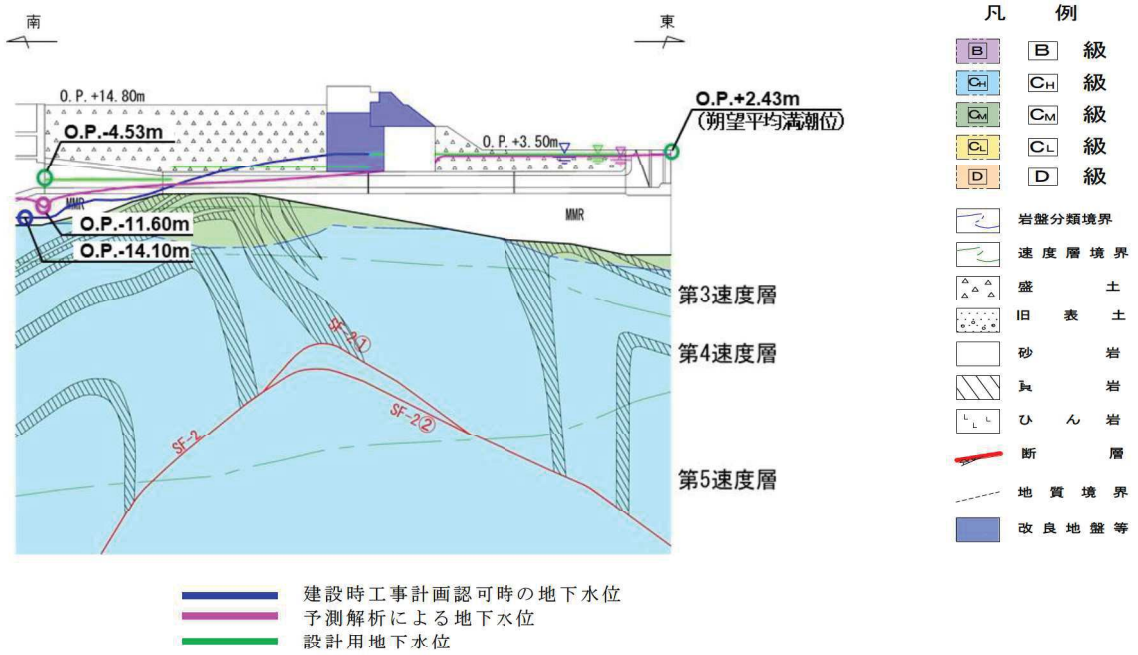


図 5.1-30(1) 取水路の設計用地下水位 (縦断)

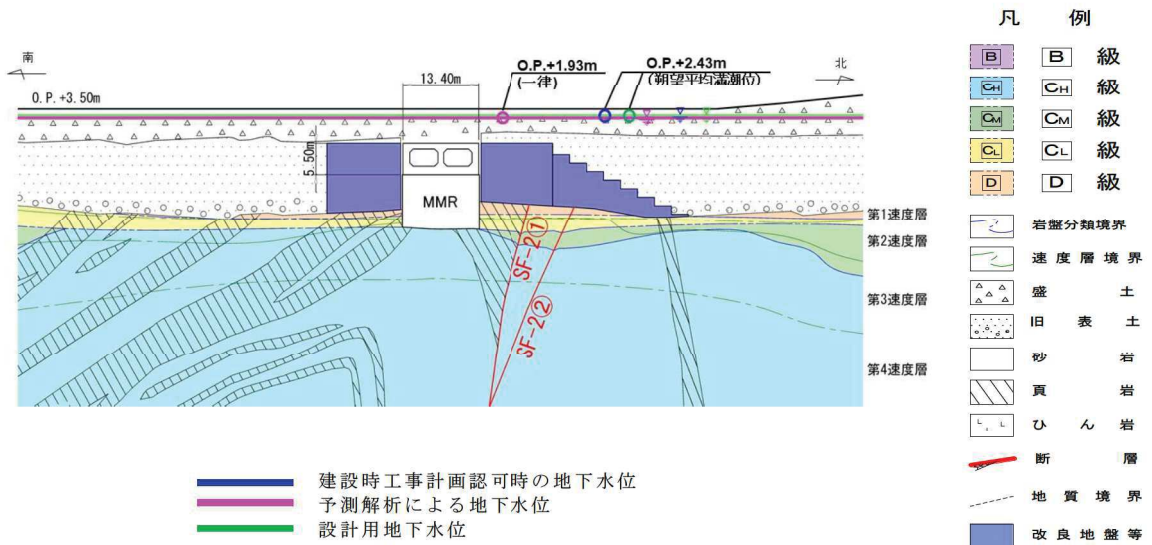


図 5.1-30(2) 取水路の設計用地下水位 (横断(標準部①))
(改良地盤に囲まれる箇所)

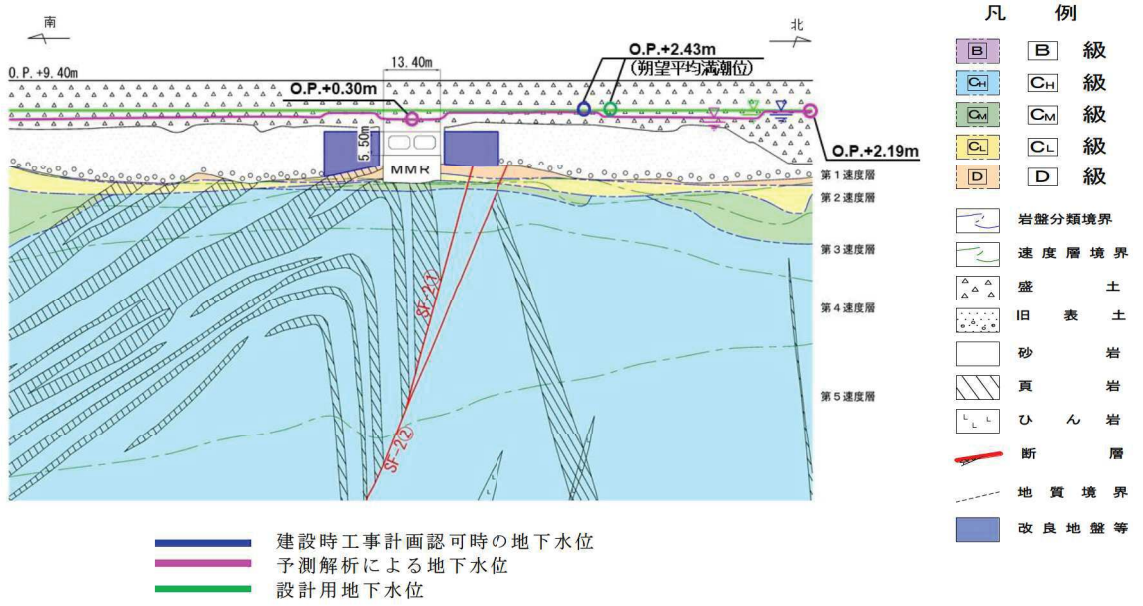


図 5.1-30(3) 取水路の設計用地下水位 (横断(標準部②))
(改良地盤に囲まれる箇所以外)

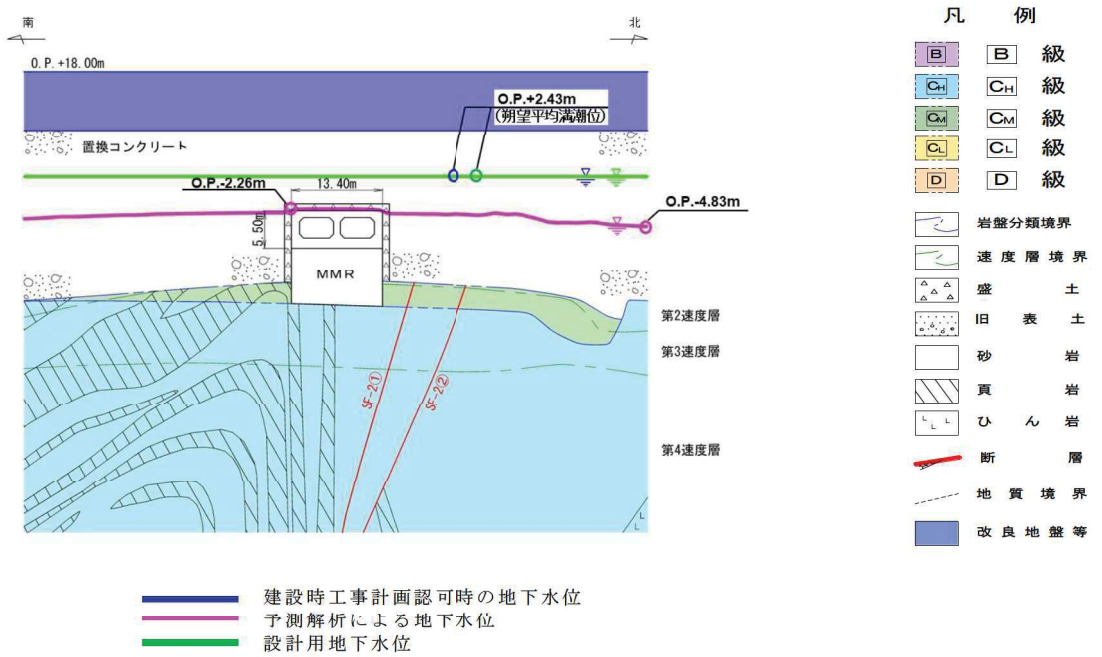


図 5.1-30(4) 取水路の設計用地下水位 (横断(標準部③))
(防潮堤を横断する箇所(1))

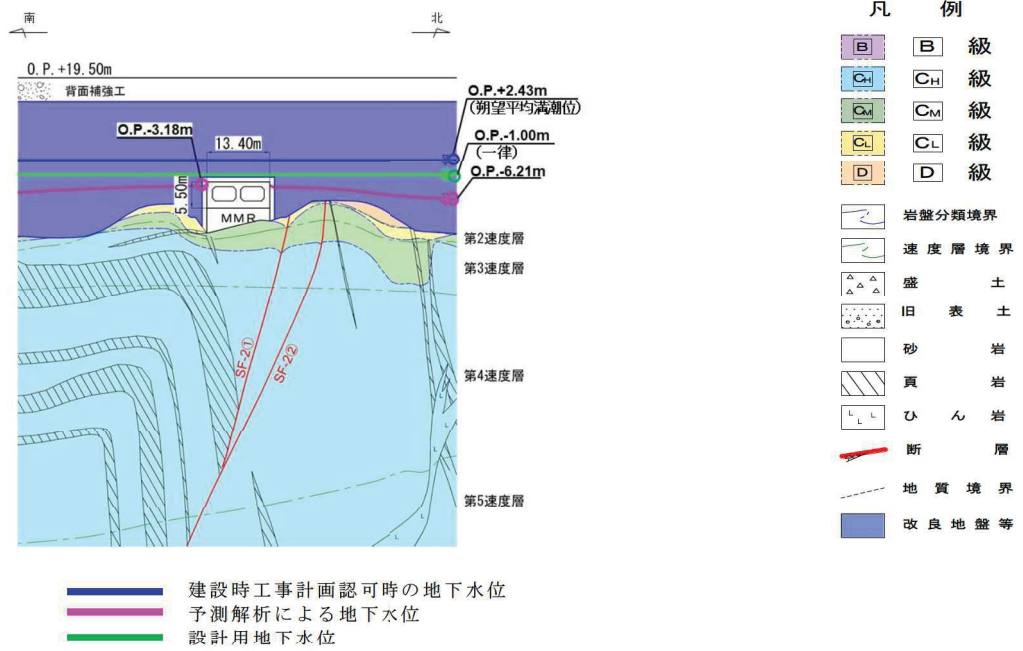


図 5.1-30(5) 取水路の設計用地下水水位（横断（標準部④））
（防潮堤を横断する箇所(2)）

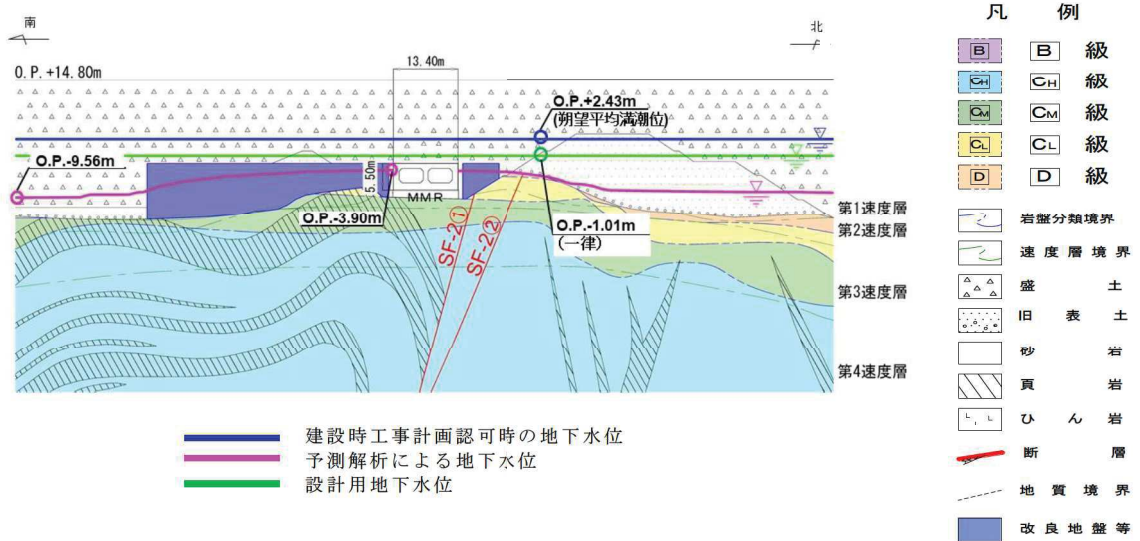


図 5.1-30(6) 取水路の設計用地下水水位（曲がり部）（南北）

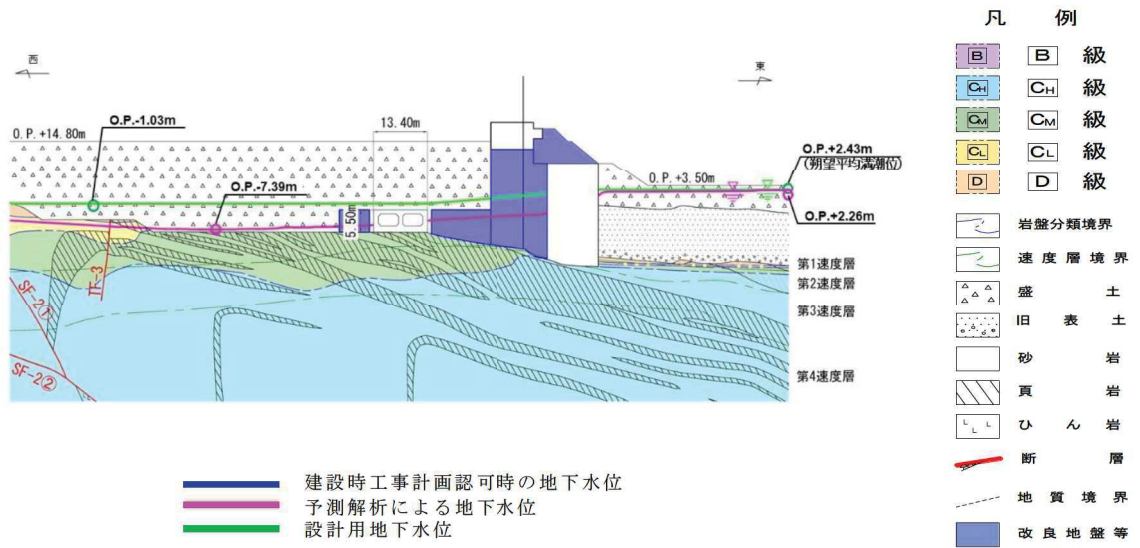


図 5.1-30(7) 取水路の設計用地下水位（曲がり部）（東西）

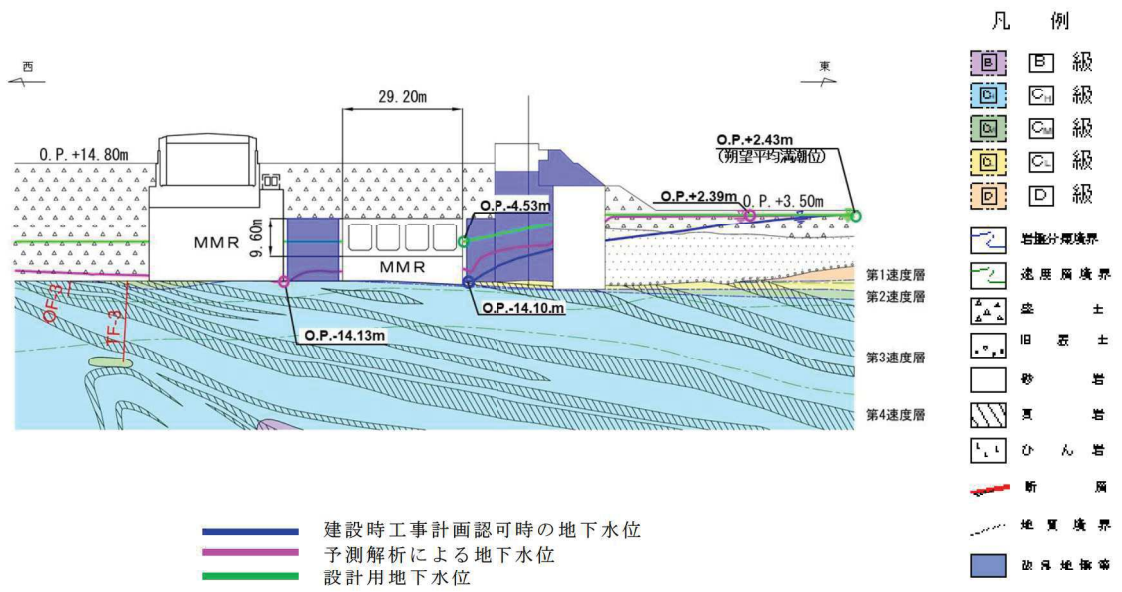


図 5.1-30(8) 取水路の設計用地下水位（漸拡部）（東西）

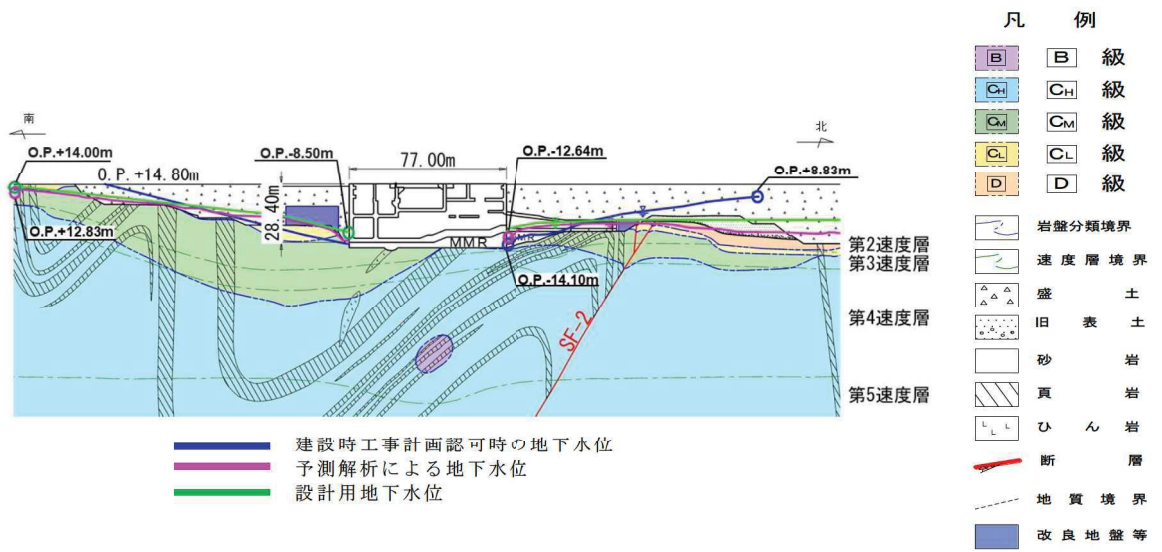


図 5.1-31(1) 海水ポンプ室の設計用地下水位（縦断）

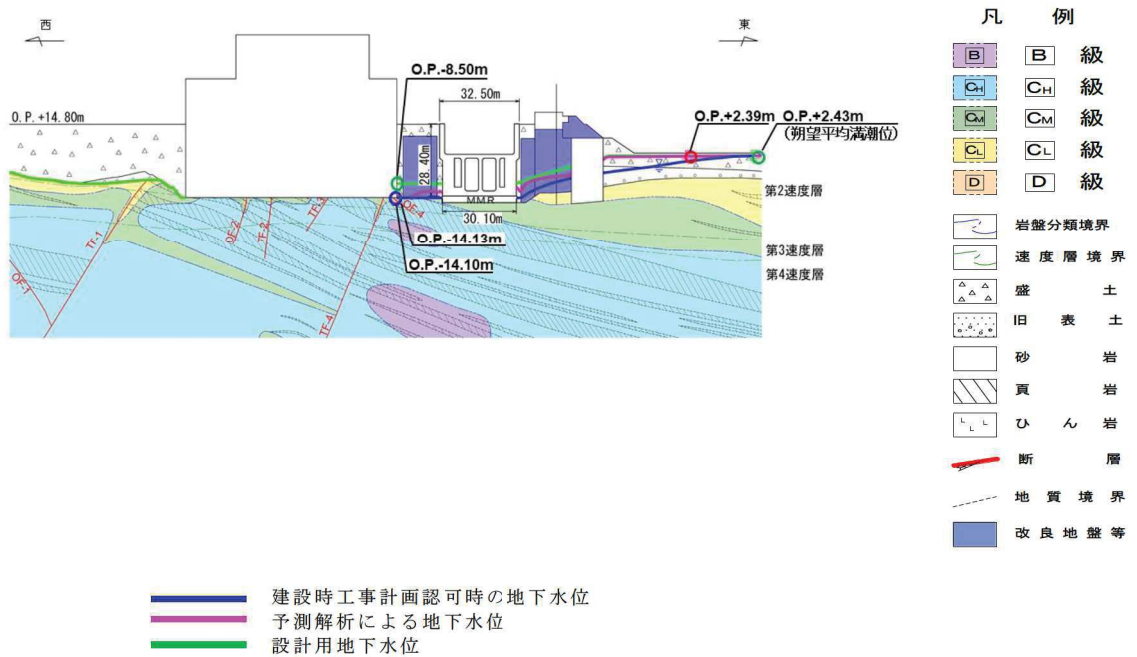


図 5.1-31(2) 海水ポンプ室の設計用地下水位（横断）

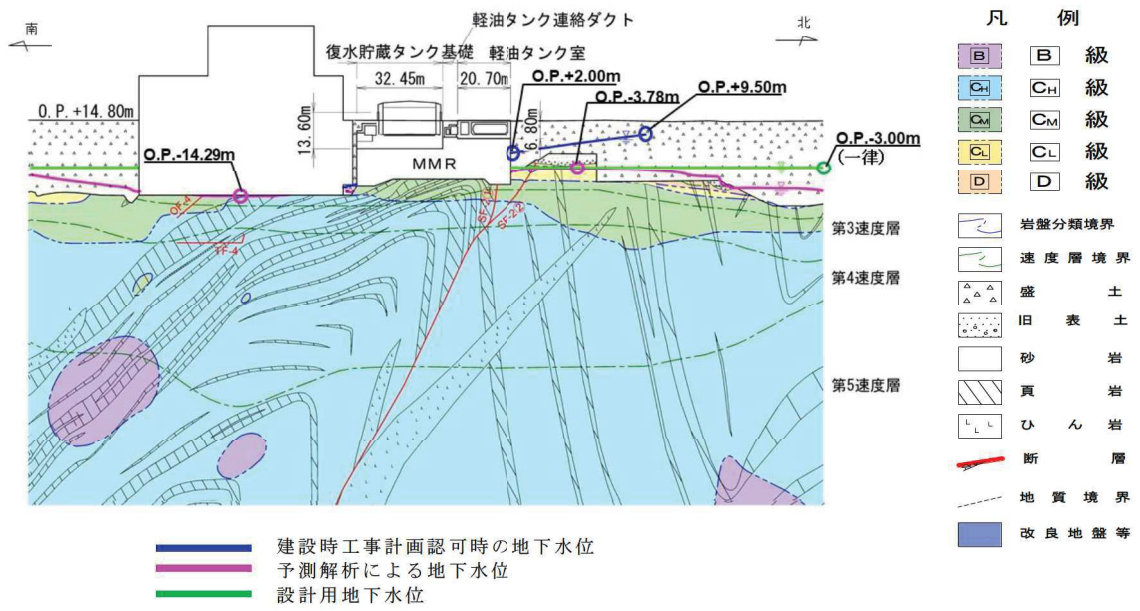


図 5.1-32 軽油タンク室の設計用地下水位（南北）
 （復水貯蔵タンク基礎の南北方向断面の設計用地下水位を含む）

O 2 ① VI-2-1-3 R 2

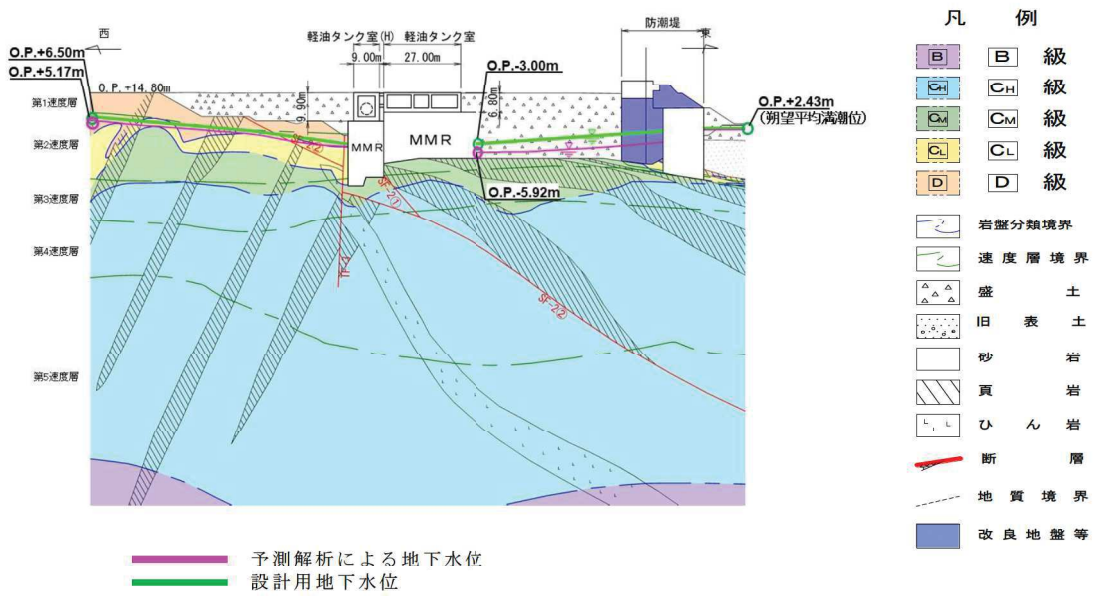


図 5.1-33(1) 軽油タンク室，軽油タンク室（H）の設計用地下水位（東西）

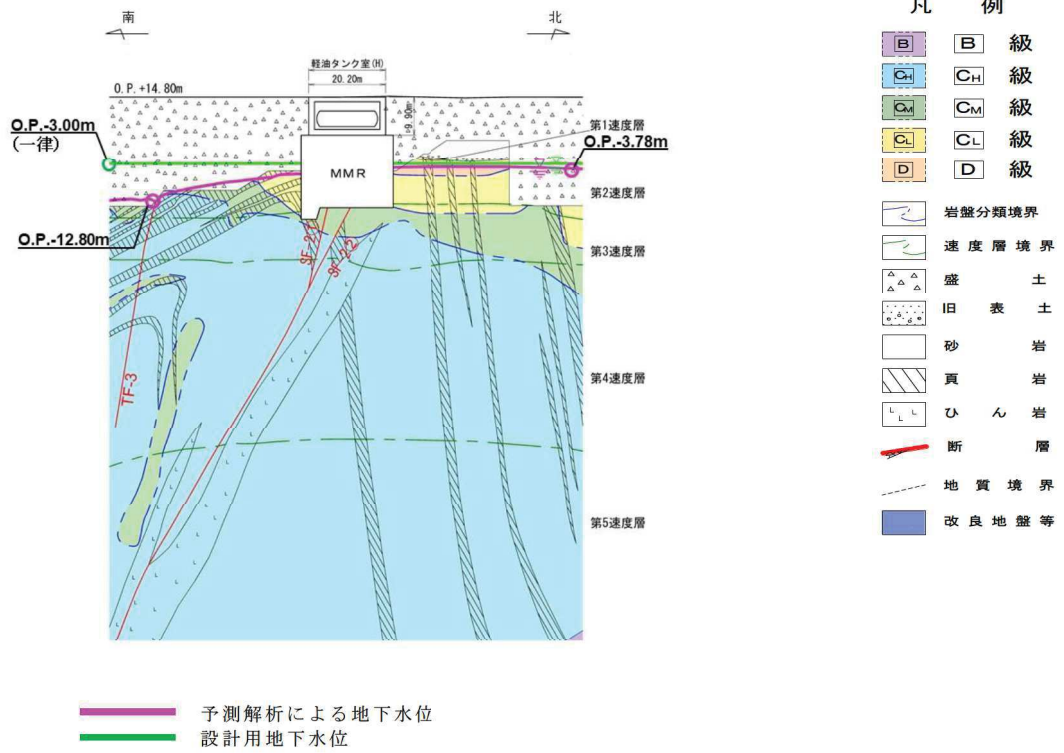


図 5.1-33(2) 軽油タンク室 (H) の設計用地下水位 (南北)

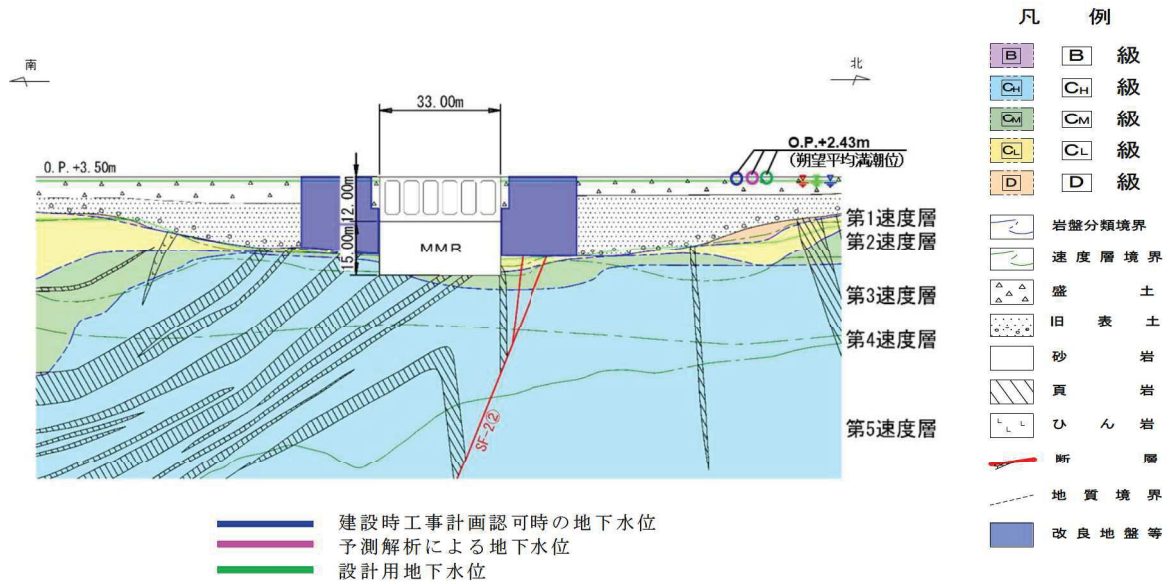


図 5.1-34(1) 取水口 (標準部) の設計用地下水位 (南北)

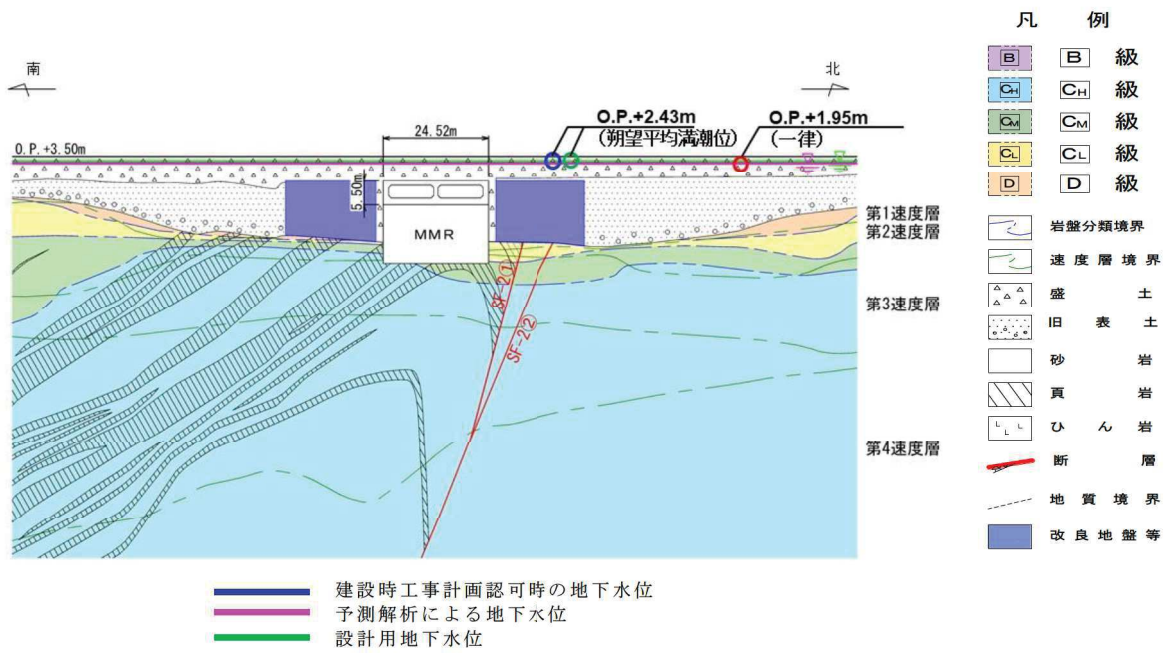


図 5.1-34(2) 取水口（漸縮部）の設計用地下水位（南北）

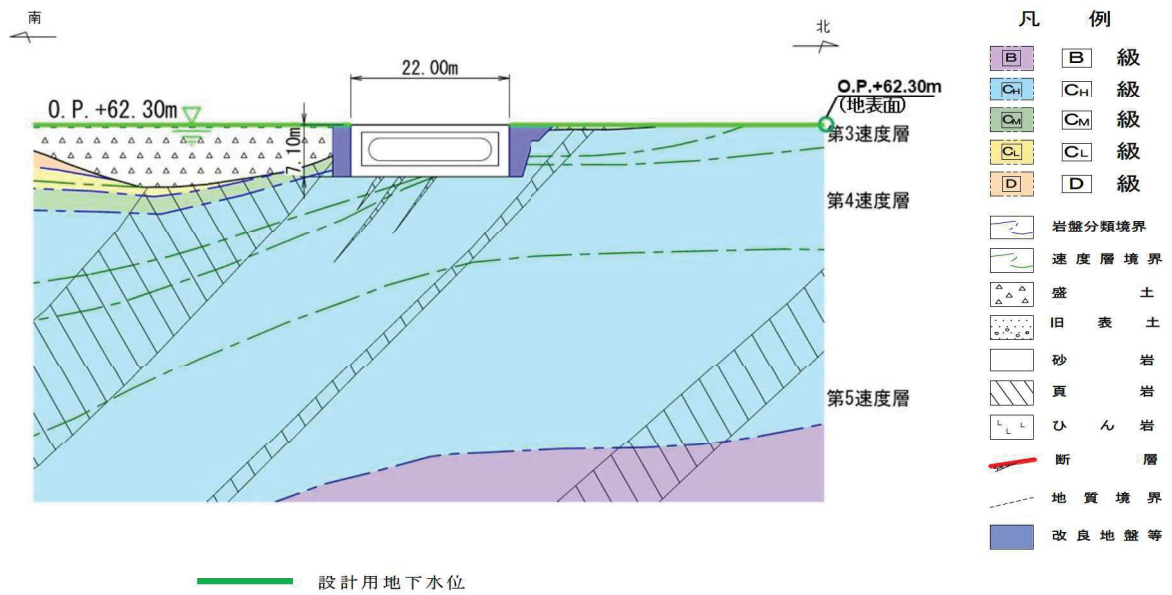


図 5.1-35(1) ガスタービン発電設備軽油タンク室の設計用地下水位（南北）

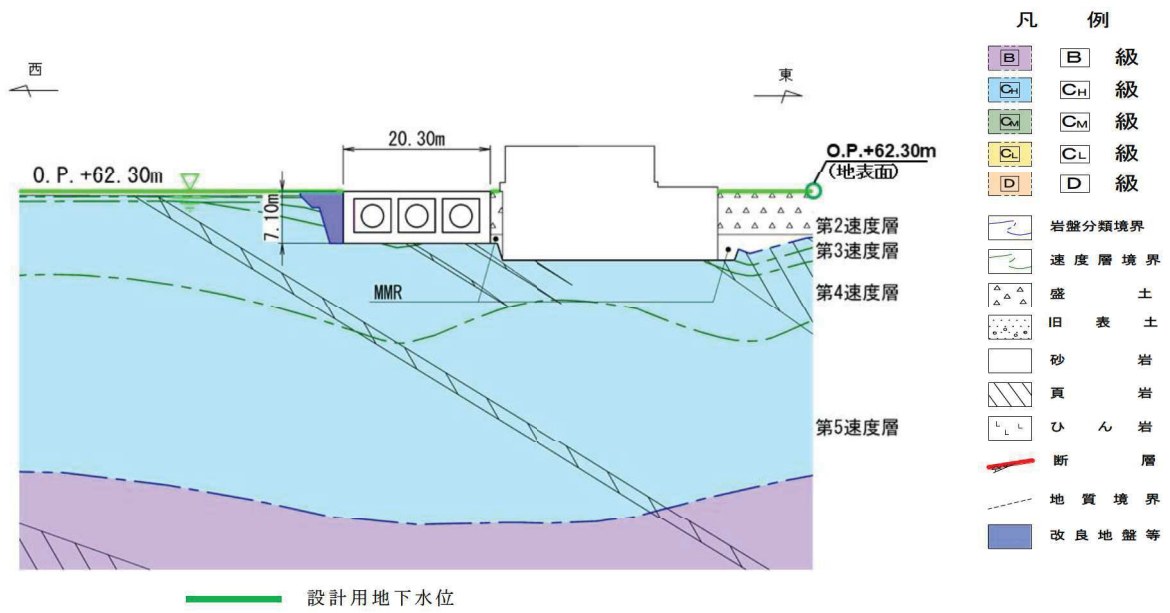


図 5.1-35(2) ガスタービン発電設備軽油タンク室の設計用地下水位（東西）

O 2 ① VI-2-1-3 R 2

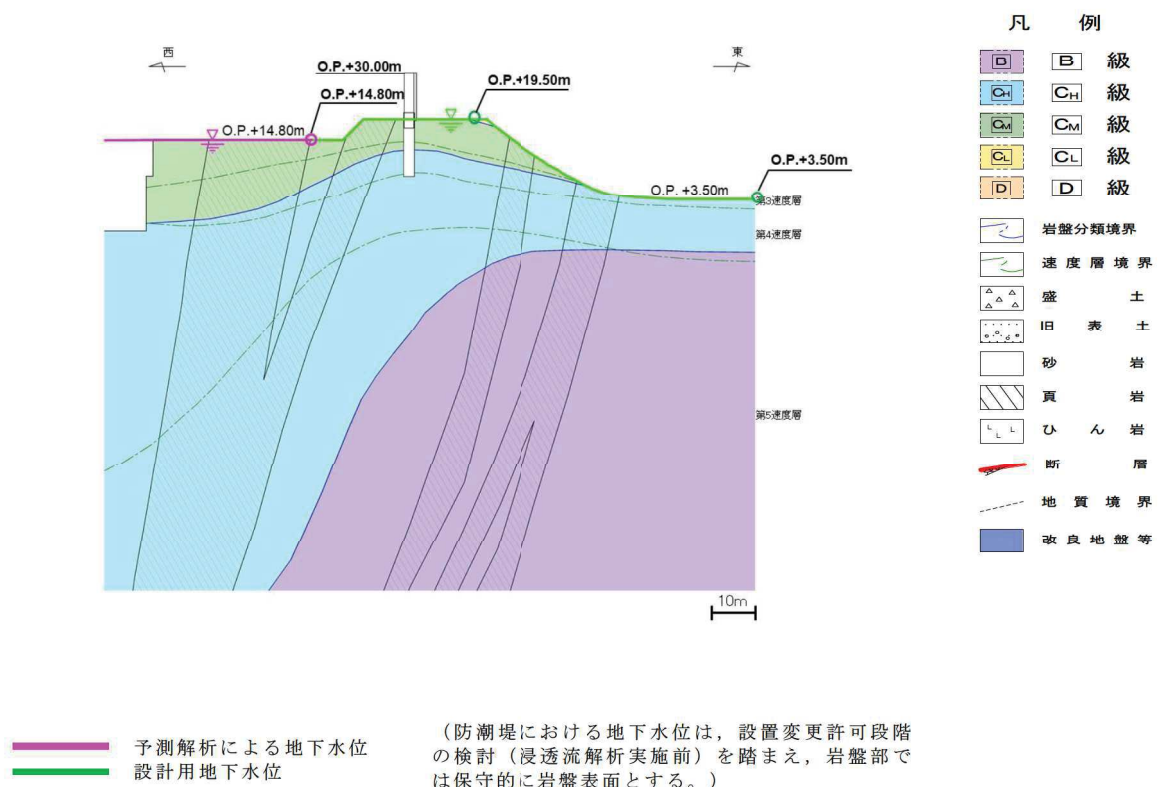
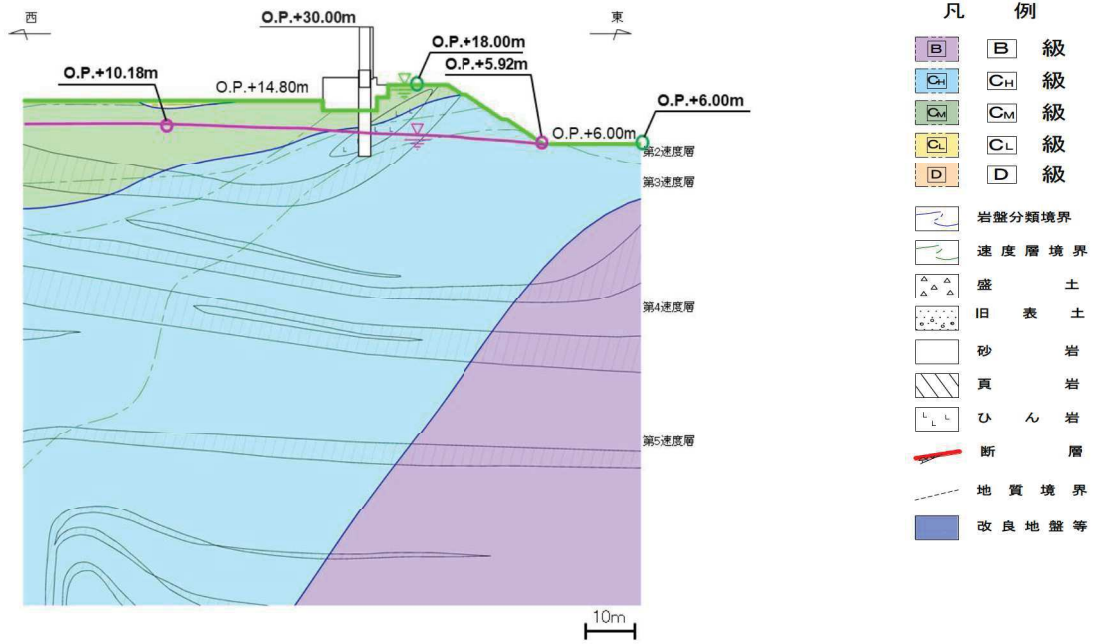


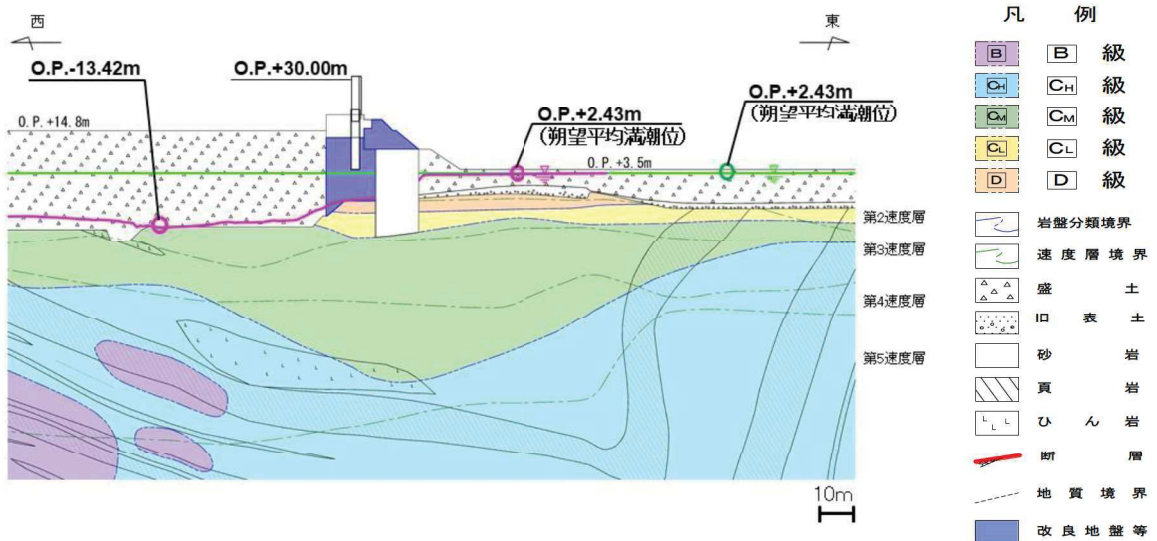
図 5.1-36(1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計用地下水位（岩盤部①）



— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

(防潮堤における地下水位は、設置変更許可段階の検討(浸透流解析実施前)を踏まえ、岩盤部では保守的に岩盤表面とする。)

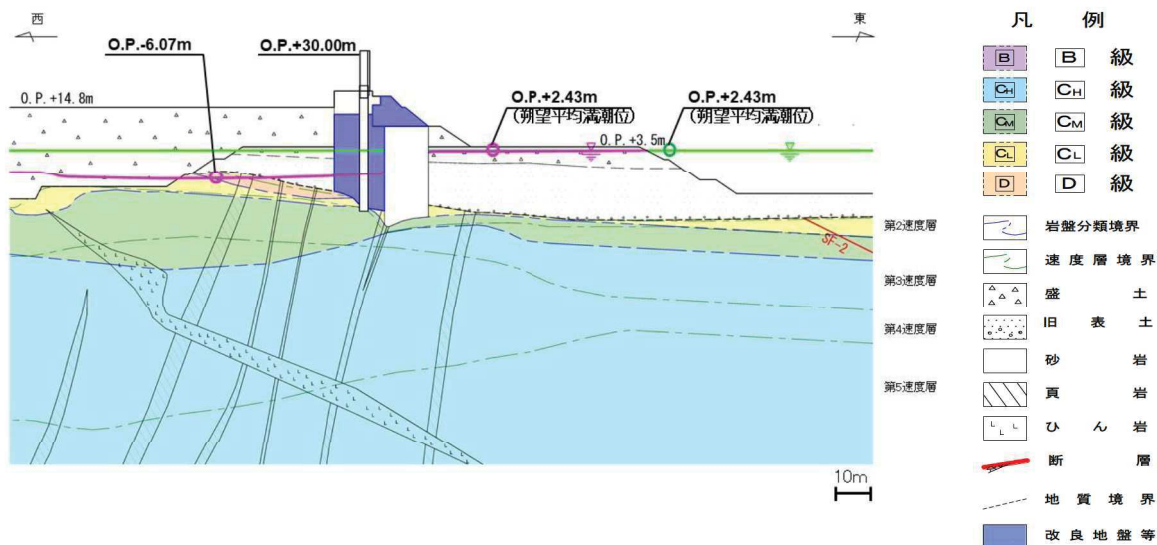
図 5.1-36(2) 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の設計用地下水位(岩盤部②)



— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

(防潮堤における地下水位は、設置変更許可段階の検討(浸透流解析実施前)を踏まえ、一般部では保守的に望望平均満潮位とする。)

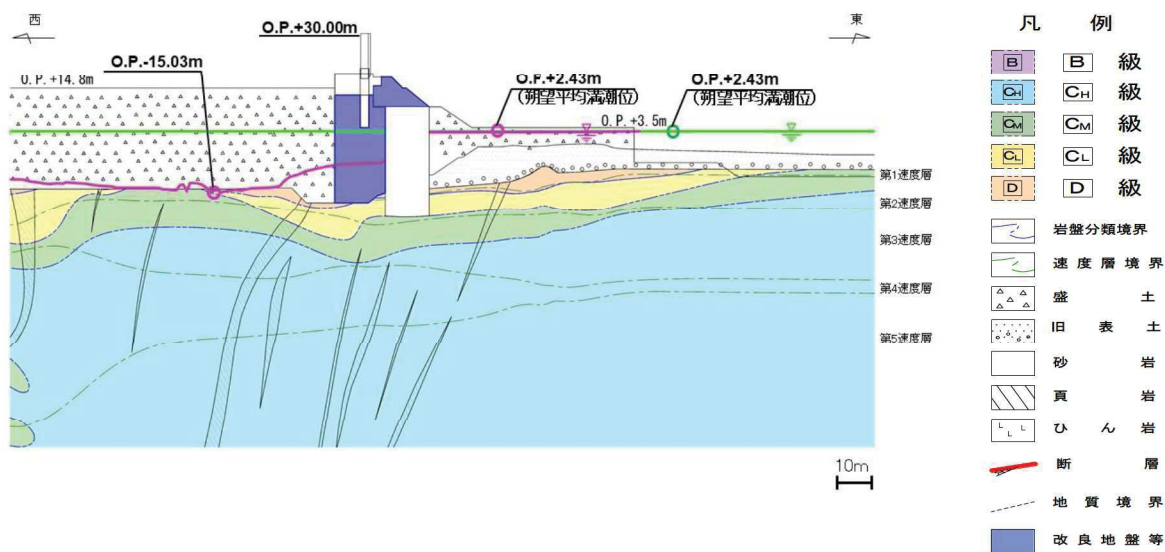
図 5.1-36(3) 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の設計用地下水位(一般部①)



— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

(防潮堤における地下水位は、設置変更許可段階の検討(浸透流解析実施前)を踏まえ、一般部では保守的に期望平均満潮位とする。)

図 5.1-36(4) 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の設計用地下水位(一般部②)



— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

(防潮堤における地下水位は、設置変更許可段階の検討(浸透流解析実施前)を踏まえ、一般部では保守的に期望平均満潮位とする。)

図 5.1-36(5) 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の設計用地下水位(一般部③)

R 2
 VI-2-1-3
 ①
 O 2

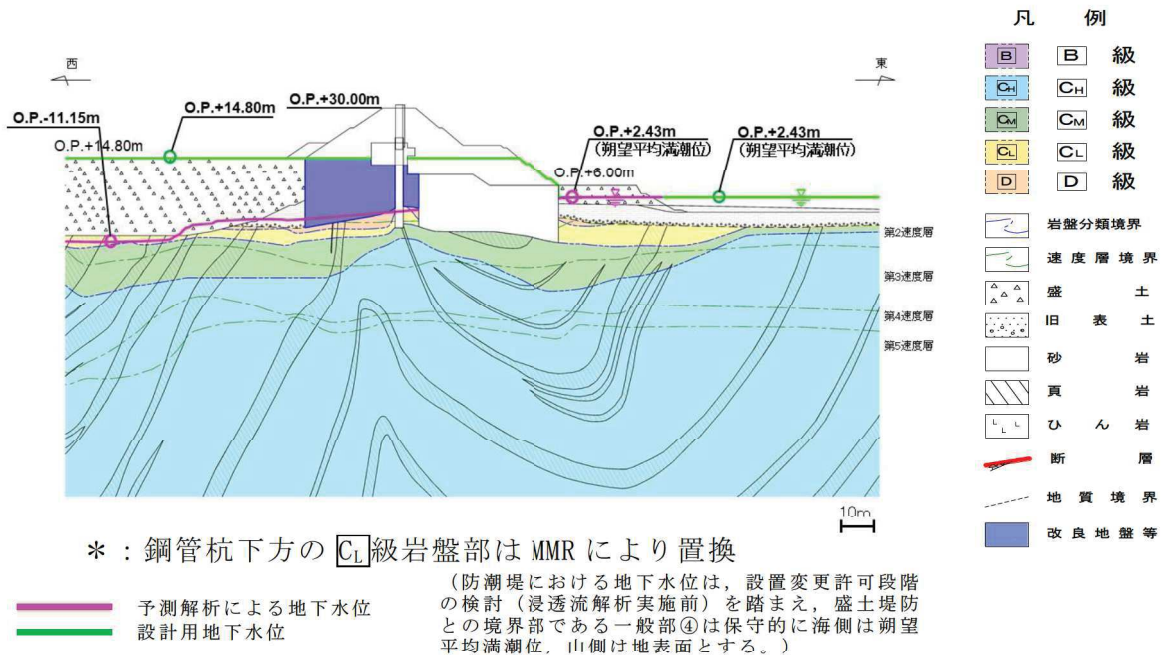


図 5.1-36(6) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計用地下水位（一般部④）

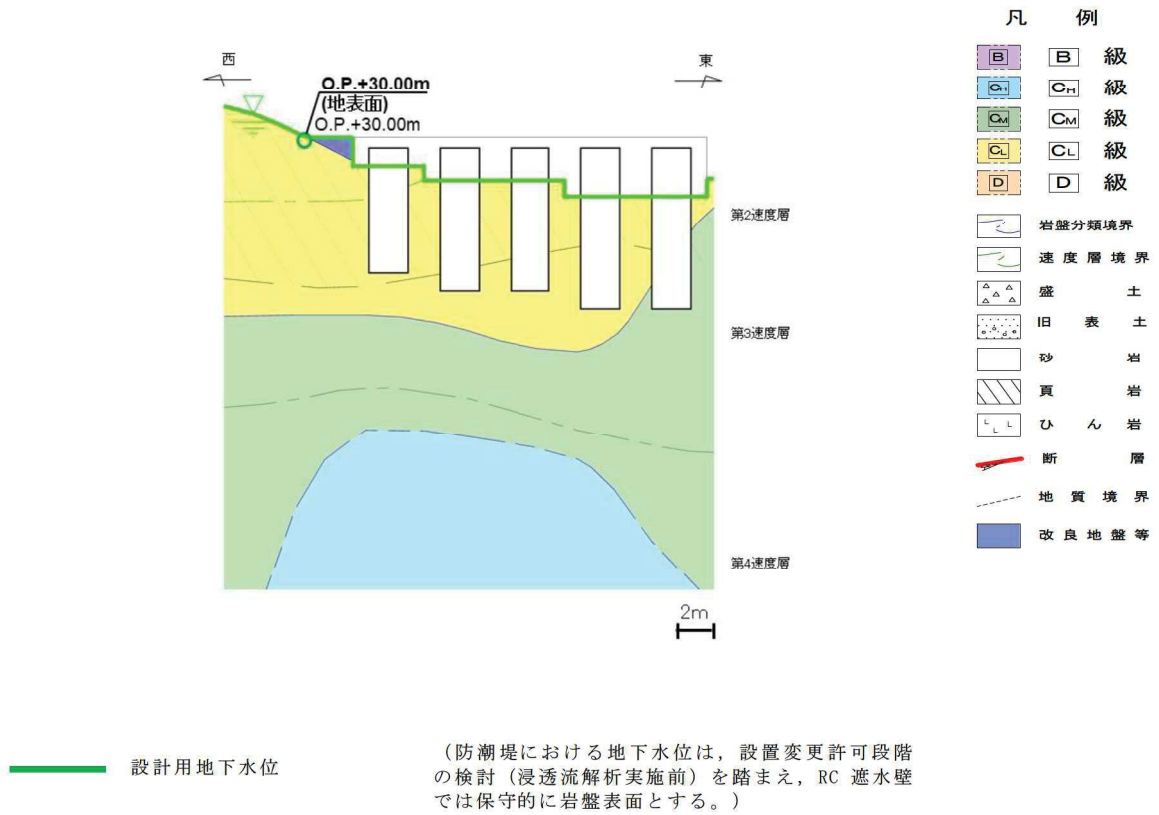


図 5.1-36(7) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計用地下水位（RC 遮水壁）

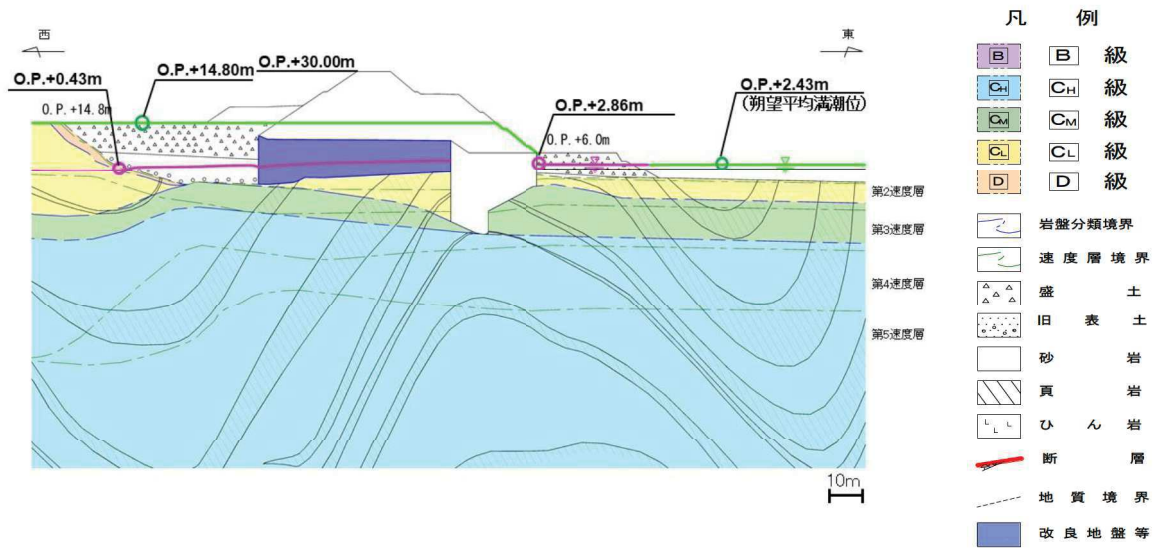


図 5.1-36(8) 防潮堤(盛土堤防)の設計用地下水位(横断①)

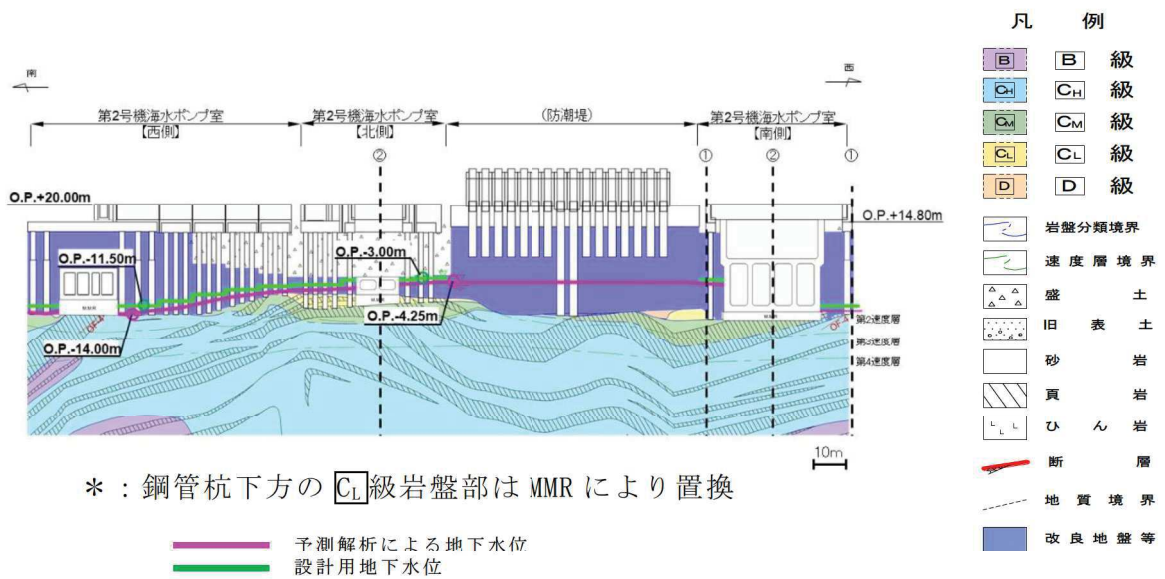
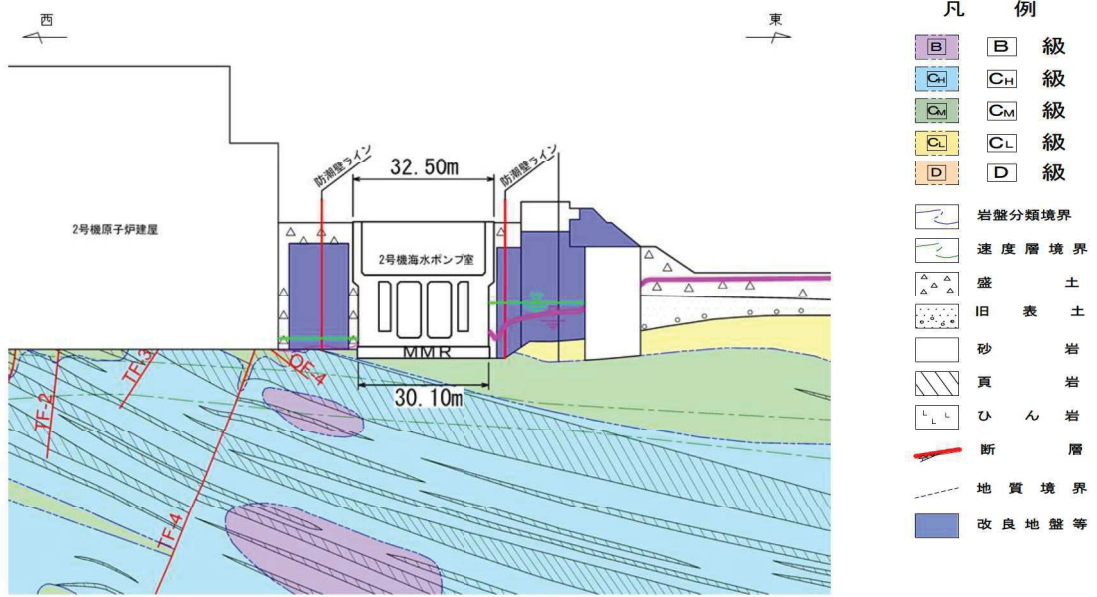


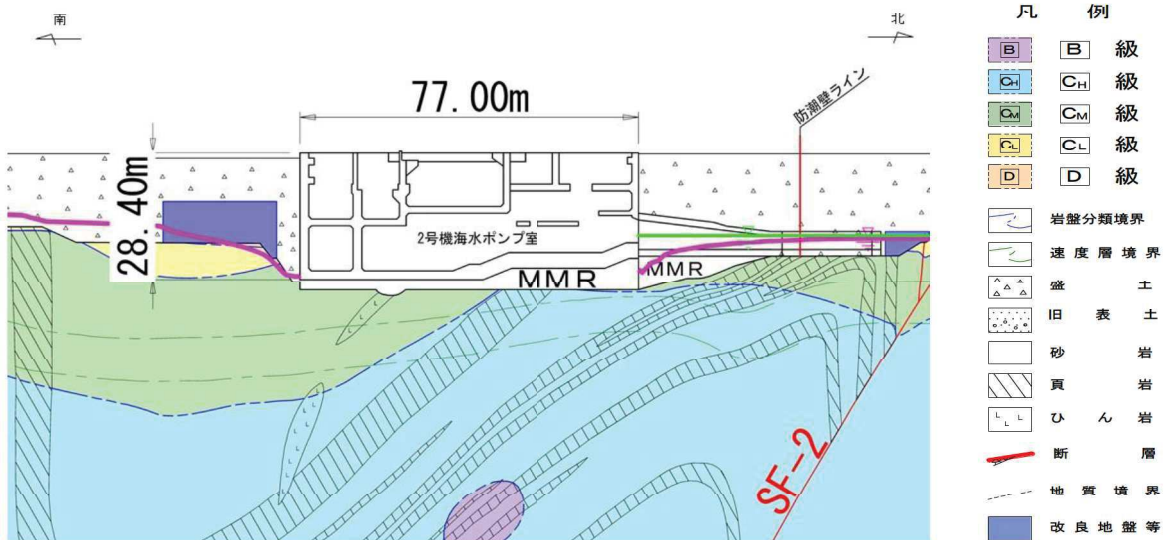
図 5.1-37(1) 防潮壁の設計用地下水位
(2号機海水ポンプ室) (1/3)



* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

図 5.1-37(2) 防潮壁の設計用地下水位 (2号機海水ポンプ室)
(2号機海水ポンプ室横断方向の地下水位分布 (東西)) (2/3)



* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

図 5.1-37(3) 防潮壁の設計用地下水位 (2号機海水ポンプ室)
(2号機海水ポンプ室横断方向の地下水位分布 (南北)) (3/3)

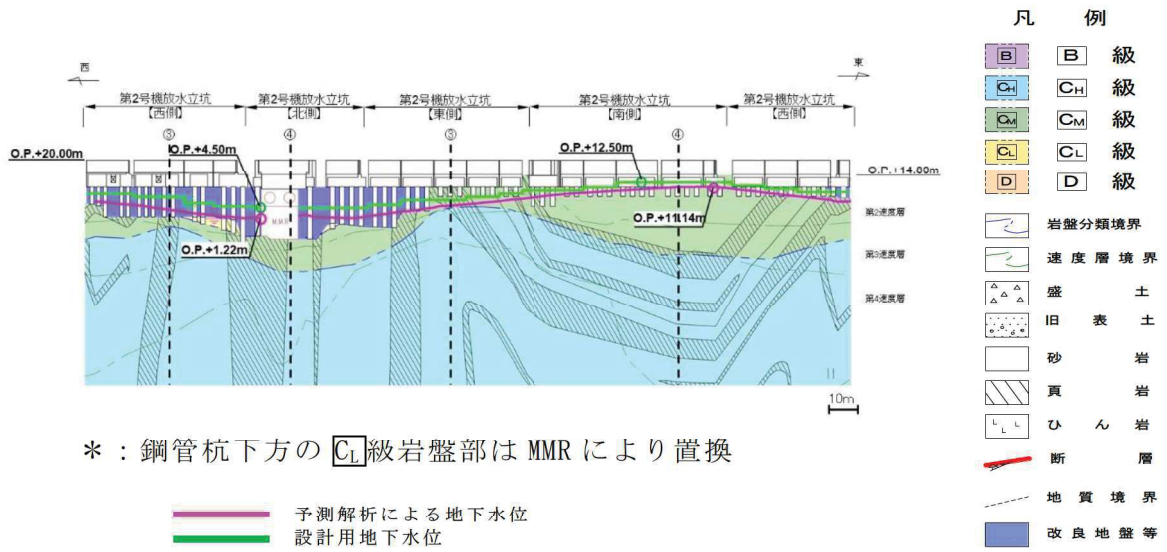


図 5.1-37(4) 防潮壁の設計用地下水位
(2号機放水立坑) (1/3)

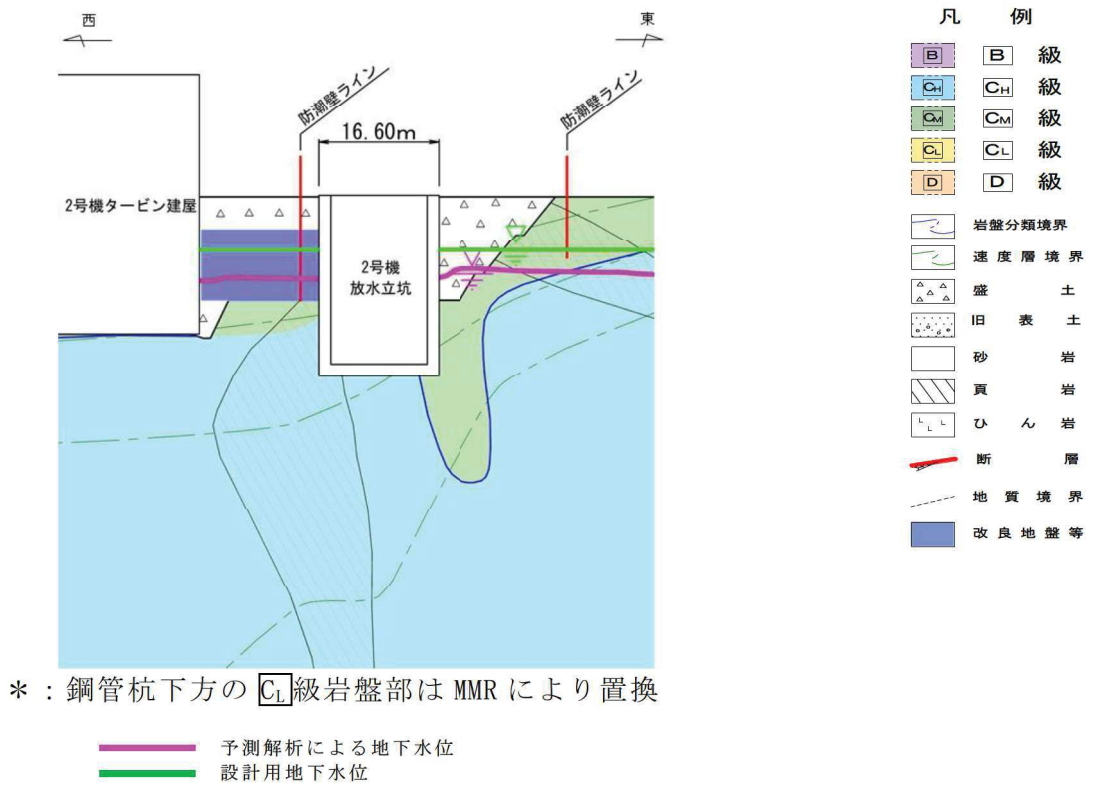
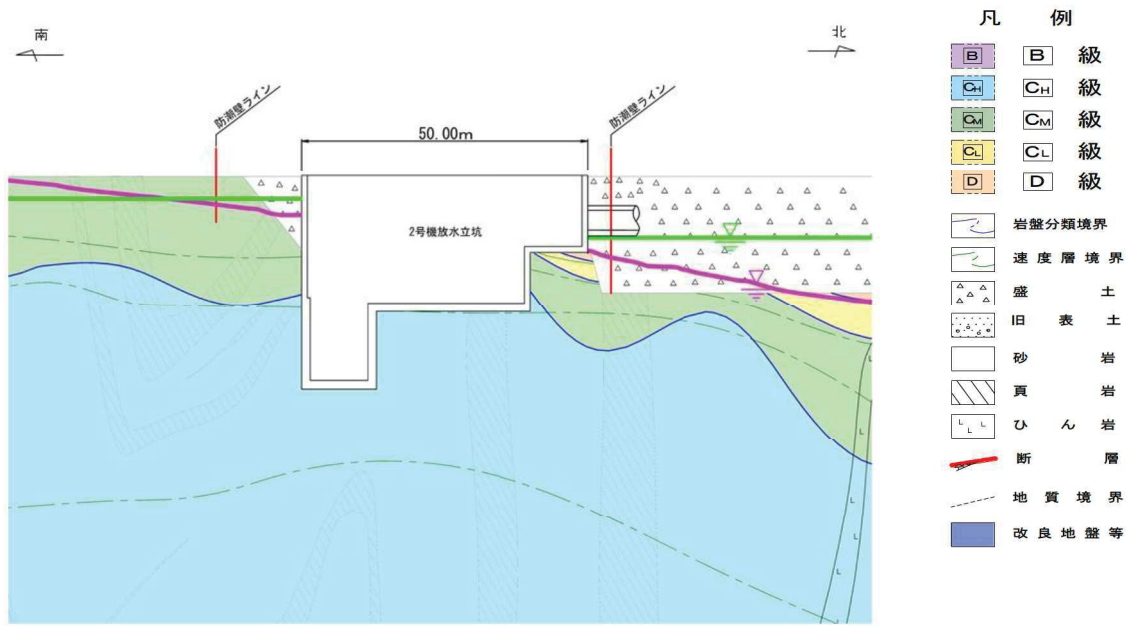


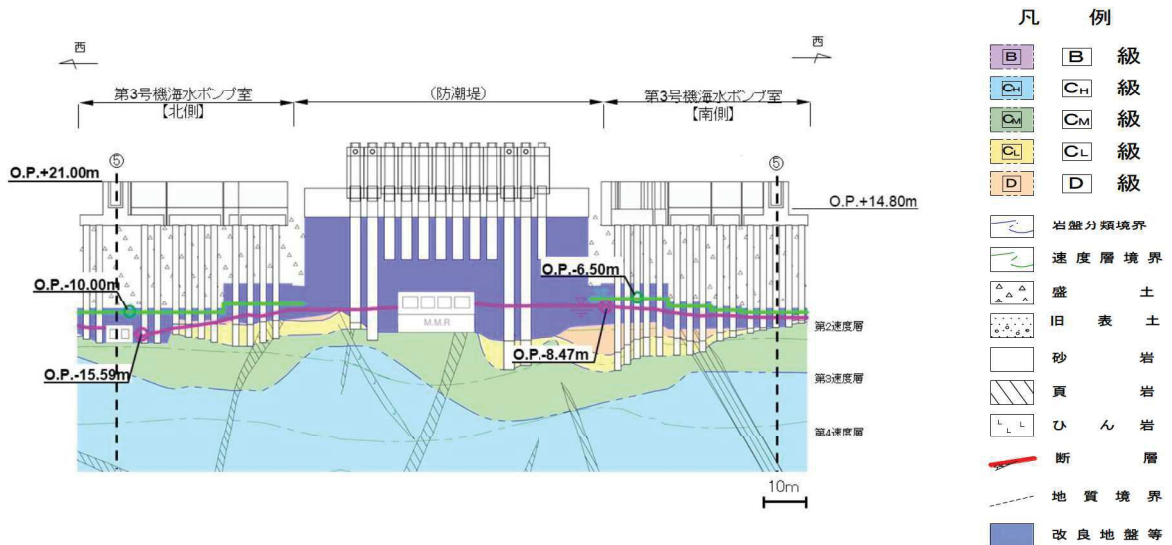
図 5.1-37(5) 防潮壁の設計用地下水位 (2号機放水立坑)
(2号機放水立坑横断方向の地下水位分布(東西)) (2/3)



* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

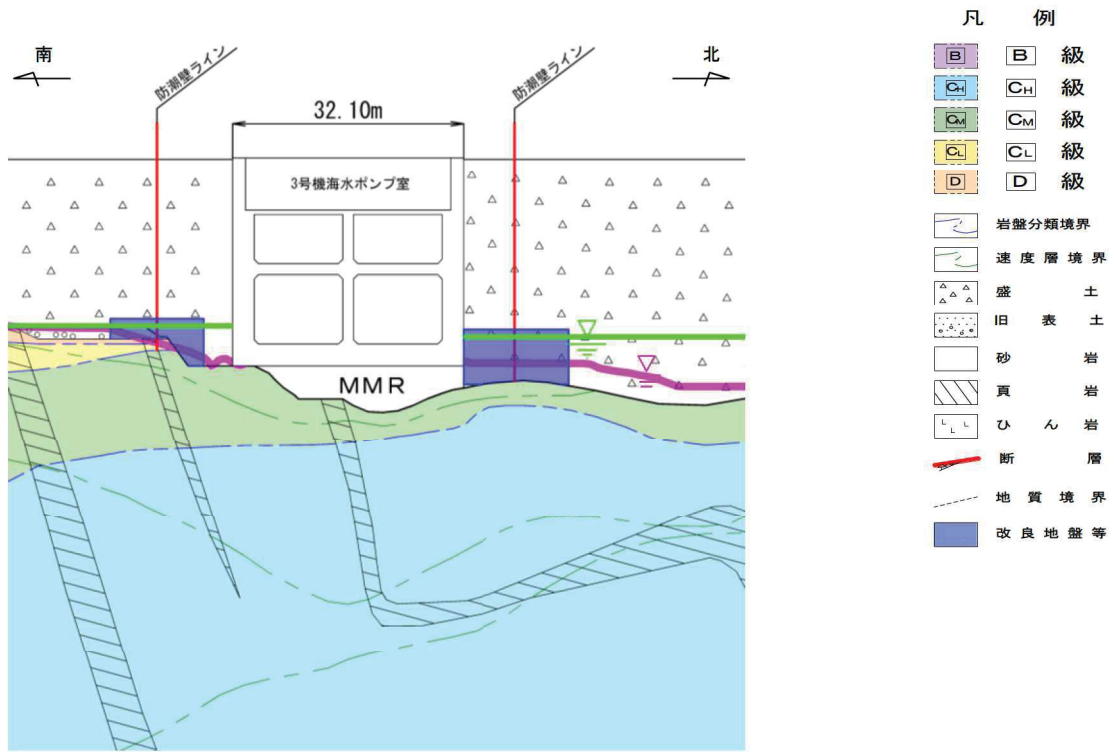
図 5.1-37(6) 防潮壁の設計用地下水位 (2号機放水立坑)
(2号機放水立坑横断方向の地下水位分布(南北)) (3/3)



* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

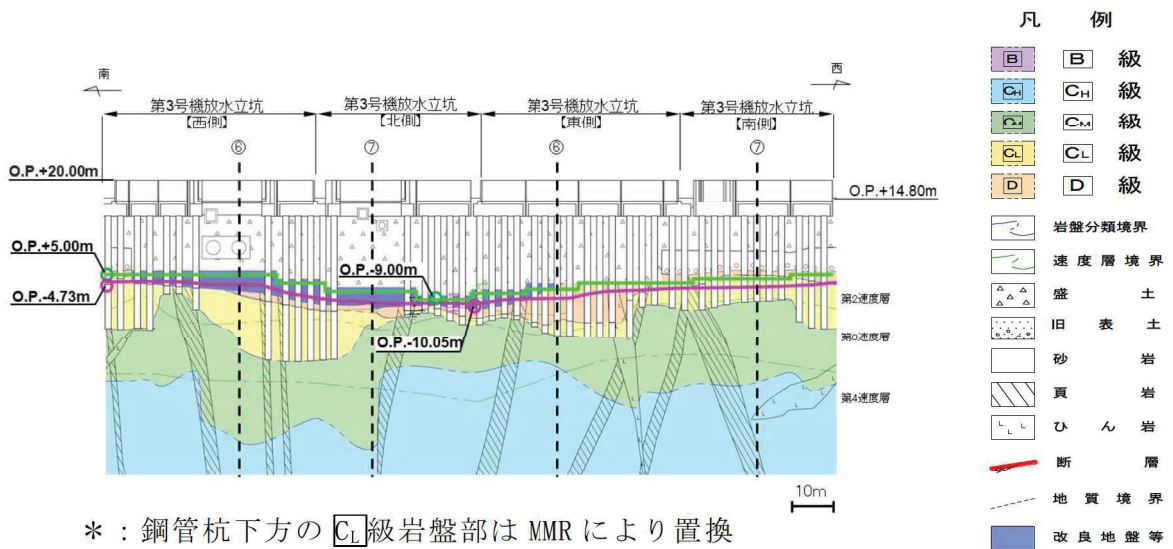
図 5.1-37(7) 防潮壁の設計用地下水位
(3号機海水ポンプ室) (1/2)



* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

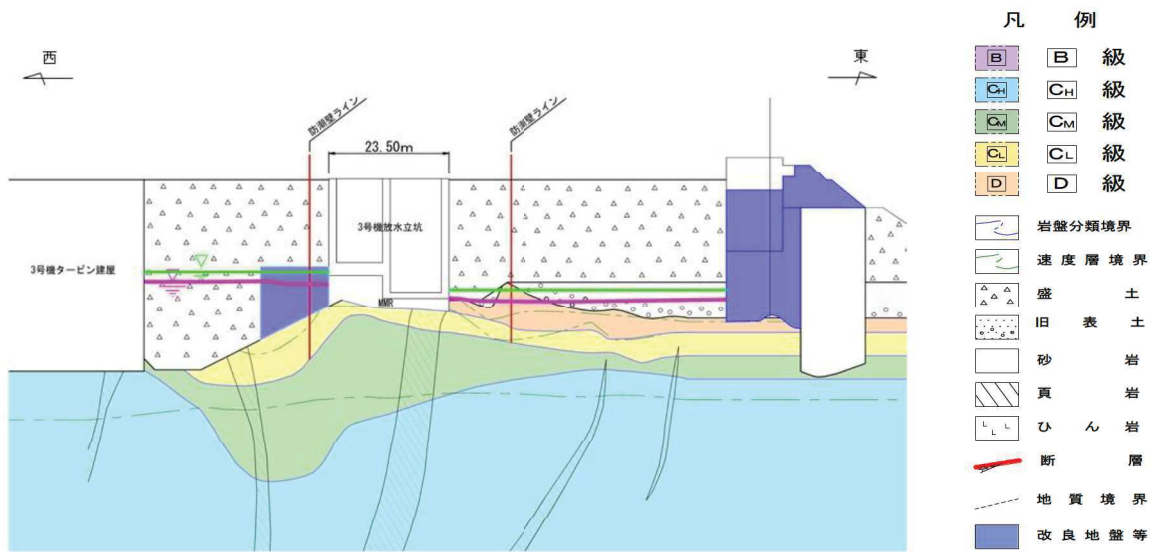
図 5.1-37(8) 防潮壁の設計用地下水位 (3号機海水ポンプ室)
(3号機海水ポンプ室横断方向の地下水位分布 (南北)) (2/2)



* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

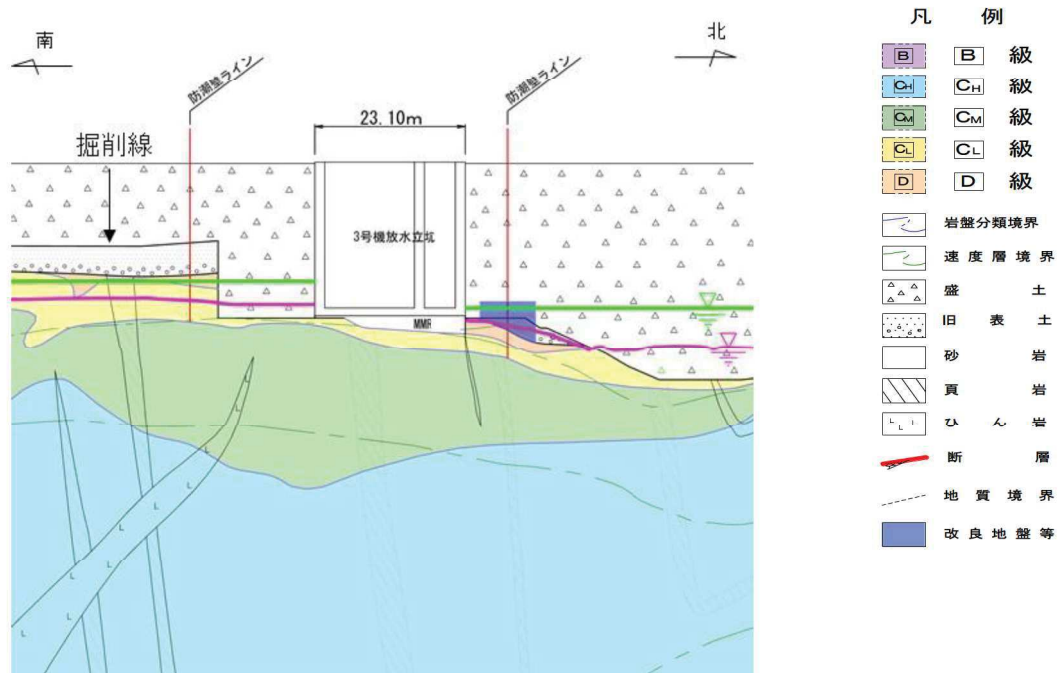
図 5.1-37(9) 防潮壁の設計用地下水位
(3号機放水立坑) (1/3)



* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

予測解析による地下水位
設計用地下水位

図 5.1-37(10) 防潮壁の設計用地下水位 (3号機放水立坑)
(3号機放水立坑横断方向の地下水位分布(東西)) (2/3)



* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

予測解析による地下水位
設計用地下水位

図 5.1-37(11) 防潮壁の設計用地下水位 (3号機放水立坑)
(3号機放水立坑横断方向の地下水位分布(南北)) (3/3)

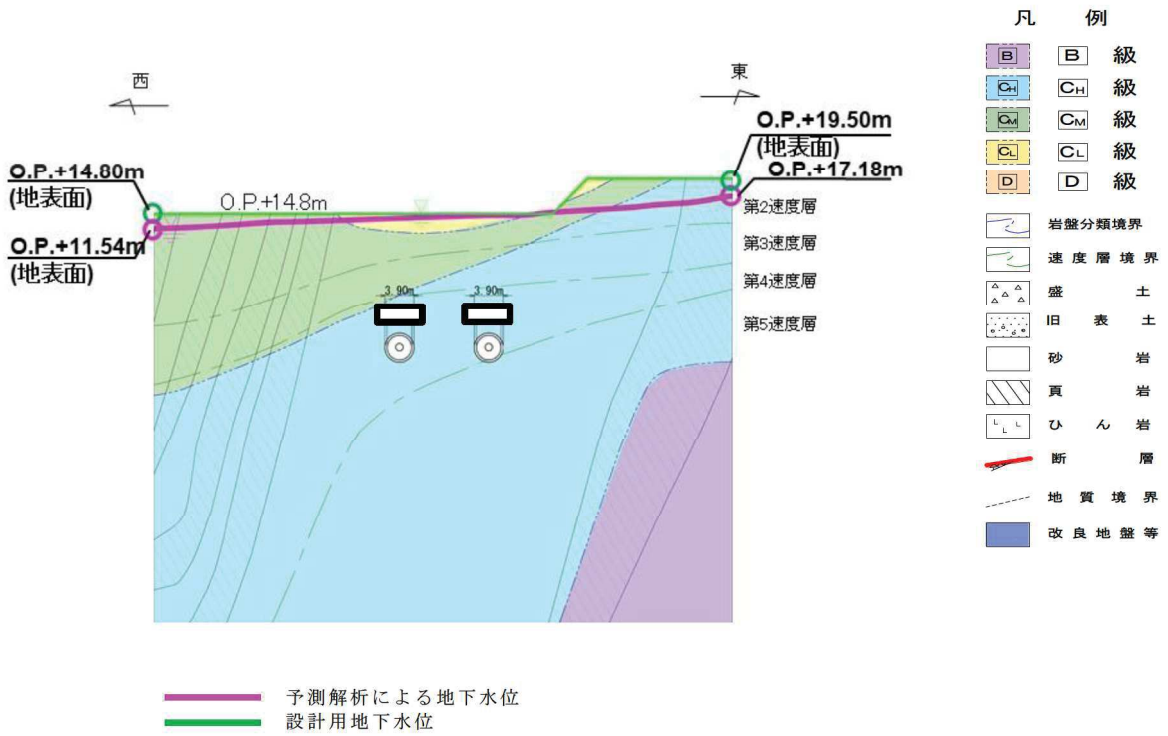


図 5.1-38(1) 取放水路流路縮小工の設計用地下水位
(1号機取水路)

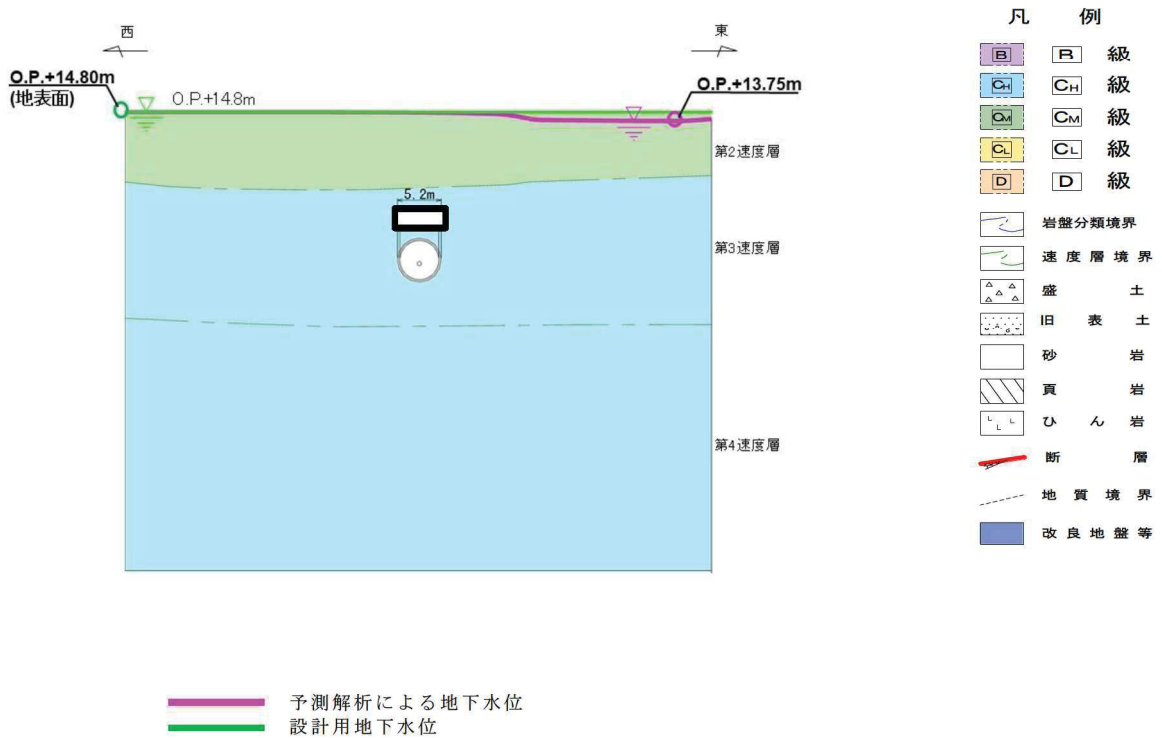


図 5.1-38(2) 取放水路流路縮小工の設計用地下水位
(1号機放水路)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

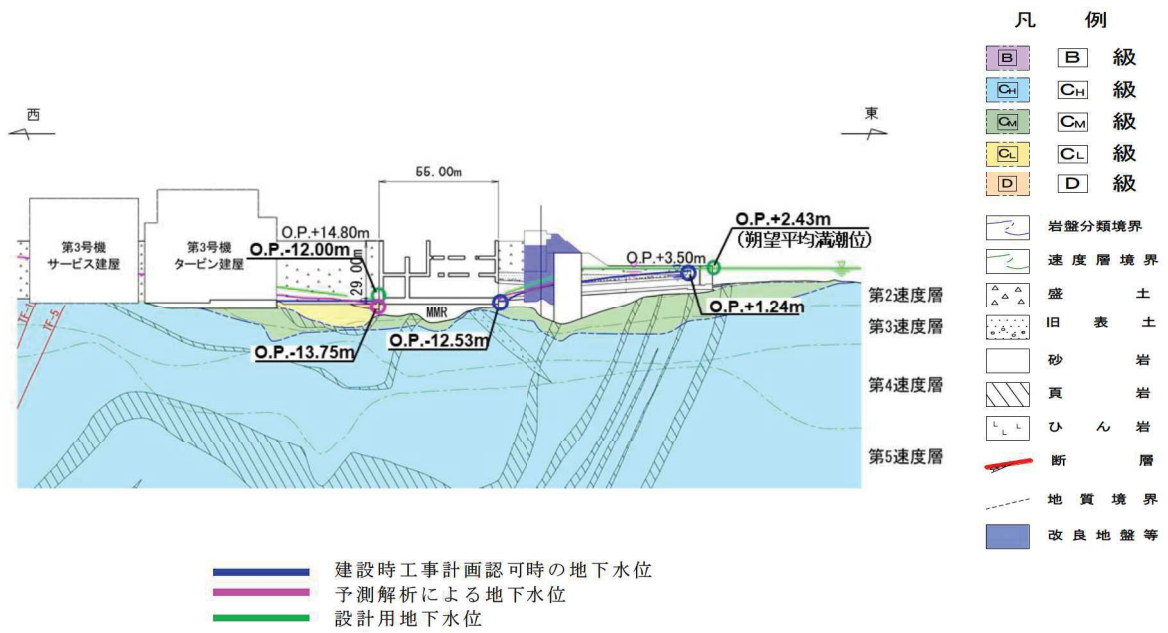


図 5.1-39(1) 第 3 号機海水ポンプ室の設計用地下水位 (縦断)

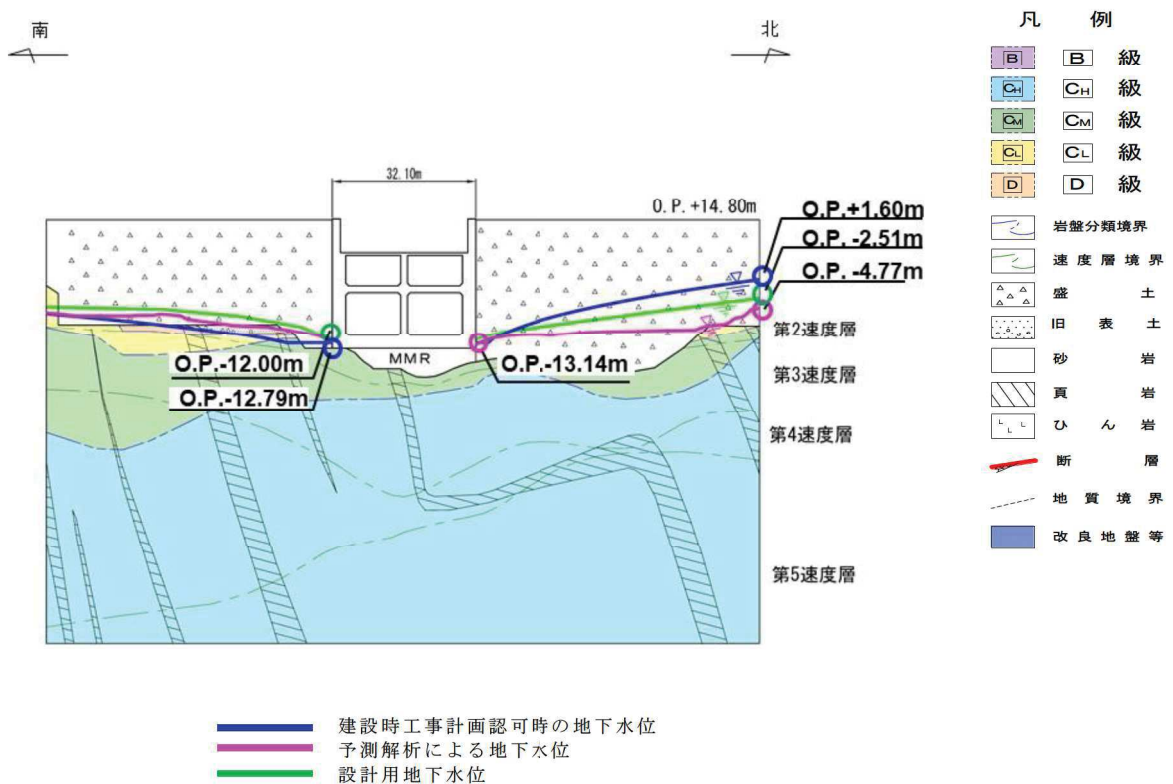
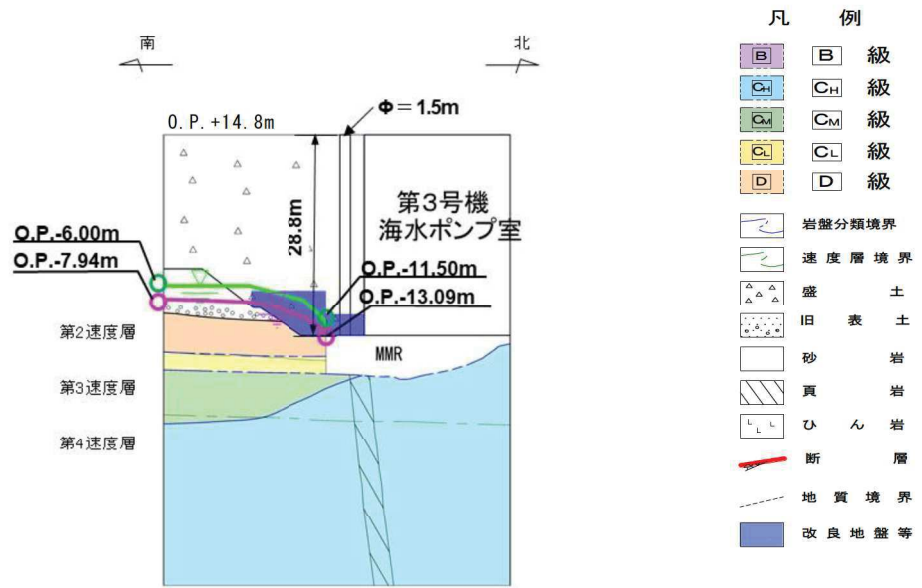
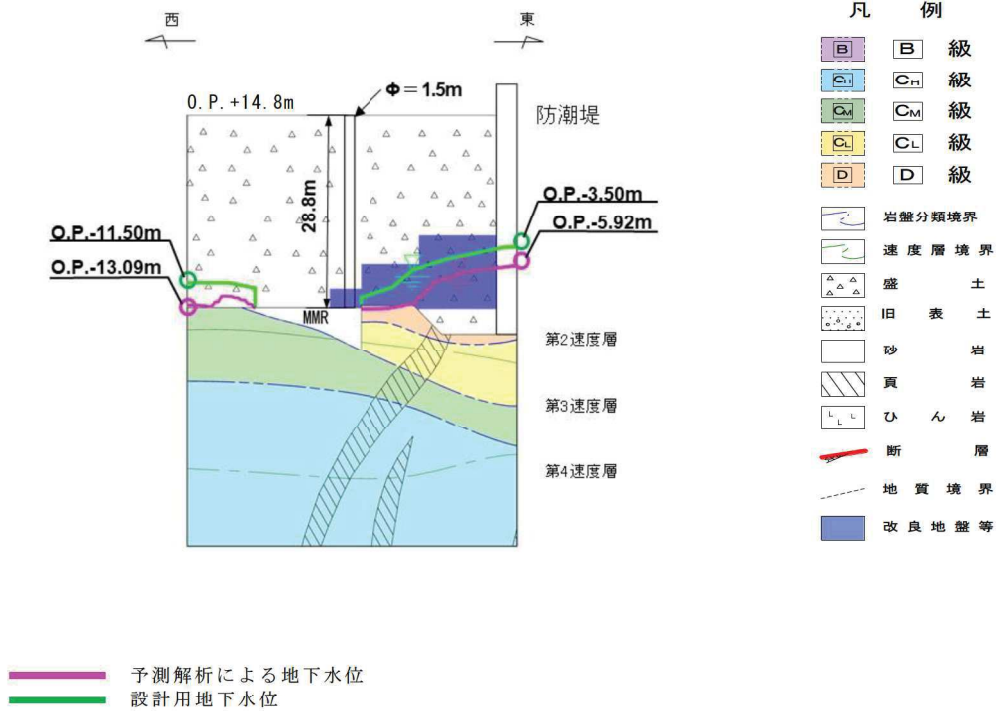


図 5.1-39(2) 第 3 号機海水ポンプ室の設計用地下水位 (横断)



予測解析による地下水位
 設計用地下水位

図 5.1-40(1) 揚水井戸の設計用地下水位 (南北)



予測解析による地下水位
 設計用地下水位

図 5.1-40(2) 揚水井戸の設計用地下水位 (東西)

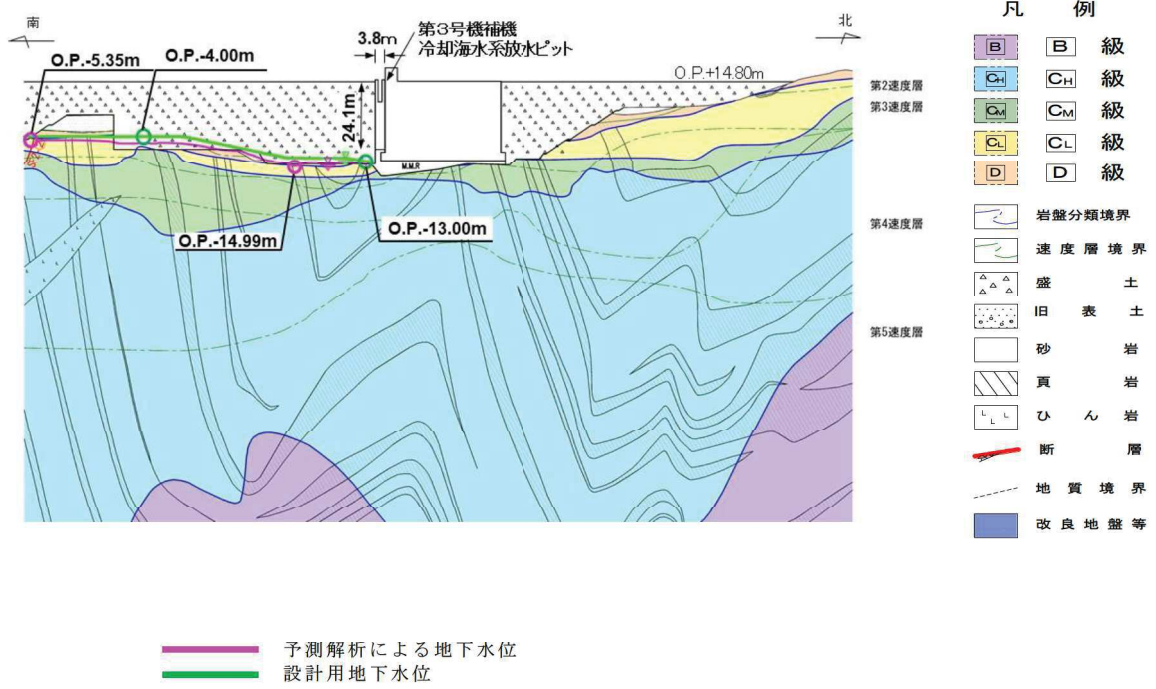


図 5.1-41 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの設計用地下水位

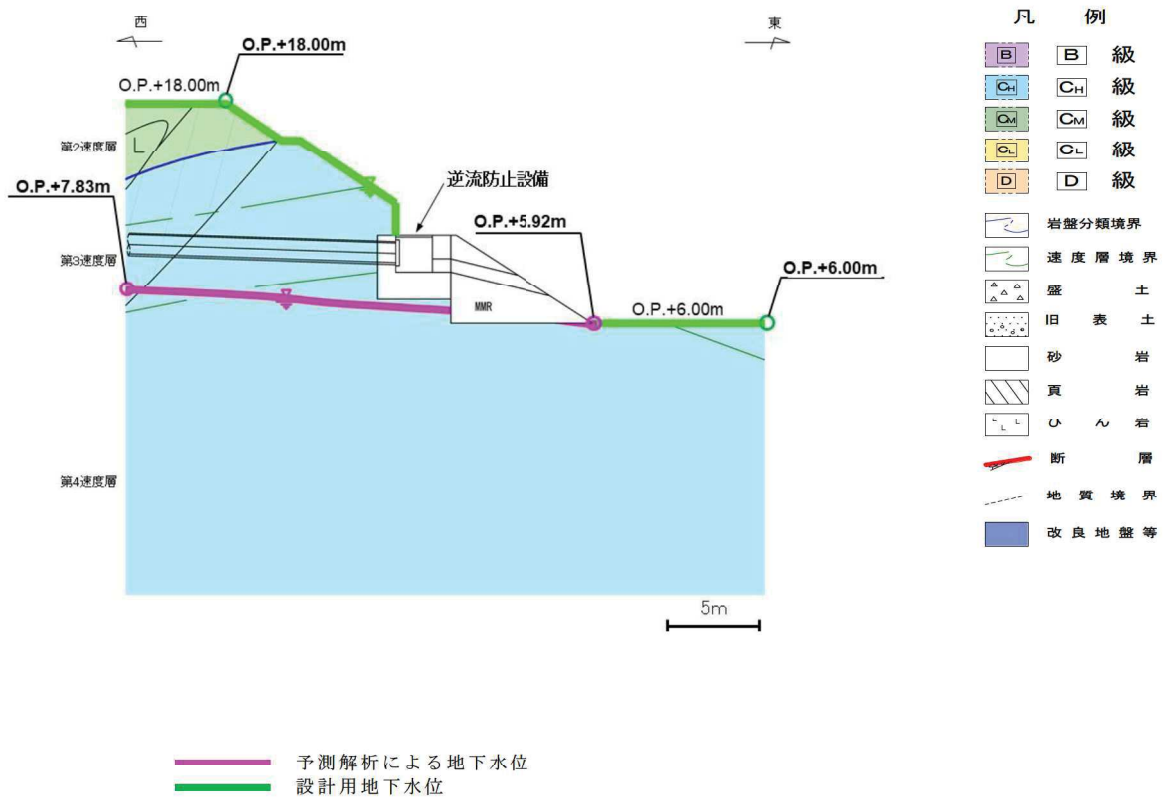


図 5.1-42 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の設計用地下水位

5.5 アクセスルートの耐震評価における地下水位設定

アクセスルートの評価において用いる設計用地下水位は、5.2.4(2)b.に示す浸透流解析のアウトプットを踏まえ設定する。

なお、この地下水位分布を参照したアクセスルートの浮上り評価結果については、「VI-1-1-6-別添 1 可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート」に示す。

5.6 地下水位設定の妥当性など

5.6.1 設計用地下水位の保守性の検証

設計用地下水位は、今後安全対策工事として実施する防潮堤沈下対策やドレーン新設等を考慮した予測解析結果を参照し設定することから、工事完了前の段階で観測水位を用いた直接的な検証を行うことができない。

設計用地下水位は保守性を確保する方針としているが、仮に地下水位が施設の設計用地下水位を超過する場合は、耐震安全性へ影響が生じる可能性があることを踏まえ、下記(1)及び(2)の観点から、設計用地下水位の保守性を検証する。

(1) 観測水位と解析水位（予測解析）の比較

a. 検討の目的

予測解析（水位評価モデルを用いた定常解析）により得られた解析水位は、安全対策工事完了段階の施設配置にて保守的な（高めの）水位設定となるよう評価しており、設計用地下水位はその解析水位に対して更に上側に包絡するよう設定している。このため、観測水位取得段階の施設配置は、予測解析の前提とは異なるものであるが、以下の要因により、安全対策工事完了後は工事实施前より地下水位が下がることが想定される。

(O.P.+14.8m盤の観測水位が今後下がる要因)

- ・ 防潮堤沈下対策により、海側からの地下水の供給が減少する
- ・ ドレーン新設により、地下水の集水範囲が拡大する

このため、本項目における比較にて予測解析水位の余裕が確認された場合、その保守性は安全対策工事完了後も維持され则认为、これまで得られている観測水位と予測解析結果の比較を行ったものである。

b. 観測水位と予測解析水位の比較結果

予測解析（水位評価モデルを用いた定常解析）により得られた解析水位について、地下水位観測記録との比較による検証結果を示す。

検証に用いた観測井位置の平面図を図 5.1-43 に、観測水位と解析水位の関係を表 5.1-13 に示す。連続観測データとの比較については巻末に示す。

この結果、観測井①を除く全ての観測井において、予測解析により得られた解析水位が観測最高地下水位を上回っており、余裕を有していることを確認した。

なお、観測井①については、降雨量が多かった 2019 年 10 月に観測水位が予測解析水位を僅かに上回っているが、観測水位は降雨に対する感度が非常に小さく、定

常に岩盤表面付近に固定されていることから、岩盤上面を流下した地下水が観測孔内に流れ込むことで水位が上昇したものと考えられる。よって、解析水位は定常的に岩盤内の地下水位分布を包絡できていることから、観測井①においても解析結果は妥当と判断できる。

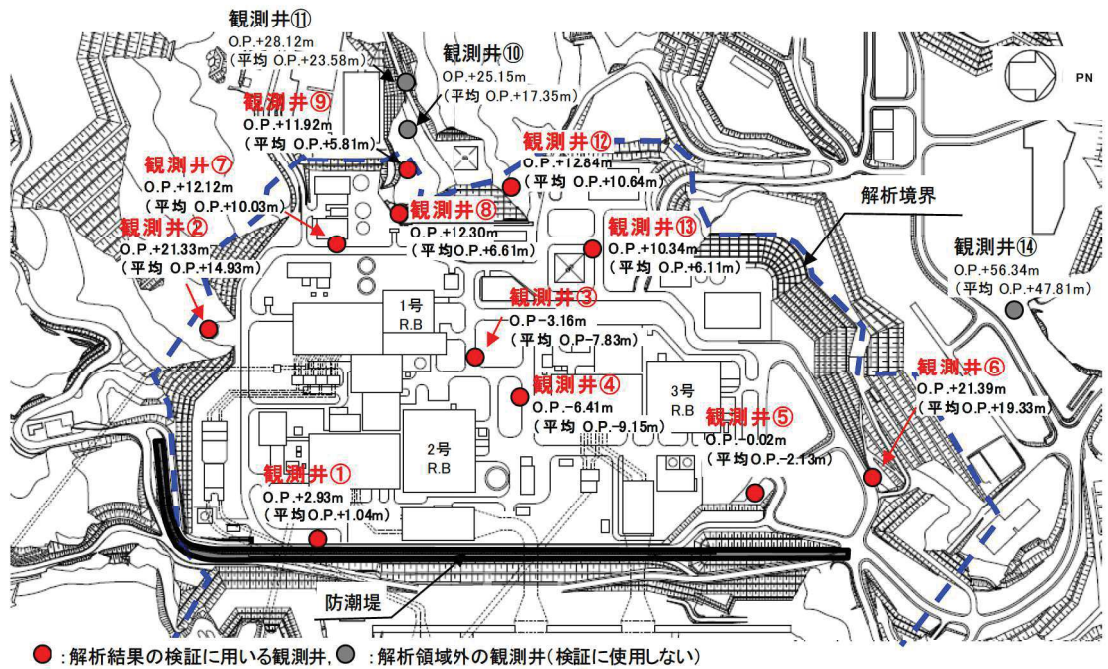


図 5.1-43 観測水位と解析水位（予測解析）の比較において参照する観測井位置図

表 5.1-13 観測水位と解析水位（予測解析）の関係

観測井	(A) 観測水位 (O. P. m)		(B) 解析水位 (O. P. m)	差分*1 (m) (B) - (A)	備考
	最高	平均			
観測井 ①	最高	+2.93	+1.68	-1.25 (0.64)	差分の理由は前 述のとおり
	平均	+1.04			
観測井 ②	最高	+21.33	+22.07	0.74 (7.14)	
	平均	+14.93			
観測井 ③	最高	-3.16	+0.10	3.26 (11.09)	
	平均	-7.83			
観測井 ④	最高	-6.41	-1.82	4.59 (7.33)	
	平均	-9.15			
観測井 ⑤	最高	-0.02	+0.47	0.49 (2.60)	
	平均	-2.13			
観測井 ⑥	最高	+21.39	+25.01	3.62 (5.68)	
	平均	+19.33			
観測井 ⑦	最高	+12.12	+13.68	1.56 (3.65)	
	平均	+10.03			
観測井 ⑧	最高	+12.30	+16.65	4.35 (10.04)	
	平均	+6.61			
観測井 ⑨	最高	+11.92	+27.24	15.32 (21.43)	
	平均	+5.81			
観測井 ⑫	最高	+12.84	+25.68	12.84 (15.04)	
	平均	+10.64			
観測井 ⑬	最高	+10.34	+12.38	2.04 (6.27)	
	平均	+6.11			

* 1 : 上段は最高水位との差分を, 下段の () 内は平均水位との差分を示す。

(2) 降雨に対する余裕

a. 検討の目的

前項の解析水位と観測水位との比較により、境界条件を保守的に設定した定常解析により得られる解析水位に一定の保守性が確保されることを確認したが、降雨条件の不確実性も踏まえ、保守的な気象条件（降水量）を仮定した非定常解析により解析水位を算出し、設計用地下水位との比較を行う。

保守的な気象条件として、国土交通省河川砂防技術基準（平成30年3月）における、一級河川の主要区間での砂防計画における対象降雨の降雨量の超過確率年（200年以上）を参照し、さらに余裕を考慮し超過確率年400年に相当する仮想豪雨を用いる。

b. 解析条件

降雨に対する余裕を確認する「仮想豪雨評価モデル」は、分水嶺迄の範囲をモデル化する広域モデルをベースとし、ドレーンの有効範囲を水位評価モデル同様（既設・新設を含めて信頼性が確保される範囲）とする。

入力する降雨の条件を表5.1-15に示す。

設計上の余裕を確認することを目的としているため、前述のとおり、仮想の豪雨として、石巻特別地域気象観測所における既往の観測記録に基づき、超過確率年400年に相当する降雨量とする。

解析モデルは本文に示す再現解析モデル同様、水位評価用モデルを敷地周辺の分水嶺まで拡張した広域モデルを用い、評価対象エリア付近の構造物や地下水位低下設備等の配置やモデル化については水位評価用モデルと同一条件とする。

境界条件として、モデル境界は閉境界とし、初期条件として過去の日平均降水量（3.57mm/日）を定常的に与え続け、その後、想定豪雨として450mm（150mm/日×3日）を、モデル全体に一律に与える。

表 5.1-15 入力降雨条件

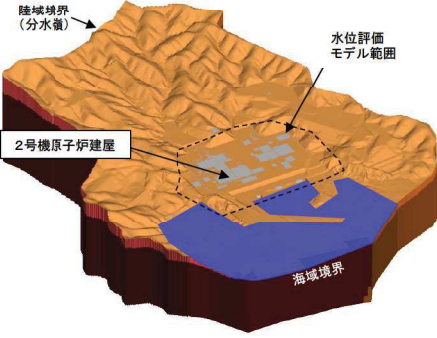
分類	降雨量	備考
初期条件 (定常降雨)	3.57mm/日	2001年-2018年の観測降雨の日平均値
降雨入力時 (仮想豪雨)	150mm/日×3日 (総降水量450mm) *	再現確率：約400年相当 (石巻特別地域気象観測所： 統計期間1950年-2019年)

注記*：設計基準降水量（91mm/h）を観測した2014年9月11日の日降水量158.5mm/日及び72時間降水量の最大306.5mm（2011年9月23日）を包絡する降水量である（いずれも石巻特別地域気象観測所による既往の観測記録）。

c. 浸透流解析条件まとめ（仮想豪雨評価モデル）

表 5.1-16 に、仮想豪雨評価モデルの解析条件一覧を示す。

表 5.1-16 浸透流解析モデル（仮想豪雨評価モデル）の概要

項目	【参考】広域モデル	仮想豪雨評価モデル
1. 目的	・モデル化の妥当性を確認 （観測結果の再現性を確保）	・降雨に対する設計用地下水位の保守性を 確認（仮想的な降雨条件を付与）
2. 解析コード	・GETFLOWS Ver. 6.64.0.2	
3a. 解析領域	・分水嶺を山側境界とし水位評価モデルを包絡する範囲 	
3b. 格子数	・平面格子数：約 33.4 万 ・総格子数：約 1600 万 ・格子寸法：0.5～6m 程度 （構造物近傍は最小 0.5m 程度，山側領域は 3～6 m 程度）	
4. 解析種別	・非定常解析	
5a. 検証期間	・2006-2007年，2013-2014年	・仮想の降雨条件を付与 - 初期状態：3.57mm/日 （観測降雨（2001-2018年）の日平均） - 降雨時：150mm/日×3日 （総降水量 450mm）
5b. 気象条件	・降水量・気温・日射量・相 対湿度・風速：構内観測所 データ（欠測値は，周辺気 象庁データから欠測補間）	
5c. 蒸発散	・定常状態：ハーモン法*1 ・非定常状態：熱収支法	
6a. モデル （地形）	・検証期間に対応した状態	・安全対策工事完了段階に対応した状態
6b. モデル （地盤）	・検証期間に対応した状態	・安全対策工事完了段階に対応した状態 （施設周辺の地盤改良を考慮）
6c. モデル （構造物）	・検証期間に対応した状態	・安全対策工事完了段階に対応した状態
6d. モデル （ドレーン）	・既設の全範囲を管路として 考慮	・保守的に集水機能への寄与範囲を限定 - 既設・新設のうち信頼性が確保され た範囲を管路相当 - 信頼性の確保状況に応じ透水層相当
7. 境界条件	・実態に則した設定 - 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	
8. 透水係数	・試験平均値	
9. 有効間隙率	・文献値*2	
10. 粗度係数	・文献値*3	

* 1：平均気温・平均降水量は発電所内観測値，日照時間は地下水ハンドブックによる

* 2：地下水ハンドブック（建設産業調査会），水理公式集（土木学会）等を参照し設定

* 3：水理公式集（土木学会），河川砂防技術基準（国土交通省）等を参照し設定

d. 解析結果

設計用地下水位と降雨を考慮した解析水位の比較結果を 3.1 及び 3.2 に示す。なお、降雨を考慮した解析水位は、非定常解析のため経時的な水位変動があるが、ここでは保守的に全時刻を包絡した最大水位を示している。

建物・構築物については、排気筒を除く原子炉建屋他においては仮想豪雨を与えた解析水位が設計揚圧力設定高さに相当する建屋底面を下回り、排気筒においても同様に解析水位は設計用地下水位（地表面）を下回ることを確認した。

土木構造物については、いずれの断面でも概ね仮想豪雨を与えた解析水位が設計用地下水位を下回っている。一部断面で局所的に解析水位が設計用地下水位を上回る箇所があるが、範囲が限定的かつ断面全体での差分としては全ての断面で下回っていること、定常的に上回るものではないこと（全時刻を包絡した最大水位であり、実際の水位は経時的に変動）も踏まえると、降雨の不確実さを考慮した仮想の豪雨に対して、設計用地下水位の設定は十分保守的であると判断できる。

以上から、モデル境界に水位固定条件を与えた定常解析に基づき設定した設計用地下水位は、再現期間 400 年相当の仮想豪雨による解析水位を概ね包絡できていることを確認した。

(a) 建物・構築物

建物・構築物（地表面に設計用地下水位を設定している排気筒、緊急時対策建屋及び緊急用電機品建屋は除く）の、設計用揚圧力と仮想豪雨を与えた解析水位の比較を表5.1-17に示す。

表5.1-17 建物・構築物における設計用地下水位と仮想豪雨を与えた解析水位の比較

施設名称	設計用揚圧力	設計用地下水位と仮想豪雨を与えた解析水位との差分*1 (断面平均)
原子炉建屋 (基礎底面O. P. -14. 1m)	29. 4kN/m ²	基礎版底面位置よりも水位が低い
制御建屋 (基礎底面O. P. -1. 5m)	4. 9kN/m ²	基礎版底面位置よりも水位が低い
第3号機 海水熱交換器建屋 (基礎底面O. P. -12. 5m～ O. P. -16. 25m)	14. 7kN/m ²	基礎版底面位置よりも水位が低い

*1：設計用地下水位-仮想豪雨を与えた解析水位

(b) 土木構造物

土木構造物（地表面に設計用地下水位を設定しているガスタービン発電設備軽油タンク室，防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうちRC遮水壁部及び取放水路流路縮小工は除く）の設計用地下水位と仮想豪雨を与えた解析水位の比較を表5.1-18に示す。

表5.1-18 (1) 土木構造物における設計用地下水位と仮想豪雨を与えた解析水位の比較

施設名称		設計用 地下水位	設計用地下水位と 仮想豪雨を与えた解 析水位との差分* (断面平均)	備考
原子炉機器 冷却海水 配管ダクト	横断	O. P. -10.50m～ O. P. -3.50m	-9.0m	
排気筒連絡 ダクト	縦断	O. P. +5.73m～ O. P. +14.80m	-10.9m	
	横断 (断面①)	O. P. +5.73m	-25.9m	
	横断 (断面②)	O. P. +5.80m	-24.7m	
	横断 (断面③)	O. P. + 5.80m	-23.1m	
	横断 (断面⑤)	O. P. +8.19m～ O. P. +9.00m	-8.9m	
	横断 (断面⑦)	O. P. +10.10m～ O. P. +12.00m	-1.8m	
軽油タンク連絡ダクト		O. P. -3.00m～ O. P. +3.00m	-7.0m	
取水路	縦断	O. P. -4.53m～ O. P. +2.43m	-2.1m	
	横断 (標準部①)	O. P. +2.43m	0.2m	朔望平均 満潮位
	横断 (標準部②)	O. P. +2.43m	-1.0m	朔望平均 満潮位
	横断 (標準部③ (防潮 堤横断部))	O. P. +2.43m	-5.5m	朔望平均 満潮位
	横断 (標準部④ (防潮 堤横断部))	O. P. -1.00m	-2.5m	
	曲がり部 南北	O. P. -1.01m	-4.4m	

*1 : 設計用地下水位-仮想豪雨を与えた解析水位

表5.1-18 (2) 土木構造物における設計用地下水位と仮想豪雨を与えた解析水位の比較

施設名称		設計用 地下水位	設計用地下水位と 仮想豪雨を与えた解 析水位との差分* (断面平均)	備考
取水路	曲がり部 東西	O. P. -1.03m～ O. P. +2.43m	-4.7m	
	漸拡部 東西	O. P. -4.53m～ O. P. +2.43m	-5.7m	
海水 ポンプ室	縦断	O. P. -8.50m～ O. P. +14.00m	6.7m	
	横断	O. P. -8.50m～ O. P. +2.43m	-3.9m	
軽油 タンク室	南北	O. P. -3.00m	-12.3m	
	東西	O. P. -3.00m～ O. P. +6.50m	-4.6m	
軽油 タンク室 (H)	南北	O. P. -3.00m	-6.8m	
	東西	O. P. -3.00m～ O. P. +6.50m	-4.6m	
取水口 (貯留堰)	南北 (標準部)	O. P. +2.43m	-0.8m	朔望平均 満潮位
	南北 (漸縮部)	O. P. +2.43m	-0.8m	朔望平均 満潮位
復水貯蔵 タンク基礎	南北	O. P. -3.00m	-12.3m	
	東西	O. P. -3.00m ～O. P. +3.00m	-7.0m	

*1：設計用地下水位-仮想豪雨を与えた解析水位

表5.1-18 (3) 土木構造物における設計用地下水位と仮想豪雨を与えた解析水位の比較

施設名称		設計用 地下水位	設計用地下水位と 仮想豪雨を与えた解 析水位との差分* (断面平均)	備考
防潮堤 (鋼管式 鉛直壁)	横断 (岩盤部①)	O. P. +3.50m～ O. P. +19.50m	0.8m	
	横断 (岩盤部②)	O. P. +6.00m～ O. P. +18.00m	-3.2m	
	横断 (一般部①)	O. P. +2.43m	-13.4m	
	横断 (一般部②)	O. P. +2.43m	-4.7m	
	横断 (一般部③)	O. P. +2.43m	-8.7m	
防潮堤 (盛土堤 防)	横断①	O. P. +2.43m～ O. P. +14.80m	-20.6m	
	横断②	O. P. +2.43m～ O. P. +14.80m	-17.6m	
防潮壁	第2号機 海水ポンプ室	O. P. -11.50m～ O. P. -3.00m	-1.6m	
	第2号機 放水立坑	O. P. +4.50m～ O. P. +12.50m	-8.3m	
	第3号機 海水ポンプ室	O. P. -10.00m～ O. P. -6.50m	-2.2m	
	第3号機 放水立坑	O. P. -9.00m～ O. P. +5.00m	-2.8m	

* : 設計用地下水位-仮想豪雨を与えた解析水位

表5.1-18 (4) 土木構造物における設計用地下水位と降雨を考慮した解析水位の比較

施設名称		設計用地下水位	設計用地下水位と降雨を考慮した解析水位との差分* (断面平均)	備考
第3号機 海水ポンプ室	縦断	O. P. -12.00m～ O. P. +2.43m	-4.1m	
	横断	O. P. -12.00m～ O. P. -2.51m	-8.2m	
揚水井戸	南北	O. P. -12.50m～ O. P. -7.00m	-1.1m	
	東西	O. P. -12.50m～ O. P. -4.50m	-2.2m	
第3号機補機冷却海水系 放水ピット		O. P. -14.00m～ O. P. -5.00m	-3.1m	
屋外排水路逆流防止設 備（防潮堤南側）		O. P. +6.00m～ O. P. +18.00m	-3.2m	

*：設計用地下水位-降雨を考慮した解析水位

5.6.2 水位が低い場合の影響確認

(1) 概要

防潮堤沈下対策等の影響を考慮した設計用地下水位は、保守的な条件のもと実施する予測解析により、平常的な水位より保守的に（高めに）算出されることが予想される。

設計用地下水位の設定方針に示したとおり、地下水位を高く設定することが保守的とならない可能性がある場合の耐震安全性への影響を確認するため、ここでは三次元浸透流解析により将来の平常的な水位を予測し、設計用地下水位との差を確認する。

解析は、観測水位との比較のために作成した広域モデルをベースに、将来的な安全対策工事を踏まえた設備構成等を組込んだ「平常水位予測モデル」を作成し、降雨条件を付与した非定常解析により解析水位の分布を確認する。降雨条件は、上記の目的を踏まえ、既往の観測記録に基づく平均的な降雨条件として設定する。

(2) 解析条件

平常水位予測モデルの概要を表 5.1-19 に示す。

表 5.1-19 平常水位予測モデルの概要

項目	【参考】広域モデル	平常水位予測モデル
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"> 設計用地下水水位に対して想定される水位が低い場合の影響確認におけるインプットとして、安全対策工事完了後に想定される実 差違の水位を推定すること
2. 解析コード	<ul style="list-style-type: none"> GETFLOWS Ver. 6.64.0.2 	
3a. 解析領域	<ul style="list-style-type: none"> 分水嶺を山側境界とし水位評価モデルを包絡する範囲 	
3b. 格子数	<ul style="list-style-type: none"> 平面格子数：約 33.4 万 総格子数：約 1600 万 格子寸法：0.5~6m 程度 (構造物近傍は最小 0.5m 程度，山側領域は 3~6 m 程度) 	
4. 解析種別	<ul style="list-style-type: none"> 非定常解析 	
5a. 検証期間	<ul style="list-style-type: none"> 2006-2007 年，2013-2014 年 	
5b. 気象条件	<ul style="list-style-type: none"> 降水量・気温・日射量・相対湿度・風速：構内観測所データ (欠測値は，周辺気象庁データから欠測補間) 	<ul style="list-style-type: none"> 平均的な降雨条件を定常的に付与 3.57mm/日 (2001-2018 年の日平均)
5c. 蒸発散	<ul style="list-style-type: none"> 定常状態：ハーモン法*1 非定常状態：熱収支法 	
6a. モデル(地形)	<ul style="list-style-type: none"> 検証期間に対応した状態 	<ul style="list-style-type: none"> 安全対策工事完了段階に対応した状態
6b. // (地盤)	<ul style="list-style-type: none"> 検証期間に対応した状態 	<ul style="list-style-type: none"> 安全対策工事完了段階に対応した状態 (施設周辺の地盤改良を考慮)
6c. // (構造物)	<ul style="list-style-type: none"> 検証期間に対応した状態 	<ul style="list-style-type: none"> 安全対策工事完了段階に対応した状態
6d. // (ドレーン)	<ul style="list-style-type: none"> 既設の全範囲を管路として考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 既設及び新設の全範囲を管路として考慮
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 	
8. 透水係数	<ul style="list-style-type: none"> 試験平均値 	
9. 有効間隙率	<ul style="list-style-type: none"> 文献値*2 	
10. 粗度係数	<ul style="list-style-type: none"> 文献値*3 	

*1：平均気温・平均降水量は発電所内観測値，日照時間は地下水ハンドブックによる

*2：地下水ハンドブック（建設産業調査会），水理公式集（土木学会）等を参照し設定

*3：水理公式集（土木学会），河川砂防技術基準（国土交通省）等を参照し設定

(3) 解析結果

追而

(4) 影響確認方針

解析の結果を踏まえ、設計用地下水位の設定にあたり水位を高く設定していることで、平常時水位に対して水位差が大きくなり、耐震評価において保守的とならない可能性や耐震評価手法の選定結果に影響を及ぼす可能性が考えられるケースとして、大きく以下の3パターンが考えられる。

- ① 建屋基礎版等において、揚圧力の低減により、応力分布や応答の違いが想定されるケース
- ② 地下水の分布によって構造物周辺の地盤の応答に違いが生じると想定されるケース
- ③ 構造物の両側面に作用する水位差が大きく、偏圧の影響が想定されるケース

上記の観点に対して、各施設の耐震安全性評価において、その影響の有無や程度に応じて影響確認を行う。

5.6.3 今後実施する浸透流解析の妥当性の検証

予測解析結果は、将来的な防潮堤の沈下対策や新設ドレーン等を考慮したものであることから、今後、これらの施工が完了した運転段階において地下水位の観測記録を取得し、設計用地下水位と比較することにより、予測解析の妥当性を確認する方針とする。