

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-補-E-19-0600-1_改 11 |
| 提出年月日 | 2021年5月18日 |

補足-600-1【地盤の支持性能について】

2021年5月
東北電力株式会社

目次

| | |
|---|-----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 基本方針 | 1 |
| 3. 評価対象施設周辺の地質等 | 2 |
| 3.1 評価対象施設周辺の地質 | 2 |
| 3.2 評価対象施設周辺の地質状況整理結果 | 24 |
| 3.3 敷地の地下水位分布及び耐震評価における地下水位設定方針 | 28 |
| 3.3.1 敷地の地下水位分布 | 28 |
| 3.3.2 耐震評価における設計用地下水位設定方針 | 33 |
| 4. 地盤の解析用物性値 | 187 |
| 4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値 | 187 |
| 4.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値 | 198 |
| 4.2.1 全応力解析に用いる解析用物性値 | 203 |
| 4.2.2 有効応力解析に用いる解析用物性値 | 203 |
| 4.2.3 その他の解析用物性値 | 257 |
| 4.2.4 地盤の物性のばらつきについて | 257 |
| 5. 極限支持力 | 258 |
| 5.1 基礎地盤（狐崎部層・牧の浜部層・改良地盤）の極限支持力 | 258 |
| 5.2 直接基礎の支持力算定式 | 265 |
| 5.3 杭基礎の支持力算定式 | 266 |
| 5.4 杭基礎の支持力算定式に関する補足 | 266 |
| 5.4.1 道路橋示方書による極限支持力算定式を適用する構造物 | 266 |
| 5.4.2 道路橋示方書による極限支持力算定式（中掘り杭工法）の適用性について | 266 |
| 6. 地盤の速度構造 | 268 |
| 6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル | 268 |
| 6.2 地震応答解析に用いる地盤の速度構造モデル | 271 |
| 参考資料 1-1 既設の地下水位低下設備の概要 | |
| 参考資料 1-2 構内排水路の概要 | |
| 参考資料 1-3 浸透流解析モデル概要及びアウトプットと設備設計への反映事項 | |
| 参考資料 2 建設時工事計画認可段階に実施した浸透流解析について | |
| 参考資料 3 地下水位の上昇により生じる施設等への影響評価結果 | |
| 参考資料 4 浸透流解析に用いる透水係数の設定根拠 | |
| 参考資料 5 浸透流解析におけるドレーンの有効範囲の設定結果 | |
| 参考資料 6 地下水位低下設備の概要 | |
| 参考資料 7 既設ドレーンの部分閉塞時の自由水面の保持について | |

- 参考資料 8 地下水水位低下設備の施工について
- 参考資料 9 地下水水位低下設備の保守管理について
- 参考資料 10 土木構造物における設計用地下水水位の設定方法
- 参考資料 11 降雨に対する設計用地下水水位の余裕について
- 参考資料 12 三次元浸透流解析による防潮堤沈下対策の影響予測結果
- 参考資料 13 改良地盤における補足
- 参考資料 14 液状化強度試験の詳細について
- 参考資料 15 盛土の均一性について
- 参考資料 16 2011 年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について
- 参考資料 17 地震応答解析にて考慮する地盤物性のばらつき
- 参考資料 18 盛土・旧表土の強度特性設定の考え方
- 参考資料 19 粘土分含有率について
- 参考資料 20 浸透流解析に用いた解析コード「GETFLOWS」の適用性について
- 参考資料 21 動的変形特性の設定について
- 参考資料 22 建物の地震応答解析に用いる地盤諸定数について
- 参考資料 23 MMR のせん断強度について
- 参考資料 24 盛土の物性値における礫分の影響について
- 参考資料 25 基準地震動 S_s に対する液状化強度試験の妥当性確認
- 参考資料 26 盛土の骨格設定に関する解析上の取扱いについて

 : 本日の説明範囲

3.3 敷地の地下水位分布及び耐震評価における地下水位設定方針

3.3.1 敷地の地下水位分布

(1) 敷地の水文環境 f

敷地は、北東側が海に面し、その他は山地に囲まれている。山地の尾根は北東－南西～北北東－南南西方向に延び、それらの尾根に沿って小規模な沢が発達し、沢沿いには小規模な低地が分布している。敷地の一部は、この小規模な低地となっている。

山側に降った雨は、表面水として敷地へ流入するものと盛土や岩盤内に浸透し地下水として敷地に流入するものに分かれる。表面水は排水路を通じて海へ排水され、地下水は建設時工事計画認可段階に主要建屋周辺に設置した地下水位低下設備（参考資料 1-1）により集水後、構内排水路（参考資料 1-2）へ排水される。

なお、今後、地下水位低下設備の新設に伴う集水範囲の変更や、防潮堤の沈下対策として実施する地盤改良等により、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。

敷地の水文環境の概念図を図3.3-1に、発電所周辺の小河川や尾根筋の状況を図3.3-2に示す。また、主な地表水の流れを図3.3-3に示す。

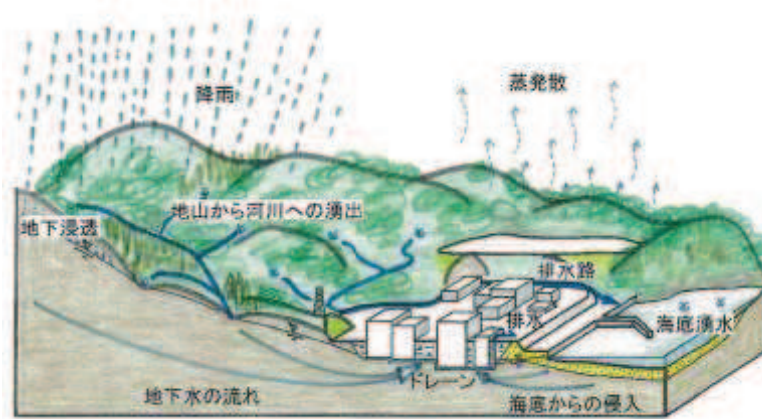
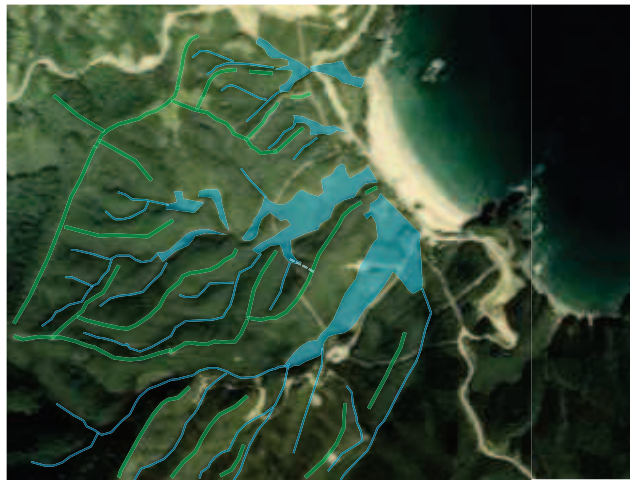


図3.3-1 敷地の水文環境の概念図



凡例
 小河川・沢
 尾根筋
 谷底・沖積低地
 発電所建設前の空中写真(1975年撮影)
(CTO-75-26 C28 17~19)に東北電力が加筆
出典: 国土画像情報(カラー空中写真) 国土交通省

図3.3-2 発電所周辺の小河川・尾根筋等の分布状況



発電所周辺の空中写真(2011年撮影)
 (CTO20117 C28 23) 出典: 国土地理院

主な地表水の流れ

図3.3-3 発電所周辺の主な地表水の流れ

(2) 観測記録

敷地の地下水位分布を把握するため、施設近傍に地下水位観測井を設置し、地下水位の連続観測を実施した。

地下水位の観測記録^{*1}は、降雨記録と併せて、3.3.2にて詳述する設計用地下水位の設定において参照する浸透流解析モデルの検証に活用する。

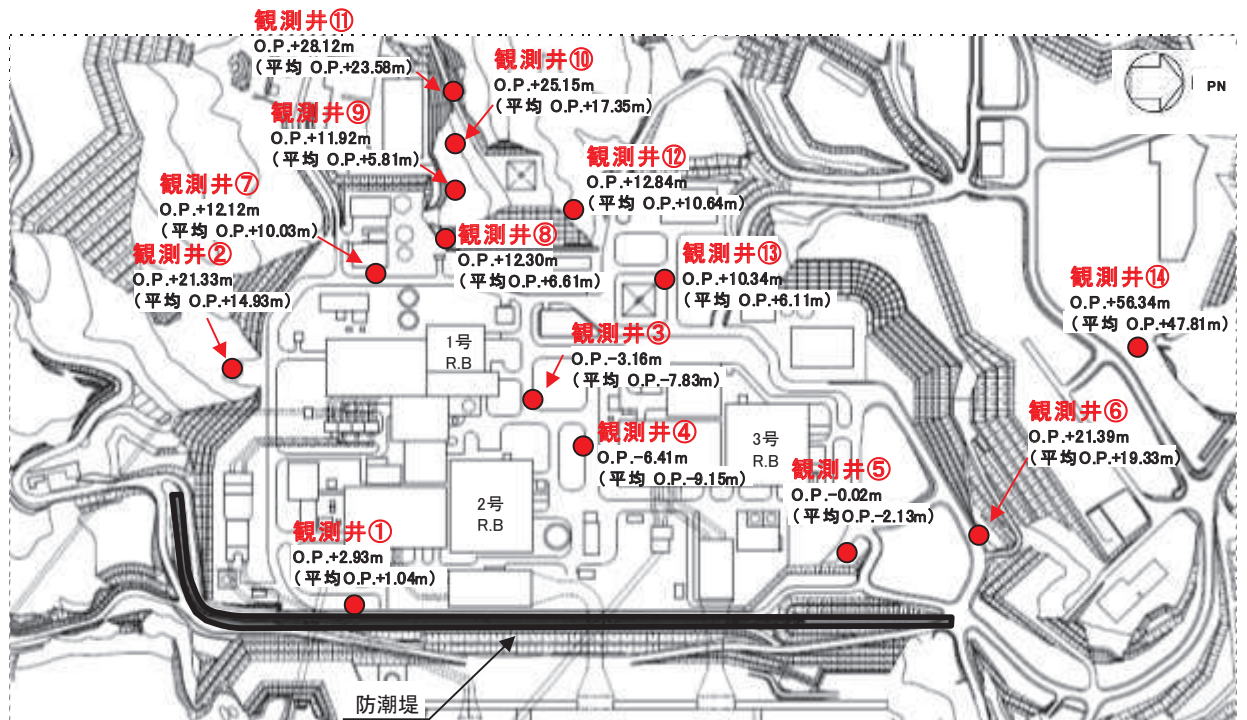
観測井は、施設や敷地造成が地下水位に与える影響が相対的に小さいと考えられる O.P. +14.8m 盤山側及び O.P. +14.8m 盤周辺の法面の他、同影響が相対的に大きいと考えられる O.P. +14.8m 盤に設置している。

図 3.3-4 に地下水位観測井位置図、表 3.3-1 に観測水位一覧表を示す。

観測水位の最高水位と平均水位の差分は、O.P. +14.8m 盤周辺の法面上に位置する観測井において相対的に大きく、O.P. +14.8m 盤上の観測井において相対的に小さくなっている。この要因として、法面と O.P. +14.8m 盤の地下水の動水勾配の違いの他、建屋の基礎版レベル周辺に設置されているドレーンが恒常的に機能し下流側の水位が固定されるため、ドレーンに近い O.P. +14.8m 盤の観測井の水位変動幅が法面上の観測井に比べて相対的に小さくなっていることが考えられる。

注記*1：一定期間の連続観測データを対象としており、観測期間中に工事や地形改変等の影響を受ける可能性があるデータは除外する。例えば、ボーリング調査実施時などに確認された孔内水位は、施工時の注水影響等を含む可能性があるため検証データには含めていない。

なお、観測水位には既設の地下水位低下設備の効果が含まれているが、今後実施する地下水位低下設備（新設範囲）や防潮堤の沈下対策の効果は含まれていない。



注記* : 数値は観測最高地下水水位, ()は平均地下水水位を示す

図3.3-4 地下水水位観測井位置図

表3.3-1 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 | | |

3.3.2 耐震評価における設計用地下水水位設定方針

(1) 設計用地下水水位の設定方針

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、地下水水位を一定の範囲に保持するための地下水水位低下設備を設置する。

耐震評価において、地下水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、この地下水水位低下設備の効果が及ぶ範囲（O.P.+14.8m盤）においては、その機能を考慮した設計用地下水水位を設定し水圧の影響を考慮する。また、地下水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（高めに）設定した水位又は地表面にて設計用地下水水位を設定し水圧の影響を考慮する。

注記*1：評価対象施設等は、O.P.+14.8m盤及びO.P.+62m盤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。

注記*2：自然水位とは、地下水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水位を指す。O.P.+14.8m盤は浸透流解析の境界条件として地下水水位低下設備の機能を考慮している一方、O.P.+62m盤の地下水水位は地下水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、地下水水位を高めに設定することにより評価の保守性が確保されとの考え方のもと、水位を高めに評価する方針を説明した。

詳細設計段階においては、液状化検討対象施設を幅広く抽出^{*3}する観点から、設置変更許可段階と同様、高めの設計用地下水水位を設定する方針とする。

また、平常時に想定される実際の水位は設計用地下水水位より低くなることから、水位が低い場合の耐震性への影響についても確認する方針とする（詳細は(7)、(8)にて後述する）。

設計用地下水水位の設定方法について、設置変更許可及び工事計画認可における説明内容を表3.3-2に示す。

注記*3：屋外重要土木構造物の解析手法の選定においては、構造物周囲の地盤状況や地下水水位などを指標として液状化検討対象施設を抽出した上

で、設置状況等から解析手法が明らかな場合を除いて、全応力解析及び有効応力解析により耐震評価を行い、また浮上りに対する安全性を確認する。このため、設計用地下水位を高めに設定することで、より幅広く液状化検討対象施設が抽出される。詳細設計段階においては、水位が低い側の影響も確認することにより、想定される地下水位の変動幅を考慮し、耐震安全性を確保する方針とする。

表3.3-2 設計用地下水位の設定等に係る各審査段階での説明

| | 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) 浸透流解析を用いた解析フローの設定

a. はじめに

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*1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（設定内容が浸透流解析結果を上回ることを確認すること）を確認する。

注記*1：防潮堤の設計用地下水位について

防潮堤の設計用地下水位は、設置変更許可段階における設計方針（浸透流解析実施前に策定）として、その段階で想定できる保守的な（実際にはそれより低くなると考えられる）水位としており、詳細設計段階では浸透流解析によりその保守性を確認した上で設定することとしていた。浸透流解析結果は設置変更許可段階で設定した設計用地下水位を下回ることを確認したことから、防潮堤の耐震設計に用いる設計用地下水位は設置変更許可段階と同様、以下のとおり設定した。

（鋼管式鉛直壁岩盤部）

岩盤部では、地表面よりどの程度下がった地下水位となるかが浸透流解析実施前では想定が困難であり、地表面に設定。

（鋼管式鉛直壁一般部）

一般部では、防潮堤より海側は潮位とほぼ等しくなると考えられるため、朔望平均満潮位に設定。防潮堤より山側については、地下水位低下設備の影響により地下水位は下がり、防潮堤において海側の朔望平均満潮位と繋がると考えられることから、朔望平均満潮位に設定。

（盛土堤防）

盛土堤防では、防潮堤より海側は潮位とほぼ等しくなると考えられるため、朔望平均満潮位に設定。防潮堤より山側については、地下水位低下設備から離れた箇所を含むことから、地表面に設定。

b. 浸透流解析の目的

設計用地下水位の設定方針を踏まえ、施設の耐震評価に用いる設計用揚圧力、設計用地下水位の設定を目的とした浸透流解析においては、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揚圧力・地下水位を高めに評価するこ

とを目的とする。

c. 解析手法

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二次元浸透流解析（解析境界水位を固定した定常解析）により各施設的设计用揚圧力・设计用地下水位を設定してきた。

安全対策工事の完了段階においては、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方向流れから変化することから、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評価する。

d. 一般的な解析プロセスの設定例

(a) 解析手順

地下水流動解析（浸透流解析）を用いた解析手順に関連し、長谷川(2006)^{*1}では諸外国の地下水流動解析のガイドライン作成に係る動向がまとめられており、米国においては諸外国に先立ち1990年代前半からガイドライン整備が始まったこと、各国のガイドラインに大きな差はなく、概ね同様の手順とされていることが記載されている。米国 ASTM 規格における解析手順は、最も単純な手順として紹介されている。長谷川(2006)における地下水流動解析フローを図3.3-5に、米国 ASTM (D5447-17)における地下水流動解析フローを図3.3-6に示す。

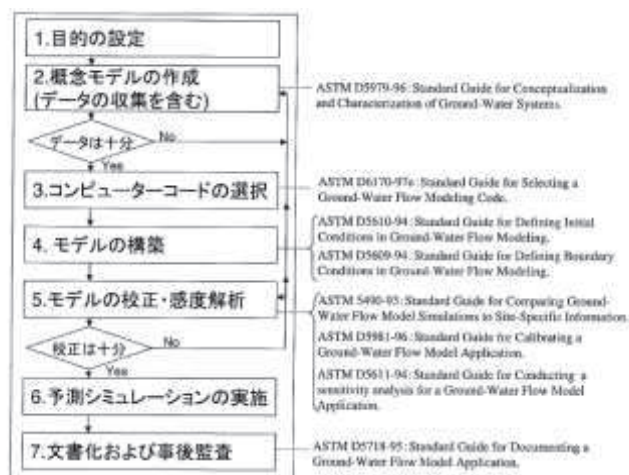


図2 地下水流動解析フローと ASTM の関係
(フロー全体は、ASTM D5447-93 Standard Guide for Application of a Ground-Water Flow Model to a Site-Specific Problem を参照)

図 3.3-5 長谷川(2006)における地下水流動解析フロー

注記*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））

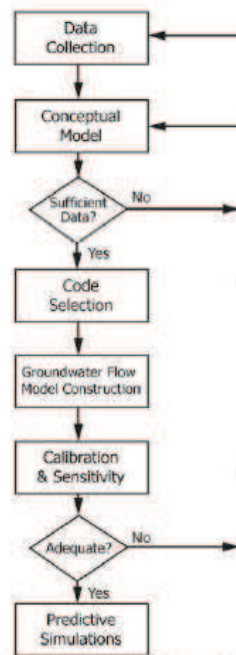


FIG. 1 Flow Chart of the Modeling Process

図 3.3-6 米国 ASTM (D5447-17) における地下水流動解析フロー

(b) モデルの校正・感度解析（水理パラメータ扱いなど）

モデルの校正・感度解析について、長谷川(2006)では、一般的には透水係数などの水理パラメータや境界条件等を現実に取り得る範囲で修正（校正）し、解析値が実測値と整合するようなパラメータ設定を求めている。

校正にあたっては、調整する水理パラメータ（例 透水係数）と現実的な振れ幅を設定し、校正のターゲット値と許容範囲は解析の目的や観測精度（誤差）に応じて設定するとされている（米国 ASTM (D5981-18)）。

(c) モデルの検証方法

モデルの校正プロセスにおける検証方法として、米国 ASTM 規格では解析値と観測値との差や XY プロット等を用いた定量的な評価方法、コンターマップ等を用いた流動状況の定性的な評価方法が示されている。また、空間的な相関性や経時変化の相関性に着目した評価も示されている。（検証のルール・閾値ではなく、検証方法の選択肢として例示されているもの）

米国 ASTM (D5490-93) における検証例を図 3.3-7 に示す。

MEASURED VERSUS SIMULATED
PIEZOMETRIC HEADS

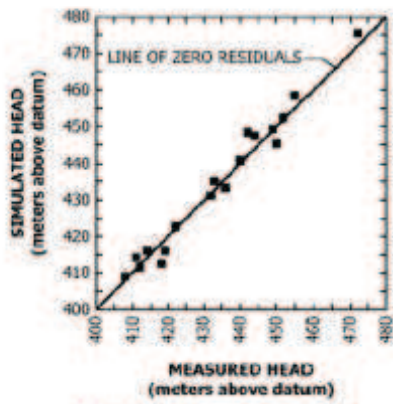


FIG. X1.3 Sample Scattergram

(1) XY プロットを用いた確認の例

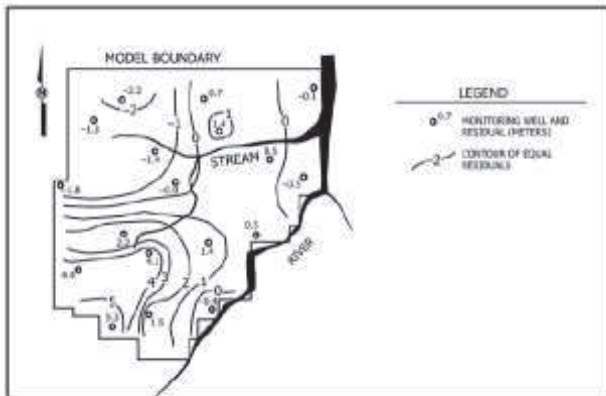


FIG. X1.5 Sample Contours of Residuals Plan View

(2) 空間的な相関性の評価例

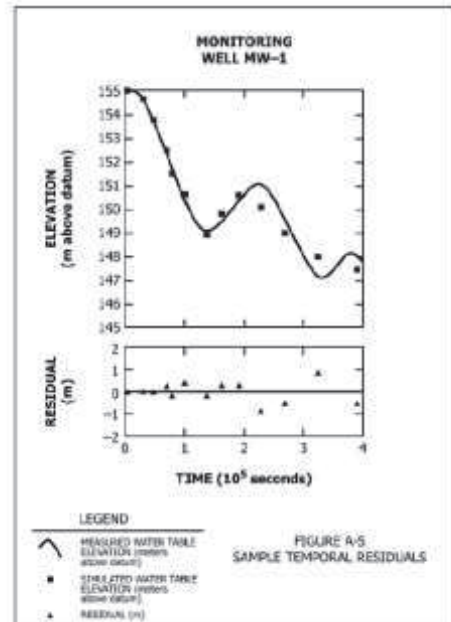


FIG. X1.7 Sample Temporal Residuals

(3) 経時変化の相関性の評価例

図 3.3-7 米国 ASTM (D5490-93) における検証例

(d) モデル情報入手，解析コード・解析領域の設定等

(a)～(c)に挙げる事項の他，地下水流動解析の各プロセスにおける留意点として，長谷川(2006)では以下が示されている。

- ・地下水流動場を表現するための情報の入手
- ・地下水流動の特徴を表現できるコードの選択
- ・地下水流動場を表現できる解析領域の設定
- ・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）の適切なモデル化

e. 浸透流解析のアウトプットに影響を与える要素

(a) 水理パラメータ

地盤中の地下水の流れを，多孔質媒体におけるダルシー則に規定されるものとして取扱う場合，地下水の流速に影響を与える主な要因は透水係数と有効間隙率の2つである。

耐震設計や設備設計に引き継がれる浸透流解析のアウトプット（水位，地下水流入量）は定常解析により評価することから，アウトプットへの感度の大きいパラメータとして透水係数を選定する。

透水係数は，試験結果等のデータに基づく変動幅の範囲で，解析目的に応じた設定を行う。透水係数の設定と解析水位への影響程度については，後述する図 3.3-21（試験平均値と岩盤 I を試験平均値 -1σ にて解析水位の経時変化を比較）にて確認できる。

なお，有効間隙率は地下水の貯留可能体積に対応し，文献値等により設定するが，水位上昇の評価（通常の運転状態から地下水位低下設備の機能を考慮しない状態に移行することを仮定した非定常解析）を行う場合など，解析目的に応じて保守的な設定とする。

(b) モデル境界における水位設定

モデル境界の水位を固定する定常解析においては，評価対象領域に近い位置にモデル境界を設定し，モデル境界における水位を高めに固定することで，高めの水位が評価される。

建設時工事計画認可段階に実施した二次元浸透流解析では，海側の解析境界水位を朔望平均満潮位，山側の解析境界水位を地表面と設定し，高めに水位が設定される条件としていた。詳細設計段階の予測解析においても同様の設定方法とする。

(c) ドレーンの設定

0. P. +14. 8m 盤の建屋周辺に配置される既設ドレーン（有孔ヒューム管・有孔塩ビ管）は，1 号機～3 号機の建屋基礎周辺の広い範囲に設置されている。浸透流解析においてはドレーン位置で大気圧開放条件を与えるため，ドレーン範囲を広く設定することにより集水効果が大きくなる。

浸透流解析におけるドレーンの設定は，モデルの妥当性を確認する再現解析等においては設置状況に応じた範囲を設定するが，水位を高めに評価する目的に対しては，ドレーン範囲を信頼性の確保された範囲に限定し，ドレーンの集水能力を保守的に設定する。

なお，浸透流解析にて地下水流入量を評価する場合においては，ドレーンの範囲を最大限広く設定することで保守的な評価となる。

f. 解析フローの設定

地下水位低下設備の機能を考慮する場合における浸透流解析を用いた設計用揚圧力・設計用地下水位の設定フローを図 3. 3-8 のとおり設定する。

前項までの整理を踏まえ，降雨条件を与えた非定常解析によるモデルの妥当性確認を行った上で，予測解析として水位が高めに算出される条件を与えた定常解析を行うプロセスとした。

なお，浸透流解析は設計用揚圧力・設計用地下水位の設定において参照する他，地下水流入量の算定など，一部のアウトプットを後段の設計等において参照する。この場合，解析目的に応じて保守的となるような条件設定を行ったモデル化を行う。浸透流解析による評価モデルと設計等への反映事項について，図 3. 3-9 に示す。また，ここに示す各モデルの条件設定の概要を参考資料 1-3 に示す。

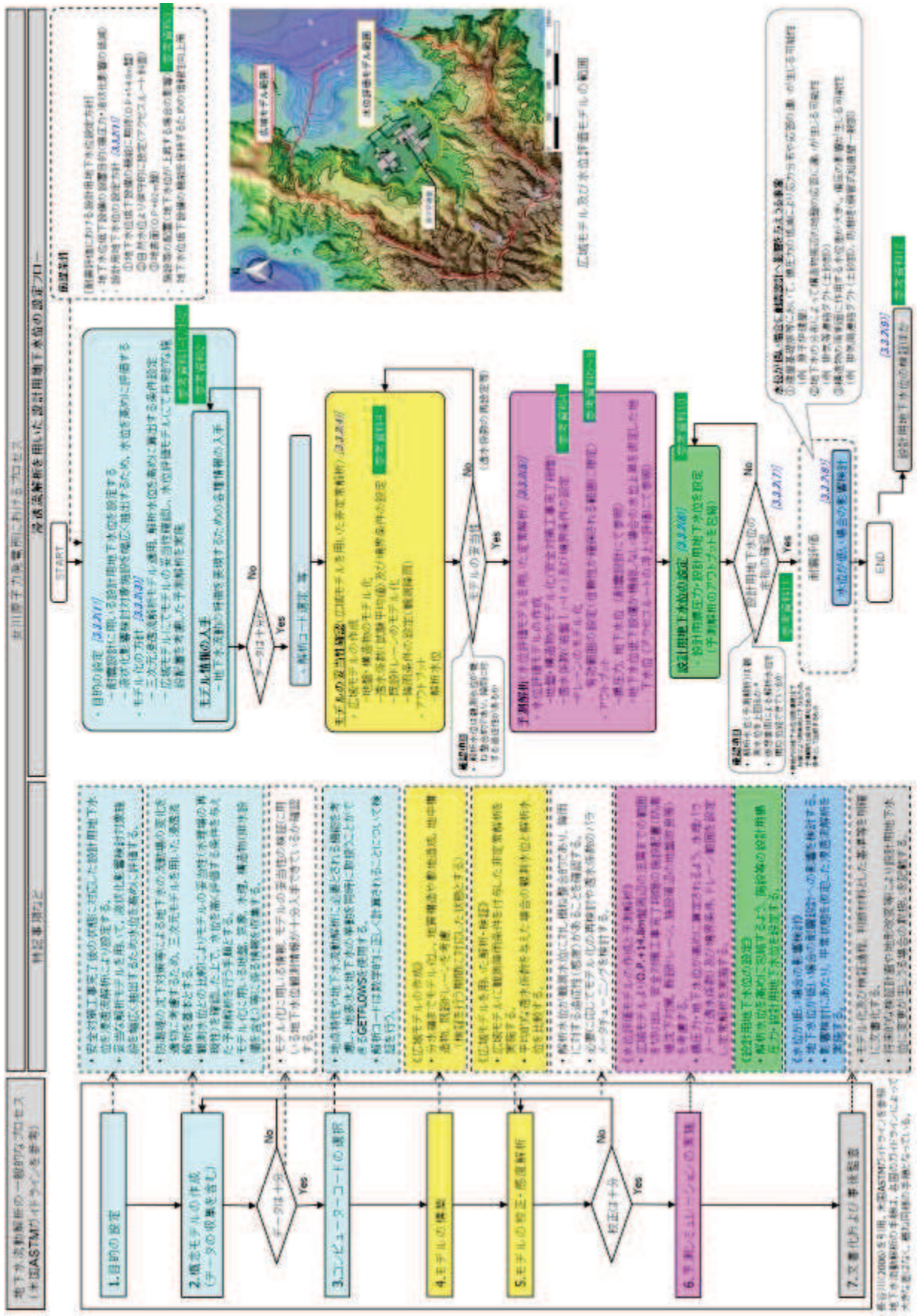


図 3.3-8 浸透流解析を用いた設計用揚圧力・設計用地下水位の設定フロー

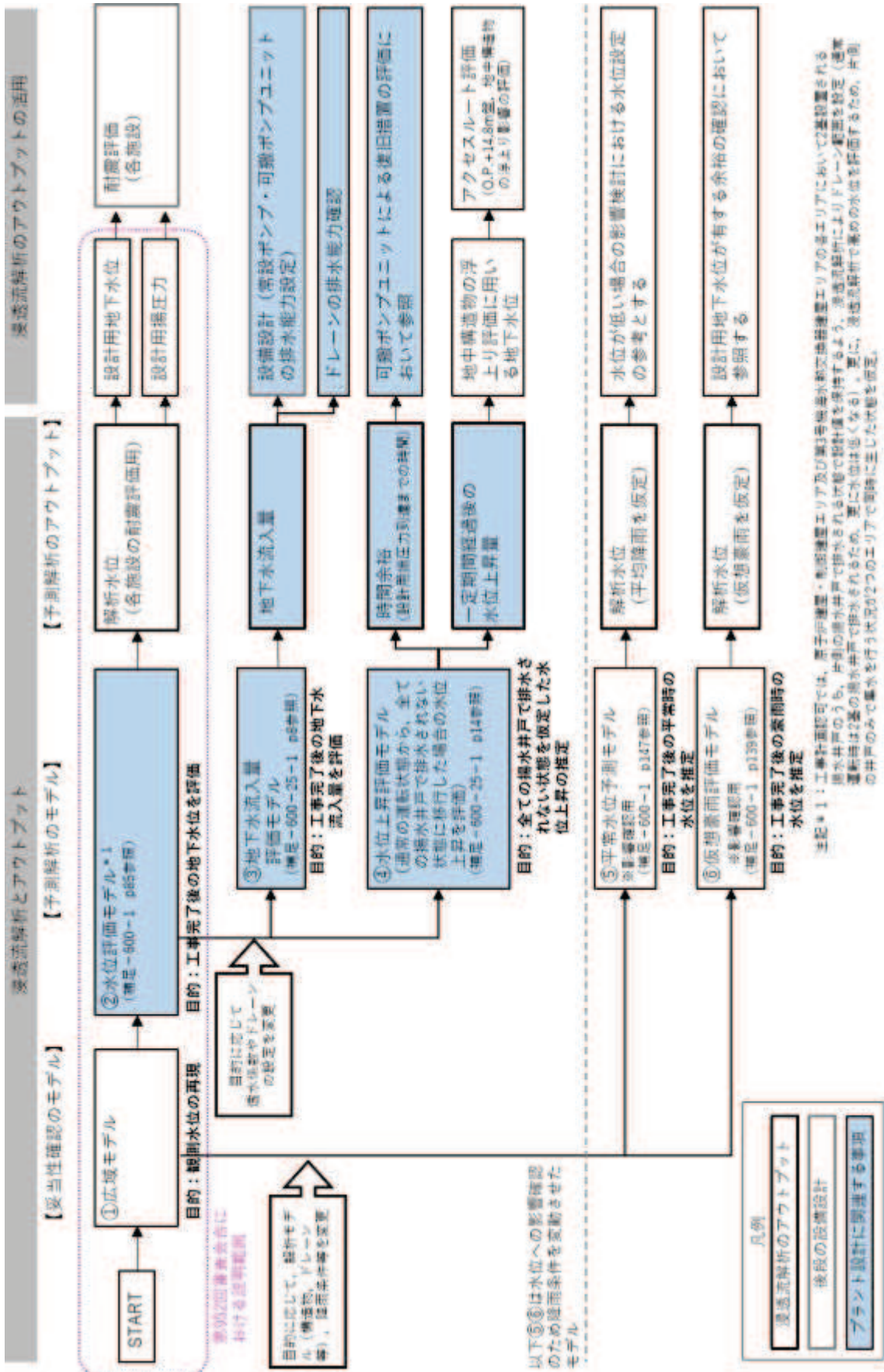


図 3.3-9 浸透流解析による評価モデルと設計等への反映事項

(3) モデル化方針の設定

浸透流解析のモデル化における方針や前提条件等について示す。

a. 評価対象施設

地下水位の影響を考慮する評価対象施設等の配置を図 3.3-10 及び図 3.3-11 に示す。

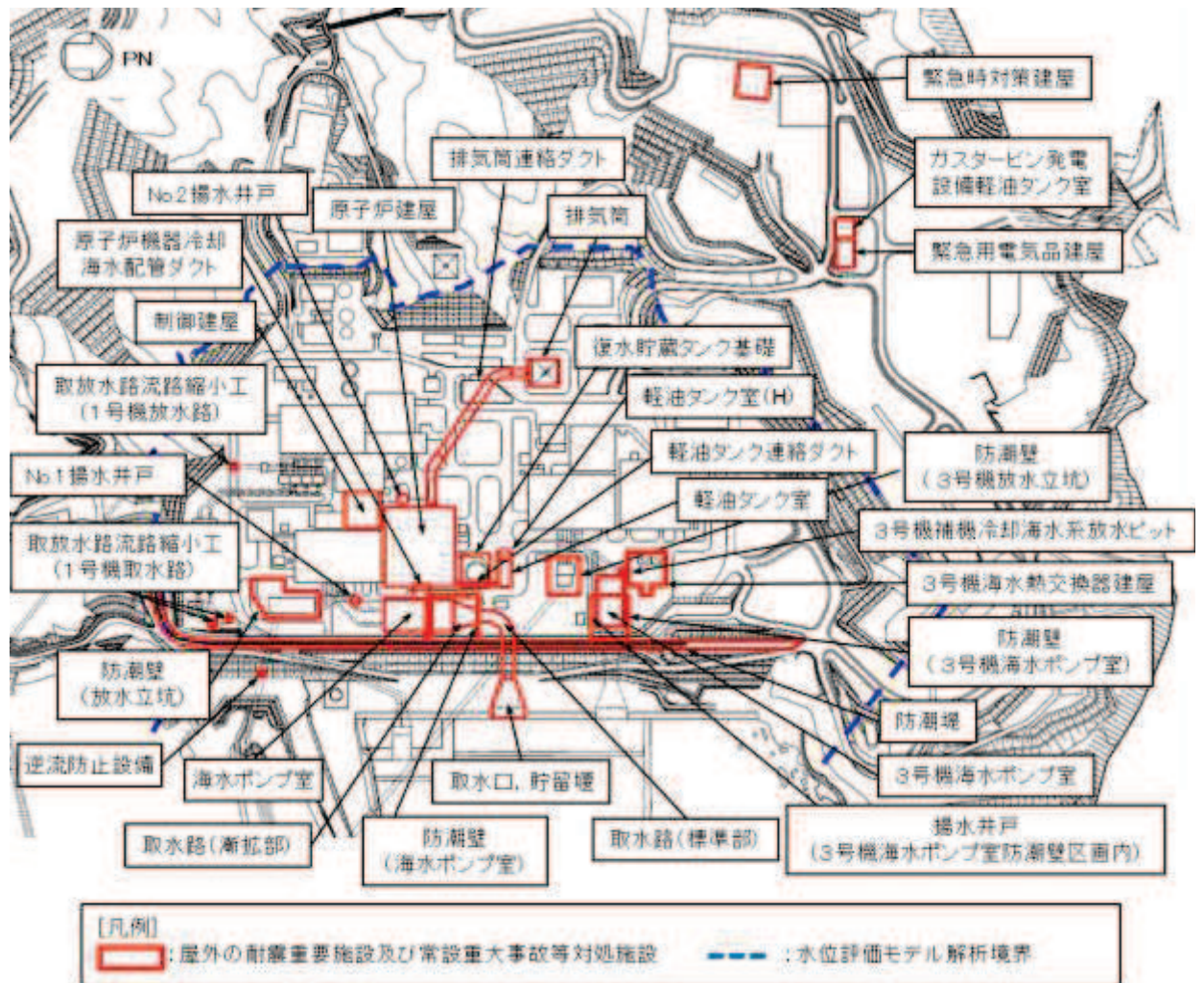


図3.3-10 屋外の評価対象施設の配置図

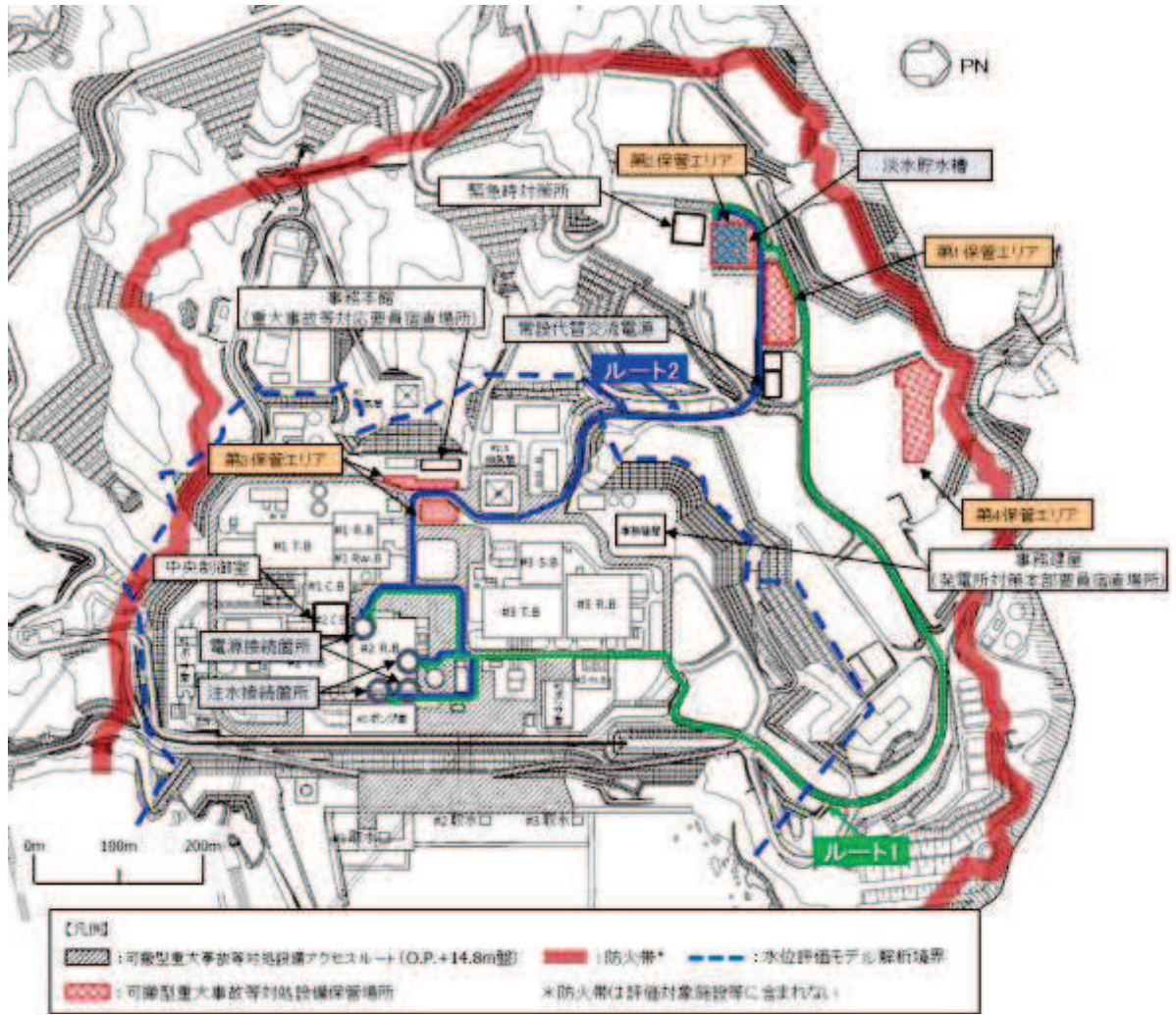


図3.3-11 可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルート配置図

b. モデル化に用いるデータの収集

評価対象施設の配置を踏まえ、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 3.3-3 のとおり整理した。

表 3.3-3 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 |
| 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二次元浸透流解析 |

c. データの十分性

b. 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（3.3.1(2)に整理）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。

d. 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。

(GETFLOWS の特徴)

GETFLOWS は、地表及び地下の水の流れを完全に一体化した解析が可能であり、数百万格子以上の大規模な問題を実用的に計算可能な国内で唯一の三次元流動シミュレータである。地上ではマニング則、地下はダルシー則によって格子間流量を計算し、降雨量を含む質量収支を保存するように水圧・水深を求め、それらを満足する浸透・湧出量を決定する。地表面での浸透・湧出の取扱いに関する概念図を図 3.3-12 に示す。

流体については、水だけでなく、空気についても常に同時に追跡が可能な気液 2 相流のモデルを採用しており、より正確な流動場の再現が可能である。

また、代表的な商用シミュレータに組み込まれているような坑井モデル（井戸モデル）を実装しており、三次元格子の修正を伴わずに、排水設備のモデル化を柔軟に行うことができる。

離散化の手法としては、空間離散化の手法としては積分型有限差分法を、時間離散化には完全陰解法を採用している。マニング型流れや不飽和状態のダルシー流れといった非線形性が高く、場合によっては有限要素法の適用が難しい問題であっても、質量保存則を満足する解を得ることができる。

計算速度の観点で見ると、並列計算が可能であること、国内外の商用シミュレータと同程度の性能のソルバーを実装している点で優位性があり、格子数が数百万格子以上の解析モデルであっても現実的な時間での解析が可能である。

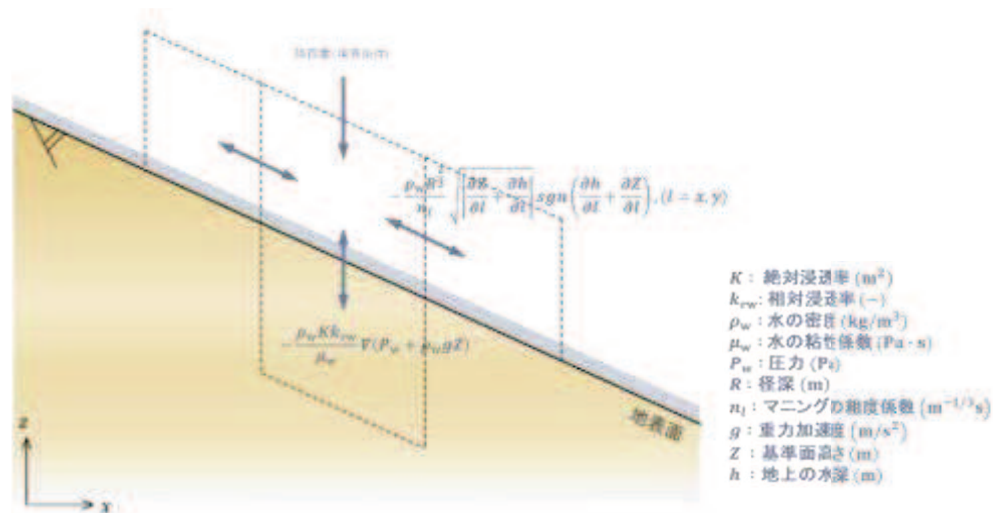


図 3.3-12 地表面での浸透・湧出の取扱いに係る概念図

e. モデルの妥当性確認

モデルの妥当性は、水収支が閉じる領域として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い、ドレーンは供用状態に対応するよう既設の全ての範囲を考慮する。

透水係数は、試験等の平均値を基本とし、再現性の確保状況に応じてパラメータチューニングを行う。

観測水位の再現性については、観測値と解析値の XY プロットによる全体的な相関性、経時変化の連動性をもとに判断する。

f. 予測解析

予測解析においては揚圧力・地下水位が高めに算出されるよう、解析領域を対象施設近傍の O.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、ドレーンは既設・新設のうち信頼性が確保された範囲に限定する。

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小さく（水位が高めに評価されるよう）設定する。

建設時工事計画認可段階において実施した二次元浸透流解析の概要を参考資料 2 に示す。

g. 地下水位の上昇による影響と着目する指標

(a) 地下水位の上昇による影響

地下水位の上昇による施設の耐震性への影響として、揚圧力（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）、液状化（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）、浮上り（周辺地盤の液状化に伴う地下構造物の浮上り。躯体の安定性と地中構造物上方のアクセスルート通行性に影響）が考えられる。

仮に、地下水位低下設備の通常の運転状態から、何らかの原因により地下水位低下設備の機能に期待できない状態に移行し、その状態が継続する場合、地下水位は緩やかに上昇する。この場合に評価対象施設等に生じる影響について、参考資料 3 のとおり整理した。

(b) 地下水位の上昇による影響が生じるまでの時間

イ. 揚圧力

通常の運転状態から地下水位低下設備の機能を考慮しない状態に移行した場合に建屋の設計用揚圧力に到達するまでの時間は、図 3.3-13 のとおり、最も短い原子炉建屋で約 25 時間と評価した。

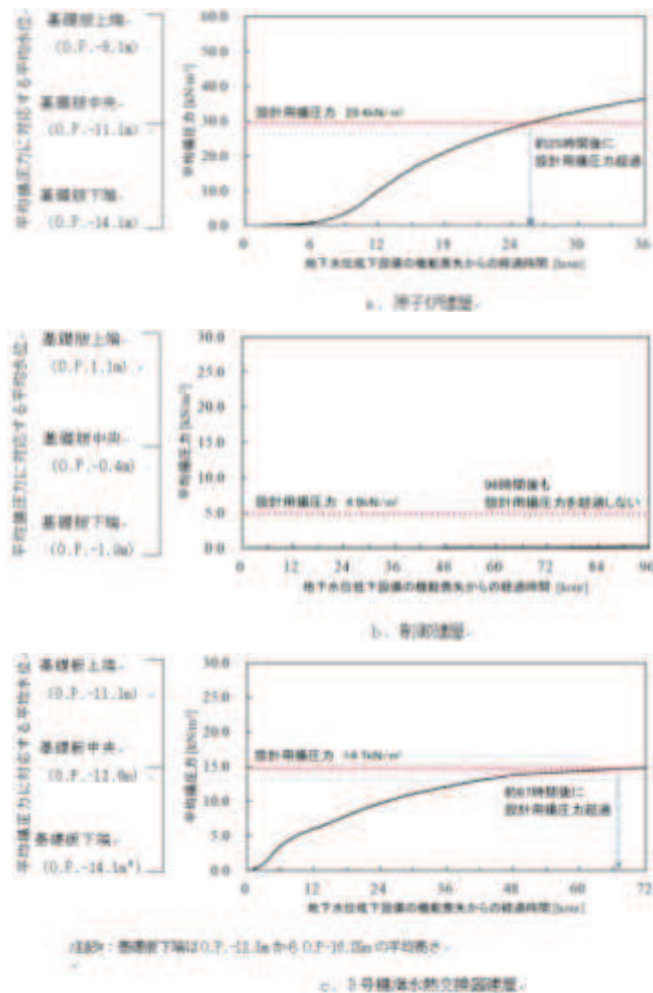


図 3.3-13 時間余裕の評価結果

ロ. 液状化

通常の運転状態から地下水位低下設備の機能を考慮しない状態に移行した場合に、土木構造物の設計用地下水位に到達するまでの時間を評価した。
(土木構造物は岩盤中に設置される施設及び地表面又は朔望平均満潮位に設計用地下水位を設定している施設を除く)

評価結果を表 3.3-4 に示す。

土木構造物において設計用地下水位に到達するまでの時間は 1 ヶ月と評価した。

表 3.3-4(1) 水位上昇と土木構造物の設計用地下水位との関係

| 施設名称 | | 設計用地下水位 と解析水位の差分 (初期水位) | 設計用地下水位 と解析水位の差分 (7日後の水位) | 設計用地下水位 と解析水位の差分 (30日後の水位) | 備考 |
|------------------------|----------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----|
| 原子炉機器 冷却海水 配管ダクト | 横断 | -8.8m | -3.9m | -1.1m | |
| 排気筒 連絡ダクト | 横断(断面①) | -25.6m | -12.8m | -8.9m | |
| | 横断(断面②) | -24.4m | -10.8m | -7.7m | |
| | 横断(断面③) | -23.1m | -9.9m | -7.0m | |
| 軽油タンク連絡ダクト | | -8.3m | -5.4m | -3.1m | |
| 取水路 | 曲がり部南北 | -7.2m | -6.8m | -5.9m | |
| | 曲がり部東西 | -5.6m | -4.2m | -2.7m | |
| | 漸拡部東西 | -5.9m | -3.8m | -1.7m | |
| 海水 ポンプ室 | 縦断 | -8.1m | -4.2m | -2.7m | |
| | 横断 | -3.3m | -2.0m | -1.0m | |
| 軽油 タンク室 | 南北 | -11.6m | -5.4m | -3.1m | |
| | 東西 | -5.8m | -4.1m | -2.7m | |
| 軽油 タンク室(H) | 南北 | -6.1m | -3.8m | -1.5m | |
| | 東西 | -5.8m | -4.1m | -2.7m | |
| 復水貯蔵 タンク基礎 | 南北 | -11.6m | -5.4m | -3.1m | |
| | 東西 | -8.3m | -5.4m | -3.1m | |
| 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) | 横断(一般部①) | -16.0m | -7.5m | -5.2m | |
| | 横断(一般部②) | -5.0m | -4.7m | -4.3m | |
| | 横断(一般部③) | -9.5m | -8.7m | -7.3m | |
| | 横断(一般部④) | -21.0m | -14.6m | -13 | |
| 防潮堤 (盛土堤防) | 横断① | -14.9m | -8.9m | -7.8m | |

表 3.3-4(2) 水位上昇と土木構造物の設計用地下水位との関係

| 施設名称 | | 設計用地下水位 と解析水位の差分 (初期水位) | 設計用地下水位 と解析水位の差分 (7日後の水位) | 設計用地下水位 と解析水位の差分 (30日後の水位) | 備考 |
|------------------------------------|------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|
| 防潮壁 | 第2号機海水ポンプ室 | -3.2m | -1.9m | 0.2m | 液状化による影響 が及ばないよう設 計用地下水位+1.0m の範囲を地盤改良 予定。 |
| | 第2号機放水立坑 | -10.8m | -4.7m | -2.8m | |
| | 第3号機海水ポンプ室 | -11.1m | -9.9m | -8.0m | |
| | 第3号機放水立坑 | -2.8m | -2.4m | -1.8m | |
| 第3号機 海水ポンプ室 | 縦断 | -3.1m | -2.1m | -1.0m | |
| | 横断 | -6.8m | -4.1m | -1.6m | |
| 揚水井戸 (第3号機海水 ポンプ室防潮壁 区画内) | 南北 | -2.3m | -1.8m | -0.3m | 液状化による影響 が及ばないよう設 計用地下水位+1.0m の範囲を地盤改良 予定。 |
| | 東西 | -3.0m | -1.8m | 0.9m | |
| 第3号機補機冷却海水系放水ピット | | -2.6m | -1.7m | -0.4m | |

ハ. 浮上り

液状化に伴う地中構造物の浮上りによるアクセスルートへの影響については、地下水位低下設備が通常の運転状態から機能を考慮しない状態に移行し、2ヵ月後の解析水位を参照することとし、必要な対策を講じる方針としている。浮上りによる影響が生じるまでの時間を2ヵ月と評価した。

二. 着目する指標

上記の整理から、地下水位の上昇に伴う各影響は図 3.3-14 のようにステップ1より段階的に生じると整理される。

この整理を踏まえ、ドレーン配置の検討にあたっては、建物・構築物へ作用する揚圧力の上昇影響に着目する。

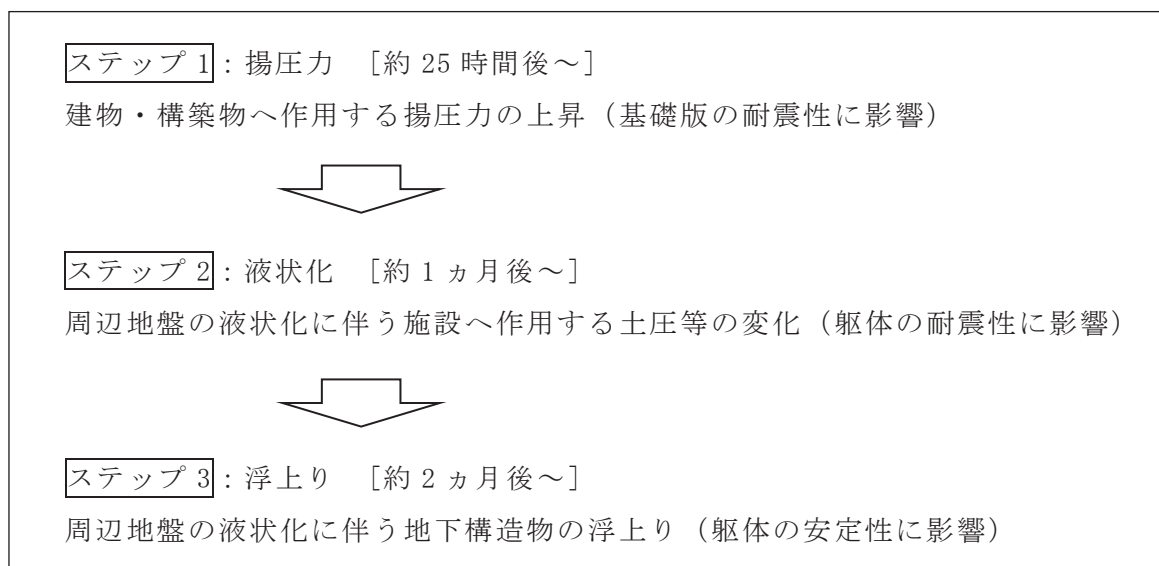


図 3.3-14 地下水位上昇による耐震性への影響

(4) モデルの妥当性確認（広域モデルによる非定常解析）

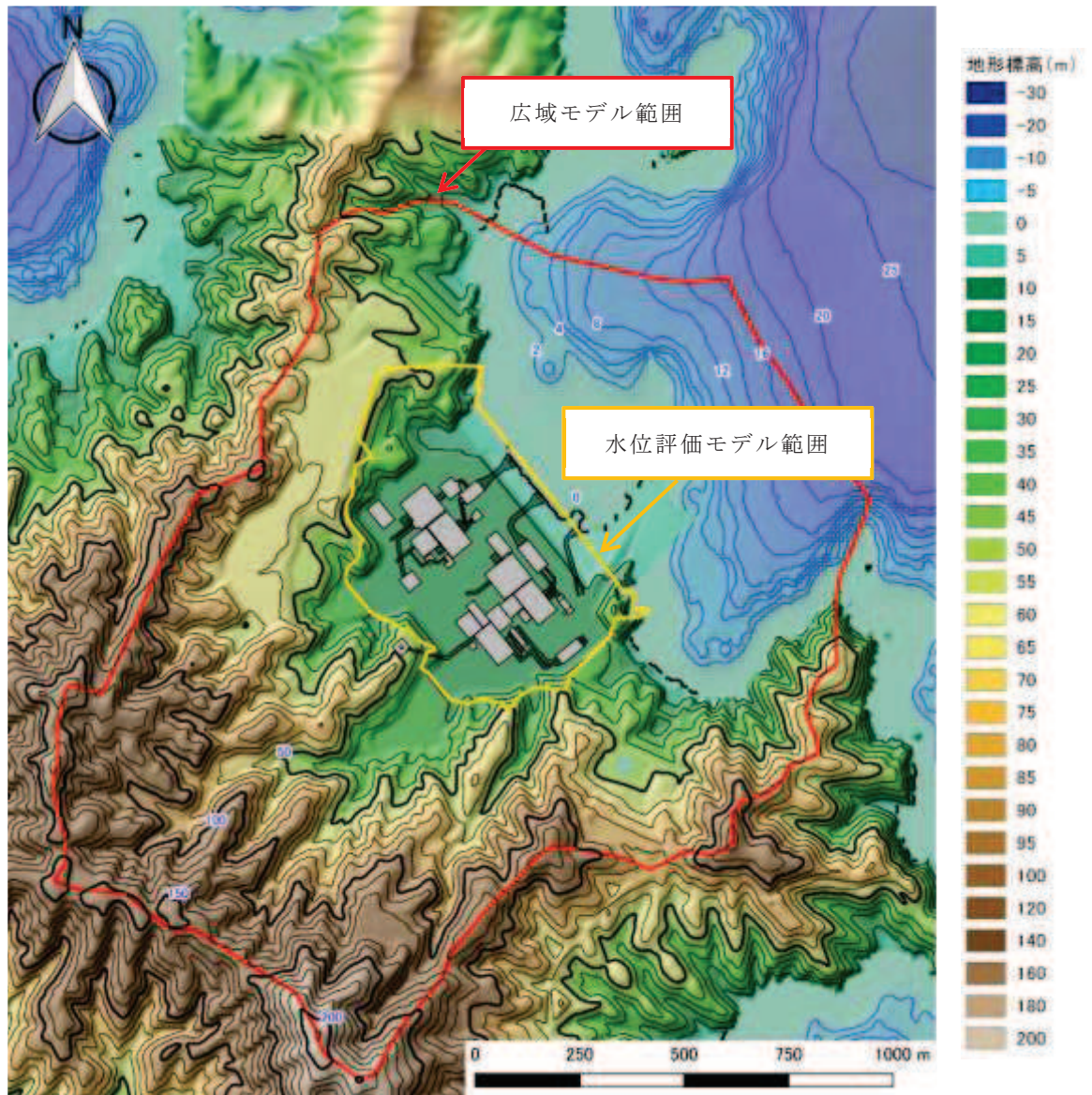
a. 広域モデルの作成

(a) モデル化範囲の設定

広域モデルは、3.3.1(1)に示す敷地の状況を考慮し、対象施設等を含む分水嶺までの範囲をモデル化する。

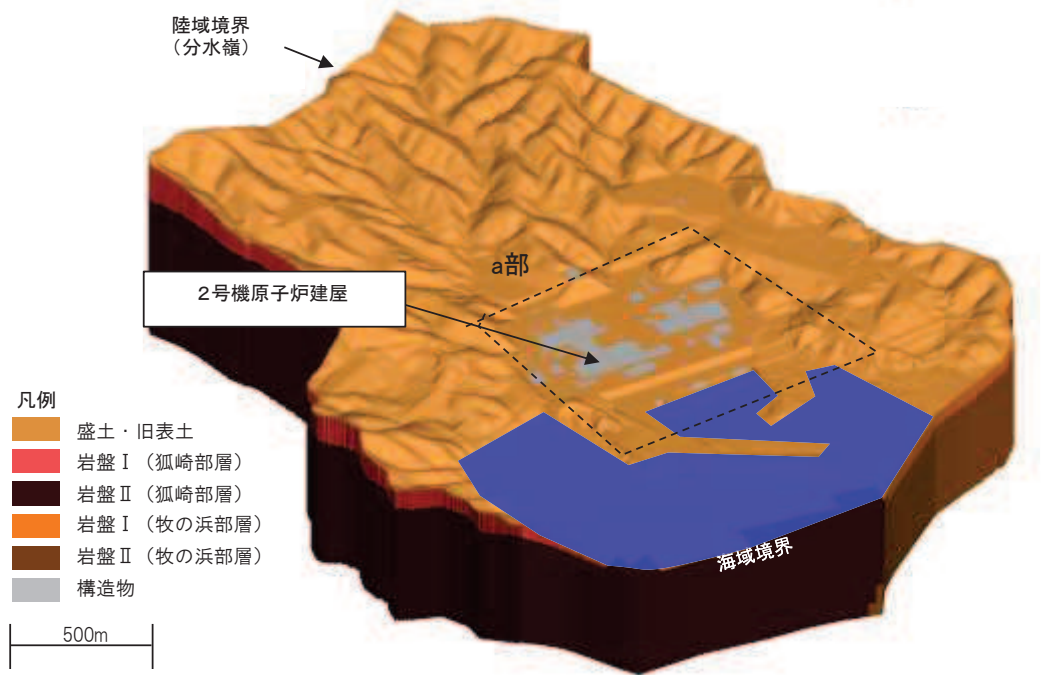
モデル化範囲を図 3.3-15 に、広域モデルの鳥瞰図を図 3.3-16 に示す。

なお、水位評価モデルの概要については(5)にて後述する。

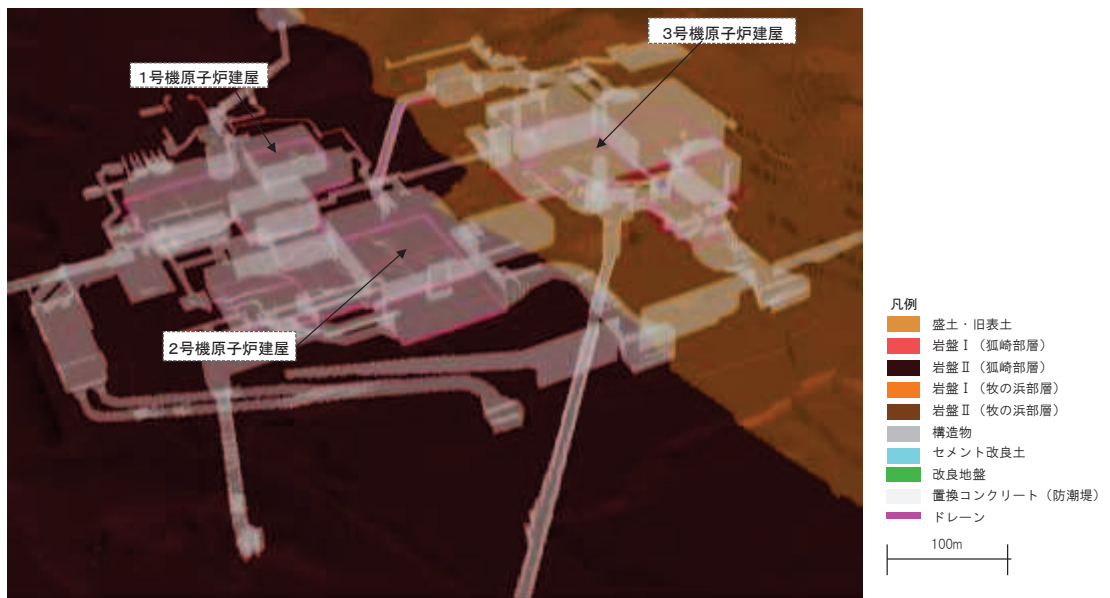


(検証時期に対応した地形の情報であり，構造物のモデル化状況は後述する)

図 3.3-15 広域モデルの範囲



(全体図)



(a 部拡大 盛土・旧表土及び岩盤 I を非表示)

図 3.3-16 広域モデル鳥瞰図

(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3～6m程度）。

(c) 検証期間と降雨条件等の設定

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、地下水水位低下設備の稼働状況）を表3.3-5に、各観測井の位置を図3.3-17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

降雨条件として、初期条件として日平均降雨^{*1}（2001年から2018年の日平均降雨）を与え（定常状態）、その後、上記の検証期間に対応する観測降雨^{*2}を与える（非定常状態）。

注記*1 定常状態の蒸発散を考慮するため、日平均降雨量から実蒸発散量を差し引いた降雨量を設定している。実蒸発散量の推定にはハーモン法を用いており、算出のための平均気温・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値を用いている。

注記*2 非定常状態の蒸発散については、検証期間における敷地内の気温、風速、日射時間等を用いて、熱収支法により地表面における熱収支を考慮している。

(d) 地盤・構造物のモデル化

イ. 地形

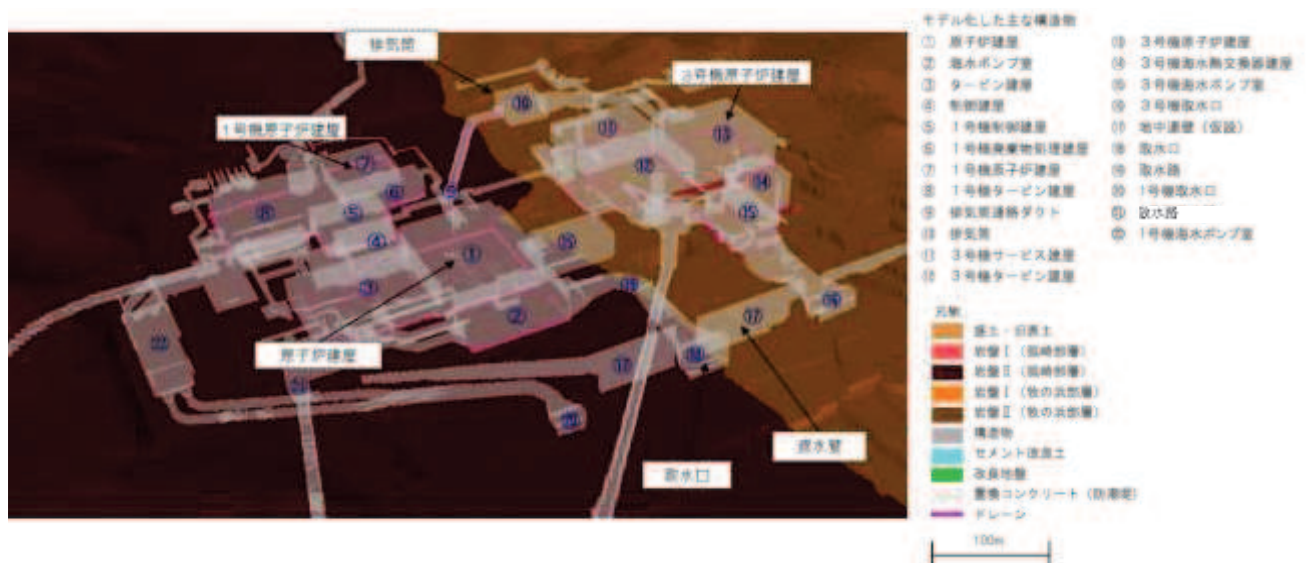
地形（造成形状）は，検証期間 1 及び 2 における各期間での状態を考慮し設定した。

ロ. 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，透水試験の結果から母岩と水理特性上の有意な差がないことからモデル化していない（参考資料 4-補足 4 参照）。

ハ. 構造物

- ・ 検証期間における設置状況を踏まえ，図 3.3-18 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。



(盛土・旧表土及び岩盤 I を非表示)

図 3.3-18 地中構造物のモデル化状況

(e) 透水係数の設定

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行われた試験結果等の平均値として設定する（試験概要及び試験結果等は参考資料4参照）。

透水係数の設定値と設定根拠を表 3.3-6 に示す。

表 3.3-6 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^{-5} | クレーガー法*1（平均値）に基づき設定 |
| 狐崎 部層 | 岩盤Ⅰ | 1.6×10^{-6} | 試験結果の平均値に基づき設定 |
| | 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} | 試験結果の平均値に基づき設定 |
| 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) | — |

注記*1：粒度試験結果に基づく推定方法

(f) 境界条件の設定

広域モデルの境界条件は、実態に則し、山側を閉境界、海側を平均潮位に水位固定とする。また、ドレーンはドレーン計画高さに水位を固定する。

(g) ドレーンのモデル化

ドレーンは，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（新設ドレーンは考慮しない）。

既設ドレーンの配置図を図 3.3-19 に示す。

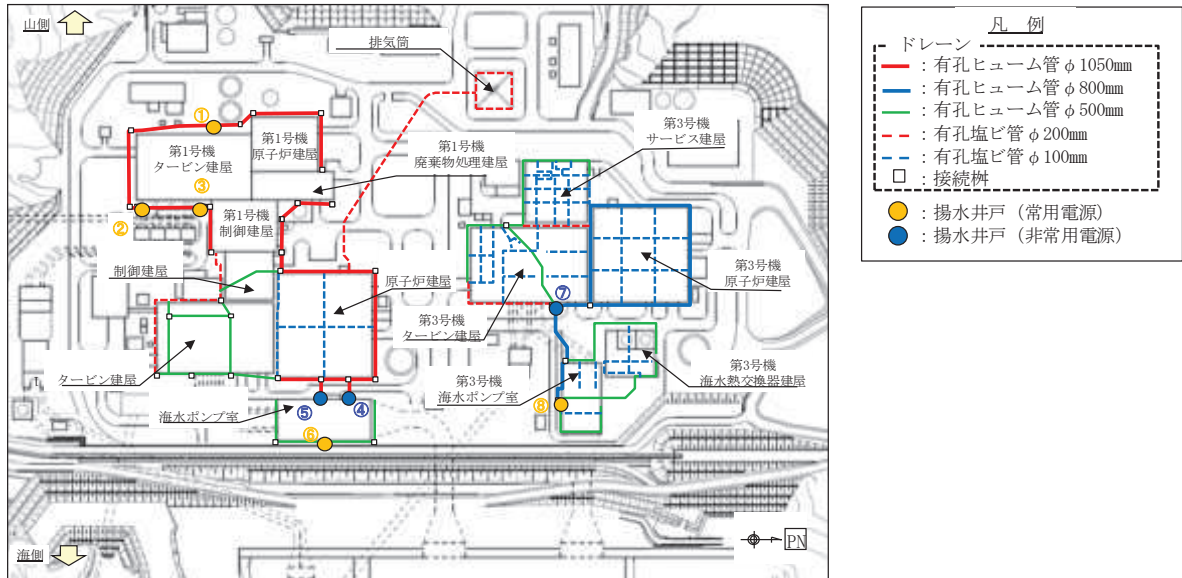
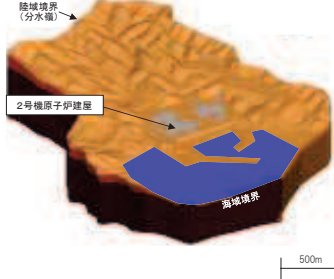


図 3.3-19 既設ドレーン配置図

(h) 浸透流解析条件まとめ（広域モデル）

表 3.3-7 に，広域モデルの解析条件一覧を示す。

表 3.3-7 広域モデルの概要

| 項目 | 広域モデル |
|---------------|---|
| 1a. 目的 | ・モデル化の妥当性確認（観測結果の再現性を確保） |
| 1b. アウトプットの活用 | －（モデル検証のみ） |
| 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  |
| 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 | ・非定常解析 |
| 5a. 検証期間 | <ul style="list-style-type: none"> ・検証期間 1：2006-2007 年 ・検証期間 2：2013-2014 年 |
| 5b. 降雨条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・初期状態：3.57mm/日 （観測降雨（2001-2018 年）の日平均） ・降雨時：上記検証期間の降雨実績 |
| 5c. 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） |
| 5d. 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*2 |
| 6a. モデル（地形） | ・検証期間に対応した状態 |
| 6b. 〃（地盤） | ・検証期間に対応した状態 |
| 6c. 〃（構造物） | ・検証期間に対応した状態 |
| 6d. 〃（ドレーン） | ・既設の全範囲を管路として考慮（新設は考慮しない） |
| 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 | ・試験平均値 |
| 9. 有効間隙率 | ・文献値*3 |
| 10. 粗度係数 | ・文献値*4 |

注記*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

注記*2：検証期間における敷地内の気温，風速，日射時間等を参照する

注記*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

注記*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

b. 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 3.3-20 に示す。

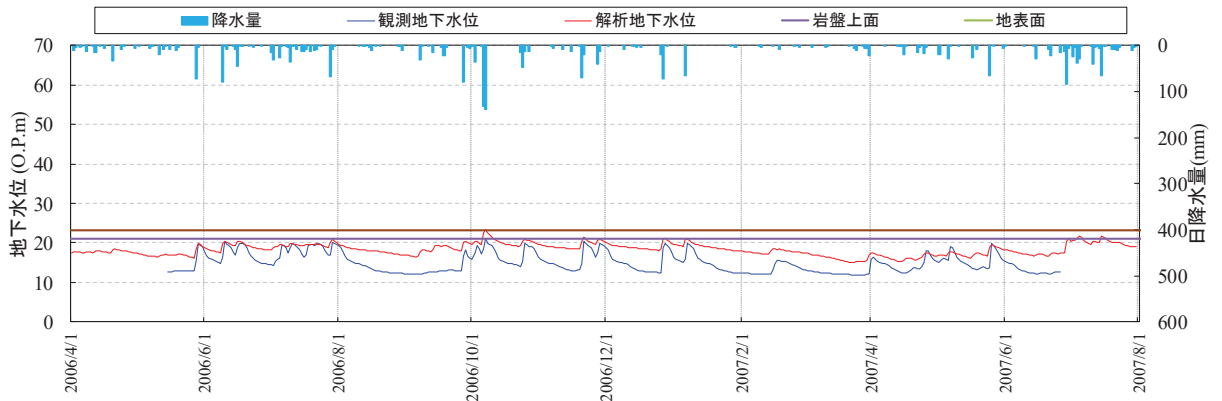


図 3.3-20 (1) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井②) (期間 1)

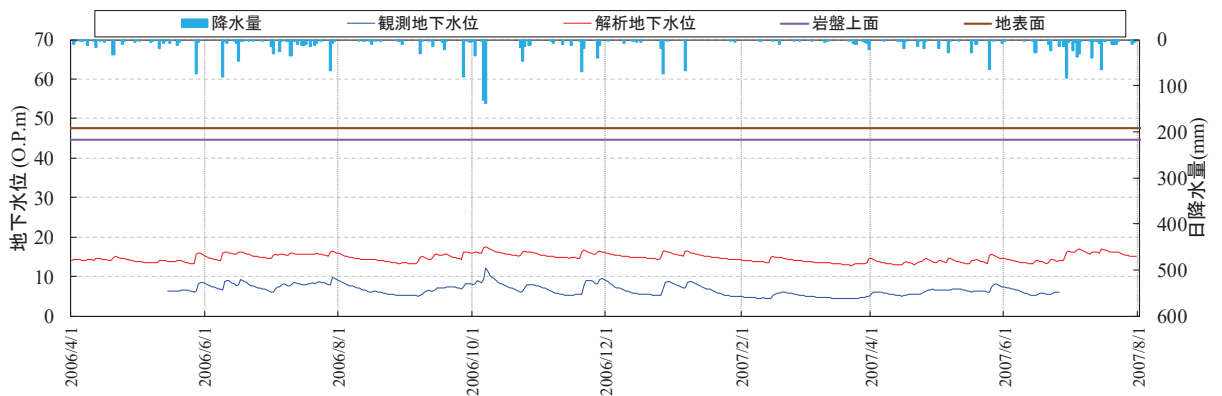


図 3.3-20 (2) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑧) (期間 1)

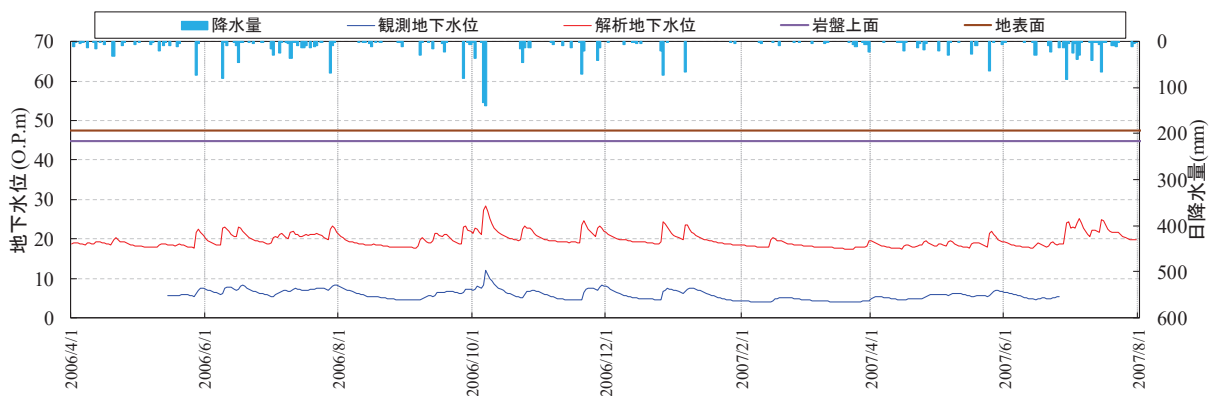


図 3.3-20 (3) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑨) (期間 1)

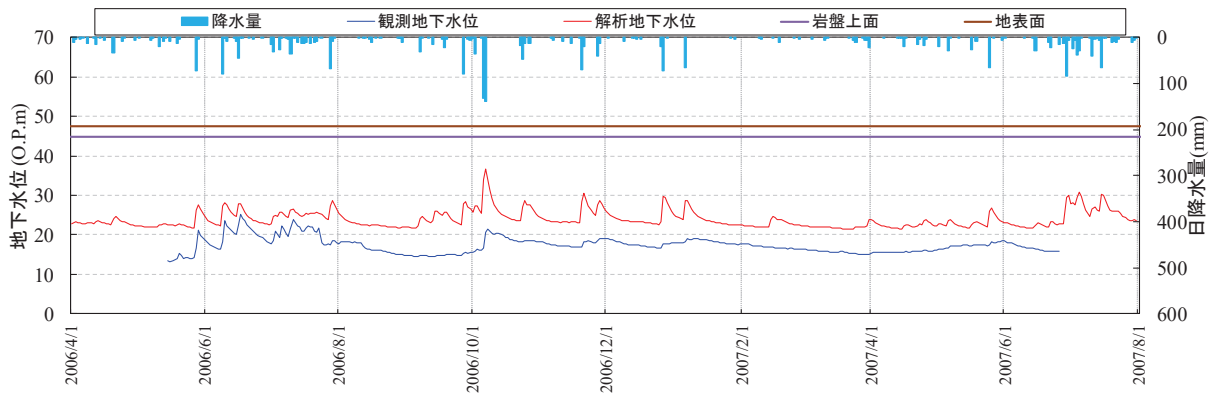


図 3.3-20 (4) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑩) (期間 1)

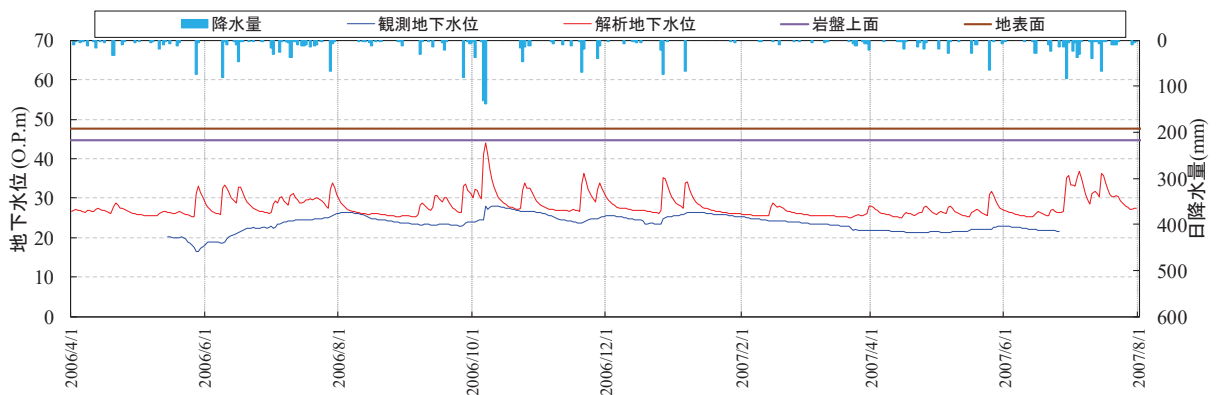


図 3.3-20 (5) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑪) (期間 1)

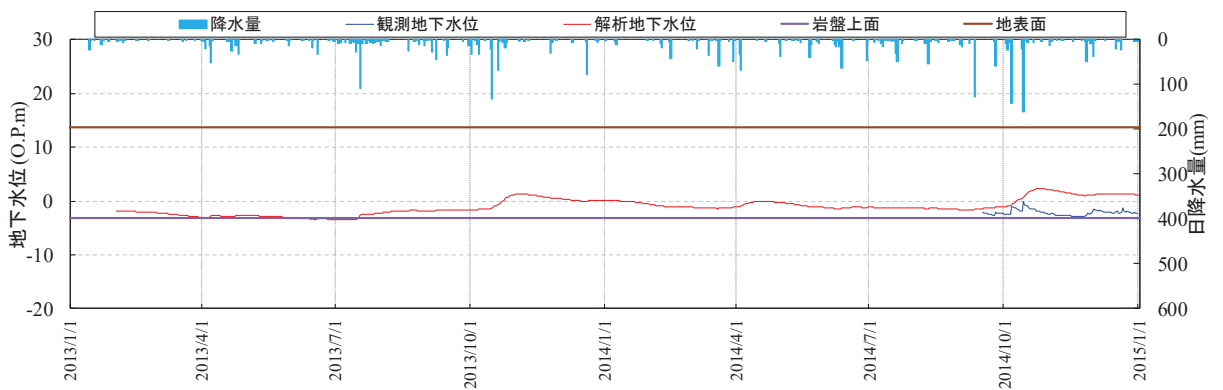


図 3.3-20 (6) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑤) (期間 2)

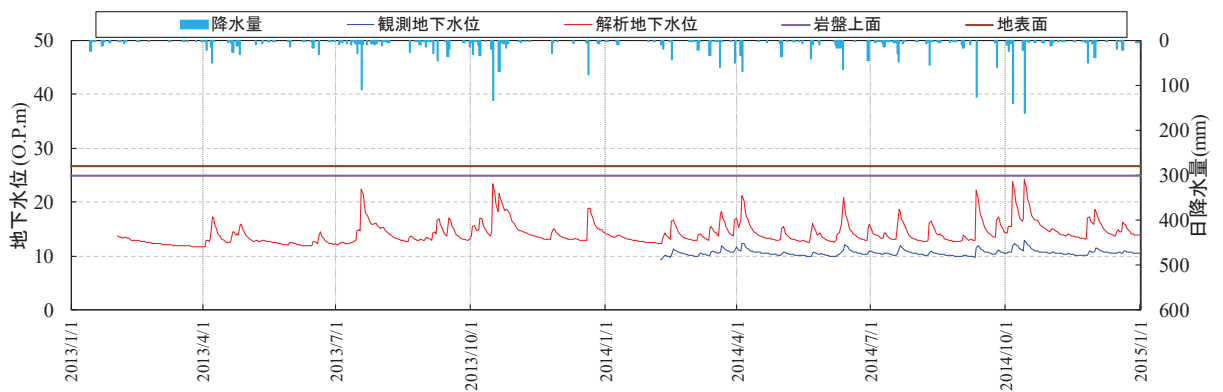


図 3.3-20 (7) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑫) (期間 2)

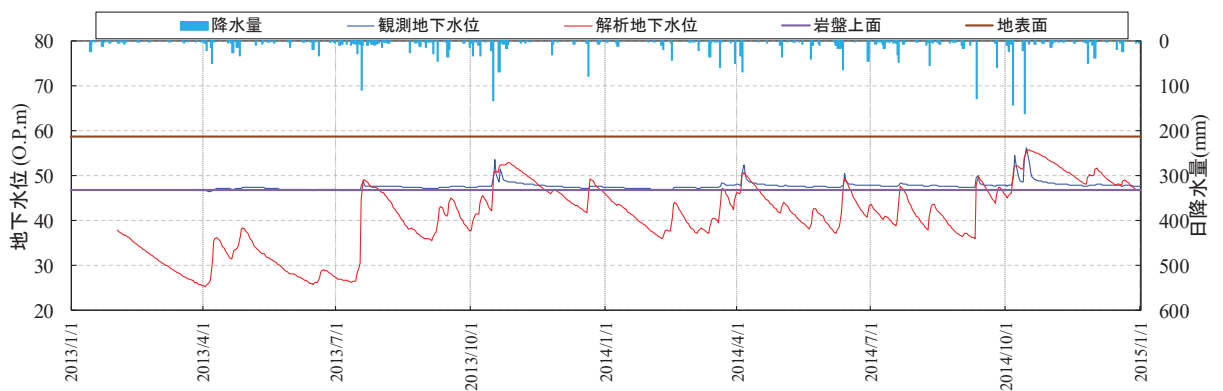


図 3.3-20 (8) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑭) (期間 2)

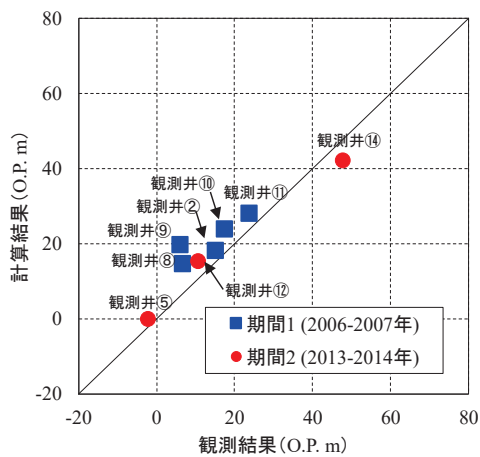
c. モデルの妥当性に係る検証

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 3-3-20）から、解析水位は降雨及び観測水位と概ね連動していることを確認した。

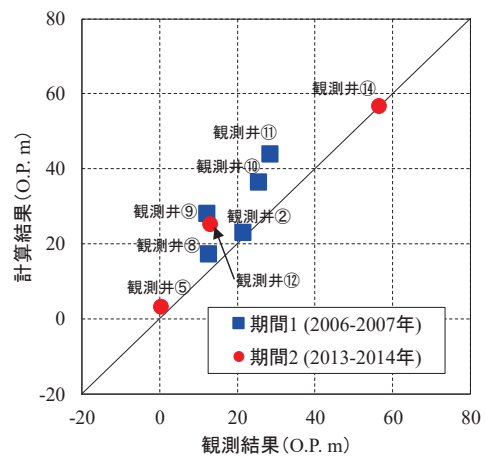
また、検証期間中の各観測孔における平均水位及び最大水位に着目し、解析水位と観測水位との比較を行った（図 3.3-21）。この結果、検証を行った2つの期間において、解析水位は降雨及び観測水位と概ね連動していることを確認した。

なお、解析水位は観測水位より高めに算出される傾向があるが、最終的に解析水位を高めに算出するという浸透流解析の目的に対しては特に問題ないものと整理した。（観測井⑭の解析水位を観測水位が上回る原因については補足1のとおり考察）

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

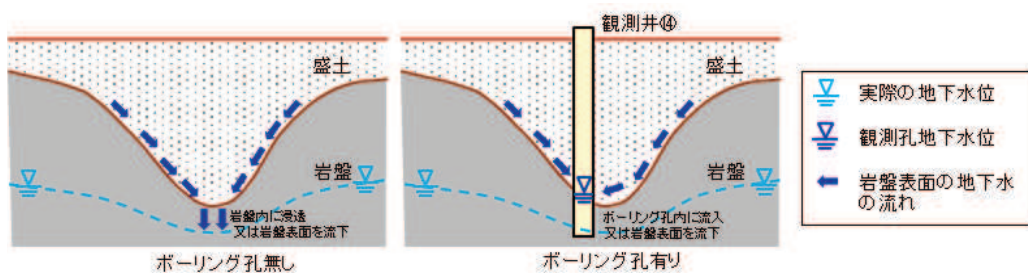
注記*1：期間中における観測水位と解析水位それぞれの平均水位及び最大水位のプロットを示す。

図 3.3-21 観測値と解析値の比較 (XY プロット)

(補足 1) 観測井⑭における解析水位と観測水位の関係について

観測井⑭において、観測水位が岩盤表面以下に下がらない状況が確認され、強雨時のピーク水位による再現性が高い一方で、小降雨時では乖離が見られる（解析水位 < 観測水位）。これは、当該観測井が沢部に位置しているため、周囲から岩盤表面の地下水が集まりやすい構造であることに起因するものと考えられる。

沢地形部における小降雨時の地下水の流れのイメージを下図に示す。



沢地形部における小降雨時の地下水の流れ (イメージ)

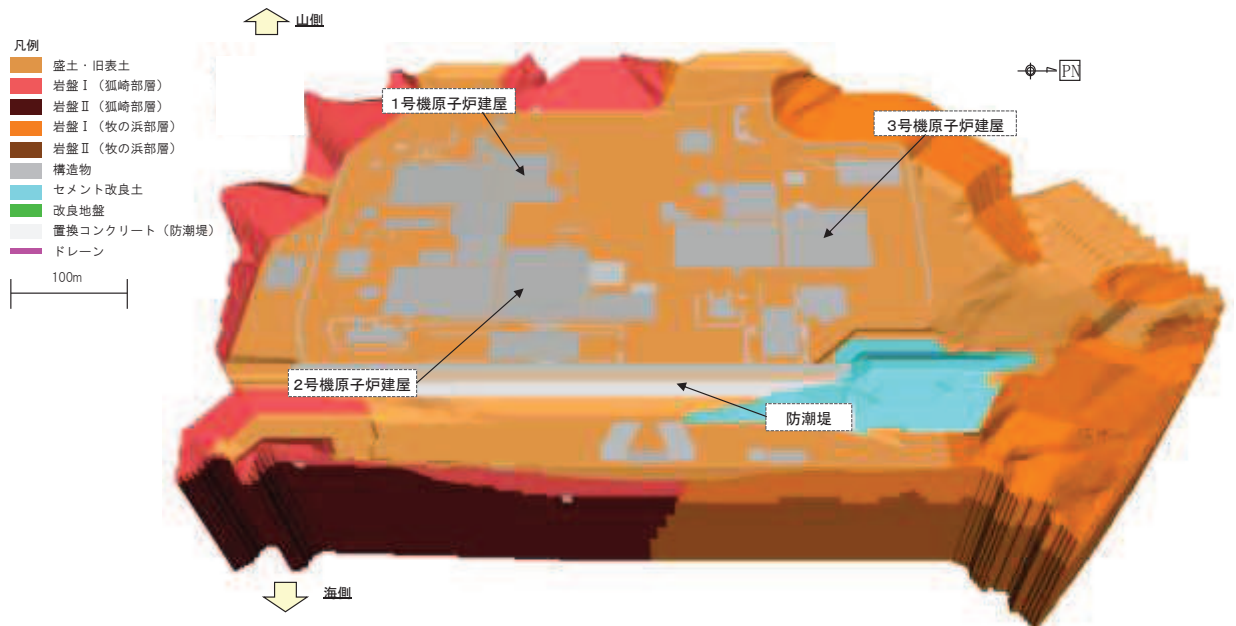
(5) 予測解析（水位評価モデルを用いた定常解析）

a. 水位評価モデルの作成

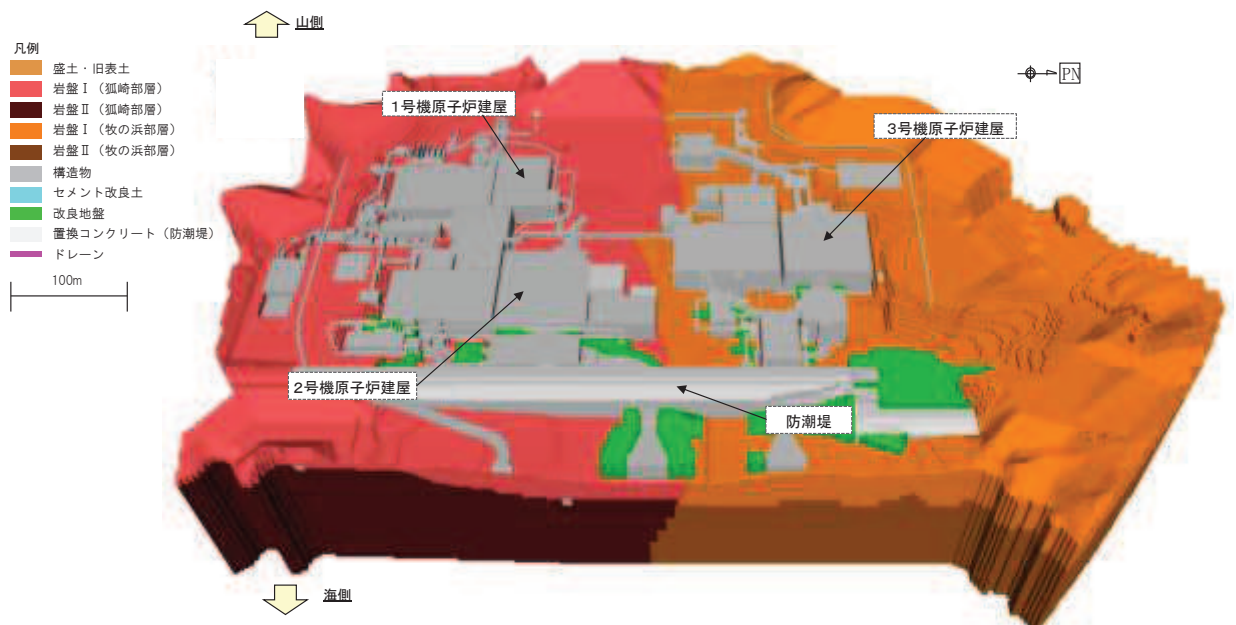
(a) モデル化範囲の設定

水位評価モデルは、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 3.3-15 に、モデル鳥瞰図を図 3.3-22 に示す。

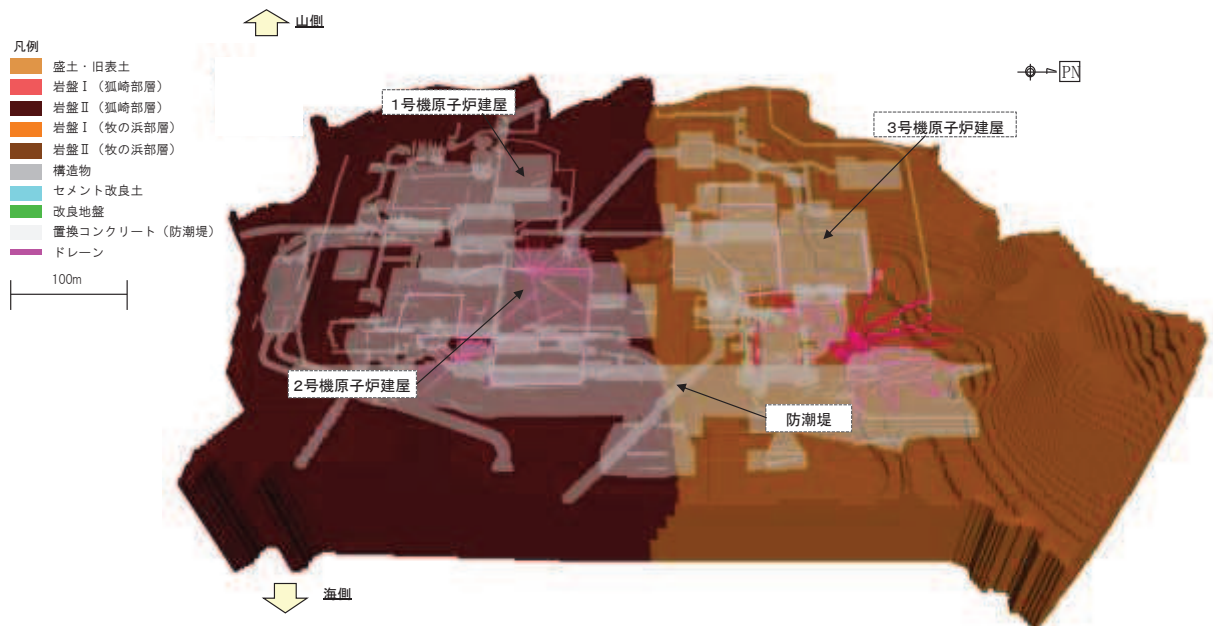


(a) 全体鳥瞰図



(b) 盛土・旧表土を非表示

図 3.3-22(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 3.3-22(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

イ. 地形

地形（造形成状）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。

ロ. 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 3.3-23 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、広域モデル同様、透水試験の結果から母岩と水理特性上の有意な差がないことからモデル化していない。

ハ. 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 3.3-22 及び図 3.3-23 に示す施設等のモデル化を行った。

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、水位を高め設定する目的から、その影響を考慮していない。

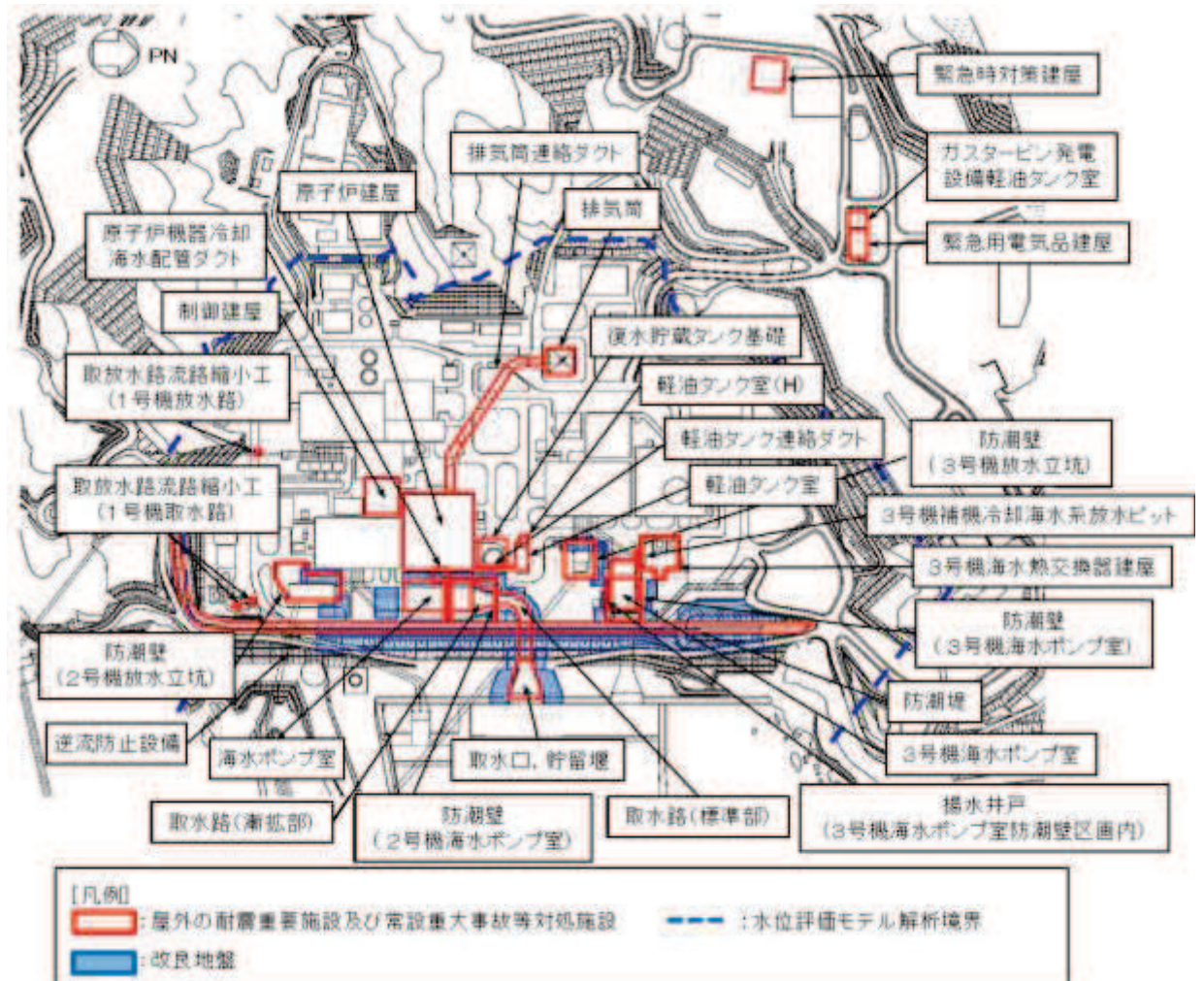


図 3.3-23 土木構造物の配置及び改良地盤の位置図

(d) 透水係数及び境界条件の設定

イ. 透水係数

予測解析に用いる透水係数は揚圧力・地下水位が高めに評価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 3.3-8 に示すように試験結果の平均値 - 1 σ に設定している。この透水係数の設定により揚圧力・地下水位が高めに評価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(4)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 3.3-9 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 3.3-24 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、予測解析に用いる透水係数を表 3.3-10 として設定する。設定根拠に係る詳細を参考資料 4 に示す。

表 3.3-8 建設時工事計画認可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} | クレーガー法 ^{*1} （平均値）に基づき設定 | *3 |
| 狐崎 部層 | 岩盤 I | 試験結果の平均値 - 1 σ に基づき設定 ^{*2} | |
| | 岩盤 II | 試験結果の平均値に基づき設定 | |
| 牧の浜 部層 | 岩盤 I | 試験結果の平均値 - 1 σ に基づき設定 ^{*2} | |
| | 岩盤 II | 試験結果の平均値に基づき設定 | |

注記*1：粒度試験結果に基づく推定方法

注記*2：試験結果に対して、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 - 1 σ に設定。

注記*3：建設時工事計画認可段階と同値

表 3.3-9 透水係数による水位への影響（広域モデルによる）

| 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 |

注記*1：期間中における解析水位の平均水位

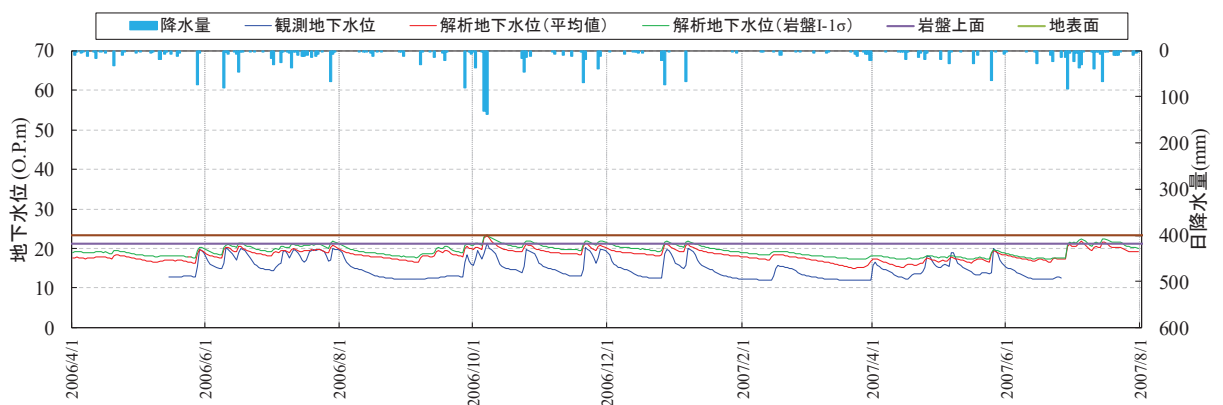


図 3.3-24 (1) 解析水位と観測水位の経時変化（観測井②）（期間 1）

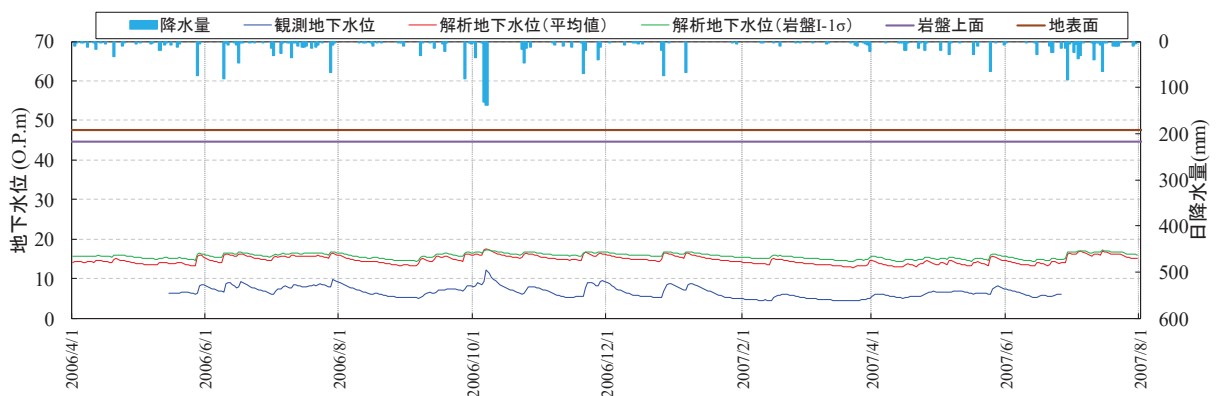


図 3.3-24 (2) 解析水位と観測水位の経時変化（観測井⑧）（期間 1）

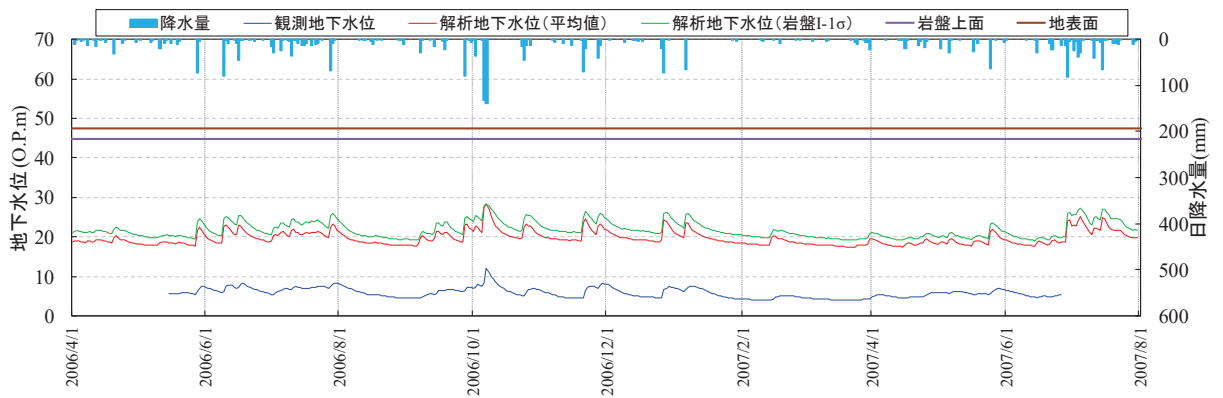


図 3.3-24 (3) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑨) (期間 1)

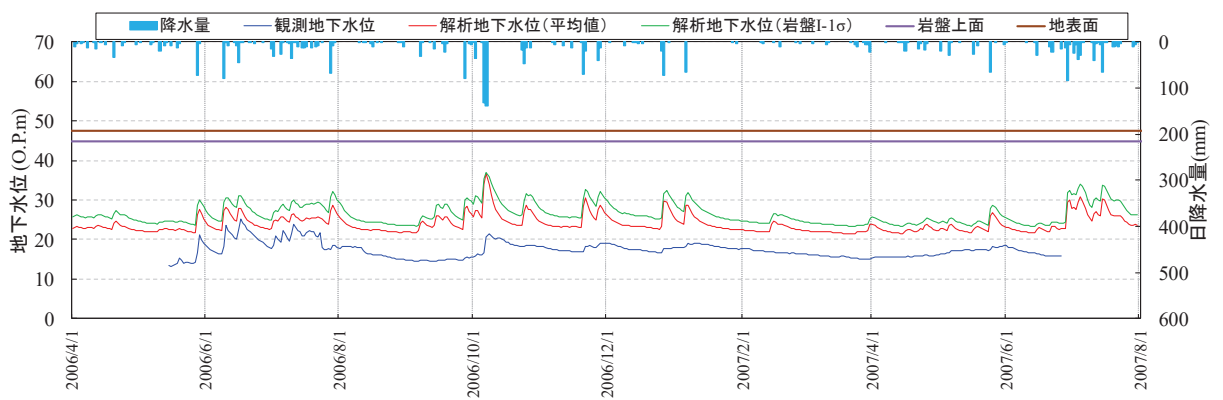


図 3.3-24 (4) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑩) (期間 1)

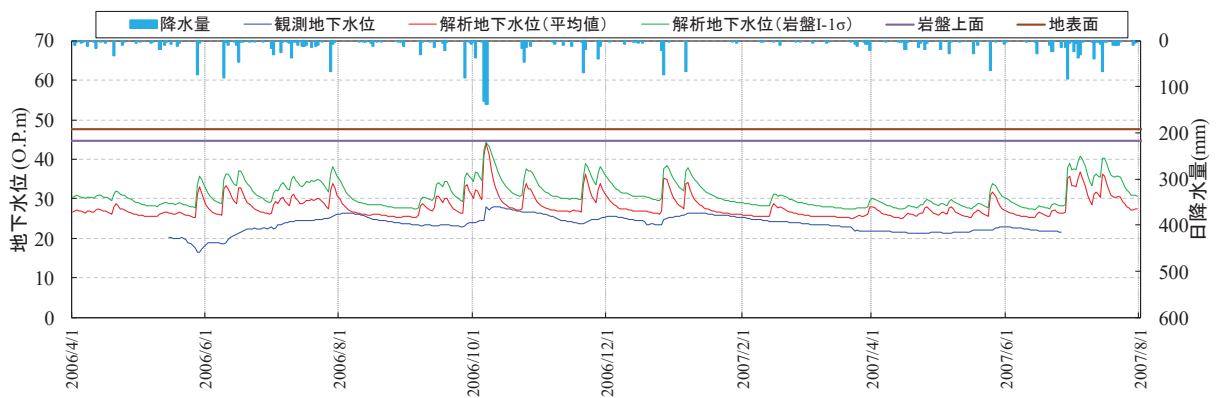


図 3.3-24 (5) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑪) (期間 1)

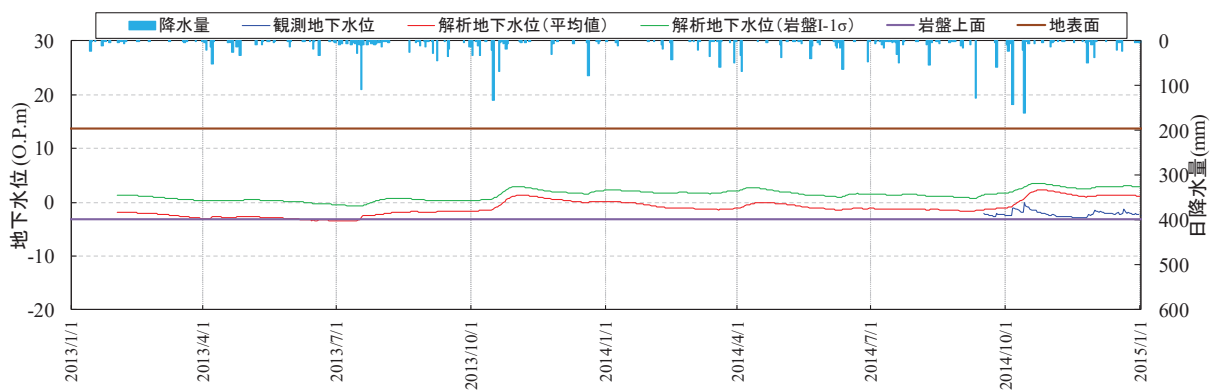


図 3.3-24 (6) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑤) (期間 2)

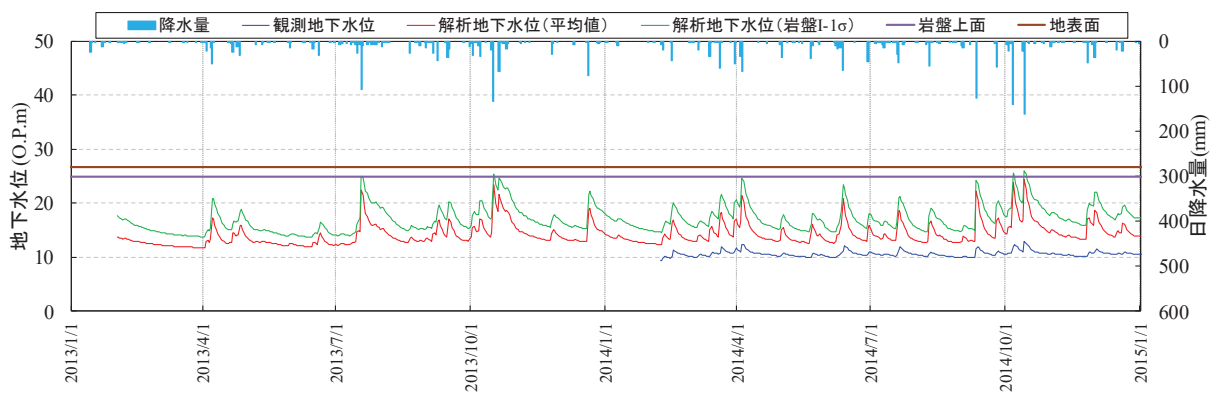


図 3.3-24 (7) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑫) (期間 2)

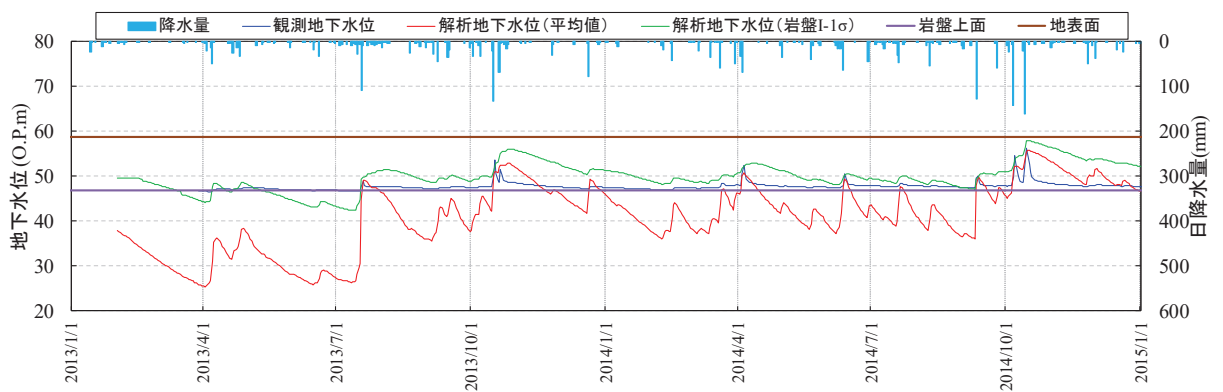


図 3.3-24 (8) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑭) (期間 2)

表 3.3-10 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^{-5} | クレーガー法* ¹ （平均値）に基づき設定 | *3 | |
| 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* ² |
| | 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* ² |
| | 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 | *4 | |
| 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) | — | *5 | |

注記*1：粒度試験結果に基づく推定方法

注記*2：試験結果に対して、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。

注記*3：建設時工事計画認可段階と同値

注記*4：建設時工事計画認可段階は設定なし

注記*5：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

ロ. 境界条件

境界条件の設定は、揚圧力、地下水位いずれも高めに評価されるよう、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。

この境界条件の設定に起因する水位の余裕について図 3.3-25 に示す。

図 3.3-25 の●は予測解析用の透水係数に変更した広域モデルの非定常解析結果から、地点 a~j（水位評価モデルの山側境界に相当する位置）の最大水位を読み取りプロットしたものである。旧沢筋に相当する地点 d, 地点 f は、地表面（◆）付近まで地下水位が上昇するものの、その他の地点の解析最大水位は地表面を下回ることを確認した。よって、予測解析においては、山側境界上の地下水位を全て地表面に固定することにより、対象領域の地下水位が高めに評価される。

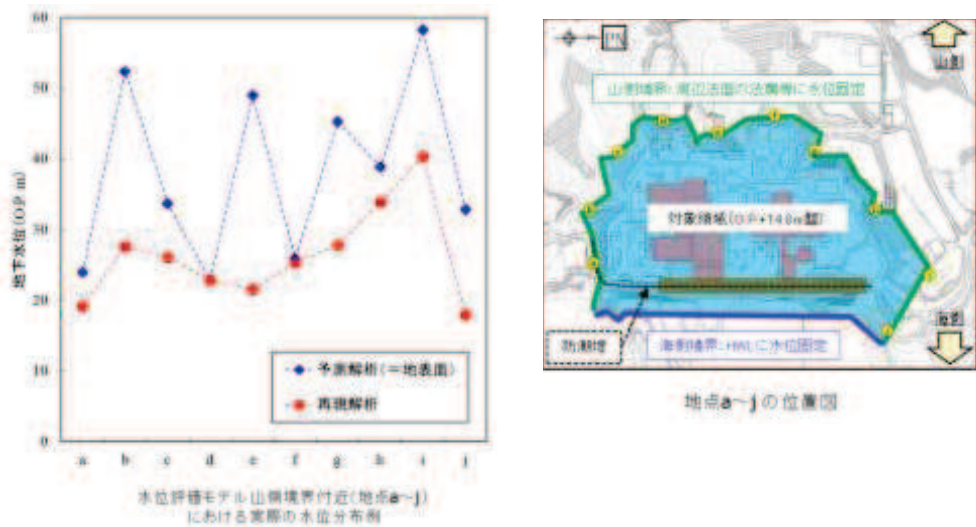


図 3.3-25 水位を高めめに評価する解析条件の設定

(e) ドレーンのモデル化

イ. 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水位を高めめに評価する。

ドレーンの有効範囲の設定プロセスを参考資料 5 に示す。

予測解析におけるドレーンの有効範囲は、図 3.3-26 に示す集水機能の基本検討フローに従い、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。

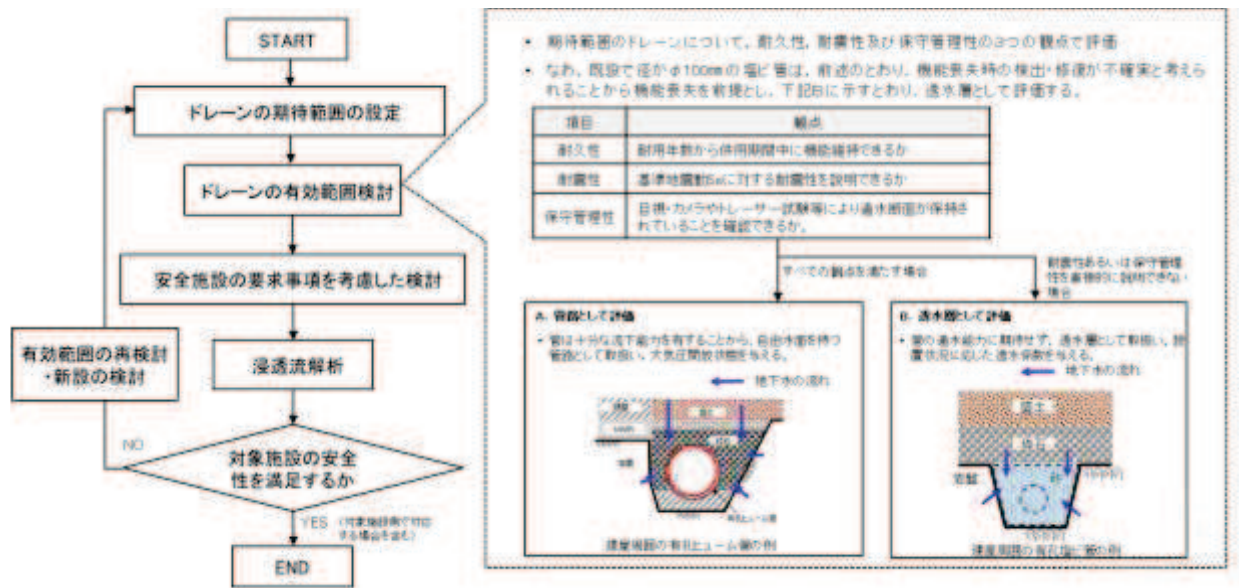


図 3.3-26 集水機能の信頼性に係る基本検討フロー

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 3.3-27 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 | |
| A 管路 | | 有孔ビューム管 | ○ | ○ | <ul style="list-style-type: none"> 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。 |
| | | | ○ | ○ | <ul style="list-style-type: none"> 構造の確認は直接目視・カメラ等による。モーメントを評価することを確認する。^{*1} 接継材料は、発生応力度がコンクリートおよび鉄筋の評価応力度を下回ることを確認する。^{*2} |
| B 透水層 | | 有孔塩ビ管 (3号機Hx/B直下) | ○ | ○ | <ul style="list-style-type: none"> 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、透水層として考慮し、この状況に応じた透水係数を設定する。 (透水係数は管内空相当の空隙が残ることを考慮し設定) |
| | | | ○ | △ | <ul style="list-style-type: none"> ただし、A. 管路と判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として扱う。 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流入する砕石を透水層として考慮し、この状況に応じた透水係数[*]を設定する。 |
| C 周辺の地盤 | | 有孔塩ビ管 (排気筒周辺) | ○ | × | 非考慮 |
| | | | ○ | — | |
| C-1 | | 有孔塩ビ管 (3号機T/B直下) | ○ | × | 非考慮 |
| | | | ○ | — | |

○: 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。
^{*}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(構造性能照査編)(2002)による
^{*}3 A(管路)に区分するドレーンは施設、B(透水層)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う。
^{*}4 本整理を積まると砕石層の透水係数を設定可能であるが、以降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 3.3-27 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 3.3-26 に示した基本検討フロー並びに図 3.3-27 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 3.3-28 のとおり設定した。

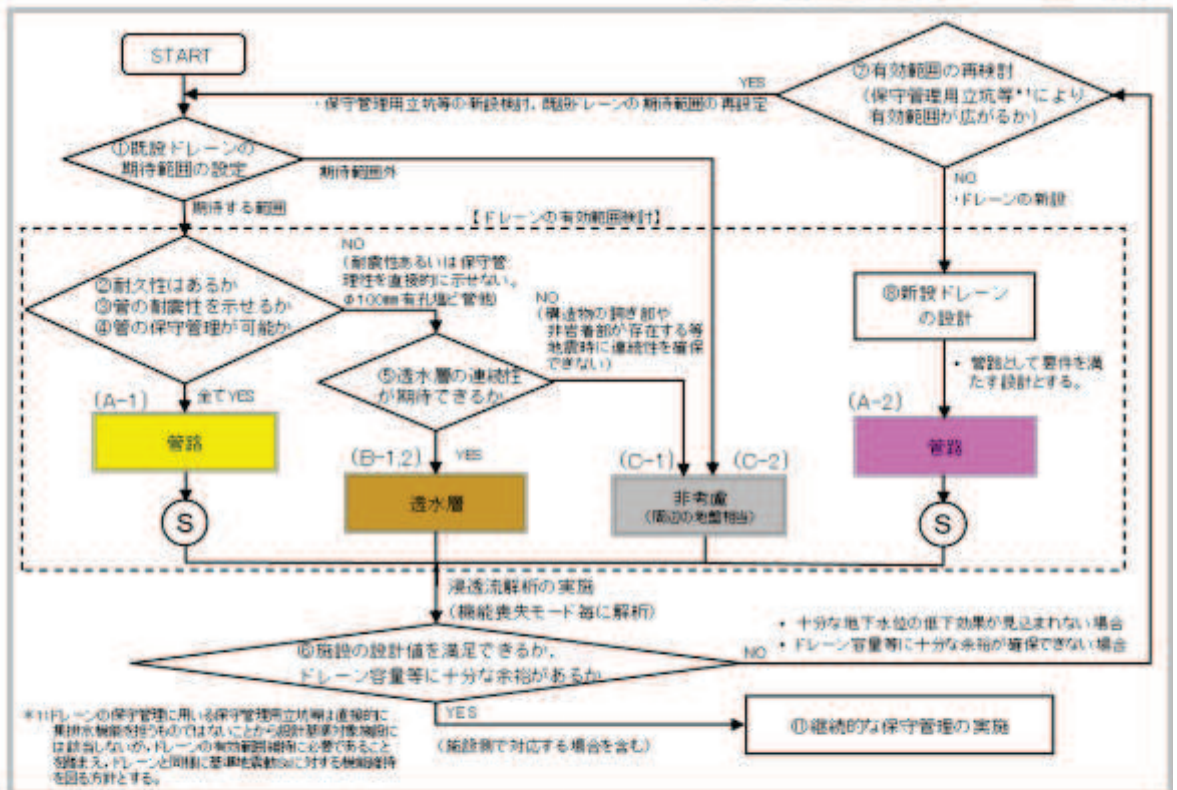
同フローでは、設置変更許可段階で示した方針と同様、ドレーンの期待範囲を設定した上で、耐久性・耐震性・保守管理性の観点等から「A. 管路」、「B. 透水層」、「C. 周辺の地盤」のいずれかに分類し、評価対象施設等の設計値を満足するよう新設も含めドレーン範囲を検討した。

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。

地下水位低下設備の概要を参考資料 6 に示す。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 3.3-29 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】

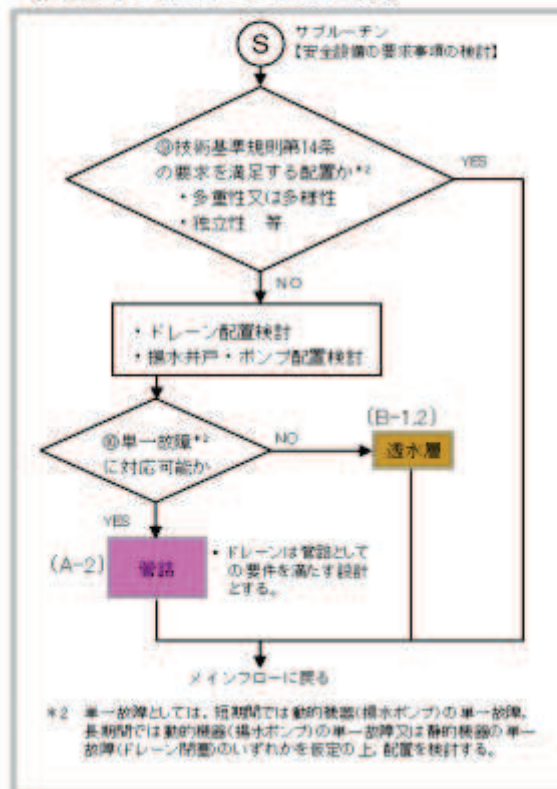


図 3.3-28 集水機能の信頼性に係る詳細検討フロー

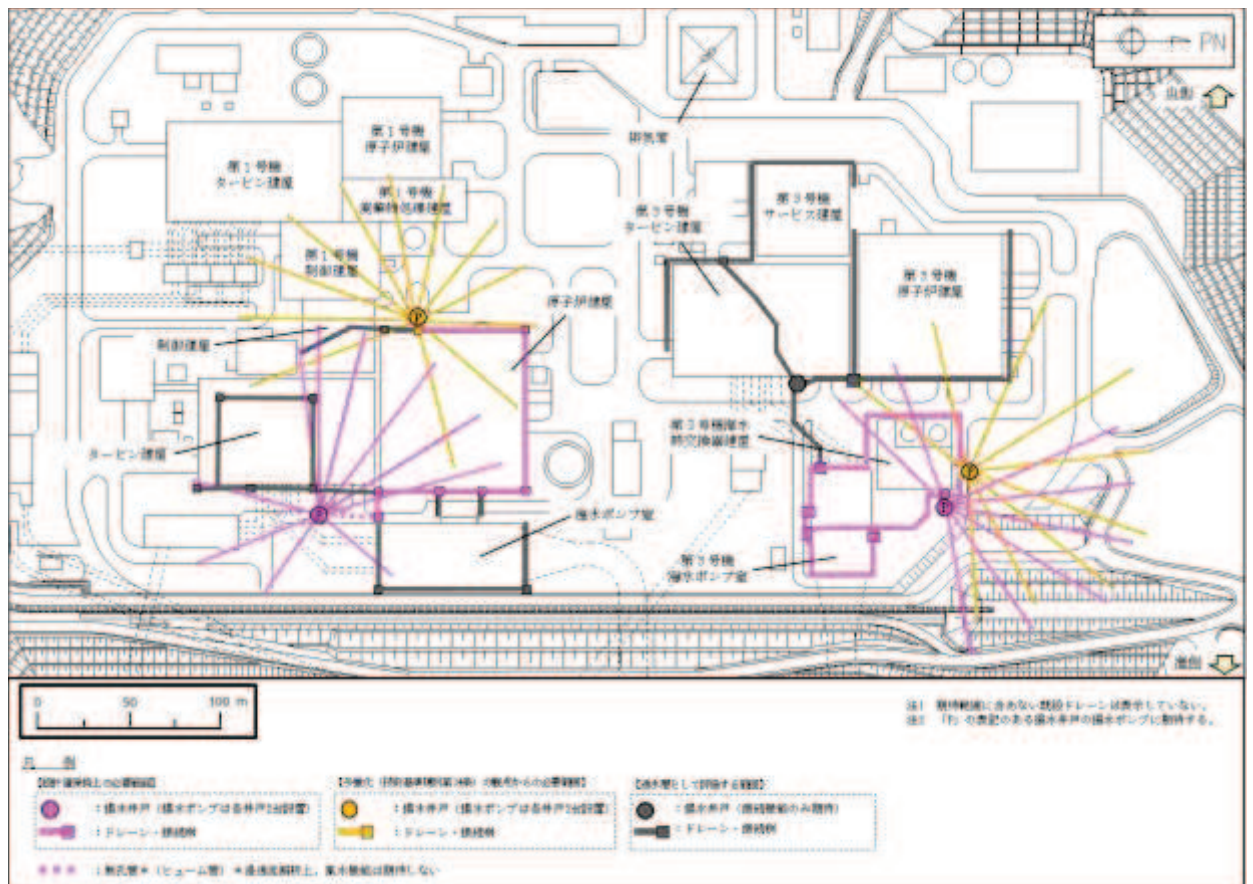
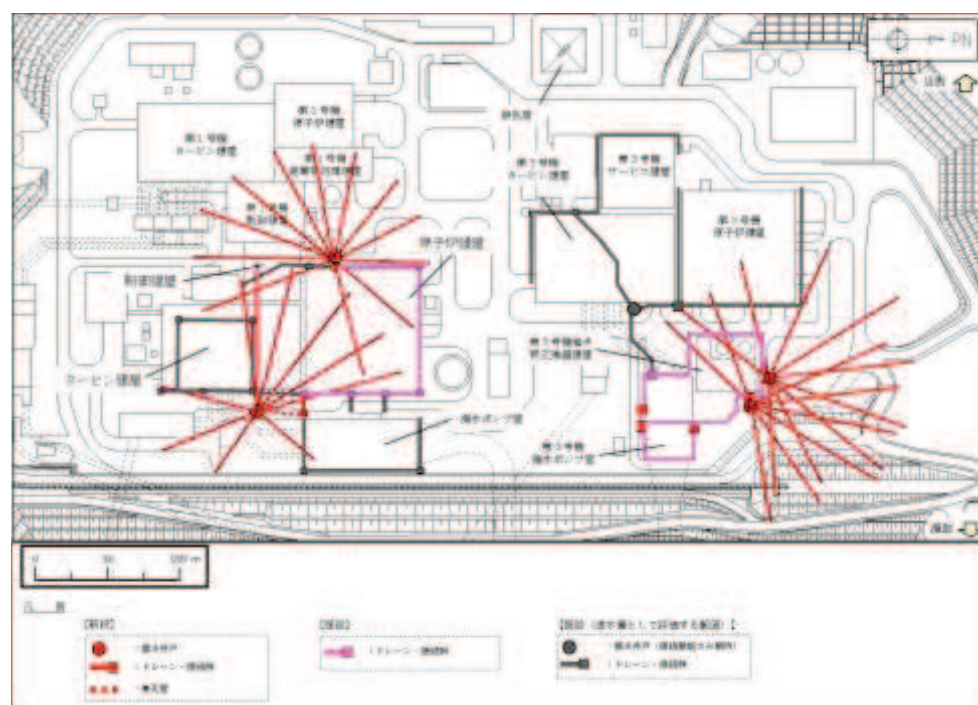


図 3.3-29 予測解析において参照する地下水位低下設備の配置

(補足) 既設と新設の地下水位低下設備について



既設と新設の地下水位低下設備の配置図

ロ. 水位評価における設備の運転状態を仮定したドレーン範囲の設定

浸透流解析においては、ドレーンの集水範囲の設定に応じた解析水位が評価されるが、この設定に影響を与える要因として、揚水ポンプ故障等による排水機能の喪失を考慮した。

地下水位低下設備の排水機能に着目し、揚水ポンプの運転状態と浸透流解析条件を整理した結果を表 3.3-11 に示す。

表 3.3-11(1)の通り、エリア内における揚水ポンプの運転状態(①～⑧)は、井戸の排水機能に着目すると(i)～(iv)の4通りに整理され、このうち地下水位を保持可能な(i)～(iii)を浸透流解析において考慮する。エリア内の全ての揚水ポンプが機能喪失した(iv)の状態(運転状態⑧)では、水位を設計用地下水位以下に保持できず復旧措置が必要となるが、この状態は浸透流解析においては考慮しない。(地下水位低下設備の設備構成や復旧措置に係る検討については、「VI-2-1-1-別添 1 地下水位低下設備の設計方針」に示す。)

表 3.3-11(2)は、2つのエリアでの同時発生を仮定し組合せを整理したものであるが、地下水位の保持が可能な組合せは7通りである。設計用地下水位は、3.3.2(1)に示した通り、液状化影響検討対象施設を幅広く抽出する観点から高めに設定する方針であることから、この7通りの組合せから解析水位が相対的に高く算出されるケースとして、両方のエリアで片側の揚水井戸が機能を喪失する組合せを浸透流解析ケースA～Dとして抽出した。

この整理を踏まえ、ケースA～Dの4ケースにて解析水位を評価し、得られた解析水位を高めに包絡するよう設計用地下水位を設定した。

各ケースにおけるドレーン範囲の設定を図 3.3-30 に示す。

なお、排水機能の喪失要因としてドレーンの部分閉塞も考慮しているが、揚水ポンプ故障等を想定し設定した浸透流解析ケースA～Dにて包絡される。(次項にて詳述)

表3.3-11 設備の運転状態と浸透流解析における取扱い

(1) 設備状態と排水機能・地下水位保持の関係 (原子炉建屋・制御建屋エリアの例)

■設備の運転状態と排水機能・地下水位の保持状況の関係
 ・揚水ポンプの状態(①~⑧)に対応し、排水機能と地下水位の保持の可否を整理。

| | No.1揚水井戸 | | | No.2揚水井戸 | | | 地下水位の保持 |
|---|----------|------|------|----------|------|------|---------|
| | ポンプA | ポンプB | 排水機能 | ポンプA | ポンプB | 排水機能 | |
| ① | × | ○ | 保持 | ○ | ○ | 保持 | 可能 |
| ② | ○ | ○ | 保持 | × | ○ | 保持 | 可能 |
| ③ | × | ○ | 保持 | × | ○ | 保持 | 可能 |
| ④ | × | × | 喪失 | ○ | ○ | 保持 | 可能 |
| ⑤ | ○ | ○ | 保持 | × | × | 喪失 | 可能 |
| ⑥ | × | × | 喪失 | × | ○ | 保持 | 可能 |
| ⑦ | ○ | × | 保持 | × | × | 喪失 | 可能 |
| ⑧ | × | × | 喪失 | × | × | 喪失 | 不可能 |



■揚水井戸単位での排水機能に着目したパターン整理
 ・左記①~⑧は井戸の排水機能に着目すると(i)~(iv)に集約され、
 ・地下水位を保持可能な(i)~(iii)を浸透流解析において考慮。

| | No.1揚水井戸の排水機能 | No.2揚水井戸の排水機能 | 地下水位の保持 | 備考 |
|-------|---------------|---------------|---------|---------------|
| (i) | 保持 | 保持 | 可能 | ①~③が該当 |
| (ii) | 喪失 | 保持 | | ④, ⑥が該当 |
| (iii) | 保持 | 喪失 | | ⑤, ⑦が該当 |
| (iv) | 喪失 | 喪失 | | 不可能*1 ⑧が該当 |

*1 設備の復旧措置が必要な状態であり、浸透流解析上は考慮しない。

注) ポンプ容量はエリアへの最大流入量を上回るため、エリア内の1個のポンプが動作する場合はそのポンプを設置する揚水井戸の排水機能は保持され、当該エリアの地下水位は設計揚圧力以下に保持される。

(2) エリア毎の組合せを考慮した浸透流解析ケース

■エリアの組合せを考慮したパターン整理
 ・2つのエリアでの同時発生を仮定すると、下表の組合せが生じる。(このうち地下水位の保持が可能な組合せは7通り)

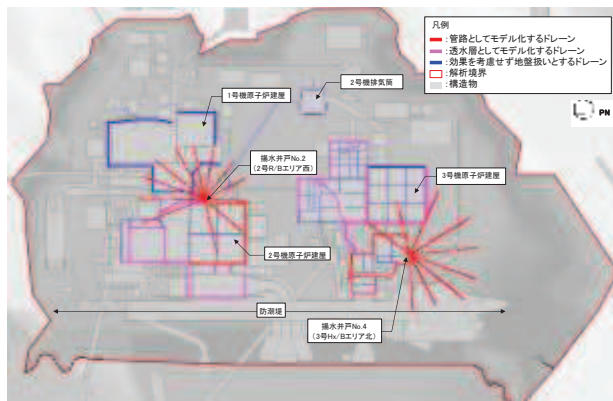
| | 原子炉建屋・制御建屋エリア | | 第3号機海水熱交換器建屋エリア | | 地下水位の保持 | 浸透流解析における取扱い |
|-------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------|--------------|
| | No.1揚水井戸の排水機能 | No.2揚水井戸の排水機能 | No.3揚水井戸の排水機能 | No.4揚水井戸の排水機能 | | |
| (i) | 保持 | 保持 | 保持 | 保持 | 可能 | 考慮する |
| (ii) | 喪失 | 保持 | 保持 | 保持 | | |
| | 喪失 | 保持 | 喪失 | 保持 | | |
| | 喪失 | 保持 | 保持 | 喪失 | | |
| (iii) | 保持 | 喪失 | 保持 | 保持 | 可能 | 考慮する |
| | 保持 | 喪失 | 喪失 | 保持 | | |
| | 保持 | 喪失 | 保持 | 喪失 | | |
| | 保持 | 喪失 | 喪失 | 喪失 | 不可能 | 考慮しない |
| (iv) | 喪失 | 喪失 | 喪失 | 喪失 | | |



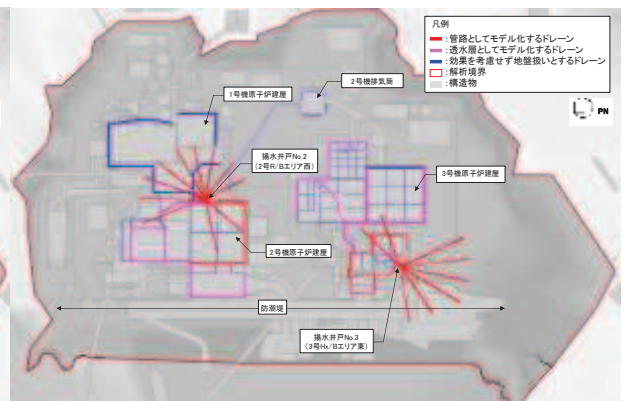
■浸透流解析ケースの設定(水位が高めに評価されるケースの選定)
 ・地下水位の保持が可能な7通りの組合せから、解析水位が相対的に高く算出されるケースとして、両方のエリアで片側の揚水井戸が機能を喪失する組合せを浸透流解析ケースA~Dとして抽出。

| | 原子炉建屋・制御建屋エリア | | 第3号機海水熱交換器建屋エリア | | 解析水位((i)に対して)*2 | 浸透流解析ケース |
|-------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|----------|
| | No.1揚水井戸の排水機能 | No.2揚水井戸の排水機能 | No.3揚水井戸の排水機能 | No.4揚水井戸の排水機能 | | |
| (i) | 保持 | 保持 | 保持 | 保持 | - | - |
| (ii) | 喪失 | 保持 | 保持 | 保持 | やや高い | - |
| | 喪失 | 保持 | 喪失 | 保持 | 高い | ケースA |
| | 喪失 | 保持 | 保持 | 喪失 | 高い | ケースB |
| (iii) | 保持 | 喪失 | 保持 | 保持 | やや高い | - |
| | 保持 | 喪失 | 喪失 | 保持 | 高い | ケースC |
| | 保持 | 喪失 | 保持 | 喪失 | 高い | ケースD |

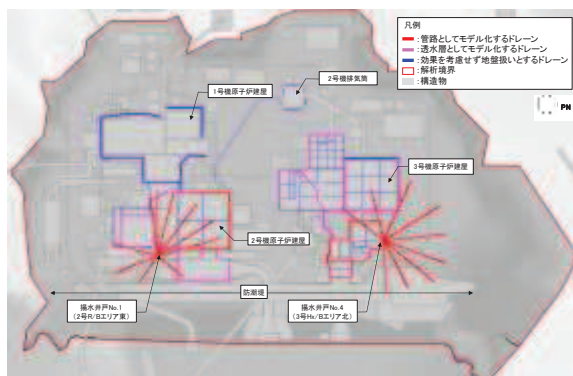
*2 解析水位は、各エリア2基の揚水井戸から排水される(i)をベースとし、いずれかのエリアで片側の揚水井戸が機能を喪失した状態を「やや高い」、両方のエリアで片側の揚水井戸が機能を喪失した状態を「高い」と記載。



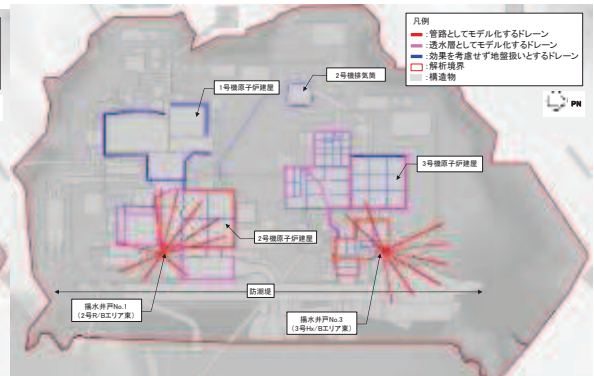
(a) ケース A



(b) ケース B



(c) ケース C



(d) ケース D

図3.3-30 設計用地下水水位の設定において参照する解析ケース

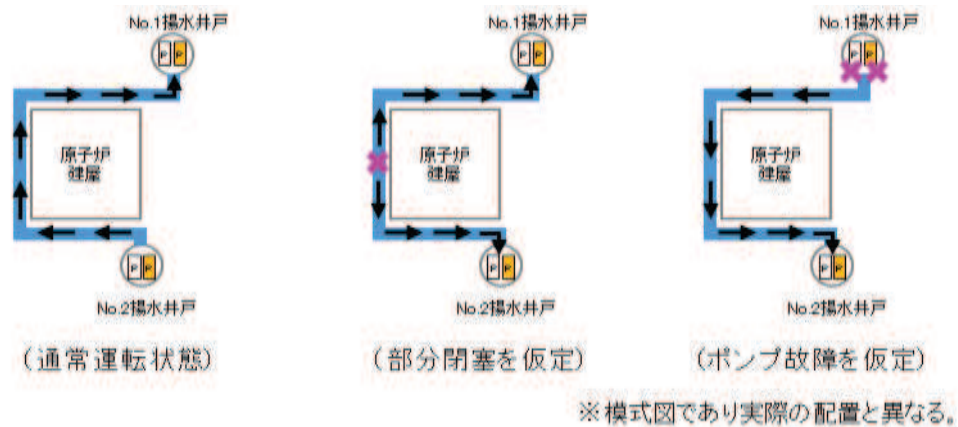
ハ. ドレーンの部分閉塞の取扱い

ドレーンは、イ項で示したとおり、耐久性、耐震性並びに保守管理性の3つの観点に加えて、土砂等によるドレーンの部分閉塞を仮定しても集水機能に影響がない範囲を考慮している。

(補足) ドレーンの部分閉塞時のイメージ

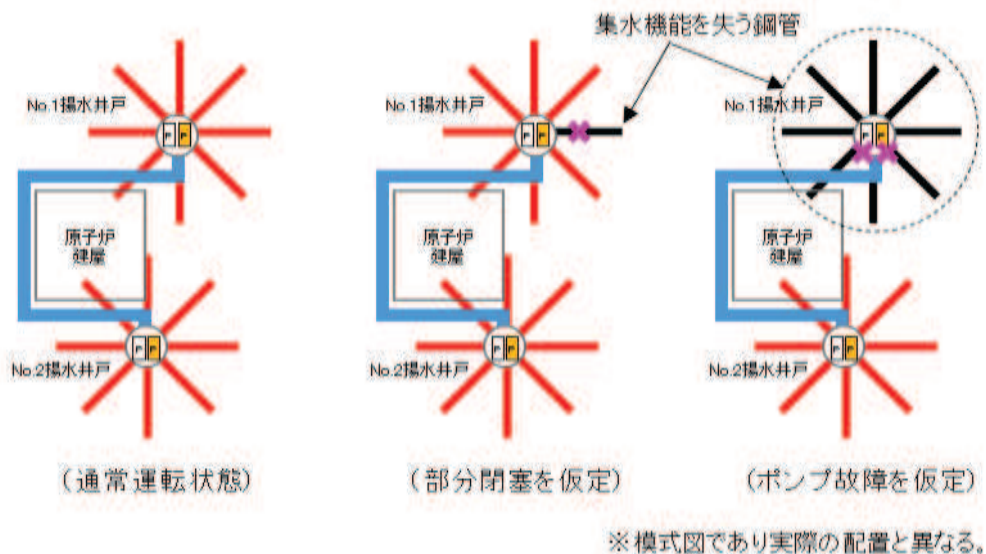
(1) ヒューム管 (φ 500~1050mm)

- ・既往の点検実績や設置環境から土砂の供給が少ない状況であり、部分閉塞の可能性は極めて小さい(参考資料1-1)。
- ・ヒューム管自体は多重化されていないが、どの位置で部分閉塞してもエリア内のいずれかの揚水井戸へ地下水を流下可能な範囲に限定し、管路としての効果を期待している。(参考資料7)。



(2) 鋼管 (φ 142.5mm)

- ・岩盤中に設置されるため土砂の供給がない。
- ・1方向に流下する構造であり、部分閉塞時は当該鋼管からの集水は期待できないが、揚水ポンプ故障時には当該ポンプへ集水される全ての鋼管が無効となるため、当該ドレーンの部分閉塞事象は「揚水ポンプ故障」に包含される。



ニ. ドレーンの集水機能保持の前提について

ドレーンによる集水機能が保持されるための前提条件として、施工、保守管理、構内排水路の機能保持の観点から整理した。

(イ) 新設するドレーンの施工

新設するドレーンの施工成立性を確認するため、施工手順を検討するとともに、試験施工を実施した。試験施工により、ドレーン設置に必要な所定の距離の掘進及び鋼管挿入・設置が可能であることを確認した（参考資料 8）。

(ロ) 保守管理

既設のヒューム管内部への土砂等の流入は非常に少なく*1、ドレーン内部への土砂堆積は非常に緩速に進行する（新設する鋼管は岩盤内に設置するため、土砂等が流入する可能性は非常に小さい）。

浸透流解析において考慮するドレーンは、既設・新設のうち耐久性・耐震性・保守管理性が確保できる範囲として設定。土砂による閉塞以外の要因も含め、集水機能を喪失しうる要因を網羅的に抽出した上で、設計（耐久性・耐震性の確保）並びに保守管理により機能を維持することが可能と整理している。また、実機を用いた試験施工により、カメラ等によるドレーン内部の確認や高圧洗浄による土砂の除去など、保守管理方法の成立性を確認している。（参考資料9）

更に、地下水水位低下設備は「予防保全」の対象と位置付け管理する方針*2としており、排水機能を担うドレーンについても保全計画を定め、定期的な点検・土砂排除により機能維持を図ることから、管の閉塞に至るリスクはなく、有孔部からの流入土砂に起因するドレーン機能の喪失は保守的な想定である。

注記*1：2017～2018年に既設ヒューム管内部の目視確認を実施。既設ドレーンは事後保全対象としていたため、設備供用開始以降、ドレーン内部の土砂排除等の手入れは実施していないが、管底部に僅かに堆積が確認される程度（堆積土砂はシルト相当）であることを確認。また、有孔部の閉塞も生じていないこと、設備の著しい損傷等が無いことを確認。（第2号機の供用開始は1995年7月であり、目視確認時点で約23年が経過。第3号機の供用開始は2002年1月であり、目視確認時点で約16年が経過）

注記*2：VI-2-1-1-別添1 地下水水位低下設備の設計方針 7.運用管理・保守管理を参照

(ハ) 構内排水路

ドレーンで集水された地下水は、揚水ポンプ・配管により揚水井戸の構内排水路へ排水される。

構内排水路へ構内排水路のうち幹線排水路は岩盤又は改良地盤等に支持されており、地震後に閉塞等が生じる可能性は低いが、排水機能が喪失した状況も考慮し、揚水井戸内の配管上部に設置する分岐管に仮設ホースを接続可能な設計としており、仮設ホースにて構内排水路の健全部分へ地下水を流す運用とすることにより、排水機能を保持する設計とする（構内排水路の概要については参考資料1-2に示す）。

(f) 浸透流解析条件まとめ（水位評価モデル）

表 3.3-12 に、水位評価モデルの解析条件一覧を示す。

表 3.3-12 水位評価モデルの概要

| 項目 | 水位評価モデル |
|---------------|--|
| 1a. 目的 | 工事完了後に想定される地下水位を評価（液状化影響検討対象施設を幅広く抽出するため高めに評価） |
| 1b. アウトプットの活用 | 耐震設計（各施設） |
| 2. 解析コード | ・ GETFLOWS Ver. 6.64.0.2 |
| 3a. 解析領域 | <p>・ 0. P. +14. 8m 盤及び 0. P. +14. 8m 周辺の法面</p>  |
| 3b. 格子数 | <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 | ・ 定常解析 |
| 5. 気象条件・蒸発散 | －（降雨条件を考慮しない） |
| 6a. モデル（地形） | ・ 安全対策工事完了段階に対応した状態 |
| 6b. 〃（地盤） | ・ 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） | ・ 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"> ・ 集水に寄与する範囲を限定（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"> ・ 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：海側：朔望平均満潮位に水位固定（地中連壁の影響は保守的に考慮しない） － 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"> ・ 水位が高めに評価されるよう設定（岩盤 I を試験結果の平均値 -1σ） |
| 9. 有効間隙率 | － |
| 10. 粗度係数 | － |

b. アウトプット

(a) 建物・構築物及び土木構造物

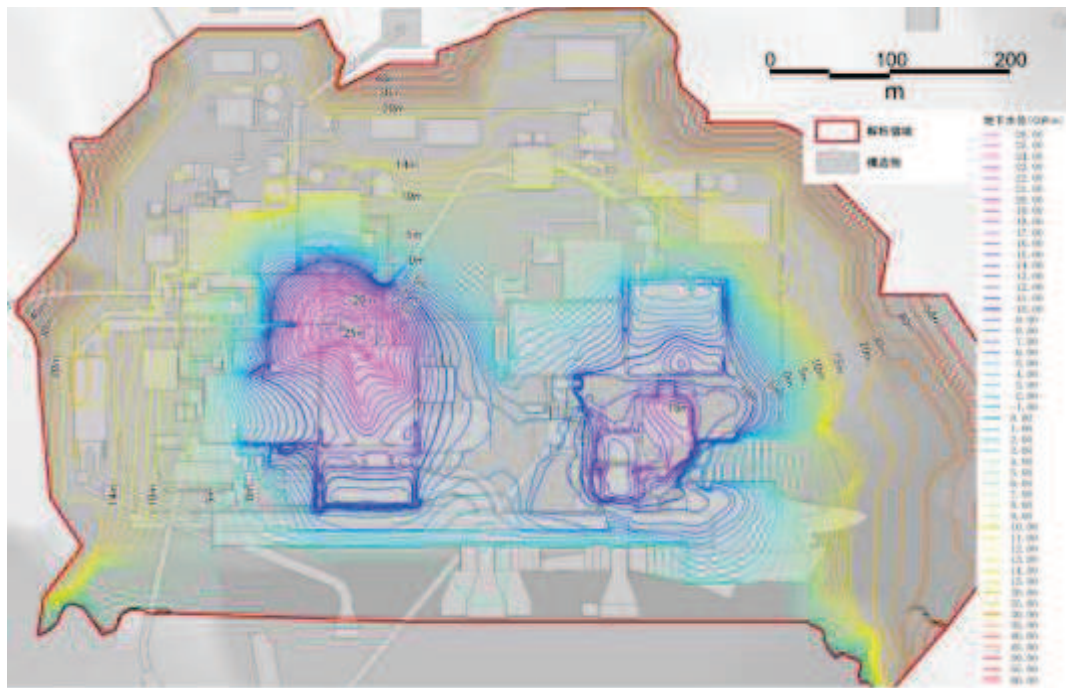
図3.3-30に示すドレーン状態に応じたケースA～ケースDの予測解析の結果として、地下水位コンター図及び流線図（平面図，断面図）を図3.3-31～図3.3-34に示す。

（地下水位コンター図について）

- ・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。

（流線図について）

- ・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。これは地下水位コンター図とも整合的である。
- ・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。

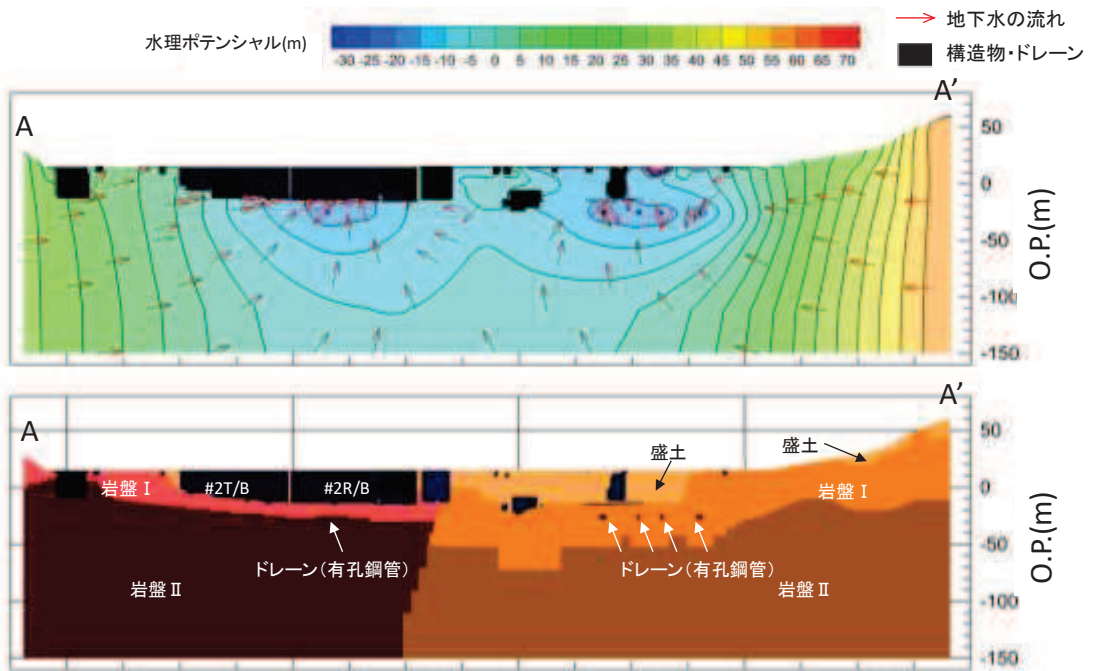


(a) 地下水位コンター図

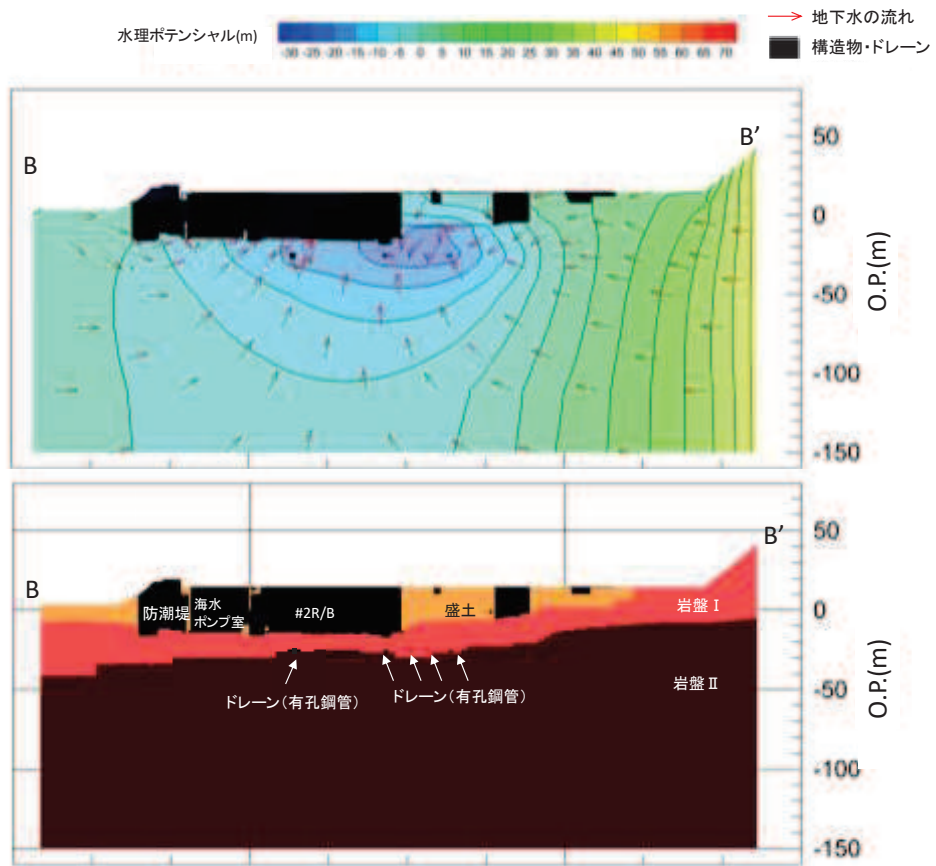


(b) 流線図 (平面図)

図3.3-31(1) 予測解析結果 (ケースA)

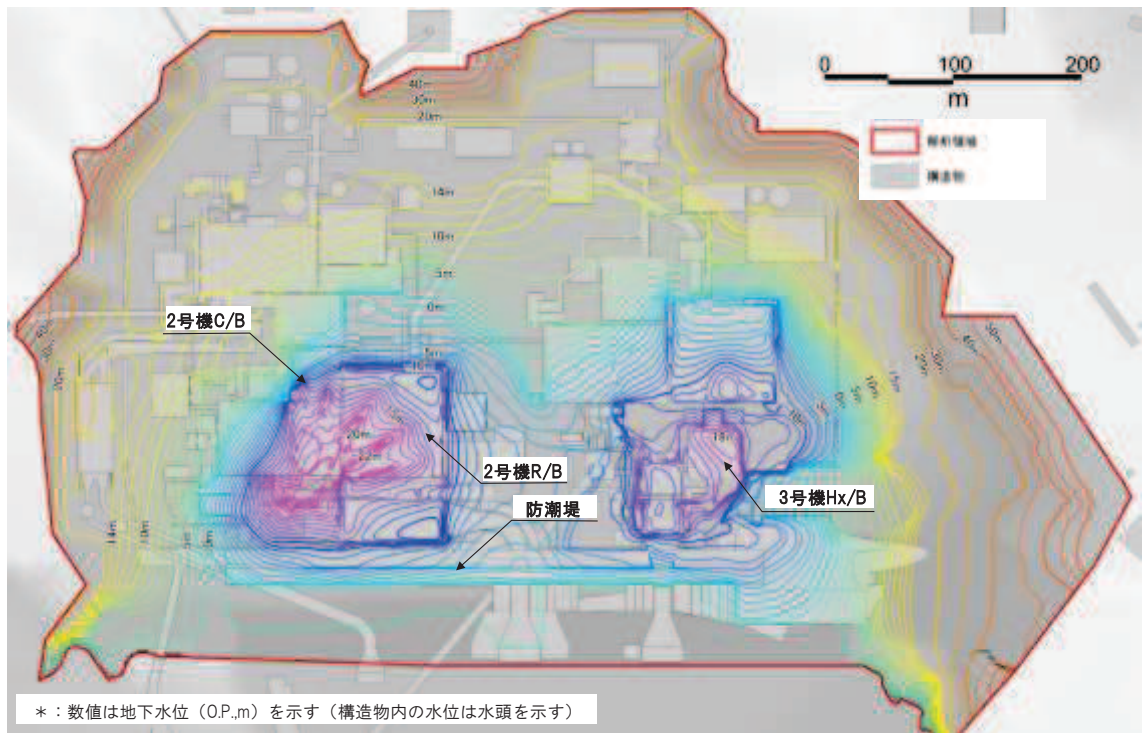


(b) 流線図及びモデル図 (A-A' 断面)

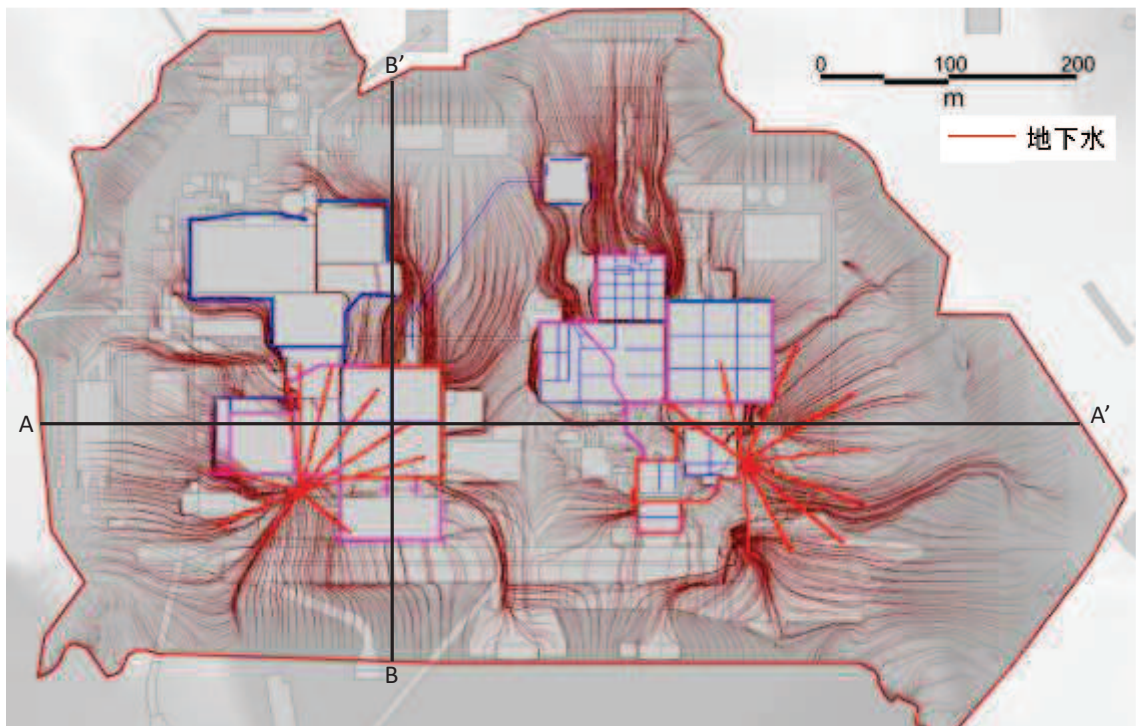


(d) 流線図及びモデル図 (B-B' 断面)

図3.3-31(2) 予測解析結果 (ケースA)

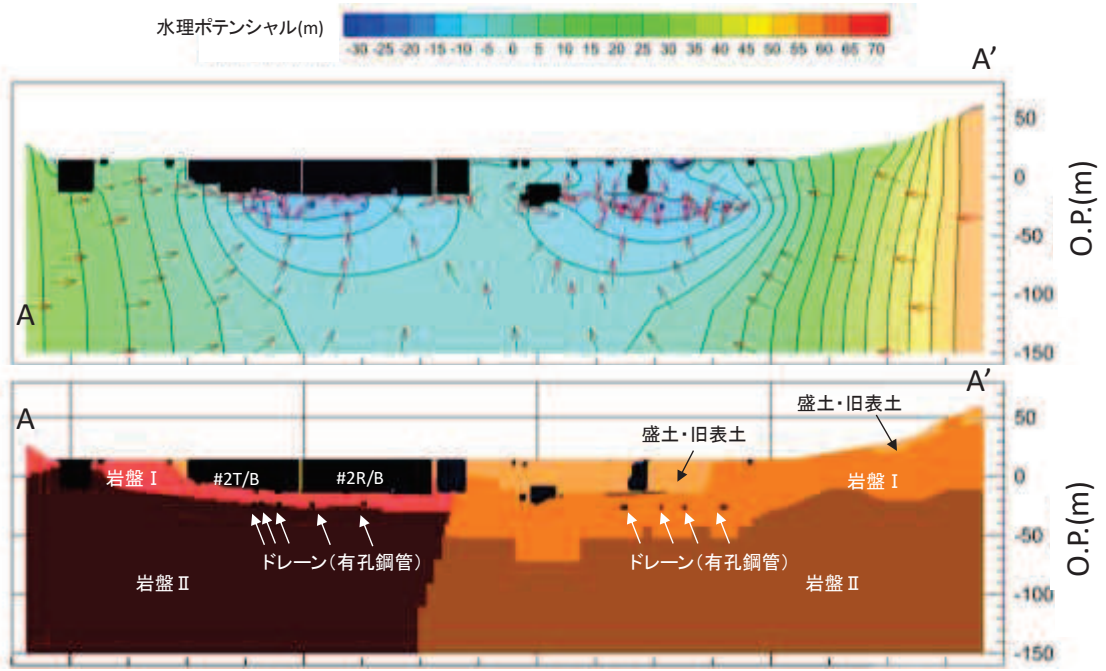


(a) 地下水位コンター図

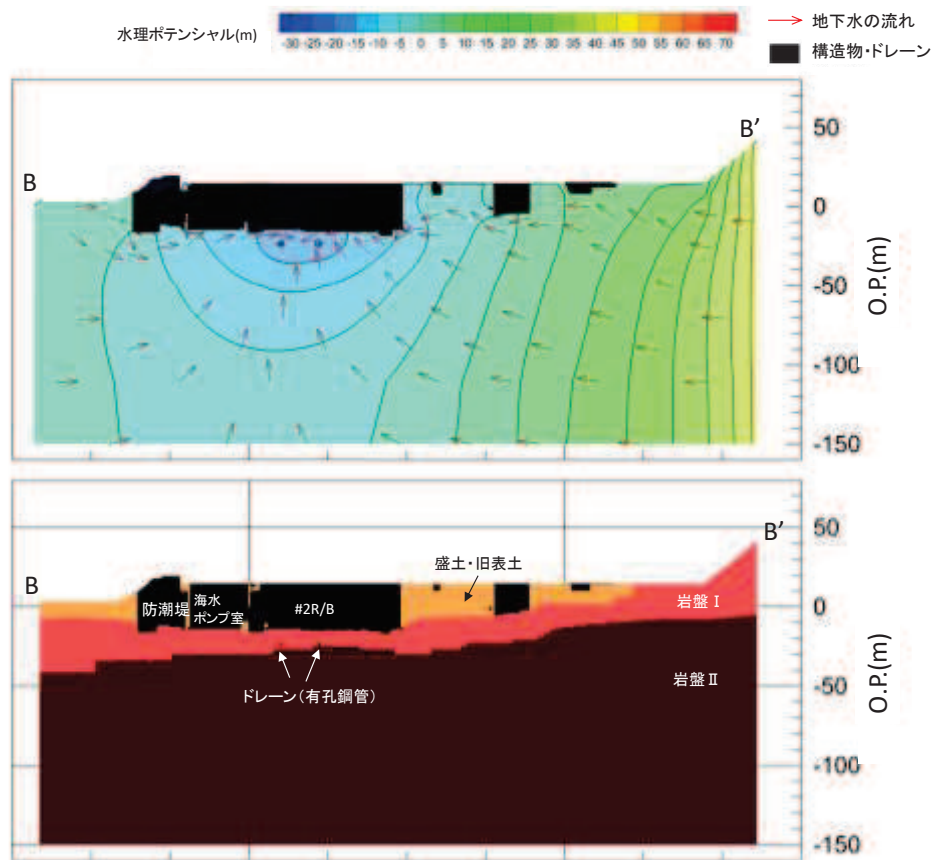


(b) 流線図 (平面図)

図3.3-32(1) 予測解析結果 (ケースB)

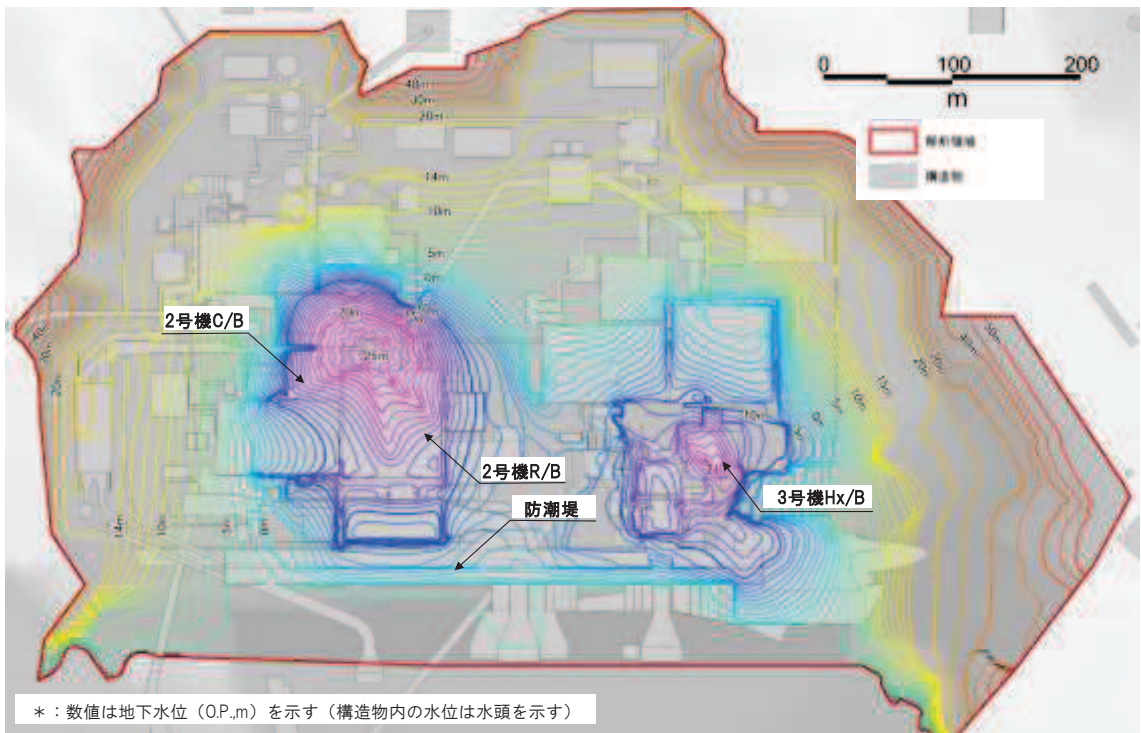


(c) 流線図及びモデル図 (A-A' 断面)

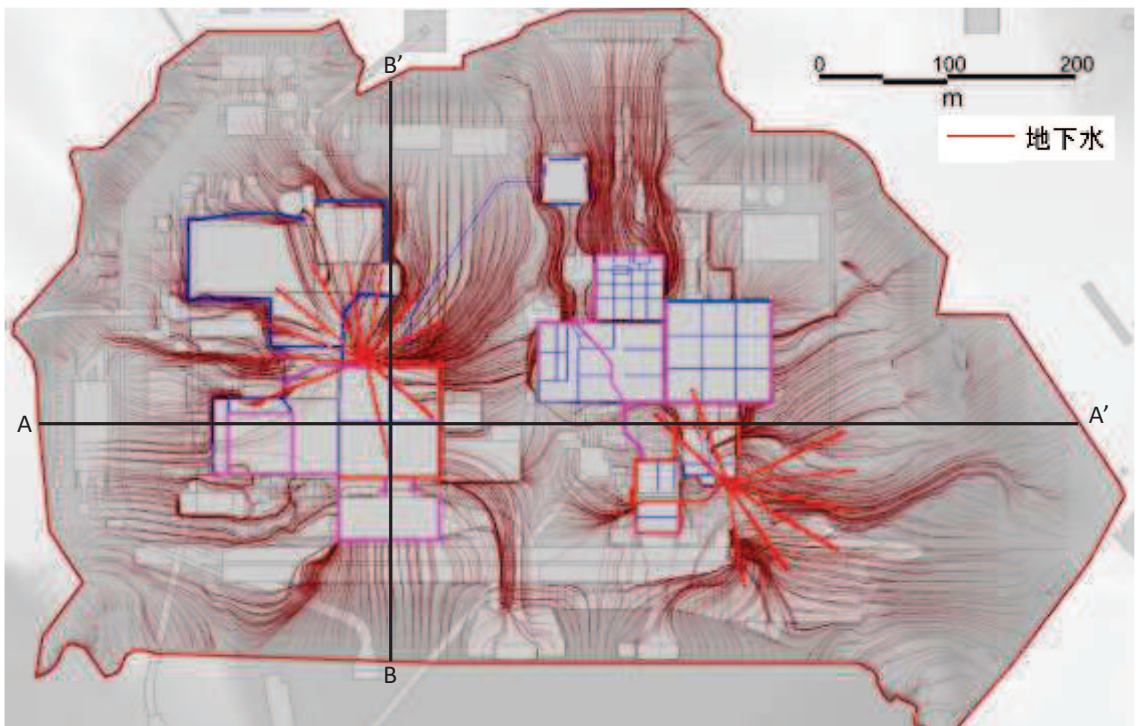


(d) 流線図及びモデル図 (B-B' 断面)

図3.3-32(2) 予測解析結果 (ケース B)



(a) 地下水位コンター図



(b) 流線図 (平面図)

図3.3-33(1) 予測解析結果 (ケースC)

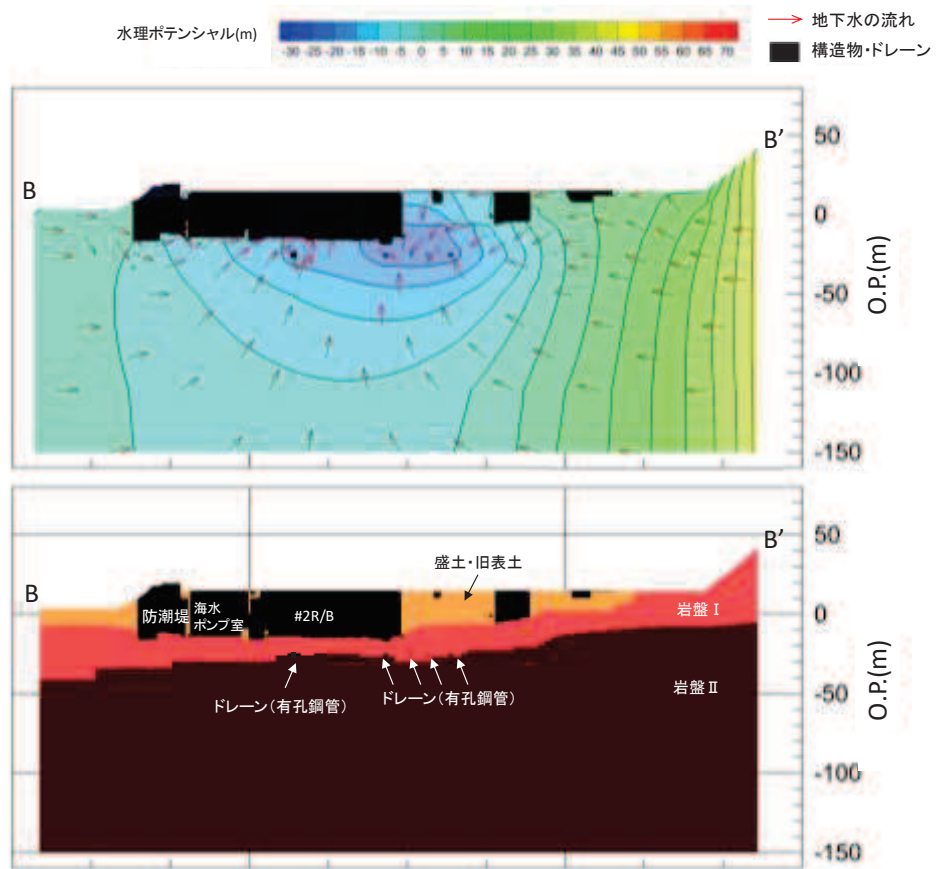
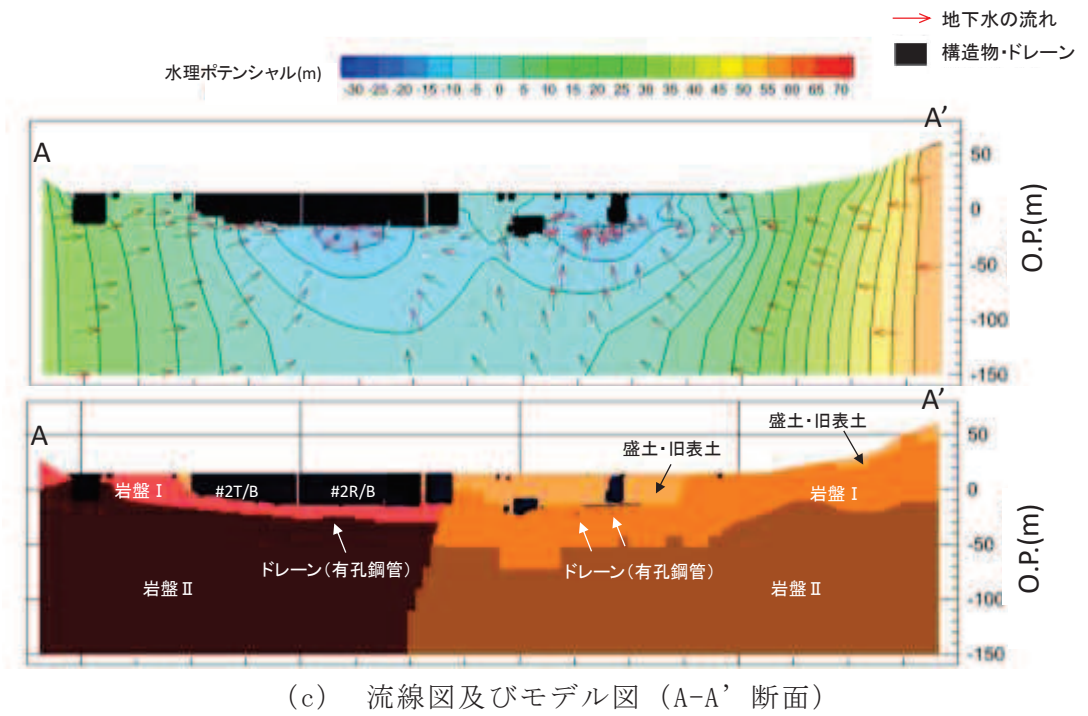
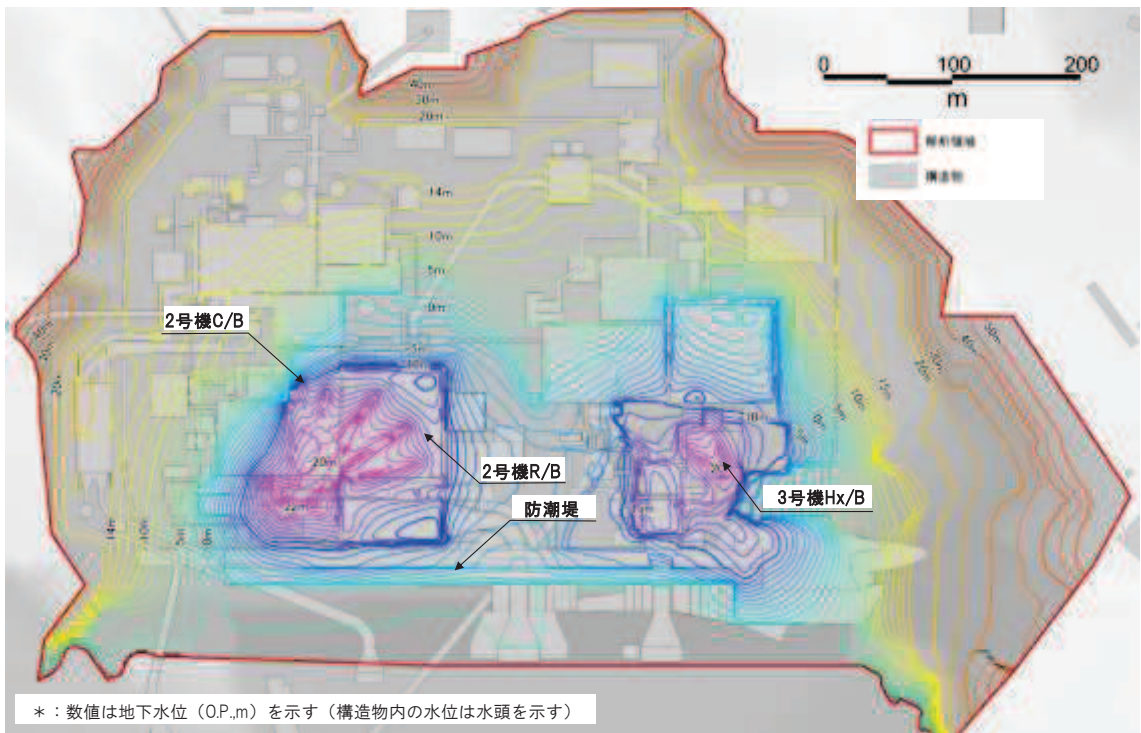
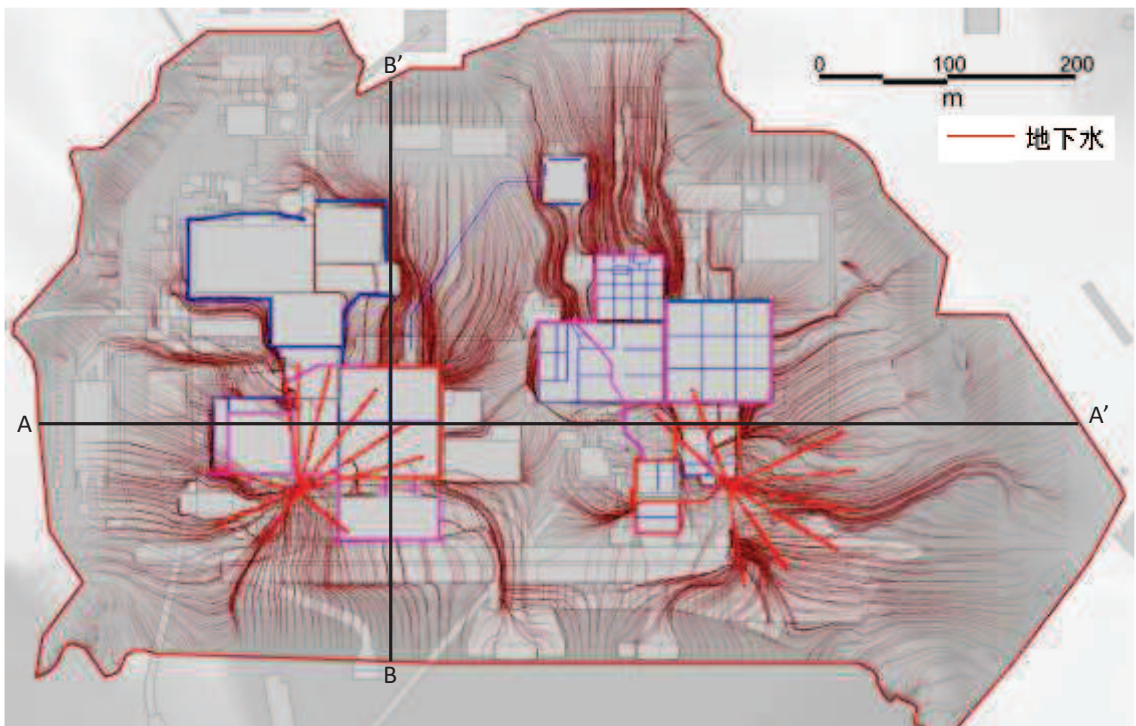


図3.3-33(2) 予測解析結果 (ケースC)

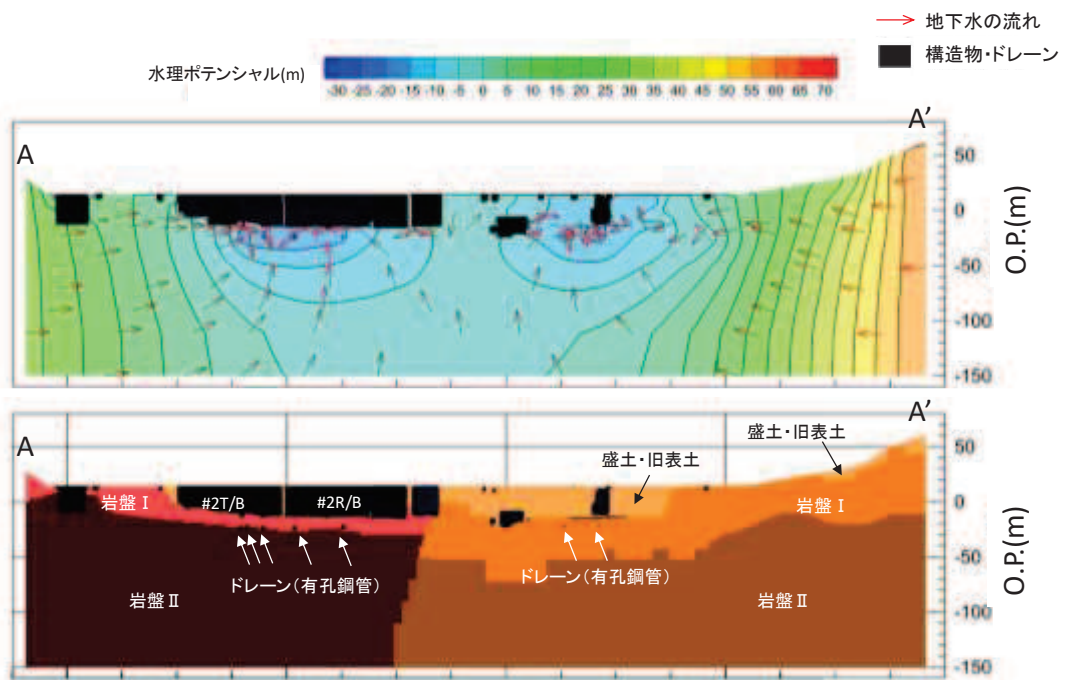


(a) 地下水位コンター図

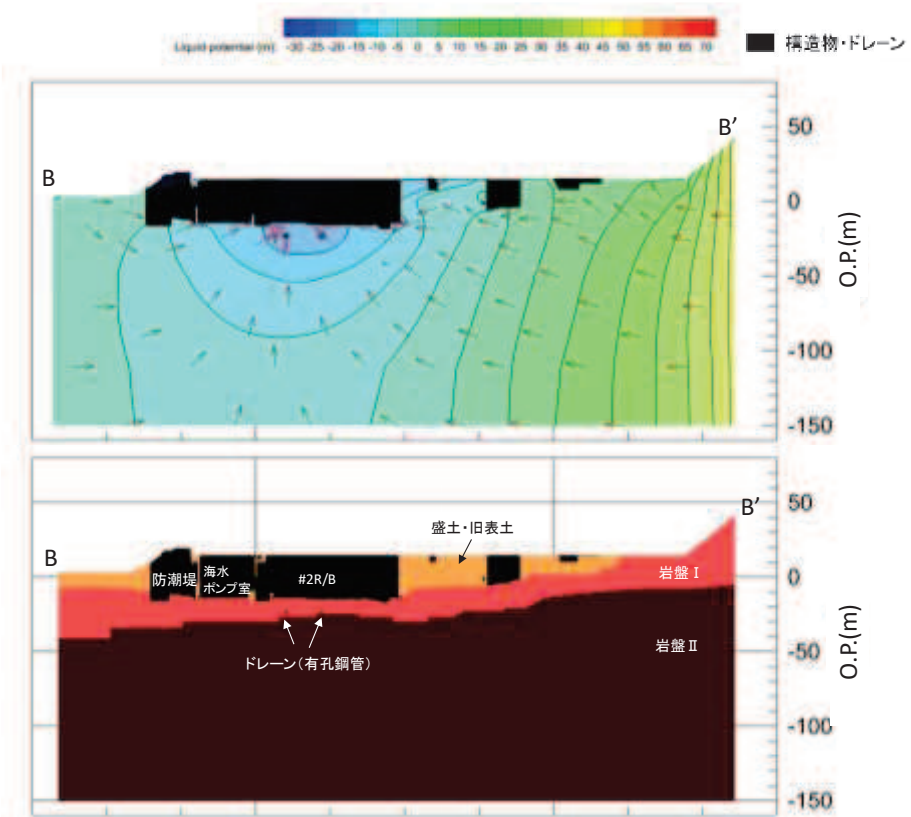


(b) 流線図 (平面図)

図3.3-34(1) 予測解析結果 (ケースD)



(c) 流線図及びモデル図 (A-A' 断面)



(d) 流線図及びモデル図 (B-B' 断面)

図3.3-34(2) 予測解析結果 (ケースD)

図3.3-31～図3.3-34に示す4ケースの解析水位を包絡させるように作成した、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3.3-35に示す。

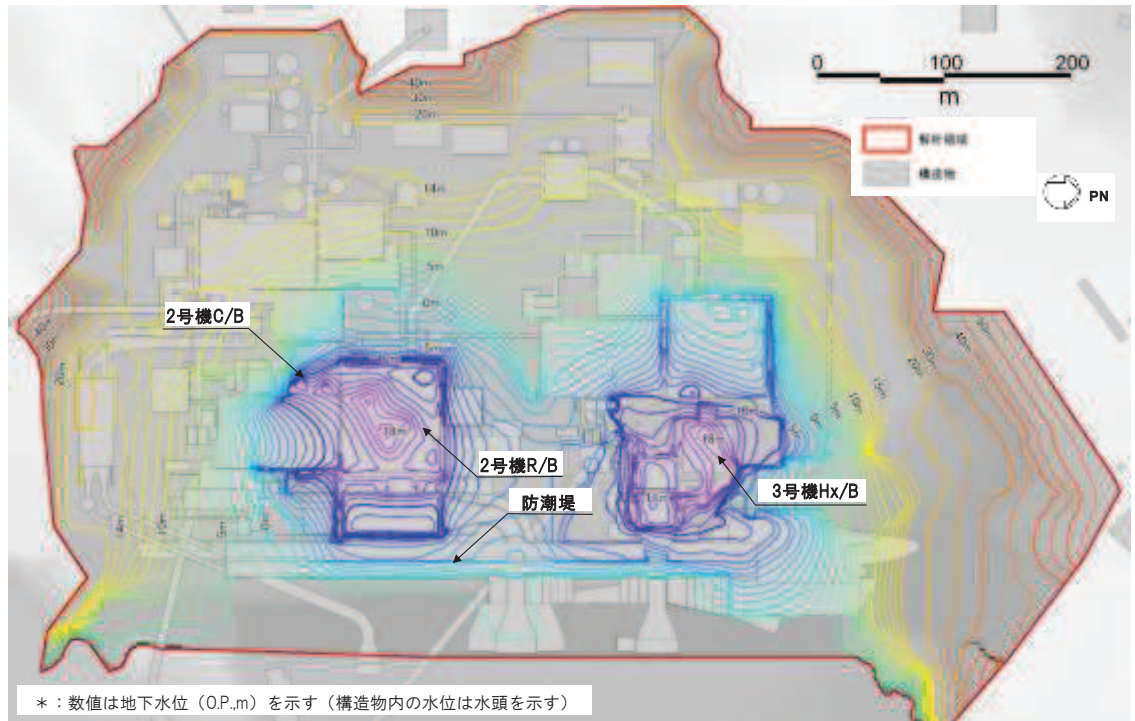


図3.3-35 設計用地下水位の設定において参照する敷地の地下水位分布
(ケースA～Dの予測解析により求めた地下水位の包絡水位)

(b) アクセスルート

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の評価においては、液状化に伴う地中埋設構造物の浮上りによる車両の通行性への影響を評価することとしており、0.P.+14.8m盤のアクセスルートについては浸透流解析により得られた解析水位分布を包絡するように保守的に設定する方針としている。

0.P.+14.8m盤の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3.3-36に示す。

この地下水位分布は、ポンプ故障等により通常の運転状態（各エリア2系統にて集水する定常状態）から地下水位低下設備の機能を考慮しない状態に移行してから2ヵ月後の状態に対応する。

なお、同評価において、防潮堤より海側（0.P.+3.5m盤）については、朔望平均満潮位である0.P.+2.43mとし、上記以外の箇所については地下水位を地表面に設定する。

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の評価における地下水位の設定及び評価内容については、「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。

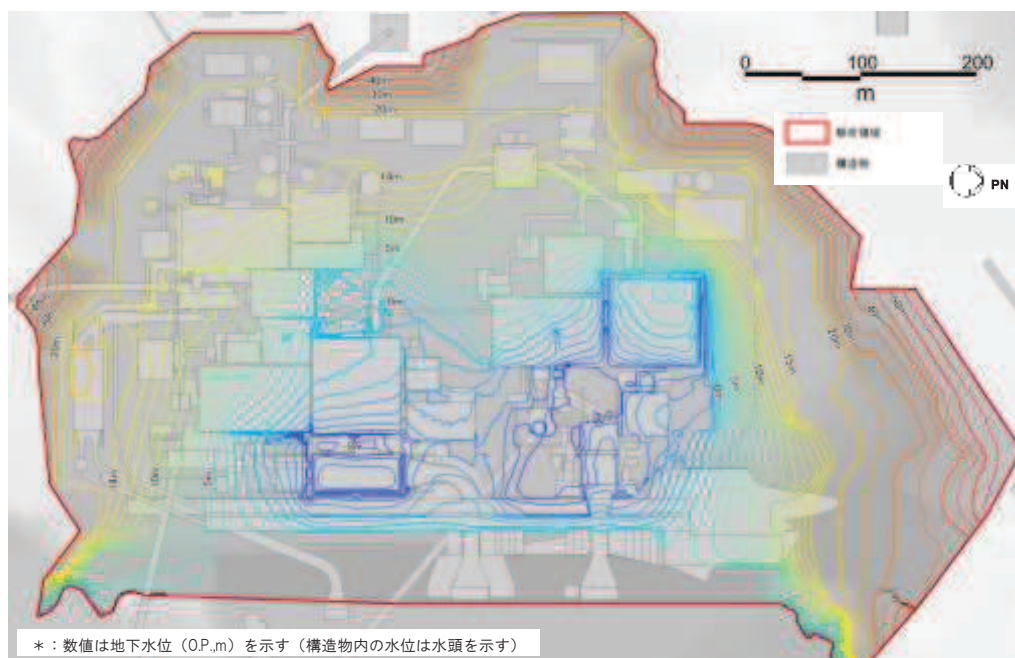


図 3.3-36 アクセスルートの評価において参照する地下水位分布 (0.P., m)

(6) 設計用地下水位の設定

予測解析に基づく設計用地下水位の設定結果を以下に示す。

(a) 建物・構築物の揚圧力

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 3.3-13 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 3.3-37～図 3.3-41 に示す。

表 3.3-13 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0.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0.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0.P. -12.5m～ 0.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0.P. -4.0m) | 0.P. +5.0m | 0.P. +13.8m | 0.P. +14.8m | 地表面 |
| 緊急時対策建屋 (基礎底面0.P. +45.5m) | — * ² | — (解析領域外) | 0.P. +62.0m | 地表面 |
| 緊急用電気品建屋 (基礎底面0.P. +52.9m) | — * ² | — (解析領域外) | 0.P. +62.3m | 地表面 |

注記*1：建屋底面に作用する平均揚圧力

注記*2：建設時の工事計画認可申請対象外

(補足) 建屋平均揚圧力の算定方法について

建屋全体での平均揚圧力は、格子単位で基礎底面に作用する揚圧力を算出し、各格子の面積の重みを付けた下記式を用いて加重平均により算出する。

$$LP_{ave} = \frac{\sum(LP_{ij} \times S_{ij})}{\sum S_{ij}}$$

ここに、

LP_{ave} : 建屋に作用する平均揚圧力 [m]

LP_{ij} : 格子の建屋基礎底面に作用する揚圧力 [m]

S_{ij} : 格子の格子面積 [m²]

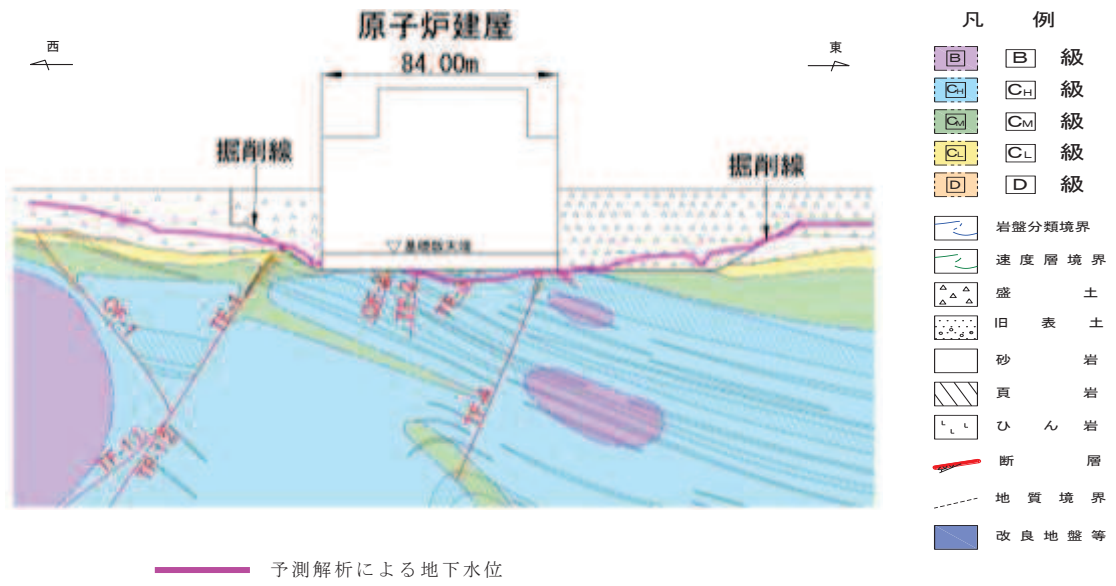


図 3.3-37 原子炉建屋周辺の地下水位分布(東西)

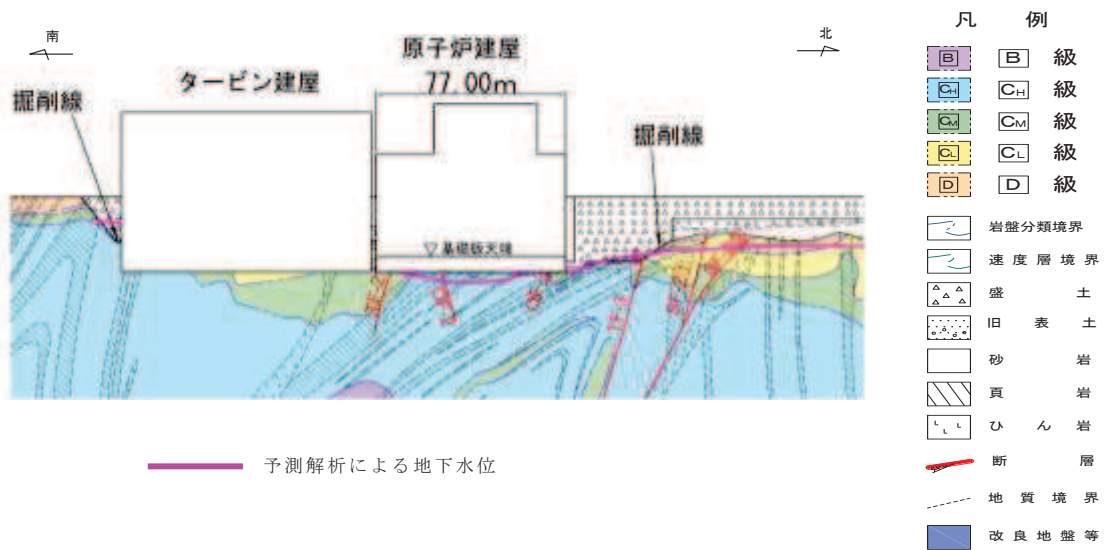


図 3.3-38 原子炉建屋周辺の地下水位分布(南北)

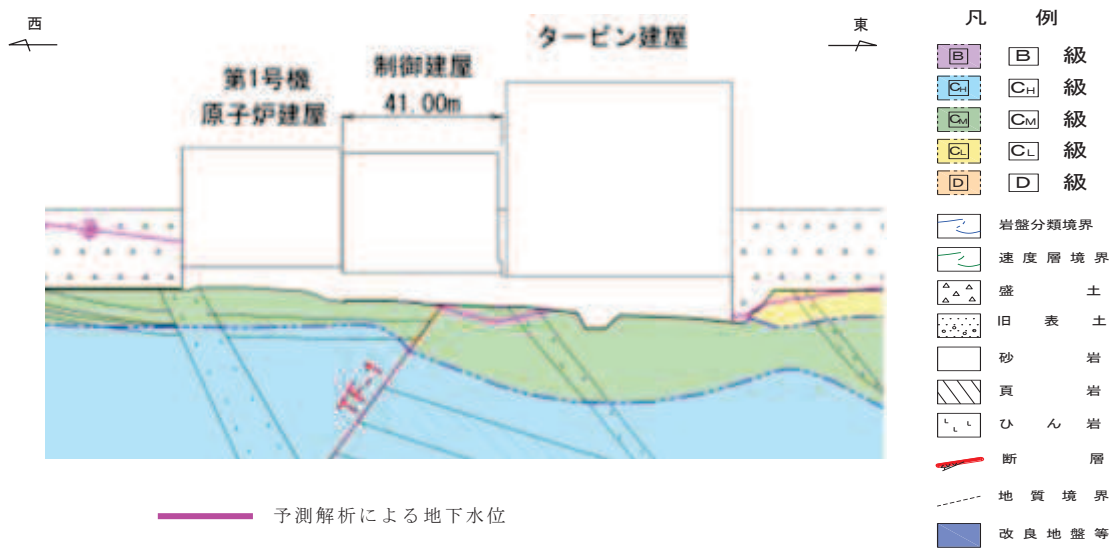


図 3.3-39 制御建屋周辺の地下水位分布

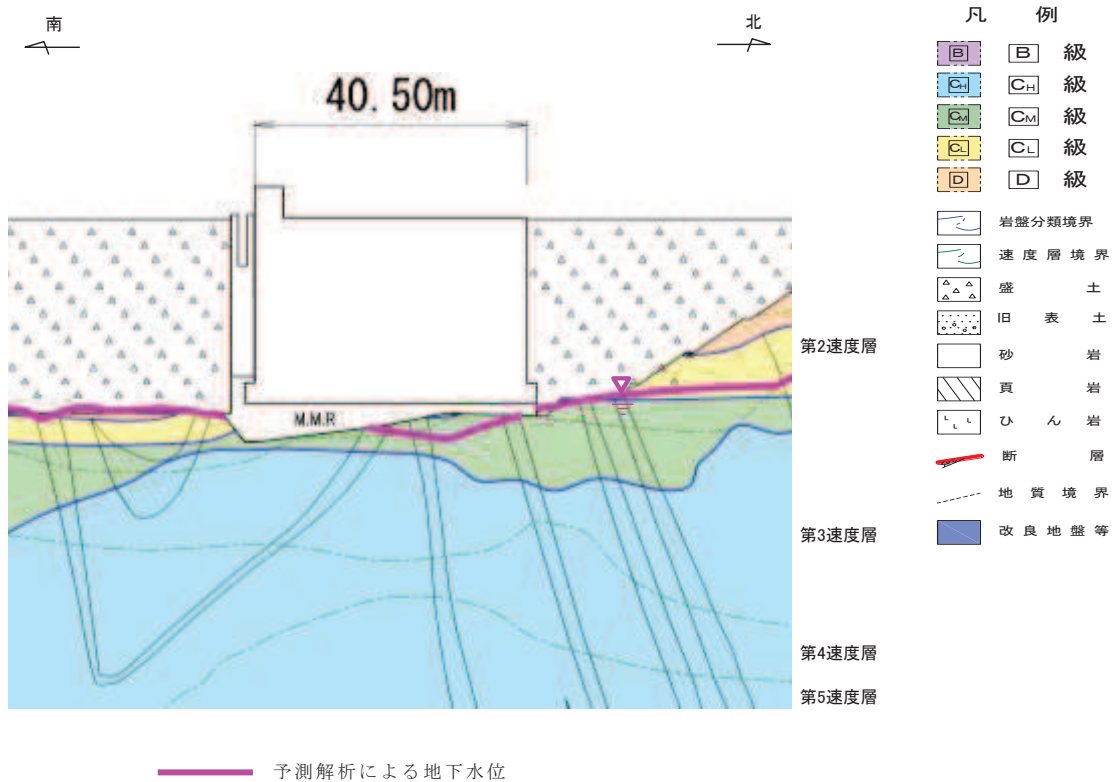


図 3.3-40 第3号機海水熱交換器建屋周辺の地下水位分布

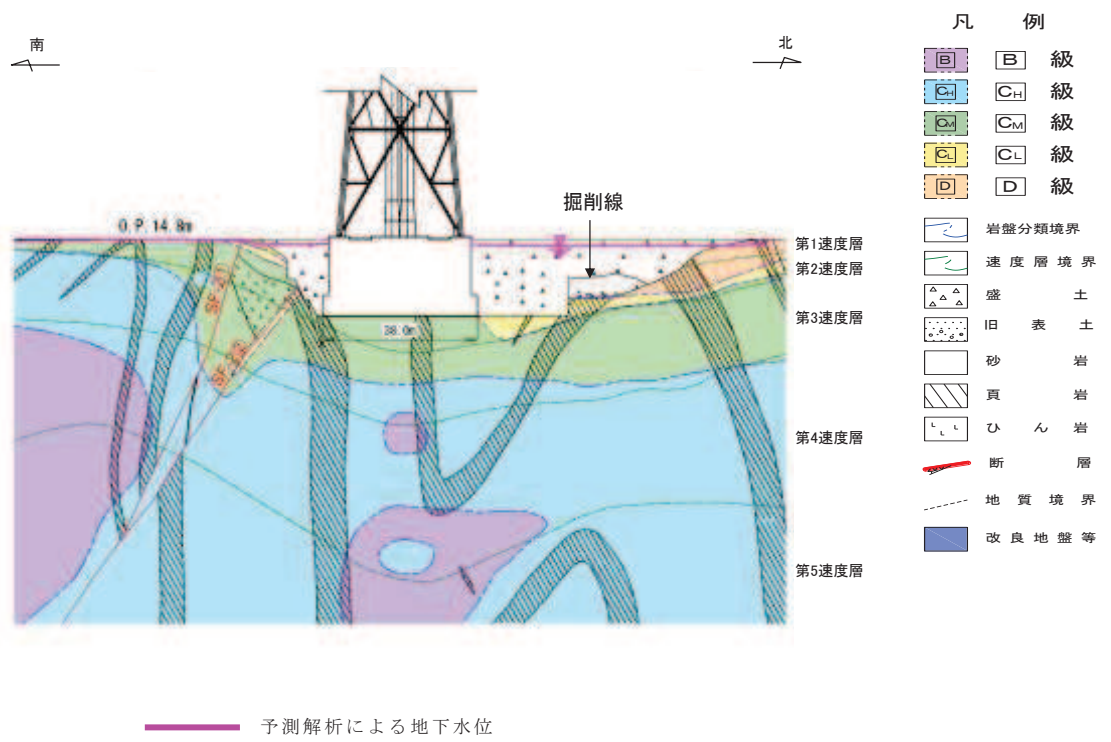


図 3.3-41 排気筒周辺の地下水位分布

(b) 土木構造物の地下水位

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 3.3-14 及び図 3.3-42～図 3.3-57 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（参考資料 10）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3.3-14 (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 | 0. P. -14. 20m | 0. P. -14. 28m～ 0. P. -5. 83m | 0. P. -10. 50m～ 0. P. -3. 50m | |
| 排気筒連絡 ダクト | 縦断 | 0. P. -8. 00m～ 0. P. +4. 50m | 0. P. -7. 14m～ 0. P. +13. 44m | 0. P. +5. 73m～ 0. P. +14. 80m | |
| | 横断 (断面①) | 0. P. -8. 00m | 0. P. -7. 17m～ 0. P. -3. 98m | 0. P. +5. 73m | |
| | 横断 (断面②) | 0. P. -8. 00m | 0. P. -3. 28m～ 0. P. -1. 49m | 0. P. +5. 80m | |
| | 横断 (断面③) | 0. P. -8. 00m | 0. P. -2. 50m～ 0. P. -0. 53m | 0. P. +5. 80m | |
| | 横断 (断面⑤) | 0. P. -1. 69m | 0. P. +1. 10m～ 0. P. +7. 97m | 0. P. +8. 19m～ 0. P. +9. 00m | |
| | 横断 (断面⑦) | 0. P. +0. 22m | 0. P. +5. 36m～ 0. P. +10. 74m | 0. P. +10. 10m～ 0. P. +12. 00m | |
| 軽油タンク連絡ダクト | | —* | 0. P. -5. 92m～ 0. P. +2. 15m | 0. P. -3. 00m～ 0. P. +3. 00m | |
| 取水路 | 縦断 | 0. P. -14. 10m～ 0. P. +2. 43m | 0. P. -11. 60m～ 0. P. +2. 43m | 0. P. -4. 53m～ 0. P. +2. 43m | |
| | 横断 (標準部①) | 0. P. +2. 43m | 0. P. +1. 93m | 0. P. +2. 43m | 朔望平 均満潮 位 |
| | 横断 (標準部②) | 0. P. +2. 43m | 0. P. +0. 30m～ 0. P. +2. 19m | 0. P. +2. 43m | 朔望平 均満潮 位 |
| | 横断 (標準部③ (防潮堤横 断部)) | 0. P. +2. 43m | 0. P. -4. 83m～ 0. P. -2. 26m | 0. P. +2. 43m | 朔望平 均満潮 位 |
| | 横断 (標準部④ (防潮堤横 断部)) | 0. P. +2. 43m | 0. P. -6. 21m～ 0. P. -3. 18m | 0. P. -1. 00m | |
| | 曲がり部 南北 | 0. P. +2. 43m | 0. P. -9. 56m～ 0. P. -3. 90m | 0. P. -1. 01m | |

注記* : 建設時工事計画認可申請対象外

表3.3-14 (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 |

注記*：建設時工事計画認可申請対象外

表3.3-14 (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) | —* | 0. P. +14. 80m | 0. P. +3. 50m～ 0. P. +19. 50m | |
| | 横断 (岩盤部②) | —* | 0. P. +5. 92m～ 0. P. +10. 18m | 0. P. +6. 00m～ 0. P. +18. 00m | |
| | 横断 (一般部①) | —* | 0. P. -13. 42m～ 0. P. +2. 43m | 0. P. +2. 43m | 朔望平均満潮位 |
| | 横断 (一般部②) | —* | 0. P. -6. 07m～ 0. P. +2. 43m | 0. P. +2. 43m | 朔望平均満潮位 |
| | 横断 (一般部③) | —* | 0. P. -15. 03m～ 0. P. +2. 43m | 0. P. +2. 43m | 朔望平均満潮位 |
| | 横断 (一般部④) | —* | 0. P. -11. 15m～ 0. P. +2. 43m | 0. P. +2. 43m～ 0. P. +14. 80m | |
| | RC 遮水壁 | —* | — (解析領域外) | 0. P. +30. 0m | 地表面 |
| 防潮堤 (盛土堤防) | 横断① | —* | 0. P. +0. 43m～ 0. P. +2. 86m | 0. P. +2. 43m～ 0. P. +14. 80m | |
| 防潮壁 | 第2号機 海水ポンプ室 | —* | 0. P. -14. 00m～ 0. P. -4. 25m | 0. P. -11. 50m～ 0. P. -3. 00m | |
| | 第2号機 放水立坑 | —* | 0. P. +1. 22m～ 0. P. +11. 14m | 0. P. +4. 50m～ 0. P. +12. 50m | |
| | 第3号機 海水ポンプ室 | —* | 0. P. -15. 59m～ 0. P. -8. 47m | 0. P. -10. 00m～ 0. P. -6. 50m | |
| | 第3号機 放水立坑 | —* | 0. P. -10. 05m～ 0. P. -4. 73m | 0. P. -9. 00m～ 0. P. +5. 00m | |
| 取放水路流 路縮小工 | 第1号機取水路 | —* | 0. P. +11. 54m～ 0. P. +17. 18m | 0. P. +14. 80m～ 0. P. +19. 50m | 地表面 |
| | 第1号機放水路 | —* | 0. P. +13. 75m～ 0. P. +14. 80m | 0. P. +14. 80m | 地表面 |

注記* : 建設時工事計画認可申請対象外

表3.3-14 (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（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内） | 南北 | —* | 0. P. -13. 09m～ 0. P. -7. 94m | 0. P. -12. 50m～ 0. P. -7. 00m | |
| | 東西 | —* | 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 | | —* | 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） | | —* | 0. P. +5. 92m～ 0. P. +7. 83m | 0. P. +6. 00m～ 0. P. +18. 00m | |

注記*：建設時工事計画認可申請対象外

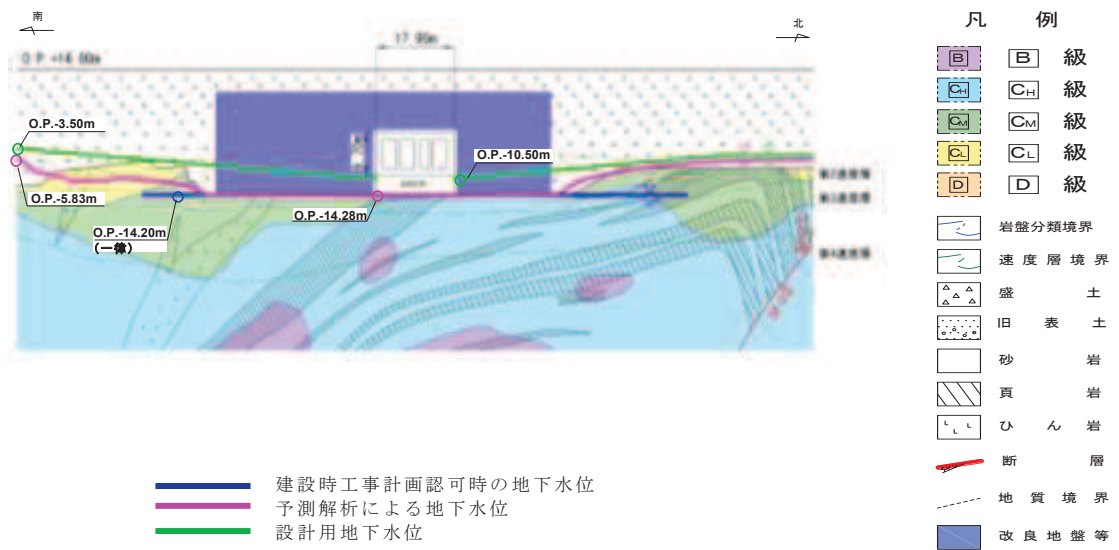


図 3.3-42 原子炉機器冷却海水配管ダクトの設計用地下水位 (横断)

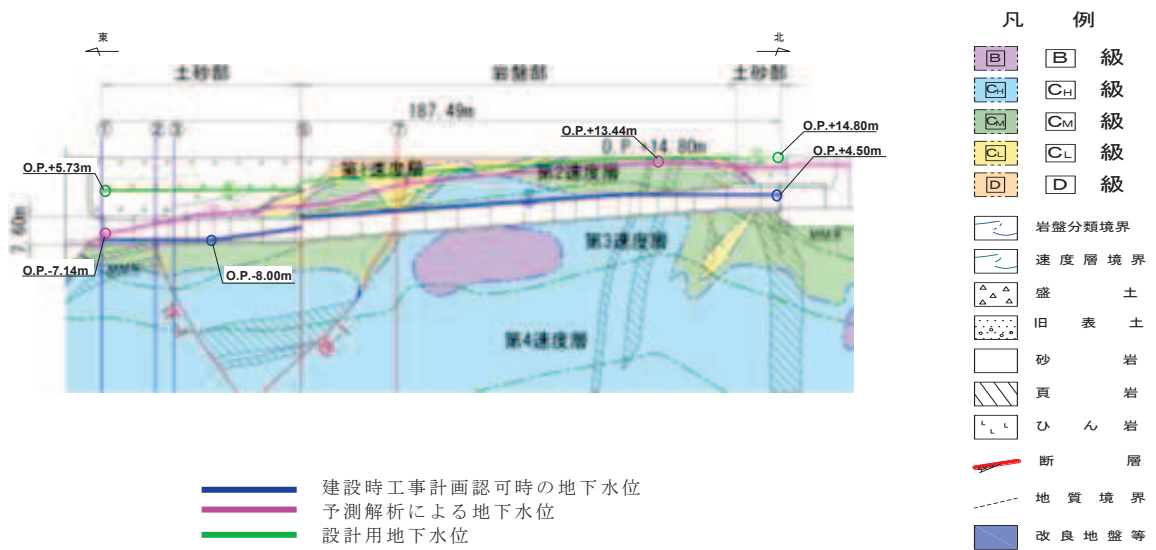


図 3.3-43(1) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (縦断)

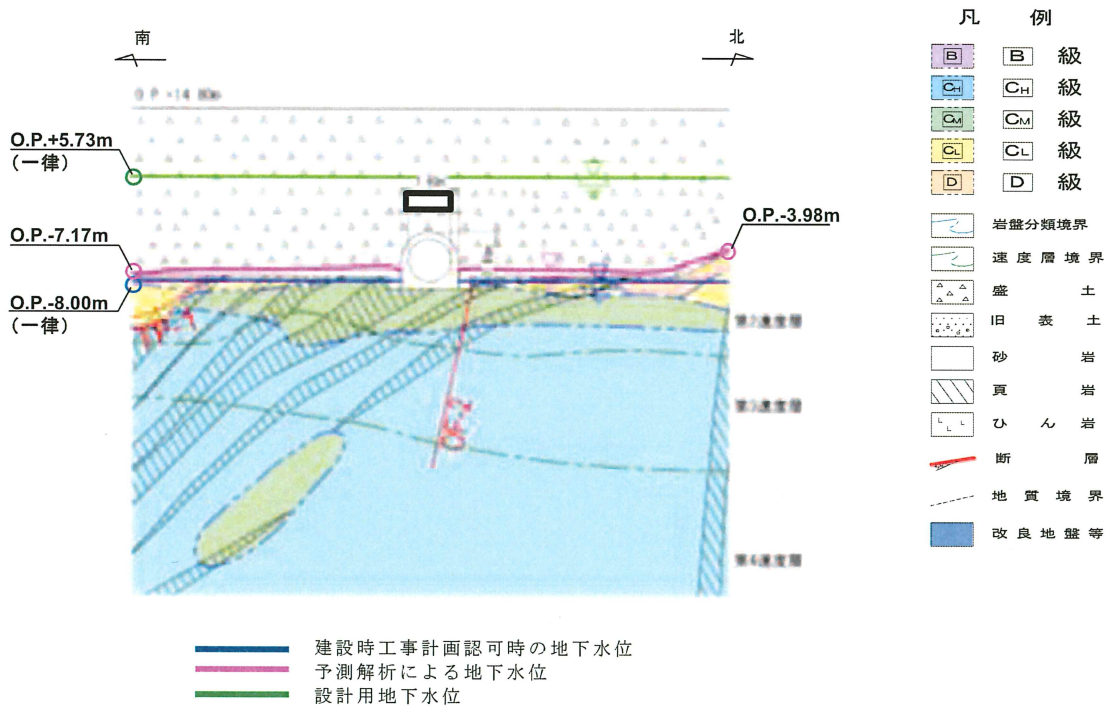


図 3.3-43(2) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (横断(断面①))

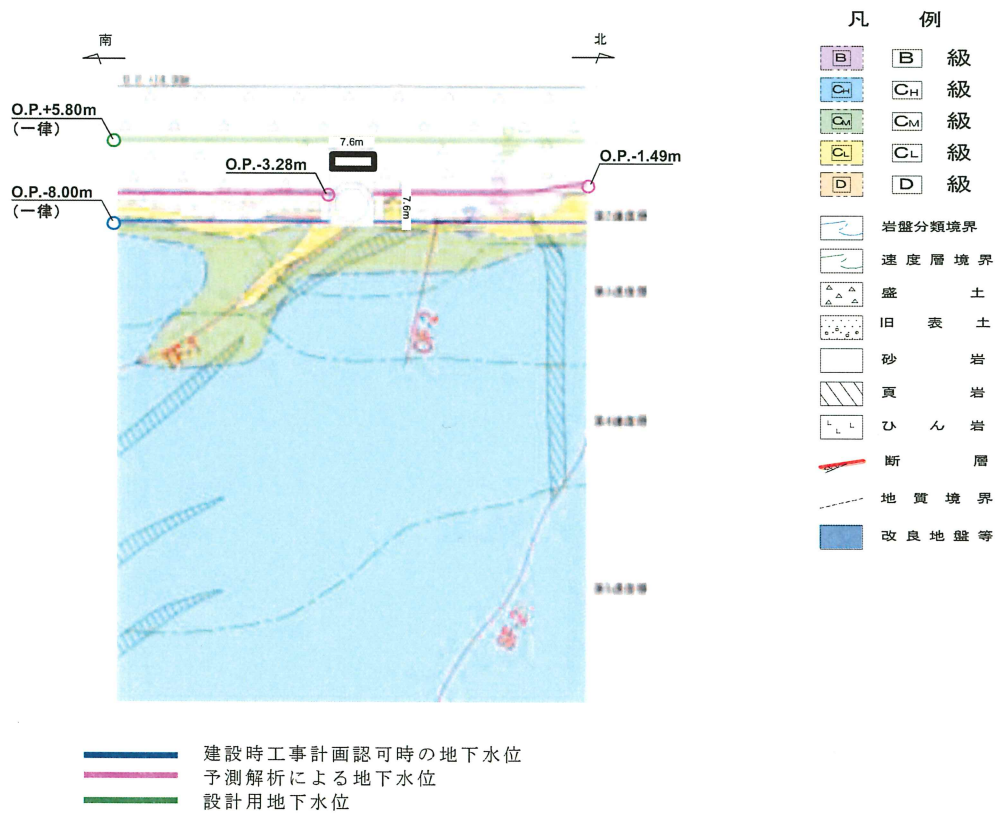


図 3.3-43(3) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (横断(断面②))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

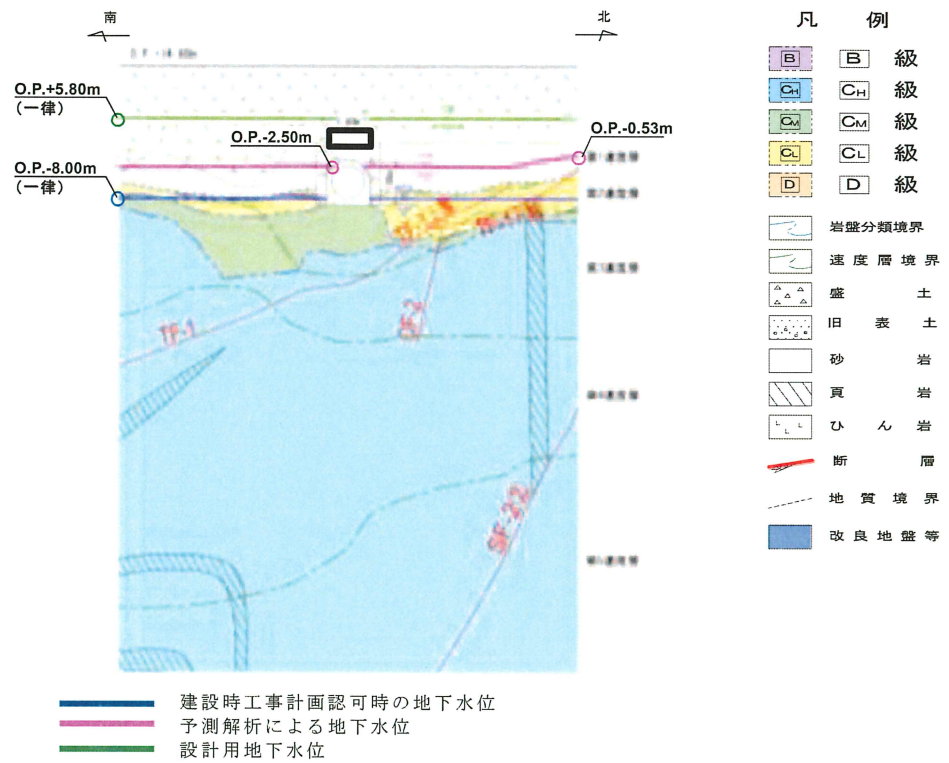


図 3.3-43(4) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (横断(断面③))

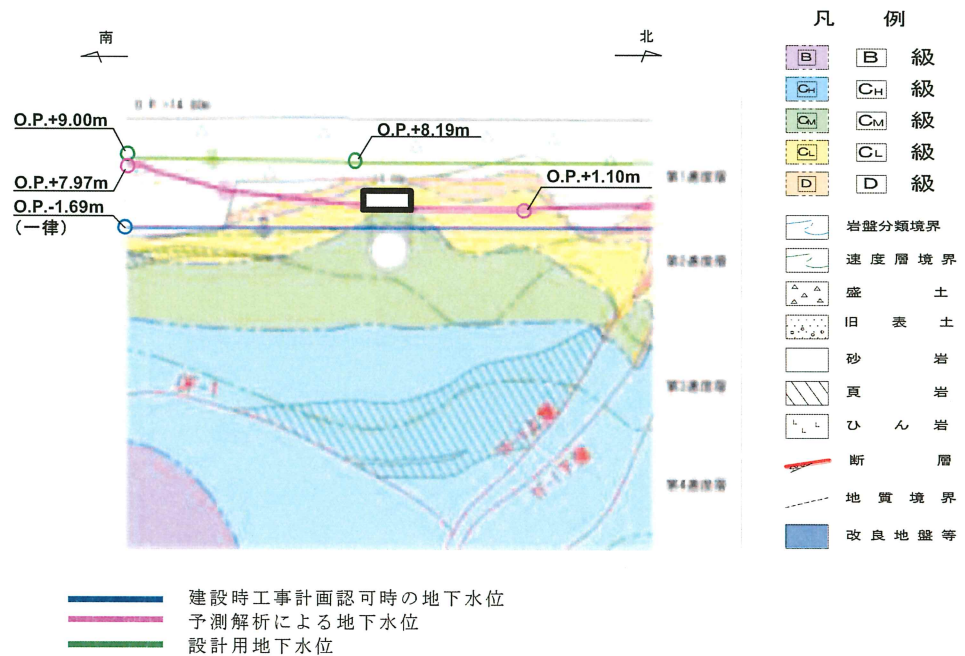


図 3.3-43(5) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (横断(断面⑤))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

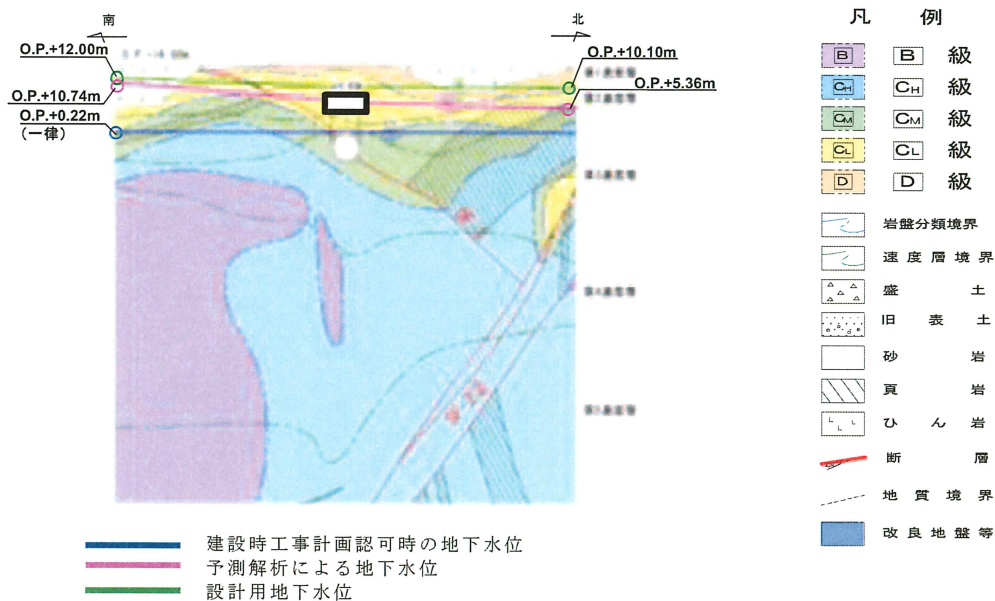


図 3.3-43(6) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (横断(断面⑦))

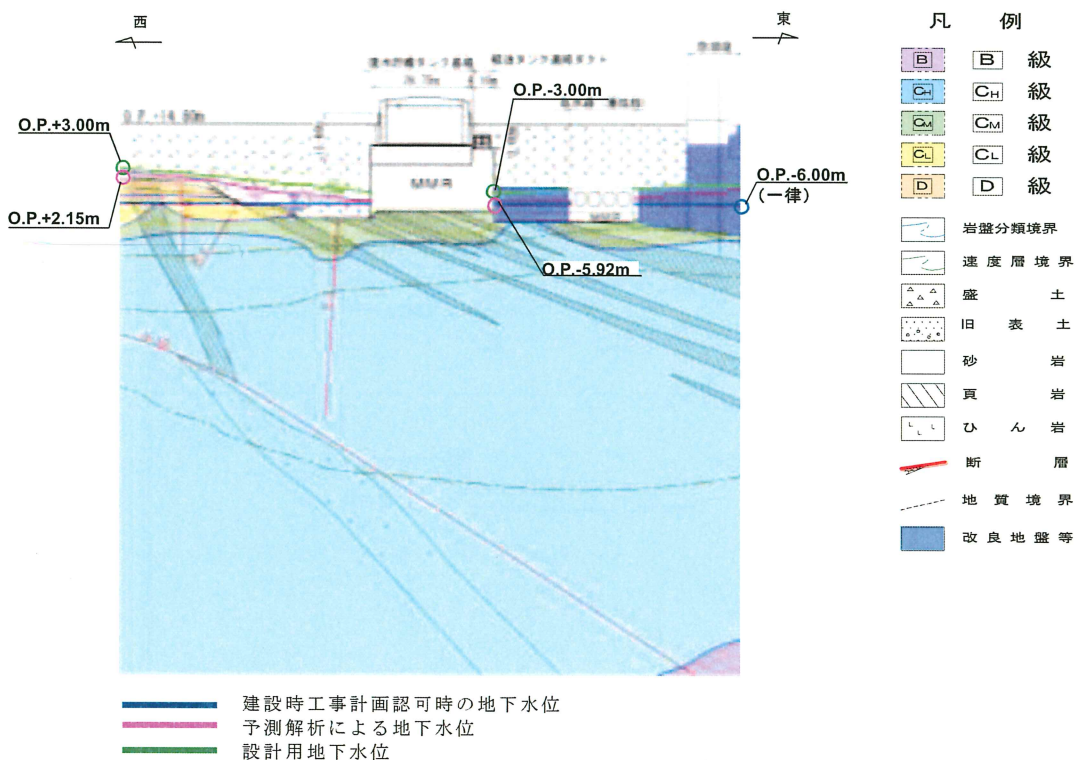


図 3.3-44 軽油タンク連絡ダクトの設計用地下水位 (東西)
 (復水貯蔵タンク基礎の東西方向断面の設計用地下水位含む)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

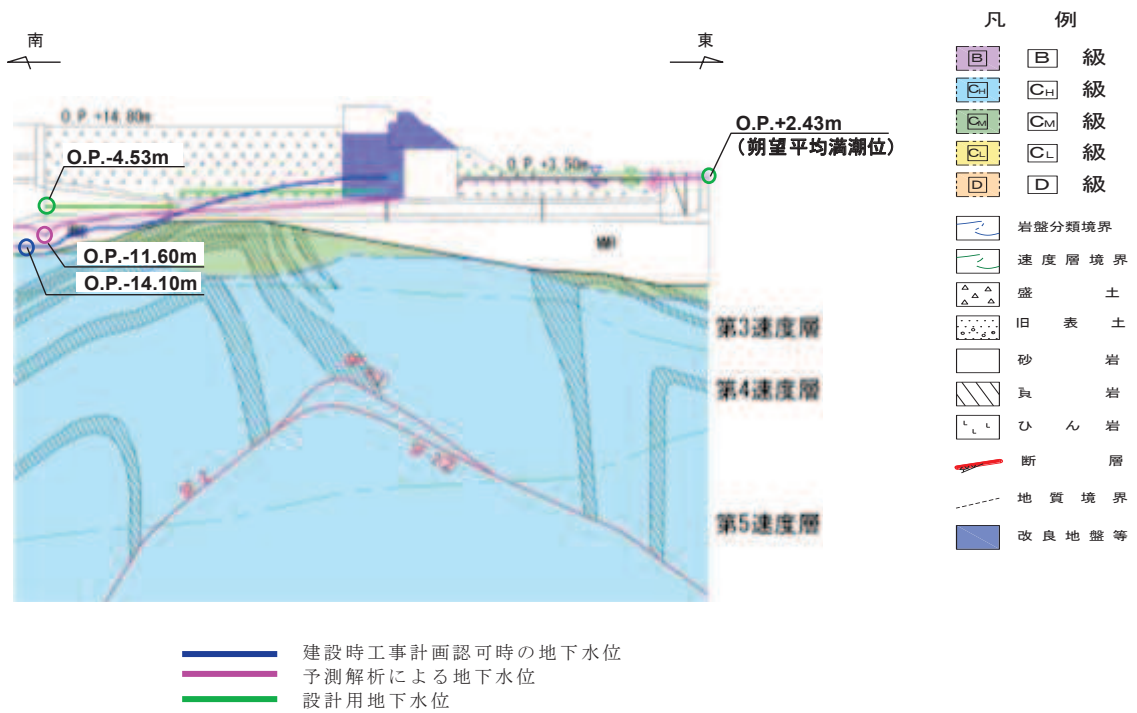


図 3.3-45(1) 取水路の設計用地下水位 (縦断)

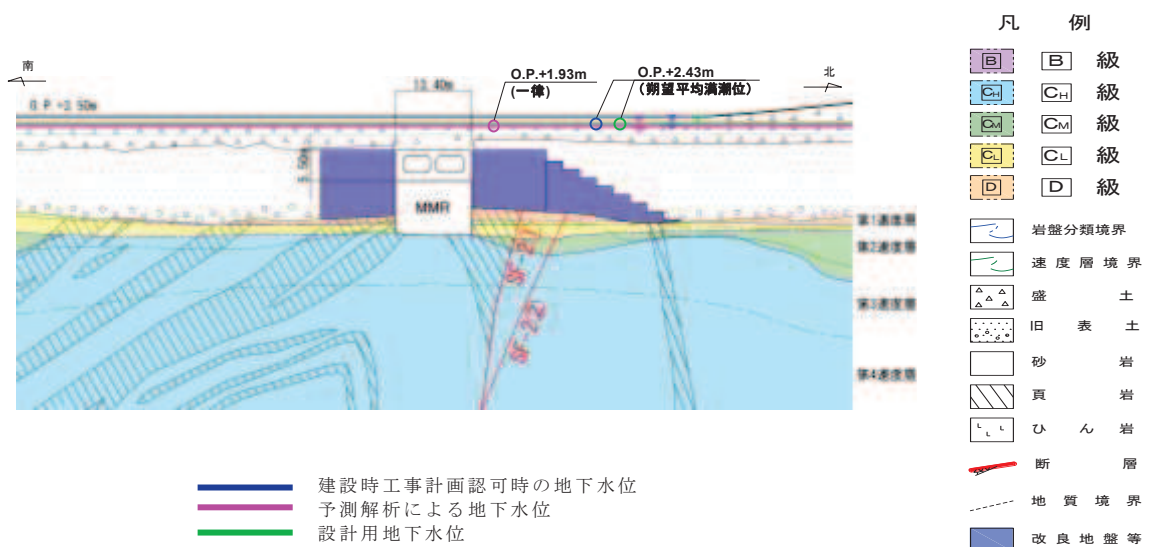


図 3.3-45(2) 取水路の設計用地下水位 (横断(標準部①))
(改良地盤に囲まれる箇所)

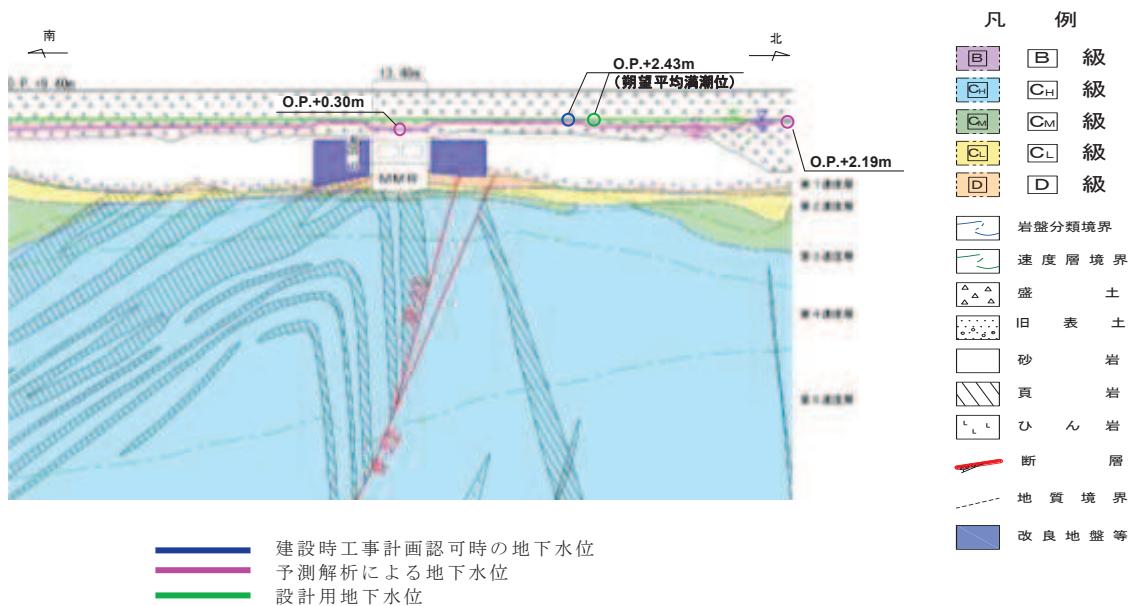


図 3.3-45(3) 取水路の設計用地下水位（横断(標準部②)）
 (改良地盤に囲まれる箇所以外)

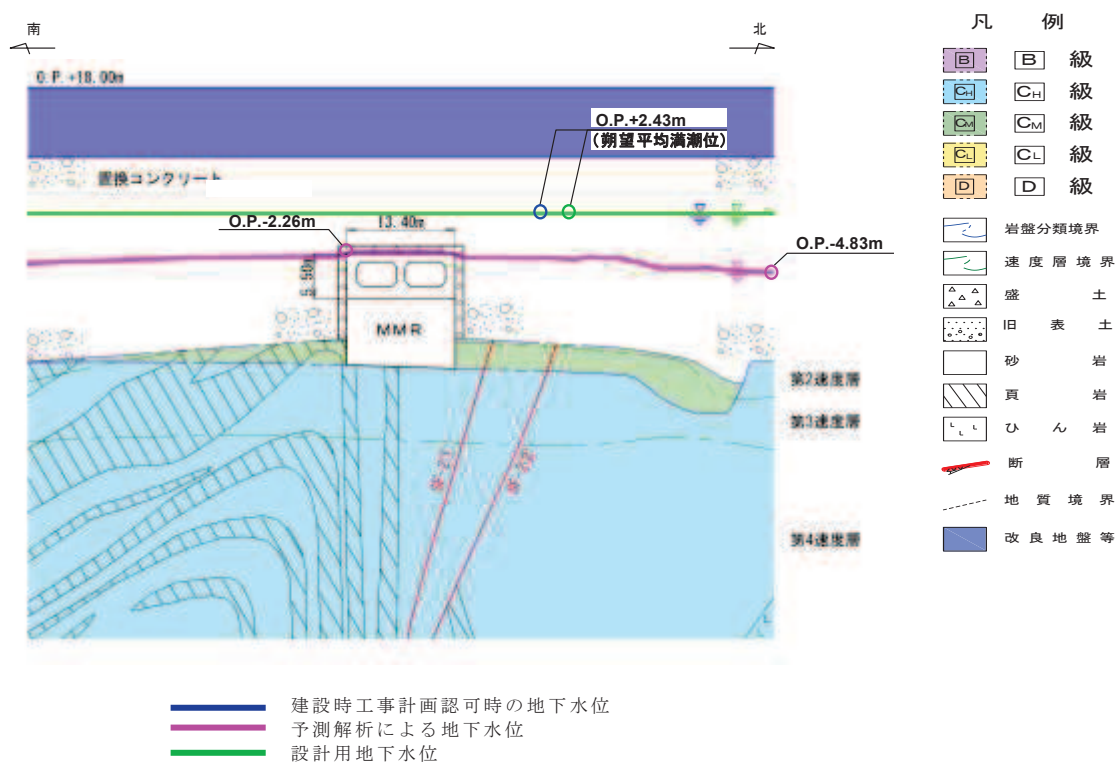


図 3.3-45(4) 取水路の設計用地下水位（横断(標準部③)）
 (防潮堤を横断する箇所(1))

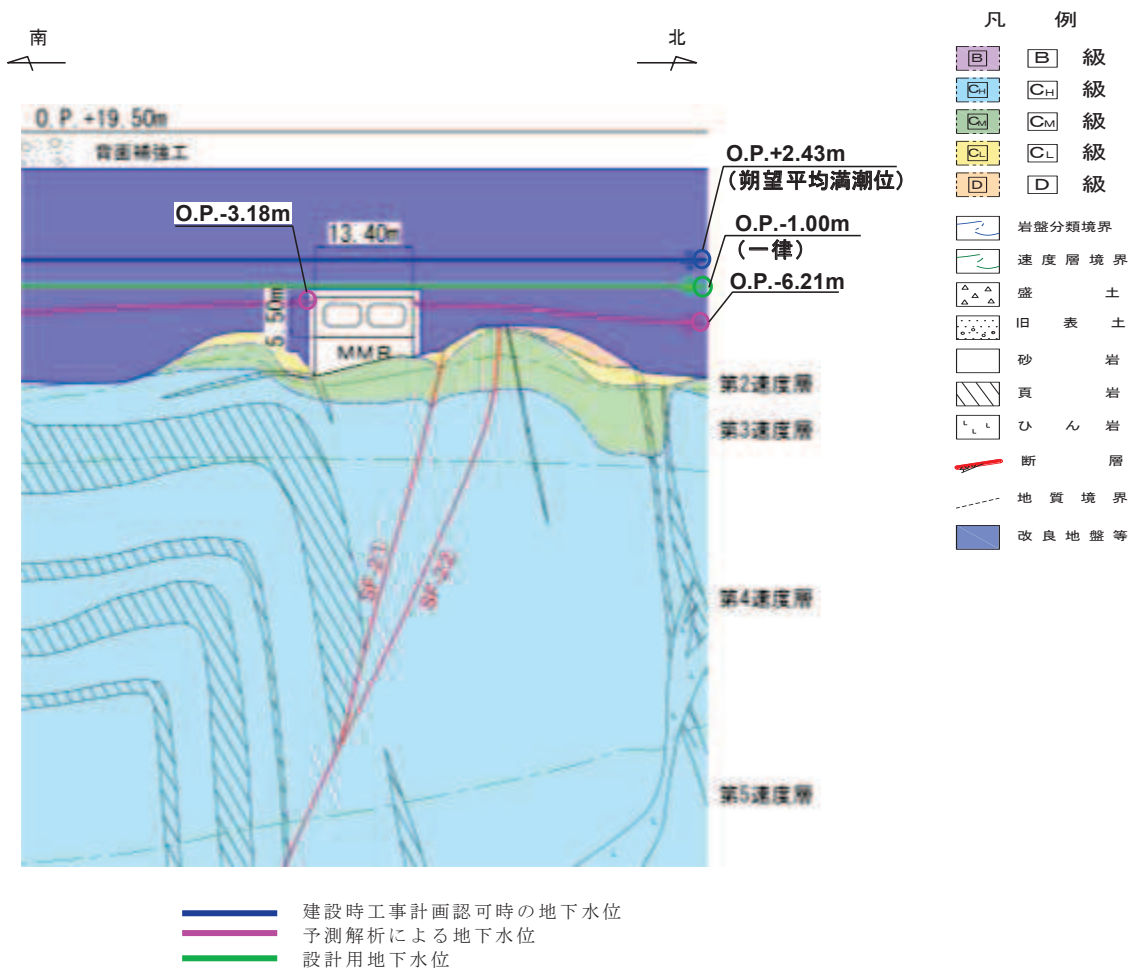


図 3.3-45(5) 取水路の設計用地下水位 (横断 (標準部④))
(防潮堤を横断する箇所(2))

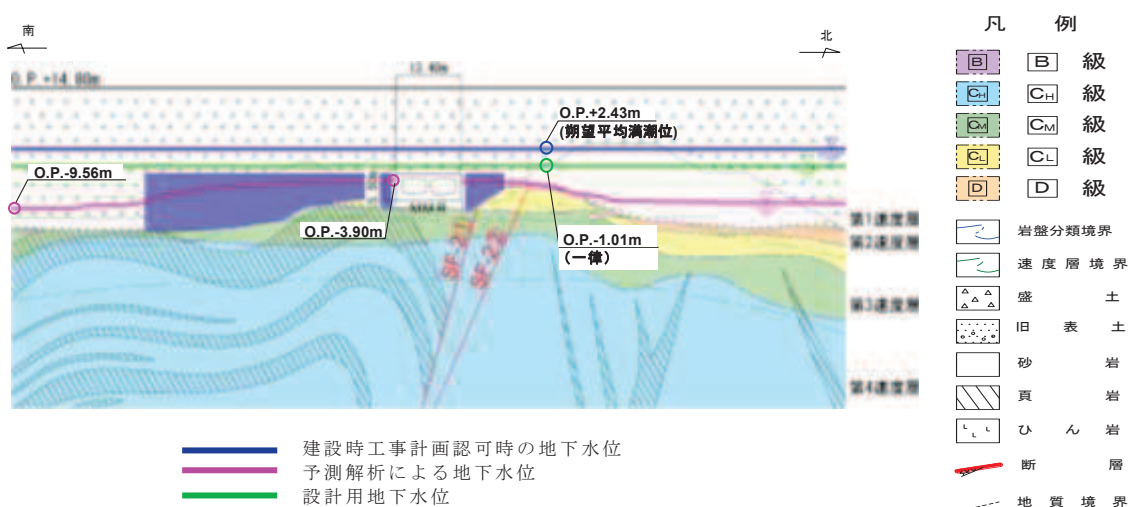


図 3.3-45(6) 取水路の設計用地下水位 (曲がり部) (南北)

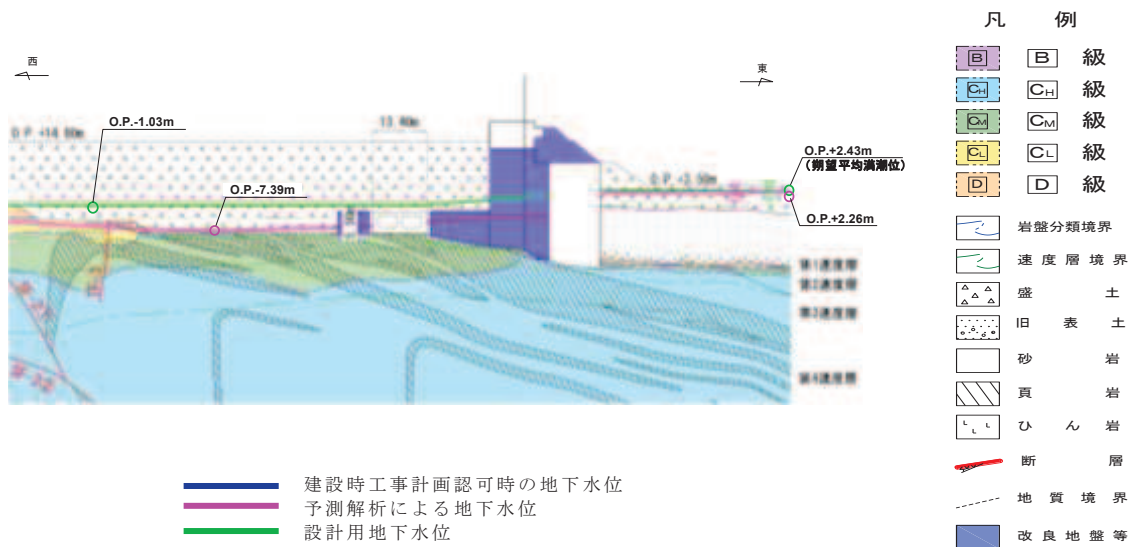


図 3.3-45(7) 取水路の設計用地下水位（曲がり部）（東西）

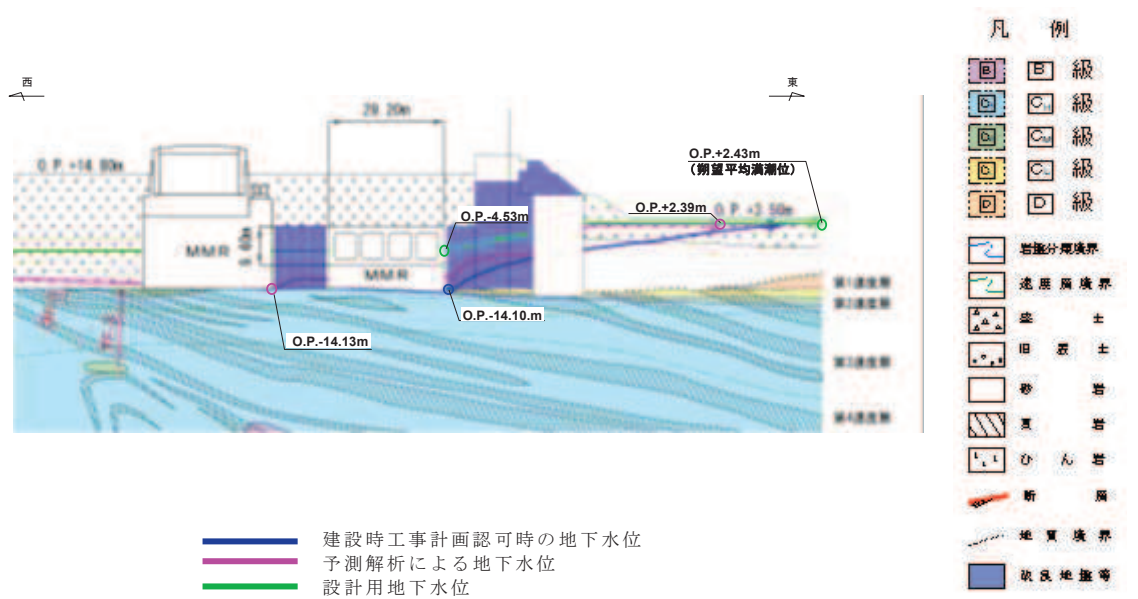


図 3.3-45(8) 取水路の設計用地下水位（漸拡部）（東西）

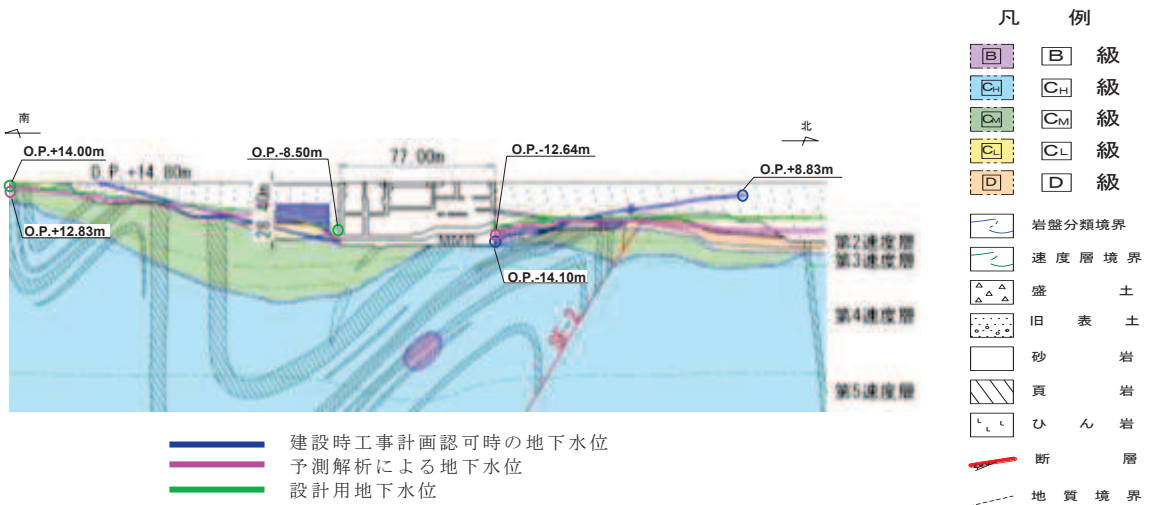


図 3.3-46(1) 海水ポンプ室の設計用地下水位（縦断）

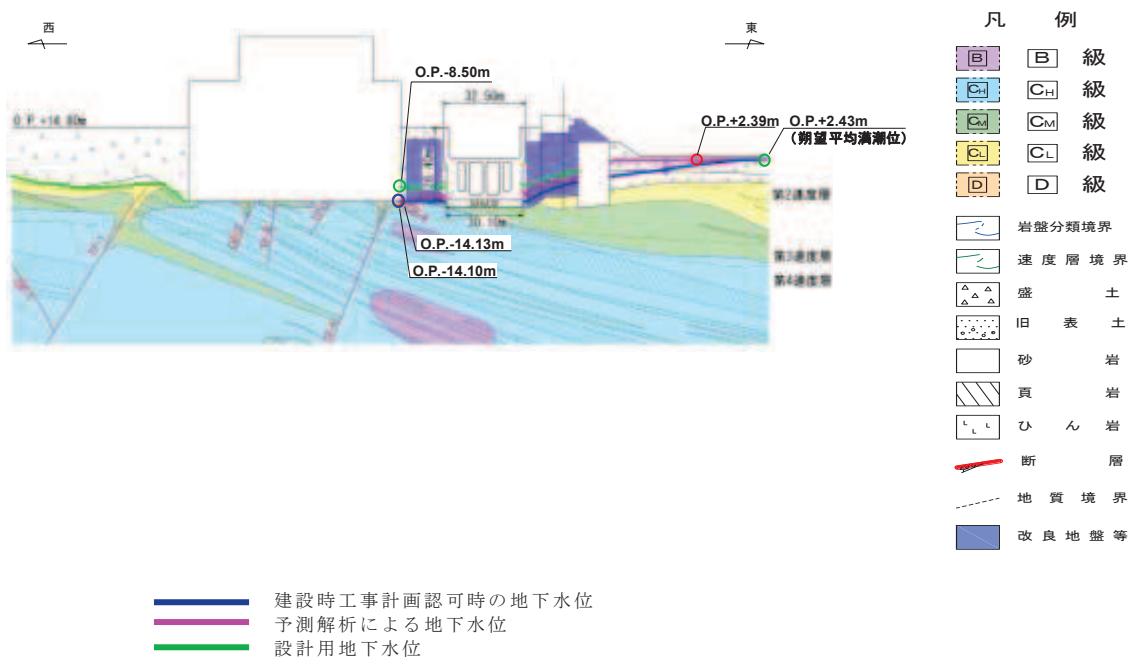


図 3.3-46(2) 海水ポンプ室の設計用地下水位（横断）

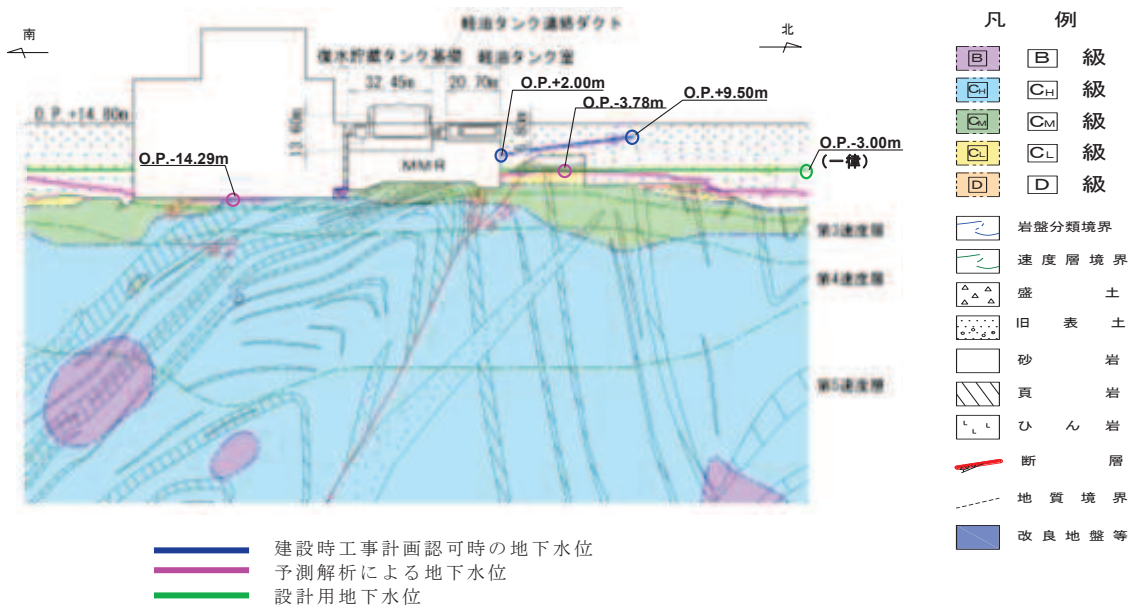


図 3.3-47 軽油タンク室の設計用地下水位（南北）
 （復水貯蔵タンク基礎の南北方向断面の設計用地下水位を含む）

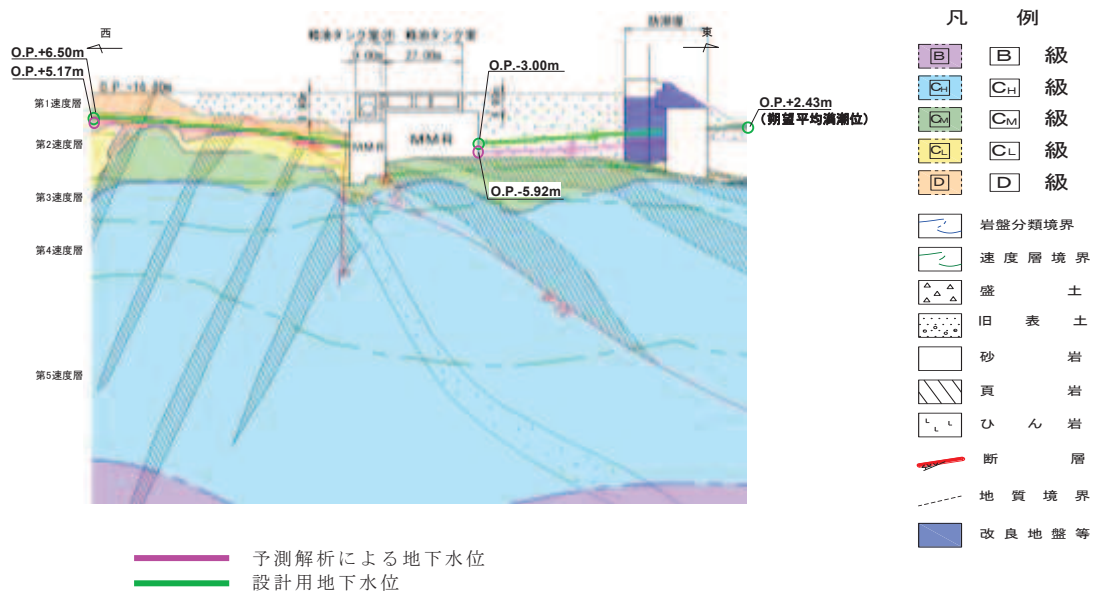
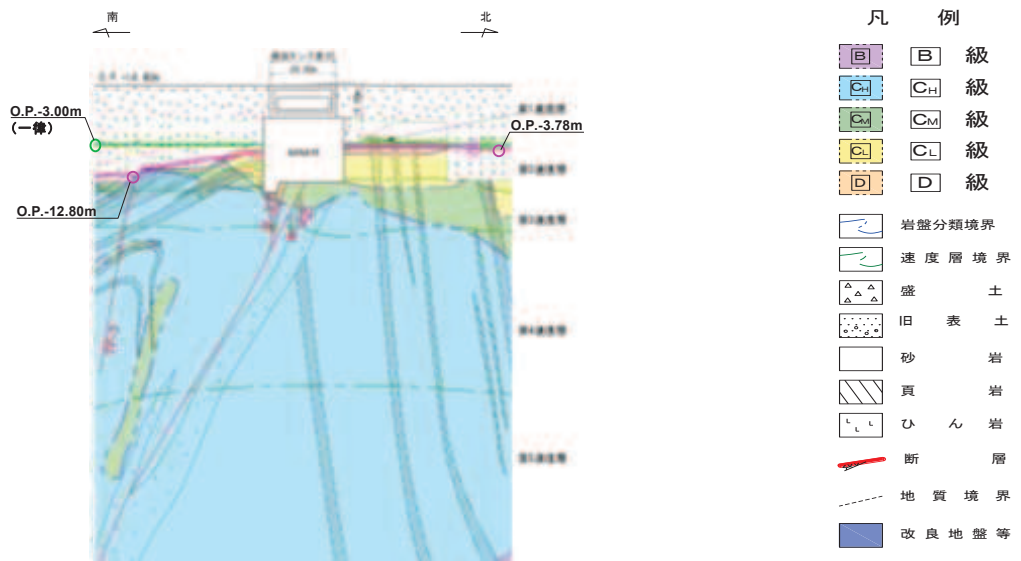
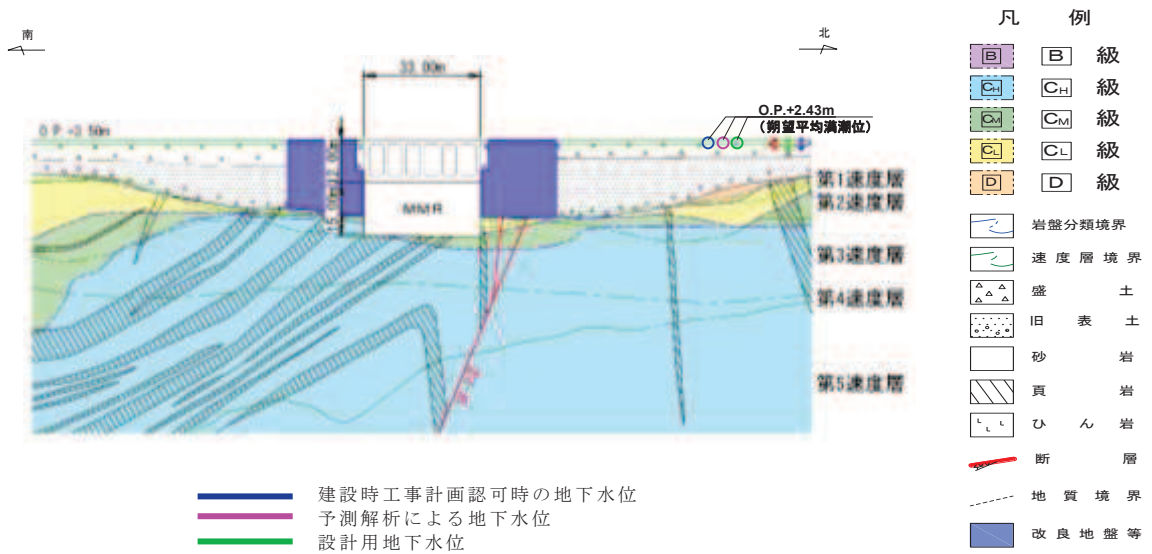


図 3.3-48(1) 軽油タンク室，軽油タンク室 (H) の設計用地下水位（東西）



— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

図 3.3-48(2) 軽油タンク室 (H) の設計用地下水位 (南北)



— 建設時工事計画認可時の地下水位
— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

図 3.3-49(1) 取水口 (標準部) の設計用地下水位 (南北)

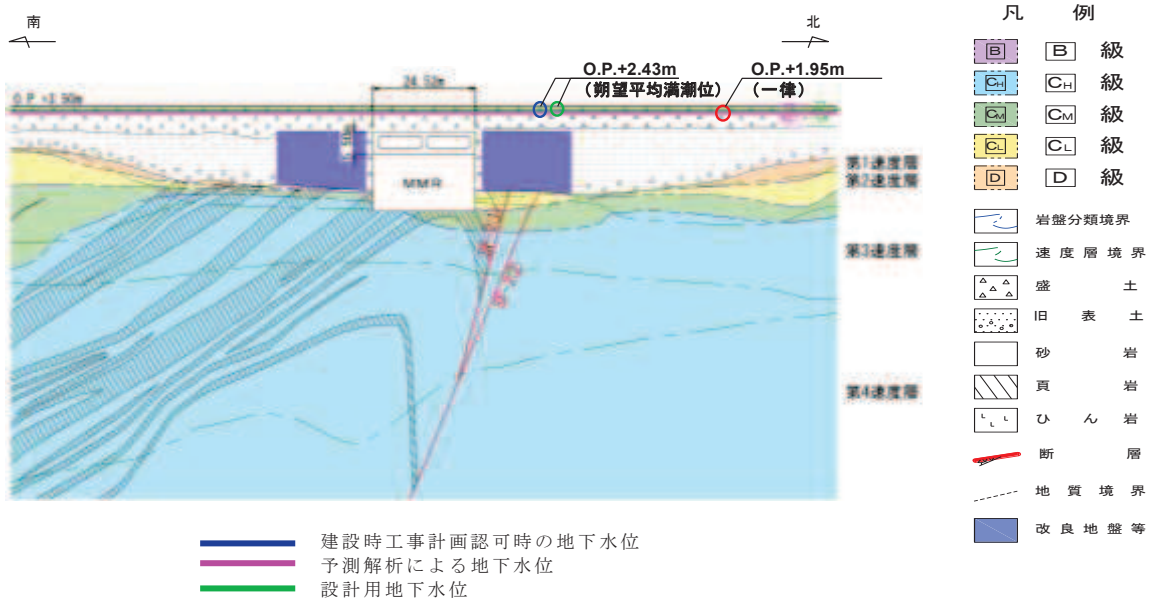


図 3.3-49(2) 取水口（漸縮部）の設計用地下水位（南北）

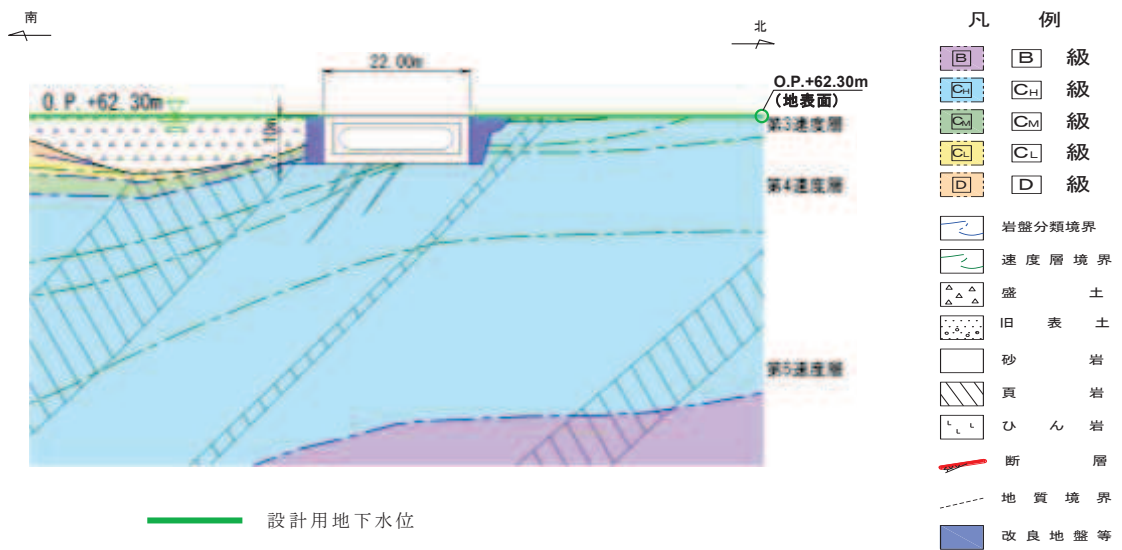


図 3.3-50(1) ガスタービン発電設備軽油タンク室の設計用地下水位（南北）

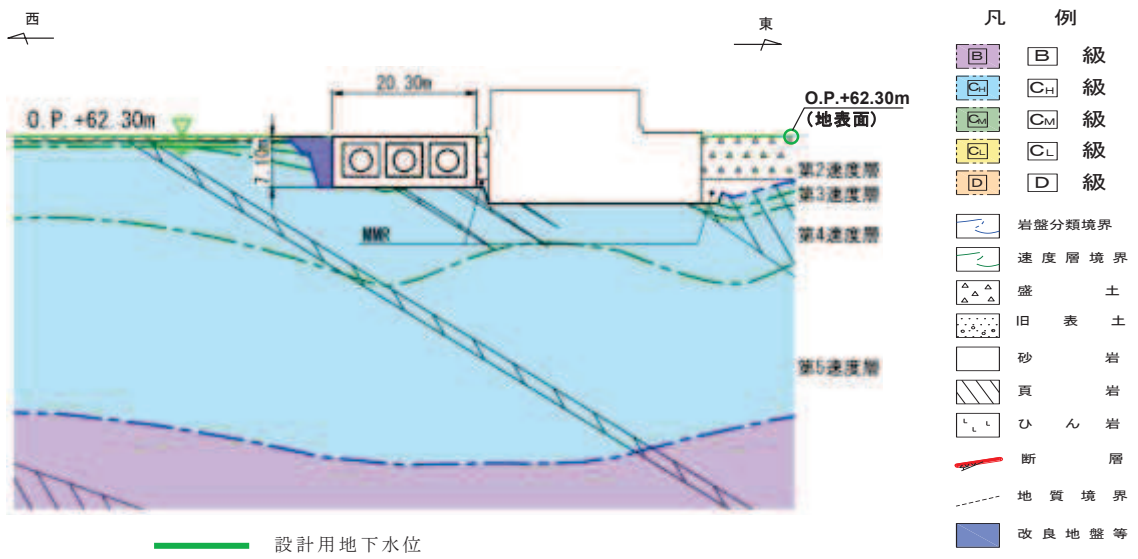


図 3.3-50(2) ガスタービン発電設備軽油タンク室の設計用地下水位（東西）

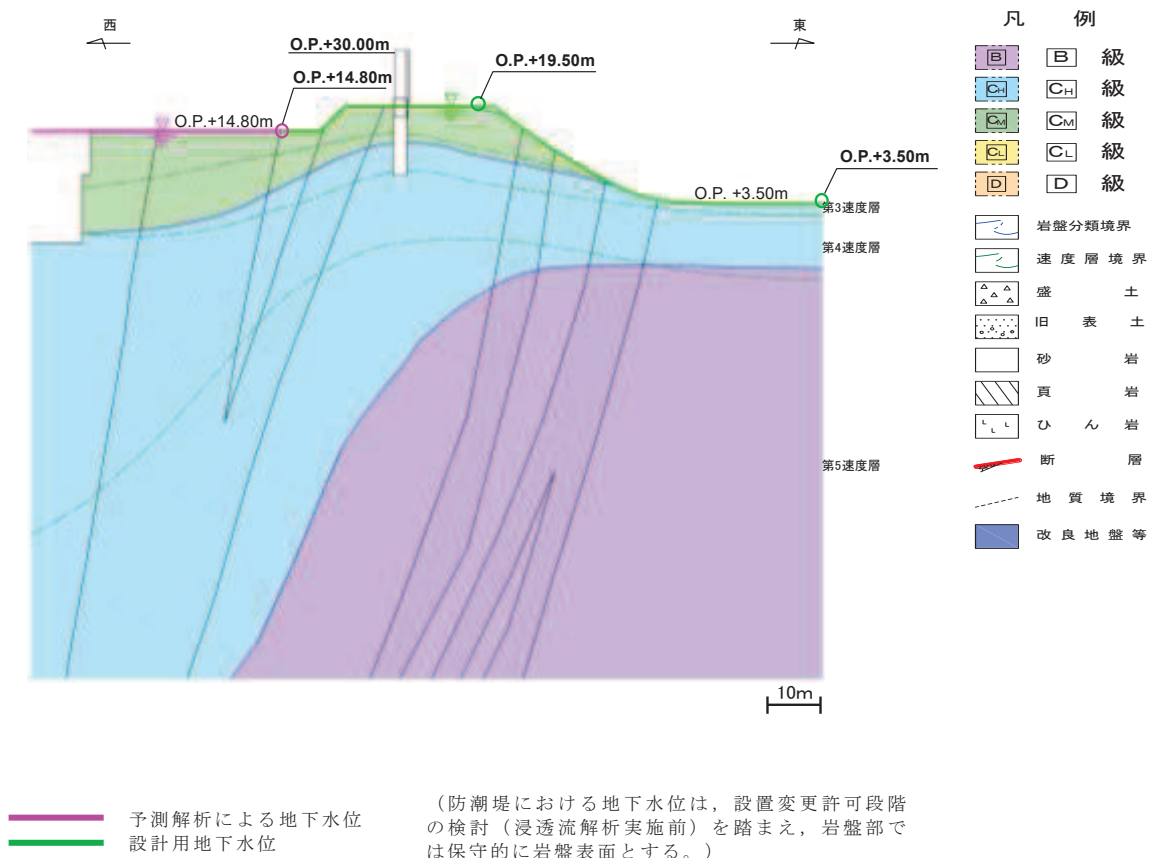
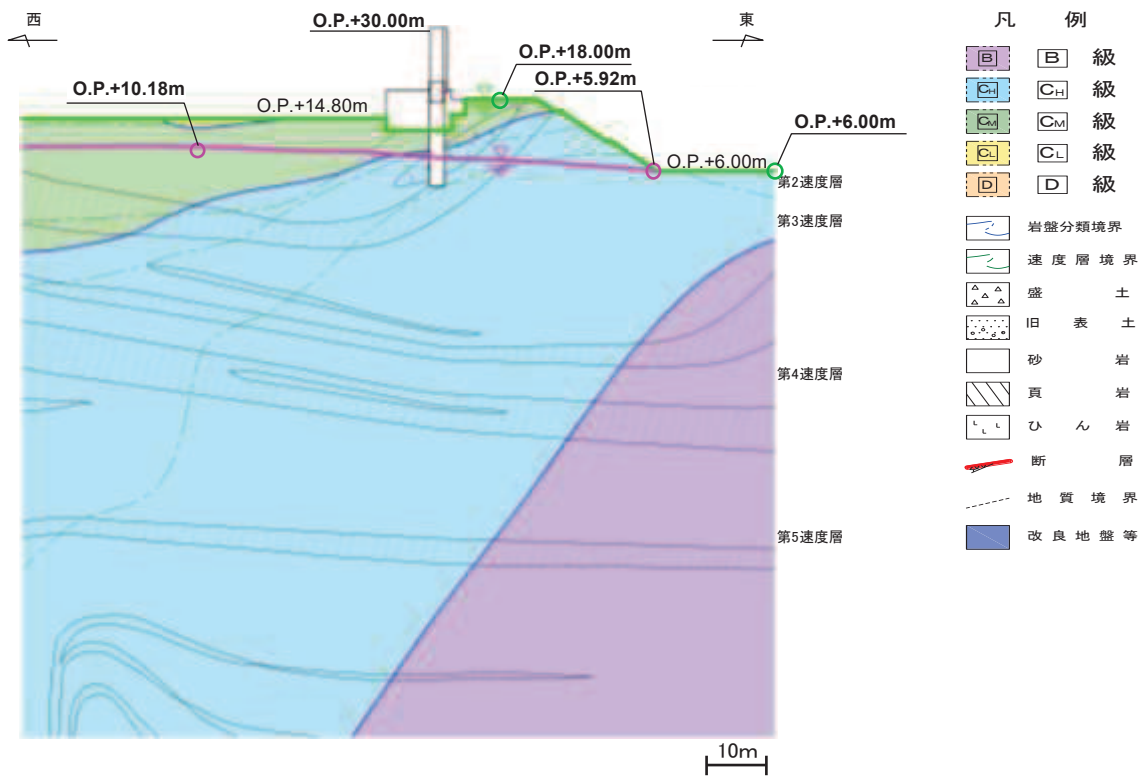


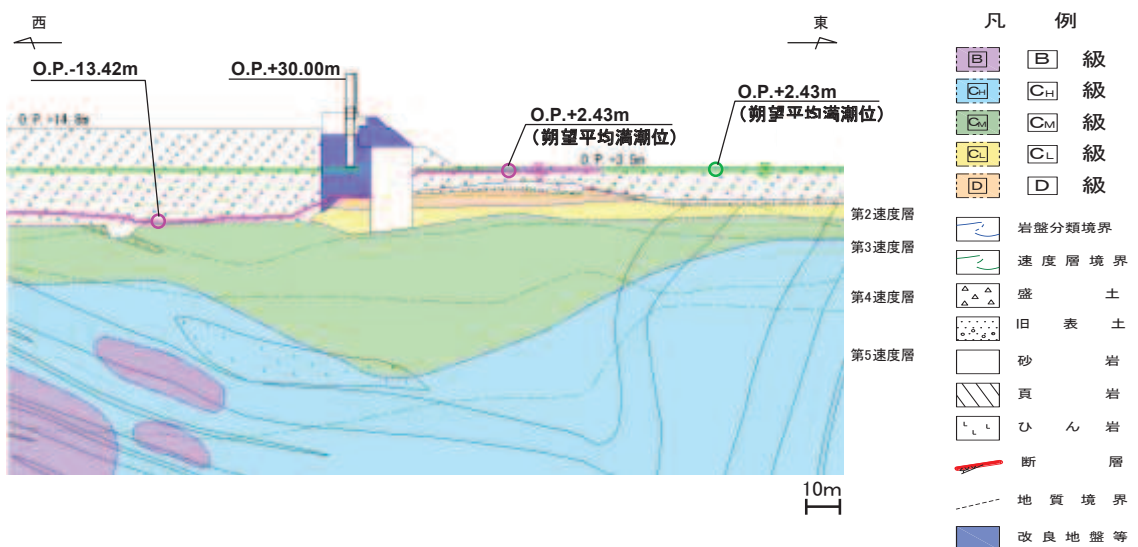
図 3.3-51(1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計用地下水位（岩盤部①）



— 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 3.3-51(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期望平均満潮位とする。)

図 3.3-51(3) 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の設計用地下水位(一般部①)

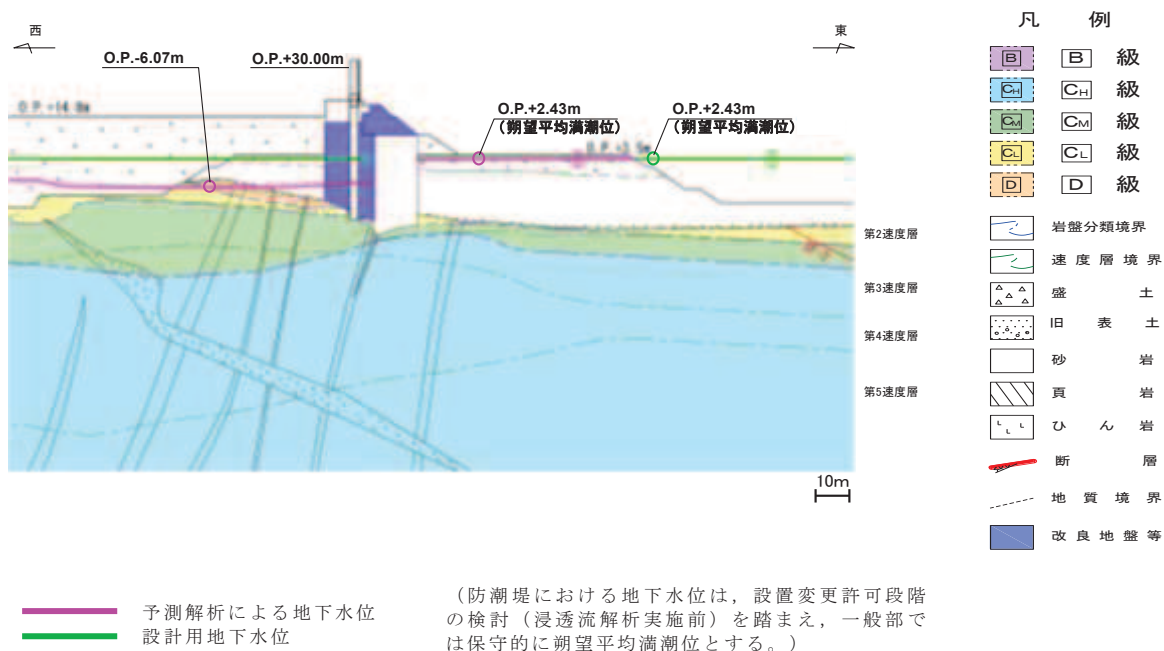


図 3.3-51(4) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計用地下水位（一般部②）

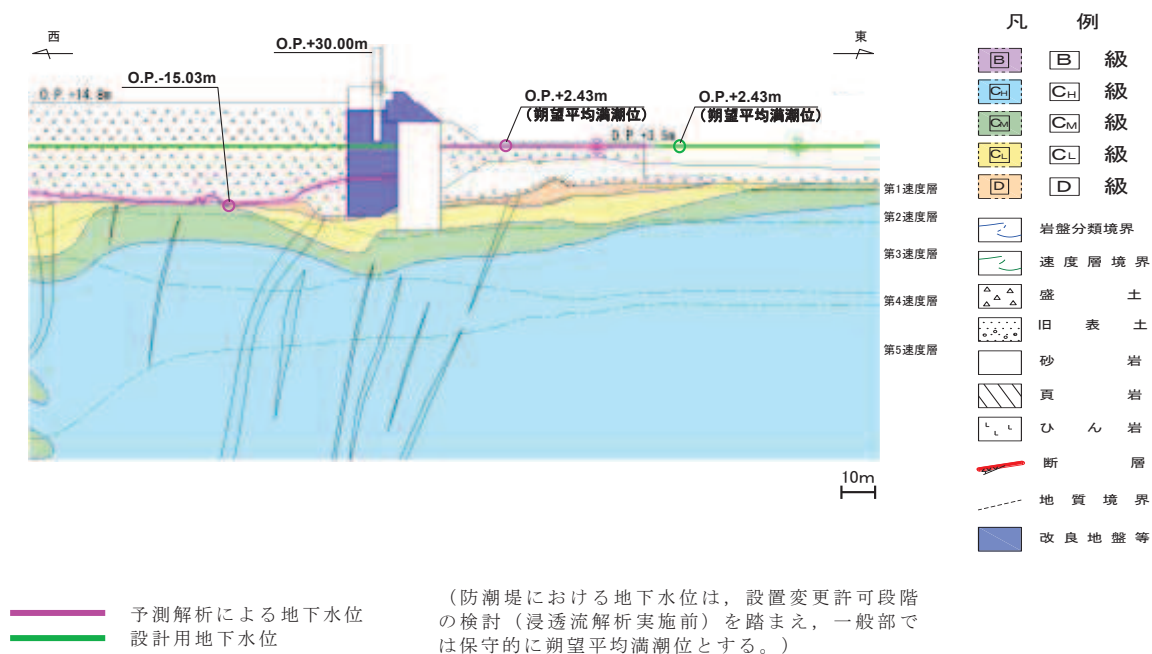
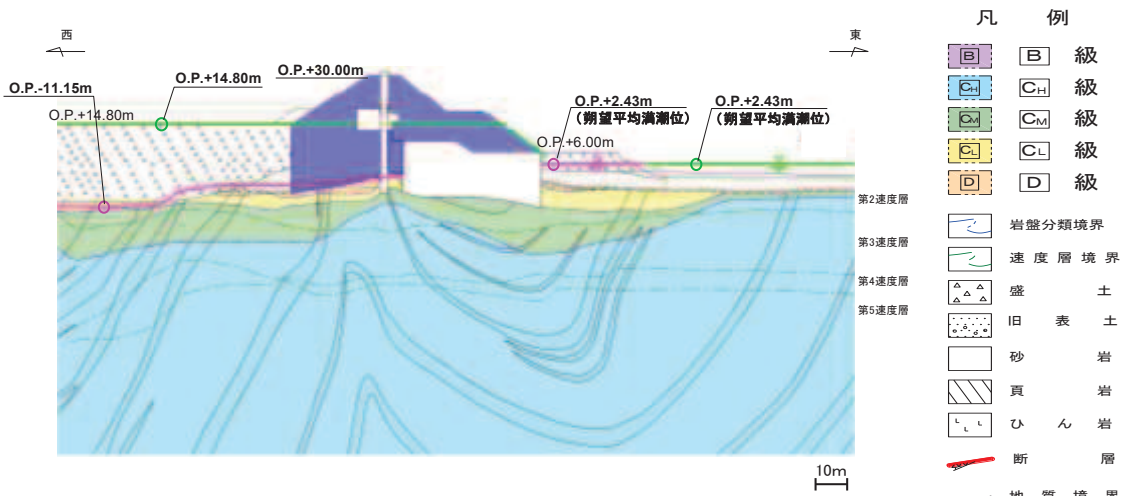


図 3.3-51(5) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計用地下水位（一般部③）

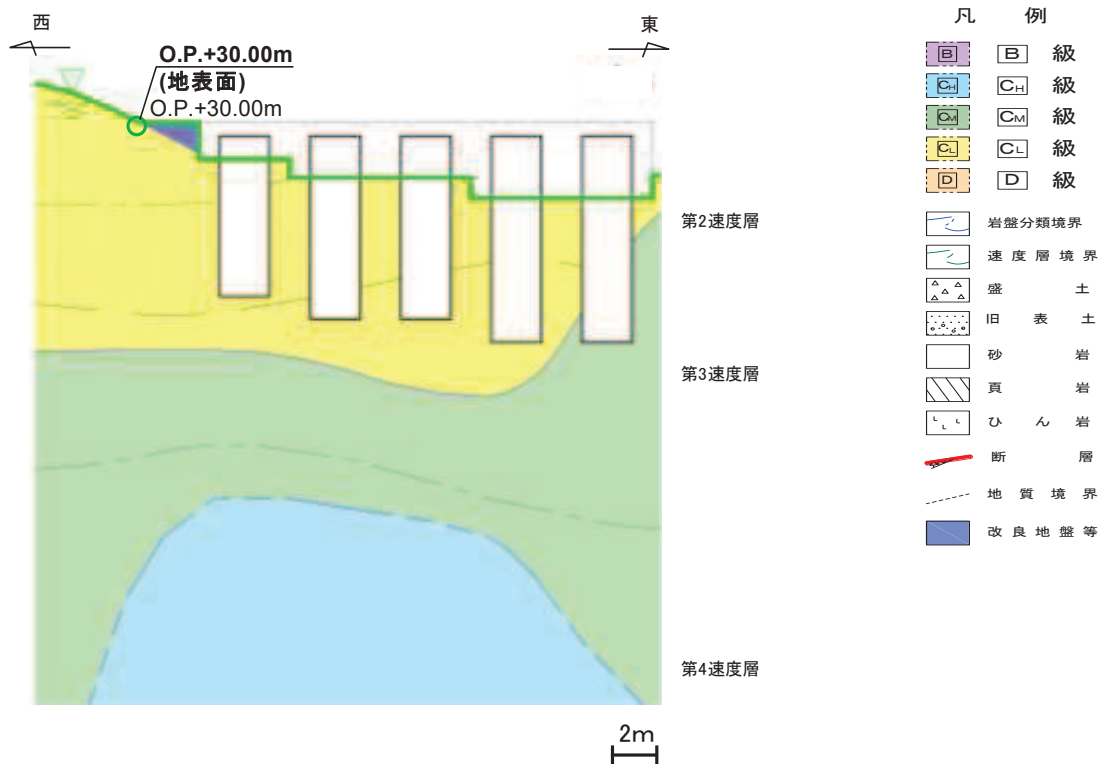


* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

(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、盛土堤防との境界部である一般部④は保守的に海側は期望平均満潮位、山側は地表面とする。)

図 3.3-51(6) 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の設計用地下水位(一般部④)



— 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、RC 遮水壁では保守的に岩盤表面とする。)

図 3.3-51(7) 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の設計用地下水位(RC 遮水壁)

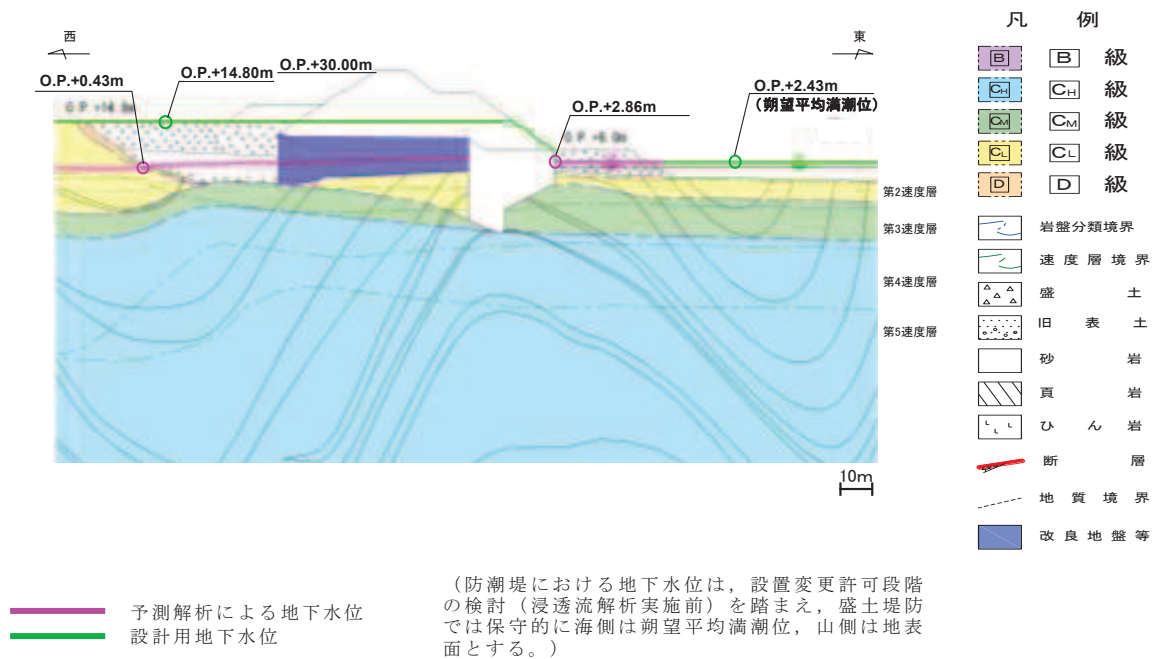


図 3.3-51(8) 防潮堤（盛土堤防）の設計用地下水位（横断①）

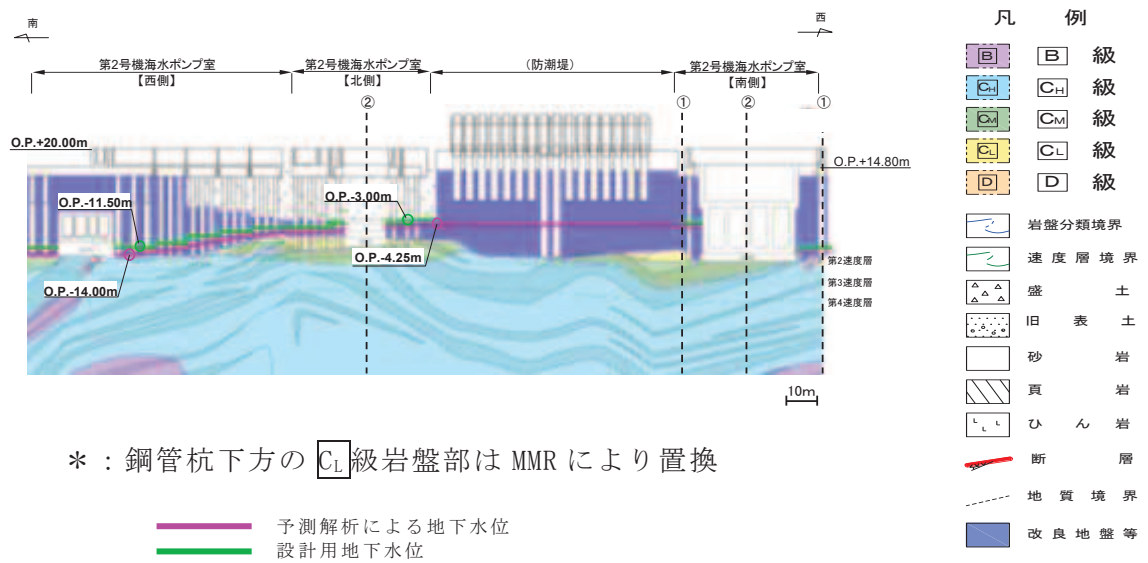
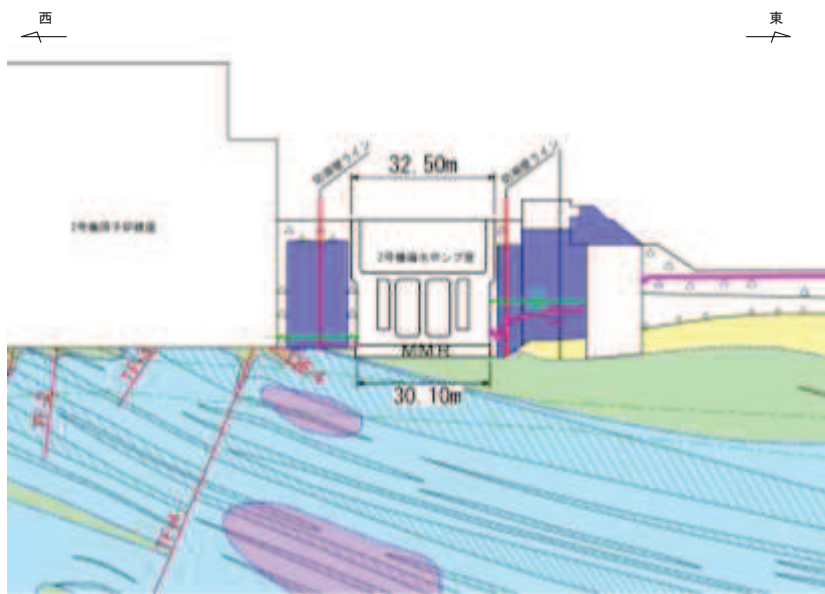


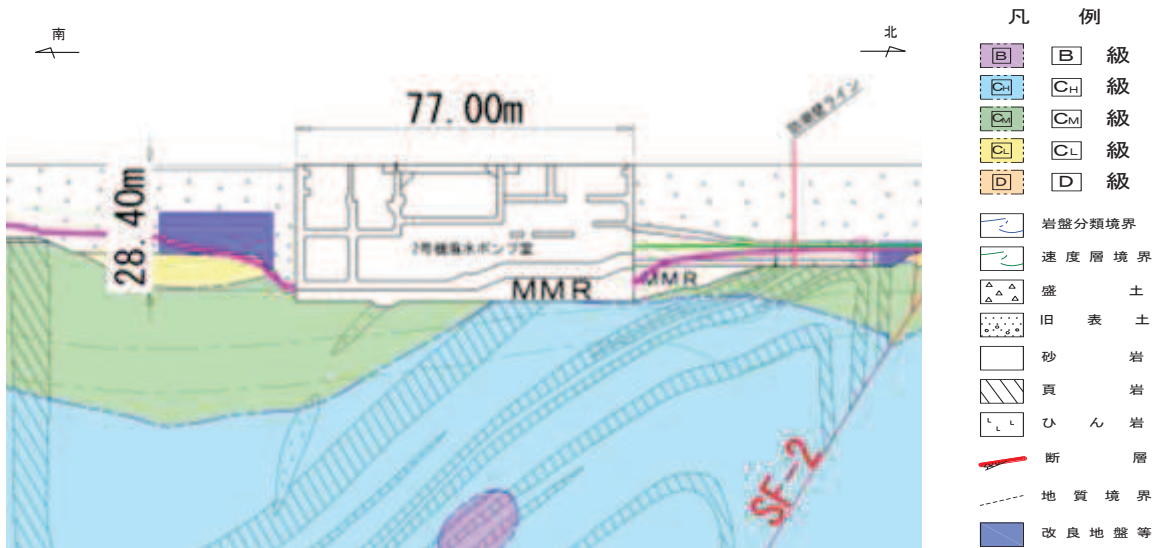
図 3.3-52(1) 防潮壁の設計用地下水位
(2号機海水ポンプ室) (1/3)



* : 鋼管杭下方の CL 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 3.3-52(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) ①-①) (2/3)



* : 鋼管杭下方の CL 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 3.3-52(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) ②-②) (3/3)

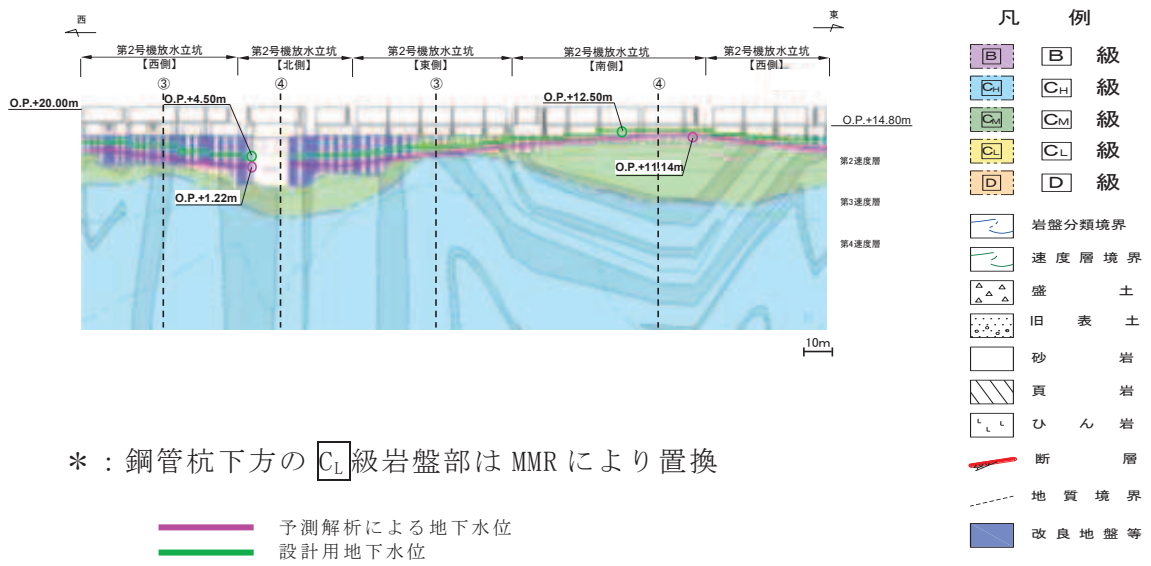


図 3.3-52(4) 防潮壁の設計用地下水位
(2号機放水立坑) (1/3)

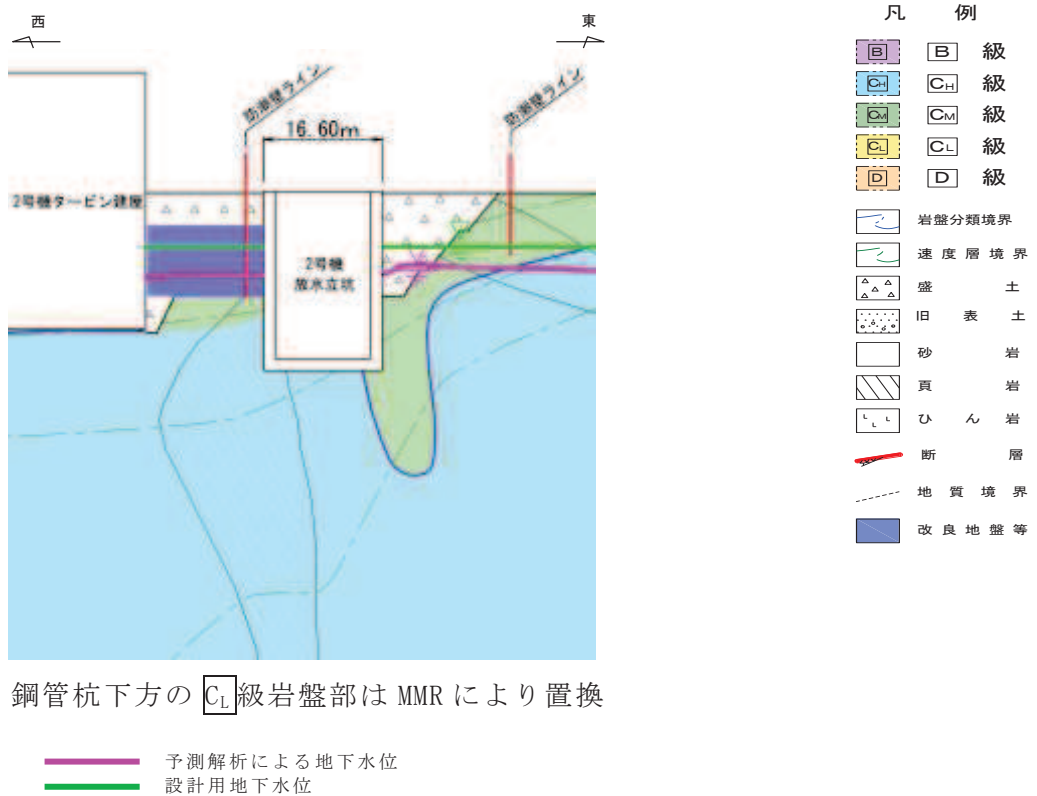
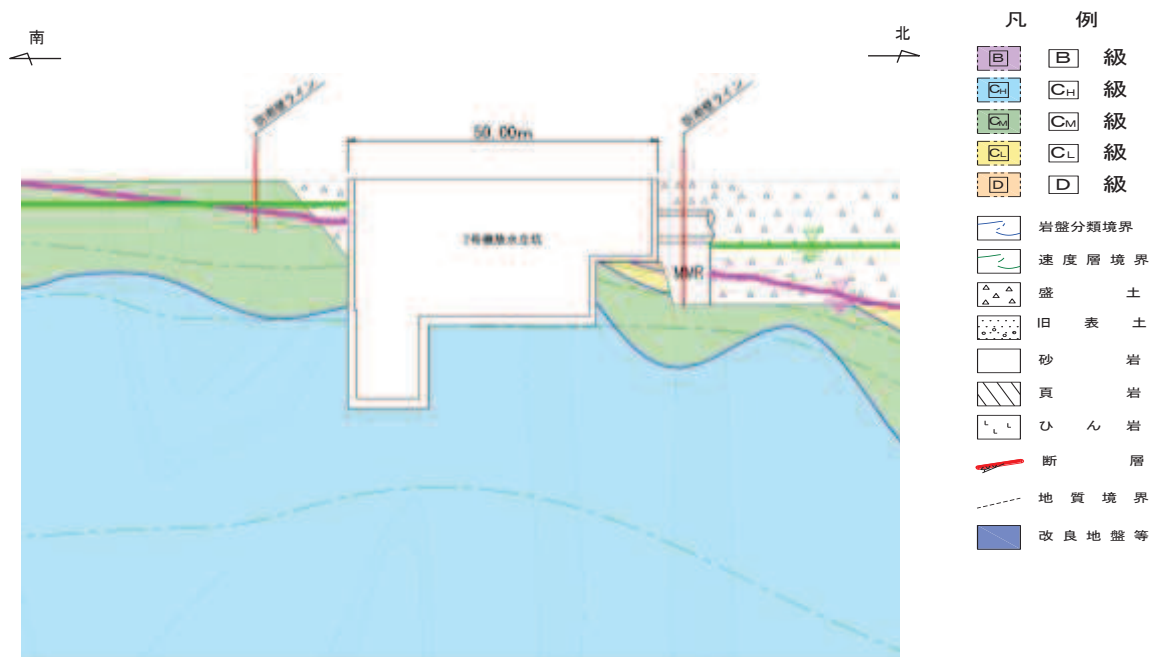


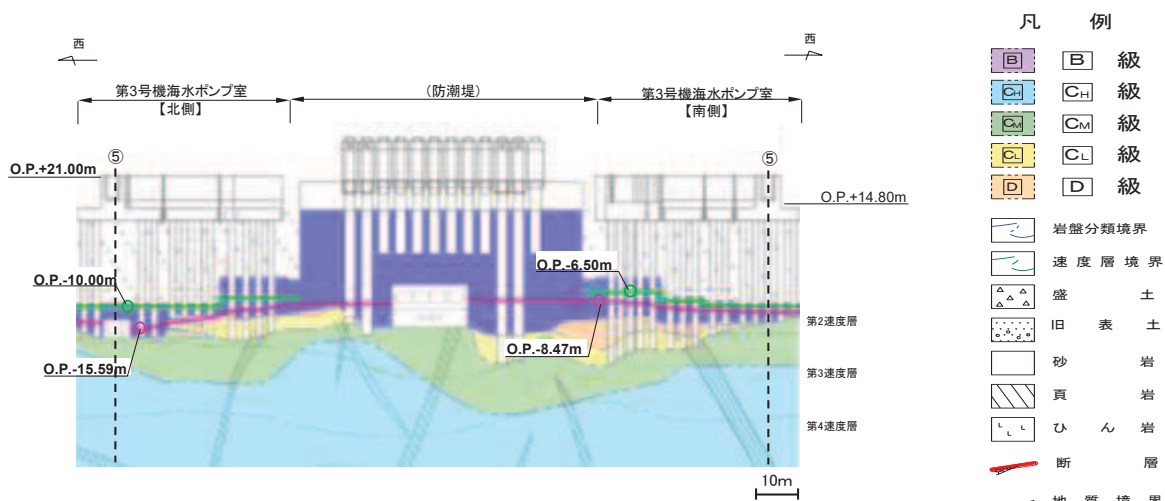
図 3.3-52(5) 防潮壁の設計用地下水位 (2号機放水立坑)
(2号機放水立坑横断方向の地下水位分布 (東西) ③-③) (2/3)



* : 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

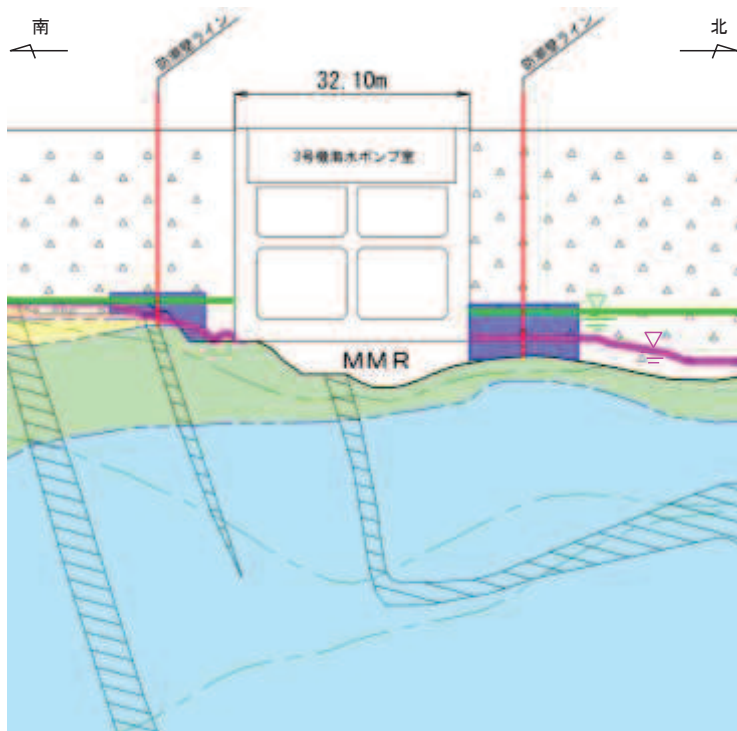
図 3.3-52(6) 防潮壁の設計用地下水位 (2号機放水立坑)
(2号機放水立坑横断方向の地下水位分布 (南北) ④-④) (3/3)



* : 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 3.3-52(7) 防潮壁の設計用地下水位
(3号機海水ポンプ室) (1/2)

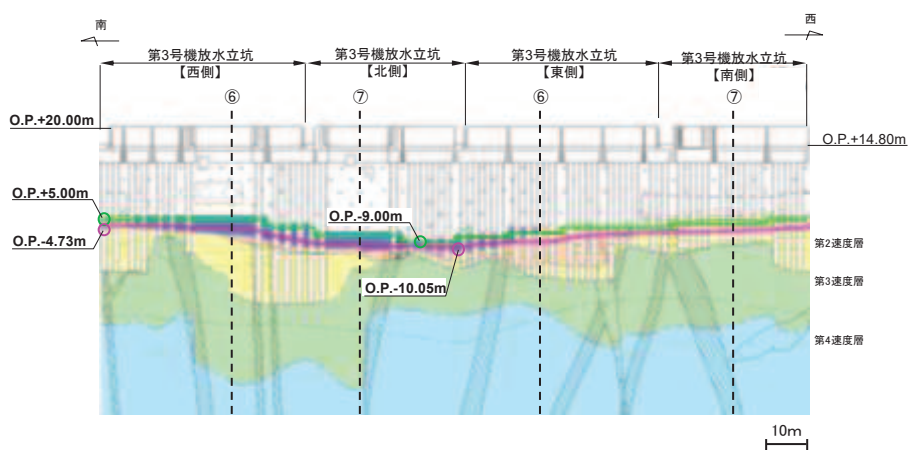


* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

— 予測解析による地下水位
— 設計用地下水位

図 3.3-52(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) ⑤-⑤) (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 3.3-52(9) 防潮壁の設計用地下水位

(3号機放水立坑) (1/3)

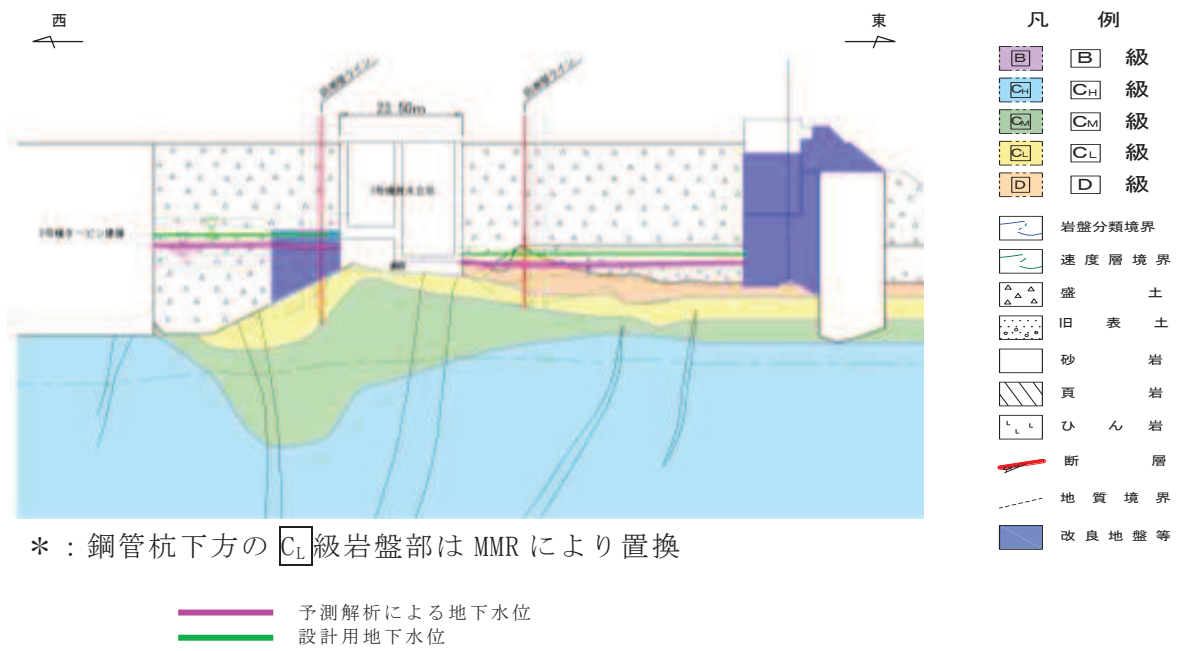


図 3.3-52(10) 防潮壁の設計用地下水位 (3号機放水立坑)
(3号機放水立坑横断方向の地下水位分布 (東西) ⑥-⑥) (2/3)

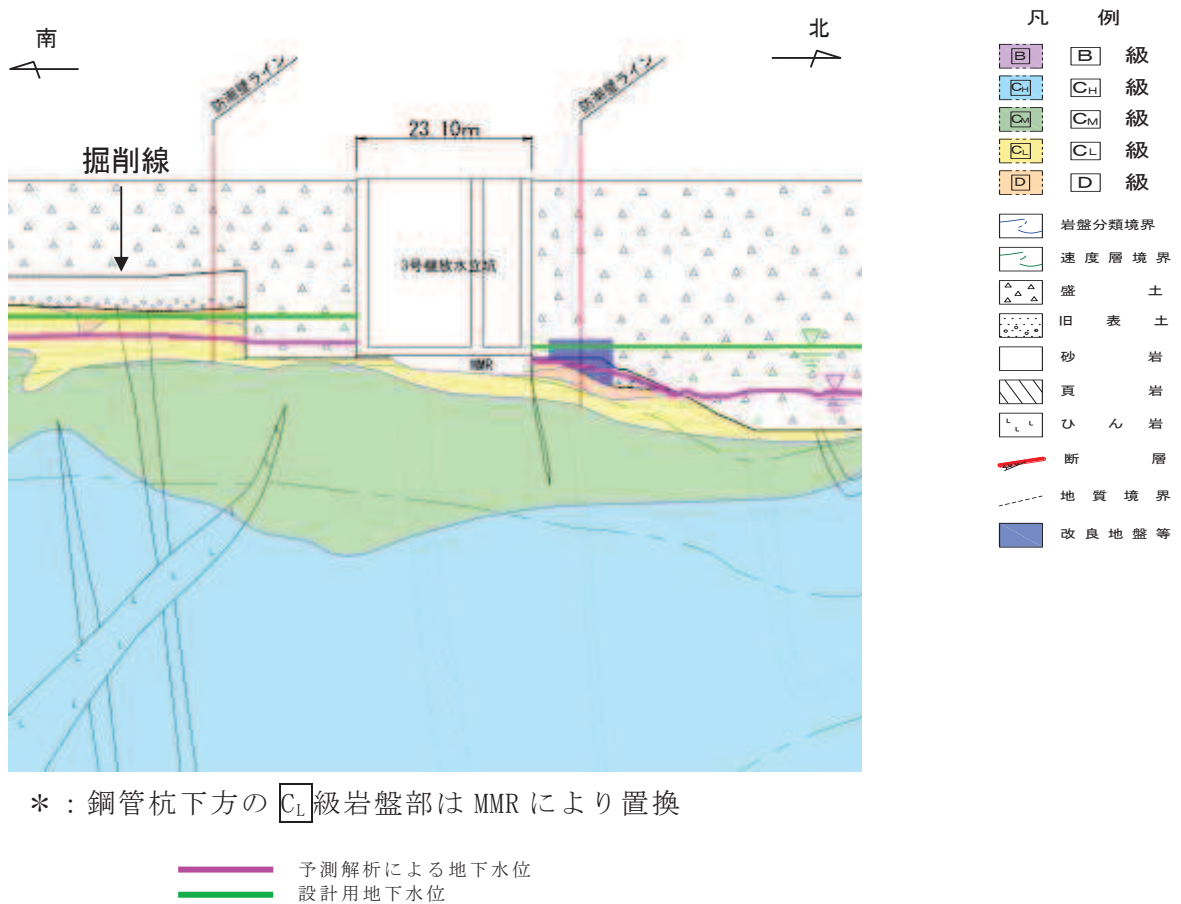


図 3.3-52(11) 防潮壁の設計用地下水位 (3号機放水立坑)
(3号機放水立坑横断方向の地下水位分布 (南北) ⑦-⑦) (3/3)

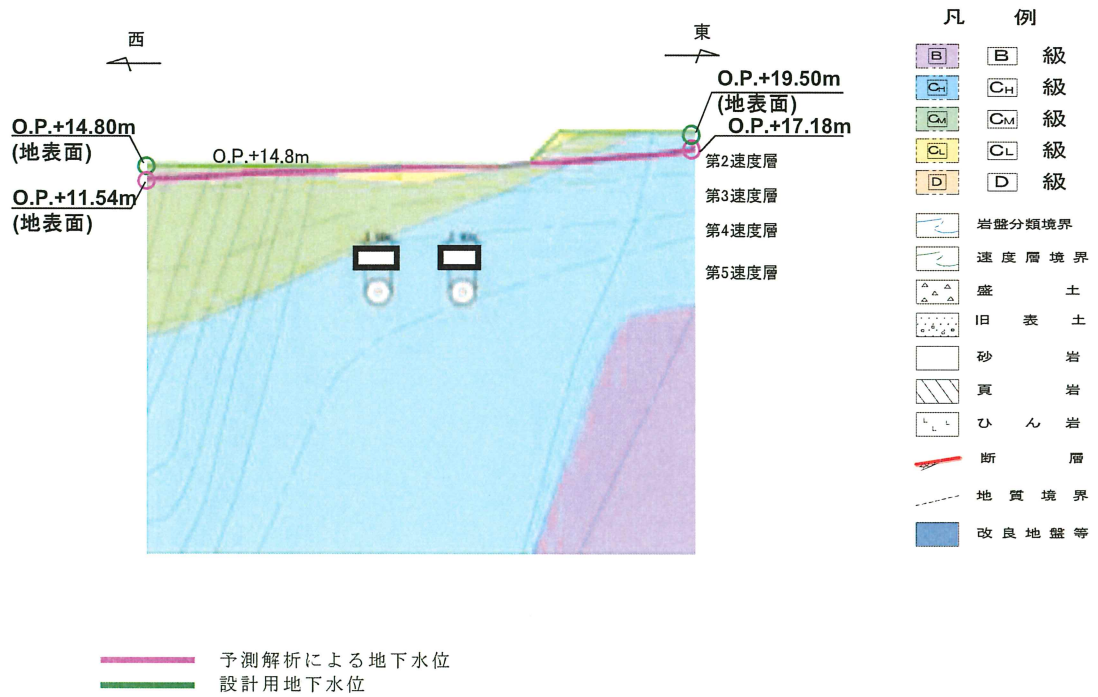


図 3.3-53(1) 取放水路流路縮小工の設計用地下水位
(1号機取水路)

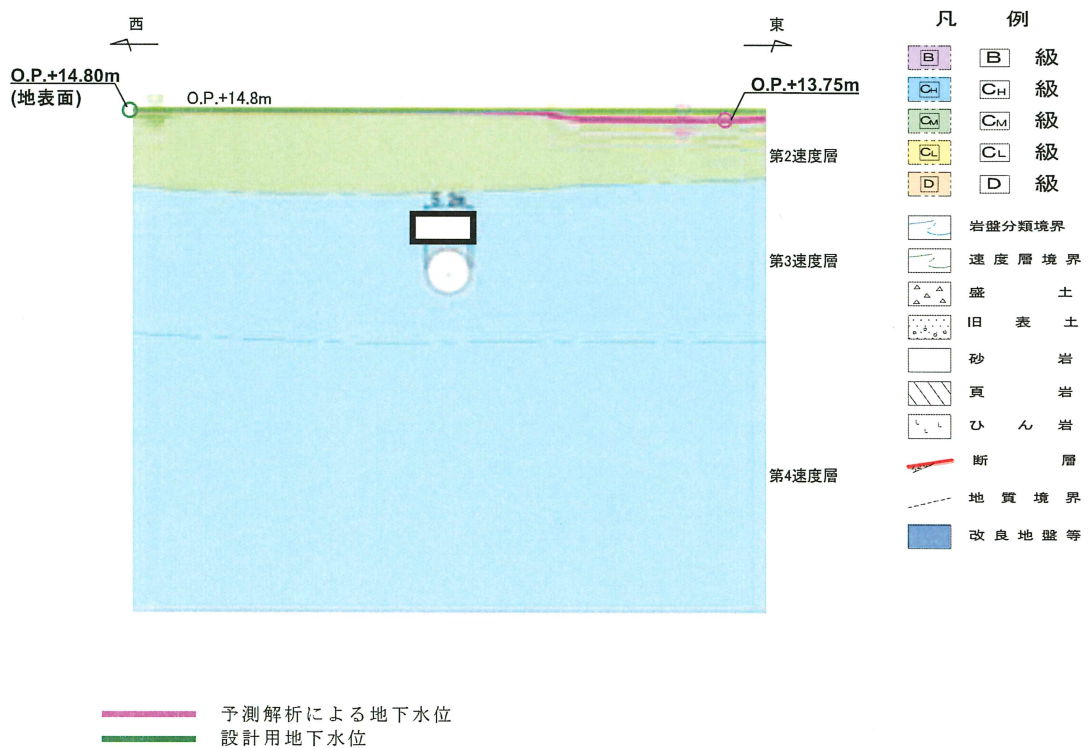


図 3.3-53(2) 取放水路流路縮小工の設計用地下水位
(1号機放水路)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

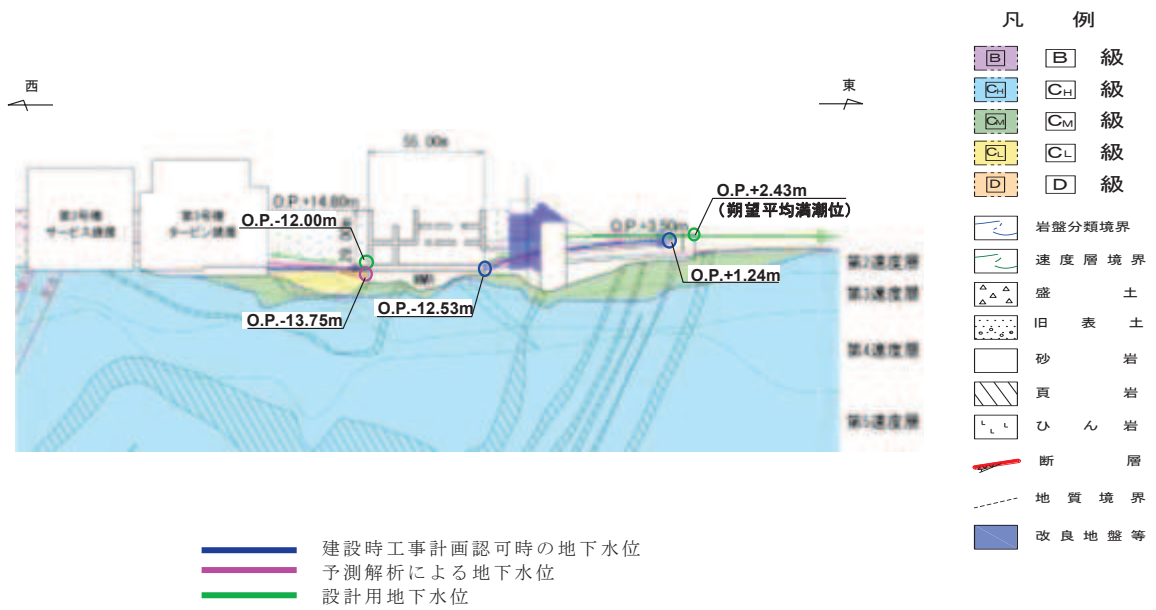


図 3.3-54(1) 第 3 号機海水ポンプ室の設計用地下水位 (縦断)

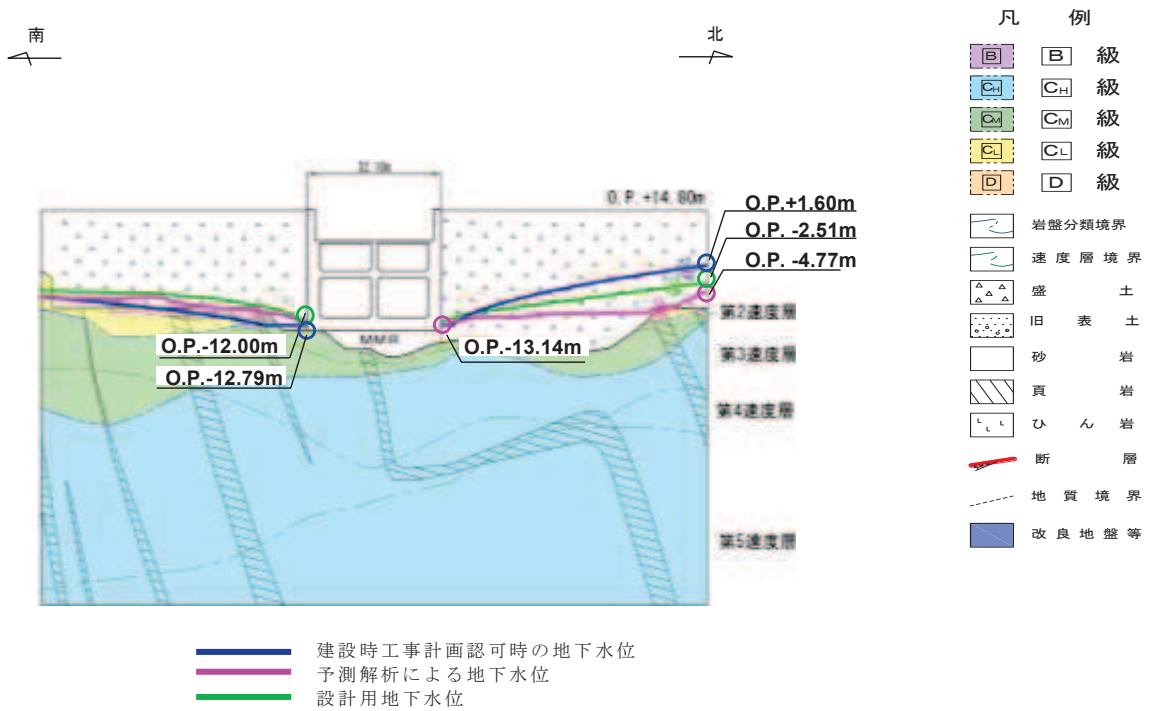


図 3.3-54(2) 第 3 号機海水ポンプ室の設計用地下水位 (横断)

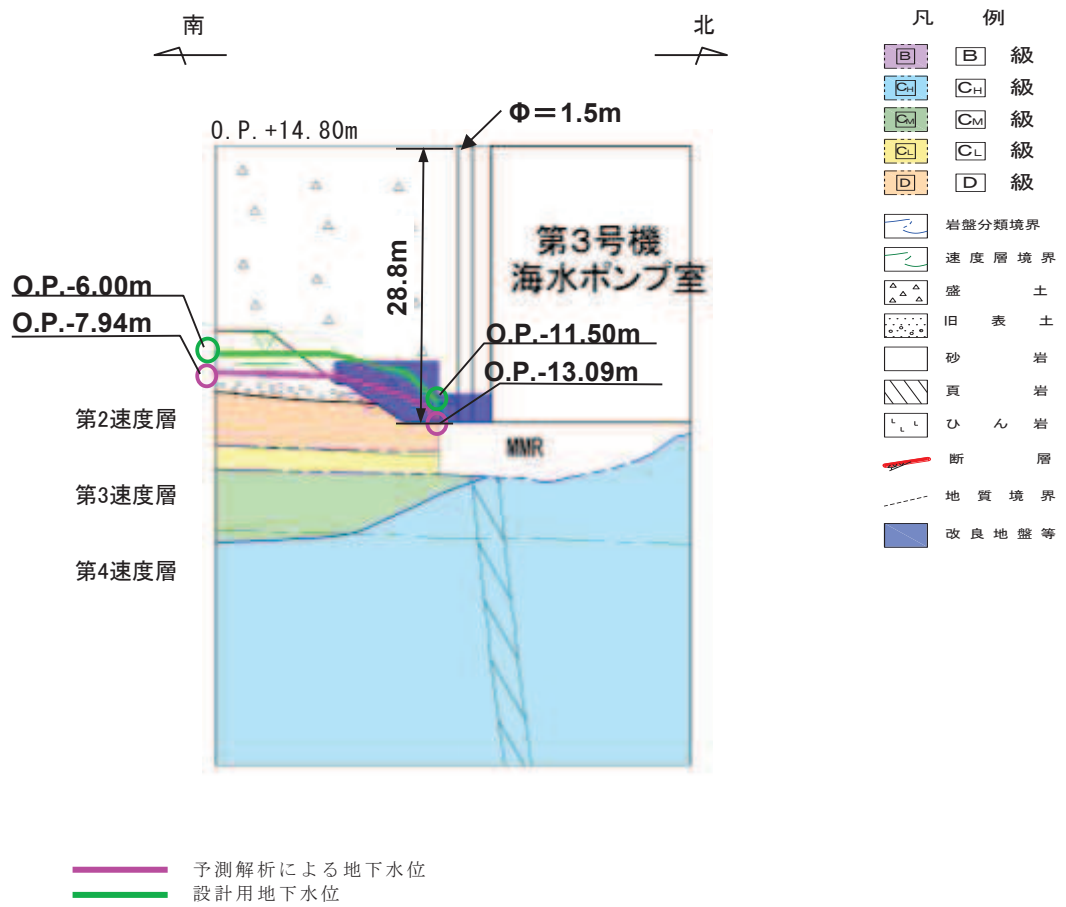


図 3.3-55(1) 揚水井戸（第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）
の設計用地下水位（南北）

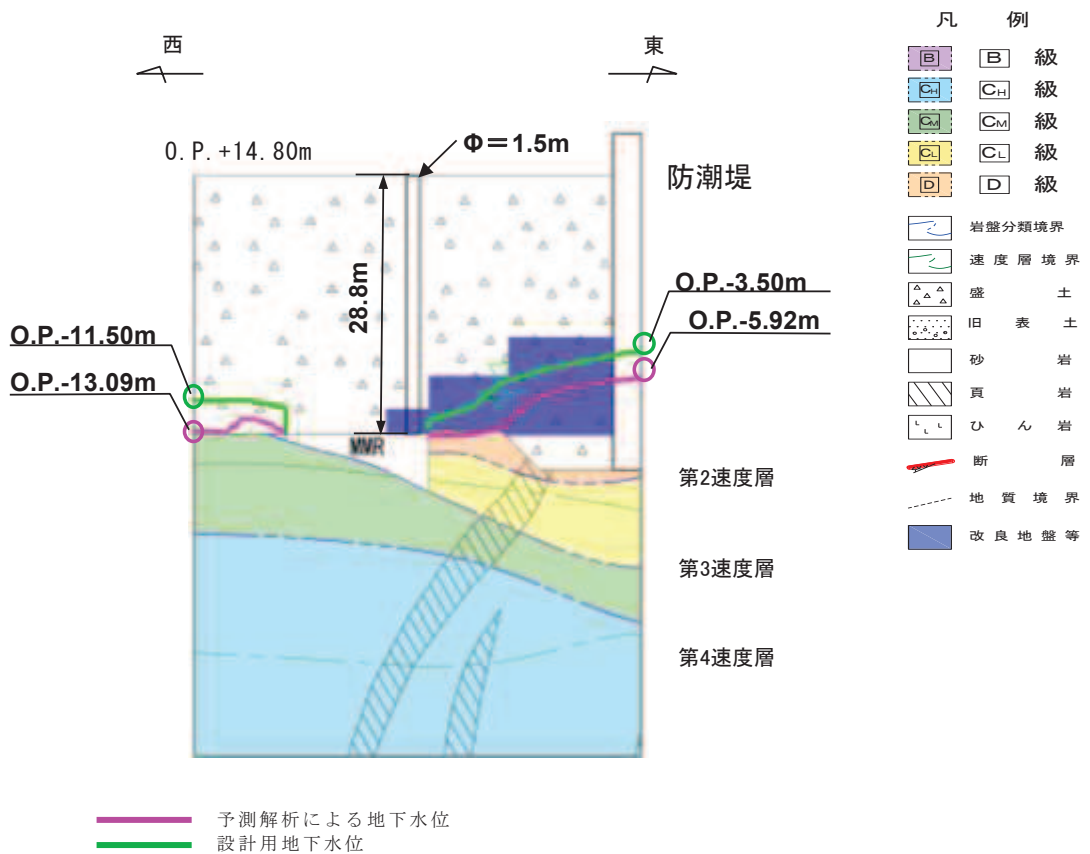


図 3.3-55(2) 揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の設計用地下水位（東西）

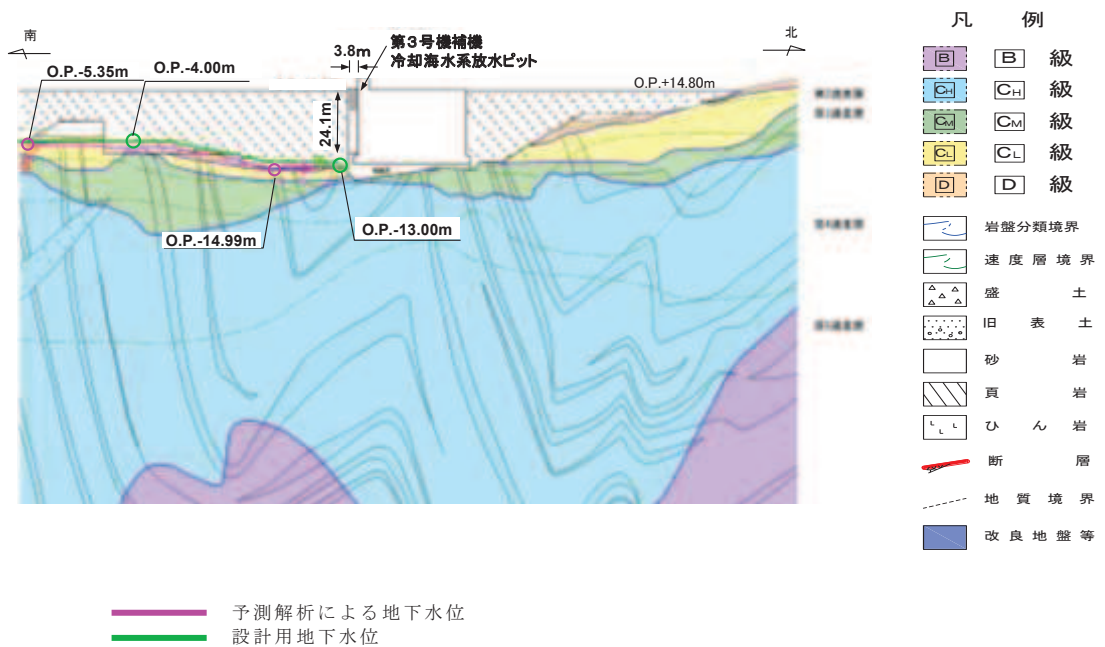


図 3.3-56 第3号機補機冷却海水系放水ピットの設計用地下水位

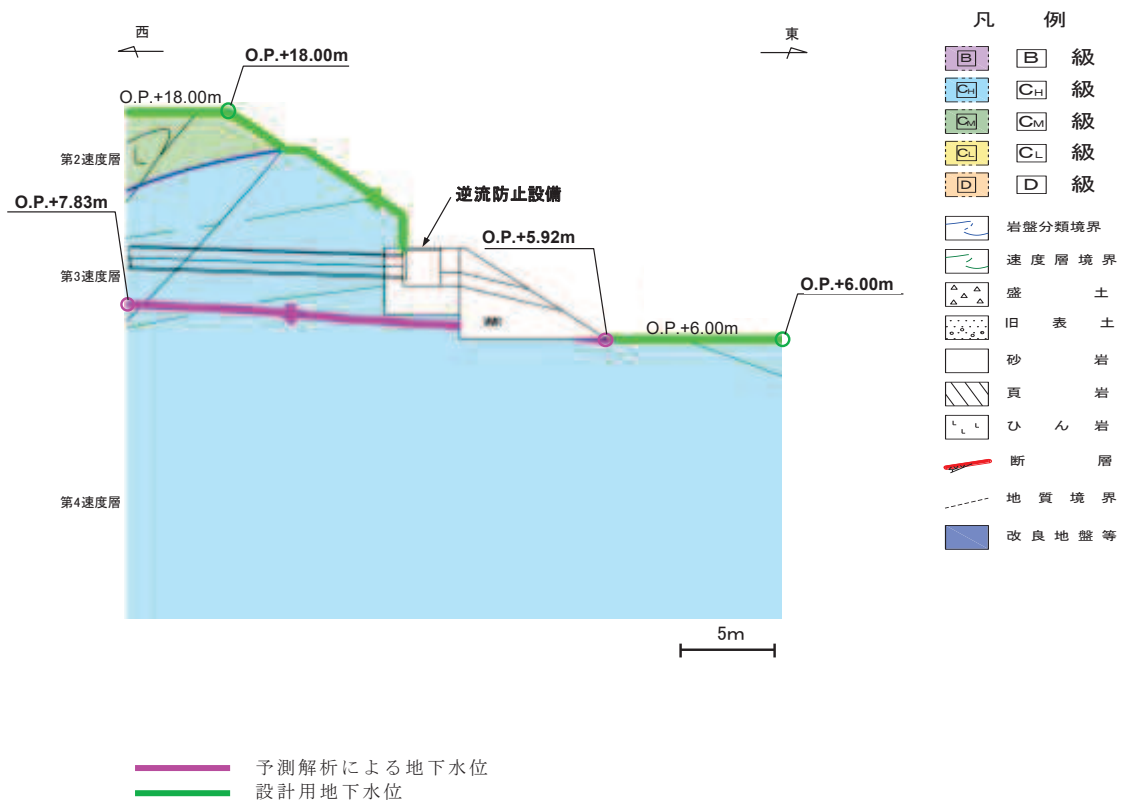


図 3.3-57 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の設計用地下水位

(c) アクセスルートの地下水位

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)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。

(7) 設計用地下水位の余裕の検証

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、工事完了前の段階においては観測水位を用いた直接的な検証を行うことができない。

設計用地下水位は高めに設定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 a. 及び b. の検討により、設計用地下水位の余裕を検証する。

a. 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。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実施前より地下水位が下がることが想定される。

(0. 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、その余裕は安全対策工事完了後も維持されるとの考え方から、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

予測解析により得られた解析水位と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 3.3-58 に、観測水位と解析水位の関係を表 3.3-15 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、定常的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。

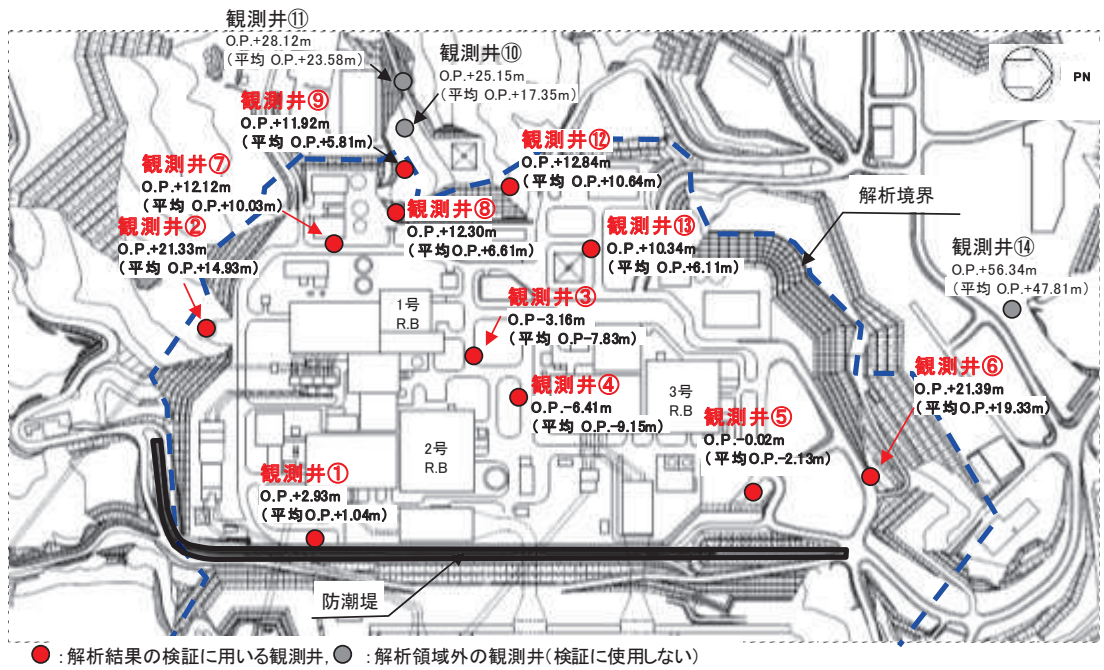


図 3.3-58 観測水位と解析水位（予測解析）の比較において参照する観測井位置図

表 3.3-15 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 | | | |

注記*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。

(c) 観測水位に係る補足

前項にて解析水位との比較において参照した観測水位が、平年値と比較し特異性がないことについて以下に補足する。

観測水位の気象庁アメダスの観測記録に基づき、石巻地点における平年値（1990年～2019年の30年間の平均値）と敷地内の地下水位の観測期間（期間①：2006年～2007年、期間②：2013年～2014年、期間③：2016年～2017年、期間④：2018年～2019年）との降雨量を比較した結果を図3.3-59に示す。

図3.3-59より、敷地内の地下水位観測期間は平年値と比較して、7～11月頃にかけて、降水量のばらつきが見られ、50～100mm/月程度少ない期間及び多い期間があるものの、表3.3-16に示すとおり、月降水量（年間平均）はいずれの観測期間においても平年並みであり、いずれの観測期間も特異性はないと判断できる。

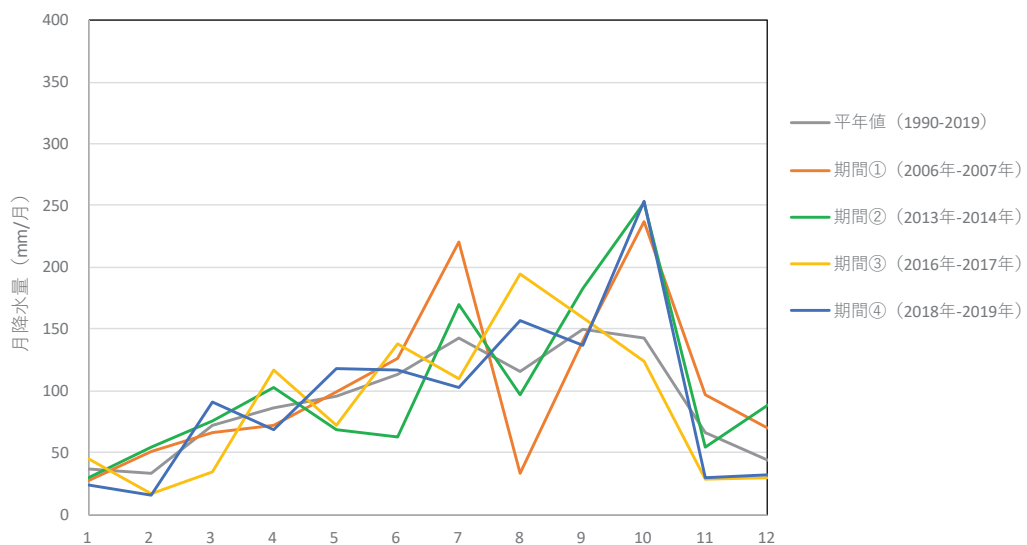


図 3.3-59 石巻地点における平年値と観測時期の降水量の比較結果

表 3.3-16 石巻地点における月降水量の年間平均値の比較

| | 平年値 | 期間① | 期間② | 期間③ | 期間④ |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 降水量 (mm/月) | 92 | 104 | 104 | 89 | 96 |

b. 降雨に対する余裕

(a) 検討の目的

降雨条件の不確実性も踏まえ、豪雨時に対応した降水を仮定した非定常解析により解析水位を評価し、設計用地下水位との比較を行う。

降雨条件として、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）を目安に，余裕をもって設定する。

(b) 解析条件

モデルの妥当性確認に用いた広域モデルを用い，施設配置等は水位評価用モデルと同様，安全対策工事完了段階の状態とする。

また，設計用地下水水位との比較を目的とすることから，ドレーンの有効範囲は予測解析に用いる水位評価モデルと同条件（既設・新設を含めて信頼性が確保される範囲）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た後，仮想豪雨をモデル全体に一律に与える。

仮想豪雨は，豪雨イベント当りの総雨量が地下水位に影響するとの考え方のもと，設計基準降水量（91mm/日）を観測した2014年9月11日の日降水量158.5mm/日と同程度の雨が3日間継続することを仮定し，72時間降水量として450mm（150mm/日×3日）を設定する。この仮想豪雨条件は，超過確率年400年に相当し，前項で示した目安に対しても十分な余裕を有する。

入力する降雨の条件を表3.3-17に示す。また，表3.3-18に，仮想豪雨評価モデルの解析条件一覧を示す。

表 3.3-17 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日を含む72時間降水量は158.5mm。2011年9月21日を含む72時間降水量は306.5mm。72時間降水量としての最大は306.5mm（2011年9月21日～23日）であり，仮想豪雨の総降水量はいずれも包絡する（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）。

表 3.3-18 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 |
|----------------|--|--|
| 1a. 目的 | ・モデル化の妥当性を確認すること (観測結果の再現性を確保) | ・工事完了後に想定される豪雨時の 水位を推定すること |
| 1b. アウトプットの活用 | － (モデル検証のみ) | ・設計用地下水位との比較により余 裕を確認 |
| 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  | |
| 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 | ・非定常解析 | |
| 5a. 降雨条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・以下の検証期間の降雨実績 検証期間 1：2006-2007 年 検証期間 2：2013-2014 年 | <ul style="list-style-type: none"> ・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 | <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) | |
| 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*2 | <ul style="list-style-type: none"> ・定常状態：ハーモン法*1 ・非定常状態：考慮しない*3 |
| 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を反映 |
| 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を反映 (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を反映 |
| 6d. モデル (ドレーン) | ・既設の全範囲を管路として考慮 | <ul style="list-style-type: none"> ・既設・新設のうち信頼性の確保状況に応じ，信頼性が確保された範囲を管路として扱う (それ以外の範囲は耐久性・耐震性・保守管理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 －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 | ・試験結果の平均値 | |
| 9. 有効間隙率 | ・文献値*4 | |
| 10. 粗度係数 | ・文献値*5 | |

注記*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

注記*2：検証期間における敷地内の気温，風速，日射時間等を参照する

注記*3：豪雨による水位上昇を保守的に評価するため，蒸発散分を差し引かず評価を実施

注記*4：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

注記*5：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

注) ■は目的に対して妥当な評価とするために広域モデルより変更している条件

(c) 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。また、各施設における断面図は参考資料 11 に示す。

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降雨に対して十分な余裕を有すると判断できる。

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。

イ. 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 3.3-19 に示す。

表 3.3-19 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比較*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 |

注記*1：設計用地下水位-仮想豪雨を与えた解析水位

ロ. 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3.3-20に示す。

土木構造物においては，排気筒連絡ダクトにおいて，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）が相対的に大きくなっている。これは，排気筒連絡ダクトは原子炉建屋付近から山側（西側）へ延長する線状構造物であり，原子炉建屋付近では盛土・旧表土が分布することと原子炉建屋下に設置されるドレーン（鋼管）の効果により解析水位が大きく下がる一方，山側（西側）に向かつては岩盤が高くなり解析境界水位（地表面）に近づいていくが，設計用地下水位は縦断方向に階段状に設定していることによるものであり，原子炉建屋近傍の土砂部における横断面（①～③）において設計用地下水位と仮想豪雨を与えた解析水位との差分が顕著となっている。

表3.3-20 (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 | |

注記* : 設計用地下水位-仮想豪雨を与えた解析水位

表3.3-20 (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 | 0. P. -1. 03m～ 0. P. +2. 43m | -4. 7m | |
| | 漸拡部 東西 | 0. P. -4. 53m～ 0. P. +2. 43m | -5. 7m | |
| 海水 ポンプ室 | 縦断 | 0. P. -8. 50m～ 0. P. +14. 00m | -6. 7m | |
| | 横断 | 0. P. -8. 50m～ 0. P. +2. 43m | -3. 9m | |
| 軽油 タンク室 | 南北 | 0. P. -3. 00m | -12. 3m | |
| | 東西 | 0. P. -3. 00m～ 0. P. +6. 50m | -4. 6m | |
| 軽油 タンク室 (H) | 南北 | 0. P. -3. 00m | -6. 8m | |
| | 東西 | 0. P. -3. 00m～ 0. P. +6. 50m | -4. 6m | |
| 取水口 (貯留堰) | 南北 (標準部) | 0. P. +2. 43m | -0. 8m | 朔望平均 満潮位 |
| | 南北 (漸縮部) | 0. P. +2. 43m | -0. 8m | 朔望平均 満潮位 |
| 復水貯蔵 タンク基礎 | 南北 | 0. P. -3. 00m | -12. 3m | |
| | 東西 | 0. P. -3. 00m ～0. P. +3. 00m | -7. 0m | |

注記*：設計用地下水位-仮想豪雨を与えた解析水位

表3.3-20 (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) | 0. P. +3. 50m～ 0. P. +19. 50m | 0. 8m | |
| | 横断 (岩盤部②) | 0. P. +6. 00m～ 0. P. +18. 00m | -3. 2m | |
| | 横断 (一般部①) | 0. P. +2. 43m | -13. 4m | |
| | 横断 (一般部②) | 0. P. +2. 43m | -4. 7m | |
| | 横断 (一般部③) | 0. P. +2. 43m | -8. 7m | |
| 防潮堤 (盛土堤防) | 横断① | 0. P. +2. 43m～ 0. P. +14. 80m | -20. 6m | |
| | 横断② | 0. P. +2. 43m～ 0. P. +14. 80m | -17. 6m | |
| 防潮壁 | 第2号機 海水ポンプ室 | 0. P. -11. 50m～ 0. P. -3. 00m | -1. 6m | |
| | 第2号機 放水立坑 | 0. P. +4. 50m～ 0. P. +12. 50m | -8. 3m | |
| | 第3号機 海水ポンプ室 | 0. P. -10. 00m～ 0. P. -6. 50m | -2. 2m | |
| | 第3号機 放水立坑 | 0. P. -9. 00m～ 0. P. +5. 00m | -2. 8m | |

注記* : 設計用地下水位-仮想豪雨を与えた解析水位

表3.3-20 (4) 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 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(第3号 機海水ポンプ室防 潮壁区画内) | 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 | |

注記* : 設計用地下水位-降雨を考慮した解析水位

(8) 水位が低い場合の影響確認

a. 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、液状化検討対象施設を幅広く抽出するために、水位が高めに算出されるような解析条件のもと実施する予測解析により、平常的な水位より高くなる。

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、既往の観測記録に基づく平均的な降雨条件を付与した定常解析により解析水位の分布を確認する。

b. 解析条件

平常水位予測モデルの概要を表 3.3-21 に示す。

表 3.3-21 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 |
|---------------|---|---|
| 1a. 目的 | ・モデル化の妥当性を確認すること (観測結果の再現性を確保) | ・工事完了後に想定される実際の水位(設計用地下水位より低い水位)を推定すること |
| 1b. アウトプットの活用 | －(モデル検証のみ) | ・耐震設計(水位が低い場合の影響検討)において参考情報として確認 |
| 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 | ・定常解析 |
| 5a. 降雨条件 | ・以下の検証期間の降雨実績 検証期間 1：2006-2007 年 検証期間 2：2013-2014 年 | ・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) |
| 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*2 | |
| 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. " (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. " (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. " (ドレーン) | ・既設の全範囲を管路として考慮 | ・既設及び新設の全範囲を管路として考慮 |
| 7. 境界条件 | ・実態に則した設定 ー山側：閉境界 ー海側：平均潮位に水位固定 ードレーン：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*3 | |
| 10. 粗度係数 | ・文献値*4 | |
| 11. 機能喪失状態 | ・考慮しない(施設の全範囲を有効) | |

注記*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

注記*2：検証期間における敷地内の気温，風速，日射時間等を参照する

注記*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

注記*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

注) ■は目的に対して妥当な評価とするために広域モデルより変更している条件

■は目的に対して妥当な評価とするために広域モデルを踏襲している条件

c. 解析結果

(a) 建物・構築物

建物・構築物の設計用揚圧力と平常時水位の比較を、表3.3-22及び図3.3-60～図3.3-64に示す。

表 3.3-22 建物・構築物*¹における設計用地下水位と平常時水位の比較

| 施設名称 | 設計用揚圧力 | 設計用地下水位と平常時水位との比較* ² (断面平均) | 備考 |
|--|------------------------|---|----|
| 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* ³ | |
| 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* ³ | |
| 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* ³ | |

注記*1：排気筒は設計用地下水位を地表面に設定することから本表には記載していない。

注記*2：設計用揚圧力-平常時水位

注記*3：底面位置よりも平均揚圧力が小さいことから、水位が低い場合の影響評価においては基礎版に作用する揚圧力を考慮しない。

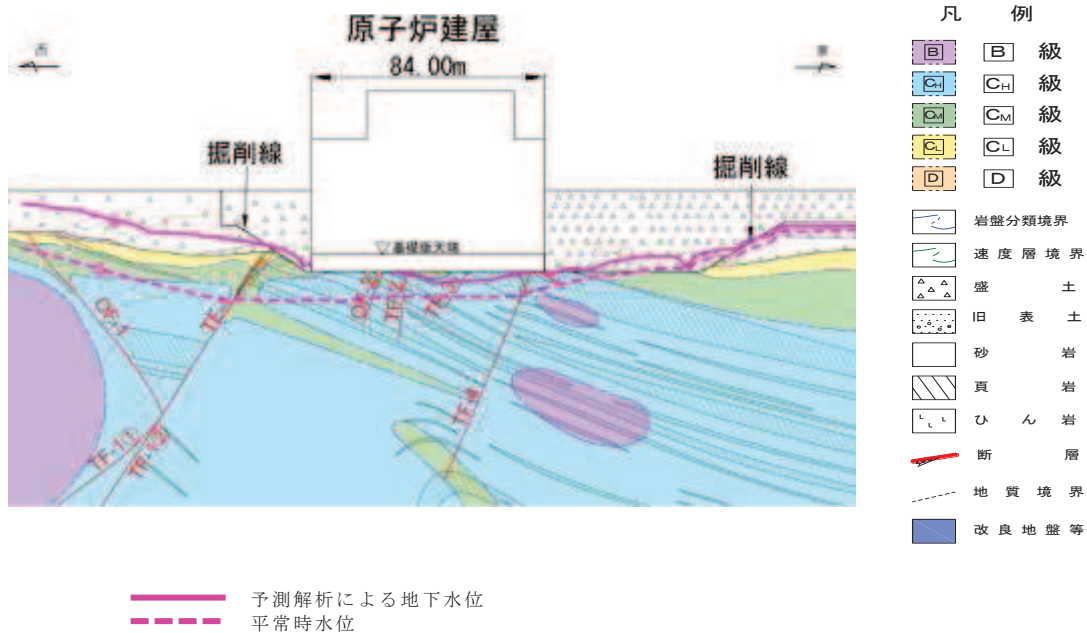


図 3.3-60 原子炉建屋における平常時水位分布(東西)

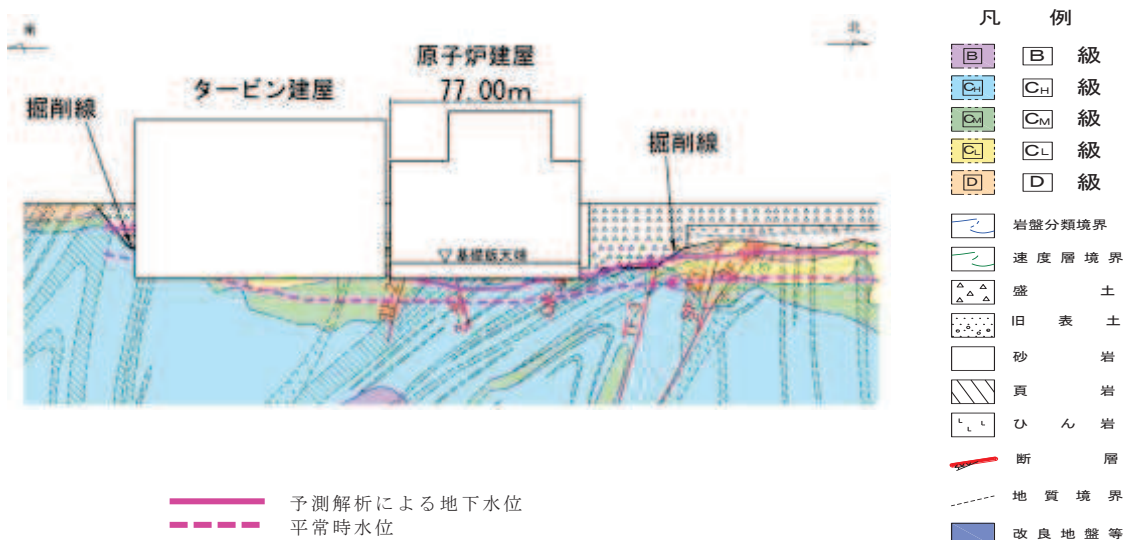


図 3.3-61 原子炉建屋における平常時水位分布(南北)

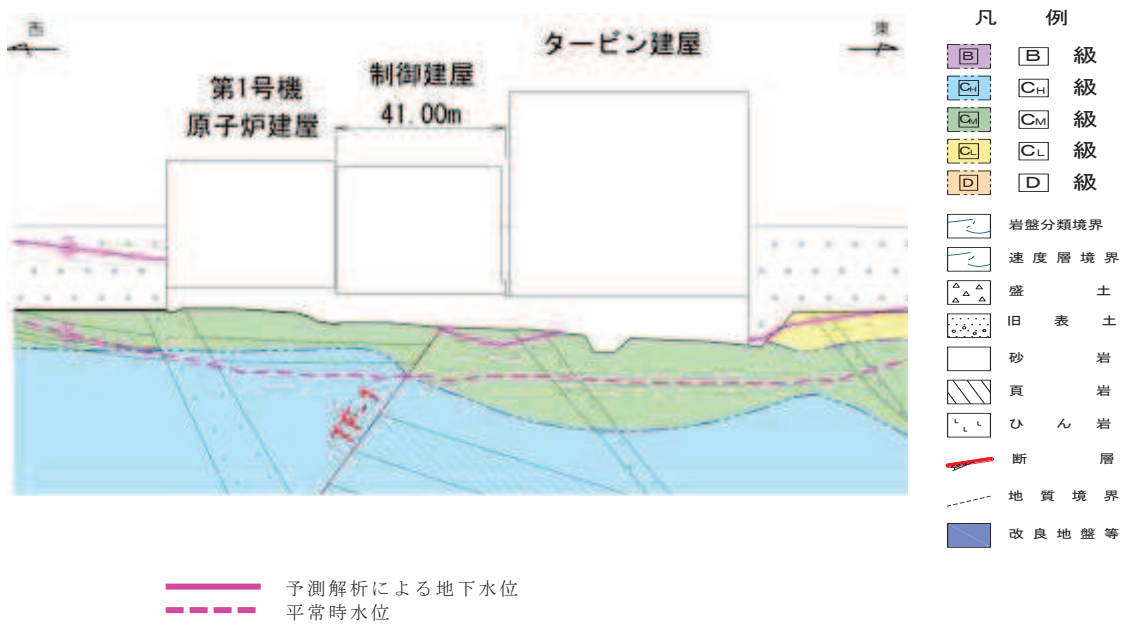


図 3.3-62 制御建屋における平常時水位分布

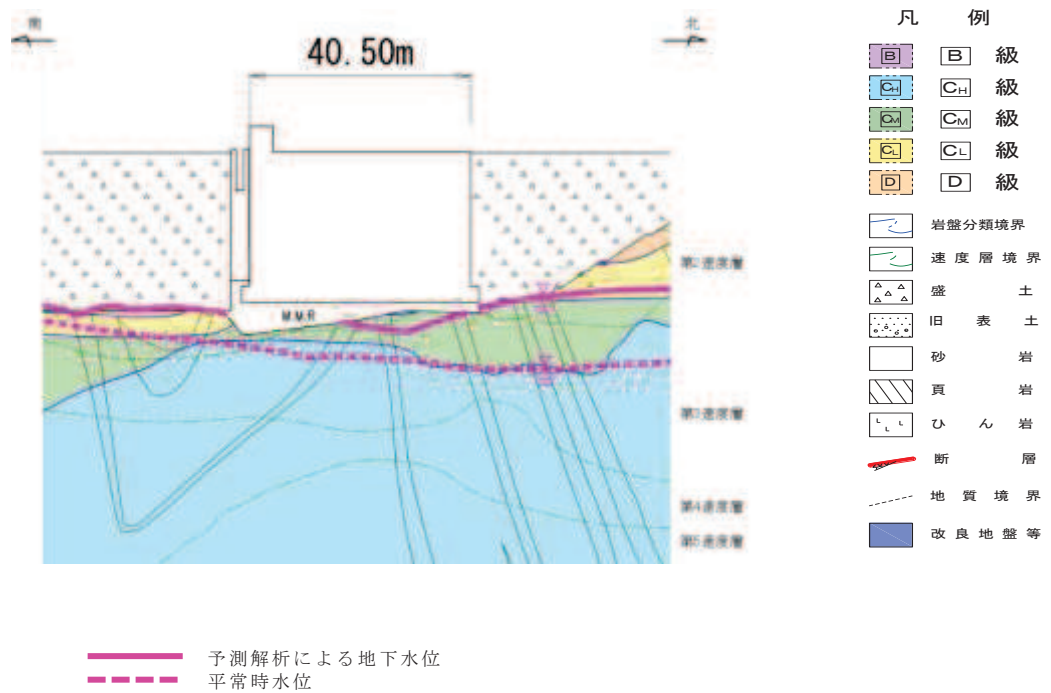
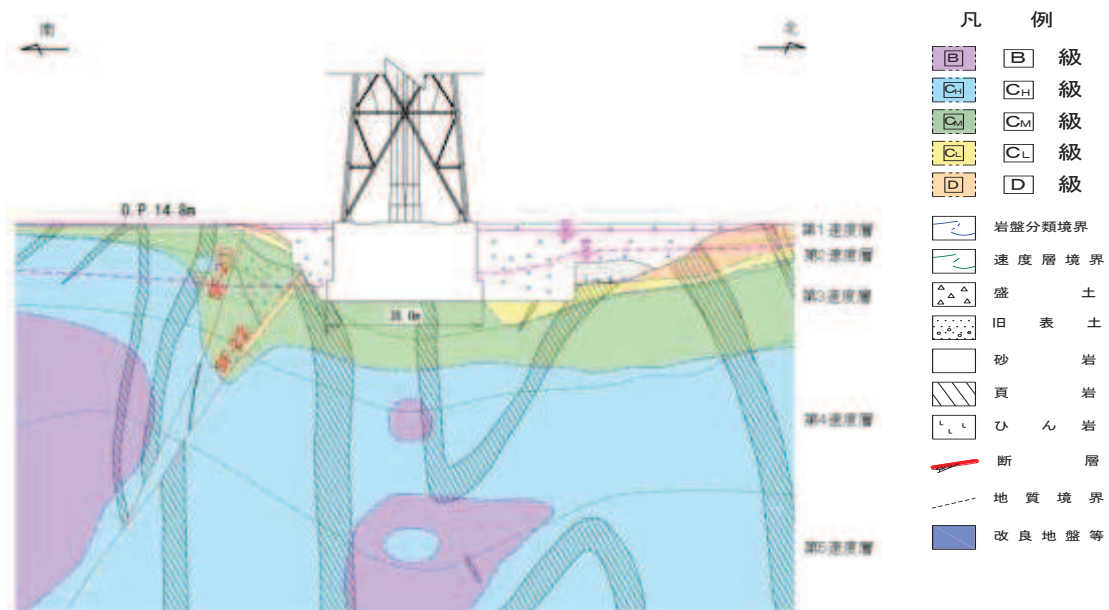


図 3.3-63 第3号機海水熱交換器建屋における平常時水位分布



予測解析による地下水位
 平常時水位

図 3.3-64 排気筒周辺における平常時水位分布(参考)

(b) 土木構造物

土木構造物の設計用地下水位と平常時水位の比較を表3.3-23及び図3.3-65～図3.3-77に示す。（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壁部，取放水路流路縮小工，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は除く。）

表3.3-23 (1) 土木構造物における設計用地下水位と平常時水位の比較

| 施設名称 | | 設計用地下水位 | 設計用地下水位と平常時水位との差分* (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 | -11.4m | |
| 排気筒連絡ダクト | 縦断 | O. P. +5.73m～ O. P. +14.80m | -22.5m | |
| | 横断 (断面①) | O. P. +5.73m | -28.3m | |
| | 横断 (断面②) | O. P. +5.80m | -27.9m | |
| | 横断 (断面③) | O. P. + 5.80m | -27.2m | |
| | 横断 (断面⑤) | O. P. +8.19m～ O. P. +9.00m | -22.0m | |
| | 横断 (断面⑦) | O. P. +10.10m～ O. P. +12.00m | -17.4m | |
| 軽油タンク連絡ダクト | | O. P. -3.00m～ O. P. +3.00m | -11.8m | |
| 取水路 | 縦断 | O. P. -4.53m～ O. P. +2.43m | -4.3m | |
| | 横断 (標準部①) | O. P. +2.43m | -1.7m | 朔望平均満潮位 |
| | 横断 (標準部②) | O. P. +2.43m | -2.9m | 朔望平均満潮位 |
| | 横断 (標準部③ (防潮堤横断部)) | O. P. +2.43m | -7.6m | 朔望平均満潮位 |
| | 横断 (標準部④ (防潮堤横断部)) | O. P. -1.00m | -4.9m | |
| | 曲がり部 南北 | O. P. -1.01m | -7.4m | |

注記*：設計用地下水位-平常時水位

表3.3-23 (2) 土木構造物における設計用地下水位と平常時水位の比較

| 施設名称 | | 設計用 地下水位 | 設計用地下水位と 平常時水位との差分 * (断面平均) | 備考 |
|-------------------|-------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| 取水路 | 曲がり部 東西 | 0. P. -1. 03m～ 0. P. +2. 43m | -8. 3m | |
| | 漸拡部 東西 | 0. P. -4. 53m～ 0. P. +2. 43m | -7. 6m | |
| 海水 ポンプ室 | 縦断 | 0. P. -8. 50m～ 0. P. +14. 00m | -11. 2m | |
| | 横断 | 0. P. -8. 50m～ 0. P. +2. 43m | -5. 8m | |
| 軽油 タンク室 | 南北 | 0. P. -3. 00m | -15. 1m | |
| | 東西 | 0. P. -3. 00m～ 0. P. +6. 50m | -11. 0m | |
| 軽油 タンク室 (H) | 南北 | 0. P. -3. 00m | -12. 2m | |
| | 東西 | 0. P. -3. 00m～ 0. P. +6. 50m | -11. 0m | |
| 取水口 (貯留堰) | 南北 (標準部) | 0. P. +2. 43m | -1. 0m | 朔望平均 満潮位 |
| | 南北 (漸縮部) | 0. P. +2. 43m | -1. 4m | 朔望平均 満潮位 |
| 復水貯蔵 タンク基礎 | 南北 | 0. P. -3. 00m | -15. 1m | |
| | 東西 | 0. P. -3. 00m ～0. P. +3. 00m | -11. 8m | |

注記* : 設計用地下水位-平常時水位

表3.3-23 (3) 土木構造物における設計用地下水位と平常時水位の比較

| 施設名称 | | 設計用 地下水位 | 設計用地下水位と 平常時水位との差分 * (断面平均) | 備考 |
|---------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|----|
| 防潮堤 (鋼管式鉛 直壁) | 横断 (岩盤部①) | 0. P. +3. 50m～ 0. P. +19. 50m | -7. 2m | |
| | 横断 (岩盤部②) | 0. P. +6. 00m～ 0. P. +18. 00m | -13. 7m | |
| | 横断 (一般部①) | 0. P. +2. 43m | -15. 0m | |
| | 横断 (一般部②) | 0. P. +2. 43m | -9. 8m | |
| | 横断 (一般部③) | 0. P. +2. 43m | -12. 0m | |
| | 横断 (一般部④) | 0. P. +2. 43m～ 0. P. +14. 80m | -20. 9m | |
| 防潮堤 (盛土堤防) | 横断① | 0. P. +2. 43m～ 0. P. +14. 80m | -19. 1m | |
| 防潮壁 | 第2号機 海水ポンプ室 | 0. P. -11. 50m～ 0. P. -3. 00m | -5. 1m | |
| | 第2号機 放水立坑 | 0. P. +4. 50m～ 0. P. +12. 50m | -16. 3m | |
| | 第3号機 海水ポンプ室 | 0. P. -10. 00m～ 0. P. -6. 50m | -3. 9m | |
| | 第3号機 放水立坑 | 0. P. -9. 00m～ 0. P. +5. 00m | -7. 5m | |

注記* : 設計用地下水位-平常時水位

表3.3-23 (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 平常時水位との差分 * (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 | -6.6m | |
| | 横断 | O.P. -12.00m～ O.P. -2.51m | -10.6m | |
| 揚水井戸(第3号 機海水ポンプ室防 潮壁区画内) | 南北 | O.P. -12.50m～ O.P. -7.00m | -2.6m | |
| | 東西 | O.P. -12.50m～ O.P. -4.50m | -3.5m | |
| 第3号機補機冷却海水系 放水ピット | | O.P. -14.00m～ O.P. -5.00m | -7.6m | |

注記* : 設計用地下水位-平常時水位

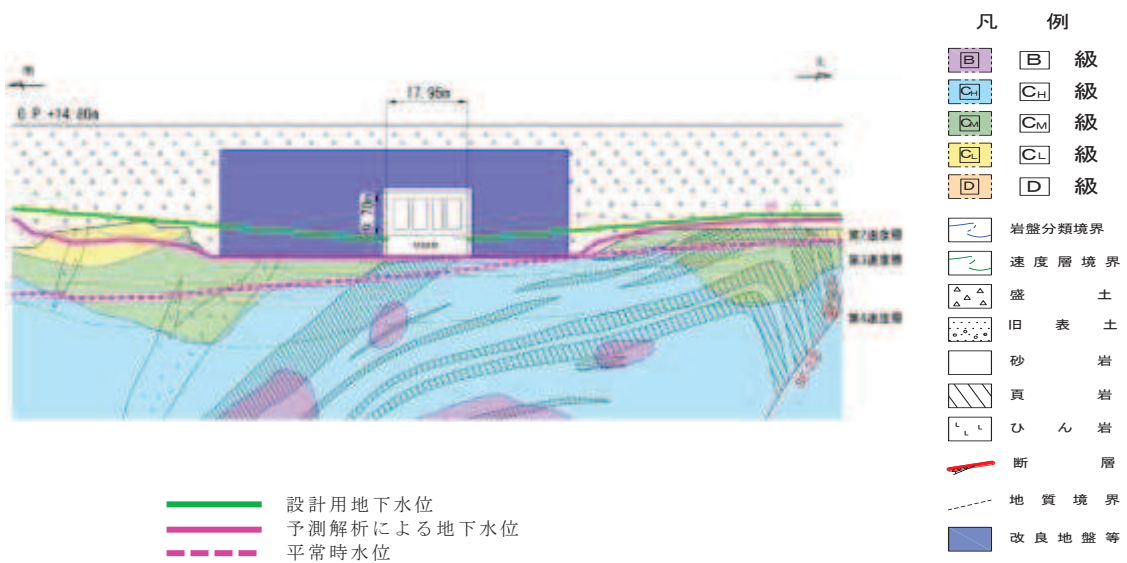


図 3.3-65 原子炉機器冷却海水配管ダクトにおける
設計用地下水位と平常時水位の比較
(横断)

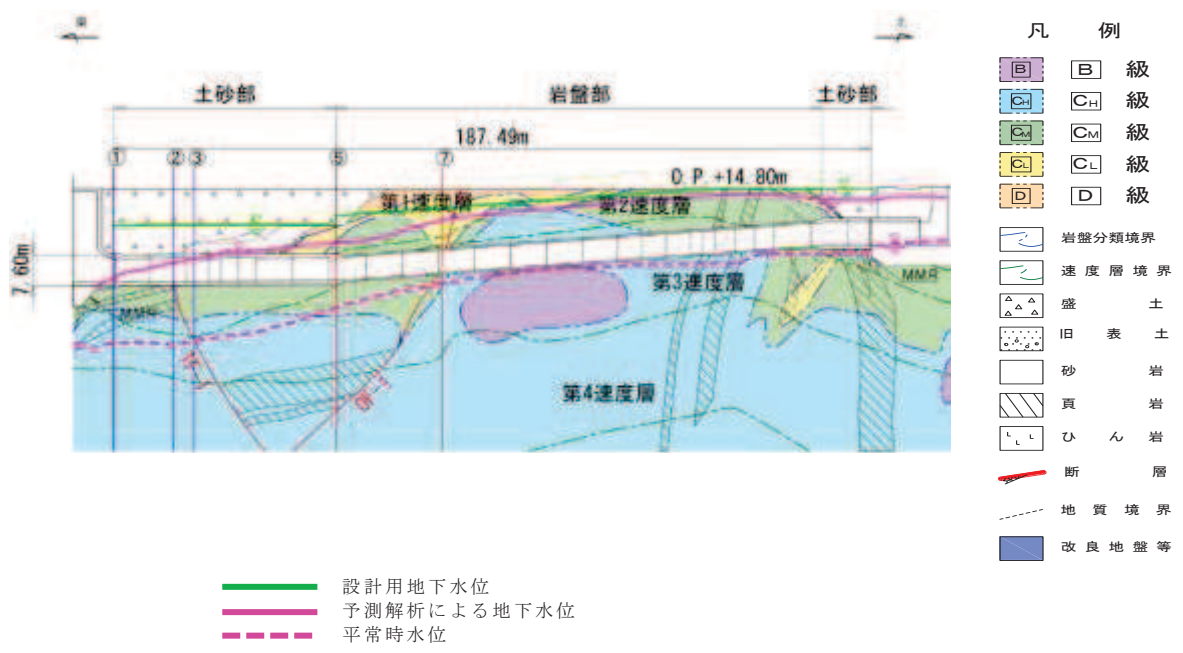
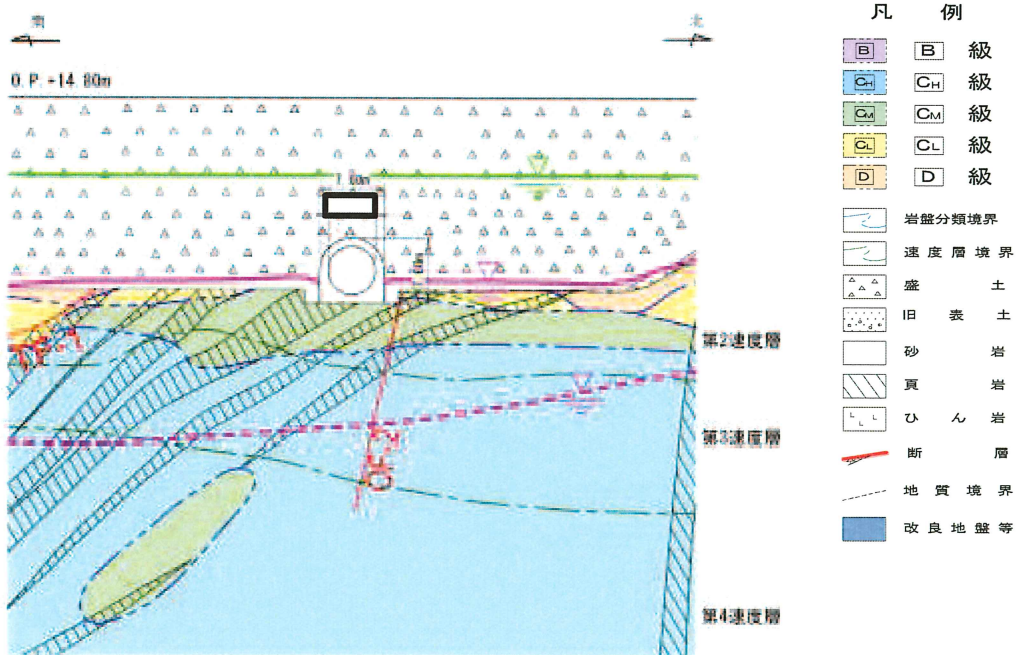
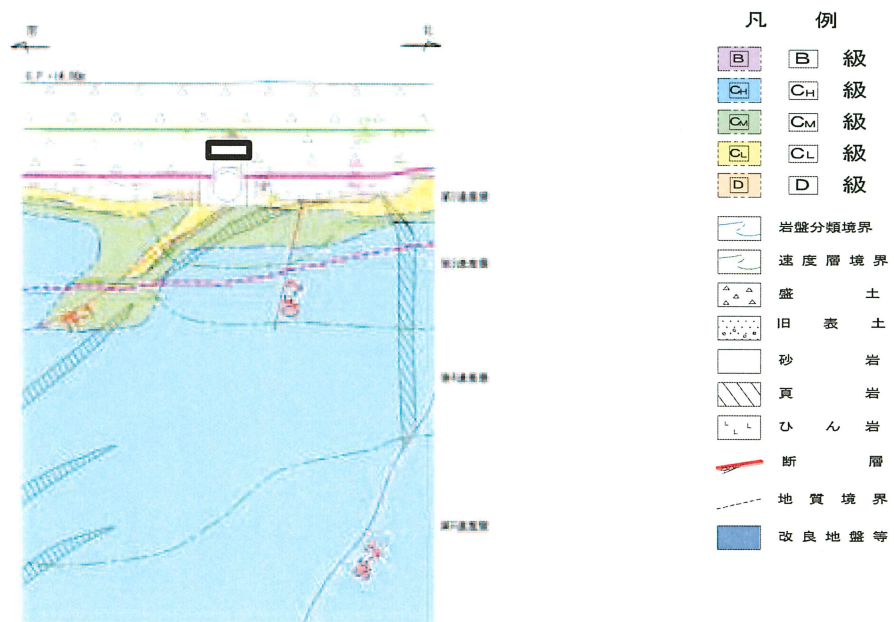


図 3.3-66 (1) 排気筒連絡ダクトにおける
設計用地下水位と平常時水位の比較
(縦断)



——— 設計用地下水位
 ——— 予測解析による地下水位
 - - - 平常時水位

図 3.3-66 (2) 排気筒連絡ダクトにおける設計用地下水位と平常時水位の比較 (横断(断面①))



——— 設計用地下水位
 ——— 予測解析による地下水位
 - - - 平常時水位

図 3.3-66 (3) 排気筒連絡ダクトにおける設計用地下水位と平常時水位の比較 (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。

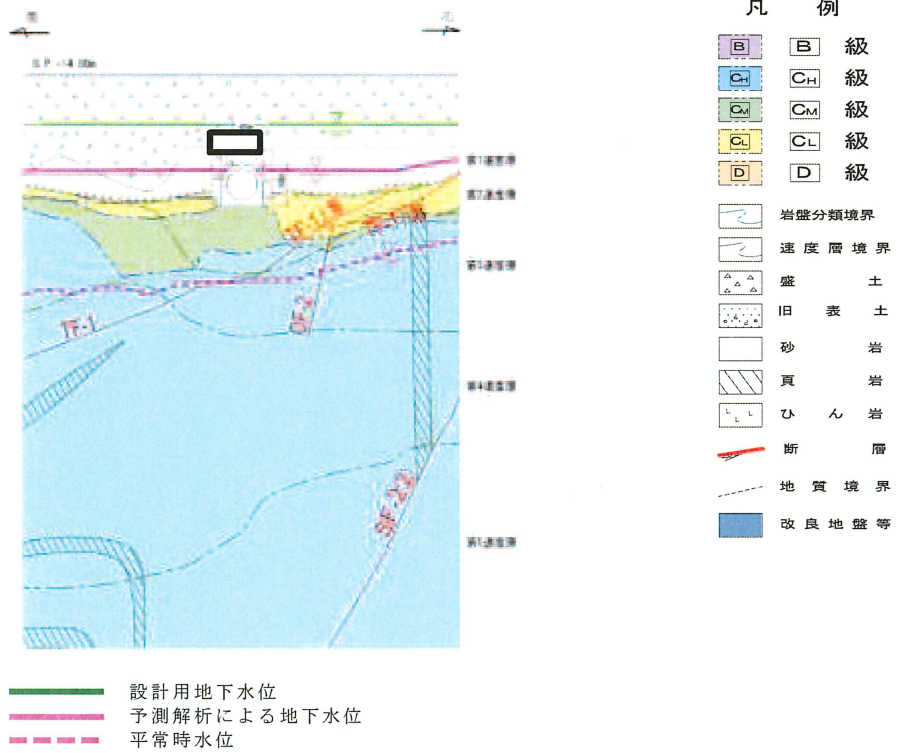


図 3.3-66 (4) 排気筒連絡ダクトにおける設計用地下水位と平常時水位の比較 (横断(断面③))

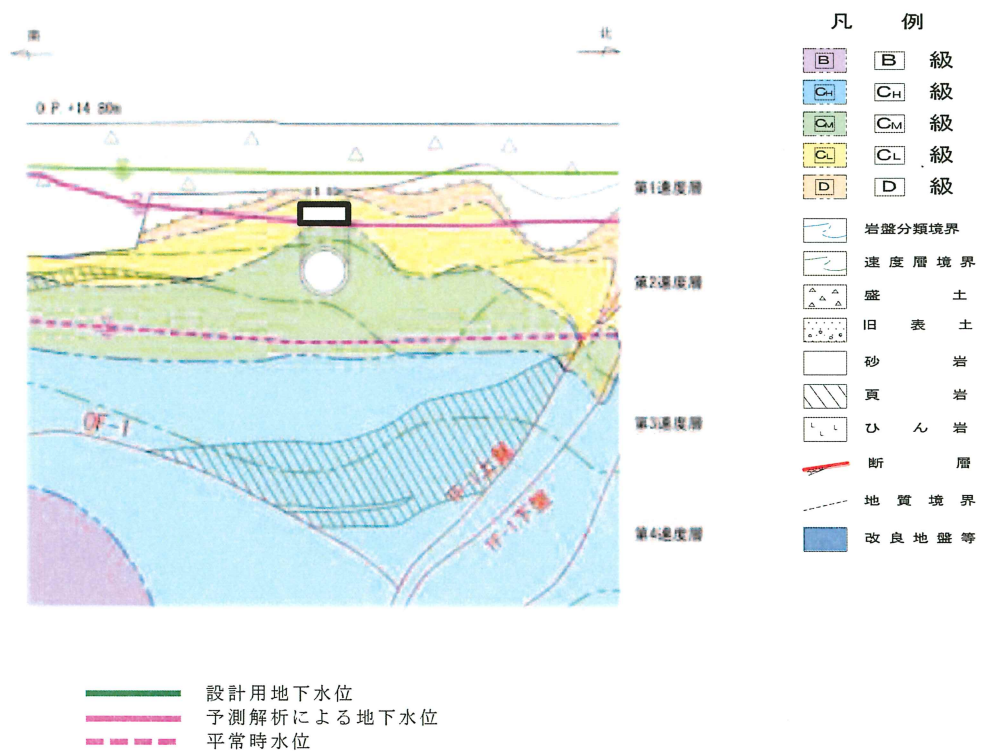
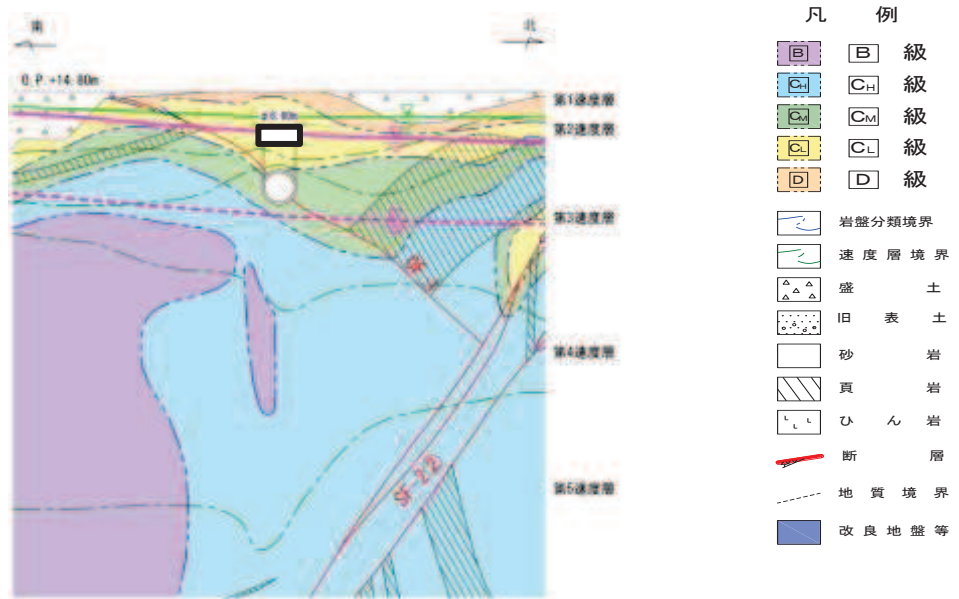


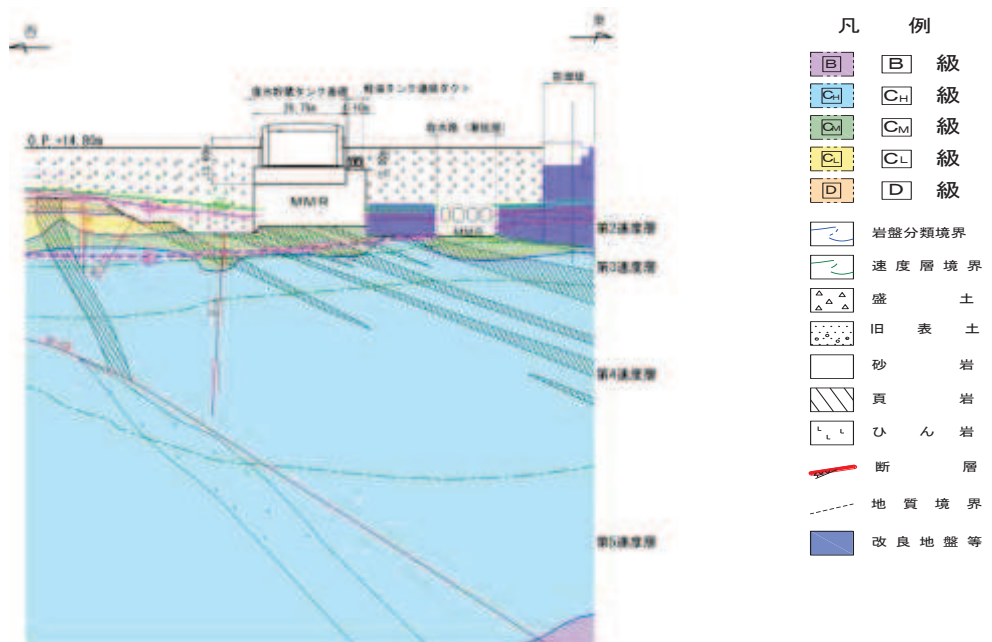
図 3.3-66 (5) 排気筒連絡ダクトにおける設計用地下水位と平常時水位の比較 (横断(断面⑤))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



—— 設計用地下水位
—— 予測解析による地下水位
- - - 平常時水位

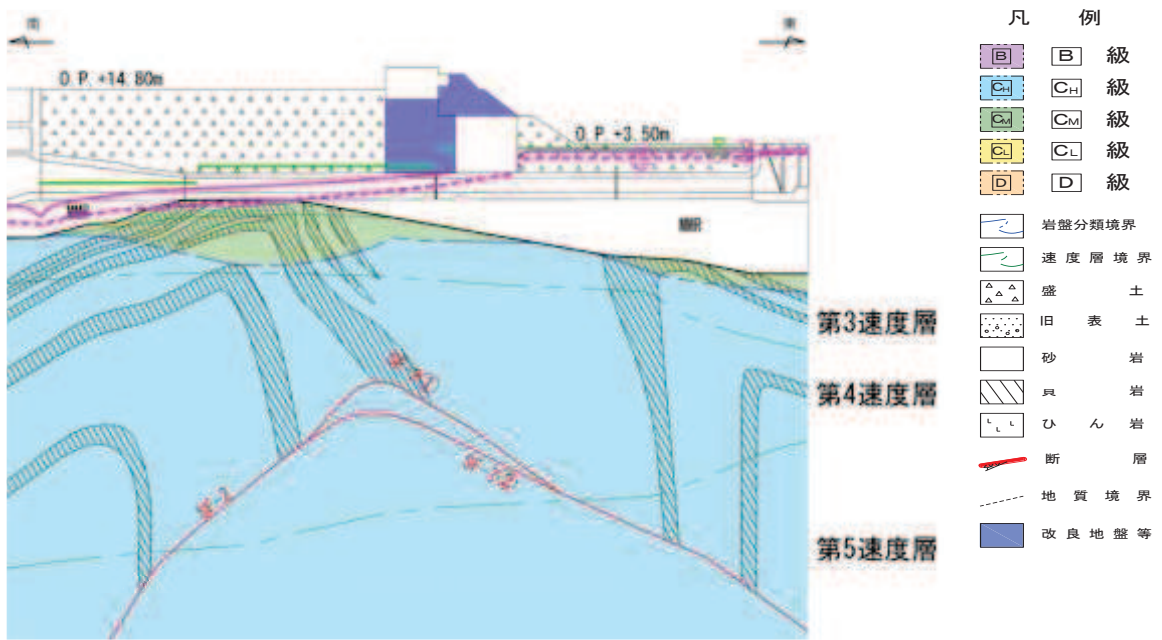
図 3.3-66 (6) 排気筒連絡ダクトにおける
設計用地下水位と平常時水位の比較 (横断(断面⑦))



—— 設計用地下水位
—— 予測解析による地下水位
- - - 平常時水位

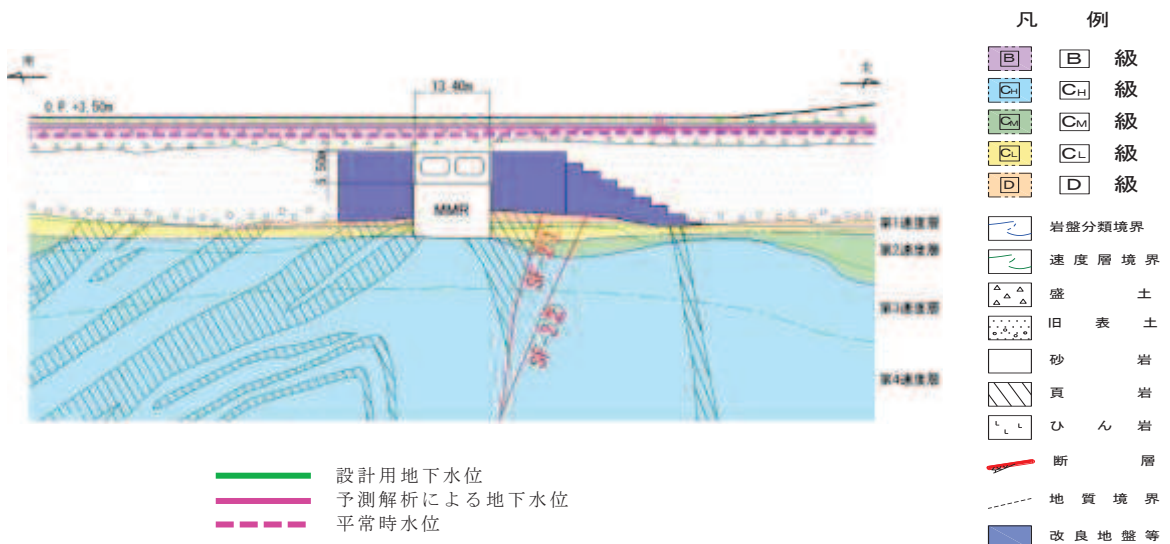
図 3.3-67 軽油タンク連絡ダクトにおける
設計用地下水位と平常時水位の比較 (東西)
(復水貯蔵タンク基礎の東西方向断面の設計用地下水位含む)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



——— 設計用地下水位
 ——— 予測解析による地下水位
 - - - 平常時水位

図 3.3-68 (1) 取水路における
設計用地下水位と平常時水位の比較
(縦断)



——— 設計用地下水位
 ——— 予測解析による地下水位
 - - - 平常時水位

図 3.3-68 (2) 取水路における
設計用地下水位と平常時水位の比較
(横断(標準部①))
(改良地盤に囲まれる箇所)

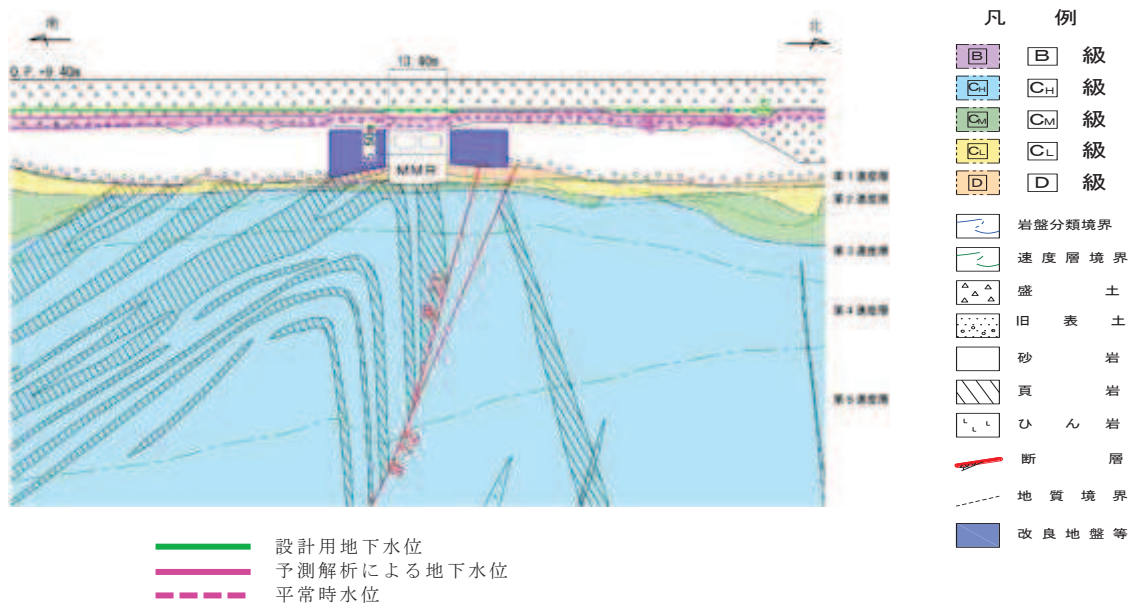


図 3.3-68 (3) 取水路における
 設計用地下水位と平常時水位の比較
 (横断(標準部②))
 (改良地盤に囲まれる箇所以外)

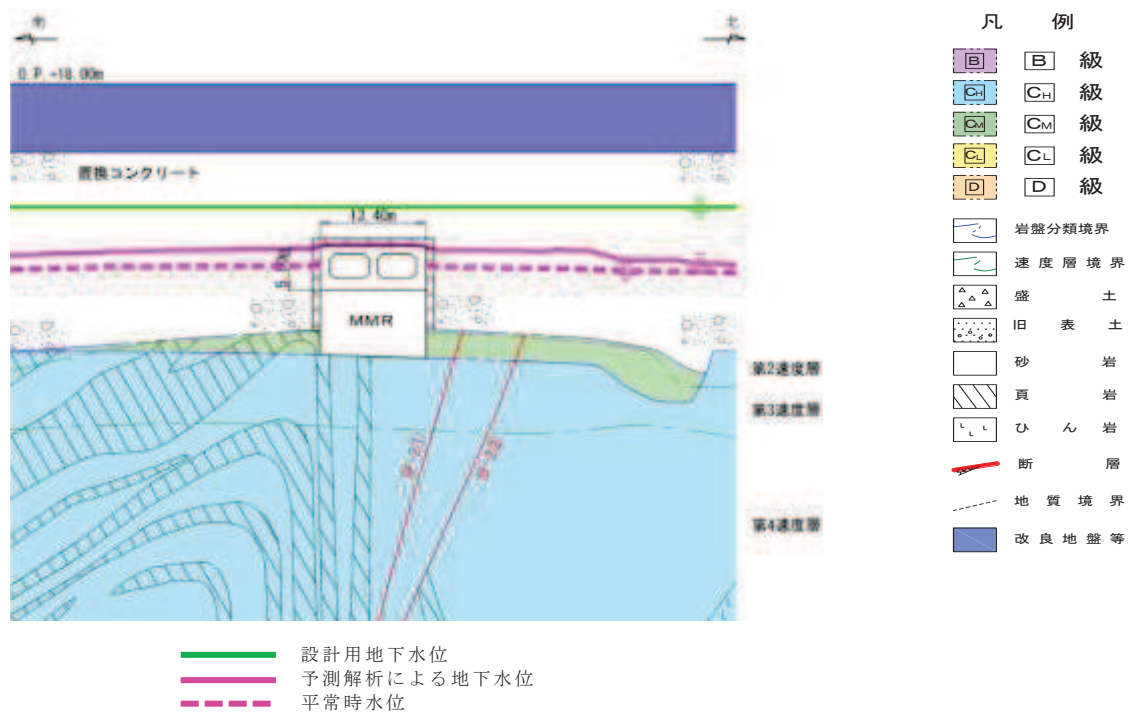


図 3.3-68 (4) 取水路における
 設計用地下水位と平常時水位の比較
 (横断(標準部③))
 (防潮堤を横断する箇所(1))

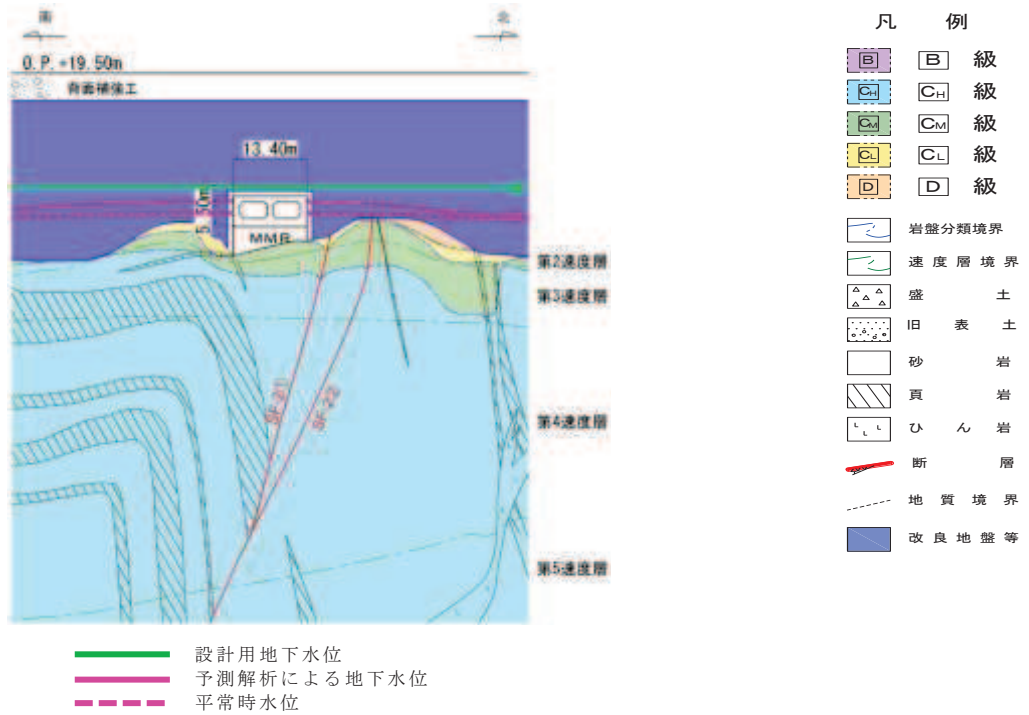


図 3.3-68 (5) 取水路における
 設計用地下水位と平常時水位の比較
 (横断 (標準部④))
 (防潮堤を横断する箇所(2))

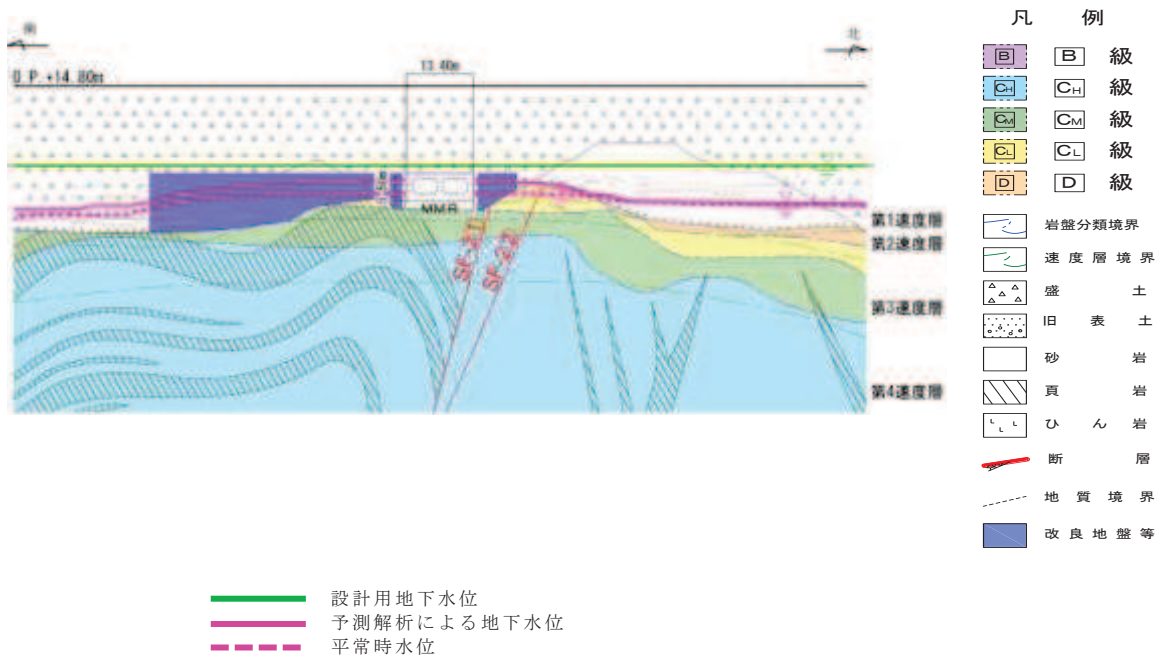


図 3.3-68 (6) 取水路における
 設計用地下水位と平常時水位の比較
 (曲がり部) (南北)

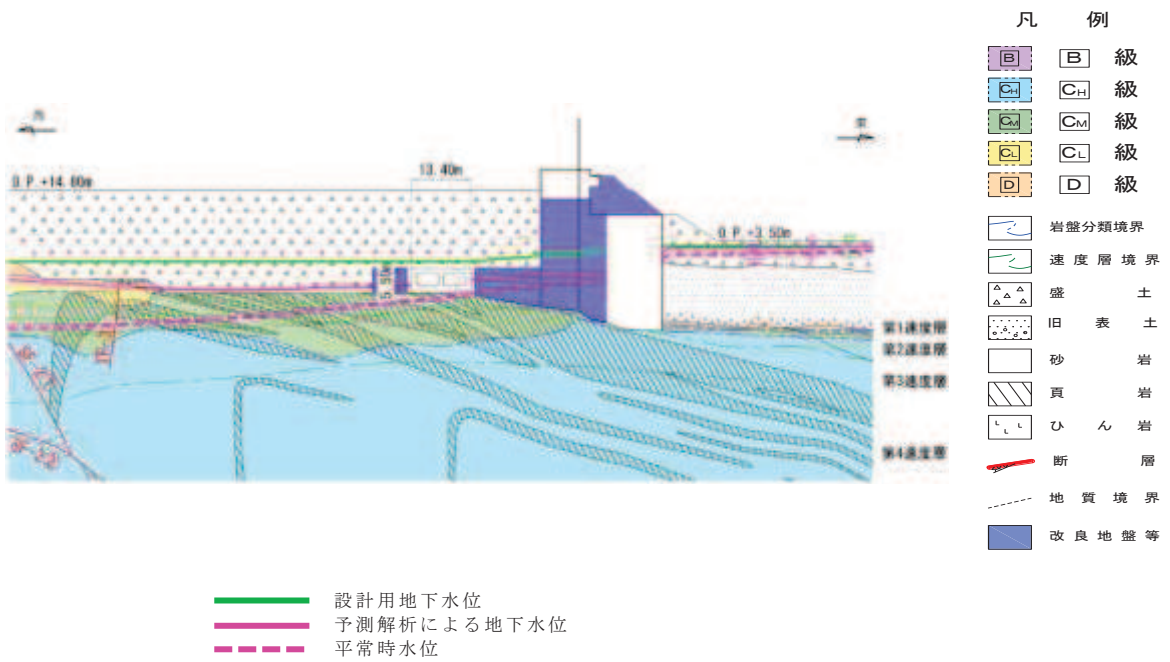


図 3.3-68 (7) 取水路における
 設計用地下水位と平常時水位の比較
 (曲がり部) (東西)

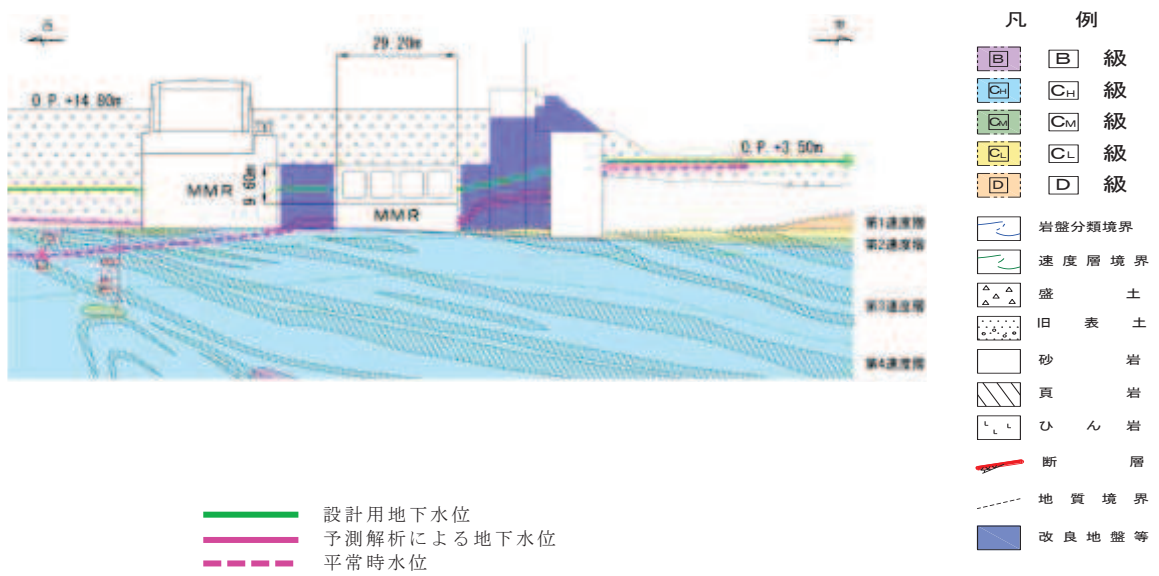


図 3.3-68 (8) 取水路における
 設計用地下水位と平常時水位の比較
 (漸拡部) (東西)

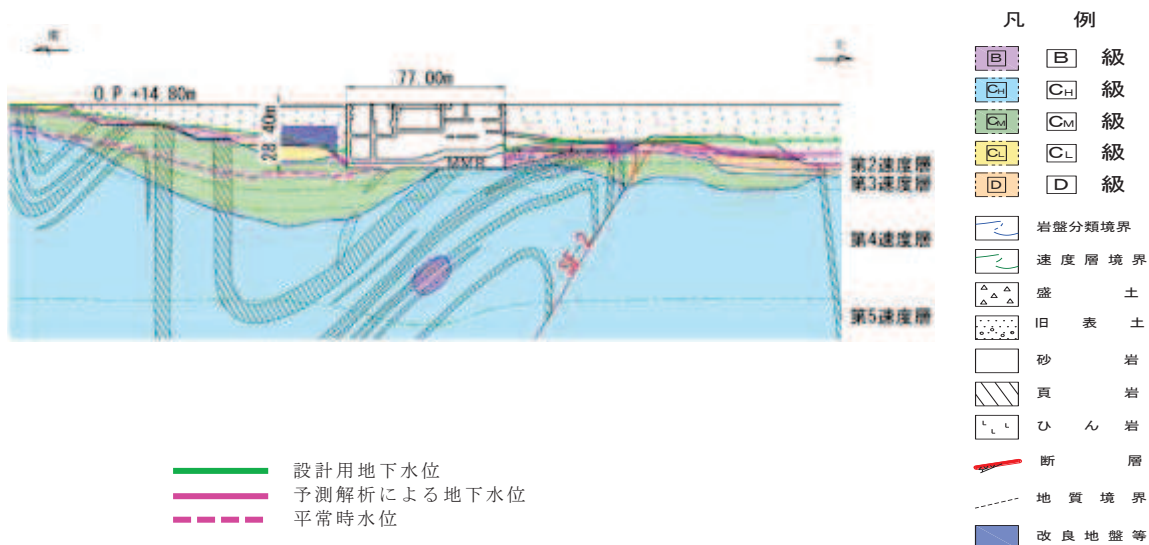


図 3.3-69 (1) 海水ポンプ室における
設計用地下水位と平常時水位の比較
(縦断)

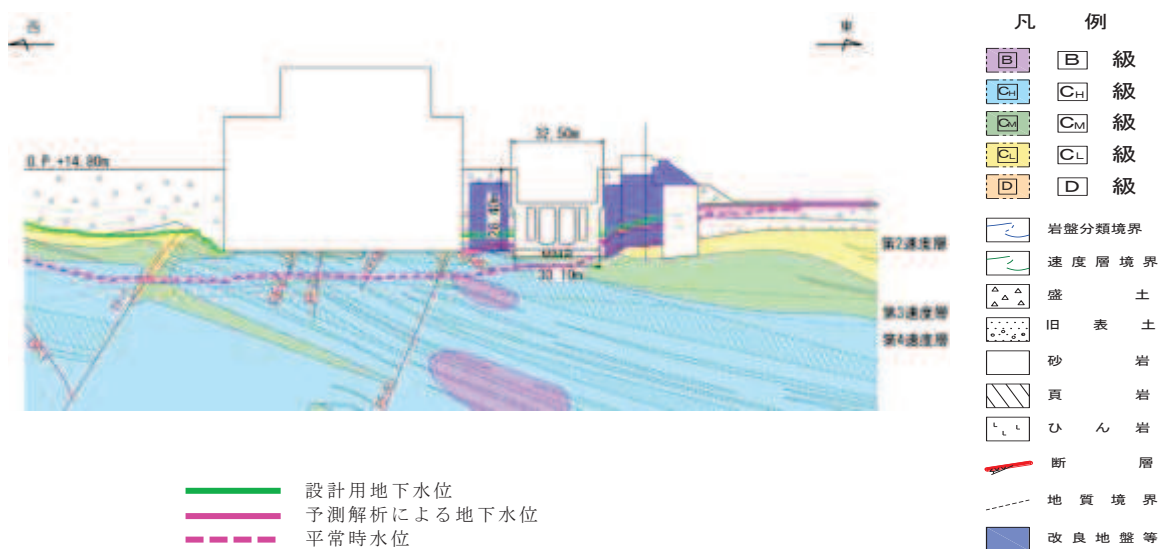
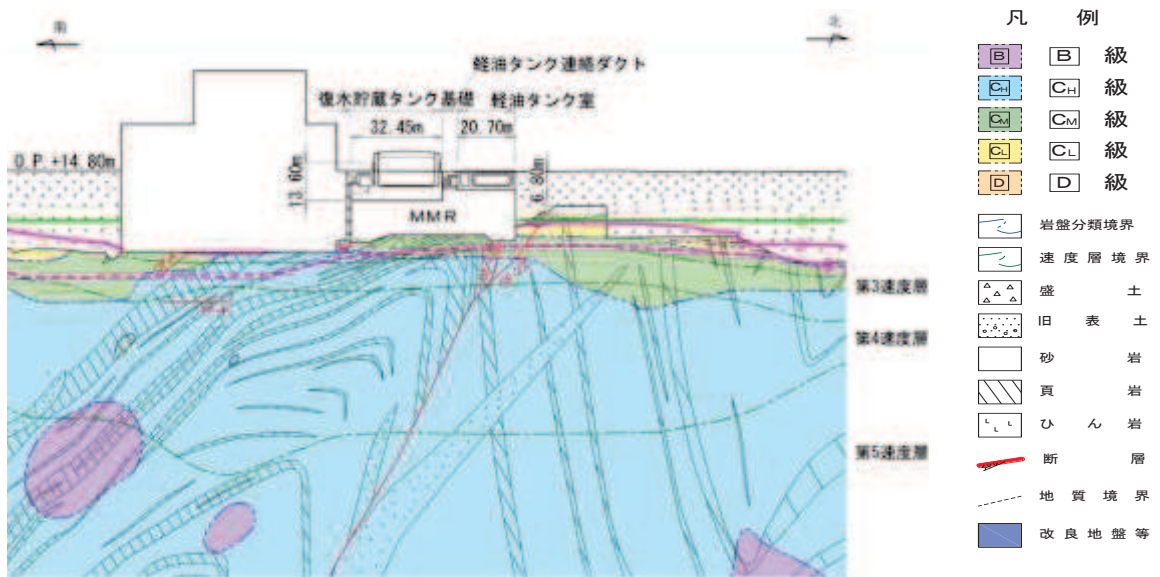


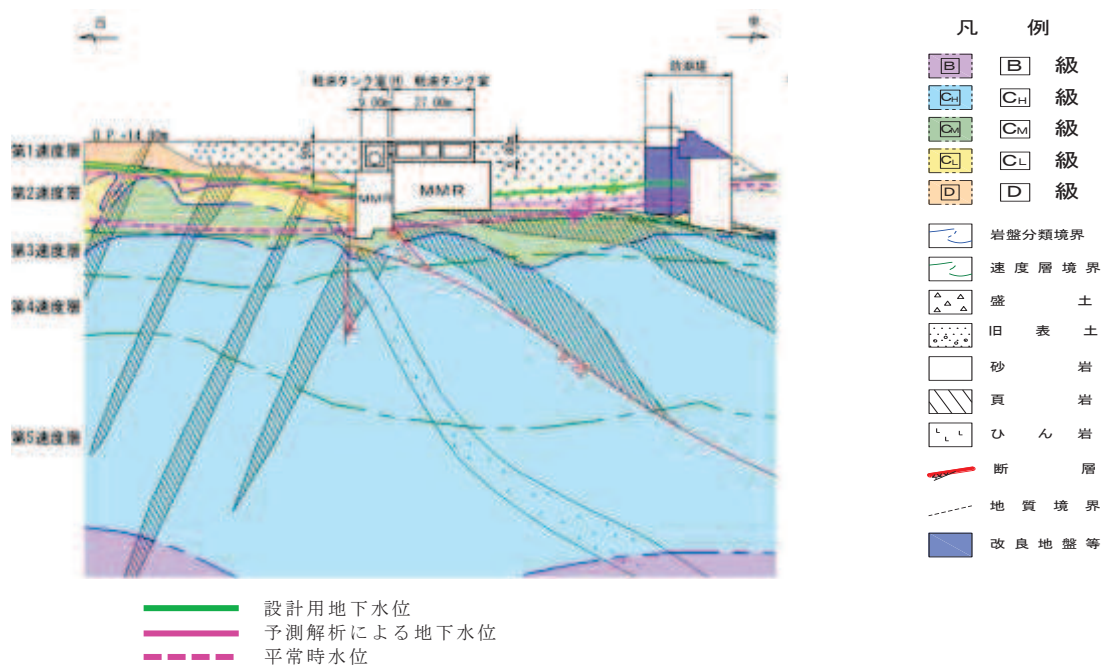
図 3.3-69 (2) 海水ポンプ室における
設計用地下水位と平常時水位の比較
(横断)



——— 設計用地下水位
 ——— 予測解析による地下水位
 - - - 平常時水位

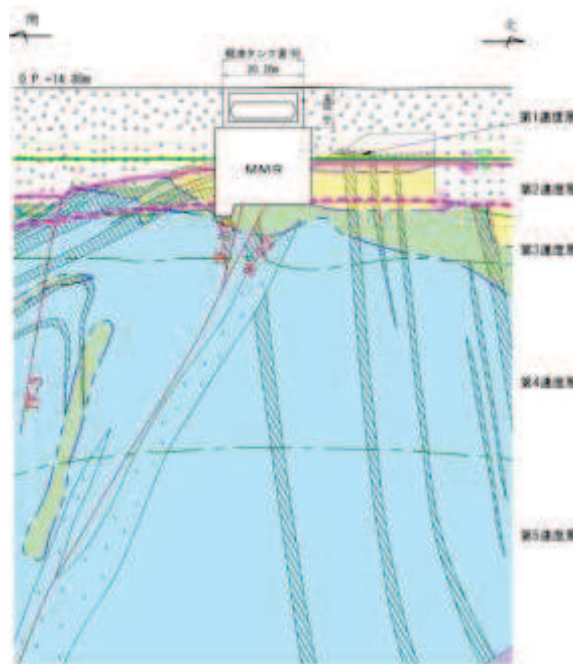
図 3.3-70 軽油タンク室における
 設計用地下水位と平常時水位の比較
 (南北)

(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)



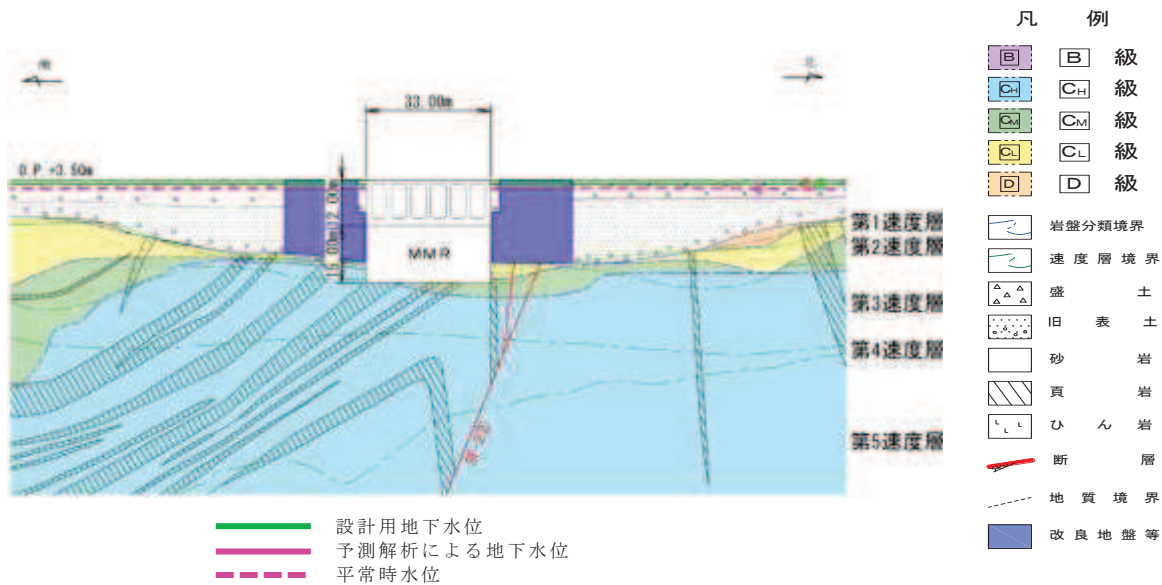
——— 設計用地下水位
 ——— 予測解析による地下水位
 - - - 平常時水位

図 3.3-71(1) 軽油タンク室，軽油タンク室（H）における
 設計用地下水位と平常時水位の比較
 (東西)



——— 設計用地下水位
 ——— 予測解析による地下水位
 - - - 平常時水位

図 3.3-71 (2) 軽油タンク室 (H) における
設計用地下水位と平常時水位の比較
(南北)



——— 設計用地下水位
 ——— 予測解析による地下水位
 - - - 平常時水位

図 3.3-72 (1) 取水口 (標準部) における
設計用地下水位と平常時水位の比較
(南北)

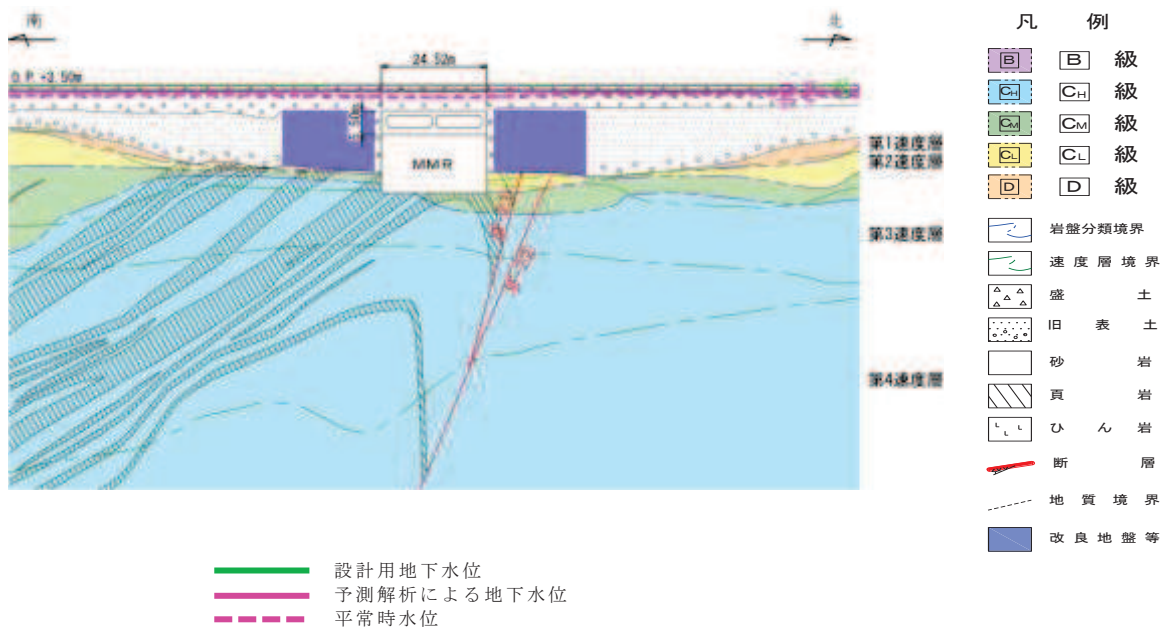


図 3.3-72 (2) 取水口 (漸縮部) における
設計用地下水位と平常時水位の比較
(南北)

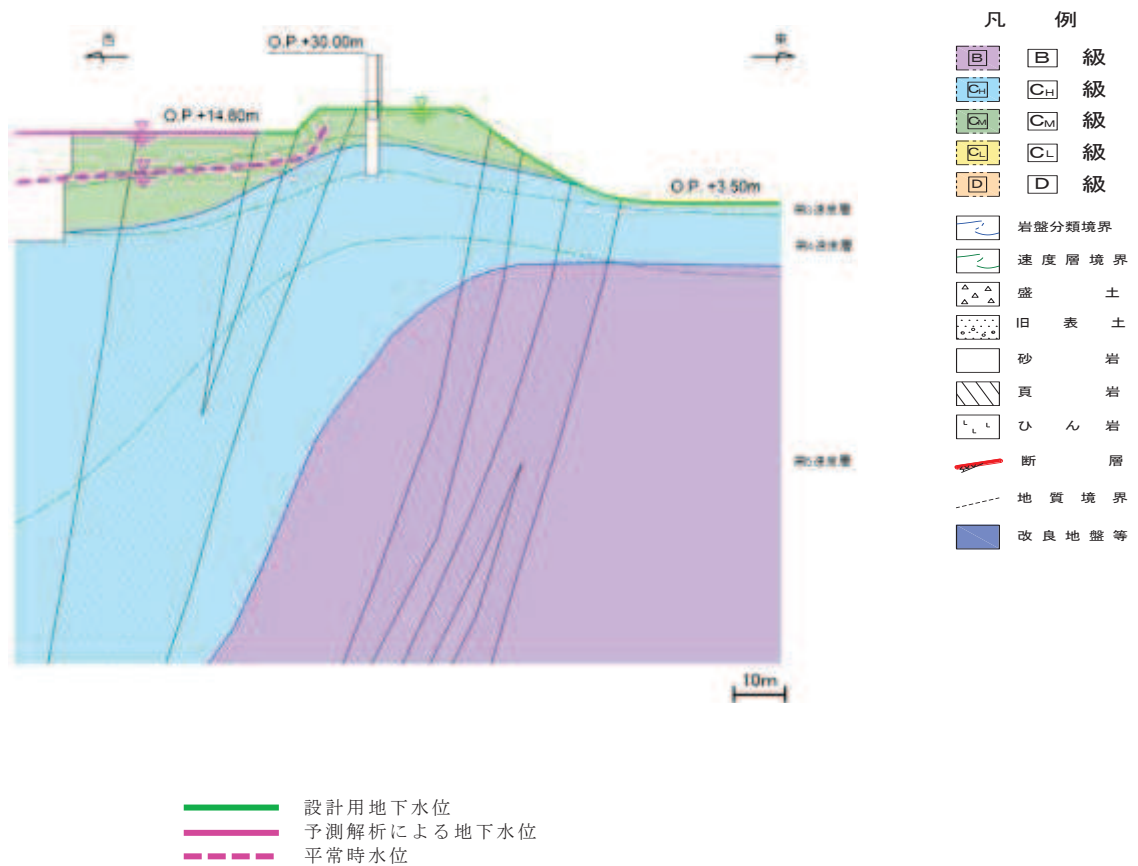
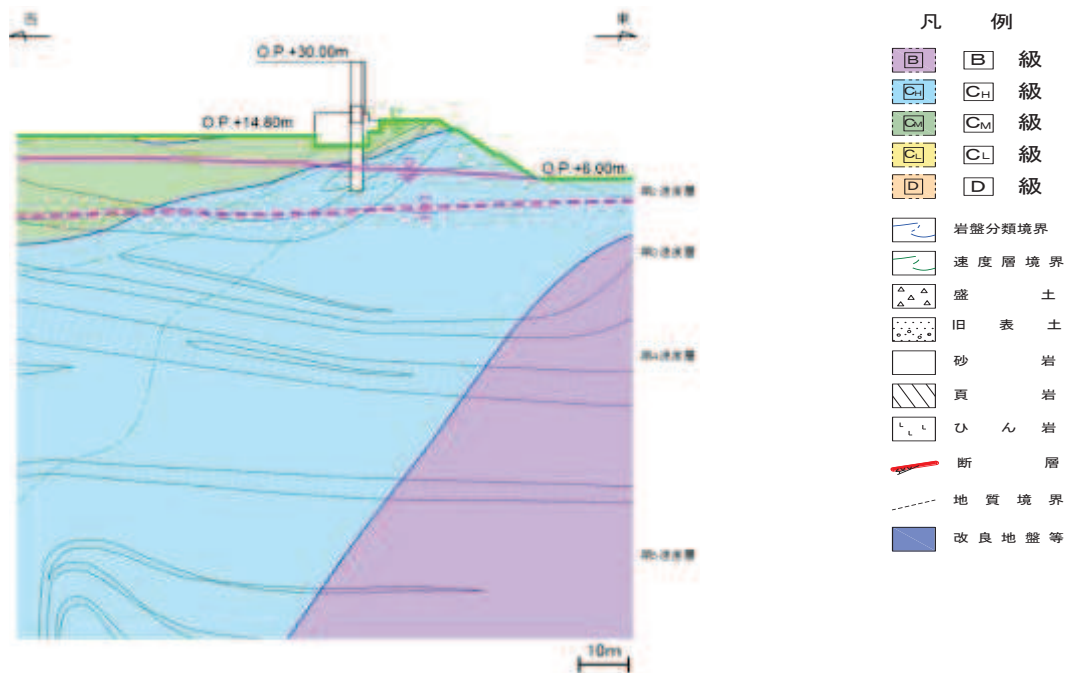
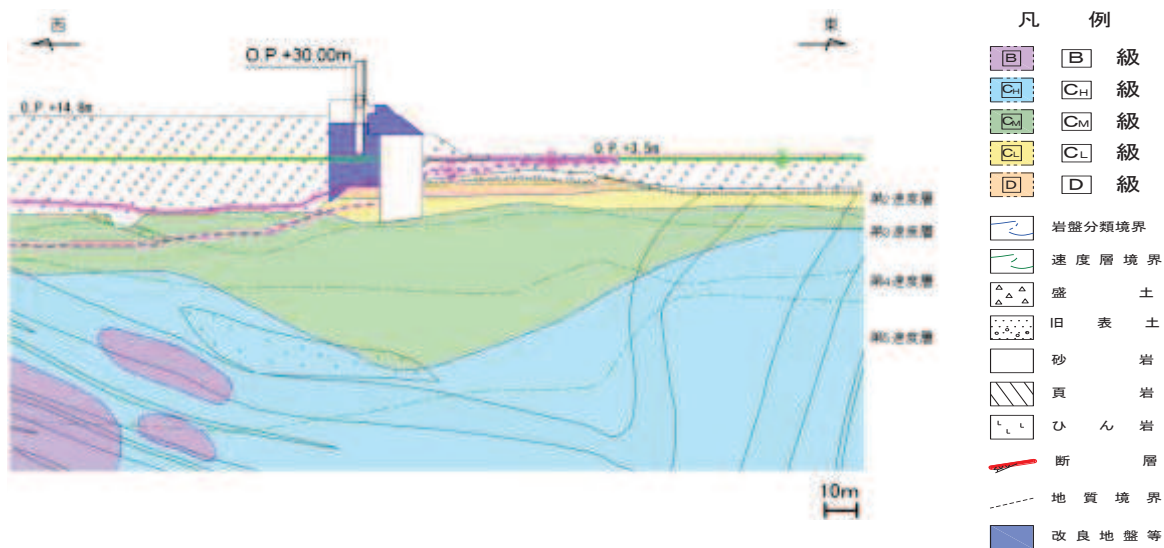


図 3.3-73 (1) 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) における
設計用地下水位と平常時水位の比較
(岩盤部①)



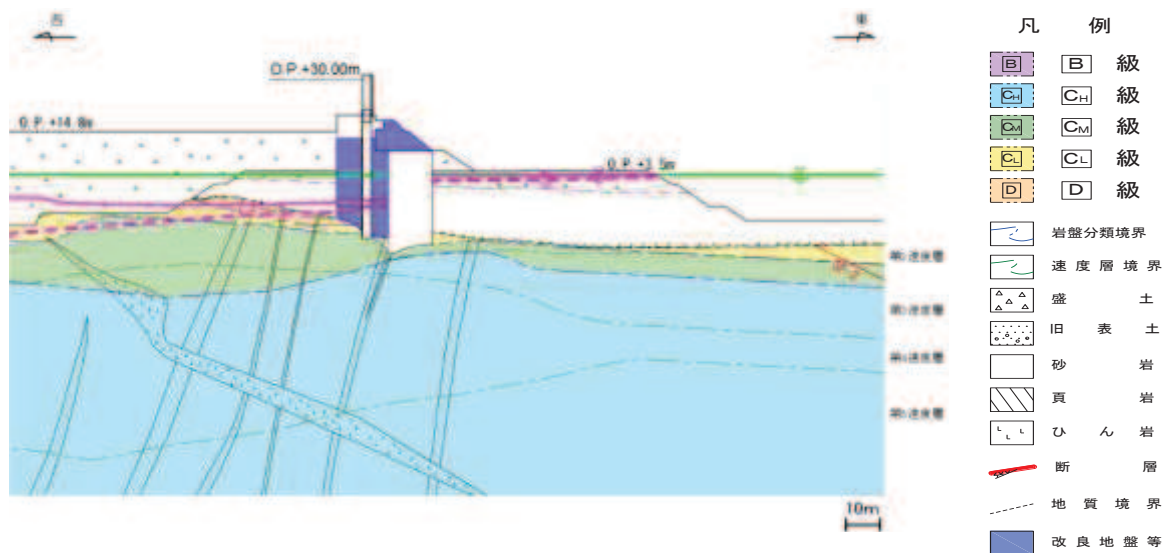
- 設計用地下水位
- 予測解析による地下水位
- 平常時水位

図 3.3-73 (2) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）における
設計用地下水位と平常時水位の比較
（岩盤部②）



—— 設計用地下水位
—— 予測解析による地下水位
- - - 平常時水位

図 3.3-73(3) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）における
 設計用地下水位と平常時水位の比較
 （一般部①）



—— 設計用地下水位
—— 予測解析による地下水位
- - - 平常時水位

図 3.3-73(4) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）における
 設計用地下水位と平常時水位の比較
 （一般部②）

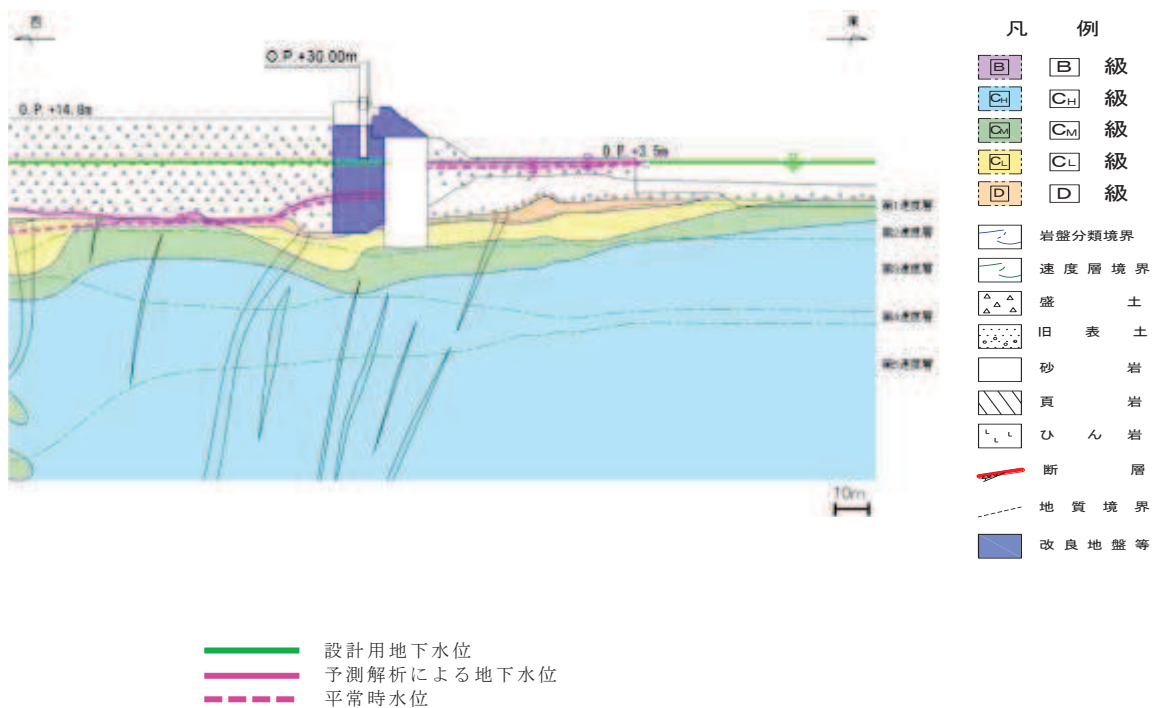
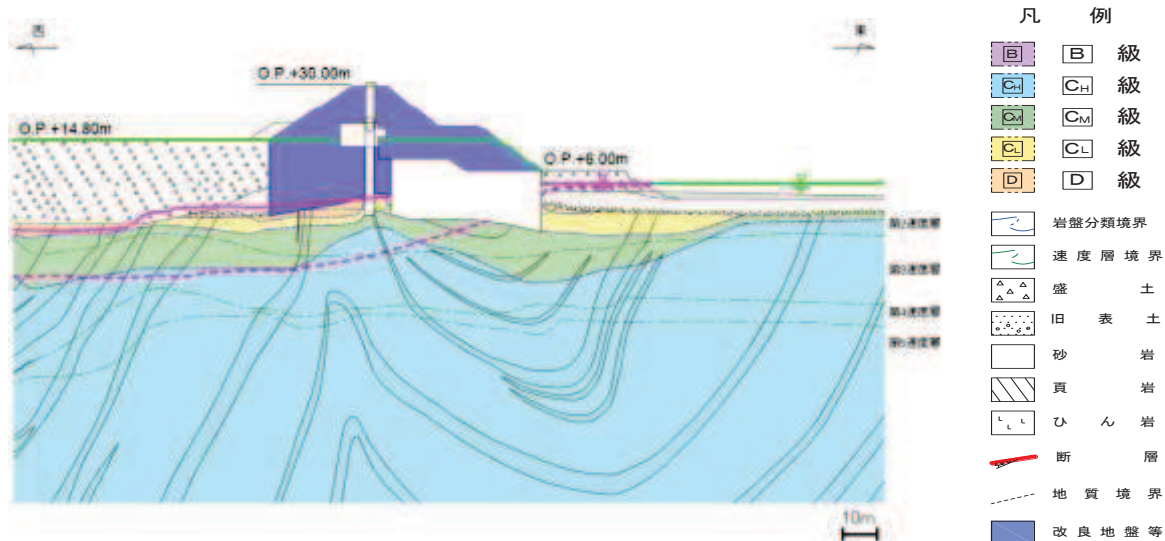


図 3.3-73(5) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）における設計用地下水位と平常時水位の比較（一般部③）



* : 鋼管杭下方の CL 級岩盤部は MMR により置換

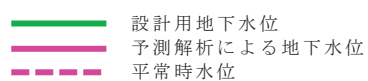
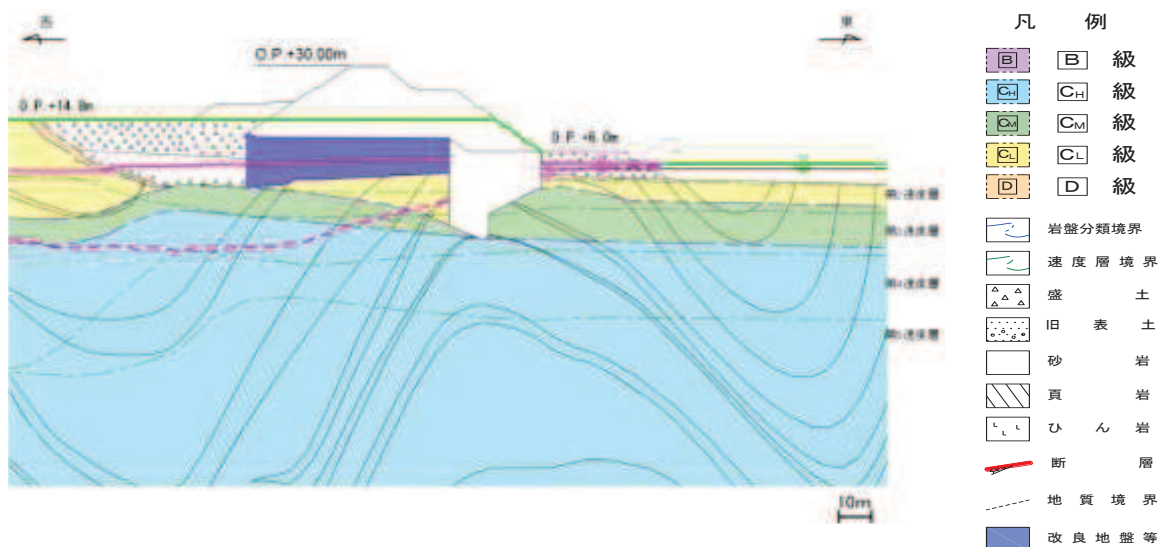
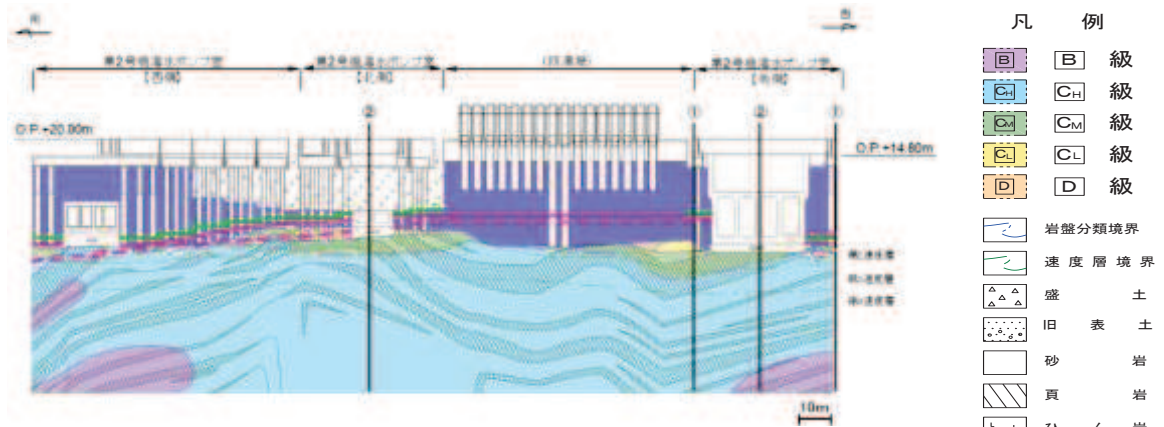


図 3.3-73(6) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）における設計用地下水位と平常時水位の比較（一般部④）



設計用地下水位
 予測解析による地下水位
 平常時水位

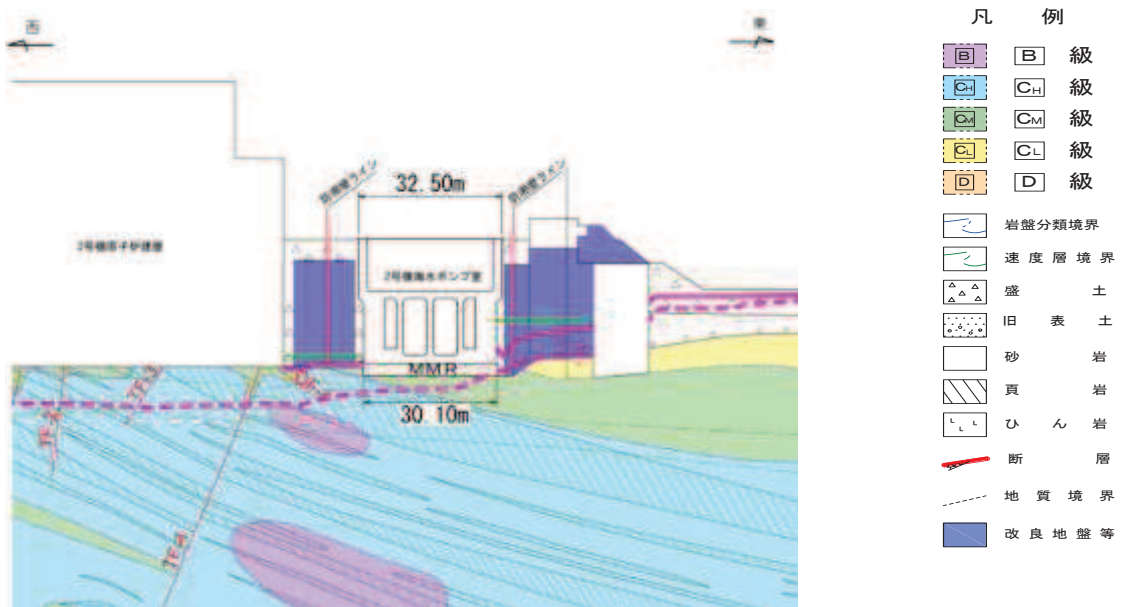
図 3.3-73(7) 防潮堤（盛土堤防）における
設計用地下水位と平常時水位の比較（横断①）



* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

— 設計用地下水位
— 予測解析による地下水位
- - - 平常時水位

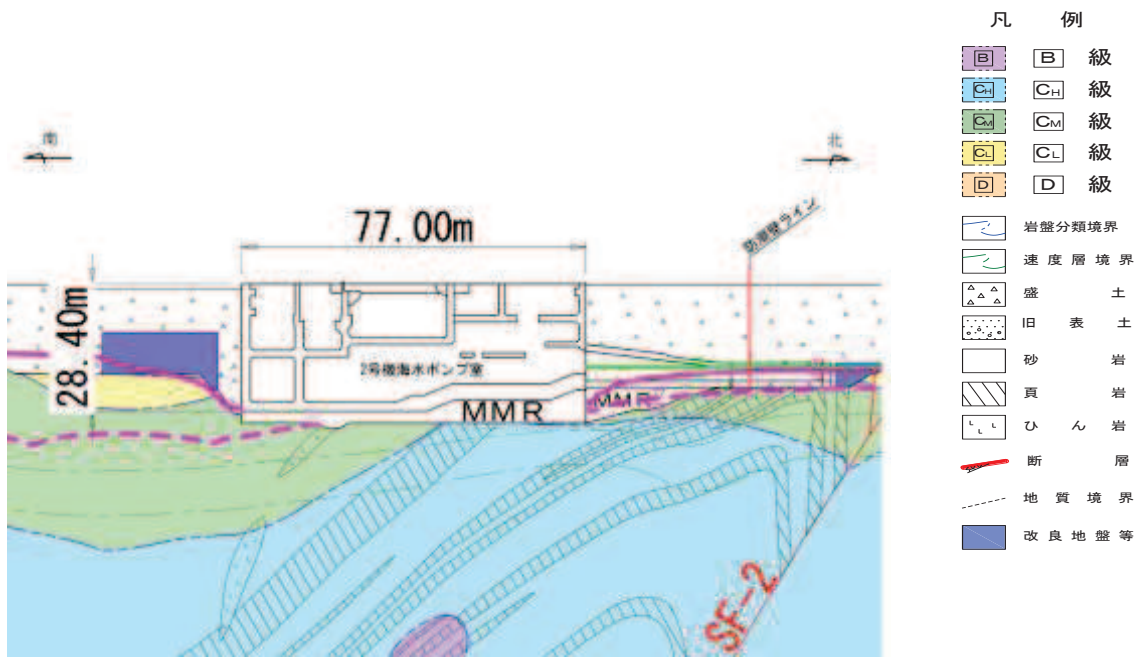
図 3.3-74(1) 防潮壁における設計用地下水位と平常時水位の比較
(2号機海水ポンプ室) (1/3)



* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

— 設計用地下水位
— 予測解析による地下水位
- - - 平常時水位

図 3.3-74(2) 防潮壁における設計用地下水位と平常時水位の比較
(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) ①-①)
(2/3)



* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

- 設計用地下水位
- 予測解析による地下水位
- 平常時水位

図 3.3-74(3) 防潮壁における設計用地下水位と平常時水位の比較
 (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)②-②)
 (3/3)

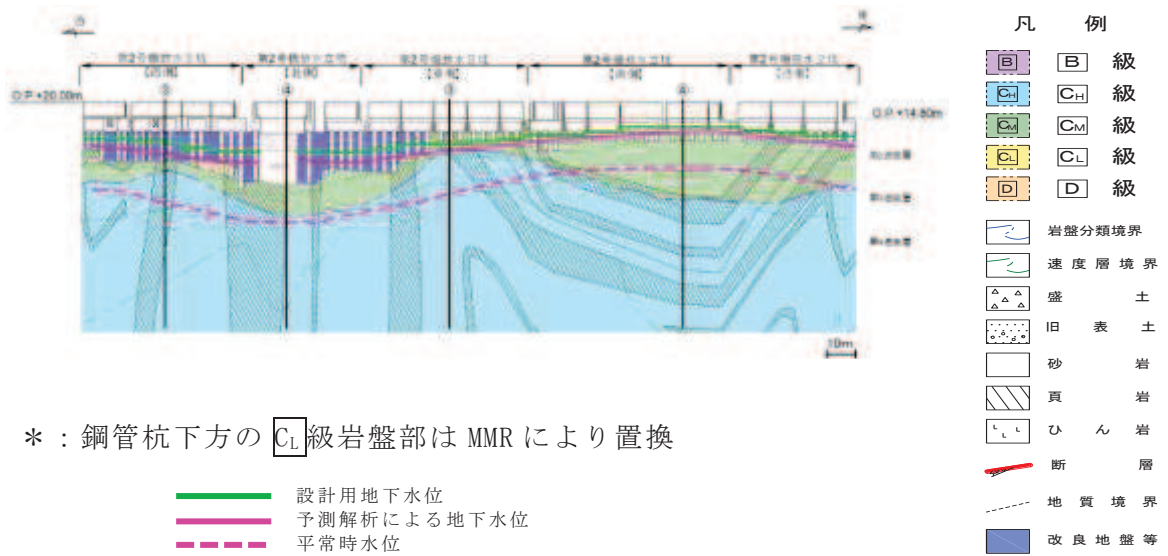
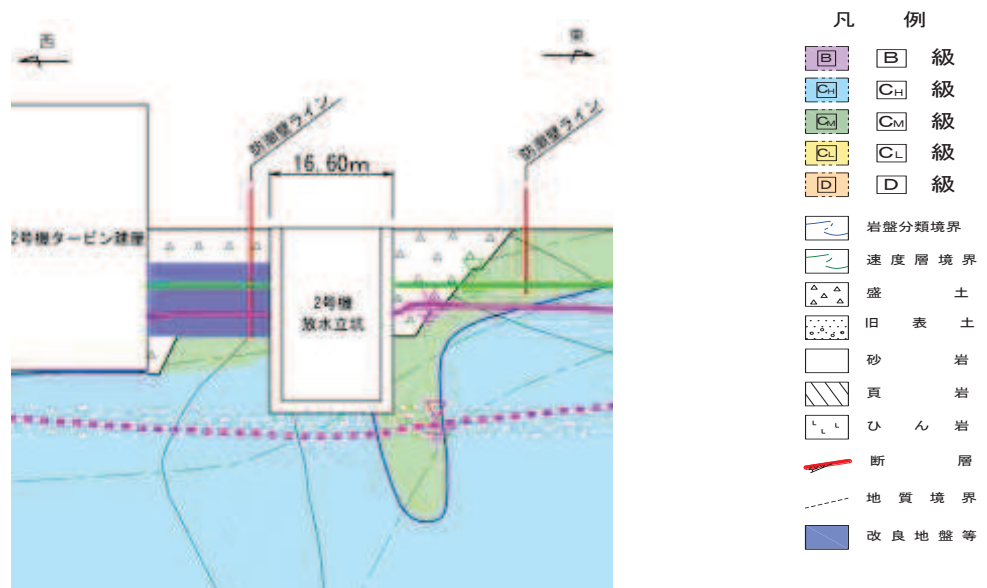
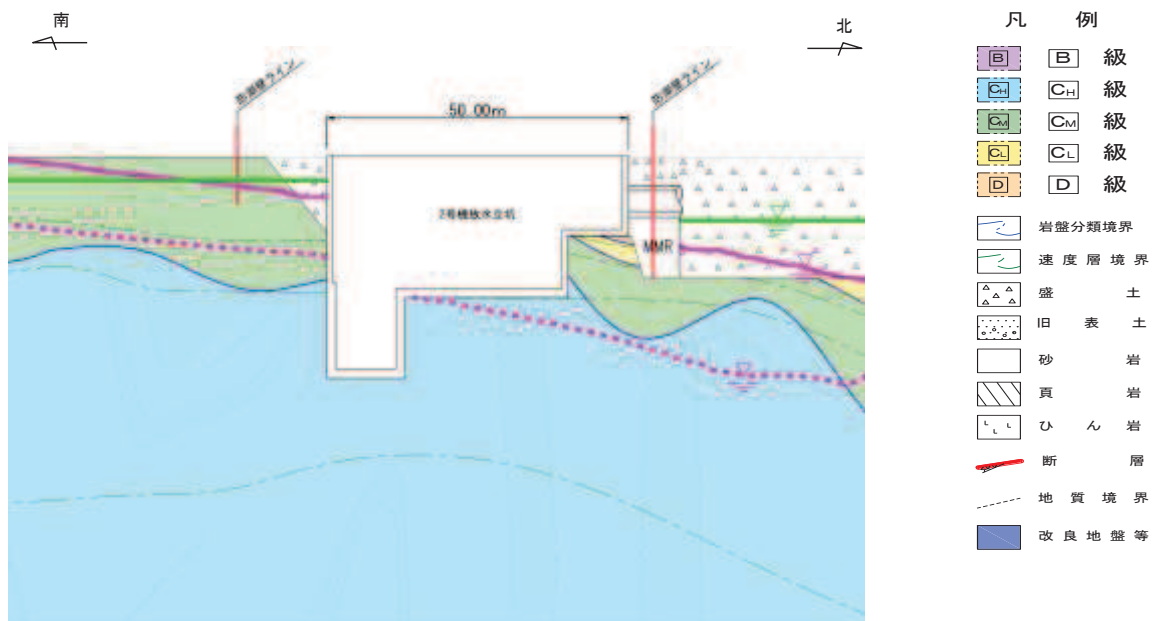


図 3.3-74 (4) 防潮壁における設計用地下水位と平常時水位の比較
 (2号機放水立坑) (1/3)



* : 鋼管杭下方の CL 級岩盤部は MMR により置換

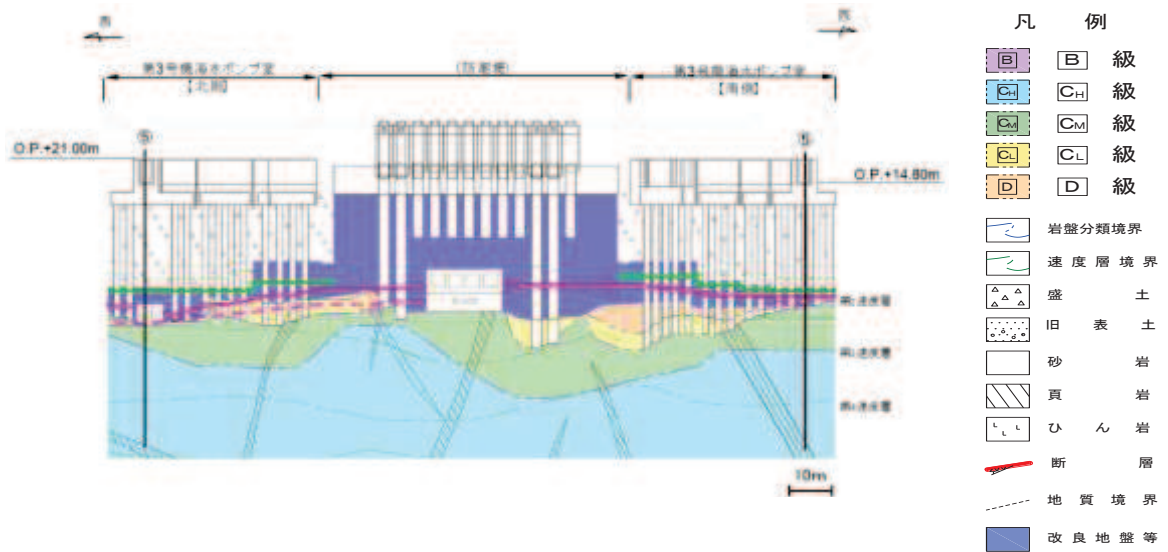
図 3.3-74 (5) 防潮壁における設計用地下水位と平常時水位の比較
 (2号機放水立坑) (2号機放水立坑横断方向の地下水位分布 (東西) ③-③) (2/3)



* : 鋼管杭下方の CL 級岩盤部は MMR により置換

設計用地下水位
 予測解析による地下水位
 平常時水位

図 3.3-74 (6) 防潮壁における設計用地下水位と平常時水位の比較
 (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)④-④) (3/3)

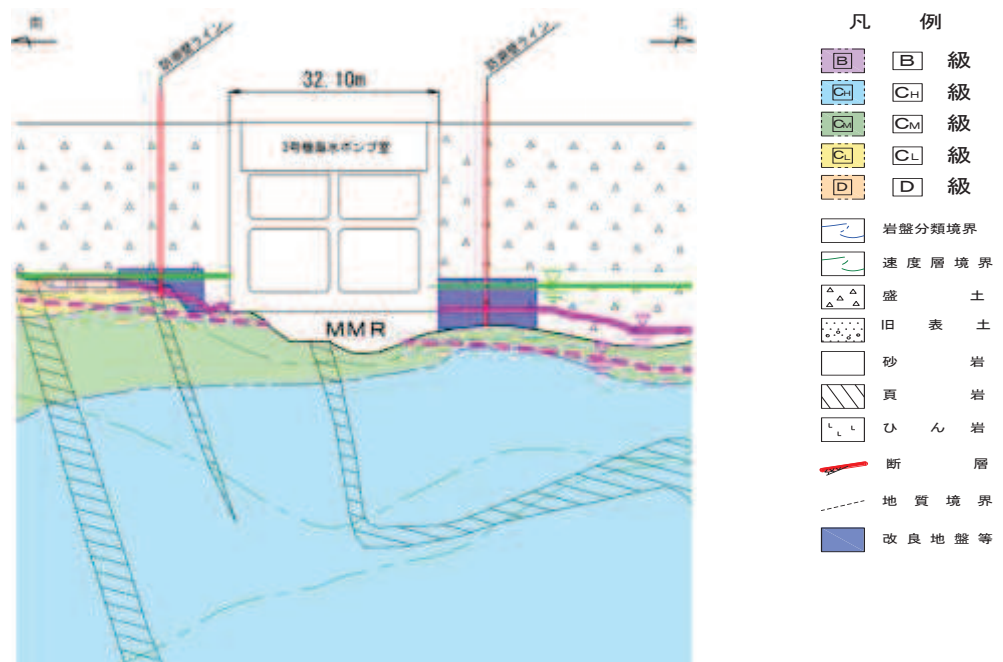


* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

— 設計用地下水位
— 予測解析による地下水位
- - - 平常時水位

図 3.3-74 (7) 防潮壁における設計用地下水位と平常時水位の比較

(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

— 設計用地下水位
— 予測解析による地下水位
- - - 平常時水位

図 3.3-74 (8) 防潮壁における設計用地下水位と平常時水位の比較

(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⑤-⑤))

(2/2)

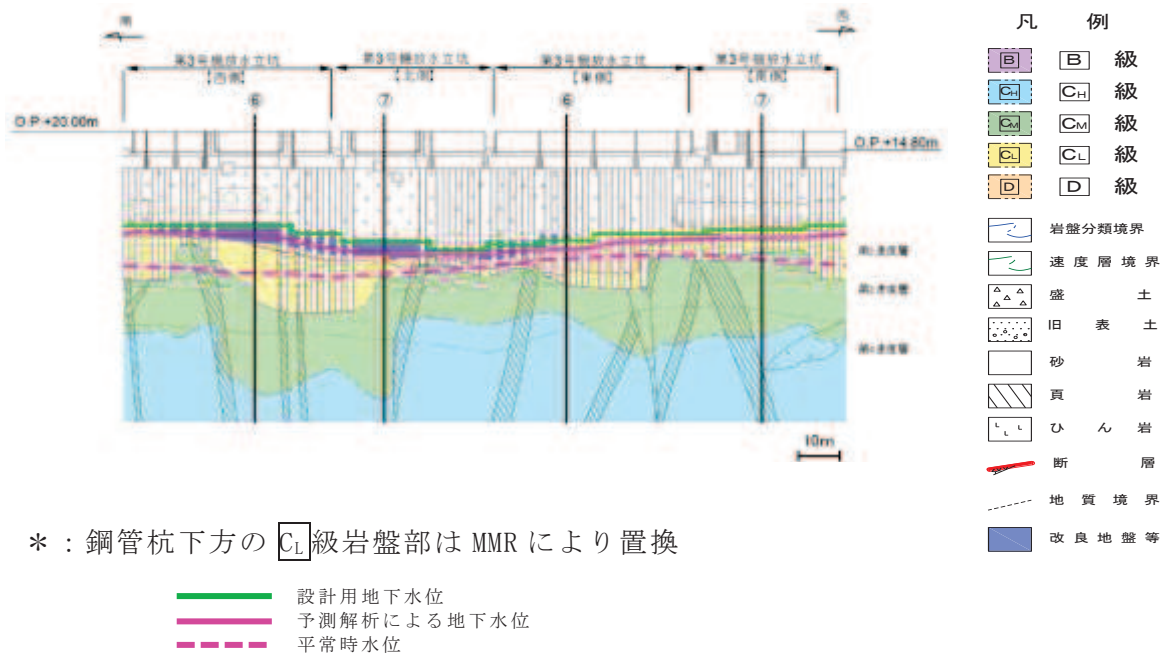
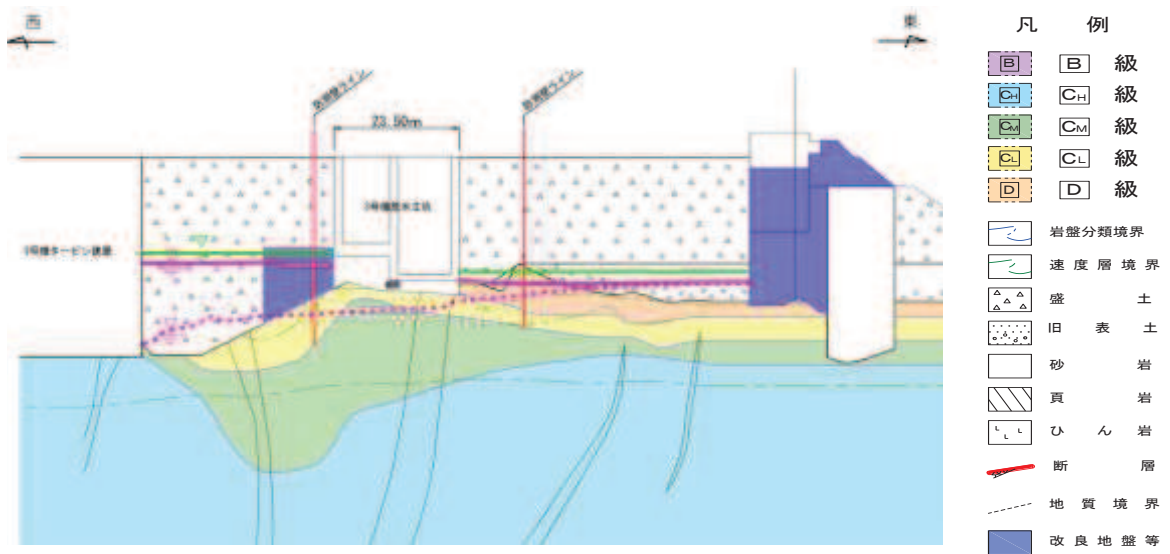
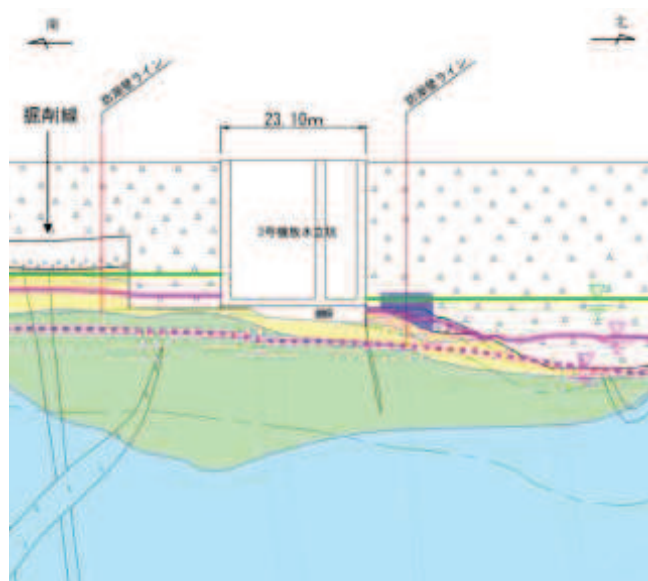


図 3.3-74 (9) 防潮壁における設計用地下水位と平常時水位の比較
 (3号機放水立坑) (1/3)



* : 鋼管杭下方の CL級岩盤部は MMR により置換

図 3.3-74 (10) 防潮壁における設計用地下水位と平常時水位の比較
 (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) ⑤-⑤) (2/3)



| 凡 例 | |
|-----|---------|
| | B 級 |
| | CH 級 |
| | CM 級 |
| | CL 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 |

* : 鋼管杭下方の C_L 級岩盤部は MMR により置換

設計用地下水位
 予測解析による地下水位
 平常時水位

図 3.3-74 (11) 防潮壁における設計用地下水位と平常時水位の比較
 (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)

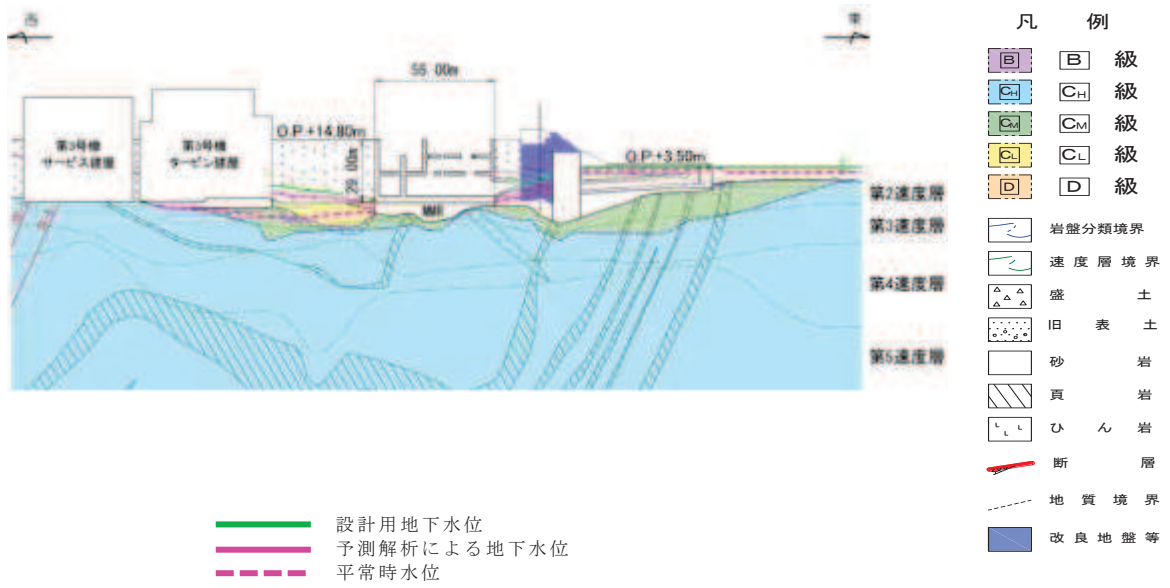


図 3.3-75 (1) 第 3 号機海水ポンプ室における
設計用地下水位と平常時水位の比較（縦断）

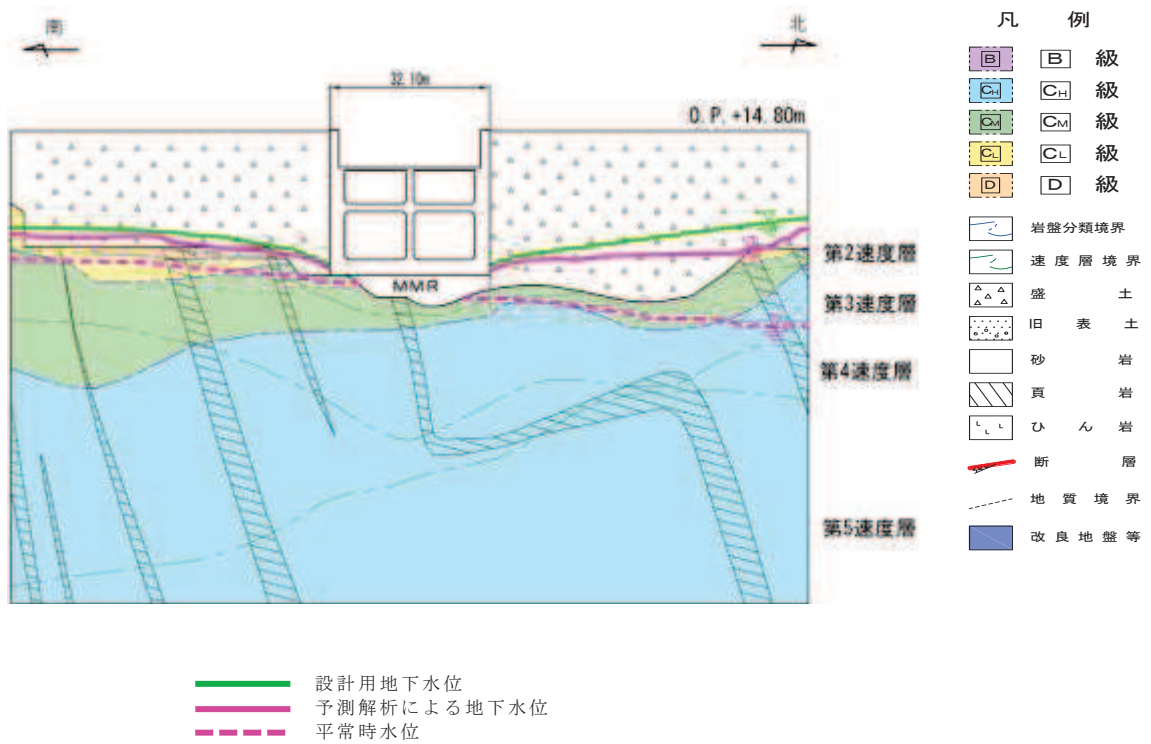


図 3.3-75 (2) 第 3 号機海水ポンプ室における
設計用地下水位と平常時水位の比較（横断）

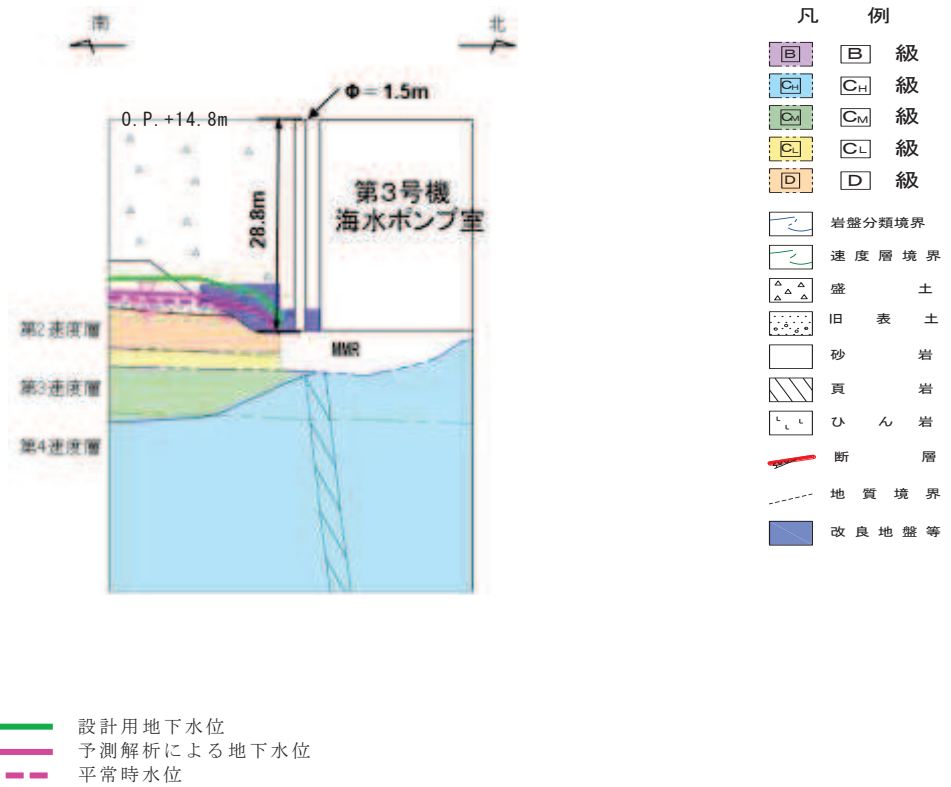


図 3.3-76 (1) 揚水井戸（第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）における設計用地下水位と平常時水位の比較（南北）

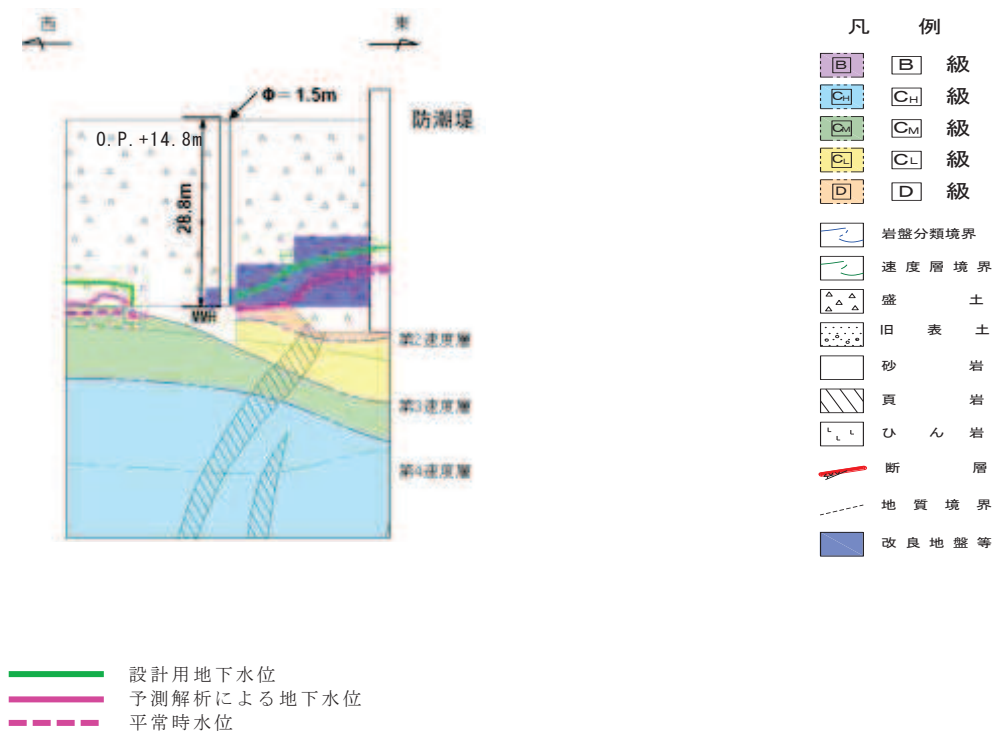


図 3.3-76 (2) 揚水井戸（第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）における設計用地下水位と平常時水位の比較（東西）

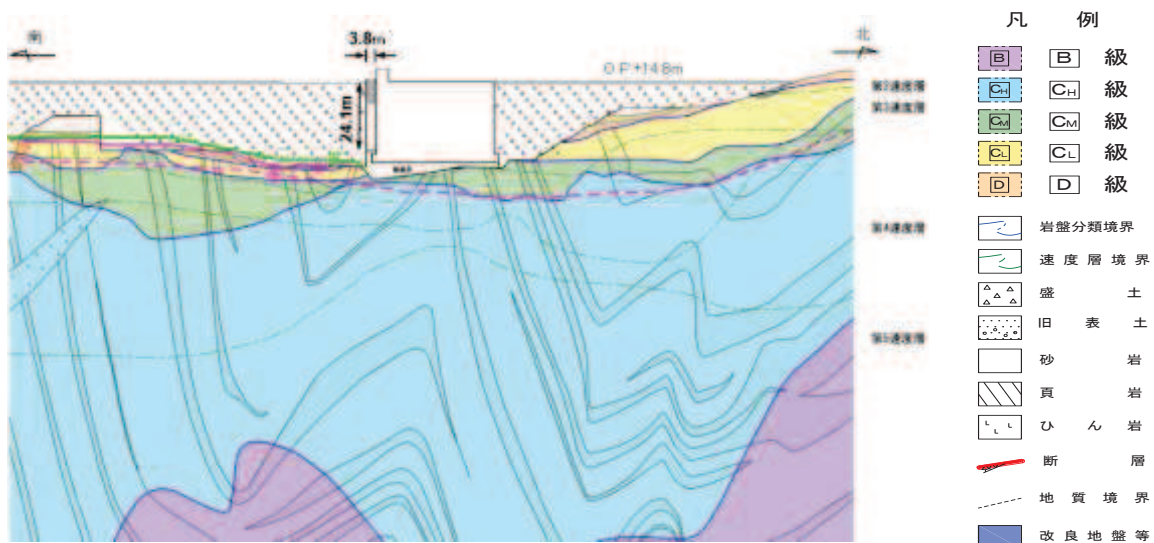


図 3.3-77 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットにおける
設計用地下水位と平常時水位の比較

d. 影響確認方針

女川原子力発電所においては、液状化検討対象施設を幅広く抽出するために、水位が高めに評価されるような解析条件にて浸透流解析を実施し、これを包絡するよう設計用地下水位を設定している。

これに対し、地下水位低下設備の信頼性向上（多重化等）により、平常時の地下水位は設計用地下水位より低くなる可能性がある。

地下水位が低い場合に起こる現象としては、構造物（基礎版等）に作用する水圧の減少、地盤応答の変化（単位体積重量の変化、液状化を含めた周辺地盤の挙動の変化）、構造物周辺に水位差が生じることが考えられる。

なお、アクセスルートについては、液状化による段差や浮上りを評価するため、地下水位が高いことは保守的な評価となる。

このことを踏まえ、地下水位が低い場合に耐震評価へ影響を与える可能性がある事象として以下の3パターンを抽出し、各パターンに対する影響検討を行う方針とする。

パターンA：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

パターンB：地下水の分布によって構造物周辺の地盤応答に違いが生じると想定されるケース

パターンC：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

上記方針を踏まえ、表 3.3-24 のとおり、耐震設計に影響する可能性がある施設をパターン毎に抽出の上、各パターンにおける検討対象施設と具体的な影響検討内容を整理した。

検討対象施設における水位が低い場合の影響については、各施設の耐震評価において確認する。

表 3.3-24 水位が低い場合に耐震設計へ影響を与えるパターンと影響検討内容

| 影響検討内容 | | | | | |
|-----------------------------|--|---|---|--|------------------|
| 水位が低い場合に耐震設計へ影響を与える事象(パターン) | 耐震設計へ影響する可能性がある施設 | 検討対象施設 | 選定理由 | | |
| | | 検討条件等 | 申請 | | |
| パターンA (揚圧力への影響) | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 制御建屋 第3号機海水熱交換器建屋 緊急時対策建屋 緊急用電気品建屋 | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 | <ul style="list-style-type: none"> 建屋直下のドレーン(銅管)新設により、平常時の建屋基礎版へ作用する揚圧力は大きく低減し、地震時の評価のうち地震力下向きの場合の評価が劇しくなる可能性がある。 設計用揚圧力と浸透流解析結果の差が最も大きい。 | <ul style="list-style-type: none"> 浸透流解析結果を踏まえて揚圧力を0とした場合の地震力下向き解析を実施して応力分布等への影響を確認する。(設計用揚圧力は29.4kN/m²) | 全応力 (静的弾塑性解析) |
| パターンB (地盤応答への影響) | <ul style="list-style-type: none"> 排気筒連絡ダクト(土砂部) 防潮堤 地下水位低下設備 No.1~No.4揚水井戸 浸水防止蓋の間接支持 揚水井戸(第3号機海水ポンプ室 防潮壁区画内) | <ul style="list-style-type: none"> 排気筒連絡ダクト(土砂部) | <ul style="list-style-type: none"> 縦断方向の水位分布も考慮し設計用地下水位を設定する線状構造物であり、原子炉建屋接続部の断面①において、設計用地下水位と実水位の差が大きくなる可能性がある。 | <ul style="list-style-type: none"> 断面①の地下水位を岩盤表面まで下げた全応力解析を実施する。 | 全応力 |
| パターンC (偏圧の影響) | <ul style="list-style-type: none"> 排気筒連絡ダクト(土砂部) 防潮堤 鋼管式鉛直壁(一般部) 盛土堤防 | <ul style="list-style-type: none"> 排気筒連絡ダクト(土砂部) 防潮堤(鋼管式鉛直壁(一般部)) | <ul style="list-style-type: none"> 岩盤上に設置した線状構造物であり、地下水位を堰き止め、偏水圧が生じる可能性がある。 設置場所の特徴により防潮堤の前背面での盛土+旧表土の高さが異なるため、地震時に液化化の影響で地盤が片押しになる可能性がある。 設計用地下水位は、設置変更許可段階における構造成立性確認と同様(山側・海側ともに期望平均満潮位)としているため、特に山側において浸透流解析による解析水位との差が顕著となる。 | <ul style="list-style-type: none"> 断面①において、構造物片側の地下水位を頂版高さ、もう一方の地下水位を岩盤表面とした全応力解析を実施する。 山側水位を岩盤表面まで下げた有効応力解析を実施し、照査値への影響を確認する。 | 全応力 有効応力 |

(9) 設計用地下水位の検証ほか

a. 工事完了後の地下水位の観測計画

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。

地下水位観測計画を図 3.3-78 に示す。

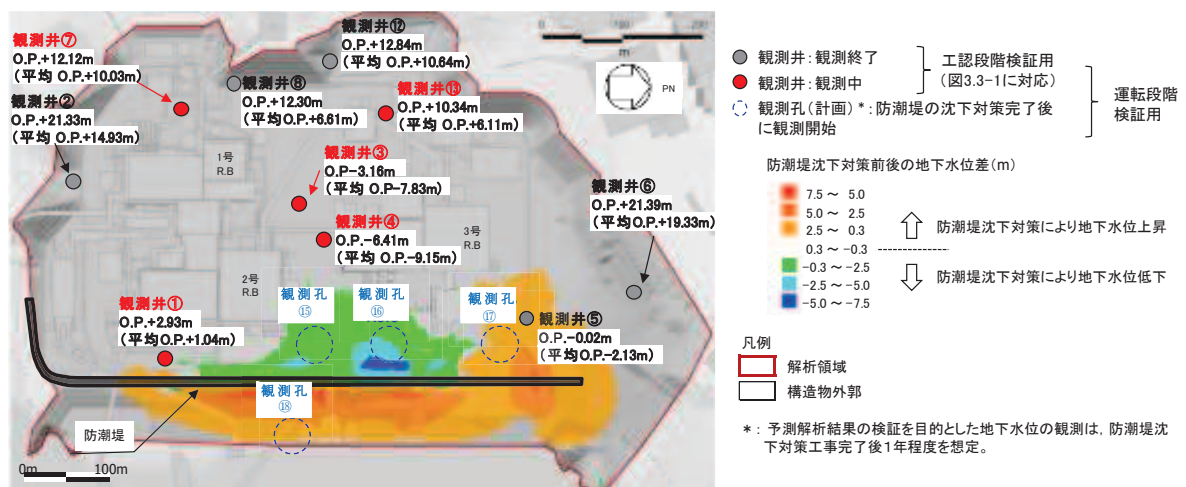


図3.3-78 防潮堤沈下対策による影響範囲と今後の地下水位観測計画

上に示す地下水位観測計画は、現在測定している観測井の他、防潮堤の沈下対策後に測定を開始する観測孔（観測孔 No. ⑮～No. ⑳）により構成され、防潮堤の沈下対策後に測定を開始する観測孔については防潮堤の沈下対策により地下水位が影響を受ける範囲を想定し設定している。

防潮堤の沈下対策により地下水位が影響を受ける範囲の想定にあたり実施した浸透流解析の詳細については参考資料 12 に示す。

b. 将来的な地形改変等への対応

浸透流解析に用いる三次元解析モデルにおいては、地下水の流動場に影響を与える防潮堤下部の地盤改良や、基礎が岩着している施設周辺の地盤改良など、安全対策工事完了段階において想定される変動要素を反映済である。

ただし、将来的な特重施設の設置や他号機申請等に伴う新たな構築物等の構築など、耐震評価における設計用地下水位を設定した後に、設計用地下水位を超過する可能性のある事象が発生した場合は、設計用地下水位の再検討を行う。

c. 運転中に地下水位が上昇する場合の対応

運転中に地下水位が上昇し設計用地下水位を上回った場合は、揚圧力や液状化による土圧への影響、液状化に伴う地中構造物の浮上り影響が生じる可能性がある。

これらの影響は、3.3.2 (3) e. に示すとおり、ステップ1（揚圧力影響）より段階的に生じるが、液状化に対する時間余裕は揚圧力に比べて相対的に大きいことから、より時間余裕の短い揚圧力に着目しLCO設定することにより、液状化による影響も回避される。

(10) 参考文献

- a. 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））
- b. 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）
- c. 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））
- d. 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））
- e. 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）
- f. 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.

(参考資料 1 - 3) 浸透流解析モデル概要及びアウトプットと設備設計への反映事項

浸透流解析は設計用揚圧力・設計用地下水位の設定において参照する他、地下水流入量など、一部のアウトプットを後段の設計等において参照することとしており、解析目的に応じて保守的となるようなモデル条件の設定を行っている。

ここでは、浸透流解析による評価モデルと設計等への反映事項についての関連を整理した。また、各モデルの条件設定の概要及びモデルの比較を整理した。

1. 浸透流解析による評価と機器設計等への反映事項について

各浸透流解析のアウトプット及び各アウトプットの反映事項を図 1-1 に示す。

設計用地下水位の設定において参照した「①広域モデル」「②水位評価モデル」をベースとして、解析目的に応じて保守的となるような条件設定を行った③～⑥の各モデルを作成し、浸透流解析を実施する。

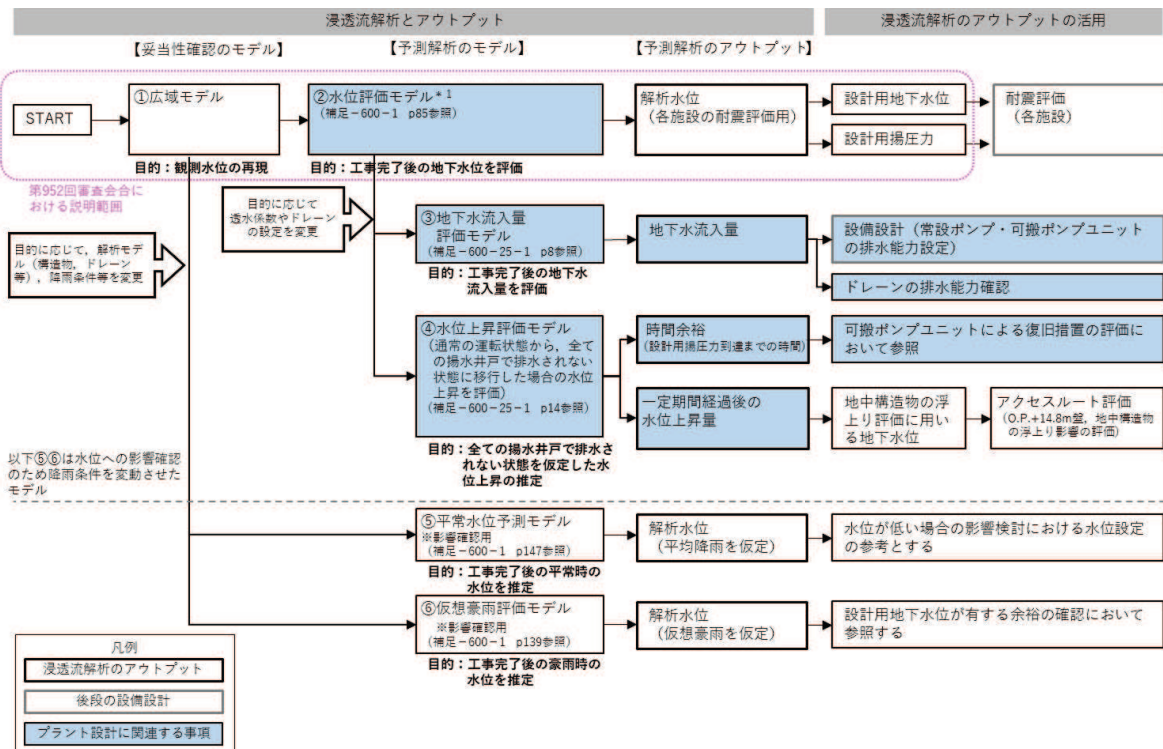


図 1-1 浸透流アウトプットと反映事項について

注記* 1 : 工事計画認可では、原子炉建屋・制御建屋エリア及び第 3 号機海水熱交換器建屋エリアの各エリアにおいて 2 基設置される揚水井戸のうち、片側の揚水井戸で排水される状態で設計値を保持するように、浸透流解析によりドレーン範囲を設定 (通常運転時は 2 基の揚水井戸で排水されるため、更に水位は低くなる)。更に、浸透流解析で高めの水位を評価するため、片側の井戸のみで集水を行う状況が 2 つのエリアで同時に生じた状態を仮定。

2. 浸透流解析モデルにおける目的に応じた保守性確保の考え方

浸透流解析においては、目的に応じた保守的な解析条件を設定する。

浸透流解析に影響を与えるパラメータ・境界条件と、設定内容による浸透流解析結果への影響の概念について図 1-2 に示す。

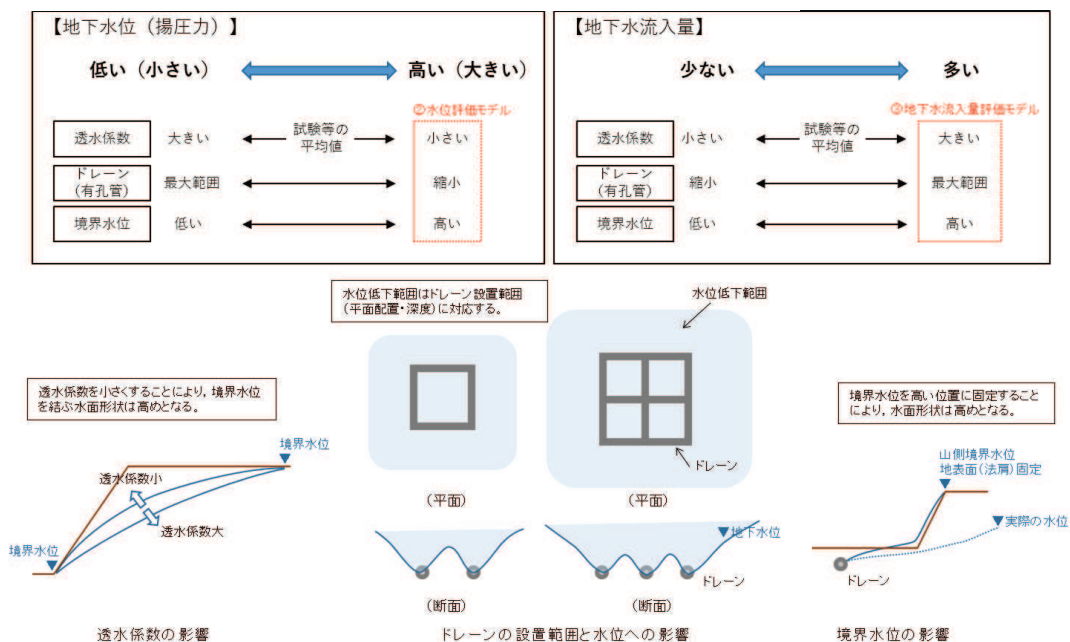


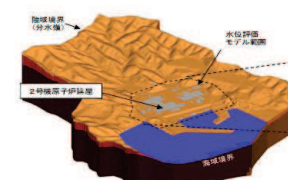
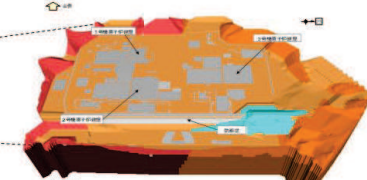
図 1-2 浸透流解析の目的に応じた条件設定例及び浸透流解析条件と評価への影響

3. 浸透流解析モデルの概要について

浸透流解析に用いる各モデルの概要を表 1-1～1-3 に示す。

評価目的に対して保守的な評価結果となるよう、モデル条件の設定を行っている。

表 1-1 解析モデル概要 (①広域モデル②水位評価モデル)

| 項目 | ①広域モデル [妥当性確認] | ②水位評価モデル [予測解析] |
|----------------|--|--|
| 1-1.目的 | <ul style="list-style-type: none"> モデル化の妥当性を確認すること (降雨に対する観測水位の再現性を確保) | <ul style="list-style-type: none"> 工事完了後に想定される地下水位を評価すること (液状化影響検討対象施設を幅広く抽出するため高めに評価) |
| 1-2.アウトプットの活用先 | - (モデル検証のみ) | 各施設の耐震設計における前提条件 (設計用地下水位) |
| 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 | 非定常解析 | 定常解析 |
| 4.降雨条件 | <ul style="list-style-type: none"> 以下の検証期間の降雨実績 検証期間 1 : 2006-2007年 検証期間 2 : 2013-2014年 | - |
| 5.モデル | 地下水位観測時 (検証期間) における施設配置等を反映 | 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 | 既設全ての範囲が集水に寄与 | <ul style="list-style-type: none"> 集水に寄与する範囲を限定 (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) 各エリアにおいて片側の井戸へ集水を行う状態で設計値を保持 |
| 7.境界条件 | <ul style="list-style-type: none"> 実態に則した設定 - 山側：閉境界 - 海側：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 | <ul style="list-style-type: none"> 水位が高めに評価されるよう設定 - 山側：地表面 (法肩) に水位固定 - 海側：期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 | 試験結果の平均値 | <ul style="list-style-type: none"> 水位が高めに評価されるよう設定 - 岩盤 I を試験結果の平均値 - 1σ |

注) ■は目的に対して保守的な評価とする目的で①広域モデルより変更している条件

※5%超過点の陥没時の耐震対策適合性に係る審査委員会 資料1-1(モ一)第3頁

表 1-2 解析モデル概要 (②モデルと③地下水流入量評価モデル④水位上昇評価モデル)

| 項目 | ②水位評価モデル | ③地下水流入量評価モデル | ④水位上昇評価モデル |
|----------------|---|---|--|
| 1-1.目的 | <ul style="list-style-type: none"> 工事完了後に想定される地下水位を評価すること (液状化影響検討対象施設を幅広く抽出するため高めに評価) | <ul style="list-style-type: none"> 工事完了後に想定される地下水の流入量を評価すること (設備設計の保守性を確保するため多めに評価) | <ul style="list-style-type: none"> ドレーンを考慮しない状態における水位上昇を評価すること |
| 1-2.アウトプットの活用先 | 各施設の耐震設計における前提条件 (設計用地下水位) | <ul style="list-style-type: none"> 設備設計 (常設ポンプ・可搬ポンプユニット) の排水能力設定 ドレーンの排水能力確認 | <ul style="list-style-type: none"> 可搬ポンプユニットによる復旧措置の評価において参照 アクセスルート評価 (地中構造物の浮上り影響の評価) |
| 2.解析領域 | <ul style="list-style-type: none"> O.P.+14.8m盤及びO.P.+14.8m盤周辺の法面  | (同左) | (同左) |
| 3.解析種別 | 定常解析 | (同左) | 非定常解析 |
| 4.降雨条件 | - | - | - |
| 5.モデル | 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 | (同左) | (同左) |
| 6.ドレーン | <ul style="list-style-type: none"> 集水に寄与する範囲を限定 (表1-1と同様) 各エリアにおいて片側の井戸へ集水を行う状態で設計値を保持 | 既設・新設の全ての範囲が集水に寄与 | <ul style="list-style-type: none"> 水位上昇開始時の水位が高くなるよう、集水に寄与する範囲を限定 (初期状態) 通常の運転状態 (初期状態) から、全ての揚水井戸で排水されない状態 (=ドレーンを全て無効とした状態) を仮定 |
| 7.境界条件 | <ul style="list-style-type: none"> 水位が高めに評価されるよう設定 - 山側：地表面 (法肩) に水位固定 - 海側：期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 | <ul style="list-style-type: none"> 流入量が多めに評価されるよう設定 - 山側：地表面 (法肩) に水位固定 - 海側：期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 | <ul style="list-style-type: none"> 水位上昇開始時の水位が高くなるよう設定 - 山側：地表面 (法肩) に水位固定 - 海側：期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"> 水位が高めに評価されるよう設定 - 岩盤 I を試験結果の平均値 - 1σ | <ul style="list-style-type: none"> 流入量が多めに評価されるよう設定 - 全て試験結果の平均値 + 1σ | <ul style="list-style-type: none"> 水位上昇開始時の水位が高くなるよう設定 - 岩盤 I を試験結果の平均値 - 1σ |

注) ■は目的に対して妥当な評価とする目的で②水位評価モデルより変更している条件

■は目的に対して妥当な評価とする目的で②水位評価モデルを踏襲している条件

表 1-3 解析モデル概要 (①モデルと⑤平常水位予測モデル⑥仮想豪雨評価モデル)

| 項目 | ①広域モデル | ⑤平常水位予測モデル | ⑥仮想豪雨評価モデル |
|----------------|--|---|--|
| 1-1.目的 | <ul style="list-style-type: none"> モデル化の妥当性を確認すること (観測結果の再現性を確保) | <ul style="list-style-type: none"> 工事完了後に想定される実際の水位 (設計用地下水より低い水位) を推定すること | <ul style="list-style-type: none"> 工事完了後に想定される豪雨時の水位を推定すること |
| 1-2.アウトプットの活用先 | - (モデル検証のみ) | <ul style="list-style-type: none"> 水位が低い場合の影響検討における水位設定の参考 | <ul style="list-style-type: none"> 設計用地下水水位が有する余裕の確認において参照 |
| 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)  | (同左) | (同左) |
| 3.解析種別 | <ul style="list-style-type: none"> 非定常解析 | <ul style="list-style-type: none"> 定常解析 | <ul style="list-style-type: none"> 非定常解析 |
| 4.降雨条件 | <ul style="list-style-type: none"> 以下の検証期間の降雨実績 検証期間 1 : 2006-2007年 検証期間 2 : 2013-2014年 | <ul style="list-style-type: none"> 3.57mm/日 (観測降雨 (2001-2018年) の日平均) | <ul style="list-style-type: none"> 仮想の降雨条件 (超過確率 約400年程度) - 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) |
| 5.モデル | <ul style="list-style-type: none"> 地下水観測時 (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 | (同左) |
| 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"> 平常時の状態に対応し、既設・新設の全範囲を管路として扱う | <ul style="list-style-type: none"> 設計用地下水水位の検証を目的とするため、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 - 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 | (同左) | (同左) |
| 8.透水係数 | <ul style="list-style-type: none"> 試験結果の平均値 | (同左) | (同左) |

注) ■は目的に対して妥当な評価とする目的で①広域モデルより変更している条件