

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9
提出年月日	2021年4月20日

補足-600-1【地盤の支持性能について】

2021年4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	21
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	25
3.3.1 敷地の地下水位分布	25
3.3.2 耐震評価における設計用地下水位設定方針	30
4. 地盤の解析用物性値	184
4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値	184
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	184
4.2.1 全応力解析に用いる解析用物性値	184
4.2.2 有効応力解析に用いる解析用物性値	184
4.2.3 その他の解析用物性値	237
4.2.4 地盤の物性のばらつきについて	237
5. 極限支持力	238
5.1 杭基礎の支持力算定式に関する補足	238
5.1.1 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	238
5.1.2 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	238
6. 地盤の速度構造	240
6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル	240
6.2 地震応答解析に用いる地盤の速度構造モデル	240

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 地下水位低下設備の施工について

参考資料 9 地下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位の設定方法
- 参考資料 11 降雨に対する設計用地下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

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。

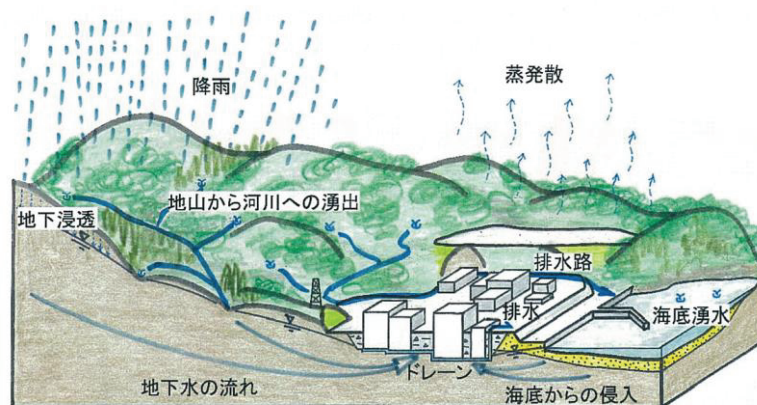


図3.3-1 敷地の水文環境の概念図



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。

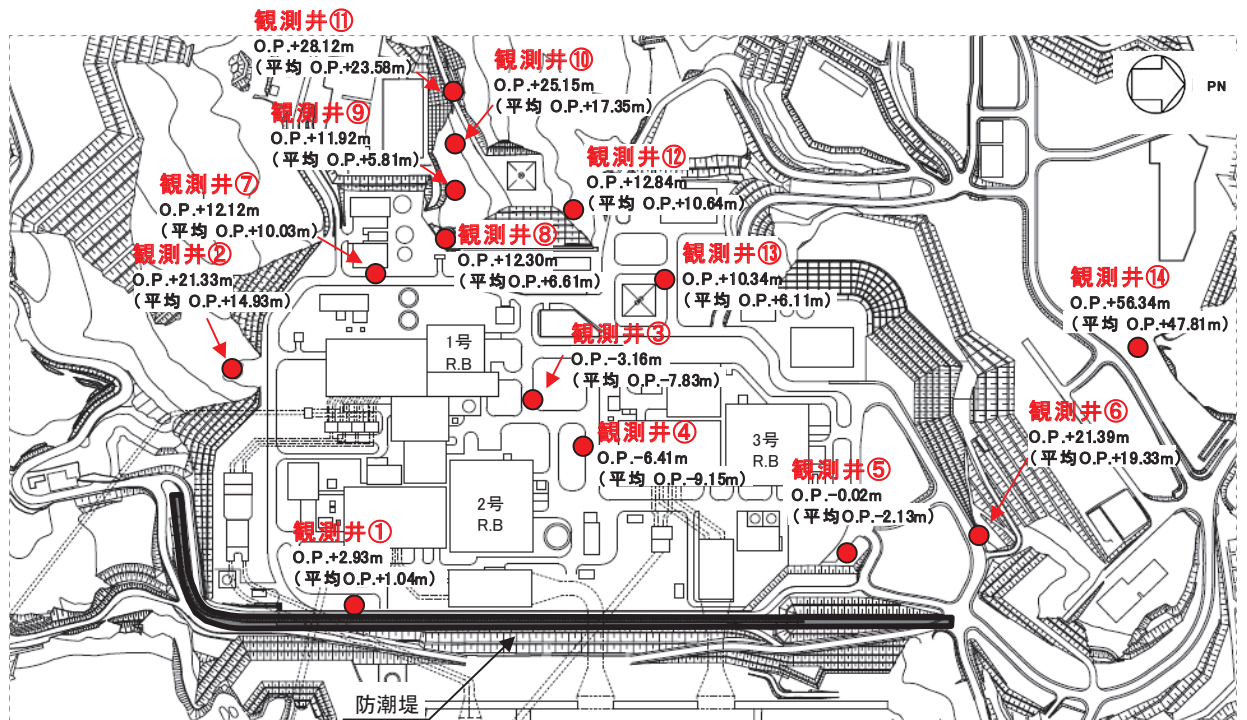
観測井は、施設や敷地造成が地下水位に与える影響が相対的に小さいと考えられる O.P. +14.8m 盤山側及び O.P. +14.8m 盤周辺の法面の他、同影響が相対的に大きいと考えられる O.P. +14.8m 盤に設置している。

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位, ()は平均地下水位を示す

図3.3-4 地下水位観測井位置図

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るとの考え方のもと、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、適切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。

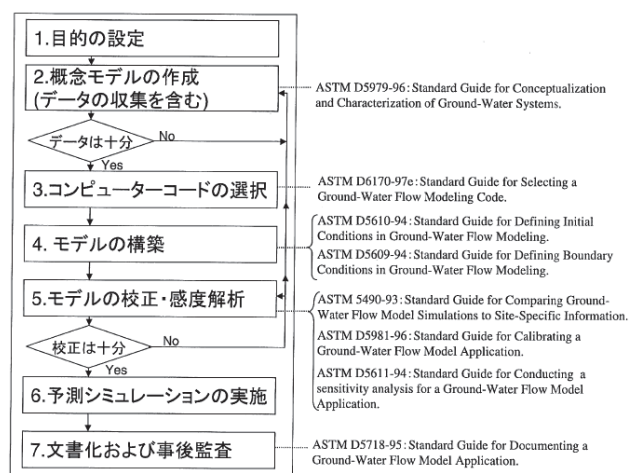


図2 地下水流動解析フローと ASTM の関係
(フロー全体は、ASTM D5447-93 Standard Guide for Application of a Ground-Water Flow Model to a Site-Specific Problem を参照)

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））

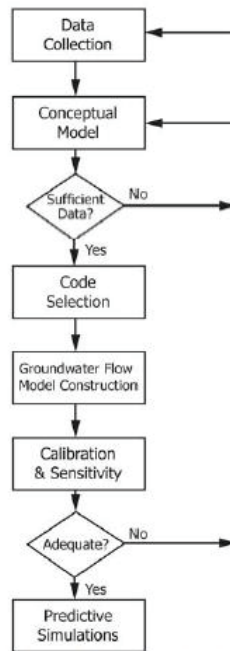


FIG. 1 Flow Chart of the Modeling Process

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**

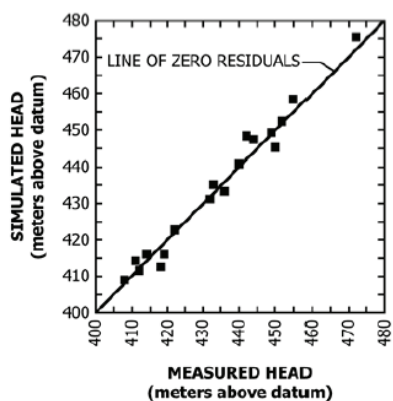


FIG. X1.3 Sample Scattergram

(1) XYプロットを用いた確認の例

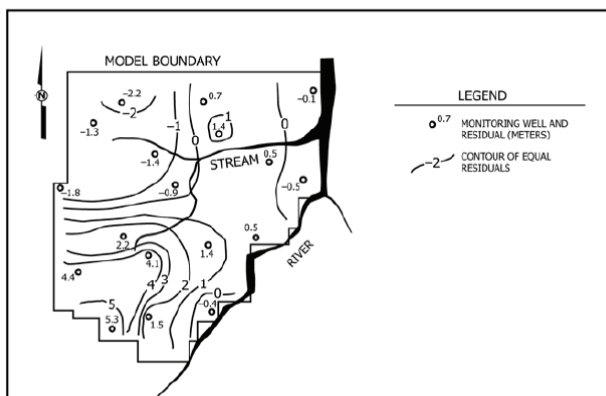


FIG. X1.5 Sample Contours of Residuals Plan View

(2) 空間的な相関性の評価例

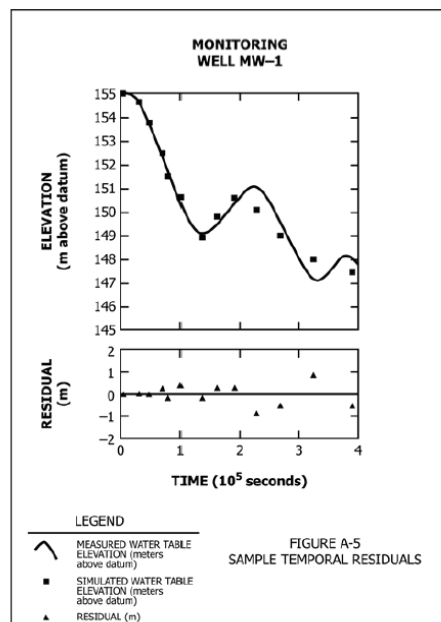


FIG. X1.7 Sample Temporal Residuals

(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。

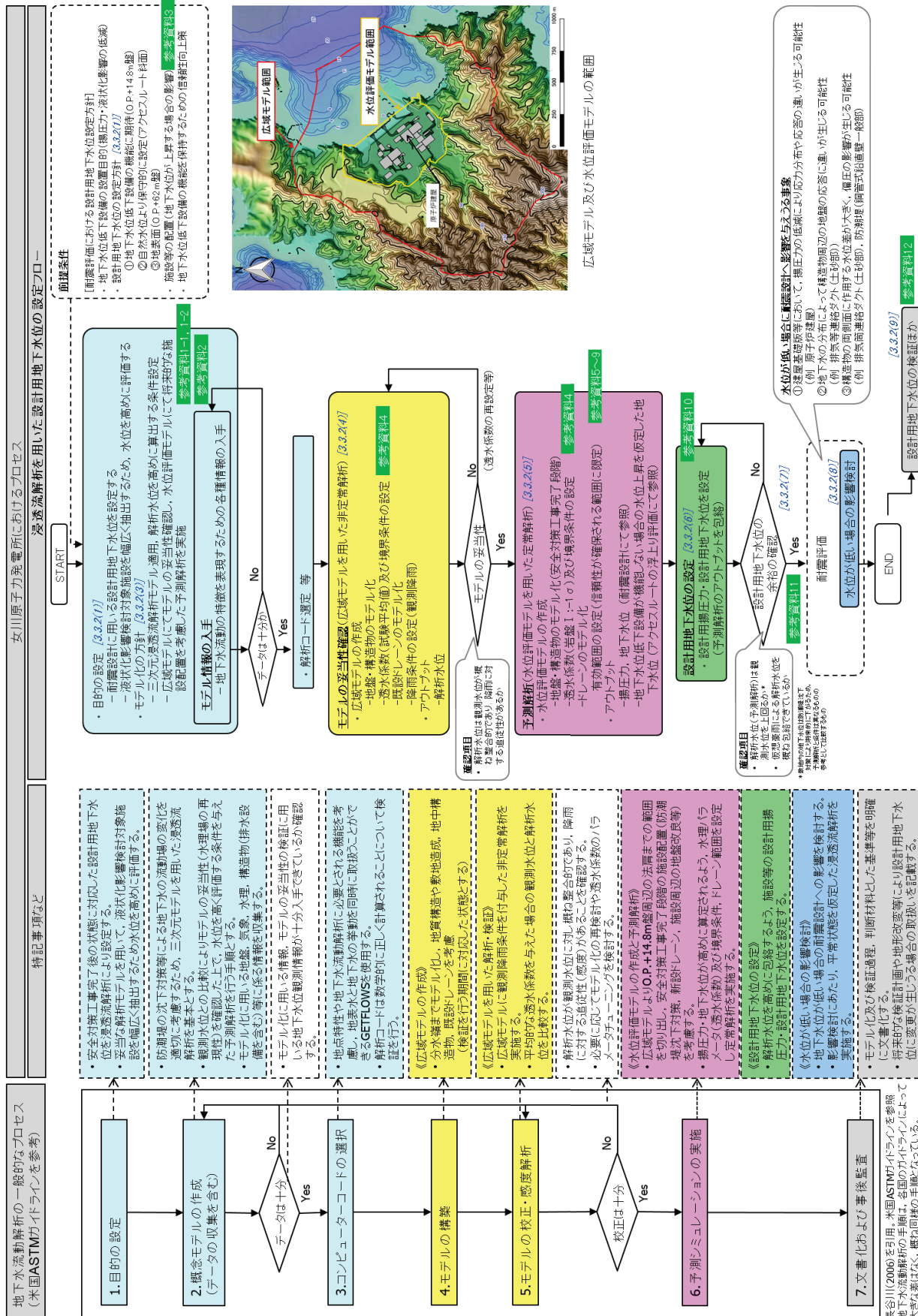


図 3.3-8 浸透流解析を用いた設計用揚圧力・設計用地下水位の設定フロー

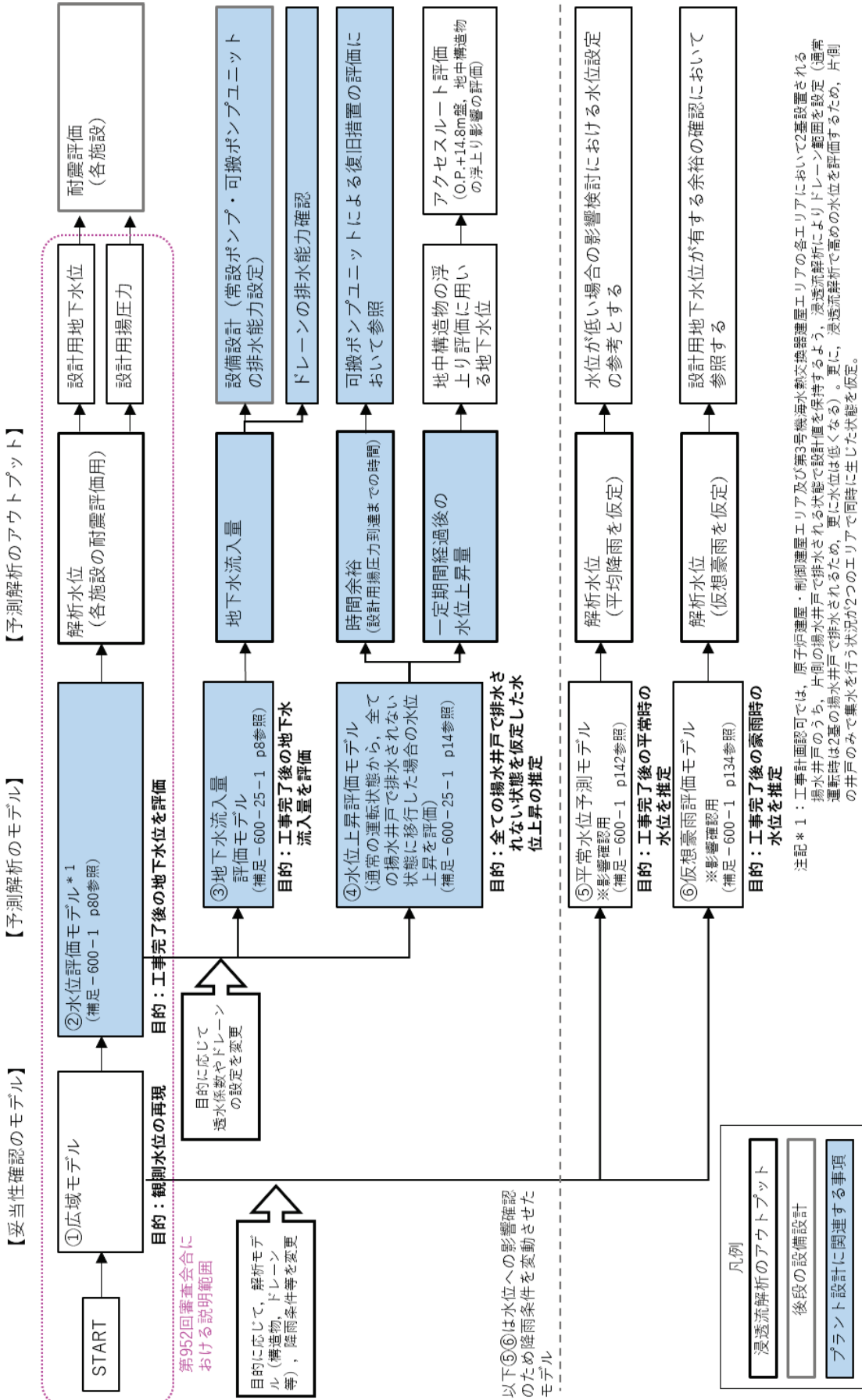


図 3.3-9 浸透流解析による評価モデルと設計等への反映事項

(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。

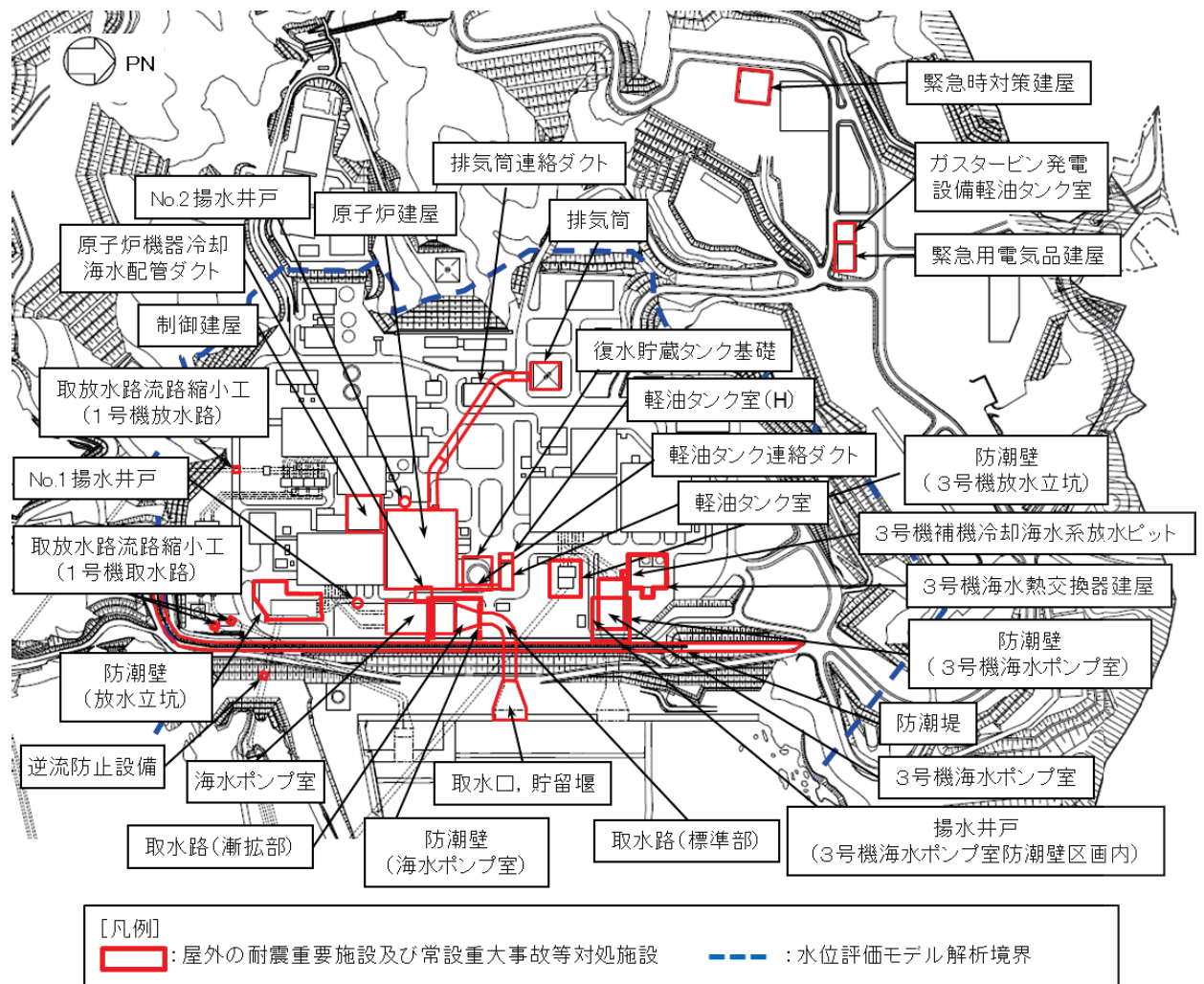


図3.3-10 屋外の評価対象施設の配置図

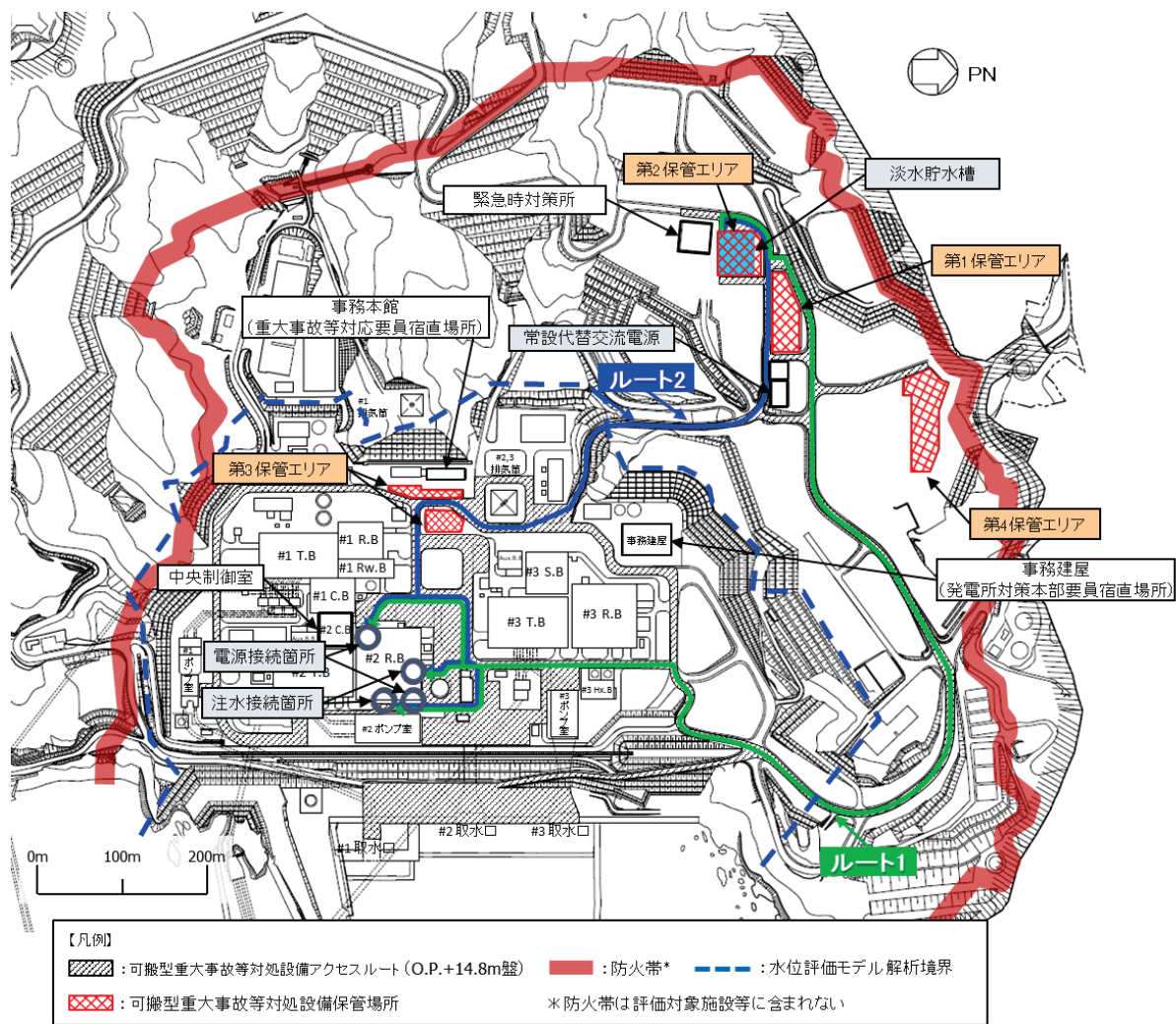


図3.3-11 可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルート配置図

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 0.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 0.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。

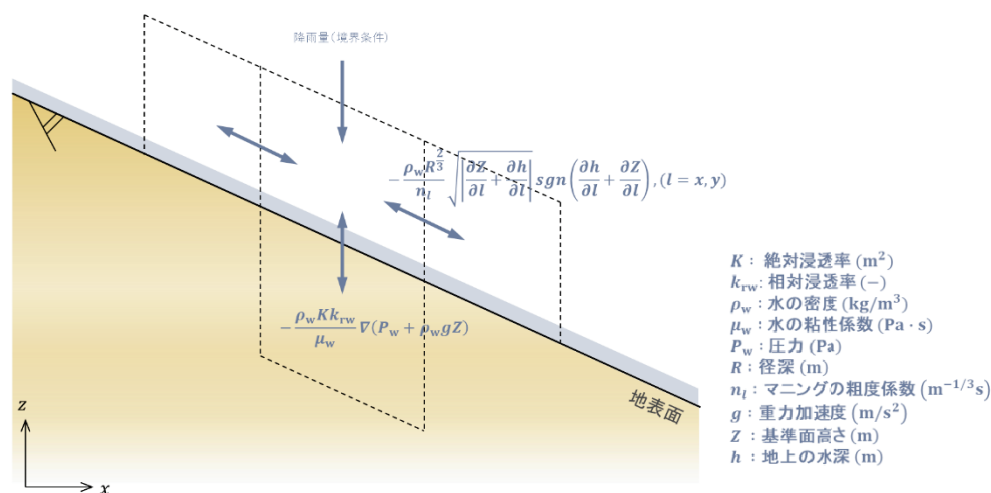


図 3.3-12 地表面での浸透・湧出の取扱いに係る概念図

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。

造成形状や構造物は安全対策工事完了段階に対応したモデル化を行い、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。

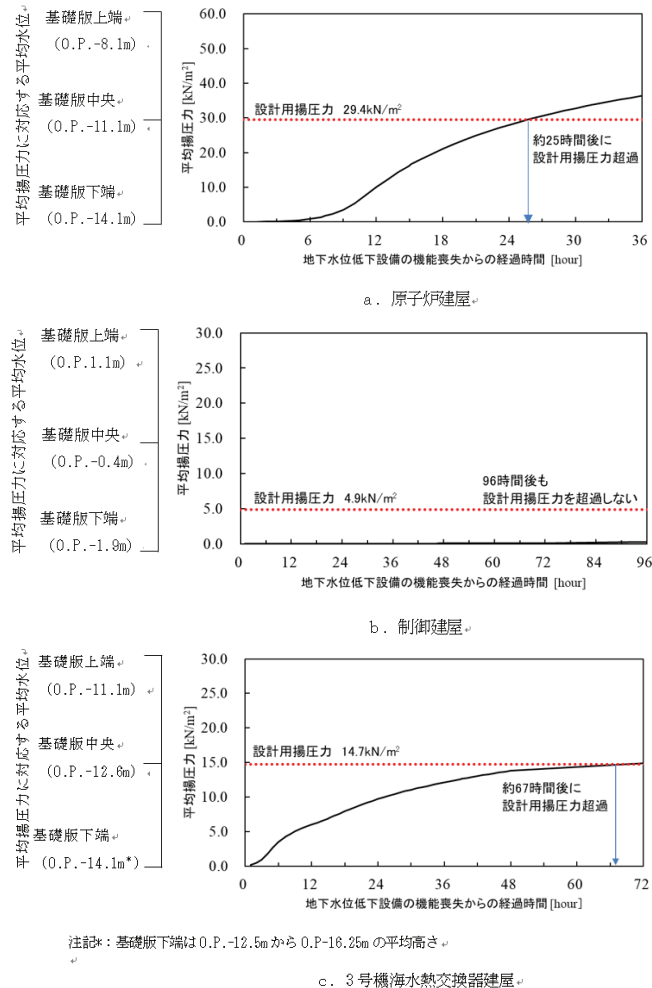


図 3.3-13 時間余裕の評価結果

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。

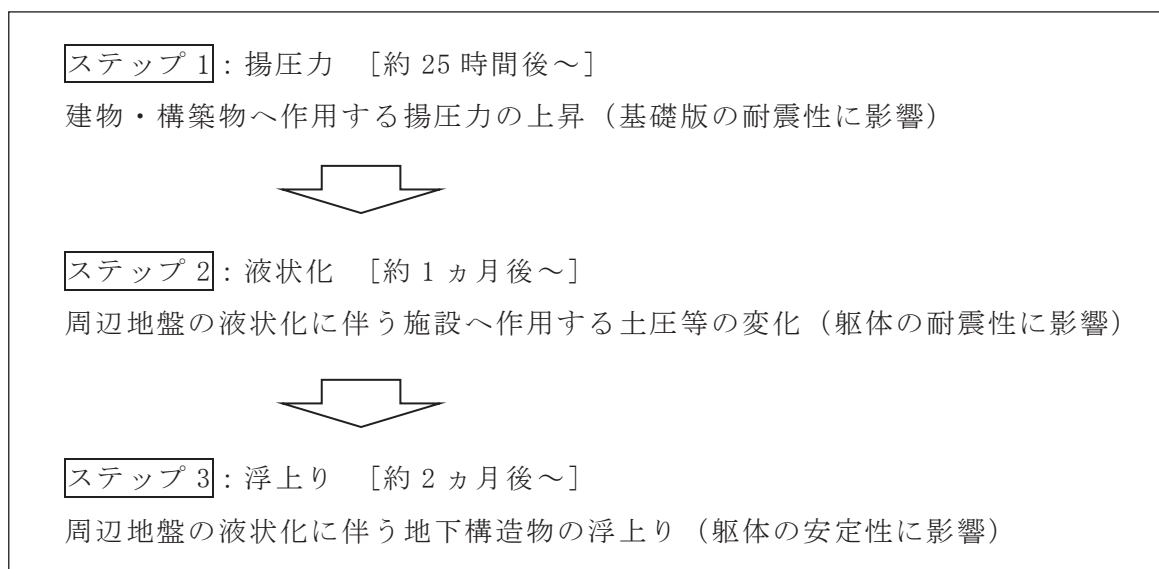


図 3.3-14 地下水位上昇による耐震性への影響

(4) モデルの妥当性確認（広域モデルによる非定常解析）

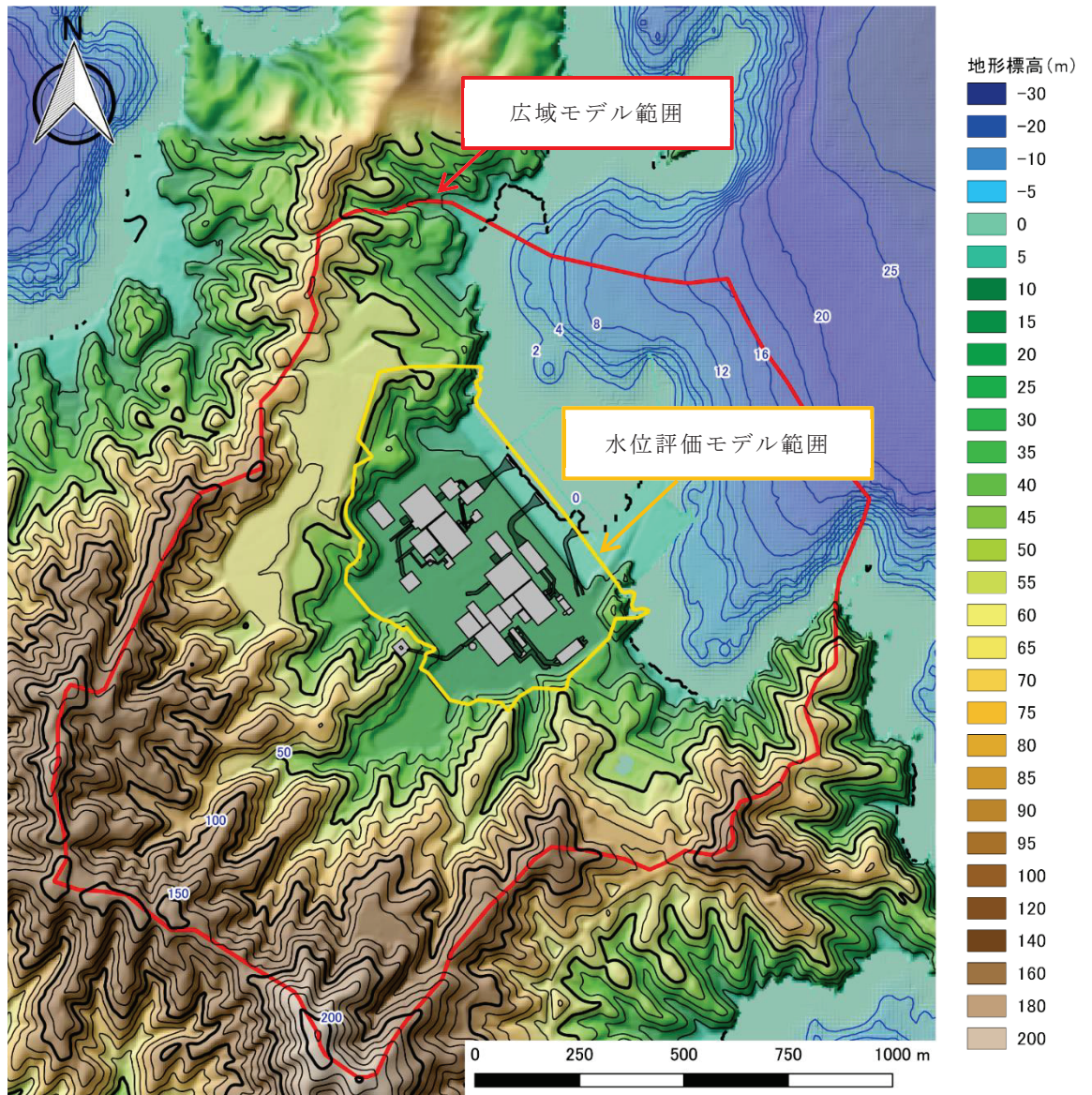
a. 広域モデルの作成

(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。

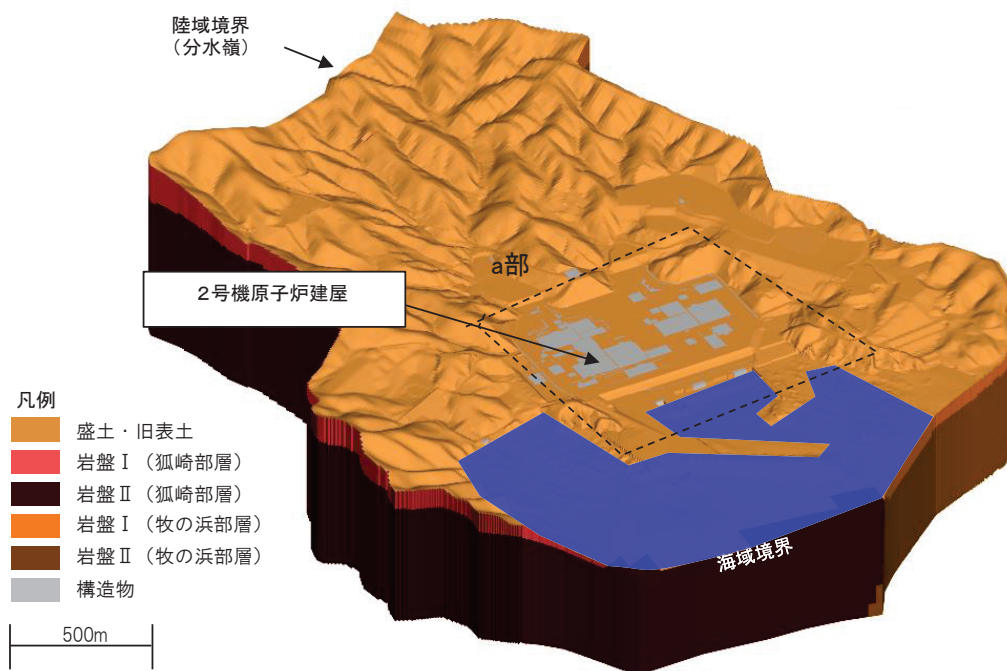
モデル化範囲を図 3.3-15 に、広域モデルの鳥瞰図を図 3.3-16 に示す。

なお、水位評価モデルの概要については(5)にて後述する。

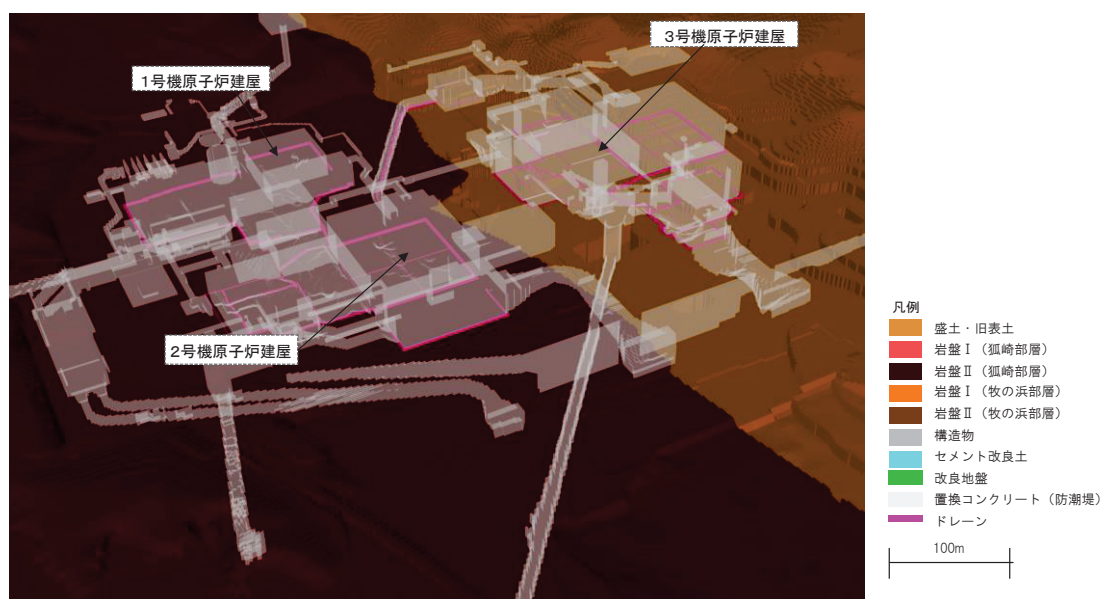


(検証時期に対応した地形の情報であり，構造物のモデル化状況は後述する)

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

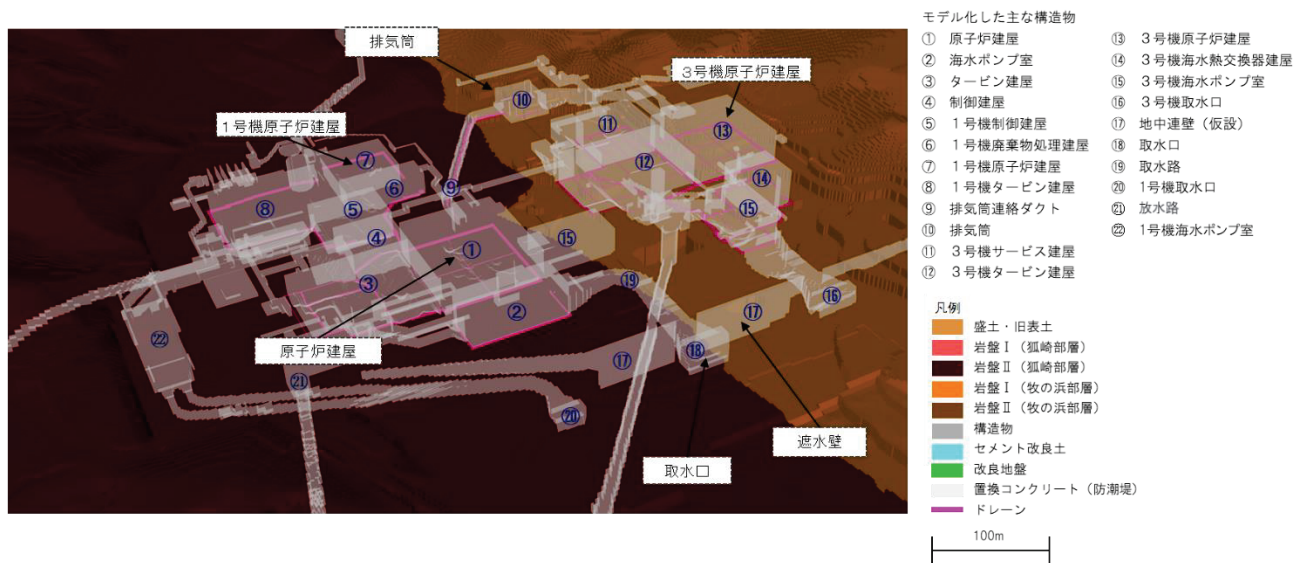
地形（造成形状）は，検証期間 1 及び 2 における各期間での状態を考慮し設定した。

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。

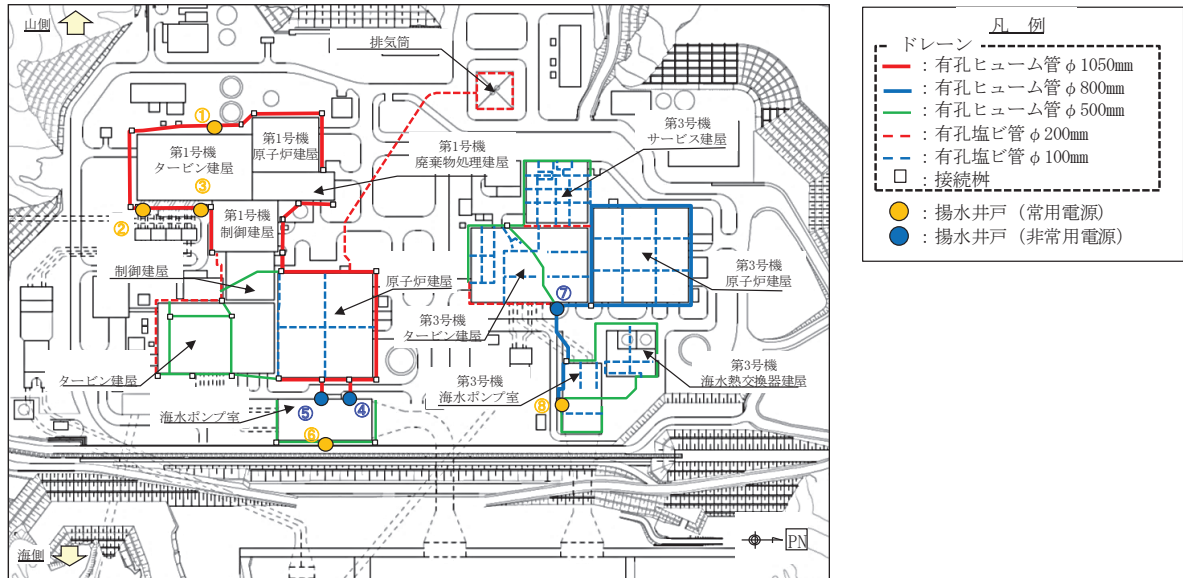
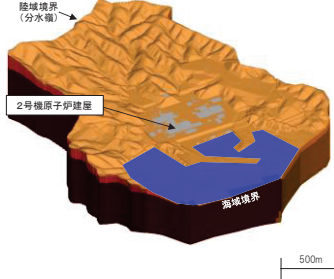


図 3.3-19 既設ドレーン配置図

(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。

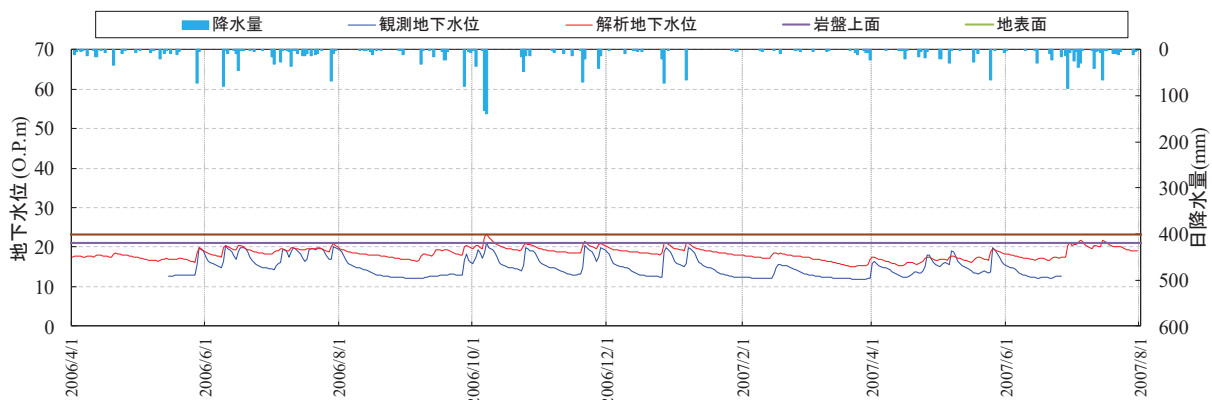


図 3. 3-20 (1) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井②) (期間 1)

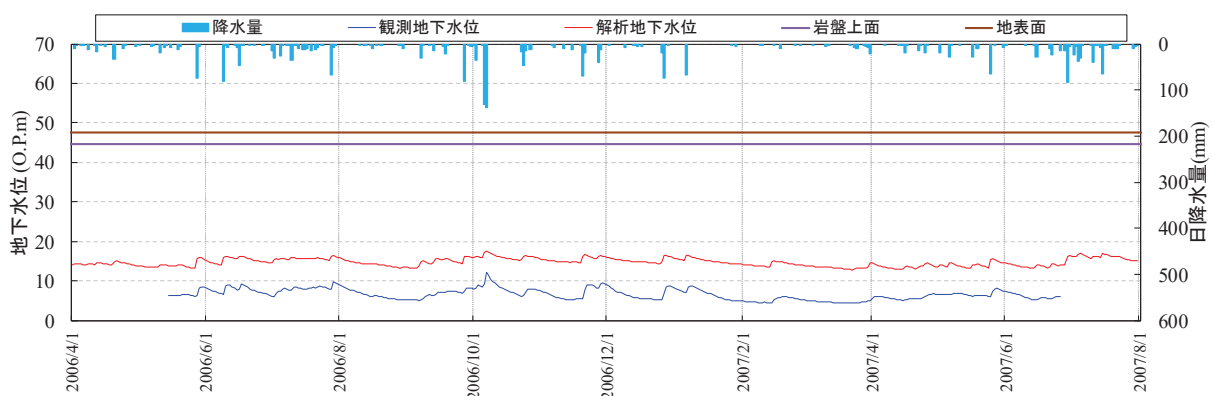


図 3. 3-20 (2) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑧) (期間 1)

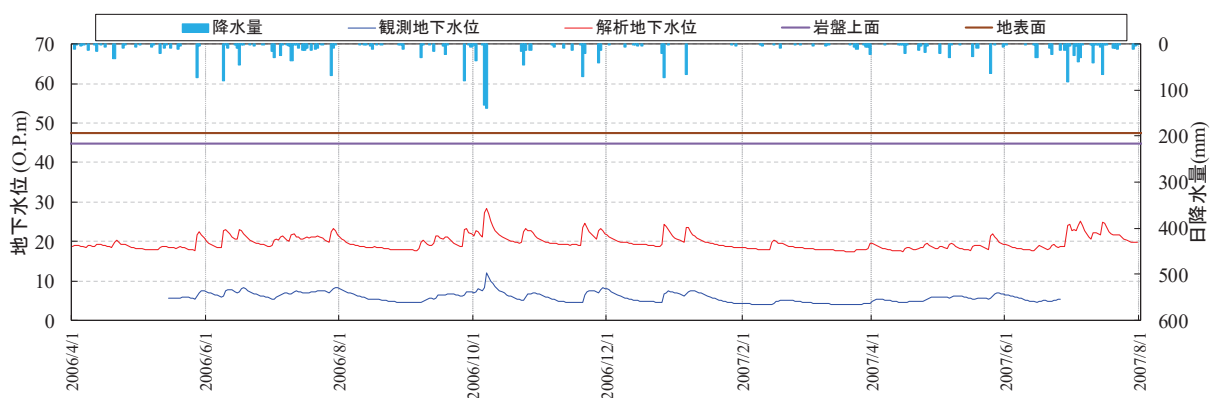


図 3. 3-20 (3) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑨) (期間 1)

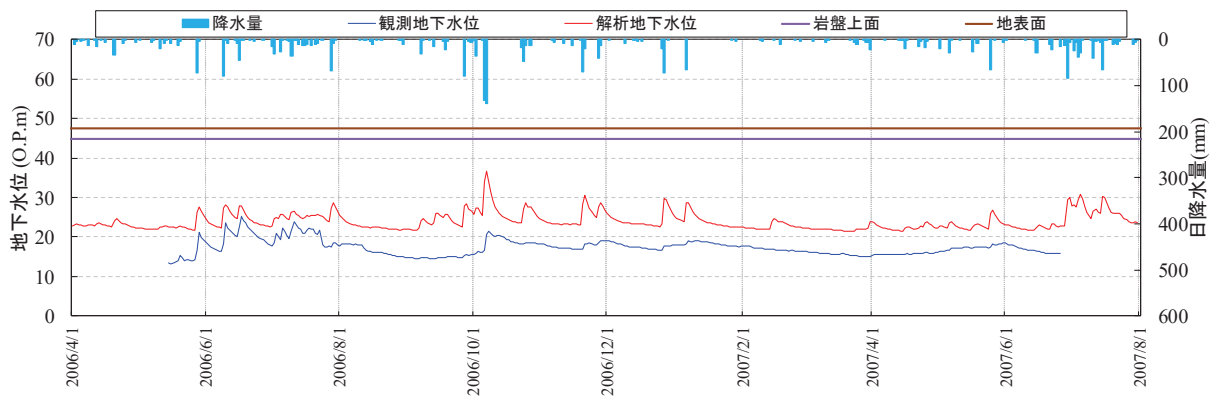


図 3.3-20 (4) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑩) (期間 1)

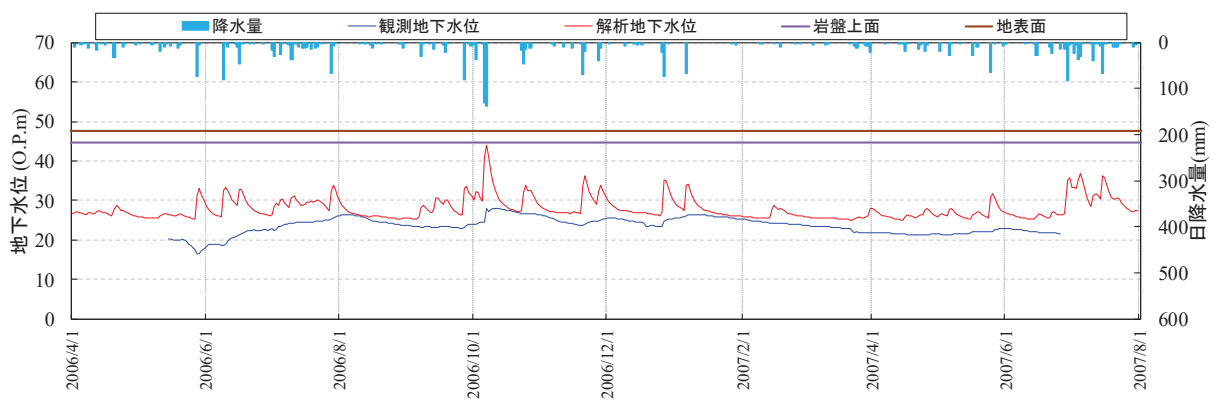


図 3.3-20 (5) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑪) (期間 1)

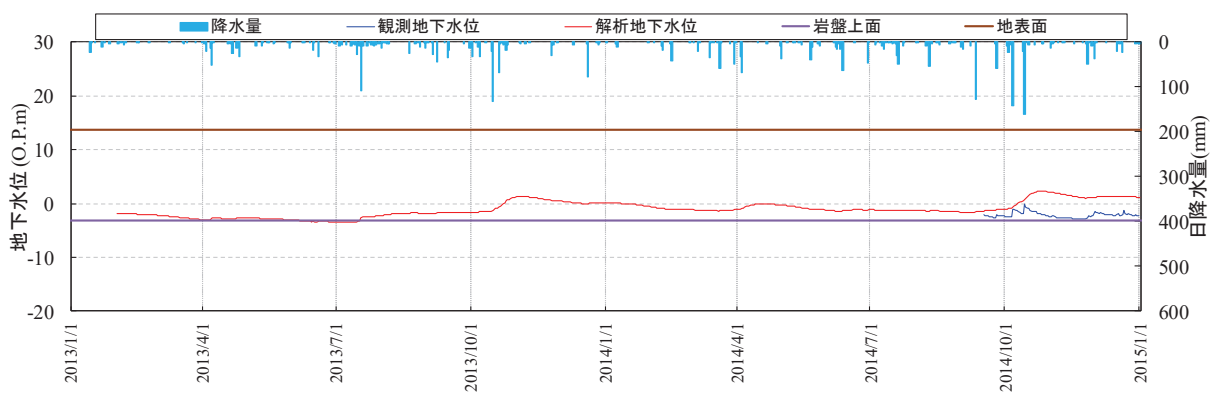


図 3.3-20 (6) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑤) (期間 2)

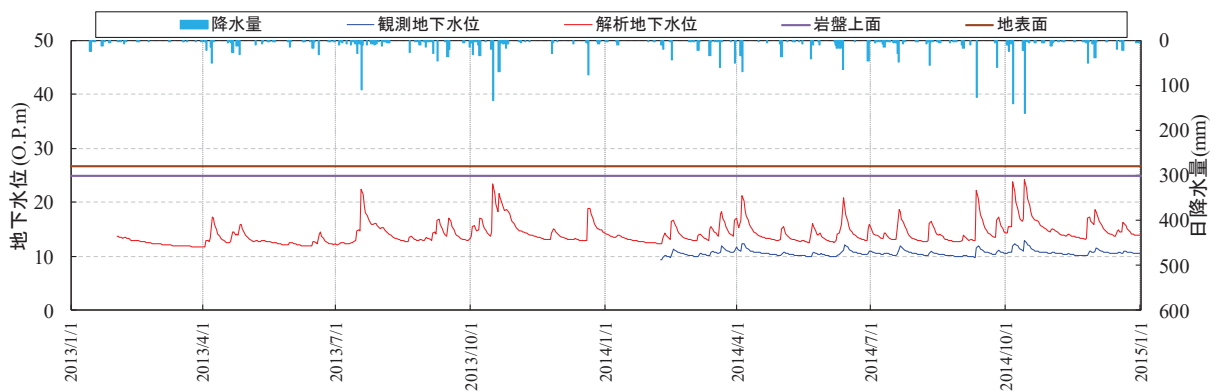


図 3.3-20 (7) 解析水位と観測水位の経時変化（観測井⑫）（期間 2）

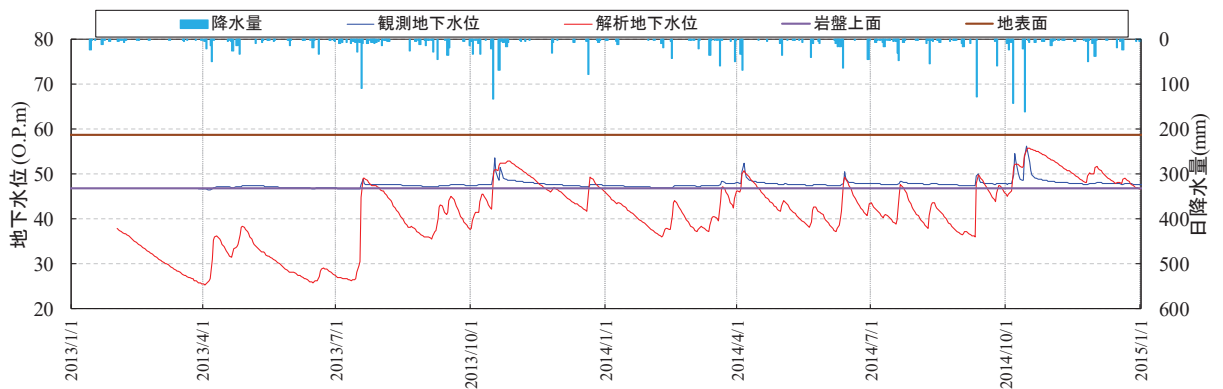


図 3.3-20 (8) 解析水位と観測水位の経時変化（観測井⑭）（期間 2）

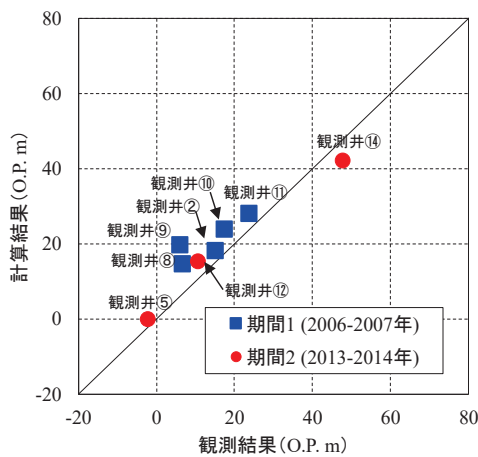
c. モデルの妥当性に係る検証

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。

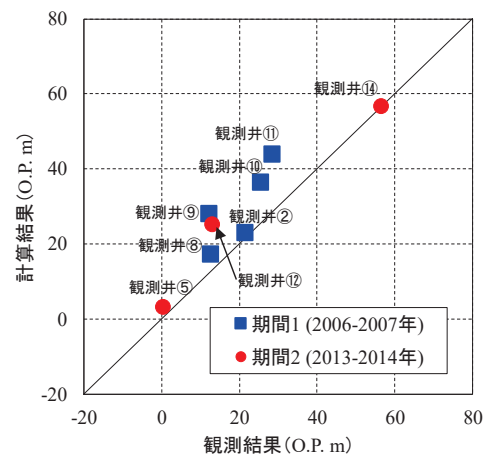
また、検証期間中の各観測孔における平均水位及び最大水位に着目し、解析水位と観測水位との比較を行った（図 3.3-21）。この結果、検証を行った2つの期間において、解析水位は降雨及び観測水位と概ね連動していることを確認した。

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

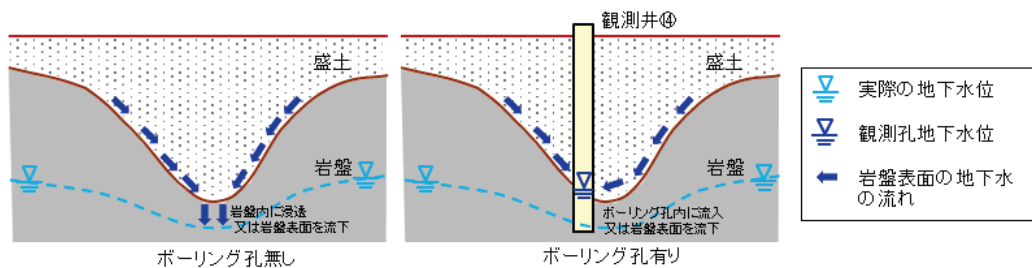
注記*1：期間中における観測水位と解析水位それぞれの平均水位及び最大水位のプロットを示す。

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)

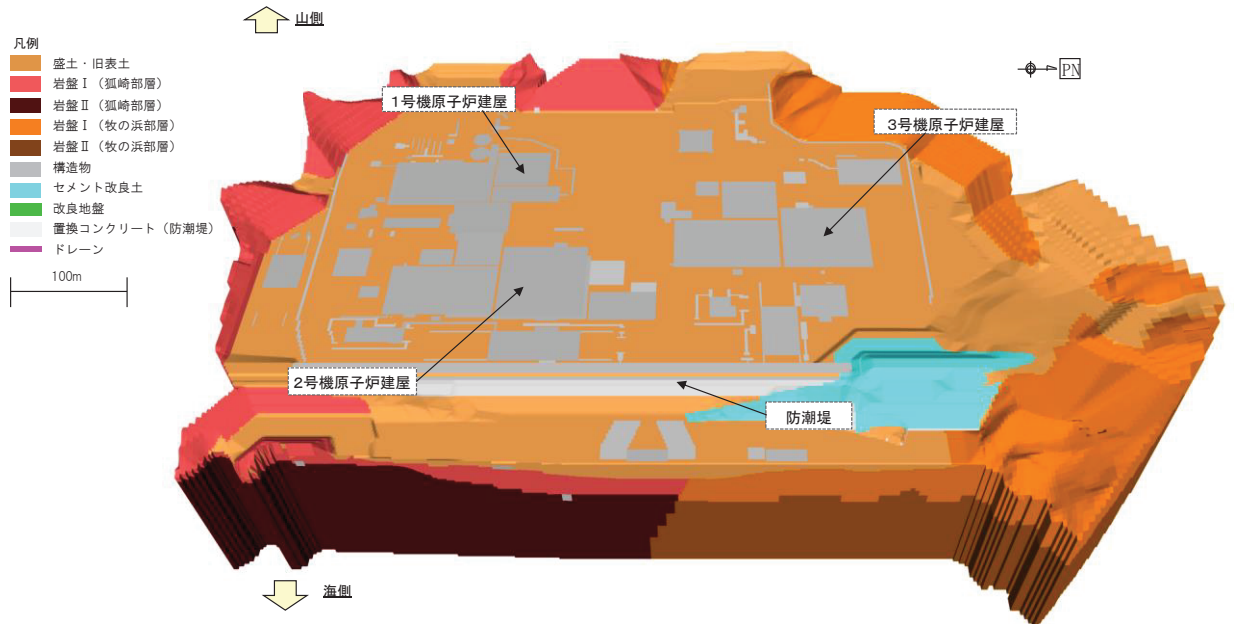
(5) 予測解析（水位評価モデルを用いた定常解析）

a. 水位評価モデルの作成

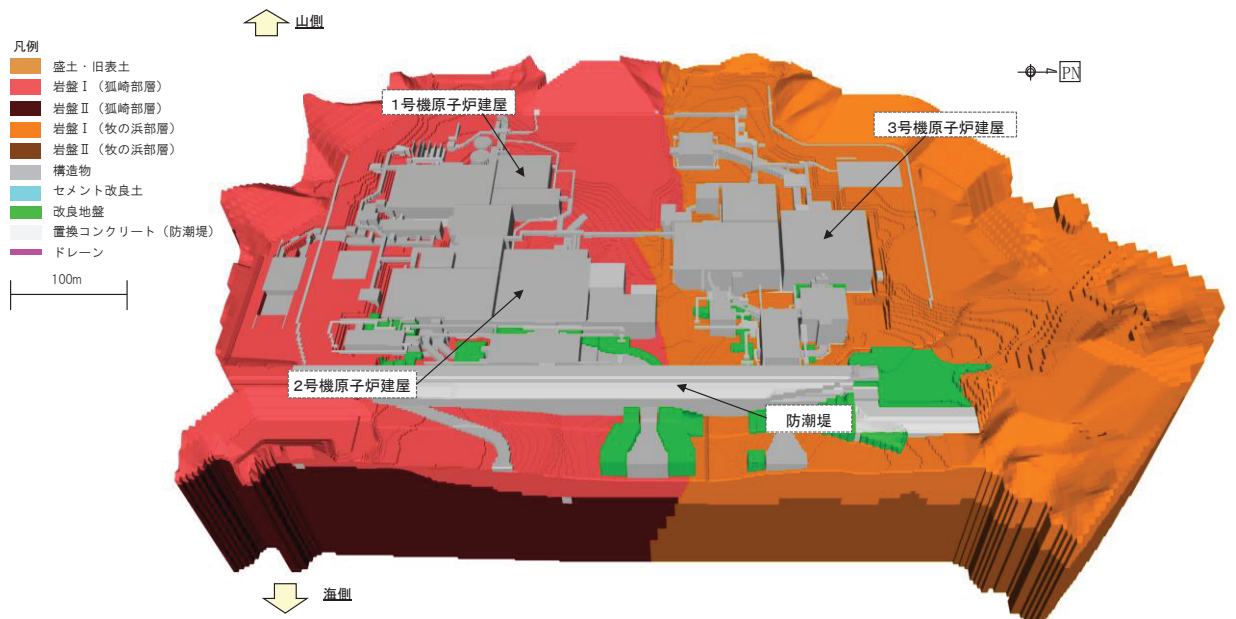
(a) モデル化範囲の設定

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。

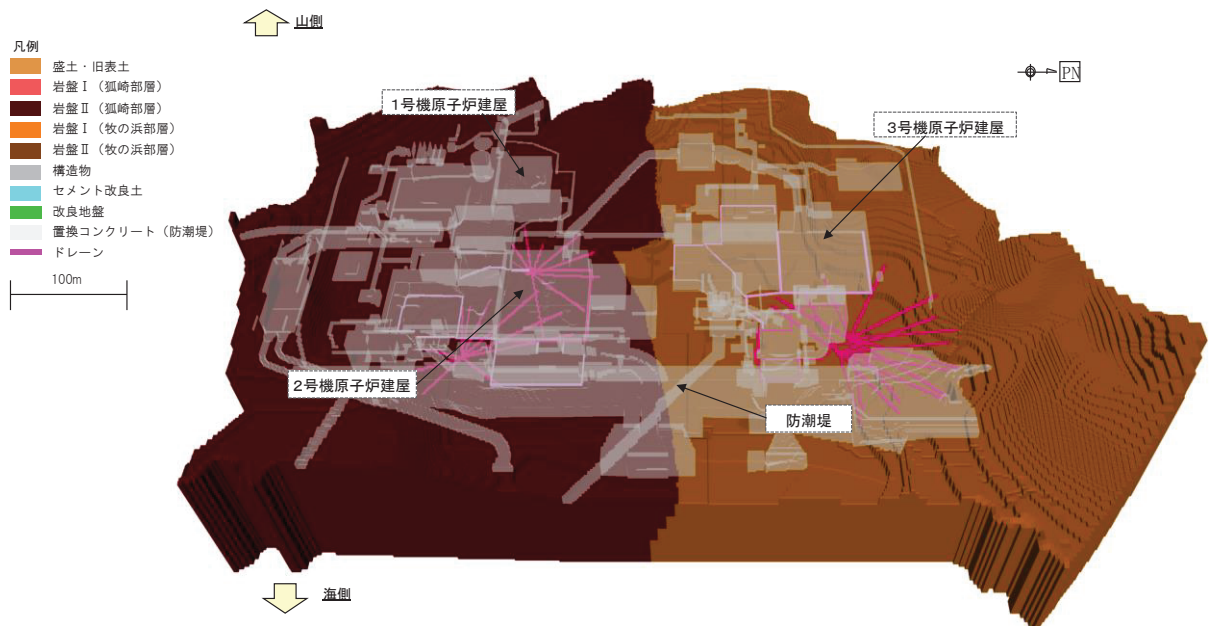


(a) 全体鳥瞰図



(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、水位を高めめに設定する目的から、その影響を考慮していない。

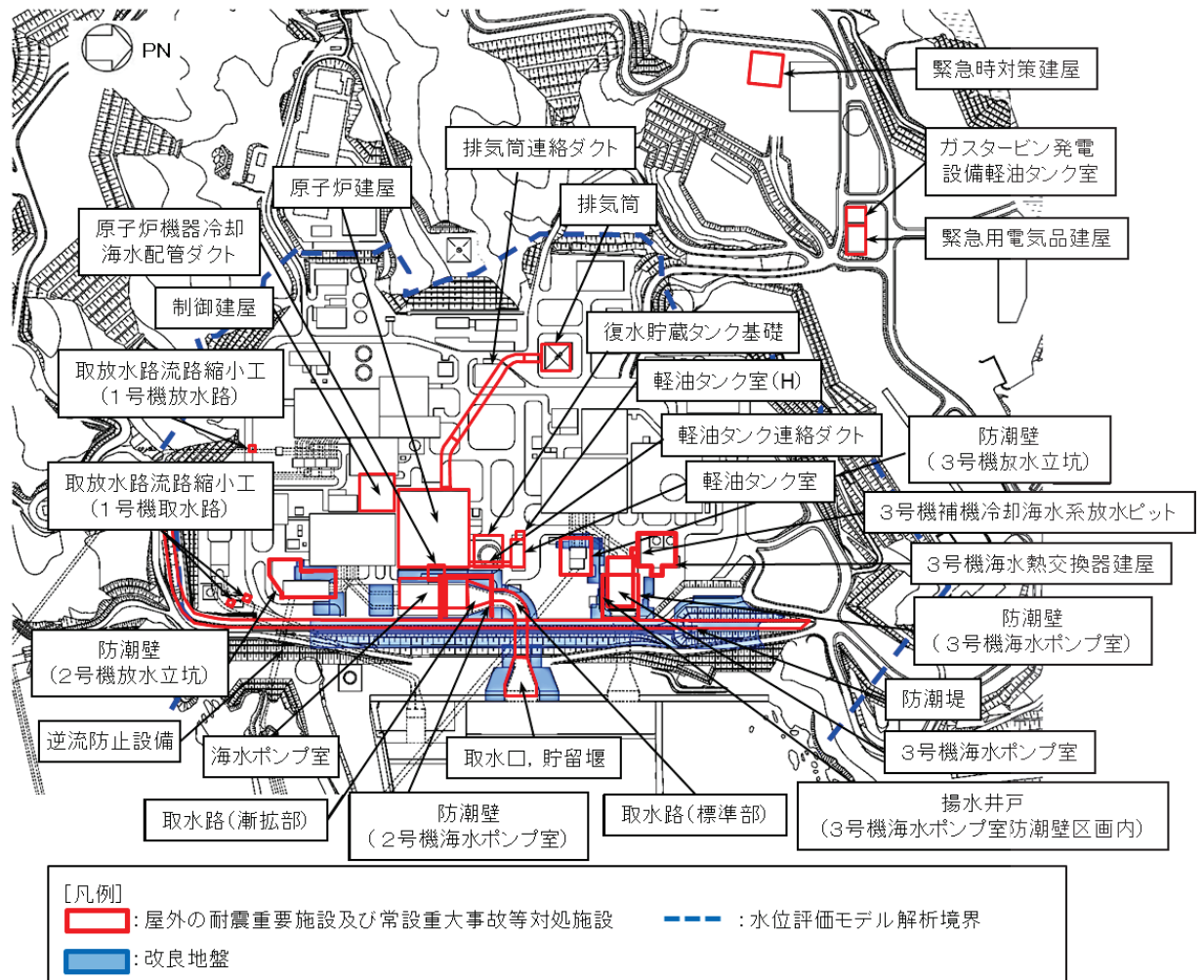


図 3.3-23 土木構造物の配置及び改良地盤の位置図

(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	7.0×10^{-7}		試験結果の平均値 - 1 σ 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 - 1 σ 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

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

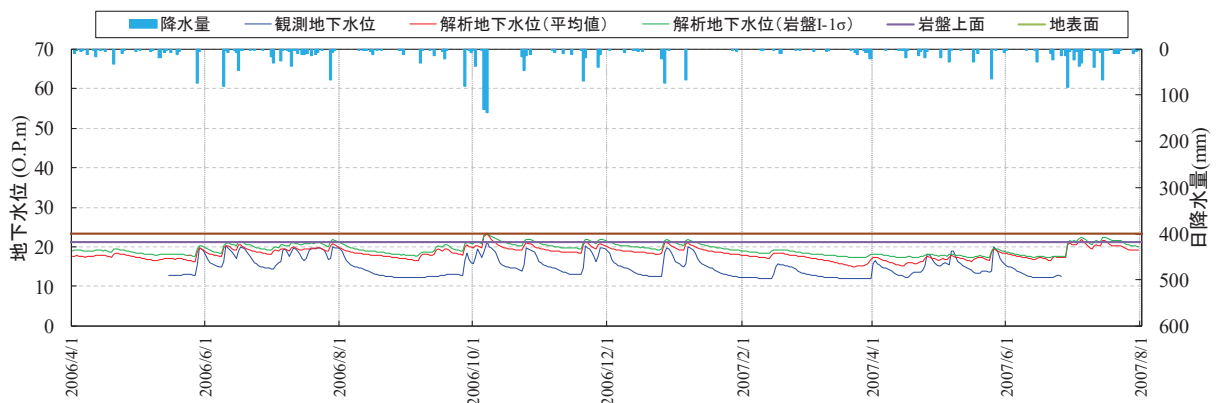


図 3.3-24 (1) 解析水位と観測水位の経時変化（観測井②）（期間 1）

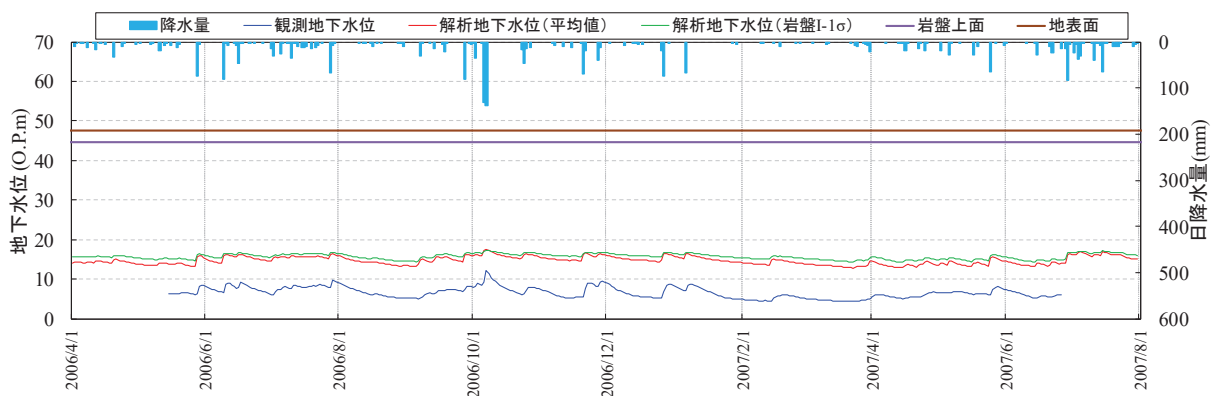


図 3.3-24 (2) 解析水位と観測水位の経時変化（観測井⑧）（期間 1）

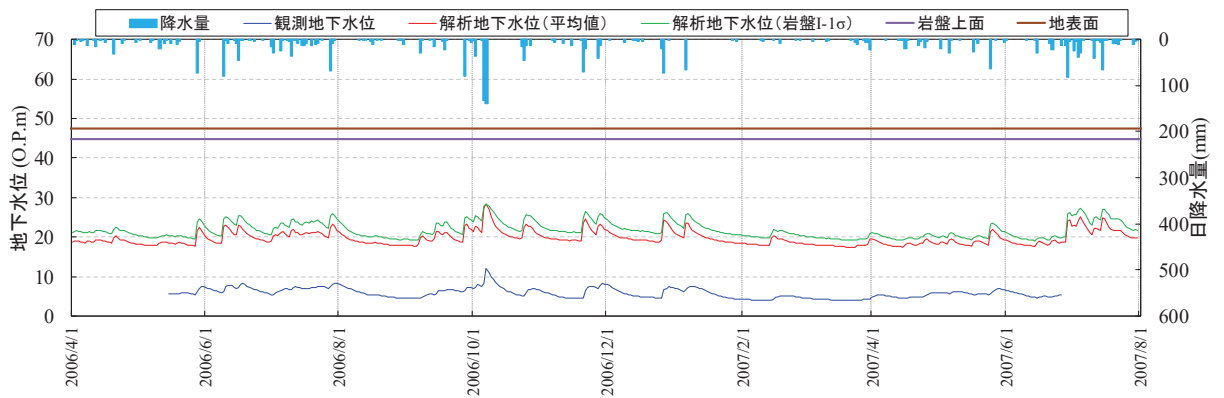


図 3.3-24 (3) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑨) (期間 1)

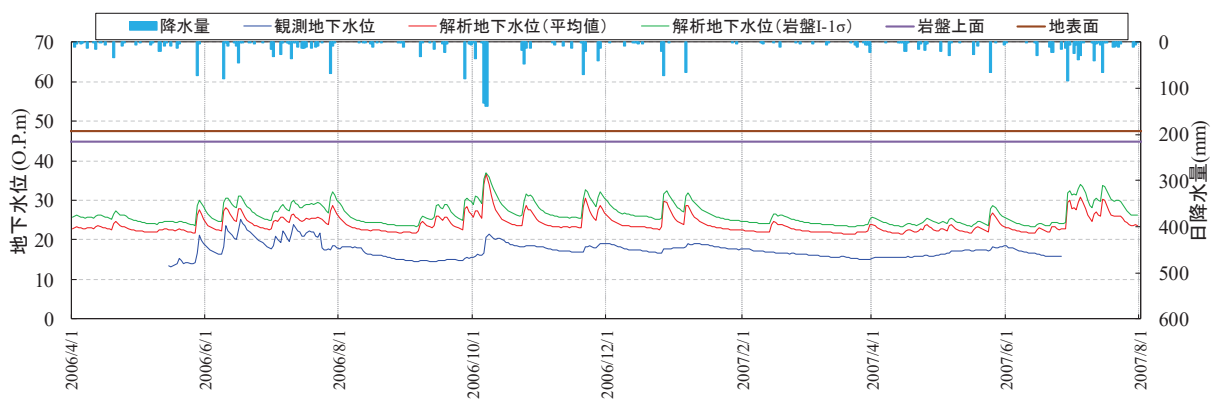


図 3.3-24 (4) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑩) (期間 1)

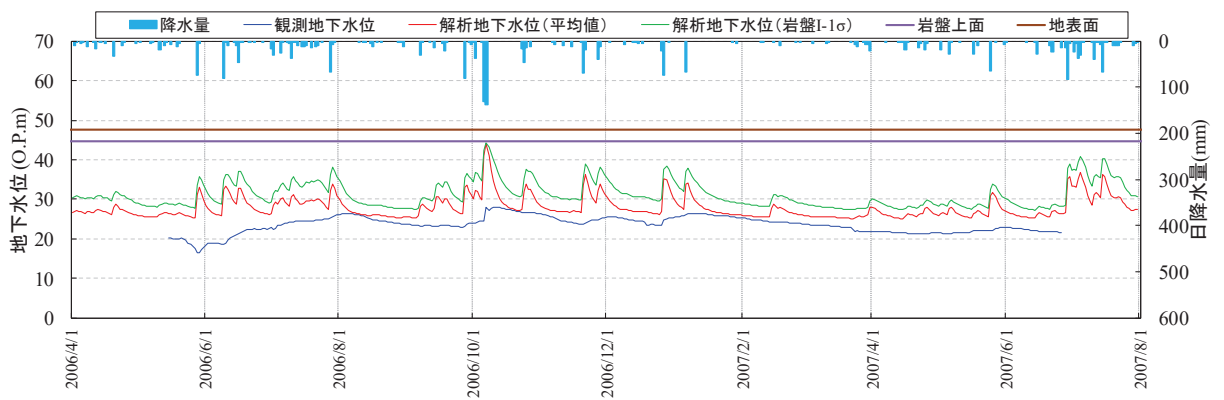


図 3.3-24 (5) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑪) (期間 1)

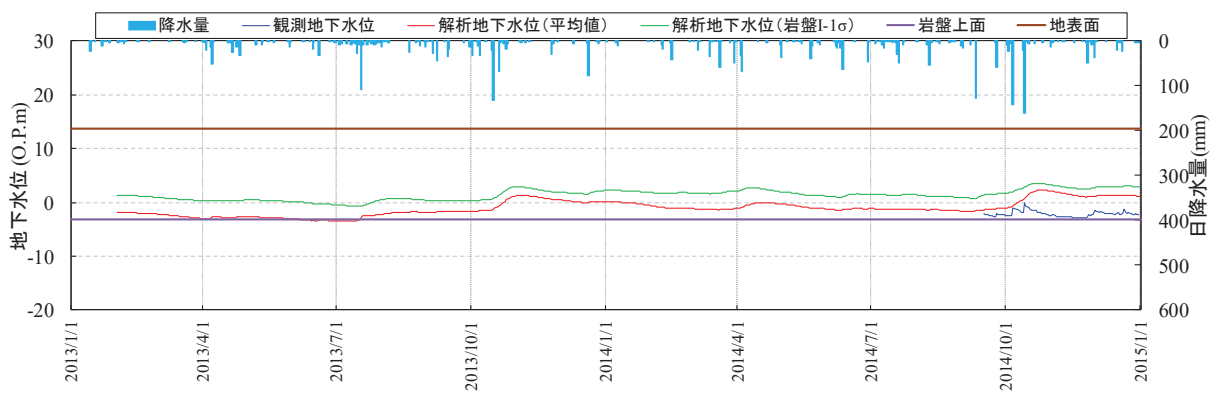


図 3.3-24 (6) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑤) (期間 2)

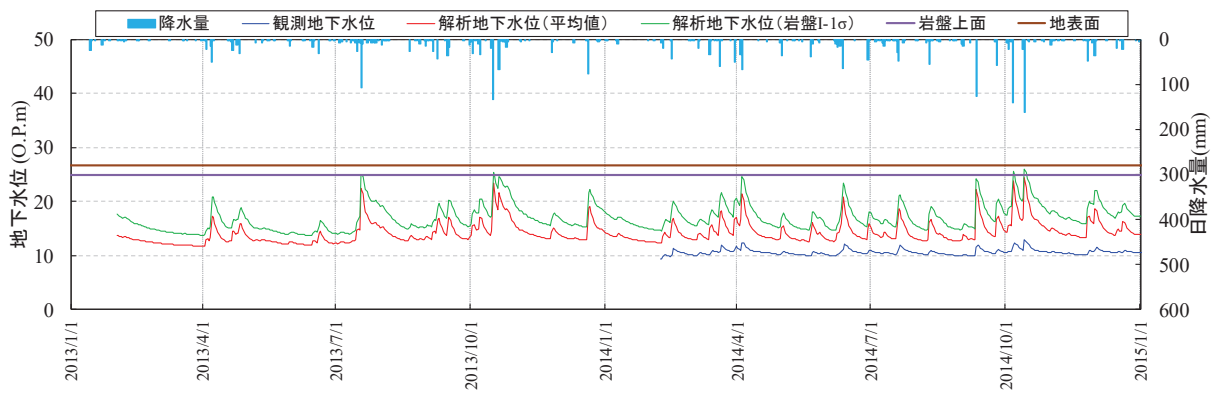


図 3.3-24 (7) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑫) (期間 2)

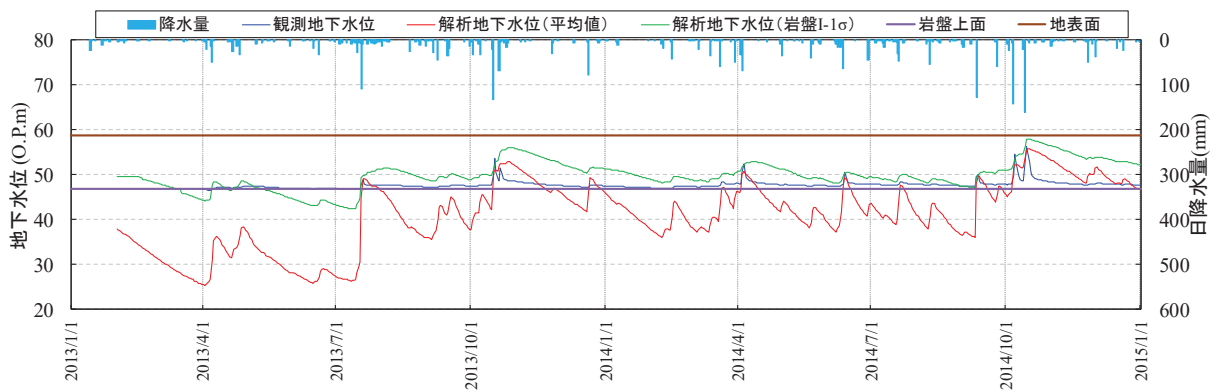


図 3.3-24 (8) 解析水位と観測水位の経時変化 (観測井⑭) (期間 2)

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 - 1 σ 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 - 1 σ 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 - 1 σ 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。

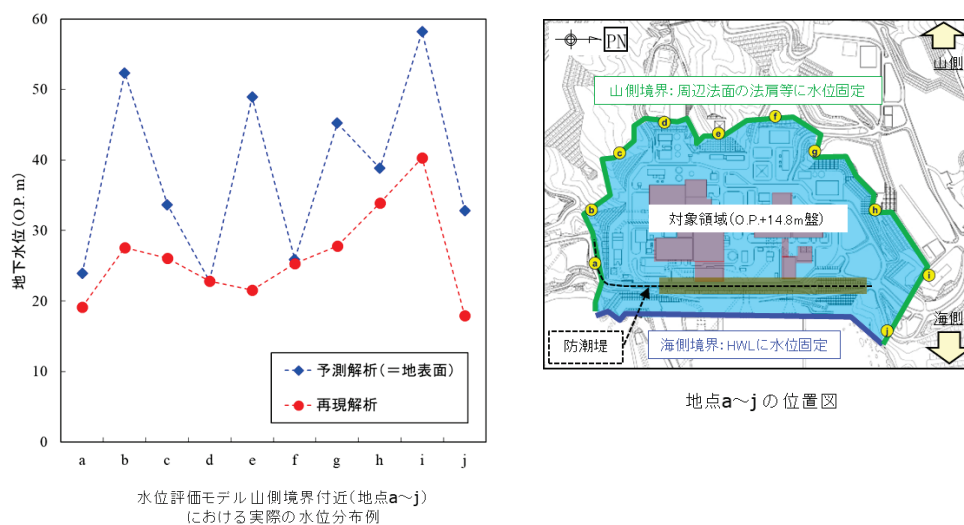


図 3.3-25 水位を高めめに評価する解析条件の設定

(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。

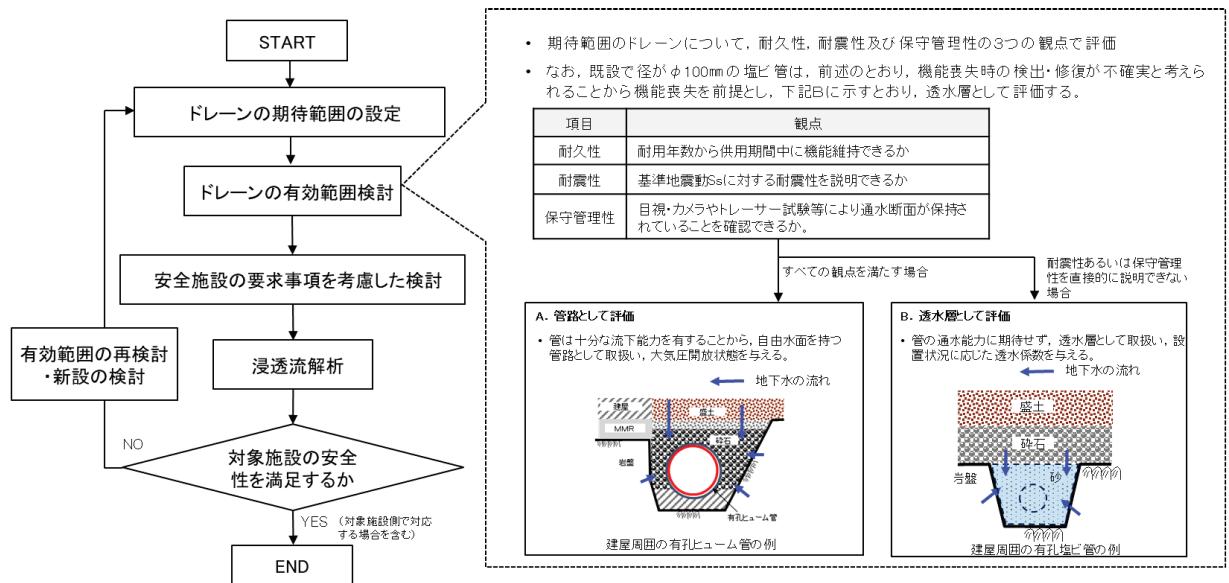


図 3.3-26 集水機能の信頼性に係る基本検討フロー

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。

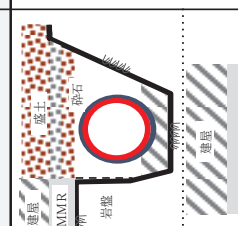
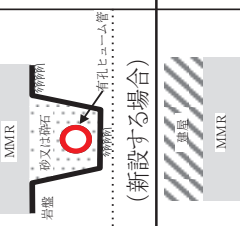
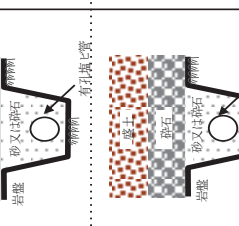
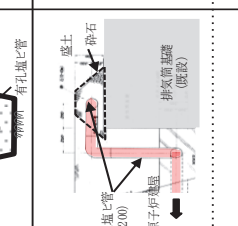
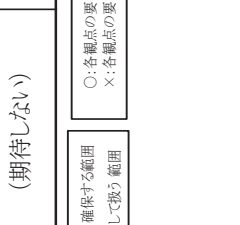

分類	当該箇所 の例	各観点に対する評価		浸透流解析上の取扱い		
		耐久性	耐震性		保守管理性	
A-1	有孔ヒューム管 	○	○	○	A 管路	<p>浸透流解析上の取扱い</p> <ul style="list-style-type: none"> 管の耐久性及び耐震性が確保され、構造を確認できることから、大気圧開放状態とする。
A-2	有孔ヒューム管 (新設する場合) 	○	○	○		
B-1	有孔塩ビ管 (3号機Hx/B直下) 	○	○	○	C 周辺の地盤	<ul style="list-style-type: none"> 周辺の地盤相当の透水係数を設定する。
B-2	有孔塩ビ管 (R/B~T/B間) 	○	△	○		
C-1	有孔塩ビ管 (排気筒周辺) 	○	×	×	C-1	
C-2	有孔塩ビ管 (3号機T/B直下) (期待しない) 	—	—	—	C-2	

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

*3 A(管路)に区分するドレーンは施設B(透水路)及びC(周辺の地盤)に区分するドレーンは地盤として取扱う。
本整理を積まると砂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。

*1 下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年版)による
*2 コンクリート標準示方書(構造性能評価法)による

○:各観点の要求事項を満足する。△:各観点の要求事項を部分的に満足する。
×:各観点の要求事項を満足しない。—:要求事項なし。

■ 耐震性を確保する範囲
■ 透水路として扱う範囲

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。

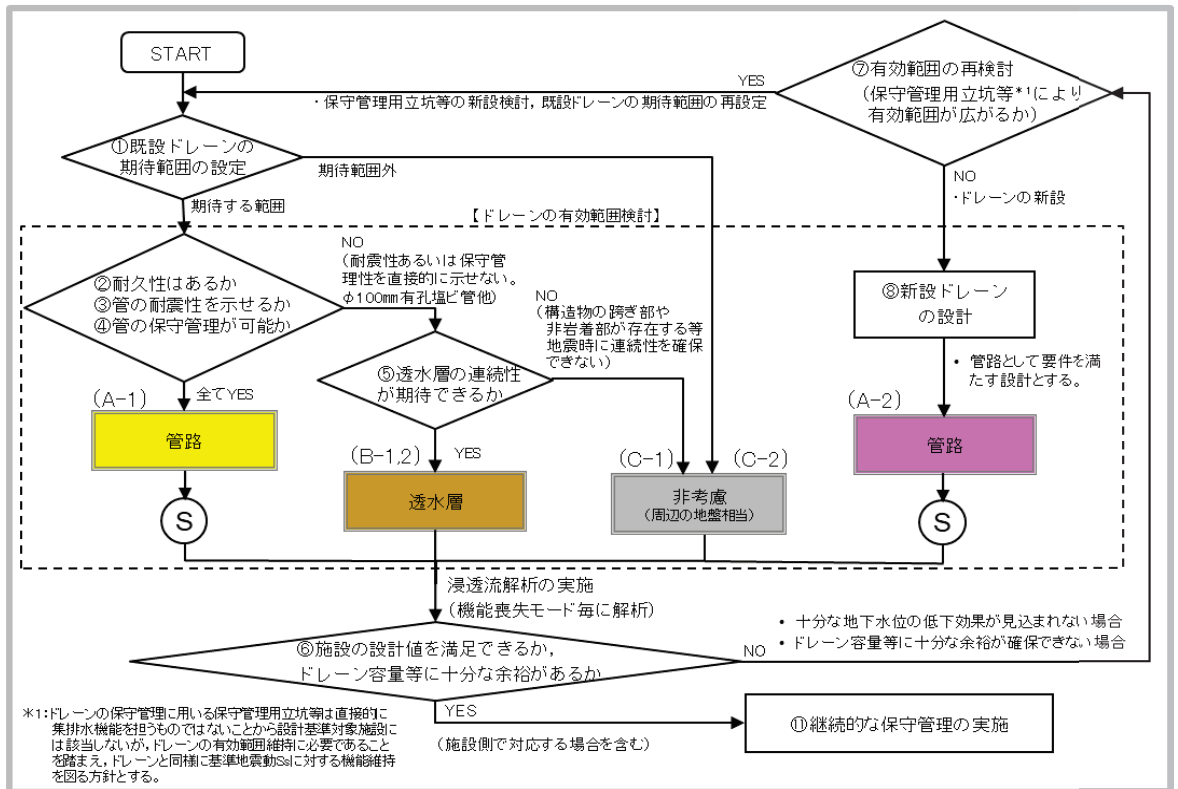
同フローでは、設置変更許可段階で示した方針と同様、ドレーンの期待範囲を設定した上で、耐久性・耐震性・保守管理性の観点等から「A. 管路」、「B. 透水層」、「C. 周辺の地盤」のいずれかに分類し、評価対象施設等の設計値を満足するよう新設も含めドレーン範囲を検討した。

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）。

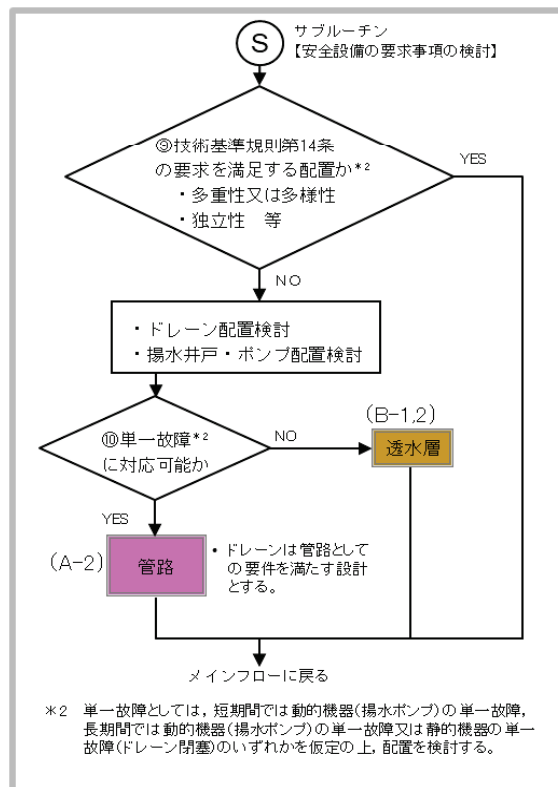
なお、既設ドレーンのうち、耐久性・耐震性・保守管理性は確保されるものの、安全設備の要求を満足しない範囲は透水層として碎石相当の透水係数を与え、集水機能への寄与を考慮することとしており、それ以外の範囲は地盤として取扱う。

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】



□ 浸透流解析上の取扱い

図 3.3-28 集水機能の信頼性に係る詳細検討フロー

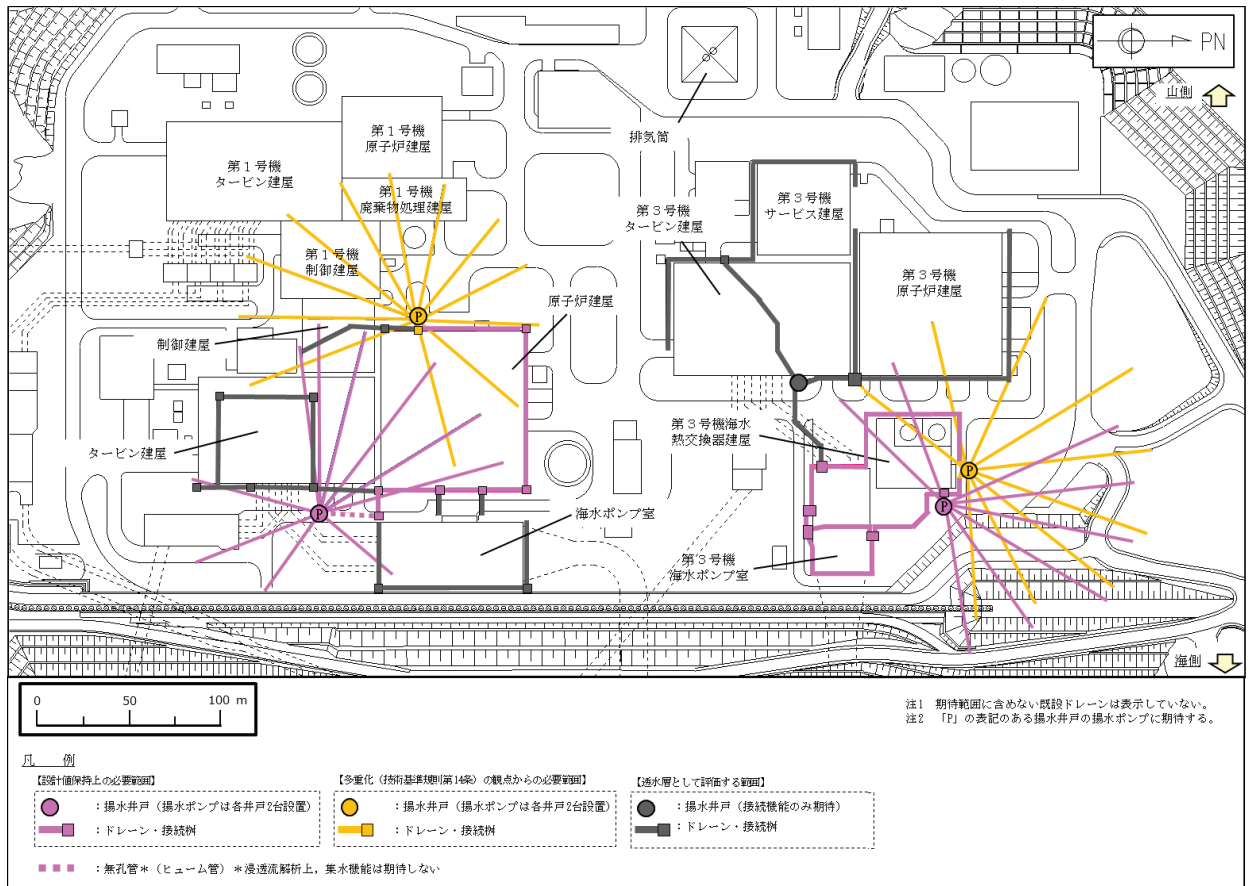


図 3.3-29 予測解析において参照する地下水位低下設備の配置

ロ. 水位評価における運転状態を仮定したドレーン範囲の設定

地下水位低下設備の運転状態を仮定した浸透流解析条件について表 3.3-11 に示す。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て解析水位が評価されるが、ドレーンの集水範囲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及びドレーンの部分閉塞を考慮した。

表 3.3-11(1)のとおり、設備の運転状態と浸透流解析上の扱いについて整理している。①～⑦の状態は地下水位低下設備により設計用地下水位以下を保持可能である。それに対し、⑧の状態は設計用地下水位以下を保持できないため、浸透流解析においては考慮せず、復旧措置が必要となる。(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。)

浸透流解析においては、各エリア(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)に2箇所設置する揚水井戸のうち、片方のみで排水した状態で設計値を保持できるようドレーンの配置を設定しているが、詳細設計の検討においては、更に水位を高め評価する目的から、

エリアの片方のみで排水する状態が双方のエリアにて生じていることを仮定し、浸透流解析ケースを設定している。表 3.3-11(1) の①～⑧に対して、揚水井戸単位での排水機能喪失に着目しエリア毎の組合せを整理すると、表 3.3-11(2)に示す 32 通り（重複含め）の組合せとなるが、この中で解析水位が高めに評価されるケースとして、各エリア 1 系統ずつ排水機能を保持するケース A～ケース D の 4 ケースを抽出した。

この整理を踏まえ、ケース A～ケース D の 4 ケースにて解析水位を評価し、これを高めに包絡するよう設計用地下水位を設定する方針とした。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。

表3.3-11 運転状態の仮定と浸透流解析ケース

(1) 設備状態の仮定と浸透流解析における取扱い (2号機エリアの場合)

設備の運転状態の仮定

	No.1揚水井戸		No.2揚水井戸	
	ポンプA	ポンプB	ポンプA	ポンプB
①	×	○	○	○
②	○	○	×	○
③	×	○	×	○
④	×	×	○	○
⑤	○	○	×	×
⑥	×	×	×	○
⑦	○	×	×	×
⑧	×	×	×	×

設備の運転状態と浸透流解析上の扱い

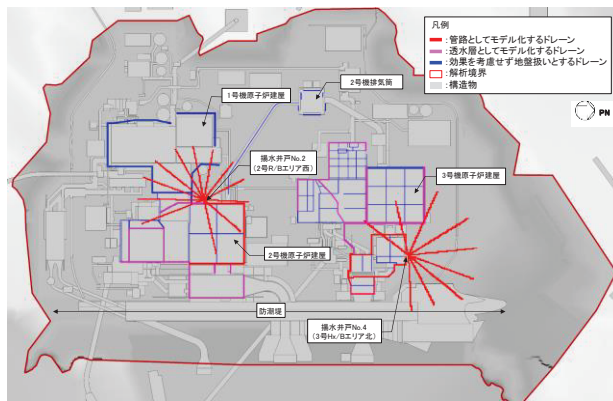
	No.1揚水井戸からの排水	No.2揚水井戸からの排水	水位の保持
①	○	○	○
②	○	○	○
③	○	○	○
④	×	○	○
⑤	○	×	○
⑥	×	○	○
⑦	○	×	○
⑧	×	×	×

- 地下水位低下設備の機能により水位を保持可能な範囲
- 設計用地下水位の設定においては考慮不要 (④~⑦)に比べて水位が低めに算出されるため
- 設計用地下水位の設定においては考慮しない (エリアの水位を保持するために設備の復旧措置が必要)

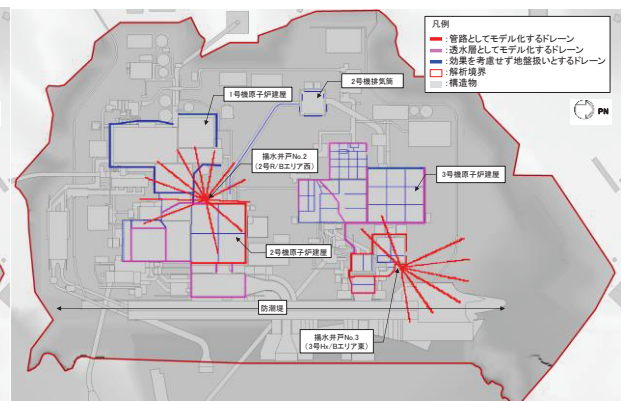
(2) エリア毎の組合せを考慮した浸透流解析ケース

No.		原子炉建屋・制御建屋エリア		第3号機海水熱交換機建屋エリア		水位の保持	浸透流解析ケース	備考
		No.1揚水井戸からの排水	No.2揚水井戸からの排水	No.3揚水井戸からの排水	No.4揚水井戸からの排水			
1	①-1	○	○	×	×	×	—	
2	①-2	○	○	×	○	○	—	
3	①-3	○	○	○	×	○	—	
4	①-4	○	○	○	○	○	—	
5	②-1	○	○	×	×	×	—	①-1に同じ
6	②-2	○	○	×	○	○	—	①-2に同じ
7	②-3	○	○	○	×	○	—	①-3に同じ
8	②-4	○	○	○	○	○	—	①-4に同じ
9	③-1	○	○	×	×	×	—	①-1に同じ
10	③-2	○	○	×	○	○	—	①-2に同じ
11	③-3	○	○	○	×	○	—	①-3に同じ
12	③-4	○	○	○	○	○	—	①-4に同じ
13	④-1	×	○	×	×	×	—	
14	④-2	×	○	×	○	○	ケースA	
15	④-3	×	○	○	×	○	ケースB	
16	④-4	×	○	○	○	○	—	
17	⑤-1	○	×	×	×	○	—	
18	⑤-2	○	×	×	○	○	ケースC	
19	⑤-3	○	×	○	×	○	ケースD	
20	⑤-4	○	×	○	○	○	—	
21	⑥-1	×	○	×	×	×	—	④-1に同じ
22	⑥-2	×	○	×	○	○	ケースA	④-2に同じ
23	⑥-3	×	○	○	×	○	ケースB	④-3に同じ
24	⑥-4	×	○	○	○	○	—	④-4に同じ
25	⑦-1	○	×	×	×	×	—	⑤-1に同じ
26	⑦-2	○	×	×	○	○	ケースC	⑤-2に同じ
27	⑦-3	○	×	○	×	○	ケースD	⑤-3に同じ
28	⑦-4	○	×	○	○	○	—	⑤-4に同じ
29	⑧-1	×	×	×	×	×	—	
30	⑧-2	×	×	×	○	×	—	
31	⑧-3	×	×	○	×	×	—	
32	⑧-4	×	×	○	○	×	—	

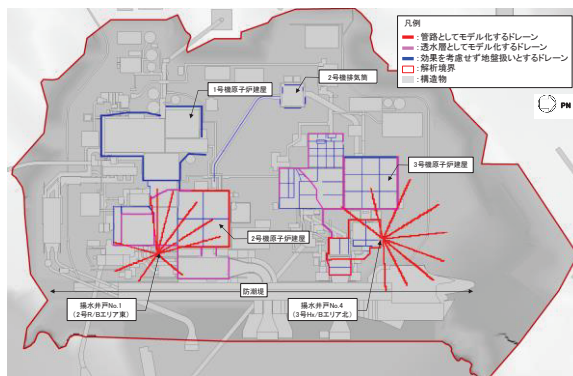
- 設計用地下水位の設定においては考慮不要 (水位が低めに算出されるため)
- 設計用地下水位の設定においては考慮しない (エリアの水位を保持するために設備の復旧措置が必要)



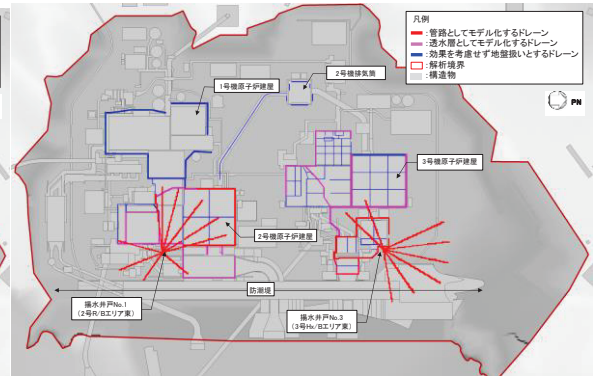
(a) ケース A



(b) ケース B



(c) ケース C



(d) ケース D

図3.3-30 設計用地下水位の設定において参照する解析ケース