

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-023-01 改 05
提出年月日	2022年6月2日

地盤の支持性能について

2022年6月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 概要
2. 基本方針
3. 対象施設周辺の地質等
 - 3.1 対象施設周辺の地質
 - 3.2 対象施設周辺の地質状況整理結果
 - 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
 - 3.3.2 耐震評価における設計地下水位設定方針
4. 地盤の解析用物性値
 - 4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値
 - 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
 - 4.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値
 - 4.2.2 改良地盤に用いる解析用物性値
 - 4.2.3 その他の解析用物性値
 - 4.2.4 地盤の物性のばらつきについて
5. 極限支持力
 - 5.1 基礎地盤（岩盤）の極限支持力度
 - 5.2 直接基礎の支持力算定式
 - 5.3 杭基礎の支持力算定式
6. 地盤の速度構造
 - 6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル
 - 6.2 地震応答解析に用いる解析モデル

- | | |
|----------|---------------------------------------|
| 参考資料 1 | 浸透流解析に用いた解析コード「Dtransu-3D・EL」の適用性について |
| 参考資料 2-1 | 浸透流解析に用いる透水係数について |
| 参考資料 2-2 | 浸透流解析に用いる有効間隙率について |
| 参考資料 3 | 地下水位低下設備（既設）について |
| 参考資料 4 | 非定常解析の降雨に対する感度向上についての取り組み |
| 参考資料 5 | 地下水位観測記録について |
| 参考資料 6 | 予測解析における降雨条件について |
| 参考資料 7 | 地下水位低下設備（新設）について |
| 参考資料 8-1 | 1号機建物・構築物の地下水位について |
| 参考資料 8-2 | 土木構造物の設計地下水位の設定方法 |
| 参考資料 9 | 動的変形特性の設定について |
| 参考資料 10 | 埋戻土（粘性土）の強度特性について |

参考資料	11	基礎捨石及び被覆石の解析用物性値について
参考資料	12	液状化強度試験の詳細について
参考資料	13	改良地盤における補足
参考資料	14	碎石の解析用物性値について
参考資料	15	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	16	入力地震動の設定に用いる地下構造モデルのエリア区分について
参考資料	17	埋戻土の骨格曲線について

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

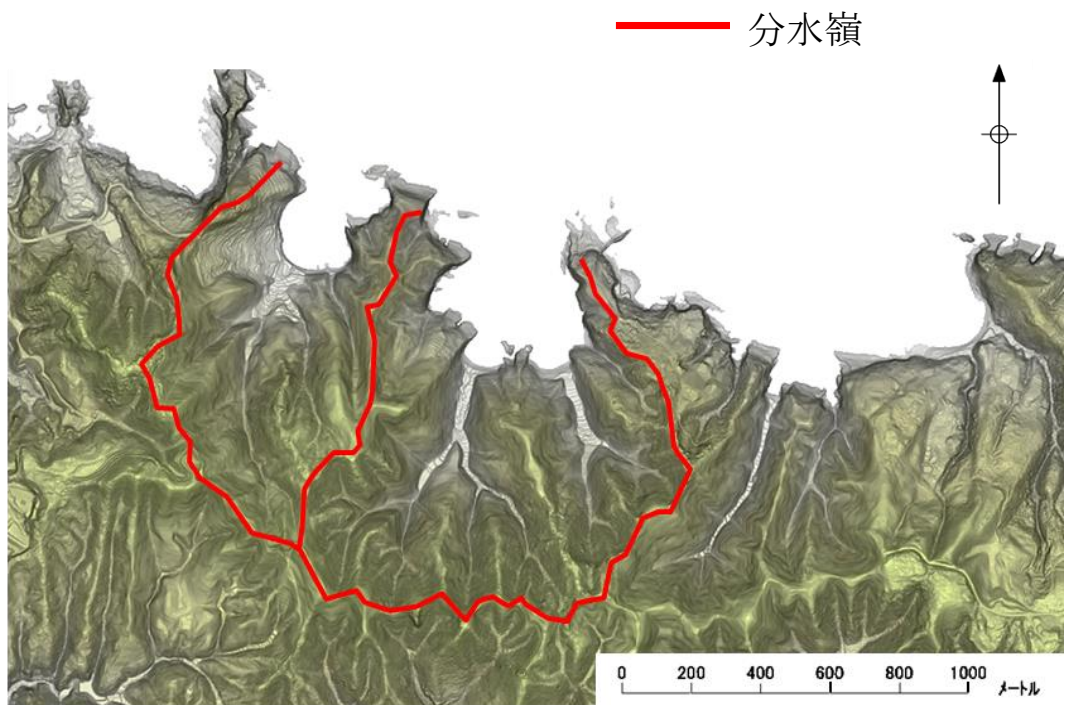
3.3.1 敷地の地下水位分布

(1) 敷地の水文環境

敷地は、北側が海に面し、その他は山地に囲まれている。敷地の地形は、沿岸低山地と後背山地に大別され、沿岸低山地は標高約 80m 以下の山地で、緩慢な山頂面から海に急傾斜している。また、後背山地は標高約 80～160m の山地で、開折谷が発達しており、中央が扇状に大きく広がっている。

山側に降った雨は、蒸発散分を除き、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る。また、地下水は主要建物周辺に設置した地下水位低下設備（既設）により集水後、排水路へ排水される。

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、防波壁周辺の地盤改良等により、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。発電所周辺の分水嶺の状況を図 3.3-1 に、主な地表水の流れを図 3.3-2 に示す。



※航空レーザー測量で取得した2mメッシュのDEMデータに、空中写真により取得した旧地形のDEMデータを合成して作成したもの

図 3.3-1 発電所周辺の分水嶺の状況



.....➡ 主な地表水の流れ 島根原子力発電所周辺の空中写真
出典：国土地理院（2009年撮影）

図 3.3-2 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孔を設置し、地下水位の連続観測を実施した。

地下水位の観測記録*は、降雨記録と併せて、3.3.2にて詳述する設計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。

観測孔は、EL 8.5m 盤、EL 15.0m 盤及び EL 44.0m 盤に設置している。

図 3.3-3 に地下水位観測孔位置図、表 3.3-1 に地下水位観測孔の設置状況を、表 3.3-2 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、地下水位低下設備（既設）周辺の観測孔や山側の観測孔で相対的に大きく、海に近接する観測孔において相対的に小さくなっている。この要因として、敷地内より水位の低い海水面との釣り合いにより、海に近接する観測孔では地下水位の変動が相対的に小さくなっていることが考えられる。

注記*：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、観測水位には地下水位低下設備（既設）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）等の効果は含まれていない。

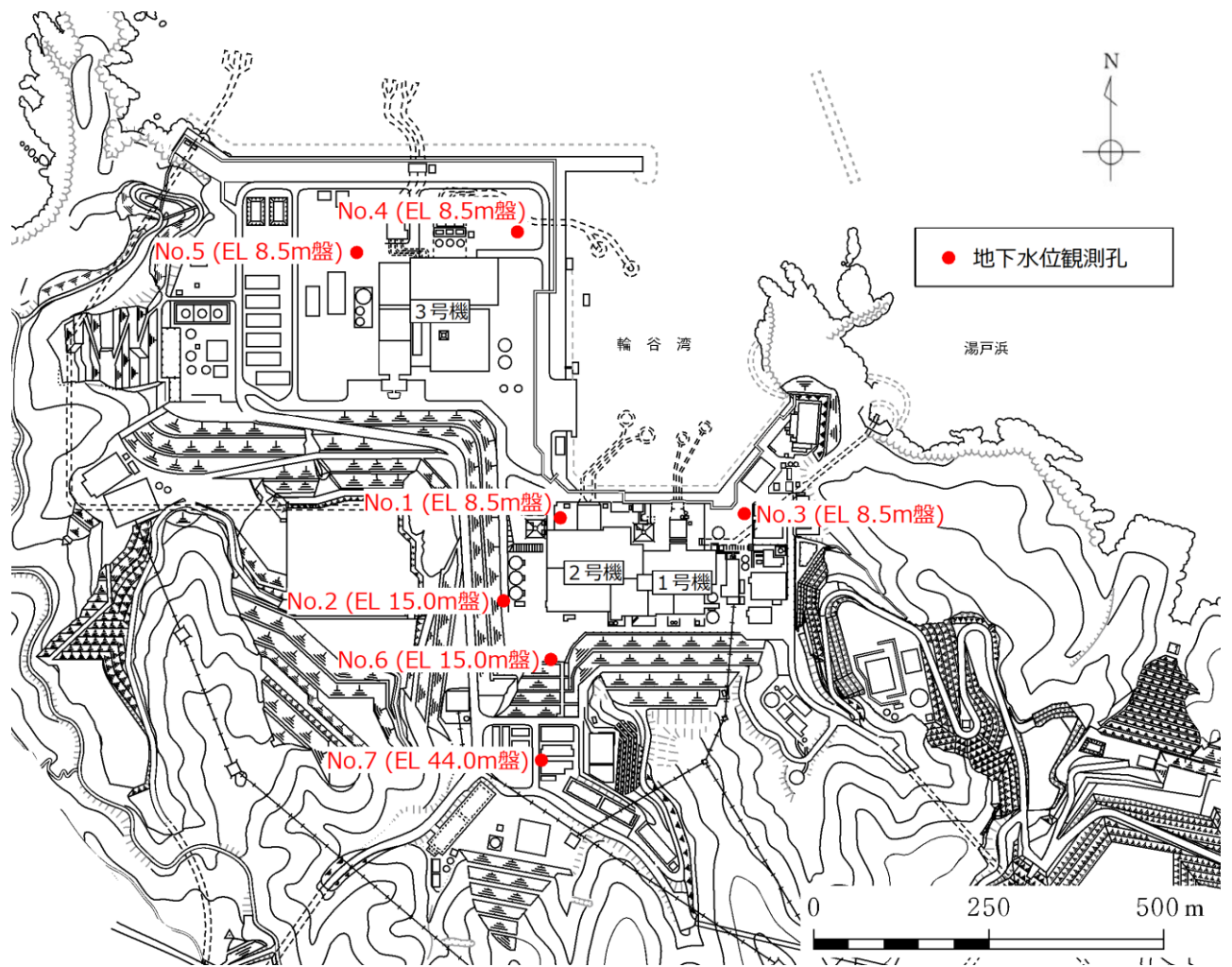


図 3.3-3 地下水位観測孔位置図

表 3.3-1 地下水位観測孔設置状況

(単位：EL m)

孔 No.	1	2	3	4	5	6	7
孔口標高	8.6	15.0	8.5	8.6	8.5	15.0	46.5
岩盤標高	-6.9	14.5	-12.3	-8.7	-4.8	-0.9	31.9
水位計標高	-9.6	-9.1	-13.5	-10.6	-6.5	-3.2	-3.5
孔底標高	-15.9	-11.0	-16.5	-13.7	-10.6	-10.7	-16.0

表 3.3-2 觀測水位一覽表

觀測孔	觀測期間	觀測水位 (EL m)		觀測最高 地下水位 計測時期	備考
		最高	平均		
No. 1	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	1. 79	2018. 6. 29	EL 8. 5m 盤
		平均	0. 58		
No. 2	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	3. 59	2018. 10. 1	EL 15. 0m 盤
		平均	-3. 09		
No. 3	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	1. 67	2021. 7. 12	EL 8. 5m 盤
		平均	0. 83		
No. 4	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	4. 03	2020. 7. 14	EL 8. 5m 盤
		平均	2. 40		
No. 5	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	4. 12	2020. 7. 14	EL 8. 5m 盤
		平均	2. 01		
No. 6	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	8. 66	2021. 7. 12	EL 15. 0m 盤
		平均	-0. 64		
No. 7	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	7. 97	2018. 7. 7	EL 44. 0m 盤
		平均	4. 83		

3.3.2 耐震評価における設計地下水位設定方針

(1) 設計揚圧力及び設計地下水位の設定方針

防波壁の設置及び地盤改良を実施したことにより山から海に向かう地下水の流れが遮断され敷地内の地下水位が上昇するおそれがあることを踏まえ、建設時から地下水位低下設備を設置していた原子炉建物等の建物・構築物に作用する揚圧力の低減を目的とし、地下水位を一定の範囲に保持するための地下水位低下設備を新設する。なお、建物・構築物に対する液状化影響の検討については、設置した地下水位低下設備（新設）により一定の範囲に保持された地下水位を前提とする。

地下水位低下設備（新設）にて集水された地下水は揚水ポンプ及び構内排水路を經由して海域へと流下させる*1。

耐震評価において、地下水位の影響を受ける施設（以下「評価対象施設*2」という。）のうち、建設時から地下水位低下設備を設置していた原子炉建物等の建物・構築物については、地下水位低下設備（新設）を設置し、建物基礎スラブ底面レベル以深に地下水位を維持する。なお、水圧のうち揚圧力については建設工認時の設計揚圧力を考慮する。また、評価対象施設のうち表 3.3-3 に示す屋外重要土木構造物等においては、自然水位*3より保守的に高く設定した水位又は地表面にて設計地下水位を設定し水圧の影響を考慮する。

なお、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計地下水位について、設置変更許可時の構造成立性検討においては、港湾基準に準拠して防波壁より陸側の設計水位は残留水位としていたが、詳細設計においては屋外重要土木構造物等と同様に保守性を確保し高めに設定する。（防波壁（逆T擁壁）及び防波壁（波返重力擁壁）については、構造成立性検討時より陸側の設計地下水位は地表面に設定しており、詳細設計においても同様の設定とする。）

評価対象施設の配置を図 3.3-4 に示す。

注記*1：地下水位低下設備（新設）から汲み上げた地下水は、敷地内の屋外排水路を通じて防波壁の下部を横断し海域に排水する。排水経路のうち流末部の一部となる敷地側集水桝、屋外排水路（防波壁横断部）及び出口側集水桝については、基準地震動 S_s による地震力に対し機能維持を図る。また、地下水位低下設備（新設）から敷地側集水桝の範囲については、地震時の変位及び不等沈下に追随する可撓性を有した排水管を設置し排水経路を確保する。（「NS2-補-023-11 地下水位低下設備の設計方針に係る補足説明資料」にて説明）

- *2: 評価対象施設は、EL 8.5m盤、EL 15.0m盤、EL 44.0m盤及びEL 50.0m盤エリアに設置される設計基準対象施設及び常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く）。
- *3: 自然水位とは、地下水位低下設備等の人為的な措置の影響が含まれない地下水位を指す。浸透流解析結果により地下水位を設定する際には、地下水位低下設備の機能を考慮しない。

表3.3-3 地下水位低下設備（新設）の機能に期待しない評価対象施設

分 類	屋外重要構造物等が示す設備
建物・構築物	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地下水位低下設備（新設）の効果が及ばない範囲に設置されている以下の建物・構築物 <ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急時対策所 ・ ガスタービン発電機建物 ・ サイトバンカ建物（増築部含む）
屋外重要土木構造物	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sクラスの機器・配管系を間接支持する機能若しくは非常時における海水の通水機能を求められる設備のうち以下の設備 <ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） ・ B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 ・ 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽～原子炉建物） ・ 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） ○ Sクラスの機器・配管系を間接支持する支持機能，非常時における海水の通水機能及び止水機能を求められる設備のうち以下の設備（海域に設置され，地下水位の影響が無い取水口及び取水管は除く） <ul style="list-style-type: none"> ・ 取水槽
「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設」に該当する土木構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・ 取水槽 ・ B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 ・ 第1ベントフィルタ格納槽 ・ 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 ・ ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 ・ 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に該当する土木構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急時対策所用燃料地下タンク
「常設重大事故緩和設備」に該当する土木構造物	<ul style="list-style-type: none"> ○ 設計基準事故対処設備の一部を流路として使用する土木構造物のうち以下の設備 <ul style="list-style-type: none"> ・ 取水槽
浸水防護施設	<ul style="list-style-type: none"> ○ 津波防護機能を有する施設及び浸水防止機能を有する土木構造物のうち以下の設備 <ul style="list-style-type: none"> ・ 防波壁 ・ 防波壁通路防波扉 ・ 1号機取水槽流路縮小工

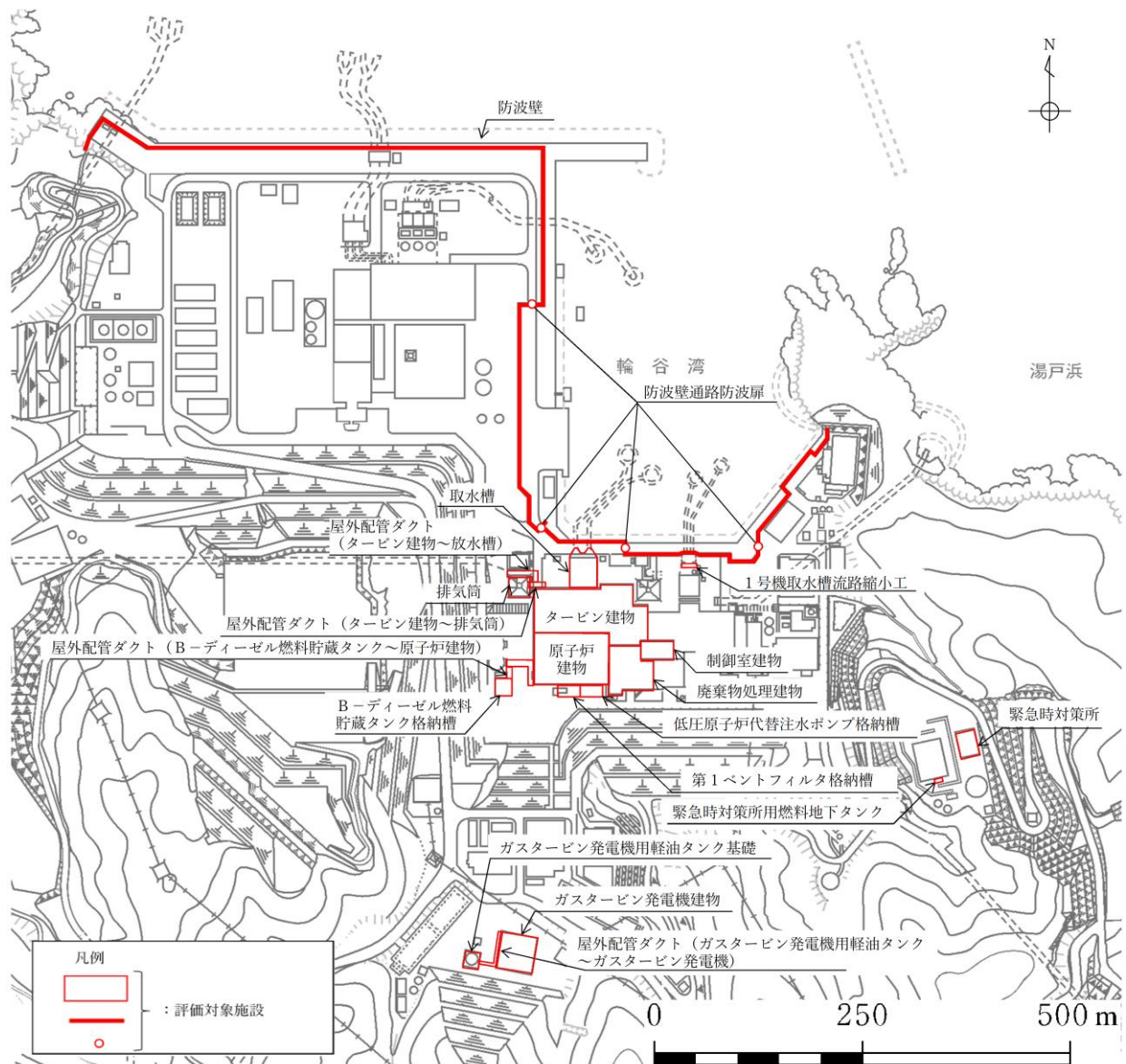


図 3.3-4 屋外の評価対象施設の配置図

(2) 浸透流解析を用いた設計揚圧力及び設計地下水位の設定方法

上記(1)に示す設計揚圧力及び設計地下水位の設定方針を踏まえ、目的に応じて地下水位低下設備（既設、新設）の機能について考慮の有無を整理した上で、浸透流解析により設計揚圧力及び設計地下水位を設定する。ここでは、浸透流解析により設計揚圧力及び設計地下水位を設定する手順について説明する。

設計揚圧力及び設計地下水位の設定フローを図 3.3-5 に示す。

【浸透流解析の目的及びモデル化方針の設定】

浸透流解析の目的を設定し、設計揚圧力及び設計地下水位を設定するためのモデル化方針を設定するが、モデル化方針の設定にあたっては、以下の事項について考慮する。

- ・ 地下水流動場を表現するための情報が入手できることを確認する。
- ・ 地下水流動の特徴を表現できる解析コードを選択する。

【解析モデルの作成】

浸透流解析に用いるモデル化については、以下の事項について考慮して作成する。

- ・ 地下水流動場を表現できる解析領域を設定する。
- ・ 地下水流動に影響を与える要素（地形・地質構造、造成形状、水理特性、ドレーン及び地中構造物等）を適切にモデルに反映する。
- ・ 水理的挙動に影響を与えるパラメータを適切に設定する。

【再現解析による解析モデルの妥当性確認】

作成した解析モデルの妥当性については、再現解析による地下水^位の^{解析値}と^{観測値}の比較等により確認する。

【予測解析による解析水位の算定】

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

- ・ 将来的な造成形状、ドレーン及び地中構造物等を反映する。
- ・ 保守的に地下水位の高い解析結果を得られるよう、ドレーンは信頼性の確保状況に応じて有効範囲を設定し、水理的挙動に影響を与えるパラメータを保守的に設定する。

【設計揚圧力及び設計地下水位の設定】

上記により得られた解析水位を保守的に高く包絡するように、設計揚圧力及び設計地下水位を設定する。

設定した設計揚圧力及び設計地下水位が有する保守性について、観測水位との比較を行い、検証する。

また、設計地下水位より十分に低い地下水位を設定し、耐震性への影響検討を実施する。

なお、浸透流解析は設計揚圧力及び設計地下水位の設定において参照するほか、揚水井戸への地下水流入量を算定し、揚水ポンプの排水機能についての保守性の確認においても参照する。それぞれの解析においては、解析目的に応じて保守的となるような条件設定によるモデル化を行う必要があることから、浸透流解析の目的別の条件設定の考え方を表 3.3-4 に、予測解析（定常解析）における目的別の保守的な^{条件}設定の考え方を表 3.3-5 に示す。

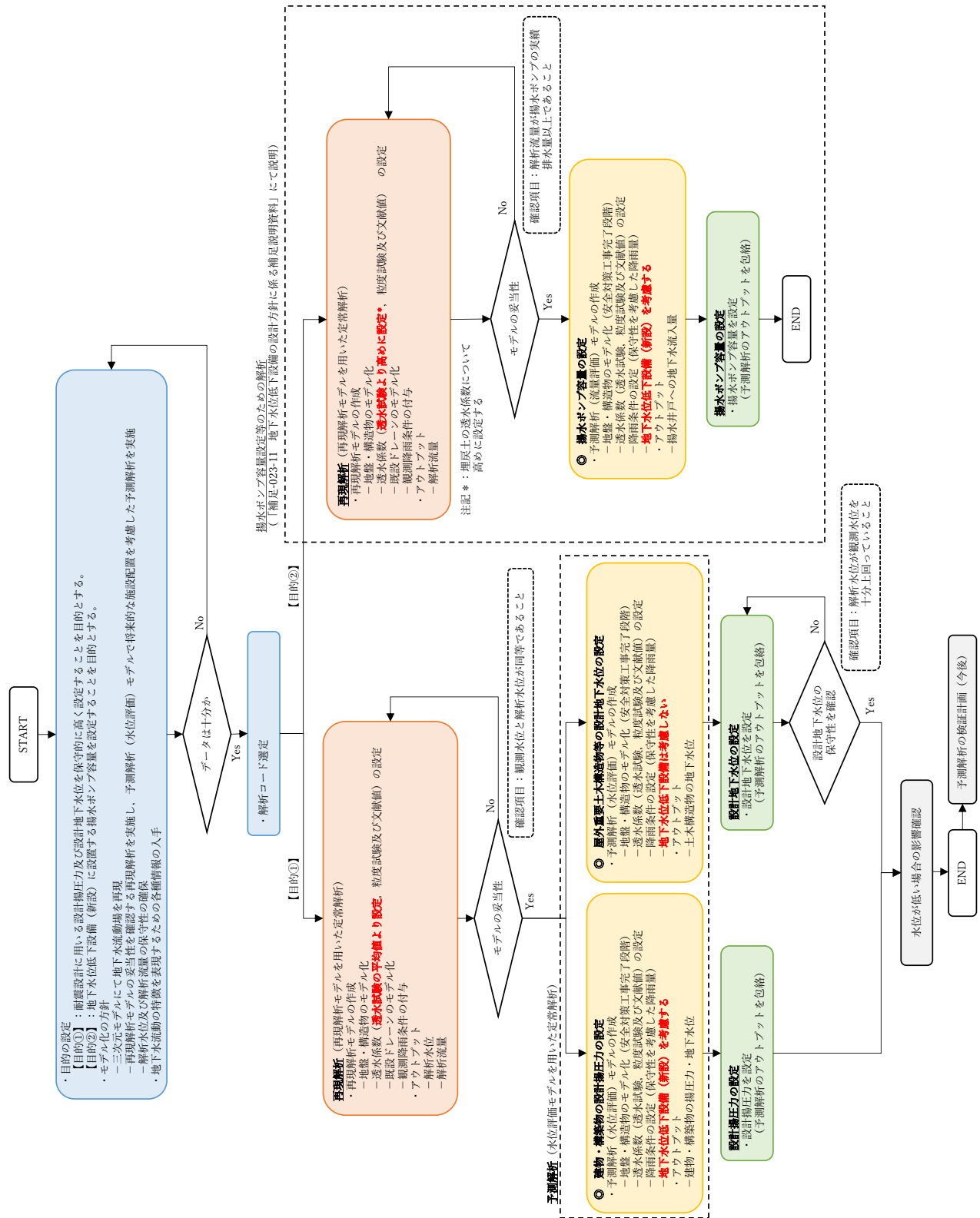


図 3.3-5 浸透流解析による設計揚圧力・設計地下水水位・揚水ポンプ容量の設定フロー

表 3.3-4 浸透流解析の目的別の評価モデルと主な解析条件

解析の種類	解析の目的	地下水位 低下設備	降雨条件	物性値 (透水係数)	境界条件	アウトプット
再現解析 (定常)	解析モデルの妥当性確認 (設計揚圧力、設計地下水位設定用)	既設：期待する 新設：期待しない	構内観測所における 年平均降水量： 1,540mm/年	標準物性	実態に則した設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*3 (EL 0.46m) に水位 固定 ・ドレーン (既設)：管路としてモデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・解析水位 ・解析地下水流入量
	解析モデルの妥当性確認*1 (揚水ポンプ排水能力設定用)			試験記録の最大値 より保守的に設定		
再現解析 (非定常)	解析モデルの妥当性確認 (参考)	既設：期待する 新設：期待しない	構内観測所における 検証期間中の降雨	標準物性	実態に則した設定*2 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*3 (EL 0.46m) に水位 固定 ・ドレーン (既設)：管路としてモデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・解析水位
	設計揚圧力の設定 (建物・構築物)			保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*3 (EL 0.58m) に水位 固定 ・ドレーン (新設)： 施工計画高*4 に水位固定		
予測解析 (定常)	設計地下水位の設定 (屋外重要土木構築物等)	既設：期待しない 新設：期待しない	保守的な降水量： 2,400mm/年	標準物性	更なる保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*3 (EL 0.58m) に水位 固定	<ul style="list-style-type: none"> ・解析水位 (自然水位)
	排水能力の設定*1 (揚水ポンプ)					

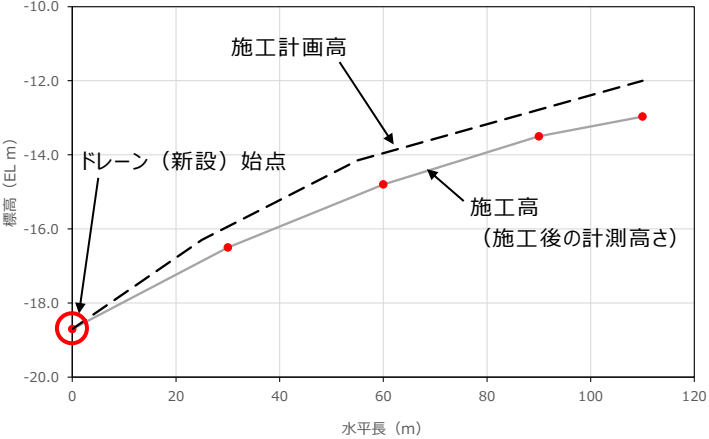
注記*1：詳細は「補足-023-11 地下水低下設備の設計方針に係る補足説明資料」にて説明する。

*2：再現解析 (非定常) の感度向上に向けた取り組みにおいては、検証期間における安全対策工事の実施状況を踏まえて舗装範囲を見直している。(参考資料 4)

*3：再現解析 (定常・非定常) においては、予測解析において、予測解析においては、保守的に近年の潮位の上昇量を考慮した朔望平均満潮位 EL 0.58m を用いる。

*4：ドレーン (新設) の中心高さにてモデル化する。

表 3.3-5 予測解析（定常解析）における目的別の解析条件

目的	設計揚圧力の設定	設計地下水位の設定	揚水ポンプ排水能力の設定
透水係数	<ul style="list-style-type: none"> 透水試験に基づく標準値（参考資料 2-1 参照） 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 	<ul style="list-style-type: none"> 透水係数が大きい方が地下への浸透量が多く、排水量も大きく評価されることから、敷地内に広く分布する埋戻土の透水係数について、透水試験の最大値を用いて保守的に設定する。
境界条件	ドレーン（新設）	<ul style="list-style-type: none"> 施工計画高に水位固定 施工計画高にモデル化することで、ドレーン（新設）による集水量が減少し、地下水位は高くなる。 施工時には施工計画高を越えないことを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> モデル化しない
		 <p style="text-align: center;">図 ドレーンのモデル化高さ概念図</p>	

(3) モデル化方針の設定

a. 浸透流解析の目的

設置変更許可時の方針を踏まえ、妥当な解析モデルを用いて、将来的な施設配置を考慮した設計揚圧力及び設計地下水位を保守的に高く設定することを目的とする。

b. モデル化の方針

島根原子力発電所においては、建設時の工事計画認可時に実施した浸透流解析（2次元浸透流解析）により原子炉建物等の設計揚圧力及び設計地下水位を設定している。

防波壁の設置及び地盤改良並びに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方向の流れから将来的に変化すると考えられることを踏まえ、3次元に拡張した浸透流解析により、定常的な地下水位分布を算定する。

モデルの妥当性は、分水嶺までの範囲を模擬した再現解析モデル（1，2号機エリア及び3号機エリア）を作成し、観測降雨を付与した再現解析（定常解析）を行い、地下水位観測孔（図3.3-3）における観測水位（表3.3-2）の再現性を確認することにより行うが、敷地の改変（安全対策工事に伴う造成等）時期を考慮し、再現性の確認を行う時期に対応したモデル化を行う。この際に用いる透水係数は、透水試験、粒度試験及び文献値に基づき設定する。

この上で、予測解析においては揚圧力及び地下水位が保守的に高く算出されるよう、降雨条件を保守的に設定した定常解析を行う。造成形状や構造物は安全対策工事完了段階に対応したモデル化を行い、地下水位低下設備は信頼性が確保された範囲に限定する。

c. 浸透流解析に用いるデータの収集と十分性

(a) データの収集

b. に示すモデル化の方針を具体化するにあたり，地下水流動場を表現するために参照するデータを表 3.3-6 に示す。

表 3.3-6 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	・構内観測所データ ・気象庁データ
水理	・水理特性 ・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
排水設備等	・地下水位低下設備，構内排水設備	・工事記録 ・設計計算書等
その他	・既往の地下水位設定方法	・建設時の工事計画認可時において実施した2次元浸透流解析

(b) データの十分性

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

また、モデルの妥当性の確認に用いる観測記録については、主要な評価対象施設が配置される EL 8.5m盤及び EL 15.0m 盤並びに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 EL 44.0m 盤の高台を含めて偏りなく複数設定しており、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

地下水の挙動を取扱うことができる Dtransu-3D・EL, バージョン : ver. 2af90 MP を使用する。また、解析コードの適用性について参考資料 1 に示す。

(4) 再現解析

a. 再現解析モデルの作成

(a) モデル化範囲の設定

再現解析モデルは、評価対象施設を含む分水嶺までの範囲をモデル化する。

モデル作成の際に参照した敷地内の分水嶺を図 3.3-1 に、再現解析モデルの鳥瞰図を図 3.3-6 及び図 3.3-7 に示す。

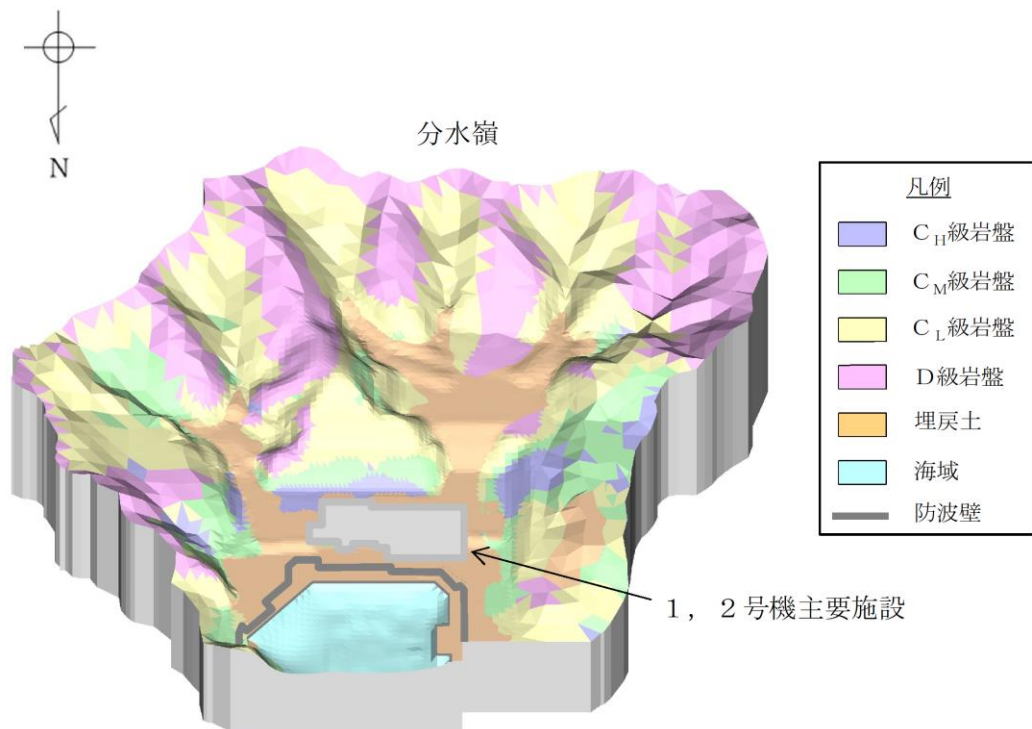


図 3.3-6 再現解析モデル鳥瞰図 (1, 2号機エリア)

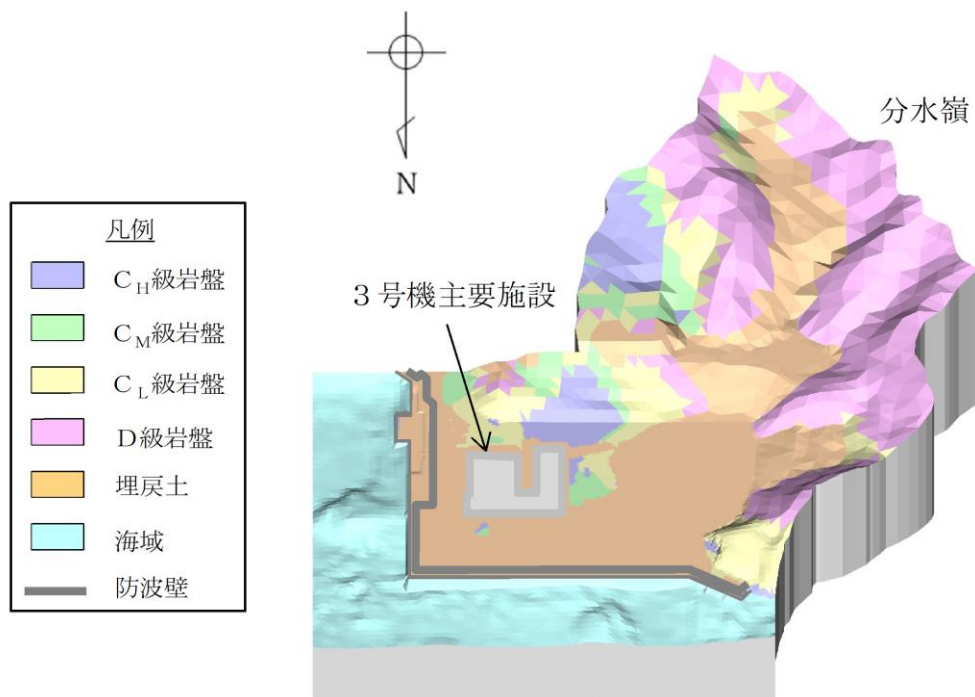


図 3.3-7 再現解析モデル鳥瞰図（3号機エリア）

(b) 格子サイズ

モデルの格子サイズについて、3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地下水位が評価対象施設の耐震設計における解析断面上に反映される（2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1～40m程度に設定した（構造物近傍は最小1m程度、山側領域は40m程度）。

(c) 検証期間と降雨条件の設定

検証対象とする観測水位は、地下水位観測開始以降で、一定期間の連続観測水位データが取得されている2016年4月～2018年8月とする。

降雨条件として、検証期間中の島根原子力発電所における観測降雨より求める年平均降雨（1,540mm/年）を与える。

(d) 地盤・構造物のモデル化

イ. 地形

地形（造成形状）は、検証期間における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。建物周辺への地下水流入量や地下水位は盛土の影響が支配的であり、岩盤内のシームは薄層であり影響が軽微と考えられるため、シームについてはモデル化していない。

ハ. 構造物

- ・ 検証期間における設置状況を踏まえてモデル化した（検証期間において完成していない構造物等は考慮しない）。
- ・ 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ない。
- ・ 舗装部への降雨は、構内排水路を介して海へと排水されることから考慮しない。
- ・ 建物の屋根排水は構内排水路に集水されるため考慮しない。

(e) 透水係数の設定

地盤及び施設の透水係数は、透水試験、粒度試験及び文献値に基づき設定する。

透水係数の設定値と設定根拠を表3.3-7及び参考資料2-1に示す。

表 3.3-7 透水係数の設定値と設定根拠（再現解析モデルによる定常解析）

区分		透水係数 (cm/s)	設定根拠
構造物, 改良地盤		1×10^{-5}	管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・ 管理マニュアル(改訂版)* ¹ に基づき設 定
岩盤	C _H 級	5×10^{-5}	現場透水試験結果に基づき設定
	C _M 級	6×10^{-4}	
	C _L 級	1×10^{-3}	
	D級	2×10^{-3}	粒度試験結果を踏まえ, 土質試験の方 法と解説* ² に基づきクレーガーの方法 * ³ により設定
砂礫層		4×10^{-3}	現場透水試験結果に基づき設定
埋戻土		2×10^{-1}	

注記*1: H20.8 (財) 港湾空間高度化環境研究センター

*2: H12.3 (社) 地盤工学会

*3: 粒径加積曲線から求まる 20%粒径D₂₀を用いて透水係数の概略値を推定する方
法

(f) 有効間隙率の設定

有効間隙率は, 物理試験及び文献値に基づき設定する。

有効間隙率の設定値と設定根拠を表 3.3-8 及び参考資料 2-2 に示す。

表 3.3-8 有効間隙率の設定値と設定根拠

区分		有効間隙率 (%)	設定根拠
岩盤	C _H 級	11.5	岩盤試験に基づき設定
	C _M 級	15.3	
	C _L 級	15.0	
	D級	23.5	
砂礫層		20.0	河川堤防の構造検討の手引き (改訂 版) *に基づき設定
埋戻土			

注記*: H24.2 (財) 国土技術研究センター

(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号機のドレーン（既設）を考慮する（ドレーン（新設）は考慮しない）。ドレーン（既設）の配置図を図3.3-8に、地下水位低下設備（既設）の概要を参考資料3に示す。

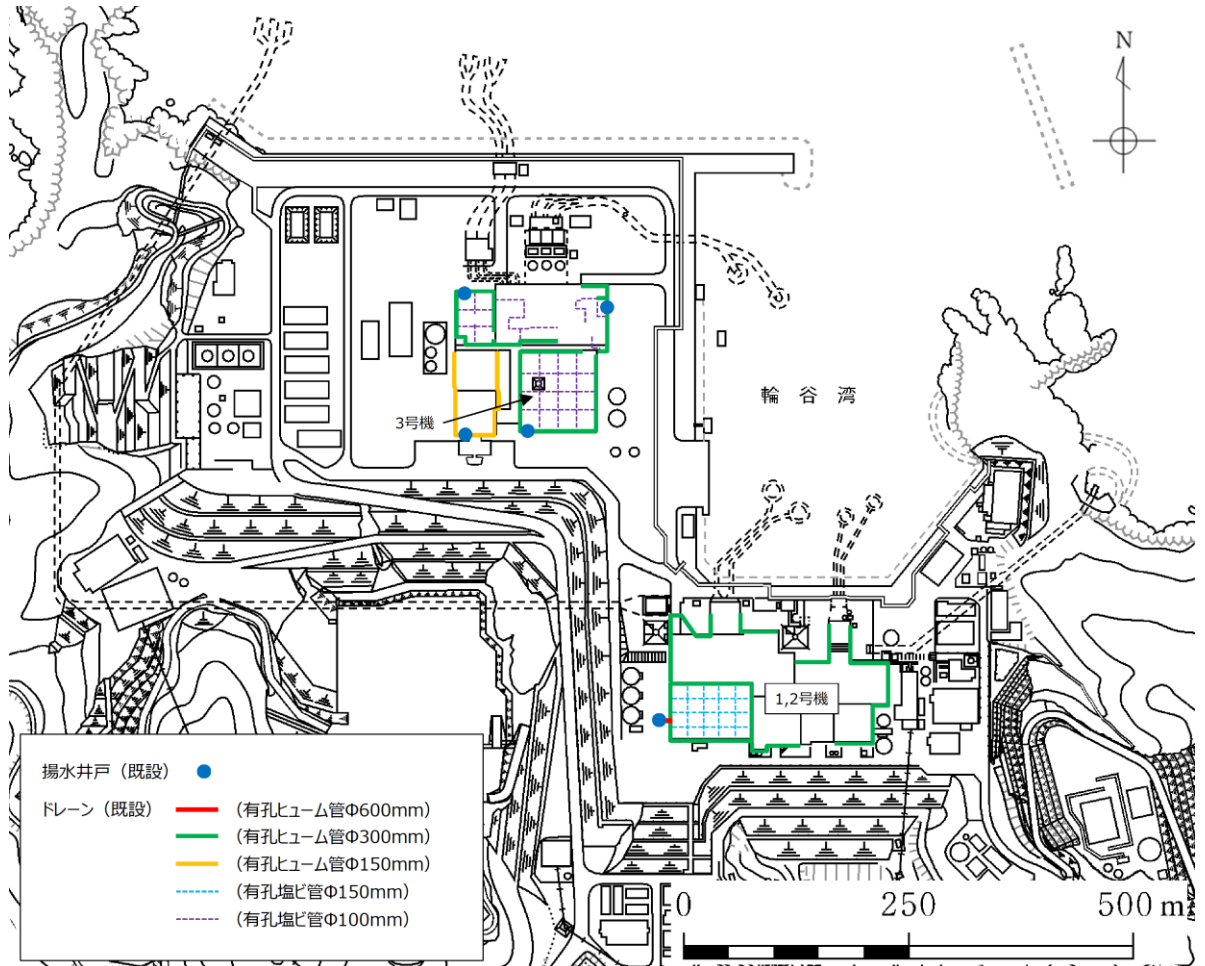


図 3.3-8 ドレーン（既設）配置図

(h) 浸透流解析条件まとめ（再現解析モデル）

表 3.3-9 に、再現解析モデルの解析条件一覧を示す。

表 3.3-9 再現解析モデルの概要

項目	再現解析モデル
目的	モデル化の妥当性を確認（観測記録の再現性を確保）
解析コード	Dtransu-3D・EL, バージョン：ver.2af90MP
解析領域	敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とする 
格子数	<ul style="list-style-type: none"> ・平面格子数：1, 2号機エリア：約 2.1 万 3号機エリア：約 2.4 万 ・総格子数：1, 2号機エリア：約 121 万 3号機エリア：約 138 万 ・格子寸法：1~40m 程度（構造物近傍は最小 1m 程度, 山側領域は 40m 程度）
解析種別	定常解析
検証期間	2016 年 4 月~2018 年 8 月
気象条件	降水量：構内観測所における年平均降水量 1,540mm/年
モデル（地形）	検証期間に対応した状態
モデル（地盤）	検証期間に対応した状態
モデル（構造物）	検証期間に対応した状態
モデル（ドレーン）	ドレーン（既設）を管路として考慮
境界条件	実態に則した設定 <ul style="list-style-type: none"> ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L. (EL 0.46m) に水位固定 ・ドレーン：管路としてモデル化
透水係数	透水試験, 粒度試験* ¹ 及び文献値* ²
有効間隙率	物理試験及び文献値* ³

注記*1：土質試験の方法と解説に基づき設定

*2：管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）に基づき設定

*3：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）に基づき設定

b. モデルの妥当性に係る検証

再現解析モデルとして、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、透水試験、粒度試験及び文献値に基づき水理特性を設定した。この再現解析モデルに観測降雨を付与した定常解析結果から、再現解析モデルの妥当性を確認した。解析モデルの妥当性は、検証期間中の各地下水位観測孔における水位及び既設揚水ポンプによる揚水量の観測値と解析値を比較することにより確認した。検証期間中の各地下水位観測孔において観測された平均水位と解析水位の比較を図 3.3-9 に、既設揚水ポンプ排水量の実績値と解析値の比較を表 3.3-10 に示す。この結果、検証を行った期間において、地下水位の解析水位は観測水位と概ね一致するか上回り、既設揚水ポンプの揚水量については、解析値が実績値を若干下回ることとなった。

なお、地下水位観測孔のうち、No. 2 観測孔において解析水位が観測水位を上回った理由として、表 3.3-1 に示すように No. 2 観測孔は地表から 0.5m の深さで岩盤が出現し、岩盤内の深い位置に水位計を設置していることが挙げられる。実際の岩盤には割れ目や亀裂があり、No. 2 観測孔の観測水位は岩盤内の局所的な亀裂等の影響を受けて下がっていると考えられるが、浸透流解析では岩盤の透水係数は一律に低い値であることから、観測水位よりも解析水位が高くなっていると判断した。

以上のことから、設計揚圧力及び設計地下水位の設定に用いる解析モデルの妥当性を確認することができたが、揚水ポンプ容量を設定する浸透流解析に用いる透水係数については、地下水の流入量が保守的な値となるように設定することとし、詳細は「NS2-補-023-11 地下水位低下設備の設計方針に係る補足説明資料」において説明する。

なお、観測降雨を与える再現解析（非定常解析）については設置変更許可時と同様に参考として実施する。再現解析（非定常解析）の降雨に対する感度向上に関する取り組みについて参考資料 4 に示す。また、参考資料 5 に設置変更許可以降の観測記録について示すとともに、再現解析期間の妥当性を示す。

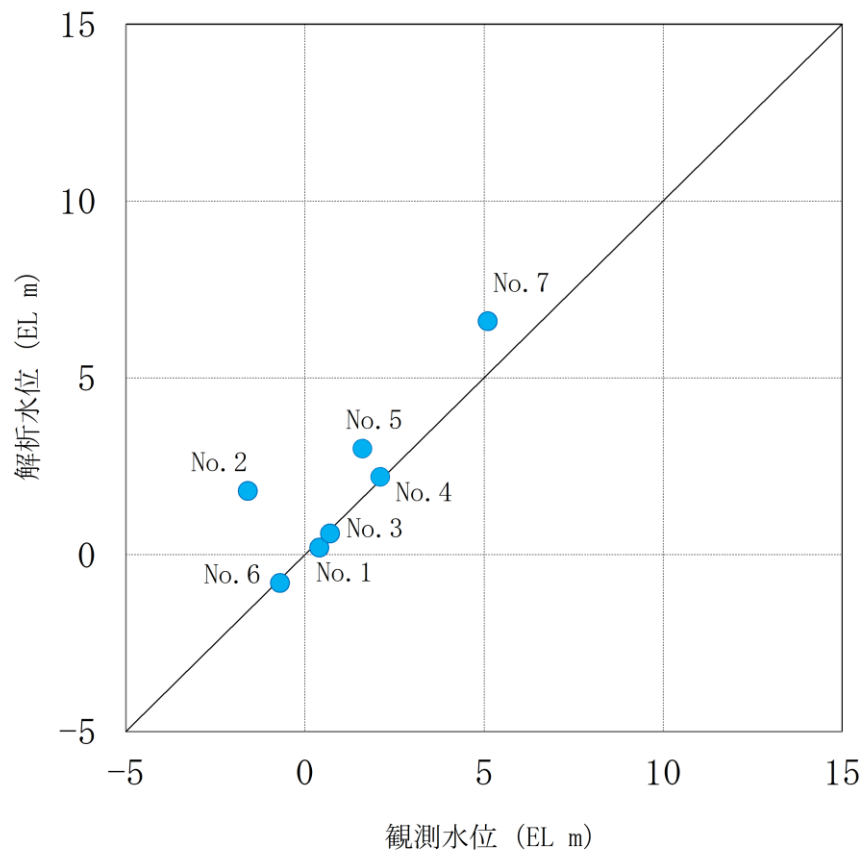


図 3.3-9 観測水位と解析水位の比較

表 3.3-10 既設揚水ポンプ揚水量の観測値と解析値の比較

	揚水量 (m ³ /日)
観測値	969
解析値	856

(5) 予測解析

a. 予測解析（水位評価）モデルの概要

(a) モデル化範囲の設定

再現解析で妥当性を確認したモデルと同様の範囲をモデル化する。

(b) 格子サイズ

再現解析で妥当性を確認したモデルと同様の考え方で設定する。

(c) 地盤・構造物のモデル化

イ. 地形

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

ロ. 地盤

再現解析で妥当性を確認したモデルをベースに、安全対策工事完了段階における防波壁周辺の改良地盤等を図 3.3-10 のとおり考慮した。

なお、シームについては再現解析と同様にモデル化していない。

ハ. 構造物

再現解析で妥当性を確認したモデルをベースに、安全対策工事完了段階における構造物等の配置を表現するため、図 3.3-10 に示す構造物等についてモデル化を行った。

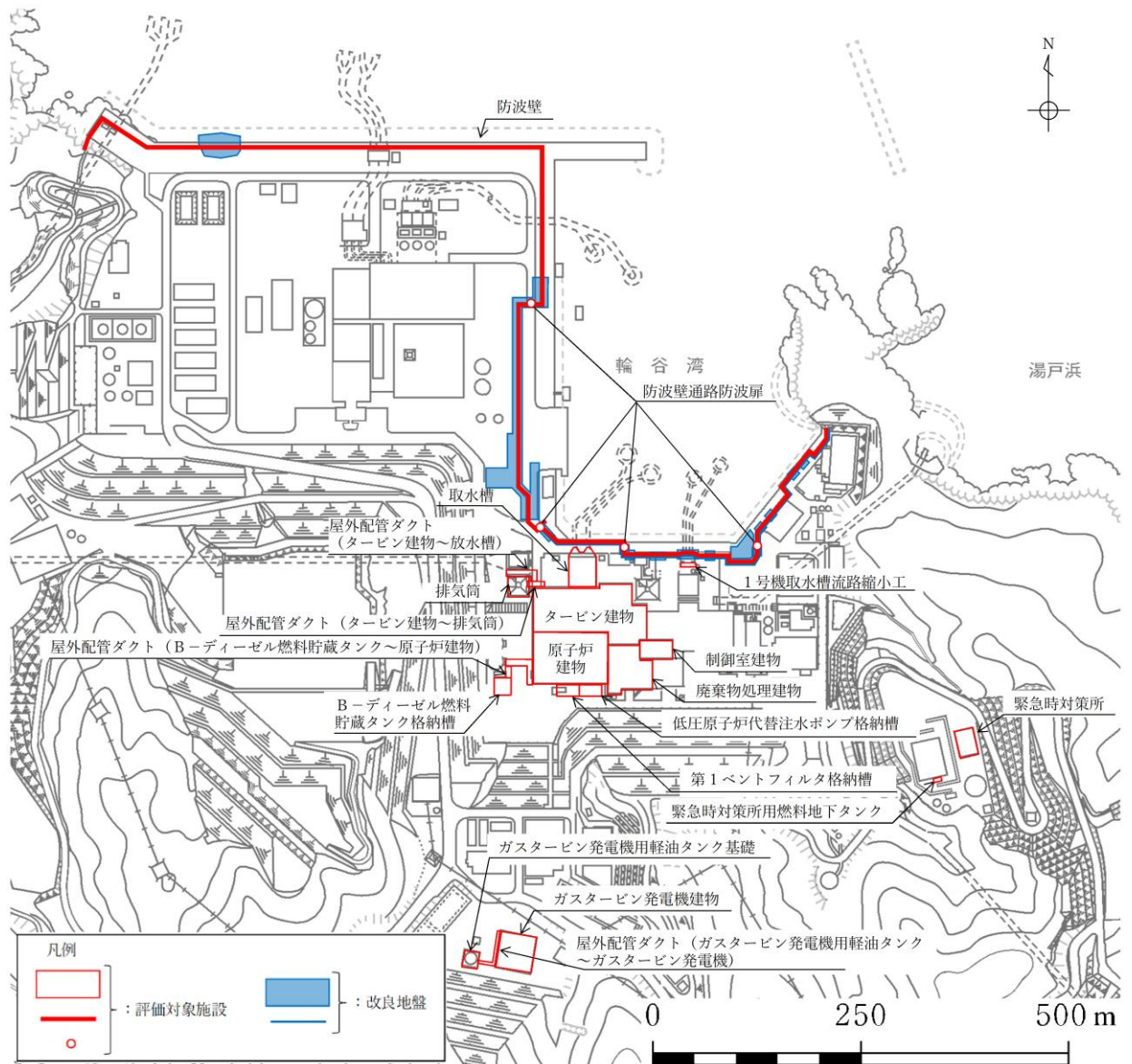


図 3.3-10 評価対象施設及び改良地盤の位置図

(d) 透水係数及び境界条件の設定

イ. 透水係数

再現解析で妥当性を確認したモデルと同様の考え方で設定する。

ロ. 降雨条件

降雨条件の設定は揚圧力、地下水位いずれも保守的に高く算出されるよう、松江地方气象台における過去 78 年間（1941～2018 年）の年間降水量の平均値（1,880mm/年）を算出し、ばらつきを考慮した値（平均値 + 1 σ ）に今後の気候変動予測による降水量の変化*を加味し、2,400mm/年を設定する。降雨条件の設定方法について参考資料 6 に示す。

この降雨条件の保守性について図 3.3-11 に示す。

図 3.3-11 は、観測降雨（1,540mm/年）及び予測解析で用いる降雨条件（2,400mm/年）を与えた際の解析モデル境界部における解析水位を示したものであり、予測解析で用いる降雨条件による解析水位が観測降雨による地下水位を大きく包絡していることから、設計揚圧力及び設計地下水位を保守的に高く評価できる。

注記*：気象庁・環境省 「日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について」

(e) ドレーンのモデル化

イ. 有効範囲の設定

評価対象施設のうち，原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物，制御室建物及び排気筒については，集水機能に寄与するドレーンの有効範囲は，ドレーン（既設）の効果には期待せず土砂相当の埋戻土の透水係数を設定し，ドレーン（新設）に限定することで保守性を確保する。

評価対象施設のうち，屋外重要土木構造物等の設計地下水位を設定する際には，地下水位が保守的に高く算定されるよう，ドレーン（既設）には期待せず土砂相当の埋戻土の透水係数を設定することに加え，ドレーン（新設）についても考慮しないことから，モデル化しない。

ドレーンの種類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表 3.3-11 に示す。

また，予測解析において参照する地下水位低下設備の配置を図 3.3-12 に示す。

表 3.3-11 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

ドレーンの種類	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
<p>ドレーン (既設)</p>	○	△	×	<p>岩盤や構造物に囲まれており、周囲を砕石で埋め戻しているため、機能に期待しない場合においても、砕石相当の透水性を有するが、万が一、経年的に周囲の埋戻土からの土砂流入により通水面積の減少が発生した場合、確実に土砂を除去できないため、砕石の間に土砂が流入した状態を仮定し、土砂相当の埋戻土の透水係数 ($2 \times 10^{-1} \text{cm/s}$) を設定した。</p>
<p>ドレーン (新設)</p>	○	○	○	<p>管の耐久性・耐震性が確保され、構造を確認できるところから、大気圧解放状態とする。</p>

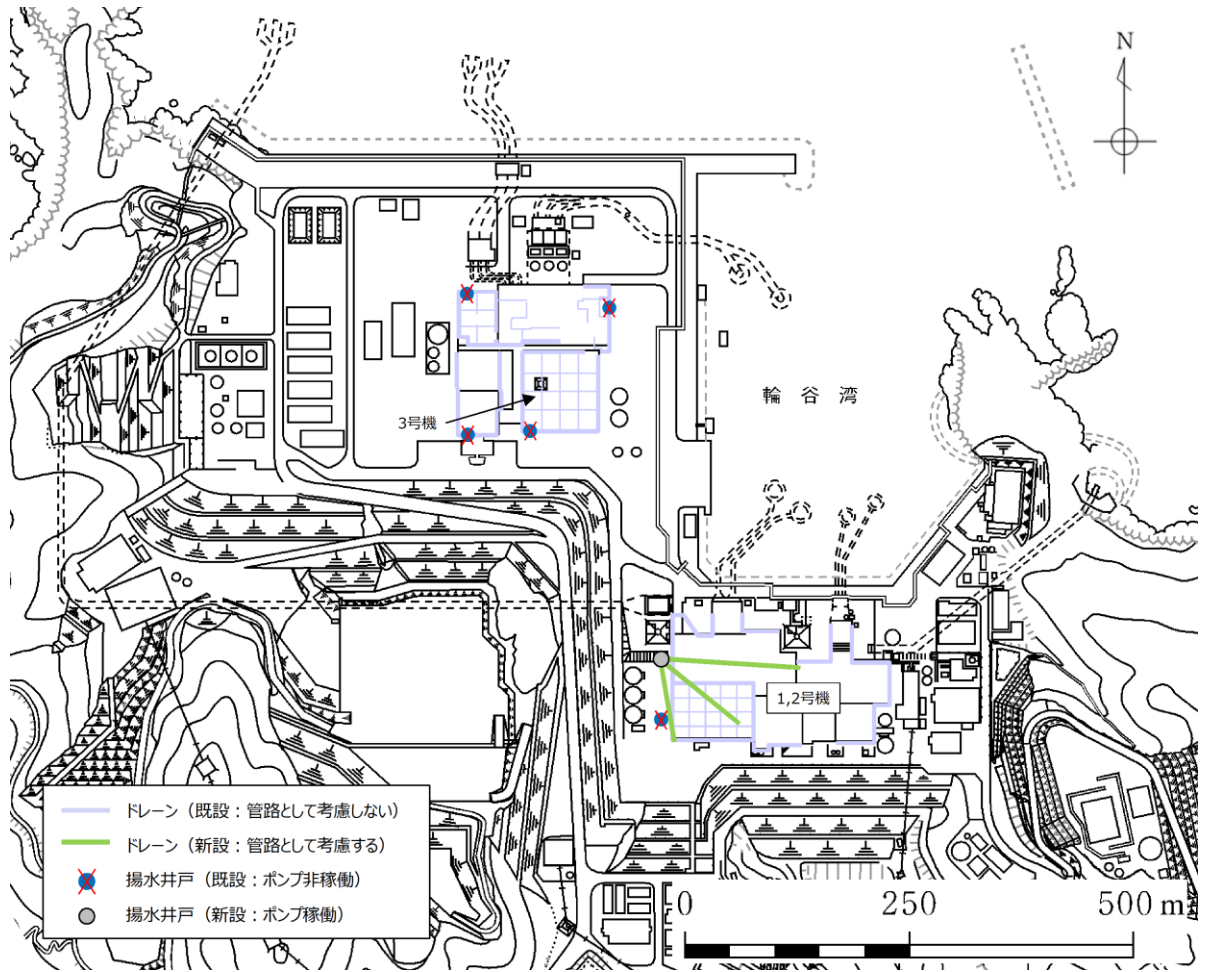


図 3.3-12 予測解析において参照する地下水位低下設備の配置

(f) 浸透流解析条件まとめ（予測解析（水位評価）モデル）

表 3.3-12 に、再現解析モデルと予測解析（水位評価）モデルの解析条件一覧を示す。

表 3.3-12 予測解析（水位評価）モデルの概要

項目	【参考】再現解析モデル	予測解析（水位評価）モデル	
目的	モデル化の妥当性を確認 （観測記録の再現性を確保）	建物・構築物における保守的な設計揚圧力を設定	屋外重要土木構築物等における保守的な設計地下水水位を設定
解析コード	Dtransu-3D・EL, バージョン：ver.2af90MP		
解析領域	敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とする 		
格子数	<ul style="list-style-type: none"> 平面格子数：1, 2号機エリア：約 2.1 万 3号機エリア：約 2.4 万 総格子数：1, 2号機エリア：約 121 万 3号機エリア：約 138 万 格子寸法：1~40m 程度（構築物近傍は最小 1m 程度，山側領域は 40m 程度） 		
解析種別	定常解析		
検証期間	2016年4月~2018年8月	—	
気象条件	降水量：1,540mm/年	保守的な降水量として，2,400mm/年を考慮	
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	
モデル（地盤）	検証期間に対応した状態	安全対策工事完了段階に対応した状態（防波壁周辺の改良地盤等を考慮）	
モデル（構築物）	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	
モデル（ドレーン）	ドレーン（既設）を管路として考慮	既設：管路として考慮しない 新設：管路として考慮	既設：管路として考慮しない 新設：管路として考慮しない
境界条件	実態に則した設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.* ¹ (EL 0.46m) に水位固定 ・ドレーン：管路としてモデル化	保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.* ¹ (EL 0.58m) に水位固定 ・ドレーン：計画高に水位固定しモデル化	更なる保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.* ¹ (EL 0.58m) に水位固定
透水係数	透水試験，粒度試験* ² 及び文献値* ³		
有効間隙率	物理試験及び文献値* ⁴		

注記*1：再現解析（定常・非定常）においては朔望平均満潮位 EL 0.46m を用い，予測解析においては，保守的に近年の潮位の上昇量を考慮した朔望平均満潮位 EL 0.58m を用いる。

*2：土質試験の方法と解説に基づき設定

*3：管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）に基づき設定

*4：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）に基づき設定

b. 地下水位低下設備（新設）について

(a) 地下水位低下設備（新設）の概要

地下水位低下設備（新設）は、発電所の運用及び構内排水計画等を踏まえ、タービン建物の西側に設置し、揚水井戸、多重化した揚水ポンプ、水位計及び配管等で構成される。

地下水位低下設備（新設）の概要を図 3.3-13 及び参考資料 7 に示す。

(b) ドレーン（新設）の施工について

新設する地下水位低下設備のドレーンの施工は、揚水井戸を所定の深度まで掘削後、立坑内から水平ボーリングマシンによりドレーンの延長まで掘進し、ドレーン（有孔管、内径 200mm）を敷設する。

(c) ドレーン（新設）の保守管理について

建物・構築物の設計揚圧力の算定に用いる浸透流解析において考慮している新設ドレーン（有孔管）は、すべて岩盤内に設置する。このため、設置後の地下水位低下設備の運用においては、ドレーン内に土砂等が流入し閉塞する可能性が非常に小さいが、保守管理により地下水を揚水井戸まで集水する機能を維持することが可能とする。具体的には、TVカメラによるドレーン内部の確認、高圧洗浄による土砂等の除去を適宜実施することにより、地下水を揚水井戸まで集水する機能を維持する。

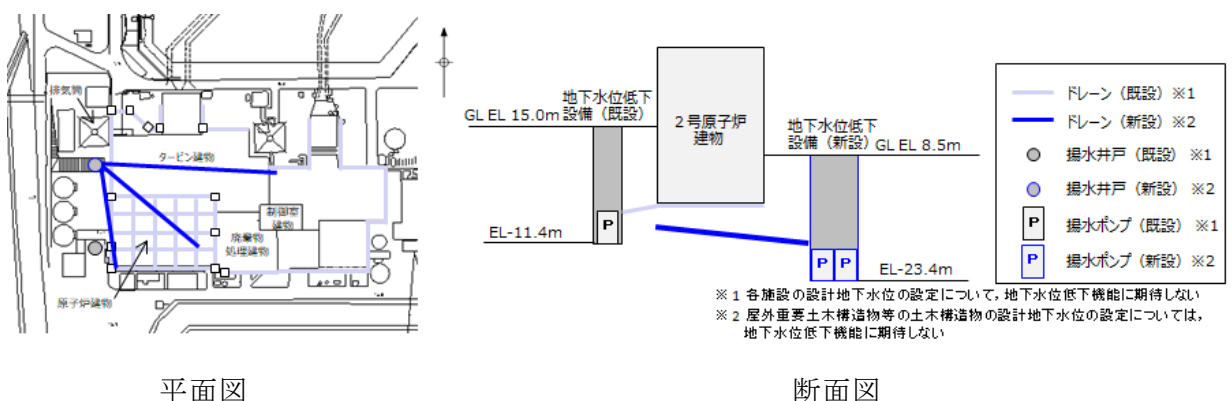


図 3.3-13 地下水位低下設備の概要

c. 解析結果

(a) 建物・構築物の設計揚圧力の設定に参照する地下水位分布

地下水位低下設備の効果が及ぶ範囲（EL 8.5m 盤及び EL 15.0m 盤）に位置する建物・構築物の設計揚圧力の設定において参照する地下水位分布を図 3.3-14 に、等ポテンシャル図を図 3.3-15 に示す。

イ 地下水位分布（図 3.3-14）について

- ・解析水位は、図 3.3-13 に示すドレーン（新設）へ向かって地下水が流れる状況を示しており、原子炉建物及びタービン建物周辺の地下水位は地下水位低下設備（新設）の効果により大きく下がっている。
- ・一方、敷地東側などドレーン（新設）から離れた位置では解析水位が高く、距離が離れるにつれて地下水位低下設備（新設）の効果が小さくなっている。

ロ 等ポテンシャル図（図 3.3-15）について

- ・地下水コンター図と同様に、地盤中をドレーン（新設）へ向かってポテンシャル勾配が生じており、ドレーン（新設）からの距離が離れるにつれて勾配が緩やかになることから、地下水位低下設備（新設）の効果が小さくなることを示している。これは地下水位コンター図とも整合的である。

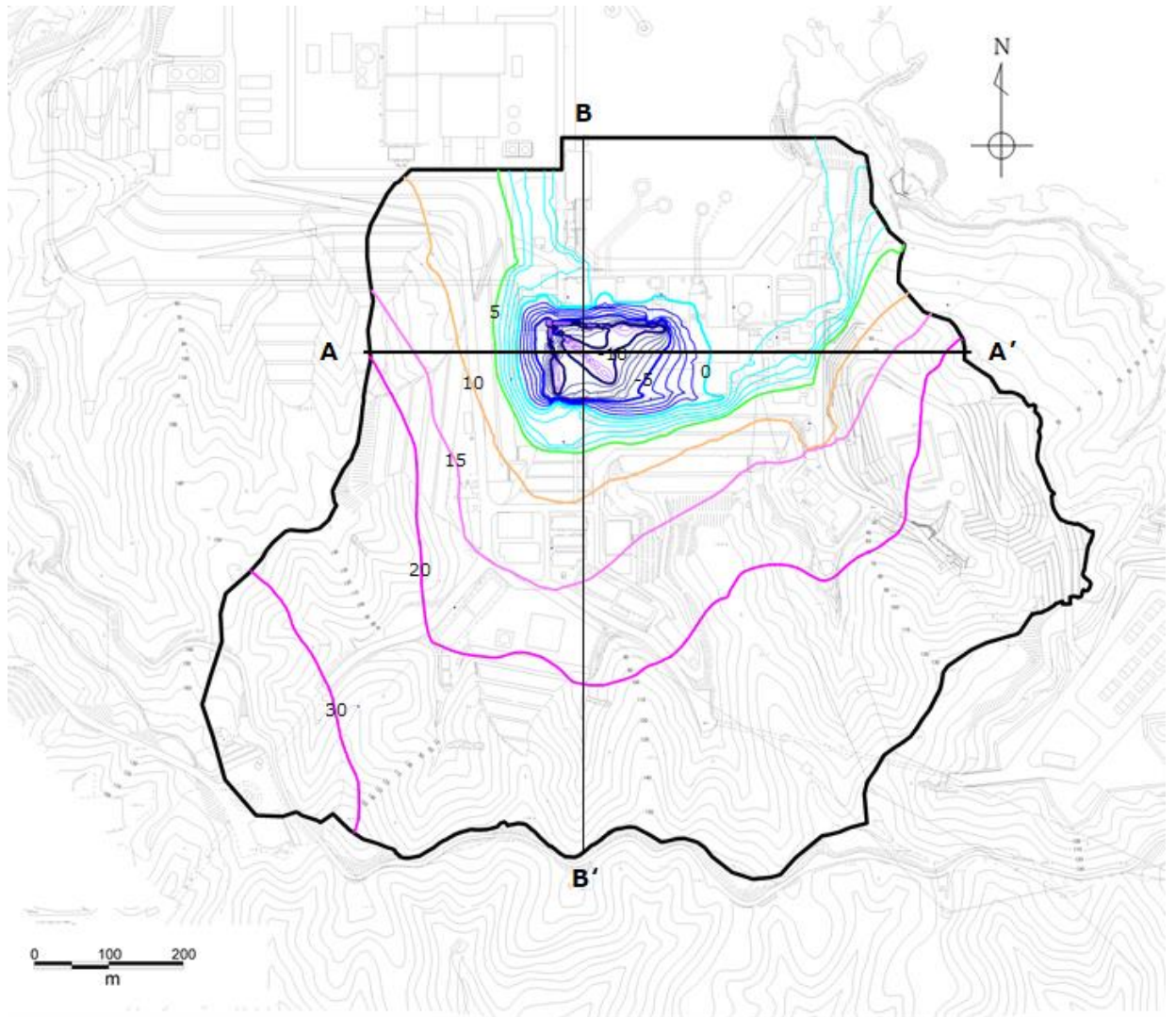
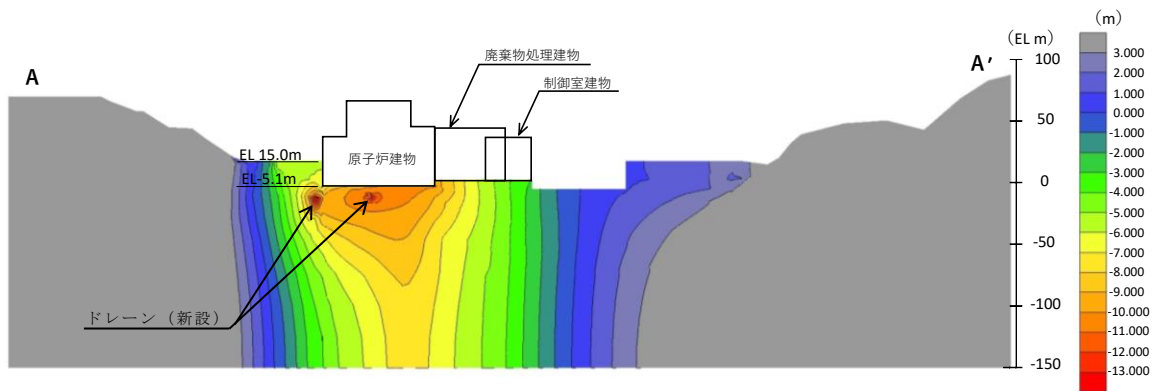
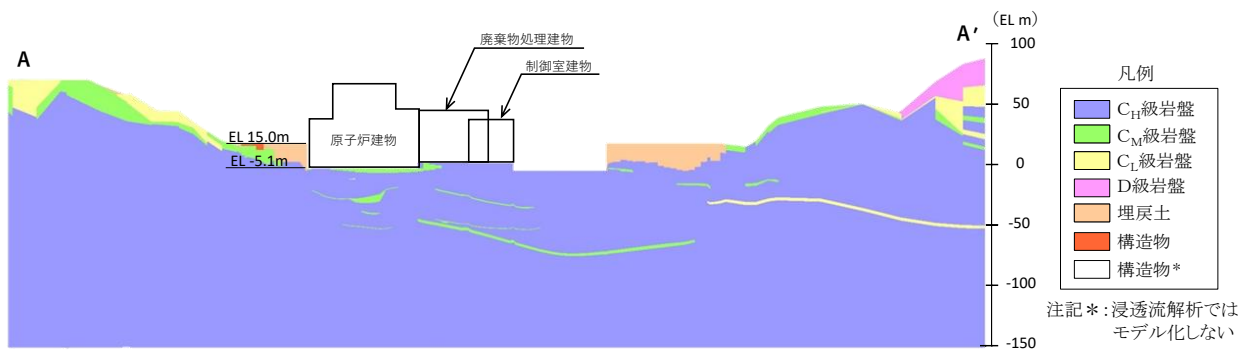


図 3.3-14 建物・構築物の設計揚圧力の設定において参照する
敷地の地下水位分布 (EL m)

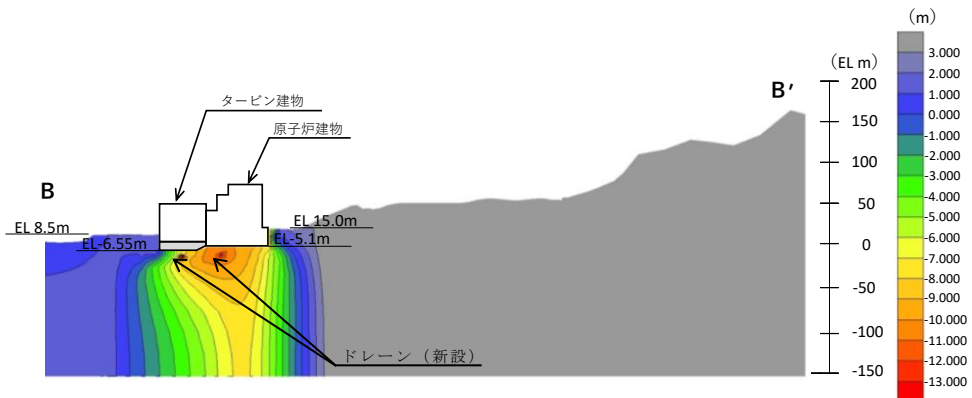


(a) 等ポテンシャル図

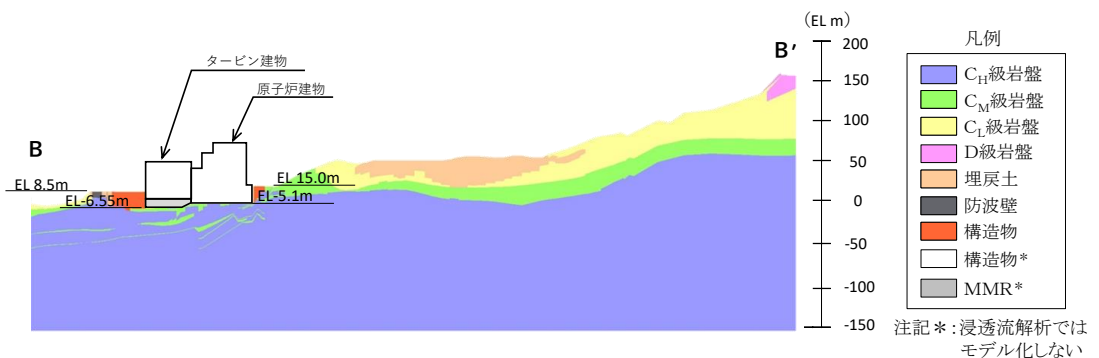


(b) 解析モデル図

図 3.3-15 (1) 予測解析結果 (A-A'断面)



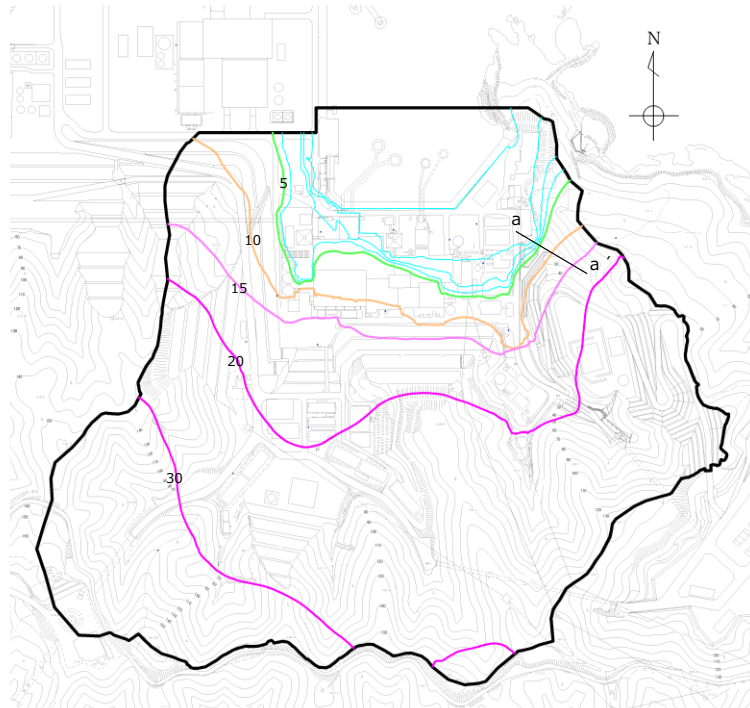
(a) 等ポテンシャル図



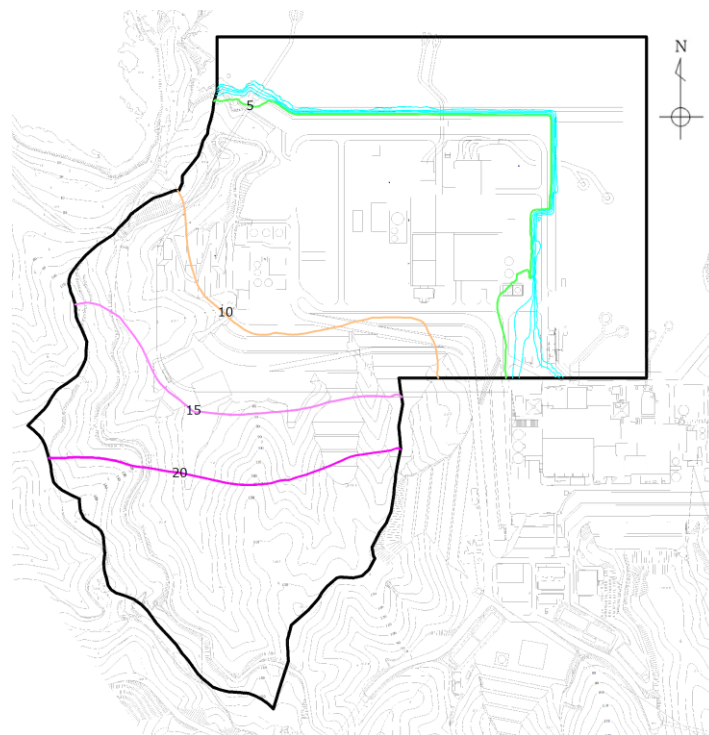
(b) 解析モデル図

図 3.3-15(2) 予測解析結果 (B-B'断面)

(b) 屋外重要土木構造物等の設計地下水位の設定に参照する地下水位分布
 屋外重要土木構造物等の設計地下水位の設定において参照する地下水位（自然水位）分布を図 3.3-16 に示す。



1, 2号機エリア



3号機エリア

図 3.3-16 屋外重要土木構造物等の設計地下水位の設定に参照する
 地下水位（自然水位）分布（EL m）

また、図 3.3-16 中の a 部の地下水位の等高線が密になっている箇所では、図 3.3-17 に示すように透水係数が小さい岩盤部と、透水係数が大きい埋戻土部との境界部分で水位差が生じ、地下水位勾配が大きくなっていると考えられる。

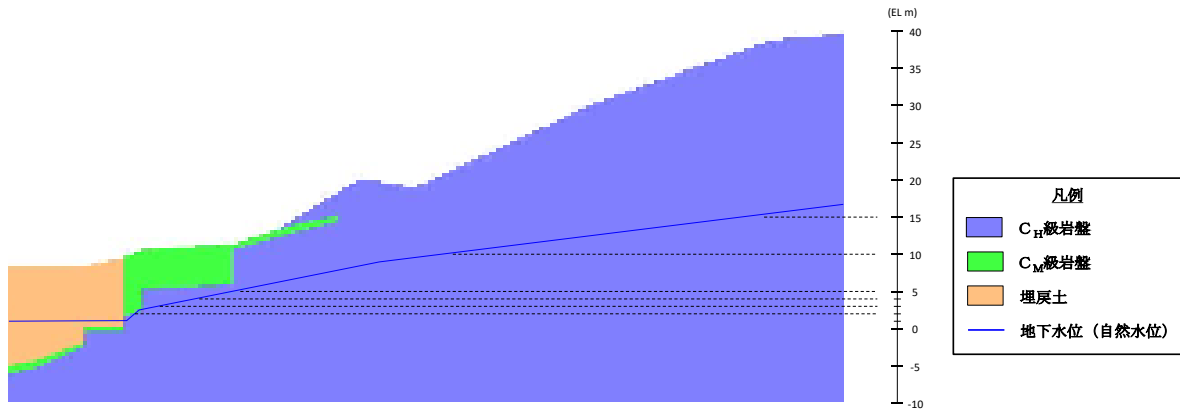


図 3.3-17 解析モデル断面図 (図 3.3-16 a-a' 断面)

d. 設計揚圧力及び設計地下水位の設定

予測解析に基づく設計揚圧力及び設計地下水位の設定結果を以下に示す。

(a) 建物・構築物の耐震評価における地下水位設定

地下水位低下設備（新設）の効果に期待する建物・構築物について、予測解析により得られた地下水位、揚圧力及びこれを参照した設計揚圧力を表 3.3-13 に示す。また、周辺の地下水位分布を図 3.3-18～図 3.3-20 に示す。なお、地下水位低下設備（新設）の効果に期待する建物構築物のうち、下位クラス施設である 1 号機建物・構築物についての地下水位の確認結果を参考資料 8-1 に示す。

表 3.3-13 建物・構築物における設計揚圧力の設定一覧

施設名称 (基礎底面 高さ)	建設時工事 計画認可時の 設計揚圧力	予測解析結果* ¹ (上段：揚圧力 下段：地下水位)	設計 揚圧力* ²	設計 地下水位* ²	備考
原子炉 建物 (EL-4.7m)	0.8t/m ²	0.0t/m ² ----- EL-9.9m	0.8t/m ² (7.8kN/m ²)	EL-3.9m	建設時の 工事計画 認可時か らの変更 なし
タービン 建物 (EL 0.0m)	2.0t/m ²	0.0t/m ² ----- EL-7.0m	2.0t/m ² (19.6kN/m ²)	EL 2.0m	
廃棄物処理 建物 (EL 0.0m)	2.0t/m ²	0.0t/m ² ----- EL-5.5m	2.0t/m ² (19.6kN/m ²)	EL 2.0m	
制御室 建物 (EL 0.1m)	0.0t/m ²	0.0t/m ² ----- EL-3.9m	0.0t/m ² (0.0kN/m ²)	基礎底面以深 (EL 0.1m 以深)	
排気筒 (EL 2.0m)	0.0t/m ²	0.0t/m ² ----- EL-1.0m	0.0t/m ² (0.0kN/m ²)	基礎底面以深 (EL 2.0m 以深)	

注記*1：建物底面に作用する平均揚圧力又は平均地下水位

*2：耐震設計上の設計揚圧力及び設計地下水位

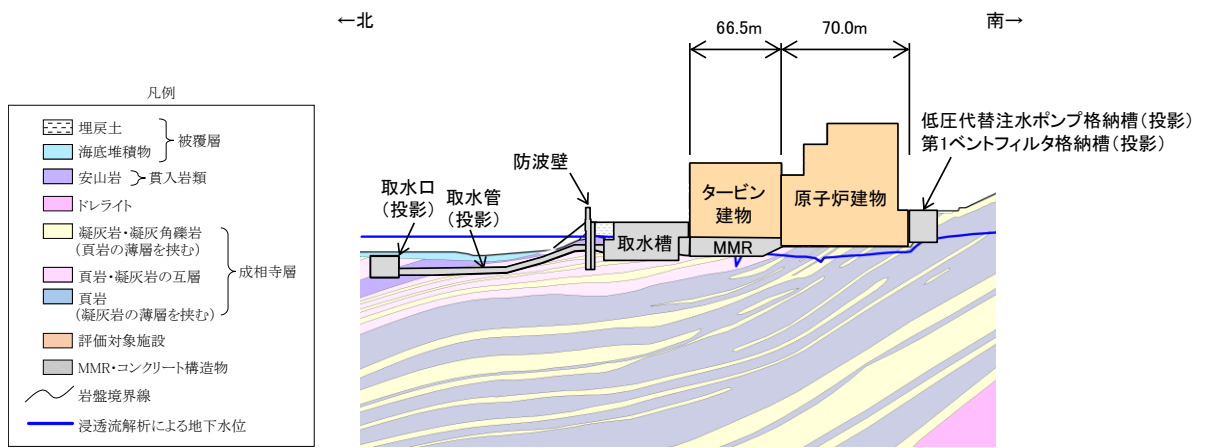


図 3.3-18 原子炉建物及びタービン建物の地下水位分布 (南北)

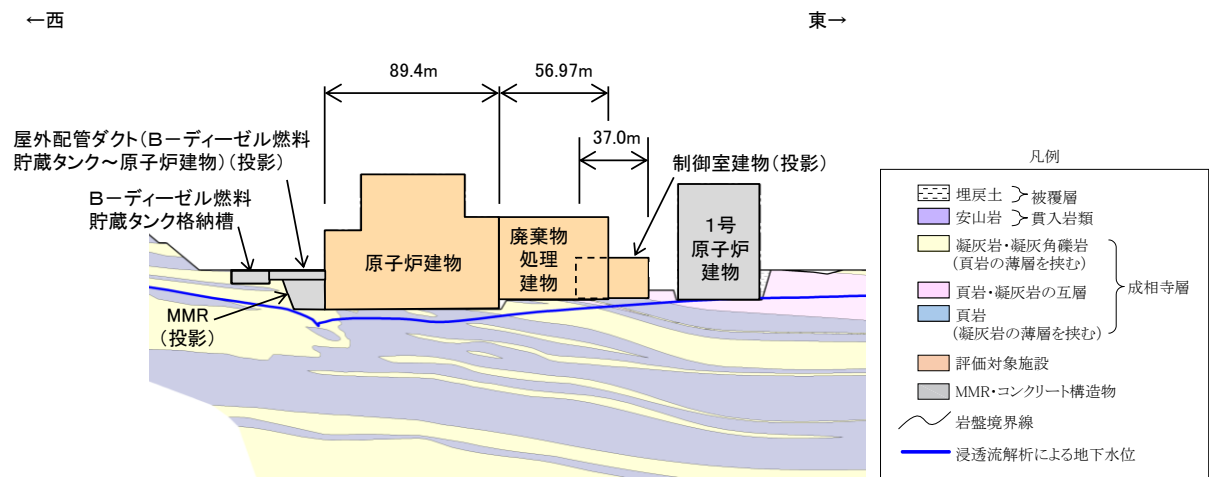


図 3.3-19 原子炉建物，廃棄物処理建物及び制御室建物の地下水位分布 (東西)

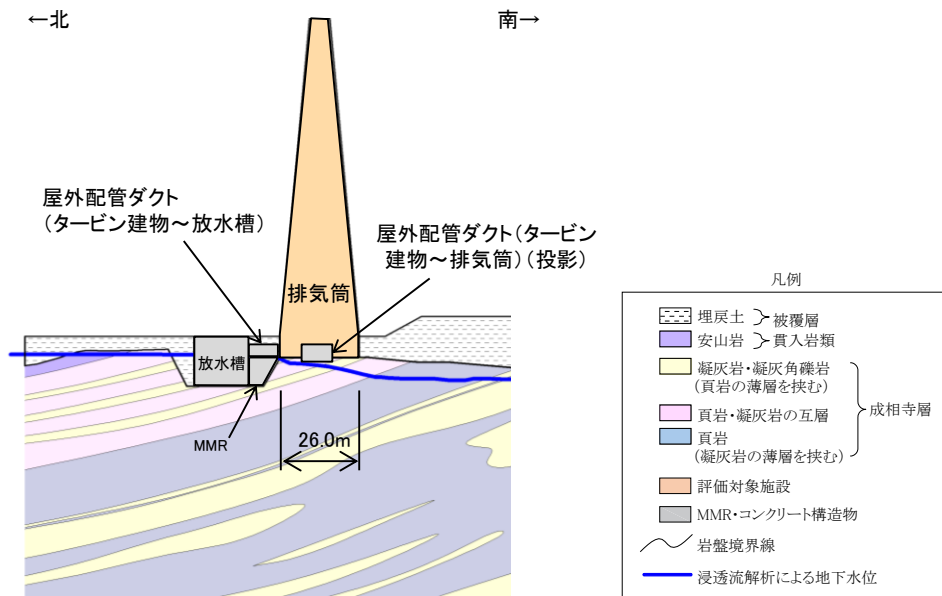


図 3.3-20 排気筒の地下水位分布 (南北)

(b) 屋外重要土木構造物等の耐震評価における地下水位設定

屋外重要土木構造物等について、予測解析により得られた解析水位（自然水位）に観測結果のばらつき及び構造物周辺の状況を踏まえて十分な保守性を確保して設計地下水位を設定する。

各構造物の設計地下水位は、観測水位の標準偏差（ 1σ ）が最大 0.6mであることを踏まえて以下のように設定する。各構造物の予測解析による地下水位（自然水位）、設計地下水位及び建設時の工事計画認可時の設計地下水位を表 3.3-14 に示すとともに、設計地下水位の設定方法の詳細を参考資料 8-2 に示す。

なお、設計地下水位を基礎底面よりも高く設定する構造物については、静水圧が作用した際の浮上り評価についても実施する方針とし、詳細は各構造物の耐震性についての説明書に示す。

イ. 取水槽の設計地下水位

表 3.3-14 及び図 3.3-21～23 より、取水槽の耐震評価モデル範囲内の解析水位（自然水位）は EL 0.58m～3.8m であり、地表面より低い。取水槽は海域に近く、海水位の影響を受けていると考えられ、図 3.3-3 に示す取水槽近傍の地下水位観測孔 No. 3 の観測結果からも地下水位の変動は小さいことから、取水槽の設計地下水位については、観測水位のばらつき（ 1σ ）を考慮して EL 4.5m に設定する。

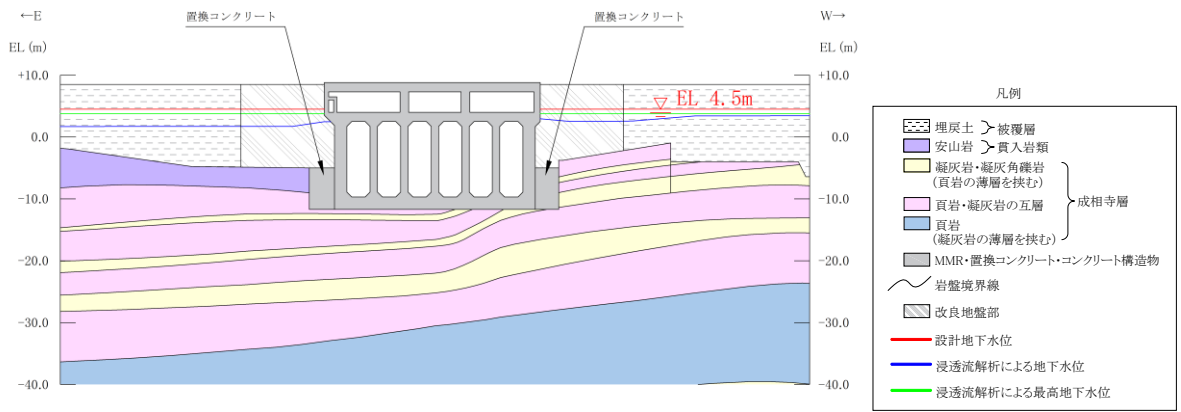


図 3.3-21 取水槽（スクリーン室）の地下水位分布

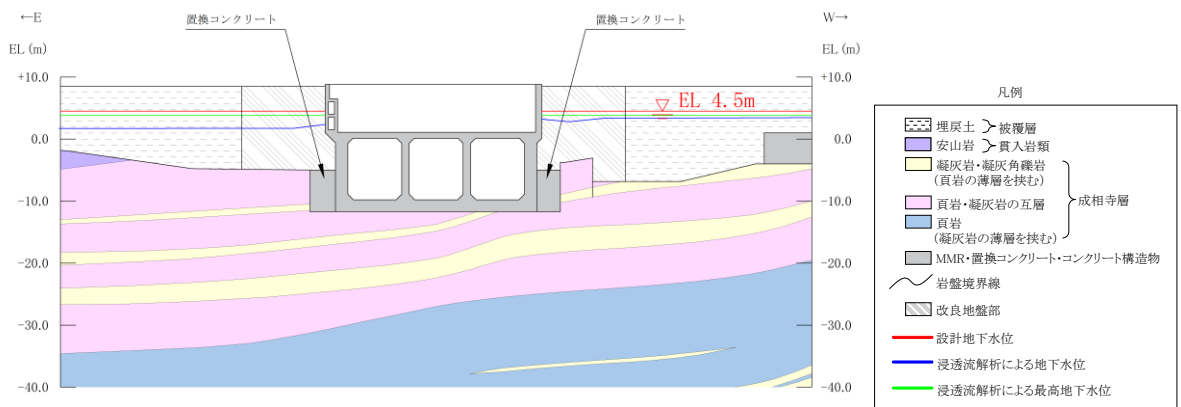


図 3.3-22 取水槽（ポンプ室）の地下水位分布

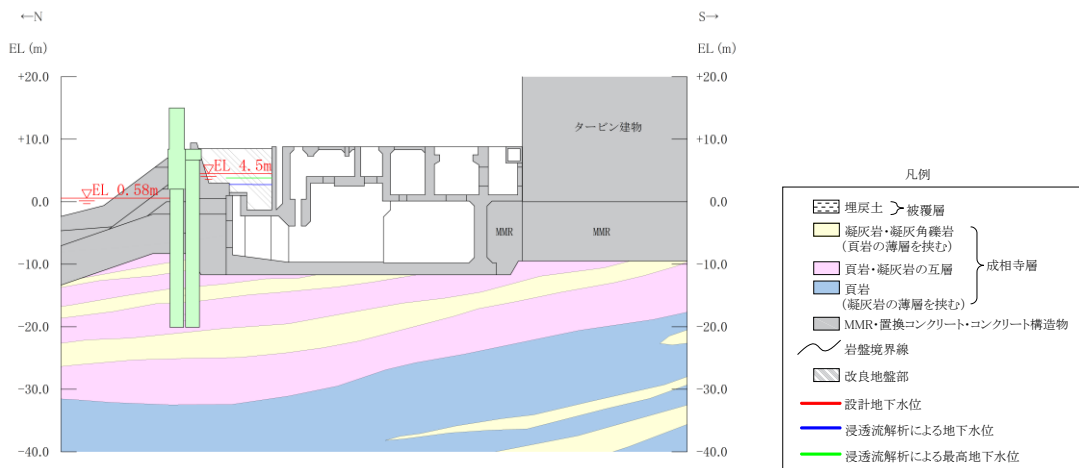


図 3.3-23 取水槽の地下水位分布（南北）

ロ. 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の設計地下水位

表 3.3-14 及び図 3.3-24, 25 より, 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の耐震評価モデル範囲内の解析水位（自然水位）は EL 2.7m～3.6m であり, 地表面より低い。屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の設計地下水位については, 観測水位のばらつき (1σ) に更に余裕を考慮して EL 4.9m に設定する。

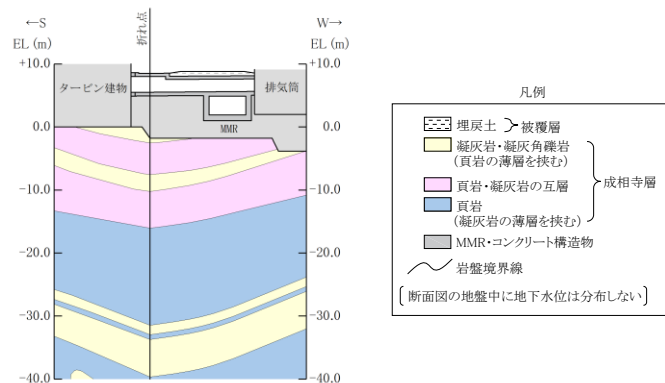


図 3.3-24 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地下水位分布（縦断）

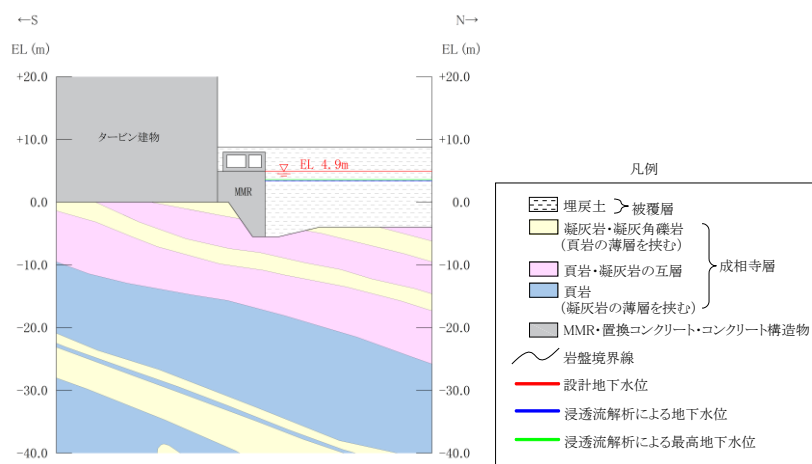


図 3.3-25 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地下水位分布（横断）

ハ. 第 1 ベントフィルタ格納槽の設計地下水位

表 3.3-14 及び図 3.3-26～28 より, 第 1 ベントフィルタ格納槽の耐震評価モデル範囲内の解析水位（自然水位）は EL 9.4～15.0m であり, 地表面まで上昇している箇所が存在することから, 第 1 ベントフィルタ格納槽の設計地下水位については, 地表面と同じ EL 15.0m に設定する。

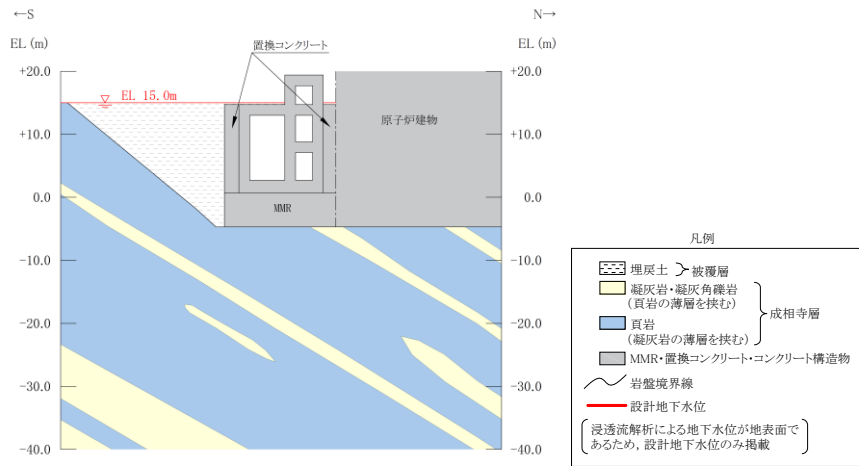


図 3.3-26 第1ベントフィルタ格納槽の地下水位分布 (南北: 格納室)

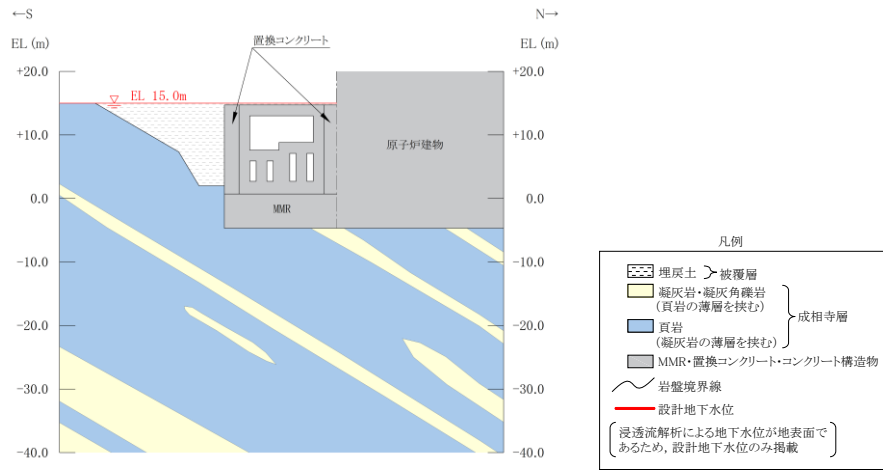


図 3.3-27 第1ベントフィルタ格納槽の地下水位分布 (南北: 銀ゼオライト部)

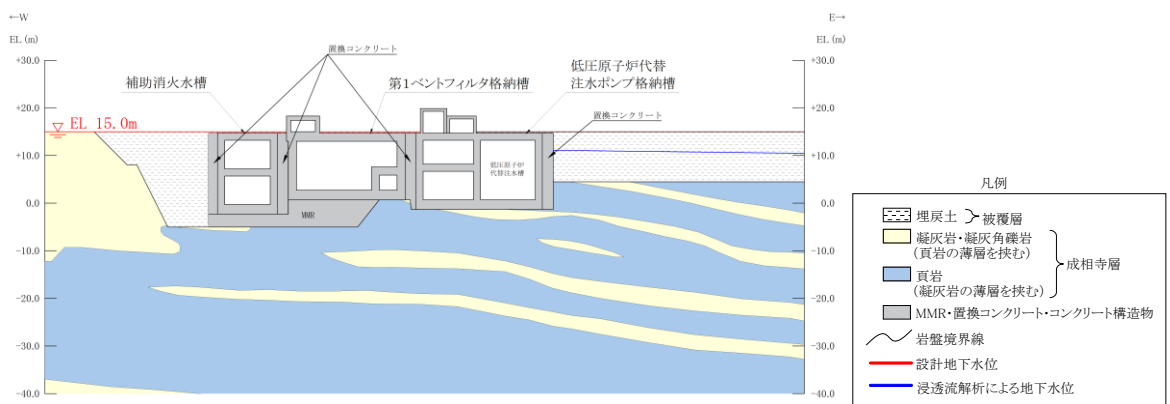


図 3.3-28 第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地下水位分布

ニ. 低圧代替注水ポンプ格納槽の設計地下水位

表 3.3-14 及び図 3.3-29, 30 より, 低圧代替注水ポンプ格納槽の耐震評価モデル範囲内の解析水位 (自然水位) は EL 9.4~15.0m であり, 地表面まで上昇している箇所が存在することから, 低圧代替注水ポンプ格納槽の設計地下水位については, 地表面と同じ EL 15.0m に設定する。

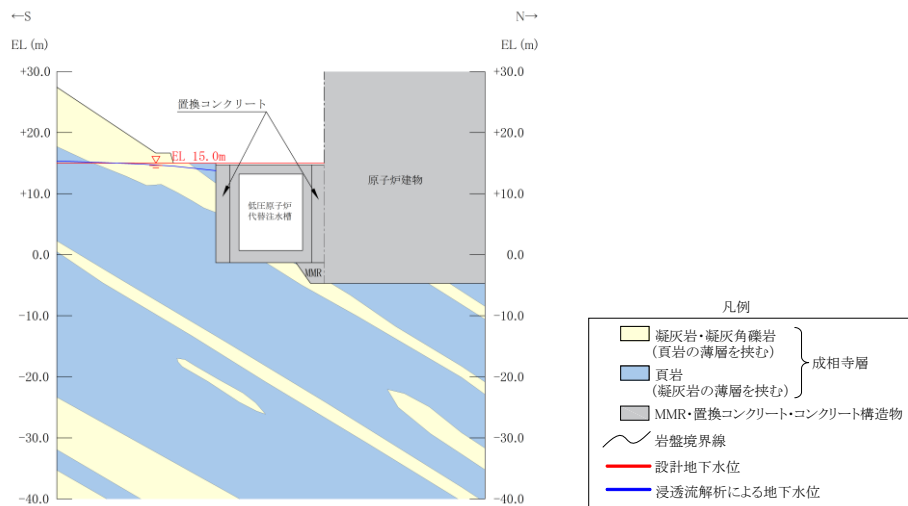


図 3.3-29 低圧代替注水ポンプ格納槽の地下水位分布 (南北：水室)

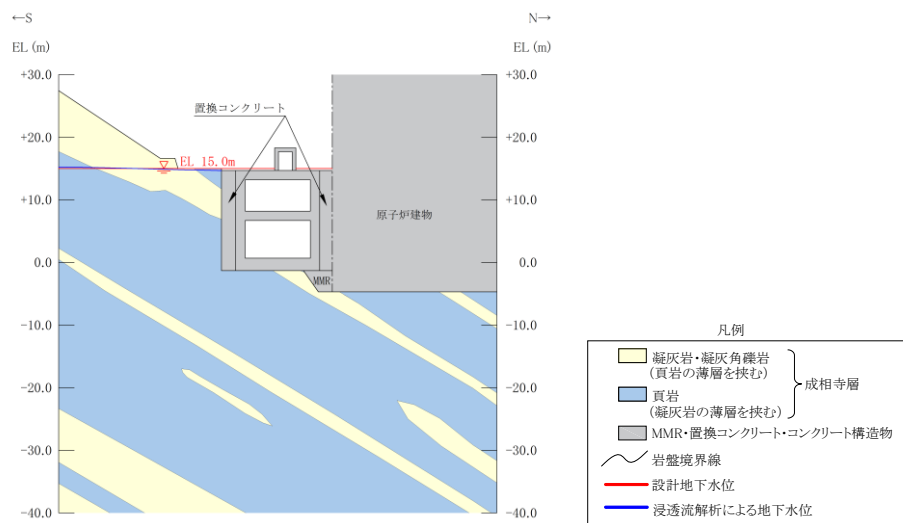


図 3.3-30 低圧代替注水ポンプ格納槽の地下水位分布 (南北：ポンプ室)

ホ. 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
の設計地下水位

表 3.3-14 及び図 3.3-31, 32 に示すように、屋外配管ダクト（ガスタービン
発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の耐震評価モデル範囲内の解析水位
（自然水位）は EL 22.1～24.2m であり，解析モデル範囲より低いことから，屋
外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の耐震
設計においては地下水の影響は考慮しない。

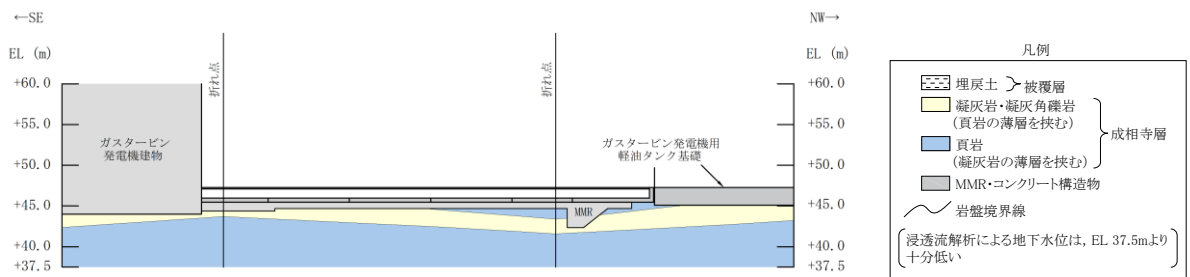


図 3.3-31 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
の地下水位分布（縦断）

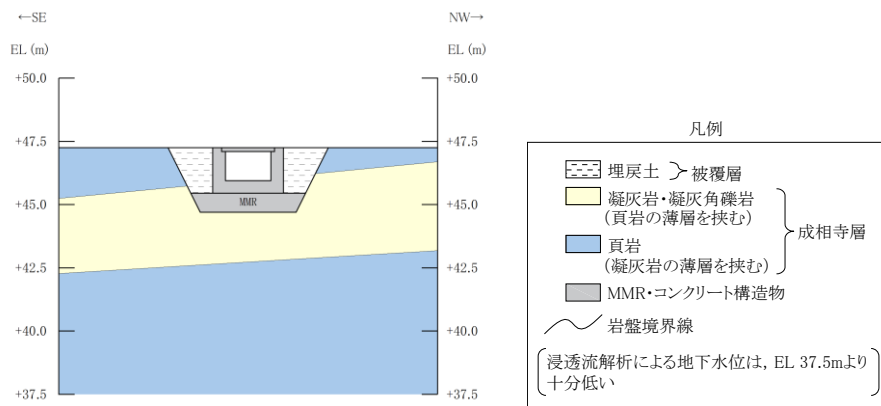


図 3.3-32 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
の地下水位分布（横断）

表 3.3-14 屋外重要土木構造物等における設計地下水位の設定一覧

施設名称	建設時の工事 計画認可時の 設計地下水位 (EL m)	予測解析による 地下水位 (自然水位) (EL m)	設計 地下水位 (EL m)	備考
取水槽	0.3	0.58~3.8	4.5	
屋外配管ダクト (タービン建物~排 気筒)	0.3	2.7~3.6	4.9	
屋外配管ダクト (タービン建物~放 水槽)	—*1	2.9~3.8	5.2	
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納 槽	—*1	3.9~15.0	15.0	地表面
屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃 料貯蔵タンク格納槽~原子炉建物)	—*1	5.8~14.9	15.0	地表面
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	—*1	0.58~4.5	5.5	
防波壁 (逆T擁壁)	—*1	0.58~6.3	8.5	地表面
防波壁 (波返重力擁壁)	—*1	0.58~7.2	8.5	地表面
1号機取水槽流路縮小工	—*1	0.58~1.6	3.0	
防波壁通路防波扉*2	—*1	0.7~6.0	8.5	地表面
第1ベントフィルタ格納槽	—*1	9.4~15.0	15.0	地表面
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	—*1	9.4~15.0	15.0	地表面
緊急時対策所	—*1	22.4~23.8	—*3	
緊急時対策所用燃料地下タンク	—*1	22.1~22.6	—*3	
ガスタービン発電機建物	—*1	22.0~24.9	—*4	
ガスタービン発電機用軽油タンク基 礎	—*1	23.6~24.7	—*4	
屋外配管ダクト (ガスタービン発電 機用軽油タンク~ガスタービン発電 機)	—*1	22.1~24.2	—*4	
サイトバンカ建物 (増築部含む)	—*5	1.1~1.9	—*5	

注記*1：建設時の工事計画認可申請対象外

*2：代表として防波壁通路防波扉（3号機東側）の設計地下水位を掲載

*3：地下水位が施設設置地盤（EL 50.0m 盤）より十分低い

*4：地下水位が施設設置地盤（EL 44.0m 盤）より十分低い

*5：地下水位が建物基礎底面レベル（EL 7.3m）より十分低い

(c) 隣接した構造物の地下水位設定について

地下水位低下設備（新設）の機能に期待する建物・構築物と機能に期待しない屋外重要土木構造物等が隣接している場合、構造物間で設計地下水位の設定に差が生じることになるが、実際の地下水位は双方で同程度となることから、隣接する構造物をモデル化する場合は、評価対象構造物と同じ地下水位を設定する。

なお、地下水位低下設備（新設）の機能に期待しない屋外重要土木構造物等においても実際には地下水位低下設備の機能により設計地下水位よりも低い位置にあることが想定される。地下水位が低い場合の影響については、(7)に示すとおり影響検討を実施する。

(6) 設計地下水位の保守性・妥当性の検証

a. 検討の目的

屋外重要土木構造物等に適用する設計地下水位は、安全対策工事を考慮した予測解析結果を参照し設定することから、工事完了前の段階で観測水位を用いた直接的な検証を行うことができない。

設計地下水位は保守性を確保する方針としているが、仮に敷地の地下水位が施設の設計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、観測水位と解析水位（自然水位）の比較から、設計地下水位の保守性を検証する。

解析水位（自然水位）は、解析条件設定において保守性を持たせた解析結果であり、設計地下水位はその解析水位（自然水位）を更に上側に包絡するよう設定している。

このため、観測水位に対して解析水位（自然水位）の余裕が確認された場合、設計地下水位は保守性を有していると判断する。

b. 観測水位と解析水位（自然水位）の比較結果

解析水位（自然水位）について、地下水位観測記録との比較による検証結果を示す。

検証に用いた観測孔位置の平面図を図 3.3-33 に、観測水位と解析水位（自然水位）の関係を表 3.3-15 に示す。

この結果、解析水位（自然水位）は観測最高地下水位を上回っており、設計地下水位は十分な保守性を有している。

設計地下水位の設定は、(5) d. (a) 及び参考資料 8-2 に示す耐震評価における設計地下水位の設定方法に基づき、裕度を考慮して設定する。

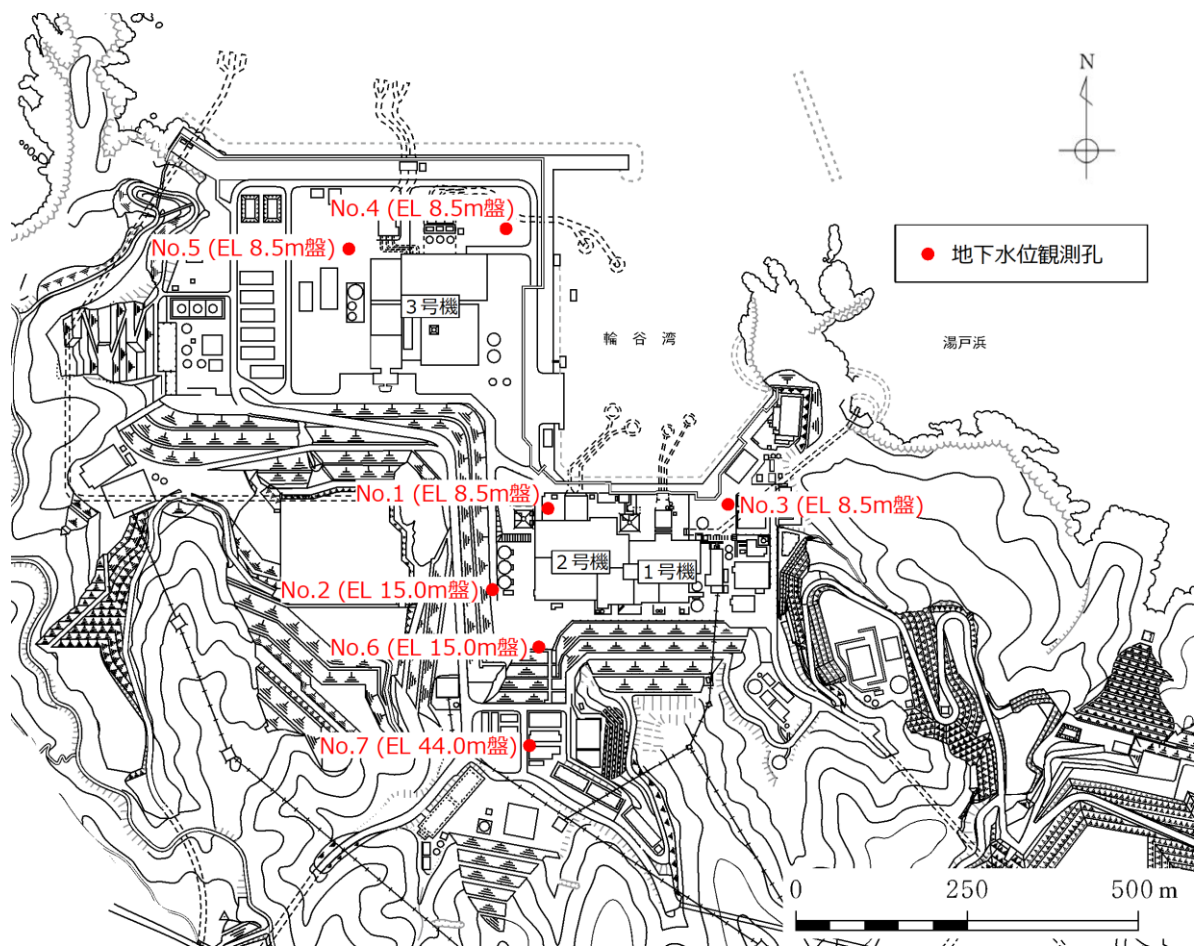


図 3.3-33 観測水位と解析水位（自然水位）の比較において参照する観測孔位置図

表 3.3-15 観測水位と解析水位（自然水位）関係

観測孔	(A)観測水位 (EL m)		(B)解析水位 (自然水位) (EL m)	差分* (m) (B) - (A)
	最高	平均		
No. 1	最高	1.79	3.41	1.62 (2.83)
	平均	0.58		
No. 2	最高	3.59	10.65	7.06 (12.91)
	平均	-2.26		
No. 3	最高	1.43	1.51	0.08 (0.69)
	平均	0.82		
No. 4	最高	4.03	5.97	1.94 (3.70)
	平均	2.27		
No. 5	最高	4.12	6.75	2.63 (4.90)
	平均	1.85		
No. 6	最高	6.74	15.00	8.26 (15.69)
	平均	-0.69		
No. 7	最高	7.97	19.00	11.03 (14.04)
	平均	4.96		

注記*：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. 検証期間の代表性について

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、松江地点における平年値（1991年～2020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①：2014年～2015年，期間②：2016年～2018年，期間③：2019年～2020年）との降雨量を比較した結果を図 3.3-34 に示す。

図 3.3-34 より、敷地内の地下水位観測期間は平年値と比較して、降水量のばらつきが見られ、100～120mm/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。

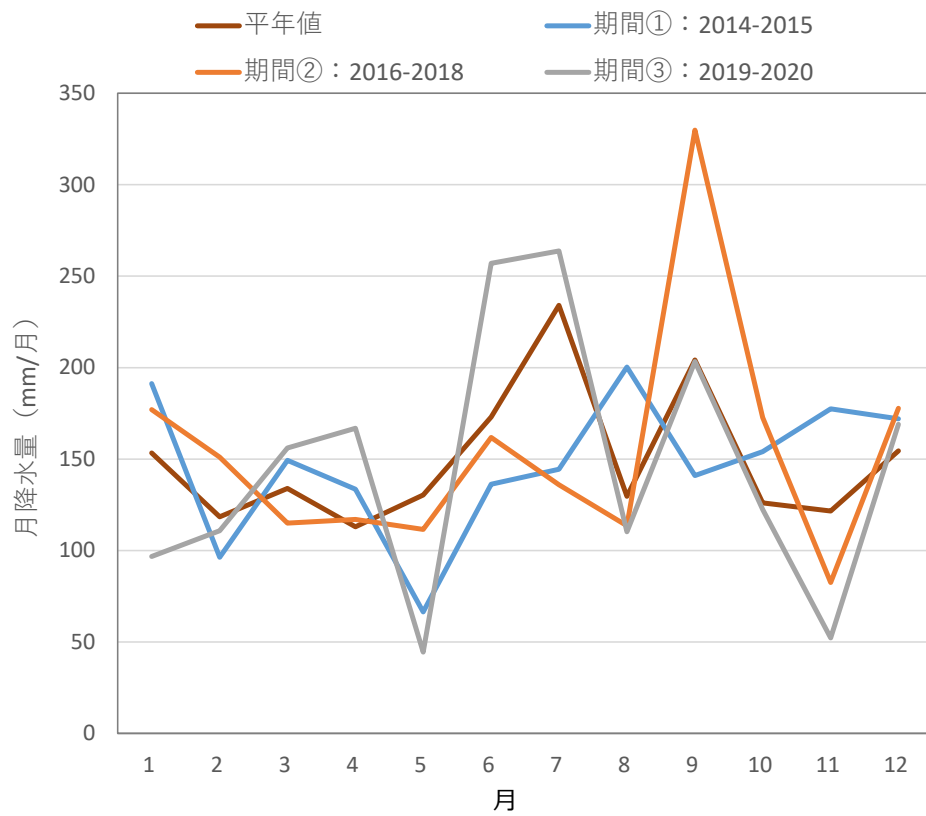


図 3.3-34 松江地点における平年値と観測時期の降水量の比較結果

表 3.3-16 松江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
降水量 (mm/月)	149	147	154	146

(7) 水位が低い場合の影響確認

a. 概要

設計地下水位は、保守的な条件のもと実施する予測解析を参照して設定することから、新設する地下水位低下設備が稼働した場合の平常時の地下水位は、設計地下水位よりも更に低くなると想定される。

平常時の地下水位における耐震安全性への影響を確認するため、その影響の有無や程度に応じて、設計地下水位より十分に低い地下水位を設定した耐震安全性評価を影響検討として実施する。

b. 影響確認方針

建物・構築物の設計揚圧力及び設計地下水位の設定では、妥当な解析モデルを用いた浸透流解析により評価対象施設にとって保守的となるよう水位を高めを設定している。また、屋外重要土木構築物等の設計地下水位については、地下水位低下設備（新設及び既設）に期待しない条件にて浸透流解析を実施し、その解析結果を包絡するように設定している。

これに対し、実際には地下水位低下設備（新設）の効果により、平常時の地下水位は設計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、構築物（建物基礎スラブ等）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）、構築物周辺に水位差が生じることが考えられる。

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：建物基礎スラブ等において、揚圧力の低減により応力分布や応答の違いが生じると想定されるケース

パターンB：地下水の分布によって、構築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：構築物の両側面に作用する水位差が大きく、偏圧の影響が生じると想定されるケース

なお、パターンCについては、構築物により地下水の流れが遮断され、地下水の流れに対して構築物の上流側と下流側で地下水位の差が生じることにより偏圧が作用する場合は考えられるが、以下の理由により地下水位が低い場合における偏圧の影響は考慮しない。

(a) 偏圧の影響の有無について

地下水位が低い場合に偏圧の影響が生じると想定される構造物として、設計地下水位を地表面に設定する EL 15.0m 盤の線状構造物である屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽～原子炉建物）が挙げられる。

屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽～原子炉建物）の平面図を図 3.3-35 に、断面図を図 3.3-36 に示す。

屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽～原子炉建物）は両側面をMMR、または一方をMMR、他方を埋戻土で囲まれた構造物である。地下水位が急激に低くなった場合、MMRと埋戻土内の地下水位に差が生じる可能性が考えられるが、実際には地下水の流れは極めて緩慢であり、急激な変動が生じないことを考慮すると、定常的には同程度の水位となると考えられることから、構造物に対する地下水位差による偏圧の影響は生じない。

また、偏圧が作用した場合の検討として、防波壁の耐津波評価においては、陸側の地下水位が設計地下水位より低い場合の津波波圧に対する評価を実施しており、詳細は「NS2-補-018-02 津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料」にて説明する。

上記方針を踏まえ、表 3.3-17 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。

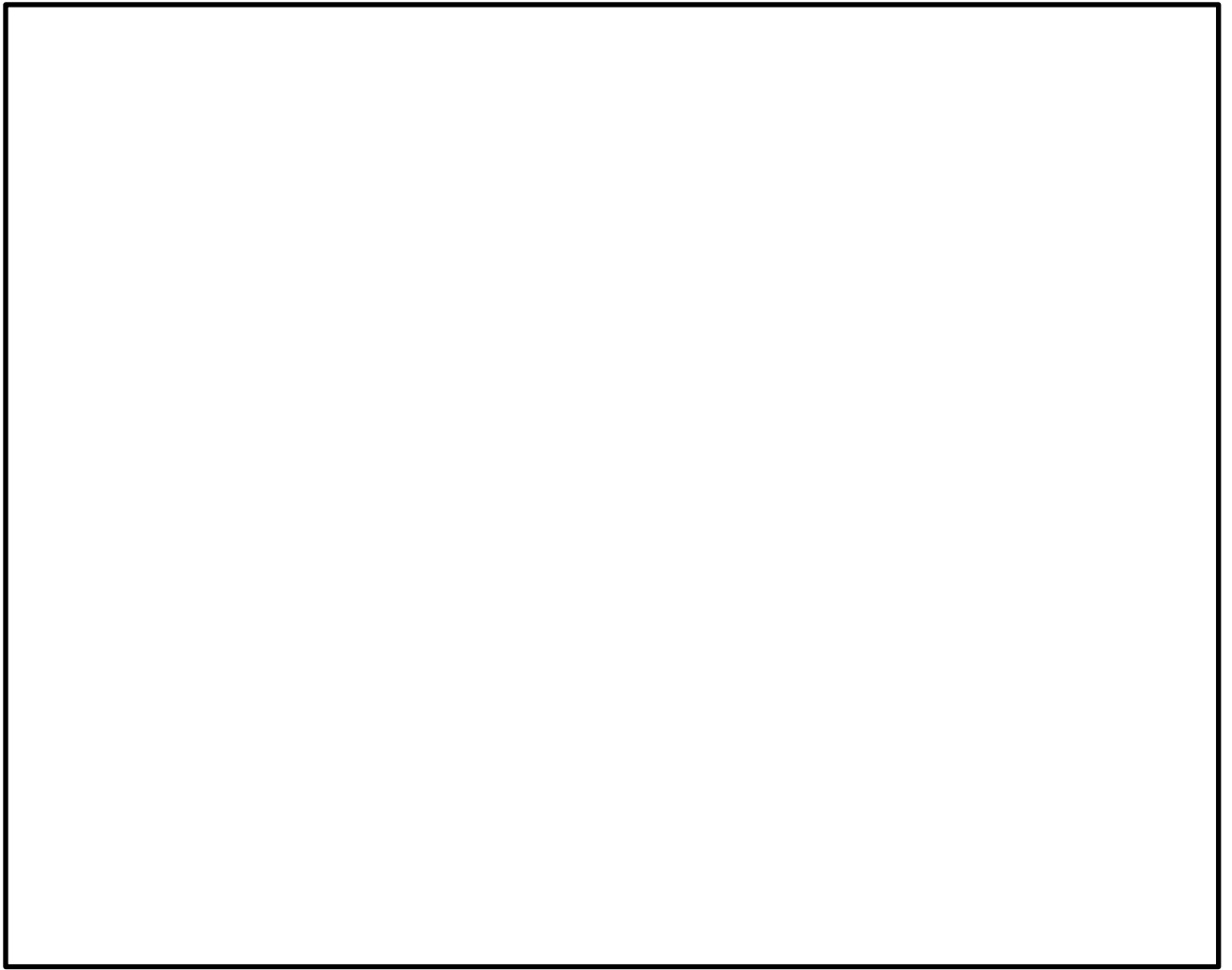
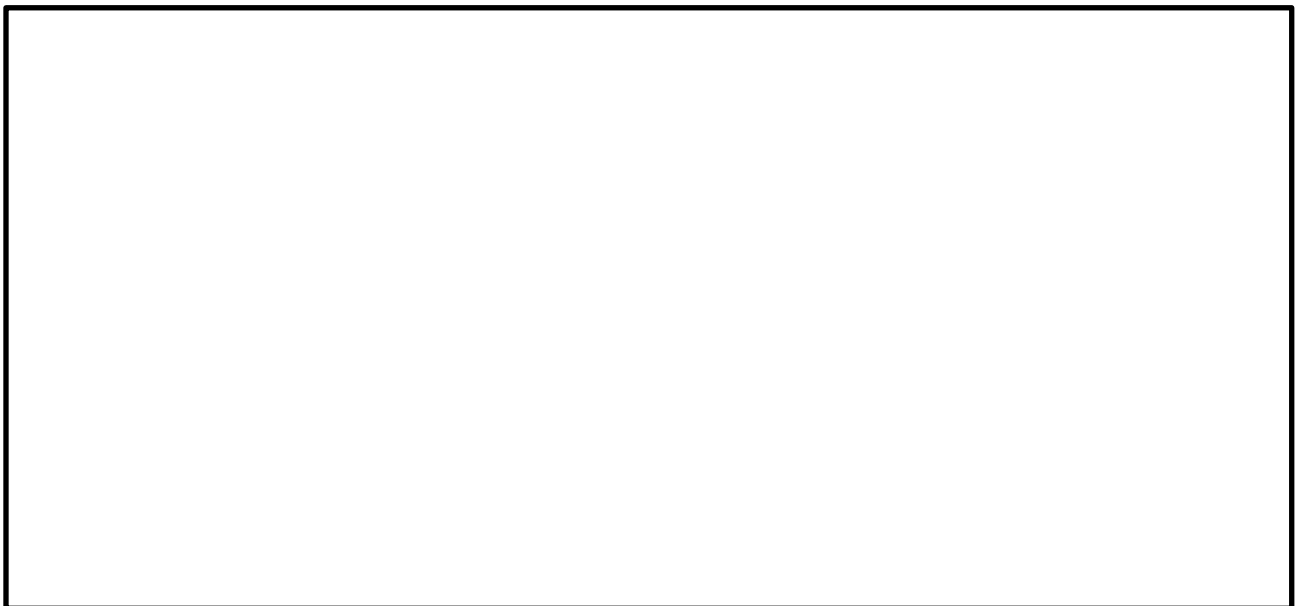


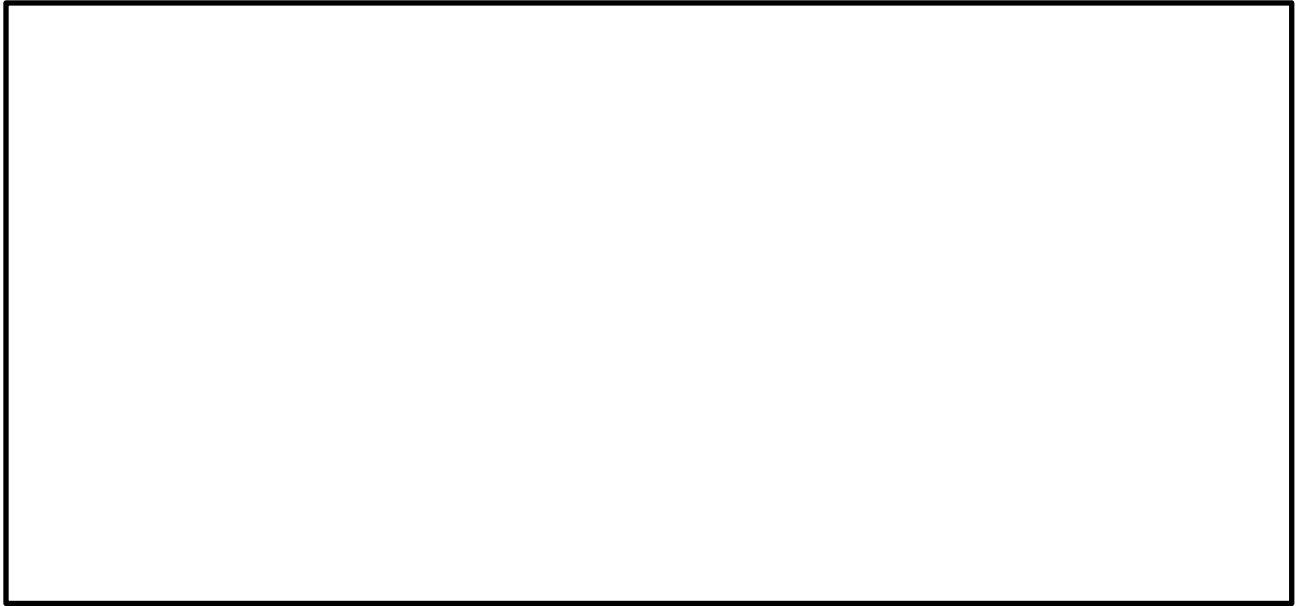
図 3.3-35 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）平面図



(a) A-A断面

(b) B-B断面

図 3.3-36(1) 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）断面図



(c) C-C断面

図 3.3-36(2) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 断面図

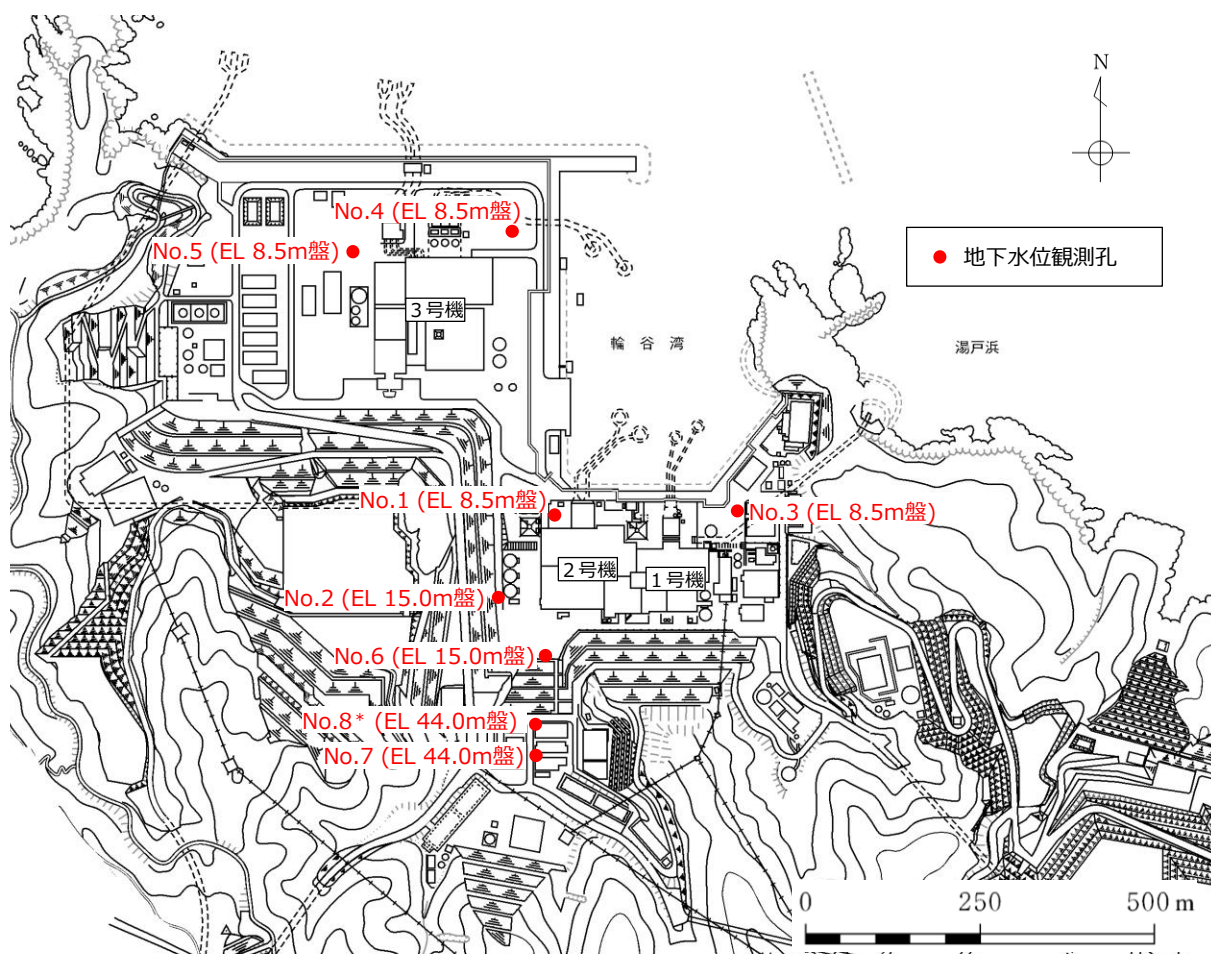
表 3.3-17 地下水位が低い場合に耐震設計へ影響を与えるパターンと影響検討内容

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	影響検討内容			評価手法
		検討対象施設	選定理由	検討条件等	
パターン A (揚圧力への影響)	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 タービン建物 廃棄物処理建物 制御室建物 排気筒 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 	<ul style="list-style-type: none"> 建物直下のドレーン (新設) により、平常時の建物基礎スラブ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厳しくなる可能性がある。 基礎スラブの平面的な面積の大きさや、建物・内包する施設の重要度及び設計揚圧力と浸透流解析結果の差が大きいかを考慮して選定。 	<ul style="list-style-type: none"> 浸透流解析結果を踏まえて、基礎スラブの揚圧力を 0 とした場合の地震力下向きへの影響を確認する。(設計揚圧力は 0.8t/m²) 	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"> 取水槽 防波壁 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 屋外配管ダクト (B-デューゼル燃料貯槽タンク～原子炉建物) B-デューゼル燃料貯蔵タンク格納槽 第 1 ベントフィルタ格納槽 1 号機取水槽流路縮小工 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 		<ul style="list-style-type: none"> 地下水位の分布による構造物周辺の地盤応答の変化 (単位体積重量の変化及び液状化を含めた周辺地盤の挙動の変化) の影響については、「NS2-補-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」にて説明する。 		
パターン C (偏圧の影響)			<ul style="list-style-type: none"> 地下水位が低い場合においても、構造物に対する地下水位差による偏圧の影響は生じない。 防波壁は陸側の地下水位を朔望平均干潮位 (EL-0.02m) とした場合の津波波圧に対する評価を実施しており、詳細は「NS2-補-018-02 津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料」にて説明する。 		

(8) 設計地下水位の今後の検証計画など

予測解析結果は、将来的な地下水位低下設備（新設）稼働時の状況等を考慮したものであるが、今後、運転段階において地下水位の観測記録を取得し、設計揚圧力及び設計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 3.3-37 に示す。将来的な工事等の影響により、耐震評価における設計地下水位の変動に影響を与える可能性がある事象が発生した場合は、設計地下水位の再検討を行う。



注記* : No.8 観測孔は、EL 44m 盤において盛土部分の水位を、より確実に観測できるようにするために追設する観測孔である。

図 3.3-37 地下水位観測孔配置図

(9) 参考文献

- 地下水流動解析のガイドラインに関する調査（長谷川琢磨，地下水学会誌第 48 巻第 2 号 75～86（2006））
- 余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方（社団法人土木学会（2008））
- 流域スケールにおける反応性窒素移動過程のモデル化と実流域への適用性検討（森康二ほか，地下水学会誌第 58 巻第 1 号 63～86（2016））
- 水循環解析におけるモデルの設定および再現性の検証事例の報告-福井県大野盆地における事例-（西村宗倫ほか，地下水学会誌第 59 巻第 2 号 125～158（2017））
- 流域モデリングの水循環解析への適用とその実際（田原ほか，日本地下水学会 2014 年度秋季講演会講演予稿，158-163（2014））
- Integrated watershed modeling for simulation of spatiotemporal redistribution of post-fallout radionuclides: Application in radiocesium fate and transport processes derived from the Fukushima accidents (Mori Koji et al, Environmental Modelling & Software, 72, 126-146 (2015))
- 管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）（財団法人港湾空間高度化環境研究センター（2008））
- 土質試験の方法と解説（社団法人地盤工学会（2000））
- 河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）（財団法人国土技術研究センター（2012））

(参考資料 1) 浸透解析に用いた解析コード「Dtransu-3D・EL」の適用性について

1. 解析コードの概要

コード名 項目	Dtransu-3D・EL
使用目的	浸透流解析
開発機関	岡山大学名誉教授 西垣誠 三菱マテリアル株式会社 株式会社ダイヤコンサルタント
開発時期	2017年（初版開発時期2001年）
使用したバージョン	Ver. 2.0af90
コードの概要	<p>Dtransu-3D・ELは、オイラリアン・ラグランジアン法による飽和・不飽和浸透流-移流・分散解析プログラムであり、3次元モデルにおける密度勾配を考慮した飽和・不飽和浸透流及び移流・分散問題を対象とした解析コードである。特に、移流・分散解析においてオイラリアン・ラグランジアン手法を用い、高ペクレ数から低ペクレ数の問題に対して安定した解析が可能である。</p> <p>適用事例は、一般的な地下水解析、汚染物質を含む移流・分散解析等多岐にわたる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、有限要素法を用いた3次元飽和・不飽和浸透流-移流・分散解析プログラムであり、西垣らにより一般公開され地下水及び移流・分散解析に広く利用されていることを確認している。 ・浸透並びに移流・分散解析の標準的問題を例に、理論解と解析解を比較し、よく一致していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構において、幌延深地層研究計画地点での地下水流動場を理解するための研究に使用された実績がある。 ・上記の他、本解析コードは土木、環境、資源、エネルギー、農林水産、災害・防災などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

(参考) 1-1

2. 解析手法について

2.1 一般事項

Dtransu-3D・EL は、様々な地下水および汚染物質を含む移流・分散現象を評価するために、非常に大規模な3次元非定常問題を高速で解析することを目的として開発されたものである。

2.2 解析コードの特徴

本シミュレーションシステムは、地下水流動および汚染物質を含む移流・分散について、統一的な数学モデルのもとで同時に扱うことを可能にし、対象とする地下水問題をオイラリアン・ラグランジアン手法により、高ペクレ数から低ペクレ数の問題に対して安定した解析を可能にした解析コードである。

主な適用分野は、トンネル建設や地下構造物による地下水保全問題等の「水資源問題」、農薬や廃棄物による土壌・地下水汚染や放射性廃棄物の地層処分などに代表される「水環境問題」、豪雨時における斜面崩壊などの「水災害問題」である。

2.3 数値解析

空間離散化は、複雑な地形起伏や地盤物性分布、地下構造物形状を3次元の有限要素を用いてモデル化し、それぞれの有限要素内でダルシー則に従った質量保存則を考慮することで浸透現象を正確に評価する。

また、地下水流動については既に広く使われている飽和・不飽和浸透流解析の手法を用いて計算を行っている。

汚染物質を含む移流・分散解析では、連成問題として浸透（圧力水頭（ ϕ ））を解いて、次に移流分散（濃度（ c ））を解く2段階に分けて各未知量を解き、反復収束解析を行うことで（ ϕ ）と（ c ）の連成を行う一般的に使われている実用的な手法を用いている。さらに高ペクレ数から低ペクレ数の問題に対して安定した解析を行うためにオイラリアン・ラグランジアン手法を用いている。

3. 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

3.1 検証 (Verification)

本コードの検証として、多層地盤における浸透問題の検討を行った。地層が直列に複数存在している場合（直列モデル）及び地層が層になっている場合（並列モデル）での流量の比較を行った。次に、Thiem の井戸理論との比較を行い水面形状や流量の比較を行った。

また、非定常の水面変化について均質非定常問題を解くことで検証した。

3.2 直列モデル

(1) テストケース

モデルの概念図を図 3-1 に示す。

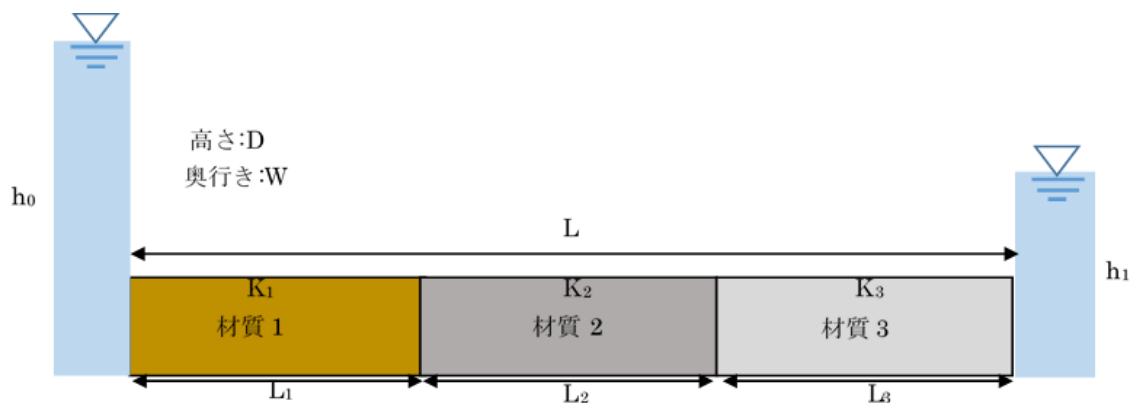


図 3-1 モデル概念図

ある境界水位を与えた際の右端部境界面における流量 (Q [m^3/sec]) を求め、理論解と比較する。

また、 L_1 と L_2 の境界における水頭 (h_a [m]) を求め、理論解と比較する。

理論解は次式によって与えられる。

$$Q = KIDW$$

$$K = \frac{L}{\left(\frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{L_3}{K_3}\right)}$$

$$I = \frac{h_0 - h_1}{L} = \frac{\Delta H}{L}$$

$$h_a = h_0 - \frac{L_1}{K_1} K \frac{(h_0 - h_1)}{L}$$

(参考) 1-3

ここで、 K は等価透水係数[m/s]、 I は動水勾配、 L は長さ[m]、 D は高さ[m]、 W は奥行き[m]、 h_0 、 h_1 は境界の既知全水頭[m]である。

(2)解析モデル

解析に用いる FEM モデルを図 3-2 に、FEM モデルの諸元を表 3-1 に示す。

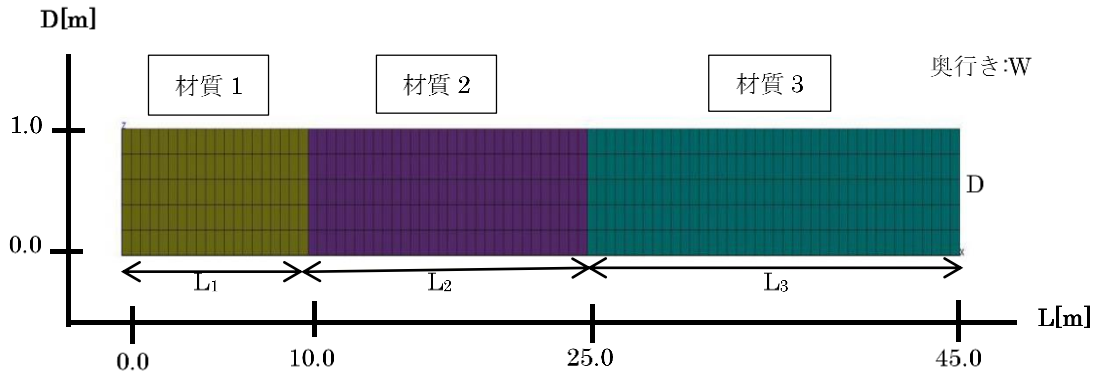


図 3-2 FEM モデル

表 3-1 FEM モデルの諸元

	設定値
節点数	1092
要素数	450
X 方向分割数	90
Y 方向分割数	1
Z 方向分割数	5
L_1 [m]	10.0
L_2 [m]	15.0
L_3 [m]	20.0
D [m]	1.0
W [m]	1.0

(3)解析条件

解析に用いる条件について表 3-2, 表 3-3 に示す。

表 3-2 解析条件

	記号	単位	材質 1	材質 2	材質 3
透水係数	K	m/s	1.00E-05	1.00E-07	1.00E-04
間隙率	n	-	0.2	0.2	0.2

表 3-3 境界条件

	記号	単位	設定値
既知全水頭	h_0	m	5.0
既知全水頭	h_1	m	3.0

(4)結果

右端部境界面における流量と L_1 , L_2 境界における水頭値を比較した。
理論解と Dtransu-3D で計算解の結果を表 3-4, 表 3-5 に示す。

表 3-4 理論解

K_1 [m/s]	K_2 [m/s]	K_3 [m/s]	等価透水係数 [m/s]
1.00E-05	1.00E-07	1.00E-04	2.98E-07

K [m/s]	I	D [m]	W [m]	K_1 [m/s]	L_1 [m]	理論解 Q [m ³ /s]	理論解 h_a [m]
2.98E-07	0.044	1.0	1.0	1.00E-05	10.0	1.32E-08	4.987

表 3-5 計算解

境界面流量	L_1 , L_2 境界における水頭値 (計算解) h_a [m]
6.61E-10	
6.61E-10	4.987
1.32E-09	
1.32E-09	
1.32E-09	
1.32E-09	
1.32E-09	
1.32E-09	
1.32E-09	
1.32E-09	
1.32E-09	
6.61E-10	
6.61E-10	
合計 (計算解) Q [m ³ /s]	
1.32E-08	

(参考) 1-5

3.3 並列モデル

(1) テストケース

モデルの概念図を図 3-3 に示す。

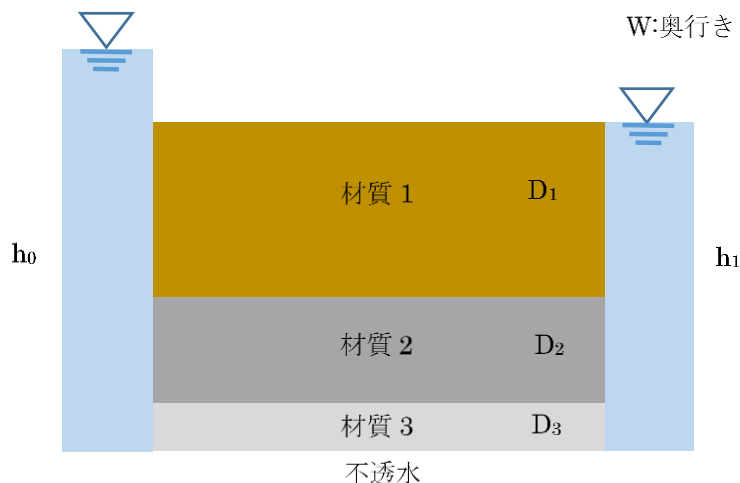


図 3-3 モデル概念図

ある境界水位をあたえた際の境界面における流量(Q)を求め、理論解と比較する。理論解は次式によって与えられる。

$$Q = (K_1 D_1 + K_2 D_2 + K_3 D_3) I W$$

ここで、各 K は透水係数[m/s]、 I は動水勾配、各 D は層厚[m]、 W は奥行き[m]である。

(2) 解析モデル

解析に用いる FEM モデルを図 3-4 に、FEM モデルの諸元を表 3-6 に示す。

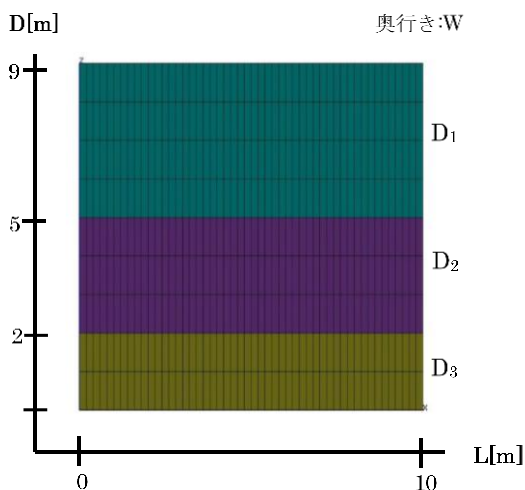


図 3-4 FEM モデル

(参考) 1-6

表 3-6 FEM モデルの諸元

	設定値
節点数	1020
要素数	450
X 方向分割数	50
Y 方向分割数	1
Z 方向分割数	9
D_1 [m]	4.0
D_2 [m]	3.0
D_3 [m]	2.0
L [m]	10.0
W [m]	1.0

(3) 解析条件

解析に用いる条件について表 3-7, 表 3-8 に示す。

表 3-7 解析条件

	記号	単位	材質 1	材質 2	材質 3
透水係数	K	m/s	1.00E-07	1.00E-05	1.00E-06
間隙率	n	-	0.2	0.2	0.2

表 3-8 境界条件

	記号	単位	設定値
既知全水頭	h_0	m	11.0
既知全水頭	h_1	m	9.0

(4)結果

境界面における流量を比較した。

理論解と Dtransu-3D で計算解の結果を表 3-9, 表 3-10 に示す。

表 3-9 理論解

K_1 [m/s]	K_2 [m/s]	K_3 [m/s]	D_1 [m]	D_2 [m]	D_3 [m]	W [m]	I	理論解 Q [m^3/s]
1.00E-07	1.00E-05	1.00E-06	4.0	3.0	2.0	1.0	2.00E-01	6.48E-06

表 3-10 計算解

境界流量 Q [m^3/s]
5.00E-09
5.00E-09
1.00E-08
1.00E-08
1.00E-08
1.00E-08
1.00E-08
1.00E-08
5.05E-07
5.05E-07
1.00E-06
1.00E-06
1.00E-06
1.00E-06
5.50E-07
5.50E-07
1.00E-07
1.00E-07
5.00E-08
5.00E-08
合計(計算解) Q [m^3/s]
6.48E-06

3.4 Thiem の井戸理論 (定常)

(1) テストケース

モデルの概念図を図 3-5 に示す。

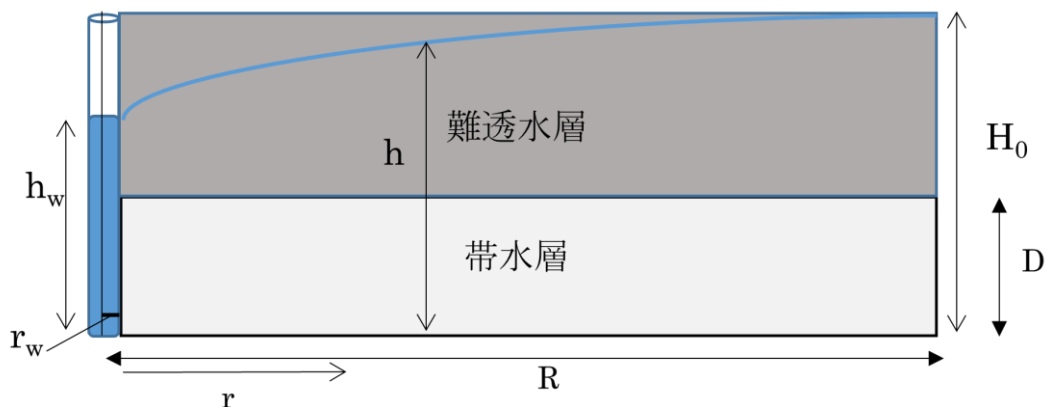


図 3-5 モデル概念図

ある境界水位と井戸内水位をあたえた際の境界面における流量(Q)を求め、理論解と比較する。

また、影響圏における水位(h)を求め、理論解と比較する。

理論解は次式によって与えられる。

$$Q = 2\pi KD \frac{H_0 - h}{\ln(R/r)}$$

$$H_0 - h = \frac{H_0 - h_w}{\ln(R/r_w)} \ln(R/r)$$

ここで、 r_w は井戸半径[m]、 R は影響圏半径[m]、 D は層厚[m]、 h_w は井戸内水位[m]、 H_0 は境界水位[m]である。

(2)解析モデル

解析に用いるモデルは帯水層のみを FEM モデル化した。また，理論解におけるモデルは，井戸周囲 360° あるうちの一部（軸対称モデル）となっているため，FEM モデル化にあたり 1° 分切り出したモデルとした。FEM モデルを図 3-6 に，FEM モデルの諸元を表 3-11 に示す。

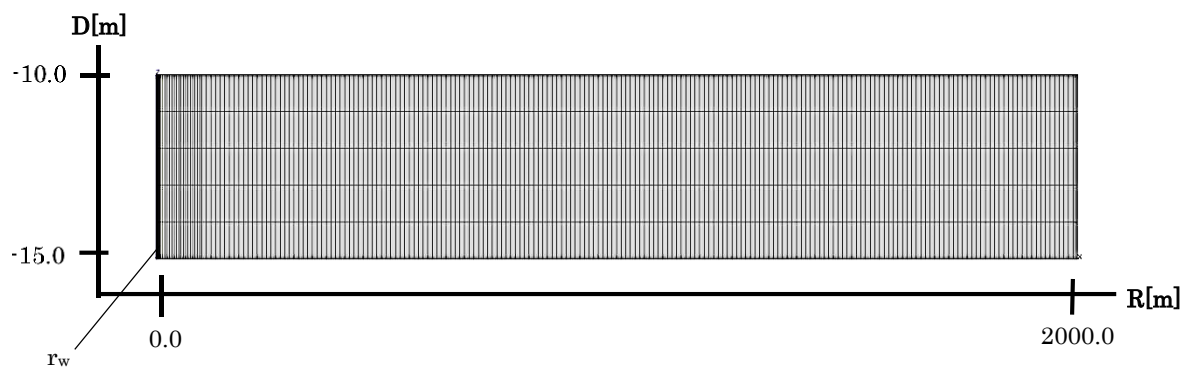


図 3-6 FEM モデル

表 3-11 FEM モデルの諸元

	設定値
節点数	3396
要素数	1410
X 方向分割数	282
Y 方向分割数	1
Z 方向分割数	5
D[m]	5.0
R[m]	2000.0
r_w [m]	0.02

(3)解析条件

解析に用いる条件について表 3-12, 表 3-13 に示す。

表 3-12 解析条件

	記号	単位	帯水層
透水係数	K	m/s	1.00E-06
間隙率	n	-	0.2

表 3-13 境界条件

	記号	単位	設定値
井戸内水位	h_w	m	-3.0
既知全水頭	H_0	m	0.0

(4)結果

R 方向各地点での全水頭値を比較した。

理論解と Dtransu-3D 計算解の比較結果を図 3-7 に示す。

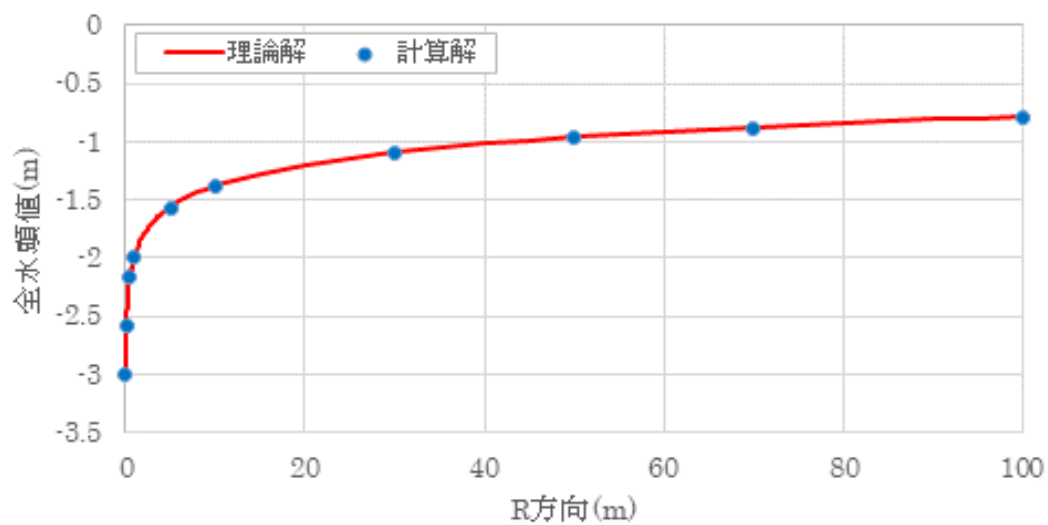


図 3-7 計算解と理論解の比較

また、井戸との境界における流量を比較した。

理論解と Dtransu-3D による計算解の結果を表 3-14, 表 3-15 に示す。

表 3-14 理論解

r [m]	K [m/s]	D [m]	Ho [m]	h _w [m]	理論解 Q
0.02	1.00E-06	5.0	0.0	-3.0	8.19E-06

表 3-15 計算解

境界流量 Q [m ³ /s]
9.44E-10
1.34E-09
1.89E-09
2.68E-09
1.89E-09
2.68E-09
1.89E-09
2.68E-09
1.89E-09
2.68E-09
9.44E-10
1.34E-09
合計*360 (計算解) Q [m ³ /s]
8.22E-06

(5) 誤差評価

誤差評価は RMSE (平均二乗平方根誤差) で行った。データ数を N, 理論解を T_i ($i=1, \dots, N$), Dtransu-3D 計算解を A_i ($i=1, \dots, N$) とすると, RMSE は次式で表される。誤差評価の結果を表 3-16 に示す。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (T_i - A_i)^2}$$

表 3-16 誤差評価

比較点数	全水頭の RMSE [m]
93	0.0543

(参考) 1-12

3.5 均質非定常問題

(1) テストケース

モデルの概念図を図 3-8 に示す。

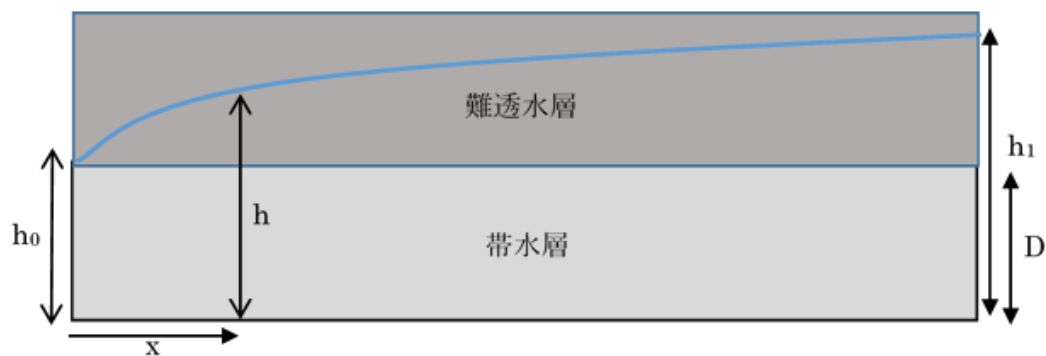


図 3-8 モデル概念図

非定常における理論解は次式によって与えられる。

$$h_1 - h = (h_1 - h_0) \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{t(k/S_s)}} \right)$$

余誤差関数

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x)$$

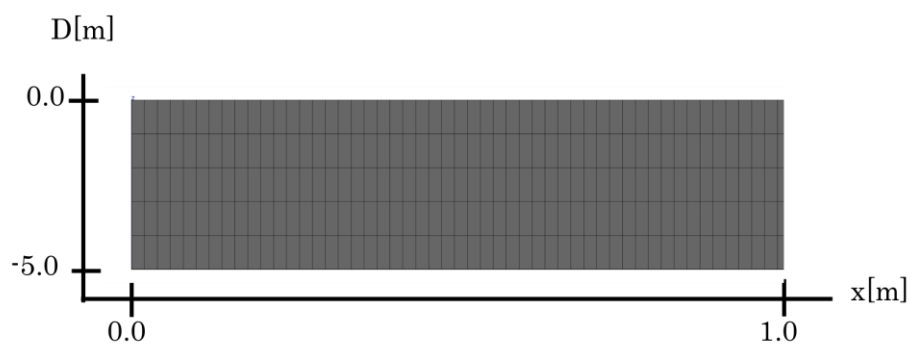
ここで、 x は長さ [m]、 k は透水係数 [m/s]、 S_s は比貯留係数 [1/m]、 t は時間 [s]、 h_0 、 h_1 は境界の既知全水頭 [m] である。

(2)解析モデル

解析に用いるモデルは帯水層のみを FEM モデル化した。FEM モデルを図 3-9 に、FEM モデルの諸元を表 3-17 に示す。



(a) 全体図



(b) 拡大図

図 3-9 FEM モデル

表 3-17 モデルの諸元

	設定値
節点数	57612
要素数	24000
X 方向分割数	4800
Y 方向分割数	1
Z 方向分割数	5
x [m]	1000.0

(3)解析条件

解析に用いる条件について表 3-18, 表 3-19 に示す。

表 3-18 解析条件

	記号	単位	帯水層
透水係数	K	m/s	1.00E-09
間隙率	n	-	0.2
比貯留係数	S_s	1/m	1.00E-04

表 3-19 境界条件

	記号	単位	設定値
既知全水頭	h_1	m	5.0
既知全水頭	h_0	m	0.5

(4)結果

x 方向における全水頭値を比較した。

Dtransu-3D 計算解と理論解との比較結果を図 3-10 に示す。

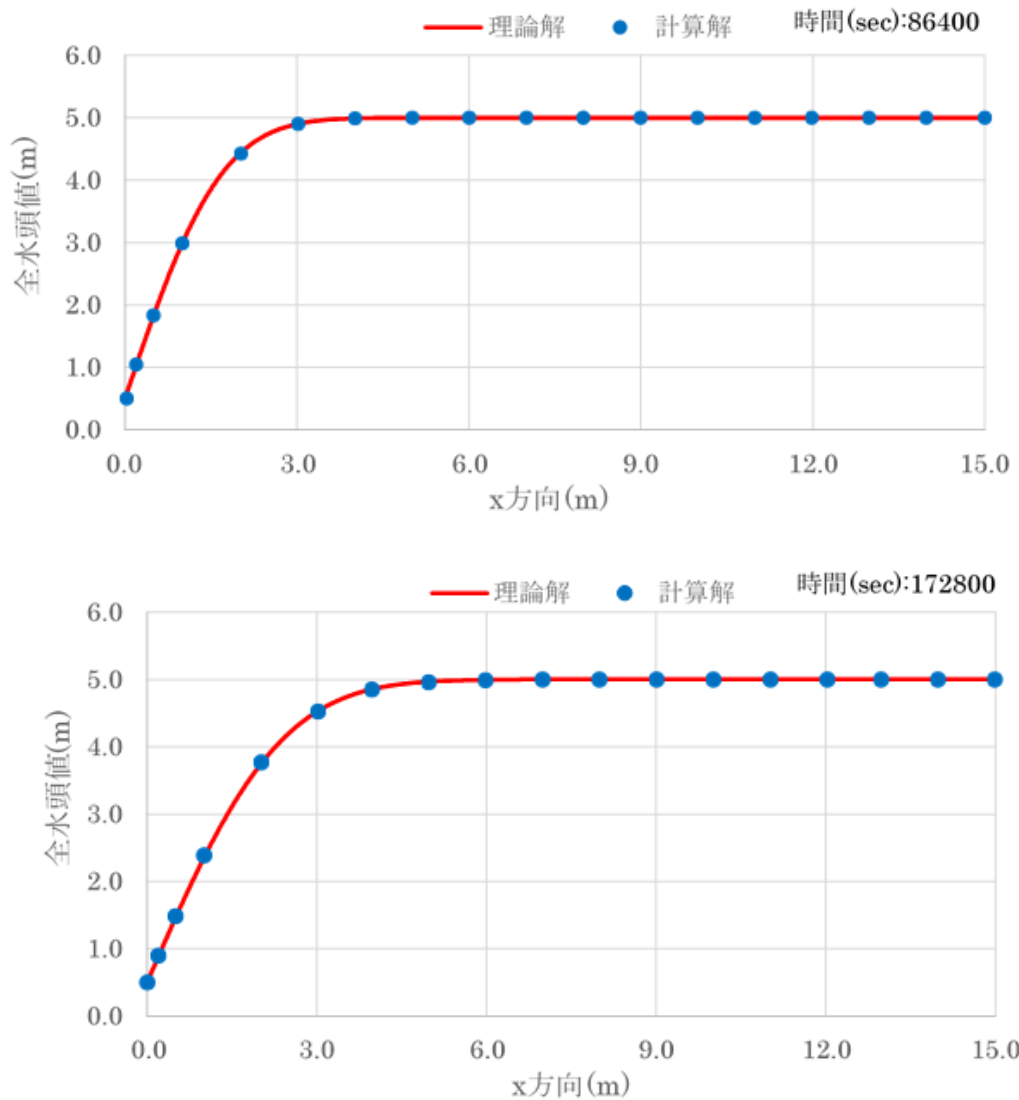


図 3-10 計算解と理論解の比較

(5) 誤差評価

誤差評価は RMSE (平均二乗平方根誤差) で行った。データ数を N 、理論解を T_i ($i = 1, \dots, N$)、Dtransu-3D 計算解を A_i ($i = 1, \dots, N$) とすると、RMSE は次式で表される。誤差評価の結果を表 3-20 に示す。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (T_i - A_i)^2}$$

表 3-20 誤差評価

比較時間 (sec)	比較点数	全水頭の RMSE [m]
86400	751	1.68E-02
172800	751	6.11E-03

(参考) 1-16

3.6 妥当性確認 (Validation)

解析コードは、土木、環境、資源、エネルギー、農林水産、災害・防災などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

3.7 評価結果

3.1 から 3.6 より、本解析コードを用いることは妥当である。

4. 参考文献

- ・ Dtransu-3D・EL 理論マニュアル (2011 年版)

(参考資料 2-1) 浸透流解析に用いる透水係数について

1. 概要

浸透流解析に用いる透水係数等の解析用物性値については、再現解析により検証を行った期間において、解析水位と観測水位が整合的であることを確認し、その妥当性を確認している。

本資料では、透水係数の設定方法について示す。

2. 透水係数の設定

2.1 透水係数の設定方法

2.1.1 岩盤の透水係数

(1) C_H級, C_M級, C_L級岩盤

a. 試験方法

建設時工認では、原子炉建物直下に分布する頁岩・凝灰岩（上層部）及び頁岩・凝灰岩（下層部）の2種類において、図2-1に示す地盤工学会基準の現場透水試験（ルジオン試験）に基づき透水係数を設定していた。

今回、3次元浸透流解析を行うに当たり、解析の精度向上を目的として、図2-2のとおり敷地の岩級に合わせて透水係数を設定する。解析モデル範囲の代表的な岩級区分として、図2-3に2号機原子炉建物南北断面の岩級区分図を示す。モデル化範囲においては、C_H級岩盤が支配的な分布となっている。C_M級岩盤は、原子炉建物南側斜面部のほか、岩相境界に沿って部分的に薄く存在している。C_L級岩盤については原子炉建物南側斜面部の表層を中心に局所的に分布している。C_H級, C_M級岩盤については、建設時工認の現場透水試験（測定区間は原則10m）より透水係数を設定した。また、C_L級岩盤については2号機周辺では分布が限定的であることから、3号敷地造成前の尾根部における現場透水試験より透水係数を求めた。

(参考) 2-1-1

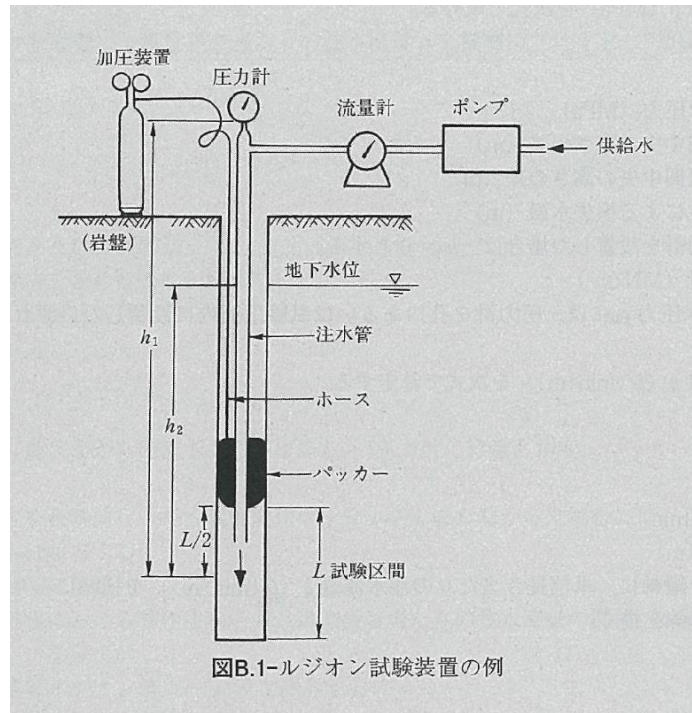


図 2-1 現場透水試験（ルジオン試験）の概要図
 (地盤調査の方法と解説(地盤工学会, 2013))

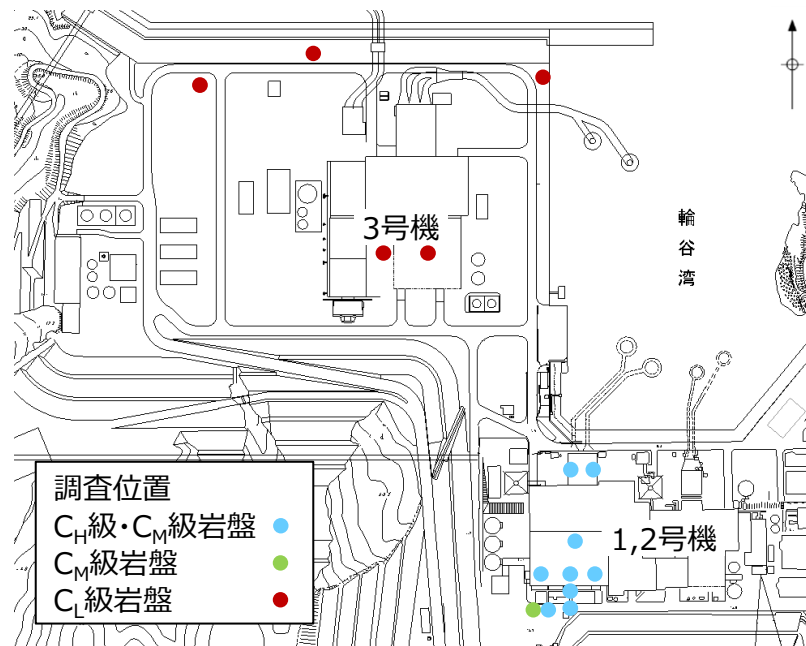


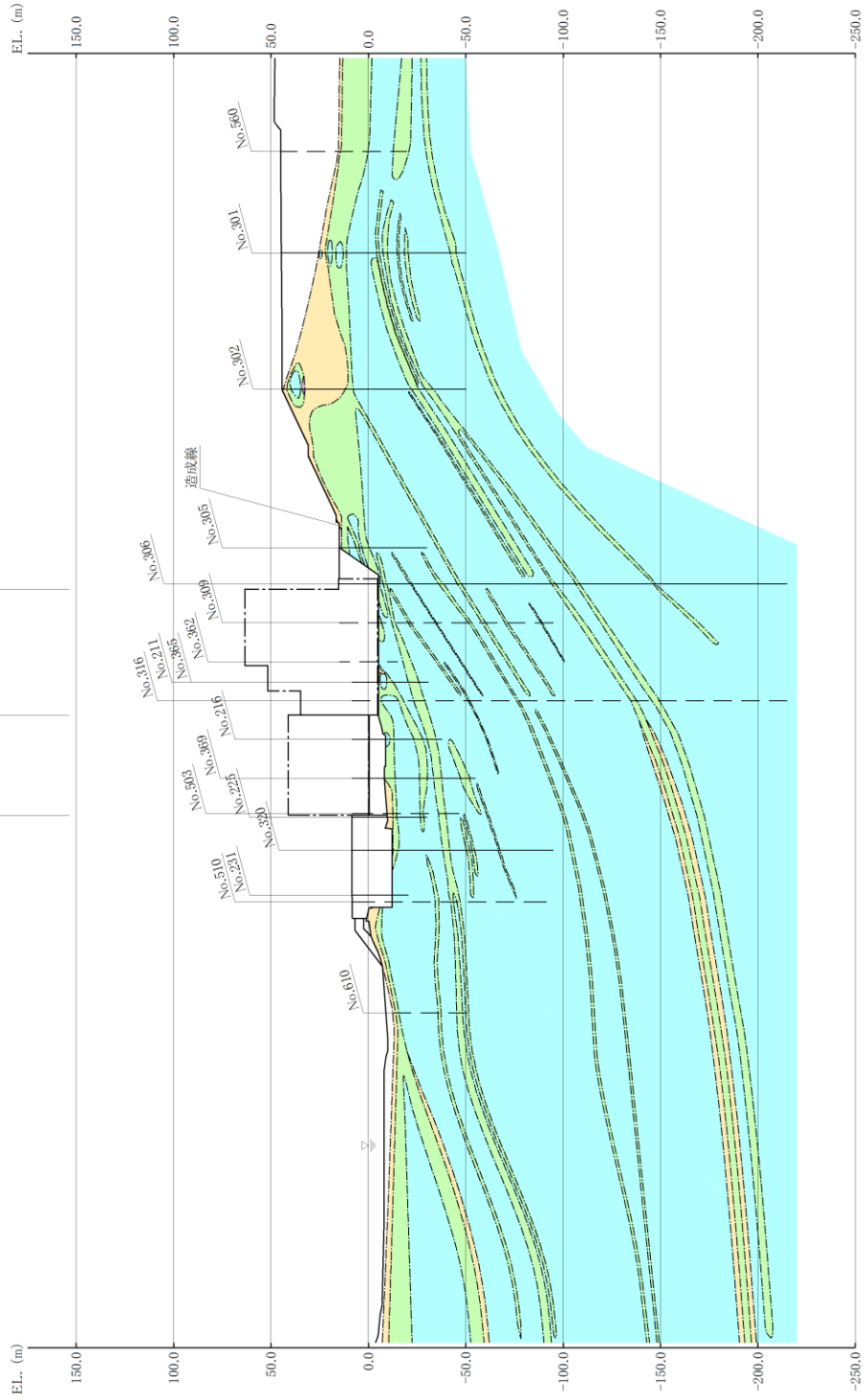
図 2-2 現場透水試験位置（C_H級，C_M級及びC_L級岩盤）

(参考) 2-1-2

凡例

- 被覆層
- D級
- Cl級
- Cm級
- Ch級

岩級境界線
ボアリング名
ボーリング位置
(破線は投影)



(参考) 2-1-3

図 2-1-3 岩級区分図 (2号機原子炉建物南北断面)

b. C_H級岩盤の透水試験結果

C_H級岩盤の透水試験結果を図2-4に示す。透水係数は深度方向に対して明瞭な相関は見られず、深度による透水係数の大きな変化は認められないことから、透水試験に基づくC_H級岩盤の透水係数は、表2-1に示すとおり平均値 4.5×10^{-5} (cm/s) とする。

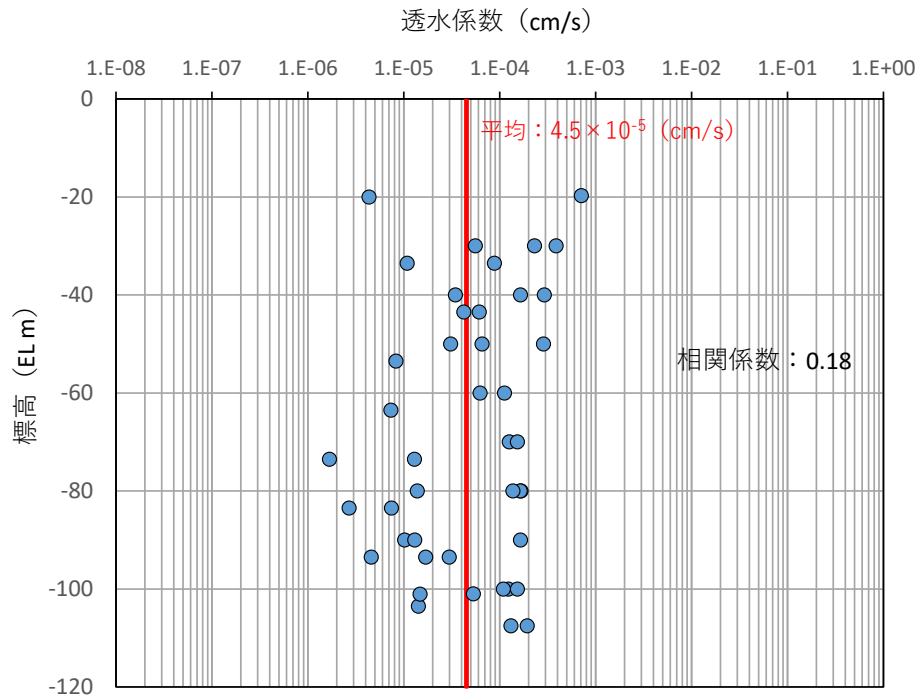


図2-4 C_H級岩盤の透水試験結果

表2-1 C_H級岩盤の透水係数

岩級区分	試験数	透水係数 (平均値) (cm/s)
C _H 級	43	4.5×10^{-5}

c. C_M級, C_L級岩盤の透水試験結果

図2-2に示すボーリング孔のうち、C_L級岩盤が存在するボーリング孔の代表的な柱状図を補足1に示す。当該ボーリング孔を含め、透水試験を実施した全てのボーリング孔において、透水試験区間（原則10m）に連続してC_M級岩盤またはC_L級岩盤が存在する区間は極めて限定的であり、岩級が均一な区間で透水試験を実施することが困難であった。そのため、透水試験区間（原則10m）においてC_M級岩盤またはC_L級岩盤が部分的に存在し残りの区間をC_H級岩盤が占めている区間を抽出し、C_M級岩盤またはC_L級岩盤の存在比率が30%以上の区間における存

(参考) 2-1-4

在比率と透水係数との相関関係により存在比率 100%に相当する透水係数を求め、 C_M 級岩盤または C_L 級岩盤の透水係数として設定した。

試験区間内の C_M 級岩盤の存在比率と透水係数の関係を図 2-5 に、 C_L 級岩盤の存在比率と透水係数の関係を図 2-6 に示す。また、設定した透水係数を表 2-2 に示す。

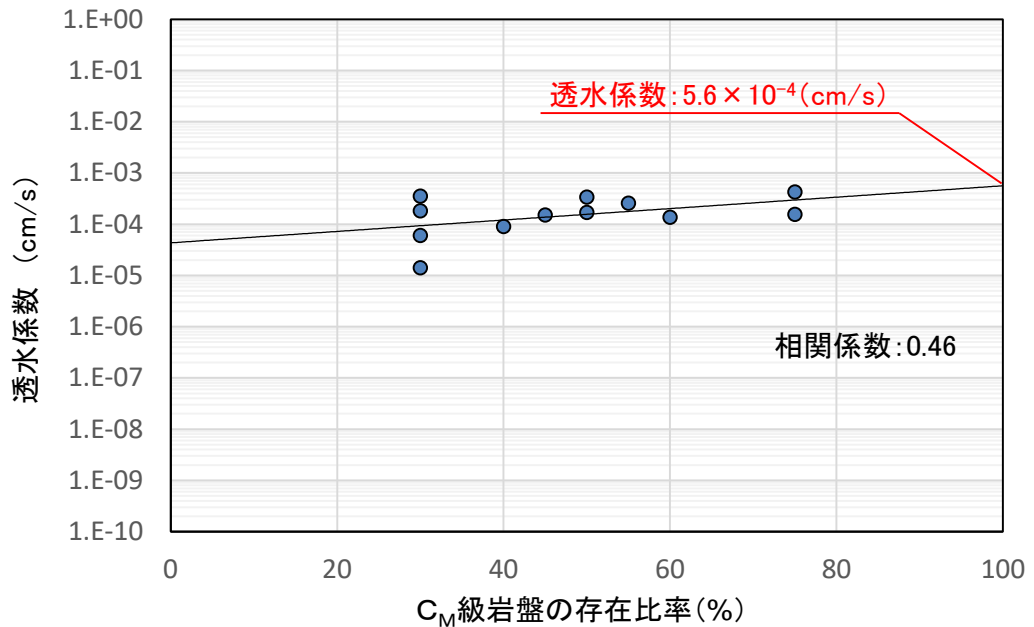


図 2-5 C_M 級岩盤の存在比率と透水係数の関係

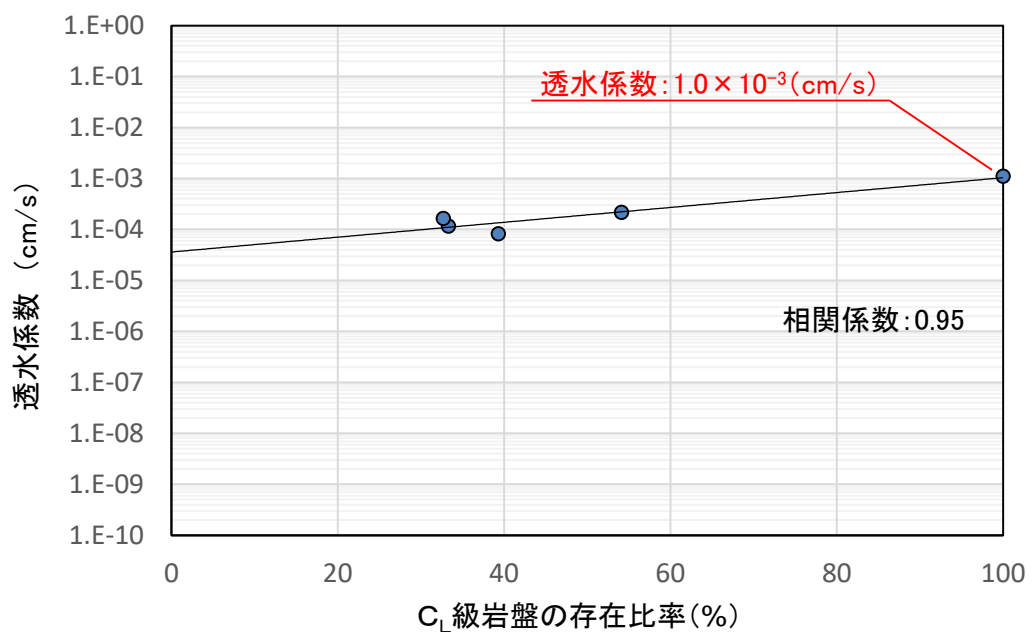


図 2-6 C_L 級岩盤の存在比率と透水係数の関係

(参考) 2-1-5

表 2-2 C_M級, C_L級岩盤の透水係数

岩級区分	試験数	透水係数 (cm/s) (存在比率 100%相当値)
C _M 級	12	5.6×10^{-4}
C _L 級	5	1.0×10^{-3}

(2) D級岩盤

a. 設定方法

D級岩盤は図 2-7 に示すとおり、主として地山の表層に薄く分布している。地盤工学会基準の現場透水試験（ルジオン試験）の試験区間長は通常 5m とされているが、表層は風化が進行しており、試験区間の確保ができないことから、現場透水試験による透水係数の取得が困難であった。よって、クレーガーらの提案する方法*（地盤工学会）により透水係数を求めた。

注記*：粒径加積曲線から求まる 20% 粒径（D₂₀）を用いて透水係数の概略値を推定する方法

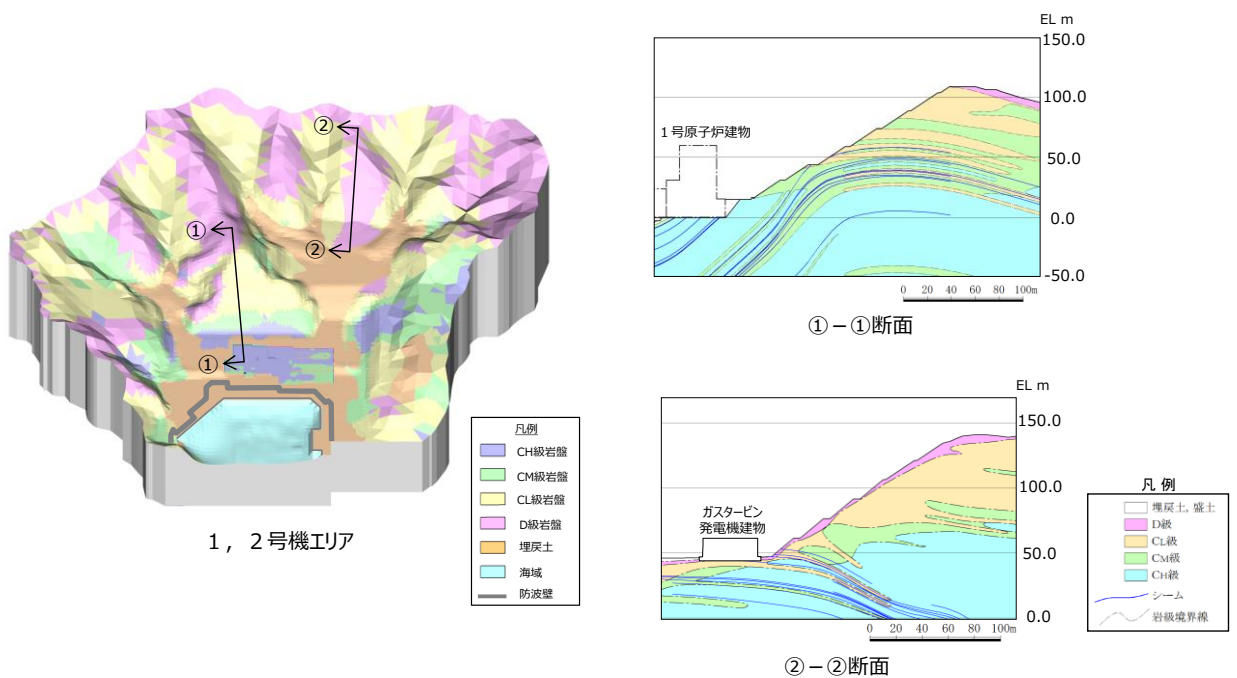


図 2-7 D級岩盤の分布状況

(参考) 2-1-6

b. D級岩盤の粒度分布及び透水係数について

D級岩盤について、図2-8に示す試料採取位置で採取した12試料を用いて粒度試験を実施した。粒度試験結果に基づくD級岩盤の粒径加積曲線を図2-9に示す。これらの粒度試験結果より求まるD級岩盤の20%粒径 D_{20} の平均値は、図2-9のとおり0.05mmとなり、この値からクレーガーらの方法（土質試験の方法と解説（地盤工学会，2000））により推定した透水係数は、図2-10に示すとおり $2.80 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ （ $\approx 3 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ）となる。

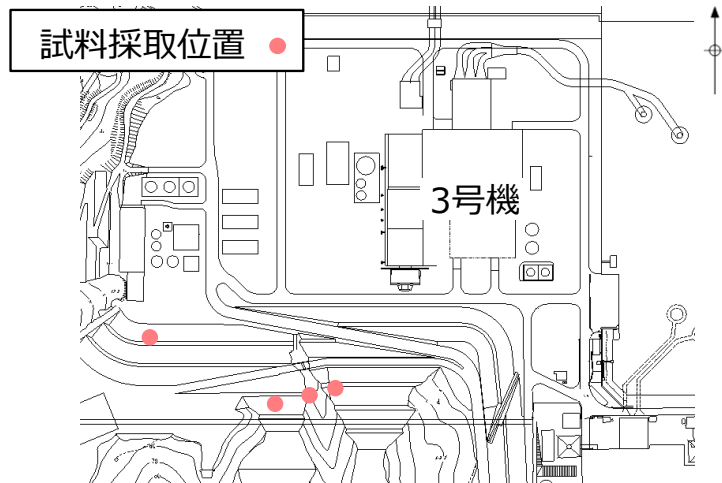


図2-8 D級岩盤の試料採取位置

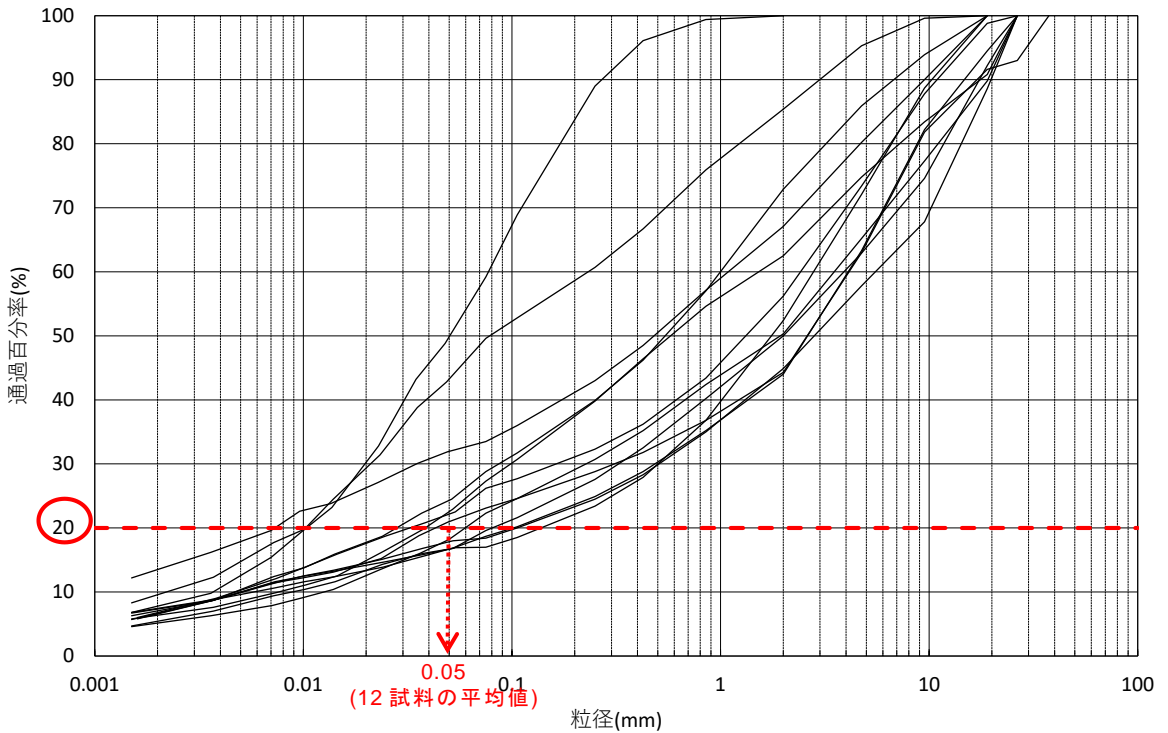


図2-9 D級岩盤の粒径加積曲線

(参考) 2-1-7



D_{20} (mm)	k (cm/s)	D_{20} (mm)	k (cm/s)
0.005	3.0×10^{-6}	0.18	6.85×10^{-3}
0.01	1.05×10^{-5}	0.20	8.90×10^{-3}
0.02	4.00×10^{-5}	0.25	1.40×10^{-2}
0.03	8.50×10^{-5}	0.30	2.20×10^{-2}
0.04	1.75×10^{-4}	0.35	3.20×10^{-2}
0.05	2.80×10^{-4}	0.40	4.50×10^{-2}
0.06	4.60×10^{-4}	0.45	5.80×10^{-2}
0.07	6.50×10^{-4}	0.50	7.50×10^{-2}
0.08	9.00×10^{-4}	0.60	1.10×10^{-1}
0.09	1.40×10^{-3}	0.70	1.60×10^{-1}
0.10	1.75×10^{-3}	0.80	2.15×10^{-1}
0.12	2.60×10^{-3}	0.90	2.80×10^{-1}
0.14	3.80×10^{-3}	1.00	3.60×10^{-1}
0.16	5.10×10^{-3}	2.00	1.80

図 2-10 クレーガーらの方法により推定したD級岩盤の透水係数

上記を踏まえたD級岩盤の透水係数の推定値 (3×10^{-4} cm/s) は、表 2-2 に示す C_L級岩盤の透水係数より低くなっており、本結果は、岩級区分の低下に伴い透水係数は高くなる一般的な傾向とは合致していない。また、D級岩盤は表 2-3 に示すとおり、割れ目の発達した岩盤と風化の進行した岩盤に大別されるが、粒度試験 12 試料のうち割れ目が発達した黒色頁岩は 1 試料のみであったため、本試料分析に基づく D_{20} の平均値は低めに設定している可能性がある。

以上を踏まえ、黒色頁岩の特性に着目した透水係数の検討についても実施することとした。

表 2-3 代表的なD級岩盤のコア性状

岩相	コア写真
黒色頁岩	 <p>割れ目の発達により岩級が低下 (No.19E3 G.L.-0.96~-1.80m)</p>
凝灰岩	 <p>風化の進行により岩級が低下 (No.B-3(2006) G.L.-0.30~-2.15m)</p>

(参考) 2-1-8

c. 黑色頁岩（D級）の粒度分布及び透水係数について

図 2-11 に示す黑色頁岩の粒度加積曲線により求まる D 級岩盤の 20% 粒径 D_{20} は、0.10mm となり、図 2-12 に示すクレーガーらの方法により推定した透水係数は $1.75 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ($\approx 2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$) となる。

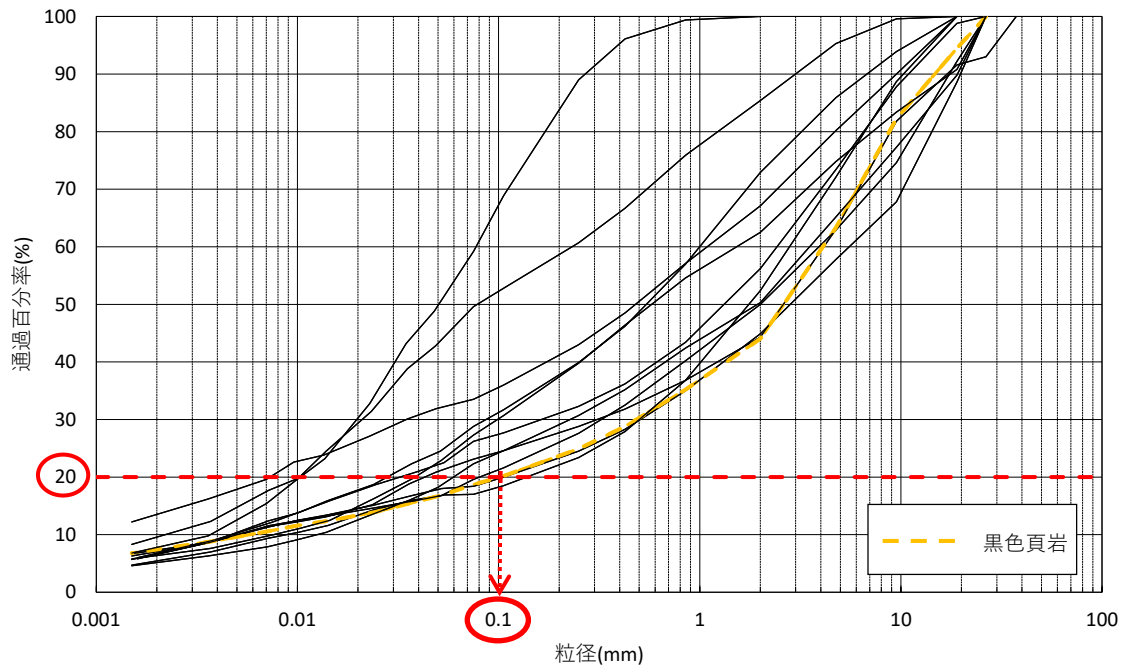


図 2-11 D 級岩盤（黑色頁岩）の粒度加積曲線

D_{20} (mm)	k (cm/s)	D_{20} (mm)	k (cm/s)
0.005	3.0×10^{-6}	0.18	6.85×10^{-3}
0.01	1.05×10^{-5}	0.20	8.90×10^{-3}
0.02	4.00×10^{-5}	0.25	1.40×10^{-2}
0.03	8.50×10^{-5}	0.30	2.20×10^{-2}
0.04	1.75×10^{-4}	0.35	3.20×10^{-2}
0.05	2.80×10^{-4}	0.40	4.50×10^{-2}
0.06	4.60×10^{-4}	0.45	5.80×10^{-2}
0.07	6.50×10^{-4}	0.50	7.50×10^{-2}
0.08	9.00×10^{-4}	0.60	1.10×10^{-1}
0.09	1.40×10^{-3}	0.70	1.60×10^{-1}
0.10	1.75×10^{-3}	0.80	2.15×10^{-1}
0.12	2.60×10^{-3}	0.90	2.80×10^{-1}
0.14	3.80×10^{-3}	1.00	3.60×10^{-1}
0.16	5.10×10^{-3}	2.00	1.80

図 2-12 クレーガーらの方法により推定した透水係数（黑色頁岩）

d. D級岩盤の特性を踏まえた透水係数の選定について

b. で推定した透水係数 $3 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ と c. で推定した透水係数 $2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ の差異が解析結果に与える影響を評価するため、再現解析と同じモデルを用いた浸透流解析（定常解析）による各観測孔位置での地下水位と地下水位低下設備（新設）の揚水量について比較を行った結果を、それぞれ図 2-13 と表 2-4 に示す。地下水位については、図 2-13 に示すとおり大きな差異は認められなかった。一方、揚水量については、表 2-4 に示すとおり、透水係数を高く設定する方が揚水量はわずかに低減する傾向が認められた。揚水量がより少ない方が、地盤内に地下水がより多く滞留し地下水位が保守的に高く算出されると判断し、D級岩盤の透水係数については、割れ目が発達したD級岩盤の影響を考慮した透水係数 $2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ を採用する。

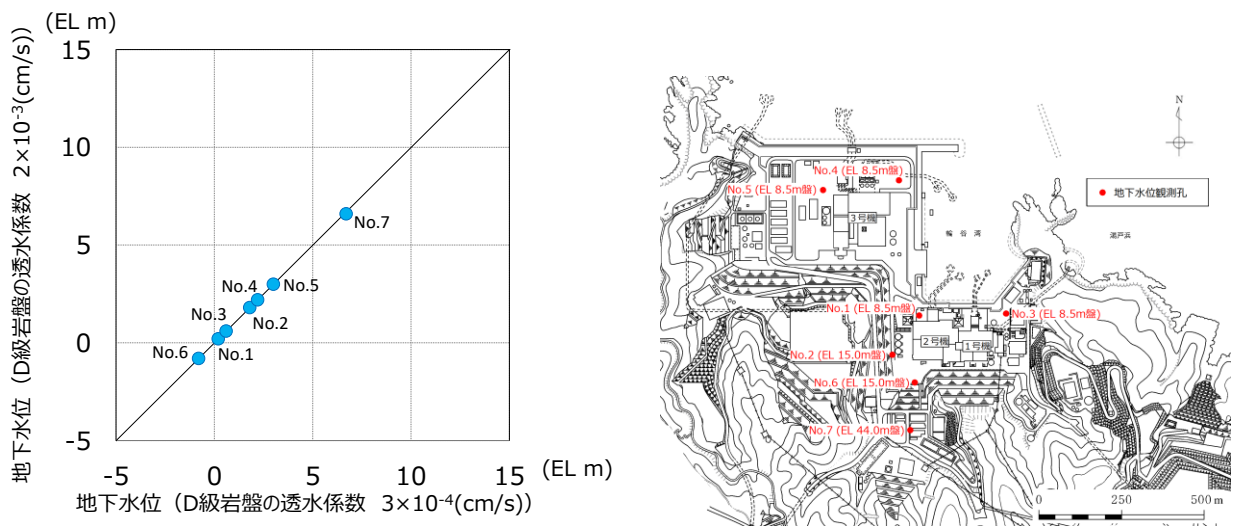


図 2-13 浸透流解析結果（地下水位）

(参考) 2-1-10

表 2-4 浸透流解析結果（揚水量）

透水係数 (cm/s)	揚水量 (m ³ /日)
3×10^{-4}	858
2×10^{-3}	856

2.1.2 埋戻土及び砂礫層の透水係数

(1) 埋戻土及び砂礫層の透水係数の設定方法

建設時工認の埋戻土の透水係数は、工学的な観点から岩盤の透水係数より 1 オーダー大きな値とすることで地下水位を保守的に評価することに重点を置き、現場透水試験によらず透水係数を設定していた。

今回、埋戻土及び砂礫層については、解析の精度向上を目的として、図 2-14 に示す地盤工学会基準の現場透水試験（回復法）を実施し、直接的に透水係数を求めた。

図 2-15 のとおり、埋戻土は敷地全域に分布しているため、幅広い地点で試験を実施し、砂礫層は局所的に分布している範囲内で試験を実施して透水係数を求めた。

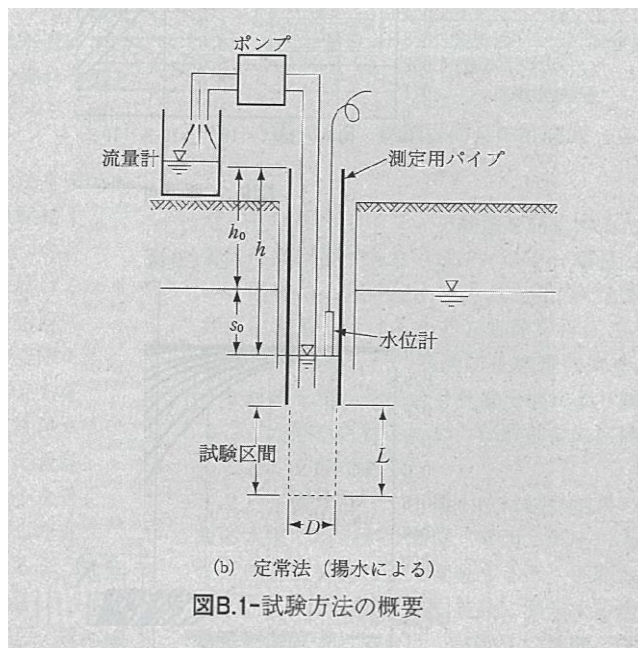


図 2-14 現場透水試験（回復法）の概要図
（地盤調査の方法と解説（地盤工学会，2013））

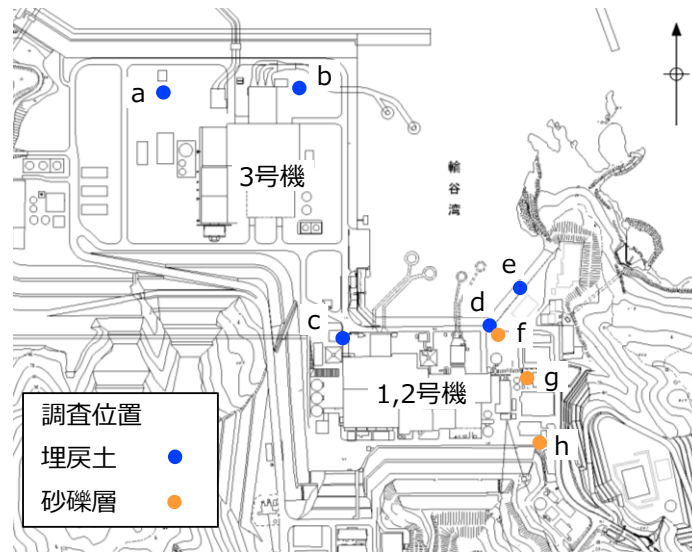


図 2-15 現場透水試験位置（埋戻土及び砂礫層）

今回対象とした埋戻土及び砂礫層について、図 2-16 に埋戻土の粒径加積曲線を、図 2-17 に砂礫層の粒径加積曲線を示す。

埋戻土及び砂礫層の粒度分布はともに若干のばらつきは見られるものの、全体的に礫分の占める割合が多く、特に埋戻土は礫を主体としていることが分かる。

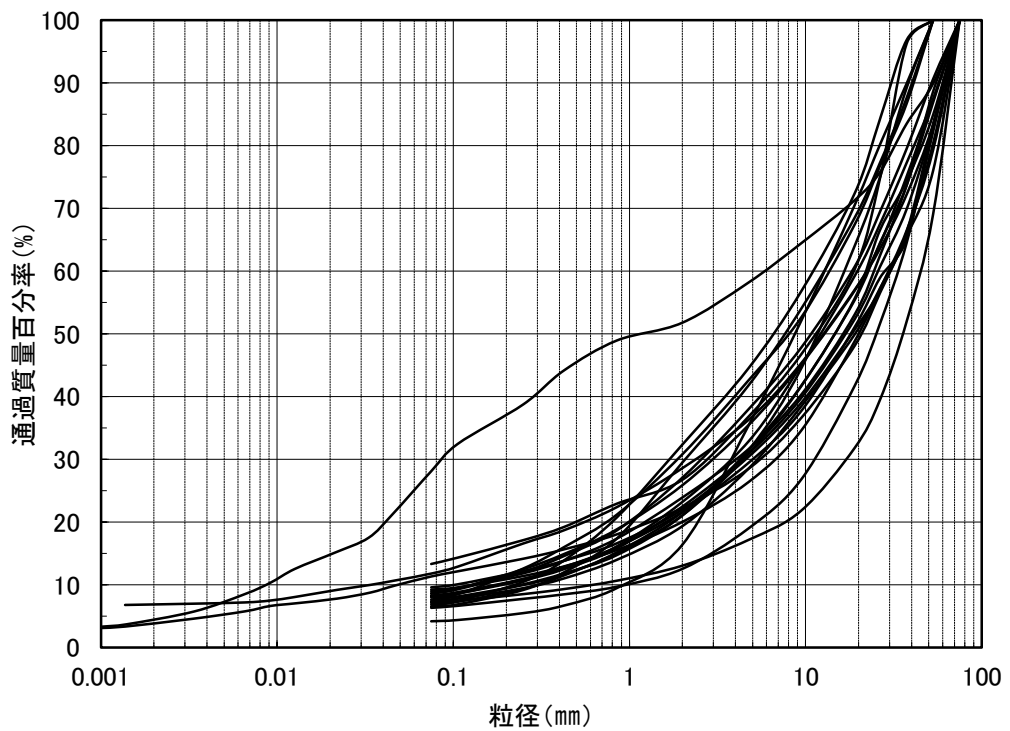


図 2-16 埋戻土の粒径加積曲線

(参考) 2-1-12

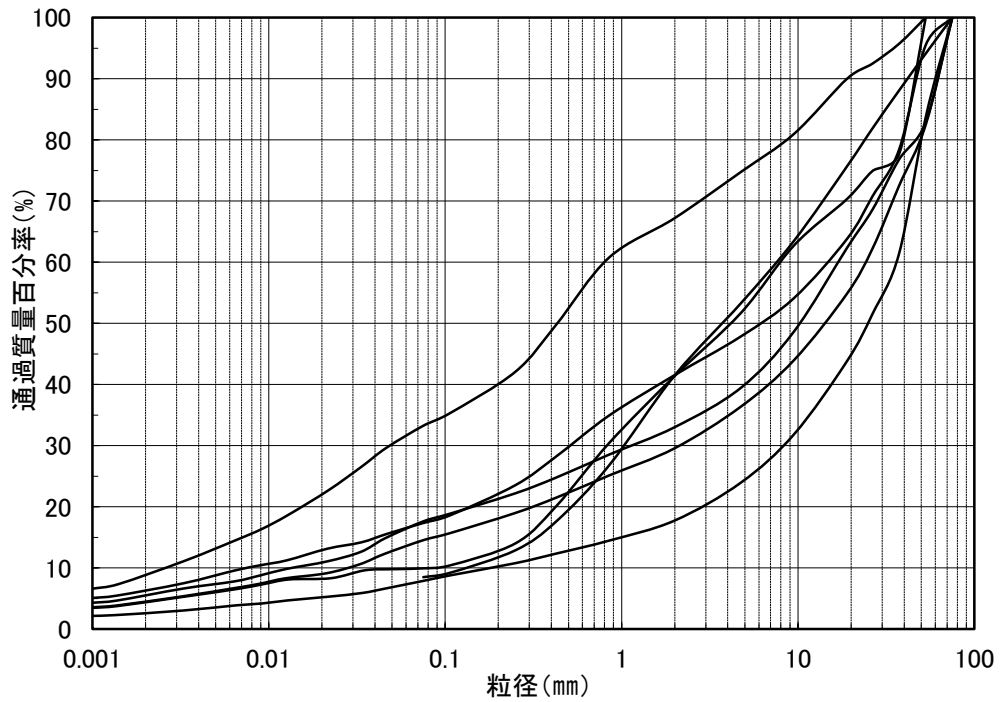


図 2-17 砂礫層の粒径加積曲線

(2) 埋戻土及び砂礫層の透水試験結果

図 2-15 に示す位置で実施した、埋戻土の現場透水試験結果を表 2-5 に、砂礫層の透水試験結果を表 2-6 に示す。埋戻土の透水係数は 1.7×10^{-1} (cm/s) , 砂礫層の透水係数は 3.6×10^{-3} (cm/s) となる。

表 2-5 埋戻土の透水試験結果

試験位置	試験標高	透水係数 (cm/s)
a	EL-1.0m~EL-1.5m	2.48×10^{-1}
b	EL-3.4m~EL-4.4m	3.59×10^{-1}
c	EL-0.9m~EL-1.4m	8.66×10^{-2}
d	EL-3.0m~EL-3.5m	6.01×10^{-1}
e	EL-2.5m~EL-3.0m	2.89×10^{-2}
平均値*		1.7×10^{-1}

注記* : 平均値の算定は対数平均により算出している。

表 2-6 砂礫層の透水試験結果

試験位置	試験標高	透水係数 (cm/s)
f	EL-8.0m~EL-8.5m	5.35×10^{-3}
g	EL-1.5m~EL-2.0m	5.69×10^{-3}
h	EL 8.4m~EL 7.9m	1.52×10^{-3}
平均値*		3.6×10^{-3}

注記*：平均値の算定は対数平均により算出している。

2.1.3 構造物及び改良地盤の透水係数

(1) 構造物及び改良地盤の透水係数の設定

コンクリート構造物の透水係数は地盤と比較して小さいことから、図 2-18 に示す「管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）」（H20.8（財）港湾空間高度化環境研究センター）に基づき、不透水性地層として透水係数を設定する。また、改良地盤の透水係数についても同様に不透水性材料として設定することとし、構造物及び改良地盤の透水係数は表 2-7 に示すとおり 1.0×10^{-5} (cm/s) となる。

【用語の定義】

本マニュアルにおいて用いられる用語は、以下のように定義される。

(8) 不透水性地層

厚さが5m以上であり、かつ、透水係数が 1×10^{-5} cm/s（岩盤にあつては、ルジオン値が1）以下である地層又はこれと同等以上の遮水の効力を有する地層。

(23) 不透水性材料

透水係数が 1×10^{-5} cm/s 以下であつて、適切な厚さを持つことで不透水性地層と同等以上の遮水の効力を発揮できる材料。

（「管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）」（（財）港湾空間高度化環境研究センター）より引用）

図 2-18 不透水性地層及び不透水性材料の透水係数

表 2-7 構造物及び改良地盤の透水係数

区分	透水係数 (cm/s)
構造物, 改良地盤	1.0×10^{-5}

(参考) 2-1-14

(2) 構造物及び改良地盤の透水係数の影響について

(1) で設定した構造物及び改良地盤の透水係数について、構造物及び改良地盤の透水係数が解析結果に与える影響の確認を行う。構造物及び改良地盤の透水性が十分小さい場合として、 $1.0 \times 10^{-9} \text{cm/s}$ とした場合の地下水位への影響を確認した。再現解析と同じモデルによる浸透流解析（定常解析）を実施して確認した結果、図 2-19 に示すとおり各観測孔位置での地下水位に大きな差異は認められず、構造物及び改良地盤の透水係数の影響は小さいことを確認した。

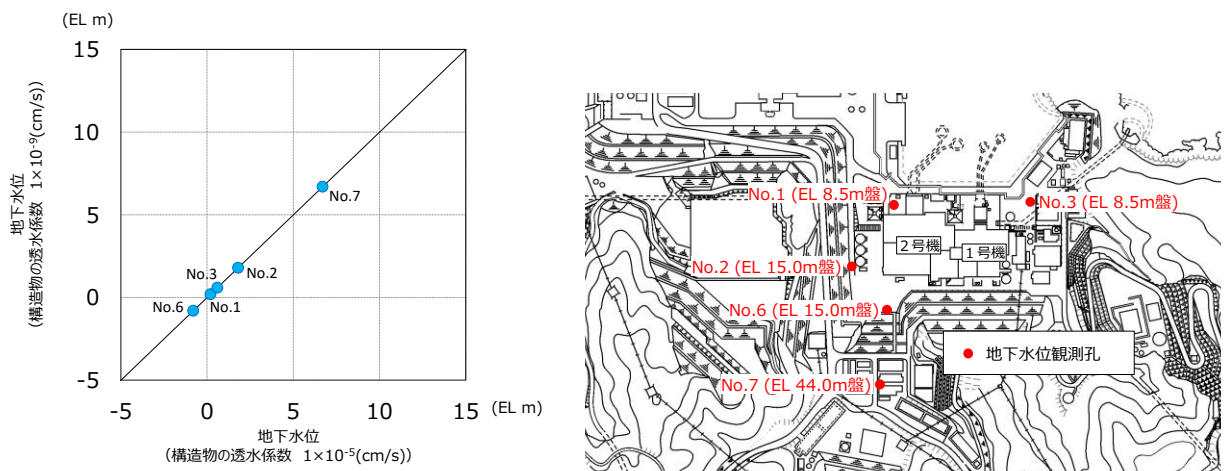


図 2-19 浸透流解析結果（地下水位）

2.2 透水係数の設定値について

上記の試験結果等により求めた透水係数を基に、浸透流解析に用いる透水係数を表2-8のとおり設定した。

表2-8 浸透流解析に用いる透水係数一覧

区分	解析用 透水係数 (cm/s)	設定方法	【参考】 試験結果 (cm/s)
構造物, 改良地盤	1×10^{-5}	『管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル(改訂版)』*に基づき、不透水性地層又は不透水材料相当として、 1×10^{-5} cm/sを設定した。また、透水係数がさらに小さい場合を想定し、 1×10^{-9} cm/sとした場合においても、解析結果に与える影響が軽微であることを別途確認した。	-
C _H 級	5×10^{-5}	建設時工認の岩盤の透水係数は頁岩・凝灰岩（上層部）及び（下層部）の2種類を設定していたが、今回、3次元浸透流解析を行うに当たり、解析の精度向上を目的として、敷地の岩級に合わせて透水係数を設定した。	4.5×10^{-5}
C _M 級	6×10^{-4}		5.6×10^{-4}
C _L 級	1×10^{-3}		1.0×10^{-3}
D級	2×10^{-3}	クレーガーの方法により、粒度特性を踏まえた以下の2つの考え方により透水係数を推定した。 ①粒度試験12試料のD ₂₀ の平均値から透水係数を推定。 ②粒度試験12試料のうち割れ目が発達した黒色頁岩に着目し、黒色頁岩のD ₂₀ から透水係数を推定。 それぞれの透水係数を与えた3次元浸透流解析の結果、解析水位に大きな差異は確認されないが、揚水量が低めに算出される②の考え方により、D級岩盤の透水係数を設定した。	-
砂礫層	4×10^{-3}	建設時工認では設定されていなかったが、今回、3次元浸透流解析を行うに当たり、解析の精度向上を目的として現場透水試験を実施し、透水係数を設定した。	3.6×10^{-3}
埋戻土	2×10^{-1}	建設時工認の埋戻し土の透水係数は、現場透水試験によらず岩盤の透水係数より1オーダー大きな値とすることで透水係数を設定していた。今回、3次元浸透流解析を行うに当たり、解析の精度向上を目的として現場透水試験を実施し、透水係数を設定した。	1.7×10^{-1}

注記* : H20.8 (財) 港湾空間高度化環境研究センター

2.3 文献値との比較

文献として、地下水ハンドブック（建設産業調査会）における一般的な地質における透水係数を表 2-9 に示す。

礫～細砂では概ね $1.0 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^2$ (cm/s) 程度となっており、砂礫層、埋戻土として今回設定した透水係数はこの範囲内であることを確認した。

島根原子力発電所の敷地内には、頁岩（堆積岩）及び凝灰岩（堆積岩）などが分布しており、これらの岩種の透水係数は節理の状況等により $1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^1$

(cm/s) と広範囲にわたっている。表 2-8 で設定した透水係数はこの範囲内であるが、3次元浸透流解析における解析用物性値については、図 2-20 で比較している地下水位観測孔における観測水位の平均値と、再現解析（定常解析）により求めた解析水位が整合的であることから、妥当であることを確認している。

表 2-9 地質別の水理条件（地下水ハンドブック（建設産業調査会）より引用）

地 質	間 隙 率		透水係数の範囲(cm/sec) $10^2 \ 10^0 \ 10^{-2} \ 10^{-4} \ 10^{-6} \ 10^{-8}$	井戸産出量 高 中 低	帯水層単元の型
	1 次 的 (粒 子)	2 次 的 (破 砕)			
未固結堆積物	%		埋戻土 砂礫層	—	帯水層 帯水層 帯水層 難透水層
礫	30~40				
粗 砂	30~40				
中 ~ 細 砂	30~35				
シルト	40~50	ときとしてまれ (泥のクラック)			
固 結 堆 積 物			D C _M C _L C _H	—	帯水層あるいは不透水層 帯水層あるいは難透水層 帯水層あるいは不透水層 不透水層あるいは帯水層
石灰岩・白雲岩	1~50	溶解、節理面			
粗～中粒砂岩	<20	節理、破碎			
細粒砂岩・泥岩	<10	節理、破碎			
頁岩・シルト岩	—	節理、破碎			
火 山 岩			—	—	帯水層あるいは不透水層 不透水層あるいは帯水層 — 不透水層あるいは帯水層
玄武岩	—	節理、破碎			
酸性火山岩	—				
結 晶 質 岩					
深成岩・変成岩		節理、破碎	—	—	不透水層あるいは帯水層

(参考) 2-1-17

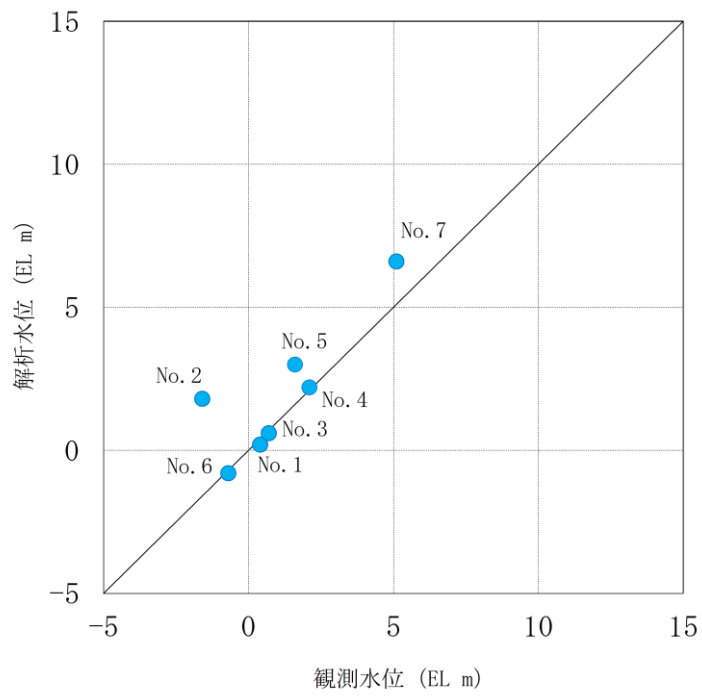


図 2-20 観測水位と解析水位の比較
 (補足説明資料 図 3.3-9 再掲)

(補足1) C_L 級岩盤の透水試験実施ボーリング柱状図について

C_M 級岩盤， C_L 級岩盤は，敷地内において分布が限定的であり，ボーリング孔で実施した透水試験区間（原則10m）において C_M 級岩盤又は C_L 級岩盤が連続して存在する区間はほとんど存在しない。ここでは， C_L 級岩盤の透水試験実施箇所のボーリング柱状図として，図1-1に示す位置におけるボーリングコアの柱状図を図1-2(1)～(9)に示す。

当該ボーリングにおいて C_L 級岩盤が存在しているのは最大で7m程度であり，透水試験の全区間（原則10m）には連続して存在していない。従って， C_L 級岩盤に相当する透水係数を便宜的に決定するにあたり，2.1.1(1)c.において示したとおり， C_H 級岩盤と C_L 級岩盤が存在する試験区間における C_L 級岩盤の存在比率（30%以上）と透水係数の相関関係より，存在比率100%に相当する透水係数を算出している。

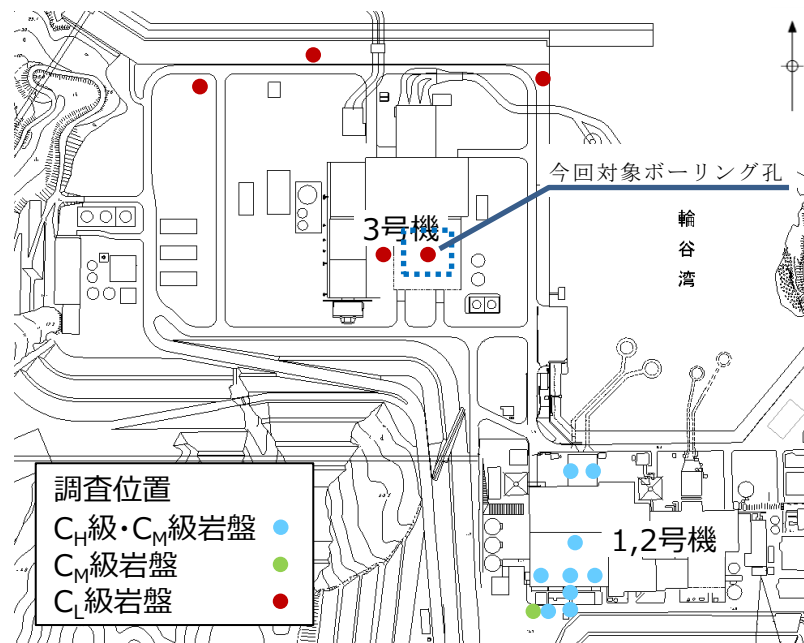


図1-1 今回説明位置

□ . . . C_L級岩盤確認箇所

ボーリング名		No.337 (9-1)		孔口標高		T.P. +43.80 m		掘進長		264.50 m			
深 度 (m)	標 高 T.P. (m)	柱 状 図	地 質 種 別	色 調	岩 級 区 分	割 れ 目 状 態	風 化 程 度	コ ア 採 取 率 (%)	最 大 コ ア 長 (cm)	R Q D (%)	記 事		
0	0.53	43.27	礫層リソルト	濃褐	-	-	-	100	0	0	0.00m~0.53m: 植物根を多く含む。 0.00m~9.00m: 風化により土砂状コア		
			火山礫凝灰岩	濃褐	D	γ	5	100	0	0			
			凝灰岩	褐				100	0	0			
3.20	40.60		凝灰岩	濃褐				95	0	0			
5	5.29	38.51	火山礫凝灰岩	濃褐	D	γ	5	100	0	0	9.00m~13.80m: 風化によりコア褐色化		
			凝灰岩	褐				100	0	0			
			凝灰岩	濃褐				100	0	0			
	7.85	35.95	凝灰岩	褐	D	γ	5	100	0	0	13.80m~23.56m: 風化により岩片状コア主体。 コアは褐色化し、部分的に土砂化している。 割れ目沿いに酸化汚染		
10	12.62	31.18	凝灰岩	雑褐色				C _M	3	100		20	83
			凝灰岩	雑褐色				C _L		100		28	73
			凝灰岩	雑褐色	C _L	100	28	74					
	14.12	29.68	凝灰岩	暗褐	C _M	3	3	100	16	61	16.67m: 層理面傾斜10°		
			凝灰岩	暗褐	C _L			100	27	80			
			凝灰岩	暗褐	C _L			100	8	0			
15	15.87	27.93	凝灰岩	暗褐	D	β	2	100	8	0	18.81m: 赤褐色シルト混り礫。厚さ8mm, 傾斜10°, 条線不明		
			凝灰岩	暗褐				C _L	100	13		25	
			凝灰岩	暗褐				C _L	100	16		16	
	18.67	25.13	凝灰岩	暗褐	D	β	2	100	19	19	23.36m~36.31m: 緑色を呈する火山礫凝灰岩。 礫石が褐色化している。部分的に空洞が見られる。		
			凝灰岩	暗褐				C _M	100	11		11	
			凝灰岩	暗褐				C _M	100	18		18	
20	21.32	22.48	凝灰岩	暗褐	D	β	2	100	21	38			
			凝灰岩	暗褐				C _M	100	21		38	
			凝灰岩	暗褐				C _M	100	11		11	
	23.36	20.44	凝灰岩	暗褐	D	β	2	100	16	58			
			凝灰岩	暗褐				C _L	100	34		93	
			凝灰岩	暗褐				C _L	100	53		90	
25			凝灰岩	暗褐	D	β	3	100	55	81			
			凝灰岩	暗褐				C _M	100	50		89	
			凝灰岩	暗褐				C _M	100	41		93	
30			凝灰岩	暗褐	D	β	3	100	40	95			
			凝灰岩	暗褐				C _M	100	40		95	

図 1-2 (1) C_L級岩盤透水試験実施箇所のボーリング柱状図
(参考) 2-1-20

□ . . . C_L級岩盤確認箇所

ボーリング名		No.337 (9-2)		孔口標高		T.P. +43.80 m		掘進長		264.50 m				
標尺 (m)	深度 (m)	標高 T.P. (m)	柱状図	地質種別	色調	岩級区分	コア形状 上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	割れ目状態	風化程度	コア採取率 (%)	最大コア長 (cm)	RQD (%)	記 事	
30				凝結灰岩	凝結灰岩	C _M	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	β	3	100	91	91		
				凝結灰岩	凝結灰岩					100	36	90		
				火山凝結灰岩	火山凝結灰岩					100	71	100		
				凝結灰岩	凝結灰岩					100	79	89		
				凝結灰岩	凝結灰岩					100	85	85		
				凝結灰岩	凝結灰岩	100	96	96						
	36.31	7.49		凝結灰岩	凝結灰岩	C _H	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	2	100	67	92		36.92m~37.03m: 高角度割れ目発達, 岩片状コア
				凝結灰岩	凝結灰岩					100	47	96		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _H	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	55	93		
	39.04	4.76		凝結灰岩	凝結灰岩					100	66	100		
				火山凝結灰岩	火山凝結灰岩	C _M	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	β	2	100	36	97		40.38m~43.02m: 割れ目面が酸化汚染により, 褐色を帯びる。
	40.38	3.42		凝結灰岩	凝結灰岩					100	25	74		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _H	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	43	95		
	41.63	2.17		凝結灰岩	凝結灰岩					100	43	88		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _M	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	β	3	100	55	100		43.80m~43.95m: 割れ目発達, 岩片状コア
	42.11	1.69		凝結灰岩	凝結灰岩					100	55	100		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _H	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	60	90	45.62m: 層理面傾斜30°	
	43.02	0.78		凝結灰岩	凝結灰岩					100	46	86		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _H	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	58	93		
	44.21	-0.41		凝結灰岩	凝結灰岩					100	48	79		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _L	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	β	2	100	60	60	48.02m~49.35m: 高角度割れ目発達, 一部岩片状~短柱状コア	
	45.62	-1.82		凝結灰岩	凝結灰岩					100	60	90		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _H	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	46	86	49.64m~51.13m: 基質が酸化汚染により, わずかに褐色を帯びる。	
	46.27	-2.47		凝結灰岩	凝結灰岩					100	46	86		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _M	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	β	2	100	58	93		
	48.02	-4.22		凝結灰岩	凝結灰岩					100	58	93		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _H	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	48	79	48.02m~49.35m: 高角度割れ目発達, 一部岩片状~短柱状コア	
	48.89	-5.19		凝結灰岩	凝結灰岩					100	48	79		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _L	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	β	2	100	60	60	49.64m~51.13m: 基質が酸化汚染により, わずかに褐色を帯びる。	
	49.64	-5.84		凝結灰岩	凝結灰岩					100	60	60		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _H	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	79	97		
	51.13	-7.33		凝結灰岩	凝結灰岩					100	41	74		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _H	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	52	93		
	51.51	-7.71		凝結灰岩	凝結灰岩					100	52	93		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _L	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	β	2	100	13	37	53.16m~53.57m, 56.13m~56.55m: 割れ目発達, 部分的に岩片状~短柱状コア, 割れ目面酸化汚染	
	52.22	-8.42		凝結灰岩	凝結灰岩					100	13	37		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _M	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	40	89		
	52.87	-9.07		凝結灰岩	凝結灰岩					100	40	89		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _H	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	β	2	100	24	83		
	53.39	-9.59		凝結灰岩	凝結灰岩					100	24	83		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _L	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	36	60	56.25m: 層理面傾斜20°	
	54.46	-10.66		凝結灰岩	凝結灰岩					100	36	60		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _H	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	33	68		
	54.84	-11.04		凝結灰岩	凝結灰岩					100	33	68		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _M	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	β	2	100	28	54		
	55.28	-11.48		凝結灰岩	凝結灰岩					100	28	54		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _H	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	28	54		
	56.25	-12.45		凝結灰岩	凝結灰岩					100	28	54		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _M	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	β	2	100	22	55	59.85m~59.87m: 帯青灰色平板状粘土, 厚さ30mm, 傾斜: 上盤10° 下盤20°, 条痕不明, 酸化鉱物有	
	57.10	-13.30		凝結灰岩	凝結灰岩					100	22	55		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _L	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	28	54		
	58.81	-15.01		凝結灰岩	凝結灰岩					100	28	54		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _M	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	β	2	100	22	55	59.85m~59.87m: 帯青灰色平板状粘土, 厚さ30mm, 傾斜: 上盤10° 下盤20°, 条痕不明, 酸化鉱物有	
	59.29	-15.49		凝結灰岩	凝結灰岩					100	22	55		
				凝結灰岩	凝結灰岩	C _L	上短岩短柱長 砂片状柱状 状状状状状	α	1	100	22	55		
	59.87	-16.07		凝結灰岩	凝結灰岩					100	22	55		

図 1-2 (2) C_L級岩盤透水試験実施箇所のボーリング柱状図 (参考) 2-1-21

□ . . . C_L級岩盤確認箇所

ボーリング名		No.337 (9-3)		孔口標高		T.P. +43.80 m		掘進長		264.50 m			
標尺 (m)	深度 (m)	標高 T.P. (m)	柱状図	地質種別	色調	岩級区分	コア形状 土質岩塊柱状 砂片柱状 柱状状状状状	割れ目状態	風化程度	コア採取率 (%)	最大コア長 (cm)	RQD (%)	記事
60				黑色頁岩	暗灰	C _H				100	38	98	61.10m~64.00m : 高角度割れ目発達 61.95m~62.06m : 層理面沿いに剥離, 短片状コア
	61.32	-17.52		凝灰質頁岩		C _M				100	25	69	
	62.06	-18.26		黑色頁岩	黒灰	C _L				100	15	41	
	63.47	-19.67		凝灰質頁岩	暗灰	C _H				100	19	58	
	64.18	-20.38		凝灰質頁岩	暗灰	C _M				100	19	58	
	64.80	-21.00		黑色頁岩	黒灰					100	27	93	
65				凝灰岩	灰					100	56	98	
	66.80	-23.00		凝灰岩	帯緑灰 斑暗灰					100	19	81	
	67.61	-23.81		黑色頁岩	黒灰					100	27	99	
	67.97	-24.17		凝灰質頁岩	暗灰					100	27	99	
	68.67	-24.87		凝灰岩	斑暗灰 帯青灰					100	66	100	
70				ドレライト	暗緑灰					100	54	83	69.63m~72.27m : 傾斜10°~40°の条線を伴う割れ目に, 厚さ1mm~4mmの濃緑色物質を挟在する。
	72.51	-28.71		凝灰質頁岩	暗灰					100	83	100	
	73.01	-29.21		凝灰質頁岩	暗灰					100	26	67	72.70m~73.53m : 高角度割れ目発達
	73.70	-29.90		黑色頁岩	黒灰					100	30	87	
	74.94	-31.14		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	36	90	77.28m : 層理面傾斜15°
75				凝灰岩	灰 帯緑灰白	C _H				100	34	88	
	77.28	-33.48		凝灰岩	灰 帯緑灰白	C _H				100	59	89	
				安山岩	緑灰					100	87	98	81.50m~83.73m : 高角度平板状方解石脈発達, 厚さ5mm, 傾斜70°~90°, 一部開口割れ目
				安山岩	緑灰					100	100	100	
				安山岩	緑灰					100	35	100	85
				安山岩	緑灰					100	53	99	
				安山岩	緑灰					100	75	100	87.74
				安山岩	緑灰					100	70	90	
				凝灰岩	灰白					100	72	92	89.70
				凝灰岩	灰白					100	100	100	
				凝灰岩	灰白					100	54	100	90.00
				凝灰岩	灰白					100	76	100	
				凝灰岩	灰白					100	73	100	90
				凝灰岩	灰白					100	56	92	
				凝灰岩	灰白					100	39	96	

図 1-2 (3) C_L級岩盤透水試験実施箇所のボーリング柱状図 (参考) 2-1-22

ボーリング名			No.337 (9-4)			孔口標高		T.P. +43.80 m		掘進長		264.50 m	
標尺 (m)	深度 (m)	標高 T.P. (m)	柱状図	地質種別	色調	岩級区分	コア形状 土層別注記 砂片状柱状状状状状	割れ目状態	風化程度	コア採取率 (%)	最大コア長 (cm)	RQD (%)	記事
90	90.00	-46.20		凝灰質頁岩	灰					100	27	72	
	91.21	-47.41		凝灰質頁岩	灰					100	39	84	91.56m~91.57m: 灰色平板状粘土、厚さ12mm、傾斜15°、条線不明
	91.52	-47.72		凝灰質頁岩	灰					100	19	48	
	91.91	-48.11		凝灰質頁岩	灰					100	37	75	93.30m~93.80m: 高角度割れ目発達、一部岩片状コア
	93.57	-49.77		凝灰質頁岩	黒灰					100	46	92	
95				凝灰質頁岩	斑暗灰黒	C _H				100	37	76	
	96.24	-52.44		凝灰質頁岩	黒灰					100	34	65	
	97.08	-53.28		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	51	66	96.61m: 凝灰質部、 剥離性を有する変質軽石から成る。
	98.79	-54.99		凝灰質頁岩	暗灰					100	55	80	
	99.20	-55.40		凝灰質頁岩	黒灰	C _M				100	40	87	
100				凝灰質頁岩	斑暗灰					100	40	92	
	104.07	-60.27		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	29	83	
	104.41	-60.61		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	28	83	
	104.41	-60.61		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	36	91	102.82m~105.88m: 高角度割れ目発達
	105.04	-61.24		凝灰質頁岩	黒灰					100	46	84	
105				凝灰質頁岩	斑暗灰					100	21	68	
	105.45	-61.65		凝灰質頁岩	黒灰					100	30	84	
	105.88	-62.08		凝灰質頁岩	黒灰	C _H				100	30	84	
	106.81	-63.01		凝灰質頁岩	暗灰					100	28	83	
	107.16	-63.36		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	28	83	
	107.81	-64.01		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	66	86	
	108.14	-64.34		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	66	86	
	109.17	-65.37		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	40	72	
110				凝灰質頁岩	斑暗灰					100	40	72	
	109.96	-66.16		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	24	91	109.96m: 層理面傾斜15°
	110.47	-66.67		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	24	91	
	112.40	-68.60		凝灰質頁岩	斑暗灰	C _M				100	35	99	
	113.40	-69.60		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	29	73	
	113.72	-69.92		凝灰質頁岩	暗灰	C _H				100	39	97	
	115.41	-71.61		凝灰質頁岩	暗灰					100	30	100	
115				凝灰質頁岩	暗灰					100	35	75	115.41m: 層理面傾斜20°
	115.73	-71.93		凝灰質頁岩	暗灰	C _M				100	35	75	
	117.00	-73.20		凝灰質頁岩	斑暗灰	C _H				100	43	80	116.90m~117.81m: 凝灰質部、黄灰~緑灰色、樹脂状光沢、 上部は厚さ数mm~12mmで傾斜約60°の割れ目に沿い見られる。下部は厚さ4cm~10cmで傾斜30°のものが3枚見られる。
	117.67	-73.87		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	18	38	
	118.60	-74.80		凝灰質頁岩	斑暗灰	C _M				100	18	38	
	119.40	-75.60		凝灰質頁岩	斑暗灰	C _H				100	42	87	118.54m~118.56m: 灰白色平板状粘土、厚さ10mm、傾斜20°、条線不明
120				凝灰質頁岩	黒灰					100	17	54	119.58m: 帯青灰色平板状粘土、厚さ3mm、傾斜20°、鏡肌有、 周辺のコアは岩片状

図 1-2 (4) C_L級岩盤透水試験実施箇所のボーリング柱状図
(参考) 2-1-23

ボーリング名		No.337 (9-5)		孔口標高		T.P. +43.80 m		掘進長		264.50 m			
標尺 (m)	深度 (m)	標高 T.P. (m)	柱状図	地質種別	色調	岩級区分	コア形状 <small>土層岩短柱長 砂片片柱状 状状状状状</small>	割れ目状態	風化程度	コア採取率 (%)	最大コア長 (cm)	RQD (%)	記 事
120	120.63	-76.83		黑色頁岩	黒灰	C _H				100	20	68	121.17m : 層理面傾斜15°
	121.17	-77.37		凝灰質頁岩	暗灰					100	29	94	
	122.25	-78.45		黑色頁岩	黒灰	C _M				100	30	68	122.31m : 灰色平板状粘土, 厚さ10mm, 傾斜15°, 条線不明
	123.04	-79.24		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	49	78	
	124.29	-80.49		黑色頁岩	黒灰	C _H				100	50	89	123.04m : 灰色平板状粘土, 厚さ6mm, 傾斜15°
	124.72	-80.92		凝灰岩	暗緑灰					100	27	77	
125	125.23	-81.43		黑色頁岩	黒灰	C _M				100	27	77	125.83m : 暗灰色平板状粘土, 厚さ3mm, 傾斜15°, 条線不明
	126.17	-82.37		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	23	87	
	127.03	-83.23		凝灰岩	斑青灰	C _H				100	53	90	127.93m : 暗緑灰色平板状粘土, 厚さ3mm, 傾斜10°
	128.05	-84.25		火山礫凝灰岩	緑灰緑					100	27	67	
	128.40	-84.60		凝灰質頁岩	斑暗灰	C _M				100	54	91	131.60m~132.43m : 高角度割れ目発達, 短柱状~岩片状コア
	129.12	-85.32		凝灰岩	斑青暗灰					100	33	49	
130				黑色頁岩	黒灰	C _H				100	25	65	133.89m : 層理面傾斜30°
	131.91	-88.11		凝灰質頁岩	斑青灰					100	66	98	
	132.21	-88.41		黑色頁岩	黒灰	C _M				100	49	91	137.30m : 方解石の晶洞を伴う。
	133.51	-89.71		凝灰質頁岩	暗灰					100	18	59	
	133.89	-90.09		黑色頁岩	黒灰	C _H				100	39	98	100
135	135.80	-92.00		凝灰質頁岩	灰					100	35	76	
	136.39	-92.59		黑色頁岩	黒灰	C _H				100	26	64	100
				凝灰質頁岩	暗灰					100	23	75	
	141.20	-97.40		凝灰質頁岩	暗灰	C _M				100	31	67	144.89m~145.89m : 割れ目面に鏡肌を伴う。
	141.65	-97.85		凝灰質頁岩	暗灰					100	34	52	
	143.45	-99.65		黑色頁岩	暗灰	C _M				100	79	94	100
	144.40	-100.60		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	47	90	
145				黑色頁岩	黒灰	C _H				100	27	47	100
	149.02	-105.22		凝灰質頁岩	斑暗灰					100	31	66	
150				凝灰質頁岩	斑暗灰	C _M				100	30	73	149.26m~149.28m : 熱水変質を受けた帯褐色平板状粘土, 厚さ5mm, 傾斜40°, 条線不明, 膠着性有
				凝灰質頁岩	斑暗灰					100	13	23	

図 1-2 (5) C_L級岩盤透水試験実施箇所におけるボーリング柱状図
(参考) 2-1-24

ボーリング名			No.337 (9-6)			孔口標高		T. P. +43.80 m		掘進長		264.50 m	
標尺 (m)	深 度 (m)	標 高 T. P. (m)	柱 状 図	地 質 種 別	色 調	岩 級 区 分	コア形状 上端岩盤柱長 砂片并柱 柱 状状状状状	割 れ 目 状 態	風 化 程 度	コ ア 採 取 率 (%)	最 大 コ ア 長 (cm)	R Q D (%)	記 事
150				凝灰質頁岩	斑時灰灰	CH		α 1		100	15	53	150.17m~156.00m: 高角度割れ目発達、一部岩片状コア
				凝灰質頁岩	灰	CM				100	18	56	
152.68	-108.88			凝灰岩	灰	CH				100	23	69	
153.29	-109.49			凝灰質頁岩	斑時灰灰	CM				100	19	55	
154.17	-110.37			凝灰質頁岩	斑時灰灰	CH				100	27	60	
				凝灰質頁岩	灰	CM				100	21	64	
				凝灰質頁岩	灰	CH				100	31	62	
				凝灰質頁岩	斑時灰灰	CM				100	51	83	
158.73	-114.93			凝灰岩	灰	CH				100	27	96	
159.44	-115.64			凝灰質頁岩	斑時灰灰	CM				100	33	70	
				凝灰質頁岩	斑時灰灰	CH				100	52	81	
				凝灰質頁岩	斑時灰灰	CM				100	47	96	
163.02	-119.22			凝灰質頁岩	暗灰	CH				100	60	89	
163.88	-120.08			凝灰質頁岩	暗灰	CM				100	25	79	
164.97	-121.17			凝灰質頁岩	暗灰	CH				100	30	86	
				凝灰質頁岩	暗灰	CM				100	58	92	
				凝灰質頁岩	暗灰	CH				100	37	92	
167.44	-123.64			凝灰質頁岩	暗灰	CM				100	35	81	
				凝灰質頁岩	暗灰	CH				100	49	90	
				凝灰質頁岩	暗灰	CM				100	19	62	
			凝灰質頁岩	暗灰	CH	100	51	100					
			凝灰質頁岩	暗灰	CM	100	74	100					
172.32	-128.52		凝灰質頁岩	暗灰	CH	100	37	91					
172.85	-129.05		凝灰質頁岩	暗灰	CM	100	44	100					
			凝灰質頁岩	暗灰	CH	100	24	89					
			凝灰質頁岩	暗灰	CM	100	19	90					
			凝灰質頁岩	暗灰	CH	100	18	71					
			凝灰質頁岩	暗灰	CM	100	33	76					
			凝灰質頁岩	暗灰	CH	100	48	87					
			凝灰質頁岩	暗灰	CM	100	37	91					

図 1-2 (6) C_L級岩盤透水試験実施箇所のボーリング柱状図
(参考) 2-1-25

ボーリング名		No.337 (9-7)		孔口標高		T.P. +43.80 m		掘進長		264.50 m			
標尺 (m)	深度 (m)	標高 T.P. (m)	柱状図	地質種別	色調	岩級区分	コア形状 土短岩短柱長 砂片片柱 柱 状状状状状状	割れ目状態	風化程度	コア採取率 (%)	最大コア長 (cm)	RQD (%)	記 事
180				黒色頁岩	黒灰					100	32	88	181.17m: 暗灰色平板状粘土, 厚さ8mm, 傾斜15°, 条線不明, 酸化鉱物有
	182.43	-138.53								100	40	90	
	182.86	-139.06		凝灰質頁岩	暗暗灰灰					100	33	73	
										100	54	84	183.70m~183.86m: 短柱状コア
										100	50	100	
185										100	100	100	
				凝灰白灰						100	84	100	
				火山礫凝灰岩						100	91	91	
										100	64	100	189.02m~192.77m: 基質に泥分多い。
										100	80	100	
190										100	48	93	
				凝灰角礫岩	暗暗灰灰					100	57	91	193.68m~193.85m: 割れ目発達, 一部岩片状コア
				火山礫凝灰岩						100	70	100	
				凝灰白灰						100	53	81	
										100	24	81	196.18m: 層理面傾斜5°
195				黒色頁岩	黒灰	CH		α	1	100	53	95	
				凝灰質頁岩	暗灰					100	49	100	
				黒色頁岩	黒灰					100	52	97	199.95m~199.95m: 凝灰岩
				凝灰質頁岩	暗暗灰灰					100	79	92	
				凝灰岩	凝灰緑灰					100	74	100	
200										100	60	100	201.06m~201.06m: 凝灰岩
				火山礫凝灰岩	凝灰白灰					100	71	100	
				凝灰岩	灰					100	76	100	
										100	78	99	205m~205m: 凝灰岩
										100	89	100	
				火山礫凝灰岩	凝灰緑灰					100	53	100	
										100	76	100	210m~210m: 凝灰岩
										100	100	100	
										100	61	100	
210										100	76	100	

図 1-2 (7) C_L級岩盤透水試験実施箇所のボーリング柱状図
(参考) 2-1-26

■■■■ C_L級岩盤確認箇所

ボーリング名		No.337 (9-8)		孔口標高		T. P. +43.80 m		掘進長		264.50 m			
標尺 (m)	深 度 (m)	標 高 T. P. (m)	柱 状 図	地 質 種 別	色 調	岩 級 区 分	コア形状 上短岩短柱長 砂片片柱 柱 状状状状状	割 れ 目 状 態	風 化 程 度	コア採取率 (%)	最大コア長 (cm)	R Q D (%)	記 事
210				凝灰角礫岩						100	59	100	207.05m~215.32m: 基質に泥分がやや多い。
	211.44	-167.64								100	34	100	
	213.19	-169.39		火山礫凝灰岩	凝灰緑灰					100	73	100	
				凝灰角礫岩		C _H				100	77	100	
				凝灰質頁岩	灰					100	100	100	
215	215.32	-171.52		凝灰質頁岩	灰					100	33	89	215.33m~215.43m: 層理面沿いに割離、一部岩片状コア
	215.78	-171.98		黑色頁岩	暗灰					100	52	73	
	216.83	-173.03			黒灰					100	41	75	
				凝灰質頁岩	斑暗灰黒	C _M				100	59	80	
	218.76	-174.96								100	78	100	
	219.25	-175.45		凝灰岩	灰					100	30	100	
220	220.38	-176.58		火山礫凝灰岩	凝緑暗灰	C _H				100	56	91	222.32m~222.49m: 帯緑褐色で樹指状光沢を有する変質軽石が見られ、脆割で割れ易い。
	221.08	-177.28		凝灰角礫岩	灰					100	28	61	
	221.36	-177.56								100	38	80	
	222.49	-178.69		火山礫凝灰岩	斑暗灰					100	19	46	
	223.05	-179.25		凝灰質頁岩	斑暗灰	C _M				100	37	92	
				黑色頁岩	暗灰	C _H				100	50	93	224.60m~224.93m: 割れ目発達、一部岩片状コア
				黑色頁岩	暗灰	C _M				100	35	94	
	227.42	-183.62		凝灰質頁岩						100	63	91	227.42m: 層理面傾斜30°
	227.84	-184.04				C _H				100	37	75	
				黑色頁岩	暗灰					100	29	86	232.16m~235.20m: 層理面沿いの割れ目発達、クラッキー
				黑色頁岩		C _L				100	26	89	
				黑色頁岩		C _M				100	14	28	
				黑色頁岩		C _H				100	35	81	
				黒灰		C _L				100	24	39	
235				黒灰		C _H				100	25	61	235.51m~235.64m: 黒灰色くさび状粘土、厚さ2mm。 傾斜：上盤25°下盤10°、層理面に斜交、条線不明
						C _M				100	38	65	
	237.56	-193.76		凝灰質頁岩	暗灰					100	37	62	
	238.05	-194.25		黑色頁岩	黒灰					100	19	59	
	238.45	-194.65		凝灰質頁岩	暗灰	C _H				100	21	21	
	238.97	-195.17		凝灰質頁岩	暗灰					100	19	59	238.97m~243.86m: 斑々に層理面沿いの割れ目発達、クラッキー、部分的に岩片状コア
240				黑色頁岩	斑黒暗灰	C _L				100	21	21	

図 1-2 (8) C_L級岩盤透水試験実施箇所のボーリング柱状図
(参考) 2-1-27

□ . . . C_L級岩盤確認箇所

ボーリング名		No.337 (9-9)		孔口標高		T.P. +43.80 m		掘進長		264.50 m			
標尺 (m)	深度 (m)	標高 T.P. (m)	柱状図	地質種別	色調	岩級区分	コア形状 土質岩柱状 砂片柱状 塊状塊状	割れ目状態	風化程度	コア採取率 (%)	最大コア長 (cm)	RQD (%)	記 事
240						C _L				100	9	0	
	242.57	-198.77		黒色頁岩	斑黒暗灰	C _M				100	28	46	241.29m~241.38m: 暗灰色不規則粘土, 厚さ4mm, 傾斜55°, 層理面に斜交, 硫化鉱物有, 方解石を伴う。
						C _L			100	45	56		
				凝灰質頁岩	暗灰	C _H				100	37	61	
245	245.27	-201.47			黒灰	C _H				100	24	73	
				黒色頁岩						100	48	90	245.27m: 層理面傾斜25°
	247.50	-203.70			斑暗灰黒	C _M				100	50	50	
				凝灰質頁岩						100	25	77	
	248.73	-204.93			黒灰					100	34	92	248.75m: 厚さ8mmにわたり脆肌を伴う層理面沿いの割れ目が 密集し, やや脆弱
	249.30	-205.50			暗灰					100	48	87	249.48m: 黒灰色平板状粘土, 厚さ6mm, 傾斜15°, 条線不明, 方解石を伴う。
250	250.38	-206.58	L L	ドレライト	帯緑灰					100	38	90	
	250.74	-206.94								100	99	99	
				黒色頁岩	暗灰	C _H		α 1		100	54	100	
										100	31	71	
										100	40	84	253.00m~254.90m: 高角度割れ目発達 (鋸歯状)
255										100	23	68	
										100	34	90	
										100	29	93	255.30m~258.62m: 高角度割れ目発達, クラッキー
	258.50	-214.70								100	44	85	258.50m: 層理面傾斜15°
260				火山礫凝灰岩	灰 灰白					100	54	99	
	260.82	-217.02								100	64	95	261.00m: 変質軽石を含み, 短片状コア
				凝灰岩	帯緑灰白					100	27	70	261.60m: 変質軽石を含む。
					帯緑灰					100	41	84	
	263.90	-220.10	L L	ドレライト	緑灰					100	71	89	262.65m~262.86m: 方解石を伴う不規則な割れ目が密集, 岩片状コア
	264.50	-220.70	L L	ドレライト						100	44	88	
265													
270													

図 1-2 (9) C_L級岩盤透水試験実施箇所のボーリング柱状図
(参考) 2-1-28

(参考資料 2-2) 浸透流解析に用いる有効間隙率について

1. 概要

浸透流解析に用いる解析用物性値については、再現解析により検証を行った期間において、解析水位と観測水位が整合的であることを確認し、その妥当性を確認している。

本資料では、浸透流解析における有効間隙率の設定方法について示す。

2. 有効間隙率の設定

2.1 岩盤の有効間隙率

岩盤の有効間隙率は日本工業規格等に基づく比重試験により表 2-1 のように設定した。

表 2-1 岩盤の有効間隙率

岩級区分	有効間隙率 (%)
C _H 級	11.5
C _M 級	15.3
C _L 級	15.0
D級	23.5

2.2 埋戻土及び砂礫層の有効間隙率

埋戻土及び砂礫層の有効間隙率について、文献を基に以下のように設定した。

- ・ 「河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）」（（財）国土技術研究センター，H24.2）では礫質土*¹及び砂質土*¹の飽和土の透水係数（飽和透水係数）と不飽和土の透水係数（不飽和透水係数）の比である比透水係数（kr）と、見かけの飽和度*²（S）及び見かけの体積含水率*²（ θ ）との関係は図 2-1 のように示されている。
- ・ 有効間隙率は、土粒子間の間隙のうち、地下水の流動が可能な間隙の割合であり、飽和状態（見かけの飽和度 100%）において、見かけの体積含水率に該当する。従って、表 2-3 に示すとおり、埋戻土及び砂礫層の有効間隙率を 20.0% に設定した。

注記*1：今回対象とする埋戻土及び砂礫層の透水試験により求めた透水係数はそれぞれ 1.7×10^{-1} (cm/s) 及び 3.6×10^{-3} (cm/s) であり、表 2-3 に示す「管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル」（（財）港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所，H12.11）によると礫質土または砂質土に該当する。

(参考) 2-2-1

*2: 土中の空隙内に重力に抵抗して土が保持している最小の水分が存在すること、また浸透時に排出されない空気が存在していることを考慮した飽和度及び体積含水率を見かけの飽和度及び見かけの体積含水率としている。

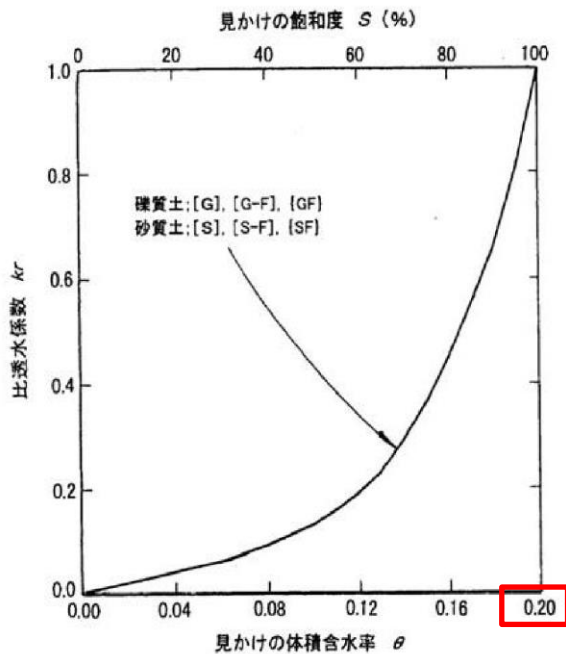


図 2-1 土質材料の体積含水率と比透水係数の関係

(「河川堤防の構造検討の手引き (改訂版)」 ((財) 国土技術研究センター) に加筆)

表 2-2 埋戻土及び砂礫層の有効間隙率

区分	有効間隙率 (%)
埋戻土	20.0
砂礫層	

(参考) 2-2-2

表 2-3 地盤の種類等による透水係数の設定例
 (「管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル」
 ((財) 港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所) に加筆)

表-資 7.1 透水係数の設定例 (港湾事業者へのアンケート結果³³⁾により作成)

【単位: cm/s】

護岸本体・遮水工や地盤の種類		透水係数	
		最大値	最小値
護岸本体工	ケーソン函	不透過	
	アスファルトマスチックによる目地部遮水工	不透過	
	捨石	1.0	1.0×10^{-1}
	ケーソン底部の歴青材	不透過	
裏込め等	腹付け土	1.0×10^{-3}	4.0×10^{-8}
自然地盤	粘性土層(水平・垂直方向を区別しない場合)	1.0×10^{-6}	6.21×10^{-7}
	粘性土層(水平方向)	7.185×10^{-7}	
	粘性土層(垂直方向)	5.450×10^{-7}	
	砂質土	1.0×10^{-3}	
	礫質土	1.0×10^{-1}	
	岩盤(泥質片岩)	1.0×10^{-7}	
地盤改良部	砂岩ずり	1.0×10^{-2}	
	事前混合処理土*	1.0×10^{-6}	
	固化処理土(水平方向)	7.185×10^{-7}	
	固化処理土(垂直方向)	7.185×10^{-8}	
	深層混合処理	1.0×10^{-10}	不透過
	サンドコンパクション(水平方向)	1.026×10^{-6}	
	サンドコンパクション(垂直方向)	6.0×10^{-4}	
	サンドドレーン(水平方向)	1.1×10^{-6}	
サンドドレーン(垂直方向)	1.3×10^{-5}		
遮水シート	遮水シート	4.66×10^{-9}	不透過

* 砂質土系の事前混合処理土の透水係数は 1×10^{-4} cm/s 程度³³⁾となっている。

(参考資料 3) 地下水位低下設備 (既設) について

1. 概要

本資料は、再現解析においてモデル化している 1, 2 号機の地下水位低下設備 (既設) について説明する。なお、地下水位低下設備 (既設) については、設計地下水位の設定 (予測解析) において、その機能を期待しない。

2. 設備の構造等

地下水位低下設備 (既設) は、各建物周囲の岩盤上に設置されたサブドレーン (有孔塩ビ管, $\phi 150\text{mm}$), 集水管 (有孔ヒューム管, $\phi 600\text{mm}$ 及び $\phi 300\text{mm}$) を介してサブドレーンピットに集水し, 揚水ポンプ・配管を介して構内排水路へ排水する構造となっている。図 2-1 に地下水位低下設備 (既設) の平面図を, 図 2-2 にサブドレーン及び集水管の設置断面図を示す。

サブドレーンピットの水位は, 原子炉建物の基礎底面高さ (EL-4.7m) より低い EL-5.9m ~ EL-7.2m を通常運転状態の水位として運用している。サブドレーンピットの水位が, 通常運転状態の水位を超える EL-5.9m 以上に上昇すると, 水位センサーが検知して揚水ポンプを起動し, 図 2-3 に示すように水位の上昇に合わせて順次起動することにより, EL-7.2m まで水位を低下させる。揚水ポンプは保守点検のルールを定めて運用しており, 定期的な巡視・点検を実施し, 地震後は速やかに設備点検を実施し状況を確認している。

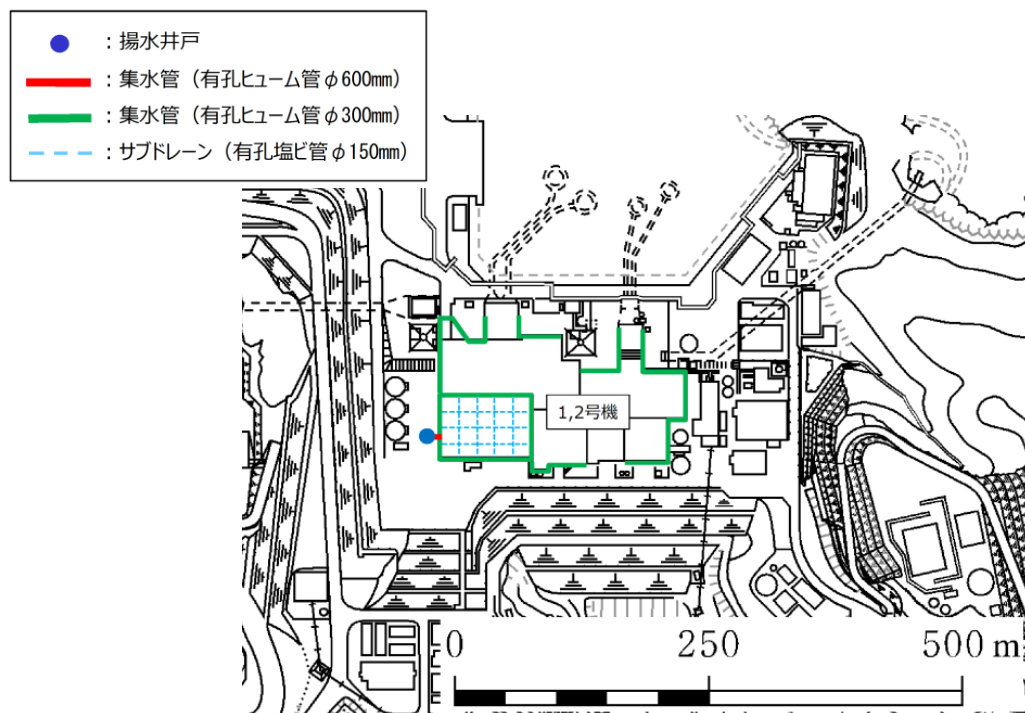


図 2-1 地下水低下設備 (既設) 平面図

(参考) 3-1

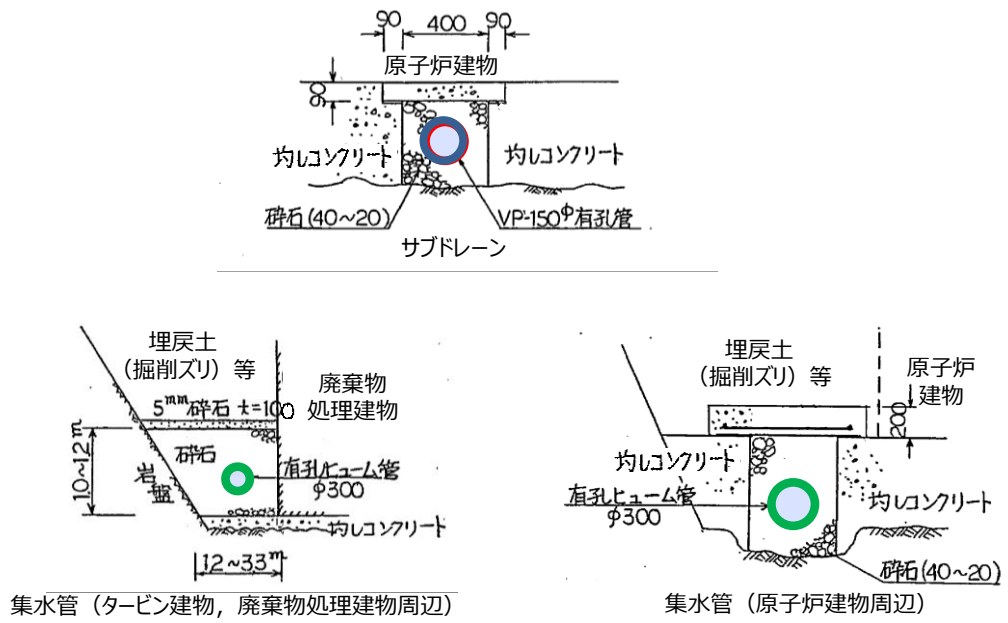


図 2-2 サブドレーン及び集水管の設置断面図

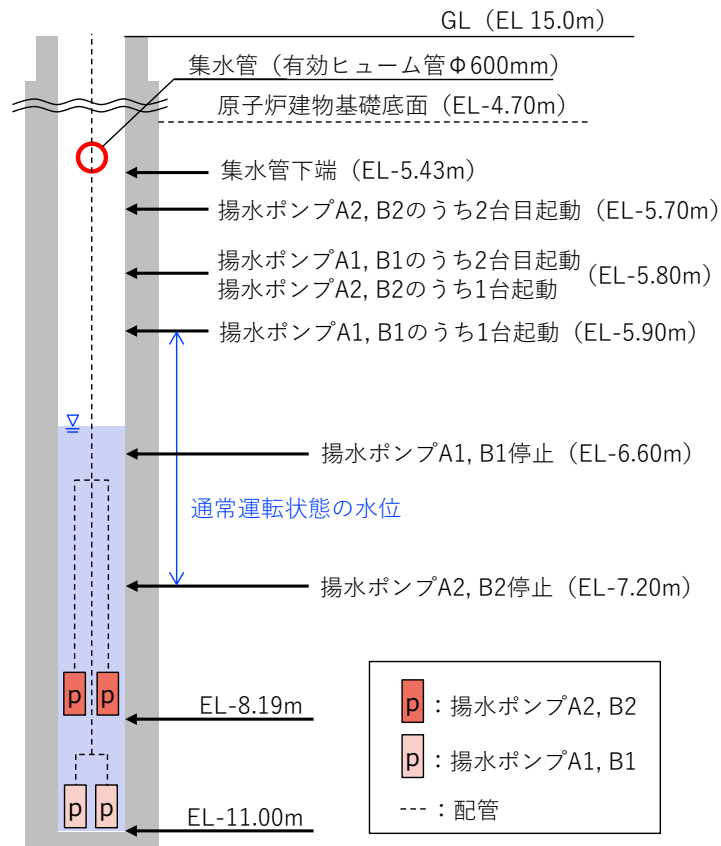


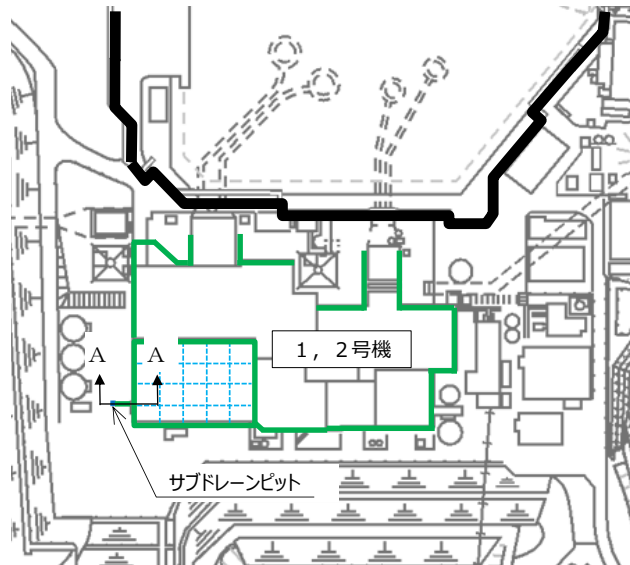
図 2-3 サブドレーンピット揚水ポンプの運転条件

(参考) 3-2

3. サブドレーンピットの地震時の影響について

サブドレーンピット周辺はコンクリートで埋戻しているため、地震時に当該構造物の損壊を想定した場合においても影響を及ぼす隣接構造物はない。

サブドレーンピット周辺の埋戻状況を図 3-1 に示す。



サブドレーンピット位置

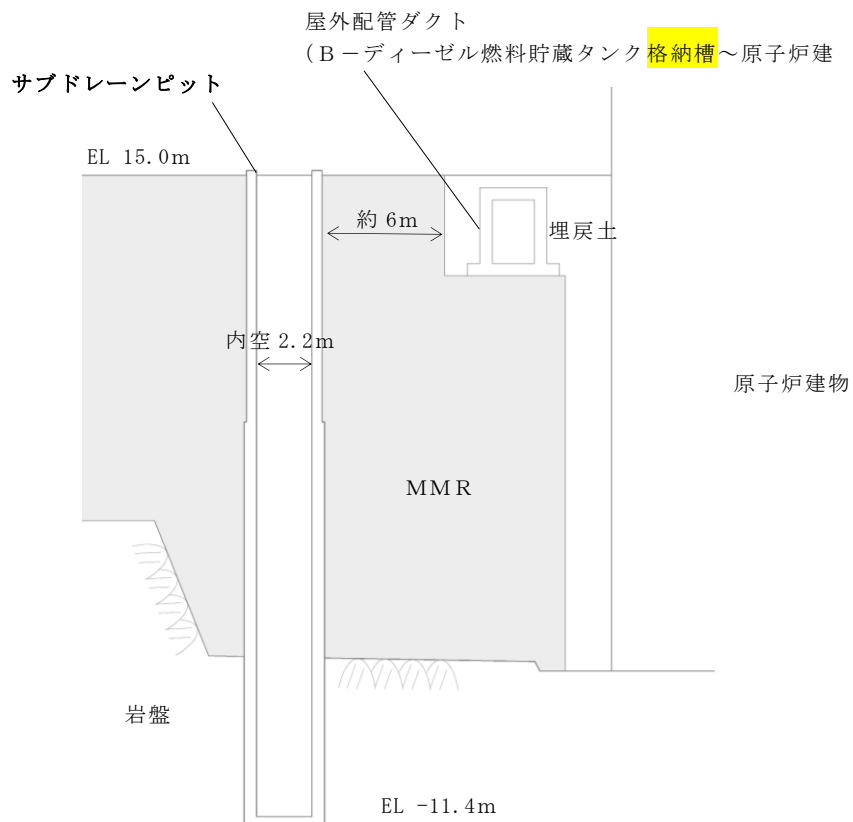


図 3-1 サブドレーンピット断面図 (A-A断面)
(参考) 3-3

4. 2号機再稼働後の地下水位低下設備（既設）の運用について

設計揚圧力及び設計地下水位の設定にあたっては、地下水位低下設備（既設）には期待しない条件での浸透流解析により地下水位を設定している。図4-1に示すようにドレーン（新設）はドレーン（既設）より十分下方に設置することから、地下水位低下設備（新設）が機能した状態においては、図4-2(1)、(2)に示すように2号機原子炉建物付近の解析水位はドレーン（既設）よりも下方に位置する。従って、地下水位低下設備（新設）の運用開始後においてはドレーン（既設）の有無による地下水位への影響は無い。また、図4-3に揚水ポンプ（既設）による地下水排水量を示す。地下水位低下設備（新設）の掘削開始以降、工事に伴う仮設排水ポンプの稼働により、揚水ポンプ（既設）による地下水排水量は減少し、揚水井戸（新設）の掘削完了後以降の豪雨時（2021年7月12日）においてもサブドレーンピットへの地下水の流入は無い。以上のことから、地下水位低下設備（新設）の運用開始後においては地下水位低下設備（既設）の機能を停止し、サブドレーンピットをコンクリートにより閉塞する。

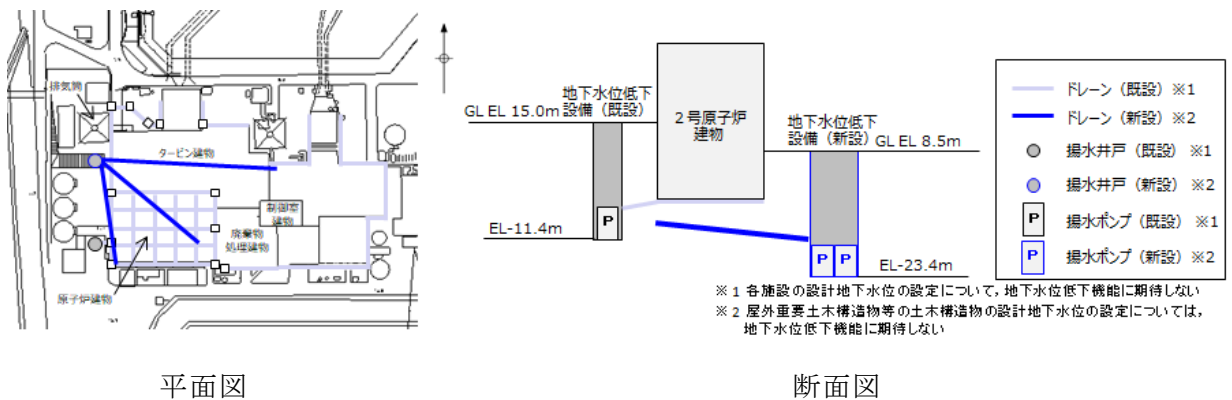


図4-1 地下水位低下設備の概要

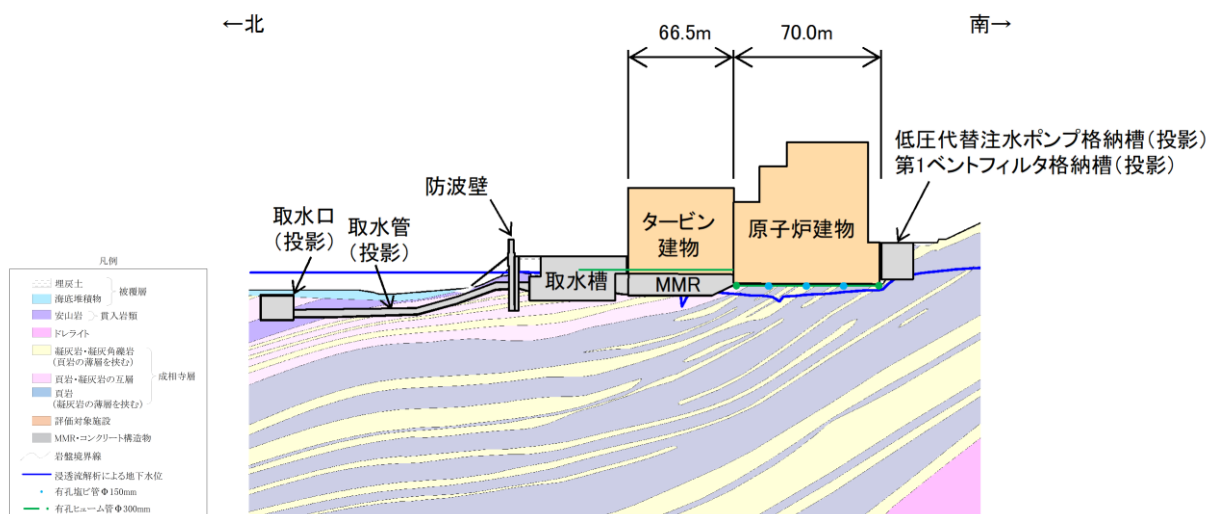


図4-2(1) 原子炉建物及びタービン建物の地下水位分布（南北）
（参考）3-4

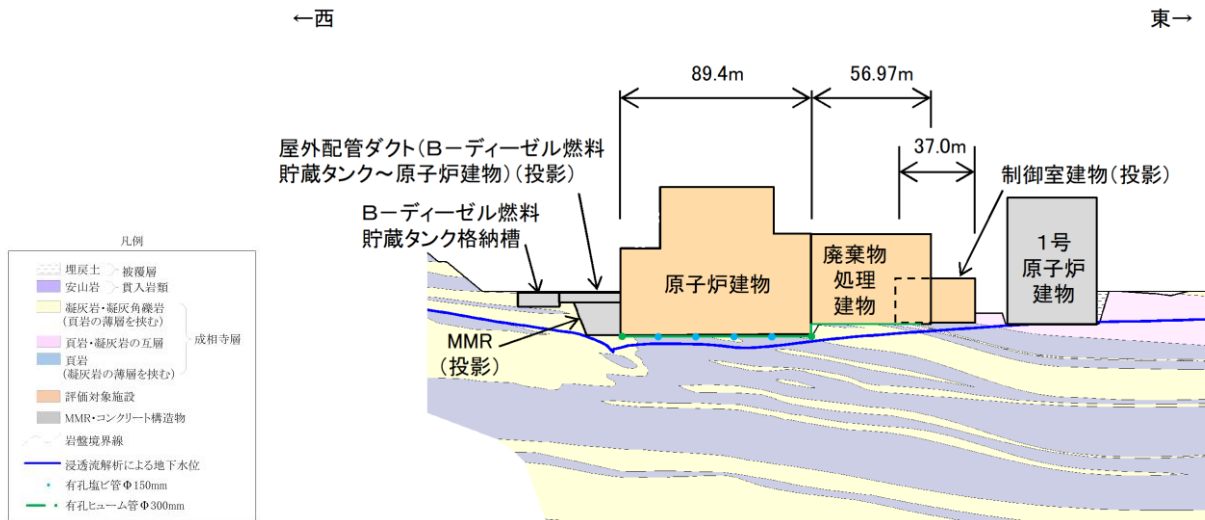
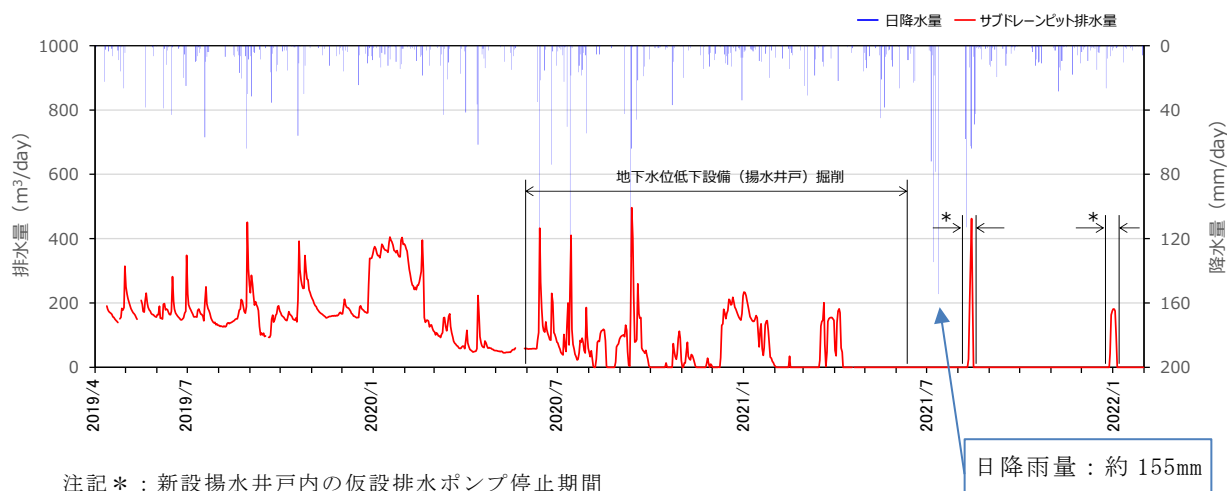


図 4-2(2) 原子炉建物，廃棄物処理建物及び制御室建物の地下水位分布（東西）



注記*：新設揚水井戸内の仮設排水ポンプ停止期間

図 4-3 揚水ポンプ（既設）排水量

(参考資料 4) 非定常解析の降雨に対する感度向上についての取り組み

1. 概要

設計地下水位の設定においては、降雨条件に保守性を持たせた定常解析による予測解析に基づき設定する方針としており、非定常解析については解析モデルの妥当性検証のために補足的に実施する位置付けとして、設置許可段階においては、再現解析（定常解析）に加え、観測降雨を与える再現解析（非定常解析）を実施していた。その結果、降雨時の解析水位の感度が観測水位と比較して小さい傾向が確認された。

上記を踏まえ、本資料では、再現解析（非定常解析）における降雨時の解析水位の感度が小さい要因を分析し、感度向上を目的とした検討内容及び結果について説明する。

ここで、本資料に記載する浸透流解析の一覧を表 1-1 に示す。

表 1-1 浸透流解析一覧

解析種別		実施時期	内容	以降の記載方法
再現解析	定常解析	設置許可時	モデルの妥当性確認のため実施	再現解析①
	非定常解析	設置許可時	再現解析①の参考として実施	再現解析②
		詳細設計時	再現解析②を踏まえ、降雨時の解析水位の感度向上を目的として実施（今回実施）	再現解析③

2. 再現解析（非定常解析）の感度向上のための検討

2.1 降雨に対する感度向上に寄与する要因の分析

再現解析②の解析モデルでは、地表面への降雨は構内排水路を介して海へ排水されることから、舗装範囲については降雨の地下への浸透を考慮していない。実際には、工事中の掘削等の影響により、地表面から降雨が浸透することも想定されることから、地表面からの降雨の浸透が再現解析（非定常解析）の感度向上に寄与する一因として推察される。

2.2 感度向上のための検討内容

(1) 境界条件

再現解析③では、検証期間中に施工中であった安全対策工事に伴う舗装の撤去・掘削等による地表面の状況を踏まえ、降雨の地下への浸透について考慮する。

浸透を考慮する舗装範囲は、工事状況が時々刻々と変化することを踏まえ、舗装の全範囲とする。

(2) 検証期間

解析水位と観測水位を比較するための検証期間は、地下水位観測開始以降で、一定期間の観測水位データが概ね連続的に取得されている2016年4月～2016年11月とする。

表2-1に、今回実施する再現解析③とこれまで実施した再現解析①及び再現解析②とのモデル概要の比較を示す。

表 2-1 再現解析のモデル概要比較

項目	再現解析① モデル	再現解析② モデル	再現解析③ モデル
目的	モデル化の妥当性を確認 (観測記録の再現性を確保)	モデル化の妥当性を確認するための参考として実施 (再現解析②の感度向上)	
解析コード	Dtransu-3D・EL, バージョン: ver.2af90MP		
解析領域	<p>敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とする</p>		
格子数	<ul style="list-style-type: none"> 平面格子数: 1, 2号機エリア: 約 2.1 万 3号機エリア: 約 2.4 万 総格子数: 1, 2号機エリア: 約 121 万 3号機エリア: 約 138 万 格子寸法: 1~40m 程度 (構造物近傍は最小 1m 程度, 山側領域は 40m 程度) 		
解析種別	定常解析	非定常解析	
検証期間	2016年4月~2018年8月	2016年4月~2016年11月	
降雨条件	構内観測所における年平均降水量 1,540mm/年を定常的に与える	構内観測所における検証期間中の降水量を経時的に与える	
モデル (地形)	検証期間に対応した状態		
モデル (地盤)	検証期間に対応した状態		
モデル (構造物)	検証期間に対応した状態		
モデル (ドレーン)	ドレーン (既設) を管路として考慮		
境界条件	実態に則した設定 <ul style="list-style-type: none"> 山側: 閉境界 海側: H.W.L. (EL 0.46m) に水位固定 ドレーン: 管路としてモデル化 	感度向上を目的とした設定 <ul style="list-style-type: none"> 山側: 閉境界 海側: H.W.L. (EL 0.46m) に水位固定 ドレーン: 管路としてモデル化 安全対策工事の実施状況を踏まえて舗装範囲の見直し 	
透水係数	透水試験, 粒度試験*1及び文献値*2		
有効間隙率	物理試験及び文献値*3		

注記*1: 土質試験の方法と解説に基づき設定

*2: 管理型廃棄物物理立護岸 設計・施工・管理マニュアル (改訂版) に基づき設定

*3: 河川堤防の構造検討の手引き (改訂版) に基づき設定

3. 解析結果

再現解析③について，図3-1に示す地下水位観測孔における解析水位を観測値と比較することにより，解析水位の降雨への感度を図3-2(1)～(7)のとおり確認した。また，再現解析②の結果についても併記した。

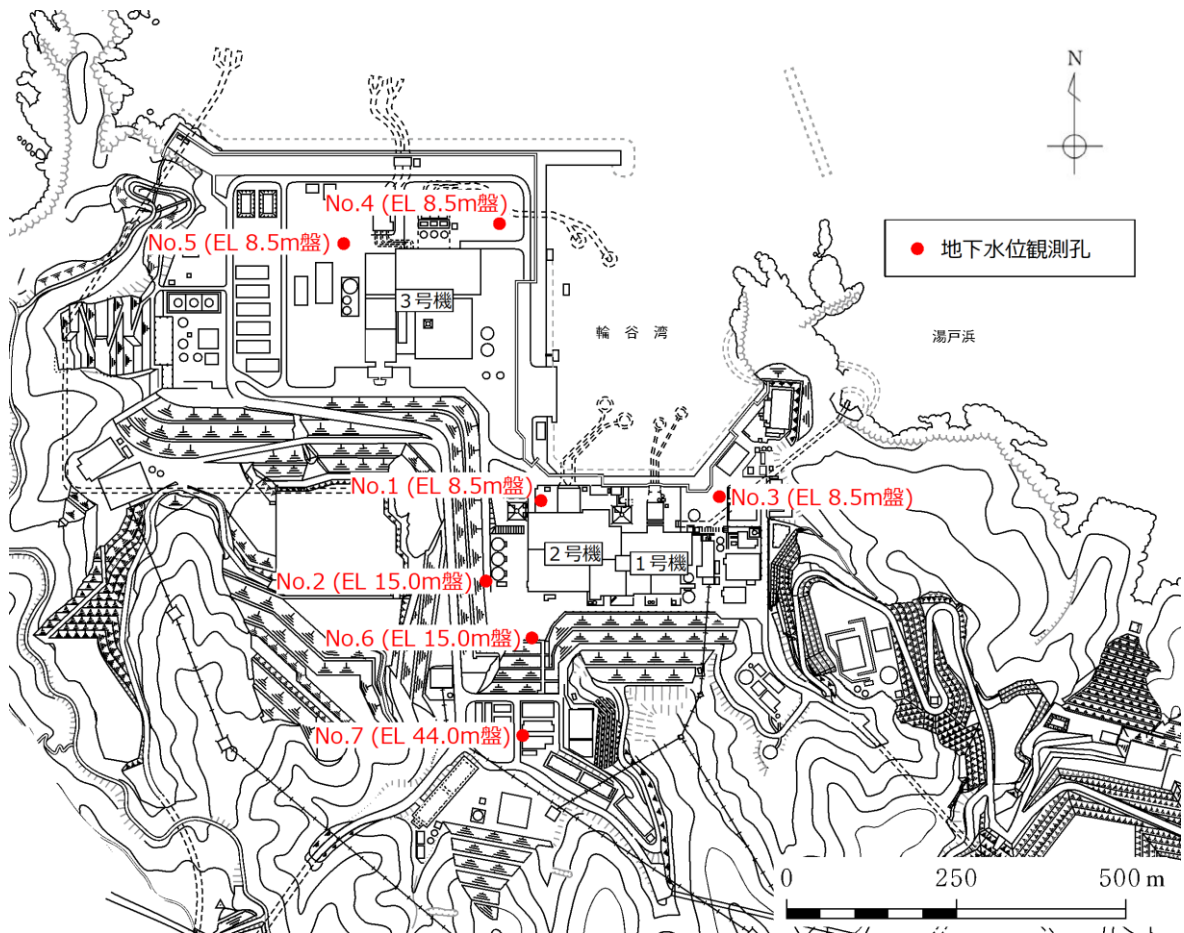


図3-1 地下水位観測孔位置図

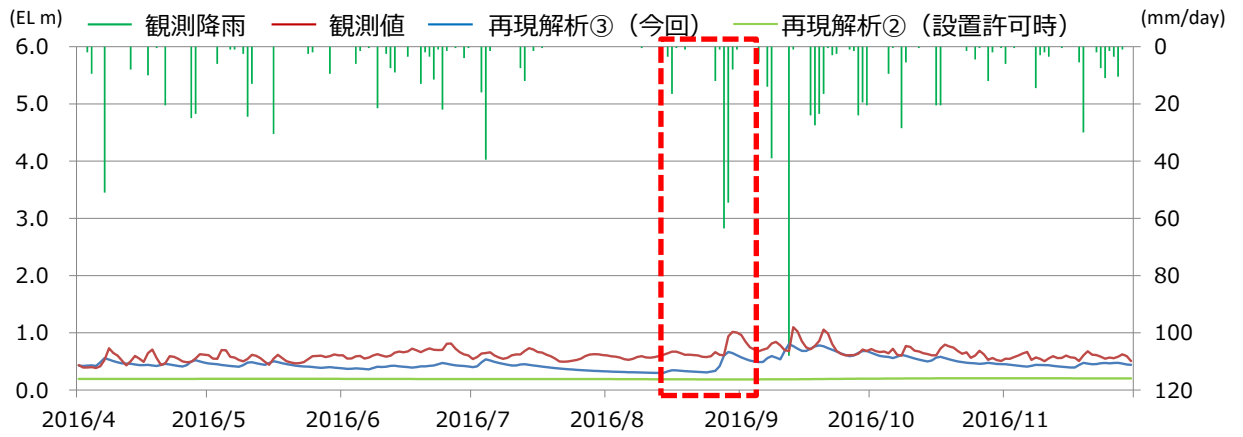


図 3-2(1) 地下水位の経時変化 (No. 1 孔)

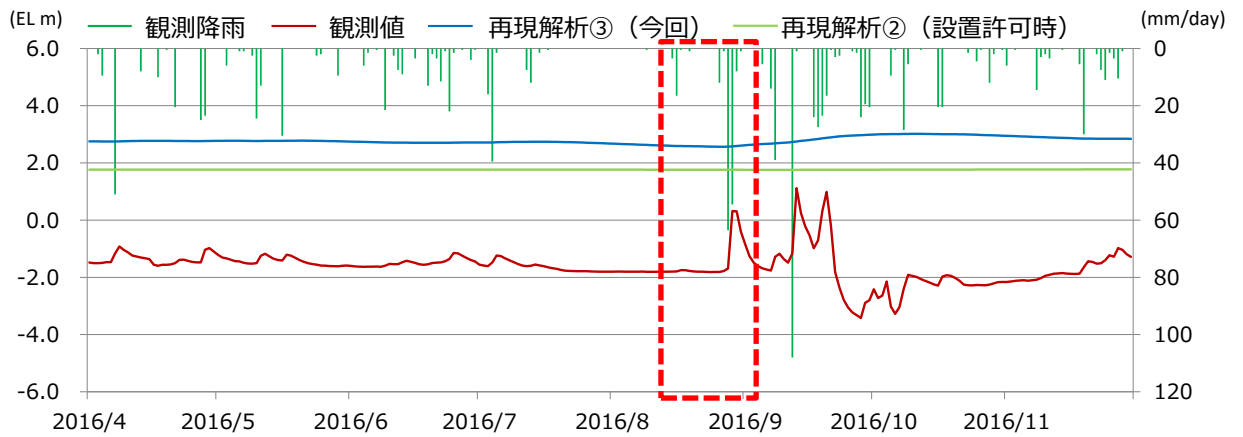


図 3-2(2) 地下水位の経時変化 (No. 2 孔)

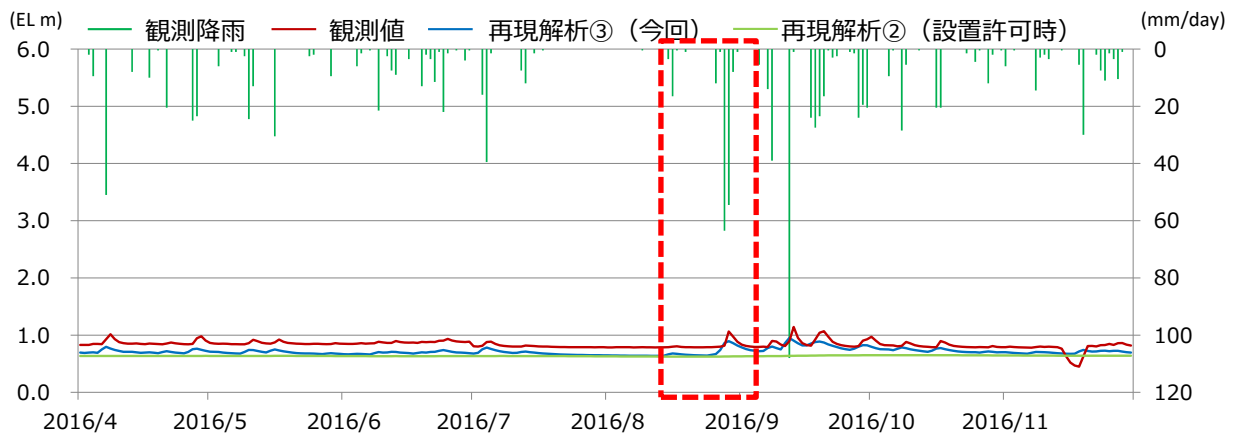


図 3-2(3) 地下水位の経時変化 (No. 3 孔)

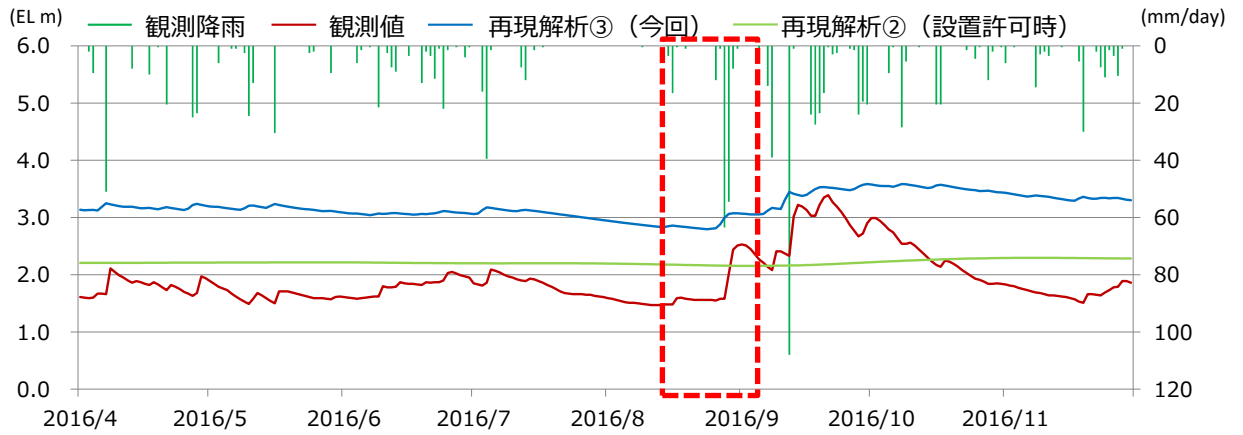


図 3-2(4) 地下水位の経時変化 (No. 4 孔)

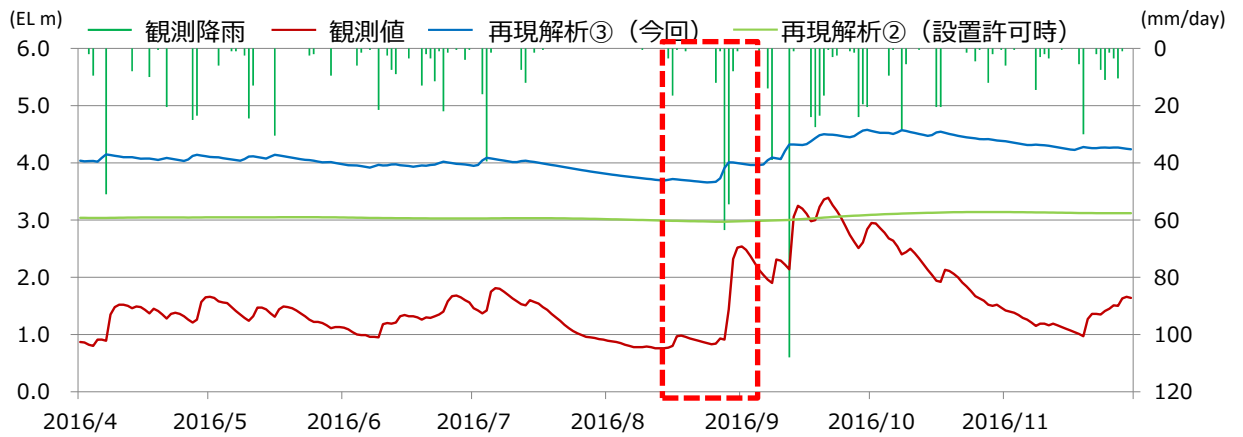


図 3-2(5) 地下水位の経時変化 (No. 5 孔)

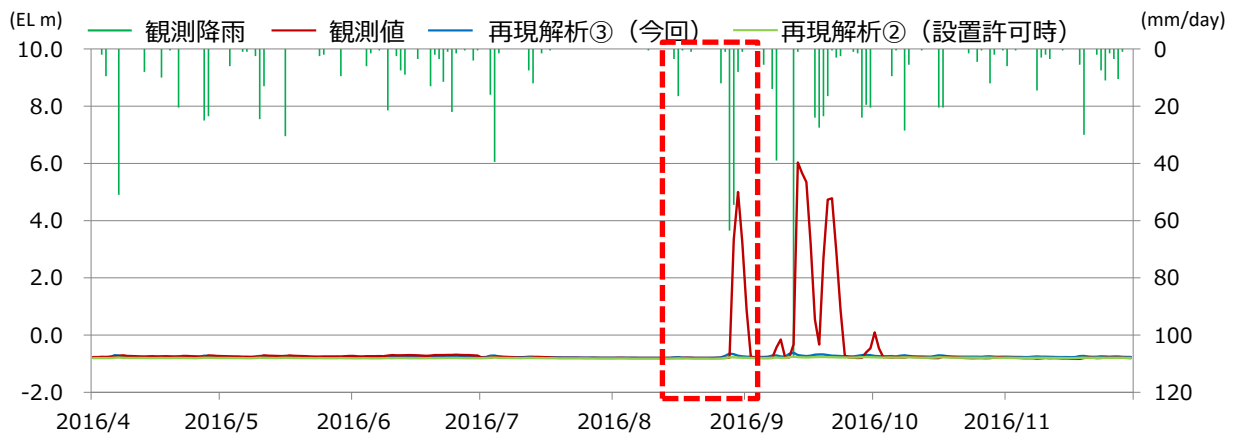


図 3-2(6) 地下水位の経時変化 (No. 6 孔)

(参考) 4-6

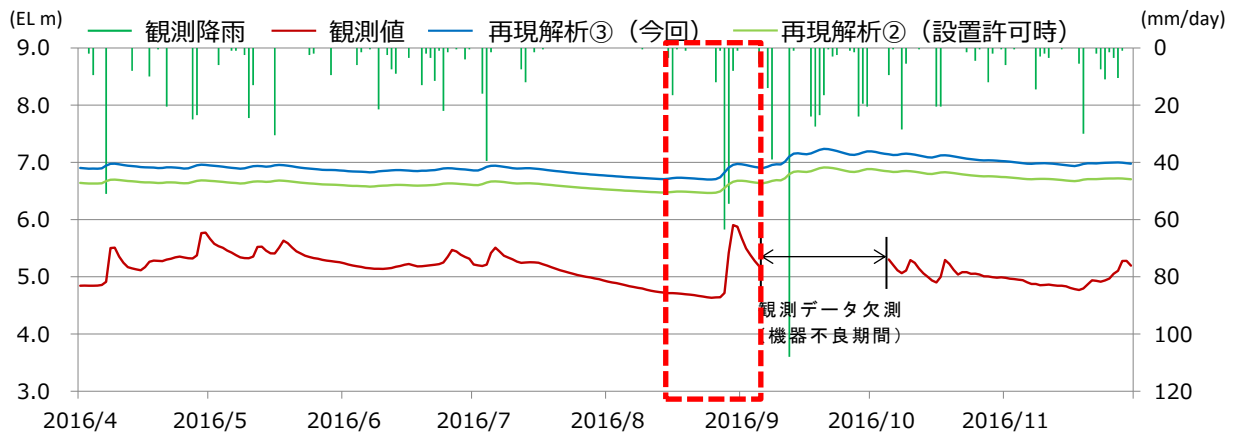


図 3-2(7) 地下水位の経時変化 (No. 7 孔)

再現解析③では、再現解析②と比較して、降雨に対する解析水位の感度が向上していることが確認された。No. 6 孔については、一部の期間において観測水位が降雨に伴い大きく変動しているものの、地下水位低下設備（既設）に近接する観測孔であり地下水位低下効果の影響が大きい範囲にあるため、それ以外の検証期間では、解析水位と観測水位の変動がいずれも小さい傾向にある。一部の期間において観測水位が降雨に伴い大きく変動している要因としては、観測孔周辺での工事状況等の影響により、一時的に雨水が観測孔に流入し易い状況であったことが推察される。

4. 非定常解析の感度向上に関する取り組み結果

今回実施した再現解析③では、設置変更許可時に実施した再現解析②から一部条件を変更し、降雨への感度分析を行った。図 3-2(1)～(7)の赤枠で示す期間（2016 年 8 月 14 日～9 月 5 日）での降雨時の水位変動を確認するため、表 4-1 に各地下水位観測孔における降雨前の地下水位と降雨期間中の最大地下水位との差を示す。その結果、観測孔によってばらつきは見られるものの、降雨時の地下水位の変動は、再現解析③では再現解析②に比べて大きい値を示していることから、再現解析②に比べて降雨に対する感度が向上していることを確認した。

以上のことから、非定常解析による降雨後の地下水位の変動の再現性には地表からの降雨の浸透による影響が大きいと判断される。その他の要因としては、敷地に広く分布している埋戻土の透水係数の影響が考えられるが、埋戻土の透水係数の不確かさを踏まえた確認を行った結果、感度に与える影響は小さいことを確認している。（補足 1 参照）

表 4-1 降雨時における地下水位変動の比較

観測孔 No.	降雨時*の水位変動（最大値）		
	再現解析② （設置許可時）	再現解析③ （今回）	観測水位
1	0.00m	0.37m	0.40m
2	0.00m	0.06m	2.12m
3	0.01m	0.25m	0.28m
4	0.03m	0.24m	1.05m
5	-0.02m	0.32m	1.78m
6	0.05m	0.15m	5.80m
7	0.21m	0.27m	1.18m

注記*：2016/8/14～2016/9/5

5. 非定常解析の位置付けについて

再現解析③では、降雨に対する感度向上が確認され、解析モデルが地下水位の時系列的な変動に対しても再現性があることが確認された。

今回の検討により再現解析（非定常解析）の参考としての位置付けは変わらず、設計地下水位の設定においては、降雨条件に保守性を持たせた定常解析による予測解析に基づき設定する方針としており、表 5-1 のとおり、検証期間全体を通して定常解析による予測解析の水位は再現解析③による解析水位及び観測水位を常に上回っていることから、設計地下水位は十分な保守性を有していることを確認している。

表 5-1 地下水位の比較

観測孔 No.	最高水位		
	再現解析③* （今回）	観測水位*	予測解析
1	EL 0.81m	EL 1.10m	EL 3.41m
2	EL 3.02m	EL 1.11m	EL 10.65m
3	EL 0.95m	EL 1.14m	EL 1.51m
4	EL 3.58m	EL 3.39m	EL 5.97m
5	EL 4.58m	EL 3.39m	EL 6.75m
6	EL-0.62m	EL 6.03m	EL 15.00m
7	EL 7.24m	EL 5.90m	EL 19.00m

注記*：検証期間中の最高値

(補足1) 埋戻土の透水係数の不確かさが地下水位変動に与える影響について

再現解析(非定常解析)の感度向上の取り組みとしては、工事状況を踏まえた地表からの雨水の浸透を考慮することにより改善を図っているが、ここでは埋戻土の透水係数の不確かさを踏まえた影響について確認を行う。

1. 埋戻土の透水係数の不確かさによる影響の確認方法

再現解析(非定常解析)における透水係数の不確かさによる降雨に対する感度への影響について、埋戻土の透水係数を大きく変化させた検討ケースにより確認を行う。

確認は表1-1に示す再現解析④により行うこととし、再現解析(非定常解析)において降雨に対して感度の良い結果が得られたNo.3観測孔及び比較的感度の悪いNo.2観測孔について確認する。

埋戻土の透水係数の不確かさを踏まえた再現解析(非定常解析)においては表1-2に示す、試験平均値により求めた解析用の透水係数を大きく増減させた値として、1/10倍及び10倍した透水係数を用いて確認する。

再現解析(非定常解析)の感度向上に向けた取り組みとして実施した再現解析③との解析条件の比較を表1-3に示す。

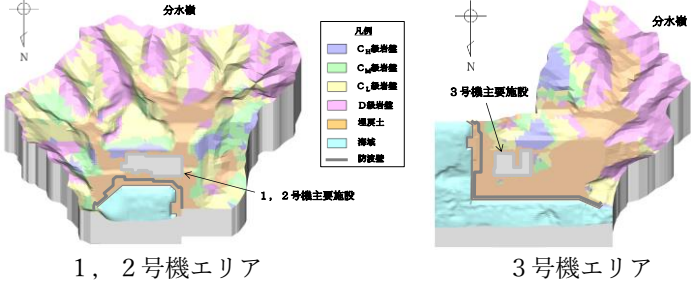
表1-1 再現解析実施内容

解析ケース名	解析種別	実施時期	内容
再現解析①	定常解析	設置許可時	モデルの妥当性確認のため実施
再現解析②	非定常解析	設置許可時	再現解析①の参考として実施
再現解析③		詳細設計時	再現解析②を踏まえ、降雨時の解析水位の感度向上を目的として実施
再現解析④			再現解析③の検証を踏まえ、埋戻土の透水係数の不確かさの影響を確認することを目的として実施(今回実施)

表 1-2 埋戻土の透水係数の不確かさの検討ケース

検討ケース	透水係数 (cm/s)		
再現解析③	標準値 (試験平均値)		2×10^{-1}
再現解析④	透水係数が高い場合	標準値 $\times 10$ 倍	2×10^0
	透水係数が低い場合	標準値 $\times 1/10$ 倍	2×10^{-2}

表 1-3 再現解析（非定常解析）の解析条件比較

項目	再現解析③ モデル	再現解析④ モデル
目的	モデル化の妥当性を確認するための参考として実施	
	再現解析②の感度向上（舗装範囲見直し）	透水係数の不確かさによる影響確認
解析コード	Dtransu-3D・EL, バージョン：ver.2af90MP	
解析領域	<p>敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とする</p> 	
格子数	<ul style="list-style-type: none"> 平面格子数：1, 2号機エリア：約 2.1 万 3号機エリア：約 2.4 万 総格子数：1, 2号機エリア：約 121 万 3号機エリア：約 138 万 格子寸法：1~40m 程度（構造物近傍は最小 1m 程度，山側領域は 40m 程度） 	
解析種別	非定常解析	
検証期間	2016 年 4 月～2016 年 11 月	
降雨条件	構内観測所における検証期間中の降水量を経時的に与える	
モデル（地形）	検証期間に対応した状態	
モデル（地盤）	検証期間に対応した状態	
モデル（構造物）	検証期間に対応した状態	
モデル（ドレーン）	ドレーン（既設）を管路として考慮	
境界条件	<p>感度向上を目的とした設定</p> <ul style="list-style-type: none"> 山側：閉境界 海側：H.W.L. (EL 0.46m) に水位固定 ドレーン：管路としてモデル化 安全対策工事の実施状況を踏まえて舗装範囲の見直し 	
透水係数	透水試験，粒度試験* ¹ 及び文献値* ² より算定した標準値	標準値を大きく増減させた値 標準値×10 倍，標準値×1/10 倍
有効間隙率	物理試験及び文献値* ³	

注記*1：土質試験の方法と解説に基づき設定

*2：管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）に基づき設定

*3：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）に基づき設定

2. 埋戻土の透水係数の不確かさを踏まえた影響確認結果

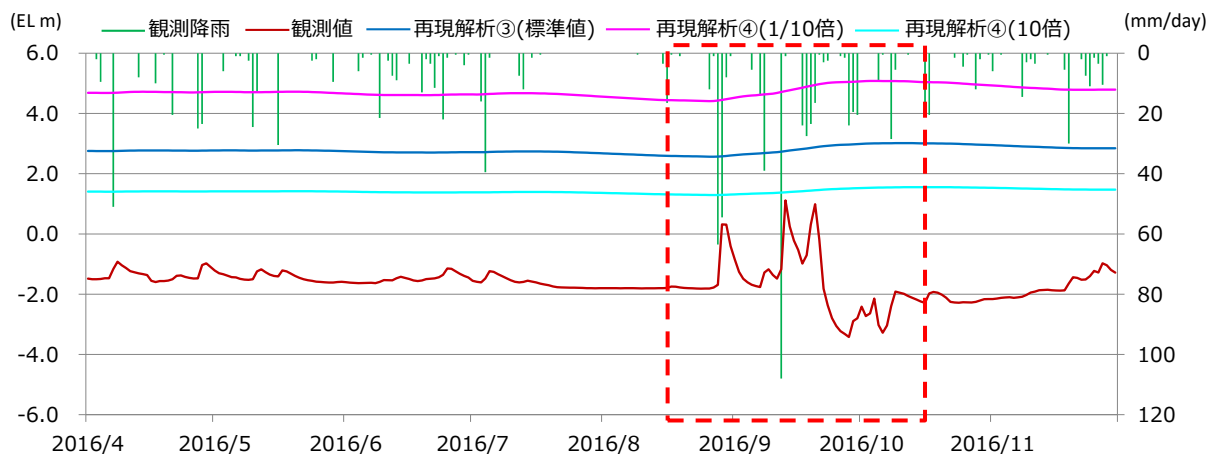
図 2-1 及び図 2-2 に埋戻土の透水係数の不確かさを踏まえた再現解析（非定常解析）結果を示す。

埋戻土の透水係数を 1/10 倍及び 10 倍した場合ともに降雨に対する地下水位の感度向上は確認できない。

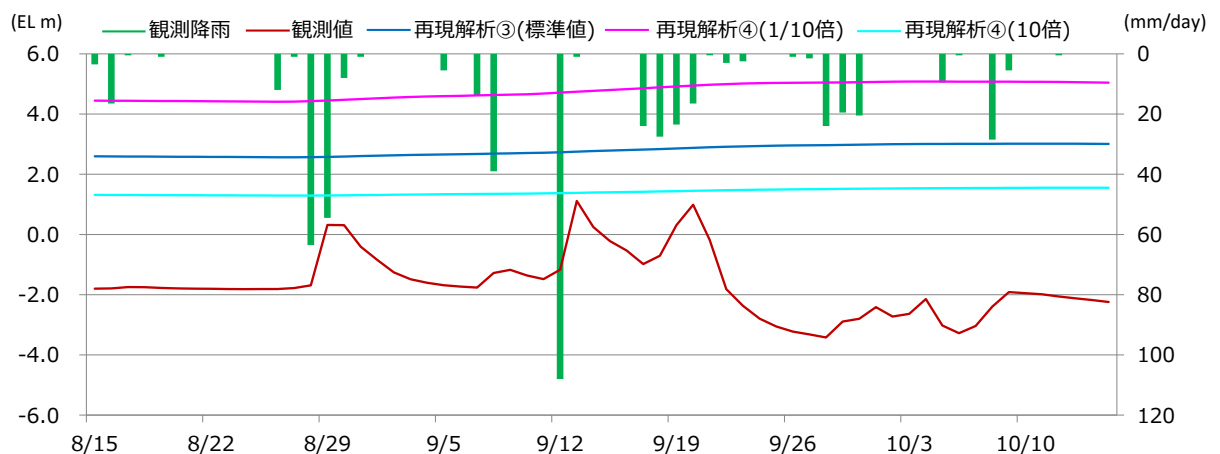
No. 2 観測孔においては、標準値を用いた解析水位に比べ、10 倍した場合の解析水位は観測水位との差が小さくなる傾向にあるが、降雨に対する感度は低下しており、1/10 倍した場合の解析水位は降雨に対する感度はわずかに向上しているものの、解析結果は観測水位との差が大きくなる傾向が確認できた。

No. 3 観測孔については 10 倍した場合の解析水位は降雨に対する感度は標準値を用いた解析水位と同程度であるが、解析水位と観測水位の差が大きくなる傾向が確認され、1/10 倍した場合については降雨に対する地下水位の感度は低下し、さらに解析水位と観測水位との差が大きくなる傾向が確認できた。

以上のことから再現解析（非定常解析）の感度向上に対しては、埋戻土の透水係数の不確かさによる影響は小さく、地表面からの降雨の浸透による影響が大きいことを確認した。

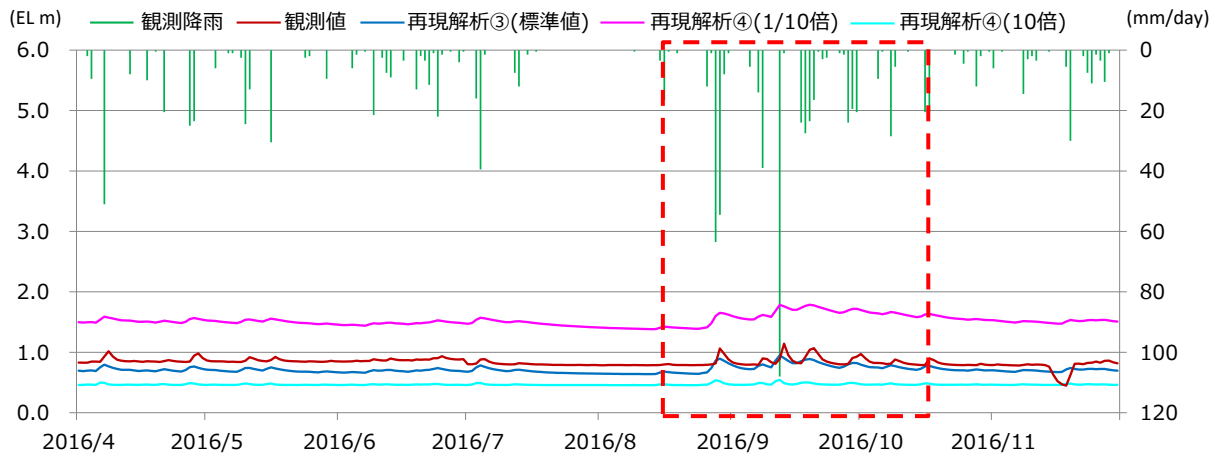


(1) 検証期間 (2016 年 4 月～11 月)

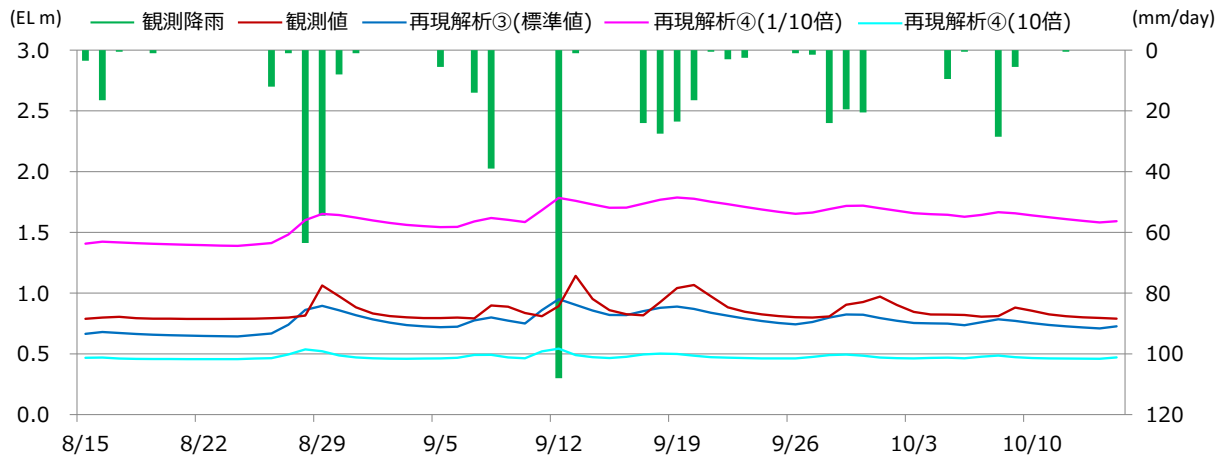


(2) 2016/8/15～10/15 拡大

図 2-1 埋戻土の透水係数の不確かさを踏まえた再現解析（非定常解析）結果（No. 2 孔）
（参考）4-12



(1) 検証期間 (2016年4月～11月)



(2) 2016/8/15～10/15 拡大

図 2-2 埋戻土の透水係数の不確かさを踏まえた再現解析 (非定常解析) 結果 (No. 3 孔)

(参考資料 5) 地下水位観測記録について

1. 概要

設置変更許可時に示している地下水位観測孔における観測水位について、最新の観測記録を示すとともに、最新の観測記録を用いた再現解析（定常解析・非定常解析）によるモデルの妥当性確認の必要性について示す。

2. 観測記録

地下水位観測孔の位置図を図 2-1 に、2014 年 11 月から 2022 年 1 月までの観測記録を図 2-2 (1)～(7) に示す。

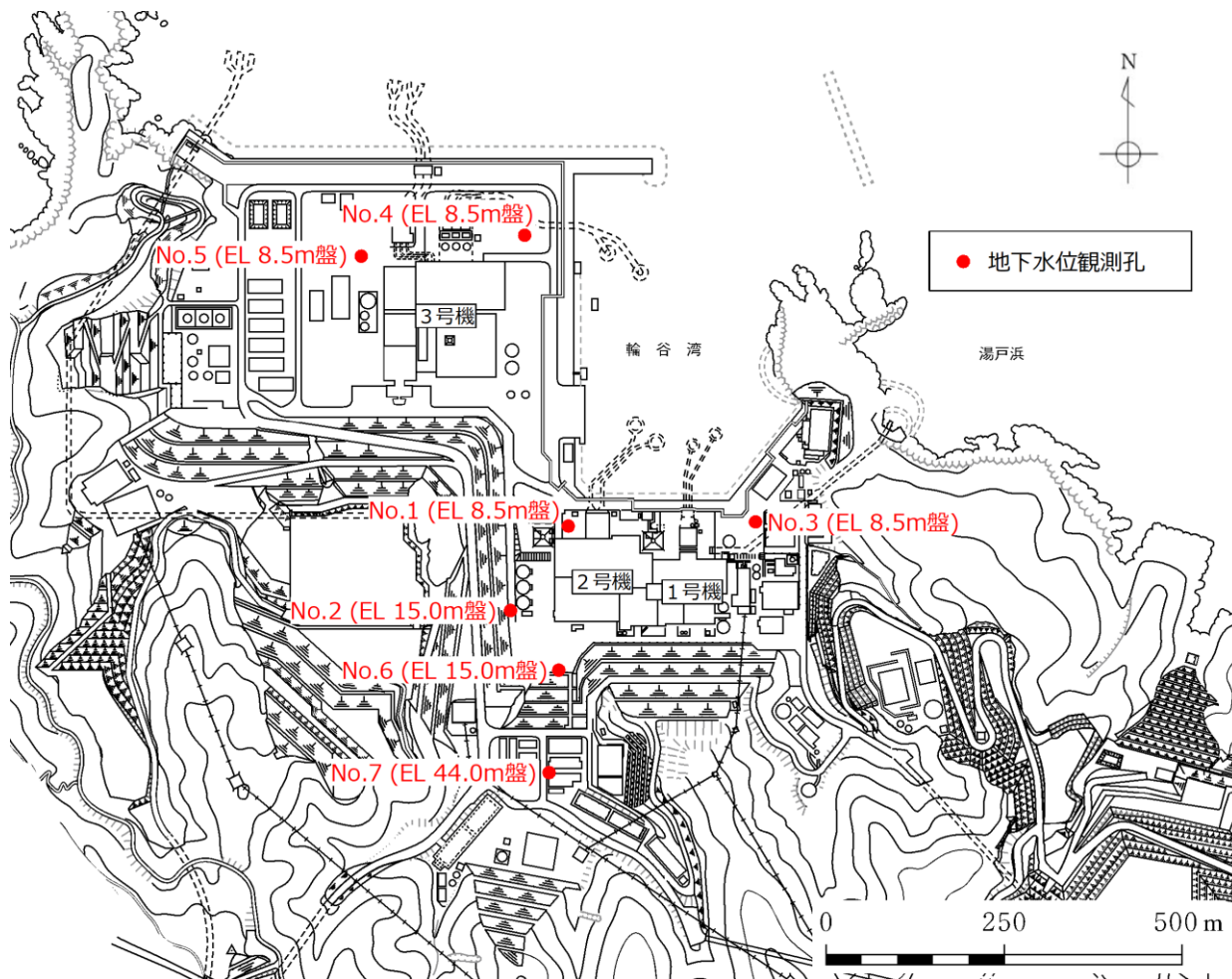


図 2-1 地下水位観測孔位置図

(参考) 5-1

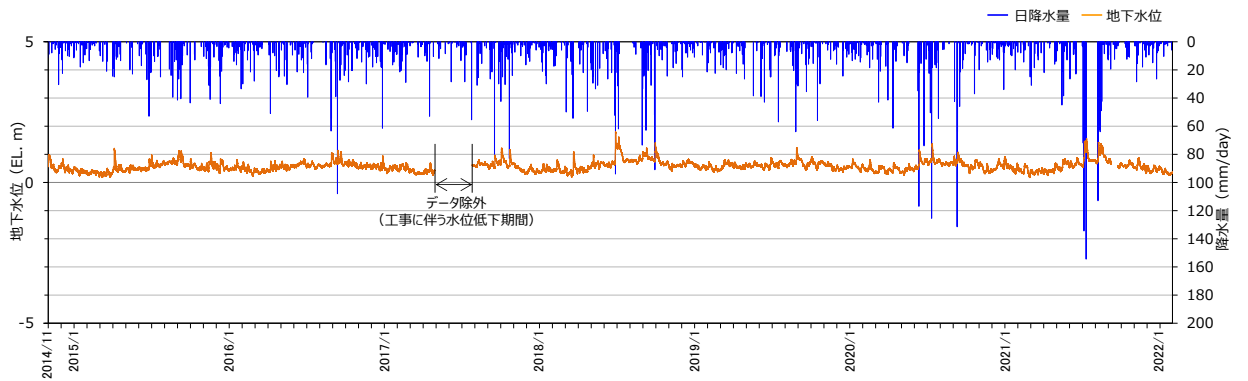


図 2-2(1) 地下水位観測記録 (No. 1 孔)

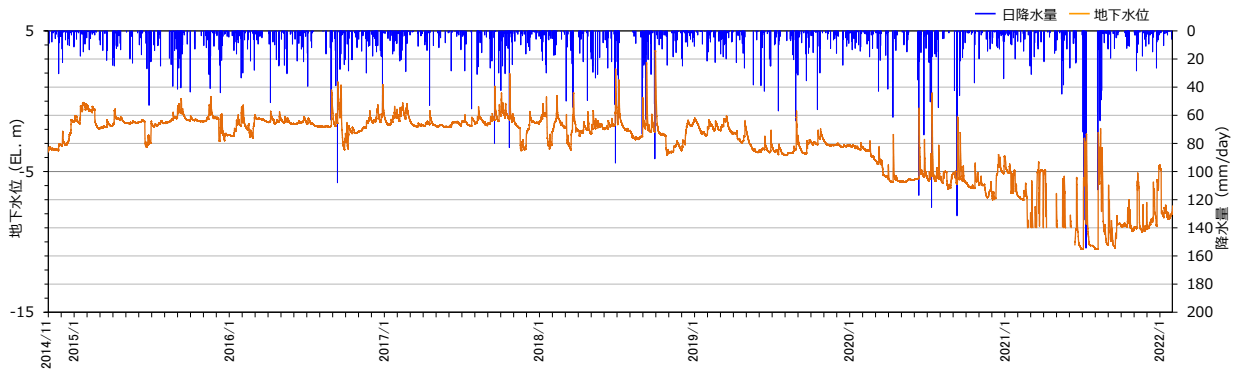


図 2-2(2) 地下水位観測記録 (No. 2 孔)

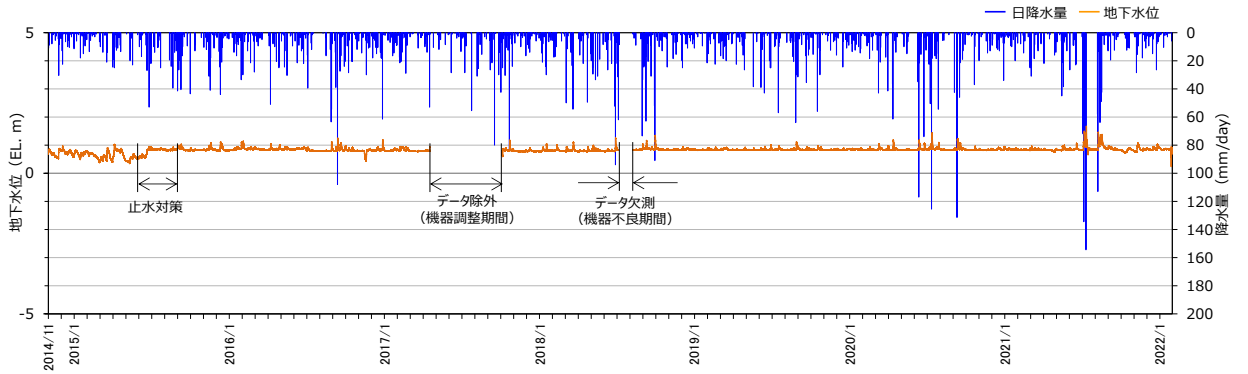


図 2-2(3) 地下水位観測記録 (No. 3 孔)

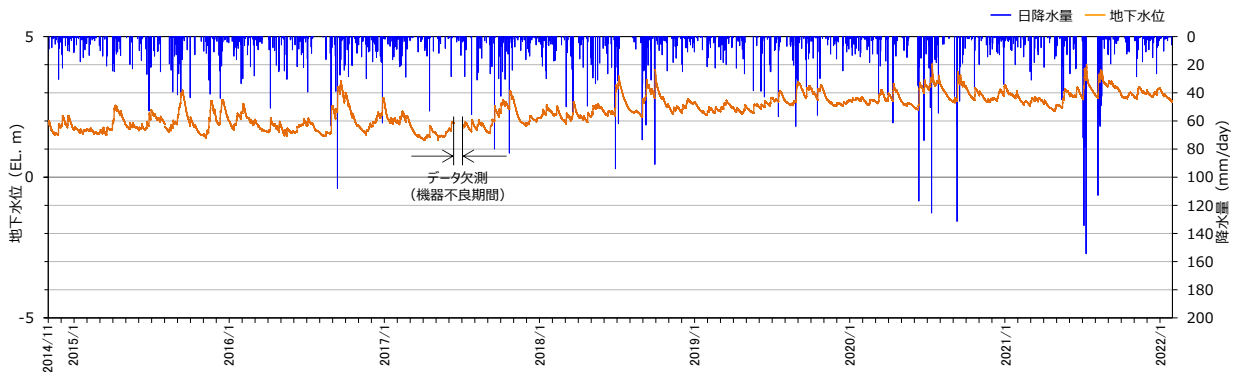


図 2-2(4) 地下水位観測記録 (No. 4 孔)

(参考) 5-2

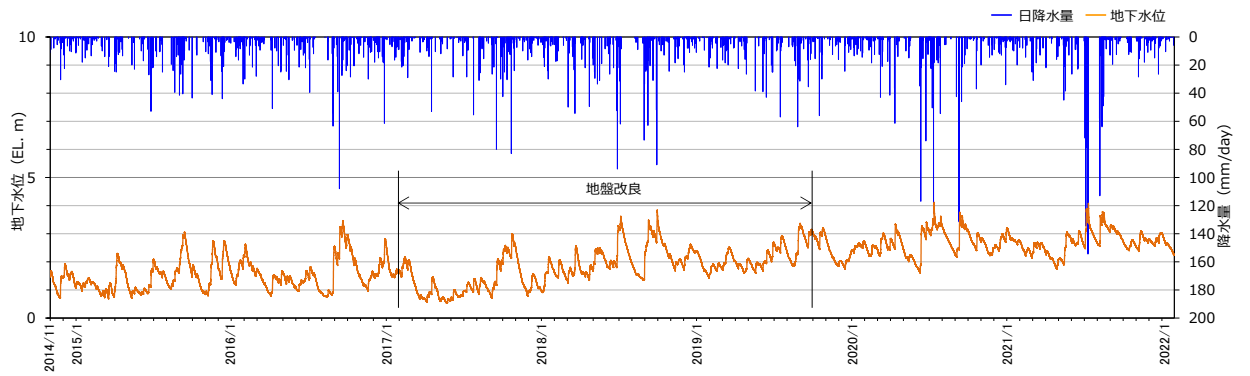


図 2-2(5) 地下水位観測記録 (No. 5 孔)

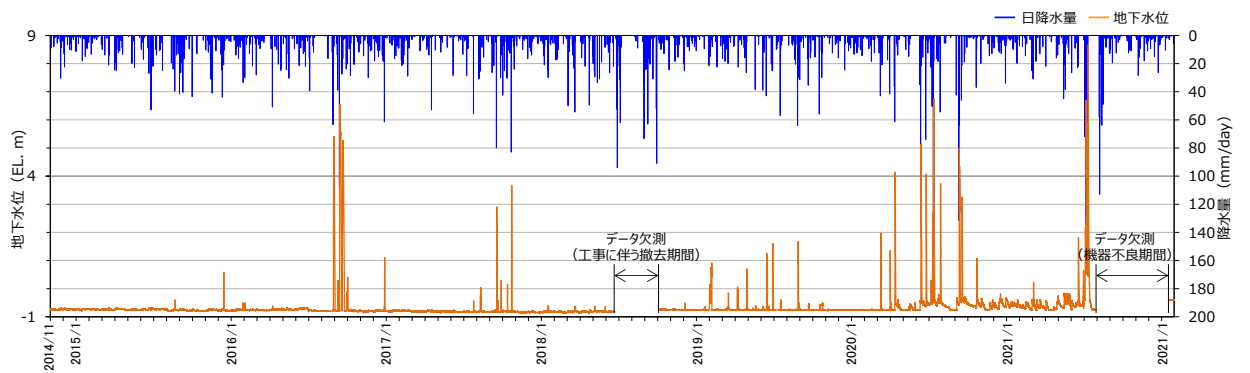


図 2-2(6) 地下水位観測記録 (No. 6 孔)

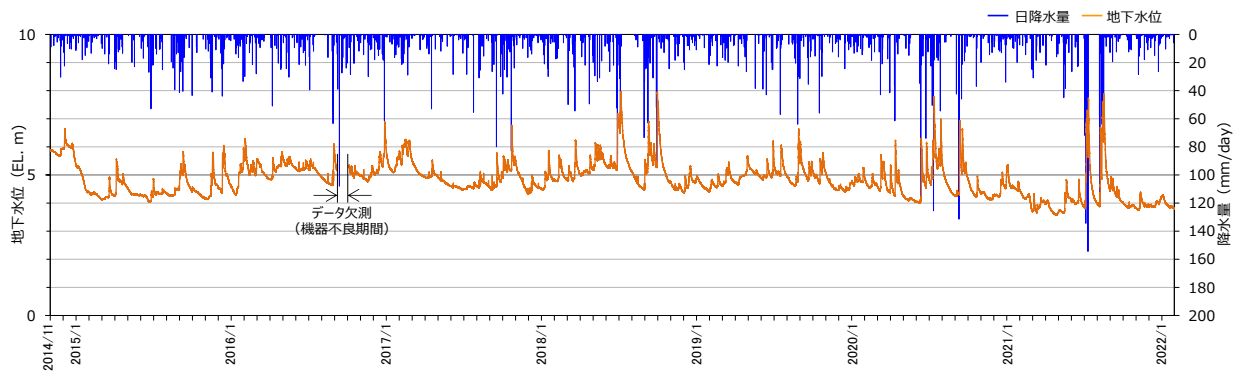


図 2-2(7) 地下水位観測記録 (No. 7 孔)

3. 設計揚圧力及び設計地下水位の妥当性確認について

設置変更許可審査以降（2020年10月以降）の2021年7月12日において、観測開始（2014年11月）以降の最大日降水量を記録しており、地下水位観測孔 No. 3 孔及び No. 6 孔において観測水位の過去最高値を記録している。

地下水位観測記録の最大値と予測解析における解析水位（自然水位）との比較を表 3-1 に示す。

No. 3, No. 6 観測孔において観測記録の過去最高値を観測しているが、No. 6 観測孔については解析水位（自然水位）よりも観測記録は低い値であり、No. 3 観測孔については解析水位（自然水位）を上回っている。

上記のように局所的に解析水位（自然水位）を上回る地下水位が観測されているが、屋外重要土木構造物等の設計地下水位の設定においては、参考資料 8-2 に示すように浸透流解析の結果から構造物の耐震安全性評価で検討する解析モデル範囲内の最高地下水位を抽出し、それに裕度を加えた地下水位を設計地下水位として全解析断面に対して一律に設定していることから、設計地下水位は実際の地下水位よりも高く設定することができる。

以上のことから、設置許可審査以降の観測記録を踏まえても屋外重要土木構造物等の設計地下水位の設定値が妥当であることを確認した。

表 3-1 観測水位と解析水位（自然水位）の比較

観測孔 No.	①観測水位 (m)	②解析水位 (自然水位) (m)	差 (②-①) (m)
1	1.79	3.41	1.62
2	3.59	10.65	7.06
3	1.67*	1.51	-0.16
4	4.03	5.97	1.94
5	4.12	6.75	2.63
6	8.66*	15.00	6.34
7	7.97	19.00	11.03

注記*：2020年10月以降に更新した最高地下水位

4. 再現解析（非定常解析）の解析期間選定の妥当性について

再現解析（非定常解析）については，地下水位観測開始以降で，一定期間の観測水位データが概ね連続的に取得されている 2016 年 4 月～2016 年 11 月を対象として実施している。本期間以降は，地盤改良等の安全対策工事に起因する水位変動の影響が否定できないことから，解析期間として選定しない。

(参考資料 6) 予測解析における降雨条件について

1. 概要

本資料では、設計地下水位の設定に係る予測解析における、敷地の地下水位に影響を与える降雨条件について、保守的な評価となる条件についての検討結果を示す。

2. 降雨条件の設定について

2.1 発電所周辺の降雨記録による設定値

設計地下水位の設定に係る予測解析に用いる降雨条件の設定に当たり、島根原子力発電所が位置する島根県松江市の気象庁松江地方気象台の過去 78 年間（1941～2018 年）の年間降水量の記録に基づき、年間降水量の平均値を算出し、降雨条件を保守的に設定するため、ばらつきを考慮する。

松江地方気象台における年間降水量の平均値は 1,880mm/年であり、平均値にばらつきを考慮した値（平均値 + 1 σ ）は図 2-1 に示すとおり、2,163mm/年となる。

なお、図 2-1 に示すとおり、松江地方気象台における年間降水量の平均値は、島根原子力発電所において観測された年間降水量の平均値を上回っている。

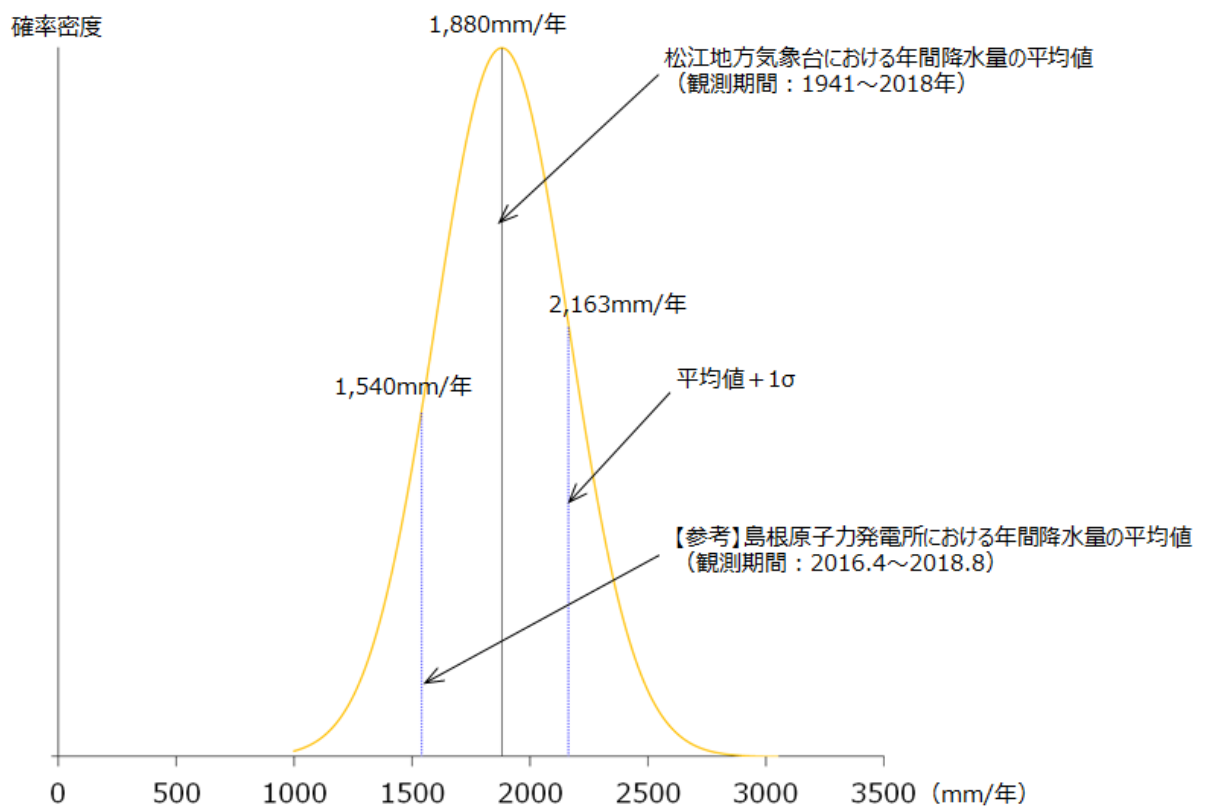


図 2-1 松江市の年間降水量の正規分布

(参考) 6-1

2.2 更なる保守性の確保について

設計地下水位の設定に係る予測解析における降雨条件の設定に当たり、更なる保守性を確保するための取り組みについて示す。

気象庁・環境省による今後の気候変動予測に関する分析*によると、将来の温室効果ガス濃度に応じたシナリオ（RCPシナリオ）により日本周辺の将来（2080年～2100年）の気候変動予測計算を実施している。このうち、図2-2に示す地球温暖化を引き起こす効果を示す指標である放射強制力が今後も上昇を続け、2100年以降に安定化するシナリオを選定する。図2-3に示すように西日本の日本海側では、将来的に（2080～2100年）年間降水量が約130mm/年増加する可能性があることが報告されていることから、降雨条件の保守的な設定に当たっては、この値についても考慮する。

以上を踏まえ、地下水位の設定に係る浸透流解析においては、表2-1に示すとおり降雨条件として2,400mm/年を考慮する。

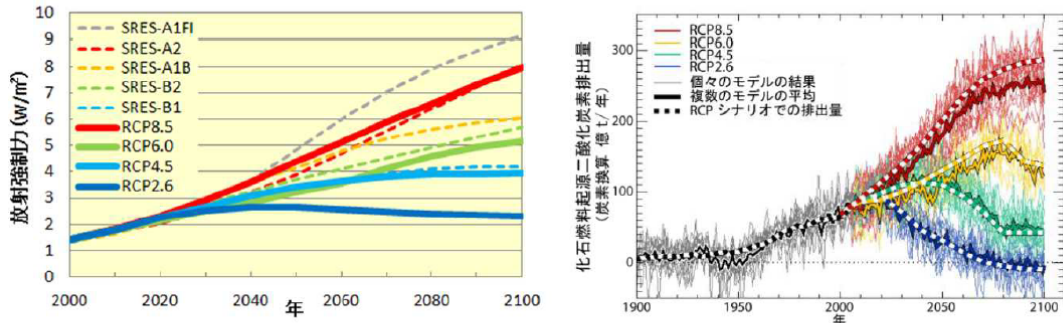
注記*：気象庁・環境省「日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について」

表2-1 浸透流解析に用いる降雨条件

	降水量 (mm/年)
(参考) 島根原子力発電所における 年間降水量	1,540
松江地方気象台における 年間降水量の平均値	1,880
標準偏差	283
平均値+1 σ	2,163
将来的な増加量	130
気候変動予測における降水量の 増加量を加味した解析用降水量	2,400

【参考資料Ⅳ】RCPシナリオについて

シナリオ略称	シナリオ名称	放射強制力の変化
RCP8.5	高位参照シナリオ	2100年以降も上昇が続く
RCP6.0	高位安定化シナリオ	2100年以降に安定化する
RCP4.5	中位安定化シナリオ	2100年までに安定化する
RCP2.6	低位安定化シナリオ	2100年までにピークを迎えその後減少する



(左) RCPシナリオに基づく放射強制力(RCPシナリオで定める4つの放射強制力の経路を実線で示す。比較のためSRESシナリオに基づいて求めた放射強制力を破線で示す。)
 (右) RCPシナリオに対応する化石燃料からの二酸化炭素排出量(地球システムモデルによる逆算の結果。細線: 個々のモデルの結果、太線: 複数のモデルの平均)

文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省 2013年9月27日報道発表資料をもとに作成

気象庁・環境省「日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について(お知らせ)別添資料」p.43に一部加筆

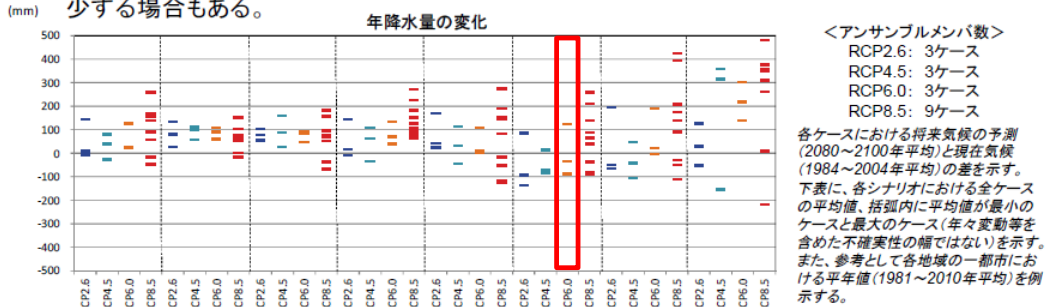
図2-2 RCPシナリオについて

3. 整備されたデータの特徴 ~ 将来気候の予測/降水(年降水量の変化)

●年降水量の変化

※バイアス補正(参考資料参照)後のデータを使用

●年降水量は、シナリオの違いによる傾向は不明瞭であり、ケースによって増加する場合も減少する場合もある。



＜アンサンブルメンバ数＞
 RCP2.6: 3ケース
 RCP4.5: 3ケース
 RCP6.0: 3ケース
 RCP8.5: 9ケース
 各ケースにおける将来気候の予測(2080~2100年平均)と現在気候(1984~2004年平均)の差を示す。
 下表に、各シナリオにおける全ケースの平均値、括弧内に平均値が最小のケースと最大のケース(年々変動等を含めた不確実性の幅ではない)を示す。また、参考として各地域の一都市における年平均値(1981~2010年平均)を例示する。

(単位:mm)	全国	北日本 日本海側	北日本 太平洋側	東日本 日本海側	東日本 太平洋側	西日本 日本海側	西日本 太平洋側	沖縄・奄美
RCP2.6	48.7(-7.9~143.4)	80.2(27.7~133.4)	78.0(54.8~102.8)	50.1(-9.6~143.0)	78.5(23.4~170.0)	-47.6(-134.6~86.3)	26.2(-66.1~194.8)	34.3(-51.7~125.0)
RCP4.5	30.3(-26.1~79.7)	90.8(59.2~114.5)	91.3(26.9~158.6)	45.2(-35.4~109.5)	33.8(-44.8~112.3)	-48.6(-85.0~12.1)	-33.4(-104.3~46.4)	172.8(-154.8~358.1)
RCP6.0	58.3(21.5~127.2)	80.3(59.8~108.0)	73.2(44.4~91.5)	81.9(41.8~134.5)	39.8(0.9~108.7)	-0.2(-87.7~123.3)	69.3(-3.2~189.5)	219.6(139.6~301.5)
RCP8.5	85.2(-45.7~259.2)	62.1(-14.5~153.9)	65.7(-69.3~182.3)	145.0(65.9~271.7)	58.9(-126.2~273.7)	66.3(-90.9~259.8)	138.2(-111.1~424.2)	249.5(-217.7~482.4)
参考都市の 年平均値	-	札幌	釧路	新潟	東京	福岡	大阪	那覇
	-	1106.5	1042.9	1821.0	1528.8	1612.3	1279.0	2040.8

モデル計算結果の現在気候をベースにした変化量の地域平均と、一地点の観測値である年平均とは、単純に比較できるものではない。また、都市例は代表的な都市をあげているが、地域の気候の代表値ではない。

21

気象庁・環境省「日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について(お知らせ)別添資料」p.21に一部加筆

図2-3 年降水量の将来変化予測

(参考) 6-3

(参考資料 7) 地下水位低下設備 (新設) について

1. 概要

本資料は、原子炉建物等の建物・構築物に作用する揚圧力及び液状化の低減を目的として設置する地下水位低下設備 (新設) の全体構成を説明するものである。なお、各設備の設定根拠等については、「NS2 補足-023 地下水位低下設備の設計方針」に示す。

2. 地下水位低下設備 (新設) の構成

地下水位低下設備 (新設) は、発電所の運用面、施工ヤード、構内排水計画等を踏まえタービン建物の西側に設置し、揚水井戸及び多重化した揚水系統 (揚水ポンプ、水位計、配管等) で構成する。制御盤は、原子炉建物内に多重化した 2 系統を設置し、地下水位低下設備 (新設) を操作・監視できる構成とする。電源は系統ごとに異なる非常用電源母線に接続する。また、操作・監視については、中央制御室に設置する制御盤においても実施できる構成とする。

3. ドレーン (新設) の構成

ドレーン (新設) は、原子炉建物等に作用する揚圧力及び液状化の影響を低減する目的で 3 次元浸透流解析により、原子炉建物等の十分な地下水位低下効果が期待できることを確認した平面配置及び深度とする。具体的には、揚水井戸から建物周辺地下岩盤内に直線的に 3 本配置し、地下水を揚水井戸に集水する構造として、ドレーン (既設) より低い EL-18.7m~EL-12.0m の範囲に設置する。浸透流解析においては、ドレーン (新設) は、施工計画高の上限高さでモデル化を行う。

地下水はドレーン (新設) により集水され、揚水井戸内に設置した揚水ポンプ、配管により構内排水路へ排水される。

地下水位低下設備 (新設) の平面図を図 3-1 に、構成概要を表 3-1、図 3-2 に示す。

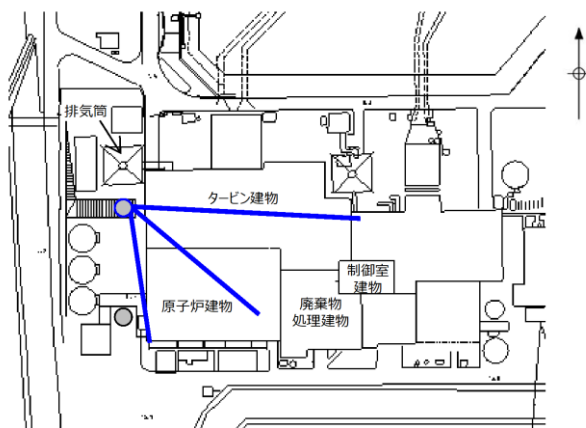


図 3-1 地下水位低下設備 (新設) の平面図
(参考) 7-1

表 3-1 地下水位低下設備（新設）の構成概要

構 成	概 要
ドレーン	V P 管（φ 200mm），揚水井戸に接続する。
揚水井戸	内径 φ 3.5m の鉄筋コンクリート造，タービン建物西側（EL8.5m）に設置する。
揚水ポンプ （配管を含む）	揚水ポンプ（容量 216 m ³ /h/個，揚程 35m，原動機出力 37kW）を揚水井戸に 2 個/系統×2 系統（計 4 個）設置する。
水位計・制御盤	水位計（計測範囲EL-21.4m～EL-12.0m）は揚水井戸に 1 個/系統×2 系統（計2個）設置する。 制御盤は原子炉建物内に1面／系統×2系統（計2面）設置し，中央制御室に設置する制御盤（1面）においても操作・監視できる構成とする。
電源	系統ごとに，異なる非常用電源母線に接続する。

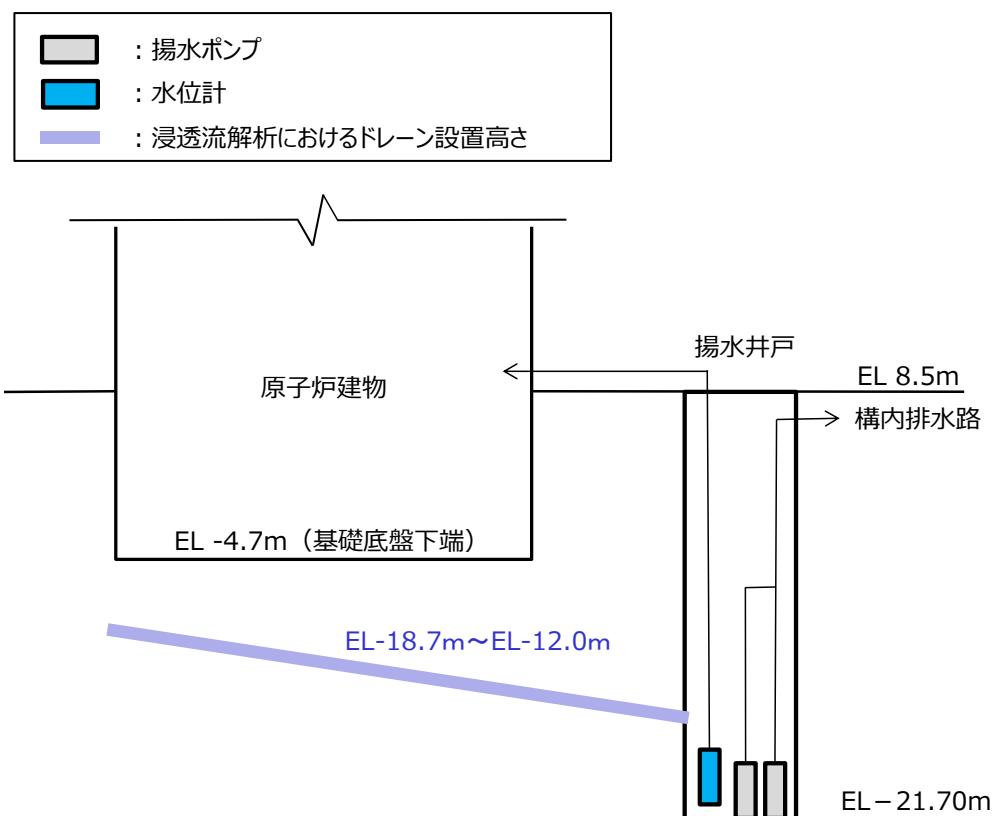


図 3-2 地下水位低下設備（新設）の構成図

(参考) 7-2

(参考資料 8-1) 1号機建物・構築物の地下水位について

1. 概要

本資料は、地下水位低下設備（新設）の効果が及ぶ範囲（EL 8.5m 盤及び EL 15.0m 盤）に位置する1号機建物・構築物について、地下水位が耐震評価に与える影響について確認するものである。

2. 1号機建物・構築物の地下水位

1号機建物・構築物について、予測解析により得られた地下水位及び揚圧力を表2-1に示す。全施設において地下水位が基礎底面高さを下回っていることから、地下水位が1号機建物・構築物の耐震評価に与える影響はない。

表2-1 1号機建物・構築物の地下水位

施設名称	基礎底面高さ	予測解析結果* (地下水位)
1号機原子炉建物	EL 0.1m	EL 0.0m
1号機タービン建物	EL-0.3m	EL-1.0m
1号機廃棄物処理建物	EL 5.0m	EL-2.1m
1号機排気筒	EL 0.0m	EL-0.6m

注記*：各建物・構築物位置での平均地下水位

(参考資料 8-2) 土木構造物の設計地下水位の設定方法

1. 概要

屋外重要土木構造物等の設計地下水位は、予測解析（水位評価）モデルを用いた3次元浸透流解析（定常解析）より得られた解析水位を参照し、観測水位の不確かさ等を考慮した余裕代を加えたうえで、解析水位を上側に包絡するよう設定する方針としている。本資料は、土木構造物の設計地下水位の設定方法について整理したものである。

2. 設計地下水位の設定に用いる裕度の考え方について

再現解析モデルの妥当性確認を目的として実施した、図2-1に示す地下水位観測孔における観測水位と再現解析による解析水位の比較結果を図2-2に示す。検証を行った期間（2016年4月～2018年8月）において、解析水位は観測水位と整合的であることを確認し、一部の観測孔では観測水位が解析水位を上回っている箇所が存在するが、その差は観測水位に対するばらつき（ 1σ ）の範囲内である。よって、屋外重要土木構造物等の設計地下水位の設定に際しては、観測水位の標準偏差を裕度として解析水位に加えることで、設計地下水位を保守的に高く設定する。設計地下水位に加える裕度としては、表2-1に示すとおり、観測水位のばらつき（ 1σ ）の最大値である0.6m程度を考慮する方針とする。

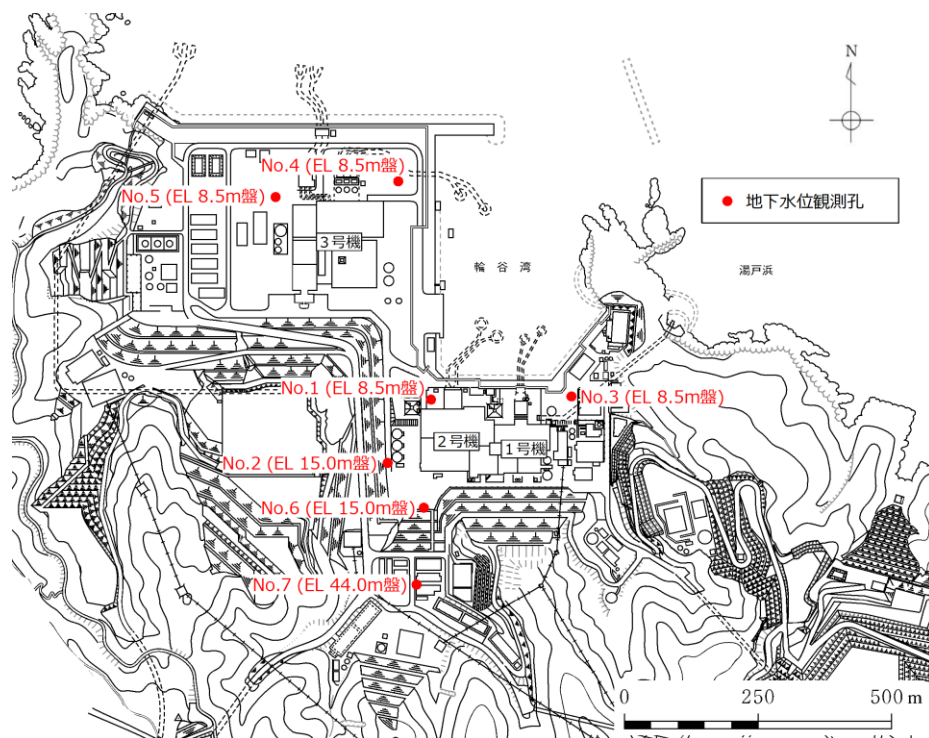


図2-1 地下水位観測孔位置図（図3.3-3の再掲）

(参考) 8-2-1

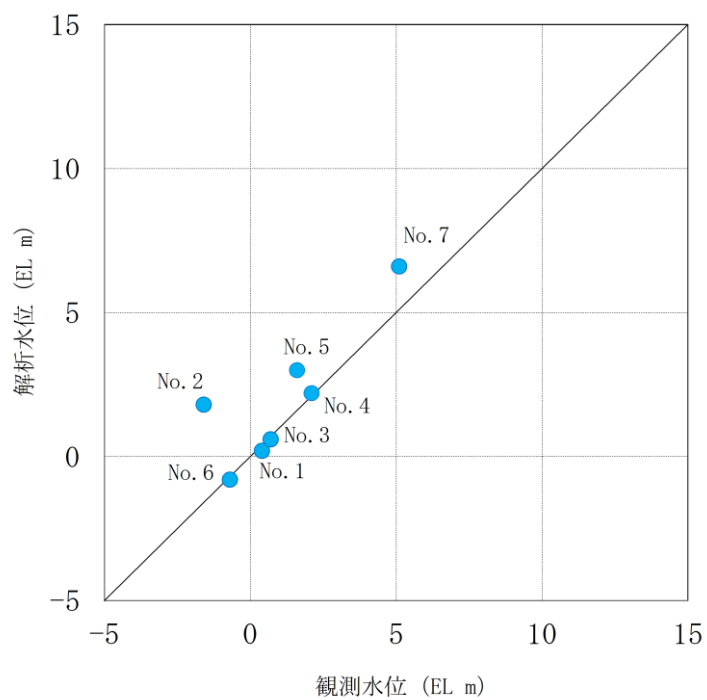


図 2-2 観測水位と解析水位の比較 (図 3.3-9 の再掲)

表 2-1 観測水位と解析水位の比較

観測孔	観測水位 (EL m)		(C) 解析水位 (EL m)
	(A) 平均値	(B) 標準偏差	
No. 1	0.4	0.5	0.2
No. 2	-1.6	0.6	1.8
No. 3	0.7	0.3	0.6
No. 4	2.1	0.4	2.2
No. 5	1.6	0.6	3.0
No. 6	-0.7	0.6	-0.8
No. 7	5.1	0.5	6.6

(参考) 8-2-2

3. 設計地下水位の設定方法

設計地下水位は、構造物の耐震安全性評価で対象とする解析モデル範囲内で、浸透流解析の結果から最高地下水位を抽出し、それに裕度を加えた地下水位として全解析断面に対して一律に設定する。

設計地下水位の設定方法のイメージを図 3-1 に示す。

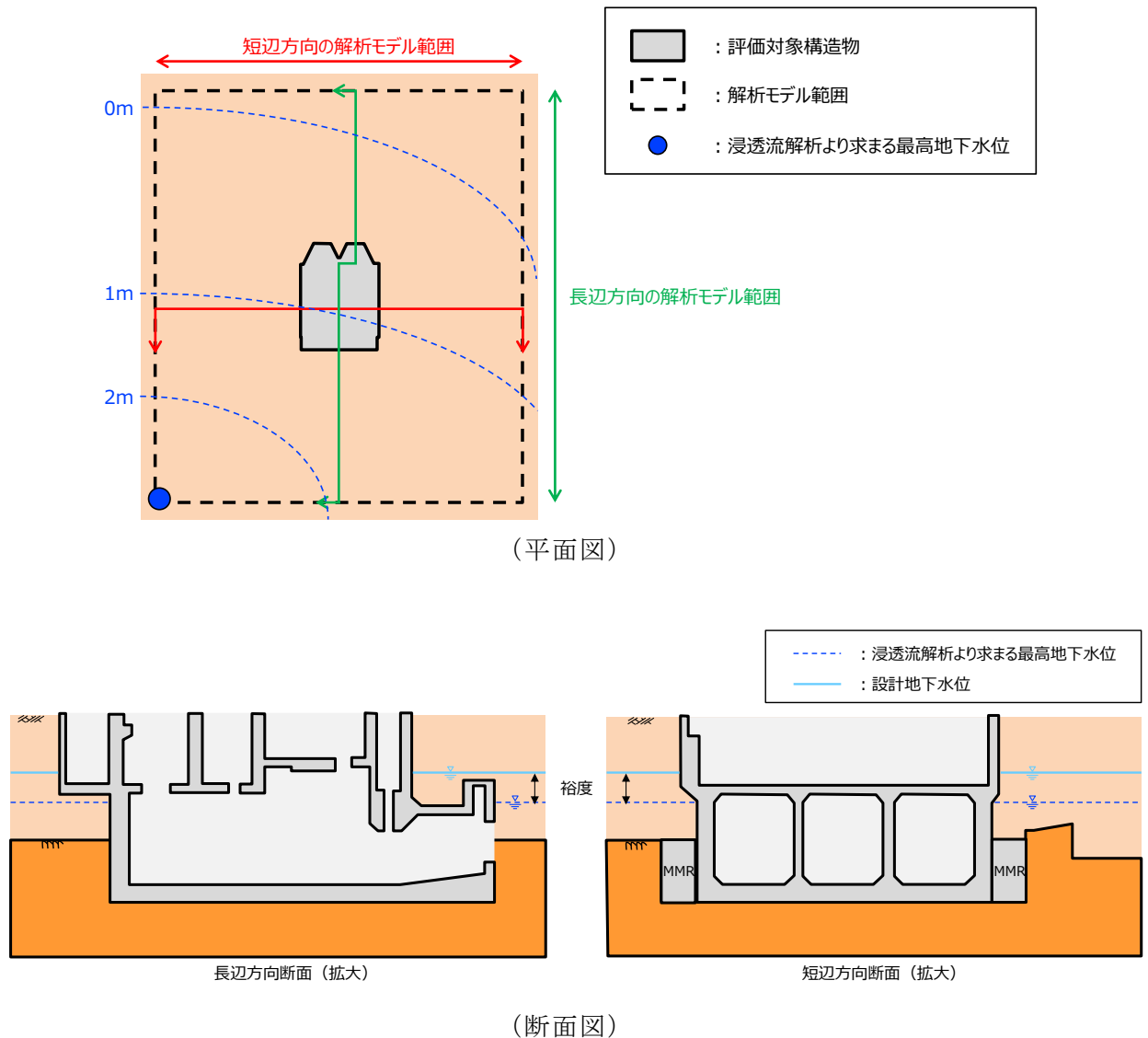


図 3-1 設計地下水位の設定方法のイメージ図