

図 1-1-9 接続樹の概要
(参考) 1-1-5

2.4 既設揚水井戸・配管

揚水井戸は、1号機用に3箇所、2号機用に3箇所、3号機用に2箇所設置している。揚水井戸位置を図1-1-10に示す。

揚水井戸はいずれも岩盤上に設置しており、1号機及び2号機は鉄筋コンクリート製立坑である。

また、2号機揚水井戸は2号機海水ポンプ室及び2号機原子炉機器冷却海水配管ダクトと一体となって設置している。2号機揚水井戸の設置例を図1-1-11に、平面図及び断面図を図1-1-12及び図1-1-13に示す。

3号機揚水井戸は上部を鋼製シャフトにより、下部は鉄筋コンクリート製の集水ピットにより構築している。3号機揚水井戸の設置例を図1-1-14に、平面図及び断面図を図1-1-15及び図1-1-16に示す。

配管は炭素鋼鋼管（ $\phi 125\text{ mm}\sim 200\text{ mm}$ ）であり、O.P.+14.8m盤の構内排水路に接続している。

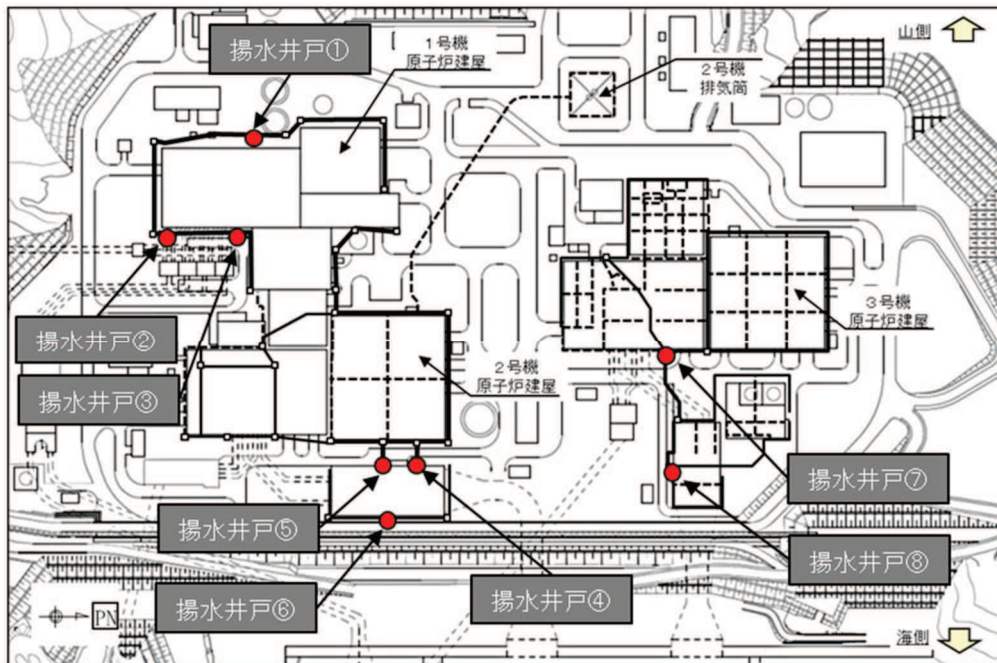
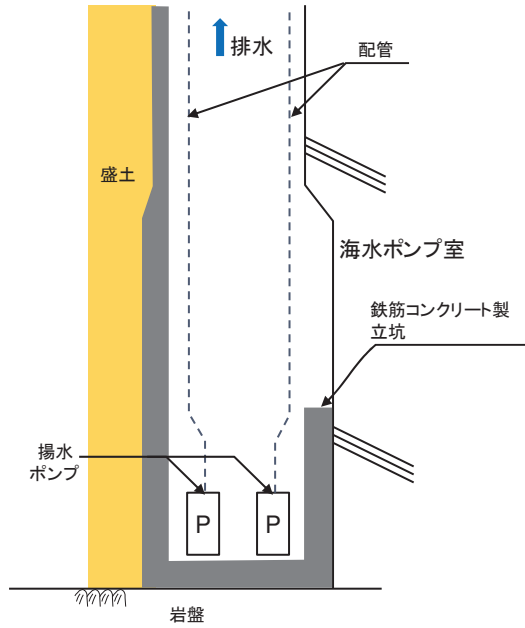


図 1-1-10 既設揚水井戸位置



配管の写真

図 1-1-11 2号機揚水井戸の設置例（揚水井戸④）

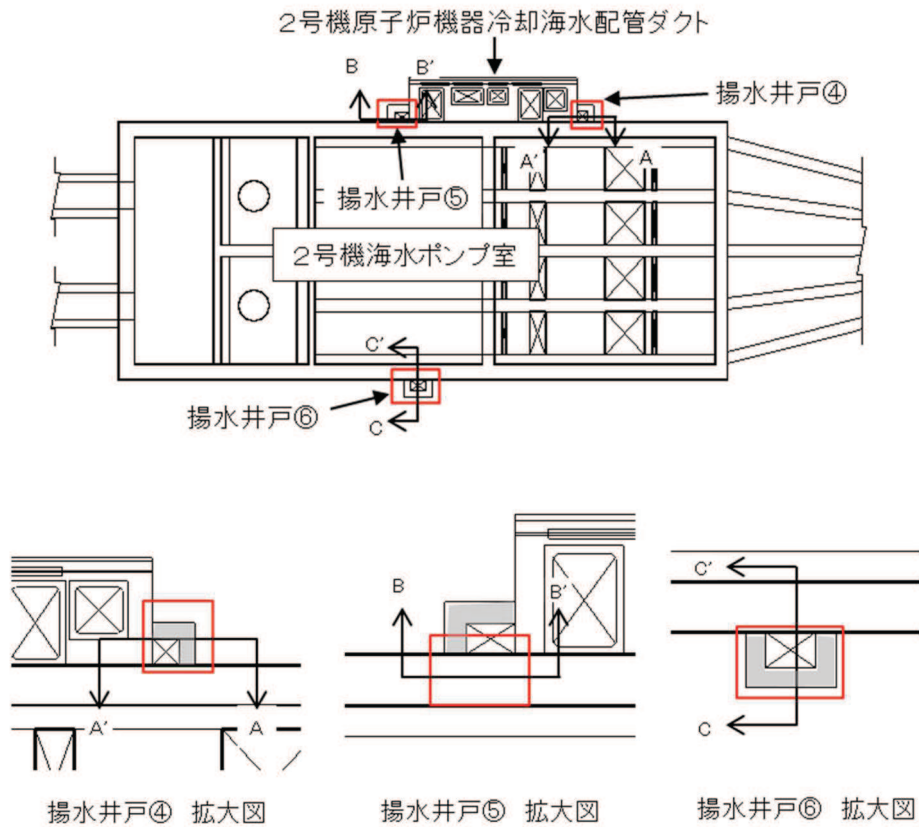


図 1-1-12 2号機揚水井戸平面図

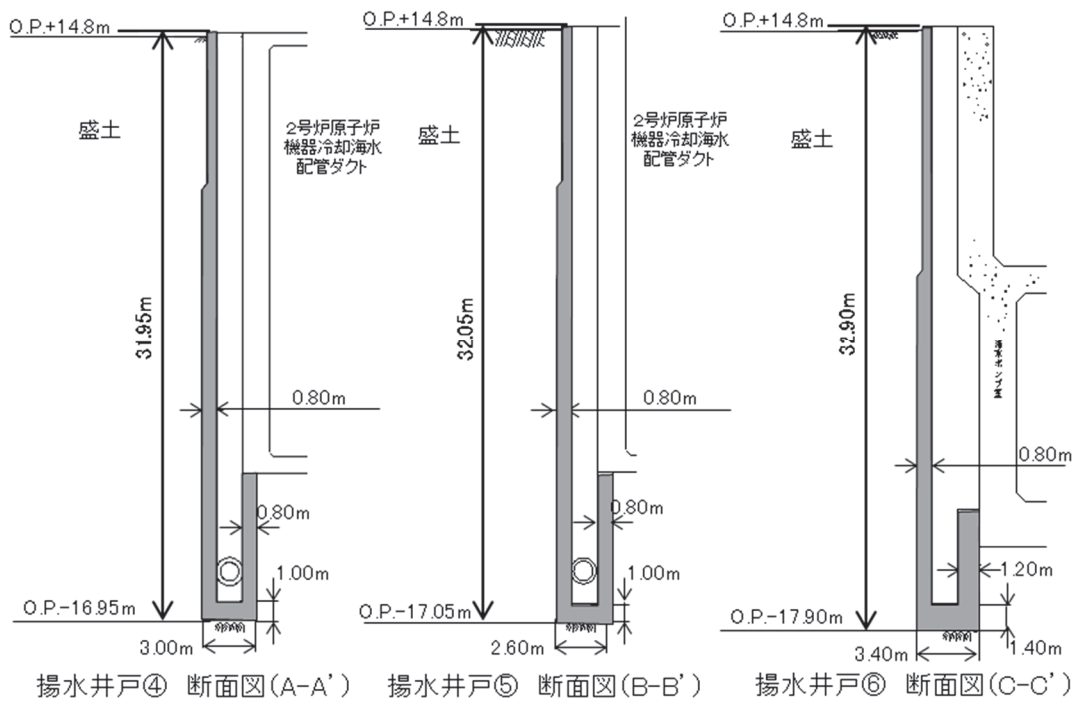


図 1-1-13 2号機揚水井戸断面図

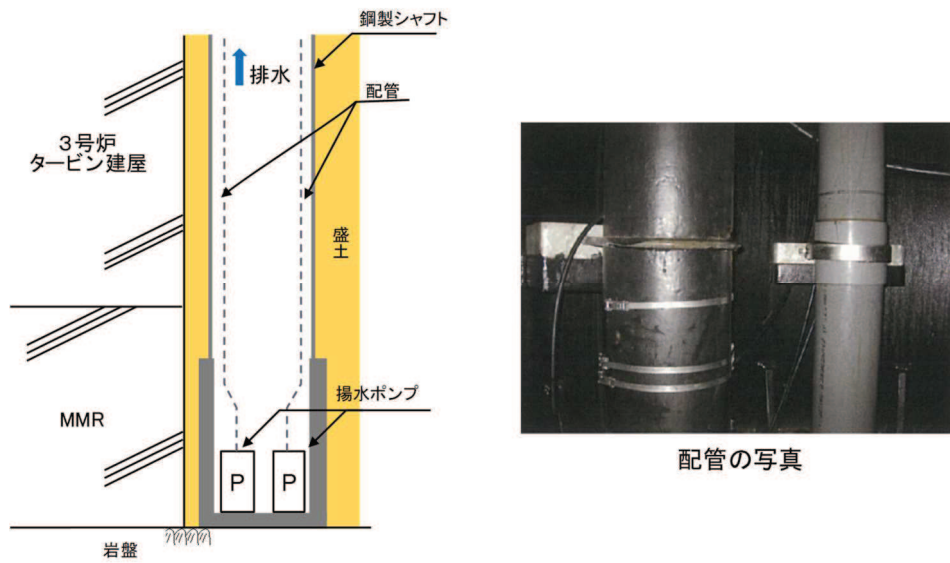
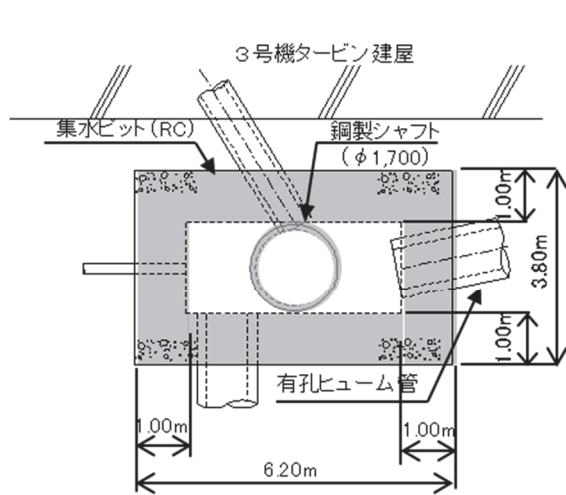
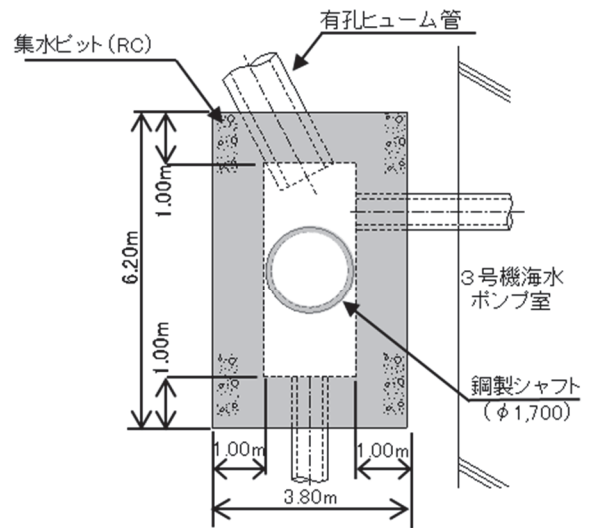


図 1-1-14 3号機揚水井戸の設置例 (揚水井戸⑦)

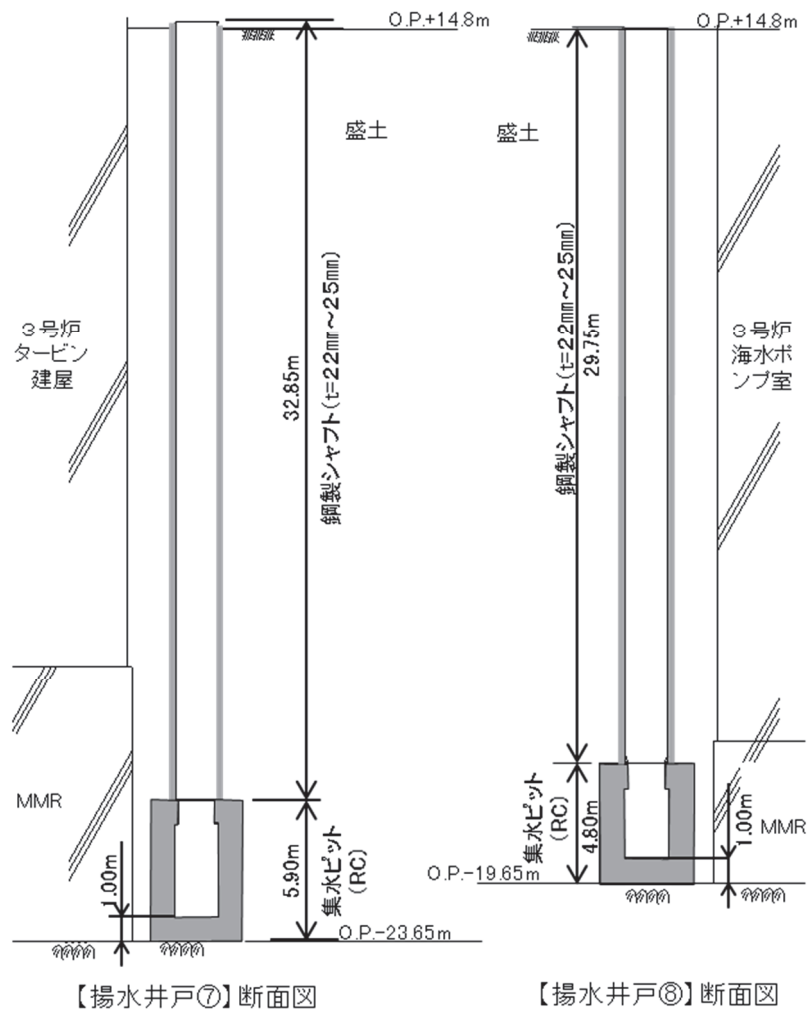


【揚水井戸⑦】平面図



【揚水井戸⑧】平面図

図 1-1-15 3号機揚水井戸平面図



【揚水井戸⑦】断面図

【揚水井戸⑧】断面図

図 1-1-16 3号機揚水井戸断面図

(参考) 1-1-9

2.5 既設揚水ポンプ・水位計

揚水ポンプは、各揚水井戸内に2台設置（うち1台は予備の揚水ポンプ）し、揚水井戸に支持される配管を通じてO.P.+14.8m盤の構内排水路に接続している。設置位置を図1-1-17に示す。

水位計は、各揚水井戸内に1台設置されており、形式は全て圧力式である。概要を図1-1-18に示す。

揚水ポンプの容量は、ポンプ稼働実績に対して十分な余裕を有している。各揚水ポンプの諸元を表1-1-2に、ポンプ容量と稼働実績の関係を図1-1-19に示す。

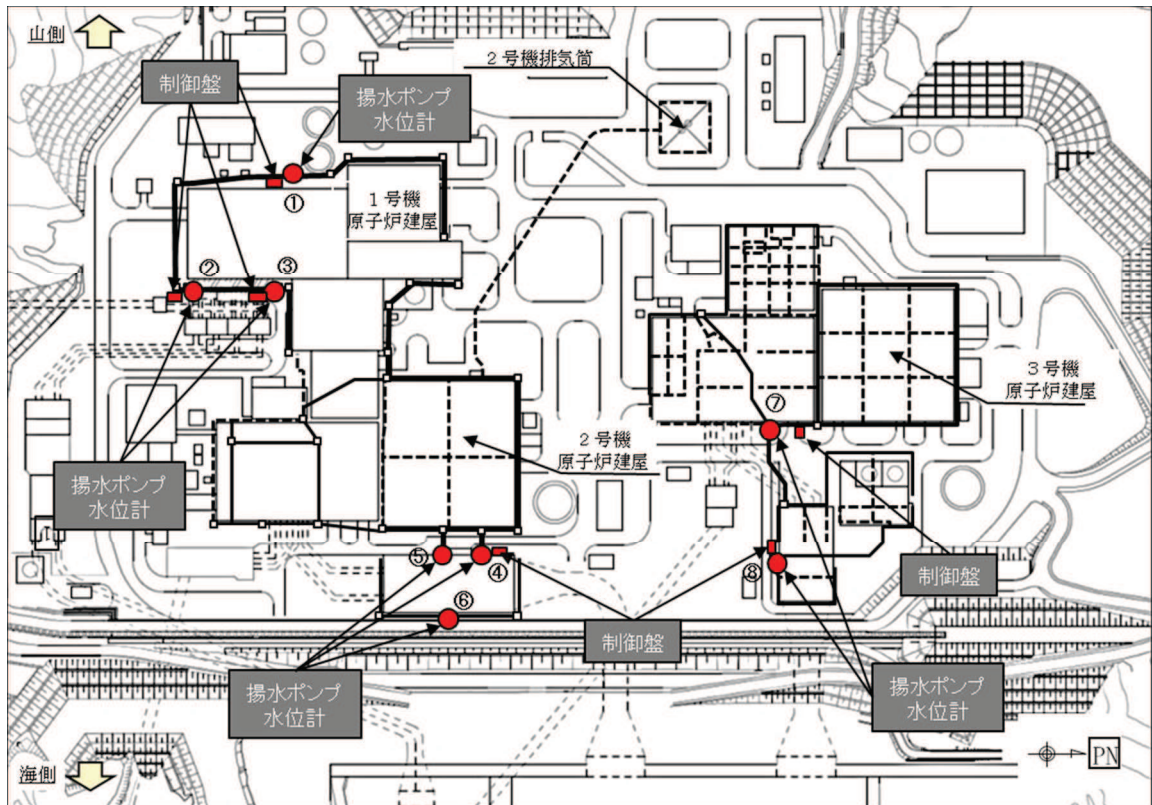
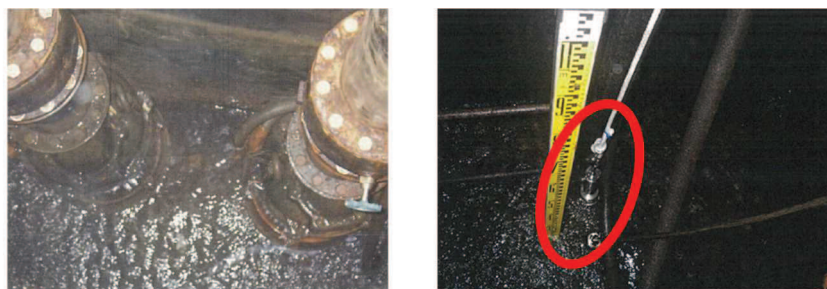


図1-1-17 既設揚水ポンプ・水位計位置図



2号機揚水ポンプの例（揚水井戸⑥） 3号機水位計の例（揚水井戸⑦）

図1-1-18 既設揚水ポンプ・水位計の概要

表 1-1-2 既設揚水ポンプの諸元

号炉	揚水井戸	全揚程 (m)	台数	ポンプ容量 (m ³ /日・台)	出力 (kW/台)
1号炉	NO.①	約25.0	2	約1,300	7.5
	NO.②	約30.0	2	約1,700	15
	NO.③	約25.0	2	約1,300	7.5
2号炉	NO.④	約35.0	2	約2,900	22
	NO.⑤	約35.0	2	約3,500	37
	NO.⑥	約35.0	2	約6,500	45
3号炉	NO.⑦	約36.9	2	約4,600	45
	NO.⑧	約35.2	2	約1,900	19

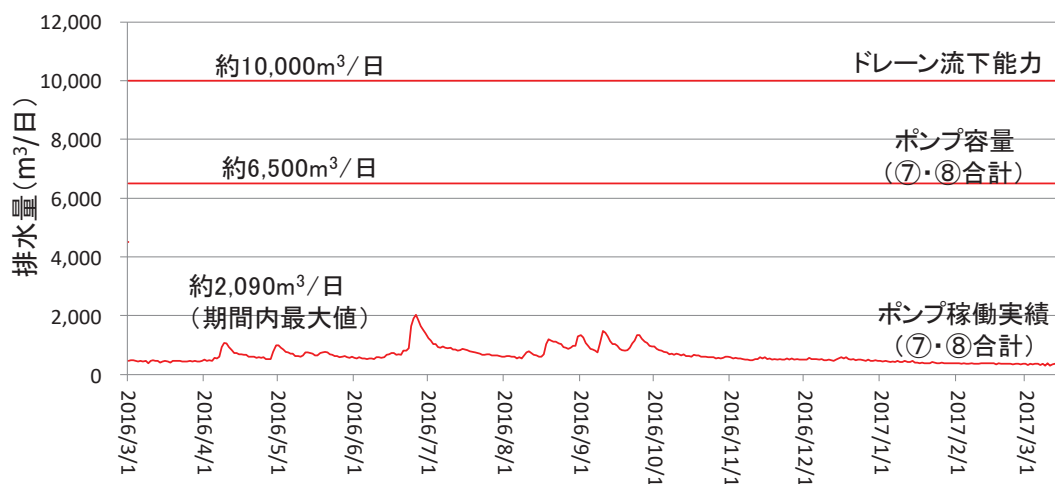


図 1-1-19 ポンプ容量と稼働実績の関係(3号機側地下水位低下設備の例)
(2016年3月～2017年3月)

3. 既設ドレーンの耐久性について

ドレーン関連部材の耐久性等について表1-1-3に、ドレーン関連部材のうち連続長繊維不織布(タフネルシート)の耐久性について図1-1-20に示す。

ヒューム管の一般的な耐用年数は50年とされている(一般的なコンクリート構造物)。

建設当時の使用前検査では湧水が腐食環境下にあるか確認するために水質調査を実施している(表1-1-4)。これによると、地下水はやや海水成分を有しているが、腐食環境下でないことを確認している。

接続桝については、鉄筋かぶりは50~70mmで、水セメント比は55%で施工されている。湧水の塩素イオン濃度の最大値(表1-1-4)により、コンクリート標準示方書の塩害の照査を実施すると50年以上と評価される。

表 1-1-3 ドレーン関連部材の耐久性等

構成部位	部材	材質等	設置環境	主な機能	耐久性
ドレーン	高透水性材料	砂, 碎石	・管(有孔ヒューム管・有孔塩ビ管の周囲)	・岩盤および盛土中の地下水を管へ導水(高透水性材料自体も、透水性に応じた流下能力を有する)	・一般的な土質材料としての耐久性を有する。
	連続長繊維不織布(タフネルシート)	ポリプロピレン	・管外面および碎石と盛土材の間	・土粒子の管内への流入抑制(集水機能を直接担う部材ではない)	・化学的安定性と高い強度を有する。*1 ・地下埋設のため材料(ポリプロピレン)の主な劣化要因である紫外線が作用しないことから、今後の供用期間において劣化は急速に進展しないと考えられる。
	有孔ヒューム管・接続桝	鉄筋コンクリート	・対象施設周囲の岩盤上	・対象施設周辺地盤の地下水位低下	・耐用年数: 50年程度(有孔ヒューム管)*2 50年以上(接続桝)*3 ・これまでの点検において異常は確認されておらず、供用環境(土被り、気温・湿度等)は今後も変わらず安定的な状況が維持されると想定されるが、今後適切に保守管理することで機能確保を図ることとする。
	有孔塩ビ管	硬質ポリ塩化ビニル	・対象施設直下の岩盤内 ・対象施設周囲の岩盤上	・対象施設の揚圧力低減 ・対象施設周辺地盤の地下水位低下	・耐用年数は50年程度*4 ・耐食性に優れる材料*5

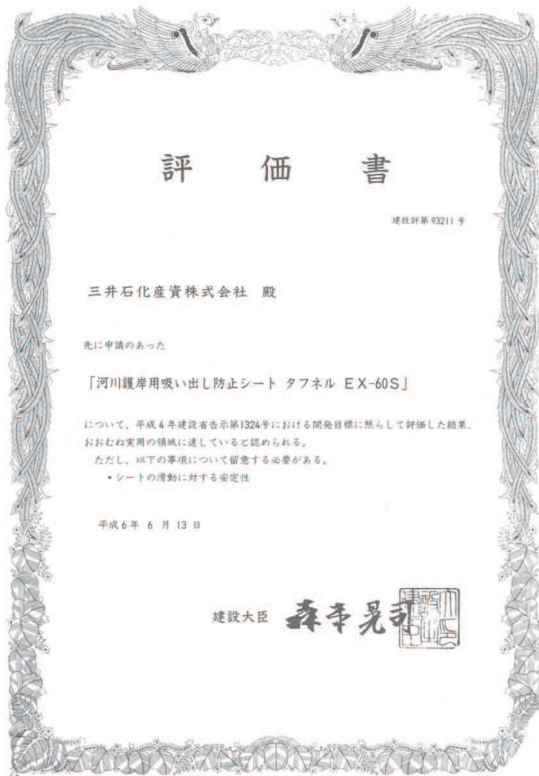
*1: タフネルEX製品パンフレット(三井化学(株))(<https://www.tokyoink.co.jp/products/pdf/tough-EX.pdf>)

*2: 全国ヒューム管協会(<https://www.hume-pipe.org/data/data07.pdf>)

*3: コンクリート標準示方書 設計編(2012)を参照した塩害評価による

*4: 塩化ビニル管・継手協会(https://www.ppfa.gr.jp/products/product_a04.php)

*5: 水道施設設計指針・解説(日本水道協会)



1.2 開発された吸い出し防止シート

1.2.1 製品の概要

原料：ポリプロピレン
 製造法：スパンボンド法（ニードルパンチ成形）
 重量：300g/㎡目付品である。（ほぼ30kg/本になる）
 形状：2.0m幅×50m巻のロール状（内径7.9mmの紙管巻）
 但し、幅については特注により4.0mまで製造可能

1.2.2 製品の特徴

本製品の特徴は、以下のとおりである。

- ① 化学的安定性に優れている。
- ② 高い引張り強度を有している。
- ③ 縦横強度の異方性は小さい。

3.4 耐久性

3.4.1 化学的安定性

申請者による「特殊条件下」における試験により、化学的安定性を有していると認められる。

・ J I S K 7 1 1 4 に準拠した試験により、 $pH \leq 4$ 、 $pH \geq 10$ の特殊な条件において強度保持率の低下が少ないことを確認した。

表3.7 化学的安定性試験結果

評価基準	強度保持率が十分なこと				
製品名					
タフネル EX-60S 基本強度 1.92tf/m	(平均強度保持率%) $pH=5\sim 9$				
	<一般条件B>	250	500	750	1000hr
	イ)蒸留水				
	ロ)NaCl 3%				
	ハ)Ca(OH) ₂ 0.1%				
	ニ)NaOH 0.1%				
	ヘ)H ₂ SO ₄ 0.1%				
	ホ)HCl 0.1%				
	(平均強度保持率%) $pH \leq 4$ 、 $pH \geq 10$				
	<特殊条件>	250	500	750	1000hr
	イ)蒸留水	98	101	103	103
	ロ)NaCl 3%	106	103	103	102
	ハ)Ca(OH) ₂ 飽和	102	98	97	102
	ニ)NaOH 10%	98	101	106	99
ヘ)H ₂ SO ₄ 10%	99	102	107	102	
ホ)HCl 10%	102	103	100	100	

※なお、一般条件Bの試験は、特殊条件を満足しているので実施していない。

3.4.2 耐候性

申請者による試験により耐候性を有していると認められる。

・ J I S A 1 4 1 5 を準拠した促進暴露試験より強度保持率の低下が少ないことを確認した。

表3.8 耐候性試験結果

評価基準	強度保持率が十分なこと					
	製品名	暴露時間hr	100	200	400	1000
タフネル EX-60S	強度保持率%	97	101	87	53	32

図 1-1-20 連続長繊維腐食布（タフネルシート）の耐久性（EX-60S 評価書*1 より引用）

* 1 : タフネル EX-60S 評価書より耐久性に係る記載を抜粋。女川では EX-80 を使用しているが、いずれも同じ材料・製造過程であることから、EX-60 の評価書にて同品質も保証するとしていた。なお、現在は「JIS-L1913」および「JIS-L1908」に基づき品質試験を実施し、性能証明として材料品質規格書を発行している。

表 1-1-4 湧水の水質試験結果 (第 2 号機使用前検査資料抜粋)

採水位置 分析項目	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	水道水の 水質基準
p H	8.1	7.2	6.9	7.2	5.8 ~ 8.6
M 7Hカリ度 (mg/ℓ)	224	237	90.8	77.9	—
カルシウム硬度 (mg/ℓ)	355	285	153	365	300以下
全 硬 度 (mg/ℓ)	770	546	224	744	* 500以下
蒸発残留物 (mg/ℓ)	2,430	1,660	498	1,790	500以下
導 電 率 (μ S/cm)	4,110	2,800	785	2,680	—
塩素イオン (mg/ℓ)	1,030	618	57.1	495	200以下
採 水 月 日	3.1.10	3.1.10	3.1.10	3.1.10	—

4. 既設の地下水位低下設備の運用状況

揚水井戸ごとに、原子炉建屋等に生じる揚圧力を設計値以下に抑えるために、運用上の制限水位を設け、制限水位以下を維持するよう常時は自動運転としており、揚水井戸内の地下水位は水位計により検知している。既設の揚水ポンプの運用例を図 1-1-21 に示す。

揚水井戸内の水位が上昇し警報水位を達した際は警報を発報する。なお、警報の発報実績はない。

揚水ポンプは保守点検のルールを定め運用しており、定期的な巡視・点検を行っている他、地震後は速やかに設備点検し状況を確認することとしている。

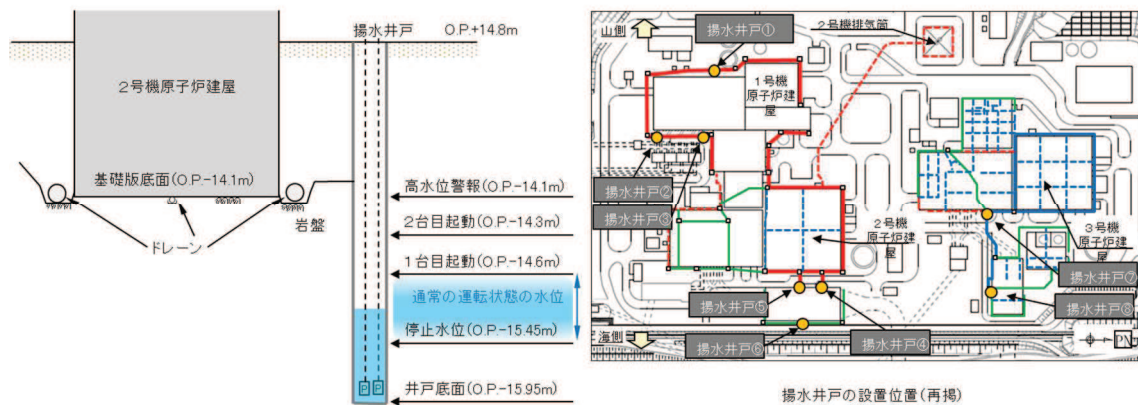


図 1-1-21 既設の揚水ポンプの運用（揚水井戸④の例）

5. 既設の地下水位低下設備の保守管理の状況

5.1 保守管理内容

既設の地下水位低下設備は、原子炉施設保安規定に基づく保全計画において点検項目・点検頻度を定め、定期的に巡視・点検を行っている他、地震後は速やかに設備点検し、状況を確認することとしている。保守管理内容を表 1-1-5 に示す。

また、揚水ポンプ、水位計、制御盤については、計画的に取替を実施している。

表 1-1-5 既設の地下水位低下設備の保守管理内容

構成部位	点検項目*1	点検内容	備考
ドレーン ・接続樹	—	—	事後保全対象とし、地震後等は臨時点検を実施
揚水ポンプ	外観点検	各部の外観点検・電圧測定を行う。	自主的に約8年に1回の頻度で取替を実施
	分解点検	各部の分解点検、手入れ、補修塗装、計測、消耗品取替等を行う。	
	機能性能試験	試運転を行い、漏水の有無、表示灯の表示確認等を行う。	
配管	外観点検	配管の破損・腐食、逆止弁の破損・腐食・異物混入・磨耗、接続ボルトの緩みの状況の確認を行う。	点検結果に基づき、適宜、塗装・取替等を実施
揚水井戸	外観点検	コンクリート等の亀裂、破損、劣化の状況、堆積物の状況の確認を行う。	
水位計	外観点検	水位計の清掃、消耗品の交換及び本体の損傷、腐食等を目視で確認する。	点検結果や経過年数に基づき、適宜、補修・取替を実施
	特性点検	水位計の校正を行う。	
	機能性能試験	規定水位でのポンプ起動確認を行う。	
制御盤	特性試験	端子・ケーブル配線等の絶縁抵抗・電圧測定等を行う。	点検結果や経過年数に基づき、適宜、補修・取替を実施
	機能性能試験	表示の点灯、スイッチ類の動作確認、電流計の指示等を確認する。	

*1 分解点検は3年に1回、それ以外の点検・試験は1年に1回実施

5.2 至近に実施した目視確認結果

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震直後及びその後に実施した主要な設備の目視確認結果のうち、第 2 号機揚水井戸（揚水井戸⑤）及び周辺のドレーンの状況を図 1-1-22 に、第 3 号機揚水井戸（揚水井戸⑦）及び周辺のドレーンの状況を図 1-1-23 に示す。

ドレーンは事後保全対象であるため、設備供用開始*1以降、ドレーン内部の土砂排除等の手入れは実施していないが、目視確認の範囲では土砂等の有意な堆積は認められず（底部に僅かに堆積が確認される程度。堆積土砂はシルト相当）、また有孔部の状況から有孔部の閉塞も生じていないことが確認できる

また、設備の著しい損傷等は認められず、ドレーン及び揚水井戸の集水及び排水機能は維持されている。

*1：第 2 号機の供用開始は 1995 年 7 月であり、目視確認時点で約 23 年が経過。

第 3 号機の供用開始は 2002 年 1 月であり、目視確認時点で約 16 年が経過。



写真A ドレーン(有孔ヒューム管Φ1,050mm)
2018/9/18撮影



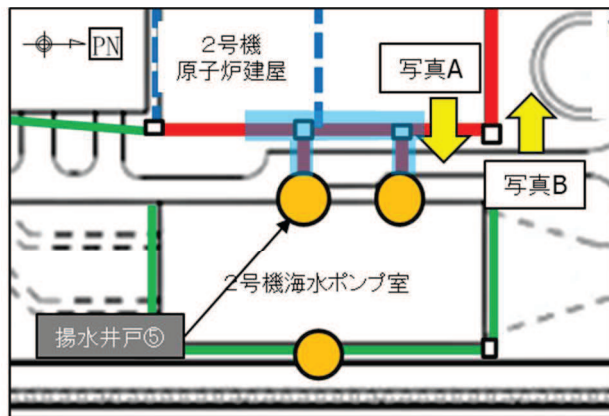
写真B ドレーン(有孔ヒューム管Φ1,050mm)
2018/9/18撮影



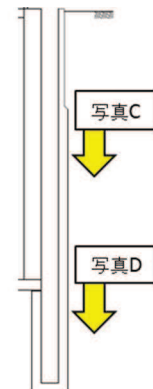
写真C 揚水井戸⑤(中段部)
2017/3/17撮影



写真D 揚水井戸⑤(下段部)
2017/3/17撮影



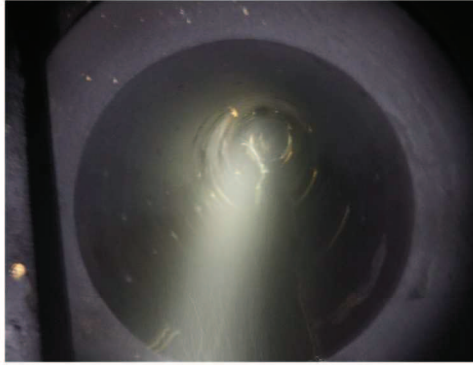
写真撮影位置 目視確認範囲* (揚水井戸⑤断面)



写真撮影位置 (揚水井戸⑤断面)

* : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震後に臨時点検として実施した目視確認の範囲
なお、撮影写真は其の後の保安規定に基づく定期点検等による記録より抜粋

図 1-1-22 2号機揚水井戸(揚水井戸⑤)及び周辺ドレーンの状況



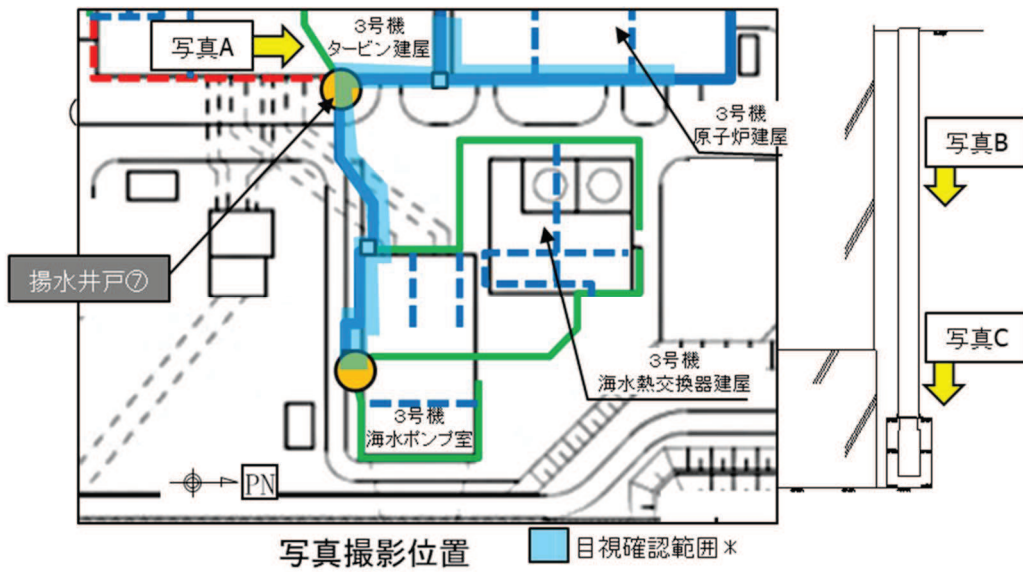
写真A ドレーン(有孔ヒューム管φ800mm)
2018/9/18撮影



写真B 揚水井戸⑦(中間部)
2017/3/16撮影



写真C 揚水井戸⑦(下段部)
2017/3/16撮影



* : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震後に臨時点検として実施した目視確認の範囲
なお、撮影写真は其の後の保安規定に基づく定期点検等による記録より抜粋

図 1-1-23 3号機揚水井戸(揚水井戸⑦)及び周辺ドレーンの状況

(参考資料1-2) 構内排水路について

敷地に降った雨のうち表面水については、構内排水路を通じて海へ排水される。地下水位低下設備（揚水井戸）にて集水した地下水も、表面水と同様に構内排水路を通じて海へ排水される。本資料では、構内排水路の概要を示す。

1. 集水エリアと幹線排水路の配置

発電所敷地内の構内排水路は、図1-2-1に示すとおり1号機～3号機の主要建屋エリアの北側と南側に設置される幹線排水路および幹線排水路に接続する支線排水路にて構成され、降雨の際の表面水は幹線排水路を介して、海へ排水される。

幹線排水路は、表1-2-1に示す通り、石巻特別地域気象観測所における既往最大時間雨量(91.0mm/h)を十分排水可能な排水能力を有している。

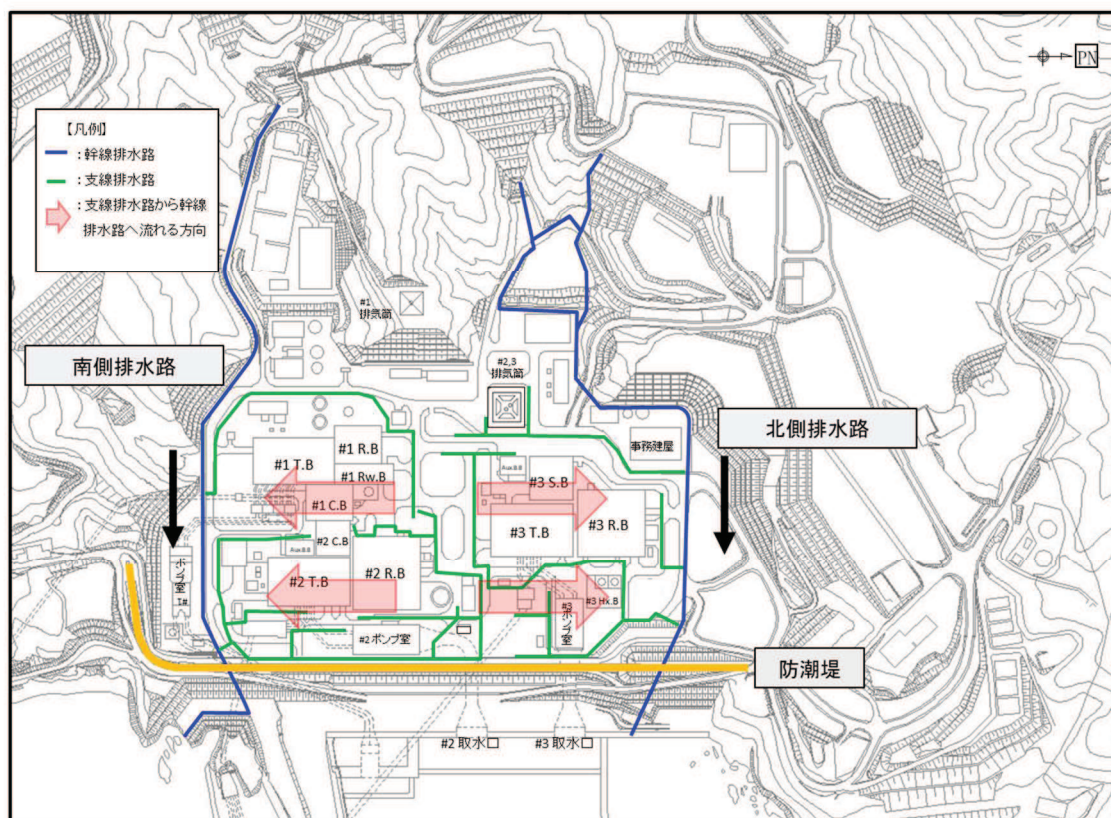


図1-2-1 発電所敷地内の排水路配置概要図*

注記*：幹線排水路は林地開発許可申請書（2020年3月）を参照。

支線排水路は2019年10月段階の配置であり、今後の安全対策工事等によって変更となる可能性があるため参考情報として示す。

表 1-2-1 幹線排水路の仕様と排水能力*

排水路名	仕様	91.0 mm/h 降水時の 雨水流入量 [m ³ /s]	排水可能流量 [m ³ /s]
北側幹線排水路	ボックスカルバート B3500, H2500	9.4	51.1
南側幹線排水路	ダブルプレスト管 φ 1000×3	9.5	16.2

注記*：女川原子力発電所 2 号炉設置変更許可申請書

02-NP-0272(改 113) 補足説明資料 3 補足 3-1 表を参照

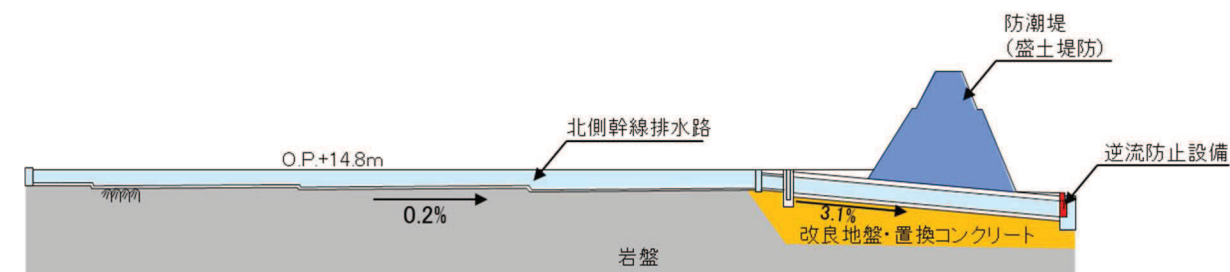
2. 構内排水路の設置状況

構内排水路のうち支線幹線路は GL 付近に設置され、その多くの区間が盛土上に構築されるため、地震時の不等沈下等が生じる可能性がある。

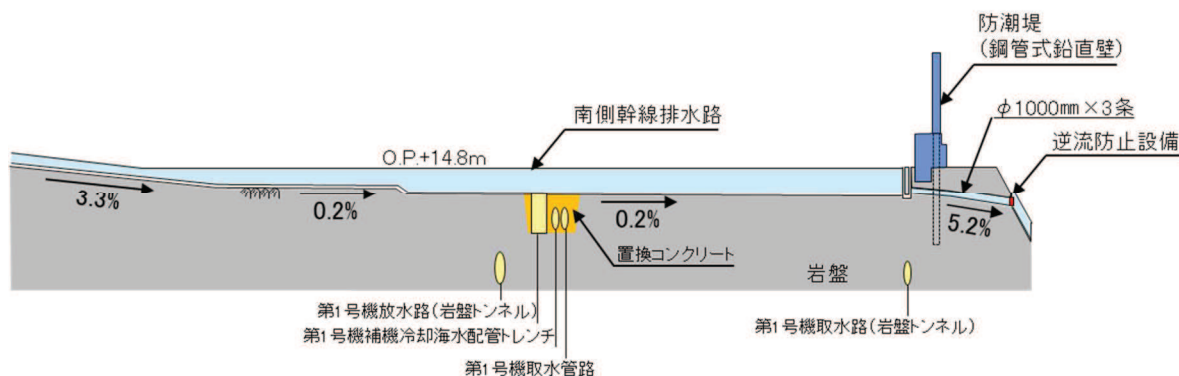
一方、幹線排水路のうち最深部となる防潮堤横断部においては、北側排水路は S s 機能維持、南側幹線排水路は岩盤内に構築していること、また、幹線排水路の海側の出口にはそれぞれ S クラスの逆流防止設備を設置することから、地震後においても幹線排水路の下流側は健全性を保持し、確実に海域へ排水できると考えられる。

それより上流側の O.P. +14.8m 盤の北側及び南側幹線排水路については、岩盤又は改良地盤等に支持されていることから、地震後においても段差や不陸等が生じにくい構造となっており、内空断面が完全に閉塞されるような大規模な損壊が生じる可能性は低い。

幹線排水路の縦断面概要図を図 1-2-2 に示す。



(北側幹線排水路)



(南側幹線排水路)

図 1-2-2 幹線排水路縦断面概要図

3. 構内排水路の排水機能喪失時の対応

構内排水路は岩盤又は改良地盤等に支持されており、地震後に閉塞等が生じる可能性は低いが、排水機能が喪失した状況も考慮し、揚水井戸内の配管上部に設置する分岐管に仮設ホースを接続可能な構造とし、仮設ホースにて構内排水路の健全部分へ地下水を流す運用とすることにより、排水機能を保持する設計とする。分岐管の概要図を図 1-2-3 に示す。

4. その他の自主対策（溢水対応としての連続透水層の設置）

地震後においても敷地内からの溢水を敷地内に長時間滞水させないための自主的な配慮として、溢水源周辺から幹線排水路までの区間に、透水性の高い層（連続透水層）を設置する方針とする。連続透水層の概念を図 1-2-4 に示す。

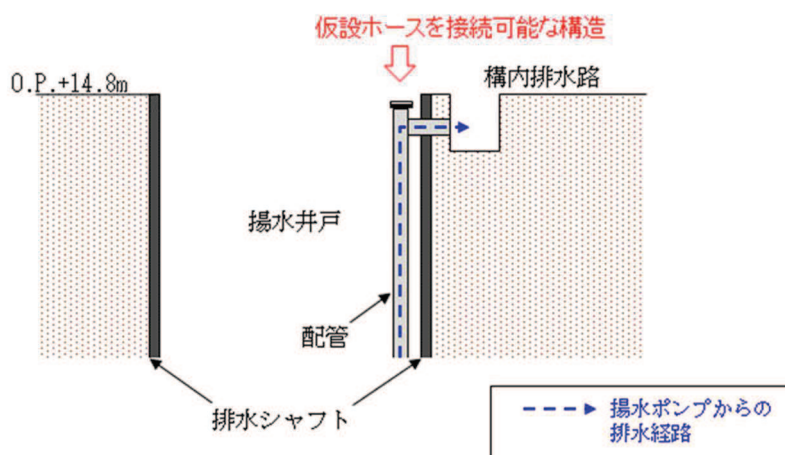


図 1-2-3 揚水井戸 分岐管の概要図

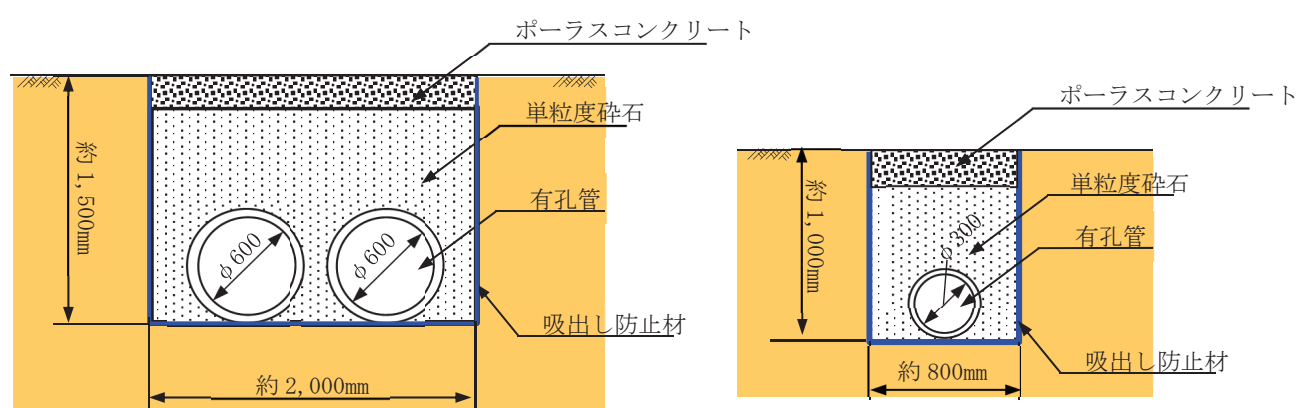


図 1-2-4 連続透水層断面図

※：連続透水層の概略的な案を示したものであり、今後の詳細設計において具体的な構造等を決定していく。

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

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

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

1. 浸透流解析による評価と機器設計等への反映事項について

浸透流解析による評価と機器設計等への反映事項を図 1-3-1 に示す。

実データを参照したモデルの妥当性確認は①広域モデルを用いる。予測解析においては、解析の目的に応じて妥当なアウトプットが得られるよう、また、後段の設計のインプットとなる場合は保守性が確保されるよう、②～⑧の各予測解析モデルを用いる。

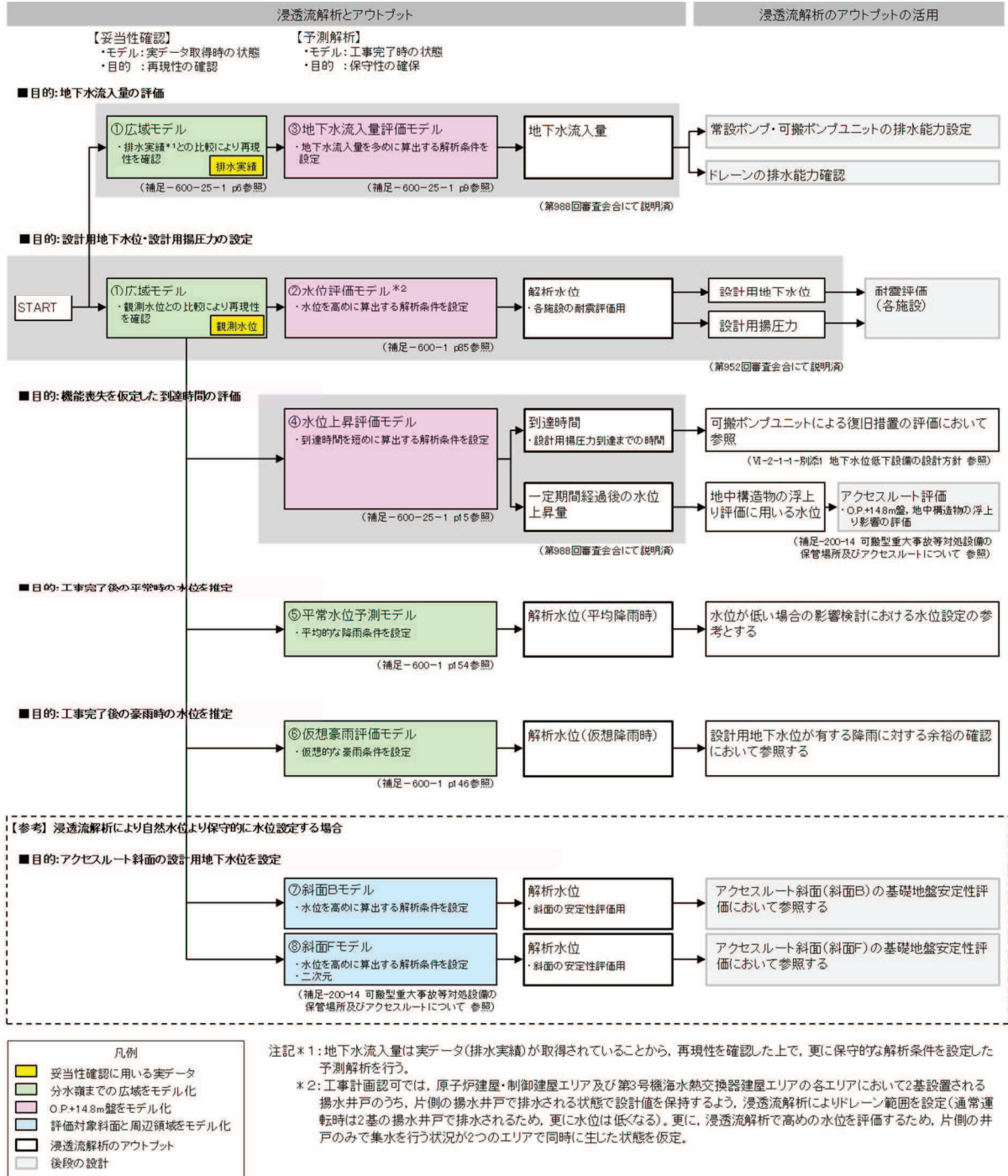


図 1-3-1 浸透流解析による評価と機器設計等への反映事項

2. 浸透流解析モデルにおける目的に応じた保守性確保の考え方

浸透流解析においては、目的に応じた保守的な解析条件を設定する。

浸透流解析に影響を与えるパラメータ・境界条件と、設定内容による浸透流解析結果への影響の概念について図 1-3-2 に示す。

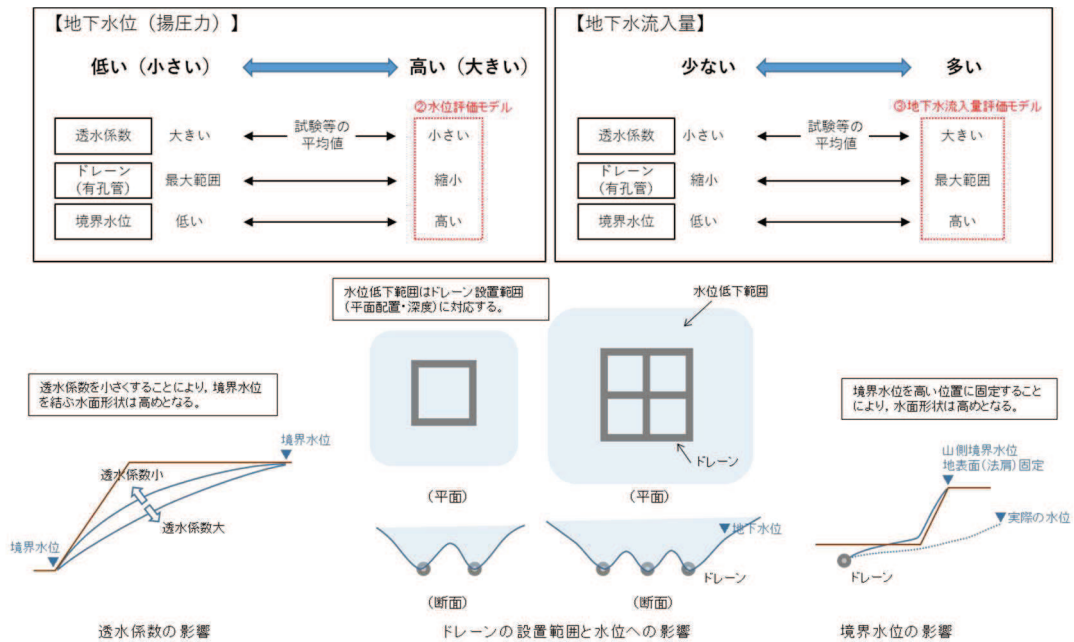


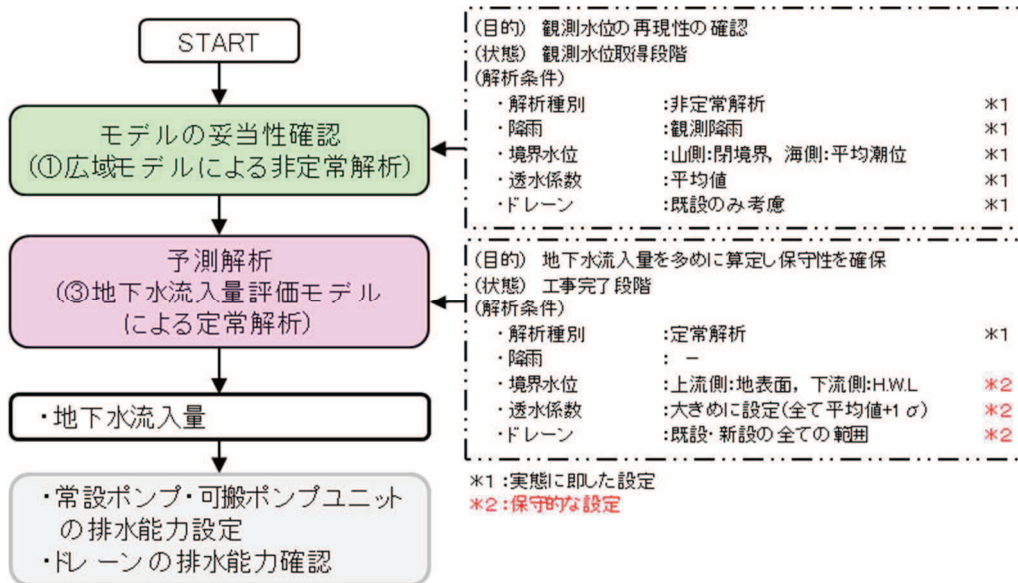
図 1-3-2 浸透流解析の目的に応じた条件設定例及び浸透流解析条件と評価への影響

3. 浸透流解析モデルの概要について

図 1-3-1 に示す浸透流解析を用いた評価について、各プロセスの実施手順（フロー）を図 1-3-3 に、各浸透流解析モデルの概要を表 1-3-1～1-3-4 に示す。



(1) 設計用地下水水位・設計用揚圧力の設定 (0. P. +14. 8m 盤)



(2) 地下水流入量の評価

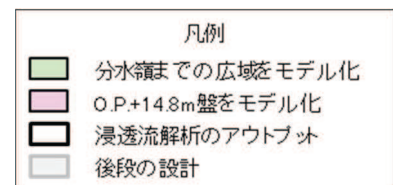
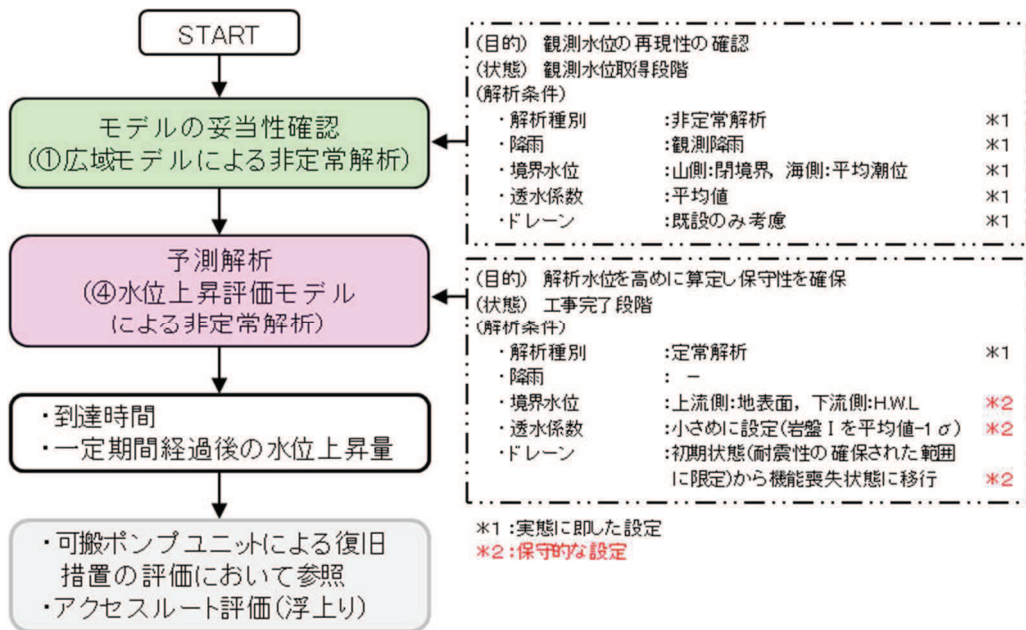
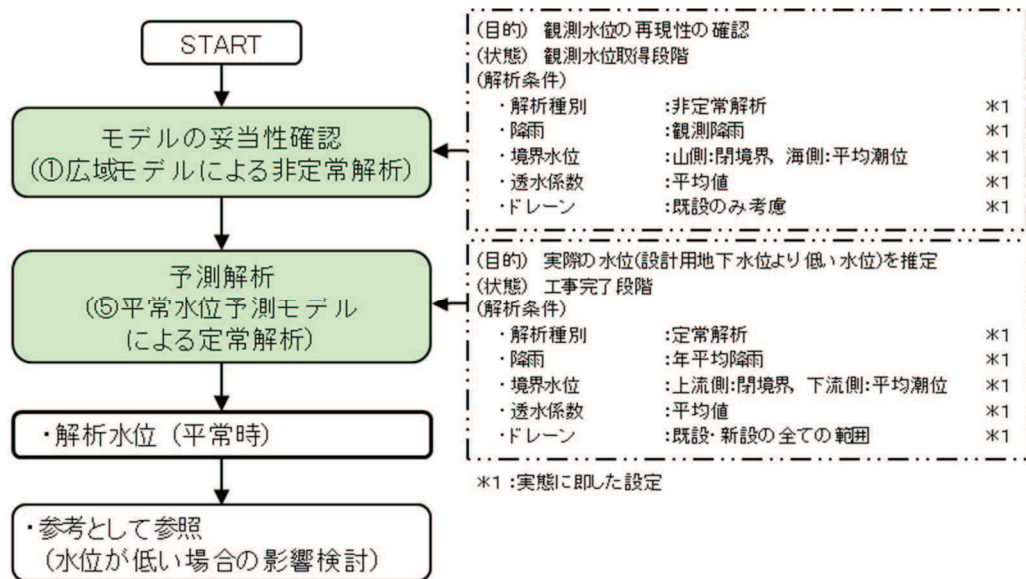


図 1-3-3(1) 浸透流解析プロセスの概要 (フロー)



(3) 地下水位低下設備の機能喪失を仮定した到達時間等の評価



(4) 工事完了後の平常時の水位を推定

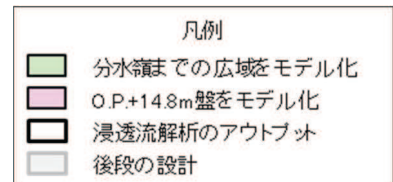
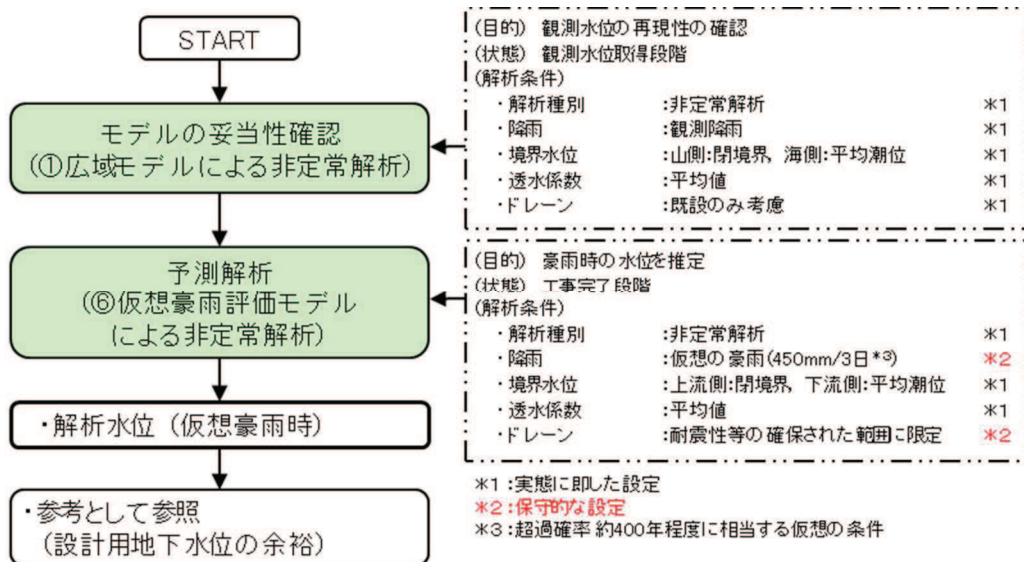
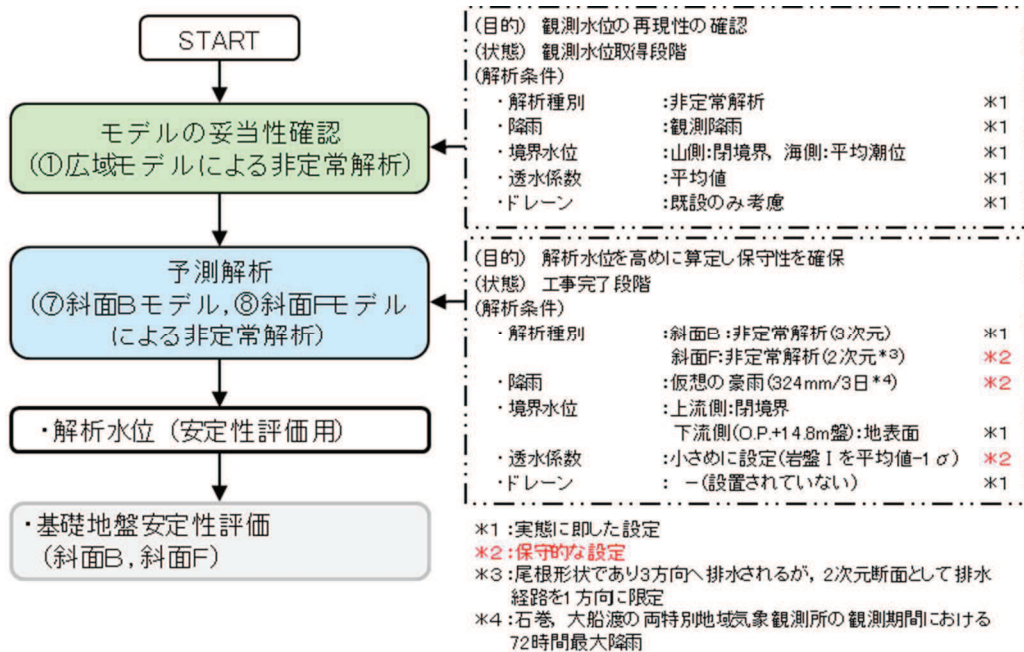


図 1-3-3(2) 浸透流解析プロセスの概要 (フロー)



(5) 工事完了後の豪雨時の水位を推定



(6) 設計用地下水の設定 (アクセスルート斜面B, F)

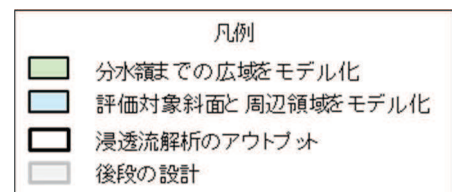
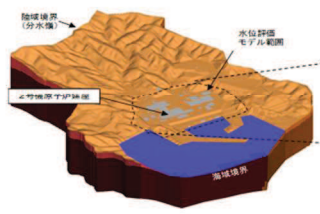
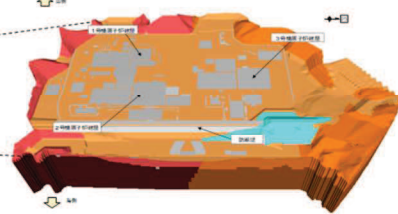


図 1-3-3(3) 浸透流解析プロセスの概要 (フロー)

表 1-3-1 解析モデル概要 (①広域モデルと②水位評価モデル)

項目	①広域モデル [妥当性確認]	②水位評価モデル [予測解析]
1-1.目的	<ul style="list-style-type: none"> モデル化の妥当性を確認すること (降雨に対する観測水位、排水実績の再現性確保) 	<ul style="list-style-type: none"> 工事完了後に想定される地下水位を評価すること (液状化影響検討対象施設を幅広く抽出するため高めめに評価)
1-2.アウトプットの活用先	<ul style="list-style-type: none"> (モデル検証のみ) 	<ul style="list-style-type: none"> 各施設の耐震設計における前提条件(設計用地下水位)
2.解析領域	<ul style="list-style-type: none"> 施設を含む分水嶺までの範囲 (施設へ流入する地下水を適切に表現) 	<ul style="list-style-type: none"> O.P.+14.8m盤及びO.P.+14.8m盤周辺の法面 
3.解析種別	<ul style="list-style-type: none"> 非定常解析 	<ul style="list-style-type: none"> 定常解析
4.降雨条件 (検証期間)	<ul style="list-style-type: none"> 検証期間の降雨実績参照 水位:検証期間①: 2006-2007年, 検証期間②: 2013-2014年 流入量:2017年9月~2017年10月 	—
5.モデル	<ul style="list-style-type: none"> 検証期間における施設配置等を反映 	<ul style="list-style-type: none"> 詳細設計の結果を踏まえた工事完了段階における施設配置等を反映
6.ドレーン	<ul style="list-style-type: none"> 既設全ての範囲が管路として集水に寄与 (検証期間の状態を再現するため、新設は考慮しない) 	<ul style="list-style-type: none"> 集水に寄与する範囲を限定(既設・新設のつち耐久性・耐震性・保守管理性等の確保された範囲を管路として扱う。それ以外の範囲は耐震性等の確保状況に応じて透水層または周辺地盤として扱う) 各エリアにおいて片側の井戸へ集水を行う状態で設計値を保持
7.境界条件	<ul style="list-style-type: none"> 実態に則した設定 -山側:閉境界 -海側:平均潮位に水位固定 -ドレーン:ドレーン計画高に水位固定 	<ul style="list-style-type: none"> 水位が高めに評価されるよう設定 -山側:地表面(法肩)に水位固定 -海側:朔望平均満潮位に水位固定 -ドレーン:ドレーン計画高に水位固定
8.透水係数	<ul style="list-style-type: none"> 目的に応じて再現性を確保するよう設定 水位:試験結果等の平均値 流入量:盛土・旧表土を試験結果等の平均値+1σ 	<ul style="list-style-type: none"> 水位が高めに評価されるよう設定 -岩盤Iを試験結果等の平均値-1σ

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

第69回原子力発電所の新規制基準適合性に係る研究会 資料1-1-1部追加

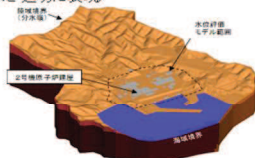
表 1-3-2 解析モデル概要 (③地下水流入量評価モデル④水位上昇評価モデル)

項目	②水位評価モデル (対比のため)	③地下水流入量評価モデル	④水位上昇評価モデル
1-1.目的	<ul style="list-style-type: none"> 工事完了後に想定される地下水位を評価すること (液状化影響検討対象施設を幅広く抽出するため高めめに評価) 	<ul style="list-style-type: none"> 工事完了後に想定される地下水の流入量を評価すること(設備設計の保守性を確保するため多めに評価) 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備の機能喪失時における水位上昇を評価すること
1-2.アウトプットの活用先	<ul style="list-style-type: none"> 各施設の耐震設計における前提条件(設計用地下水位) 	<ul style="list-style-type: none"> 設備設計(常設ポンプ・可搬ポンプユニットの排水能力設定) ドレーンの排水能力確認 	<ul style="list-style-type: none"> 可搬ポンプユニットによる復旧措置の評価(設計用揚圧力に到達するまでの時間) O.P.+14.8m盤アクセスラートの評価(地下水位低下設備の機能喪失から2ヵ月後の水位を地中構造物の浮上り評価にて参照)
2.解析領域	<ul style="list-style-type: none"> O.P.+14.8m盤及びO.P.+14.8m盤周辺の法面 	(同左)	(同左)
3.解析種別	<ul style="list-style-type: none"> 定常解析 	(同左)	<ul style="list-style-type: none"> 非定常解析
4.降雨条件 (検証期間)	—	—	—
5.モデル	<ul style="list-style-type: none"> 詳細設計の結果を踏まえた工事完了段階における施設配置等を反映 	(同左)	(同左)
6.ドレーン	<ul style="list-style-type: none"> 集水に寄与する範囲を限定(表1-1と同様) 各エリアにおいて片側の井戸へ集水を行う状態で設計値を保持 	<ul style="list-style-type: none"> 既設・新設の全ての範囲が集水に寄与 	<ul style="list-style-type: none"> 水位上昇開始時の水位が高くなるよう集水に寄与する範囲を限定(初期状態) 通常の運転状態(初期状態)から、全て機能喪失(=ドレーンを全て無効)すること仮定
7.境界条件	<ul style="list-style-type: none"> 水位が高めに評価されるよう設定 -山側:地表面(法肩)に水位固定 -海側:朔望平均満潮位に水位固定 -ドレーン:ドレーン計画高に水位固定 	<ul style="list-style-type: none"> 流入量が多めに評価されるよう設定 -山側:地表面(法肩)に水位固定 -海側:朔望平均満潮位に水位固定 -ドレーン:ドレーン計画高に水位固定 	<ul style="list-style-type: none"> 水位上昇開始時の水位が高くなるよう設定 -山側:地表面(法肩)に水位固定 -海側:朔望平均満潮位に水位固定 -ドレーン:ドレーン計画高に水位固定
8.透水係数	<ul style="list-style-type: none"> 水位が高めに評価されるよう設定 -岩盤Iを試験結果等の平均値-1σ 	<ul style="list-style-type: none"> 流入量が多めに評価されるよう設定 -全て試験結果等の平均値+1σ 	<ul style="list-style-type: none"> 水位上昇開始時の水位が高くなるよう設定 -岩盤Iを試験結果等の平均値-1σ

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

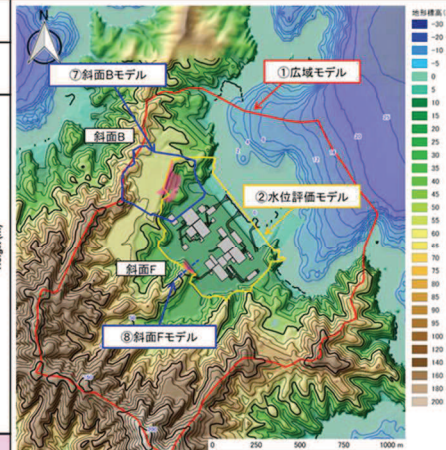
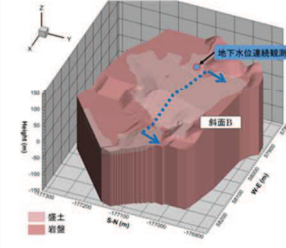
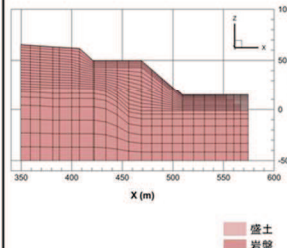
■は目的に対して妥当な評価とする目的で②水位評価モデルを踏襲している条件

表 1-3-2 解析モデル概要 (⑤平常水位予測モデル⑥仮想豪雨評価モデル)

項目	①広域モデル (対比のため)	⑤平常水位予測モデル	⑥仮想豪雨評価モデル
1-1.目的	・モデル化の妥当性を確認すること (降雨に対する観測水位、排水実績の再現性確保)	・工事完了後に想定される実際の水位(設計用地下水位より低い水位)を推定すること	・工事完了後に想定される豪雨時の水位を推定すること
1-2.アウトプットの活用先	- (モデル検証のみ)	・水位が低い場合の影響検討における水位設定の参考	・設計用地下水位が有する余裕の確認において参照
2.解析領域	<ul style="list-style-type: none"> 施設を含む分水嶺までの範囲 (施設へ流入する地下水を適切に表現) 	(同左)	(同左)
3.解析種別	・非常解析	・定常解析	・非常解析
4.降雨条件 (検証期間)	<ul style="list-style-type: none"> 検証期間の降雨実績参照 水位: 検証期間1: 2006-2007年, 検証期間2: 2013-2014年 流入量: 2017年9月~2017年10月 	<ul style="list-style-type: none"> 357mm/日 (観測降雨(2001-2018年)の日平均) 	<ul style="list-style-type: none"> 仮定の降雨条件 (超過確率約400年程度) - 初期状態: 357mm/日 (観測降雨(2001-2018年)の日平均) - 降雨時: 150mm/日 × 3日 (総降水量450mm)
5.モデル	・検証期間における施設配置等を反映	・詳細設計の結果を踏まえた工事完了段階における施設配置等を反映	(同左)
6.ドレーン	・既設全ての節用が管路として集水に容与 (検証期間の状態を再現するため、新設は考慮しない)	・平常時の状態に対応し、既設・新設の全節用を管路として扱う	・設計用地下水位の検証を目的とするため、既設・新設のうち耐久性・耐震性・保守管理性等の確保された範囲を管路として扱う(それ以外の範囲については、耐震性等の確保状況に応じて透水層または周辺地盤として扱う)
7.境界条件	<ul style="list-style-type: none"> 実態に則した設定 - 山側: 閉境界 - 海側: 平均潮位に水位固定 - ドレーン: ドレーン計画高に水位固定 	(同左)	(同左)
8.透水係数	・目的に応じて再現性を確保するよう設定 水位: 試験結果等の平均値 流入量: 盛土・旧表土を試験結果等の平均値+1σ	・再現性を確保するよう設定 水位: 試験結果等の平均値	・再現性を確保するよう設定 水位: 試験結果等の平均値

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

表 1-3-4 解析モデル概要 (⑦斜面Bモデルと⑧斜面Fモデル)

項目	⑦斜面Bモデル	⑧斜面Fモデル	備考
1-1.目的	・斜面の安定性評価に用いる斜面内水位分布の設定		
1-2.アウトプットの活用先	・斜面安定性評価における前提条件(設計用地下水位)		
2.解析領域	<ul style="list-style-type: none"> 斜面Bと周辺領域 	<ul style="list-style-type: none"> 斜面Fと周辺領域 	
3.解析種別	・非常解析(三次元)	・非常解析(二次元)	
4.降雨条件	<ul style="list-style-type: none"> 年平均降雨をベースに豪雨条件を付与 - 初期状態: 3.48mm/日 (観測降雨(1981-2010年)の日平均) - 降雨時: 1.08mm/日 × 3日 (総降水量324mm*1) 		
5.モデル	・詳細設計の結果を踏まえた工事完了段階における施設配置等を反映		
6.ドレーン	・モデル化しない(設置されていない)		
7.境界条件	<ul style="list-style-type: none"> 水位分布を適切に得るため、実態に則した設定 - 上流側: 閉境界 - 下流側(O.P.14.8m盤): 地表面に水位固定 		
8.透水係数	<ul style="list-style-type: none"> 水位が高めに評価されるよう設定 - 岩盤Iを試験結果等の平均値-1σ 		

*1 石巻、大船渡の両特別地域気象観測所の観測期間における72時間最大降雨

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

(参考資料2) 建設時工事計画認可段階に実施した浸透流解析について

女川原子力発電所第2号機及び第3号機においては、建設時工事計画認可段階において実施した2次元浸透流解析に基づき原子炉建屋の設計用揚圧力等を設定している。

O.P. +14.8m 盤の設計用地下水位は、防潮堤の沈下対策等を適切に考慮するため、3次元浸透流解析を用いて設定する方針としているが、保守的な境界条件の設定など、本解析の考え方を参考としている部分もあることから、参考情報として第2号機及び第3号機の建設時工事計画認可段階において実施した2次元浸透流解析の概要を整理した。

1. 解析の目的

第2号機及び第3号機の建設時工事計画認可段階において、以下の内容を把握するため浸透流解析を実施している。

- ① 地下水位低下設備の設計に使用する湧水量
- ② 建屋の設計に使用する揚圧力 (建設時工事計画認可における建屋の耐震計算書に解析結果 (揚圧力) を記載)
- ③ 地下水位状況

地下水は海山方向の流れが支配的であることから、海山方向 (図2-1の上下方向) の断面を主とした有限要素法による2次元定常解析により①～③について確認している。

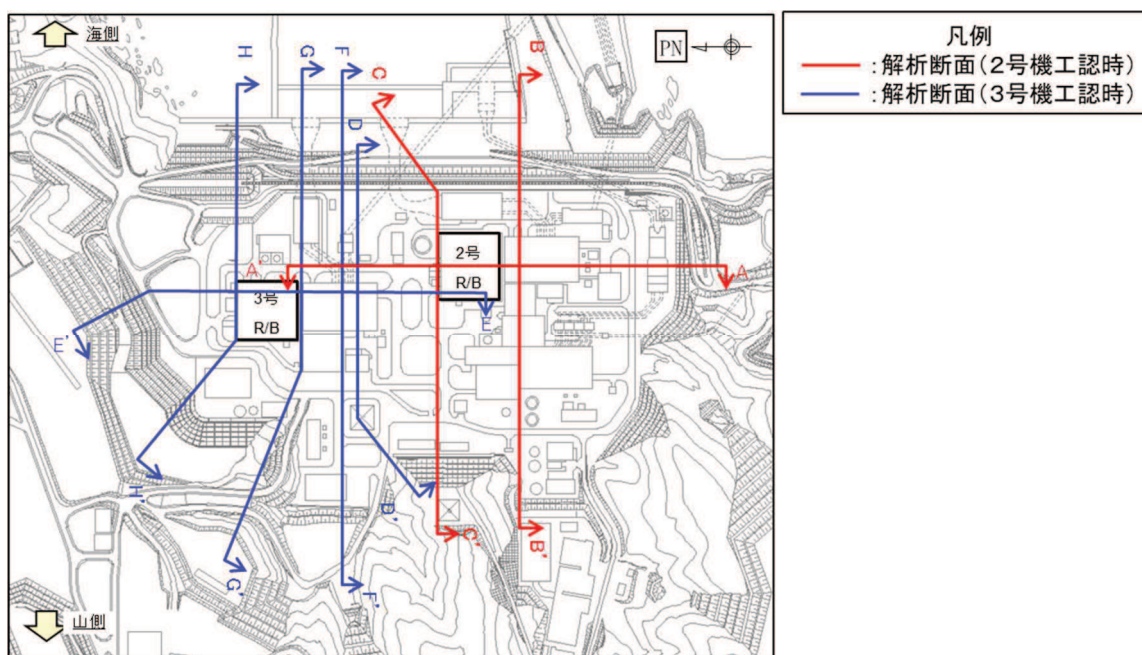


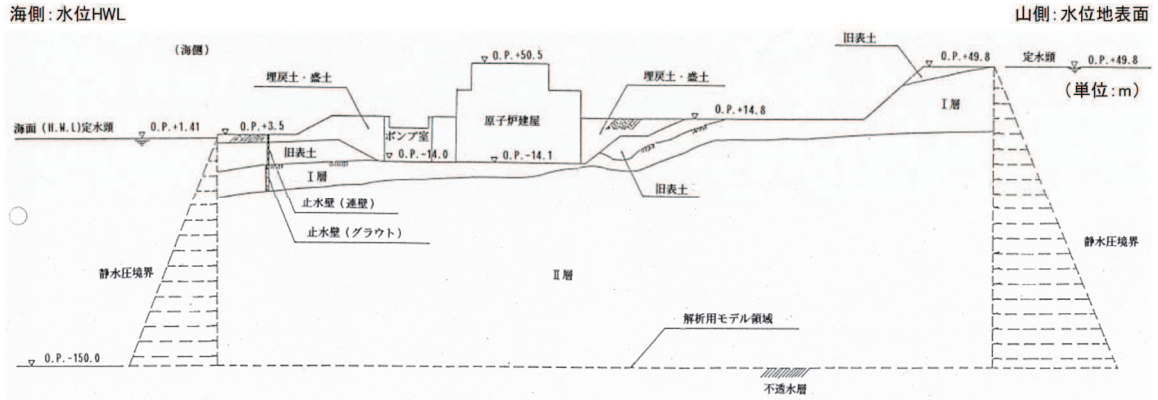
図2-1 浸透流解析断面位置*

注記* : 第2号機及び第3号機建設時工事計画認可段階の浸透流解析断面は当時の地形にてモデル化しており、現地形とは異なる。

2. 解析条件

2.1 境界条件

第2号機及び第3号機の建設時工事計画認可段階に実施した浸透流解析の境界条件として、海側境界はH.W.L.，山側境界は地表面に水位を固定し、モデル下端は不透水境界として扱い、側方境界には静水圧を作用させている（図2-2）。なお、海側には建屋との間に地中連続壁が設置されており海水の流入を遮断する効果があるが、保守的に考慮していない。

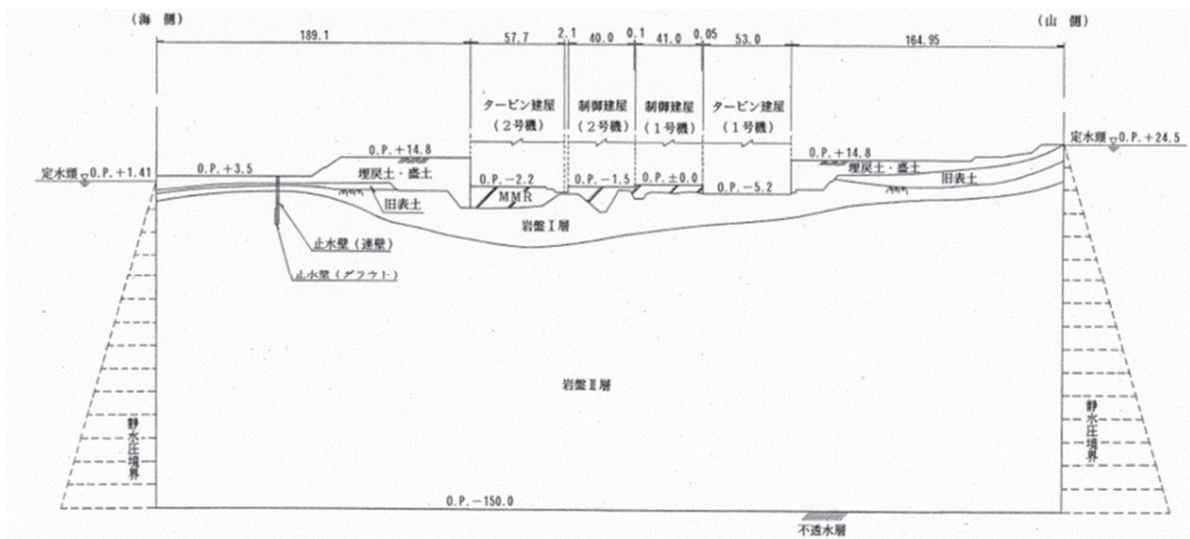


注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定（朔望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの）とは異なる。

図 2-2 浸透流解析断面図 (C-C' 断面)

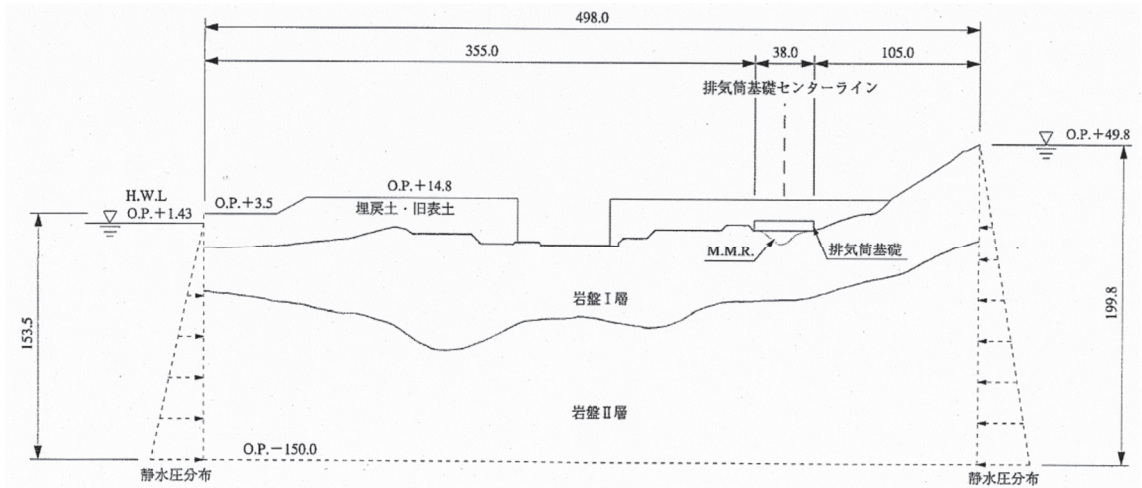
B-B' 断面近傍の観測孔①及びD-D' 断面近傍の観測孔②における地下水位観測結果をそれぞれの断面に図 2-3 及び図 2-4 のとおり図示するとともに、表 2-1 にその数値を示す。

観測された水位は、いずれも浸透流解析の境界条件（初期水位）より低い水位となっており、境界条件が保守的であることを確認した。



注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定（朔望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの）とは異なる。

図 2-3 浸透流解析断面図 (B-B' 断面)



注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定（朔望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの）とは異なる。

図 2-4 浸透流解析断面図 (D-D' 断面)

表 2-1 観測孔①及び②の地下水位観測結果

	観測水位	境界条件 (初期水)
観測孔①	O. P. 約+5.8m	O. P. 約+15.1m (地表面)
観測孔②	O. P. 約+11.5m*	O. P. 約+25.0m (地表面)

* : 地殻変動による1mの沈降を考慮したものとなり、
補正した水位を記載

2.2 透水係数

浸透流解析に用いた透水係数を表 2-2 及び表 2-3 に示す。

岩盤の透水係数は、第 2 号機及び第 3 号機の建設時工事計画認可段階に実施した透水試験により設定した。岩盤の透水試験位置を図 2-5 に示す。

また、盛土・旧表土の透水係数は Creager の手法（地盤工学会：地盤工学ハンドブック）、MMR の透水係数は水セメント比と粗骨材の最大寸法（コンクリート工学ハンドブック）より設定した。

表 2-2 解析用物性値（2号機周辺）

（単位：m/s）

地層	盛土 ・旧表土	岩盤		MMR
		I層	II層	
透水係数	3.0×10^{-5}	7.0×10^{-7}	5.0×10^{-7}	1.0×10^{-11}

注) A-A' 断面, B-B' 断面及び C-C' 断面に使用

表 2-3 解析用物性値（3号機周辺）

（単位：m/s）

地層	盛土 ・旧表土	岩盤		MMR
		I層	II層	
透水係数	3.0×10^{-5}	2.0×10^{-7}	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-11}

注) D-D' 断面, E-E' 断面, F-F' 断面, G-G' 断面及び H-H' 断面に使用

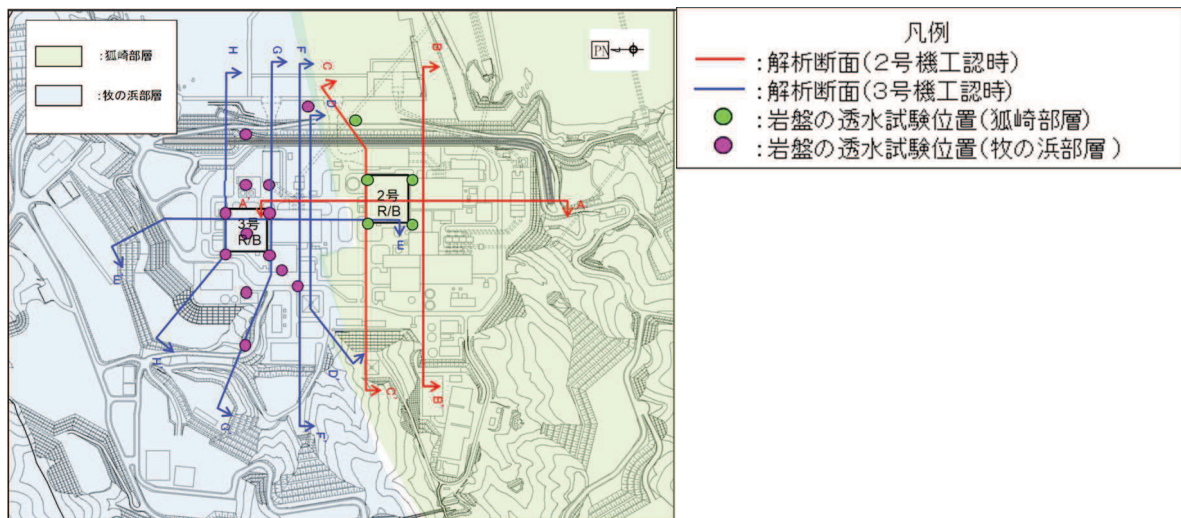


図 2-5 岩盤の透水試験位置

3. 解析結果

3.1 第2号機主要建屋の揚圧力及び湧水量

図 2-6 に示す各ドレーン位置での湧水量は表 2-4 のとおりであり，これらの湧水量から揚水ポンプの仕様やドレーン径を設計している。

また，第2号機原子炉建屋及び第2号機タービン建屋にかかる揚圧力は，図 2-6 及び表 2-5 のとおりであり，いずれも設計値を下回っていることを確認している。

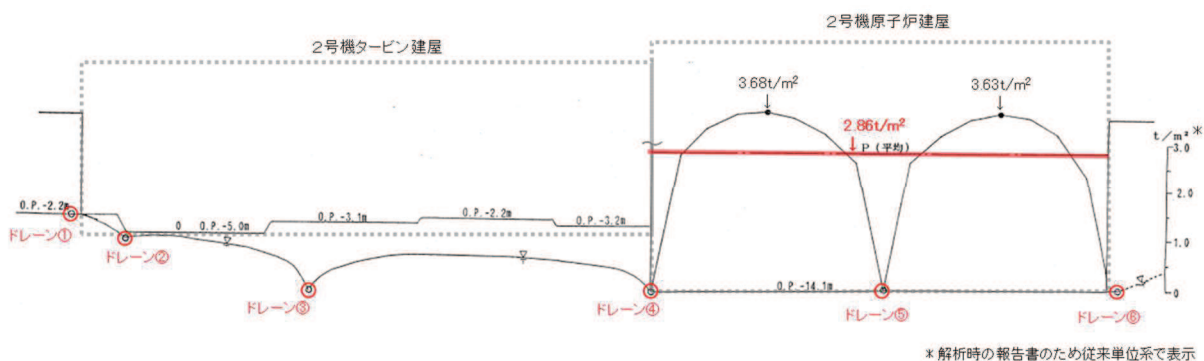


図 2-6 揚水圧分布図及び地下水面形 (A-A' 断面のうち建屋近傍)

表 2-4 各ドレーンの湧水量 (l/min/m)

	①	②	③	④	⑤	⑥
湧水量	0.0315	0.1182	0.2897	0.1730	0.1499	1.1772

表 2-5 第2号機原子炉建屋及び第2号機タービン建屋にかかる揚圧力 (設計値及び解析結果)

建屋名称	揚圧力 (t/m ²)	
	設計値	解析結果
第2号機原子炉建屋	3.0	2.86
第2号機タービン建屋	0	0

3.2 第2号機主要建屋の揚圧力

第2号機主要建屋における揚圧力の解析結果を図2-7～図2-9に示す。

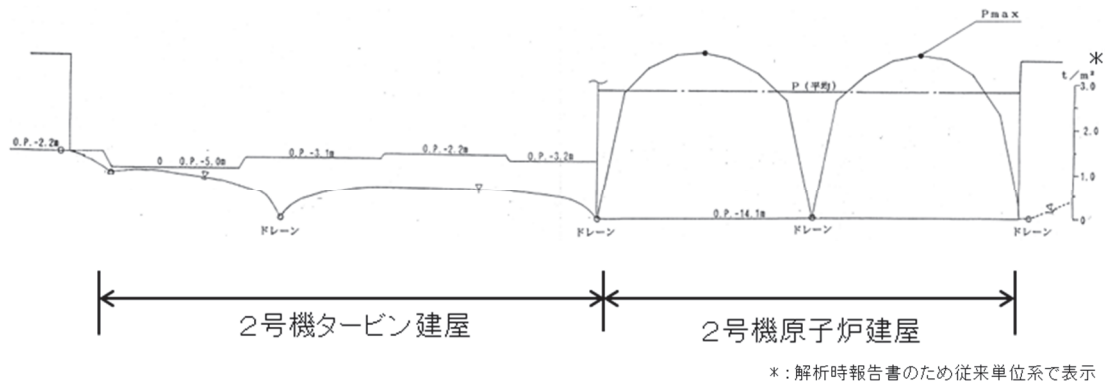


図2-7 揚圧力分布図及び地下水面形 (A-A' 断面)

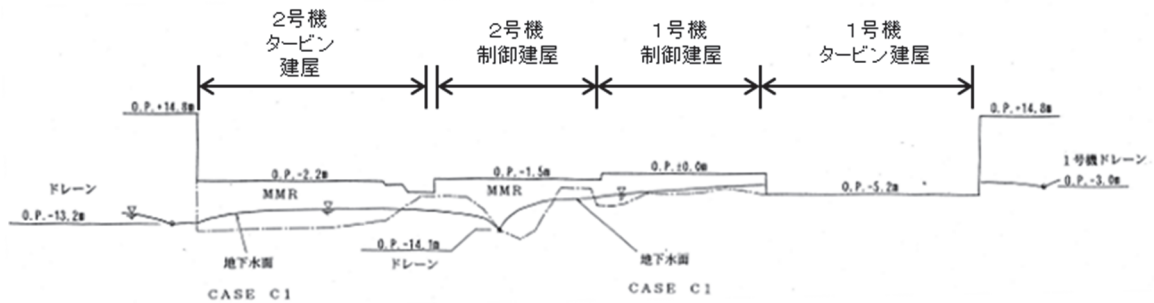


図2-8 揚圧力分布図及び地下水面形 (B-B' 断面)

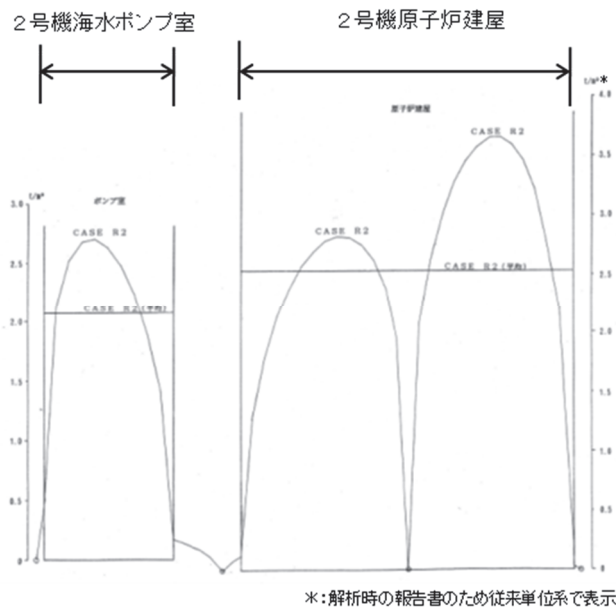


図2-9 揚圧力分布図及び地下水面形 (C-C' 断面)

3.3 第2号機主要建屋の間隙水圧分布

A-A' 断面の浸透流解析断面図と間隙水圧分布を図 2-10 及び図 2-11 に示す。

ドレーンを設置している第2号機原子炉建屋及び第2号機タービン建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下している。

また、B-B' 断面及び C-C' 断面の浸透流解析断面図と間隙水圧分布を図 2-12～図 2-15 に示す。

いずれの断面においてもドレーンを設置している各主要建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。

注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

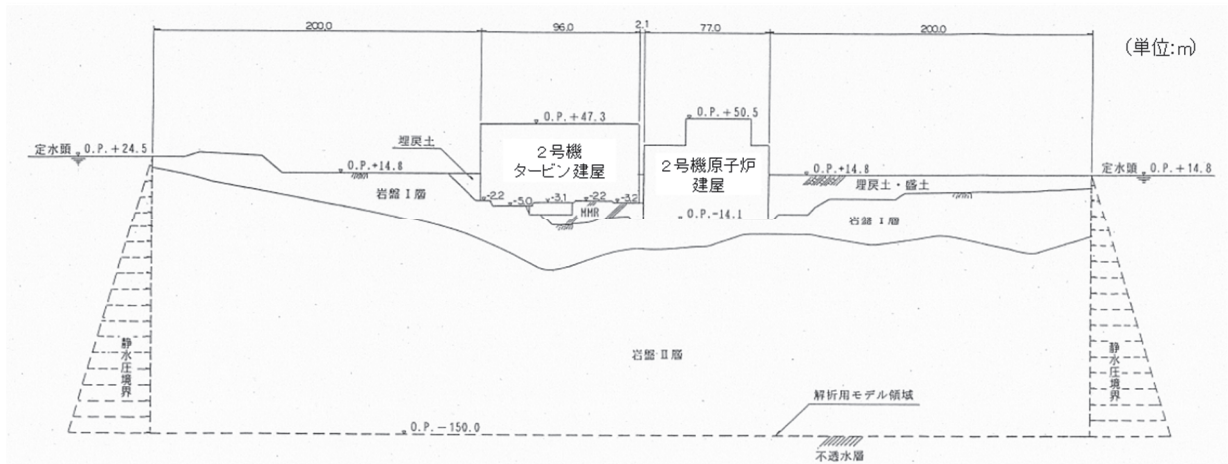


図 2-10 浸透流解析断面図 (A-A' 断面)

*: 解析時の報告書のため従来単位系で表示

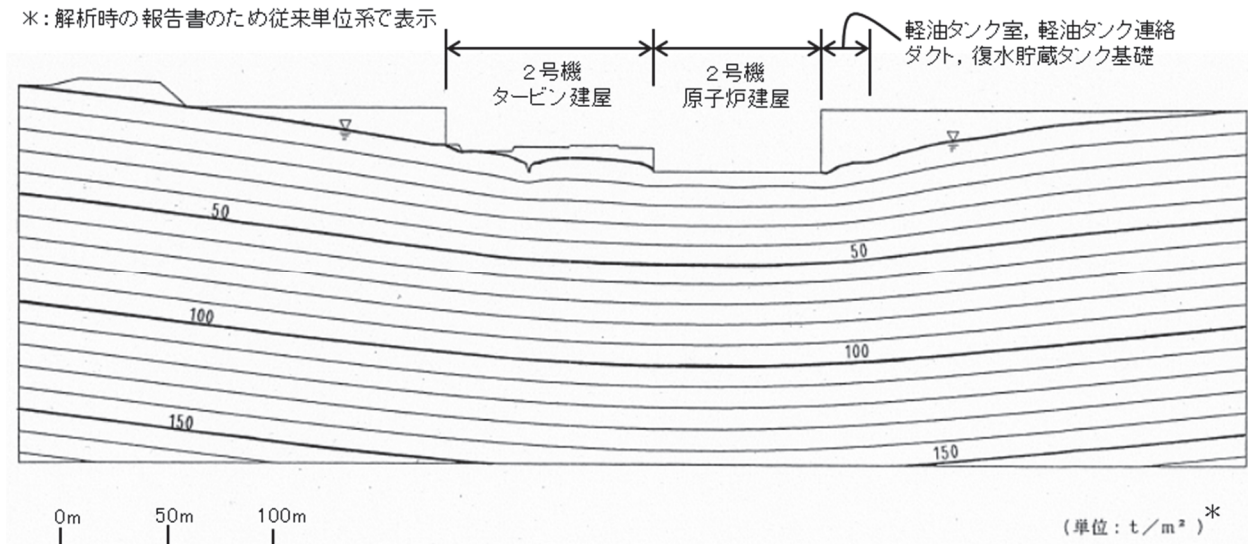


図 2-11 間隙水圧分布図 (A-A' 断面)

注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

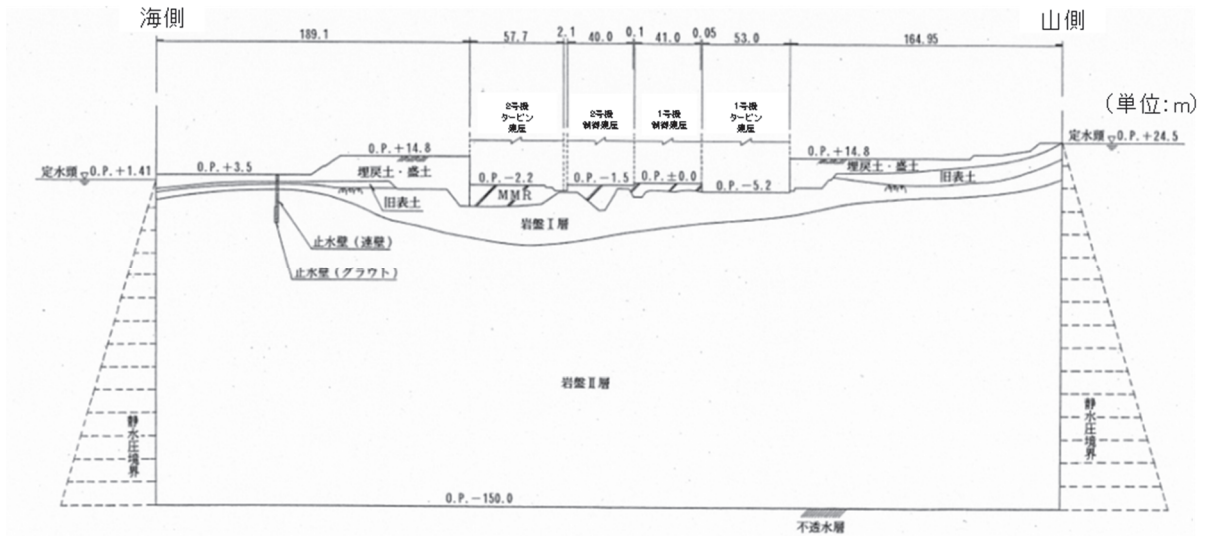


図 2-12 浸透流解析断面図 (B-B' 断面)

注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

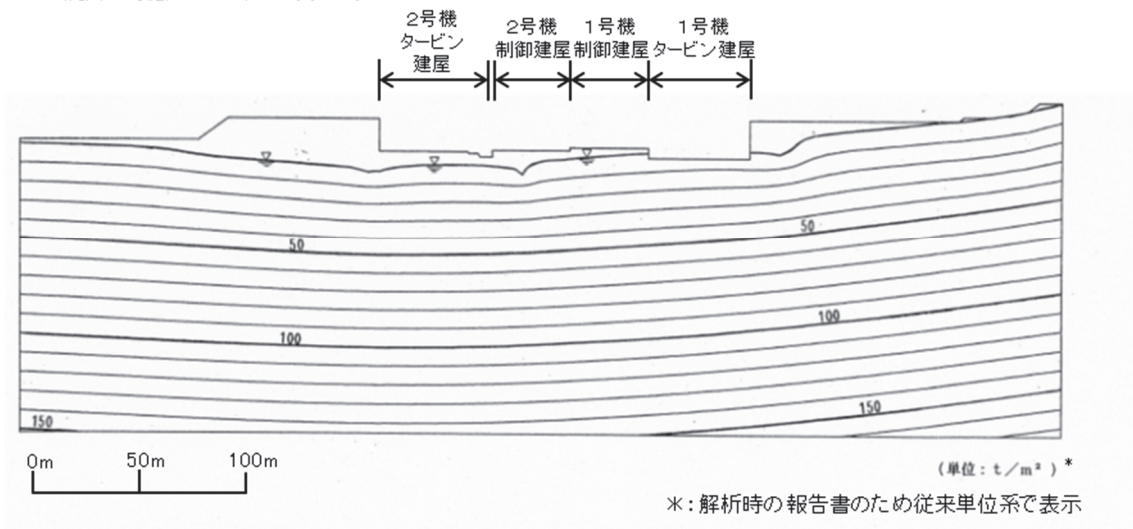


図 2-13 間隙水圧分布図 (B-B' 断面)

注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

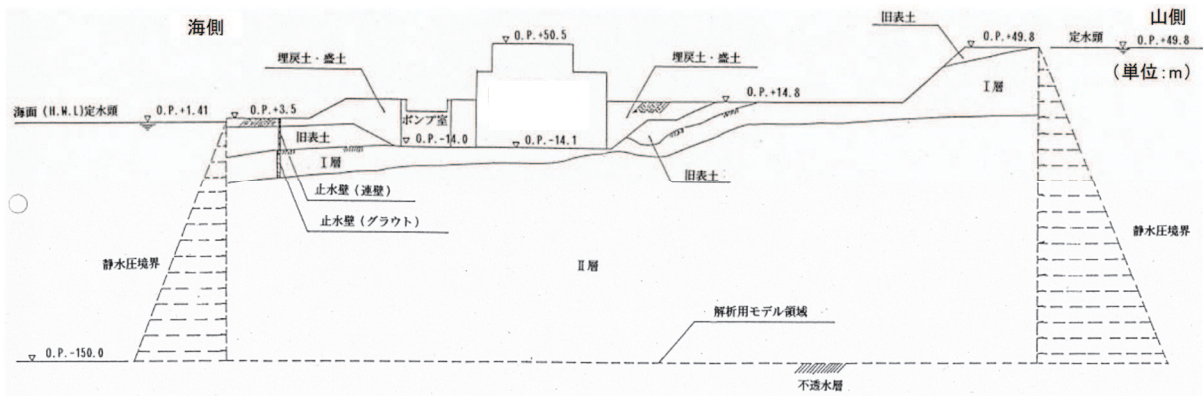


図 2-14 浸透流解析断面図 (C-C' 断面)

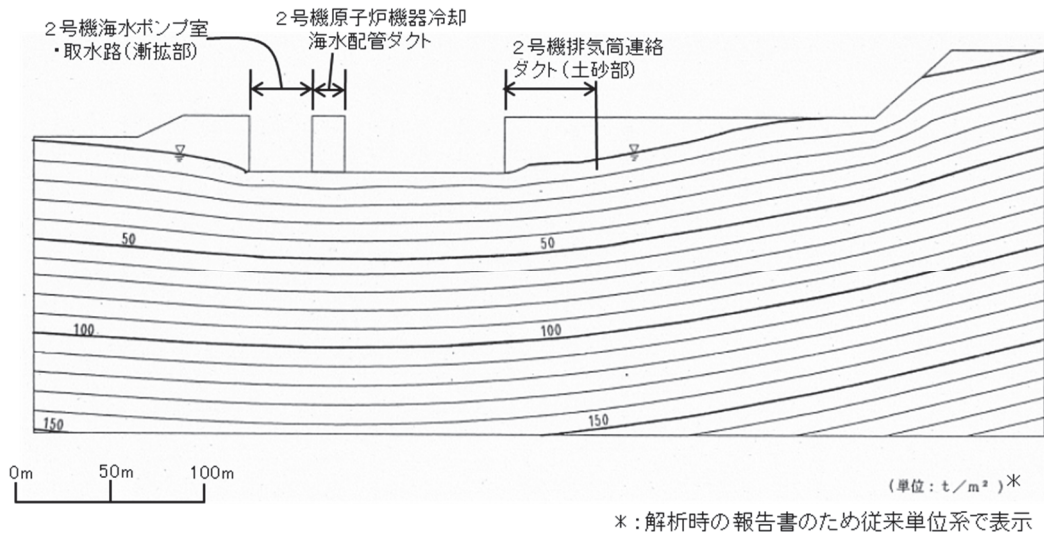


図 2-15 間隙水圧分布図 (C-C' 断面)

3.4 第3号機主要建屋の揚圧力及び湧水量

2次元浸透流解析による3号機原子炉建屋他の湧水量を図2-16に示す。また、第3号機主要建屋における揚圧力の解析結果を図2-17～図2-21に示す。

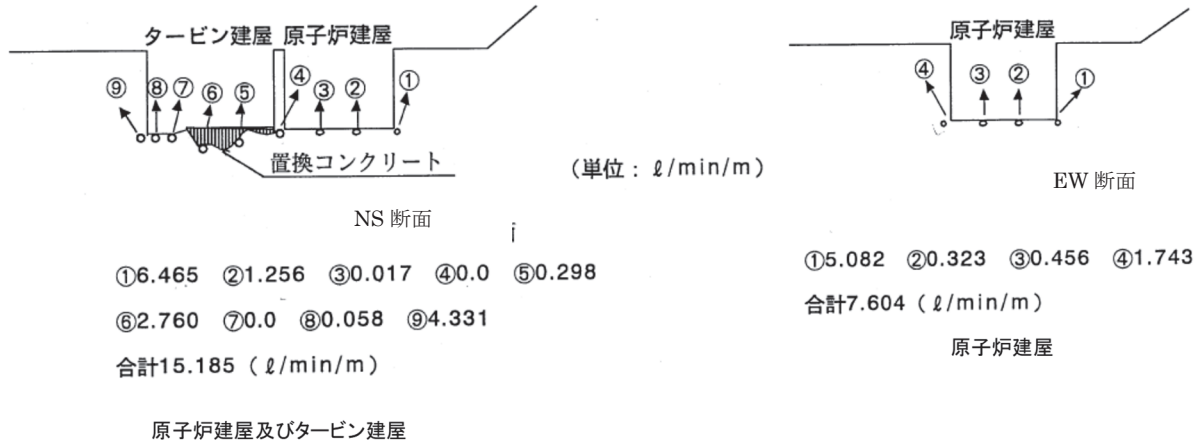


図2-16 第3号機原子炉建屋他の湧水量解析結果

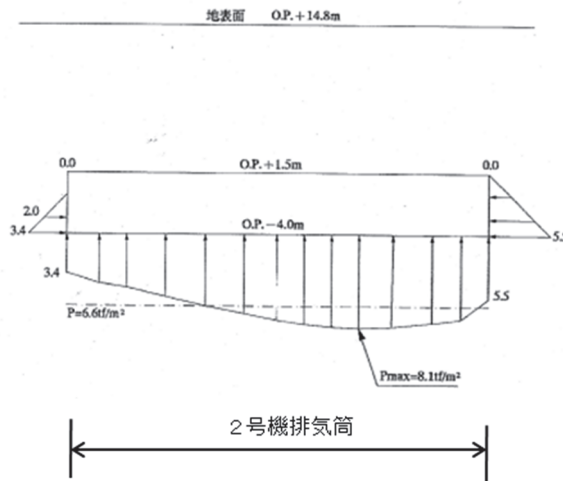


図2-17 揚圧力分布図及び地下水面形 (D-D' 断面) (第2, 第3号機排気筒)

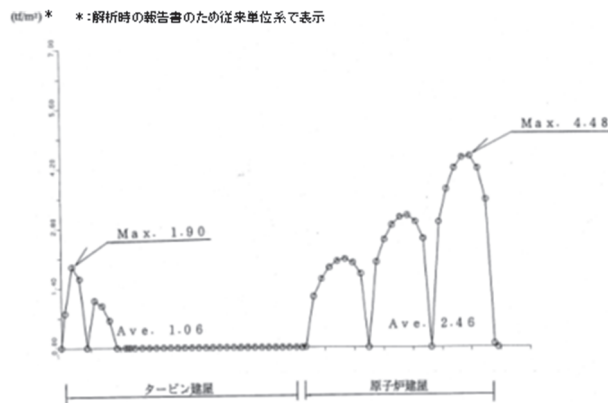


図2-18 揚圧力分布図及び地下水面形 (E-E' 断面) (第3号機原子炉建屋)

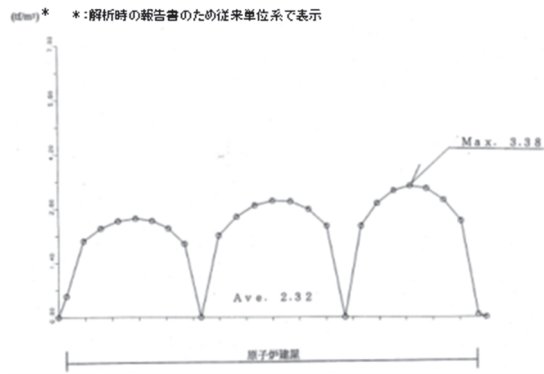


図 2-19 揚圧力分布図及び地下水面形 (H-H' 断面) (第3号機原子炉建屋)

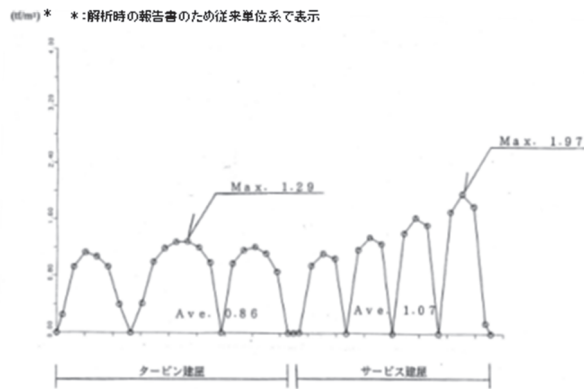


図 2-20 揚圧力分布図及び地下水面形 (G-G' 断面) (第3号機タービン建屋, 制御建屋)

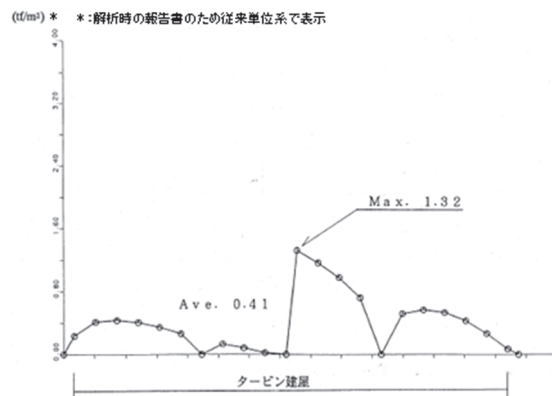


図 2-21 揚圧力分布図及び地下水面形 (F-F' 断面) (第3号機タービン建屋)

3.5 第3号機主要建屋の間隙水圧分布

第3号機主要建屋の間隙水圧分布について、解析断面とその結果を図2-22～図2-31に示す。

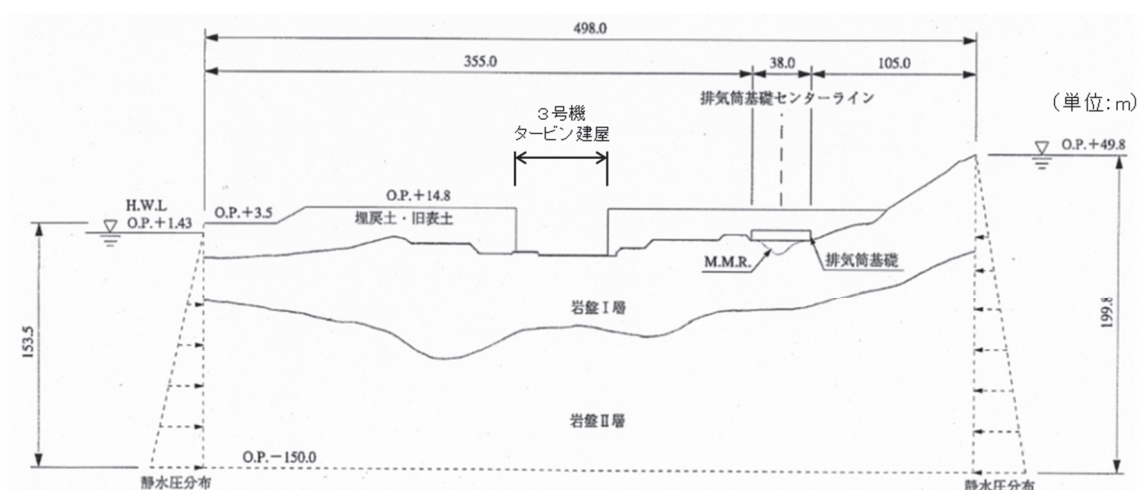
図2-22, 図2-23 (D-D' 断面) ではドレーンを設置している第3号機タービン建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。

図2-24, 図2-25 (E-E' 断面) ではドレーンを設置している第3号機タービン建屋及び第3号機原子炉建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下している。

図2-26, 図2-27 (F-F' 断面) ではドレーンを設置している第3号機タービン建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。

図2-28, 図2-29 (G-G' 断面) ではドレーンを設置している第3号機タービン建屋及び第3号機サービス建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。

図2-30, 図2-31 (H-H' 断面) ではドレーンを設置している第3号機原子炉建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。



注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

図2-22 浸透流解析断面図 (D-D' 断面)

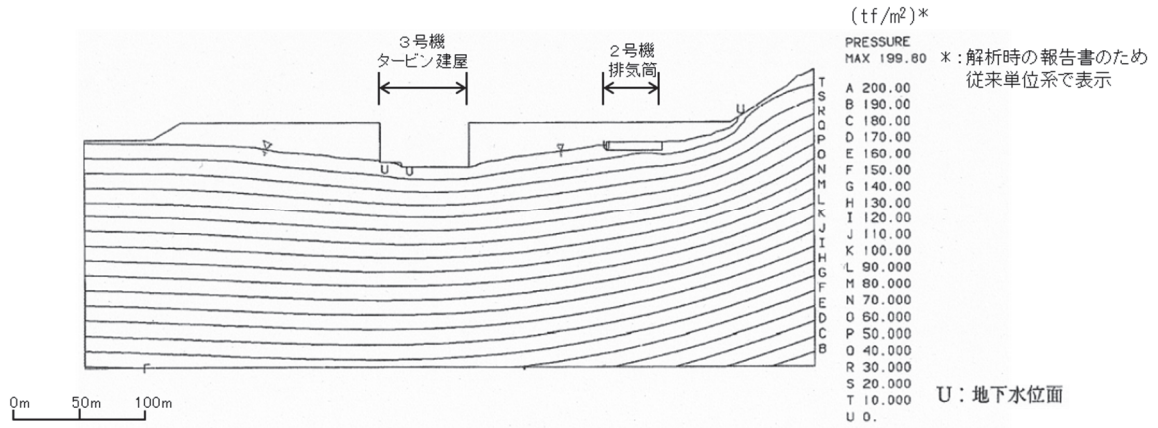


図 2-23 間隙水圧分布図 (D-D' 断面)

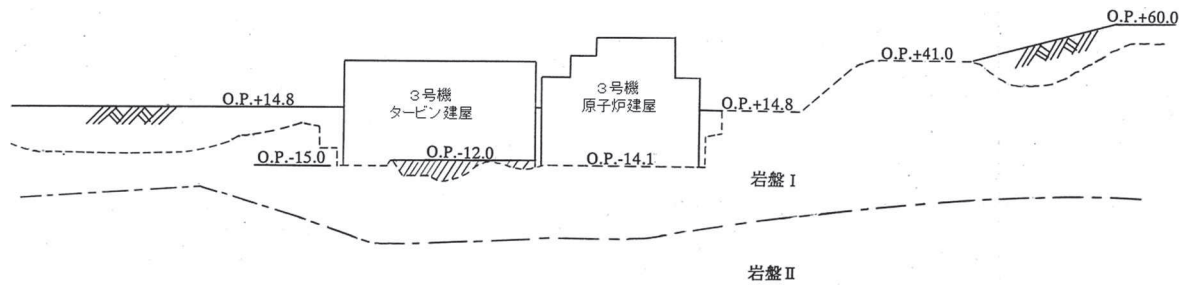


図 2-24 浸透流解析断面図 (E-E' 断面)

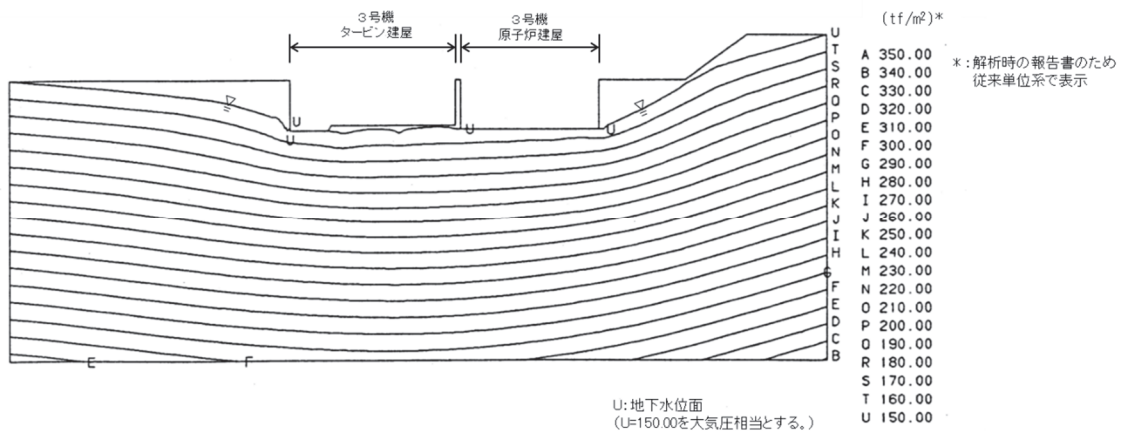


図 2-25 間隙水圧分布図 (E-E' 断面)

注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

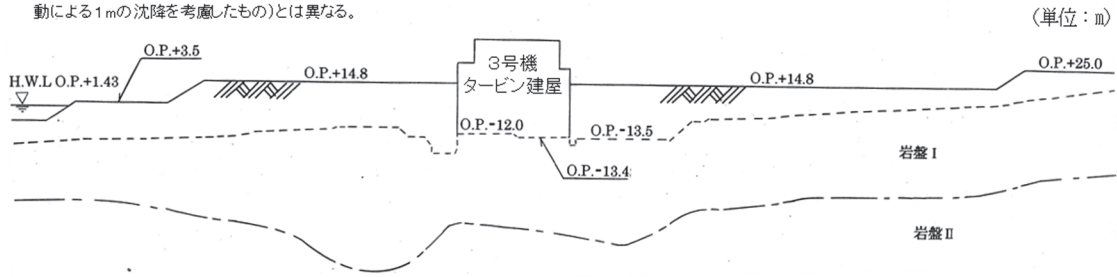


図 2-26 浸透流解析断面図 (F-F' 断面)

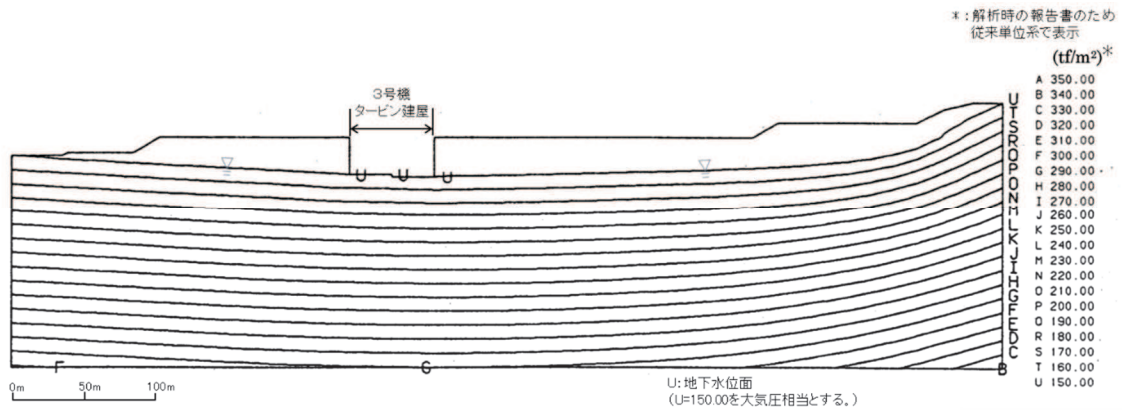


図 2-27 間隙水圧分布図 (F-F' 断面)

注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。



図 2-28 浸透流解析断面図 (G-G' 断面)

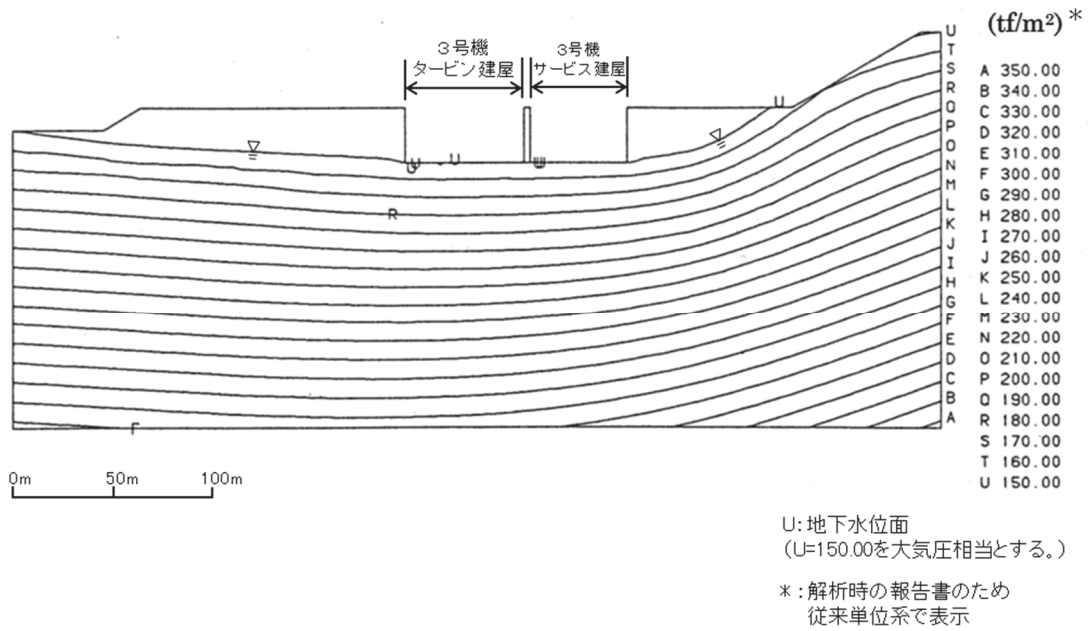


図 2-29 間隙水圧分布図 (G-G' 断面)

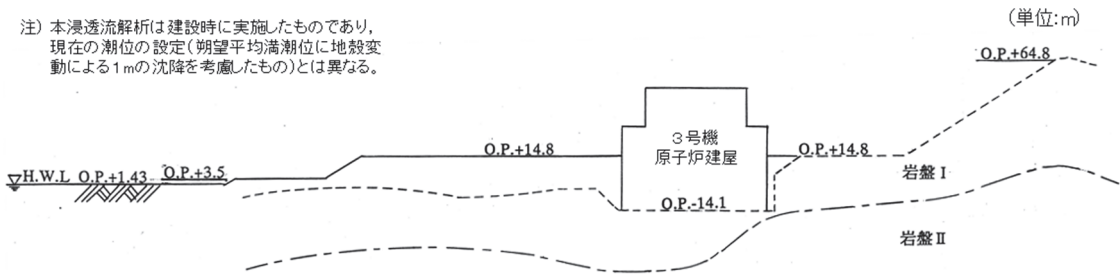


図 2-30 浸透流解析断面図 (H-H' 断面)

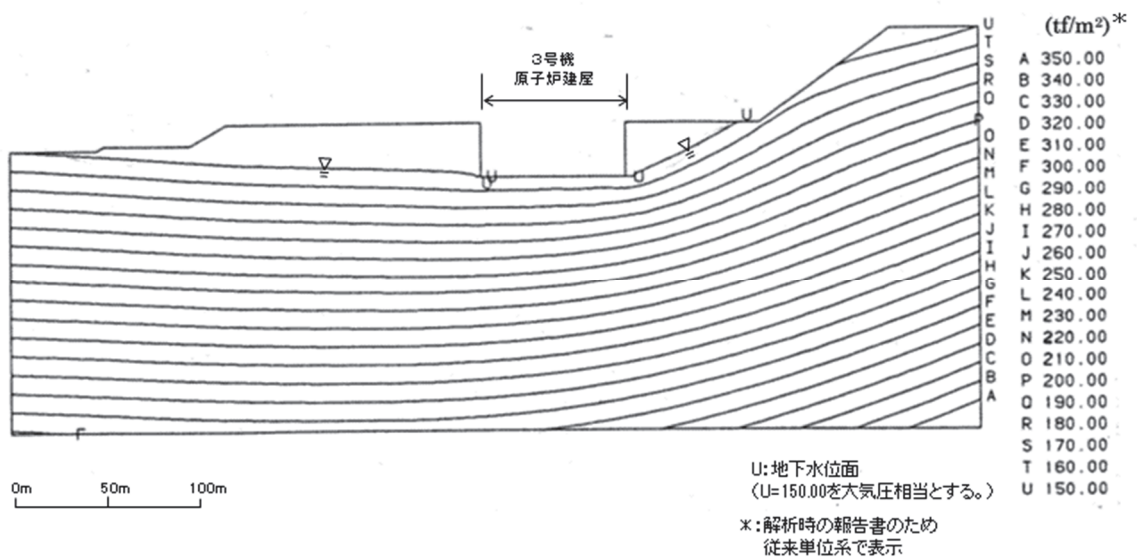


図 2-31 間隙水圧分布図 (H-H' 断面)

(参考資料3) 地下水位の上昇により生じる施設等への影響評価結果

本資料は、浸透流解析により設計用地下水位を設定する場合の前提として、地下水位が上昇した場合に施設等に生じる影響について整理を行ったものであり、設置変更許可段階の方針及び詳細設計段階における設計結果を踏まえた対応方針について記載している。

1. 概要

設置変更許可段階において、地下水位低下設備の位置付けを整理することを目的に、地下水位の上昇により各施設に与える影響の評価を実施している。

詳細設計の状況を踏まえ、設置変更許可段階にて行った影響評価結果を一部変更する。

(詳細設計段階における設計結果を踏まえた設置変更許可段階の説明との対比)

設計用地下水位の設定方法について、詳細設計段階の検討を踏まえ、表 3-1 のとおり整理している。

表 3-1 設計用地下水位の設定方法 (詳細設計を踏まえた補足事項)

施設	設計用地下水位の設定方法	
	設置変更許可段階の方針	詳細設計段階
排気筒	地下水位低下設備の機能を考慮 (建設時工事計画認可段階に実施した 2次元浸透流解析結果を参考に O.P. +5.0m と設定)	地表面 (地下水位を地表面に設定し耐震安全性を確保できる見通しを得たことから地表面に設定)
緊急時対策建屋	自然水位*1より保守的に設定した 水位又は地表面	地表面 (同上)
緊急用電気品建屋		
ガスタービン発電設備 軽油タンク室		

* 1 : 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。

O.P. +14.8m 盤は浸透流解析の境界条件として地下水位低下設備の機能を考慮している一方、O.P. +62m 盤の地下水位は地下水位低下設備の影響が含まれない。

2. 耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等の抽出

防潮堤の沈下対策により敷地内の地下水の流動場が変化することを踏まえ、耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等として、基礎地盤・周辺斜面の他、O.P. +14.8m 盤及び O.P. +62m 盤エリアに設置される耐震重要施設・常設重大事故等対処施設（いずれも間接支持構造物を含む）、並びに車両通行性への影響の観点等から保管場所・アクセスルートを抽出した。

耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等の抽出結果について図 3-1 及び表 3-2 に示す。

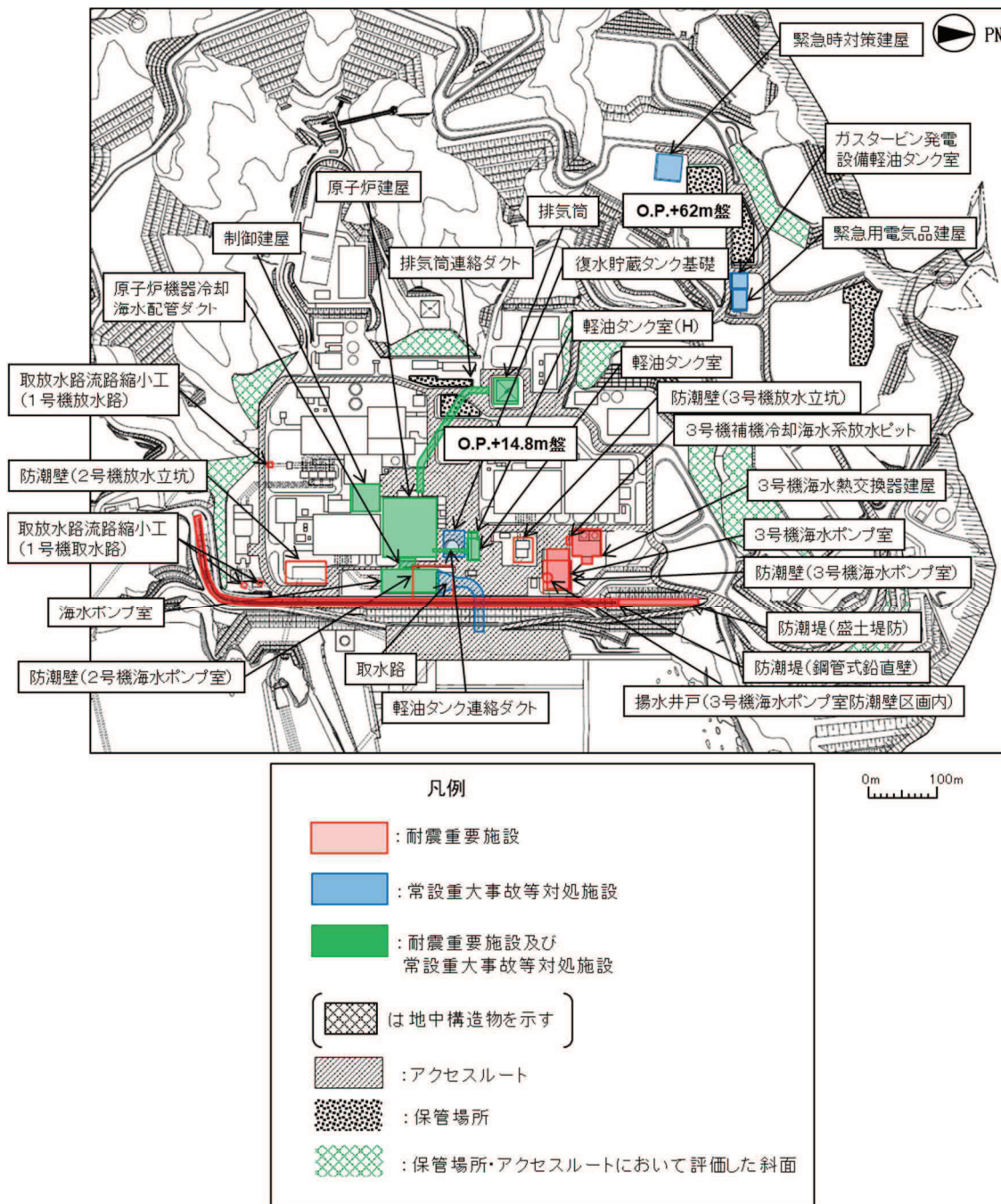


図 3-1 耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等

表 3-2 耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等

施設等		備考
基礎地盤・周辺斜面	基礎地盤	
	周辺斜面	対象となる周辺斜面なし
建物・構築物*1	原子炉建屋	
	制御建屋	
	第3号機海水熱交換器建屋	
	排気筒	
	緊急時対策建屋	0. P. +62m 盤
	緊急用電気品建屋	0. P. +62m 盤
土木構造物・ 津波防護施設・ 浸水防止設備	防潮堤	
	防潮壁	
	海水ポンプ室	
	原子炉機器冷却海水配管ダクト	
	取水路	
	軽油タンク室	
	軽油タンク室 (H)	
	復水貯蔵タンク基礎	
	軽油タンク連絡ダクト	
	排気筒連絡ダクト	
	第3号機海水ポンプ室	
	取放水路流路縮小工	
	ガスタービン発電設備軽油タンク室	0. P. +62m 盤
	第3号機補機冷却海水系放水ピット	
揚水井戸 (第3号機海水ポンプ室防潮壁区内)	浸水防止蓋の間接支持構造物	
保管場所・ アクセスルート	保管場所	0. P. +14. 8m 盤
	アクセスルート	0. P. +14. 8m 盤
	保管場所・アクセスルート	0. P. +62m 盤
	保管場所・アクセスルートにおいて評価する斜面	

*1 土木構造物を除く

3. 地下水位の上昇による影響と対応方針

図 3-1 及び表 3-1 に示した耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等について、地下水位が上昇した場合は施設等への揚圧力影響及び液状化影響が生じる可能性を踏まえ、その影響を低減するための対応方針を整理した。

3.1 地下水位低下設備が機能しない場合の影響

水位評価用モデルを用いた浸透流解析により、地下水位低下設備が機能しない状態が長期間継続した場合を仮定し、定常的な地下水位分布（防潮堤の沈下対策を考慮）を評価した。

境界条件は水位評価用モデルと同様とし、透水係数は水位設定用（参考資料 4）と同条件とした。

この結果、防潮堤の沈下対策により地下水が敷地内に滞留し、地下水位が地表面付近まで上昇する。評価結果を図 3-2 に示す。

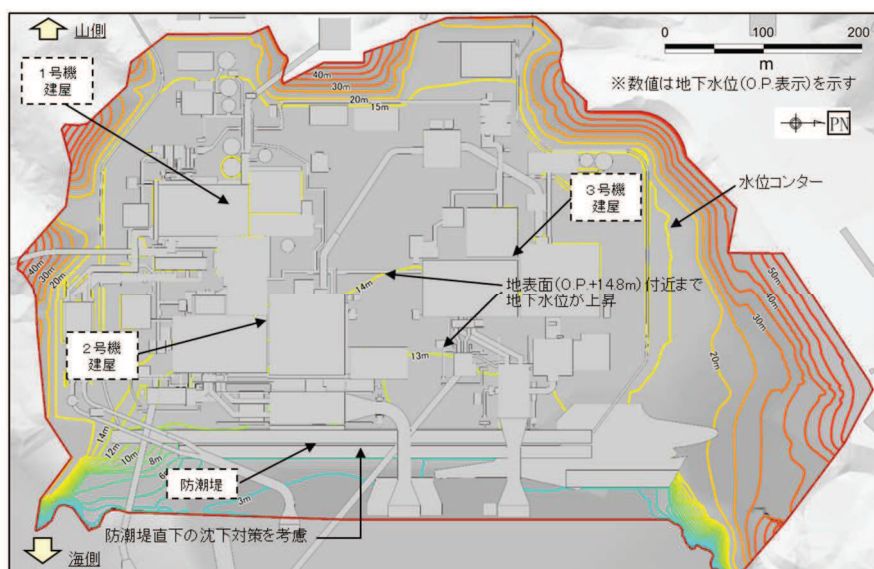


図 3-2 地下水位低下設備が機能しない場合の地下水位分布算定結果*¹

*¹: 解析境界の地表面に水位固定した定常解析により得られた地下水位分布であり、解析開始（地下水位低下設備が機能喪失）から数年程度で地下水位が地表面近くに到達する。

3.2 地下水位の影響を踏まえた評価と対応

耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等について、地下水位の影響を踏まえた評価と対応を表 3-3 のとおり整理した。

表 3-3 (1) 地下水位の影響を踏まえた評価と対応 (1/3)

地下水位の影響を受ける施設等		地下水位の上昇による影響を踏まえた評価と対策		
基礎地盤 ・周辺斜面	・基礎地盤	評価結果	影響なし (原子炉建屋の地下水位は基礎版中央に設定しているが、地下水位の設定は基礎地盤の評価結果に影響しない。なお、その他は周辺地盤を含め地表面に設定。)	
		対策	地下水位低下設備	—
			各施設等(耐震補強)	—
建物・構築物	・原子炉建屋 ・制御建屋 ・3号機海水熱交換器建屋	評価結果	影響あり (揚圧力影響、液状化影響)	
		対策	地下水位低下設備	【揚圧力対策】 ○: 地下水位低下設備の設置 【液状化対策】 △: (設計用地下水位の設定において前提とする。)
			各施設等(耐震補強)	△: 耐震評価の結果、当該施設の機能に影響が及ぶ場合は、適切な対策(地盤改良等の耐震補強)を講ずる。
	・排気筒 ・緊急時対策建屋 ・緊急用電気品建屋	評価結果	影響なし (地表面に設計用地下水位を設定)	
		対策	地下水位低下設備	—
各施設等(耐震補強)	—			

凡 例
 ○: 地下水位低下設備が設計上必要
 △: 地下水位低下設備により保持される地下水位を前提として評価・対策
 —: 対策不要

表 3-3 (2) 地下水位の影響を踏まえた評価と対応 (2/3)

地下水位の影響を受ける施設等		地下水位の上昇による影響を踏まえた評価と対策		
土木構造物・ 津波防護施設・ 浸水防止設備	・防潮堤 ・防潮壁 ・海水ポンプ室 ・原子炉機器冷却海水配管ダクト ・取水路 ・軽油タンク室 ・軽油タンク室(H) ・復水貯蔵タンク基礎 ・軽油タンク連絡ダクト ・排気筒連絡ダクト ・3号機海水ポンプ室 ・3号機補機冷却海水系放水ピット ・揚水井戸 (3号機海水ポンプ室防潮壁区画内)	評価結果	影響あり (揚圧力影響、液状化影響)	
		対策	地下水位低下設備	△: (設計用地下水位の設定において前提とする。)
			各施設等(耐震補強)	△: 耐震評価の結果、当該施設の機能に影響が及ぶ場合は、適切な対策(地盤改良等の耐震補強)を講ずる。
	・取放水路流路縮小工 ・ガスタービン発電設備軽油タンク室	評価結果	影響なし (地下水位低下設備に期待せず設計用地下水位を設定)	
		対策	地下水位低下設備	—
各施設等(耐震補強)	—			

凡 例
 ○: 地下水位低下設備が設計上必要
 △: 地下水位低下設備により保持される地下水位を前提として評価・対策
 —: 対策不要

表 3-3 (3) 地下水位の影響を踏まえた評価と対応 (3/3)

地下水位の影響を受ける施設等		地下水位の上昇による影響を踏まえた評価と対応	
保管場所・ アクセスルート	・保管場所 (O.P.+14.8m盤)	評価結果	影響なし (地下水位低下設備により一定の範囲に保持される地下水位を前提として設計用地下水位を設定しているが、保管場所(O.P.+14.8m盤)は、岩盤、MMR上に設置されるため、地下水位の設定は評価結果に影響しない)
		対策	地下水位低下設備 — 各施設等(耐震補強) —
	・アクセスルート (O.P.+14.8m盤)	評価結果	影響あり (液状化影響)
		対策	地下水位低下設備 △:(地下水位低下設備の機能喪失を仮定し、地震時の液状化に伴う地下構造物の浮上り評価を行う) 各施設等(耐震補強) △:評価結果は「VI-1-1-6-別添1 可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート」に示す
	・保管場所, アクセスルート (O.P.+62m盤)	評価結果	影響なし (地下水位を地表面に設定し評価)
		対策	地下水位低下設備 — 各施設等(耐震補強) —
	・保管場所, アクセスルート において評価する斜面	評価結果	影響なし (地下水位を自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて評価)
		対策	地下水位低下設備 — 各施設等(耐震補強) —

凡 例

- : 地下水位低下設備が設計上必要
- △: 地下水位低下設備により保持される地下水位を前提として評価・対策
- : 対策不要

3.3 地下水位が上昇した場合の影響評価まとめ

地下水位の影響を踏まえた評価と対応を踏まえ、耐震評価において地下水位の影響を受ける施設等の地下水位低下設備との関係を整理した。

整理結果を表 3-4 に示す。

表 3-4(1)

耐震評価において地下水位の影響を受ける施設等との関係と対応条文の整理

施設等	安全性確保における地下水位低下設備の位置付け*1			関連する条文		重大事故等 対応設備		工事計画認可段階 における 地下水位の扱い
	(A) 設計値保持 のため 直接的に必要	(B) 左記 (A) により保 持される設計用地下 水位を前提とする (必要時は対策)	(C) 不要	地盤 (設置変更許可基準規則の 対応条文を記載)		津波・余震重畳		
				38条1項 *4	38条2項 *3	50条 *3	6条 *3	
基礎地盤, 周辺斜面	基礎地盤		○*1					取扱無
	周辺斜面		-					取扱無 (対象斜面無)
建物・構築物	原子炉建屋	○		△	△	○	*2	地下水位低下設備を考慮し た浸透流解析により設計用 揚圧力を設定
	制御建屋	○		△	△	○	*2	
	第3号機海水熱交換器建屋	○		△	△	○	*2	
	排気筒		○					
	緊急時対策建屋		○					地表面
緊急用電気品建屋			○					

注記*1：地下水位の影響を受ける施設等、及び地下水位の影響を踏まえた対策については、各施設の耐震計算書等とその詳細を示す。(A)、(B)に該当する施設等)

*2：技術基準規則第50条と同様の要求であり、規則第50条への適合をもつて第50条への適合性を確認する。
 *3：余震時に対する要求を含む技術基準規則第6条・第51条及び第50条については、第50条への適合をもつて確認する。また、設置変更許可基準規則第3条2項及び第38条第2項、技術基準規則第5条及び第50条は、それぞれ同一の地盤、地震に対する設計基準対象施設及び重大事故等対応施設の適合性を要求しているものであり、地震時の影響については、代表的に技術基準規則第5条への適合性を示すことにより確認する。

*4：基礎地盤の評価に地下水位が影響しないため、条文適合上不要と整理した。なお、基礎地盤の安定性の評価条件の一つとして、地下水位の設定を設置変更許可申請書へ記載している。

表 3-4(2)

耐震評価において地下水位の影響を受ける施設等との関係と対応条文の整理

施設等	安全性確保における地下水位低下設備の位置付け ^{*1}			関連する条文					工事計画認可段階における地下水位の扱い			
	(A) 設計値保持のため直接的に必要な	(B) 上記(A)により保持される設計用地下水位を前提とする(必要時は対策)	(C) 不要	地盤 (設置変更許可基準規則の対応条文を記載)		地震		津波・余震重畳		重大事故等 対処設備		
				3条1項	3条2項	38条2項	5条 ^{*2}	50条 ^{*3}	6条 ^{*3}	51条 ^{*3}	54条	
土木構造物 津波防護施設 浸水防止設備	防潮堤	○		△	△	△	△	△	△	△		
	防潮壁	○		△	△	△	△	△	△	△		
	海水ポンプ室	○		△	△	△	△	△	△	△		
	原子炉機器冷却海水配管ダクト	○		△	△	△	△	△	△	△		
	取水路	○		△	△	△	△	△	△	△		
	軽油タンク室	○		△	△	△	△	△	△	△		
	軽油タンク室(H)	○		△	△	△	△	△	△	△		
	復水貯蔵タンク基礎	○		△	△	△	△	△	△	△		
	軽油タンク連絡ダクト	○		△	△	△	△	△	△	△		
	排気筒連絡ダクト	○		△	△	△	△	△	△	△		
	第3号機海水ポンプ室	○		△	△	△	△	△	△	△		
	取放水路流路縮小工		○								地表面	
	ガスタービン発電設備軽油タンク室		○									
	第3号機補機冷却海水系放水ピット	○		△	△	△	△	△	△	△	△	
揚水井戸(第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内)	○		△	△	△	△	△	△	△	△		

地下水位低下設備を考慮した浸透流解析による解析水位をもとに設計用地下水位を設定

注記*1：地下水位の影響を受ける施設等、及び地下水位の影響を踏まえた対策については、各施設の耐震計算書等とその詳細を示す。(A)、(B)に該当する施設等)

*2：技術基準規則第50条は同規則第5条と同様の要求であり、規則第5条への適合をもつて第50条への適合を確認する。また、設置変更許可基準規則第3条2項及び第38条第2項、技術基準規則第5条及び第50条は、それぞれ同一の地盤、地震に対する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の適合性を要求しているものであり、地震時の影響については、代表的に技術基準規則第5条への適合性を示すことにより確認する。

*3：余震時に対する要求を含む技術基準規則第6条・第51条及び第50条については、第5条への適合をもつて確認する。また、設置変更許可基準規則第3条2項及び第38条第2項、技術基準規則第5条及び第50条は、それぞれ同一の地盤、地震に対する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の適合性を要求しているものであり、地震時の影響については、代表的に技術基準規則第5条への適合性を示すことにより確認する。

表 3-4 (3) 耐震評価において地下水位の影響を受ける施設等との関係と対応条文の整理

施設等	安全性確保における地下水位低下設備の位置付け*1			関連する条文					工事計画認可段階における地下水位の扱い
	(A) 設計値保持のため直接的に必要な	(B) 左記 (A) により保持される設計用地下水位を前提とする (必要時は対策)	(C) 不要	〔 ○は設計上必要、△は設計条件として前提とする。色分けは*3に示す各条文の包絡関係を示す (■は■への適合性を示すことにより確認) 〕					
				地盤 (設置変更許可基準規則の対応条文を記載)	地震	津波・余震重畳	重大事故等対処設備		
保管場所・ アクセスルート	保管場所 (O.P.+14.8m 盤)	○		38条1項	50条*2,3	6条*2,3	51条*2,3	54条	
	アクセスルート (O.P.+14.8m 盤)	○		38条2項				△	地下水位低下設備を考慮した浸透流解析による解析水位をもとに設計用地下水位を設定 (機能喪失考慮)
	保管場所 (O.P.+62m 盤)		○	38条1項					地表面
	アクセスルート (O.P.+62m 盤)		○	38条2項					地表面
保管場所、アクセ スルート斜面	斜面 B, F		○						浸透流解析に基づき自然水位より保守的に設計用地下水位を設定 (斜面 B・F)
	斜面 B, F 以外		○						地表面

注記*1：地下水位の影響を受ける施設等、及び地下水位の影響を踏まえた対策については、各施設の耐震計算書等にその詳細を示す。(A)、(B)に該当する施設等)

*2：技術基準規則第50条と同様の要求であり、規則第50条への適合性をもつて第50条への適合性を確認する。
 *3：余震時に対する要求を含む技術基準規則第6条・第51条及び第50条については、第50条への適合性をもつて確認する。また、設置変更許可基準規則第3条2項及び第38条第2項、技術基準規則第50条及び第50条は、それぞれ同一の地盤、地震に対する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の適合性を要求しているものであり、地震時の影響については、代表的に技術基準規則第50条への適合性を示すことにより確認する。

(参考資料4) 浸透流解析に用いる透水係数の設定根拠

1. 概要

本資料では、設計用地下水位の設定や排水能力の設定において参照する浸透流解析に用いる透水係数の設定根拠について示す。

2. 透水試験

本項では、浸透流解析でモデル化する地層区分毎の透水試験の結果を示す。

2.1 盛土・旧表土

(1) 設定方法

盛土は発電所の建設工事で発生した岩砕を主体とする、硬質の岩塊を含む粗粒材料から構成され、敷地の広範囲に分布する。旧表土は主に敷地造成前の海浜砂であり、主に敷地の海側に分布する。

盛土及び旧表土は、物理的性質が敷地内で概ね均一と考えられることから、比較的簡便に透水性を推定可能な粒度試験結果（粒径加積曲線）におけるD20（20%粒径）に基づき推定するクレーガーらの提案より換算値として求める。

クレーガーらが提案したD20と透水係数の関係を表4-1に、粒度試験の試料採取位置を図4-1に、クレーガーらの提案を踏まえ設定した盛土・旧表土の透水係数を表4-2に示す。ここで、試験データは主要施設近傍並びに敷地の全体から取得され、十分な試験データ数を有している。

表 4-1 クレーガーらが提案した D20 と透水係数の関係

D ₂₀ (mm)	透水係数 k (m/s)	D ₂₀ (mm)	透水係数 k (m/s)
0.005	3.0×10^{-8}	0.18	6.85×10^{-5}
0.01	1.05×10^{-7}	0.2	8.9×10^{-5}
0.02	4.0×10^{-7}	0.25	1.4×10^{-4}
0.03	8.5×10^{-7}	0.3	2.2×10^{-4}
0.04	1.75×10^{-7}	0.35	3.2×10^{-4}
0.05	2.8×10^{-6}	0.4	4.5×10^{-4}
0.06	4.6×10^{-6}	0.45	5.8×10^{-4}
0.07	6.5×10^{-6}	0.5	7.5×10^{-4}
0.08	9.0×10^{-6}	0.6	1.1×10^{-3}
0.09	1.4×10^{-5}	0.7	1.6×10^{-3}
0.1	1.75×10^{-5}	0.8	2.15×10^{-3}
0.12	2.6×10^{-5}	0.9	2.8×10^{-3}
0.14	3.8×10^{-5}	1	3.6×10^{-3}
0.16	5.1×10^{-5}	2	1.8×10^{-2}

(参考) 左の表から推定した換算式*

$$k = 0.0034 \times D_{20}^{2.2954}$$

$$(0.005 \leq D_{20} \leq 2)$$

ここで、k : 透水係数 (m/s)

D₂₀ : 20% 粒径 (mm)

注記* クレーガーら(1945)は土質材料の粒度特性から透水係数を推定可能であると示し、D₂₀を用いた左記の表を提案。この表に対応する換算式の例として乾ら(2015)を参照し記載。

(土質工学ハンドブック (土質工学会) より引用)

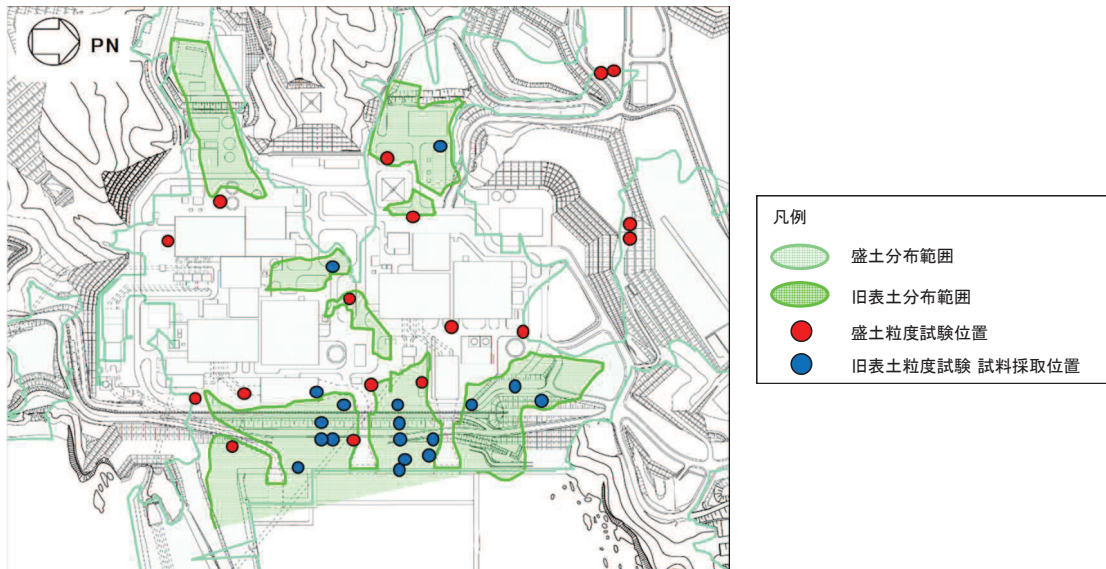


図 4-1 粒度試験試料採取位置図 (盛土・旧表土)

(参考) 4-2

表 4-2 クレーガーらの方法により算定した盛土・旧表土の透水係数

地層	データ数	クレーガーらの方法による換算値		
		試験結果(平均値) (m/s)	平均値 - 1σ (m/s)	平均値+1σ (m/s)
盛土	69	1.0×10 ⁻⁴ * (0.22mm)	0.9×10 ⁻⁷	1.1×10 ⁻³
旧表土	89	6.4×10 ⁻⁶ * (0.065mm)	1.9×10 ⁻⁷	2.2×10 ⁻⁴

注記*：平均値の算定は、各粒度試験結果についてクレーガーらの方法により透水係数に換算した上で、対数平均により算出している。また、()内の数字は粒度試験結果に基づくD20（粒度試験結果に基づき曲線補間により算出）の平均値を示す。

(2) 推定値の妥当性

(1) に示す粒度試験に基づくクレーガーらの方法に基づき推定した透水係数の妥当性について、文献および原位置試験の結果から整理する。

文献類として、地下水ハンドブック（建設産業調査会）における一般的な未固結堆積物の透水係数を表4-3に示す。粗砂で概ね1.0×10⁻¹~1.0×10⁻⁵ (m/s) 程度、中砂・細砂で概ね1.0×10⁻²~1.0×10⁻⁶ (m/s) 程度となっており、クレーガーの方法により求めた透水係数は概ね中央値となっていることから、概ね妥当な値と判断できる。

表 4-3 未固結堆積物の水理条件

地 質	間 隙 率		透水係数の範囲(cm/sec)	井戸産出量	帯水層単元の型
	1 次 的 (粒 子)	2 次 的 (破 砕)	10 ² 10 ⁰ 10 ⁻² 10 ⁻⁴ 10 ⁻⁶ 10 ⁻⁸	高 中 低	
未固結堆積物	%				
礫	30~40		—————	—	帯水層
粗 砂	30~40		—————	—	帯水層
中 ~ 細 砂	30~35		—————	—	帯水層
シルト	40~50	ときとしてまれ (泥のクラック)	—————	—	難透水層

(地下水ハンドブック（建設産業調査会）より引用)

また、原位置において別途実施した原位置透水試験の結果を表4-4に、試験位置を図4-2に示す。試験の結果、旧表土についてはクレーガーらの方法に基づく推定値と同オーダーであり、盛土については1オーダー小さい結果となっている。盛土については、石分や礫分の介入程度の違い等によりクレーガーらの方法では若干ばらつきが生じている可能性が考えられる。

なお、クレーガーの算定に用いた粒度試験の平面及び深度分布を補足1に、盛土の石分の影響を補足2に示す。

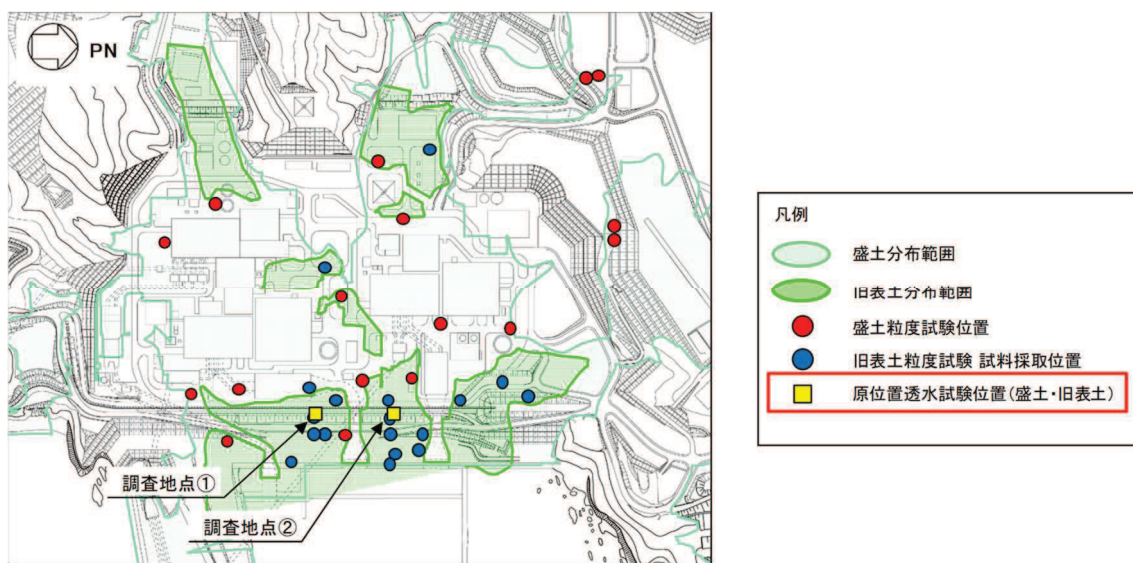


図 4-2 盛土・旧表土の原位置透水試験位置図

(図 4-1 に盛土・旧表土の原位置透水試験位置を追記)

表 4-4(1) 盛土・旧表土の原位置透水試験結果

地層	原位置透水試験		試験結果 (クレーガーらの方法) (m/s)
	データ数	試験結果 (m/s)	
盛土	3	0.9×10^{-5}	1.0×10^{-4}
旧表土	4	0.7×10^{-5}	0.6×10^{-5}

表 4-4(2) 盛土・旧表土の原位置透水試験結果 (試験箇所・深度別)

調査地点	分類	深度 (m)	透水係数 (原位置試験) (m/s)	備考
調査地点① G.L. : O.P. +14.8m	盛土	G.L. -4.0m～ G.L. -5.0m	1.5×10^{-5}	砂礫 (5～20mm の礫を含む)
	盛土	G.L. -18.0m～ G.L. -19.0m	1.0×10^{-5}	砂礫 (10～ 20mm の礫を含 む)
	旧表土	G.L. -22.5m～ G.L. -23.0m	0.6×10^{-5}	細～中粒砂
	旧表土	G.L. -27.0m～ G.L. -27.5m	2.6×10^{-5}	砂礫 (20～ 50mm の礫を含 む)
調査地点② G.L. : O.P. +14.8m	盛土	G.L. -10.9m～ G.L. -11.3m	0.5×10^{-5}	砂礫 (10～ 20mm の礫を含 む)
	旧表土	G.L. -23.0m～ G.L. -23.5m	0.3×10^{-5}	礫混じり中～ 粗粒砂
	旧表土	G.L. -27.0m～ G.L. -27.5m	0.5×10^{-5}	シルト及び砂 礫 (10～40mm の礫を含む)

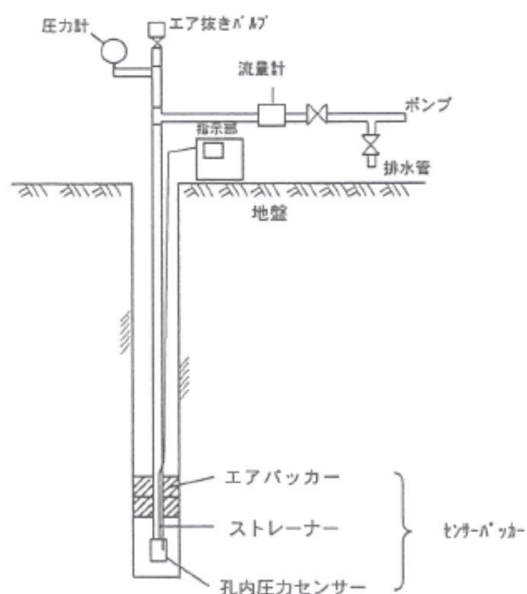
2.2 岩盤

(1) 試験方法

敷地内の岩盤は、中生界ジュラ系の牡鹿層群荻の浜累層の砂岩、頁岩、砂岩頁岩互層が分布し、部分的に白亜系のひん岩が貫入している。第2号機原子炉建屋付近には狐崎砂岩頁岩部層が、第3号機原子炉建屋付近には牧の浜砂岩頁岩部層が分布している。

岩盤の透水係数は、岩種や速度層等の関係性や原位置での分布状況に応じた性質を把握するために、ボーリング孔を利用して透水性を評価する原位置透水試験（ルジオン試験）に基づき算定した。

試験方法の概要を図4-3に、試験位置を図4-4に、表4-5に透水試験結果を示す。



(ルジオンテスト技術指針・同解説 (平成18年7月)

(財団法人 国土技術研究センター) より引用)

図4-3 原位置透水試験（ルジオン試験）の概要

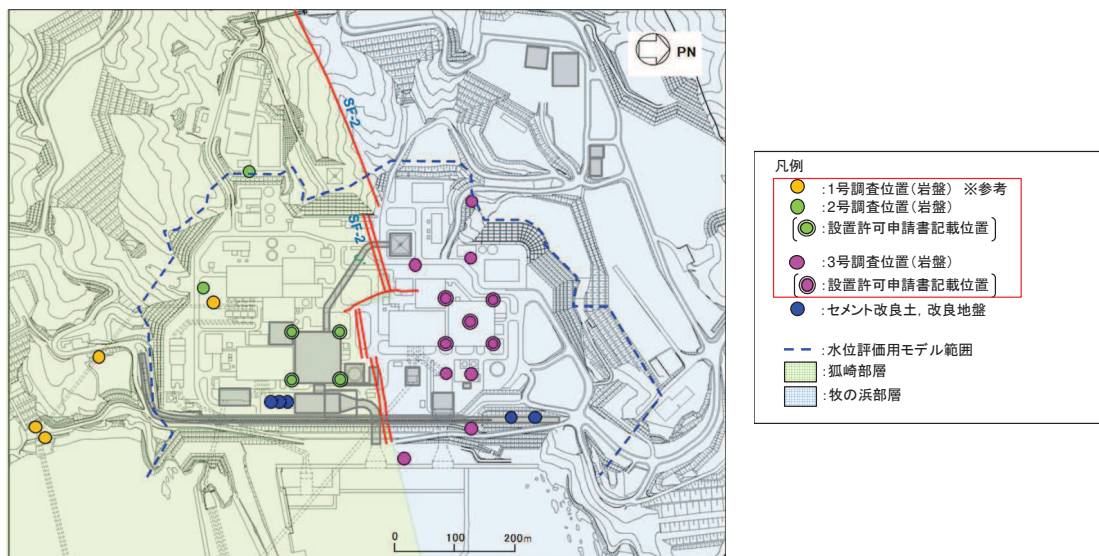


図 4-4 原位置試験位置図

表 4-5 岩盤の原位置透水試験結果

地層	データ数	試験結果(平均値) (m/s)
孤崎部層	70	2.3×10^{-7}
牧の浜部層	127	2.9×10^{-7}

(2) 試験結果の妥当性

文献類として、地下水ハンドブック（建設産業調査会）における一般的な固結堆積物の透水係数を表4-6に示す。細粒砂岩の場合、概ね $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-8}$ (m/s) 程度となっている。また、試験データは主要施設近傍並びに敷地の全体から取得されていることから、文献値等に示されている透水係数とも整合的である。

表 4-6 固結堆積物の水理条件

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 碎)			
固 結 堆 積 物					
石灰岩・白雲岩	1～50	溶解、節理面	—————	—————	帯水層あるいは不透水層
粗～中粒砂岩	<20	節理、破碎	—————	—————	帯水層あるいは難透水層
細粒砂岩・泥岩	<10	節理、破碎	—————	—————	帯水層あるいは不透水層
頁岩・シルト岩	—	節理、破碎	—————	—————	不透水層あるいは帯水層

(地下水ハンドブック（建設産業調査会）より引用)

2.3 セメント改良土及び改良地盤

(1) 試験結果

セメント改良土は、発電所構内で採取した掘削土にセメントを混合して製造したもので、改良地盤は、高圧噴射攪拌工法によって、発電所内の盛土、旧表土とセメントミルクを混合して造成したものである。

セメント改良土及び改良地盤の透水係数は、岩盤同様にボーリング孔を利用した原位置透水試験（ルジオン試験）に基づき算定した。試験位置を図4-5に、試験位置での透水試験結果を表4-7に示す。

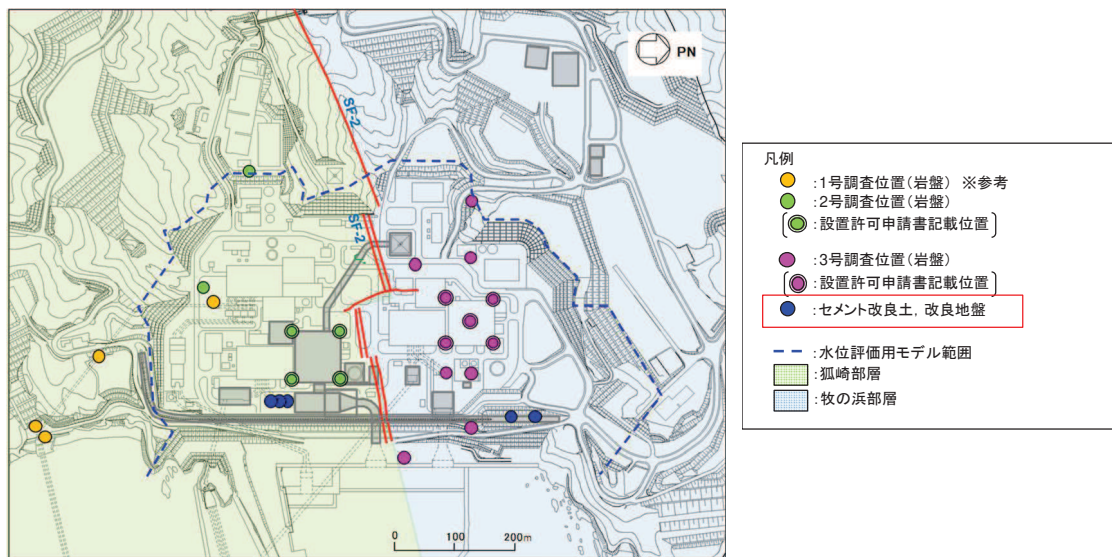


図 4-5 原位置試験位置図
(セメント改良土・改良地盤)

表 4-7 セメント改良土及び改良地盤の原位置透水試験結果

地層	データ数	試験結果(平均値) (m/s)
セメント改良土	5	1.7×10^{-7}
改良地盤	6	2.4×10^{-7}

(2) 試験結果の妥当性

表4-8に示す改良地盤及びセメント改良土の解析用物性値を基準とし、透水試験箇所でも実施したPS検層によるS波速度から初期せん断剛性（概略値）を推定した結果を表4-9に示す。いずれの箇所においても、初期せん断剛性（概略値）が解析用物性値よりも大きな値を得られていることから、試験箇所の代表性があると判断できる。

表 4-8 改良地盤の解析用物性値

	初期せん断剛性 G_0 (N/mm ²) *	単位体積重量 γ (kN/m ³)
改良地盤	1940	20.6
セメント改良土	1670	21.6

注記* : $G_0 = \gamma V_s^2$ (N/mm²) ここに、 V_s : S波速度 (m/s)

表 4-9 試験結果に基づく初期せん断剛性（概略値）

区分	孔名	平均 S 波速度 (m/s)	初期せん断剛性 G_0 (N/mm ²)
改良地盤	No. 1	1160	2770
	No. 2	1120	2580
	No. 3	1200	2970
セメント改良土	No. 4	1080	2520
	No. 5	1050	2380

なお、上記のうち改良地盤について、別途、防潮堤工事において施工した改良地盤に係る追加試験データを表4-10に、試験位置を図4-6に示す。

この結果から、既往試験データと追加試験データは概ね同オーダーであることを確認しており、設定値が妥当であると判断できる。

表 4-10 既往試験と追加試験の比較

地層	既往試験		追加試験	
	データ数	試験結果 (m/s)	データ数	試験結果 (m/s)
改良地盤	6	2.4×10^{-7}	13	0.5×10^{-7}

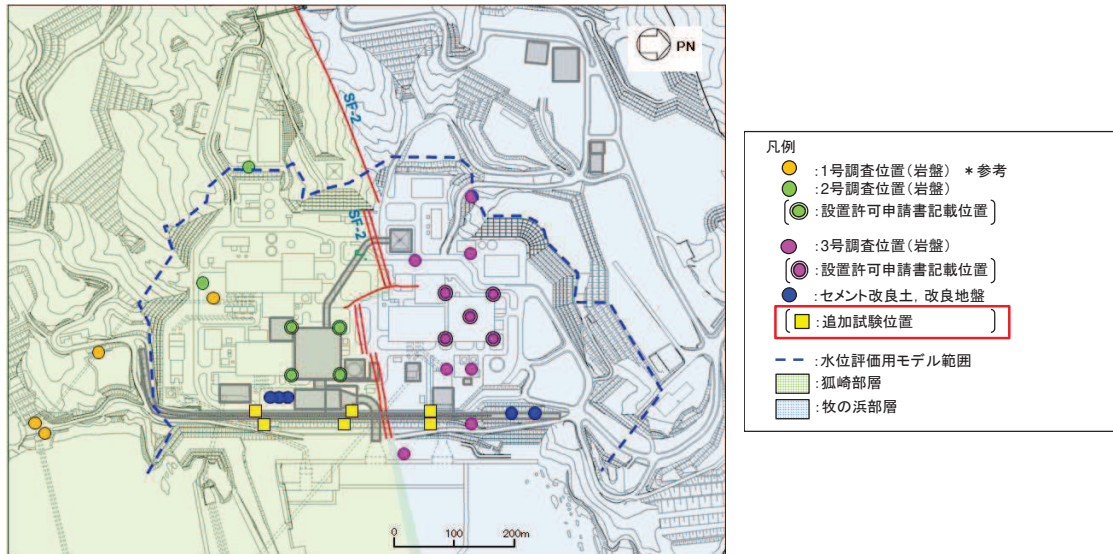


図 4-6 改良地盤の追加透水試験位置図
(図 4-4 に改良地盤の追加透水試験位置を追記)

2.4 透水層（砕石）

透水層（砕石）については、ドレーンのうち建屋外周に設置された既設ヒューム管のうち透水層（砕石）としてモデル化する範囲に適用するもので、試験に用いる材料は、ヒューム管の周囲のフィルター材である砕石（0～80mm），砕石（0～40mm）のうち、相対的に細粒分が多い砕石（0～40mm）を用いた。なお、管内空分相当の空隙を考慮し、水中落下により試験体を作成し、試験は室内試験により行った。

ヒューム管周辺のフィルター材設置状況を図4-7に、試験方法の概要を図4-8に、透水層の試験結果を表4-11に示す。

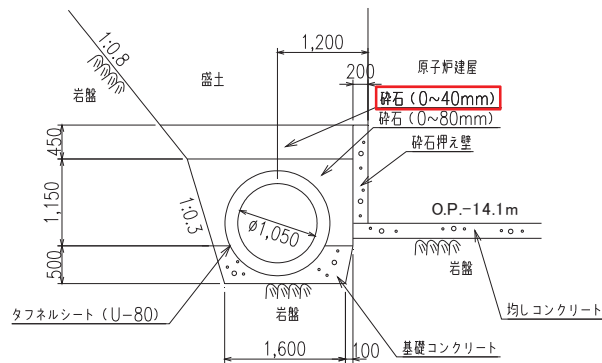


図 4-7 ヒューム管周辺のフィルター材設置状況
(φ1050 mmヒューム管の例)

(参考) 4-10

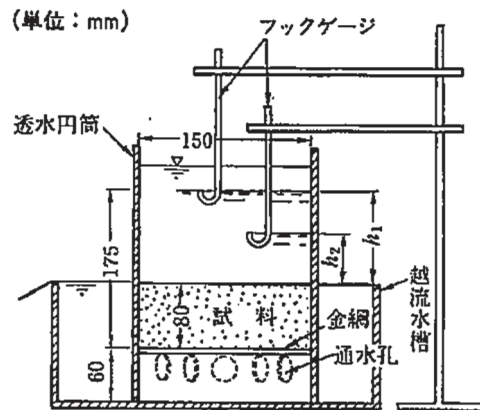


図-6.5.4 低動水勾配の変水位透水試験（大口徑のスタンドパイプを用いる方法）Yemington[®]に加筆修正

（土質試験の方法と解説（地盤工学会）より引用）

図 4-8 室内透水試験方法の概要

表 4-11 透水層（碎石）の室内透水試験結果

地層	データ数	試験結果(平均値) (m/s)
透水層 (碎石)	10	1.2×10^{-2}

3. 解析に用いる透水係数の設定

3.1 設定方針

試験結果を踏まえ、浸透流解析の各解析モデルに用いる透水係数は、試験結果等のデータに基づく変動幅の範囲で、解析目的に応じた設定を行う。

以下に、各解析モデルにおける透水係数の設定方針を示す。

(①広域モデル)

- ・ ①広域モデルを用いた浸透流解析の目的は、観測等により得られた実測値*1と解析のアウトプットとの比較によるモデルの妥当性確認であることから、地下水流動場の平均的な水理特性に対応する条件（初期値）として、試験結果等の平均値にて設定する。
- ・ 実測値との比較における再現状況に応じて、透水係数によるパラメータフィッティング*2を行う。
- ・ ⑤平常水位予測モデル、⑥仮想豪雨評価モデルについても、①広域モデルと同様の設定とする。

注記*1：観測等により得られた実測値として、水位評価においては連続観測水位データ、地下水流入量評価においては既設の揚水ポンプ稼働実績（排水実績）から推定される地下水流入量実績を参照する。

注記*2：水位評価においては透水係数を試験結果等の平均値（初期値）、地下水流入量の評価においては初期値より盛土の透水係数を大きく（+1 σ ）設定することにより、モデルの妥当性を確認している。

(②水位評価モデル)

- ・ ②水位評価モデルを用いた浸透流解析の目的は、設計用地下水位の設定において参照する揚圧力・地下水位を高め算出することであるため、①広域モデルで妥当性を確認した透水係数に対し、解析の再現性（観測水位への追従性）が確保される範囲で更に小さく（水位が高めに評価されるよう）設定する。
- ・ 具体的には、建設時工事計画認可時の保守性に関するパラメータスタディを踏まえ、揚圧力評価における保守性の確保として、岩盤Ⅰの試験結果（平均値）に標準偏差（-1 σ ）のばらつきを考慮する（建設時工事計画認可時の浸透流解析における設定を踏襲）。建設時工事計画認可時のパラメータスタディの結果は補足3に示す。

- ・ ④水位上昇評価モデルについても、初期水位を高めに出算するため、②水位評価モデルと同様の設定とする。
- ・ アクセスルート斜面モデル（⑦斜面Bモデル、⑧斜面Fモデル）についても、保守性を確保するため②水位評価モデルと同様の設定とする。

（③地下水流入量評価モデル）

- ・ ②水位評価モデルを用いた浸透流解析の目的は、ポンプ等の排水機能に係る設計用流入量を設定することであるため、①広域モデルで妥当性を確認した透水係数に対し、地下水位低下設備（ドレーン）への地下水流入量を多めに評価するよう、透水係数を更に大きく（モデル化する全ての地層を全ての試験結果（平均値）に標準偏差（ -1σ ））設定する。

なお、盛土・旧表土及び岩盤については、以下に示すとおり、建設時工事計画認可時において実施した浸透流解析における設定を踏襲しモデル化する。

（盛土・旧表土）

- ・ 盛土・旧表土は、物理的・力学的性質は異なるものの、旧表土の主要施設近傍の分布範囲は図 4-1 のとおり限定的であり、旧表土の透水性の影響が岩盤以浅の地下水流況へ与える影響は小さいと考えられることから、盛土と旧表土は透水性能としては区別せず、1層でモデル化する。
- ・ なお、前述のとおり、別途実施した原位置透水試験の結果を考慮すると、盛土・旧表土間で有意な透水性の違いは見られないこと、1層にモデル化した場合の盛土・旧表土の透水係数の設定値は、原位置透水試験の結果と同オーダーとなっている。

（岩盤）

- ・ 岩盤は、狐崎部層と牧の浜部層における岩盤の透水試験の深度方向の分布から多少のばらつきは見られるものの、深度方向に対して透水性が低くなる傾向が確認されることを踏まえ、深度方向に浅部（岩盤Ⅰ）と深部（岩盤Ⅱ）の2層に分類する（補足4参照）。
- ・ また、断層・シームについては、透水試験の結果から母岩と水理特性上の有意な差がないことからモデル化しない（補足5参照）。

3.2 設定内容

透水係数の設定に用いる透水試験結果の一覧を表 4-12 に、①広域モデルに用いる透水係数を表 4-13 に、②水位評価モデルに用いる透水係数を表 4-14 に、③地下水流入量評価モデルに用いる透水係数を表 4-15 に示す。

なお、②水位評価モデルの設定の妥当性に係るパラメータスタディの結果について補足 6 に示す。

表 4-12 透水試験結果一覧

地層		データ数	試験結果(平均値) (m/s)	平均値 - 1 σ (m/s)	平均値+1 σ (m/s)
盛土・旧表土		158	2.1×10^{-5}	7.3×10^{-7}	6.2×10^{-4}
狐崎 部層	岩盤 I	16	1.6×10^{-6}	7.2×10^{-7}	3.7×10^{-6}
	岩盤 II	54	1.3×10^{-7}	2.0×10^{-8}	0.8×10^{-6}
牧の浜 部層	岩盤 I	70	1.1×10^{-6}	2.3×10^{-7}	5.3×10^{-6}
	岩盤 II	57	0.6×10^{-7}	1.0×10^{-8}	3.0×10^{-7}
セメント改良土 ・改良地盤		11	2.1×10^{-7}	2.7×10^{-8}	1.6×10^{-6}
透水層 (碎石)		10	1.2×10^{-2}	0.9×10^{-2}	1.7×10^{-2}

表 4-13 透水係数の設定値と設定根拠 (①広域モデル)

地層	設定値 (m/s)	試験値等	設定根拠	備考	
盛土・旧表土	3.0×10^{-5}	2.1×10^{-5}	粒度試験に基づくクレ ーガーらの方法により 求めた値の平均値に基 づき設定	* 1	
狐崎 部層	岩盤 I	2.0×10^{-6}	1.6×10^{-6}	試験結果の平均値に基 づき設定	* 2
	岩盤 II	5.0×10^{-7}	1.3×10^{-7}	試験結果の平均値に基 づき設定	* 1
牧の浜 部層	岩盤 I	1.0×10^{-6}	1.1×10^{-6}	試験結果の平均値に基 づき設定	* 2
	岩盤 II	1.0×10^{-7}	0.6×10^{-7}	試験結果の平均値に基 づき設定	* 1
セメント改良 土・改良地盤	— (設定なし)	—	—		
透水層 (碎石)	— (設定なし)	—	—		
コンクリート 構造物 (MMR 含む)	— (不透水)	—	—	* 3	

注記* 1 : 建設時工事計画認可時と同値

* 2 : 建設時工事計画認可時の検討においては、解析の保守性を示す目的から岩盤 I を平均値 - 1σ に設定していたが、①広域モデルの解析目的を踏まえ、初期値として試験結果の平均値に設定

* 3 : 建設時工事計画認可時においては透水係数を設定 (コンクリート工学ハンドブックに基づき 1.0×10^{-11} (m/s)) していたが、岩盤と比べても十分に小さな値であり、影響は小さいと考えられるため不透水として扱う。

表 4-14 透水係数の設定値と設定根拠 (②水位評価モデル)

地層		設定値 (m/s)	試験値等	設定根拠	備考	
盛土・旧表土		3.0×10^{-5}	$2.1 \times 10^{-5} * 2$ (0.11mm)	粒度試験に基づくクレ ーガーらの方法による 平均値に基づき設定	* 1	
狐崎 部層	岩盤 I	7.0×10^{-7}	7.2×10^{-7}	透水試験結果の平均値- 1 σ に基づき設定		
	岩盤 II	5.0×10^{-7}	2.0×10^{-8}	透水試験結果の平均値 に基づき設定		
牧の浜 部層	岩盤 I	2.0×10^{-7}	2.3×10^{-7}	透水試験結果の平均値- 1 σ に基づき設定		
	岩盤 II	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-8}	透水試験結果の平均値 に基づき設定		
セメント改良 土・改良地盤		2.0×10^{-7}	2.1×10^{-7}	透水試験結果の平均値 に基づき設定		* 2
透水層 (碎石)		1.0×10^{-2}	1.2×10^{-2}	透水試験結果の平均値 に基づき設定		
コンクリート 構造物 (MMR 含む)		— (不透水)	—	—	* 3	

注記* 1 : 建設時工事計画認可時と同値。

注記* 2 : 建設時工事計画認可時は設定なし。

注記* 3 : 建設時工事計画認可時においては透水係数を設定 (コンクリート工学ハンドブックに基づき 1.0×10^{-11} (m/s)) していたが、岩盤と比べても十分に小さな値であり、影響は小さいと考えられるため不透水として扱う。

表 4-15 透水係数の設定値と設定根拠 (③地下水流入量評価モデル)

地層		設定値 (m/s)	試験値等	設定根拠	備考
盛土・旧表土		6.0×10^{-4}	6.2×10^{-4}	粒度試験に基づくクレ ーガーらの方法による 平均値+1 σ に基づき設 定	
狐崎 部層	岩盤 I	4.0×10^{-6}	3.7×10^{-6}	透水試験結果の平均値 +1 σ に基づき設定	
	岩盤 II	1.0×10^{-6}	0.8×10^{-6}	透水試験結果の平均値 +1 σ に基づき設定	
牧の浜 部層	岩盤 I	6.0×10^{-6}	5.3×10^{-6}	透水試験結果の平均値 +1 σ に基づき設定	
	岩盤 II	3.0×10^{-7}	3.0×10^{-7}	透水試験結果の平均値 +1 σ に基づき設定	
セメント改良 土・改良地盤		2.0×10^{-6}	1.6×10^{-6}	透水試験結果の平均値 +1 σ に基づき設定	
透水層 (砕石)		—	—	—	* 1
コンクリート 構造物 (MMR 含む)		(不透水)	—	—	* 2

注記* 1 : 地下水流入量の評価においては、透水層 (砕石) として扱うドレーンを含めて、既設・新設全てのドレーンを有効としたモデル化を行う。

注記* 2 : 建設時工事計画認可時においては透水係数を設定 (コンクリート工学ハンドブックに基づき 1.0×10^{-11} (m/s)) していたが、岩盤と比べても十分に小さな値であり、影響は小さいと考えられるため不透水として扱う。

(補足1) 盛土・旧表土の粒度分布について

(1) 盛土

盛土の粒度分布として、図4-9に示すエリア別の粒径加積曲線を図4-10に示す。

盛土の粒度については、岩盤を掘削した材料(300mm以下の岩砕)を用いていることから(補足3)、JGS「石分を多く含む地盤材料の粒度試験方法」に基づき実施した現場粒度試験によるものである。なお、試験はG.L.付近(概ねG.L.-1m~-2m付近)にて実施している。

この結果から、エリア毎の若干のばらつきは見られるものの、全体的に礫を主体としており、エリア毎に有意な違いは見られていない。

また、エリア別にクレーガーらの方法に基づき設定した透水係数の値を図4-11に示す。代表的な透水性としてはいずれのエリアも 10^{-4} m/sオーダーであり、原位置透水試験の結果も踏まえ、盛土・旧表土の設定値(3.0×10^{-5} m/s)とすることは妥当である。

なお、深度方向については、表4-4(2)に示す原位置透水試験の深度別の結果から、深度別で有意な差が見られないことから、施工時に一定の品質管理を実施していることも踏まえ、深度方向の有意な違いはないものと考えられる。

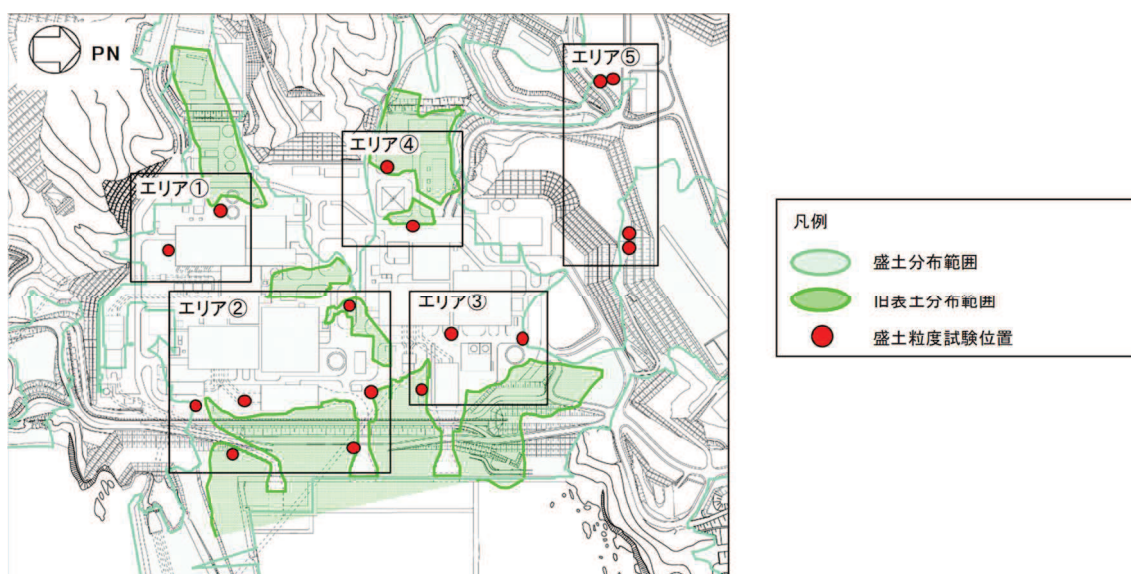


図4-9 盛土の平面分布のエリア分類

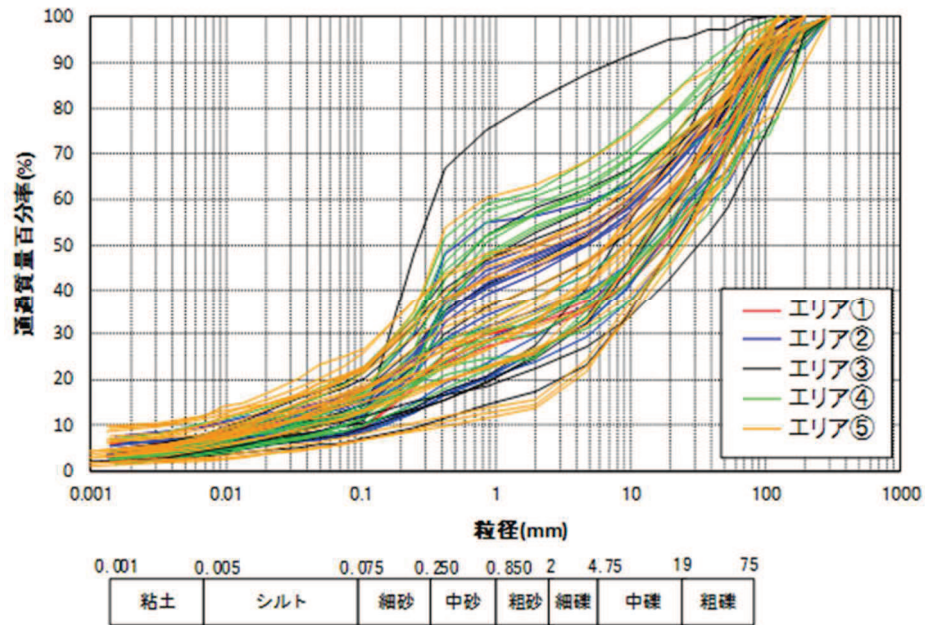


図 4-10(1) 盛土の粒径加積曲線 (全エリア)

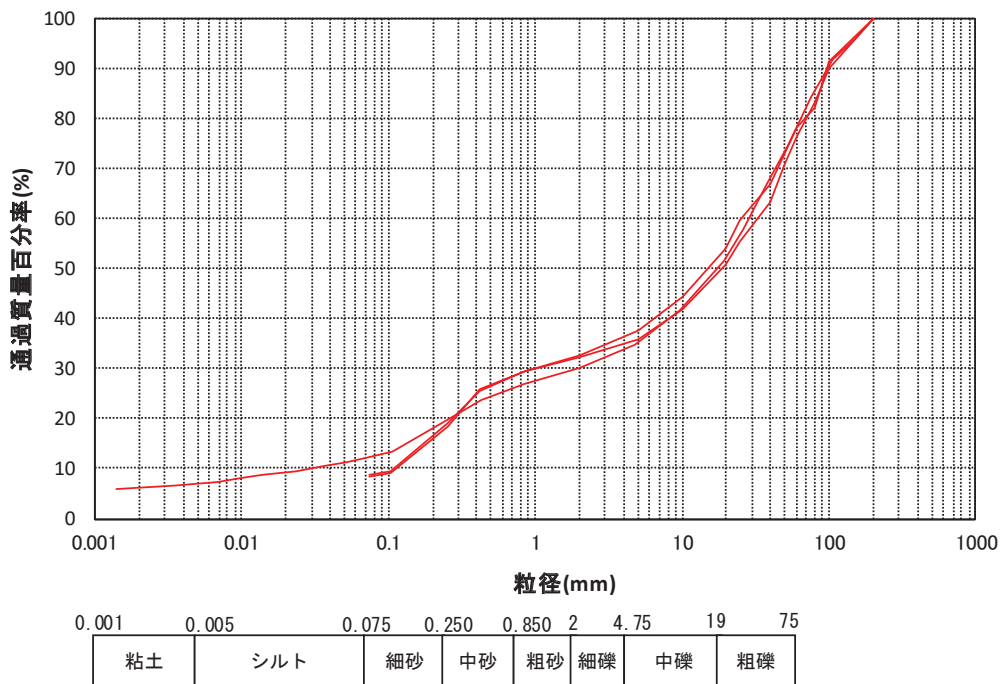


図 4-10(2) 盛土の粒径加積曲線 (エリア①)

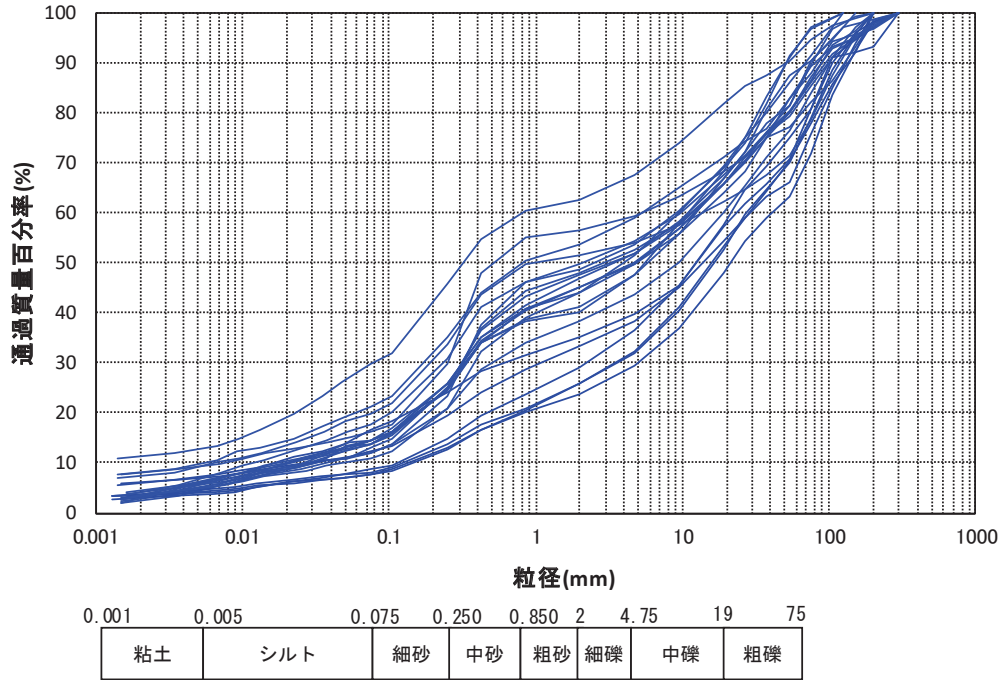


図 4-10(3) 盛土の粒径加積曲線 (エリア②)

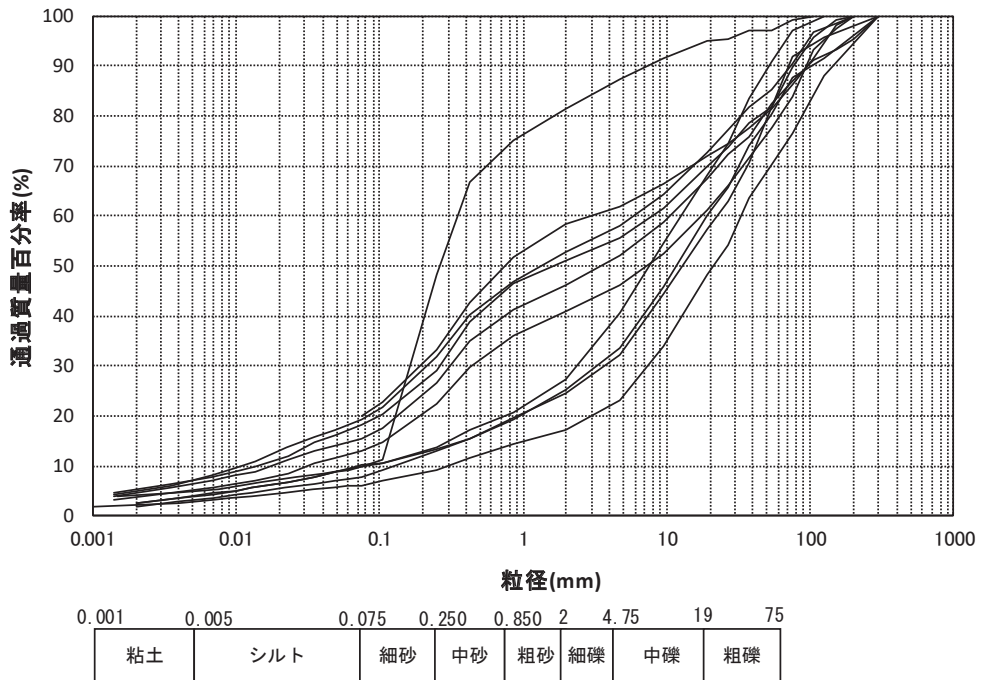


図 4-10(4) 盛土の粒径加積曲線 (エリア③)

(参考) 4-20

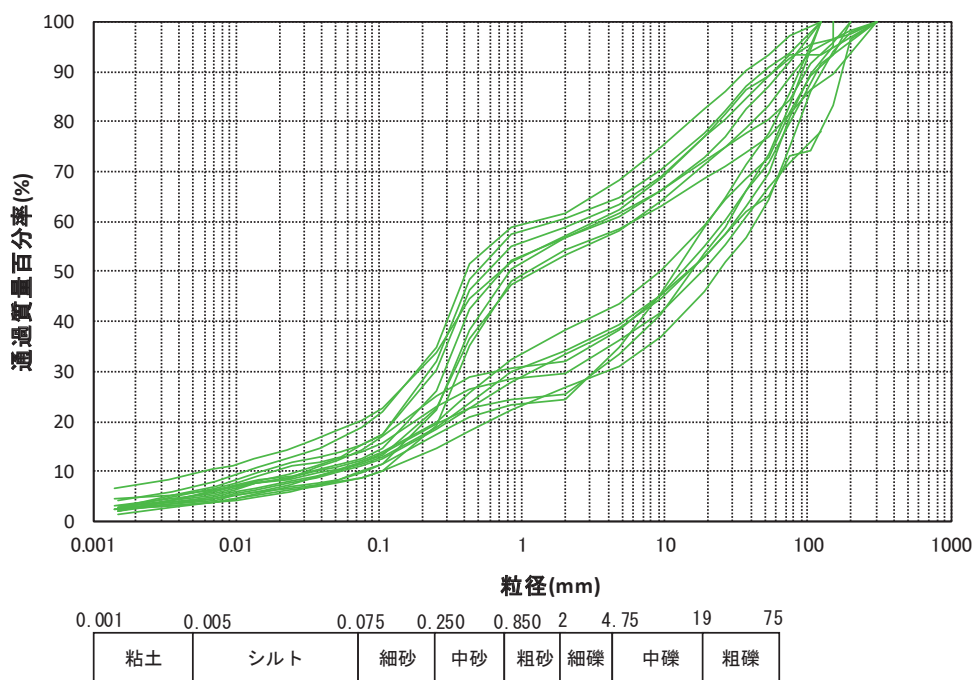


図 4-10(5) 盛土の粒径加積曲線 (エリア④)

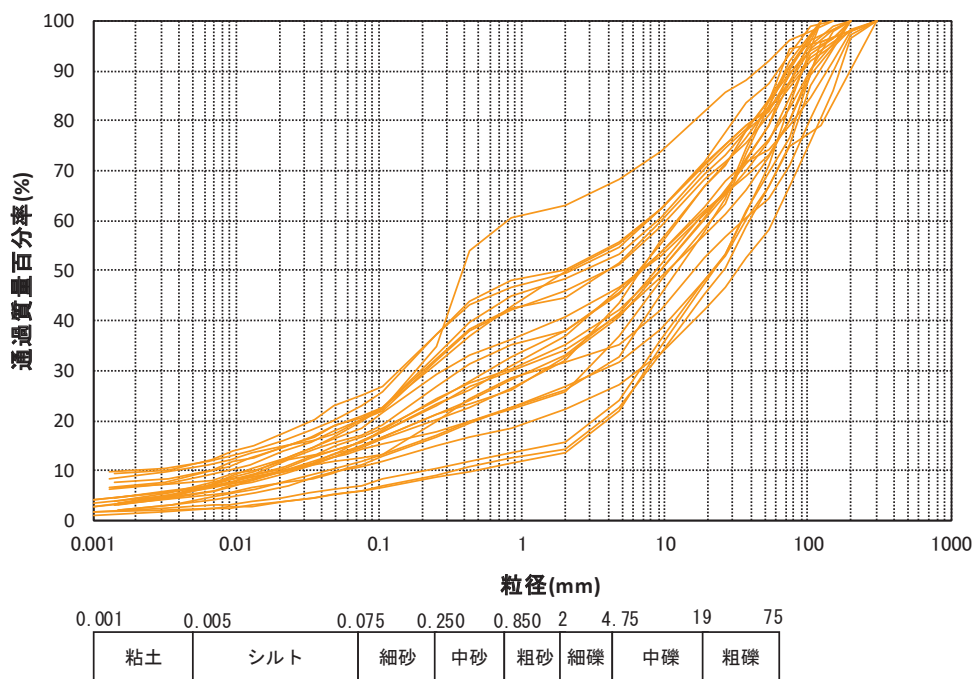


図 4-10(6) 盛土の粒径加積曲線 (エリア⑤)

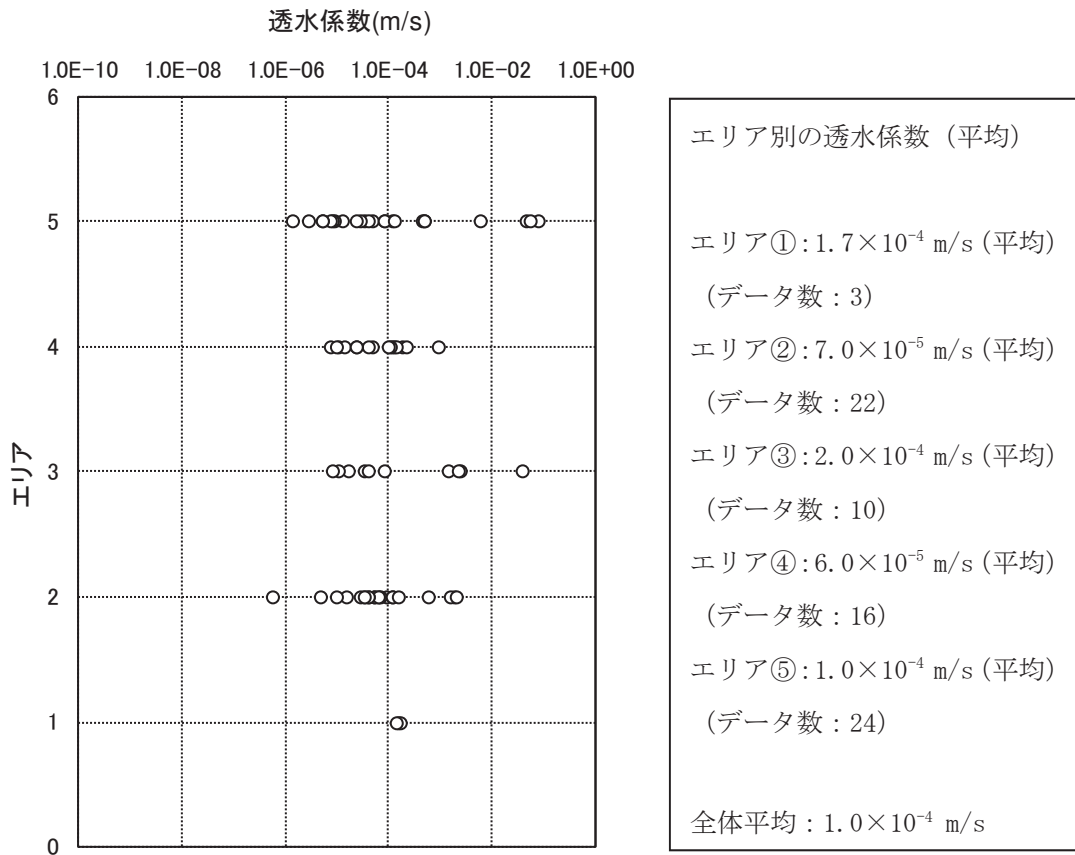


図 4-11 盛土のエリア別の透水係数 (クレーガーらの方法) の分布

(2) 旧表土

旧表土の敷地の粒度分布として、図 4-12 に示すエリア別及び深度別の粒径加積曲線を図 4-13 に示す。

この結果から、エリア毎に若干のばらつきは見られるものの、海に近いエリア 1 では粒度のそろった砂が見られ、深度方向に傾向の違いは見られず、いずれの深度でも砂質土を主体としている。山側のエリア 2 では粒度のばらつきが見られるが、粒度分布の傾向としては概ね砂質土が主体となっている。

また、クレーガーらの方法に基づき設定した透水係数の深度方向の分布を図 4-14 に示す。若干のばらつきは見られるものの、分布状況も踏まえるとエリア 1 が代表性を有しており、その値は 10^{-5} m/s オーダーであるため、旧表土としての分布範囲が限定的であることや原位置透水試験の結果等も踏まえ、盛土・旧表土として一層に設定 (3.0×10^{-5} m/s) することは妥当である。

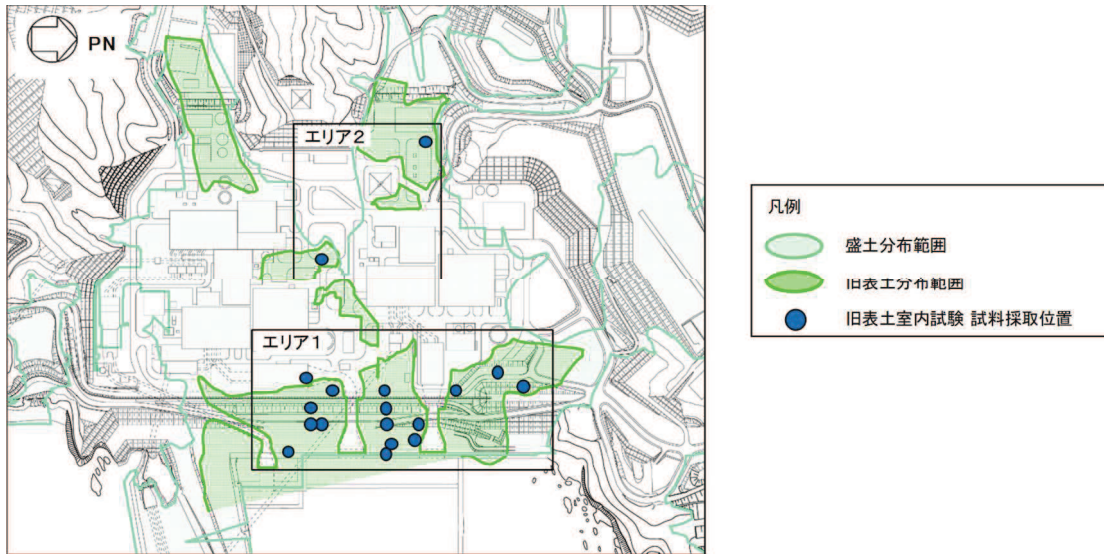


図 4-12 旧表土の平面分布のエリア分類

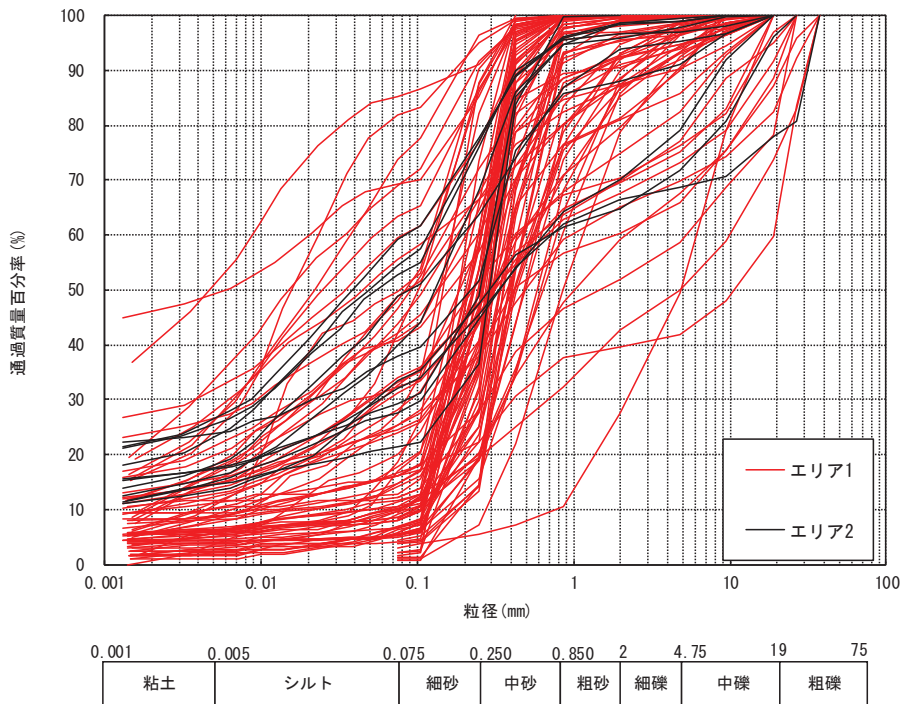


図 4-13(1) 旧表土のエリア別の粒径加積曲線 (全エリア)

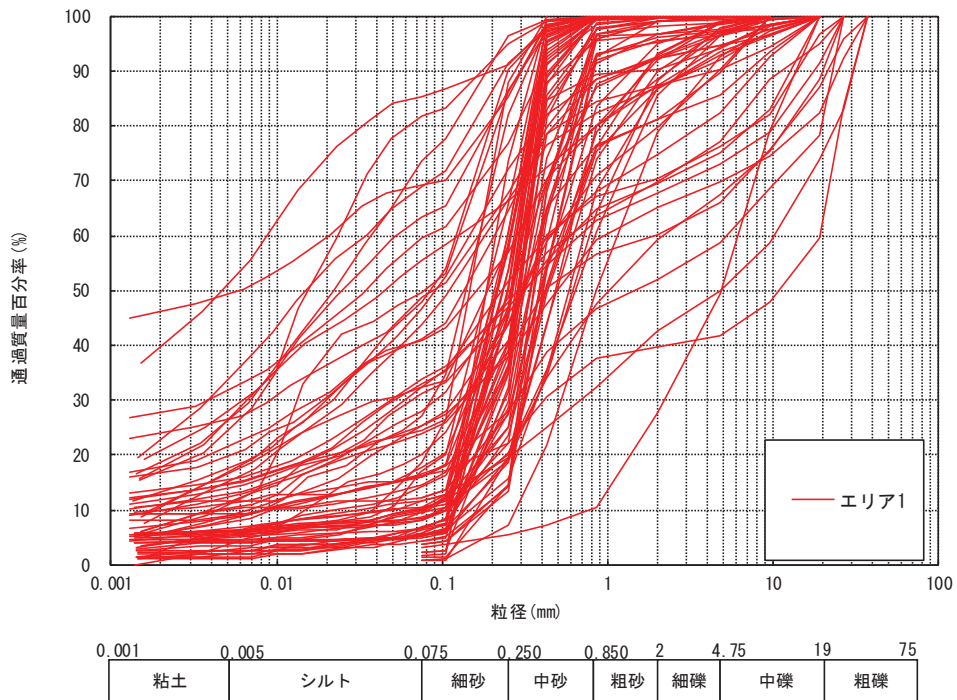


図 4-13(2) 旧表土のエリア別の粒径加積曲線 (エリア 1)

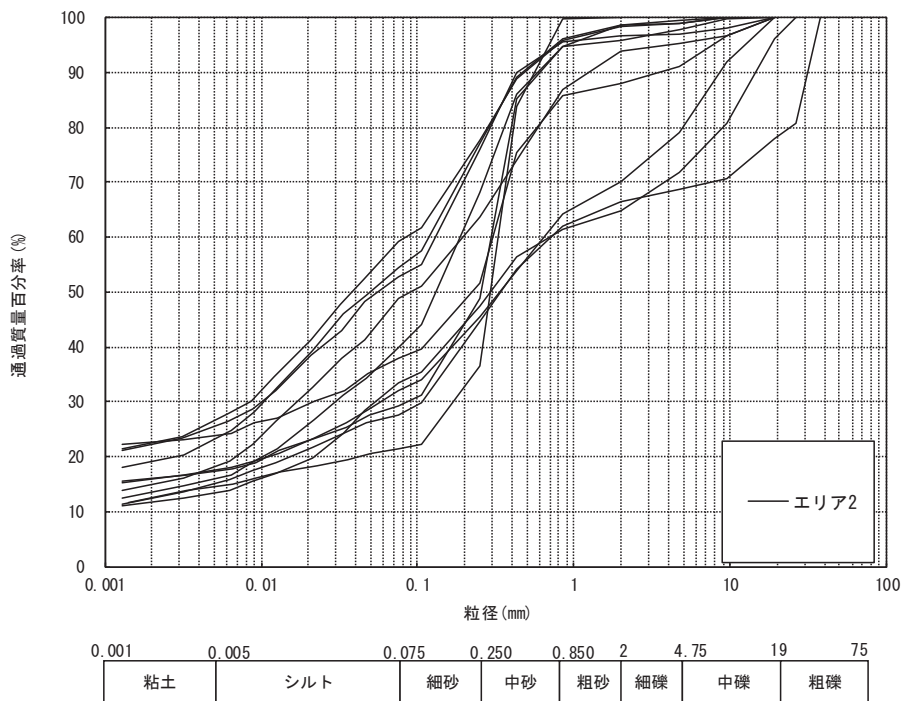


図 4-13(3) 旧表土のエリア別の粒径加積曲線 (エリア 2)

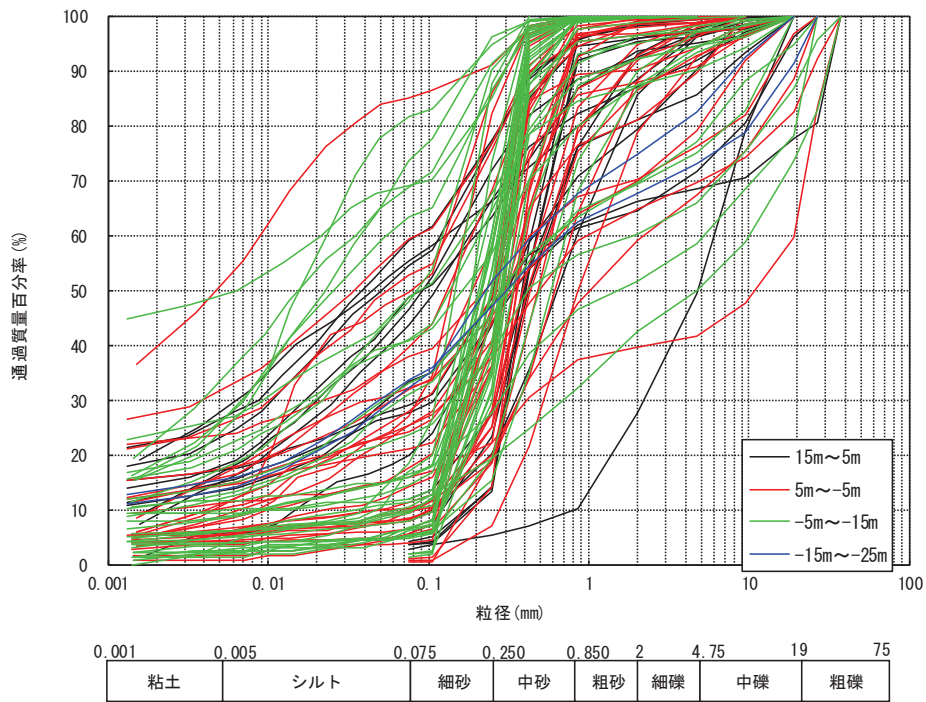


図 4-13(4) 旧表土の深度別の粒径加積曲線 (全深度)

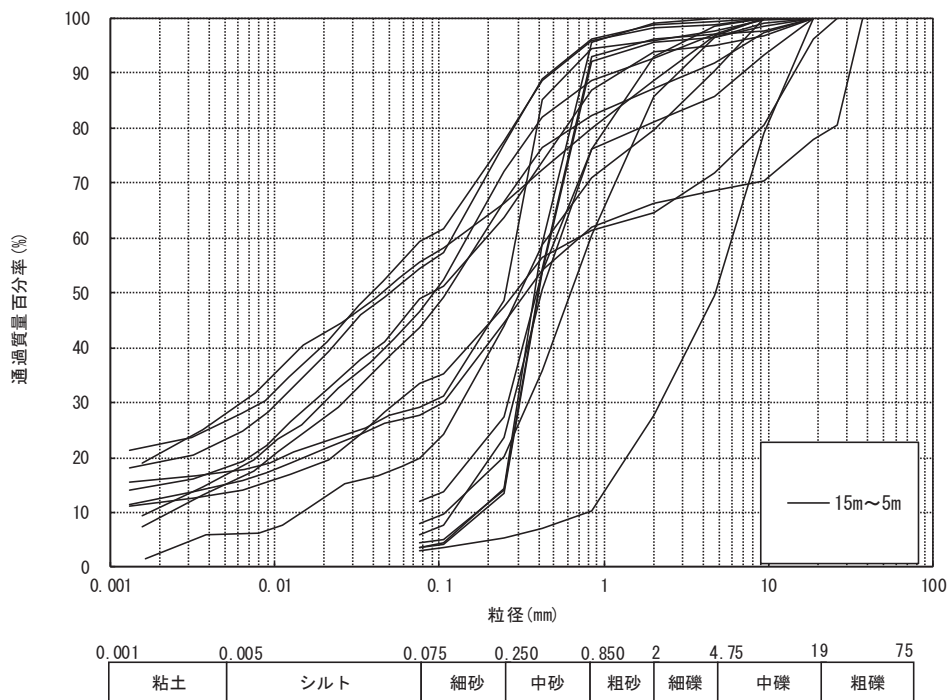


図 4-13(5) 旧表土の深度別の粒径加積曲線 (0.P. +15m~0.P. +5m)

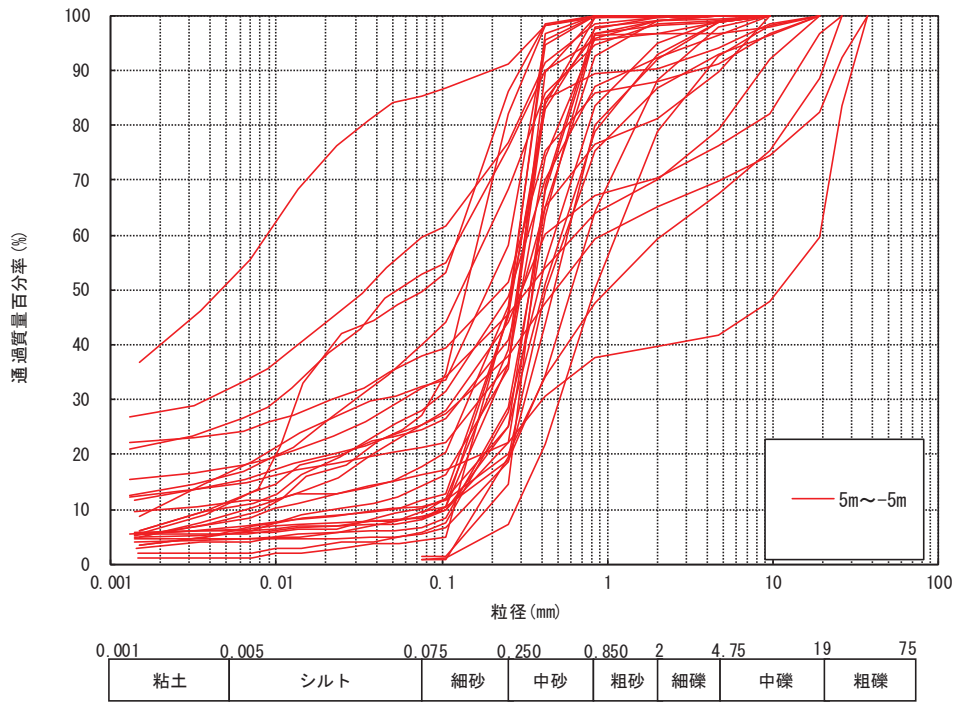


図 4-13(6) 旧表土の深度別の粒径加積曲線 (0. P. +5m~0. P. -5m)

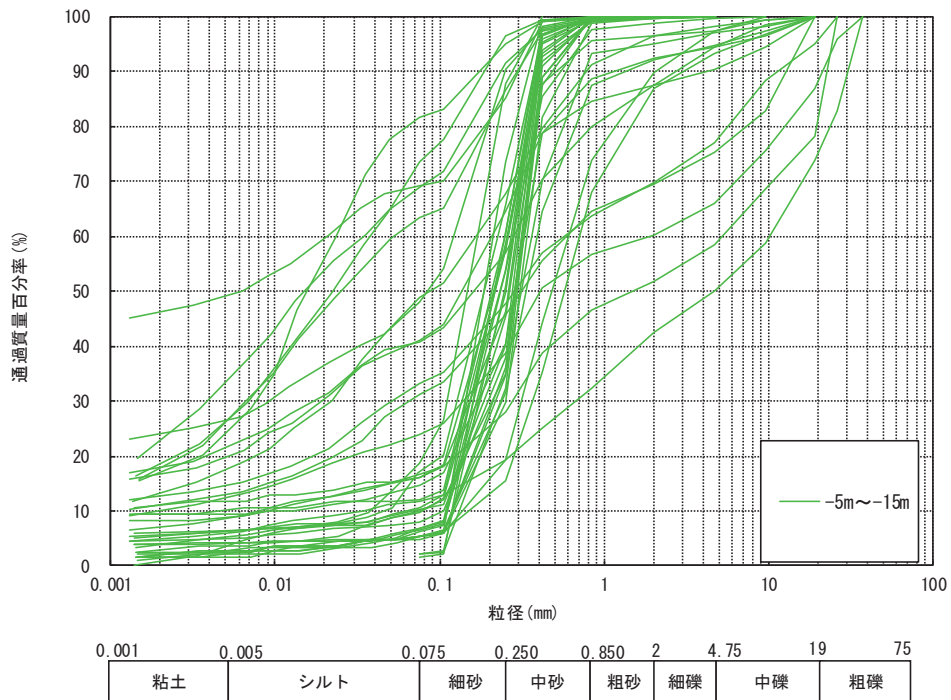


図 4-13(7) 旧表土の深度別の粒径加積曲線 (0. P. -5m~0. P. -15m)

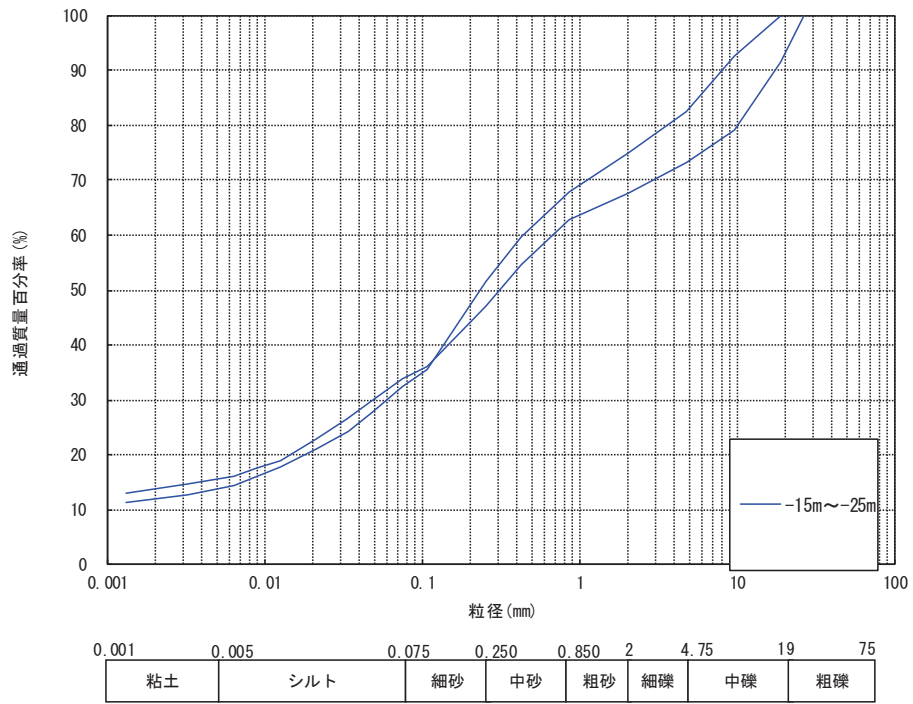


図 4-13(8) 旧表土の深度別の粒径加積曲線 (0. P. -15m~0. P. -25m)

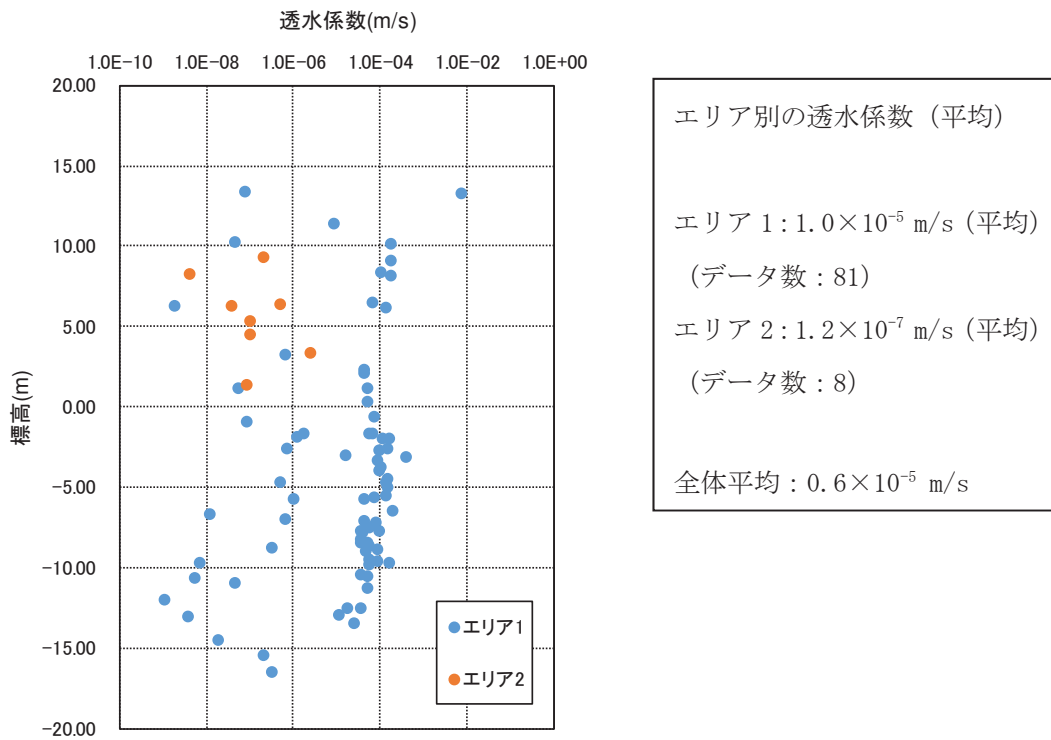


図 4-14 旧表土のエリア別の透水係数 (クレーガーらの方法) の分布

(補足 2) 盛土の石分の影響について

本章では、盛土が建設時の岩砕を母材とし、石分を含むことから、その影響が透水性に与える影響について示す。

(1) 石分の含有率について

粒度試験に基づき推定した、盛土の石分含有率（粒径 75mm 以上の体積比）を表 4-16 に示す。

石分の含有率の推定は、粒度試験（JGS「石分を多く含む地盤材料の粒度試験方法」）による質量百分率及び現場密度試験並びに粗骨材の密度吸水率試験の結果を用いた。

表 4-16 盛土の石分含有率

項目	エリア①	エリア②	エリア③	エリア④	エリア⑤	全体
最大	21%	23%	16%	22%	24%	24%
平均		15%	10%	14%	12%	13%
最小		4%	2%	6%	3%	2%
データ数*	1	12	3	2	10	28

注記*：現場密度試験や粗骨材の密度吸水率試験の実施状況により、粒度試験のデータ数とは異なる。

(2) 透水性への影響

大粒径の石分の含有が透水性へ与える影響については、まず、クレーガーの算定自体に JGS「石分を多く含む地盤材料の粒度試験方法」により石分を含めて算出した D20 の値を用いている。

未固結堆積物においては、地下水ハンドブック（表 4-3）に示されているとおり、礫等の粗粒分が多いほど透水性は大きくなる傾向となっており、石や礫等の割合が多いほど D20 の値が大きくなるため、クレーガーらの方法による推定式上も透水係数は大きくなるため、整合的である。

石分の含有が極端に多い場合には、D20 が大きくなる一方で、粒度の分布によっては間隙率が小さくなる可能性も否定できず、クレーガーらの方法で算定した透水係数が大きめに評価される場合も考えられる。

しかしながら、表 4-16 に示すとおり石分の割合は 2%~24%（平均 13%）程度であり、

極端なばらつきも無く、粒度の分布状況から極端な偏りも見られないことから、マクロ的な観点で考えれば平均的な透水性に影響を及ぼす程ではないと判断できる。

(補足 3) 建設時工事計画認可時の透水係数の設定根拠とその妥当性について

水位評価に用いる透水係数の設定は、建設時工事計画認可時の保守性に関するパラメータスタディを踏まえ、揚圧力評価における保守性の確保として、岩盤 I の試験結果(平均值)に標準偏差 (-1σ) のばらつきを考慮している。

本書では、その設定根拠と建物・構築物および土木構造物周辺の地下水位分布への影響として盛土・旧表土の物性値のばらつきを確認した結果を説明する。

(1) 建設時工事計画認可時のパラメータスタディ

建設時工事計画認可時において、浸透流解析に用いる透水係数のパラメータスタディによる保守性の検討を実施している。

パラメータスタディの概要と結果を図 4-15 及び図 4-16 に示す。

検討の結果より、建設時工事計画認可時において、最も保守的な設定として岩盤 I の透水係数を試験値の平均值 -1σ の設定としている。

(パラメータスタディ①)

- ・ 盛土・旧表土の透水係数のみを変化させた CASE T3 と CASE T4 (CASE T3 に対して、盛土・旧表土の透水係数を 1/10 倍) の結果より、盛土・旧表土の透水係数の影響は、原子炉建屋の揚圧力としては 4%程度の変化であり、設計上の影響は無視し得るほど小さいことが確認されている。

(パラメータスタディ②)

- ・ 基本ケースである CASE1 と岩盤 I・II の透水係数を変化させた CASE T5 (CASE 1 に対して、岩盤 I・II の透水係数を 1/10 倍) の結果より、岩盤 I・II ともに透水係数を小さくした場合、揚圧力に変化はみられていない。
- ・ 一方で、CASE1 と岩盤 I の透水係数のみを変化させた CASE T7 (CASE 1 に対して、岩盤 I・II の透水係数を 1/10 倍) の結果では、揚圧力に与える影響がみられており、CASE T5 の結果も踏まえると、透水係数の絶対値自体の大小が与える影響は軽微であり、岩盤 I・II の比率が小さいほど、揚圧力に与える影響が大きくなると考えられる。

表-4.1 解析ケース及び透水係数 — タービン建屋 — (単位: cm/sec)

ケース	地層 表層土等	岩 盤		MMR	備 考
		I層	II層		
CASE T1	3.0×10^{-2}	5.57×10^{-5}	2.39×10^{-6}	1.0×10^{-6}	岩盤I、II層の透水係数を最小値に設定。
CASE T2	3.0×10^{-2}	5.57×10^{-5}	2.39×10^{-6}	1.0×10^{-8}	岩盤I、II層の透水係数を最小値に設定。MMRは前回CASE1より2桁小さく設定。
CASE T3	3.0×10^{-2}	2.0×10^{-5}	5.0×10^{-6}	1.0×10^{-8}	岩盤I、II層の透水係数を前回CASE1より1桁小さく設定。MMRは前回CASE1より2桁小さく設定。
CASE T4	3.0×10^{-3}	2.0×10^{-5}	5.0×10^{-6}	1.0×10^{-8}	表層土等、岩盤I、II層の透水係数を前回CASE1より1桁小さく設定。MMRは前回CASE1より2桁小さく設定。
(前回CASE1)	3.0×10^{-2}	2.0×10^{-4}	5.0×10^{-5}	1.0×10^{-6}	

盛土・旧表土の
透水係数を1/10

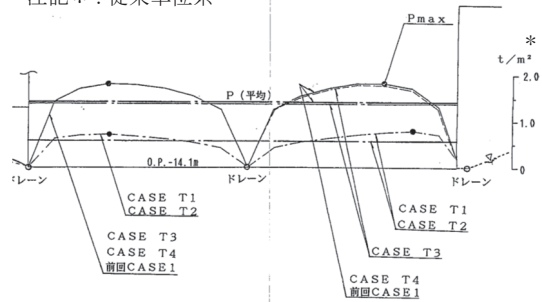
原子炉建屋

(単位: t/m²)

ケース	揚圧力	Pmax左	Pmax右	P(平均)
CASE T1		0.71	0.79	0.57
CASE T2		0.71	0.79	0.57
CASE T3		1.75	1.72	1.37
CASE T4		1.78	1.81	1.42
(前回CASE1)		1.78	1.81	1.42

(原子炉建屋の揚圧力)

注記*: 従来単位系



(揚圧力分布)

図 4-15 パラメータスタディ①の結果

表-4.2 解析ケース及び透水係数 — タービン建屋 —

(単位: cm/sec)

ケース	地層	表層土等	岩盤		MMR	備考
			I層	II層		
CASE T5		3.0x10 ⁻³	2.0x10 ⁻⁵	5.0x10 ⁻⁶	1.0x10 ⁻⁸	南端ドレーンを50cm下げ、0.P.-2.7mに設定。岩盤I、II層の透水係数は前回CASE1より1桁小さく設定。
CASE T6		3.0x10 ⁻³	2.0x10 ⁻⁵	5.0x10 ⁻⁶	1.0x10 ⁻⁹	サブドレーンを0.P.-6.0mに追加。岩盤I、II層の透水係数は前回CASE1より1桁小さく設定。
CASE T7		3.0x10 ⁻³	7.0x10 ⁻⁵	5.0x10 ⁻⁵	1.0x10 ⁻⁹	サブドレーンを0.P.-6.0mに追加。岩盤I層の透水係数は前回CASE1より1桁小さく設定。
(前回CASE1)		3.0x10 ⁻³	2.0x10 ⁻⁴	5.0x10 ⁻³	1.0x10 ⁻⁶	

岩盤I・II共に
透水係数を1/10

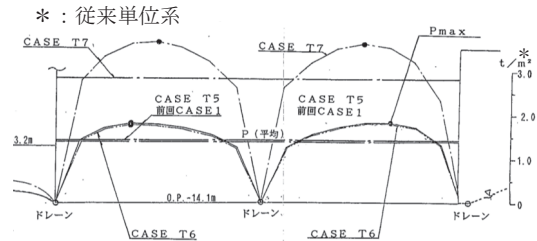
岩盤Iのみ
透水係数を-1σ

原子炉建屋

(単位: t/m²*)

ケース	揚圧力	Pmax左	Pmax右	P(平均)
CASE T5		1.75	1.80	1.41
CASE T6		1.73	1.80	1.39
CASE T7		3.68	3.63	2.86
(前回CASE1)		1.78	1.81	1.42

(原子炉建屋の揚圧力)



(揚圧力分布)

図 4-16 パラメータスタディ②の結果

(補足4) 岩盤の透水係数の分類方法について

岩盤については、建設時工事計画認可段階の方針に基づき狐崎部層と牧の浜部層に分け、さらに深度方向にて岩盤Ⅰ・Ⅱの2層に分類してモデル化している。本章ではその考え方について説明する。

(基本的な考え方)

- ・ 狐崎部層と牧の浜部層における、岩盤の透水試験の深度方向の分布を図4-17に示す。多少のばらつきは見られるものの、深度方向に対して透水性が低くなる傾向が確認されることを踏まえ、深度方向に浅部(岩盤Ⅰ)と深部(岩盤Ⅱ)の2層に分類する。
- ・ 2層のモデル化の目安を把握するため、まず、平均値を境界に、浅部は平均値以上、深部は平均値以下として分類し、試験結果を整理する。
- ・ その上で、深度方向に透水性が低くなることから、概ね岩級や速度層等との一定の関係性を有するものと考えられるため、岩級や速度層境界毎に試験結果を整理し、概ね平均値を境界に整理した浅部と深部に分類した区分と対応する境界を設定する。
- ・ 設定した境界を、解析モデル上の浅部(岩盤Ⅰ)、深部(岩盤Ⅱ)の境界とし、モデル化する。

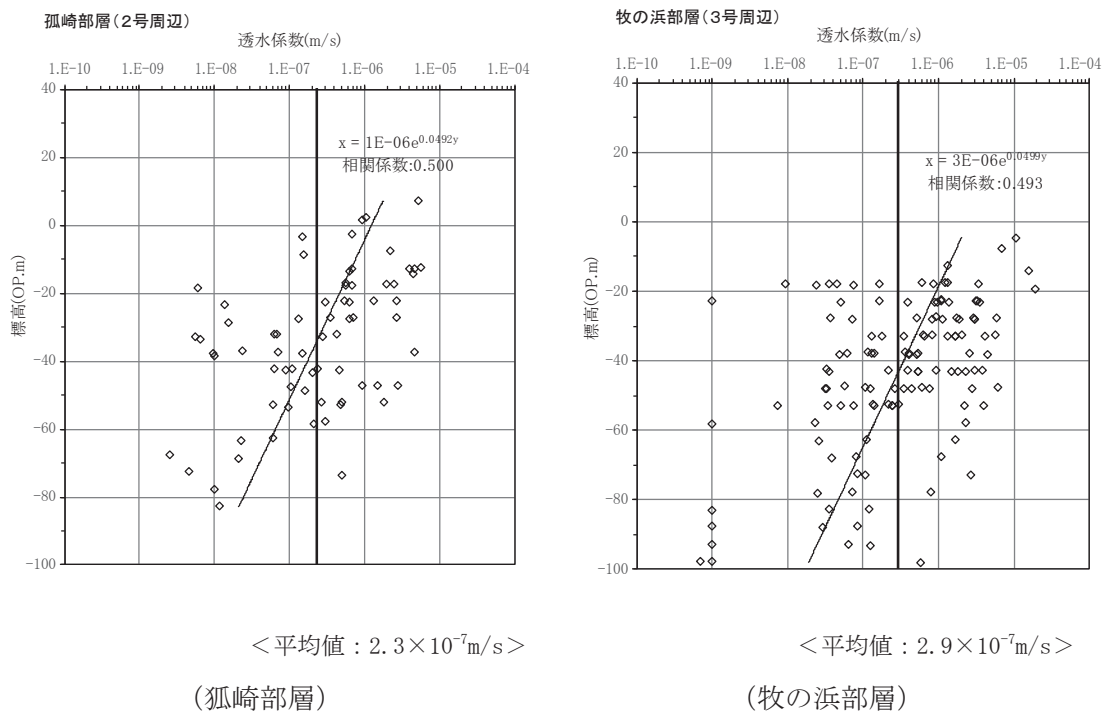


図4-17 岩盤透水試験の深度分布

(参考) 4-34

(1) 狐崎部層

① 透水性による区分

岩盤の透水試験の累積頻度分布を図 4-18 に示す。多少のばらつきは見られるものの、概ね対数正規分布を呈することから、深度方向の分布状況も踏まえ、平均値を閾値に 2 層に分類する。

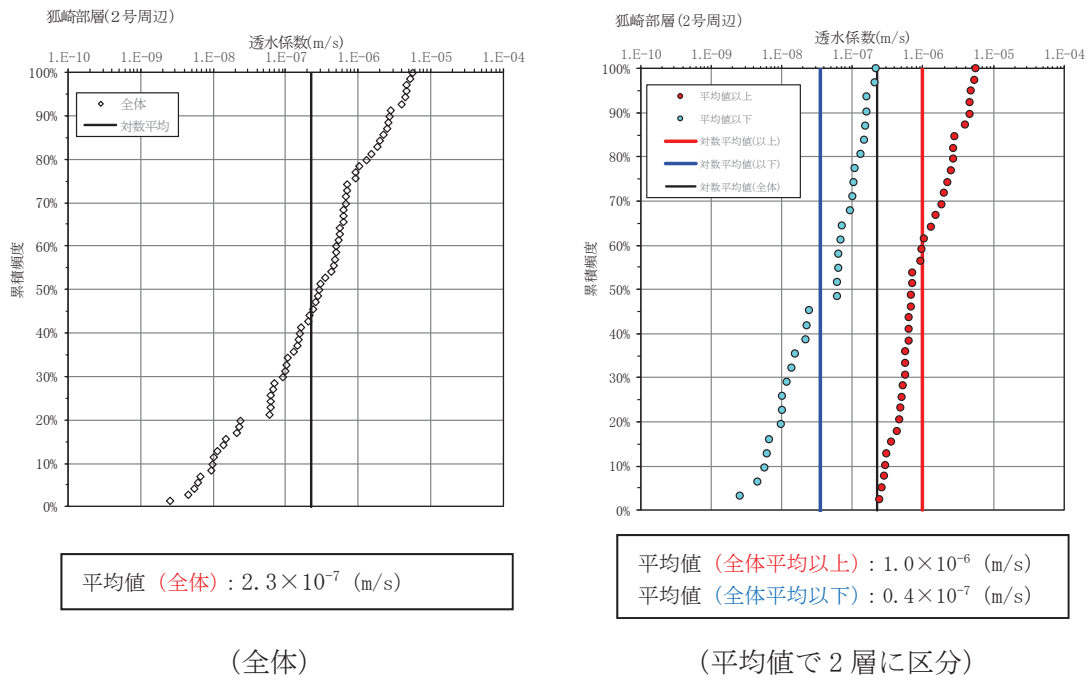


図 4-18 透水性区分における透水試験結果の整理 (狐崎部層)

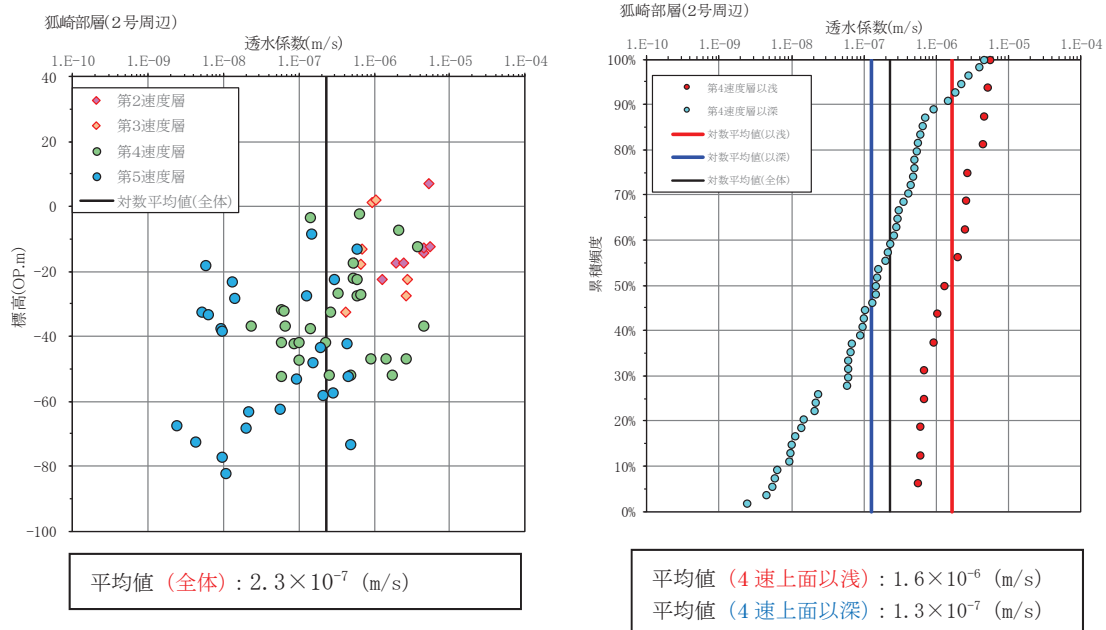
② 岩級・速度層区分による整理

①で整理した透水性による区分に対して、岩盤透水試験の結果を岩級・速度層区分にて整理した結果を表 4-17 に示す。なお、狐崎部層においては図 4-19 に示すとおり、概ね第 3 速度層までは平均値以上、第 4 速度層以深は平均値以下となっていることから第 4 速度層上面を境界とした。

透水性により区分した値と概ね対応していることから、狐崎部層においては第 4 速度層上面を境界に岩盤 I・II に分類しモデル化する。

表 4-17 透水性区分と岩級・速度層区分における透水係数の比較（狐崎部層）

地層	透水係数（平均値） (m/s)		備考
	岩盤 I	岩盤 II	
透水性での区分	1.0×10^{-6}	0.4×10^{-7}	概ね試験平均値である、 2.3×10^{-7} (m/s) 以上を岩盤 I，以下を岩盤 II に分類
岩級・速度層での区分 (=解析モデル)	1.6×10^{-6}	1.3×10^{-7}	第 4 速度層上面以浅を岩盤 I，以深を岩盤 II に分類



(速度層別の分布)

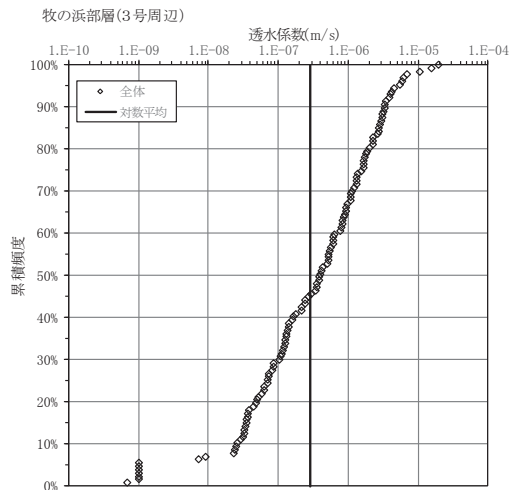
(累積頻度分布)

図 4-19 速度層区分における透水試験結果の整理（狐崎部層）

(2) 牧の浜部層

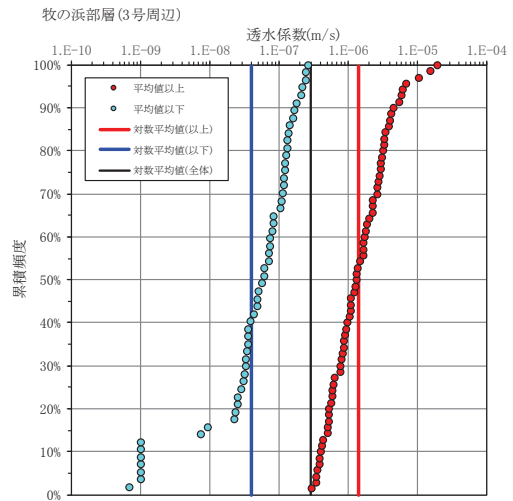
① 透水性による区分

岩盤の透水試験の累積頻度分布を図 4-20 に示す。多少のばらつきは見られるものの、概ね対数正規分布を呈することから、深度方向の分布状況も踏まえ、平均値を閾値に 2 層に分類する。



平均値 (全体) : 2.9×10^{-7} (m/s)

(全体)



平均値 (全体平均以上) : 1.4×10^{-6} (m/s)

平均値 (全体平均以下) : 0.4×10^{-7} (m/s)

(平均値で 2 層に区分)

図 4-20 透水性区分における透水試験結果の整理 (牧の浜部層)

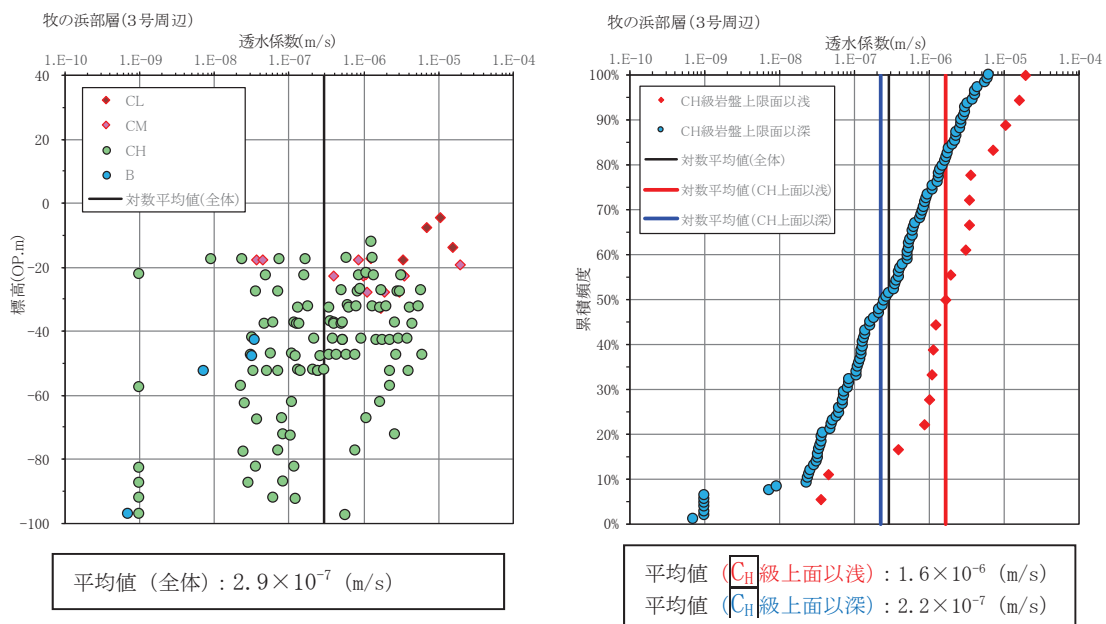
② 岩級・速度層区分による整理

①で整理した透水性による区分に対して、岩盤透水試験の結果を岩級・速度層区分にて整理した結果を表 4-18 に示す。なお、牧の浜部層においては、図 4-21 に示すとおり C_M 級以浅は概ね平均値以上であるが、 C_H 級については C_H 級上面-30m を境界とすることで、概ね平均値以上・以下に分類されるため、 C_H 級上面-30m を境界に整理した。

透水性により区分した値と概ね対応していることから、牧の浜部層においては CH 級岩盤上面-30m を境界に岩盤 I・II に分類しモデル化する。

表 4-18 水理地質区分と岩級・速度層区分における透水係数の比較 (牧の浜部層)

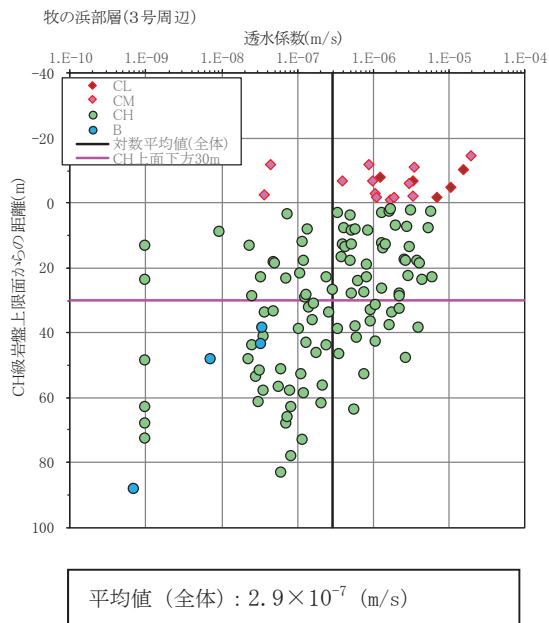
地層	透水係数 (平均値) (m/s)		備考
	岩盤 I	岩盤 II	
透水性での区分	1.4×10^{-6}	0.4×10^{-7}	概ね試験平均値である、 2.9×10^{-7} (m/s) 以上を岩盤 I，以下を岩盤 II に分類
岩級・速度層での区分 (=解析モデル)	1.1×10^{-6}	0.6×10^{-7}	C_H 級岩盤上面-30m 以浅を岩盤 I，以深を岩盤 II に分類



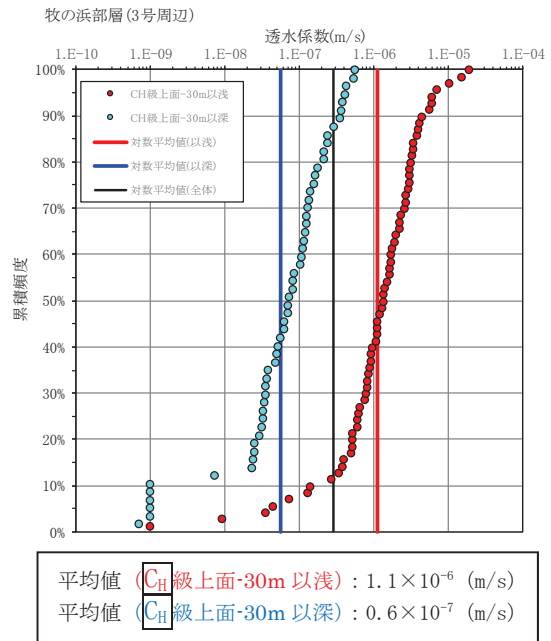
(深度分布)

(累積頻度分布)

図 4-21(1) 岩級区分における透水試験結果の整理 (牧の浜部層)



(深度分布)



(累積頻度分布)

図 4-21 (2) 岩級区分における透水試験結果の整理 (牧の浜部層)

(CH 級上面-30m を境界に再整理)

(補足5) 破碎部の透水性について

本章では、岩盤の透水試験において確認した断層・シーム等の破碎部を含む区間における透水性と浸透流解析上モデル化していないことの妥当性について説明する。

(1) 破碎部の透水性について

岩盤の透水試験は、図4-22に示す調査位置において、深度方向に概ね5m区間毎に実施している。その試験結果を、破碎部*（断層・シーム等）を含む試験区間とそれ以外の試験区間で分類した結果を表4-19及び図4-23に示す。

この結果から、狐崎部層、牧の浜部層のいずれにおいても、破碎部を含む試験区間と含まない試験区間で有意な違いが見られていない。よって、破碎部とその周辺の母岩部で有意な透水性の違いが無いと考えられることから、破碎部・母岩部の双方の試験データを考慮し透水係数を設定している。

注記*：図4-22に示す設置許可申請書に記載されたボーリング孔（◎）および主要断層のうちTF-1断層を確認したボーリング孔において確認されている破碎部。

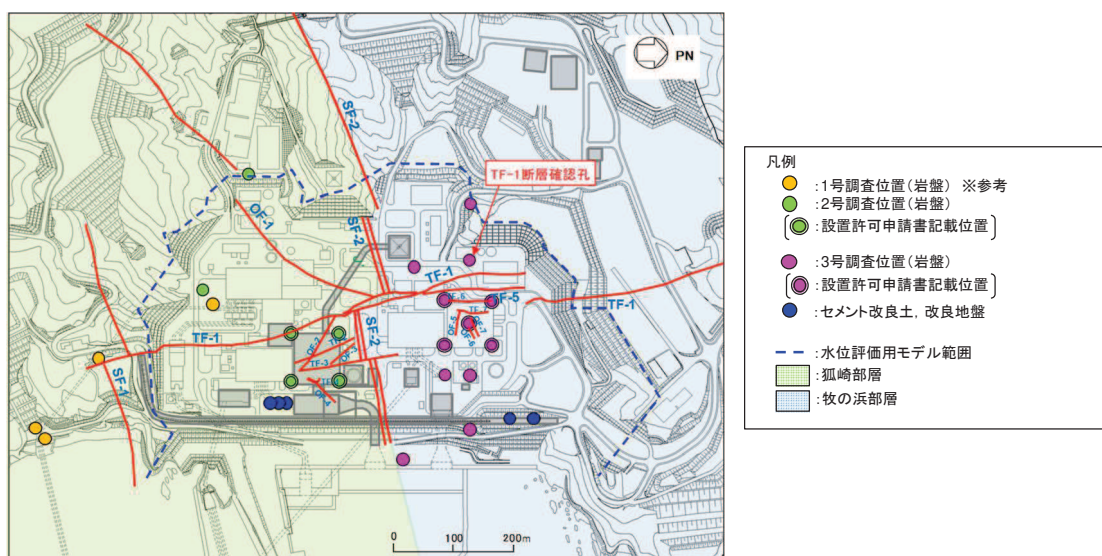


図4-22 岩盤の原位置透水試験位置図

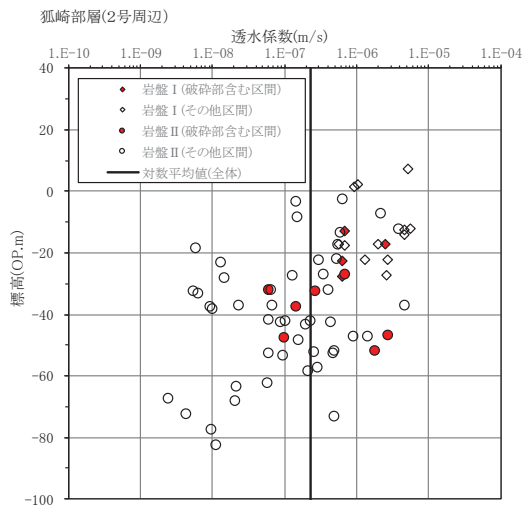
(図4-4に地表および基礎掘削での主要断層位置を追記)

表 4-19(1) 破砕部を含む区間とその他の区間における透水係数（狐崎部層）

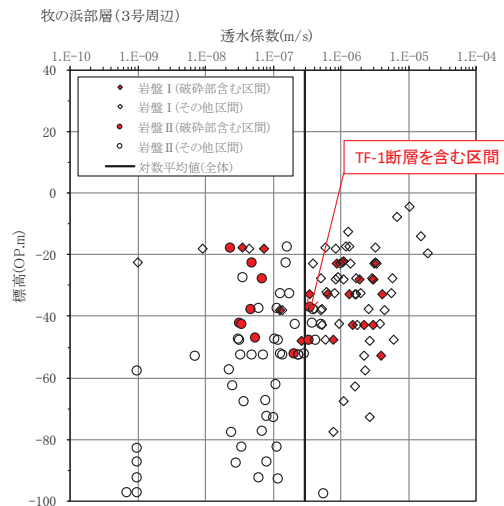
地層	透水係数（平均値） (m/s)		備考
	岩盤 I	岩盤 II	
破砕部を含む区間	0.9×10^{-6}	3.7×10^{-7}	岩盤透水試験結果（狐崎部層）のうち、破砕部を含む区間のデータについて、第 4 速度層上面以浅を岩盤 I，以深を岩盤 II に分類
その他の区間	2.0×10^{-6}	1.1×10^{-7}	上記以外のデータについて、第 4 速度層上面以浅を岩盤 I，以深を岩盤 II に分類
全ての区間	1.6×10^{-6}	1.3×10^{-7}	

表 4-19(2) 破砕部を含む区間とその他の区間における透水係数（牧の浜部層）

地層	透水係数（平均値） (m/s)		備考
	岩盤 I	岩盤 II	
破砕部を含む区間	0.9×10^{-6}	0.8×10^{-7}	岩盤透水試験結果（牧の浜部層）のうち、破砕部を含む区間のデータについて、 C_H 級岩盤上面-30m 以浅を岩盤 I，以深を岩盤 II に分類
その他の区間	1.2×10^{-6}	0.5×10^{-7}	上記以外のデータについて、 C_H 級岩盤上面-30m 以浅を岩盤 I，以深を岩盤 II に分類
全ての区間	1.1×10^{-6}	0.6×10^{-7}	



(狐崎部層)



(牧の浜部層)

図 4-23 破砕部有無における透水試験結果の整理

(2) 浸透流解析における破碎部の扱い

浸透流解析における岩盤については、破碎部等の不連続面と考えられる地質構造についてはモデル化せずに、表 4-20 に示す透水係数を与えた一様な多孔質媒体としてモデル化している。

これは、前述のとおり、透水試験結果から有意な透水性への影響が無いことに加え、揚圧力や地下水位分布の評価においては、モデル化しない方が、地下水位が保守的に（水位を高め）に評価されるものと考えられるためである。

揚水ポンプ等の排水能力の設計をする場合においても、透水試験結果から有意な透水性への影響が無いことに加え、試験結果（平均値）に標準偏差（+1σ）のばらつきを考慮しており、破碎部を含む区間の試験結果に比べても大きな透水性を与えており、保守的に（湧水量が多めに）評価されていると考えられる。

よって、破碎部を含めて多孔質媒体でモデル化することは、評価の目的に照らして妥当である。

表 4-20(1) 破碎部を有する区間の試験結果と地下水流入量評価に用いる
透水係数の比較（狐崎部層）

区分	透水係数（平均値） (m/s)		備考
	岩盤 I	岩盤 II	
破碎部を含む区間の 試験結果	0.9×10^{-6}	3.7×10^{-7}	
排水能力設定用の 設定値	4.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	岩盤 I：試験平均値+1σ 相当，岩盤 II：試験平均値+1σ 相当

表 4-20(2) 破碎部を有する区間の試験結果と地下水流入量評価に用いる
透水係数の比較（牧の浜部層）

区分	透水係数（平均値） (m/s)		備考
	岩盤 I	岩盤 II	
破碎部を含む区間の 試験結果	0.9×10^{-6}	0.8×10^{-7}	
排水能力設定用の 設定値	6.0×10^{-6}	3.0×10^{-7}	岩盤 I：試験平均値+1σ 相当，岩盤 II：試験平均値+1σ 相当

(補足6) ②水位評価モデルの設定値の妥当性について

②水位評価モデルの透水係数は、補足3に示す建設時工事計画認可時の検討結果を踏まえ、建屋へ作用する揚圧力を大きく算出する観点から設定（岩盤Iを -1σ ）している。

本資料では、揚圧力影響の観点で不確かさを考慮した上記の透水係数の設定が、液状化への影響の観点からも保守的となっていることを確認するために、透水係数の設定による建物・構築物及び土木構造物周辺の地下水位分布に着目した影響について確認する。

なお、透水係数の設定値の妥当性については、本文「3.3.2 (4)」及び「3.3.2 (5).d」において①広域モデルを用いて観測水位と解析水位の比較により確認しており、本検討は予測解析（②水位評価モデル）における保守性の確保の観点での検討（感度解析）である。

確認は、②水位評価モデルを用い、盛土・旧表土の試験結果（平均値）に標準偏差（ -1σ ）のばらつきを考慮した予測解析を実施し、その影響を確認する。確認は、盛土がO.P. +14.8m盤に広範囲に分布する状況を踏まえ、解析領域内の地下水位に与える影響を概観するため、2号機周辺エリアは2号機海水ポンプ室、3号機周辺エリアは3号機海水ポンプ室、O.P. +14.8m盤の山側エリアは排気筒連絡ダクトを代表施設として影響を確認する。

解析ケース毎の透水係数の設定を表4-21に、解析結果として、地下水位分布の比較を図4-24に示す。

確認の結果、地下水位分布へ与える盛土・旧表土の物性値のばらつきが与える影響は、岩盤Iに比べ相対的に小さいことを確認した。

なお、上記結果から、盛土・旧表土の透水係数のばらつきが地下水位分布へ与える感度が相対的に小さいことが示されており、前述のクレーガーらの方法で設定した盛土・旧表土の透水係数と原位置透水試験の違いや盛土と旧表土の透水係数の違い等についても設計用地下水位に対して及ぼす影響は小さいと考えられる。

以上より、各エリアの代表とした3施設において、岩盤Iの透水係数のばらつきを考慮した解析水位（CASE1=②水位評価モデル）は、盛土・旧表土の透水係数のばらつきを考慮した解析水位（CASE2）に比べて保守的な（高めの）解析水位となることを確認した。

表 4-21 影響確認ケースの条件 (透水係数)

ケース名	透水係数 (m/s)			概要	
	盛土・ 旧表土	岩盤*			改良地盤・ セメント改良土
		岩盤 I	岩盤 II		
CASE1	3.0×10^{-5} (平均値)	狐： 7.0×10^{-7} 牧： 2.0×10^{-7} (平均値-1 σ)	狐： 5.0×10^{-7} 牧： 1.0×10^{-7} (平均値)	2.0×10^{-7} (平均値)	予測解析 (②水位 評価モデル) に用 いている設定値
CASE2	2.0×10^{-6} (平均値-1 σ)	狐： 2.0×10^{-6} 牧： 1.0×10^{-6} (平均値)	狐： 5.0×10^{-7} 牧： 1.0×10^{-7} (平均値)	2.0×10^{-7} (平均値)	影響確認ケース

注記*：狐：狐崎部層，牧：牧の浜部層を指す。

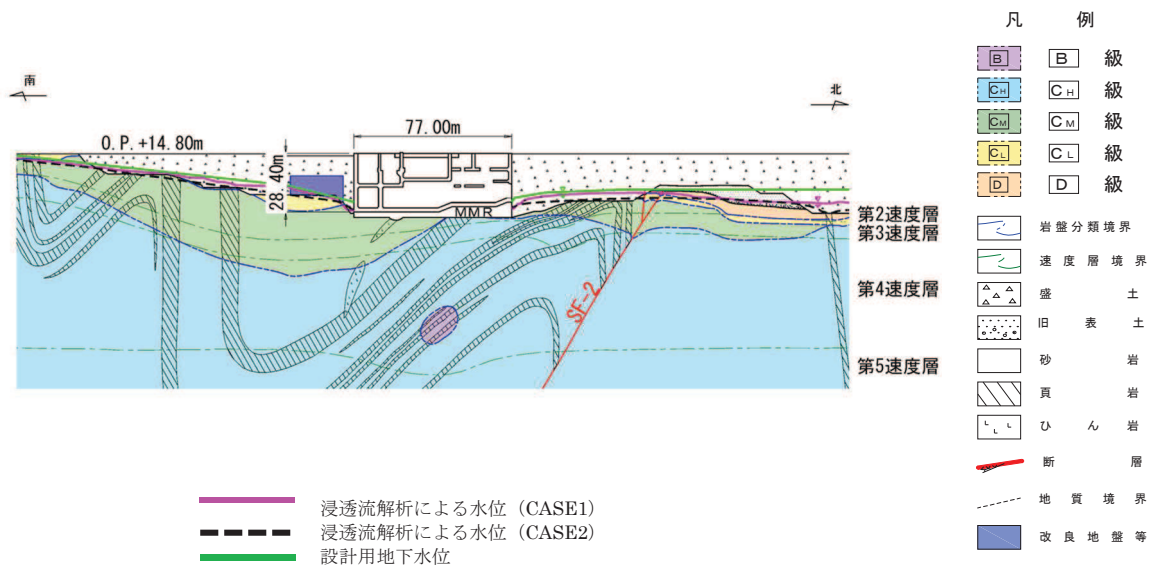


図 4-24(1) 2号機海水ポンプ室 (南北断面) における
設計用地下水位と浸透流解析水位 (CASE1, 2) の比較

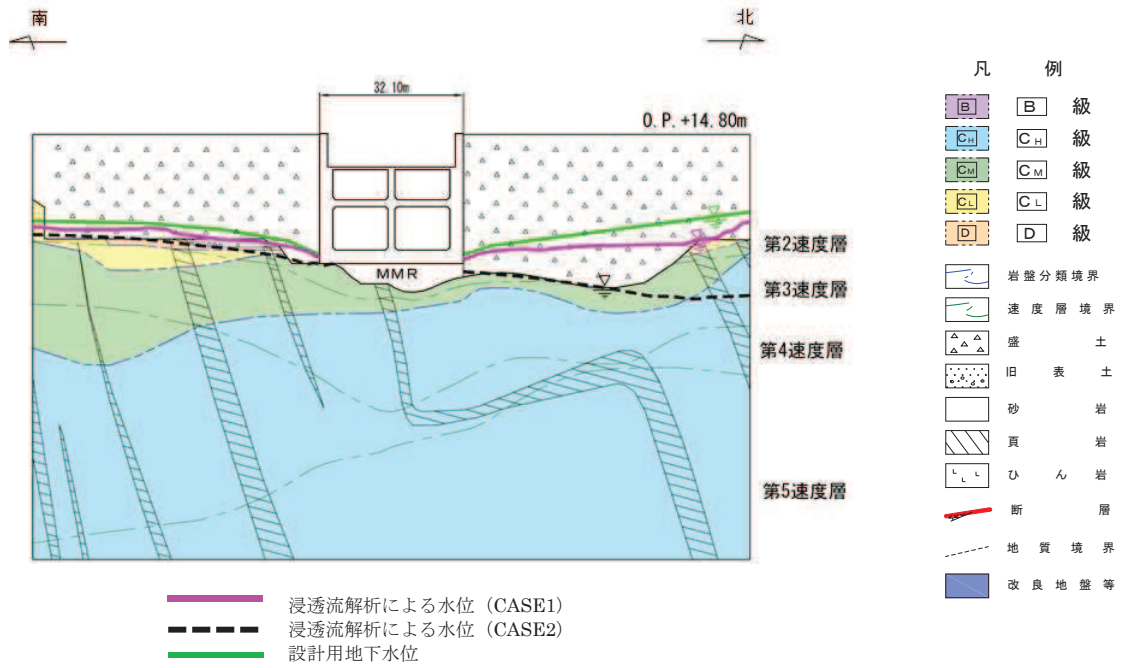


図 4-24(2) 3号機海水ポンプ室 (南北断面) における
設計用地下水位と浸透流解析水位 (CASE1, 2) の比較

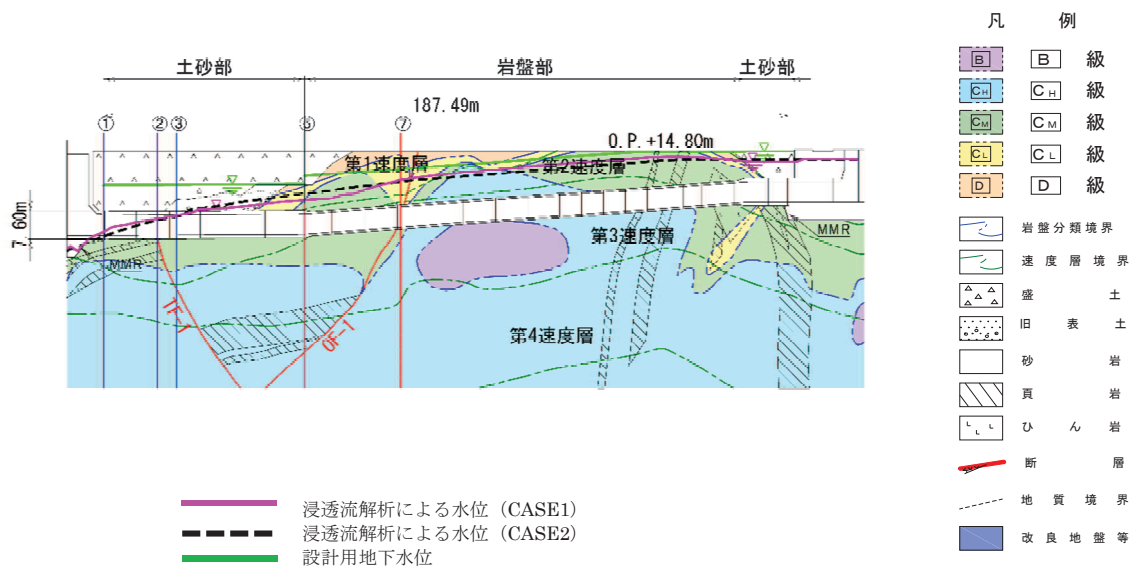


図 4-24(3) 排気筒連絡ダクト (縦断面) における
設計用地下水位と浸透流解析水位 (CASE1, 2) の比較

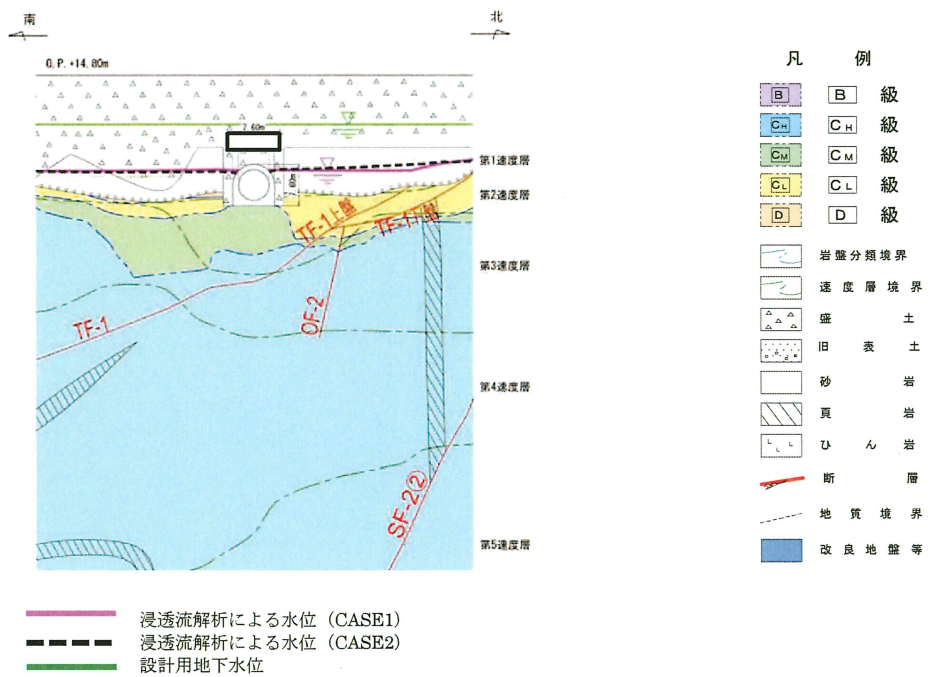


図 4-24(4) 排気筒連絡ダクト (横断 ((断面③)) における
設計用地下水位と浸透流解析水位 (CASE1, 2) の比較

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

(参考資料 5) 浸透流解析におけるドレーンの有効範囲の設定結果

1. はじめに

本資料は、図 3.3-5 に示す設計用地下水位の設定フローにおける「ドレーンのモデル化 (有効範囲の設定)」について、集水機能の信頼性に係る詳細検討フローによる設定結果を示す。設置変更許可段階においては、同フローに基づくドレーンの有効範囲例を説明しているが、詳細設計段階における詳細設計を踏まえ、改めてドレーンの有効範囲を検討したものである。

2. 集水機能の信頼性の検討

設計用地下水位の算定 (浸透流解析) に用いるドレーンの有効範囲は、図 5-1 に示す集水機能の検討フローに従い、以下の考え方で設定することにより信頼性を確保する。

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

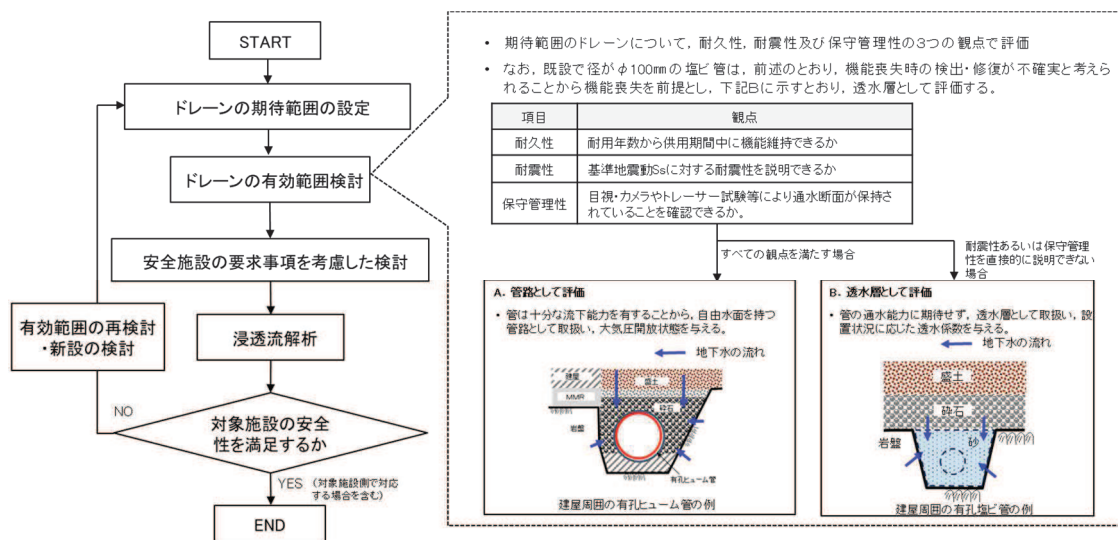
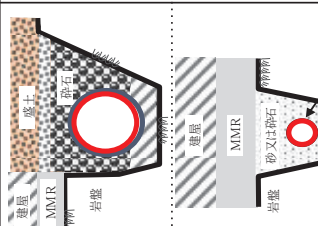
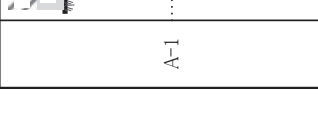
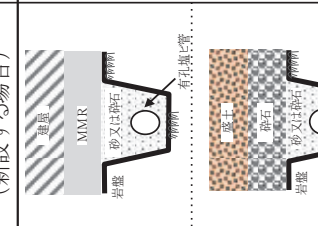
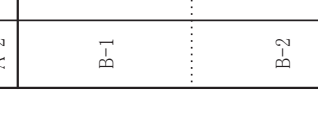
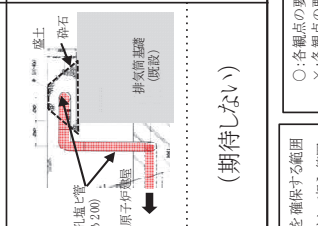
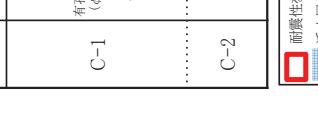




図 5-1 集水機能の信頼性に係る基本検討フロー

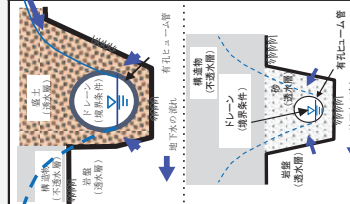
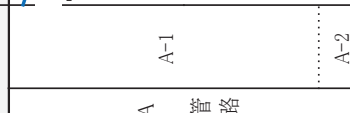
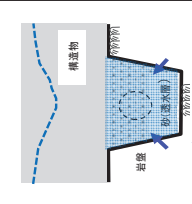
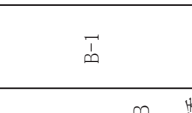
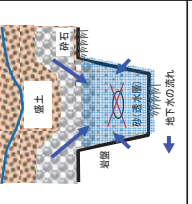
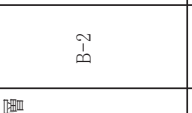
上記フローに基づき、ドレーンの状態と各観点に対する評価、並びに浸透流解析上の取扱いについて図 5-2 に整理した。

分類	ドレーンの状態	該当箇所 の例	各観点に対する評価			
			耐久性	耐震性	保守管理性	
A-1		有孔ヒューム管	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 有孔ヒューム管は、Ss地震時の発生断面積が許容値（0.7割れ率）を下のことを確認する。*1 接続時は、発生応力度がコンクリートおよび鉄筋の許容応力度を下回することを確認する。*2
A-2		(新設する場合)	○	○	○	
B-1		有孔塩ビ管 (3号機T/B直下)	○	○	(一)	<ul style="list-style-type: none"> ドレーンは岩盤と躯体に囲まれた範囲に設置されることから、Ss地震時に管の設置空間が保持されること(岩盤がせん断破壊しないこと)を確認する。
B-2		有孔塩ビ管 (R/B～T/B間)	○	(△)	(一)	<ul style="list-style-type: none"> ドレーンは岩盤を掘り込んで設置されているものの、直上の盛土等による上載土圧が作用するため、管の内空が確保されることを期待できないが、周辺岩盤の形状は保持され、高透水性材料の流失はない。 建設以降、工事履歴から機能に影響を与える地盤改良などが実施されておらず、使用環境が変わらない。(工事規制により環境維持) なお、構造の確認は流末部の目視により可能である。
C-1		有孔塩ビ管 (排気筒周辺)	○	×	×	
C-2		有孔塩ビ管 (3号機T/B直下)	—	—	—	

 耐震性を確保する範囲
 透水層として扱った範囲

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

*1 下水施設の耐震対策指針と解説(2014年版)による
 *2 コングリート標準方量(構造性能調査編(2002))による

分類*3	浸透流解析上の取扱い
A 管路	 <p> • 管の耐久性及び耐震性が確保され、構造を確認できることから、大気圧開放状態とする。 </p>
A-2	 <p> • 岩盤と躯体に囲まれた範囲は保持されるが、直接的に構造確認できないため、透水層として考慮し、この状況に応じた透水係数を設定する。 (透水係数は管内空相当の空隙が残ることを考慮し設定) </p> <p> • ただし、A、管路と判断されたドレーンでも、安全設備の要求事項を満たすドレーン以外はB-1として扱われる。 </p>
B 透水層	 <p> • 管の内空保持が期待できないが、周辺の岩盤形状は保持され、高透水性材料及び上部から流入する砕石を透水層として考慮し、この状況に応じた透水係数*4を設定する。 </p> 
C 周辺の地盤	 <p> • 周辺の地盤相当の透水係数を設定する。 </p> <p> 非考慮 </p> 

*3 A(管路)に区分するドレーンは施設、B(透水層)及びC(周辺の地盤)に区分するドレーンは地盤として区分。
 *4 本整理と隣り合う砕石層の透水係数を設定可能であるが、以降の検討では保守的に盛土又は岩盤の透水係数を設定している。

図 5-2 ドレーンの状態に対応した分類と浸透流解析上の取扱い

図 5-1 に示した基本検討フロー並びに図 5-2 において分類したドレーンの状態に対応した浸透流解析上の取扱いを踏まえ、詳細検討フローを図 5-3 のとおり設定した。

同フローでは、設置変更許可段階で示した方針と同様、ドレーンの期待範囲を設定した上で、耐久性・耐震性・保守管理性の観点等から「A. 管路」、「B. 透水層」、「C. 周辺の地盤」のいずれかに分類し、評価対象施設等の設計値を満足するよう新設も含めドレーン範囲を検討した上で、技術基準規則第 14 条（安全設備）の要件を満たす範囲を有効なドレーン範囲として設定する。