

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-25-1_改10
提出年月日	2021年9月21日

補足-600-25-1 【地下水位低下設備の設計方針に係る補足説明資料】

2021年9月  
東北電力株式会社

## 目次

1. はじめに	1
2. 地下水流入量の評価	2
2.1 検討方針	2
2.2 モデルの妥当性確認	5
2.3 予測解析	9
3. 地下水位低下設備の機能喪失を仮定した到達時間の評価	13
3.1 検討方針	13
3.2 到達時間の評価指標について	13
3.3 評価条件	15
3.4 評価結果	16
4. 地下水流入量と設備の排水能力	30
4.1 地下水流入量と排水能力（揚水ポンプ）	30
4.2 地下水流入量と排水能力（ドレーン）	30
4.3 排水能力の妥当性について	32
5. 復旧措置に係る補足事項	33
5.1 揚水井戸内の揚水ポンプ配置例	33
5.2 可搬ポンプユニットによる水位低下措置の対応要員について	33
6. 構造強度設計方針に係る補足説明	35
6.1 電路（電源ケーブル，制御・計装ケーブル）の配置	35

参考資料 1 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

## 1. はじめに

本書は、「VI-2-1-1 別添1 地下水位低下設備の設計方針」に引き継ぐ三次元浸透流解析結果のうち、地下水流入量及び地下水位低下設備の機能喪失を仮定した到達時間\*1の評価について、詳細を補足するものである。

また、復旧措置に係る補足事項として、揚水井戸内の揚水ポンプ配置例を示す。

注記\*1： 「到達時間」とは、地下水位低下設備が同時に機能喪失し水位上昇することを仮定した場合において、設計値に到達するまでの時間を指す。

地下水位が上昇する場合に耐震性へ与える影響として、建物・構築物へ作用する揚圧力の上昇、周辺地盤の液状化に伴う施設へ作用する土圧等の変化、周辺地盤の液状化に伴う地下構造物の浮上りが考えられるが、3.に示す通り、揚圧力に着目することで到達時間が最も短く（保守的に）評価される。

このため、各建屋に作用する平均揚圧力に対応する水位が、設計用揚圧力に対応する水位に到達するまでの時間を浸透流解析（非定常解析）により評価する。

## 2. 地下水流入量の評価

### 2.1 検討方針

設置変更許可においては、地下水流入量は、保守的な条件（地下水流入量が多めに評価される条件）を与えた浸透流解析により評価する方針としていた。この方針を踏まえて、地下水流入量は地下水位低下設備の機能を考慮した三次元浸透流解析（非定常解析）を用いて評価する。

浸透流解析のアウトプットは、揚水ポンプの排水能力設定において参照することも踏まえて、妥当な浸透流解析モデルであることを確認した上で、地下水流入量が多めに算出される解析条件を与えた予測解析により評価する必要がある。

このため、設計用地下水位の設定に係るプロセスと同様に、①広域モデルを用いて実データとの比較によりモデルの妥当性を確認した上で、予測解析として解析の保守性を考慮した「③地下水流入量評価モデル」を作成する。

①広域モデルを用いた妥当性確認は、実データ（既設地下水位低下設備における至近の揚水ポンプ稼働実績。以下、排水実績）との対比により確認するため、データ取得時の状態に対応するよう既設ドレーン範囲を全てモデル化した上で、解析の再現性が確保されるよう地下水流入量に影響の大きい透水係数のパラメータチューニングを行う。

地下水流入量を評価する③地下水流入量評価モデルは、設計用地下水位の設定プロセスと同様、安全対策工事として実施する防潮堤の沈下対策などの各種工事やドレーン新設等の工事完了段階における施設配置等を反映し、①広域モデルより 0.P. +14.8m 盤周辺の領域を切り出した上で、地下水流入量が多めに算出される解析条件を設定する。

ここでは、設計用地下水位の設定に係る予測解析に用いた「②水位評価モデル」\*<sup>1</sup>における保守性確保の考え方も参考に、地下水流入量の観点からも保守的な条件設定\*<sup>2</sup>は踏襲した上で、更に透水係数を大きめに、ドレーン範囲を広めに設定することで、流入量評価の保守性を確保する方針とする。

地下水流入量の評価フローを図 2-1 に、浸透流解析の目的に対応したモデル選択と設備設計へのインプットの関係を図 2-2 に示す。

注記\* 1 : ②水位評価モデルの概要及び妥当性の確認結果については、「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に記載する。

\* 2 : 解析境界における水位は、流入量が多めに算出するため、②水位評価モデルと同様に山側を地表面（法肩）に固定、海側を朔望平均満潮位に固定する。

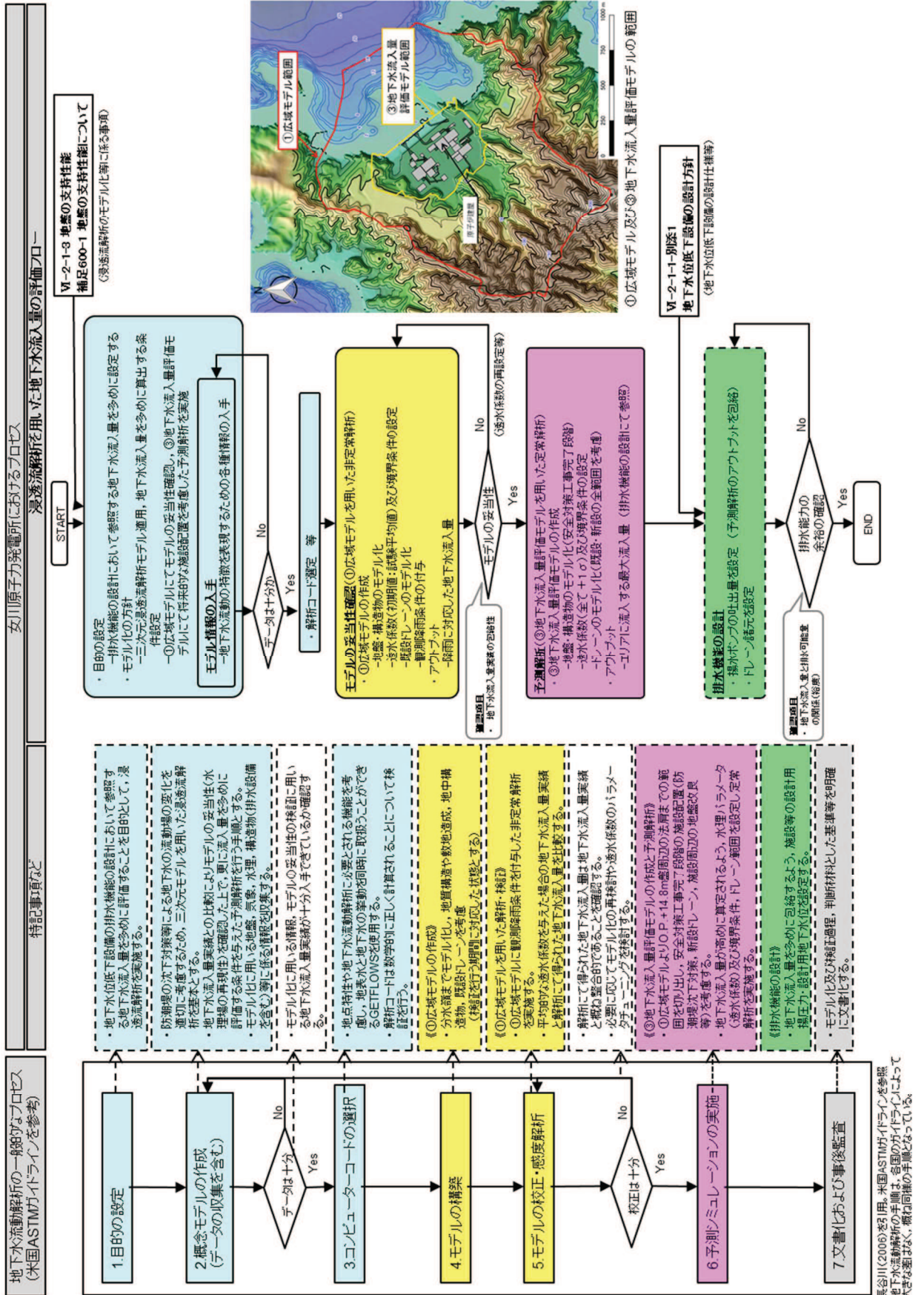


図 2-1 地下水流入量の評価フロー

・長谷川(2006)を引用、米国ASTMガイドラインを参照  
 ・地下水流動解析の手冊は、各国のガイドラインによって大きな差はなく、概ね同様の手順となっている。

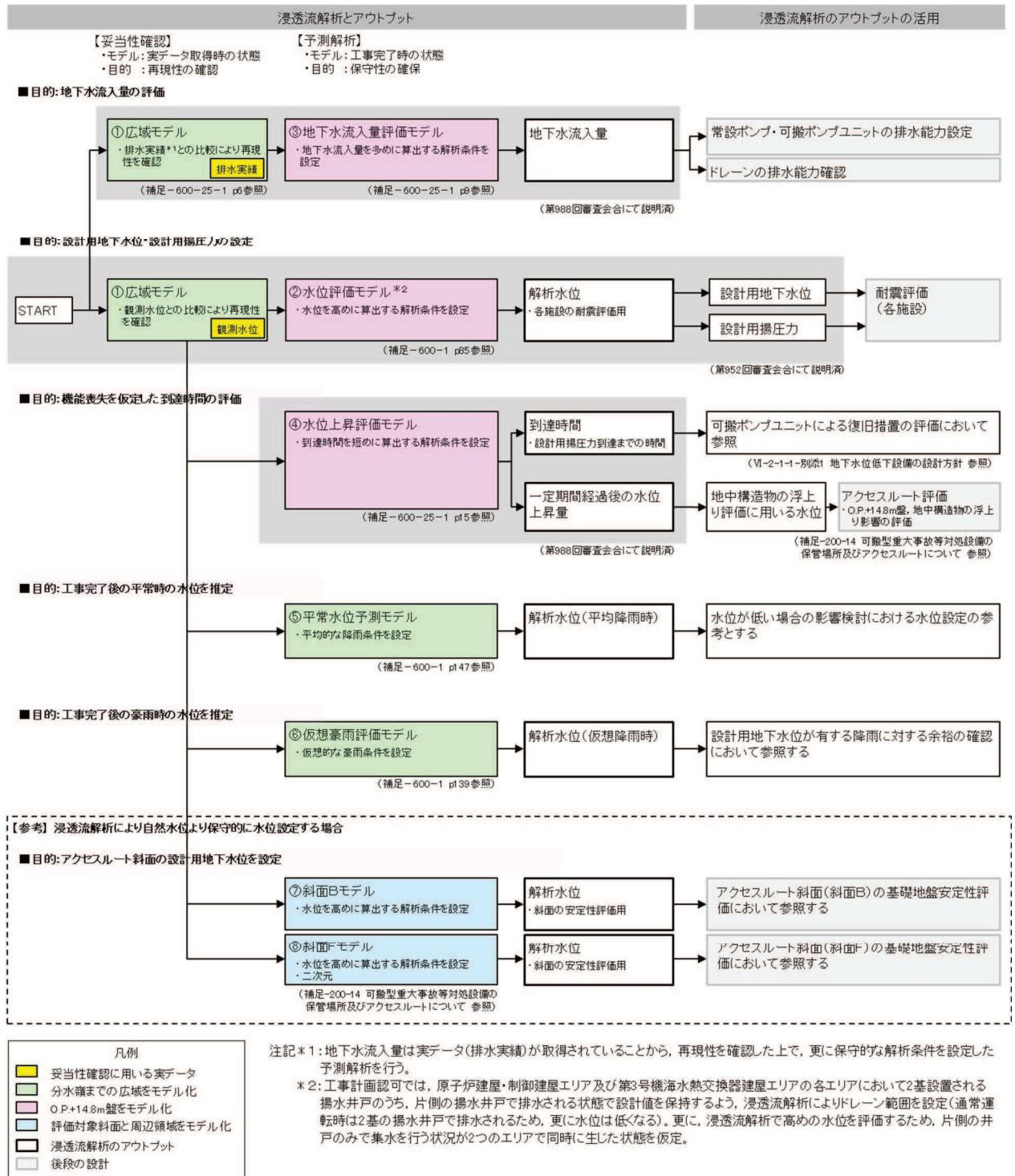


図 2-2 浸透流解析による評価と機器設計等への反映事項

## 2.2 モデルの妥当性確認

### 2.2.1 評価条件

モデルの妥当性確認においては、表 2-1 に示す排水実績（平成 27 年度～平成 30 年度）を参照する。妥当性確認に用いる期間は、最大値を確認している平成 29 年 9 月～平成 29 年 10 月を選定する。

既往の揚水ポンプ月別排水量合計を図 2-3 に、妥当性確認において用いる①広域モデルの評価条件を表 2-2 に示す。

表 2-1 排水実績（集計値）

エリア	揚水ポンプ最大排水量 (m <sup>3</sup> /日)				備考
	H27 年度	H28 年度	H29 年度	H30 年度	
原子炉建屋・制御建屋エリア*1	5042 (961)	4076 (918)	6228 (1050)	2927 (1025)	
第 3 号機海水熱交換器建屋エリア*1	2377 (756)	2025 (647)	2711 (561)	1089 (424)	
排水量合計	7419 (1717)	6101 (1565)	8939 (1611)	4016 (1449)	
(参考) 日最大排水量*2	7239 (1661)	5961 (1564)	8522 (1610)	3574 (1449)	

注記\* 1：各エリア毎の日最大値，（ ）内の数値は日平均値を示す。

\* 2：各エリアを合算した全体の排水量における日最大値，（ ）内の数値は日平均値を示す。

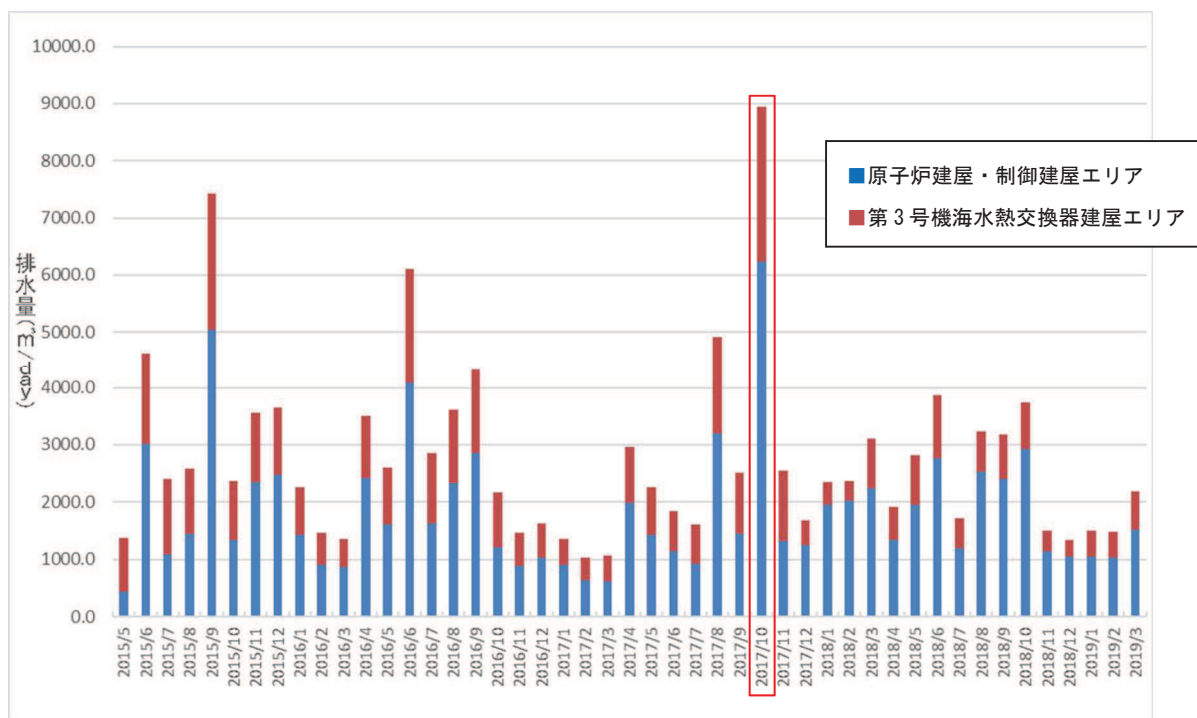


図 2-3 排水実績（月別）

表 2-2 ①広域モデルにおける評価条件

項目	①広域モデル
1a. 目的	・モデル化の妥当性を確認すること（観測結果の再現性を確保）
1b. アウトプットの活用	－（モデル検証のみ）
2. 解析コード	・GETFLOWS Ver. 6. 64. 0. 2
3a. 解析領域	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分水嶺を山側境界とし②水位評価モデルを包絡する範囲</li> </ul> 
3b. 格子数	<ul style="list-style-type: none"> <li>・平面格子数：約 33.4 万</li> <li>・総格子数：約 1600 万</li> <li>・格子寸法：0.5～6m 程度（構造物近傍は最小 0.5m 程度，山側領域は 3～6 m 程度）</li> </ul>
4. 解析種別	・非定常解析
5a. 検証期間（流入量）	・平成 29 年 9 月～平成 29 年 10 月（排水実績の最大値を含む期間）
5b. 降雨条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・初期状態：3.57mm/日（観測降雨（2001～2018 年）の日平均）</li> <li>・降雨時：上記検証期間の降雨実績</li> </ul>
5c. 気象条件	降水量・気温・日射量・相対湿度・風速：構内観測所データ（欠測値は，周辺気象庁データから欠測補間）
5d. 蒸発散	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定常状態：ハーモン法<sup>*1</sup></li> <li>・非定常状態：熱収支法<sup>*2</sup></li> </ul>
6a. モデル（地形）	・検証期間に対応した状態
6b. "（地盤）	・検証期間に対応した状態
6c. "（構造物）	・検証期間に対応した状態
6d. "（ドレーン）	・既設の全範囲を管路として考慮（新設は考慮しない）
7. 境界条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実態に則した設定 <ul style="list-style-type: none"> <li>－山側：閉境界</li> <li>－海側：平均潮位に水位固定</li> <li>－ドレーン：ドレーン計画高に水位固定</li> </ul> </li> </ul>
8. 透水係数	・試験等の平均値より盛土・旧表土を+1σ（初期値を試験等の平均値としパラメータチューニング）
9. 有効間隙率	・文献値 <sup>*3</sup>
10. 粗度係数	・文献値 <sup>*4</sup>

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

注記\*2：検証期間における敷地内の気温，風速，日射時間等を参照する

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

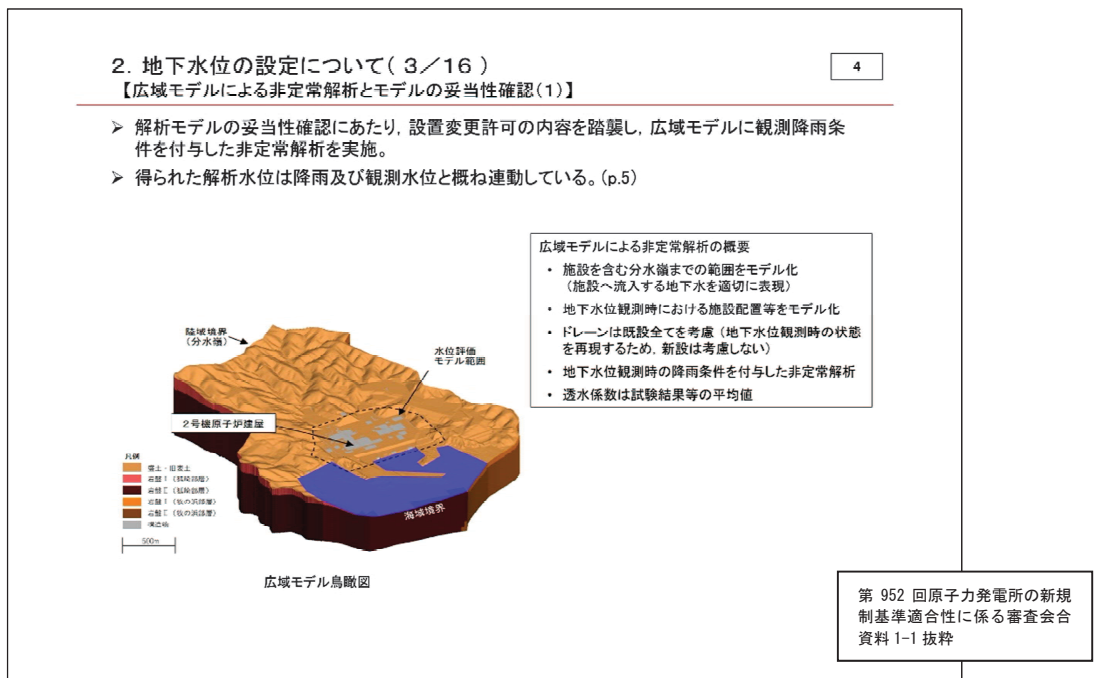
注記\*4：水理公式集（土木学会），河川砂防技術基準（国土交通省）等を参照し設定



## 2.2.2 評価結果

①広域モデルにおける妥当性確認においては、流入実績と統合的な結果が得られるようモデル条件を設定する。ここでは、図 2-1 地下水流入量の評価フローに従い、解析領域における平均的な透水係数（試験結果等の平均値\*1）を初期値として設定した。

注記\*1：設計用地下水位の設定においては、透水係数を試験結果等の平均値とすることにより、観測水位と統合的な結果となることを確認していることから、地下水流入量の妥当性確認においても初期値として参照した。（図 2-4）



この結果、排水実績の再現性が不十分であったことから、解析結果が排水実績と整合するよう透水係数によるパラメータチューニングを行い、透水係数を大きめに設定（試験等の平均値より盛土・旧表土を+1 $\sigma$ ）することにより、排水実績と整合的な解析結果を得た。評価結果を表 2-3 に示す。

表 2-3 ①広域モデルにおける妥当性確認結果（揚水ポンプ最大排水量）

エリア	排水実績 ( $\text{m}^3/\text{日}$ )	妥当性確認結果 ( $\text{m}^3/\text{日}$ ) * 1	備考
原子炉建屋・制御建屋エリア	6228	6363	各エリアの最大排水量の合計値
第 3 号機海水熱交換器建屋エリア	2711	3256	
排水量合計	8939	9619	
(参考) 日最大排水量	8522	9416	等時刻での合計値

注記\* 1 : 透水係数は試験等の平均値より盛土・旧表土を+1 $\sigma$

(透水係数によるパラメータチューニングについて)

水位設定における妥当性確認（透水係数：試験結果等の平均値）において、解析水位は観測水位と整合的であったが、観測水位に対し解析水位はやや高めに算出されていたことから、実際の流動場より地下水が流れにくい設定となっており、流入量としては小さめに算出された\* 2と考えられる。

このため、図 2-1 地下水流入量の評価フローに従い透水係数を見直した結果、表 2-3 の通り排水実績をやや上回る解析結果が得られた。

なお、後段の予測解析に用いる透水係数は、妥当性確認より更に保守的な設定（全て試験平均値の+1 $\sigma$ ）とし、保守性の確保を図っている。

注記\* 2 : 原子炉建屋・制御建屋エリアでは 2463 $\text{m}^3/\text{日}$ 、第 3 号機海水熱交換器建屋エリアでは 1170 $\text{m}^3/\text{日}$ （排水量合計 3633 $\text{m}^3/\text{日}$ ）（いずれも透水係数は試験等の平均値）

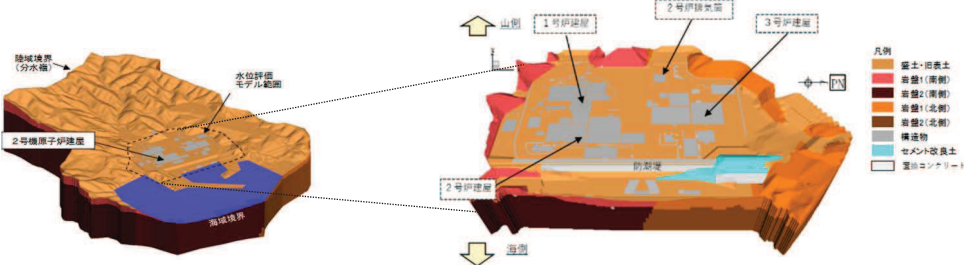
## 2.3 予測解析

### 2.3.1 評価条件

2.2 にて流入実績に対する再現性を確認したモデル条件（盛土・旧表土の透水係数を試験結果等の平均値+1 $\sigma$ ）に対して、予測解析においては更に地下水流入量を多めに評価するようなモデル条件として、透水係数を大きく（全て試験結果等の平均値+1 $\sigma$ ）設定するとともに、図 2-5 のとおり、ドレーンは既設及び新設の全ての範囲を考慮する。

予測解析に用いる③地下水流入量評価モデルの評価条件を表 2-4 に示す。

表 2-4 ③地下水流入量評価モデルにおける評価条件

項目	【参考】②水位評価モデル	③地下水流入量評価モデル
1a. 目的	・ 工事完了後に想定される地下水位を評価すること（液状化影響検討対象施設を幅広く抽出するため高めに評価）	・ 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）
1b. アウトプットの活用	・ 耐震設計（各施設）	・ 設備設計（ポンプ・ドレーンの排水能力）
2. 解析コード	・ GETFLOWS Ver. 6. 64. 0. 2	
3a. 解析領域	・ 0. P. +14. 8m 盤及び 0. P. +14. 8m 周辺の法面 	
3b. 格子数	・ 平面格子数：約 16.7 万 ・ 総格子数：約 770 万 ・ 格子寸法：0.5～2m 程度（構造物近傍は最小 0.5m 程度）	
4. 解析種別	・ 定常解析	
5a. モデル（地形）	・ 安全対策工事完了段階を反映	
5b. 〃（地盤）	・ 安全対策工事完了段階を反映（施設周辺の地盤改良を含む）	
5c. 〃（構造物）	・ 安全対策工事完了段階を反映	
5d. 〃（ドレーン）	・ 既設・新設のうち信頼性の確保状況に応じ、信頼性が確保された範囲を管路として扱う（それ以外の範囲は耐久性・耐震性・保守管理性等の確保状況に応じて透水層または周辺地盤として扱う）	・ 既設・新設の全範囲を管路として扱う
6. 境界条件	・ 水位が高めに評価されるよう設定 - 山側：地表面に水位固定 - 海側：H. W. L. に水位固定 - ドレーン：ドレーン計画高*1	・ 地下水流入量が多めに評価されるよう設定 - 山側：地表面に水位固定 - 海側：H. W. L. に水位固定 - ドレーン：ドレーン計画高*1
7. 透水係数	・ 水位が高めに評価されるよう設定（岩盤 I を試験結果の平均値-1 $\sigma$ ）	・ 流入量が多めに評価されるよう設定（妥当性確認の結果を踏まえ、全て試験結果等の平均値+1 $\sigma$ ）
8. 有効間隙率	・ 文献値*2	
9. 粗度係数	—	

注記\*1：ドレーンの中心高さ

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

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

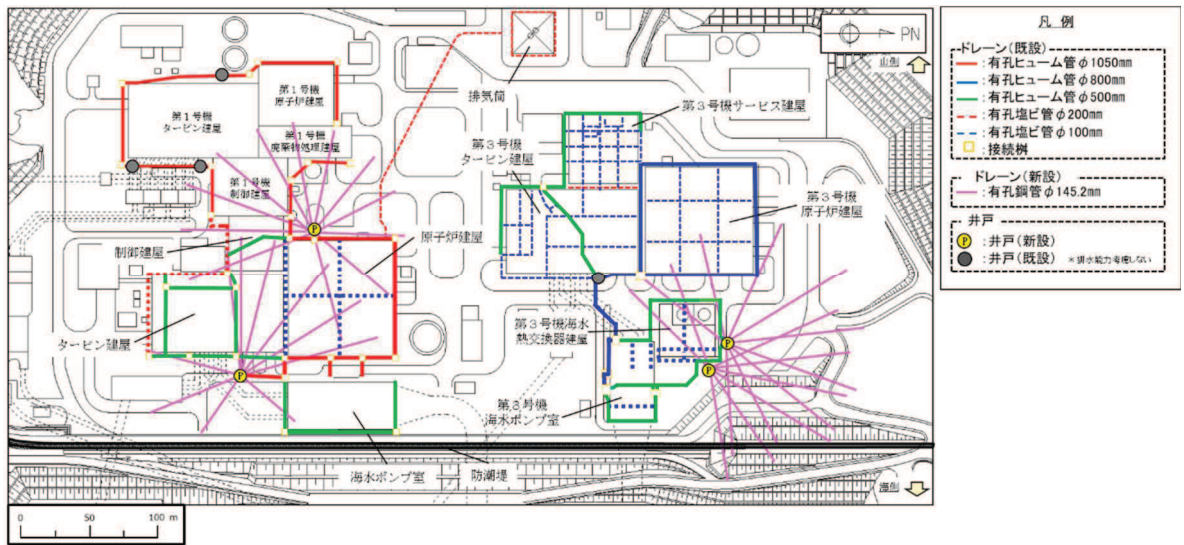


図 2-5 ③地下水流入量評価モデルにおけるドレーン範囲

地下水流入量の評価は、表 2-4 及び図 2-5 に示す条件にて実施するケース 1 を基本とするが、既設ドレーン（有孔ヒューム管）の排水能力確認においては、保守的に新設するドレーン（鋼管）を考慮しない場合（ケース 2）の評価を行い、これを参照する。

### 2.3.2 評価結果

地下水流入量の評価結果を表 2-5 に示す。

表 2-5 における集水範囲は、原子炉建屋・制御建屋エリア、第 3 号機海水熱交換器建屋エリアのそれぞれにおいて、図 2-6 に示すとおり、建屋外周の既設ヒューム管（2 号機：エリア①、3 号機：エリア③）と建屋下に新設する鋼管（2 号機：エリア②、3 号機：エリア④）にて整理している。

なお、下表における流入量は、集水範囲を構成するエリア単位で記載しており、揚水井戸への流入量とは異なるものである。

表 2-5 地下水流入量の評価結果

		地下水流入量 (m <sup>3</sup> /日)		備考	
		ケース 1 (基本)	ケース 2		
解析条件	ドレーン (鋼管)	考慮	考慮しない		
	透水係数	試験結果等の平均値+1σ			
	防潮堤 沈下対策	考慮			
集水 範囲	原子炉建 屋・制御建 屋エリア	エリア①	6083	6633	既設ヒューム管他
		エリア②	1995	—	鋼管 (新設)
		計	8078	6633	
	第 3 号機海 水熱交換器 建屋エリア	エリア③	1683	5449	既設ヒューム管他
		エリア④	5363	—	鋼管 (新設)
		計	7046	5449	
合計			15124	12082	

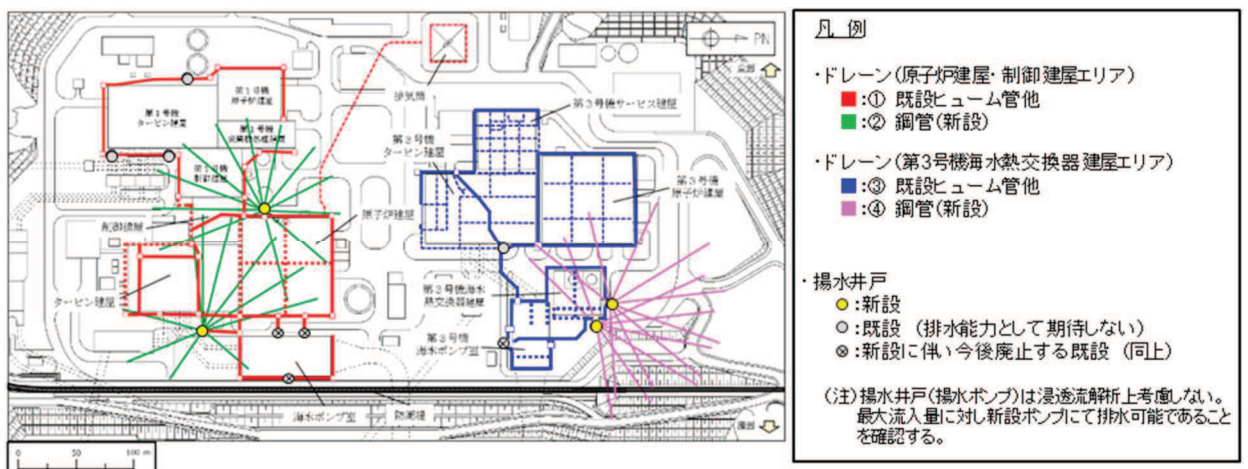


図 2-6 地下水流入量評価における集水エリア区分

前述の妥当性確認とドレーン等の条件が同一で透水係数の設定をすべて試験等の平均値+1 $\sigma$ であるケース2において、透水係数を大きく設定したこと及び境界条件の保守性により、モデルの妥当性確認ケースBにおいて算定した地下水流入量(Q=9416m<sup>3</sup>/日)より大きな流入量が評価された。さらに、建屋下ドレーンを考慮したケース1においては、ケース2よりも大きな流入量を示している。

また、ケース1においては、各エリアにおける建屋外周と建屋下の排水量の傾向が異なっており、原子炉建屋・制御建屋エリアにおいては建屋外周(エリア①)、第3号機海水熱交換器建屋エリアにおいては建屋下(エリア④)が支配的となっている。この相違の主な要因としては、3号機側のドレーン(鋼管)が2号機側に比べて山側(地下水の流れ方向に対し上流側)に配置されているためと考えられる。

以上の検討から、揚水ポンプの排水能力の設定においてはケース1の地下水流入量を参照する。また、ドレーンの排水能力の確認においては、建屋下に新設する鋼管(エリア②・④)についてはケース1、建屋外周の既設ヒューム管(エリア①・③)についてはケース2の地下水流入量を参照する。

### 3. 地下水位低下設備の機能喪失を仮定した到達時間の評価

#### 3.1 検討方針

設置変更許可においては、ポンプ故障等により通常の運転状態（各エリアにおいてそれぞれ 2 系統にて集水する定常状態）から地下水位低下設備が同時に機能喪失し集水機能を失った場合を仮定し、その後の水位上昇により設計値に到達するまでの到達時間\*を浸透流解析（非定常解析）により評価し、地下水位低下設備の復旧措置に係る検討において参照する方針としていた。

また、アクセスルートの評価においては、地下水位低下設備が機能喪失した状態が長期間（約 2 ヶ月）継続した場合の浸透流解析（非定常解析）により解析水位を評価し、アクセスルートの設計用地下水位の設定において参照する方針としていた。

この場合の水位上昇を評価する場合は、②水位評価モデルをベースとして、水位上昇を速めに（水位上昇速度を短めに）算出される解析条件を与えた「④水位上昇評価モデル」を作成する。

到達時間の評価に用いる④水位上昇評価モデルは、②水位評価モデルと同様、安全対策工事として実施する防潮堤の沈下対策などの各種工事やドレーン新設等の工事完了段階における施設配置等を反映する。また、地下水位低下設備の機能喪失時における初期水位を高くすることで到達時間が短めに算定されることから、ドレーン範囲や解析境界における水位、透水係数は②水位評価モデルと同様に、信頼性の確保された範囲に限定する。

アクセスルートの評価において参照する解析水位も、到達時間の評価と同様に④水位上昇評価モデルを用いるものとし、地下水位低下設備の機能喪失から 2 ヶ月後の水位を評価する。これは、アクセスルートが 2 ヶ月後の水位上昇を仮定しても通行性に影響を与えないよう必要な対策を行うことから、浮上りに対するアクセスルートの到達時間を 2 ヶ月間と設定したことに対応する。

#### 3.2 到達時間の評価指標について

地下水位の上昇による施設の耐震性への影響として、揚圧力（建物・構築物へ作用する揚圧力の上昇。基礎版の耐震性に影響）、液状化（周辺地盤の液状化に伴う施設へ作用する土圧等の変化。躯体の耐震性に影響）、浮上り（周辺地盤の液状化に伴う地下構造物の浮上り。躯体の安定性と地中構造物上方のアクセスルート通行性に影響）が考えられ、設置変更許可段階では、これらのうち最も早く影響が生じる揚圧力に着目する方針としていた。

詳細設計段階においては、この方針を踏襲し、到達時間の評価指標として揚圧力に着目し、液状化（周辺地盤の液状化に伴う施設へ作用する土圧等の変化による影響）に対する到達時間（補足 2 にて後述）、浮上りに対する到達時間（約 2 ヶ月）との比較から、その妥当性を確認した。

詳細設計段階における検討を踏まえた各影響に対する到達時間は図 3-1 の通りである。

注記\*：到達時間は、通常の運転状態から地下水位低下設備が同時に機能喪失した状態に移行した場合に、その影響が早期に現れる指標として揚圧力に着目し、各建屋に作用する平均揚圧力に対応する水位が設計用揚圧力に対応する水位に到達するまでの時間として定義。

p

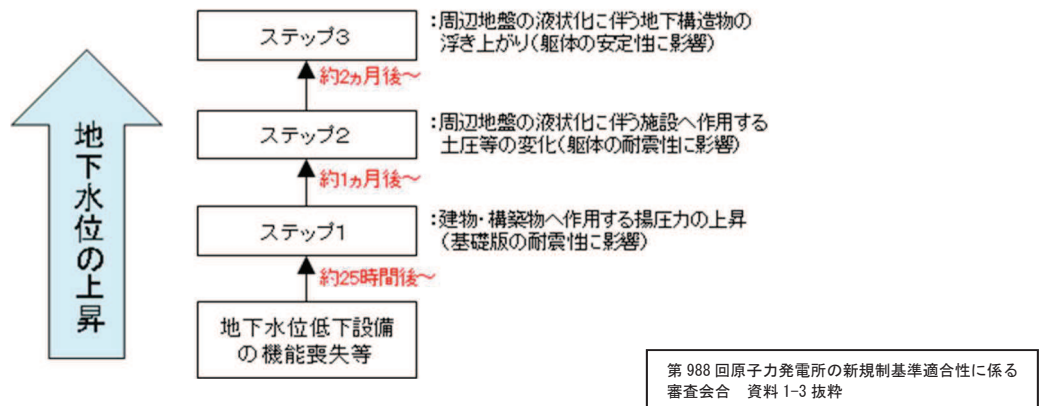


図 3-1 地下水位上昇による耐震性への影響

到達時間の評価に用いる④水位上昇評価モデルは、②水位評価モデルと同様、安全対策工事として実施する防潮堤の沈下対策などの各種工事やドレーン新設等の工事完了段階における施設配置等を反映する。また、地下水位低下設備が機能喪失した時点の初期水位を高くすることで到達時間が短めに算定されることから、ドレーン範囲や解析境界における水位、透水係数は②水位評価モデルと同様とする。

到達時間の評価対象施設は原子炉建屋、制御建屋、第3号機海水熱交換器建屋とする。



### 3.3 評価条件

④水位上昇評価モデルにおける評価条件を表 3-1 に示す。

表 3-1 ④水位上昇評価モデルにおける評価条件

項目	【参考】②水位評価モデル	④水位上昇評価モデル
1. 目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工事完了後に想定される地下水位を評価すること（液状化影響検討対象施設を幅広く抽出するため高めに評価）</li> <li>・ 耐震設計（各施設）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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）</li> <li>・ 設備設計（ポンプ・ドレーンの排水能力）</li> </ul>
2. 解析コード	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GETFLOWS Ver. 6. 64. 0. 2</li> </ul>	
3a. 解析領域	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 0. P. +14. 8m 盤及び 0. P. +14. 8m 周辺の法面</li> </ul> 	
3b. 格子数	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 平面格子数：約 16.7 万</li> <li>・ 総格子数：約 770 万</li> <li>・ 格子寸法：0.5～2m 程度（構造物近傍は最小 0.5m 程度）</li> </ul>	
4. 解析種別	・ 定常解析	・ 非定常解析* <sup>1</sup>
5a. モデル（地形）	・ 安全対策工事完了段階を反映	
5b. "（地盤）	・ 安全対策工事完了段階を反映（施設周辺の地盤改良を含む）	
5c. "（構造物）	・ 安全対策工事完了段階を反映	
5d. "（ドレーン）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既設・新設のうち信頼性の確保状況に応じ、信頼性が確保された範囲を管路として扱う（それ以外の範囲は耐久性・耐震性・保守管理性等の確保状況に応じて透水層または周辺地盤として扱う）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 初期水位（通常運転時）が高くなるよう、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）</li> </ul>
6. 境界条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水位が高めに評価されるよう設定</li> <li>— 山側：地表面に水位固定</li> <li>— 海側：H. W. L. に水位固定</li> <li>— ドレーン：ドレーン計画高*<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水位の上昇速度を速めに評価されるよう設定</li> <li>— 山側：地表面に水位固定</li> <li>— 海側：H. W. L. に水位固定</li> <li>— ドレーン：ドレーン計画高*<sup>2</sup></li> </ul>
7. 透水係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水位が高めに評価されるよう設定（岩盤 I を試験結果の平均値-1σ）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 初期水位が高くなるよう設定（岩盤 I を試験結果の平均値-1σ）</li> </ul>
8. 有効間隙率	・ 文献値* <sup>3</sup>	
9. 粗度係数	—	
10. ドレーンの状態	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 各エリア 1 系統で設計値を保持するよう設計（水位設定上の余裕として各エリア 1 系統喪失の重畳を考慮）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 通常運転時（各エリア両方の井戸で排水）から地下水位低下設備が同時に機能喪失し、その状態が継続することを仮定（到達時間は設計用揚圧力到達迄の時間。アクセスルート評価では 2 ヶ月後の水位を評価）</li> </ul>

注記\*1：②水位評価モデル同様、降雨条件を与えないため、蒸発散は考慮していない

注記\*2：ドレーンの中心高さ

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

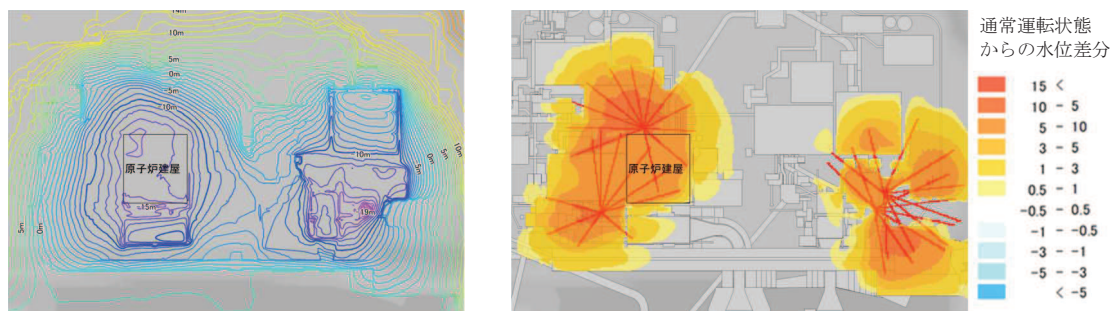
注) ■は目的に対して妥当な評価とするために②水位評価モデルより変更している条件

■は目的に対して妥当な評価とするために②水位評価モデルを踏襲している条件

### 3.4 評価結果

#### 3.4.1 到達時間

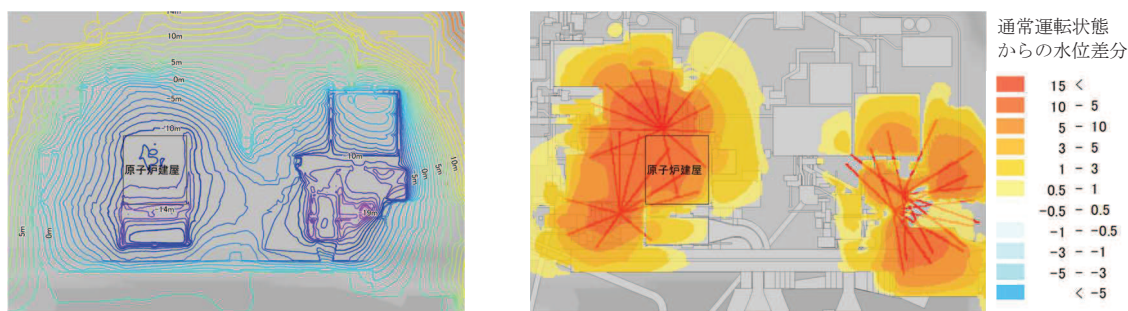
図 3-2 は排水機能を失ってから 10 時間後、図 3-3 は 25 時間後の解析結果であり、それぞれ解析水位の分布と初期水位からの差分を示しているが、ドレーンの配置に対応して相対的に水位が低い位置に保持されている範囲において水位上昇が大きく、水位上昇範囲が周囲に拡大していく。



(a) 解析水位分布図

(b) 初期水位からの差分図

図 3-2 地下水位の分布（排水機能停止後 10 時間経過）



(a) 解析水位分布図

(b) 初期水位からの差分図

図 3-3 地下水位の分布（排水機能停止後 25 時間経過）

各建屋における揚圧力に着目した到達時間の評価結果を図 3-4 及び表 3-2 に示す。

解析より得られた平均揚圧力に対応する水位は経時的に漸増する傾向が確認され、設計用揚圧力に対応する水位を上回るまでの到達時間は原子炉建屋において約 25 時間と最も短く、第 3 号機海水熱交換器建屋において約 67 時間であった。また、制御建屋は 96 時間後も設計用揚圧力を超過しないとの結果が得られた。

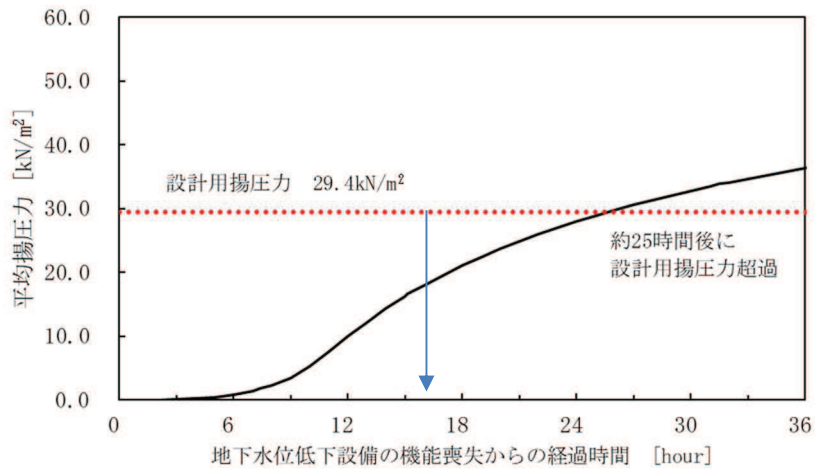
原子炉建屋・制御建屋エリアにおいては、制御建屋は原子炉建屋に対し相対的に設置レベルが高いため、原子炉建屋に対して相対的に長い到達時間が確保されている。

平均揚圧力に対応する平均水位

基礎版上端  
(O. P. -8.1m)

基礎版中央  
(O. P. -11.1m)

基礎版下端  
(O. P. -14.1m)



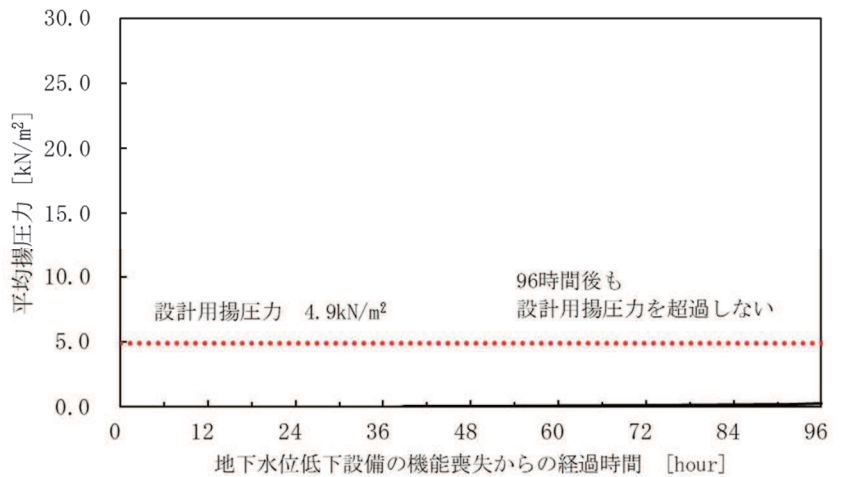
a. 原子炉建屋

平均揚圧力に対応する平均水位

基礎版上端  
(O. P. 1.5m)

基礎版中央  
(O. P. 0.0m)

基礎版下端  
(O. P. -1.5m)



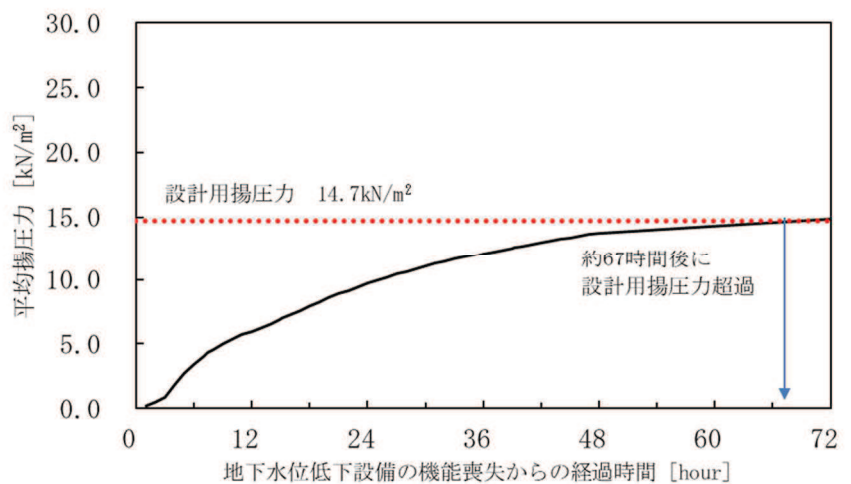
b. 制御建屋

平均揚圧力に対応する平均水位

基礎版上端  
(O. P. -11.1m)

基礎版中央  
(O. P. -12.6m)

基礎版下端  
(O. P. -14.1m\*)



注記\* : 基礎版下端は O. P. -12.5m から O. P. -16.25m の平均高さ

c. 第3号機海水熱交換器建屋

図 3-4 機能喪失を仮定した到達時間の評価結果

表 3-2 機能喪失を仮定した到達時間の評価結果

エリア	建屋	到達時間
原子炉建屋・制御建屋エリア	原子炉建屋	約 25 時間
	制御建屋	96 時間後も設計用揚圧力を超過しない
第 3 号機海水熱交換器建屋エリア	第 3 号機海水熱交換器建屋	約 67 時間

また、到達時間の評価結果に係る補足事項として、(補足 1) に揚水井戸内の水位と周辺地盤の水位の関係性、(補足 2) に液状化(周辺地盤の液状化に伴う施設へ作用する土圧等の変化による影響)に対する到達時間、(補足 3) に地下水位上昇時間評価に影響を与える水理パラメータと取扱いを示す。

以上の検討から、地下水位低下設備の復旧措置に係る検討においては、最も早期に影響が生じる揚圧量に着目した到達時間を参照する。

地下水位低下設備の復旧措置に係る検討については、「VI-2-1-1-別添 1 地下水位低下設備の設計方針」に示す。

(補足1) 揚水井戸内の水位と周辺地盤の水位の関係性について

(1) エリア内の2系統が機能喪失した場合

到達時間の評価において、経過時間0の点は、ドレーン（ヒューム管・鋼管）により集水され、揚水ポンプにより排水される通常の運転状態に対応し、地下水位が維持されている状態（①初期水位）である。その後、エリア内の地下水位低下設備2系統が機能喪失した場合（②排水機能を失った状態）、揚水井戸内の水位はいずれもドレーンからの流入量に応じた速度で上昇する。

一方、地盤中の地下水位は地盤中の空隙を満たしながら緩やかに上昇、これに応じて各建屋に作用する平均揚圧力も緩やかに漸増し、設計用揚圧力に対応する水位に到達する（③設計用揚圧力に対応する水位に到達）。

図3-5に揚圧力の推移、図3-6に地盤中の水位及び図3-7に揚水井戸を移動する地下水の挙動を示す。

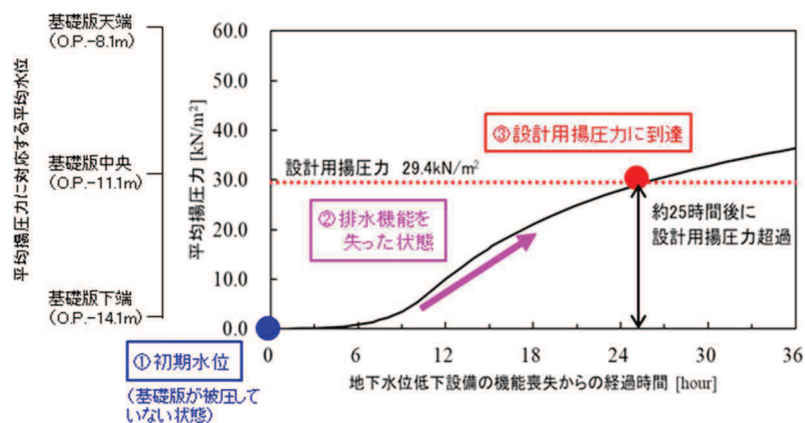


図3-5 建屋に作用する揚圧力の推移（原子炉建屋の例）

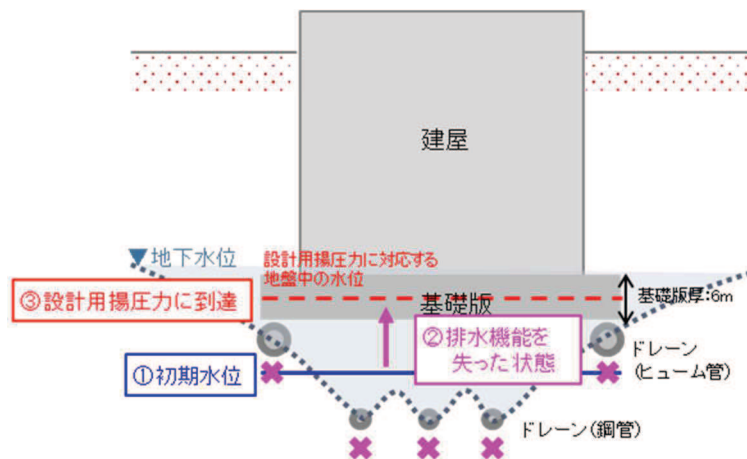


図 3-6 地盤中の地下水位の挙動（概念図）

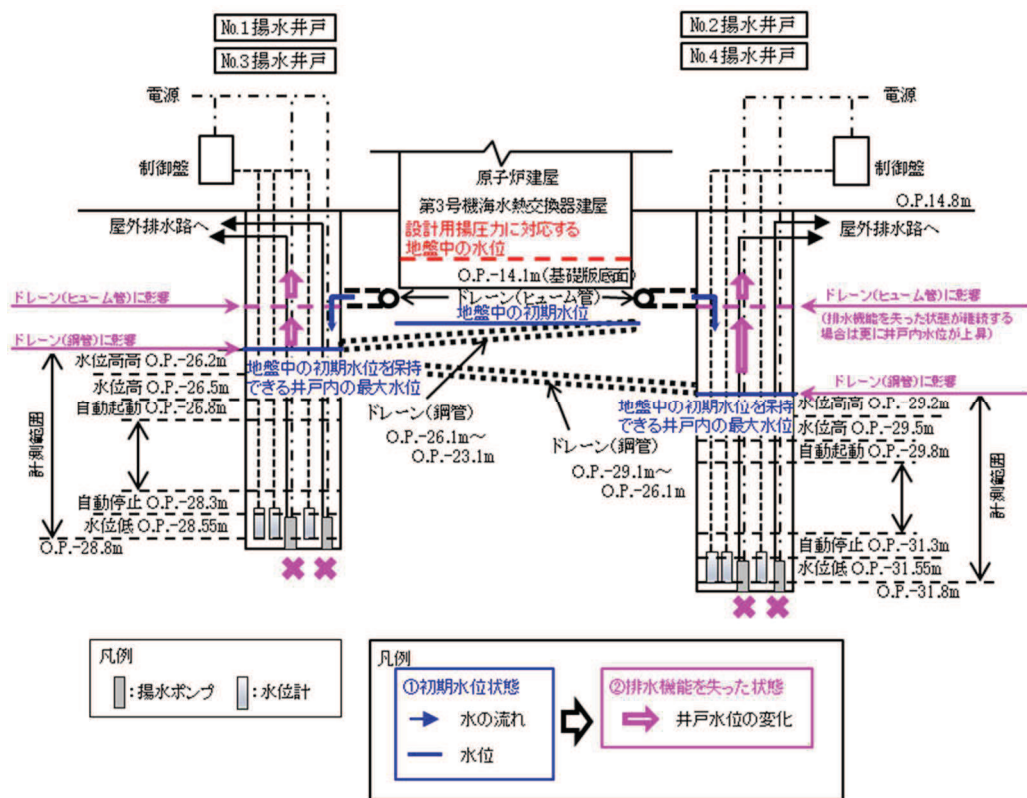


図 3-7 揚水井戸内の水の挙動（概念図）

(2) エリア内の 1 系統が機能喪失した場合

通常運転状態 (①初期水位) から、エリア内の地下水位低下設備 1 系統が機能喪失した状態に移行した場合 (②排水機能を失った状態)、当該井戸内の水位はドレーンからの流入量に応じた速度で上昇し、ドレーン (ヒューム管) を介してもう一方の揚水井戸へ流入する。

一方、地盤中の地下水位は通常運転状態より上昇し、建屋に作用する揚圧力も変動 (平均揚圧力は上昇) するが、設計用揚圧力に対応する水位以下に維持される。

図 3-8 に地盤中の水位及び図 3-9 に揚水井戸を移動する地下水の挙動を示す。

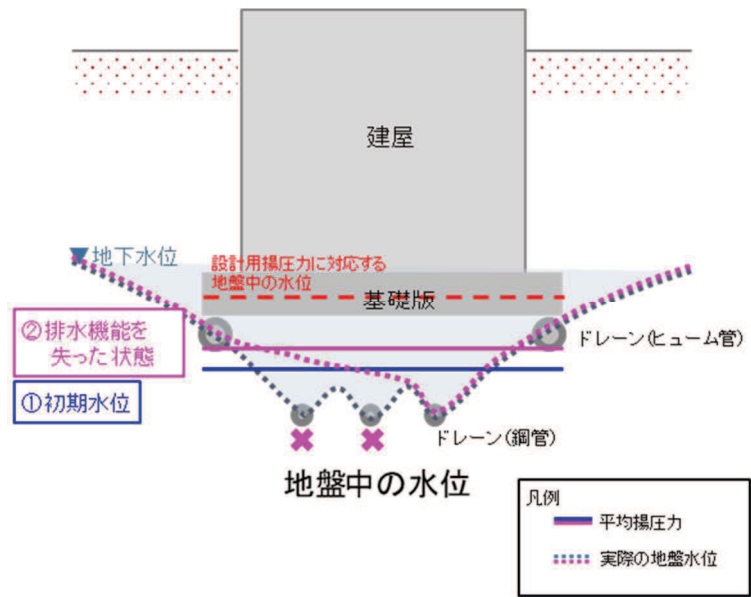


図 3-8 地盤中の地下水位の挙動（概念図）

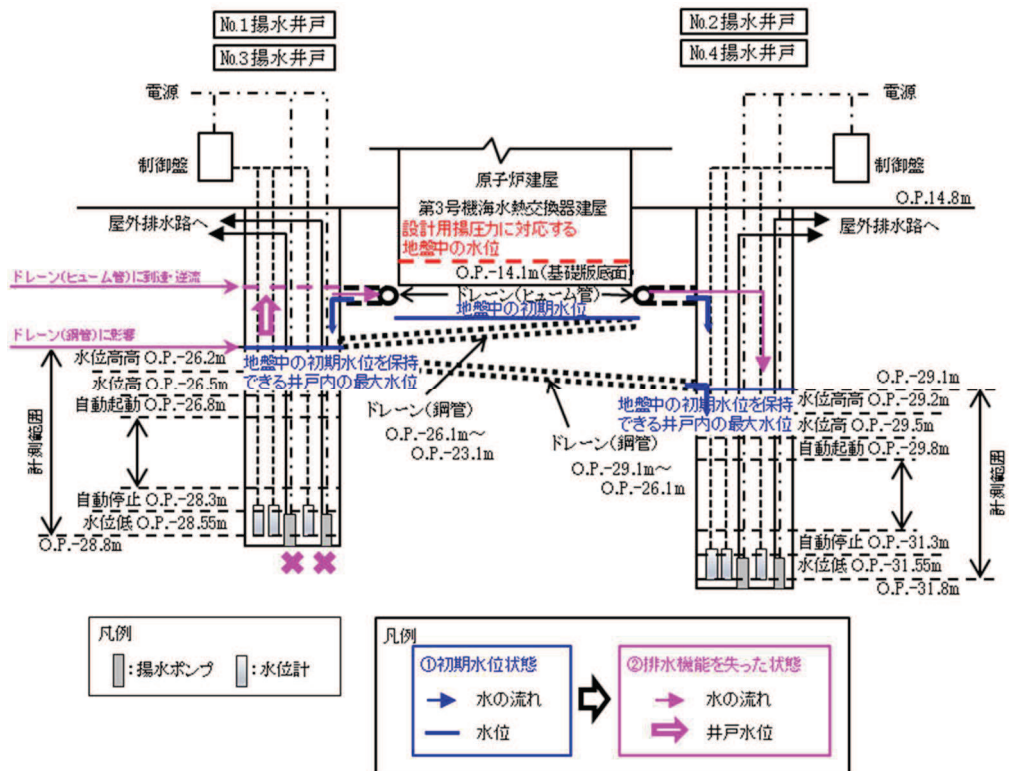


図 3-9 揚水井戸内の水の挙動（概念図）

(補足2) 液状化による影響に対する到達時間について

地下水位低下設備の復旧措置に係る検討において参照する到達時間について、原子炉建屋等の揚圧力影響に着目し設定することの妥当性として、周辺の土木構造物等へ液状化による影響が生じうるまでの時間を検討した。

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

評価結果を表 3-3 に示す。

この結果から、土木構造物においては、地盤の液状化による影響が生じうるまでに少なくとも1ヵ月以上の時間的な離隔があり、揚圧力に着目した到達時間に比べて大きいことを確認した。



表 3-3 水位上昇と土木構造物の設計用地下水位との関係（1 / 4）

施設名称		設計用地下水位 と解析水位の差分 (初期水位)	設計用地下水位 と解析水位の差分 (7日後の水位)	設計用地下水位 と解析水位の差分 (30日後の水位)	備考
原子炉機器 冷却海水 配管ダクト	横断	-8.8m	-3.9m	-1.1m	
排気筒 連絡ダクト	横断 (断面①)	-25.6m	-12.8m	-8.9m	
	横断 (断面②)	-24.4m	-10.8m	-7.7m	
	横断 (断面③)	-23.1m	-9.9m	-7.0m	
軽油タンク連絡ダクト		-8.3m	-5.4m	-3.1m	
取水路	曲がり部 南北	-7.2m	-6.8m	-5.9m	
	曲がり部 東西	-5.6m	-4.2m	-2.7m	
	漸拡部 東西	-5.9m	-3.8m	-1.7m	

表 3-3 水位上昇と土木構造物の設計用地下水位との関係 (2 / 4)

施設名称		設計用地下水位 と解析水位の差分 (初期水位)	設計用地下水位 と解析水位の差分 (7日後の水位)	設計用地下水位 と解析水位の差分 (30日後の水位)	備考
海水 ポンプ室	縦断	-8.1m	-4.2m	-2.7m	
	横断	-3.3m	-2.0m	-1.0m	
軽油 タンク室	南北	-11.6m	-5.4m	-3.1m	
	東西	-5.8m	-4.1m	-2.7m	
軽油 タンク室 (H)	南北	-6.1m	-3.8m	-1.5m	
	東西	-5.8m	-4.1m	-2.7m	
復水貯蔵 タンク基礎	南北	-11.6m	-5.4m	-3.1m	
	東西	-8.3m	-5.4m	-3.1m	

表 3-3 水位上昇と土木構造物の設計用地下水位との関係 (3 / 4)

施設名称		設計用地下水位 と解析水位の差分 (初期水位)	設計用地下水位 と解析水位の差分 (7日後の水位)	設計用地下水位 と解析水位の差分 (30日後の水位)	備考
防潮堤 (鋼管式鉛直 壁)	横断 (一般部①)	-16.0m	-7.5m	-5.2m	
	横断 (一般部②)	-5.0m	-4.7m	-4.3m	
	横断 (一般部③)	-9.5m	-8.7m	-7.3m	
	横断 (一般部④)	-21.0m	-14.6m	-13	
防潮堤 (盛土堤防)	横断①	-14.9m	-8.9m	-7.8m	
防潮壁	第2号機 海水ポンプ室	-3.2m	-1.9m	0.2m	液状化による影響が 及ばないよう設計用 地下水位+1.0mの範 囲を地盤改良予定
	第2号機 放水立坑	-10.8m	-4.7m	-2.8m	
	第3号機 海水ポンプ室	-11.1m	-9.9m	-8.0m	
	第3号機 放水立坑	-2.8m	-2.4m	-1.8m	

表 3-3 水位上昇と土木構造物の設計用地下水位との関係 (4 / 4)

施設名称		設計用地下水位 と解析水位の差分 (初期水位)	設計用地下水位 と解析水位の差分 (7日後の水位)	設計用地下水位 と解析水位の差分 (30日後の水位)	備考
第3号機 海水ポンプ室	縦断	-3.1m	-2.1m	-1.0m	
	横断	-6.8m	-4.1m	-1.6m	
揚水井戸 (第3号機 海水ポンプ室 防潮壁区画内)	南北	-2.3m	-1.8m	-0.3m	
	東西	-3.0m	-1.8m	0.9m	液状化による影響が 及ばないよう設計用 地下水位+1.0mの範 囲を地盤改良予定
第3号機補機冷却海水系 放水ピット		-2.6m	-1.7m	-0.4m	

(補足3) 地下水位上昇時間評価に影響を与える水理パラメータと取扱い

地下水位上昇時間評価については、下記式にして示される地盤の浸透速度に依存する。よって、浸透速度に影響を与える主な要因は、透水係数と有効間隙率の2つである。

$$V_i = V / n_e$$

$$V = k \cdot i$$

ここに、

$V_i$  : 地盤の浸透流速 (実流速) ( $m^3/s$ )

$V$  : 地盤の浸透流速 (ダルシー流速) ( $m/s$ )

$n_e$  : 有効間隙率

$k$  : 透水係数

$i$  : 動水勾配

透水係数については、水位評価用モデル同様に岩盤 I を試験結果の平均値-1 $\sigma$  に設定することとしており、通常の運転状態における初期水位が高くなることでその保守性を確保している。その妥当性については補足 600-1 (参考資料 4) に示している。

有効間隙率については、文献等を参照し設定しているが、設定値とその根拠について表 3-4 に示す。また、盛土については現場粒度試験に基づく間隙率を、岩盤については試掘坑内で実施した岩石試験結果を表 3-5 に示す。地下水位上昇時間の評価に用いる有効間隙率については、試験値等より小さな値を設定しており、水位上昇時間を短く算定する安全側の設定となっていると判断される。

以上より、地下水位上昇時間評価に影響を及ぼす要因に対して、いずれも保守側 (水位上昇時間を短く算定\*1) の設定となっている。

表 3-4 ④水位上昇評価モデルに用いた有効間隙率の設定根拠

地層		設定値	設定根拠
盛土・旧表土		0.15	水理公式集(土木学会に基づき礫質土砂の下限值)
岩盤 (岩盤 I)	孤崎部層	0.05	地下水ハンドブックに基づき砂岩及び頁岩の最大値の中間値
	牧の浜部層	0.05	

表 3-5 有効間隙率に係る試験データ

地層		試験結果等の 平均値	備考
盛土・旧表土		0.28	現場粒度試験に基づく推定間隙率
岩盤 (岩盤 I)	孤崎部層	砂岩 : 0.067 頁岩 : 0.057	試掘坑内で実施した岩石試験結果 (C <sub>M</sub> 級岩盤)
	牧の浜部層	砂岩 : 0.073 頁岩 : 0.099	試掘坑内で実施した岩石試験結果 (C <sub>M</sub> 級岩盤)

注記\*1 : 3.4 に示す保守的条件にて算出した到達時間 (原子炉建屋で約 25 時間) に対し、透水係数を試験結果等の平均値とした場合の到達時間は原子炉建屋で約 72 時間と評価。

### 3.4.2 一定期間経過後の水位上昇量

地盤の液状化による影響として、地中構造物の浮上りによるアクセスルートの通行性への影響が考えられる。

地盤の液状化によるアクセスルート（O.P.+14.8m盤）への影響については、設置変更許可の方針（次頁参照）と同様に、通常の運転状態から地下水位低下設備が機能喪失した状態に移行することを仮定し、一定の期間（2ヵ月間。外部からの支援が可能となるまでの一定期間（7日間）を超え、長期に及ぶ場合を想定し設定）が経過した後の地下水位を浸透流解析（非定常解析）により評価し、この水位を参照して地中構造物の浮上りを評価の上、アクセスルートの通行性を確保する設計としている。

アクセスルート（O.P.+14.8m盤）の評価において参照する予測解析結果を図3-10に示す。（保管場所及びアクセスルートの設計用地下水位の設定方法については、「補足-200-14 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ついて」を参照）

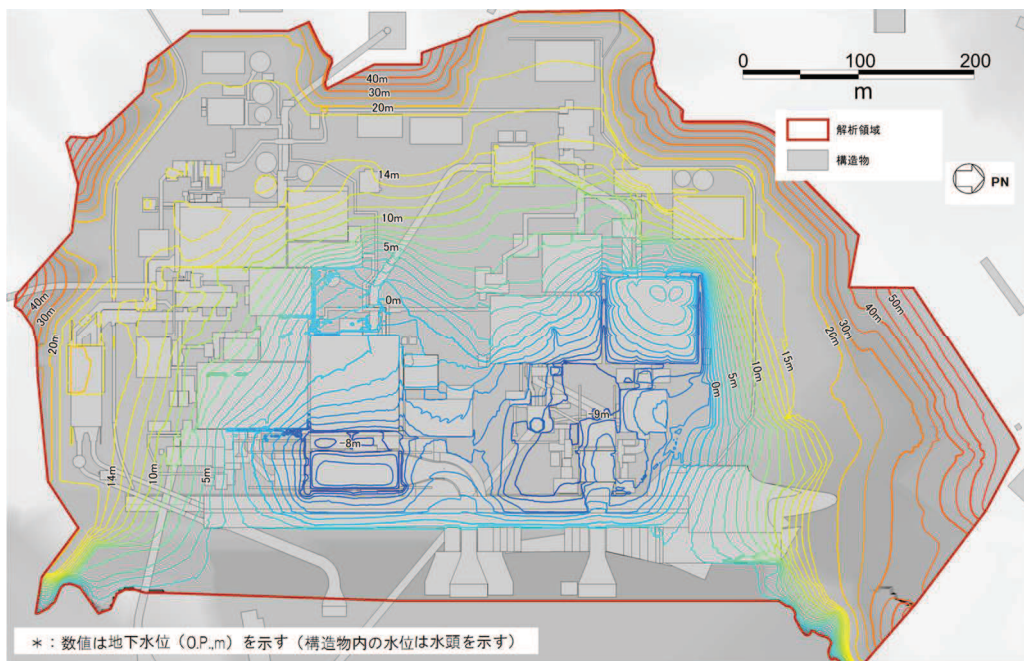


図3-10 アクセスルート（O.P.+14.8m盤）の評価において参照する予測解析結果（O.P., m）

<参考> 設置変更許可におけるアクセスルートの機能維持の方針（まとめ資料）

アクセスルートは、地震時の液状化に伴う地下構造物の浮き上がり<sup>\*1</sup>の影響を受けることなく通行性を確保する設計とする。アクセスルートの機能維持に係る配慮事項を下表及び以下に示す。

- ・ 地下水位低下設備の重要安全施設への影響に鑑み、安全機能の重要度分類を踏まえて講ずる設計上及び機能喪失時の配慮<sup>\*2</sup>により、地下水位は一定の範囲に保持される。このことから、地下水位低下設備の機能を考慮した設計用地下水位を設定する区間においては、地震時の液状化に伴う地下構造物の浮き上がりが発生せず、アクセスルートの通行性は確保される。
- ・ また、地下水位低下設備の機能喪失を想定しても、地震時の液状化に伴う地下構造物の浮き上がりに対してアクセスルートの通行性を一定期間確保する設計<sup>\*3</sup>、<sup>\*4</sup>とする。
- ・ 地下水位低下設備が機能喪失した場合に復旧作業等を行うため、必要な資機材として、可搬型設備及び予備品を確保する。
- ・ 地下水位低下設備の機能喪失が外部からの支援が可能となるまでの一定期間を超え長期に及ぶ場合においては、予め整備する手順と体制に従い、外部支援等によりアクセスルートの通行性を確保する。

注記\*1：アクセスルートの地下構造物の浮き上がり評価において用いる地下水位は、地下水位低下設備の機能を考慮した水位又は地表面とする。

\*2：機能喪失時の配慮については、第Ⅱ編で詳述する。

\*3：地下水位低下設備が機能喪失した場合を想定して、工事計画認可段階で機能喪失に伴う地下水位の上昇程度を評価した上で、地震時の液状化に伴う地下構造物の浮き上がりによるアクセスルートへの影響について評価し、アクセスルートの通行性を一定期間確保する設計とする。この結果、アクセスルートの通行性が一定期間確保できない場合は、地盤改良等の対策を講ずる。

\*4：外部からの支援が可能となるまでの期間を踏まえ、一定期間として2か月程度を確保することを目安に、工認段階における詳細評価も踏まえて地盤改良等の対策要否を判断する。

表 3-6 アクセスルートの機能維持に係る配慮事項

配慮事項	通常運転状態	設計基準事故等状態	重大事故等状態
地下水位低下設備に対する設計上の配慮	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 安全機能の重要度分類におけるクラス1相当の配慮（外部事象等への配慮、非常用交流電源設備に接続等）</li> <li>・ 耐震性の確保（S<sub>s</sub> 機能維持*）</li> <li>・ 常設代替交流電源設備（GTG）に接続</li> </ul>		
地下水位低下設備に対する機能喪失時の配慮	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 可搬型設備及び予備品による復旧</li> </ul>		
アクセスルートに対する配慮	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アクセスルートの通行性が一定期間確保できない場合は、地盤改良等の対策</li> <li>・ 外部支援等の活用による通行性の確保</li> </ul>		

注記\*：基準地震動 S<sub>s</sub> に対し機能維持することを確認する。

#### 4. 地下水流入量と設備の排水能力

##### 4.1 地下水流入量と排水能力（揚水ポンプ）

各揚水井戸に設置する揚水ポンプの諸元を表 4-1 に示す。揚水ポンプの排水可能量は定格吐出量 9000m<sup>3</sup>/日（0.104m<sup>3</sup>/s）であり、2. にて評価した地下水流入量を包絡する。

表 4-1 地下水流入量と排水能力（揚水ポンプ）

エリア	揚水井戸	地下水流入量 (m <sup>3</sup> /日)	吐出量 (m <sup>3</sup> /日)	全揚程 (m)	井戸深さ (m)	備考
原子炉建 屋・制御建 屋エリア	R/B 西側 (No. 2 揚水井戸)	8078	9000	52	47.2	1 台当たり (全 2 台)
	R/B 東側 (No. 1 揚水井戸)		9000	52	44.2	同上
	小計		18000	—	—	—
第 3 号機海 水熱交換器 建屋エリア	第 3 号機 Hx/B 北側 (No. 4 揚水井戸)	7046	9000	52	47.2	同上
	第 3 号機 Hx/B 東側 (No. 3 揚水井戸)		9000	52	44.2	同上
	小計	—	18000	—	—	—
合計		—	36000	—	—	—

##### 4.2 地下水流入量と排水能力（ドレーン）

既設のヒューム管（φ1050mm, 800mm, 500mm）及び新設の鋼管（φ145.2mm）を対象として、自由水面を有する管路流れとして排水能力を評価し、三次元浸透流解析により得られる最大流入量を流下させる能力を有しているかを確認する。

ドレーンにおける排水可能量は、表 4-2 のとおり、自由水面を有する管路流れの評価として、以下のマンニング式により算定する。

各ドレーンの排水可能量は、表 4-3 のとおり、いずれも地下水流入量を上回っている。

$$Q = V \cdot A$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

ここに、

Q：排水可能量（m<sup>3</sup>/s）

V：平均流速（m/s）

A：ドレーン流水断面積（m<sup>2</sup>）

n：マンニングの粗度係数

R：径深 = A/S（m）（S：潤辺（m））

I：勾配



表 4-2 ドレーンの断面諸元及び排水可能量

エリア	仕様	断面積*1 [m <sup>2</sup> ]	径深*1 [m]	粗度 係数*2	勾配 [%]	流速 [m/s]	流量（排水可能量）	
							[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /日]
原子炉建屋・制御建屋エリア	ヒューム管 φ 1050mm	0.697	0.317	0.013	0.1 以上	1.130	0.787	67996
	鋼管 φ 145.2mm	0.014	0.044	0.012	1 以上	1.039	0.014	1209
第 3 号機海水熱交換器建屋エリア	ヒューム管 φ 800mm	0.404	0.241	0.013	0.1 以上	0.943	0.381	32918
	ヒューム管 φ 500mm	0.158	0.151	0.013	0.1 以上	0.689	0.109	9418
	鋼管 φ 145.2mm	0.014	0.044	0.012	1 以上	1.039	0.014	1209

注記 \*1：有効水深を 3/4 水深（H=0.75D）として計算

\*2：「火力原子力発電所土木構造物の設計—増補改訂版—（（社）電力土木技術協会編）」を参照し、ヒューム管はコンクリート管：0.013、鋼管はライニングした水路（鋼、塗装なし、平滑）：0.012 に基づき設定

表 4-3 地下水流入量と排水能力（ドレーン）

エリア	仕様	地下水流入量 [m <sup>3</sup> /日]	流量（排水可能量） [m <sup>3</sup> /日]
原子炉建屋・制御建屋エリア	ヒューム管 φ 1050mm	6633	67996
	鋼管 φ 145.2mm	182*1	1209
第 3 号機海水熱交換器建屋エリア	ヒューム管 φ 800mm	5449	32918
	ヒューム管 φ 500mm	5449	9418
	鋼管 φ 145.2mm	632*2	1209

注記 \*1：原子炉建屋・制御建屋エリアの鋼管（全 22 本）の 1 本当たりの平均流入量（1995m<sup>3</sup>/日 ÷ 22 本 ≒ 91 m<sup>3</sup>/日・本）に、ドレーン単位での流入量のばらつきを考慮して、2 倍とする。

\*2：第 3 号機海水熱交換器建屋エリアの鋼管（全 17 本）の 1 本当たりの平均流入量（5363m<sup>3</sup>/日 ÷ 17 本 ≒ 316 m<sup>3</sup>/日・本）に、ドレーン単位での流入量のばらつきを考慮して、2 倍とする。

#### 4.3 排水能力の妥当性について

各エリアにおける揚水ポンプ及びドレーンの設計上の地下水流入量と、前頁で設定した排水能力との関係を表 4-4 に整理した。

揚水ポンプへの地下水流入量は、妥当性が確認されている②水位評価モデルをベースに、地下水流入量の観点から保守的な透水係数・ドレーン範囲を設定した③地下水流入量評価モデルにて算出しており、得られた地下水流入量を上回る排水可能量（ポンプ能力）が設定されている。

なお、地下水流入量は各集水範囲単位の値であるが、各集水エリアには揚水井戸を 2 箇所設置し、各揚水井戸には各エリアへの地下水流入量を排水可能な揚水ポンプを 2 台常設する設計としており、各揚水井戸の揚水ポンプ 1 台を 2 系統同時に起動することも可能な設計であることから、設計上は十分な余裕を有する。

また、ドレーンについては流入量に対して排水可能量が十分大きいことを確認している。

以上の評価から、揚水ポンプ及びドレーンは想定される地下水流入量に対して余裕のある設備構成であることを確認した。

表 4-4 地下水流入量と排水可能量の比較結果

エリア	項目	地下水流入量 Q <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /日)	排水可能量 Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /日)	安全率 Q <sub>2</sub> /Q <sub>1</sub>	備考
原子炉建屋・制御 建屋エリア	揚水ポンプ	8078	9000 *1 (18000)	1.11 *1 (2.22)	ケース 1 (エリア①+②)
	ドレーン (φ 1050mm)	6633	67996	10.25	ケース 2 (エリア①)
	ドレーン (φ 145.2mm)	182*2	1209	6.64	ケース 1 (エリア①)
第 3 号機海水熱交 換器建屋エリア	揚水ポンプ	7046	9000 *1 (18000)	1.27 *1 (2.54)	ケース 1 (エリア③+④)
	ドレーン (φ 800mm)	5449	32918	6.04	ケース 2 (エリア③)
	ドレーン (φ 500mm)		9418	1.73	ケース 2 (エリア③)
	ドレーン (φ 145.2mm)	632*3	1209	1.91	ケース 1 (エリア④)
合計	揚水ポンプ	15124	18000 *1 (36000)	1.19 (2.38)	ケース 1 (エリア①+②+③+④)

注記 \*1: 各エリアに設置した揚水ポンプ 4 台 (2 台/井戸×2 箇所) のうち 1 台のみ稼働時 (3 台待機) の値。

( ) 内は各井戸 1 台ずつ稼働時 (各井戸 1 台稼働, 1 台待機) の値。

\*2: 2 号機原子炉建屋下ドレーン (全 22 本) の 1 本当たりの平均流入量 (1995m<sup>3</sup>/日÷22 本≒91 m<sup>3</sup>/日・本) に、ドレーン単位での流入量のばらつきを考慮して、2 倍とする。

\*3: 第 3 号機海水熱交換器建屋下ドレーン (全 17 本) の 1 本当たりの平均流入量 (5363m<sup>3</sup>/日÷17 本≒316 m<sup>3</sup>/日・本) に、ドレーン単位での流入量のばらつきを考慮して、2 倍とする。

## 5. 復旧措置に係る補足事項

### 5.1 揚水井戸内の揚水ポンプ配置例

揚水井戸内の揚水ポンプ等の配置例について、図 5-1 に示す。

常設の揚水ポンプ、可搬ポンプユニットそれぞれに昇降用の開口部を設ける設計としている。

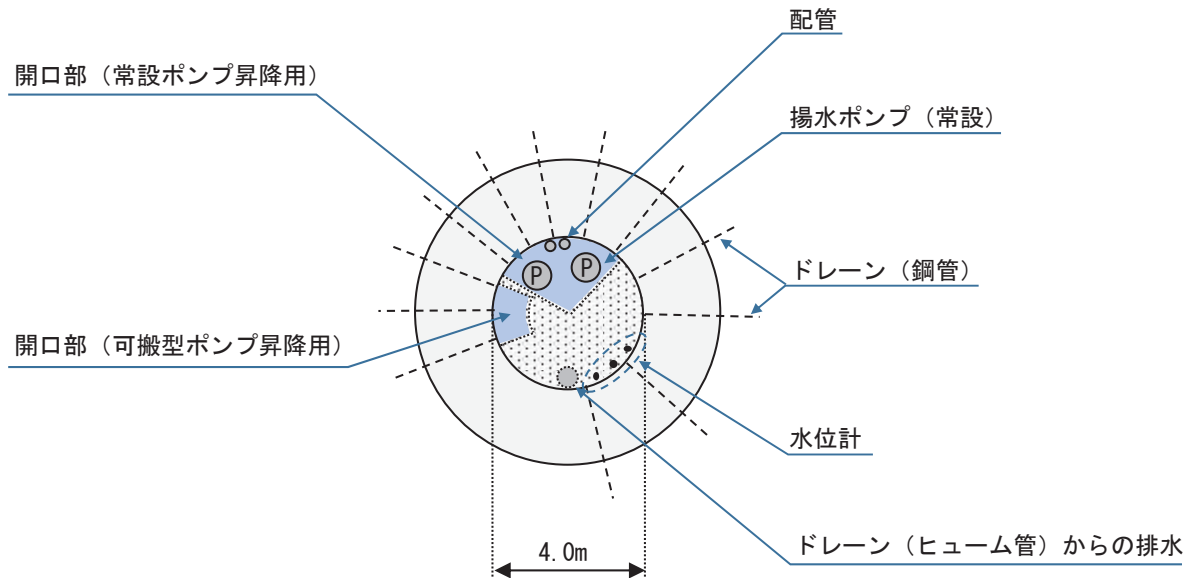


図 5-1 揚水井戸内の揚水ポンプ配置例

### 5.2 可搬ポンプユニットによる水位低下措置の対応要員について

可搬ポンプユニットによる水位低下措置を実施するために必要な力量を確保した要員を常時確保する。平日の勤務時間帯は、発電所内の要員により対応が可能である。また、平日の勤務時間帯以外は、発電所外から参集する重大事故等対策要員のうち、放射性物質拡散抑制対応要員 6 名により対応が可能である。

重大事故等が発生していない場合、放射性物質拡散抑制対応要員 6 名は、参集後、速やかに可搬ポンプユニットによる対応が可能である。

重大事故等が発生し、更に放射性物質拡散抑制対応（シルトフェンスの設置）と可搬ポンプユニットによる対応の両方が必要となった場合でも、放射性物質拡散抑制対応要員 6 名はシルトフェンス設置以外に特定の役割が無く、シルトフェンス設置後に可搬ポンプユニットによる対応が可能である。この場合の対応時間の合計は、シルトフェンスの設置には約 190 分要することから、原子炉建屋・制御建屋エリアで約 22 時間、第 3 号機海水熱交換器建屋エリアで約 29 時間であり、各建屋に作用する平均揚圧力に対応する水位が設計用揚圧力に対応する水位に到達するまでの時間（原子炉建屋・制御建屋エリアで約 25 時間、第 3 号機海水熱交換器建屋エリアで約 67 時間）内に水位低下措置を完了できる。参集後、シルトフェンスを設置し、可搬ポンプユニットによる水位低下措置を実施した場合の完了時間を図 5-2 に示す。

したがって、重大事故等対策要員である放射性物質拡散抑制対応要員 6 名に可搬ポンプユニットによる水位低下措置の役割を与えても、重大事故等対策に影響を与えることなく、可搬ポンプユニットによる水位低下措置の対応が可能である。

なお、重大事故等対策の有効性評価において、中央制御室の運転員および発電所構内に常駐している重大事故等対策要員による初動体制で対処可能であることを確認しており、有効性評価への影響は無い。

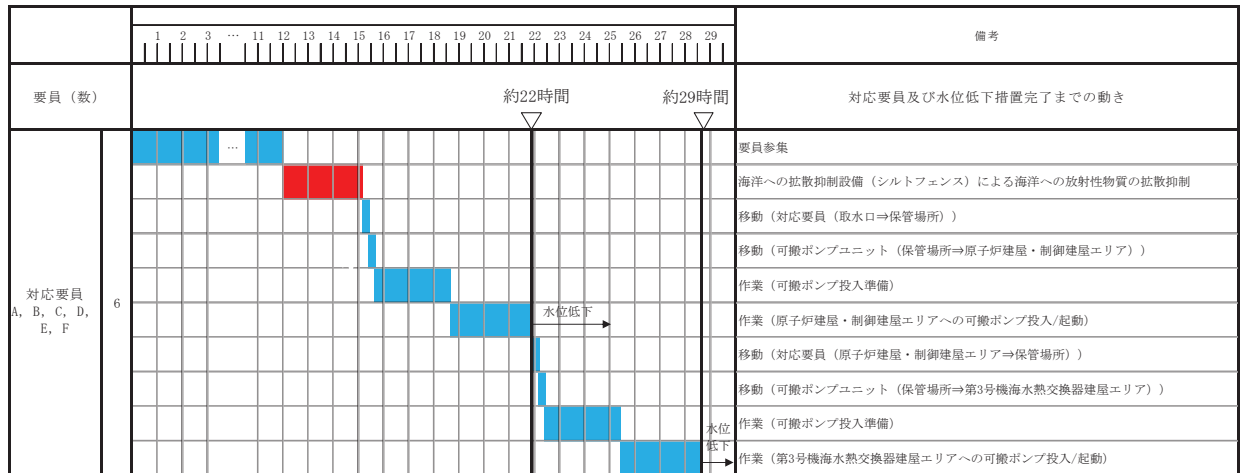


図 5-2 拡散抑制対応後に地下水位低下措置を実施した場合の水位低下措置完了時間

6. 構造強度設計方針に係る補足説明

6.1 電路（電源ケーブル、制御・計装ケーブル）の配置

電路の構造強度設計については、「VI-2-1-1-別添1 地下水水位低下設備の設計方針」に示すとおり、耐震性が確保された建屋又は地震時の接地圧に対して十分な支持力がある地盤に支持させる方針とし、制御建屋、原子炉建屋及び防潮堤（背面補強工）等に支持させる。各揚水井戸に接続する電路の配置を図6-1に示す。なお、詳細位置は各設備との干渉等を考慮し設定する。

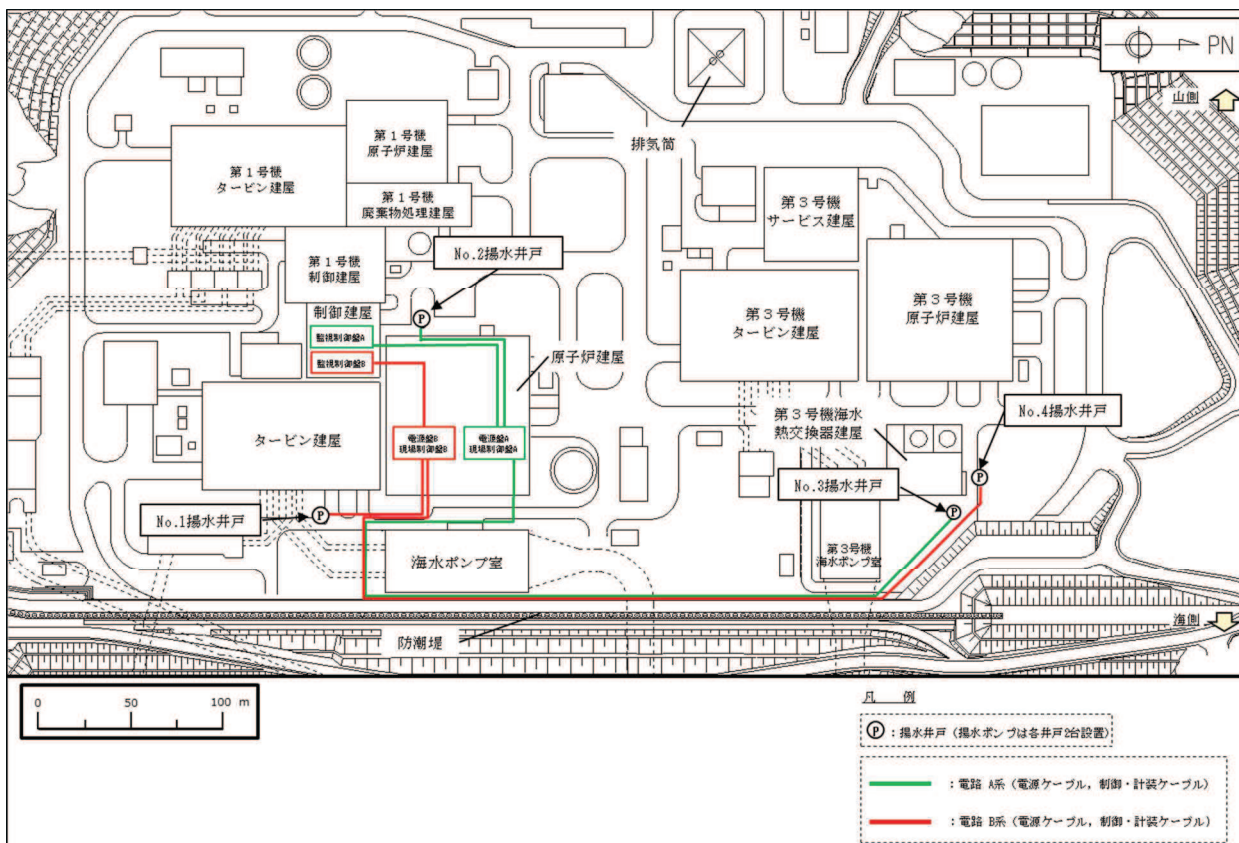


図 6-1 電路の配置

## (参考資料1) 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 1-1 に示す。

実データを参照した妥当性確認は①広域モデルで行う他、解析の目的に応じて保守的なアウトプットが得られるよう、②～⑧の各予測解析モデルを用いる。

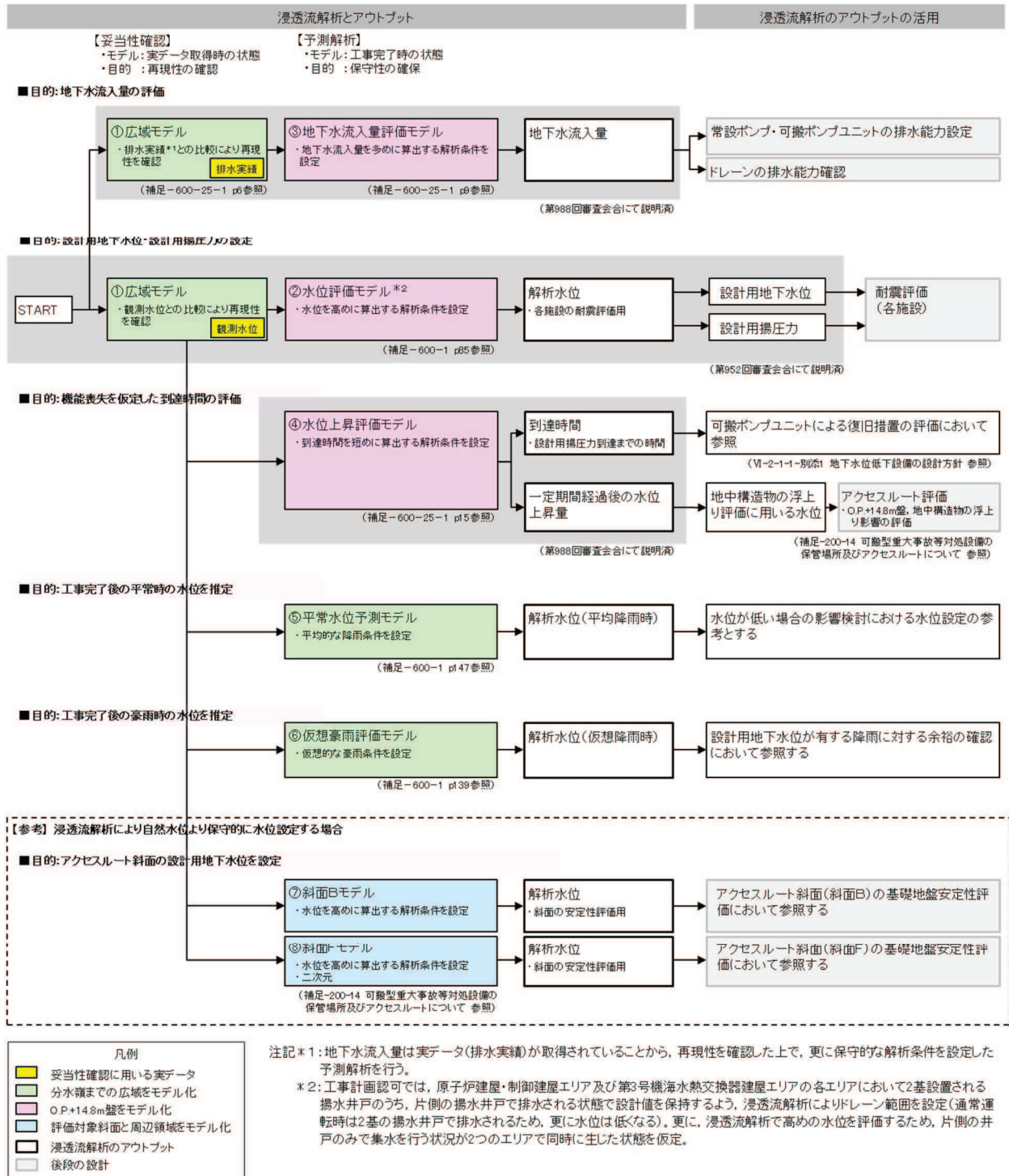


図 1-1 浸透流解析による評価と機器設計等への反映事項

## 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 1-2 に示す。

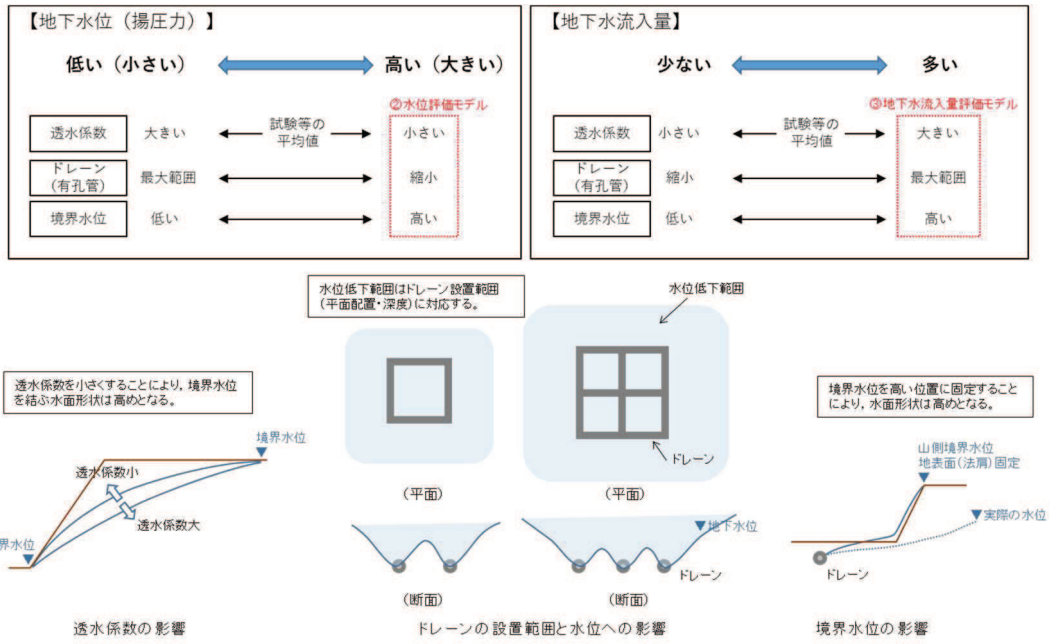


図 1-2 浸透流解析の目的に応じた条件設定例及び浸透流解析条件と評価への影響

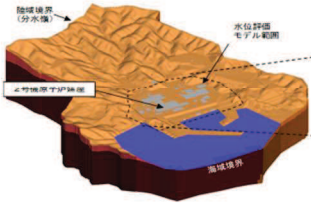
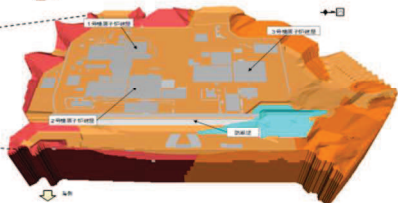
### 3. 浸透流解析モデルの概要について

浸透流解析に用いる各モデルの概要を表 1-1～1-4 に示す。

評価目的に対して保守的な評価結果となるよう、モデル条件の設定を行っている。



表 1-1 解析モデル概要 (①広域モデルと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"> <li>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)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工事完了後に想定される地下水位を評価すること (液状化影響検討対象施設を幅広く抽出するため高めに評価)</li> </ul>
1-2. アウトプットの活用先	<ul style="list-style-type: none"> <li>-(モデル検証のみ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各施設の耐震設計における前提条件(設計用地下水位)</li> </ul>
2. 解析領域	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>O.P.+14.8m盤及びO.P.+14.8m盤周辺の法面</li> </ul> 
3. 解析種別	<ul style="list-style-type: none"> <li>非定常解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>定常解析</li> </ul>
4. 降雨条件 (検証期間)	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	—
5. モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>検証期間における施設配置等を反映</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
6. ドレーン	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>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</li> </ul>
7. 境界条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
8. 透水係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>

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99回原子力発電所の耐震規制適合性に関する委員会 資料1-1-1-1追加

表 1-2 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"> <li>工事完了後に想定される地下水位を評価すること (液状化影響検討対象施設を幅広く抽出するため高めに評価)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
1-2. アウトプットの活用先	<ul style="list-style-type: none"> <li>各施設の耐震設計における前提条件(設計用地下水位)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>ドレーンの排水能力確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>O.P.+14.8m盤アクセスルートの評価 (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)</li> </ul>
2. 解析領域	<ul style="list-style-type: none"> <li>O.P.+14.8m盤及びO.P.+14.8m盤周辺の法面</li> </ul> 	(同左)	(同左)
3. 解析種別	<ul style="list-style-type: none"> <li>定常解析</li> </ul>	(同左)	<ul style="list-style-type: none"> <li>非定常解析</li> </ul>
4. 降雨条件 (検証期間)	—	—	—
5. モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	(同左)	(同左)
6. ドレーン	<ul style="list-style-type: none"> <li>集水に寄与する範囲を限定(表1-1と同様)</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設・新設の全ての範囲が集水に寄与</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>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)することを仮定</li> </ul>
7. 境界条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
8. 透水係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>

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

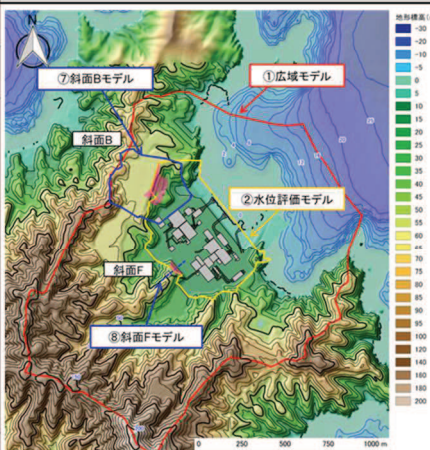
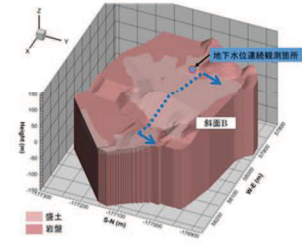
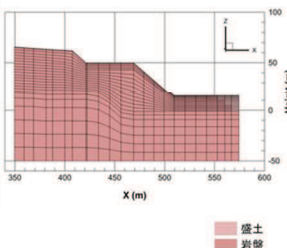
■は目的に対して妥当な評価とする目的で②水位評価モデルを踏襲している条件

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

項目	①広域モデル(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工事完了後に想定される豪雨時の水位を推定すること</li> </ul>
1-2.アウトプットの活用先	- (モデル検証のみ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水位が低い場合の影響検討における水位設定の参考</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計用地下水位が有する余裕の確認において参照</li> </ul>
2.解析領域	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul> 	(同左)	(同左)
3.解析種別	<ul style="list-style-type: none"> <li>非定常解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>定常解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>非定常解析</li> </ul>
4.降雨条件(検証期間)	<ul style="list-style-type: none"> <li>検証期間の降雨実績参照</li> <li>水位:検証期間1:2006-2007年, 検証期間2:2013-2014年</li> <li>流入量:2017年9月~2017年10月</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>357mm/日(観測降雨(2001-2018年)の日平均)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>仮定の降雨条件(超過確率約400年程度)</li> <li>-初期状態:357mm/日(観測降雨(2001-2018年)の日平均)</li> <li>-降雨時:150mm/日×3日(総降水量450mm)</li> </ul>
5.モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>検証期間における施設配置等を反映</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	(同左)
6.トレーン	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul>
7.境界条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>実態に則した設定</li> <li>-山側:閉境界</li> <li>-海側:平均潮位に水位固定</li> <li>-トレーン:トレーン計画高に水位固定</li> </ul>	(同左)	(同左)
8.透水係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>目的に応じて再現性を確保するよう設定</li> <li>水位:試験結果等の平均値</li> <li>流入量:盛土・旧表土を試験結果等の平均値+1σ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再現性を確保するよう設定</li> <li>水位:試験結果等の平均値</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再現性を確保するよう設定</li> <li>水位:試験結果等の平均値</li> </ul>

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 1-4 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜面の安定性評価に用いる斜面内水位分布の設定</li> </ul>		
1-2.アウトプットの活用先	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜面安定性評価における前提条件(設計用地下水位)</li> </ul>		
2.解析領域	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜面Bと周辺領域</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜面Fと周辺領域</li> </ul> 	
3.解析種別	<ul style="list-style-type: none"> <li>非定常解析(三次元)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>非定常解析(二次元)</li> </ul>	
4.降雨条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>年平均降雨をベースに豪雨条件を付与</li> <li>-初期状態:3.48mm/日(観測降雨(1981-2010年)の日平均)</li> <li>-降雨時:108mm/日×3日(総降水量324mm*1)</li> </ul>		
5.モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>		
6.トレーン	<ul style="list-style-type: none"> <li>モデル化しない(設置されていない)</li> </ul>		
7.境界条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>水位分布を適切に得るため、実態に則した設定</li> <li>-上流側:閉境界</li> <li>-下流側(O.P.14.8m盤):地表面に水位固定</li> </ul>		
8.透水係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>水位が高めに評価されるよう設定</li> <li>-岩盤Iを試験結果等の平均値-1σ</li> </ul>		

\*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