

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 14
提出年月日	2021年11月16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11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事項	35
6.1	電路（電源ケーブル、制御・計装ケーブル）の配置	35
7.	屋外排水路に係る補足事項	36
7.1	屋外排水路に係る補足事項	36

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

参考資料 2 屋外排水路の機能及び耐震性に係る設計方針について

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と可搬ポンプユニットによる水位低下措置の対応要員、構造強度設計方針に係る補足事項として電路（電源ケーブル、制御・計装ケーブル）の配置等を示す。併せて、設計用揚圧力・設計用地下水位を保持し、技術基準第5条（耐震）に適合した状態を維持することに対する屋外排水路の位置付けと設計方針について示す。

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」*¹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*²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 及び参考資料 1 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。

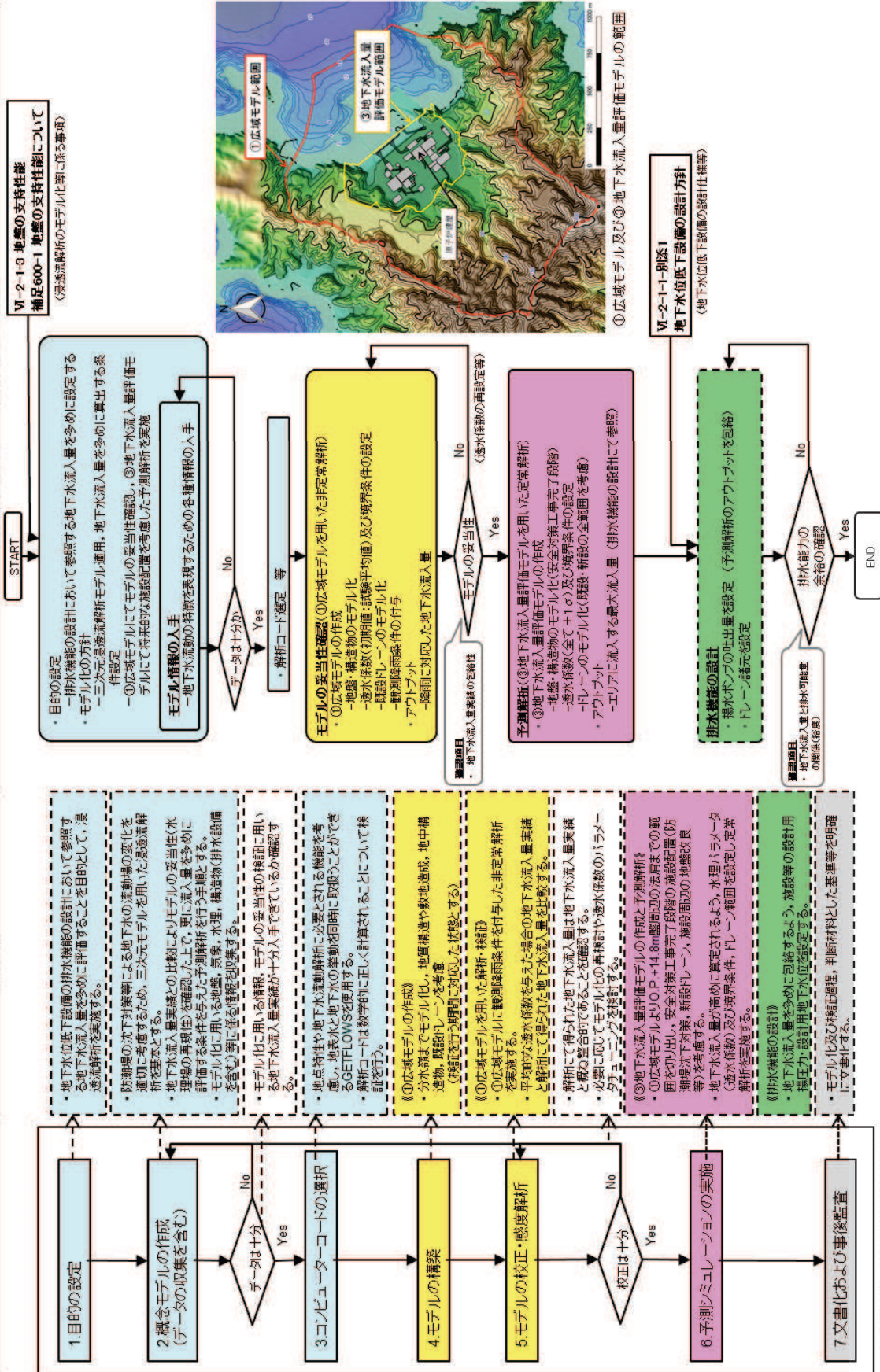


図 2-1 地下水流入量の評価フロー

・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、概ね同様の手順とされている。

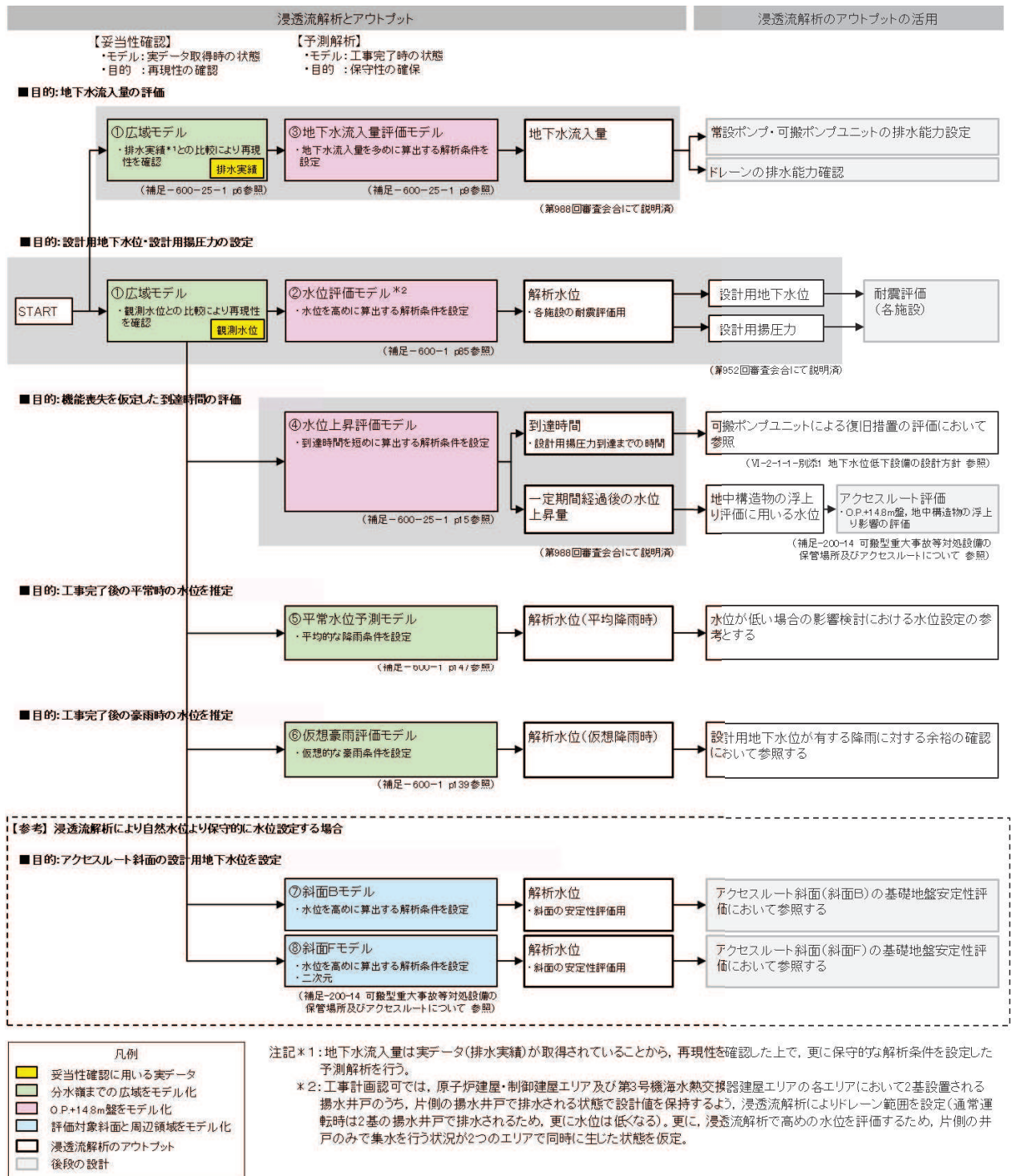


図 2-2 浸透流解析による評価と機器設計等への反映事項

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 ³ /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。

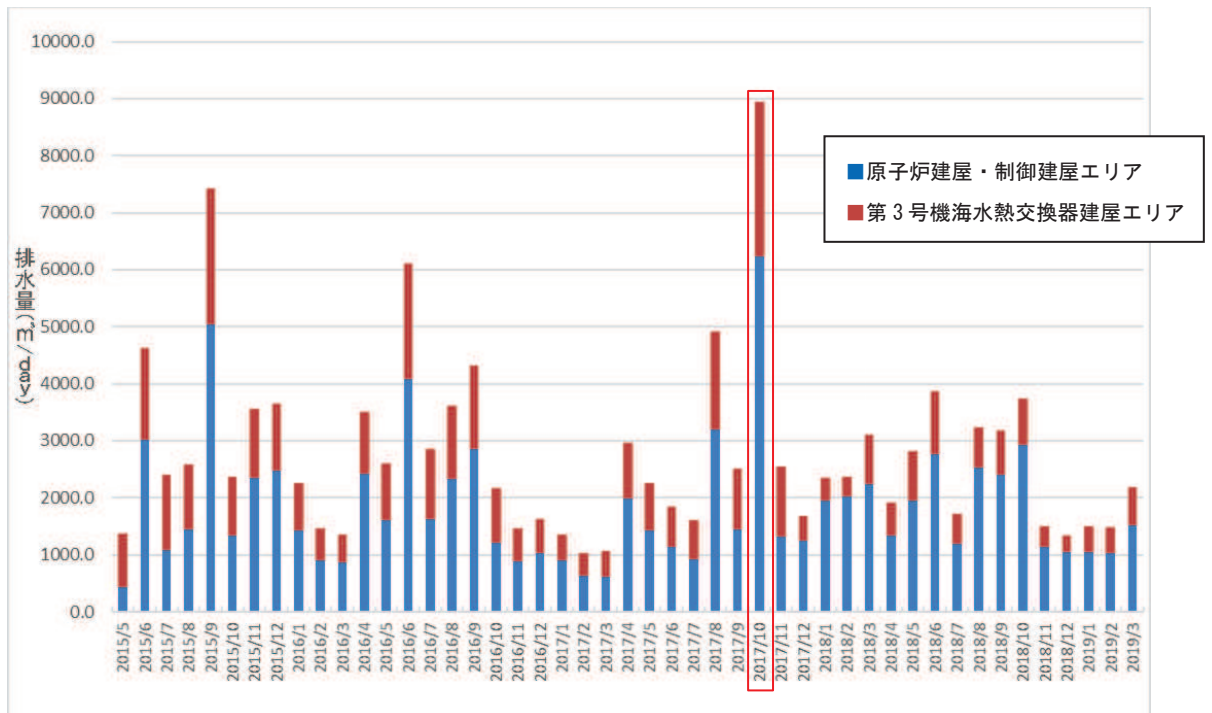
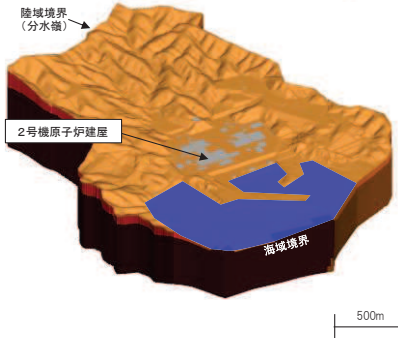


図 2-3 排水実績（月別）

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"> ・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 
3b. 格子数	<ul style="list-style-type: none"> ・平面格子数：約 33.4 万 ・総格子数：約 1600 万 ・格子寸法：0.5～6m 程度（構造物近傍は最小 0.5m 程度，山側領域は 3～6 m 程度）
4. 解析種別	・非定常解析
5a. 検証期間（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"> ・初期状態：3.57mm/日（観測降雨（2001～2018 年）の日平均） ・降雨時：上記検証期間の降雨実績
5c. 気象条件	降水量・気温・日射量・相対湿度・風速：構内観測所データ（欠測値は，周辺気象庁データから欠測補間）
5d. 蒸発散	<ul style="list-style-type: none"> ・定常状態：ハーモン法*¹ ・非定常状態：熱収支法*²
6a. モデル（地形）	・検証期間に対応した状態
6b. "（地盤）	・検証期間に対応した状態
6c. "（構造物）	・検証期間に対応した状態
6d. "（ドレーン）	・既設の全範囲を管路として考慮（新設は考慮しない）
7. 境界条件	<ul style="list-style-type: none"> ・実態に則した設定 <ul style="list-style-type: none"> －山側：閉境界 －海側：平均潮位に水位固定 －ドレーン：ドレーン計画高に水位固定
8. 透水系数	・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* ³
10. 粗度係数	・文献値* ⁴

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

注記*2：検証期間における敷地内の気温，風速，日射時間等を参照する

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

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

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）

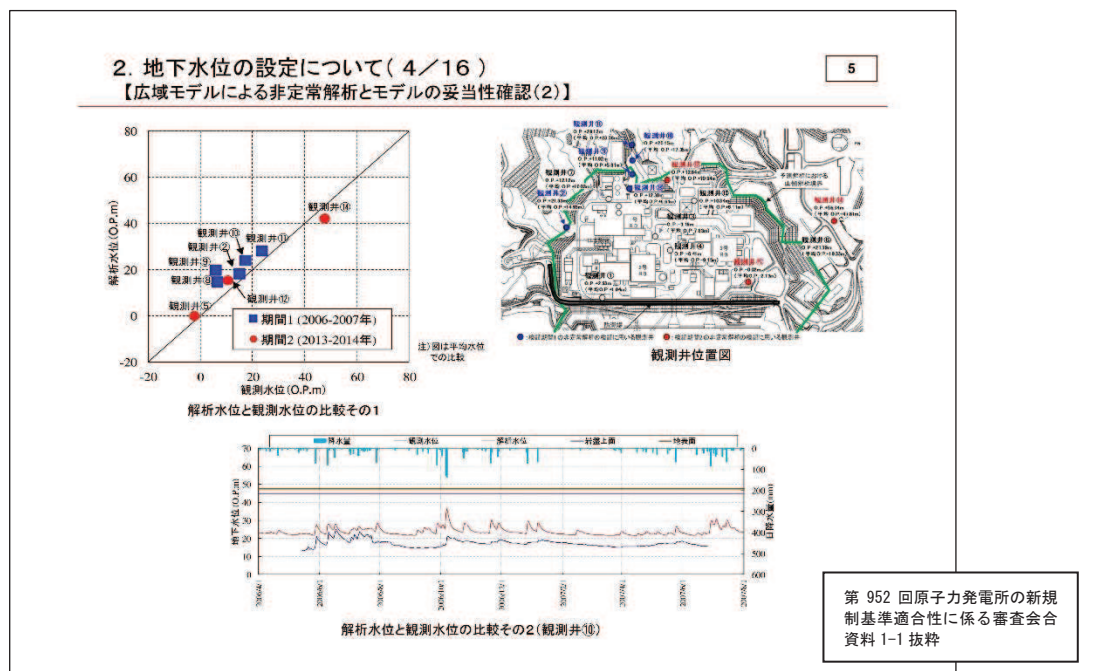
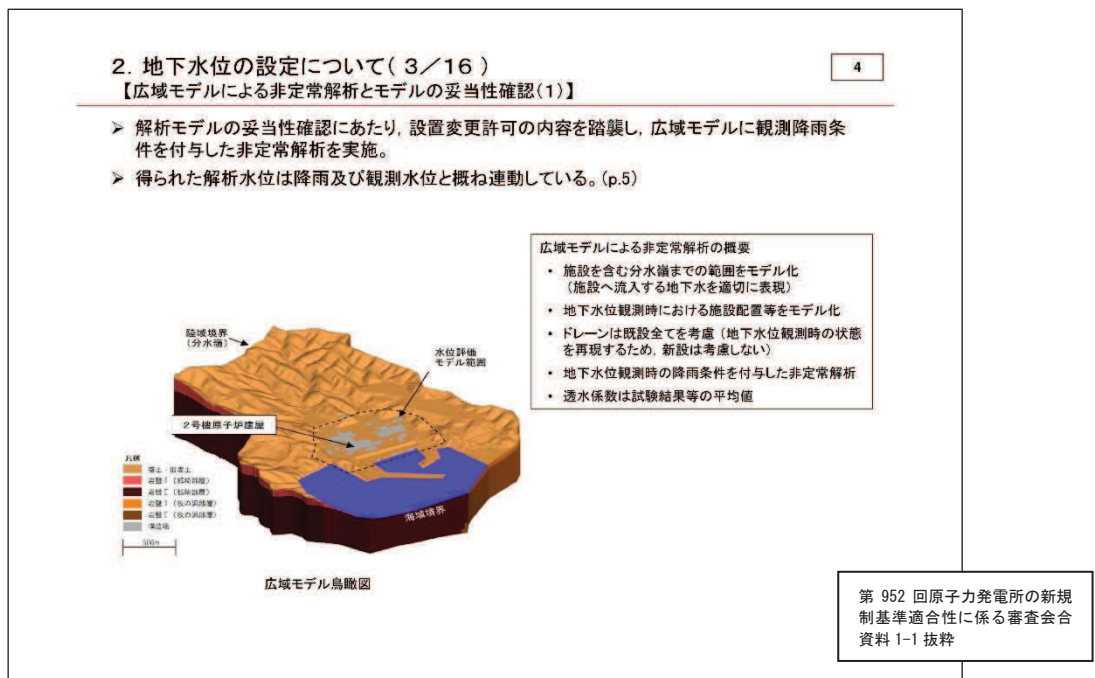


図 2-4 ①広域モデルによる水位側の妥当性確認状況

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 σ ）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 (m ³ /日)	妥当性確認結果 (m ³ /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 σ

(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 σ ）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 2463m³/日、第 3 号機海水熱交換器建屋エリアでは 1170m³/日（排水量合計 3633m³/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 σ ）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 σ ）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 σ ）	・ 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 σ ）
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

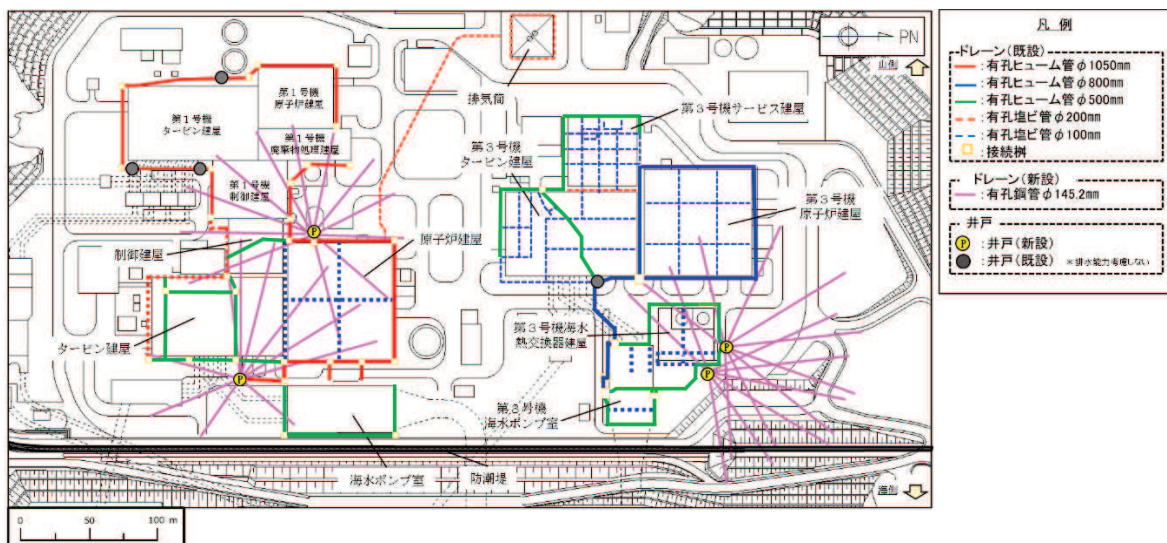


図 2-5 ③地下水流入量評価モデルにおけるドレーン範囲

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 ³ /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	

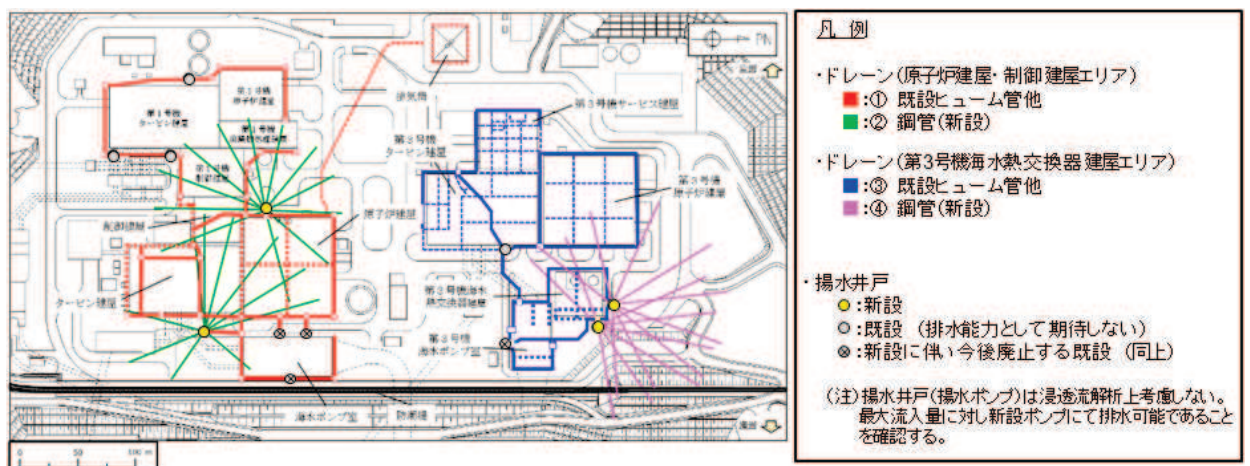


図 2-6 地下水流入量評価における集水エリア区分

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 σ 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=9416m³/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ヵ月）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ヵ月後の水位を評価する。これは、アクセスルートが2ヵ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ヵ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ヵ月）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

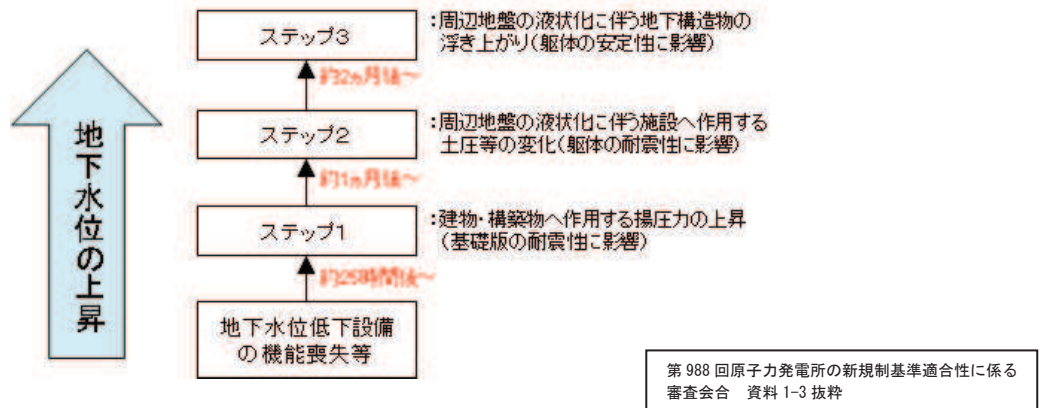


図 3-1 地下水位上昇による耐震性への影響

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"> ・ 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） ・ 耐震設計（各施設） 	<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） ・ 設備設計（ポンプ・ドレーンの排水能力）
2. 解析コード	<ul style="list-style-type: none"> ・ GETFLOWS Ver. 6. 64. 0. 2 	
3a. 解析領域	<ul style="list-style-type: none"> ・ O. P. +14. 8m 盤及び O. P. +14. 8m 周辺の法面 	
3b. 格子数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 平面格子数：約 16.7 万 ・ 総格子数：約 770 万 ・ 格子寸法：0.5～2m 程度（構造物近傍は最小 0.5m 程度） 	
4. 解析種別	・ 定常解析	・ 非定常解析*1
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"> ・ 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） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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）
6. 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*2 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地下水位の上昇速度を速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*2
7. 透水係数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水位が高めに評価されるよう設定（岩盤 I を試験結果の平均値-1σ） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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）
8. 有効間隙率	・ 文献値*3	
9. 粗度係数	—	
10. ドレーンの状態	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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）

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

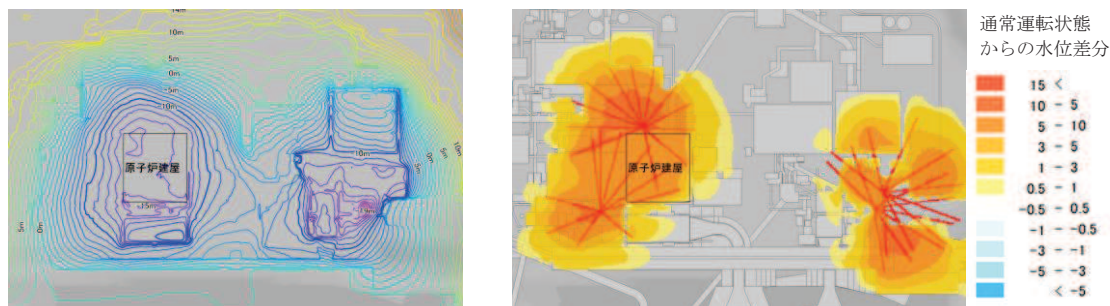
注) ■は目的に対して妥当な評価とするために②水位評価モデルより変更している条件

■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

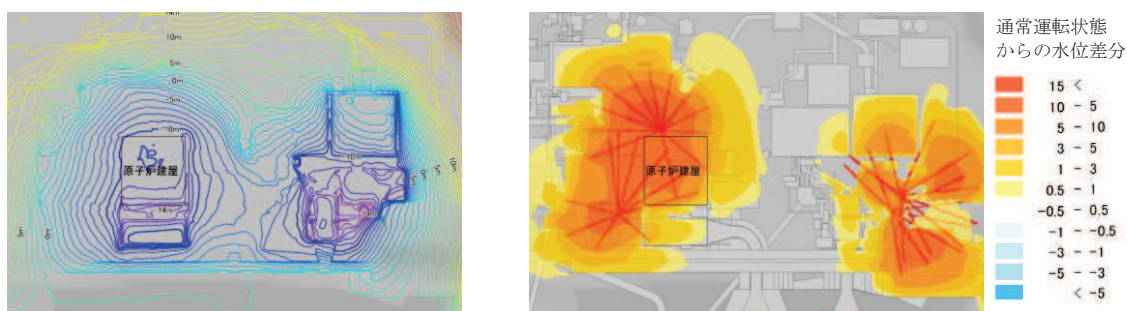
図 3-2 は排水機能を失ってから 10 時間後、図 3-3 は 25 時間後の解析結果であり、それぞれ解析水位の分布と初期水位からの差分を示しているが、ドレーンの配置に対応して相対的に水位が低い位置に保持されている範囲において水位上昇が大きく、水位上昇範囲が周囲に拡大していく。



(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。

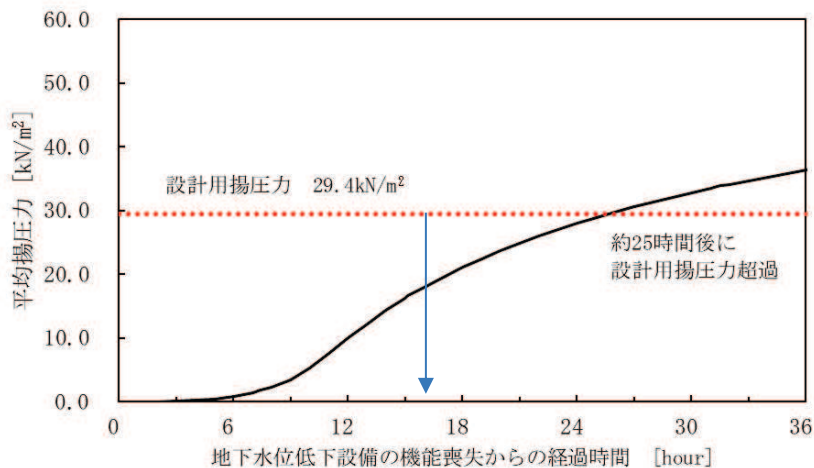
原子炉建屋・制御建屋エリアにおいては、制御建屋は原子炉建屋に対し相対的に設置レベルが高いため、原子炉建屋に対して相対的に長い到達時間が確保されている。

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)



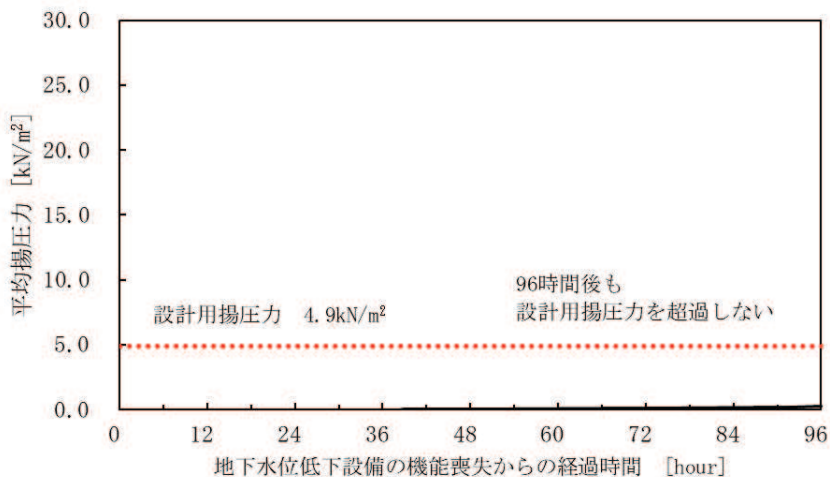
a. 原子炉建屋

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)



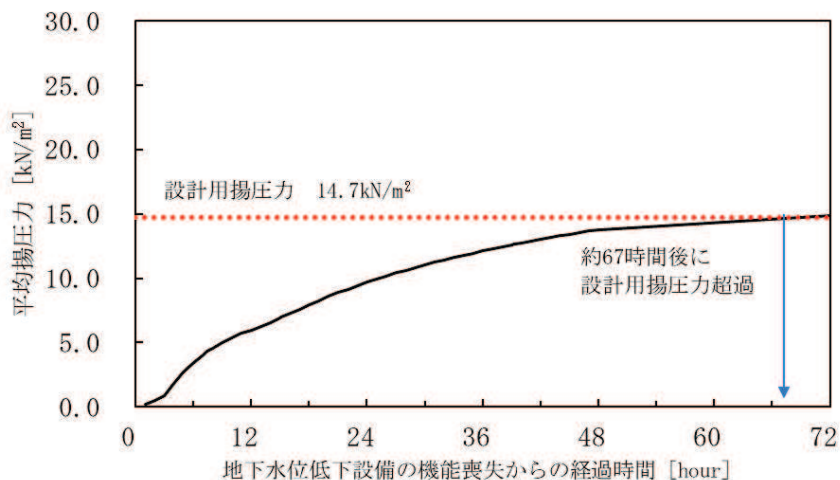
b. 制御建屋

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。

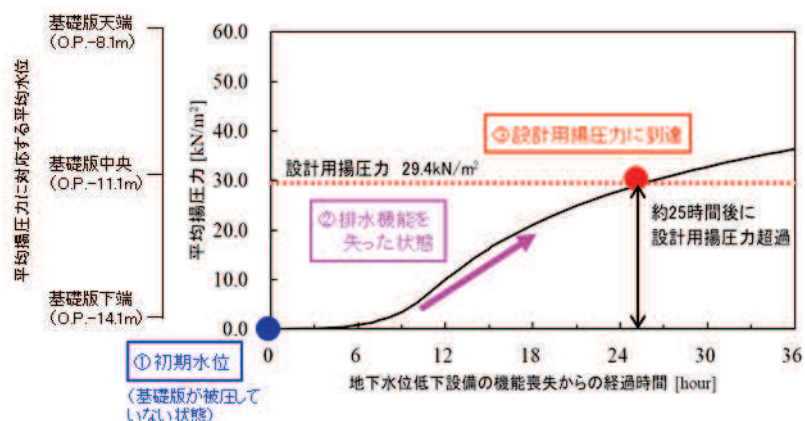


図3-5 建屋に作用する揚圧力の推移（原子炉建屋の例）

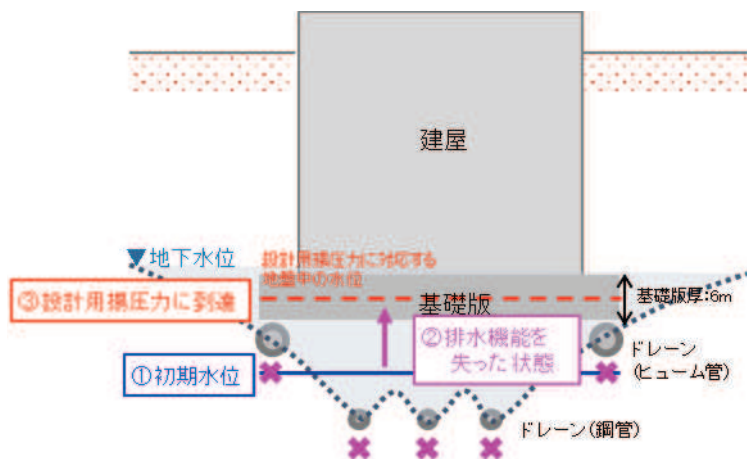


図 3-6 地盤中の地下水位の挙動（概念図）

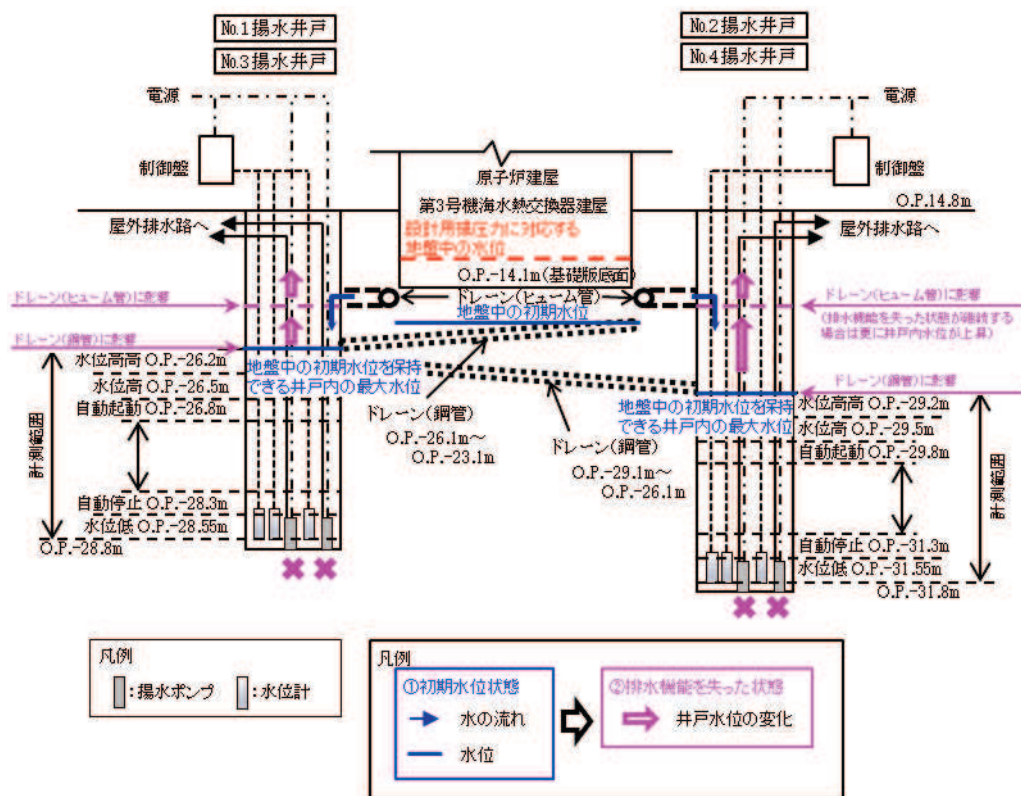


図 3-7 揚水井戸内の水の挙動（概念図）

(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。

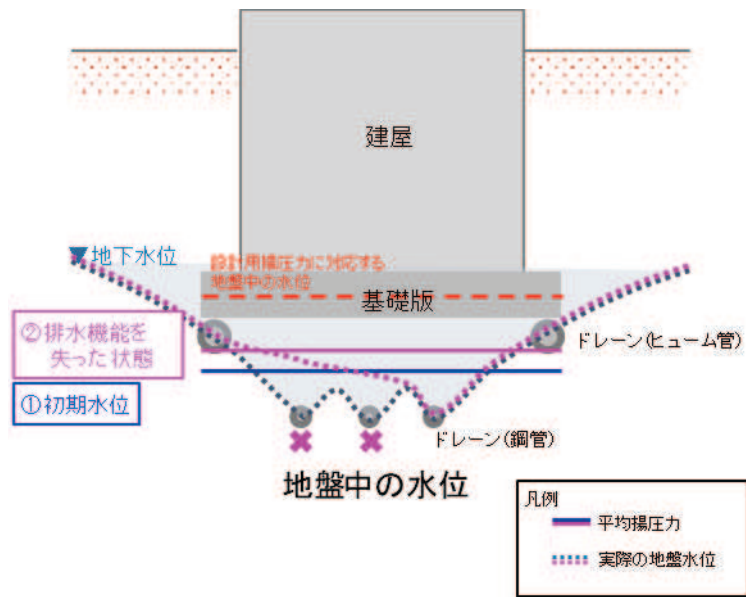


図 3-8 地盤中の地下水位の挙動（概念図）

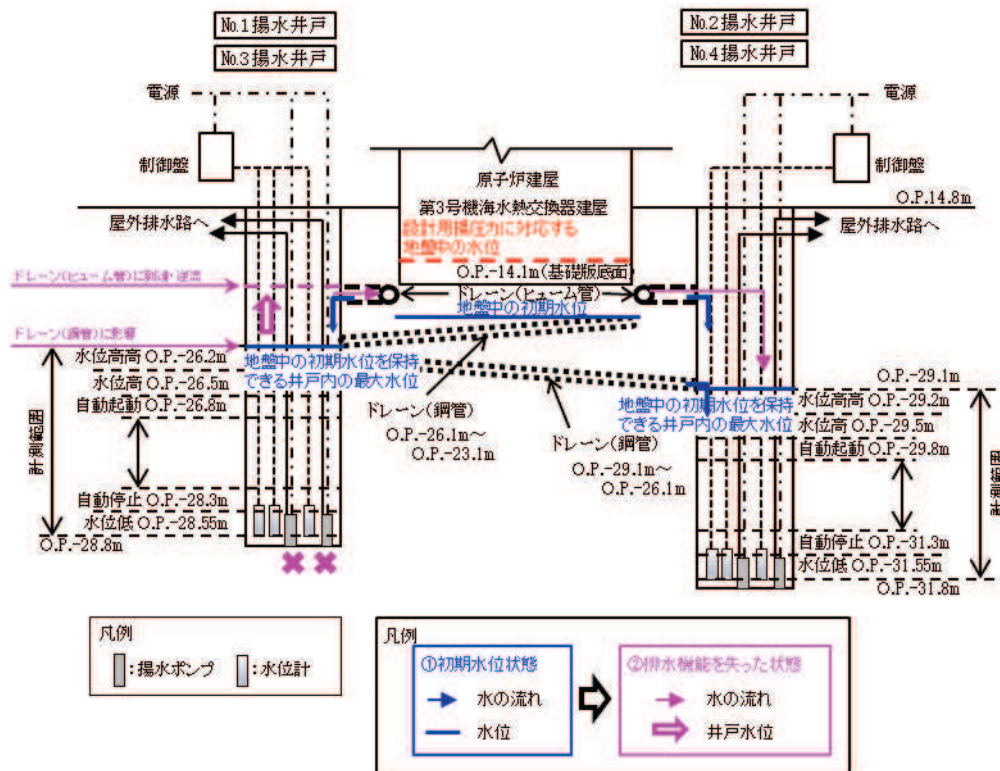


図 3-9 揚水井戸内の水の挙動（概念図）

(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 σ 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 _M 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 _M 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）

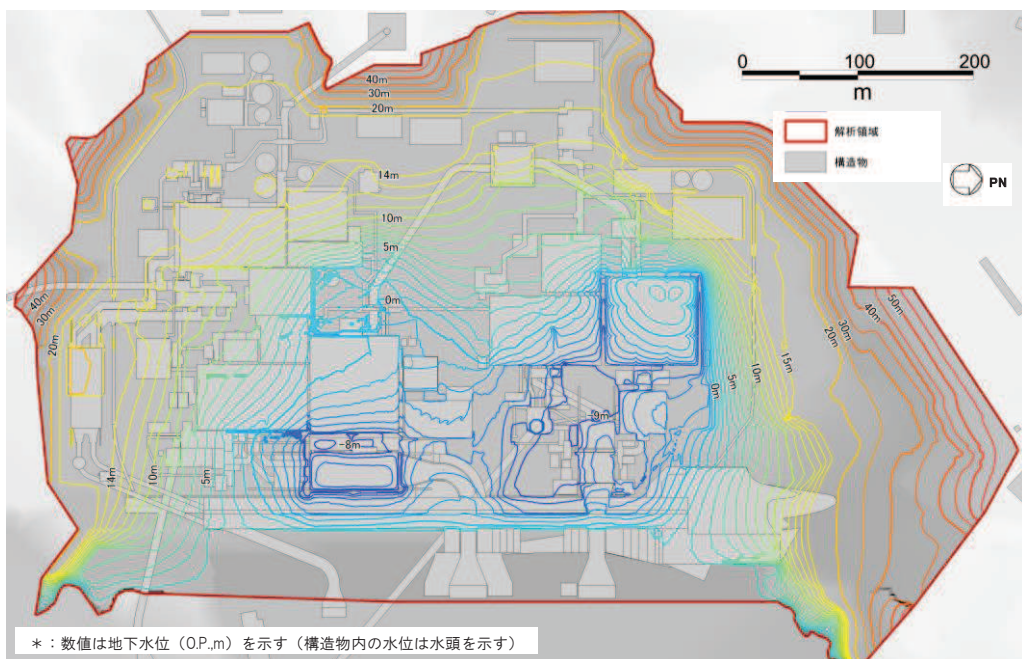


図 3-10 アクセスルート（O.P. +14.8m 盤）の評価において参照する予測解析結果（O.P., m）

<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*¹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*²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*³、*⁴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"> ・ 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） ・ 耐震性の確保（S_s 機能維持*） ・ 常設代替交流電源設備（GTG）に接続 		
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"> ・ 可搬型設備及び予備品による復旧 		
アクセスルートに対する配慮	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 ・ 外部支援等の活用による通行性の確保 		

注記*：基準地震動 S_s 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 9000m³/日（0.104m³/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 ³ /日)	吐出量 (m ³ /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（m³/s）

V：平均流速（m/s）

A：ドレーン流水断面積（m²）

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 ²]	径深*1 [m]	粗度 係数*2	勾配 [%]	流速 [m/s]	流量 (排水可能量)	
							[m ³ /s]	[m ³ /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 ³ /日]	流量 (排水可能量) [m ³ /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（1995m³/日 ÷ 22 本 ≒ 91 m³/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（5363m³/日 ÷ 17 本 ≒ 316 m³/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 ₁ (m ³ /日)	排水可能量 Q ₂ (m ³ /日)	安全率 Q ₂ /Q ₁	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 (φ1050mm)	6633	67996	10.25	ケース 2 (エリア①)
	ドレーン (φ145.2mm)	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 (φ800mm)	5449	32918	6.04	ケース 2 (エリア③)
	ドレーン (φ500mm)		9418	1.73	ケース 2 (エリア③)
	ドレーン (φ145.2mm)	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 (1995m³/日÷22 本≒91 m³/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 (5363m³/日÷17 本≒316 m³/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。

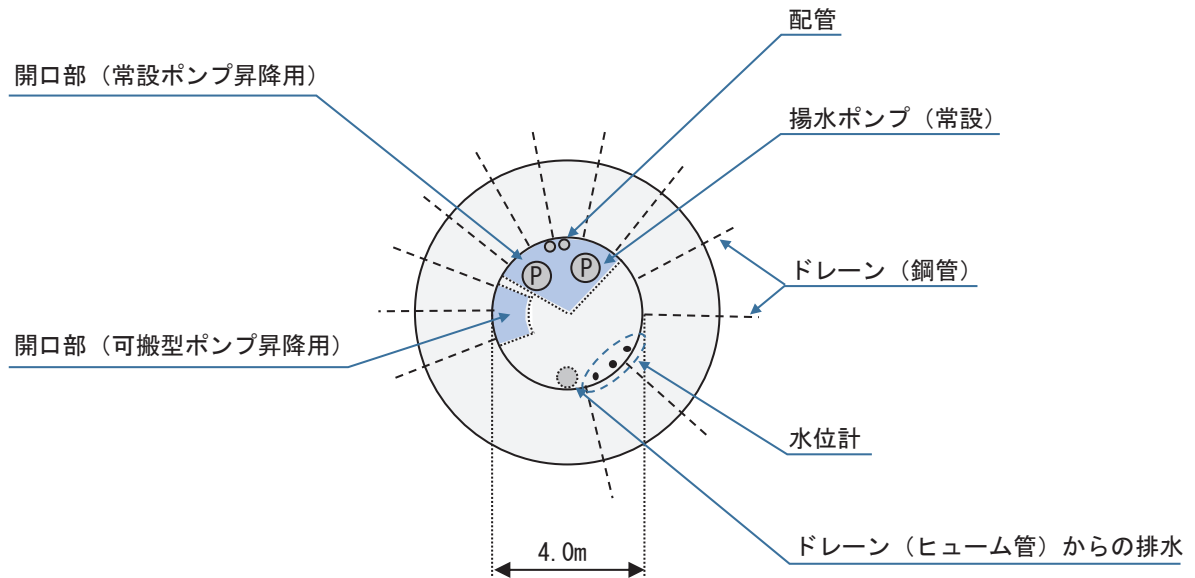


図 5-1 揚水井戸内の揚水ポンプ配置例

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。

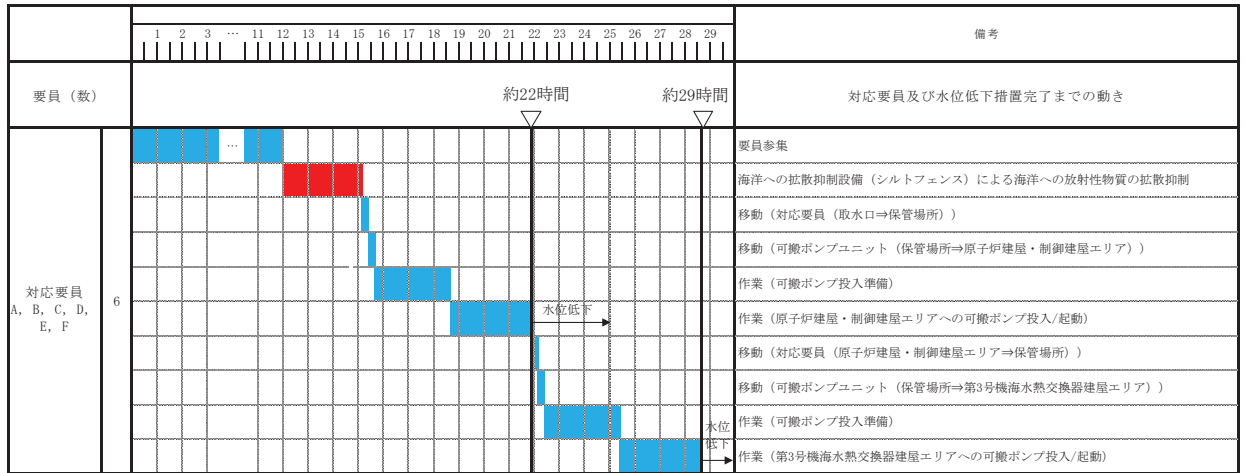


図 5-2 拡散抑制対応後に地下水位低下措置を実施した場合の水位低下措置完了時間

6. 構造強度設計方針に係る補足事項

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。

地震に伴い生じる構造物横断部の相対変位（揺すり込み沈下の影響含む）によるケーブル損傷を防ぐため、ケーブルルート上に設置するマンホールの空間内においてケーブルに余長を確保し、また、地震に伴い生じる構造物横断部の相対変位に対しケーブル損傷への影響を軽減するため可とう管等を用いる。

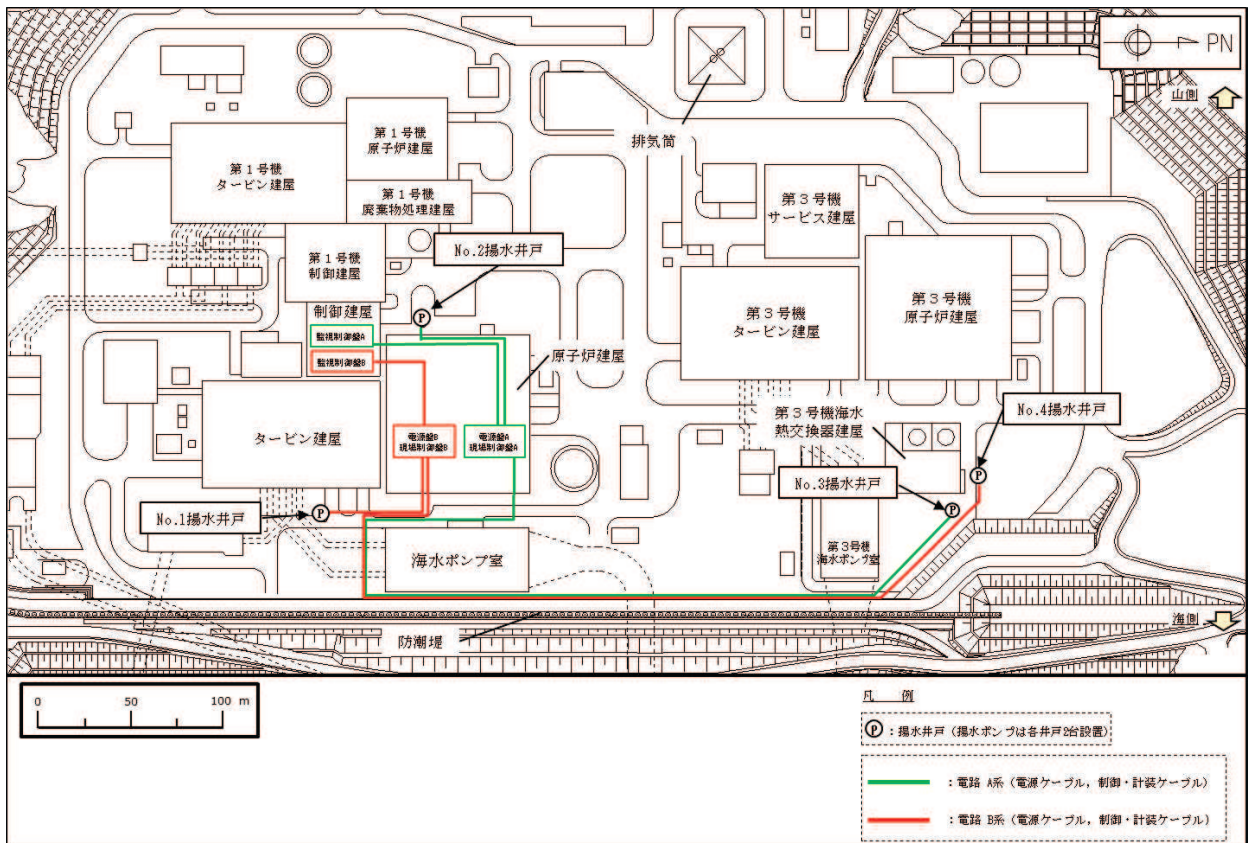


図 6-1 電路の配置

7. 屋外排水路に係る補足事項

7.1 屋外排水路に係る補足事項

地下水位低下設備で汲み上げた地下水は、支線排水路、敷地の北側及び南側に設置した幹線排水路から構成される屋外排水路を通じて海へ排水することにより、設計用揚圧力・設計用地下水位を保持し、技術基準第5条（耐震）に適合した状態を維持することができる。

このために必要な対応として、幹線排水路流末部の耐震性確保や、地震時における排水経路の確保（敷地の形状又は仮設ホース等の取り付けによる）を整理しており、その詳細を参考資料2に示す。

(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。

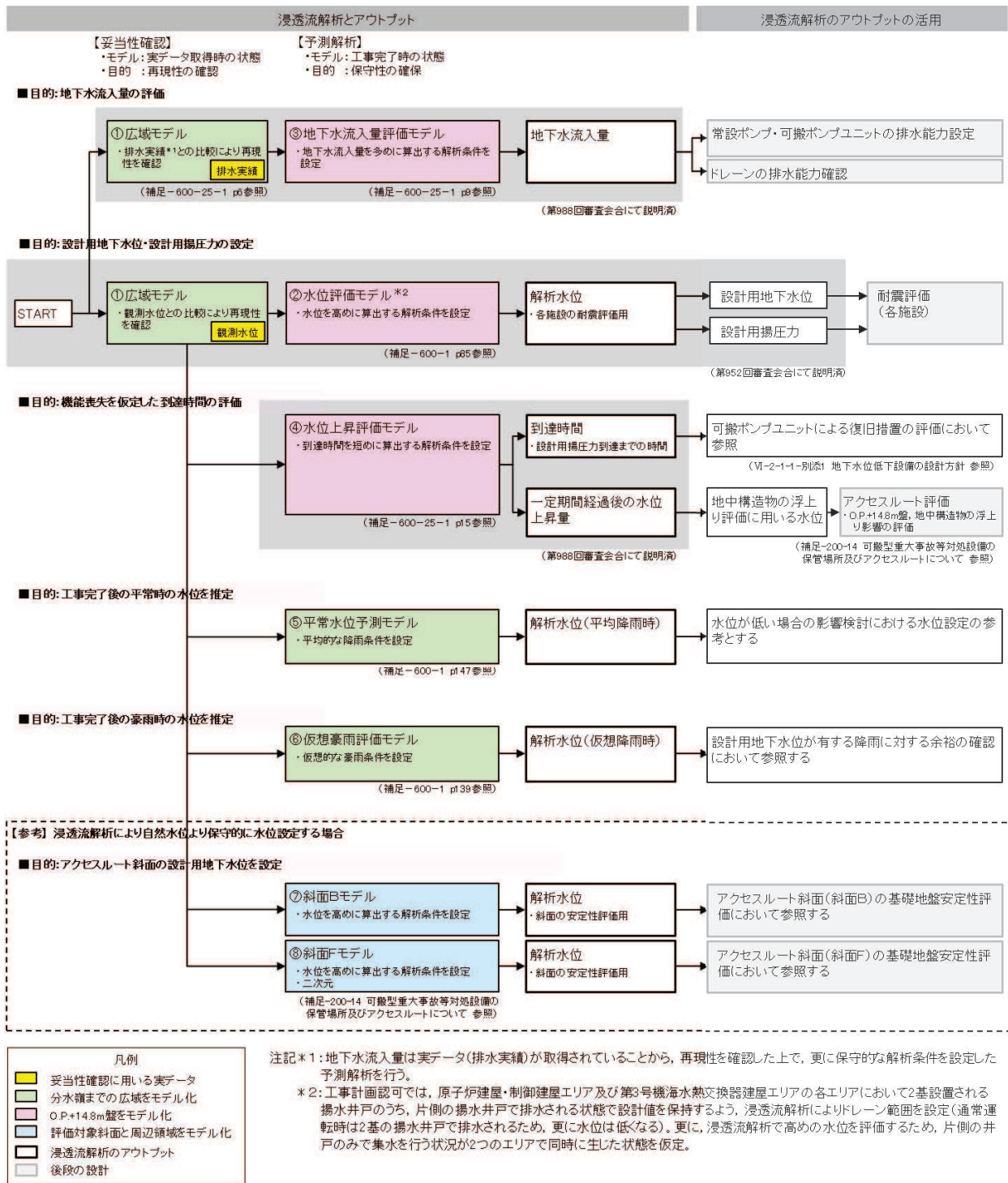


図 1-1 浸透流解析による評価と機器設計等への反映事項

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。

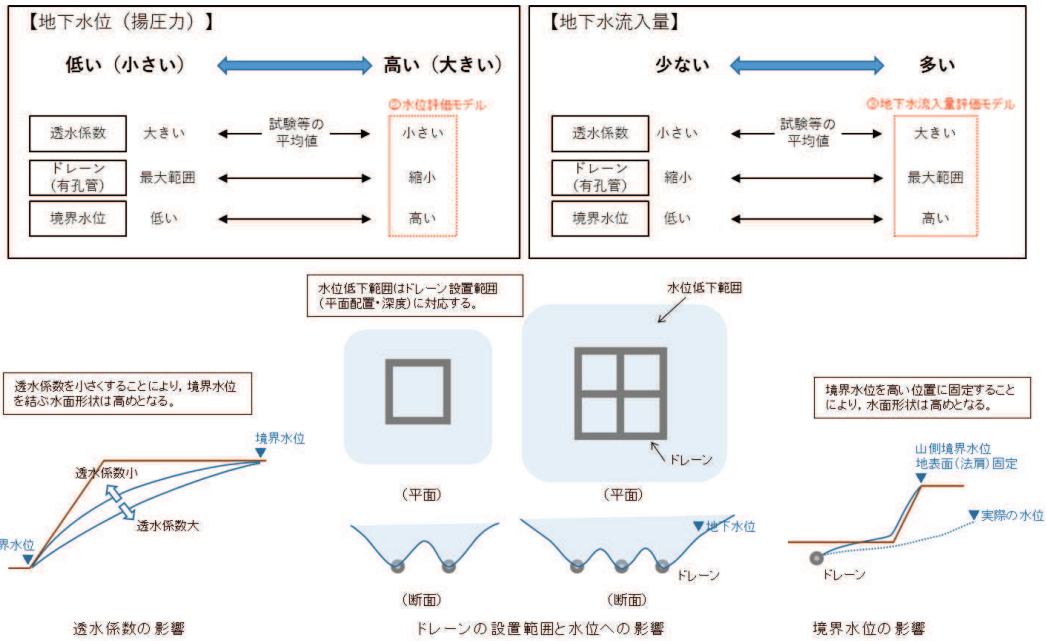


図 1-2 浸透流解析の目的に応じた条件設定例及び浸透流解析条件と評価への影響

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"> 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に評価)
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"> 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・新設のうち耐久性・耐震性・保守管理性等の確保された範囲を管路として扱う。それ以外の範囲は耐震性等の確保状況に応じて透水層または周辺地盤として扱う) 各エリアにおいて片側の井戸へ集水を行う状態で設計値を保持
7.境界条件	<ul style="list-style-type: none"> 実態に則した設定 -山側:閉境界 -海側:平均満潮位に水位固定 -ドレーン:ドレーン計画高に水位固定 	<ul style="list-style-type: none"> 水位が高めに評価されるよう設定 -山側:地表面(法肩)に水位固定 -海側:期望平均満潮位に水位固定 -ドレーン:ドレーン計画高に水位固定
8.透水係数	<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99回原子力発電所の新規制基準適合性に関する審査委員会 資料1-1を一部加工

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"> 工事完了後に想定される地下水位を評価すること (液状化影響検討対象施設を幅広く抽出するため高めに評価) 	<ul style="list-style-type: none"> 工事完了後に想定される地下水の流入量を評価すること (設備設計の保守性を確保するため多めに評価) 	<ul style="list-style-type: none"> 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)
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) することを仮定
7.境界条件	<ul style="list-style-type: none"> 水位が高めに評価されるよう設定 -山側:地表面(法肩)に水位固定 -海側:期望平均満潮位に水位固定 -ドレーン:ドレーン計画高に水位固定 	<ul style="list-style-type: none"> 流入量が多めに評価されるよう設定 -山側:地表面(法肩)に水位固定 -海側:期望平均満潮位に水位固定 -ドレーン:ドレーン計画高に水位固定 	<ul style="list-style-type: none"> 水位上昇開始時の水位が高くなるよう設定 -山側:地表面(法肩)に水位固定 -海側:期望平均満潮位に水位固定 -ドレーン:ドレーン計画高に水位固定
8.透水係数	<ul style="list-style-type: none"> 水位が高めに評価されるよう設定 -岩盤 I を試験結果等の平均値-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

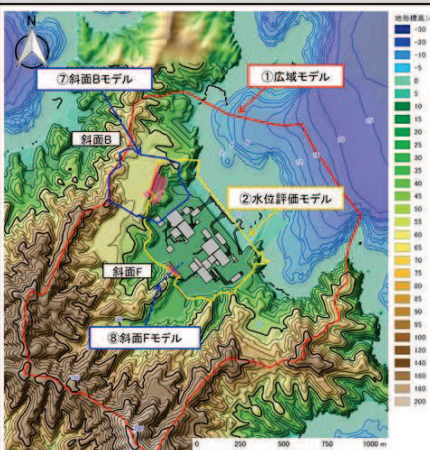
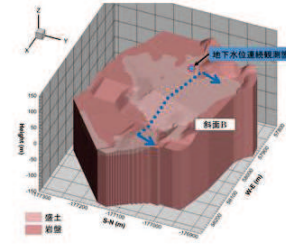
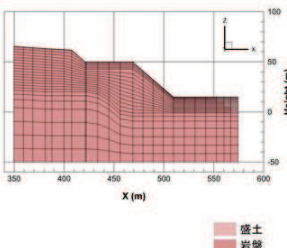
■は目的に対して妥当な評価とする目的で②水位評価モデルを踏襲している条件

表 1-3 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"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 工事完了後に想定される豪雨時の水位を推定すること
1-2.アウトプットの活用先	- (モデル検証のみ)	<ul style="list-style-type: none"> 水位が低い場合の影響検討における水位設定の参考 	<ul style="list-style-type: none"> 設計用地下水位が有する余裕の確認において参照
2.解析領域	<ul style="list-style-type: none"> 施設を含む分水嶺までの範囲 (施設へ流入する地下水を適切に表現) 	(同左)	(同左)
3.解析種別	<ul style="list-style-type: none"> 非定常解析 	<ul style="list-style-type: none"> 定常解析 	<ul style="list-style-type: none"> 非定常解析
4.降雨条件 (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"> 3.57mm/日 (観測降雨(2001-2018年)の日平均) 	<ul style="list-style-type: none"> 仮想の降雨条件(超過確率約400年程度) - 初期状態: 3.57mm/日 (観測降雨(2001-2018年)の日平均) - 降雨時: 150mm/日×3日 (総降水量450mm)
5.モデル	<ul style="list-style-type: none"> 検証期間における施設配置等を反映 	<ul style="list-style-type: none"> 詳細設計の結果を踏まえた工事完了段階における施設配置等を反映 	(同左)
6.メッシュ	<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"> 平常時の状態に対応し、既設・新設の全範囲を管路として扱う 	<ul style="list-style-type: none"> 設計用地下水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"> 実態に則た設定 - 山側: 閉境界 - 海側: 平均潮位に水位固定 - メッシュ: メッシュ計画高に水位固定 	(同左)	(同左)
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"> 再現性を確保するよう設定 水位: 試験結果等の平均値 	<ul style="list-style-type: none"> 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 1-4 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"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 非定常解析(三次元) 	<ul style="list-style-type: none"> 非定常解析(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: 3.43mm/日 (観測降雨(1981-2010年)の日平均) - 降雨時: 108mm/日×3日(総降水量324mm*1) 		
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 		
6.メッシュ	<ul style="list-style-type: none"> 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

屋外排水路の機能及び耐震性に係る設計方針について

目次

1.	はじめに.....	1
2.	地下水位低下設備について.....	1
2.1	地下水位低下設備の範囲.....	1
2.2	地下水位低下設備の設計流量.....	3
2.3	地下水位低下設備からの排水経路（通常時・地震時）.....	3
3.	設計用揚圧力・設計用地下水位を保持するための屋外排水路の方針.....	5
3.1	屋外排水路の設備構成と排水能力.....	5
3.2	屋外排水路の機能低下時における影響と対応の整理.....	8
3.3	屋外排水路の耐震性確保の方針.....	12
4.	他条文への影響.....	14
5.	工認図書における取扱い.....	14
6.	まとめ.....	21

別紙 1 屋外排水路に係るその他の自主的な対策

参考 1 既設の屋外排水路の概要

参考 2 No.1 揚水井戸から敷地側集水ピットへの排水経路

参考 3 地震時における屋外アクセスルートの通行性に対する支線排水路の影響

1. はじめに

地下水位低下設備の機能を考慮した0. P. +14. 8m盤の施設等における設計用揚圧力・設計用地下水位は、地下水位低下設備により地下水を汲み上げ、0. P. +14. 8m盤から海へ屋外排水路を通じて排水されることにより保持される。

本書は、設計用揚圧力・設計用地下水位を保持し、技術基準第5条（耐震）に適合した状態を維持することに対する屋外排水路の位置付けと設計方針について整理するものである。

2. 地下水位低下設備について

2.1 地下水位低下設備の範囲

設計用揚圧力・設計用地下水位を保持するための地下水位低下設備の範囲を図1に示す。

ドレーン（ヒューム管・鋼管）により揚水井戸に集水した地下水は、揚水井戸内に設置する揚水ポンプにより配管を通じて0. P. +14. 8m盤へ汲み上げ、屋外排水路を通じて海へ排水される。地下水位低下設備の構成を表1，系統構成を図2に示す。

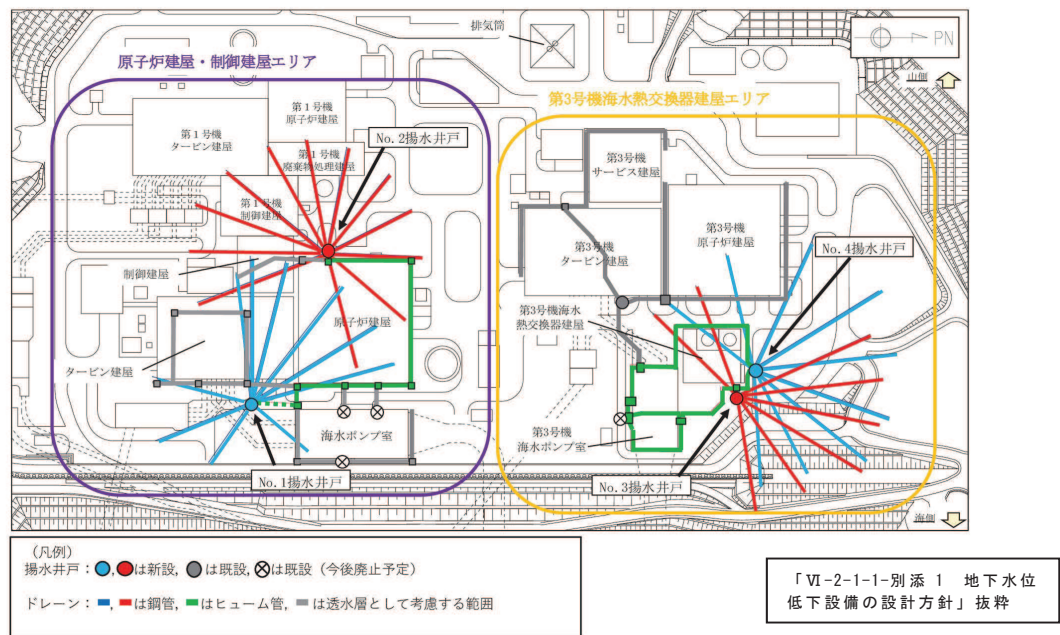
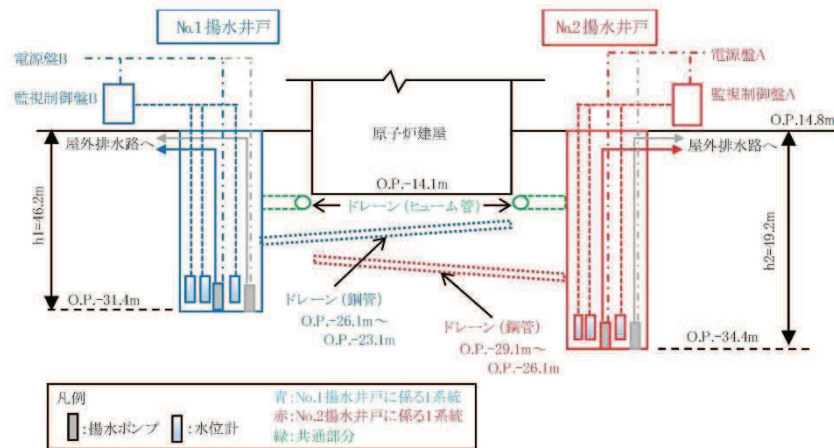


図1 地下水位低下設備の配置

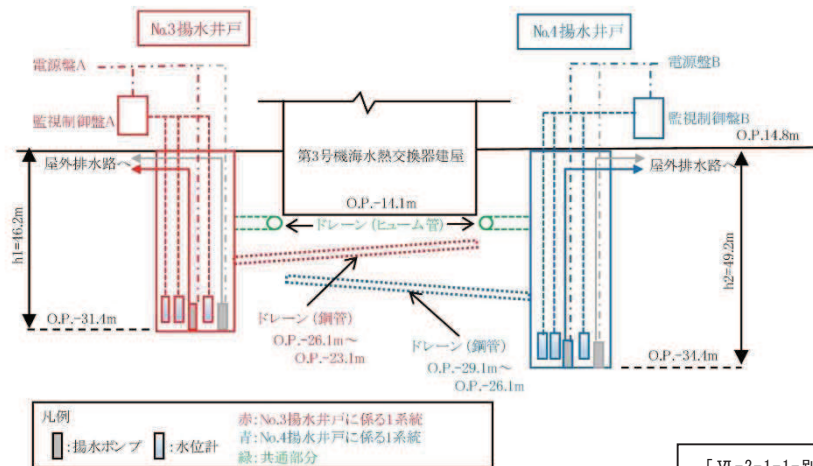
表1 地下水位低下設備の構成

機能	設備構成
集水機能	ドレーン
	接続柵
支持・閉塞防止機能	揚水井戸
	蓋
排水機能	揚水ポンプ
	配管
監視・制御機能	水位計
	制御盤
電源機能	電源 (非常用ディーゼル発電機)
	電源盤
	電路

「VI-2-1-1-別添 1 地下水位低下設備の設計方針」抜粋



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

「VI-2-1-1-別添 1 地下水位低下設備の設計方針」抜粋

図2 地下水位低下設備の系統構成

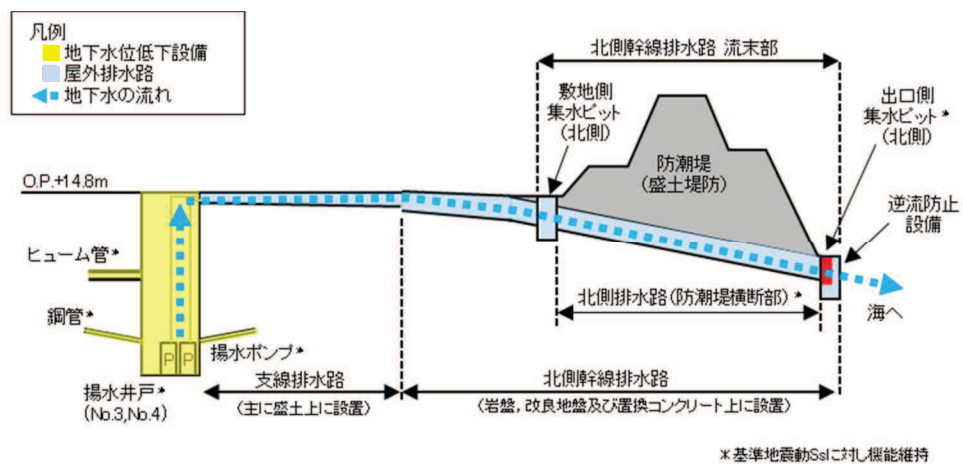
2.2 地下水位低下設備の設計流量

地下水位低下設備からの排水量は、保守的な解析条件（排水量を多めに評価するような透水係数設定など）を与えた浸透流解析により原子炉建屋・制御建屋エリアで8078m³/d、第3号機海水熱交換器建屋エリアで7046m³/d（各エリアの流入量合計15124m³/d）と評価しており、揚水ポンプの排水能力はこれを包絡するよう、設計流量を各エリアで9000m³/d、流量合計18000m³/d（0.21m³/s）と設定している（詳細は「VI-2-1-1-別添1 地下水位低下設備の設計方針」を参照）。

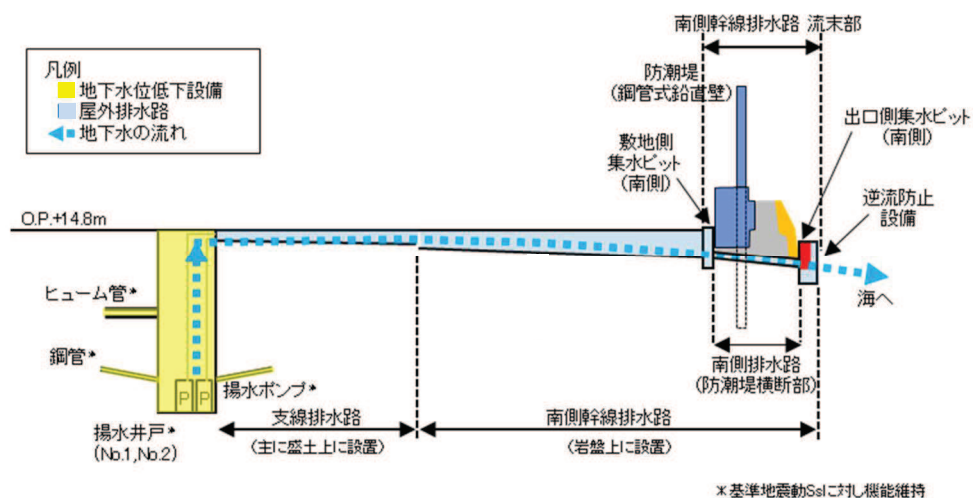
2.3 地下水位低下設備からの排水経路（通常時・地震時）

(1) 通常時

地下水位低下設備から汲み上げた地下水は、地下水位低下設備配管より支線排水路へ流れ、敷地の南北に設置される幹線排水路（北側幹線排水路，南側幹線排水路）を通じて海へ排水される（図3）。



(1) 北側幹線排水路への排水経路



(2) 南側幹線排水路への排水経路

図3 地下水位低下設備で汲み上げた地下水の排水経路

(2) 地震時

屋外排水路の一部が地震により損傷し機能低下した場合、排水経路が寸断され、海への排出が出来なくなる可能性が否定できない。

このため、地下水位低下設備より汲み上げた地下水を海へ排出可能な経路を確保する必要がある。

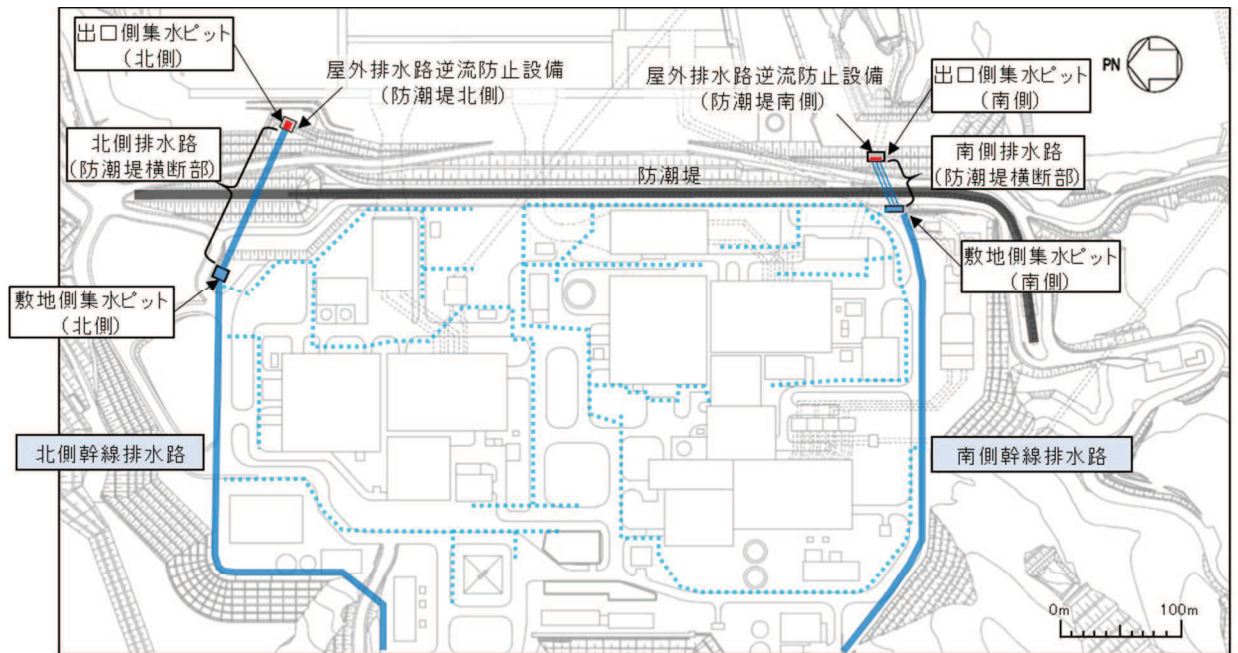
3. 設計用揚圧力・設計用地下水位を保持するための屋外排水路の方針

3.1 屋外排水路の設備構成と排水能力

(1) 設備構成

屋外排水路は、第1号機～第3号機の主要建屋の北側と南側に設置される北側幹線排水路・南側幹線排水路と、これに接続する支線排水路にて構成され、北側・南側幹線排水路は、いずれも防潮堤横断箇所より上流側に敷地側集水ピット、下流側に出口側集水ピットを設置しており、出口側集水ピットに耐震Sクラスの逆流防止設備を設置している（図4）。

また、北側幹線排水路は岩盤、改良地盤及び置換コンクリート、南側幹線排水路は岩盤により支持されている（図5）。支線排水路はO.P.+14.8m盤付近に設置され、その多くの区間が盛土上に構築される。



注：支線排水路(青点線)は2019年10月段階の配置を記載(今後の安全対策工事等によって変更可能性有)。

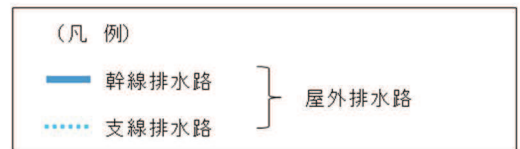
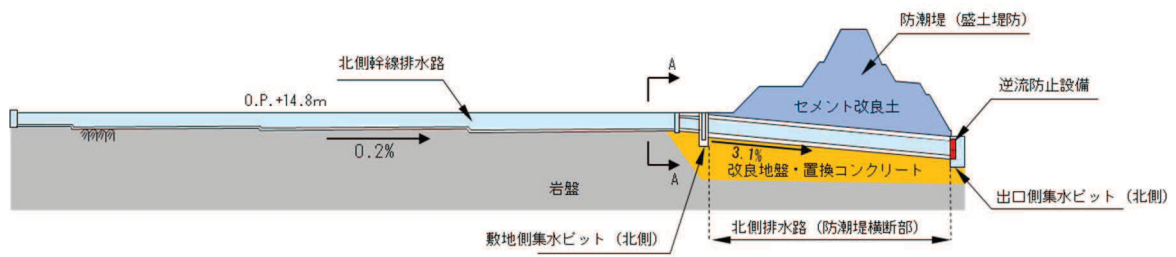
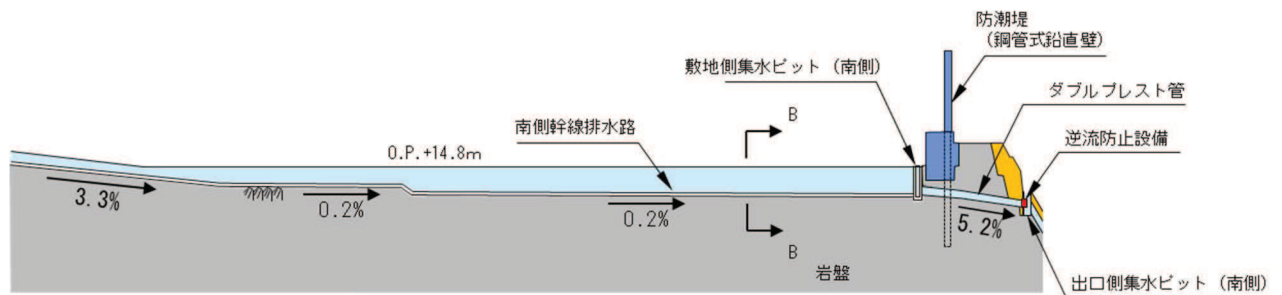


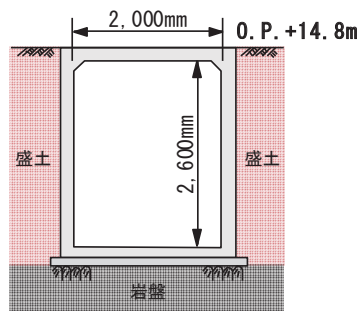
図4 屋外排水路の配置（設置変更許可段階）



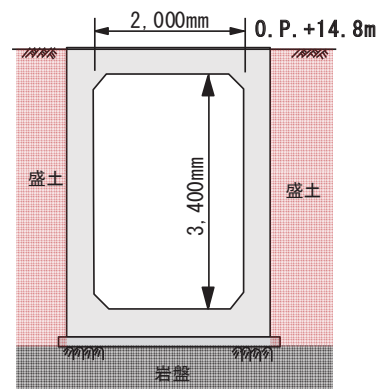
北側幹線排水路の縦断面図



南側幹線排水路の縦断面図



(A-A断面)



(B-B断面)

図5 北側・南側幹線排水路の縦断面図 (設置変更許可段階)

「補足 140-1 津波への配慮に関する説明書の補足説明資料」, 「補足 600-1 地盤の支持性能について」から抜粋・一部修正

(2) 排水能力

北側・南側幹線排水路の排水能力は表2に示すとおりであり，設計基準降水時（91.0mm/h）における雨水流入量（ m^3/s ），地下水位低下設備からの排水量（設計流量 $0.21\text{m}^3/\text{s}$ ）を十分排出可能な設計となっている。

表2 幹線排水路の排水能力

排水路名	設計基準降水時（91.0mm/h） 雨水流入量（ m^3/s ）	排水可能流量 （ m^3/s ）
北側幹線排水路	9.4	51.16
南側幹線排水路	9.5	16.23

「女川原子力発電所2号炉設置変更許可申請書
02-NP-0272（改114）別添資料1」より引用

3.2 屋外排水路の機能低下時における影響と対応の整理

(1) 検討対象とする地下水の排水経路

地下水位低下設備と屋外排水路の平面配置を図 6 に示す。これは通常時の排水経路に相当するが、地震時*の検討として、屋外排水路の構成に対応した区間毎に、機能低下時の排水経路への影響と、排水経路確保に必要な対応を検討した。

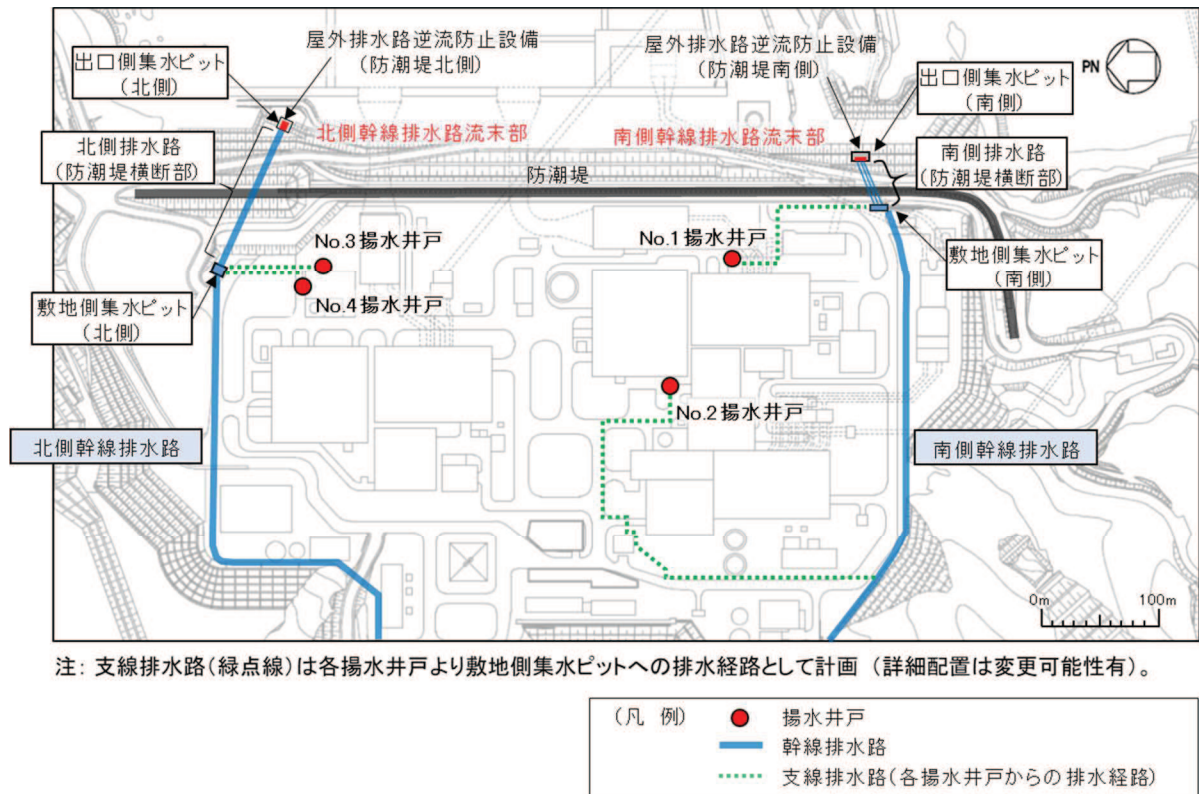


図6 地下水位低下設備と屋外排水路の平面配置

注記*：屋外排水路は基準地震動 S_s に対する耐震性が確保されていない範囲を含むこと、参考1のとおりがれき等が直接流入しにくい構造であることから、排水機能低下が生じうる要因として地震を選定した。

(2) 支線排水路の機能喪失の取扱い

a. No. 1 揚水井戸，No. 3 揚水井戸，No. 4 揚水井戸について

地下水位低下設備から汲み上げた地下水は，通常時は揚水井戸出口の配管より支線排水路へ流すこととしているが，地震時は，支線排水路の耐震性がないため，排水経路としての機能は期待しない。

このため，揚水井戸から汲み上げた地下水は地表面に溢れることになるが，この水は揚水ポンプにより徐々に押し出され敷地側集水ピット（北側・南側）に向かう（図 7，図 8 参照）。到達した水が，耐震性が確保されているピット上部の開口から内部に落下することでピットへ向かう水の流れが生じる。

また，敷地側集水ピット（北側・南側）から海への排水経路を基準地震動 S_s に対し機能維持することで同経路は保たれるため，海へ自然流下できる状態となる。（(3)に詳述する。）

以上より，揚水井戸から敷地側集水ピットまでの排水経路が短い No. 1 揚水井戸，No. 3 揚水井戸，No. 4 揚水井戸については，支線排水路に期待せず敷地の形状により地表面を通じて排水可能と整理した。なお，敷地の形状により排水経路が確保できない場合においても，揚水井戸内の配管上端に設置した接続口に仮設ホース等を接続し流路を構成することにより，地下水を確実に排水する。

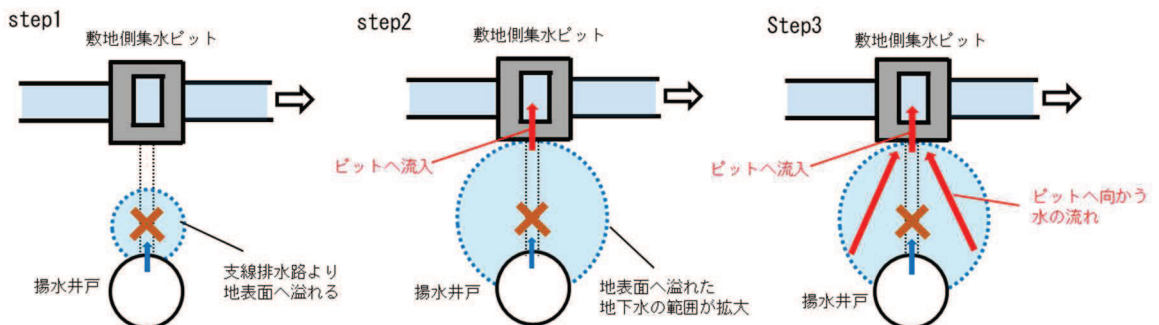


図7 地表面を通じた排水の考え方（平面図）

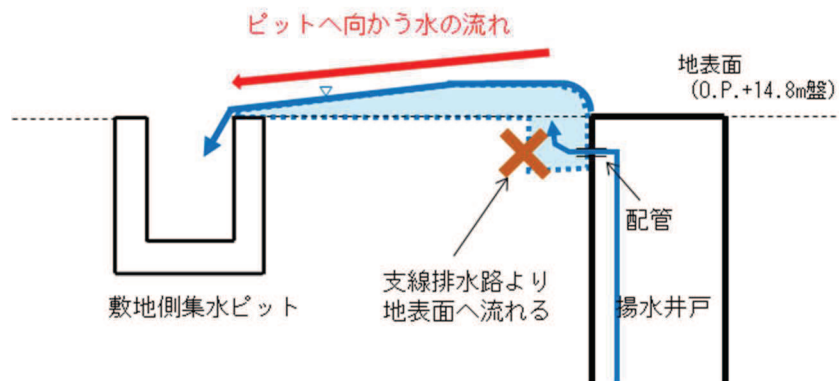


図8 地表面を通じた排水の考え方（断面図）

排水経路の選定の考え方として、No.1揚水井戸から敷地側集水ピットへの排水経路の検討例を参考2に示す。

b. No.2揚水井戸について

揚水井戸からの排水は、他の揚水井戸からの排水経路と比べて長いため、支線排水路が地震時において機能喪失した場合にO.P.+14.8m盤に溢れ滞水するおそれがある。

このため、揚水井戸内の配管上端に設置した接続口に仮設ホース等を接続することで流路を構成し、地下水を確実に排水する。

(3) 幹線排水路流末部の排水機能維持について

地下水を敷地側から海側へ流す経路となる範囲について、地震時に閉塞等が生じた場合、排水に影響が生じ設計用揚圧力・設計用地下水位を保持できないおそれがある。

そのため、地震時においても排水機能を確保する必要がある。

具体的には、北側幹線排水路流末部（敷地側集水ピット（北側）、北側排水路（防潮堤横断部）、出口側集水ピット（北側））と南側幹線排水路流末部（敷地側集水ピット（南側）、南側排水路（防潮堤横断部）、出口側集水ピット（南側））について、基準地震動 S_s に対して排水機能を維持する。

(4) 影響検討と対応のまとめ

影響検討と対応のまとめを表3に示す。

上記(1)～(3)の検討から、No.1揚水井戸、No.3揚水井戸、及びNo.4揚水井戸から汲み上げた地下水について、地震時には地表に溢れ敷地の形状により自然流下し敷地側集水ピットへ流れるが、滞水のおそれがある場合は、仮設ホース等を用いた運用にて流路を構成することにより、敷地側集水ピットまでの排水を確保する。

No.2揚水井戸は、O.P.+14.8m盤に溢れ滞水するおそれがあるため、仮設ホース等を用いた運用にて流路を構成することにより、敷地側集水ピットまでの排水を確保する。

また、敷地側集水ピットより海側の幹線排水路流末部は、基準地震動 S_s に対して、排水機能を維持する。

表 3 地下水の排水経路を構成する屋外排水路の機能低下時における影響と対応まとめ

排水位置	排水位置から海への排水経路上の屋外排水路の区間	地震時の想定	排水経路保持における対策の要否	排水経路確保方法
No. 1 揚水井戸	揚水井戸出口から敷地側集水ピット（南側）までの区間	支線排水路が機能喪失した場合は 0.P.+14.8m 盤に溢れるが、敷地の形状により、地表面を通じて近傍の敷地側集水ピット（南側）に集水される。	—	<ul style="list-style-type: none"> 敷地の形状により地表面を通じて排水する。 なお、敷地の形状により排水経路が確保できない場合に反おいても、揚水井戸内の配管上端に設置した接続口に仮設ホース等を接続し流路を構成することにより排水経路を確保する。 基準地震動 S s に対する機能維持
	南側幹線排水路	閉塞等が生じた場合、排水に影響が生じ設計用揚圧力・設計用地下水位を保持できないおそれがある。	必要	
	流末部	敷地側集水ピット（南側） 南側排水路（防潮堤横断部） 出口側集水ピット（南側）	支線・幹線排水路が機能喪失した場合は 0.P.+14.8m 盤に溢れる。敷地側集水ピットまでの距離が長い場合、0.P.+14.8m 盤に溢れた水が滞水する可能性がある。	必要
No. 2 揚水井戸	揚水井戸出口から南側幹線排水路までの区間	支線・幹線排水路が機能喪失した場合は 0.P.+14.8m 盤に溢れる。敷地側集水ピットまでの距離が長い場合、0.P.+14.8m 盤に溢れた水が滞水する可能性がある。	必要	
	南側幹線排水路	流末部以外	必要	<ul style="list-style-type: none"> No. 1 揚水井戸に同じ。
	流末部	敷地側集水ピット（南側） 南側排水路（防潮堤横断部） 出口側集水ピット（南側）	支線排水路が機能喪失した場合は 0.P.+14.8m 盤に溢れるが、地表面を通じて近傍の敷地側集水ピット（北側）に集水される。	必要
No. 3, No. 4 揚水井戸	揚水井戸出口から敷地側集水ピット（北側）までの区間	閉塞等が生じた場合、排水に影響が生じ設計用揚圧力・設計用地下水位を保持できないおそれがある。	必要	
	北側幹線排水路	流末部	必要	<ul style="list-style-type: none"> No. 1 揚水井戸に同じ。
	流末部	敷地側集水ピット（北側） 北側排水路（防潮堤横断部） 出口側集水ピット（北側）		

3.3 屋外排水路の耐震性確保の方針

表3の整理を踏まえ、地下水位低下設備で汲み上げた地下水を確実に海へ排水し、技術基準第5条（耐震）に適合した状態を維持するため、北側幹線排水路流末部を構成する施設（敷地側集水ピット（北側）、北側排水路（防潮堤横断部）、出口側集水ピット（北側））及び南側幹線排水路流末部を構成する施設（敷地側集水ピット（南側）、南側排水路（防潮堤横断部）、出口側集水ピット（南側））について、基準地震動 S s に対する機能維持を確認することにより排水機能を確保する。また、この範囲について耐震Cクラス*に分類する（表4）。

技術基準第5条（耐震）適合上必要な屋外排水路の耐震性の確保範囲を図9に示す。

注記*：耐震重要度は、その重要度に応じたクラス分類（S, B, C）と、それらに該当する施設が示されている。表4のとおり、屋外排水路はSクラス設備及びBクラス設備のいずれにも該当しないため、耐震Cクラスに分類した。

表 4 北側幹線排水路流末部及び南側幹線排水路流末部における耐震設計上の重要度分類

耐震クラス	定義	対象とする施設の例	該当
S	地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 使用済燃料を貯蔵するための施設 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 等 	×
B	安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 放射性廃棄物を内蔵している施設（ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年通商産業省令第77号）第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。）等 	×
C	Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設	-	○

「VI-2-1-4_耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分の基本方針」を参照し作成

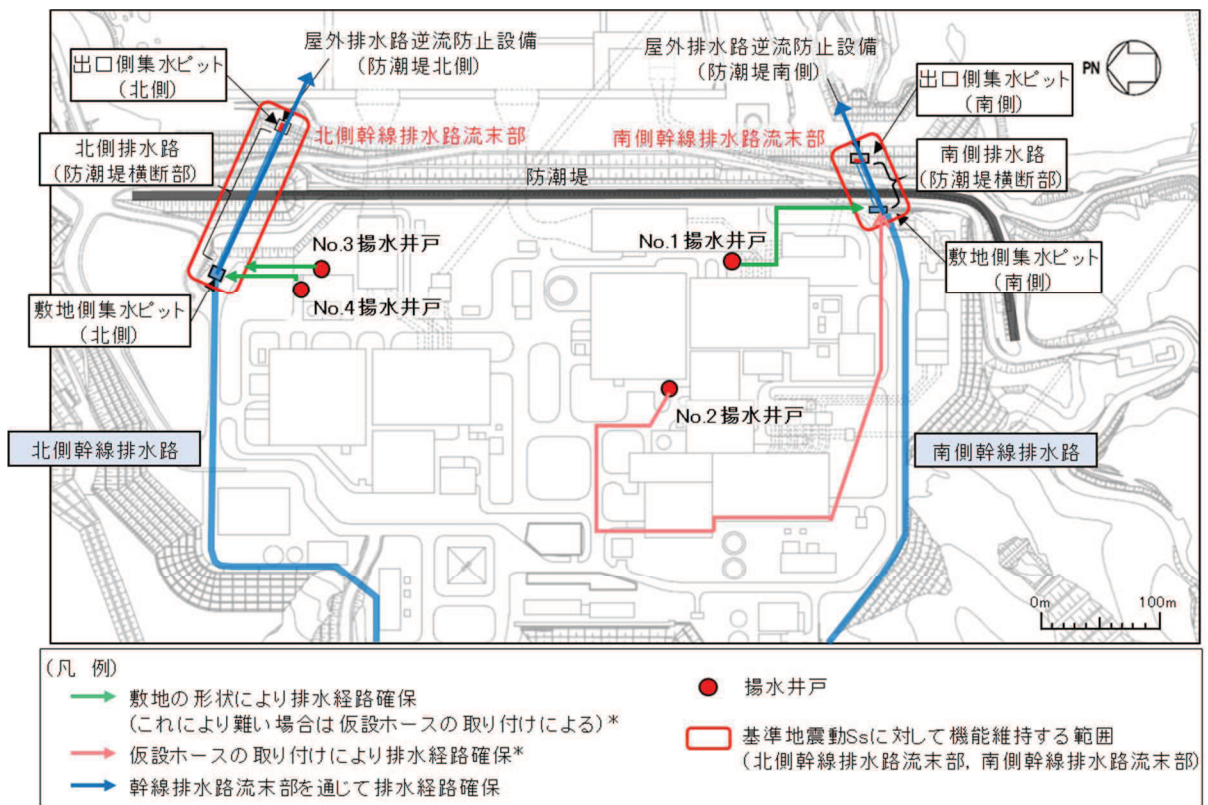


図9 技術基準第5条（耐震）適合上必要な屋外排水路の耐震性の確保範囲

4. 他条文への影響

3.2 及び 3.3 に示す屋外排水路の設計方針を踏まえた各技術基準適合要求への影響について確認し、いずれも影響がないことを確認した（詳細は表 5 参照）。

表 5(1) 幹線排水路流末部の耐震性確保（技術基準第 5 条）を踏まえた各技術基準適合要求への影響

技術基準	設置変更許可時の説明	技術基準適合への影響
第 5 条 (耐震)	— (屋外排水路は、設計基準降水量を上回る排水能力を有する設計としていることから、水位保持上の前提としていたが、基準適合上の位置付けに係る説明は無し)	・ 北側・南側幹線排水路流末部の耐震性を確保することにより、水位保持上の前提である O.P.+14.8m 盤から海へ排水される状態が確実に維持される。(設定した設計用揚圧力・設計用地下水位への影響はない。)
第 6 条 (耐津波設計 (内郭防護))	・ 内郭防護における屋外タンク等の損傷による溢水影響にて、屋外排水路の機能に期待しない評価を説明。(耐津波設計で考慮する敷地への溢水源の設定では、屋外排水路による排水を期待せず、敷地に滞留した場合であっても、浸水防護重点化範囲に流入しないことを確認。)	・ 屋外排水路の機能に期待しない評価を実施していることから、北側・南側幹線排水路流末部の耐震性を確保した場合においても基準適合への影響はない。なお、屋外タンクの破損等により発生した O.P.+14.8m 盤の水は地震随伴事象により発生するものであり、北側・南側幹線排水路流末部の耐震性を確保することによって、確実に屋外排水路を通じて海へ排水される。
第 7 条 (外部事象(自然現象))	・ 想定される自然現象(地震、津波を除く)に対し、屋外排水路の機能に期待する個別事象として、降水による浸水の影響評価を実施し、外部事象防護対象施設等がその安全機能を損なわないことを説明。(屋外排水路は、敷地への降水を海域に排水するものであり、設計基準降水量を上回る排水能力を有する設計としている。3.1(2)参照。) ・ 自然現象の重量について、事象(影響モード)の内容を基に、影響が増長する事象の組合せを網羅的に検討し、降水を含む事象の組合せにおいて、影響が増長するものはないことを説明。(詳細については表 5(2)参照。)	・ 考慮する自然現象は降水であり、北側・南側幹線排水路流末部の耐震性を確保した場合においても敷地への降水を海域に排水する機能に影響はなく、外部事象防護対象施設等の安全機能に影響を及ぼさないことから、基準適合への影響はない。また、自然現象の組合せの影響に対する確認結果は表 5(2)に示すとおりであり、降水による浸水影響の個別評価と変わらず、外部事象防護対象施設等の安全機能に影響を及ぼさないことから、基準適合への影響はない。なお、北側・南側幹線排水路流末部の耐震性を確保することによって、地震時においても確実に屋外排水路を通じて海へ排水される。
第 12 条 (内部溢水)	・ 屋外排水路の機能に期待しない溢水評価を説明。(屋外タンク等の損傷における敷地への溢水源の設定では、屋外排水路による排水を期待せず、敷地に滞留した場合であっても、防護対象設備に対して溢水影響を及ぼさないことを確認。)	・ 屋外排水路の機能に期待しない評価を実施していることから、北側・南側幹線排水路流末部の耐震性を確保した場合においても基準適合への影響はない。なお、屋外タンクの破損等により発生した O.P.+14.8m 盤の水は地震随伴事象により発生するものであり、北・南側幹線排水路流末部の耐震性を確保することによって、確実に屋外排水路を通じて海へ排水される。
第 54 条 (アクセスルート)	・ 敷地への溢水(屋外タンク損傷)は、アクセスルート復旧作業の開始前に排水路から排水可能であり、アクセスルート復旧作業への影響はない。 ・ 排水を考慮しない場合でも可搬型車両の通行は可能であり、人員への影響も小さい。	・ 敷地への溢水(屋外タンク損傷)は、アクセスルート復旧作業の開始前に耐震性を確保した北側・南側排水路流末部より排水可能であり、アクセスルート復旧作業への影響はない。 ・ 排水を考慮しない場合、アクセスルートから、側溝やより沈下量の大きな建屋近傍へ流下するため、可搬型車両の通行は可能であり、人員への影響も小さい。

表 5(2) 女川原子力発電所において想定される自然現象の組合せがプラントに及ぼす影響の評価結果（影響モード：浸水）（設置変更許可時の説明内容）

影響モードを含む事象	事象の組合せ	検討結果	備考
降水	風（台風）×降水	降水による敷地の浸水の可能性が考えられるが、構内排水路により排水することで敷地が浸水することはない。また、風（台風）による影響（荷重）を組み合わせたとしても降水による浸水影響の個別評価と変わらない。	女川原子力発電所 2号炉設置変更許可申請書 02-NP-0272（改114）外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）別添資料1 第5.3-8表より抜粋
	（風（台風）×降水）×凍結×積雪	降水による敷地の浸水の可能性が考えられるが、構内排水路により排水することで敷地が浸水することはない。また、風（台風）及び積雪による影響（荷重）、及び、凍結による影響（温度及び閉塞）を組み合わせたとしても、降水による浸水影響の個別評価と変わらない。	
	（風（台風）×降水）×竜巻	降水による敷地の浸水の可能性が考えられるが、構内排水路により排水することで敷地が浸水することはない。また、風（台風）及び竜巻による影響（荷重）を組み合わせたとしても、降水による浸水影響の個別評価と変わらない。	
	（風（台風）×降水）×落雷	降水による敷地の浸水の可能性が考えられるが、構内排水路により排水することで敷地が浸水することはない。また、落雷による影響（電氣的影響）を組み合わせたとしても、降水による浸水影響の個別評価と変わらない。	
	（風（台風）×降水）×火山の影響	湿った降下火砕物が乾燥して固結することにより、排水口等を閉塞させ浸水することが考えられるが、固結した降下火砕物は降水により溶解するため浸水は生じない。また、風（台風）による影響（荷重）及び降水による影響（浸水）を組み合わせたとしても、降水による浸水影響の個別評価と変わらない。	
	（風（台風）×降水）×生物学的事象	降水による敷地の浸水の可能性が考えられるが、構内排水路により排水することで敷地が浸水することはない。また、風（台風）による影響（荷重）及び生物学的事象による影響（閉塞、電氣的影響）を組み合わせたとしても、降水による浸水影響の個別評価と変わらない。	
	（風（台風）×降水）×森林火災	降水による敷地の浸水の可能性が考えられるが、構内排水路により排水することで敷地が浸水することはない。また、風（台風）による影響（荷重）及び森林火災による影響（温度、閉塞、電氣的影響、摩耗）を組み合わせたとしても、降水による浸水影響の個別評価と変わらない。	
	（風（台風）×降水）×地震	降水による敷地の浸水の可能性が考えられるが、構内排水路により排水することで敷地が浸水することはない。また、風（台風）及び地震による影響（荷重）を組み合わせたとしても、降水による浸水影響の個別評価と変わらない。	
	（風（台風）×降水）×津波	降水及び津波による浸水影響が重畳することにより、敷地に対する浸水影響が増長すると考えられるが、構内排水路により排水することで敷地が降水により浸水することはないこと、基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により敷地内に到達することはないことから、敷地が浸水に至る可能性はない。なお、津波により所内の排水設備が使用できない場合でも、津波の継続時間は短いことから、降水により浸水に至る可能性はない。	

5. 工認図書における取扱い

3.2 及び 3.3 に示す屋外排水路の設計方針について、表 6 のとおり各図書に整理する。

表 6(1) 地下水位低下設備に係る各図書における屋外排水路の記載について (1/5)

分類	対応箇所	対応内容 (3.2 及び 3.3 に示す対策の反映箇所)
本文	<p>基本設計方針 (5/50条)</p> <p>原子炉冷却系統施設 (共通項目)</p> <p>2. 自然現象</p> <p>2.1 地震による損傷の防止</p> <p>2.1.1 耐震設計</p> <p>(5) 設計における留意事項</p> <p>b. 主要施設への地下水の影響</p>	<p>▶以下の記載とする。</p> <p>(中略)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 地下水位低下設備は、ドレーン及び接続柵により揚水井戸に地下水を集水し、揚水ポンプ (容量 375m³/h/個、揚程 52m、原動機出力 110kW/個) により、揚水ポンプに接続された配管を通して地下水を屋外排水路へ排水する。 ・ 揚水ポンプは、地下水の最大流入量を排水可能な容量を有する設計とし、設備の信頼性向上のため 100%容量のポンプを1系統当たり2個 (計8個) 設置し、集水した地下水を排水できる設計とする。 ・ 配管上端部には仮設ホース等を接続するための接続口を設置し、屋外排水路の排水異常により地表面での滞水が確認された場合に、揚水ポンプにより汲み上げた地下水を仮設ホース等を通じて排水可能なものとする。 <p>(中略)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 地下水位低下設備は、保安規定において運転上の制限を設定し、地下水位を一定の範囲に保持できない場合又はそのおそれがある場合には、可搬ポンプユニットによる水位低下措置を速やかに開始するとともに、原子炉を停止する。 ・ 屋外排水路の排水異常により、地表面での滞水が確認された場合は、仮設ホース等の対応を行い、排水経路の確保を行う。 ・ また、地下水位低下設備の復旧措置及び屋外排水路の排水異常時の措置に的確かつ柔軟に対処できるように、地下水位低下設備の復旧措置及び屋外排水路の排水異常時の措置に係る資機材の配備、手順書及び体制の整備並びに教育訓練の実施方針を自然災害発生時等の体制の整備及び重大事故等発生時の体制の整備として、保安規定に定めた上で、社内規定に定める。 <p>(中略)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 地下水位低下設備で汲み上げた地下水は、支線排水路、敷地の北側及び南側に設置した幹線排水路から構成される屋外排水路を通じて海へ排水する設計とする。 ・ 敷地側集水ピットから海への排水経路を構成する北側幹線排水路流末部 (敷地側集水ピット (北側)、北側排水路 (防潮堤横断部) 及び出口側集水ピット (北側))、南側幹線排水路流末部 (敷地側集水ピット (南側)、南側排水路 (防潮堤横断部) 及び出口側集水ピット (南側)) については、基準地震動 S_s に対し機能維持することにより、排水経路を確保する。また、地震時においては、敷地の形状又は仮設ホース等の取り付けにより、各揚水井戸配管出口から敷地側集水ピットまでの排水経路を確保する。

表 6(2) 地下水位低下設備に係る各図書における屋外排水路の記載について (2/5)

分類	対応箇所	対応内容 (3.2 及び 3.3 に示す対策の反映箇所)
添付資料 (1/4)	VI-2-1-1 耐震設計の基本方針	▶ 屋外排水路の排水機能喪失時の対応 (仮設ホース等による対応) を以下に記載
	VI-2-1-1-別添1 地下水位低下設備の設計方針	<p>1. 概要</p> <p>地下水位低下設備の機能喪失及び屋外排水路の排水異常を想定し、地下水位低下設備の復旧措置及び屋外排水路の排水異常時の措置に係る基本方針を整理し、基本方針に対する資機材の構成及び地下水位低下設備の復旧措置及び屋外排水路の排水異常時の措置に係る運用管理等を定めることを記載</p> <p>4. 機能の設計方針及び設計仕様</p> <p>4.3 排水機能 (揚水ポンプ及び配管)</p> <p>4.3.1 排水機能の設計方針</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外排水路の排水異常時の対応を記載 (以下) 「配管上端部には仮設ホース等を接続するための接続口を設置し、屋外排水路の排水異常により地表面での滞水が確認された場合に、揚水ポンプにより汲み上げた地下水を仮設ホース等を通じて排水可能なものとする。」 <p>4.3.2 排水機能の設計仕様</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 配管図の追加 (分岐管構造として) ・ 揚程の説明に、4.3.1と同主旨の説明を記載 <p>6. 地下水位低下設備の復旧措置及び屋外排水路の排水異常時の措置に必要な資機材の検討</p> <p>6.4 屋外排水路の排水異常時の措置</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 仮設ホース長を記載 <p>7. 運用管理・保守管理</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 資機材整備・手順策定について記載 (以下) 「地下水位低下設備の復旧措置及び屋外排水路の排水異常時の措置に的確かつ柔軟に対処できるように、地下水位低下設備の復旧措置及び屋外排水路の排水異常時の措置に係る資機材を配備し、手順書及び必要な体制を整備し、教育及び訓練を実施することを保安規定に定めた上で社内規定に定める。また、地下水位低下設備の復旧措置及び屋外排水路の排水異常時の措置に係る資機材は、社内規定に点検頻度等を定め、適切に維持管理する。」 ・ 7.1 運用管理の方針 「7. 運用管理・保守管理」と同主旨の説明を記載 ・ 7.2 保守管理の方針 「7. 運用管理・保守管理」と同主旨の説明を記載

表 6(3) 地下水位低下設備に係る各図書における屋外排水路の記載について (3/5)

分類	対応箇所	対応内容 (3.2 及び 3.3 に示す対策の反映箇所)
添付資料 (2/4)	VI-2-13-1 地下水位低下設備の耐震計算の方針	<p>▶ 基本設計方針における S s 機能維持の確保方法について、別紙にて記載する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 基準地震動 S s に対し機能維持するにあたり、敷地側集水ピット（北側）、北側排水路（防潮堤横断部）、出口側集水ピット（北側）、敷地側集水ピット（南側）及び出口側集水ピット（南側）については、各部材が終局状態に至らないことを目標性能と定め、許容限界を短期許容応力度、曲げ耐力、圧縮耐力、せん断耐力とする。 ・ また、南側排水路（防潮堤横断部）については、敷地側集水ピット（南側）と出口側集水ピット（南側）の間の MMR 内にある連続した空洞であることから、排水断面を保持する上で必要な施設範囲として空洞周辺の MMR（排水路部）を設定し、この範囲がおおむね弾性範囲にとどまることを目標性能と定め、許容限界を引張強度及びせん断強度とする。
	VI-2-1-4 耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分の基本方針	<p>▶ 耐震重要度分類表（耐震Cクラス）に、幹線排水路流末部を構成する施設を記載する。 屋外排水路（敷地側集水ピット（北側）、北側排水路（防潮堤横断部）、出口側集水ピット（北側）、敷地側集水ピット（南側）、南側排水路（防潮堤横断部）、出口側集水ピット（南側））</p>
	VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書	<p>▶ 以下を記載する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 敷地側集水ピット（北側）の計算結果 ・ 敷地側集水ピット（南側）の計算結果 ・ 南側排水路（防潮堤横断部）の計算結果
	VI-2-11-2-19 北側排水路の耐震性についての計算書	<p>▶ 北側排水路（防潮堤横断部）の計算結果を記載する。（防潮堤への波及的影響として評価）</p>
	VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書	<p>▶ 出口側集水ピット（北側）の計算結果を記載する。（耐震 S クラスの屋外排水路逆流防止設備*の支持構造物として評価）</p>
	VI-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書	<p>▶ 出口側集水ピット（南側）の計算結果を記載する。（耐震 S クラスの屋外排水路逆流防止設備*の支持構造物として評価）</p>

注記*：出口側集水ピットが支持する逆流防止設備（フラップゲート）の開機能維持については、「補足-140-1 津波への配慮に関する説明書の補足説明資料」の「6.5.1.8 屋外排水路逆流防止設備の開閉機能の維持について」に詳細を示す。

表 6(4) 地下水位低下設備に係る各図書における屋外排水路の記載について (4/5)

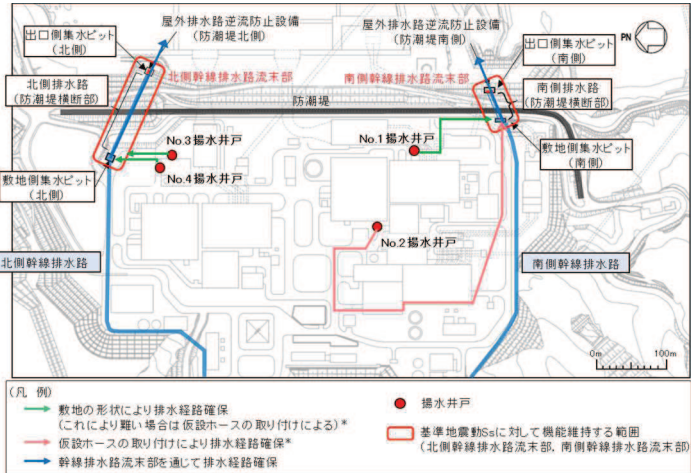
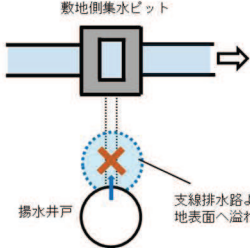
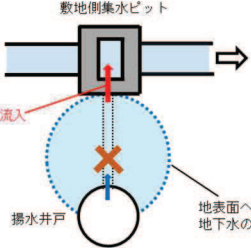
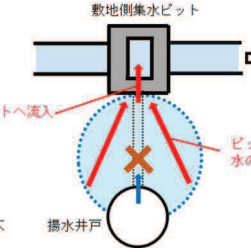
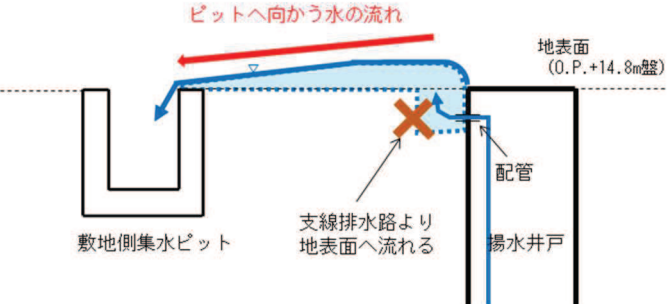
分類	対応箇所	対応内容 (3.2 及び 3.3 に示す対策の反映箇所)
添付資料 (3/4)	VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針	<p>▶ 以下の記載とする。</p> <p>5. 耐震評価における地下水位設定方針</p> <p>5.1 基本方針</p> <p>建物・構築物及び土木構造物は、地下水位低下設備^{*1}の効果が及ぶ範囲においては、その機能を考慮した設計用地下水位を設定し水圧の影響を考慮する。なお、地下水位低下設備の効果が及ばない範囲においては、自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて設計用地下水位を設定し、水圧の影響を考慮する。</p> <p>注記*1：地下水位低下設備と排水経路確保について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防潮堤下部の地盤改良等により地下水の流れが遮断され敷地内の地下水位が地表面付近まで上昇するおそれがあることを踏まえ、地下水位を一定の範囲に保持するため地下水位低下設備を設置する。 ・地下水位低下設備で汲み上げた地下水は、支線排水路、敷地の北側及び南側に設置した幹線排水路から構成される屋外排水路を通じて海へ排水されることにより地下水位を一定の範囲に保持する。 ・このうち、敷地側集水ピットから海への排水経路を構成する北側幹線排水路流末部（敷地側集水ピット（北側）、北側排水路（防潮堤横断部）及び出口側集水ピット（北側））、南側幹線排水路流末部（敷地側集水ピット（南側）、南側排水路（防潮堤横断部）及び出口側集水ピット（南側））については、基準地震動 Ss に対し機能維持することにより、排水経路を確保する（図5-1(1)）。 ・また、地震時においては、敷地の形状又は仮設ホース等の取り付けにより、排水路流末部までの排水経路を確保する設計とする。No.1, No.3, No.4揚水井戸は、揚水井戸から敷地側集水ピットまでの排水経路が短く、支線排水路に期待せず敷地の形状により地表面を通じて敷地側集水ピットへ排水可能である（図5-1(2)）。No.2揚水井戸は排水経路が相対的に長いため、仮設ホース等の取り付けにより敷地側集水ピットへ排水する。 ・地下水位低下設備の詳細は「VI-2-1-1-別添1 地下水位低下設備の設計方針」を参照。地下水位低下設備及び地下水の排水経路を構成する屋外排水路の耐震評価方針については「VI-2-13-1 地下水位低下設備の耐震計算の方針」を参照。  <p>(凡例)</p> <ul style="list-style-type: none"> 敷地の形状により排水経路確保 (これにより難しい場合は仮設ホースの取り付けによる)* 仮設ホースの取り付けにより排水経路確保* 幹線排水路流末部を通じて排水経路確保 揚水井戸 基準地震動 Ss に対して機能維持する範囲 (北側幹線排水路流末部、南側幹線排水路流末部) <p>注記*：各揚水井戸～敷地側集水ピット間の仮設ホースの経路は最長経路として表示。</p>
	<p>図 5-1(1) 屋外排水路の耐震性の確保範囲</p>	

表 6(5) 地下水位低下設備に係る各図書における屋外排水路の記載について (5/5)

分類	対応箇所	対応内容 (3.2 及び 3.3 に示す対策の反映箇所)
添付資料 (4/4)	VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針	<p style="text-align: center;">対応内容 (3.2 及び 3.3 に示す対策の反映箇所)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 30%;"> <p>step1 揚水井戸から汲み上げた地下水が地表面に溢れる</p>  </div> <div style="width: 30%;"> <p>step2 揚水ポンプにより徐々に押し出され敷地側集水ピットに到達し上部の開口から流入する</p>  </div> <div style="width: 30%;"> <p>step3 敷地側集水ピットに流入する状態が継続し、ピットへ向かう流れが形成される</p>  </div> </div> <p style="text-align: center;">a. 平面図</p>  <p style="text-align: center;">b. 断面図</p> <p style="text-align: center;">図 5-1(2) 敷地の形状により地表面を通じて排水する考え方</p>
補足説明資料	補足 600-25-2 地下水位低下設備の耐震性に係る補足説明資料	<p>➤ 敷地側集水ピット (北側) 及び敷地側集水ピット (南側) の計算結果に係る詳細情報を記載する。</p>
	補足-600-4 下位クラス施設の波及的影響の検討について	<p>➤ 南側排水路 (防潮堤横断部) (防潮堤への波及的影響としての評価)</p>

6. まとめ

地下水位低下設備の機能を考慮した0. P. +14. 8m盤の施設等における設計用揚圧力・設計用地下水位を保持し、技術基準第5条（耐震）に適合した状態を維持することに対する屋外排水路の機能及び耐震性に係る設計方針について、以下のとおり整理した。

- ・地下水位低下設備で汲み上げた地下水を、屋外排水路を介して海へ排水可能な経路を確保するため、地震時における影響検討を行った結果を踏まえ、以下の通り整理した。
 - a. No. 1揚水井戸、No. 3揚水井戸、及びNo. 4揚水井戸から汲み上げた地下水について、地震時には地表に溢れ敷地の形状により自然流下し敷地側集水ピットへ流れる。なお、敷地の形状により排水経路が確保できない場合においても、揚水井戸内の配管上端に設置した接続口に仮設ホース等を接続し流路を構成することにより、地下水を確実に排水する。
 - b. No. 2揚水井戸は、0. P. +14. 8m盤に溢れ滞水するおそれがあるため、仮設ホース等を用いた運用にて流路を構成することにより、敷地側集水ピットまでの排水を確保する。
 - c. また、敷地側集水ピットから海への排水経路を構成する北側幹線排水路流末部（敷地側集水ピット（北側）、北側排水路（防潮堤横断部）及び出口側集水ピット（北側））、南側幹線排水路流末部（敷地側集水ピット（南側）、南側排水路（防潮堤横断部）、出口側集水ピット（南側））については、閉塞等による設計用地下水位への影響が生じないように、基準地震動 S_s に対し機能維持することにより、排水経路を確保する。
 - d. 各幹線排水路流末部を構成する施設については、基準地震動 S_s に対する機能維持を確認することにより排水機能を確保することとし、耐震Cクラスに分類する。
- ・この方針により、地下水位低下設備で汲み上げた地下水が海へ確実に排水されることから、技術基準第5条（耐震）に適合した状態を保持できることを確認した。また、関連する各技術基準適合要求への影響がないことを確認した。
- ・この方針について、技術基準第5条（耐震）適合上必要な設計として、本文（基本設計方針 第5/50条）並びに関連する添付資料、補足説明資料へ反映させる。

また、排水をより確実にを行うための自主的な対策について、別紙1に整理した。

屋外排水路に係るその他の自主的な対策

1. 支線排水路の設計における揺すり込み沈下影響の考慮

敷地側集水ピットへ支線排水路を接続する No.1 揚水井戸, No.3 揚水井戸, No.4 揚水井戸については, 揚水井戸より汲み上げた地下水が敷地側集水ピットへ自然流下されるよう, 敷地側集水ピット側壁に設置する通水孔を通じてピット内に排水する設計とする。

また, 南側幹線排水路へ支線排水路を接続する No.2 揚水井戸においても, 揚水井戸より汲み上げた地下水が南側幹線排水路へ自然流下されるよう, 南側幹線排水路側壁に設置する通水孔を通じて南側幹線排水路内に排水する設計とする (図 10)。

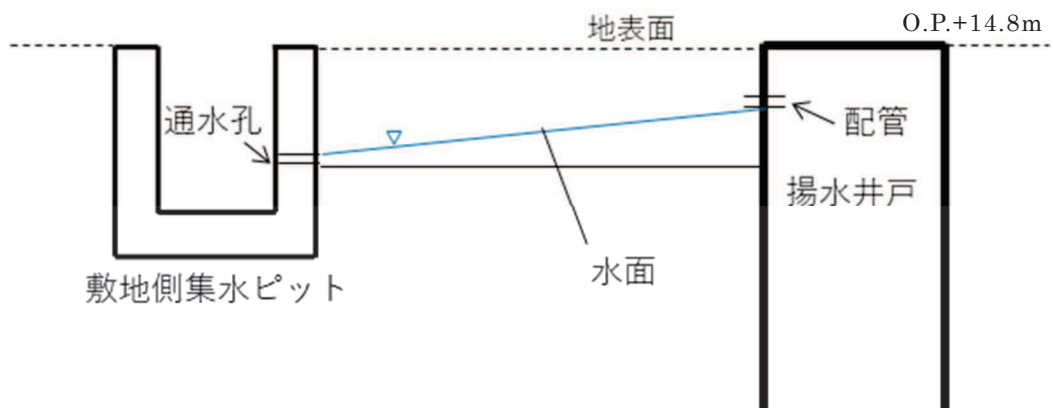


図 10(1) No. 1, 3, 4 揚水井戸～敷地側集水ピットの排水経路概念図

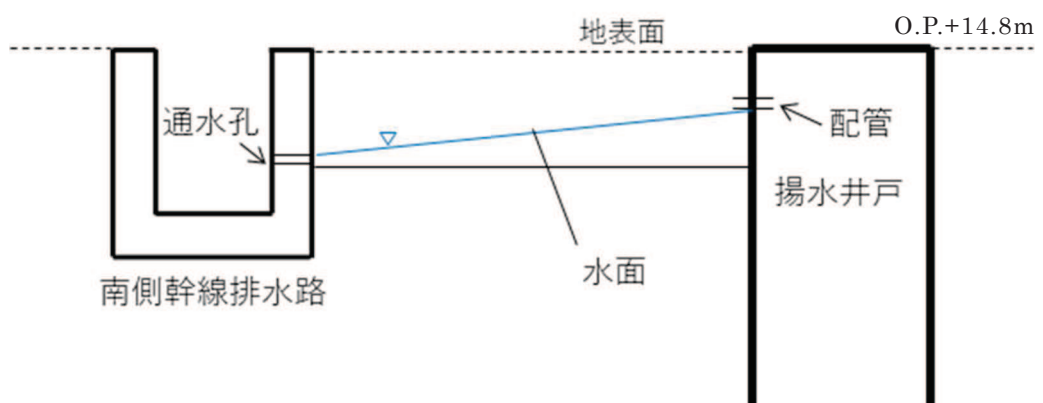


図 10(2) No. 2 揚水井戸～南側幹線排水路の排水経路概念図

水面の高さは、揚水井戸の配管高さと同集水ピットの通水孔の設置レベルにより規定されるが、揺すり込み沈下が発生したとしても地下水が支線排水路（側溝）から溢れないよう、側溝は十分高さのあるものを据付けておき、地震時における漏水防止を図る（図11）。

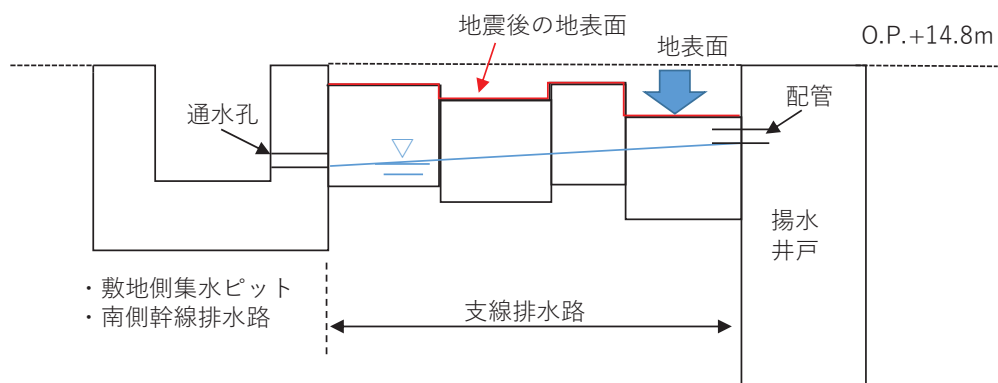


図 11 地震時における支線排水路の想定状況

以下、表 7 に各揚水井戸からの排水経路における想定沈下量を示す。なお、この沈下量は図 6 の支線排水路線形に対応した評価であり、変更となる可能性がある。

表 7(1) 各揚水井戸からの排水経路における想定沈下量

		排水経路と沈下量*
No. 1 揚水井戸	排水経路	
	沈下量	
No. 2 揚水井戸	排水経路	
	沈下量	

注記* : 盛土部の沈下率は参考 3 の通り 1.4%と設定しており、盛土部の層厚を乗じて設定した。沈下率設定の詳細は「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。

表 7(2) 各揚水井戸からの排水経路における想定沈下量

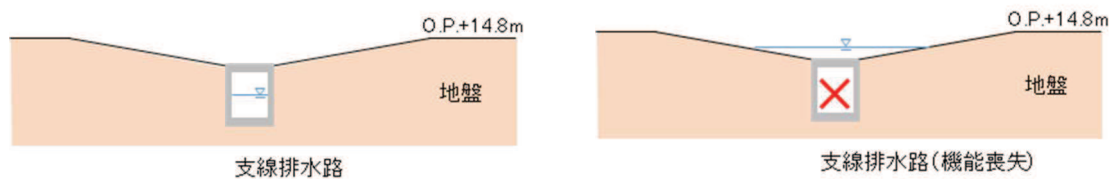
		排水経路と沈下量*
No. 3, No. 4 揚水井戸	排水経路	
	沈下量	

注記*：盛土部の沈下率は参考 3 の通り 1.4%と設定しており，盛土部の層厚を乗じて設定した。沈下率設定の詳細は「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。

2. 支線排水路の施工上の配慮

No.1 揚水井戸，No.3 揚水井戸，No.4 揚水井戸からの排水は，支線排水路の機能低下時は地表面を通じて敷地側集水ピットへ流れるが，この区間の支線排水路は，図13のとおり地表面より低い位置へ設置し，地表面に支線排水路へ向かう勾配を設ける。

この施工上の配慮により，支線排水路付近の地盤が低くなり，支線排水路が機能低下した場合においても流路として選択されることにより，より確実に揚水井戸から敷地側集水ピットへの排水を行うことが可能となる。



注：図はイメージであり，排水との関係を示すため地表の勾配は大きめに表示している。

図13 支線排水路の設置例

3. 点検・手入れ

アクセスルートについては地震後に点検を行う。この点検において，排水異常によるアクセスルート範囲への地下水の流入等が確認された場合は，速やかに土のう等を用いた復旧対応を行う。

更に，排水異常による地表面での滞水が確認され，屋外アクセスルートに影響が生じるおそれがある場合は，排水異常が発生している揚水井戸の揚水ポンプを停止し，揚水井戸内の配管上端に設置した**接続口**（図14）に仮設ホース等を接続することで排水経路を構成し，揚水ポンプを復旧する。

このことにより，アクセスルートへの地下水の流入を早期に発見し対応することができる。

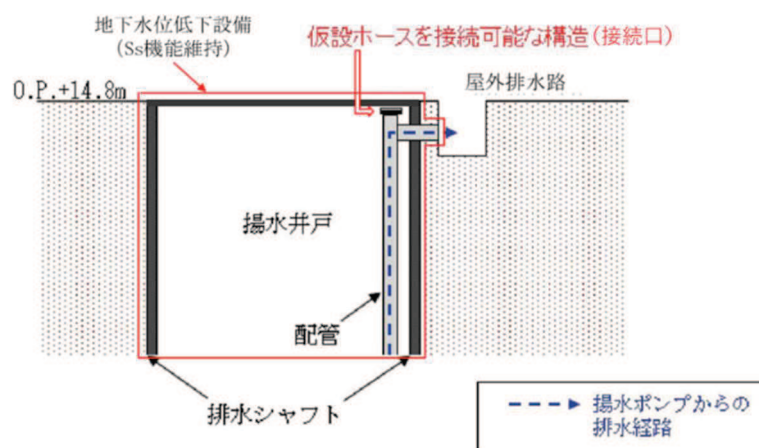


図14 揚水井戸 接続口の概要図

既設の屋外排水路の概要

1. 配置と排水能力

屋外排水路は、図1-1に示すとおり第1号機～第3号機の主要建屋の北側と南側に設置される幹線排水路及び幹線排水路に接続する支線排水路にて構成される。揚水井戸から汲み上げた地下水は、降雨の際の表面水と共に支線排水路を通過して図1-2に示す北側幹線排水路・南側幹線排水路に流れ、排水勾配により海へ排水される。

北側・南側幹線排水路上には、いずれも防潮堤横断箇所より上流側に敷地側集水ピット、下流側に出口側集水ピットを設置しており、海側の出口にはSクラスの逆流防止設備を設置している。

幹線排水路は、表1-1に示すとおり、設計基準降水時（91.0mm/h）における雨水流入量を十分排水可能な排水能力を有している。

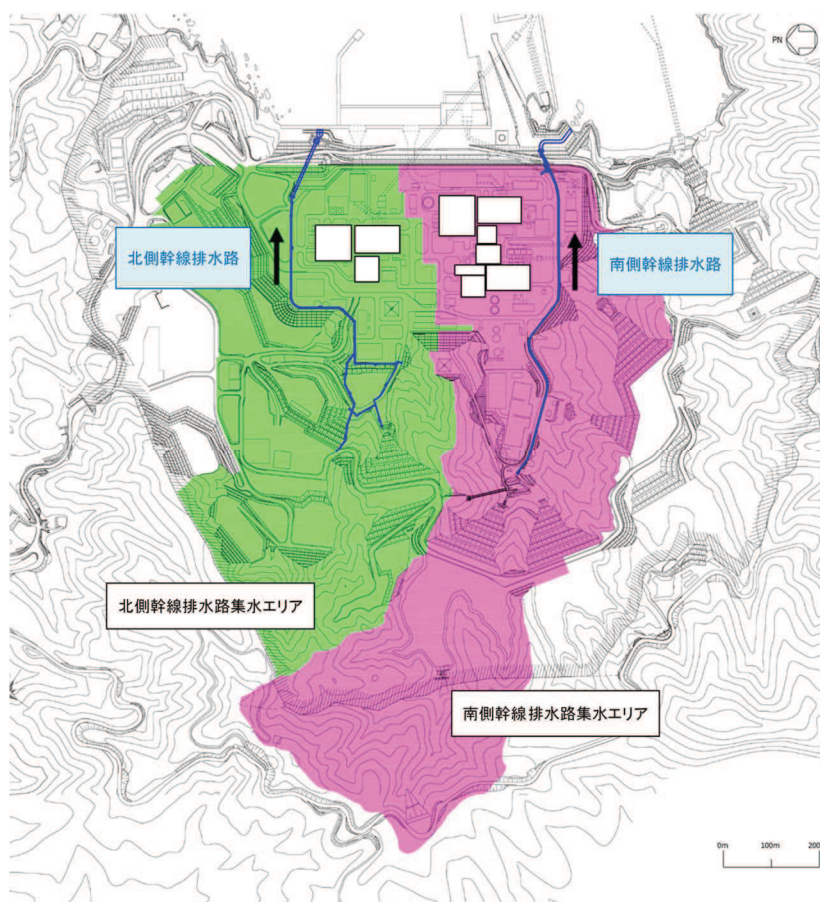


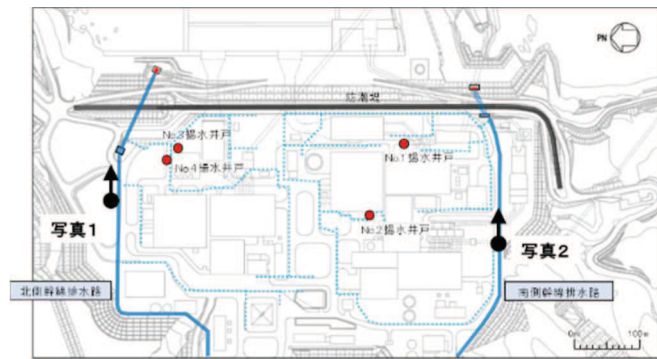
図1-1 既設の各幹線排水路の集水エリア



北側幹排水路（写真1）



南側幹線排水路（写真2）



写真撮影位置図

図 1-2 既設の各幹線排水路の設置状況

表1-1 幹線排水路の排水能力（本編 表2再掲）

排水路名	設計基準降水時（91.0mm/h） 雨水流入量（m ³ /s）	排水可能流量 （m ³ /s）
北側幹線排水路	9.4	51.16
南側幹線排水路	9.5	16.23

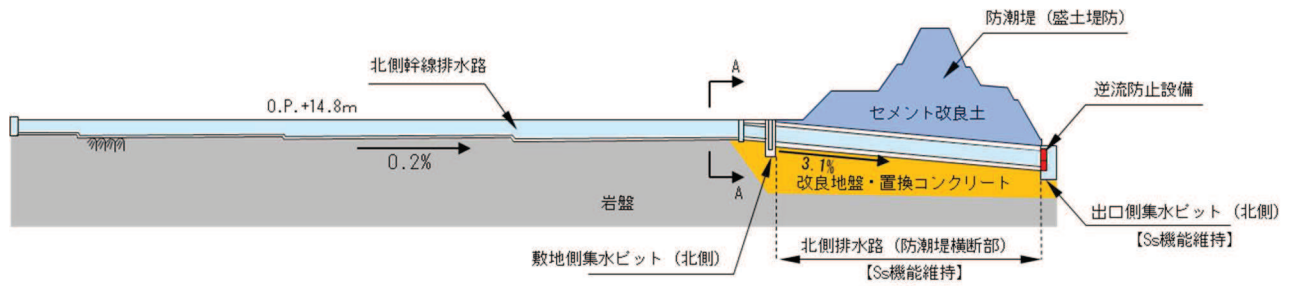
「女川原子力発電所2号炉設置変更許可申請書
02-NP-0272（改114）別添資料1」より引用

2. 構造及び支持の状況

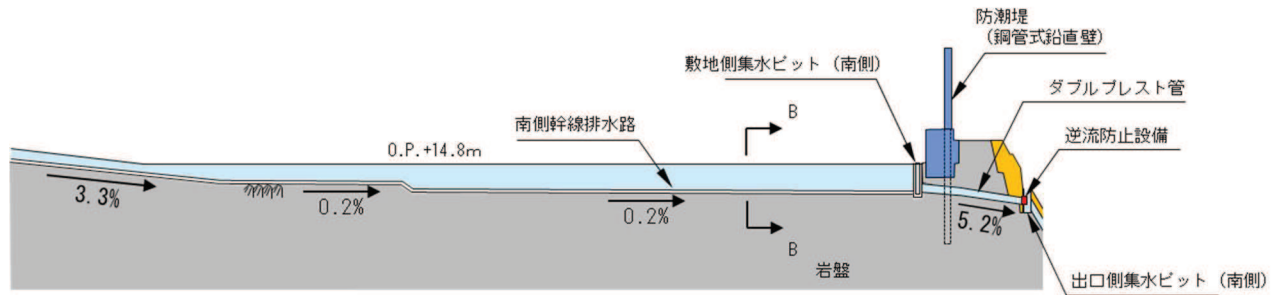
北側・南側幹線排水路の断面図を図1-3に示す。

北側幹線排水路は岩盤、改良地盤及び置換コンクリート、南側幹線排水路は岩盤により支持されている。

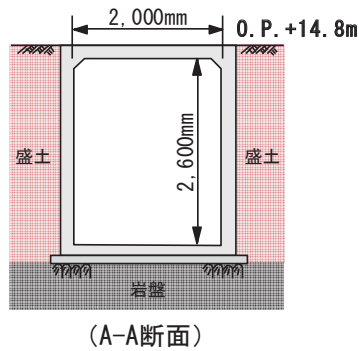
また、支線排水路はO.P.+14.8m盤付近に設置され、その多くの区間が盛土上に構築される。



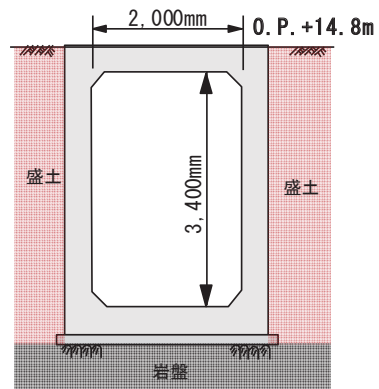
北側幹線排水路の縦断図



南側幹線排水路の縦断図



(A-A断面)



(B-B断面)

図1-3 北側・南側幹線排水路の断面図 (本編図5再掲)

「補足 140-1 津波への配慮に関する説明書の補足説明資料」, 「補足 600-1 地盤の支持性能について」から抜粋・一部修正

No. 1 揚水井戸から敷地側集水ピットへの排水経路

No. 1 揚水井戸から敷地側集水ピットへの排水経路を例に，排水経路の選定の考え方を示す。

排水経路は周囲の地上構造物を考慮し設定しており，図 2-1 に示すとおり，No. 1 揚水井戸から敷地側集水ピット（南側）までには，防潮堤，防潮壁（第 2 号機放水立坑）が存在し，南東側には地盤改良，岩盤が地表面付近まで存在していることから，排水経路としては，設置性，距離の短さ，メンテナンス性，及び揺すり込み沈下の影響を極力回避する観点から，防潮堤と防潮壁（第 2 号機放水立坑）の間にある構内道路脇を設定した（経路 1）。

防潮壁（第 2 号機放水立坑）西側には，第 2 号機タービン建屋との間に南側幹線排水路に通じる空間が存在し，そこを通すことも考えられるが（経路 2），補機放水路等の構造物もあり狭隘で設置性やメンテナンス性に劣るため，除外している。

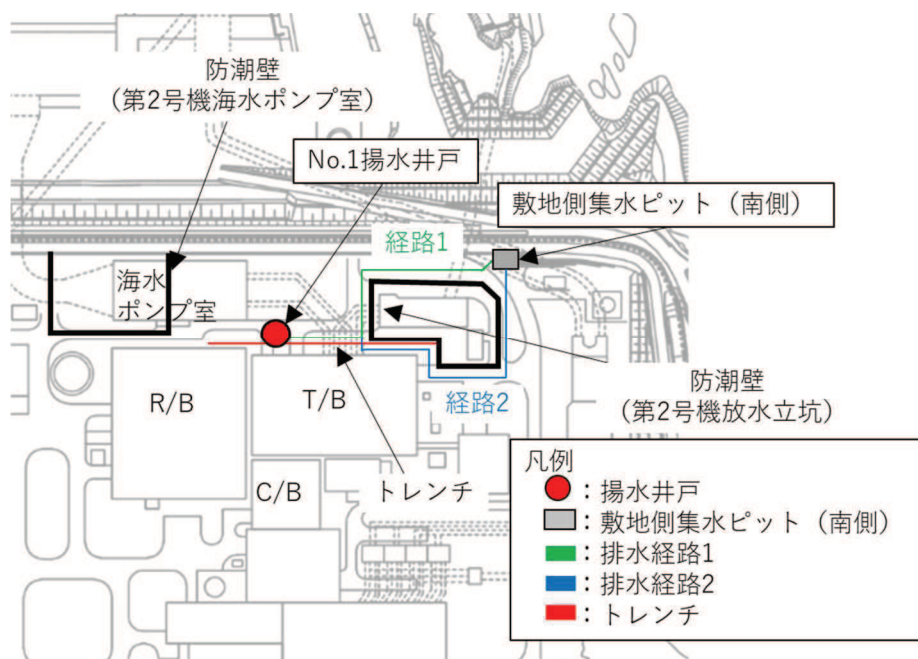


図2-1 No. 1揚水井戸から敷地側集水ピットへの排水経路

なお，No. 3, 4 揚水井戸から敷地側集水ピット（北側）までの区間は，特段障害物が存在しないことから直線的に排水経路を設定している。

地震時における屋外アクセスルートの通行性に対する支線排水路の影響

1. はじめに

地下水位低下設備から汲み上げた地下水は、本編 3.2 の屋外排水路の設計方針により、O. P. +14.8m 盤から海へ確実に排水されることから、地震時においても屋外アクセスルートの通行性への影響はない。

以下に、支線排水路が機能喪失した場合における屋外アクセスルートの通行性への影響を説明する。

2. 地震時における屋外アクセスルートの通行性

可搬型重大事故等対処設備の屋外アクセスルートについては、添付書類「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ついて」において、地震時における盛土及び旧表土の不等沈下による段差を評価し、補強材敷設による事前の段差緩和対策、若しくは段差発生後の砕石を用いた重機による段差解消作業を実施することにより、車両の通行性に影響する急激な段差は発生せず、通行性を確保する設計としている。

また、想定以上の段差が発生した場合に備えて、段差解消作業用の土のう等を準備していることから（図 3-1 及び「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」）、地震により局所的に地表面が沈下し、想定箇所以外において通行に支障のある段差が発生した場合は、土のう等を用いた段差解消作業により通行性を維持する。

3. 支線排水路が機能喪失した場合の屋外アクセスルートの通行性

地震により支線排水路が機能喪失した場合は、盛土及び旧表土の不等沈下により発生する段差部に滞水する可能性があるが、補強材敷設による事前の段差緩和対策、若しくは段差発生後の砕石を用いた重機による段差解消作業を実施することとしていることから、屋外アクセスルートの通行性に影響を及ぼさない。

なお、図 3-2 のとおり、建屋近傍では地震時にくさび崩壊に伴う沈下が発生することを想定し、建屋近傍の沈下量は屋外アクセスルートの沈下量より大きいと評価していることから、支線排水路の機能喪失により汲み上げた地下水が支線排水路から溢れた場合においても、O. P. +14.8m 盤に溢れた地下水は屋外アクセスルート脇の建屋近傍に流下するため、屋外アクセスルートの通行性に影響を及ぼさないと考えられる。

想定以上の段差が発生した場合の対応について

アクセスルート上で地震により許容段差量 15cm*以上の段差が発生する可能性のある箇所については、あらかじめ対策工を施すか、又は段差発生後にブルドーザで碎石を敷き均す段差解消作業を実施することで対応することから、大型車両の通行に支障となる段差は発生しない。

万一、許容段差量を超えて通行に支障が生じた場合の対応として、作業員 1 名があらかじめブルドーザに積載している角材及び土のうを用いて段差を解消することにより、大型車両の通行性を確保できることを実証試験にて確認した。

なお、ブルドーザにより実施することを想定しているがれき撤去作業及び段差解消作業は 2 名 1 組での作業を計画しており、上記の角材及び土のうによる段差解消作業もこの 2 名 1 組で対応可能であることから、追加人員は不要である。

※ 依藤ら：地震時の段差被害に対する補修と交通開放の管理・運用方法について
(平成 19 年近畿地方整備局研究発表会)



段差復旧作業状況

大型車両通行状況

(参考) 実証試験において段差 1 箇所の復旧に要した時間：約 20 分

第 1 図 段差復旧実証試験の状況



第 2 図 角材及び土のうの積載箇所 (ブルドーザ)

女川原子力発電所 2 号炉設置
変更許可申請書 02-NP-
0084(改 116)添付書類 1.0.2
補足資料(5)抜粋

図 3-1 想定以上の段差が発生した場合の対応について

(1) 沈下量の想定

2011年東北地方太平洋沖地震の実績では、明らかなくさび崩壊に伴う建物近傍の大きな沈下は確認されていないが、本評価においては2007年新潟県中越沖地震における東京電力柏崎刈羽原子力発電所の結果を参照して建屋近傍の沈下量は一般部の3.5倍と想定して評価する。

a. 一般部の沈下量

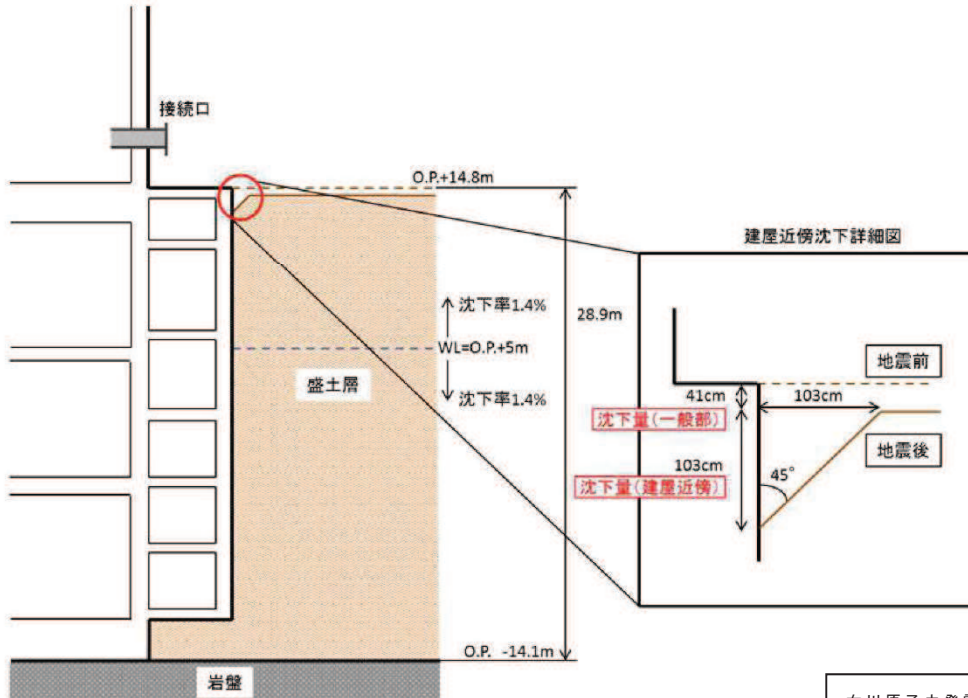
原子炉建屋近傍における沈下評価対象層厚は28.9mであり、不飽和盛土及び飽和盛土の沈下率1.4%を考慮し、41cmを想定する。

b. 建屋近傍の沈下量

建屋近傍の沈下について、一般部の想定41cmの3.5倍である144cmを想定する。

c. 地震後の想定地盤形状

a. 及び b. の想定を踏まえ、地震後の想定形状を第2図に示す。



第2図 地震後の想定地盤形状

女川原子力発電所2号炉設置
変更許可申請書 02-NP-
0084(改116)添付書類 1.0.2
別紙 29-2 抜粋

図 3-2 建屋近傍におけるくさび崩壊に伴う沈下量の想定