

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0
提出年月日	2021年1月13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】

## 目次

1.	はじめに	1
2.	検討方針	2
3.	解析条件	4
4.	解析結果	7
5.	排水能力の設定	10
5.1	揚水ポンプ	10
5.2	ドレーン	10
6.	地下水位低下設備の排水能力の妥当性の確認結果	12

## 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」における、排水機能の設計に係る補足事項として、排水機能の設計に関する詳細を示すものである。

## 2. 検討方針

地下水位低下設備に期待し設計用地下水位を設定する場合は、安全対策工事として実施する防潮堤の沈下対策や信頼性が確保された既設ならびに新設するドレーンなどを考慮した3次元浸透流解析により解析水位を評価する方針としている。

解析水位の評価プロセスにおいては、まず分水嶺までの範囲を解析範囲とする広域モデルを設定し、観測降雨条件を与えた非定常解析により観測水位の再現性を確認した上で、O.P. +14.8m盤周辺領域を切り出し将来的な施設配置を考慮したモデルを作成し、水位が保守的に（高めに）算出されるような条件設定を行う。（このモデルを「水位評価モデル」と定義している）

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。

排水機能の設計に当たっては、設計用地下水位の設定に係る3次元浸透流解析において妥当性が確認された3次元浸透流解析モデル（水位評価モデル）をベースに、地下水流入量が保守的に評価されるような条件設定を行った「地下水流入量評価モデル」を作成し、最大流入量を評価する。更に、得られた最大流入量を包絡するようポンプ排水能力を設定することで、保守性を確保する。

3次元浸透流解析を用いたポンプ排水能力の設定フローを図2-1に示す。

また、ドレーンについては既設のヒューム管（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、3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。

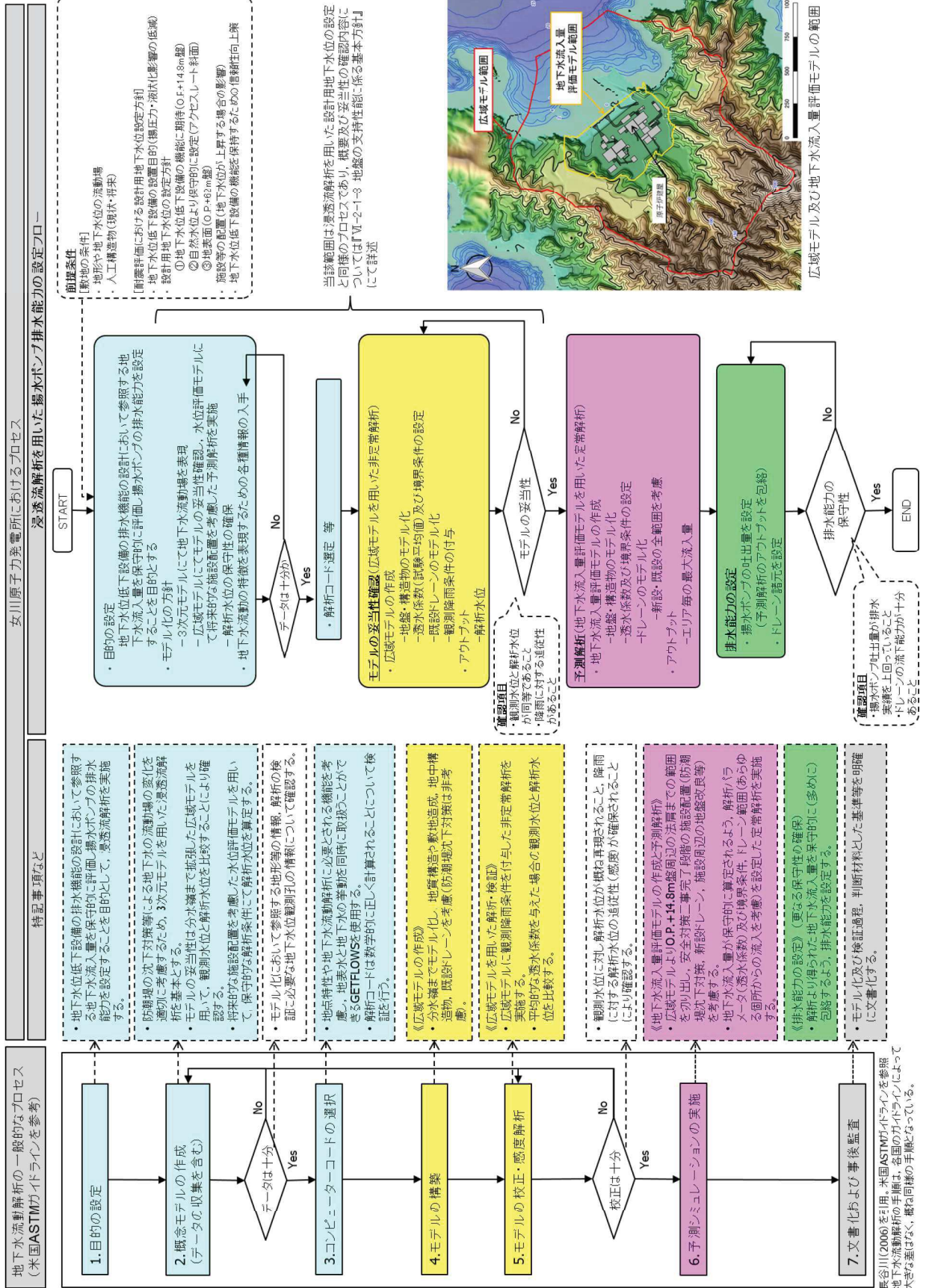


図 2-1 揚水ポンプ排水能力の設計フロー

### 3. 解析条件

排水機能の設計において参照する地下水流入量評価モデルは、水位評価モデルと同様、原子炉建屋等が配置される O.P. +14.8m 盤とこれを取り囲む法面を対象領域とし、安全対策工事完了時における地形・地中構造物をモデル化する。この水位評価モデルの妥当性は、同モデルを分水嶺まで拡張した広域モデルにおいて観測降雨条件を付与した非定常解析において、解析水位が観測水位を概ね再現していることにより確認している。水位評価モデルの詳細及び妥当性確認に係るプロセスの詳細は「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に記載している。

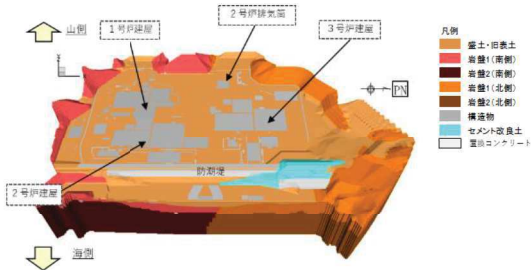
この水位評価用モデルをベースとして、地下水流入量を保守的に算定する目的から以下の変更を行った 3次元浸透流解析モデルを「地下水流入量評価モデル」とし、予測解析（安全対策工事完了後の施設配置、地盤改良を反映し地下水流入量を評価する。

- ・ 地盤の透水係数は、湧水量を大きめに評価するために、「補足 600-1 地盤の支持性能」に示す排水能力設定用（透水試験結果の平均値+1 $\sigma$ に相当する設定）の値を用いる。
- ・ ドレインは有効範囲を限定せず、新設及び既設の全ての設置範囲が集水に寄与するものとする。

更に、揚水ポンプ排水能力は、「地下水流入量評価モデル」を用いた 3次元浸透流解析により得られた最大流入量を包絡するよう設定し、排水能力の保守性を確保する。

表 3-1 に地下水流入量評価モデルの解析条件一覧を示す。また、図 3-1 に地下水流入量の算定において考慮するドレイン範囲を示す。

表 3-1 予測解析モデル（地下水流入量評価用）の概要

項目	【参考】予測解析モデル (水位評価用)	予測解析モデル (地下水流入量評価用)
1. 目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計用地下水位の設定において参照</li> <li>保守的な条件設定により設計裕度確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>揚水ポンプ排水能力の設定, ドレーン流下能力確認において参照</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	<ul style="list-style-type: none"> <li>定常解析・非定常解析*<sup>1</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>非定常解析</li> </ul>
5a. モデル（地形）	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全対策工事完了段階を考慮</li> </ul>	
5b. "（地盤）	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全対策工事完了段階を考慮（施設周辺の地盤改良を考慮）</li> </ul>	
5c. "（構造物）	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全対策工事完了段階を考慮（施設配置を反映）</li> </ul>	
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、確保されない範囲は透水層として考慮</li> <li>機能喪失モードを仮定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設・新設の全範囲を管路として考慮</li> </ul>
6. 境界条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流入量を保守的に算出するよう設定 <ul style="list-style-type: none"> <li>山側：地表面に水位固定</li> <li>海側：H. W. L. に水位固定（地中連壁の影響は保守的に考慮しない）</li> <li>ドレーン：ドレーン計画高*<sup>2</sup></li> </ul> </li> </ul>	
7. 透水係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>水位が保守的に算出されるよう設定（岩盤 I を-1σ）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>湧水量が保守的に算出されるよう設定（全て+1σ）</li> </ul>
8. 有効間隙率	<ul style="list-style-type: none"> <li>文献値*<sup>3</sup></li> </ul>	
9. 粗度係数	—	

\* 1 : アクセスルートの評価においては、地下水位低下設備の機能喪失から 2 ヶ月後の水位分布を参照。また、地下水位低下設備の機能維持の運用方法の検討（VI-2-1-1 別添 地下水位低下設備の設計方針）においては、同モデルを用いた非定常解析により、地下水位低下設備の機能喪失後の時間余裕を評価。

\* 2 : ドレーンの中心高さ

\* 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

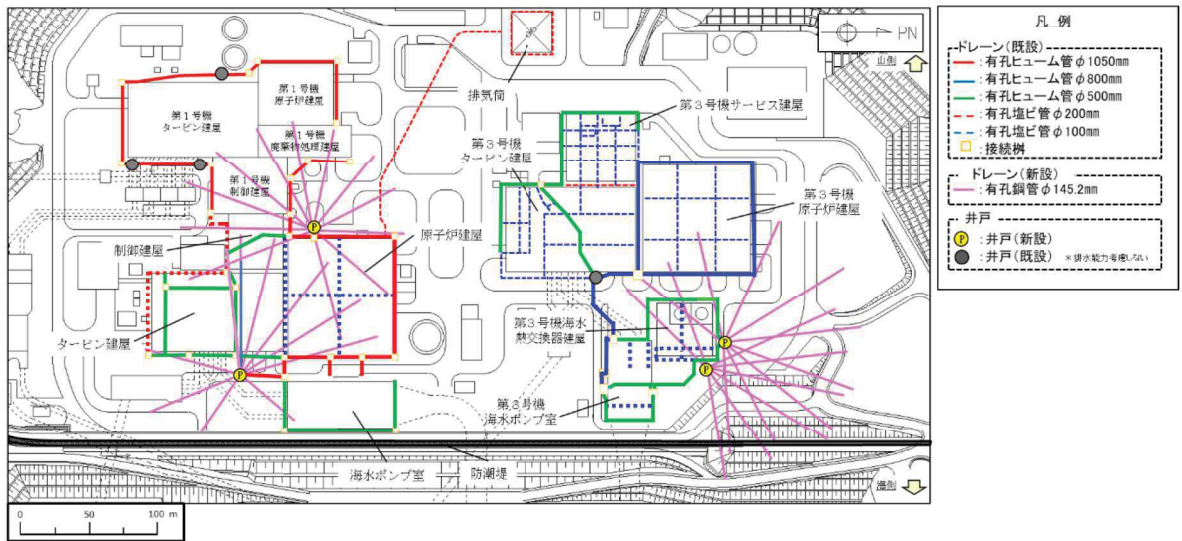


図 3-1 地下水流入量の算定において考慮するドレーン範囲



#### 4. 解析結果

地下水流入量（湧水量）算定結果を表 4-1 に示す。なお、地下水流入量の算定は、「3. 解析条件」に示す基本ケース（ケース 1）の他に、ドレーンや防潮堤沈下対策の状態、透水係数の設定に応じた複数ケース（ケース 2～ケース 4）を行った。ここでは、図 4-1 に示す集水エリアの区分毎に地下水流入量を算出しており、各区分は建屋外周の既設ヒューム管（2 号機系統：エリア①、3 号機系統：エリア③）と建屋下に新設する鋼管（2 号機系統：エリア②、3 号機系統：エリア④）に対応している。

既設の揚水ポンプ稼働実績を表 4-2 に示す。解析の結果、ケース 1 及びケース 2 とともに既往の揚水ポンプ稼働実績よりも大きな地下水流入量が算定された。また、ケース 3 の地下水流入量はケース 2 より少なくなっており、透水係数を $+1\sigma$ に設定して評価することの保守性を確認した。なお、ケース 3・4 の流入量の比較から、防潮堤沈下対策により地下水流入量が 1/4 程度低減されると考えられる。

また、ケース 1 においては、1・2 号機系統と 3 号機系統で建屋外周と建屋下の排水量の傾向が異なっており、1・2 号機系統においては建屋外周（エリア①）、3 号機系統においては建屋下（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。

以上を踏まえ、排水能力の保守性を確保するため、揚水ポンプの設計はケース 1、ドレーンの流下能力の確認はエリア②・④（建屋下に新設する鋼管）においてはケース 1、エリア①・③（建屋外周の既設ヒューム管）においてはケース 2 の地下水流入量を排水能力の評価に用いる。

表 4-1 浸透流解析による地下水流入量

系統	状態	地下水流入量 (m <sup>3</sup> /日)				備考
		ケース 1 (基本)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	
	鋼管	考慮	非考慮			
	透水係数	排水能力設定用 (平均値+1σ)		地下水位設定用 (建設時工事計画認可段階)		
	防潮堤 沈下対策	考慮			非考慮	
1・2号機 系統	エリア①	6083	6633	1118	1368	建屋外周
	エリア②	1995	—	—	—	建屋下
	計	8078	6633	1118	1368	
3号機 系統	エリア③	1683	5449	338	579	建屋外周
	エリア④	5363	—	—	—	建屋下
	計	7046	5449	338	579	
合計		15124	12082	1456	1947	

(解析ケース概要)

ケース 1 : 基本ケース (図 3-1 に対応)

ケース 2 : ケース 1 に対し, 建屋下に新設する鋼管を非考慮としたケース

ケース 3 : ケース 2 に対し, 透水係数を地下水位設定用 (建設時工事計画認可段階) に変更したケース

ケース 4 : ケース 3 に対し, 防潮堤沈下対策を非考慮としたケース

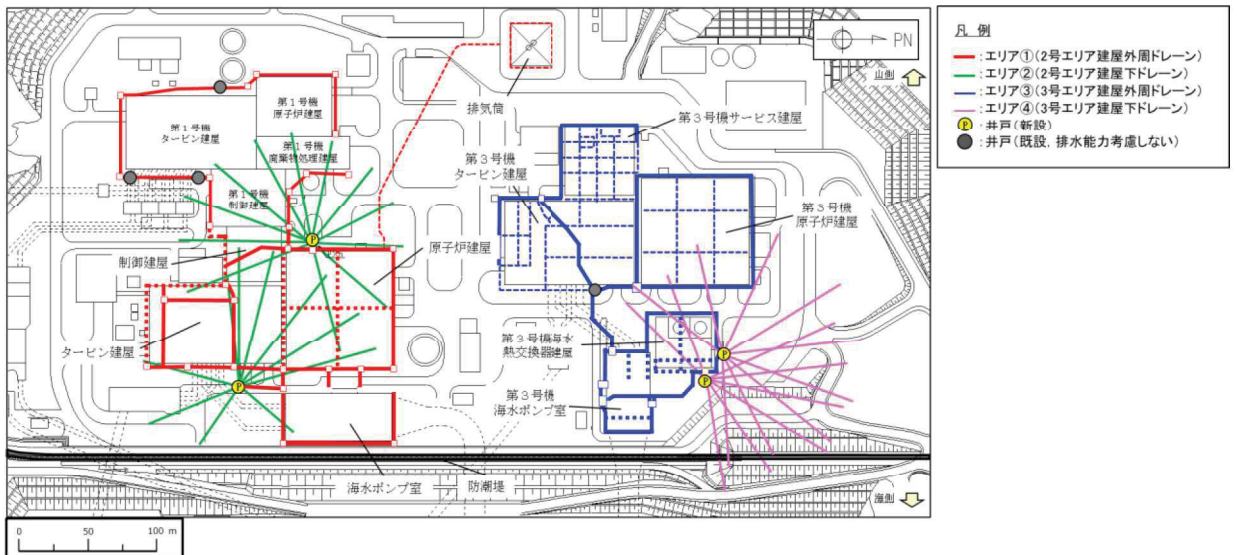


図 4-1 地下水流入量算出における集水エリア区分

表 4-2 既往の揚水ポンプ稼働実績（平成 27 年度～平成 30 年度）

系統	揚水ポンプ最大排水量 (m <sup>3</sup> /日)				備考
	H27fy	H28fy	H29fy	H30fy	
1・2号機 系統	5042 (961)	4076 (918)	6228 (1050)	2927 (1025)	
3号機系統	2377 (756)	2025 (647)	2711 (561)	1089 (424)	
合計	7239 (1661)	5961 (1564)	8522 (1610)	3574 (1449)	

注：数値は期間最大値，（ ）内の数値は平均値を示す。

## 5. 排水能力の設定

### 5.1 揚水ポンプ

各井戸に設置する揚水ポンプの諸元を表 5-1 に示す。「4. 解析結果」に示す浸透流解析結果に余裕分(どの解析結果に対し余裕をみて 9000 としているのか表の中でケース名とボリュームを示した方がよいのでは)を見込み、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)とする。

表 5-1 揚水ポンプ諸元一覧

系統	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
1・2号機 系統	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	—	—	—
3号機 系統	3号機 Hx/B 北側 (No. 4 揚水井戸)	7046	9000	52	47.2	同上
	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	—	—	—

### 5.2 ドレーン

ドレーンにおける排水可能量は、自由水面を有する管路流れの評価として、以下のマニング式により算定する。ドレーンの断面諸元及び排水可能量を表 5-2、各ドレーンへの地下水流入量と排水可能量との比較を表 5-3 に示す。

$$Q = V \cdot A$$

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

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 : マニングの粗度係数

R : 径深 = A/S (m) (S : 潤辺 (m))

I : 勾配

表 5-2 ドレーンの断面諸元及び排水可能量

集水 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]
1・2号機 エリア	ヒューム管 φ1050mm	0.697	0.317	0.013	0.1 以上	1.130	0.787	67996
	鋼管 φ145.2mm	0.014	0.044	0.012	1以上	1.039	0.014	1209
3号機 エリア	ヒューム管 φ800mm	0.404	0.241	0.013	0.1 以上	0.943	0.381	32918
	ヒューム管 φ500mm	0.158	0.151	0.013	0.1 以上	0.689	0.109	9418
	鋼管 φ145.2mm	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, 鋼管に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 5 3 ドレーンへの地下水位流入量と排水可能量の比較

集水 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]
1・2号機 エリア	ヒューム管 φ1050mm	6633	67996
	鋼管 φ145.2mm	182*1	1209
3号機 エリア	ヒューム管 φ800mm	5449	32918
	ヒューム管 φ500mm	5449	9418
	鋼管 φ145.2mm	632*2	1209

注記 \*1: 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。

\*2: 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。

6. 地下水位低下設備の排水能力の妥当性の確認結果

各エリアにおける揚水ポンプ及びドレーンの設計上の流入量と、前頁で設定した排水能力との関係を表 6-1 に整理した。

揚水ポンプへの流入量については、妥当性が確認されている水位評価モデルをベースに、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地下水流入量評価モデルにて算出されており、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、流入量は各集水エリア単位の値であるが、各集水エリアには流入量を上回る揚水ポンプを 2 台常設する揚水井戸を 2 系統設置する設計としており、各井戸の揚水ポンプ 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、地下水位低下設備は、想定される地下水流入量を十分排水可能な設備構成であることを確認した。

表 6-1 地下水流入量と排水可能量の比較結果

集水 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
1・2号機 エリア	揚水ポンプ	8078	9000 * <sup>1</sup> (18000)	1.11 * <sup>1</sup> (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* <sup>2</sup>	1209	6.64	ケース 1 (エリア①)
3号機 エリア	揚水ポンプ	7046	9000 * <sup>1</sup> (18000)	1.27 * <sup>1</sup> (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* <sup>3</sup>	1209	1.91	ケース 1 (エリア④)
合計	揚水ポンプ	15124	18000 * <sup>1</sup> (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。

\*3：3 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。