

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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-工-B-19-0054_改0
提出年月日	2021年1月13日

VI-2-1-1-別添1 地下水位低下設備の設計方針

02 ① VI-2-1-1 R1

2021年1月
東北電力株式会社

VI-2-1-1-別添 1 地下水位低下設備の設計方針

目次

1. 概要	1
2. 地下水位低下設備の目的	1
3. 地下水位低下設備の基本設計方針	1
4. 設置変更許可段階からの反映事項	3
4.1 耐震重要度分類上の位置付け	3
4.2 機能喪失要因等の分析に基づく設備構成	3
5. 機能設計方針及び設計仕様	6
5.1 地下水位低下設備の概要	6
5.2 各機能の設計方針及び設計仕様	10
5.2.1 集水機能	10
5.2.2 支持・閉塞防止機能	18
5.2.3 排水機能	20
5.2.4 監視・制御機能	23
5.2.5 電源機能	26
5.3 既設の地下水位低下設備の取扱いについて	29
6. 構造強度設計方針	29
6.1 集水機能	29
6.2 支持・閉塞防止機能機能	30
6.3 排水機能	30
6.4 監視・制御機能	30
6.5 電源機能	30
7. 地下水位低下設備の復旧措置に必要な資機材の検討	31
7.1 復旧措置に係る基本方針	31
7.2 設置変更許可段階からの反映事項	31
7.3 復旧措置に係る資機材	31
7.3.1 予備品の配備	31
7.3.2 可搬ポンプユニットの配備	32
7.4 復旧措置に係る可搬ポンプユニットの配備数の妥当性確認	33
7.4.1 時間余裕 (X1), (X2) の評価	33
7.4.2 水位低下措置開始時間 ($\alpha 1$), ($\alpha 2$) の評価	35
7.4.3 可搬ポンプユニットの配備数の妥当性確認結果	36
8. 運用管理・保守管理	36

1. 概要

本添付書類は、地下水位低下設備を設置する目的を踏まえ、必要となる要求機能を基本設計方針として明確にし、基本設計方針に対する各設備の機能設計等について説明する。

また、地下水位低下設備を構成する機器に故障があった場合の復旧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について説明する。

2. 地下水位低下設備の目的

地下水位低下設備は、設計基準対象施設及び常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設の設計において、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ことに伴う揚圧力及び液状化の影響が及ぶおそれがあることを踏まえ、当該施設の機能が損なわれるおそれがないように地下水位を一定の範囲に保持するために設置する。

3. 地下水位低下設備の基本設計方針

地下水位低下設備は、各施設へ作用する揚圧力の低減及び周辺の屋外重要土木構造物等に生じる液状化影響の低減を目的に設置するものであり、地下水位低下を期待する範囲等の地下水位を一定の範囲に保持できるように集水及び排水が可能な設計とする。

また、地震時及び地震後を含む、原子力発電所の供用期間の全ての状態において機能維持が可能な設計とする。

地下水位低下設備が故障等により停止した場合に、必要な措置が図れるように、運転状態を監視し、異常を適時検知できることが可能な設計とする。

地下水位低下設備の機能を考慮した浸透流解析により、設計用地下水位を設定する範囲を表 3-1 に示す。

表 3-1 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範囲

施設等		安全性確保における 地下水位低下設備の 位置付け*1		関連する条文 〔〇は設計上必要, △は設計条件として前提とする。色分けは*3に示す〕 〔各条文の包絡関係を示す(■は■への適合性を示すことにより確認)〕							工認における 地下水位の扱い		
				(A) 設計値保持 のため 直接的に必要	(B) 左記(A)により保持 される地下水位を 前提とする (必要時は対策)	地盤 (設置変更許可基準規 則の 対応条文を記載)		地震		津波・余震重畳		重大事故等 対処設備	
						3条 2項 *3	38条 2項 *3	5条 *3	50条 *3	6条 *3		51条 *3	54条
建物・構築物	原子炉建屋	○		△	△	○	*1				地下水位低下設備を考 慮した浸透流解析によ り設計揚圧力を設定		
	制御建屋	○		△	△	○	*1						
	3号機海水熱交換器建屋	○		△	△	○	*1	△	△				
土木構造物 津波防護施設 浸水防止設備	防潮堤		○	△	△	△	△	△	△		地下水位低下設備を考 慮した浸透流解析によ る解析水位をもとに設 計用地下水位を設定		
	防潮壁		○	△	△	△	△	△	△				
	海水ポンプ室		○	△	△	△	△	△	△				
	原子炉機器冷却海水配管ダクト		○	△	△	△	△	△	△				
	取水路		○	△	△	△	△						
	軽油タンク室		○	△	△	△	△						
	軽油タンク室(H)		○	△	△	△	△						
	復水貯蔵タンク基礎		○		△		△						
	軽油タンク連絡ダクト		○	△	△	△	△						
	排気筒連絡ダクト		○	△	△	△	△						
	3号機海水ポンプ室		○	△	△	△	△	△	△				
	3号機補機冷却海水系放水ピット		○	△	△	△	△	△	△				
	揚水井戸(3号機海水ポンプ室 防潮壁区画内)		○	△	△	△	△	△	△				
保管場所・ アクセスルート	アクセスルート (O.P.+14.8m盤)		○							△			

注記*1: 地下水位の影響を受ける施設等, 及び地下水位の影響を踏まえた対策については, 設計及び工事の計画の認可申請における各施設の耐震計算書等にその詳細を示す。

*2: 技術基準規則第50条は同規則第5条と同様の要求であり, 規則第5条への適合をもって第50条への適合性を確認する。

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

4. 設置変更許可段階からの反映事項

地下水位低下設備の詳細設計にあたり、設置変更許可段階で説明した方針において設計に反映すべき事項を以下に示す。

4.1 耐震重要度分類上の位置付け

設置変更許可基準規則における耐震重要度分類については、その重要度に応じたクラス分類（S, B, C）、また、それらに該当する施設が示されており、地下水位低下設備は、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、Cクラスに分類できる。

また、地下水位低下設備の機能喪失時の影響を踏まえ、原子炉建屋の基礎や土木構造物等の間接支持構造物の耐震性を確保する観点から、地下水位低下設備の耐震性については、間接支持構造物に要求される耐震性（S_s機能維持）を考慮する。

以上を踏まえ、地下水位低下設備の耐震重要度分類については、Cクラスに分類し、基準地震動S_sに対して機能維持させる設計とする。

4.2 機能喪失要因等の分析に基づく設備構成

地下水位低下設備の目的、機能及び要求期間を踏まえ、重要安全施設への影響に鑑み、地下水位低下設備は、設置変更許可段階において設置変更許可基準規則第12条における安全機能の重要度分類を踏まえたクラス1に相当する設備として、多重性及び独立性を確保した設計とする。

また、地震時及び地震後を含む、原子力発電所の供用期間の全ての状態において地下水位低下設備の信頼性を向上するために必要な対策を実施する。

設置変更許可段階で整理した各機能に係る機能喪失要因及び配慮項目を表4-1、また、表4-1に対する具体的な対策を表4-2に示す。

表 4-1 機能喪失要因とこれを踏まえた設計上の配慮項目（設置変更許可段階）

機能	構成部位	機能喪失要因	対策
集水機能	ドレーン・接続柵	ランダム故障	・閉塞による機能喪失の可能性に対して、ドレーンの配置・形状を考慮した新設ドレーン・揚水井戸の配置等の配慮により機能維持
		地震	・ S s 機能維持することにより集水機能を確保
支持・閉塞防止機能	揚水井戸	地震	・ S s 機能維持することにより支持・閉塞防止機能を確保
排水機能	揚水ポンプ	ランダム故障	・ポンプの多重化による機能維持
		地震	・ S s 機能維持することにより揚水ポンプの機能を確保
		竜巻	・井戸に飛来物影響の防護が可能な蓋を設置
		落雷	・制御盤への保安器の設置等による避雷対策、又は避雷針の保護範囲内への設置
		火山	・井戸に対する火山灰の侵入を蓋の設置により防止
	配管	ランダム故障	・吐出配管の多重化
		地震	・ S s 機能維持
		竜巻	・井戸に飛来物影響の防護が可能な蓋を設置
監視・制御機能	制御盤	ランダム故障	・多重化により機能維持。また、水位計、動力・制御盤及び中央制御室監視盤間を接続するケーブルについても同様に多重化
		地震	・ S s 機能維持
		台風、竜巻	・屋内設置
		凍結	・凍結防止装置を設置、又は屋内設置
		降水	・防水処理、又は屋内設置
		積雪	・積雪荷重を受けないように屋根等を設置、又は屋内設置
		落雷	・制御盤への保安器の設置等による避雷対策、又は屋内設置
		火山	・火山灰の侵入防止措置の実施、又は屋内設置
		生物学的事象	・止水や貫通部処理による小動物の侵入防止、又は屋内設置
		森林火災（外部火災）	・火災の影響を受けないよう屋内設置
		内部火災	・制御盤の分離、離隔距離を確保した配置
		内部溢水	・共通要因故障に配慮した配置
	水位計	ランダム故障	・多重化による機能維持を図ることとし、片系が機能喪失した場合には設定水位に到達時にもう片系の水位計の検知によりバックアップ
		地震	・ S s 機能維持
		竜巻	・井戸に飛来物影響の防護が可能な蓋を設置
		落雷	・制御盤への保安器の設置等による避雷対策、又は避雷針の保護範囲内への設置
火山		・井戸に対する火山灰の侵入を蓋の設置により防止	
電源機能	電源（非常用 DG）	ランダム故障	・ランダム故障に対しては多重化による機能維持

表 4-2 地下水位低下設備の設計に係る信頼性向上のための対策（設置変更許可段階）

機能	構成部位	対策
集水機能	ドレーン・ 接続樹	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>S s 機能維持</u> ・ <u>ドレーンの配置・形状を考慮した新設ドレーン・揚水井戸の配置等の配慮</u>
支持・閉塞 防止機能	揚水井戸	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>S s 機能維持</u> ・ 蓋の設置
排水機能	揚水ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>S s 機能維持</u> ・ <u>多重化</u>
	配管	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>S s 機能維持</u> ・ <u>多重化</u>
監視・制御 機能	制御盤	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>S s 機能維持</u> ・ <u>多重化（隔離を確保・屋内設置）</u> ・ <u>水位計、動力・制御盤及び中央制御室監視盤間を接続するケーブルについても多重化</u> ・ <u>隔離を確保した屋内設置</u> ・ <u>内部事象に起因する共通要因故障に配慮した配置</u>
	水位計	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>S s 機能維持</u> ・ <u>多重化</u>
電源機能	電源 (非常用 DG)	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>多重化</u>

青字：分析結果を踏まえ、新たに設計上の配慮事項として講じる対策

5. 機能設計方針及び設計仕様

「3. 地下水位低下設備の基本設計方針」に基づく、地下水位低下設備の概要及び各機能の設計方針、設計仕様を以下に示す。

5.1 地下水位低下設備の概要

地下水位低下設備は2号機原子炉建屋・制御建屋エリア及び3号機海水熱交換器建屋エリアに設置する。

設備は、集水機能として地下水を揚水井戸に集水するドレーン及び接続柵，支持・閉塞防止機能として揚水井戸及び蓋，排水機能として揚水ポンプ及び配管，監視・制御機能として水位計及び制御盤，電源機能として電源（非常用ディーゼル発電設備），電源盤及び電路により構成する。

地下水位低下設備の構成を図5-1及び表5-1に示す。また，地下水位低下設備のうちドレーン及び揚水井戸の構成図を図5-2，系統構成図を図5-3に示す。

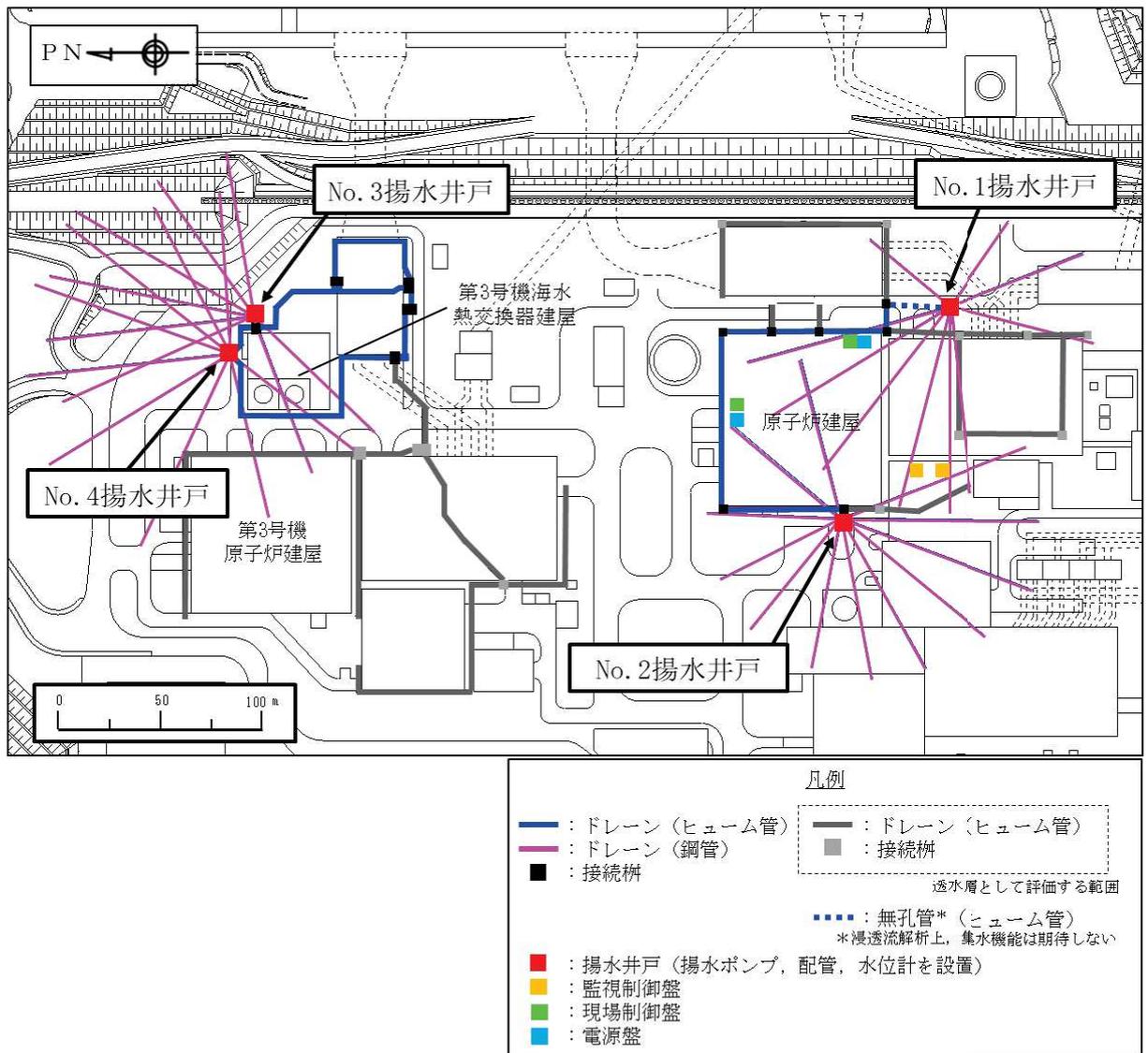
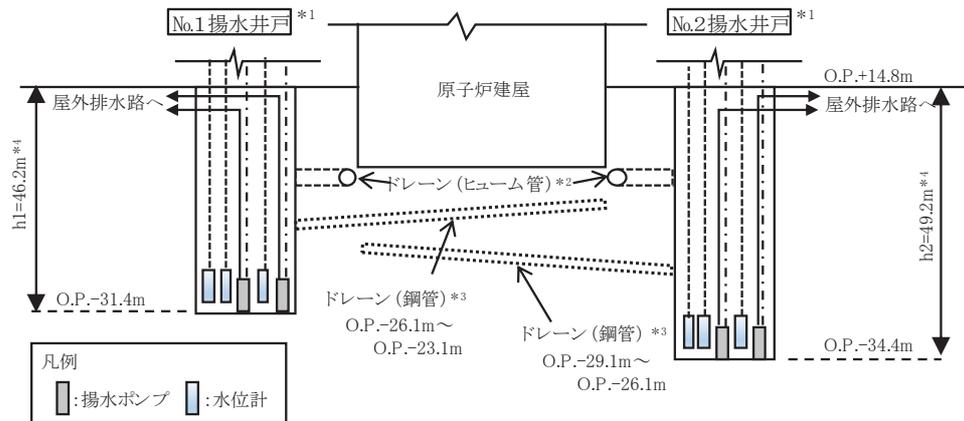


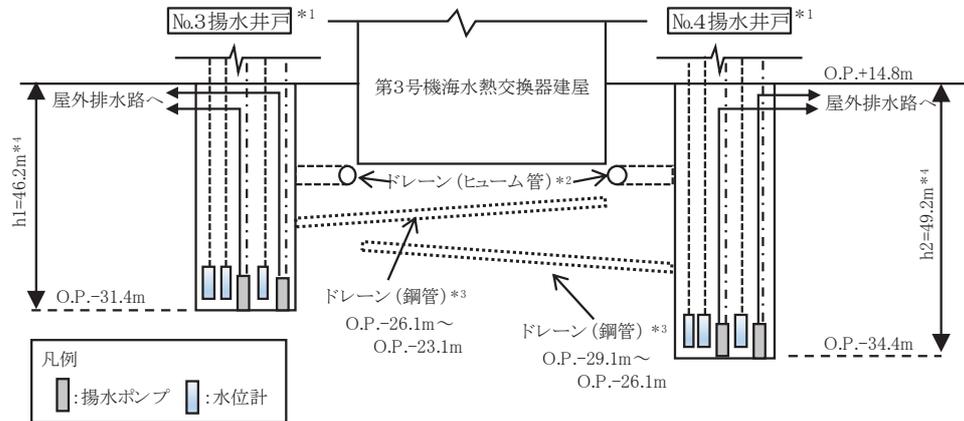
図 5-1 地下水水位低下設備の構成

表 5-1 地下水水位低下設備の構成

機能	設備構成
集水機能	ドレーン, 接続枳
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設備), 電源盤, 電路



原子炉建屋周辺



第3号機海水熱交換機建屋周辺

注記*1：揚水井戸及び揚水井戸に内包する揚水ポンプ，水位計は新設する。

*2：ヒューム管（接続柵を含む）は揚水井戸との接続部分は新設する。

*3：鋼管は揚水井戸を起点として放射状に新設する。

*4：h1及びh2は，GLより集水ピット底面までの高さを表す。

図 5-2 ドレイン及び揚水井戸の構成図

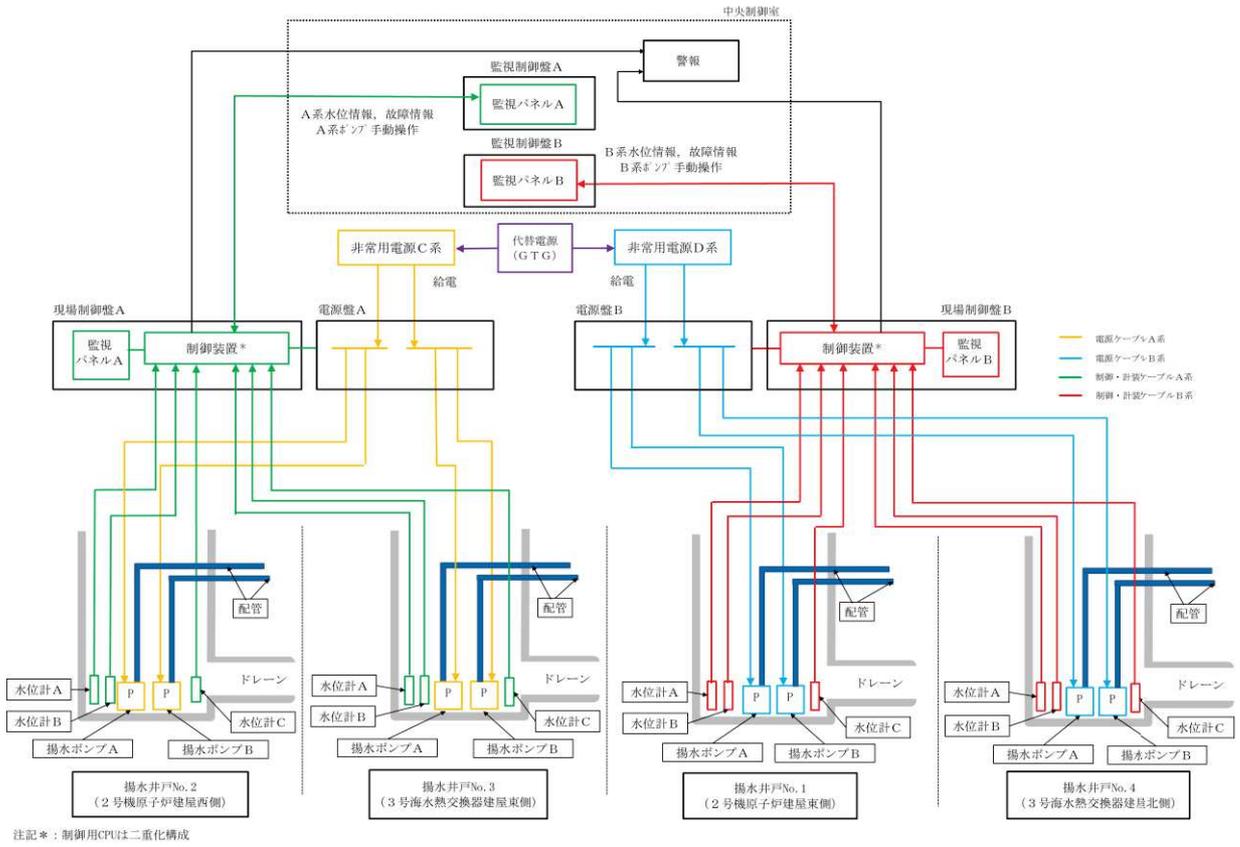


図 5-3 系統構成図

5.2 各機能の設計方針及び設計仕様

5.2.1 集水機能

(1) 設計方針

集水機能は、地下水位を一定の範囲に保持するために、地下水を揚水井戸に集水する機能を有する設計とし、設備はドレーン及び接続柵で構成する。

また、供用期間の全ての状態において設備の信頼性を向上するために、設計に以下を反映する。

- ・静的機器のランダム故障に対し機能維持を図るため、ドレーンの土砂による部分閉塞を仮定した場合においても集水機能を維持する設計とする。
- ・部分閉塞に対しドレーン（鋼管）については多重化により、ドレーン（ヒューム管）は部分閉塞時も揚水井戸に集水される地下水の他の流下経路を確保することで常時集水機能を維持する設計とする。
- ・2系統の独立設計した揚水井戸内に設備を設置することで、独立性を確保する。
- ・ドレーンは既設設備を含め、耐久性・耐震性・保守管理性を確保できる範囲に限定し、信頼性を確保する方針とする。
- ・ドレーンに接続する全ての集水経路からの雨水流入の可能性を考慮し、湧水量を大きく評価するように透水係数を設定した浸透流解析による湧水量を確認し、これに対し必要な流下断面を確保する方針とする。

(2) 設計仕様

a. 設備仕様

「(1) 設計方針」を踏まえたドレーン（ヒューム管）の仕様を表 5-2、ドレーン（鋼管）の仕様を表 5-3、接続柵の仕様を表 5-4、ドレーン（ヒューム管及び鋼管）の排水可能量を表 5-5、ドレーン及び接続柵の配置概要図を図 5-4、ドレーン（ヒューム管）の概要図を図 5-5、ドレーン（鋼管）の概要図を図 5-6、接続柵の概要図を図 5-7 に示す。

表 5-2 ドレーン（ヒューム管）の仕様

内 径 *	mm	φ 1050 (170) , φ 800 (182) , φ 500 (100)
材 料	—	ヒューム管（外圧強さ 2 種または 3 種）
設 置 個 所	—	建屋等構造物外縁部又は建屋基礎直下の掘込まれた岩盤内に設置

注記*：括弧内はヒューム管の管厚（mm）を示す

表 5-3 ドレーン（鋼管）の仕様

内 径 * ¹	mm	φ 145.2 (10)
材 料	—	SS-R890 (SM570 相当以上)
設 置 個 所	—	揚水井戸集水ピットを起点に放射状に設置し、建屋底面から 9m ^{*2} または 12m ^{*3} 以深の岩盤内に設置

注記*1：括弧内は鋼管の管厚（mm）を示す

*2：No.1 揚水井戸及びNo.3 揚水井戸

*3：No.2 揚水井戸及びNo.4 揚水井戸

表 5-4 接続柵の仕様

た て	mm	図 4-7 のとおり*
よ こ	mm	
高 さ	mm	
材 料	—	鉄筋コンクリート
設 置 個 所	—	建屋等構造物外縁部又は建屋基礎直下の掘込まれた岩盤内

注記*：ヒューム管の分岐・交差部等の一部に設置し、ヒューム管の径および接続状況に応じた形状とする。

表 5-5 ドレイン（ヒューム管，鋼管）の排水可能量

分類	内径	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]
ヒューム管	φ 1050mm	0.697	0.317	0.013	0.1 以上	1.130	0.787	67996
	φ 800mm	0.404	0.241	0.013	0.1 以上	0.943	0.381	32918
	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

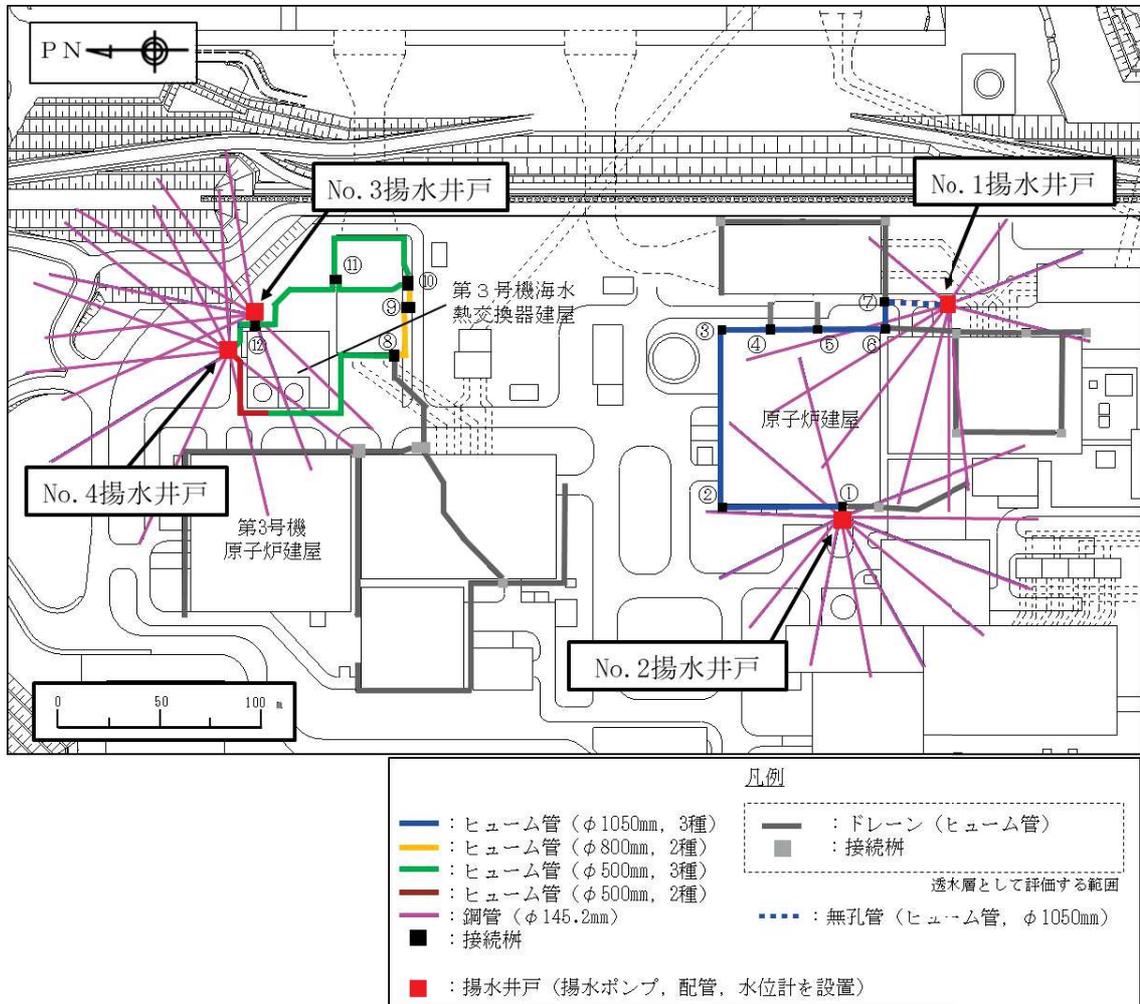
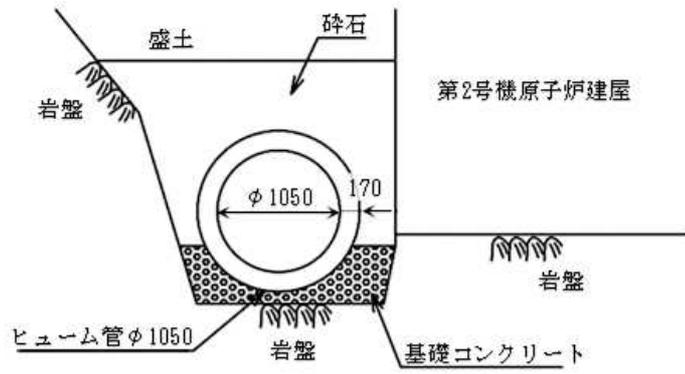
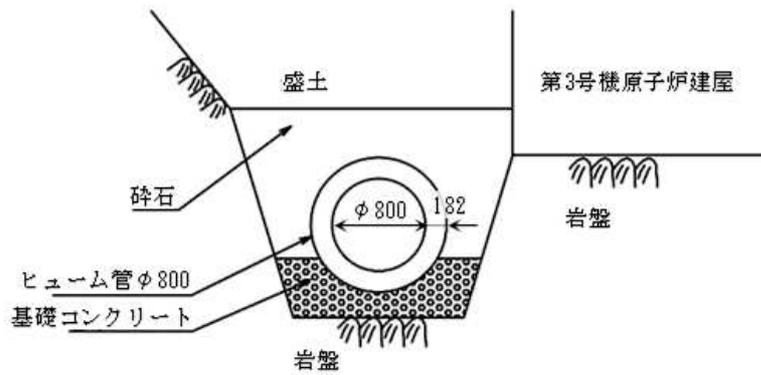


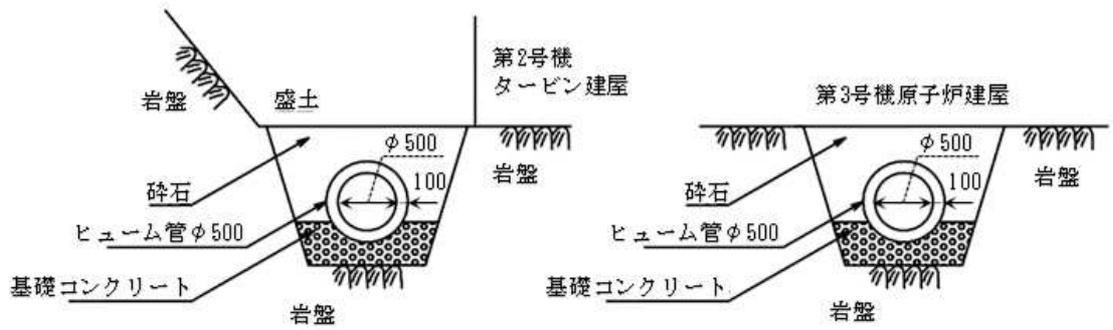
図 5-4 ドレイン及び接続樹 配置概要図



(1) ヒューム管 (φ1050)



(2) ヒューム管 (φ800)



(3) ヒューム管 (φ500)

図 5-5 ドレーン (ヒューム管) 概要図

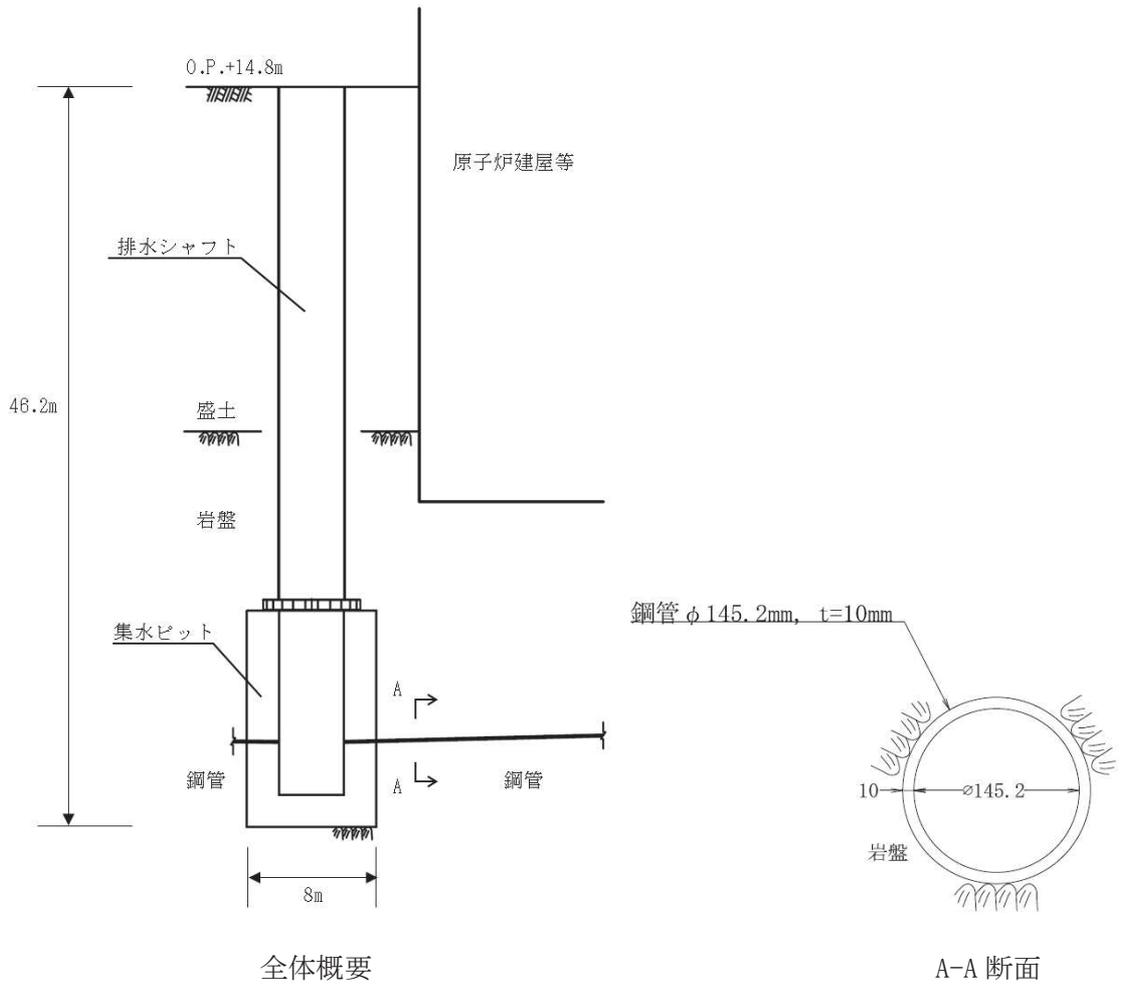
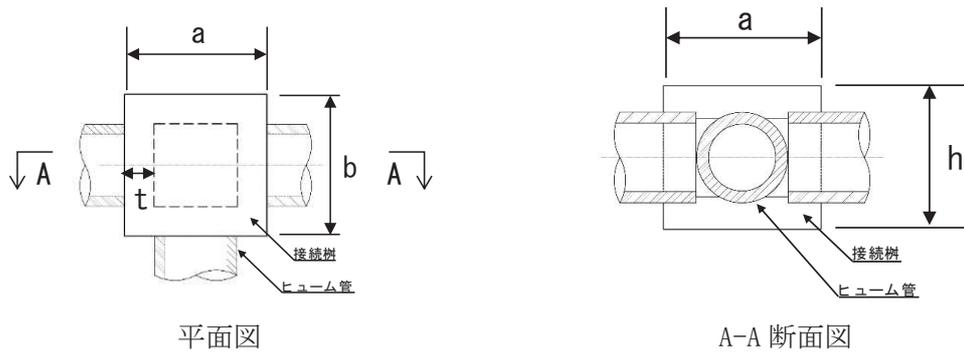
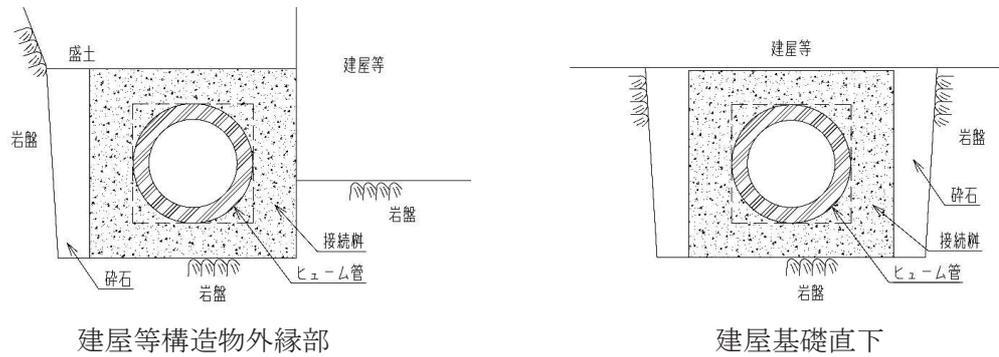


図 5-6 ドレーン（鋼管） 概要図



(1) 構造概要



(2) 設置状況

No.	位置	外寸 (m) *			部材厚* (m)
		たて a	よこ b	高さ h	t
①	原子炉建屋周辺	2.40	2.40	2.20	0.50
②		2.40	2.40	2.20	0.50
③		2.40	2.40	2.20	0.50
④		2.40	2.40	2.20	0.50
⑤		2.40	2.40	2.20	0.50
⑥		2.40	2.40	2.20	0.50
⑦		2.40	2.40	2.20	0.50
⑧	第3号機海水ポンプ室周辺	2.40	2.40	2.20	0.50
⑨		3.50	4.60	5.80	1.00
⑩		3.50	4.50	5.00	1.00
⑪		3.60	4.50	5.10	1.00
⑫	第3号機海水熱交換器建屋周辺	1.50	1.50	1.50	0.40

(3) 寸法

図 5-7 接続樹 概要図

b. 設備仕様の設定根拠

(a) ドレーンの配置について

添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に関する基本方針」に示す有効範囲の設定フローを踏まえた検討を実施した配置とする。

ヒューム管は図 5-8 に示すとおり、経路上で部分閉塞が生じた場合でも、揚水井戸に集水される流下経路を確保する。

また、鋼管は揚水井戸を中心に放射状に設置することとしており、揚水井戸の多重化に併せて、鋼管の多重化を図っている。

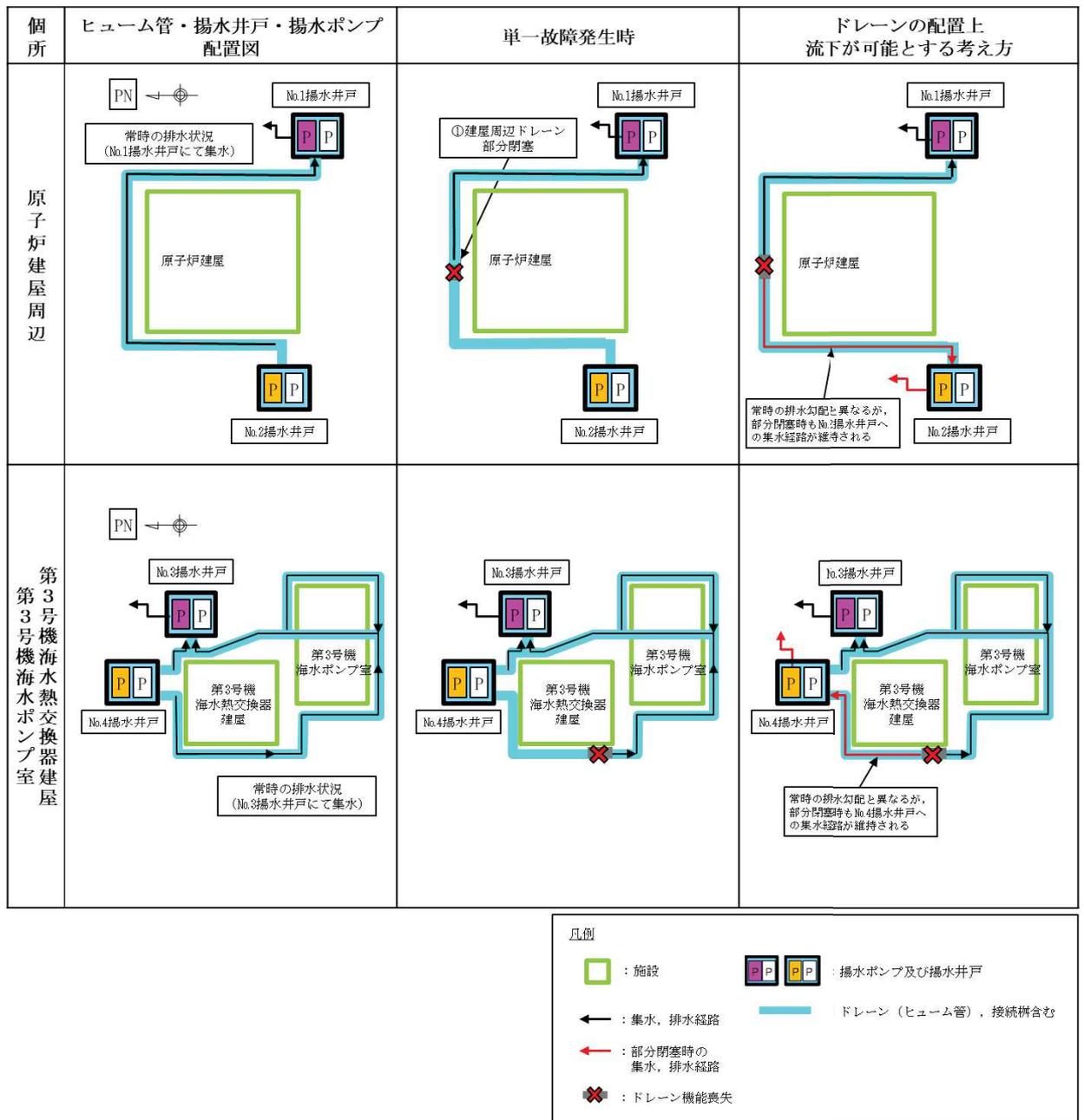


図 5-8 部分閉塞発生時の流下経路 (ヒューム管)

(b) 排水能力について

ドレーンは、保守性を確保した浸透流解析による湧水量評価結果を反映した表 5-6 に示す地下水流入量に対して十分な排水能力を有するものとする。

表 5-6 地下水流入量と排水可能量

分類	内径	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
ヒューム管	φ 1050mm	6633	67996	10.25
	φ 800mm	5449	32918	6.04
	φ 500mm		9418	1.73
鋼管	φ 145.2mm	632	1209	1.91

注記*：設置範囲のうち最大値を記載

(3) 詳細設計により具体化した事項

設置変更許可段階における説明として、建屋下に新設するドレーンについては、工事計画認可段階において実施する浸透流解析により詳細配置等を決定する方針としていた。

これに対し、設置変更許可段階からの詳細設計を踏まえ、3次元浸透流解析の前提を満足するよう建屋の揚圧力影響及び土木構造物の液状化影響を踏まえてドレーンの詳細配置を設定した。また、保守性を確保した浸透流解析による湧水量評価結果を実施し、これに対して集水機能が維持される断面設計を実施した。

5.2.2 支持・閉塞防止機能

(1) 設計方針

支持・閉塞防止機能は、揚水ポンプ、配管及び水位計の支持機能並びに閉塞防止機能を維持する設計とし、設備は揚水井戸及び蓋で構成する。

また、供用期間の全ての状態において設備の信頼性を向上するために、設計に以下を反映する。

- ・揚水井戸に蓋を設置し、竜巻による飛散物及び火山灰の侵入に対して排水機能及び監視・制御機能を維持可能な設計とする。
- ・揚水井戸は独立設計した2系統を設置することで、独立性を確保する。

(2) 設計仕様

「(1) 設計方針」を踏まえた揚水井戸の仕様を表 5-7、揚水井戸の構造図を図 5-9 に示す。

表 5-7 揚水井戸の仕様

内径	m	φ 4.0
高さ	m	47.2 (No.1 揚水井戸及びNo.3 揚水井戸) 49.2 (No.2 揚水井戸及びNo.4 揚水井戸)
材料	—	鋼材 (SM570) (排水シャフト部) 鉄筋コンクリート (集水ピット部)

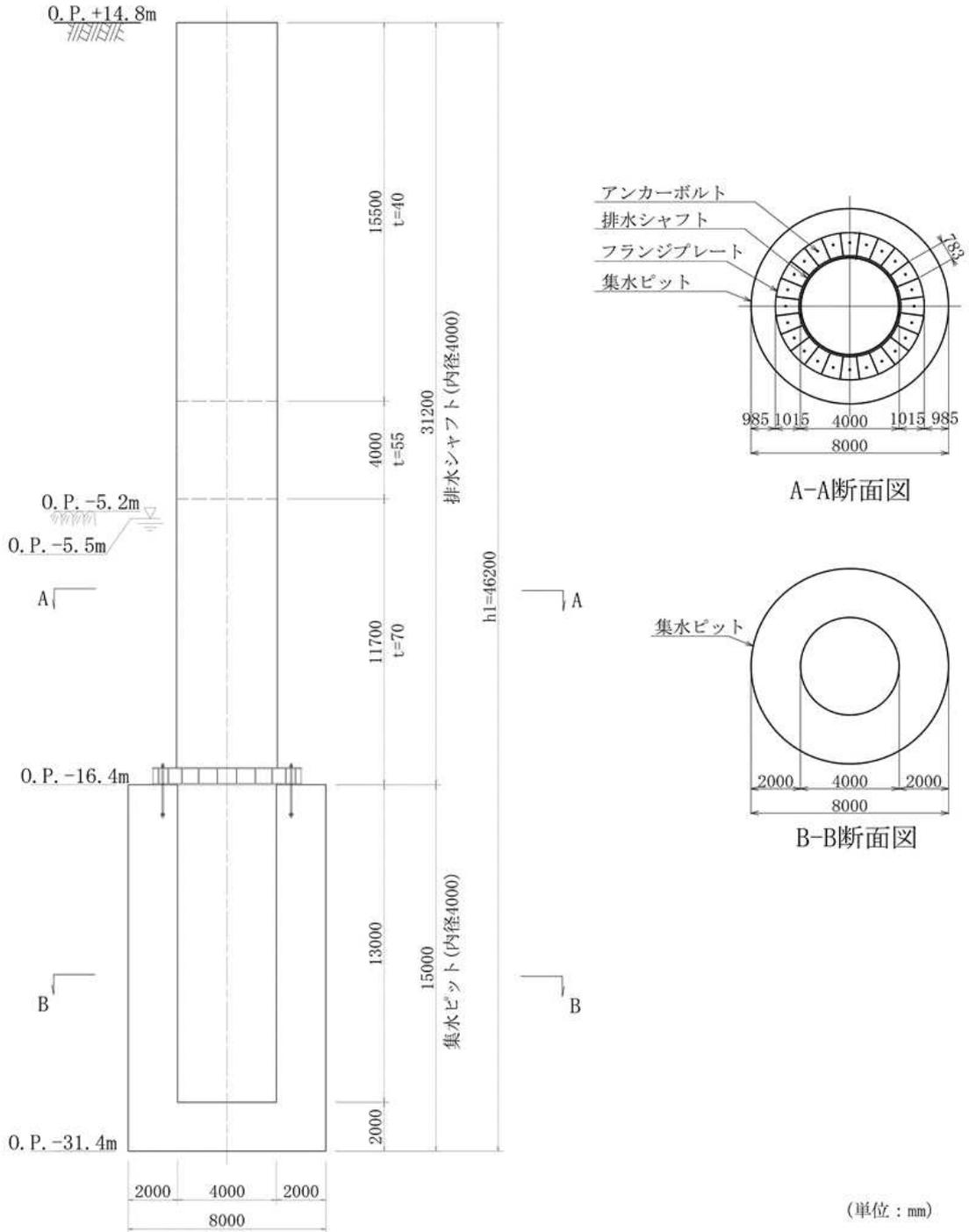


図 5-9 揚水井戸 概要図 (No.1 揚水井戸)

(3) 設置変更許可段階から詳細設計において具体化した事項

設置変更許可段階における説明として、揚水井戸の位置及び構造並びに施工方法については工認段階で詳細検討を行い決定する方針としていた。

これに対し、設置変更許可段階から詳細設計を踏まえ、揚水井戸の構造検討や既設構造物との干渉等を考慮し、位置及び構造について設定した。

5.2.3 排水機能

(1) 設計方針

排水機能は、地下水位を一定の範囲に保持するために、ドレーンより各揚水井戸に流入する地下水を排水するために必要な機能を有する設計とし、設備は揚水ポンプ及び配管で構成する。

また、供用期間の全ての状態において設備の信頼性を向上するために、設計に以下を反映する。

- ・ランダム故障に対し機能維持を図るため、揚水ポンプ及び配管を多重化する。
- ・揚水ポンプ及び配管は竜巻による飛散物及び火山灰の侵入に対して、支持・閉塞機能において揚水井戸に蓋を設置することにより影響が及ばないようにする。
- ・揚水ポンプ及び配管は落雷に対して、監視・制御機能において制御盤への保安器の設置及び保護範囲内へ避雷針を設置することにより影響が及ばないようにする。
- ・2系統の独立設計した揚水井戸内に設備を設置することで、独立性を確保する。

(2) 設計仕様

a. 設備仕様

「(1) 設計方針」を踏まえた揚水ポンプ設備仕様を表 5-8、配管の設備仕様を表 5-9、揚水ポンプの構造図を図 5-10 に示す。

表 5-8 揚水ポンプの設備仕様

容 量	m ³ /h/個	375 以上 (375)
揚 程	m	52 以上 (52)
原動機出力	kW/個	110
個 数	—	8

表 5-9 配管の設備仕様

外 径	mm	267.4
厚 さ	mm	9.3
材 料	—	STPT370

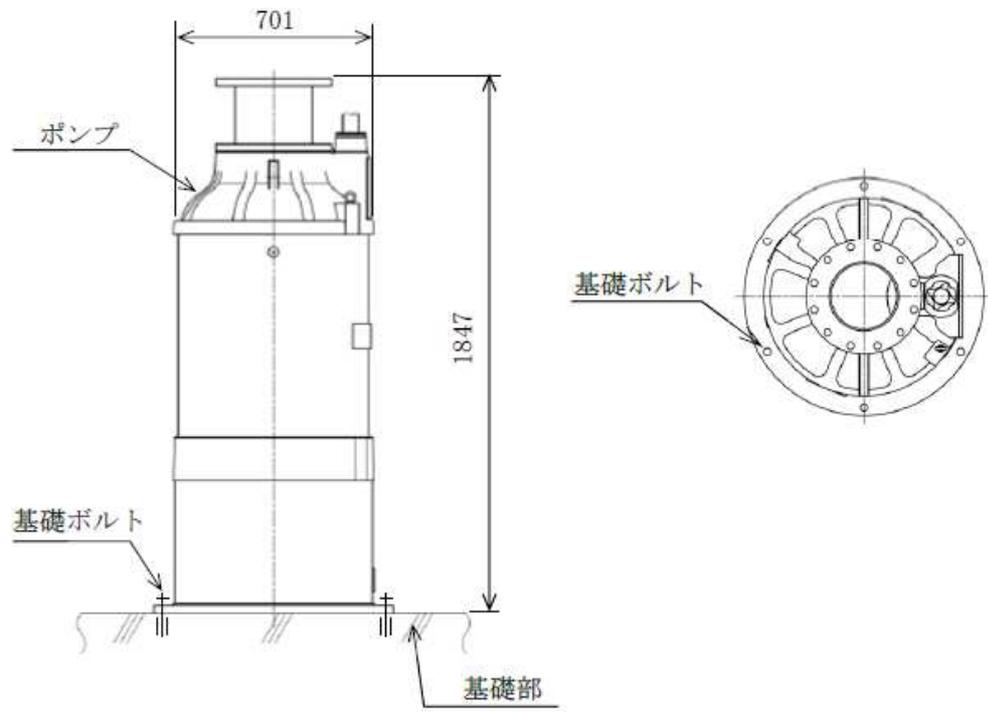


図 5-10 揚水ポンプ構造図

b. 設備仕様の設定根拠

(a) 揚水ポンプ容量

揚水ポンプは、ドレーンより各揚水井戸に流入する地下水量を排水可能な能力を有するものとする。各エリアの揚水井戸への最大流入量を以下に示す。

- ・ 2号機原子炉建屋・制御建屋エリア : 8078 m³/day
- ・ 3号機海水熱交換器建屋エリア : 7046 m³/day

揚水ポンプの容量は、上記の揚水井戸への最大流入量を上回る 9000m³/ day とする。

(b) 揚水ポンプ揚程

揚水ポンプの揚程は、揚水ポンプ据付位置から排水先までの液位差と配管及び弁類の圧力損失の合計を上回るものとする。各エリアの揚水井戸の必要揚程を以下に示す。

- ・ No. 1 揚水井戸ポンプ据付位置～放水先 (O. P. -29. 40～O. P. 14. 80)
- ・ No. 2 揚水井戸ポンプ据付位置～放水先 (O. P. -32. 40～O. P. 14. 80)
- ・ No. 3 揚水井戸ポンプ据付位置～放水先 (O. P. -29. 40～O. P. 14. 80)
- ・ No. 4 揚水井戸ポンプ据付位置～放水先 (O. P. -32. 40～O. P. 14. 80)

液位差最大 (No. 2 揚水井戸及び No. 4 揚水井戸)

:47. 20m

No. 2 揚水井戸及び No. 4 揚水井戸の配管及び弁類の圧力損失

合計

揚水ポンプの揚程は、必要揚程を上回る 52m以上とする。

(c) 揚水ポンプ個数

揚水ポンプの個数は、揚水ポンプの信頼性向上を図るため、各揚水井戸に 2 個、合計 8 個を設置する。

(3) 詳細設計により具体化した事項

設置変更許可段階における説明として、2号機原子炉建屋・制御建屋エリア及び3号機海水熱交換器建屋エリアにおいて、それぞれ1個の揚水ポンプ及び配管を設置した揚水井戸を2系統設置する方針としていた。

これに対し、設置変更許可段階から詳細設計を踏まえ、各揚水井戸に揚水ポンプ及び配管を2個設置することとし、揚水ポンプ等において単一故障が発生した場合においても2系統の揚水井戸の機能を維持できる設計としたことで、排水機能の更なる信頼性向上を図った。

5.2.4 監視・制御機能

(1) 設計方針

監視・制御機能は地下水位を一定の範囲に保持するために、地下水位の監視及び揚水ポンプの制御に必要な機能を有する設計とし、設備は水位計及び制御盤で構成する。

また、供用期間の全ての状態において設備の信頼性を向上するために、設計に以下を反映する。

- ・ランダム故障に対し機能維持を図るため、水位計を多重化する。
- ・水位計は、2系統の独立設計した揚水井戸内に設置することで、独立性を確保する。
- ・水位計は竜巻による飛散物及び火山灰の侵入に対して、支持・閉塞機能において揚水井戸に蓋を設置することにより影響が及ばないようにする。
- ・水位計及び制御盤は落雷に対して、盤への保安器の設置及び保護範囲内へ避雷針を設置することにより影響が及ばないようにする。
- ・制御盤は台風、竜巻、凍結、降水、積雪、火山、生物学的事象及び森林火災に対して、外部からの衝撃による損傷の防止が図られた建屋内に設置することにより、影響が及ばないようにする。
- ・制御盤はA系B系で独立性を持たせることで多重化する。
- ・制御盤は内部火災及び内部溢水に対して、共通要因により多重化された機能が同時に損なわれないよう位置的分散を図った配置とする。

(2) 設計仕様

a. 設備仕様

「(1) 設計方針」を踏まえた水位計の設備仕様を表5-10、水位計の構造図を図5-11、計測範囲、揚水ポンプ制御の概要図を図5-12に示す。

水位計はNo.1～No.4の揚水井戸へ各々3個（合計12個）設置し、各水位計の水位を制御盤に指示し、記録及び保存可能な設計とする。

揚水ポンプは各揚水井戸に3個設置される水位計の水位信号の2 out of 3論理で起動及び停止の制御を行う。

揚水ポンプが起動水位で起動しなかった場合及び停止水位で停止しなかった場合を考慮し、「水位高高」及び「水位低低」の設定値を設け、設定値に達した場合に警報を中央制御室に発生させる。警報は各揚水井戸に3個設置される水位計の水位信号のうち1つでも設定値に達した場合に発生させる。「水位高高」に達した場合は揚水ポンプの故障が考えられることから、待機揚水ポンプを自動起動させる。「水位低低」では、水位低のバックアップとして揚水ポンプを自動停止させる。また、電源喪失時や揚水ポンプ故障時（過負荷）に警報を中央制御室に発生させる。

制御盤は、原子炉建屋内に系統ごとに現場制御盤を、中央制御室に監視制御盤を系統ごとに設置する。現場制御盤は、系統ごとにそれぞれ別の区画に設置し、監視制御盤は、系統ごとの盤で構成し、分離して設置する。

水位計、現場制御盤、監視制御盤間を接続するケーブルは、系統ごとに設置する。

表 5-10 水位計の設備仕様

	揚水井戸 No. 1, No. 3	揚水井戸 No. 2, No. 4
計測範囲	0. P. -28. 8~0. P. -26. 1 (2700mm)	0. P. -31. 8~0. P. -29. 1 (2700mm)
種類	圧力式水位検出器	

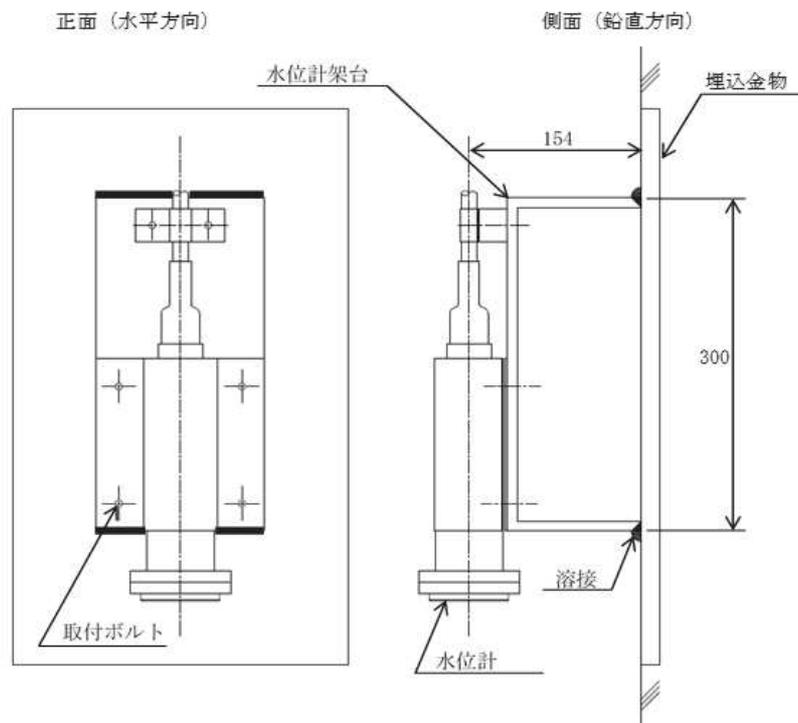


図 5-11 水位計の構造図

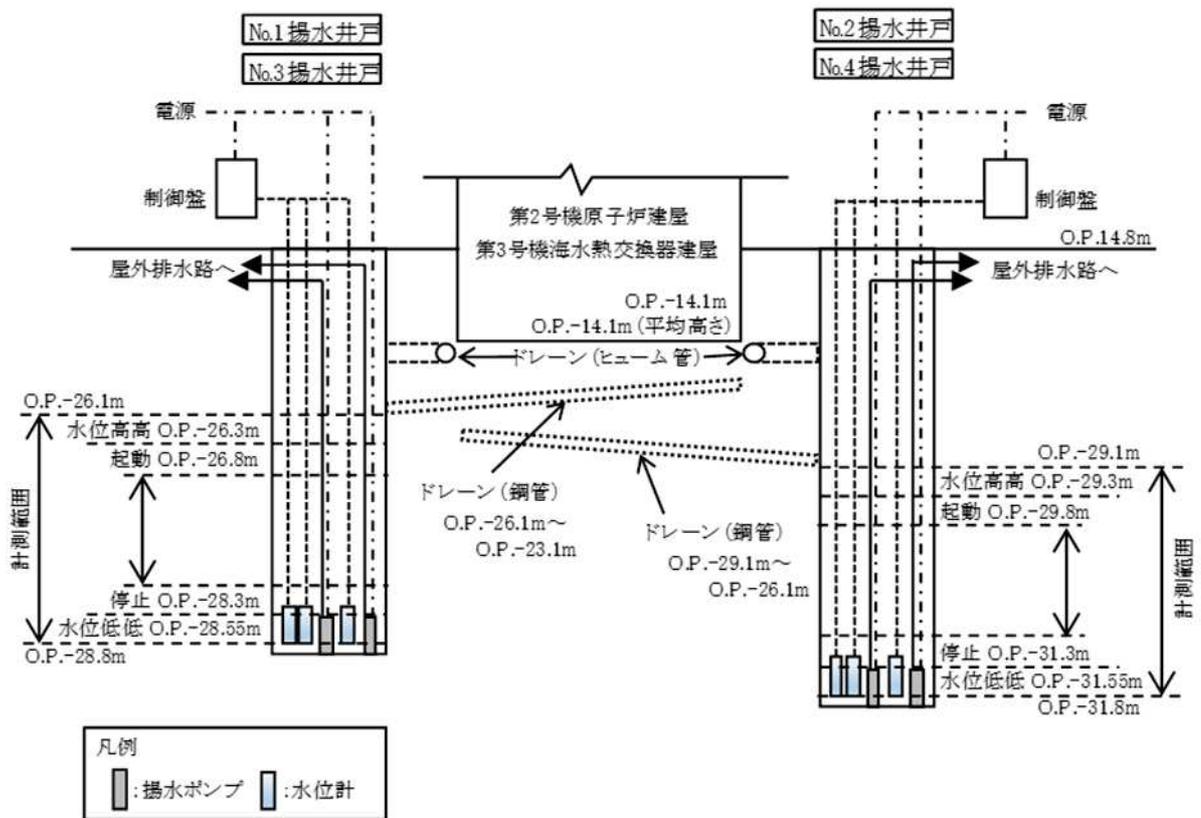


図 5-12 計測範囲，ポンプ制御の概要図

b. 設備仕様の設定根拠

(a) 水位計の計測範囲

イ. No. 1 揚水井戸及び No. 3 揚水井戸

水位計の計測範囲は揚水ポンプ自動起動設定値 (O.P. -26.8m) を包絡する O.P. -26.1m を計測範囲の上限として設定する。また，揚水ポンプ自動停止設定値 (O.P. -28.3m) を包絡する O.P. -28.8m を計測範囲の下限として設定する。

ロ. No. 2 揚水井戸及び No. 4 揚水井戸

水位計の計測範囲は揚水ポンプ自動起動設定値 (O.P. -29.8m) を包絡する O.P. -29.1m を計測範囲の上限として設定する。また，揚水ポンプ自動停止設定値 (O.P. -31.3m) を包絡する O.P. -31.8m を計測範囲の下限として設定する。

(b) 揚水ポンプ自動起動・停止設定値

イ. No. 1 揚水井戸及び No. 3 揚水井戸

揚水ポンプ自動停止の設定値は揚水ポンプ最低運転水位に余裕を考慮し，O.P. -28.3m を設定する。揚水ポンプ自動運転の設定値は揚水ポンプの発停頻度が 1 時間当たり 2 回程度になるよう考慮し，O.P. -26.8m を設定する。

ロ. No. 2 揚水井戸及び No. 4 揚水井戸

揚水ポンプ自動停止の設定値は揚水ポンプ最低運転水位に余裕を考慮し，O.P. -

31.3m を設定する。揚水ポンプ自動運転の設定値は揚水ポンプの発停頻度が1時間当たり2回程度になるよう考慮し、O.P.-29.8m を設定する。

(c) 警報設定値（「水位高高」、「水位低低」）

イ. No.1 揚水井戸及びNo.3 揚水井戸

水位高高の警報設定値は運転制御範囲を逸脱した場合に警報が発生するよう、揚水ポンプ自動運転の設定値より上部の O.P.-26.3m を設定する。

水位低低の警報設定値は運転制御範囲の逸脱した場合に警報が発生するよう、揚水ポンプ自動停止の設定値より下部の O.P.-28.55m を設定する。

ロ. No.2 揚水井戸及びNo.4 揚水井戸

水位高高の警報設定値は運転制御範囲を逸脱した場合に警報が発生するよう、揚水ポンプ自動運転の設定値より上部の O.P.-29.3m を設定する。

水位低低の警報設定値は運転制御範囲の逸脱した場合に警報が発生するよう、揚水ポンプ自動停止の設定値より下部の O.P.-31.55m を設定する。

(d) 水位計個数

水位計は揚水井戸内へ継続的に流入する地下水を排水し地下水位を一定レベル以深に維持することで地下水位低下設備の水位保持機能の健全性を確保するため、多重性を考慮し、No.1～No.4 の揚水井戸へ各々3個（合計12個）設置する。

(3) 詳細設計により具体化した事項

設置変更許可段階における説明として、2号機原子炉建屋・制御建屋エリア及び3号機海水熱交換器建屋エリアにおいて、それぞれ1個の水位計を設置した揚水井戸を2系統設置する方針としていた。

これに対し、設置変更許可段階から詳細設計を踏まえ、各揚水井戸に水位計を3個設置することとし、水位計の単一故障が発生した場合においても2系統の揚水井戸の機能を維持できる設計としたことで、監視機能の更なる信頼性向上を図った。

5.2.5 電源機能

(1) 設計方針

電源機能は、揚水ポンプが地下水を排水するために必要な電力を供給できる機能を有する設計とし、設備は電源（非常用ディーゼル発電設備）、電源盤及び電路で構成する。

電源盤は、外部電源喪失が発生した場合に非常用ディーゼル発電設備から電力を供給できる設計とする。また、全交流動力電源喪失となった場合にも電力の供給が可能なように、ガスタービン発電設備から電力を供給できる設計とする。

電源機能は、供用期間の全ての状態において設備の信頼性を向上するために、設計に以下を反映する。

a. 電源（非常用ディーゼル発電設備）

- ・ランダム故障に対し機能維持を図るため、多重化する。

- ・台風、竜巻、凍結、降水、積雪、火山、生物学的事象及び森林火災に対して、外部からの衝撃による損傷の防止が図られた建屋内に設置することにより、影響が及ばないようにする。
- ・内部火災及び内部溢水に対して、共通要因により多重化された機能が同時に損なわれないよう位置的分散を図った配置とする。

b. 電源盤

- ・ランダム故障に対し機能維持を図るため、多重化する。
- ・台風、竜巻、凍結、降水、積雪、火山、生物学的事象及び森林火災に対して、外部からの衝撃による損傷の防止が図られた建屋内に設置することにより、影響が及ばないようにする。
- ・内部火災及び内部溢水に対して、共通要因により多重化された機能が同時に損なわれないよう位置的分散を図った配置とする。

c. 電路

- ・ランダム故障に対し機能維持を図るため、多重化する。
- ・電路のうち屋外電路については、台風、竜巻、凍結、降水、積雪、火山、生物学的事象及び森林火災に対して、外部からの衝撃による損傷の防止が図られた地下埋設とし、露出となる個所については必要な防護措置を実施することにより影響が及ばないようにする。
- ・落雷に対しては、制御盤への保安器の設置に加え、避雷針の保護範囲内への設置又は地中埋設により防護する設計とする。

(4) 設計仕様

a. 設備仕様

「(1) 設計方針」を踏まえた電源盤の設備仕様を表 5-11 に示す。また、地下水低下設備の電源構成を図 5-13 に示す。

電源盤は井戸毎に運転するポンプの選択、切替等が可能な回路構成とする。

表 5-11 電源盤の設備仕様

容 量	kVA	296
個 数	—	2

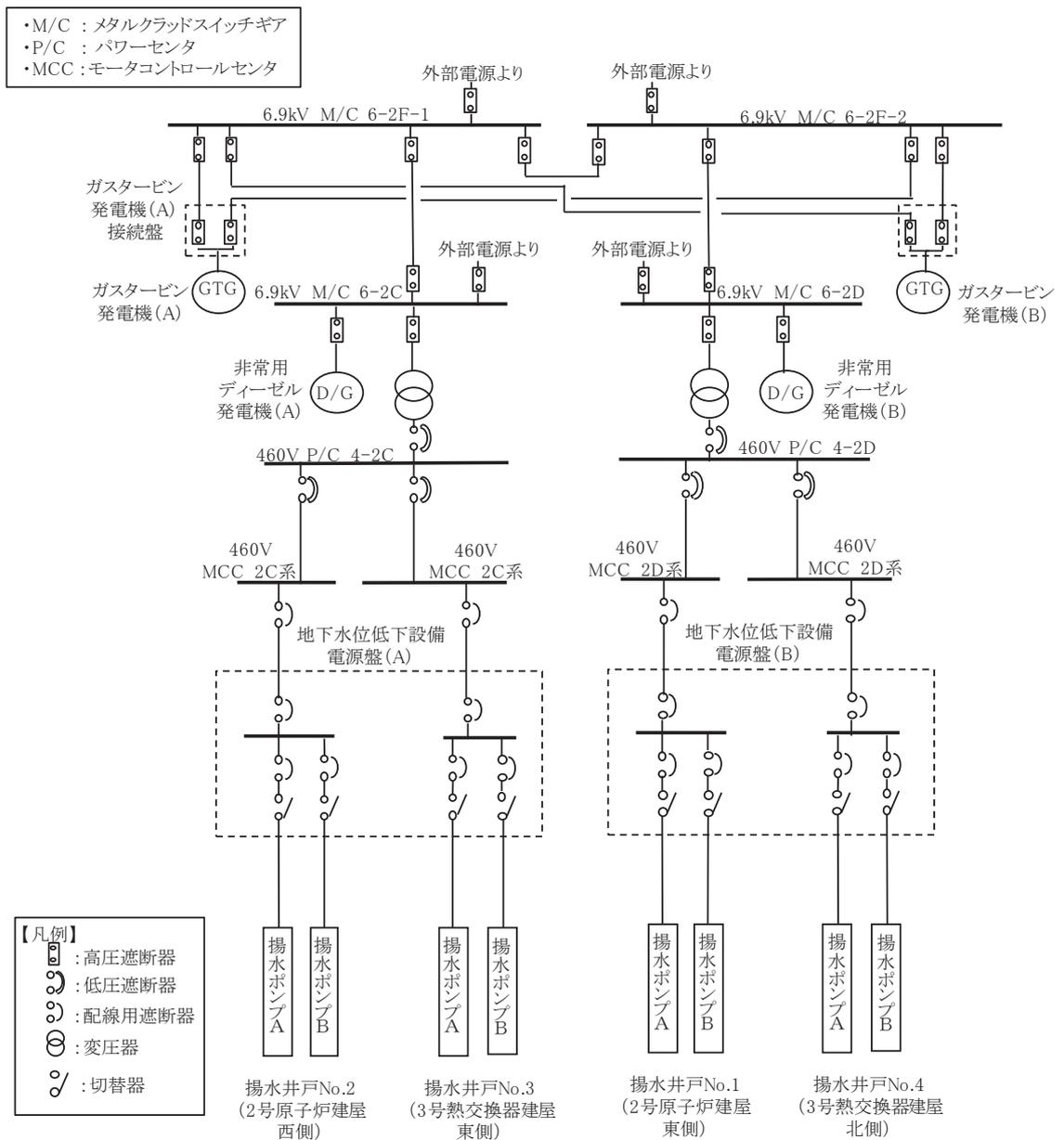


図 5-13 電源構成

b. 設備仕様の設定根拠

(a) 電源盤の容量

電源盤の一面あたりの容量は、2 系統の揚水ポンプおよび制御盤に給電可能な容量とし、296kVA とする。

(b) 電源盤の個数

電源盤は、独立性を確保するため、モーターコントロールセンタ 2C 系又は 2D 系から受電できるよう 2 面設置する。

5.3 既設の地下水位低下設備の取扱いについて

各号機の建設段階で設置された既設の地下水位低下設備は、地下水の集水機能，支持・閉塞防止機能，排水機能並びに地下水の監視機能を有している。既設の地下水位低下設備の配置を図5-14に示す。

これらの既設の地下水位低下設備の有する機能のうち，集水機能については「5.2.1 集水機能」に示す設計方針のとおり，信頼性が確保された範囲を地下水位低下設備として期待し，その他の機能は期待しない方針とする。

また，静的機器としての故障想定を満足しないものの，耐震性・耐久性・保守管理性を満足する範囲については，透水層として浸透流解析にモデル化する方針としており，この範囲については，「6.1 集水機能」において，地下水位低下設備として位置付ける範囲と同様にドレーン及び接続柵の主要な構造部材が構造強度を有することを確認する方針とする。

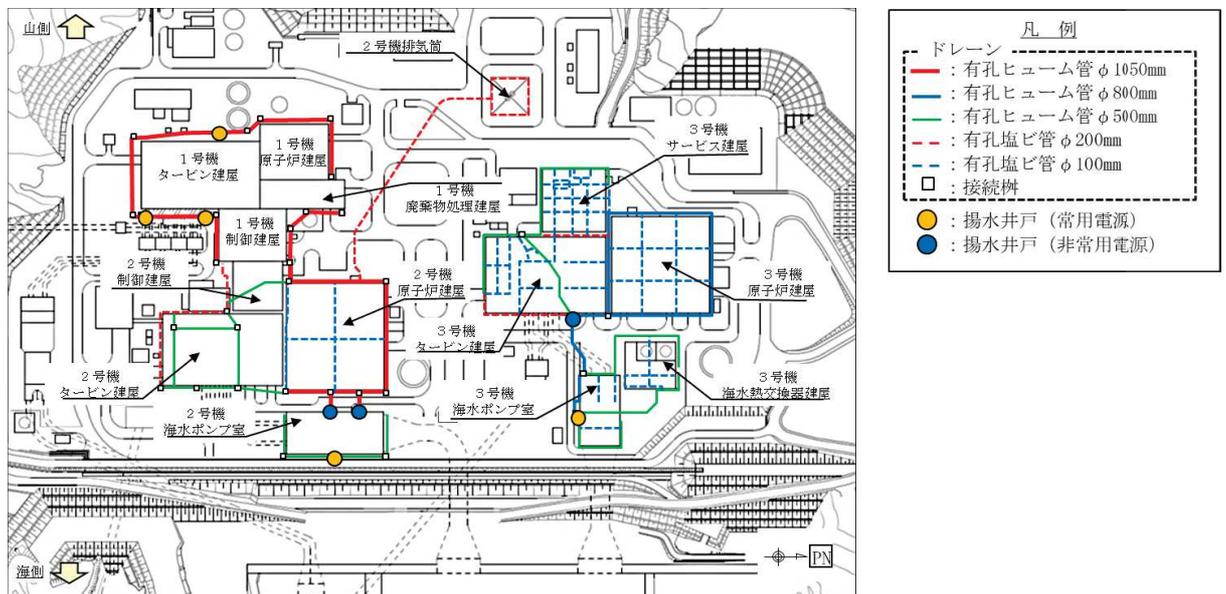


図 5-14 既設の地下水位低下設備の配置

6. 構造強度設計方針

「3. 地下水位低下設備の基本設計方針」で設定している，地下水位低下設備の構造強度設計上の要求を達成するために，「5. 機能設計方針及び設計仕様」で設定している各設備が有する機能を踏まえて，構造強度に係る設計方針を以下のとおり設定する。

地下水位低下設備の耐震計算の方法及び結果は，添付書類「VI-2-13 地下水位低下設備の耐震性についての計算書」に示す。

6.1 集水機能

集水機能については，「5. 機能設計方針及び設計仕様」の「5.2.1 集水機能」における機能設計を踏まえ，ドレーン及び接続柵の設置により，設計揚圧力以下に保持できるように地下水を揚水井戸に集水可能な設計とすることから，「3. 地下水位低下設備の基本設計方針」で設定した構造強度設計上の要求を踏まえ，基準地震動 S_s による地震力に対し，ドレーン及び接続柵の主要な構造部材が構造強度を有することで，集水機能を維持できる設計とする。

6.2 支持・閉塞防止機能機能

支持・閉塞防止機能については、「5. 機能設計方針及び設計仕様」の「5.2.2 支持・閉塞防止機能」における機能設計を踏まえ、揚水井戸及び蓋の設置により支持機能及び閉塞防止機能の維持が可能な設計とすることから、「3. 地下水位低下設備の基本設計方針」で設定した構造強度設計上の要求を踏まえ、基準地震動 S_s による地震力に対し、揚水井戸の主要な構造部材が構造強度を有することで、支持・閉塞機能を維持できる設計とする。

また、基準地震動 S_s 及び竜巻による飛来物並びに火山灰に対して、蓋の主要な構造部材が構造強度を有することで、排水機能及び監視・制御機能が維持できる設計とする。

6.3 排水機能

排水機能については、「5. 機能設計方針及び設計仕様」の「5.2.3 排水機能」における機能設計を踏まえ、揚水ポンプ及び配管の設置により揚水井戸に流入する地下水量を排水可能な設計とすることから、「3. 地下水位低下設備の基本設計方針」で設定した構造強度設計上の要求を踏まえ、基準地震動 S_s による地震力に対し、揚水ポンプ及び配管の主要な構造部材が構造強度を有し、また、揚水ポンプが動的機能を維持することで、排水機能を維持できる設計とする。

6.4 監視・制御機能

監視・制御機能については、「5. 機能設計方針及び設計仕様」の「5.2.4 監視・制御機能」における機能設計を踏まえ、水位計及び制御盤により地下水位低下設備の監視・制御が可能な設計とすることから、「3. 地下水位低下設備の基本設計方針」で設定した構造強度設計上の要求を踏まえ、基準地震動 S_s による地震力に対し、水位計及び制御盤の主要な構造部材が構造強度を有し、また、水位計及び制御盤が電氣的機能を維持することで、監視・制御機能を維持できる設計とする。

6.5 電源機能

電源機能については、「5. 機能設計方針及び設計仕様」の「5.2.5 電源機能」における機能設計を踏まえ、電源（非常用ディーゼル発電設備）電源盤及び電路の設置により、地下水位低下設備の運転に必要な電力を供給可能な設計とすることから、「3. 地下水位低下設備の基本設計方針」で設定した構造強度設計上の要求を踏まえ、基準地震動 S_s による地震力に対し、電源盤の主要な構造部材が構造強度を有し、また、電源盤が電氣的機能を維持することで、電源機能を維持できる設計とする。

電路については、耐震性が確保された建屋また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構造とする。

7. 地下水位低下設備の復旧措置に必要な資機材の検討

地下水位低下設備については、「3. 地下水位低下設備の基本設計方針」で整理したとおり、地震時及び地震後を含む、原子力発電所の供用期間の全ての状態において地下水位低下設備の機能維持が可能な設計とする。万が一、地下水位低下設備の排水機能及び監視・制御機能に係る機器が故障した場合に備え、復旧措置に必要な資機材の構成等について検討した結果を以下に示す。

なお、運用管理の詳細については、保安規定等の審査段階において説明する。

7.1 復旧措置に係る基本方針

地下水位低下設備の排水機能、監視・制御機能に係る機器が故障した場合に備え、地下水位低下設備の復旧措置に必要な資機材を確保し、各建屋に作用する平均揚圧力が設計揚圧力に到達しないように揚水井戸の水位低下を図り、設備を復旧可能とする。

7.2 設置変更許可段階からの反映事項

地下水位低下設備が機能喪失した場合に復旧措置を行うため、必要な資機材として、可搬型設備及び予備品を確保する。

これらの資機材については外部事象の影響を受けないように保管する。

7.3 復旧措置に係る資機材

「7.1 復旧措置に係る基本方針」を踏まえ、揚水井戸内の復旧措置に係る資機材を以下のとおり整理する。

7.3.1 予備品の配備

予備品については、設置変更許可段階で説明した方針においてサイトとして一式配備する方針としていたが、2号原子炉建屋・制御建屋エリア及び3号機海水熱交換器建屋エリアの各々で機器の単一故障が発生した場合に備え、復旧できる個数を表 7-1 のとおり配備する。

表 7-1 各機器に必要なとなる予備品

機能	機器	配備数
排水機能	揚水ポンプ	2 個
監視・制御機能	制御盤の構成部品	2 式
	水位計	2 個

7.3.2 可搬ポンプユニットの配備

揚水井戸内の排水及び予備品交換を実施するための資機材として、図 7-1 に示す可搬ポンプユニットを配備する。可搬ポンプユニットは、排水及び予備品への取替えが可能となる排水容量とするため、ドレーンから揚水井戸への最大流入量（8078 m³/day）を排水可能な可搬ポンプ、可搬ポンプ運転等に必要な電力を供給する発電機、可搬ポンプ発停を管理する制御盤、ホース等資機材及びクレーン類を車両に搭載し構成する。

常設設備において安全機能の重要度分類を踏まえたクラス 1 に相当する設備として多重性及び独立性を確保する。また、地震時及び地震後を含む原子力発電所の供用期間の全ての状態において、揚水井戸内の排水機能及び監視・制御機能に係る機器の単一故障時においても、排水機能の維持が可能である。

このため、可搬ポンプユニットは、揚水井戸内の機器の単一故障時の復旧作業及び機器の点検作業が可能となる水位まで排水することが主な用途であるが、各エリアにおける全ての揚水井戸の機能喪失の発生も考慮し、各エリアの排水機能の維持を可能とするため、2 個配備する。また、可搬ポンプユニットは、高台の堅固な地盤に配備し、自然現象により可搬ポンプユニットの機能喪失が生じないように分散配置とする。

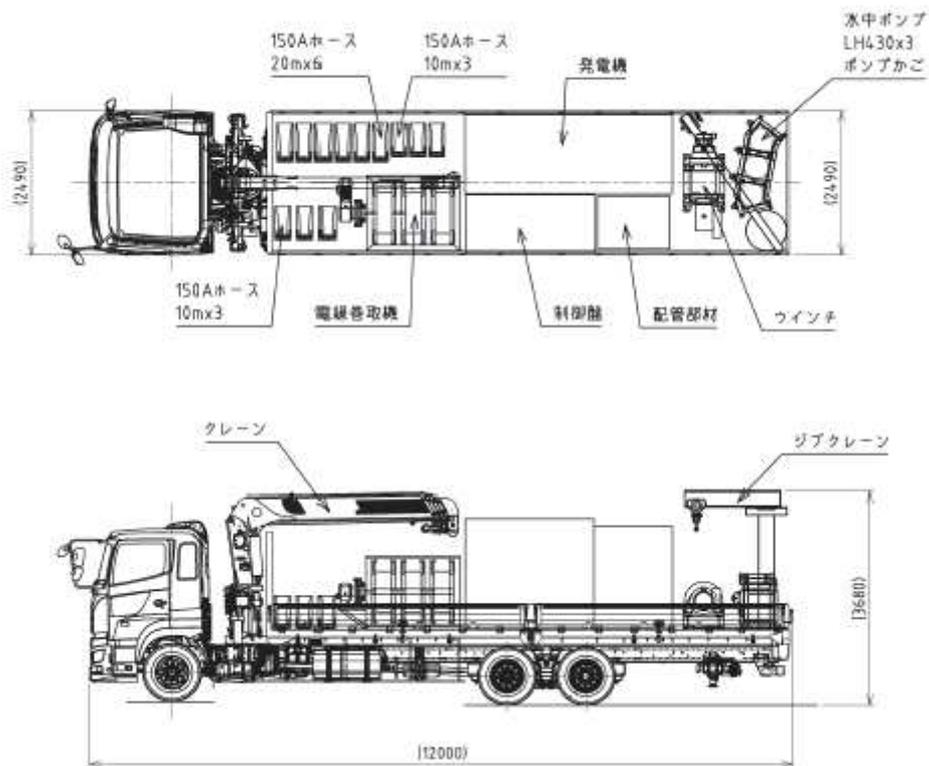


図 7-1 可搬ポンプユニット

7.4 復旧措置に係る可搬ポンプユニットの配備数の妥当性確認

可搬ポンプユニットの配備数の妥当性として、各エリアの全ての揚水井戸が同時に機能喪失した場合においても、各建屋に作用する平均揚圧力が設計揚圧力に到達しない時間内に、計画している可搬ポンプユニットの配備数により各エリアの水位低下措置を開始できることを確認する。具体的には、以下の評価を実施する。

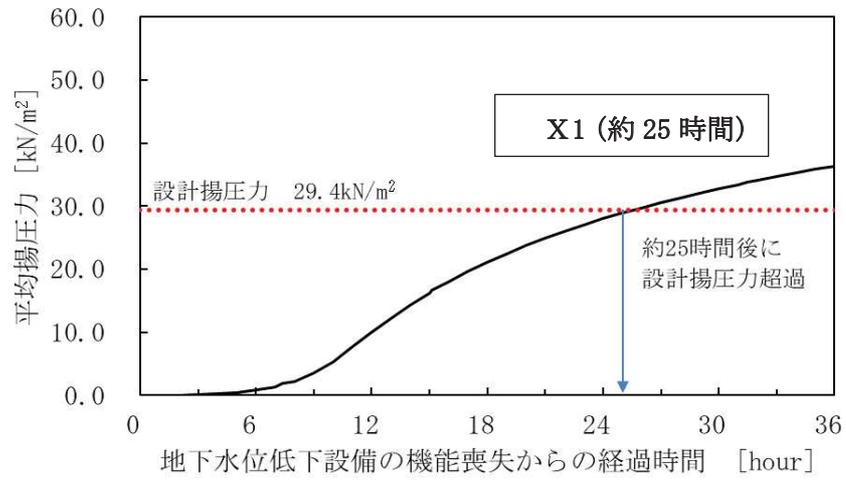
- ・ 3次元浸透流解析を用いて、地下水位低下設備が機能喪失した際に、各建屋へ作用する平均揚圧力が設計揚圧力*に到達するまでの時間余裕について、早期に設計揚圧力に到達するエリア側を(X1)、もう一方のエリア側を(X2)として算出する。
- ・ 水位低下措置については、可搬ポンプユニットの配備数を2個とし、要員参集から開始し、早期に設計揚圧力に到達するエリア側において揚水井戸内の排水を開始するまでの時間を($\alpha 1$)、その後もう一方のエリアに移動し、揚水井戸内の排水を開始までの時間を($\alpha 2$)とし、($X1 > \alpha 1$)及び($X2 > \alpha 2$)を評価することにより妥当性を確認する。

注記*：地下水位低下設備の機能喪失による影響が早期に現れる揚圧力影響に着目する。

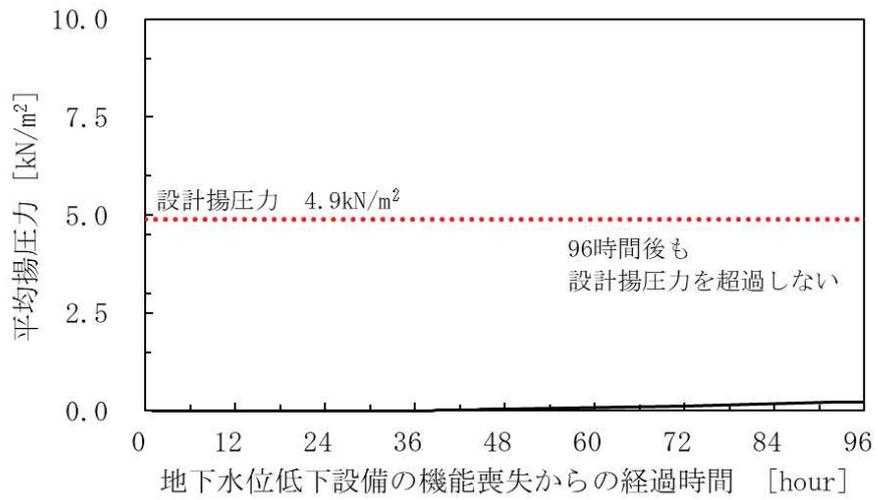
7.4.1 時間余裕(X1)、(X2)の評価

設計用地下水位の検討に用いた水位評価用モデルを用いて、揚水井戸が機能喪失した状態からの地下水位分布の経時変化と設計値に到達するまでの時間を非定常解析により確認する。

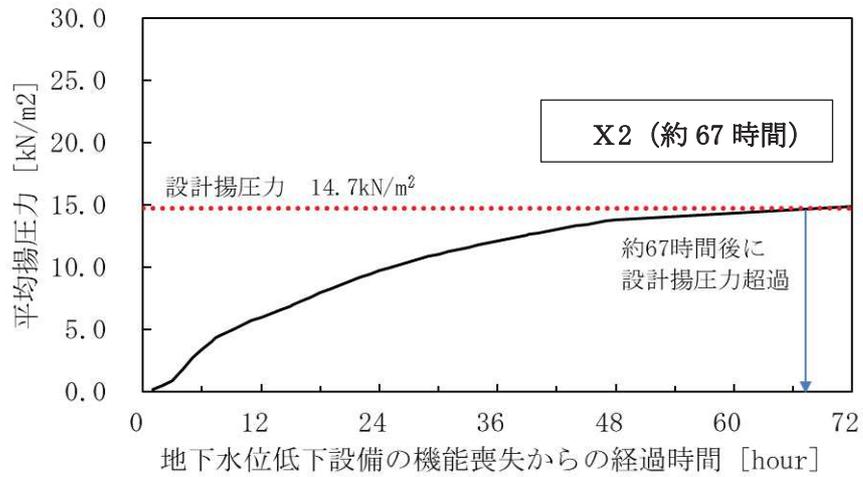
時間余裕の評価結果を図7-2に示す。早期に設計揚圧力に到達する原子炉建屋の時間余裕である約25時間を(X1)、3号機海水熱交換器建屋の時間余裕約67時間を(X2)とする。



a. 原子炉建屋



b. 制御建屋



c. 3号機海水熱交換器建屋

図 7-2 地下水位低下設備機能喪失後の時間余裕 (X1) 及び (X2)

7.4.2 水位低下措置開始時間（ $\alpha 1$ ）、（ $\alpha 2$ ）の評価

地下水位低下設備の各エリアの全ての揚水井戸が機能喪失した後の、可搬ポンプユニット2個による水位低下措置完了までの時間について図7-3、措置時間算出にあたっての考え方を表7-2に示す。

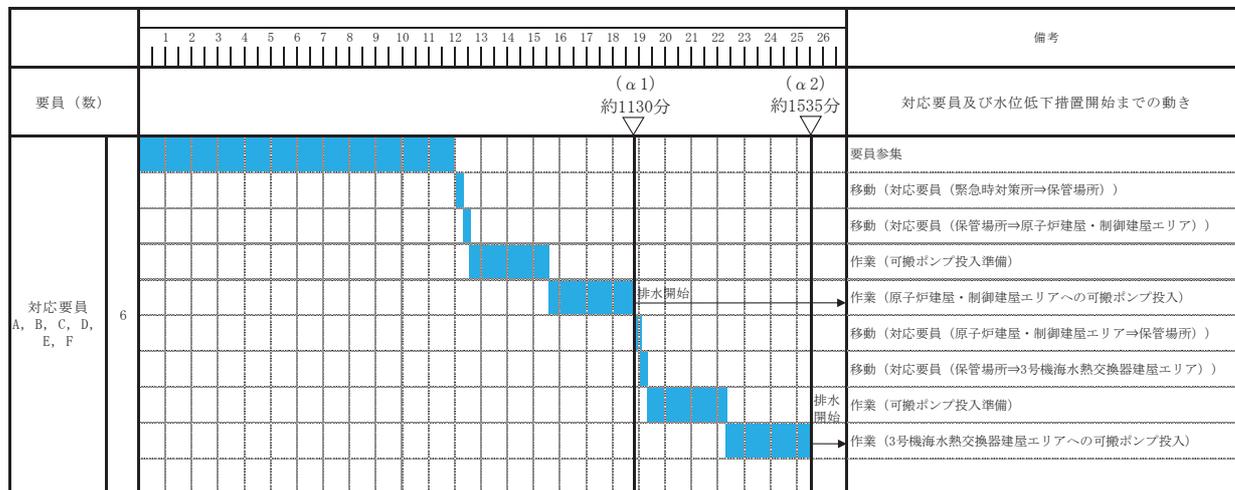


図7-3 地下水位低下設備機能喪失後の水位低下措置時間（ $\alpha 1$ 及び $\alpha 2$ ）

表7-2 措置時間算出にあたっての考え方

No.	対応項目	措置時間 (分)	考え方
1	要員参集	720	設置変更許可段階で算出した時間を設定
2	移動(対応要員⇒保管場所)	20	保守的に事務建屋~O.P.+62m盤(約1km)を徒歩移動した場合の時間を設定
3	移動(保管場所⇒原子炉建屋・制御建屋エリア)	15	設置変更許可段階で算出した時間(O.P.+62m盤から原子炉建屋近傍までの移動)を設定
4	作業(可搬ポンプ投入準備)	180	資機材荷降ろし・展開及び揚水井戸開放作業の想定時間を1.5倍し余裕を設定
5	作業(2号原子炉建屋・制御建屋エリアへの可搬ポンプ投入)	195	揚水井戸への可搬ポンプ投入及びホース展開作業の想定時間を1.5倍し余裕を設定
6	移動(2号原子炉建屋・制御建屋エリア⇒保管場所)	15	No.3と同様
7	移動(保管場所⇒3号機海水熱交換器建屋エリア)	15	No.3と同様
8	作業(可搬ポンプ投入準備)	180	No.4と同様
9	作業(3号機海水熱交換器建屋エリアへの可搬ポンプ投入)	195	No.5と同様

7.4.3 可搬ポンプユニットの配備数の妥当性確認結果

地下水位低下設備の機能喪失後、2号原子炉建屋・制御建屋エリアの水位低下措置開始時間($\alpha 1$)は約19時間であり、時間余裕(X1)の範囲内で対応可能であることを確認した。

また、3号機海水熱交換器建屋エリアの水位低下措置開始時間($\alpha 2$)は約26時間であり、時間余裕(X2)の範囲内で対応可能であることを確認した。

以上のことから、可搬ポンプユニットの配備数が2個で妥当であることを確認した。

8. 運用管理・保守管理

地下水位低下設備は、原子炉施設保安規定において運転上の制限を設定するとともに、保全計画の策定では、他の運転上の制限を設定する設備と同様に「予防保全」の対象と位置付け管理する。

復旧措置に係る資機材は、地下水位低下設備の復旧作業に的確かつ柔軟に対処できるように、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とともに、保全計画の策定では、社内規定に点検頻度等を定め、適切に維持管理する。